

都市域及びその周辺の自然環境等に係る環境指標の開発に関する研究II

昭和59年度特別研究報告

A Comprehensive Study on the Development of Indices System
for Urban and Suburban Environmental Quality II

環境指標 — 応用例とシステム —

ENVIRONMENTAL INDICES — Applications and Systems —

内藤 正明 編

edited by Masaaki NAITO

環境庁 国立公害研究所

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

都市域及びその周辺の自然環境等に係る環境指標の開発に関する研究 II

正 誤 表

ページ	行	誤	正
6	↑ 1	to be poublished	1986
7	2	Cybernetics.	Cybernetics, SMC-16, (1), 53-61.
117	12	Landscapd	Landscape
117	14	調査関研	調査研究
192	13	レビューを第2節で行う。	レビューを行う。
242	↑ 5	(大井ら, 1985)	(大井ら, 1986)
243	11	刺激語 w_1 に	刺激語 w_i に
243	↑ 1	(大井ら, 1985)	(大井ら, 1986)
252	↑ 1	New York.	New York,
252	↑ 0	—	490 p.

序

「環境指標」という語は古くから環境にかかわる多くの分野で用いられてきた。しかしその概念は多様でまだ共通したものは無いと言ってよかろう。ましてこれを環境研究や環境行政の中で実際に役立てたという事例は皆無に等しい。しかしながら環境問題が複雑、多様化する中で、環境の現状や将来の姿を的確に表現する手法が求められるに至って、最近にわかに環境指標への関心が高まってきた。当研究所ではこのような社会的ニーズに先行する形で昭和56年度から環境指標に関する基礎的情報の収集、分析に着手し、さらにこれを踏まえて昭和58、59年度には都市とその周辺環境を対象とする環境指標開発の特別研究を実施した。その時期には、丁度多くの地方公共団体が環境管理計画が策定されたが、これら管理計画の中では環境指標を重要な計画目標設定の手段として用いる試みがなされた。そこで、これら指標の作成に当たっては、他に行政の現場で利用できる具体的知見が乏しいこともあって我々の研究成果に対する問い合わせがしきりであった。

そのような状況から、先に刊行した特別研究報告の第一報は環境指標作成のための基礎編として好評を得たが、本報告等もさらに具体的な事例を中心にまとめた手引書として併せて利用頂けるのではないかと思う。

環境指標について本格的な研究はまだ始まったばかりであり、今後の発展が望まれるところである。本報がそのような研究の展開にとって一つの契機となれば幸いである。

昭和61年2月

国立公害研究所

所長 江上 信雄

目 次

概 要	1
I. 研究の意義と位置づけ	9
内藤正明	
II. 各 論	
1 総合的な指標の例	
1.1 住民意識に基づく都市環境及びその評価構造の比較分析	21
森田恒幸・内藤正明	
1.2 住民意識と地区条件との関連分析と指標化について	33
原沢英夫・西岡秀三	
1.3 住民意識に基づく環境指標の作成手法とその適用	45
森田恒幸・野田清敏	
2 個別項目の計量と指標化の事例	
2.1 水環境指標の作成	59
原沢英夫・内藤正明	
2.2 グローバルスケールにおける大気汚染レベルを評価するための 新しい指標の提案	77
溝口次夫・甲斐沼美紀子・内藤正明	
2.3 騒音影響の計量と評価指標	
2.3.1 都市域における騒音影響の計量化 —土浦市国道6号沿道地域を例として—	93
田村正行・相本篤子	
2.3.2 騒音の生理学的影響	103
相本篤子・田村正行	

2.4	緑量の計量化と指標化	
2.4.1	緑地環境水準の計量化	109
	青木陽二	
2.4.2	緑と建物の分布の計測と指標化	121
	安岡善文・猪爪京子	
2.5	スライド写真を用いた一般住民による街並み評価手法	
	—10点法評点づけの有効性の検証—	133
	原科幸彦・西岡秀三	
2.6	地形・自然環境場の指標化とその利用	149
	西岡秀三・森 保文・森口祐一	
2.7	地域の個性に関する指標の算定とその活用	167
	森田恒幸・勝矢淳雄・内藤正明	
2.8	環境指標における生物指標の位置づけ及び	
	生物指標と理化学的測定とその対応	177
	森 保文・内藤正明	
3	環境の評価への経済的、認知論的接近	
3.1	環境質の経済的評価構造の概要	
3.1.1	環境の評価：特に経済的評価を中心にして	191
	北畠能房	
3.1.2	地価への反映を利用した居住環境価値の計測	211
	仁科克己	
3.2	環境の評価に対する住民意識構造の分析	
3.2.1	生活環境に関する住民の認知空間の広がり	と構造
		225
	大井 紘・宮本定明・阿部 治・勝矢淳雄	
3.2.2	連想構造の有向グラフ表現とクラスター分析	
	—システムズ・アプローチの試み—	241
	宮本定明・大井 紘・阿部 治・勝矢淳雄	

4	指標の作成と利用に対する支援	
4.1	環境分析のための情報システム	
	(SAPIENS: Systems Analysis and Planning on Intelligent Environmental iNformation Systems) の概要	253
	原沢英夫	
4.2	水環境指標算定・表示のための計算機支援システム	263
	原沢英夫	
4.3	全国都市環境指標表示システムとその利用	275
	森口祐一・甲斐沼美紀子・西岡秀三	
4.4	広域的な環境変動解明のための支援情報システム	283
	森田恒幸・猪爪京子・森口祐一・西岡秀三	
4.5	パソコンを使った環境評価法と環境現況の効果的表示法	293
	甲斐沼美紀子・後藤典弘	
4.6	景観予測のための画像処理システム	307
	安岡善文	

CONTENTS

Abstract	1
I. Introduction	9
M. NAITO	
II. Specific Topics in Environmental Indices	
1 Illustrative Examples of a Comprehensive Indicator	
1.1 Comparative Analysis on Residents' Preference Structure for Urban Environment	21
T. MORITA and M. NAITO	
1.2 Analysis of Consciousness of Inhabitants and Physical Factors in Residential District and Indexing of their Relationship	33
H. HARASAWA and S. NISHIOKA	
1.3 Scaling and Aggregating Method of Environmental Indices According to Evaluation by Urban Residents	45
T. MORITA and K. NODA	
2 Quantification of Individual Factor and Development of Individual Index	
2.1 Development of Water Quality Indices	59
H. HARASAWA and M. NAITO	
2.2 A New Index for the Global Air Pollution	77
T. MIZOGUCHI, M. KAINUMA and M. NAITO	
2.3 Quantification of Noise Effects and Development of Evaluation Index	
2.3.1 Assessment of Road Traffic Noise in Urban Areas —A Case Study in Tsuchiura City—	93
M. TAMURA and A. AIMOTO	
2.3.2 Physiological Effects of Noise on Man	103
A. AIMOTO and M. TAMURA	

2.4	Quantification of Green Space and Development of Evaluation Index	
2.4.1	A Trial Quantification of the Environmental Value Index of Green Spaces	109
	Y. AOKI	
2.4.2	Evaluation of Trees and Buildings Distribution in Urban Area by Remote Sensing	121
	Y. YASUOKA and K. INOTSUME	
2.5	Study on a Quantitative Evaluation Method of Townscapes by Citizen Groups Using Color Slides	133
	S. HARASHINA and S. NISHIOKA	
2.6	Quantification of Topographical and Natural Feature of the Urban Areas in Japan	149
	S. NISHIOKA, Y. MORI and Y. MORIGUCHI	
2.7	Estimation of the Individuality of Urban Environment	167
	T. MORITA, A. KATSUYA and M. NAITO	
2.8	The Role of the Biological Indices on Indicators in Environmental Indices and Correspondence between Biological Indices and Physical-chemical Parameters	177
	Y. MORI and M. NAITO	
3	Economic and Cognitive Approaches to the Evaluation of the Environment	
3.1	Economic Evaluation of Environmental Quality	
3.1.1	On the Valuation of the Environment: With Special Reference to Economic Valuation	191
	Y. KITABATAKE	
3.1.2	An Economic Evaluation of Urban Amenities by Hedonic Approach	211
	K. NISHINA	
3.2	Analysis of Residents' Cognitive Structure in Their Evaluation of the Environment	
3.2.1	The Range and the Structure of the Cognitive Space of the Living Environment Conceived by Local Residents	225
	K. OI, S. MIYAMOTO, O. ABE and A. KATSUYA	
3.2.2	Directed Graph Representations and Cluster Analysis of Association Structure : A Systems Approach	241
	S. MIYAMOTO, K. OI, O. ABE and A. KATSUYA	

4 Supporting System for Development and Utilization of Environmental Indices

4.1 Computer-assisted Information System for Environmental Systems Analysis (SAPIENS: Systems Analysis and Planning on Intelligent Environmental iNformation System)	253
H. HARASAWA	
4.2 Computer-assisted Graphics System for an Effective Presentation of Water Quality Indices	263
H. HARASAWA	
4.3 Construction and Utilization of the Computer-aided Presentation System for the Nation-wide Urban Environmental Indices	275
Y. MORIGUCHI, M. KAINUMA and S. NISHIOKA	
4.4 Computer-aided Information System for the Global and Nation-wide Environmental Trend Indices	283
T. MORITA, K. INOTSUME, Y. MORIGUCHI and S. NISHIOKA	
4.5 Development of Methodology for an Effective Presentation of Environmental Status and Environmental Evaluation by Means of a Personal Computer	293
M. KAINUMA and S. GOTOH	
4.6 Image Processing System for Landscape Simulation	307
Y. YASUOKA	

概 要

本報告書は環境行政の現場で現実に環境指標を作成し、かつ利用しようとした際に必要な知見を取りまとめたものであり、先に第1報として刊行した『環境指標—その考え方と作成手法—（国立公害研究所研究報告、第74号）』に続く第2報である。第1報は環境指標に関する基本的な概念及び指標作成のための一般的な手法を中心にとりまとめたいわば“基礎編”に相当し、本報はそれを受けて、具体的に環境指標を作成し算定する手順を、実例を中心に紹介した“応用編”に相当するものである。

まず第1部では従来の多種多様な指標を体系的に整理することによって、環境指標のフレームワークを新たに提示した。さらにこれに基づいて、第Ⅱ部（各論）で提案する指標の位置づけ、特性を示した。次いで各論の内容であるが、まず第1章においては、住民の意識による総合的評価、及びそれが物的要因といかに関係しているかを統計的に解析したものを示す。次いで第2章は個別の物的要因をいかに計量するかという過程についていくつかの例を示す。その中で“緑量”、“景観”、“地形”などの要因については、これまで十分な計量化がなされていないため、ここで新たな定義をし、指数化を試みた。一方、大気、水質、騒音についてはこれまでも種々の指標が諸外国を中心に提案されているが、ここでは今後の我が国の環境管理等に適する新たな指標を定義し、それを実データを用いて試算した。第3章は環境の評価に関する経済的、認知論的考え方を検討した部分であって、具体的な手順、手法を示した他の章とは少し性格を異にする。環境の主要な評価因子としては“安全性”、“保健性”、“利便性”、“快適性”が考えられる。ここではこれらを含めたものが人々の意識の中でどのように構造立てられているかに関する心理的側面に関する検討結果、並びに環境を経済行動面から総合的に評価するための理論と実例をとりまとめている。

最後に第4章で、指標を作成し、またこれを実際に活用する際に不可欠な情報システムについて、我々が作りつつあるいくつかの新たな試みを中心に紹介した。

Outline

The major purpose of this report is to illustrate how to deal with issues come out in constructing an environmental index for a practical use. For this, the procedure of formulating some different types of indices has been demonstrated in this report, which follows the first volume entitled "Environmental Index—Basic notion and formation—".

Firstly, in Part I, a comprehensive framework of environmental index is presented through a thorough review and reorganization of the existing wide variety of indices. This framework consists of four categories of indices, which are "social activity", "environmental load", "environmental state" and "social impact". The indices in each category are also classified into five different types. They are termed as "primary index", "indicators", "combined indicator", "representative index", and "comprehensive index". These types are characterized in terms of their special feature. On the basis of the framework above, all the indices proposed in Part II are properly defined their role, significance and limitation.

As to the contents of Part II, Chapter 1 deals with the procedure to construct a comprehensive index based on a residents' preference. The preference is correlated to physical parameters of the environmental conditions by means of the multi-variate analysis. This method is named as top-down procedure to formulate comprehensive indices. Chapter 2 demonstrate how to quantify the individual physical factors such as "greenery", "landscape", "urban topography". Each of the quantified values is then evaluated in terms of residents' preference to provide the "Individual index", which could be aggregated through an appropriate procedure to give a "comprehensive index". This sort of procedure is herewith termed "bottom-up method".

Chapter 3 is concerned with the notion of value evaluation from the economic and cognitive points of view. Lastly in Chapter 4, a description is made on an information system which is inevitable to actually calculate indices, with illustration of the system which is presently constructed by the authors' group.

印刷発表

- (1) 後藤典弘 (1981): 環境美化への諸方策・月刊廃棄物, 7(77), 58.
- (2) 後藤典弘 (1981): きれいなまちづくり. 月刊廃棄物, 7(76), 44.
- (3) 後藤典弘 (1981): 兵庫県環境美化運動推進要綱と時限条例. 月刊廃棄物, 7(81), 40.
- (4) 原沢英夫・西岡秀三 (1981): 環境評価のためのコンピュータ支援システム. 環境情報科学10(3), 74-81.
- (5) 原科幸彦・原沢英夫・黄光輝・内藤正明 (1981): 道路周辺環境質の総合評価—筑波研究学園都市における事例研究—. 地域学研究, 11, 81-98.
- (6) 原科幸彦・飯倉善和・西岡秀三 (1981): 住民意識調査にもとづく道路周辺地域の環境診断—土浦市での事例研究—. 地域学研究, 11, 81-98.
- (7) Harashina, S. and M. Naito (1981): Computer aided conference for comprehensive evaluation of residential environment. Proc. Int. Fed. Autm. Congr. 8th Triennial World Congr. CS, 75-80.
- (8) 森田恒幸 (1981): 環境影響の長期予測と計画アセスメント. 日本自動制御協会セミナーテキスト「予測と制御」, 92-107.
- (9) 内藤正明 (1981): 環境指標の整理と体系化の試み. 環境情報科学, 10(1), 61-69.
- (10) 内藤正明 (1981): 環境主観的評価に関する基礎調査研究 (分担). 未来工研報告書, 55-02-01.
- (11) 青木陽二 (1982): 緑地環境水準の評価指標の算定方法に関する研究. 日本都市計画学会学術研究発表会論文集 (17), 481-486.
- (12) 後藤典弘 (1982): 環境影響評価の実施とコミュニケーション—環境問題トピックスシリーズ (17) 一. 環境情報科学, 11(4), 57-59.
- (13) 後藤典弘 (1982): 地球規模の環境問題の視座. 環境情報科学, 11(3), 50-52.
- (14) 原科幸彦 (1982): 環境アセスメント研究の新しい展開—価値の問題への接近—. 地域開発, (216), 42-46.
- (15) 原科幸彦・原沢英夫・西岡秀三・内藤正明 (1982): 会議実験手法による道路環境総合評価の試み. 文部省「環境科学」研究報告集 B-123-R40-6, 303-307.
- (16) 原科幸彦・原沢英夫・西岡秀三 (1982): 環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究. 国立公害研究所研究報告, 第37号, 150p.
- (17) 国立公害研究所環境指標プロジェクト (1982): 環境指標ワークショップ. 昭和57年11月9, 10日.
- (18) 溝口次夫 (1982): 大気成分のバックグラウンド地点選定手法の検討. 京都大学環境衛生工学研究会, 第4回シンポジウム講演論文集.
- (19) 森田恒幸 (1982): 地方自治体における環境影響評価制度の比較分析. 環境情報科学, 11(2), 79-86.
- (20) 内藤正明 (1982): 環境指標の体系的整備, 公害と対策, 18, 953-962.
- (21) 内藤正明 (1982): 環境評価指標の確立に関する総合研究. 国立公害研究所研究発表会予稿集, 107-127.
- (22) 安岡善文 (1982): 環境評価のための画像情報処理. 環境情報科学, 11(2), 42-47.
- (23) 青木陽二・布施一郎・青木宏一郎 (1983): 公園緑地の種類と周辺条件による誘致率の変化に関する研究. 造園雑誌, 47(2), 112-118.
- (24) 後藤典弘 (1983): 環境分野における情報源情報整備の必要性と重要性. 環境情報科学, 12(1), 84-86.

- (25) 後藤典弘 (1983): 環境—個別技術から総合マネジメントへ. 科学技術庁調査; 日本の未来技術800, 83年版 (週刊ダイヤモンド別冊, ダイヤモンド社, 218p.)
- (26) 後藤典弘 (1983): わが国の街路清掃. 月刊廃棄物, **9**(98), 62-63.
- (27) 後藤典弘 (1983): わが国の街路清掃 (2). 月刊廃棄物, **9**(99), 40-41.
- (28) 後藤典弘 (1983): わが国の街路清掃 (3). 月刊廃棄物, **9**(101), 94-95.
- (29) 原科幸彦・西岡秀三 (1983): 地域環境評価のための集合調査法の有効性に関する実証研究—土浦市内の道路周辺住民による会議実験. 地域学研究, **13**, 119-140.
- (30) 原科幸彦 (1983): 環境問題トピックシリーズ (21) 社会指標と環境指標. 環境情報科学, **12** (4), 107-109.
- (31) Harashina, S. (1983): Using system analysis for environmental decision making: Japan's Evaluation Laboratory of Man-Environment Systems. Environ. Impact Assess. Rev., **4**(1), 103-108.
- (32) 原科幸彦・西岡秀三 (1983): 環境総合評価のための住民意向把握手法に関する研究. 地域学研究, **13**, 119-139.
- (33) 森口祐一 (1983): 環境問題トピックシリーズ (20) 全国都市環境データベースの作成. 環境情報科学, **12** (3), 73-78.
- (34) 内藤正明 (1983): 「都市域及びその周辺の自然環境等に係る環境指標の開発に関する研究」について—国公研新規特別研究一. かんきょう, **8**(3), 11-18.
- (35) 内藤正明 (1983): 広域的な環境の計測. 計測と制御, **22**(1), 36-41.
- (36) 内藤正明 (1983): 環境指標に関する概念整理. 環境管理, (7), 2-17.
- (37) 内藤正明 (1983): 環境指標からみた環境情報. 季刊環境研究, **46**, 12-19.
- (38) 西岡秀三・森口祐一 (1983): 環境政策支援のための画像表示システム. 季刊環境研究, **46**, 20-35.
- (39) 西岡秀三・原科幸彦 (1983): 生活者が環境へむける目をどう把えるか—国立公害研究所の人間環境評価実験施設. かんきょう, **8**(4), 73-77.
- (40) 西岡秀三 (1983): 公害面から都市を診断する—自動車交通公害を例として—. 環境情報科学, **12**(4), 24-33.
- (41) 北島能房 (1984): 経済学の立場から. 第2回琵琶湖研究シンポジウム記録—琵琶湖集水域の環境保全と地域経済—. 琵琶湖研究所, 16-38.
- (42) 北島能房・西岡秀三 (1984): 自然保護の需要行動に関する経済分析. 地域学研究, **14**, 79-150.
- (43) 北島能房 (1984): 公害防止と再生産可能資源管理の経済的側面. 季刊環境研究, 62-82.
- (44) 後藤典弘 (1984): 清掃事業におけるパソコン等によるOA化の動向と展望. 月刊廃棄物, **10**(108), 50-56.
- (45) 原科幸彦 (1984): 地区レベルでの環境計画のための住民意向反映手法について, —システム分析支援技術の立場から—. 地域学研究, **14**, 1-16.
- (46) 原科幸彦・西岡秀三 (1984): スライド写真を用いた住民による街並み評価手法に関する研究. 都市計画別冊, **19**, 181-186.
- (47) 原科幸彦・西岡秀三 (1984): 環境施策形成のためのシステム分析支援技術. 季刊環境研究, 47.
- (48) 北島能房 (1984): アメニティの経済的・政策的側面. 季刊環境研究, **48**, 95-114.
- (49) 内藤正明 (1984): 環境問題の将来展望と環境指標. 季刊環境研究, **49**, 113-121.
- (50) 内藤正明・森田恒幸 (1984): 生活環境選好度調査. 東京都環境保全局 (K-0-4環1), 3-4.
- (51) Oi, K., S. Miyamoto, O. Abe, A. Katsuya and K. Nakayama (to be published): Analysis of Cognitive Structures of Environment of Local Residents through Word Association Methods, Proceedings of the 4th International Conference on State-of-the-Arts in Ecological Modelling.
- (52) 安岡善文 (1984): 宇宙からみた地球環境診断. 保健の科学, **26**(1), 39-42.
- (53) Miyamoto, S., K. Oi, O. Abe, A. Katsuya, and K. Nakayama (to be published): Directed Graph Repre-

sentations of Association Structures : A Systematic Approach, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics.

- (54) 安岡善文 (1984) : 画像情報による環境の評価. *Computrol*, **5**, 74-81.
- (55) 青木陽二・北畠能房 (1985) : 入園料の有無による公園緑地の利用の差に関する研究. *造園雑誌*, **48** (3), 151-157.
- (56) Aoki, Y., Y. Yasuoka and M. Naito, (1985) : Assessing the Impression of Street-Side Greenery. *Landscape Res.*, **10**(1), 9-13.
- (57) 甲斐沼美紀子 (1985) : 環境情報の「表示・コミュニケーション」の道具としてのパーソナル-コンピュータ, *環境情報科学*, **14**(1), 47-51.
- (58) 内藤正明 (1985) : 環境指標. 学陽書房 (印刷中)
- (59) 西岡秀三・原科幸彦 (1985) : スライド写真を用いた一般住民による街並み評価法に関する研究その2—一次元尺度評価の妥当性の検証とスライド写真評価の限界についての検討—. 昭和60年度第20回日本都市計画学会学術研究論文集, **20**, 373-378.
- (60) 内藤正明・西岡秀三 (1985) : 地域環境評価のための情報システム, 「高度情報化社会へのシナリオ」, 学陽書房, 158-176.
- (61) 溝口次夫 (1985) : バックグラウンドオゾンの評価, 「環境科学」研究報告集, B251・R15, **8**, 75-81.
- (62) Mizoguchi, T., M. Kunugi and M. Nishikawa (1985): Background air pollutant measurements and selection of background sites in Japan, *Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud. Jpn.* No.79. 9-19.
- (63) 森 保文 (1985) : 生物指標と理化学的測定との対応に関する研究動向—環境問題トピックスシリーズ (24) —. *環境情報科学*, **14**(2), 50-57.
- (64) 安岡善文 (1985) : 環境における画像処理技術の応用. *電気学会雑誌*, **105**(5), 73-76.
- (65) 安岡善文 (1985) : 画像処理による都市景観の子測技術. *映像情報*, **17**(10), 25-30.

□頭発表

- (1) 原沢英夫・西岡秀三 (1981) : カラー画像表示システムによる環境診断について. 土木学会第6回電算機シンポジウム講演論文集. (東京)
- (2) 田村正行・西岡秀三 (1981) : 道路騒音評価指標の算出方法に関する一考察. 日本音響学会昭和56年春季研究発表会講演論文集. (東京)
- (3) 原科幸彦・西岡秀三 (1982) : 環境総合評価への住民意向反映手法に関する研究. 日本地域学会第19回大会. (高松)
- (4) 後藤典弘 (1983) : 環境美化システム形成における役割分担について. 地域交流センター, 美化における市民参加と快適なまちづくりを考える研究会. (東京)
- (5) 原科幸彦 (1983) : 地域環境計画のための住民意向反映手法について—システム分析支援技術の立場から—. 日本地域学会第20回国内大会. (東京)
- (6) 原科幸彦・西岡秀三 (1983) : 住民集会における参加者意見の集計表示効果の測定 (1). 日本行動計量学会第11回大会講演予稿集. (京都)
- (7) 溝口次夫・功刀正行・伊藤裕康・西川雅高他 (1983) : 大気成分のバックグラウンドレベルに関する研究. 第24回大気汚染学会講演要旨集. (四日市)
- (8) 森口祐一・西岡秀三 (1983) : 全国都市環境データベースの作成とその表示, 解析システム. 土木学会第8回電子計算機の利用に関するシンポジウム論文集, 97-100.
- (9) 西岡秀三・原科幸彦 (1983) : 住民集会における参加者意見の集計表示効果の測定 (2). 日本行動計量学会第11回大会予稿集. (京都)
- (10) 安岡善文・可知直毅・鈴木啓祐 (1983) : リモートセンシングによる植生遷移の解析. 第22回計測自

動制御学会学術講演会予稿集, 453-454. (福岡)

- (11) 後藤典弘 (1984): わが国の環境影響評価と地域環境管理. 第5回長崎県環境部環境アセスメント研修会. (長崎)
- (12) 宮本定明・大井 紘・阿部 治・勝矢淳雄・中山和彦 (1984): 連想法による住民の環境概念構造の調査について—データ解析の方法—. 第23回計測自動制御学会学術講演会予稿集, 501-512. (東京)
- (13) 宮本定明・大井 紘・阿部 治・勝矢淳雄・中山和彦 (1984): 自由連想法による住民の環境概念構造の調査とデータ解析. 第27回自動制御連合講演会予稿集. (神戸)
- (14) 望月篤子・田村正行・東郷正美 (1984): 騒音に対する生理学的反応の測定. 第54回日本衛生学会. (米子)
- (15) 森口祐一・西岡秀三・中杉修身 (1984): 廃棄物情報の地因化. 第5回全国都市清掃研究発表会講演論文集. (東京)
- (16) Nishioka, S. and M. Naito (1984): An Information System for Environmental Quality Assessment. International Conference for Regional Information Systems. (Amagi)
- (17) 大井 紘・宮本定明・阿部 治・勝矢淳雄・中山和彦 (1984): 連想法による住民の環境概念構造の解析法. 第2回知識工学シンポジウム資料, 103-108. (東京)
- (18) 大井 紘・勝矢淳雄・宮本定明・阿部 治・中山和彦 (1984): 生活環境に関する住民の認識空間の拡がり」と構造. 京都大学環境衛生工学研究会第6回シンポジウム講演論文集, 14-19. (京都)
- (19) 大井 紘・勝矢淳雄・宮本定明・阿部 治・中山和彦 (1984): 「住みよさ」に関する意識構造の連想法による調査と解析. 土木学会第39年次学術講演会概要集. (東京)
- (20) 安岡善文 (1984): 都市における住宅, 緑の分布の計量化. 文部省科研費「遠隔計測による都市防災構造の評価に関する基礎研究」研究報告会予稿集, 17-24. (福岡)
- (21) 安岡善文・宮崎忠国 (1984): 軌道平行走査 MMS による高さの計測. 第23回計測自動制御学会学術講演会予稿集, 341-342. (東京)
- (22) 安岡善文・猪爪京子 (1984): 都市域における緑と建物の分布の測定と評価. 第10回リモートセンシングシンポジウム予稿集, 1-4. (東京)
- (23) 相本篤子・田村正行・東郷正美 (1985): ヒトの呼吸に対する騒音の影響. 第55回日本衛生学会. (熊本)
- (24) 大井 紘・勝矢淳雄・宮本定明・阿部 治・中山和彦 (1985): 生活環境に関する住民の認識空間の自由連想法による解析. 京都大学環境衛生工学研究会第7回シンポジウム講演論文集, 130-135. (京都)
- (25) 大井 紘・勝矢淳雄・宮本定明・阿部 治・中山和彦 (1985): 自由連想法による「住みよさ」に関する住民の意識構造の調査と解析. 土木学会第20回年次学術講演会概要集第2部, 889-890. (仙台)
- (26) 原沢英夫・西岡秀三 (1985): 住民意識と住環境条件との関連分析と指標化. 第13回環境問題シンポジウム講演論文集, 135-141. (東京)
- (27) 宮本定明・大井 紘・勝矢淳雄・阿部 治・中山和彦 (1985): 連想法による住民の環境概念の調査—データ解析手法構造について—. 第3回知識工学シンポジウム資料, 97-102. (東京)
- (28) 安岡善文・西岡秀三 (1985): 画像処理による景観の予測と評価. 第24回計測自動制御学会学術講演会予稿集, 857-858. (札幌)

研究の意義と位置づけ

内藤正明

1 本研究の意義と本報刊行の経緯

ここ数年環境指標に対する関心が多方面で高まっていたが、まだ実際的な活用例は限られたものであった。しかし特にこの1、2年は都道府県の多くが、環境管理計画の有力な“tool”として環境指標を活用しようと、その作成に向けて作業を始めている。このような活動を通じ環境指標の概念や作成手法も次第に明確になりつつあるが、同時に現場で役立つ指標を作るに当たって、まだ検討しておくべきいくつかの問題点があることも明らかになってきた。そこで、本報告書は環境行政の現場で現実に環境指標を作成し、かつ利用しようとした際に必要な知見を取りまとめたものであり、先に第1報として刊行した『環境指標—その考え方と作成手法—(国立公害研究所研究報告、第74号)』に続く第2報である。第1報では環境指標に関する基本的な概念及び指標作成のための一般的な手法を中心にとりまとめたいわば“基礎編”に相当し、本報はそれを受けて、具体的に環境指標を作成し算定する手順を、実例を中心に紹介した“応用編”に相当するものである。

本報で想定している読者は第1報と同じく、これから実用的な環境指標を作ろうとしている環境行政担当者及び研究者である。そのため、内容は個別研究成果の単なる集積ではなく、全体としての一貫性、整合性を重視してとりまとめた。ただし、基礎編とも言うべき第1報ではそれが十分可能であったが、この応用編では多様な指標体系全体を網羅した例を示すことは不可能であるし、また個々の指標ごとにその完成度も相違するため、必ずしも全編が一貫したものとなっていない。しかしこれは、環境構成要素が多岐にわたり、例えば大気質や水質のように、既に計量・評価の事例が沢山あるものから、水辺や街並みの快適性のよう、それをどう計数化すればよいか、ということから検討しなければならないものがあるという事情からも、やむをえないところと了解頂きたい。このような事情があるにせよ、全編を通じてできるだけ体系的に記述することに努め、第1報同様にマニュアル的利用の便を配慮した。

第1報に対しては刊行以来提供依頼も多く、まずは好評を得ているようであるが、それ以後半年余の短い期間中にも特に地方公共団体を中心に各方面で環境指標を作成し、現実の環境行政の中に生かそうとする動きの中で、種々の具体的知見の提供を求められることも多くなってきた。そこで、指標作成の実例を中心にとりまとめた本報告書は、環境行政の現場で指標作りに着手しようとしている人達にいくつかの参考情報を提供できるのではないかと考える。

本報告書に先立つ第1報では、環境指標に関する基礎概念と作成手法をできるだけ一般的な形で記述した。しかしこの一般例だけでは、現実に指標を作ろうとした場合に遭遇する諸々の技術的問題に、対応し難いことも多かろうと思われる。このような場合に参考となるのは、実際にある具体的な指標を作成する過程を直接見ることであろう。そこで、本報は環境指標の試算例をできるだけ多様なものについて、具体的な形で示そうとするものである。ところで、

—環境指標が対象とする項目幅は極めて広く、多種多様であるため、項目によってその扱い方が相違すること、

—利用目的がまた多岐にわたるため、それに適した指標作りの手順もまたそれぞれで異なること、のために、以下に紹介しようとするのは作成手順やそのレベルにおいて相互に若干異なる指標群を集大成的にまとめたものとなっている。そこで、まず最初にこれらの指標群の相互の位置づけを明らかにしておくことが、以下の理解に必要と思われる。

2 環境指標の体系

環境指標の全体的なフレームや体系については第1報にも詳しく述べたが、その中で指標が作成される一般的な手順を整理して、要約表示したものが表1である。ここでは環境指標の対象となるものを大きく4種のカテゴリーに分けた。そして、それぞれがほぼ同一の手順に従って指標化されることを示している。まず計測対象に応じて、これに適した手法によって対象が計量される。このデータを基に指標化がはかられるわけであるが、その第1段階は簡単な一次処理（人口当量などへの換算）によって作られる“一次指標”である。これはまだ後に詳述するような何らかの価値基準で尺度化された本来の指標ではないが、現実にはこの形のままで指標として用いられることが最も多い。後に2-1と2-3に紹介するのは「社会影響」のカテゴリーに属する一次指標に対応する。

これと同じレベルの指標として、ある状態の経年変化などを捕えるために、基準年の値などで割った相対値を用いることがある。これは、社会・経済分野の指標として多々見られ、“指数”と呼ばれるのが普通である（例えば物価指数）。この指数もまた共通の価値基準に照らして尺度化したものではないので、複数の指数を集めて総合化することはないが、社会指標の一部ではまれに項目ごとの平均値を用いて指数化した、いくつかを加算する場合もある（国立公害研究所研究報告，第74号参照）。本書ではこのような例は扱っていない。

さらにもう一つ、このレベルの指標に相当するものとして、多数の項目を統計的な視点から集約した指標がある。例えば多数の水質項目の測定データを主成分分析することにより、これらを代表する総合的な指標算定式が加重和の形で求められるものなどである（e. g. 神奈川 WQI）。それを、ここでは“代表化”という操作によって求められた“代表指標”と称することとする。本報ではこの種の指標の例もまた特に取り扱っていない。

以下のような生データに近いが、又は若干の処理によって導いた指標から一歩進んで、データのある種の価値基準に基づいて尺度化したものが、“本来の意味での指標”であると称してきた。し

表1 環境指標の全体フレームと作成過程

	社会活動		環境負荷		環境状態		社会影響	指標特性
計測対象	生産量, 消費量 開発規模, 人口, 土地利用	[原単位 など]	排ガス強度, 排水強度, 土工量,	[拡散, 反応 など]	大気質, 水質, 街並, 緑,	[Dose-effect -damage -response など]	快適意識, 健康 被害, 物的被害	
計測技法	統計調査	ラボ実験 入出力統計,	物理 化学 生物 計測 計測 計測	ラボ実験, フィールド実験	物理 化学 生物 計測 計測 計測	価値 被害 便益 分析 分析 分析	意識 健康 経済 調査 調査 計量	
計測値	工業統計, 商業統計, 人口統計,		SO ₂ 負荷, BOD %, エネル ギー負荷,		SO ₂ ppm, BOD ppm, 緑 量, .		緑の満足度, 疾病率, 災害率, 地価,	
簡易処理	一次処理		一次処理		一次処理		一次処理	
一次指標	一次指標		一次指標		一次指標		一次指標	[原データに簡単な処 理を施した指標]
尺度化	規準化	(現象的) 価値尺度化 (環境負荷関数) (統計的)	規準化	(現象的) 価値尺度化 (環境変化関数) (統計的)	規準化	(現象的) 価値尺度化 (価値関数) (統計的)	規準化	
指数	指数		指数		指数		指数	[基準年値等で基準化 された指標]
個別指標		個別指標		個別指標		個別指標		[何らかの共通の基準 で尺度化した指標]
総合化	集約化	(統計的) 項目集約	(統計的) 項目集約	(統計的) 項目集約	(統計的) 項目集約	(統計的) 項目集約		
	代表化		代表化		代表化		代表化	
	合成		合成		合成		合成	
総合的 指標	代表指標 合成指標	代表指標 合成指標	代表指標 合成指標	代表指標 合成指標	代表指標 合成指標	代表指標 合成指標	代表指標 合成指標	[統計集約した指標] (複数の指数の集合) 同一基準で多項目を 集約した指標
指標算定	時間, 空間, 主体間に関する荷重集約							
総合指標値	総合指標値							

— bottom-up 手順, — top-down 手順, - - - - - 指数等

かしここで“ある種の価値基準”と“尺度化”について簡単に規定しておく必要がある（詳細は先述の第1報を参照されたい）。通常「特定の個人又は集団の価値意識を定量化したもの」が“価値関数”と呼ばれる。これには経済性や、安全とか健康といった価値基準がありうるが、いずれにしても評価主体としての人間が存在することが前提である。その意味で本来の指標というのは“社会影響”指標に限られる。これは例えば、SO₂ppm という汚染レベルが健康被害度という尺度に換算されることによって一つの“(個別)指標”となり、さらにNO_xppm の健康被害度と加算されることにより“(社会影響)総合指標 (e. g. PINDEX)”となるようなものがその例である。この場合、SO₂やNO_xといった環境状態を示す変数群は、この価値関数の説明変数としての役割を果たすにすぎない。しかし、これらもまた社会影響の“先駆的指標”として重要であることは言うまでもない。また河川のある地点の汚染レベルに対する寄与を尺度にとり、各排出源をその寄与率に応じた重みをつけ集約したものは、表1の“環境改変総合指標”に対応しよう。この場合、集約する共通尺度を先と同じく価値関数と呼んでおくが、これはいわゆる個人又は集団の価値意識ではなく、ある一つの環境状態を作り出すのに個々の環境負荷量がどれだけずつ影響しているかを示すものである。3-4に紹介する「緑のポテンシャル指標」はこのカテゴリーの一例である。なお、環境状態と社会的影響との因果の定量的関係（価値関数など）に基づいて尺度化した本来の指標に相当するものは極めて少ない。

なお、上述のような価値関数を個々の環境状態項目について一つずつ作り上げていくのは極めて難しい。そこで、これとは逆に多数の人々の意識量を統計的な手法（多変量解析）によって環境状態変数に結びつける手法が考えられる。前者を以下に bottom-up 法と呼び後者を top-down 法と呼ぶことにする。2-2に紹介するのは社会影響総合指標を top-down 的手法によって作成した一例である。

3 ここでの試算例の位置づけ

表1に示した指標作成手順の各段階毎に指標の特性を規定するいくつかの視点、手法がある。そのいずれを採用するかによって、多様な指標が形成される。本研究が対象とする指標がこの中のどのような特性を持つものであるかを、主要な分類視点に従って規定したものが表2である。ここにも示すように、指標の特性を規定する第一条件はその用途である。ここでは「指標の利用」について大きく環境の保全、管理に携わる行政と、環境を何らかの形で利用している生産、生活者に分けている。本報で対象とするところは、この中で、一つは生活者という立場、もう一つは都道府県を中心とする行政主体である。この生活者という視点から、以下に扱う指標は表1で言えば「環境状態」並びに「社会影響」に関するものにほぼ限定される。指標特性を決める第2の視点は対象とする「地域スケール」である。これは100m オーダーの敷地スケールから全国スケールまで幅広いが、ここでは市町村を下限に、数府県にまたがる広域を上限に設定する。第3の重要な特性は「環境構成項目」として何を採用するかということである。この項目の選択の考え方については第1報でも

表2 本報で主対象とする環境指標の特性

指標の特性	内 容	検討の視点
指標利用者	<p>環境管理主体</p> <p>行政 国 都道府県 市町村</p> <p>環境利用主体 企業 住民 旅行者 生活者 勤労者</p>	行政（国～市町村）又は生活者としての住民。
地域スケール	<p>全国 地方 都道府県 市町村圏</p> <p>広域</p> <p>市町村 町丁字 地区 敷地</p> <p>都市域</p>	都市域とその周辺を中心とし、さらに全国レベル。
環境要因	<p>自然を中心に構成された環境</p> <p>自然と人工物が混在した環境</p> <p>人工物を中心に構成された環境</p> <p>(量・形態) 大気, 水, 地形, 生物, 気候</p> <p>(質) 大気質, 水質, 土壌質音, 振動,</p> <p>家並み, 緑, 水辺, ごみ都市空間, 街路</p> <p>交通, 消費, 通信, 教育, 医療, 文化, エネルギー</p>	自然を中心に構成された環境及び自然と人工物が混在した環境。
環境要因計測手法	<p>物理計測</p> <p>化学計測</p> <p>生物計測</p>	
価値計測の手法	<p>リスク計測</p> <p>疫学調査</p> <p>選好計測</p> <p>経済計測</p>	選好計測を中心に経済学的手法も適用する。
評価の視点	<p>安全性</p> <p>保健性</p> <p>快適性</p> <p>利便性</p>	快適性を中心に比較対象として他の視点も取り込む。
指標の構成	<p>広域環境指標 (総合指標) 個別指標</p> <p>都市環境指標 総合指標 個別指標</p>	広域環境指標については総合指標を検討しない。

述べたが、本報の対象項目としては、自然の環境場並びに環境質項目、さらに人工物と自然条件の複合によって構成される都市的環境項目を対象とする。次いで、これら各項目を計量し、計数化する必要があるが、その手法としては物理、化学、生物的なものを一応ここではすべて採用する。最終段階は、これらの状態量を価値評価に変換することである。そのためには、価値計測の手法が必要となるが、それには選好計測と経済計測をここでの対象とする。その場合の評価視点は快適性を

中心に利便、安全、保健性をも副次的な対象とする。

以上のことを“指標作成手順”に沿って整理したものが図1である。ここで示すように本研究の主要成果の一つは、従来計量化がほとんど試みられていなかった“水辺”や“街並み”などの特性を何らかの手法によって定量、計数化するところであり、ここで多くの新たな方法論を提案したことが大きな成果の一つである。もう一つの大きな課題は、このような種々の物的要素で構成される環境が住民の意識の中でどのように総体として評価されているか、またこの意識に個々の物的要素がそれぞれどれほどの重みを持っているかを把握することである。このことは図1では“bottom-up手順”と“top-down手順”と表現してある。前者では各要素を「計量」し、これを個別に「尺度化」、「重みづけ」して総合化していく手順であり、後者は直接生活者の意識（選好性）を通じて得た環境の良さの総合評価値を、逆に何らかの統計的手法で物的要素に結びつけるものである。なお、この両者の結果は本来一致すべきものであるが、指標の利用目的の差異、作成手法の差異、さらに両者を結ぶ解析の困難さからかなりの相違は残ることとなる。

bottom-up手順で個別の要素を計量し、指標化したものは総合化する以前の個別指標として種々の利用がなされる。特にこれは個々の分野ごとの行政施策の立案評価等の専門的な利用がその中心となる。

一方、top-down手順で意識評価から導かれた総合指標は、環境管理計画のビジョン作りなど一般市民と行政とのコミュニケーションの道具として広く用いられつつある。ただし、このビジョン

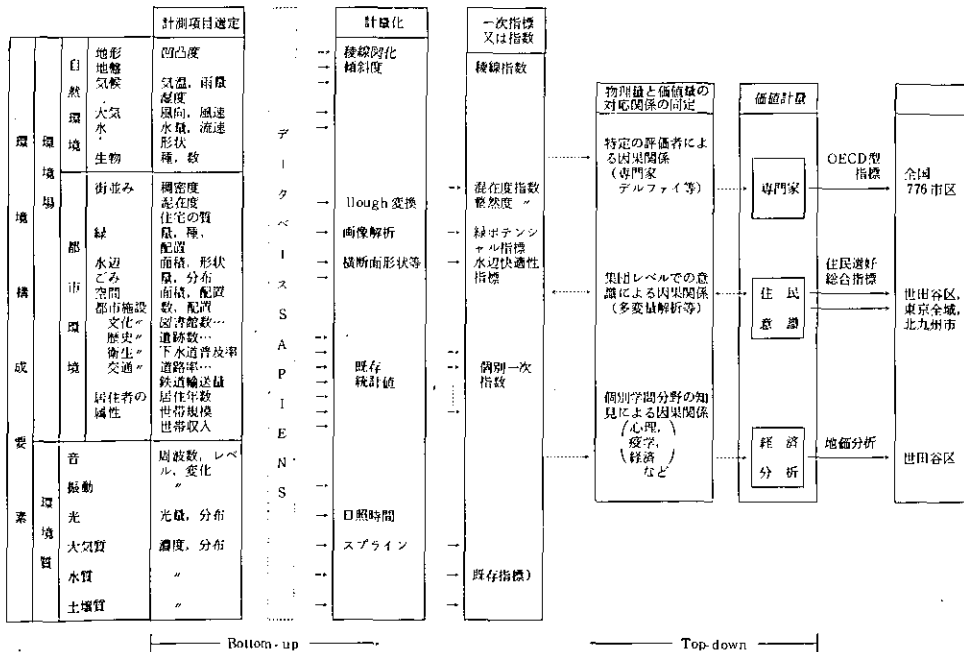


図1 本研究で検討した指標のフレームワーク

を政策手段と結びつけるためにも、この総合指標が環境要素と関係づけられていることが必要である。

以上のことを踏まえて本報の構成は、まず第1章において上述の top-down 方式による指標作成例を紹介する。特に住民の意識による総合的評価、及びそれが物的要因といかに関係しているかを統計的に解析したものを示す。次いで、第2章は bottom-up 手順に従って、個別の物的要因をいかに計量するかという過程についていくつかの例を示す。その中で“緑量”、“景観”、“地形”などの要因については、これまで十分な計量化がなされていないため、ここで新たな定義をし、指数化を試みた。この指数化が適切かどうかは、これが意識量にどれほど対応するかにかかっている。この点に関してはまだ今後の課題として検討を継続しなければならないだろう。一方、大気、水質、騒音についてはこれまでも種々の指標が諸外国を中心に提案されているが、ここでは今後の我が国の環境管理等に適する新たな指標を定義し、それを実データを用いて試算した。第3章は top-down 手順に従って、その第1段階である“価値の計量”に関する考え方を検討した部分である。価値基準としては先に表1に示したように、“快適性”、“保健性”、“安全性”、“利便性”に関する四つの基準が主要なものと考えられるが、ここではそれぞれに対する検討の結果をとりまとめている。最後に第4章で、指標を作成し、またこれを実際に活用する際に不可欠な情報システムについて、我々が作りつつあるいくつかの新たな試みの例を紹介する。

4 現場ニーズとの対応について

最後に、ここで取り上げたような指標の視点が、現場のニーズをどのように反映しているかを示すために一つの資料を付記する。これは本特別研究活動の一環として実施したシンポジウム記録の要旨であり、環境指標に関心のある12の地方公共団体と国の担当者の参加によって討論した際、実際の指標作成の経験から出された貴重な提言を集約したものである。

1) 検討すべき環境の範囲について

広い範囲を検討せよ

- ・ 環境行政はできるだけ幅広く世の中の動きを把握しておく必要があるため、利便性も検討すべきである。
- ・ 快適環境を明らかにしようとすれば、他の局面の環境との相対評価が不可欠であり、この意味からやはり幅広い検討が必要である。
- ・ 大都市部では快適性と利便性を分けて考えてもよいが、過疎地を持った県では、両者を一体として考えざるを得ない。快適性には利便性が不可欠である。
- ・ 神奈川県では安全な都市づくりを重要な方針としてかけ、アポイド行政を進めているが、この場合、安全指標の需要が高い。必要あれば作ればよい。
- ・ 環境行政の技術屋や電算屋の興味を持続するためにも、環境の検討範囲は広い方がよい。

検討範囲は限定せよ

- ・ 環境行政の現状で責任をもてる環境といえば、保健性と快適性であろう。安全性や利便性は他の行政分野にまかせざるを得ない。
- ・ いろいろ検討すべき環境はあるが、環境行政として今、特に力を入れるべき対象は快適面であると思われる。他の局面は快適評価の構造を解明する範囲でよい。
- ・ オイルショックを契機にして、量的評価よりも質的評価の方が重要性を増してきており、この意味から快適指標を中心に検討すべきではないか。
- ・ 指標があまりにも広い範囲を浅くカバーするとかえって使いにくくなる。快適性に絞って、もっと検討しておく必要があるのでは。
- ・ 安全性や利便性を中途半端にとり扱くと、かえって開発行政側の土俵に引きずり込まれる可能性がある。

行政実態に合わせて決めるべき

- ・ 検討すべき環境の範囲は、今後環境行政をどう持っていくかという観点から、行政的に非常に重要な問題である。
- ・ 環境指標の構造を決定する場合、行政戦略として何をコントロールしたいかについて明確にすれば、スムーズに検討できる。
- ・ 環境指標として検討すべき範囲について、環境研究の立場から考えると非常に難しいが、行政の立場から考えると現状認識と戦略の問題であるから易しいのではないか。
- ・ 従来の行政の範囲を超えて広く環境を検討することは原則として良いことだと思うが、今までの分野がそれによって軽視されることが心配だ。

2) 個別指標と総合指標について

個別指標の方が有用

- ・ 環境保全のための事業（例えば緑化事業）を進行管理するためには、総合化又は集約化した指標よりも、個別指標の方が役に立つ。
- ・ 総合指標はどちらかといえば住民と行政とのコミュニケーション用であり、行政同士の調整には個別指標でないと迫力をもたない。

総合指標も有用

- ・ 今までに、環境行政の現場で総合指標が活用されなかったのは、この種の指標を作成・算定する技術が未熟であったからで、今はこの種の技術はかなり進んでいる。
- ・ 地域住民は環境というものを断片的にとらえているのではなく、一体として把握しているので、総合的な環境指標は環境行政にとって不可欠である。

- ・ 環境指標のうまい活用のしかたというのは、総合指標と個別指標をバランスよく使うことだろう。

3) 空間スケールについて

空間スケールの重要性

- ・ 環境指標の作成にとって、空間スケールの単位をどう設定するかが重要である。環境項目ごとに検討空間単位が異なってくる。
- ・ 指標の構造を統一すべきか否かは、その指標でどの程度の広がりまで比較対象にするかに依存している。

全国レベルと地方レベル

- ・ 国のレベルで統一しておくべき指標と地域ごとに目的に応じた指標のいずれもが必要となる。ただし、後者の指標まで国が用意はできない。
- ・ 全国レベルで比較する指標と、地域の特性に応じて作成する指標とに、環境指標を分類整理しておいてほしい。地域指標は主に個別指標となろう。
- ・ 地域の戦略的な指標は、むしろ総合指標であるべきで、全国レベルの指標が個別指標となるべきではないか。全国レベルで総合化が意味を持つのか。
- ・ 総合化の方法はともかくとして、各地方ごとに最低限算定しておくべき個別指標を国レベルで明らかにしておくべきである。

4) 住民意識と指標について

- ・ 総合指標は、住民と行政のコミュニケーションに役立つ必要があるため、住民意識調査などの結果を反映する必要がある。
- ・ ボトムアップ型の環境行政に必要な指標は、生活者の視点から作成された指標である。この場合、指標は一種の共通言語として重要な役割を果たす。
- ・ 客観指標は主に状態量を示すが、住民意識は主に変化量に反応するものである。したがって両者を合わせようとしても、合わない部分は必ず生じる。
- ・ 比較可能性という視点からは、住民意識を取り込むよりも、客観指標だけの方がよいのでは。都市間の比較をする場合、意識が違くと難しい。

5) 指標の活用について

活用の場は多い

- ・ 環境指標は環境管理計画の策定や運用に非常に有効に使えられると思われるが、具体的な利用方法となると事例が少なく、明確な方針がない。

- ・ 環境指標は、予算獲得のための根拠資料に活用できる。環境部局独自の評価技術や評価情報を持つことは非常に有用である。
- ・ 行政部局間の調整において、環境側が優位に立てるかどうかは、事前の判断情報の量に左右される。この意味から環境指標は非常に有用である。
- ・ 行政にとって戦略的に使いやすい指標として、生物指標がある。その理由は、住民にとってわかりやすいことと、環境を総合的に判断できることにある。

具体的ニーズも多い

- ・ 地方自治体で今必要となっている指標の例は次のようなものである。
 - ① 環境破壊や変化の速度を表す指標
 - ② みどりの指標
 - ③ 生物指標
 - ④ 住民がわかりやすい指標
- ・ 環境の評価は年齢差や性別によって違ってくるので、環境指標も平均的なもの以外に個人類型別の指標もつukれないか。
- ・ 環境指標から環境の状態を解釈するための一般的なクライテリアがあるとよい。この場合、判断の目安になる数値も併せて示して欲しい。
- ・ その他、いろいろのニーズがあるが、これらを把握するには、もう一度シンポジウムを開催する必要がある。

しかし活用の検討は不足

- ・ 環境行政の現場では、日々の情報収集作業に追われるなかで、これらの情報をどう活用するか、この場合に環境指標をどう利用するかという議論が非常に不足している。
 - ・ 環境指標に関する今までの議論は、主に総合化とか尺度化とかいった技術論であり、どう活用するかという議論が不足していた。
 - ・ 環境指標はあくまでも一つ的手段であるが、これに期待しすぎる余り、指標作り自体が目的となりその活用を忘れてしまうおそれがある。
 - ・ いずれにしても、行政ニーズが明らかにならない限り、環境指標をどう作ったらよいか方針が立たない。
- 6) 指標作成の際の留意点について
- ・ 環境の状態を把握するための指標と、この状態を戦略的に改善していく際に用いる指標とは、本質的に作成方針が異なる。
 - ・ 環境指標は、空間的あるいは時間的に比較できれば役立つ。したがって比較可能性が最低

限の条件である。

- ・ 住民と行政とのコミュニケーション用の指標を開発する場合、行政がどこまで情報を公表する気があるかによって、検討のしかたが変わってくる。
- ・ 環境指標の算定に要する費用は、ほとんどがデータ収集関係の費用であり、既存の資料が活用できれば非常に安いコストで指標が算定できる。

7) 指標の科学性について

- ・ 世の中に出回っている指標には、理論的・科学的な裏づけがなくても非常に社会に役立っているものがある。指標の評価はそれを信じさせるか否かで決まる。
- ・ 指標を作成するとき、一人で「エイヤッ」とやると失敗するが、みんなで「エイヤッ」とやれば、結構成功するのではないか。要は大勢で使うことだ。
- ・ 指標というものは、行動しようという意志があるから使いたくなるものであり、一定の集団でこの意志さえ合意しておけば、すぐにでも指標が開発されるだろう。
- ・ 指標を世の中に広く普及しようとすると、一定の理論と科学的裏づけが必要となる。この意味から、指標を「エイヤッ」と作ればよいとの議論は暴論である。

8) 指標と基準について

- ・ 指標は一度普及すると、いつのまにか基準として一人歩きする場合があります、活用の際に十分注意する必要がある。なお指標と基準とは別ものであることを明確に認識すべきである。
- ・ 基準による環境の評価は、オールオアナッシングという紋切り型となり、必ずしも適切ではない。これを是正するためにも指標の役割は大きい。

9) 今後の課題について

- ・ 本シンポジウムで残された課題は二つある。一つは、研究者側の宿題であり、指標の各種理念を整理することと、いろいろな指標を具体的に試算してみることである。
指標の活用の方と方法をできるだけ生々しく研究者に伝えることである。
- ・ 環境指標というものは、五年も十年もかけて作ったのでは、役に立たないだろう。この意味で、行政と研究の密接な意見交換が必要である。
- ・ 指標研究は、具体的な行政と連携して進められるのが望ましい。
- ・ 事情が許せば、このようなシンポジウムを再び開催する必要がある。

内藤正明

本特別研究のメンバーと客員研究員は以下のとおりである。

メンバー：青木陽二，天野耕二，飯倉善和，猪爪京子*，大井 紘*，乙間末広，甲斐沼美紀子，北島能房，後藤典弘，田村正行，内藤正明（リーダー），中杉修身，西岡秀三，仁科克己，原沢英夫，廣崎昭太*，溝口次夫**，相本篤子***，森 保文，森口祐一，森田恒幸，安岡善文*

（*環境情報部，**計測技術部，***環境保健部）

客員研究員：青島伸治（筑波大），池田三郎（筑波大），勝矢淳雄（京都産業大），厚井弘志〔昭和60年度〕（大阪府），中島直子（お茶の水女子大），野田清敏（北九州市），野々村邦夫（国土地理院），橋本道夫（筑波大），原科幸彦（東京工業大），宮本定明（筑波大）

（五十音順）

1. 1 住民意識に基づく都市環境及びその評価構造の比較分析 Comparative Analysis on Residents' Preference Structure for Urban Environment

森田恒幸¹・内藤正明¹

Tsuneyuki MORITA¹ and Masaaki NAITO¹

要 旨

本研究は、環境指標の開発の一環として、都市住民の意識データを用いて二つの分析を試みている。一つは、意識データから算出した一次指標により都市環境を可能な限り厳密に比較することであり、他の一つは、体系的な環境指標の開発に資するため環境の評価構造を都市間で比較することである。分析は、東京と北九州の二つの都市を対象に行った。その結果、環境評価値やその評価構造は総合評価において有意な差は無いが、個別評価においてはいくつかの明確な違いがあることがわかった。

Abstract

As the preliminary stage in developing environmental indices (EI), two kinds of analyses have been made in this study based on the consciousness of urban residents: One is to compare urban environments as strictly as possible using primal indices which are calculated from the questionnaire data of urban residents, the other is to compare the preference structure of urban residents for the purpose of developing a comprehensive EI system. For the analyses, Tokyo Metropolis and Kitakyushu City have been chosen as the study areas. The analyses show that Tokyo and Kitakyushu have no significant difference in total EI value of the environmental quality as a whole, while some apparent differences are observed in item to item comparison.

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

環境に対する住民の意識データは、環境指標の作成にとって非常に有用である。まず、このデータは環境の状態をそこに居住する住民の意識というフィルターを通して観察したものであるため、この種のデータから直接に環境評価の指標（一次指標）を算出することが可能である。また、物理化学データとの対応関係を明らかにしたり、総合評価の構造を同定することにより、さらに体系的・一般的な環境指標を作成する際の根拠を与えてくれる。

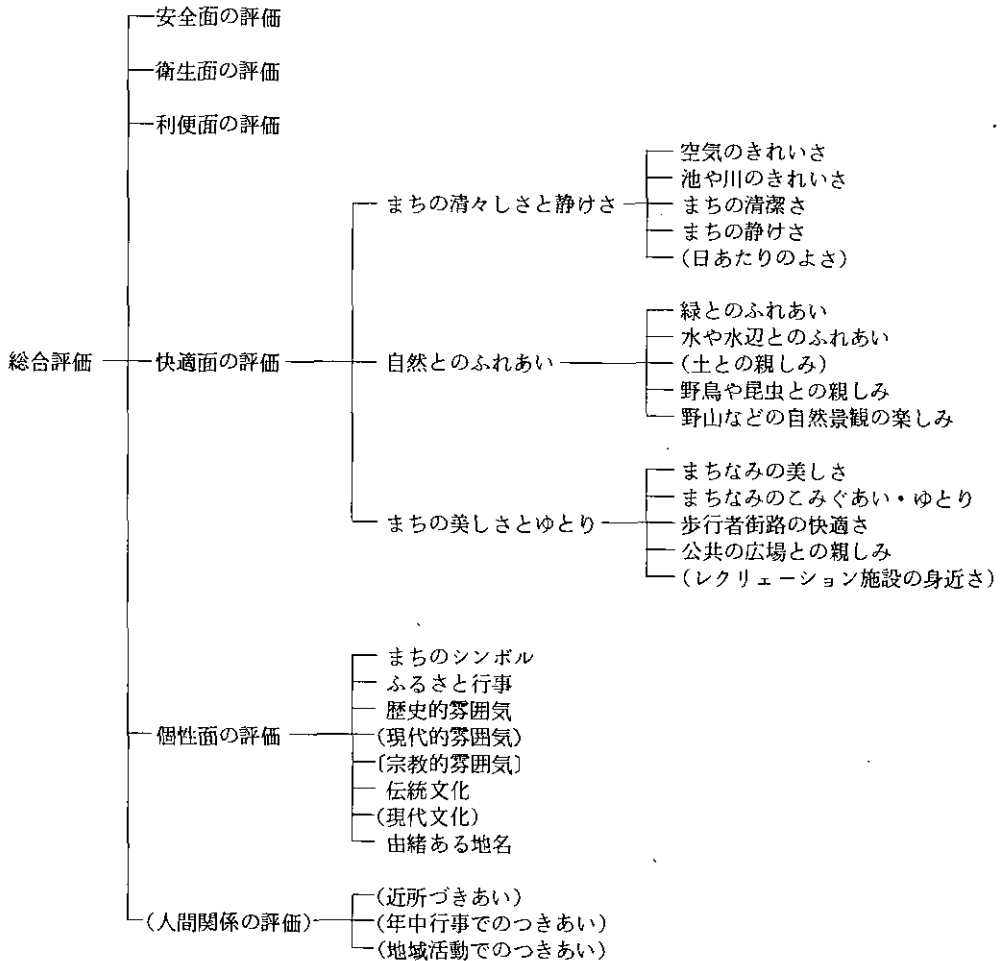
本研究では、住民の意識データを用いて二つの分析を試みている。第一は、住民意識から算出した一次指標を用いて都市環境を可能な限り厳密に比較してみることであり、第二には、都市環境の評価のされ方（評価構造）が都市間でどの程度違うか、逆にどの程度安定しているかを実証的に明らかにすることである。前者の分析は、住民意識に基づく一次指標によりどの程度までの分析が可能かを確かめたものであり、また後者の分析は、より体系的・一般的な環境指標を作成する際に基礎的な知見の提供を意図したものである。

2 住民意識調査の枠組と方法

二つ以上の都市の環境を住民意識によって厳密に比較するためには、各都市の意識データが相互に比較可能でなければならない。このため、二つ以上の意識調査において、いくつかの条件が同時に満たされることが必要となる。第一に、調査票（調査内容）が相互に比較可能であること、第二に、調査時点が大きく離れていないこと、第三に、標本の大きさが一定の精度を確保できる程度に大きいこと、第四に、標本抽出の方法が同じであること、第五に、実施調査の方法に著しい違いがないことである。以上の条件をすべて満たすことは非常に難しいため、今までの研究では住民意識に基づいて一定規模の（都市計画区域程度の）都市の環境を厳密に比較した例は見いだすことができない。

本研究では、東京都環境保全局及び北九州市公害対策局の協力を得て、幸運にもこの困難な研究が可能となった。すなわち、この二つの組織において環境管理計画策定のための意識調査が偶然同時期に企画されていたため、本来の調査主旨を変えない範囲で、都市環境の比較分析に向けて各種の調整を図ることができた。そして、これらの調査の一部に本研究の枠組を反映してもらうことができた。この二つの調査の正式名称は、「① 生活環境選好度調査（東京都、1984）」及び「② 快適環境に関する市民意識調査（北九州市、1985）」であり、表1にその概要を示す。また、図1にはこれらの調査で用いられた居住環境評価の枠組を示した。

2都市の環境を比較するため、まず、各調査票一部は、図1の枠組に添って同一の質問項目及び質問内容により構成された。そして、図1に示した各評価項目について、5段階評価（満足—やや満足—どちらともいえない—やや不満—不満）によってそれぞれ住民の居住環境への満足度が調査された。なお、一部の評価項目については5、6年前に比べて居住環境が変化したかどうかを、同じく5段階評価（良くなった—少し良くなった—変わらない—やや悪くなった—悪くなった）によ



注記：() は東京だけの項目，([]) は北九州だけの項目，他の項目は共通。

図1 東京及び北九州における環境評価の枠組み

りそれぞれ住民に質問している。

一方、表1に示すとおり調査の実施時期はいずれも1984年であり、両者の時期的ずれは半年にとどまっている。また、標本の大きさは、それぞれ3600、4000サンプルを対象にし、3000票弱の調査票を回収している。これは、サンプリング誤差を百分比で最大±2%程度にとどめる標本数であり、一定の精度が確保できると判断される。

次に、標本抽出の方法は、いずれも250メートル・メッシュを地区抽出単位とした層化二段無作為抽出法が採用された。この抽出手順は、まず、都市全域を自然的及び社会的条件に基づいて10ないし12の地域ブロックに分割し、各ブロックごとに土地利用形態別のメッシュ構成比を算定する。

表1 意識調査の概要

調査の概要	東京	北九州
(1) 調査の対象		
①対象地域	東京都全域 (島しょ部は除く)	北九州市全域 (同左)
②調査地区	120地区 (区部は70地区)	100地区
③調査対象者	3,600名(20歳以上)	4,000名(20歳以上)
(2) 標本抽出		
①抽出方法	層化二段無作為抽出法	同左
②層化の方法	地域ブロック別・土地利用別 (12ブロックに分割)	同左 (10ブロックに分割)
③地区のスケール	250メートル・メッシュ	同左
(3) 調査の方法	留置法によるアンケート調査	郵送法によるアンケート調査
(4) 調査の実施時期	昭和59年2月	昭和59年8月
(5) 調査票の回収		
①回収票数	2,897票	2,851票
②回収率	80.5%	71.3%

次いで、この比率に基づいて各地域ブロックから10メッシュを無作為に層化抽出し、最後に各メッシュから30名ないし40名の住民が無作為に抽出された。

また、調査の方法は、いずれも質問紙を用いたアンケート調査法であるが、その方式は東京で留置法（配付回収法）、北九州で郵送法が採用された。このため回収率において10%近い差が生じた。しかし、いずれも自記式であるため方式の違いによる回答分布の差はほとんど生じないものと推定される。事実、杉山の実験（杉山，1984）によっても、この種の差が非常に小さいことが確認されている。

以上、住民意識を比較するための上述の条件がすべて満たされたことから、この調査データを用いて都市環境の厳密な比較分析を試みることにした。

3 都市環境の比較分析

都市環境の比較には、回収した各々3000弱の個人データをそのまま用いるのではなく、各メッシュごとに個人データを平均し、これを各メッシュの評価得点として比較の指標に用いることにした。これは、個々人の価値意識のバラツキと居住環境のバラツキを分離し、平均的な住民意識によって居住環境の差を見いだそうと意図したものである。具体的には、居住環境への満足度についての個々の回答結果を、まず、「満足」が100点、「やや満足」が75点、「どちらともいえない」が50点、「やや不満」が25点、「不満」が0点と等間隔尺度で評点づけを行い、次いでメッシュごとにこの評点を平均し、この平均値をもって各メッシュの評価得点としたものである。環境変化についての回答結果も同様に集計した。

なお、図1に示すとおり、住民の満足度は完全に同一の評価枠組によって調査されたものではないので、一部の評価項目はそのまま比較することができない。例えば、東京の調査では人間関係を含めて環境の総合評価が質問されているが、北九州では人間関係が含まれておらず、したがって東京の総合評価と北九州の総合評価をそのままでは比較することはできない。このため、東京の総合評価と個別評価の関係を重回帰モデルにより同定し、このモデルに基づいて、東京の総合評価の評価得点から人間関係の影響を取り除くという補正を加えた。具体的には、各メッシュごとに人間関係の評価得点から50点を差し引き、これに偏回帰係数を乗じた値を、総合評価の評価得点から差し引いた。このような補正は、「まちの清々しさと静けさ」、「自然とのふれあい」、「まちの美しさとゆとり」の各評価得点についても行った。

こうして、東京では120メッシュ（区部は70メッシュ）、北九州では100メッシュについて評価得点が得られた。これらの評価得点を東京と北九州についてさらに平均し、平均値の差を統計的に比較したのが、表2である。この平均値の差の検定は、まず、両者の評価得点の分布が等分散性の仮定を満たすかどうかを検定し、満たす場合はt検定を用い、満たさない場合はWelchの検定法（奥野ほか編、1978）を用いたものである。

表2にまとめた分布結果から次の諸点を読み取ることができる。

- ① 環境の総合評価は東京も北九州も平均60点弱であり、有意な差はないこと。
- ② 北九州は快適面の評価において優れていること。これは、空気や水のきれいさ及び自然とのふれあいについて優れているのであり、まちの美しさやゆとりについては差がないこと。
- ③ 東京は個性面の評価において優れていること。これに比べれば、利便面の優位性は顕著でないこと。
- ④ 北九州の方がここ5、6年間の環境改善が進んでいること。東京は快適面において平均して悪化してきていること。

以上の比較のうち、利便面、快適面、個性面の評価及び総合評価について、評価得点の分布型によりさらに詳細な比較をしたのが図2である。この図によれば、利便面の評価では東京で85点前後のメッシュが特に多いこと、快適面の評価では東京と北九州のピークに明らかな差があること、個性面の評価では東京に比べて北九州の分布は下方にシフトしていること、総合評価では平均値はほぼ等しいが、分布の形が異なることなどを読み取ることができる。

4 評価構造の比較分析

前節で算定したメッシュごとの評価得点を用いて、次に都市環境の評価項目間の相互関係について比較分析を試みるとともに、個人属性と環境評価との関係についても若干の分析を行う。

まず、メッシュごとの評価得点から項目間の単相関係数（ピアソンの相関係数）を算定して比較を試みた。表3は、主要な項目についてこの係数を整理したものである。この表から読み取れる両地域の主要な相違は、次の3点にまとめることができる。

表2 平均値による都市環境の比較

都市環境の評価項目		東京全域	北九州	東京区部	北九州
環	安全面の評価	55.1	52.8	53.3	52.8
	衛生面の評価	65.9	65.0	64.7	65.0
	利便面の評価	68.5 >	62.1	67.9	62.1
	快適面の評価	49.3 <<<<	58.8	40.9 <<<<	58.8
	個性面の評価	54.2 >>>>	49.5	53.7 >	49.5
	環境の総合評価	58.6	57.8	56.0	57.8
境 状 快 適 面 の 評 価	空気のきれいさ	49.9 <<<<	60.1	40.8 <<<<	60.1
	川・海・池のきれいさ	34.2 <<<<	47.1	30.5 <<<<	47.1
	まちの清潔さ	50.7	51.9	47.6 <<<<	51.9
	まちの静けさ	49.5	52.5	46.2 <	52.5
	まちの清々しさと静けさ	47.9 <<<<	52.9	43.3 <<<<	52.9
	緑とのふれあい	55.8 <<<<	66.3	49.8 <<<<	66.3
	水辺とのふれあい	39.1 <<<<	45.3	35.2 <<<<	45.3
	野鳥や昆虫とのふれあい	43.9 <<<<	59.1	37.8 <<<<	59.1
	自然景観の楽しみ	39.1 <<<<	57.4	30.1 <<<<	57.4
	自然とのふれあい	44.9 <<<<	58.0	38.2 <<<<	58.0
評 価	まちの美しさ	44.8	44.9	42.2	44.9
	まちのゆとり	44.4	46.4	40.7 <<<<	46.4
	歩行者街路の快適さ	40.5	41.7	39.4	41.7
	広場との親しみ	44.4	45.1	42.6	45.1
	まちの美しさとゆとり	43.8	44.5	41.4	44.5
個 性 面 評 価	まちのシンボル	49.7 >>>>	35.2	49.5 >>>>	35.2
	ふるさと行事	54.4 >>>>	48.5	54.5 >>>>	48.5
	歴史的雰囲気	44.6 >>>>	34.6	44.5 >>>>	34.6
	伝統文化	40.6 >>>>	31.4	39.9 >>>>	31.4
	由緒ある地名	49.6 >>>>	37.7	51.0 >>>>	37.7
環 境 変 化 の 評 価	安全面の变化	49.2	50.6	49.9	50.6
	衛生面の变化	61.2 <<<<	64.0	60.9 <<<<	64.0
	利便面の变化	65.8	65.1	65.1	65.1
	快適面の变化	46.0 <<<<	53.0	45.9 <<<<	53.0
	個性面の变化	53.3	54.1	53.1	54.1
	環境の総合的变化	52.9 <<<<	56.6	53.0 <<<<	56.6

<<<< : $\alpha=0.5\%$ で有意差あり

<<< : $\alpha=1\%$ で有意差あり

< : $\alpha=5\%$ で有意差あり

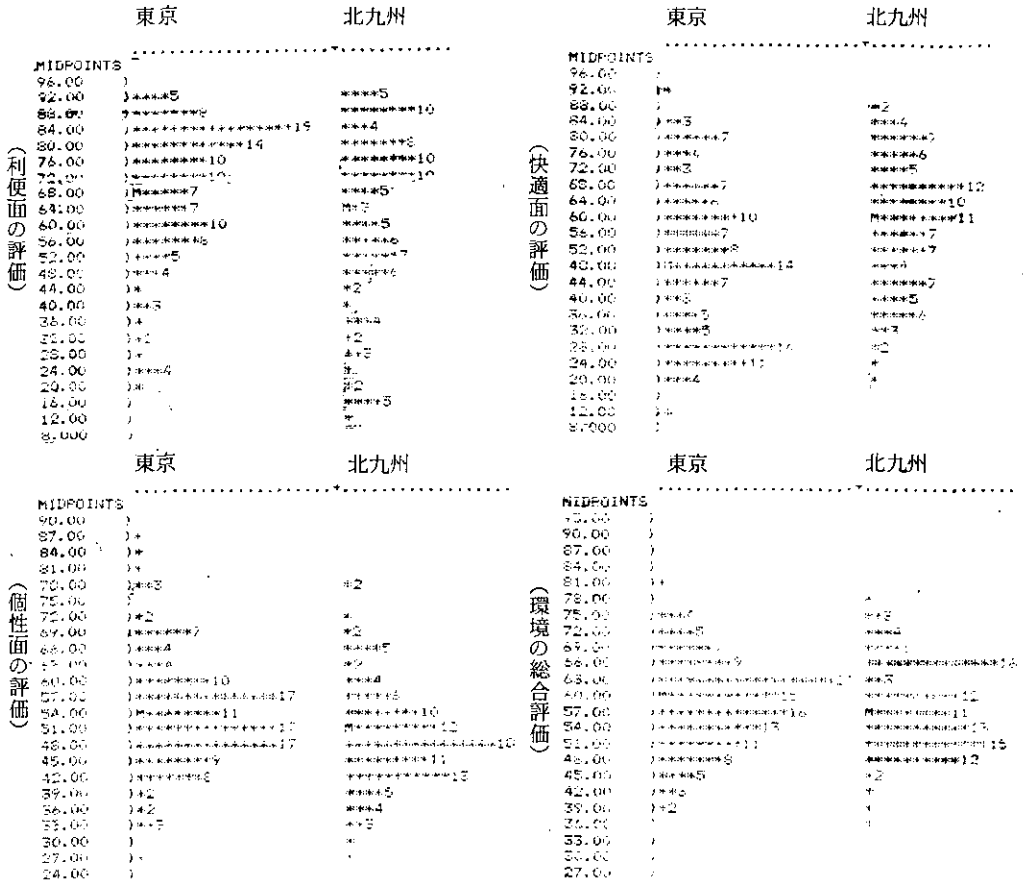


図2 二都市の評価得点分布の比較

表3 評価項目間の単相関係数の比較

対象	評価項目	安全面	衛生面	利便面	快適面	個性面	総合評価
東京 (全域)	安全面の評価	1.00	0.44	0.01	0.63	0.41	0.72
	衛生面の評価		1.00	0.13	0.28	0.40	0.54
	利便面の評価			1.00	-0.17	0.22	0.33
	快適面の評価				1.00	0.41	0.72
	個性面の評価					1.00	0.69
北九州	安全面の評価	1.00	0.40	0.02	0.39	0.23	0.65
	衛生面の評価		1.00	0.32	0.23	0.34	0.71
	利便面の評価			1.00	-0.53	0.18	0.36
	快適面の評価				1.00	0.24	0.45
	個性面の評価					1.00	0.61

- ① 北九州に比べて東京では、快適面の評価と安全面の評価の間の関連が強い。
- ② 北九州では快適面の評価と利便面の評価との間にトレード・オフの関係がみられるが、東京ではそれほど顕著でない。
- ③ 単相関でみる限り、北九州より東京の方が総合評価に対する快適面の評価の寄与が大きい。

第一の相違点は、東京の特殊性として非常に興味深い。東京では地震などの安全面に対する関心が非常に高く、快適環境を論じる場合にもこの防災対策と切り離して検討することができない。快適環境に関する政策と防災に関する政策の有機的結合が必要であることを示唆している。

第二の相違点は、東京と北九州の都市構造の差に由来するものと考えられる。そこで、対象にしたメッシュを都市特性から類型化し、各類型別に快適-利便得点分布をプロットしたものが、図3である。この図によれば、北九州では、都心、中間、周辺の各地域で比較的簡単なトレード・オフ関係を構成しているのに対し、東京では非常に複雑な関係であることがわかる。すなわち、山の手・南部・西部地域及び北部・東部地域では一定のトレード・オフ関係が見られるが、多摩地域ではこの関係が明確ではなく、都心・下町地域では逆に正の相関を示している。これは、東京の都市構造が複雑であり、特に都心地域においてはインナー・シティ問題の発生に伴い、再開発により快適面と利便面の双方の整備が必要であることを示唆している。

第三の相違点は、単相関係数のみでは正確に同定できないため、さらに詳しい分析が必要である。すなわち、単相関係数は他の要因をコントロールせずに関係を見るため、東京のように安全面の評価と快適面の評価の相関が高い場合は、総合評価と快適面の評価の関係が安全面の評価につられて

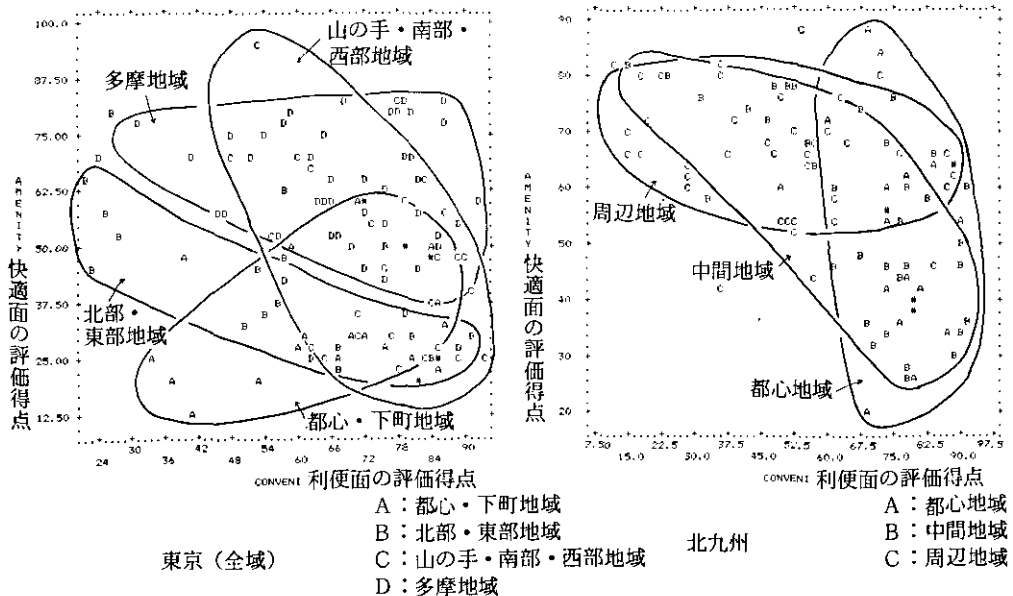


図3 二都市の快適-利便得点分布の比較

見かけ上高くなることも考えられる。このため、重回帰分析によって総合評価の構造をさらに詳しく分析した。この分析には定数項が0（個別項目の評価得点がすべて0点の場合は総合評価も0点になることを仮定）の重回帰モデルを用い、東京と北九州の偏回帰係数にどの程度の差があるかについて統計的検定（平行性の検定：奥野ほか編、1978）も併せて行った。この結果をまとめて表4に示す。この分析から次の2点が明らかとなった。

第一に、東京と北九州の偏回帰係数は統計的に有意な差がなく、この意味から両者の総合評価の構造はほぼ一致していること、第二に重回帰モデルを前提とすれば、総合評価への寄与が快適面は利便面と同等に、また個性面は安全面と同等に大きいこと、の2点である。

一方、個人属性が環境評価に及ぼす影響については、メッシュ単位ではなく個人単位のデータを用いて相関分析を試みた。表5には、各環境の評価項目と性別、年齢等の個人属性の関係について単相関係数を計算し、0.1以上の関係が認められるものの一覧を示している。この表によれば、年齢、同居家族及び居住年数の影響がみられる。特に、居住年数が長くなると個性面の評価が高くなったり、子供のいる世帯では安全面の評価が厳しくなる傾向は、興味深い。ただし、環境の良い所に年配者が多く住むなど必ずしも属性のみの影響とは言いきれないこと、相関係数がすべて0.2未満であること（別の分析では、環境評価と客観的環境データとの相関は0.4以上のものが多くあった）などを考え合わせると、個人属性が環境に及ぼす影響は顕著なものとは言えない。

表4 総合評価のための重回帰モデルの比較

被説明変数	説明変数	偏回帰係数(標準偏回帰係数)			変数の除去に伴う 寄与率の変化につ いてのF値(全体)
		東 京	北九州	全 体	
環境の 総合評価	安全面の評価	0.24(0.23)	0.23(0.21)	0.23(0.22)	104.7
	衛生面の評価	0.18(0.20)	0.18(0.20)	0.18(0.21)	77.6
	利便面の評価	0.17(0.21)	0.17(0.19)	0.17(0.20)	230.9
	快適面の評価	0.21(0.18)	0.23(0.24)	0.22(0.21)	254.4
	個性面の評価	0.21(0.20)	0.20(0.17)	0.21(0.18)	104.9
	[重相関係数]	[0.944]	[0.952]	[0.944]	

[注記]いずれも定数項が0の重回帰モデルを用いた。二つの地域で偏回帰係数の差を検定した結果、有意水準5%でも有意な差が検出できなかった。

5 おわりに

本研究では、東京都と北九州市を対象にして、住民意識に基づく都市環境及びその評価構造の厳密な比較分析を試みた。本研究によって解明した主要な諸点は次のとおりである。

まず二つの都市の共通点として、第一に、環境の総合評価は平均で60点弱と差が無いこと、第二に、この総合評価の構造は重回帰モデルで見える限りほぼ一致していること、第三に、環境総合評価

表5 個人属性が環境評価に及ぼす影響の比較

環境評価の項目		東京（全域）					北九州				
		性別	年齢	家族人数	同居家族 幼小中学 児学生人	居住年数	性別	年齢	家族人数	同居家族 幼小中学 児生計人	居住年数
環	安全面の評価						○		●		
	衛生面の評価				○		○				
	利便面の評価	○				○	○			○	
	快適面の評価	○			○	○	○			○	
	個性面の評価	○					○				
	環境の総合評価	○			○	○	○				
境	状	空気のきれいさ	○						○		
		川・海・池のきれいさ						○			
		まちの清潔さ	○								
		まちの静けさ									
	態	まちの清々しさと静けさ						○			
		の	緑とのふれあい						○		
	水辺とのふれあい							○			
	野鳥や昆虫とのふれあい							○			
	評	自然景観の楽しみ									
		自然とのふれあい	○						○		
価		まちの美しさ							○		
	まちのゆとり	○				○		○			
	歩行者街路の快適さ	○				○		○			
	広場との親しみ							○			
	まちの美しさとゆとり	○						○			
個	性	まちのシンボル								○	
		ふるさと行事	○				○			○	
		歴史的雰囲気	○					○			
		伝統文化									
評	価	由緒ある地名	○								
		環境の変化の評価	○						○		
環	境	安全面の変化	○						○	●	
		衛生面の変化					○		○	●	
		利便面の変化					○		○		
		快適面の変化							○		
		個性面の変化							○		
		環境の総合的变化	○						○		

○ : 正の関係が認められるもの (0.1 ≤ r < 0.2)
 ● : 負の関係が認められるもの (-0.2 < r ≤ -0.1)

を高めるには、利便面や安全面の評価と同等に快適面及び個性面の評価を高める必要があること、が明らかとなった。

次いで二つの都市の相違点として、第一に、東京の都市環境は北九州に比べて複雑かつ成熟度が高いこと、第二に、東京は北九州に比べて快適面の評価に劣っているが、個性面の評価においては優れていること、第三に、東京の環境評価を高めるには快適面の評価を高める必要があること、この場合に防災対策との有機的な結びつきを検討する必要があること、第四に、北九州の環境評価を高めるには、個性面の評価を高めることに着目する必要があること、が明らかとなった。

今後は、ここで分析した住民意識データと客観的な各種環境データとの関係を明らかにするとともに、これら客観データを用いた比較分析を行うことにより、上記結果をさらに検証していきたいと考えている。

謝 辞

最後になったが、本研究を進めるに当たり、東京都環境保全局環境管理部及び北九州市公害対策局からは、データの提供を始め全面的なご協力をいただいた。また廣崎昭太環境情報部長からは、とりまとめに際して種々の貴重なご助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 北九州市公害対策局（1985）：快適環境に関する市民意識調査。昭和60年3月，67p.
森田恒幸・内藤正明（1985）：住民意識に基づく都市環境の比較分析～東京と北九州を対象にして～。日本不動産学会昭和60年度秋季全国大会梗概集，175-178。
奥野忠一ほか編（1978）：応用統計ハンドブック。養賢堂，東京，50-54，137-139。
杉山明子（1984）：社会調査の基本。朝倉書店，東京，60-76。
東京都環境保全局（1984）：生活環境選好度調査。環境保全局関係資料，K-0-4環1，102p.

1. 2 住民意識と地区条件との関連分析と指標化について

Analysis of Consciousness of Inhabitants and Physical Factors in Residential District and Indexing of Their Relationship

原沢英夫¹・西岡秀三¹

Hideo HARASAWA¹ and Shuzo NISHIOKA¹

要 旨

地区レベルの居住環境に対する住民意識と物的環境要素に正準相関分析を適用した結果、意識量を加味した地区評価軸として、(a)成熟度、(b)優良住宅地、(c)個性的な住宅地の3軸が抽出された。特に第一正準変量V1、W1は正準相関係数も高く、快適面、利便面のトレードオフ関係が明確に現れており、都区内では利便面が、郊外部では快適面の満足意識が相対的に高い地区を形成していることがわかった。

続いて、快適性指標の試算式として、都区内120地区の居住者の快適性に対する意識、物的環境要素データをもとに定式化をはかり、世田谷区の町目別データに適用した。その結果、5変数程度の重回帰式で相関係数0.7程度の推定式が得られ、この推定式によりおおむね地区の快適性の評価が可能であることを示した。

Abstract

The purpose of this study is to establish quantitative evaluation indices for amenity of the urban living environment. By means of the canonical correlation analysis between the degree of satisfaction of inhabitants and the characteristics of surrounding environment, three pairs of canonical variables are extracted. The first canonical variable for the psychological variables explains the trade-off between amenity and conveniences.

Then, the relationship between the consciousness for amenity of inhabitants and the district-scale physical conditions is examined through the multiple regression analysis. By applying the derived equation to Setagaya Ward, this equation represents effectively the evaluation of amenity of the urban living environment.

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

地区レベルの居住環境の良否は、その大部分が地区を形成している基幹的な環境要素、例えば人口密度、敷地面積、都市基盤施設への投資、まちの古さ、都市計画の有無、住民の所得などにより決定されていると考えられる。これらの要素のうち居住者がいずれに重点を置き、環境を評価しているかについては、居住者自身の居住環境に対する意識を直接的に把握することが必要であり、より快適な居住環境を創造していくためには、こうした住民意識を具体的に地区計画、施設計画などの中に取り入れていくことが必要となる。このためには住民意識と制御可能な設計要因としての居住環境要素との対応を定量化し、行政施策に反映させることが、今後ますます重要な課題になりつつあると考えられる。

快適な居住環境の創造では、快適な居住環境とは何かを居住者の立場から探ることがまず重要であり、従来から各種の意識調査によって計測され分析されてきた。さらに居住者の意識に影響する要因特に物的環境要素、社会・経済的環境要素の同定とその定量化についても研究事例が見られる(原沢ら、1980)。快適環境に関する住民意識と制御可能な物的環境要素との関係を定量化することにより、物的環境要素のみから地区の快適性の現況を推定しうるとともに快適性向上方策及びその効果の事前評価を行えると考えられる。このとき多面的な環境要素を個別的に検討したのでは不十分であり、個々の要素の影響を総合的な指標に集約し表現することにより、これらの一連の作業はより容易なものとなると考えられる。

本研究は、地区レベルを対象とした居住者の満足度で表現された環境評価値と地区条件(物的、社会的、経済的環境要素)との関連性を分析し、地区環境を形成する要素を求め、これから地区環境評価の推定式を求めることにより地区の環境指標を算定することを主な目的としている。今回は、特に快適性に関する環境評価値の推定式を求めその適用について検討を加えた(図1)。

2 分析に用いた地区環境に関する意識データ及び環境関連データ

環境空間スケールとして地区(町丁目、おおむね250×250m)を対象として、そこに住む住民の環境に対する意識及び、地区環境を構成する関連要素にかかわるデータを以下の分析に用いている。

2.1 意識調査データ

意識調査は、地区環境に対する満足度を環境関連項目に分けて尋ねている。調査対象地区は東京都内の120地区(各地区250×250mの範囲)であり概要については表1に示したとおりである。意識調査の詳細及び結果については文献に譲る(東京都、1984;森田ら、1985)。本研究で解析に用いた調査結果は、安全面、衛生面、利便面、快適面、地域個性、人間関係、環境全般に対する満足度を尋ねた質問項目についてであり質問内容を表に併記している。満足度は、1:不満、2:やや不満、3:どちらでもない、4:やや満足、5:満足の5点法で尋ねている。また、以下の解析で用いた値は各地区の平均値である。

東京都内120地区に関する基礎データ

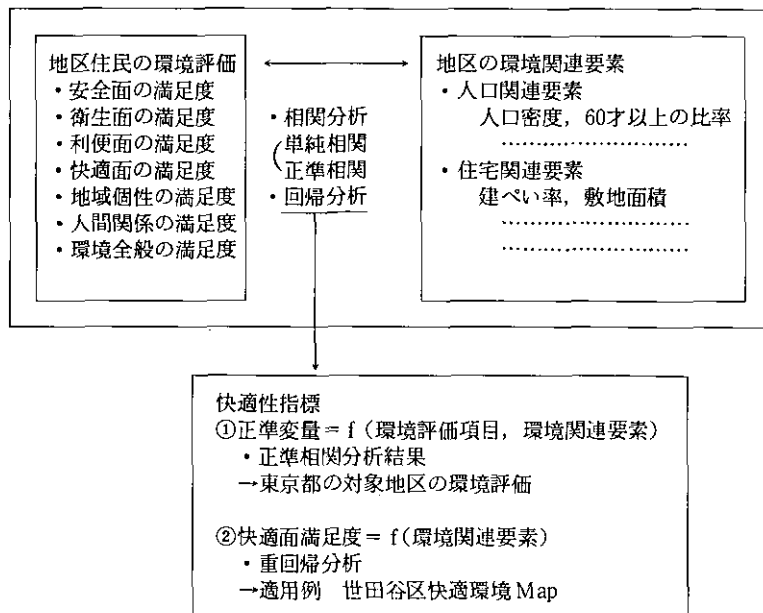


図1 研究のフレームワーク

表1 意識調査の概要

調査名	生活環境選好度調査
調査機関	東京都環境保全局
調査対象	東京都内120地区、各30名
サンプリング方法	都内全域を12地域ブロックに分割し、各ブロックから10地区(250mメッシュ)を無作為抽出
調査方法	留置法
回収率	80.5%
解析に用いた調査項目	
①安全面	災害、犯罪、交通事故などの危険がないこと
②衛生面	ゴミやし尿処理、害虫駆除、飲料水確保などが適切で衛生的なこと
③利便面	日常の買物、通勤、通学、医療、レクリエーションなどの便利がよいこと
④快適面	すがすがしい空気、うるおいのある緑、美しい町並みなど、快適であること
⑤地域個性	地域固有のシンボルや行事、伝統的な町並みや地名があり、愛着がもてること
⑥人間関係	近所づきあいや地域活動など、近隣の間人間関係がよいこと
⑦環境全般	以上を総合した環境全般について

2.2 環境関連要素データ

意識と居住環境を構成する諸要素の関係をみるためには、基本的には意識調査対象地区の環境要素に関するデータが分析上望ましいがここではデータ入手の難易を考慮して、意識調査対象地区を含む町別のデータを利用した。データは関連自治体から入手したり、あるいは地図から読み取りを行って得た。入手した環境関連要素を表2に示した。環境関連要素としては単に物的要素のみではなく地区の経済的・社会的特性を表す要素についても可能な限り入手している。

表2 取り上げた環境要素 (*：2時点ある項目，+：一次加工項目)

A. 人口関連要素	B. 住宅関連要素	C. 道路関連要素	D. 土地利用関連要素
○A-1 人口(人)*	○B-1 建べい率(%)*	C-1 道路率(%)*	土地利用比率
○A-2 世帯数(世帯)*	○B-2 容積率(%)*	幅員別道路率(%)	○D-1 ①住宅地
○A-3 人口増加率(%)	○B-3 容積率増加率	C-2 1.5m未満	D-2 ②商業・業務用地
○A-4 面積(ha)*	○B-4 平均階数(%)*	C-3 1.5m~2.5m未満	D-3 ③工業用地
○A-5 人口密度(人/ha)	○B-5 平均敷地面積(%)*	C-4 2.5m~5.5m未満	D-4 ④公共・公益用地
○A-6 家族人数(人/世帯)*	○B-6 耐火率(%)*	C-5 5.5m~11m未満	D-5 ⑤公園・緑地
○A-7 世帯密度(世帯/ha)*	○B-7 耐火率増加率	C-6 11m以上	D-6 ⑥その他
年令別人口比率+	建物構造比(%)*	C-7 道路延長密度(m/ha)	D-7 ⑦空地
A-8 0~20才	B-7 木造比率	C-8 舗装率(%)	○D-8 ⑧農地
A-9 20~60才	B-8 防火造比率	○C-9 幹線道路率(%)+	D-9 ⑨山林・荒地
A-10 60才以上	B-9 耐火造比率	幅員5.5m以上	D-10 ⑩宅地①+②+③
		○C-10 細街路率(%)+	D-11 ⑪公共用地④+⑤
		幅員2.5m未満	D-12 用途規制(コード)
A-11 人口分布多様性指数+			D-13 土地利用混在数+
			D-14 土地利用多様性指数+
E. 施設関連要素	F. 地域社会関連要素	G. その他の要素	
E-1 川○池までの距離(m)	F-1 単身者比率(%)*	G-1 神社・仏閣の数	○印：世田谷区に関して
E-2 幼稚園までの距離(m)	F-2 持家比率(%)*	G-2 おまつりの数	収集した環境要素
E-3 小学校までの距離(m)	F-3 平均所得(万円/世帯)	G-3 環境関連予算*	
E-4 病院までの距離(m)	F-4 公示地価(万円/m ²)	G-4 標高(m)	
E-5 下水道普及率(%)		G-5 傾斜(度)	
E-6 最寄駅~山手線までの所要時間(a)(分)			
E-7 最寄駅までの所要時間(b)(分)			
E-8 全所要時間(a)+(b)(分)			
E-9 東京駅からの距離(km)			

3 環境評価項目と環境関連要素との相関分析

3.1 単純相関分析

意識調査の対象とした120地区の環境に対する満足度の地区平均値（以後環境評価値と呼ぶことにする）と環境関連要素との関係を調べるために単純相関係数を算定した。結果より相関係数0.4以上を取り上げ列挙すると以下のようである。

I：安全面， II：衛生面 なし

III：利便面 人口密度 (0.46)， 0～20歳比率 (0.48)， 単身者比率 (0.45)， 平均家族数 (-0.51)， 世帯数密度 (0.48)， 商業・業務用地率 (0.44)， 宅地率 (0.46)， 最寄り駅までの所要時間 (-0.44)

IV：快適面 建ぺい率 (-0.41)， 容積率 (-0.48)， 木造率 (0.43)， 商業・業務用地率 (-0.48)， 農地転用率 (0.40)， 小学校までの距離 (0.47)， 最寄り駅までの所要時間 (0.45)， 各地区から山手線までの所要時間 (0.43)， 東京からの距離 (0.50)

V：地域個性 おまつりの数 (0.45)

VI：人間関係 おまつりの数 (0.41)

VII：環境全般 なし

特に利便面， 快適面での相関の高い要素が多い。利便面， 快適面の評価と比較的相関の大きな環境要素として各々人口密度， 商業・業務用地率を取り上げて相関図を示したのが図2 (a)， (b)である。単純相関係数は両者の線形関係の強さを表現するものであるが， 図に見られる関係は一次式よりも二次式がより適合性はよいと考えられる。二次曲線による当てはめを行うと次式が得られる。

① 利便面の満足度

$$Y_1 = 2.30 + 0.0173 \times X_1 - 0.0000396 \times X_1^2$$

② 快適面の満足度

$$Y_2 = 3.40 - 5.28 \times X_2 + 4.98 \times X_2^2$$

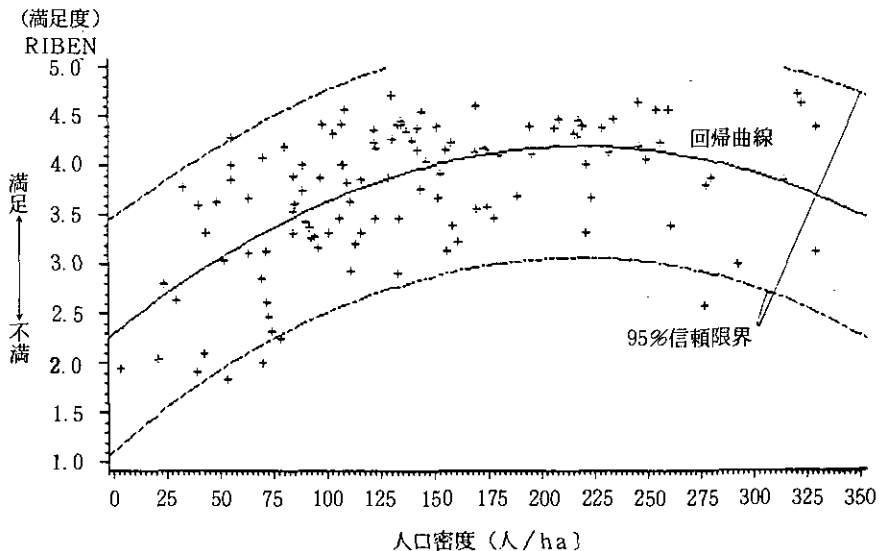


図2 (a) 利便面の評価と人口密度の関係

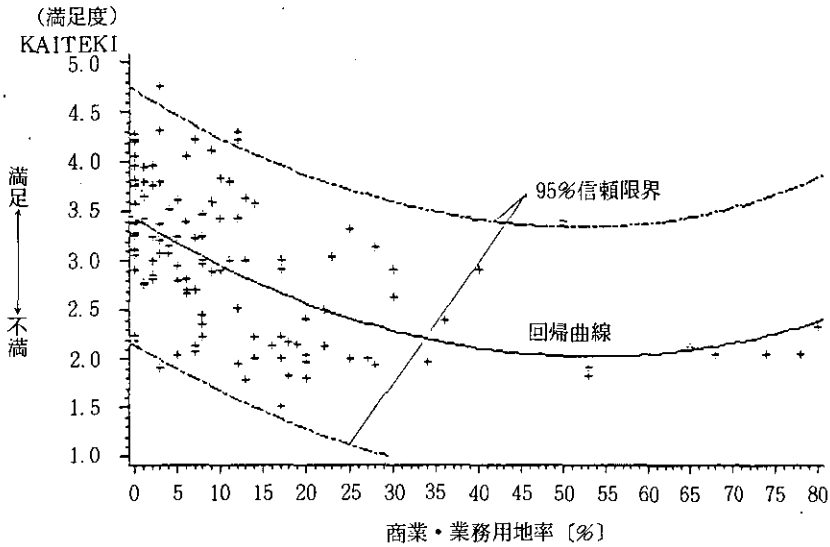


図 2 (b) 快適面の評価と商業・業務用地率の関係

ここで、 Y_1 ：利便面の評価値 (1.0：不満～5.0：満足)、 Y_2 ：快適面の評価値、 X_1 ：人口密度[人/ha]、 X_2 ：商業・業務用地率[%/100]である。

図中には得られた二次曲線 (実線) と予測値に関する95%信頼限界 (破線) を示した。上式によって地区の人口密度を知ることにより地区環境の利便面の満足度を、商業・業務用地率を知ることにより快適面の満足度をおおよそではあるが推定することができる。

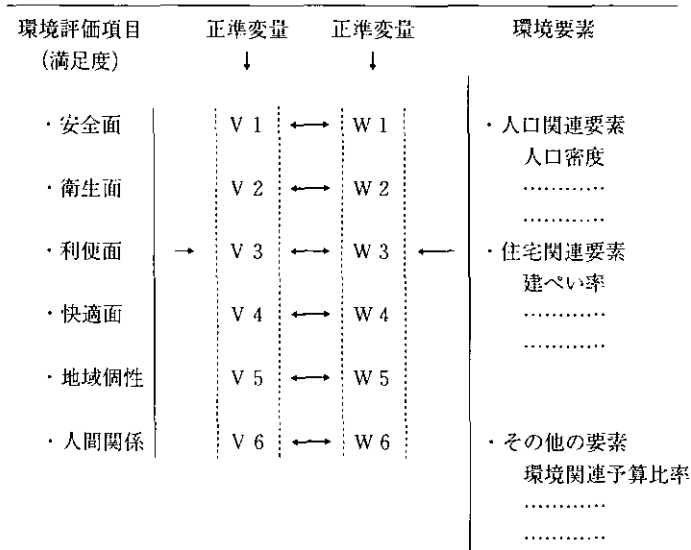
3. 2 正準相関分析

3.1では個々の環境関連要素と評価項目との関係を見たが、居住者の環境評価、特に快適面の満足度といった総括的な意識では、単一要素が卓越的に効く場合は少なく、種々の要素が複合的に意識に影響していると考えられる。そこで正準相関分析手法を活用し、環境評価項目と環境関連要素間の関係を調べた。

正準相関分析は、因果関係にある2組の要素 (変数) 群から相関が最大となるような正準変量を求める手法である (表3)。正準変量同士の相関係数は正準相関係数と呼ばれ、各変数群を構成する個々の変数間の相関係数よりも一般に大きくなる (奥野ら, 1975)。すなわち、各変数群を代表化し、かつ相関の最も高い変量を求める一種の集約化をはかる多変量解析手法である。

120地区の評価項目と環境関連要素に正準相関分析を適用した結果を表4に示した。第一正準変量 (W_1 , V_1) 間の相関係数は0.902と単純相関に比べ大幅に向上しており、また固有値は4.37、寄与率は49.3%であることから、この第一正準変量でデータの変動の半分が説明されていると解釈できる。

表3 正準相関分析の概要



R (Vi, Wi) : 第 i 正準相関係数
 R (V1, W1) > R (V2, W2) > > R (V6, W6)

表4 正準相関分析の結果 (正準相関係数)

	正準相関係数	固有値	累積寄与率
1	0.902	4.37	0.493
2	0.803	1.82	0.698
3	0.735	1.17	0.830
4	0.629	0.65	0.904
5	0.617	0.61	0.973
6	0.439	0.24	1.000

続いて、得られた正準変量の意味づけを行うために、各変量（ここでは第三正準変量まで取り上げた）について相関の高い評価項目及び環境要素を表5に一覧とした。各変量については次のような意味づけができよう（表6参照）。

まず第一正準変量についてみると、評価に関する正準変量 V1 では+ほど利便面の評価が高く、-ほど快適面の評価が高くなる傾向があり、両者のトレードオフ関係を表していると考えられる。環境要素に関する W1について対応をみると、+では商業・業務用地率、容積率、下水道普及率などが挙がっており、市街化が進んだ成熟度が高い既成市街地、例えば中心街を形成する DID（人口集中地区）などに相当し、一方-では0~20歳の人口比率、家族数、木造率との相関が高く市街化が現在進行しつつある郊外部の新興住宅地であると考えられる。このことから、W1は住宅地（市

表 5 (a) 正準変量と相関の高い環境評価項目〔 () 内の数値は単純相関係数〕

相関順位	第一正準変量 V 1	第二正準変量 V 2	第三正準変量 V 3
正相関	1 利便面 (0.74)	利便面 (0.61)	個性面 (0.92)
	2 衛生面 (0.61)	快適面 (0.58)	衛生面 (0.61)
負相関	1 快適面 (-0.70)
	2 安全面 (-0.25)

表 5 (b) 正準変量と相関の高い環境要素〔 () 内の数値は単純相関係数〕

相関順位	第一正準変量 W 1	第二正準変量 W 2	第三正準変量 W 3
正相関	1 商業・業務用地率 (0.67)	標高 (0.61)	公示地価 (0.48)
	2 容積率 (0.60)	最寄りの駅より山手線までの所要時間 (0.48)	60才以上の比率 (0.48)
	3 下水道普及率 (0.56)	住宅地率 (0.46)	小学校までの距離 (0.39)
	4 人口密度 (0.56)	川・池までの距離 (0.35)	持家比率 (0.39)
	5 公示地価 (0.55)	農地転用率 (0.33)	下水道普及率 (0.33)
負相関	1 0~20歳比率 (-0.69)	公共・公益用地率 (-0.47)	最寄り駅までの所要時間 (-0.38)
	2 家族数 (-0.67)	容積率 (-0.34)	人口密度 (-0.32)
	3 木造率 (-0.58)	建ぺい率 (-0.32)	0~20歳比率 (-0.25)
	4 農地転用率 (-0.45)	公示地価 (-0.32)	平均敷地面積 (-0.19)
	5 農地率 (-0.43)	病院までの距離 (-0.27)	住宅地率 (-0.16)

街地)の成熟度を表しているという意味づけできる。第一正準変量 V 1, W 1 間の相関係数が 0.9 と高いことは、快適・利便面における評価のトレードオフ関係と住宅地の成熟度に関係があることを表しており、この関係から例えば、木造率や農地率を上げることにより快適面の評価を向上させようとするると商業・業務用地率、容積率は低くせざるをえず、結果的に利便面の評価は低下するといった関係があることを指摘しうる。このように意識量までも考慮しつつ物的環境要素を正準変量という指標で集約化できることが正準相関分析の一つの大きな特徴であると考えられ、第一正準変量を住民意識としては利便面-快適面のトレードオフ関係を示し、物的環境としては市街地の成熟度を示す一つの環境の評価指標とみなすことができ、両者の相関係数が 0.9 と高いことから V 1 ≒ W 1 と考えることができる。

第一正準変量 W 1 について対象地区別にプロットしたのが図 3 である。一見して、都区内の地区ほど+値をとり、利便面の評価が意識、環境要素とも卓越した既成市街地であること、三多摩地

表6 正準変量の解釈

W 1 市街地の 成熟度の軸	<ul style="list-style-type: none"> ・市街化進行中 ・郊外の新興住宅地 ・快適面の満足度と 相関大 	0	<ul style="list-style-type: none"> ・市街地の成熟度高い ・既成市街地 ・利便面の満足度と 相関大 	+
W 2 優良住宅地区 の軸	<ul style="list-style-type: none"> ・容積率、建ぺい率が 高い 	0	<ul style="list-style-type: none"> ・都市施設のバランス のとれた市街地(優良市街地) ・快適面、利便面の満足度 と相関大 	+
W 3 個性的住宅 地の軸	<ul style="list-style-type: none"> ・新興住宅地 ・若年層の比率大 	0	<ul style="list-style-type: none"> ・駅を中心とした既成 市街地 ・持家比率、高齢人口比 率大 ・地域個性の満足度との 相関大 	+

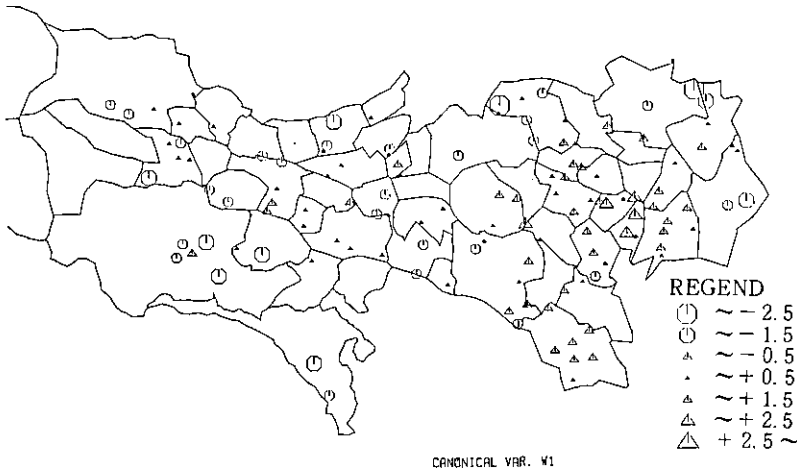


図3 地区別の正準変量値 (W 1)

区では負値をとる地区が多く、利便に比べて相対的に快適面の評価が高い地区を形成していることがわかる。

第二正準変量 V 2 では、利便面、快適面いずれの評価とも相関が高く快適面と利便面が両立した関係もみられる。W 2 と物的要素との関連からは標高が高く都心より距離的には離れているが、住宅地率も高く比較的良好な住宅地を形成している地区であると考えられ、これらの点を考慮すると利便面、快適面ともに比較的良好な住宅地（優良な住宅地）を表す軸であると考えられる。

第三正準変量 V3 は、個性面、衛生面の満足度と相関が高く、W3 では60歳以上の人口比率、持家比率との相関が高く、最寄り駅までの所要時間と負の相関が高いことから、古くから駅を中心として発展してきた市街地で、個性的な市街地内の住宅地を表していると考えられる。ここでは、個性的住宅地の軸と呼ぶが利便面、快適面の評価とは全く独立している点が特徴である。

4 快適性指標の試算

地区環境の評価については、そこに住む人々の意識を直接的に聞くことが最も信頼度の高い方法であるが、東京都のように人口の多い地域については悉皆調査は不可能に近い。なんらかの方法で環境評価値の推定式を作成することにより物的環境要素のみから地区のおおよその評価値が推定しうると考えられる。先述の正準相関分析など統計的に物的環境要素を集約化し、意味づけする方法も一法であるが、統計的方法を適用することで客観性は増すが、反面意味づけが困難な場合も多い。そこでより直接的な方法としてここでは120地区から得た環境評価値と環境関連要素との関係を重回帰分析により定量化し、得られた関係式を用いて地区の快適性評価を行うことを試みた。

居住環境の快適性は、そこに住む住民の判断が最も信頼性のある評価であると考えられることから、快適性の指標として快適面の満足度をとり上げ、この値と比較的入手が容易な物的環境要素とを重回帰分析により定量化し、この重回帰式を予測対象地区の物的環境要素に適用し地区の快適性評価を行おうとするものである。

重回帰式は取り入れる変数が増加する程、適合度の良否を表す重相関係数は増大するが、予測式の実的な適用を考えると、取り入れる変数は式として意味をもつ範囲で極力少ない方が望ましいと考えられる。また変数が多くなるほど直接関係のない要素まで取り込まれる可能性も生じる。

ここでは、先述の120地区のデータをもとに快適性指標試算式を同定したうえで試算式を他の地区へ適用することを試みた。適用地区としては町別の土地利用、人口関連データが得られた世田谷区を取り上げた。世田谷区について入手したデータについては表1に示した項目のうち○印で示したものである（世田谷区，1984）。

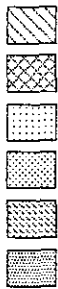
まず120地区についても○印に対応する要素を取り上げ（表2）、ステップワイズ（変数増減法）重回帰分析手法により回帰式の推定を行った。この方法の変数選択基準は決定係数 R^2 の増加量が最大となるような変数を逐次取捨選択する方法である。結果を表7に示した。

重相関係数は1変数で0.481（＝単純相関係数）、5変数で0.698であり、それ以上要素を加えても相関は改善されないことから、以下では5変数の回帰式を用いる。5変数（要素）による快適性指標推定式を用いて、世田谷区の町別データに適用し、試算した結果が図4である。5変数としては、地区の人口条件（人口密度）、土地利用条件（住宅地率、道路率）、住宅条件（建ぺい率、平均敷地面積）が選択されているが、変数増減法を用いているために、1、2変数の回帰では最も説明力のあった容積率が落ち、代わりに建ぺい率が取り込まれている。表は、偏回帰係数を示しているが、その係数値が大きく、快適面の満足度向上に寄与している変数は、住宅地率、平均敷地面積で

表7 重回帰分析による快適性指標の試算式 (標準偏回帰係数)
 ——世田谷区を対象にした例——

要素	取り上げた要素の数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
人口増加率										
人口密度			-0.341	-0.244	-0.254	-0.244	-0.260	-0.251	-0.249	-0.239
住宅地率			0.441	0.262	0.311	0.323	0.314	0.326	0.322	0.314
建ぺい率				-0.219	-0.142	-0.109	-0.763	-0.689	-0.690	-0.714
容積率	-0.397	-0.336					0.756	0.700	0.699	0.710
容積率増加率										0.023
平均階数							-0.246	-0.227	-0.226	-0.231
平均敷地面積			1.017		0.608	0.692	0.586	0.661	0.651	0.609
道路率	-0.264			-0.176	-0.164	-0.146	-0.173	-0.157	-0.163	-0.161
細街路率									0.026	0.027
幹線率										
農地率						0.070			0.049	0.043
農地転用率				0.106						
切片	2.968	2.965	3.046	2.952	3.009	3.017	2.989	2.998	2.997	2.991
重相関係数	0.481	0.610	0.659	0.685	0.698	0.702	0.704	0.707	0.708	0.708

凡例



2.5
2.5-
2.8-
3.0-
3.3-
3.5-

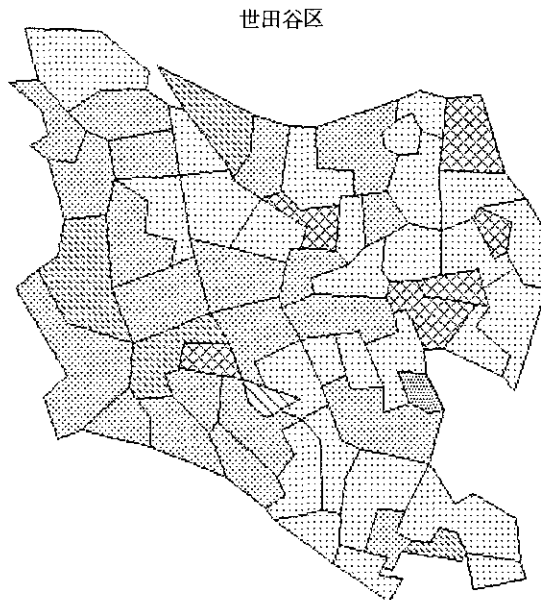


図4 快適性指標の試算例
 (1:不満~5:満足)

あり、広くゆったりした住宅地程評価が高いことを示している。逆に快適性を減少させる変数としては、人口密度、建ぺい率、道路率が選択されている。

例とした世田谷区の快適性指標のパターンをみると西側で高く、東側で低いパターンとなっており、人口密度の分布とはほぼ逆のパターンとなっている。また指標値で2.5以下の地区が見られるが、ここは公園が大半を占める特殊な地区であり、単に指標値のみでの判定ではこうした状況は十分把握できず、この点は指標の利用上注意すべき点である。現況評価では、さらに個々の要素値との比較検討も必要となる場合もあると考えられる。

5 おわりに

地区レベルの居住環境に対する住民意識と環境構成要素との関連性分析を行った後に地区環境の快適性指標試算を行った。

関連性分析からは、① 意識調査結果と物的環境要素の正準相関分析を適用した結果、意識量を加味した地区評価軸として、(a) 成熟度、(b) 優良住宅地、(c) 個性的な住宅地の3軸が抽出された。② 特に第一正準変量 V_1 、 W_1 は正準相関係数も高く、快適面、利便面のトレードオフ関係が明確に現れており、都区内では利便面が、郊外部では快適面の満足意識が相対的に高い地区を形成していることがわかった。

快適性指標の試算式として、都区内120地区の意識、物的環境要素データをもとに定式化を図り、町別データに適用した。その結果、① 基礎データが人口関連、土地利用関連のデータに限られているが5変数程度の重回帰式で相関係数0.7程度の推定式が得られた。② 住宅地率、平均敷地面積、人口密度、建ぺい率、道路率を用いた重回帰式によりおおむね地区の快適性の評価が可能であることを示した。

地区環境の快適性を単に物的な環境要素だけではなく住民の意識を反映する形で指標化を試みた。地区環境の快適性を指標化することにより、現況評価さらには、問題地域の抽出、対策の評価、地区環境創造など積極的な施策の評価などが可能となると考えられる。

参 考 文 献

- 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正 (1975)：多変量解析法。日科技連。
原沢英夫・宮崎忠国・西岡秀三 (1980)：生活者による居住環境評価について、～都下8市を例として～。
第8回環境問題シンポジウム講演論文集、31-42。
森田恒幸・勝矢淳雄・内藤正明 (1985)：快適環境づくりのための地域個性の類型化、一改良SD法を用いた分析一。環境情報科学、14 (1)、52-59。
東京都環境保全局 (1984)：生活環境選好度調査、環境保全関係資料 K-0-4 環 1、102p。
世田谷区 (1984)：世田谷の土地利用。1984。

1. 3 住民意識に基づく環境指標の作成手法とその適用

Scaling and Aggregating Method of Environmental Indices According to Evaluation by Urban Residents

森田恒幸¹・野田清敏²

Tsuneyuki MORITA¹ and Kiyotoshi NODA²

要 旨

本研究は、住民意識に基づいた環境指標の作法手法を確立することを目的としている。このため、アンケート調査による意識データと環境関連メッシュ・データを用いて統計的に指標の構造を決定するという、指標作成の一般的手順を新しく提案した。次いで、この手順を北九州市に適用して環境指標の作成を試みた。この結果、11の個別指標及び総合指標の構造を決定し、北九州市全域について実際に指標を算定することができた。これらの指標は市の環境管理計画の策定や運用の過程で積極的な活用が検討されている。

Abstract

This is an attempt to develop scaling and aggregating methodology of Environmental Indices (EI) according to the urban residents' evaluation. For this purpose, a newly designed procedure for EI formulation has been proposed, along with the statistical methods used in scaling and aggregating EI on the basis of questionnaire data and environmental mesh data. These procedure and methods have been applied to Kitakyushu. Then eleven indices, elemental and aggregated, have been formulated and computed for whole area of Kitakyushu. The derived indices are expected to contribute in the environmental planning and management.

-
1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 昭和60年度～ 国立公害研究所客員研究員 (北九州市公害対策局 〒803 北九州市小倉北区城内1番1号)
Visiting Fellow for the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Department of Pollution Control, Kitakyushu City Office, 1-1 Jonai, Kokurakita-ku, Kitakyushu, Fukuoka 803, Japan.

1 はじめに

指標の尺度化及び総合化は、環境指標の作成において中心的な作業である。これは、各種の客観データを特定の価値に基づいて加工し、集約化する作業で、今までに大きく分けて二つの方法がとられてきた。その一つは、特定の専門家や意思決定者の判断に基づく方法であり、他の一つは、評価対象の環境に居住する住民の価値意識に基づく方法である。このうち、近年の快適環境づくりやそのための計画策定に伴って、地方公共団体のニーズは主に住民意識を反映した環境指標の方に向いてきている。しかしながら、この種の方法に関しては、専門家の判断に基づく方法と比較して、研究例が非常に少なく、また、手法の整備も遅れている。

以上の背景のもとに本研究は、住民意識に基づいた環境指標の作成手法を確立することを目的としている。このため、まずこの種の指標を作成する一般的な手順を提案し、次いでこの手順に従って北九州市の環境管理を支援する指標を作成し、市全域について実際に指標を算定したものである。

2 環境指標の作成手順

住民意識に基づく環境指標を作成するための一般的な手順は、図1のようにまとめることができる。この図のとおり、指標作成の手順は大きく四つの作業から構成される。第一に、指標作成の方針決定、第二に、住民意識調査の実施、第三に、環境情報システムの整備、第四に、指標の作成と算定である。

「指標作成の方針決定」では、行政ニーズに基づいて指標の利用目的、利用主体、評価対象、評価方法など、指標を作成する際の基本方針を設定するとともに、指標の構成や集約方針などの基本構造を決定する。そして、評価対象とする地域及び評価単位とするメッシュの大きさを決定し、全メッシュの空間的・環境的特性に基づいて、詳細な分析の対象にする相当数のサンプルメッシュ(以下、「代表メッシュ」と呼ぶ)を選定する。

次いで「住民意識調査の実施」では、この代表メッシュに居住する住民のなかから無作為に相当数の標本を抽出してアンケート調査を実施する。調査内容は、上で決定された指標の構成に基づいて、主に各種環境項目への住民の満足度に関するものである。この調査結果から、代表メッシュごとに住民の意識を集計して各メッシュの評価値を得るとともに、統計的分析により環境項目間の重みを決定する。

一方、「環境情報システムの整備」では、環境指標の基本構成に基づいて関連する各種環境データを収集・整備する。新規のデータ収集や加工は、まず、代表メッシュについて実施し、指標の構造を決定した後に必要なデータ項目を絞り、全メッシュに拡大していくのが効率的である。なお、環境情報システムの整備は、環境管理の推進を目的として既に各地の地方公共団体でとり組まれており、これらの成果の積極的な活用が望まれる。

以上の作業に基づいて「指標の作成と算定」では、まず、代表メッシュにおける意識データと環境データの関係を統計的に分析し、環境データから住民の満足度を推計する関係式を見いだすこと

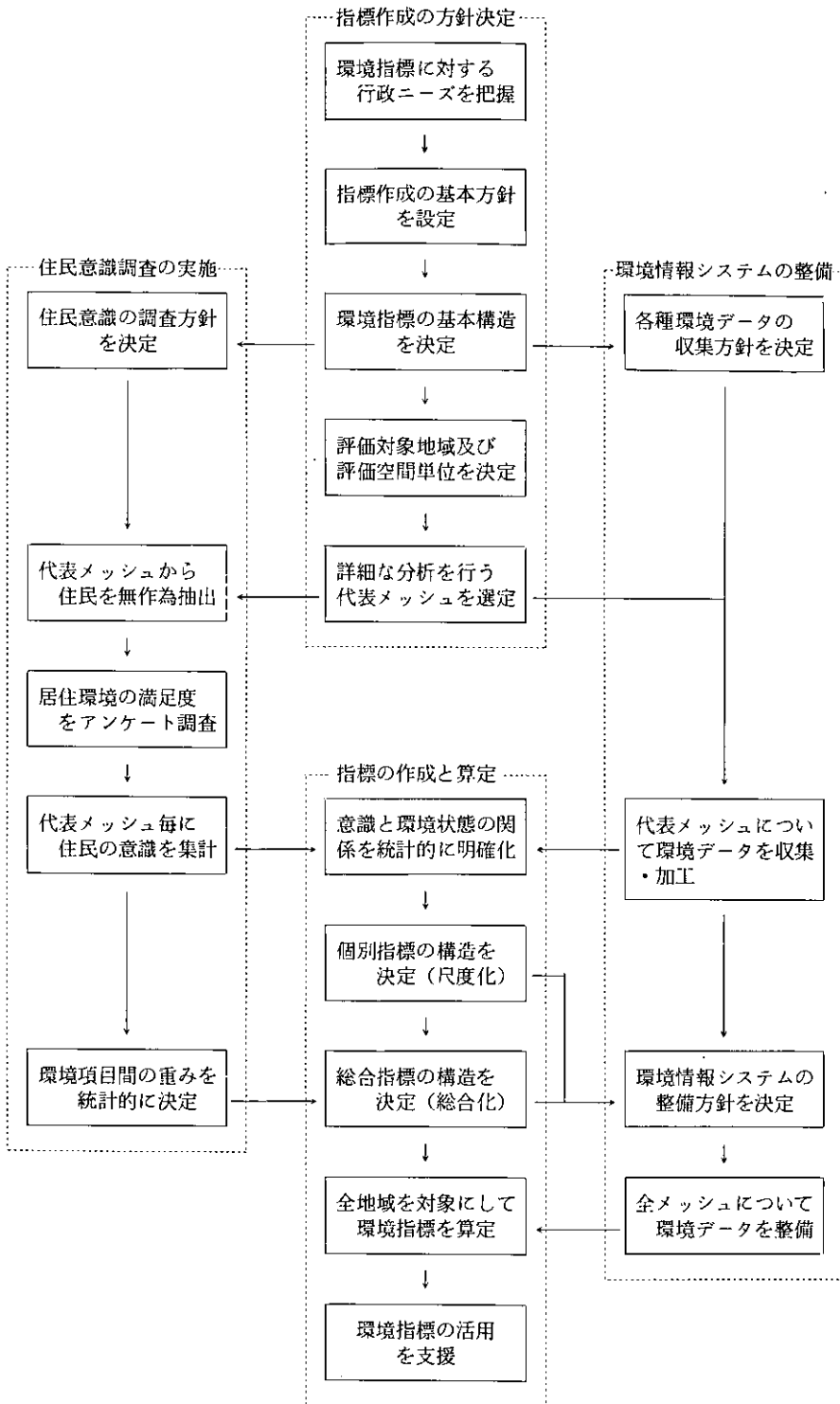


図1 環境指標の作成手順

により、個々の環境項目毎に指標の構造を決定する。次いで、先に求めた環境項目間の重みを用いて、これらの個別指標を総合化し、総合指標を作成する。ちなみに、環境データ (X_{ij})、個別指標 (V_i) 及び総合指標 (V_0) の関係を式で示すと次のようになる。

$$V_i = f_i (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in})$$

$$V_0 = \sum_{i=1}^n W_i V_i$$

ここで、関係式 f_i の構造及びウェイト W_i は、代表メッシュのデータから統計的に決定されたものである。なお、複数の総合指標からさらに高次の総合指標を作成する場合もある。こうして決定した環境指標の算定方式に基づいて、全メッシュを対象に個別指標及び総合指標を算定し、具体的な活用を図る。

なお、この一連の手順は、地方公共団体の環境行政部局の多くがアンケート調査を実施又は企画しており、また環境情報システムのなかでメッシュ・データを整備しつつある実態を踏まえて、これらの活用を図ることを前提とした。また、評価対象は居住環境とし、評価の空間単位はいわゆる「地区」スケールを前提とした。

3 指標作成の基本方針

ここで提案した環境指標の作成手順は、最初に北九州市において採用された。北九州市では、昭和60年度内の計画策定をめざして、環境管理計画に関する各種の基礎調査が実施されてきており、環境指標に対する行政ニーズが高い。また、環境情報システムについても、既にメッシュ・データの整備が進められつつあるなど、指標作成にとっていくつかの好条件があった。以下では、北九州市を対象にして一連の指標作成手順を適用した結果をとりまとめる。

まず、指標作成の基本方針は、北九州市における行政ニーズ（北九州市，1984）を踏まえて、以下のように設定した。

(1) 利用目的：市の総合的な環境管理の推進を支援する目的で環境指標を作成する。具体的な利用目的としては、環境管理計画の策定の際に地域の環境現況を総合的に把握すること、この結果に基づいて市民と行政とのコミュニケーションを促進すること、及び、計画策定の後に計画の進捗状況を評価すること、の三つをあげる。

(2) 利用主体：上記の目的に基づき、指標の利用主体として市の行政担当者及び一般市民の両者を想定する。

(3) 評価対象：評価対象とする環境の範囲は、大気汚染や騒音などの公害防止に関する項目、みどりや小動物などの自然環境保全に関する項目、及び、都市景観や広場などのアメニティ創造に関する項目、の三つの領域とする。

(4) 評価視点：これらの環境を評価する視点は、当該環境に居住する生活者の視点とし、その平

均的な価値意識により環境を評価する。そして、快適性の視点からの評価に主眼を置き、利便性などの視点は比較対象としての評価にとどめる。

(5) 評価方法：環境の評価に際しては、大気汚染や緑量といった個々の行政領域に対応した環境項目を個別に評価するとともに、これらが総合された環境についても総合的に評価する。

以上の基本方針に基づいて、北九州市における環境評価の体系を図2のように設定し、これを環境指標の基本構造とした。この評価体系は図に示すとおり、快適面の評価に主眼が置かれ、その評価は行政領域に対応した3群の評価項目より行われる。すなわち、公害防止に対応して「まちの清々しさと静けさ」の評価項目群、自然環境保全に対応して「自然とのふれあい」の評価項目群、アメニティ創造に対応して「まちの美しさとゆとり」の評価項目群である。そして、個々の評価はこの体系に添って総合化され、最終的には総体としての快適環境や総合環境が評価できる構造を設定した。また、総合化の方式としては、個別指標の線型一次結合で表された推計式を統計的に求める方法、いわゆる重回帰モデルを採用した。これは、総合指標を可能な限り住民の意識に合わせるよう作成するとともに、行政担当者や一般市民にとって指標の算定や理解が容易となることを意図したものである。

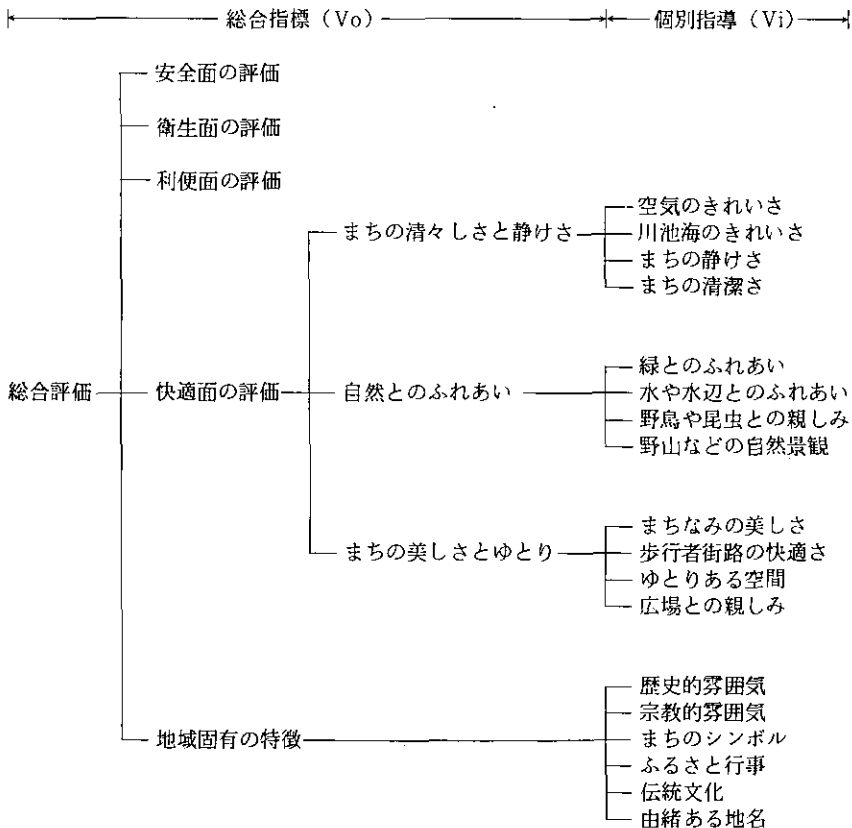


図2 北九州市における環境評価の体系

なお、従来の研究のなかには、住民意識に基づいた指標の作成を試みた例がいくつか見られるが、上記の方針に沿って適用できるものは認められない。例えば、京都市の事例（東工大石原研究室、1972）や東京都の事例（東京都首都整備局、1975）は、住民意識に基づいて環境水準を示す指標を作成した先駆的な事例であるが、分析の主眼が生活施設の総合的な整備水準に置かれ、今回のような快適環境を構成する各種の個別指標が体系的に用意されておらず、公害や自然に関する環境データも不足している。また、宮城県の事例（計量計画研究所、1979）や大坂谷他（1984）の論文では、環境に不満な者（マイナス評価者）の割合と環境データや土地利用データとの関係を解析しているが、主に環境上の問題点を発見する目的で個別的な評価に主眼が置かれているため、総合的な評価体系が用意されておらず、また、分析のサンプル数（地区数）も少ない。したがって、本研究ではこれらの成果を参考にしつつも、独自のやり方で指標を作成することとした。

4 住民意識調査と環境情報システム

環境指標で評価する地域は北九州市全域であり、評価単位は、環境情報システムのデータ収集単位に合わせて250メートル・メッシュとした。そして、指標作成に用いる代表メッシュとして、市全域から無作為に100メッシュを抽出した。抽出手順は、まず、市内を自然的及び社会的条件に基づいて10の地域ブロックに分割し、各地域ブロックごとに用途別（住居系、商業系、工業系、緑地系）のメッシュ構成比（人口100人未満のメッシュは除外）を算定し、次いで、この比率に基づいて各地域ブロックから10メッシュを無作為抽出した。これらの代表メッシュについて、次に住民意識調査が実施された。

指標作成のための住民意識調査は、北九州市の「快適環境に関する市民意識調査」（北九州市公害対策局、1985a）の一部として行われた。この調査は、郵送法によるアンケート調査法を用いて、昭和59年8月に実施された。調査対象者は、代表メッシュに住民する20歳以上の男女のうち、各メッシュから40名、計4000名が選挙人名簿より無作為抽出された。調査内容は、図2に示す各評価項目について現状の満足度を質問したほか、その理由や重要度などに関する質問によって構成された。調査の結果、一メッシュ当たり19名から39名、全メッシュで2851名の回答が得られ、全体の回収率は71.3%であった。

住民の満足度についての回答結果は、まず、「満足」が100点、「やや満足」が75点、「どちらともいえない」が50点、「やや不満」が25点、「不満」が0点と、等間隔尺度で評点づけを行い、次いで、代表メッシュごとにこの評点を平均し、この平均値をもって各メッシュの評価得点とした。図3には、空気のきれいさについて算定した評価得点の分布を示している。

一方、環境指標を作成及び算定するための環境データは、北九州市環境情報システム（北九州市、1985b）から得た。このシステムは、昭和55年度から整備が始められ、現在のところ図4に示す約300項目の環境データが、250メートル・メッシュを基本に収集されている。今回の指標算定に用いたデータのうち、大気環境データは市内18測定局の実測データを用いたスプライン補間（藤原ほ

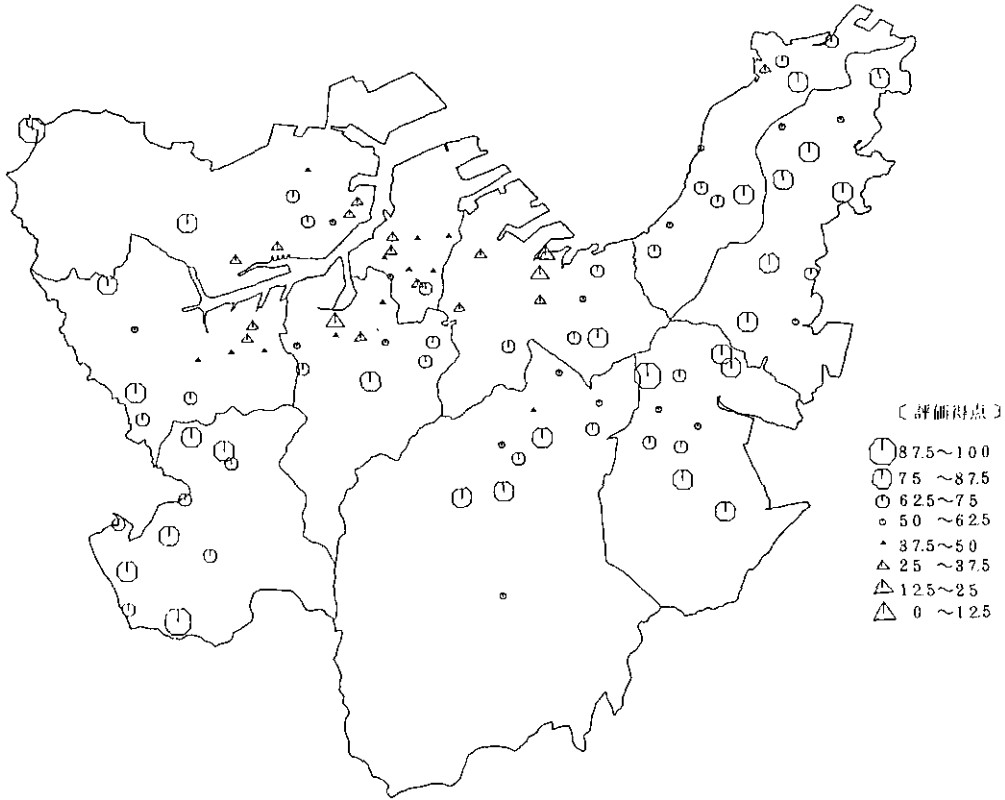


図3 空気のきれいさに関する満足度の地域分布

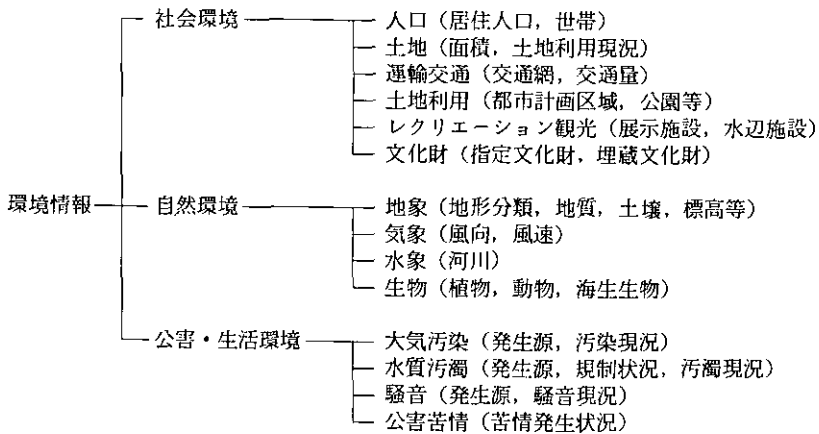


図4 北九州市環境情報システムの蓄積データ

か、1982)により、騒音データは市内514地点の実測データを用いた土地利用データ等との回帰(計量計画研究所、1979)により、また、自動車交通量は幹線道路の実測データを用いた道路網交通量の推定により、それぞれ全メッシュの値が推計されている。

5 環境指標の作成と算定

指標の作成は、まず、環境情報システムの環境データ及びそれを加工したデータを説明変数として、住民の満足度の評価得点を推計する式を求め、これを個別指標の算定式とした。この作業手順は、第一に、各評価項目ごとに評価得点と環境データ(及び加工データ)との単相関係数を計算し、この係数の絶対値が比較的大きいデータ項目を選定し、第二に、このうち住民意識との因果関係が想定できる(住民の満足度に対する影響が論理的に説明できる)項目に絞り、これを説明変数として重回帰分析を行い、第三に、すべての偏回帰係数が統計的に有意(危険率5%)になるように、変数減少法によって変数選択を行い、この回帰式を指標の算定式とした。

表1には、こうして求めた算定式の一覧を示している。ここで、各指標はいずれも満足度の評点と同様に100点満点で表され、説明変数の単位は各変数の下に示すとおりである。また、空気の流れいさ及びまちの静けさ評価指標の第1項は、環境基準との比率により標準化して集約化

表1 北九州市の個別指標の構造

$\text{[空気の流れいさ評価指標]} = -2.85 \left(\frac{[\text{SO}_2]}{0.02} + \frac{[\text{NO}_2]}{0.02} \right) 8.34 - 11.3 \log[\text{自動車交通量}] + 0.28 \left(\frac{[\text{住居面積}]}{[\text{人口}]} \right) + 104.9$
<p>一点- -ppm- -ppm- -台km/日- -m²/人-</p>
<p>N=91, R=0.813, F=56.4(***), t=-4.88(***), t=-3.03(***), t=4.14(***)</p>
$\text{[まちの静けさ評価指標]} = -15.9 \left(\frac{[\text{夜間騒音}]}{40} + \frac{[\text{昼間騒音}]}{50} \right) - 9.91 \log[\text{自動車交通量}] + 6.80 \log[\text{緑地総面積}] + 105.0$
<p>一点- -ホン- -ホン- -台km/日- -m²-</p>
<p>N=82, R=0.664, F=20.5(***), t=-3.17(***), t=-3.02(***), t=3.17(***)</p>
$\text{[まちの清潔さ評価指標]} = 0.120 \left(\frac{[\text{住居面積}]}{[\text{人口}]} \right) + 4.63 \left(\frac{[\text{人口}]}{[\text{世帯数}]} \right) - 4.16 \log[\text{自動車交通量}] + 49.6$
<p>一点- -m²/人- -人/世帯- -台km/日-</p>
<p>N=91, R=0.580, F=14.7(***), t=2.65(***), t=1.98(*), t=-1.80(*)</p>
$\text{[緑とのふれあい評価指標]} = 9.54 \log \left(\frac{[\text{緑地総面積}]}{[\text{人口}]} \right) + 56.7$
<p>一点- -m²/人- [緑地総面積]: [畑地面積]+[森林面積]+[公園緑地面積]</p>
<p>N=92, R=0.630, F=59.2(***), t=7.70(***)</p>
$\text{[野鳥や昆虫との親しみ評価指標]} = 8.85 \log[\text{緑地総面積}] + 0.178 \left(\frac{[\text{住居面積}]}{[\text{人口}]} \right) - 7.81 \log[\text{自動車交通量}] + 51.4$
<p>一点- -m²- -m²/人- -台km/日-</p>
<p>N=83, R=0.794, F=44.8(***), t=5.00(***), t=3.52(***), t=-3.11(***)</p>
$\text{[自然景観評価指標]} = 11.6 \log[\text{緑地総面積}] + 0.114 \left(\frac{[\text{住居面積}]}{[\text{人口}]} \right) + 5.35 \log[\text{標高}] - 3.59$
<p>一点- -m²- -m²/人- -m-</p>
<p>N=92, R=0.727, F=32.8(***), t=5.97(***), t=2.35(*), t=2.23(*)</p>

(注記) Nは分析に用いた有効メッシュの総数、Rは重相関係数、Fは回帰の有意性検定のためのF値、tは偏回帰係数の有意性検定のためのt値。()内の*印は、*が危険率5%で、**が危険率1%で、***が危険率0.5%でそれぞれ有意性が認められたことを示す。

(Standardized Propotion Method ; Sinden ら, 1979) したもので、特に大気汚染濃度の項は、オークリッジの大気質指標 (Babcock ら, 1972) を参考にして非線形回帰を行った。回帰式の重相関係数は0.81から0.58で、まちの清潔さや緑とのふれあい評価指標などにおいてさらに精度の向上が望まれるが、F 値に関しては、いずれも危険率0.1%で回帰の有意性が認められた。なお、利便環境評価指標についても、同様にして重相関係数が0.75 (F 値が58.2) で算定式を得ることができた。一方、「水のきれいさ」及び「水とのふれあい」の二つの水関係指標、及び、「まちの美しさとゆとり」に関する指標群については、住民意識を適切に説明できる環境データが入手できなかったため、算定式は得られなかった。

指標の総合化は、上で作成できた個別指標の範囲内で、総合指標の作成を試みることにした。表2は、これらの指標間の関係を明らかにするため、先に算定した住民の評価得点を使って重回帰分析を行った結果である。この回帰及び偏回帰係数の有意性は、いずれも危険率0.1%で認められた。この表によれば、今回算定した個別指標の範囲内でも、「まちの清々しさと静けさ総合評価指標」及び「自然とのふれあい総合評価指標」が重相関係数0.9以上で住民意識を説明できることが明らかとなった。さらに、「快適面の総合評価指標」や「環境全体の総合評価指標」についても、効率よく住民意識を説明できることがわかった。このことから、これらの重回帰式により総合指標を作成することにした。

以上、代表メッシュのデータを基に作成した指標を、次に全メッシュについて算定した。図5から図8には、この算定結果の一部を示している。そして、指標の算定結果からは、環境管理を推進する上で多くの知見を読み取ることができた。例えば図5からは、大気汚染の問題が工場地帯から市街地へと移ってきたことが住民意識の面からも明らかにされ、また図8からは、総合的に良好な居住環境は主に山沿いに形成されていることが明らかとなる等、環境管理計画の策定に直接役立つ多数の知見が得られた。

表2 総合化のための重回帰分析結果

被説明変数	重相関係数(F 値)	説明変数	偏回帰係数(t値)
環境の 総合評価	0.839(115.2)	快適面の評価	0.478(13.7)
		利便面の評価	0.324(12.8)
快適面の 評価	0.931(317.1)	まちの清々しさと静けさ	0.689(9.3)
		自然とのふれあい	0.554(7.8)
まちの清々 しさと 静けさ	0.967(453.3)	空気のきれいさ	0.233(7.5)
		まちの静けさ	0.417(8.8)
		まちの清潔さ	0.330(8.1)
自然との ふれあい	0.974(584.8)	緑とのふれあい	0.313(5.2)
		野鳥や昆虫とのふれあい	0.293(4.8)
		自然景観の楽しみ	0.363(6.5)

注) 有効データ数はいずれも100

6 おわりに

本研究では、住民の意識に基づいて環境を評価する指標をとりあげ、この一般的な作成手順を提案するとともに、北九州市を対象にこの手順の適用を試みた。

本研究の結果、ここで提案した手順が非常に有効であり、かつ作成した指標は、環境管理の推進にとって有効な手段になりうることが明らかとなった。

今回作成した指標に関しては、次の二つの課題が残されている。第一に、今回作成した環境指標について、関連する環境データの整備を進めてさらに精度を向上させること、第二に、環境データが未整備の水関係の評価指標及び「まちの美しさとゆとり」に関する指標群について、住民意識に密接なデータを新たに収集・加工して、検討を加えることである。

謝 辞

最後になったが、本研究を進めるに当たり、北九州市公害対策局からは、データの提供を初め全面的なご協力をいただいた。また、同局環境管理課の堀内葉子、木原浩二、桃原信一、大庭弁二郎の各氏には、環境情報システムの利用に当たって大変お世話になった。ここに記して、感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- Babcock, L. R. Jr. and N. L. Nagda (1972): Indices of air quality. *In*: Indicators of Environmental Quality, W. A. Thomas (ed.), Plenum Press, 183-197.
- 藤原正弘・大井弘志・新藤純子 (1982): 大気濃度分布パターンのスプライン法による推定法. 環境技術, 11(9), 21-27.
- 計量計画研究所 (1979): 環境管理に係る環境(複合)騒音容量設定調査報告書. 昭和54年11月, 143p.
- 北九州市 (1984): 北九州市環境管理計画策定要領. 7p.
- 北九州市公害対策局 (1985a): 快適環境に関する市民意識調査. 昭和60年3月, 77p.
- 北九州市公害対策局 (1985a): 環境情報システム. 6p.
- 森田恒幸・野田清敏 (1985): 都市住民の意識に基づく環境指標の算定～北九州市の環境管理を対象にして～. 都市計画別冊学術研究論文集, No. 20, 133-138.
- 大阪谷吉行・横山浩 (1984): 土地利用データによる地区環境の診断方法に関する基礎的研究. 日本都市計画学会学術研究発表会論文集, No. 19, 403-408.
- Sinden, J. and A. C. Worrell (1979): Unpriced Values. John Wiley and Sons, 511p.
- 東京工業大学社会工学科石原研究室 (1972): 京都市生活環境調査報告書. 昭和47年3月, 174p.
- 東京都首都整備局地域計画部 (1975): 東京都近隣社会環境整備計画調査報告書/地区調査・分析篇. 昭和50年3月, 30p.

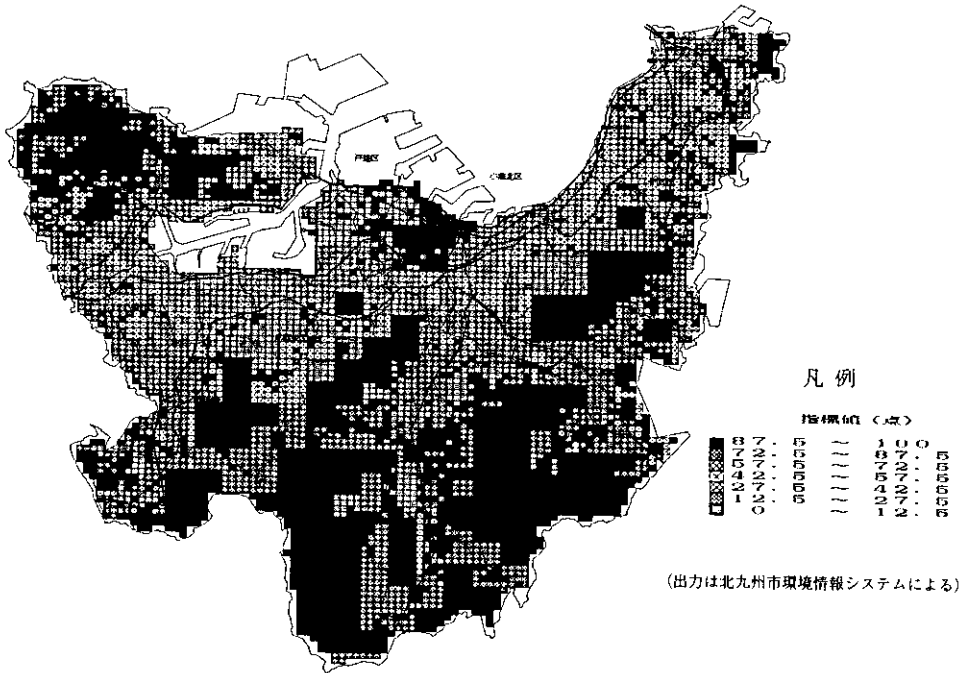


図5 空気のきれいさ評価指標の算定結果

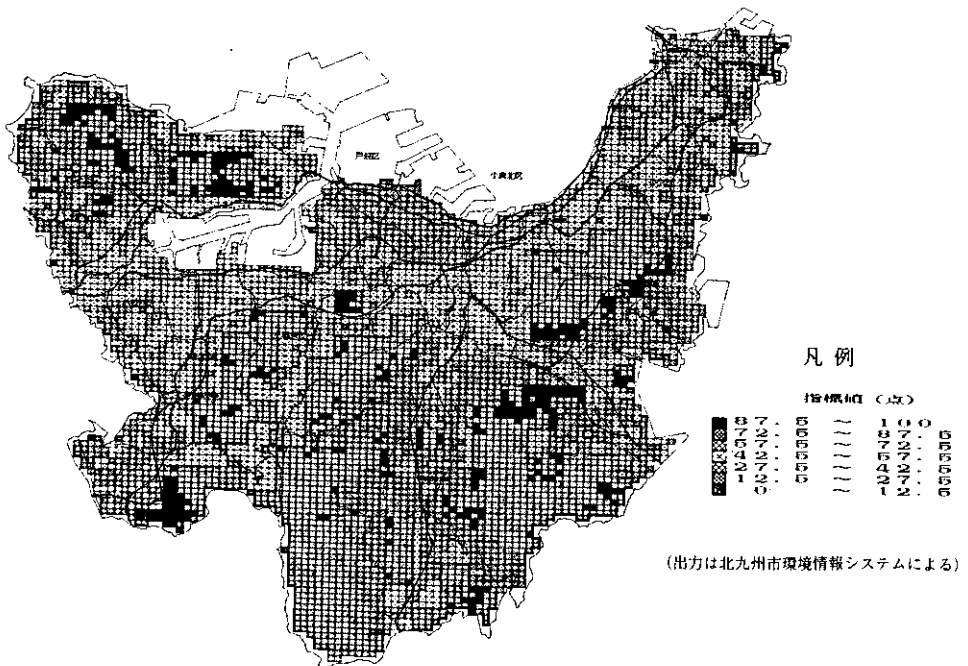


図6 まちの清々しさと静けさ評価指標の算定結果

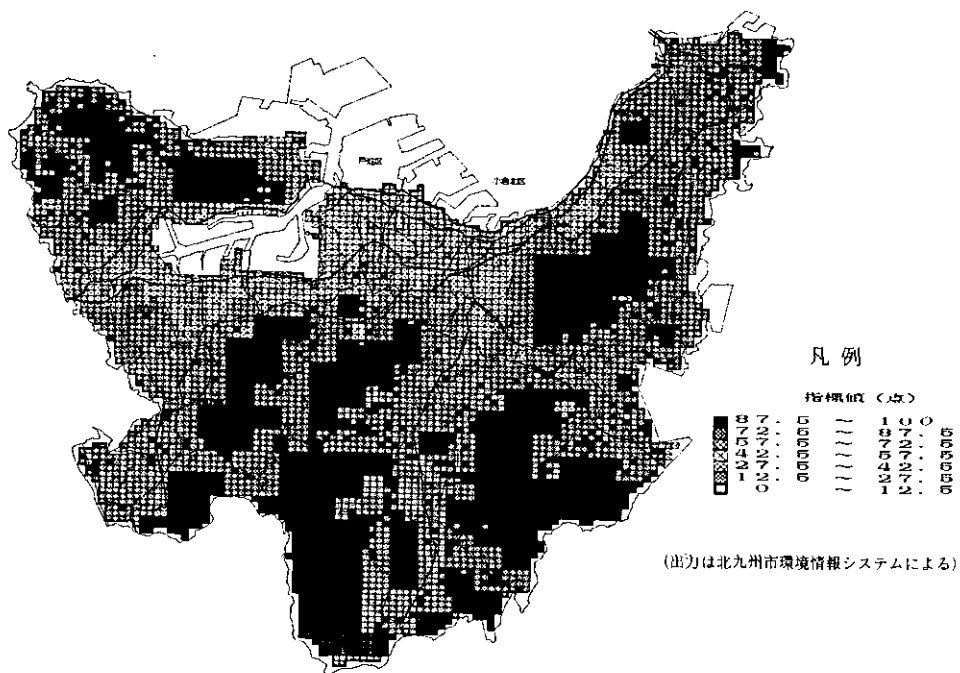


図7 快適環境評価指標の算定結果

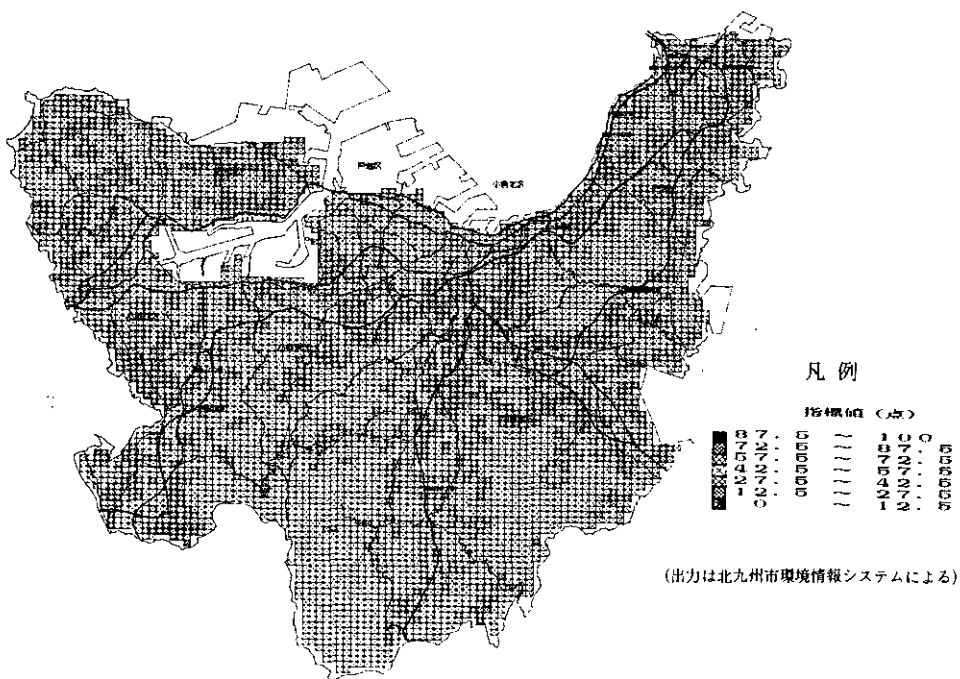


図8 総合環境評価指標の算定結果

2. 1 水環境指標の作成 Development of Water Quality Indices

原沢英夫¹・内藤正明¹

Hideo HARASAWA¹ and Masaaki NAITO¹

要 旨

水環境指標はその利用目的に応じて大別すると① 総合水質指標, ② 水利用指標, ③ 水環境計画・管理指標に類型化でき, その意義としては, (a) 意志決定支援, (b) 施策評価, (c) 情報交流, 伝達が挙げられる。

本報はまず従来提案されている水環境指標のうち特に河川に関する指標についてレビューを行い, 指標作成時に派生する問題点を整理した。続いて, 水環境指標の試算事例として②の水利用指標の一つとして流量条件を考慮したレクリエーション(水泳・水遊び, ボート)の適否判定を目的とした指標, 及び③の管理指標として水質の確率的変動を考慮した環境基準の評価を提案し, それを具体的に多摩川を対象として適用した。

Abstract

The first section of this paper is concerned with comprehensive review of existing water environmental indices. Indices found in the literatures are classified into the following three broad categories.

- ① Comprehensive water quality indices
- ② Specific-use indices
- ③ Planning and management indices

These indices are useful for administration purposes (management decision-making, policy evaluation) and for meaningful communication with public.

The second section of the paper deals with two indices for evaluating river water environment. One is a specific-use index to evaluate recreational water use (bathing, fishing) in consideration of flow. The other index is a planning and management index which is useful to examine the compliance of water quality standard stochastically. These indices are applied to the water quality and flow data of Tama River.

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

現行の水系水質の評価は、河川の有機性汚濁についてはBOD、COD、湖沼の富栄養化では窒素、リンなど個々の水質汚濁物質の濃度で表現されているが、これらの水質指標を個別に見たのでは水質の全体像を直観的に把握することは困難である。このためいくつかの水質項目を集約化し、一つの値で表す試みがなされ、後述の米国で作成され、現在も利用されているNSFWQIのごとく、公共用水域の水質状態表示に利用されている例も見られる。

本研究は、従来提案されている水環境指標のうち、特に河川に関する指標について体系的な整理を行うとともに、具体的にレクリエーション（水泳・水遊び、ボート）の適否判定を目的とした指標、水質の確率的変動を考慮した環境基準の評価指標を試作し、多摩川を対象として試算を行ったうえで、指標作成時に派生する問題点を検討したものである。

1.1 既存の水環境指標の体系的整理

従来提案されている水環境指標を主としてその利用目的に応じて大別すると、① 総合水質指標、② 水利用指標、③ 水環境計画・管理指標におおよそ分類される。

① の総合水質指標は、複雑かつ多様な水質汚濁現象を総括的に一つの数値で表現しようとするものである。環境基準の適合度判定に代表されるように水質項目ごとの平均値や値の大小で水質状態が記述されているが、専門家以外の人々にとっての理解は必ずしも容易ではなかった。総合水質指標を利用することにより、一般の人々が水環境の水質汚濁状態を比較的容易に理解・把握できること、またこのことを通じて環境問題への関心がより一層高まるなど情報伝達・啓発の方法としても効果があると考えられる（吉見，1985）。

② の水利用指標は、① の一般的な水質状態の把握に用いられる総合水質指標とは異なり、ある特定の水利用目的に対象水域の水質状態が適合しているか否かの判定（適合性判定）に用いられる指標である。水利用に関しては、飲料水基準、水産用水基準などがあるが、ここでは前述のように複数項目を集約化した指標を対象としている。水利用指標の場合、その水利用に影響すると考えられる水質項目が取り上げられ、総合水質指標と同様な方法により指標化されている。

③ の水環境計画・管理指標は、環境施策の達成度の評価、水資源配分の管理などを対象に計画・管理面への応用を意図したもので、項目として水質の他に流域人口や下水道普及率など流域に関する社会的・経済的項目を取り入れた指標が見られる。

指標の意義としては、(a) 意志決定支援、(b) 施策評価、(c) 情報交流・伝達が挙げられているが（Ott, 1978）、特に情報交流・伝達に関しては、大半の指標提案者が直接的、あるいは間接的な効果があることを指標利用の利点として挙げている。

水環境指標については、以上の水質を中心とした指標の他に“場”に関する情報、例えば水辺の快適性、レクリエーション的な価値を表現する水辺指標などが考えられるが、場の情報までをも取り込んだ水環境指標については研究例はほとんどない。

以上の分類軸により、河川を対象として提案された指標についてその目的、取り上げられた項目、開発又は提案者について整理したのが表1である。

2 水環境指標作成プロセスと問題点

2.1 指標作成プロセスと検討事項

水環境指標作成プロセスの一般的手順は、基礎編の表2.5（内藤ら，1984）とほぼ同様であるが、集約化過程において統計的方法や記述的方法が採用される場合もあることが特徴である。各段階において、水環境を対象とする場合の問題点を併記したのが表2である。水質測定項目のうちどの項目を取り上げるか（項目の選択）がまず第一段階である。

代表的な河川水質の総合指標である NSFQI（National Sanitation Foundation Water Quality Index）は、9項目の水質を取り上げている（Brownら，1970）。NSFQIの場合水質項目の選択で特徴的な点は水質の専門家集団へ直接質問するデルファイ法を採用している点である。このようなアンケート法を適用し、項目の選択を行った事例として、FWAL、PWS（面接調査；O'Connor）、PWS（アンケート調査；Deiningerら）などがある（Ott, 1978）。いずれも、回答者に対して質問の意図を十分伝え、より確かな回答をえるために、単にアンケート用紙を配布、回収するだけでなく、デルファイ法のように何回か繰り返し回答を得たり、アンケート用紙に図表を活用し回答しやすい方式をとる等の工夫がなされている。

他には、既存の水質指標の研究、実用例を参考にして項目を取り上げる例（IIP（Pratiら，1971）など）や、水質データの利用上の制約から項目がおのずと限定される場合（RPI（McDuffieら，1973）など）もある。

指標化の第2段階では選択した各項目の計測値を総合化するために、価値関数を用いて共通的な単位（例えば、水質の良さ）に変換する。変換した値は個別指標と呼ばれる。指標の中には、価値関数を用いずに計測値から直接総合指標を求める方法もあり、多変量解析手法を利用したり、順序統計量の分布を利用したりする種々の統計的な方法がある。

第3段階は、価値関数により共通単位に変換した値（個別指標値）を集約化する過程である。集約化過程は、大別して項目集約、時間集約、地域（空間）集約に分類されるが、各々集約時の重みづけの方法、集約化する方法（関数形、範囲）、更に表示法などが検討すべき事項である。既存の指標では、多くが項目集約した段階で総合指標として利用されているが、さらに項目集約した指標の季節、又は年平均値を算定したり（時間集約）、水系全体での平均（地域集約）値を算定したりすることも目的によっては必要になる。

2.2 価値関数による集約化と問題点

価値関数は、種々の単位で測定されている計測値を水環境の良さ、悪さを一定範囲（例えば0～100）の共通単位に変換するものである。水環境指標に用いられる価値関数は大別して、数学的な

表1 水環境指標の研究事例 (Ott, 1978; 他を参考に作成)

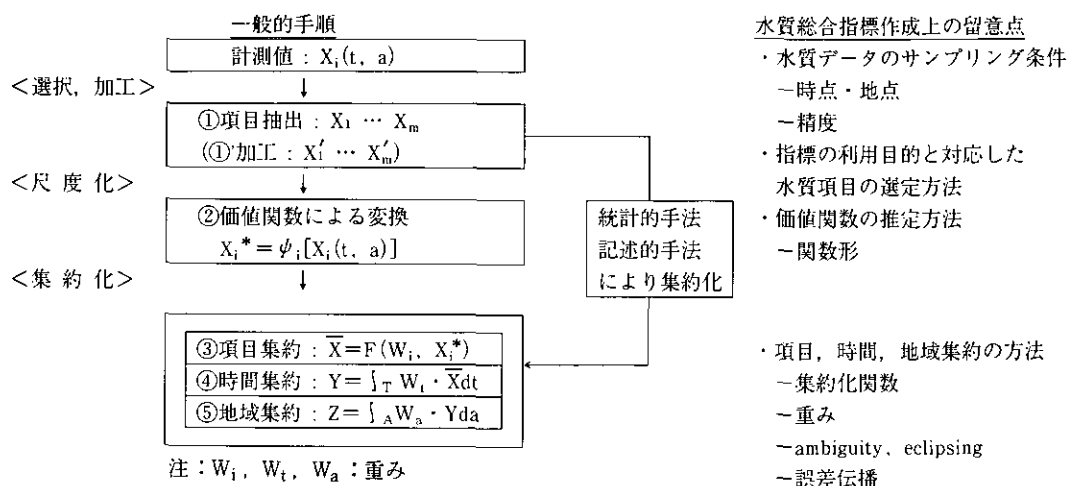
指 標	提案者(年)	目 的	集約化の方法	項目数	価値関数*	集約化関数	備 考
A. 総合水質指標							
① QI(Quality Index)	Horton(1965)	①濁削減計画の評価 ②住民への情報伝達	価値関数+ 集約化関数	10	SF+SW	加重和	・下水道普及率を 項目として含む
② NSFQI (National Sanitation Foundation Water Quality Index)	Brown ら(1970)	①住民、意志決定者 への情報伝達	価値関数+ 集約化関数	9	IF	加重和 加重積	・項目選定、価値関数、 重みの決定にデルファ イ法を利用
③ IIP(Implicit Index of Pollution)	Prati(1971)	①水資源の質の比較	価値関数+ 集約化関数	13	EF	加重和 (平均値)	・加重和の重みは等しい
④ RPI(River Pollution Index)	McDuffi(1973)	①水質の経年変化 ②河川間の比較	価値関数+ 集約化関数	8	EF	加重和	
⑤ WQI(Water Quality Index)	Dinius(1972)	①行政、住民への 情報伝達 ②投資効果の評価	価値関数+ 集約化関数	〃	EF	加重和	
⑥ CWQI(Combined Water Quality Index)	Yu ら(1975)	①水利用の便益 処理コスト評価 ②意志決定のツール	価値関数+ 集約化関数	〃	EF	巾乗和 の巾乗根	・MSWQL(Municipal Sewage WQI)と純便益 を考慮した複合的指標
⑦ CPI(Composite Pollution Index)	庄司ら(1966)	①水質情報の集約化	因子分析		—	—	
⑧ WQITN(WQI Total Nutrient)	Joungら(1979)	①汚濁水域の確認 ②基準の設定	因子分析	6	—	—	他に、WQIPN(WQI Phosphate Nutrient)
⑨ WQI	岡ら(1983)	①水質汚濁の総合指標 化 ②住民への情報伝達	主成分分析	11	—	—	
⑩ WQI	吉見(1985)	①水質状態の総合評価 ②住民への情報伝達、 啓蒙	記述的方法	4	—	—	
⑪ Harkin's Index	Harkin(1974)	①客観的な指標作成	統計的方法 (順序統計量)	3	—	順序統計 (ランク)の 2乗和	
⑫ BFI(Beta Function Index)	Schaeffer ら (1977)	①客観的な指標作成	統計的方法		—	—	

表1 つづき

B. 水利用指標						
⑬ FAWL (Fish and Wildlife Index)	O'Conner (1972)	①水生生物を維持する水質の把握	価値関数+集約化関数	10	IF SW (有害物質)	加重和
⑭ PWA (Public Water Supply Index)	O'Conner (1972)	①上水源として処理が必要か否かの判定	〃	14	IF SW (有害物質)	加重和
⑮ PWSI (Public Water Supply Index)	Deiningerら (1971)	①上水源としての適否判定	価値関数+集約化関数	11 (13)	IF	加重和 加重積
⑯ CWQI (Consumer Water Quality Index)	Walskiら (1974)	①レクリエーション(水泳、魚釣)の適否判定	価値関数+集約化関数	12	EF	幾何平均
⑰ Stoner's Index	Stoner (1978)	①上水源としての適否判定 ②かんがい水源 〃	価値関数+集約化関数	上水39 かんがい21	EF+SW	加重和
⑱ PI (Pollution Index)	Nemerow & Sumitomo (1970)	①飲用、水泳利用の適否判定 ②魚釣り、農業用の適否判定 ③舟運などの適否判定	価値関数+集約化関数	14	EF	複合型
C. 水環境計画・管理指標						
⑲ PDI (Prevalence Duration Intensity Index)	Truett (1975)	①基準達成度の評価 ②計画、資源配分の管理	集約化関数	4	—	乗除形
⑳ NPPI (National Planning Priority Index)	Truett (1975)	①計画区域設定の優先度評価	価値関数+集約化関数	10	EF	加重和 ・項目に流域特性、年間投資額、PDIを含む
21 PAI (Priority Action Index)	Truett (1975)	①計画区域設定の優先度評価	〃	4	EF	加重和 ・項目に流域特性、PDIを含む
22 EES (Environmental Evaluation System)	Dee ら (1973)	①環境影響評価	〃	78	EF	加重和 指標値1000点のうち水関係が1/3を占める
23 PPI (Pollution Potential Index)	Zoetoman (1973)	①汚濁発生源の評価	集約化関数	3	—	乗除形 ・項目：人口、GNP、年平均流量
24 EPA Region VII Index	Cogger ら (1976)	①トレンド分析 ②情報伝達	集約化関数	5	—	加乗積 ・PDIの改良

* 価値関数凡例 SF：ステップ関数、IF：implicit 関数、EF：Explicit 関数、SW：on-off 型ステップ関数

表2 水環境指標の作成プロセス (内藤, 1981, 1982, 1984より作成)



関数 (explicit function) で与えられる場合と、関数形が図で与えられている場合 (implicit function) がある (内藤, 1981, 1982)。関数の求め方は、アンケート (デルファイ法, 面接, 郵送法等) により計測値と個別指標の関係 (関数形) を専門家に質問し, 結果を図上にプロットしてもらい, それを集計する方法がとられる。NSFWQI, RPI などがその例である。価値関数の決定は単に水質指標作成に限らず米国における環境アセスメントの総合評価の過程でも重要視され, この分野でも価値関数の合理的決定法に関する研究事例が多く見られる (Canter ら, 1978など)。

集約化関数の決定に続いてその重みを決定する必要がある。重みは各水質項目の総合指標への寄与度を表現する重要な因子であり, NSFWQI では, アンケート手法により, 各水質項目の重みを同時に質問することにより得ている。重みの決定には他にも一対比較法の応用や, 次に述べるような多変量解析など統計的方法の適用が考えられている。

各水質項目の個別指標値を集約化し, 総合指標とすることについてはいくつかの問題点が指摘されている。第一は, 集約化に伴い個々の水質値の持つ情報が失われることである。多項目を対象とする場合の例をあげると, DO, BOD 等の項目を取り上げ, 各項目の変換後の値を 0 (悪い) ~100 (良い) としてプロットした場合 (図1) では, 一項目 NH_4 が極度に悪いにもかかわらず加法的な集約化関数をとると, この影響が平均化されることになる (Ball, 1980)。すなわち, 総合指標では平均的な値となるが, 個別にみると水質管理上問題となる状況も生じることが有り得る。逆に荷重積など乗法型の関数をとる場合では, 個別指標値が 0 となる場合には, 指標値も 0 と定義すれば, その値には個々の指標のうち最悪の項目の影響が強く反映されることになる。このため, 汚染の比較的少ない水域では, 乗法型の指標の適用が水質管理上適当であるとの指摘も見られる。

第二に総合指標算定には, 先述のように何段階かの変換あるいは集約化過程を経る。各過程は数

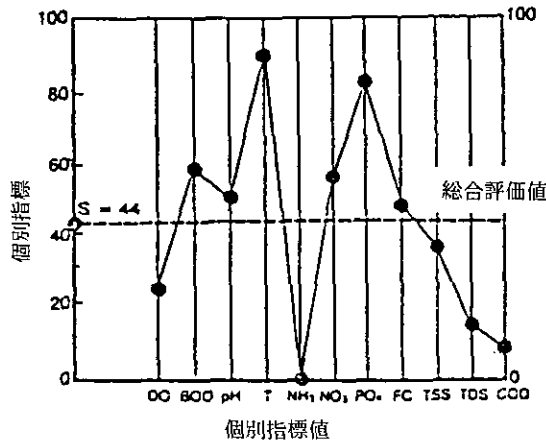


図1 集約化の問題点

学的に定式化されているのが一般的であるが、集約化関数の型とその重みなどの推定精度が、計測値の測定誤差ともあいまって、最終的に得られる指標値に系統的に伝播することが考えられる。これらの計測値の測定誤差や集約化関数の形と重みの推定誤差がどの程度、指標値に伝播するかについては Landwehr (1979) の研究例があるのみである。

2.3 統計的方法による集約化と問題点

指標作成では価値関数の定量化及び集約化関数の選択と重みの定量化が最も煩雑な過程であり、作成者の主観が入りやすい作業であるとの批判もみられる。そこで客観的な指標を算定することを目的として統計的手法を適用し、計測値から直接的に総合指標を求める方法も検討されている。統計的手法としては、① 多変量解析法を活用し、多数の項目をいくつかの総合的因子に集約し、それを意味づけする方法、② 順序統計量を活用する方法、がある。前者には因子分析を用いた WQITN, WQIPN (Joung ら, 1979) や CPI (Combined Pollution Index, 庄司ら, 1966) の例、主成分分析を用いた岡ら(1983) の例がある。後者には、順序統計量を応用した Harkin (1974) の指標及び順序統計量の合成指標が β 分布することをを用いた BFI (Beta Function Index, Schaeffer ら, 1977) などがある。

順序統計量を利用した Harkin の指標については、順序統計量を算定する際の水質データの母集団となることが指摘されている。Harkin の指標は対象水域が同一である場合は、時系列的比較は可能であり、かつ算定方法も容易であるが、水域間の絶対的な比較はできず、水環境指標として応用性、汎用性にかける。

順序統計量の計算の簡便さを生かし、上述の順序統計量本来のもつ欠点をカバーする指標として、TIN (Trophic Index Number) が提案されている (NESS, 1974)。この指標は湖沼を対象としたもの

で、湖沼をその水質項目の値の大小で順位をつける方法をその基礎としている。順位づけは、対象とする湖沼水質値が全湖沼（209）の水質値を昇順に並べたとき、上から何％に位置するかという百分率順位を用いている。この指標の算定根拠となる水質データの母集団として主たる湖沼のほぼすべてを対象とし、それを水質項目（T-N、T-P、透明度、クロロフィルa、DO、溶存態リン）の百分率順位について足し合わせることによって算定している。実際の算定では、対象とする湖沼の水質値の百分率順位が即座にわかるように水質値と百分率順位の対応表が作成されており、これにより対象湖沼の汚濁の程度がわかるとともに全国的な湖沼の比較ができることが特徴である。

主成分分析など多変量解析を利用することは、主観が入りやすい“重みづけ”を客観的に推定できる利点がある反面、順序統計量による指標化と同様、対象とするデータの母集団が代われば当然得られる重みも変化するので、対象水域を限っての利用に一般には限定される。この場合も先のTIN指標と同様全国の河川を対象とすることにより全国共通の（汎用的な）重みを算定し、各河川の水質評価を実施した事例が能登ら（1980）によって示されている。

2.4 記述的方法による集約化と問題点

水環境指標は多項目を集約し無次元化された数値（多くの場合0～100）で表現される。この数値により時系列的な比較や、地域間の比較が容易となるわけであるが、こうした定量的な方法による集約化の他にも定性的項目を取り上げる方法もみられ、一般に記述的な（descriptive）方法と称される。

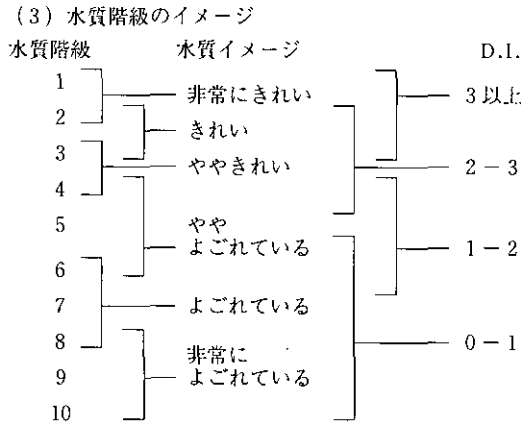
記述的な方法の事例としては、NSFWQIの応用時に見られるように、指標値が71～100では水質状態が“良好”、51～70では“普通”、0～50では“汚濁”のようにある一定範囲の指標値を水質イメージに関連させて、水質の一般的評価をより容易にすべく用いられる場合と、そもそも水質計測値のように定量化しえない、例えば水辺環境の審美性に関する項目などを個別項目として取り上げる場合に、各項目を区分分けした上で、各区分の評価点を足し合わせるなどの方法も記述的方法に分類されよう。この方法の利点は、数値で表示された水質状態を良好、普通、汚濁など3～5区分程度の水質イメージによって表現するもので、より一層直観的に水質状態の把握が可能となり一般の人々への情報伝達の方法としても優れたものであるが、水質状態をより詳細に知りたい場合には、元の指標値に戻って検討することが必要となる。記述的方法の研究事例としては、吉見（1985）の例が挙げられる。吉見の方法は表3に示したようにまず得点配分表により、各水質項目の得点を集計したうえで、さらに水質階級（10階級）に分け、各水質階級と水質イメージとの対応をはかり、指標を水質情報としてより分かりやすいものにする工夫をしている。

記述的方法は指標算定が簡便で、結果も理解しやすいものになっており、また定性的な項目も扱えるという利点があるが、項目の選定や水質の区分分けの妥当性など価値関数による方法と同様な問題が存在する。

表3 記述的方法による集約化の事例 (吉見, 1985)

(1) 得点配分表					(mg/l)	(2) 合計得点と水質階級	
得点	DO	BOD	T-P	NH ₄ -N	合計得点	水質階級	合計得点
1		≤ 1	≤ 0.02	≤ 0.05	7	1	7
2		1 < ≤ 2	0.02 < ≤ 0.15	0.05 < ≤ 0.35	10	2	8, 9, 10
3		2 < ≤ 3	0.15 < ≤ 0.25	0.35 < ≤ 0.70	13	3	11, 12, 13
4	8.0(90)* ≤	3 < ≤ 5	0.25 < ≤ 0.50	0.70 < ≤ 1.50	16	4	14, 15, 16
5	6.5(75) ≤ < 8.0	5 < ≤ 8	0.50 < ≤ 0.75	1.50 < ≤ 2.50	20	5	17, 18, 19, 20
6	5.5(60) ≤ < 6.5	8 < ≤ 10	0.75 < ≤ 1.0	2.50 < ≤ 3.0	24	6	21, 22, 23, 24
7	4.5(50) ≤ < 5.5	10 < ≤ 15	1.0 < ≤ 1.5	3.0 < ≤ 5.0	28	7	25, 26, 27, 28
8	3.5(40) ≤ < 4.5	15 < ≤ 20	1.5 < ≤ 2.0	5.0 < ≤ 7.0	32	8	29, 30, 31, 32
9	2.0(20) ≤ < 3.5	20 < ≤ 30	2.0 < ≤ 2.5	7.0 < ≤ 10	36	9	33, 34, 35, 36
10	< 2.0	30 <	2.5 <	10 <	40	10	37, 38, 39, 40

* : 20℃におけるおおよその飽和率(%)



3 水環境指標の作成事例

ここでは、河川水環境に関して、具体的に① 流量条件を考慮した指標、② 水質の確率的変動を考慮した環境基準指標について試算し、指標作成時の問題点について検討した。以下にその概要と試算例を示す。

3.1 流量条件を考慮した指標

河川の水環境を考える場合、流量は基本的要因として重要であるが、多くの場合水質のみが指標化の対象とされ、流量について考慮される例はあまり見られない。水質のみでなく流量条件をも考慮すべき水利用形態としては、① 水資源存在量(量及び質)の把握(中杉ら, 1982)、② 上水原水としての利用可能性、③ レクリエーション(水泳・水遊び、釣り、ボートなど)的利用の適否判定などが挙げられ、単に水質の良否ばかりでなく各利用形態に応じた適当量の流量が必要である。

河川流量の変動特性（流況）を表す一つの慣例的な値として、水力発電関係で用いられている流況値（濁水、低水、平水、豊水流量）があり、環境基準の達成状況の把握には原則として低水流量時が問題となっている。また水利用の点からすれば、継続的に安定した取水を行うためには低水流量～最小流量の経年的変動が問題となる。

流量を指標に取り入れる場合、表4に示したような個別の評価目的に応じた流量情報を考える必要がある。

表4 流量情報の利用

目 的	対象となる流量情報
・洪水制御 ダム設計 堤防設計	既応最大洪水流量
・水資源開発	維持流量+確保流量(取水量)
・農業用水取水	取水可能量(水利権量)
・環境基準の評価	低水流量
・総量規制	流量×濃度(=負荷量)
・水環境の維持	維持流量

流量を指標化する場合の価値関数の考え方としては、

- ① 環境維持流量（目的別）を基準としたステップ関数とする。
- ② 他の水質項目と同様な各種価値関数を設定する。
- ③ 水質との積、つまり負荷量として導入する。

方法が考えられる。ここでは、②の流量の価値関数を設定して、利用目的としてレクリエーションを対象とした指標を試算する。

河川での水泳・水遊び、ボート、釣などレクリエーションの利用に関しては、いかなる種類のレクリエーションを対象とするかによって要求される水質は異なる。レクリエーションの利用を水の利用の仕方により分類すると、①直接水に触れる利用（水泳・水遊び、渡河など）、②水には直接触れないが、水質の程度、流量の多少が少なからずその利用に影響するもの（ボート、釣り、鳥の観察など）に分類できよう。さらにレクリエーションでは、水辺の“場”としての状況や、アクセシビリティなどもその評価に関連すると考えられる。

〔例：多摩川におけるレクリエーション的な水利用の評価指標〕

以下では、特に水質及び流量に関する項目を取り上げ、利用目的として直接的利用として、『水泳、水遊び』、間接的利用として『ボート利用』を対象とした水利用指標を作成し、多摩川について試算を行った。取り上げた項目は既存の研究例及び利用しうる水質データを勘案して、DO、pH、水温、リン酸、硝酸塩、SS、ABS、大腸菌群数、流量の9項目である。表5は、各項目について設定

した価値関数及び設定の根拠について示したものであり、図2にその関数型を示した。図2には合わせて既存の水環境指標で用いられる価値関数を比較のために示している。

集約化関数としては、Walskiら(1974)の指標と同様に、異常値による影響が少ない、幾何平均値を採用した。また、重みについても、各利用目的に対応して設定する必要があるが、ここでは重みを等しいとしている。

$$X = \left[\prod_i^9 X_i \right]^{1/9}$$

水質測定地点では水質測定時の流量データより流況値を算定することも考えられるが、水質調査は比較的流況の安定した時期(低水流量期)が選ばれるため、河川の年間の流況を反映しているわけではない。流量を個別項目とし指標化に加える場合には、年間の流況や経年的な流況を知る必要

表5 水質・水量を考慮した水利用指標(レクリエーション)の個別項目

	項目	水 泳	ボ ー ト	根 拠
一般的水質項目 (水生生物への影響など)	DO	$I = -\frac{1}{100}(X-100)^2 + 100$ X:飽和率	←	・有機物による汚濁の程度 ・藻類の増殖量
	pH	$I = 0 \quad X < 5$ $= 25[4 - (X-7)^2] \quad 5 \leq X < 9$ $= 0 \quad X \geq 9$	$I = 0 \quad X < 2$ $= 4[25 - (X-7)^2] \quad 2 \leq X < 12$ $= 0 \quad X \geq 12$	・河川水の緩衝能を越えるpHは工場排水などの影響大 ・目への刺激の程度(水泳)
	水 温	$I = 0 \quad X < 15$ $I = -\frac{1}{4}(X-25)^2 + 100$ $I = 0 \quad 15 \leq X < 35$ $I = 0 \quad X \geq 35$	$I = 0 \quad X < 0$ $I = \frac{1}{4}(X-20)^2 + 100$ $I = 0 \quad 0 \leq X < 40$ $I = 0 \quad X \geq 40$	・水泳の適温(15~35℃)
	リン酸塩	$I = 100e^{-0.6X}$	←	・農地排水・都市排水の影響の程度 ・NSFWQIと同じ
健康影響	大腸菌群数	$I = 100e^{-0.767\log X}$	$I = 100e^{-0.243\log 10X}$	・海水浴場の基準(<1000MPN / 100ml)
	硝酸塩	$I = 100e^{-0.16X}$	←	・幼児に対する毒性(>10mg/l)
外観など	SS	$I = 100e^{-0.02X}$	←	・Walskiの指標と同じ
	ABS	$I = 100e^{-4.61X}$	$I = 100e^{-1.38X}$	・発泡による美観低下 ・水道原水基準<0.5mg/l
	流 量	平水流量時 100、濁水、豊水時 0の上に凸の2次曲線	←	・最近10~20年間の濁水、平水、豊水流量 ・平水流量を維持流量(レクリエーション)とする

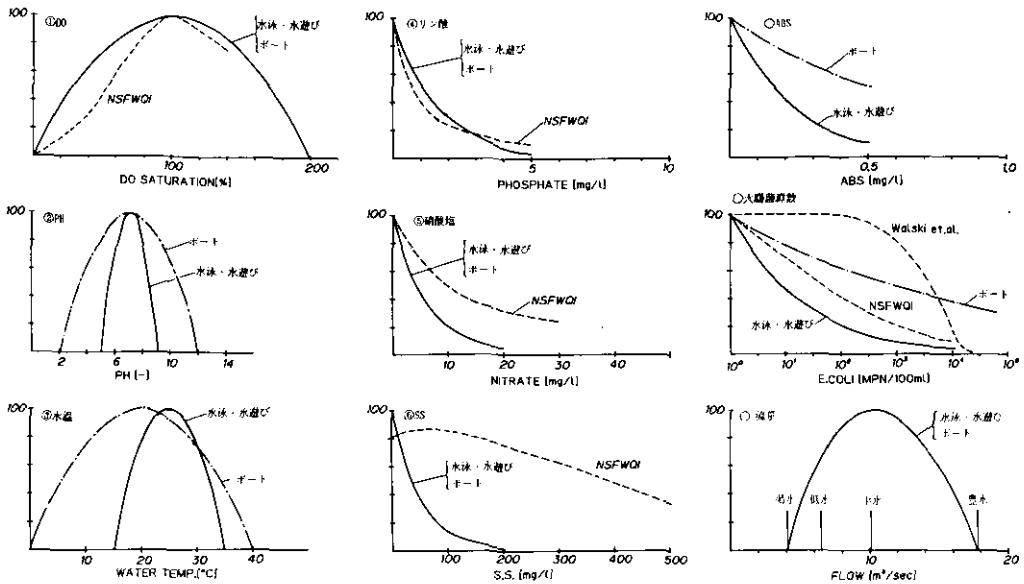


図2 レクリエーション指標に用いた価値関数

があり、流量が長期にわたり観測されている地点のみに限定されてくる。対象とした多摩川本川について、比較的長期にわたり流量データが整備されているのは、調布橋、多摩川原橋の2箇所である。

ここでは、流量データ及び水質データが整備されている多摩川原橋地点を対象に先述の指標を試算した。試算結果を水泳、ボート利用について隔年について示したのが図3である。

水泳・水遊びを対象とした指標では、1～3月、12月は主として水温の適温を15～35℃に設定しているために、水泳・水遊びには不適となっている。4月～11月では、概して50～60前後の値をとっているが、必ずしも水泳に適した状況であるとは言えない。昭和55年、57年では7～10月では値が0の月が多く、水泳・水遊びなど水に直接接触する利用には極めて不適な状況である。ボートを対象とした指標では、冬場でも40～50点前後の値をとっているが、昭和55年、57年では水泳・水遊びの指標と同様、7～10月に不適であることがわかる。

3.2 水質の確率的変動を考慮した環境基準評価指標

現行の環境基準は、公共用水域の水質測定計画に基づいて実施されるほぼ月1回の水質調査データにより、基準の適合性が判定される。具体的には、年間の非超過確率75%値と基準値との対応を見ているわけであるが、75%のみでは年間12個のデータの情報を十分活用していないこと、さらに河川水質は測定地点、時期により大きく変動し、一般にある河川では幾つかの基準点が設定され、各々基準が異なるために基準を満たしている地点、時期もあれば、そうでない時期もあり、こうし

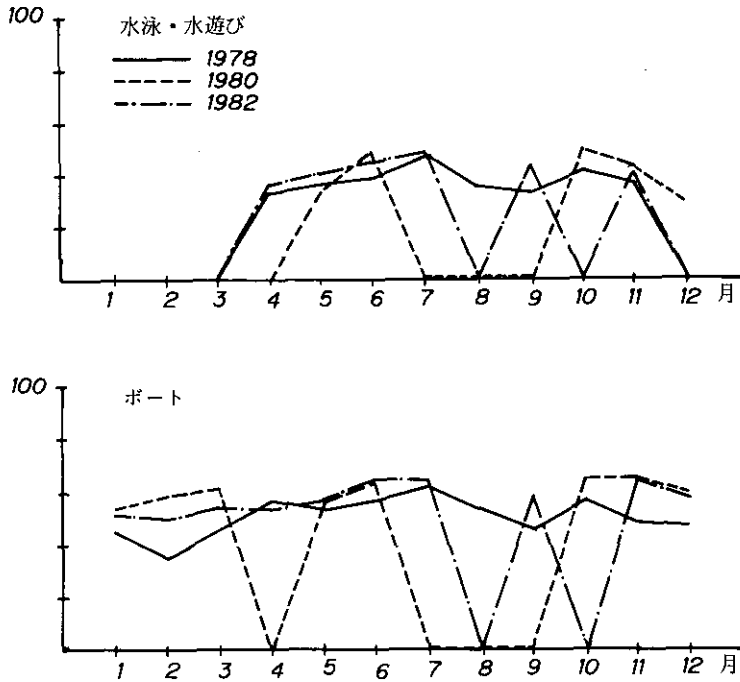


図3 レクリエーション指標の季節変化

たより詳細な情報は75%値といった代表値では表現できない。

また環境基準適合といっても、極わずか基準値を下回っている場合では、測定条件、精度などを考慮すれば水質管理上要注意の状況にある。

こうした、基準の適合度についてより詳細な検討を目的とした指標としてはPDI (Prevalence Duration Intensity index) がある (Truett, 1975)。PDI は、

$$PDI = \frac{P \times D \times I}{M}$$

で定義される。ここでMは河川の総延長、Pは基準不適合の河川長、Dは基準不適合の季節数であり、基準不適合の期間が3, 6, 9, 12か月に応じて、0.4, 0.6, 0.8, 1.0の値が考えられる。Iは汚濁強度を示し、三つの個別項目(生態影響, 水利用者への影響, 審美的影響)の和として表される。各々の項目では、その程度に応じて(0.1, 0.3, 0.4, 0.5), (0.1, 0.2, 0.3), (0.1, 0.2)の記述的な方法による点数づけがなされ、その合計として0.3~1.0の汚濁強度がとられる。

PDI指標は、一般的な指標作成手順に照らし合わせてみれば、まず項目集約としての汚濁強度に加え、地域集約としての基準を超えた河川長、時間集約としての基準を超えた季節数を含んでいると考えられる。

〔例：PDIの基本的考え方を利用した水質指標SEI (Stochastic Evaluation Index) の試算〕

水質測定地点の年間の水質変動を確率分布としてとらえ、それと環境基準との関係を考えて図4のように基準を超える確率(超過確率)が少なからず生じる場合が多いと考えられる。その超過する頻度を確率により評価しそれを河川沿いの測定地点について足し合わせることにより指標化を行った。

$$SEI = \sum_i^{P_0} SEI_i = \sum_i^{P_0} P_i (X_i > X_{ic}) / P_0 \times 100$$

ここで、 $P_i (X_i > X_{ic})$: 年間の水質累積分布

X_i : 水質値 (例えばBOD)

X_{ic} : 基準値

P_0 : 基準地点数

基準項目としてBODを取り上げ、多摩川本川に適用した結果を図5に示した。図には併せて現行の75%値による評価結果を示している。前述のように、75%値が基準値付近にある場合では、僅かの値の相違により、判定結果が異なることがあり、例えば昭和57年の地点5、7では75%値がほぼ基準値5 mg/l付近にあるが、地点5では不適合、地点7では適合の判定となり、単に判定結果だけでは、そうした状況はわからない。一方、 SEI_i では、地点5は0.52、地点7は0.31と75%値で適合の評価結果がでていても、 SEI_i で見ると30程度の値を示し、年間 $365 \times 0.3 = 109.5$ 日は環境基準不適合であったことが推定できる。

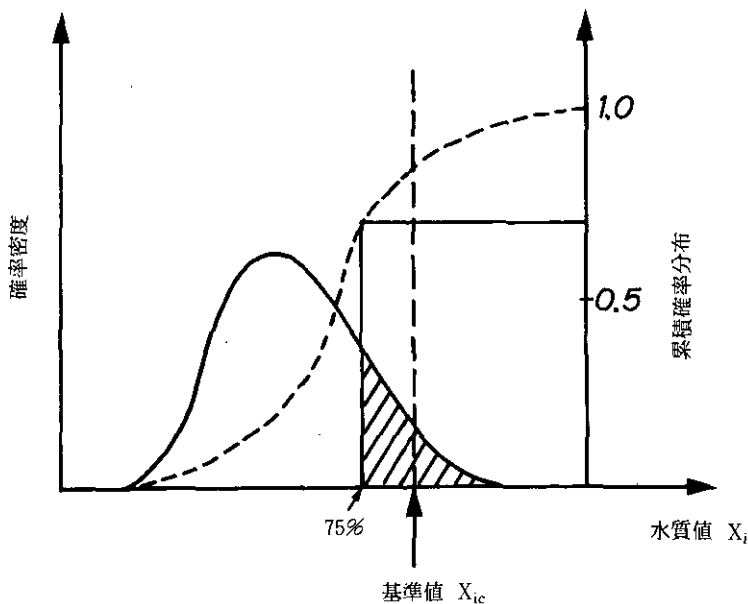


図4 基準値と水質分布との関係

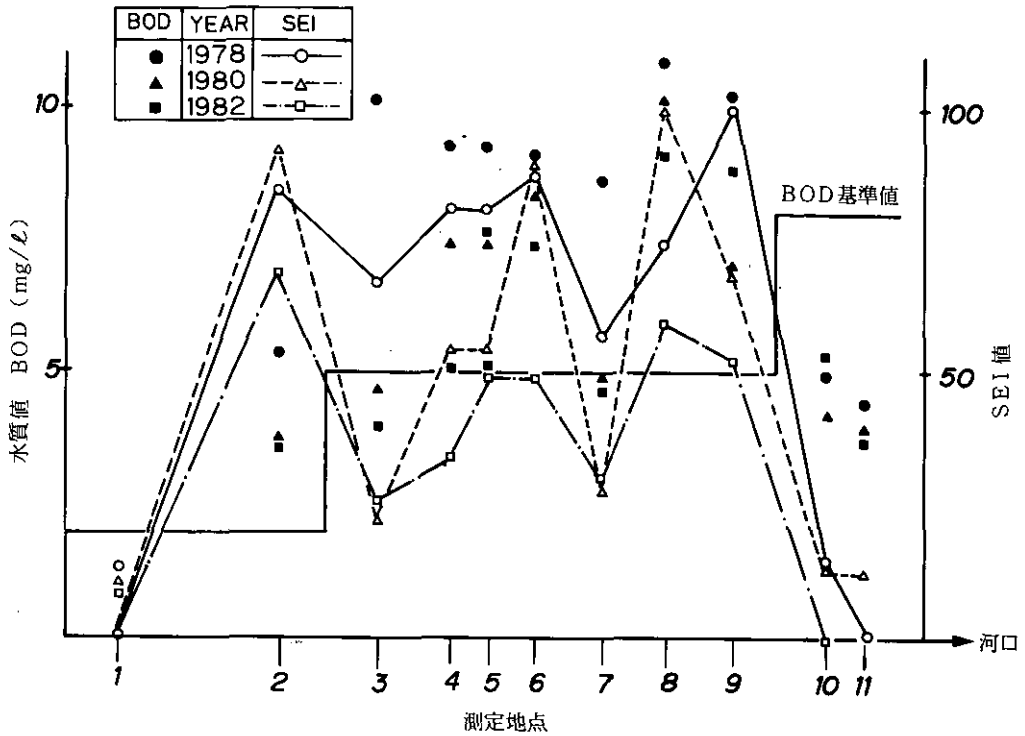


図5 SEI値と75%値の空間的変化

各観測地点のSEI_iを荷重和(SEI)とし、河川全体を評価する指標化を行えば、基準の適合率で言えば、昭和53年から57年にかけて、適合率は5/13, 5/13, 7/13, 6/13, 7/13に対して、PEIは0.51, 0.44, 0.42, 0.33, 0.29となり、基準適合率に比べ経年的傾向が明確になる。

SEIは、年間12ヶ月の月データの度数分布を利用したものであるが、各データの流量条件は必ずしも一定してはいないことから、改良の方向としては、流量条件を一定とすることが考えられる。

3.3 指標作成上の具体的問題点

入手可能な河川水質データ、流量データを用いてSEI、水泳、ボート指標を作成し、多摩川を例として示した。利用データが水質、流量に限定され、水辺などの“場”についての情報は考慮していないが、指標作成上の問題点を挙げてみれば、

① 水質データについては、水質の希釈効果などを考えれば、得られた水質データは水質測定時の流量条件が必ずしも一定ではない。また算定に利用しうる水質項目も既存のデータを利用する限り、項目の制約、及び欠測値の存在など不都合な点が多い。このため既存のデータ（例えば、公共用水域の水質データ）を活用しようとしても、算定結果として指標の時間的・空間的連続性が保たなくなる可能性がある。

② 流量データについては、基準項目測定については測定時の流量測定が義務づけられていないために、水質—流量との対応が必ずしもとれていない。流量についても利用しうる長期のデータは一級河川でも数地点に限られ、流量を考慮した指標算定が可能な地点が限定される。

③ 水泳・水遊び、ボートを対象とした指標では、価値関数を設定したが、多くは諸外国の事例を参考にした。特に水質—レクリエーション的利用の関係などは、研究事例が少なく指標化の根拠が現段階では不十分な状態であり、結果的に得られる指標の意義も絶対的なものではない。

4 おわりに

既存の水環境指標について整理するとともに、利用可能な水質・流量データを利用して指標を試算した。水環境指標の作成方法は、① 価値関数による方法、② 記述的な方法、③ 統計的な方法に概ね分類できるが、各々一長一短がある。

価値関数による方法は、最もオーソドックスな方法であるが、一般に価値関数や集約化関数の重みの決定に関する研究事例も少なく、このためにデルファイ法などのアンケートを活用したり、経験的に決定しているのが現状である。また、審美性など定量化しえない項目については導入することが困難である。

② の記述的方法は、審美性、景観などの人間の感覚による定性的な項目も考慮することができるが、一方、その判定根拠が、測定者の主観に支配され易いことが挙げられ、判定基準をより明確化することが必要である。このためには①と同様に定性的な評価項目を定量化する方法論に関する研究が必要である。

③ の統計的方法については、客観的な指標化としては望ましい面もあるが、主としてデータの母集団をどの範囲（空間的、時間的）にとるかによって指標算定式が異なる可能性があり、また得られた結果の解釈も①、②ほど明確ではない。このため、①、②の指標化と統計的方法の関係をあらかじめ明らかにしておく必要がある。

最後に、水環境指標の作成は、まず利用目的を設定した後に、水質データやその他の関連データが収集され、指標が算定されるのが理想的であるが、河川について言えば、水質・水量データがある程度整備されていないと、実際に試算しようとしても非常に労力、経費を要する。このため、水質データベースなど既存の水質データを体系的に整理することが重要であり、同時にデータベース化する水質の項目、精度等も十分検討する必要がある。

参 考 文 献

- Ball, R. O. and R. L. Church (1980): Water quality indexing and scoring. Proc ASCE, EE4, 757-771.
Benjamin, J. R. and C. A. Cornell (1970): Probability, Statistics and Decision for Civil Engineering, McGraw-Hill.

- Brown, R. M., N. I. McClelland, R. A. Dininger and R. G. Tazer (1970): A water quality index-do we dare? . Water Sewage Works. 339-343.
- Canter, L. W. and L. G. Hill (1979): Handbook of Variables for Environmental Impact Assessment, Ann Arbor, Michigan.
- Dee, N., J. K. Baker, N. L. Drobny, K. M. Duke, I. Whiteman and D. Fahringer (1973): An environmental evaluation system for water resource planning. Water Resour. Res., **9**, 523-535.
- Dinius, S. H. (1972): Social accounting system for evaluating water resources. Water Resour. Res., **8**, 1159-1177.
- Harkin, R. D. (1974): An objective water quality index. J. WPCF, **46**, 58-591.
- Horton, R. K. (1965): An index number system for rating water quality. J. WPCF, **37**, 300-306.
- Joung, H. M. *et al.* (1979): A generalized water quality index based on multivariate factor analysis. Environ. Quality, **8**, 95-100.
- Landwehr, J. M. (1979): A statistical view of a class of water quality indices. Water Resour. Res., **15**, 460-468.
- McClelland, N. I. (1974): Water Quality Index Application in the Kansas River Basin. U. S. EPA Report, EPA-907/9-74-001.
- 内藤正明 (1981): 環境指標の整理と体系化の試み. 環境情報科学, **10**(1), 61-69.
- 内藤正明 (1982): 環境指標の体系的整備. 公害と対策, **18**, 953-962.
- 内藤正明・西岡秀三編 (1984): 都市域及びその周辺の自然環境等に係わる環境指標の開発に関する研究. 国立公害研究所研究報告, 第74号, 161p.
- National Eutrophication Survey Staff (1974): An Approach to A Relative Trophic Index System for Classifying Lakes and Reservoirs, National Environmental Research Center, PB-242-336.
- Nossa, G. A. and M. D. Timothy (1978): The Computation and Graphical Display of the NSF Water Quality Index from the STORET Data Base Using the Integrated Plotting Package, 2nd Ed., U. S. EPA Report, EPA-902/2-79-003.
- 能登勇二 (1982): 河川水質の総合評価に関する研究Ⅲ. 富山県立短期大学研究報告, **15**, 21-29.
- 岡 敬一・吉見 洋・井口 潔・小森谷廣子 (1983): 総合水質指標による神奈川県内河川水質の解析. 水質汚濁研究, **6**, 407-413.
- Ott, W. R. (1978): Environmental Indices Theory and Practice. Ann Arbor Science, 352p.
- Ott, W. R. (1978): Water Quality Indices: A Survey of Indices used in the United States, U. S. EPA Report, EPA-600/4-78-005.
- Prati, L., R. Pavanello and F. Pesarin (1971): Assessment of surface water quality by single index of pollution. Water Res., **5**, 741-751.
- Schaeffer, D. J. and K. J. Janardan (1971): Communication environmental information to the public: an new water quality index. Environ. Educ., **8**, 18-26.
- Shoji, H., T. Yamamoto and T. Nakamura (1966): Factor analysis on stream pollution of the Yodo river system. Air Water Pollut. Int. J., **10**, 291-299.
- Truett, J. B., A. C. Johnson, W. D. Rowe, K. D. Feigner and L. J. Manning (1975): Development of water quality management indices. Water Res. Bull., **11** (3), 436-448.
- Walski, T. M. and F. L. Parker (1974): Consumers water quality index. Proc. ASCE, EE3, 593-611.

原沢英夫・内藤正明

Yu, J. K. and M. F. Fogel (1978): The development of a combined water quality index. Water Res. Bull.,
14, 1239-1250.

吉見 洋 (1985): 河川水質項目の階級化と総合化手法について. 用水と廃水, **27**, 247-252.

2. 2 グローバルスケールにおける大気汚染レベルを 評価するための新しい指標の提案 A New Index for the Global Air Pollution

溝口次夫¹・甲斐沼美紀子²・内藤正明²

Tsuguo MIZOGUCHI¹, Mikiko KAINUMA² and Masaaki NAITO²

要 旨

人為起源による汚染が著しい地域ではSO₂, NO_xなどの主要汚染物質の濃度あるいはそれらに重みをつけた相加平均, 相乗平均などが複合汚染指標として, 従来から大気汚染レベルの評価に用いられている。しかし, 非汚染地域においてはSO₂, NO_xなどの濃度は, 通常の測定機では検出困難であるため, 指標とはなり得ない。

O₃(O₃)はバックグラウンド地域においても十分検出可能な濃度範囲である。O₃は汚染地域においては昼間濃度が高く, 夜間低くなるが, 非汚染地域では昼間と夜間の濃度差が小さい。この現象を利用して, O₃濃度の日変動の大きさを求めるモデルを作成し, これをグローバルスケールの大気汚染レベルの評価指標として提案した。O₃の日変動値と同時に測定されたSO₂, NO₂などの日平均値との相関は非常に高く(>0.9)大気汚染レベルの指標として十分有効であることが確認された。

また, エアロゾル中の金属成分についても同様の検討を行った結果, バナジウム(V)が指標として有力であるとの見通しが得られた。

Abstract

Air pollution level is generally represented by the concentration of such pollutants as SO₂, NO_x, etc. in anthropogenic polluted areas. Whereas, in unpolluted areas, they cannot be used as an index to evaluate air pollution level because such major pollutants as SO₂, NO_x are mostly under the detectable limit by the currently available instruments.

Ozone is the gaseous substance that can sufficiently be detected in a clean atmosphere. Ozone concentration is higher in daytime than that in night at a polluted site, while there is

-
1. 国立公害研究所 計測技術部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Chemistry and Physics Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

little difference between O_3 concentration in daytime and that in night at a clean site.

Making use of this feature, diurnal variation of O_3 concentration was adopted as an index to estimate the global air pollution level. The correlation coefficient is more than 0.9 between the value of diurnal variation of O_3 concentration (PL) and a daily mean value of SO_2 , NO_2 , etc. measured at selected stations. It would be confirmed that the value (PL) was an effective index for estimating air pollution level in the global scale.

Analysis of heavy metals in aerosols measured in all the sites of Japan gave us a suggestion that vanadium (V) would be one of the reliable indices of global air pollution.

1 はじめに

従来から大気汚染の指標として種々のものが提案されているが最近、地球規模の環境汚染の重要性が認識され、バックグラウンド地域の大気汚染レベルを的確に評価しうる指標を作成する必要性が生じている。

大気汚染成分として、従来から重要視されている亜硫酸ガス、窒素酸化物など工場、自動車などから排出される代表的な人為起源の物質は、もちろん、それら自身の濃度がその地域の大気汚染レベルを表現している。しかし、亜硫酸ガス、窒素酸化物などの濃度は非汚染地域においては、最新の測定機でも検出困難なレベルである。したがって、これらの地域をも含めた大気汚染レベルを的確に評価するための新しい指標を選定しなければならない。筆者らが過去数年間実施した我が国の非汚染地域、例えば、三陸海岸、中部山岳地域などの亜硫酸ガス、窒素酸化物などの濃度は検出限界付近であった (Mizoguchi ら, 1985)。また、太平洋、日本海上の離島などはさらに清浄な地域と考えられる。

本研究は非汚染地域の大気汚染レベルを評価するための指標を見つけ出し、その計数化を行うことを目的としたものである。

2 指標の選定

ここで目的とする非汚染地域の大気汚染レベルを評価できる指標を見いだすに当たって基本的に次の考え方によった。

- 1) 単一成分で指標となること
- 2) サンプルング及び分析ができるだけ容易な成分であること。
- 3) 広い範囲の代表性をもつ指標であること。
- 4) 計数化が行える指標であること。

これまでに、このような目的で検討されている指標には次のようなものがある。

- i) 大気エアロゾル中の元素状炭素 (Cel) と有機系炭素 (Cor) の比率¹⁾ (Kelly ら, 1982)
- ii) 大気エアロゾルの粒径分布 (FPM と CPM の比率)²⁾
- iii) 降雨中の成分濃度 (Petrenchuk, 1977), (玉置元則ら, 1985)
- iv) 植物指標 (あさがお, きんもくせいなど)

このうち, i), ii) は測定が容易ではなく, iv) は計数化が困難なためここでは, 一応対象から除外した。

サンプリングの簡便性などから, PbO₂法による硫黄酸化物, 降下ばいじんなども指標として考えられるが, ここでは, さらに精度の高いものを選定することとした。

現在までに, 種々の指標を検討してきたが, 次の項目が有効な指標候補としての条件を満たすものとして見いだされた。

- 1) オゾンの日変動係数
- 2) エアロゾル中の特定の元素の量
- 3) 雨水中の成分及び雨水中の成分の変動

このうち, 3) については今回は詳しい検討を行っていない。

3 指標成分とその解析

3.1 オゾン (オキシダント) の日変動係数

オゾン (O₃) は亜酸化窒素 (N₂O), メタン (CH₄), アンモニア (NH₃) などとともに, 非汚染地域においても, ほほ一定の濃度を示す成分の一つである。しかも N₂O, CH₄ などと異なり大気汚染物質としても, 都市部とその周辺においては, 夏季の光化学スモッグの原因物質として重要視されている。

オゾン (オキシダント) は汚染地域においては昼間, 紫外線の存在で窒素酸化物 (NO_x) と炭化水素類 (HC) などとの光化学反応によって二次生成物として増加するが, 夜間は大陽エネルギーの供給が途絶えるため, 二次生成物としては生産されなくなる。逆に, NO_x, SO_x, エアロゾルなどの汚染物質との反応によって消滅する。したがって, オゾン (オキシダント) 濃度は汚染地域では一般的には, 昼間に高く, 夜間に低い一山型の典型的な日変動パターンを示す。一方, NO_x, HC, SO_x などの汚染成分が少ない非汚染地域においては昼間の二次生成物としての発生も極めて少なく, 夜間も反応する汚染物質が少ないため, そのための消滅量も小さくなる。植物, 地表面などへの吸着による消滅だけとなる。したがって, 大気の清浄なバックグラウンド地域ほど, 日変動が小さいと言える。以上をまとめるとオゾン (オキシダント) の環境中でのマスバランスは次式で表せる。

1) Cel: elemental carbon Cor: organic carbon

2) FPM: fine particulate matter CPM: coarse particulate matter

$$\begin{aligned}
 (\text{対象とする環境中}) &= \left[\begin{array}{l} \text{成層圏由来} \\ \text{のオゾン} \end{array} + \begin{array}{l} \text{対流圏で発生} \\ \text{するオゾン} \end{array} \right] \times \\
 &\left[1 - \left(\begin{array}{l} \text{対流圏で反応により} \\ \text{消滅するオゾン} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{対流圏で移流, 拡散に} \\ \text{より希釈されるオゾン} \end{array} \right) \right. \\
 &\quad \left. - \left(\begin{array}{l} \text{地表面, 植物等に} \\ \text{吸着されるオゾン} \end{array} \right) \right] \quad (1)
 \end{aligned}$$

(1)式表現している例として、我が国のバックグラウンド地域の代表地点として選んだ八甲田山々頂付近におけるオゾン濃度の日変化と人為汚染の影響の大きい大阪府下の八尾保健所におけるオキシダント濃度の日変化を図1に示す。

(1)式からオゾン（オキシダント）濃度の日変動が大きい地域ほど大気汚染が大きい地点と考えられるが、その評価モデルとして（2）式を提案した（Mizoguchiら, 1985）。

$$PL = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_i}{\mu_i} \right) \quad (2)$$

PL：大気汚染指標で、この値が大きい程汚染が進んでいることを示す。

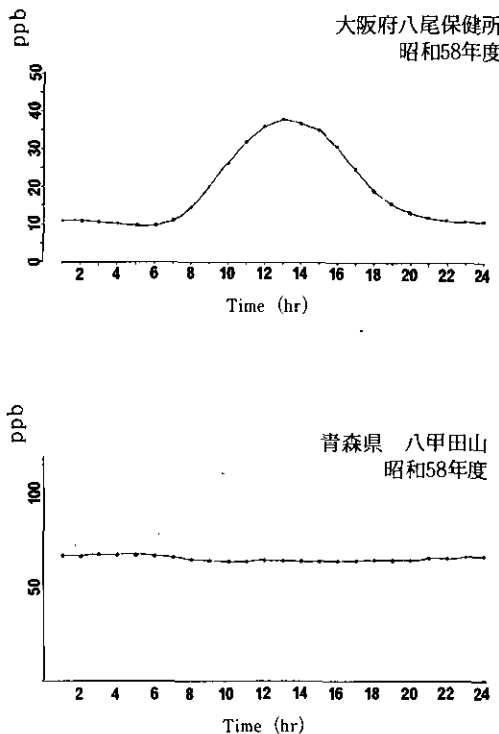


図1 オゾン（オキシダント）濃度の日変化

n : 測定日数

σ_i : オゾン濃度の1時間値の1日の標準偏差

\bar{x} : オゾン濃度の1時間値の1日平均値

我が国の非汚染地域と推定される各地点で測定したオゾン濃度と比較のために、別に入手したオゾン（オキシダント）濃度から（2）式によって求めたPL値を表1に示す。また、PL値が大気汚染レベルを的確に評価しているかどうかを判断するために、同時期にSO₂、NO₂の測定データのあるところはそれぞれのその間の平均値を同時に記載した。SO₂、NO₂それぞれの平均値及び複合汚染値としてそれらの平均値をそれぞれの環境基準値で除して標準化した後、相加平均した値 $MP1 = 1/2 \left(\frac{SO_2 + NO_2}{40} \right)$ を大気汚染レベルと考え、PL値との相関係数及び回帰直線を求めた。その結果を表2及び図2に示す。これによると、相関係数はいずれの場合も0.9以上あり、特に、NO₂との相関係数は0.95を越えている。

データが少ないため、この結果だけから結論することは危険であるが、PL値は大気汚染レベルを評価する指標として極めて有力な項目であるとの確信を得た。

表1 各地点のオゾン（オキシダント）濃度とPL値

(単位：ppb)

区分	項目 測定地点	測定期間	オゾン(オキシダント)濃度					二酸化硫黄濃度	二酸化窒素濃度
			最大値	最小値	平均値	σ_n	PL	平均値	平均値
I	岩手県三陸町	1980.10.8~11	52	12.5	36.1	5.80	16	1.2	1.5
	茨城県緒川村	1980.11.17~21	33	2	13	8.42	65	4.2	4.2
	八溝山	1981.6.29~7.26	60	15	31.4	8.45	27	—	—
	黒部ダムサイト	1981.8.17~21	48	13	28.9	8.57	30	3.0	—
	萩形ダムサイト	1981.10.6~9	48	10	28.0	11.20	40	(12.2)	1.6
	矢木沢ダムサイト	1982.7.26~30	44.0	7.0	26.3	8.67	33	(3.6)	(5.0)
	広島県高野町	1982.7.13~8.11	49	6	24.	7.59	32	2.1	2.2
	茨城県筑波	1981.9.27~30	39.0	2.0	18.0	12.40	69	7	10
II	大阪市東成区	1979.6.9~13	47.6	1.0	16.0	17.80	111	13.9	33.3
	大阪府池田市	1983.4.~1984.3	170	0	28.8	16.5	57	5	13
	大阪府八尾市	〃	210	0	18.8	16.1	86	9	28
	大阪府堺市	〃	123	0	21.7	16.5	76	7	22
	大雪山	1981.4.19~28	87	35	55.5	5.2	10	—	—
	南極昭和基地	1982.3.18~24	27	23	24.4	0.66	3	—	—
	八甲田山	1983.4~1983.3	113	2	44.7	2.6	5	—	—
	乗鞍岳	1983.7~1984.3	90	5	46.3	2.4	8	—	—

- 注 1) 区分Iは筆者らの測定データである。区分IIは他からの入手データである。
 2) 萩形ダムサイトのSO₂濃度は自然起源によるものと思われる。
 3) 矢木沢ダムサイトのSO₂、NO₂濃度は局所的な人為起源の影響を受けている。

表2 PL値と各汚染物質との相関分析結果

Y	X	相関関係	回帰直線
二酸化硫黄濃度 平均値	PL 値	0.9	$y=0.363x-8.98$
二酸化窒素濃度 平均値		0.956	$y=0.126x-1.75$
MPI 値 ^(注)		0.928	$y=1.22x-26.8$

$$\text{注) } MP1 = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{二酸化硫黄濃度} + \text{二酸化窒素濃度}}{40} \right)$$

3.2 エアロゾル中の特定元素の濃度

大気エアロゾル中の元素成分は、最近、汚染成分の起源を推定するためなどによく利用されている。また、エアロゾル中の炭素成分、すなわち、全炭素量 (Ctotal) または元素状炭素 (Cel) と有機系炭素 (Cor) の比率が大気汚染レベルの指標などに用いられている (Kelly ら, 1982)。

しかし、本研究では、2. で述べているように、指標の条件として、測定が容易である項目を対象としている。Cel, Cor はまだ分析条件等も十分確立されていない。したがって、今回は対象から除外することとした。

1) 成分分析法

大気エアロゾルの成分分析法には現在次のようなものがある。

- i) 放射化分析法
- ii) PIXE 法
- iii) 原子吸光々度法
- iv) けい光 X 線分析法
- v) プラズマ発光分光分析法
- vi) イオンクロマトグラフ法
- vii) 元素分析法

このうち、放射化分析法は少量のサンプルで多元素同時に分析できるため、環境大気中のエアロゾルの元素分析によく用いられている。しかし、原子炉による試料の照射の問題も含めて、簡単に利用できるものではない。また、得られた測定データの処理等もかなり習熟する必要がある。また PIXE 法も現状では放射化分析法と同様の問題がある。

原子吸光々度法は最も普通に用いられている手法であるが、単一元素ごとに分析する必要があること、前処理に時間がかかることなどの問題がある。けい光 X 線分析法にはエネルギー分散型と波長分散型とがあり、多元素同時分析が可能であるが、一般に感度はあまりよくない。非破壊分析法

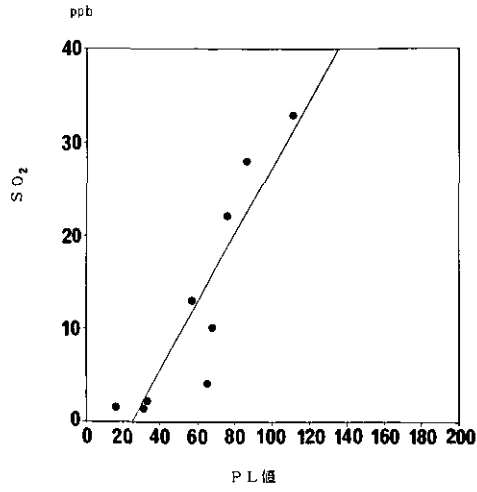


図2(1) PL値とSO₂との散布図

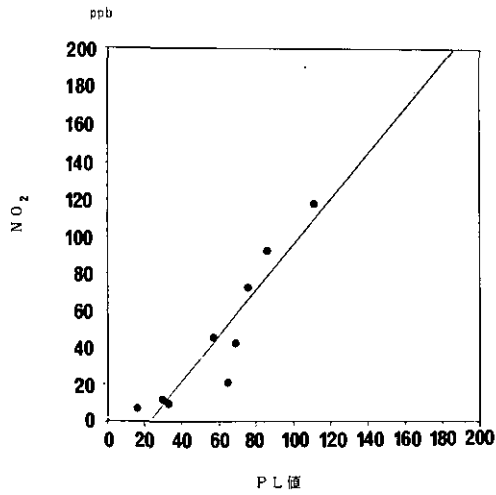


図2(2) PL値とNO₂との散布図

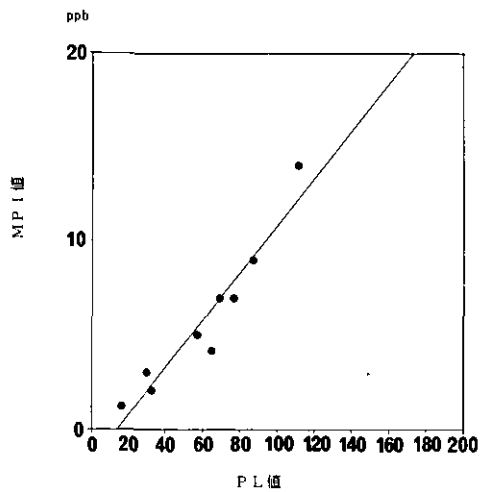


図2(3) PL値とMPI値との散布図

であるため、前処理などでの利点を有しているが、標準試料の作成が問題であろう。装置はよく普及している。

プラズマ発光分光分析法はやはり多元素同時分析法であり、感度も良いが、現状ではかなり高価なため、特定の機関しか保有していない。また、原子吸光度法と同様に前処理に時間が必要である。

イオンクロマトグラフ法は陰イオン (SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- , Cl^- など) 及び陽イオン (NH_4^+ , Na^+ , Ca^{2+} など) の同時分析が可能な分析法である。また、前処理も比較的簡単であり、ほとんどの分析機関で使用されている。

元素分析法は主として C, H, N の分析に用いられる。エアロゾル中の炭素成分の分析などに用いられている。

以上の分析法の中から、ここでは、前処理に時間を必要としないという利点をもつ、けい光 X 線分析法で分析可能な元素中から指標成分を選定することを試みた。

2) 対象とする元素及び使用データ

けい光 X 線分析法で比較的感度の良い元素の中から、人為起源による元素として、Cu, Fe, Mn, Zn, V を選定し、これらの元素の汚染レベル指標としての価値を次のデータによって解析した。

全国の自治体が大気汚染防止法に基づいて行っている大気汚染の常時測定ステーションの測定値を、環境庁が毎年「一般環境大気測定局測定結果報告」にまとめているが、その中から国設ステーション10地点(図3)を選び、その測定データを解析した(環境庁, 1982~1984)。

使用したデータは昭和56年度~58年度までの3か年間の測定値で、項目は SO_2 , NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$), SPM (浮遊粒子状物質) 及び SPM 中の金属成分 (Cu, Fe, Mn, Zn 及び V) の分析結果である(ただし、ここでの金属成分の分析結果は放射化分析法によって得られた値である)。

大気汚染レベルの指標として、 SO_2 , NO_x 及び SPM それぞれの平均値、及びそれらの複合汚染の指標として、それぞれの平均値を環境基準値で割って(ただし、 NO_x は $\text{NO}_2 + \text{NO}$ として 50ppb とした) 標準化した後、相加平均した値 MP2 を (3) 式で求めた。

$$\text{MP2} = \frac{1}{3} \left(\frac{\text{SPM}}{100} + \frac{\text{SO}_2}{40} + \frac{\text{NO}_x}{50} \right) \quad (3)$$

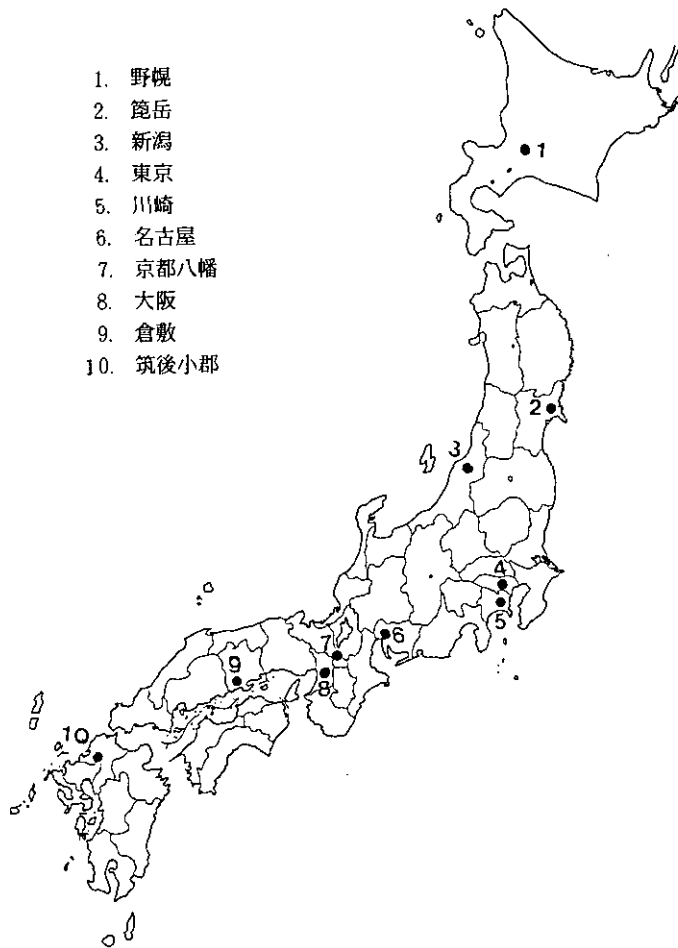
ここで、SPM: 浮遊粒子状物質濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

SO_2 : 二酸化硫黄濃度 (ppb)

NO_x : 一酸化窒素+二酸化窒素濃度 ($\text{NO} + \text{NO}_2$) (ppb)

3) 解析結果とその考察

SO_2 , NO_x , SPM それぞれの月平均値と SPM 中の Cu, Fe, Mn, V 及び Zn の月平均値との相関



1. 野幌
2. 籠岳
3. 新潟
4. 東京
5. 川崎
6. 名古屋
7. 京都八幡
8. 大阪
9. 倉敷
10. 筑後小郡

図3 選定したステーションの配置図

分析の結果は表3のとおりである。また、それぞれの散布図は図4のとおりである。

次にMP2値とCu, Fe, Mn, V及びZnとの相関分析の結果は表4のとおりである。また、その散布図は図5のとおりである。

以上の結果からエアロゾル中のバナジウム (V) が最も相関の高い元素であることが判明した。次いで、Fe, Mn及びZnが相関が高く、Cuが最も相関が低いという結果が出た。しかし、Vは、けい光X線分析法ではあまり高感度が得られないため指標元素として適当かどうかはさらに、検討する必要がある。

表3 対象元素とSO₂, NO_x, SPMとの相関分析結果

Y 軸	X 軸	相関係数	回帰直線
浮遊粒子状 物質	Cu	0.38	$Y=0.10X+27.42$
	Fe	0.68	$Y=0.02X+19.29$
	Mn	0.62	$Y=0.23X+21.20$
	V	0.74	$Y=1.87X+11.57$
	Zn	0.63	$Y=0.04X+20.64$
二酸化硫黄	Cu	0.49	$Y=0.04X+6.40$
	Fe	0.63	$Y=0.01X+4.38$
	Mn	0.58	$Y=0.07X+4.94$
	V	0.72	$Y=0.57X+1.90$
	Zn	0.47	$Y=0.01X+5.40$
窒素酸化物	Cu	0.41	$Y=0.22X+23.70$
	Fe	0.50	$Y=0.03X+14.06$
	Mn	0.46	$Y=0.35X+16.76$
	V	0.65	$Y=3.29X-2.70$
	Zn	0.56	$Y=0.08X+12.96$

表4 対象元素とMP2との相関分析結果

Y 軸	X 軸	相関係数	回帰直線
MP2	Cu	0.44	$Y=0.002X+0.303$
	Fe	0.58	$Y=0.000X+0.195$
	Mn	0.54	$Y=0.003X+0.224$
	V	0.72	$Y=0.032X+0.037$
	Zn	0.59	$Y=0.000X+0.201$

4 おわりに

最近、地球的スケールの環境汚染の問題が重要視されている。地球上で最も人為的汚染の影響が少ないと思われる南半球の極点付近及び北半球のマウナロア山頂付近における二酸化炭素濃度のここ数十年の確実な増加が、人為汚染の全地球規模への広がりをお話している (Keelingら, 1976)。

本研究は大気環境域の汚染レベルを評価できる新たな指標の作成を目的としたものである。特にグローバルスケールの汚染の広がりを考慮して人為汚染の影響の少ないバックグラウンド地域の汚染レベルをも的確に評価しうる指標の選定を行うことを目指して研究を進めた。

ここで、検討した指標項目のうち、オゾンの変動係数はその解析結果からも分かるように、特に非汚染地域の汚染レベルの推定にも有効な指標であると認められる。また、エアロゾル中の金属元素についてはバナジウム (V) が最も指標として有効な元素であることが見いだされたが、前述したように V はけい光 X 線分析装置ではあまり感度が良いとは言えないので、むしろ、ある程度汚染の進んでいる地域の指標として役立つかも知れない。Fe, Mn, Zn 等についてはさらに検討する

グローバルスケールにおける大気汚染指標

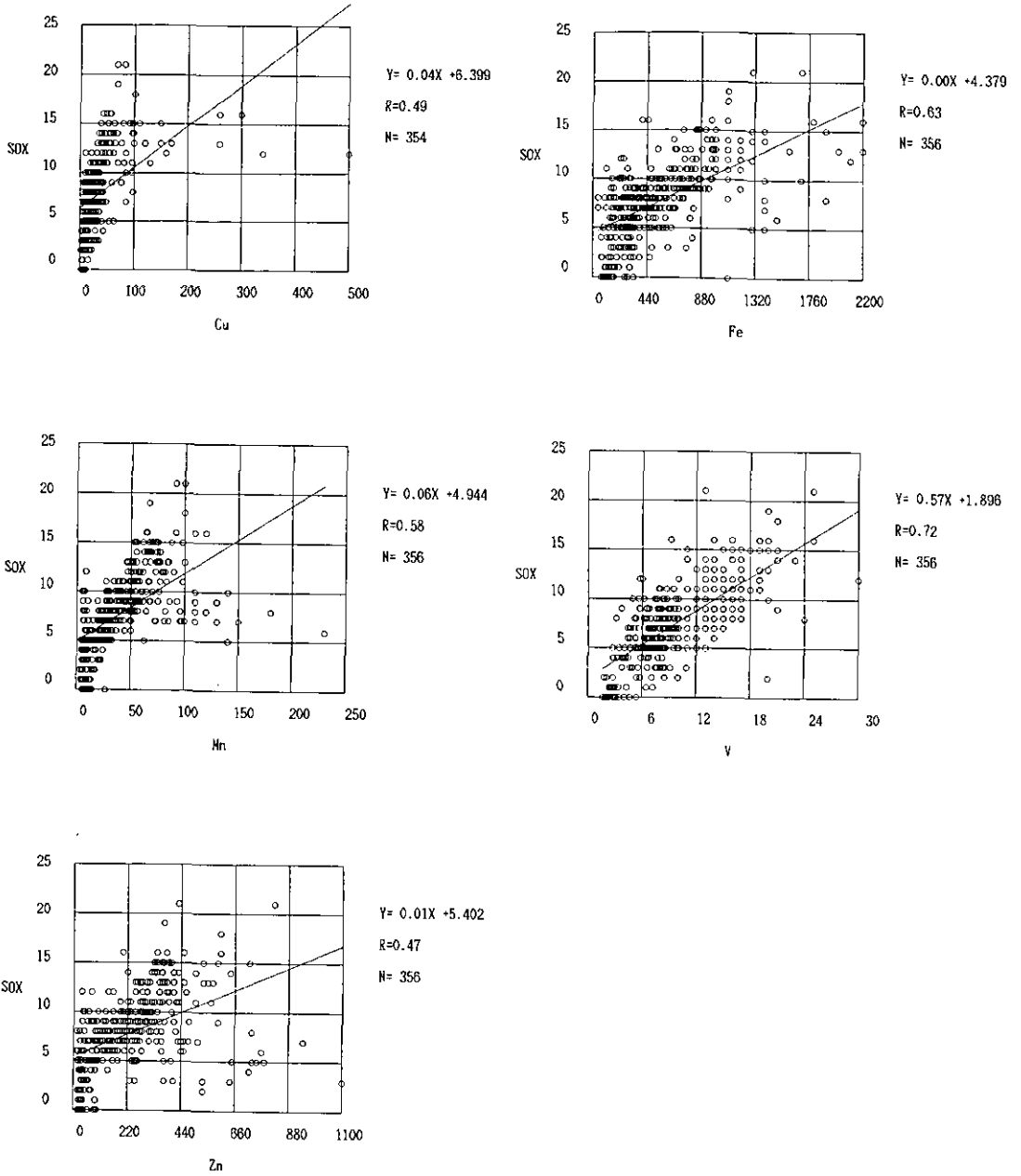


図4(1) 対象元素とSO₂, NO_x, SPMとの散布図

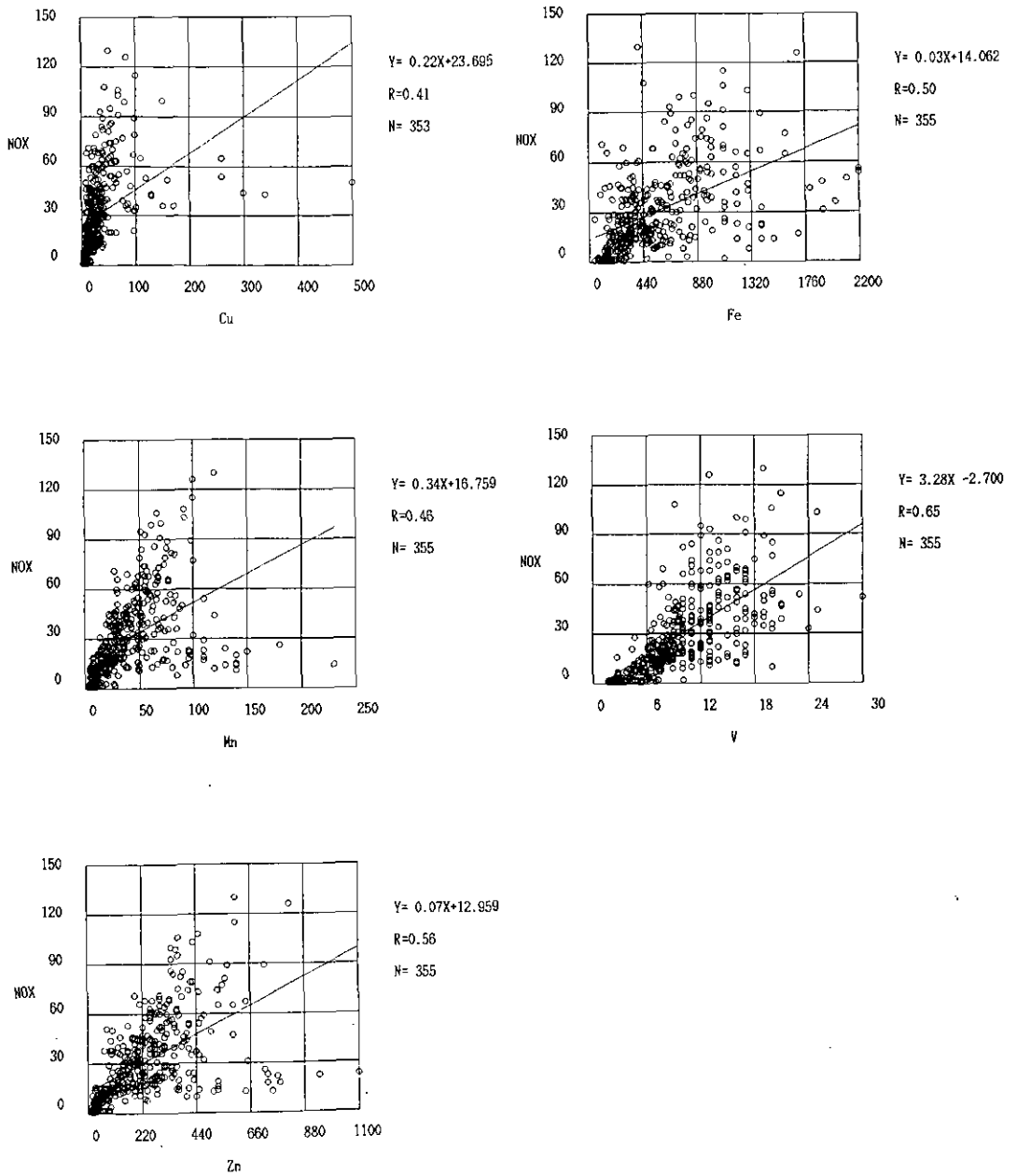


図4(2) 対象元素とSO₂, NO_x, SPMとの散布図

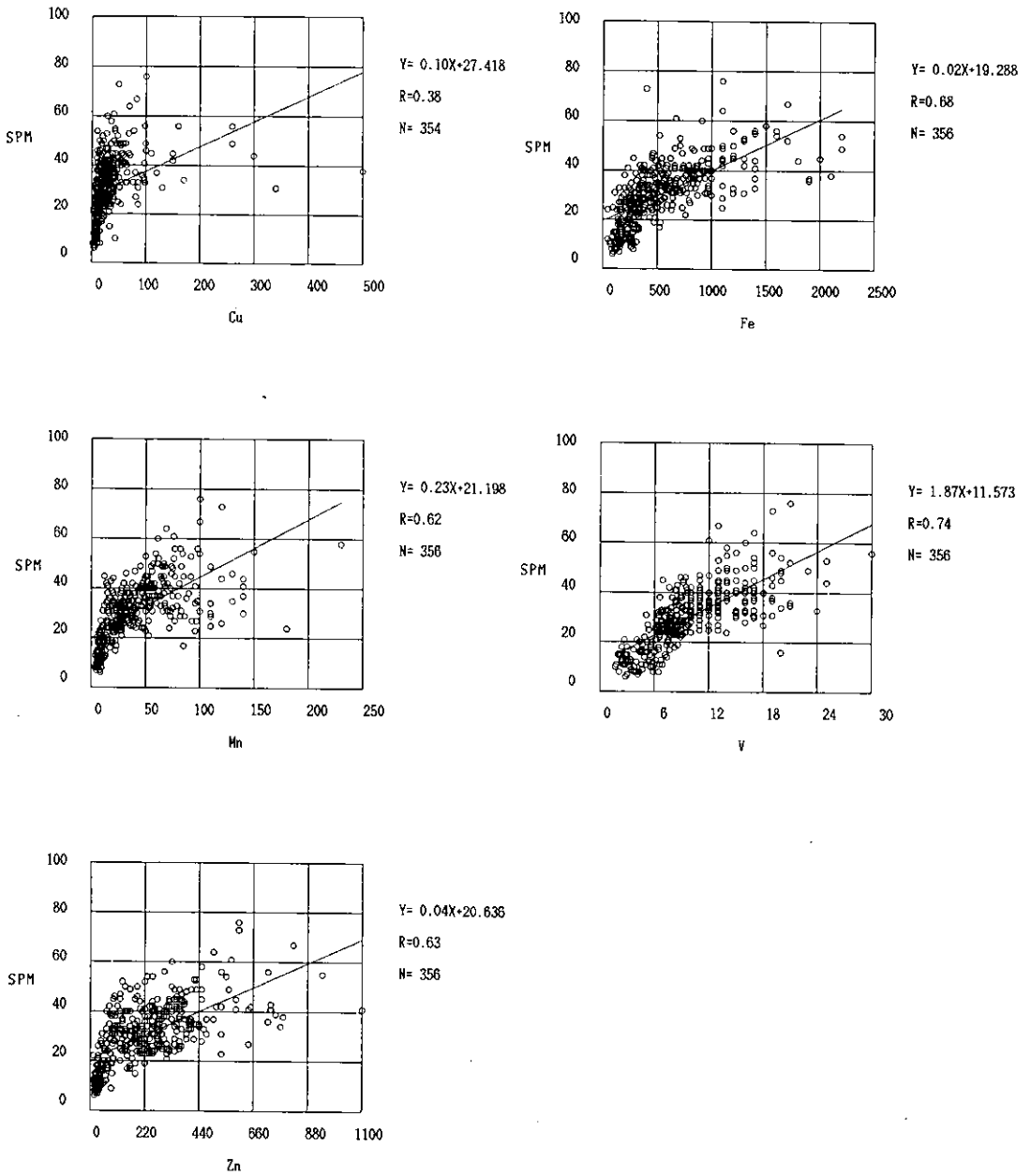


図4(3) 対象元素とSO₂, NO_x, SPMとの散布図

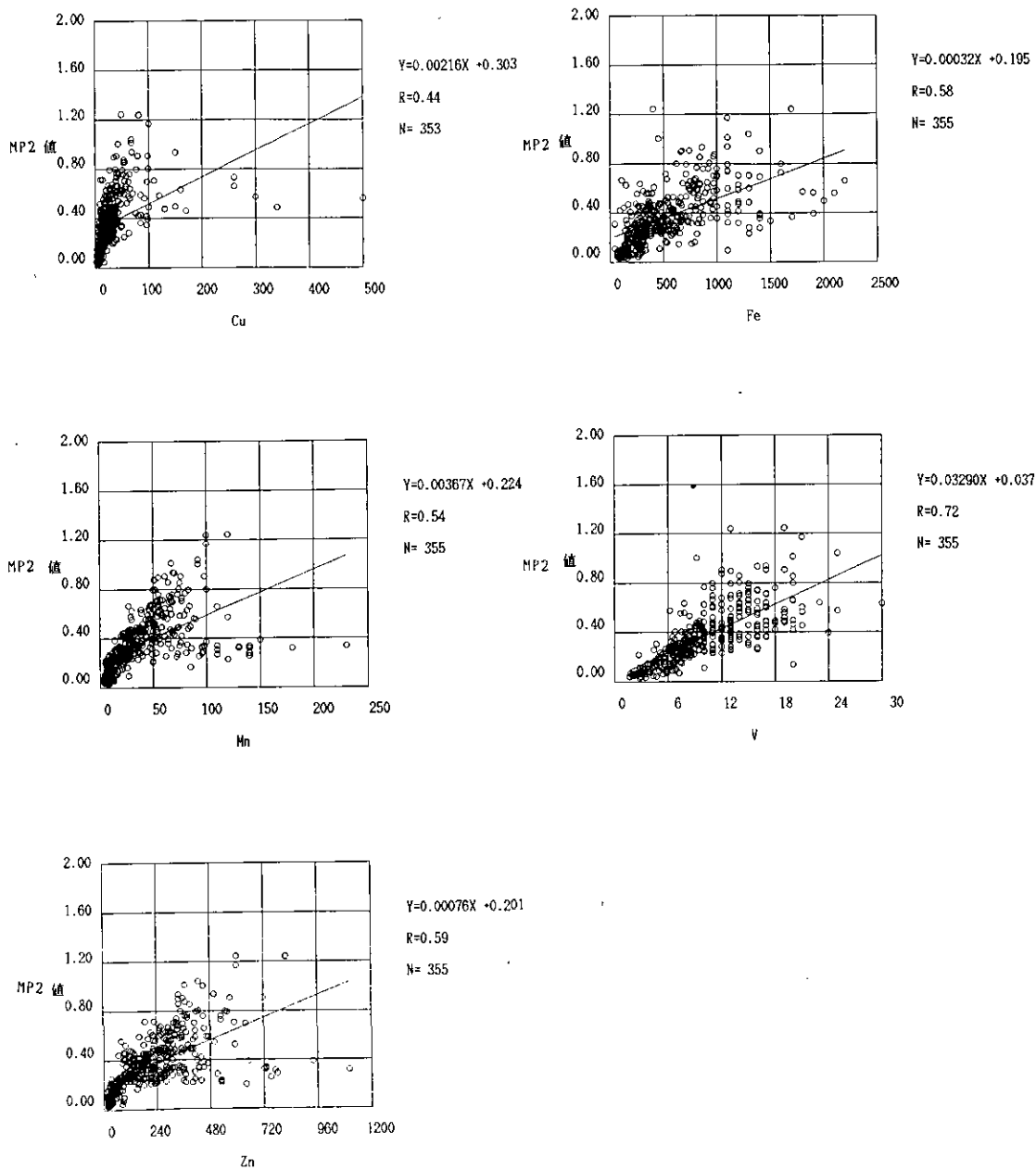


図5 対象元素とMP2との散布図

必要がある。

今回、検討した項目の他に、グローバルスケールの大気汚染指標として、亜酸化窒素 (N_2O)、メタン (CH_4) などは二酸化炭素 (CO_2) 同様に自然起源の量が多いため、非汚染地域においても、現在の測定法で十分検出可能であり、分析精度などの問題点が解決されれば、検討の余地があろう。特に、 N_2O は CO_2 のように植物との光合成作用などによる濃度変動もなく、対流圏では極めて安定な成分であるため指標としての価値があるものと考えられる (玉置元則ら, 1983)。また、今回は検討できなかった雨水中の成分とその変動、エアロゾル中の Cel と Cor の比率など指標成分候補として有力な項目については、引き続き検討する予定である。

参 考 文 献

- 環境庁大気保全局 (1981~1983): 一般環境大気測定局測定結果報告。
- Keeling, C. D., R. B. Bacastow, A. E. Bainbridge, C. A. Ekdahl, Jr., P. R. Guenther and L. S. Waterman, (1976): Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna loa observatory, Hawaii. *Tellus*, **28**, 538-551.
- Keeling, C. D., J. A. Adams, Jr., C. A. Ekdahl, Jr. and P. R. Guenther (1976): Atmospheric carbon dioxide variations at the South Pole. *Tellus*, **28**, 552-564.
- Kelly, N. A., G. T. Wolff and M. A. Ferman (1982): Back ground pollutant measurements in air masses Affecting the eastern half of the United States-1. Air masses arriving from the north west. *Atmos. Environ.*, **16**(5), 1077-1088.
- Mizoguchi, T., M. Nishikawa and M. Kunugi (1985): Background air pollutant measurements and selection of background sites in Japan. *Res. Rep. Natl. Environ. Stud. Jpn.*, No. 79, 9-19.
- Petrenchuk, O. P. (1977): Atmospheric Precipitation Sampling Procedures and Application of Groud Water Chemical Composition Date to the Estimation of Background Aersol Chemical composition. WMO. *Air Pollut. Meas. Tech. Conf. Part 2*, 50-57.
- 玉置元則・平木隆年 (1983): 大気中の N_2O の挙動. *大気汚染学会誌*, **18**(4), 275-284.
- 玉置元則・平木隆年・渡辺 弘 (1985): 大気中の窒素酸化物による雨水の質的変化—大気の浄化と雨水の酸性化. *大気汚染学会誌*, **20**(2), 71-81.

2. 3. 1 都市域における騒音影響の計量化 — 土浦市国道6号沿道地域を例として —

Assessment of Road Traffic Noise in Urban Areas — A Case Study in Tsuchiura City —

田村正行¹・相本篤子²

Masayuki TAMURA¹ and Atsuko AIMOTO²

要 旨

都市における道路交通騒音の影響を地域全体として評価することを試みた。計量化指標としては、人口荷重平均騒音レベル、及び累積曝露人口の二つを用いた。これらはそれぞれ、地域住民の平均的曝露騒音レベルと騒音対策の必要性を示すものである。調査対象地域としては土浦市国道6号沿道地域を選び、ここに建設されたバイパスの影響を開通の前後で比較評価した。この例から、ここで用いた計量化方法が、道路交通騒音の影響の予測・評価を行う上で有用であることが示された。

Abstract

An attempt was made to assess the effects of road traffic noise in urban areas as a whole. Two rating indices, that is, Population Weighted Average Noise Level and Cumulative Exposed Population was used; the former expresses average noise level to which local residents are exposed and the latter the necessity of noise abatement measures. Investigation has been carried out in the areas along Route 6 and its bypass in Tsuchiura City. The impacts of the bypass was assessed before and after its opening. From this case study it has been shown that the method used here is useful to predict and assess the effects of road traffic noise.

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
2. 国立公害研究所 環境情報部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Information Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

都市は人の活動に伴って発生する雑多な音に満たされており、これらが騒音となる場合も数多い。中でも道路交通騒音は、発生エネルギーが大きいこと、居住地域の中にまで侵入してくることなどのために、影響が深刻でありかつ広範囲にわたっている。このような問題に対して何らかの施策を実施する場合には、その影響を地域全体として計量化することが必要であると考えられる。

前報（田村，1982）では、土浦市国道6号沿道地域を例にとり、道路交通騒音の影響を人口荷重平均騒音レベル、累積曝露人口などの評価指標を用いて計量化し、実態の評価並びにバイパス開通後の変動予測を行った。本報では、前報と同様な評価指標によってバイパス開通後の騒音影響を計量化するとともに、前報における予測結果と現況との比較を行う。

2 計量化の方法

道路交通騒音の影響を地域全体として計量化するためには、調査対象地域における騒音レベル分布、人口分布などの基礎データが必要である。ここでは、騒音レベル分布の推定方法と、これと人口分布を考慮することにより成される計量化の手順に関して述べる。

2.1 道路交通騒音予測モデル

我が国では、道路交通騒音に対する主要な基準として、環境基準と要請基準（騒音規制法による基準）が制定されており、両者ともA特性で測定した騒音レベルの中央値（ L_{50} ）を基準値を表すのに用いている。これに対して諸外国では、A特性で測定した等価騒音レベル（ L_{eq} ）、もしくは80%レンジの上限値（ L_{10} ）などが用いられることが多いようである（日本建築学会，1980）。

これらの評価指標の予測式は、地表面が完全反射であり、車両走行が一車線等間隔モデルで近似できると仮定すると次のように表される（道路交通騒音調査研究委員会，1975；石井，1975）。

$$L_{eq} = L_w - 10 \log (2ld) + \alpha_d + \alpha_i$$

$$L_{10} = L_{eq} + 10 \log \left(\frac{\sinh \frac{2\pi l}{d}}{\cosh \frac{2\pi l}{d} - \cos \frac{10}{100} \pi} \right) + \alpha_d + \alpha_i \quad (1)$$

$$L_{50} = L_{eq} + 10 \log \left(\tanh \frac{2\pi l}{d} \right) + \alpha_d + \alpha_i$$

ここで L_w は平均パワーレベル (dB (A))、 l は車線から受音点までの距離 (m)、 d は車頭間隔 (m)、 α_d は回折補正、 α_i は沿道の地表条件など種々の要因に対する補正である。補正值 α_i は、道路周辺が開放平坦であるという前提のもとに導かれたものであり、周辺に家屋が立ち並んだ地域での補正には不適切である。それ故ここでは、家屋密度の高い地域では α_i に代えて、加来らによって導

かれた超過減衰の実験式,

$$\Delta L = -\frac{8.7 \times N^{0.8}}{H+20} \left(1 - \exp\left(-\frac{R}{75}\right)\right) \quad (2)$$

を補正值として用いる (加来, 1979)。ただし, H は道路の高さ(m), N は家屋密度 (戸数/200m×200m), R は道路端からの距離(m) である。

L_{50} に対する予測式の実測値との適合度を図1に示す。測定は土浦市の道路周辺市街地で実施した。実測値の予測値からのずれは, 大きい場合には10dB (A) 程度にまでなる。気象条件, 地表面特性等を考慮していない現行のモデルでは, この程度の誤差はやむを得ないと考えられるが, 今後モデルの改善が望まれる。本報告では, 現行の法制との関係から道路交通騒音評価指標として中央値 (L_{50}) を用いるが, L_{10} , L_{eq} などの評価指標を用いても同様な議論が可能である。

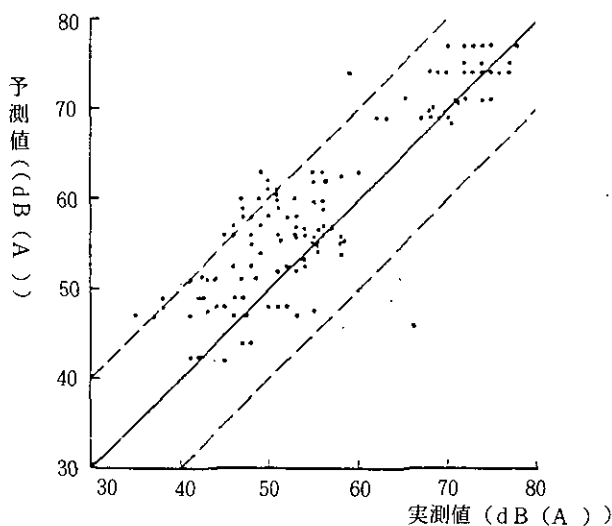


図1 L_{50} の予測値と実測値との対応

2.2 地域への騒音影響の計量化

地域全体としての騒音影響を計量化するには, (1) 地域住民の平均的曝露騒音レベルを示す指標, (2) 騒音対策の必要性を示す指標が必要であると考えられる。前報で用いた人口荷重平均騒音レベル, 累積曝露人口は, それぞれ (1), (2) の目的にかなうものである。これらは以下のように定義される。

(1) 人口荷重平均騒音レベル, PWI (Population Weighted Index)

$$PWI = \frac{1}{P_0} \int_A \rho(a) L(a) da \quad (3)$$

P_0 : 対象地域全人口

A : 対象地域

$\rho(a)$: a 点における人口密度

$L(a)$: a 点における騒音レベル

(2) 累積曝露人口, $P(L_s)$

$$P(L_s) = \int_A \rho(a) N(a, L_s) da \quad (4)$$

$$N(a, L_s) = \begin{cases} 1, & L(a) > L_s \\ 0, & L(a) < L_s \end{cases}$$

これらは、人口分布のデータと、(1)、(2)式によって計算される騒音レベル (L_{50}) の分布から算出される。

3 調査対象地域の概況

調査対象としたのは、土浦市西部を走る国道6号とそのバイパスの沿道地域である。図2に調査対象地域の地図、及び道路の区間分けを示す。騒音影響の及ぶ範囲は道路から200m程度までと考えられるので、この範囲を調査対象とした。表1に国道6号、バイパス沿線の推定人口を示す。これは、道路から200m以内の地帯にある家屋数を住宅地図より読み取り、それに基づいて算出したものである。

国道6号沿道は、人口密度が高く主に商業・住居地区となっている。バイパス開通前には、国道6号の交通量はほぼ飽和状態（昼間12時間で約20000台）に達しており、慢性的な交通渋滞が発生していた。バイパスは、国道6号西側の人口密度の低い地域を縦貫するかたちで、1982年3月に開通した。これによって、大部分の通過交通はバイパスを通るようになり、国道6号沿道での渋滞、騒音公害は大幅に改善された。

4 バイパス開通による騒音公害の変化

前報において、バイパス開通前の状況を調査するとともに、開通後の変動予測を行った。その際バイパス開通後の交通量は、次のような仮定に基づき予測した。(1) 大型車は大部分が通過交通であるので台数は変化しない。(2) 小型車はバイパスの開通によって移動が誘発され交通量は a 倍 ($a=1\sim 2$)になる。(3) これらの交通量は、国道6号とバイパスに車線数に比例して配分される。

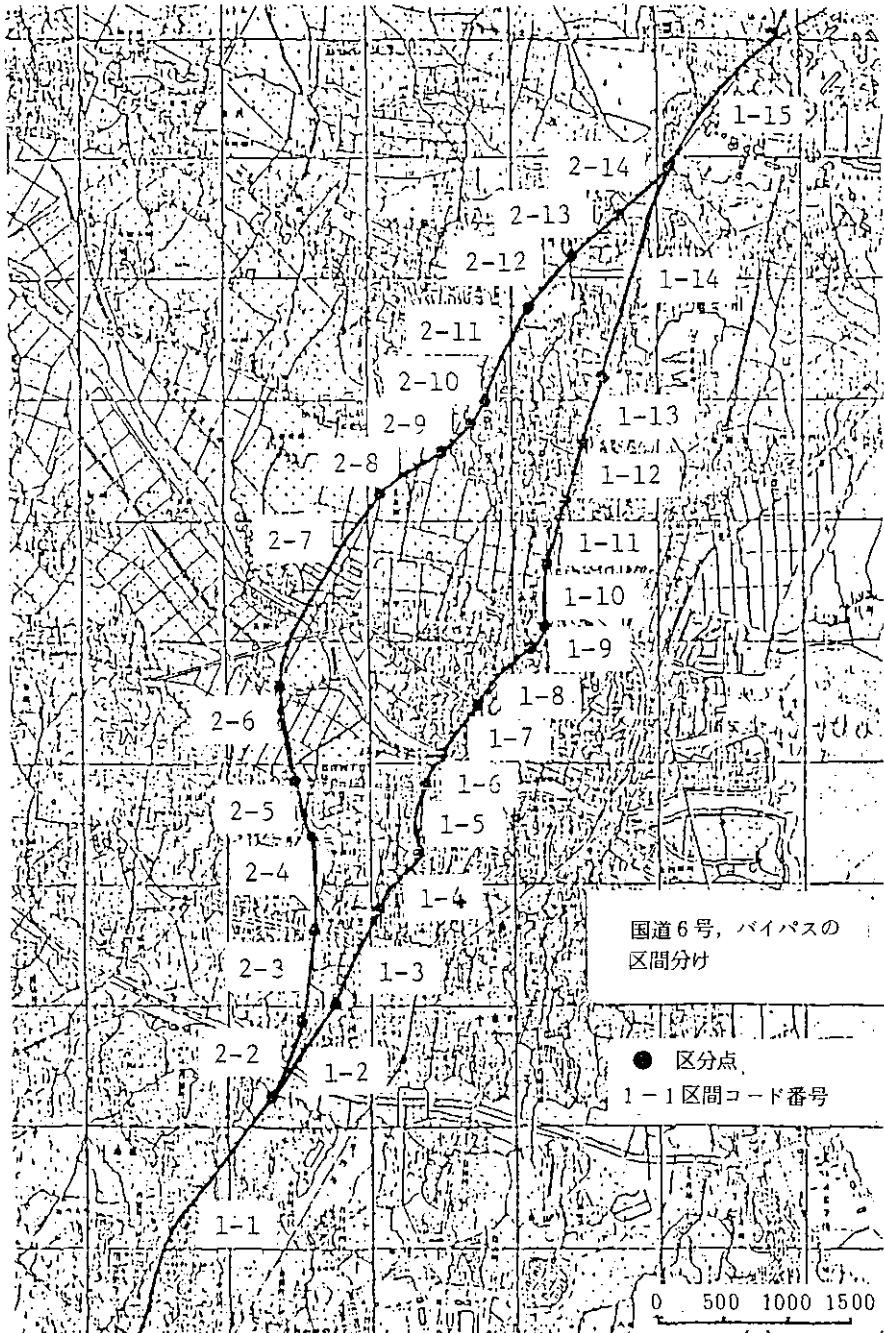


図2 調査対象地域

表1 国道6号とバイパス沿線の推定人口(昼間)

単位(人)					
国道6号			バイパス		
区間番号	西側	東側	区間番号	西側	東側
1-2	72	122	2-2	33	19
3	255	232	3	63	126
4	517	418	4	90	221
5	391	393	5	66	41
6	254	137	6	0	4
7	383	702	7	27	16
8	1754	767	8	15	7
9	194	156	9	59	4
10	256	605	10	22	94
11	179	604	11	398	1234
12	502	1673	12	45	16
13	401	333	13	205	93
14	515	152	14	80	102
合計	11967		合計	3080	

表2に、予測交通量とバイパス開通前後における実態を示す。開通後の全交通量と小型車交通量は、誘発率 $a=2$ の場合の予測に近い台数である。大型車は、国道6号では予測より大幅に減少し、逆にバイパスでは予測よりも増加が著しい。バイパスの開通によって小型車交通量は2倍弱に増加し、国道6号とバイパスにはほぼ均等に分配された。一方大型車交通量は全体としてはあまり変化していないが、大部分がバイパスを通過するようになり国道6号の通過量はわずかになった。

このような交通量の変化は、国道6号沿道における騒音公害の軽減をもたらす一方で、バイパス沿道での騒音公害の増大を引き起こしていると考えられる。図3は、この変動を人口荷重平均騒音レベル(PWL)で表したものである。これによれば、国道6号沿道ではPWLが相当に低下してい

表2 国道6号とバイパスの一時間当たり交通量
7-19時の平均、括弧内は百分率

国道6号	単位(台/時)			バイパス	単位(台/時)		
	小型車	大型車	合計		小型車	大型車	合計
開通前 (80.12)	1164 (76)	366 (24)	1530	開通前 (80.12)	0	0	0
予測 ($a=1$)	582 (76)	183 (24)	765	予測 ($a=1$)	582 (76)	183 (24)	765
予測 ($a=2$)	1164 (86)	183 (14)	1347	予測 ($a=2$)	1164 (86)	183 (14)	1347
開通後 (82.4)	1031 (96)	42 (4)	1073	開通後 (82.4)	1170 (83)	247 (17)	1417

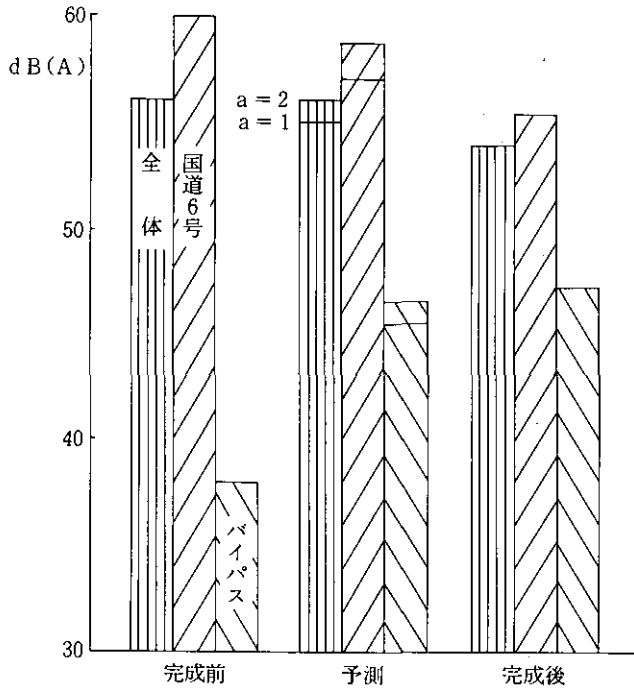


図3 人口荷重平均騒音レベル (PWI) の変化

るが、バイパス沿道では逆に大幅に増加している。地域全体のPWIは、バイパス沿道の人口が国道6号沿道に比べて少ないために、やや減少している。この状況を予測と比較すると、開通後のPWIは、国道6号沿道と全体では予測を下回っているが、バイパス沿道では予測より高くなっている。

図4、5に、それぞれ環境基準、要請基準をしきい値 (L_s) とした場合の累積曝露人口 ($P(L_s)$) を示す。これらによれば、国道6号沿道ではバイパス開通後大幅に環境が改善されており、環境基準を超える居住地域が依然としてあるものの、要請基準を超える地域は無くなっている。一方でバイパス沿道ではわずかではあるが、環境基準のみならず要請基準をも超える居住地域がでてきている。バイパス沿道は、開通前には静寂な地域であっただけに、騒音が住民に及ぼしている影響は小さくないと考えられる。これらの状況を予測と比較すると、国道6号沿道と地域全体では、予測よりも大幅に改善されているが、一方でバイパス沿道では環境基準、要請基準ともに予測をやや上回る累積曝露人口の増加がある。

全体としてみれば、バイパスの開通は地域の騒音公害を大幅に緩和したといえる。しかしこれは、交通流のなかでも大型車を国道6号からバイパスに移すことにより達成されたものであり、国道6号沿道で騒音レベルが低下したものの、逆にバイパス沿道では上昇している。今後バイパス沿道の土地利用策を誤れば、この地域で深刻な騒音公害が発生する恐れが大きい。

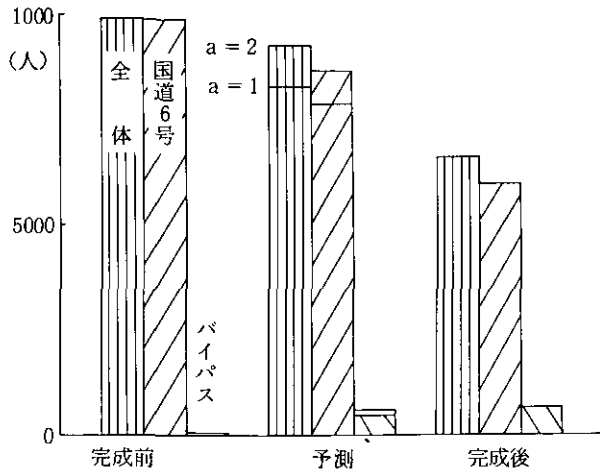


図4 環境基準 (55dB (A)) 以上の地域の居住人口

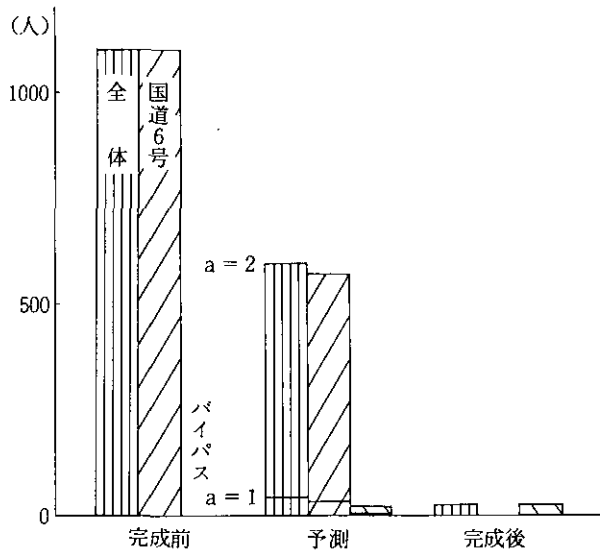


図5 要請基準 (70dB (A)) 以上の地域の居住人口

5 おわりに

人口荷重平均騒音レベル、累積曝露人口を、中央値 (L_{50}) に基づいて算出することにより、道路交通騒音の影響を地域全体として計量化することを試みた。調査対象としては土浦市国道6号沿道地域を取り上げ、この地域に建設されたバイパスの影響を開通の前後で比較評価した。この利用例から、ここで取り上げた計量化指標が交通騒音の被害状況を把握し、施策の効果分析を行うのに

有効であることが示された。なお、本報告で用いた交通量及び騒音データの一部は茨城県警と土浦市によって提供されたものである。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 道路交通騒音調査研究委員会 (1975)：道路交通騒音の予測における数学モデルと評価量について。日本音響学会, 77p.
- 石井聖光 (1975)：道路交通騒音予測計算方法に関する研究。日本音響学会誌, **31**(8), 507-517.
- 加来治郎・山下充康 (1979)：騒音の市街地浸透に関する研究。日本音響学会誌, **35**(5), 257-261.
- 日本建築学会編 (1980)：騒音の評価法。彰国社, 301p.
- 田村正行 (1982)：騒音予測モデルとシミュレーション。国立公害研究所研究報告, 第35号, 67-74.

2. 3. 2 騒音の生理学的影響 Physiological Effects of Noise on Man

相本篤子¹・田村正行²

Atsuko AIMOTO¹ and Masayuki TAMURA²

要 旨

地域環境の快適性の評価に関する研究の一環として騒音影響評価手法の開発が望まれる。本研究は、ヒトに対する騒音影響の評価尺度を生理学的反応に求めることを目的として、実験的検討を行ったものである。7名の被験者を対象に、ピンクノイズ (60~105 dB(A))を用いて、10分間の曝露実験を行い、呼吸様式の変化を精密に測定した結果、被験者の多数に共通に、特徴的な呼吸数増大反応がみられた。いまだ実験例数が少ないが、被験者の自覚に依らない、他覚的な騒音影響度の測定手法として、呼吸様式の変化測定の有用性が示唆された。

Abstract

Combining the interest to evaluate the amenity of regional environment with our research activity, some studies on the effects of noise on man are now in progress.

Various of physiological examination were made under short-term exposure pinknoise of relatively strong field, for example at 105 dB(A) and 10 minutes. One of the conspicuous result was the effect on respiratory functions. In most of the cases, there was observed an increase in the respiratory rate, followed by a decrease in the tidal volume. This response may be utilized as an objective measure for determining the effects which seems to be attributable to noise.

-
1. 国立公害研究所 環境保健部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番 2
Environmental Health Science Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番 2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

生活環境の変化とともに、騒音問題は多様化、深刻化しつつある。環境指標開発の一環として、騒音影響評価手法の確立が望まれている。言うまでもなく、騒音は感覚的に受容される環境因子であり、その生体影響については主観的な評価が本質的に重要な意味をもつ。しかし、主観的評価の尺度には個人差があり、表現のしかたも一様なものではない。環境指標の計量化に当たっては、主観的尺度に対比させうる何らかの客観的尺度を求め、個人個人のデータの水準を一致させた総合的解釈をする必要がある。

一般に、快、不快などの心理的反応は自律神経系を介して現れる生理学的反応と深く関連すると考えられている。心理学的反応は本人が自覚するのに対し、生理学的反応は本人が自覚しない状態であっても、他覚的に測定できる。本研究は、これらの生理学的反応を把握することにより、騒音のヒトへの影響を客観的に評価する手法を探索する目的で実験的検討を行ったものである。

2 生理学的反応の測定

2.1 生理学的反応

騒音、振動、その他感覚的刺激により、ヒトはある程度一定の身体的反応を引き起こす。自律神経系のうちの交感神経系の緊張状態である。これにより、心拍数の増大、手掌面の発汗、末梢血管の強い収縮などが一過性で見られる。これらの反応は、本能的には外的刺激に対して、身構える体勢をとった状態であり、自己を防衛するためのものであるが、現代人にとっては、むしろ無意識のうちに過度の緊張状態に陥る原因となる。

2.2 実験目的

生理学的反応は曝露騒音があるレベルに達すれば必ず引き起こされる反応であるが、現在までのところ定量的なデータは得られていない。定性的データとしては、指先の血液循環量低下（指尖脈波振幅減少）、皮膚温低下がよく知られている。また、呼吸器系の反応については、呼吸数を指標としてヒトへの影響を検討した研究はいくつかあるが、明確な結論は得られていない。

呼吸運動には大脳辺縁系や視床下部系が関与する種々の自律反射がある。例えば、呼吸ときゅう覚（かぐ運動は呼吸の変形）、呼吸と発声などは密接な関係にある。また、痛みや音などの感覚的刺激あるいは情動が呼吸に深く関連するものこのためである。これらは原則的には無自覚の生理現象であるが、意識的にコントロールすることもできる。したがって、特に心理的影響のより良い指標として興味深いのが、両者の間には複雑な相互関係が予想される。この点を解明するためには、従来のように、単に1分間の呼吸数を数えてその変化をみるような粗い測定では十分でない。本研究では呼吸様式全般を連続的に把握するような測定方式を用いて騒音の影響を検討した。

2.3 実験方法

被験者を防音室に入れ、安楽なイスに座らせた状態で、スピーカを用いて、騒音を曝露し、呼吸器系の反応を測定した。被験者は男性5名、女性3名の計8名であり、曝露に用いられたのはピンクノイズで、音圧レベルは、60, 75, 90, 105dB(A)の4段階である。音圧レベルは被験者の耳元近くに設置したマイクロホンによりモニターした。実験は1回1種類のレベルについて行われ、そのスケジュールは、曝露前のコントロール値を10分間測定した後、騒音曝露10分間、休憩20分間を組み合わせる4回(60dB(A)のみ3回)続けて実験した。

呼吸様式は以下に述べる方式を用いて、胸部の運動によるものと、腹部の運動によるものとを分離して測定した。図1(a)に示すように、伸縮性のよい布にワンターンコイルを縫いつけて作られたバンドをそれぞれ胸部と腹部とに巻く。呼吸運動に伴うコイルのインダクタンス変化を発信器の出力変化で計測する。スパイロメータで較正することにより得られる呼吸曲線は波高値が一回換気量に換算されている。図1(b)は胸部呼吸曲線の例である。

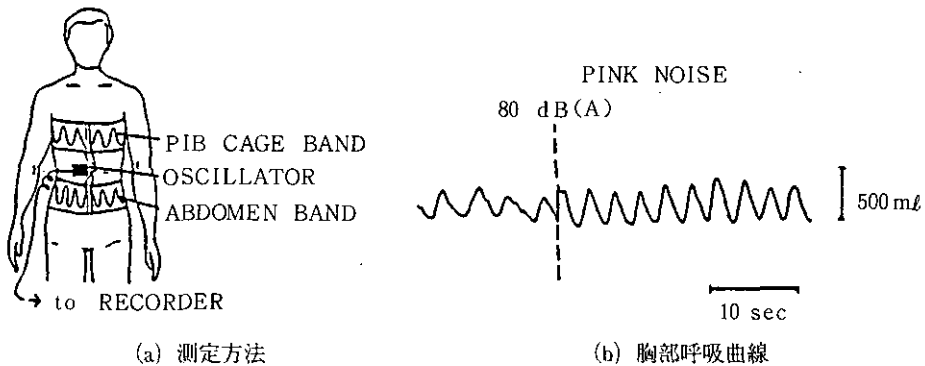


図1 インダクタンス法による呼吸器系の測定

3 騒音による呼吸器系の反応

図1(b)の呼吸曲線から呼吸数[回/分]、一回換気量[リットル]を算出し、反応の時間的変化を検討した。なお、ここで言う呼吸数とは、一呼吸の所要時間から算出したもので、1分間の呼吸数のカウントに比べ、精密にリズム変化を測定できるが、必然的に分散は大きくなる。また、8名の被験者のうち1名(男性)は測定値の再現性、安定性が悪く今後の注意深い解析にゆだねることとし、7名の被験者について結果をまとめる。

個々の被験者の、ピンクノイズのレベルごとにおける呼吸数の変化を図2に示す。これは、騒音曝露時及び騒音なしのときの平均値を示している。図中に示した実験スケジュールに沿って、騒音曝露中のデータは塗りつぶした記号で、騒音なしのときのデータの白ぬきの記号でそれぞれ示している。なお、一部データの欠損があるのは、実験時のデータ記録不良による。

ピンクノイズ曝露により呼吸数の増大反応が特徴的に見られる。この傾向は、6名の被験者につ

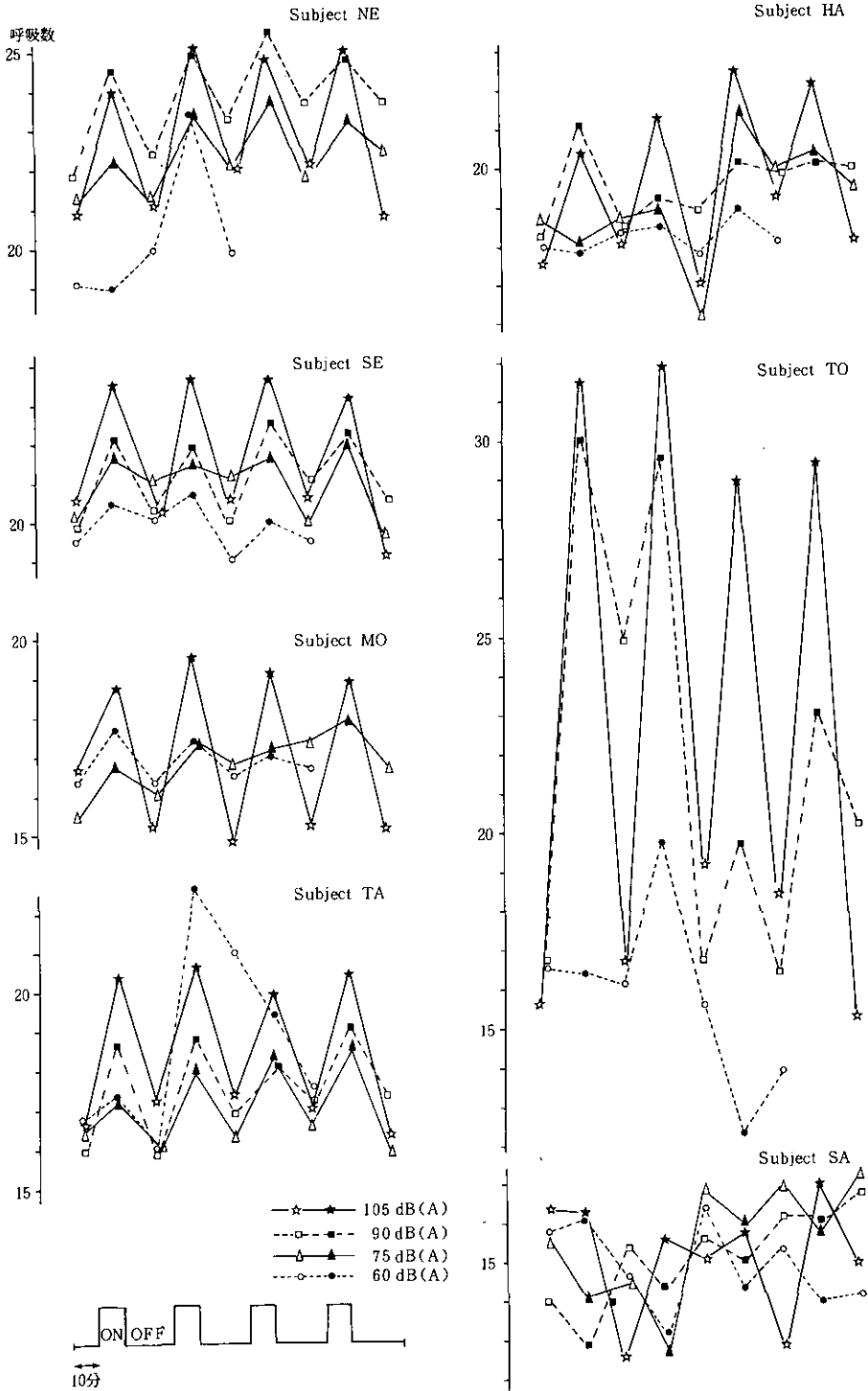


図2 ピンクノイズに対する呼吸数の変化

いては実験に用いたすべての騒音レベルにおいて、1名の被験者については105dB(A)においてのみみられた。呼吸数増大反応の程度と騒音レベルの関係については個人差がみられる。被験者SE, NEのように、75dB(A)と90dB(A)の間に明確な反応の差異があるもの、TA, HAのように、90dB(A)と105dB(A)の間に反応の差異がみられるものに分けて考えられる。TO, MOはデータ欠損のためどちらに属するかは不明である。また、呼吸数の増大の程度にも個人差がある。105dB(A)において、TOは平均値で10~15回程度の増大(分散は4~5)を示すのに対し、他の5名は3~4回程度の増大(分散は1~2)を示している。また、この呼吸数増大反応は一回換気量の減少を伴うことが多いが、総換気量の変化については本実験では明確な結果は得られなかった。

被験者SAは、105dB(A)においては呼吸数増大反応を示しているが、90dB(A)以下においては、むしろ呼吸数減少、一回換気量増大の反応を示した。このように、同じ騒音であるにもかかわらず、引き起こされる変化の方向が逆の反応については、まだその解釈ができない段階であるが、個人差の問題、被験者の心理的状态との対応、実験状況その他の因子の影響を検討する上で無視できない反応であると思われる。

また、実験中の時間経過による反応の変化もみられる。これらの変化は90dB(A)以下の比較的低い騒音レベルで現れやすく、例えば、NE, MOでは時間経過とともに徐々に呼吸数の増大傾向がみられる。また、HA, TOでは第3回目の騒音曝露以前と以後で状態に何らかの変化のある様子がみられる。いずれの変化にしろ、被験者の疲労や慣れなどを反映しているものと思われる。

ピンクノイズは比較的単調であり、日常活動で接する騒音に比べてヒトに与える影響は小さいものと思われる。ピンクノイズ60dB(A)あるいは75dB(A)の比較的低いレベルでもある程度の呼吸数増大反応がみられたこと、また、105dB(A)では大多数の被験者に共通の、顕著な呼吸数増大反応がみられたことは、騒音の生理学的影響指標として呼吸器系の反応の有用性が示唆されたものと考えられる。

4 まとめ

騒音による呼吸様式の変化については、非拘束的連続測定が困難なため十分検討されていなかった。今回、インダクタンス法を用いて、呼吸様式の変化を精密に測定することにより、はじめて騒音曝露による呼吸器系の反応が得られた。7名の被験者についての実験結果をまとめると以下のようになる。

ピンクノイズによって、呼吸数増大反応が特徴的にみられた。なお、この反応は一回換気量の減少を伴うことが多いが、総換気量の変化については明らかにならなかった。また、この反応はピンクノイズ60dB(A)においてもみられることがあった。一方、一部の被験者には呼吸数抑制反応がみられたもことも付記したい。いまだ実験例数が少なく、十分な結論は得られないが、呼吸器系の反応は、騒音の影響指標として、今後十分、検討する価値があると思われる。

2. 4. 1 緑地環境水準の計量化

A Trial Quantification of the Environmental Value Index of Green Spaces

青木陽二¹
Yoji AOKI¹

要 旨

環境として緑の空間を計量化するために、緑空間のレクリエーションとしての機能を評価する指標を探った。緑の空間を評価するには三つの要素の計量化が必要であり、その各々について調査分析を行った。第一は緑地としての緑の空間の計量化であり、植生の量、利用時間の長さ、利用のしやすさの3要素について明らかにした。第二は緑地を環境として享受することを阻害する条件の計量化であり、居住地から緑地までの距離、居住地から緑地までの到達路において接近性を阻害する道路や鉄道などについて明らかにした。第三は緑地を環境として享受する人の分布について考察した。これらの結果をもとに東京23区の100mメッシュ単位で居住地における緑地環境水準を試算した。

Abstract

The environmental value index of green spaces, which is one of the environmental amenity indices, is able to quantify the amount of accessible green spaces distributed in the high density residential area of the Megalopolice. In this area natural green spaces were plundered by the unplanned sprawl of housing which was caused by the rapid increase of inhabitants. This circumstance needs a distribution plan of green spaces and an index, which clarifies the environmental amenity value of green spaces.

The index consists of three components; the amenity potential of green spaces, the accessibility of spaces and the distribution of demanders. The amenity is depend upon the scale of green spaces and the amount of their vegetations. A large scale provides a long pleasure time of visitors and rich verdure satisfies green contact. The accessibility is effected by the distance from residence to the green space and the barrier of heavy traffic roads or railroads on the way to access. A long access and a strong barrier to get across discourage the visitors of the spaces. The distribution of demander is merely depend on the population density. These compornents can estimate a value of a green space at possible use of neigh-

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

bours. And the index has summed up the values at the area.

A trial calculation was attempted at 23 districts which are smaller administrated areas of Tokyo. The value of index was computed at each 100 meter quadrature perimeters. These values were divided into some levels and patterns of undulation were pictured through the 23 districts. The high levels of index were observed at the three districts of central Tokyo, and the lowers were sited at the districts of east and south boundaries.

Then this index is able to compare the distribution of environmental amenity value based on the accessibility of green spaces.

1 緑の空間のとらえ方

緑を日常の生活環境としてとらえ計量化するには、緑がもたらす効果を考えて二つの異なった見方がある。一つは雑然とした街並みに対して視覚的な調和をもたらすという景観親和的效果、他は人々のレクリエーション活動を充足する場としての効果がある。

前者は緑が目を休めるようなやすらぎ感をもたらす材料として、また視野の中で図となる建物や構造物が多い都市景観に地を造り出す材料としての効果である。このような材料は近年壁面緑化に多く使われているつた（写真1）などのように必ずしも空間的な広がりを要求するものでなく都市デザイン上は重要な計画対象であるが、土地利用計画上に大きく影響を与えるものではない。

一方後者は人々が散歩したり、休んだりできるような空間でしかも自然と接しられるような植生のまとまり（写真2）を必要とする空間である。よって緑地としての一定以上の広がりが必要ならば、土地利用計画上に表れてしまうものである。本研究では都市計画上後者のような面的広がりを大きく必要とする空間をどのように計量化し緑地環境として表すかを明らかにするものである。

2 計量化のための三つの要素

緑空間を環境の指標として計量化するには環境と利用主体である人間の関連を考慮しながら三つの要素を定めなければならない。第1に緑のある空間を人々が楽しむ環境としての数値に表すために、そこでの人々の利用行動を考えながらどのような変量として測るべきかを定めなければならない。第2にはその空間までの到達しやすさ、もしくは到達を阻害する条件をどのように数値化すべきか、緑の空間から居住までの距離及びその間に存在する通行阻害条件などについて定めなければならない。第3にはそのような環境があってもそれを享受する人々がいないければ、意味のない数値となるので、享受したいと思う人がどの程度の欲求でどの位の密度で分布しているかを定めなければならない。

これら三つの要素をまとめると図1のように3次元の関係になっていることがわかる。すなわちある地点における環境としての緑空間の楽しさ（P）は利用する緑の空間の楽しさ（P₀）によって定まる。またその空間までの距離が遠ざかるにつれ、また通行を阻害する条件（ ΔP ）によって享受しうる楽しさ（P）は減少する。またこれを享受する人々の人口密度によっても地域に住む人全体

の享受しうる緑空間の楽しさは異なる。

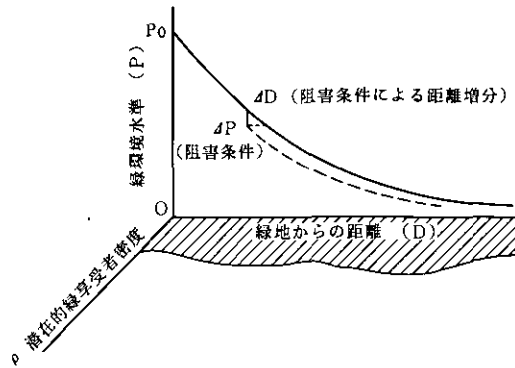


図1 緑環境水準計量化の考え方

3 緑空間の計量化

緑のある空間を訪れたとき、そこでの楽しみは緑の量と質、及びそこで楽しめる時間によって構成される。緑の量は植生の量であるが、人々の接触する状況を適切に記述するような測定方法は既存の研究 (Aoki ら, 1985) に従うと簡便ではない。そこで本研究では、今まで生態学の研究者がやってきたように、植生の量を測定する一般的方法である被度を用いることにする。一方、緑の質は草木、木々の種類数とその組合せ、せん定、刈り込みなどの管理の方法で決まるが、現在のところ、これらの違いによってつくられる空間の価値もしくは楽しさの違いなどを数値化した研究はなく、また植物に関する細かなデータもないので、一様な空間として扱うことにする。

緑の空間の利用は、青木(1984)が報告するように目的意識の明らかでない、散歩や休息によって時間を過ごすことが大半である。目的意識がはっきりしないことは人々の楽しさの度合いが活動によって差異がないことを示し、緑の空間の楽しみはそこで過ごすことができた時間の長さのみによって測ることが好ましい。そこで緑と接することを目的に造られた日本庭園を中心に、その面積と中で過ごす時間の長さの関連を分析した。その結果図2に示すように、公園面積の対数と平均滞留時間が良く関連していることが明らかとなった。よって式①によって示される平均滞留時間 (Y) を緑地環境の主な計測値として用いることにした。

$$Y = 19.2 \log X + 4.1 \quad (1)$$

ここで X ; 公園面積である。

このような緑地環境を利用するには、当該の緑空間に自由に出入りすることができなければならない。このような緑空間には無料で公開されているものと有料であるものがあり、有料のものは無料のものに比して周辺住民の (公園近傍からの) 利用が妨げられるという報告 (青木ら, 1985) が

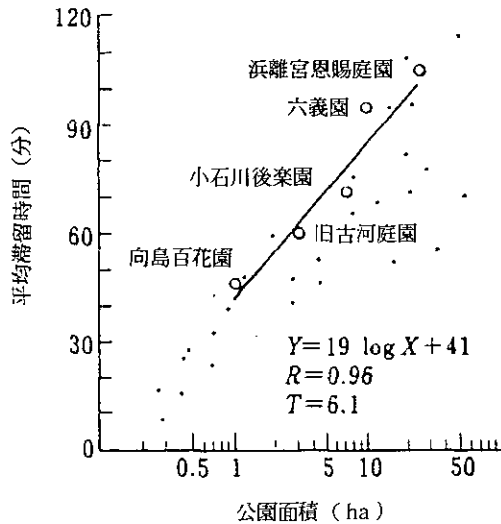


図2 公園の規模と平均滞留時間の関係

ある。よってその影響も推定しなければならないが、本研究では東京都の公園緑地部の事業概要のデータをもとに有料の場合は無料の2/3になるものと仮定した。

4 緑地環境の享受を阻害する条件

緑地環境を享受することを阻害する要因としては緑空間から居住地までの距離とその間にある道路、鉄道、河川など横断を妨げるものが考えられる。緑空間からの距離は来る人の確率（誘致率と呼ぶ）を下げる働きがあり、結果的には遠くにいる人々は利用しないことになる。このような距離による利用の減衰は緑の空間によって一定したものではなく各空間の魅力によって人を引きつける力の強さの差として現れる。このような力は図3のように緑の多い場合、公園面積によって影響を受ける（青木ら、1983）。ある地点での緑地環境水準を公園からの距離によって減じる場合、先の分析結果を基に修正する。

緑空間まで到達する間にある道路が阻害条件となることは上間（1975）によって明らかである。このような減少を交通量との関係でさらに詳しく示したものが（青木ら、1983）にあるのでこの結果を数値化に用いる。一方、幹線鉄道と河川に関しては鉄道軌道数や川幅によって横断しうる橋の数が異なり、表1のように幅は広くなる程遠まわりさせられているので、これも阻害条件として取り入れる。

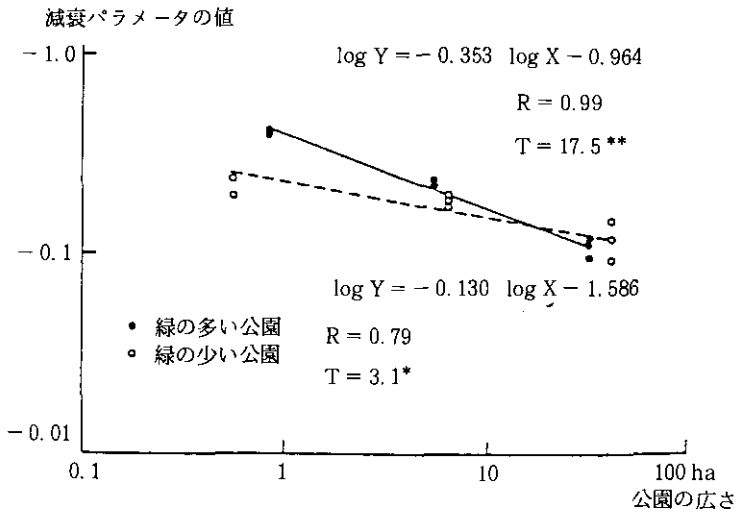


図3 公園面積による誘致力の違い
 両回帰直線の傾きの差は $t=11.4$ で有意

表1 川幅と橋のかかる間隔

川 幅	平均間隔	橋の数	河川延長
100m以上	1.8 km	91脚	112.0km
30~100m	0.4 km	244脚	84.5km
30m以下	0.2 km	688脚	109.5km

(市販の地図よりカウント)

5 享受する人々の分布と特性

緑空間に関する数値を環境の指標として有効なものにするには、緑空間の近くにそれを享受する人が分布していなければならない。また、それらの人々は緑地環境を享受したいと欲求を持っていなければならない。人が緑に対してもった欲求が異なれば、緑を求めるための行動圏が異なり、また接触の頻度も変わるものと考えられる。またどのような住宅に住んでいるかという居住の状況によっても緑を求める欲求は異なる。例えば緑に囲まれた中層の団地において緑に関する意識調査を行った結果を表2に示す。緑の多少感に関しては居住階によって差が小さいのに対し、不満感に関しては4、5階では下の階より高く表れている。これは窓辺に見える緑量は同じであっても、緑とのふれあいやすさでは階段の昇り降りの量に差が生じ、それが接触に抵抗を生み出すからである。

以上のような知見より緑を享受する人々の欲求、行動圏、居住状況など細かなデータが必要である。しかしながら現段階では各戸の庭の広さや居住階数さえデータとして得られないので、どの地域でも同じ条件と仮定して、人口密度のみによって享受者を表すことにする。

表2 団地における居住階数と緑の評価（清瀬市：旭ヶ丘）

階段	緑が少ない	緑は不満足	回答数
1	0(0%)	9(25%)	36
2	2(6%)	7(19%)	36
3	1(3%)	4(13%)	32
4	1(3%)	12(33%)	36
5	2(6%)	14(42%)	33

6 緑地環境水準の試算

上述のような計量化手法に基づいて、東京都23区における緑地環境水準を100mメッシュを単位として試算した。緑空間として用いたのは東京都公園調書に記載されている1ha以上の公園、及び航空写真より判別した2ha以上のまとまった私有の樹林地である。幹線道路のデータは国道、主要地方路を地形図より判読し、その車線数や断面形状によって阻害度を定めた。また幹線鉄道や河川も地形図から判読し、幅や断面形状から阻害度を定めた。人口密度は国勢調査による500m地域メッシュデータを調整して100mメッシュデータとした。

試算の方法は、まず緑空間を一つとりだし、その空間の面積を(1)式に代入して利用時間を求めた。この値にその空間の植生量や利用制限（有料無料）による係数を乗じ、その緑空間の持つ緑地環境ポテンシャルを求めた。次に各居住メッシュと緑空間との実距離、及び接近阻害条件による阻害度を求め先の距離に乘じ、各地点における指標値を算定した。算定の方法は

$$T_{ij} = Y_i \times \beta_i \times A_{ij} \quad (2)$$

ここで T_{ij} ：緑地 i の居住地 j での指数（分）

Y_i ：緑地 i の平均利用時間（分）

$$Y_i = 19.2 \log X_i + 4.1$$

X_i ：緑地 i の面積

β_i ：緑地 i の植生量と利用制限によって定まる係数（表4参照）

植生地率	50%以上	1
	20~50%	0.5
	20%以下	0.1

利用制限が有る場合は上記の数値に0.7を乗ずる。

A_{ij} ：緑地 i への接近性を示す係数

$$A_{ij} = \text{EXP}(\alpha_i (D_{ij} + \Delta D_{ij}))$$

$$(\alpha_i = 0.353 \log e X_i + 0.964)$$

α_i : 緑地 i の大きさによる減衰パラメーター

D_{ij} : 緑地 i から居住地 j までの距離

ΔD_{ij} : 緑地 i から居住地 j までの接近阻害条件による距離の増分

である。

この値をすべての緑空間に求め加算し、各地点でのポテンシャルを行政区ごとに4ランクに集計した。その結果表3に示すように各区ごとの緑地環境水準が示され、また写真3に示すような各メッシュごとの水準を示すことができるようになった。このような試算作業は三菱総合研究所の佐々木俊治研究員にまた表示作業は国立公害研究所総合解析部第2グループ甲斐美紀子研究員の協力を得た。

このような結果から判断すると、都心部において緑地環境水準は高く、文京、渋谷の両区は緑地を潜在的利用できる時間が30分以上の水準を期待できる地区に半数以上が住んでいることがわかった。また周辺部の区など多くの区では15分以下の水準しか期待できない地区に半数以上住んでいることがわかった。

緑地環境水準の指標値と指標値に人口密度を乗じたものを比較すると緑の空間を良く利用できるように人間が住んでいるか否かを判定できる。比較の結果、文京区など小数の区では良い住み方となっているが他の多くの地区で緑地環境水準の高い所には多くの人が住んでいないことを示している。このような指標を用いて将来の緑の空間計画を評価するため、次の二つの条件でこの試算を繰り返してみた。一つは一般に公開されていない緑の空間を公開した場合どのような変化が緑地環境水準指標に現れるのであろうか。写真4に示すように都心部においてかなりの水準の上昇がみられることがわかった。二つ目は現在では緑の少ない運動公園や河川敷公園に植樹をし、緑の量を増加させた場合どのようなようになるのであろうか。東京都において公園の種類別に植込地の量を集計すると表4に示すように2倍以上の差がある。これをすべて庭園や植物園のように植栽地の多いものにしたと仮定すると、写真5のように緑地環境水準は全体的に増加し、特に周辺部では格技段に改善されることがわかる。

私的空間の開放や河川敷の植栽は所有権の問題や洪水などの災害上の問題を含んでいるので場所によって実効可能性は異なる。しかしながらこのようなきめの細かな施策を講じた場合、どのような場所がどれ位改善されるかを計量化できることができるようになった。このことは今まで一人当たり何 m^2 とか被率何%という指標より一歩進んだものであるといえる。

表3 緑地環境水準の現況(試算)

コ ド	区	緑地環境水準ランク別面積				緑地環境水準ランク別人口			
		～15分	15～30分	30～60分	60～分	～15分	15～30分	30～60分	60～分
01	千代田	14.4%	16.0%	38.3%	31.3%	28.5%	23.4%	36.2%	11.9%
02	中央	68.6	14.7	13.3	3.3	76.3	17.2	6.5	0.0
03	港	28.8	26.5	28.3	16.4	19.2	31.4	32.1	17.4
04	新宿	25.9	27.3	28.6	18.2	31.3	30.6	27.1	11.1
05	文京	6.0	27.5	34.8	31.8	6.6	26.9	33.1	33.5
06	台東	38.7	30.3	31.0	0.0	49.7	33.3	17.0	0.0
07	墨田	70.4	17.5	12.1	0.0	72.6	17.0	10.5	0.0
08	江東	89.5	8.1	2.4	0.0	83.4	12.5	4.0	0.0
09	品川	76.8	15.8	4.1	3.3	82.2	10.8	3.3	3.8
10	目黒	70.9	14.1	11.2	3.8	79.5	10.7	7.7	2.1
11	大田	87.3	8.0	3.9	0.9	88.8	8.3	2.4	0.5
12	世田谷	66.7	14.4	15.2	3.7	71.4	14.3	12.4	2.0
13	渋谷	21.5	12.5	14.5	51.6	32.2	16.0	14.8	37.0
14	中野	79.3	8.5	8.4	3.7	79.7	8.1	8.8	3.7
15	杉並	81.1	8.8	9.2	0.9	84.2	8.1	7.1	0.6
16	豊島	80.2	9.1	6.3	4.3	82.3	7.3	6.0	4.4
17	北	57.0	18.5	12.5	12.0	50.3	21.1	14.9	13.8
18	荒川	77.8	21.8	0.3	0.0	74.0	25.7	0.3	0.0
19	板橋	83.7	13.3	2.8	0.2	84.0	13.7	2.2	0.0
20	練馬	79.2	9.2	8.0	3.1	79.7	10.0	8.2	2.1
21	足立	99.1	0.9	0.0	0.0	99.3	0.7	0.0	0.0
22	葛飾	98.0	2.0	0.0	0.0	97.8	2.2	0.0	0.0
23	江戸川	98.0	2.0	0.0	0.0	98.6	1.4	0.0	0.0
	平均	74.1	11.2	9.1	5.2	74.1	12.7	8.6	4.5

表4 公園の種類による緑量の違い

	植込地率	その他植栽地率	水面率
庭園, 植物公園	49.3	13.0	13.4
総合公園	35.8	22.0	2.8
運動, 動物公園	18.8	17.8	3.5

(緑化に関する調査報告：東京都S56より作成)

7 まとめ

緑の空間を人々の活動の場として計量化する手法を開発し、東京都23区における100mメッシュにおける緑地環境水準を試算することにより次の3点の成果を得た。

- ① 緑の空間の量や質を変化しうる、また空間への接近性を考慮できるきめの細かい指標を算定できるようになった。

- ② この指標を算定することにより，人間の住み方と緑の空間の配置を評価できることになった。
- ③ この指標を条件を変えて試算することにより，緑の質や量を変化させるような代替案の比較ができるようになった。

参 考 文 献

- 青木宏一郎 (1984) : 公園の利用. 地球社, 212p.
- 青木陽二 (1982) : 緑地環境水準の評価指標の算定方法に関する研究. 日本年計画学会学術研究発表会論文集, (17), 481-486.
- 青木陽二・北島能房 (1985) : 入園料の有無による公園緑地の利用の差に関する研究. 造園雑誌, 48(3), 151-157.
- 青木陽二・布施六郎・青木宏一郎 (1983) : 公園緑地の種類と周辺条件による誘致率の変化に関する研究. 造園雑誌, 47(2), 112-118.
- Aoki, Y., Y. Yasuoka and M. Naito (1985): Assessing the impression of street-side greenery. Landscapd Res., 10(1), 9-13.
- 上間 悟 (1975) : 公園への接近性に関する調査研究. 都市公園, 52, 32-36.

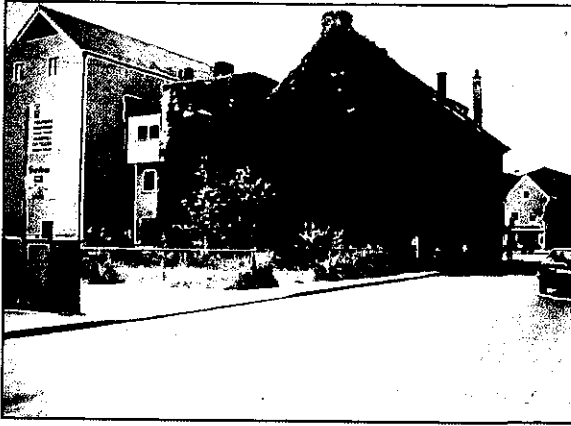


写真1 壁面緑化の例

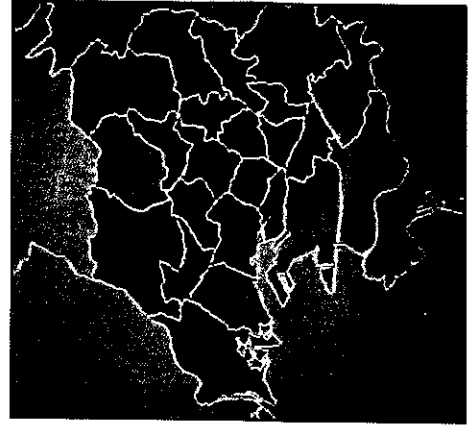


写真3 東京都における緑環境水準の現状

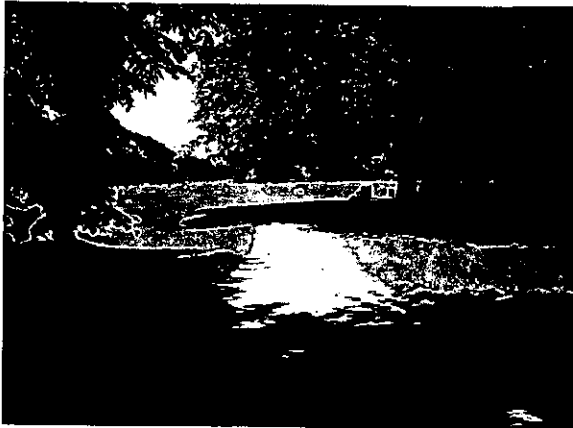


写真2 樹林の例



写真4 プライベートな緑空間を開放した場合

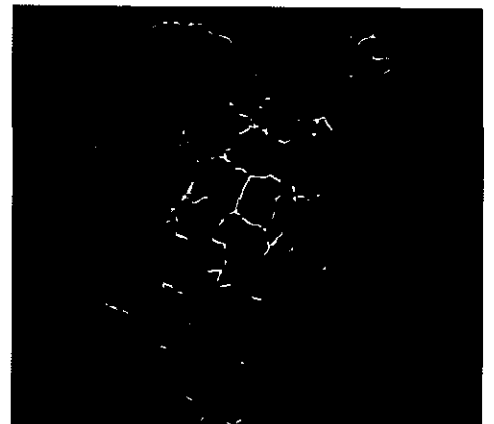


写真5 緑の少ない公園に植樹をした場合

2. 4. 2 緑と建物の分布の計測と指標化 Evaluation of Trees and Buildings Distribution in Urban Area by Remote Sensing

安岡善文¹・猪爪京子¹

Yoshifumi YASUOKA¹ and Kyoko INOTSUME¹

要 旨

樹木や建物など都市を構成する要素の空間分布（配置）は、都市域における環境の快適性を評価する上で重要な要因の一つである。本研究では都市の空間構造を計測することを目的とし、その第一歩として、航空機によるリモートセンシング技術を利用し、(i) 緑の分布、(ii) 建物の分布の計量化することを試みた。緑の分布については、公園、緑地等の大規模な緑による影響と、個々の住宅における小規模な緑を別々に評価する手法について検討した。建物の分布については、建物の配列の方向及び周期を計量化する手法について検討した。

Abstract

Distribution of trees or buildings is one of the most essential factors to evaluate amenity of regional environment. This study discusses the method to quantify the spatial structure of elements which form the urban environment. Remote sensing technique is applied to evaluate the distribution of (i) "green" (trees or grasses) and (ii) buildings. A method is developed to quantify value of "green" separately for large scale "green" in parks or yards and for small piece of "green" in private homes. Also for distribution of buildings, a method is devised for quantifying their periodicity in order to evaluate the housing density in the area.

1. 国立公害研究所 環境情報部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

Environmental Information Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

建築構造物、緑地、河川、道路など都市を構成する要素の空間分布（配置）は、都市域における環境の快適性や災害の危険度を評価する上で重要な要因となる。例えば、緑地や公園における樹木は、地域の景観に大きな影響を与えると同時に火災時に延焼を遮断する効果を有する。また、河川、道路などの空間分布構造や住宅の密集度を知ることは、地域環境を管理する上で、また災害時の避難路を決定する上で不可欠であろう。これら都市を構成する各要素の空間分布を把握することは、環境評価や防災の観点から急務と考えられるが、都市域の広い範囲にわたって、その分布を計測することは容易ではない。

本研究は、地域の環境を評価するための指標を作成する上で重要な項目の一つである都市の空間構造を、リモートセンシング技術を利用して計測することを目的とする。その第一歩として、航空機によるマルチスペクトル画像から、(i) 緑の分布、(ii) 建物の分布、を計量化することを試みた。緑や建物の分布を評価するに際しては、(イ) 利用形態、(ロ) 密集度、(ハ) 高さの分布、(ニ) 配列形態（方向など）、等が問題となるが、ここでは特に、密集度と配列形態の計量化について検討した。

2 緑の分布の計量化

緑の分布を評価する場合には通常、緑被率などの指標が用いられる。緑被率は、一定の面積の領域に対して、 $(\text{緑の面積}/\text{領域の面積})$ で表され、地域における緑の総量を示す指標として有効である。しかしながら、同じ緑被率を有する地域でも、その中に公園などの大規模な緑がかたまって存在する場合と、住宅地のように樹木が散在する場合は、その効用が異なると考えられる。例えば、ある地域に10万本の樹木を増やす場合、これを一つの公園を造ることにより実現するか、各住宅に一本ずつ樹木を植えることにより実現するかでは、その効用は異なるであろう。

すなわち、緑による環境の快適さを評価する場合には、これらの質の異なった緑を個別に扱うことが必要と考えられる。公園や緑地などの場合には、緑の総量に加えて、そこからどれだけ離れるかによってその効用が変化するため（青木，1982）、距離を考慮した評価が必要となる。一方、住宅地における緑の場合には、地域全体の緑量が問題となるため、緑被率などの指標を用いて効用を評価することが可能である。

本研究では、緑の分布の評価に際して、緑を、公園、緑地による大規模な緑と、住宅地における小規模な緑とに分類し、緑による効果をそれぞれ個別に評価することを試みた。緑の分布を評価するためには、広い地域が対象となるため、リモートセンシング技術などを利用した広域計測手法の活用が必要となる（和達ら，1976）。ここでは、航空機を利用したリモートセンシングによって得られたマルチスペクトル画像（以後 MSS 画像）を基に、芝生、樹木等の緑の領域を抽出、その分布を調べた。処理の流れを図1に示す。なお使用した MSS 画像は、1982年5月23日に東京地区（荒川河口→皇居→三鷹）において、マルチスペクトルスキャナー（Deadlus 1250）により撮影された

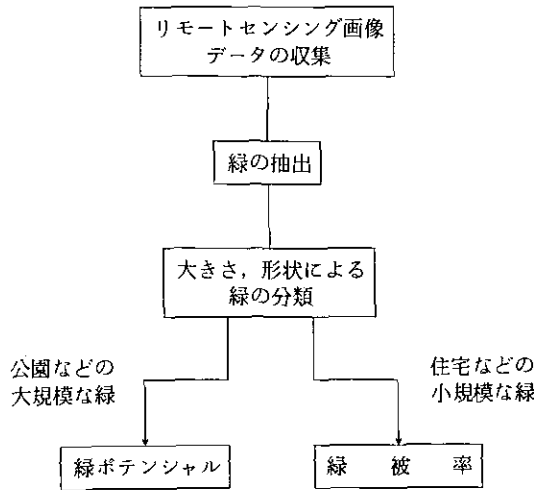


図1 緑の分布の計量化における処理の流れ

ものである。撮影高度は約2000m（地上における分解能は約5m）であった。

2.1 緑の抽出

航空機により得られた MSS 画像を基に、対象領域が何であるかをその画像濃度特性の違いにより領域分類し、緑の領域のみを抽出した。領域の分類には最尤法を用いた。最尤法は、画像中からそこが何であるかが既知の領域をトレーニングエリアとして複数箇所を選び、画像中の各点を、画像の濃度特性が最も類似しているトレーニングエリアに判別する統計的手法である（和達ら、1976）。すなわち、MSS 画像の各点の画像濃度を $\mathbf{d} = (d_1, d_2, \dots, d_n)$ (n はチャンネル数) とすると、各点は、

$$g_i(\mathbf{d}) = -\frac{1}{2} (\mathbf{d} - \boldsymbol{\mu}_i)' \boldsymbol{\Sigma}_i^{-1} (\mathbf{d} - \boldsymbol{\mu}_i) - \frac{1}{2} \log |\boldsymbol{\Sigma}_i| \quad (1)$$

を最大とする領域（カテゴリー）に分類される。ここで $\boldsymbol{\mu}_i$ 及び $\boldsymbol{\Sigma}_i$ は、 i 番目のトレーニングエリアにおける画像濃度の平均値ベクトルと分散共分散行列である。

ここでは、分類すべきカテゴリーを、緑（芝生、樹木の2カテゴリー）、人工構造物（建物、道路の2カテゴリー）、水域及び裸地の計6カテゴリーとし、各カテゴリーのトレーニングエリアとして対象地域の中から地図、空中写真を基に適切と思われる場所を選択した。また最尤法分類に使用した MSS 画像のチャンネルは、第3（0.49～0.54 μm ）、第5（0.58～0.62 μm ）及び第9チャンネル（0.77～0.86 μm ）の3チャンネルである。図2には抽出された緑の領域の例を示す。図2（a）は対象領域の MSS 画像（3、5、9チャンネルの合成）であり、（b）は、（a）の MSS 画像

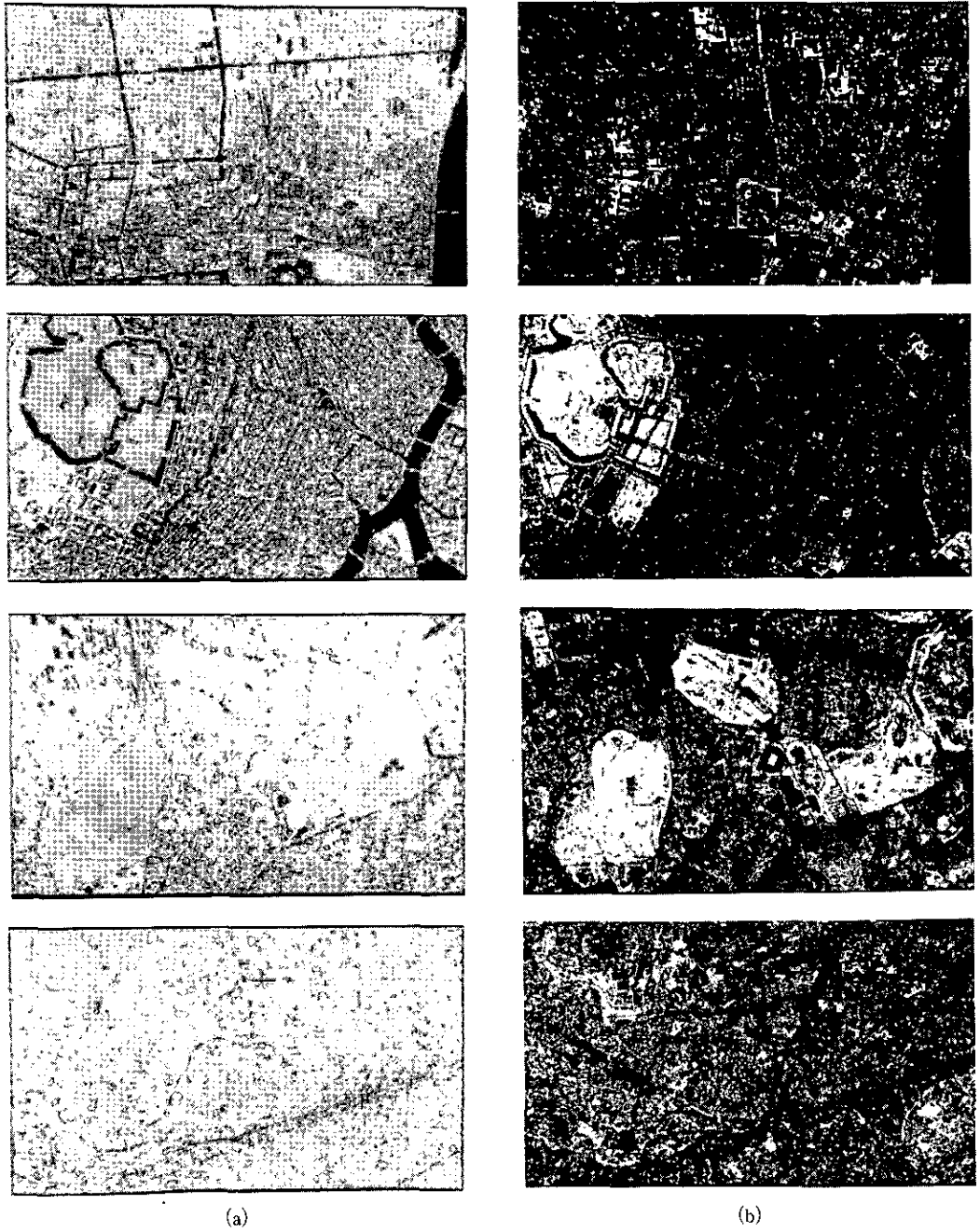


図2 緑の領域抽出

(a) MSS 画像 (上段より江東地区, 千代田地区, 渋谷新宿地区, 杉並世田谷地区)

(b) 抽出された緑の領域

から最尤法により判別、抽出された緑の領域である。図2において、下町、都市部では小規模な緑が少なく、郊外では小規模な緑が多いことが示されている。

2.2 緑の分類

判別、抽出した緑に対し、互いに連結しているものを一つの領域とみなし、各領域にラベル付けを行った。孤立した一画素からなる緑も一つの領域とした。ラベル付けされたすべての緑の領域に対して、①面積 (S)、②周囲長 (l)、③円形度 ($\rho = 4\pi \cdot S/l^2$)、④重心の位置 (X, Y) を計算し、得られたパラメーターを基に、緑の領域を緑地や公園などにおける大規模な緑と、住宅地などにおける小規模な緑に分類した。緑地や公園は、地図、土地利用区分図などを利用することによりその場所、規模などを知ることが可能である。しかしながらここでは、簡単のために物理的な計測値のみから緑の分類を行うものとし、面積 S 及び円形度 ρ を用いて、

$$\begin{aligned} S &\geq S_{th} \\ \rho &\geq \rho_{th} \end{aligned} \quad (2)$$

なる領域を大規模な緑と判定し、それ以外のを小規模な緑とした。すなわち、大規模な緑を、一定以上の面積を有し、かつ、形状が極端に細長くないものとし、そのしきい値である S_{th} 、 ρ_{th} は MSS 画像一画素の地上での空間分解能 (約 $5\text{m} \times 5\text{m}$) を考慮し、あらかじめ設定した。第2の ρ に関する条件は、街路樹などの極端に細長い緑の領域を公園などの領域と区別するために設けた。

2.3 分布の計量化

緑の分布を評価するために2種類の計量化を試みた。

(1) 緑のポテンシャル

公園や緑地は、居住している地点に隣接しておらず、ある程度離れていても、徒歩や自転車などによってその緑を利用することができる。すなわち、公園、緑地等における大規模な緑による影響は、その密集度ばかりでなく、そこからの距離に関する。ここでは緑からの距離に反比例するポテンシャル (緑のポテンシャルと呼ぶ) により大規模な緑の分布を計量化することを試みた。

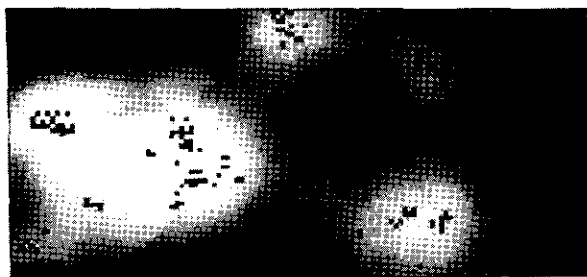
いま対象領域内に n 個の大規模な緑の領域 $\{R_k\}$ ($k=1, \dots, n$) が存在するとき、各点 (x, y) におけるポテンシャル $P(x, y)$ を、

$$P(x, y) = \sum_{k=1}^n S_k f(r_k) \quad (3)$$

とする。ここで S_k は領域 R_k の面積であり、 r_k は点 (x, y) と R_k の間の距離 (点 (x, y) と領域 R_k の輪郭線との間の最短距離) である。また f は距離とともに減少する関数であって、ここでは $f(r) = 1/(\alpha r^2 + 1)$ ($\alpha > 0$) とした。

図3に緑のポテンシャルの一例を示す。図3(a)、(b)はそれぞれ、江東区及び杉並地区 (図2

において最上段及び最下段に示される地域)におけるポテンシャルであり、明るいところ程ポテンシャルが高いことを示す。なお図3において黒い部分は抽出された大規模な緑の領域を示す。緑のポテンシャルは、各点が緑から受ける影響の強さを示す量であって、緑の密集の度合を表す緑被率などとは異なった指標といえる。緑の及ぼす影響の分布を知ることができるため、公園、緑地など大規模な緑の分布を評価する上で有効と考えられる。本研究では関数 f を適当に選んだが、今後、 f をどのように選ぶか、点 (x, y) と R_k の間に河川などの障害物がある場合距離 r をどのように定めるか、といった点についての検討が必要である。



(a)



(b)

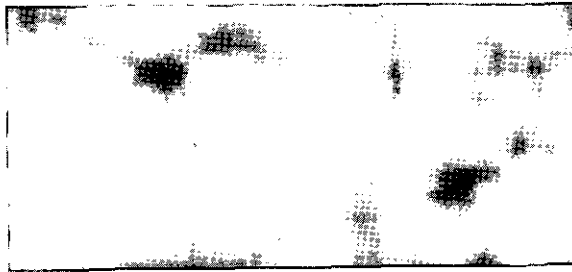
図3 緑のポテンシャル計算例
(a) 江東地区, (b) 杉並世田谷地区

(2) 緑被率 (緑被地率)

住宅地などにみられる散在した小規模な緑に対しては、通常の緑被率による分布の計量化を行った。ここでは、図2に示された緑の領域のうち大規模な緑と判定された領域を除去し、残された領域に対して緑被率を算出した。緑被率は対象領域中の正方小領域 ($m \times m$) において、 $g = M/m^2$ (M は小領域における緑の画素数) により算出した。図4に緑被率分布の例を示す。図4(a), (b)は



(a)



(b)

図4 緑被率計算例

(a) 江東地区, (b) 杉並世田谷地区

それぞれ、江東地区及び杉並地区における緑被率の分布であり、明るいところ程緑被率が高いことを示す。図4に示された緑被率を、図3に示された緑のポテンシャルの分布と重ね合わせ比較することにより、各点の緑の効用を総合的に評価することが可能と考えられる。

3 建物の分布の計量化

建物の分布を評価するには、その利用形態、密集度、高さの分布、配列形態などが問題となる。ここでは、特に、建物の密集度（面積、間隔など）、配列形態（方向性など）を計量化するために、航空機から得られたMSS画像を対象とし、(i) スペクトル法（画像中の建物の周期性、方向性を計量化）、(ii) 線分要素抽出法（建物の輪郭線分要素を抽出し、線分要素の間隔、方向性を計量化）の二つの方法について検討した。使用したMSS画像データは、1982年1月21日に名古屋地区において高度約500mから撮影されたものである。図5には画像データの一例を示した。図5(a)はMSS画像で、一群の小住宅（左側）と集合住宅（右側）から構成されている。また図5(b)、(c)には、MSS画像中の(1)及び(2)の線に沿った画像濃度プロファイルを示した。小住宅に対

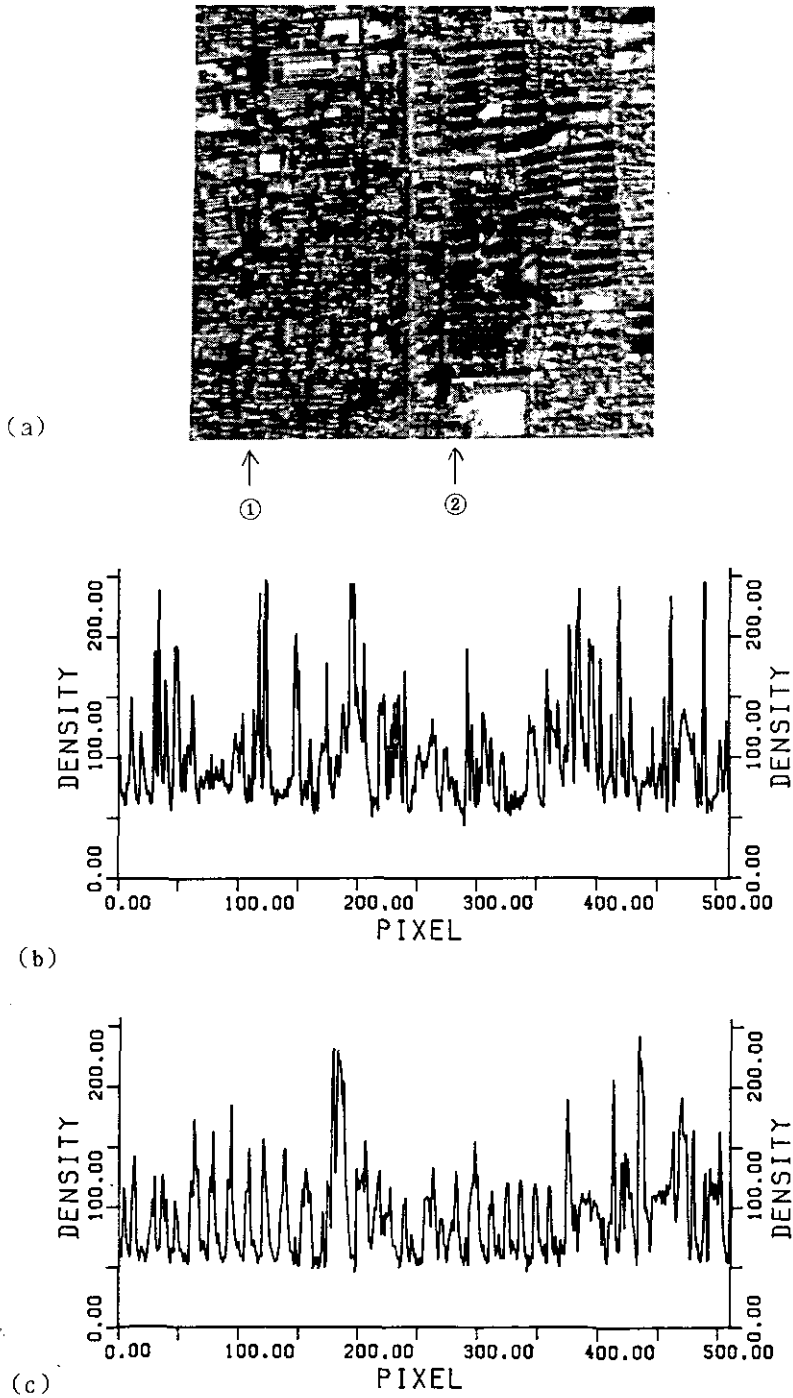


図5 住宅地域における MSS 画像
(a) MSS 画像, (b), (c) 画像中の①, ②の線に沿った画像濃度プロファイル

応したプロファイルは、波形の周期が短く、集合住宅に対応したプロファイルでは、周期が比較的長く、一定していることがわかる。

3.1 スペクトル法

信号中の周期成分を抽出する方法として Fourier 変換が知られている (日野, 1977)。ここでは画像中の周期成分を抽出するために二次元 Fourier 変換を試みた。大きさ $N \times N$ の画像 $f(x, y)$ の二次元 Fourier 変換は、

$$F(u, v) = \frac{1}{N^2} \sum \sum f(x, y) \exp \left(-\frac{2\pi i}{N} (ux + vy) \right) \quad (4)$$

により与えられる。図 6 に Fourier 変換の例を示す。図 6 (a) には変換の対象となった戸建住宅地区 (左下部) 及び集合住宅地区 (右中央部) の二つの領域 (それぞれ 64×64) を、(b) 及び (c) にはそれぞれの部分領域における Fourier 変換画像を示した。変換像において、中央部の縦成分 ($v = 0$ の成分) が強く、これは原画像中で水平方向の成分が強いことが示されている。また周期性の強い集合住宅部分に対する Fourier 変換 (図 6 (c)) がより鮮明な縦方向の成分を有していることが示されている。図 6 (d) には図 6 (b) の Fourier 変換画像における縦方向 ($v = 0$) の濃度プロファイルを示した。図 6 (d) に示されたプロファイルのピークから、原画像では周期がおおよそ 10 画素の周波数成分が最も強いことが示され、これから住宅の周期はおおよそ 12.5m と推定された。

3.2 線分要素抽出法

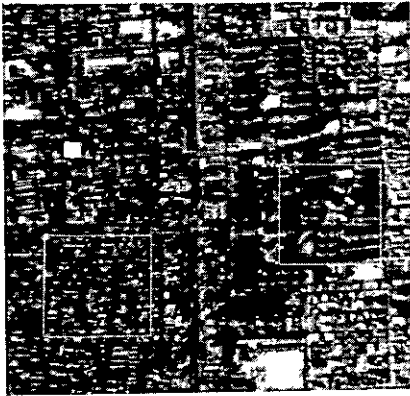
スペクトル法では対象領域内の二次元信号の方向性、周期性を平均的に捕える。このためにしばしば、スペクトルのピークが不明りょうとなって、方向性、周期性の検出感度が悪くなることが生ずる。ここではスペクトル法に加えて、建物の輪郭線分要素を個別に抽出し、線分要素の間隔、方向性を変量化することを試みた。

画像、 (x, y) 平面上の直線は、その原点からの距離 ρ 及び角度 θ をパラメーターとして、

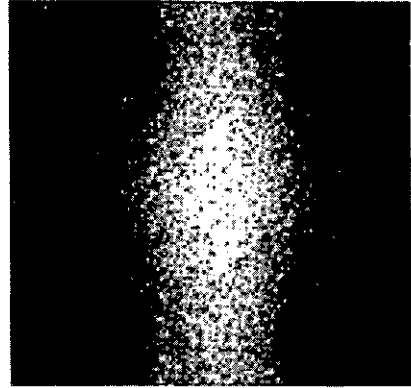
$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (5)$$

により記述される (Hough 変換, 図 7) (Duda, 1971)。すなわち、 (x, y) 平面上の直線成分は、 (ρ, θ) 平面上の一点として表される。したがって、画像上で住宅の輪郭線分要素を抽出し、その Hough 変換を求めれば、線分要素は (ρ, θ) 平面上で点集合を形成する。もし建物の方向が一定であれば、輪郭線分要素も一定の方向性を有するため、その Hough 変換を行えば (ρ, θ) 平面上では $\theta = \text{const.}$ 、すなわち ρ 軸に平行な点群が得られる。さらに建物の間隔が一定であればその点群の間隔も一定となる。

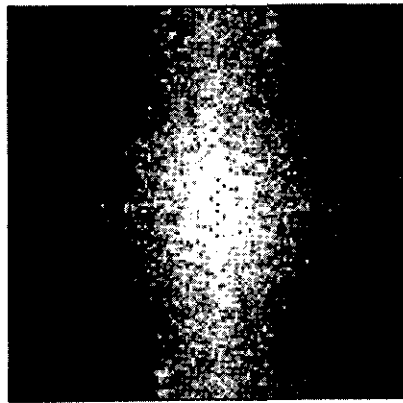
ここでは画像の微分を行うことによって建物の輪郭線分要素を抽出し、さらにその Hough 変換



(a)



(b)



(c)

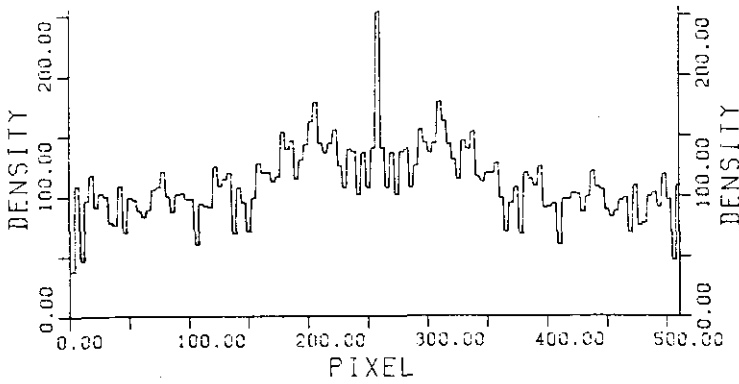


図6 Fourier 変換による住宅分布の計量化

(a) 対象領域, (b) 戸建住宅地域の地域 (左下部) の Fourier 変換像, (c) 集合住宅地域の地域 (右中央部) の Fourier 変換像, (d), (b) における中央部縦方向のプロファイル

を行うことによって (ρ, θ) 平面上で建物の方向性、間隔を計量化することを行った。なお、画像の微分操作には Sobel オペレータを用いた (Duda, 1971)。図 8 に Hough 変換の例を示す。対象領域は、図 6 (a) に示されたものと同じであるが、ここでは、輪郭線分要素を明りょうにするために、原画像を二値化したものに対して Hough 変換を行った。図 8 (a) においては二値化された対象領域を、(b)、(c) にはそれぞれ、戸建住宅地区 (左下部) 及び集合住宅地区 (右中央部) における Hough 変換画像を示した。図に示されるように (ρ, θ) 平面上で $\theta = 90^\circ, 270^\circ$ の近傍に明るい

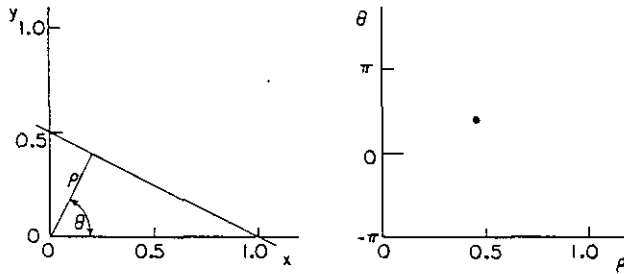


図 7 Hough 変換 (直線要素が点に変換される)

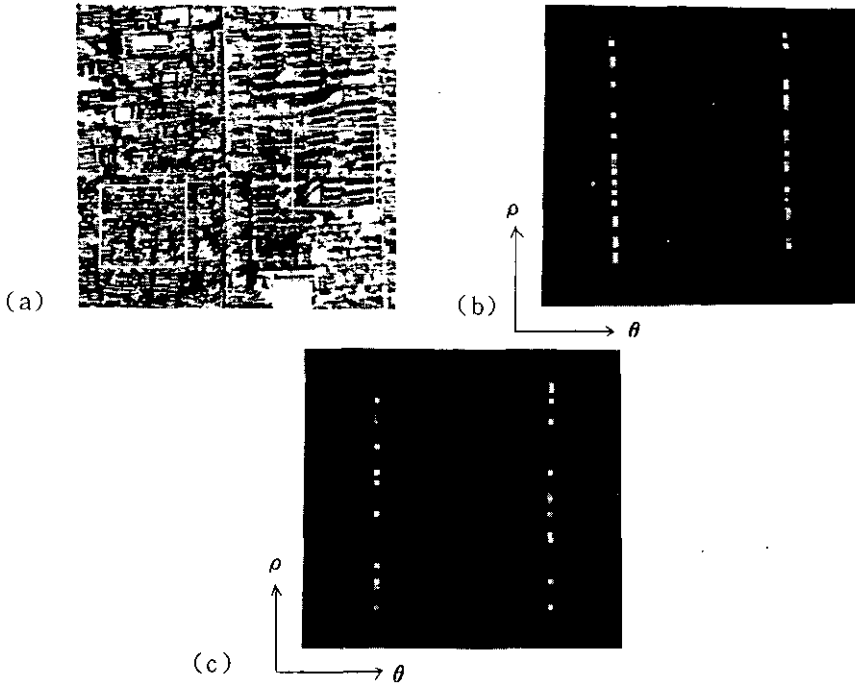


図 8 Hough 変換による住宅分布の計量化
(a) 対象領域の二値化画像, (b) 戸建住宅地域の Hough 変換像, (c) 集合住宅地域の Hough 変換像

点が集中しており、これは原画像中で水平な直線成分が多いことを示している。また点群の間隔から推定された住宅の間隔は、スペクトル法から推定された結果とほぼ一致した。

4 まとめ

環境指標を作成する上で重要な項目の一つである都市の空間分布構造を評価するための手法について検討を行い、その第一歩として、緑及び建物の密集度、配列形態をリモートセンシング技術を利用して計量化することを試みた。

緑の分布については、公園や緑地等の大規模な緑と住宅地における小規模な緑とを区別し、その効用を別々に評価することを試みた。近年、各地において緑を増やす運動がすすめられているが、樹木を増やす場合、これを一つの公園を造ることにより実現するか、街路樹を増やすことにより実現するか、各住宅に一本ずつ樹木を植えることにより実現するかでは、その効用は異なる。本研究において示された計量化手法では、これらの質の異なった緑の分布を個別に評価するため、緑の分布を評価する上で有効と考えられる。

建物の分布については、その方向性と間隔（周期）を計量化するためにスペクトル法及び線分要素抽出法を試みた。住宅環境を評価するためには、周辺における建物の高さや土地利用の形態、道路の構造などが不可欠な要因となる。今後さらに、これらの要因を考慮した建物の密集度の計量化が必要であろう。また、建物の分布と緑の分布を総合的に評価するための指標の作成が必要であろう。

参 考 文 献

- 青木陽二 (1981) : 物理的環境と心理的反応との関連分析に関する研究. 環境情報科学, **10**(3), 25-30.
- Duda, R. O. and P. E. Hart (1971): Pattern Classification and Scene Analysis. Wiley, New York.
- 日野幹夫 (1977) : スペクトル解析. 朝倉書店.
- 和達清夫他 (1979) : リモートセンシング. 朝倉書店.

2. 5 スライド写真を用いた一般住民による街並み評価手法 — 10点法評点づけの有効性の検証 —

Study on a Quantitative Evaluation Method of Townscapes by Citizen Groups Using Color Slides

原科幸彦¹・西岡秀三²

Sachihiko HARASHINA¹ and Shuzo NISHIOKA²

要 旨

本報は、街並み景観を指標化するためにその評価に10点法を適用することの可能性と限界についての研究である。都内20箇所の街並みのスライド写真100枚を310名の被験者に提示し、10点法、一対比較法等各種評価法で評価させた結果に基づき、景観の評価が一次元尺度でなされており間隔尺度の適用が可能なこと、10点法で十分の識別能力を持つことを示した。またこの評価手法を適用する際には、評価主体の選定が必要なこと、居住区域を代表させるにはスライド写真が相当数必要なこと等のこの手法の限界についても明らかにしている。

Abstract

Quantitative evaluation of amenity levels of the urban environment is necessary for effective communication in the city planning process. This paper reports on a townscapes evaluation method using color slides by citizen groups. A 0-10 numerical scale is utilized in the method. A series of experiments for four types of citizen groups in Tsuchiura-Tsukuba area were conducted at the ELMES Laboratory in Tsukuba and 310 valid samples were gained. The result showed the effectiveness of the method for evaluating the townscapes at a certain point in a small area and the difference of evaluation structure among the citizen groups.

1. 昭和59～60年度 国立公害研究所客員研究員 (東京工業大学社会工学科 〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Department of Social Engineering, Tokyo Institute of Technology O-okayama, Meguro, Tokyo 152, Japan.

2. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

都市アメニティの向上は、現在都市計画上の重要な課題である。しかし、都市内のある地区のアメニティがどの程度かを定量的に示すことは難しいとされている。アメニティ向上のための地区単位での計画は、行政、住民、専門家（プランナー）の三者の緊密な協力のもと、きめ細かく進められるべきものである。各主体がアメニティ水準を共通に認識し、情報交換する用語として街並みの定量的評価が必要である。また、行政当局が地域のアメニティ向上に資源投入するときの優先順位を決めるためにもこれは必要である。

周知のごとくアメニティの内容は極めて広く単に街並み景観にのみ限られたものではないが、街並み景観の評価によって地区アメニティのおおよその水準は評価できるであろう。街並み景観の水準を客観的に測定する尺度としては、緑の量や、家並み、看板の多少、色合い等、様々な景観の構成要素に関するものが考えられる。これを $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ とすれば、ある景観の客観的状态はこのベクトル X で表現される。景観の評価においては、これらの要素は個別に評価されるのではなく、全体の組合せとしてセットで評価されるものと考えられる。すなわち、個別に分析的な評価がなされるのではなく、全体が総合的に評価されるものと考えられる。

この評価値を V とすれば V は $V=f(X)$ の評価関数で評価されるわけである。したがって景観の評価関数を求めるためには、 X の測定と同時にある景観に対する評価量 V の測定が必須の条件となる。本研究はこの V の測定（定量化）に関するものである。また、ここでは専門家ではなく一般住民の目からみた街並み評価手法の開発を目的とする。このために、数値尺度のひとつである10点法評点づけの有効性を実証的に検討し、また10点法評点づけが行える前提条件である街並みの一次元尺度上での評価についても検討した。

2 街並み景観評価の手法

従来行われてきた景観評価の手法には様々なものがあるが、それらの方法は評価対象の提示方法と、評価値の求め方から特徴づけられる。本研究ではスライド写真を用い、10点満点での点数づけという数値尺度法を採用した。これは以下の理由による。

2.1 評価対象への接近法

評価対象への接近法のうち最もよい方法は評価者を実際に評価対象の街並みへ連れて行くことである。筆者らは霞ヶ浦の湖岸環境評価においてこの方法（臨場意識調査と名づけた）を実施（原科ら、1979）したが、この経験からもこの方法の実施は通常極めて困難である。

最も多く行われている方法はスライド写真を用いる方法である（榊原、1982）。スライド写真は大型画面に投影され、画像も鮮明なため、現場の状況を再現する上でかなり有効である。この方法は、一時に複数の評価者に評価を求めることもできるため、集合調査の形式で行われることが多い。しかし、スライド写真は同時に2~3枚までみることが限度のため、より多くの写真の同時比較のた

めにはプリント写真が使われる。また、訪問調査で景観評価を行うときにもスライド写真は使えないためプリント写真が使われている。しかし、プリント写真では環境現場の再現性が悪く、この方法は大量を得るための便宜的な方法と考えるべきである。環境評価には訪問調査よりも集合調査の方が有効である（原科・西岡，1983）。

スライド写真による方法が景観評価の主流であるが、写真という静止画でなく動画を用いた評価手法開発の研究も行われている。丹羽(1983)は、大学キャンパス内の景観評価にこの方法を用いた。静止画よりも動画の方が現場の再現性は高くこの利点は大きい。しかし、動画では評価対象を静止画のように明確には同定しにくいという難点が生じる。アメニティ向上計画の策定のためには物理的環境との対応づけが行いやすいという写真を用いた方法の利点は捨てがたい。この点から本研究ではスライド写真を用いた。

2.2 評価値の求め方

評価値を求めるための方法は計量心理学の分野において開発されてきた（Guilford, 1954）。評価尺度は名義尺度、序数尺度、間隔尺度、比例尺度に4分類されるが、これらに対応して各種の測定法が提示されている。名義尺度以外は定量的評価、あるいは尺度構成モデルを仮定すれば定量的評価に変換が可能である。定量的評価を指向した諸手法のうち代表的な方法が、評定尺度法、一対比較法、数値尺度法である。

評定尺度法と一対比較法はいずれも序数尺度を求めるための方法である。序数に数値を対応させて便宜的方法として定量的表現を与えられることが多いが、本来序数尺度であるからこれを数値尺度に変換することには理論的な問題がある。定量的評価のためには直接数値を回答してもらう数値尺度法が用いられなければならない。しかし、果たして景観に数値をつけることができるのだろうかという疑問が生ずる。このためこれまで点数づけという形で質問することはあまり行われてこなかった。従来よく使われている評定尺度は、5段階や7段階等の数値で表現されることがあるが、これは上述のように本来序数尺度であり、間隔尺度による点数づけではない（榎原，1982）。本研究では数値尺度の一つで比較的回答しやすいと思われる10点法（間隔尺度）に挑戦した。

3 評価実験の方法

今回筆者らの行った実験は、東京都内の20地区を対象地区とし、各地区で撮影したスライド写真を約20人ごとのグループ計324名に提示し、評価づけさせたものである。実験方法は以下のとおりである。

3.1 景観評価の対象とした街区とスライド

東京都全域を250m×250mのメッシュに区切り、これを1街区におおむね相当させる。東京都はその環境管理計画立案に際して都内をその特性に応じて13のブロックに分け、ブロックごとに上記

250m×250mの街区を各10ずつ無作為抽出し、住民意識調査を行っている（東京都，1984）。今回実験対象とした街区は、この住民意識調査対象地区120（13ブロック中、島嶼部を除く）の中からさらに無作為に抽出したものである。メッシュから抽出された街区に対してほぼこれに重なる町丁目を単位街区として景観評価対象とした。表1に20地区の町丁目名を示す。地区の性格からこれらは商業地区、独立住宅地区、集合住宅地区、工業地区におおむね大別される。

実験で提示された街区景観スライドは、機械的に撮影された。すなわち、対象街区を縦横各3等分しその交点のうち四方の角を除く12点に近い街路上の点を一筆描き状に歩いて、その歩行方向に向けて12枚のスライドを撮影した。撮影は昭和59年2月20日から3月1日の間に行われた。使用したカメラの焦点距離は35mmで、おおむね人間の視野と対応している。実験にはこの12枚のスライドのうち、無作為に4枚のスライドを選んで用いた。提示されたスライド数は5枚×20地区の計100枚である。

表1 調査対象地区

	対象地区名
商業地区	A 千代田区神田神保町2丁目
	B 千代田区神田松永町、神田和泉町 神田練塀町、神田花岡町
	C 中央区日本橋人形町2丁目
	D 港区赤坂5丁目1～13 同 6丁目11～16
	E 港区芝浦2丁目
	I 江東区千田、海辺
	L 世田谷区八幡山1丁目1～11 船橋6丁目15～20
独立住宅地区	G 渋谷区幡ヶ谷3丁目1～50
	K 大田区田園調布4丁目
	M 中野区中野3丁目33～40
	O 北区滝ノ川5丁目20～50
	P 板橋区大門11～15 赤塚8丁目15～22
	Q 武蔵野市吉祥寺南町3丁目30～49
	R 府中市是政1丁目30～49 T 東久留米市学園町
集合住宅地区	H 新宿区大久保3丁目8～10
	N 世田谷区尾山台3丁目
工業地区	F 中央区佃1丁目、2丁目
	J 江東区枝川2丁目、3丁目
	S 三鷹市下連雀8丁目

3.2 街路景観評価実験の実施

このスライド写真を用いた街路景観の評価実験は、筑波研究学園都市の国立公害研究所に設置された人間環境評価実験施設（ELMES=Evaluation Laboratory of Man Environment Systems 原科ら、1982）において昭和59年3月5日～16日の間の8日間、各日午前午後の計16回に分けて行われた。

この実験はスライドによる街路景観評価実験手法の有効性と限界の確認、評価手法間の比較を目的としている。点数づけの手法としては評点法（10点法、5点法）、一対比較法（無作為一対比較、連鎖一対比較、対角一対比較）など各種手法を適用して実験している。本報告ではこれらの内全16回の実験を通して実施した100枚のスライドを用いた10点法による評価を中心に報告する。さらに、街並みが一次元尺度上で評価されていることの検証のため行った一対比較法による評価の解析結果についても報告する。

3.3 評価者

評価者は実験実施の都合上、国立公害研究所に近接した土浦市及び筑波研究学園都市周辺地域の主婦とした。評価者の居住地はあらかじめ地区特性を考慮して下記のように選んだ。

- (1) 土浦市内の商業地区（以下土浦市街）
- (2) 土浦市近郊の住宅地区（以下土浦近郊）
- (3) 農村地域：茨城県筑波町、大穂町、豊里町、荃崎町（以下農村部）
- (4) 筑波研究学園都市の公務員宿舎地区及びその周辺の住宅地区（以下学園都市）

これより各4地区計16地区を選び、各地区ごとに約20名を住民票から無作為抽出した。しかし、実験実行時においては予備サンプルを含む出席予定者でも出席不可能な場合が多く、知人や出席者の勧誘で出席したケースも多く、結果として任意抽出となった。16回の実験は、それぞれの地区単位に招集して行った。出席者は合計で324名であるが、明らかに評点づけの方法を間違えているものやデータの記入もれのあったものを除いた310サンプルについて分析した（表2）。

3.4 スライド提示及び点数づけの方法

100枚のスライドを15秒間隔で提示し、その間に評価者に点数の記入を行わせた。100枚の提示に先だち点数づけの方法の説明と、おおむね5点前後と思われるスライド6枚の提示及び10枚のスライドによる点数づけの練習を行った。100枚のスライドは25枚ずつに区切って映写され、区切りごとに約1分間の休憩をとった。人間環境評価実験施設では評価者の座席位置の中心で3m×2mのスライド画面を13°の仰角で見ることになる。

スライドの評価は、0、1、2、3……、9、10のいずれかを選んで評点づけさせた。評価の悪い場合は少ない点数、良い場合は多い点数をつけるよう指示した。なお、当初の説明で、評価の視点としてスライドから感じとられる雰囲気、そこで住むということではなく散歩で来たときどう感じるかという見方で評価してもらいたい旨指示している。

表2 評価者数及び有効回答者数

地 区	会議番号	出席者数	有効回答数
1. 土浦市街	1	22	22
	5	19	19
	9	18	17
	13	21	21
	小 計	80	79
2. 土浦近郊	2	20	17
	6	17	15
	10	23	21
	14	21	20
小 計	81	79	
3. 農 村 部	3	20	17
	7	17	15
	11	23	21
	15	21	20
小 計	81	73	
4. 学園都市 地 域	4	12	12
	8	21	21
	12	24	21
	16	25	25
小 計	82	79	
合 計		324	310

一方、一対比較は、10点法評点づけの対象となった20地区のうち10地区（表9）から各一枚のスライドを選び、総当たり（45組）の比較、及び簡便法比較を試みた。10枚のスライドは、先に行った10点法評価で用いたものの中に全部含まれている。

4 スライド写真を用いた街並み景観の10点法評点づけの有効性の検証

4.1 分析の枠組

筆者らの提案する景観評価手法は、小地区（ここでは250m 四方）の街並み景観を数枚（ここでは5枚）のスライド写真を用いて10点法により評価するものである。この方法は比較的簡便に行え、0~10点の定量的評価が得られるという利点を持つ。この方法の有効性を実験結果から検討する。

評価は本来個人ごとに異なるものである。しかし、一人一人の評価も集団で把握すれば一定の傾向を示すと考えられる。本研究はこの視点から、景観評価を強く規定すると考えられる要因により評価者を分類して、集団ごとの評価値を求める立場をとる。景観評価には個人の環境接触の経験が強く影響するが、特に日常接する環境による影響は大きいと考えられる。そこで、上述のごとく、評価者を居住地により土浦市街、土浦近郊、農村、学園都市の四つに分類して分析を進める。

そこで、まず第一に評価者4主体の評価に差異はあるかの分析を行い、主体別に評点することの

必要性を確認した。次に10点法による評価は有意な識別能力を有するかを検討した。ここでは他の評点づけ法との比較ではなく、10点法自体の持つ特性が評点づけ法として好ましいものかという観点から検討した。そして第三に数枚のスライドで小地区環境の状態を表現しうるかの分析を行った。

4. 2 主体による評価の差異

4. 2. 1 主体の特性

主体による評価に差があるかを見る前に、居住地により類型化した4主体の特性を分析した。景観評価に影響すると考えられる要因のうち、現在地での居住年数、過去の居住環境、海外旅行の経験を取り、年齢等についても調べた。表3にこの結果を示す。

表3 4主体の特性

	1 土浦市街	2 土浦近郊	3 農村部	4 学園都市
平均居住年数	23.6	13.5	28.6	4.8
類似居住地経験者%	69.6	72.2	93.2	34.2
海外旅行経験者%	15.2	11.4	11.4	40.5
年齢の中央値	46.6	43.1	50.3	37.5
回答者数	79	79	73	79

主体ごとの特性をみると、学園都市は他の3主体ときわだって異なることがわかる。学園都市は新都市である、このため平均居住年数は約5年と短い。過去の居住環境も学園都市では多様な経験を持つが、他の3主体は大半が過去も現在と類似した居住環境である。さらに、海外の街並みに接した経験の有無を海外旅行の経験により見ると、学園都市では40%もの人に経験がある。年齢的にも最も若い世代となっている。

学園都市以外の3主体では土浦市街と土浦近郊が比較的似ている。また、農村部では過去の居住環境の経験や海外旅行の経験からみると農村以外の居住環境に接した経験は少ない。年齢も50歳代が中心で最も高齢者の多い集団である。

4. 2. 2 評価値の差異

主体による評価の差異を100枚のスライドそれぞれに対する評価結果から分析した。検討方法は、(1) 主体別回答分布の適合度検定、(2) 主体別回答平均値の検定の二つである。

(1) 回答分布の適合度検定

100枚のスライドごとに4主体の回答分布に差異があるかをみるために回答分布を χ^2 検定した。表4にスライド番号1~20までの結果を示す。(表中 ν は自由度を示す。)スライドは評価対象20地区から各1枚ずつとられている。有意水準5%でこの20枚中13枚が4主体の回答分布の間に差異が

見られた。次の20枚についても同様に各地区1枚スライドがとられており、以下同様に20枚単位で全体で5組のスライドが提示された。表5は20枚単位で検定結果を集計したものである。20枚ごとでは13~16枚、全体では100枚中72枚に回答分布の差異がみられた。この結果に示されるように主体による評価の差異が認められた。

表4 4主体回答分布の適合度検定結果
(スライド番号1~20)

番号	χ^2	ν	検定	番号	χ^2	ν	検定
1(S)	7.74	12		11(I)	56.90	15	*
2(K)	28.41	15	*	12(A)	12.16	12	
3(O)	17.47	12		13(N)	61.87	12	*
4(T)	24.98	12	*	14(Q)	61.43	15	*
5(H)	21.81	12	*	15(R)	31.82	15	*
6(L)	18.90	12		16(D)	42.98	12	*
7(C)	2.47	9		17(B)	31.80	12	*
8(P)	15.91	12		18(M)	44.31	15	*
9(J)	48.04	18	*	19(F)	56.27	15	*
10(C)	16.13	9		20(E)	39.04	12	*

* 5%で有意差あり[注 番号欄の()内は地区番号]

表5 4主体回答分布の適合度検定結果の要約

スライド	1~20	21~40	41~60	61~80	81~100	計
有意差あり	13	15	13	15	16	72
なし	7	5	7	5	4	28

(2) 回答平均値の検定

主体間の回答分布の差異は3/4近くのスライドで観測されたが、集団の評価値を求める立場からは、分布の形状は少々差があっても分布の代表値である平均値に差がなければ良いとも考えられる。分布が単峰性を有し、分散も小さいのであれば平均値で分布を代表することは認められよう。100枚のスライドそれぞれについて4主体別の回答結果を見るとほとんどの場合単峰性を有し、標準偏差も1から1.5前後、大きくても2までであり、平均値を用いることができそうである。

そこで主体別の回答平均値が一致しているか否かの検定を行った。通常平均値の差の検定ではいずれか2主体の組み合わせについて差の有無を検討する。しかし、ここで検定したいのは4主体すべてがある一つの平均値に一致するか否かである。したがって、この共通する真の平均値を推定した上で、これとの差の有無を検定しなければならない。このため4主体全体の回答から求めた平均値、標準偏差を母集団の真の値、 μ 、 σ の推定値とした。100枚のスライドそれぞれについてこの μ 、 σ を求め、これを基準に主体の回答平均 X_i のがこの値と一致するか否かの検定を行った。有意水

準5%での検定結果を χ^2 検定と同様に20枚ごとに区切り整理したのが表6である。20枚単位で9~14枚が主体の平均が一致せず、100枚全体で61枚が一致しない。

これを主体別にみると、表中に示したように主体による差異が明確である。土浦市街と土浦近郊は μ との一致が極めてよく、検定の結果棄却されたのはそれぞれ100枚中1枚のみである。一方、農村部と学園都市は共に100枚中49枚と半数が検定の結果棄却されており、前二者とは特異な結果を示している。農村部及び学園都市の平均値が共に棄却されたのはこの49枚中37枚であるが、両者の μ からの乖離方向はすべて逆である。このことから、4主体は、土浦市街及び近郊、農村部、学園都市の3グループにまとめられそうである。

表6 4主体評価平均値
一致性の検定結果の要約

スライド番号		1~20	21~40	41~60	61~80	81~100	計
不一致度		13/20	14/20	12/20	13/20	9/20	61/100
主 体 一 別 致 数	土浦市街	0	1	0	0	0	1
	土浦近郊	0	0	1	0	0	1
	農村部	12	10	11	9	7	49
	学園都市	9	12	10	10	8	49

4.3 10点法による評価の有効性

10点法による評点づけが実際にどの程度有効であるかを以下の観点から検討した。

4.3.1 回答分布

10点法は0から10までの値で回答をするのであるから、回答はこの範囲にばらつくことが望ましい。100枚のスライド個々には評価の高いもの低いもの多様であるが100枚全体をまとめて見たときには平均が5点で0点から10点まで適当にばらつくであろう。3.4で述べたように、各実験のはじめに標準サンプルを回答者に示し5点とはどのくらいかの感じをつかんでもらった。このとき誘導することにならないよう5点±1点ぐらいですよと示すにとどめ、点数があまり中央に固まりすぎないようにとの指示を軽く与えた。

回答結果の分布は正規分布のような山型になった。100項目全体についての回答結果をみると、表7のように全主体では平均4.94、標準偏差が1.75で、中央の5点に極めて近い。農村部は平均が

表7 10点法での回答分布

主体	土浦市街	土浦近郊	農村部	学園都市	全体
平均値	4.94	4.99	5.14	4.69	4.94
標準偏差	1.72	1.62	1.99	1.66	1.75
標本数	79	79	73	79	310

5.14と高めの評価点を与えており、逆に学園都市は4.69と低めである。農村部は標準偏差がほぼ2で最もバラツキが大きい。

4.3.2 評価の識別力

この10点法では0点から10点まで1点きざみでの回答を求めている。各主体は同一の評価構造を持ち、回答された評点は同一の確率分布に従うと仮定すれば1点きざみの回答が意味を持つためには、100枚のスライドそれぞれに対する各主体の評価平均値の推定誤差が少なくともこの1点きざみの範囲内に収まることである。この条件は最大許容誤差をきざみの半分、0.5とすれば満たすことができる。100枚のスライドそれぞれについて主体別評価平均値の95%信頼区間をまとめ、推定誤差が0.5以下になるかを検討した。その結果、4主体とも100枚のスライドすべてについて0.5以下の推定誤差であることが示された。ここに観測された推定誤差は、各主体の回答者個々は同一の評価構造を持つと仮定したものであり、もし評価値の差があるとすれば真の推定誤差はこれより小さくなる。したがって、この実験結果から見る限り10点法で評価した場合の評価値の識別能力は1点きざみ以下であると判断できる。ちなみに、平均値の推定誤差は大多数が0.2-0.3点の範囲であり、0.5点ごとにきざみをつけても識別できるようである。

4.4 地区別の評価

以上の分析から主体別に250m四方の地区内の特定の地点における街並み景観についてスライドを用いて10点法で評価することは有効と言えそうである。次にこれをもとに地区全体での評価値を推定しなければならない。

各地区5枚ずつ用意したスライドは前述のように機械的に撮影した12枚の中から無作為抽出したものである。もし、地区の景観が250m四方の中であまり差がないとすれば各地区5枚のスライドにつけた評価点にもあまり差がないはずである。250m四方の地区景観はどの程度変動するものであるかを実験結果から検討した。分析の方法は主体別に各地区の5枚のスライドの評価値について、(1) 平均値の一致性の検定、(2) 平均値の範囲の二つである。

(1) 平均値の一致性の検定

各主体について、4.2.2と同様の方法で地区ごとに5枚のスライドの評価平均値を検定した(表8)。5枚のスライドの評価が一致するか否かの検定であるので、ここでは地区ごとに求めた評価平均値を μ 、同じく標準偏差を σ とした。どの主体についても5枚のスライドの評価平均値が一致しない地区がほとんどである。100枚のスライド中何枚がこの検定で棄却されたかを平均値の不一致度の一つの指標としてみると、各主体とも過半数のスライドが棄却されており不一致度は高い。この不一致度は地区ごとに大きく異なる。地区KやQでは4主体合計で5/20と低く逆に地区Pでは19/20と極めて高い。250m四方の小地区といえども街並み景観は多様に変まっていることをこの

表8 地区内の地点評価値の変動

地区	平均値の一致性検定*					5地点評価値の範囲**		
	土浦市街	土浦近郊	農村	学園都市	計	範囲	最大値	最小値
A	2	2	2	2	8	1.94	5.26	3.32
B	3	3	2	3	11	1.94	4.84	2.90
C	3	4	3	4	14	2.82	6.36	3.54
D	4	5	3	5	17	1.36	6.10	4.74
E	2	5	4	2	13	2.22	6.08	3.86
F	3	3	3	3	12	1.41	4.77	3.36
G	4	5	3	2	14	1.45	4.60	3.15
H	2	2	2	4	10	1.90	6.09	4.19
I	4	4	4	4	16	2.41	5.84	3.43
J	2	2	3	3	10	2.51	6.68	4.17
K	1	1	2	1	5	0.94	7.67	6.73
L	3	2	2	3	10	1.49	6.24	4.75
M	3	3	3	3	10	2.22	5.32	3.10
N	5	5	3	4	17	2.94	7.10	4.16
O	0	2	3	4	9	0.89	3.64	2.75
P	5	5	5	4	19	2.96	6.71	3.75
Q	0	0	2	3	5	0.53	5.93	5.40
R	4	4	4	4	16	1.79	6.25	4.46
S	3	3	3	4	13	1.90	5.64	3.74
T	3	2	2	2	9	0.75	5.17	4.42
全地区計	56	62	58	84	240			

* 有意水準5%で検定し棄却された地区内の地点数

** 4主体全体での地点別評価平均値を使用

結果は示している。

(2) 平均値の範囲

そこで、地区ごとに評価値にどの程度の差があるかを5枚のスライドの評価平均値の範囲よりみた。各主体とも同様の傾向が見られたので、ここでは4主体全体での評価平均値の範囲と最大値、最小値を示す(表8)。20地区の内16地区が範囲の大きさ1以上であり、3近くの大きさの地区も見られ変動は大きい。地区別に見ると範囲は1以下であった4地区はいずれも独立住宅地という共通点がある。しかし、範囲が2以上の地区M、Pも独立住宅地である。範囲が2以上の地区には本研究の評価対象としたすべての地区類型が含まれる。

以上から、250m四方の小地区でも地区の街並みを一様とみることはできないと結論できる。このため、より小さな地区を単位に評価する必要がある。

5 街並み景観の一次元尺度評価の妥当性

ここで10点法評点づけの前提として、街並み景観が一次元尺度で評価可能であると暗黙のうちに仮定していたが、これについては論議の要がある。すなわち評価主体が、街並みを構成する何らかの要因を、個別に比較して多次元尺度の中で選好しているのか、それとも総体として把握し、一次元尺度の上で選好しているのかについてである。前者であれば10点法を適用すること自体に無理がある。後者であれば序数、間隔、比率のいずれかの尺度が適用可能であり、10点法評点づけ適用の妥当性が証明される。

そこで10点法という間隔尺度を適用する前提として、街並み景観が一次元尺度で評価できることをこの実験で同時に行った一対比較法との結果から確認した。一般的に一対比較の特性として、多次元の比較となる可能性があり、これがこの方法の長所でもあり欠点でもあるとされている。もし、一対比較による景観評価の結果が、矛盾（推移率の成立しないいわゆる3すくみ状況）の少ないものであれば、景観は総体として一次元で評価されていると考えられる。

一対比較における矛盾は三つの面で生じる。主体における矛盾としては、景観が本来一次的に評価できないときに主体が多次元評価を行うことからくる矛盾と、評価者の不注意などからくる矛盾がある。また集団で評価するときは、景観に対する個人の選好の差による矛盾が生じる。

個人の判断矛盾の内容を個別に分析することは不可能であるが、一対比較法における個人の矛盾が少なければ、評価主体は一次元評価をしており、評価対象は一次元で評価可能であるといえよう。

一対比較によるスライド評価の結果を、上述の10点法評点付けの結果と比較して表9に示す。一対比較法による評価実験における矛盾の数を表10に示す。評価主体ごとの一対比較判断の矛盾の少なさを示す確定性係数（ $1 - \text{矛盾出現数} / \text{可能な最大の矛盾数}$ ）は、全体で0.929であり、特に学園都市地区在住者は0.958という高い数値を示している。（確定性係数及び一致性係数については、

表9 地区写真の一対比較と10点法評点づけの結果

写真番号	地区名	選択比率 (一対比較)	平均点 (10点法)
1	中央区 佃 (F)	0.159(9)	3.35(9)
2	新宿区 大久保 (H)	0.324(8)	4.94(7)
3	江東区 枝川 (J)	0.499(6)	5.74(4)
4	大田区 田園調布(K)	0.945(1)	7.67(1)
5	世田谷区 八幡山 (L)	0.609(4)	5.31(6)
6	中野区 中野 (M)	0.073(10)	3.10(10)
7	世田谷区 尾山台 (N)	0.700(3)	6.30(3)
8	板橋区 大門 (P)	0.770(2)	6.70(2)
9	武蔵野市 吉祥寺南(G)	0.552(5)	5.40(5)
10	府中市 是政 (R)	0.350(7)	4.77(8)

いずれも310人の評価主体による。

左欄()の中のアルファベットは地区番号を示し、

右欄の()は順位を示す。

表10 一対比較における矛盾数の分布と確定性・一致性

χ^2 分布 の α	主 体 矛盾数	土浦市街	土浦近郊	農 村	学園都市	計
		79人	79人	73人	79人	310人
0.001	0	19 (24.0)	31 (39.2)	16 (21.9)	33 (41.8)	99 (32.0)
	1-15	49 (62.1)	36 (45.6)	34 (46.6)	39 (49.4)	158 (51.0)
	6-11	8 (10.1)	10 (12.6)	17 (23.3)	5 (6.5)	40 (12.9)
	12-17	3 (3.8)	1 (1.3)	3 (4.1)	2 (2.5)	9
	0.01	0	1 (1.3)	1 (1.4)	0	2 (0.6)
0.05	22-	0	0	2 (2.7)	0	2 (0.6)
最大矛盾数		14	19	29	12	29
確定性係数平均		0.927	0.939	0.884	0.958	0.929
一致性係数		0.663	0.722	0.656	0.740	0.690

表中各欄の上段は矛盾数に対応する人数

下段()内はその各主体ごとの比率(%)

榑原, 1982, P. 417~418参照)

10枚のスライドの総当たり一対比較での可能な最大の矛盾数は40である。確定性の検定を χ^2 検定により行くと、自由度20の χ^2 分布より、0.1%水準での棄却に対応する矛盾数は12となる。実験結果では、可能な最大の矛盾数40のうち12以上の矛盾が起きたケースは4.1%にすぎない。大多数の回答者については危険度は0.1%という低い値であり、個人内の矛盾があるという推論は棄却される。

また、評価主体間の判断の一致性を表す一致性係数をグループ別に求めると、評価主体310名全員で0.690と高い値を示している。ここでも学園都市が0.740と他のグループより一致性が高く、検定の結果、一致性なしの仮説は0.1%水準で棄却される。なお、一対比較法で矛盾の全くなかった評価主体99人のみでの判断の一致性係数は0.795であった。ここで99人の判定が7:3以上に明確に分かれないスライド写真の組合せは、全45組のうち6組みられた。

以上のように、一対比較法の結果を確定性と一致性の面から検討した結果、今回用いたスライド写真による評価は矛盾が少ないことがわかったが、これはスライドによる景観評価が次元尺度上で判定されていることを示しているといえよう。

6 結論と今後の課題

本研究では街並みの定量的な評価手法としてスライドを用いた10点法による方法の有効性を実証的に検討した。合計16回の評価実験で計310の有効標本が得られ、以下の結論が得られた。

第一に、集団での評価値が居住地類型で分けた主体ごとに差のあることが示された。したがって、主体別に景観評価を行わなければならない。景観評価には居住環境の経験が影響するという仮説を検証することはできなかったが、今回の結果はこの仮説を否定するものではない。

第二に、10点法による定量的評価は回答値の分布、評価の識別力の点から有効性の高い方法であることが示された。このためには評価に先立ち、標準サンプルを提示し、適切な指示を与え、回答練習も行うという手順を踏むことが必要である。評価平均値推定の最大許容誤差を0.5点とすれば、10点法では50～60標本以上を得れば良いことも実験結果から導き出された。

第三に、250m四方の小地区でも無作為に選んだ地点ごとの街並みは多様に変動することが示された。しかし、独立住宅地の中には等質的な地区もある。

第四に街並みが10点法評点づけという間隔尺度による次元評価が適用可能かという点に関しては、一対比較法結果の矛盾数の検定から、可能であると結論した。本実験では、評価主体が評価の総合化を同時に行っていることもこの検証から導かれる。このように景観はその構成要素が個別に分析的に評価されるのではなく、全体がセットとして総合的に評価されるものと考えられる。

以上の結果からスライドを用いた10点法による評価は、スライドで示された特定の地点の街並み評価の一つの有効な手法であると結論できる。しかし、他の評点づけ法と比較したわけではないのでこの方法が最良の方法であるか否かは論じられない。これは今後の課題である。評価主体の分類がより明確に行えれば評価の感度はより高まると期待される。また、今回の実験結果は主体による評価の差異を規定する要因として、居住環境の経験の他年齢階層も重要であることを示唆している。

今回の実験で試みた方法は、都市景観設計のための景観要素の指摘を目的としたものではない。ここで試みた住民による景観の評価は、実際の景観設計過程においては第一段階のスクリーニングか代替案作成後の最終段階評価に組み込むのが適当であるといえ、別に街並み構成要素を任意に変えて提示する手法(安岡・西岡, 1985)と組み合わせて、一貫した景観設計過程を提供するものである(西岡ら, 1985)。

本実験は、310人という比較的多数の評価主体により、100枚(10点法評点づけ)あるいは10組(一対比較)のスライド写真を用いた集合調査法で行った。さらに簡便で正確な街並み評価手法を確立するには、主体・対象をかえた実験、あるいは提示媒体をスライド写真のみでなくビデオを用いる実験、調査方法も集合調査のみでなく訪問調査等の方法を試みることなどが考えられる。また間隔尺度をより正確なものにするため、評価実験前のインストラクションの効果についても分析の必要があり、地点単位の評価を地区全体の評価に集約する方法論の開発も今後の課題である。

謝 辞

評点づけ実験においては、評価者となって下さった324名の方々のみならず各地区の行政担当者には種々の御協力をいただいた。また、スライド撮影から評価実験実施に至る一連の作業は(株)関東情報サービスの協力をうけている。評価対象地区の選択に当たっては東京都環境管理計画検討

委員会のデータを利用させていただいた。また特別研究のグループメンバーから多くの示唆を得ており、特に評価実験の実施には森口祐一研究員の協力を得た。ここに心からの感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- Guilford, J. P. (1954): Psychometric Methods. McGraw-Hill. New York.
- 原科幸彦・青木陽二・中杉修身・丹羽富士雄 (1979)：湖岸環境に関する臨場意識調査 (その1)。「陸水域の富栄養化に関する総合研究 (II)」国立公害研究所研究報告, 第6号, 317-326.
- 原科幸彦・原沢英夫・西岡秀三 (1982)：環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究. 国立公害研究所研究報告, 第37号, 150p.
- 原科幸彦・西岡秀三 (1983)：地域環境評価のための集合調査法の有効性に関する実証研究. 地域学研究, **13**, 119-140.
- 原科幸彦・西岡秀三 (1984)：スライド写真を用いた一般住民による街並み評価手法に関する研究—10点法評点づけの有効性の検証—, 都市計画別冊, **19**, 181-186.
- 西岡秀三・原科幸彦 (1985)：スライド写真を用いた一般住民による街並み評価法に関する研究—その2. 一次元尺度評価の妥当性とスライド写真評価の限界についての検討—, 都市計画別冊, **20**, 373-378.
- 西岡秀三・原科幸彦・安岡善文 (1985)：住民参加による街並みづくりのための景観合成・評価手法の提案—IPSEN, ELMESの実験にもとづいて—, 日本不動産学会昭和60年度秋季全国大会講演概要集, 187-190.
- 丹羽富士雄 (1983)：ビデオを利用した景観の評価. 都市計画別冊, **17**, 499-504.
- 榊原和彦 (1982)：都市景観評価システム. 天野光三編, 「計量都市計画」, 丸善, 407-452.
- 東京都環境保全局 (1984)：生活環境選好度調査. 102p.
- 安岡善文・西岡秀三 (1985)：画像処理による景観の予測と評価. 第24回計測制御学会大会, 1985. 8 (札幌)

2. 6 地形・自然環境場の指標化とその利用

Quantification of Topographical and Natural Feature of the Urban Areas in Japan

西岡秀三¹・森 保文¹・森口祐一¹

Shuzo NISHIOKA¹, Yasufumi MORI¹ and Yuichi MORIGUCHI¹

要 旨

地形や自然条件は、都市の環境を左右する重要な基盤であるとともに、次世代に受け継ぐべき資源であり、この定量化、目録化のための手法の確立が望まれている。本研究は、国土数値情報など全国的データを用いて、都市周辺の地形・山並み・自然度などを全国753の市区について定量化し、これに基づいて都市を分類、人のすみつきとの関係を分析した。その結果、土地の傾斜が自然度の維持に大きく寄与していること、及び山から平野へ、さらに縁辺丘陵部への人の移動が、自然環境の保全に大きな影響を与えていることが示された。

Abstract

Topographical and natural features are important not only as one of the key factors dominating urban environments, but also as national properties to be inherited to the next generation. In order to list up these properties, the development of quantification methods of them are essential. In this study, one such a method is developed, based on the topographical features and natural vegetation of the urbanized areas. Specifically, 753 cities in Japan were grouped into eight categories by their topographical features, such as degrees of direction surrounded by mountains. And the recent trend of population movement among grouped regions and the relation between undulations and degrees of natural vegetation are examined.

The results showed that the nationwide trend of population movement from mountainous areas to plains influences the natural environment of urban areas intensively.

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 都市環境形成における自然環境評価の役割

本報告では、地形を土地の高低・水辺の存在などの組合せでとらえ、また自然度を生物種や量の組合せでとらえてそれぞれ定量化し、この結果を用いて都市とそれととりまく自然状態の動向を分析する。

1.1 地形・自然度指標の必要性

幾重にも重なった緑の山々は、古来からの日本人の心のふるさとである。我々が環境について論じるとき、特に地域の比較を行うとき、その地域の位置する場所の地形、地勢、広域景観を抜きには語るができない。関東と関西の生活環境の比較をするとき、必ず持ち出されるのは関東ののっぺらぼう（正確には広大な平野に位置すること）、関西の山並み（変化に富んだ地形）への言及である。また多くの人々がふるさとといったとき、まず、ふるさとの山並み、四季のうつろいとその山並みに表される様子、もやや霧、雨でかすむ山影、谷川の瀬音、河川敷での行楽、水あそび、森で鳥の声をきき、虫をみつける楽しみ等々を思いだす。都会の中では見失われたこうした自然や景観は、我々の国土に備わった貴重な環境資源である。ここで環境指標の対象として、こうした地形から形成される環境を取り上げる理由は以下のものである。

第1に、上述のように地形が地域環境を決定する重要な基盤であることである。

例えば、都市という人の集積ができる以前の状況を考えてみればよい。人が集落も何もないある場所に住み着こうと決心するのは、その地形に人の心を動かす何か—安全、利便、快適などの特色—があるからである。また現在いわゆる地域環境として、人工の環境場、あるいは大気質、水質などの環境質を考えると、それらの基本的要因として地形が関連してくる。大気質はしばしば、その地域の立地条件—海陸風の影響の異なる所か、盆地のように大気のたまりやすい所かといった気象的地形的条件—に支配されるし、眺望のいい所か否か、水辺が近いか、緑が一望できるかといった環境質はすべて地形や都市の位置する場所によって決まることなのである。

本報告書「研究の意義と位置づけ」の表1で、環境場と環境質としてとりあげるべき項目の一覧を示したが、この中で環境構成要素として、地形、地盤、気候、大気、水、生物などを第一にあげているのはこのような理由からである。

第2に、地形が国土環境を守る上で、重要な機能をもっていることである。のちに示すように、斜面の存在は人手を遠ざけるが故に自然度を保つのに役立っているし、清冽な水も日本の山の急斜面をかけおりてくるのである。

第3に地形自体が我が国の重要な財産であることである。このように変化に富んだ国土は世界にも数少なく、日本は有数の箱庭的風景美の国とされている（中野・小林，1959）。ヨーロッパアルプスは変化に富みスイスの観光立国を支えている。フランスのなだらかな丘陵は葡萄畑を育て、丘の上の城塞都市の教会はひとつの風物誌である。それぞれの国にそれぞれの固有地形資源があり、それが国の誇りでもある。我々が環境を論じるとき、これらの日本国民共有の資産がどれだけあり

どう使われているのか、果たしてこの財産は増えているのか減っているのかの財産目録を整備しておくことは、後世代へこの資産を受け継ぐべく管理をまかされた現世代の責任でもある。その意味で、この財産を環境指標として定量化し、財産目録にのせる試みがあつてしかるべきである。

第4の理由として、この国民財産に対する浸食がこのところ急速に進んでいることである。地形のように容易に人の力で変更できない、言わば制御不可能な項目を環境指標にとりあげても、施策へと反映させるてだてではないではないかという疑問がある。しかし現実には、都市域の膨張のため自然地形が変わる事象が起きている。都市建設に必要な砂利供給のために、山ひとつがなくなったという事例は多いし、もっと顕著な例は都市近郊の住宅地開発にみる斜面利用の拡大である。しかもこれらは、地すべりなど安全面の問題をもたらすだけでなく、斜面で守られている自然度の喪失にもつながっている。斜面はそこに住む人にとってはよい眺望を与えるし、それを眺める人にとっては目を休める緑の供給源である。斜面という地形が、重要な環境資源であるという共通認識に立ち、これを保全するための管理の目標として定量的把握の必要があろう。

第5にはこうした国土環境の定量化が長期的国土利用最適化への重要な指針を与えるものとなるからである。後述するように、都市化の波の中で人々は心のふるさとである「青垣」の地を捨てて広い平原と進出しつつあり、古来の定住地は過疎化しつつある。平野につくられた都市での出生がふえており、原風景がのっぺらぼうである将来世代が果たして祖先伝来のこの山河をどのような方策で守りつづけるか。こうした事実を明確に示し、国家百年の計をたてるためにも、国土環境の指標の表示が重要と考えられる。

本章では、このように都市域の環境を考える基盤である都市の自然地形を表す指標として、山並み、斜面及び河川、湖沼、海などの水辺を対象に指標化をはかった。そしてこの指標を用いて、都市化の中で我が国土にどのような変動が生じているのかを分析する。

地形と人間居住の関係については、地理学や歴史学の立場からの研究がなされている。計量化の試みは、計量地理学として発展しており、各種数量化方法の地形分類への適用例も多い。メッシュデータの利用も進んでおり、例えば4. でとりあげる地形と自然度の相互関係を、茨城県全域で分析した例（スタイニッツら、1979）もみられる。

本報告は、これらの研究をふまえて

- 1) 都市環境形成の基盤としての自然条件に注目し
- 2) 地形、山並み、自然度を計量化し
- 3) これらの相互関係の分析とこれらの指標を用いた都市分類を行い
- 4) 国土の利用状況把握に指標の利用が有効であることを示そうとしたものである。

1.2 居住地としての地形価値の歴史の変遷

居住のための地形資源の需要構造が歴史的にみてどのように変化してきたかを示したのが表1である。従来から食料の確保、飲料・農用水の存在、外敵防衛への考慮が居住地選択のポイントであつ

た。明治に入り完全統一国家ができあがり、内戦への配慮は不要となった。また治水技術、利水技術の発達で、安全や生活用水の観点からの水への心配も不要となり、人口増とあいまって平野への住みつきは顕著になった。交通の発達によって生活の場所と生産地の分離が可能となり、臨海部や低地では工業的利用、都市的利用が進んだ。一方拡大する都市域の周辺部では丘陵部に居住地が形成され、あるいは眺望を好んで高台へ人が住居をかまえるようになった。発達した土木工法もこの起伏斜面利用の拡大に寄与している。こうした動きは世界的にも認められており、up-hill movement と称されて、丘陵地への需要を高めている。

表1 居住地選択基準の変遷

時代	主 な 居住地	居住地選択の基準					備考
		生産	生活	安全	利便	快適	
縄文	高地海辺	狩猟採集					
弥生	低地	農耕用水	飲料水				
古代	山に囲まれた低地		飲料水の必要	外敵防禦	租・調などの税の運搬	景観	都市化
鎌倉	一部高台へ						交通、水道技術の発達 人口増
江戸	平坦地一部山の手		水道技術の発達	治水技術の発達			
現在	平坦地 + 高台	生産と生活の分離		内戦なし 治水技術の発達	内陸交通の発達	眺望日照	都市化による人口圧 up-hill movement

2 都市の地形・自然環境の指標化に用いたデータとその処理

2.1 利用するデータ

都市の地形・自然環境の指標化に当たっては、以下のようなデータ収集及び処理を行っている。

対象とする地域 : 全国の市域・政令市の区及び特別区
(以後市域と呼ぶ) 合計753地域

指標化データの最小単位: 国土地理院の標準メッシュ (1km×1km)

指標化の単位 : ①各メッシュ
②市域 (行政区)
③以下に定義する市街地 の3種

利用データ : 表2のとおり

表2 データ出典一覧

No.	調査名	調査データ		備考
		保有機関	項目	
1	自然環境保全 基礎調査	環境庁	自然度 昆虫	
2	国勢調査	総理府55年	メッシュ別人口	
3	土地利用面積 ファイル	国土地理院	建物面積A、B 河川面積A、B	*
4	気象官署区内 気象日別平滑 平年値ファイル	国土地理院	気温、湿度 日照時間 降水量	ただし、官署 165**
5	標高ファイル	国土地理院	行政コード 延長線	*
6	湖沼台帳ファイル	国土地理院	湖沼番号 面積	*
7	平均・最高・最低 起伏量ファイル	〃	標高 起伏量	*
8	アメダスファイル	気象庁 (S.50年)	気温、風速、降 水量、日照時間	5年平均 **

* は国土情報整備事業の一環として建設省国土地理院において作成された国土数値情報である。
** は本報告の分析には利用しない。

指標化のための処理の考え方：

(1) 市街地メッシュの選択

市域の住民の目で環境の評価を行うためには、ある程度人口密度の大なる区域（ここでは市街地と呼ぶ）を同定する必要がある。また山並み等の視点として市民の居住地を代表する点（市域の中心）を定めねばならない。

都市域としては、国勢調査（55年ファイル）よりのメッシュごとの人口を、国土地理院（土地利用面積ファイル）当該メッシュ面積で除し、1000人/km²以上の人口密度をもつメッシュのみを市街地メッシュとして選択する。そしてこれらのメッシュの人口重心に当たるメッシュを中心メッシュとし、中心メッシュの中心位置を当該市域の中心とする。方位や仰角、海、山、河、湖への距離はすべてこの中心を基点として考える。

(2) 山の有無

市街地中心から20km 周囲内の16方位について、平均・最高・最低起伏量ファイル（又は標高ファイル）を用い、中心地からの距離と最大仰角を求める。

(3) 海・湖沼の有無

海については、市街地が海に隣接しているか（中心より5 km 以内）否かを見る。データは、国土地理院の土地利用面積ファイルを用いる。湖沼については、湖沼面積が3 km²以上のものを対象

とする。したがって、作業としては、湖沼番号順に面積積算し、対象とする湖沼を決定する。データは、国土地理院の湖沼台帳ファイルの湖沼番号、面積を用いる。

(4) 市街地メッシュの起伏量について

市街地メッシュの起伏量の大小を比較するため、市街地メッシュごとの最高・最低・平均起伏量ファイルを用い、項目としては、標高値（平均、最高、最低）及び起伏量を用いる。

(5) 自然度

都市の中心より20km以内での植生自然度別面積について計算を行う。データとしては、自然環境保全基礎調査（昭和50年調査）のものを使う。

また各種分析のために、こうした自然環境のデータのほかに、各市行政域の人口、人口密度（55年国勢調査）、市街地の人口、人口密度、各市行政域55年度の人口社会増と自然増等も収録している。

2. 2 市別地形指標の表示

市別の素指標値を図1のように表示する。

図1.aには当該市街地メッシュ・、中心メッシュ*、及び当該市街行政域メッシュ0、他の市行政域メッシュ(×)を示す。また、市中心からみた20km以内の16方位の最高峰位置を1(北)からF(北北西)まで時計まわりに示す。また、湛水面積3km²以上の湖沼位置(L)も示す。図1.bには各メッシュ河川敷面積比率3%以上の河川(・)を示す。図1.cには植生自然度を示す。植生自然度分類は、自然環境保全基礎調査によっている。

3 都市の山並み分類

3. 1 資源としての山並み

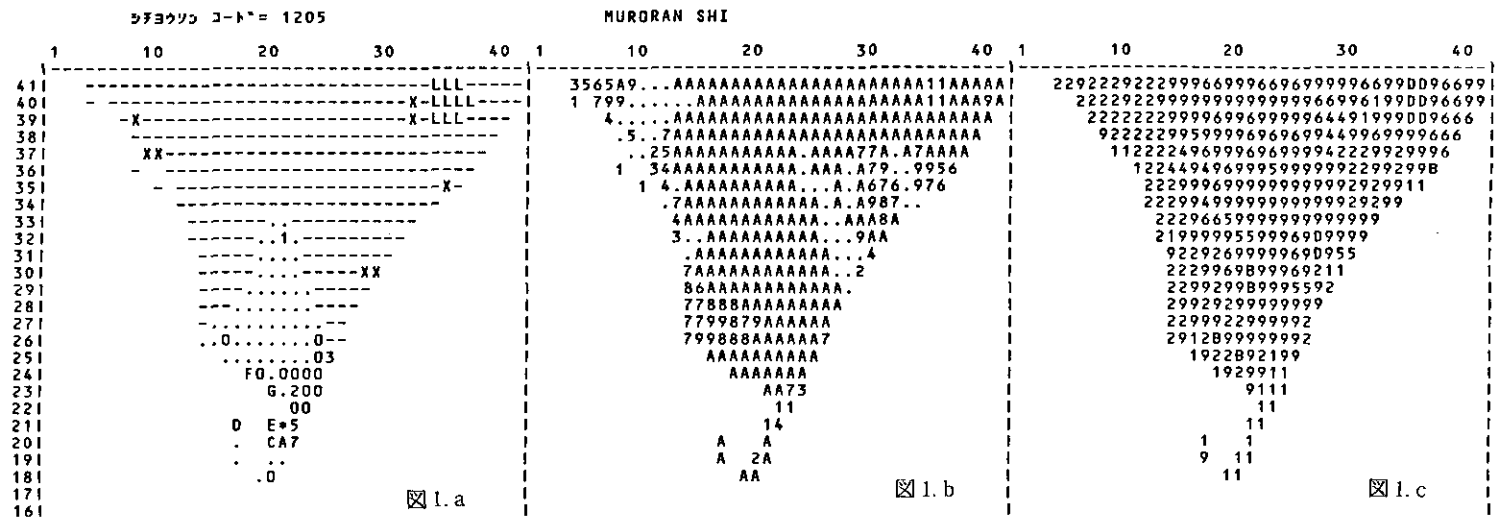
居住地の山による囲まれ度を視覚的にとらえたのが、居住地点から見たスカイライン、山影、山並みである。山並みは原風景の重要な構成要素であると考えられる。山腹の住宅地開発、林道、登山道路の開発により、景観の破壊が続いている現在、人の住む地点からみられる山影が形状別にどれだけあるかは、日本の地形資源目録に付加すべき数値であり、その定量化されたものは環境指標のひとつと考えられる。

2.で示した自然・地形データを用いて、各市域の中心地からみた山並みを図示する。ただしこの作図は、中心より半径20km以内の16方位の最高標高の市街地からの仰角で示されており、したがって距離感は無視し、20km以遠の山影は描かれない。また16方位に限ったため標高の最高の所が必ずしも描けないという精度上の問題点が残っている。

3. 2 山並みの例示

(1) 例1 日本の都

図2に歴史上日本の都がおかれた市の山影を示す。図3にみるように平城・平安の2京では低山



- * : 市街地中心メッシュ位置
- ・ : 河川敷
- : 当市区
- : 当市区で市街地メッシュ
- : 当市区以外の市区町村
- X : 当市区以外の市街地メッシュ
- L : 湖沼
- 1~6 : 各方位ごとの市街地中心メッシュの最大仰角位置
 1 - 北 ~ 2 - 北北東 F 北北西

数字は自然度を示す (A~Dは自然度10の小分類)

図1 素指標の表示 (室蘭市付近)

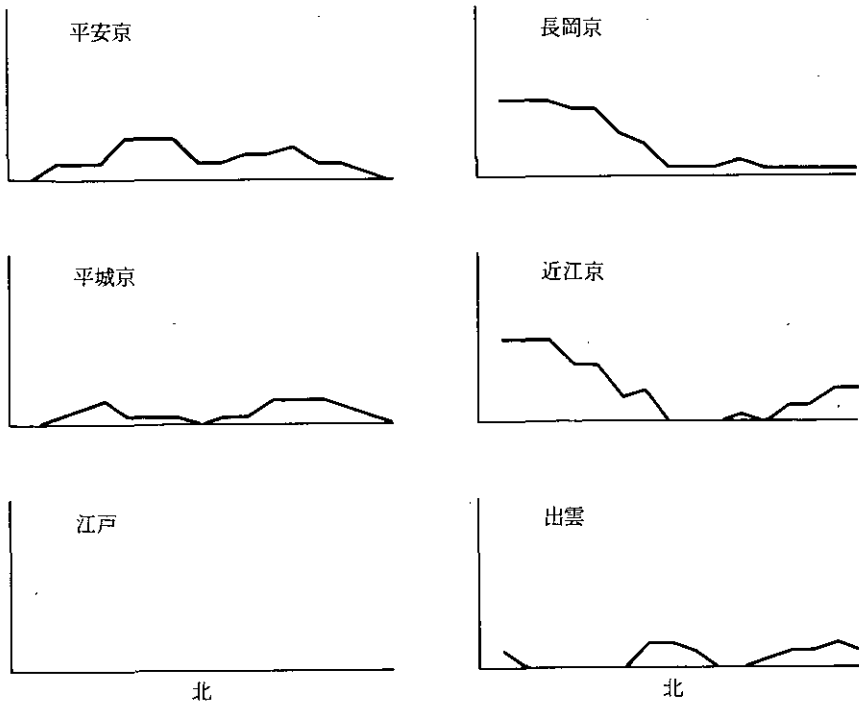


図2 山並みの表示例（日本の都）

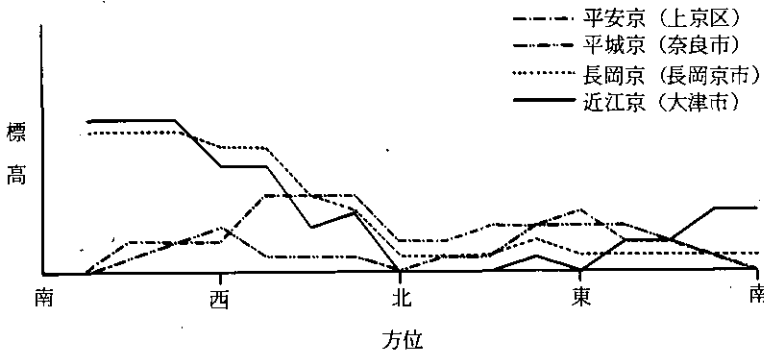


図3 日本の都の山並み

が3方を囲む形が共通である。一方短命であった長岡京，近江京は西に山が切り立ち北にひらけた地形であるという特徴を持つ。

(2) 例2 小京都

図4に日本で小京都と呼ばれている都市の山影を示す。小京都は戦国時代以来の大名が京都を模して藩都を置いた場所であり，日本人の心のふるさとであるとされている。低山で三方，四方を囲

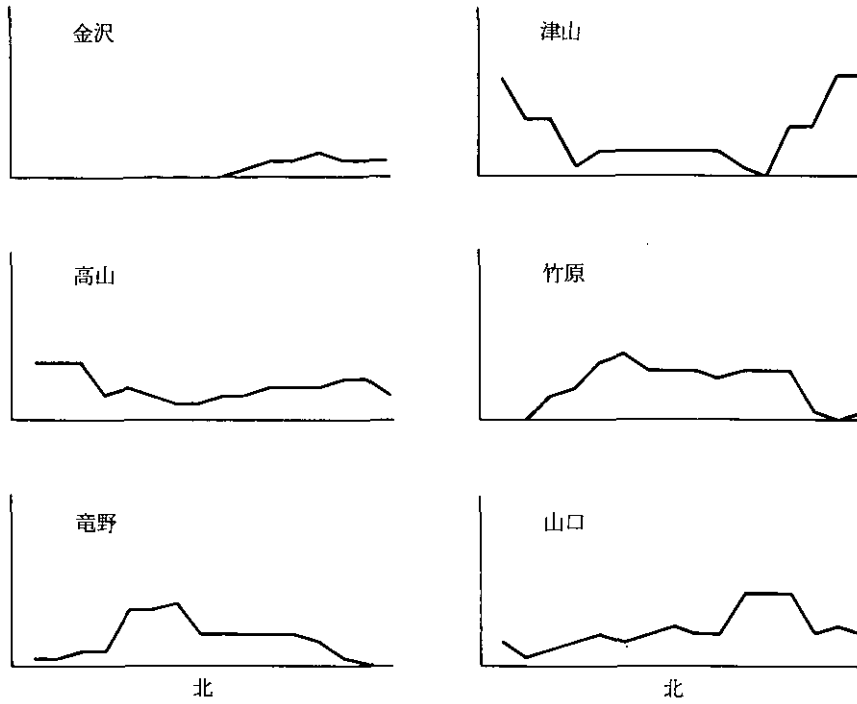


図4 山並みの表示例（小京都）

み、防衛面での適性と人口の規模維持が可能な広がりをもつ地形が、視覚的にも優れた景観を与えている。図5にこれらの市の山影の差をみる。

3.3 山並みからみた都市の分類

ここでは山並みを数量化し、これを用いて都市の分類を行う。山並みを数量化するため、以下の数値化を行う。

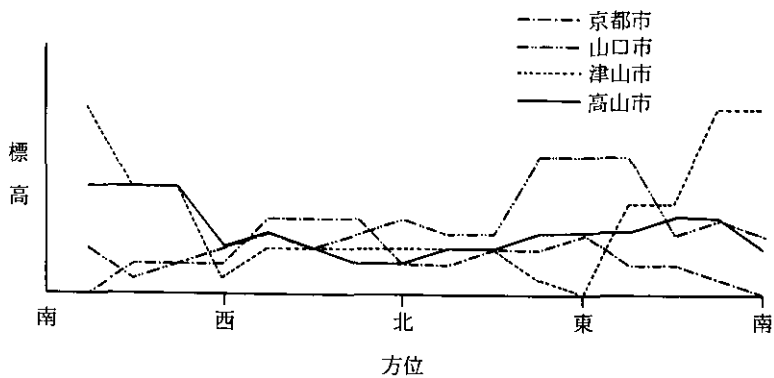


図5 小京都の山並み

囲まれ度—16方位中の山のある方位の割合

連続度—16方位中続けて山のある方位の区間の数（四連続ならば3）

遮へい度—16方位の仰角の和

この3変数によってクラスター分析を行い、日本の都市の山並みを6分類した（図6）。第Ⅰのグループは山並みの全く見られないグループである。第Ⅱは山並みが、わずかしか見えないグループである。第Ⅲのグループは、山並みがかなりあるものの、囲まれ度が1/2以下で開放感の感じられる山並みである。第Ⅳは多くは片側が海になっていて比較的高い山が片側に切り立ってある都市、第Ⅴは低山がほぼ3方を囲んでおり、あまり圧迫感を感じさせない山並み、第Ⅵは高い山に囲まれた盆地型である。

この分類は変数の選び方が十分独立性を持ったものでなかったため、主に遮へい度による分類に落ち着いている。

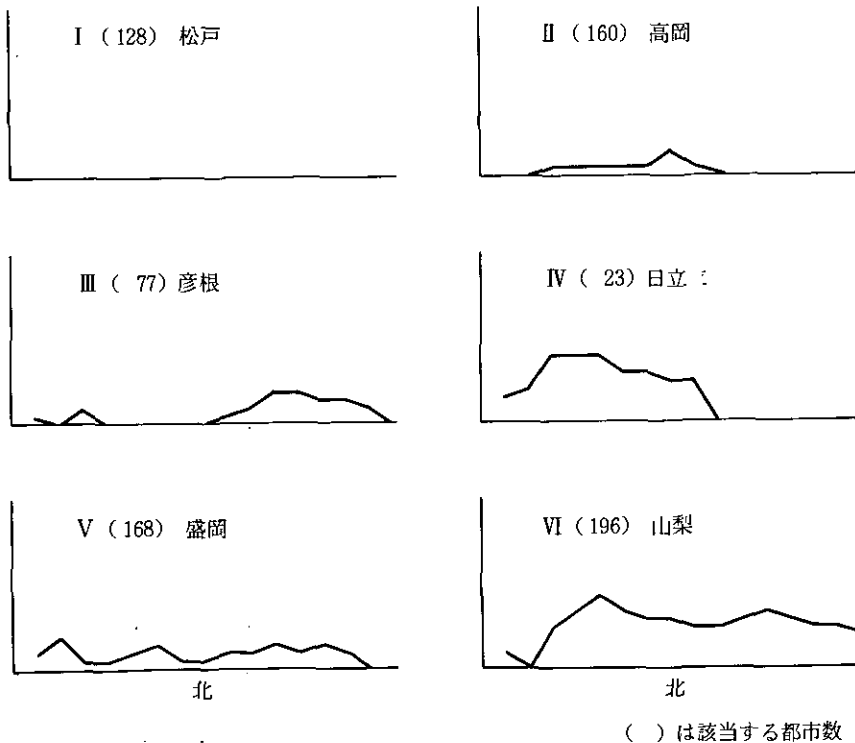


図6 山並みの分類

4 地形分類からみた人口分布

4.1 地形の分類

1.2 で述べた歴史的推移からみて、居住に適した地形の主要要素は、海、川、湖といった水の存在と山に囲まれている度合（囲まれ度）とである。全国の都市の位置する場所を、山による囲まれ度、海との接触と湖水の近さで表3のように分類する。そしてこの分類に入る都市の諸特性と平均像を求めてみる。

ここで、海に面しているか否かは市街地中心から5 km以内に海が有るか否かで判断する。囲まれ度とは、16方位中何方位に山が存在するかを%で示したものである。ここでは20km圏内に仰角1度以上の山がある場合を、山が存在するという定義にした。中村（1982）によれば、おおむね仰角1度あればまとまった風景として山の存在が認識される。また、河川水の存在は、市街地内あるいは市街地面積の平均半径の2倍以内に河川敷面積が0%でないメッシュがあるか否かをめどとしたが、結果としてほとんどすべての都市に河川水の存在が認められた。湖水の存在は、市街地中心から半径5 km以内に3 km²以上の湛水面積を持つ湖沼があるか否かで判定する。

なお、この地形分類は樋口（1981）の景観タイプと一部対応する所がある。樋口の分類でとった空間的範囲は、市区より小さく大字あるいは字ぐらいと考えられるが、ここでの分類では樋口より大きく、市域にとっている。

ここで盆地型（入江型）とした地形は、樋口が日本の都の原型と呼ぶ「秋津洲（あきつしま）やまと」型に似ており、「四周を青垣山がとり囲み、そのうちに清流の流れる明朗広潤な平地」で代表されている。また谷型とした地形は、「水分（みくまり）神社型」と似ている。これも一つの日本人の心象風景とされており、両側から山がせまった谷（やつ）に似た地形がこれに含まれる。山のある平地は、「蔵風得水（ぞうふうとくすい）」型とされ、山を背負った平野であり、人間の活動の場と山から流れ出す清水が同時に得られ、日本人にとって最も好ましいせい（棲）地とされてる。平地について樋口は、これが低湿地帯、大川川の乱流地帯であって、日本人がこの地へ住み着いたのは都市化時代に入ってからといわば新開地であり、景観的には今後新たに創出が望まれる地域であるとしている。




4.2 地形からみた人口の分布

表3より、ここでとりあげた全国753市について以下の状況が読みとれる。

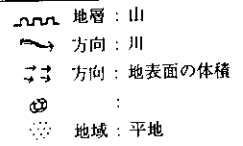
1) 3方以上山に囲まれている、いわば盆地あるいは入江型地形で市域の立地が最も多く、対象全都市数の40%を占める。なかでも盆地型は25%を占めている。ほとんど山の無い平野部の都市立地数は20%を占める。なかでも海に面しない都市の数が多い。

2) 全人口の分配を見ると、市域数では多い盆地・入江型には、22%の人口が集まっているが、平均人口は少なく、特に山間部での人口規模は平野部都市の1/3程にすぎない。盆地・入江型では、50万人規模で豊中市、40万人規模で静岡市があげられるのみであり、人口10万未満の都市が80%

表3 全国都市域の地形分類と平均プロフィール (昭和55年度)

山による 囲まれ度	海の 存在	湖 水	タイプ	市数	全人口 (千人)	平均人口 (千人)	人口密度 (人/km ²)	平均 自然度	社会増 %/年	自然増 %/年	例	樋口(1981)の景観分類 との対応
3/4 以上 (盆地 (入江))	*	**	有**	1	62	5,514	88.9	3,070	2.25	-0.31	0.67	鴨川, 松山, 両津, 敦賀, 田辺, 岩国, 大分, 高知, 諫早 秋津州やまと型景観
			無	2	53	4,681	88.3	3,468	2.99	-0.68	0.63	室蘭, 高萩, 逗子, 尾道, 倉敷, 宇和島, 尾道
			有	3	121	8,268	68.3	3,263	2.00	0.12	0.69	枚方, 京都, 奈良, 長野, 甲府, 盛岡, 山形, 宇治, 橿原, 天童, 白河, 諏訪, 竜野, 生駒 
			無	4	62	2,904	46.8	2,660	2.37	-0.31	0.60	三島, 福井, 福島, 米沢, 日光, 青梅, 鯖江, 佐久
1/2~ 3/4 (谷)	有	有	5	65	6,283	96.6	3,216	1.99	-0.16	0.71	和歌山, 鎌倉, 徳島, 延岡, 芦屋, 津, 小田原, 熊野, 三浦 水分神社型景観	
		無	6	32	3,385	105.8	4,129	2.39	-0.45	0.60	長田区, 灘区, 沼津, 函館, 別府, 日立, 小樽, 萩, 熱海 	
		有	7	49	7,028	143.4	4,143	2.04	0.56	0.92	泉, 加茂, 守山, 天理, 水戸, 長岡, 熊本, 岡山 岐阜, 八王子, 高崎, 弘前	
1/4~ 1/2	有	有	9	45	7,578	168.4	6,100	1.87	-0.32	0.80	阿倍野区, 金沢区, 秋田, 宮崎 蔵風得水型景観	
		無	10	25	4,006	160.2	5,754	1.74	0.12	0.79	尼崎, 明石, 四日市, 西区(大阪), 根室 	
		有	11	50	8,506	170.1	5,420	1.79	0.10	0.98	仙台, 相模原, 生野, 豊田, 所沢, 厚木	
		無	12	24	3,790	157.9	5,587	1.44	-0.06	0.81	東大阪, 金沢, 藤沢, 前橋, 宇都宮	
0~ 1/4 (平野)	有	有	13	32	8,300	259.4	8,524	1.41	-0.67	0.79	大田区, 品川区, 新潟, 川崎区	
		無	14	9	1,939	215.4	5,107	1.69	0.04	0.84	千葉, 船橋, 柳川, 酒田	
		有	15	75	18,368	244.9	7,201	1.75	-0.07	0.95	東京, 松戸, 浦和, 府中, 蕨	
		無	16	23	2,690	117.0	3,998	1.75	0.40	1.11	尾張一宮, 八千代, 帯広, 岩手, 結城	

* 山の囲まれ度：市街地中心より見て仰角1度以上の山がある方位数/16方位
 ** 海(湖)の存在：市街地中心より5km以内に海(湖)がある。



占めるが、これは京都市のように地形上これ以上の発展が困難な所である。小京都タイプの都市の多くがこの地に分類されており、こじんまりとした感じの地域である。

一方、平野型には32%の人口が集中しており、なかでも内陸平野部に19%の人口が集中している。ここでは平均人口が大きく、30万人～50万人、100万人規模の都市があり、首都圏・京阪神圏・中京圏のほとんどの区・市がここに入る。

3) こうした地区での人口密度分布を見ると、市の数が多い盆地タイプでは2000～3000人/km²の都市が多数を占めている。これに対し平野部での人口密度は広く分布しているものの、10000人/km²以上の市(区部が多い)が多くを占めている。

以上地形による人の居住分布をまとめると、山で囲まれた地域に小規模な都市が点在し、平野に巨大過密都市が広がっており、人口の30%は後者に住む。

4.3 地形間の人口移動

次に昭和55年度(単年度)の人口増減傾向に基づいて地形間の人口移動をみる。

まず、社会増である。盆地、谷型では人口流出市が多く、平野型に近づくにつれて逆に流入市が増える。しかし盆地型では、生駒市、泉市、厚木市のような大都市郊外の都市には社会増が大なる地域も多い。平野のうち臨海部からは人口流出もあり、谷型の地方中心都市への流入が目立つ。人口でみると全体として盆地から平野への移動がみられるが、一部新たな盆地への人口拡大もみられる。

これを自然増でみると、この年全国計では0.3%の人口増加がみられたが、盆地での自然増は0.6%台と平地での自然増1%近くと比べて少ないのが目立つ。

4.4 丘陵部への居住地拡大

図7と表4に都市の平均起伏量と昭和50年～55年の間の社会増の関連を示す。社会増は平地に多いが、一部の平均起伏度100mあたりに社会増が大なる都市がある。これらは泉市、厚木市、生駒市といった最近開発された大都市圏近郊の衛星都市であり、また高級住宅地と目されている所もあって標高も高い。こうした所では人々のよりよい住宅地を求める動きが、up-hill movement となって斜面の宅地化を進めている。

5 地形と自然度の関連分析

本節では都市における自然度についてみる。ここで計測値としてとった自然度は、昭和50年「自然環境保全基礎調査」での植生自然度である。自然度1は市街地、造成地、自然度6は造林地、自然度10は自然高原のように定義されている。このデータには、代表性が不十分であること、欠測値があること、自然度の定義が人手の加わり加減を相当に考慮していること、名義尺度的であることなど、の指標化するに当たっての問題点があるが、ここでは一応の目安として市域の植生自然度の

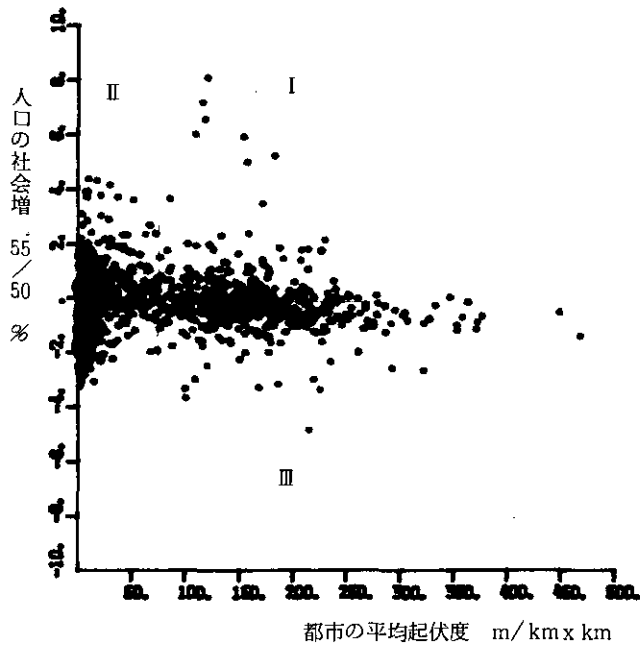


図7 都市の平均起伏度と人口の移動

表4 起伏度と人口移動

I群	人口急増 起伏度 大	豊平区、泉、秦野、厚木、湖西、名張 城陽、箕面、泉南、須磨区、芦屋、 三木、奈良、生駒、筑紫野、大野城
II群	人口急増 起伏度 小	取手、入間、春日部、蓮田 野田、町田、多摩、緑区、守山、枚方、 大和郡山
III群	人口急減 起伏度 大	室蘭、夕張、芦別、三笠、四条畷、 灘区、兵庫区、大竹、 八幡東区

平均値をとって当該市の自然度を示す指標とする。ここでの起伏度とは、当該市域の各メッシュ内の高低差を市域全メッシュで平均した高さであり、地域の凸凹あるいは傾斜の状況の平均を示している数字である。

人口密度と自然度には図8に示す相関が見られる。また各地域の起伏量と自然度には、図9で示すように明らかに関係が認められる。起伏量がおおよそ60mで自然度が平均3を上まわり、60m以上の起伏量になると直線の傾きが急になり自然度が保たれる。

この二つの図から以下のことがいえる。

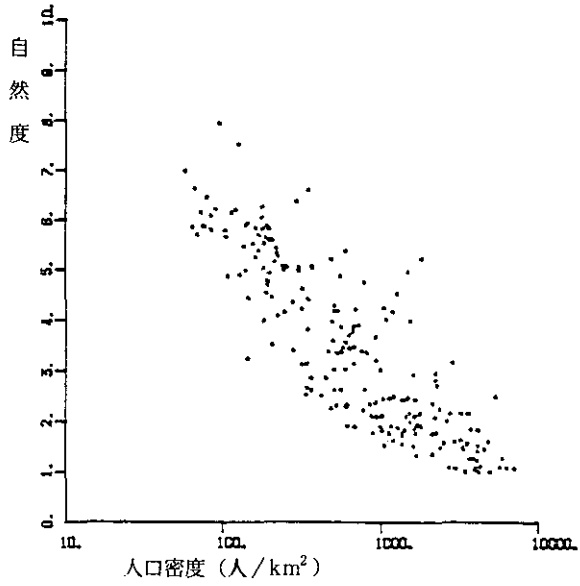
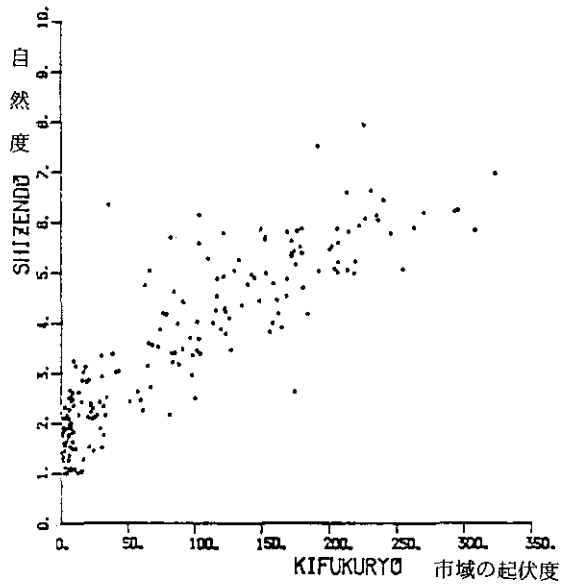


図8 全国市域の人口密度と自然度の関係



自然度：「緑の国勢調査」による植生自然度の市域の平均
起伏度：市域における1kmメッシュ内の高低差の平均(m)

図9 全国市域の起伏度と自然度の関係

① 起伏量の少ない市（起伏量約60m以下）は既に都市化、宅地化されていることが多い。そのため自然度は3以下に集まり、この場合には人口密度の大小は自然度にあまり影響しない。しかし起伏量が豊かで一定量以上の斜面があると森林が残ることが多いため起伏量は自然度に大きく影響する。また、平地であっても、都市化、宅地化されていない場合自然度は高い。起伏が大なるため自然度が保持された市区としては神戸市長田区、都市化宅地化されていない起伏量小の市区としては釧路市が代表としてあげられる。

② 起伏量が多い市（起伏量およそ60m以上）はあまり都市化、宅地化されていないので、起伏量の大小にかかわらず自然度は高い。しかし、一旦都市化、宅地化されると、わずかな人口密度の増加によって、自然度は大きく低下する。

これらから次の2点が、都市域の計画の中で重要であることがわかる。一点は平野部の主に斜面に残された林が自然度の面からは重要であるので、残すことが望ましいことである。2点めは、起伏量の多い市区において、自然を高く保つために斜面の都市化、宅地化になんらかの計画性が望まれる。

なお地形と自然度の対応でみると、平均自然度3以上の市は平地型にはない。自然度5以上には囲まれ度の高い日光、熊野、新宮、釜石、敦賀などの都市があげられる。

6 まとめ

本章では環境場の基盤である都市域の自然地形状況を、全国市域を対象に、既存データで指標化し、これら指標を利用して都市域における国土利用を概観し、環境保全策として何が求められるかについて分析した。

指標化対象としては、市域の自然度、地形、起伏、山並みをとった。これらの指標化には主に「国土数値情報」及び「自然環境保全基礎調査」を用いたが精密な指標化とするためにはこれらのデータのみでは不十分である。しかしここでは既存データを用いて国土全体がどのような状況にあるかを把握することに主眼をおいて各種の指標を作成した。

また、地形と人口分布の関連を歴史的流れに沿ってとらえたが、世界的な現象である up-hill movement の波を日本もうけている状況が示された。都市への人口集中が、日本の原風景的盆地から人口を流出させ、その結果平野へのすみつきが拡大し、そこでの新しい世代誕生がみられること、また都市域の拡大により大都市周辺の斜面地への人口増加がみられたことを指標の利用例として示した。これは過疎山地の森林と都市周辺の緑が、前者は人手がなくなることにより、後者は都市圧により森林の質が減価してゆく危険性を示している。

自然度にかかわる分析からは、都市の起伏が自然度の維持に大きな役割を示していることを示したが、これも都市圧により斜面利用が進むと喪失の可能性がでてきている。

ここであげた山並みなども、古来より土地固有の資源の一種としてそれぞれの地で誇りにされてきたものである。今後もこうした自然、国土を対象とした環境資源の定量化により、守るべき環境

は何か、それがどのような変化をうけつつあるか、各環境問題の関連はどうか、どのような対策が有効かといった全国的施策がうてるようになることを望んでいる。

参 考 文 献

- 樋口忠彦 (1981) : 日本の景観—ふるさとの原型. 春秋社, 164-175.
- 石水昭夫 (1976) : 計量地理学概説. 古今書院, 235p.
- 正井泰夫 (1971) : 都市の環境—日本の都市像. 三省堂, 297p.
- 中村良夫 (1982) : 風景学入門. 中央公論社, 44-52.
- 中野尊正・小林国夫 (1959) : 日本の自然. 岩波書店, 203p.
- C. スタイニッツ, P. ロジャーズ (阿部統監訳, 吉川博也訳) (1979) : 都市環境のシステム分析. 鹿島研究所出版会, 128p.

2. 7 地域の個性に関する指標の算定とその活用 Estimation of the Individuality of Urban Environment

森田恒幸¹・勝矢淳雄²・内藤正明¹

Tsuneyuki MORITA¹, Atsuo KATSUYA² and Masaaki NAITO¹

要 旨

本研究では、地域環境の“よさ”や“個性”を抽出し定量的に評価するため、新たな手法を提案した。この手法は、よく知られたセマンティック・ディファレンシャル法を基本に、地域固有のよさを積極的に抽出できるよう尺度構成に改良を加えたものである。そして、この手法を東京の環境評価に適用し、住民意識調査データから因子分析を用いて個性指標を作成した。さらに、この指標を用いて東京の地区環境を八つのタイプに類型化した。ここで提案した手法は、地域の環境管理や快適環境づくりでの活用が期待される。

Abstract

In this study, a newly designed method for finding and evaluating quantitatively the excellence or individuality of regional environment has been proposed. This method is devised based on the well-known "semantic differential method", with improvement on the scale construction in order to find the quality indigenous to a region positively. As the result of applying this method in Tokyo area, the individuality indices have been formulated from questionnaire data of urban residents by using a factor analysis. According to these indices, the regional environments have been divided into eight typical classes. The proposed method is expected to be of effect in managing regional environment or creating local amenity.

-
1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 昭和56年度～ 国立公害研究所客員研究員 (京都産業大学教養部 〒603 京都府京都市北区上賀茂本山)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present Address: Department of Liberal Arts and Sciences, Kyoto Industrial University, Kamigamohonzan Kita-ku, Kyoto 603, Japan.

1 はじめに

環境政策の領域が個別的な公害規制から総合的な環境管理へ、さらには地域固有のアメニティづくりへと拡大していくなかで、環境指標へのニーズも多様性を増してきた。すなわち、大気質や騒音といった個別の環境質を評価する指標だけではなく、これらを総合化して総体としての居住環境を評価する指標、さらには、地域固有の特徴や良さを評価する指標が求められるようになってきている。特に最後の地域個性を評価する指標については、地域に根ざした環境づくりの推進に伴ってニーズが急増しているが、その一方で、定量的な評価が非常に難しく、また研究の事例も非常に少ない。

このような背景の下で本研究は、地域の個性を定量的に評価する指標をとりあげ、その作成手法を確立することを目的としている。このため、まず住民意識に基づいて個性評価を行う新しい手法を提案し、次いでこの手法を東京の環境評価に適用して地区環境の類型化を行い、その有効性を確認したものである。

2 改良 SD 法の提案とその適用事例

地域個性の評価のために本研究で採用した手法は、よく知られたセマンティック・ディファレンシャル法 (SD 法または意味差判別法 (宮城, 1978)) を基本にしている。この SD 法は Osgood ら (1957) によって考案され、本来の言語心理学の分野だけでなく、現在は社会学、政治学、市場調査などで幅広く用いられてきている手法である。この手法では、まず、被験者に対して形容詞の対 (例えば「よい-悪い」など) で作られた複数の両極評定尺度 (ふつうは 7 段階尺度) を与え、これに沿って評定することを求める。次いで、このデータを用いて因子分析を行い、多元的な意味空間の構造を明らかにする。

本研究では、この SD 法を用いて住民に地域の環境の特徴や良さを発見・評価してもらい、これを基に地域個性に関する定量的指標の作成を試みることにした。そして、地域個性の抽出に適するように SD 法の尺度構成に改良を加えた。図 1 に示すように、従来の SD 尺度はプラスイメージとマイナスイメージを両極にして、尺度 A (活気のある-さびれた) や尺度 A' (落ちついた-騒々しい) のような評価軸を用いていた。ところが、このような尺度を用いた場合、住民は「よい-悪い」といった表面的な判断に陥りやすく、積極的かつ多面的に地域環境の良さを見いだそうとする動機づけが失われてしまう。このため、図 1 の尺度 S のように、どちらの形容詞も価値観は異なるが環境の望ましいイメージを表す言葉、「活気のある-落ちついた」を選び、新しい尺度を用意した。そして、この新しい尺度を用いた SD 法のことを、以下では「改良 SD 法」と呼ぶことにする。この改良 SD 法の特徴は、従来の SD 法が無意味を原点としてイメージの量的程度を測定しようとするのに対し、個性の無さを原点として多元的な個性の程度を積極的に抽出しようとする点にある。

この改良 SD 法の最初の適用事例として、東京都の生活環境選好度調査 (東京都環境保全局, 1984) の一部に SD 調査を組み込んだ。以下に、この調査の概要をまとめる。

まず、SD 調査に用いた尺度について述べる。改良 SD 法の最大の特徴はその尺度構成にあり、適切な尺度の選定が第一の重要なポイントとなる。今回の調査では、まず、地域環境のよさを表現する形容詞を網羅的に収集し、対極性の高い形容詞の対を約30組作成した。次いで、これらの形容詞の対のうち非常に類似しているものをふるい落として、15対の形容詞を選んだ。こうして設定した尺度の一覧を図2に示す。それぞれの尺度には7段階の目盛りをつけ、各目盛りには「非常に」、「かなり」、「やや」、「どちらともいえない」という程度を示す副詞を付した。

次に、この尺度を用いて評価する環境の空間的範囲については、250メートル正方メッシュのいわゆる地区スケールを評価単位とした。そして、東京都内から無作為に120地区を抽出した。抽出手順は、まず第一ステップとして、都内全域（島しょ部についても調査されたが、本分析対象には含めていない）を12の地域ブロック（東京都、1982）に分割し、各地域ブロックごとに建物用途別（商業系、独立住宅系、集合住宅系及び工業系）のメッシュの構成比を算定し、第二ステップとし

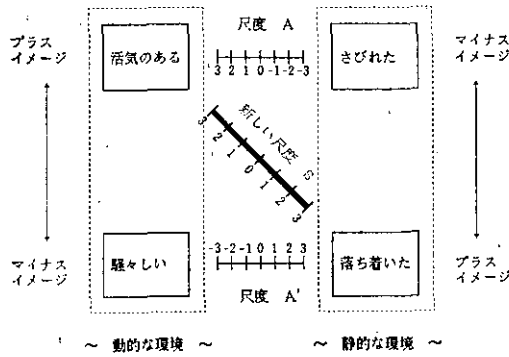


図1 SD 調査の尺度構成

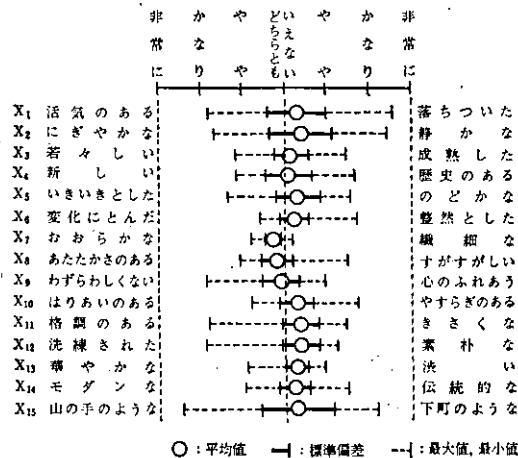


図2 調査に用いた尺度と120地区の代表値の分布

て、この比率に基づいて各ブロックから10メッシュを無作為抽出した。これは、建物用途区分に応じて環境の特性が大きく変化することに着目し、各用途区分からバランスよく層化抽出することを意図したものである。一方、地区環境のよさを評価する主体は各地区内の居住者とし、被験者（調査対象者）として120地区からそれぞれ30名、計3,600名を住民基本台帳から無作為に抽出した。なお、20歳未満の居住者は対象から除外した。

こうして抽出した居住者に対して、先に選んだ15の形容詞の対を示し、自分の居住環境の特徴やよさを表現するとしたらどの言葉に近いかを回答してもらった。回答は7段階の目盛りの一箇所に○印をつける方式により、形容詞で示した両方のよさが全くない場合は「どちらともいえない」を選ぶよう指示した。

3 地域個性の評価指標の作成

調査は、留置法によるアンケート調査法を用いて、昭和59年2月に実施された。調査内容は、上記の改良SD法による質問のほか、環境に対する満足度、要望、環境づくりへの参加意識などに関する質問によって構成された。調査の結果、一地区当たり15名から30名、全地区で2,897名の回答が得られ、全体の回収率は80.5%であった。

この調査の結果から、まず、120の地区別に居住者の評定値を平均し、この平均値をもって地区の代表値とした。図2には、こうして算定した代表値の分布を示している。

次いで、この代表値を用いて15の尺度間の相関係数を求め、これをもとに主成分分析を行った。その結果、累積寄与率84.3%で共通因子として4因子が抽出できた。そして、バリマックス法により直交回転を施し、回転後の因子負荷量を求めた。表1はこの分析結果を示したものである。この表から各因子の意味を次のように解釈することができる。

第1因子の示す内容は、にぎやか、いきいき、活気、変化、静、のどか、落ち着き、整然、などで表される。これらの尺度の共通意味は、「地区環境の活動性」にまとめることができると考え、この因子を“活動因子”と命名した。

第2因子の示す内容は、洗練、格調、山の手、素朴、下町、心、などで表される。これらの尺度の共通意味は、「地区環境の情緒性」にまとめることができると考え、この因子を“情緒因子”と命名した。

第3因子の示す内容は、新、モダン、若、歴史、伝統、成熟、などで表される。これらの尺度の共通意味は、「地区環境の歴史性」にまとめることができると考え、この因子を“歴史因子”と命名した。

第4因子は、主に「おおらかな-繊細な」の形容詞で表されるが、この尺度は図2に示すとおり代表値のレンジが極端に小さい。これは地区環境のよさを計測する尺度としては非常に鈍感であることを示しており、事前に分析対象から除外すべきであったと判断される。

以上の分析から、地区環境のよさは三つの因子、すなわち、活動性（動的か静的か）、情緒性（ド

表1 因子分析結果 (回転後)

因子	尺度		因子負荷量			
			I	II	III	IV
活動因子	X ₂	にぎやかな 静かな	0.93	-0.14	0.02	-0.07
	X ₆	いきいきとした のどかな	0.93	0.07	0.11	-0.19
	X ₁	活気のある 落ち着いた	0.93	-0.24	0.04	-0.08
	X ₁₀	はりあいのある やすらぎのある	0.91	-0.23	-0.02	-0.12
	X ₆	変化にとんだ 整然とした	0.81	-0.21	0.21	-0.11
	X ₈	あたたかさのある すがすがしい	0.61	-0.54	-0.25	0.18
	X ₁₃	華やかな 渋い	0.59	0.45	0.43	0.12
情緒因子	X ₁₂	洗練された 素朴な	0.14	0.93	-0.02	-0.10
	X ₁₁	格調のある きさくな	-0.21	0.91	-0.12	-0.03
	X ₁₅	山の手のような 下町のような	-0.49	0.71	0.21	0.07
	X ₉	わずらわしくない 心のふれあう	-0.44	0.66	0.31	-0.02
歴史因子	X ₄	新しい 歴史のある	0.08	-0.04	0.94	0.01
	X ₁₄	モダンな 伝統的な	-0.19	0.34	0.82	-0.14
	X ₃	若々しい 成熟した	0.47	-0.10	0.75	0.05
	X ₇	おおらかな 繊細な	-0.25	-0.10	-0.04	0.95
	寄与度		5.58	3.44	2.58	1.05

(注) 120地区の代表値について、PCA及びVarimax法を使用

ライカウエットか)及び歴史性(現代的か伝統的か)によって説明できることがわかった。そして、この三つの因子を、東京における地域個性の評価指標として用いることにした。

なお、この改良SD法は北九州市でも適用され、アンケート調査が実施された(北九州市,1985)。この分析結果によれば、今回抽出した因子が非常に安定したものであること、また、今回用いた尺度を含めて10程度の尺度が非常に有用であることが明らかになった。表2には、北九州市のデータを用いた因子分析の結果を示している。

4 指標を用いた地区環境の類型化

前節で抽出した三つの因子を指標として、地区環境の類型化を試みた。その基本方針を図3に示す。この図のとおり、三つの因子について地区環境の因子スコアを求め、それぞれの因子スコアがどちらのよさを示すかによって、地区環境を合計八つのタイプに分類した。

表3には、こうしてタイプ分けした120地区の一覧を示す。この場合、因子スコアの算定は、因子負荷量の絶対値が0.5以上の尺度について評定値(代表値)を単純に平均する方式によった。これは、「因子分析の結果からある因子の代理者として特定の複数尺度を選んだことに重点をおく」(岩

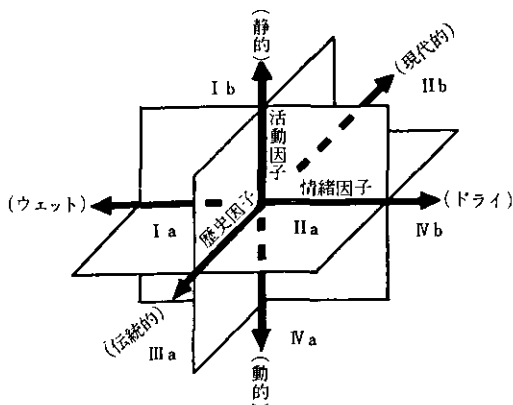
下, 1983) との考え方に基づくものである。なお, 因子スコアの値からどちらのグループに分類するか
の判定は, 120地区の平均値を基準にした。

また写真1には, 類型化した八つのタイプごとに典型的な地区を選定し, その街路景観を並べた。

表2 北九州市における因子分析結果 (回転後)

因子	尺 度	因子 負 荷 量		
		I	II	III
活 動 因 子	2 にぎやかな ——— 静かな	0.93	0.07	0.12
	10 はりあいのある ——— やすらぎのある	0.90	0.03	0.14
	1 活気がある ——— 落ちついた	0.89	0.04	0.15
	5 いきいきとした ——— のどかな	0.88	0.22	-0.12
	17 洋風な ——— 和風な	0.70	0.47	-0.29
	13 華やかな ——— 渋い	0.69	0.51	-0.21
	12 洗練された ——— 素朴な	0.67	0.38	-0.46
歴 史 因 子	6 変化にとんだ ——— 整然とした	0.66	0.13	0.18
	7 繊細な ——— おおらかな	0.60	-0.21	-0.48
	4 新しい ——— 歴史がある	-0.04	0.90	-0.25
	3 若々しい ——— 成熟した	0.21	0.84	-0.14
情 緒 因 子	14 モダンな ——— 伝統的な	0.10	0.76	-0.42
	16 軽快な ——— 重厚な	0.18	0.71	-0.06
	9 心のふれあう ——— わずらわしくない	0.07	-0.30	0.71
	8 あたたかさのある ——— すがすがしい	0.28	-0.28	0.70
情 緒 因 子	11 ささくな ——— 格調のある	-0.20	-0.06	0.68
	15 たくましい ——— スマートな	0.24	-0.42	0.66
寄 与 度		5.71	3.68	2.81

(注) 100 地点の代表値について PCA 及び Varimax 法を使用



TYPE	活動因子	情緒因子	歴史因子
I a	静 的	ウエット	伝統的
II a	静 的	ドライ	伝統的
III a	動 的	ウエット	伝統的
IV a	動 的	ドライ	伝統的
I b	静 的	ウエット	現代的
II b	静 的	ドライ	現代的
III b	動 的	ウエット	現代的
IV b	動 的	ドライ	現代的

図3 地区環境の類型化の方針

表3 調査した120地区の類型化一覧

TYPE名	Ia	IIa	IIIa	IVa
地区名	中央区 佃1, 2 (工業)	港区 高輪4丁目 (独住)	千代田区 神田神保町2 (商業)	港区 赤坂5, 6他 (商業)
	豊島区 雑司ヶ谷3 (独住)	新宿区 下落合2, 3 (独住)	千代田区 神田松永町他 (商業)	新宿区 神楽坂1, 3他 (商業)
	足立区 千住桜木1他 (独住)	文京区 白山4 (独住)	中央区 日本橋人形町2 (商業)	豊島区 南大塚2他 (商業)
	足立区 烏根4 (独住)	品川区 東五反田3 (独住)	中央区 築地2, 3 (商業)	大田区 北糀谷1 (工業)
	足立区 六木3 (独住)	大田区 田園調布4 (独住)	千代田区 飯田橋2 (工業)	板橋区 赤塚6他 (独住)
	葛飾区 鎌倉4 (独住)	大田区 北洗足2 (独住)	港区 三田1 (工業)	
	青梅市 青梅1000番台 (商業)	世田谷区 上北沢5他 (独住)	台東区 浅草橋2 (商業)	
	瑞穂町 石畑九ヶ谷戸他 (独住)	練馬区 石神井3他 (独住)	墨田区 墨田4他 (独住)	
	羽村町 羽東2, 3 (独住)	世田谷区 尾山台3 (集住)	江東区 東陽5 (工業)	
	青梅市 長瀬4, 6 (工業)	北区 西ヶ丘1他 (独住)	墨田区 緑2, 3 (工業)	
	八王子市 中野上町 (工業)	板橋区 大門11-15他 (独住)	墨田区 業平1 (工業)	
	田無市 南町2 (独住)	日野市 南平1他 (独住)	大田区 池上7, 8 (工業)	
	小平市 美園町286, 300 (集住)	八王子市 台町3 (集住)	品川区 小山1, 2 (独住)	
		三鷹市 中原4他 (独住)	大田区 南六郷3他 (独住)	
	小金井市 東町5他 (独住)	北区 滝ノ川5他 (独住)		
	武蔵野市 桜堤2 (集住)	板橋区 板橋3他 (独住)		
	東久留米市 学園2 (独住)	足立区 中川1 (工業)		
	小平市 学園西町2 (独住)	江戸川区 西一之江1 (工業)		
		福生市 福生他 (商業)		
		国分寺市 本町2 (商業)		
		府中市 宮町1, 2 (商業)		
TYPE名	Ib	IIb	IIIb	IVb
地区名	板橋区 船渡2 (集住)	渋谷区 富ヶ谷1他 (独住)	渋谷区 幡ヶ谷3他 (独住)	港区 芝浦2 (商業)
	葛飾区 西水元5他 (独住)	世田谷区 八幡山1他 (商業)	江東区 千田、海辺 (商業)	新宿区 荒木町、舟町 (商業)
	青梅市 末広町1, 2 (工業)	目黒区 東ヶ丘1他 (独住)	江東区 辰巳1他 (集住)	豊島区 東池袋2 (独住)
	八王子市 富士見町 (独住)	杉並区 永福4 (独住)	江東区 大島7他 (工業)	新宿区 大久保3 (集住)
	町田市 成瀬 (独住)	秋川市 雨間他 (独住)	江東区 枝川2他 (工業)	大田区 中央3, 7 (独住)
	昭島市 朝日町5 (独住)	青梅市 河辺町8, 9 (集住)	江東区 東砂5, 6 (工業)	目黒区 緑ヶ丘2他 (独住)
	狛江市 岩戸南3他 (独住)	福生市 福生200番台他 (工業)	大田区 蒲田5 (商業)	世田谷区 三宿1他 (独住)
	府中市 是政1 (独住)	八王子市 絹ヶ丘1他 (独住)	大田区 大森北2 (工業)	中野区 中野3 (独住)
	東村山市 本町4 (工業)	多摩市 関戸 (独住)	杉並区 高円寺北3他 (独住)	北区 豊島5 (集住)
		町田市 玉川学園3 (独住)	板橋区 若木2他 (独住)	板橋区 高島平9 (工業)
		国立市 東3他 (独住)	板橋区 小茂根3他 (工業)	日野市 多摩平2 (集住)
		東大和市 南街3 (独住)	江戸川区 西水元5他 (独住)	立川市 柴崎3 (独住)
		国立市 富士見台1他 (集住)	江戸川区 北小岩7他 (独住)	武蔵村山市 中藤 (集住)
		昭島市 松原2 (工業)	葛飾区 青戸3他 (集住)	立川市 柴町 (工業)
		調布市 上石原2他 (独住)	羽村町 神明台2 (工業)	武蔵野市 吉祥寺南3 (独住)
		調布市 築地3他 (集住)	八王子市 横山、中、南 (商業)	東村山市 柴町2 (独住)
		三鷹市 下連雀8 (工業)	立川市 立松町3 (商業)	
		保谷市 ひばり丘3 (集住)	田無市 本町4, 5 (商業)	
			清瀬市 元町2 (独住)	
			東村山市 秋津3他 (工業)	

(注) カッコ内は地区の建物用途分類を示す。商業：商業系用途、独住：独立住宅系用途、集住：集合住宅系用途、工業：工業系用途

地域の個性に関する指標の特定とその活用

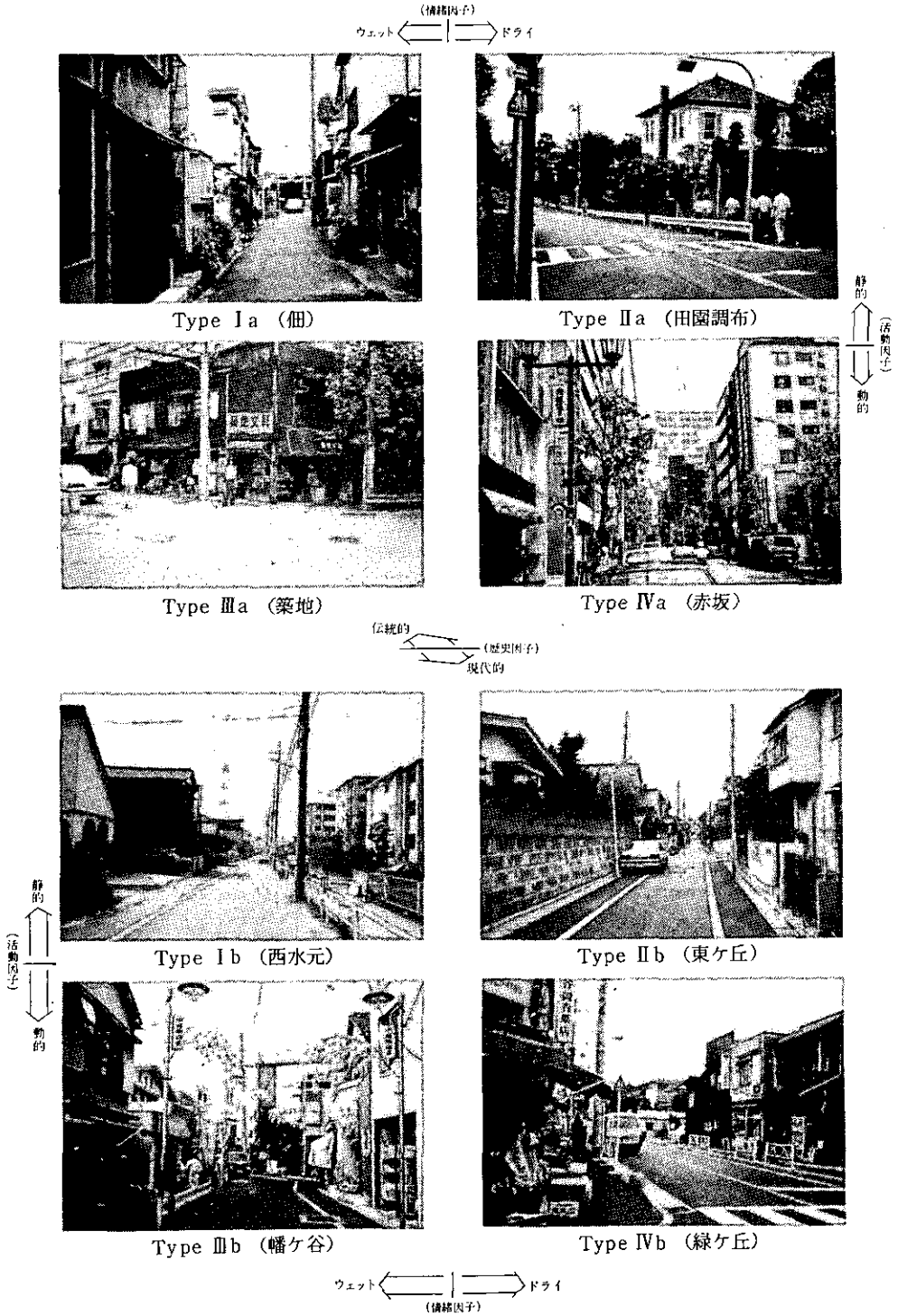


写真1 類型化した各地区の典型的な外観

ここで典型的な地区とは、各タイプのなかで最も原点（平均値）から離れた因子スコアをもつ地区のことをいう。

Ia～IVaのタイプはいずれも、伝統的なよさをもつ地区である。Iaのタイプは静的かつウェットなよさをもつ地区で、佃（中央区）に代表されるような「伝統的な下町風住宅地」である。IIaのタイプは静的かつドライなよさをもつ地区で、田園調布（大田区）に代表されるような「伝統的な山の手風住宅地」である。IIIaのタイプは動的かつウェットなよさをもつ地区で、築地（中央区）に代表されるような「伝統的な下町風商業地」といえる。IVaのタイプは動的かつドライなよさをもつ地区で、赤坂（港区）に代表されるような「伝統的な山の手風商業地」である。

これに対し、Ib～IVbのタイプはいずれも現代的なよさをもつ地区である。Ibは「現代的な下町風住宅地」、IIbは「現代的な山の手風住宅地」、IIIbは「現代的な下町風商業地」、IVbは「現代的な山の手風商業地」といえる。

5 環境管理計画への適用可能性

以上の事例研究から、今回提案した改良SD法が環境のよさや個性を分析するうえで非常に有効な手法であることを確認した。最後に、この手法が現実の施策立案にどう適用できるかについて、環境管理計画との関係で論じてみたい。

環境管理計画に対してこの手法が適用できる第一の局面は、計画の目標設定の段階にある。快適環境づくりの目標として望ましい環境像を設定する場合、地域の個性や居住者の意識を尊重した多様な目標設定が求められているが、改良SD法は有力な支援手法になる。特に、この手法は居住者の意識をもとに地区環境の多面的なよさや個性を抽出し、多様な環境像を合理的に類型化する方法として一般性があり、しかも、通常のアンケート調査の際に手軽に実施できるという利点は、環境行政の現場での利用にかなったものといえよう。

第二の適用局面として、目標達成のための方針や手段の検討段階があげられる。望ましい環境像や居住者の意識が多様であれば、当然のことながら目標達成の方針や手段もまた多様である。この場合、前節で示したように地区環境を適切に類型化しておけば、この種の方針や手段を体系的に検討することができる。

第三の適用局面として、住民参加の支援が考えられる。快適な環境づくりに果たす住民の役割は大きく、住民自ら居住環境を理解し、計画策定に参加することが必要となる。このような場合にも改良SD法の適用が期待できる。すなわち、この手法を用いて住民が自分の環境を評価することにより、居住環境への理解が深まるとともに、住民と行政のコミュニケーションが促進される可能性がある。

6 おわりに

ここで提案した改良SD法は、いくつかの検討課題が残されているものの、地域個性の分析に非

常に有効であり、かつ適用範囲も広い。とりわけ、快適環境づくりのための計画手法として活用を勧めたい。

残された方法論上の検討課題は二つに絞られる。第一は、この手法を他の地域や都市に適用して比較分析を行い、尺度や因子の安定性、普遍性、限界等を明らかにすることである。第二は、SD調査に用いる尺度をさらに吟味し、地域個性を表す他の形容詞についても検討を加えることである。

謝 辞

最後になったが、本研究をすすめるに当たり、東京都環境保全局からはデータの提供をはじめ全面的なご協力をいただいた。また、鈴木武夫座長をはじめ東京都環境管理計画検討会の諸先生からは各種の有益なご助言を賜った。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 岩下豊彦 (1983) : SD 法によるイメージの測定. 川島書店, 東京, 204p.
- 北九州市公害対策局 (1985) : 快適環境に関する市民意識調査. 昭和60年3月, 67p.
- 宮城音弥 (1978) : 岩波心理学小辞典. 岩波書店, 東京, 21.
- 森田恒幸・勝矢淳雄・内藤正明 (1985) : 快適環境づくりのための地域個性の類型化/改良SD法を用いた分析. 環境情報科学, 14 (1), 52-59.
- Osgood, C. E., G. J. Suci and Tannenbaum, P. H. (1957) : *The Measurement of Meaning*. Univ. Illinois Press, 346p.
- 東京都 (1982) : 東京都長期計画. 東京都企画報道室計画部, 181p.
- 東京都環境保全局 (1984) : 生活環境選好度調査. 環境保全関係資料 K-0-4 環 I, 102p.

2. 8 環境指標における生物指標の位置づけ及び生物指標と 理化学的測定との対応

The Role of the Biological Indices on Indicators in Environmental Indices and Correspondence between Biological Indices and Physical-chemical Parameters

森 保文¹・内藤正明¹

Yasuhumi MORI¹ and Masaaki NAITO¹

要 旨

生物指標を環境の指標として正しく位置づけ、活用するためには、まず生物指標の持つ広い概念を整理することが必要である。本論では、生物指標の概念を1) 生物的測定法としての生物指標、2) 環境状態が人間に及ぼす影響の評価を代替するものとしての生物指標に分類することにより、生物指標の特徴や限界を明確にすることを試みる。

従来提案されてきた生物指標のうち2)に分類される生物指標においては、生物指標と理化学的測定との対応を明らかにすることが、生物指標を環境指標のなかに適切に位置づけるうえで重要である。そこで生物指標と理化学的測定との対応に関する研究動向についても詳しく述べる。

Abstract

The biological indices or indicators are widely used under a widely different concept. So that we need to clearly characterize their feature prior to use it as the environmental indices. In this report, various types of existing biological indices and indicators are divided into two categories to identify their characteristics and limit. One is the category of "biological measuring devices" and the other is that of "substitution of estimating environmental impact on human beings".

The practical examples of the latter category are quite limited and almost all the previously proposed biological indices belong to the former one. Thus, for the future utilization of biological indices, it would be highly important to formulate the correspondence between biological indices and physical-chemical parameters to represent environmental condition under which the biological species are living. An extensive review on this matter is a major part of the present work.

The correlation could suggest how we properly use the biologies as the environmental indices.

-
1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

環境指標という用語から生物指標を思い浮かべる人が我が国では多いと思われる。生物指標に関する研究も、文部省環境特別研究をはじめ数多く行われてきており（文部省「環境科学」特別研究、1979）、また現実に国や地方自治体の環境調査などにも生物指標がしばしば用いられている。このように生物指標は一見、環境の指標として確立・普及しているようにみえるが、実際に環境の指標として正しく位置づけられ、活用されるためにはなお多くの検討が必要であろう。その第一は生物指標という語が極めて広い概念で用いられていることの整理である。例えば、生物指標によって環境を比較すると言うこともあれば、生物指標によって環境を測定するというように用いることもある。松中（1975）のように指標生物、指標生物法という用語を用いることもある。これらは一見同じ意味にみえるが実際には生物のもつ多様な機能の中のあるものに着目して利用しているので、その意味するところは互いに異なる。生物の機能としては、環境状態を“検知”すること、これを“記録”、“表示”すること、さらにある価値判断に立って“評価”することなど多くのものを有している。しかし従来の生物指標では、それらの機能の内どれを利用したものであるかが十分明確にされなかった。このことが生物指標の概念を把握し難くしている最大の理由と考えられ、この点に関する若干の議論もみられるが（光木偉勝ら、1984）、まだ必ずしも十分ではない。

本論は、これまで幅広く用いられてきた生物指標の概念を大きく1) 生物的測定手法としての生物指標、2) 環境状態が人間に及ぼす諸影響の評価を代替するものとしての生物指標に分類することにより生物指標の特徴や限界を明確にすることを試みた。このことは最終的に生物指標を環境指標の中のに的確に位置づけ、今後の開発と利用の方向を明らかにするであろう。

2 生物指標の概念整理

従来の生物指標の概念を整理するために、環境指標の作成手順（第1章・図1）に対応させて、生物の役割を分類してみる。環境指標を作成する手順の第一は、環境の様々な状態（水質とか騒音レベルさらに景観など）を検知し、計量することである。このとき、化学的分析や物理的計測の代わりに生物のもつ感度の良さや簡便さを利用して、これを検出器として用いることが提案されてきた。生物指標と呼ぶ場合はほとんどがこの種の“生物的測定法としての生物指標”のことであると行ってよからう。これをここでは「第1種・生物指標」と呼ぶ。一般に生物的計測にしる、理化学的計測にしる、それによって得られた測定値は簡単な処理（無次元化など）を施した上で地域比較やトレンド推定などに用いられることも多く、この場合も通常指標と呼ばれる。ここでは後述する本来の意味での指標と区別するために、この種の指標のことを“1次指標”と称するが、生物指標としてはこのような使われ方も多い。

本来の指標とは、何らかの人間の価値基準に基づいた評価値を与えるものである。その価値基準には第1章・図1に示すように、人間の意識を基にした快適性や、経済価値に基づく便益など種々のものがありうるが、ある一つの状態の計測値を、この価値基準に照らして尺度化したものをここ

では“個別指標”と称する。なお、これら個別指標は同一価値尺度上で加算等の総合化がなされて“総合指標”となりうる。ところで理化学的計測値又は生物的測定値が価値関数によって何らかの価値尺度に変換されて、本来の意味の指標として明確に定義された例は、実のところ極めて少ない。その意味では生物指標に限らず通常環境指標と呼ばれているものは、ここでの定義によるほとんどが、“環境測定値”または精々“一次指標”止まりであり、人間の価値評価を explicit (陽表的) に表す本来の指標の事例は極めて限られている。生物指標についてこの辺のことを若干考察すると、環境状態の変化を生物によって検知することは、生き物を用いるという理由で、理化学的計測よりも、人間への影響（主に健康影響）を一層直接的に代替表示しようという主張があり、この点が生物指標の利点の一つと考えられている。つまり一種の実験動物的機能であり、これは上述の測定機としての機能とは異なる特性である。この種の機能を意図した指標をここでは「第Ⅱ種・生物指標」と称するが、この指標はあくまで定性的に人間影響を示唆するにすぎず、定量的に影響を評価する尺度を与えるためには、この第Ⅱ種生物指標と人間影響度の関係を与える何らかの関係式が必要となる。なお、この両機能に基づく区分は必ずしも明解ではなく、多くのものがその両者を兼ねた中間的なものであると思われる。例えばバイオアッセイは生物の検知機能と人間影響の代替機能が共に期待されているのであろう。

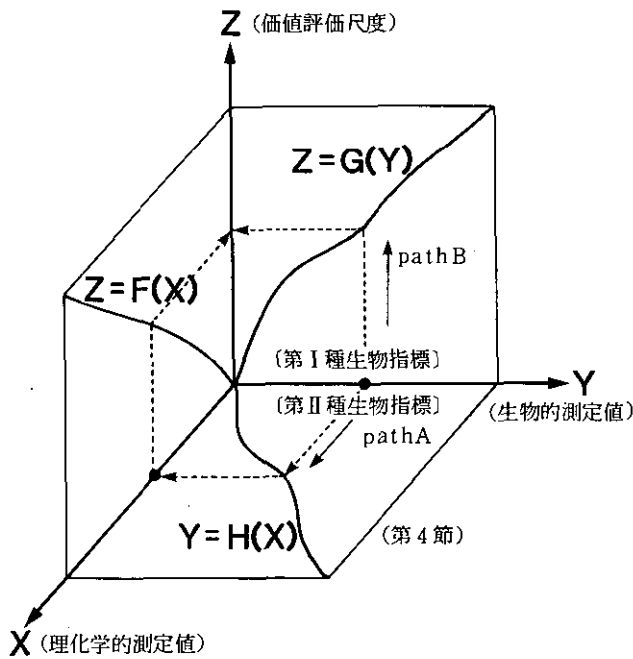


図1 指標体系における生物指標の位置づけ

3 二種の指標の相互関係

以上で大きく二つの生物指標のカテゴリーを定義したが、それぞれはまたその中がいくつかに分けられる。これら生物指標の二つのカテゴリーと理化学的計測値、さらに評価尺度としての指標との関係及び相互の位置づけについて、ここで簡単に整理しておく。図1にこれらの関係を3次元的に表示したが、ここに示すように、理化学的計測値 (X) を何らかの値関数 $F(X)$ を介して評価尺度 (Z) に換算する努力がこれまでの指標作成の中心課題である。一方生物的測定値としての第Ⅰ種生物指標によって測られた(客観)量を評価尺度に対応づけるには、一度これを関数 $H(X)$ を通じて X に変換した上で $F(X)$ を介して Z に変換する path A を通ることが必要となろう。一方第Ⅱ種生物指標はそのままでも、 Z をかなり代替的に表示しうるところに特徴があるが、やはり正しくはある値関数 $G(Y)$ を介して評価尺度 (Z) に投影する path B を通ることが必要である。

以上のことを踏まえると生物指標の問題点がかなり明らかになる。その一つは測定・検出器としての生物の特性と、人間影響を代替するという生物の特性のいずれを意図して従来の生物指標が提案されたかが必ずしも明らかでないことである。もう一つは前者の第Ⅰ種生物指標ならば $H(X)$ の同定が、後者の第Ⅱ種生物指標ならば、 $G(Y)$ の同定があってはじめて、本来の評価指標の指標として用いることができるが、生物指標の分野では、まだこの段階まで進んだ研究事例は少なく、この部分が今後の最大の検討課題である。

これらの検討課題のなかで、 $G(Y)$ の同定に関する研究は比較的多く行われてきているので、次節でこれらの研究を詳しくレビューする。他の検討課題については残念ながらこの節で述べた一般論以上の考察を加えられるほどは研究が進んでいないので、現時点では触れないこととする。

4 生物的測定結果と理化学的測定結果との対応についての研究動向

この節で扱う生物的測定法は、水生生物を用い、測定する環境状態として水の有機汚濁を対象とするものに限る。このような生物的測定法を選んだのは、現在自治体などで、この生物的測定法と有機汚濁の組合せが最もよく用いられ、また研究もこの方向で成果が出ているからである。

まず、生物的測定法の利用状況について述べる。表1は環境庁委託調査(日本の水をきれいにする会、1983)のデータに基づいて作成したものである。これによれば、日本において少なくとも322の機関、行政機関に限れば、94の機関が「水生生物による水質の簡易調査法」によって水質の調査を行っている。また、この委託調査結果から判断すると、「水生生物による水質の簡易調査法」は後述する汚水生物体系の流れをくむもので、対象とする環境状態は汚水生物体系において有機汚濁と呼ばれるものと考えてよい。

次に、研究の進展状況について述べる。日本科学技術情報センターの抄録集(JICST)で最近4年間(1981年4月~1985年3月)にとりあげられた関連する文献について、理化学的データとの対応を検討した報告を拾って、表2のようにまとめた。表2から、生物区分では水生動物に関する研究が盛んであることがわかる。また研究内容区分では、例えば陸生植物について見れば、生物的測

定法に発展させようのかについて検討したものが半分以上を占め、陸生植物を用いる生物指標については、まだ開発中の段階のものが多いことがわかる。対照的に水生動物については、理化学的測定値と対応を調べているものがかなり多くあり、理化学的測定値との対応精度を高めるための研究もかなり行われている。この表では明らかでないが、最近水生植物を用いた研究にはめざましいものがある。結論的にいえば、水生生物による有機汚濁の測定が、現在最もよく行われており、発達もしている研究分野と言えよう。

さて研究動向を見定めるために、従来の有機汚濁についての水生生物を用いた生物的測定法の研究のフレームを取り上げ、これを検討してみると図2のように三つの軸で整理できる。図2のX軸方向には水質の種類をとり、Y軸方向には水質の程度を、Z軸方向には生物の種類をとってある。

この研究フレームに位置づけられる第一の研究の流れは、KolkwitzとMarsson(1908)にはじまる汚水生物学の系統である。様々な汚濁の総合としての水質を経験的に生物学的水質階級というある程度の幅を持つ分類によって分け(A₁)、この階級と個々の生物の対応を明らかにし(A₂)、そのデータの集積をもとに生物相から水質階級を導き出す(A₃)、というのがこの研究の流れである。最近、経験的な分類を用いずに、一種類の理化学的測定値と生物相の関係を明らかにする研究(A₄)が行われてきている。

表1 水生生物による水質の簡易調査法の実施状況

回 答	行 政 機 関			小・中・高校・ 大学及び教育 委員会	調査研究機関	その他	合計
	都道府県	政令市	市区・町村				
実施した ことがある	22	24	48	116	49	13	322
	計 94						
実施した ことが ない	14	23	76	229	50	23	405
	計113						

(注) 日本の水をきれいにする会(1983)のデータをもとに著者が作成

表2 理化学的測定値との対応からみた生物指標の研究状況

指標生物	指標に発展させ られるかを検討 したもの	生物指標による 測定結果の報告	理化学的測定値 との対応を調べ たもの	理化学的測定値 との対応性を高 めるためのもの	合 計
陸生植物	10	2	4	2	18
陸生動物	9	4	5	0	18
水生植物	5	2	2	2	11
水生動物	10	4	15	7	36
細菌	8	1	4	3	16

(注) 報告の内訳である。重複があるので合計とは一致しない

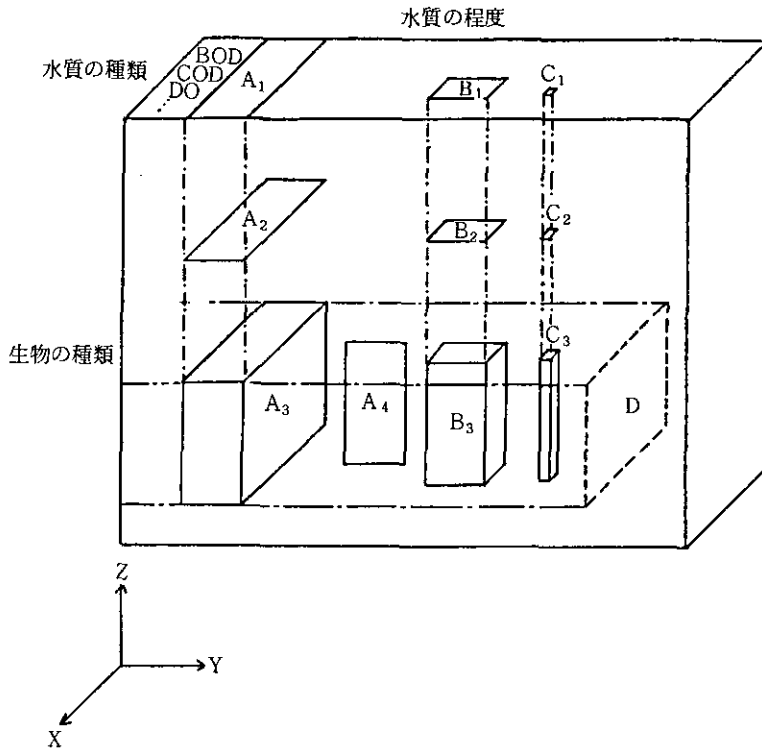


図2 生物指標による測定結果と理化学的測定値の対応に関する研究のフレーム

第二の研究の流れは、いくつかの理化学的測定値の組合せで表される水質 (B₁) を生物的測定法によって測定するものである。水質の組合せが限られていることが第一の流れと異なる。今のところ研究は、理化学測定値の組合せで表される水質と個々の生物との対応 (B₂) を明らかにする段階にあるが、今後個々の生物と水質の対応だけでなく生物相と水質の関係を明らかにする (B₃) 方向へ発展すると思われる。

第三の研究の流れは、一種類の理化学的測定値のみ (C₁) を取り上げ、これと生物的測定結果との対応を明らかにしようとするものである。この研究の流れはただ一種類の理化学測定値のしかも幅のない (階級でない) 値を対象としていることが上記二つの研究の流れと異なる。この研究の流れにおいては、まずある一種類の理化学的測定値と個々の生物の対応 (C₂) を明らかにしたのち、生物相と一種類の理化学的測定値との対応 (C₃) を明らかにするものである。

こうした三つの研究の流れにおいて、生物的測定法と理化学的測定法をできるだけ細かく対応させるべきだという立場に立てば、生物相を評価することで、すべての理化学的測定値の組合せからなる幅のない (階級でない) 水質が明らかになる (D) ような対応づけを行うことが、理想と言えるであろう。三つの研究の流れはそれぞれアプローチは違うが、いずれも D を目指す方向で研究が進められていると見ることができる。

なお、時間代表性、空間代表性の問題については、各研究者の取り扱いに従うものとする。

4.1 汚水生物体系の流れ

津田 (1972) によって「汚水生物体系」と訳された生物学的な水質階級を判定する生物学的測定法においては、経験的に決定された水質階級 (A_1) と、各生物との対応を明らかにすること (A_2) が基本となる。Kolkwitz と Marsson 以来この水質階級と生物の対応を表した指標生物表は、多くのものがつくられ、また改良されてきている。日本では、津田 (1964) が過去の研究を参考に、日本の水域用に集大成したのが最初であり、この一部を表 3 に示す。これは 5 段階に水質を分け、それに対応する生物を 2 段階の出現の頻度によって示している。この場合、水質の分割方法が当然議論にのぼる。この点については、津田 (1972) が分割拡張派のいき方と題して詳しく論じている。水質の分割方法について、Sládeček (1963) のように生物学的な水質階級をさらに細かく分割したり、汚水生物体系では通常扱わない毒性物質に対しても水質階級を設定しようという考え方が提案されたのである。

また、生物の出現の頻度を考慮に入れようとする動きもある。生物は、ある水質階級に対して集中して分布しているとは限らず、多くの水質階級にわたって分布していることもある。Zelinka と Marvan (1961) はこの分布の集中状態を表す手法として、ザプロビ値及びインディケーター値を提案している。各水質階級に対する生物の分布状態をそれまでの多数の調査資料から経験的に求め、この分布状態に比例して、各水質階級に 10 の点数を配当することで生物の分布を示したのがザプロビ値である。そうすると、一つの階級に多くの点数が配分されているほど、その生物は水質に対して狭分布していることになる。この分布の集中度合いを 5 点満点でランク付けしたのが、インディケーター値である。一つの階級にのみ分布しているときは 5 点、すべての階級に等しく分布しているときは 1 点となる。日本においては御勢 (1978) が表 4 のようなザプロビ値及びインディケーター値を導入した指標生物表を作成し、また明確でなかったインディケーター値算出の基準を設けている。

次に、指標生物表をもとに水質階級を判断 (A_3) するが、生物相の表し方には様々なものがあり、主なものをまとめると表 5 のようになる。これらは生物学的な水質階級をより正確に判定するために工夫されてきたものである。このように生物学的な水質階級を求めるために発達してきた生物学的測定法であるが、この種の生物学的測定結果と理化学的測定値との対応については、統計的に厳密な処理のされている研究は少ない。Sládeček (1968) 以来生物学的な水質階級に対応する BOD や DO の濃度範囲を示したものはいくつかあるが、厳密な根拠があるわけではなく、研究者によって境界がずれるなど確かなものとは言い難い。

生物学的な水質階級と理化学的測定値との関係について、安田・中村 (1974) が指標種方式により判断した生物学的な水質階級と各種理化学的測定値との関係を統計的に調べている。COD-Mn を例にとると、水質階級と水質の関係は図 3 のようになる。この分布を χ^2 検定などを行って統計的に

表3 汚水生物学的指標生物表

	α ps	β ps	α ms	β ms	os
バクテリア					
<i>Zoogloea</i> ズウグレア	××××	××××			
<i>Sphaerotilus natans</i> スフェロティルス		××××	××××		
<i>Beggiatoa</i> ベギアトア	××××	××××	--		
<i>Leptothrix</i> 及び <i>Crenothrix</i> 鉄バクテリア				××××	××××
菌類					
<i>Leptomitium lacteus</i>		××××	××××		
ラン藻類					
<i>Anabaena flos-aquae</i> ジュズモ			--	××××	--
<i>Anabaena spiroides</i>			--	××××	--
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>			××	××××	
<i>Coelastridium</i>				××××	
<i>Gloeotrichia</i>				----	
<i>Merismopedia</i>				----	
<i>Microcystis aeruginosa</i>			××××	××××	----
<i>Microcystis flos-aquae</i>			----	××××	
<i>Nostoc</i>				----	
<i>Oscillatoria limosa</i> ユレモ			××××	××××	
<i>Oscillatoria princeps</i> ユレモ				××××	
<i>Oscillatoria tenuis</i> ユレモ	××	××××	××××		
<i>Phormidium</i>		××××	----	----	
<i>Lyngbya contorta</i>	××	××××	××××	----	
<i>Spirulina</i>	××	××××	××××	----	

α ps : α 強腐水性, β ps : β 強腐水性, α ms : α 中腐水性, β ms : β 中腐水性, os : 貧腐水性
 ×××× : 多量に出現, あるいは頻繁に出現するもの, ---- : 少量出現, あるいはときどき出現するもの (出典) 津田(1964) による

処理すると、分布の平均値間には有意差が認められ、水質階級と COD-Mn にある関係があることが認められるものの、分散が大きいことが明らかにされており、実用上は疑問があると思われる。例えば α ms という階級は約 4 ~ 7 mg/l の区間を示すことが統計的に示されているが、試料数の内この区間に入るのは30.6%であった。

このように生物学的な水質階級という概念をもとに発達してきた汚水生物体系においては、生物学的測定結果と理化学的測定値との関係を明確にすることはかなり難しいことと思われる。

4.2 理化学的測定値の組合せとの対応

生物学的な水質階級の代わりに、いくつかの理化学的測定値の組合せで表される水質を、測定する環境状態として選定すれば、生物学的測定結果が理化学的測定値に比較的対応するものが作れると思われる。こうした研究としては、安田・井山 (1982) による有機物濃度 (BOD, COD), N 及び P の濃度の組合せと、各種川床付着藻類の関係を明らかにしたものがある。これは表6のように、三

表4 肉眼的底生動物のザプロビ値の表

種 類	os	β m	α m	ps	g
<i>Vermes</i> (蠕形動物)					
<i>Phagocata vivida</i> (ミヤマウズムシ)	9	1			4
<i>Dugesia gonocephala</i> (ナミウズムシ)	6	4	+		2
<i>Branchiura sowerbyi</i> (エラミミズ)			2	8	3
<i>Limnodrilus</i> sp. div. (イトミミズ属)		+	1	6	3
<i>Tubifex</i> sp. div. (イトミミズモドキ属)		+	3	7	3
<i>Nais</i> sp. div. (ミズミミズ底)	2	7	1		3
<i>Eteobdella lineata</i> (シマイシビル)	1	2	7	+	3
<i>Mimobdella japonica</i> (マネビル)	1	4	5	+	1
<i>Glossiphonia lata</i> (ハバビロビル)	1	3	6		2
<i>Mollusca</i> (軟体動物)					
<i>Sinotata quadrata histrica</i> (ヒメタニシ)		4	5	1	1
<i>Cipangopaludina chinensis malleata</i> (マルタニシ)	1	5	3	1	1
<i>Cipangopaludina japonica</i> (オオタニシ)	2	5	3		2
<i>Semisulcospira libertina</i> (カワニナ)	6	4	+		2
<i>Radix auricularia japonica</i> (モノアラガイ)	+	6	4	+	2
<i>Austropeplea ollula</i> (ヒメモノアラカイ)		4	5	1	1
<i>Physa acuta</i> (サカマキガイ)		1	3	6	2
<i>Gyraulus chinensis</i> (ヒラマキミズマイマイ)	3	5	2		2
<i>Peltanocyclus nipponicus</i> (カワコザラガイ)	3	5	2		2
<i>Cristaria plicata</i> (カラスガイ)	1	6	3		2
<i>Anodonta woodiana japonica</i> (ドブガイ)	1	5	4	+	1
<i>Corbicula leana</i> (マシジミ)	6	4			2
<i>Corbicula japonica</i> (ヤマトシジミ)	3	5	2		2
<i>Spaerium lucustre japonicum</i> (ドブシジミ)	2	5	3		2

表中の略字の意味は、os：貧腐水性、 β m： β 中腐水性、 α m：中腐水性、
ps：強腐水性、+：非常に稀、g：インディケーター価値 (出典) 御勢(1978)による

つの理化学的測定値をそれぞれ低濃度と高濃度に分けて、その組合せと藻類の分布を対応させたものである。理化学的測定値の区分が高濃度、低濃度の二段階だけであり、かなり粗いものであるが、この表の水質の組合せがさらに細くなり用いられる生物種も増えれば、生物相から有機物濃度とN及びP濃度の組合せがわかるようになるだろう。しかし、この種の研究では、とりあげる理化学的測定値の種類が増えると、困難にぶつかることも予想される。理化学的測定値の組合せと生物の対応を明らかにするためには、考えた理化学的測定値の組合せになっている場所を一とおりさがすことが必要となるが、理化学的測定値の種類が増えれば増えるほど適した場所を捜すことは難しくなる。しかも理想としては、他の理化学的測定値をコントロールしながら一つの理化学的測定値を変化させることが必要となるが、これは理化学的測定値の種類が多い場合には、実際的ではない。したがってこの種の研究は、2、3種類の理化学的測定値の組合せと、生物相との対応を明らかにする段階で終わる可能性がある。

表5 主な生物相の表し方一覧

生物相の表し方	内 容	主 な 文 献
指標種方式	指標生物の量と頻度から判断する	Kolkwitz and Marsson(1908) Liebmann(1951)
Beck-Tsuda 法 (生物指数方式)	$BI=2A+B$ $BI=$ 生物指数 A : 汚濁に耐えない種数 B : 汚濁に耐えうる種数	Beck(1955) 津田(1964)
Pantle-Buck 法 (汚濁指数方式)	$S = \frac{\sum (s \cdot h)}{\sum h}$ S : 汚濁階級指数 s : 水質階級に与える数値(1~4) h : 出現多少度(1~3)	Pantle and Buck(1955)
Zelinka-Marvan法	$A_i = \frac{\sum (a_{ij} \cdot h_j \cdot g_j)}{\sum (h_j \cdot g_j)}$ A_i が最大値を示す水質階級を その水質とする A_i : 各階級の評価平均(5階級) h_j : その種の個体数 g_j : インディケータ-価値 a_{ij} : 各水質階級に対するザプロビ値	Zelinka and Marvan(1961)
多様性指数	$D = -\sum ((n_i/N) \log(n_i/N))$ $D=$: 多様性指数 N : 総個体数 n_i : その種の個体数	MacArthur and MacArthur (1961)

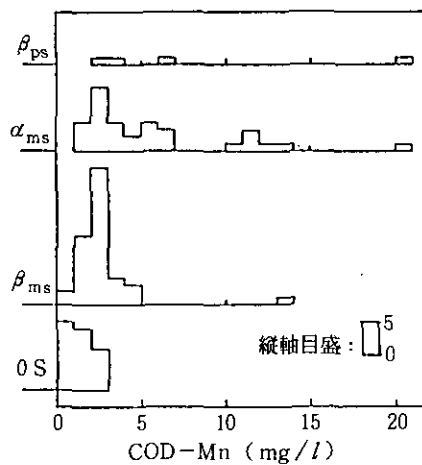


図3 各水質階級における度数分布 (COD-Mn)
(出典: 安田・中村 (1974) による)

表6 川床付着藻類の水質に対する分布特性 (C: COD, BOD, N: 無機性窒素, p: リン酸態リン)

(1) C, N, P 広分布	(2)		(3)	
	C, N 広分布	P 低濃度	C 広分布	N, P 高濃度
<i>Homoeothrix janthina</i>	<i>Ulothrix zonata</i>		<i>Melosira varians</i>	<i>Cloniophora plumosa</i>
<i>Audouinella</i> sp.	<i>Achnanthes japonica</i>		<i>Synedra rumpens</i> var.	<i>Navicula mutica</i> var.
<i>Stigeoclonium lubricum</i>	<i>Cymbella turgidula</i>		<i>fragilaroides</i>	<i>undulata</i>
<i>Synedra ulna</i>	var. <i>nipponica</i>		<i>Navicula minuscula</i>	<i>N. salinarum</i> var.
<i>S. ulna</i> var. <i>ramesi</i>			<i>N. pelliculosa</i>	<i>intermedia</i>
<i>Cocconeis placentula</i>			<i>N. seminulum</i> var.	<i>Nitzschia frustulum</i>
var. <i>lineata</i>			<i>hustedtii</i>	var. <i>perpusilla</i>
<i>Navicula viridula</i> var.			<i>Cymbella sinuata</i>	<i>Stigeoclonium tenue</i>
<i>avenacea</i>			<i>Gomphonema parvulum</i>	
<i>N. radiosa</i>			<i>Nitzschia amphibia</i>	
<i>N. radiosa</i> var. <i>tenella</i>			<i>N. palea</i>	
<i>N. heufferi</i> var.			<i>Surirella ovata</i> var.	
<i>leptocephala</i>			<i>pinnata</i>	
<i>Cymbella ventricosa</i>				
<i>C. turgidula</i>				
<i>Gomphonema angustatum</i>				
var. <i>producta</i>				
<i>G. quadripunctatum</i>				
var. <i>hastata</i>				
<i>Nitzschia linearis</i>				
<i>N. dissipata</i>				

(出典) 安田・井山 (1982) による

4.3 一種類の理化学的測定値との対応

これは生物指標によって測定する環境状況を一種類の理化学的に測定できる水質構成要素に限るもので、この流れに属する研究には、渡辺 (1982a) の付着性珪藻群集を構成する各珪藻の相対頻度と BOD の関係についての研究、及び渡辺 (1981) の上記の関係をもとにした新しい生物学的水質判定の試みがあげられる。渡辺 (1982a) は、あるケイ藻の相対頻度が高くなるとそのほかのケイ藻の相対頻度が低くなるという関係を、化学平衡時の物質濃度の関係と同じと見立てて、次式のような関係式を当てはめている。

$$n[\text{BOD}] + R \xrightleftharpoons[k_2]{k_1} m[\text{BOD}] + (1-R) \quad (1)$$

R: 相対頻度, $R_{\max} = 1$

k_1, k_2 : 速度定数

N, m: 作用定数

この式の定数を実測値から導き出してケイ藻の相対頻度と BOD の関係を定式化し、それをもとに汚濁に耐えられるケイ藻 (Tolerant taxa)、広い適応性をもつケイ藻 (Indifferent taxa) 及び汚濁に

耐えられないケイ藻 (Intolerant taxa) の三つのグループにケイ藻を分けたあと、次式により汚濁を判定する。

$$DCI = \sum_{i=1}^l T_i + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m I_j \quad (2)$$

DCI=ケイ藻群集の相対頻度に基づく汚濁指数

$\sum_{i=1}^l T_i$: l 個の Tolerant taxa の各相対頻度の和

$\sum_{j=1}^m I_j$: m 個の Indifferent taxa の各相対頻度の和

この方法の妥当性については、渡辺 (1982b) が、DCI と BOD の相関が91%であったことを報告している。

このように、第三の研究では、生物的測定結果と理化学的測定値が正確に対応するような生物指標をつくるのが可能である。しかし、この流れにおいては、生物的測定法は総合的な水質を表すという特性を持たず、そのうえ調査もかなり技術を要するので、一般調査として普及することも難しいと思われる。また DCI という新しい指数による表現は、人々に興味を持たれにくいと思われる。このような生物的測定法は、理化学的測定にない利点を持たず、生物指標としての存在意義はないとの意見は当然あると思われる。もっとも渡辺 (1981) の方法については、一度の測定で水質の平均が表せるという利点はあるが、それも BOD 測定装置などの発達により、あまり費用や労力を費やさずに測定を頻繁に行うことが可能になれば、利点を失うことになる。さりとて、測定する環境状態としてほかの水質を入れれば、4. 2で述べたのと同様な困難にぶつかる。今後この研究の流れはどう発展するか興味あるところである。

4. 4 まとめ

生物的測定法と理化学的測定法との対応についての研究を概観した結果、次のようなことが言える。

- (1) 総合的 (平均的) 水質を表すものとして発達してきた汚水生物体系に基づく生物測定法と理化学的測定法とは、基本的考えを異にしており、両者による測定結果の対応づけは困難である。
- (2) 理化学的測定値の組合せを、生物的測定法によって測定しようとする流れにおいては、任意の理化学的測定値の組合せの場所を見つける、あるいは設定することが研究の鍵をにぎっている。
- (3) 一種類の理化学的測定値と生物的測定結果とを対応づけようとする研究は、生物的測定結果と理化学的測定値との対応を高める上では非常に有益と言えるが、これに用いられる生物的測定法は、行政の現場などで要求されている生物指標の特性を失う可能性がある。

この3種類の研究の最終的なゴールとして、はじめに生物学的測定法によって多くの理化学的測定値の組合せで表される水質を測定すること(D)を考えたが、これに到達するためには、基本的には多くの種類からなる理化学的測定値の一つ一つをコントロールしながら、その理化学的測定値と個々の生物との関係を明らかにしていかなければならない。これには膨大な労力が必要であると予想される。さらに、中島・松並(1984)によって、水質のほかに河床の状態などを考慮に入れる必要も示唆されており、そうするとますます困難さを増すことになる。

以上は、生物学的測定結果と理化学的測定値との対応づけという面に着目してサーベイしてきた結果であるが、これによれば、現時点において生物的測定法と理化学的測定法とを対応づけることは難しいといわざるをえない。

5 おわりに

以上から、現時点において生物的測定法を環境指標算定過程に取り込むことは難しいと結論せざるをえない。

しかし環境指標算定以外の利用場面においても、生物学的測定法に期待されている役割がある。そのうち重要なものをあげれば、住民が日頃親しんでいる生物と環境状態を結びつけること、逆に生物的測定結果を住民の環境に対する意識に反映させることや理化学的測定値では把握できない環境状態、例えば未知の害を測定することである。今後、行政などの現場から見た生物指標の研究分野としては、いかに人々の興味を引く生物学的測定法をつくるかといった研究や、理化学的測定値だけでは把握できない環境状態を測定できる生物的測定法の開発が重要と思われる。

いずれにしても、生物学的測定法の開発・利用のためには、生物的測定結果と理化学的測定値との対応に付いて基礎的知識が必要である。今後、この面での研究が進展することを望みたい。

謝 辞

この報告をまとめるに当たり、野崎隆夫、吉見洋(神奈川県公害センター)、光木偉勝ら生物指標プロジェクト研究班(兵庫県公害研究所)、水尾寛巳(横浜市公害研究所)、小川純資、澤野義彦、斎竹善行、田中庸央(愛知県公害調査センター)の各氏に生物指標についてお聞きした。これらヒアリング調査に快く応じて下さった方々に、この場を借りてお礼申し上げます。また、本報告についてアドバイスをしていただいた後藤典弘、西岡秀三 両主任研究官に感謝いたします。

参 考 文 献

- Beck, W. M. (1955): Suggested method for reporting biotic data. *Sew. Industr. Wastes*, **27**, 1193-1197.
御勢久右衛門(1978): Zelinka-Marvanによる肉眼的底生動物のザプロビ値、インディケーター価値の適用への試み。日本水処理生物誌, **14**(1), 9-17.

- Kolkwitz, R. and M. Marsson (1908): Oekologie der pflanzlichen Saprobien. Ber. deutsch. bot. Ges., **26**, 505-519.
- Liebmann, H. (1951): Handbuch der Frischwasser-und Abwasserbiologie, I. 1. Aufl. Verlag Oldenbourg, München.
- MacArthur, R. H. and J. W. MacArthur (1961): On bird species diversity. Ecology, **42**, 594-598.
- 松中昭一 (1975): 指標生物-環境汚染を啓示する. 第4刷, 講談社, 東京, 182p.
- 光木偉勝・中川吉弘・西村太美子・小川 剛・古城方和・黒田益代・中野 武 (1984): 環境評価のための生物指標. 兵庫県公害研究所研究報告, 第16号, 1-22.
- 文部省「環境科学」特別研究 (1979): 環境変化の測定における生物指標の役割. 第2号, B30-S2-2.
- 中島重旗・松並裕子 (1984): 河床れきの状態と底生動物相指標の相関. 陸水学雑誌, **458**(3), 220-230.
- 日本の水をきれいにする会 (1983): 水生生物による水質の簡易調査法に関するアンケート調査. 水質管理計画調査 (環境庁委託業務結果報告書), 37-130.
- Pantle, R. and H. Buck (1955): Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. Gas- u. Wasserfach, **96**, 604.
- Sládeček, V. (1963): A scheme of the biological classification of waters. (In Czech) Vodni hospodarstvi, **13**(11), 421-422.
- Sládeček, V. (1968): The ecological and physiological trends in the saprobity. Hydrobiologia, **30**, 513-526.
- 津田松苗 (1964): 汚水生物学. 第11版, 北隆館, 東京, 258p.
- 津田松苗 (1972): 水質汚濁の生態学. 第5版. 公害対策技術同友会, 東京, 240P.
- 渡辺仁治 (1981): 付着性珪藻の相対頻度に基づく生物指標への試み——指標生物に対する問題点の考察から——. 公害と対策, **17**(5), 13-18.
- 渡辺仁治・浅井一視・角谷晴世・藤平緑 (1982a): 付着性珪藻群集を構成する各 taxon の汚濁スペクトラム. 「環境科学」研究報告, B121-R12-10, 34-43.
- 渡辺仁治・藤平 緑・角谷晴世 (1982b): 有機汚濁河川の付着性珪藻群集を用いた新しい水質判定法. 「環境科学」研究報告, B121-R12-10, 44-55.
- 安田郁子・井山洋子 (1982): 有機汚濁に対する川床付着藻類の指標性について. 「環境科学」研究報告, B121-R12-10, 17-21.
- 安田正志・中村郁子 (1974): 河川における生物学的な水質判定と理化学的水質調査. 土木学会論文集, **228**, 55-64.
- Zelinka, M. and P. Marvan (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol., **57**, 389-467.

3. 1. 1 環境の評価：特に経済的評価を中心にして

On the Valuation of the Environment: With Special Reference to Economic Valuation

北島能房¹

Yoshifusa KITABATAKE¹

要旨

環境指標作成に当たっての一つの課題である環境の評価手法について、理論的背景をとりまとめた。環境状態とその社会影響との因果関係のとらえ方によっていくつかの評価手法があるが、それぞれがどういった分析仮定に基づいているかを明らかにした。特に、因果関係について経済理論的知見を利用して、環境状態の評価を行おうとする経済評価手法の理論と実証例を詳しくレビューした。

Abstract

The purpose of the paper is to review the methods of valuation of the environment. The type of valuation methods may be classified in terms of how to deal with the causal relationships between the state of the environment and its social effects. Methods for value or utility estimation assume implicitly that the causal relationships are reflected in people's preference patterns. On the other hands, various economic valuation methods utilize economic theory to clarify or to hypothesize the causal relationships between the state of the environment and its social effects.

Especially, the paper reviews the theoretical bases as well as the representative application studies of the economic valuation methods to assess the impacts of environmental changes on production and consumption activities.

1 はじめに

環境指標とは「環境に関するある種の状態を可能な限り定量的に評価するための物差し」と定義される。それゆえ、環境指標の作成に当たっては環境の範囲の設定、環境状態の特定、定量化の方法、評価方法という四つの問題が明らかにされねばならない(内藤・西岡, 1984)。本稿では、こ

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

のうち評価方法、特に経済的評価方法の問題を扱うが、このためには評価する主体と、何をもって評価というかが、明らかになっていなければならない。それゆえ、まず第2節において、前報で紹介した環境指標作成手法の第5ステップ、第6ステップである尺度化、総合化といった評価手順がどういった分析仮定に基づいているかを明らかにする。特に、価値関数や効用関数を用いた環境状態の評価尺度（“物差し”としての間隔尺度）の作成も、評価主体が環境状態やその社会影響を示す個々の項目についてどういう選好構造をもつかというある種の行動仮説に基づくものであり、具体的な試算に当たってはこれらの仮説の妥当性のチェックが必要であることをまとめてみる。環境指標を世の中に広く普及しようとするときには、環境指標の作成に当たって各手順の“吟味”が不可欠であると思われるからである。

第3節以降は、環境の経済評価の問題を取り扱う。経済的評価手法の特徴は、環境状態とその社会影響（特に経済影響）との因果関係について、経済理論の教える知見をできるだけ利用することによって環境状態の評価を行おうとする点にある。この点を見るためにも、第3節において、経済状態の推移の評価尺度として長い伝統をもつ消費者物価指数論のレビューを第2節で行う。環境指標の説得性を高めるためにも、消費者物価指数論における統計的見方と社会科学的見方の共存状態は参考になると思われるからである。

第4節では、環境状態の経済的評価に関する理論と方法を、実証例をまじえて紹介する。

2 環境状態の評価尺度の作成

環境状態の評価尺度の作成には、二つのアプローチが考えられる。一つは、トータルとしての環境状態そのものを出来るだけ客観的に把握したいとするアプローチであり、もう一つは、個々人にとって望ましい環境状態とは何かという観点から環境状態の評価を行いたいとするアプローチである。前者のアプローチでは、測定単位の変化によって物差しとしての評価尺度が変化したり、ある特定項目の測定値が環境状態の総合評価値をドミネイト（支配）してしまうといった状況をできるだけなくするような評価尺度を作成しようとする。都市環境の総合評価指標作成に用いられる社会指標法（個々の測定値を平均値と標準偏差で規準化して総合化）や大気質の一つの総合評価指標である ORAQI 指数（個々の測定値を目標水準との比率で規準化して総合化）(Sinden & Worrell, 1976) などはその例である。これに対して後者のアプローチは、環境状態の種々の計測値を価値関数や効用関数で表現される個々人の価値尺度に投影して評価尺度を作成しようとする。以下では、この後者のアプローチがどういった分析仮定に基づいているかをまとめてみる。

効用関数も価値関数も、一般的には、人間行動、特に個人の好み（選好）に関するある種の仮定のもとで、その存在が数学的に証明される場所の一つの順序（序数的）尺度である。このことを、奥野・鈴村（1985, p. 135-169）を参考にして、環境指標とのかかわりで説明してみる。今、一次指標ベクトル $(X_1 \cdots X_m)$ の集合を R^m で表して、個人の選好に関して以下の五つの仮定をおく：

仮定1（選好の完備性）：任意の二つの一次指標ベクトル $X, X' \in R^m$ に対して、 $XR X'$ と $X'RX$

のうちの少なくとも一つが成立する。ここで ARB とは、個人は A を B より選好するか、あるいは無差別であるという関係を示している。

仮定 2 (選好の推移性) : 任意の三つの一次指標ベクトル $X, X', X'' \in R^m$ に対して XXR' かつ $X'RX''$ ならば XXR'' が成立する。

仮定 3 (選好の連続性) : R^m から任意の一つの X をとると、 R^m 内の他の要素は $\bar{R}(X) = \{X' \in R^m \mid X'RX\}$ か $\underline{R}(X) = \{X' \in R^m \mid XXR'\}$ のいずれかに属している。このとき、 $\bar{R}(X)$ ($\underline{R}(X)$) の中から収束する一次ベクトルの列をとると、点列の極限 X^* でも X^*RX (XXR^*) が成立している。

仮定 4 : 任意の二つの一次指標ベクトル $X, X' \in R^m$ に対して $X > X'$ ならば、 XPX' が成立する。ここで APB ならば A は B よりも選好されるという関係を示している。この仮定を満たすためには一次指標項目の増加が個人の満足を高めるという形で測定されている必要がある。例えば、項目が汚染質の場合には、最悪状態からの差といった形で表示する必要がある。

仮定 5 (選好の凸性) : XXR' なる任意の二つの一次指標ベクトル $X, X' \in R^m$ をとり、任意の実数 a ($0 < a < 1$) によって X と X' の一次結合 $Z \equiv aX + (1-a)X'$ を定義すると、 ZPX' が常に成立している。この仮定は、無差別曲線が原点に向かって凸になっていることに対応している。

さて、 R^m から任意に二つの一次指標ベクトル X, X' をとると、(1) X よりも X' が好ましい、(2) X' よりも X が好ましい、(3) X と X' とは無差別である、という三つの可能性がある。ここで、上述の五つの仮定を容認すると、三つの可能性のそれぞれに応じて $V(X) < V(X')$, $V(X) > V(X')$, $V(X) = V(X')$ となるような R^m 上に定義された実数値関数 V が存在することを数学的に証明したのは Debreau (1954) であった。彼の証明についてわかりやすく説明したのに丸山 (1984) がある。さらに任意の単調増加関数 f によって変換された関数 $f(V)$ もまた上記三つの可能性を区別する実数値関数になることがわかる。この順序だけを保存するような実数値関数のことを価値関数ないし効用関数と呼ぶのである。

さて、環境状態の評価尺度として価値関数と評価関数のどちらを用いるかは、環境状態の評価を確実下での評価とみるか、不確実下での評価とみるかで異なる。価値関数法は確実下での評価に用いられるものであり、効用関数は不確実下での評価に用いられるものである。

確実下の場合には、指標項目数が複数個あるときに、どの二つをとっても残りの項目から選好独立 (相互選好独立) であれば、価値関数は加法的に表される (Keeney & Raiffa, 1976, p. 111-115)

$$V(X_1 \cdots X_m) = v_1(X_1) + \cdots + v_m(X_m)$$

さらに上式において、 V 関数が有界であるとき、 V 関数及び各 v_i 関数を 0 から 1 までの値をとる関数に変換して上式を

$$V(X_1 \cdots X_m) = \sum_{i=1}^m w_i v_i(X_i) \quad (1)$$

ただし $0 \leq v_i, v_i \leq 1$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1, w_i > 0$$

という形で測定しうる (Keeney & Raiffa, 1976, P. 116-117) が、このようにして間隔尺度としての評価尺度を求めるのが価値関数法といえる。

これに対して、von Neumann & Morgenstern (1947) によってはじめられた不確実性下の意思決定理論に基づいて間隔尺度化されるのが効用関数といえる。ただし、効用関数の場合、(1) 式に対応するものが若干複雑になる。すなわち、 m 個の一次指標項目中のどの項目も残りの項目から効用独立であれば、効用関数 $U(X_1 \cdots X_m)$ は個別指標項目の効用関数の加法和と乗法和として示される (Keeney & Raiffa, 1976, P292-294)。簡単化のため 3 指標項目の場合に (1) 式に対応するものを書くと、

$$U(X_1 \cdots X_m) = \sum_{i=1}^3 k_i u_i(X_i) + K \sum_{\substack{i=1 \\ j>i}}^3 k_i k_j u_i(X_i) u_j(X_j) + K^2 k_1 k_2 k_3 u_1(X_1) u_2(X_2) u_3(X_3) \quad (2)$$

となる。ここで U 及び u_i は一次指標項目の最小値 (最悪値) と最大値 (最良値) によって 0 と 1 との間に基準化されている。また、 k_i は第 i 項目だけが最大値をとり、その他の項目が最小値をとった時の関数 U の値であり、 K は $1 + K = \prod_{i=1}^n (1 + K k_i)$ の解として求まる定数である。ここで $\sum_{i=1}^n k_i = 1$ 、 $k_i > 0$ 、かつ $K = 0$ のときには間隔尺度としての加法型の評価尺度が得られる。

経済学においては、効用関数という用語は何も不確実性下の意思決定問題だけでなく、確実な事象に対する各人の評価を示すものにも用いられる。それゆえ経済学の立場からは、価値関数と効用関数の違いは、本来、順序尺度であるべき価値関数ないし効用関数を間隔尺度に変換する際に不確実性下の意思決定理論を用いるかどうかにあるとも言える。

前報 (p. 79) では、環境状態の総合評価は確実下での状況を対象とするものとみなして価値関数法を採用したが、所与の財源のもとでの環境状態の向上をはかるための代替案の選択といった事前的な政策評価の場合に、評価関数として環境指標を用いる場合には効用関数法も用いられるであろう。いずれの方法をとるにしても、大事なことは、価値関数や効用関数を、漠然とそういうものが存在すると仮定して議論を進めるのではなく、価値関数も効用関数も、共に、個人の選好に関するある種の仮定 (確実下の場合には前述の 5 つの仮定) に基づいたものであるということをお忘れないうことである。それゆえ (1) 式や (2) 式に基づく総合評価も、あくまで、個人ないしは同質の選好をもつと思われるグループ (専門家グループなど) を対象としてなされるものであって、異なる選好構造を持つグループ間の総合評価でないことはいうまでもない。また、項目間の相互選好独立性のチェックが重要になる。

3 消費者物価指数論の紹介

3.1 なぜ指数論か

前述した環境指標の定義の示すように、“指標”とは状態量を表す尺度である。これに対して“指数”とは、“ある状態から他の別の状態に移ったときの、変量の変化を測定する尺度である”（アレン、1977、p. 4）。この場合、比較される二つの状態は2時点のこともあれば、二つの異なる場所のことも、また二つの個人グループであってもよいが、よく使われるのは2時点間比較の場合である。

環境指標の観点から指数論をとりあげる二つの理由がある。一つは、環境指標の理論的基礎を固めるためにも、特に2節で述べた評価尺度の作成への二つのアプローチ間の関係を把握するためにも物価指数論の理論的背景が参考になると思われるからである。もう一つは、指数論、特に消費者物価指数の経済的意味づけとなっている効用不変物価指数（3.3節で詳述）の考えが、第4節で紹介する環境の経済的評価に関する各種の手法と原理的に同じ考えに基づいているからである。

3.2 物価指数の算定方式

消費者物価指数とは、もともと、貨幣価値変動ないしは貨幣の購買力変動を測定する尺度として考え出されたものである。今、ある消費者の年間所得が100万円であるとして、1個1万円の商品を100個購入しているとしてみる。このとき、商品の値段が1個2万円に値上がりしたとすると、所得が変わらないとすれば、新価格のもとでは50個しか買えず、100万円という貨幣の購買力は半分になっている。とすれば、この消費者はもとの購入量（生活水準）を維持するために2倍の賃上げを要求するであろう。

この例からもわかるように、貨幣の購買力変動と対になっている物価変動をできるだけ正確に測定したいという要求は、消費者にとっての願いであり、この要求に基づいて考え出されてきたのが消費者物価指数なのである。しかし、物価指数の難しい点は、上述の例に示す単純な価格変化と異なり、多数の商品について生ずる種々の価格変化をいかにして総合化して一つの指数を作成するかにある。この問題については統計学者や経済学者によって精力的に研究されてきたが、ここではアレン（1977）、時子山（1978）、藁谷（1980）を参考にして、代表的な指数算定方式を紹介する。

代表的な算式に以下に示すラスパイレス指数とパーシェ指数がある。今、第 t 年の n 個の商品の価格と数量をそれぞれ p_{it} 、 q_{it} （ $i=1, \dots, n$ ）、その金額の集計値を省略記号を使って

$$\sum_{i=1}^n P_{it} q_{it} = \sum p_t q_t$$

と表すことにする。すると、これらの指数は以下のように書ける。

物価指数

ラスパイレス型

$$P_{01}(q_0) = \frac{\sum p_1 q_0}{\sum p_0 q_0} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_{0i} q_{0i}}{\sum p_0 q_0} \right) \left(\frac{p_{1i}}{p_{0i}} \right) \quad (3)$$

パーシェ型

$$P_{01}(q_1) = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_0 q_1} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_{0i} q_{1i}}{\sum p_0 q_1} \right) \left(\frac{p_{1i}}{p_{0i}} \right) \quad (4)$$

数量指数

ラスパイレステ型

$$Q_{01}(p_0) = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum p_0 q_0} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_{0i} q_{0i}}{\sum p_0 q_0} \right) \left(\frac{q_{1i}}{q_{0i}} \right) \quad (5)$$

パーシェ型

$$Q_{01}(p_1) = \frac{\sum p_1 q_1}{\sum p_1 q_0} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{p_{1i} q_{0i}}{\sum p_1 q_0} \right) \left(\frac{q_{1i}}{q_{0i}} \right) \quad (6)$$

ラスパイレステ物価指数 ($P_{01}(q_0)$) とは、基準時点 ($t=0$) の支出ウェイトで基準時点から比較時点への価格変化を重みづけたものであり、同様に数量変化を重みづけたものがラスパイレステ型数量指数 ($Q_{01}(p_0)$) である。これに対して、パーシェ型物価指数 ($P_{01}(q_1)$) とは、比較時点の商品群 (q_1) を基準時点の価格 (p_0) で購入したときの支出ウェイトでもって価格変化を重みづけたものであり、パーシェ型数量指標 ($Q_{01}(p_1)$) の方は、基準時点の商品群 (q_0) を比較時点の価格 (p_1) で購入したときの支出ウェイトで数量変化を重みづけたものである。

今、基準時点から比較時点への支出変化を V_{01} とすると、物価指数と数量指数の間には

$$P_{01}(q_0) \times Q_{01}(p_1) = P_{01}(q_1) \times Q_{01}(p_0) = V_{01} \quad (7)$$

という関係がある。すなわち、実際の支出変化はラスパイレステ型物価指数とパーシェ型数量指数か、又はラスパイレステ型数量指数とパーシェ型物価指数との積で表現するということである。

物価指数にはこれ以外にも数多くの指数が提案されているが、I. フィッシャーは理想的指数の満たすべき規準として以下の六つを与えた：

(1) 同一性テスト： $p_{1i} = 1$ 。 t 時点を基準とした t 時点の物価指数は 1。

(2) 比例性テスト： $p_1 = \lambda p_0$ のとき $P_{01} = \lambda$ 。

すべての品目の価格が比例的に変化した時の物価指数の値は変化比率に等しい。

(3) 単位無差別テスト：個々の価格の測定されている貨幣単位、または物理的単位が変更されても指数の値は変わらない。

(4) 時点転逆テスト：

$$P_{st} \times p_{ts} = 1 \quad (s \neq t, s, t = 0, 1, \dots)$$

基準時点と比較時点を取り替えたとき指数はもとの指数の逆数になっている。

(5) 循環テスト：

$$P_{os} \times p_{st} = p_{ot} \quad (s \neq t, s, t = 1, 2, \dots)$$

基準時点第0年として計算した t 年の物価指数(P_{0t})は、同じ基準時点で計算した s 年の物価指数(p_{0s})と s 年を基準時点として計算した t 年の物価指数(p_{st})との積になっている。

(6) 要素転逆テスト：

$$P_{01} \times Q_{01} = V_{01}$$

物価指数と数量指数の積が支出額の変化を説明しうる。

ラスパイレス指数、パーシェ指数は第1から第3のテストは満足するが、残りのテストは満足しない。フィッシャーは、六つのテストのうち、第5を除くすべてのテストを満足する次の指数

$$PI_{01} = \sqrt{P_{01}(q_0) \times P_{01}(q_1)}$$

を理想物価指数と名づけた。これがフィッシャーの理想算式と呼ばれるものである。

3.3 経済理論的背景

前節で紹介したフィッシャーのテストは、各時点で観察される価格ベクトルと消費ベクトルとの間になんらかの特定の関係が成立するという立場をとらず、種々の指数算式を形式論的な立場で、整理しようとする立場に立つもので、指数問題への原子論的接近法とか確率論的接近法と呼ばれるものである。これに対して、貨幣の購買力を示す物価指数は常に一定の地位における個人々の1特殊社会と関係づけて作成されるべきであるという立場に立って、価格ベクトルと消費ベクトルとの間の関係について、経済理論の教える知見をできるだけ利用しようというアプローチがある。これが指数問題への経済理論的アプローチであり、特に合理的消費者行動を想定した上で構成される物価指数に効用不変物価指数(理論生計費指数)がある。

今、ある代表的な消費者の購入行動に注目してみる。そして彼は、商品の価格変動と可処分所得の変動に応じて、自己の効用が最も大になるように商品の購入数量を変化させているものと仮定する。図1は2財の場合について商品の最適購入量を示したものである。線分 A_0B_0 は第0時点($t=0$)での所得制約式に対応している。第0時点の2財の最適購入量の組み合わせ(q_{01}, q_{02})を点 C_0 で、最大効用水準を U^0 で示す。次に、第1時点($t=1$)で q_2 の価格のみが上昇したとしたときの所得制約式を示したのが線分 B_0A_1 である。このときの2財の最適購入量(q_{11}, q_{12})は点 C_1 で、最大効用水準は U^0 から U^1 へと減少している。

効用不変物価指数は、同一の効用水準に対応する二つの支出額の比で定義される：

$$I_{01}(U^0) = \sum p_1 q_1' / \sum p_0 q_0 \quad (8)$$

$$I_{01}(U^1) = \sum p_1 q_1 / \sum p_0 q_0' \quad (9)$$

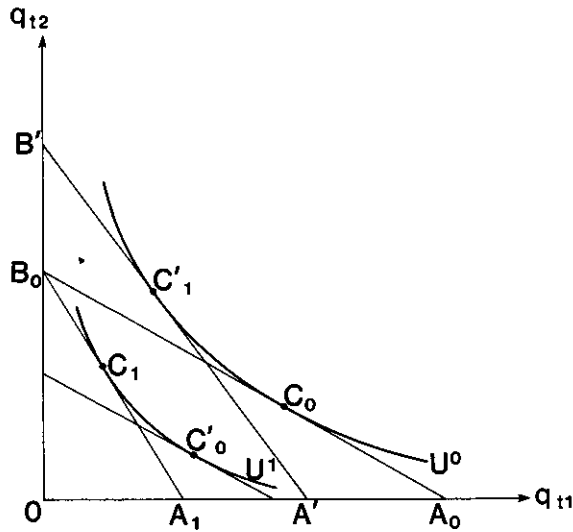


図1 消費者の購入行動の例示

ここで q_1' とは、第1時点の価格 (p_1) のもとで第0時点の最大効用 (U^0) を達成するのに必要な2財の購入量の組み合わせで点 C'_1 で示されている。また、 q'_0 とは、第0時点の価格 (p_0) のもとで、第1時点の最大効用 (U^1) を達成するのに必要な2財の組み合わせ (点 C'_0) のことである。効用不変物価指数とは、所与の効用水準を達成するのに必要な最小支出額が2時点間でどのように変化したかに着目して物価指数を算定しようとするものである。次に、(3)、(4)、(8)、(9) 式より次式の成立することがわかる：

$$I_{01}(U^0) < P_{01}(q_0)$$

$$I_{01}(U^1) > P_{01}(q_1)$$

すなわち、ラスパイレス型物価指数は効用水準 U^0 に対応する効用不変物価指数を過大推定し、パーシェ型物価指数は効用水準 U^1 に対応する効用不変物価指数を過小推定するということである。また Samuelson と Swamy (1973) は効用関数がコブ=ダグラス型のときには効用不変物価指数はフィッシャーのテストをすべてパスすることを示した。

現在、我が国で採用されている消費者物価指数はラスパイレス型である。これは基準時の支出ウェイトが数年間用いられているという簡便さとともに、基準時の効用不変物価指数の一つの近似になっているという経済理論的理由づけに基づいている。なお、物価指数論の環境分野への応用として、筆者らは、環境関連公共サービスを対象として公共サービス原価指数といったものの算定を検討している。

4 環境状態の経済的評価手法

4.1 経済的評価の基礎

環境状態の経済的評価は、2節で説明した第2のアプローチに属するものである。ただし、環境状態と社会影響との因果関係を評価者のもつ各項目間の選好関係を定量化することによって明らかにしようとする価値関数法と異なり、経済的評価手法は、環境状態とその社会影響との関係について経済理論の教える知見をできるだけ利用することによって環境状態の経済影響評価指標(第I部、表1中の一つの個別指標)を作成しようとするものといえる。

さて、環境状態の経済的影響とは、所与の環境状態を変化させたときに、人々の経済状態がどの程度影響をうけるかによって評価を行おうとするものといえる。この意味で、環境状態のシャドー価格を算定する手法が経済的評価手法といえる。環境状態の変化のもたらす経済影響は大別して二つある。一つは、環境状態の変化が利水、レクリエーション活動といった環境関連サービスの提供(量、質)に影響を与え、究極的に経済主体(消費者や生産者)の厚生に影響を与えるという場合である。二つは、環境状態の水準をある水準に保持しようとする公的規制(具体的には環境基準の設定とそれに基づく排出規制等)によって環境中への廃物の投棄が規制されることによる経済影響である。

これら二つの影響経路は環境状態の変化を通じて互に関係しあっているので、単純に分けることは難しいが、これまで主として扱われてきたのは後者についてである。一国全体を対象として、排出規制によって生じた公害防止費用のもたらすマクロ経済影響を評価した我が国の「環境保全長期計画」(環境庁、1976)や、デラウェア下流域という一つの地域を対象として環境基準設定のもたらす地域経済影響を評価した Spofford ら (1976) などの研究がある。

これに対して、前者の研究は近年盛んに行われるようになってきた。この場合、環境状態の変化が環境サービスの量的側面だけでなく、質的側面に影響しうるものであり、また、これらのサービスのおおくが公共サービスの一つとして市場外で取り引きされているか、住宅地の緑のように、市場で取り引きされている財(宅地等)の一属性として扱われているものなので、廃物を処理するための公害防止費用といった明確な市場評価額を賦与することが難しく、環境サービスの個々の利用者の好みに負うところが多い。

こうした点をふまえて、Freeman (1979, p. 10-12) は、経済的評価手法が適切かどうかを判断する基準として六つの基準を提示した。それらを要約すれば以下のとおりである。

- 1) 手法は貨幣単位で測った評価値をもたらすこと。
- 2) 手法は、理論的にも実証的にも、個人の行動及び選好に関する仮説に基づいていること。
- 3) 手法は、環境状態を変数として取り込んでいること。
- 4) 評価値は、個人行動に関する理論モデルと経済主体間の関係(市場構造等)をふまえたものであること。
- 5) 実証研究で用いる変数は、理論モデルで用いる変数とできるだけ密接に対応している変数を用いること。

6) 実証研究に当たっては、理論モデル及び利用可能なデータに適した手法を用いること。

以下、4.2節では生産者への経済影響評価について述べ、4.3節では消費者への経済影響について述べる

4.2 生産者に与える影響の評価手法

4.2.1 理論的枠組

生産者は、労働や資本といった生産要素を用いて生産活動を行い、生産物を販売することによって生計を立てている。ここでは簡単化して、生産要素及び生産物に関する市場が完全競争的、言い換えると、生産要素や生産物の価格が個々の生産者にとっては所与とみなされるものと、仮定する。さらに、個々の生産者の行動仮説として、次式で定義される販売利益

$$py - C(y) \tag{10}$$

が最も大きくなるように生産量 y を決定しているものとする。ここで p は生産物の価格である。費用関数 $C(y)$ は、生産関数

$$y = f(X_1 \cdots X_n, Q) \tag{11}$$

及び環境状態

$$Q = Q_0 \tag{12}$$

の制約下で、費用

$$\sum_{i=1}^n w_i X_i \tag{13}$$

を最小にするような n 種の生産要素 ($X_1 \cdots X_n$) を用いて、所与の生産量 y を生産する費用を示す。ここで w_i は第 i 生産要素の単位価格である。 Q を環境サービスとしてもよいが、ここでは特に環境状態と環境サービスを区別しては扱わない。

(11) 式、(12) 式の特徴は、環境状態というものは市場を通じて購入しうるものではなく、生産活動に外生的に影響しうるパラメーターとして、環境状態を扱っていることにある。図2の MC_0 曲線は、(11) 式において y を生産要素 $X_1 \cdots X_n$ の凹関数として、(11) ~ (13) 式から求まる限界費用曲線 ($\partial C / \partial y$) である。販売価格が p で環境状態が Q_0 のときの、この生産者にとっての最適生産量は y_0 で、最大販売利益は領域 $A_p B$ で示される。次に (12) 式において、環境状態が $Q = Q_0$ から $Q = Q_1$ に向上了たときの限界費用曲線を示したのが図2中の曲線 MC_1 である。このときの、最適生産量は y_0 から y_1 へ、利益も領域 $E_p C$ へ拡大している。

以上より、環境状態の向上に伴って、この生産者の販売利益が図2中の網線部分だけ増加していることがわかる。この部分は、(11) 式を計量できれば貨幣単位で表示しうる。また、この測定方

法は完全市場下での生産行動に関する仮説や理論モデルに基づいており、Freeman の第 1 から第 4 までの基準を満たしている。

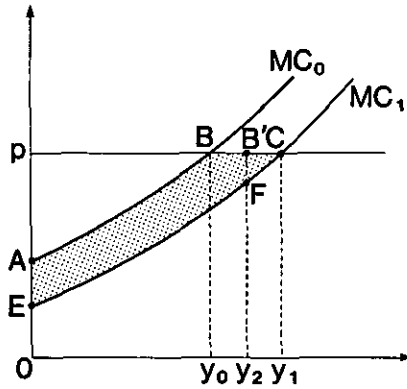


図2 環境状態の変化が生産者にもたらす経済影響の例示
(本図は Freeman (1979), p65の図 8 に基づいている。)

4. 2. 2 実証例

前節の理論的枠組のもとで実証研究を行うには、生産技術については不変のまま、環境状態 Q だけが変わっていくような状況下で (11) 式を推定する必要がある。ところがこれはかなり難しい。なぜ難しいかを見るために、例として霞ヶ浦での養殖業をとりあげてみる。養殖業における生産量とは春から秋にかけての養魚の増肉量に対応しているが、この期間の環境状態は水温、水質、どれをとってもかなり変動する。この期間中に投下された生産要素量 (エサの量や労働量、資本量など) だけでなく、環境状態の変動に対応して増肉量がどう変動するかを精確に把握するのは、単位時間を短くするほど一層難しくなる。それゆえ、かなり長期 (数年間) にわたって調査を継続する必要があるが、この場合も各年の環境状態をどういう変数で代表させるか、調査期間中に生産技術が変化しないか、といった問題が生ずる。

ここでは、前節の枠組のもとで水質悪化の生産被害の経済的評価を試みた筆者 (1981, 1982) の研究を紹介する。その方法は次の通りである：1) 湖の富栄養化がなかった ($Q=Q_0$) としたときの養殖業者の限界費用曲線 (図 2 中の MC_1) を一年間の操業データから求める；2) 養魚価格 p 、生産要素価格 $w_1 \dots w_n$ のもとでの最適生産量 y_1 、最適な生産要素量 $X_1^* \dots X_n^*$ を求める；3) 湖富栄養化現象の顕著な期間を対象にして、養魚被害量 (D) や操業状況を月ごとに調査する。そして、月ごとの環境状態 (Q) や生産要素投下量 ($X_1 \dots X_n$) と生産量当たり養魚被害 (D/y) との間の関係式を統計的に推定する。ここで養魚被害量をその養殖業者にとっての対象期間中の推定生産量 (y) で割りかえているのは、生産規模によって被害率が異なりうることと前述した、環境変動の単位時間と増肉量といった生産変動の単位時間の差を考慮しているからである；4) 養魚被害

(D) が予測不能として、その時に蒙る利益減をして、環境状態悪化の経済的評価とする。図2に即して説明すれば、生産量 y_1 のときに、環境悪化によって $D=y_1-y_2$ だけの被害が出ているとすれば、領域 BFC が評価額になる。

上述の第3ステップで説明した一般的な関係式 $D/y=g(X_1 \cdots X_n, Q)$ については、 $Q=Q_0$ のもとで y を費用最小で生産するときの最適生産要素量を月データに変換した $(\bar{X}_1 \cdots \bar{X}_n)$ の近傍でテーラー展開して一次項までをとった線型式を統計的に推定した式を用いた。図3は、この式を用いて被害率 (D/y) に与える各種の要因を示したものである。この重回帰推定式は、給餌器を用いて養殖生産を行っている生産者から得られたアンケート調査データに基づいている。図3の横軸は、養魚場周辺の水質要因 (月単位の透明度 (Q_2)), 縦軸は養魚場周辺の水温に関する要因 (年平均水温 (\bar{Q}_1) と月別水温 (Q_1) の差) であり、 $\delta = 1$ は養魚場に曝気装置がそなえてある場合、 $\delta = 0$ はない場合に対応している。図中の斜線部分は被害率が正になる領域を示しているが、透明度の悪化、月別水温の上昇が被害率を上昇させ、曝気装置の設置が被害率を減らす方向に働くことを示している。また、図3は霞ヶ浦湖心の水質測定点における昭和53年6月-9月の環境状態の変化を示しているが、これより湖心付近の給餌器を設置した養魚場では、曝気装置があれば8月だけ被害率が正になりうるということがわかる。

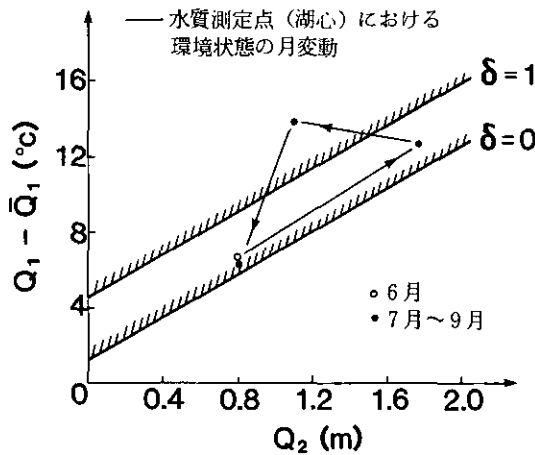


図3 養魚の月別被害率に影響する各種の要因
(本図は Kitabatake (1982) に基づいている)

4. 3 消費者に与える影響の評価手法

4. 3. 1 理論的枠組

消費者に与える影響の経済的評価手法も、前述の Freeman の基準を満たすためには、個人行動に関する理論モデルに基づくものでなければならない。Freeman (1977, p. 33-50) は消費者行動

理論における双対性理論を用いて各種の評価手法を説明しているが、ここでは三つの代表的な評価手法である、直接質問法、活動代替法、ヘドニック法、を比較的単純な理論モデルから導出した Shultze ら (1981) の研究を紹介する。この他にも、Mäler (1974, p. 183-189) の環境サービスと環境質との弱い補完性関係を利用した手法 (その適用例に Stevens (1966) がある) や Clawson & Knetsch (1966) による交通費用法 (我が国における予備的適用例に北畠・西岡 (1984) がある) 等があるが、これらは省略する。

さて、消費者個人の行動仮説であるが、彼は与えられた所得のもとで順序尺度としての効用の最大を求めて行動すると仮定する。ここで順序尺度としての効用は

$$U(A_1 \cdots A_n, Q_1 \cdots Q_n, X) \quad (14)$$

というように、 i 地点での活動量 A_i ($i=1 \cdots n$)、 i 地点での環境質 Q_i ($i=1 \cdots n$)、地点とは独立に意味をもつ財の消費量 X の関数として決るものと仮定する。各変数の意味であるが、例えば、 A_1 が住宅サービス量とすれば、 Q_1 は住居環境の快適さに関するアメニティ水準であり、 A_2 がある地点でのレクリエーション活動量とすれば、 Q_2 はその地点のもつレクリエーションに関するアメニティ水準である。また、 X はアメニティ以外のすべての財 (合成財) でその価格を 1 とする。(14) 式の各変数 A_i 、 Q_i 、 X がベクトル量になることは十分考えられるが、理論モデルの要点のみを示すために簡単化してスカラー量とする。

前述した消費者の行動仮説より、彼は所得制約式

$$Y - \sum_{i=1}^n P_i A_i - X = 0 \quad (15)$$

のもとで、(14) 式の効用ができるだけ大になるように各活動量 A_i ($i=1 \cdots n$) や X の消費量を決定する。ここで、(15) 式の Y は所与の所得であり、 P_i は i 番目の活動量の単位価格である。また、 Q_i は市場で売買されるものでないから、予算制約式には明示的には入ってこない。(14)、(15) 式の全微分をとると、それぞれ

$$dU = \sum_i \frac{\partial U}{\partial A_i} dA_i + \sum_i \frac{\partial U}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial U}{\partial X} dX \quad (16)$$

$$dY = \sum_i P_i dA_i + \sum_i A_i dP_i + dX \quad (17)$$

が得られる。また、最適解においては、(14) 式の効用関数は (15) 式の所得制約式に接しているから、次式が成立している：すべての i について

$$\frac{\partial U / \partial A_i}{\partial U / \partial X} - P_i = 0 \quad (18)$$

ただし、簡単化のため端点解はない (すべての i について $A_i > 0$ かつ $X > 0$) ものとする。

ケース1：直接質問法と活動代替法

さて、効用水準を一定に保ちつつ ($U=\bar{U}$)、 i 番目の環境質だけを変化 ($i \neq k$ なる k について $Q_k = \bar{Q}_k$) させることを考えてみる。ただし、 Q_i の変化はどの価格水準にも変化を及ぼさない (すべての j について $dP_j/dQ_i=0$) ものとする。すると、(16)~(18) 式より

$$\frac{\partial U/\partial Q_i}{\partial U/\partial X} = \frac{dY}{dQ_i} \tag{19}$$

という関係式が得られる。この式のもつ意味を Kanemoto (1980, p. 88-90) を参考にして詳しくみてみることにする。

図4において、 BB' は予算制約式を示している。環境質 Q の値が Q_1 に与えられたときの最適解は D 点で得られ、このときの効用関数の値は $U(A_1, Q_1, X) = \bar{U}$ となっている。ここで Q を Q_1 から Q_2 に変化させる (環境質を向上させる) と、効用関数の値は増加するので、 \bar{U} という効用水準にとどめておくためには、図4に示すように等効用曲線は下方にシフトしなければならない。このとき、(19) 式より Q の微小な変化 ΔQ に対して

$$\frac{\partial U/\partial Q}{\partial U/\partial X} \Delta Q = -\Delta Y \tag{20}$$

が得られる。図4の線分 DE は、 ΔQ が小のときは (20) 式の左辺によって近似される。さて、価格変化はないのであるから、 Q_2 のもとでの最適解は点 D' で求まるが ΔQ が微小なときは、線分 DE と線分 DF はほぼ等しい。言い換えれば、環境質向上による効用増を相殺するには、図4に示すように、所得が線分 BC 分だけ減少すればよいのである。(19) 式はこのことを示している。それゆえ、環境質向上によって人々の効用がどの程度増加したかを調べる一つの方法は、人々がその

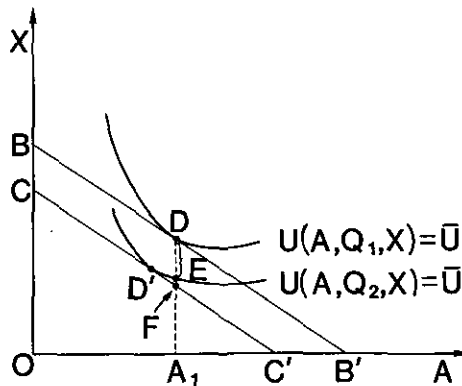


図4 (19) 式のグラフによる説明

ことに対してどの程度まで支払う意志があり、現に支払うかを聞いてみることである。この方法が第1の評価手法で直接質問法とか付け値ゲーム法とか条件評価法と呼ばれるものである。

さて、ケース1の仮定のもとでは、(17)式より

$$dY = \sum_j P_j dA_j + dX$$

という関係式が成立するので、(19)式は

$$-\frac{\partial U/\partial Q_i}{\partial U/\partial X} = \sum_j P_j \frac{dA_j}{dQ_i} + \frac{dX}{dQ_i} \quad (21)$$

と書き換えられる。右辺第1項は、アメニティ関連諸活動への総支出額が、環境質 Q_i の変化によってどの程度変化したかという額であり、第2項は地域に依存しない合成財の支出額の変化分である。

(21)式に基づいて、環境質向上のもたらす効用増を推定しようとするアプローチが第2の評価手法で活動代替法と呼ばれるものである。 Q_i の変化によって引き起こされた各活動水準 A_j 及び消費水準 X を観察することによって推定しようとするアプローチである。

ケース2：ヘドニック法

効用水準を一定 ($U = \bar{U}$) に保ちつつ、 i 番目の環境質だけを変化 ($i \neq k$ なる k について $Q_k = \bar{Q}_k$) させることを考えてみる。ただし、ケース1と異なり、 Q_i の変化は第 i 活動水準の価格にだけ影響し ($i \neq j$ なるすべての j について $dP_j/dQ_i = 0$)、所得への影響もない ($dY = 0$) ものとする。すると、(16)～(18)式より

$$-\frac{\partial U/\partial Q_i}{\partial U/\partial X} = A_i \frac{dP_i}{dQ_i} \quad (22)$$

という関係式が得られる。(22)式に基づいて、すなわち環境質変化によって生じた価格変化に着目して、環境質向上の効用増を推定するのが第3の評価手法でヘドニック法と呼ばれるものである。

以上より、いずれの手法も、環境質向上によって生じた効用増を相殺するものとして個々人が現実の市場を通じて、ないしは仮想的市場において主体的に支払う貨幣額によって、環境状態向上の支払意思額を算定しようとするものであり、2.3節で紹介した効用不変物価指数における効用不変の考えと同じ考えに基づいている。

4.3.2 実証例

本節では、直接質問法とヘドニック法を併用して南カリフォルニア地方の大気質向上の経済的評価を試みた Brookshire ら (1981) の研究を紹介する。彼らの研究ステップをまとめると次のとおりである：1) 南カリフォルニア地方の数多くの国勢調査区から、人口、所得、教育水準、年齢や人種構成といった社会経済特性が似かよっていて、大気質だけが異なる6組 (各組は2ないし3調

査区からなる)の調査区を選び出す; 2) 6組の各調査区から選び出された市民を対象にして、大気質の向上に対してどの程度支払う意思があるかを直接質問法を用いて聞き出す; 3) 大気質向上に対する人々の支払意思額をヘドニック法を用いて算定する。すなわち、市場において観察可能な住宅価格に大気質がどのように反映しているかという観点から支払意思額を計量する; 4) 最後に、直接質問法、ヘドニック法で算定した支払意思額を比較する。

彼らの計算結果について紹介する前に、彼らの用いた直接質問法及びヘドニック法について要点を説明する。まず、直接質問法であるが、実験参加者に大気質向上の内容について共通の認識をもってもらふ努力がなされた。すなわち、大気質向上の内容を審美的影響、急性健康影響、慢性健康影響という特性ごとに特化するとともに、大気質向上を達成する期間も明記し、また、地図や写真も併用するという具合である。

しかしながら、大気質向上というのが公共財であるので、他人が経費を負担してくれれば、自分は払わなくても恩恵にあずかれるというフリーライダー問題が生じやすい。このため、自分の真の選好を隠そうとする戦略的バイアスが生じやすいので、支払方式によっては支払意思(以下、WTPと略)に差が生ずるかもしれない。また、これまでの同種の研究例(Randallら、1974; Brookshireら、1976)より戦略的バイアスを減らすためにも、直接にWTPを聞くよりも、質問者が提示した金額に対してイエス、ノーで答えてもらう方がよいといわれている。しかし、提示する金額の初期値によって、参加者がWTPの範囲について予見してしまうというバイアスと、初期値が低いと質問時間がかかりすぎて参加者が意欲をなくしてしまうことも考えられ、初期値によってWTPの値が変動するかもしれない。また、大気質向上に関する特性項目の質問順番を変えることによるバイアスも考えられる。

Brookshireらの実験結果によれば、いずれのバイアスも部分的に認められるが、統計的な検定の結果それほど顕著でないとされている。いずれにしても直接質問法を用いるには、上述したバイアスだけでなく、現実の状況でなく地図や写真を併用した仮説的シナリオに基づくことによるバイアスをも考慮して、実験の枠組を十分に考慮して行う必要がある。この意味で軽々には実施できない方法といえる。

次に、ヘドニック法を用いたWTPの推定であるが、これは以下の六つのステップでなされる。まず第1に、直接質問法で用いた6組の国勢調査区(全部で14調査区)内で、1977年1月から1978年3月にかけて生じた一戸建住宅の販売に関するデータ(719件)が収集された。第2に、この住宅販売価格(P)が、住宅の立地している地区の大気質(Q)だけでなく、地区の生活環境や、販売日とか、住宅の仕様といった数多くの要因($Z_1 \cdots Z_m$)とどういう関係にあるかという関係式(非線型式)

$$P = f_1(Z_1 \cdots Z_m, Q) \quad (23)$$

を統計的に推定する。そして、この(23)式が住宅市場の短期市場均衡価格を規定している式であ

ると仮定する。

第3に、各調査区の平均的住民が、当該調査区の社会経済特性 ($\bar{Z}_1 \cdots \bar{Z}_m$) は不変のまま、大気質だけが微小に変化した場合に支払ってもよいとする住宅価格の変化分 $\partial P / \partial Q (\bar{Z}_1 \cdots \bar{Z}_m \bar{Q})$ を(23)式より計算する。第4に、各調査区の限界支払額 $\partial P / \partial Q$ (“限界つけ値”ともいう)が調査区の大気質 (Q) や社会経済特性 ($Z_1 \cdots Z_m$) によってどう変動するかという関係式(限界つけ値関数)

$$\partial P / \partial Q = f_2(Z_1 \cdots Z_m Q) \quad (24)$$

を統計的に推定する。第5に(24)式を用いて、全ての調査区 k について $\Delta Q_k = Q_k^1 - Q_k^0$ だけの大気質向上に対する WTP を

$$P_k(\Delta Q_k) = \int_{Q_k^0}^{Q_k^1} \partial P / \partial Q (\bar{Z}_1 \cdots \bar{Z}_m Q) dQ \quad (25)$$

として求める。第6に大気質向上による世帯当たりの平均年間便益 (B) を次式で求める：

$$B = \left\{ \sum_{k=1}^n N_k P_k(\Delta Q_k) \left(\frac{r(1+r)^T}{(1+r)^T - 1} \right) \right\} / \sum_{k=1}^n N_k \quad (26)$$

ここで N_k は、第 k 調査区において大気質の向上の影響をうける世帯数、 r は利子率、 T は住宅の購入に投下した資金の回収年数(住宅の減価償却年数)である。それゆえ、(26)式は、大気質の永続的向上による住宅の資産価値向上によって生ずる年間便益を示している。

以上が、Brookshire らの用いたヘドニック法による WTP 算定の手順であるが、何故に(23)式と(24)式を別々に推定するかについては説明を要する。図5中の曲線 f_1 は、(23)式で求まる住宅の短期市場均衡価格を大気質の関数としてプロットしたものであり、 I_k は第 k 調査区の住民の住宅価格と大気質に関する無差別曲線を示している。ここで各調査区の住民は、本節のはじめに述べた第1の研究ステップによって、選好についてはほぼ同質的とみなされている。さて、図5中の無差別曲線と市場均衡価格との接点で、住民にとっての最適な P と Q の組み合わせ (P_0, Q_0) が求まる。第 k 調査区の住宅市場が需給均衡状態にあるとき、すなわち、点 (P_0, Q_0) において、大気質が Q_0 から Q_1 に向上した時に住民が支払ってもよいとする額(つけ値)は線分 P^*P_0 であり、この額は市場均衡価格線より求まる増分額 P_1P_0 よりも小さくなっている。このように、(23)式に基づく WTP は過大評価になりやすいため、各調査区は無差別曲線に基づく限界つけ値関数(大気質向上に対する補償需要関数ともいう)を近似するものとして推定されたのが(24)式である。

次に、Brookshire らの推定結果であるが、各調査区における現状の大気質をほぼ30%分だけ向上させることに対する世帯当たり平均支払意思額は、1977年ドルで、直接質問法の場合29ドル/月、ヘドニック法の場合42ドル/月となっている。また、南カリフォルニア地方の大気質をほぼ30%だけ向上させることの年間便益は、直接質問法の値を用いると約5億ドル、ヘドニック法の値を用いると約40億ドルと推定された。すなわち、環境質向上の場合、直接質問法による便益推定額はヘド

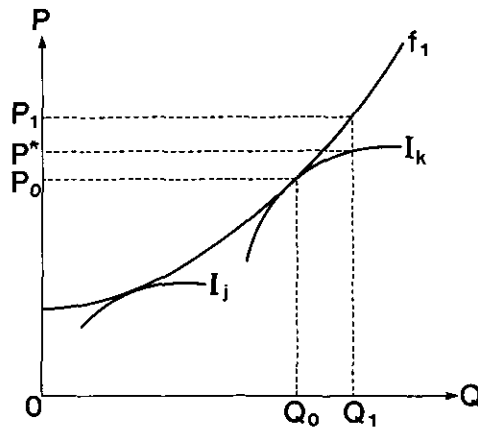


図5 大気質と住宅価格に対する人々の選好と市場均衡
(本図は Brookshire ら (1981) の図1 に基づいている)

ニック法のそれに比べて過小評価となっている。

以上が Brookshire らの研究の紹介である。本例は、直接質問法とヘドニック法を見事に使い分けた、極めてユニークな研究例である。これも対象地域の空気質の差が極めて明りょうに住民に認知されており、また、よく発達した住宅市場が成立しているという背景によるところが大きい (Kneese, 1984, p. 61)。

本報告の 3. 1. 2 章は、都市環境における緑の価値計測にヘドニック法を適用したものである。

5 おわりに

本稿をこのような形でとりまとめる動機は、昭和60年2月に開かれた「環境指標シンポジウム」の総合討論において地方自治体からのある参加者によって述べられた「指標を世の中に広く普及しようとする、一定の理論と科学的裏付けが必要となる。」(国立公害研究所, 1985) という意見に何とか答えてみたいという気持ちであった。

ここでは、環境指標作成に当たっての4課題のうち環境の評価にまとをしぼって、理論的背景と実証研究例について筆者なりにとりまとめた。まず、これまで統計学者と経済学者がそれぞれの立場から理論づけに努力してきた長い歴史をもつ消費者物価指数論をレビューした。その結果、各時点で観察される多数の物の価格と対応する物の消費量との間に、なんらかの関係があるとみて指数を作成する立場と、特定の関係があるとみないで作成する立場の二つがあり、これら二つの立場がどのように関係しているかについての研究もされていることが明らかになった。

同様に、環境指標においても、環境状態の種々の計量値とその社会影響との関係のとらえ方によっていくつかの評価方法がある。

1) 特定の因果関係を考慮しないで、総体としての環境状態そのものをシビルミニマムといった

ある一般的な視点のもとで、できるだけ客観的に把握したいとするアプローチ、2) 環境状態とその社会影響との因果関係は、評価者の選好構造に含まれているとして、評価者のもつ選好構造を定量化することによって環境状態の評価を行おうとする価値関数法、3) 環境状態とその社会影響との因果関係について経済理論的知見を活用して、環境状態の評価を行おうとする経済的評価法、などである。

利用目的によって、これらの手法を使い分ける必要があるとともに、方法論上の制約からみて無理のない対象を選択する等、適用の妥当性の吟味の必要なことを忘れてならない。最後に、本稿をまとめるに当たり環境指標特別研究のスタッフ諸氏から有益なコメントを得たことに謝意を表する。

参 考 文 献

- アレン, R. G. D. (1977): 指数の理論と実際. 溝口敏行・寺崎康博訳, 東洋経済新報社, 東京, 297p.
- Brookshire, D. S., B. Ives, and W. Schulze (1976): The valuation of aesthetic preferences. *J. Environ. Econ. Manage.*, **3**, 325-346.
- Brookshire, D. S., R. C. d'Arge, W. D. Schulze, and M. A. Thayer (1981): Experiments in valuing public goods. *In: Advances in Applied Microeconomics*, Vol. 1, Smith, V. K. (ed.), JAI Press, Greenwich, 123-172.
- Clawson, M. and J. Knetsch (1966): *Economics of Outdoor Recreation*. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 328p.
- Debreau, G. (1954): Representation of a preference ordering by a numerical function. *In: Decision Processes*. Thrall, R. M., C. H. Coombs and R. L. Davis (eds.), Wiley, New York, 159-166.
- Freeman III, A. M. (1979): *The Benefits of Environmental Improvement—Theory and Practice*. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 272p.
- Kanemoto, Y. (1980): *Theories of Urban Externalities*. North Holland, Amsterdam, 285p.
- 環境庁編 (1977): 環境保全長期計画. (財)日本環境協会発行, 156p.
- Keeney, R. L. and H. Raiffa (1976): *Decisions with Multiple Objectives—Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley, New York, 569p.
- 北畠能房 (1981): 養殖業における富栄養化影響の経済的評価. 国立公害研究所研究報告, 第24号, 53-64.
- Kitabatake, Y. (1982): Welfare cost of eutrophication-caused production losses—a case of aquaculture in Lake Kasumigaura. *J. Environ. Econ. Manage.* **9**, 199-212.
- 北畠能房・西岡秀三 (1984): 自然保護の需要行動に関する経済分析. *地域学研究*, **14**, 79-100.
- Kneese, A. V. (1984): *Measuring the Benefits of Clean Air and Water*. Resources for the Future, Washington, D. C., 159p.
- 国立公害研究所 総合解析部 (1985): 環境指標シンポジウムの記録, 39p.
- Mäler, K-G. (1974): *Environmental Economics—A Theoretical Inquiry*. Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 267p.
- 丸山 徹 (1984): 座談経済学. サイエンス社, 東京, 432p.
- 蓑谷千風彦 (1980): 経済指数. 経済学大辞典 (第2版) III. 東洋経済新報社, 東京, 737-748.

- 内藤正明・西岡秀三編 (1984) : 環境指標-その考え方と作成方法-, 国立公害研究所研究報告, 第74号, 161p.
- 奥野正寛・鈴木興太郎 (1985) : ミクロ経済学 I. 岩波書店, 東京, 308p.
- Randall, A., B. Ives and C. Eastman (1974): Bidding games for valuation of aesthetic environmental improvements. *J. Environ. Econ. Manage.*, **1**, 132-149.
- Samuelson, P. A. and S. Swamy (1973): Invariant economic index numbers and canonical duality: Survey and synthesis. *Am. Econ. Rev.* **64** (4), 566-593.
- Shulze, W. D., R. C. d'Arge, and D. S. Brookshire. (1981): Valuing environmental commodities-some recent experiments. *Land Econ.* **57** (2), 151-172.
- Sinden, J. A. and A. C. Worrell (1979): *Unpriced Values-Decisions without Market Prices*. John Wiley, New York, 511p.
- 総理府統計局 (1982) : 消費者物価指数の解説-昭和55年度基準. 日本統計協会, 東京, 87p.
- Spofford, W. O. Jr., C. S. Russell and R. A. Kelly (1976): *Environmental Quality Management, Resources for the Future*, Washington, D. C., 188p.
- Stevens, J. B. (1966): Recreation benefits from water pollution control. *Water Resour. Res.* **2** (2), 167-182.
- 時子山和彦 (1978) : 消費者物価指数理論の展望. *経済研究*, **29** (1), 1-11.

3. 1. 2 地価への反映を利用した居住環境価値の計測 An Economic Evaluation of Urban Amenities by Hedonic Approach

仁科克己¹

Katsumi NISHINA¹

要 旨

本報告は、居住環境の価値を計測する方法とその計測結果の例を示したものである。その過程で、一次指標の選定、個別指標の算定、及び総合指標の重み算定、の試みがなされた。対象とした環境項目は緑であり、対象地域としてはおもに世田谷区をとりあげた。計測は、緑の価値が地価に反映されている程度を調べることにより、人々がどの程度に緑を価値づけているかを知ろうというもので、ヘドニック法を利用した。一次指標としては、樹木で覆われている面積の割合である丁目毎の樹木率が、結果として選ばれた。その樹木率についてのヘドニック価格算定から、樹木率1%の高低が地価の概ね1%の高低に対応することがわかった。また、利便性項目と樹木率のトレード・オフの状況として、駅から歩いて5分ほど遠くに住むことと樹木率が10%高い所に住むことが相殺していること、などが示された。

Abstract

This study is aimed to measure the value of amenities, especially the value of green cover in urban residential area. Although "amenity" is not exchanged at a market place, its value would be absorbed by land which can be regarded as a market good. Therefore, the spatial variation of land prices might elucidate how people evaluate amenities. In this study, hedonic approach is applied to the measurement of how green cover is evaluated by urban residents. As an actual way of analysis, Box-Cox regression has played a significant role, where a dependent variable is land price and independent variables are those which represent the attributes of each residential area including indices on green cover and those on conveniences. Eighty-one residential areas in Setagaya-ku and sixty-eight in Nerima-ku, where officially announced land prices are available, are examined. The followings are the results derived by these analyses.

1. Tree cover ratio and farm land ratio are identified as primary indices on green cover.

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

2. The residential area with 1% higher tree cover ratio has the land price higher by almost 1%.
3. Farm land ratio has a negative effect on land price.
4. To be 25 to 40 meters closer to a railway station and to be 1% higher in tree cover ratio have the equivalent effect on land price.
5. Box-Cox transformation has considerably increased the t-value of coefficient and R-square in the analysis for Setagaya-ku, compared to the ordinary least square.

As a consequence, hedonic approach is demonstrated applicable to evaluate certain types of amenities and to know the trade-off relation between conveniences and amenities.

1 はじめに

一般に、環境は市場で売買されるものではない。しかし環境に価値がある以上、その価値は市場で売買される財のどれかに吸収されていると考えられる。居住環境を考えた場合、それが属地的であることから、その価値が土地の価格に反映されると考えるのは自然であろう。居住環境の価値がすべて土地に吸収されているかどうかは定かでないが、他にその価値の多くを吸収し得る財のないことを考えれば、大方が地価に反映されていると推論することに大きな誤りはなかろう。このようにあるものの質の価値が他の財の価格に反映されるとみて、その質と財の価格の関係から、質の価値を推定する方法がヘドニック法である。この他に価値の計測法としては、そのものの質を得るために、いくら払うかを直接インタビューで聞くものがある。後者の計測法は前節でも説明されたように方法論が十分に定まっていると言えない。ここでは大気環境質の向上やレクリエーション需要の質等の分野で実証研究の積み上げられてきたヘドニック法による検討を行う。

さて、土地の価格は場所場所によって異なるわけであるが、その相違にはそれなりの理由があるのは当然である。まず、全国スケールでみれば、人が集まる魅力のある所ほど地価が高い。図1は県単位の DID 人口密度と宅地価格の関係を示したものである。もう少しスケールを小さく取り各大都市の通勤圏でみると、その通勤時間の長短が効き、都心に近い所ほど地価が高くなっている。これらのスケールでは、環境以外の要因が卓越しており、地価からそれらの要因の影響を取り去ったものと居住環境の質を比較してみても、簡単に有意な結果は得られない。さらにスケールを小さく取り、都心への距離もそれほど変わらない程度の範囲で比較を行うと、居住環境の質が地価に反映されている状況を見ることも可能になる。検討地域のスケールは、東京23区の区ぐらいとし、その中での地価の空間変動と居住環境の空間変動とを対比することにする。

ところで、ここでは公示地価を利用するので、それについて説明を加える。公示地価はある地域の中から標準的な地点を選び、その地点における土地の価格を i) 取引事例との比較 ii) 地代からの収益還元 iii) 原価(造成費等)の算定 の三方法を利用して推定したものである。地点選定では幹線道路に面した所や下水処理場の隣など、特殊な要因を局地的に受ける所は除かれている。したがって、居住環境のうちでも騒音のように局地的なものについての評価には使えない。一

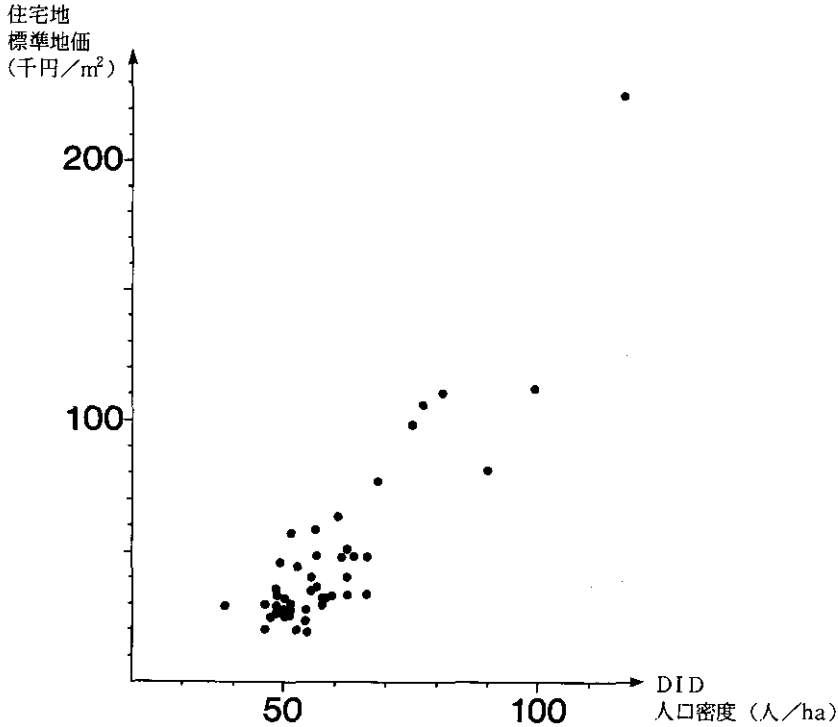


図1 宅地地価と DID 人口密度の関係
 出典 DID人口密度：昭和55年 国勢調査報告（総理府）
 住宅地標準地価：昭和56年 都道府県別地価調査（国土庁）

方、ある地域単位の中から平均的な環境の所が選ばれているので、その単位での平均的な居住環境を評価するには利用しやすい。特に緑のように、生活の行動半径と関連する環境に対しては、地点を選ぶ単位が東京都の場合都合の良い大きさになっている。さて、公示地価という実勢価格より相当低いと受けとめられる向きも多いが、近年では実勢価格との差はそれほど無く、市販されている不動産物件の情報書と比較してもそれほど大きな差があるとは認められない。

本検討の目的は、居住環境、特に緑地、を人々がどれだけ価値づけているか、それをどのように計測するか調べることである。計測されるのは一定時点における人々の価値づけであり、時間的な因果関係に拡張解釈する時には注意を要する。例えば、環境が良い所の地価は高いということと、環境が良くなると地価が上昇するということには大きな違いがある。

2 検討内容

検討対象地域は主に東京都世田谷区であるが、練馬区やその他についても若干の検討を加えた。世田谷区は区を10ブロックに分割した10サンプルの検討（後述図2参照）、地価公示地点すべてを扱った81サンプルの検討、小田急線沿線の地価公示地点に絞った25サンプルの検討の3種類を行っ

た。練馬区・北区については地価公示地点すべてを扱った検討を行った。他の2～3の区については、データが不十分であったり、緑地が少な過ぎたりで十分な結果は得られていない。

検討方法であるヘドニック法は、市場の均衡価格を財の質の関数として求めるものであり、結局重回帰分析に帰着する。ここでは、公示地価を均衡価格とみなし、それを土地の属性を示す変数の関数として求めるが、まず線型性を仮定して単純な重回帰分析を行う。しかし、関数が線型とは限らないので被説明変数に非線型変換である Box-Cox 変換を施した重回帰も試みる。Box-Cox 変換は (1) 式に示される変換であり、変換パラメータ λ が1のときは線型関数、 λ が0のときは対数関数となり、 $Y(\lambda)$ が $\lambda=0$ で不連続にならないべき乗変換である。元来結果が線型となる必然性がないことから、曲率のパラメータを一つ含んだモデルの方が柔軟性が良いとも言えよう。ただし、誤差項の分布の仮定も変換に伴って変化しているので相関係数の上昇をそのまま評価するわけにはいかない。

$$Y(\lambda) = \frac{X^\lambda - 1}{\lambda} \quad (1)$$

Y : 変換後の変数

X : 変換前の変数

λ : 変換パラメータ

重回帰分析は、昭和58年公示地価を被説明変数に、利便性や居住環境等宅地の財の質を表す指数を説明変数にとって行う。利便性を代表するものとしては、駅からの距離・都心から駅までにかかる時間や下水の有無等、居住環境に間接的に関係するものとして、面する道路の幅、都市計画の地域指定等の項目を挙げた。目的である居住環境項目は緑についての指数とし、具体的には樹木地と農地の占める割合という2種類の指数を採用した。緑被地は大きく樹木地と草地に分けられ、草地がさらに農地・芝地に分けられる。この中で重回帰で有意な t 値が認められるのは樹木率と農地率であり、草地率や緑被率については t 値が著しく低かったので除外した。さらに、樹木率や農地率は町ごと・丁目ごとの2通りに集計できるが、両方を検討対象にし、相関の良い方を選ぶこととした。変数選択を行う前の回帰式とその変数は式 (2) に示すとおりである。

$$P = a_0 + \sum_{i=1}^6 a_i \cdot X_i + \sum_{i=1}^2 b_i \cdot F_i + \sum_{i=1}^2 c_i \cdot A_i \quad (2)$$

P : 公示価格 (千円/m²)

λ : P に対する Box-Cox 変換のパラメータ (最尤法で求める)

a_0 : 定数項

a_i : 偏回帰係数 ($i=1, 2, \dots, 6$)

b_i, c_i : 偏回帰係数 ($i=1, 2$)

X_1 : 駅からの距離 (m)

- X2：面する道路の幅 (m)
 X3：下水道 (有 1, 無0) のダミー変数
 X4：(一種二種住専 1, 住居地域0) のダミー変数
 X5：容積率 (%)
 X6：都心から駅までにかかる時間 (分)
 F1：丁目ごとの樹木率 (%)
 F2：町ごとの樹木率 (%)
 A1：丁目ごとの農地率 (%)
 A2：町ごとの農地率 (%)

出典

$P, X1, X2, \dots, X5$ ：昭和58年地価公示

$X6$ ：時刻表より算定

$F1, F2, A1, A2$ ：世田谷区みどりの現況調査報告書 (昭和58年), 練馬区緑の実態調査 (昭和59年)

3 検討結果

重回帰分析の結果のうち主なものを表1にまとめて示す。回帰式や変数の選択は、相関係数の高さや偏回帰係数の t 値の高さを基準として考える。表に示された結果は、一部を除いてすべての偏回帰係数の t 値が概ね5%の有意水準を満たすものになっている。 $F1$ と $F2$, $A1$ と $A2$ を比較選択するための回帰式では、比較として t 値が有意でないものも示してある。さらに、説明変数の間に高い単相関のあるものは同一の回帰式に双方が含まれないように配慮した。ただし、北区においては駅からの距離と樹木率の間に高い単相関があり問題が多い。Box-Cox変換を施したものについては、参考として、対象地域全体の平均地価における接線の傾き、を示す係数を合わせて記し、単純な重回帰分析の偏回帰係数と比較ができるように配慮した。北区について農地率が含まれていないのは、データがなかったためである。大田区・中野区については、駅からの距離・樹木率双方とも t 値が有意でなく、樹木率も町別のものしかないので表1に含めなかった。前者は交通網が複雑なうえ地域が一様でないし、後者はほとんどの所で樹木率が4%以下であり、分析が困難であった。

さて、小田急線沿線地域について詳しく結果を示そう。対象となった地価公示地点は図2の世田谷区の地図に示したとおりである。これら25地点での樹木率と地価の相関をグラフに描いたのが図3である。横軸は丁目ごとの樹木率、縦軸はBox-Cox変換後の地価から他の説明変数によって説明された部分を引いた残差項 Q である。この Q を式で書くと式(3)のように表される(表1参照)。

表1 重回帰分析の結果表

検討対象地域	サンプル数	被説明変数 (地価) (千円/m ²)	説明変数の偏回帰係数と [t値]											自由度 調整済 相関係数 R ²			
			定数項 a0	x1	x2	x3	x4	x5	x6	F1 F2 樹木率		A1	A2				
				駅からの距離 a1	面する道の幅 a2	ダミー変数, ステップ変数 a3 a4 a5	都心への時間 a6	丁目	町	丁目	町	農地率					
プロック毎	10	P	317													0.841	
		[6.43]															
		$P^{-1.07} - 1$	0.933														0.912
		-1.07 P=380 での係数	[4510]														
世田谷地区	81	P	327	-0.075	20.9			-1.47	2.22							0.655	
		[13.5]	[-9.06]	[6.10]			[-2.08]	[3.29]									
		P	380	-0.063	17.7	a5=-0.24		-1.29	1.62					-3.60		0.685	
		[11.9]	[-5.72]	[5.13]	[-2.47]		[-1.81]	[2.31]						[-2.07]			
		P	309	-0.058	17.8					2.62					-3.85	0.645	
		[13.0]	[-5.10]	[4.90]						[2.73]					[-2.07]		
		P	307	-0.068	20.1				2.09			-1.07				0.639	
		[13.7]	[-6.09]	[5.62]					[3.04]			[-0.88]					
P	311	-0.058	18.8				2.18						-3.90	0.658			
[14.1]	[-5.11]	[5.35]					[3.25]						[-2.26]				
$P^{-1.02} - 1$	0.978						1.52						-4.12	0.781			
-1.02		$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-4}$				$\times 10^{-5}$						$\times 10^{-5}$				
		[-6.45]	[5.63]				[4.25]						[-4.47]				
P=380 での係数		-0.063	17.1				2.47						-6.69				
小田急沿線	25	P	357	-0.081	28.1			-5.08	3.50						0.781		
		[5.91]	[-5.09]	[3.54]			[-2.48]	[2.89]									
		P	246	-0.092	34.4				3.61					-0.49	0.715		
		[5.27]	[-4.45]	[3.72]					[2.60]					[-0.23]			
		$P^{-1.83} - 1$	0.546						2.20					-3.81	0.909		
		-1.83		$\times 10^{-9}$	$\times 10^{-7}$				$\times 10^{-7}$						$\times 10^{-7}$		
P=380 での係数		-0.104	16.3				4.40						-7.62				
$P^{-1.23} - 1$	0.812												-1.16	0.786*			
-1.23		$\times 10^{-7}$	$\times 10^{-5}$										$\times 10^{-5}$				
		[-4.82]	[2.96]										[-2.14]				
練馬区	68	P	262	-0.020	7.18	a3=-10.0		0.070					-1.52	0.728			
		[29.8]	[-7.17]	[5.27]	[-2.73]			[2.41]					[-3.47]				
		2.12	62519	-10.2	3915	a3=-5243		393					-838	0.736			
		[13.8]	[-7.66]	[5.58]	[-2.78]			[2.59]					[-3.72]				
P=270 での係数		-0.019	7.41	=-9.92			0.743					-1.59					
北区	16	P	323	-0.014	10.0	a4=29.1	1.98	6.69						0.706			
		[11.9]	[-4.29]	[3.47]	[2.09]	[1.46]	[2.29]										

*式(3)参照

$$Q = \frac{P^{-1.23} - 1}{-1.23} - (-1.66 \cdot 10^{-7})X_1 - (4.09 \cdot 10^{-5})X_2 - (-1.16 \cdot 10^{-5})A_2 \quad (3)$$

図3を見ただけでも数点の垂離を除けばかなりの相関が認められよう。世田谷区の平均地価 $P=380$ の所で F と A の1%変化の効果を計算すると F が1%上昇すると P は1.2%上昇、 A が1%上昇すると P は1.0%減少する関係になっている。 λ が負ということは、地価の高いところほどこれらの係数が大きくなることを意味している。ところでこれら25地点については現地踏査を行い、各地点周辺の撮影をおこなった。そこで、それらの写真の中から、周辺の環境を良く表しており、図3のグラフのなかでも典型的な位置を示しているものを例として図4に示した。写真Aは地点77周辺の樹木豊かな地域の例、写真Bは地点58の樹木の少ない地域の例である。写真Cは農地の多い地域の例で地点73の付近である。現地踏査によっても、選定されている地点は迷惑施設から遠く、交通量の多い道路にも接していない地点であることが確認できそれぞれの地域の標準的な宅地である感触が得られた。

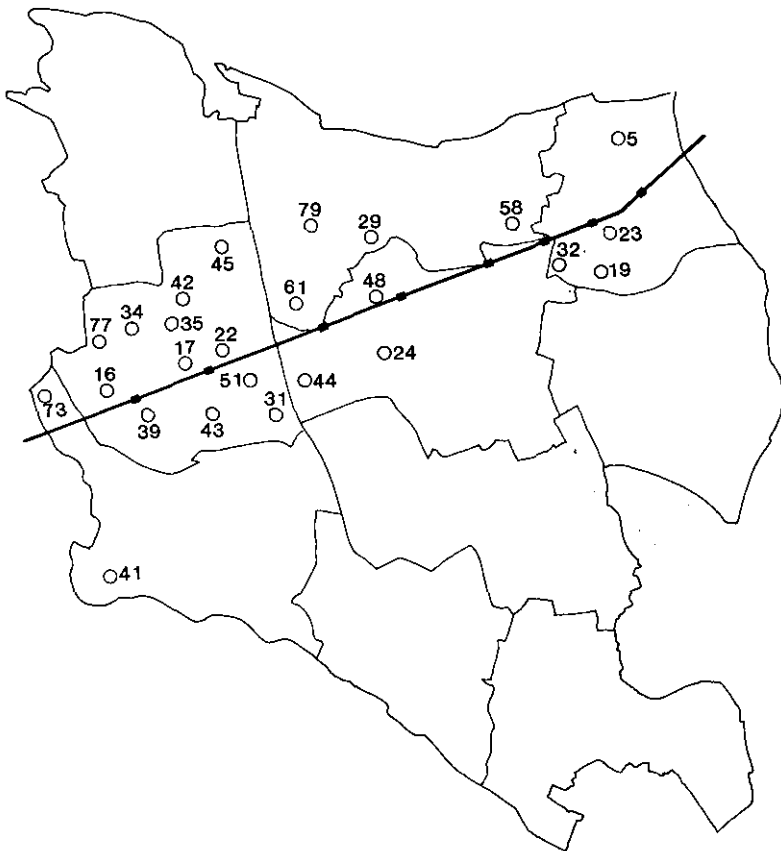


図2 世田谷区内小田急線沿線地価公示地点の位置
数字は地点番号を示す。

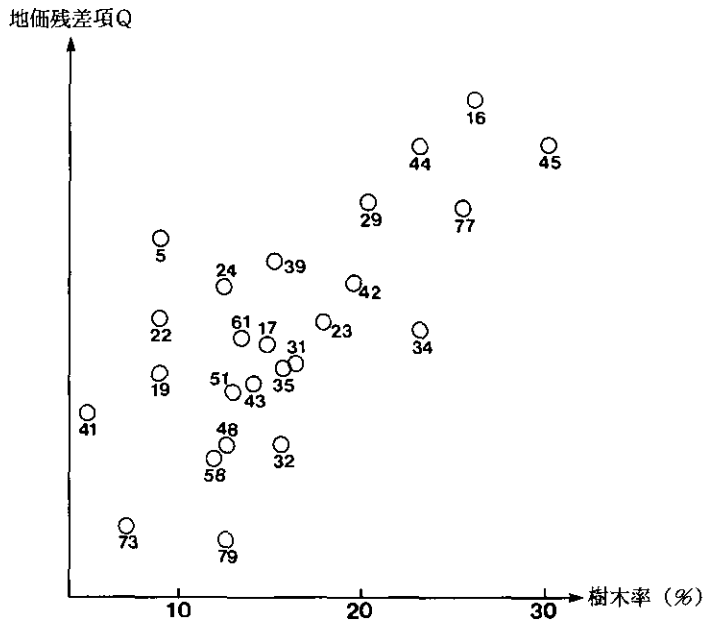


図3 小田急線沿線 地価残差項と樹木率の関係
 グラフ内の数字は地点番号を示す。

4 検討結果の解釈

[樹木と農地の評価の差について]

表1を全体的にみても、緑としては樹木が評価されている一方、農地は負の評価を受ける傾向がわかる。農地の多い所の方が潜在宅地供給量が多いので地価が低いという見方もあろうが、宅地の市場はそれほど狭域でなく狭くとも区は越えているであろうので説得力は低い。それよりも、農地はいつ何に転用されるかわからない不安や、農地自体は近くに住んでも自然豊かと思えない可能性、農地は遠くから見えない、等から負の効果や無効果の説明ができるのではなかろうか。ただし、農地の多い所は後から開発された所で、地価の上昇が他地域ほどに進んでいない点も見逃せず、農地が邪魔なものと思われているとは言えない。将来を総合してみたときに、樹木地の近くの方が農地の近くよりも好環境としての期待が大きいことだけは言えそうである。

[緑と利便性のトレード・オフについて]

さて、推定式の右辺が線型であることは、完全代替が可能と仮定した意味を持つので、それぞれの変数間のトレード・オフを推定式からそのまま読むことができる。まず、緑の快適性と生活の利便性のトレード・オフに注目してみよう。表1の北区以外の回帰式を見ると、樹木率が1%高いことと駅からの距離が25~40m遠くなることが相殺しあっている。感覚的には歩いて5分ほど遠い所に住むならば樹木が10%高くあって欲しいということになる。世田谷区・練馬区の場合、駅からの距離と樹木率の間に単相関がほとんど無い。したがって、抽出されたサンプルに偏りが無く、共線

型性の心配は無い。面する道路幅と樹木率のトレード・オフも世田谷区・練馬区共に同程度で、樹木率が10%高いことと、面する道路幅が1m広いことに同等の価値があることになる。都心から駅までの時間については全体に t 値が低い。区内での通勤時間の差程度では価値の差があまり無いが、あるいは特急から各駅停車への乗換などを詳細に検討しないと駄目なのか、良好な結果は得られていない。

[Box-Cox 変換について]

Box-cox 変換を行った検討結果についてみると、世田谷区ではパラメーター λ が負、練馬区ではパラメーター λ が正の値となっている。世田谷区では、地価の高い所ほどそれぞれの要因の地価への影響が大であり、練馬区では逆に地価の低い所ほど影響が大であることを示している。緑についてみれば、世田谷区においては高級住宅街が樹木の多い所にあり、その地価は他より一段高いので納得がいく。練馬区については、区内地価の標準偏差が世田谷区のその4割弱しかないために、相関係数や t 値を見てもわかるように、Box-Cox 変換の意義があまりなかったと言える。

[世田谷区と練馬区での結果の違いについて]

さらに、世田谷区と練馬区の樹木率にかかる偏回帰係数の違いについて考える。練馬区の係数は世田谷区の係数の三分の一でしかなく、樹木の評価のされ方がかなり低いわけである。これについて二つの区の緑地変遷の違いを調べると世田谷区では昭和48年から昭和56年にかけて樹木率が15.4%から18.2%へと増加しているのに対し、練馬区ではだいたい同じ時期に16.1%から14.7%へ減少していることがわかった。また、農地率は世田谷区全体で3.2%、練馬区全体で6.0%と違いがある。練馬区では樹木の減少傾向から将来に樹木が残る可能性が低くみられたり、農地がより多いため今後の環境変化が大きいとみられて樹木の評価が低いのか、また、両区の住民の所得分布や需要構造に違いがあり、世田谷区において樹木を高く評価する人が多いので樹木率の増加があったのか、など定かでないが、偏回帰係数の違いを説明するひとつの鍵であろう。

[集計単位区分について]

次に、サンプルが代表する面積のスケールによって生ずる差を調べてみる。世田谷区を10ブロック分割した、サンプルの代表面積が大きい場合の検討では樹木率の偏回帰係数は大きく出ている。これは世田谷区の地価公示地点の丁目単位を代表した値で検討した場合の3倍近い数字になっている。自由度調整済みの相関係数もより高い値である。各ブロックごとの集計量や平均値を使うことによって、検討に含まれていない変量のうちブロック平均値に差の出ないものの影響が除かれているためとも推測できる。他方、町ごとの樹木率と丁目ごとの樹木率を使った場合の結果を比較すると、丁目ごとの樹木率を使った方が若干高い t 値が得られる。同じ町内に丁目の違う数点の地価公示地点があることも多いのでいちがいに言えないが、農地率の場合は町ごとの農地率を使った方が高い t 値を得られることを考えると、ある程度身近な樹木が効いていると解釈するのも可能である。丁目単位はおおむね500m四方程度、町単位はその4-5倍の大きさであり、丁目単位は生活の上で頻繁に歩く範囲と言えよう。

〔樹木の評価値の一解釈〕

ところで、樹木率が1%高い所では地価も0.3-2%高い傾向が見られる。もちろん、樹木の多い所で地価が高いからといって、樹木が増えると地価が上昇するとは言えない。高い地価の所に住める人が樹木を大事にする傾向があるかもしれない。統計的な相関関係は因果関係の必要条件ではあっても十分条件ではない。しかしここでは、仮に操作可能変数の操作によって被説明変数の値が変わると仮定して、解釈を試みる。もし、樹木率1%の上昇が地価の数%の上昇を起こすのであれば、樹木の増加や保全が区画整理の減歩の方式で可能かもしれない。小樹林地の買上や緑道の設置も不可能ではない。しかし、0.3-2%程度であると効果の著しい所でやっと緑地用の土地が確保できる程度で、多くは期待できない。それでも、各個人が資金や労力に余裕があるときに緑化を行うことは、地域全体で見れば十分に採算が取れていると言えよう。

〔樹木地の経済外部性による問題〕

最後に、樹木地の減少について、経済外部性による複雑な事情に触れておく必要がある。近隣の樹林による好環境を考慮して宅地を買った人は、その好環境の代価を宅地の地主に払ったのであり、好環境の源泉である樹林の所有者はそれを受け取っていない。その樹林の所有者が何かの理由で樹林を売却しそこが樹林でなくなると、その損失は宅地購入者にかかる。しかし、樹林の価値の代価は第三者に支払われたのであり、樹林の所有者と宅地購入者の間で紛争が起きても解決策はない。こういった事情が知れるにつれ、将来にわたって存続する環境以外は評価されなくなってきている。この点で新興住宅地で地価を通して緑の価値を計測するのは難しい。区によって樹木率との相関がなかったり、樹木率と地価の関係が大きく違う理由の一つとも解釈できよう。この解釈に従うと、測定された値は低めに出ていることになる。

5 地価による環境価値計測の意義と位置づけ

環境財というものはその都度売買消費されてしまう消費財と違って、未来にわたって存続し毎年価値を生ずるものとみることができる。したがって、地価に反映された値は、人々がこれから未来にわたって得られると予想した価値を、現在の価値に直して集計したものと言える。土地の場合も、その価値は未来にわたってその土地を利用する価値の総和である点では同じであるが、環境の場合は土地自体と違い消滅の可能性がある。そこで、地価を通しての計測では、それがいつ頃まで存続するかの人々の予想によって、これから先どの位の期間の価値が結果に含まれるかに違いが生ずる。このように計測結果が人々の予想に左右される短所がある反面、毎年毎年の価値を積み上げる方式より計測方法として優れている点がある。第一に毎年毎年の価値を予想推定しないで済むこと。第二に積み上げ方式ではそれらが予測できたとしても、積み上げていくときには現在の価値に直すパラメーターを推定しなければならない。一方、地価を通して計測するときにはそれらがすべて折込み済みであり、時間方向に集計された値が得られる点である。これらの長所短所を考慮すると、将来の環境変化が少ない既存の宅地において、地価を通しての計測により将来にわたる環境価値の集計

量を求めておくことが、意義のあることと言えよう。特に新たな宅地の環境保全などの局面で利用できる可能性がある。近年、将来良好な居住環境が維持できそうかどうかということが住宅取得時の選択要素として重要になってきている。それらに対する人々の価値づけがわかっているならば、地域の居住環境基盤の目標や、宅地化する時に保全して採算の取れる樹木の量がわかり、自然破壊防止のインセンティブを与える資料にもなる。

最後に本検討の指標作成プロセスにおける位置づけと、その利用の限界を示す。まず、総合指標作成のためには何らかの重みが必要なわけであるが、その重みづけの参考資料としての意味がある。本検討の結果は人々がどの程度に快適性・利便性を重みづけているかについての、計測方法と計測結果の一例とみることができる。検討に含まれた項目がデータの存在状況や項目間の独立性などに左右されているので、変数選択の偏りがあることは否めない。次に、一次指標として丁目ごとの樹木率を選定したこと、その一次指標を貨幣単位に尺度化する方法とその係数算定を試みたこと、その係数を個別指標とみればそれが地域によってどう違うか調べたこと、などが指標作成プロセスの応用といえよう。この個別指標の精度はそれほど高くないので、結果数値自体の使い途にはいまだ若干の制限が残る。

6 おわりに

結果を要約すると、本検討では以下のことが明らかになった。

- (1) 居住環境の一要素である緑について、特に樹木が人々に評価されていること。
- (2) 利便性や快適性の項目について、ヘドニック法を用い地価を通して尺度化することが可能なこと。樹木率が1%高い所では地価が0.2~3%高いこと。
- (3) 同様にして、利便性・快適性などの間のトレード・オフの度合を知ることが可能なこと。樹木率が1%高いことは駅に25~40m 近いことと同程度の評価があること。
- (4) 地域によっては、Box-Cox 変換が役に立つこと。つまり、説明変数の効果が地価の高さによって違う地域がある。

今後の展望としては、動的な分析を加えることによって、施策を提起するタイプの検討への発展が期待できる。



写真 A 地点77 豊かな樹木



写真 B 地点58 少ない樹木



写真 C 地点73 周辺の農地

図4 みどりに関する典型的地域の写真

3. 2. 1 生活環境に関する住民の認知空間の広がりと構造

The Range and the Structure of the Cognitive Space of the Living Environment Conceived by Local Residents

大井 紘¹・宮本定明²・阿部 治³・勝矢淳雄⁴

Ko OI¹, Sadaaki MIYAMOTO², Osamu ABE³ and Atsuo KATSUYA⁴

要 旨

環境の評価方法を開発するために、この報告では、住民がどのように生活の場を認知しているかを解明しようとする。人々は一般に生活の場を総体として認知しているものと思われる。したがって、ひとつひとつの事柄を順番に問う方式のアンケート調査では、環境認知の構造について十分な知見を与えるとは考えられない。

不可分な総体としての認知構造を明らかにするために、この研究では連想法を用いる。すなわち、アンケート調査において、「住みよさ」ということから連想することを自由に答えてもらい(自由連想テスト)、次いで、刺激語を順次提示してそれから連想する言葉をあらかじめ用意した語群のなかから選んでもらう制限連想テストを行う。提示する連想語・刺激語は広い意味で環境の全局面をおおうように選んだ。

自由連想テスト結果に2元クラスター分析法を適用して、連想語のグループと回答者のグループとの関係を明らかにする。この分析により、各クラスターの回答者の主要関心事が明らかにされる。制限連想テストから得られる語の間の連想頻度データについてクラスター分析が行われ、また、語の間の連想確率が有向グラフとして表される。この二つの結

1. 国立公害研究所 環境情報部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Information Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
2. 昭和55年度～ 国立公害研究所客員研究員(筑波大学電子・情報工学系 〒305 茨城県新治郡桜村天王台1-1-1)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present address: Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Sakura-mura, Niihari, Ibaraki 305, Japan.
3. 昭和58年度～ 国立公害研究所客員研究員(筑波大学学術情報処理センター 〒305 茨城県新治郡桜村天王台1-1-1)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present address: Science Information Processing Center, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Sakura-mura, Niihari, Ibaraki 305, Japan.
4. 昭和56年度～ 国立公害研究所客員研究員(京都産業大学教養部 〒603 京都市左京区上賀茂本山36)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present address: Faculty of Culture, Kyoto Sangyo University, Kamigamo, Sakyo, Kyoto 603, Japan.

果を総合して、環境に対する認知構造が得られる。

Abstract

The way through which people conceive images of their living condition is examined in this paper in order to develop an evaluation method of the environment. Ordinary residents seem to recognize their living condition in its entirety. Therefore, usual survey questionnaire, where a respondent finds a question on an item one by one, would not give the satisfactory knowledge of the cognitive structure of their environment.

To find the inseparable cognitive structure as a whole, the authors employ the association method. In the authors' questionnaire, a free association test asking subjects what they associate with a concept "the easiness of living" is followed by a controlled association test which deals with some 30 words of stimulus words and possibly associated words. These words were chosen to cover almost all environmental aspects.

Replies to the free association test are dealt with a two-way cluster analysis method to reveal the relation between groups of the associated words and groups of the subjects. By this analysis, what kind of aspect of environment is of primal interest of each cluster of residents is shown. Data of the frequency of association between the words in the controlled association test was scrutinized through cluster analysis, and on the other hand the words involved were displayed into a directed graph due to the probability of association between them. By integrating these results into a diagram, the cognitive structures of environment are uncovered.

1 緒言

環境問題が汚染の規制や防止ということから、環境質の向上を目指すようになることによって、環境の概念も従来の安全性、保健性にかかわることから、利便性、快適性に関することを含むものへと拡大してきた。そして、環境概念の枠がここまで留まるものとは考えがたい。人々の相互の関係や信頼感さらにはアイデンティティや自己実現にかかわることが、環境概念に必然的に取り入れられることとなるであろう。したがって、既成の理論に従った分析的な立場での環境概念の体系化ではなく、人々がそれぞれに生活の場の環境について考えていると感じているところのことを、ありのままに明らかにすることをいま行っておく必要がある。

環境の良さの尺度である環境指標は、その性格によって、2種類に大別される。そのひとつは、環境の全国比較、国際比較、経年比較などをするためのものであり、評価者の個性に依存しないものでなければならない。他のひとつは、各地域の居住者各自が、自分自身の主観に基づいて生活の場の環境を評価するときのものである。

前者は、評価者の個性に従った評価ができない代わりに、統一的、体系的に環境を評価しているべきであり、更に感覚的には感知できない環境要因も考慮に入れることができる。一方、後者は、各評価者の実感そのものに一致したもので、評価者の多様性に応じて、評価の方法も多様になる。

本研究は、後者の指標の成り立ちを探るためのものである。その際に問題としていることは、次の2点である。

第一に、生活の場あるいは住む場、すなわち生活環境を（狭義の環境をも含めて）人々がいかなる概念の広がりでもとらえているか、その広がりの中で、各項目をどのような構造的つながりを持って認知しているかということである。この研究によって、環境の評価のありかたが明らかになるとともに、生活の場について人々の関心事は何であるか、さらには「いわゆる環境」は有効な概念をも検討しようとするものである。

第二に、各住民は、環境要因のひとつひとつを評価して、その結果を足し合わせるような操作をして、環境全体を評価しているのであろうかということである。人々が環境を評価するとき、環境の認知の不可分な総体としての構造があって、環境個別項目の評価を単に加え合わせることによって評価していないであろうということである。そして、この「不可分な総体としての構造」とはいかなるものであろうか。

この2点を解明することを直接の目的として、アンケート調査に連想法を取り入れて、住民の環境にかかわる意識を調査、解析する方法を考案して、3群の対象者群について調査解析を行ったので報告する。

なお、連想法によって環境にかかわる意識を調査した研究として高田（1978）によるものがある。これは、以下に述べる研究とは、研究の意図、解析方法、解析の結果として得られたことが異なるが、興味深いものである。また、富山（1972）は、「緑」という言葉から思いうかべるものが、調査対象者の居住地、住居形態によってどのように異なるかを論じた。

2 認知空間解明のための連想テスト法

前章で述べた第一の論点を明らかにするために、自由連想法と呼ばれる方法によるアンケート調査を行う。自由連想調査では、ある語を刺激語として調査対象者に示し、示された刺激語から対象者が連想する言葉を何でも語、句、あるいは文のいずれかを問わず回答してもらう。本研究の調査では、刺激語として「住みよさ」、「住みやすさ」という語を用いた。刺激語を「住みやすさ」、「住みにくさ」としなかったのは、この2語は単なる反対語の対ではなく、したがって、この刺激語を用いれば、対称性のない異質の2語から連想されることを同時に問うて、回答者に心理的負担をかけることになるからである。

第二の論点を明らかにするためのアンケート調査の方法として、制限連想法を採用する。このテストでは、調査対象者に言葉（刺激語と呼ぶ）を順次示して、別に用意した語群の中から連想する語（連想語）を選んでもらう方法である。ある刺激語から連想語の連想される順番は問わないことにした。連想語を選ぶべき語群の表をあらかじめ用意して、その中に連想する語があるときにそれに○印を付けるだけでよいようにしたのは、刺激語の数が多いとき自由連想法を用いると、回答者に大きな負担をかけるからである。

制限連想法では、具体的には、生活環境の評価に関係すると思われる語をいくつか（ N 語）選び、そのすべてを1語ずつ順に刺激語として調査票のうえで提示し、それぞれの刺激語の下に残りの

$N-1$ 語を表として掲げてその中から連想する語を選んでもらう方法をとった。この N 語は、1) 生活者の安全、健康、快適性に関する要因の表 (西岡, 1983), 2) 本研究メンバーによる生活環境の評価にかかわる語についての討論, 3) 上記の「住みよさ」、「住みやすさ」を刺激語とする自由連想調査の試行調査を行って得られた回答, の中から選んだ。語を選ぶさいに、選ばれた語が、住む場の全局面に拡がるようにしたが、回答者の負担を考えれば、語数 N は大きくは取れないので、網羅的には全局面をおおようにはなしえない。このような配慮も有って、個人の家族、家屋、家の敷地内のことに関する語は割愛した。 N をいくつに取るかは、調査の成否に直接にかかわるので、回答者の負担が過大でない限りに大きくしたい。試行調査に続く予備調査で、 $N=30$ として、回収率 65% の調査票の中で、回答の途中放棄が全く見られなかったため、本調査でも、 $N=30$ とした。実際に選ばれた 30 語はのちに示す。

3 自由連想調査結果の解析法

前章で述べた「住みよさ」、「住みやすさ」という刺激語から連想される語として回答されたものうち、句と文は、単語に分割し、分割後は意味の無くなるとみなされる語 (例えば、助詞) を除いて、回答者により初めから単語として回答された語と併せてそれぞれの回答者の連想語の集合とする。

対象者群における連想語の出現回数 (連想頻度) を対象者群間で比較することのみによっても、後に示すように興味深い結果が得られる。

この研究では、調査対象者群の中の回答者が、その中のグループに依ってどのような語を連想する傾向が強いかを明らかにする。このために、2 元クラスタリングと呼ばれる解析法を採用する。この方法では、まず回答者、連想語のそれぞれの間類似度を導入して、それぞれクラスタ分析をする。すなわち、まず調査対象者群の中の全回答者によって総計してある頻度 (s 回) 以上連想された n 個の語 x_i の集合

$$X = \{x_1, \dots, x_n\}$$

と、集合 X に含まれる語を 1 個以上連想した m 人の回答者 y_j の集合

$$Y = \{y_1, \dots, y_m\}$$

とを考える。そして、これらの集合 X, Y の要素である連想語と回答者とについて、それぞれクラスタ分析を行う。次いで、その結果得られた回答者と連想語とのクラスタを、4 章で述べるように縦横に排列してに図示する。

回答者のクラスタ分析のためには、同じ言葉を共通して多数連想する者同士は類似度が高いとする。すなわち、回答者の集合 Y に属する回答者 u が語 x_i 、 $i=1, \dots, n$ 連想した回数を a_i 、回答者 v が語 x_i を連想した回数を b_i で表す。このときふたりの回答者 u, v の間の類似度を次式で与える (Miyamoto ら, 1983)。

$$0 \leq \hat{r}_{uv} = \frac{\sum_{i=1}^n \min(a_i, b_i)}{\sum_{i=1}^n \max(a_i, b_i)} \leq 1$$

同様に、連想語のクラスター分析では共通した多くの回答者によって連想される語同士は類似度が高いとする。すなわち、連想語の集合 X に属する連想語 u' が回答者 y_i ($i=1, \dots, m$) によって連想される回数を a'_i 、連想語 v' が回答者 y_i によって連想される回数を b'_i とするとき、連想語 u' 、 v' の間の類似度を次のように与える。

$$0 \leq \hat{r}_{u'v'} = \frac{\sum_{i=1}^m \min(a'_i, b'_i)}{\sum_{i=1}^m \max(a'_i, b'_i)} \leq 1$$

この解析法は、文献引用関係の表現のために、Miyamoto & Nakayama (1980) が用いたものである。計算は計量書誌学パッケージ PAB (宮本, 1984) によった。クラスター分析には群平均法 (Anderberg, 1973) を用いた。

4 制限連想調査結果の解析法

2章で述べた制限連想法の調査結果の解析のためには、Miyamoto & Nakayama (1980) によって提案され、東原 (1980) によって教育心理における学習過程の解明に応用されたものを用いる。

解析法の原理的な考えかたは、刺激語・連想語として用いられる語 (制限連想用語) の間に類似度を導入することと、刺激語から連想語への連想確率を考えることである。

制限連想用語の類似度を用いて用語のクラスター分析を行う。類似度の定義は次のようにする。制限連想用語として選ばれた n 個の語の集合を

$$W = \{w_1, \dots, w_N\}$$

とする。ある調査対象者群において全回答者 M 人が語 v_i を刺激語として与えられたとき、語 w_j を連想した頻度 (人数) を u_{ij} とする。刺激語 w_i から連想されたすべての連想語の連想頻度の和を \bar{u}_i とする。すなわち、

$$\bar{u}_i = \sum_{k=1}^N u_{ik}$$

語 w_i と語 w_j との間の互いに連想されやすいという意味での類似度 \hat{s}_{ij} を、次式で定義する。

$$\hat{s}_{ij} = \frac{u_{ij} + u_{ji}}{\bar{u}_i + \bar{u}_j}$$

回答者集団の持つ概念構造を抽出するために、集合 W の語を連想されやすい語同士の群に分割する。具体的には、語の間の類似度 \hat{s}_{ij} を求め集合 W の語をクラスター分析する。

ある刺激語からどの語を連想しやすいかを表すために、刺激語 w_i が与えられたとき集合 W の語のうち語 w_j を連想するという意味での連想確率（語 w_i から語 w_j を連想する確率）の推定量を次のように定義する。

$$\hat{p}_{ij} = u_{ij} / \bar{u}_i$$

一般には

$$\sum_{j=1}^N \hat{p}_{ij} \leq 1$$

であるが、本研究の調査では、刺激語も連想語も同じ集合 W に属するので、つねに等号が成り立つ。

語 w_i から語 w_j を連想する確率によって、語の間の連想の方向性を表す弧（ \rightarrow , \leftrightarrow ）を次のように定める。

a) $\hat{p}_{ij} \geq \alpha$ かつ $\hat{p}_{ji} \geq \beta \hat{p}_{ij}$ のとき、またそのときに限り $w_i \rightarrow w_j$

b) $\hat{p}_{ij} \geq \alpha$, $\hat{p}_{ji} \geq \alpha$ かつ $\frac{1}{\beta} \leq \frac{\hat{p}_{ij}}{\hat{p}_{ji}} \leq \beta$ のとき、またそのときに限り $w_i \leftrightarrow w_j$

c) その他の場合は、語 w_i , w_j の間に弧なし。

語 w_1, \dots, w_N の間の類似度と語の間の連想の方向性を次のようにして後に示す概念構造図として表す。まず、語のあいだの類似度にもとづくクラスター分析の結果から、連想されやすい語同士の群からなるところのクラスターごとに、それに属する語を図上にまとめて排列し、枠でくくる。さらに、連想の方向性を表す弧を、図上で語の間に描く。図中に引かれた弧が見やすくなるように、クラスターの中で語の配置をかえ、あるいは、図のなかでのクラスターの位置を変えるという操作を行う。当然ながら、類似度の高い語の間には連想の弧が引かれる傾向が強いので、クラスターごとにそれに属する語を図上にまとめて配列することは、連想の弧が互いに引かれるべき語を近くに置くという傾向を持つという作画上の利点をもたらす。

5 調査方法

5.1 調査票の構成

調査票は、初めに自由連想法の設問が置かれ、次いで、制限連想法の設問がある。この順番は、調査者の選んだ制限連想テストのための語によって、自由連想の回答が偏るのを防ぐためである。制限連想テストの次がフェースシートであり。年齢、性別、職業、家族構成、住いの状態と形態、居住年数、最も長く住んだ所、に関する問からなる。最後に、調査に関する感想を自由に記すページがある。

試行調査に続く前記の予備調査では、自由連想の問に対して、回収票の $\frac{3}{4}$ に回答記入があった。

予備調査での制限連想の回答挙動も前述のように良好であったので、予備調査とはほぼ同じ調査票を用いて本調査を行うこととした。

5.2 調査対象者群とその属性

調査対象者群は、

- ①茨城県石岡市若松1丁目、府中4丁目、5丁目の住宅地区住民300戸（石岡）
- ②東京都足立区花畑6丁目、7丁目の住宅地区住民300戸（花畑）
- ③国立公害研究所の全職員237人（公害研）

である。

①の地区は、石岡市の中心部の市街地に接する部分から、市外周の農地に接する部分の間に広がっている住宅地であり、ある程度の畑地を含む。②は、①に比べ、かなり住宅が密集し、また、我が国屈指の汚染を示す綾瀬川とその支流に面している。これらの川は、目視で水の色が黒く濁っていることがわかり、異臭を感じる。③の対象者は、一般地域の住民と環境・公害に関する研究所の職員の意識差を調べるために選んだ。国立公害研究所の職員に対しては何を専門とするかの問がフェースシートの最後に加えられる。

①、②の調査対象者は、ゼンリンの住宅地図に記載されているものから明白にアパートあるいは寮と判定されるものを除いた、それぞれの地区にある約700戸から、系統的標本抽出により選んだ。

調査は留置き法によった。その実施は、①、②については1983年11月とその翌年2-3月であった。③については、1983年11-12月に調査を行った。

有効回収数は石岡202（有効回収率67%）、花畑219（同73%）、公害研218（同92%）である。

フェースシートからみる回答者は、石岡、花畑両地区の間で、年齢、性別、職業、住いの状態と形態に大差は無い。石岡、花畑で30才代~40才代がそれぞれ48.0%、64.5%で、両地区とも男女が約半々である。持ち家率は石岡82%、花畑76%、一戸建てに住むもの石岡91%、花畑83%であった。20年以上現在の場所に住んでいるものは、石岡35%、花畑20%。生まれたときから現在地に住んでいる者は石岡33%、花畑25%である。これに対し公害研では、設立後10年の機関であることを反映して、30才代が47%で、男が約88%である。さらに、③では、官舎等に住むもの66%であって、又、筑波研究学園都市という所在地の特徴として、現在の場所に居住する年数は1-5年が52%で、生まれたときから現在地に住むものは、5.5%である。

6 調査結果の解析

6.1 自由連想テストの結果の解析

自由連想テストの一人当たりの連想の平均語数は、石岡12.0、花畑10.5、公害研20.9である。この数は、石岡、花畑とも属性による差も少ない。公害研の回答語数が多いのは、調査者が内部のものであったことなどにより気構えが一般の地域と異なったためとも思われる。また、一般の地域が

男性のほうが平均1～5語程度連想語が多いのに対し、公害研は女性の方が4割前後多く答えている。いずれにせよ、公害研は一般地域と多くの点で異なることに注意しておく必要がある。

自由連想テストに対する回答から、頻度の高い順に連想語を表1に示す。それぞれの語の下の数字は連想頻度である。即ち、1位から5位までについては、対象者群の間で連想語の順番が異なるのみであることと、利便性にかかわる2語（“交通”、“便利”）がその中の上位にあることに注目したい。一方、6位から10位の連想語については石岡と花畑に共通な4語が、公害研の同じ順位には見いだせないことが特徴的である。

2元クラスタリングにおいては、解析の対象とする語の最低連想頻度を $s=10$ とした。各対象者群の連想語のクラスターを、表2-表4に示す。表の中で、石岡の左から第3、第4クラスターはそれぞれ、生活に身近かなものと施設による利便性に対応していると見られる。花畑では、それらはそれぞれ第3、第2クラスターである。公害研では、これらが第1クラスターに現れていると見られる。花畑で、煩わしさにかかわると思われる語“物価”、“騒音”、“公害”がすべて第4のクラスターに属している。また、花畑で同じことのプラス面-マイナス面を表す語とも見られる。“環境” — “公害”、“静かさ” — “騒音”のそれぞれの対の語が別々のクラスターに属していることが注目される。

2元クラスタリングの結果を次のようにして図に示す。回答者を縦軸に、連想語を横軸に排列するとして、回答者をそのクラスター g_i ごとに、連想語をそのクラスター h_j ごとに配置して、それらのクラスターが定める長方形 c_{ij} を描く（図1-図3）。ある回答者によるある連想語の連想回数をそれぞれの縦横の座標の定める位置に数字で示すことができる。しかし、この事例の図のように縦横の要素数が多いとき、連想回数の数字の判読が困難であり作画も容易でない。よって、図1～

表1 自由連想における連想語の頻度順位

順位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
石岡	交通 70	便利 61	静か 44	緑 42	環境 42	近所 41	空気 34	買い物 31	つきあい 30	家 26
花畑	緑 71	交通 70	便利 69	環境 58	静か 49	近所 35	空気 33	家 28	病院 27	つきあい 25
公害研	便利 93	交通 85	緑 76	静か 68	環境 59	施設 52	文化 46	人 41	自然 41	買い物 40

表2 石岡についての自由連想語のクラスター
縦線はクラスターの境界

通 学 勤 学	通 災 自 防 音	空 気	緑 町 水	物 価 全	安 価	近 所 あ い	便 利 通 か	交 通 物 たり	静 か 物 たり	買 物 当 り	環 境	病 学 院	ス 校	文 化	施 設	公 道	下 水 道	庭	家 族	子 供	人 間	太 平 陽 和
------------------	-----------------------	--------	-------------	-------------	--------	------------------	------------------	-------------------	-------------------	------------------	--------	-------------	--------	--------	--------	--------	-------------	---	--------	--------	--------	------------------

表3 花畑についての自由連想語のクラスター
縦線はクラスターの境界

近つき 所あ い	下文施病学公陽 水道化設院校園 当たり	便交 静買環空 緑 い 利通 か物境気	道 物騒公 人 価音害	安 全	さ 家庭 れ い	自 町 然	明 る い	太 陽	と こ ろ
----------------	---------------------------	---------------------------	----------------	-----	-------------------	-------------	-------------	--------	-------------

表4 公害研についての自由連想語のクラスター
縦線はクラスターの境界

近つき 所あ い	公便交 静買文施 園利通 緑 か物化設 水	海山川湖 き空水 れい 気道	環自生 閑気温 境然活 人 係候暖	物安住 価い宅	病ゆ空太安教健 り間陽全育康	
		図騒陽 駅書館音 路族	道家 子 路族 家庭 供	公隣機 共人関	暖快明 か い 適 い	地人 域口

図3のように長方形ブロックごとに連想密度

$$\frac{(g_i \text{ の回答者が } h_j \text{ の語を連想した総回数})}{(\text{クラスター } g_i \text{ の人数}) \times (\text{クラスター } h_j \text{ の語数})}$$

を考え、これをも c_{ij} で表すことにし、いくつかの密度レベルに c_{ij} を層別して濃淡表示する方法を考案した。 c_{ij} の値が大ならば対応するクラスターの語と回答者が互いのクラスター生成に大きく寄与していると見なせる。すなわち、値の大きい（濃く塗られた）ブロック c_{ij} に対応する回答者のクラスターの人々が、対応するクラスターの連想語を多く連想する傾向が有るといえる。このようなブロックごとの濃淡表示を考案することに依って、クラスター分析の結果の解釈が容易になった。

3対象者群のいずれにおいても、その群の回答者全般にわたって多く連想される傾向のある連想語のクラスター（主連想語クラスターと呼ぶことにする）が存在する。すなわち、石岡の第3クラスター h_3 、花畑の第3クラスター h_3 、公害研の第1クラスター h_1 である。これらクラスターについては、連想頻度10位までの語が石岡では8語中7語、花畑では7語中6語、公害研では11語中7語である。一方、この主連想語クラスターの語を殆ど連想しないで他の語を連想する回答者のクラスターも、それぞれの対象者群に見出されることに注目すべきであろう。すなわち、石岡の第2クラスター g_2 、花畑の第12、第14クラスター g_{12} 、 g_{14} 、公害研の第10クラスター g_{10} である。これらの回答者クラスターの対応する連想語クラスターの語を、主連想語クラスターの語と比較することは興味深い。

値が大なる c_{ij} のクラスター g_i の回答者を調べれば、どのような属性の者がクラスター h_j に属する

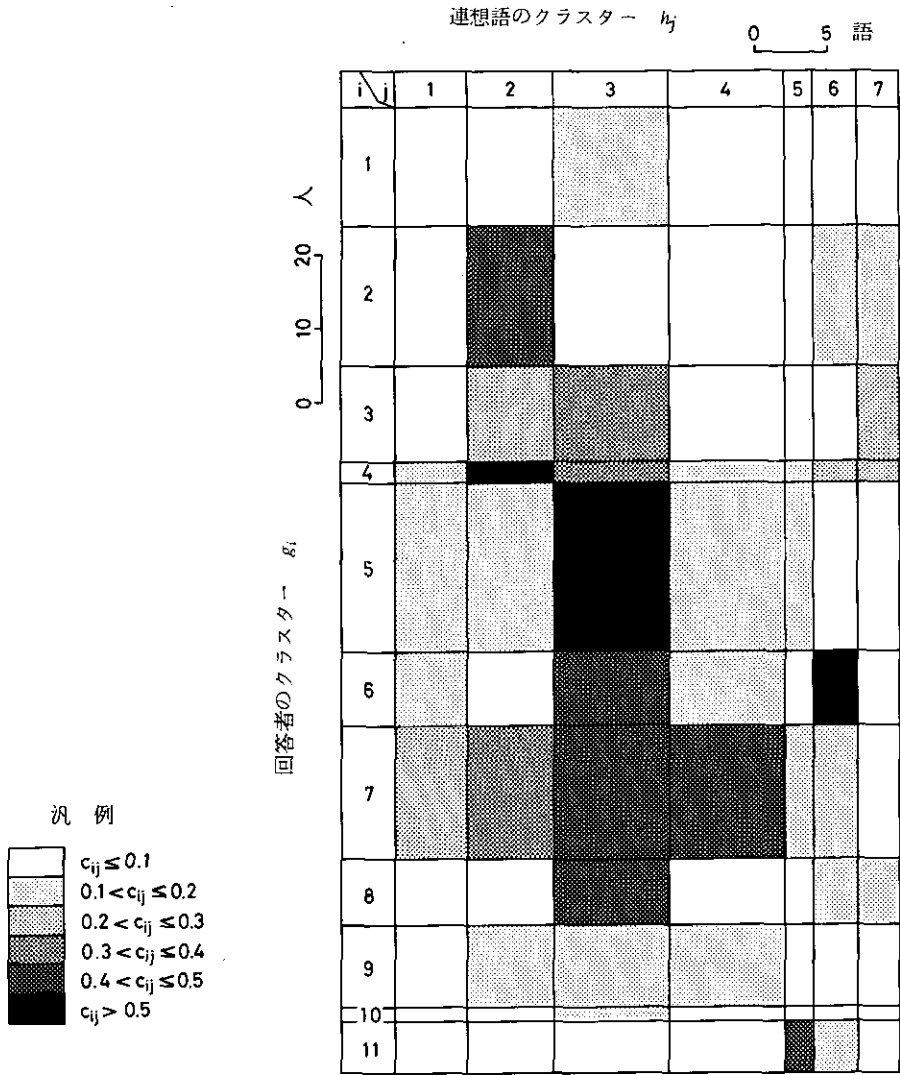


図1 石岡についての自由連想の2元クラスタリング

語を連想する傾向が有るかが分かる。

6.2 制限連想テストの結果の解析

石岡、花畑の連想語数は年齢、性別、職業、住いの状態と形態などの属性による差異はなく、平均4.0であった。一方、公害研では、属性は前記の2地域とは異なるが、平均3.8であった。

“川”から連想される語は、花畑で3位に“悪臭”が連想頻度 $\hat{p}_{ij}=0.117$ で現れるのに対し、石岡と公害研とではこの語は6位（それぞれ連想頻度 $\hat{p}_{ij}=0.06$, $\hat{p}_{ij}=0.05$ ）であるに過ぎない。逆に、

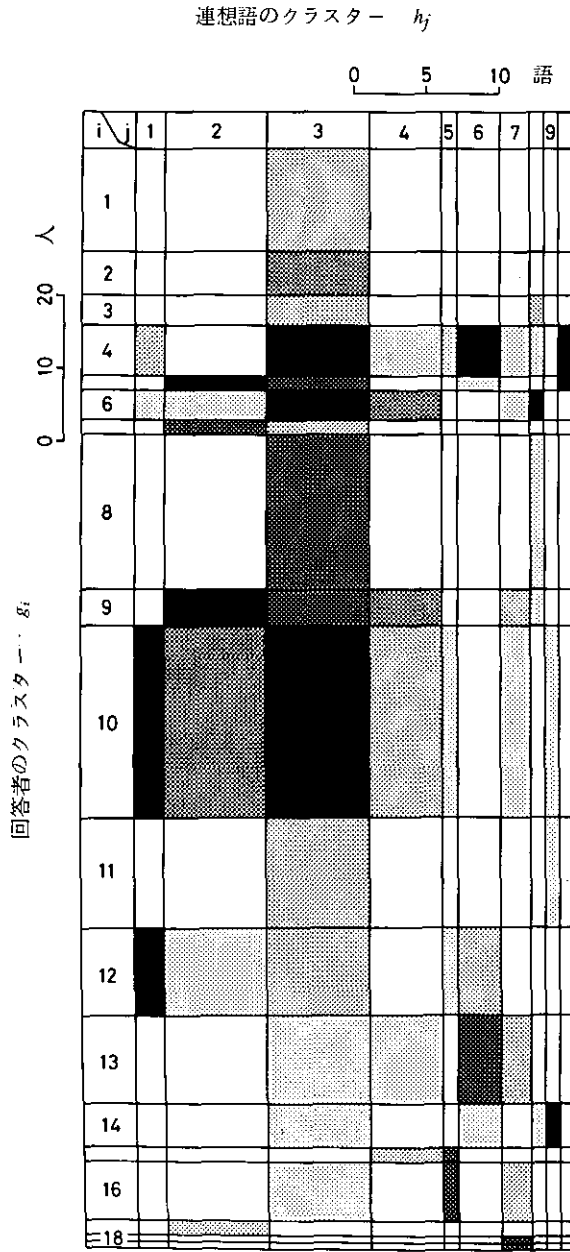


図2 花畑についての自由連想の2元クラスタリング

“悪臭”から連想される語の頻度順位を見ると、花畑で“川”が連想頻度 $\hat{p}_{ij}=0.148$ で3位であるが、石岡では4位、公害研では3位でともに連想頻度 $\hat{p}_{ij}=0.11$ である。

対象者群①、②、③について得られた概念構造図をそれぞれ図4～図6に示す。7個に細分した

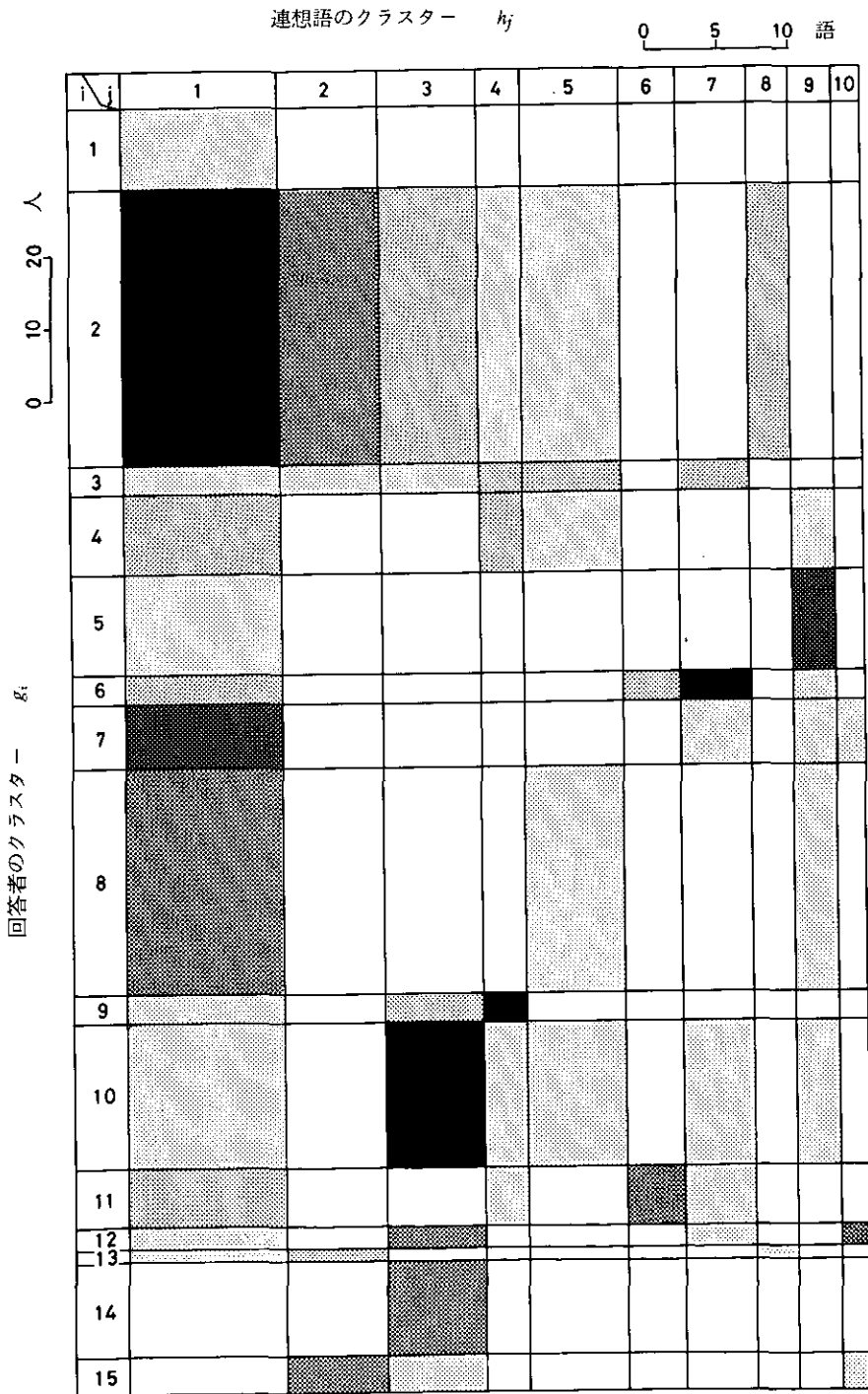


図3 公害研についての自由連想の2元クラスタリング

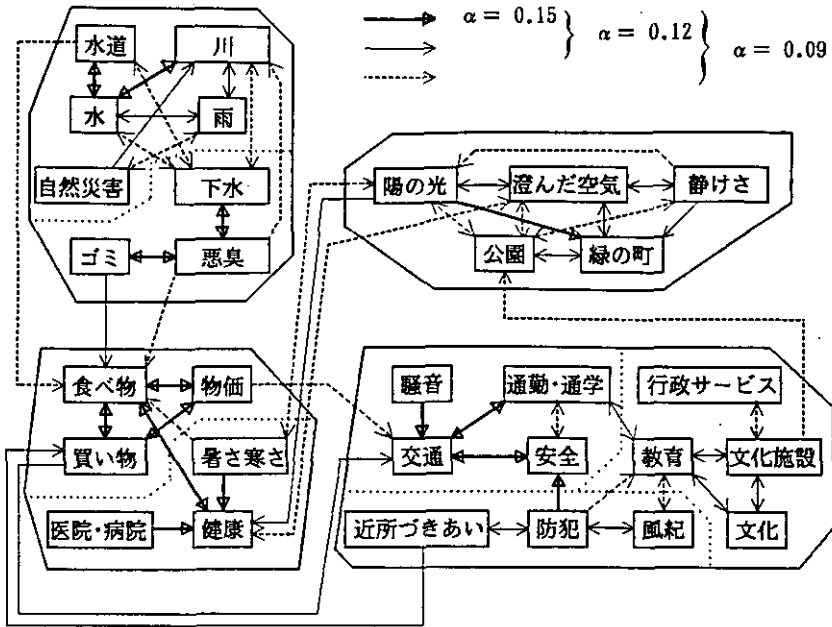


図4 石岡についての概念構造図

実線のみはクラスター数4、点線を加えると8の場合

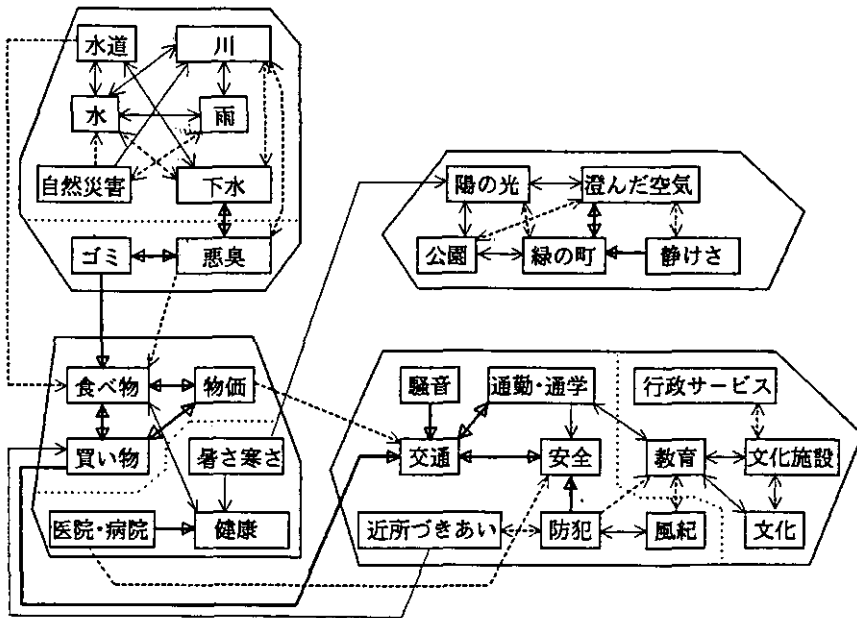


図5 花畑についての概念構造図

実線のみはクラスター数4、点線を加えると7の場合

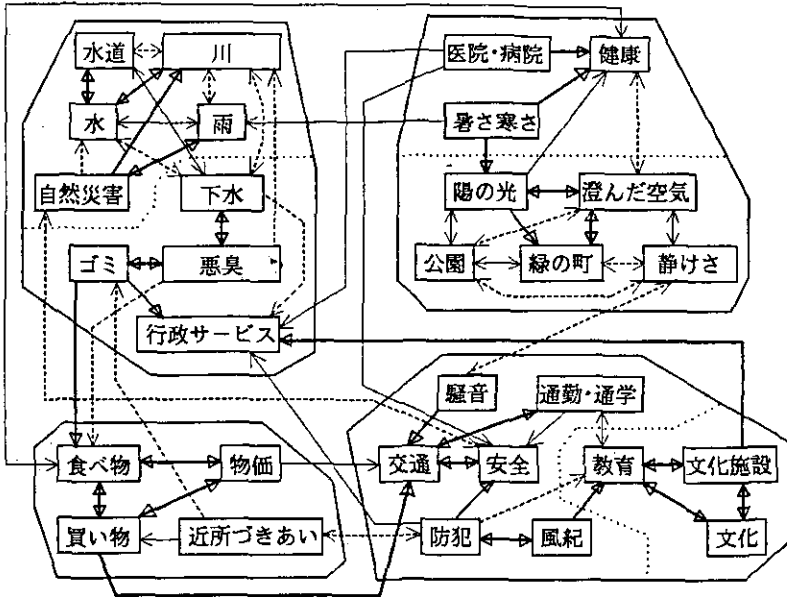


図6 公害研についての概念構造図
 実線のみはクラスター数4，点線を加えると7の場合

類似度の高い語のクラスターについてみると、石岡、花畑は、“下水”の属するクラスターが異なっている。連想用語を4個のクラスターに分けて見たとき、公害研と石岡、花畑とのクラスターでは、“医院・病院”、“健康”、“暑さ寒さ”、“行政サービス”、“近所づきあい”、の属するクラスターが異なっている。公害研では、7分割したクラスターで見ると、石岡と同じく“下水”は“川”の含まれるクラスターには属さない。クラスターの形成のされかたは、異なった対象者群の間でもかなりの安定性が見いだされるが、公害研と一般地域①、②との差異が、①、②の間の差より大きいことが注目される。

4分割したクラスターを、地区①、②について見ると、図中の右上のクラスターが快適性にかかわる語が集まっており、右下には、利便性と社会的な要因にかかわる語のクラスターがある。左上にあるのは、水といわゆる環境にかかわる語を主にするクラスターであるとみられる。左下のクラスターは、家庭の生活そのものに関する語といえよう。公害研では、この4個のクラスターの内容に移動がみられるわけである。いずれにせよ人々はこのように、関連のあるものをひとまとめにして認知することが示されている。

連想用語間の直接連想の関係を示す弧を定めるためには、しきい値 α としては3とおりの値0.09, 0.12, 0.15を用い、しきい値 β は1.5を用いた。弧の本数を α の値べつに、表5に示す。公害研がほかの2群よりも多いことが特徴であるが、特に α の値いが小さいときは、弧の本数は3群の間ではほぼ同じであるが、 $\alpha=0.15$ のときに公害研では、他の2倍の弧を持つ。公害研の連想の

弧は、数が多いだけでなく、クラスター間にまたがるものが多いのが特徴であり、 $\alpha = 0.12$ のとき他の地区の2倍ある(表6)。また、公害研では“行政サービス”に向かう弧が多く、この点で意識が一般と異なることが分かるが、回答者が全員公務員なわけであり、一概に環境公害行政に対する意識の現れとはいえない。

表5 連想の弧の本数

α	0.09	0.12	0.15
石岡	87	55	25
花畑	81	55	22
公害研	94	66	44

$\beta = 1.5$

表6 クラスター間の連想の弧の本数
クラスター数が4の場合

α	0.09	0.12	0.15
石岡	12	4	0
花畑	8	4	2
公害研	18	10	3

$\beta = 1.5$

制限連想テストの結果の差は、図4-図6を見るかぎりでは、石岡、花畑の間では、この両地区と公害研の間ほど顕著ではない。しかし、両地域の連想の間に明らかな差があることは、先に述べた制限連想の連想語の頻度順位と次の報告(宮本ら, 1986)における連想確率の差の検定から知ることができる。

この解析で明らかにしたことは、制限連想法に基づく環境認識の構造であって、環境評価に際する人間の情報処理過程そのものではないが、上に示した解析結果から、環境評価における認識構造を類推することができる。

7 結 言

本調査法によれば、人々の感じていることや意識の広がりを、調査者の予断や思い込みにとらわれずに調査することができる。また、環境として何をどこまで有機的なつながりを持った概念の枠としてとらえるべきかが分かる。回答者の間での相違をクラスターを通して識別できることも重要な利点である。そして、分析的考察によっては別個のこととしか考えられないことが、この方法により人々の意識の上では関連したこととしてとらえられていることが分かる。

参 考 文 献

- Anderberg, M. R. (1973): Cluster Analysis for Applications. Academic Press, New York, 359p.
- 東原義訓 (1980): 科学概念形成過程に関する研究—学習者のとらえている概念構造—。筑波大学修士論文。
- Miyamoto, S. and K. Nakayama (1980): A hierarchical representation of citation relationships, IEEE Trans. Systems, Man, & Cybernetics, SMC-10, 899-903.
- Miyamoto, S., T. Miyake and K. Nakayama (1983): Generation of a pseudothsaurus for information

大井 紘ら

retrieval based on cooccurrences and fuzzy set operations, IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, SMC-13, 62-70.

宮本定明 (1984) : 計量書誌学統計処理パッケージの作成. 昭和58年度科学研究費補助金研究成果報告書.

宮本定明・大井 紘・阿部 治・勝矢淳雄 (1986) : 連想構造の有向グラフ表現とクラスター分析—システムズ・アプローチの試み—, 国立公害研究所研究報告, 第88号, 241-252.

西岡秀三 (1983) : 私信.

高田康孝 (1978) : 現代日本人の環境観—「ことばの考現学」的分析による—. 環境と文化人類学的考察, 石毛直道 (編), 日本放送出版協会, 東京, 351-455.

富山和子 (1972) : サラリーマンの緑意識. 水利科学, 15, 91-121.

3. 2. 2 連想構造の有向グラフ表現とクラスター分析* —システムズ・アプローチの試み—

Directed Graph Representations and Cluster Analysis of Association Structures: A Systems Approach

宮本定明¹・大井 紘²・阿部 治³・勝矢淳雄⁴

Sadaaki MIYAMOTO¹, Ko OI², Osamu ABE³ and Atsuo KATSUYA⁴

要 旨

本論文の目的は、連想法による意識調査データの解析手法を系統的に開発することである。解析方法の相互関係を表す構造図を用いて、ある解析手法から新たな解析方法が導出される点に、本稿の方法論の特徴がある。初めに、制限連想法に対するクラスター分析と有向グラフ表現の二つの方法の関係を考える。この関係を示した図から、二つの統計的仮説検定の方法が導かれる。さらにこれら四つの方法の関連を示した図をみることによって、自由連想に対する四つの解析手法が、前に示した制限連想に対する方法の各々に対応するものとして導出される。これらの手法を住民の生活環境に対する意識調査データに適用し、その結果と意義について論ずる。

Abstract

The aim of the present paper is to develop a family of methods for analyzing

-
1. 昭和55年度～ 国立公害研究所客員研究員 (筑波大学電子・情報工学系 〒305 茨城県桜村天王台1-1-1)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present address: Institute of Information Sciences and Electronics, University of Tsukuba, Sakura-mura, Niihari, Ibaraki 305, Japan.
 2. 国立公害研究所 環境情報部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Information Division, the National Institute for Environmental Studies. Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 3. 昭和58年度～ 国立公害研究所客員研究員 (筑波大学学術情報処理センター 〒305 茨城県桜村天王台1-1-1)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present address: Science Information Processing Center, University of Tsukuba, Sakura-mura, Niihari, Ibaraki 305, Japan.
 4. 昭和56年度～ 国立公害研究所客員研究員 (京都産業大学教養学部 〒603 京都市左京区上賀茂本山36)
Visiting Fellow of the National Institute for Environmental Studies. Present address: Faculty of Culture, Kyoto Sangyo University, Kamigamo, Sakyo, Kyoto 603, Japan.

*この論文の一部は IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics に掲載の予定である。

structures of psychological associations in a systematic way. The main point here is to use a figure of showing relations among the methods. First a directed graph representation and a cluster analysis are considered for a particular application to data obtained by a controlled association test. The figure on the structure of the methods, of the directed graph and the clustering serves to develop a pair of methods for statistical hypothesis testing. The two methods of the testing are used for comparing association structures between two populations. Then the figure on the relation of these four methods is used for developing another system of methods for a free association test. These methods are applied to the data of the association tests by a questionnaire on the living conditions of local residents in urban areas. The aim of the questionnaire is to provide macroscopic views for decision making on improvement of urban environment. The application of these methods results in several diagrams showing the association structures and their significance is discussed.

1 序論

有向グラフにより複雑なシステムの構造を表現する方法は、ISM (Sage, 1977; Warfield, 1976) 等に見られるように広汎に用いられている。筆者らは、先に引用関係や連想テストの結果を分析するための有向グラフ表現法を提案した (Miyamoto & Nakayama, 1980, 1984)。本稿で述べる一連の手法も、先に提案した方法の延長線上にあるものであるが、いくつかの手法を個別に提案するのではなく、分析対象に対する問題点を列挙し、それらの問題点の相互関係を考察することによって、新しい手法を系統的に導出していくアプローチをとっている点が、本稿での方法論の主な特徴をなしている。

本稿の方法が対象とする応用問題は、連想法によるアンケート調査のデータである。このアンケートは、住民の生活環境に対する意識構造を調べるために計画され、実施されたものである。

ここで述べる方法論は、このアンケート調査データの解析のために開発されたものであるが、様々なシステムに適用可能であるため、本稿では、主に、一般性をもった形式での記述を行う。

2 有向グラフ表現

2.1 調査について

調査データの解析法にはいる前に、アンケート調査の概要について簡単に述べよう。この調査は、心理学における連想テストの形式を用いたものであって、調査の方法自体新しい試みであると思われる。

前報 (大井ら, 1985) に詳しく述べたところであるが、アンケートは自由連想法と制限連想法の二つの部分からなる。自由連想法では、「住みやすさ、住みよさ」という刺激語から連想されるものを自由に書いてもらい、制限連想法では、生活環境に関する30の刺激語を用意し、順次示して、そのつど別に表にした29の決められた連想語の中から連想するものをいくつか選んでもらう形をとっている。今回の調査では、連想語の集合は刺激語の集合と全体としては一致させているが、各

刺激語を提示したときの連想語の表は、刺激語の集合からその時に提示した語を除外したものをを用いている。

この調査に関する詳細な記述は、この報告書の別の論文（大井ら、1986）に譲るが、後に述べる実例は、東京都足立区花畑（以後“花畑”と呼ぶ）及び茨城県石岡市（以後“石岡”と呼ぶ）におけるものであることだけを注意しておこう。この両地区の主な違いとして、花畑地区は全国的にも汚染度の高い綾瀬川を背後に控えていること、及び住宅の密集度も石岡地区に比べて高いことがあげられる。

2.2 制限連想法に対する方法

刺激語の集合を $W = \{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ と表そう。制限連想の結果は正方行列 $(u_{ij}), 1 \leq i, j \leq N$ の形にまとめられる。ここで、 u_{ij} は、刺激語 w_j を与えたとき、連想語 w_i を連想した人数で表す。先に述べたように、刺激語 w_1 に対して連想語の表から w_1 は除外されているので、 $u_{11} = 0$ である。また

$$\bar{u}_i = \sum_{j=1}^N u_{ij}$$

とおく。

制限連想法に対しては、先に提案した有向グラフ表現の方法（Miyamoto & Nakayama, 1980）を用いることができる。すなわち、いま

$$\hat{p}_{ij} = \frac{u_{ij}}{\bar{u}_i}$$

とおき、節点 $\{w_1, w_2, \dots, w_N\}$ をもつ有向グラフの弧を二つのしきい値パラメータ α, β ($0 < \alpha < 1, \beta > 1$) を用いて次のように定義する。

$$a) w_i \rightarrow w_j \iff \hat{p}_{ij} \geq \alpha, \hat{p}_{ij} \geq \beta \hat{p}_{ji}$$

$$b) w_i \leftrightarrow w_j \iff \hat{p}_{ij} \geq \alpha, \hat{p}_{ji} \geq \alpha,$$

$$\frac{1}{\beta} \leq \frac{\hat{p}_{ij}}{\hat{p}_{ji}} \leq \beta$$

一方で類似性の測度

$$\hat{s}_{ij} = \frac{u_{ij} + u_{ji}}{\bar{u}_i + \bar{u}_j}$$

を用いてクラスター分析を行う。クラスター分析の結果生じたグループと有向グラフは一つ概念構造図として表現される。（3. 2. 1（大井ら、1985）、の図4—図6を参照）。

注意：一般に、 α 、 β をどの程度に定めるかについての客観的基準はない。筆者らは、 β については文献情報の場合 $\beta=2.0$ (Miyamotoら, 1980; 1984)、連想データの場合 $\beta=1.5$ を用いている。 α については、 α が大きすぎる場合、弧をもたない孤立する要素が多く、 α が小さすぎる場合、弧の数が多すぎて見にくいグラフとなる。したがって、 α を大きい値と小さい値の二つの初期値からはじめて孤立する要素が少なく、かつ弧の数があまり多くない α の値の探索を行うことが多い。この例では、これらのことを考慮しつつ、かつ調査対象の3地区について同一の (α, β) を用いるように考慮した。

この方法を出発点として、いくつかのデータ解析の手法を系統的に導いてみよう。図1は上述の有向グラフとクラスター分析のもつ特徴を二つの軸で表現したものである。クラスター分析は二つの語 w_i と w_j の間に定義された類似性の測度に基づいている。類似性の測度は先の式からわかるように、データ行列 (u_{ij}) を対称化したものであり、連想の方向性は失われている。一方で、有向グラフはデータ行列を正規化した量 \hat{p}_{ij} の比に基づいて弧を定義するため、連想の方向性を強調するものといえる。このように、二つの方法がそれぞれ連想の対称性と非対称性に基づいていることから、二つの手法を非対称性-対称性の軸に位置づけることができる。また一方、これら二つの方法は、グラフの弧やクラスタリングによるカテゴリーによって調査データの全般的な特徴を把握するのに適しているといえる。そこで、これら二つを大域的解析の方法として、図1の右半面に位置づけ、これに対する概念として“局所的解析”を対応させてみよう。

当面の目標として、大域的解析に対応した形で、局所的解析の方法が導出できるかどうか考えてみよう。上に述べた大域的手法によって、概念構造の概観が得られたとき、次に生じる問題として、データの特定の部分に対してある特徴が存在するかどうかについて明確な結論を与える方法が必要

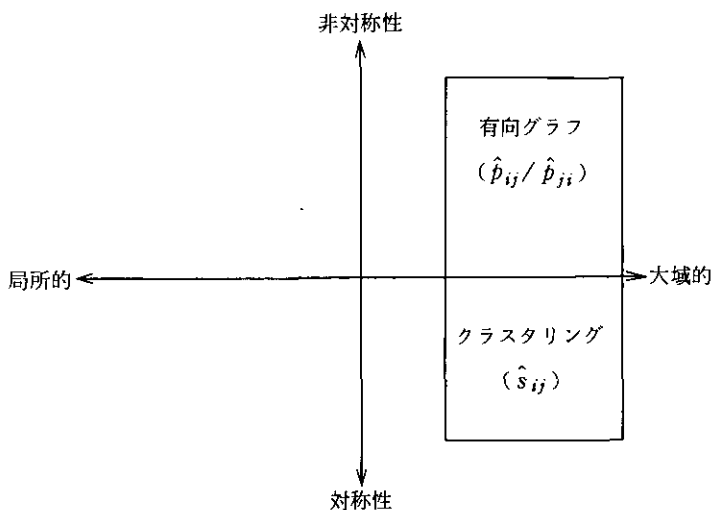


図1 制限連想に対する有向グラフ表現とクラスター分析の関係

となる。このような方法が上述の局所的解析に相対する。例えば、二つの異なる母集団（先の調査ではそれぞれの調査対象地域に相当する）に対する連想確率の統計的検定はこの局所的方法にあたる。

いま、母集団1と2に対して、刺激語 w_i を与えたときに連想語 w_j を連想する確率を各々 p_{ij}^1 及び p_{ij}^2 としよう。そこで、仮説 $H_p: p_{ij}^1 = p_{ij}^2$ を検定する問題を考えよう。先に定義した量 \hat{p}_{ij} は連想確率 p_{ij} の推定量であるから、この量に関連した統計的検定の方法を考えることができる。すなわち、 2×2 分割表の考え (Conover, 1971) に従って、

$$\begin{aligned} \theta_{11} &= u_{ij}^1, & \theta_{21} &= u_{ij}^2 \\ n_1 &= \bar{u}_i^1, & n_2 &= \bar{u}_i^2 \\ \theta_{12} &= n_1 - \theta_{11}, & \theta_{22} &= n_2 - \theta_{21} \end{aligned}$$

とおく。ここで、 u_{ij}^k , \bar{u}_i^k , $k=1, 2$ は各々の母集団における連想頻度を示す。そこで、

$$T = \frac{(n_1 + n_2) (\theta_{11} \theta_{22} - \theta_{12} \theta_{21})^2}{n_1 n_2 (\theta_{11} + \theta_{21}) (\theta_{12} + \theta_{22})} \quad (1)$$

を計算し、自由度1のカイ二乗分布と比較することで検定を行うことができる。

注意 次章に示す例では、次式で与えられる標本の大きさに対する条件 (Conover, 1971) も考慮している。

$$\begin{aligned} \frac{(\theta_{11} + \theta_{21}) n_1}{n_1 + n_2} > 5, & \quad \frac{(\theta_{12} + \theta_{22}) n_1}{n_1 + n_2} > 5 \\ \frac{(\theta_{11} + \theta_{21}) n_2}{n_1 + n_2} > 5, & \quad \frac{(\theta_{12} + \theta_{22}) n_2}{n_1 + n_2} > 5 \end{aligned}$$

連想確率の検定は図1の左上部分に位置付けられる。そこで、次に左下部分に位置すべき方法を考えてみよう。クラスター分析に対応する量 s_{ij} と、統計的検定の両方の性質をもつ方法として、類似度の統計的検定が導かれる。

いま、

$$s_{ij} = \text{刺激語 } w_i \text{ あるいは } w_j \text{ を与えたときそれぞれ } w_j \text{ あるいは } w_i \text{ を連想する確率}$$

と定義するとき、先の \hat{s}_{ij} は s_{ij} の推定量である。そこで仮説 $H_s: s_{ij}^1 = s_{ij}^2$ を検定することが考えられる。連想確率の検定と同様に、 2×2 分割表を用いて

$$\begin{aligned} \theta_{11} &= u_{ij}^1 + u_{ji}^1, & \theta_{21} &= u_{ij}^2 + u_{ji}^2 \\ n_1 &= \bar{u}_i^1 + \bar{u}_j^1, & n_2 &= \bar{u}_i^2 + \bar{u}_j^2 \\ \theta_{12} &= n_1 - \theta_{11}, & \theta_{22} &= n_2 - \theta_{21} \end{aligned}$$

とおき、(1) 式の T を計算して、自由度 1 のカイ二乗分布と比較すればよい。

このように、互いに関連した四つの量、 p_{ij} , \hat{p}_{ij} , s_{ij} , \hat{s}_{ij} を用いて、図 2 のように四つの象限が満たされた。図 2 に表された制限連想に対するデータ解析手法の構造は、次に自由連想法に対する手法を導出するために用いられる。

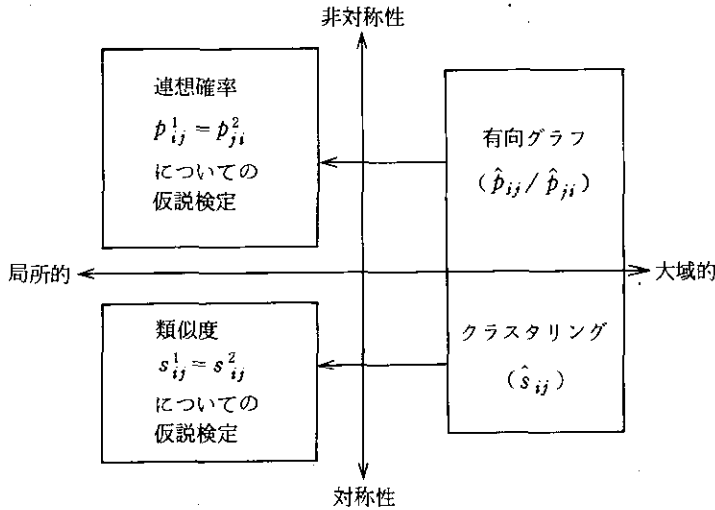


図 2 制限連想に対する有向グラフ表現、クラスター分析、及び仮説検定手法の関係

2. 3 自由連想法に対する方法

自由連想の結果は、単語、句、文、いずれの形をもとり得るが、ここでは、それらを単語を単位として分割して考察する。

いま、 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ を自由連想の結果から選んだ単語の集合とし、 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ を回答者の集合とする。前報 (大井ら, 1986) で述べたとおり X はすべての回答者が連想した言葉の全体を尽すとは限らないことに注意しよう。そこで 0-1 行列 (d_{ij}) , $1 \leq i \leq n$, $1 \leq j \leq m$ を次式で定義する。

$$d_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{回答者 } y_j \text{ が語 } x_i \text{ を連想しているとき} \\ 0 & \text{回答者 } y_j \text{ が語 } x_i \text{ を連想していないとき} \end{cases}$$

ここでの目的は、先の構造 (図 2) に対応した解析方法を導出することである。そのためには、有向グラフを定義するための非対称正方行列とクラスター分析のための対称行列を定義しなければならない。

そこで、

$$\hat{r}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(d_{ki}, d_{kj})}{\sum_{k=1}^m \max(d_{ki}, d_{kj})}$$

$$\hat{t}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m \min(d_{ki}, d_{kj})}{\sum_{k=1}^m d_{ki}}$$

とおこう。 \hat{r}_{ij} と \hat{t}_{ij} はそれぞれ

r_{ij} = {母集団において語 x_i あるいは x_j が連想されたという条件のもとで x_i と x_j が同時に連想される確率}

t_{ij} = {母集団において語 x_i が連想されたという条件のもとで x_i と x_j が同時に連想される確率}

の推定量となることは容易にわかる。

自由連想法においては、上の \hat{r}_{ij} をクラスター分析の類似度にとる。また、有向グラフは前節と同様の定義を \hat{t}_{ij} について行う。

$$a') x_i \rightarrow x_j \iff \hat{t}_{ij} \geq \alpha, \quad \hat{t}_{ij} \geq \beta \hat{t}_{ji}$$

$$b') x_i \leftrightarrow x_j \iff \hat{t}_{ij} \geq \alpha, \quad \hat{t}_{ji} \geq \alpha,$$

$$\frac{1}{\beta} \leq \frac{\hat{t}_{ij}}{\hat{t}_{ji}} \leq \beta$$

さらに、図2の左半面に対応する形で、二つの統計的検定を考えることができる。すなわち、仮説 $H_r: r_{ij}^1 = r_{ij}^2$ 及び $H_t: t_{ij}^1 = t_{ij}^2$ が先と同様に 2×2 分割表を用いて検定される。 H_r の場合、各々の母集団におけるデータ行列を (d_{ij}^1) 、 (d_{ij}^2) とおき、

$$\theta_{11} = \sum_{k=1}^m \min(d_{ki}^1, d_{kj}^1),$$

$$\theta_{21} = \sum_{k=1}^m \min(d_{ki}^2, d_{kj}^2)$$

$$n_1 = \sum_{k=1}^m \max(d_{ki}^1, d_{kj}^1),$$

$$n_2 = \sum_{k=1}^m \max(d_{ki}^2, d_{kj}^2)$$

$$\theta_{12} = n_1 - \theta_{11}, \quad \theta_{22} = n_2 - \theta_{21}$$

において、(1) 式の T を計算し、自由度1のカイ二乗分布と比較すればよい。 H_t の場合は、

$$\theta_{11} = \sum_{k=1}^m \min(d_{ki}^1, d_{kj}^1), \quad \theta_{21} = \sum_{k=1}^m \min(d_{ki}^2, d_{kj}^2)$$

$$n_1 = \sum_{k=1}^m d_{ki}^1, \quad n_2 = \sum_{k=1}^m d_{ki}^2$$

$$\theta_{12} = n_1 - \theta_{11}, \quad \theta_{22} = n_2 - \theta_{21}$$

において、同様にすればよい。このようにして得られた方法の構造を図3に示す。

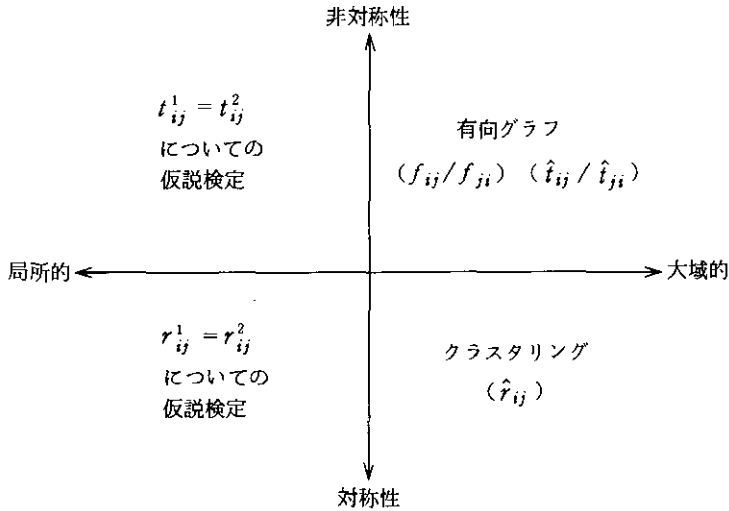


図3 自由連想に対する有向グラフ表現、クラスター分析、及び仮説検定手法の間の関係

注意 ここに示したクラスター分析のための測度 \hat{r}_{ij} は前報 (大井ら, 1986) における自由連想のクラスター分析の類似度とは異なる。すなわち、本論文での (d_{ij}) の定義では回答者 y_i が語 x_j を 2 回以上連想している場合でも $d_{ij}=1$ とされ、 d_{ij} は連想頻度を表さない点が前報とは異なる。したがって、本論文の \hat{r}_{ij} では、頻度の情報は十分に活かされていないとも考えられるが、一方、前報の測度を用いた場合には、統計的検定を導出することができない。このように、両者の優劣を論じることは現時点では難しく、将来の研究、適用結果の比較検討を待つことになる。

注意 なお、大域的解析に対する局所的解析の手法として、他にも様々なものが考えられるであろう。現在のグラフ表現という場をはなれて考えてみると、意識調査データに対する様々な統計、グラフ、ヒストグラムを作成すること自体を、ここでいう大域的解析と考えることができる。その場合の局所的解析として、生データに対するより直接的な検索—情報検索が考えられる。このことを考慮にいれつつ、現在、連想法による調査データに対する情報検索システムを開発している。

3 アンケート調査データへの適用結果

花畑と石岡における制限連想の構造図は前報 (大井ら, 1986) の図4と図5に示すものである。グラフの弧は 2. 2 節 a), b) により定義している。しきい値パラメータ α に二つの値を用いており、 $\alpha=0.15$ に対する弧を太い実線で、 $\alpha=0.12$ に対する弧を細い実線で、 $\alpha=0.09$ に対する弧を破線で表している。いずれの場合も $\beta=1.5$ である。実線で囲まれた領域は、 s_{ij} をもとに階層的アルゴリズムを用いて形成したクラスターを示す。これらのグループは、群平均法 (Anderberg, 1973) によって生成した樹形図から、ある一定のレベルを定めて切り出したものである。さらに、点線で

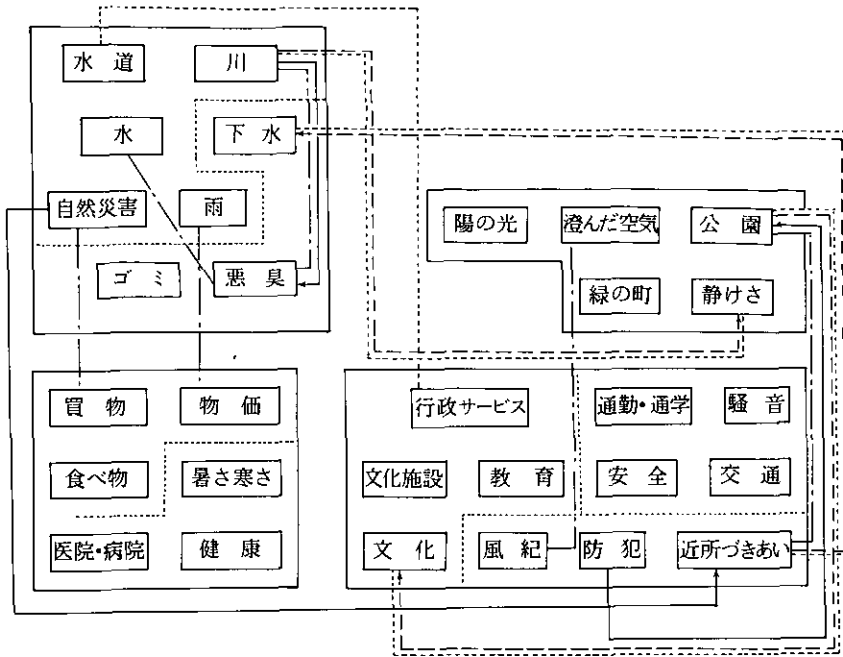


図4 制限連想法に対し、花畑、石岡両地区間の連想確率、類似度検定を行った結果

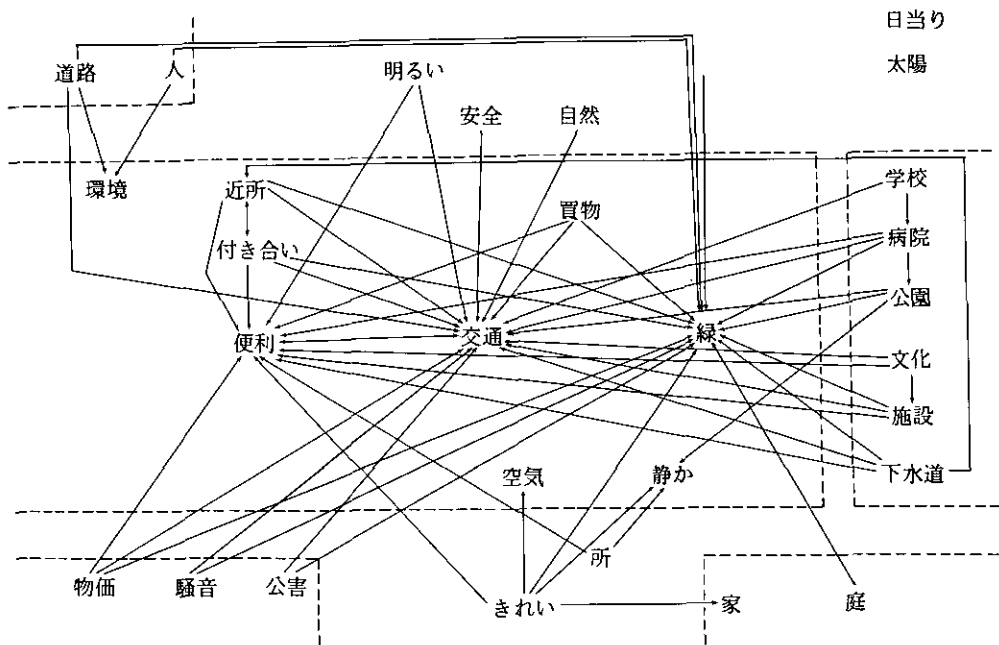


図5 花畑における自由連想法による連想構造図

各々のグループ内に生じたサブグループを部分的に示している。

図4は H_p と H_s の検定の結果を四つの異なる種類の弧で表したものである。ここで、有意水準は1%としている。実線の矢印は花畑における連想確率 p_{ij}^1 が石岡での連想確率より大きいと判定された語の対 (i, j) を $i \rightarrow j$ と表している。破線の矢印は、逆に p_{ij}^2 (石岡) が p_{ij}^1 (花畑) より大きいと判定された語の対を意味する。さらに、一点鎖線は、花畑における類似度 s_{ij}^1 が石岡での類似度 s_{ij}^2 より大きいと検定の結果判定された対 (i, j) を意味し、点線は $s_{ij}^2 > s_{ij}^1$ と判定された語の対を示している。

図5及び図6は、それぞれ花畑及び石岡における自由連想の結果を表した構造図でグラフの弧は2.3節a), b) によって定められている。しきい値は $(\alpha, \beta) = (0.55, 1.5)$ で、両方の図に共通である。破線で囲まれた領域は、 r_{ij} に基づくクラスターで群平均法 (Anderberg, 1973) を用いて制限連想の場合と同様に樹形図から抽出したものである。また、点線は二つの図における最も大きなクラスターに含まれているサブクラスターを示している。

図7は自由連想における仮説 H_s と H_t の検定結果をグラフの弧で示している。有意水準は5%である。実線の矢印は花畑における t_{ij}^1 が石岡での t_{ij}^2 より大きいと判定された語を $x_i \rightarrow x_j$ で示している。破線は、逆に $t_{ij}^1 < t_{ij}^2$ と判定されたことを示している。また、一点鎖線は $r_{ij}^1 > r_{ij}^2$ と判定されたことを意味し、点線は $r_{ij}^1 < r_{ij}^2$ を意味している。

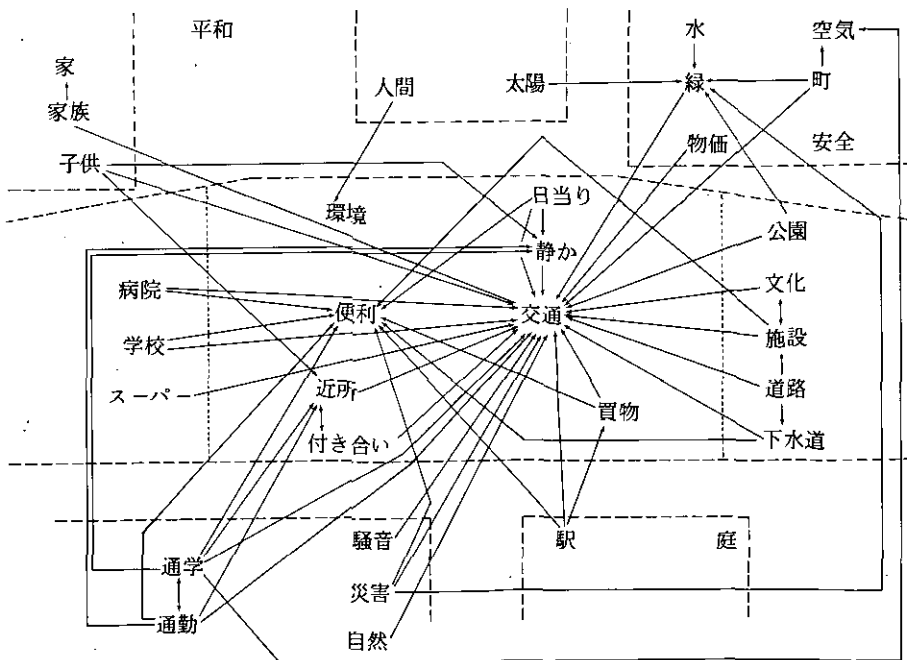


図6 石岡における自由連想法による連想構造図

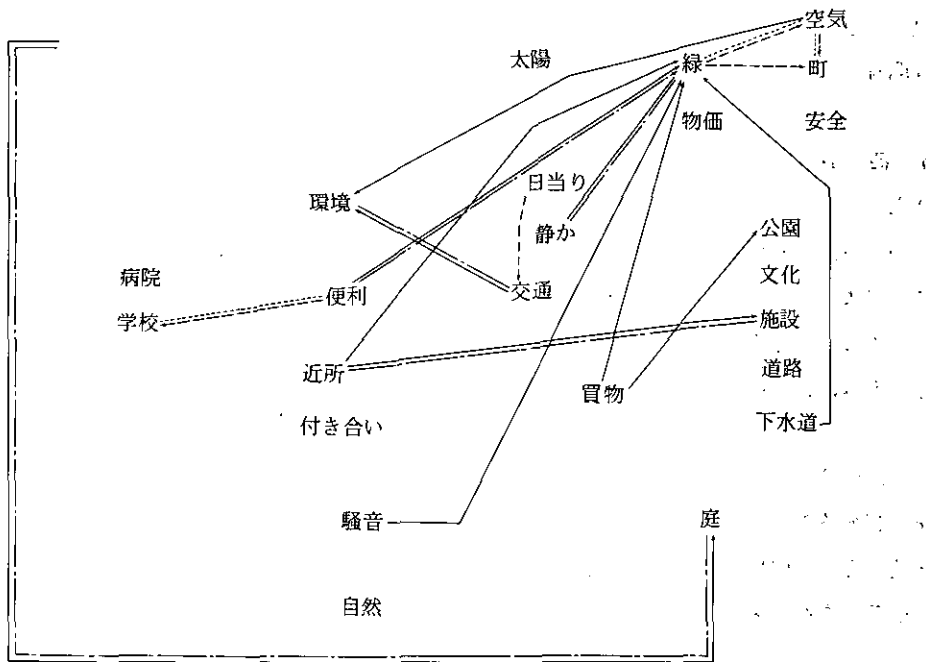


図7 自由連想法に対し、花畑、石岡両地区間の連想確率、類似度検定を行った結果

4 考察

調査結果の意義についての詳しい議論は本報告中の別の論文（大井ら，1986）にゆずり，ここでは，前報の図4，図5及び本報の図4－図7の特徴について簡単にふれよう。

まず，3. 2. 1の図4と5において特徴的なのは，2. 1節に述べた二つの地域の生活環境の違いにもかかわらず，形成されたクラスターが両地区で殆ど同一であることである。これに対して，両地区の生活環境の違いをよく反映しているのは，前報の図4，図5よりも本報の図5の検定の結果である。この図において，花畑では，“川”という言葉は“悪臭”と強く結ばれるのに対し，石岡では，“川”は“静けさ”と関連づけられている。花畑では“公園”は“防犯”に結びつくのに対し，石岡では“文化”との関係がみられる。

本報の図5，図6において特徴的なのは，両地区ともに，“交通”，“便利”という言葉への矢印の集中がみられることである。これは，これらの言葉が連想頻度も多く，かつ，他の様々な言葉との共出現の性質も強いという，いわば普遍性をもった概念としてとらえられていることを示している。二つの地区の主な違いは，“緑”という言葉にみられる。石岡では，この言葉は，“空気”，“町”などとともに小さなクラスターを形成しているが，花畑では，“緑”は最大のクラスターに含まれ，矢印も石岡より多く集中している。明らかに両地区において，この言葉は異なる概念構造のもとで連想されていると考えられる。同様の特徴は図7にもみられ，花畑では，“緑”との連想が様々な

言葉から石岡より強く行われるのに対し、石岡では、“緑”、“空気”、“町”の三つの言葉の関係がより明確である。

5 結 論

2章で示した方法の構造図は、これら八つの手法が開発された後でそれらをまとめたものではなく、むしろ、解析の各段階で方法の構造図を先に作成し、空いた部分に対応する手法は何かを考えることによって個々の手法を作り出していくためのものである。いわば、構造図が手法に先行することによって、様々な方法が、細胞が分裂するように増殖していかなければならない。ここに示した考え方は、様々な対象に対するデータ解析手法の開発を助ける手段として有用ではないかと思われる。

なお、図2に示した局所的-大域的、対称-非対称の構造は、他の様々なシステムにおける解析方法を考察する際に役立つ。例えば、文献データベースの解析（Miyamotoら、1980；1984）の場合、制限連想を文献引用に、自由連想をキーワードの共出現に置き換えれば、ここに示した手法はすべて文献データベースの解析に用いられることがある。

参 考 文 献

- Anderberg, M. R. (1973): *Cluster Analysis for Applications*, Academic Press, New York, 359p.
- Conover, W. J. (1971): *Practical Nonparametric Statistics*, John Wiley & Sons, New York, 493p.
- Miyamoto, S. and K. Nakayama (1980): A hierarchical representation of citation relationships, *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern.*, SMC-10, 899-903.
- Miyamoto, S. and K. Nakayama (1984): A directed graph representation based on a statistical hypothesis testing and application to citation and association structures, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, SMC-14, 203-212.
- 大井 紘・宮本定明・阿部 治・勝矢淳雄 (1986): 生活環境に関する住民の認知空間の広がり構造。国立公害研究所研究報告, 第88号, 225-240.
- Sage, A. P. (1977) : *Methodology for Large Scale Systems*, McGraw-Hill, New York, 445p.
- Warfield, J. N. (1976): *Societal Systems, Planning, Policy, and Complexity*, John Wiley & Sons, New York.

4. 1 環境分析のための情報システム (SAPIENS; Systems Analysis and Planning on Intelligent Environmental iNformation System) の概要

Computer-assisted Information System for Environmental Systems Analysis (SAPIENS; Systems Analysis and Planning on Intelligent Environmental iNformation System)

原沢英夫¹

Hideo HARASAWA¹

要 旨

国立公害研究所総合解析部では、非常に幅広い分野の研究者を擁しており、その研究テーマも多岐にわたっている。従来個々の研究課題で扱われていた環境情報を主として空間スケールに応じて整理し、一元的に管理するとともにこれらの環境情報の持つ意味をより容易に把握・理解し、また第三者に効果的に情報伝達するために情報システムを開発している。

本システムの特徴としては、以下の諸点が挙げられる。

- ① 環境情報の空間スケールに応じた管理
- ② カラー画像を活用した効果的な環境情報の表示と伝達
- ③ 研究に関連する情報の整備 (文献データベース、情報源情報など)
- ④ ミニコン、マイコン、及びカラーグラフィック表示装置を主体とした情報関連機器の活用

Abstract

An effective research program depends on the information derived from large quantities of data, sometimes emanating from different sources. Since a substantial investment in time and resources is needed to gather the data, they should be managed and processed in such a way as to derive the maximum information and they should be available in convenient form to all users.

SAPIENS, an acronym for Systems Analysis and Planning on Intelligent Environmental

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

Information System, is developed for storage, retrieval, analysis, and dissemination of environmental quality data. The unique characteristics of this system are as follows.

- ① Storage and retrieval of environmental quality data on a spatial scale basis (from world-scale to district-scale)
- ② Use of more sophisticated graphics (color graphics) and reporting techniques.
- ③ Management of information in association with research (bibliographic data and source information).
- ④ Application of information processing apparatuses (mini-computer VAX11-780, microcomputer, and color graphics terminal)

1 はじめに

環境指標の算定には、多種多様な環境情報を必要とする。一般に環境情報は、空間的に多次元な属性をもつために（例えば、土地利用は2次元、大気データは3次元）、環境をより正確に記述しようとするれば、非常に多量のデータを必要とする。さらに環境は時々刻々変化するものであり、先の空間軸に加えて時間軸も環境情報の重要な属性となる。また、関心の対象が水環境であるか、大気環境であるかによっても扱うべき情報の種類が大いに異なっていることが環境情報を取り扱う際の困難さを増大している。多量の環境情報を効率的に管理し、その利用をはかるために電算機を活用した情報システムが各方面で検討され、一部では利用が開始されている。

環境情報の一元的管理、利用のための電算機支援システムはマイクロコンピュータなどエレクトロニクスの発展により、比較的安価に構築しえる時代となっている。従来から言われている利用目的に応じた情報システム及びその利用技術の確立が情報システムを実用化する上では、最も重要な検討事項であると考えられる。

NIESの総合解析部においては、多分野にまたがる総合的研究を進めているが、その際多岐にわたる研究分野の情報を活用している。一方、既に報告しているような電算機支援による環境評価システム(ELMES)を整備し、その利用を行ってきた(原料ら、1982)。

現在、ELMES施設及び情報関連機器を活用し、これまでに収集された各分野にわたるデータの一元的管理や部内での共有情報としての活用を目的とした情報支援システムを設計、実用化しつつある。この支援システムをSystems Analysis and Planning on Intelligent Environmental Information System(略称SAPIENS)と名付け、環境指標算定・表示など、その一部の利用が可能となっている。

2 SAPIENSの設計思想

SAPIENSの特徴を挙げれば、機能面では①環境情報の空間スケールに応じた管理、②カラー画像を活用した効果的な環境情報の表示と伝達、に重点がおかれ、③研究に関連する情報については研究テーマごとの参考文献など研究論文の整理と検索、情報源に関する情報(情報源情報)の

整備を進めつつある。また施設、情報関連機器では ① カラー出力画像のハードコピー装置による即時資料化（スライド、ポロライド、カラー印刷物）、② カラー表示型の端末機器の増設、③ 各研究者の利用を促進するために電話配管を利用した各研究室への端末機用通信回線の敷設など、従来の ELMES 施設、機器の活用を図りつつ使い勝手の良いシステムへの改善を行っている。将来的には大型計算機と接続し、高速処理機能や大量データ蓄積機能の活用も計画している。以下 2.1 節で機能面の特徴を 2.2 節で利用面の特徴について紹介する。

2.1 SAPIENS の機能面の特徴

SAPIENS では、環境情報を環境空間スケールに応じて、階層構造をとりデータベース化していることが第一の特徴である。従来 1 km（標準メッシュ）といった標準的、規格的なデータ整備が中心であり、各地方自治体もそれを利用するかあるいはさらに 1 レベル細かい情報（250m～500m）で独自に対象地域をメッシュ化することが行われてきた。標準メッシュあるいはそれに準じたメッシュ単位をとることの利点としては ① 人口、土地利用など既に整備され、即座に利用しうる情報が完備していること、② 電算機による処理が容易なこと、また二次元的な環境情報の処理・表示・結果出力になじむこと、③ 本来、環境情報を得る地域は境界が不定形だが、一たんメッシュ化することにより取扱いが簡単となるなどが挙げられる。

しかしながら、標準メッシュを中心とした体系は県レベル～国レベルの比較的広い空間レベルを対象としたものであり、これよりミクロな環境空間、例えば、地区、街区の居住環境などでは 1 km メッシュでは大きすぎて不十分であり、より居住地、住宅地に密接した空間レベルを対象とする必要がある。一方マクロには世界的なレベルで国同士の環境を比較するには国単位の環境情報が必要となる。この間の空間レベルの階層については表 1 に示したようになる。

原則的には、最小空間レベル（基本単位）を設定したうえでそれを空間的に積分することにより任意の環境空間スケールの環境情報を得ることが可能であるが、例えば、地区レベルの環境情報を全国で収集することは実際上不可能である。こうした環境情報の特性を考慮し、空間スケールに応じて適切な環境情報を収集蓄積するデータ構造をとるシステムを SAPIENS の基本理念として設計している（表 1 にその概要を示している）。最小スケールの各戸別（番地単位）から地球規模まで段階的にスケールを広げている。

SAPIENS の第二の特徴は情報表示の多様性にある。従来数値としての環境情報がコミュニケーションの道具として使われてきたが、多量のデータを数値として表示したのでは個々の数値は把握できても全体の関係を把握することは非常に困難であった。こうした数値による環境表現の欠点を改善する方法としては、① 多項目の数値データを総合化、集約化することにより次元をさげることや、② 図表を活用したカラー画像表示などの情報表示・伝達方法を活用することが挙げられる。SAPIENS では、これらの二つの局面を支援するものであるが、特に環境情報の多次元性を考慮してカラー画像による表示に重点を置き、その表示機器や表示技法の開発に力を入れている。

表1 SAPIENSの全体構成と応用的研究事例

空間スケール			データベースの名称	算定する環境指標の名称	システムの整備状況		応用的研究事例
行政域	環境域	地図 Scale			データ収集	処理・表示	
国際	地球	1 : 200万	国際環境変動 DATA BASE (GET-DATA)	国際環境変動指標	整備済	整備済	・国際環境変動指標表示 →国際レベルの環境変動の把握と予測 (森田, 1985 : 4.4節)
	大陸						
全国	沿岸	1 : 50万	広域環境変動 DATA BASE (NET-DATA)	広域環境変動指標	整備済	整備済	・広域環境変動指標表示 →広域レベルの環境変動の把握と予測 (森田, 1985 : 4.4節)
地方Block	流域	1 : 20万					
都道府県	地域	1 : 10万	水系環境 DATA BASE (WET-DATA)	水系環境変動指標	整備中	未着手	・全国湖沼データベース(天野, 1985) ・河川水質表示システム(原沢, 1985 : 4.2節)
市町村圏		1 : 5万	都市環境 DATA BASE (REN-DATA)	都市環境指標	整備済	整備済	・都市域の環境評価 →東京都大気環境指標、緑ポテンシャル指標の試算と表示(甲斐沼, 1985; 青木, 1982) ・国保受診率分析表示(森口, 西岡) →茨城県全市町村(村上ら, 1984)
市町村	都市	1 : 1万	地区環境 DATA BASE (BEN-DATA)	地区環境指標	着手	整備中	・都市環境表示 →全国約700都市(森口, 1985 : 4.3節) ・土浦市道路周辺環境分析表示(原沢ら, 1981) ・地区快適環境指標の試算と表示 →世田谷区快適環境 MAP の作成 (原沢, 1985 : 2.3節)
町丁字	地区	1 : 5000					
番地	敷地	1 : 500	住宅周辺環境	住宅周辺環境指標	未着手	整備済	・景観評価システム →IPSEN により作成したモニタージュによる住宅地周辺の景観評価(安岡, 1984)

第三に環境情報だけでなく関連情報としての文献情報、情報源情報についての整備も予定している。ここで従来の文献情報システムと異なる点は、一般的利用を指向したものではなく研究目的に応じた形で整備するものであり、研究テーマに即した論文の検索や報告書の参考文献リストの利用など研究を進めるうえでの支援システムと位置づけられる。

2.2 SAPIENS の機器構成と利用面の改善

SAPIENS は既存の ELMES の施設のうち特に、電算機-カラー画像表示装置及び一連の情報入出力機器と、新たに環境指標の表示用に導入したマイクロコンピュータから構成される。特に環境情報では多次的な特性を考慮し、カラー画像を利用した表示あるいはマイクロコンピュータを利用した算定・表示により効果的な表示を行うよう工夫をしている(図1)。特にカラーのハードコピー資料は、表示結果の記録だけではなく研究発表での利用など情報伝達の媒体として重要であり、このための機器としてハードコピー装置を設置し活用している。

また情報支援では、身近に端末装置を置き即座に知りたい情報を検索表示することが研究の効率化を促進する上で必要であり、特に研究集会など即時に研究関連情報が利用しうることが議論を活発にするなどの点から望ましいと考えられる。これを実現するために所内に張り巡らされた内線電話の配管を利用して、ELMES 制御装置(ミニコン VAX11-780)と部内セミナー室、各研究室との間に通信回線を敷設し、端子及びモデムを設置した。現在のところ既存の端末機器を移動させ利用しているが、将来的にはマイクロコンピュータを多機能端末として設置し活用を図る予定である。

3 SAPIENS の応用的研究事例

SAPIENS を活用した研究事例については、次節以下にも示すが他に本報告書のなかで個々に取り上げ詳しく説明がなされているので、ここでは一例を紹介するにとどめ、その他の事例については本報告書の参照箇所を記すに留める。

- ① 全国都市環境算定とこれを用いた分析例(4.3節, 森口, 1985)
- ② 水環境指標の算定と表示例(4.2節, 原沢, 1985)
- ③ 広域環境情報データベースとその表示(4.4節, 森田, 1985)
- ④ 国際環境情報データベースとその表示(4.4節, 森田, 1985)
- ⑤ 地形・自然場に関する指標の計量化と利用(4.6節, 西岡ら, 1985)
- ⑥ パソコンを使った環境現況及び環境評価の表示(4.5節, 甲斐沼ら, 1985)

[利用例: 地区レベルの環境指標の算定・表示]

地区の居住環境を構成する要因には、物的要因、社会的要因、経済的要因があり、ほぼ町丁目程度のスケールで得られるデータが居住者の環境に対する意識に最も影響していると考えられる。より快適な環境を創造するためには、これらの要因との関連性を十分把握することが地区設計などの

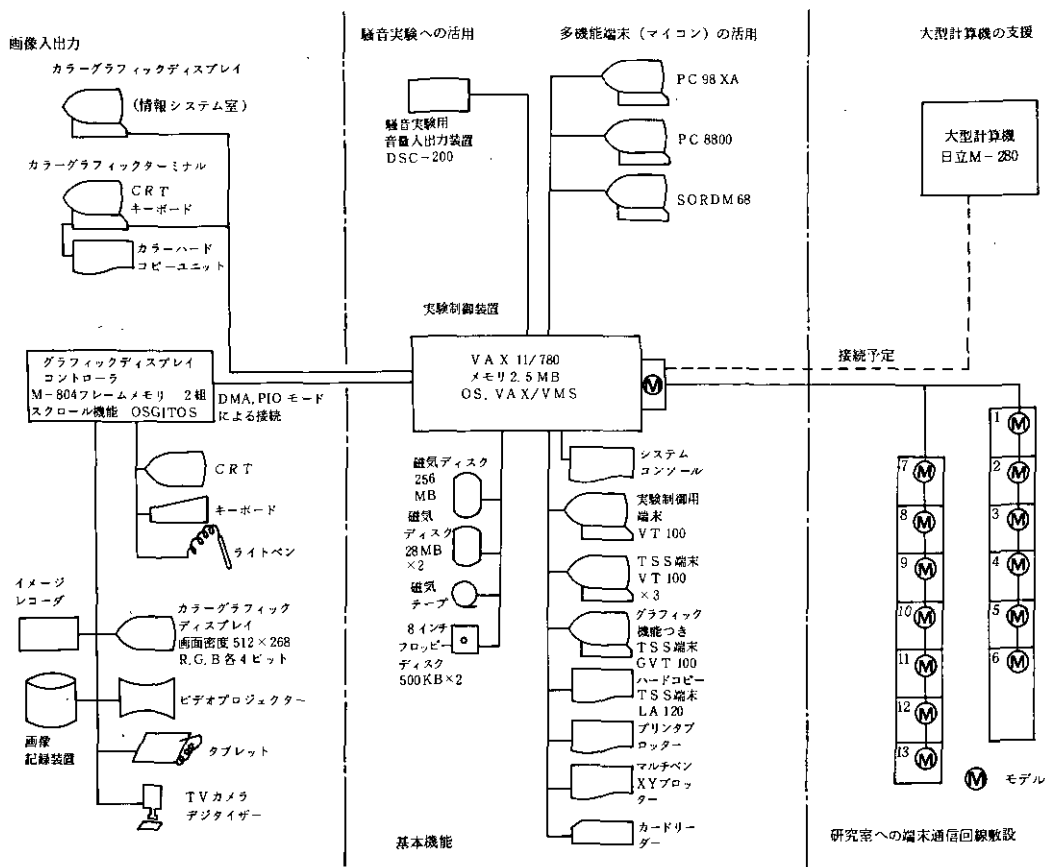


図1 SAPIENSの機器構成

観点から必要である。

町丁目別のデータは比較的スケールが小さいために入手可能なデータ項目が一般に制限される上に、データを整備している自治体も少ない。ここでは、土地利用関連及び人口関連データが町丁目別に整備されている世田谷区について、簡単な表示システムを作成した。利用しうるデータについては他文献に示したのでここでは省略する(本報告書1.2節)。表示システムは各項目別のカラーライスによる表示及び、三原色(赤色、緑色、青色)に各々項目を割当、任意の原色を出力することにより、オーバーレイするカラーオーバーレイ処理が可能となっている。写真1は、三原色に各々赤色:人口密度、緑色:農地率、青色:道路率を割当、同時に表示した例である。各色5段階で濃淡表示しているのので、赤色、緑色、青色の濃淡の程度によって合成される色が決り、おおむね表2のような地区特性の判読ができる。カラーオーバーレイは直観的に地域の特色が判定でき、環境上問題となる地区の抽出などが容易なことが利点として挙げられる。先の世田谷区の例では、赤色、青色の濃い人口が密集し、道路密度が大きな、例えば、幹線道路沿いの住宅地区などが、安全

面、環境面上問題がある地区と推定できる。一方、緑色の濃い地区は、市街地内にあつて、比較的緑の豊かな地区を形成していると考えられる。

表2 カラーオーバーレイによる地区特性の把握

赤色	緑色	青色		人口密度	農地率	道路率	地区特性
淡	淡	淡	薄灰色	小	小	小	未利用地
淡	淡	濃	青色	小	小	大	市街地中心部
淡	濃	淡	緑	小	大	小	郊外部
濃	淡	淡	赤	大	小	小	住宅団地
淡	濃	濃	黄色	小	大	大	郊外都市化地域
濃	淡	濃	紫	大	小	大	市街地(密集地区)
濃	濃	淡	オレンジ	大	大	小	郊外の住宅団地
濃	濃	濃	白	大	大	大	農地混在型市街地

4 おわりに

現在各方面で大規模な環境情報システムが計画され、一部では稼働を始めている。しかしながら、システムのハードウェアの整備が中心であることが多く、その利用技術については余り議論されることがなく、利用者側から言えば未だ使い勝手の良いシステムとなっているとは必ずしも言えない。SAPIENSは、従来NIESの総合解析部が研究課題として取り上げ実施してきた研究の中で、収集した情報を一元的に管理活用すべく計画設計したものであり、利用目的に即したデータをその対象としていること、さらに、多次元情報の指標化や画像表示による集約化など多様な表示・伝達の機能を持つことが特徴である。SAPIENSで研究テーマ毎に収集・蓄積しているデータは空間スケール毎に集められたものであり、関連項目を全て集めたものではないが、利用目的に応じた形で活用されてきたデータであり、これらのデータとデータ活用技術を有機的に組み合わせることにより、研究支援のための有効なシステムとなりうるとともに、現在各機関で計画中の環境情報システムの一つの原型(プロトタイプ)となりえると考えられる。

参 考 文 献

- 天野耕二(1985):全国湖沼データベースの概要について、総合解析部セミナー資料。
 青木陽二(1982):緑地環境水準の評価指標の算定方法に関する研究、第17回日本都市計画学会学術研究発表会論文集、481-486。
 甲斐沼美紀子(1985):環境情報の「表示・コミュニケーション」の道具としてのパーソナルコンピュータ。環境情報科学、14(1)、47-51。
 甲斐沼美紀子・後藤典弘(1985):パソコンを使った環境現況の評価及び環境評価の表示。国立公害研究所研究報告、第88号、293-305。

- 西岡秀三・森保文・森口祐一 (1985) : 地形・自然場に関する指標の計量化と利用. 国立公害研究所研究報告, 第88号, 149-165.
- 原沢英夫 (1985) : 水環境指標算定・表示のための計算機支援システム. 国立公害研究所研究報告, 第88号, 263-273.
- 原沢英夫・西岡秀三 (1981) : カラー画像表示システムによる環境診断について. 土木学会第6回電算機シンポジウム講演論文集, 5-8.
- 原科幸彦・原沢英夫・西岡秀三 (1982) : 環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究. 国立公害研究所研究報告, 第37号, 150p.
- 森口祐一・甲斐沼美紀子・西岡秀三 (1985) : 全国の都市環境指標表示システムとその効用. 国立公害研究所研究報告, 第88号, 275-281.
- 森田恒幸・猪爪京子・森口祐一・西岡秀三 (1985) : 広域的な環境変動解明のための支援情報システム. 国立公害研究所研究報告, 第88号, 283-291.
- 村上正孝・小川清・森口祐一・西岡秀三 (1984) : 国保と健保加入者の受診構造についての検討. 日本公衆衛生雑誌, **30**(4), 177-185.
- 安岡善文 (1984) : 画像情報による環境の評価. *Computrol*, **14**, 74-81.

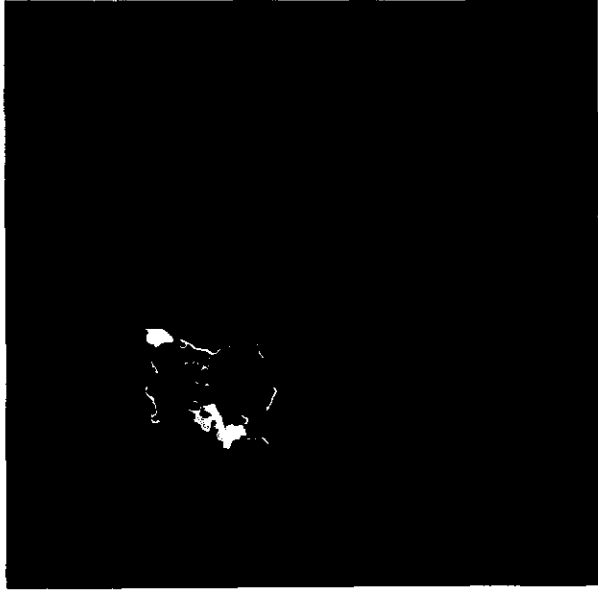


写真1 カラーオーバーレイによる地区環境の把握
(世田谷区の例)

4. 2 水環境指標算定・表示のための計算機支援システム Computer-assisted Graphics System for an Effective Presentation of Water Quality Indices

原沢英夫¹

Hideo HARASAWA¹

要 旨

水環境を総合的に評価するためには、個々の水質項目で表される情報を集約化、指標化したり、また個々の水質データを多次的に表示することが効果的である。本報告では、多摩川の河川水質データをもとに総合水質指標化及び多次元表示技法を水質データベースと有機的に結合した計算機を活用した情報システムを紹介する。本システムでは特に指標、多次元水質データのカラー画像表示を中心としており、① 原データの表示、② WQI 算定表示、③ 時間的、空間的プロット、④ 相関図の表示などの機能を持っている。

Abstract

Water quality indices are viewed as an effective technique for reporting water quality data, examining trends, and evaluating the effectiveness of water pollution control program. Multi-dimensional graphs to display water quality data are also effective ways of presenting the information.

Computer graphics system is developed to deal with water quality indices and multi-dimensional graphs more easily.

The characteristics of this system are as follows:

- ① Graphical display of the original data of water quality
- ② Calculation and graphical display of the water quality indices
- ③ Display of multi-dimensional water quality profile
- ④ Graphical correlation analysis

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

河川水質に関しては、これまで多くの水質データが収集蓄積されてきており、全体のデータ量は膨大な量に達していると考えられる。従来各機関別に収集蓄積されてきた環境情報はどのくらいの量に達しており、またどのように利用されているかを例示するため、特に公共用水域の環境基準評価に用いられる水質データについて概観してみる。表1は、ここ数年来、公共用水域で測定された水質データのデータ数について一覽である。例えば、昭和57年度について見ると、健康項目で約18万7千検体、生活環境項目では約42万7千検体に及んでおり、毎年同程度のデータが蓄積されていることから、その総量は膨大なものとなっている。

表1 測定計画に基づく測定地点数及び、調査検体数の推移

	昭和52年	53年	54年	55年	56年	57年
健康項目(有害物質)						
河川	3,554	3,570	3,544	3,651	3,677	3,694地点
湖沼	246	249	237	246	237	230 〃
海域	1,300	1,242	1,215	1,283	1,281	1,351 〃
計	5,100	5,061	4,996	5,180	5,195	5,275 〃
(総検体数)	(206,394)	(190,844)	(184,495)	(188,484)	(186,915)	(186,770)
生活環境項目						
河川	3,868	4,009	3,978	4,073	4,129	4,165地点
湖沼	292	354	330	350	366	371 〃
海域	2,177	2,187	2,053	2,124	2,125	2,178 〃
計	6,337	6,550	6,361	6,541	6,620	6,714 〃
(総検体数)	(403,460)	(417,507)	(419,623)	(425,735)	(430,395)	(426,593)

これらの水質データは、公共用水域について各自治体がいわば義務として測定しているものである。しかしさらに、自治体で独自の水質調査や上下水道の日常的監視業務のための水質測定、各大学、試験研究機関が独自に実施している水質調査のデータが個々に収集蓄積されており、これらを加えると、全体ではその数は相当膨大な量に達していることは疑いない。

こうした水質データの有効利用については、先の公共用水域の水質データを例にとれば、現状把握、特に環境基準達成度の評価に利用されるのみで、情報そのものは国レベルで一元的に蓄積・保管されているが、積極的な活用は十分なされていないのが現状である。

一方、環境情報を有効に活用すべく、国レベル、地方自治体レベルで環境情報システム、あるいは環境監視システム等が設計され、実用化されつつある。しかし現段階では、システムの中核となる電算機や周辺機器などハード面の設計が中心であり、いまだ十分に情報システムの利用(ソフト面)についての議論はなされておらず、環境情報についての具体的な利用技術についての蓄積もほとんどないのが現状である。先に挙げた水環境に関する情報の有効利用については、例えば米国、英国など諸外国では進んでいる。米国では1963年以降 STORET (STORAGE and RETRIEVAL of water

quality data) と書いた全国レベルの水質情報システムを構築し、公開利用されている。参考までに各国で実用化されている水質情報システムの概要について、表2に示した。これらのシステムは、当初は水質データについて『可能な限り多種多様な』情報を蓄積するという方針で、どちらかと言えば、ハードウェア先行型のシステムであったが、利用を進めるに従いデータベースの問題点も明確となり、それを改良しさらに積極的な活用を図るために入力データの精度向上、水質関連情報の整備、データベースの融通性の向上、利用者のトレーニングなどシステムの利用に力点が置かれるようになった。

以上水質情報について概観したが、環境全般を対象とした環境情報データベースも同じような傾向をもっていると言える。環境情報などデータベースの意義として、廣崎(1982)は、①情報の蓄積、②情報の整理、③情報の提供を挙げている。①はデータの蓄積それ自身に意義があるとするものであり、②は情報を有機的・体系的に整理することにより、利用者が容易にかつ効率よく情報を利用(情報の提供)できるようにするものである。②、③に関しては、Newsome(1980)は実用化されている水質データ管理システムに共通する特徴として、

- ・種々の目的、機関で収集された水質データの関連づけ
- ・多くのデータの統計的解析によりデータの信頼性の向上を図る
- ・データの相互比較を可能にする。
- ・水質データの多目的利用

等を挙げている。

また、環境データを一元的に管理する上での技術的な問題点として、廣崎は、次のことを挙げている。

- ・データの比較可能性—サンプリング方法、計測方法、測定項目の標準化
- ・欠測値、異常値の処理—異常値の判定法、欠測値の処理
- ・データの要約方法—大量データの時間的、空間的要約方法

さらに情報提供の機能を効果的に発揮させるためには、原データの提供、外部データとの対応、解析支援機能の充実についての検討が必要であるとしている。

以上のように、環境情報の活用を図るべく、電算機の支援によりシステム化するうえでの問題点を列挙すれば、次のようになる。

①データの質について

収集条件、精度、分析方法に関する二次的情報の欠如、例えば水質データでは、解析上重要な情報である流量データの欠如。

②データの量について

入力形態、蓄積方法、更新・入力などデータの管理

③利用方法

公開利用、ユーザーの情報登録、利用の制限

表2 諸外国の水質データ管理システムの概要 (Suess, 1982ほかより作成)

	STORET (STORage and RETRieval of water quality data)	NAQUADAT (NATIONAL water QUALity DATa bank)	Water and Air Pollution Research Laboratory system	EIS-01 システム (Environmental Information System-01)	WAP 2 (Water Archive Phase 2)
① 国	米 国	カ ナ ダ	スウェーデン	スウェーデン	英 国
② 運営・ 管理	EPAの水質有害物質局	環境局の水質部門*	Water and Air Pollution 研究所	環境情報委員会	水質データユニット (Water Data Unit)
③ 利用者	EPA(本庁、地方事務所、 研究所)、州政府、地方自 治体(市、郡)、農務省林野 部、陸軍工兵隊、内務省地 質調査局、テネシー溪谷開 発公社、カナダ政府機関		研究機関、政府機関、自治 体、産業界、水質研究所 (デンマーク)	政府機関、研究機関、民間 開発者	水質データユニット 水関連の行政機関
④ データ の種類	<ul style="list-style-type: none"> ・水質データ ・家庭排水、工場排水など 処理施設関連データ ・魚類の死滅事故データ ・下水処理場の建設コスト データ 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質データ ・サンプリング条件データ ・ディクショナリー情報 (測定単位、単位変換係 数、水質項目の上下限 値) 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質データ (水理・気象・生物デー タ) 	<ul style="list-style-type: none"> ・汚染源(工場排水、下水 処理場など)関連データ 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質データ ・サンプリング関連データ (採水地点、時間、…) ・施設関連データ
⑤ 特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・データ入力、維持管理は 全て利用者の責任で端末 機より行われる。 ・NSFWQIなどの算定に 利用しうる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・データの入力形式が自由 ・種々の出力形式(作表、 統計分析) 	<ul style="list-style-type: none"> ・水質データの値や属性を 厳重にチェック ・水理、気象、生物データ への拡張 	<ul style="list-style-type: none"> ・EIS システムの一環と して水質データシステム を含む。 ・汚染源関連データを蓄積 ・監督官庁へ報告 	<ul style="list-style-type: none"> ・水管理(監視、水資源計 画)のためのシステム ・気象、水理データの他に、 水利用関連データ(レク リエーション、アメニテ ィー)も扱いうる。 ・扱えるデータ項目は限定 していない。

*Water Quality branch of the Department of the Environment in Ottawa, Canada

④利用技術の提供

統計計算，作表，画像出力

これらの諸点は，環境情報の有効利用を図るべくシステム化する場合に問題となる点である。

2 水環境指標の算定・表示システム

水環境指標のうち，特に水質総合指標として著名な NSFQI は，米国の STORET を活用し算定表示できることが特徴であり，データベース管理・運営主体が，そうした指標作成・表示のためのソフトウェアパッケージを提供している。ここでは河川水質データを収集整理し，データ表示及び指標算定表示を目的としたシステムについて述べ，具体的な利用例を示す。

対象とした河川は，図1に示した多摩川本川であり，水質年鑑（環境庁水質保全局）より1978年～1982年の主要な水質データを収集，パンチレディスク上にファイル化している。水質指標算定表示システムの概要を図2に示した。

データリストは，水質データを項目別，地点別に表形式で出力するものであり，データ値，欠測，N. D. のチェック，及び河口からの距離，各点の環境基準値の類型が出力される。出力事例を図3に示した。本システムの表示装置としてはカラーグラフィック端末装置（TEKTRO4106）を用いているため，カラー表示ができるとともに，カラーのハードコピー（インクジェット式）がとれる。

単に入力しているデータを出力するとともに，NSFWQI や別途示した水泳・水遊び指標，ポー

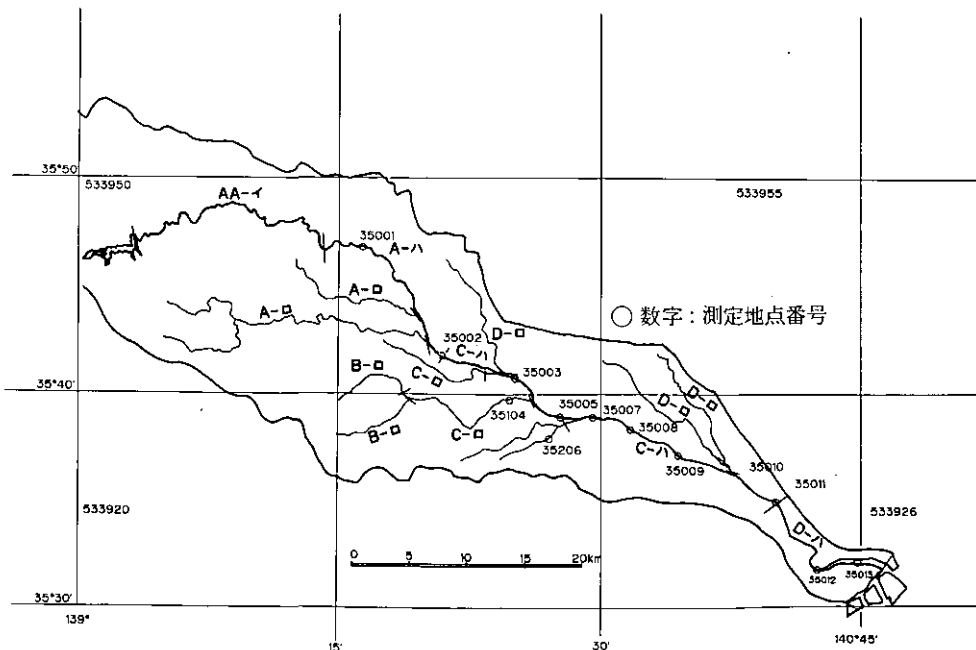


図1 多摩川の水質測定点と環境水準

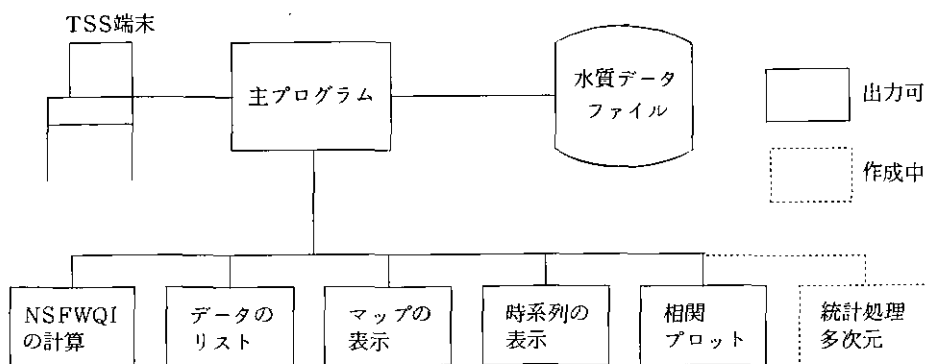


図2 電算機支援による水質データの表示システム

水質項目 7月	WQIA	河川からの 距離—km	環境 基準	1977	1978	1979	1980	1981
35001	調布橋	59.80	A	80.25	78.87	78.48	79.47	80.03
35002	拝島橋	47.50	A	68.58	71.21	71.53	76.07	73.90
35003	田野橋	39.90	C	61.92	72.19	68.93	74.65	72.15
35104	高はな橋	2.00	-	62.02	66.70	63.62	66.12	66.98
35005	間石橋	34.50	C	64.43	70.07	67.16	72.96	72.66
35206	報恩橋	0.60	-	--	--	--	64.54	66.61
35007	是政橋	31.50	C	--	--	--	70.32	--
35008	多摩川 多摩橋	28.10	C	66.90	67.00	61.98	70.16	66.21
35009	多摩川 多摩橋	23.00	C	66.67	70.87	68.02	70.80	69.25
35010	二子橋	17.80	C	63.33	69.31	60.81	68.99	66.52
35011	田園調布橋	13.40	C	55.85	58.34	60.89	65.55	67.58
35012	六郷橋	5.60	D	--	--	--	--	69.66
35013	大師橋	4.10	D	--	--	--	--	76.29

217

1 : FLOW 4 : DO 7 : ECOL 10 : NH4 13 : PO4 16 : HARD 19 : CL
 2 : W. T. 5 : BOD 8 : FHEN 11 : NO3 14 : T-P 17 : ALK 20 : ABS
 3 : PH 6 : SS 9 : FE 12 : T-N 15 : TURB 18 : SO4
 21 : ADDWQ1 22 : MULWQ1 23 : SWIM 24 : SOAT 99 : RETURN
 INPUT PAR NO. & MONTH

図3 水質データの出力例 (NSFWQI-加重和, —は欠測)

ト利用のための指標を算定・表示できる (原沢ら, 1985, 本報告書 2.1 節)。NSFWQI を算定し、経年的な比較ができるように時系列表示したものが、図4 である。三次元的な表示を行うことにより、経年的な地点の比較が非常に明確に把握でき、水質上問題となる水域を特定しうる。

図5 は、水質値を平面的に BLOCK マップとして表示したものであり、水質値に比例した幅を持つ BLOCK で示すとともに、カラーで5段階表示するようにしているので、直観的な汚濁状態の把

6月
水質項目 BOD5 mg/l

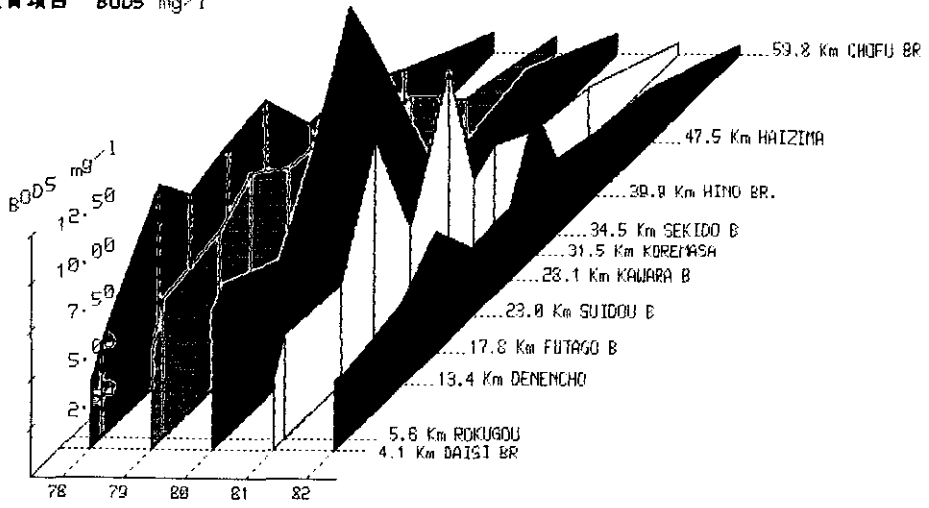


図4 水質 (BOD) の経年的・地点別プロット

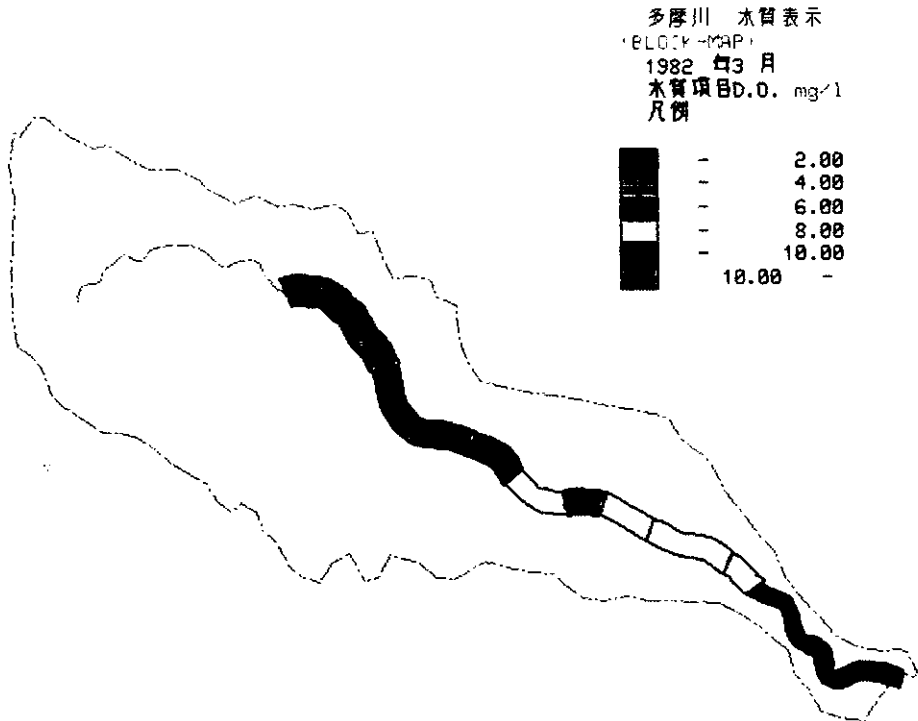


図5 Block マップの表示例 (DO)

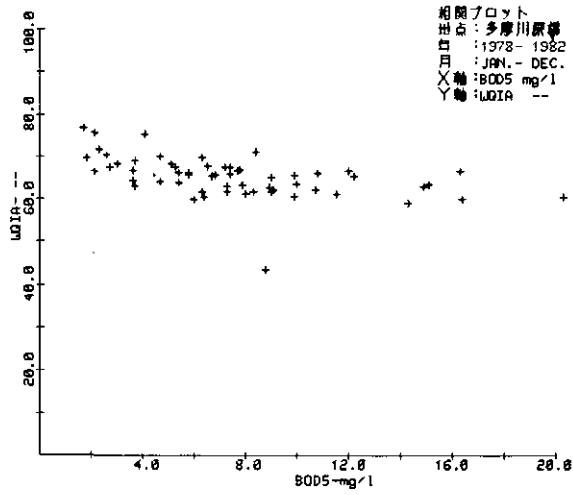


図6 BODとWQI (加重和) の相関プロットの例

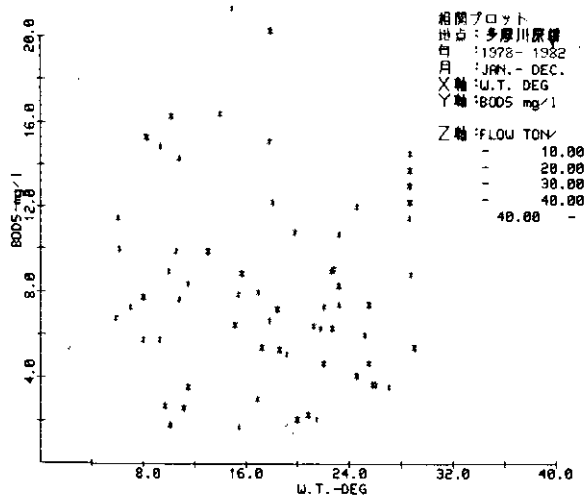


図7 水温 (WT), BOD, 流量の表示例

握ができ地理的な位置も確認できる。

表示システムでは、さらに統計算定用のルーチンを備えており、例えば、水質データの相関をみたい場合には、自由形式により次のようなキー入力することにより、相関マップが描かれる。

例1 BOD*WQIA PO=8

例2 WT*DO*FLOW PO=8

ここで、例1では、地点(PO)8、年=1978~1982年、月は1~12月についてBOD対WQIA(加重和によるNSFWQI)の相関プロットが得られる(図6)。同じく例2はプロットを三次元的に表示するために、横軸にBOD、縦軸にDOをとり、流量(FLOW)を値によりカラー表示したものである(図7)。

こうした処理の他にも、今後は箱ひげ図による地点別、経年変化の表示、回帰直線の算定、フェースチャートによる多次元表示などを組み込む予定である。

3 おわりに

水質データについてみたように、全体としては非常に多量なデータがこれまでに収集、蓄積されてきている。これらのデータを活用し、より環境現象の解明に繋げることが理想的であるが、いざ環境指標を作成しようとしても、必要な項目がないか、又は一部欠測であることが多い。単に既存のデータを一箇所に集積し、電算化することは電算機資源(処理能力、蓄積能力)を無駄にする可能性が高い。既存データの有効利用を図るべく計画されている電算機支援システムの有るべき姿が、今後より一層議論されるべきであろうと思われる。本報告では指標算定・表示を目的として水質データを収集し、実際に表示システムを作成してその問題点などを示した。今後は、こうした目的型の研究を進めるなかで、環境データ、システムのあり方を考えていく予定である。

参 考 文 献

- 藤原正弘・大島高志・姫野純子(1979): 諸外国の環境情報システムについて (I). 用水と廃水, **15**, 573-581.
- 藤原正弘・大島高志・姫野純子(1979): 諸外国の環境情報システムについて (III). 用水と廃水, **15**, 1061-1071.
- 原沢英夫・内藤正明(1986): 水環境指標の作成. 国立公害研究所研究報告, 第88号, 59-76.
- 廣崎昭太(1982): 環境情報のデータベース, 環境情報科学, **11**(2), 25-32.
- 環境庁水質保全局監修(1979-1985): 全国公共用水域水質年鑑(1979年~1984年版). 芙蓉情報センター.
- Newsome, D. H. (1980): Archiving Data-An Archivist's Viewport. In: River Pollution Control. (ed.) M. J. Stif. Elis Horwood Limited.
- Suess, M. J. (ed.) (1982): Examination of Water for Pollution Control. Vol. 1, Sampling Data Analysis and Laboratory Equipment. Pergamon Press, 360p.

4. 3 全国都市環境指標表示システムとその利用

Construction and Utilization of the Computer-aided Presentation System for the Nation-wide Urban Environmental Indices

森口祐一¹・甲斐沼美紀子¹・西岡秀三¹

Yuichi MORIGUCHI¹, Mikiko KAINUMA¹ and Shuzo NISHIOKA¹

要 旨

環境指標は一旦統一的に計算されれば、日本全国の環境を横断的に把握し、都市と都市との環境を比較して地域別に有効な政策を考慮するのに利用できよう。環境指標研究の一環として指標がこうした用途に効率的に利用されるよう指標をわかりやすく表示する電算機システムを作成した。ここではそのシステムの概要とシステムの利用の実例を示す。表示システムの基本機能には、日本地図上に都市ごとのデータをカラー表示する地図表示機能と、ヒストグラムや散布図表を表示するグラフ表示機能があり、このほか、表示した個々のデータを画面から検索する機能がある。これらを組み合わせることにより、データ全体と個々のデータを同時に視覚的にとらえることができるのが本システムの特徴である。

また、このシステムの利用の実例として OECD 型都市環境指標の試算結果の表示を行った。試算は既存の統計等をもとに全国の市について簡便な方法で行ったものである。試算した指標をこのシステムによって様々な形で表示することによりいくつかの興味深い結果が得られたことを実例で示し、こうした支援システムが指標の利用に当たって効率的に活用できることを示した。

Abstract

Environmental indices are sometimes used to comprehend the nation-wide view of the environment or to compare the environment of one city with another. In order to understand what these environmental indices mean, a computer-aided presentation system with graphic display was designed. In this paper, an outline of this system is described, with its utility illustrated by an example.

Presentation system consists of "map menu" that shows the indices by colored dot on the map, and "graph menu" which shows the indices as a histogram or a scattergram. Besides them, "look up menu" which refers the data from display-screen can be used. The

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

combination of these menu provides effective ways to investigate the nation-wide environmental situation not only as a whole but also their component parts.

As an example of utility of this system, urban environmental indices proposed by OECD are calculated experimentally and displayed on the system. As the calculation of the indices are performed by the use of statistics in hand, more simplified quantifying method than proposed by OECD is used. Still, calculated indices displayed on the system as maps and graphs show some suggestive facts to environmental considerations.

In consequence, the presentation system like this can be applied effectively in utilizing indices.

1 はじめに

環境指標はさまざまな地域スケールで取り扱われる。一つの数字で日本全国の環境の状態を表すこともあれば、ある一地点の環境の状態を表すこともある。これらの地域スケールは指標の利用用途によって決まってくるものであるが、日本全国の環境を横断的に把握するような場合には、都道府県や市町村を単位とすることが多く、また、ある都市とある都市との環境の比較を行うといった利用ニーズも比較的多いと考えられる。ここでは、日本全国の都市について、指標を地図、グラフなどの形でわかりやすく表示するシステムについて紹介するとともに、OECDで提案された考え方に基づいて日本全国の都市について都市環境指標を試算した結果を用いて、この都市環境指標表示システムがどのように利用されるかを述べることにする。

2 表示システムの機能

ここで述べる都市環境指標表示システムの機能は図1に示すとおりであり、基本的には地図表示とグラフ表示からなる。地図表示機能は、線画で描いた日本地図上に都市（行政単位としての市及び区）ごとに数値データに応じた色の点を表示するものである。通常は、最大値（赤）から最小値（青）までを十区分で色分けするが、区分の数は自由に設定することができ、また、区分の方法も①最大値と最小値の間を等分する、②度数分布をとり、10%値きざみで区分する、③区分の範囲を任意の数値に設定する、といったいくつかの方法を用意している。また、全国地図だけでは都市の密集地域について読み取りが困難なため、クロスヘアカーソルで指定した任意の地域を拡大表示することが可能である。一方、一画面を四つに分割して、4面の地図を表示することができ、ある指標とある指標とで全国分布がどのように違うかを比較するといった場合に便利である。

グラフ表示機能としては、ヒストグラム表示と散布図（スキヤッタグラム）表示がある。散布図表示は一般には2変数の相関関係の表示に用いられるが、カラー表示の利点を生かしてプロットする点の色に第3の変数を割り当てることにより、3変数の関係の表示が可能となる。

さらに本システムの特徴として、これら地図、グラフ表示に共通して利用可能な機能に検索機能がある。これは、地図、あるいはグラフ上で対象とする点や領域をクロスヘアカーソルで指定することにより、そこに含まれるデータの内容が端末機に表示されるものである。例えば、散布図表示

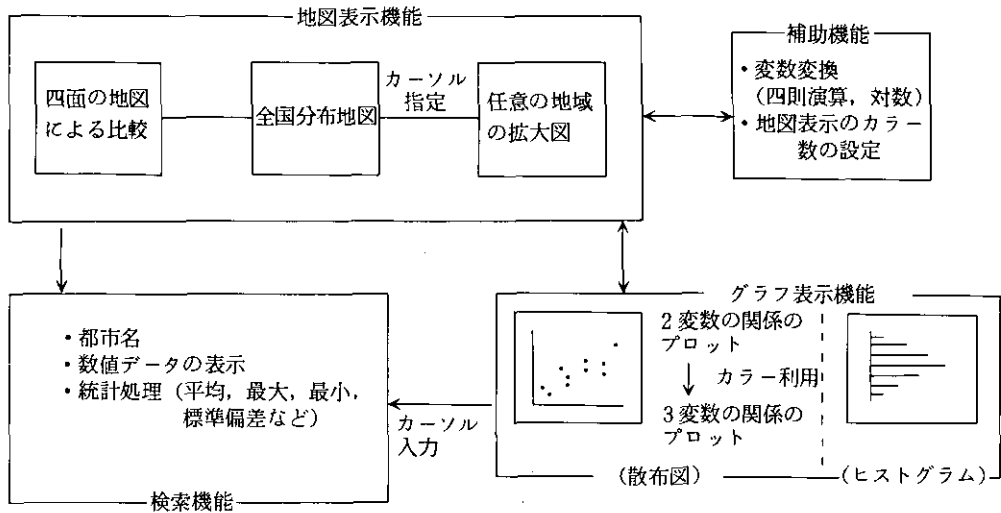


図1 都市環境システム表示システムの機能

を行って、全体の相関関係から著しくはずれた点があった場合、それがどの都市のデータなのかを知ることができる。

これらの機能を組み合わせることにより、データ全体を見ることと個々のデータをみることの両方が可能であり、計算された指標を解釈するうえで効果的に利用される。

3 OECD 型都市環境指標の試算

このシステムの利用例として OECD 型都市環境指標の表示例を後に紹介するが、ここではその算定方法について簡単に述べる。ただし、本章では、算出された指標をどう利用するか、指標を用いてどんな解析が可能かを例示することを目的としており、指標そのものの計量化、算出方法は必ずしも範囲、内容、計算手法を十分吟味したものでない。計量化の方法については、本報告書にもいくつかの手法で紹介されているとおり、別途個々の項目ごとに詳細に検討すべきものであることはいうまでもない。

OECD の提案した都市環境指標については、既に第 1 報 (内藤・西岡, 1984) 2.2.1 で紹介してあるが、それによれば、その項目構成は広義の環境指標、さらには社会指標までを含むものとされている。すなわち、表 1 に示すとおり、環境指標としてとりあげられることの多い大気質や水質、騒音といった項目だけでなく、屋内の居住環境 (部屋の広さ、衛生面など) や利便性 (商業サービス、交通サービス、教育サービスなど) までを含めている。

これらの項目すべてについて、計量化の方法案として示されている方法に従って厳密に計算し、指標値を求めることは容易ではなく、さらに多くの都市についての比較を行うことは、極めて困難である。ここでは、全国の全都市について指標値を求めることが目標であることから、既存の各種

表1 OECD 都市環境システムに対応する試算

1. 住居

項目	今回の試算	出典	年度	OECD の指標案
1.1 屋内居住空間	一人あたり畳数 畳数	「国勢調査報告」 総理府統計局	S.55	1部屋あたり x人に至らない住宅の百分比 (例: $x=0.5, 1.0, 1.5$)
1.2 屋外居住空間	DID居住人口比率	「国勢調査報告」 総理府統計局	S.55	1km ² あたり x人以上の人口密度の地域に居住する人口の百分比
1.3 アメニティ及び衛生	下水道普及率	「下水道統計」 日本下水道協会	S.51	専用の浴室又はシャワーのある住宅の百分比
1.4 不動産関係権利保持の安定性	持ち家比率	「国勢調査報告」 総理府統計局	S.55	持家世帯(長期貸借権者を含む)の百分比
1.5 居住のコスト及び入居の難易	住宅敷地価格	「住宅敷地価格調査報告」住宅金融公庫 「全国都市統計総覧」	S.56	特定タイプの住宅に所得の x%以下を支出している世帯の百分比 (例: $x=20\%, 30\%$)

2. サービス及び雇用

項目	今回の試算	出典	年度	OECD の指標案
2.1 商業サービスへの近接性及び質	食料品店数/ 可住地面積	「商業統計市区町村表」通商産業省	S.54	xm 以内で食料品店に行ける人口の百分比(例: $x=400, 800, 1,200, 2,400m$)
2.2 健康サービスへの近接性及び質	病院数/ 可住地面積	「地域経済総覧」週刊東洋経済、「医療施設調査病院報告」厚生省統計情報部	S.55	xm 以内で医者に行ける人口の百分比 (例: $x=800, 1,600, 2,400m$)
2.3 教育サービスへの直接性及び質	小学校数/ 可住地面積	「学校基本マスターファイル(初等中等教育機関)」文部省	S.56	x 分又は xm 以内で小学校に行ける生徒の百分比(例: $x=15$ 分(徒歩又はバス))
2.4 レクリエーションサービスへの近接性及び質	都市公園面積/ 可住地面積	「地域経済総覧」週刊東洋経済、「市区町村公共施設状況調査」自治省財政局	S.55	xm 以内で公共空地に行ける人口の百分比 (例: $x=800, 1,600, 2,400m$)
2.5 交通サービスへの近接性及び質	交通事故死者数/ 人口	「交通統計要覧」警察庁交通局	S.55	1年間に道路上の事故により死亡又は負傷した人の全人口に対する割合 xm 以内で都市公共交通機関の駅まで行ける人口の百分率 (例: $x=400, 800m$)
2.6 防火・救急サービスへの近接性及び質	火災による全損り災世帯数/世帯数	「火災年報」消防庁防災課	S.55	1年間に火災により焼失する居室の百分比
2.7 雇用への近接性及び安全性	自市区内就業者数/ 就業者数	「国勢調査報告」 総理府統計局	S.55	勤務地から x 分以上の場所に居住している就業者の百分比(通常の交通機関を通常の時間に利用して) (例: $x=10, 20, 30, 40$ 分)

項目	今回の試算	出典	年度	OECD の指標案
3.1 大気質	大気汚染物質濃度測定値 ・SO ₂ 年平均値 ・NO ₂ 年平均値 ・O _x 環境基準超過時間数	大気環境年間値・月間値ファイル 国立公害研究所環境情報部	S.55	次の状況にある地域のいずれかに居住する人口の百分比 ³ (1) SO ₂ が年平均で60 μ g/m ³ 又は24時間値で200 μ g/m ³ 以上を年間2%以上観測する地域 (2) 粒子状物質が年平均で40 μ g/m ³ 又は24時間値で120 μ g/m ³ 以上を年間2%以上観測する地域
3.2 水質	(試算対象から除外)			供給される水が下記の基準を下回る日数を乗じた関連人口の百分比 (1) 水が100ml 中に E. Coli を含む場合 (2) 水がいやな味又は色を有する場合 都市化された区域(又は都市化された区域の直径の2倍の区域)内にある居住者1,000人あたりの下記に適した水質をもつレクリエーションのための水域(海岸等の延長) (1) 水泳 (2) 他の水上スポーツ、魚釣、ボート (3) 景観
3.3 騒音	沿道騒音測定値	沿道道路騒音データファイル 環境庁大気保全局	S.55	6時～22時の間、騒音中央値が75, 65, 55, 45 dBA 以上の地域に居住する人口の百分比 22時～6時の間、騒音中央値が55, 45, 35 dBA 以上の地域に居住する人口の百分比
3.4 固型廃棄物処理	収集回数 計画収集区域人口		S.55	
3.5 自然災害への防備	(試算対象から除外)			過去50年間における地すべり地盤沈下、洪水、強風又は地震等の自然災害によって永久に居住不能となった住宅の年平均数の百分比
3.6 気象状況	(試算対象から除外)			日平均気温と特定気温(例えば18℃)との気温差(1)暑い日、(2)寒い日)の年間合計 過去5年間以上の(1)夏期6ヶ月(2)冬期6ヶ月の平均月間降水量 過去5年間以上の(1)夏期6ヶ月の平均日照時間
3.7 土地条件及び都市の景観	雑種地面積比	土地利用面積ファイル 建設省国土地理院	S.52	都市地域内の開発予定地または、荒廃地の割合

統計資料から算出可能となるように計量化の方法を大幅に簡略化して実際に指標の計算を行った。ただし、表1に示す項目のうち、周辺環境及びニューサンスに関する項目(ここには大気質、水質といった一般的な環境指標の項目が含まれる)の一部については、既存のデータが十分でないこと、計量化の方法の適切な簡略化が行えないことから、ここでの算定対象から除外している。

試算は全国の市(政令指定都市については区)ごととし、昭和55年度末現在の全国646市129区を

対象として行った。

4 試算結果を用いた全国都市の環境比較

試算した都市環境指標は先にその概要を述べた都市環境指標表示システムに収録されており、カラーグラフィックディスプレイ上でヒストグラム、散布図、日本地図といった形に出力することができる。また、ここで試算した指標以外の基礎データとして人口、土地利用、産業等に関するデータを蓄積しており、これらとの関係の解析を行うことも可能である。

写真1（本報告書、p. 305 参照）は、屋内居住空間（OECD 都市環境指標の項目1. 1）の指標として採用した一人当たりの畳数の全国分布を地図表示したものである。地図上で屋内居住空間の広い都市（赤くプロットされている都市）は、北陸地方に集中しており、また、三大都市圏を中心とする大都市に屋内居住空間の狭い都市（青くプロットされている都市）が多いことが容易に読み取れる。

こうした単一の指標ごとの全国的把握を行うことが第一の利用用途であるが、これをさらに発展させて複数の指標間の関係を把握することも可能である。写真2（本報告書、p. 305 参照）は、横軸に商業サービスへの接近性（指標2. 1、縦軸に住居のコスト（指標1. 5）をとり、さらにプロットする点の色で屋内居住空間（指標1. 1）を表して、3変数の関係を表示したものである。まず、地価の高い大都市部ほど利便性は高いが屋内居住空間は狭くなるという、直観にあった一般的な傾向を読みとることができる。さらに詳細にみると、例えば、地価が高いわりに屋内居住空間の広い特異的な都市について、この表示システムの検索機能を利用することにより、その都市が芦屋、鎌倉といった高級住宅地として全国的に有名な都市であることがわかる。一方、統計的手法を用いることも、ここで試算した指標を総合的に解釈する強力な手段である。図2は、住居に関する五つの指標（指標1. 1～1. 5）を主成分分析にかけ、その第1主成分を横軸に、第2主成分を縦軸にプロットしたものである。これをもとに都市のグルーピングを行えば、屋内居住空間、屋外居住空間とも狭く、地価の高い大都市型、屋内居住空間が広く、持家率の高い北陸型及びその他、の三つに大別されよう。大都市型とその他との中間的な性格を有する都市として、大都市周辺の衛星都市があげられるが、これらは下水道普及率が低いのが特徴で、スプロール型として分類することも可能であろう。

先にも述べたとおり、ここで例として用いた指標は簡略化した算定方法により求めたものであるため、厳密な解析に用いることは不適當である。しかしながらここで示した例からだけでもいくつかの興味深い結果が得られており、指標というものが一旦計算されるとさまざまな角度から新たな視点を抽出することが可能となることを示している。以上のことを踏まえて、指標を利用するに当たっては、ここで紹介したような支援システムの活用が多いに効果的であると考えられる。

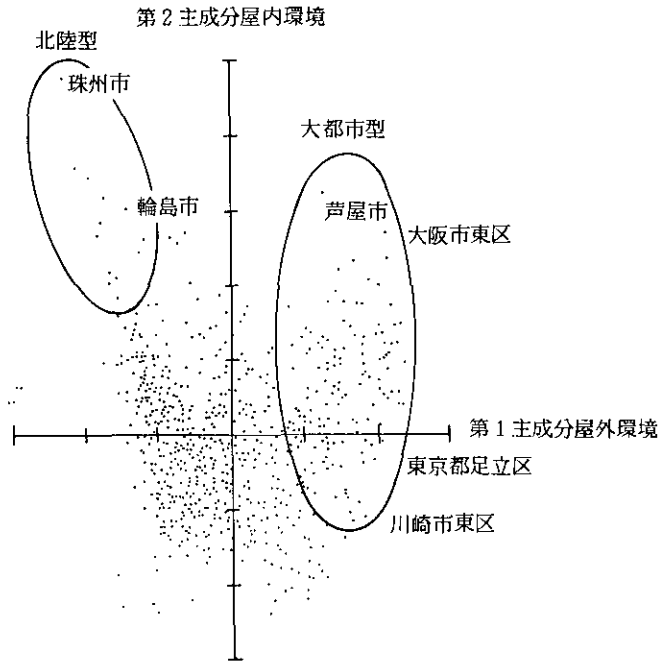


図2 住宅環境による都市の分類
(サンプル数：765)

参 考 文 献

内藤正明・西岡秀三編 (1984)：環境指標—その考え方と作成手法。国立公害研究所研究報告，第74号，18-19.

4. 4 広域的な環境変動解明のための支援情報システム Computer-aided Information System for the Global and Nation-wide Environmental Trend Indices

森田恒幸¹・猪爪京子²・森口祐一¹・西岡秀三¹
Tsuneyuki MORITA¹, Kyoko INOTSUME², Yuichi MORIGUCHI¹
and Shuzo NISHIOKA¹

要 旨

長期的な環境問題をマクロに予測・検証するため、その支援情報システムを作成した。このシステムは、リレーショナル・データ・ベース・システムを採用し、国際、国及び都道府県レベルの環境変動を示す大量のデータを効率的に管理することができる。また、これらのデータを統計計算結果とともに時系列図、地図、散布図、ヒストグラムなどに表示することができる。現在までに、576の国及び都道府県レベルの環境変動指標、及び、251の国際レベルの環境変動指標が、基礎データとともに約20年間分収録されている。そして、21世紀初頭に向けての長期予測において活用が期待されている。

Abstract

For the purpose of predicting and verifying the long-term environmental problems macroscopically, a supporting information system has been developed. By adopting the relational data-base system, this information system can efficiently control a great number of data which indicate the global, national and prefecture-wide environmental trends. This system can also represent these data as well as statistical calculation in time-series graph, map, scattergram, histogram, and so on. Up to now, 576 prefectural, nation-wide indices and 251 global indices have been filed with these original data for about twenty years. The developed system is expected to contribute in long-term prediction towards the beginning of 21st century.

-
1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies. Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.
 2. 国立公害研究所 環境情報部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Information Division, the National Institute for Environmental Studies. Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

十年から数十年先を見通した場合、各種の環境問題が想定される。国内問題に限っても、財政悪化が環境政策に及ぼす各種の影響、産業のソフト化に伴う都市生活型公害の質的变化、貿易の自由化に伴う農林業の環境保全機能の劣化、情報・通信技術の革新に伴う環境へのニーズの変化、過疎対策の進展に伴う自然環境の定常的な破壊等々、枚挙にいとまがない。これらの長期的な環境問題の検証と予測を支援するため、国立公害研究所総合解析部においては、マイクロ・スケールからマクロ・スケールにいたる各種の情報システムが整備されつつある。

このうち本報告では、巨視的アプローチに焦点を当てて、これを支援する広域環境変動指標とその算定及び活用のためのデータ・ベース・システムの開発現況について述べる。

2 広域環境変動指標の作成方針

広域環境変動指標は、図1に示すとおり、長期的な環境問題をマクロに検証・予測することを目的としている。すなわち、十年から数十年のオーダーで生じる環境状態の変化やそれを取りまく社会経済条件の変化を記述し、環境問題の検証と予測に役立てようとするものである。

このため、指標の作成に際しては、まず21世紀初頭の我が国の環境問題を想定する作業から始めた。これは、広域的な問題、すなわち現象自体が広域的なものまたは現象が局地的であっても広域

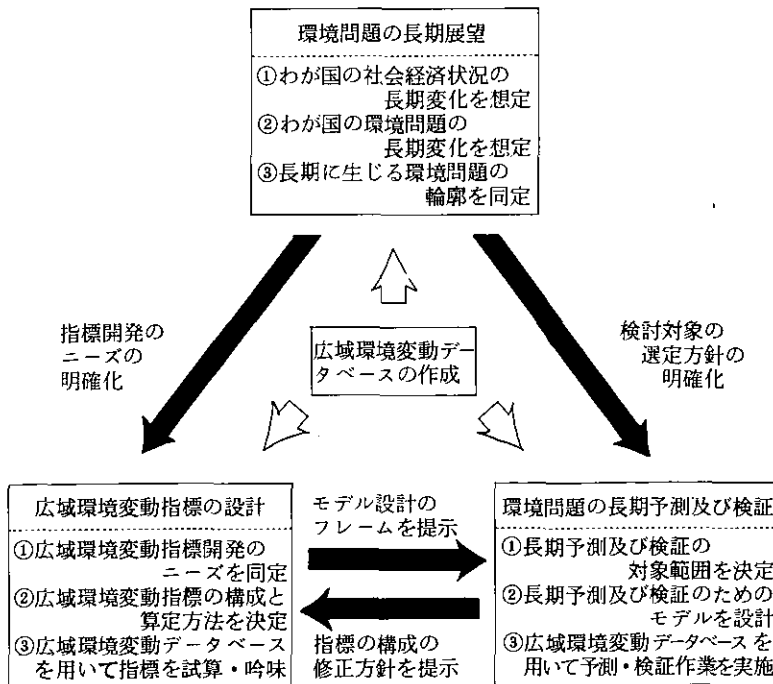


図1 広域環境変動指標研究の全体フレーム

に共通して生じる問題を対象にして、国立公害研究所のプロジェクト・チームが具体的データをもとに想定したもので、想定内容は約100項目に及んだ。そして、この想定結果を検証し、予測することを目標に、広域環境変動指標の構成及び作成方針を設定した。

図2には、こうして設定した指標の作成方針を示している。この図のとおり、広域環境変動指標は大きく二つの領域に分かれ、主に環境の状態を記述する環境領域指標群と環境を変化させる要因を記述する社会・経済領域指標群から構成される。各領域はさらに小項目ごとに分割され、各項目ごとに複数の指標が用意される。

3 広域環境変動データ・ベースの整備

次いで、この小項目ごとに一次指標を選定した。この一次指標は、各指標を算定するうえで必要となる一次加工データであり、その数は、国内指標で約600種類、国際指標で約250種類に及ぶ。図3及び図4はそれぞれ、国内及び国際指標の構成と一次指標の数（実際にデータ・ベースに基づいて算定されたもの）を示している。

一次指標の算定には、いくつかの条件を備えたデータが必要となる。第一に環境変動を把握する必要があるため一定期間の時系列が追跡できること、第二に、広域的な変化を把握するため全地域にかけてバランスよく整備されていること、第三に、環境変動の要因等の把握に各種の相関分析を行うためデータの整備・集計単位が一定していること、第四に、データ精度は地域間比較及び時系列比較が可能な程度に確保されていること、などである。

以上の条件を満足しているデータとしては、現在のところ、国内については都道府県単位データ、国際については国単位データしかない。したがって、これらの各種データを過去概ね20年間分収集した。具体的には、人口、経済、産業などの基礎的データに始まって、緑地面積、大気汚染物質排出量、騒音曝露人口、病気別死亡率、国民意識などの環境関係データに至る多種多様なものを含んでいる。

こうして収集したデータは、新たに作成したデータ・ベースのなかでファイル化された。このデータ・ベースは、FORTRAN 言語を用いて作成したリレーショナル・データ・ベースである。ここでは、収集したデータをそのままファイル化した基礎データ・ファイルと、これから算定した一次指標をファイル化した一次指標データ・ファイル（いずれも項目・時間・地域の三次元データ・ファイル）が構成されており、辞書ファイルを介して二つのデータ・ファイルが同時管理される仕組みになっている。

また、データ更新・修正やデータ検索機能も持ち、また、以下に紹介する表示システムと連動している。

4 表示システムの開発

データ・ベースにより算定した一次指標を表示するため、専用の表示システムを開発した。この

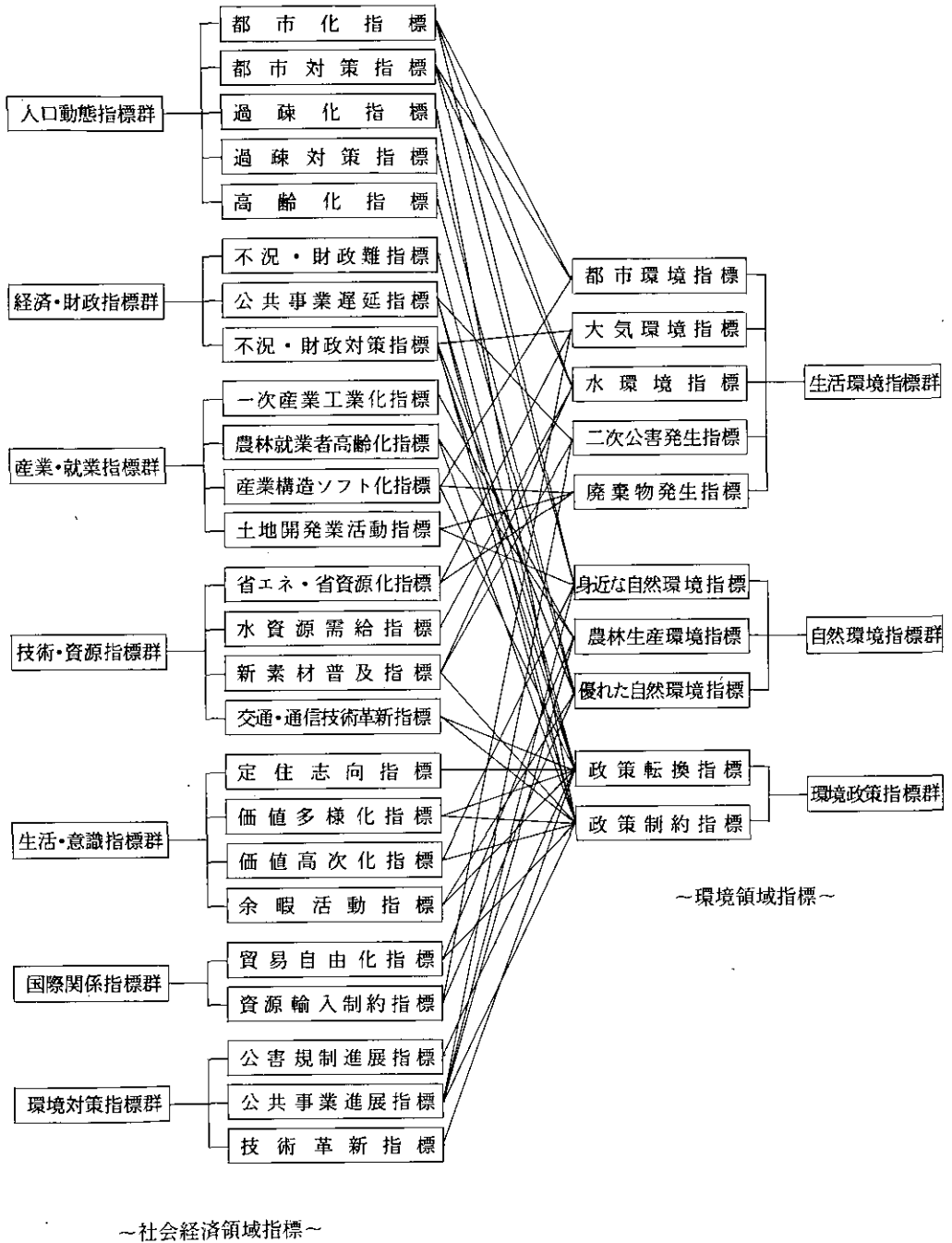


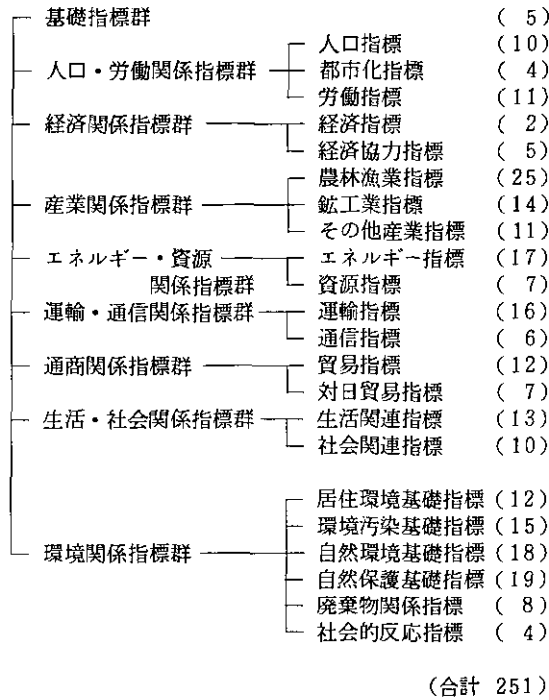
図2 広域環境変動指標の作成方針

		今回	第1期	
社会・ 経済領域	基礎指標群	一般基礎指標	(11)	(8)
		経済基礎指標	(16)	(-)
	人口動態指標群	都市化指標	(22)	(14)
		都市対策指標	(23)	(23)
		過疎化指標	(4)	(4)
		過疎対策指標	(13)	(13)
	経済・財政指標群	高齢化指標	(3)	(3)
		不況・財政難指標	(20)	(14)
		公共事業遅延指標	(8)	(8)
	産業・就業指標群	不況・財政対策指標	(10)	(10)
		一次産業工業化指標	(19)	(12)
		農林就業指標	(2)	(1)
		産業ソフト化指標	(13)	(9)
	資源・技術指標群	土地開発業活動指標	(7)	(6)
		エネルギー・省エネ指標	(12)	(12)
		水資源需給指標	(6)	(6)
	交通・通信指標群	新素材普及指標	(5)	(4)
		交通・輸送指標	(30)	(24)
		通信革新指標	(検討中)	(-)
生活・意識指標群	定住指向指標	(5)	(4)	
	価値意識指標	(9)	(9)	
	都市型生活指標	(5)	(2)	
	余暇活動指標	(16)	(12)	
国際関係指標群	貿易自由化指標	(検討中)	(-)	
	資源輸入制約指標	(10)	(10)	
環境対策指標群	環境規制等進展指標	(38)	(38)	
	対策事業進展指標	(58)	(58)	
環境領域	生活環境指標群	都市環境基礎指標	(42)	(29)
		大気環境基礎指標	(20)	(18)
		水環境基礎指標	(20)	(19)
		廃棄物関係基礎指標	(18)	(18)
	自然環境指標群	健康関係基礎指標	(15)	(-)
		身近な自然環境基礎指標	(21)	(21)
		広域的自然環境基礎指標	(23)	(17)
	環境政策指標群	政策転換基礎指標	(15)	(15)
		政策制約基礎指標	(28)	(17)
		県民意識基礎指標	(9)	(-)
		(合計 576)	(458)	

注) カッコ内の数字は算定した一次指標の種類数

図3 国内広域環境変動指標 (NET-Indices) の構成

システムは表1に示すとおり、時系列作図、色ぬり地図作図、散布図作図、ヒストグラム作図、組合せ標準編集及び組合せ自由編集の六つの基本機能を備えており、各機能は表示方式によりさらにいくつかのオプションに分かれる。また、この表示システムを支援するため、14の補助システムが組み込まれている。このなかには、データ交換や軸変更といった基礎的なもののほか、統計計算や回帰分析といった簡単な統計解析を支援するシステムも含まれている。



注) カッコ内の数字は算定した一次指標の種類数

図4 国際広域環境変動指標 (GET-Indices) の構成

図5～図10には、このシステムを用いた典型的な表示例を示している。

なお、以上のデータ・ベース及び表示システムは、SAPIENS (環境総合解析情報システム) 整備の一環として開発しており、コンピュータはVAX 11/780, 表示機器はグラフィカ・グラフィックディスプレイコントローラ M-804を使用している。

5 おわりに

ここで開発した広域環境変動指標及びデータ・ベース・システムは、昭和60年度から国立公害研究所において開始された特別研究プロジェクト「環境指標を用いた都市及び自然環境等の変動予測手法開発に関する総合解析研究」で、具体的な活用が図られつつある。

また、さらに体系的な指標を作成するため、図11に示した手順に添って基礎的なデータ解析作業も進めつつある。

表1 広域環境変動データ・ベースの表示システム一覧

表示システムの内容		表示システムの整備対象		表示システム支援のための援助機能													
表示機能	表示方式	国内広域指標データベース	国際広域指標データベース	データ変換	軸の指定	年次指定	地域指定	分割域指定	分割値指定	基礎統計計算	回帰分析	図上検索	地域年検索	年次連続表示	地域連続表示	重合地図指定	第三変数わけ
時系列図作図	1画面表示 2画面表示 4画面表示	○ ○ ○	○ ○ ○	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
色ぬり地図作図	1画面表示 2画面表示 4画面表示 4画面表示(オーバーレイ)	○ ○ ○ ○	○	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
散布図作図	1画面表示 2画面表示 4画面表示	○ ○ ○	○ ○ ○	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
ヒストグラム作図	1画面表示 2画面表示 4画面表示	○ ○ ○	○ ○ ○	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
組合せ標準編集	地図①+時系列①	○		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	地図①+ヒスト①	○		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	地図①+ヒスト①+時系列①	○		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	地図②+散布図①	○		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
組合せ自由編集		○	○	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

広域的な環境変動説明のための支援情報システム

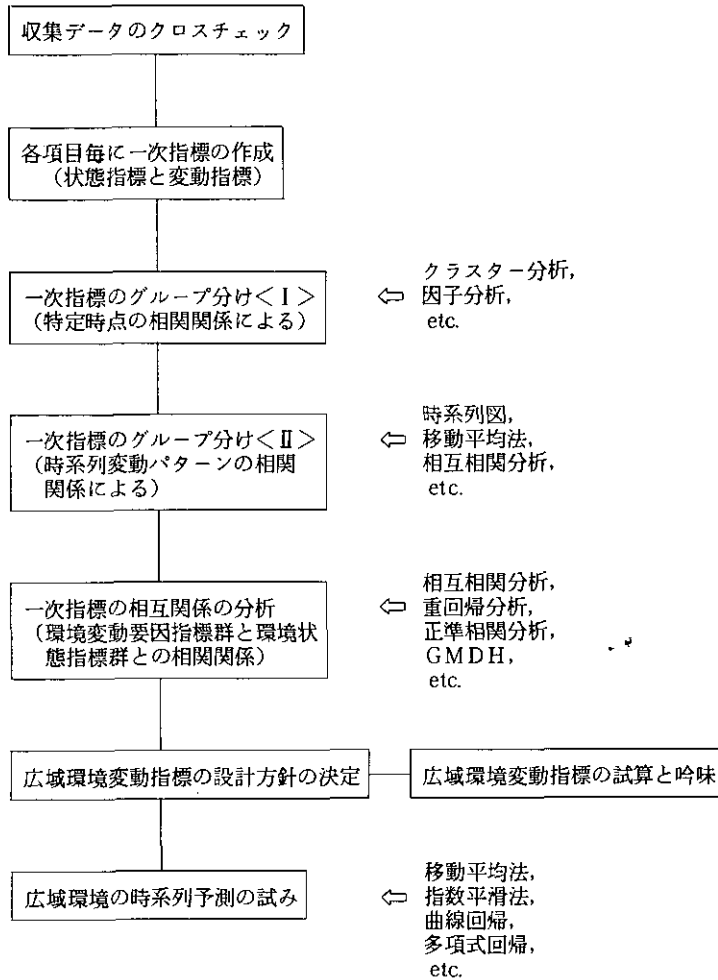


図11 指標化のための基礎的なデータ解析

謝 辞

最後になったが、ここで紹介したデータ・ベース・システムの開発に当たっては、富士通エフ・アイ・ピー株式会社の村尾直人、伊藤泰志、伊達義隆の各氏から多大なご尽力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

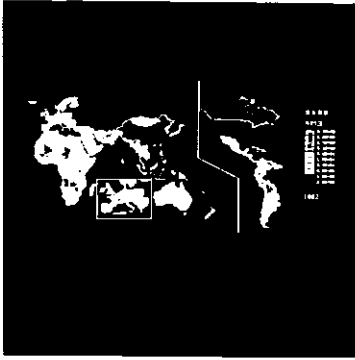


図5 年間の立木伐採量を世界地図に色ぬり表示している。色わけの段階の指定は自由に変更できる。



図6 交通事故件数，都市公園面積，NO₂基準達成率を日本地図に表示し，さらにオーバーレイ表示をしている。

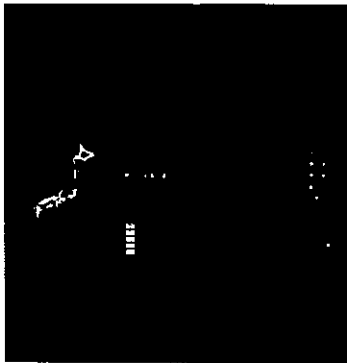


図7 十万人当たりの公害行政従事人員を日本地図とヒストグラムで表示している。この場合，基礎統計量も同時に表示できる。

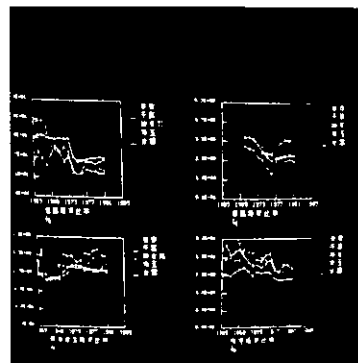


図8 道路，街路，住宅及び環境衛生の投資比率を時系列表示している。この場合，表示地域の指定や軸の変更が自由に行える。



図9 一人当たりの国民所得と暮らしに満足している国民の割合を時系列表示し，さらに両者の散布図を表示している。この場合，回帰分析結果も同時に表示できる。

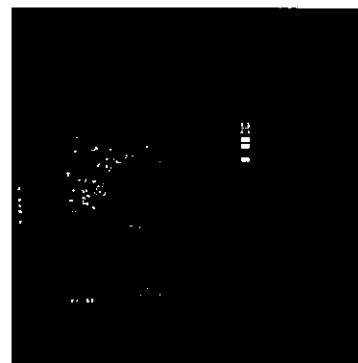


図10 財政力指数と公害行政従事人員との関係を散布図によって表示している。この場合，人口（第三変数）によって色分けができ，また，カーソルによって各点を検索することができる。

4. 5 パソコンを使った環境評価法と環境現況の効果的表示法

Development of Methodology for an Effective Presentation of Environmental Status and the Environmental Evaluation by Means of a Personal Computer

甲斐沼美紀子¹・後藤典弘¹

Mikiko KAINUMA¹ and Sukehiro GOTOH¹

要 旨

適切な指標によって環境の状況を分かり易く表示することは、専門家による政策効果等の検討に必要なだけでなく、一般住民に環境情報を提示し、より良いコミュニケーションを図る手段としても重要である。一般に環境の状況を提示するために必要な手順を要約すると、

- i) 環境現況の計測
- ii) 計測値の処理
- iii) 一次指標の基準化
- iv) 項目間の重みづけ
- v) 総合化
- vi) 環境指標の提示

がある。このうち、iv) 項目間の重みづけと vi) 環境指標の表示のための簡易処理技法を、最近普及の著しいパーソナル・コンピュータを利用して作成した。個別指標を集約する段階で最も重要かつ困難な重みづけ作業に対し、パソコンを利用した簡易対話型評点づけ技法のためのプログラム作成した。また、大気汚染、騒音、公園緑地を例として、試算された指標値の効果的表示手法についても検討した。

Abstract

An information processing system has been developed on a personal computer to facilitate one to "see" environmental status clearly in terms of selected indicators. With this package of computer programs, environmental quality indices can be presented graphically on display in an effective manner. This presentation method should assist not only

1. 国立公害研究所 総合解析部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Systems Analysis and Planning Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

environmental planners and policy-makers for better assessment of their policy but also the general public for better understanding of the environment and communication.

The normal procedure for demonstrating a specific environmental quality is as follows:

- 1) Collection of physically measured original data of the environmental quality.
- 2) Data processing for selection of a set of indices in terms of original data.
- 3) Normalization of each index on a common scale.
- 4) Weighting of the indices according to their relative importance.
- 5) Integration of the normalized and weighted indices for representing the environmental quality as a whole.
- 6) Graphical display of the indices.

With this presentation system, air quality, noise pollution status, and vegetational "green" distribution in a specific area can now be successfully demonstrated.

For assessment of environmental quality in a more comprehensive manner, another computer program called "EVA" has also been developed. This is based on a modified weighted scoring method and enables one interactively with a computer to evaluate the environment quantitatively.

1 はじめに

環境施策の効果を分析し、今後必要とされる環境施策を検討したり、一般住民が環境のことを考えるうえで、環境の状況を適切に表す指標を開発し、それを分かり易く表示することは重要である。指標の作成時には、経年的に蓄積された観測値・統計値、広域にわたるメッシュ・データの数値情報等、大量のデータを収集・処理する必要がある、このためコンピュータによる情報システムの活用は不可欠である。また、どのような項目を指標体系のなかに取り入れるかの議論の際や、指標の尺度化等の過程において住民意見を取り入れ価値関数を算定する場合においても、コンピュータを組み込んだ情報交流システムによるデータ収集・処理が有効である。更に、環境の状況を得られた指標によって、分かり易く表示することは、専門家による政策効果の検討に必要なだけでなく、一般住民に対するより良いコミュニケーションの手段としても重要である。こうした環境指標作成のための情報システムについて、最近普及の著しいパーソナル・コンピュータを活用することを前提として検討した。パーソナル・コンピュータには、①システム全体でも価格が低廉で、地方公共団体の各部課単位で十分購入が可能であること、②グラフィックス機能が優れていて、画像や地図といった二次元の典型的な環境情報を多色で表示し易く、コミュニケーション支援手段として極めて有効であること、③入力操作が容易であり、現場サイドのデータを常時入出力・修正することが可能であり、データ・ベースの整備及び内容の更新に実際的であること、といった利点がある。このため、指標作成のための情報処理システムとして今後大いに有望である。

環境の状況を計量的に把握し、又その経過や結果を表示するために必要な手順を要約すると、

- i) 環境現況の計測
- ii) 計測値の処理
- iii) 一次指標の基準化

- iv) 項目間の重みづけ
- v) 総合化
- vi) 環境指標の提示

がある。このうちここでは、iv) 項目間の重みづけと vi) 環境指標の提示のための簡易処理技法について、主に検討した。特に、個別の指標を総合化するために、評価者に段階的な評価の結果を表示しつつ対話方式で評価を実施していく方法のソフトウェアを開発した。このうち、個別評価項目の相対重みづけ法について新たに「直観法」による方法のプログラムを作成した。また、経年的に蓄積されたデータや、計算された指標値を効果的に表示する手法について検討し、簡便な表示法についてのプログラムを作成し、大気汚染、騒音、公園緑地に関する2次元分布の表示を試みた。

2 総合指標試算の手順

環境指標に関しては、指標利用目的によって、これまで多くのものが内外で提案されている（内藤・西岡：1984）。環境基準適合の判定や行政施策の効果判定等に適用する場合には、環境質の個別の測定結果がそのまま指標として使われることが多い。また、生物指標等のように、直観的に理解し易く、総合化の程度の高いもので、住民が環境問題を考えるうえで参考となるものなどがある。測定結果を指標として利用するには、何らかのデータ処理手順をふむ必要がある。データは時間的にも空間的にも変動している場合が多く、また評価と結びつけるには、価値規準の導入や、総合化が必要であり、さらに結果を的確に理解させたり伝達するためには、提示手法にも工夫を要する。

環境の総合指標を算定するうえで、当然のことながら、その指標の利用目的を明らかにする必要がある。次に、利用目的に沿った項目を選定しなければならない。考えられる評価項目と、利用目的からくる要求を照らし合わせて、必要十分な項目の選定を行ったのち利用可能データの制約の中から、現実的評価項目を選定することになる。ここでは、総合指標を算定する時の手順について、事例による具体的な指標の試算を通して検討する。本稿の項目の選定には、専らデータ利用可能性より、大気汚染、騒音、公園緑地をとりあげた（内藤，1983）。

指標作成の手順を要約したものを表1に示す。

(1) 環境現況の計測

環境の現況を定量的に把握するには、各種の計測手法を通して、基本となるデータを収集しなければならない。計測といった場合、主に、物理的・化学的な計測手法が考えられるが、生物的計測が必要な場合もある。

(2) 計測値の処理

指標作成に必要とされるデータは、時間的、空間的に変動していることが多く、各時点、各地点で計測されていることが望ましい。しかし、現在利用可能なデータは、限られた時間、限られた地点での計測値であることが多い。これを総合指標に利用するためには、時間的、空間的にデータを内外挿し、必要なデータに変換したり、平均をとって集約したりする必要がある。

表1 総合指標試算の手順
—大気汚染, 騒音, 公園緑地を例として—

項目	大気汚染	騒音	公園緑地
手順			
環境現況の計測	SO ₂ , NO ₂ CO の測定	幹線道路交通量 道路率, 建ぺい率	航空写真で公園 緑地(0.5ha 以上) 樹木(1ha 以上) の種と量の同定 アクセスビリティに 関与するデータ (道路, 鉄道)
計測値の処理			
時間 空間	平均値(年, 季節) スプラインによる内挿	音響学会方式による 分布推定	緑地水準定義式 による分布推定
一次指標の 基準化	環境基準で基準化 データの最大, 最小で基準化		
項目間の 重みづけ	{SO ₂ , NO ₂ , CO}	{昼間, 夜間}	
総合化			
項目集約	相対重み		
時間集約	平均化時間の決定		
地域集約	面積荷重, 人口荷重		
環境指標の 提示	等高線図, 立体図, オーバーレイ 動画		

(3) 一次指標の基準化

異なった項目について計測されたデータを相互比較するには, 何等かの方法でデータを同一の尺度で表さなければならない。このためには環境基準で基準化したり, データの特性で基準化したりする他, 「価値関数」, 「効用関数」, または「被害関数」等に投影して尺度化することが必要である。しかし, 一般には「価値関数」の同定は非常に困難な問題である。項目間の重みづけ作業とあわせて, ここでは, パソコンを利用して, 直接個々人の評価値を聞き, 総合評価値を計算する手法をプログラム化した。

(4) 項目間の重みづけ

データを集約する段階で, 複数項目にそれぞれ相対的な重みを設定することが重要である。簡単のため, 均等重みが使られる場合もあるが, 一般には, 例えば, 一対比較法やトレードオフ分析等で決定される。

(5) 総合化

指標を総合化するには, 項目集約, 時間集約, あるいは空間集約が必要とされる。項目集約においては重みの決定が重要である。時間集約においては平均化時間の設定が, 空間集約については人口分布や, 社会的条件の取り込み方法等が問題となる。

(6) 環境指標の提示

定量的に求められた指標を使って、政策効果の検討したり、住民にその結果を伝えるには、結果を分かりやすく提示することが重要である。集約結果の提示だけでなく、個別指標の提示や、原データの提示も重要なことが多い。パソコンのグラフィクス機能を利用すれば、簡単にこれらの値の2次元分布の表示が行え、環境質の理解に有効である。

3 パソコンによる総合評価のための評点づけ技法 (EVA)

環境状態は多様な項目から成り立っているため、個別の評価指標をみただけでは全体像をつかめないことが多く、できるだけ少ない指標で環境状態を表現することが望まれる。総合評価を行うための決定論的手法を要約したものを表2に示す。評価を実施していく上で、①評価構造の設定方法と評価項目の選定方法、②評価基準の設定方法、③総合評価の算定方法等が問題となる。評価構造がさまると、指標項目ごとの値 V_i と重み W_i から総合評価値 V_0 は次式で求められる。

$$V_0 = F(W_i, V_i), \quad i=1, 2, \dots, n$$

一般には F の関数形としては様々の形が考えられるが、実用的なものに次式の線形和がある。

$$V_0 = \sum_{i=1}^n W_i V_i$$

複数の評価項目間に相対重みを割り当てることは、項目数が2, 3の場合には、直接的に簡単に行えるが、項目数が5を超えると、相対重みを簡単に割り振ることは實際上極めて困難である。そこで、評価項目を比較の簡単な一対ずつの組み合わせに分解し、そのそれぞれの一対の項目間で重要さを比較し、最終的に多くの項目の相対重みを決定する方法が「一対比較法」である(内藤・西岡:1984)。評価項目数が多いと一対比較の組み合わせが急激に増大するので、すべての組み合わせについて判断するのに長時間を要する。そこで、「一対比較法」をもう少しシステムティックに行う手法に以下の(4)重みづけの項で述べる「修正一対比較法」がある。いずれの場合でも、項目数や、評価回数が増えると、普通相当の時間がかかり、煩雑である。こうした欠点を補うために、ここでは、評価のための技法として、パソコンによる評点づけシステム (EVALUATION system) のプログラムを作成した。

EVAの特徴を要約すると以下のとおりである。

- i) 評価構造として階層構造(3レベルまで)を設定できる。
- ii) 個別項目に関する評価点を評価者の評価基準を通して設定できる。
- iii) 環境質に関する個々の計測値あるいは、一次指標を評価点を与える段階で参照できる。
- iv) 重みづけ段階では、「修正一対比較法」と「直観法」を選択できる。
- v) 操作がメニュー方式で簡単であり、対話方式で評価が行える。

表2 決定論的評価法の整理

手 法	総 合 評 価	概 要
チェックリスト法	設計者のための基礎資料を提供するが、このままでは、総合評価は困難	評価者は、評価項目ごとに評価表の評価欄をチェックする。作業は容易であるが、定量的な評価結果を得るためには、定性的評価に点数をわりつけたりする必要がある。
プロフィール法	情報を分かり易く提示でき視覚的に判断することが可能	チャート方式、ブロック方式、スケール方式、プロフィール方式等がある。評価者は、与えられた評価スケール又は、ブロックに評価結果を記入する。図形像のかたよりなどから全体の評価ができる。
評点法	総合得点の順位などから評価が可能	加算方式、連乗方式、重みづけ方式等がある。重みづけ方式では重みの導き方も問題となる。

(1) 評価構造

環境の評価項目を、例えば、大気汚染、水質汚濁、騒音等と3分類したとき、さらに大気や水では個別物質の濃度、騒音では昼間の騒音と夜間の騒音のなどと細分類でき、同一レベルで重みを設定するには問題がある。このため、評価構造として階層的な構造を設定することが合理的であり普通である。

(2) 評点づけ

総合評価のためには、共通の価値尺度への変換が必要である。また、単位がそれっていないものの総合化は行えない。EVAでは各人の価値規準を通じて評価しているため、比較が可能となる。価値関数を同定してそれを通じて、同一尺度の評価値を求めることも可能であるが、一般には、価値関数の同定には多くの知見の集積を必要とし、きわめて困難である。現在のところ専門家の主観的判断により定めるのが妥当である。評点は10点満点で与える。

(3) データの参照

評価の段階において、専門家の知見を通じての判断を求めるのであるが、その際、客観的データを必要に応じその都度参照できることが望ましい。このためEVAでは各評価項目に対応した客観的データ(カード形式のデータベースに収納されている)を評価の時点で、随時、簡単にディスプレイ上に呼び出し、参照できる。

(4) 重みづけ

重みづけの段階では、「修正一対較法」と「直観法」を選択できる。また、部分的に両者を混用したり、前者の方法で行った結果を後者の方法で再度確かめることもできる。

(i) 「修正一対比較法」

全項目の中から総当たりで比較を行うと、 N 項目では、比較回数は、 $N \times (N-1)$ 回となる。比較回数は、10項目でも90回、20項目では380回にもなって、実用的ではない。比較回数が $(N-1)$ 回の修正一対比較法によるのが適当と思われる。修正一対比較法では、まず項目1と項目2の一対で比較し、後者を1としたときの前者の重みを設定、以下項目 j と項目 $j+1$ ごとに逐次後者を1として2項目間の相対重みを設定、この値から全項目間の相対関係値を求める。最後の相対関係値を1とすると、相対関係値 j は、(項目 j の相対重み) \times (項目 $j+1$ の相対関係値)から求められ、それぞれの相対関係値を相対関係値の総和で除けば、各項目の正規化された相対重みをうる。現実には、判断矛盾のための誤差が生じ、結果が予想と異なる事があるが、重みづけを繰り返すことによって予想した重みを求めることができる。このため、EVAでは、任意のレベルで重みを修正できる。

(ii) 「直観法」

「一対比較法」では、評価項目数が多くなると、比較回数が急激に増大し、評価に時間がかかる。また総当たりで比較すれば、三すくみの状態が生じ、重みの設定が困難な場合がある。「直観法」は、図1に示すように、各項目の重みを横長の棒グラフで表し、この長さをカーソルを動かすことによって、自由に変えられるというものである。棒グラフの総面積は常に重みの合計が1になるように正規化されているため、二次元的にしかも直観的に項目間に重みをわりふることができる。項目ごとにF(Fixed)またはC(Changeable)を選択することによって、重みの固定と変動を指定でき、Cと指定された項目間でのみ、重みのやりとりが行われる。一般に、評価項目として選ばれた時点で判断がなされているので、初期値として、均等重みによる重みづけが設定されている。また、一対比較を行ったデータに対しても「直観法」が適用できる。一対比較では、結果として得られた項目の重みが、当初の予想と異なることがあるが、直観法により予想とのかい離を簡単に修正することができる。

(5) 操作

操作は図2のメニューに従って対話方式で行える。段階毎に操作者の名前を、また、5では、評価対象と評価者の名前を記入できる。7-11の修正段階を選択すれば、部分的な修正も行える。

EVAによる評価結果の一例を図3に示す。環境評価目として、大気汚染、騒音、公園緑地をとりあげた。評価構造は2段階とした。重みは図1に示すように、EVAの「直観法」により求めた。この重みは、著者の一人の評価を表している。評価点は、著者の住む筑波地区について与えた。大気汚染、騒音といった負の効用については、データ値に対して右下がりの効用関数が、公園緑地といった正の効用については、データ値に対して右あがりの効用関数が存在していると想定され、「評価した値」を評価値として入力する。総合評点は100点満点の84点と高い点が得られたが、利便性や雇用機会等が評価項目として取り上げられていないので、ある意味では、一面的な評価しか行っていないことになる。評価構造の選定は重要であり、また結果の解釈については、慎重でなければならない。EVAを利用すれば、複雑な計算を行わないでも総合点が求まるので、繰り返して評価

するのに便利である。

＜レベル 1 について相対重みをつけて下さい。＞

1.' 大気汚染	' 0.29	c	<input type="text"/>
2.' 騒音	' 0.38	f	<input type="text"/>
3.' 公園緑地	' 0.33	c	<input type="text"/>

OK ならばリターンキーを押して下さい。

図1 「直観法」による重みづけの画面

＜ 評点づけ法によるシステムの定量評価 ＞

- 1: 構造の決定
- 2: 項目名の設定
- 3: 重みの設定
- 4: 重みの設定 - 直観法 -
- 5: 評点の設定
- 6: 結果の印刷

- 7: 構造の修正
- 8: 項目名の修正
- 9: 重みの修正
- 10: 重みの修正 - 直観法 -
- 11: 評点の修正

- 12: 終了

番号を選択してリターンキーを押して下さい。

図2 “EVA”プログラムのメイン・メニュー画面

評価システム名<環境総合指標>
 ファイル名 < e: shihyou >
 評価対象 < 筑波 >
 重みづけ設定者 < A >
 評価者 < A >
 構造の設定者 < A >
 項目名の設定者 < A >

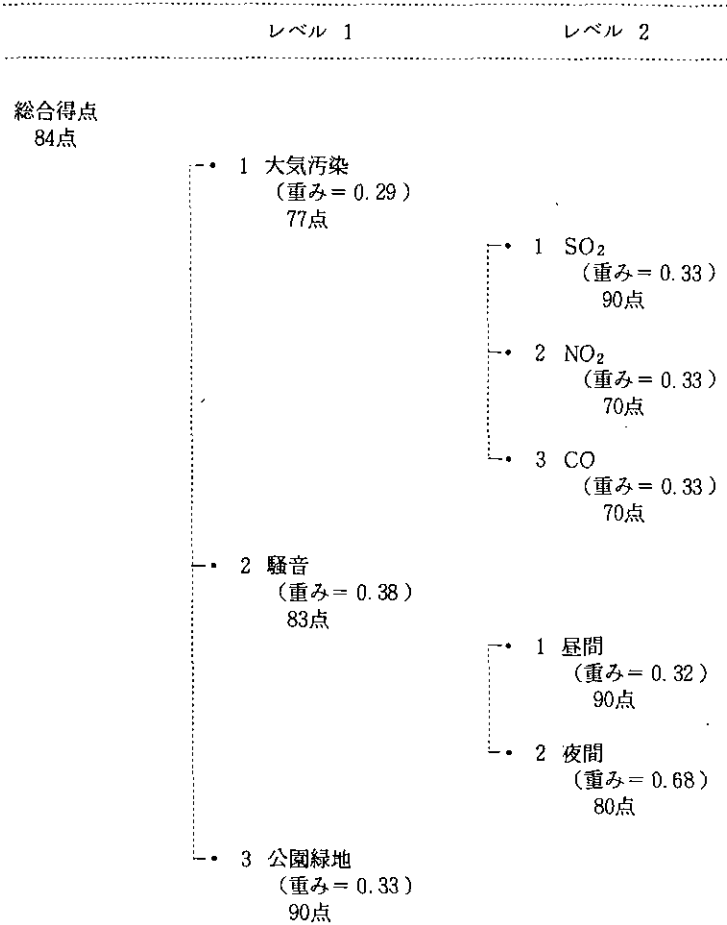


図3 “EVA”プログラムによる評価結果の例

4 パソコンのグラフィクス機能を利用した環境データの表示

定量的に求められたデータも、提示手法の善し悪しによって有効性が違ってくる。東京都を対象として、表1の手順によって計算された指標値をパソコンによって表示することを試みた。パソコンの利点は2次元のグラフィクスが容易に得られることであるが、現時点のいわゆるパソコンでは、計算速度が遅く、主記憶容量が少ないといった限界もある。特に画像を取り扱うには多くの記憶容

量を必要とする。

大気汚染の計算では、測定地点、計測値などのデータは、カード形式の簡易ソフトを使って入力し、スプライン法により空間分布を求めた（甲斐沼，1984）。パソコンでは、計算に時間がかかると予想されるので、大型計算機の計算時間と比較した。80×100メッシュの領域で1000回繰り返すと約22時間30分かかった（沖電気 if 800 model 50, MS-FORTRAN REV3.13）。全く同じプログラムを大型計算機（日立 M180）で実行すると、約8分（CPU時間）ですむ。

スプライン法を用いて東京都を対象として、大気環境濃度の経年変化を求めた例を図4、図5に示す。図4の左図は、昭和45年のSO₂濃度の年平均値の分布であり、図4の右図は、昭和55年のSO₂濃度の年平均値の分布である。図4の上部は、透視図法で求めた鳥かん図であり、図4の下部は平面図である。鳥かん図によって概観を、平面図によって測定点等の位置が示される。SO₂濃度の年平均値が0.02ppmを超える地点が特に赤く示されている。

ただし、この分布図は東京都の一般環境大気測定局のデータを使用してスプライン法を用いて内挿したものであるため、測定局以外でのデータの信頼性は低い。また、境界を零に設定しているため、周囲の濃度が低くみえていますが、必ずしも現実と一致していない。測定局で囲まれている地点（特に23区内）についてのみ全体の傾向をみることができる。昭和45年の分布は11の測定局データを、昭和55年の分布は35の測定局データを用いて求めた。図5はNO₂の年平均値の推定濃度分布である。左図の昭和45年の分布は6の測定局データを、右図の昭和55年の分布は35の測定局データを用いて求めた。昭和45年は測定局数が少いため、正確な分布ではないが、SO₂濃度が昭和45年から昭和55年にかけて全体的に減少しているのに比べて、NO₂濃度は減少していないのがわかる。鳥かん図の作成には約20分かかり、平面図の作成には約4分かかる。作図した図をそのまま記憶させておけば約8秒（256×256ドット、容量約50KBの図）でディスプレイ上に描くことができ、1.2メガバイトのフロッピー・ディスクに約20枚入る。

騒音のシミュレーションには幹線道路交通量、道路率、建ぺい率等のデータを必要とし、東京都23区全域にわたる騒音のシミュレーションは、記憶容量と計算速度の点で、現時点では難しい。そこで、計算は大型計算機を使用して行い、シミュレーション結果を大型計算機と接続されているワーク・ステーションを使ってフロッピーディスクにおとし、それを使用した。ワーク・ステーションと今回使用したパソコンのOSが同じだったので、データの互換性があった。

公園緑地などによるみどりのポテンシャルの計算も、大型計算機を使いパソコンで結果の表示を試みた。（青木，1982，緑のポテンシャル分布については本報告書2.4.2の図3-5, 126-128頁参照）。

項目の異なったデータのオーバーレイも環境状態を理解するのに有効である。例えば図6は東京都の昭和55年のSO₂濃度分布（スプライン法により測定データを内挿したもの）と騒音分布（シミュレーションモデルによる推定したもの）のオーバーレイである。都心部ではSO₂濃度も騒音レベルもともに高いのがわかる。また、図7はみどり環境と騒音レベルのオーバーレイである。都心部では騒音レベルは高いはみどり環境は良好なのがわかる。

パソコン画面は約600×400ドットあり、東京都23区は約40km²平方なので100m²平方の平均レベルを1ドットで表示すると、東京都23区全域が表示できる。

5 おわりに

パソコンを使って環境評価及び環境現況の表示を行う手法について検討した。環境評価に有効と思われる、総合評価のための評点づけ技法（EVA）をパソコンでプログラム化した。パソコンは2次元の画像情報をカラーで手軽に取り扱えるので、環境情報の表示に適している。また共通のOSのもとで動くパソコン間では、データの互換性があるので、大量のデータの取り込みが簡単になってきた。最近のパソコンの普及は目覚ましく、今後益々環境情報の効果的表示等に利用されるものと期待される。

参 考 文 献

- 青木陽二（1982）：緑地環境水準の評価指標の算定方法に関する研究。都市計画学会論文集，481-486。
甲斐沼美紀子（1985）：環境情報の「表示・コミュニケーション」の道具としてのパーソナル・コンピュータ。環境情報科学，14（1），47-51。
内藤正明（1983）：環境指標に関する概念整理。環境管理，No. 7，東京都環境保全局環境管理課，2-17。
内藤正明・西岡秀三編（1984）：環境指標。国立公害研究所研究報告，第74号，161p。

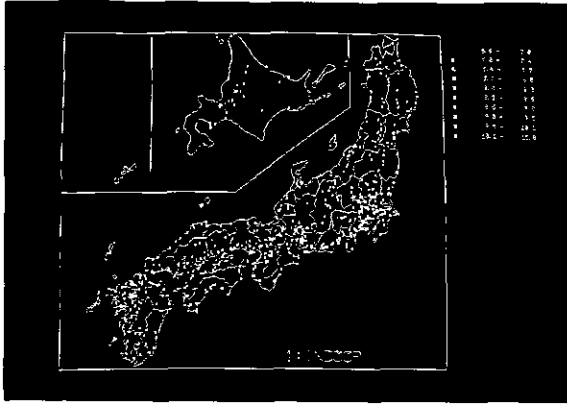


写真1 屋内居住空間（一人当たりの畳数）

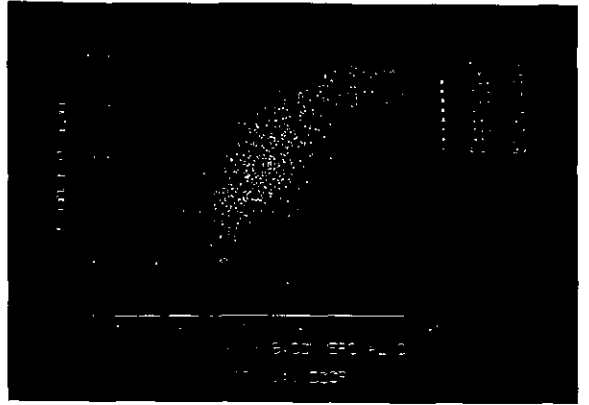


写真2 商業サービスへの接近性、住居のコスト、と
屋内居住空間の関係

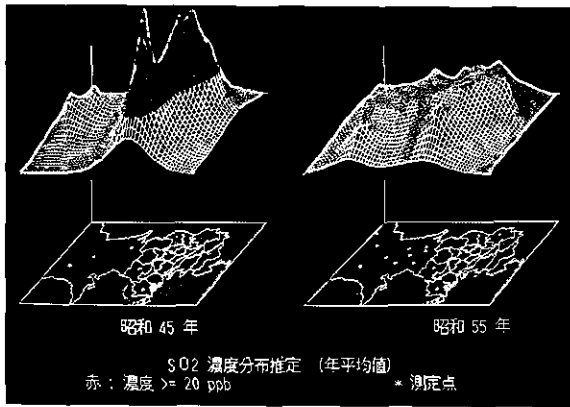


図4 スプライン法によるSO₂濃度分布の推定

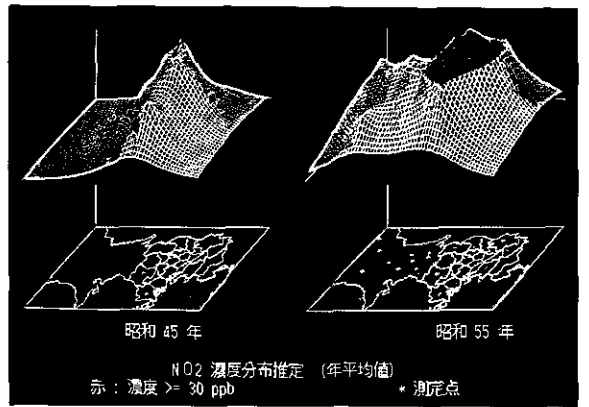


図5 スプライン法によるNO₂濃度分布の推定

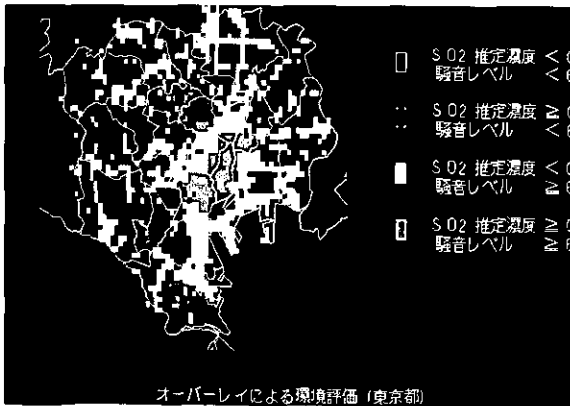


図6 大気環境と騒音環境のオーバーレイ

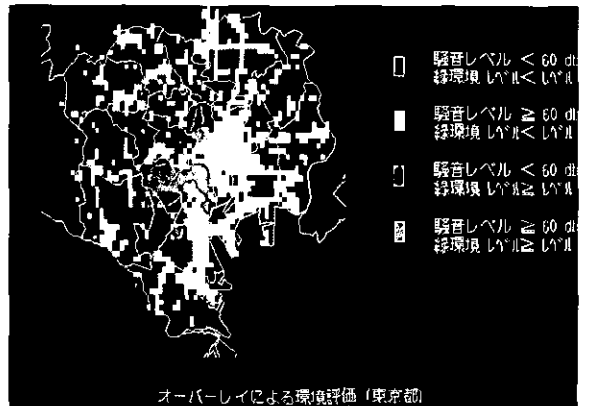


図7 騒音環境とみどり環境のオーバーレイ

4. 6 景観予測のための画像処理システム*

Image Processing System for Landscape Simulation

安岡善文¹

Yoshifumi YASUOKA¹

要 旨

景観は地域環境の快適性を評価する上で大きな要因の一つである。本研究は、景観の良し悪しを計量化し、評価することを目的とし、その第一歩として、計算機による画像処理を利用した景観の予測を試みた。本景観予測システムでは、現場で撮影された景観写真を対象とする。写真をデジタル化して計算機に入力し、画像処理技術を利用することによって、電柱、看板など景観要素の除去、合成を行う。本方式では写真を用いることにより臨場感のある予測を、また計算機処理を行うことによって融通性、汎用性の高い予測が可能となる。

Abstract

Landscape is one of most important factors to evaluate the amenity of regional environment. This study discusses image processing techniques for landscape simulation in order to create new landscapes and further to evaluate their amenity. In this system, actual landscape photographs are used. They are digitized into the computer and the new landscapes are generated from the digitized images by image processing.

Image processing techniques are developed to simulate the landscape so that the landscape elements such as buildings, trees or electric-utility poles may be removed, added or modified in the original image. The system enables to generate the realistic landscapes by utilizing the actual photographs and also enables to simulate landscapes easily by utilizing computer image processing techniques.

* 本稿は一部 映像情報 vol. 17 (5) (p25~30) に掲載されたものである。

1. 国立公害研究所 環境情報部 〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2
Environmental Information Division, the National Institute for Environmental Studies, Yatabe-machi,
Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

1 はじめに

環境を評価するために必要とされる項目は多岐に及ぶ。特に、今日のように環境問題が広域化し、多様化してくると、環境の状態を示すためのデータとして、従来のような汚染質濃度や健康被害、騒音影響といった公害に関する項目のみでは不十分であって、緑の分布、住宅の混雑度、地域の景観などの快適性に関する項目が不可欠となってくる。例えば、「うるおいのある街づくり」、「アメニティ・タウンを目指して」などのキャッチフレーズのもとで、新たな街づくりを行う試みが各地で進められているが、これらの計画の中では、良好な自然環境の保全、快適な景観の創出、歴史的遺産の保存といった課題が挙げられており（仁木、1984）、地域環境の快適さをどのように評価するかが問題となる。

快適な環境を作り出ししていくためには、様々な項目が評価され検討されなければならないことはいうまでもないが、なかでも景観は、地域の快適性を評価する上で大きな要因の一つであろう。景観は人々が日常的に経験する見近な対象であり、地域の印象を決める上でその影響は大きい。快適な景観を作りだしていくことは、快適環境づくりにとって不可欠と考えられる。しかしながら、人々がどのような景観を好ましいと思うかを計量化し、快適な景観とはどんなものかを具体的に示すことは容易ではない。

景観を評価するためには、具体的な景観像を対象として、その良し悪し、さらには、評価の要因などの検討しなければならない。このためには、地域の具体的な景観を予測し、提示することが必要となる。特に都市域では、建物、電柱、看板、樹木等と景観を構成する要素が多種多様であり、これらの除去、合成によって景観がどのように変わるかを臨場感をもって予測する手法が不可欠である。

従来、このような景観の予測では合成写真、模型などの方法が使用されてきたが、処理の複雑さや臨場感の欠如といった点で必ずしも効果的ではなかった。本研究では、景観の快適性を計量化し、評価することを目的とし、その第一歩として、計算機による画像処理を利用した景観の予測を試みた。本稿では、景観予測の基本的考え方、処理手法、応用例及び処理システムについて紹介する。

なお、景観予測とは *landscape simulation* の訳であって、一般に使用されている予測 (*prediction*) という言葉とは、少し意味が異なるが、関連学会等において用いられているため、本稿ではこの訳語を使用した。

2 景観の評価

図1には景観を評価するに際して必要と考えられる処理の流れを示した。景観の良し悪しは人間の主観的な判断によるところが大きいから、これを評価するためには、具体的な景観像を人間に呈示し、評価してもらうことが必要となる（人間による評価）。このような心理実験による景観の評価方法については既にいくつかの研究結果が報告されており、景観の呈示方法（スライドやVTRの利用）や評点づけの方法（10点満点法や一対比較法）などについて提案がなされている（原科・

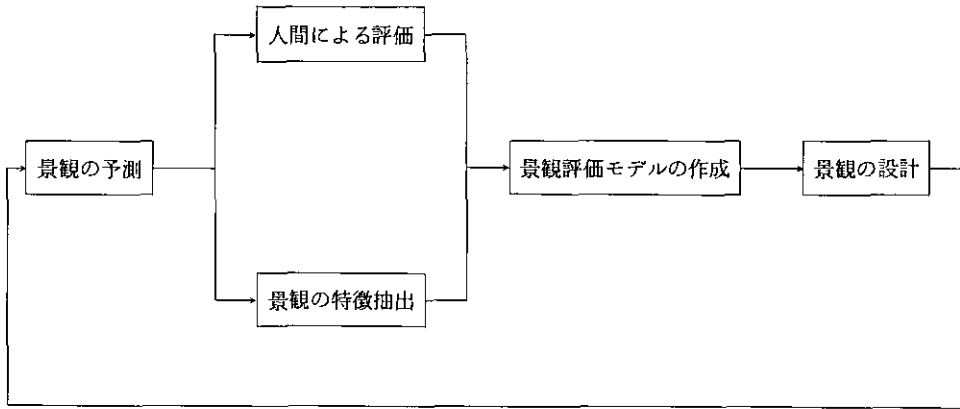


図1 景観の評価における処理の流れ

西岡, 1985)。

一方、人間の評価は呈示された景観によって決まるから、景観中に現れている様々な要素を抽出し（景観の特徴抽出）、人間による評点と景観要因の間の関連を調べることにより、どのような要因によって景観の良し悪しが評価されているのかを知ることが可能となる（評価モデルの構成）。

景観中に含まれる要因を大別すると、

- ・色彩要因 - 色調、色のばらつきなど
- ・空間構造要因 - テクスチャ、空の占める割合、視野の広さなど
- ・意味的要因 - 電柱、看板、樹木といった具体的な景観要素など

が挙げられるが、景観評価の実験では、これらの要因を自由に変化させ（景観の予測）、評価がどのように変わるかを調べなければならない。

3 景観の予測手法

景観の予測では、例えば、この街並みから電柱と看板を取除くとどうなるか、ここに公園を作るとどうなるか、といった具体的な景観像も示さなければならない。このような予測では、従来から様々な方法が提案され利用されてきたが、ここではまず、現在利用されている代表的な景観予測の手法について概括する。

(1) 写真処理によるもの

写真やスライドを利用して景観の修正や合成を行う（フォトモンタージュ）。実際の景観写真を背景にして、予測すべき建物などの景観要素（イラストレーションなど）を切り抜き、背景に埋込んで合成写真を作る。二つのスライドを同一面に投影し、合成映像を作るなどの手法も利用される。複数の景観要素を重ね合わせる合成景観の作成には有効であるが、看板や電柱を取り除くといった作業にはかなりの手間を要する。

(2) ビデオシステムによるもの

テレビカメラなどのビデオ技術を利用して景観を予測する。例えば、複数のカラーテレビカメラを用いて、背景となる景観（写真など）と、対象とする建設や道路などの景観要素（模型など）を同時に撮影し、クロマキーなどの手法により映像を合成する（熊谷，1984）。

(3) コンピュータグラフィックス（CG）によるもの

計算機によるCG技術によって景観を創出するもので、今日最も期待されている手法の一つである（笹田，1984）。従来、コンピュータパースとして、道路や建物の景観透視図の作成の技術として使用されてきたが、現在では、自然景観の作成も可能となりつつある（Pentland，1983）。また、実際の景観写真を背景として、CGにより作成された道路や建物を埋込むモンタージュパースなども有効な方法である。しかしながら一方では、CGによる画像は、写真などに比較し臨場感に欠けるなどの点も指摘されている。また、実際に、ある地域の景観をCGによって作成しようとする、この地域の起伏や建物などすべての情報を計算機に入力してやらなければならない、実用面で問題となる点も多い。

本稿で紹介する景観予測システムでは、現場で撮影された景観写真を対象とする。写真をデジタル化して計算機に入力し、画像処理技術を利用することによって、景観要素の除去、合成等を行う。本方式では写真を用いることにより臨場感のある予測を、また計算機処理を行うことによって融通性、汎用性の高い予測を行うことを目的としている。

4 画像処理による景観の予測

景観の予測では、電柱や看板の除去、建物の合成等に様々な画像処理の技術が利用される。図2には、景観予測における画像処理の流れを示した。処理は大別して、(1) 画像の入力及び前処理、(2) 画像の変換、(3) 景観要素の除去、(4) 景観要素の抽出（切り出し）、(5) 画像の合成、に分けられるが、実際の場合には、これらの処理が繰返し実行される。処理の概略を以下に示す。なお、画像処理の一般的な手法に関しては参考文献（Rosenfeld・Kak，1982）を参照されたい。

(1) 画像の入力及び前処理

対象とする景観写真（カラー写真もしくはカラーズライド）をドラムスキャナーによりデジタル化し、計算機に入力する。ここではすべての景観写真を512×512画素（赤、緑、青それぞれ256レベル）のデジタル画像として処理した。また入力された画像では、しばしば、入力装置による走査線雑音等の雑音のみられるため、前処理として雑音除去を行った。

(2) 画像の変換

①幾何変換 複数の景観写真を合成する際、合成される各要素の大きさ、位置を合わせるために、画像の拡大・縮小、回転、平行移動を行う。また、撮影された視点の違いを調整するための変換を行う。変換は、アフィン変換、射影変換を用いた。

②色変換 建物の壁の色を変えたり、景観の季節感を変えるために画像全体の色調を変えたりす

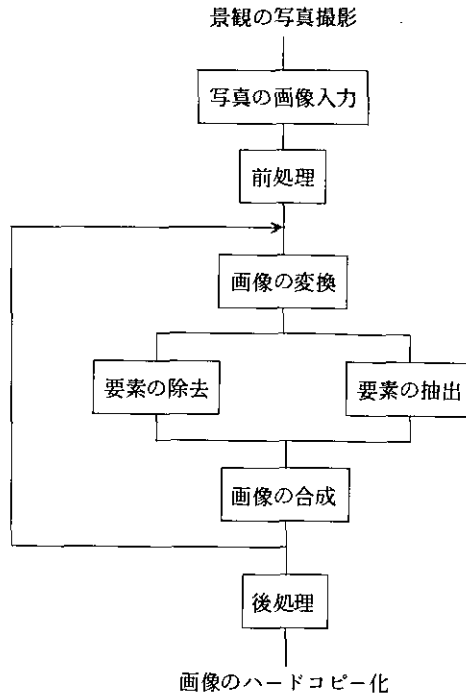


図2 景観予測における画像処理の流れ

る。また合成された画像の色調が不自然とならないよう、合成される各要素の色を変換する。変換には、画像濃度のヒストグラム変換や線形濃度変換を用いた。

③強調と平滑化 合成された画像のキメを合わせるために、合成される各要素を強調したり平滑化したりする。また景観の遠近感を表現するために、遠景となる要素はぼかし、近景となる要素を強調する。通常、平滑化には近傍平均を、強調にはラプシアンフィルターを用いる。

(3) 景観要素の除去

景観の予測で最も多く利用されかつ有効な方法の一つが、景観中から看板や電柱などを取り除く処理である。入力された画像は二次元的な情報しか有しておらず、除去すべき対象の裏側に関する情報を有していないため、その裏側については何らかの形で推定しなければならない。本システムでは、除去すべきものの裏側は、その周囲の状況を外挿して推定することとした。例えば、電柱を除去する場合、電柱の両側の景観を外挿して電柱を埋める。景観の外挿は、グラフィックディスプレイ上に表示された画像中の指定した領域を他の領域に移す処理を、順次対話的に行うことによって実施する。領域の指定はマウスのカーソル等により行った。

(4) 景観要素の抽出

画像から、他の景観に合成すべき樹木、建物などの特定の要素を抽出する。領域の抽出は、

①画像濃度の閾値処理によって特定の色を有する領域だけを切出す、

- ②グラフィックスディスプレイ上のヘアーカーソル等を用いて特定の領域を切出す、
- ③最尤法分類によって、画像濃度の統計的性質を利用し、画像中から特定の色を有する領域だけを切出す、

などの手法を用いた。

(5) 画像の合成

画像中から抽出された樹木、建物などの景観要素を他の画像の前景や背景に埋込む。合成には、画像間の OR、AND といった論理演算等が用いられる。

(6) 接続線の除去

合成された画像では、要素の接続部分に人工的な線状の雑音が残ることがある。これは、画像濃度が急激に変化するピーク状の雑音である場合が多く、本システムでは、後処理として、これらの雑音をメディアンフィルター、ピーク状雑音除去フィルター (Yasuoka, 1983) などにより除去した。

5 景観の予測事例

景観予測技術の利用は、住宅の庭の設計から地域開発における景観設計に至るまで、その範囲は広い。ここでは、住宅地や市街地などにおける景観予測についてその応用例を紹介する。

(1) 住宅地周辺の景観予測

図3に住宅地周辺の景観予測例を示した。図3(a)は対象となった街路の原景観である。図3(b)には、図3(a)の景観より電柱、架線を除去した景観を示した。図3(b)に示されるように、電柱、架線は周囲の景観を外挿するこのことによって除去されており、不自然な印象はそれ程感じられない。さらに図3(c)、(d)には、図3(b)の景観に樹木などを合成した例を示した。図3(c)、(d)において加えられた要素は、他の景観から抽出したもので、領域抽出に際しては、まず色情報を用いて樹木部分のみを抽出し、さらに、ヘアーカーソルによる領域指定によって道路、ガードレール部等を抽出し、これを合成した。

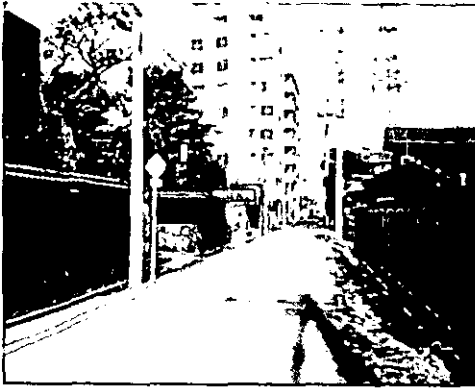
また景観の合成に先立って、全体の色調を合わせるために、図3(a)及び合成される景観要素の色変換を行った。さらに図3(c)、(d)の合成画像において、接続部分に不自然さが残らないようにピーク雑音除去フィルターによる雑音除去を行った。

(2) 市街地の景観予測

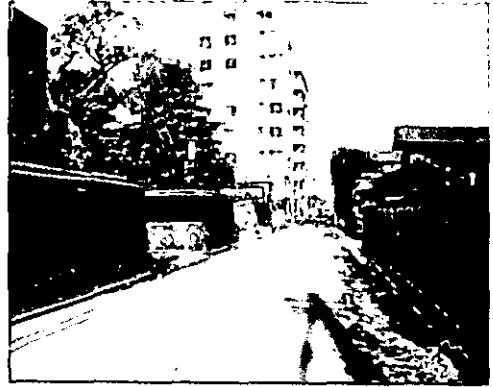
看板や広告の無秩序な設置は、都市の景観を損ねる大きな要因の一つである。ここでは、市街地から広告等を除去することにより景観がどのように変化するかを予測した例を紹介する。図4(a)は市街地の景観であり、図4(b)は予測された景観である。図4(b)では、広告、看板が除去され、さらにビルのスカイラインを揃えることにより修景がなされている。広告、看板等の除去は周囲の景観を外挿することにより行い、ビルの増築も下の階を上を外挿することにより行った。

(3) 工事現場の景観予測

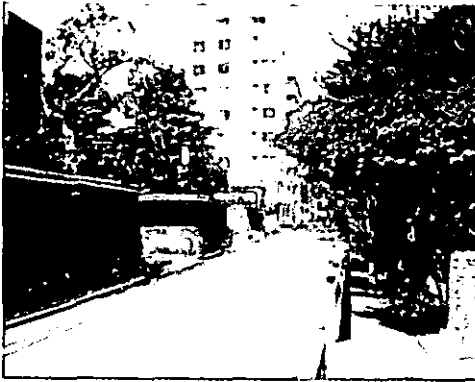
道路や高層ビルの建設によって、その周辺の景観がどのように変化するか、これは住民や設計者



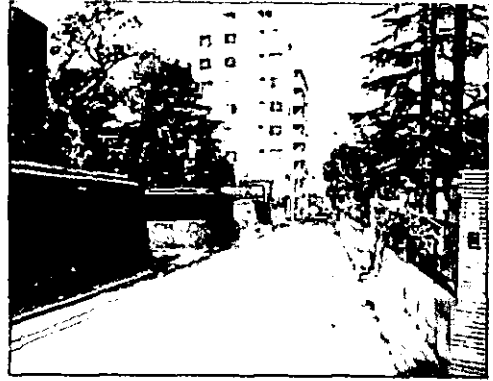
(a)



(b)



(c)



(d)

図3 住宅地周辺の景観予測例。(a) 原景観画像, (b) 電柱, 架線を除去した景観, (c), (d) 樹木を合成した景観



(a)



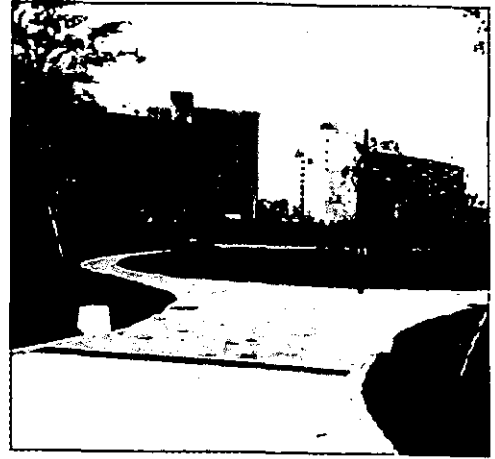
(b)

図4 市街地の景観予測例

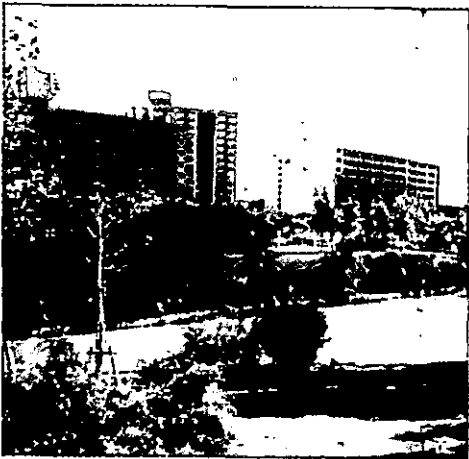
(a) 原景観画像, (b) 看板, 広告を除去した景観



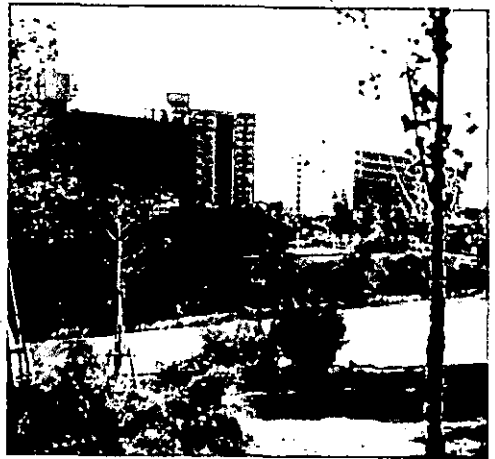
(a)



(b)



(c)



(d)

図5 建設工事現場の景観予測

(a) 原景観画像, (b)~(d) 公園を合成された景観

にとって大きな問題であろう。ここでは、住宅団地の建設工事現場の景観に公園の景観を合成することにより景観予測を行った例を紹介する。図5(a)は工事現場の原景観であり、図5(b)～(d)は予測された景観例である。図5(b)では“遊歩道のある公園”を、図5(c)では“池のある公園”を配した。また図5(d)では、図5(c)の前景にさらに樹木を加えた。ここで使用された画像処理手法は図3の例とほぼ同様である。

景観写真の画像処理による景観予測では、実際の景観写真を利用するため、臨場感などの点で、イラストレーションや模型による予測に較べ優れており、住民や設計者に対し、より明確な景観像を与えるものと考えられる。また計算機による画像処理技術を利用することによって、色や形状の変換が容易となり、従来からの写真処理などに比較して、処理の融通性、汎用性などの点で優れていると考えられる。今後、コンピュータグラフィックス技術との結合により、さらに効果的な景観予測手法の開発が可能となるであろう。なお、図3～5に示された景観の作成に要した作業時間は、それぞれ画像入力から始めて30分～1時間であった。

6 景観予測のための画像処理システム

景観の予測では、先に示されたように、様々な画像処理の機能が必要とされる。特に、電柱や看板など景観中の特定の要素を除去する場合は、グラフィックディスプレイ上に表示された画像に対して、対話的に領域の移動を行い対象を埋込む、などハードウェアの機能を活用した処理も必要となる。このため景観予測システムはソフトウェア、ハードウェアが一体となった効果的なものでなければならない。

ここでは、景観予測のための画像処理システムについて、そのハードウェア及びソフトウェアの概略を示す。なお、本システムは、従来、環境の評価、解析のための画像処理システム (IPSEN: Image processing System for ENvironmental Analysis and Evaluation) として、リモートセンシングデータや電子顕微鏡写真データから有効な環境情報を抽出することを目的として設計されたものである (Yasuoka, 1980)。

(1) ハードウェアシステム

IPSEN のシステム構成図及びその概要を図6及び図7に示す。システムは以下に示す四つの部分から構成される。

①処理制御部 大型計算機 (日立M-280H) 及び小型計算機 (HITAC-20) から構成され、前者は高次の画像処理を、後者は入出力装置の制御及び低次の画像処理を管理する。両装置は高速のデータ転送線で接続されており、画像の転送速度は2～5秒/一画面である。比較的時間のかかる高次の画像処理と計算時間の短い低次の画像処理を二つの装置に分散させることにより、処理の効率化を図っている。

②画像入力部 景観の写真またはフィルムをデジタル化し、計算機に入力するためにドラムスキャナを使用する。画像入力装置は、処理機能の分散化を図るため、直接グラフィックディスプレ

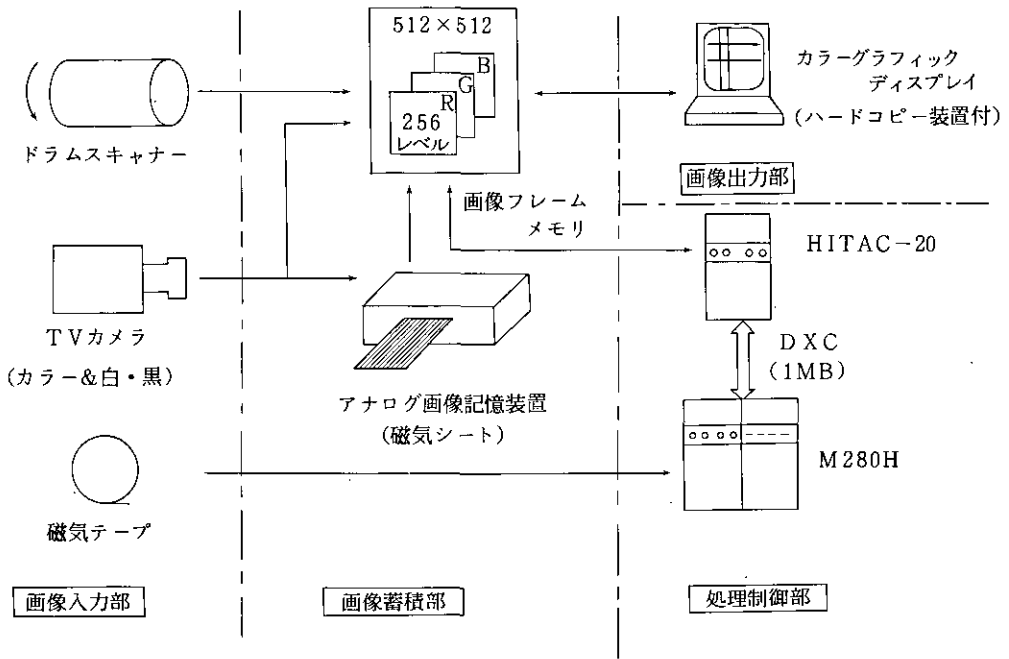


図6 IPSENのシステム構成図

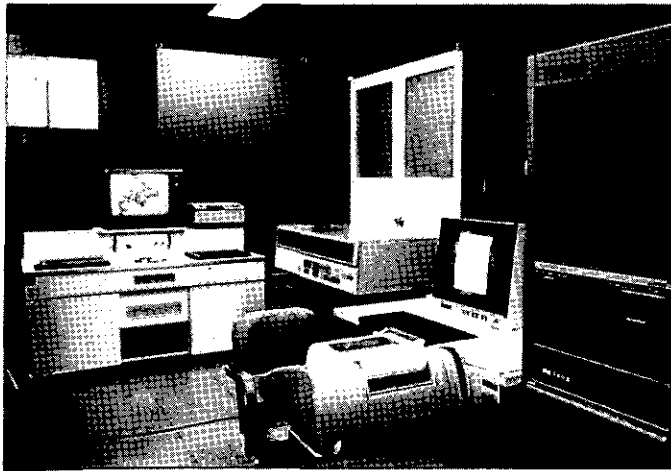


図7 IPSENの概要

イのフレームメモリーに接続し、計算機による画像処理と独立して画像入力が行えるように設計した。

③画像出力部 本システムでは、電柱など画像中の景観要素の除去を、ディスプレイ上で対話的に実施していく。このためにカラーグラフィックディスプレイは以下に示すような機能を有するよう設計した。

- ・512×512画素（赤、緑、青各256レベル）の画面で、自然景観をほぼ自然色で表示できる。
- ・フレームメモリーと計算機間のデータ転送（入出力両方向）を高速で行うことができる。
- ・ヘアカーソルにより、画面上の任意の点、矩形領域を指定し、位置情報、濃度情報を抽出することができる。この機能を利用して、画面上の指定された領域を他の領域に移動することができる。
- ・ハードコピー装置を接続することにより、景観画像の写真、スライドの作成が容易である。

④画像蓄積部 磁気ディスク、磁気テープなどの通常の記憶装置に加えて、操作者が容易に検索、モニターすることが可能な磁気シートによるアナログ画像記憶方式を試みた。この磁気シートでは、100画面/枚のNTSC方式テレビ映像を記憶することが可能で、カラーグラフィックディスプレイのフレームメモリーと接続することにより、景観画像の効率的な蓄積、検索が可能と考えられる。

(2) ソフトウェアシステム

IPSENのソフトウェアは、小型計算機（H-20）におけるソフトウェアと大型計算機（M-280H）におけるソフトウェアから構成され、前者では画像処理コマンドの管理、入出力機器の管理及び低次の画像処理の管理を行う。また後者では高次の画像処理の管理を行う（図8）。

①コマンド処理（CMDモード） 画像処理コマンドの管理を行う。IPSENにおける画像処理は、すべてH-20から処理コマンドを入力することにより対話的に実行される。処理コマンドは、コマンド名、入出力画像ファイル名、処理パラメータから構成されるが、これらの入力はすべて対話的

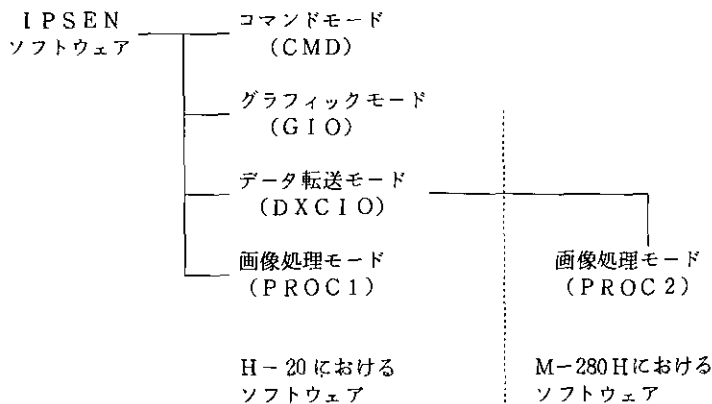


図8 IPSENソフトウェアの構造

に行われる。入力されたコマンド名によって、H-20で実行されるか、M-280Hで実行されるかが判定され、後者の場合、自動的に、処理コマンド及び画像データがチャンネルを介してM-280Hに転送される。

②入出力処理（GIO 及び DXCIO モード） GIO モードは、H-20とディスプレイのフレームメモリーとの間の画像データの転送（入出力）を管理し、DXCIO モードは、H-20 と M-280H の間のデータ転送を管理する。

③画像処理モード（PROC モード） 画像処理の実行を管理する。PROC-1モードでは、H-20による色変換、閾値処理、ヘアーカーソル処理など比較的計算時間が短い画素単位の低次の処理を実行する。幾何変換、領域抽出など計算時間の長い処理はすべてM-280H（PROC-2）で実行される。表1には、景観予測に使用されるIPSEN 画像処理プログラムの例を示した。

なおIPSENでは、M-280Hのソフトウェアはすべてフォートラン言語で書かれているが、H-20におけるソフトウェアは処理の高速化を図るため、アセンブラ言語によって記述されている。

表1 景観予測のための処理プログラム例

処理機能	画像処理手法	景観予測における利用例
色変換	線形濃度変換、ヒストグラム変換	建物の壁の色の変更、画像の色調の変更
幾何変換	アフィン変換、射影変換	景観要素の拡大、回転等、視点の移動による景観の変形
強調	ラプラシアンフィルター、ヒストグラム変換、フーリエ変換	近景の強調、ぼけた景観の修復
平滑化	平均化、メディアンフィルター、フーリエ変換	遠景のぼかし、雑音の除去
領域の抽出	閾値処理、最尤法分類、テキスキャ解析	背景からの要素の切出し
雑音除去	メディアンフィルター、ピーク雑音除去フィルター	接統線の除去、電線等の細い対象の除去
基本処理	画像間の論理演算、ヘアーカーソル処理、基本統計量の計算	画像の合成、電柱、看板等の除去

7 まとめ

画像処理技術を応用した景観の予測手法について検討した。快適な景観を創造していくためには、住民、行政、設計者（専門家）の間の緊密な協力が不可欠であって、その良し悪し、実現の可能性などを検討しなければならない。そしてこのためには地域の具体的な景観を予測し呈示することが必要となる。景観は人々に身近な対象であって、その予測にはより高い臨場感が必要とされる。本方式では

- ・現場の写真を用いることにより臨場感の高い予測を、
- ・計算機による画像処理を利用することにより融通性、汎用性の高い予測を、

実現することを目的とした。

景観予測は、一戸一戸の住宅のレベルから、地域開発のレベルに至るまでその応用範囲は広く、その必要性は益々増えるものと予想される。今後、コンピュータグラフィックス技術との融合、画像データベースシステム（景観データベースシステム）との結合などによって、より融通性のある精度の高い景観予測システムの開発を期待したい。

参 考 文 献

- 熊谷洋一 (1984) : 景観予測技法としてのカラービデオシステムの実用化. 造園雑誌, **47** (5), 213-218.
- 仁木 壮 (1984) : アメニティ・タウン計画の概要. 季刊環境研究, **46**, 23-27.
- Pentland, A. (1983): Fractal-based description of natural scenes. Proc. Computer Vision and Pattern Recognition' 83, 201-209, 1983.
- 笹田剛史 (1984) : 建築の設計とコンピュータグラフィックス. 建築雑誌, **99** (1), 12-15.
- Yasuoka, Y. (1983): Peak noise removal by a facet model. pattern Recognition, **16** (1), 23-29.
- Yasuoka, Y and T. Miyazaki (1980): IPSEN-An interactive image Precessing system for environmental analysis and evaluation. Proc. 5th Intr. Conference on Pattern Recognition, 745-749.

国立公害研究所特別研究成果報告

- 第 1 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究——霞ヶ浦を対象域として——昭和51年度。(1977)
- 第 2 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究——昭和51/52年度 研究報告。(1978)

(改 称)

国立公害研究所研究報告

- ※ 第 3 号 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
(日本産ユスリカ科 *Chironomus* 属9種の成虫, サナギ, 幼虫の形態の比較)
- 第 4 号 スモッグチャンバーによる炭化水素—窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和52年度 中間報告。(1978)
- 第 5 号 芳香族炭化水素—窒素酸化物系の光酸化反応機構と光酸化二次生成物の培養細胞に及ぼす影響に関する研究——昭和51, 52年度 研究報告。(1978)
- 第 6 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究(Ⅱ)——霞ヶ浦を中心として。——昭和53年度。(1979)
- ※ 第 7 号 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
(日本産ユスリカ科20種の成虫, サナギ, 幼虫の形態学的研究)
- ※ 第 8 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和52, 53年度 研究報告。(1979)
- 第 9 号 スモッグチャンバーによる炭化水素—窒素酸化物系光化学反応の研究——昭和53年度 中間報告。(1979)
- 第 10 号 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究——昭和51~53年度 特別研究報告。(1979)
- ※ 第 11 号 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
(大気汚染物質の植物影響およびその植物毒性の機構に関する研究)
- 第 12 号 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
(コンピュータ制御装置を利用したフレイムおよび誘導結合プラズマ分光法による多元素同時分析)
- 第 13 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
(多摩川に発生するユスリカの研究
——第1報 その一支流に見出されたユスリカ各種の分布と下水による汚染度との関係——
——第2報 その一支流に見出された Chironominae 亜科の20種について——)
- 第 14 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壤生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究——昭和53, 54年度 特別研究報告。(1980)
- ※ 第 15 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究——昭和54年度 特別研究報告。(1980)
- 第 16 号 計測車レーザーレーダーによる大気汚染遠隔計測。(1980)
- ※ 第 17 号 流体の運動および輸送過程に及ぼす浮力効果——臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究——昭和53, 54年度 特別研究報告。(1980)

- 第 18 号 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
(環境標準試料「リョウブ」の調製, 分析および保証値)
- ※第 19 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅲ) — 霞ヶ浦 (西浦) の湖流 — 昭和53, 54年度.
(1981)
- 第 20 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅳ) — 霞ヶ浦流域の地形, 気象水文特性およびその湖水環境に及ぼす影響 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 21 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅴ) — 霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 22 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅵ) — 霞ヶ浦の生態系の構造と生物現存量 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 23 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅶ) — 湖沼の富栄養化状態指標に関する基礎的研究 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 24 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅷ) — 富栄養化が湖利用に及ぼす影響の定量化に関する研究 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 25 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅸ) — *Microcystis* (藍藻類) の増殖特性 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 26 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅹ) — 藻類培養試験法による A G P の測定 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 27 号 陸水域の富栄養化に関する総合研究 (Ⅺ) — 研究総括 — 昭和53, 54年度. (1981)
- 第 28 号 複合大気汚染の植物影響に関する研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告. (1981)
- 第 29 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
(多摩川に発生するユスリカ類の研究
— 第3報 夏期の調査で見出されたエリユスリカ亜科 *Orthoclaadiinae* 各種の記載と, その分布の下水汚染度との関係について —
— 第4報 南浅川の冬期の調査で見出された各種の分布と記載 —)
- ※第 30 号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究 — 昭和54, 55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 31 号 大気汚染物質の単一および複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和55年度 特別研究報告. (1981)
- 第 32 号 スモッグチャンバーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究 — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究1) — 昭和54年度 特別研究報告. (1982)
- 第 33 号 臨海地域の気象特性と大気拡散現象の研究 — 大気運動と大気拡散過程のシミュレーション — 昭和55年度 特別研究報告. (1982)
- ※第 34 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和55年度 特別研究報告. (1982)
- 第 35 号 環境面よりみた地域交通体系の評価に関する総合解析研究. (1982)
- 第 36 号 環境試料による汚染の長期モニタリング手法に関する研究 — 昭和55, 56年度 特別研究報告. (1982)
- 第 37 号 環境施策のシステム分析支援技術の開発に関する研究. (1982)
- 第 38 号 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material. (1982)
(環境標準試料「池底質」の調製, 分析及び保証値)
- ※第 39 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1982)

- 第 40 号 大気汚染物質の単一及び複合汚染の生体に対する影響に関する実験的研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1983)
- ※ 第 41 号 土壌環境の遠隔計測と評価に関する統計学的研究. (1983)
- ※ 第 42 号 底泥の物性及び流送特性に関する実験的研究. (1983)
- ※ 第 43 号 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1983)
 Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June with description of 15 new species.
 Part 6. Description of species of the subfamily Orthoclaadiinae recovered from the main stream in the June survey.
 Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.
 (多摩川に発生するユスリカ類の研究
 — 第 5 報 本流に発生するユスリカ類の分布に関する 6 月の調査成績とユスリカ亜科に属する 15 新種等の記録 —
 — 第 6 報 多摩本流より 6 月に採集されたエリユスリカ亜科の各種について —
 — 第 7 報 多摩本流より 3 月に採集されたユスリカ科の各種について —)
- 第 44 号 スモッグチャンパーによる炭化水素-窒素酸化物系光化学反応の研究. — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究 2) — 昭和54年度 特別研究中報告. (1983)
- 第 45 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和53年/55年度 特別研究報告. (1983)
- 第 46 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和54/55年度 特別研究報告 第 1 分冊. (1983)
- 第 47 号 有機廃棄物, 合成有機化合物, 重金属等の土壌生態系に及ぼす影響と浄化に関する研究 — 昭和54/55年度 特別研究報告 第 2 分冊. (1983)
- ※ 第 48 号 水質観測点の適正配置に関するシステム解析. (1983)
- 第 49 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和57年度 特別研究報告. (1984)
- ※ 第 50 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (I) — 霞ヶ浦の流入負荷量の算定と評価 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- ※ 第 51 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (II) — 霞ヶ浦の湖内物質循環とそれを支配する因子 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- ※ 第 52 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (III) — 霞ヶ浦高浜入における隔離水界を利用した富栄養化防止手法の研究 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- 第 53 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (IV) — 霞ヶ浦の魚類及び甲殻類現存量の季節変化と富栄養化 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- 第 54 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (V) — 霞ヶ浦の富栄養化現象のモデル化 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- 第 55 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (VI) — 富栄養化防止対策 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- 第 56 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (VII) — 湯ノ湖における富栄養化とその防止対策 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- ※ 第 57 号 陸水域の富栄養化防止に関する総合研究 (VIII) — 総括報告 — 昭和55~57年度 特別研究報告. (1984)
- 第 58 号 環境試料による汚染の長期的モニタリング手法に関する研究 — 昭和55~57年度 特別研究総合報告. (1984)

- 第 59 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究 — 光化学スモッグチャンバーによるオゾン生成機構の研究 — 大気中における有機化合物の光酸化反応機構の研究 — 昭和55~57年度 特別研究報告 (第1分冊). (1984)
- 第 60 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究 — 光化学エアロゾル生成機構の研究 — 昭和55~57年度 特別研究報告 (第2分冊). (1984)
- 第 61 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究 — 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究1) — 昭和55~57年度 特別研究報告 (第3分冊). (1984)
- 第 62 号 有害汚染物質による水界生態系のかく乱と回復過程に関する研究 — 昭和56~58年度 特別研究中間報告. (1984)
- ※ 第 63 号 海域における富栄養化と赤潮の発生機構に関する基礎的研究 — 昭和56年度 特別研究報告. (1984)
- ※ 第 64 号 複合大気汚染の植物影響に関する研究 — 昭和54~56年度 特別研究総合報告. (1984)
- 第 65 号 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 1. (1984)
(複合大気汚染の植物に及ぼす影響 — 第1分冊)
- ※ 第 66 号 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants—Part 2. (1984)
(複合大気汚染の植物に及ぼす影響 — 第2分冊)
- 第 67 号 環境中の有害物質による人の慢性影響に関する基礎的研究 — 昭和54~56年度 特別研究総合報告. (1984)
- ※ 第 68 号 汚泥の土壌還元とその環境に関する研究 — 昭和56~57年度 特別研究総合報告. (1984)
- ※ 第 69 号 中禅寺湖の富栄養化現象に関する基礎的研究. (1984)
- 第 70 号 Studies on chironomid midges in lakes of the Nikko National Park (1984)
Part I. Ecological studies on chironomids in lakes of the Nikko National Park.
Part II. Taxonomical and morphological studies on the chironomid species collected from lakes in the Nikko National Park.
(日光国立公園の湖沼のユスリカに関する研究
— 第1部 日光国立公園の湖のユスリカの生態学的研究 —
— 第2部 日光国立公園の湖沼に生息するユスリカ類の分類学的, 形態学的研究 —)
- ※ 第 71 号 リモートセンシングによる残雪及び雪田植生の分布解析. (1984)
- 第 72 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究. 環境大気中における光化学二次汚染物質生成機構の研究 (フィールド研究2) — 昭和55~57年度 特別研究報告 (第4分冊). (1985)
- ※ 第 73 号 炭化水素-窒素酸化物-硫黄酸化物系光化学反応の研究. — 昭和55~57年度 特別研究総合報告. (1985)
- ※ 第 74 号 都市域及びその周辺の自然環境等に係る環境指標の開発に関する研究. 環境指標 — その考え方と作成方法 — 昭和59年度 特別研究報告. (1985)
- 第 75 号 Limnological and environmental studies of elements in the sediment of Lake Biwa. (1985)
(琵琶湖底泥中の元素に関する陸水学及び環境化学的研究)
- 第 76 号 A Study on the behavior of monoterpens in the atmosphere. (1985)
(大気中モノテルペンの挙動に関する研究)
- 第 77 号 環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究 — 昭和58年度 特別研究報告. (1985)
- 第 78 号 生活環境保全に果たす生活者の役割の解明. (1985)
- 第 79 号 Studies on the method for long term environmental monitoring – Research report in 1980–1982. (1985)
(環境汚染による汚染の長期的モニタリング手法に関する研究)

- 第 80 号 海域における赤潮発生モデル化に関する研究 — 昭和57～58年度 特別研究報告. (1985)
- 第 81 号 環境影響評価制度の政策効果に関する研究 — 地方公共団体の制度運用を中心として.
(1985)
- 第 82 号 植物の大気環境浄化機能に関する研究 — 昭和57～58年度 特別研究報告. (1985)
- 第 83 号 Studies on chironomid midges of some lakes in Japan. (1985)
(日本の湖沼のユスリカの研究)
- 第 84 号 重金属環境汚染による健康影響評価手法の開発に関する研究 — 昭和57～59年度 特別研究総合報告. (1985)
- 第 85 号 Studies on the rate constants of free radical reactions and related spectroscopic and thermochemical parameters. (1985)
(フリーラジカルの反応速度と分光学的及び熱力学的パラメーターに関する研究)
- 第 86 号 GC/MS スペクトルの検索システムに関する研究. (1986)
- 第 87 号 光化学二次汚染物質の分析とその細胞毒性に関する基礎的研究 — 昭和 53～58 年度総合報告.
(1986)
- 第 88 号 都市域及びその周辺の自然環境等に係る環境指標の開発に関する研究 II. 環境指標 — 応用例とシステム. (1986)

※ 残部なし

Report of Special Research Project the National Institute for Environmental Studies

- No. 1* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1976. (1977)
- No. 2* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1977. (1978)

[Starting with Report No. 3, the new title for NIES Reports was changed to:]

Research Report from the National Institute for Environmental Studies

- ※ No. 3 A comparative study of adults and immature stages of nine Japanese species of the genus *Chironomus* (Diptera, Chironomidae). (1978)
- No. 4* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1977. (1978)
- No. 5* Studies on the photooxidation products of the alkylbenzene-nitrogen oxides system, and on their effects on Cultured Cells – Research report in 1976-1977. (1978)
- No. 6* Man activity and aquatic environment – with special references to Lake Kasumigaura – Progress report in 1977-1978. (1979)
- ※ No. 7 A morphological study of adults and immature stages of 20 Japanese species of the family Chironomidae (Diptera). (1979)
- ※ No. 8* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1979)
- No. 9* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1978. (1979)
- No.10* Studies on evaluation and amelioration of air pollution by plants – Progress report in 1976-1978. (1979)
- ※ No.11 Studies on the effects of air pollutants on plants and mechanisms of phytotoxicity. (1980)
- No.12 Multielement analysis studies by flame and inductively coupled plasma spectroscopy utilizing computer-controlled instrumentation. (1980)
- No.13 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1980)
- Part 1. The distribution of chironomid species in a tributary in relation to the degree of pollution with sewage water.
- Part 2. Description of 20 species of Chironominae recovered from a tributary.
- No.14* Studies on the effects of organic wastes on the soil ecosystem – Progress report in 1978-1979. (1980)
- ※ No.15* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1977-1978. (1980)
- No.16* Remote measurement of air pollution by a mobile laser radar. (1980)
- ※ No.17* Influence of buoyancy on fluid motions and transport processes – Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region – Progress report in 1978-1979. (1980)
- No.18 Preparation, analysis and certification of PEPPERBUSH standard reference material. (1980)
- ※ No.19* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Lake current of Kasumigaura (Nishiura) – 1978-1979. (1981)
- No.20* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Geomorphological and hydrometeorological characteristics of Kasumigaura watershed as related to the lake environment – 1978-1979. (1981)

- No.21* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Variation of pollutant load by influent rivers to Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.22* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Structure of ecosystem and standing crops in Lake Kasumigaura – 1978-1979. (1981)
- No.23* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Applicability of trophic state indices for lakes – 1978-1979. (1981)
- No.24* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Quantitative analysis of eutrophication effects on main utilization of lake water resources – 1978-1979. (1981)
- No.25* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Growth characteristics of Blue-Green Algae, *Mycrocystis* – 1978-1979. (1981)
- No.26* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Determination of algal growth potential by algal assay procedure – 1978-1979. (1981)
- No.27* Comprehensive studies on the eutrophication of fresh-water areas – Summary of researches – 1978-1979. (1981)
- No.28* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Progress report in 1979-1980. (1981)
- No.29 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1981)
 Part 3. Species of the subfamily Orthoclaadiinae recorded at the summer survey and their distribution in relation to the pollution with sewage waters.
 Part 4. Chironomidae recorded at a winter survey.
- ※ No.30* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment – Progress report in 1979-1980. (1982)
- No.31* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1980. (1981)
- No.32* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1). (1982)
- No.33* Meteorological characteristics and atmospheric diffusion phenomena in the coastal region – Simulation of atmospheric motions and diffusion processes – Progress report in 1980. (1982)
- ※ No.34* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution – Research report in 1980. (1982)
- No.35* Comprehensive evaluation of environmental impacts of road and traffic. (1982)
- No.36* Studies on the method for long term environmental monitoring – Progress report in 1980-1981. (1982)
- No.37* Study on supporting technology for systems analysis of environmental policy – The evaluation laboratory of Man-environment Systems. (1982)
- No.38 Preparation, analysis and certification of POND SEDIMENT certified reference material. (1982)
- ※ No.39* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution – Research report in 1981. (1983)
- No.40* Studies on the biological effects of single and combined exposure of air pollutants – Research report in 1981. (1983)
- ※ No.41* Statistical studies on methods of measurement and evaluation of chemical condition of soil. (1983)
- ※ No.42* Experimental studies on the physical properties of mud and the characteristics of mud transportation. (1983)
- ※ No.43 Studies on chironomid midges of the Tama River. (1983)

Part 5. An observation on the distribution of Chironominae along the main stream in June, with description of 15 new species.

Part 6. Description of species of the subfamily Orthocladiinae recovered from the main stream in the June survey.

Part 7. Additional species collected in winter from the main stream.

- No.44* Smog chamber studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides system – Progress report in 1979 – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 2). (1983)
- No.45* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Outlines of special research project – 1978-1980. (1983)
- No.46* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Research report in 1979-1980, Part 1. (1983)
- No.47* Studies on the effect of organic wastes on the soil ecosystem – Research report in 1979-1980, Part 2. (1983)
- ※ No.48* Study on optimal allocation of water quality monitoring points. (1983)
- No.49* The development and evaluation of remote measurement method for environmental pollution – Research report in 1982. (1984)
- ※ No.50* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Estimation of input loading of Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- ※ No.51* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – The function of the ecosystem and the importance of sediment in natural cycle in Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- ※ No.52* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Enclosure experiments for restoration of highly eutrophic shallow Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- No.53* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Seasonal changes of the biomass of fish and crustacia in Lake Kasumigaura and its relation to the eutrophication. – 1980-1982. (1984)
- No.54* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Modeling the eutrophication of Lake Kasumigaura. – 1980-1982. (1984)
- No.55* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Measures for eutrophication control. – 1980-1982. (1984)
- No.56* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Eutrophication in Lake Yunoko. – 1980-1982. (1984)
- ※ No.57* Comprehensive studies on the eutrophication control of freshwaters – Summary of researches. – 1980-1982. (1984)
- No.58* Studies on the method for long term environmental monitoring – Outlines of special research project in 1980-1982. (1984)
- No.59* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen-sulfur oxides system – Photochemical ozone formation studied by the evacuable smog chamber – Atmospheric photooxidation mechanisms of selected organic compounds – Research report in 1980-1982 Part 1. (1984)
- No.60* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen-sulfur oxides system – Formation mechanisms of photochemical aerosol – Research report in 1980-1982 Part 2. (1984)
- No.61* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen-sulfur oxides system – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere (Part 1). – Research report in 1980-1982. (1984)

- No.62* Effects of toxic substances on aquatic ecosystems – Progress report in 1980-1983. (1984)
- ※ No.63* Eutrophication and red tides in the coastal marine environment – Progress report in 1981. (1984)
- ※ No.64* Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Final report in 1979-1981. (1984)
- No.65 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Part 1. (1984)
- ※ No.66 Studies on effects of air pollutant mixtures on plants – Part 2. (1984)
- No.67* Studies on unfavourable effects on human body regarding to several toxic materials in the environment, using epidemiological and analytical techniques – Project research report in 1979-1981. (1984)
- ※ No.68* Studies on the environmental effects of the application of sewage sludge to soil – Research report in 1981-1983. (1984)
- ※ No.69* Fundamental studies on the eutrophication of Lake Chuzenji – Basic research report. (1984)
- No.70 Studies on chironomid midges in lakes of the Nikko National Park – Part 1. Ecological studies on chironomids in lakes of the Nikko National Park. – Part II. Taxonomical and morphological studies on the chironomid species collected from lakes in the Nikko National Park. (1984)
- ※ No.71* Analysis on distributions of remnant snowpack and snow patch vegetation by remote sensing. (1984)
- No.72* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides-system – Research on the photochemical secondary pollutants formation mechanism in the environmental atmosphere. – Research report in 1980–1982, Part 4. (1985)
- ※ No.73* Studies on photochemical reactions of hydrocarbon-nitrogen oxides-sulfur oxides-system – Final report in 1980–1982. (1985)
- ※ No.74* A comprehensive study on the development of indices system for urban and suburban environmental quality—Environmental indices—Basic notion and formation. (1984)
- No.75 Limnological and environmental studies of elements in the sediment of Lake Biwa. (1985)
- No.76 A Study on the behavior of monoterpenes in the atmosphere. (1985)
- No.77* The development and evaluation of remote measurement methods for environmental pollution –Research report in 1983. (1985)
- No.78* Study on residents' role in conserving the living environment. (1985)
- No.79 Studies on the method for long term environmental monitoring – Research report 1980–1982. (1985)
- No.80* Modeling of red tide blooms in the coastal sea – Research report in 1982–1983. (1985)
- No.81* A study on effects of implementing environmental impact assessment procedure – With particular reference to implementation by local governments. (1985)
- No.82* Studies on the role of vegetation as a sink of air pollutants – Research report in 1982–1983. (1985)
- No.83 Studies on chironomid midges of some lakes in Japan. (1985)
- No.84* A comprehensive study on the development of assessment techniques for health effects due to environmental heavy metal exposure – Final report in 1982–1984. (1985)
- No.85 Studies on the rate constants of free radical reactions and related spectroscopic and thermochemical parameters. (1985)
- No.86* A novel retrieval system for identifications of unknown mass spectra. (1986)
- No.87* Analysis of the photochemical secondary pollutants and their toxicity on cultured cells – Research report in 1978–1983. (1986)
- No.88* A comprehensive study on the development of indices system for urban and suburban environmental quality II –Environmental indices – Applications and systems. (1986)

* in japanese

※ out of stock

[昭和60年10月30日受領]

**RESEARCH REPORT FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN**

No. 88

国立公害研究所研究報告 第88号
(R-88-'86)

昭和61年2月28日発行

発行 環境庁 国立公害研究所

〒305 茨城県筑波郡谷田部町小野川16番2

印刷 株式会社 イセブ

茨城県新治郡桜村天久保2-11-20

**Published by the National Institute for Environmental Studies
Yatabe-machi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan
February 1986**