

国立公害研究所特別研究報告

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan

SR—1—'89

遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究

Studies on Remote Sensing for Spatial and Temporal Analysis of Environment

昭和59～62年度

FY 1984～1987

NIES

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立公害研究所

Report of Special Research from the National Institute for Environmental Studies, Japan
国立公害研究所特別研究報告

SR-1-'89

遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究

Studies on Remote Sensing for Spatial and Temporal Analysis of Environment

昭和59～62年度

FY 1984～1987

環境庁 国立公害研究所

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

特別研究「遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究」

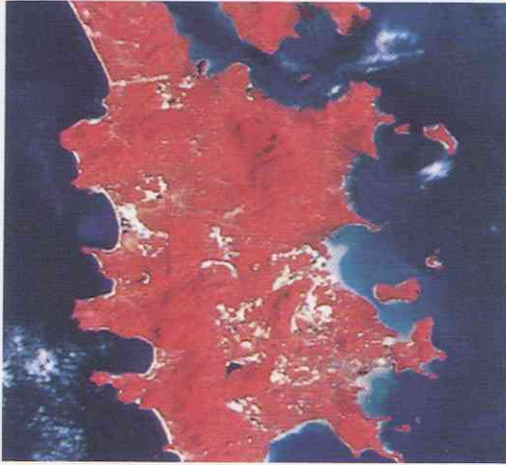
(期間 昭和 59～62 年度)

特別研究責任者：大喜多敏一 大気環境部長 (昭和 59～61 年度)

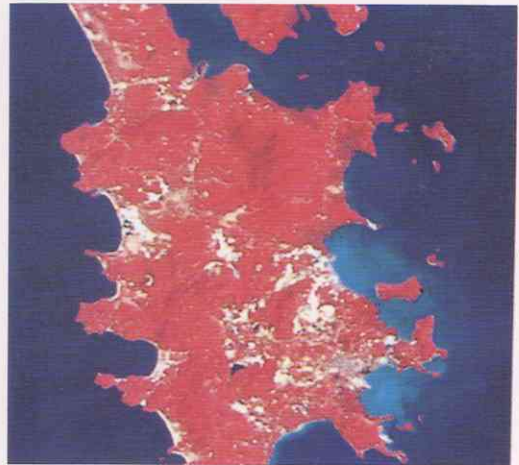
秋元 肇 同 上 (昭和 62 年度)

特別研究幹事：清水 浩・安岡善文・笹野泰弘

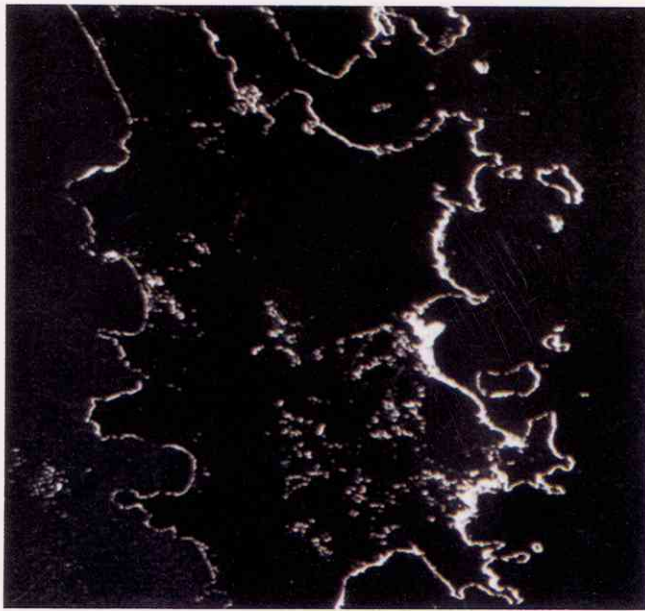
報告書編集担当：笹野泰弘



(a)



(b)

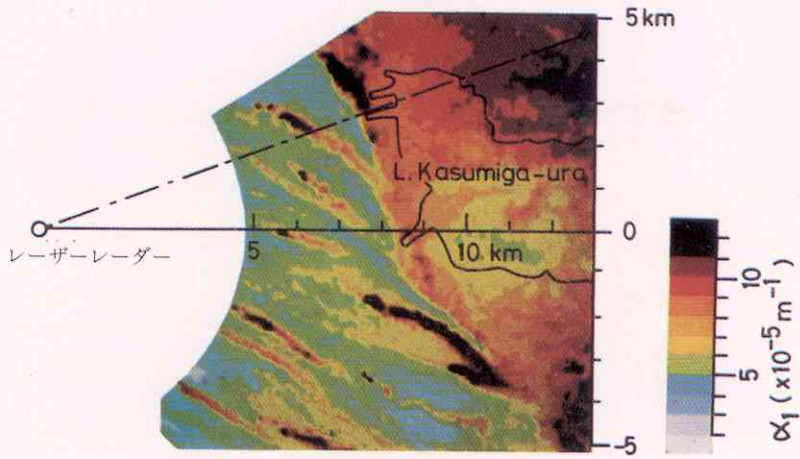


(c)

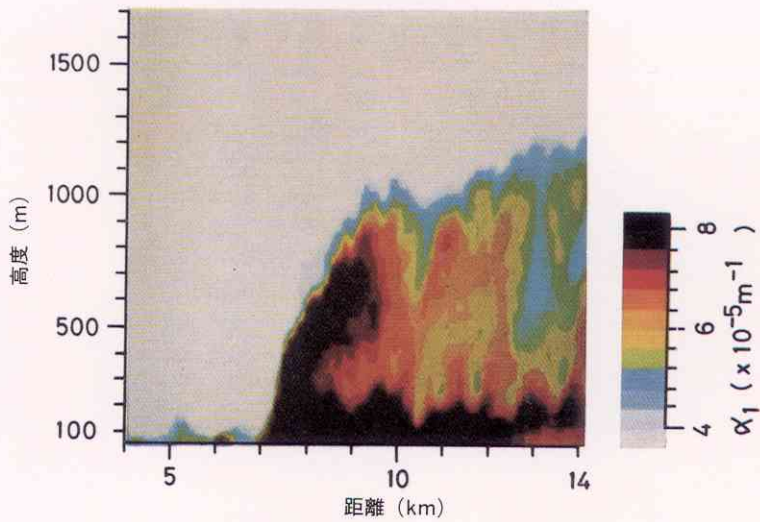
口絵写真1 LANDSAT MSS 画像を利用した土地被覆変化領域の抽出例
(本文 7, 18頁参照)

(a),(b) 1986年1月23日及び1987年2月15日のタイプケ島における MSS 画像。

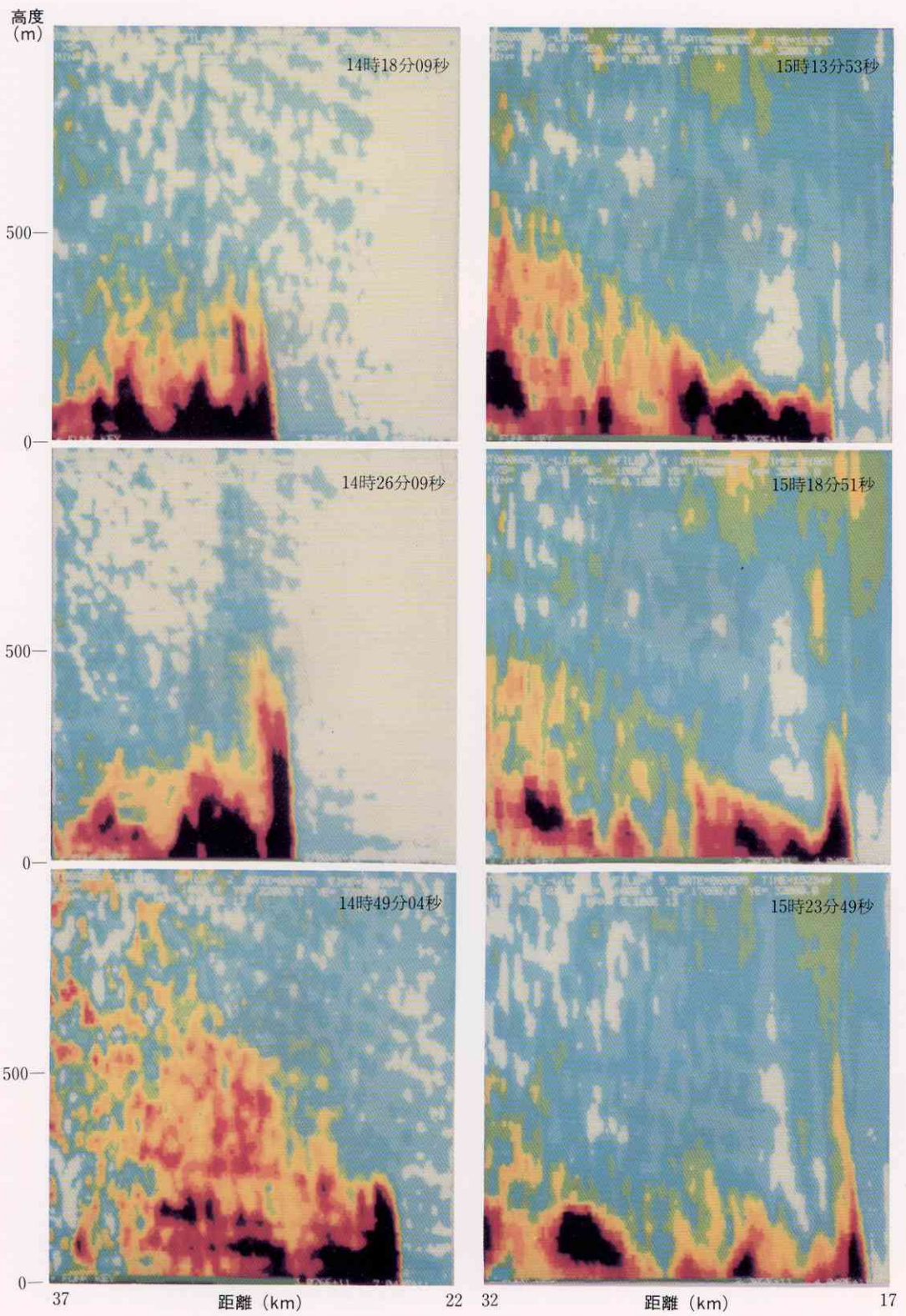
(c) (a),(b)の MSS 画像より抽出された変化領域。



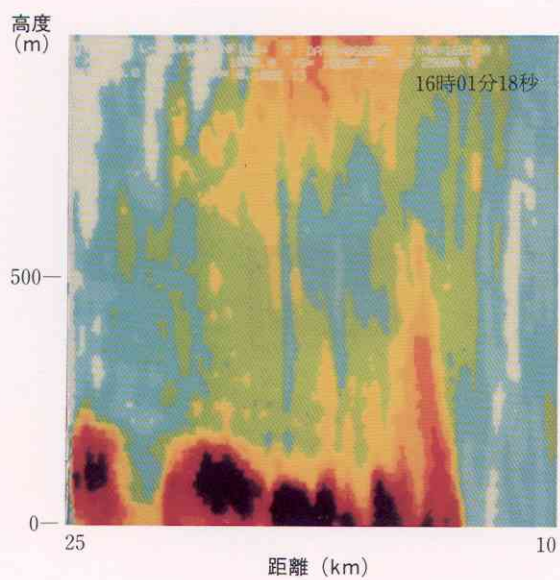
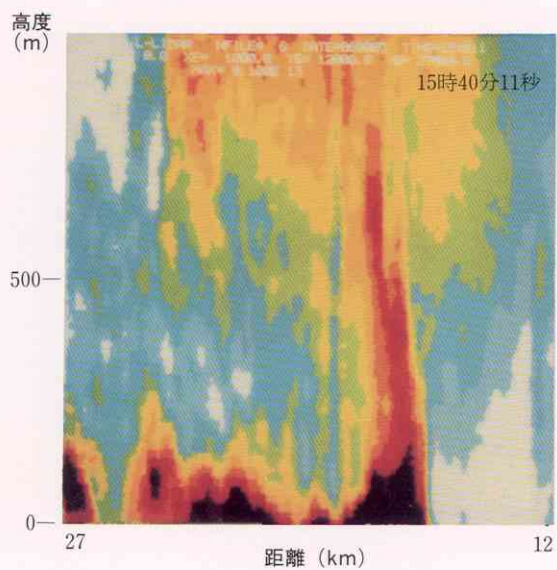
口絵写真2 レーザーレーダーによる PPI 観測から得られたエアロゾル濃度水平分布 (本文 7, 20, 22 頁参照)
 消散係数 α_1 (単位: m^{-1}) の形で得られたエアロゾル濃度は、10 レベルでカラー表示されている。
 (空気分子による消散係数 α_2 は、 15°C , 1 気圧で $1.33 \times 10^{-6} \text{m}^{-1}$ である)



口絵写真3 口絵写真2 の一点鎖線に沿って行った PHI 観測によって得られたエアロゾル濃度鉛直面内分布 (本文 7, 22 頁参照)



口絵写真4 海風前線鉛直構造の時間変化 (本文 23 頁参照)



口絵写真4 (つづき)

序

昭和59年度から4年間をかけて実施してきた特別研究「遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究」が終了した。既に、前期2年間の研究成果については、中間報告を「国立公害研究所研究報告第107号」として出版しており、本報告書は、その後の成果を含め、その全体をとりまとめたものである。

今日の環境問題は、大気汚染を例にとると、局所的な汚染現象から都市スケール、列島規模、さらには多国間、地球規模と非常に幅広い様相を呈してきており、広域化、多様化を特徴としてきている。例えば、湖沼などの富栄養化、赤潮、砂漠化といった空間的に広がりのある現象を解明し、問題解決の方策を探るためには、それらを広域的にかつ同時的に把握するとともに、その時間変化を含めて環境動態を精度よく包括的にとらえることがきわめて重要となる。

当研究所では、このような観点から、遠隔計測技術の持つ「遠く離れた所から、広い範囲を同時に、高い空間・時間分解能をもって、同一の測定器で測定できる」という特徴に着目し、その環境計測への応用のための研究を行ってきた。本特別研究は、先の特別研究「環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究」（昭和55～58年度）が環境の静的な把握を中心とするものであったことを踏まえ、さらに環境の変化（環境動態）をとらえ、より高度な解析に耐えるデータの取得をめざした。このため、先の特別研究に引き続き、大型レーザーレーダー、差分吸収レーザーレーダーを用いたエアロゾルや二酸化窒素などの大気環境の計測や、多重分光走査装置（MSS）による植生、湖沼、土壤水分の計測などの具体的な事例に基づき、新たな装置の開発、データ処理手法の開発などの研究を進めてきた。その結果、環境動態の把握における遠隔計測技術の有用性、あるいはその限界などについて多くの知見を得ることができたと考えている。詳細については、本文をご一読下さり、ご意見・ご批判を賜れば幸いである。

本研究の実施に当たっては、非常に多くの大学や試験研究機関の研究者のご指導とご助言を頂いた。本書の資料編において、その方々の氏名を記し、新たため深く感謝の意を表す。また、今後とも当研究所の研究活動に、より一層のご支援をお願いする次第である。

なお、特別研究報告はこれまで、国立公害研究所研究報告（Rシリーズ）の一環として刊行してきたが、本号より新たにSRシリーズと名づけ装いを改めることとなった。SRシリーズでは、研究を終了した特別研究について、その概要と研究の成果を一般の方々にもできるだけ分かりやすく簡潔に記述することに努めることにした。この点についても今後さらに関係者の御叱正を仰ぎ、より良いSRシリーズを目指していきたいと考えている。

平成元年3月

国立公害研究所

所長 不破 敬一郎

目 次

1 研究の目的と経緯	1
1.1 はじめに	1
1.2 研究のねらいと達成状況	3
1.3 おわりに	8
2 研究の成果	10
2.1 差分吸収レーザーレーダーによる都市域環境濃度の二酸化窒素(NO_2)の測定	10
2.1.1 開発した装置の概要と検証実験	10
2.1.2 二酸化窒素鉛直分布の観測	12
2.2 スペクトル類似度による遠隔計測データからの土地被覆変化の抽出	15
2.2.1 スペクトル類似度	15
2.2.2 MSS 画像からの土地被覆変化の抽出	18
2.3 レーザーレーダーによる海風前線の観測	19
2.3.1 海風前線の水平構造, 侵入過程の観測	20
2.3.2 海風前線の鉛直構造	22
2.4 大気汚染の時間・空間変動のモニタリング	24
2.4.1 大気汚染データの測定局間相関係数	24
2.4.2 大気汚染空間変動構造の気象条件との関係	26
2.4.3 長期平均値濃度の空間分布パターン	29
2.4.4 遠隔計測の常時監視に果たし得る役割	29
[資 料]	
I 研究の組織と研究課題の構成	31
1 研究の組織	31
2 研究課題と担当者	33
II 研究成果発表一覧	35
1 誌上発表	35
2 口頭発表	39
3 本特別研究にかかわる刊行物	45

1 研究の目的と経緯

1.1 はじめに

今日、我々の直面する環境問題は、例えば大気汚染を例にとってみても局所的な汚染現象から都市スケール、列島規模、さらには多国間、地球規模と非常に幅広い様相を呈してきている。また、湖沼等の富栄養化、海域の赤潮の問題、緑の減少（砂漠化）の問題などいずれも広域化、多様化の傾向を有することを特徴としている。このような問題の解決のためには、環境を広域的、かつ同時に把握するとともに、その時間変化を含めて環境の動態を精度よく包括的にとらえることがきわめて重要となる。本特別研究ではこれらの要請に応えるため、遠隔計測（リモートセンシング）技術の持つ、同時性、連続性、普遍性等の特色に着目し、直接測定では困難な広域、高分解、時間的に連続な測定を行い、環境動態をとらえるための計測・評価手法の開発を主眼として研究を進めることとなった。

遠隔計測というのは、主に電磁波が測定対象により散乱、吸収、反射、放射される時の相互作用における波長依存性等を利用して、非接触で対象の検出とその同定を行うものである。遠隔計測技術は、測定器が電磁波源を有するか否かによって、アクティブ（能動型）とパッシブ（受動型）の2つに大別できる。前者はこちらから出した電磁波が測定対象によって散乱、吸収、反射される時の特性を検出するもので、例えばマイクロ波レーダー、レーザーレーダー（図1.1）等がこの範ちゅうに入る。一方、パッシブな遠隔計測では、太陽光の地表面反射あるいは大気による散乱や、地表面や大気からの電磁波の放射を分光して測定し、その分光特性から大気や地表面状態の情報を得ようとするもので、航空機あるいは衛星搭載の多重分光走査装置（MSS）が代表的である（図1.2）。

これらの遠隔計測技術の持つ特徴を一言で言えば、「遠く離れた所から、広い範囲を同時に、高い空間・時間分解能をもって、同一の測定器で」測定できるということにある（表1.1）。これ

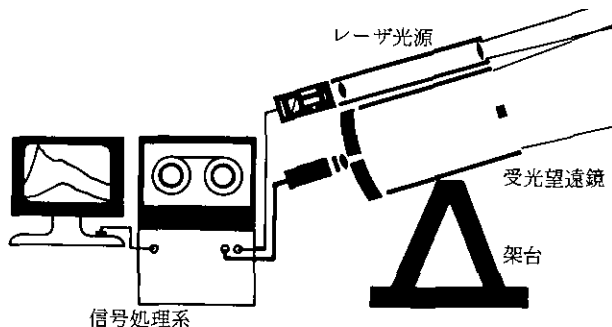


図1.1 レーザーレーダーの原理

レーザーレーダーはレーザーパルスが大気中に向けて発射し、大気中のエアロゾルや空気分子で散乱されて戻ってくる光を受光望遠鏡で受光する。パルスが発射されてからの時間遅れより、対象までの距離を、受信信号の強さから散乱体の濃度を検出する。

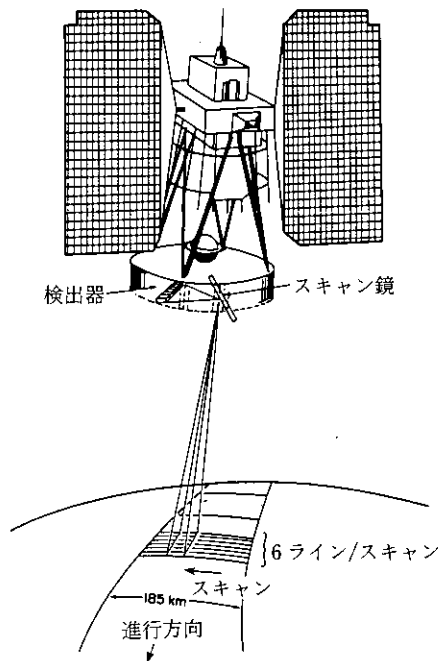


図1.2 多重分光走査装置 (MSS) による地表面の観測の概要

MSS は、地表面で反射された太陽光や、地表面自身が出す赤外線を波長別に、画像として検出する。様々の対象における、散乱や放射の波長特性から対象の識別、同定を行う。詳しくは、和達清夫他編著「リモートセンシング」などを参考にされたい。

表 1.1 遠隔計測 (リモートセンシング) の特徴

<p>遠く離れた所から、 広い範囲を同時に、 高い空間・時間分解能をもって、 同一の測定器で測定できる</p>
--

らの特徴は最初に述べたように、現代の環境問題の空間的広がりあるいは現象の複雑さに対して大いに有効な計測手段となり得ると期待される。

昭和 59 年度に 4 か年計画で開始された本特別研究「遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究」は、その前の 4 年間にわたって実施してきた「環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究」(昭和 55~58 年度)の成果を踏まえ、さらに高次元環境動態の把握手法の開発を目指したものである。先の特別研究では、アクティブセンサーとして大型レーザーレーダー、差分吸収レーザーレーダー等による大気環境の計測、またパッシブセンサーとして人工衛星や航空機に搭載された多重分光走査装置 (MSS) による地表面特性、水質の計測を行うとともに、これらの遠隔計測データのパターン情報解析手法の開発を行った。

その結果、大気域を対象としたレーザーレーダー観測では、半径 50 km に及ぶ広域の大気低

層のエアロゾル濃度分布、大気混合層の構造などの計測可能性が示された。また、排煙流中の高濃度の二酸化窒素などの大気汚染気体の濃度測定が可能になった。さらに、水質汚濁の重要なパラメータである浮遊懸濁物質、透明度、クロロフィル *a* 等の空間分布や陸域の土壌水分量などの評価が、MSS 計測により可能であることが示された。

しかしながら、これらの成果はいずれも環境の静的な把握を中心とするものであり、環境の変化（環境動態）をとらえ、さらに高度な解析に耐えるデータを提供するまでには至っていない。すなわち、環境状態の時間的な変化を追跡し、環境汚染の発生、移流、拡散を理解するためには、取得データの一層の高精度化、定量化が必要であり、また、変化の抽出のための計測パターン情報処理の高度化が必要とされた。

1.2 研究のねらいと達成状況

これらの要請にこたえるため、本特別研究では既存の大型レーザーレーダー等の施設を引き続き活用するとともに、大気汚染等に関係する、より精ちでかつ大容量の情報を得るための装置の開発と、これに対応する新たなデータ処理技術の開発をねらいとして研究を行ってきた。また、人工衛星・航空機から得られる画像データを用いて水質汚濁、植生、土壌環境等の動態把握のための情報処理技術の確立を図ってきた。

さらに、本研究ではエアロゾル、二酸化窒素による大気汚染、湖沼などの富栄養化、植生や土壌水分の変化などの具体的な事例に基づき、遠隔計測による環境動態の把握に必要なデータ収集と、データ解析を進めてきた。研究は4つのサブテーマに分けて行った（表1.2）。サブテーマごとの主なねらいと達成状況は以下のとおりである。

サブテーマ（1）環境動態の把握のための遠隔計測装置の開発に関する研究

十分に高い精密性を有するデータを得るためには、より高い精度の情報が効率よく得られる装置の開発と、高い精度を長時間にわたり安定して維持できる装置又は部品の開発導入が必須であ

表1.2 研究サブテーマ

(1) 環境動態の把握のための遠隔計測装置の開発に関する研究 [新しいレーザーレーダー装置を作る]
(2) 遠隔計測技術に係る大気の光学的性質とその時間・空間変動特性に関する研究 [MSS 測定の高精度化を図る]
(3) 環境動態の把握のためのパターン情報処理に関する研究 [変化する環境を把握するための情報処理]
(4) 動態把握による環境の評価手法に関する研究 [大気汚染を中心にしたケーススタディ]

る。このため、野外連続観測のための高信頼性レーザー光発生装置の開発、高分解能レーザーレーダーの実用化、計測車搭載レーザーレーダーのレーザー光の多波長化、差分吸収レーザーレーダー装置の性能の拡大強化を図ってきた。

高分解レーザーレーダーは、通常のレーザーレーダー測定では分離が困難な、エアロゾルによる散乱と空気分子による散乱とを分離して、計測することができる。これにより、通常のレーザーレーダー測定データの解析に必要な散乱パラメータ（エアロゾルによる消散と後方散乱の比）が求められ、レーザーレーダーによるエアロゾル分布計測の定量化における高精度化が期待できる。本研究では、高分解色素レーザーを光源とし、セシウム原子フィルターを分光素子とするレーザーレーダーシステムを試作した。これを実際の大気観測に適用し、エアロゾルによるミー散乱と空気分子によるレイリー散乱の強度比の鉛直分布を測定した。これより、本方式の原理的有效性が確かめられ、また実用化へのめどをつけることができた。

差分吸収レーザーレーダー（図 1.3）は移動可能なコンテナに収めたシステムを開発し、埼玉県浦和市におけるフィールド実験により性能評価を行った。このシステムは環境濃度の二酸化窒素鉛直分布を計測することをねらいとしたものであり、測定時間を 10 分間としたとき高分解能約 100 m に対して、最小検出感度 2 ppb を達成している。本システムにより高度 1.5 km まで

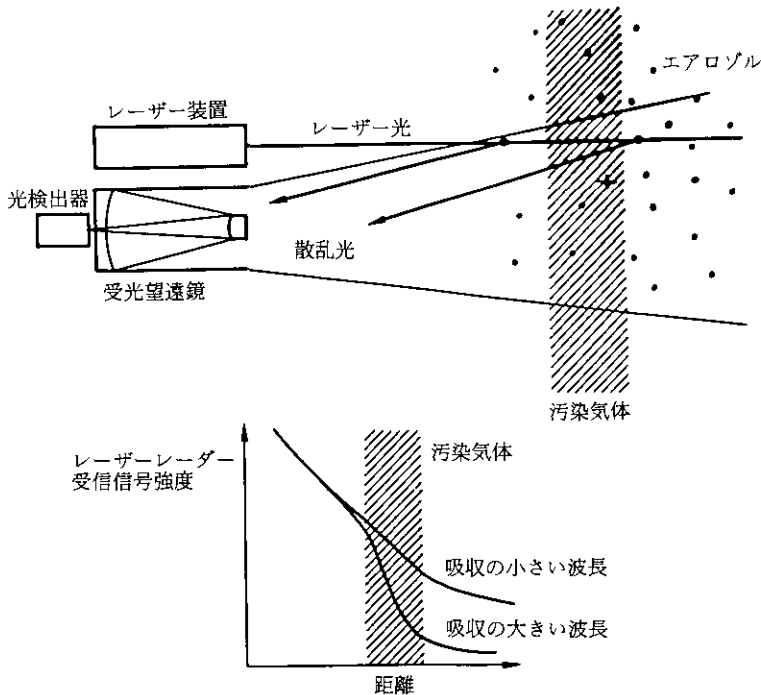


図1.3 差分吸収レーザーレーダーの原理図

対象の汚染気体成分による吸収の強い波長と、吸収の弱い波長の2つの波長のレーザー光を用いて、それぞれでレーザーレーダー測定を行い、受信信号強度の違いから、気体成分濃度を求める。

の環境濃度の測定が可能であることが実証された。また、このシステムによる連続測定により二酸化窒素の高度分布の日変化を観測し、混合層の発達に伴い二酸化窒素高濃度域が上昇すること、海風の侵入により高濃度の二酸化窒素を含む気塊が入ったことなどが明らかになった(図1.4)。

本研究で開発した差分吸収レーザーレーダーは大気低層(地上から1,500 m位)の二酸化窒素の高度分布の測定を目的としたもので、鉛直上方のみを測定対象としたものである。これに対して、例えば、沿道の高濃度汚染現象の解明などに当たっては、高々2~300 m程の近距離を対象とする測定方向が可変の、小型の差分吸収レーザーレーダーが有力な測定機器になり得ると思われる。

サブテーマ(2) 遠隔計測技術に係る大気の光学的性質とその時間・空間変動特性に関する研究

人工衛星、航空機による遠隔計測(MSS)においては、エアロゾルを中心とする大気中の各種成分による電磁波の吸収・散乱等の光学的な効果(大気効果)の影響を受ける。気象条件、観測時期の異なるデータ間の比較により環境の変化(環境動態)をとらえるためには、大気効果を適切に評価し、補正することが不可欠である。そこで、測定データの定量化を行うため、大型

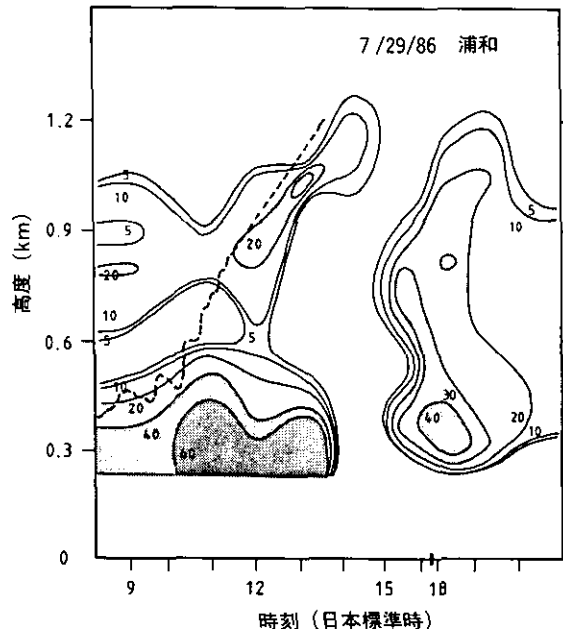


図1.4 差分吸収レーザーレーダー観測で得られた、二酸化窒素の高度分布の日変化

レーザーレーダー等により得られるデータに基づいてエアロゾルの光学的性質とその時間、空間変動特性を解明するとともに、大気の物理光学モデル等を用いた精度向上のための大気効果補正手法の検討を行うことをねらいとした。

エアロゾルの高度分布を定量的に求めるためのレーザーレーダーの新しい解析手法を提案し、その有効性を示した。この手法を適用して求めた対流圏エアロゾルの高度分布に関する大型レーザーレーダーの通年観測データをもとに、その季節変化、日変化を明らかにした。これによれば、晴れた日の日中の対流圏エアロゾル鉛直分布は、混合層（太陽光が地面を加熱することによってできる大気の対流運動の及ぶ領域）の高度と、層内のエアロゾル濃度によって特徴づけられる。混合層より上層では春季の黄砂飛来時を除くとエアロゾル濃度は一般に低い。黄砂飛来時には、上部対流圏のエアロゾル濃度が高くなることが多い。大気エアロゾルの同定には、いくつかの直接サンプリング手法及び分析手法を組み合わせ用い、その有効性について検討した。また、200 m 高の気象観測用鉄塔を用いた大気汚染成分の高度分布の時間変化測定を長期にわたって実施し、混合層内部では高度による濃度の違いの小さいことを見いだした。

大型レーザーレーダーを用いたエアロゾル水平分布パターンに関し、これまでに蓄積してきた測定データを総合的に解析した。これによれば、エアロゾルの水平分布パターンにおける最も顕著な特徴は、数百メートルのスケールでのエアロゾル分布が見られることで、固定発生源からの排出によるものと考えられる。数分程度から数時間程度までの時間スケールに応じて、数百メートルから数キロメートル以上の空間スケールでの変化が見いだされる。

MSS 計測に係る大気効果補正手法の開発に関しては、日本初の地球観測衛星 MOS-1 の性能検証実験の一環として、MOS-1 データ、レーザーレーダーデータ、地上でのスペクトルデータを取得し、大気効果評価のための大気パラメータの推定を行い、方法の比較・検証を行った。このデータは、今後の日本における衛星開発のための基礎データとして用いられる。また、大型レーザーレーダーにより取得したエアロゾル高度分布の季節変化データは、大気効果補正のためのモデル分布として、今後利用して行く。

サブテーマ（3）環境動態の把握のためのパターン情報処理に関する研究

環境動態の把握のためには、多時期の画像データを重ね合わせて比較すること、さらにその時間的変化を解析し、モデル化することが不可欠である。そのため、各環境項目について多重分光データ（MSS）によるパターン計測の総合化を図るとともに、動的パターン解析のための情報処理手法及びシステムの開発を行った。

動的パターンの解析に当たっては、時期・条件の異なる計測データから変化量を抽出することが必要である。そのための一手法としてサブテーマ（2）では、大気効果補正を導入したが、ここでは、全く別の考え方により、大気の光学モデルに基づいた地表面反射特性（スペクトル特性）類似度を基にした、衛星画像からの変化領域抽出手法を開発した。本方式では、大気状態の

変動によっても地表面反射特性の波形は大きく変化しないことに着目して地表面の変化を抽出するもので、大気補正を必要としない変化領域の抽出を可能にした（口絵写真1）。

さらに、画像処理システム IPSEN の拡充を図り、高速かつ効率的に土地被覆分類を行うための対話型画像処理プログラムパッケージ IPSEN-RICA を開発した。また、画像強調の新しい手法を提案し、レーザーレーダー画像データに適用することによりパターンの特徴抽出を容易にした。

サブテーマ（4）動態把握による環境の評価手法に関する研究

大型レーザーレーダー、人工衛星等の遠隔計測手法によって得られる各種項目の分布パターンとそれらの時間的変化を環境汚染の発生、移流、拡散等との関連において解析し、環境の動態把握を行うことを目的とした。

大型レーザーレーダーを用いた大気構造の把握の試みとして本研究では、海風前線の内陸への侵入状況に焦点を当てて、詳細な解析を行った。良く知られているように、海風は日射の強い日に、海よりも陸地が高い温度にまで暖められることによって海から陸地に向かって吹く風である。臨海地域に工場や大都市がある場合、そこで発生した汚染物質が海風によって運ばれ、内陸地域に被害をもたらす例がある。したがって海風の構造、特に海風によってつくられる海風前線の構造と働きを理解することが重要であるとされてきた。しかし、従来の気象観測ではその立体構造や時間的変化を観測することは困難であった。本研究では大型レーザーレーダーを水平及び鉛直に掃引することによりその構造をとらえることに成功した（口絵写真2,3）。また、時間において同様の測定を繰り返すことにより、その動態を測定することができた（図1.5）。

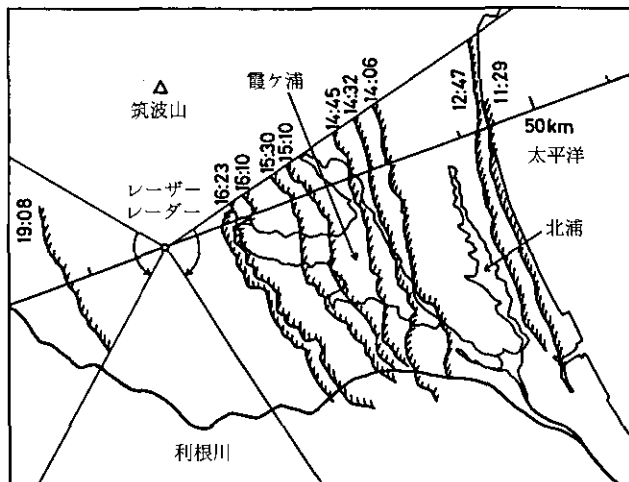



図1.5 大型レーザーレーダー観測で明らかにされた、海風の内陸への侵入
昼前に海岸線付近に現れた海風前線（で示した）が時間の経過とともに、内
陸へ侵入していく様子が見られる。

鉛直上方だけを測定対象とした計測車搭載の移動型レーザーレーダー、差分吸収レーザーレーダー、簡易型レーザーレーダーの3台のレーザーレーダーを熊谷、浦和、大手町の3か所に配置し、3日間の連続同時測定を実施した。これにより、大気低層のエアロゾル分布とその時間変化に関するデータを収集した。これによれば、海風の侵入に伴い、エアロゾル分布に顕著な変化が見いだされ、大手町ではエアロゾル濃度は低くなったのに対し、熊谷では逆に高濃度で厚い海風層が出現した。海岸からの距離、海風が都市域を通過する際の汚染質の大気への注入の違いなどによって解釈できる。このほか、大気環境の動態把握のための道具の一つとして、上空の風向・風速を遠隔的に測定する手法を新たに開発した。これは、ミー散乱レーザーレーダーを基礎とするもので、エアロゾル分布パターンの移動時間を時間相関計算から求めるものである。

さらに、関東地方の大気汚染常時監視局の9年間に及ぶ二酸化硫黄、二酸化窒素、粒子状物質測定データを用いた季節ごとの濃度分布パターン、地点間の相関の経年変化を調べ、また、主成分分析の手法により変化の構造を明らかにした。これによれば、年度、季節によって大気汚染物質の時間・空間変動構造が数年の間に変化してきていることが示唆された。このように、変動特性が時間的に変化するような対象については、従来、提案されてきたような大気観測系の設計手法を適用することはできない。長期間の観測データとともに、レーザーレーダーなどの面的な計測データを併せて用いることにより、より詳細な検討が可能になると考えられる。

1.3 おわりに

国立公害研究所における他の特別研究が主に現象解明型の研究を実施しているのに対して、本特別研究は、環境動態の把握のための遠隔計測技術の確立が主たるねらいである。本研究では、そのための装置の開発、観測の実施、データ処理手法・パターン情報処理手法の開発、現象解明のケーススタディを行い、多くの成果を上げることができた。特筆すべき研究の成果を上げたいくつかの研究項目は以下のとおりである。

サブテーマ（1）

- ・環境濃度の二酸化窒素高度分布測定用レーザーレーダーの開発（*）

サブテーマ（2）

- ・対流圏エアロゾル高度分布の季節変化の観測
- ・日本初の海洋観測衛星 MOS-1 センサーの大気効果補正手法の開発

サブテーマ（3）

- ・MSS データに基づく、土壌水分分布、水面温度分布の評価手法の開発
- ・MSS パターンデータを用いた土地被覆分類、植生分類、変化抽出手法の開発（*）

サブテーマ（４）

- ・レーザーレーダーによる、海風前線の立体構造と内陸への侵入過程の解明（＊）
- ・常時監視局大気汚染データの統計解析による都市域汚染構造の解明（＊）

もちろん、このほかにも挙げるべき成果は多いが紙面の都合上、ここでは割愛し、資料編における成果発表のリストを参照願いたい。また、上で（＊）印を付けた成果については、次章において詳しく解説した。

本研究では計測手法の開発に重点が置かれたため、サブテーマ（４）においては個々の具体的な事例について必ずしも十分な解析が加えられたわけではない。本研究で確立された技術は、今後、現実の問題解決型研究において生かされなければならない。それは、例えば海洋汚染、水質汚濁の問題であったり、砂漠化（緑の減少）の問題であったり、あるいはまた、都市域の高濃度大気汚染の問題であるかもしれない。

すでに、本特別研究の成果の一部は、昭和 62 年度に導入された成層圏・対流圏オゾン測定用多波長レーザーレーダーの設計・製作に当たって、それまでに蓄積したレーザーレーダー技術に関する知見を十分に活用するという形で次の研究に引き継がれているということも特筆に値するだろう。このオゾン測定用レーザーレーダーは昭和 63 年度より開始された「成層圏オゾン層の変動とその環境影響に関する基礎的研究」において活用されている。

また、MSS に関するデータ処理技術は、当所の他の特別研究あるいは科学技術振興調整費（科学技術庁）による研究「アセアン諸国とのリモートセンシング技術の高度化とその応用に関する共同研究」などにおいても利用されている。

2 研究の成果

2.1 差分吸収レーザーレーダーによる都市域環境濃度の二酸化窒素 (NO_2) の測定

差分吸収レーザーレーダー（英語名の頭文字を取って DIAL と呼ばれる）は、大気中の汚染気体濃度の分布を遠隔計測するための有効な手法である。この測定手法では汚染気体による吸収の大きい波長の光と小さい波長の光の、2つの波長のレーザーレーダー信号の減衰の違いから、汚染気体の濃度分布を求める。この手法は1964年に米国の Schotland により提案された。その後、この手法を応用した大気汚染測定システムは多数の研究機関で研究が進められてきた。DIAL は測定対象分子の吸収に同調したレーザー光を必要とするため、DIAL の研究はレーザーの開発に伴って推進されてきた。これまでに、二酸化窒素 (NO_2) のほか、二酸化硫黄 (SO_2)、オゾン (O_3)、水蒸気 (H_2O)、塩化水素 (HCl)、一酸化窒素 (NO) などの測定が報告されている。

二酸化窒素の分布の測定は1974年に西ドイツの Rothe らによって最初に行われた。この実験では排煙中の二酸化窒素を数時間をかけて0.2 ppm の精度で測定した。国立公害研究所でも先の特別研究「環境汚染の遠隔計測・評価手法の開発に関する研究」（昭和55～58年度）において DIAL の基礎研究を行い、排煙流中の高濃度の二酸化窒素の測定を行い、DIAL による大気汚染計測の有効性の評価を行った。

本研究では、この基礎研究に基づいて、都市域の環境濃度の二酸化窒素の測定を目的とするシステムを開発した。この装置は次のような考え方によって設計された。すなわち、局所的な高濃度の問題のほかに、環境濃度レベルでの汚染質の振る舞いを理解するための計測手段が必要とされること、また測定手法の観点からも、DIAL 測定の感度と測定に要する時間及び得られる分布の空間的な分解能を考慮するとき、局所的な現象よりもある程度空間的・時間的スケールの大きい現象を対象とするほうが有効な情報が得られるということである。そこで、測定対象を二酸化窒素の高度分布の日変化に限定して装置の設計を行った。二酸化窒素の高度分布を測定することにより混合層高度と二酸化窒素濃度の関係や、観測点上空を運ばれる二酸化窒素の流量に関する情報が得られる。

開発した装置では測定対象を高度分布に限定することで、測定方向の掃引装置が省略され、比較的容易に大型で高出力のレーザー装置を用いることができた。また、1プロファイルの測定に十分な時間をかけて高い測定感度を得ることが可能となった。この装置の最小検出感度は10分間、距離分解能100 m の測定の場合2 ppb である。

2.1.1 開発した装置の概要と検証実験

この装置の外観を図2.1に示す。装置全体はコンテナの中に設置されており、観測地点までトラックで移動することができる。装置内部の写真を図2.2に示す。装置はレーザー装置、レー

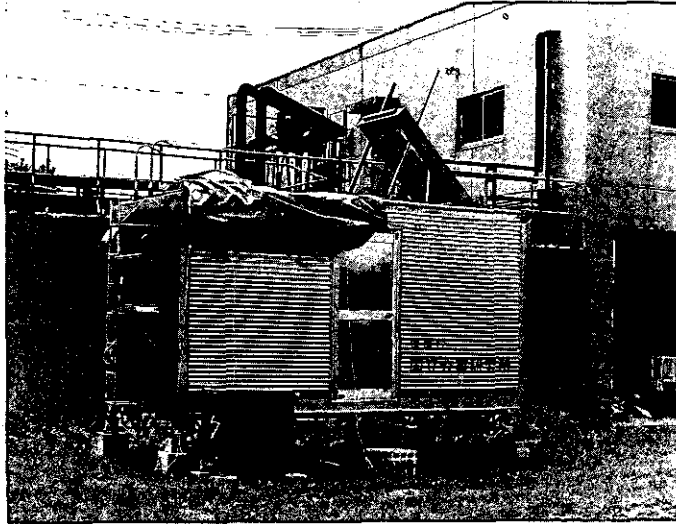


図2.1 二酸化窒素高度分布測定用の差分吸収レーザーレーダーを収めたコンテナ外観

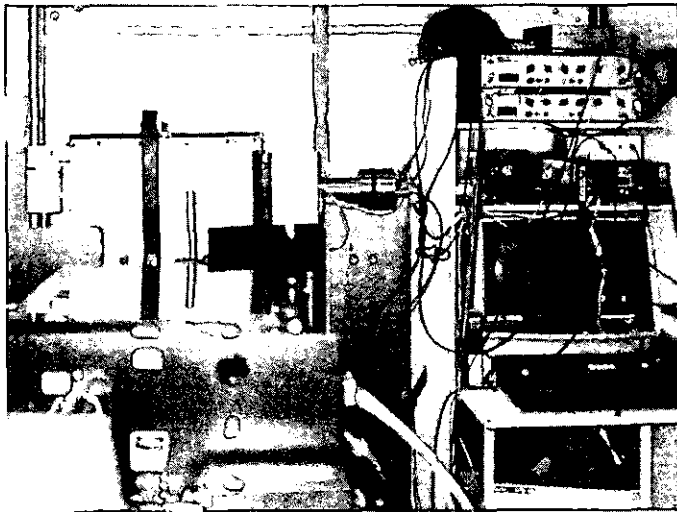


図2.2 二酸化窒素高度分布測定用の差分吸収レーザーレーダーの構成
左奥は受信望遠鏡，左手前はレーザー，右はデータ処理装置。

レーザー光送信光学系，受信望遠鏡，光検出器，受信信号処理装置，データ収集・測定制御用マイクロコンピュータなどから構成されている。この装置では二酸化窒素の吸収のピークに当たる447.8 nm と吸収の少ない446.6 nm のレーザー光を毎秒10回，交互に発射して2波長のレーザーレーダー信号を測定する。レーザー光の送受信はコンテナの天井に取り付けた窓を通して行う。天窗のふたの裏面にはミラーが取り付けられ，測定の方向を鉛直上方の他に水平方向から仰

角 30 度までの範囲で設定することができる。掃引装置は持たず方向の設定は手動で行う。

次にこの DIAL 装置による観測結果の例を示す。図 2.3 は装置の検証実験の結果である。この実験では DIAL による二酸化窒素の測定結果を、カイツーン（けい留気球）によるサンプリング測定と比較した。サンプリング測定ではテフロンチューブをカイツーンで上空につるし、地上までサンプル空気を引き込む方法を用いた。図 2.3 はカイツーンを高度 200 m に固定し、この高度における二酸化窒素を DIAL による測定と比較したものである。DIAL による測定は高度 150~250 m の平均濃度を与え、サンプリング測定では 200 m の高度の濃度を与える。図から両者の測定結果は良く一致していることが分かる。

DIAL では吸収の小さい波長のレーザーレーダーデータからエアロゾルの分布を同時に求めることができる。図 2.4 は DIAL のデータから求めたエアロゾル分布である。エアロゾル濃度は大気混合層の中で高く、その上空では急激に減少する。エアロゾル濃度の急減する高度が大気混合層の上端である。図 2.4 中の太い線は DIAL のデータから求めた混合層の上端を示している。また、図中の縦軸に付けた矢印はカイツーンの高さを表す。図 2.3 において 8 時 10 分前後に二酸化窒素濃度が急増しているが、図 2.4 より、これは観測高度が混合層の内部に入ったためであることが分かる。

2.1.2 二酸化窒素鉛直分布の観測

二酸化窒素の鉛直分布の日変化の観測例を図 2.5 に示す。図中の点線は DIAL のデータから同時に求めた混合層の上端の高度である。午前中に混合層の発達に伴って二酸化窒素の高濃度の領域が上空に広がっていく様子が見られる。夏期の午後は海風による汚染気団の移流が起りやすい状況である。この観測当日の場合も地上の風速データでは 12 時以降に南風が卓越していた。図 2.5 において 16 時ごろに上空に見られる高濃度の二酸化窒素は海風によって運ばれたものであると推測される。

図 2.6 は測定方向を鉛直上方ではなく仰角 10 度とし、距離方向の二酸化窒素の分布の時間変化を示したものである。15 時より 18 時にかけて高濃度の領域が手前に移動していることが見ら

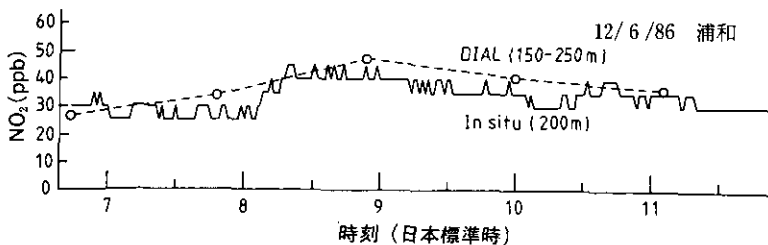


図2.3 二酸化窒素高度分布測定用の差分吸収レーザーレーダーによる測定と、けい留気球による直接測定の比較

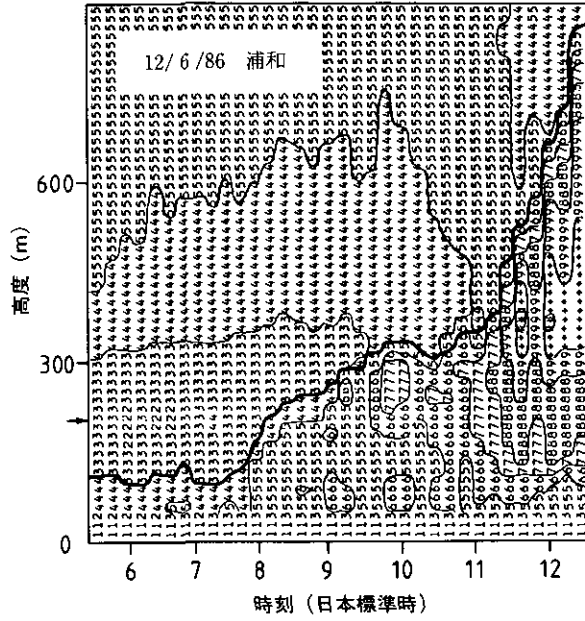


図2.4 エアロゾルの高度分布と混合層高度の時間変化

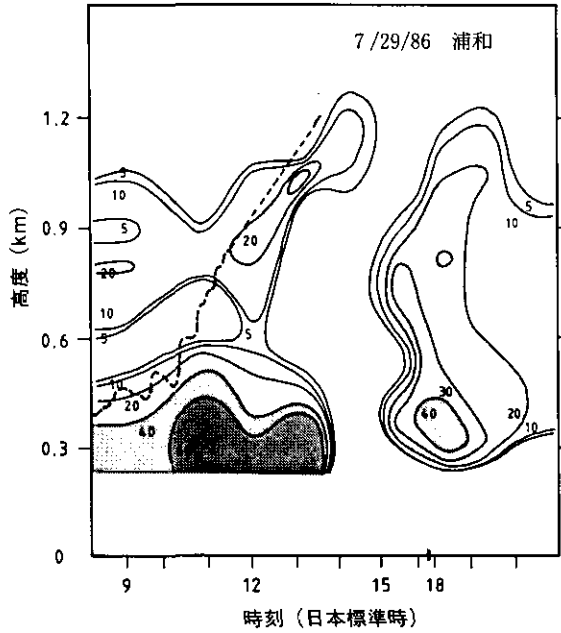


図2.5 二酸化窒素高度分布の時間変化
図中の破線は混合層高度。

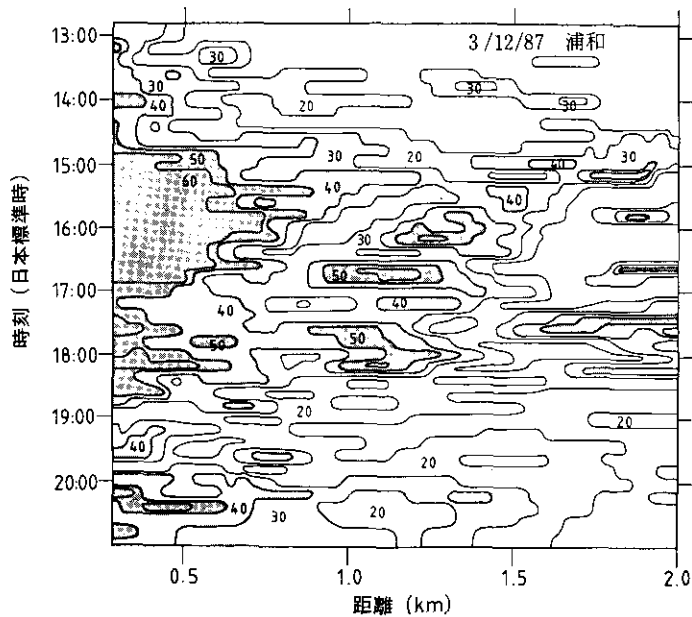


図2.6 二酸化窒素濃度の水平（高度角10度のとき）方向の分布の時間変化

れる。一方向のみの測定であるのでこの図だけから二酸化窒素の移流を議論することはできないが、測定方向の各地点の二酸化窒素がどのくらいの時間スケールで変化するか、また、二酸化窒素がどのくらいの空間スケールで分布するかを見ることが出来る。この図から高濃度の領域は数百メートルのスケールを持つ塊であることが分かる。時間変化のスケールは十分から数十分である。したがって、例えば汚染質に関する化学反応を考える場合に空間的な非一様性を考慮することが重要であることを示唆している。パターンの見かけの大きさは測定の分解能に依存するので実際にはさらに細かいパッチ状になっている可能性も考えられる。DIALによる環境濃度の二酸化窒素測定の距離分解能は100 m、時間分解能は10分程度が限界である。このことを考慮して観測データを利用することが必要である。

本研究により、差分吸収レーザーレーダーによって十分な測定感度で環境濃度の二酸化窒素の高度分布を測定することができることが示され、大気汚染現象を把握するための非常に有効な測定手段であることが示された。差分吸収レーザーレーダーでは混合層高度を同時に測定することができることも大きな利点である。これにより大気構造と汚染気体濃度を同時に把握することができる。本研究の成果の一つは、以上に述べたような有用な観測例が得られたことである。

もう一つの成果は、製作したDIAL装置がほぼ理論どおりの測定感度を達成できた点である。これを実現するために、エアロゾルの分布の時間変化に関する基礎的な研究、レーザー波長切り替え装置の開発、高精度で受信信号を記録するための光電子増倍管のゲインコントロール装置の

開発などを行った。

本研究により差分吸収レーザーレーダー (DIAL) の計測上の問題点及びその対策が明らかにされ、また、技術的にもほぼ完成の域に達したと考えられる。測定対象物質に応じた適当な波長のレーザー光の出せるレーザー発振器を導入することで、本研究で研究した技術は、他の汚染質の測定に応用することができる。昭和 62 年度に導入した成層圏オゾン計測用レーザーレーダーは、本研究で得られた知見を基礎として設計・製作したものである。

2.2 スペクトル類似度による遠隔計測データからの土地被覆変化の抽出

熱帯雨林の減少、農地の砂漠化、都市域における居住環境の悪化など、環境の動態に関する問題は多い。これらの問題に対処するためには、まず、その変化の状況を広い対象地域において正確に計測することが必要である。本研究では、広範囲の環境変化を計測することを目的として、人工衛星から得られたマルチスペクトル画像 (MSS) を用いて、土地被覆の変化した領域を抽出する手法について検討した。

遠隔計測手法を利用した土地被覆の変化抽出では、時期の異なった複数の MSS 画像データを重ね合わせて比較し、変化領域を抽出する。手法は大別して、

① 2 時期の画像から、まず、土地被覆カテゴリー分類図を作成し、対応する各点に対して 2 時期で土地被覆カテゴリーが変化したか否かを調べる方法

② 2 時期の画像を直接比較し、そのスペクトル (色) の変化から変化領域を抽出する方法に分けられる。①の方法では、カテゴリー分類した後その変化を調べるため、変化抽出そのものは簡単であるが、使用する分類手法に依存するため、分類の際のトレーニングエリアの選定や分類手法そのものに起因する誤分類の影響を大きく受ける。一方、②の方法では、MSS 画像のスペクトルを直接比較するため、①の方法のように分類手法による影響は無い。しかしながら、季節の違いによる太陽照度の変化や大気状況の変化が 2 時期の画像のスペクトルに影響するためその補正が必要となる。

本研究では、②の方法による変化領域の抽出手法について検討し、特に、季節や大気状況の変化等による影響を受けにくい変化抽出手法を開発することを目的とした。このために地表面スペクトルの波形特性に着目し、その類似度から変化抽出を行うことを試みた。なお、大気効果の評価・補正手法の開発は、本特別研究の課題の一つであり (サブテーマ 2)、様々な角度からの研究が進められてきた。これに対して、本研究では、直接、大気の影響を除去するのではなく、大気の状態に左右されにくい変化抽出方法を開発することを目的とした。

2.2.1 スペクトル類似度

地上の物質は、太陽の光を受け、それぞれ固有の仕方でも太陽光を反射、吸収、透過する。パッシブ (受動的) な遠隔計測は、この物質固有の波長特性 (スペクトル特性) を上空から測定し、

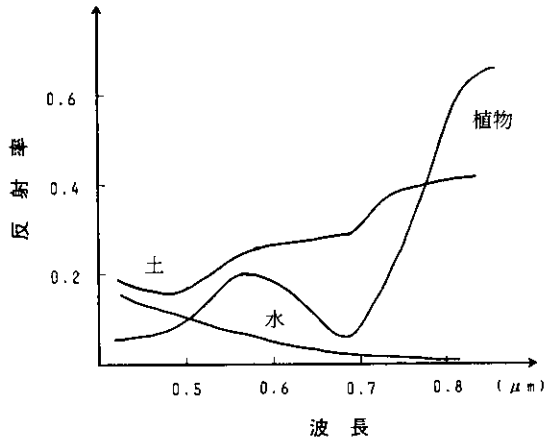


図2.7 物質によるスペクトル特性（反射率）の違い

対象の物質やその状態を推定する技術にほかならない。図2.7には、いくつかの対象について、そのスペクトル特性を例示した。図2.7に示されるように、対象によってそのスペクトル特性は大きく異なり、この違いを利用して、対象の変化を抽出することが可能と考えられる。

本研究では、スペクトル波形特性に「類似度」を定義し、対象地点の2時期のスペクトル類似度から土地被覆状態を比較する方法を提案する。いま、2つのスペクトル波形を $\{X_1(\lambda_i)\} = (X_1(\lambda_1), X_1(\lambda_2), \dots, X_1(\lambda_n))$, $\{X_2(\lambda_i)\} = (X_2(\lambda_1), X_2(\lambda_2), \dots, X_2(\lambda_n))$ とする。ここで λ は波長を表わす。この時、 $\{X_1(\lambda)\}$, $\{X_2(\lambda)\}$ のスペクトルの波形類似度を、その相関係数

$$D = \frac{\sum_i (X_1(\lambda_i) - \bar{X}_1) \cdot (X_2(\lambda_i) - \bar{X}_2)}{\sqrt{\sum_i (X_1(\lambda_i) - \bar{X}_1)^2 \cdot \sum_i (X_2(\lambda_i) - \bar{X}_2)^2}}$$

$$\bar{X}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_k(\lambda_i) \quad (k=1, 2)$$

により定義する。図2.8には波形類似度の概念を模式的に示した。 D は定義より、 $-1.0 \leq D \leq 1.0$ の値をとり、2つの波形 $\{X_1(\lambda_i)\}$, $\{X_2(\lambda_i)\}$ が $X_1(\lambda_k) = pX_2(\lambda_k) + q$ ($p > 0$) の線形関係にあるときのみ $D=1.0$ となる（ここで p, q は波長に依存しない定数とする）。すなわちスペクトル類似度 D は、2つのスペクトル $\{X_1(\lambda_i)\}$, $\{X_2(\lambda_i)\}$ がその輝度レベルが全体として変化しても、もしその波形の形そのものがあまり変化しない場合は、1.0に近い値を示し、波形の特徴が変化した場合1.0より小さな値となる。

図2.9には地上で測定された2つのスペクトル特性の類似度の例を示した。図2.9(a)はタイ（プケ地区）において測定されたトウモロコシのスペクトル、図2.9(b)はタイ（コンケン地区）において測定された草地のスペクトルを示す。図2.9(c)には、両者のスペクトル類似度を表す相関図を示した。図2.9(c)において各波長でのスペクトル強度が、ほぼ直線に乗ることから、異なった条件下においても植生からの地表面反射輝度はその類似度が高いことが示されている。

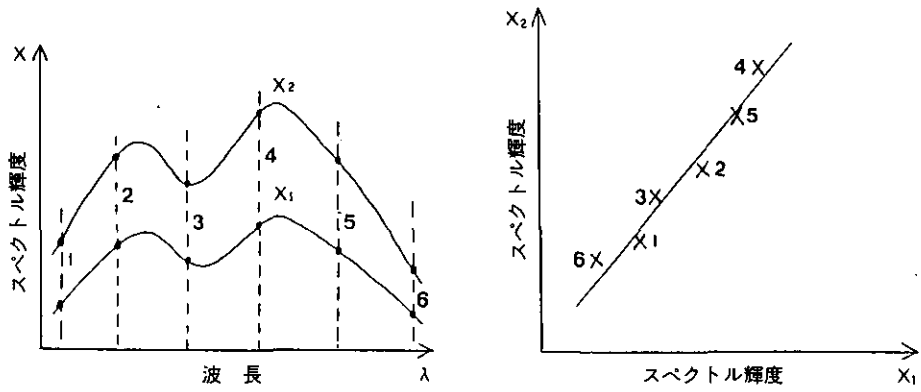
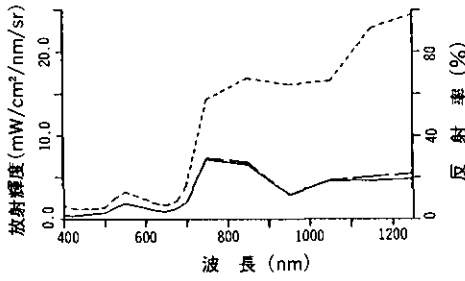
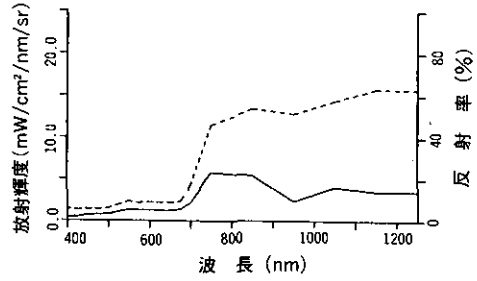


図2.8 スペクトル波形の類似度の概念



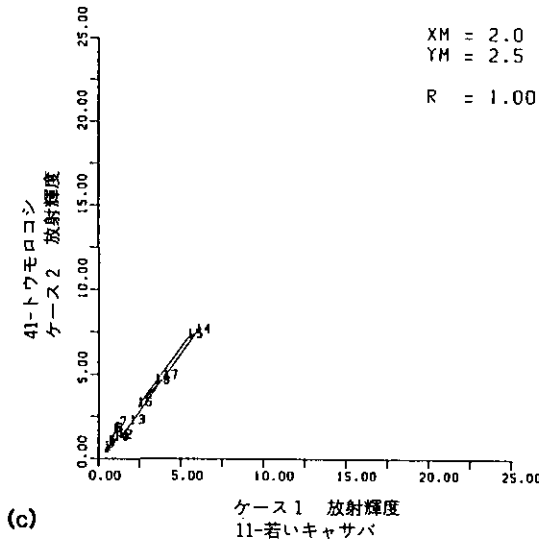
DATA NO. 42 / REF. NO. 43
87/02/10 11:50:50
0004 CBRM

(a)



DATA NO. 10 / REF. NO. 8
87/02/09 10:21:33
0004 CASSABA YOUNG(3STAGE)

(b)



(c)

図2.9 スペクトル類似度

(a), (b) トウモロコシ及びキャサバのスペクトル特性。
(c) トウモロコシ及びキャサバのスペクトル類似度。

2.2.2 MSS 画像からの土地被覆変化の抽出

スペクトル類似度を人工衛星から得られる MSS 画像に適用し、広域の土地被覆変化状況を調査することを試みた。ここでは、その一例として米国の人工衛星 LANDSAT から得られた MSS 画像（4つの波長バンド）を用いてタイにおける植生改変地域を抽出した例を紹介する。対象地域はタイ南部プケ島で、この地域ではゴム、ココナツ等の植林された植生が支配的で、海岸線の一部マングローブの密生地域も残存するが、全体として原生の植生は少ない。また原生植生の残存する地域も、スズ鉱山の拡大に伴い減少する傾向がみられる。

使用した MSS 画像は、それぞれ 1986 年 1 月 23 日及び 1987 年 2 月 15 日に収集されたもので、2 時期の MSS 画像は、あらかじめ幾何学的変換により、対応する地点が重なるよう位置合わせ処理を施した。重ね合わされた MSS 画像中の対応する各点に対し、各点のスペクトル $\{X_1(\lambda_i)\}, \{X_2(\lambda_i)\}$ ($i=1, 2, 3, 4$) からスペクトル類似度 D を算出し、 D が一定の閾値 D_0 より小さい点を対象のスペクトルが変化した点、すなわち地表面被覆状況の変化した点として抽出した。

口絵写真 1 には変化抽出結果を示した。口絵写真 1 (a), (b) は、1986, 1987 年の対象地域の MSS 画像であり、樹木が赤い色で強調されるように表示してある。(c) はスペクトル類似度による変化領域抽出画像で、白い部分が変化した領域を示している。抽出された変化領域は、主にスズの鉱山周辺に集中しており、鉱山の拡大による植生改変が著しいことを示している。なおこの状況は、現地調査の結果とも一致している。

地表面でのスペクトル特性は、太陽の高度や大気状況によって変化するため、2 時期の MSS 画像におけるスペクトル特性の違いから地表面の変化を抽出しようとする場合、大気等の影響の除去が必要となる。本研究で提案した方法では、スペクトル特性の波形類似性を評価しているため、太陽高度等が変化しスペクトルの強さ(輝度)が変化してもその影響を受けない。一般に、地表面状況の変化に比較して、大気の変化は小さい。このような状況の基では、地表面状況の変化していない地点の人工衛星スペクトル $\{X_1(\lambda_i)\}, \{X_2(\lambda_i)\}$ の間には近似的に $X_1(\lambda) = pX_2(\lambda) + q$ (p, q は波長によらず一定) なる関係が成り立つ。このため前節に示されたスペクトル類似度の性質より、上空から得られた MSS 画像に対してもスペクトル類似度による土地被覆の変化抽出が可能となる。

地球規模の環境問題では、対象とされる領域が広いばかりではなく、その動的変化をとらえるために長期にわたる観測が必要であり、地上での観測データのみから全体の現象を把握することは容易ではない。人工衛星等を利用した遠隔計測手法の活用は、人間が直接観測しにくい密林や砂漠の状況を探査する上で不可欠と考えられる。

本研究では、人工衛星から得られる画像を基に土地被覆の変化状況を調査する手法について検討を行った。特に、大気による影響を受けにくい変化抽出を行うためにスペクトル特性類似度を

導入し、MSS画像に適用した。本方式は、大気状態の変動によっても上空で検知される地表面スペクトル特性の波形の特徴は大きく変化しないことに着目して地表面の変化を抽出するもので、大気特性等による影響の少ない変化領域抽出手法といえる。

2.3 レーザーレーダーによる海風前線の観測

日本では沿岸部に大都市や工業地帯が集中して、大気汚染物質の大規模発生源となっているが、その沿岸部ではなく、むしろ内陸部で光化学スモッグの被害が大きく、ときには100 km以上離れた長野県内で、関東地方南部に起源を持つと思われる光化学スモッグが観測されることがある。このような光化学スモッグの長距離輸送については、1975年代後半から精力的に研究され、海風が光化学スモッグを運ぶことや、100 km以上に及ぶような長距離輸送には、海風と山風や谷風が結びついてできた大規模海風が大きな役割を果たしていることが分かってきた。

しかし、海風によって運ばれてきた大気汚染質の運命についてはそれほど明らかになっていない。図2.10に示すように、海風の上に反流と呼ばれる陸から海に向かう風があつて、それによって大気汚染質が海側に運ばれると考えられている。しかし、どのようにして、海風中の大気汚染質が反流の中に入って行くのかという問題、すなわち、海風前線をはさむ海側の空気塊と、陸側やより上空の空気塊との混合の機構は明らかになっていない。このような混合は、海風内部では大気汚染質の希釈をもたらすが、同時に、大気汚染質のより上空への輸送と蓄積、さらには上空を経由する長距離輸送につながるものである。これは、近年問題となっている酸性雨や対流圏における微量成分濃度の変化とも無関係ではないと考えられる。海風前線付近の大気の構造と運動の実態が明らかでなかったのは、秒速数mで移動し、しかも目に見えない複雑な構造を持った海風前線を観測できる高い時間・空間分解能をもった観測手段がなかったからである。

本研究では、遠隔計測による環境動態把握の一事例として、エアロゾルをトレーサーに用いた海風前線の構造の観測を試みた。この観測は大型レーザーレーダーの「短時間でエアロゾルの水平・鉛直分布を観測できる」という特性を活用するもので、その結果、世界で最初にレーザーレーダーを用いた海風前線の観測に成功した。レーザーレーダー観測によって得られた海風前線の鉛直構造と水平構造は、レーダー等によってこれまで得られたものに比べはるかに高い空間分解能を持っており、その詳細な構造はそれ自身で海風前線周辺の空気の流れを可視化している。

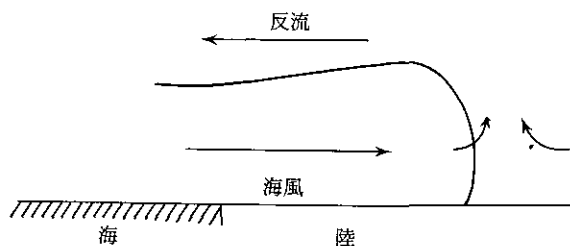


図2.10 海風前線の模式図

2.3.1 海風前線の水平構造, 侵入過程の観測

口絵写真2はレーザーレーダーによって観測されたエアロゾル濃度水平分布である。図の中央には、画像を二分する境界がある。気象データによるとこの西側では、西北西の風、東側では東南東の風が吹いていた。東南東の風の領域は時間と共に鹿島灘に面した沿岸部から内陸に向けて移動しており、画像上の境界が海風前線に対応することが確認された。

図2.11は1986年8月5日に、鹿島灘方面から侵入する海風前線の位置と形の時間変化を、11時29分～19時8分まで、レーザーレーダーによって観測したものである。ハッチングをつけた曲線が海風前線であるが、これは口絵写真2に示されるような境界に対応する。エアロゾル濃度が一様に高い領域が沿岸部から侵入していること、この領域には大規模な大気汚染物質の発生源がないこと、霧は観測されていないことを考慮すると、海風に含まれている海塩粒子によって高濃度エアロゾルがもたらされていると考えられる。海風前線には、1 km 程度のスケールの凹凸や数 km から 10 数 km のスケールの湾曲がみられる。大きな湾曲は霞ヶ浦の前後で見られ、海風前線の侵入に霞ヶ浦が影響を与えていることが推察される。

1986年9月4日15時には、国立公害研究所でオゾン濃度の急上昇が見られた(図2.12)。図2.13には15時のオキシダント高濃度域と風向風速、及びレーザーレーダーによって観測された海風前線の位置を示した。この日は、オキシダントの高濃度域と南風の領域が千葉方面から北上しており、光化学スモッグに含まれるエアロゾルと海塩粒子によって海風領域のエアロゾル濃度が高くなっていたと考えられる。

このほか、1986年8月6日には南東方向からの海風の侵入も観測されている。したがって、

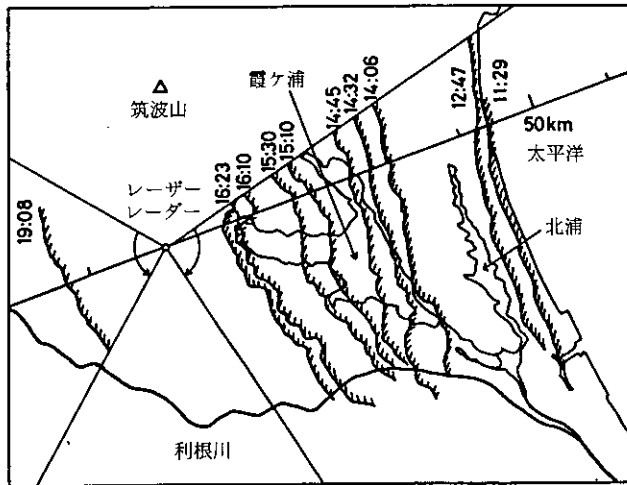



図2.11 レーザーレーダー測定で求められた海風前線の内陸への侵入状況
海風前線の位置を  で示した。

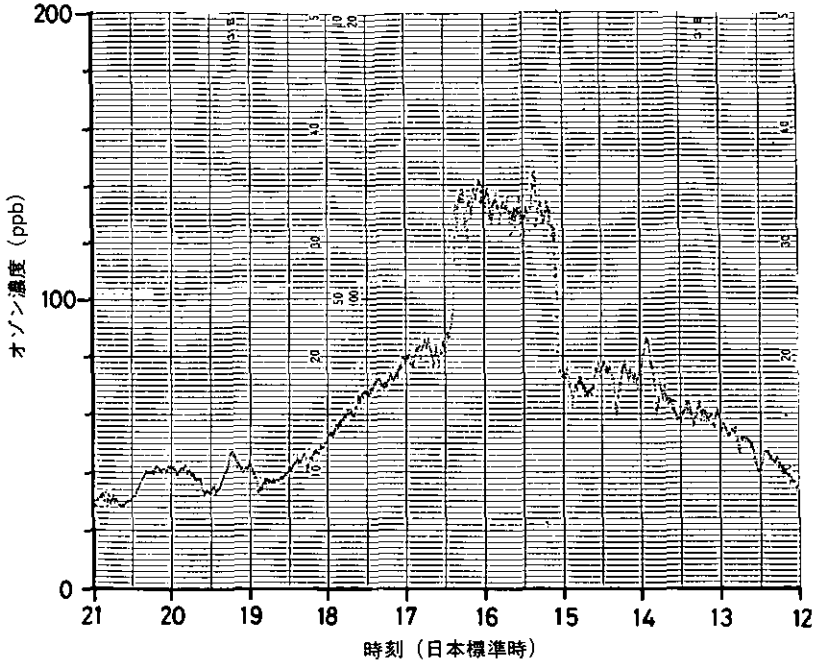


図2.12 国立公害研究所大気モニター棟で観測されたオゾン濃度の時間変化 (1986年9月4日)

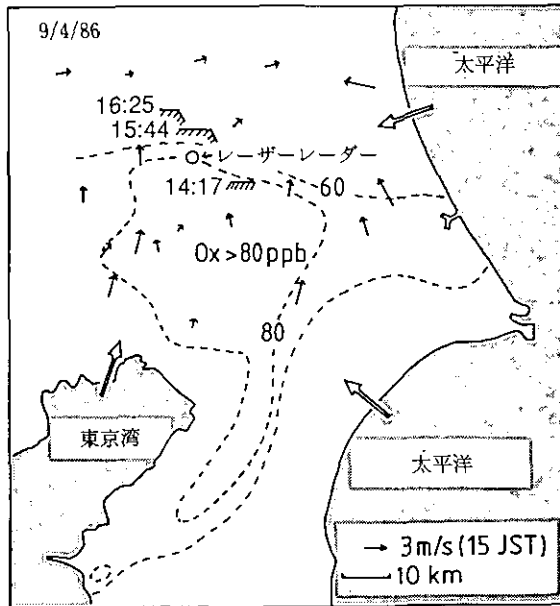


図2.13 オキシダント高濃度域の分布とレーザーレーダー測定で求められた海風前線の位置 (〰〰〰で示した) の時間変化
 図中の矢印は風向と風速を表す。(国立公害研究所が地方自治体の協力を得て収集している環境大気常時監視データを利用した。)

つくば市方面に侵入する海風には、

- ①鹿島灘から侵入する東北東の海風
- ②九十九里浜方面から侵入する南東の海風
- ③千葉方面から侵入する南の海風

が認められた。②と③の場合には後に①の海風によって取って代わられた。

2.3.2 海風前線の鉛直構造

レーザーレーダーによって観測された海風前線の鉛直構造の例を示す。口絵写真3は口絵写真2のエアロゾル水平分布の観測に引き続いて観測されたエアロゾル鉛直分布である。距離7.5 kmの地点が海風前線の位置にあたる。海風前線より海側(右側)下部にエアロゾル濃度の高い部分があり、それが海風前線のところで上に方向を変えて上っている。その後ろ側には波状の構造が見られる。このエアロゾル濃度鉛直分布を2次元的に微分してエアロゾル濃度の急変する部分を取り出したのが図2.14である。海風前線付近の大気は3領域に分かれている。海風前線の右側、高度約250 mより下の部分は海風が侵入してくる領域で、その上が海風と陸側から吹く風が混合している領域、左側は陸側から風の吹いてくる領域である。

図2.15は1986年8月5日の海風侵入時のエアロゾル濃度鉛直分布である。距離30 km付近に海風前線がある。そのほかに、高度1,200~1,500 mにかけて雲がある。これは収束雲で、陸側の空気が海風前線の前面で上昇して作る雲である。海風前線の来ない場合には、混合層(太陽光が地面を加熱することによってできる大気対流運動の及ぶ領域)の内部に高濃度エアロゾルが見られるが、この海風前線の場合にはそれが見あたらない。陸側の風が強いためか、あるいは、海風前線前面の上昇気流が強いため混合層の構造が破壊されたためであろう。

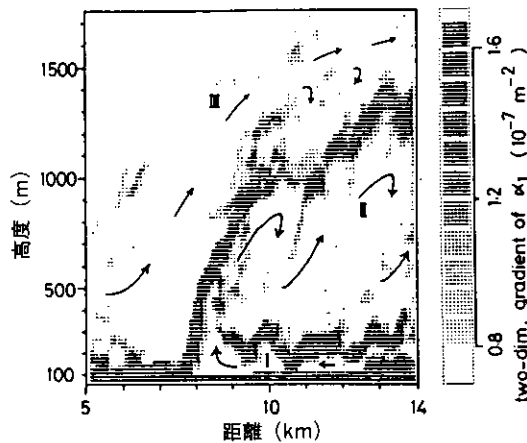


図2.14 縁辺強調の手法を施した海風前線鉛直断面構造
海風域、混合層域、反流域が区別できる。

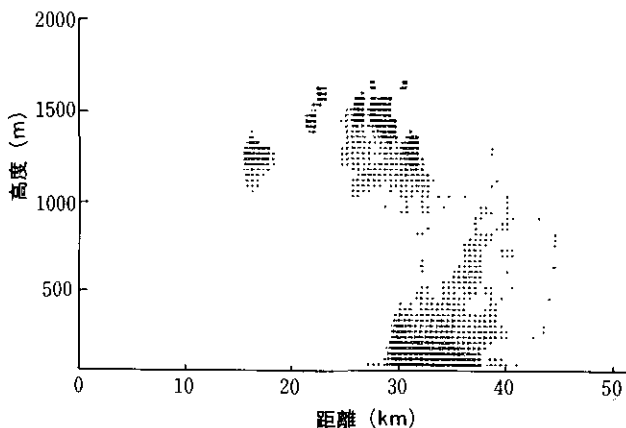


図2.15 1986年8月5日に観測された海風前線の構造
30kmより右側に海風域があり，上空1,200~1,500mには雲がみられる。

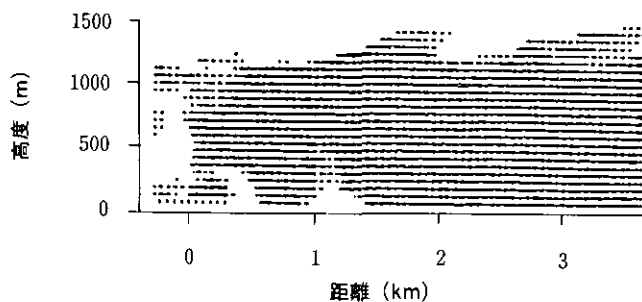


図2.16 1986年9月4日に観測された海風前線の構造
海風は上空にある自由大気と直接、接している。

この日には、エアロゾル濃度鉛直分布の時間変化を観測することができた（口絵写真4）。時間と共に海風前線の形が少しずつ変化している。15時13分53秒，15時18分51秒，15時23分49秒の3データを比較すると海風内部のエアロゾルが海風前線面に追いついて上昇する様子がよく分かる。

図2.16は，1986年9月4日に千葉方面からの海風が，光化学スモッグを伴って北上した時のエアロゾル鉛直分布である。このとき混合層の高さは約1,200mであったが，海風に伴う高濃度エアロゾル層はそれ以上の厚みを持っていて，海風は上空にある自由大気と直接接している。

これまで見てきたように，海風前線の構造は気象条件などによって大きく変わる。風向・風速データは，海風に対する陸側の風の風速（相対風速）が重要な要素になっていることを示している。また，海風によって運ばれる大気汚染質の運命を決める上で，海風前線の構造及び混合層と

の相対的な関係が重要であることが明らかになった。

ここで述べたレーザーレーダーは大気中のエアロゾル空間分布の計測を行うものであり、これまでに広域のエアロゾル分布の計測、ヒートアイランドに伴う大気構造の観測、大気混合層構造の観測などを実施してきた。本研究ではさらに、環境動態把握の一事例として、海風前線の内陸への侵入時の大気構造の変化に関する観測を行った。いずれの研究も遠隔計測としてのレーザーレーダーの機能・特性を十分に発揮したもので、大気計測におけるレーザーレーダーの有効性を明らかにすることができた。

2.4 大気汚染の時間・空間変動のモニタリング

大気汚染物質は発生源の位置や状態、また気象条件等により、空間的に濃度の高低を示し、この空間分布パターンが時間的に形状を変えながら、全体としての濃度レベルも変化していると考えられる。常時監視の目的としては、空間的、時間的に変動する濃度の場を常時、的確に把握することにより、環境基準の適合度を評価すること、高濃度発生に対応して、緊急時の措置をとること、さらには環境管理や、大気環境の長期的な傾向の評価のための情報を提供すること等が挙げられる。現在常時監視は、地上の測定局において大気をサンプリングして汚染物質濃度を毎時間測定することによりなされており、都市域では約 25 km² に 1 局の割合で測定局が配置されている。

離散的な地点におけるモニタリングにより得られたデータから大気環境を把握、評価しようとする場合、測られた値から地域の平均濃度あるいは空間的な濃度の分布を推定することが必要となる。推定の精度は大気汚染物質濃度の時間的、空間的な変動の大きさや変動の特性に依存するので、各対象地域についてこれらの知見が得られていることが、環境評価のためには重要である。また、推定の精度は観測の方法、すなわち測定局の密度、位置、測定頻度等にも依存し、大気汚染の変動の特性に基づいて、効率のよい観測が成されることが必要である。

本研究では、常時監視により得られたデータを解析することにより、大気汚染の時間的・空間的変動の特徴や、変動の気象条件等との関係を明らかにし、また長期間にわたっての変動の傾向を調べた。さらに、常時監視において今後、遠隔計測による観測が果たし得る役割について検討した。将来、遠隔計測による面的な観測データを併せて用いることによりモニタリングの精度の向上も期待される。

なお、解析には、関東 1 都 6 県、約 128 km×128 km の領域にある一般環境大気測定局における 1977～1985 年までの二酸化硫黄 (SO₂)、二酸化窒素 (NO₂)、浮遊粒子状物質 (SPM) の日平均濃度、日平均風速、及び日最多風向を用いた。なお、本節では年は 4 月～翌年 3 月までの 1 年間を表す。

2.4.1 大気汚染データの測定局間相関係数

図 2.17 (a), (b) は各々 1977 年, 及び 1981 年の秋 (10~12 月) における二酸化硫黄濃度データの測定局間相関係数の大きさを示したものである。都心のある測定局 (◎) をリファレンス局としてこれとの相関係数が 0.9 以上の測定局を ●, 0.7~0.9 の局を ▲, 0.5~0.7 の局を △, 0.5 未満の局を × で示してある。1977 年ではリファレンス局と高い相関を持つ領域は非常に狭く, 日変動 (日平均濃度の日による変化) の様子は測定局ごとにかなり異なっている。しかし 1981 年には関東地方のほとんどすべての領域で都心の測定局のデータと高い相関を示している。このことから, リファレンス局の濃度の日変動が分かれば, 各地点の濃度レベルは知ることができないが, 相対的な日変動は, その周辺地域では 80% 以上, 図の領域内の大部分の地点で 50% 以上が推定できることが分かる。図 2.18 は測定局間相関係数と測定局間の距離との関係をプロットしたもので, 測定局間距離を 3 km ごと (0~3 km, 3~6 km, …) に区切り各区分ごとに相関係数のメディアン (実線), 25 及び 75 パーセンタイル (各々網目の下端と上端) を示してある。二酸化硫黄の場合, 測定局間の相関係数の値の年による変化は非常に激しく, 全体として経年的に大きくなっていく傾向にあるようである。このような測定局間相関係数の大きさの違いは, 同一年内の異なる季節間にも見られ, 一般に春と夏に相関係数の値が小さく, 秋, 冬は大きい傾向にある。また相関係数は, 距離とともに減少する傾向はみられるが, バラツキが非常に大きく, 同程度離れた地点間の相関係数の値が, 場所やそれらの相対的な方向によってかなり異なっていることが分かる (図 2.18 (a))。

二酸化窒素の場合, 二酸化硫黄と比べて相関係数の値は大きく, 場所によるバラツキは小さい。二酸化硫黄程顕著ではないが, やはり測定局間相関係数の大きさは年度により, また季節に

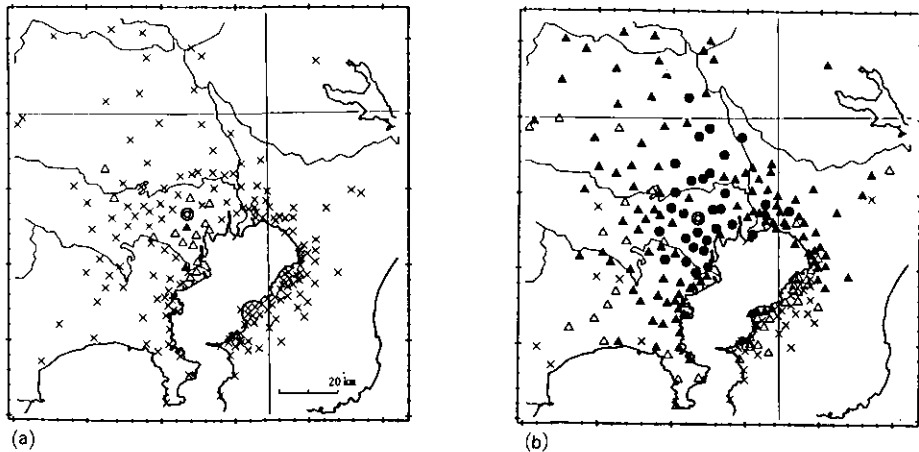


図 2.17 二酸化硫黄濃度の測定局間相関係数 (◎印の測定局との相関係数の大きさを表す)

(a) 1977年度秋 (10~12月), (b) 1981年度秋 (10~12月)

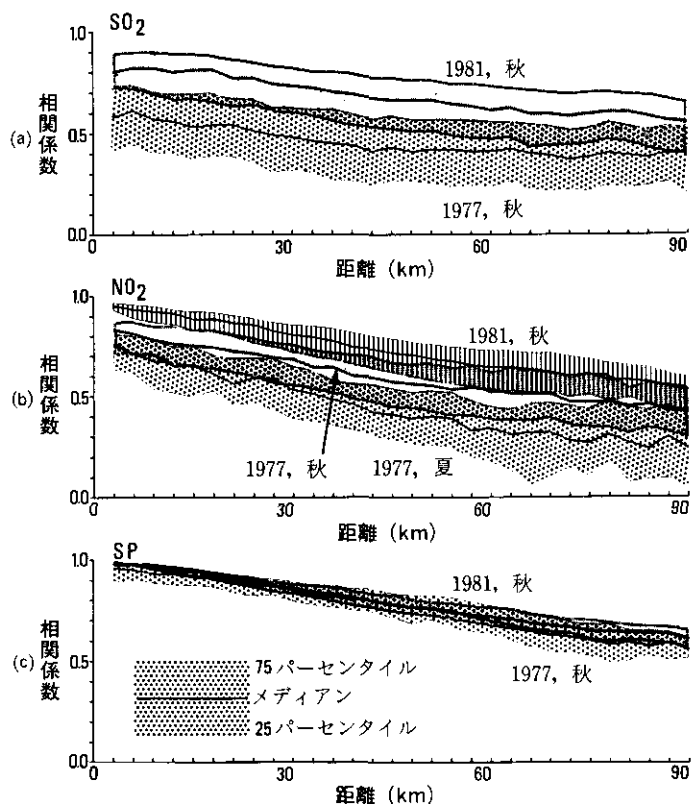


図2.18 測定局間相関係数の距離による減衰

より明らかな変化を示している (図 2.18 (b))。浮遊粒子状物質は、相関係数の値がさらに大きく広い範囲でお互いに高相関を示し、また、場所によるバラツキ、年による変化も小さく (図 2.19 (c))、時間・空間変動は非常に安定しているといえる。

2.4.2 大気汚染空間変動構造の気象条件との関係

前節で二酸化硫黄と二酸化窒素濃度の時間的・空間的な変動構造が経年的に、また季節によって変化しているということを示した。変化の様子をさらに詳しく調べるために、各日の空間分布を少数個のお互いに独立な基本空間パターン (主成分パターン) の重み付き和として表し、その年や季節による特徴、気象条件等との関連について検討した。

時点 t 、地点 x における測定値 $c(t, x)$ はその時間・空間変動に基づいて、次式のように分解される (T は測定日数、 N は測定局数)。

$$c(t, x) = L_1(x)Z_1(t) + L_2(x)Z_2(t) + \dots + L_N(x)Z_N(t), (t=1 \sim T, x=1 \sim N)$$

ここで、各項は互いに無相関であり、 $L_i(x)$ と $Z_i(t)$ は変動の大きさが i 番目の主成分パター

と日ごとの重みを表す。これらは各々地点（測定局）を変数，日をサンプルとした分散共分散行列の主成分分析により，固有ベクトル及び主成分スコアとして求められる（主成分分析については，例えば奥野忠一等著「多変量解析法」に詳しい）。変数（測定局）の数と同じ N 個の主成分パターンの重み付き和で測定値 c は完全に表せるが，変動の大きい数個のパターンで c の変動のかなりの部分を表すことができるならば，その数個の空間パターンと重みを調べることによって c の変動の特徴を知ることができる。

9年間にわたって測定を継続し，かつ欠測の少ない測定局を選び（二酸化硫黄：76局，二酸化窒素：73局），年（4月～3月）ごとあるいは季節ごとに主成分分析を行った。その結果，最も変動の大きい第1主成分パターン $L_1(x)$ の各測定点での値は，全年度，全季節とも正で大きく，この主成分は地域全体としての各日の濃度の高低を表すことが判明した。したがって，どの時期とも空間分布の形状の日による変化よりも，地域全体としての濃度レベルの変動の方が寄与が大きいことが分かる。しかしその寄与率（1つの主成分が全測定局の変動を説明する割合）は前節で示した相関係数の値の変化と対応して，図2.19のような経年及び季節変化をする。すなわち，二酸化硫黄，二酸化窒素とも経年的に似たような増加傾向を示しており，また春夏に小さく，秋冬に大きい。このパターンの各日の重み $Z_1(t)$ （スコア）が大きい日は地域全体に高濃度であることを表すが，重みは風速との負の相関が顕著で，月による変動も大きかった（春夏が小さく，秋冬が大きい）。曜日，風向との関係はあまり顕著ではないが，週末に小さく，また南からの風の時に大きい傾向があり，発生源が領域の南側に多くあることと対応している。

二酸化硫黄の第2主成分パターン（因子負荷量）の例を図2.20に示した。このパターンの重みの大きい日は第2主成分パターンの正の領域が相対的に高濃度となる。1979年と1981年とは傾向は似ているが，前者は正の領域（網目）と負の領域が島状に現れる部分があり，局地的な変動をも表すパターンになっているのに対して，1981年では領域がきれいに2つに分かれて，南北の濃度差を表す成分となっている。二酸化窒素はどの年も1981年の二酸化硫黄と同じように，きれいに正負2つの領域に分かれた。

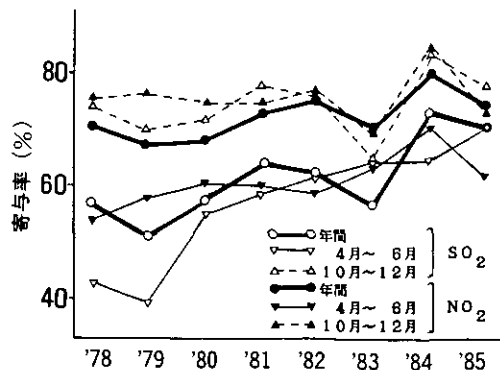


図2.19 第1主成分の寄与率の経年変化

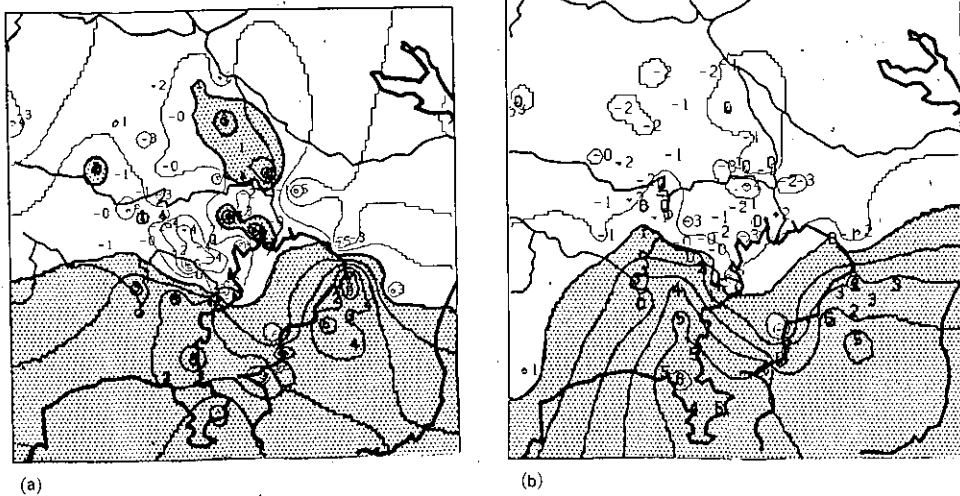


図2.20 二酸化硫黄の第2主成分パターン（因子負荷量）
 網目では正の領域を表す。
 (a) 1979年4月～1980年3月, (b) 1981年4月～1982年3月

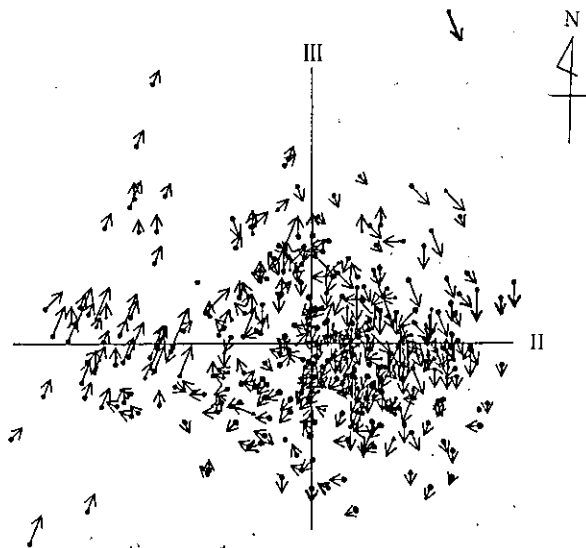


図2.21 主成分パターンの各日の重みと風向風速との関係
 1981年二酸化硫黄の第2主成分（横軸）と第3主成分（縦軸）。
 矢印の長さが風速，向きが風向を表す。

第3主成分は、二酸化窒素及び1981年の二酸化硫黄の場合、東西の濃度差を表す成分（東が正、西が負）となる。図2.21は、第2、第3主成分パターンの各日の重みを、その日の風向、風速と共にプロットしたものである。対象領域内にある測定局における風向、風速データから求めた、地域全体の平均風速、最多方向（風の吹く向き）を各々、矢印の長さで表している。

る。例えば、第2主成分パターンの重みが正で大きい日（領域の南側が相対的に高濃度である日）は北風が卓越し、第3主成分パターンの重みが大きい日は西よりの風が多いなど、第2、第3主成分パターンの重みは、風向と強い関連を持つことが分かる。二酸化窒素の場合、第2、第3主成分に対応するのは、風向の影響で風下側が相対的に濃度が上がるような変動であるが、この変動と比べて地域全体の濃度レベルの変動（第1主成分）の寄与が年々大きくなっているといえる。一方、二酸化硫黄の変動の特徴は1978、1980年は1979年と、1984、1985年は1981年と似ており（1982、1983年はまた少し異なる変動パターンを示した）、局地的な変動が大きい状態から、広い領域で一緒に変化するような、二酸化窒素と似た変動へと経年的に変化している。

2.4.3 長期平均値濃度の空間分布パターン

前の2節で述べた大気汚染の空間相関変動は、平均的な空間分布パターンからの日々の空間分布の偏差の変動について調べたものである。では平均的な空間分布はどのように変動しているであろうか。図2.22は東京湾周辺地域の二酸化硫黄年平均濃度分布を1977、1981、1985年について示したものである。図中の矢印のついた部分は周辺よりも低濃度であることを表す。都心部及び川崎、横浜付近が高く周辺地域で低濃度であるという傾向はどの年（4月～3月）も共通である。しかし、さらに詳細に見てみると、平均空間分布も経年的に変化している。例えば、周辺地域の経年的な濃度の変化はほとんど見られないのに対して、高濃度ピークの濃度は年々低下しており、地域全体が均一化される方向にあることが分かる。また、都心域、横浜付近のピーク的位置も年により変化している。二酸化硫黄の年平均濃度分布や、季節ごとの平均濃度分布の場合にも同程度の違いがみられた。

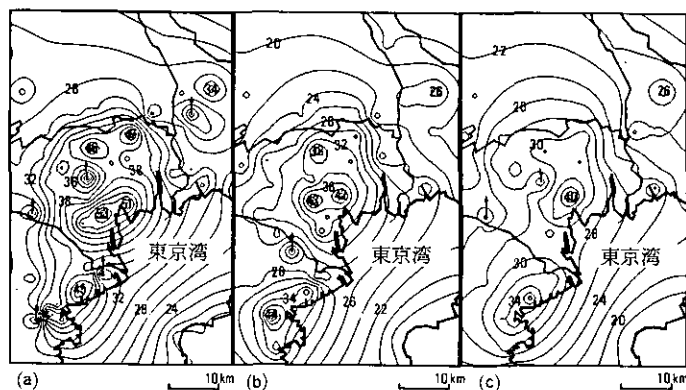


図2.22 二酸化硫黄の年平均濃度分布の経年変化（単位 ppb）

(a) 1977年4月～1978年3月, (b) 1981年4月～1982年3月, (c) 1985年4月～1986年3月

2.4.4 遠隔計測の常時監視に果たし得る役割

大気汚染濃度の時間・空間変動は、経年的に、また季節によって著しく変化している。汚染物質の種類によって、変動パターンもその変化の仕方も異なることが明らかになった。気象条件の変化、発生源の位置や規模の変化が大気汚染の場の変化の原因であろう。

限られた数の離散的な地点で測定することにより、空間的に変動している大気汚染の状況を把握しようとする場合、濃度変動の統計的な性質に基づいて測定点以外の地点での濃度を推定しなければならない。またこの統計的性質が時間とともに（経年的にまた季節によって）変化していくのであるから、可能な推定の精度は時によって異なることになる。したがって、測定により得られたデータが、大気汚染の場を要求される精度で代表しているかどうかを、なんらかの方法で確かめる必要がある。

この場合、レーザーレーダーなどの遠隔計測手法による測定が有用な情報を与え得ると期待される。例えばミー散乱型レーザーレーダーによりエアロゾルの空間分布を測る技術は確立しており、大型のレーザーレーダーによれば、半径 50 km の範囲の空間分布の時間変化を知ることができる。二酸化窒素については現在のところ、差分吸収方式レーザーレーダーによる鉛直方向の測定が主であるが、水平に掃引した場合約 3 km 四方の領域の空間分布の測定が可能と言われている。遠隔計測による測定は、1 地点 1 時点の濃度の測定値の精度は地上の測定局による測定には及ばないが、空間的な広がりを持った分布としてデータが得られるという特長を有している。これを、地上測定局の測定結果に対する補助情報として使うことにより、より精度の高い空間分布パターンの推定が可能になる。また、この測定により、大気汚染の場の性質の変化を検知することも可能と思われる。

レーザーレーダーは技術的に、人間の居住する地上 10 メートル位までの濃度の測定を行うことは困難である。上空の測定データを一般環境の評価に用いるためには、観測事例を積み重ねて、その有効性を検討する必要がある。高さ 200 m の気象観測用の鉄塔を用いた、汚染質高度分布の測定実験により、日中の混合層の内部では比較的一様な分布をとることが、既に本特別研究の成果として得られている。一方、ミー散乱型レーザーレーダーによる混合層の高さや接地逆転層の高さの観測、また差分吸収方式レーザーレーダーによる二酸化硫黄、二酸化窒素、オゾンなどのガス状汚染物質の鉛直分布の観測等が可能であり、常時監視の一つの目的でもある大気汚染の予測のための有用な情報として用いられることが期待される。

[資 料]

I 研究の組織と研究課題の構成

1 研究の組織

[A 研究担当者]

大気環境部 部長

大喜多敏一 (昭和 59~61 年度 特別研究責任者)
(現在 桜美林大学)

秋元 肇 (昭和 62 年度 特別研究責任者)

大気環境部

大気物理研究室

竹内延夫・笹野泰弘 (昭和 59, 62 年度研究幹事)・中根英昭・杉本伸夫・林田佐智子

エアロゾル研究室

村野健太郎

環境情報部

情報システム室

大井 紘・宮崎忠国

情報調査室

松本幸雄・宇都宮陽二郎・新藤純子・横田達也

総合解析部

地域計画研究室

清水 浩 (昭和 60, 61 年度研究幹事)

総合評価研究室

安岡善文 (昭和 59~62 年度研究幹事)・飯倉善和

計測技術部

分析室

溝口次夫・功刀正行

水質土壌環境部

土壌環境研究室

袴田共之

技術部

理工施設管理室

松井一郎

[B 客員研究員]

岡見 登

(理化学研究所)

59 年度

岸野元彰

(理化学研究所)

59, 60, 62 年度

杉原滋彦

(理化学研究所)

59, 60, 62 年度

宮本定明

(筑波大学)

59, 60, 62 年度

池田有光

(京都大学)

59, 61, 62 年度

浅井和弘

(東北工業大学)

59~62 年度

新井敏弘

(筑波大学)

59~62 年度

板部敏和

(電波研究所)

59~62 年度

上野敏行

(千葉大学)

59~62 年度

河村 武	(筑波大学)	59～62 年度
北村新三	(神戸大学)	59～62 年度
日下 迢	(金沢工業大学)	59～62 年度
小林喬郎	(福井大学)	59～62 年度
斉藤保典	(信州大学)	59～62 年度
桜井捷海	(東京大学)	59～62 年度
鹿野哲生	(信州大学)	59～62 年度
杉前昭好	(大阪府立公害監視センター)	59～62 年度
十文字正憲	(八戸工業大学)	59～62 年度
竹沢賛三	(群馬大医療技術短期大学)	59～62 年度
丹野直弘	(山形大学)	59～62 年度
中島映至	(東北大学)	59～62 年度
馬場浩司	(東京大学)	59～62 年度
藤村貞夫	(東京大学)	59～62 年度
溝畑 朗	(大阪府立放射線中央研究所)	59～62 年度
石井 力	(東京理科大学)	60 年度
山内 恭	(国立極地研究所)	60 年度
葉山幸雄	(大阪府立公害監視センター)	60, 61 年度
赤塚孝雄	(山形大学)	60～62 年度
伊藤弘昌	(東北大学電気通信研究所)	60～62 年度
小林 守	(筑波大学)	60～62 年度
西辻 昭	(北海道大学応用電気研究所)	60～62 年度
渡辺 剛	(東北大学)	60～62 年度
上原喜代治	(慶応義塾大学)	61, 62 年度
柴田 隆	(九州大学)	61, 62 年度
野村彰夫	(信州大学)	61, 62 年度
前田三男	(九州大学)	61, 62 年度
浅山泰祐	(筑波研究学園専門学校)	62 年度
小川利紘	(東京大学)	62 年度
金森 悟	(名古屋大学水圏科学研究所)	62 年度
土器屋由起子	(気象大学校)	62 年度
花泉 弘	(法政大学)	62 年度

[C 共同研究員]

野口和夫	(千葉工業大学)	59, 60 年度
浦 慶	(神戸大学)	59~62 年度
佐藤 健	(東京理科大学)	60 年度
山上浩志	(信州大学)	60 年度
阿久津勝	(千葉工業大学)	60 年度
石 重和	(筑波大学)	60 年度
臼井和也	(北海道大学応用電気研究所)	62 年度

2 研究課題と担当者 (括弧内は客員研究員)

(1) 環境動態の把握のための遠隔計測装置の開発に関する研究

ア) 野外連続観測のための高信頼レーザー光発生装置の開発

清水 浩・松井一郎・杉本伸夫

(丹野直弘・斉藤保典・鹿野哲生・小林喬郎・野村彰夫・渡辺 剛・伊藤弘昌)

イ) 高分解能レーザーレーダーの実用化

清水 浩・杉本伸夫・松井一郎

ウ) 計測車レーザーレーダーのレーザー光の多波長化

松井一郎・清水 浩・杉本伸夫・笹野泰弘・中根英昭

(十文字正憲・浅井和弘・板部敏和)

エ) 環境濃度 NO₂ (二酸化窒素) 測定用差分吸収レーザーレーダー (DIAL) 装置の開発

杉本伸夫・松井一郎・笹野泰弘

(桜井捷海・馬場浩司・新井敏弘・上野敏行・竹沢賛三・石井 力・前田三男・柴田 隆・上原喜代治)

(2) 遠隔計測技術に係る大気的光学的性質とその時間・空間変動特性に関する研究

ア) エアロゾルの光学的性質とその時間・空間分布特性の解明

笹野泰弘・中根英昭・林田佐智子・杉本伸夫・松井一郎・竹内延夫・溝口次夫・功刀正行, 村野健太郎

(中島映至・北村新三・西辻 昭・渡辺 剛・小川利紘・山内 恭)

イ) 多重分光データ解析における大気効果補正手法の開発

安岡善文・宮崎忠国・横田達也・笹野泰弘・林田佐智子

(日下 遼・杉原滋彦・岸野元彰・岡見 登)

(3) 環境動態の把握のためのパターン情報処理に関する研究

ア) MSSによる水質分布パターン計測の総合化

安岡善文・宮崎忠国・横田達也

(杉原滋彦・岸野元彰・岡見 登)

イ) MSSによる植生生態パターン計測の総合化

安岡善文・宮崎忠国・横田達也

(花泉 弘)

ウ) MSSによる土壌水分分布計測の総合化

宇都宮陽二郎

エ) 軌道平行走査方式MSSによる三次元情報の抽出

安岡善文・飯倉善和

オ) 動的パターンの解析、処理システムの開発

安岡善文・宮崎忠国・飯倉善和

(藤村貞夫・赤塚孝雄)

(4) 動態把握による環境の評価手法に関する研究

ア) 大気環境の時間的・空間的特性の現象解明

中根英昭・笹野泰弘・林田佐智子・竹内延夫・溝口次夫, 切刀正行

(河村 武・小林 守・池田有光・溝畑 朗・杉前昭好・葉山幸雄・柴田 隆・金森 悟・
土器屋由紀子)

イ) 大気環境観測・評価手法の開発・検討

大井 紘・松本幸雄・新藤純子

(宮本定明・浅山泰祐)

ウ) 水質分布評価手法の開発・検討

安岡善文・宮崎忠国・飯倉善和

エ) 土壌水分分布評価手法の開発・検討

宇都宮陽二郎

オ) 植生評価手法の開発・検討

安岡善文・飯倉善和・袴田共之・横田達也

II 研究成果発表一覧

1 誌上発表

発 表 者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ページ	刊年
Y. Asayama, S. Miyamoto, K. Oi, Y. Ikebe	Least square method for enhancement of laser radar images based on piecewise linear transformations of gray scales	ICASSP 86 Proc.	2	1513-1516	1986
飯倉善和・杉本伸夫・清水浩	光電子増倍管に起因するレーザーレーダー測定データの歪みの補正	計測自動制御学会論文集	22	1324-1329	1986
飯倉善和・笹野泰弘・清水浩	レーザーレーダーの対象領域の正確な位置決め	計測自動制御学会論文集	23(1)	11-15	1987
飯倉善和・笹野泰弘・清水浩	成層圏エアロゾルを対象としたレーザーレーダー信号のキャリブレーションと測定誤差の評価	計測自動制御学会論文集	23(1)	16-20	1987
Y. Iikura, N. Sugimoto, Y. Sasano, H. Shimizu	Improvement on lidar data processing for stratospheric aerosol measurement	Appl. Opt.	26	5299-5306	1987
飯倉善和・安岡善文	多重分光画像分類のための最良線形判別関数の導出	計測自動制御学会論文集	24(1)	83-85	1988
飯倉善和・安岡善文	最良線形判別関数を用いた多重分光画像の効率的な自動識別	計測自動制御学会論文集	24(3)	8-15	1988
宇都宮陽二郎	航空機搭載 MSS 熱赤外データによる土壌含水比の計測	東北地理	36(1)	39-45	1984
宇都宮陽二郎・山口武則	国立公害研究所実験圃場における土壌水分の測定結果および SAR580 画像, 特にアナログ画像の評価	SAR-580 航空機実験データの処理解析評価 (その1) (リモートセンシング技術センター, 207p.)		116-129	1984
北村新三・浦慶・中根英昭・笹野泰弘	多波長レーザーレーダーによるエアロゾルの粒径分布測定に関する基礎的検討	文部省科学研究費「環境科学」研究報告集 B287-R52-3, 220p.		54-62	1986
M. Kunugi, T. Mizoguchi, I. Kanazawa, K. Hirose, Y. Dokiya	Vertical distributions of suspended particles and their components as measured on a meteorological observation tower	Atmos. Environ.	21	917-927	1987
斉藤典生・丹野直弘・高橋良男・横戸健一・清水浩・杉本伸夫・松井一郎・笹野泰弘	偏光消度定用レーザーレーダーによる降雪雲の観測	応用物理	54	952-958	1985
Y. Sasano, E. V. Browell, S. Ismail	Error caused by using a constant extinction/backscattering ratio in the lidar solution	Appl. Opt.	24	3929-3932	1985
笹野泰弘	レーザーレーダー散乱解析の手法	文部省科学研究費「環境科学」研究報告集 B287-R52-3, 200p.		85-90	1986
笹野泰弘	ミー散乱ライダーを用いた大気研究—昭和61年度日本気象学会山本章受賞記念講演	天気	34(2)	89-101	1987

発 表 者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ページ	刊年
Y. Sasano, H. Nakane	Quantitative analysis of RHI lidar data by an iterative adjustment of the boundary condition term in the lidar solution	Appl. Opt.	26	615-616	1987
笹野泰弘・杉本伸夫・ 松井一郎・清水浩・ 竹内延夫・功刀正行・ 溝口次夫	ミ-散乱レーザーレーダーによる 自動車排出ガスの拡散の観測	エアロゾル研究	2	128-133	1987
笹野泰弘・中根英昭・ 杉本伸夫・松井一郎	レーザーレーダーで観測された海 風前線の構造	文部省科学研究費「環境科学」 研究報告集 B307-R11-2, 143p.		53-54	1987
清水浩・C. Y. She	高分解能レーザーレーダーによる 大気環境の計測	日本リモートセンシング学会 誌	4(1)	27-37	1984
清水浩・飯倉善和・ 笹野泰弘・松井一郎	遠距離測定用レーザーレーダーに よる高精度測定のための誤差の 解析とその低減法	日本リモートセンシング学会 誌	4	233-244	1984
清水浩	最近のレーザーレーダー技術	O plus E	63	52-61	1985
清水浩	レーザーレーダーによる大気遠隔 計測	精密機械	51	290	1985
H. Shimizu, Y. Sasano, H. Nakane, N. Sugimoto, N. Takeuchi	Large scale laser radar for measuring aerosol distribution over a wide area	Appl. Opt.	24	617	1985
清水浩	レーザーレーダーによる地球規模 大気環境の観測	日本リモートセンシング学会 誌	6	109-118	1986
H. Shimizu, I. Matsui, N. Sugimoto, Y. Sasano, N. Takeuchi, N. Tanno, N. Saitoh, K. Yokota	Short-time forecasting of snowfall by lidar	Appl. Opt.	25	2109-2114	1986
H. Shimizu, K. Noguchi, C. Y. She	Atmospheric temperature measurement by a high spectral resolution lidar	Appl. Opt.	25	1460-1466	1986
H. Shimizu	Ultralightweight reflector for lidar applications	Appl. Opt.	25	1467-1469	1986
清水浩	レーザーレーダーによる大気環境 の鉛直気温分布の測定	第68回「温度計測部会」 資料 (計測自動制御学会)		1-6	1986
N. Sugimoto, N. Takeuchi, S. Takezawa	Rotational analysis of the 2B_1 ($K''=1$)- 2A_1 ($K''=0$) sub- band of NO_2 at 464.9nm in the time-gated excitation spectrum	Chem. Phys. Lett.	99	475-478	1983
N. Sugimoto, N. Takeuchi, H. Iijima, T. Arai, S. Takezawa	Observation of spin splittings in the 2B_1 state of NO_2 by means of polalization spectroscopy	Chem. Phys. Lett.	106	403-407	1984
N. Sugimoto, N. Takezawa	Rotational analyses and vibrational assignments of the 463 and 474-nm bands of NO_2	J. Mol. Spectrosc.	106	307-319	1984
N. Sugimoto	Intensity distributions of fluorescence from the 2B_1 state of NO_2 excited at 495.0, 474.0, 454.5 and 436.7nm	J. Mol. Spectrosc.	106	362-368	1984

発 表 者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ページ	刊年
N. Sugimoto, S. Takezawa	Level crossings in the 2B_1 state of NO_2 : Rotational analysis by polarization spectroscopy	Chem. Phys. Lett.	118	604-610	1985
杉本伸夫・飯島弘昭・ 竹沢賛三	偏光分光法による NO_2 の 2B_1 - 2A_1 吸収帯の回転構造の解析	分光研究	34(5)	294-305	1985
N. Sugimoto, S. Takezawa	The 2B_1 ($K'=1$) - 2A_1 ($K''=0$) subbands of NO_2 found in the excitation spectrum using a supersonic molecular beam	Chem. Phys. Lett.	121	367-370	1985
杉本伸夫・松井一郎・ 笹野泰弘・清水浩・ 竹内延夫	環境濃度 NO_2 測定用差分吸収レーザーレーダーの設計と製作	レーザー研究	15	170-180	1987
T. Takamura, Y. Sasano	Ratio of aerosol backscatter to extinction coefficients as determined from angular scattering measurements for use in atmospheric lidar applications	Opt. Quantum Electr.	19	293-302	1987
竹内延夫	最近のレーザーレーダー技術	電子通信学会誌	67	524-527	1984
竹内延夫	大気汚染のリモートセンシング	環境情報科学	13(4)	29-39	1984
竹内延夫	高感度分光計測技術	文部省科学研究費「環境科学」研究報告集 B287-R52-3, 220p.		102-105	1986
N. Takeuchi	Lidar activity in Japan	Opt. News	12(5)	47-50	1986
竹内延夫, 佐藤健	干渉フィルターを有するライダーにおける幾何学的効率の考察	レーザー研究	15	296-306	1987
竹内延夫	レーザーレーダーとその応用	光学	16	276-281	1987
竹内延夫	光ビーム利用計測	最新光システム総合技術 (R & D プラニング)		682-696	1987
竹内延夫	ライダーによる遠隔計測	文部省科学研究費「環境科学」研究報告集		45-63	1987
中根英昭・笹野泰弘	砂漠起源エアロゾルの輸送と放射特性	日本リモートセンシング学会誌	6	119-124	1986
H. Nakane, Y. Sasano	Structure of a sea-breeze front revealed by scanning lidar observation	J. Meteorol. Soc. Jpn.	64	787-792	1986
西川雅高・伊藤裕康・ 溝口次夫	大気粒子状物質中の炭素成分の熱による分別分析法の検討	エアロゾル研究	1(3)	179-185	1986
西川雅高・溝口次夫・ 金森悟・金森暢子	大気エアロゾル中の水溶性成分と不溶性成分の粒径別濃度分布とその化学組成	エアロゾル研究	2(4)	294-303	1987
野口和夫・清水浩・ C. Y. She	高分解能レーザーレーダーにより気温測定を行うための最適設計条件	応用物理	54	972-978	1985
野口和夫・杉本伸夫・ 清水浩	高分解能レーザーレーダー用原子フィルターの透過特性	応用物理	57	792-795	1988
野口和夫・杉本伸夫・ 清水浩	原子フィルターを用いた高分解能レーザーレーダーによるミー/レイリー散乱比の測定手法の開発	応用物理	57	1236-1241	1988
H. Baba, S. Hoshina, K. Sakurai, N. Takeuchi	High-speed multichannel photon counter for time-resolved laser spectroscopy	Rev. Sci. Instrum.	56	1926-1929	1985
袴田共之・横田達也・ 松本幸雄	リモートセンシングによる植生相観の探索的・分類情報科学と植生学のインターフェイスをめざして	環境情報科学	17	62-68	1988

発 表 者	題 目	掲 載 誌	巻(号)	ページ	刊年
T. Hakamata, T. Yokota, Y. Matsumoto	An exploratory classification of grassland vegetation by remotely sensed multispectral data	Proc. Int. Symp. Grassland Vegetation (in press)			1989
林田佐智子・笹野泰弘	レーザーレーダーによる黄砂の観 測と流跡線解析の比較	昭和61年度環境庁委託業務報 告書			1987
藤村貞夫・横田達也	熱赤外遠隔計測データからの温度 推定モデル	計測自動制御学会論文集	22	779-784	1986
松井一郎・清水浩・ 杉本伸夫・笹野泰弘・ 竹内延夫・丹野直弘・ 斉藤典生・横戸健一	レーザーレーダーによる降雪雲の 観測による降雪開始予測の可能 性の検討	日本リモートセンシング学会 誌	5	321-329	1986
松井一郎・清水浩・ 杉本伸夫・笹野泰弘・ 浅井和弘	パルス半導体レーザーレーダーに よる治道における高濃度粉塵鉛 直分布の観測	応用物理	57	407-413	1988
溝口次夫	大気エアロゾル中の炭素成分 —その重要性和分析法—	環境技術	15	676	1986
宮崎忠国・安岡善文	水域リモートセンシングにおける 大気散乱光と水面反射光の評価	文部省科学研究費「環境科学」 研究報告集 B197-R52		87-93	1984
宮崎忠国・安岡善文	ランドサットによる水質環境評価 手法の開発に関する研究	ランドサットデータ研究解析 成果論文集(その1) (宇宙開 発事業団地球観測センター)	(1)	18-20	1986
宮崎忠国・安岡善文	ランドサットによる水質環境評価 手法の開発に関する研究	ランドサットデータ研究解析 成果論文集(その2) (宇宙開 発事業団地球観測センター)	(2)	17-19	1986
T. Miyazaki, H. Shimizu, Y. Yasuoka	High-speed spectroradiometer for remote sensing	Appl. Opt.	26	4761-4766	1987
S. Miyamoto, Y. Asayama, K. Oi	Optimization method for enhancement of laser radar images by a class of piecewise linear transformation of gray levels	Tech. Rep. Inst. Inf. Sci. Electron., Univ. Tsukuba	ISE-TR -85-50	1-17	1985
宮本定明・浅山泰祐・ 大井絃・池辺八洲彦	一般化されたエントロピー評価基 準によるレーザーレーダー画像 の強調	システムと制御	30	195-201	1986
安岡善文	これからの画像処理システムはど うあるべきか?—ユーザー (研 究開発機関) の立場から—	映像情報	17(1)	35-37	1985
安岡善文・猪爪京子	遠隔計測による都市域の緑と建物 の分布計測	文部省科学研究費特別研究 「自然災害」遠隔計測による 都市防災環境の評価に関する 基礎研究, 昭和61年度報告書		103-108	1987
安岡善文・宮崎忠国	遠隔計測による水質の定量	文部省科学研究費特別研究 「自然災害」遠隔計測による 都市防災環境の評価に関する 基礎研究, 昭和61年度報告書		125-135	1987
安岡善文・宮崎忠国・ 笹野泰弘・中根英明・ 清水浩	可視近赤外放射計(MESSR)のラ ジオメトリック性能評価に関す る研究 (共同研究)	MOS-1 航空機検証実験成果 報告集		59-67	1987
横田達也・藤村貞夫・ 豊田弘道	熱赤外3バンド画像による大気中 の放射吸収物質の空間分布推定	計測自動制御学会論文集	22	1087-1093	1986

2 口頭発表

発表者	題 目	学 会 等 名 称	開催都市名	年月
飯倉善和・安岡善文	最良線形判別関数によるMSS画像の分類	日本リモートセンシング学会第4回学術講演会	東 京	59.12
飯倉善和・松井一郎・ 笹野泰弘・清水浩	レーザーレーダのデータ処理法の改良と連続観測結果の解析	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
飯倉善和・清水浩・ 安岡善文	スラントパス法を用いたレーザーレーダによる大気効果の評価	第12回リモートセンシングシンポジウム	東 京	61.10
Y. Iikura, Y. Yasuoka	Efficient classification of multispectral imagery by best linear discrimination	9th Symp. Remote Sensing Environ. Sci.	八幡平 (岩手)	62. 8
飯倉善和・安岡善文	最良線形判別関数を用いた多重分光画像の自動識別の計算効率	第13回リモートセンシングシンポジウム	東 京	62.10
飯島弘昭・杉本伸夫・ 竹沢賢三・竹内延夫・ 新井敏弘	偏光分光法のNO ₂ への応用	第31回応用物理学関係連合講演会	東 京	59. 4
白井和也・安田寛・ 星山満雄・西辻昭・ 笹野泰弘	二波長レーザーレーダによるエアロゾル重量濃度空間分布の評価	1987年日本気象学会秋季大会	札 幌	62.10
宇都宮陽二郎	リモートセンシングによる土壌水分の測定について	日本地形学連合1987年春季研究発表会	東 京	62. 4
宇都宮陽二郎・ 山口武則	航空機熱赤外データによる土壌水分測定	第13回リモートセンシングシンポジウム	東 京	62.10
河村武・小林守・ 中根英昭・竹内延夫	都市のヒートアイランドとダストアイランドの立体構造と関連性	第27回大気汚染学会	京 都	61.11
北村新三・浦慶・ 中根英昭・笹野泰弘	多波長レーザーレーダによるエアロゾルの粒径分布測定に関する基礎的検討	環境科学特別研究発表会 レーザーセンサー班研究会	東 京	60.11
功刀正行・溝口次夫・ 宮坂恵子・広瀬妙子・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(1)	第2回エアロゾル科学・技術研究討論会	京 都	59. 8
功刀正行・溝口次夫・ 宮坂恵子・広瀬妙子・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	エアロゾルの鉛直分布測定	第25回大気汚染学会	宇 部	59.11
功刀正行・宮坂恵子・ 広瀬妙子・溝口次夫・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布	日本化学会第50春季年会	東 京	60. 4
功刀正行・溝口次夫・ 宮坂恵子・広瀬妙子・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(5)	第3回エアロゾル科学・技術研究討論会	東 京	60. 8
功刀正行・溝口次夫・ 宮坂恵子・広瀬妙子・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(8)	1985年日本気象学会秋季大会	大 阪	60.10
功刀正行・溝口次夫・ 宮坂恵子・広瀬妙子・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(6)	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
功刀正行・溝口次夫・ 宮坂恵子・広瀬妙子・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(7)	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
功刀正行・溝口次夫・ 土器屋由紀子	大気汚染成分の鉛直分布測定(10)	第27回大気汚染学会	京 都	61.11

発 表 者	題 目	学 会 等 名 称	開催都市名	年月
M. Kunugi, T. Mizoguchi, I. Kanazawa M. Ikegami, Y. Dokiya	Vertical distribution of chemical compounds at meteorological observation tower (213m). I—Suspended particles and gases—	Int. Symp. New Sens. Methods Environ. Charact.	Kyoto	61.11
刃刀正行・溝口次夫・ 金澤五寿雄・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(9) —オゾンの鉛直分布—	日本化学会第52春季年会	京 都	61. 4
刃刀正行・柴田恵子・ 土井妙子・溝口次夫・ 池上三和子・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(10)	第5回エアロゾル科学・技 術研究討論会	筑 波	62. 8
刃刀正行・柴田恵子・ 土井妙子・溝口次夫・ 池上三和子・ 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(11)	第28回大気汚染学会	東 京	62.10
小林愛樹智・ 林田佐智子・岩坂泰信	レーザーレーダー観測による Particulate depolarization ratio の評価	1985年日本気象学会秋季大 会	大 阪	60.10
小林守・河村武・ 中根英昭・清水浩・ 松井一郎・杉本伸夫・ 笹野泰弘・林田佐智子・ 竹内延夫	夜間におけるヒートアイランドとダストアイラ ンドの立体構造の観測	文部省「環境科学」第1回 環境科学シンポジウム	東 京	61.11
Y. Sasano	Mixed layer and transition layer structures observed by a scanning laser radar	12th Int. Laser Radar Conf.	Provence (France)	59. 8
笹野泰弘	レーザーレーダー散乱解析の手法	文部省「環境科学」特別研 究発表会、レーザーセン サー班研究会	東 京	60.11
Y. Sasano, E. V. Browell	Wavelength dependence of aerosol backscatter coefficients obtained by multiple wavelength lidar measurements	13th Int. Laser Radar Conf.	Toront (Canada)	61. 8
笹野泰弘・林田佐智子・ 中根英昭	国立公害研大型レーザーレーダーによる黄砂粒 子の空間分布観測	第11回 レーザーレーダー (ライダー) シンポジウム	八 戸	61. 9
笹野泰弘・中根英昭	ミー散乱レーザーレーダー信号の定量的な解析 に関する最近の展開	文部省「環境科学」第1回 環境科学シンポジウム	東 京	61.11
笹野泰弘	大気汚染研究におけるレーザーレーダー技術の 最近の進歩	第27回大気汚染学会	京 都	61.11
笹野泰弘・松井一郎・ 清水浩・中根英昭	多波長レーザーレーダー観測によるエアロゾル タイプの識別(1)	1986年日本気象学会秋季大 会	名古屋	61.11
笹野泰弘・中根英昭・ 杉本伸夫・松井一郎	レーザーレーダー観測される海風前線の構造	文部省「環境科学」「沿岸域 から内陸域にいたる広域大 気汚染に関する研究」研究 会	熱 海	61.12
笹野泰弘	ライダーによる大気境界層の研究	第1回大気圏シンポジウム	東 京	62. 1
笹野泰弘	レーザーレーダーによる大気境界層の観測	大気境界層ワークショップ	筑 波	62. 3
笹野泰弘・林田佐智子・ 中根英昭	レーザーレーダーで観測された黄砂エアロゾル 層の変化	1987年日本気象学会春季大 会	筑 波	62. 5
笹野泰弘・林田佐智子・ 中根英昭	レーザーレーダーで観測された黄砂エアロゾル 空間分布と光学的性質	第5回エアロゾル科学・技 術研究討論会	筑 波	62. 8
笹野泰弘	二波長レーザーレーダーによるエアロゾル重量 濃度の評価	1987年日本気象学会秋季大 会		62.10
笹野泰弘・中根英昭・ 白井和也・星山満雄・ 西辻昭	二波長レーザーレーダーを用いたエアゾル粒径 分布と重量濃度の推定	環境科学シンポジウム1987	東 京	62.11
清水浩・野口和夫	気温測定用高分解レーザーレーダーの最適設計 法	第31回応用物理学関係連台 講演会	東 京	59.3/4

発 表 者	題 目	学 会 等 名 称	開 催 都 市 名	年 月
H. Shimizu, N. Sugimoto, I. Matsui, N. Saitoh, T. Atsumi, N. Tanno	Snow cloud observation by Mie lidar with depolarization property	12th Int. Laser Radar Conf.	Provence (France)	59. 8
清水浩・飯倉善和・ 笹野泰弘・松井一郎	レーザーレーダーによる遠距離測定で生じるシステムミミックな誤差	第45回応用物理学会学術講演会	岡 山	59.10
清水浩・杉本伸夫・ 飯倉善和	スペースシャトル搭載用レーザーレーダーに用いている望遠鏡	第32回応用物理学会関係連合講演会	東 京	60. 3
清水浩・杉本伸夫・ 飯倉善和	レーザーレーダー用簡易軽量受光望遠鏡の試作	第10回 レーザーレーダー (ライダー) シンポジウム	福 井	60. 5
H. Shimizu, N. Sugimoto, Y. Ikura	Ultralightweight receiving telescope for lidar measurements from the space shuttle	Conf. Lasers Electro-Opt.	Baltimore (USA)	60. 5
清水浩・松井一郎	部分反射鏡を用いた YAG レーザーの TEM ₀₀ モードの高効率化	第46回応用物理学会学術講演会	京 都	60.10
清水浩・中根英昭・ 杉本伸夫・松井一郎・ 笹野泰弘・飯倉善和・ 竹内延夫	レーザーレーダーによる広い領域の測定技術の開発	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
清水浩・松井一郎・ 杉本伸夫・笹野泰弘・ 竹内延夫・丹野直弘・ 斉藤典夫・横戸健一	レーザーレーダーによる降雪予報の可能性の検討	1986年春季第33回応用物理学関係連合会	習志野	61. 4
H. Shimizu, I. Matsui, K. Asai	The TFP and a pulsed LD: New lidar components	13th Int. Laser Reader Conf.	Toronto (Canada)	61. 8
清水浩・松井一郎・ 杉本伸夫	大口径 TEP を受信機に用いた宇宙からのレーザーレーダー観測の可能性	第11回レーザーレーダー (ライダー) シンポジウム	八 戸	61. 9
新藤純子・大井敏	大気汚染物質濃度の空間相関特性の経年変化	第25回大気汚染学会	宇 部	59.11
新藤純子・大井敏	最適観測網の構成問題の一考察—大気汚染観測に関して	化学工学協会第51年会	大 阪	61. 3
J. Shindo, K. Oi	Design procedures of a monitoring network based on analysis of a year-to-year change of spatial-temporal variation of air pollution concentration	World Congr. III Chem. Eng.	Tokyo	61. 9
杉本伸夫・竹内延夫・ 竹沢賢三	青色領域における NO ₂ の励起スペクトルの解析と蛍光寿命の測定	分子構造総合討論会	仙 台	58.8/9
杉本伸夫・飯島弘昭・ 竹沢賢三	偏光分光法による NO ₂ , ² B ₁ 状態の解析	日本物理学会第39回年会	福 岡	59. 4
杉本伸夫・飯島弘昭・ 竹沢賢三	偏光分光法による NO ₂ , ² B ₁ 状態の回転の解析	分子構造総合討論会	名古屋	59.10
杉本伸夫・松井一郎・ 清水浩・竹内延夫	環境濃度 NO ₂ の鉛直分布観測用 DIAL システムの製作	第10回レーザーレーダー (ライダー) シンポジウム	福 井	60. 5
杉本伸夫・竹沢賢三	超音速分光ビームを用いた青色領域における NO ₂ の励起スペクトルの解析	分子構造総合討論会	東 京	60. 9
N. Sugimoto, I. Matsui, H. Shimizu, N. Takeuchi	Experimental estimation of the error due to the fluctuation of aerosol backscattering in DIAL measurements	1st Int. DIAL Data Collect. Anal. Workshop	Virginia Beach (USA)	60.11
杉本伸夫・松井一郎・ 清水浩・竹内延夫	NO ₂ 鉛直分布連続観測用差分吸収レーザーレーダー装置の開発	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
杉本伸夫・松井一郎・ 笹野泰弘・清水浩・ 竹内延夫	環境濃度 NO ₂ の鉛直分布観測用 DIAL システムの製作II	第11回レーザーレーダー (ライダー) シンポジウム	八 戸	61. 9

発 表 者	題 目	学 会 等 名 称	開 催 都 市 名	年 月
杉本伸夫・笹野泰弘・ 林田佐智子・中根英昭・ 松井一郎・清水浩・ 竹内延夫・秋元肇	地上から高度50kmまでのオゾン濃度の鉛直分布の測定を目的とする差分吸収レーザーレーダーの製作	環境科学シンポジウム1987	東 京	62.11
高村民雄・笹野泰弘	下層大気中でのエアロゾルの散乱パラメータの推定	日本気象学会1986年春季大会	東 京	61. 5
竹内延夫	大気汚染計測用レーザーレーダーシステム	光・量子デバイス研究会	東 京	59. 9
竹内延夫	自然大気中に拡散した微量物質の計測	機械学会第85回特別講演会	東 京	60. 7
竹内延夫	可搬型 RM-CW ライダーによる夜間エアロゾルの観測	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
竹内延夫・佐藤健・ 馬場浩司・桜井捷海・ 上野敏行・石河直樹	可搬型ライダーによる夜間斜め視程観測と TRANSMISSOMETER 観測との比較	日本気象学会1986年春季大会	東 京	61. 5
N. Takeuchi	Improved diode-laser random-modulation CW lidar	Laser and Optical Remote Sensing : Instrumentation and Techniques Topical Meeting	North Falmoth (USA)	62.10
竹内延夫・桜井捷海・ 馬場浩司・上野敏行	擬似ランダム変調 CW ライダーによる粉塵拡散フィールド計測	環境科学シンポジウム1987	東 京	62.11
竹内延夫・上野敏行・ 馬場浩司・桜井捷海	CW 半導体レーザーを光源とする擬似ランダム変調レーザーレーダー	昭和63年レーザー学会学術講演会第8回年次大会	東 京	63. 2
丹野直弘・斉藤典夫・ 横戸健一・清水浩・ 杉本伸夫・松井一郎・ 笹野泰弘	偏光解消度測定用レーザーレーダーによる降雪雲の測定	第10回レーザーレーダー(ライダー)シンポジウム	福 井	60. 5
Y. Dokiya, K. Hirose, I. Kanazawa, M. Kunugi, T. Mizoguchi	Vertical sampling of airborne particles at the lower troposphere	The 1984 Int. Chem. Congr. Pac. Basin. Soc.	Honolulu	59.12
Y. Dokiya, S. Bessho, M. Ikegami, M. Nishikawa, M. Kunugi, T. Mizoguchi, Y. Ambe	Vertical distribution of chemical compounds at meteorological observation tower (213m). II—Total and wet deposition—	Int. Symp. New. Sens. Methrds Environ. Charact.	Kyoto	61.11
土器屋由紀子・ 別所進一・池上三和子・ 刃刀正行・溝口次夫	気象観測用鉄塔(213m)を用いた化学成分の鉛直分布に関する研究	1987年度日本地球化学会年会	東 京	62.11
中島映至・田中正之・ 早坂忠裕・岩坂泰信・ 林田佐智子	対流圏中上層および成層圏における大気の光学的厚さの決定	日本気象学会1985年秋季大会	大 阪	60.10
中根英昭・笹野泰弘	レーザーレーダーと光散乱粒子計測器によるエアロゾルの散乱パラメータの測定	日本気象学会1984年春季大会	東 京	59. 5
H. Nakane, Y. Sasano	Measurement of the extinction/backscatter ratio of aerosols by lidar and optical particle counter	12th Int. Laser Radar Conf.	Provence (France)	59. 8
中根英昭・笹野泰弘・ 清水浩・杉本伸夫・ 松井一郎・竹内延夫・ 浦慶・北村新三	大型レーザーレーダーによる広域エアロゾル濃度分布の定量的測定	第32回応用物理学関係連合講演会	東 京	60. 3
中根英昭・清水浩・ 杉本伸夫・松井一郎・ 林田佐智子・飯倉善和・ 笹野泰弘・竹内延夫・ 大喜多敏一・小林守・ 石重和・北原隆明・ 河村武	レーザーレーダーによる科学万博会場上空の夜間のエアロゾル濃度鉛直分布の観測	日本気象学会1985年秋季大会	大 阪	60.10

発 表 者	題 目	学 会 等 名 称	開催都市名	年月
中根英昭・笹野泰弘・清水浩・杉本伸夫・松井一郎・竹内延夫	大型レーザーレーダーによるエアロゾル濃度の空間・時間分布の観測	第26回大気汚染学会	東 京	60.11
中根英昭・笹野泰弘・清水浩・杉本伸夫・松井一郎・竹内延夫・大喜多敏一・浦慶・北村新三	大型レーザーレーダーによる広域エアロゾル濃度分布の測定	第10回レーザーレーダー(ライダー)シンポジウム	福 井	60. 5
中根英昭・笹野泰弘	レーザーレーダーによる海風前線立体構造の観測	日本気象学会1986年春季大会	東 京	61. 5
中根英昭・笹野泰弘	海風前線立体構造のレーザーレーダー観測	第11回レーザーレーダー(ライダー)シンポジウム	八 戸	61. 9
中根英昭・笹野泰弘	レーザーレーダーによって観測した海風前線の鉛直構造	文部省「環境科学」第1回環境科学シンポジウム	東 京	61.11
中根英昭・笹野泰弘	海風前線の水平・鉛直構造の時間変化に関するレーザーレーダー観測	日本気象学会1986年秋季大会	名古屋	61.11
野口和夫・清水浩	高分解能レーザーレーダーによる気温測定の精度	第45回応用物理学学会学術講演会	岡 山	59.10
野口和夫・清水浩	高分解能ライダーによる気温測定理論における分子散乱モデルの影響	第32回応用物理学学会学術講演会	東 京	60. 3
野口和夫・清水浩	高分解能レーザーレーダーの最適設計法	第10回レーザーレーダー(ライダー)シンポジウム	福 井	60. 5
袴田共之・横田達也	リモートセンシングによる植生相観の対話型分類—第2報 多時期のランドサット衛星データによる分類—	分類の理論と応用に関する研究会 第3回研究報告会	東 京	61.12
袴田共之・横田達也・松本幸雄	リモートセンシングによる植生相観の対話型分類	昭和61年度日本生態学会関東地区大会	筑 波	62. 2
袴田共之・横田達也・松本幸雄	リモートセンシングによる草地帯植生の対話型分類	昭和62年度日本草地学会大会	松 戸	62. 4
T. Hakamata, T. Yokota, Y. Matsumoto	An exploratory classification of grassland vegetation by remotely sensed multispectral data	Int. Symp. Grassl. Veg.	呼和浩特(中国)	62. 8
袴田共之・横田達也・松本幸雄	リモートセンシングによる植生相観の探索的分類—情報科学と植生学のインターフェイスをめざして—	第1回環境研究発表会	つくば	62.12
樋口隆一・斉藤保典・野村彰夫・鹿野哲生・杉本伸夫・竹内延夫	差分吸収方式レーザーレーダー(DIAL)によるNO _x 観測	第31回応用物理学関係連合講演会	東 京	59.3/4
松井一郎・清水浩・杉本伸夫・笹野泰弘・斉藤典男・丹野直弘	ミー散乱レーザーレーダーによる降雪の観測	第45回応用物理学学会学術講演会	岡 山	59.10
松井一郎・笹野泰弘・清水浩・竹内延夫	混合層高度連続観測用簡易型レーザーレーダーの製作	第32回応用物理学関係連合講演会	東 京	60. 3
松井一郎・飯倉善和・笹野泰弘・清水浩・竹内延夫	簡易型レーザーレーダーによる混合層高度の自動連続測定	第10回レーザーレーダー(ライダー)シンポジウム	福 井	60. 5
松井一郎・清水浩・杉本伸夫・飯倉善和・石河直樹	パルス半導体レーザーとTFPを用いた超簡易型レーザーレーダーの試作	第46回応用物理学学会学術講演会	京 都	60.10
松井一郎・清水浩・杉本伸夫・笹野泰弘・竹内延夫	国立公害研車載型レーザーレーダーMARK IIの製作	1986年春季第33回応用物理学関係連合会	習志野	61. 4
松井一郎・清水浩・杉本伸夫	パルス半導体レーザーとTFPを用いた超簡易型レーザーレーダーの試作(II)	第47回応用物理学学会	札 幌	61. 9
松井一郎・清水浩・杉本伸夫・笹野泰弘・竹内延夫	国立公害研車載型ミー散乱レーザーレーダーMARK IIの製作	第11回レーザーレーダーシンポジウム	八 戸	61. 9

発 表 者	題 目	学 会 等 名 称	開 催 都 市 名	年 月
松井一郎・杉本伸夫・清水浩	レーザーレーダー用高速高精度データ処理装置	第34回応用物理学関係連合講演会	東 京	62. 3
溝口次夫・功刀正行・竹内延夫・金澤五寿雄 土器屋由紀子	大気エアロゾルの鉛直分布測定(2)	第2回エアロゾル科学・技術研究討論会	京 都	59. 8
宮崎忠国・安岡善文	分光反射スペクトルデータの収集	計測自動制御学会第10回リモートセンシングシンポジウム	東 京	59.11
宮本定明・浅山泰祐・池辺八洲彦・大井紘	一般化されたエントロピー評価基準によるレーザーレーダー画像の強調	第28回自動制御連合講演会	東 京	60.11
向井苑生・竹俣一也・日下道・笹野泰弘	リモートセンシング画像の大気補正におけるエアロゾルモデルの考察	日本リモートセンシング学会	東 京	62.12
安岡善文	リモートセンシングによる環境の監視 —なぜリモートセンシングか—	環境教育研究会	福 井	59. 7
安岡善文・宮崎忠国	軌道平行定査 MSS による高さの計測	第23回計測自動制御学会学術講演会	小金井	59. 7
安岡善文・宮崎忠国	軌道平行定査 MSS による三次元情報の抽出	日本リモートセンシング学会第4回学術講演会	東 京	59.12
安岡善文・宮崎忠国	軌道平行定査 MSS による表面反射率の角度依存性の評価	計測自動制御学会第11回リモートセンシングシンポジウム	東 京	60.10
安岡善文・宮崎忠国・笹野泰弘・中根英昭・清水浩	可視近赤外放射計 (MESSR) のラジオメトリック性能評価に関する研究	MOS-1 航空機検証実験成果報告会	東 京	61. 9
安岡善文・宮崎忠国	水質リモートセンシングにおける大気効果および水面反射の評価	第26回計測自動制御学会学術講演会	広 島	62. 7
安岡善文・宮崎忠国	スペクトル特性の類似度とその分類への応用	第13回リモートセンシングシンポジウム	東 京	62.10
横田達也	多重閾値による MSS データの探索的な分類法	第23回計測自動制御学会学術講演会	小金井	59. 7
横田達也・宮崎忠国・安岡善文	リモートセンシングにおける陰の評価 (I)	計測自動制御学会第10回リモートセンシングシンポジウム	東 京	59.11
横田達也・宮崎忠国・安岡善文	リモートセンシングにおける陰の評価 (II)	計測自動制御学会第11回リモートセンシングシンポジウム	東 京	60.10
横田達也	リモートセンシング赤外3バンド画像による海面温度推定	計測自動制御学会第12回リモートセンシングシンポジウム	東 京	61.10
横田達也・松本幸雄・袴田共之	リモートセンシングによる植生相観の対話型分類—第1報、多重閾値 (いきち) を用いた探索的な分類法—	分類の理論と応用に関する研究会 第3回研究報告会	東 京	61.12
T. Yokota, S. Fujimura, H. Toyota	Simultaneous estimation of the distribution of radiation absorbers and sea surface temperature from infrared 3-band images	1987 Int. Geosci. Remote Sensing Symp.	Ann Arbor (USA)	62. 5
横田達也	熱赤外多重バンドデータによる海面温度推定のための演算と波長帯選定	計測自動制御学会第13回リモートセンシングシンポジウム	東 京	62.10

3 本特別研究にかかわる刊行物

国立公害研究所研究報告 第107号, (1987) 遠隔計測による環境動態の評価手法の開発に関する研究
昭和59～60年度 特別研究報告 大喜多敏一 (編)

発 表 者	題 目	ペ ー ジ
大喜多敏一・清水浩・安岡善文	研究の意義と概要	1-8
清水浩・野口和夫	高分解能レーザーレーダーによる消散係数と気温の遠隔測定の理論的検討	9-29
杉本伸夫・松井一郎・笹野泰弘・清水浩・竹内延夫	環境濃度 NO ₂ の鉛直分布の観測を目的とする差分吸収レーザーレーダーの製作	31-48
杉本伸夫・松井一郎・笹野泰弘・清水浩・竹内延夫	エアロゾル分布の時間変動による差分吸収レーザーレーダー測定の見誤差について	49-55
笹野泰弘・Edward V. Browell・Syed Ismail	散乱パラメータを一定としたときのレーザーレーダー方程式解の見誤差	57-63
中根英昭・浦慶・笹野泰弘・北村新三	多波長レーザーレーダーによるエアロゾル粒径分布計測に関する数値シミュレーション	65-83
功刀正行・柴田恵子・土井妙子・溝口次夫	大気汚染成分の鉛直分布	85-101
宮本定明・大井紘	一般化されたエントロピー評価基準によるレーザーレーダー画像の強調	103-115
横田達也	多重閾値による MSS データの探索的な分類法	117-132
袴田共之・横田達也・廣崎昭太	ランドサット MSS データによる植生相観の対話型分類法	133-153
中根英昭・笹野泰弘	大型レーザーレーダーによる海風前線の構造の観測	155-165
新藤純子・大井紘	大気汚染物質濃度の時間空間変動特性の経年変化に基づく観測系構成の考え方	167-184

編集委員会委員

委員長	後藤典弘	委員	笹野泰弘
副委員長	相馬光之	〃	相崎守弘
〃	三浦卓	〃	小林隆弘
委員	海野英明	〃	太田庸起子
〃	宇都宮陽二郎	〃	古川昭雄
〃	田村正行	〃	大政謙次
〃	藤井敏博	事務局	古田早苗

REPORT OF SPECIAL RESEARCH FROM
THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES, JAPAN

国立公害研究所特別研究報告
SR-1-'89

平成元年3月16日発行

編集 国立公害研究所 編集委員会

発行 環境庁 国立公害研究所

〒305 茨城県つくば市小野川16番2

印刷 日青工業株式会社

東京都港区西新橋2-5-10

Published by the National Institute for Environmental Studies
Onogawa 16-2, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan
March 1989