

地球温暖化対策としての環境調和型技術と その評価に関するセミナー報告

—Seminar report on the evaluation of environmentally sound
technology for controlling the greenhouse effect—

期日 平成元年9月6日

会場 国立公害研究所

内藤正明 編

Edited by M. Naito

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立公害研究所

地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するセミナー報告書刊行に当たって

本報告書は、平成元年9月6日に当研究所大山ホールにおいて開かれた「地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するセミナー」の結果をとりまとめたものである。

本セミナーは、2件の基調講演と10件の招待講演のほか、本セミナーに先だって行ったアンケート調査結果の報告、および総合討論で構成された。当日は所内外から300名を越える参加者があり、活発な討論が行われた。

本報の構成はセミナー開催当日の講演および会議当日の参加者の感想と、セミナー開催に先立って行われた地球温暖化対策技術に関するアンケート調査結果の2部からなる。第Ⅰ部は、セミナー開催当日の速記録を基にし、講演者が校正したものをとりまとめたもので、表現が話しことばになっている。また、第Ⅰ部のⅠ-15（アンケート調査の報告）と第Ⅱ部の内容が一部重複しているが、これは予めご了承願いたい。第Ⅱ部はセミナー開催に先立ち地球温暖化対策技術に関する識者の見方を調査するために行われたアンケート調査の集計解析結果を報告するものである。

これらの作業は、

総合解析部地域計画研究室	室長	清水 浩
	主任研究員	青木陽二
	研究員	森口祐一

が中心となって行った。

平成元年11月30日
国立公害研究所 総合解析部長
内藤 正明

目次

I 地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するセミナー報告	
I-1. はじめに	1
不破敬一郎 (国立公害研究所)	
I-2. 地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するセミナー趣旨	2
内藤 正明 (国立公害研究所 総合解析部)	
I-3. 地球環境を守る決定打はあるか	4
渡辺 茂 (東京都立科学技術大学)	
I-4. 環境についての考え方、生き方	10
中村 桂子 (早稲田大学人間科学部)	
I-5. 地球温暖化からみた大気汚染物質の排出とその抑制	17
秋元 肇 (国立公害研究所 大気環境部)	
I-6. 低・非炭素エネルギー利用による地球温暖化対策	29
指宿 堯嗣 (公害資源研究所 汚染物質交換研究室)	
I-7. 炭酸ガス処理に要するエネルギーと炭酸ガス拘束期間に着目した 炭酸ガス固定化技術	43
野崎 健 (電子技術総合研究所 高温エネルギー研究室)	
I-8. 自然エネルギーの有効利用のための地熱開発	58
松尾岑一郎 (日本重化学工業 地熱事業部 盛岡工業所)	
I-9. 地球温暖効果微量ガスの存在、生成ならびに制御のための 生物地球科学的アプローチ (メタンを中心として)	71
都留 信也 (農業環境技術研究所)	
I-10. 地球温暖化と森林資源 -その対策-	76
井上 敬雄 (森林総合研究所 植物生態科)	
I-11. 地球温暖化と環境容量	85
松尾 友矩 (東京大学工学部)	
I-12. 温暖化対策に関わる住宅の省エネルギー技術	96
石川 修 (ミサワホーム総合研究所 環境エネルギー研究室)	
I-13. 地球温暖化と水文循環への影響	105
吉野 文雄 (土木研究所 水文研究室)	
I-14. 交通におけるエネルギー消費とその転換の可能性	116
石谷 久 (東京大学工学部)	

I-15.地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するアンケート	
調査結果報告	129
清水 浩 (国立公害研究所 総合解析部)	
I-16.総合討論	132
西岡 秀三 (国立公害研究所 総合解析部)	
I-17.シンポジウムを終わって	147
小泉 明 (国立公害研究所)	
I-18.シンポジウム参加者のアンケート (調査結果)	148
清水 浩・青木 陽二・森口 祐一 (国立公害研究所 総合解析部)	
II 「地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価」に関する	
アンケート調査結果報告	
清水 浩・青木 陽二・森口 祐一 (国立公害研究所 総合解析部)	
結果の概要	157
II-1.調査の概要	158
II-2.興味ある分野についての結果	163
II-3.地球温暖化技術との関わり	166
II-4.関心のある対策技術とその評価	167
II-5.新たに付け加わった技術	174
II-6.地球温暖化対策技術としての開発中の技術	176
II-7.自由回答の結果	178
II-8.対策技術評価の単純集計結果	180
巻末資料 地球温暖化対策技術のリスト	211

第 1 部

「地球温暖化対策としての環境調和型技術 とその評価」に関するセミナー 報告

地球環境問題が最近いろいろなところで盛んに論ぜられておるようであります。地球的規模の環境問題として、成層圏におけるオゾン層の減少、対流圏における炭酸ガスの増加、酸性雨の3つがあるということを私どもが論じておりましたのは、もう随分前のことのように記憶いたしております。例の文部省科学研究費補助金で環境科学特別研究が52年にスタートし、そのころ既に3課題を並べていましたが、いろいろな社会的な要因が加わり、クローズアップされて一般的な問題になるという経過をたどっているのではないかと感じている次第でございます。

その中の2番目に関連する地球の温暖化ということでございますが、一番影響の大きい問題であろうと思います。対象となるガスも炭酸ガスにとどまりませんで、メタンとか、亜酸化窒素とか、いずれも昔から言われていたガスであります。その増加の結果として温度が上がってくるということです。その影響は非常に大きく、あらゆる分野に影響が出てくるということでございます。したがって非常に多くの側面を持っているわけであります。

本日、研究所の総合解析部が中心になり、その対策技術、特に環境調和型と称しておりますが、その技術の評価について論じようということでお呼びかけいたしましたところ、大変多くの皆様のご賛同を得て、このようにたくさんお集まりいただきまして、感謝にたえない次第でございます。

基調講演といたしまして、渡辺茂、中村桂子両先生においでいただいております。

渡辺先生は、10年ばかり前に総合解析部を部長として一時面倒を見ていただいた経過もございました。大変幅の広い先生でございます。

中村桂子さんといいますと、例のワトソン・クリックのDNAモデルをすぐ思い浮かべるわけですが、その後、大変幅広い範囲にご活躍をしておられます。

そのほか、研究所、企業、大学等から多くの皆様に講師としてご参加していただいております。どうか本日は、大変重要な興味ある問題について十分にご議論をいただきまして、成果が得られることを期待している次第でございます。

本日はまことにありがとうございました。

[セミナーの開会のあいさつ]

Ⅰ-2 地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するセミナー趣旨

内藤 正明 (国立公害研究所 総合解析部)

「セミナー開催までの経緯」

最近の地球環境問題に対する世の関心の高まりは、我々環境研究に関わる者にとっても予想以上に急激と言えましょう。ところで、それら多くの地球環境問題の中で、今回“温暖化対策技術”を対象に取り上げるに至った背景について最初に一言申し上げます。

特に“温暖化問題”を対象にしたことの主な理由は、他の地球環境問題に比べても現象がより複雑で、大規模であることであります。したがって、研究対象として非常に難しいと同時に、それゆえにやるべきこともまた多岐多様で、研究者にとって興味深いテーマであるという認識によっております。ただし、温暖化問題を全体として取り上げるには余りに広過ぎるため、その中でもさらに“対策技術”ということに絞りましたが、それは現象説明や影響予測・評価といったテーマは近々各方面で活発に研究集会在予定されているのに対し、“対策技術”については個々のアイデアが各機関から独自に打ち出されているものの、それらを横断的に論じ合い、また互いに批判し合う場がないように思われたからであります。

ただし、このテーマに関してはまだほとんど実績のない当研究所が集会を主催することの必然性、また当方の呼びかけに外部の関係研究者の方々がどれほど応じていただけるか……などを当初は危惧したことは事実であります。しかし、環境庁は本来、横断的調整が任務の第一であること、また、研究所の今後の業務の1つに、地球環境研究に関して各省庁や外国の研究機関とも横断的プロジェクトを設定するということが予定されており、今回の試みがいわばその予行的作業にもなること、さらに多専門分野を広くカバーしているという当所の特色は、このようなテーマの調整役としてこの際役立つかもしれない、などのことを考え合わせて、最終的に本セミナー主催を決意した次第であります。

「セミナーに期待するもの」

“温暖化対策技術”に関する最初の集会として、今回のセミナーで特に我々が期待しております具体的な成果は、

- ①温暖化対策技術として考えられるものをできるだけ幅広く抽出・整理すること、
 - ②それら個々の技術が真にどれほど温暖化防止、さらには広く地球環境全体の保全に有効か、を評価する考え方とその手法(評価基準、尺度、目盛……)を見つけ出すこと、
- の2点であります。

なお、併せて、温暖化対策を意図してどこでどのような技術開発が実施または計画されているか、さらに将来どのような協力関係があり得るか、などの情報を参加者が互いに交流できることも、もちろん重要な成果の1つと考えております。

「対策技術評価の考え方」

温暖化対策というような極めてとらえがたい目標に向けて、技術開発をする場合、まず必要なのは、どのような技術が望ましいのかを正しく評価する根拠または基準を持つことであると思います。そのような基準の主要な項目は、通常の工学的な評価基準と同様に、温暖化防止の“効果”、“技術的困難性”、“所要コスト”などが挙げられるでしょう。しかし、地球環境問題の本質的な難しさは、“効果”とか“コスト”という定義そのものが、生産技術の評価のそれと同一ではあり得ないところにあると思われれます。

この内容についての議論こそ、本セミナーの主要課題の1つと考えられますので、これ以上の私見は控えたいと思いますが、これを突き詰めていけば、そもそも“現在の経済的仕組みを前提としたコストという概念がどこまで有効か？”、さらには“人間の生存にとって技術とは何か？”という根源的な問いに戻るのではないかと思います。

渡辺、中村両先生に講演をお願いしたのはまさにそのような問題意識からであり、両先生は既にずっと以前から、そのような根本的な問題提起をしてきておられます。ただ、これまでは世の中全体として必ずしも十分認識されずに今日まで来たものが、地球環境問題の顕在化によって、ようやく本気でそのことを考え始めた、というのが実情ではないでしょうか。事前のアンケート結果からも、この点に関して興味深い指摘が見られます。つまり、アンケート対象者が技術開発に関わる研究者中心であったにもかかわらず、今後の研究方向として、技術的側面と同時に社会科学の科学的検討の重要性を指摘する声が多かったことであります。

以上のような状況を踏まえて、本日のセミナーの主題を改めて要約しますと、“あくまで工学的立場から温暖化対策技術の現状、開発の方向などを論じていただくこと”であります。同時に、“人間生存にとっての社会・経済や技術のあり方いかん”という理念・哲学的な側面にも議論の必然として言及していただくことがあれば、それもまた大変有意義ではないか、ということでもあります。

以上、極めて難しい注文をお願いしつつ、一方で現下の状況では拙速もまた重要との判断から、必ずしも十分な準備のないままに本日を迎えたために、準備不行届きの点が多かろうと存じますが、この点は何分のご寛容をあらかじめお願い申し上げ、実りある討論を期待いたします。

公害研で今やっていらっしゃるように、地球環境浄化のためには、いろいろの手段の一つひとつ取り上げて検討し努力すべきでありますと同時に、そこに至るまでの道にもまだいろいろ考えるべきことが山積しております。

まず第1に指摘しておきたいのは、地球規模の大事を小さな人間が考える時代になっているということです。昔は人間が地球を変えるようなことなんてあり得ないと考えていたわけですが、今や人間の一拳一投足が地球の環境にさまざまな影響を及ぼしていることが明らかになってまいりました。そこで改めて地球を見直し、大自然を見直すと、いろいろなことに気づくのです。我々は自然を愛し大切にしたいと思っておりますが、その自然というのは一体何なのか、必ずしも自然は、人間の思っているとおりに人間を慈しんでいるわけではありません。ところが、人間たちは、緑を人間の味方だと思ってしまうところに基本的誤解があります。

つまり、元来、地球は他の天体と同じく、生物が住んでないのが普通です。ですから、地球も天体と同様という意味で地球を見てみますと、地球は、人間が望んでいるような緑の空間は欲しくない、緑は地球にとっては皮膚病みたいなもので、人間はノミ、シラミみたいなものでしょう。他の天体には全然ない存在です。だから地球に気持ちがいりあるとすれば、本来の姿、峨々たる岩石の塊こそ、ありたいと願う姿でしょう。しかし現代文明人はそうは思っていないところに、人間の自然に対する大きな誤解があると思います。そういうことも考えて、地球環境を考えざるを得ない時代になったのではないか。大地の女神ガイアは地球を守ろうとしている。守るとは何かというと、自然は生物と敵対することです。

生物と自然とが敵対する中で、では生物同士はどうなのか。せめて動物と植物との間にはやさしい関係があるのかというと、逆に動物は植物を食い荒らし、植物は動物が余りたくさん増えることを好まない。現に青潮、赤潮などが起こると、海の植物が動物を殺してしまう。植物といえども呼吸をする時間がありますから、そのときに動物がいればむしろ邪魔になる。植物が動物をやっつけ、動物が植物を食い荒らしているのです。

では、植物はともかくとして動物だけでも結束しているのでしょうか。そうではありません。人間は人間以外の動物に対して非常に残酷な振る舞いをしています。食物のために動物を殺すことは許されるのだという人間本位の宗教まであるわけですが、よく考えてみると、動物が人間によって殺されるとき痛みは、無視できるほど小さくはないでしょう。

ご存じのように、アメリカではWilderness Actが1964年に出され、これは人間は自然の中にと

* 昭和16年、東京帝国大学機械工学科を卒業、機械工学科教授等を歴任、東京大学名誉教授、マイコンクラブ会長。

どまっちはいけないという法律です。最近、尾瀬はじめ、いろいろな山に日本人が行き過ぎて自然を荒らしてしまう。本当に人間が緑、自然を愛するならば、そこへ入ってもいけない、さわってもいけない、見てもいけないということになります。我々の常識はそこまでには至っていないわけです。

そのように、我々が日常ごく当たり前と考えている行動と自然の法則とは、果たして矛盾していないかと考えてみると、いろいろ矛盾しているものがあるわけです。

地球環境を大切にするとか守るといのは、人間が守るといっただけであって、宇宙の掟でもなく、まして宇宙はそれを喜んでいるわけじゃない。こういうことをまず最初に考えておく必要があると思います。

さて、これから話が第2段階に入ります。

地球環境の保全にはいろいろな面がありますが、私の話は温暖化に絞り、温暖化の中でも炭酸ガスに絞るといっことで、以下では炭酸ガス中心に考えてみたいと思います。

まず第1に、人間は呼吸によって炭酸ガスをどのくらい出すものでしょうか。いろいろな計算があります。大体の平均値をとってみますと、1人1年当たり炭素換算60kgです。CO₂換算だとこれを3.7倍しなければなりません。60kgというのは丸めた数字でありまして、ある場合は30kgかもわからないし、お相撲さんのように大きな人はもっと多いでしょうが、非常に大ざっぱに言えば人間の体重は大体60kgですから、1年間に人間の体重分だけの炭酸ガスを出しているという感じになります。

人間から類推して、動物はどうか。やはり1kgの動物が1年に1kgぐらい出すんじゃないか。これもオーダーが合っているという程度です。動物といっても微生物から象、鯨までいます。ある人は脂肪太りであるとか、ある人は筋肉が隆々としているといっことで、全部値が違うといっことはご存じのとおりです。まして全動物を相手にすると、ごく大ざっぱに言うことしかできません。

動物1kg当たり炭酸ガス1kg（炭素換算）としていいでしょう。

これに対して文明社会における産業活動による炭酸ガスの排出はどのくらいかといっくと、これもいろいろな計算があります。オーダーで言えば、人間1人当たり炭素換算で1,000kgです。2,000kgという計算もあります。文明の度合いによって違います。特にアメリカはもっとたくさん出しているし、日本はかなり省エネが進んでいますから、ここまでいっっていないかもわかりませんが、大ざっぱに言っって1,000と見積もっておきます。

次に、では森林が酸素を生成するのはどのくらいかといっくと、これもいろいろな文献がいろいろ違うデータを出していますが、これは1年1㎡当たり大体0.6kg（炭素換算）という程度です。熱帯雨林から温帯の針葉樹林、闊葉樹林、あるいは疎林によってデータは違います。特に成長中と限定して考える必要があります。この点は大変重要です。何となれば、樹木は大体15年から20年ぐらいのところでは一番たくさん酸素を出しますが、樹齡が50年、100年になると、ほとんど酸

素を出さなくなるからです。つまり、光化学反応で CO_2 を吸収して O_2 を出しますけれども、夜、呼吸によってまた O_2 を消費し CO_2 を出しますから、ほとんど炭素の固定はなくなります。そのみならず、熱帯雨林などの自然林は、朽木につく腐敗菌等による CO_2 の発生が多くなってまいります。（これらのデータは政策研・大橋裕寿氏の調査による）

これに対して海洋において、植物プランクトンはどのくらい酸素を出すか。これは余り文献がないようですが、「藻類の生態」（秋山氏他）のP114から取ると、 m^2 当たりで海は森より大体1ヶタ少ないようです。これもオーダーはこんなところであるとして以下の計算をしてみました。

そこで、これから問題とすることは、では人間1人のために森はどのくらいの面積が必要なのか。つまり、人間の責任において出す炭酸ガスを吸収して酸素を出してくれる森の面積は一体何 m^2 であるか、さらに海なら、何 m^2 必要かということで、これらについて考えてみたいと思います。

人間が炭酸ガスを出すのは、自分自身が呼吸することと、産業活動ということがありますが、産業活動にはさまざまな活動があるわけです。生産活動という中に動物を飼うこともあります。その動物が炭酸ガスを出すわけです。そういうことがありますから、文明人1人がどの程度の炭酸ガスを出すことになっているかは計算しにくいわけでありまして。ともかく地球上の人間と動物の全体が出す炭酸ガスがどうなるか一応計算してみました。

これはどう計算すればいいか。さっき申しましたように、動物は1年間に1kgの炭素換算の炭酸ガスを出すとして。ところで、動物は地中にもいっぱいいます。地表から1m50cmぐらいの中に、ミミズから微生物、細菌がいっぱいいる。もちろん地上には象からネズミがいる。海には鯨から微生物までいる。一体どのくらい動物がいて炭酸ガスを出すか。50億人の人間の体重の全合計と人間以外の動物の目方の全合計とを比べてみると、動物全体は、人間だけの10から100倍になります。だから、地上、土中、海中の全動物は炭酸ガスも100倍ぐらい出しているだろう。炭酸ガスを出す責任のうち人間の責任はごくわずかです。文明人だけが炭酸ガスを出しているわけじゃない。産業革命以降の文明人の行動が果たして温暖化をもたらしたかは、文明化が海中の動物も含めてどれだけ増加するための原因になったかを調べなければなりません、まだそこまでの計算はありません。

以上、述べた数値を、次に要点だけ記しておきましょう。

1. 人間による CO_2 排出

人間呼吸による CO_2 排出	60kg C/年/人
産業活動による CO_2 排出	1,000kg C/年/人

2. 植物による O_2 生成源

森林（成長中）の O_2 生成	0.6 kg C/年/ m^2
海洋プランクトンの O_2 生成	0.06kg C/年/ m^2

3. ゆえに人間に必要な O_2 生成（含産業活動）

1人当りに必要な森林	1,000 m^2 /人
------------	-----------------------

1人あたりに必要な海洋 10,000㎡/人

なぜ、こういう値を出したかといいますと、人間が炭酸ガスを出しているということに対して、どのくらい、人間は責任を感じなければならないのか、その炭酸ガスは森だけでなく海に吸収されますから、それぞれは一体どのくらいのオーダーなのかということを、私なりに計算してみたわけです。したがって、森は1人当たり大体 1,000㎡、海は1万㎡というところをご記憶いただきまして、話を次に進めたいと思います。

そこで、話は3段階に進みます。

ここはつくばですが、東京だけでは一体どんな計算になっているんだろう、次に関東全体を合わせるとどのくらいになっているんだろう、さらに日本全体はどうか、そして世界全体はどうかというように考えて、次の表を作りました。

表 1. 3. 1 森林と海洋の量

	東京	関東	日本	世界
森林	7.7億㎡	135億㎡	2,350億㎡	30兆㎡
人口	0.12億人	0.38億人	1.2億人	50億人
森林/人	64㎡/人	360㎡/人	2,000㎡/人	6,000㎡/人
海洋				360兆㎡
海洋/人				70,000㎡/人

単位は面積だけでもヘクタールとかいろいろあって面倒くさいから、㎡だけにしておきました。東京の森林は7.7億㎡。人口は0.12億人という変な単位にしたのは、計算しやすいからです。ですから1人当たりの森林面積は東京だけだと64㎡しかないわけで、東京都は奥多摩までありますけれども、結局、1人当たり64㎡の森しかないということは、過密都市東京と言われても仕方がないです。先ほどの1,000㎡から考えてみると、20分の1ぐらいしかみずから責任を果たしてないということになるわけです。

それでは関東地方はどうか。つくばも全部含めて考えますと、360㎡/人で、これは1,000㎡の3分の1。これも3倍ぐらいにしなければ責任を果たせないかもしれません。東京はとても無理だけれども、関東全体で森を3倍にすることなら何とかできそうです。

次に、日本全体は意外にも森がいっぱいある。2,000㎡/人もある。だから、現在でもオーダーとして責任を果たしているという感じがいたします。

世界はどうか。森だけでも6,000㎡あります。1,000㎡に対して6倍もあります。海のほうは1人当たり7万㎡ありますから、海だけでも7倍ぐらい吸収力はあるということです。両方合わせると、ごく大ざっぱに言って10倍ぐらい許容量があると言えるのではないかと思います。

そういう計算結果を考えてみますと、どういうことが言えるか。我々人間が第1次産業革命以来の文明による自然の浄化能力は現在まだ十分ある。それにもかかわらず、大気中に炭酸ガス、もちろんそのほかメタンとかいろいろありますけれども、地球温暖化をもたらすいろいろな物質が増加し、現にその影響は無視できないということは、炭酸ガスの増加は、大自然中のわずかな不均衡が集まって相乗効果のようなものがあることがわかります。その中には、人間のみならず、動物とか自然の連中が大きく関係しているわけです。今後はこの相乗効果をきちんと論じなければなりません。

次に考えてみなければならないのは、炭酸ガスの発生というのは、発生場所の差で吸収場所が異なるということです。もう既に海洋を意識している専門家が多いですが、海と森が炭酸ガスを取り、酸素を出してくれるということです。日本は島国であって、東に大きな太平洋がある、しかも風は大ざっぱに西から東へ吹いている。だから、我々が今ここで出している炭酸ガスはほとんど全部が太平洋で吸収されてしまう。極端なことを言うと、森は要らないんじゃないか。東京23区の出すCO₂は、東京湾があって、千葉の山を越えて、あとは太平洋ですから、ほとんど大部分は太平洋で吸収されてしまう。

これに対してフランスの放出したCO₂は、オランダ、東独、西独、ハンガリー等の欧州各国の森で炭酸ガスが同化作用に使われている。世界の位置によって随分話が違う。ですから、フロン同様、炭酸ガスも各国規制して割り当てようと言われておりますけれども、周辺条件を十分考え、シミュレーションモデルをつくって、しからば日本が出す炭酸ガスの責任はどのくらいであるかということを考えてみたいと思います。さらには、海の温度が上がると炭酸ガスを出すことも考えなければなりません。直接日本人の出した炭酸ガスは温度が上がるとき海から出るんだという説もあって、それも本当ですけれども、炭酸ガスを出す場合には酸素も海から大気に出している。すると海洋プランクトンの増減に影響を与えるということで、一面だけ見ると、どこかが目立って悪いように見えますけれども、よく考えてみると、いろいろな見方があるということを十分目配りしてもらいたい。

次に言いたいことは、自然林の保護は炭酸ガス問題には無益というのは言い過ぎたかもしれませんが、大変有益とまでは言えません。熱帯雨林のように、50年、100年以上の年令の大木はほとんど成長しない。先ほども言いましたように、光化学反応による酸素は、夜、呼吸によってほとんどみずからそれを使っている。さらに言うと、熱帯雨林が倒れて、そこに微生物——微生物という動物ですから、動物、特に腐敗菌が食いついて、そこから炭酸ガスを出しますから、むしろ逆にたくさん炭酸ガスを出している。自然林を大切にす、緑を1つの美的感覚と見て大切にすという人間の気持ちはわかりますけれども、日本がわざわざ熱帯雨林を大切にす必要性が、炭酸ガスを出すという意味で、どれだけあるかということは、もう一度考え直してみなければなりません。

むしろ50年も100年もたった原始林などは焼き畑(*)にするか、木材を売って、すぐにその地

にトウモロコシや植物を植える。トウモロコシは背が高く、炭酸ガスを炭素化合物に変えてくれますから、焼き畑農業というのは必ずしも悪くない。また、木材をどんどん切ってしまうというけれども、数十年を経た木はほとんど酸素を出さないから、植林さえちゃんと怠らなければ、むしろ炭酸ガスを固定化し酸素を出すという意味において有用ではないか。だから、もし日本が国際的な政策として打ち出すべきは、焼き畑(*) プラス農業、木材の生産プラス植林ということではないかと思えます。

それから、先ほどの青潮、赤潮の話をしてきましたが、一点集中的に植物プランクトンがあると富栄養化して被害を及ぼしますが、海というのは広いですから、広く有用な毒性のない植物性プランクトンをばらまけばよいと思えます。植物性プランクトンは森林以上に酸素を出しますから、有用プランクトンを増殖するという事は、積極的に家庭から河川に流す洗剤などの廃物利用ということにもなって、必ずしもできない相談ではないと思えます。さまざまな藻類、コンブ、ワカメ、ノリ等から、クロレラ、スピルリナ、オシラトリア、ポツリオコツカスなどの養殖は盛んです。特にスピルリナを水槽で育て、稚魚を放流するように、海にどんどん放出してはどうでしょう。現にスピルリナは沖縄で生産しており、食物として好評です。

これらの海洋植物あるいは動物は、ついには深海底に沈んでいきます。現在、深海底のさまざまな動植物のビヘービアが解明されようとしておりますが、深海底に対して我々が人為的にやることはないか。腐敗菌のようなものは困りますが、サンゴなどの適当な海底生物を選別によって太平洋に人間がどんどん送り込むと、海に沈殿してしまった炭素、あるいは炭素化合物を再びCO₂にするということ防止することができるのではないか。海洋の微生物がいろいろな役に立ってくれるはずですが。また、燃えるゴミも、必ずしも燃やすのはよくない。燃やして空中に炭酸ガスをばらまくよりも、海底や地中に永久保存することができれば、そのほうがよいでしょう。ただし、永久保存の技術と空間があるかどうか問題です。

以上、炭酸ガスを中心にして、結論的にいうと、森も大切だけど海も大切で、その海に対して人間が介入して、例えば海の中の植物性プランクトンに着目して、空中の炭酸ガスを少なくするとか、炭酸化合物を海底に永久保存するとかという提案を幾つか申し上げて、きょうのお話を終わりたいと思えます。どうもありがとうございました。

(*)“焼き畑”というのは、ここでは若木の植樹を前提として言われている。ただし燃焼過程でCO₂を発生するという意味では、焼かずに木材などの形で利用をし、その跡地に植林する方が、よりCO₂の発生は少ない。(編者注)

渡辺先生のあのユニークな話の後で話すのは大変難しく、また、ご専門の方の前で何をお話していいのかよくわからないのですが、きょうの会に私はぜひ外側からエールを送りたいと思って参りました。高校野球でも、昔は根性、選手が目の色を変えてボールを追っているところだけが大事にされました。最近は応援もにぎやかで、テレビもよくそれを写している。チアガールにしてはちょっととうが立っていますが、そのつもりで来ました。

といいますのは、もちろん地球環境問題を体系的に研究していただきたいという意味もあるのですが、それだけでなく、このような会を持つということへの応援です。今ご紹介がありましたように、生命科学という分野で、専門家と社会の間をつなぐ仕事をしており、社会で起きている問題に対する専門家の対応の仕方に少し不満を持っております。そして、その中で主張というか、お願いをしてきて、いまだに入れられていないことがあるのです。

それは、科学や科学技術に関して何か問題が起きたときに、社会の中で議論をして対策をとる方法についてです。きょうのアンケートにもいろいろな制度が必要だというご意見が随分書かれていたようですが、その場合には社会全体で考えていかなければなりません。その時どうやって議論を進めていくかということなんです。何でもアメリカがいいとは申しませんが、少なくともこの場合の話し合いの進め方に関してはアメリカに学ぶところがあると思って、それを学ぶべきだと思っております。

科学技術の問題の議論の出発点には、まず、科学として、今どこまで、何がわかっているのか、何がわかっていないのか、何が問題なのか、これから何ができるのかということを確認する必要がありますということです。社会の共通の認識として、まず全員が同じ知識を共有することを議論の出発点にしたいと思うのです。

二酸化炭素の問題に対しても、例えばアメリカの科学アカデミーが1979年に報告を出しています。必ずまず専門家が議論をして、全体的な現状をまとめたものを報告書として外に出します。別にそれが世の中で一番権威のあるものになるわけではなくて、それを、例えば政治家、法律家、哲学者、宗教家、いろいろな人が見て、ここはおかしい、あそこは納得できないという議論をして、次の段階の、もう一つ広い立場から見た報告書が出てくる。そうすると、またそれを見て社会全般の人々も議論をする。そういうシステムができ上がっています。これはどこの国でもできることであり、日本でもこのやり方を作るべきだと思っています。

と申しますのは、例えば医療問題の中で新技術の問題を議論する場合にも、終始、会合がある

*東京大学大学院、生物化学専攻を修了。三菱化成生命科学研究会社会生命科学研究室長、部長を経て現在に至る

のですが積み重ねになりません。そして、だんだん外国の動きを見て、実態は動くというような場合が多いのです。日本では、まず専門家が集まって報告書を出すのはけしからん、専門家は専門ばかりで、よそのことを何にも知らない、自分のところのことだけに都合のいいような報告を出すに違いないから困るとというのが、多くの方の反応でした。

それは違うと思います。もちろん、報告書が公正と認められるようなものを出すように専門家は努力しなければいけないと思いますけれども、それはあくまでも資料、たたき台であって、それから広い議論をすればよいのです。現在のようなやり方では、事実を正確に把握せずに議論をすることが多い。または誤解をしたまま議論をすることが多いのです。それはむだです。この地球環境という重要な問題に関してはそうではなく、日本の中でも、できれば専門家からきちんとした資料を社会に出して、それを社会の人が受けとめ、ああなるほどこういうことなのかという事実を認識し、けれどお互い意見は違うという議論をぜひやりたいと思うのです。

プログラムを拝見しますと、炭酸ガス問題に関していろいろな専門家の方たちが集まって議論をなさるといので、議論の仕方に始まり、積極的に実質的な制度づくりや技術開発、システムづくりなどへ向けての出発点としていただきたいというのが私の願望です。

日本に専門家の方たちから出発して議論を広げるというシステムづくりができれば、ほかの分野に対しても影響があると思いますので、そういう意味でのエールを送りたいと思ったのです。

申し上げたいことはこのことなのですが、時間をいただいておりますので、専門家の方を前にしてちょっと余計なことかもしれませんが、私が今関心を持っていることを少しだけお話しさせていただきます。

変な言い方をすれば、地球環境問題は今流行のトピックスです。実は昨日、たまたま私の机の上に3冊の雑誌が届きました。1つは岩波の『科学』、1つは学術振興会が出している『学術月報』、もう一つは『環境』という雑誌だったのですが、全部、地球温暖化問題の特集なのです。とにかく今最大の関心事です。こうしてまとめてくださるのは大変ありがたいので、それを読み、この問題の特徴は3つあると感じました。

1つは、渡辺先生もおっしゃいましたし、皆様も日常感じていらっしゃると思いますが、これは複雑な因子が絡み合っている。科学の問題、科学技術の問題だけではなくて、政治、経済、文化、その他もろもろの問題が絡まっているということです。当たり前のことです。

2番目に感じたのは、問題は一体何なのかということが明快でないということです。地球物理、工学、農業、気象、いろいろな分野の方がこの特集で書いていらっしゃるのですが、それを全部読むと頭が混乱します。というのは、基本の考え方、現状把握、問題意識が重なっているとは言えないという感じがします。二酸化炭素の問題にしても、例えば温暖化が起きて、2000年になると産業革命前の2倍になるとよく言われますけれども、人間活動がどのくらいそれに関与しているのか。先ほど渡辺先生からお話がありましたけれども、地球全体としては一体どういう動きになっているのか、その両方の絡みはどうなのかというのは、お書きになる方で違うという気がし

ました。私が上手に読めてないのかもしれませんが。

また、何をやればいいのか、どうしたらいいのか。例えば、本当に温暖化は問題なのか。これはとめるべきことなのか。我々が今の文明社会でたくさんエネルギーを使って、二酸化炭素をたくさん出しているということを何も考えないでいいということ言うつもりはないのですが、一体、温暖化の何が問題で、温暖化したら本当にいけないのかどうか、そのままほっといたほうがいいのか、それともそれは大変だといって解決したほうがいいのか、ああ、なるほどそうなのかということはまだないという気がいたしました。それはおまえはちゃんと読めてないとしかられるかもしれませんが。この3冊だけではなく、その前からイギリスやアメリカの雑誌でもいろいろな議論がされていますから、それはそれなりに読んできたつもりですけども、何かそういう気がします。

これは科学技術にとっては大変苦手な問題ではないかと思うのです。こうなさいと言われたら、特に日本の科学技術者は優秀で、必ず何か解決をしてくださるという信頼がありますが、正解は何かはわからなければどうしてよいかわかりません。この問題はまだそれが無いという気がしています。それが2つ目です。

3つ目は、これも当たり前のことなんですけれども、これはあらゆる分野、あらゆる人が関係する問題で、だれ一人として、私はこの問題に関係がないと言う人はいない問題だと思えました。

ということは、逆に言うと、今の3つのことを考えますと、この問題はこういうことやってこういう解決策を求めようというたった1つの解決策があるのではなく、その人はその人なりに、政治家は政治家、工学の方は工学の方、私のように生命科学というところにいる人間はそれなりに自分の中でそういう意識を持って活動することがあるし、それをすればいいのではないかと思います。

ここは技術のご専門の方のところですから、あえて申し上げます。1960年代、70年代に、大気汚染など、もうちょっとローカルな形での環境問題が話題になったときに、日本は、例えばSO_xやNO_xなどに対処する技術としては世界の中でも最も見事に対応した国と言えらると思います。ですから、今度の地球環境問題も、よしやってやろうというところがあるのではないかと。余計な心配かもしれませんが、そういうところがあるように思います。しかし、これは技術の問題だと受けとめてしまうのは間違いではないかと思えます。非常にいろいろなものが絡んでいる、実は本当の正解はまだわかっていない、あらゆる人が関係しているということは一体何なのかといえ、この間は、だれが与えてくださったのかかわらないんですけども、今地球上にいる人みんなが、地球環境問題という形で現代文明をもう一回ちょっとここで考え直してごらん、という宿題が出されたのではないかと思うのです。

科学技術はむしろ現代文明の中のことで、もちろん、現実に関起きているいろいろな問題を科学技術で解決するのは大事なことで、1つの方策であるわけです。ただ、科学技術を進め

るにしても、その科学技術は一体どういう科学技術であるべきかという基本から問い直してみる。粹からちょっと外に出てみて神様が宿題を出したんだから——神様という言葉は余り科学的でなくていけないかもしれませんが、余りうまく言えないものですから——それと同じような一段高いところからの目になって見直して、その中で科学技術そのものについて議論をする、そういう宿題なんだという意識が必要だと思います。それが科学技術に携わる方への2番目の要望です。

社会の側にしても、例えばフロンガスへの対応が一面的です。フロンガスの場合は一番身近なのが、シャンプーした後などに使うスプレーですが、最近、スプレーにフロンを使わないというのが流れになってきました。スーパーマーケットの売り場にもフロンガスを使わないスプレーが置かれて、消費者も「ああこれで安心」とおっしゃるわけです。

けれども、よく考えてみると、問題はフロンガスだけではなく、中に入っているシャンプーもリンスも、このごろはムースというものもありますが、そういうものも考えるべき対象でしょう。うちの子供も、毎日せっせと髪を洗い、ドライヤーで整えて出ていきますが、フロンを使わないシャンプーが並んでいれば安心というので終わったら、その問題はフロン問題、炭酸ガス問題であって、現代文明と自分たちの今の生き方を問うというところまではいっていないと思うのです。炭酸ガスは人間がいるだけで出てくる問題で、より根本的なこと、物質・エネルギーと人間生活とでも言うべき基本を考えることになるのでしよう。

ところで、日本は高度な物質文明を享受していますが、物質的に恵まれない人たちもたくさんいるのが今の地球です。日本の環境問題でもないし、アメリカの環境問題でもない、地球環境問題になっているわけです。

そのとき、炭酸ガス問題の議論の中で大変気になるのは、全体として炭酸ガスを減らすには、先進国は原子力発電にして、開発途上国の人たちはまだ原子力をうまく操作できないだろうから、そういう人たちのために石油など炭酸ガスを出す燃料をとってあげようよという、非常に温かい人情味あふれるような議論です。これもおかしい。日本のレベルだったら、エネルギー量、排出している炭酸ガス量を下げる、いわゆる省エネを考えるべきだと思います。省エネといいましても、1つは、もちろん本当の意味でのエネルギーを省くという意味もありますけど、もう一つは技術で効率化すればいいわけですし、我田引水すれば、今、工学的な技術でやっているところをもう少し生物学的なものに変えとか、さまざまな方法を全部トータルしてのことです。ただケチケチするという意味の省エネではありませんが、エネルギー効率をよくするという意味を含めてエネルギーを減らすことを、日本を含めた先進国ではやる必要があると思います。

南極探検が始まったころ、昭和基地が開いて、地球観測の新しい時代が開けたというので、NHKテレビで南極報道がありました。昭和基地は今は立派になりましたが、当時は小屋のようで、タロヤジロ、犬を置いてきたという騒ぎがあった頃です。日本の人たちは家の中でも防寒着で、いかにも寒そうにしているわけです。次にアメリカ基地を写したら、そこでは半袖のTシャツを

着て仕事をしている。水も、日本の人は顔を洗ったら次にも使うという工夫をしているのに、ほとんど使っている。カメラが移動すると、アメリカ基地の外側にはドラム缶が山ほど積んでありました。

そのとき本当に圧倒されるような気がして、アメリカというのは違う国だと思いました。そのときはまだ日本は貧しくて、そういうことにあこがれていた時代ですけれども、でも南極で半袖はちょっとばかばかしいとも思いました。厚手のセーターぐらい着ていたら納得したのですが、Tシャツではちょっとばかばかしいなという感じがしたのを今でも覚えています。

多分いまの日本と開発途上国の関係はそうなのではないか。物質的な豊かさは大事だと思えますけれども、既にばかばかしさのところまで行っているところもあると思うのです。そういうところを見直さずに、こちらは原子力発電であなたにはこちらをとというのは、ちょっとエセヒューマニズムではないか。いかにも人情味あふれているみたいだけれども、基本的には何か間違えているという感じがします。

余計なことを申しあげましたけれども、技術としての対応も大事だけれど、この問題は現代文明見直しだという意識は持っていたきたいと思います。

この問題について、生活者として日常の行為を考えることも地球とつながっているわけですが、専門分野でどういうことができるかについて、最後に1つ申し上げたいと思います。

生命科学という分野は非常に当たり前のことを言っているのだから、人間が生き物だということを考えます。人間が生き物だということを考えるのは、いろいろな意味があります。まず、3,000万種類あると言われる生き物の中の1つとしてその中へ入り込まなければいけない。地球問題を考えるのにも、もちろん生き物について考えた上で、最終的には一番かわいいのは人間だということへ行っていいわけですが。

そういう目で見ますと、地球環境問題について「地球の危機だ」という言い方はおかしい。先ほど渡辺先生もおっしゃいましたが、地球は決して危なくない。地球生態系は人間の力で壊れるほどやわいものではない。危ないのは人間、さらに言えば、危ないのは文明国の人間です。文明国の人が、自分たちが危ないぞと思っていることを、地球が危ないと言っている。地球は、人間が全部いなくなっても、また何らかの生き物が続いて、新しい生態系ができていくでしょう。人間としてはそういう状態にしたいわけではない、そのために皆で考えたいと思えますけれども、地球が危ないということではないという認識に立たないと、文明を見直すことにはなりません。

実は、これは「生き物は危ない」でもない。生き物は、今までの地球の長い歴史の中では、もっとドラスチックな変化に出会っています。例えば酸素が0だったのが20%まで短期間に増えたわけですが、それも生き物は乗り越えてきたわけです。もちろん、そのときには多くの生き物が死滅したわけですが、恐らく大抵のことは生き物全体としては乗り越えると思うので、実を言うと生き物にとっても本質的には大した問題ではない。地球環境問題を考えるときは、一度そういうふう突き放して見てから、でもやっぱり人間が大事だし、東京が沈むのはやはり困るからど

うしようというように、人間に戻るといふ思考が必要だと思ひます。技術の方は、人間が対象でいらっしやる。それは当たり前ですが、その人間を一度突き放して見る。それが、人間は生き物だと生命科学が言っている感覚です。

人間は生き物だということを経術の方に申し上げたいもう一つの理由は、これは子供でも知っている常識的なことですが、科学や科学技術の歴史を見ると、人間が生き物だという発想はスポッと抜けています。生命科学はそれを拾い上げて、もう一度科学や科学技術を見直しましょうという主張をしている分野です。科学や科学技術が高度化していった基礎には、その日常感覚を捨てたためにうまくいったという面があります。けれど、ここまで進んだところで、日常的な人間は生き物だという感覚を持ち込んでいただきたい。これは多分、科学や科学技術にとっては苦手なことだと思ひますが、それを持ち込んでいただきたい。もう科学技術にはそれをやる能力があるということ。もう一つは、その必要が出てきたこと。できること、やるべきこととして、この問題を考へていただきたいと思ひます。

実は、その動きを助ける作業として、現代生物学は科学の中でその常識をかなり解き始めました。多分、現代生物学が明らかにしている生物像を組み込んでいただければ、この日常感覚と科学や科学技術が合体する可能性がある。

渡辺先生が焼き畑農業のお話をなさいました。私は今、開発途上国の農業に関心があつて、素人なりに少しお手伝いを始めました。その意識は、もう一度文明を見直すときにどこから始めるかといふば、食べ物だと思っているからです。食糧生産を持続的開発の形でどうやっていくか。特に今、飢餓がある場所をそうでない場所に、持続的開発をどう持ち込むか、それが私にとっての地球環境問題の一番の関心事です。それが全体で一番大事なこととまでは申し上げませんが、それを少し自分の仕事にしていきたく思ひています。

開発途上国のエネルギーのことを原子力発電と絡めて申し上げましたが、もう一つ、地球環境問題を解いていくときに、人口問題その他、全部含めて、地球上での食べ物の生産をいかに上手にやっていくかというのが1つの大事な基本だと思ひています。対症療法は十分重要というその価値を認め、評価した上でのことですが、今は基本に戻ること。私はそんな立場をとつております。

そういう立場として、生命誌という新分野を一生懸命やっております。最後にそのことに少し触れさせていただけます。

最初に申しましたように、今、正解はないように見える。正解を得るにはどうしたらいいだろうと自分なりに考へました。そこで1つ思いついたのですが、人間が将来を考へるときには歴史を見るということ。ローマはこうして滅びたということ、文明の終焉を知るとか、過去に学ぶわけ。そうすると、地球の将来を考へるには、今まで地球はどうなってきたんだろうと。特に私はその中で生物の役割が大事だと思ひるので、生物の歴史に眼を向けました。生物は35億年の歴史がありますけれども、環境と生き物は10億年前はどういう関係だったんだろう、5億年前

はどうだったんだろう、1万年前はということを知るのが、未来を考える1つの根拠になるのではないかと思ったのです。

生命誌（バイオヒストリー）。今では、いろいろな生き物のDNAを読んでそれを比較することによって、生命の歴史を読み取れます。また生態系での生物間の関係。例えば食物連鎖。そういうことが現代生物学でこの20～30年の間に急速にわかってきましたから、それを活用して歴史を読み解く作業をするのはどうだろう。歴史を読むといっても、ロゼッタ・ストーンを読み明かすところから始めなければいけないわけですから大変ですが、今やらなければならない基本的作業の1つとして、歴史の読み取りがあると思っています。

ところで、昔の歴史は、信長・秀吉・家康というように支配者の歴史でした。そして、今まで生物の歴史を見るときには、人間までどうやって進化してきたかという歴史でした。歴史の本当のおもしろさは、信長・秀吉・家康だけではなく、それと多くの人の関係。さらには、そのときに庶民は何を食べていたか、みんな何を考えて、お互いどういふふう生きていたか。何を着ていたかということがおもしろいわけです。また、それが私たちの生き方の参考になるわけです。人間までどうやって進歩してきたか、進化してきたかという問いではなくて、あらゆる生き物がどうやって生きてきたか。それをバイオヒストリーと名づけ、それを考えてみたいと思っています。

これは、地球環境問題を考える基本作業としても大事ではないか。そこから急に解答が出るわけではありませんが、これから20年、30年、そういう作業をすると、何かが出てくると思うのです。「誌」と書いて「史」としなかったのは、「誌」のほうが庶民も含めたゴチャゴチャの歴史、物語のような感じがしたものですから。

生命誌を読み取る。そういう分野をつくり、そういう研究グループをつくって、地球環境問題に少し役に立てたらと今思っています。多分それはかなり先にならないと答えが出ないので、余り責任を持って先のことは申し上げられませんが、5年プロジェクトとか3年プロジェクトだと「おまえ何ができたか」とかすぐ怒られます。こういうのは20年、30年やらないと多分わからないので、余り怒られないで済むようなプロジェクトを立てて、今そういう仕事を始めています。これはいろいろな分野の方のお知恵を借りないとできないことですので、もしご関心がおありでしたら、ぜひ仲間に入っていただきたいと思います。高いところからお話をしますのに、まずは応援、次はこちらからのお願いと、余り役に立たないことばかりお話ししたような気がして反省しておりますが、よろしく願いいたします。

どうもありがとうございました。

1-5 地球温暖化からみた大気汚染物質の排出とその抑制

秋元肇 (国立公害研究所 大気環境部)

きょうは「地球温暖化からみた大気汚染物質」ということで、今回のセミナーのイントロダクトリーなお話をさせていただくことになるかと思えます。

従来からの SO_2 、 NO_2 、 NO_x 、 CO 、ばいじんというような大気汚染物質というのは感覚的によくわかるんですが、温暖化問題、その他の地球環境問題では、従来の感覚では大気汚染物質とは思ってもいなかったようなものを大気汚染物質として扱っていかねばいけないということになります (図1.5.1)。

地球温暖化から見た場合の大気汚染物質には何があるか。まずよく知られております温室効果気体があります。 CO_2 、メタン、対流圏のオゾン、亜酸化窒素 (N_2O)、成層圏のほうで有名なクロロフルオロカーボン (CFC)、こういったものを新しい大気汚染物質としてまず考えなければいけない。

それでは、従来の大気汚染物質は地球温暖化には関係ないのかというと、そういうことはございません。温暖化関連気体と普通呼んでおりますけれども、 NO_x 、VOC (Volatile Organic Carbon; 揮発性有機化合物) とちょっと難しい言葉で書いてありますが、いわゆる非メタン炭化水素とさせていただいて結構です。狭い意味の炭化水素以外のものも含めた有機物という意味で、VOCと書くことがございます。それから一酸化炭素 (CO)。

こういうものがなぜ温暖化関連気体なのかと申しますと、矢印で引っ張ってありますように、光化学スモッグのときにオキシダントをつくるのと同様の反応で、これらから対流圏でオゾンができてくる。即ちオゾンのプリカーサーになっている。対流圏オゾンの増加は地球温暖化に非常に影響が大きいと言われております。

もう一つの矢印が上のメタンに行っておりますけれども、メタンというのは大気中で反応してなくなる。その発生と消失のバランスが崩れて、今メタンが増えているんですが、メタンの消失速度に関係する大気中の光化学反応にこういうものが影響します。そういう意味で、これら従来型の大気汚染物質が温暖化関連気体と言われております。

このほかに、温暖化関連物質として、気体でない粒子状物質があります。ブラックカーボンと呼ばれるススのようなものが氷の上に堆積すると、地球の表面の反射率が変わって気候に影響する可能性がありますし、もちろん火山の噴煙が大量に放出されると、短期的には気候に対する影響が非常に大きい。

きょうは、これらのうちで CO_2 とメタンと温暖化関連気体について触れることになると思えます。

この図1.5.2 はよくごらんになるかと思えますけれども、それぞれの温室効果気体がどのくらい地球温暖化に寄与しているかということで、過去10年ごとの変化です。例えば1980年代、最近

温室効果気体

- 二酸化炭素 (CO₂)
- メタン (CH₄)
- オゾン (O₃)
- 亜酸化窒素 (N₂O)
- クロロフルオロカーボン類 (CFC)

温暖化関連気体

- 窒素酸化物 (NO_x)
- 揮発性有機化合物 (VOC)
- 一酸化炭素 (CO)

温暖化関連粒子状物質

- ブラックカーボン
- 火山噴煙

図 1. 5. 1 地球温暖化からみた大気汚染物質

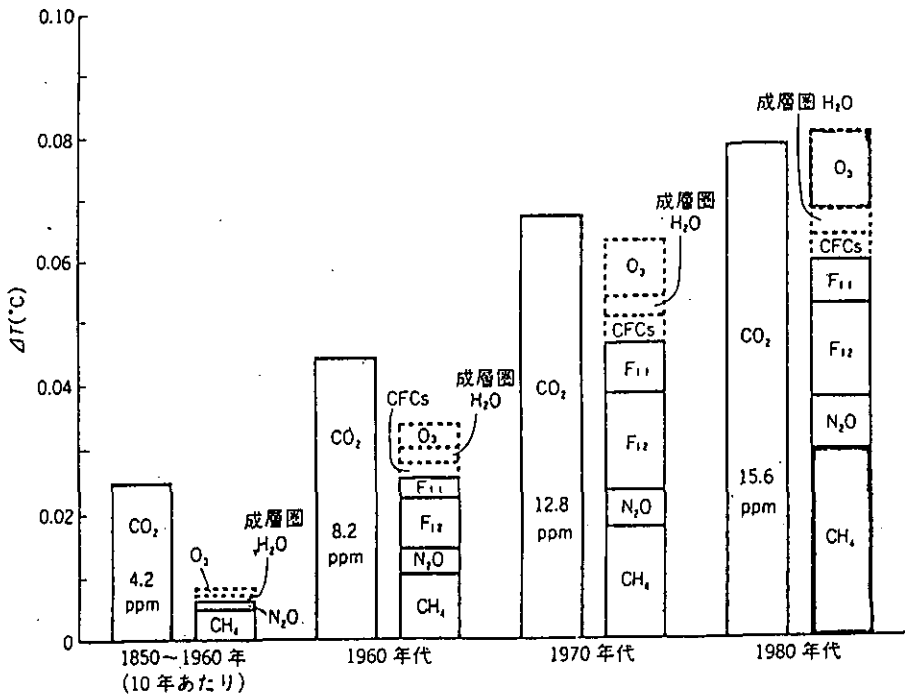


図 1. 5. 2 温室効果気体の温暖化寄与度

出典：松野 化学59 583 (1989)

ですと、この10年間にCO₂は15.6ppm増えて、それによる温暖化の寄与分は0.1℃ぐらい。それに対してこういったトレースガスの寄与はこんなぐあいになりますよということで、一番上が今申し上げた対流圏のオゾンです。

きょうの話の趣旨は、こういう新しい大気汚染物質に対して対策として何ができるのか、というよりは、今まで日本が公害対策としてNO_xを落とす、VOC、COを落とすということを一生涯懸命やってきたんですが、こうした従来からの公害対策が温暖化関連気体の抑制にどれぐらい寄与しているかというふうに見直してみようということです。

実は、環境庁の温暖化問題の対策に関するスクリーニング調査の中でワーキンググループをつくり、既存の大気保全対策の地球温暖化対策への貢献を調べてまいりました。要するに今までやってきた公害対策によって、こういう温暖化関連気体、温室効果気体の排出が、結果的にどのくらい抑えられているかを見てみましょうということなんです。個々の内容については私は必ずしも専門でないので、解釈については間違えているところがあるかもしれませんが、全体がどんなふうに流れてきたかということを見ていきたいと思います。

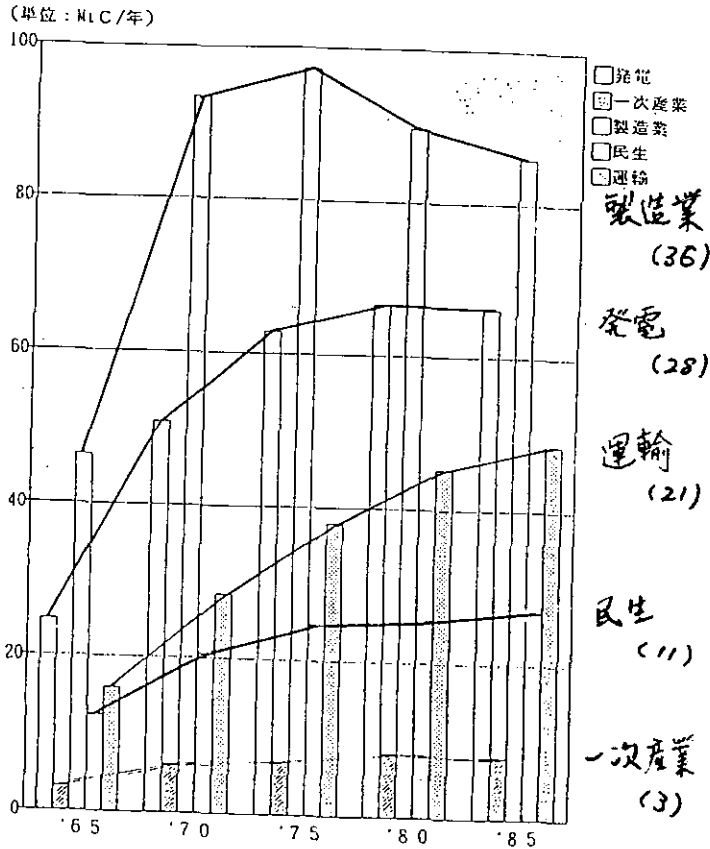
まずCO₂ですが、これはエネルギーバランス表という統計と燃料当たりのCO₂の発生、エミッションファクター、そういうものから計算した日本全体での1次エネルギー供給量に対してCO₂がどれだけ発生しているかということで、1965年から85年までこんなふうが増えてきています。これは下がゼロでなくて100Mt/yrという単位です。地球全体でのグローバルな放出量は、化石燃料の寄与が年間5.6ギガトン、56億tC/yrという、よく知られた値がありまして、これに対して日本の総排出量が1985年ですと0.27ギガトン、5%ぐらいの寄与になっています(図1.5.3)。

各産業部門別に分けて見てみますとこんなふうになっておりまして、使用量の一番多いのは製造業なんですが、1970年の後半から落ちてきています。これは広い意味での省エネルギーによるものだと言われております。発電からのCO₂は増えてはいるんですけども、この辺で寝てきている。発電量そのものは増えているので、この辺の抑制は燃料の転換による寄与が非常に大きい(図1.5.4)。

CO₂発生のエミッションファクターはマーランドの値ですけども、石炭ですと10¹⁰ジュール当たり23.8メガトン、石油ですと19.2、天然ガスですと13.7、燃料の軽質化によってエネルギー当たりのCO₂発生量は減ることがわかります。運輸なんかですと、もともとの石油系統のものから変わっていないので、伸びが余り減ってきてないわけです(図1.5.4)。

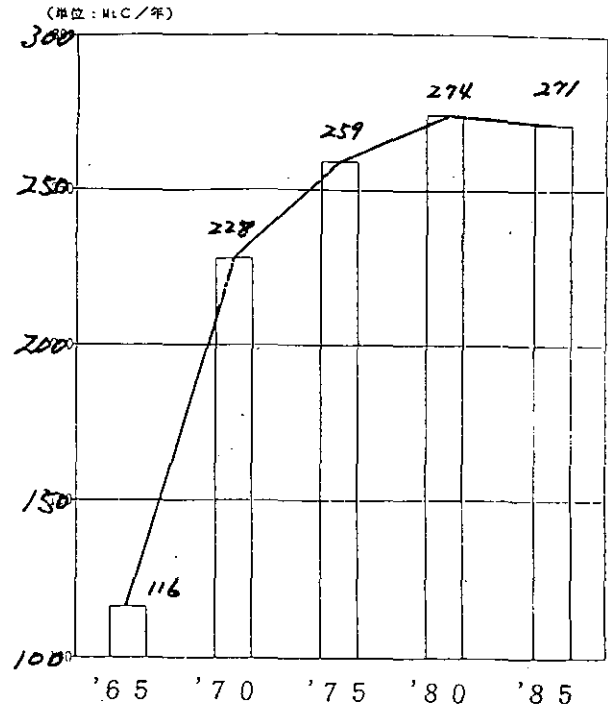
例えば1965年のエネルギー当たりのCO₂の放出量を使って、現在のCO₂発生量を計算してみたら、実際と比べてどのくらい多いかという比較なんですが、下の線が実際の放出量の計算で、それに対して65年の原単位を使って計算すると、こういうふうになります。これだけが抑制されたという解釈ができるわけです(図1.5.5)。

公害対策として、NO_xを減らせ、SO₂を減らせということで、石炭から石油、石油から天



	石炭	石油	天然ガス
CO ₂ 発生原単位 (Mt/10 ⁹ J)	23.8	19.2	13.7

図 1.5.4 部門別CO₂排出量の経年変化



化石燃料からのグローバル排出量 5.6 GtC/年
日本の排出量 0.27
(~5%)

図 1.5.3 一次エネルギー供給量に基づくCO₂排出量の経年変化

(単位：MtC/年)

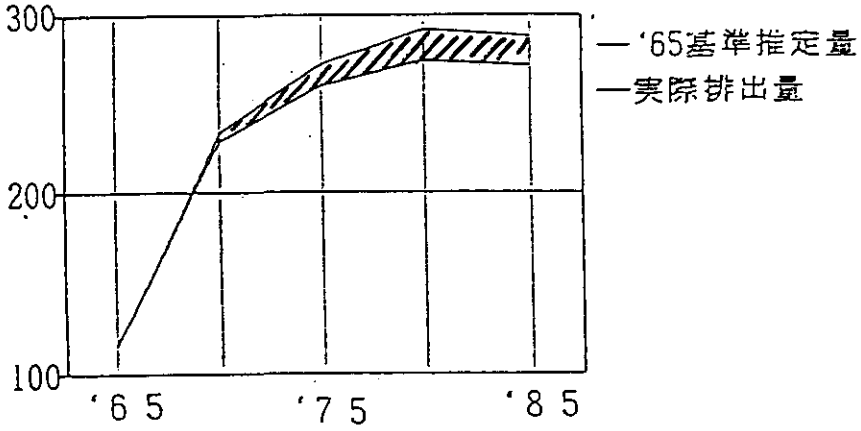


図 1.5.5 CO₂の65基準推定排出量と
実際排出量（一次エネルギー供給）

(単位：MtC/年)

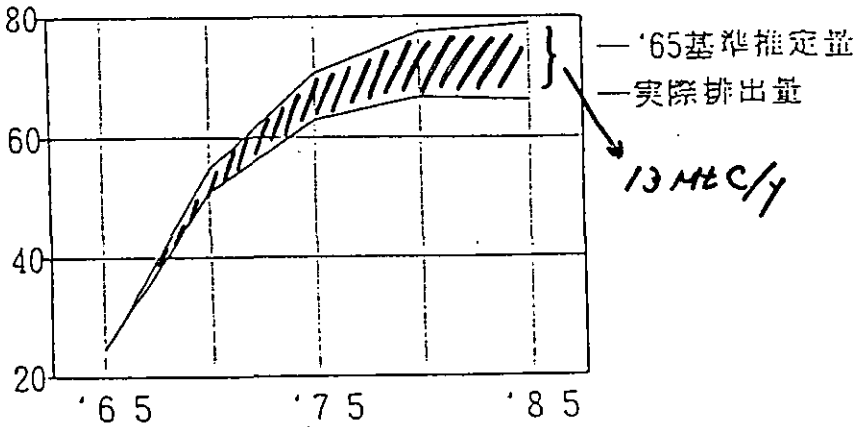


図 1.5.6 CO₂の65基準推定排出量と
実際排出量（発電）

然ガスというふうになってきた。もちろんモチベーションはそれだけではなくて、ほかのこのほうが大きいと思いますけれども、結果的にこれだけCO₂の発生量が抑制されている。例えば、発電部門だけで見ますと、1965年に比べて、最近では13MtC/yrぐらいの抑制効果と考えることができるのではないかと思います(図1.5.6)。

次に、運輸の中で自動車だけを見ますと、走行距離当たりのCO₂の発生量はこんなふうに減ってきています(図1.5.7)。

70年以降は、車の重量化というんですか、排気量の大きい車が平均的に増えてきたために抑制効果が効かなくなってきて、CO₂放出量を大きくしています。これと走行量とを掛け合わせて求めますと、現在、自動車からは40Mt/yrぐらい出ている。これをもし60年のエミッションファクターを使ってやるとこのぐらいになって、年間当たり約15メガトンの抑制になっている。これを全部積分すると、204メガトンぐらいの削減量に相当しているということになります。

CO₂については、通常言われている化石燃料以外に、量はそう大きくないんですが、廃棄物処理によるCO₂の排出というのがありまして、特に都市ごみの焼却処理による分がずーっと増えてきています。最近では数メガトンですので、全体から見れば、日本の場合には全CO₂放出量の数%ということになります。

今はCO₂ですけれども、移動発生源からのCOですと、これこそまさに公害対策の結果、走行キロ当たりのCOはこんなふうにずっと落ちてきている(図1.5.8)。燃料当たりで見ても10分の1ぐらいに落ちてきています。年間の総排出量で見ても、70年ぐらいをピークとして、放出量が非常に減ってきています。

NO_xですと、これも走行量当たりは減っています。燃料当たりでも減っていますが、この減りはそれほど顕著ではなく、ごく最近はまだ増えてきているということが言えます(図1.5.9)。

炭化水素も先ほどのCOと非常に似たようなカーブです。70年をピークにしてずっと落ちてきている(図1.5.10)。

固定発生源のほうも全体的に見ると非常に似ておりまして、COについては年間発生量がずっと落ちてきている。NO_xに関しては移動発生源と似たようなカーブをとっております(図1.5.11)。

これをちょっとまとめてみますと、COについての削減量というのは、例えば1976年ぐらいを基準にして見ても、大体67%ぐらいに落ちているという見方ができると思います。もっと昔を基準にすれば削減率はもっと高くなります。NO_xについては、固定から出る分、移動から出る分がほぼ半々ぐらい。ハイドロカーボンに関しては、今は移動しか統計がありません。こんなふうになっています(表1.5.1)。

最後にメタンです。メタンは従来、大気汚染物質としては扱われてなかったもので、ほとんどもとになるエミッションファクターのいいのがないんですけれども、日本におけるメタンの放出量

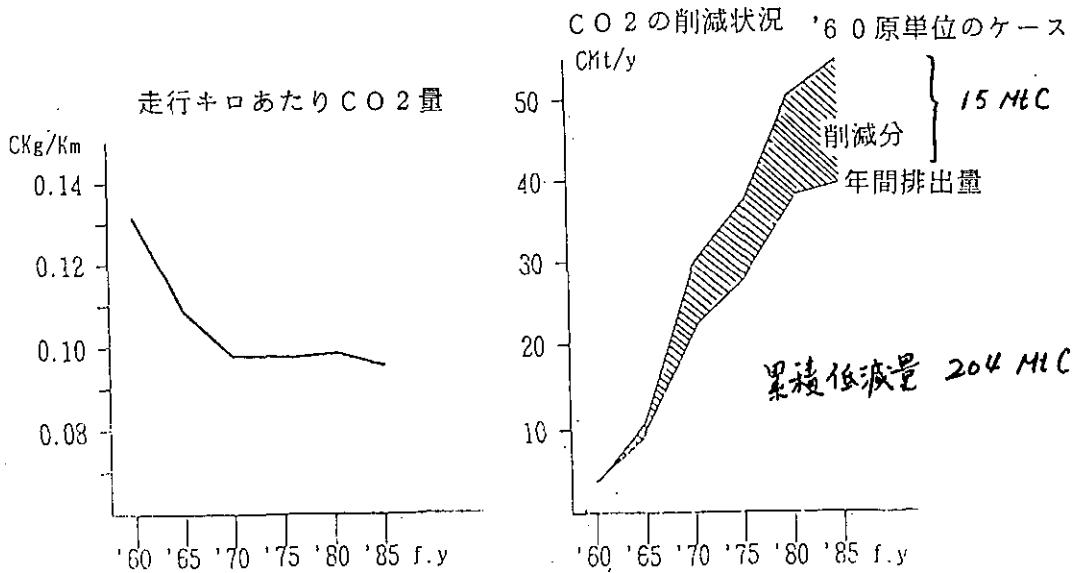


図 1. 5. 7 自動車からのCO2の排出量

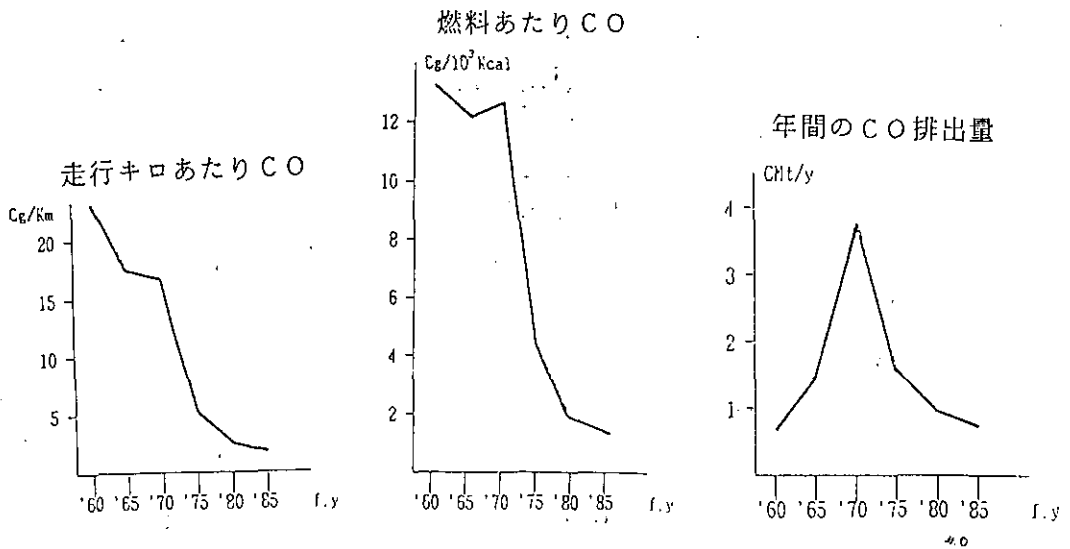


図 1. 5. 8 自動車からのCO排出量の経年変化

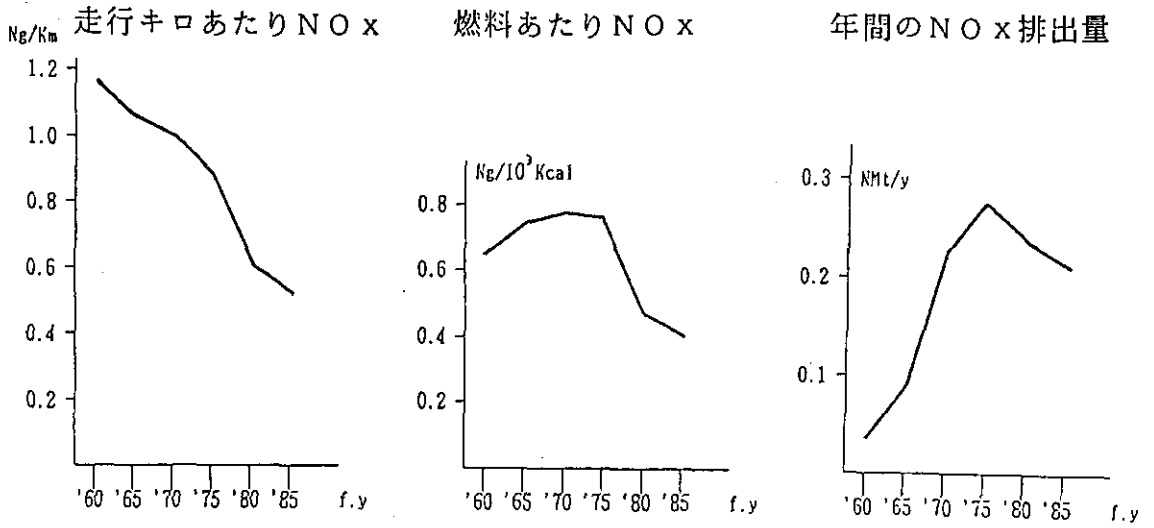


図 1.5.9 自動車からのNOx排出量の経年変化

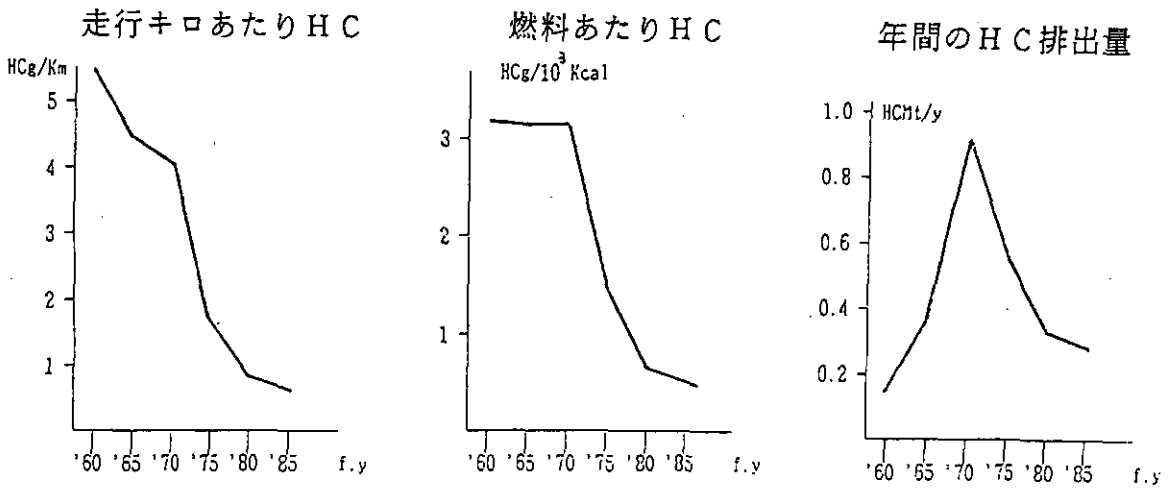


図 1.5.10 自動車からのHc排出量の経年変化

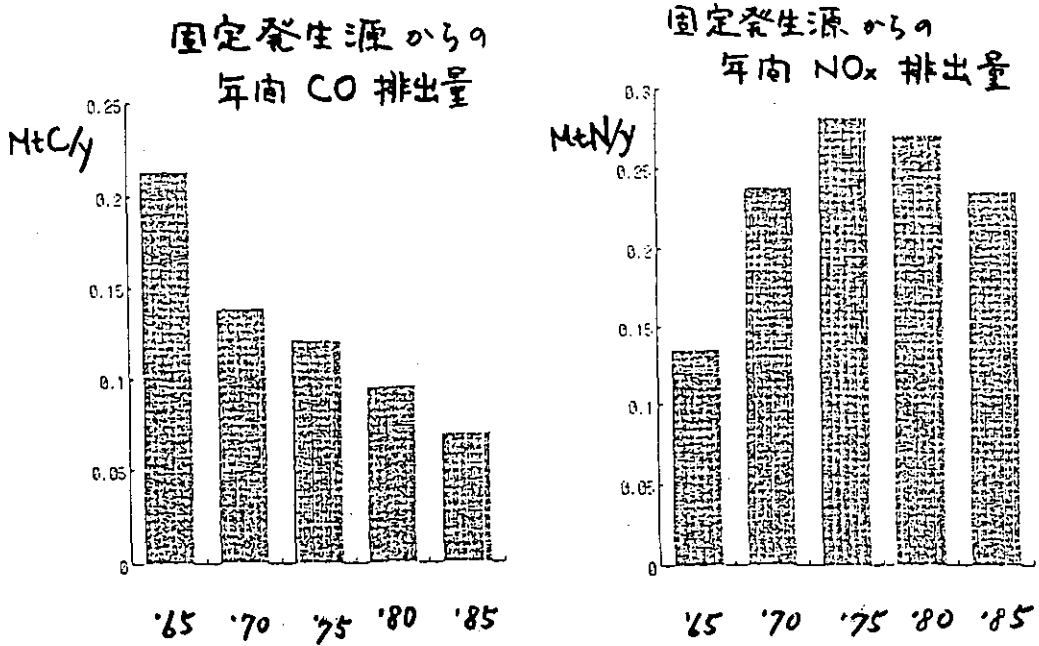


図 1.5.1.1 固定発生源からの年間 CO、NO_x 排出量

表 1.5.1 我が国における地球温暖化関連ガス排出量の推定

1) 一酸化炭素 (CO) の排出量の推定結果 (炭素換算, 1985年)

分 類	排出量(1985) (MtC/y)	排出係数算出根拠	削減率(基準年) (%)
固定発生源	0.069	国内実測例から推定	66 (1970)
移動発生源	0.214	自治体調べ	67 (1976)
合 計	0.283		-

2) 窒素酸化物 (NO_x) の排出量の推定結果 (窒素換算, 1985年)

分 類	排出量(1985) (MtN/y)	排出量算出根拠	削減率(基準年) (%)
固定発生源	0.236	環境庁調べ	-
移動発生源	0.214	自治体調べ	55 (1976)
合 計	0.45		-

3) 炭化水素 (HC) の排出量の推定結果 (移動発生源のみ, 1985年)

分 類	排出量(1985) (MtHC/y)	排出係数算出根拠	削減率(基準年) (%)
移動発生源	0.28	自治体調べ	64 (1976)

は年間どのぐらい出ているかということ調べてみました（図1.5.12）。

廃棄物処理から185 KtC/yr。これは今まで余りデータもなかったんですが、こういう廃棄物に伴うものの中身を見ても、都市ごみの埋め立てから出てくる分が一番多い。し尿の処理による分も増えています。廃棄物処理からのものが意外と多い。そのほかに化石燃料から直接燃焼で出てくる分は11ktC/yrぐらい。農業起源の水田から出る、家畜から出る、こういったものは比較的多くて475ktC/yrぐらいになります。約60%が農業起源です。天然ガスの採掘ないし輸送、使用に伴う漏れが24ktC/yrぐらい。日本の場合ですと、湖とか湿地なんかの面積がそう広くないので、自然発生源はそれほど大きくない。人為発生源のほうが大きくて、全体で約740ktC/yrです。

メタンの場合、グローバルに見ると自然発生源も非常に大きいですし、農業にしてもアジアの国々の寄与が非常に大きい。全体では500テラグラム（Tg; 10^{12} g）C/yrということで、日本の寄与は0.15%ぐらいなんですけど、日本としてメタンの排出抑制に何ができるかということ考えた場合、こういうデータは参考になるのではないかと思います。

非常に駆け足で、温暖化から見た大気汚染物質の現状ということで報告させていただきました。どうもありがとうございました。

○司会 日本の公害技術等々はこれまで地球温暖化を意図してなかったわけですけども、どれだけ効いたか、今後これも相当使える武器になるのではないかというお話が主であったと思います。

質問、ご意見いただきたいんですけども、どなたかいらっしゃいませんか。

秋元部長は、今の排出をどう抑えていくかというだけではなく、大気中での化学反応等々についてのご専門で、その面からもご質問をお願いしたいと思います。

○指宿 自動車からの炭酸ガスの排出量が減ったということですけど、あれはマイレージというか、リッター当たりの走行キロ数がふえたからということになるので、直接、対策技術とは結びついていないような気がするんですけども。

○秋元 いわゆる燃費が向上したという意味ですね。

○指宿 そちらのほうで効いていると。

○秋元 エネルギー使用全体を減らすという話と同じエネルギーを使ったときにどれだけCO₂を減らすかという話と、両方のファクターがあるうちで、今ここで単純に計算しているのは、エネルギー当たりなり、自動車だと走行当たり、どれだけ減ったか、そこだけしか評価してないわけです。

○質問 メタンの光化学反応のスピードはどのくらいのものでしょうか。

○秋元 メタンですか。対流圏の中での反応寿命は約10年です。

○小野（三井造船） 先ほど、下水汚泥、し尿、そういうものからのメタン発生のデータがございましたけど、これはリークする分でございますか。

	発生量(1985) (Mtc/y)
固定燃焼施設	0.004
廃棄物処理	0.185
┌ 都市ごみ焼却	0.008
├ 〃 埋立て	0.160
└ 下水汚泥消化	0.012
└ し尿処理	0.005
移動発生源	0.007
(自動車)	
天然ガス利用	0.024
(採掘・輸送)	
農業・畜産	0.496
┌ 水田	0.285
└ 動物の腸内發酵	0.211
自然発生源	0.023
┌ 湖 沼	0.006
└ 泥炭地(湿原)	0.017
合計	0.739

図 1. 5. 1 2 我が国におけるメタン発生量の推定

○秋元 リークする分と申しますと？

○小野 一般的には発生させてそれを燃やすか、エネルギーを回収したりして使ってなくなるんじゃないと思うんですけども。

○秋元 実際に放出されている量だと思います。埋め立ての場合も、実際に埋立地で燃やしているというケースもありますので、それらを除いた埋立地からの放出量を示しています。

○小野 埋め立ての場合はよくわかるわけです。し尿処理等で、実際に発生する量としてそれが示されているのであればわかるわけですけども、環境に放出されている量とすればかなり多いんじゃないと思うんですが。

○秋元 これはデータをもう一回当たってから発表いたします。

〔発表者追記：し尿処理からのメタンの放出量については、質問者の指摘どおり、現在、発生量の約90%は燃焼処理されている。したがって、し尿処理からのメタン放出量は、発表時に示した表の値の10%、5 ktC/yrとなる。図1.5.12は訂正済。下水汚泥については約80%が燃焼処理されており、表の数字にはこれが考慮されている。〕

○小野 またいつか教えていただきたいと思いますので、よろしくお願いします。

私、もともとは触媒のほうの研究を大学でやっていたんですが、その後、今の研究所に入り、その中で大気化学の研究をすることになりました。公害の変遷とともに、最初は光化学スモッグ、酸性雨、フロンの問題、最後にはきょうお話しする温室効果ガスの問題、そういうところに研究の流れが来ております。

きょうは、通産省の中でどういう研究を今考えているかというところをお話しするのがよろしいんじゃないかと思ひまして、そういった形でお話を進めていきたいと思ひます。

これはまさに表題そのものなんですが、ここに書いてありますように、低あるいは非炭素エネルギーを使って、ここに書いてあるような温室効果ガス、特に二酸化炭素の放出量をどうやって減らしていくかという技術について、駆け足でご説明したいと思ひます（図1.6.1）。

全体のフレームワークとしては、今言った1つの技術だけではとても無理な話で、きょうお話しの出ている省エネルギーの技術とか、バイオマス、森林、そういったものが効果があるとすればどういふふうにしたらいいかという問題があります。例えば、ケミストリーが寄与できるとすると、低炭素エネルギー、例えば天然ガスですけれども、そういったものをどうやって使ったらいいか。非炭素エネルギーとしては、自然エネルギーとして水力、地熱、あるいは太陽エネルギー、そういったものが存在するわけで、それをどういふふうにも効率よく使っていくかということが出てくるかと思ひます。原子力についてはいろいろ議論が分かれていますので、きょうは触れないことにいたします。

こちらは、なぜ低炭素エネルギーかということなんですけれども、先ほどもお話がありましたように、LNG（天然ガス）あるいはメタンが、ほかの化石燃料——石炭とか石油と発熱量当たりで比べるとかなり小さな炭酸ガスの放出量になるということで、炭酸ガス放出を抑制するという観点からは、LNGへの変換が非常に重要だという議論がされているわけです（図1.6.2）。

例えば、非常に極端なシナリオですけれども、2005年に炭酸ガスの排出量を20%減らそうというときに、今の石炭とか石油使用量をほとんどカットしてしまって、その代替に天然ガスを使うというシナリオがあります。その場合には、今の使用量の約8倍の天然ガスを使わなければいけないわけですけれども、例えばそういうことが技術的に可能かどうかということになりますと、かなり厳しい状況にあります（図1.6.3）。

今、世界で約1兆8,000億 m^3 ぐらい天然ガスを使っております。その中で日本が使っている分はかなり少ないんですけれども、この辺はエネルギー源として天然ガスを世界各国がどういふふうに使っているかということで興味深いデータではないかと思ひます。例えば、ソ連なんかは非常に大量の天然ガスを使用しております。現在考えられている天然ガスの可採量を今の使用量で割ると、約60年ぐらいもつだろうということになります。先ほど言ったように、2005年で天然

エネルギー源別単位当りCO₂排出量

	エネルギー源別		最終消費 ベース	一次エネルギー供給 ベース	採掘時 ベース
死熱量当り CO ₂ 排出量 (g/thermal)	石油		289	321	321
	石炭	石炭	458	635	635
		コークス	433	600	600
	LNG		212	222	268

CO₂ 排出量 20% 低減策
(2005年における)

石炭・石油使用量の大幅削減
天然ガス使用量 8倍

図 1.6.2 低炭素エネルギーへの変換
出典：石油精製技術便覧，産業図書

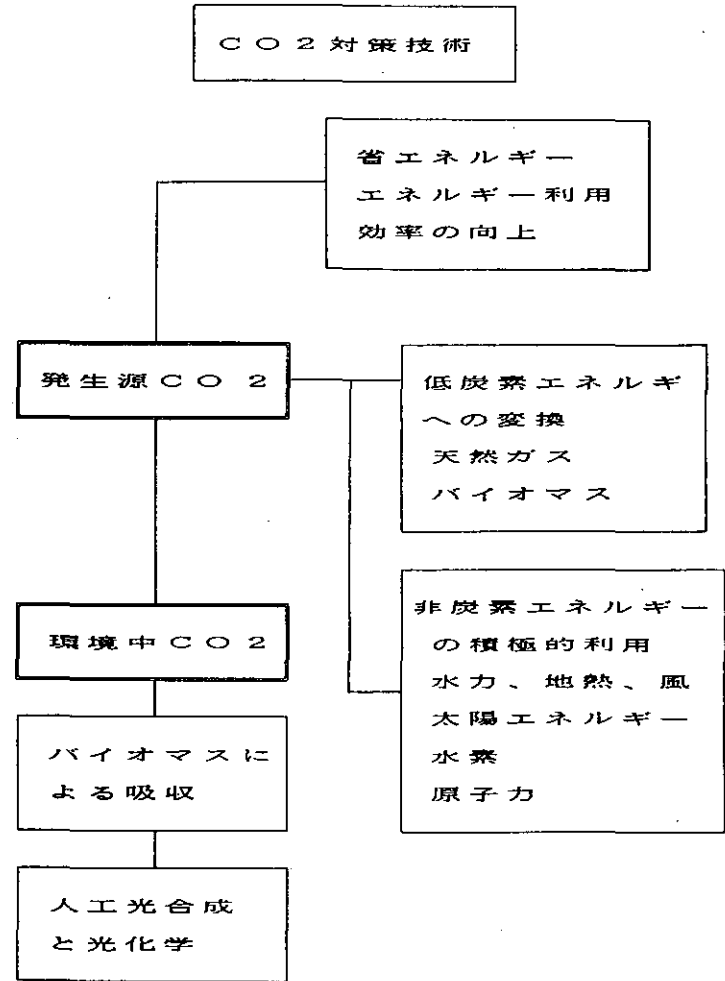


図 1.6.1 CO₂対策技術の関連

全世界 1兆8900億 m³
(1987年)

表 1.6.1 天然ガス/メタンの大気への放出

発生源	10 ¹² g/yr	範囲	%
(動物)			
家畜の腸内発酵	80	65-100	15
湿地	115	100-200	21
水田	110	60-170	20
バイオマスの燃焼	55	50-100	10
シロアリ	40	10-100	7
廃棄物埋立地	40	30-70	7
海洋	10	5-20	2
陸水	5	1-25	1
海洋堆積物の水和メタン	5?	0-100	1
石炭	35	25-45	7
天然ガス	45	25-50	8
合計	540	400-640	

(8500億 m³)

(Cicerone and Oremland:1988を一部改変)

日本	410億 m ³
米国	4870
西欧	2670
ソ連	6450
その他	4500

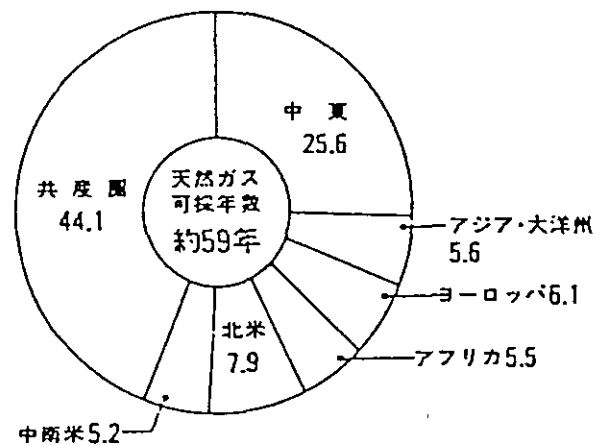


図 1.6.3 天然ガスの利用状況と将来

出典：虎頭健四郎「地球環境技術現状と対応の可能性」PP.86
(地球環境技術研究委員会1989)

ガス使用量を1年間8倍にするということになりますと、この数値は急速に減る。可採量と書いてありますけれども、実際に使える天然ガスを取るためのコストがどんどん上がってくるようになりますので、エネルギーコストとしてはかなり厳しい面があるかもしれません。

そこで、もう少し天然ガスの資源を見てみたいということです。これは先ほどの秋元先生が出されたのとほぼソースが同じものですが、例えば、現在、天然ガスを使用するという事で大気中に逃げていってしまうものがこれぐらいあります。石炭、コールベッドからメタンが出るわけですが、それも結構な量で、このぐらいあります。こちらのほうにパーセントが書いてありますが、それぞれ8%、7%という値。うまく集められるかどうかわかりませんが、廃棄物の埋め立て、今、質問で議論がありましたけれども、それでもかなりの量が出るということがあります。

あと、自然源としては動物の腸内発酵とか水田とか湿地でかなりの量が出ていて、トータルすると8,500億m³ぐらいが大気中に逃げていくんじゃないか(表1.6.1)。

この量、ちょうど今の天然ガス使用量の約半分ということで、例えば7%、8%、あるいはこういうものについて、うまく人間が有効利用できれば、天然ガス資源としてかなり寄与があるんじゃないかという感想を持っております。

もう一つ、バイオマスの利用ということがありますが、これは現在、全エネルギーの約7分の1がバイオマスで出ています。ところが非常に偏在していて、発展途上国の約20億の人々がほとんどこれを使っているという状況にあります。特にただ木を取ってきて燃やしてしまうということでやっているわけですが、その辺の燃焼効率を改善するとか、一度バイオマスを処理して、例えば生物発酵を使ってメタンにするとか、化学的な処理をして油にして使うとか、そういったことでかなりエネルギー効率を上げることができるだろうと思われれます。その辺も、化石燃料とは別の再生可能資源であるバイオマスという燃料資源を使っていくということは、意味があるのではないかと思います(図1.6.4)。

今まで低炭素エネルギーということでお話ししてきたわけですが、次は、非炭素エネルギーとしてどんなものがあるかということになります。自然エネルギーが主なんですけれども、例えば水力、地熱、風力、原子力がありますが、いずれにしても今の技術段階では、こういったものを使って電気に変えるということが1つの技術体系になります(図1.6.5)。

もう一つ、ちょっと違うのは太陽エネルギーで、この場合は電力に持っていくのと水素に持っていくという2つの使い方が考えられます。ここで電力と水素を結びつけたのは、水素エネルギーというのは将来非常に有望というか、ぜひ出てきてほしいエネルギーということで考えられているわけです。現状は、夜間あるいは余剰電力を使って水を分解して水素をつくるというプロセスを考えないとだめだろう。現実の今の水素というのは化石燃料から取っているわけですが、こういう非炭素エネルギーの枠の中で考えるときには、図1.6.4に書いたような骨組みがより重要になってくると思われれます。

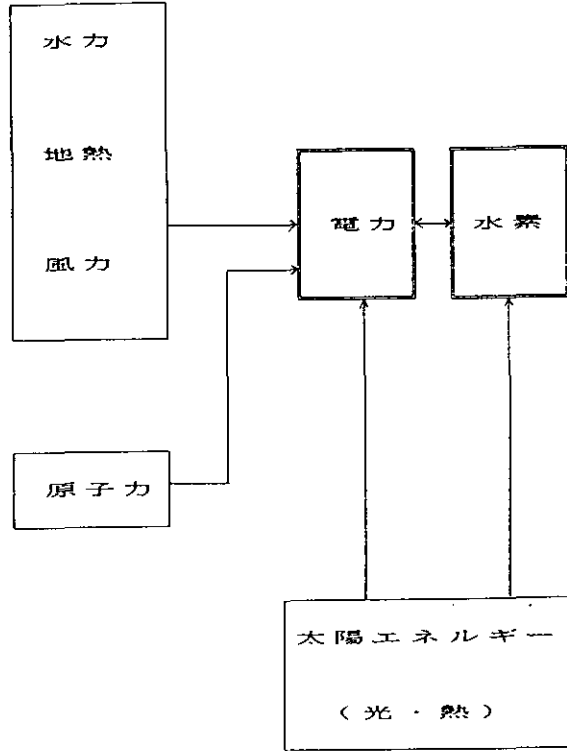


図 1. 6. 5 非炭素エネルギー（再生可能、生物適合エネルギー）の積極的利用

全エネルギーの7分の1（発展途上国20億の人々の主要エネルギー）

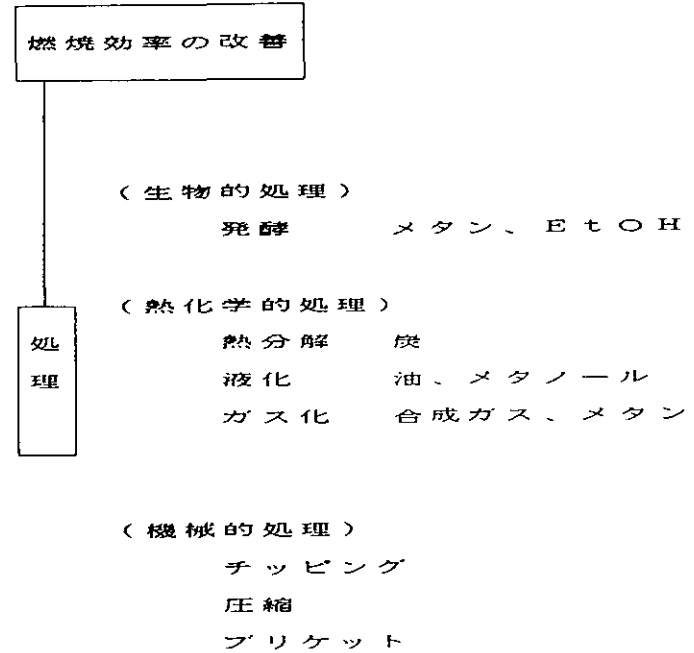


図 1. 6. 4 バイオマスの利用

ちょっと駆け足ですが、この図1.6.6は水力についてどういう現状にあるかということです。現在、世界の発電量の約20%を賄っております。将来どういう発展の余地があるかということですが、EPAとかDOEでは、現在の発電容量の約2倍まではもっていけるだろうと試算しています。ただし、先進諸国についてはほとんど余力がなくて、共産圏とか発展途上国でその分を賄っていくことになるだろうということです。

ここで、世界の電力がどういうものを原料としてつくっているかという図1.6.7をつけてあります。特徴的なのは、水力についてはカナダがかなり大きな割合で発電しているということになります。日本とか他の先進諸国を考えると約20%というデータになります。

ここでついでですけれども、日本で石炭を使っての発電量は約15%ですが、イギリスとかアメリカ、ドイツあたりは非常に石炭依存率が高いということがこの図からおわかりかと思えます。

地熱の関係についてはこの後ご講演があると思えますので、そこは全部カットいたします。

今、私どものところで1つ考えておりますことを少しお話しさせていただきますが、太陽エネルギーを何とか利用できないかということでもあります。トータルを見ると、太陽エネルギーというのは、ここに書いてありますように、現在の世界の年間使用エネルギーの約1万倍が地表面に到達しているということになりますけれども、残念なことに世界ということですから、エネルギーとしての密度も低いですし、また昼と夜があるという使い勝手の悪さがあります。

ただ、それにしても膨大なエネルギーが来ていますので、それを何とかして利用したいということで、例えば光として利用する技術、熱として利用する技術が考えられているかと思えます(図1.6.8)。

例えば、光として利用するときには、ここにあるような光電池とか光触媒、そういった化学反応で利用する。あるいはここに光合成と書いてありますけれども、これは植物それ自身やっていることです。熱としては一番我々の身近に来てるのは蓄熱器というか、この辺です。この辺は民生用としては実用化に近づいている技術になります。太陽エネルギーをどうやって燃料とか電力に変えていくかというお話を、この後したいと思えます。

ざっとですけれども、太陽エネルギーによる発電が現状どうなっているかということで見ますと(図1.6.9)、7カ国で2~3年のうちにこれぐらいの熱による発電があるんじゃないかと考えています。例えば、アメリカでは今後5年間にこれぐらいの発電をしたいと。ついこの間も、熱発電がかなり商業ベースに乗るところまで来たという話が新聞に大きく出ていたと思えますが、主としてここに書いてあるような集光装置を使って、それを熱として取り出すということになります。熱として直接利用する場合には400度ぐらいのこういったタイプのもの。発電にはかなり高温が必要ですので、こういったタイプのパラボラディッシュを使っているということになります。

光発電なんですけれども、これはまさにここに書いてある光電池(図1.6.10)、いかに性能のいいものをいかに安く作るかということで、いろいろな材料が今まで開発されているわけですが、

地表面に到達している太陽エネルギー
 (世界の年間使用エネルギーの約1万倍)

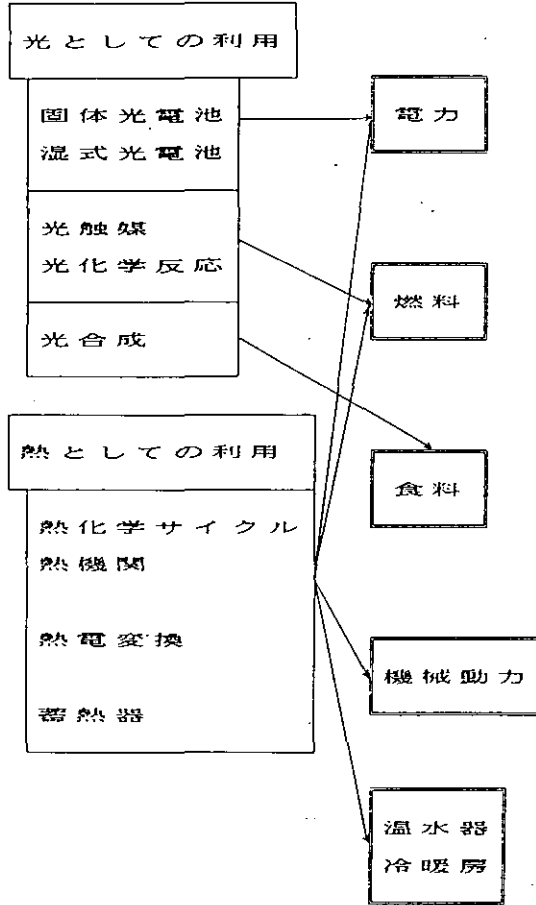


図1.6.8 太陽エネルギーの利用

(現状) 全世界発電量の約20%
 一次エネルギーの約7%
 (将来) 現在の約2倍
 (共産圏及び発展途上国)

図1.6.6 水力の利用

出典: 大内山亨, 「地球環境技術の現状と対応の可能性」 PP.77
 (地球環境技術研究委員会, 1989)

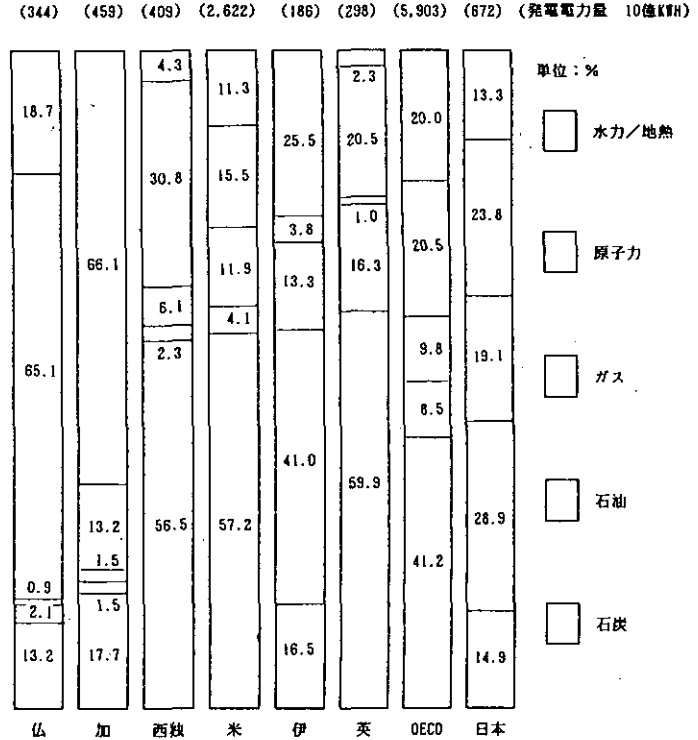


図1.6.7 主要国の燃料種別発電電力量(1985)
 出典: OECD ENERGY BALANCES

150万KW (米国、2005年)

電極材料: シリコン (単結晶、多結晶、アモルファス)

Cu-In-Se, Ga-As, Cd-Te

複合材料 (Ga-As-Si)

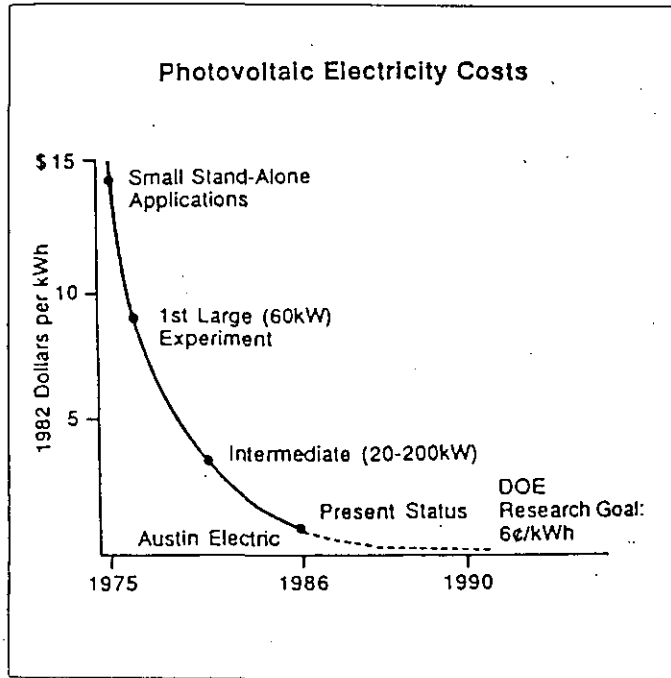


図1.6.10 光による発電
光電池の開発と効率向上
(出典: 図1.6.9と同じ)

熱による発電

670MW (7カ国)

550MW (米国、今後5年)

Parabolic troughs: 4000°C, 熱としての利用

Parabolic dishes: 1700°C, 発電効率大 (31.6%)

Central receivers: 1500°C, 規模大

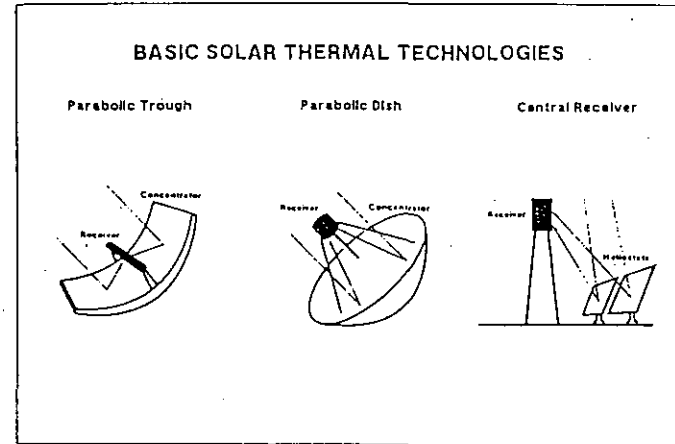


図1.6.9 太陽エネルギーによる発電
(Policy options for stabilizing global climate, Part III,
US EPA, 1989より)

これが歴史的な変化です。最初シリコンから出発して、現在はそういったものの複合材料の開発ということになります。現在、ここまで発電コストは下がってきて、DOEとしては1990年までに現在の化石燃料発電と同じコストで光発電を行いたいということが目標になっております。

光を直接化学的に利用しようということでは、例えば水の光分解ということが非常に注目を浴びて、ここ15年ほど懸命な研究が進んで、かなり効率も上がってきたわけです。そういった水素エネルギー、あるいはエネルギーキャリアとしての利用のほかに、もう一つ、光を使って炭素の循環をできないかという研究が最近話題になっています(図1.6.11)

例えば、ここにあるような炭酸ガスの光還元とか、炭酸ガスの光電気化学的な還元、あるいはちょっと間接的になりますけれども、電気化学的な還元が1つの研究の焦点になっているわけです。

言ってみれば、植物の行っている光合成に近い系を人間が作ってやって、ここにあるような還元生成物を得たいということになるわけです。その際、いろいろなシステムが考えられますが、いずれにしてもここに書いてあるように、光を吸収して、そこから出てくる電子をうまくグルグル回して、最後は炭酸ガスに与えて還元生成物を得ることになります。ここに書いてある触媒の開発が、研究の1つの焦点です。いろいろなタイプの触媒、ここにありますがけれども、半導体触媒とか金属コロイド触媒、あるいは自然に近い酵素を使う、そういうものから得た知識で、そういう機能を持つ金属錯体触媒を作るという研究が1つの流れであろうと思います(図1.6.11)。

例えば、これはつい最近我々のほうでやっている研究なんですが、炭酸ガスを水でいきなり還元してメタンにならないかという虫のいい話を考えました。1つの候補として、半導体に金属を担持した触媒を開発してやってみたという例になります(図1.6.12)。ごらんになりますように、光を当てるとメタンが出てきて、とめると出なくなるとまた出るということですがけれども、残念ながら、発生する速度は非常に低い状況であります。

しかし、そういう固体の触媒でなぜいくのかという話で、ここに書いてあるような反応メカニズムを考えているわけですが、ここにある金属の触媒がどういう役割を果たすか、その辺をしっかりと見つめるのが研究を進行させる上でのポイントではないかと思えます(図1.6.13)。

ほかに、先ほど言った金属錯体触媒という系については、かなり複合系になりますけれども、光を吸収する物質、触媒、電子を与える物質を書いてあります(図1.6.14)。残念ながら、水はこの範疇に入ってきません。どうしても有機物を使わなきゃいけないんですけれども、そうやって炭酸ガスを反応させると、COとかギ酸、そういったものを生成するということが知られております。

まとめてみますと、例えば半導体触媒では水をうまく使えるけれども効率が非常に悪い、錯体触媒では太陽光を有効に使うということでは非常にいいんだけど、水が電子源に使えないという状況にあります。今後の研究の方向は、こういったもののそれぞれの特徴を今後どのようにミックスしていくかということになるかと思えます(表1.6.2)。あと、CO₂の電気化学的な

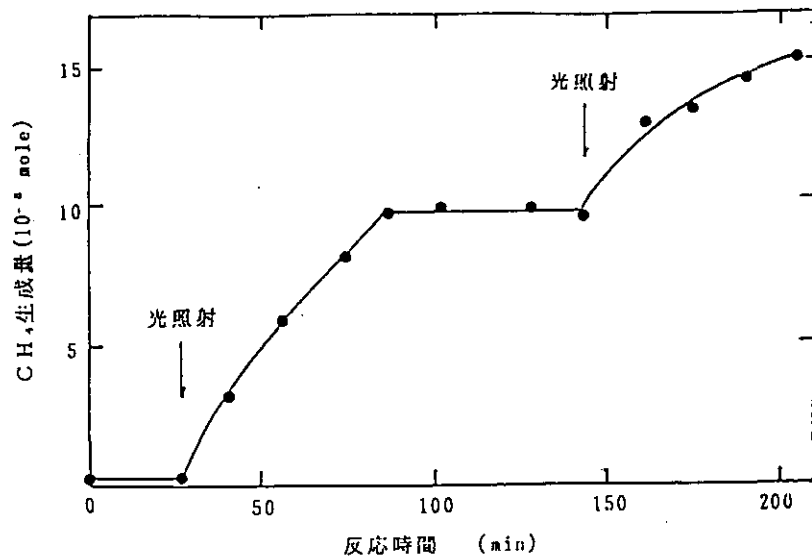


図 1.6.12 白金担持TiO₂触媒-水懸濁系におけるCO₂の光還元反応 (CH₄の生成)

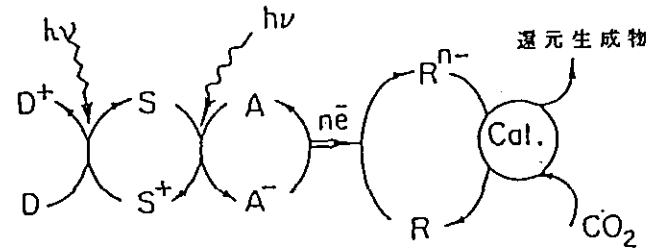
1. 水の光分解

2. CO₂の光還元

- 1) 半導体触媒
- 2) 金属コロイド触媒
- 3) 酵素
- 4) 金属錯体触媒

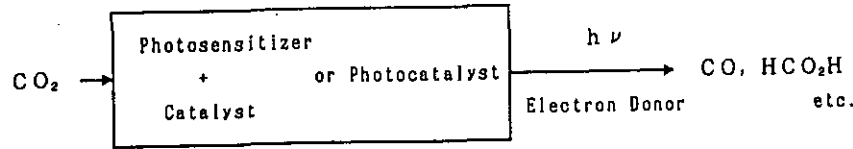
3. CO₂の光電気化学的還元

4. CO₂電気化学的還元



CO₂の光化学還元反応のスキーム

図 1.6.11 光の化学的利用



Photosensitizer	Catalyst	Electron Donor	Products	
[Ru(bpy) ₃] ²⁺	[Co(bpy) _n] ²⁺	R ₃ N	CO, H ₂	Lehn (1982)
//	[Co(macrocycle)] ²⁺	ascorbic acid	//	Tinnemans(1984)
//	[Ni(cyclan)] ²⁺	//	//	Spreer (1987)
//	[Ru(bpy) ₂ (CO) ₂] ²⁺	(HOCH ₂ CH ₂) ₃ N BNAN	CO, HCO ₂ H	Ishida (1987, 1988)
Photocatalyst				

ReX(bpy)(CO) ₃		(HOCH ₂ CH ₂) ₃ N	CO	Lehn (1983)
[Ru(bpy) ₃] ²⁺		//	HCO ₂ H	Lehn (1985)

图 1.6.14 CO₂の電気化学的還元反応



OXIDATION:



REDUCTION:

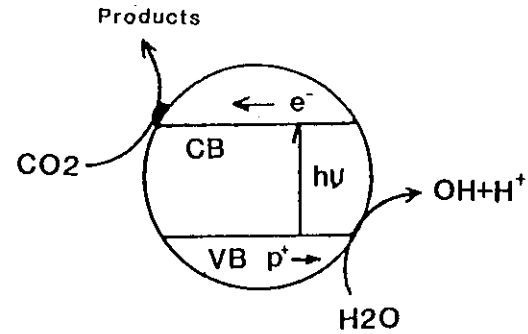
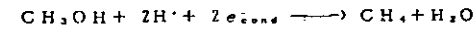
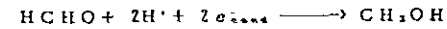
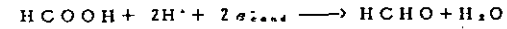
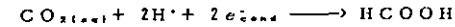


图 1.6.13

REACTION SCHEME OF PHOTOREDUCTION OF CO₂ BY Pt-TiO₂ CATALYST

出典: T. Ibusuki et al., 32nd IUPAC CONGRESS, Abstracts No.6007, Stockholm, 1989.

還元という点では、例えば、これは銅を電極に使ってやった実験で、千葉大の堀先生のところでのデータなのですが、驚いたことに、メタンとかエチレン、アルコール類、そういったものが、ここに書いてあるファラデー効率30%とか、比較的高い効率で生成してくることが知られております(図1.6.15)。

もう一つ、これは私どもも含めた夢なんですけど、今、商業的に使われている化学反応は、ほとんどが熱を使って何かをつくるというプロセスになっているわけで、熱を使うにはどうしても化石燃料を使って熱を出すということになってしまいます。そういった非常に多くの種類の化学反応を光で駆動できれば、それは1つの炭酸ガス排出対策になるのではないかと考えています(図1.6.16)。

例えば、ここに示した例は炭酸ガスを水素で還元してメタンにするという反応で、昔からニッケル触媒とかいろいろな触媒で、比較的高温、300℃から400℃ぐらいで行われている反応なんですけれども、それをここにるように、光を使うと、常温でこういうふうにとんとんとメタンができてくるという触媒系が開発されております。

人工光合成とかそういう表現をすとかかなりどぎついんですが、熱化学反応を光化学反応に置きかえていくということが、ケミストリーの立場からは炭酸ガスの発生源対策として有効ではないかと考えております。

以上です。

○司会 どうもありがとうございました。

それでは、フロアのほうからのご質問、ご意見をいただきたいと思います。

ただいまのご講演は「低・非炭素エネルギー利用による地球温暖化対策」ということで、エネルギーの根幹に戻って新しい対策を考えていこうということかと思えます。ある面では一番おもしろいところかと思えます。

○松尾(東京大学) 太陽エネルギーといってもスペクトルの幅の広いものですね。そういう意味でそれを仕分けしながら使うというか、2度使うというか、その辺はどうなるんでしょうか。

○指宿 ちょっと話が不十分だったんですけども、途中で触媒として4種類分類して挙げましたが、例えば半導体光触媒というのは、紫外光、太陽スペクトルの裾のほうしか使えない触媒なんです。もう一つの金属錯体触媒について太陽光を有効に使えるという表現をしたのは、これは可視光を有効に使う触媒なわけです。そういう意味で、太陽のいろいろなスペクトルがあるわけなんですけれども、それをそれぞれどこが何を使って別のものをつくっていくかということで、そういう仕分けはしていかなきゃいけないわけです。ここに書いてあるもの全部をオミットすることもないし、全部をうまく使っていくというふうに考えたいと思っています。

○松尾 そのときに、今一番問題になっている炭酸ガスが吸収するスペクトルがあると思うんです。それを地上で取っちゃうというか、それを熱源に使うとか、そんなような考え方はどうですか。

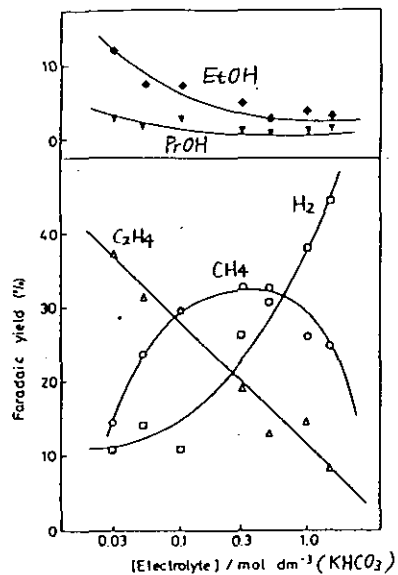


図 1.6.15 CO₂の電気化学的還元
出典: Y. Hori et al, J. Chem. Soc., Chem. Commun., 17(1988)

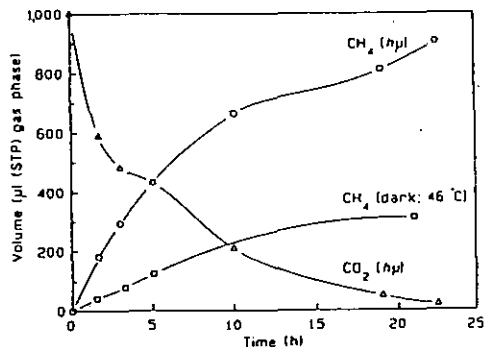


図 1.6.16 化学反応の光による駆動
(熱→光)
出典: K. Ravindranathan et al. Nature, 327, 506(1987).

表 1.6.2 各種光触媒の特徴

	利 点	現在の問題点
半導体光触媒	<ul style="list-style-type: none"> 水を電子源として使える メタンなど高還元生成物を与える 	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光を有効利用しにくい 反応効率が低い
金属コロイド触媒	<ul style="list-style-type: none"> 反応効率を上げることができる 	<ul style="list-style-type: none"> 他の光酸還元系と組み合わせなければならない
酵素	<ul style="list-style-type: none"> 多様な構造を持つ生成物を与えることができる 	<ul style="list-style-type: none"> 酵素の失活が起こる 水以外の電子源を使っている 他の光酸化還元系と組み合わせなければならない
金属錯体触媒	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光を有効に使える 反応効率がよい 	<ul style="list-style-type: none"> 水以外の電子源を使っている 生成物がCOまたはギ酸である

○指宿 炭酸ガスというのは赤外部のエネルギーを吸収して放射するというので、実際に地上に届く太陽のスペクトルとは全く違うところにあるわけで、そういう考え方（地表面から反射する赤外線を利用するという）はちょっと難しいかもしれないですね。

I-7 炭酸ガス処理に要するエネルギーと炭酸ガス拘束期間に着目した炭酸ガス固定化技術
野崎健 (電子技術総合研究所高温エネルギー研究室)

もともと新エネルギー、省エネルギー関係で新型電池、燃料電池等に携わっておりまして、その関係から、エネルギー技術の観点から見て炭酸ガスの問題をどう考えるかということで少しお話しさせていただきたいと思います。

昨今、炭酸ガスの問題が温暖化で非常に問題になってきていて、私ども、先ほどのような理由で研究を少し進めようかということで調査を進めている段階でございます。そういう意味で勉強した結果を少しご説明できればと思います。

実際に地球の温暖化の問題を扱って難しいなと思うことは何かと申しますと、図1.7.1にまとめましたように問題となる対象が大き過ぎるということです。地球規模の問題を取り扱わなきゃいけないということで大変難しい。現状としては何がわかっているかということなのですが、これは後で図でご説明しますが、大気中の炭酸ガスの濃度が上昇していくことはわかっている。その結果として、温室効果があるということはよく知られていることなのですが、温暖化がどの程度具体的に起こって、どのような影響が起こるかということになると、私も専門外でございますので、皆様が研究なされていて、追々わかってくるんだろうと思います。

対象が大き過ぎる

1. 現状の把握 (大気中のCO₂濃度上昇→図1.7.2)
 2. 影響が予測困難 (温室効果→温暖化? →?)
 3. 有効な対策がわからない (CO₂の抑制→図1.7.4～5)
- ◎ 地球規模の問題がやっと研究対象になってきた

図1.7.1 何が問題なのか

実際は影響が予測困難だということが絡んでくるんですが、どんな対策が本当に有効であるか、しかもそれが無理がないものであるかということ、なかなかよくわからない。結果的には地球規模の問題がやっと研究対象になってきて、これから長期間をかけて問題を解決していきなきゃいけないと理解しております。

これはどなたもご存じの図ですが、確かなことということで…… (図1.7.2)。「観測が容易」と書いてありますが、比較的容易なということです。キーリングらの仕事で、大気中の炭酸ガスの濃度が上がってくるという事実は非常に明快です。じゃそれがどこから出てくるんだろうかということで、これも炭酸ガスの循環ということをいろいろ研究されているんですが、これについても別の図でまた後でご説明します。

観測が容易な大気中のCO₂濃度の上昇しか正確にはわかっていない

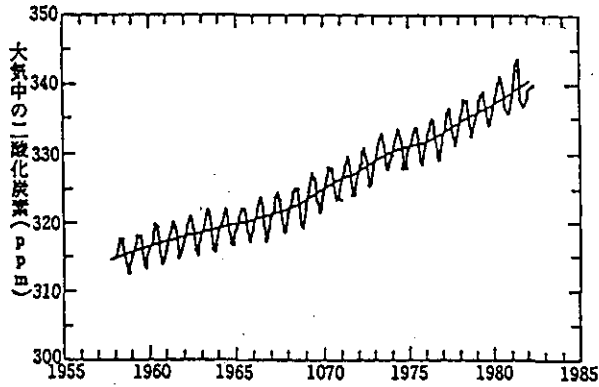


図 大気中のCO₂濃度の変遷

1957年以降、スタンフォード海洋学研究所のキーリング (Charles D. Keeling) は、ハワイ島のマウナ・ロア観測所において大気中の二酸化炭素含有量の動きを測定してきた。

図 1. 7. 2 温暖化について確かなこと

出典：北野康

地球環境の化学(1984)養華房

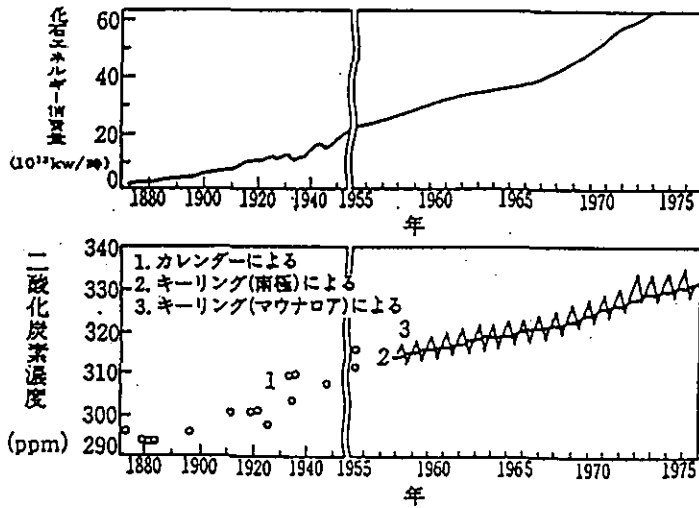


図 1. 7. 3 最近100年間の化石燃料消費量と大気中CO₂濃度の変遷

出典：奈須紀幸

大気と海洋1986放送大学教材

もう一度似た図(図1.7.3)が出てきますが、こちらに化石燃料の消費量と先ほどの炭酸ガスの増加量の測定値がパラレルに出ている図1.7.4があったので持ってきました。人間のエネルギー消費の量、あるいは産業革命以来の農耕地の増大などが炭酸ガスの増大を招いているんだということはある程度確かな事実です。しかも、化石燃料から出てきた炭酸ガスが実線で示されているわけですが、すべてが大気中に出ているとすればこの線になるわけです。しかし、実際の炭酸ガスの濃度上昇はこの程度(破線)ですので、半分くらいは別のところに貯蔵されていることがわかってきた。そういう意味で、なるべく自然の炭酸ガスのサイクルをうまく使ったような形で炭酸ガスの抑制をしたほうがいい。実際、炭酸ガスが何から出ているかといいますと(図1.7.5)、これも私の専門ではないのでただ単にお話しするわけですが、化石燃料の燃焼と森林の減少ということで出てきているんだろつとされています。

図1.7.5で申し上げたいことは、大気中の炭酸ガスの量に対して地球上にある炭素の量がべらぼうに多いということです。ですから、こちらのほうの推定誤差に相当するのが幅で示されていますが、敏感に引っかかっている大気中の微量の炭酸ガスがそういうところで相当に効いてくる。

化石燃料から出てくる量は、 10^9 トンの CO_2 換算で出しておりますが、こういうレベルで出てくるものを見ても、大気中というのは非常に感度のよい検出手段ではありますけれども、逆に言いますと、ほかのほうの推計が余り正確でないと大気中の濃度にどう出てくるかというのは意外なことが起こっても不思議がない。

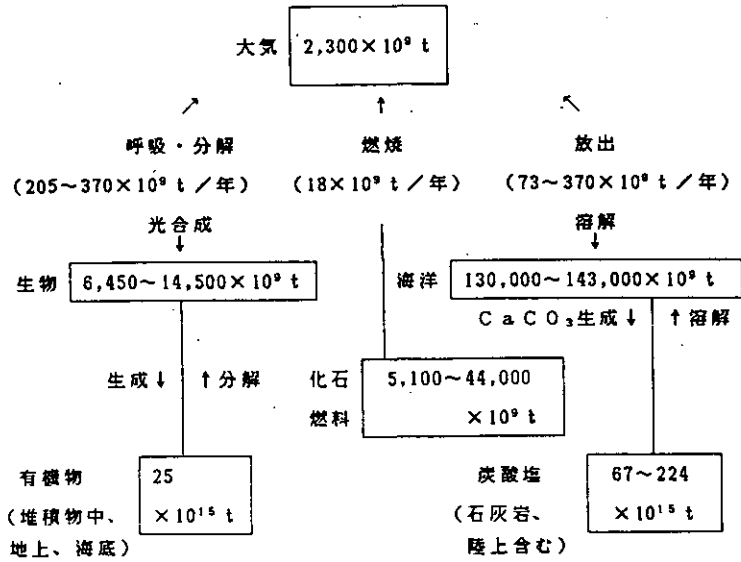
結果的には、今言われているのは炭素がどこに入っていくのかということ、海洋に入ってきて、主に深海部分でストレージされているんだろつと考えられておるわけです。つまり、化石燃料の燃焼等で出てきた炭酸ガスは海の中へ入っているということになります。このことは後で炭酸ガスを始末する話に少し関連していくので、ちょっとご記憶願いたいと思います。

ここまでは一般的に言われていることで、次の問題は、これからどうすればよいのだろつかということになります。4つほどまとめてみました。

まず、①大気中への炭酸ガスを出すのを抑制する。これはつまり、化石燃料の消費等を抑えればよろしいということになります。②地球への炭酸ガスの容量の増大、これは、例えば深海にストレージされているのであれば、深海にうんと炭酸ガスが入っていくようにすればよろしい。③実際に炭酸ガスが大気中に出るのは避けられないとした温室誤差効果に対する対策ということで、例えば地球が温まらないようにするためにアルベトを上昇させる方法はないだろつか。④あるいは温暖化で生ずる結果に対応して、例えば海面水位が上がってくるので堤防をつくるという対症療法もあるかと思いますが、できることなれば、①、②のところぐらいで対策が見つかる就非常に望ましいわけです。

エネルギー問題をやっている人間として見ますと、 CO_2 の抑制手段として考えられるのは、①エネルギー使用量の抑制、②エネルギー源の転換、③ CO_2 の固定化ということで3つぐらい考えられる。エネルギー使用量の抑制というのは省エネルギーということで、通産省で言うムーン

- 1. 化石燃料の燃焼
- 2. 森林(植生)の減少



図一 地球上における炭素の循環 (CO₂換算)

() 内の数値はフロー、 は存在量を示す。

図 1. 7. 5 おもなCO₂源

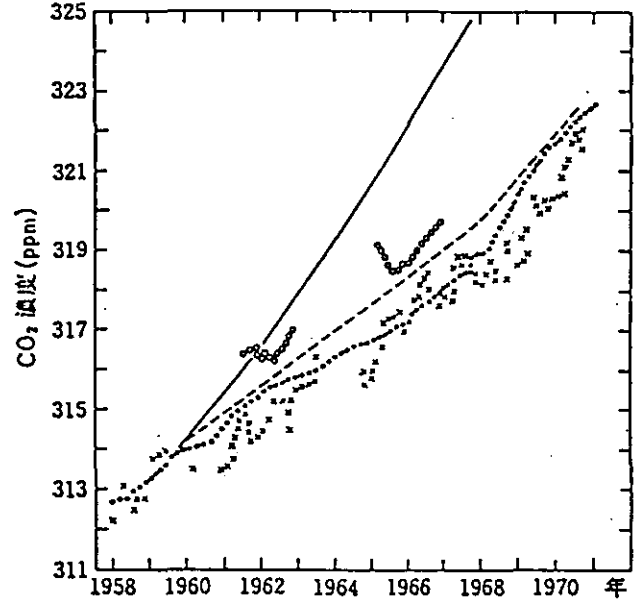


図 1. 7. 4 大気中CO₂濃度の変遷

出典：北野・松野(緒), 岩波講座現代化学22, 「地球と環境の化学」

実線は化石燃料起源のCO₂がすべて大気中に存在したと仮定した場合の推定値(1960年基準)。破線はスカンジナビアのデータ、○、●、×は、それぞれ Point Barrow (アラスカ)、Mauna Loa (ハワイ)、南極点のデータを表わす(季節変動補正済み)。

ライト計画に相当します。

エネルギー源の転換というのは新エネルギー、例えば太陽エネルギーみたいな、通産省のプロジェクトでいうとサンシャインプロジェクトに相当するわけです。さらに原子力、これはもちろん化石燃料を消費しません。あるいはなるべく炭酸ガスが出てくる量の少ない燃料へ転換する。天然ガスがそれに当たるわけですが、そういうことでエネルギー源を転換するということが考えられます。

こういう省エネルギー、新エネルギーの対策を立てた上で、なおかつCO₂の出てくる分を抑制せざるを得ないかどうかの問題なんですが、結局はそうせざるを得ないんじゃないというのが今のトレンドの推定で、そうなるに出てきたCO₂を始末しなきゃいけないということで、考えられるのは、深海とか森に炭素を固定する、もう一つは、ケミカルプロセスをつかってほかの炭素化合物にしてしまう、あるいは光合成して固定してしまうということを考えてやらなきゃいけないということになるかと思えます。

ちょっと触れましたが、実際にエネルギーアナリシスの方法で、日本の場合、炭素がどのくらい出てきて、それがどのくらい技術的に抑制可能であるかということグラフにした結果があるわけです(図1.7.6)。これは幾つかの条件が入っているわけですが、細かい説明を省略させていただきますと、横軸が炭酸ガスの日本における2025年までの累積排出量、縦軸は総システムコスト、単位は10¹²ドルです。つまり、ドル換算した総システムコストです。

結局これで何が言いたいかといいますと、低需要のシナリオでも炭酸ガスの対策のための処理のコストが増える。高需要であればこうなる。上の線は原子力の場合です。原子力が抑制された場合にはどうしてもコストが高くなる。この線はCO₂の回収容量で、CO₂をどのくらい回収するかの量を推定している場合で、図中のパラメーターくらいだということです。

ここで言いたいのは、幾らになるかというのはこれからますます改善していかなきゃいけない問題なんですが、逆にいいますと、新エネルギー、省エネルギーの対策をすべてして、燃料転換までした上でも、なおかつ炭酸ガスを抑制するためにはコスト上昇は避けられないということになるわけです。今まで安いエネルギーを使っていた分だけ炭酸ガスが出たわけですから、それを始末するために膨大な量の炭酸ガスを始末してやらなきゃいけない。

ちなみに、このモデルの解析は電総研の小山がやっていたので、どんなモデルになっているかをちょっとご説明します。これはMARKALというモデルです(図1.7.7)。これが全体の図で(図1.7.8)、ゴチャゴチャしていてちょっと見づらいので恐縮ですが、要するに相当複雑なシステムモデルになっているわけです。経済性、燃料転換等議論しているわけで、ちょっと部分を拡大していきますと、燃料源として、例えばアルコールとかLPGとかナフサ、メタノール、原油、輸入炭、オイルサンド、ボイラーだき石炭、コークス用石炭、LNG、バイオマス、水力、風力、地熱、太陽も全部入っています。そういうエネルギー源を実際のエネルギー変換のプロセスで見ているわけです。

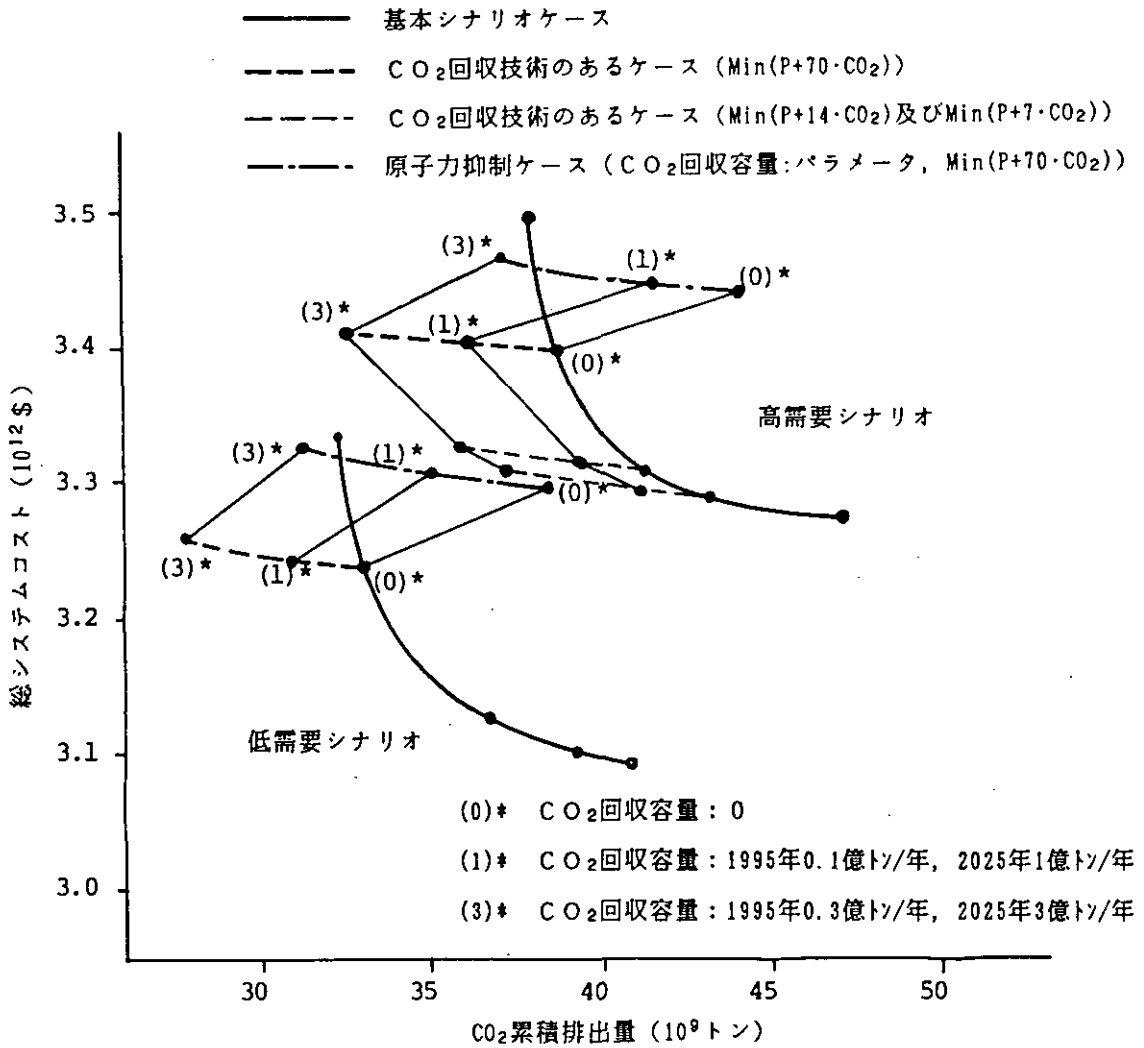


図 1.7.6 コスト-CO₂累積排出量の関係 (日本)

出典: 小山, 伊原

電総研研究速報 TR-89-5(1989)

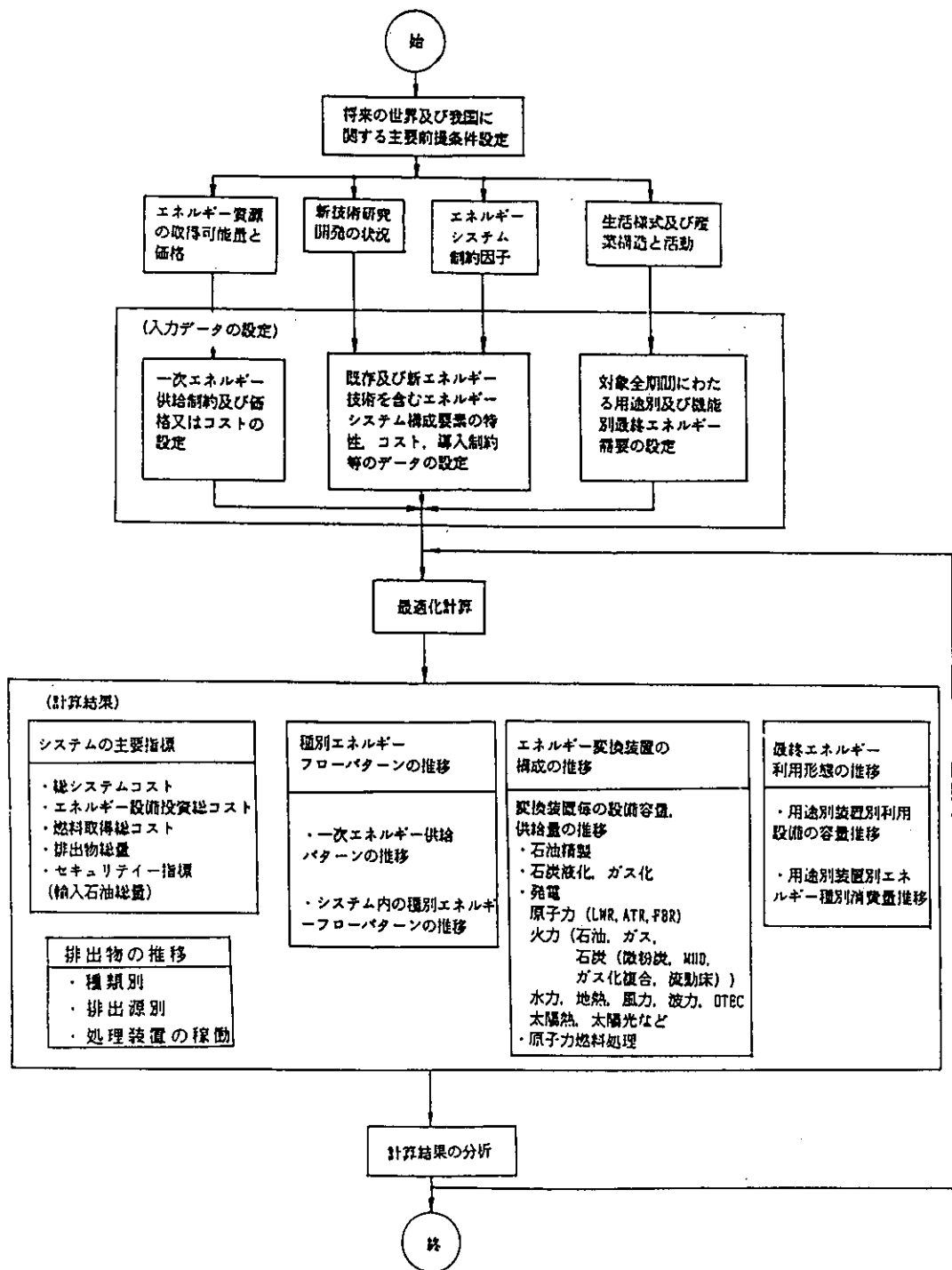
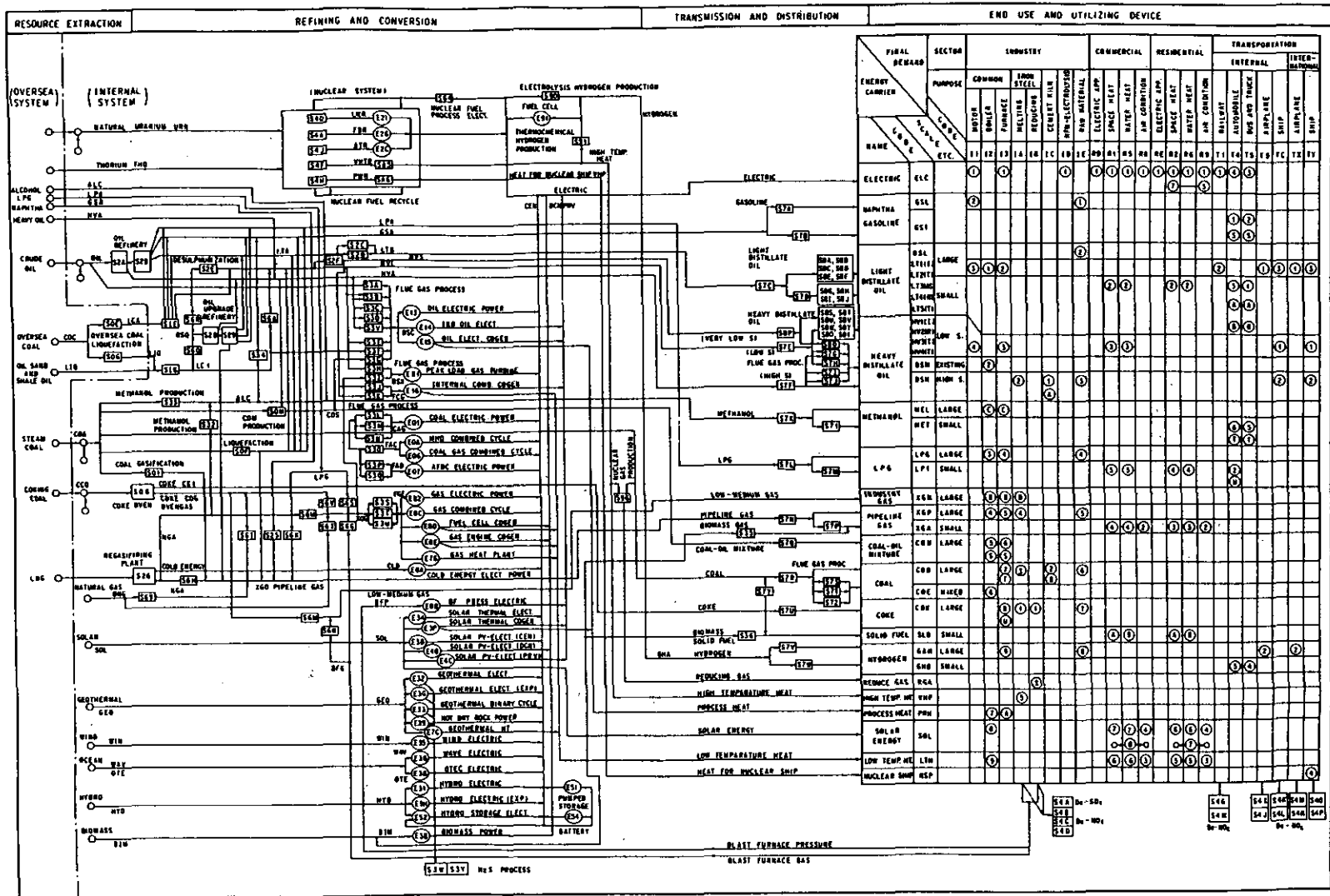


図 1. 7. 7 MARKAL による計算のフロー図

出典：小山・伊原

電総研研究速報 TR-89-5(1989)



FLOW DIAGRAM OF JAPANESE ENERGY SYSTEM

図 1.7.8 エネルギーシステムモデル (エネルギーフローネットワーク)
 出典: 小山・伊原, 電総研究速報 TR-89-5(1989)

どんなエネルギー変換のプロセスがあるかといいますと、表1.7.1に示すように、先ほどのフローの中に入っている要素としてこれくらいのものを全部、例えば電気自動車、水素式乗用車、メタノール車というものまで入っています。そういうものを入れたと仮定して、ここに書いてあるのは、どういう時期にどういうパラメーターを振ったかということで、最適化される形で割合がどうなるかという形で線形プログラミングをして解析をした結果です。それが先ほどのコストが出てくるような結果になっているわけで、相当の新エネルギー、省エネルギーの解析結果が入っています。

実際の新エネルギー、省エネルギーの話についてはここではおいておきます。というのは、いよいよ本題に入らせていただくわけで、炭酸ガス処理を考えていきますと、一つは電力中央研究所さんのほうでこんな解析をしている例があります（表1.7.2）。これは石炭火力で100万キロ。これで見てくださいとわかるとおり、毎時900トンの炭酸ガスが出てきて、年間で言うと700万トンの炭酸ガスが出てくる。その炭酸ガスを固定化する技術として、アミン吸収して、液化あるいはドライアイス化して海に捨てる方法、乾式の吸収をして炭酸ガスを分離して捨てる、膜分離する方法、メタノールに変換する方法、分解法が出ているんですが、この際、燃料の増加率を見ていただきたいんです。メタノールとか、この場合ですと、 CO_2 （亜酸化炭素）に変換すると、結局、燃料の増加率、つまりエネルギーの効率がすごく下がってしまう。ですから、炭酸ガスを何らかの形で分離して捨てる以外ないだろう。また、当然のことながらコストも上がってしまうということが言えます。

炭酸ガスを海に捨てるという話の元祖は、アメリカのブルックヘブンの連中の結果が出ています。実際にここにごさいますように、発電所から出てきたものを圧縮して液化炭酸ガスにして、500mとか1,000m、3,000mの海に捨ててしまうという考え方です（表1.7.3、図1.7.9）。ここで見ていただきたいのは、炭酸ガスの回収に相当のエネルギーを使っているということです。

次のところに入らせていただきます。

1つの分離プロセスのプロポーズとして私が今申し上げたいのは、燃料電池がよろしいのではないか。つまり燃料電池では、図1.7.10に示すように、普通の燃焼反応とは違って空気は空気極で反応し、燃料の水素と水素リッチな炭酸ガスは燃料極で反応するので、この間は分離されて酸化反応が行われ、この中で炭酸ガスが単独でうまく分離して出てくるということで、これは私がやっているから我田引水ではないんですが、炭酸ガスの処理ということに着目した発電技術を考えていくと、1つの例として燃料電池が考えられます。

もう一つ、化合物に変換させるという方法ですと、先ほどメタノールと亜酸化炭素が検討されていたわけですが、実際には消費エネルギーが大きくしかも、長期の貯蔵にも不安定で適さないんじゃないか。そういうことと言うと、蓚酸が炭素の燃焼熱の大体3分の1未満で、安定に貯蔵できそうな化合物の1つなんです。いろいろ調べて蓚酸ぐらいかなというのが、今見通しが立っている化合物です。

表 1. 7. 1 CO₂排出抑制のエネルギー技術ミックスへの影響

出典：小山・伊原

電線研究速報 TR-89-5(1989)

(SO_x, NO_x低減率:30%)

シナリオ		高需要 (低燃料価格)					低需要 (高燃料価格)				
年次	目的関数	P	P+	P+	P+	P+	P	P+	P+	P+	P+
			7C	14C	70C	350C		7C	14C	70C	350C
E13	石油火力発電	1-6	1-6	1-6	1-5	1-4	1-6	1-6	1-2	1-4	1-4
E14	石油産業自家発	1-8	1-6	1-5	1-3	1	1-6	1-5	1-4	1-4	1
E15	石油 産業用コージェネ	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-8
E16	石油業務用コージェネ	1-6	1-8	1-8	1-7	1-7	1-9	1-7	1-7	1-6	1-6
E01	石炭火力発電	1-8	1-7	1-6	1-4	1	1-8	1-8	1-6	1-4	1-3
S3L	排ガス処理(高排出)	1	1	1	1-2	1	1	1	1	1-2	1-3
S3M	排ガス処理(低排出)	1-5	1-4	1-4	1-3	1	1-5	1-8	1-4	1-4	1
S3N	排ガス処理(低排出)	2-8	2-7	2-6	3-4	-	2-8	2-7	2-6	-	-
E0A	石炭MHD発電	7-9	7-9	-	-	-	7-9	7-9	7-9	-	-
E06	石炭ガス化複合発電	3-9	3-9	3-9	3-7	3-6	3-9	3-9	3-9	3-6	3-4
E07	石炭常圧流動床	3-9	3-8	3-7	-	-	3-9	3-9	3-8	-	-
E82	ガス火力発電	1-6	1-6	1-7	1-7	1-7	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6
E8C	ガス複合発電	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-7	1-7	1-9	1-9	1-9
E8E	ガス 業務用コージェネ	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-8	1-7
E8D	ガス燃料電池コージェネ	5-9	5-9	5-9	4-9	3-9	5-9	5-9	5-9	4-9	3-9
E21	軽水炉発電	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
E2C	ATR原子力発電	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
E26	FBR原子力発電	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9	3-9
SA4	VHTR炉熱供給	-	6-9	6-9	6-9	6-9	-	7-9	6-9	6-9	6-9
SA6	船用LWR核熱供給	-	7-9	7-9	7-9	7-9	-	7-9	7-9	7-9	7-9
S90	電解水素製造	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
S91	熱化学水素製造	-	-	9	6-9	6-9	-	-	9	6-9	6-9
S96	核熱石炭還元ガス製造	-	6-9	6-9	6-9	6-9	-	7-9	6-9	6-9	6-9
E31	水力発電	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
E34	太陽熱発電	-	-	-	6-9	4-9	-	-	-	8-9	4-9
E3P	産業用太陽コージェネ	-	8-9	6-9	5-9	5-9	-	7-9	6-9	5-9	5-9
E3D	太陽光発電(集中式)	-	-	9	6-9	4-9	-	-	8-9	6-9	3-9
E4B	太陽光発電(分散式)	9	6-9	5-9	5-9	3-9	6-9	5-9	5-9	5-9	3-9
E4C	太陽光発電(自家用)	-	7-9	5-9	5-9	3-9	9	6-9	5-9	5-9	3-9
E32	地熱発電(既存式)	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
E3G	地熱発電(既存式高価)	-	9	6-9	3-9	3-9	-	6-9	3-9	3-9	3-9
E33	地熱発電(新規式)	-	6-9	3-9	3-9	3-9	7-9	3-9	3-9	3-9	3-9
E7C	地熱熱供給	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
S3Y	地熱硫化水素処理	4-9	4-9	4-9	3-9	1-9	4-9	6-9	5-9	-	-
E35	風力発電	-	-	-	4-9	3-9	-	-	-	4-9	3-9
E36	波力発電	-	-	-	4-9	3-9	-	-	-	4-9	3-9
E38	海洋温度差発電(OTEC)	5-9	4-9	4-9	4-9	4-9	4-9	4-9	4-9	4-9	4-9
S0G	石炭液化(海外)	7-9	-	-	-	-	5-9	6-9	-	-	-
S0F	石炭液化(国内)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1.7.1 CO₂排出抑制のエネルギー技術ミックス
への影響(続き)

(SO_x, NO_x低減率:30%)

シナリオ		高需要(低燃料価格)					低需要(高燃料価格)				
ケース	目的関数	P	P+	P+	P+	P+	P	P+	P+	P+	P+
			7C	14C	70C	350C		7C	14C	70C	350C
S0H	COH製造	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-8
S32	LNGメタン製造	-	-	9	7-9	-	-	-	-	5-9	6-9
S33	石炭メタン製造	-	-	-	-	-	7-9	5-9	-	-	-
S28	石油精製(在来式)	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
S29	石油精製(改質分解)	7-9	3-9	3-9	3-9	2-9	7-9	3-9	3-9	3-9	2-9
S2D	軽質油脱硫	3-9	3-5	-	-	-	-	-	-	-	-
S2E	重油脱硫	1-9	1-9	1-9	1-9	1-7	1-7	1-6	1-8	1-7	1-8
S2F	重油脱硫(超低硫黄)	1-9	1-8	1-9	1-7	1-7	1-9	1-9	1-7	1-6	1-6
I22	産業用石油ボイラー	1-9	1-6	1-5	1-5	1-3	1-9	1-7	1-4	1-4	1-3
S7I	排ガス処理(高排出)	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-3	1-2	1-2	1-4	1-2
S7J	排ガス処理(低排出)	1-9	1-6	1-5	1-5	1-3	1-9	1-7	1-4	1-4	1-3
I26	産業用石炭ボイラー	1-4	1-4	1-4	1-3	1-3	1-4	1-4	1-4	1-3	1-3
S7S	排ガス処理(高排出)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-4	1-4	1-3	1-2
S7T	排ガス処理(低排出)	1-4	1-4	1-4	1-3	1-3	1-4	1-2	1-2	1-2	1-3
I2B	産業用ガスボイラー	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
R26	住宅用太陽暖房	1	1	1	1	1-9	1	1	1	1-9	1-9
R66	住宅用太陽給湯	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
R94	住宅用太陽空調	-	-	-	-	3-9	-	-	-	9	3-9
R67	住宅用太陽暖冷房給湯	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
T41	乗用車(ガソリン, 既存)	1-9	1-9	1-9	1-9	1-8	1-9	1-9	1-9	1-6	1-6
T4S	乗用車(ガソリン, 新型)	6-9	8-9	-	-	-	-	-	-	-	-
T43	乗用車(ディーゼル, 既存)	1-5	1-7	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
T4B	乗用車(ディーゼル, 新型)	5-9	6-9	8-9	6-9	2-9	-	-	-	-	5-6
T44	乗用車(電気式)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T45	乗用車(水素式)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T46	乗用車(メタン式)	-	2-3	2-3	2-3	-	-	-	-	-	-
T51	バス,トラック(ディーゼル, 既存)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-9	1-9	1-9	1-8	1-9
T5B	バス,トラック(ディーゼル, 新型)	2-9	2-9	3-9	2-9	2-9	3-8	3-8	3-7	3-6	3-6
T52	バス,トラック(ガソリン)	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9	1-9
T53	バス,トラック(電気式)	-	-	-	8-9	7-9	-	-	-	7-9	6-9
T54	バス,トラック(水素式)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T55	バス,トラック(メタン式)	3-9	3-9	3-9	3-9	6-9	3-9	3-9	3-9	3-9	5-9

(表中の数値は対応する技術が最適化計算においてシステムに導入された期間を意味する。例えば4-8は第4期(2000年)から第8期(2020年)まで導入されたことを意味する。また右端2欄はセキュリティ因子を考慮したケースである)

表 1. 7. 3 CO₂の深海廃棄

Brookhaven National Lab. のSteinbergらは分離・回収したCO₂を液化し、パイプラインで100mile沖合いの海中（深度500m）に放出する方式を提唱しており、この方式で消費される電力の試算値を下表に示す。これは海岸に立地できる日本の火力発電所に適していると考えられる。

(表) 100MWe 石炭火力発電所のCO₂処理電力

	距離200mile, 深度3000m	距離100mile, 深度500m
CO ₂ 回収	9. 0MWe	9. 0MWe
CO ₂ 液化	8. 3	7. 7
CO ₂ 輸送	0. 9	0. 3
合計	18. 2	17. 0

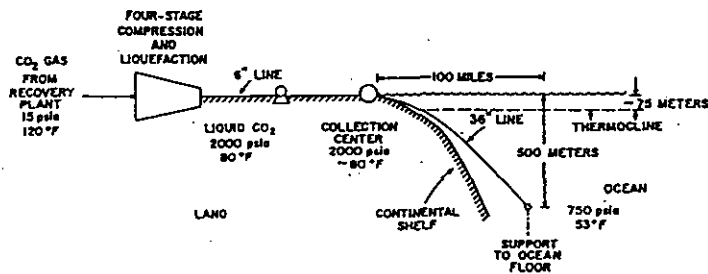


図 1. 7. 9 SCHEMATIC DIAGRAM FOR OCEAN DISPOSAL SYSTEM

出典:M.Steinberg & H.C.Cheng, A System Study for the Removal, Recovery, and Disposal of Carbon Dioxide from Fossil Fuel Power Plants in U.S.(1985), BNL-36428 DE85 012274

表 1. 7. 2 炭酸ガス処理設備の燃料増加率と経済性（電中研）

対象技術	CO ₂ 除去率	燃料増加率(%)	発電コスト増加率(%)
① 湿式吸収	50	33	36
	90	58	42
② 乾式吸収	50	55	36
	90	129	63
③ 膜分離	50	65	7.7
④ メタノール 転換法	50	140	58
	90	251	83
⑤ 分解法 (C ₂ O ₂)	50	474	132
	90	1070	265

この試算の前提になった火力発電所の諸元は次のとおりである。

① 石炭火力、② 送電端発電出力: 1000MWe、③ 石炭発熱量: 6200kcal/kg、④ CO₂発生量: 900t/h (約7×10⁸t/年)、⑤ 固定費: 8.56円/kWh、⑥ 熱効率: 35%、⑦ 変動費: 2.44円/kWh。

① 湿式吸収法: 燃焼排ガス中のCO₂を、アルカリ性吸収液（モノエタノールアミンなど）に吸収後、加熱してCO₂を分離して吸収液を再生する方法であり、技術的には既に尿素合成プラントなどで実用化されている。

② 乾式吸収法: 燃焼排ガス中のCO₂を、固体吸収剤（モレキュラーシーブなど）で吸収・分離する方式で、分子サイズにより選択的な分離が可能なので石油化学製品の分離・精製に広く使用されている。

③ 膜分離法: ポリエーテルスルホンなどのCO₂の溶解度の高い膜を用いてメタン発酵のバイオガス（CO₂: CH₄≒1:1）からCO₂を除去した事例などがあるが、燃焼ガスからのCO₂回収は実例がないようである。

④ 炭化水素（メタノール）転換法: アルカリ水溶液にCO₂を吸収させ、これを電解して水素とCO₂の混合ガスを得て、メタノールに転換する方法である。

⑤ CO₂分解法: γ、β線などの放射線をCO₂に照射して、三酸化二炭素（亜酸化炭素: 沸点7℃の悪臭のある気体）C₂O₂を生成する方法である。

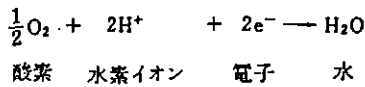
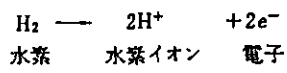
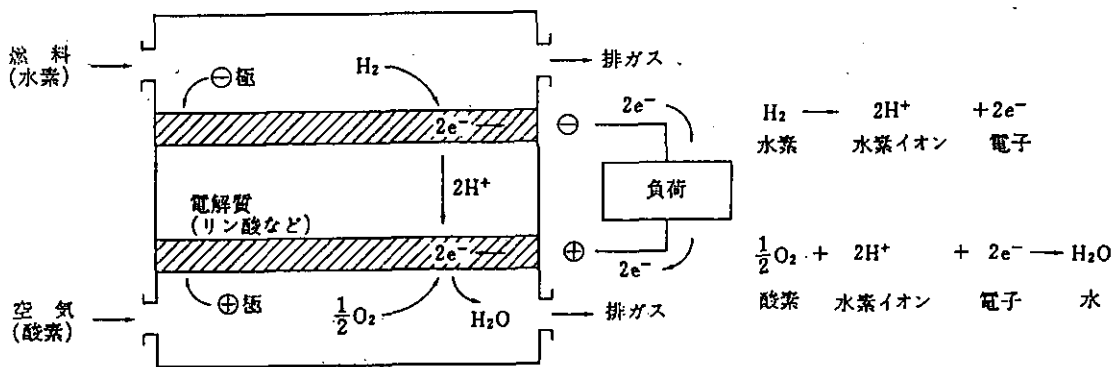


図 1. 7. 1 0 燃料電池の原理と電極反応

出典：野崎；電設工業，N0426(6)，P189(1988)

例えばこのような形で話が展開していくということで、きょうのタイトルに相当するところですが、炭酸ガス抑制技術を評価するとすれば、技術の実現可能性、これは実用化の時期、開発成功の難易度、経済性、タイトルにあるようなCO₂処理に要するエネルギー。さらにこれも大事なことなんですが、CO₂を拘束する期間をどのくらいに見積もるか。1,000年、2,000年の問題ではなくて100年ぐらいのところでは有効な手段として見られるものを探し出す。というのは、例えば海洋にしても何にしても、深海ですと、実際に長期間の定常状態に達するまでの期間は1,000年ぐらいありますが、逆に言いますと、我々の化石燃料を使用している期間が数百年のところですので、100年ぐらいを1つの基準にして考えたらいんじゃないか。

このくらいところで講演を終わらせていただきたいと思います。

以上です。

○司会 どうもありがとうございました。

では、野崎先生のご講演に対して、ご質問ございましたらよろしくお願いします。

○指宿 燃料電池の出力というか、発電容量というか、それは今どの辺ぐらいまで考えられますか。

○野崎 実際につくられた燃料電池で最大の規模が4.5メガワットぐらいですが、実際に今計画されているのは10メガワット、つまり1万キロワットが考えられています。余り大きなものにはならないと思うんですが、炭酸ガス処理をするんですと、少し大規模なものを考えてやらなきゃいけないんじゃないかと思います。

○指宿 それが聞いたかったものですから。

○野崎 紙の上に書いた計画は幾らでもできるわけですけども、例えば100万キロワットクラスまでのデザインをしたとか、コンセプト的なデザインをしたという例は幾らでもございます。

○指宿 その辺で何かオプティマムなところが出てくるんでしょうか。出力と処理容量というか……。

○野崎 燃料電池の場合は余りスケールメリットがございません。ですから、分散発電してコージェネレーション等に使うのが1つの考え方になっているんですが、集中的にすれば、火力発電所代替というのでは数十万キロワットというのが1つの線かと思えます。

○司会 そのほか。ございませんでしょうか。

野崎先生、一番最後に技術の評価について、特に拘束期間ということについてご意見をお出しにされましたが、拘束期間を100年にするか何年にするか。今は化石燃料を使う期間ということで、一応100年ぐらいにしておいたほうがいいんじゃないと。これは一般的に合意されそうな線と言ってよろしいんでしょうか。

○野崎 これは私の私見で、50年というちょっと短いな、100年を超えると、そのころになれば技術の状況も変わっていて、余り先を予測してもしょうがない、途中で幾らでも軌道修正できると考えたわけです。急激に起こることではないですから。切りがいいので100年という数字を

入れているんですが、実際に言うと、例えば森林などは、平均をとると5年とか20年という結果が出てきてしまうんです。残る木は確かに長いんですが、葉っぱなどの部分はすぐ分解してまた炭酸ガスに戻ってしまう。ですから、炭酸ガスを固定して何かの形にしても、それがまたリサイクルして戻ってくる期間をよく考えておかなきゃいけない。その基準点としては100年ぐらい入れておけば、100年に1回リサイクルすると考えてよろしいわけです。それを1として、あとノーマライズしてやればいいんじゃないかと考えて、いろいろと比較評価するような表をつくりかけているんですが、なかなかまとまらないんです。

I-8 自然エネルギーの有効利用のための地熱開発

松尾岑一郎（日本重化学工業地熱事業部盛岡工業所）

私は「自然エネルギー有効利用のための地熱開発」という仰々しいタイトルをいただいておりますが、本セミナーの目的に合うかどうかちょっと不安でございます。私どもの会社で長年やっております地熱開発の経過、あるいはその結果等をお話し申し上げて、何らかのご参考にしていただければ幸いです。

お話の前に、当社と地熱開発のつながりについてご紹介したいと思っております。

我が社は、フェロアロイ（合金鉄）という、製鉄をする場合の脱硫、脱酸あるいは微量添加の副原料をつくっているメーカーでございますが、このフェロアロイは電気炉で製錬されるために多量の電気が必要ですので、電力資源をいかに安くしかも安定的に確保するかが重要な課題であることから地熱開発に取り組んだという経過でございます。

ご専門の方々がたくさんいらっしゃる前ではありますが、きょう初めて地熱資源という言葉をお聞きの方に、地熱資源とは何かということをお話ししたいと思います。表1.8.1に示しますように、火山のもとであるマグマだまりの熱にまつわる、地下に蓄積された熱エネルギーということでございます。マグマの温度が650℃とか1,200℃ぐらいと言われておまして、そのときの圧力は、ごらんのように200kg/cm²から1,000kg/cm²と言われております。我々が現在、地熱資源としてその開発に取り組んでおりますものは、熱水循環系のうち、特に蒸気卓越型、あるいは高温熱水型の資源を対象としております。特に日本で多いのがこの高温熱水型で、蒸気卓越型の地熱資源は非常に少ないということでございます。大ざっぱに言いますと、温度は150℃以上ぐらいから、圧力も50kg/cm²以上の特性を持った高温高圧の熱水を地熱資源と呼んでいるようにございます。

こういう地熱資源をどのように利用しているかということになるわけでございますが、図1.8.1に示しますように、地熱資源を利用するのは大体4つに分かれます。

1つは高温岩体発電ですが、非常に温度が高くて、しかも温度だけある岩体に坑井を掘りまして、それに水を注入して、近傍に掘削した他の坑井から蒸気を出そうというのが高温岩体発電でございます。

2番目には火山発電がありますけれども、まだ余り固まってないマグマだまりに何らかの処置をして蒸気の形で熱を取り出そうというのが火山発電であります。この火山発電は、地熱開発に携わる者にとりましては夢の仕事でございます。

3番目には、現在、多くの地域でやっている地熱発電であります。つまり、マグマだまりの熱が地下水を温めて高温高圧になっているものを取り出すというのが地熱発電です。

4番目に、多目的利用というのがございます。熱源から非常に離れているところに胚胎する深層熱水ではありますが、地下深部の少し温かい地下水を取り出して、それを熱源に何らかに利用しよ

表 1. 8. 1 地熱資源とは？

特 性		温 度 °C	圧 力 kg / cm ²
マ グ マ		650 ~ 1,200	200 ~ 1,000
高 温 岩 体		300 ~ 650	100 ~ 1,000
熱 水 循 環 系	蒸気卓越型	> 240	50 ~ 200
	高温熱水型	> 150	50 ~ 400
	中温熱水型	90 ~ 150	10 ~ 100
	低温熱水型	50 ~ 90	1 ~ 5

<高温岩体発電> <火山発電> <地熱発電> <多目的利用>

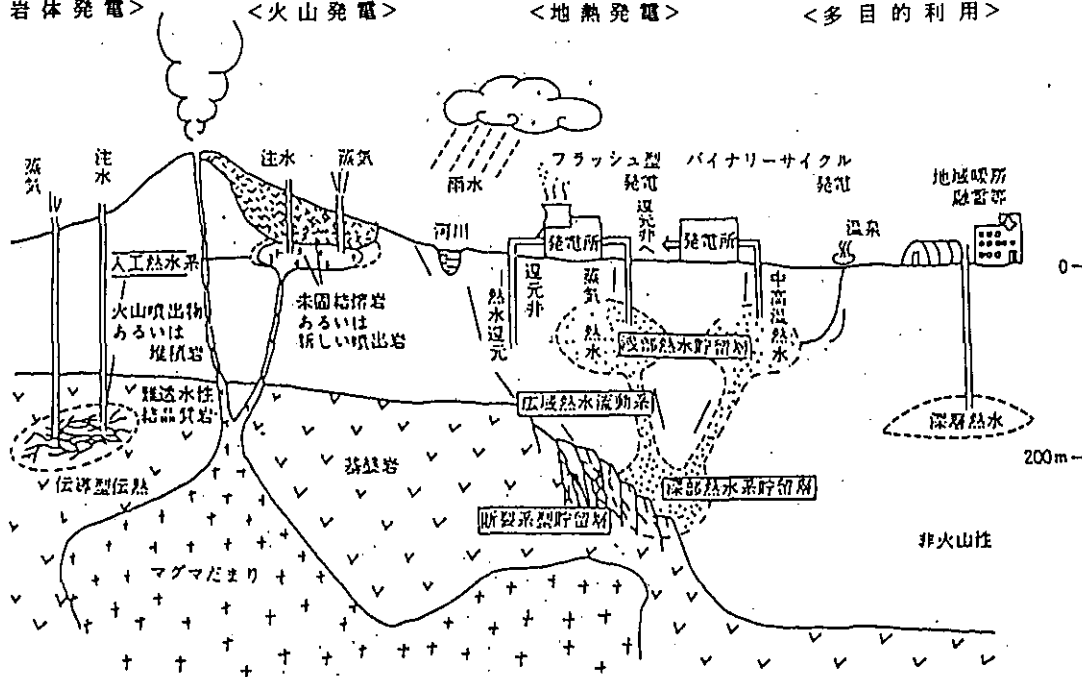


図 1. 8. 1 地熱エネルギーの利用

うというのがこのタイプでありまして、地熱エネルギーの利用は以上の4つぐらいの形態に分かれるわけでございます。

地熱発電はどういう仕組みかということをおんち絵風にまとめたものが図1.8.2でございます。つまり熱源がマグマだまりになるわけです。そこで熱せられた地下水、これを熱水と言いますが、中深度で1,500m前後、あるいは2,000mぐらいのところまで坑井を掘りますと、熱水が沸騰して自分の力で出てまいります。これを自噴と言いますが、このように地熱資源は、温泉と違って、自分の力で出てくるぐらいのハイエンタルピーの熱水を掘り当てないと発電に利用できないわけでございます。

噴出してまいりました地熱流体は、熱水と蒸気を分離して、熱水はそのままの状態地下に戻してやります。図1.8.2では深いところから取り出して浅いところへ戻すというふうに記載しておりますが、逆に浅いところから取り出して深いところに入れていた例もございまして。

Uベンドセパレーターである程度分離された熱水と蒸気は、2層流の状態です。所定のところまで輸送されて、ここで完全に蒸気と熱水を分離いたします。やはり熱水は地下に戻します。完全に分離された蒸気は発電所に送られて、火力発電所と同じ方法でタービンを回転させ、その力で発電機を回し、電気が得られるわけです。

後ほどご説明したいと思っておりますけど、地下に戻す熱水の一部を地上で取り出していろいろな熱源に利用しようというのが、実は熱水の多目的利用になります。

図1.8.3は岩手県の地図ですが、西側が秋田県、北が青森県、南が宮城県であります。秋田県との県境には脊梁山脈がありますが、ここに日本で最初に運転を開始した我が社の松川地熱発電所がございまして。これは当社の自家用発電所でございます。葛根田地熱発電所が約10キロほど南西のほうにあります。これは東北電力さんと共同で開発した地熱発電所でございます。この一円にはさらにもう一つ、三菱金属さんの運転している大沼地熱発電所がございまして。したがって、この範囲に3つの地熱発電所が、現在、運転稼働している状況であります。

表1.8.2は、我が社で実施しました地熱発電所の開発経過でございますが、松川地熱発電所は、実は昭和41年から運転開始しております。ですから今年で約23年間発電を継続していることになり、表1.8.2に示すように、昭和31年から諸調査に取りかかりまして、坑井掘削からパイプライン及び発電所の建設工事の経過をたどり、発電開始まで約10年間かかりました。運転開始当初は容量9,500kWで開始しましたが、昭和48年、2万2,000kWに容量を上げて継続操業しているという状況でございます。ちょうど昭和48年は第1次オイルショックの年でございます。

一方、表1.8.3は葛根田地熱発電所の開発経過を示したものでございます。基礎調査を長い間実施しておりましたが、開発作業に本格的にかかりましたのは昭和43年以降でございます。運転開始が昭和53年ですので、松川と同様に、葛根田地熱発電所も10年間いろいろの作業をして完成させたという経過があります。ここでは運用当初から5万kWでスタートして、約11年間操業し続けております。ちなみに、葛根田地熱発電所が開発した年も第2次オイルショックの年でございます。

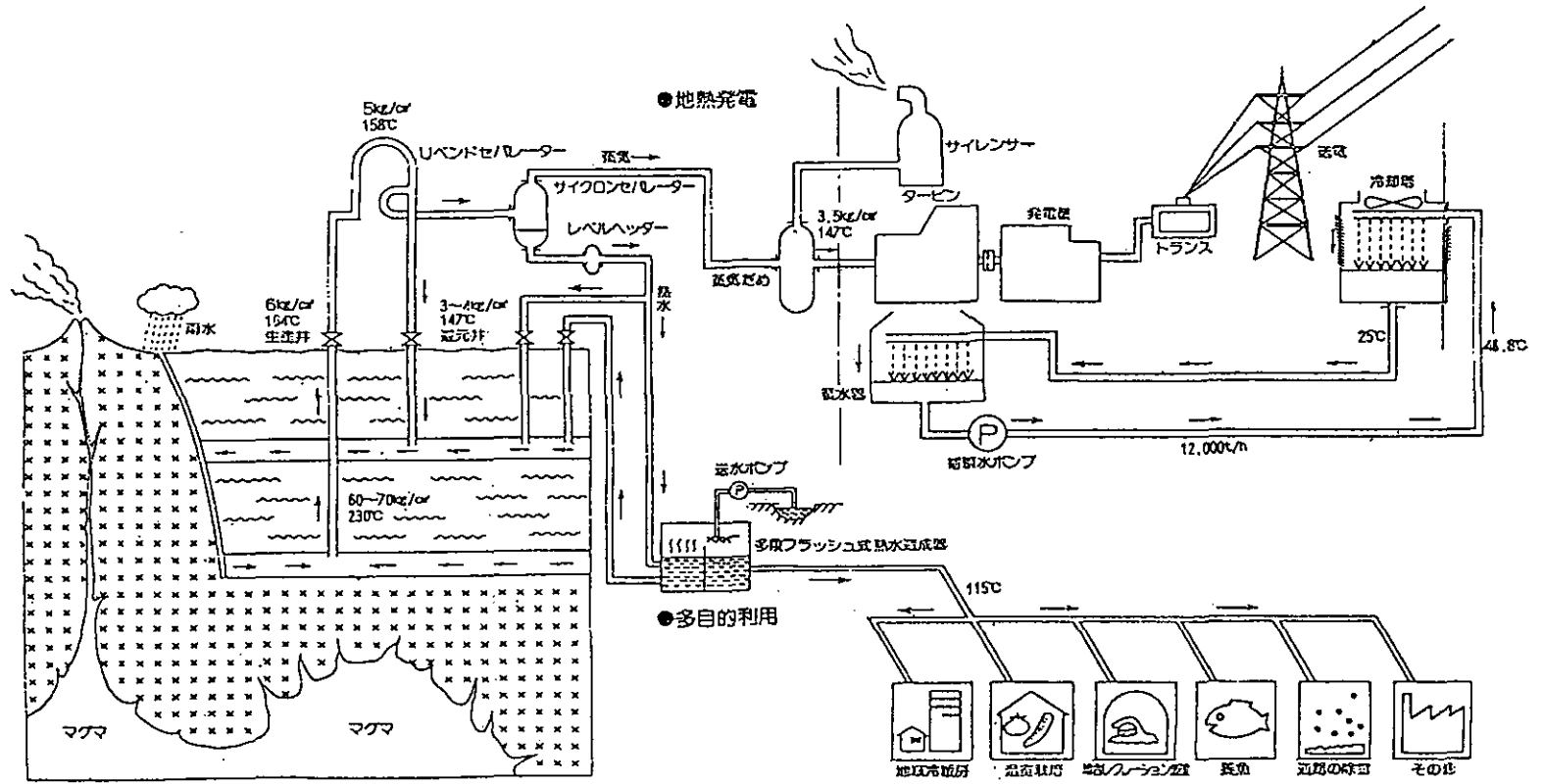


図 1. 8. 2 地熱発電のしくみ

岩手県内地図

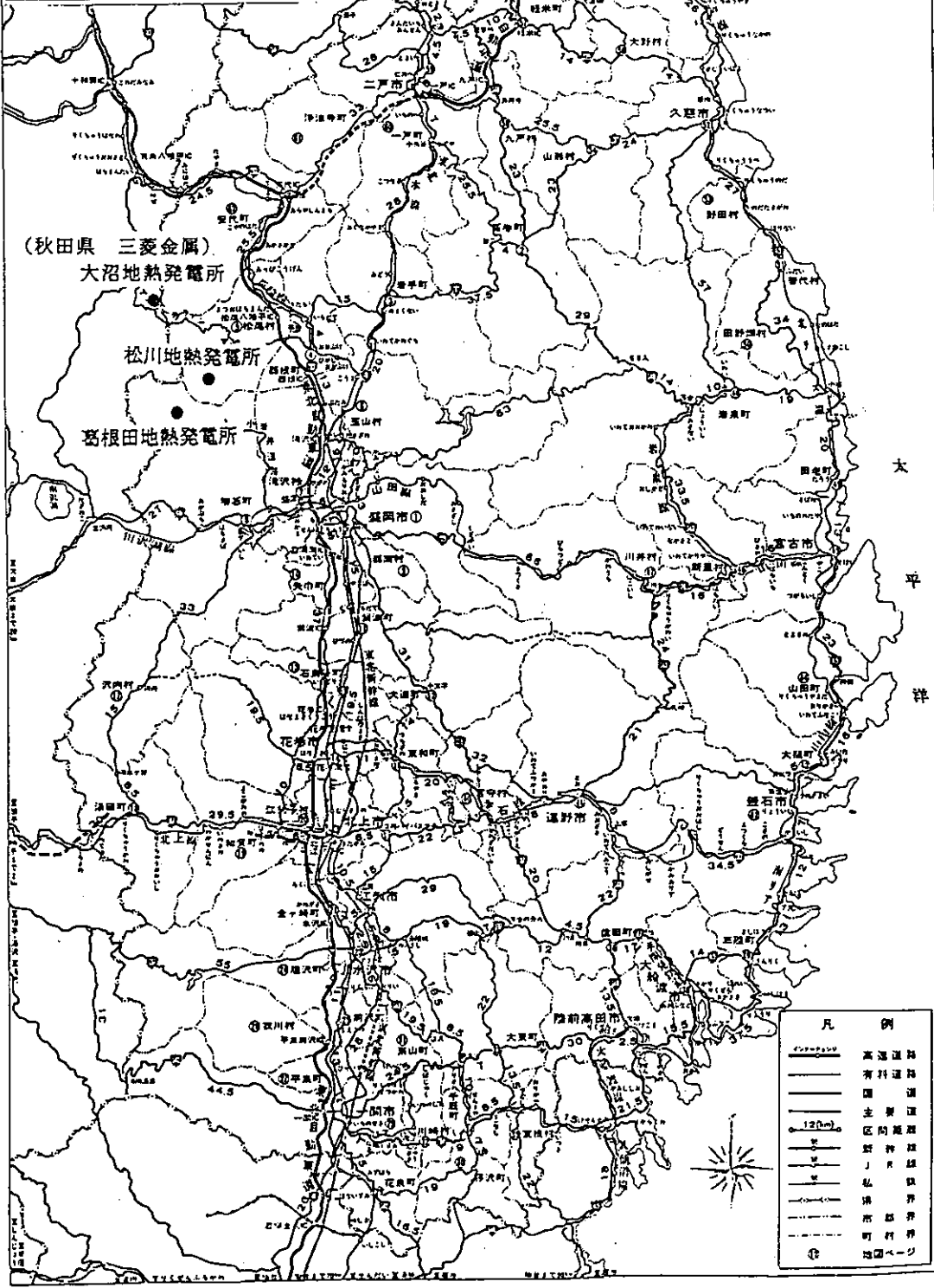


図 1. 8. 3 地熱発電所の位置

表 1. 8. 2 松川地域の開発経過

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
設置切済	■																						
開発切済	■			■																			
切込井掘削	■			■																			
許認可								▲															
生産井掘削								■	■														
パイプライン工事										■													
発電所工事																							
運転開始												10 ▼ 9.5MW	4 ▼ 12.5MW	3 ▼ 20MW									
																							4 ▼ 22MW

表 1. 8. 3 葛根田地域の地熱開発経過

年	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	1	2	3	4	
1. 葛根田地熱発電所 (東北電力・日本化学工業)																																				
設置切済																																				
開発切済																																				
開発地決定																																				
許認可																																				
切込井掘削																																				
生産井・還元井掘削																																				
パイプライン工事																																				
発電所工事																																				
運転開始																																				
																																				5 ▼ 50MW
2. 葛根田2号地熱発電所 (東北電力・東北地熱エネルギー)																																				
設置切済																																				
開発切済																																				
開発地決定																																				
許認可																																				
土木工事																																				
生産井・還元井掘削																																				
パイプライン工事																																				
発電所工事																																				
運転開始予定																																				

います。

以上の経過をたどりまして運開した2つの地熱発電所の操業状況を紹介いたします。

図1.8.4は、2万2,000kWの松川地熱発電所で操業し続けた成績でございます。年間の出力の平均でございますが、昭和48年以降、つまり2万2,000kWに出力を上げてから、平均2万600kWでございます。多少増減しているところもありますが、ほぼ安定して操業し続けているという状況でございます。

一方、図1.8.5には葛根田地熱発電所の操業状況を示します。昭和53年に操業開始して以来、発電出力は上がり下がりがございますが、11年間の平均をいたしますと、4万3,200kWという状況になります。

2つの発電所の総発電量を整理してみますと、表1.8.4のようになります。松川地熱発電所は、昭和41年以来昭和63年までで約35億kWh、葛根田地熱発電所のほうは、昭和53年以降63年末まで、松川とほぼ同じように37億kWhです。合計いたしますと、松川では23年間、葛根田では11年間で実に72億kWhの発電を地熱資源で継続しているという状況でございます。

この発電電力量を石油に換算するとどのようになるかといいますと、約173万キロリッターぐらい必要になるはずであるということで、実に20万トンタンカーで約8隻分を2ヵ所の地熱発電所で生み出したということに換算されます。

発電出力としては規模が小さい地熱発電ですが、当社の地熱発電所があります岩手県内の状況を見てみますと、図1.8.6のようになります。

この資料によりますと、岩手県で年間必要な電気量は50億kWhでございます。そのうち県内で賄っているのは実に3分の1ほどでございまして、残りの約7割は県外からの受電に頼っている実情であります。このように非常に自給率が低い県でございますので、そういう意味では、当社の地熱発電所は、ローカル電源としては非常に重要な意味を持っているんじゃないかと思えます。

次に、日本国内における地熱発電所の様子を見ますと、表1.8.5、図1.8.7のようになります。

現在、地熱発電所は9ヵ所稼働しています。最初にできたのが当社の松川地熱発電所でございますが、以降、昭和59年までに合計出力が約22万kWぐらいであります。その分布を見てみますと、九州地方と東北、北海道地方に集中していて、日本列島の真ん中には一つもないという状況でございます。

さらに世界の状況をご紹介いたしますと、表1.8.6のようになっています。

これは2年前の資料でございますが、合計出力約500万kWでございます。1位がアメリカで約220万、2位がフィリピンで約90万、3位メキシコ、約65万、4位がイタリアの約50万、日本は5位で約22万kWであります。以下、ニュージーランド、インドネシアと続いております。

今まで地熱エネルギーを電気にする状況のお話を申し上げたわけでございますが、実は先ほどご紹介いたしましたように、地下からは熱水と蒸気がまじった状態で噴出してまいります。我々が利用しているのは蒸気のほうだけで、出てくる熱水は地下にそのままの状態に戻しているわけ

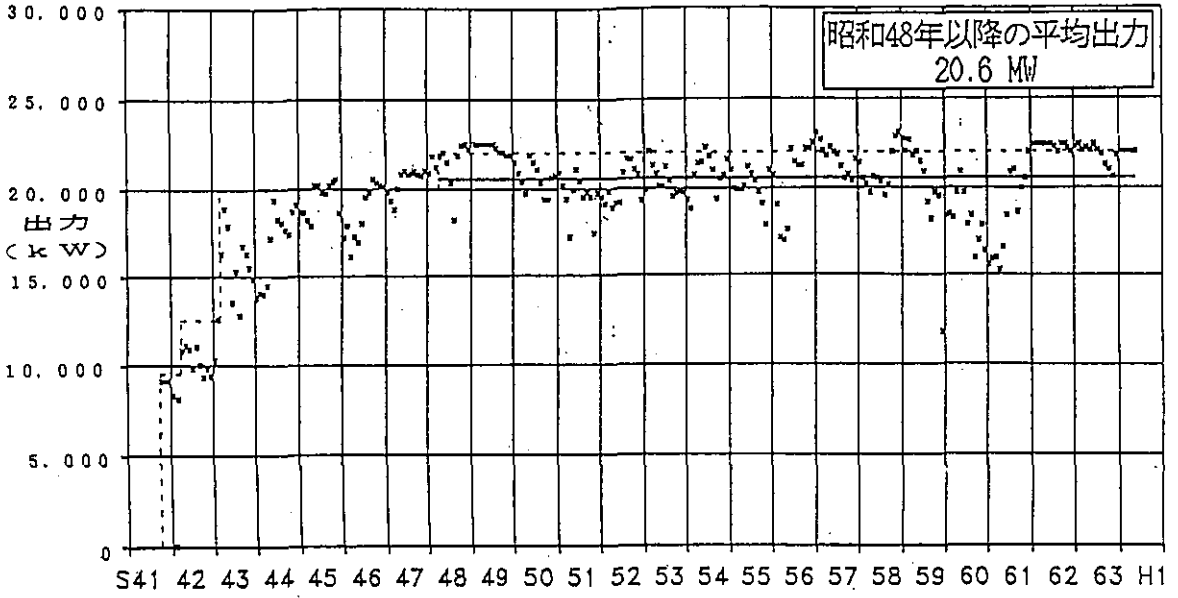


図 1. 8. 4 松川発電所発電出力
(発電時間平均の推移)

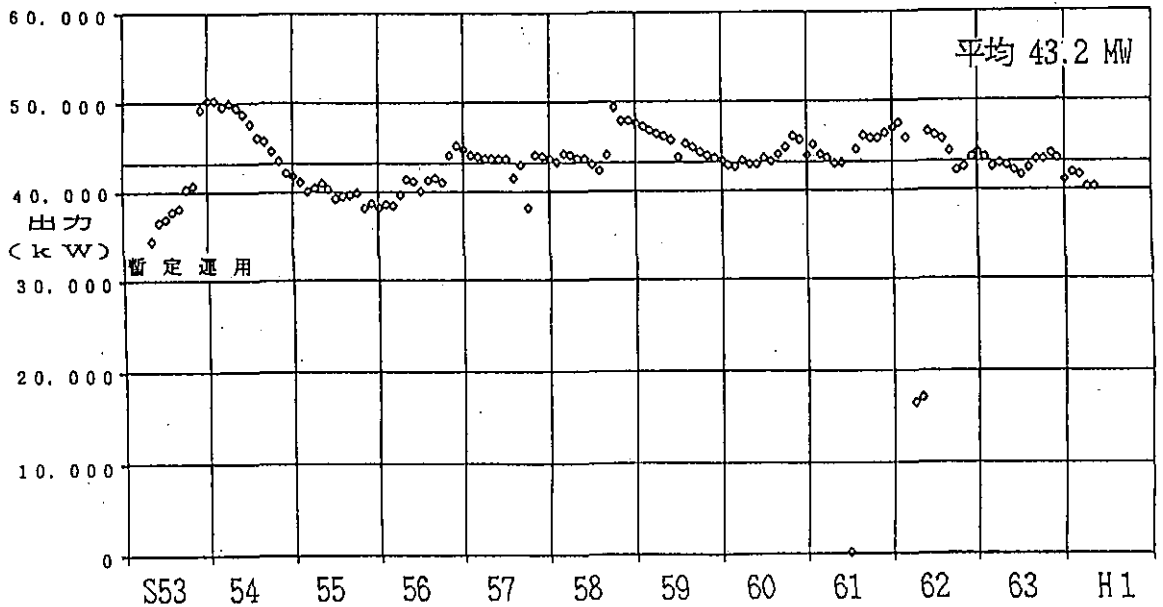


図 1. 8. 5 葛根田発電所発電出力の推移

表 1. 8. 4 発電電力量の実績

年	松川発電所		葛根田発電所	
	発電電力量 (kWh)	累 計 (kWh)	発電電力量 (kWh)	累 計 (kWh)
41	17,120,500	17,120,500		
42	67,439,600	84,560,100		
43	106,673,800	191,233,900		
44	142,354,900	333,588,800		
45	162,518,100	496,106,900		
46	153,108,300	649,215,200		
47	172,558,700	821,773,900		
48	181,073,900	1,002,847,800		
49	185,910,900	1,188,758,700		
50	173,234,500	1,361,993,200		
51	150,629,300	1,512,622,500		
52	170,349,800	1,682,972,300		
53	164,587,300	1,847,559,600	172,638,400	172,638,400
54	175,808,400	2,023,368,000	381,921,100	554,559,500
55	163,373,800	2,186,741,800	334,520,800	889,080,300
56	173,979,800	2,360,721,600	336,527,700	1,225,608,000
57	176,353,400	2,537,075,000	357,574,800	1,583,182,800
58	176,643,300	2,713,718,300	370,926,700	1,954,109,500
59	150,651,800	2,864,370,100	351,744,300	2,305,853,800
60	149,545,300	3,013,915,400	359,898,000	2,665,751,800
61	153,299,200	3,167,214,600	329,157,300	2,994,909,100
62	185,234,000	3,352,448,600	321,203,100	3,316,112,200
63	180,557,200	3,533,005,800	358,079,400	3,674,191,600

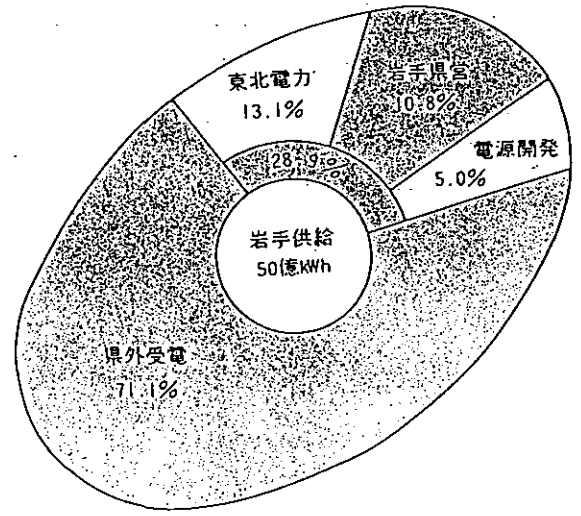
1. 総発電電力量

- (1) 松川発電所 (23年間) 35億キロワットアワー
- (2) 葛根田発電所 (11年間) 31億キロワットアワー
- (3) 合 計 12億キロワットアワー

2. 石油換算 (C重油)

約 113万kl (年間12万kl)

※ 10万トンタンカー 約8隻分 (10万トンタンカー 約1隻/年)



県内発電設備の概要

- (1) 東北電力 11万kW
- (2) 公営ほか 11万kW
- 合計 22万kW

図 1. 8. 6 岩手県の電力量構成比率 (昭和52年度) (自家発は除く)

表 1. 8. 6 1987年における各国の
地熱発電設備容量

(1987年8月現在)

国名	地域・発電所	設備容量 (MW)	国別計 (MW)
① 米国	Geysers	1,918	2,211.85
	Heber	94	
	Salton Sea	44.5	
	Milford	20	
	Beowawe	17	
	East Mesa	36.5	
	Desert Peak	9	
	Coso	27	
	Steamboat	19	
	他	26.85	
② フィリピン	Tongonan	115.5	894
	Tiwi	330	
	Mak-Ban	330	
	Palimpinon	118.5	
③ メキシコ	Cerro Prieto	620	655
	Los Azufres	35	
④ イタリア	Larderello	171	504.2
	Castelnuovo	50	
	Serrazzano	47	
	Lago	33.5	
	Radicondoli	30	
	Latera	4.5	
他	168.2		
⑤ 日本		215.1	215.1
⑥ ニュージーランド	Wairakei	157.2	167.2
	Kawerau	10	
⑦ インドネシア	Kamojang	85.25	87.25
	Dieng	2	
⑧ エルサルバドル	Ahuachapan	95	95
⑨ ケニア	Olkaria	45	45
⑩ アイスランド	Namafjall	3	39
	Krafla	28	
	Svartsengi	8	
⑪ ニカラグア	Momotombo	35	35
⑫ トルコ	Kizildere	20.6	20.6
⑬ 中国	Yangbajang (羊八井) 他	11,586	11,586
⑭ 台湾	Chingshui 他	3	3
⑮ ソ連	Pauzhetskya	11	11
⑯ フランス	Guadeloupe	4.2	4.2
⑰ アゾレス	Pico Vermelho	3	3
⑱ ギリシャ	Milos	2	2
	計		5,003.986

(出典) : R. DiPIPPo (1988) International
Developments in Geothermal Power Production,
Geothermal Resources Council Bulletin Vol. 17,
No. 5, P. 8-18

表 1. 8. 5 我が国の地熱発電所 (1)

(昭和62年12月現在)

会社名	発電所名	所在地	認可出力(kW)	運転年月
日本重化学工業㈱	※松川	岩手県松尾村	22,000	41年10月
九州電力㈱	大岳	大分県九重町	12,500	42年8月
三菱金属㈱	※大沼	秋田県鹿角市	10,000	49年6月
電源開発㈱	鬼首	宮城県鳴子町	12,500	50年3月
九州電力㈱	八丁原	大分県九重町	55,000	52年6月
日本重化学工業㈱	葛根田	岩手県平石町	50,000	53年5月
東北電力㈱				
錦杉乃井ホテル	※杉乃井	大分県別府市	3,000	56年3月
道南地熱エネルギー㈱	森	北海道森町	50,000	57年11月
北海道電力㈱				
大和紡観光㈱	※霧島国際ホテル	鹿児島県牧園町	100	59年2月
合 計	9ヶ所		215,100	

※：自家発電



図 1. 8. 7 我が国の地熱発電所 (2)

でございますが、熱水をただ戻すのは少しもったいない、その熱を利用しようという考え方がございます。これが熱水の多目的利用ですが、実は葛根田地域でも磐石地域の地熱熱水供給事業実証調査ということで、国のプロジェクトとして現在進行中でございます。

先ほど申し上げましたように、葛根田地域では蒸気1に対して熱水が4～6倍ほど噴出してまいりますので、これを熱量として見ますと、蒸気が4割、熱水が6割ぐらいの比率で多量のエネルギーを噴出し続けているわけです。その熱水の持ってくる熱の一部を利用するというのが熱水供給事業でございます。

図1.8.8で説明いたしますと、地熱発電所から約3,000t/hの熱水が出てまいります。このうち約2,000t/hの熱水は地下に戻していきます。残りの約1,000t/hの熱水を熱交換いたします。これは熱交換器で河川水を温めて、原熱水から温度だけを取り出して、原熱水はそのまま還元して地下に戻してやる方法です。熱交換すると、河川水は115℃まで熱せられた温水になりますから、この造成された温水約800t/hを14～15km離れている地域まで運びまして、いろいろの施設に供給しようという計画でございます。

115℃の温水のうちの約3分の1の300t/hは、高温の状態では工業用熱源にいたします。残りの115℃の温水約500t/hに水を薄めて85℃にして、例えば観光熱源とか民生用の厨房用暖房熱源とか、あるいは農業用熱源としていろいろの利用方法を考えているようでございます。

いずれにしても、現在、諸設備が整ったところでございまして、ようやくその実証試験が実施の段階になったということで、こちらのほうも地域住民にとりましては非常に期待されるところでございます。

以上、とりとめもないお話で恐縮でございましたが、我が社が取り組んでおります地熱発電の状況、あるいは現在進めております熱水の熱源利用ということをお話し申し上げまして、終わりにさせていただきます。

○司会 どうもありがとうございました。

松尾先生のご講演に対してご質問がございましたらよろしくお願いたします。

司会者のほうから1つだけご質問したいんですが、地熱発電が地球温暖化対策のためにどのくらい役に立つかということを一言で言うと、今のところどういう見通しでしょうか。

○松尾 問題が大きいですので余り言及はできないんですが、いずれにしても地熱発電は確かに代替エネルギー政策の一環としてやっているわけです。では、ベース電源に取って代われるかということになりますと、容量的には非常に少のうございますので、どうしてもピンチヒッターはできないんでしょうが、その一部は担うことはできると思います。

そういう意味では、化石燃料を使った発電に比べれば少しはいいだろうということから、寄与はできるんじゃないかという感じはします。

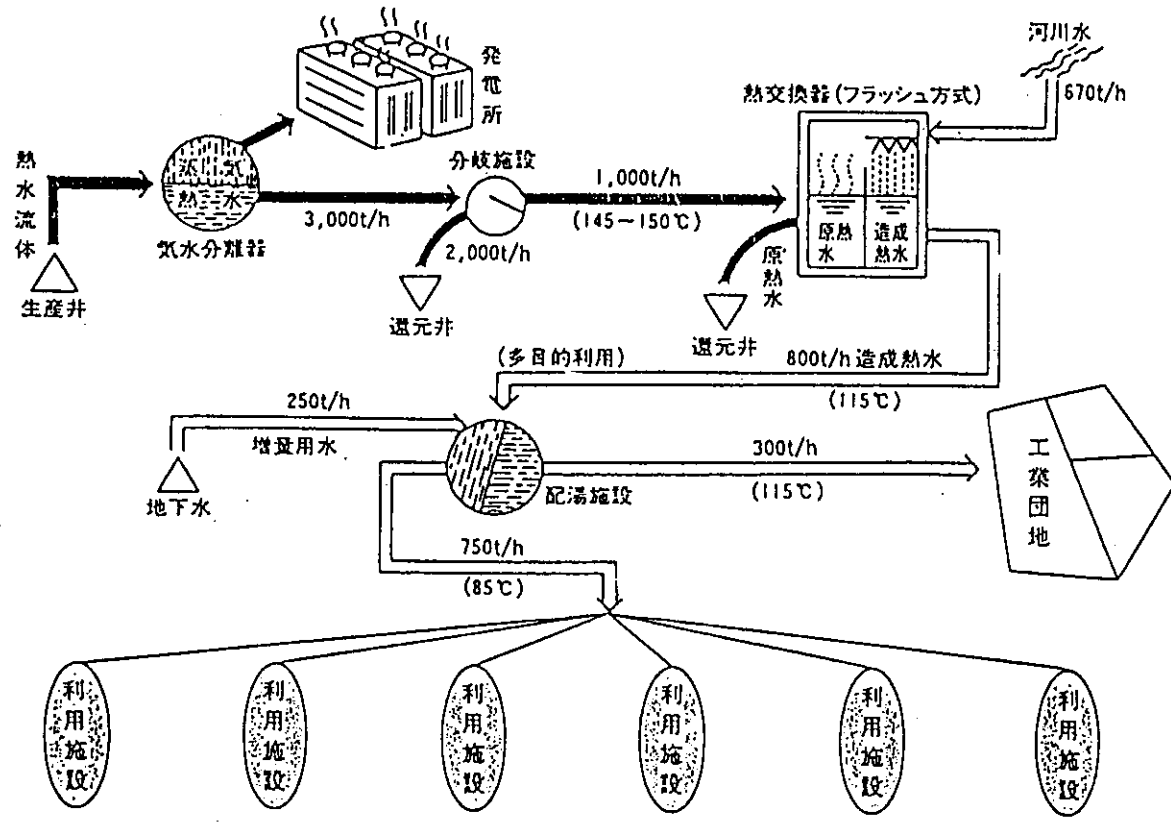


図 1. 8. 8 熱水供給システムフロー図
 (出典：翠石地域地熱熱水供給事業実証調査)

I-9. 地球温暖効果微量ガスの存在、生成ならびに制御のための生物地球科学的アプローチ
(メタンを中心として)

* 都留信也 (農業環境技術研究所)

大変なる題で話題を提供することになっておりますが、内藤先生を通じて、清水総合司会から突如何か話せというお話がございました。たまたま私も病み上がりで、何となくイエスとお答えしたのですけれども、本日このようなセミナーで、特に炭酸ガスを中心にした対策技術という話がハイライトになっているということは存じませんで、もう少し事前に内容を詳しく伺っておけばよかったなと後悔しておるところであります。

約10日前に京都で第5回の微生物生態シンポジウムという国際会議がございまして、たまたまつくばを離れているときでしたが、日本経済新聞あるいは東京新聞の8月30日号に「メタン年間100万トンの発生」という大変センセーショナルな新聞記事がございまして、こういう話について少し農業サイドから反論をするというか、現状はどうなっているかを少し皆様方にご理解いただけるような話でもすればよろしいのかなということで、お引き受けいたしましたわけでございます。

このようなセミナーでございまして、つくばの国研の研究者仲間としては顔見知りの方もたくさんございますので、情報交換させていただくチャンスにはぜひ出させていたいただきたいと思っておりましたので、つついそれに釣りに込まれました結果が本日の次第であります。

現在、私は、たまたま「環境情報科学」という、環境庁の社団法人「環境情報科学センター」の雑誌の編集委員長を仰せつかっておりますが、本年8月号では、今日の地球規模の環境問題を取り上げ、国公研の先生方はじめ関係の諸先生方に執筆していただきましたので、後ほど事務局のほうへ資料としてお渡ししたいと思います。

農林水産省に関係するものとしては、農林水産技術情報協会がございまして、この8月号でやはりタイミングよく、地球の温暖化の農林業に関する特集号を組んでございます。

こういった参考資料があるということをもっと最初にご紹介させていただきまして、本日のテーマであるメタンの問題を取り上げることにしたいと存じます。皆様ご承知の昭和63年度科学技術庁の振興調整費による重点基礎研究で、農業環境技術研究所におきましては、「農業生態系における大気メタンの動態解明」というテーマで、わずか1年ではございますが、調査研究を実施しております。

ここには参考文献として研究内容の概要のとりまとめが印刷されております。参考文献が8、研究発表が10ばかりございます。わずか1年の間にはありますけれども、こういったようなことで一応研究をとりまとめている。所内研究発表会が昨日終わったばかりですので、本日は、各関係者のご諒解並びにチームリーダー等の諒解も得た上で、そこに報告された内容について、

* 現 熱帯農業研究センター

まずはスライドでお見せすることにいたします。

メタンがどこから出るのかという、オカレンスなりオリジンなりの話がいろいろな方面から提出されています。まず、1975年と申しますから、1988年のシセロンたちの報告よりも10年以前に出されている、ヨーロッパで主にまとめられた仕事があります。農業系から出てくる廃棄物処理の中での動物の排泄物、あるいはそれを堆肥にするわけですが、大型のウシ、ウマからヒツジ、ヤギに至るものがあります。一体、年間にメタンが 10^{12} グラムでどのくらい出るか。トータルで約 $100 \times 10^{12} \text{CH}_4/\text{yr}$ という数字です。メタンとして動物から放出されている数字になっているわけです。

いずれにしてもこれは動物系から出るもので、本当はこれに人間の排泄物も加えなくてはいけないのですが、1975年時点では人間のものは出ていなくて、動物のみということになっています。そのほか陸上生態系、あるいは海洋生態系からメタンが放出されることとなります。

本日の話題で一番重要なところは水田からのメタンの放出でしょう。年間のメタン生成量として、 $280 \times 10^{12} \text{gCH}_4/\text{yr}$ という数字が出ております。

先人の研究データではございますけれども、当時の東京大学農学部の高井康雄先生のデータと名古屋大学水研の小山忠四郎先生のデータなどが、主としてヨーロッパのバックデータに利用されているということでございます。

そのほか、いろいろな陸上の生態系、例えば湖沼、畑地はじめ、森林、ツンドラなどでメタンが生成、放出されているということですが、人為のかかったところの水田の値がやはり最大となっております。動物の腸内発酵によるメタンが水田と同じくらいあるということで、合計すると、陸上生態系からのメタン放出量は、約 $800 \times 10^{12} \text{gCH}_4/\text{yr}$ です。

なお、石炭、泥炭、リグナイトといったようなオープンカットの鉱山、あるいは自動車、火山の爆発に付随してメタンが放出されているのですが、こういったものを合計したとしても、約 $200 \times 10^{12} \text{CH}_4/\text{yr}$ という数値であります。

次に、15年後にどのくらい変わって、これからどのくらいになっていくのかを検討した結果について見ることにします。

Ramanathanの1987年のデータに基づきますと、西暦2020年には二酸化炭素濃度の増加、伸びよりも、ほかの微量ガスフラックスが大きく地球の温暖化に影響してくるということになっております。しかし、メタン濃度は、少なくとも、いずれの年代においても大体同じようなレベルを保っているであろうということで、現在の世界人口が60億あるいは今後100億ぐらいになると予測されておりますけれども、そのときの各地における水田、田畑等から放出されてくるメタンの推定値も同一レベルに迫ると予測されているということでもあります。

1988年の「Nature」に出されている皆さんよくご承知のデータがあります。工業化の進展に伴って1900年代の中期より急上昇してきている。二酸化炭素濃度の増加と同じように、それに伴った産業活動の結果、大気中のメタン濃度は大気中約1%になっているということで、二酸化炭素

と同じように、メタンの問題についても人間の活動が大きく関係しているのではないかという推定を肯定するデータとなっています。

Rasmussenのデータについては、やはりよく承知されているところです。1985年に南極の余り人のいないところと、太平洋上で定点観測したデータとを比べると、南極のほうが大変低くなっていますが、メタンの大気中での増加の傾向は同じようなもので、大気の攪乱によってだんだん増加しているということが明らかであります。1989年以降になりますと 1.7ppmぐらいになるということです。

わが国におきましては、このような観測が定期的に行われているところは少のうございますので、既存のデータによって代表させていただきますと、青森県八戸における大気メタン濃度は、1981年、83年、85年という期間において、約 1.8ppmまで上昇しています。

1988年の現場観測を陽が行っておりますが、これによって見ましても、年間のメタン濃度を 10^{12} グラム単位で見えますと、先ほどの1975年のヨーロッパのデータと数字は多少違いますけれども、いずれにいたしましても家畜の腸内あるいは水田等から放出されるメタン発生は大きいことが明らかです。湿地、水田を合わせて41%、家畜を合わせてさらに56%、そのほかバイオマス燃焼も合わせると60%ちょっと超えるということでございますので、パーセンテージから見れば、実測値ではありませんけれども、大体同じような状況が存在しているのではないかと考えられます。

1年間の重点基礎研究でございますので、文献調査と同時に、つくば市谷田部の農環研の水田圃場で、水稻群落のちょうど上のあたりからどのくらいメタンが放出されてくるか測定するための装置を組み立てて観測しているわけです(図1.9.1)。

季節的なガスフラックスの揺らぎを見ていますが、水稻が成育しているところからメタンがどのくらい放出されるのかということが、私どもの研究の1つのねらいとなっています。

水稻の穂のちょうどすれすれのところと、もう少し上の高いところの間の差を見ているわけですが、現在のところ、まだ精度の高い装置ではございませんので、今後とも改善してこの精度を上げていかなければいけないということが問題点として残されています。

さて、大気中の、特に対流圏の中におけるメタンの挙動について見ますと、大気中のメタンはヒドロキシル基(-OH)によって化学的に変化を受けて分解され、あるいは滞留する時間も、10年ぐらいでさらに分解されてほかの化学物質に変わっていくメカニズムが指摘されているわけですが、これらのメカニズムについては、私どもは高層気象のほうの研究担当ではございませんので、取り扱っておりません。

少なくとも水田土壌について見ると、水田からメタンがたくさん放出されているのであるということになりますが、いずれにいたしましても、土というのはいろいろな人間の営為がかかわっていて、自然の土ではありません。そこで水稻をつくっているということでございますし、化学肥料、あるいは稲わらなどを施用している。そのほかいろいろな処理によってメタンの放出が違

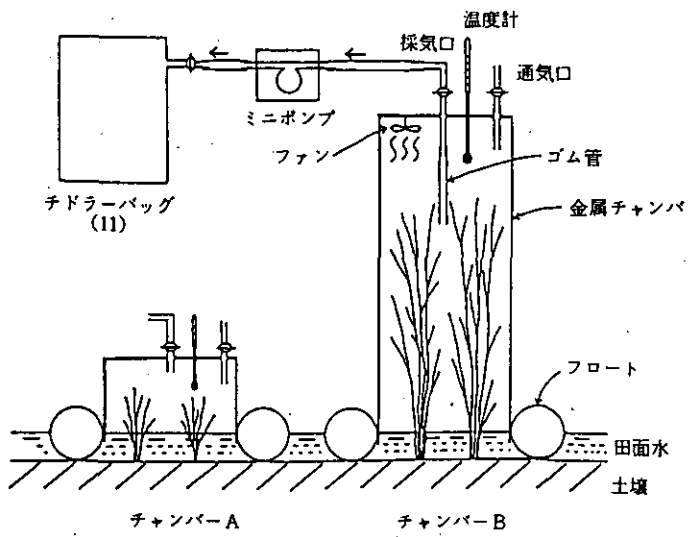


図 1. 9. 1 測定に用いたチャンバーと試料の採取方法

ってくるということでございますので、これに関しては、精密に測定した実測値が必要となります。

水稻の群落構造を精密に計測することのできる装置がないとなかなかうまく測定されないので、これまでもチャンバー法の一部改良ということで、いろいろ工夫はいたしましたけれども、完全に捕捉するというよりは、現状では、できるだけ何とか使えるような、あるいは測定できるような技術でメタン等を把握していきたいと苦労しているところであります。

いずれにいたしましても、沖積土と火山灰土ではメタンの放出が違うのだということで、ライシメーター装置を使って測定しておりますが、タイムコースに従って、メタンの放出が沖積土のほうで多いということです。これは利根川下流域の竜ヶ崎市の茨城県農業試験場の水田と、近くの農家の水田の両方を比較しながら測定したわが国におけるデータでありますので、現在のところ、ファクトデータでございます。

そのほか、メタンは土壌から放出されるのか、出面水のメタンが大気中に揮散してくるのか、あるいは水稻組織を通じてメタンが放出されてくるのかという細かい仕事も、このプロジェクトの中では行われております。

メタンの生成は化学的な反応によるわけではございませんで、そこに必ずメタン生成菌が、いろいろな有機物からの栄養をもとにしながらメタンを生成するというところでございますので、こういった土壌、田面水、あるいは水稻根圏のメタン生成菌の状況を把握することによって、そこでメタンの生成を抑えていくための対策技術が当然考えられるということでございます。

わが国においては、水稻栽培は、東南アジア、あるいはバングラデシュにおけるような浮き稲系統の水稻をつくっている国々とは違いまして、途中で中干しをしたり、減水深を調節しながら、毎日3ミリから5ミリぐらいの水を動かしていくというような、水のかけひき技術、あるいは基盤整備により酸化的条件にして、メタンが放出されにくいような条件にすることもできるわけでございます。なおかつ、水田のある部分においては、1日にメタンがかなり放出されているということです。今後、メタンの放出防止技術は農業対策からも必要であると同時に、これまでの農業技術と新しい農業技術との開発動向によって、メタン放出の増加傾向を抑えるようなことを東南アジアの水稻主産地域へも技術転移していくことが、当然考えられるわけであります。

ここに述べた基礎的な実態調査、メカニズム解析、測定技術、予測技術、そういうものが、今年1年、環境研で研究実施されたという事実報告にとどめておきたいと思っております。

以上、簡単ですけれども、時間が参ったようでございますので、ここで私の話を終わりにさせていただきます。

どうもありがとうございました。

森林は、再生可能な資源として、木材生産だけでなく、水土保全等の環境を保全する多面的な機能を持っています。そうした資源を古来人類が利用してきたわけですが、再生可能な資源といえども、利用の仕方によっては限界があるということです。近年森林に直接間接的なインパクトをもたらし、再生の限界を越えた資源利用が大規模に、また急速に進行しつつあり、それが森林資源の消失・衰退となって温暖化など地球環境の問題にもつながってきていると思います。

今、温暖化との絡みで森林資源がどういうところで問題になっているかを、図1.10.1にまとめてみました。地球温暖化に対して、森林の消失・衰退、特に、熱帯地域で進んでいる消失が、温暖化にかかわる温室効果ガスの1つのソースになっているということがわかってきました。この森林消失・衰退にどういった要因がかかわっているかといいますと、汚染物質の排出の影響、特にヨーロッパでは酸性雨等による森林の衰退が大きな問題になっていますが、こうした森林の衰退をもたらしている大気汚染、また、熱帯地域で進んでいる無秩序な焼畑移動耕作や燃材採取、過放牧などの要因があります。

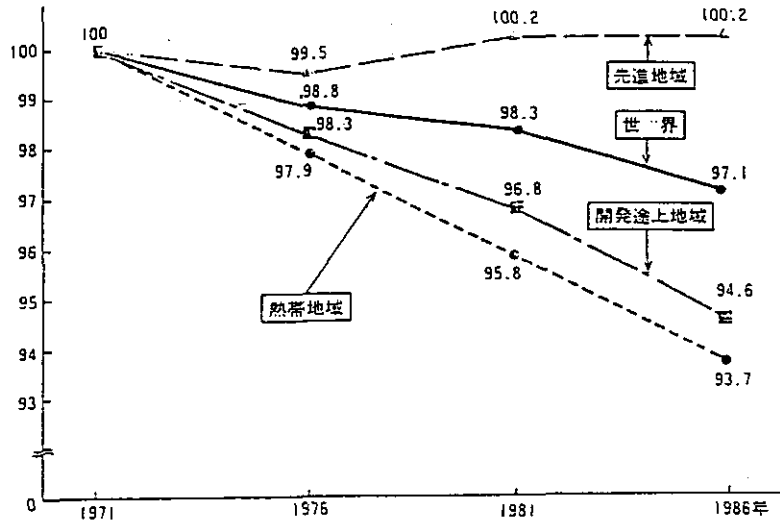
こうした要因をもたらす背景として、1つには、工業生産システム、エネルギー生産システム、あるいは資源の利用システムのあり方の問題があると思われます。もう一つは社会経済的な問題ですが、これは、人口爆発・貧困とそれに伴う食糧・エネルギーの問題で、特に開発途上国の多い熱帯地域において大きな問題となっています。こうした背景と要因があって、森林の消失・衰退が進行し、CO₂の放出、砂漠化をもたらし、それらが地球規模の気候変動にもかかわっているわけです。

したがって、温暖化対策における森林の対応としては、1つは、森林のCO₂固定機能を高め、CO₂の放出をできるだけ抑制すること、もう一つは、温暖化した場合の影響を予測していかに適応していくか、ということになります。

初めに、森林の消失とCO₂の発生源（ソース）の関係について触れてみたいと思います。

1971年から1986年の間における森林面積の推移を見ますと（図1.10.2）、熱帯地域では直線的に減少しているのに対して、先進地域——中高緯度地域が中心になりますが、ほぼ横ばいか、やや増加しています。熱帯地域に絞って見ますと、これはFAOとUNEPの1981年の報告で、1980年ごろから1985年についての推定ですが、熱帯アメリカ、熱帯アフリカ、熱帯アジアの76カ国の閉鎖林、疎林が、総計で、年間1,130万ha減少している。これは日本国土の約3分の1に相当します。

図1.10.3に示されているように、1,130万haのうちで、閉鎖林が750万ha、疎林が380万haとなっています。焼き畑等によって消失した跡地に2次植生が再生して、2次林化してくるような場所を休閑林と呼んでいます。そうした休閑林が510万ha、あとは林地の転用によって農地あ



資料: FAO「生産年鑑」

- 注: 1) 森林面積には、天然林、人工林のほか造林予定の伐採跡地が含まれている。
 2) 熱帯地域とは、開発途上地域の内、熱帯に属する76か国である。

図 1. 1 0. 2 世界の森林面積（指数）の推移

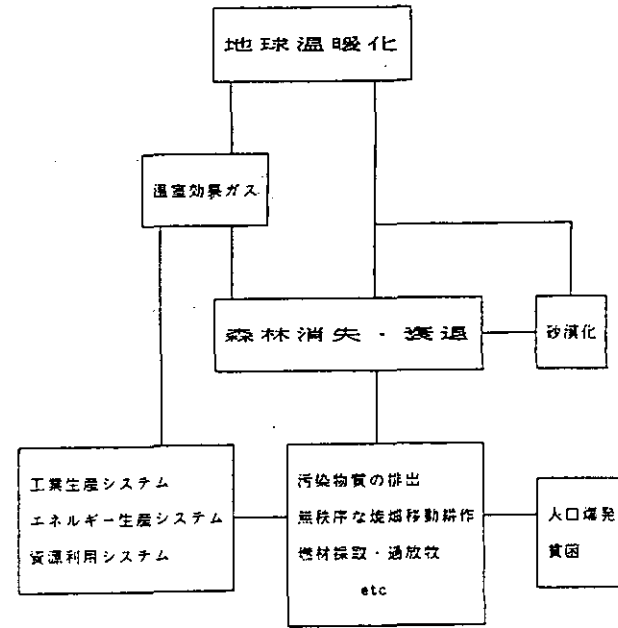


図 1. 1 0. 1 森林の消失・衰退と地球温暖化に関わる諸要因

るいは牧草地等に変わっていく土地が 620万haとなっています。

焼畑移動耕作がこうした熱帯林消失の大きな要因の1つとされています。焼畑移動耕作は、土着農民によって古くから伝統的に行われており、彼らは森林の再生に必要な条件を経験的に理解しており、小面積の焼畑や短期間の利用にとどめて次に移動することで、森林資源をうまく利用してきました。しかし、近年、外部から農耕を求めて多くの人が森林地帯に入って、無秩序な焼き畑が行われ、土地は消耗し土壌侵食が進み、放棄されていく。こうした場所では、森林の再生も極めて困難となります。また、商業伐採のために作られる林道がより奥地へ焼き畑を拡大する要因ともなっているとされています。こうした背景には、前述しましたように、人口の急激な増加と貧困の問題があります。

一方、中高緯度地域では、大気汚染等による森林の衰退が大きな問題となっています。

表1.10.1は、ヨーロッパでの森林の衰退状況をECがまとめたもので、ソ連を除くヨーロッパ各国の衰退面積が総計 3,000万haに達しています。こうした衰退によってCO₂の吸収・固定が抑制されることになります。

次に、森林と大気との間の炭素フラックスについてですが、これについて発表されたいくつかの報告によりますと、かなりの量の炭素が森林から放出されています。しかし、その放出速度は、報告によってかなり幅があります。各報告を総合しますと、その値には、地球全体として4億トン/yrから80億トン/yrの幅があり、ウッドウエルの初期の報告(1977)では、200億トンという試算もあります。最近、ホートン(1987)らは、地球全体で10億から26億、このうち熱帯地域で9億から25億トンと報告しています。いずれにしてもかなりの幅があり、これは、計算の根拠となる資源面積や蓄積のデータが熱帯地域についてまだはっきりしていないためです。例えば休閑林と疎林を人によって異なるとり方をしているために、面積も違ってきます。いずれにしても熱帯の森林資源量の情報が非常に不正確なところがあり、リモセン技術による森林資源と土地利用形態に関する的確な情報収集が急がれているところです。

CO₂のソースとなっている森林を少なくともソースにしないためには、森林面積を増やし、衰退した森林を活性化する必要があります。

ホートンらの報告にある、熱帯林からのCO₂放出速度の下限值9億トン/yrを消去するためには、どのくらいの森林面積が要するのか、ブラウンらのまとめた熱帯地域の人工林の面積と成長量のデータを使って試算してみますと熱帯地域全体で約 1,100万haの人工林があり、主に早生樹によって植栽されていますが、それらの平均的な純生産量を6.3 トンC/ha/yrとして単純計算しますと、約1億 4,000万haほどの森林を造成すれば9億トンカバーできることになります。これは日本国土の3.7倍に相当し、莫大な面積になります。いずれにしても地球環境を保全するためにも植林の促進と森林消失の抑制策を進める必要があります、このための国際的な協力が欠かせないでしょう。

次に、温暖化により予測される影響について見てみたいと思います。

表 1. 1. 0. 1 ヨーロッパの森林の推計被害状況
出典：地球白書1989

国	全森林面積	推計被害面積	被害面積比率
オランダ	311(千ヘクタール)	171(千ヘクタール)	55%
西ドイツ	7,360	3,952	54
スイス	1,186	593	50
イギリス	2,018	979	49
チェコスロバキア	4,578	1,886	41
オーストリア	3,754	1,397	37
ブルガリア	3,300	1,112	34
フランス	14,440	4,043	28
スペイン	11,789	3,313	28
ルクセンブルグ	88	23	26
ノルウェー ⁽¹⁾	6,660	1,712	26
フィンランド ⁽¹⁾	20,059	5,083	25
ハンガリー	1,637	409	25
ベルギー	680	111	16
ポーランド	8,654	1,264	15
スウェーデン ⁽¹⁾	23,700	3,434	15
東ドイツ	2,955	350	12
ユーゴスラビア ⁽¹⁾	9,125	470	5
イタリア	8,328	416	5
その他	12,282	不明	不明
合計	142,904	30,718	22

注：(1) 計量年からのデータ。その他はすべて計量年と広量年の合計である。

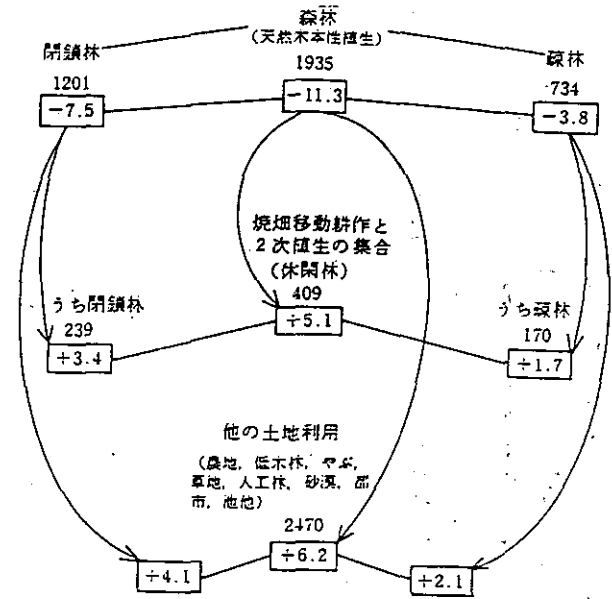


図 1. 1. 0. 3 熱帯林減少の模式図 (単位：百万ha)
出典：FAO, UNEP (1981)

図1.10.4は、アメリカのエマヌエルらが、真鍮らの2倍のCO₂になったときの気候変動モデルに基づいて、植生帯や森林帯がどう変わるかを予測したものです。亜寒帯、寒帯地域の森林の面積が23%から1%弱に激減し、熱帯林の面積は増加すると予測しています。

我々の森林総合研究所におきましても温暖化影響の研究会を設けておりまして、そこで検討された予測される影響の例を紹介します。日本の森林帯は、北から亜寒帯林、冷温帯、暖温帯、亜熱帯林と、大きく4つの森林帯に分けられ、これらの分布範囲は温量指数で規定されています。温暖化によって森林帯そのものが北へ移動すると予測されますが、それは例えば気温が3℃上がったところですぐ移動するのではなく、数百年以上のオーダーで移動するだろうと考えられています。より早く影響があらわれるのは開花期などの植物季節や種の分布で、特に分布の南限では生産力が落ち、次第に南限が北へ移ると考えられています。同様のことは垂直分布についても予想されています(図1.10.5)。例えば、筑波山の山頂にはブナ林が分布しておりますが、こうした独立峰では逃げ場がないために温暖化によってブナ林が消滅する危険も予測されます。

次は、ヒノキを例にして水分収支に与える影響を予測したものです。大気飽差が大きくなるほど蒸散量は増えるので、気温が3℃上昇したときにヒノキ林の蒸散量がどのくらい増加するかは、蒸散の実測値と気温・湿度の関係から日本各地について求められます。降水量は変わらないという仮定のもとに、各地の平均降水量と、温度が3℃上昇したときの蒸散量との差、すなわち余剰水分量を8月について見てみますと(図1.10.6)、中部地方の内陸部から瀬戸内にかけてマイナスになっています。これら地域では、蒸散量の分さえ賄えないほど乾燥条件になると予測されます。これはヒノキを一律全国に当てはめたこと、降水量は変わらないことを前提としておりますが、このような可能性も考えられるわけです。

次は、病虫害発生例で、松くい虫(マダラカミキリ)の生息分布の変化を予測したものです。マダラカミキリの生息分布は温度に依存しているため、有効積算温量を1つの物差しとして、分布範囲をある程度予測することができます。マダラカミキリが1世代を1年で生活するためには1,000日度以上を必要とし、例えば温度が1.5℃上昇した場合、その分布域は、現在は分布外にある青森県、岩手県北部、三陸地方に拡大し、本州全体が、マダラカミキリがベクターとなって拡がるマツの材線虫病にさらされると予測されています。

このほかに、温暖化に伴う降雪の量・質の変化による雪害や森林火災の発生、また、森林の物質生産や、森林生態系全体としての物質循環の変化なども予想されますが、これらを定量的に評価するには説明すべき多くの課題があります。

以上述べましたように、熱帯林の資源量の正確な把握やその消失のメカニズム、温暖化のより正確な影響とそのメリット、デメリットの予測などについて科学的情報に欠けている。具体的な温暖化対策を立てるにもこうした情報を収集していかなければならないが、現時点で考えられる温暖化対策について表1.10.2にまとめてみました。

1つは、森林からのCO₂放出をできるだけ抑制するための対策で、CO₂のソースとしない

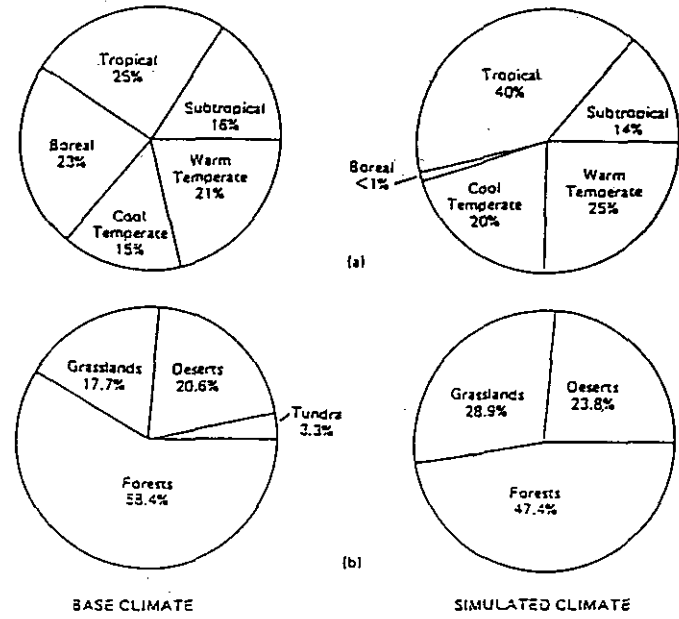
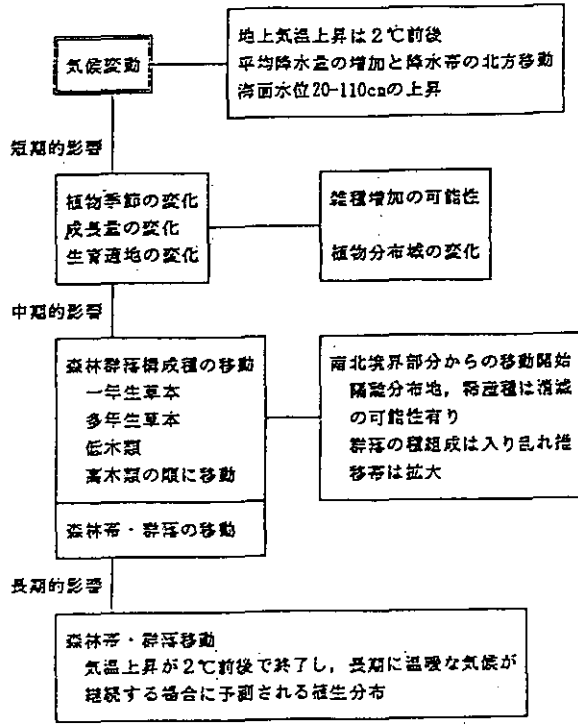


図 1. 1 0. 4 高CO₂濃度に伴う主要森林タイプ (a) とバイオマス (b) の変化予測 (エマヌエル 1988)

図 1. 1 0. 5 気温の上昇が森林帯、群集に与える影響 (斎藤 1988)

表 1. 1 0. 2 森林資源の保全と地球温暖化対策

1	抑制対策	
	資源の量的確保	----- 消失防止と再生
	資源の質的改善	----- 衰退林の回復、機能向上
	合理的な資源利用	----- 効率的な燃材利用 建築用資材の耐久性向上 木材成分の総合的利用
2	適応対策	
	資源の構造的適応策	----- 種多様性の確保
	資源の保全策	----- 遺伝資源の確保
	被害の発生子測と防止	----- 病虫害、森林火災の防止
3	基盤対策	
	適切な資源管理基盤の再編整備	
		----- 土地利用計画
		----- 資源の保全管理と計画的な木材生産
	社会経済的基盤の整備	----- 林業政策、社会林業 社会教育、技術の普及 森林基金、国際協力

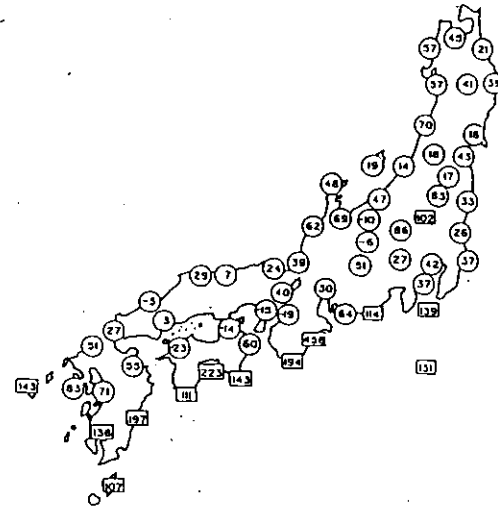


図 1. 1 0. 6 8月の現在月平均降水量から気温が3℃上昇した時の蒸散量を引いた余剰水分量 (森川、井上 1988)

ことが当面の目標となります。これには既存の森林の消失防止と造成によって資源の量的確保を進めるとともに、森林の質的改善を図ることです。熱帯地域の劣化した2次林やヨーロッパなどで問題となっている衰退した森林を回復させて、CO₂固定機能の向上を図る必要があります。さらに、木質資源の利用においても炭素をできるだけ長く固定しておくために、建築材の耐久性を高める化学的処理技術や廃材や木材成分の有効利用技術の開発が必要となります。

もう一つは、温暖化した場合の適応対策ですが、これは温暖化の影響予測に基づいて立てられます。予測される影響の例を先に示しましたが、前提となる温暖化のシナリオに不確定な面が多いので、その影響の確かな予測を行うことは困難な段階にあります。こうした段階で考えておかなければならないのは、1つには森林資源の構造的適応策でしょう。立地環境に応じて木材生産のためのモノカルチャーによる森林造成も必要ですが、種多様性の豊かな、遺伝的に幅の広い変異を持った構造が気候変動に対して適応性の高い森林と言えましょう。このため、特に、熱帯地域の天然林の維持機構の生態遺伝学的解明とそれに基づく施業技術の開発が急がれます。こうした森林は、遺伝資源の保全のためにも必要であり、絶滅の予測される遺伝資源については現地外保全などの対策も必要となります。また、生産性ととも環境適応性の高い新たな種・品種の育種や病虫害や気象害などの発生予測技術と防止策が必要となります。

これら2つの抑制対策と適応対策を進める上で共通の基盤となる対策として、適切な資源管理と社会経済的基盤の整備が必要です。前者は、適切な土地利用区分と、それに基づいた適切な資源管理計画と資源利用計画であり、後者は地域林業の活性化のための政策の選定、技術の普及と社会教育の推進などです。そして地域の森林資源の保全と同時に、地球環境保全のために国際的な技術協力・研究協力の強化が極めて重要と考えられます。

○司会 どうもありがとうございました。

では、井上先生のご講演に対してご質問、ご意見ございましたらお願いいたします。

○大嶋（地質調査所） 日本列島の森林は、現在はソースになっているんですか、シンクになっているんですか。日本列島の自然林の状態で、いつぐらいまで土壌を含めて最大の炭酸ガスの固定量があったんですか。

○井上 日本列島は少なくともソースにはなっていないだろうと思います。日本は年間 9,000万㎡余りの成長量があり、そのうち伐採量は3分の1程度となっています。比較的健全な森林が多い。もちろん、部分的には手入れ不足の森林や荒地等の劣化した森林もありますが、少なくともソースにはなっていないと思います。

○大嶋 もう一点、森林の場合は、炭酸ガスの賦存量を考えた場合には、土壌とか堆積物中の有機物のほうが森林における蓄積量よりも大きいと言われていていますね。

○井上 ええ。全体として土壌中の炭素は、植生の2~3倍とされています。有機物の分解速度は温度に大きく依存しますので、土壌中の炭素ストックは、熱帯林では少なく、高緯度地域ほど多くなるわけです。

○大嶋 100年間ぐらいで減っているんじゃないか。

○井上 一番わかってないのは土壌からの放出についてです。地球レベルで、年間何億トン、何十億トンというレベルでは恐らく相殺されて、入るほうと出るほうはほとんどバランスがとれてしまっていると一般的に言われているわけですがけれども、ある地域に限って、CO₂のフラックスを正確に評価するため、本当に上の成長量に対して下がどうだということになってきますと、わかっていないことが多くあります。例えば、土壌の種類や性質により、そこで人為が加わった場合に放出がどうなるかというところは、これからの研究の大きなテーマになっています。ですから、今具体的にどうだという傾向をすぐに言うことはできないんですけども、いずれにしても人為的な攪乱がない限りでは、放出は季節的にかなり安定しているわけです。土壌系の空気相の中には、CO₂濃度として1,000とか2,000ppm含まれていますので、林地が攪乱されてしまいますと、それが一気に放出されるということで、地表の攪乱が非常に大きな問題になると考えられています。

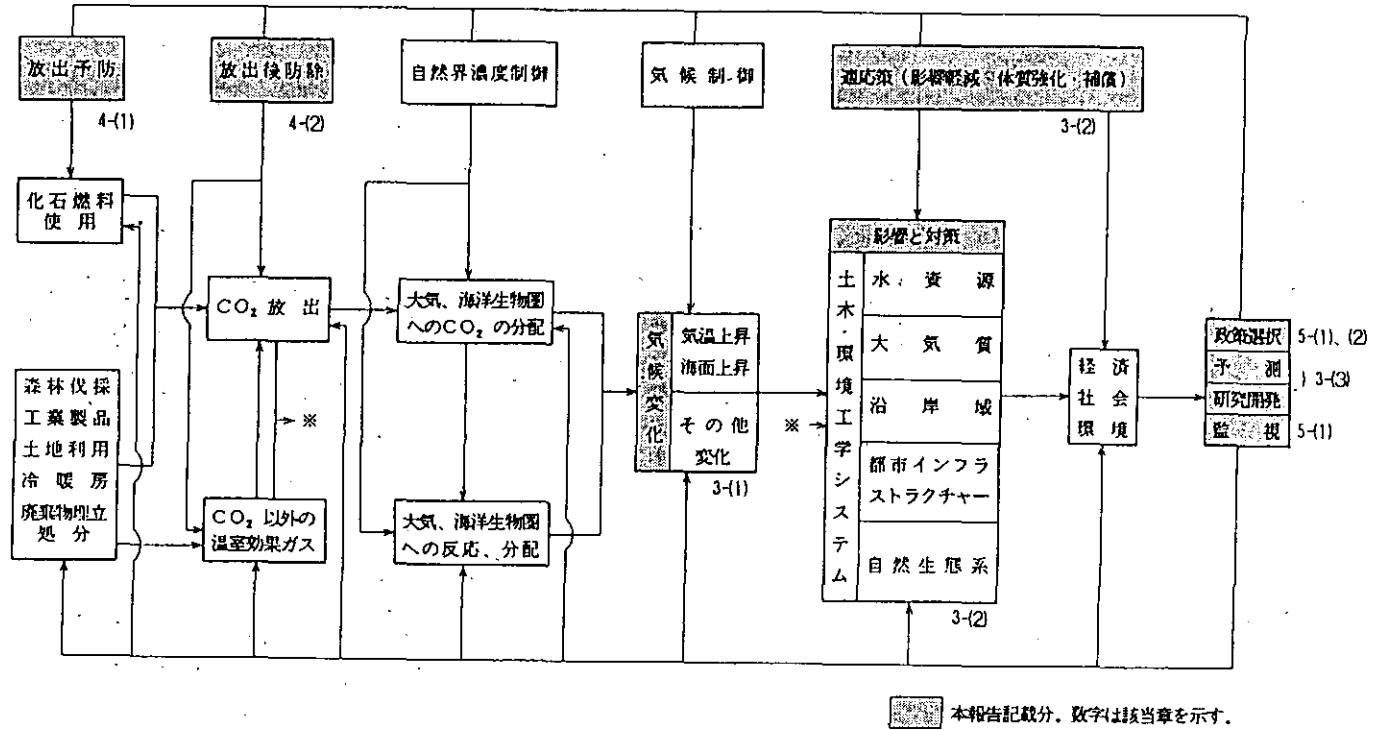
以前にご案内いただいていた題目では、土木環境工学からの対策という形になっておったわけでございますけれども、対策を申し上げるのはなかなか難しいという感じもありまして、その前段となる考え方もたいなものを取りあえずお話しして、逆にここでご議論いただいて、今後の対策を具体的に考えるときの基礎にしたいということで、少し題名を変えさせていただきまして、考え方の辺をお話しさせていただきたいと思っております。

もう既に大勢の方が話をされており、後になるほど話題が限られてくるようで話にくいように思いますが、私の考えておりますことをとりまとめて、それをまた種にして次の議論をしていただけるようにと思ひまして、多少ダブるところがあるかもしれませんが、お話をさせていただきたいと思ひます。

この図(図1.11.1)は、実は去年の段階で西岡さんも一緒に入っておられたんですが、環境庁のほうでスクリーニングの検討会が設けられて、そのときにつくった報告書の中に示した図であります。これは、温暖化に伴っていろいろなことが起きてくる、関連をつけて見てみようということです。

最初のほうに出ているのが発生源になるところのもので、化石燃料が最大の放出源です。それから森林の伐採、工業製品、あるいは土地利用、冷暖房の問題、廃棄物の埋め立て処分、そういうものが発生源の要因としてあるわけです。それが放出された結果何が出てくるかという、温室効果ガスというのが出てきます。これは最初の秋元先生のお話にありましたが、酸素とか窒素とか、単原子の気体は熱線を吸収しない。炭酸ガスとかフロンとか一酸化炭素とか N_2O とか、そういう2つの元素以上からできている気体は熱線を吸収する作用がある。それが温室効果ガスと言われているもので、炭酸ガスが一番代表的なものであります。既にご承知だと思いますけれども、炭酸ガスよりは亜酸化窒素とかメタンとかのほうが吸収率は大きい。ですから、効果としては炭酸ガスのほうがはるかに小さいけれども、濃度でいうと炭酸ガスが非常に大きいということで、炭酸ガスがやり玉にいつも上がるわけでありまして。吸収率だけで見るとほかの気体のほうがもっと大きい。1,000倍ぐらい違うのまであるわけです。

温室効果ガスの蓄積がどういう影響としてあらわれるかという、平均気温が上がるという形のものがもとになって、気象、海象が影響を受けてくる。しかし、出てきた炭酸ガスがどういふふうに分散していくか、再び固定されていくかの問題は、ソースとシンクの関係で決まるわけで、ソースは先ほどから皆さん言われておりますが、一方の大きなシンクは生物へまた戻る、あるいは海洋に溶け込むというのがあるわけです。結果として、しかし大気中に残るのがから温暖化が進むというわけです。そうすると、結果として気温上昇が起きたり、それに伴って海面上昇が起きてくるわけです。それが国土レベルのいろいろなところに影響してくることになります。



本調査の基本的構造 (Changing Climate (1983) を一部修正・追加)

図 1. 1 1. 1 地球温暖化対策スクリーニングフロー図

我々のほうでは、特に都市とか土木とか、そういう構造物を扱うほうの問題としてそれがどういふふうに影響してくるだろうかということを見ておりまして、そのときの項目としては、水資源の問題、大気汚染の質の総合的な問題、沿岸域で海面上昇が起きたときにどういふことが地域に起きそうか。都市のインフラストラクチャー——基盤施設といいますが、下水道とか道路の問題とか、いろいろなところはどういふ影響があらわれるだろうか。最終的には自然生態系に影響があらわれてくるだろうと予想されることになります。

こういう都市環境といいますが、そういうシステムを幾つかに分けて、それぞれに対しての影響と対策をどう考えていくのかということを見てみようとしたわけでありまして。その結果、最終的には経済的な問題、社会的ないろいろな枠組みの問題、あるいは環境をどう評価するか、何を期待するのかということの関連で評価されるわけで、最終的に監視の問題とか、研究開発の問題とか、予測とか、政策、選択の問題等々を含めて、最終的にはフィードバックされて、将来あるべき全体的なバランスをどう考えていくかということへ戻っていきたく思います。

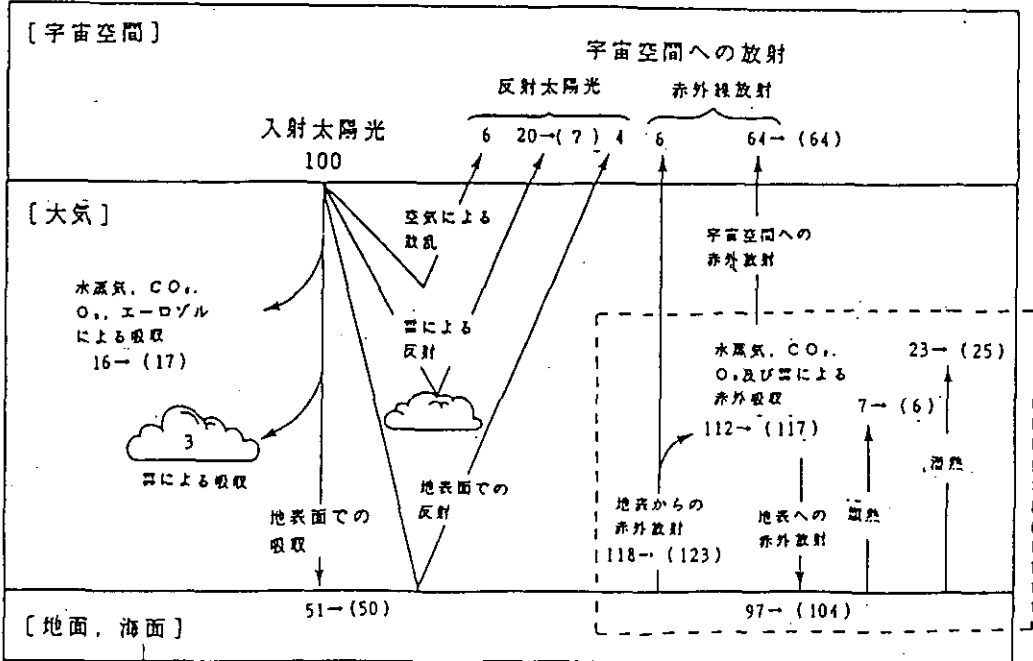
土木環境システムの分野での影響と対策というところに限って最初からお話しできるといいわけなんですが、それは非常に難しい感じを持っております。

お昼休みに話していたんですが、技術の中にも、温暖化の発生源になるほうに対応する技術と、温暖化してしまった結果を受けて何かしなければいけないという技術の分野がある。どうも環境の問題とかそういうのは、出てきちゃったものをあとどうするかとか、いつも後始末の側に回されるわけで、どういふことが起きるかわからないうちから、どういふことができますという対策は打ち出せないという格好でもあるわけです。なるべく影響を起こさないようにしてくださいと言うのが、場合によっては我々の仕事かもしれないという意味で非常に複雑な関係になるんですが、そのようなことであるということをご理解いただきたいと思っております。

この図1.11.2は地球上での熱の収支をとった関係ですが、太陽光として入ってきた熱を、雲とか水蒸気……。実は水蒸気も非常に大きな熱の吸収体なわけですから、そういう意味では地上に届く前にかんりのものが反射したりなんかして、あるいはたまってしまうと半分ぐらいしか地上に届かない。地上の熱はまた戻っていくわけですが、戻る過程で炭酸ガスとか水蒸気とかがまたそこに熱を蓄える。結局、ここの部分に蓄えられるものが温室効果と言われる熱の源になっているというわけです。

じゃ、これを地球の外へ出す方法として何があるかということ、宇宙空間へ放射する以外にはない。結局 100入って 100出ているんですが、ここへたまっているのがいつもあるということで問題を起こしているわけです。ほかのところへ熱を戻せないかということが考えられます。それには深海に戻す可能性があります。深海というのはどうなっているかということ、北極とか南極の非常に寒いところで冷やされたのが深いほうへ入っていく、赤道あたりでまた戻ってグルグル回っていると思われているようであります。低温の海水へ熱を早く拡散させてやることによって、幾らかでも大気中にたまる熱量を深海中へ移すということも、1つの可能性としてはあるのではな

(地球のエネルギー収支 (入射太陽光を100とした相対値))



(注) (松野, 1987を一部加筆したもの。)

— () の数値はCO₂濃度が2倍になったときの推定値。

二酸化炭素等の温室効果ガスの濃度が増加すると、点線で示した部分のエネルギーの流れが大きくなる。これが気温を上昇させる原因となる。

なお、仮に地球大気に二酸化炭素や水蒸気が全く含まれていないと、地球の気温は-19℃にまで下がってしまうと言われている。

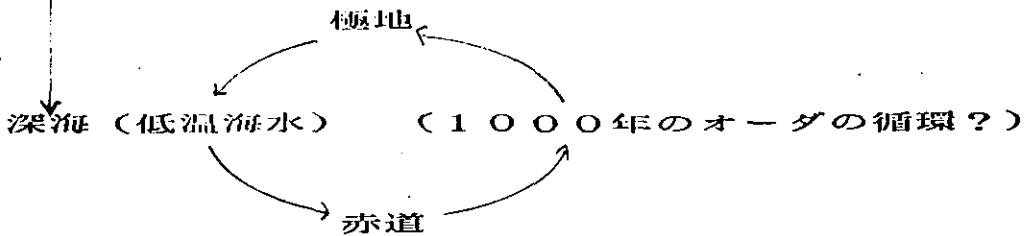


図 1. 1 1. 2 地球上での熱収支

いかと思われます。

そのときに、どのくらいまでそれが可能かという、この水の温度が何度か上がってしまうまでの間に勝負をしなければいけない。しかし、循環はどうも 1,000年ぐらいのオーダーであろうと。そうすると、その間ならば幾らかは……。さっき 100年というオーダーが出ていましたが、100年のオーダーぐらいでは、深海部分が場合によっては熱のシンクとして使えるかもしれないということが考えられると思います。そういう意味では、ソースとシンクの相対的な容量の問題と速度の問題が極めて重要な判断項目になるのではないかと考えるわけです。

今は熱の問題でしたが、炭素についても同じようなことを考えてみてはどうかと思われます。ソースの側としては化石燃料の消費の問題、有機物の酸化の進行。これは森林破壊の一過程での問題です。今の井上先生のお話にありましたけれども、森林が育っていればシンクになるんですが、破壊されて燃やされるとソースになる。それがまた戻ってこれればいいわけですが、最終的に砂漠化が進むと、結局その分だけはソースになってしまうということです。ですから、有機物の問題というのは極めて相対的な関係で、一方的には言い切れない要素があると思います。

もう一つ忘れてはいけないのが炭酸カルシウムからの炭酸ガスの乖離というのが言われています。せっかく炭酸カルシウムで固定されているものから炭酸ガスを追い出してセメントをつくる。セメント工業は炭酸ガスのかなり重要な発生源である。それを焼くためにまたほかの燃料も使っているわけですから、二重の意味で発生源になっていると思います。

炭酸ガスのシンクのほうはどうなるかといえば、有機物に固定する。これは最も自然のうちに行われているものであります。この辺で、中村さんが今朝言われたようなことと関連して考えてみると、生物が生きているだけであれば、動物が植物を食っている範囲で、しかもある種の定常状態が得られているならば、そこには過剰な発生はないと思えるわけです。なぜかといえば動物は植物を食べるわけです。植物は炭酸ガスを固定しているわけですから、ある種のバランスがとれているはずで。そういう意味では、人間がいるとか、動物的な意味での人間活動自体は、決して全体のバランスに対して大きな影響を与えてないと思います。そうすると、問題は化石燃料をいかに使って出してしまうかということが、炭素のバランスの上で最も大きな問題になるところだろうと思います。

しかし、森林にしても、樹木が成長している間はそこに確実に固定されるわけですが、それが伐採されたり、葉を落したりという過程では、必ずしも永久的なシンクにはなり得ない。森林面積をだんだん拡大していかない限り、余分な発生源である化石燃料の消費に対しては対応できないのではないかと思えるわけです。

もう一つ大きなシンクになるものとして、深海部が考えられます。深海部は不明な部分でありますけれども、我々にとっては最後に残された負荷をかけられるところであると思えます。炭酸カルシウムへの固定ということでは、珊瑚礁に固定されるとか、動物の骨なんかも最終的にはかなり残るわけで、長期間残存してくれれば可能性のあるものです。

さらに考えれば、炭酸ガスあるいは有機物をそのままで封じ込めるということがあろうかと思えます。これは化石燃料を燃やしたんですから、ほかの有機物をかわりにため込むということを考えれば可能性はなくはない。

そのようなことを相対的に見ながら、ソース側とシンク側の速度の差が、結局、現在の大気中に残る炭酸ガスの量を決めていこうと言えます。

じゃ、その辺のバランスは何によって決まるかということ、基本的には速度によって決まるのではないか。絶対的な存在量は既にわかっているわけですが、今一番問題なのは、ある定常状態からどれだけ濃度が高いほうへ行くのか、速度がどのくらいなのかということにあって、それぞれ発生する側の速度、固定する側の速度、あるいはどれだけの期間もちこたえられるんだろうかということ、極めて相対的なところで議論しながら、微妙なところに我々が耐えられる負荷量みたいなのが出てくるのではないかと思います。

結局、環境容量ということを変えて考えてみたらどうかということ。これは川から海へ至る系での環境容量を考える基本的な関係を示す図(図1.11.3)です。水の場合の環境基準は、上流がきれいでだんだん汚くなっていく。海に出たときには海域を指定しながら水質レベルを設定していきます。そうすることによって初めて、上流域にどれだけの有機物を出していいかという負荷量をかけられるかということが決められていくはず。

いろいろ申し上げたいことはあるんですが、そのポイントは、この規制をかける面積を海側の最終的なところでどういうふうに大きさを決めながら水質レベルを決めるかということによって決まってくる。結局、何を決めているかということ、汚していいところを決めているわけ。どのくらいの大きさまで汚していいかということを決めることによって初めて、その上にかけられる負荷が決まってくる。これを、大気汚染の問題を地球レベルまでもっていったときに、じゃ地球レベルの環境問題を考えるときの負荷量、あるいはこのような汚してもよいような領域の設定ができるのかどうかということの問題にしたいと思うわけです。

気体は水よりはるかに拡散係数が大きいし、いろいろな意味で動くわけ。大気の中の動きはいろいろなレベルがあるわけ。これは緯度方向への炭酸ガスの濃度分布を示す図(図1.11.4)です。こちら側が北緯——赤道から北で、こちらは南緯です。炭酸ガスが年間で変動して行くんですが、北へ行くほど濃度が高い。こうやってみますと、緯度方向へは勾配ができてくるということは、場合によってはそれほど大きな拡散はないんじゃないか。ところが、経度方向には偏西風その他がありますから、非常に速い速さで回ってしまう。そういうことを考えると、ある国で出したものは、途端に地球のレベルの問題になっちゃう。そういう意味で、さっきの川から海へのところに領域を設定したような、ある限られた領域ができないわけです。そういう意味で地球レベルの環境問題というのは極めて国際的でもあるし、考えにくいところにある。そうすると、何が環境容量を決める要素になるかということを変えて考えてみる必要があるわけです。

例えば、私が以前に水の問題で考えたときのことを例にとりますが、そこへどれだけ負荷量を

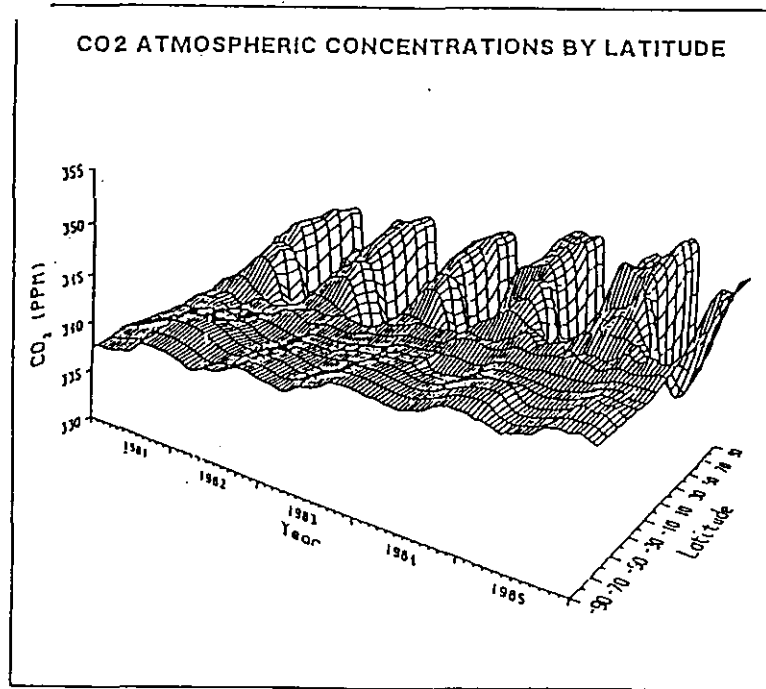


Figure 2-3. The distribution of CO₂ by latitude from 1981-1985 shows that CO₂ is increasing globally. Superimposed on the increasing trend are coherent seasonal oscillations reflective of seasonal dynamics of terrestrial vegetation. The seasonal cycle is strongest at high Northern latitudes, and is weak and of opposite phase in the Southern Hemisphere, reflecting the distribution of terrestrial vegetation. The data are from the NOAA/GMCC flask sampling network. (Sources: Kombyr et al., 1985; NOAA, 1987; Conway et al., 1988.).

図 1. 1 1. 4 緯度方向に対する炭酸ガスの濃度分布⁽²⁾

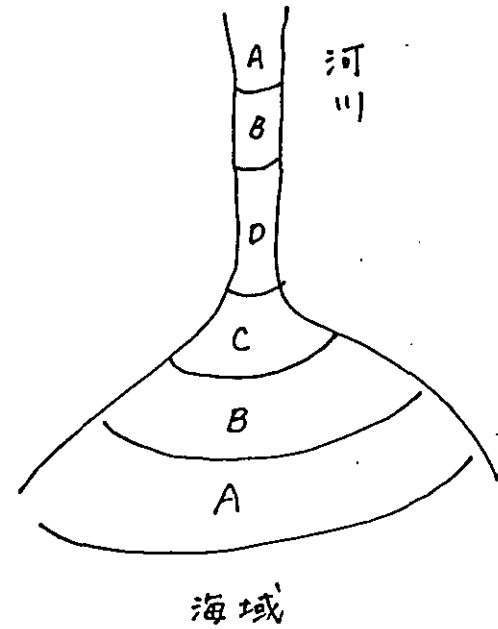


図 1. 1 1. 3 環境基準設定の概念図

かけられるかということは、そこに残る濃度の問題と、汚染域をどこまで広げるのか、どのくらいの時間その濃度が継続しているかということです。それにはそこにいる生物の寿命時間みたいなものが極めて大事です。無限に生きられるものはいないという仮定をすると、あるレベルまでは大丈夫だという話になってくる。遺伝に残らないレベルで終わってくれば、その個体が死んでしまえばもとへ戻るわけですから、そういう意味で継続時間と汚染域の拡大と濃度が問題なんです。

それを地球レベルに拡大して考えてみますと、濃度というのは今の0.03%、逆に炭酸ガスのほうの濃度を決めたいと思うわけです。汚染域がどうなっているかということ、一瞬に地球レベルになってしまう。そうすると、あといろいろなことを決めてくれそうなところが時間の問題です。しかし、地球レベルになった途端に時間のスケールがまたものすごく大きくなっちゃう。人間の生活ですと100年あれば大体いいかもしれない。しかし、都市の寿命とかそういうことを考え出すと、例えば海面が何m上がったために水没する地域がある、その都市をどこかへ移さなくちゃいけないんじゃないかということを見ると、もっと長い寿命が出てくる。構造物の寿命とか都市の寿命、社会がいろいろな変化に対して適応できる適応力の影響、そのようなことが、場合によってはこの問題を考えていく基本的な要素になるんじゃないかと思えるわけです。

そのようなことを考えながら、ある種の許容負荷量を出していかないと、いろいろな意味での考える基準がなかなかできないのではないかと私は思っておりまして、皆さん方の先ほどからのお話の中に幾つかそういう基礎的なデータが出てきているように思ったんですけども、情報をいろいろ整理しながらその辺のことをやっていければと思います。

○質問 非常におもしろい話をありがとうございました。環境容量の濃度の問題で非常に興味があったんですけど、現在の地球の大気の炭酸ガス濃度は345とか350ppmと言われてますね。南極のポストーク基地でフランスとソビエトの調査隊が16万年前からの炭酸ガス濃度の変化を調べたら、今から10万年ぐらい前の一番暖かった時期の炭酸ガス濃度が300ppmだということが求められているわけです。ですから、現在の炭酸ガス濃度は、もう既に今より3度から4℃気温が高かったときの炭酸ガス濃度を超えてしまっているんです。こういったときに環境容量として炭酸ガス問題というのはどういうふうにかえたらいいんでしょうか。

○松尾 それは極めて難しい問題だと思います。そういうお話ですと、温暖化と言われていることが本当に炭酸ガスなのかという議論でもあるんでしょうか。ですから、そういう意味で原因物質は何かということは改めて議論すべきところなのかもしれないと思います。

例えば、EPAのレポートの中に有名な図(図1.11.5)があります。ハワイで測っている炭酸ガスのデータがありまして、炭酸ガスがここなんです、これは化石燃料から予想される排出量なわけです。そうすると、排出量は減っているにもかかわらず炭酸ガスは増え続けているという感じがあって、これはどう理解するのかというのが1つのポイントです。さっき、瞬時に経度方向には回るんじゃないかと申したんですが、場合によってはどこかに高濃度域と低濃度域があ

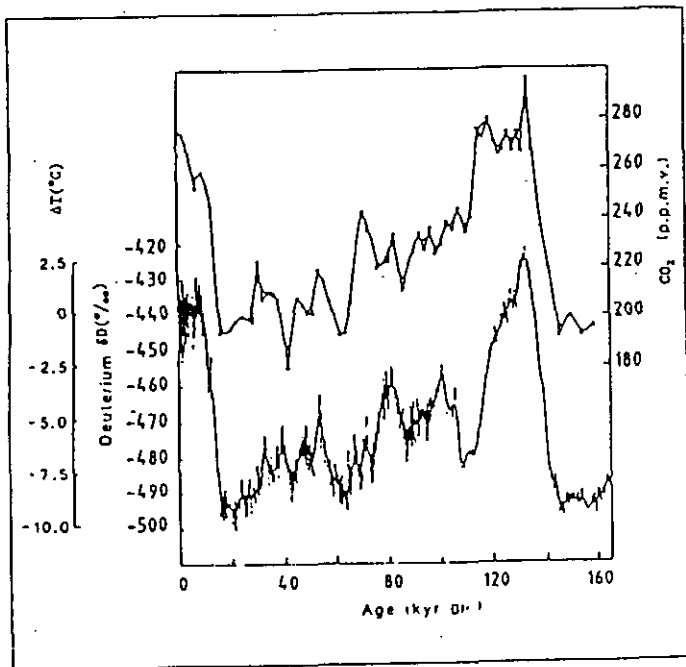


Figure 3-3. Carbon dioxide levels and temperatures over the last 160,000 years from Vostok 5 Ice Core in Antarctica. The temperature scale is for Antarctica; the corresponding amplitude of global temperatures swings is thought to be about 5°C. (Source: Barnola et al., 1987.)

図 1. 1 1. 6 炭酸ガス濃度と気温の変動⁽²⁾

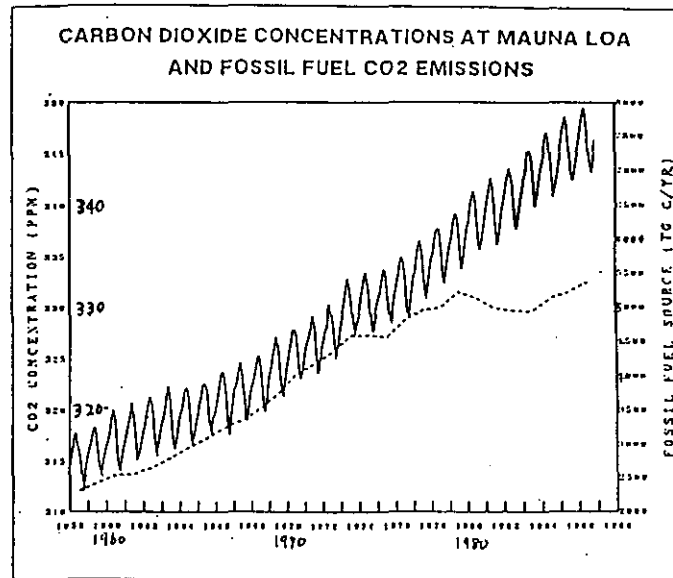


Figure 1-1. The solid line depicts monthly concentrations of atmospheric CO₂ at Mauna Loa Observatory, Hawaii. The yearly oscillation is explained mainly by the annual cycle of photosynthesis and respiration of plants in the northern hemisphere. The steadily increasing concentration of atmospheric CO₂ at Mauna Loa since the 1950s is caused primarily by the CO₂ inputs from fossil fuel combustion (dashed line). Note that CO₂ concentrations have continued to increase since 1979, despite relatively constant emissions; this is because emissions have remained substantially larger than net removal, which is primarily by ocean uptake. (Sources: Keeling, 1983, pers. communication; Komhyr et al., 1985; NOAA, 1987; Conway et al., 1988; Rotty, 1987, pers. communication.)

図 1. 1 1. 5 炭酸ガスの排出負荷量とMauna Loa (ハワイ)での測定結果⁽²⁾

ってだんだん広がっているということもあるのかなと。ですから、多少時間おくれが出ているのかなと思ったりもするんですが、これを見ると、その辺はなかなか一筋縄ではいかないんじゃないかと思います。ですから、言われているように、炭酸ガスだけが問題ではなくていろいろな要素が絡んでいるんじゃないかと思います。ちょっとその辺はよくわかりません。

○田中（化技研） 炭酸ガス問題で南極で氷をボーリングされた話とか、ハワイのだんだん増えていることで、海水が温暖化したから炭酸ガスだんだん放出されて増えたのか、地質学の時代において炭酸ガスが増えたから地球の温度が上がったのか、逆に地球の温度が何らかの原因で上昇したためにガスの濃度が増えたのかという疑問を感じるわけです。私はこういうことに対して全く素人なんですけれども、素人がこういうことを議論するというのもおかしな感じをいつも持っているんです。

○松尾 私もその辺は全く素人なんですけど、こういう図（図1.11.6）がEPAの報告書にあります。これはキロ・イヤーですから1,000年の単位で来ているわけです。ですから16万年の間のデータをとっていることになります。これはCO₂の濃度です。これは温度の差です。こういうことから、炭酸ガスが高いときは温度も上がっているという意味で、16万年間の関係でいえば、炭酸ガスと温度との関係は非常にパラレルな関係になっているということは言えるのではないかと私は思うんですが、それ以上のことはちょっと……。秋元先生、もし何かコメントしていただけたら……。

○秋元 その図の解釈については、私はそちらのほうの専門でないのでわかりません。どちらが原因でどちらが結果かということについては専門家の間でも議論があるようです。

ついでに、1つ前の図ですけれども、化石燃料の放出量と濃度との関係、最近のところはその2つの曲線が離反しているのは、原因が違うものがあるのではないかという印象を持たれると思うんです。あれは本来、ライフタイムからいいますと、化石燃料からの放出量がフラットになったときにCO₂の濃度は直線に伸びていっていいわけですね。もし化石燃料の年間放出量が増えているところはむしろエキスポネンシャルグロスになっていて、エキスポネンシャルグロスが直線的に伸びがちよっと落ちてきているというふうに……。

○松尾 シンクとの関係ですね。

○秋元 ええ。ですから、今、年間放出量が5.6ギガトンあって、そのうちの50数%ぐらいが残って、残りがどこかへいっていると。残留率が50数%だという話で、その残留率がもし変わらないんだとすればそういうことですね。

○松尾 そうですね。先ほどの私の説明には誤解がありましたので、秋元先生の説明のように修正しておきたいと思います。

最後に1つだけ申し上げたかったのは、今後の対策の中でライフスタイルを本気で考えていく必要があるんじゃないか。それは地球時代のライフスタイル、省エネ的なライフスタイル、最近、環境庁ではエコポリスというようなことを言って、自己完結的といいますか、そういう都市づく

りを目指そうということもあるわけで、我々の分野からいいますと、単なる技術だけでなく、そういう部分で、もう少しいろいろな意識の改革を含めて対応する必要があるんじゃないかと思っています。

しかし、こういう言い方は恐らく発展途上国に対しては極めて言いにくい言葉になって返ってくるかもしれない。そこがまさにこの問題の難しさである。日本だから言えているのかもしれないとは思いますが。

どうも長くなりました。

参考文献

①昭和63年度環境庁委託「地球温暖化問題への対策に関するスクリーニング調査結果報告書（建設環境・土木工学）」（財）日本環境衛生センター（平成元年3月）

②「Policy Options for Stabilizing Global Climate (Draft)」USEPA(Feb. 1989)

I-12 温暖化対策に関わる住宅の省エネルギー技術

石川修 (ミサワホーム総合研究所環境エネルギー研究室)

フランス料理の後にぬかみその話をするみたいで非常に抵抗を感じるのですけれども、住宅で消費する、あるいはむだに逃げていくエネルギー量を少なくすることによって、炭酸ガスの発生量を抑えようというお話をさせていただこうと思っております。

住宅と地球というとまるで規模が違うので余りにもかけ離れていますが、直接的には地球温暖化に関係のない企業の人間が、どのようなことを考えて、どのような視点から見ているかということでお話しさせていただこうと思っております。

ガイアとか、地球は生きてるとか、地球は1つであるという言葉、あるいは思想は、私どもみたいな一般の——この世界的問題で一般のという言葉を使っていいのかどうかよくわからないんですが、一般の人間からしても非常になじみのある言葉になってきています。炭酸ガスの増加の原因を論ずるのにいろいろなことが言われていますけれども、先ほど言いましたような立場からしますと、その原因の1つに、文明の平均化とか、あるいは嵐のような情報の平等化によって、ローカル性が失われていっているという見方も1つあっていいんじゃないかと思っております。

どのようなことかといいますと、例えば、先ほども南の問題を云々という話がありましたけれども、人間、他よりも富みたいとか他のように富みたいという欲望が非常にあります。北だけが富んで南はダメという時代ではありませんし、日本や米国の情報が手に入れば、そのような生活をしたと思うのは自然なことです。しかし、それらが理由であるにしても、とにかく南のほうの自然が破壊されていって、それが日本の住宅に生まれ変わっていくとなれば、住宅メーカーとしてもそれなりの責任はあるんじゃないかと思っております。しかし、残念ながら、今まで住宅を供給するに当たって、地球の温暖化などということは頭の片隅にもなかったというのが現実です。

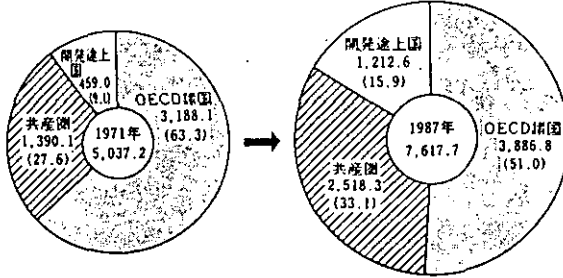
これは住宅には直接関係のない話なんですが、開発途上国の1971年と87年のエネルギー消費量の伸びです。大体3倍弱になっています。OECD諸国のほうはちょっと伸びていますが、1.数倍という伸びになっています。開発途上国にしてみれば、日本とかアメリカのようにになりたいという気持ちが強くありますし、日本としてもアメリカになりたいみたいな気持ちはあるんですが、ところが、ある程度の文明の進んだ国は、省エネルギーということで技術革新をやっているものですから、それほどエネルギー量はふやさなくてもそれなりの生産はされているということを示す図です。

下のほうは石油消費量のほうなんですが、これで見ましても、開発途上国のほうは同じ年代で約2倍、OECDのほうは約1倍という数字になっています(図1.12.1)。

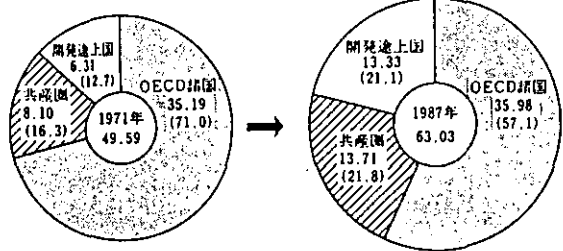
今の技術革新のほうなんですが、これも日本の話です。77年と87年を比べて、非常に効率のいいエネルギー消費が行われています。1.5倍ぐらいの効率のよさになっておりまして、1次エネルギーの消費量は余り変わりませんが、生産は伸びているということです。

世界のエネルギー消費

全エネルギー需要 (原油換算100万トシ)



石油消費量 (100万バレル)

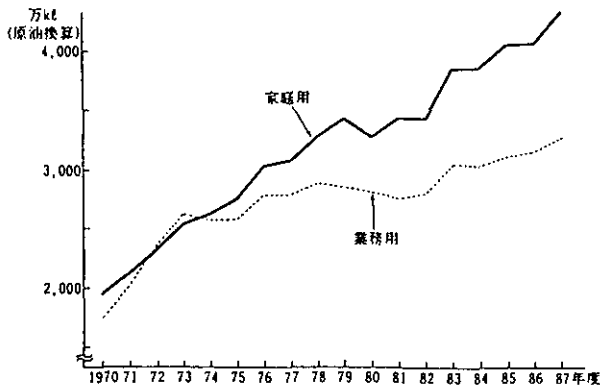


(注) () 内構成比%

(資料) IEA「1971-87年の世界エネルギー統計・バランス」

図 1. 1 2. 1 世界のエネルギー消費

民生部門のエネルギー消費



(資料) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

図 1. 1 2. 2 民生部門のエネルギー消費

家庭のほうはものすごい勢いで伸びております。これは1970年から87年までのものなのですが、猛烈な勢いで伸びています。みんな物持ちになり、エネルギーをたくさん使って、最低限物質的には豊かになったことを示しています。77年からの10年間をとってみても40%ぐらいの伸びとなっております（図1.12.2）。

その内訳ですが、一番伸びているのがガソリンです（図1.12.3）。一番上のラインがガソリンです。これは車社会を象徴していると思います。自分の周りでもそうなのですが、今、車を2台、3台持っている家はまれじゃないんです。だんなさんが1台持っていて奥さんが1台、子供が20歳ぐらいになるとまた1台足していくということで、車が2台、3台という家がまれではありません。これも先ほどから出ていますが、車の燃費は非常に改善されていますので、それだけ改善されていても、なおかつこれだけ伸びているということです。

上から2本目の線が電気代です。電気代のほうも非常に伸びています。宮崎勤君の話じゃないんですけども、1軒の家にテレビが2台あるとかビデオが3台あるとかというふうに、AV商品関係が非常に伸びています。日本じゅう皆お金持ちになっちゃったということじゃないかと思うんですが、エアコンも非常に増えています。

調理器具のほうも、奥さんの力が強いんだか、食べ物にぜいたくになったのかわかりませんが、非常に増えています。これらの原因から電気代が伸びているんじゃないと考えております。

今、電気のほうが伸びているんですが、黙って家電屋さんが、電気をたくさん消費するものを売っているわけじゃなくて、例えば、点線が冷蔵庫なんですけど、73年と87年を比べると、3分の1ぐらいのエネルギー消費量に落ちているんです。このように売るほうとしてはかなり努力しているわけです。（図1.12.4）

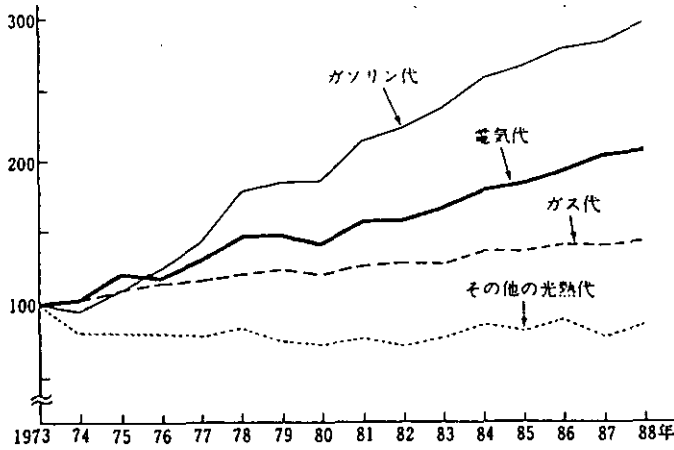
では、住宅はどうかという話をさせていただきます。

住宅に関しては人間は非常に保守的ですし、今では時代おくれみたいな言葉になっているかもしれませんが、節約という言葉がまだまだ生きています。節約という言葉は生きているんですが、それにも増して人間の欲望が多いものですから、先ほどのスライドにあるようなエネルギーの上昇になっているんだと思います。

灯油の消費量の多い北海道を例に断熱材の厚さを示しますと、 $10\text{kg}/\text{m}^2$ とか $20\text{kg}/\text{m}^2$ とか、グラスウールの密度の話があるんです。重たいほど断熱性能がいいわけです。10年前、北海道では $10\text{kg}/\text{m}^2$ で50ミリの厚さの断熱材を外壁に入れていました。6年前は $16\text{kg}/\text{m}^2$ 、ちょっと重たい、良いグラスウールを75ミリ入れるようになっていました。現在どのくらい入れているかというのと、同じ $16\text{kg}/\text{m}^2$ なんですけど100ミリ入れています。

これは何のことだという話になるんですけども、10年前の熱還流率——熱の逃げていく量 $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ —が0.67だったのが、現在の $16\text{kg}/\text{m}^2$ 100ミリだと0.31、半分以下の熱の逃げになっています。これは外壁だけです。住宅で熱が一番逃げるのが窓なんです。窓のほうも、10年ぐらい前だとシングルガラスだったものが、その後、ペアガラスのアルミサッシになりました。アルミ

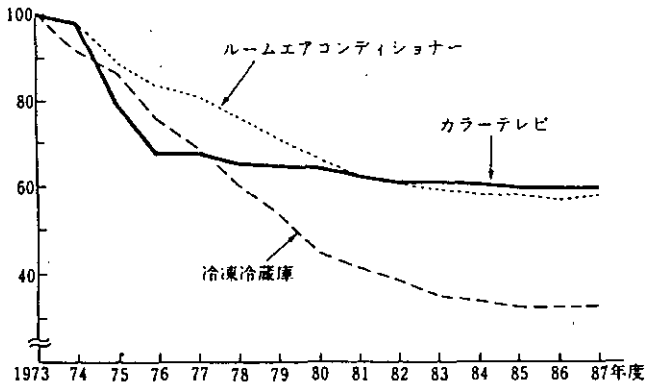
家計の実質光熱費内訳



(注) 1973年=100として指数化したもの
 (資料) 総務庁「家計調査」「消費者物価指数年報」

図 1. 1 2. 3 家計の実質光熱費内訳

主要電気機器の省エネ進展度



(注) 1. 1973年度の消費電力を100として指数化したもの
 2. 冷凍冷蔵庫：2ドア、170ℓクラス
 カラーテレビ：19、20インチ型
 ルームエアコンディショナー：セパレート型、冷房能力1,600kcal/hクラス
 (資料) 省エネルギーセンター「省エネルギー便覧」

図 1. 1 2. 4 主要電気機器の省エネ進展度

サッシというのはアルミ部分の熱伝導が非常にいいですから逃げやすいんです。最近では北海道の住宅は樹脂サッシになっています。ペアのガラスで樹脂サッシを入れて、去年の暮れからことしの前半にかけてぐらいいは、ガラス自体も熱を反射するようなガラスのものが主流になってきています。そのくらい住宅のぼうも熱の損失については努力をしています。

10年間でどのくらい減ったかといいますと、3分の1ぐらいのエネルギーの逃げになってきています。3分の1ぐらいになってきているんですが、いろいろなエネルギーの消費量は伸びています。どうして伸びているかといいますと、10年ぐらい前だと居間1部屋だけの暖房だったんです。何度も繰り返すようですが、だんだんぜいたくになってきているので、これもまた北海道の例で申しわけないんですが、今は居居の70%ぐらいいは暖房しています。暖房してないところは廊下とか洗面とかごく一部になってきて、ほとんど暖房しているような状態になっています。

この図1.12.5は下から三番目が冷房負荷、その上が暖房負荷です。ちょっと古いデータで申しわけないのですが、一番左が在来木造、一般の住宅です。在来木造の場合、1,460万キロカロリー—冷暖房でエネルギーを食う。その場合断熱材を厚くするとどうなるかという例で、自社の宣伝をするようですが、例えばミサワホームの場合、一般地域用で850万キロカロリー—というふうに5分の3ぐらいの量になっています。北海道用の住宅と内地用の住宅は断熱性能が違っていて、北海道用の住宅と内地用の住宅を比べますと、これがまた3分の2ぐらいの量になっています。断熱材を厚くするだけなんですが、それだけで3分の2ぐらいのエネルギーの逃げにできるということです。

庶民の場合は、普通、公庫でお金を借りて家を建てるわけですがけれども、北海道のほうでは今、公庫の貸出基準の断熱性能、保温性能の見直しが行われて、平成3年度からこうしなさいというやつは、またこんなに背が低くなっている。つまりエネルギーの逃げが小さくなっていて、現行の住宅の半分ぐらいの熱の逃げで済むようになっていきます。

例えば内地用のミサワホームから北海道用のミサワホームにする場合、エネルギーはあれだけ助かるんですが、どのくらいのコストがかかるかといいますと、住宅価格の約1%ぐらいなんです。わずか1%のコストアップでこうなる。内地用から右端の仕様にするのにどのくらいかかるかといいますと、5%ぐらいなんです。5%ぐらいいかけると3分の1のエネルギーで済んでしまう。5%という金額を急に払えといわれても非常に大きな金額なんですが、今、関東のあたりですと、住宅は平均して2,000万円ぐらいいになっているそうなので、2,000万円中のこの金額というのは非常に——私だったら必ずこの家を建てる。うちでは北方型と言っているんですが、北方型の家を建てようと思っています。

断熱性能をよくしていくというのは、断熱材とあわせて気密性能といたしまして、空気の出入りをなるべく小さくしようという努力をしているんです。これは5年ぐらい前の資料で申しわけないんですがけれども、一番向こうの在来木造さんは1時間に3回から4回ぐらいい家の中の空気が入れかわるんです。例えば300立米の容積の家があったとすると、1時間に1,200立米ぐらいい入れ

かわるのが在来の家だったわけです。別にミサワだけというわけじゃないんですけども、プレハブの家になってきますと0.5回ぐらいです。ですから6分の1から8分の1ぐらいの空気の出入りで済むわけです。ということは、それだけ熱の逃げが少ないということです。在来だって断熱材を入れているんです。入れているのにどうしてこれだけエネルギー消費の背が違うかということ、気密性能の差——空気の出入りの量が一番大きく効いてくるんです。

このように進めてきますと、最終的にはゼロエネルギー住宅となります。

先ほどから地球の健康みたいなお話をしているわけですけども、住宅メーカーとすれば、えらい規模が小さ過ぎちゃってなんですけれども、地球の健康だけじゃなくて住む人の健康も考えなきゃいけないわけです。これはちょっときょうのテーマから外れるんですけども、おもしろいデータなんでお持ちしたんです。何をあらわしているかということ、ぜんそくのお子さんのパーセントをあらわしているんです。一番向こう側が在来木造なんです。在来木造の家は2.5%ぐらいが潜在的にぜんそくになる可能性のある、アレルギー抗体の量が血液中に一定量以上より多い子供。これが最近のアルミサッシの家に住んでいるお子さん、ここがマンションのような鉄筋の家に住んでいるお子さんというように、だんだんアレルギー抗体を多く含んでいるお子さんが増えてきている。これはなぜかということ、先ほどの気密性能が高くなってきたせいなんです。気密性能が高くなってきたものだからこのような結果になっているんです(図1.12.6,7)。

単にエネルギー消費量を少なくしようというだけじゃなくて、今言いましたように、部屋の中の環境も考えますと、例えば冬場の話なんですけど、普通、お金持ちの場合は全室暖房して各部屋に人間が散らばっているという形なんですけど、私みたいな庶民の場合は、大体冬は居間に固まってテレビを見ているというのが普通のスタイルですから、汚れの発生源は居間なんです。寒いですからドアは閉めています。各部屋とも全部閉めているんですが、ドアのすき間から汚れが流れていって、各部屋の空気を汚してしまう。

どのくらい汚れているかといいますと、ビル管理法とか建築基準法で炭酸ガス濃度1,000ppm以下にしなさいというのが基準なんですけど、北海道の例ですと、どこで測っても3,000とか4,000ppmという家が珍しくないんです。そのくらいの濃度になっている。戸建て住宅でも最近の家ではそのくらい高气密になっているということです。ですから、全然人の住んでいない押し入れにカビが生えたりダニが発生したりということが起きるのは、居間の空気がドアのすき間を通過して家じゅうに出ていってしまうんです。昔の家でしたらすき間だらけですから、ここですぐ入れかえしちゃうわけです。ここで発生した汚れはここで出ていっちゃうわけです。昔の家だったら、4人ぐらいでマージャンやったって、その部屋に煙がこもることは余りないんです。現在でしたら、だんなさんが1人で居間でたばこを吸っても、煙がいつまでも出ていかない。マンションなんか特にそうでしょうけど。ですから、奥さんのすごい強い家で赤ん坊が生まれたばかりみたいなお子さんだと、レンジファンを回しながらだんながたばこを吸うみたいなお子さんが起きちゃうわけです。

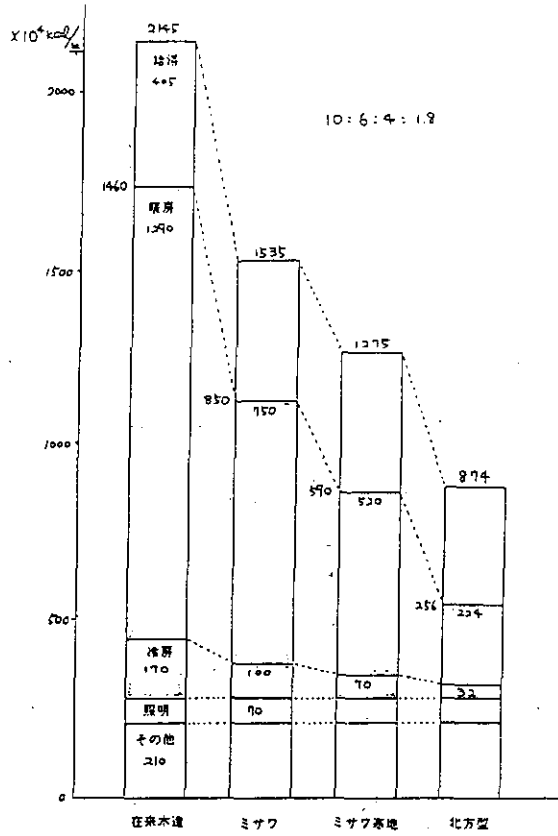


図 1. 1 2. 5 住宅におけるエネルギー負荷比較

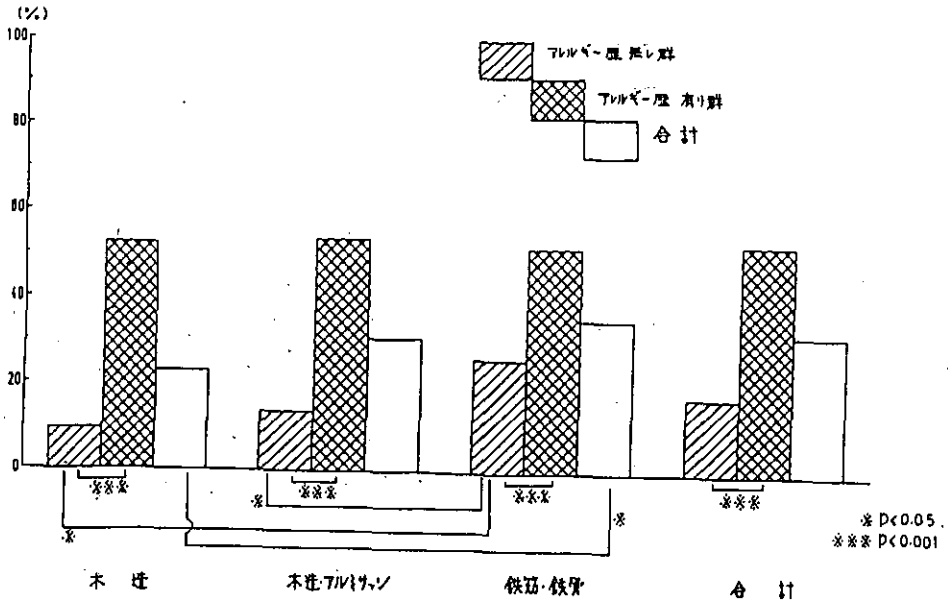


図 1. 1 2. 6 住宅構造別ダニ IgE陽性 (grade 2以上) 割合

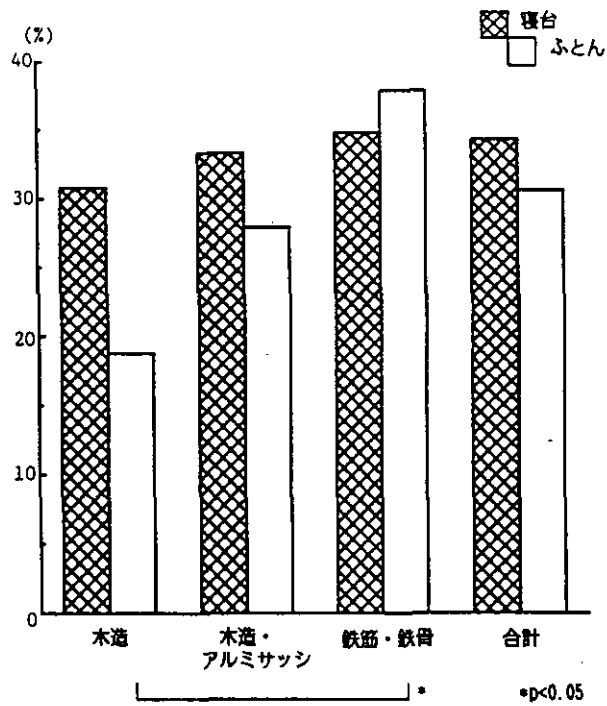


図 1. 1 2. 7 寝具別ダニIgE陽性 (score 2以上) 割合

それを解決する手段として、家全体の換気をどうにかしようということで、例えばセントラル換気システムみたいなものが必要になってくるんです。汚れと全く反対の空気の流れを人工的につくって、家の中の空気環境をよくしようというものが必要になってくるわけです。

ミサワホームでは「長生き住宅」の開発を以前からテーマに上げていまして、様々な機器やシステムの開発を行っています。例えば空気の汚れを測る VAP 指数計、これは“空気のものさし”と呼ばれてまして、だれにでもわかるように、10点満点の簡単な数字で汚れを示します。居室の空気を清浄に保つ VAP クリーナ、住宅の除湿を行い、カビ、ダニの発生を防ぎ、同時に洗濯物も乾燥させるファインドライシステム、そして換気暖房システムなど、住宅内の環境も守っています。

時間がないのでここで終わらせていただきますけれども、たかが住宅ぐらいのレベルで炭酸ガス濃度の発生を抑えようとしめすと、壁の断熱材を厚くしたりなんかするだけじゃなくて、ヒートポンプの開発をしたり、セントラル換気システムの開発をしたり、エネルギー消費量を少なくすると同時に、室内環境を守るためにもろもろの開発が必要になるということ、最後にお話をして終わらせていただきます。

私がこれからお話しする話題は本日の話題とかなりかけ離れたことが多いと思いますし、頭の中で考え過ぎている部分がかかなりあると思います。そういう意味ではちょっとご容赦いただきたい。先ほどから皆様方がお示しになられた話が非常に定量的と申しますか、グラフで表現したり、定量的ないろいろな話がありました。ご存じのように、炭酸ガスが増えて地球が温暖化するということが予測されていますが、それによって弱るところは何かと申しますと、午前中にも、農業生産あるいは水資源、森林の問題とかいろいろありましたけれども、私どもの立場から申しますと、結局、地球上での水の問題に帰着するだろうと思っています。

そういう立場から温暖化を見てまいりますと、水文学的に考えなければならない問題は、結局、温暖化に伴って地球上で水文循環にどういうことが生じるんだらうかということです。そういうことについての研究、調査が一番重要なんです、いかんせん本日のセミナーのテーマが、どちらかというところ「環境調和型の保全技術とその評価」ということに視点があるということでございましたので、急遽話題を変えまして、本来から言うと地球温暖化による水文循環への影響のほうを先にご紹介すべきなんです、時間がございませんので、水環境の保全技術についての話題から先に入らせていただきます。

これからの話は、私個人の思考だけで抽出した話題であることをお断りしておきます。

水文循環から見た温暖化への対応方策というのは一体どんなふうにあるんだらうかということで、きょう午前中も午後も何人かの方々がお話しになりましたので蛇足ですが、図1.13.1に示すように、まず一番先に考えられるのは変化原因を除去する、もとのところで断ってしまうものです。炭酸ガスの増加を防ぎ温暖化をさせないということなんです、私は恐らくこれは非常に難しいことだろうと思います。そうすると、次にとり得る手段は、2番目の変化する要素を従来の値へ復元する、ということです。水文循環の立場から見て、そういう手段があり得るかどうか。3番目に、消極的ではございますが、変化した状態へ順応するということが挙げられます。もう一つは、恐らく何もしないという対応があり得るだろうと思うんです。

今回のセミナーでは、2番、3番について技術的な方法論、あるいはその技術が持つ効果の評価を明らかにするということが主題だと思いますが、その問題はすべて、温暖化による水文循環の変化の予測、あるいは現在の技術でそれをどう評価できるかということにかかわっております。したがって、2番目や3番目の対策の効果をどういうふうに評価するかということは、現状では非常に難しいと申しておかなければならないだろうと思います。

ご存じのように、気象庁の温室効果問題検討部会で出された温暖化の今後の見通しについては、図1.13.2に示すようになっております。この中で水文循環について書かれておることは、わずか2番目の項目だけなんです。ご存じのように、わずかこれだけのことから、我々水文学の研究者が、

この変化に対してどういう対策技術があり得ると言えるかといいますと、まずそれは全く何もないということをお断りしておかなきゃならんだろうと思います。

そうは言っても、一体全体どんなことが予想されるんだろうかということ、皆様方と一緒に考えるという意味で検討してまいりたいと思います。水と申しますのは気候の一要素にもなっておりまして、気候の変化に伴って循環します。図1.13.3に示しますように、地球上での水は積雪、氷河、湖沼、土壌水、地下水、こういった形で貯留されておるわけですが、その間を動き回るものとして河川流量、地下水流動量、蒸発量、そういったものがあります。そういうものと、ほかに水環境と言ったときには、我々はその存在している空間も問題にしなければならないだろうと思います。その存在している空間は地形あり、地質あり、植生、景観、こういった個々のもろもろの要素で成り立っておるということでございます。

ところで、こういう要素の間の循環速度の問題がありますが、表流水は一般に、ざっと言って1m/秒ぐらいの動きをすと考えてよい。ところが、地下水はそれよりも 10^4 から 10^5 オーダー小さな動きでしかない。それに比較すると、それほど速くはございませんけど、一応言われているのは、地球上の大気は10日に1回入れかわっている。それが温暖化することによって、恐らく9日に1回ぐらい大気中の水蒸気が入れかわると予測されておると聞いております。

こういったことから予想される水環境の変化にはどういうものがあるかを羅列して示すと、図1.13.4のようになります。効果を予測するための手段が何もないから、どういうことが予想されるかということをお断りに想像した結果です。河川の流量が変化する、水質が変化する、河川景観が変化する、あるいは地下水の変化、その他いろいろな要素があります。

そういったものが変化するだろうと思いますが、そういうものに対して、技術的に、じゃどういふ対応策があり得るんだろうかということになってくるわけです。こういう問題をこれから4～5分ご紹介したいと思っております。

図1.13.5は、大気中での水の循環の形態と水文学の対象領域を示したものです。我々が現在取り組もうとしているのは地球水文学の領域、この全体の領域の中での水の循環を相手にして、循環の変化にどう対処していくかということになるわけでございます。

図1.13.6は、地球上の水の存在状態を示しています。

一番多いのは、言うまでもなく海水なんです。そのうち淡水だけを取り出しますと、淡水で一番多いのは雪氷です。特に南極の氷が一番多い。約68%ぐらいが雪氷です。地下水が約30%ある。我々が常に利用している水は河川水が中心になっているわけですが、0.006%しかございません。水資源的に見たときに、我々が地球上で利用している水は非常に少ないものだということがいえます。

この統計もいろいろな取り方がありまして、ある統計では、河川水の年流出総量が約46,800km³/年と報告されています。こういうものをもとにしますと、河川の年流出総量は年に22回ぐらい交換している。つまり16日に1回、陸上の水は交換されている。海面上の水の交換とあわせて大

図 1. 1 3. 1

水分循環から見た温暖化への対応策

1. 変化原因の除去
 - 温暖化の原因の除去、最も望ましい対策。
2. 変化する要素の従来への復元
 - 積極的対応だが、各種の制約がある。
3. 変化した状態へ順応する
 - 消極的対応だが確実性があり、過去の経験が生かせる。

図 1. 1 3. 4

予想される水環境の変化

1. 河川流量の変化
2. 水質の変化
3. 河川景観の変化
4. 地下水位の変化
5. 土壌水分の変化
6. 河川の流出砂量の変化 沖積作用の変化
7. 積雪量の変化
8. 気候変化 乾燥化・湿潤化
9. 水需要の増大

図 1. 1 3. 2 温暖化の今後の見通し

出典：気象庁温室効果問題検討部会
(異常気象レポート89' 4月)

1. 温室効果気体の濃度が現在の増加率で増え続くとすれば、全球平均温度は2030年代に現在より1.5~3.5℃程度上昇することが予想される。昇温量は冬期、特に北半球の高緯度で大きく、日本を含む北半球中緯度ではこれと同程度、低緯度ではこれより小さいとみられる。
2. 全球平均降水量の増加が予想されるが、一方蒸発量も増加する。また、中緯度の多雨帯は特に北半球で極方向にずれる。
3. 全球平均気温の1.5~3.5℃程度の昇温に伴い、海面水位は20~110cm上昇するとみられる。しかし来世紀中には大規模な南極氷床の融解及び西南極の棚氷の破壊は起こらず、これによる大きな海面水位の上昇はないとみられる。

図 1. 1 3. 3

水環境と水分循環の内容

水環境の構成	
stock	積雪・氷河・湖沼・土壌水 地下水
flow	河川流量・地下水流動量 蒸発
存在空間	地形・地質・植生・景観
循環速度	
表流水	1 m/s
地下水	1 m/d
大気水分	10日に一回 9日に減少?

項 目	水 量		構 成 比	
	総 量	うち淡水		%
地球上の水の総量	$\times 10^6 \text{km}^3$ 1,385.98461	$\times 10^6 \text{km}^3$ 35.02921	100	
海 水	1,338		96.5	(—)
地 下 水	23.4	10.53	1.7	(30.1)
土 壌 中	0.0165	0.0165	0.001	(0.05)
氷 雪	24.0641	24.0641	1.74	(68.7)
南 極	21.6	21.6	1.56	(61.7)
グリーンランド	2.34	2.34	0.17	(6.68)
北 極	0.0835	0.0835	0.006	(0.24)
山 岳	0.0406	0.0406	0.003	(0.12)
地下水 (凍土)	0.3	0.3	0.022	(0.86)
湖	0.1764	0.091	0.013	(0.26)
沼 沢	0.01147	0.01147	0.0008	(0.03)
河 川	0.00212	0.00212*	0.0002	(0.006)
大 気 中	0.129	0.0129	0.001	(0.04)
生 物 内	0.00112	0.00112	0.0001	(0.003)

(注) ()は淡水を100とした場合の構成比である。
 資料：V. I. Korzoun and A. A. Sokolov; World Water Balance and Water Resources of the Earth E/CONF.70/TP127 (1977年) (国連水会議資料)。

図 1. 1 3. 6 地球上の水

出典：89水資源便覧5頁

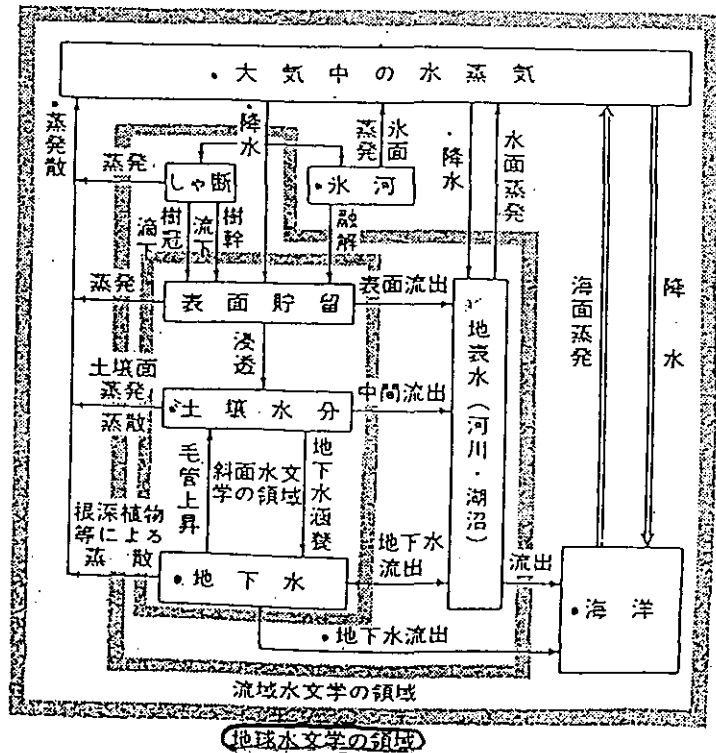


図 1. 1 3. 5 水循環と水文学の対象領域

出典：櫻根勇, 水文学, 16頁

気中の水の循環が生じておりますから、この結果から類推されることは、大気の循環がもし10日で1回とすれば、海面上での水の循環はもうちょっと早くなっているかもしれません。この図1.13.6で言いたかったことは、我々が地球上で利用している水は非常に少ない水であるということです。

もう一点ご紹介したいことは、温暖化に伴って何か非常に大変なことが起こるような話がいろいろ紹介されていますが、地球上での現在の水の分布から見ますと、私はそんなに気にすることはないんじゃないかと思えます。現在ですら、地球上での水の偏在は非常に激しいんです。図1.13.7は、降水量と蒸発量との大小関係を示したものです。ご存じのように、縦線が引っ張られているところは降雨量から蒸発量を引いてプラスになる領域です。点々の領域がマイナスになっている、つまり水が足りないという領域です。このように非常に極端な偏在をしているのが水資源の特徴でございます。

だから、もし温暖化という問題を、気候変化を介して地球上での水資源の偏在をさらに変えるという問題としてとらえれば、地球上では今までも偏在してたんだから、これからも偏在があってもしょうがない。技術的にそれに対応すればいいじゃないかという解決策に立てば、そんなに大きな問題にすることではないんじゃないかと言えることかもしれません。

これからは、どういう対応をとることが可能なのか、どういうふうに考えていけばいいかということについて、私なりの考えを紹介します。さっき申しましたように、図1.13.1の1から3までの対応があるだろうということです。

図1.13.8は、これらを技術的に評価していくときの視点を書いたものです。結局、地球上では炭酸ガスの増加、あるいは気候の変化、水資源の偏在といろいろ起こるかもしれませんが、変化する発生の場が非常に広域的であるということで、対策技術の効果の評価が非常に難しくなる。例えば、何か行為をしたときに、その行為がここの地域にはどれだけ効いたという評価をするには非常に難しい問題がある。ある効果を得るためには、かなりの長期間の時間が必要になるだろう。ある技術の持つ特徴としてそういうことも考えられます。ある技術を適用したときに、その効果の持続性に問題が生じるような技術もあり得るだろう。それらも全部ひっくるめて、何度も申しましたが、現状では評価が不確実であって、評価手法の確立が必要です。今回の話題では特に対策技術とその評価となっていて、予測技術とか影響評価技術といったところが抜けているので、ぜひそれらの研究も並行して進めないと、こういった問題には対応できないと感じます。

図1.13.9は、水文循環の変化に対してとり得る解決策を羅列したものです。

解決方法として、じゃどんなことを考えるかということで、私は土木技術者ですから、まず我々が取り得る手段を挙げていきますと、マクロエンジニアリング、きょう午前中お話がありましたが、地球規模の水の循環、あるいは海流循環を制御できるかどうか。そうしたことによって、もとの状態あるいはプラスの状態に変えられるかどうか。これは疑問符をつけておりますが、そういう対応があり得るかもしれません。対策技術としてこういうマクロエンジニアリング的な発

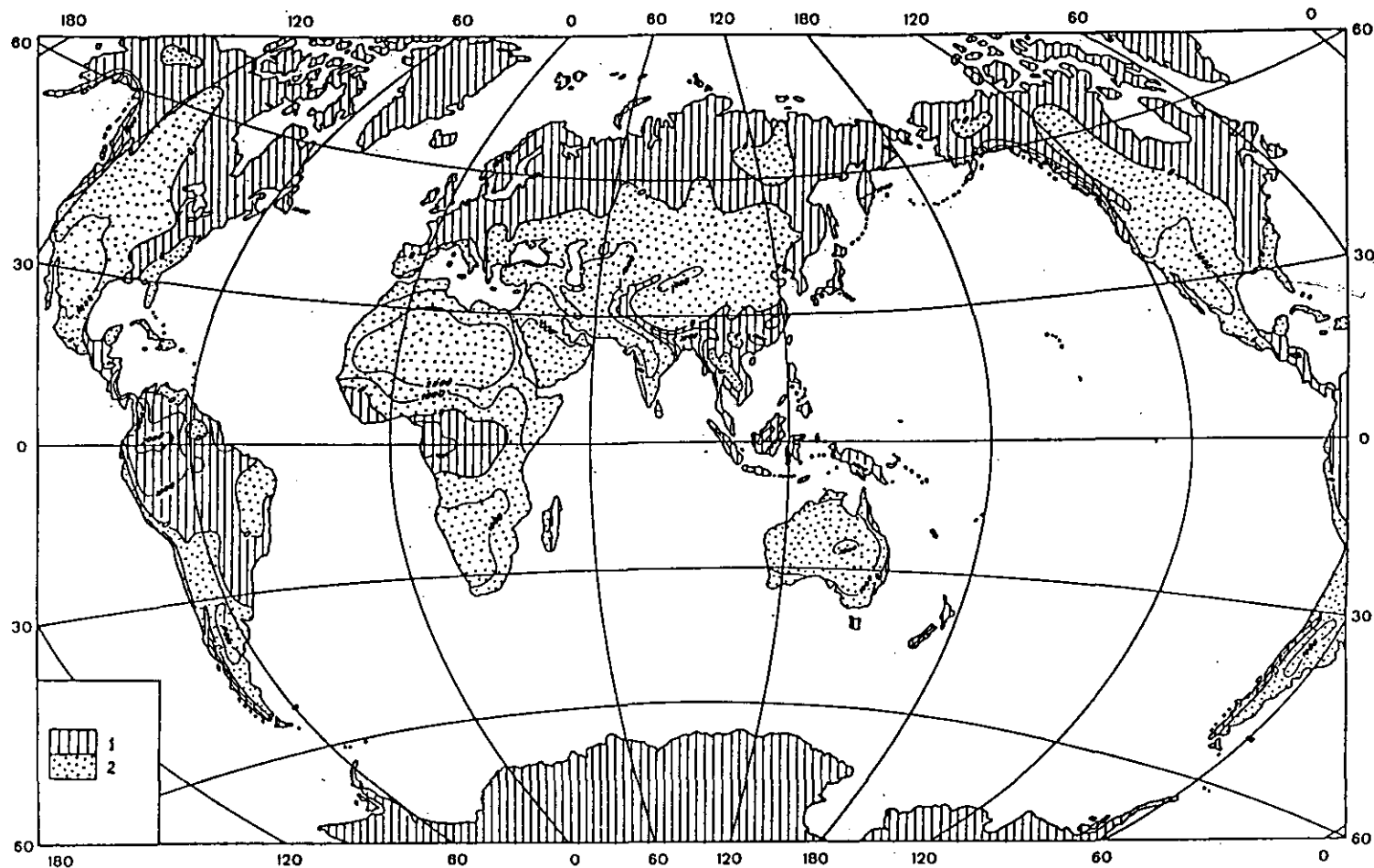


图 1. 13. 7 Areas of water surplus (1) and water deficit (2) in rivers (mm)
出典：Facets of Hydrology II edited by J.C. Rodda, P.348

- 1) 変化の発生する場の広域性
- 2) 効果の発生時間の長期性
- 3) 効果の持続性
- 4) 評価の不確実性 評価手法の確率が必要
- 5) 制約条件の問題 空間・時間・財政・技術力

※ 対策技術の評価と影響予測評価
水環境では最も重要？

図 1. 1 3. 8 技術評価の視点

- 1) マクロエンジニアリングの構築
河川工学から地球工学？へ 大規模水輸送、運河網
地球規模水循環・海流循環の制御？
気象工学？気象制御
- 2) 「水環境の変更・修正・利用技術
=土木技術」
土木技術と環境調和型技術
- 3) 新たな水環境への調和型技術とは？

気象制御技術	降雨・蒸発
生態系の活用技術	森林・植生
地形・地質等の活用技術	土壌・起伏等の活用
水質浄化技術	自然生態系の活用
水利用技術	※ 節水・再利用
	水代替物質の開発
	海水淡水化
耐水住空間創出技術	洪水対策
エネルギー開発	水力発電
その他？	

図 1. 1 3. 9 水文循環の変化に対応する対策技術？

想があり得るかどうか、それを問題提起として挙げさせていただきました。

ここでなぜ「河川工学から地球工学へ」と書いたかといいますと、つまり工学の対象として自然を扱って、一番大きな対象を扱っているのは現在河川工学だと言ってもいいぐらいなんです。これはどういう意味かといいますと、例えば黄河にしる揚子江にしる、ああいう大きな川を工学の対象として何か手を加えていろいろな制御を加えています。そういう意味では、河川工学というのは地球上で一番大きなものを相手に今まで行為をしてきたわけですが、そういうものだけでは足りなくなるだろうということで、大規模水輸送や運河網といった問題だっただけ起こってくるだろうと思います。

一例を紹介しますと、よくご存じだろうと思いますが、ソビエトでは昔から自然改造といまして、大変な水の輸送を行っているわけです。シベリアからウラル山脈を越えてボルガですか、その辺まで水を送ったりして、それに伴った自然環境への影響がいっぱい出ております。そういうこともありますので、水の大規模な輸送は、土木技術の面から言えばさほど問題ではなくなっていると言ってもいいんです。

もう一つの視点は気象工学あるいは気象制御という問題があります。今日、どなたもこの気象制御の問題について余り触れられませんでしたので、技術的な可能性としては恐らくこういうものも考えるのではないかと思います。

2番目は蛇足ですが、「水環境の変更修正利用技術は土木技術の根幹であった」と申し上げておきたい。環境調和型技術というのは何を指しているのか不明な点もございしますが、土木技術と環境調和型技術とはどうなるのかという意味でちょっとここに書いておいたんですが、土木技術そのものはもともと環境へ順応するといえますか、調和型の技術が中心であろうと私自身は考えています。

新たな水環境への調和型技術とは何かということで、ざっと書き挙げたのがこういう技術があり得るということです。

気象制御技術。例えば、現在、気象制御でどの程度のことがやられているかというのは、私は専門ではございませんから申し上げられませんが、ロッキー山脈の降水量を年間1割ぐらい増やすぐらいの可能性は持っている聞いております。ただ、そこで増やしたことがほかの地域にどんな影響を与えているかとか、いろいろな問題はあるかと思えます。だから、そういう意味ではまだまだ検討しなきゃいかん問題だろうと思いますが、降雨量とか蒸発量を制御する。制御できれば、温暖化に伴って出てくるような水環境の変化に対しては対応できる対策になり得るかもしれません。

生態系をいろいろな意味で活用していく。きょうもいろいろなお話がありましたが、これは全く頭の中だけで考えていますから、データがございませんので、これ以上は申し上げます。

地形、地質等の活用を何かできないか。水質浄化についてもいろいろ考えなきゃいかんだろう。水利用の技術も人間サイドとしてはいろいろ考えなきゃいかんのだろう。節水とか再利用という

ことをもっと積極的にやらなきゃいかんでしょうし、水代替物質を開発するとか、海水の淡水化といったことだってあり得るだろう。

地球上で使われている水は、地球上の河川水の12~13%です。約5,000立方キロメートルぐらいの量です。一番多いのは灌漑用水です。例えばスプリンクラーで灌漑するか、もっと別の方式で灌漑するか、そういったことを考えるだけでも、水の立場からいえば問題が解決する技術があり得るかもしれません。

耐水住空間の創出技術。これは洪水対策です。きょうは海面が上がるという話を全部除いていきますけれども、とにかく洪水対策のためには、水につかっても丈夫な住空間をつくれればいいじゃないかという対応もあり得るだろうと思います。

エネルギー開発としては、水力発電は現在はかなり日本なんかは限界に来ていると思いますので、余り期待はできないかもしれません。これは、こういう技術があり得るだろうという意味で列挙しただけです。

図1.13.10は、水文循環の変化への対応策をもう少し細部に分類したものです。これは蛇足ですが、降雨量を変化させたり、蒸発量を変化させたり、日本なんかでは融雪が早くなると言われていますので、融雪をおくらせる技術があり得るとすればこういうものを研究しなきゃいかんという意味です。

アルベドの変化、こういう問題、いろいろありますが、こんなことは蛇足ですからやめます。これは全く頭の中で考えていますので恐縮しますが……。

3番目の水環境の変化に順応するというのを考えただけでも、じゃどんなことを考えなきゃいかんかといいますと、例えば日本でいいましたら1945年以後、たくさんのダムをつくって水資源を開発してまいりました。それが国土面積の上に降る雨の量の35ミリ分、つまり、日本には1,500ミリぐらい降りますから、1,500分の35ミリぐらいため込める容量のものをつくったという意味です。例えば、これが温暖化で100ミリ増えたり減ったりすると、同じぐらい、あるいはそれに数倍するダムをつくらなきゃいかんかもしれません。そうなると、45年から約50年かけてつくってきたダムと同じぐらいのダムをこれから50年かけてつくっていけばいいだけの話ですから、そう大した話じゃないのかもしれませんが、ここで申し上げているのは非常にラフな数字だということをお断りしておきますが、ダムの適地がなくなっているとか、環境問題が出てまいりますから、そういうことを考慮していく必要があります、我が国で年降水量が100ミリ増減することがあれば、大変解決困難な問題と言えらると思います。

そのほかに水害対策の問題もあります。また、沖積作用が変わり得るのかどうかという問題もあります。流出のサイクルが早まりますから、当然沖積作用が早まるんだろうと思いますので、そういったときにどういう対応があり得るのかということをごここに挙げた次第です。

時間が来ましたので、私がきょう特にお話ししたかったことを最後につけ加えさせていただきますと、対策技術として原因をシャットアウトできない水文学あるいは水資源学の立場から申し

1. 原因の除去
温暖化の防止

2. 変化要素の従来への復元方法 積極的
温暖化は受容し、変化要素を人為的に復元する。

2-1 水文気象・土地利用要素

降雨量の変化	降雨量の調節 (気象制御技術)
蒸発量の変化	蒸発量の調節
融雪の早期化	融雪遅延方法
森林植生の変化	適合樹種・施業法
アルベードの変化	土地利用の調節

2-2 水文循環量

樹冠遮断の変化	樹種の選定
保水能の変化	表土層の改良
流出量の変化	流況の調節
一般的手法	貯水池、 植生の活用 (林業施業法等)
流出の迅速化	表層土壌の活用
流出量の増大	粗度の増大、表面流出の抑制 (地下水涵養法等の導入)
流出量の減少	水源域での消滅 (雨水の浸透工法、蒸発量の増大策)
	水源域での蒸発抑制 (森林の活用)

土壌水の変化 表層土壌の改良、蒸発量の調節

地下水の変化 地下水涵養あるいは地下水揚水

2-3 各手法の問題点

- ①現況では貯水池の建設が最も確実で、地下水涵養法を除けば他の各手法ははまだ研究段階にある。
- ②河川流域での対処の仕方は多額の経費を要するであろう。
- ③水循環の変化による水質問題に留意する必要がある。

3. 水環境の変化に順応する。 消極的
変化した水文循環系に順応した住み方をする。

3-1 水資源の開発

①ダム開発

1985年まで有効総貯水容量	129億トン
流域面積当り	46mm
国土面積当り	35mm

1945年以後 上記の93%

- ②節水・再利用の促進
- ③海水の淡水化
- ④用水の再配分

3-2 洪水災害の防止・軽減

- ①防災施設の拡充 堤防・貯水池・遊水地
- ②住みかたの工夫 土地利用の合理化・規制
耐水性住宅
- ③流域保全 開発の抑制・調整

3-3 沖積作用の保全

- ①人工海浜の建設
- ②河道や溪流の変動を防止する。 砂防・河川工事
- ③土砂の人為的運搬・堆積

3-4 土壌水分の保全

- ①適合した作物の生産
- ②灌漑排水網の整備
- ③農業体系の再編成

3-5 地下水の保全

- ①地下水利用の規制
- ②塩水化防止

3-6 水質の保全

- ①水質保全施設の拡充 下水道・高度処理技術の活用
- ②排水規制 水の再利用・負荷の削減

3-7 その他

図 1. 1 3. 1 0 水文循環への対応策の研究課題

ますと、一番大きな問題を生じるのは水資源の問題、地球上での水の偏在の問題、及び我が国では洪水対策の問題だろうと思います。それに対して我々がとり得る技術は、お金はかかりますけれども、従来の方法の延長線上である程度可能ではないかと私は思っている次第です。

以上です。

1-14 交通におけるエネルギー消費とその転換の可能性

石谷久（東京大学工学部教授）

スケールの大きなお話の後に細かい話で恐縮でございますけれども、交通エネルギー需要においてソース側を少しでも少なくするための可能性と、現在どのくらいのオーダーで使用しているかといったことを、問題提起として簡単にご紹介させていただきます。

時間がございませんので、要点とアウトラインだけをお話しさせていただきたいと思いますが、まず最初に一般論を話させていただきます。

図1.14.1は、グローバルな環境問題の一般的特性を要約したものです。省エネルギーとか環境問題は、個々の影響は余り大きくないが、従来の経済的に合理的な行動の結果としていろいろな消費形態が定まった結果、新たに全体のシステムとしての合理性に問題を生じたということであって、その解決を図ろうとしても、個人レベルでは経済的な問題に引っかかるということが大きな特徴だと思います。交通問題では特にそういう感じを強く持つものですから、あえて指摘させていただきます。

従いまして、新たに代替手段を提案しようと考えますと、一つひとつの特性が極めてわずかしこ改善されない。せいぜい数%で、よくても10%に満たないというのが一般的です。その場合になおかつそれを促進しようとしますと、複合目的とか多目的の利用システムを考えないとなかなか実現しないのですが、現実には、それができないために実現の障害になることが多いのではないかと思います。

逆に言いますと、現在、そういう代替手段が普及しないのは、技術的とか経済的、あるいは行動心理的に、現有のシステムに十分対抗できるだけの可能性がないと見られていることを示します。特に個人的なユーザーが初めから全体構造を考えて行動することはまれですから、そのような実用上の障害を何とかしてカバーしないと実用化できません。特に交通問題の場合には民生部門であって、個人部門の行動が非常に大きなエネルギー消費をもたらしますので、そういうところを考えないといけないと思っております。

図1.14.2には、公害研から借用したデータを示しており、全体の状態を簡単に見ていただいておりますが、運輸部門で大体22%の炭酸ガス発生となっています。ここでは原子力が抜けておりますので、エネルギー全体からみますと、日本の場合には大体15%であって、これはごくわずかな量ですが、石油だけから見るとかなり大きく、40%近くを占めます。

全体的な傾向といたしましては、日本の場合には産業部門のエネルギー消費が非常に大きいので、これにマスクされているわけですが、アメリカでは、交通エネルギー消費はかなり大きくなっておりまして、エネルギー全体でも4分の1を超えています。日本でも、この10年ぐらいで交通エネルギー消費は確実に増えており、それもガソリン消費が増えているということで、この部門が今後広がるという話は——先ほどもガソリン消費が増えているというお話がございましたけれども、大きな問題ではないかということになります。

一般に省エネルギー、Global環境問題は基本的には

個々の影響は余り大きくないこと、

従来に経済的に合理的な行動の結果、新たに全体としての合理性に問題を生じたもので

あって現在の経済的な合理性では解決困難である。

などから、その時点の経済性まで考えると画期的に効果のある代替手段（代替エネルギー、
や代替システム）が期待できるものではない。

従って、新たに提案される代替手段は一つ一つの特性は数パーセント程度、良くて10

パーセントに満たない様な改修の積み重ねで進める必要がある。

=>複合、多目的利用システムを検討することが必要。

他方で、現在他の代替手段が普及していないと言うことは

技術的、経済的、行動心理的に現用のシステムに十分対抗、競合出来ない可能性が強い、

特にスタート時点では個人的なユーザーとして経済性が成立することは少ない。

図 1. 1 4. 1 Global 環境問題の一般的特性

単位: 10^{11} mol/年

	鉱工業			農水	運輸	民生	計	比率 (%)
	鉄鋼	その他	小計					
電力	7.3	25.2	32.5	0.3	1.7	28.4	62.9	30.4
石炭	26.1	7.8	33.9			1.4	35.3	17.1
石油	2.1	26.2	28.3	6.7	43.8	24.8	103.7	50.1
天然ガス	0.2	1.1	1.3			3.6	4.9	2.4
計	35.8	60.3	96.1	7.0	45.5	58.2	206.9	
比率 (%)	17.3	29.2	46.5	3.4	22.0	28.2		

図 1. 1 4. 2 日本におけるCO₂排出量の概算
(公害研究所)

こういう状況で、交通における環境問題というのは何かということになりますが、今申し上げましたように、交通エネルギーというのは民生エネルギー消費の中で非常に大きなシェアを占めています(図1.14.3)。すなわち全消費量の15%になって民生エネルギーの4割に達するというのですが、その中でも道路交通エネルギーは80%ぐらいになります。これは、単に輸送量が大きいというだけではなく、鉄道に比べてエネルギー効率が極端に悪いということを反映していますが、いずれにしろ影響が非常に大きいものです。

もう一つ、環境・資源保存の立場からは代替燃料があるかどうかとも重要ですが、ここ30年ぐらい自動車は技術進歩が著しく、効率も上がり、使いやすくなっているために、ほかの代替燃料に直ちに交代できなくなっています。特に車は燃料とともに移動するために、鉄道などに比べて燃料を代えるのがそう容易ではありません。アルコールを使った自動車などいろいろ考えられておりますが、経済的にもとても太刀打ちできず、石油燃料が問題になる場合には、エネルギー問題としてもかなり深刻な問題を抱えている点にも留意する必要があります。

先ほど申し上げたように、自動車交通は個人的使用が中心で(特にアメリカなどでは自家用車の比率が高いわけですが)、グローバルな問題に対する考慮が反映されにくい状況にあります。産業ですと、国全体の産業構成とか経済性によって直ちに環境問題がその行動様式に反映しますが、自動車は個人の嗜好等が大きな要素を占めますので、環境問題に対応する施策を誘導しにくいという問題があります。

4番目は環境問題全般の話ですが、交通混雑によって利便性が著しく低下し、また燃費も低下します。そのほかに、環境問題としては排ガスとか騒音などの問題も出ております。

次は、この問題に対する私の立場ですが、このような状況に対処する目的で大学関係で行っている科研費によるエネルギー特別研究の一部の、そのまた一部に地域エネルギーという分野があり、その中でまた自動車交通のエネルギー評価とか、その改善策の評価指標に関する研究を行ってきました。

この中で具体的に問題になることは、自動車交通というのは非常に身近に感じられるにもかかわらず、定量的には非常に把握しにくいという点です。特に利用形態とか運送実績など、実態がまるでわからないところがあり、この辺が個人の動きの非常にわかりにくい点です。また、道路の込みぐあいによって燃費なども非常に変化します。

もう一つ、代替手段に転換する場合も、もともと便利だから自動車が使われるわけで、その利便性を失うような代替手段は持ってきても意味がないということになります。したがって、利用形態の把握とエネルギー消費量の評価手法からまず検討し、その次に利用形態の効率化による改善策とその効果の評価をやりまして、最後に代替交通機関への転換ということを考えるわけです。この分野でも経済的な代替手段はほとんど可能性がないのですが、幸い、公害研では、後でお話しになる清水室長が電気自動車の実用化を非常に熱心に推進しておられるので、この電気自動車への転換の話と結びつけまして、この場合に何が問題となり何が可能かといったようなことを定

量的に評価してみたわけです。

もう一つは、交通エネルギー消費の面では、日本の大都市で特に顕著ですが、人口密度が非常に高く道路が使いにくいということで、鉄道が強い競争力を持っています。ご承知のように、鉄道は電化が100%進んでおりますし、もともとエネルギー効率がよいものですから、電気鉄道へ転換する効果と共に、その場合に何が問題になるかを検討しました。この場合は、エネルギーよりはむしろ利便性の問題が出てまいりますけど、こういった研究を一部の地域、実際には関東地域を対象として分析してきたアウトラインをお話ししたいと思います。

次に、主に電気自動車の話ですが、この場合、環境問題を評価するとき何が問題になるかという、当然、技術的な可能性が問題になります(図1.14.4)。電気の場合にはガソリンと違いまして航続距離が十分とれないので、まず運行支援システムといったものが必要になってまいります。自動車の場合には生産システムが完備しておりますが、電気の場合は、自動車本体のほかにも、支援システムとか生産システムまで同時に考慮しないと、とても技術的可能性はないというところがございます。

経済的な可能性から見ますと、先ほど申し上げたように、現在の状況で比較しますと、その可能性はゼロに等しいということになります。すなわち、単体としての自動車の経済性は成り立たないということですが、こういうエネルギー問題とか環境問題が生じて、これを進めるべきだという議論が出てきますと、転換のための促進手段が何らかの形で必要になります。我々は工学の分野なのでなかなかこの分野に入りにくいのですが、今後のことを考えますと、補助金や罰金をかけて何らかの転換を促進するような場合にも、合理的な基準が必要かと思えます。こういう分野は経済学者の喜んでやる分野だと思えます。

3番目はもっとわけのわからない話ですが、行動的とか心理的側面で、これも個人にとって使いやすいとか見えが満足されるとか、そういった話も上手に持っていかなければいけないということで、これは技術的可能性も反映しますので、その辺も少し考えなければいけないことです。

1につきましてはこちらの清水室長がかなり細かい検討を既にされておられまして、その技術的なフィージビリティスタディをずっと進めてきていますが、その実現可能性を現在はもう少し具体的に、1つのパイロットモデルみたいなもので検討している状況にあります。

当然だれでもわかる話なんですけど、最大の問題は電池の性能、重量で、エネルギー容量がガソリンに比べて非常に少ないというところにあります。その結果、航続距離とか性能に限界が来るわけですが、相手はこの30年ぐらいの間に、非常に技術の進んだガソリン車ですから、こういうものに対してどのくらいまで太刀打ちできるかというのが極めて重要な問題になります。

2番目の問題、すなわち、単体でかないっこないものをなぜやらなければいけないかという話は、結局、エネルギー消費のマクロ的な評価とか、環境問題を検討して初めて可能になるということなので、その辺は以下にお話しするような枠組みで検討してみました。

時間がないので、枠組みと最終的な結果だけをちょっと紹介させていただきたいと思えます。

交通における資源エネルギー的なGlobal環境問題、
交通機関としては、エネルギー的にみれば、特に小型ガソリン乗用車は以下の点で問題も多く、検討を進めてきた。

1. 交通エネルギーは民生エネルギー消費の中で大きなシェアを占めること。
交通エネルギーは総エネルギー消費の15%、民生エネルギーの40%
道路エネルギー消費中では80%が道路交通エネルギーとなる。
2. ガソリン自動車の燃料代替は容易でないこと。
3. 個人的使用が中心であって、Globalな問題に対する考慮が反映されにくいこと。
4. 交通混雑により、利便性が著しく低下すると共に燃費（エネルギー使用効率）も低下する。併せて各種廃ガス、騒音などの他の問題も生じていること。

これらの状況から、主として文部省科研費によるエネルギー特別研究の一部では地域エネルギーの一貫として自動車交通のエネルギー評価とその改善策の評価手法に関する研究を行ってきた。

特に自動車交通はまづその利用形態、運用実績などその実体が良く分からないこと、代替手段への転換においてもその利便性を失わないような配慮が必要なことからエネルギー消費量の観点からは

1. 利用形態の把握とエネルギー消費量の評価手法の検討。
2. 利用形態の効率化による改善策とその効果の評価。
3. 代替交通機関への転換。
 - 1) 電気自動車への転換
 - 2) 電気鉄道への転換

などの研究を一部の地域を対象としたケーススタディを中心として行ってきた。

これらの結果から特に電気自動車への転換が実現されればエネルギー・環境的な効果が大きな事が確認されており、現在も引き続きその実現を目指した検討をすすめている。

図 1. 1 4. 3 交通における資源エネルギー的なGlobal環境問題

電気自動車における環境問題評価

電気自動車についても

1. 技術的可能性：
移動体自身
支援システム、
生産システム
2. 経済的可能性、競争力
globalな経済性
移動体単体としての経済性、製造、維持、システム維持
=> 転換のための促進手段
3. 行動的、心理的側面
規制等を含む利用環境
個人的な経済負担
純心理的な満足感

このうち1. については公研研、清水氏の検討に基づいた技術的なフィジビリティスタディを経て、現在その実現可能性をより具体的に検討している。最大の問題は電池の性能（重量、エネルギー容量）の限界にあり、これまで激しい競争によって、性能が向上してきたガソリン乗用車に比較し得る性能を得ることが極めて重要な問題となっている。

これに対してマクロ的な各種のエネルギー消費の評価検討は2. の立場における分析であり、全体的なガソリン車の利便性を再検討したものと見える。

図 1. 1 4. 4 電気自動車における環境問題評価

先ほど申しあげましたように、自動車単体の話は純粋に技術的な問題で、これも材料の問題とか、最近の技術をどう使うかといった総合システムの問題になります。それ以上に交通のエネルギー問題を分析しなければなりません、道路交通の場合にはデータがまるでないにもかかわらず、燃費が道路交通によって影響を受けますので、この辺の定量的分析からスタートして、この5～6年ずっとやってきたわけです（図1.14.5）。

大抵こういう話のときには市街地走行として10モード燃費というのが出てまいります、10モード燃費そのものが非常に古いわけです。10年以上前にそれまでのモードでは合わないということで決められましたが、実際には10モード燃費というのはほとんど実現していない。実現していないとか、ああいう走り方をしていたら交通の障害になるということです。したがって、実際の走行パターンからまず計測して、その上で一体燃費がどのくらいになるかを推計するわけです。自動車会社はそういうデータを完璧に持っていますが、重要な企業秘密で、絶対に教えてくれません。しょうがないからこちら側でいろいろと適当なモデルで実際の測定に合うようなものを作りますと、10%内外では非常によく合って、逆に燃費を見ていると道路の傾斜まで出るというぐらいまでできました。自動車会社の場合には0.1%ぐらいまで抑えられているそうですが、燃費の問題というのは非常にデリケートで、一切教えてもらえないので、そういうところを外側からブラックボックスで見つけるといったようなことをやっております。

実際に走行するようになりますと、今度は、ローカルな燃費は計算できても、自動車そのものはいろいろな道路を走りますので、マクロ的にどういう燃費特性を持つかといったような平均化を行います。他方で地域の交通データが必要となります。これがまたサンプルデータしかなくて、何年かに一遍、水曜日の1日24時間を調査いたしますと、これが1年間続くという前提でやるわけですので、かなり大胆な仮定ということになります、検討する種としてはこれが一等精度がいいものとなります。このODデータをもとにして、さらに地域の道路データを利用して、実際の経路を推定し、地域の交通量の分布を計算します。そして、この話とあわせて初めてエネルギーの評価ができることとなります。その一方で電気自動車のモデル化を進めて、様々な走行パターンに対する走行燃費特性を計算して、最終的に電気自動車に転換すると、省エネルギーの効果はどのくらいになるか、あるいは地域交通の状況を少し整理するとどのくらい省エネが可能かといったことを分析したわけです。

これからはさらに細かい話になりますが、電気自動車と一般の自動車の比較で何が問題になるかという点は、清水さんが非常に要領よくまとめておられます（図1.14.6）。皆さんよくご承知のように、電気自動車は走行レンジと走行性能が落ちる。これが個人には非常に大きな影響を持つ上、価格も高いときたら、買う人はいないわけですが、この辺の性能がどこまでいくかを今検討中です。

そのほか、公害問題に関しましては問題がなく、騒音などは非常に少なくなって危険だという議論すらありますが、排ガスももちろんなくなります。

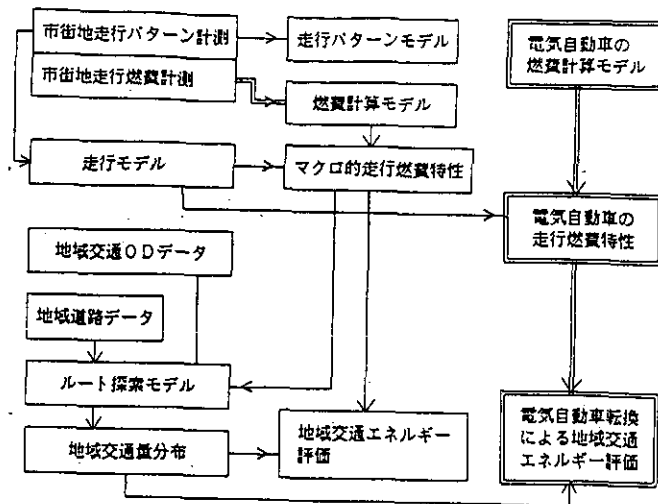


図 1. 1 4. 5 分析の概要

項目	特性
動力性能 レンジ（一充電走行距離） 最高速度 加速度（0-400m加速）	著しく劣る（約1/4） 少し劣る かなり劣る
費用 購入費用 維持費	かなり高い（約3倍） ほぼ同等
公害関連 排ガス 騒音	なし 著しく少ない（約1/10）
エネルギー関連 総合効率 代替性	良好（約1.5倍） 可能（石炭、原子力、水力等）
その他 安全性 居住性 運転の容易さ 保守性	良好（衝突時火災なし） 良好（振動、騒音少ない） 容易（インストールなし） 良好（構造簡単）

図 1. 1 4. 6 電気自動車と一般自動車の性能比較

最も重要な燃費については、いろいろな前提条件がありますが、一般的に言えば燃費はかなりよくなると見込まれます。この場合、現在のガソリン車に比べて1.5倍、あるいは2倍改善されるかといったような議論は、条件によってかなり違いますが、最低限見積もっても1.5倍ぐらいにはなるというのが現在実証されている範囲だと思います。ここにいろいろな技術進歩、特にモーターの性能とか電池の性能向上を入れてよく見積もりますと、3倍ぐらいまでの改善は可能であるといった結果になりまして、それを今実証中です。

そのほか、個別の問題になりますが、実際に走行特性をつかんだ結果として、10モードにおける問題が挙げられます。特に10モードでは、法定速度以上出さないという前提がありますが、実際には、40km/hの法定速度を守る車はほとんどありません(図1.14.7)。また、何年か前のトラックで出せる加速度と、現在の平均加速度では50%ぐらい違います。加速度でほとんどエネルギーを消費しますので、現行の走行では、10モード燃費はまず実現できず、結果としては大体30%ぐらい、場合によっては50%ぐらい燃費が低下するといったモデルになりまして、これですと実際の燃費とよく合うモデルができております。

そういうことを計算して、例えばこういう図ができております(図1.14.8)。これはどういう走行モードでどのぐらいのエネルギー効率で走るか——燃費と言ってもいいですが——を計算して図にまとめたものです。これをもとにして、町中でどのぐらい走れるかを計算します。

次は、関東地方の地図です。マル一つひとつを単位とした地域間の交通量、いわゆるOD(Origin Destination)が得られております(図1.14.9)。その交通量をインプットして、前述の道路データとあわせて、実際にどういう道路を通るかということを計算し、そのパターンから、消費するエネルギーとともにその交通量が示されます。

図には、現状の道路のパターン並びに計算された交通量のパターンが示されています。手間のかかるプロセスですが、計算機では大した計算ではなく、最終的にこのくらいになるというのが出てまいります(図1.14.10)。

この図は、結論の一部です。ここは比較が出ておりませんが、交通管制を上手にして——管制は無理だとしても、遠回りをさせるとか、込んでいるところを避けるように自動車を誘導した場合に、関東地方でどのくらいエネルギーが得になるかを計算しますと、せいぜい5%にすぎません。逆に言いますと、現状でもかなり効率よく運転されていることを示しますが、これは当たり前前の話で、込んできているところはだんだん避けて効率化されてきます。したがって、これ以上よくしようとしても、せいぜい3%ないし5%しかよくなることになりません。

それに対して、電気自動車でも小型の乗用車と貨物自動車を代替したらどうなるかを検討すると、これは非常に効率的であることが示されます。図1.14.11中の単位は余り意味がありませんが、燃料消費を 10^6 リッターを単位として考えたときに、11から7ぐらいまで下がります。これは効率改善率からいいますと、30%ぐらいになるわけです。ここで用いた前提条件にはいろいろ不確定要素もありますし、要素技術も最高のものを選ぶようなモデルで電気自動車を考えていますが、

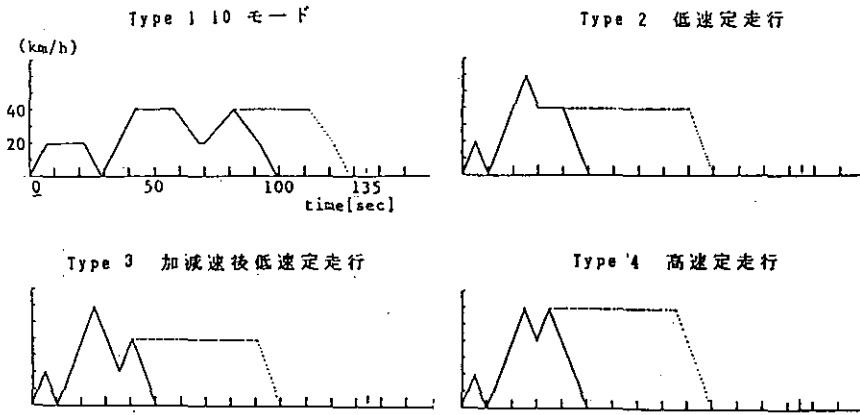


図 1. 1 4. 7 類型化された実走行パターン

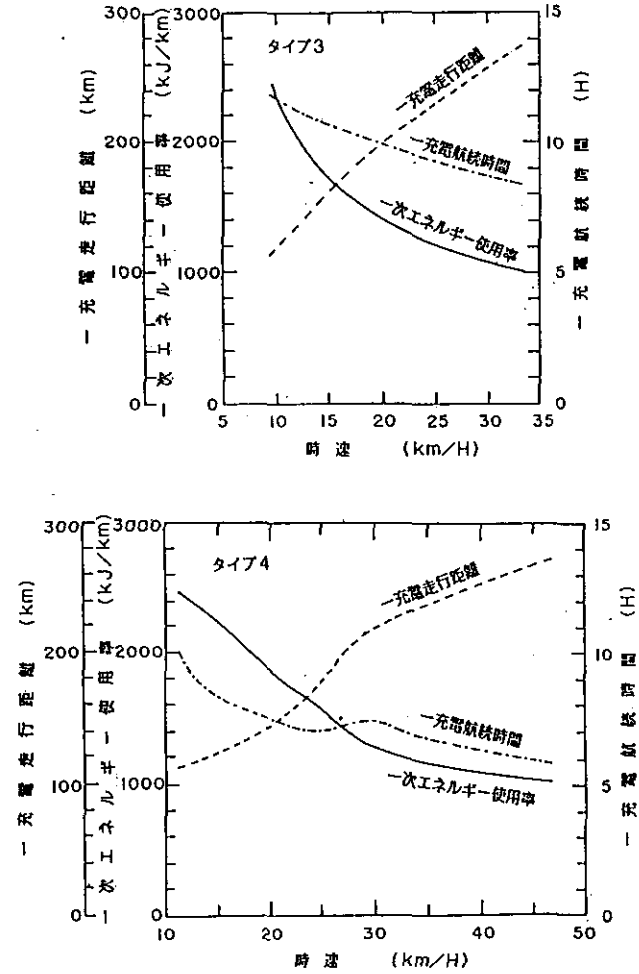
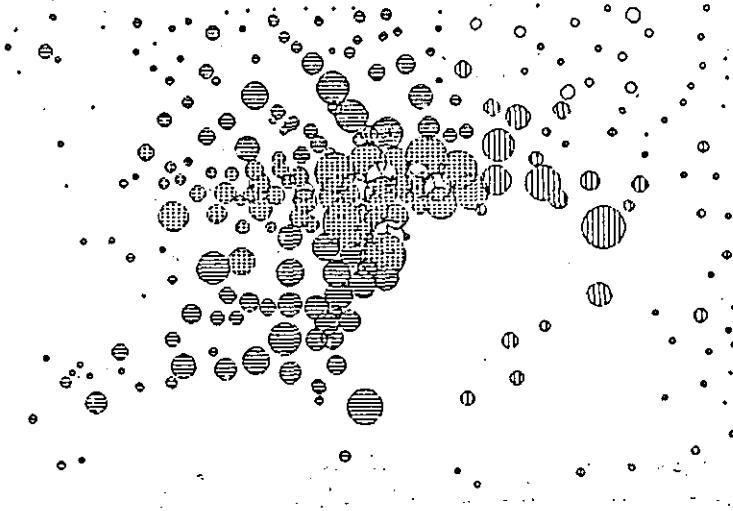
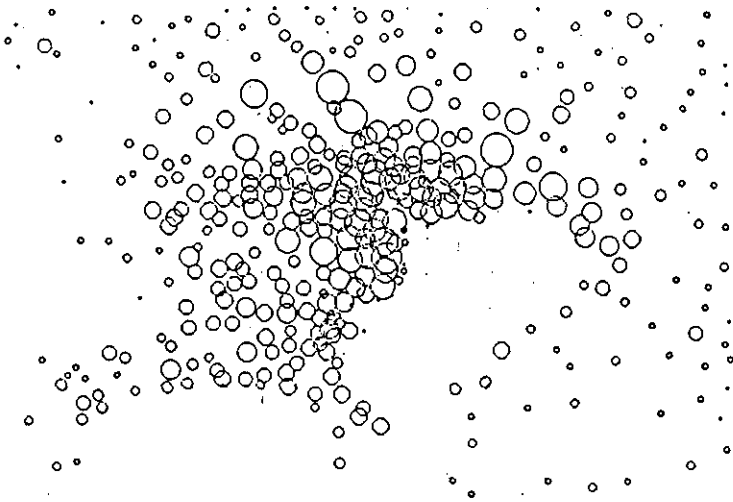


図 1. 1 4. 8 走行モードにおける燃費の計算例

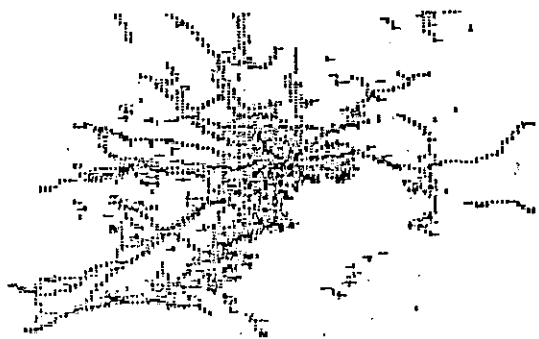


(1) 対象地域内の自治体の分布

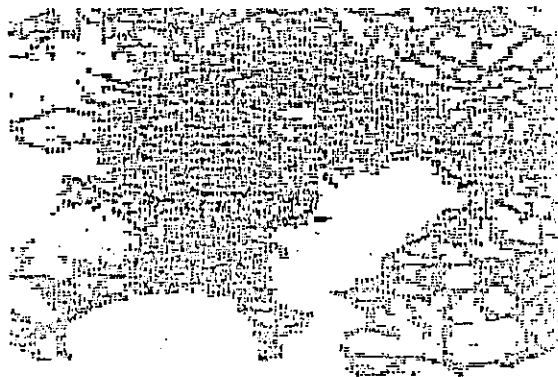


(2) 対象地域内のB-zoneの分布

図 1. 1 4. 9 対象地域内の自治体とB-zoneの分布



(1) 幅員11.5m以上 1 dot = d/200m



(2) 幅員11.5~5.5m 1 dot = d/300m



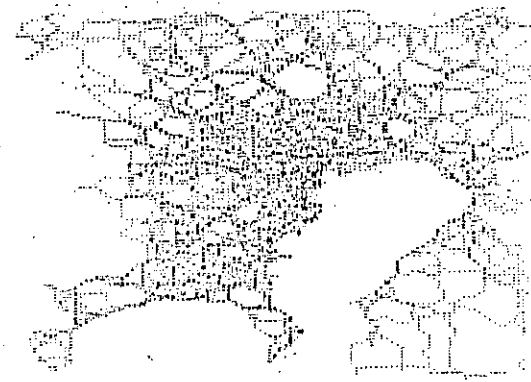
(3) 幅員5.5~3.5m 1 dot = d/1000m



(4) 荷重加算した道路延長 1 dot = d/400m



(1) 対象地域内の総交通量 1 dot = SQR(台)/21



(2) 対象地域内の小型車交通量 1 dot = SQR(台)/21

図 1. 1 4. 1 0 道路パターンと交通量の現状

車種別の交通量，トリップ時間，燃料消費量

	総計	乗・貨客	軽	貨物	その他
総交通量(10 ⁷ 台-km)	7.3324	4.6119	0.49798	2.20657	0.0159
トリップ時間(10 ⁶ 分)	2.3135	1.4348	0.1512	0.6732	0.0543
燃料消費(10 ⁶ ℓ)	11.4026	5.6453	0.3039	5.35624	0.0972

電気自動車転換における燃料消費量の改善

		乗・貨物	総計
ガソリン車	燃料消費(10 ⁶ ℓ)	5.6453	11.4026
	消費率(ℓ/km)	0.1224	0.1551
電気自動車	燃料消費(10 ⁶ ℓ)	2.0692	7.7965
	消費率(ℓ/km)	0.0449	0.1063
改善率 (%)		63.35	31.63

図 1. 1 4. 1 1 電気自動車に交えた時の燃料消費量の改善

それを除いてもこの30%が15%ぐらいにはなると見込まれます。そういう意味では、さっき申し上げたような性格を持つ省エネ技術としては、ほかのメリットもあわせるとかなり大きいものではないかと思われます。それにもかかわらずこれが普及しにくい原因が、その性能をはじめ、最初に申し上げたように非常に多くあります。このうち、少なくとも性能面において満足できるものが達成できるかどうかを現実に見ないといけないというので、現在、電気自動車のフィージビリティースタディを進めているところでございます。

時間ありませんので、問題提起ということで終わらせていただきます。

I-15 地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するアンケート調査結果報告^{*)}

清水浩 (国立公害研究所 総合解析部地域計画研究室)

^{*)}本報告は、セミナー当日に行った発表内容を記録したものであり、中間集計段階のものである。具体的な数値、図表等、アンケートの最終結果は、本報告書第Ⅱ部に収録してある。

本日のセミナーに先立ちまして、これまで対策技術に関するアンケート調査をさせていただいております。きょうは、中間的な報告をさせていただきたいと思っております。

今回のアンケートの目的は、1)地球温暖化対策技術としてどんなものがあるかをできるだけ漏れなく集めること、2)数多くある対策技術を評価するための手段について手がかりを得ること、3)現時点での知見でこれらの対策技術を評価すること、4)現在の段階での地球温暖化対策技術の開発状況を大まかにとらえること、5)地球温暖化対策技術について広く意見をお聞きする、ということでございます。

このアンケートは国立試験研究機関、大学、民間研究機関の方々にお送りしておりますけれども、そのお送り先の基準は、国立研究機関につきましては環境関係の研究に従事している方、あるいは過去に従事したことのある方、大学に関しては、つくば地区で環境研究に従事している方、全国の大学でエネルギー関係の研究に従事している方ということにさせていただきました。民間研究機関につきましては、つくば及びこの周辺に研究拠点を持っていて活動しておられる会社にお問い合わせいたしました。

送付先は、個人では国立試験研究機関でリストアップできた 509名の方、大学では75名の方、団体としては国立研究所の所長さんあて28通、民間の会社の研究所の所長さん、あるいは社長さんあて 140通、法人等20通で、合計 772件を送らせていただきました。この発送は8月4日に行いまして、8月30日現在で 266名の方からご回答を得ております。

次に回答の内容に移りますけれども、まず、どういうフィールドについて興味があるかということをお尋ねした結果についてです(第Ⅱ部表2.1.1)。地球規模の環境問題には、事象として、地球温暖化、オゾン層破壊などがあり、調査表ではこれらを縦に並べてあります。また、研究の課題としては、現象解明から始まり、影響把握、対策技術、制度、政策、その他がございます。今回は特にその中で地球温暖化に絞り、しかも対策技術ということを中心に行っているわけでありまして、それ以外の事象、課題にも多くの回答者が興味を持っておられます。

対象といたしましては、地球温暖化に興味を持っておられる方が一番多くて、それから酸性雨、砂漠化、オゾン層破壊。課題につきましては、対策技術に興味を持っておられる方が一番多かったということでございます。

次に、回答いただきました方々が地球温暖化対策技術についてどうかかわりを持っているかとお尋ねした結果です。全回答者の中で研究として取り組んでいる方が20%、今後研究として

取り組みたいという方が40%近くあり、約60%の方が研究として取り組んでいる、あるいは取り組みたいと考えておられるということでした。

事前に、巻末資料というものをつくりました。これは、これまでにどのような技術が対策技術として考えられるかということを一覧アップしたものです。アンケートのお願いの際には、この資料を同封しております。この資料をごらんになって関心のあるものを選んでいただき、その評価をしていただくというのがアンケートの問いの項目としてございました。そこで挙げた項目が151項目ございます。151項目すべてにわたって回答が返ってきておりまして、約1,200件が評価の対象となっています。

アンケートの問いで、個々の技術の専門度をお聞きする項目がございますけれども、そこで「極めて近い」あるいは「近い」という回答をお寄せくださった方を、その技術分野の専門家であると、ここでは定義させていただきました。

その技術の興味についての回答は、全回答の集計については、太陽電池、砂漠の緑化、燃料電池、コジェネレーション、温度差発電、化石燃料の代替としての水素、電気自動車、スーパーヒートポンプ、水素自動車、波力発電、核融合、CO₂の分解というものが関心が高く、専門家の方のご回答では、コジェネレーション、燃料電池、太陽電池というようなものが関心が高かったという結果が得られております。

また、効果が大きいという回答をされた技術としては、核融合、安全が保障されたという条件付きの原子力、超電導電力貯蔵、砂漠の緑化、水素自動車、電気自動車、太陽熱給湯、水力発電、スーパーヒートポンプ、コジェネレーション等で、専門家の評価としても、やはり核融合が効果が大きいという結果でした。

このような集計結果をもとにして多少の解析を試みた結果の一例がこの図（第Ⅱ部図2.4.1）です。これは、技術的、経済的、完成時期から見た困難度を総合的にあらわして、それと効果の大きさの相関をとったものです。

横軸は技術の難しさと、右側に来るほど技術が難しく、対策の効果の大きさとしては上に行くほど大きいということです。

この図で、上のほうで「夢の技術型」と書いたような領域の技術、「開発期待型」と書いたような技術、「実用型」と書いたような技術、という形の分類がある程度できるという結果が得られました。

この図で、夢の技術型というのは、非常に効果が大きいけれども非常に難しいということの意味しておりまして、開発期待型は、効果がまあまあ大きくて適度に難しい、実用型というのはもう既に実用に近いもので効果も大きいというものです。

これらのカテゴリーに分けられた具体的な技術といたしましては、「夢の技術型」と名前をつけた技術については核融合、「開発期待型」と名前をつけたものについては、太陽電池、電気自動車、砂漠の緑化、超電導電力貯蔵などが挙げられます。実用型には、コジェネレーション、太

陽熱給湯、水力発電等があります。ご存じのように、コジェネレーションは、発電の際に発生する熱を給湯に使う、あるいは暖房に使うという技術です。

もう一つの設問としまして、「私どもが挙げたリストで抜けている技術があったらお書きください」ということをお聞きしています。それにつきましては、新たに75件、新しい技術として挙がっております。

「回答をくださった人が既に開発中の技術を挙げてください」というご質問に対しては、58件の回答がありました。

自由回答として幾つかが返ってきておりますけれども、それを分類してみた結果を説明します。

課題ごとに分類してみますと、今回の目的は対策技術ということでございましたけれども、それにもかかわらず、現象の解明の予測が何としてでも重要だという回答をお寄せくださった方もかなりあります。影響の把握が重要だとお答えくださった方もありまして、問題の広さを浮き彫りにしているということであるかと思えます。

対策について注目されるのは、「自然科学的な対策のみならず、社会科学的な対策が重要である」とご指摘された方がかなりの数に上っているということです。これは自然科学系の方々を主に対象にして行ったアンケートですけれども、それにもかかわらず社会科学的な対策の重要性が強調されているということは、注目に値すると考えられます。

自由回答の、評価に関することとしては、精度を非常に高く評価すべきだ、あるいはあらゆる影響を考えて評価すべきである、長期的な視点で評価すべきであるということが、強い意見として挙がっております。

研究の体制に関しては、統一的に研究の計画と推進を行うべきであるということが大きな意見となっております。この具体的な内容として、省庁間の壁を取り払うとか、縄張り争いはやめるべきだとかが目立った意見です。

以上がきょうまでの段階での集計の結果でありますけれども、今後さらにこれまでご回答いただきましたアンケートの結果を詳しく解析するということと、それにつけ加えて、対策の技術の項目をさらに増やし、評価基準をより明確に定めるということ、それから、こういう調査をさらに繰り返して行って評価の精度を上げていくことが必要かと考えております。

I-16 総合討論「地球温暖化対策技術はどうあるべきか」

司会：西岡秀三（国立公害研究所 総合解析部環境管理研究室）

先ほど清水室長のほうから報告がありましたように、このセミナーの最終的な目標は、地球環境を守っていくための技術について討論する場を、いかにしてずっと続けていくかということにあるわけです。きょうはその第1回目ということで、ともかく皆さんにアンケートをしたりして集まっていただきまして、これからどういう形で続けたらいいかということを考えていきたいと思っております。

中でも本日の目標といたしましては、アンケートときょうの皆さんのお話の中から、私どもが「環境調和型」という言い方をしている「地球環境を守っていく技術」にはどういうメニューがあるだろうかということ論議するのが第1点。

第2点といたしましては、いろいろな技術があるだろう、しかし、今まで技術が我々の快適な生活を支えてきてくれたけれども、必ずしもそうでもなかった、もしくは快適なだけけれども、後を考えると非常に不安だといった技術、もしくは技術のシステムの話があるかと思われます。そういう中で今求められているのはどういう技術なのか、どういう基準で評価するか、どういう評価項目があるだろうか、その軸をどう定量的にはかっていくか——定量的に持っていきばかりが能ではないんですけども——ということがこれからディスカッションしていただきたい項目です。

最初に、どういう項目があるかということで、漏れがないかちょっとチェックしていただきたいと思っております（図1.16.1）。先ほど松尾先生がお話しになった中にもありましたように、温暖化の過程に沿って対策がそれぞれについてある。対策として、①もとで断つという放出の予防技術、②出たものを何とか取っていかうということで、炭酸ガスを回収しようという技術、③森林等々で出たものを何とか回収しようという技術、④気候が変動するなら気候を修正しようという技術、⑤環境の状況が変わるならば、それに人間が適応していく技術、といったカテゴリーで分けられると思っております。

きょうはシンクとソースの話があったんですけども、シンクの話についてはまだ十分されていないところがあるかなと感じています。

そういうことも含めまして、数分なんですけれども、こういう技術をもう少し強調しなければいけないんじゃないかというご意見がありましたらまずお伺いしたいと思います。中村先生の話まで含めると、技術の評価の問題は非常に幅が広がると思うんですけども、最初に割と実務的な話で、こういう対策をもっと考えなきゃいけないんじゃないかというお話がありましたらぜひご意見をお伺いしたいと思います。いかがでしょうか。

皆さんが今考えておられる、もしくはこれからなさろうとする研究をこの際PRすることも含めて、ぜひこの場に持ち出していただければありがたいと思っております。

○大嶋（地質調査所） シンクの話で非常に重要なところで欠けていたと思うのは、海洋におけるシンクについての話が全然なかった。炭酸ガスの90%以上は炭酸カルシウム——石灰岩という形で地殻中にはあるわけです。ですから、地殻の炭酸カルシウムの量が0.数%減ったにしても、大気中の炭酸ガスが1ケタ上がってしまうわけです。ですけれど、海洋と大気とのやりとりの話がほとんどなかった。

もう一つ、海における炭酸カルシウムの大きな消費者は、白亜紀以降はエンセキソウの仲間と、クロビゲリナという浮遊性有孔虫の仲間が深海底に沈殿するのが非常に大きいわけです。その次に大きいのがグレート・バリアー・リーフをつくっているような珊瑚礁生物群で、我々は、年間の固定量は5億トンぐらいで、ひょっとしたら現在の炭酸ガス放出量の数分の1ぐらい固定する能力があるんじゃないかと一応推定をしております。ここらあたりが抜けている。特に自然のプロセスを利用してどのようにして炭酸ガスの循環を考えるかというところが抜けていて、人工的な技術ばかりが今日は大きかったのではないかと感じました。

○西岡 どうもありがとうございました。

自然との共生といいたいでしょうか、調和といいたいでしょうか、それは常に環境の問題と非常に引っかかってくるんですけども、今は自然のメカニズムをもっと利用したらどうかという話、特に海の話、珊瑚礁の話が出たんですが、ほかにございましょうか。

今、お手元に清水が示しましたいろいろなリスト、皆さんがアンケートで書いてきてくださったリストがありますので、一応リストアップされていると思われまます。ただし、皆さんのアンケートを見ますと、例えば分類の仕方にも問題がありますし、もう一つ大きな意見で私が見つかったのは、ここでは環境調和型技術ということで、予防技術を主としておりますけれども、対応策と適応策が抜けているんじゃないかというご指摘もたくさんありました。

○針谷 炭酸ガスの有効利用について、もうちょっと何かないんですか。例えば、炭酸ガスが多くなると植物が繁茂するはずなんです。そういう意味で、農業面でも炭酸ガスを有効利用するとか、炭酸ガスを利用してプラスチックをつくるような新しい技術を開発するとか、邪魔者扱いじゃなくて、炭酸ガスを有効利用しようとする方向が一番おもしろいと思うんですけど、そういう面での研究はどうなんでしょうか。

○野崎 先ほどお話しする時間がなくなってきたのでほとんどはしょってしまったんですが、今のお話はこの2つがかかってくるような気がします。経済性は将来技術がどうなるかということで難しいところもあります。普通、こういう大きな問題を取り扱う場合はエネルギーアナリシスの手法、茅先生なんかをやった手法ですが、CO₂処理に要するエネルギーを考えて、例えば石炭とか化石燃料を燃してそういう物質をつくると考えてみれば、その物質は必ず燃焼のエネルギーを持っているわけですから、それは燃料として使ってもよろしいということになってしまうわけです。ですから、エネルギーのアナリシスをするのが大事だ。

もう一つは、例えば木材にしろ紙にしろ、何でも結構でございますが、そういう形で炭酸ガス

を固定されたら、それがまたごみとして燃す、あるいは微生物によって分解されてリサイクルしてくる時間を考えてやらないと、また戻ってしまえばしょうがない。この2点をお考えいただきたいわけです。

何せ、先ほどお話ししましたように、100万キロワットの火力発電所が年間700万トン。タンカーをゾロゾロつないできて燃料を燃して発電しているわけで、エネルギー消費から見ると非常に大きな化石燃料を使用しているわけですから、それに見合った何か需要を見つけてやらなきゃいけない。ですから、プラスチックをおつくりになっても木材をお使いになっても何でも結構なんですけど、その量たるやべらぼうになる。少なくとも100万トンオーダーの単位で考えてやらなきゃいけない。億トンとか1,000万トンとかいうのは鉄の生産量なんです。つまりエネルギー消費は鉄と並んで発電が多いわけですから当然のことなんですけど、そういう観点に立って物をつくってやるということを考えますと、例えば構造材料とか、木材の建築を使って木材の建築の寿命を延ばすとか、いろいろなことを考えて詰めていくんですが、なかなか量がはけないんです。

ちなみに、先ほどセメントの話が出てきましたけど、あれは石灰岩を分解して炭酸ガスを出して、しかも加熱源として燃料を使う。これは相当大きかろうと思ったら、日本の場合ですと、全体のCO₂発生の2%ぐらいという計算が出るんです。

ということで、実際に具体的にその量はどうか、その結果として炭酸ガスが出てくるサイクルはどうかということ、先ほど速度の話でフローでお話になった方もおられますが、フローの逆数はちょうど拘束時間になるわけですから、要するにその辺のところで実際に数値を入れて分析していくと、意外に難しいな、やっぱりすさまじい量の燃料を使ってるなというのが実感になるわけです。

お答えになったかどうかわかりませんが、それだけに問題が興味深いと言えるかもしれません。
○西岡 どうもありがとうございました。

お手元に、環境庁から出た報告書をお渡ししてあります。その中に東大の化学工学の小宮山先生が「二酸化炭素の固定利用化技術の分類と評価」（表1.16.1）ということで、今のお話にありましたように、固定する期間の長さということでいろいろな技術を評価なさっております。例えばコーラとかドライアイスは全然だめだ、固定じゃない。先ほどお話のありましたポリマーは確かにあり得るんだけど、割と固定期間は短い。もちろん炭酸カルシウムにしてしまうというのは、もともとそのときに使うCaOは分解してつくるから非固定じゃないとか、いろいろな評価をしておられます。

○村田（東洋インキ） 炭酸を固定してとっておくというので非常に大きいのは、自然界では先ほどおっしゃった動物の炭酸カルシウムと並んで植物、特に海中の微細藻類及び陸上の森林ではないかと思うんです。人間がふえるに従って焼き畑農業なんかで森林が伐採され、あるいは焼き払われるということがあって、それが砂漠化につながるのではないかとされているわけですが、砂漠というのは一たんできますと、炭素が固定されているというだけでなく、生物というのは

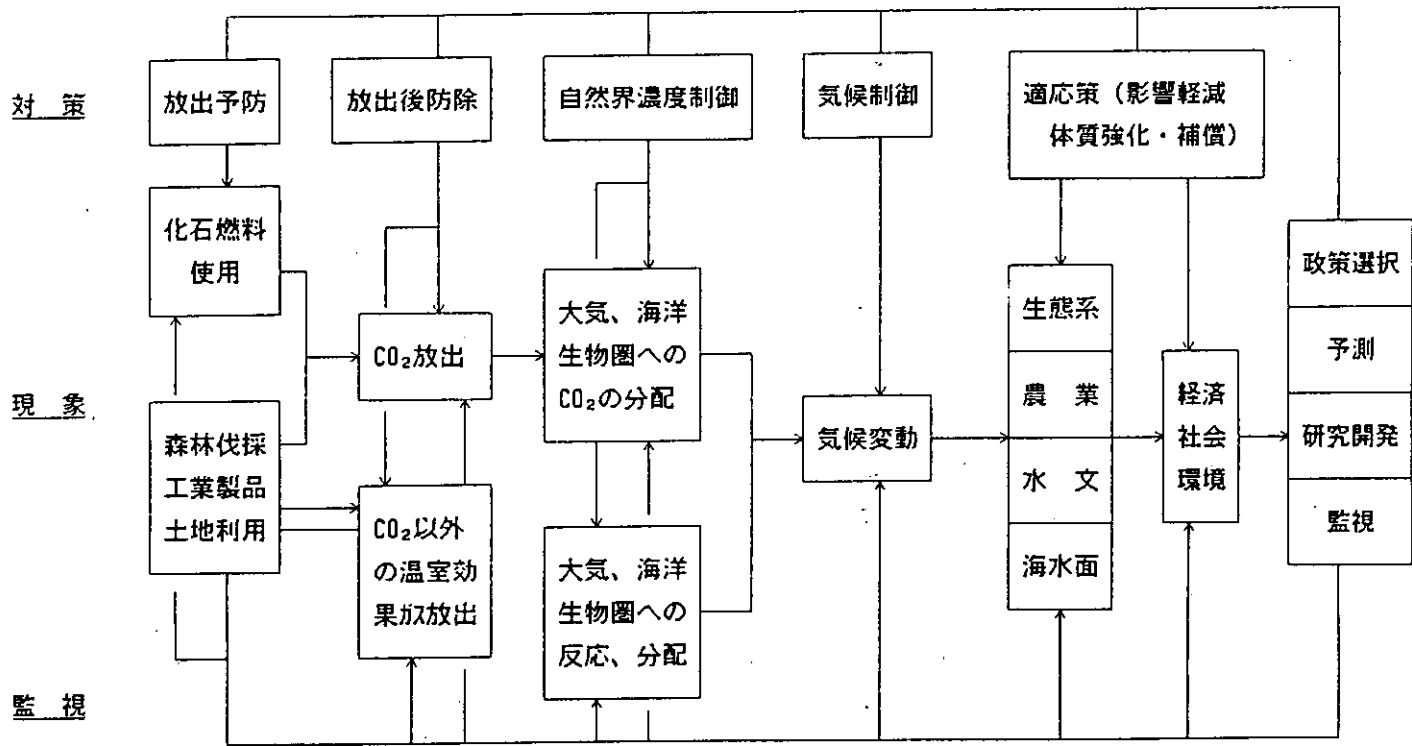


図 1. 1 6. 1 地球温暖化現象と対策のフロー
(Changing Climate (1983) に一部追加)

表 1. 1 6. 1 二酸化炭素固定化・利用技術の分類と評価

二酸化炭素固定化・利用技術の分類と評価（東大・小宮山）

	分類	評価
物理的变化		
① 利用（飲料・消火剤・エアロゾル・ドライアイス等）		非固定
② 吸収（海による吸収）		長
③ 投棄（廃坑・油田・深海等）		長
科学的变化		
①炭酸塩化（ $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ 等）		非固定
②発泡剤（バブ等）		非固定
③ポリマー（ $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ 等との共重合）		短
④人工光合成（ポルフィリン触媒等）		短
⑤メタノール・メタン等		新エネ
生物的变化		
①陸上	植林	長
	二酸化炭素栽培	短
②海洋	プランクトン	短
	サンゴ	長
	植生	長
③エネルギープランテーション		新エネ

新エネ：太陽・核等のエネルギーを前提とするもの

固定：長—数十年以上 短—～十年

8割から9割ぐらい水なわけです。それは生物の体だけではなくて、その土壌にも含んでいるということから、非常に大きな熱のバッファーになっておりまして、それが一たん砂漠になってしまふとそのバッファーが失われるために、今度は逆に生物が住み難いような気象条件になってしまふ。それは主に温度の問題です。

さらに水がないところへ少しづつ塩類がちりとして降り積もるものですから、仮に水をやっても簡単には植生が復活しないような状態になってしまふ。実は自然というのは、そういう破壊が自動的に進むシステムじゃないかと思うんですが、砂漠として、現在、人間にとって利用価値のないところを、人間にとって利用価値の大きいように改造するためには、かなり大きなエネルギーを利用しなければならないだろうという気がするわけです。さきの水文的なやり方、極端なことを言うと、ポンプで海水を汲み上げて脱塩した上で砂漠にぶちまけるといふようなことをやって、環境、特に植生を使って気象条件を変えていこうという、人類にとって都合のいい自然環境を構築するためにはどれぐらいのエネルギーが必要であるかということ。実は私は全然専門でないものですから知識に欠けているんですが、そういった方向というのはどなたか計算されたことがありますでしょうか。

○西岡 どなたか砂漠化に関連したことをやっておられる方はいらっしゃいますか。

○松尾（東大） 具体的な数値は知らないんですけど、日本のどこかの建設会社では本気で考えてやっているところがあるみたいですね。ですから、案外計算しているところがあるんじゃないと思います。具体的なことではないんですが、そういう話だけは聞いたことがあります。

○西岡 どうもありがとうございます。

それでは、次の話題に進みます。

清水のほうで報告のありましたように、今回 266人の方に技術の判定をしていただきました。アンケートの中で、大体皆さん頭の中にあると考えられる、やさしいか難しいかということ聞いたわけです。その結果が第Ⅱ部の図2.4.1ですが、普通の軸でいいますと、効果が大きいから難しくてもいい。例えばコストをかけても効果が大きければコストベネフィットはいいだろうと言える。その面からいいますと、原点から右上りの直線より上にある技術は非常にいいんじゃないか。効果も大きくて割と安くできる。そういうことで実用的なコジェネレートとか太陽熱給湯ができています。温度差発電とか波力発電というのは、なぜかこの線の上に乗っかるぐらいのところ。超電導にしても、送電は下のほうにあるけれども、電力貯蔵は上にある。私は個別の技術の専門ではないので、実はなぜそういう判定がなされたかということについては十分知らない。

今ディスカッションしていただきたいのは、一体どういう軸で技術を評価しなければならないか、もしくはどういう評価項目を考えなきゃいけないかということですが、あるいは軸とかそういうことじゃなくて、トータルに何を考えなきゃいけないかという問題もあると思います。この図では載せていないのですが、触媒技術というのは開発に非常に時間はかかるけれども、一たんそれを乗り越えれば効果がある、そのカテゴリに入るとか、いろいろな結果が別に出ており

ます。

そういうわけで、一体どういう軸をまず考えなきゃいけないんだろうか、なぜ波力発電や温度差発電が下に来ちゃったのか、こういう軸が抜けているのではないかということについて、お話をしていただければありがたいと思います。

○針谷 今の温度差発電の件なんですけど、砂漠をソーラーポンドに切りかえるという方法が抜けていると思うんです。ソーラーポンドで塩分濃度を上げていけば、同時に砂漠に水分を補給することになると思うんです。濃厚な塩水砂漠を使ったソーラーポンドをつくれば、高性能のものがつくれ、イスラエルなんか30万キロぐらいの発電を現在やっています。そういうものをどんどんつくっていけば、温度差発電が上に来ると思うんです。相当上へ行くんじゃないですか。日本で使う電気エネルギーも、砂漠から補給していけば太陽熱で間に合うということだって考えられると思うんです。超電導技術と電池技術の発展がないと無理かもしれないですけど。

○西岡 ほかに何かありますか。今の話は実は2つの点で私は興味があったんです。

1つは、技術というのは非常にローカリティーがあるだろう、これからの技術というのは必ずしも単一的な技術だけじゃなくて、地域地域で考えなきゃいけないものがあるんじゃないか。これが1点です。

第2点は、技術を普及させていく手として、エネルギー一本だとか効率一本だとかコスト一本で評価したのではどうもだめかもしれない。そのときに、環境にやさしい技術というといかにも文学的過ぎるんですけども、タイアップ作戦とか——アメリカではタイイン作戦と言っておりますけれども、差し当たって安手なんだけれども、温暖化防止にはどれほど効くかわからない、しかしほかの目的にまず効く。例えば森林をふやしていこうというのはまさにそういう話なんで、森林をふやすことによって土壌流出がなくなる、むしろこちらのほうがまず大切だということで、差し当たってその目標を第1に置いて、それが結果的に見ると非常にいい温暖化対策になっているといったことも考えられるかなと。そんなことを今感じました。

○矢部（機械技術研究所） 今の表を見せていただいて、非常に重要だし、興味深い図ではありますけれども、今の表は、よくよく考えると、エネルギーショックのときの新しいエネルギー代替は何かというのと同じようなものが並んでいるんですね。今回、地球環境に焦点を当てるとしたら、私が思うには、CO₂の処理と排出低減の問題が一番大きな問題だということであれば、CO₂がそれぞれでどのくらい減らせるかというのが1つの軸になるんじゃないだろうか。そういう意味で言うと、講演の中にありました、炭酸ガスを海の底に捨てるという技術はこの中に入っていないけれども、かなり重要になってくると思うんです。そのときに、その対策技術により逆に環境にどう影響を与えてしまうか、何億トンというCO₂をどこに処理したら、それに対して環境にどう影響を与えてしまうかという視点がもう一つ欲しいなという気がいたしました。

○西岡 どうもありがとうございました。

環境の話へ行きましたけれども、ほかに何かございましょうか。

確かにこれは、エネルギーだけの評価になっています。

○伊藤 いろいろな技術がたくさんあって、それぞれにやっているという感じがちょっとするんです。私は個人的にミサワの石川先生に、例えば、今ある家の屋根に太陽電池を張ってしまうとか、水なんか温めるようにしちゃうとか、そういうのをちょっと聞いたかったんですが、もう少し発展させて、例えば一つの地域を一緒にいろいろな技術を詰め込んでやっていかないといけないんじゃないかと思うんです。今は個人個人の問題なんです、例えば電気自動車にしても、その団地内で輸送するために電気自動車を走らせるとか、そういうふうに使っていきけるし、風の強いところを持っているような地域は風力とあわせてとか、そういうふうにあわせて考えていくことが必要だと思うんです。さっきアンケートでもセクショナリズムをなくすような意見が出ていたと思うんですが、これがとても大切になるんじゃないかと思います。

○西岡 どうもありがとうございました。石川先生、いかがでしょうか。

○石川 今の総合的ということ、先ほど話したかったことに、地球温暖化対策としてのゼロエネルギー住宅という話があったんです。ゼロエネルギー住宅で何を考えているかといいますと、第1に住宅の性能をよくするということ。気密性能とか断熱性能をよくして、40坪ぐらいの家で、暖房とすれば1時間に2,400キロカロリーぐらいで済むような住宅にしておく。これはわずか1馬力のヒートポンプなんです。普通の住宅だと8畳間ぐらいに対応するヒートポンプで全館暖房できるぐらいの住宅性能にしておく。つまり少ないエネルギー消費の住宅とする。

第2に、創エネルギーといいますか、エネルギーをつくるほうなんです、これは太陽熱給湯、ソーラー発電、照明のほうでいけば太陽追尾で照明の代用を一部するとか、風力発電とか、排熱を回収するとか、総合的に創エネルギーしていく。このようにすれば、総合的に、低コストな、ゼロエネルギー住宅ができるわけです。

もう一つ総合的という立場から言えば中の環境というのが必要ですから、HA。HAも、よく言われていますが、ヒューマンオートメーションという意味でのHAです。人間重視というか、そういったことで総合的に考えていってゼロエネルギーに持っていくようなことは、ミサワとしては考えております。

○伊藤 地域的にというものはまだ考えておられませんか。

○石川 いろいろなコンペがございまして、ミサワぐらいのクラスでは、50棟ぐらいの単位で、その地域でのゼロエネというような提案のところまでは行っております。

○西岡 どうもありがとうございました。今のお話は、地域に詰め込むというなかなかおもしろいキーワードがあったと思います。

きょう来ておられるかもしれませんけれども、建築研究所さんなんかには、都市のシステム自身を組みかえるようなことも考えなきゃいけないのかなというお話もたしかお伺いしております。

ほかに何か評価の軸といったようなものでございましょうか。

○井上 この表にもあるんですけども、アンケートの中に、緑色植物を効果的に利用する対策というのはほとんど入ってないのが、1つ問題かと思われま。ただ、ここに砂漠緑化というのが1つありますけれども、砂漠化の問題に限定してみた場合も、砂漠緑化も必要ですが、砂漠化防止技術がむしろ先行されるべきじゃないかと思いま。

CO₂濃度上昇抑制対策の1つとして、CO₂を固定する自然の巧みな仕組みを持っている緑色植物、特に森林の造成が、コストの面からいっても多分非常に安上がりになるんじゃないか。しかも、先ほど西岡さんがちょっと触れられたように、森林は単なるCO₂の固定だけでなく、ほかの多くの機能を持っているわけで、そういったことも含めると、それを今コストとしてどれだけという計算をすることは難しいと思いまけれども、森林資源を適切に管理保全することによる大きな波及効果が期待できます。そこら辺を十分考慮すべきじゃないかと思いま。

○西岡 どうもありがとうございました。

○竹下 (国立公害研究所) その図には、回答者によって、複数の技術についてそれぞれを相対的に評価した場合の結果と、1つの技術のみについて単独評価した結果が入ってきていると思いま。その場合、技術内容を絶対的とか普遍的な評価で記述できるものと記述できないものが混在していることになりま。

後者の場合には、回答者自身の複雑なファクターを入れた判断がある場合もあるし、中には直感力による判断もあって、回答者の持っている情報量によってかなりバラツキが出ると思いま。

そこで、できるだけ多くの設問を作ることによって、絶対的評価により近い結果を期待できるようにしてはいかがでしょうか。例えば「経済的難しさ」に対しては、イニシャルコスト、ランニングコスト、償却年数等の追加が考えられます。

○西岡 どうもありがとうございました。私どもの評価の研究もずっと続けなければいけないものですから、今のようなお話をいただくと非常にありがたいと思いま。

○堀内 (航空宇宙技術研究所) 最初のころに社会科学の話も出たんですが、難易度の軸ということであると、生活に関係あるようなものについては快適度みたいなものも入れないと、実際に採用されないという表示ができないんじゃないか。目的が、人間がいかに生き延びられるかという話になっていると思いまるので。それと、今化石燃料を使っているという点では、いかに快適に暮らすかというところも問題に含まれると思いまるので、軸としては日常使っているもの、太陽熱給湯とかアルコール自動車とかあると思うんですけども、それにはぜひ快適度を犠牲にするのかどうかという評価が難易度に入ってほしいと思いま。

○東海 (大阪大学工学部) この図で横軸のことにかかわりがあるかもしれませんが、「技術的、経済的、完成時期から見た困難度」という表現なんですけれども、この技術を社会ないしは生活者が受容してくれなければ実行できないと思うんです。仮にこの技術が完成した場合に、CO₂の減少ないしは温暖化の率が回避されるわけですけども、その技術を使うことで新たに発生するリスクみたいなものがあれば、ある種の受け入れられなくなるという状況が出てくると思うん

です。そういった項目も考えるべきではないかと思えます。

○西岡 どうもありがとうございました。アクセプタンスというようなことかと思えます。さきのお話とあわせまして、午前中の中村先生の話にありましたように、我々は現代文明を守るためにやっているの、やっぱりその辺との兼ね合いを考えなきゃいけないということもあるかと思えます。

ほかにございましょうか。

○質問 今、評価基準でスライドに写っているのは、実現の困難度、効果、先ほど社会的コンセンサスみたいなことも出ていましたが、あとは根本的な解決になるのかどうかという問題。どういう言葉であらわしたらいいかわからないんですが、例えば、先ほどどなたがおっしゃっていたソーラー電池で発電を行うという住宅ができた場合に、自己完結的に見た時にはそれで大変省エネである。じゃ、その住宅を建設するための資材、大きなソーラー電池をどこかで生産して供給して、またそれが寿命に達したときに取りかえなくてはならないという問題が必ず生じるわけで、それを含めた全地球的な規模で見たときに、果たしてそれがほんとに省エネなんだろうかという問題もあります。

先ほどの砂漠の緑化という場合には、例えばビニールシートで脱塩できるボリュームを小さくしようかという小手先の技術をいろいろ試していらっしゃる方がいるわけなんです、どんどん精製水をぶちまけてそれを脱塩する場合には、実際にものすごく大きな作業を開始してから本当にその砂漠が脱塩されて植物が成育可能になるまでに相当な期間が必要で、想像を絶するようなボリュームの海水を脱塩して精製水にしてぶちまけるといようなことをやればある程度根本的な解決になるかもしれませんが、そのような大量な金とエネルギーを消費することが社会的に許されるかどうかという問題もまた出てくるはずなんです。

そこで、社会的問題もあるんですが、それが根本的な解決に近いというコンセンサスが得られるとか、そういうことも含めて、根本解決に向かう道なのか、そこからどれぐらいの角度離れているのかかという見方が1つあってもいいのではないかという気がいたしました。

○西岡 どうもありがとうございました。

○大嶋 話を蒸し返してしまうようで申しわけないんですけど、温暖化対策ということを見ると、その対策が果たして原因に対して実際に役に立つ対策であるのかどうかということが、一番最初にコンセンサスとして必要だったと思うんです。東大の松尾先生がおっしゃっていましたが、現在の炭酸ガス濃度 350 p p mがターニングポイントを通り過ぎてしまっていて、もう問題にならないとしたら、何をやっても意味がないわけです。だけど、これが 1,000 p p mになってもいいのか。先ほどミサワの研究所の石川先生がおっしゃっていましたが、北海道では冬の室内のCO₂は 3,000 p p mになっても問題はないというふうになれば、これは幸せでまだ当分いいわいということになるんですけど、本当の問題はどこにあるのか、問題の解答になることをやっているのか、これをやっていて果たして炭酸ガスが減るのか増えるのかははっきりしていない、

増えて悪いのかいいのかということもはっきりしていない、そこらあたりがきちんとわかっていないために、何となくむなしさを感じるんです。

もう一つ、炭酸ガスの原因物質である石炭も石油も、もともとは地上に我々と同じ生物として存在していたわけです。ただ、それが形を変えて地下に潜り込んだのが今急激に出てきたというけど、もともと地上にあったものなんです。ですから、必ず僕はストックとして共生できるんじゃないかと思うんです。例えば産業革命のころの世界の人口は7億人だったそうです。だけど、去年たしか50億人になって、人口は700%、7倍になっているわけです。ですけど炭酸ガスの量はたった20%しか増えてないんです。これが食糧危機の根本的な問題じゃないのかなという気さえするんです。ですからこの炭酸ガスを早急に、林業の研究所の方がおっしゃったような森林としてのストックとか、海の魚のストックとか、たんぱく資源だとかという形にどんどん置きかえるという対応のほうが実際的じゃないのかなという気がするんです。

○西岡 どうもありがとうございました。

今のお話でどなたかフォローといいたまいますか、私、お願いしたいのは、実は今かなりの核心のところへ入ったのが、まず不確実な問題、これはちょっと私はどうしようもないかなと思うんです。

もう一つは、松尾先生のおっしゃいました環境の容量といったある何かの基準があってもいいんじゃないかということもあるわけですし、そのあたり、松尾先生さらに何かつけ加えていただくことはありましようか。

○松尾 つけ加え始めると長くなりそうで……。さっきももう少し言いたかったことがあったんですけども、言い切れないでやめたんです。

容量というのは概念は簡単なんですが、決めようとするのが難しい問題なんです。これは水の問題でも大気の問題でも、既に我々の周りにあることですら、容量が決められないでいろいろと問題が起きているんだと私は思っているんです。それはいろいろな意味での社会的なコンセンサスとか、さっきも図を書きましたが、どの範囲は、あるレベルまで汚してもしょうがないじゃないというレベルがなかなか決められない。ある人はそこはきれいにしなくちゃいけないんだと言うし、ある人はそこまではいいじゃないかという話になる。そこが場合によってはこういう問題の一番基本的なところで、いろいろな議論が出ちゃう部分だと思うんです。しかし、逆に言うと、それは議論することで解決していかざるを得ないのが実情じゃないと思うんです。数字がなかなか出ないのがまさに環境容量という概念なのかもしれません。

示された図について、私が一言言いたいと思います。電気自動車とか超電導、電力貯蔵がなぜこんなに効果が大いと思われるかということに対して、ちょっと疑問があるのです。というのは、まず電気をつくらなくちゃいけない。じゃ、その電気を何でつくるかという辺が抜けちゃっているように思えます。電気がクリーンにできた上でならいいんですけど、電気をつくるためにもしか化石燃料を燃やしているのであれば余り意味がないかもしれない。ですから、効果とかな

んかという場合に、さっきどなたかちょっと言いかけておられたかと思うんですけども、最終的な結論だけじゃなくて、もう一つ前のところで、これがどういう影響・効果を持っていたかということを見る必要があるんじゃないかと思います。

時間がなさそうですけれども、もう一つ。全体的なアンケートに1つ追加していただけたらと思うのは、今後、一般の人がいろいろな意味での今の文明のレベルをどの程度に維持することが必要だと思うかという辺です。例えば自動車を本当に持ちたいと思うのか、これ以上持つ必要があるのか。いろいろな意味でエネルギーのむだ遣いが既に私は起こっていると思うんですが、そういう意味での生活パターンをもう少し省エネ的に変えられないかとか、そういうものに対してどの程度反応が返ってくるのかというのも非常に興味あるところだと思うんです。ぜひ次のアンケート調査のときはそういう意識調査みたいなもの、技術に対する期待感だけでなく、自分たちの生活をどう律するかという辺の反応も見ていただけるとおもしろいと思います。

○西岡 どうもありがとうございました。3点おっしゃいまして、一番最後の自動車の話では、きょうはトヨタの人も日産の方も三菱自動車の方もお見えになっています。セフィーロを売っていらっしゃる日産の方にお伺いできればと思います。何かございますか。なければ次に進みますけれども。

最初のほうへ戻りまして、環境容量といったものについて、うちの総合解析部の内藤部長なんかは何か一言ぐらいあってもいいんじゃないかと……。

○内藤 私もその辺はさんざんやってもうギブアップです。ここでは話が長くなるので……。

○西岡 わかりました。

それではほかに何かございましょうか。

○針谷 技術開発というのは人間のための技術開発だと思うんですが、その意味でもう一回ここで考え直す必要があると思うんです。砂漠というのは地球にとってラジエーターだと思うんです。雲ができないということは、地表の温度も上昇し、地球からの輻射熱を多くします。砂漠をつくるということは地球の熱を外へ放出するためのラジエーターをつくるということなんですね。それを緑にするということは、逆にいえばそこを温室化するという意味にもなっちゃうんです。しかし、快適さというのは砂漠にはないような気がするんです。そこをいかに考えるかが一番大きい問題だと思うんです。自然と調和した快適な空間をいかにつくっていくか。技術なんていうのは人間を楽しくするためにあるんだと。それが基本じゃないかと思うんです。

○西岡 このあたりになりますと、非常にチャレンジングな話をなさっていただいたのではないかと思いますけれども、どなたか何かご意見ございますか。砂漠は地球のラジエーターであるということですね。

○針谷 ほんとに温暖化を防ぐのなら、空を汚しちゃえばいいんだよね。灰を撒いておいて。火山灰が噴き上げちゃうとかね。成層圏にほんのわずかでも撒いちゃえばね。

○松尾 個人的感想ですけども、単目的になると偏った結論になりそうな気がするんです。今

は恐らく極端に言っておられるからまさにそうだと思うんですが、じゃ、温室効果だけを防げばいいのか。多分そうじゃないんですね。いろいろな意味でね。ですから、そういう面も考えなきゃいけないかもしれないし、私、指宿さんのときにもちょっとお話ししたんですけども、太陽は非常に幅広いエネルギーバンドを持っているんです。もっとうまく使い分けて、上のほうでは光合成にを使って、熱線だけはまた別のことで使えないかとか、もっとうまく有効に反射する方法はないかとか、もっといろいろな意味での組み合わせは当然考えられていいんじゃないかという気はします。しかし、余り極端な議論は避けておいたほうが一般的には穏やかじゃないかと思えます。

○高橋（資源探査用システム研究開発機構） 専門の方が大勢おられるところでお間違いの発言だと思うんですが……。今までのお話を聞いて参考になりましたが、ただ参考になっただけではなく、素人なりに何かしなければならぬと考えております。

我々人間は、文化とか科学によって生活を豊かにしてきたとともに、地球を環境破壊から守っていこうという考え方は間違いじゃないと思います。長い間培ってきたこの自然環境は、動物、植物の生態バランスがとれてきたものと思います。ちょうど今、砂漠化の話が出ましたが、砂漠の中で生きているサボテンなんかは、長い間に熱を放射し水をため込むというよう自然に対する能力を備えて育てております。人間は、人間の目で物を見て、都合のいいような環境をつくり上げ、生態バランスを無意識に変えてしまってきています。むしろ動物とか植物という立場から環境を見直すような、基礎的な研究も大切だと思います。できれば、そういう立場からの研究成果もこういう場で発表していただき、環境を守るための論旨を戦わせ、人間のあるべき姿を構築していくことが大切ではないかと思えます。そういう見方に対してご意見のある方があれば聞かせていただきたいと思えます。

○西岡 そのご質問にどなたかお答えいただく方いらっしゃいますか。

○針谷 日本は農業の国、農業の神の国なわけです。農業というのはある物をつくって収穫するわけです。欧米人の考えというのはもともと育てて収穫というより、自然からの略奪です。あくまで最後は砂漠化なんです。砂漠化じゃなく、農業的思想を主とした新しい志向をそこに取り入れなきゃ無理だと思うんです。最終的には砂漠の思想と森林の思想がちょうどバランスしたところがいいところへ来ると思うんです。そこをどう考えるかが基本だと思うんです。

○西岡 きょうの題が「環境調和型技術に向けて」ということで、ちょうど今そういう話に入りつつあるなと実は感じております。もうお1人か2人……。

○山本（日立化成） きょうのお話をいろいろ伺っていて、単に地球温暖化対策だけに絞るのではなく、今の環境を守るという話につながっているように思えました。そうだとすれば、もう一つ環境問題として大きいものに廃棄物問題というのが出ておりますね。これらを兼ね合わせて見たときに、今ここに挙げられている例ですと、新しい技術、またはシステム等が廃棄物とどういう兼ね合いを持っていくんだろうかということも予測して考えるべきではないかと思えます。

もう一つ、きょうの吉野さんの水の問題で触れていた対策にもありましたけれども、地球が温暖化したときにどうなるのか。水が増えるだけだったとすれば、それを抑えればいいのではないか。今の廃棄物に関係した話ですが、プラスチック廃棄物ですと、リサイクルという手法と、分解して地球に戻してしまうという2つの考え方があります。もとを断つという考え方と、出てきたものをどうすればいいのかという2つの考え方です。きょうの話に出てきた対策は、これは根源を断つ、そういうものばかりが出ているんじゃないかと思いました。地球温暖化で発生する問題の対症療法としてはどういう技術があって、その困難度がどの程度あるのか、効果というものもどの程度あるのか、そういう別のマップをつくると、また違った見方ができるんじゃないかと思うんです。それは、解決策の開発時間も含めて考えるべきじゃないかなとは思っていますが、それ（対症療法的解決策）についてはどうなのでしょう。何か進んでいるところがあるんでしたら教えていただきたいと思います。

○西岡 温暖化の問題は、多分これは予防しようにも予防できないだろうというのが私見です。例えばEPAのレポートでも、幾ら何やってもどうせ100年後には2度ぐらい上がるよというのがあります。そうなると、人間もしくは人間社会、現代文明でもいいし環境でも何でもいいんですが、一体全体どれくらいのスピードだったら追いついていけるのかといったような基準もぜひ欲しいなと思っております。

いろいろとご意見が出て、幾つかの宿題が出ました。特に最後のご提案で、もっと違う立場の人もどんどん入れて話をしろというようなご意見とか、このアンケート自身ももうちょっといろいろと軸を考えてやらなきゃいけないよといったご意見もいただきました。できたら私ども、こういう話し合いの場を継続していきたいというのがこのセミナーの最初の目的だということをし上げました。

この件につきまして、何かご意見をお持ちの方がありましたらぜひご発言願いたいと思います。○角田（金属材料技術研究所） 今の話に直接関係ないんですが、そこに出ていた表にはプラスの効果だけが示してありますけれども、例えば薬でも効果が大いものは必ず副作用があるわけです。これに関しましては、アメリカで技術のネガティブなことも評価するというので、1970年の初めにテクノロジーアセスメントということが大きくクローズアップされて、いわゆる技術の事前評価ということが言われたんですけど、最近そういうことは日本では余り言われなくなってきたと思うんです。しかしながら、こういう新しい技術を問題にするときには、どういうネガティブな効果があるかということも、それぞれの技術について、こういう表と同時に何かわかりやすい形で示されているものが次回に出てきたら非常に有益じゃないかと思えます。

○西岡 どうもありがとうございます。今のような宿題をどんどん言っていただきますと、それを種にまた皆さんに集まっていただくこともできるかと思えます。

どうでしょうか。話し合いの場の継続という点で、もう少し項目別にやっていこうとか、場所を変えてやろうとか、ほかの研究所の人に主催してやってもらおうとか、いろいろ考えて

おります。きょうはこういう話し合いの場を持ったということで、私どもは非常に感謝しておりますのでございます。

最後に、この討論の総括を内藤部長のほうからいただければありがたいと思います。

○内藤 全体をずっとお聞きして、総括というのは極めて難しいなというのが率直な感想なんです……。

ともかくきょうの議論が互いにかみ合って極めて具体的に進んだかということで考えますと、必ずしもそういうわけにはいかなかった。せっかくお呼びした先生方を前にこういうのはあれですが……。それは、まず問題設定をかなり絞ったと最初は申し上げたんですが、非常に広過ぎたということと同時に、温暖化ということそのものの問題意識が、先生方個人で大変な差があったということもあるでしょうし、専門分野によっても大変広い差があった。その重大性の認識に至っては非常に差があった。さっきから議論をお聞きしておりましたけれども、例えば快適度というご意見も出たり、利便性のことが抜けているという意見も出ました。ただ、私なんか、人類生存の危機に当たって快適・利便はかなり犠牲にするという前提に立って今回のアンケートがあったと個人的には考えていたわけですが、必ずしもそうでもないという認識の方もたくさんいる。それは今の時点でどちらが正しいかというのは非常に難しいわけですが、少なくともそういうことで非常に差があったなということが1つの認識でございます。

ましてや温暖化の対策技術とは何かということになりますと、今も出ましたけれども、これはエネルギー技術そのものの評価ではないかという意見もまさにそのとおりでありますし、吉野先生がこれは私が頭の中で考えただけであると繰り返しておっしゃったとおり、一体何が対策技術かということ自身も、専門家ですらつかみにくいということが極めて難しい問題としてあったと思います。

にもかかわらずと申し上げたらいいかと思いますが、当初の大きな2つの目的に対して大変貴重なご意見をいただいたということで、きょうの1日のご議論の成果を、できるだけ私どものほうできちっとまとめて、早い機会に、ご出席の皆様方にフィードバックしたいということを宿題としてお約束したいと思います。

ともかく今回は第1回ということでいろんな問題があったことは事実でありますけれども、きょうの議論を踏まえまして、次回以降どういうふうにするか、ターゲットをもっと絞った形の討論会に持っていかということもあるかと思っておりますけれども、さらに具体的なプロジェクトをあるグループで組んで、予算を取って仕事を一緒にするということが具体的に計画できれば大変いいなと、実は内々考えたりしているところであります。どういう形になりますか、今の時点ではわかりませんが、いずれにしても、きょうの成果をできるだけ踏まえて、今後何か具体的なステップにつなげていくことをぜひ努力したいと思っております。それがきょう集まっていた皆様方に対してのお返しになればということで、我々としてはぜひ考えてみたいと思っております。どうもきょうは長い間ありがとうございました。

一言ごあいさつを申し上げます。本日は主催側の予想をはるかに上回って、所外から 200名を超す方々がおいでくださり、また、所内のメンバーを合わせますと 300名近くご参加いただいたのではないかとということで、大変ありがたいことと感謝申し上げます。

冒頭に総合解析部の内藤部長が趣旨の中で申しましたように、個々の対策技術ではなく、横断的に対策技術を論じる機会としては恐らく初めての、しかも非常に貴重な機会になったのではないかと私は思っております。特に基調講演をなさっていただいた渡辺茂先生と中村桂子先生、また、講師として大学、官、民の研究所からご講演いただいた諸先生、朝早くから丸一日、熱心なご討論を通じてこのセミナーを盛り上げてくださった皆様方に心から厚くお礼を申し上げたいと思います。

明日、環境庁長官が就任初の視察ということでこの研究所へ来所の予定でございますが、我が研究所の地球環境問題への取り組みの中での最もホットな話題として報告したいと思っております。

終わりに、このセミナーの企画運営はもとより、アンケート調査とそのまとめを担当されました当研究所総合解析部の内藤部長、西岡室長、清水室長をはじめとする皆さんのご尽力に心から感謝の意をあらわしたいと思っております。

どうも本日はありがとうございました。

1-18 シンポジウム参加者のアンケート調査結果

清水浩 青木陽二 森口祐一 (国立公害研究所 総合解析部)

セミナー参加者は研究所内外から約300名あったが、半数は国立研究機関の人で占められている。報道関係では新聞社が6社、また遠く九州からの参加者も見られた。

セミナー開催についてのアンケートの回答は、94人から得られ参加者のほぼ1/3に及ぶ。その結果をまとめると次のようになる。

問1におけるセミナーへの期待として、情報の収集や交換が一番多く、この問題の話題性と情報不足を示している。また国立公害研究所で行われたこともあって、参加者には研究者が多く、研究の方向づけを見極めに来た人が多い。これはこの研究の発展動向を探るものであり、このことからこの問題が初段階の研究であることを示す。

問2においてセミナーで興味を持った点として基調講演が多いことが注目される。基調講演がハードな技術としての提案より、ソフトな技術としての提案であったことが参加者にも同意されたことである。このことは問題の社会科学的手法による解決は、研究に値することを示している。

問3のセミナーの発表内容で欠けていた点では、海の影響を論ずるものが少なかったことと、社会経済的な評価が不足していることが多くみられた。また、現象解明やモニタリングについての研究成果の不足や、地球全体のエネルギーサイクルとしての見方、生態系としての見方の不足、温暖化の本質に迫るものがないという指摘がみられた。少数ではあるが個別技術や気象学に関する発表、民間活用法などアイデアがないという指摘があった。

セミナーの運営に関しては、全体のつながりに欠けるという意見や自由討論に時間がない、レジュメがないなどいくつかの不備を指摘するものがあった。

問4の次のセミナーに対する企画では、「積極的に参加する」や「余裕があれば参加する」が多く、今回のセミナーが好評を得たことを示している。

問5の今後のセミナーの開催主体に対する意見では、当研究所が最も多く指摘され首位を占め、他の機関に対する指摘は少なかった。このことは、この研究分野において当研究所の指導力が強く期待されていることを示す。

問6の今後のセミナーの発展においては小集団のワーキングで活動するが最も多く、次いで大勢の人から話を伺うが多く、両方とも今後の大切な運営の柱であることがわかる。またアンケートを広範に行い、その結果を示すことにも賛成が得られた。

問7では発表されたアンケートの結果の中で抜け落ちているものを回答しているが、人口増や人間の意識を変える技術についてのものがあった。また、廃棄物処理に関しても指摘されていた。このことは、今後ソフトな対策技術についても細かく考えておく必要があることを示している。

問8では対策技術の分類について聞いているが、おおむねうまくいっているとの評価が得られた。これはアンケート企画者の努力の成果である。

問9では、対策技術の評価項目の重要性を示してもらっているが、その結果をまとめると次のようになる。まず、技術そのものに関連しては、温暖化に対する効果の大きさと対策に投入するエネルギーとのバランスが重要であることが指摘されている。

また、派生する問題では、安全性と新たな公害を起こさないことが重要であることが指摘されている。また、再生可能性や自然破壊を起こさないこと、資源を無駄使いしないことについても大切であると回答している。

社会との関連では、社会への受け入れ易さが一番大切であり、次いで経済性があげられている。発展途上国での受け入れ易さについて指摘されたことは、今後のこの問題が南北問題化することを示している。

調和性に関しては自然との調和が一番大切であることが示され、生活の便利さや、これまでの技術との調和は余り問題とされないことを示している。

産業に関する項目では、雇用の促進より省力化に努力せよという指摘があった。

その他では、後代につけをまわさないことと持続性が大切であり、長い時間にわたっての地球環境の保全が大切であることを示していた。

これらのことから社会に受け入れやすく、自然と調和して効率が良く、長続きのする技術が重要であると人々は考えている。

問10の地球温暖化対策技術及び地球規模の環境問題全般に関する意見をまとめると次のようになる。

現状把握では、

- ①世界の専門家の意識調査によって、正確な情報をそろえる。
- ②世界的環境モニタリングを行い、空間スケール別に定量的現状把握を行う。この時に海の問題を忘れるな。
- ③人間活動力による影響を地球規模でモデル化する。

対策では、

- ①社会科学的な対応が必要であり、人間の価値観の変革や経済成長の減衰に関する社会的コンセンサスを得ること。
- ②後代につけを廻さないことなど永続的環境の保護策が必要であり、ダメな場合は人類滅亡を遅らすこと。
- ③廃棄物や炭酸ガスの地下固定、エネルギーの自然な利用などまだまだ考慮すべき課題がある。

これからの作業では、

- ①環境目標を設定して戦略を組むこと。そのとき地方自治体の役割も明らかにすること。
- ②地球科学としての息の長い基礎研究を行うこと。
- ③国立研究所や大学、民間で一体化して研究を行うこと。

④これからのセミナーは、テーマをしぼって掘り下げた議論をすること。その場合、熱エネルギーの問題に偏らないこと。自分の分野からはなれた分野からのアプローチにも耳をかすこと。

以上の結果から今回のセミナーが研究所内外からの多数の参加を得て有意義であり、また次回の期待を持たれて終わったことがわかる。

表 1. 1 8. 1 「地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価」に関する
セミナーについてのアンケートの結果表

問 1. 本セミナーに何を期待して参加されましたか (複数回答可)

- 82 ①情報の収集や交換
 13 ②共同での研究の糸口を見つける
 45 ③研究の方向づけを見極める
 7 ④その他

問 2. 本セミナーで、興味を持った内容は何ですか (複数回答可)

- 65 ①基調講演 (特に渡辺先生17、中村先生26)
 47 ②一般講演 (特に野崎先生10、指宿先生5、吉野先生10、松尾友矩先生9、松尾孝一郎先生1、都留先生2、井上先生3、秋元先生3、石川先生2、石谷先生1)
 17 ③アンケート (特に技術対策の効果困難度のもとめ対策技術項目の評価、図1、2名制御技術、処理技術、新たに追加された技術が多かったこと)
 6 ④総合討論 (特に技術の評価軸の構成、評価基礎の問題、新分野の参加要望(生態学、遺伝資源...))

問 4. 今後、同様のセミナーを企画するとしたら御参加下さいますか

- 42 ①積極的に参加する
 54 ②余裕があれば参加する
 1 ③参加しない
 0 ④その他

問 5. 今後同様のセミナーを企画する場合、どこが主体となるべきだとお考えですか

- 63 ①今回と同様国立公営研究所が行う
 21 ②下記の組織が中心となる (複数回答可)
 8 a) 行政組織 (環境庁、科技庁、通産省)
 19 b) 国立研究機関 (環境研、公営研(2))
 2 c) 大学
 6 d) 民間団体 (筑波研究支援センター)
 3 e) 公益法人
 14 ③その他 (つくばを中心に、公営研、工技院、中心となる組織いらない、一般市民、東京近辺で、民間からの発表を、主要都市圏の大学でもちまわり、国際機関、できれば都心)

問 3. 本セミナーの内容で欠けていた観点にお気付きでしたらお書き下さい

- コーヒーブレイクなどの自由討論
- 発表時間が少ない(3)
- 総合講演なのか実験報告なのか不明
- OHP、マイク小さい
- 冷房
- レジメ、マイク
- 要旨集(5)
- スクリーンの傾斜

- 評価の部分が欠けていた(3)
- 経済性との兼ね合い(2)
- 各国のCO2シェアの評価
- 効果の定量的把握
- 社会的、政治的問題点(3)
- 社会生活との関連
- 火力発電のロス

- CO2の温暖化影響(3)
- CO2、CH4の濃度上昇と温暖化は等しいのか
- 温暖化のモニタリング
- C循環の話
- 温暖化を示すデータ

- 地球温暖化の本質的な問題点の議論
- 原因の解明を論ずるべき(2)
- 今重要なことは何か

- 海洋学の視点からの温暖化(2)
- 海面上昇
- 原因系についても海洋の影響

- エコロジーの中での環境
- 自然を守る立場からの発表
- 生物による固定

- エネルギー収支
- 太陽及び地球内部の発熱放熱と温暖化

- 全体のつながりに欠ける
- 全体をまとめる視点
- 各分野の関連(2)

- 技術的可能性と現実との間のギャップ
- 具体的手法を論じるものが少ない(3)

- 民間活用法
- 気象学に関する話(温暖化、氷河)

問6. 今後本セミナーをどの様に発展させるのが良いと考えますか
(複数回答可)

- 34 ① アンケート調査をより広範に行いその結果を主体とする
 40 ② 大勢の講師の方から話を伺う
 46 ③ ワーキンググループ等の小集団で活動する
 7 ④ その他 (現状認識を統一する(2)、日本だけではだめ、行政民間の検討会、少人数で(2)、セミナーの報告を広く配布)

問7. お渡しした資料1、アンケート調査結果中間報告の中で合計約230件の対策技術の項目があげられていますが、ここで抜け落ちているものがあったらお書き下さい。

- 人間の意識を変える運動
- すべての原因は人口増
- 原子力発電所から出る排ガス
- 遊休品の利用技術
- 森林の非皆伐施策
- CO2同化効率の高い森林生態系の作出
- 大気-海洋-堆積物
- CO2センシングシステム
- 実現の難易度を考えての分類
- 技術的な対策や進歩だけで解決可能
- 廃棄物問題、生分解性プラスチック、プラスチックリサイクル

問8. お渡しした資料で対策技術を分類していますが、この分類についてご意見がありましたらお書き下さい。

- 環境の評価手法がおちている。
- 考えにくいのは全体の枠組みがどうなっているかという概念が不明確。
- 排エネルギーを宇宙へ捨てる技術が欠けている頭の整理に有用でした。
- うまく分類されている。
- 評価なしで対策を分類しても単なる遊びだ。

問9. 対策技術の評価項目として重要と思われることを付けて下さい
(複数回答可)

1) 技術そのものに関する事項について

- 60 1. 効果の大きさ
 30 2. 実現までの期間
 26 3. 技術的な容易さ
 57 4. 投入エネルギーとのバランス
 5 5. その他 (国際協力の推進、コストパフォーマンス)

2) 派生する問題に関する事項について

- 55 1. 安全性
 26 2. 再生可能性
 55 3. 新たに公害を発生させない
 37 4. 自然破壊を起さない
 37 5. 資源を無駄使しない
 3 6. その他 (社会システムへの影響、積極的な環境創造、グローバルな観点からの評価)

3) 社会との関連について

- 58 1. 社会的受け入れ易さ
 45 2. 経済性
 8 3. 経済摩擦
 21 4. 発展途上国との摩擦
 38 5. 発展途上国での受け入れ易さ
 1 6. その他 (社会的受け入れにくさの克服し易さ)

4) 調和性に関する事項について

- 71 1. 自然との調和
 19 2. 生活の便利さとの調和
 28 3. 生活の豊かさとの調和
 17 4. これまでの技術との調和
 23 5. これまでの産業との調和
 2 6. その他 (人間の健康維持との調和、調和させる施設が必要)

5) 産業に関連する事項について

- 17 1. 雇用の促進
 48 2. 省力化
 5 3. その他 (世界各地で今後50年間に予想される産業展開に対応すること対策の方向を早期に明確化する産業技術化、省エネルギー化)

6) その他の事項について

- 42 1. 持続性
 18 2. 汎用性
 50 3. 後世代につけをまわさない
 5 4. 空間を多量に使わない
 1 5. その他 (エントロピーを増大させない)

問10. 地球温暖化対策技術および地球規模の環境問題全般に関して御意見を
お書き下さい

- 「何が問題なのか」がわからない限り、対策は立てようがない。化石燃料
放出が問題なら放出抑制が必要だし、「自然増加」なら「回収」技術が中
心になる世界の専門家の認識はどこまでいっているかを調査してほしい。
- 評価の軸として「CO₂の低減量、処理量」を入れたらどうか、また、億
t単位のCO₂を削減する技術の環境影響も、評価の軸として採用したら
どうか。
- 地球規模の環境問題全般について：人類の豊かさの追及と環境の保護はト
レードオフの面が多くあると考えられるが、これからは行政が中心となっ
て後者に重点を置いていくことが不可欠だと思う。
- 資源→使用（加工）→消費→処分の流れをふまえた各産業の寄与率を定量的
的に把握したうえで何をどうかえて行くべきかの検討を行うべきである。
- 大きな問題であるが、対策の実現化のため、地方自治体の役割、活動に具
体的な対策が出せる事が必要と思われる。
- 地球規模の環境問題についてのセミナー等を今後も企画して頂きたい。
- ①太陽熱利用が有望視されているが、器機形式、耐用年数、製造時のCO₂
発生量等、有効度の尺度を決められる零時評価の値の資料を出さない
議論にならないのではないか？（全般に言えることでもある。）
②日用品については快適度の軸も技術評価に必要ではないか？
- グローバルな方針、対応策及び世界的規模での調査、研究とその結果に対
して一般の人々からどの様に協力を得るか説明のプロセスを明確にしてお
くこと。
発表の主旨、要旨等は項目に整理し参加者に配布してほしい。渡辺学長の
資料と基調講演は参考になりました。

○科学技術論だけでなく、社会・経済論、文明・文化的な広範な議論も必
要である。

○エントロピーの増大に沿って陸上は砂漠化するのは自然であり、人類にと
って都合の良い地球環境の維持には大きなエネルギーと持続的な努力が必要
だと考える。特に継続的な巨額な投資とエネルギーの投入には社会的な
コンセンサスを要求されることになるだろう。更に研究者にとっても自分
の専門とかけはなれた分野からいろいろなアプローチの方法があること
を理解しなくてはならないと考える。

○物質文化から精神的な文化を豊かにするための国の施策が必要である。

○炭酸ガスの地下への封入固定化の可能性、またはガス自体の利用の方法は
検討出来ない。

○CO₂の放散は一国の発展のパロメータともみられてきた。それだけに発展
途上国からは、今日のCO₂による汚染は先進国のせいで、これからもモリ
モリCO₂を出して発展させようと思っている。彼等の人口は爆発的に増加
するとみられるだけに、先進国によるエネルギーセーブが、どのような意
味をもっていくのだろうか。

○いろいろなレベル（スケール）における因果関係を明確にするような論議
を、この先に配布する必要を感じた。

○社会科学的視点、あるいは文明的視点も加える必要がでてこざる得ない。

- 1)地球規模の環境問題全般と人間活動との関係（中・長期）
- 2)人間生活、産業生活、農林水産への影響評価の個別モデルと統一モデル
- 3)温暖化、砂漠化、酸性雨、森林消失等対策技術と地球規模での相互関連
（作用）

○アンケートを拝見して「熱」に関する物理的技術にかたよりすぎているよ
うに思われる。化学的技術が、むしろ中心に位置するものと思っていたが、

- 水位上昇の速度を知りたい。
- 環境問題を考える際には、温暖化対策について考える場合であっても、他の原因による環境変化に対する問題を考える視点が必要である。
- 対策技術評価規準について、資源調達の可能性
(例えば原発高レベル廃棄物処理に用いられる。キャニスター(ステンレス製)材料)
- もっとテーマを絞って掘り下げた論議にできないか。例えば、CO₂濃度上昇問題に関して、生物の生理、生態的变化、作物収量の変化等
- 1. 予測精度の向上 2. 対策技術の影響評価 3. 人間の価値観などメタフィジカルな問題の研究が今後検討を要する。このような課題及びセミナーを。
- 海の問題は重要であるのでスタッフに欠かしてはならない。
- 全国的、世界的な環境モニタリングシステムの確立が必要と考える。
- 中村氏の指摘のように全地球の問題なのか先進諸国のエゴとしての問題かを考えた対応、予測も必要。
- C系Fuelに加税し、その資金を非C系の安全なエネルギー開発、発展にまわすべき。
経済成長のSlow downはやむをえない。
- 海洋環境問題とも併せて行う。
- ブームとしての研究ではなく、地球科学の一環として、息の長い基礎研究をつくりあげていただきたい。
- 地球をエコサイクルシステムとして、また階層化して現象を統一的に全体像として把握の必要がある。

環境目標というべきものの設定、到達への戦略と作戦を立てる必要がある。
省エネルギー技術は欲望の抑制を伴うべきかもしれない。

- やはり対策技術だけでなく、評価技術の確立も必要。
- ①対策技術の予測・評価については個別技術について行うのは勿論だが、導入した場合の効果、影響を社会・経済システム全般から見る視点が是非必要と考える。
②技術が効果的なことが分かっても、それが大量に導入されなければ、地球環境保全に結びつかない。その意味で総合効果、社会システムとしての導入容易性を予測する手法が必要。
- ①資源を消費しないエネルギーの開発、太陽光熱、波風力、但し地熱は除く
②自然界の熱(主に気温、水温)の反エントロピー化による有用熱(冷・暖)の取出し技術
③宇宙発電基地からの送電や光の伝搬技術
- 地球の診断技術が大切。
- 環境問題については社会性を考慮したうえで、今後の環境政策の動向を踏まえ、早期に対策技術の方向を明確化する必要がある。この問題は短期的問題ではないので、持続に行わなければならない。そのため、あまり現状にこだわらず、対策技術を検討する必要がある。
- 各省庁研究機関、大学、民間が縦糸、横糸でうまく連携した型の研究開発を進めるべき。
- 各省庁の壁をとり除き、効率的に研究を進めるべき。隣の気象研に教えてもらえば分かるような計算上のノウハウを学ぶために、わざわざ渡米するようなのは、いかがなものだろうか。
- エネルギーと自然環境/人間生活との調和。

- 長い地球の歴史の中での大気中のCO₂等温暖化に関係するガス成分の消長の経過を現状の認識の中に組込んで考えることが必要である。これが対策技術の定量的な目標となろう。
- 地球環境問題は基調講演にもあったように人類の生存に対して悪いのであり、人類の環境適応速度より環境変化（人類かつ変化の主体あるところの環境）の速度が大きいことにある。このため私自身の人類は早晩滅びるものと思っているがこの破局がくることはできるだけ遅らせたいと思っている。
- 人類が便利なエネルギー多消費生活を選ぶか、多くの人口を養うことを選ぶかのどちらかしかないのではないか。
- 地球温暖化ガスの増加はハッキリしているものの、温暖化傾向そのもののあまたハッキリ言えない現状ではあるが、後世代につけを廻さぬと云うことを念頭に政府主義で抑制技術、処理技術の育成を積極的に進めて欲しい。
- 木材輸入等日本は間接的に地球破壊に加担していると云われていますが、発展途上国に対する指導又は援助等が必要ではないでしょうか。生態系を変えるなどして地球温暖化するそのエネルギーを有効に利用できないものか！
- 全体としてまだよくわからないというところが正直なところである。しばらくは技術面、施策面でウォッチングを続けるつもりである。
- 専門家の努力には無論期待するところですが、一般（国民みんなという意味で）努力すべきで、そのために正しい知識・新しい知見の紹介に心をくだくべきと思います。こんなこと知らないという人がないような広報ができれば良いと思います。
- 廃棄物問題も同時に考える必要有。例：プラスチック、核廃棄物
- 中村先生の話にも少し関連しますが、地球環境問題への対応を、技術（特に自然科学系）での対応と平行に。社会科学系の分野からの対応にも力を

入れるべきです。

- 定性的な話より定量的な話に進むべきだと思います。
- 問題の本質を早く絞り込み、少くとも公立研究所は一体となって組織的に調査・研究をしていただきたい。成果に期待しています。
- 原点に帰し、地球上の永続的活性化をすることが重要と思う。
- 正確な情報をそろえること。評価されていない点、評価できない点も明確にする。
- Dataの精度向上
対策技術の具体化
- 対策技術として、実現に向けて本気で取り組んでいるものと、まだ夢物語のものを明確にして頂きたかった。
「地球規模の環境問題」と一まとめで取り扱われる事が多いが、砂漠化にしても酸性雨にしても個々の問題は地域偏在であると思う。それぞれについてもっと丁寧に対応すべきではないだろうか。

第Ⅱ部

「地球温暖化対策としての環境調和型技術 とその評価」に関するアンケート調査 結果報告

結果の概要

1. アンケートは 584名の研究者と 188の研究機関に送った。このうち回答は最終的に 275名から寄せられた。
2. 設問1で関心のある領域を尋ねたが、地球温暖化対策技術に関心があると答えた人は 275名の回答のうち 168名(61%)であった。
3. 設問2で地球温暖化対策技術との関わりについて尋ねたが、回答者のうち、研究として取り組んでいると答えた方54名、これから取り組みたいと答えた方98名で両者を合わせると152名にのぼっている。
4. 設問3ではセミナー主催者側で作成した151項目の対策技術の評価について尋ねた。回答によると151項目すべてが評価の対象となり、延べ1364件(うち、有効回答1157件)の評価が寄せられた。関心の高かった技術ベスト5は、「太陽電池」、「砂漠の緑化」、「燃料電池」、「コジェネレーション」、「温度差発電」であった。本報告ではこれらの技術について得られた評価をもとに、その特徴を、1)技術的にはほぼ完成しており、かなりの効果の見込める「実用型」、2)技術的、コスト的困難性を克服すれば大きな効果の期待される「開発期待型」などにまとめた。
5. 設問4では151項目のリストの中でもれている技術について尋ねた。その結果、新たに82の対策技術の項目が寄せられた。
6. 設問5では、地球温暖化対策技術の研究に取り組んでいる研究者の方から、具体的にしている研究の内容について尋ねた。その結果、62課題で、既に研究が開始されているという結果を得た。
7. 自由回答に関しては 136名から延 240項目の回答があった。この結果、
 - 1)対策として技術に頼ることもさることながら、社会科学的手段を重要視すべき(25件)、自然との関わりを重要視すべき(17件)である、
 - 2)研究の体制を一本化すべき(28件)である、という回答の数が多かったことが注目される。

Ⅱ-1 調査の概要

(1) 調査の目的

本調査は「地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価」に関するセミナーの基礎的な資料を得ることを狙って行ったものである。

本調査の実施の目的は次のとおりである。

- 1) 地球温暖化対策技術としてどんなものがあるかを、できるだけもれなく拾い集めること
- 2) 数多くある対策技術を評価するための手段について、手がかりを得ること
- 3) 数多くある地球温暖化対策技術を現時点の知見で評価を試みること
- 4) 地球温暖化対策技術の開発状況をおおまかに捉えること
- 5) 地球温暖化対策技術に関して広く意見を聴取すること

(2) アンケート調査票

本アンケートの調査票は表 2.1.1 に示すとおりである。

質問事項は7項目に分かれている。

(3) アンケートの送付先と回答の状況

アンケートの送付先と回答者の内訳は表 2.1.2 のとおりである。

本アンケートの送付先を大きく分けると、国立試験研究機関、大学、民間研究機関である。そのうち、送付先として選択した基準は以下のとおりである。

1) 国立試験研究機関

環境関係の研究に従事しているか、過去に従事したことのある方

2) 大学

つくば地区で環境研究に従事している方、全国でエネルギー関連の研究に従事している方

3) 民間研究機関

つくばおよびその周辺に研究拠点を持つ会社

この様に送付先は、必ずしも全国規模で関連する研究者や機関を対象としたわけではない。今後、同様の調査を全国規模に広げる必要性があると考えている。

回答は最終的に、合計 275 名の方々から得られている。団体宛にアンケート調査票を送ったものも個人で回答する形式となっているため、この数字から回答率を直ちに割り出すことは難しいが、郵送によるアンケート調査の回答率は通常30%以下とされていることを参考にすると、本アンケートの回答率はかなり高率と言える。このことは、この問題が大きな関心を集めていることの1つの現われと見ることができる。

表2.1.1 配布したアンケート用紙

地球温暖化対策としての環境調和型技術とその評価に関するアンケート

お願い

1)このアンケートは地球温暖化対策技術としてどのようなものがあるか、また、その評価の方法をどう考えるかについてお伺いするものです。
 2)このアンケートへの回答をお願いするのは国立研究所で研究や企画に従事されている方々、大学の先生方、つくばを中心とする民間の研究所で研究や企画に従事されている方々です。
 3)いづれの設問も個人的な見解を伺うものですので、簡単にお答えいただける範囲で、自由な立場で御回答頂きたいと思ひます。
 4)整理の都合上、8月14日頃までにご回答頂きたいと存じます。
 5)このアンケートの結果はセミナーの際に報告させていただきます。また、お答え頂きました方々にはセミナー参加者以外にもアンケートのまとめの結果を送らせて頂きます。

まず、プロフィールについてお伺いします。

1)お名前

2)勤務先および所属

3)勤務先所在地および電話番号

(電話)

4)専門分野

<セミナーへの参加の可否>

9月6日のセミナーへ

*参加するつもり(人数は 名程度です)

*参加しない

以下の設問にお答え下さい

1. まず地球規模の環境問題全般についてお伺いします。

一般に地球規模の環境問題としてとりあげられている対象は下表の左の欄のような項目です。また、研究の課題領域として分類されているのは、下表の上の欄のような項目です。この表で関心のある領域に○を付けて下さい。複数お答え下さっても結構です。

対象	課題	1)現象の解明	2)影響の把握	3)対策のための技術	4)対策のための制度や政策	5)その他
1)地球温暖化						
2)オゾン層破壊						
3)酸性雨						
4)砂漠化						
5)海洋汚染						
6)熱帯林破壊						
7)その他						

以下の設問は地球温暖化対策技術とその評価に関するものです。添付の資料1, 2を参考にお答え下さい。

2. 地球温暖化対策技術との関わりについてお伺いします。最も近いものに○を付けて下さい。

- 1)研究として取り組んでいる
- 2)研究として取り組みたいと考えている
- 3)当面は関わりがない

3. 資料1でリストアップした技術についてお伺いします。まずこのリストの中で御関心のある技術をできるだけ多くお選び下さい。その上で、それぞれの技術の評価を下表の例にならってお願いします。わかる範囲で結構です。また、「お選びいただいた技術の中で温暖化防止にとって重要と思われるものの番号に○、あまり意味がないと思われるものの番号に×を付けて下さい。」用紙が足りない場合には用紙を複写してお使い下さい。

番号	技術名	1) その技術に対する専門度	2) 効果の大きさ	3) 技術的な難しさ	4) 技術的な完成時期	5) 経済的難しさ	6) 実現に当たっての社会的問題	7) 実現に当たっての制度的問題	8) 副次的な効果	9) その他の評価	10) 実際の研究開発を進める予定
		①極めて近い ②近い ③知っている	①極めて大きい ②大きい ③小さい	①極めて困難 ②かなり困難 ③易しい	①間もなく ②3～5年後 ③5～10年後 ④10年以後	①費用が非常に高い ②費用が高い ③安い	あれば書いて下さい	あれば書いて下さい	あれば書いて下さい		1) 現在行っている 2) 是非やりたい 3) 予算があったらやりたい 4) 今のところ計画はない
例 (1) (2) 、 、	1-(1)-1)	①	①	②	②	②			騒音も小さい		1)
補1 2											

6) 資料1でリストアップした技術で抜けているものがあたらお書き下さい。またその技術の簡単な説明をお書き下さい。その上で、上の表の「補足」の欄にその評価をお書き下さい。

番号	技術名	説明
補足1 補足2		

4. 設問4で1)地球温暖化対策技術の研究に取り組んでいると答えた方にもう少し詳しくお伺いします。

イ) 技術名をお書き下さい

ロ) その技術について短い説明をお願いします

ハ) その技術の効果についての評価をお願いします

ニ) その技術で最も難しいことは何ですか

ホ) その技術の完成の見込みや完成までの期間等はいかがですか

ヘ) その技術を普及するに当って経済性はいかがですか

ト) その技術を実用的に使うための社会的な問題点はありますか

フ) その技術の普及により新たに発生する可能性のある問題は考えられますか

リ) その技術の普及に当っての制度的な問題はありますか

ラ) その技術の研究はどんな条件があれば加速されますか

ル) その技術が使われることによる副次的な利点はありますか

5. 対策技術のあり方、評価のしかた、方向性、理念等につきまして御意見がありましたら御記入下さい。

6. 対策技術の進め方について関係機関への要望等がありましたら御記入下さい

7. その他お気づきの点がありましたら御記入下さい

どうもありがとうございました

なお、本アンケートに関するお問い合わせは、

国立公害研究所 総合解析部 清水 浩

電話 0298-51-6111 内321

〒305 つくば市小野川16-2

までお願いします。

表 2. 1. 2 アンケート調査の送付先と回答者の所属の内訳

送 付 先			回 答
個人宛			
国立研究所	つくば内	289	125
	つくば外	220	74
	小計	509	199

大学	つくば内	35	8
	つくば外	40	21
	小計	75	29

団体宛			
	国立研究所	28	
	民間	140	39
	その他	20	8
	小計	188	47
合 計			275 人
		772 件	

Ⅱ-2 興味のある分野

設問1では、地球規模の環境問題に関する研究で、関心のある課題領域について尋ね、対象とする事象（温暖化、オゾン層破壊等）と、研究課題（現象解明、影響把握、対策技術等）の両面にわたって回答を求めた。全回答者についての集計結果は、表 2.2.1のとおりである。この集計結果を概説すると、

- 1) 対象とする事象で最も多くあげられたのは、「地球温暖化問題」で、275人のうち、87.3%にあたる 240人が、この事象に関連する何らかの研究に興味があると答えた。以下、「酸性雨」(56.7%)、「砂漠化」(54.5%)の順となっている。
- 2) 対象とする研究課題では、「対策のための技術」が最も多く(78.5%)、以下、「影響の把握」(64.4%)、「現象の解明」(60.7%)、「対策のための制度や政策」(44.0%)の順である。
- 3) 事象と課題の組合せでは、「地球温暖化のための対策技術」が第1位で61.1%、以下「地球温暖化の影響把握」(45.8%)、「地球温暖化の現象解明」(42.2%)、「砂漠化の対策技術」(33.8%)の順である。

これを回答者の所属機関別に整理したのが表 2.2.2～表 2.2.5である。その結果から、

- 4) すべてのグループについて、事象では「地球温暖化」、課題では「対策技術」、その組合せでは、「地球温暖化のための対策技術」がいずれも第一位であった。
- 5) それ以外については、所属ごとに多少傾向が異なる。国立試験研究機関では「現象解明」～「対策技術」の3段階に幅広い興味を持っているが、「制度・政策」への興味はやや薄い。一方、民間機関では「対策技術」や「制度・政策」への興味が他に比べて高い。大学では「対策技術」に回答が集中しているが、配布数、回答数の少なさに起因するものであろう。
- 6) 事象別の整理では、民間機関が全事象に平均して高い興味を寄せている。国立試験研究機関はその立地条件を反映したと考えられる結果となっている。すなわち、「海洋汚染」は筑波以外で高く、「砂漠化」や「熱帯林破壊」が筑波で高いのは、筑波に移転した国立試験研究機関とそれ以外の国立試験研究機関のカバーする研究分野の違いによるものであろう。

いずれにしても、

- 7) 本アンケートが地球温暖化対策技術を中心とするものであり、これに興味があるか否かが、アンケートの回収率に影響しているとみられることから、上記の数値は今回の対象者全般を正しく代表した値でないことに注意することが必要である。

表 2. 2. 1 興味ある研究課題領域の集計結果

対象：全回答者（275名）

対象	課題	1)現象 説明	2)影響 把握	3)対策 技術	4)制度 ・政策	5)その 他	いず れか
1)地球温暖化		116	126	108	82	4	240
2)オゾン層破壊		57	64	74	40	2	127
3)酸性雨		70	87	88	48	5	158
4)砂漠化		75	63	93	33	2	150
5)海洋汚染		54	68	68	44	3	124
6)熱帯林破壊		40	54	49	52	3	116
7)その他		5	5	8	9	3	18
1)~7)のいずれか		147	177	216	121	8	271

凡例
 ・表中の数値は
 回答者の実数
 ・ハッチングは
 回答者の割合

個別欄
 ■ 50%以上
 ▨ 40-50%
 ▩ 30-40%
 ▪ 20-30%
 ○ 20%未満

合計欄
 ■ 70%以上
 ▨ 60-70%
 ▩ 50-60%
 ▪ 40-50%
 ○ 40%未満

表 2. 2. 4 興味のある分野集計結果

対象：大学（28名）

対象	課題	1)現象 説明	2)影響 把握	3)対策 技術	4)制度 ・政策	5)その 他	合計
1)	地球温暖化	8	12	16	0	0	36
2)	オゾン層破壊	3	5	6	6	0	14
3)	酸性雨	5	5	6	5	0	12
4)	砂漠化	8	7	10	2	0	17
5)	海洋汚染	4	2	2	4	0	8
6)	熱帯林破壊	4	7	6	6	0	12
7)	その他	1	1	1	2	1	2
合計		12	15	28	13	0	29

表 2. 2. 2 興味ある分野集計結果

対象：京波の国立試験研究機関（125名）

対象	課題	1)現象 説明	2)影響 把握	3)対策 技術	4)制度 ・政策	5)その 他	合計
1)	地球温暖化	4	5	5	3	2	10
2)	オゾン層破壊	3	2	3	1	1	6
3)	酸性雨	3	4	3	1	1	7
4)	砂漠化	4	3	4	1	1	7
5)	海洋汚染	2	2	2	1	1	4
6)	熱帯林破壊	2	3	2	2	2	5
7)	その他	0	1	4	3	1	8
合計		12	15	15	5	3	12

表 2. 2. 5 興味のある分野集計結果

対象：民間（39名）

対象	課題	1)現象 説明	2)影響 把握	3)対策 技術	4)制度 ・政策	5)その 他	合計
1)	地球温暖化	7	7	6	1	0	11
2)	オゾン層破壊	1	1	2	1	0	2
3)	酸性雨	8	12	1	1	1	12
4)	砂漠化	1	8	1	7	0	10
5)	海洋汚染	3	1	1	1	0	2
6)	熱帯林破壊	6	1	1	1	0	3
7)	その他	2	0	0	0	0	2
合計		12	15	10	2	1	18

凡例
 ・表中の数値は回答者の実数
 ・ハッチングは回答者の割合

50%以上	70%以上
40-50%	60-70%
30-40%	50-60%
20-30%	40-50%
20%未満	40%未満

表 2. 2. 3 興味ある分野集計結果

対象：京波以外の国立試験研究機関（74名）

対象	課題	1)現象 説明	2)影響 把握	3)対策 技術	4)制度 ・政策	5)その 他	合計
1)	地球温暖化	3	3	2	1	2	6
2)	オゾン層破壊	1	1	1	1	1	3
3)	酸性雨	1	2	2	1	3	4
4)	砂漠化	1	1	1	1	1	3
5)	海洋汚染	2	2	3	1	2	4
6)	熱帯林破壊	4	1	1	1	1	3
7)	その他	2	3	3	4	1	6
合計		10	10	6	3	4	7

凡例
 ・表中の数値は回答者の実数
 ・ハッチングは回答者の割合

50%以上	70%以上
40-50%	60-70%
30-40%	50-60%
20-30%	40-50%
20%未満	40%未満

Ⅱ－3 地球温暖化対策技術との関わり

設問2では、地球温暖化対策技術との関わりについて尋ねている。その結果は表 2.3.1 のとおりである。

地球温暖化対策技術に関する研究に、「現在取り組んでいる」と答えた人は54名(19.6%)で、「取り組んでいきたい」と答えた103名(37.5%)と合わせると、過半数(57.1%)の人が、この分野での研究に積極的な態度を示している。

所属別では、大学で「現在取り組んでいる」人の比率が高かった(約38%)が、配布・回収数が少ないことから、一般的傾向とはいえない。大学以外では「取り組んでいる」が16～19%、「取り組みたい」が35～40%でほぼ同様の数値を示している。

表 2.3.1 地球温暖化対策技術との関わり

	研究として 取り組んでいる	研究として 取り組みたい	当面は 関わりない	無回答・その他
筑波の国立 試験研究機関	21 (16.8%)	50 (40.0%)	47 (37.6%)	7 (5.6%)
筑波以外の国立 試験研究機関	14 (18.9%)	26 (35.1%)	34 (45.9%)	0 (0.0%)
国立試験研究 機関計	35 (17.6%)	76 (38.2%)	81 (40.7%)	7 (3.5%)
大学	11 (37.9%)	9 (31.0%)	8 (27.6%)	1 (3.4%)
民間・その他	8 (17.0%)	18 (38.3%)	18 (38.3%)	3 (6.4%)
全回答者計	54 (19.6%)	103 (37.5%)	107 (38.9%)	11 (4.0%)

Ⅱ-4 関心のある対策技術とその評価

設問3では、セミナー主催者側で作成した、計151項目の地球温暖化対策技術（巻末資料参照）について、関心のあるものを選んでもらい、効果の大きさ、技術的な難しさなどを評価してもらった。

- 1) 151項目の技術全てにわたり、延べ1364件（うち、有効回答1157件）が挙げられた。無回答が58名あったことから、一人平均約6項目の技術を挙げている。27項目を挙げた人を最高に、一人で10項目以上の技術を挙げた人は42人（約15%）にのぼる。
- 2) 設問では、選んだ技術についての回答者の専門度を併せて質問している。有効回答のうち、延べ271件（23.4%）が「極めて近い」、延べ254件（22.0%）が「近い」、という回答であったのに対し、「知っている」が558件（48.2%）、「無回答・その他」が74件（6.4%）あった。このため、以後の集計では、前二者の回答（計525件）を「専門家による回答」として、全回答者についての結果と対比して示す。

3) 関心の高い技術

全回答者、専門家それぞれについて、多くの回答を得た技術を表2.4.1に示す。多少順位は異なるが、両者ともベスト5は、「太陽電池」、「砂漠の緑化」、「燃料電池」、「コジェネレーション」、「温度差発電」である。

4) 技術についての個別評価

設問では、選んだ技術について、「効果の大きさ」、「技術的な困難度」、「技術的な完成時期」、「経済的な難しさ」などについて尋ねた。特定個人の評価に影響されることを避けるため、ごく少数からしか回答のなかった技術を除外し、関心の高かった技術の上位約40項目（全体集計については10名以上から、専門家については5名以上から関心ありとされた技術）について、表2.4.2～表2.4.5に、これらの側面からの評価の上位、下位に位置した技術をまとめた。なお、設問では大きい、小さいといった具体的な言葉の選択肢によって、3段階ないし4段階での評価を尋ねており、これらは必ずしも間隔尺度とは言えないが、ここでは単純に選択肢の番号を得点として算術平均によって順位をつけた。それぞれの回答の集計結果の詳細は巻末に添付してある。

また、これらの定量的評価のほか、実現に当たっての「社会的問題」、「制度的問題」、「副次的効果」、「その他の評価」の4項目を自由記述式で尋ねた。それぞれについての全回答数を表2.4.6に、また、多くの自由記述を得た技術項目の集計結果を表2.4.7に示

す。

具体的な記述の内容は多岐にわたっており、ここではその全てを紹介する紙幅がないため、記述中に現れるキーワードで整理し、その結果を表 2.4.8 に示しておく。回答者によって同様の内容が社会的とされたり、制度的とされたりしているため、ここではこれら4項目の垣根を取り払い、いずれの欄に記述されていたものも「自由記述による評価」としてまとめて取り扱った。

最も多くの回答者が挙げた言葉は「騒音」であったが、これは記載例の影響を強く受けたものであろう。これ以外で多くの回答者が挙げたのは、「安全性」（12名）、コスト（11名）などである。同一の回答者が複数の技術に対して同じ言葉による評価をしている例が多いため、延べ件数よりも、何人の回答者がその視点に触れたかを重視した。

ここに挙げられたキーワード、あるいはそれらのグループは、今回の調査で定量的評価を尋ねた軸（効果、技術的難易度、経済的難易度、実現時期）に加え今後、対策技術を評価する軸を構成する上での参考としていくべきものである。

5) 技術の総合的評価

前項で示した評価は互いに関連性があり、「技術的・経済的に困難で、実現には時間を要するが、その効果は大きい」ケースや、「技術的にはほぼ完成しており、効果も見込めるが、コストがかかる」ケースのような、トレードオフ関係にあるのが一般的である。各技術のもつこうした特徴を整理するため、統計解析手法を用いて、前述の4つの側面から、各技術の評価の集約を試みた。

図 2.4.1 は、横軸に技術面・経済面での困難度および達成時期を総合的に表した「技術の困難度」の尺度をとり、縦軸に「対策効果の大きさ」の評価をとって、全回答者の評価をもとに、各技術の位置づけをプロットしたものである。

この図と、別に行った各技術の評価の類似度によるグルーピングの結果から、以下のような特徴的な技術グループが見いだされた。

実用型・・・ 既に技術的にはほぼ完成しており、対策としての効果もかなり期待できるとされた技術で、コジェネレーション、水力発電、太陽熱給湯が挙げられた。

開発期待型・・・ 技術的、コスト的問題がかなり大きいですが、それを克服すれば、対策効果が大きいとされた技術。太陽電池、電気自動車、砂漠の緑化、超電導電力貯蔵、安全の保証された原子力などが挙げられた。

夢の技術型・・・ 技術的に極めて難しく開発に年月とコストを要するが、実現されれば対策効果は極めて大きいとされた技術で、核融合がこれに当たる。

（一方、超電導を利用した発電・送電などの技術も同様に開発困難とさ

表2.4.1 関心の高かった地球温暖化対策技術

全回答者の評価		その技術に専門が近い人についての集計	
1. 太陽電池	45名	1. コージェネレーション	22名
2. 砂漠の緑化	34名	2. 燃料電池	16名
3. 燃料電池	31名	3. 太陽電池	12名
4. コージェネレーション	30名	温度差発電	12名
5. 温度差発電	28名	砂漠の緑化	12名
6. 水素（化石燃料の代替）	25名	6. スーパーヒートポンプ	11名
7. 電気自動車	21名	CO ₂ の触媒分解	11名
8. スーパーヒートポンプ	19名	水素（化石燃料の代替）	10名
9. 核融合	17名	光合成細菌による炭素固定	10名
10. 波力発電	16名	10. メタノール（代替燃料）	9名
アルコール自動車		アルコール自動車	
水素自動車		微生物による炭素固定	
CO ₂ の触媒分解			
CO ₂ のアルコール化			
光合成細菌による炭素固定			
微生物による炭素固定			

表2.4.2 温暖化対策効果の評価

数値は効果の大きさを[1:極めて大きい 2:大きい 3:小さい]とした算術平均

全回答者の評価		その技術に専門が近い人への評価	
A) 効果が大きいとされた技術			
1:核融合	1.24	1:核融合	1.20
2:安全の保証された原子力	1.36	2:超電導電力貯蔵	1.33
3:超電導電力貯蔵	1.42	3:CO ₂ の光分解	1.57
4:砂漠緑化	1.58	4:太陽熱給湯	1.83
5:水素自動車	1.63	5:コージェネレーション	1.84
6:電気自動車	1.65	6:砂漠緑化	1.87
7:太陽熱給湯	1.75	7:安全の保証された原子力	1.67
8:水力発電	1.77	8:最適作物の選択技術	1.67
9:コージェネレーション	1.79	9:水素（化石燃料の代替）	1.70
10:CO ₂ の触媒分解	1.81	10:N ₂ O, CH ₄ 抑制農業技術	1.71
B) 効果が小さいとされた技術			
1:波力発電	2.60	1:クロレラ工場	3.00
2:植物工場	2.55	2:冬期栽培技術	2.60
3:発酵技術	2.46	3:高伝達率ヒートパイプ	2.43
4:温度差発電	2.42	4:発酵技術	2.38
5:CO ₂ のCaCO ₃ 化	2.33	5:波力発電	2.33

表2.4.3 技術的な困難度の評価

数値は技術的困難度を[1:極めて困難 2:かなり困難 3:易しい]とした算術平均

全回答者の評価		その技術に専門が近い人への評価	
A) 難しいとされた技術			
1:核融合	1.00	1:核融合	1.00
2:砂漠緑化	1.73	2:省エネルギー精練技術	1.60
3:超電導送電	1.75	3:フロート式防波堤	1.60
4:超電導発電	1.76	4:水素自動車	1.67
5:CO ₂ の触媒分解	1.88	5:石炭のガス化	1.80
B) 易しいとされた技術			
1:太陽熱給湯	2.83	1:太陽熱給湯	2.88
2:屋上緑化技術	2.78	2:メタノール	2.78
3:水力発電	2.77	(化石燃料の代替)	
4:コージェネレーション	2.72	3:コージェネレーション	2.77
5:メタノール	2.64	4:最適作物の選択技術	2.67
(化石燃料の代替)		5:高効率ヒートポンプ	2.63

表2.4.4 技術完成時期についての評価

数値は時期を[1:間もなく 2:3-5年後 3:5-10年後 4:10年以後]とした算術平均

全回答者の評価		その技術に専門が近い人への評価	
A) 時間がかかるとされた技術			
1:核融合	3.94	1:核融合	4.00
2:超電導発電	3.67	2:省エネルギー精練技術	3.40
3:超電導送電	3.64	3:砂漠緑化	3.20
4:超電導モーター	3.50	4:水素自動車	3.00
5:砂漠緑化	3.38	高効率スラックエンジン	3.00
		超電導電力貯蔵	3.00
B) 短期間ですぐできるとされた技術			
1:太陽熱給湯	1.42	1:太陽熱給湯	1.13
2:コージェネレーション	1.62	2:コージェネレーション	1.36
3:屋上緑化技術	1.67	3:高効率ヒートポンプ	1.50
4:水力発電	1.67	4:高伝達率ヒートパイプ	1.57
5:地熱発電	1.85	5:地熱発電	1.86

表2.4.6 自由記述による評価の記入内訳

	延べ件数	対象技術項目数	記入した回答者数
社会的問題	232	93	90
制度的問題	108	49	44
副次的な効果	211	94	79
その他の評価	99	59	42

表2.4.5 コスト面の評価

数値は費用が【1:非常に高い 2:高い 3:安い】とした算術平均

全回答者の評価

A) 費用がかかるとされた技術

1:核融合	1.13
2:水素自動車	1.46
3:植物工場	1.60
4:超電導発電	1.58
5:超電導モーター	1.67

B) 安くできるとされた技術

1:C4植物の大量栽培	2.75
2:微細藻による炭素固定	2.67
3:発酵技術	2.55
4:珊瑚礁化による炭素固定	2.50
光合成細菌による炭素固定	
マングローブによる炭素固定	

その技術に専門に近い人の評価

1:核融合	1.20
2:水素自動車	1.25
3:高効率ガスタービン	1.71
4:太陽電池	1.75
5:クロレラ工場	1.80

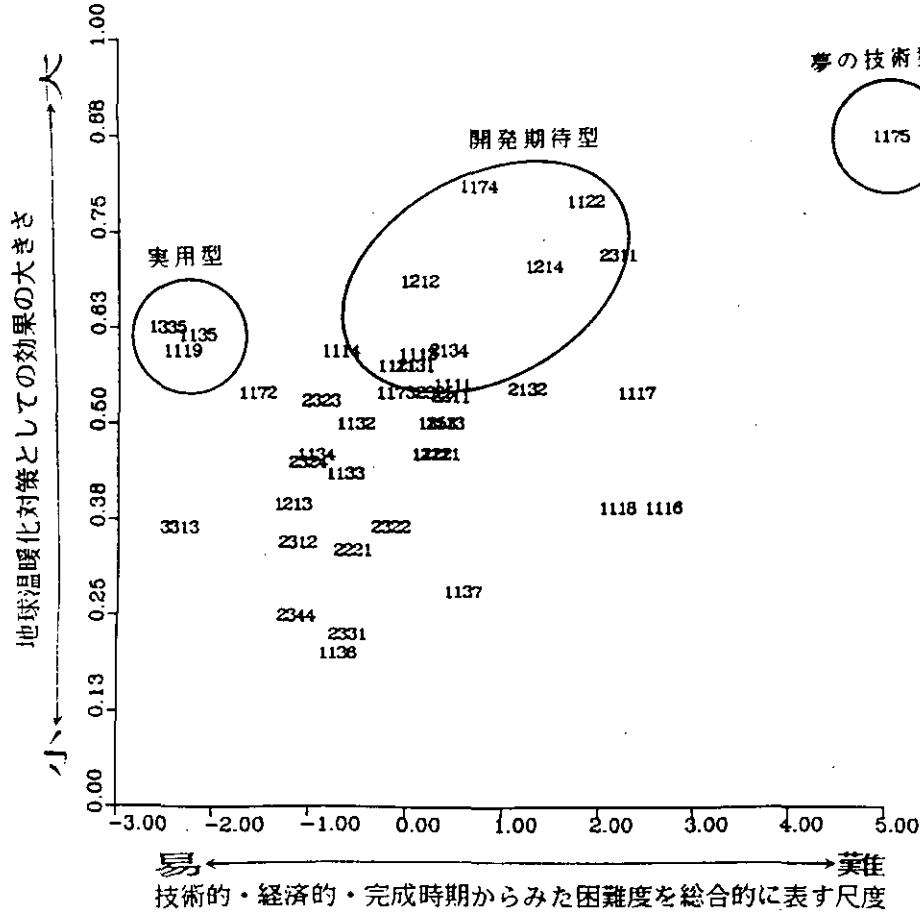
1:海藻による炭素固定	3.00
冬期栽培技術	3.00
3:C4植物の大量栽培	2.83
4:最善作物の選択技術	2.80
5:植物によるメタン発生抑制	2.67
高伝達率ヒートパイプ	

表2.4.7 自由記述による評価の対象として多くの回答者から挙げられた技術項目

技術項目名	回答者数	記述延べ数	社会的	制度的	副次的効果	その他の評価
砂漠の緑化	13	28	9	7	6	6
太陽電池	12	17	5	3	8	1
温度差発電	12	15	6	1	7	1
コージェネレーション	10	19	8	6	4	1
燃料電池	9	13	1	4	6	2
微細藻による炭素固定	8	16	7	2	5	2
波力発電	8	12	3	2	5	2
安全の保証された原子力	8	11	8	1	2	0
クロレラ工場	8	9	5	0	4	0
珊瑚礁化による炭素固定	8	8	2	1	3	2
水素(化石燃料代替)	7	9	1	2	5	1
小規模廃棄物処理資源化	6	13	4	3	3	3
水力発電	6	12	6	2	4	0
電気自動車	6	8	2	2	4	0
深海注入によるCO2投棄	6	8	5	0	3	0
地熱発電	6	8	4	1	1	2

表2.4.8 自由記述による評価の中に現れる
キーワードからみた評価の視点の整理

キーワード	延べ 件数	回答 者数	対象 項目数	備考(主な視点)
(従来型の)公害、汚染に関することがら				
公害	6	5	6	無公害、低公害
汚染	8	7	7	環境汚染、大気汚染、海洋汚染
騒音	18	15	10	低騒音、騒音減
自然、生態などに関することがら				
自然	6	5	6	自然保護、自然エネルギー
生態系	13	9	11	生態系への影響、生態系の攪乱
保護・保全	6	5	5	自然保護、生態系保護
風景・景観	4	3	3	風景を損なう
資源・エネルギーに関することがら				
資源	8	4	8	資源の有効利用、生物資源、海洋資源
省エネ	17	7	16	省エネルギー効果
廃棄物・ゴミ	18	9	17	廃棄物処理コスト、廃棄物の資源化
経済的側面に関することがら				
経済	9	7	9	経済性、経済社会の仕組み
コスト	26	11	24	コスト負担、コストパフォーマンス
税	8	4	9	税制上の処置
法・制度的側面に関することがら				
法(法律)	11	8	9	電気事業法、自然保護法、法規の改正
制度	22	9	20	導入促進制度、助成制度、国家的制度
規制	8	6	7	環境規制、設置規制
その他				
住民・国民	15	10	12	国民的合意、住民との協力、住民意識
生活	9	8	8	住民生活への影響、生活様式
途上/先進国	6	5	6	途上国への適用の可否、先進国の援助
土地	7	6	7	土地買収、広い土地が必要、地価
規模	10	6	8	大規模、地球的規模で実施できるか
安全	16	12	14	安全性、安全確保



図中の技術コードと技術名の対応

- 1111:高効率ガスタービン
- 1112:燃料電池
- 1113:高効率スターリングエンジン
- 1114:スーパーヒートポンプ
- 1116:超電導発電
- 1117:超電導送電
- 1118:超電導モーター
- 1119:コジェネレーション
- 1121:高密度二次電池
- 1122:超電導電力貯蔵
- 1131:太陽電池
- 1132:太陽光発電
- 1133:風力発電
- 1134:地熱発電
- 1135:水力発電
- 1136:波力発電
- 1137:温度差発電
- 1172:メタノール(化石燃料の代替)
- 1173:水素(化石燃料の代替)
- 1174:安全性の保証された原子力
- 1175:核融合
- 1211:自動車省エネルギー技術
- 1212:電気自動車
- 1213:アルコール自動車
- 1214:水素自動車
- 1221:新交通システム
- 1335:太陽熱給湯
- 1353:家庭、ビル内、小規模廃棄物処理資源化技術
- 2132:CO₂の光分解
- 2134:CO₂の触媒分解
- 2211:CO₂のアルコール化
- 2221:CO₂のCaCO₃化
- 2311:砂漠緑化
- 2312:C₄植物の大量栽培
- 2322:光合成細菌による炭素固定
- 2323:微細藻による炭素固定
- 2324:マングローブによる炭素固定
- 2325:珊瑚礁化
- 2331:植物工場
- 2344:発酵技術
- 3313:屋上緑化技術

図2.4.1 各技術の特性の評価
(実現の難しさと対策効果)

れたが、対策効果という点での評価は核融合に比べかなり低かった。) 低コスト型・実現に多少時間がかかるが、コストが安く、まずまずの効果が期待できる技術。生物学的な炭素固定技術の多くがこれに該当し、C4 植物の大量栽培、海草・微細藻・光合成細菌による炭素固定などが挙げられた。(一方、植物工場やクロレラ工場などの人為施設による生物学的炭素固定技術はコスト高のわりに効果が小さいとされた)。

Ⅱ-5 新たに付け加わった技術

アンケートの結果、新たに付け加わった技術は表 2.5.1に示すように82件にのぼる。また、技術そのものとは別に評価等の指摘をされている方もあるが、その件数は12件である。

151件のリストと併せると、約230項目の対策技術が挙げられたわけである。このように地球温暖化対策技術はその数が多いことが1つの大きな特徴と言える。

表 2.5.1 新たに追加された技術

分類	技術名	分類	技術名
I	温室効果ガスの排出抑制技術	II	発生した温室効果ガスの処理技術
I-1	産業関連技術 CO ₂ の発生が少ない廃棄物焼却技術 半導体光触媒電解 廃水処理場のN ₂ O発生対策 排熱回収動力サイクル(ボトミング・サイクル) 高効率焼却技術 石炭の液化 Cを用いない燃焼方式、CO ₂ を用いない燃焼方式 小温差差ガスタービン 膜分離技術 太陽電池と既存電力供給とのハイブリッド技術 熱発電素子 人工降雨、降雪調節と温水発電の組み合わせ 建築利用技術 複合化発電・熱機関 高性能熱交換技術 化学エネルギー貯蔵 燃料改質(水エマルジョン化)による汚染排出物の低減 既存ガスの回収、処理技術 石炭利用に伴う大気汚染物質排出抑制技術 天然ガス漏洩抑制技術 静止軌道太陽電圧昇 排熱利用技術(数10℃の排熱利用) 高精度光アナログ伝送の開発等によるデジタル情報処理の制限(省エネルギー技術)	II-1	物理的技術 CO ₂ ガスの移動を手助けする技術 炭酸ガス濃縮技術 CO ₂ 及びNO _x の固体吸着法による固定化技術 CO ₂ による石油回収 CO ₂ のクラスレート化永久貯蔵
I-2	交通関連技術 LNG自動車 大型船の軽量化にする省エネ、高速化 無線・有線による情報通信技術	II-2	化学的技術 海水中のSO ₄ 、HCO ₃ をCaSO ₄ として砂漠に固定する。 CO ₂ の稼働化
I-3	民生関連技術 携帯太陽熱発電技術(温度差発電技術) エネルギー貯蔵壁面技術 排水熱再利用 木材代替材料 地域総合エネルギー技術 都市の省エネ化(21世の都市の理想像) 自然環境保全型住宅 下水エネルギーの除排雪への利用 下水の熱利用冷暖房 地下環境利用技術 都市整備技術 都市関連技術 木材関連製品のリサイクル 省エネルギー型冷暖房・照明・トータルシステム 自然エネルギーの利用	II-3	生物学的技術 耐熱性植物(or CO ₂ 固定バクテリア) 砂漠の緑化のための保水力向上技術 バイオテクノロジーを用いたCO ₂ の固定と貯蔵法及び利用法 海洋プランクトンによるCO ₂ の固定化 CO ₂ 固定生物界の拡大、保護 熱帯林破壊防止 砂漠化防止 森林造成によるCO ₂ 固定 微生物によるフロンの分解 林木の品種改良 都市緑化 現存する緑資産の保全と有効利用のための技術 組み換えDNAを用いた難分解性化学物質の分解 低炭化した森林のリハビリ、活性化 土壌腐植化技術 熱帯、亜熱帯林業技術 土壌塩類除去技術 人工的技術と自然生物学的技術の相互関係 温暖化に伴う気候変動に資する技術
I-4	産業関連技術 自然エネルギー利用農村システム 植物プランクトンまたは大型植物による排水の浄化 固定窒素の活用によるメタン分解 省エネルギー型作物栽培技術 バイオマス資源の活用、とくに液体燃料化 (産業排水)畜舎汚水等の浄化過程におけるN ₂ O発生抑制	III	III-1 III-2 III-3 IV IX
		III-1	農業、水産業関連技術 土壌の改良 最適水生生物の選択技術 海面上昇対策技術 既設港湾施設の高面上昇対応対策技術 都市低地部における浸水防止技術 侵食防止技術 合理的防潮技術
		III-2	海面上昇対策技術 既設港湾施設の高面上昇対応対策技術 都市低地部における浸水防止技術
		III-3	侵食防止技術 合理的防潮技術 生活防災技術 防災レベル向上 その他の技術
		IV	上空の反射吸収率増加技術 気象制御 人工的火山噴火
		IX	その他(予測、評価等) 水位上昇対策III-2関連 マネージメントに関連するソフトな技術 交通・民生エネルギー抑制のための合理的制度 ソフト技術・リスクアセスメント 開発・実用化された技術に対する使用段階での性能維持・管理技術(一般、個別) 気候変動に伴う影響評価 高濃・洪水による災害危険度を解明する技術 21世紀における地球環境保全の基本理念、方策に関する検討 植物光合成系のモデル化促進 植物相モニター技術 温暖化防止に携わる研究者間の交流ネットワーク エネルギー使用を抑えるための哲学 生分解性高分子材料の開発(地球環境保全として、燃焼によらない高分子材料の処理技術)

Ⅱ－6 地球温暖化対策技術として開発中の技術

地球温暖化対策技術として、すでに研究が開始されているとの回答のあった項目を表 2.6.1に示す。同表より62件の研究が進行中である。また、技術そのものの開発とは別に評価や予測等の研究を行っているとの回答も 8名からあった。

これらの回答から見る限り、温室効果ガスの排出抑制技術のうち、産業関連技術に属する研究の件数が多い。

表 2. 6. 1 地球温暖化対策技術として開発中の技術

分類	技術名	分類	技術名
I	温室効果ガスの排出抑制技術	II	発生した温室効果ガスの処理技術
I-1	産業関連技術 排水熱回収再利用 燃料電池 高効率または高温ヒートポンプ 超電導電力貯蔵 ガスタービンエンジンの高効率化 沿岸形波力発電装置、海洋温度差・波浪複合エネルギーシステム ガスタービン燃焼の低NOx化 波力発電 高効率ガスタービンコージェネレーションシステム 太陽電池 水素吸蔵合金の開発、地熱発電 降雪制御による水資源の増加 海洋温度差発電 炭素固定化燃焼 CO2回収型メタノール機関 深層水の循環技術（フィジビリティスタディ） 深層水の循環技術（フィジビリティスタディ） NOx、微粒子低減化対策技術 代替フロン類の無毒性 酸性雨検知のためのSOxセンサー材料の研究 太陽光の直接発電材料の研究 原子力用材料や超電導材料などエネルギー関連材料の研究 地熱エネルギー技術 産業関連の高効率エネルギー変換、省エネ技術。 自然エネルギー利用	II-1	物理的技術 温暖化物質光分解技術 半導体製造工程ガスの処理
		II-2	化学的技術 炭酸ガスの接触水素化による再資源化技術 地球化学技術デザートアクアネットによる砂漠へのCO2固定 CO2の電気化学的および光電気化学的還元による高エネルギー物質の合成 CO2の固定化 アルコール製造・利用 CFC等のプラズマ・触媒分解 地球温暖化ガスの光触媒を用いた分解 CO2の化学的固定 フロン破壊技術
		II-3	生物学的技術 珊瑚礁による炭酸ガスの固定化 熱帯林、マングローブの伐採抑制と再植林推進 海洋工学的CO2回収、固定化 海洋生物工学的CO2制御 藻類等によるCO2固定 砂漠緑化技術
		III	温暖化に伴う気候変動に適應する技術
		III-1	農林、水産業関連技術 気候変動に伴う小麦栽培の立地配置 長期的炭酸ガス濃度下における植物の反応とその生産性に及ぼす影響 果樹の栽培適地
I-2	交通関連技術 電気自動車の高性能化と評価 自動車交通抑制と発生源対策の効果の評価 大都市および高速道路のリニャモーター走行（浮力はさせず、推進力のみ） 渋滞対策、新交通システム	IV	その他の技術 気象制御 電気機器メーカーのため、広い範囲にわたって検討している
I-3	民生関連技術 空調用の熱交換器の開発 寒冷地における太陽エネルギー等自然エネルギーの民生・産学への利用	IX	その他（予測、評価等） 酸性雨による土壌酸性化機構の解明 地球環境リモートセンシング 各種 水面上昇の予測 人工衛星を利用した（リモートセンシング技術） エネルギーシステムからのCO2排出の各低減方策について、有効性等の分析 システム分析・評価技術 対策技術評価
I-4	農業関連技術 根圏微生物 植物光合成系のモデル化 施肥改善によるN2O、CH4発生抑制と評価 温室効果ガスの耕地土壌からの発生の抑制 水田からのメタン発生抑制技術 堆肥化過程の効率化 汚水浄化過程の効率化 メタン発酵システムの低コスト化 植物遺体の炭化、畜産廃棄物等の炭混合による推肥化および土壌施用		

Ⅱ-7 自由回答の結果

自由回答として問5では対策技術のあり方と評価の仕方、方向性、理念などについて、問6では対策技術の進め方についてと関係機関への要望、問7ではその他について回答を得ている。回答を見るとこれらの質問項目では余り差がない内容であるので、まとめて分析することにした。

回答は136人からで240件の回答があった。回答は対策技術についてだけでなく現象の解明や予測、影響の把握、今後の研究体制、アンケートのやり方にまで広い内容が含まれていた。

表2.7.1に示すように現象解明及び予測に関するもの25件、影響の把握5件、対策技術の内容65件、対策案の評価にかかるもの55件、研究体制にかかるもの56件、研究実施に関することやその他アンケートの手法上の問題点や批判など34件であった。

現象の解明及び予測では、その重要性を説くものが多く(12件)、次いでモニタリングの必要性(4件)、予測精度の向上(4件)などであった。ここで戦争によるエネルギーの消費(1件)を取り上げていることは新しい視点であった。

影響の把握では海域(3件)と農業(2件)の重要さが示されていた。

対策では社会科学的なソフトな対策の必要性(25件)と自然の系に戻せという自然派の指摘(17件)が多かった。また複合した対策(7件)など考えに入れなければならないという指摘もあった。

研究体制では統一組織を望むものが多く(28件)、今後情報交流(9件)を望むものも多かった。また、国際協力(6件)や民間企業活用(5件)をあげた人もいた。国立公害研究所に総合調整役を求める意見も有った。

研究の実施に関しても予算の増加(9件)など、多くの指摘が有った。

最後にこのアンケートの効果として今後積極的に協力したいと回答するものが(5件)有り心強かった。またアンケートの不備(11件)を指摘するものもの少し有った。

表 2.7.1 自由回答のまとめ

現象の解明および予測	影響の範囲	対策	評価に関すること	研究体制に関すること	実施等に関すること
現象の解明の重要性 (12)	海域影響の重要性 (3)	社会科学的な対策の重要性の強調 (25)	個々の技術ごとに精度良く評価すべき (14)	統一的に研究の計画と推進を行うべき (28)	予算を十分に付けるべき (9)
モニタリングの必要性 (4)	農業影響の重要性 (2)	自然系との関わりで対策を講ずべき (17)	あらゆる影響を考えて評価すべき (13)	情報提供の機関を設けるべき (9)	既に研究を始めている (9)
予測精度の向上の重要性 (4)		二酸化炭素対策技術の重要性の強調 (8)	長期的視点で評価すべき (12)	国際協力を考えるべき (6)	この分野の研究に協力する (5)
降雨パターン予測の重要性 (2)		複合的対策の必要性の強調 (7)	総合的な評価を行うべき (7)	民間企業の活用を考えるべき (5)	その他 (11)
環境変化が速まっていることに注目すべき (1)		個別の対策のうちで特に重要なものの指摘 (7)	シミュレーションを精度良く行うべき (6)	基礎的研究を重視すべき (5)	
競争の影響も考慮すべき (1)			対策技術のクラス分けに注意すべし (3)	分野ごとに研究機関を割り振るべき (2)	
発生源の同定を精度良く行うべき (1)				総合調整機関が必要である (1)	
合計 25	合計 5	合計 65	合計 55	合計 56	合計 34

カッコ内の数字は回答数

Ⅱ－8 対策技術評価の単純集計結果

設問3において、回答者から興味あり、として選ばれた対策技術とその評価については、Ⅱ－4に解析結果をまとめてあるが、ここに、その単純集計結果を示しておく。設問では、

- 1) 対策効果の大きさ
- 2) 技術的困難度
- 3) 技術的完成時期
- 4) 経済的困難度

という側面からの技術の評価を尋ね、また、

- 5) 回答者のその技術に対する専門度
- 6) 回答者のその技術への取り組み

という、回答者と技術の関わりについても尋ねた。

以下、これら6項目について、3段階ないし4段階評価での実回答数、回答割合の集計表を示す。表中の「平均」欄は段階評価の選択肢の番号をそのまま評点とした場合の算術平均である。また、平均値の欄に-9.9とあるものは、有効回答数がゼロのものである。

なお、設問ではさらに、対策技術として意味のあるものと、あまり意味のないものを○×式で尋ねたが、有効回答数が極めて少なかったため集計の対象から除外した。

表 2. 8. 1 対策技術の効果に関する評価

**1-1 番号	排出抑制技術 (産業関連技術) **	[1]	[2]	[3]	[0]
	[技術名]	回答数	平均 極めて大 大きい	小さい	無回答など
1110:***	(高効率エネルギー変換技術)				
1111:	高効率ガスタービン	: 11:	1.90: 2(18.2%): 7(63.6%): 1(9.1%): 1(9.1%):		
1112:	燃料電池	: 31:	1.83: 7(22.6%): 20(64.5%): 2(6.5%): 2(6.5%):		
1113:	高効率スターリングエンジン	: 10:	2.00: 1(10.0%): 7(70.0%): 1(10.0%): 1(10.0%):		
1114:	スーパーヒートポンプ	: 19:	1.82: 5(26.3%): 10(52.6%): 2(10.5%): 2(10.5%):		
1115:	MHD発電	: 7:	2.14: 1(14.3%): 4(57.1%): 2(28.6%): 0(0.0%):		
1116:	超電導発電	: 10:	2.22: 2(20.0%): 3(30.0%): 4(40.0%): 1(10.0%):		
1117:	超電導送電	: 13:	1.92: 3(23.1%): 7(53.8%): 2(15.4%): 1(7.7%):		
1118:	超電導モーター	: 10:	2.22: 1(10.0%): 5(50.0%): 3(30.0%): 1(10.0%):		
1119:	コジェネレーション	: 30:	1.79: 10(33.3%): 15(50.0%): 4(13.3%): 1(3.3%):		
1120:***	(高密度エネルギー貯蔵技術)				
1121:	高密度二次電池	: 14:	1.85: 3(21.4%): 9(64.3%): 1(7.1%): 1(7.1%):		
1122:	超電導電力貯蔵	: 12:	1.42: 7(58.3%): 5(41.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):		
1123:	超高速フライホイール	: 3:	1.67: 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):		
1124:	揚水発電	: 1:	3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):		
1125:	揚粉発電	: 1:	1.00: 1(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):		
1130:***	(自然エネルギー転換技術)				
1131:	太陽電池	: 45:	1.86: 11(24.4%): 26(57.8%): 5(11.1%): 3(6.7%):		
1132:	太陽光発電	: 14:	2.00: 3(21.4%): 5(35.7%): 3(21.4%): 3(21.4%):		
1133:	風力発電	: 10:	2.13: 2(20.0%): 3(30.0%): 3(30.0%): 2(20.0%):		
1134:	地熱発電	: 14:	2.08: 4(28.6%): 4(28.6%): 5(35.7%): 1(7.1%):		
1135:	水力発電	: 15:	1.77: 5(33.3%): 6(40.0%): 2(13.3%): 2(13.3%):		
1136:	波力発電	: 16:	2.60: 0(0.0%): 6(37.5%): 9(56.3%): 1(6.3%):		
1137:	温度差発電	: 28:	2.42: 2(7.1%): 11(39.3%): 13(46.4%): 2(7.1%):		
1140:***	(省エネルギー技術)				
1141:	省エネルギー精練技術	: 5:	2.00: 2(40.0%): 1(20.0%): 2(40.0%): 0(0.0%):		
1142:	断熱炉技術	: 1:	3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):		
1143:	熱交換炉技術	: 4:	2.00: 1(25.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 1(25.0%):		
1144:	複合生産技術	: 3:	2.00: 1(33.3%): 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%):		
1150:***	(エネルギーパス利用技術)				
1151:	天然ガスからエチレンへの製造技術	: 3:	2.33: 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%):		
1152:	建築利用技術	: 6:	2.17: 1(16.7%): 3(50.0%): 2(33.3%): 0(0.0%):		
1153:	生活用品利用技術	: 5:	2.20: 0(0.0%): 4(80.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):		
1154:	土木利用技術	: 3:	2.67: 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):		
1155:	自動車利用技術	: 4:	2.00: 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):		
1156:	船舶利用技術	: 4:	2.67: 0(0.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):		
1157:	高温燃焼技術	: 5:	2.40: 1(20.0%): 1(20.0%): 3(60.0%): 0(0.0%):		
1160:***	(リサイクル技術)				
1161:	鉄リサイクル	: 5:	2.25: 1(20.0%): 1(20.0%): 2(40.0%): 1(20.0%):		
1162:	アルミリサイクル	: 5:	2.50: 0(0.0%): 2(40.0%): 2(40.0%): 1(20.0%):		
1163:	鉛リサイクル	: 5:	3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(60.0%): 2(40.0%):		
1164:	銅リサイクル	: 2:	3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):		
1165:	ガラスリサイクル	: 2:	3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):		
1170:***	(CO2 の発生の少ないエネルギー技術)				
1171:	LNG	: 6:	2.00: 1(16.7%): 4(66.7%): 1(16.7%): 0(0.0%):		
1172:	メタノール (化石燃料の代替)	: 14:	1.93: 2(14.3%): 11(78.6%): 1(7.1%): 0(0.0%):		
1173:	水素 (化石燃料の代替)	: 25:	1.92: 5(20.0%): 17(68.0%): 3(12.0%): 0(0.0%):		
1174:	安全の保証された原子力	: 14:	1.36: 9(64.3%): 5(35.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):		
1175:	核融合	: 17:	1.24: 14(82.4%): 2(11.8%): 1(5.9%): 0(0.0%):		
1176:	石炭ガス化	: 9:	1.89: 2(22.2%): 6(66.7%): 1(11.1%): 0(0.0%):		

****1-2 排出抑制技術 (交通関連技術) **** [1] [2] [3] [0]
番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

1210:*****(高効率省エネルギー個別輸送技術)*****

1211:自動車省エネルギー技術	: 13:	2.08:	2(15.4%):	8(61.5%):	3(23.1%):	0(0.0%):
1212:電気自動車	: 21:	1.65:	8(38.1%):	11(52.4%):	1(4.8%):	1(4.8%):
1213:アルコール自動車	: 16:	2.27:	2(12.5%):	7(43.8%):	6(37.5%):	1(6.3%):
1214:水素自動車	: 16:	1.63:	6(37.5%):	10(62.5%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1215:超電導自動車	: 4:	2.00:	0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1216:コンピュータシステム	: 4:	2.25:	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):

1220:*****(高利便性大量輸送技術)*****

1221:新交通システム	: 15:	2.08:	3(20.0%):	6(40.0%):	4(26.7%):	2(13.3%):
1222:高機能化鉄道	: 6:	1.67:	3(50.0%):	2(33.3%):	1(16.7%):	0(0.0%):
1223:飛行船	: 4:	1.75:	1(25.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1224:高速船	: 4:	2.50:	0(0.0%):	2(50.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):

1230:*****(高効率・省エネルギー輸送システム)*****

1231:交通流制御	: 6:	2.00:	1(16.7%):	3(50.0%):	1(16.7%):	1(16.7%):
1232:無渋滞システム	: 6:	1.67:	2(33.3%):	4(66.7%):	0(0.0%):	0(0.0%):

1240:*****(高効率物流システム)*****

1241:貨物集約システム	: 5:	2.00:	2(40.0%):	1(20.0%):	2(40.0%):	0(0.0%):
1242:通信制御型貨物集配システム	: 3:	2.33:	1(33.3%):	0(0.0%):	2(66.7%):	0(0.0%):

1250:*****(交通量低下技術)*****

1251:ゴミバイパス	: 8:	2.17:	1(16.7%):	3(50.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):
1252:高品質通信システム	: 6:	2.17:	0(0.0%):	5(83.3%):	1(16.7%):	0(0.0%):
1253:立体化都市	: 4:	2.25:	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):
1254:都市内貨物無人搬送システム	: 5:	2.40:	1(20.0%):	1(20.0%):	3(60.0%):	0(0.0%):

1260:*****(自然エネルギー利用技術)*****

1261:帆船	: 6:	2.33:	1(16.7%):	2(33.3%):	3(50.0%):	0(0.0%):
1262:ソーラーカー	: 7:	1.86:	2(28.6%):	4(57.1%):	1(14.3%):	0(0.0%):

****1-3 排出抑制技術 (民生技術) **** [1] [2] [3] [0]
番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

1310:*****(断熱建築物技術)*****

1311:断熱壁面技術	: 5:	1.80:	1(20.0%):	4(80.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1312:断熱窓面技術	: 3:	2.33:	0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):
1313:熱交換型換気技術	: 4:	2.00:	0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1314:除湿技術	: 2:	2.50:	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):

1320:*****(高効率冷暖房技術)*****

1321:高効率ヒートポンプ	: 9:	2.00:	2(22.2%):	5(55.6%):	2(22.2%):	0(0.0%):
1322:高伝達率ヒートポンプ	: 7:	2.43:	0(0.0%):	4(57.1%):	3(42.9%):	0(0.0%):
1323:河川熱利用冷暖房	: 2:	2.50:	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):

1330:*****(自然エネルギー利用技術)*****

1331:パッシブソーラーハウス、ビル	: 8:	2.00:	1(12.5%):	6(75.0%):	1(12.5%):	0(0.0%):
1332:アクティブソーラーハウス、ビル	: 4:	2.00:	0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1333:耐雪住宅	: 3:	2.33:	1(33.3%):	0(0.0%):	2(66.7%):	0(0.0%):
1334:地温吸上冷暖房システム	: 5:	2.00:	1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):
1335:太陽熱給湯	: 12:	1.75:	3(25.0%):	9(75.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):

1340:*****(省エネルギー型建築設備)*****

1341:高効率床暖房システム	: 3:	2.00:	0(0.0%):	3(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1342:分散型冷暖房システム	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):

1350:*** (家庭、ビル内省エネルギー技術)***
 1351: 高効率照明 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):
 1352: 在時節電装置 : 2: 1.50: 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1353: 小規模廃棄物処理資源化技術 : 11: 1.90: 4(36.4%): 3(27.3%): 3(27.3%): 1(9.1%):

**1-4 排出抑制技術 (農業関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

1410:*** (農業生産用エネルギー低減技術)***
 1411: ビニールハウス断熱技術 : 4: 1.75: 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1412: 省エネルギー型乾燥施設 : 4: 2.00: 0(0.0%): 2(50.0%): 0(0.0%): 2(50.0%):
 1413: 省エネルギー型農業機械 : 3: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%):
 1414: 風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設 : 5: 2.20: 0(0.0%): 4(80.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):

1420:*** (農産物貯蔵技術)***
 1421: 低温貯蔵施設 : 3: 2.67: 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):
 1422: 無酸素貯蔵施設 : 4: 2.75: 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):
 1423: 防虫包装技術 : 3: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%):

1430:*** (農産物流通技術)***
 1431: 防震梱包技術 : 1: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):
 1432: 低温化流通技術 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

1440:*** (生物による発生を抑える技術)***
 1441: 動物によるメタン発生抑制 : 6: 2.00: 2(33.3%): 1(16.7%): 2(33.3%): 1(16.7%):
 1442: 植物によるメタン発生抑制 : 8: 2.00: 2(25.0%): 3(37.5%): 2(25.0%): 1(12.5%):
 1443: N₂O、CH₄を抑制する農業技術 : 7: 1.71: 2(28.6%): 5(71.4%): 0(0.0%): 0(0.0%):

**2-1 温室効果ガス処理(物理的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

2110:*** (投棄技術)***
 2111: 深海注入 : 9: 1.78: 4(44.4%): 3(33.3%): 2(22.2%): 0(0.0%):
 2112: ドライアイス化深海投棄 : 3: 2.33: 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 2113: 高圧縮化深海投棄 : 4: 2.00: 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

2120:*** (貯蔵技術)***
 2121: ドライアイス化極寒地貯蔵 : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2122: 高圧縮化地底貯蔵 : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2123: 高圧縮化深海貯蔵 : 3: 2.00: 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

2130:*** (CO₂の分解技術)***
 2131: CO₂の高温分解 : 6: 1.67: 2(33.3%): 4(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2132: CO₂の光分解 : 11: 1.91: 3(27.3%): 6(54.5%): 2(18.2%): 0(0.0%):
 2133: CO₂のビーム分解 : 4: 2.00: 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2134: CO₂の触媒分解 : 16: 1.81: 4(25.0%): 11(68.8%): 1(6.3%): 0(0.0%):

**2-2 温室効果ガス処理(化学的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

2210:*** (循環技術)***
 2211: CO₂のアルコール化 : 16: 1.94: 5(31.3%): 7(43.8%): 4(25.0%): 0(0.0%):
 2212: CO₂の糖酸化 : 6: 2.50: 0(0.0%): 3(50.0%): 3(50.0%): 0(0.0%):
 2213: CO₂の酢酸化 : 7: 2.29: 1(14.3%): 3(42.9%): 3(42.9%): 0(0.0%):
 2214: CO₂のメタン化 : 8: 2.00: 2(25.0%): 4(50.0%): 2(25.0%): 0(0.0%):

2220:*** (CO₂の固定技術)***
 2221: CO₂のCaCO₃化 : 12: 2.33: 1(8.3%): 6(50.0%): 5(41.7%): 0(0.0%):
 2222: CO₂のNaHCO₃化 : 4: 2.75: 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):

2223:CO₂のBaCO₃化 : 4: 2.25: 0(0.0%): 3(75.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):

**2-3 温室効果ガス処理(生物学的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

2310:*** (陸生生物による固定技術) ***
 2311:砂漠緑化 : 34: 1.56: 17(50.0%): 15(44.1%): 2(5.9%): 0(0.0%):
 2312:C 4 植物の大量栽培 : 13: 2.31: 2(15.4%): 5(38.5%): 6(46.2%): 0(0.0%):
 2313:冬期栽培技術 : 5: 2.60: 0(0.0%): 2(40.0%): 3(60.0%): 0(0.0%):

2320:*** (水中生物による固定技術) ***
 2321:海草によるCO₂固定 : 9: 2.11: 0(0.0%): 8(88.9%): 1(11.1%): 0(0.0%):
 2322:光合成細菌によるCO₂固定 : 16: 2.27: 2(12.5%): 7(43.8%): 6(37.5%): 1(6.3%):
 2323:微生物によるCO₂固定 : 16: 1.94: 4(25.0%): 9(56.3%): 3(18.8%): 0(0.0%):
 2324:マングローブによるCO₂固定 : 11: 2.10: 2(18.2%): 5(45.5%): 3(27.3%): 1(9.1%):
 2325:珊瑚礁化によるCO₂固定 : 14: 1.92: 3(21.4%): 7(50.0%): 2(14.3%): 2(14.3%):

2330:*** (人為施設による固定技術) ***
 2331:植物工場 : 12: 2.55: 1(8.3%): 3(25.0%): 7(58.3%): 1(8.3%):
 2332:クロレラ工場 : 8: 2.86: 0(0.0%): 1(12.5%): 6(75.0%): 1(12.5%):

2340:*** (バイオマス利用技術) ***
 2341:低エネルギー抽出技術 : 4: 1.75: 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2342:地下埋めもどし技術 : 3: 1.50: 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%): 1(33.3%):
 2343:炭化技術 : 5: 2.20: 0(0.0%): 4(80.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):
 2344:発酵技術 : 11: 2.45: 0(0.0%): 6(54.5%): 5(45.5%): 0(0.0%):

**3-1 気候変動適応技術(農業技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

3110:*** (品種改良) ***
 3111:耐温度化改良 : 6: 2.00: 1(16.7%): 3(50.0%): 1(16.7%): 1(16.7%):
 3112:耐乾燥化改良 : 6: 1.83: 1(16.7%): 5(83.3%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3113:耐塩分化改良 : 5: 2.00: 1(20.0%): 3(60.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):
 3114:耐海水化改良 : 3: 1.33: 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3115:高CO₂対応改良 : 4: 2.00: 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

3120:*** (作付け地域の移動) ***
 3121:最適作物の選択技術 : 7: 1.71: 2(28.6%): 5(71.4%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3122:森林の人為的移動 : 3: 2.33: 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%):

**3-2 気候変動適応技術(海面上昇対策技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

3210:*** (防潮技術) ***
 3211:フロート式防波堤 : 6: 2.17: 1(16.7%): 3(50.0%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 3212:エネルギー分散式防波堤 : 4: 2.67: 0(0.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):

3220:*** (都市改造技術) ***
 3221:フロート式都市 : 3: 1.67: 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3222:高床式都市 : 3: 2.00: 1(33.3%): 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 3223:防水式都市 : 6: 1.50: 3(50.0%): 3(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

3230:*** (住居) ***
 3231:フロート式住居 : 2: 1.00: 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):
 3232:防水式住居 : 1: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):
 3233:潜水式住居 : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

**3-3 気候変動適応技術(生活関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて大 大きい 小さい 無回答など

3310:***	(都市技術)	***					
3311:アルベド向上技術		: 5: 2.80:	0(0.0%):	1(20.0%):	4(80.0%):	0(0.0%):	
3312:水分蒸散技術		: 6: 2.17:	1(16.7%):	3(50.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):	
3313:屋上緑化技術		: 15: 2.27:	2(13.3%):	7(46.7%):	6(40.0%):	0(0.0%):	
3320:***	(水確保技術)	***					
3321:河川水還流技術		: 6: 2.00:	1(16.7%):	4(66.7%):	1(16.7%):	0(0.0%):	
3322:水製造技術		: 5: 2.00:	1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	
3323:氷山移動		: 2: 2.00:	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	
4-1	その他 (地球反射率上昇技術)		[1]	[2]	[3]	[0]	
番号	[技術名]	回答数	平均	極めて大	大きい	小さい	無回答など
4110:***	(地球表面反射率上昇技術)	***					
4111:アルミ粉散布		: 5: 2.50:	0(0.0%):	2(40.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	
4112:アルミコートシート敷設		: 5: 2.50:	0(0.0%):	2(40.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	
4113:白色粉散布		: 5: 2.00:	1(20.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):	
4114:人工雪		: 1: 2.00:	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	
4120:***	(上空の反射吸収率増加技術)	***					
4121:人工雲		: 4: 2.75:	0(0.0%):	1(25.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):	
4122:金属微粉散布		: 4: 2.25:	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):	
4123:SO ₂ 散布		: 3: 2.33:	1(33.3%):	0(0.0%):	2(66.7%):	0(0.0%):	

表2.8.2 対策技術の技術的困難度に関する評価

**1-1 番号	排出抑制技術 (産業関連技術) [技術名]	**	[1]	[2]	[3]	[0]	
		回答数	平均	極めて困難	かなり困難	易しい	
						無回答など	
1110:***	(高効率エネルギー変換技術)	***					
1111:	高効率ガスタービン	: 11:	2.10:	0(0.0%):	9(81.8%):	1(9.1%):	1(9.1%):
1112:	燃料電池	: 31:	2.21:	2(6.5%):	19(61.3%):	8(25.8%):	2(6.5%):
1113:	高効率スターリングエンジン	: 10:	2.22:	0(0.0%):	7(70.0%):	2(20.0%):	1(10.0%):
1114:	スーパーヒートポンプ	: 19:	2.47:	0(0.0%):	9(47.4%):	8(42.1%):	2(10.5%):
1115:	MHD発電	: 7:	1.43:	4(57.1%):	3(42.9%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1116:	超電導発電	: 10:	1.78:	2(20.0%):	7(70.0%):	0(0.0%):	1(10.0%):
1117:	超電導送電	: 13:	1.75:	3(23.1%):	9(69.2%):	0(0.0%):	1(7.7%):
1118:	超電導モーター	: 10:	1.89:	1(10.0%):	8(80.0%):	0(0.0%):	1(10.0%):
1119:	コジェネレーション	: 30:	2.72:	0(0.0%):	8(26.7%):	21(70.0%):	1(3.3%):
1120:***	(高密度エネルギー貯蔵技術)	***					
1121:	高密度二次電池	: 14:	2.15:	1(7.1%):	9(64.3%):	3(21.4%):	1(7.1%):
1122:	超電導電力貯蔵	: 12:	1.92:	3(25.0%):	7(58.3%):	2(16.7%):	0(0.0%):
1123:	超高速フライホイール	: 3:	1.67:	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1124:	揚水発電	: 1:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):
1125:	揚粉発電	: 1:	2.00:	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1130:***	(自然エネルギー転換技術)	***					
1131:	太陽電池	: 45:	2.29:	2(4.4%):	26(57.8%):	14(31.1%):	3(6.7%):
1132:	太陽光発電	: 14:	2.36:	1(7.1%):	5(35.7%):	5(35.7%):	3(21.4%):
1133:	風力発電	: 10:	2.25:	1(10.0%):	4(40.0%):	3(30.0%):	2(20.0%):
1134:	地熱発電	: 14:	2.31:	0(0.0%):	9(64.3%):	4(28.6%):	1(7.1%):
1135:	水力発電	: 15:	2.77:	0(0.0%):	3(20.0%):	10(66.7%):	2(13.3%):
1136:	波力発電	: 16:	2.40:	1(6.3%):	7(43.8%):	7(43.8%):	1(6.3%):
1137:	温度差発電	: 28:	2.15:	4(14.3%):	14(50.0%):	8(28.6%):	2(7.1%):
1140:***	(省エネルギー技術)	***					
1141:	省エネルギー精練技術	: 5:	1.60:	2(40.0%):	3(60.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1142:	断熱炉技術	: 1:	2.00:	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1143:	熱交換炉技術	: 4:	2.33:	0(0.0%):	2(50.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):
1144:	複合生産技術	: 3:	2.33:	0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):
1150:***	(エネルギーパス利用技術)	***					
1151:	天然ガスからエチレンへの製造技術	: 3:	2.33:	0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):
1152:	建築利用技術	: 6:	2.40:	1(16.7%):	1(16.7%):	3(50.0%):	1(16.7%):
1153:	生活用品利用技術	: 5:	2.80:	0(0.0%):	1(20.0%):	4(80.0%):	0(0.0%):
1154:	土木利用技術	: 3:	1.67:	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1155:	自動車利用技術	: 4:	2.00:	0(0.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):
1156:	船舶利用技術	: 4:	2.33:	0(0.0%):	2(50.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):
1157:	高温燃焼技術	: 5:	2.20:	0(0.0%):	4(80.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):
1160:***	(リサイクル技術)	***					
1161:	鉄リサイクル	: 5:	2.75:	0(0.0%):	1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%):
1162:	アルミリサイクル	: 5:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	4(80.0%):	1(20.0%):
1163:	鉛リサイクル	: 5:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	3(60.0%):	2(40.0%):
1164:	銅リサイクル	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):
1165:	ガラスリサイクル	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):
1170:***	(CO ₂ の発生が少ないエネルギー技術)	***					
1171:	LNG	: 6:	2.83:	0(0.0%):	1(16.7%):	5(83.3%):	0(0.0%):
1172:	メタノール(化石燃料の代替)	: 14:	2.64:	0(0.0%):	5(35.7%):	9(64.3%):	0(0.0%):
1173:	水素(化石燃料の代替)	: 25:	2.32:	2(8.0%):	13(52.0%):	10(40.0%):	0(0.0%):
1174:	安全の保証された原子力	: 14:	2.08:	1(7.1%):	10(71.4%):	2(14.3%):	1(7.1%):
1175:	核融合	: 17:	1.00:	17(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1176:	石炭ガス化	: 9:	2.11:	1(11.1%):	6(66.7%):	2(22.2%):	0(0.0%):

**1-2 排出抑制技術 (交通関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

1210:*** (高効率省エネルギー個別輸送技術) ***
 1211:自動車省エネルギー技術 : 13: 2.15: 1(7.7%): 9(69.2%): 3(23.1%): 0(0.0%):
 1212:電気自動車 : 21: 2.30: 2(9.5%): 10(47.6%): 8(38.1%): 1(4.8%):
 1213:アルコール自動車 : 16: 2.60: 0(0.0%): 6(37.5%): 9(56.3%): 1(6.3%):
 1214:水素自動車 : 16: 2.00: 3(18.8%): 10(62.5%): 3(18.8%): 0(0.0%):
 1215:超電導自動車 : 4: 1.75: 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1216:コンピュータシステム : 4: 2.50: 1(25.0%): 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):

1220:*** (高利便性大量輸送技術) ***
 1221:新交通システム : 15: 2.21: 2(13.3%): 7(46.7%): 5(33.3%): 1(6.7%):
 1222:高機能化鉄道 : 6: 2.67: 0(0.0%): 2(33.3%): 4(66.7%): 0(0.0%):
 1223:飛行船 : 4: 2.50: 0(0.0%): 2(50.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):
 1224:高速船 : 4: 2.25: 0(0.0%): 3(75.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):

1230:*** (高効率・省エネルギー輸送システム) ***
 1231:交通流制御 : 6: 2.00: 0(0.0%): 5(83.3%): 0(0.0%): 1(16.7%):
 1232:無渋滞システム : 6: 1.67: 2(33.3%): 4(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):

1240:*** (高効率物流システム) ***
 1241:貨物集約システム : 5: 2.40: 0(0.0%): 3(60.0%): 2(40.0%): 0(0.0%):
 1242:通信制御型貨物集配システム : 3: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%):

1250:*** (交通量低下技術) ***
 1251:ゴミバイブライン : 6: 2.67: 0(0.0%): 2(33.3%): 4(66.7%): 0(0.0%):
 1252:高品質通信システム : 6: 2.50: 0(0.0%): 3(50.0%): 3(50.0%): 0(0.0%):
 1253:立体化都市 : 4: 2.00: 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1254:都市内貨物無人搬送システム : 5: 2.00: 1(20.0%): 3(60.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):

1260:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1261:帆船 : 6: 2.67: 0(0.0%): 2(33.3%): 4(66.7%): 0(0.0%):
 1262:ソーラーカー : 7: 2.17: 0(0.0%): 5(71.4%): 1(14.3%): 1(14.3%):

**1-3 排出抑制技術 (民生技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

1310:*** (断熱建築物技術) ***
 1311:断熱壁面技術 : 5: 2.60: 0(0.0%): 2(40.0%): 3(60.0%): 0(0.0%):
 1312:断熱窓面技術 : 3: 2.67: 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):
 1313:熱交換型換気技術 : 4: 2.50: 0(0.0%): 2(50.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):
 1314:除湿技術 : 2: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%):

1320:*** (高効率冷暖房技術) ***
 1321:高効率ヒートポンプ : 9: 2.56: 0(0.0%): 4(44.4%): 5(55.6%): 0(0.0%):
 1322:高伝達率ヒートポンプ : 7: 2.57: 0(0.0%): 3(42.9%): 4(57.1%): 0(0.0%):
 1323:河川熱利用冷暖房 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

1330:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1331:パッシブソーラーハウス、ビル : 8: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 8(100.0%): 0(0.0%):
 1332:アクティブソーラーハウス、ビル : 4: 2.50: 0(0.0%): 2(50.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):
 1333:耐雪住宅 : 3: 2.33: 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 1334:地温吸上冷暖房システム : 5: 2.60: 1(20.0%): 0(0.0%): 4(80.0%): 0(0.0%):
 1335:太陽熱給湯 : 12: 2.83: 0(0.0%): 2(16.7%): 10(83.3%): 0(0.0%):

1340:*** (省エネルギー型建築設備) ***
 1341:高効率床暖房システム : 3: 2.67: 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):
 1342:分散型冷暖房システム : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

1350:*** (家庭、ビル内省エネルギー技術)***
 1351:高効率照明 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):
 1352:在時節電装置 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):
 1353:小規模廃棄物処理資源化技術 : 11: 2.11: 1(9.1%): 6(54.5%): 2(18.2%): 2(18.2%):

**1-4 排出抑制技術 (農業関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

1410:*** (農業生産用エネルギー低減技術)***
 1411:ビニールハウス断熱技術 : 4: 2.75: 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):
 1412:省エネルギー型乾燥施設 : 4: 2.50: 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 2(50.0%):
 1413:省エネルギー型農業機械 : 3: 2.00: 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%): 2(66.7%):
 1414:風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設 : 5: 2.60: 0(0.0%): 2(40.0%): 3(60.0%): 0(0.0%):

1420:*** (農産物貯蔵技術)***
 1421:低温貯蔵施設 : 3: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%):
 1422:無酸素貯蔵施設 : 4: 2.75: 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):
 1423:防虫包装技術 : 3: 2.67: 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):

1430:*** (農産物流通技術)***
 1431:防震梱包技術 : 1: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):
 1432:低温化流通技術 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

1440:*** (生物による発生を抑える技術)***
 1441:動物によるメタン発生抑制 : 6: 1.60: 2(33.3%): 3(50.0%): 0(0.0%): 1(16.7%):
 1442:植物によるメタン発生抑制 : 8: 2.63: 0(0.0%): 3(37.5%): 5(62.5%): 0(0.0%):
 1443: N₂O、CH₄を抑制する農業技術 : 7: 2.29: 1(14.3%): 3(42.9%): 3(42.9%): 0(0.0%):

**2-1 温室効果ガス処理(物理的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

2110:*** (投棄技術)***
 2111:深海注入 : 9: 2.33: 0(0.0%): 6(66.7%): 3(33.3%): 0(0.0%):
 2112:ドライアイス化深海投棄 : 3: 2.00: 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2113:高圧縮化深海投棄 : 4: 2.00: 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

2120:*** (貯蔵技術)***
 2121:ドライアイス化極寒地貯蔵 : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2122:高圧縮化地底貯蔵 : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2123:高圧縮化深海貯蔵 : 3: 2.00: 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

2130:*** (CO₂の分解技術)***
 2131:CO₂の高温分解 : 6: 2.50: 0(0.0%): 3(50.0%): 3(50.0%): 0(0.0%):
 2132:CO₂の光分解 : 11: 2.00: 1(9.1%): 9(81.8%): 1(9.1%): 0(0.0%):
 2133:CO₂のビーム分解 : 4: 1.50: 2(50.0%): 2(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2134:CO₂の触媒分解 : 16: 1.88: 4(25.0%): 10(62.5%): 2(12.5%): 0(0.0%):

**2-2 温室効果ガス処理(化学的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

2210:*** (循環技術)***
 2211:CO₂のアルコール化 : 16: 2.13: 3(18.8%): 7(43.8%): 5(31.3%): 1(6.3%):
 2212:CO₂の糖酸化 : 6: 2.17: 1(16.7%): 3(50.0%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 2213:CO₂の酢酸化 : 7: 1.86: 2(28.6%): 4(57.1%): 1(14.3%): 0(0.0%):
 2214:CO₂のメタン化 : 8: 2.29: 1(12.5%): 3(37.5%): 3(37.5%): 1(12.5%):

2220:*** (CO₂の固定技術)***
 2221:CO₂のCaCO₃化 : 12: 2.58: 0(0.0%): 5(41.7%): 7(58.3%): 0(0.0%):
 2222:CO₂のNaHCO₃化 : 4: 2.50: 0(0.0%): 2(50.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):

2223:CO₂のBaCO₃化 : 4: 2.50: 0(0.0%): 2(50.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):

**2-3 温室効果ガス処理(生物学的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

2310:*** (陸生生物による固定技術) ***
 2311:砂漠緑化 : 34: 1.73: 11(32.4%): 20(58.8%): 2(5.9%): 1(2.9%):
 2312:C4植物の大量栽培 : 13: 2.38: 2(15.4%): 4(30.8%): 7(53.8%): 0(0.0%):
 2313:冬期栽培技術 : 5: 2.60: 1(20.0%): 0(0.0%): 4(80.0%): 0(0.0%):

2320:*** (水中生物による固定技術) ***
 2321:海草によるCO₂固定 : 9: 2.56: 0(0.0%): 4(44.4%): 5(55.6%): 0(0.0%):
 2322:光合成細菌によるCO₂固定 : 16: 2.20: 2(12.5%): 8(50.0%): 5(31.3%): 1(6.3%):
 2323:微細藻によるCO₂固定 : 16: 2.25: 1(6.3%): 10(62.5%): 5(31.3%): 0(0.0%):
 2324:マングローブによるCO₂固定 : 11: 2.45: 0(0.0%): 6(54.5%): 5(45.5%): 0(0.0%):
 2325:珊瑚礁化によるCO₂固定 : 14: 2.00: 1(7.1%): 10(71.4%): 1(7.1%): 2(14.3%):

2330:*** (人為施設による固定技術) ***
 2331:植物工場 : 12: 2.60: 0(0.0%): 4(33.3%): 6(50.0%): 2(16.7%):
 2332:クロレラ工場 : 8: 2.71: 0(0.0%): 2(25.0%): 5(62.5%): 1(12.5%):

2340:*** (バイオマス利用技術) ***
 2341:低エネルギー抽出技術 : 4: 1.75: 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 2342:地下埋めもどし技術 : 3: 2.00: 1(33.3%): 0(0.0%): 1(33.3%): 1(33.3%):
 2343:炭化技術 : 5: 2.40: 0(0.0%): 3(60.0%): 2(40.0%): 0(0.0%):
 2344:発酵技術 : 11: 2.45: 0(0.0%): 6(54.5%): 5(45.5%): 0(0.0%):

**3-1 気候変動適応技術(農業技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

3110:*** (品種改良) ***
 3111:耐温度化改良 : 6: 1.83: 1(16.7%): 5(83.3%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3112:耐乾燥化改良 : 6: 2.00: 0(0.0%): 6(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3113:耐塩分化改良 : 5: 1.80: 1(20.0%): 4(80.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3114:耐海水化改良 : 3: 1.33: 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3115:高CO₂対応改良 : 4: 1.75: 1(25.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

3120:*** (作付け地域の移動) ***
 3121:最適作物の選択技術 : 7: 2.71: 0(0.0%): 2(28.6%): 5(71.4%): 0(0.0%):
 3122:森林の人為的移動 : 3: 2.00: 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

**3-2 気候変動適応技術(海面上昇対策技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

3210:*** (防潮技術) ***
 3211:フロート式防波堤 : 6: 1.83: 2(33.3%): 3(50.0%): 1(16.7%): 0(0.0%):
 3212:エネルギー分散式防波堤 : 4: 2.25: 0(0.0%): 3(75.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):

3220:*** (都市改造技術) ***
 3221:フロート式都市 : 3: 2.33: 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 3222:高床式都市 : 3: 2.67: 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):
 3223:防水式都市 : 6: 2.50: 0(0.0%): 3(50.0%): 3(50.0%): 0(0.0%):

3230:*** (住居) ***
 3231:フロート式住居 : 2: 1.00: 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):
 3232:防水式住居 : 1: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):
 3233:潜水式住居 : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

**3-3 気候変動適応技術(生活関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて困難 かなり困難 易しい 無回答など

3310:***	(都市技術))***						
3311:	アルベド向上技術	:	5:	2.40:	0(0.0%):	3(60.0%):	2(40.0%):	0(0.0%):
3312:	水分蒸散技術	:	6:	2.00:	2(33.3%):	2(33.3%):	2(33.3%):	0(0.0%):
3313:	屋上緑化技術	:	15:	2.79:	0(0.0%):	3(20.0%):	11(73.3%):	1(6.7%):
3320:***	(水確保技術))***						
3321:	河川水選流技術	:	6:	2.50:	0(0.0%):	3(50.0%):	3(50.0%):	0(0.0%):
3322:	水製造技術	:	5:	2.40:	0(0.0%):	3(60.0%):	2(40.0%):	0(0.0%):
3323:	冰山移動	:	2:	1.00:	2(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
4-1	その他	(地球反射率上昇技術)			[1]	[2]	[3]	[0]
番号	[技術名]	回答数	平均	極めて困難	かなり困難	易しい	無回答など	
4110:***	(地球表面反射率上昇技術))***						
4111:	アルミ粉散布	:	5:	1.80:	2(40.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):
4112:	アルミコートシート敷設	:	5:	1.60:	2(40.0%):	3(60.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
4113:	白色粉散布	:	5:	1.25:	3(60.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):
4114:	人工雪	:	1:	2.00:	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
4120:***	(上空の反射吸収率増加技術))***						
4121:	人工雲	:	4:	1.67:	2(50.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):
4122:	金属粉撒布	:	4:	1.33:	2(50.0%):	1(25.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):
4123:	SO ₂ 撒布	:	3:	1.67:	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):	0(0.0%):

表 2. 8. 3 対策技術の実現時期に関する評価

**1-1 排出抑制技術 (産業関連技術) **	[1]	[2]	[3]	[4]	[0]
番号 [技術名]	回答数 平均 間もなく	3-5年	5-10年	10年以後	無回答など
1110:*** (高効率エネルギー変換技術) ***					
1111:高効率ガスタービン	: 11: 2.40: 1(9.1%):	4(36.4%):	5(45.5%):	0(0.0%):	1(9.1%):
1112:燃料電池	: 31: 2.55: 4(12.9%):	9(29.0%):	12(38.7%):	4(12.9%):	2(6.5%):
1113:高効率スターリングエンジン	: 10: 3.00: 0(0.0%):	0(0.0%):	9(90.0%):	0(0.0%):	1(10.0%):
1114:スーパーヒートポンプ	: 19: 2.29: 2(10.5%):	9(47.4%):	5(26.3%):	1(5.3%):	2(10.5%):
1115:MHD発電	: 7: 3.71: 0(0.0%):	0(0.0%):	2(28.6%):	5(71.4%):	0(0.0%):
1116:超電導発電	: 10: 3.67: 0(0.0%):	0(0.0%):	3(30.0%):	6(60.0%):	1(10.0%):
1117:超電導送電	: 13: 3.64: 0(0.0%):	0(0.0%):	4(30.8%):	7(53.8%):	2(15.4%):
1118:超電導モーター	: 10: 3.50: 0(0.0%):	0(0.0%):	4(40.0%):	4(40.0%):	2(20.0%):
1119:コジェネレーション	: 30: 1.52: 18(60.0%):	8(26.7%):	2(6.7%):	1(3.3%):	1(3.3%):
1120:*** (高密度エネルギー貯蔵技術) ***					
1121:高密度二次電池	: 14: 2.46: 1(7.1%):	5(35.7%):	7(50.0%):	0(0.0%):	1(7.1%):
1122:超電導電力貯蔵	: 12: 3.33: 1(8.3%):	0(0.0%):	5(41.7%):	6(50.0%):	0(0.0%):
1123:超高速フライホイール	: 3: 3.00: 0(0.0%):	1(33.3%):	1(33.3%):	1(33.3%):	0(0.0%):
1124:揚水発電	: 1: 1.00: 1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1125:揚粉発電	: 1: 3.00: 0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1130:*** (自然エネルギー転換技術) ***					
1131:太陽電池	: 45: 2.51: 6(13.3%):	12(26.7%):	16(35.6%):	5(11.1%):	6(13.3%):
1132:太陽光発電	: 14: 2.50: 1(7.1%):	4(28.6%):	4(28.6%):	1(7.1%):	4(28.6%):
1133:風力発電	: 10: 2.25: 3(30.0%):	1(10.0%):	3(30.0%):	1(10.0%):	2(20.0%):
1134:地熱発電	: 14: 1.85: 7(50.0%):	2(14.3%):	3(21.4%):	1(7.1%):	1(7.1%):
1135:水力発電	: 15: 1.67: 8(53.3%):	1(6.7%):	2(13.3%):	1(6.7%):	3(20.0%):
1136:波力発電	: 16: 2.20: 5(31.3%):	3(18.8%):	6(37.5%):	1(6.3%):	1(6.3%):
1137:温度差発電	: 28: 2.65: 5(17.9%):	6(21.4%):	8(28.6%):	7(25.0%):	2(7.1%):
1140:*** (省エネルギー技術) ***					
1141:省エネルギー精練技術	: 5: 3.40: 0(0.0%):	0(0.0%):	3(60.0%):	2(40.0%):	0(0.0%):
1142:断熱炉技術	: 1: 3.00: 0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1143:熱交換炉技術	: 4: 2.33: 0(0.0%):	2(50.0%):	1(25.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):
1144:複合生産技術	: 3: 2.00: 1(33.3%):	1(33.3%):	1(33.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1150:*** (エネルギーバス利用技術) ***					
1151:天然ガスからエチレンへの製造技術	: 3: 2.33: 0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1152:建築利用技術	: 6: 2.33: 1(16.7%):	3(50.0%):	1(16.7%):	1(16.7%):	0(0.0%):
1153:生活用品利用技術	: 5: 2.00: 2(40.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):
1154:土木利用技術	: 3: 3.67: 0(0.0%):	0(0.0%):	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):
1155:自動車利用技術	: 4: 3.50: 0(0.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):
1156:船舶利用技術	: 4: 3.00: 0(0.0%):	1(25.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):
1157:高温燃焼技術	: 5: 2.80: 0(0.0%):	2(40.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):
1160:*** (リサイクル技術) ***					
1161:鉄リサイクル	: 5: 1.50: 3(60.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):
1162:アルミリサイクル	: 5: 2.00: 1(20.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):
1163:鉛リサイクル	: 5: 1.00: 3(60.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	2(40.0%):
1164:銅リサイクル	: 2: 1.00: 1(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
1165:ガラスリサイクル	: 2: 1.00: 1(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
1170:*** (CO ₂ の発生の少ないエネルギー技術) ***					
1171:LNG	: 6: 1.80: 2(33.3%):	2(33.3%):	1(16.7%):	0(0.0%):	1(16.7%):
1172:メタノール (化石燃料の代替)	: 14: 2.43: 2(14.3%):	7(50.0%):	2(14.3%):	3(21.4%):	0(0.0%):
1173:水素 (化石燃料の代替)	: 25: 2.78: 3(12.0%):	4(16.0%):	11(44.0%):	5(20.0%):	2(8.0%):
1174:安全の保証された原子力	: 14: 2.58: 3(21.4%):	2(14.3%):	4(28.6%):	3(21.4%):	2(14.3%):
1175:核融合	: 17: 3.94: 0(0.0%):	0(0.0%):	1(5.9%):	16(94.1%):	0(0.0%):
1176:石炭ガス化	: 9: 2.78: 0(0.0%):	3(33.3%):	5(55.6%):	1(11.1%):	0(0.0%):

**1-2 排出抑制技術 (交通関連技術) **		[1]	[2]	[3]	[4]	[0]	
番号	[技術名]	回答数	平均 間もなく	3-5年	5-10年	10年以後 無回答など	
1210:*** (高効率省エネルギー個別輸送技術) ***							
1211:	自動車省エネルギー技術	13	2.89: 0(0.0%):	4(30.8%):	9(69.2%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1212:	電気自動車	21	2.53: 3(14.3%):	6(28.6%):	7(33.3%):	3(14.3%): 2(9.5%):	
1213:	アルコール自動車	16	2.07: 3(18.8%):	8(50.0%):	4(25.0%):	0(0.0%): 1(6.3%):	
1214:	水素自動車	16	2.87: 0(0.0%):	4(25.0%):	9(56.3%):	2(12.5%): 1(6.3%):	
1215:	超電導自動車	4	3.00: 0(0.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	1(25.0%): 1(25.0%):	
1216:	コミュニタシステム	4	2.00: 0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1220:*** (高利便性大量輸送技術) ***							
1221:	新交通システム	15	2.58: 5(33.3%):	1(6.7%):	0(0.0%):	6(40.0%): 3(20.0%):	
1222:	高機能化鉄道	6	2.50: 1(16.7%):	2(33.3%):	2(33.3%):	1(16.7%): 0(0.0%):	
1223:	飛行船	4	2.33: 0(0.0%):	2(50.0%):	1(25.0%):	0(0.0%): 1(25.0%):	
1224:	高速船	4	3.00: 0(0.0%):	0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1230:*** (高効率・省エネルギー輸送システム) ***							
1231:	交通流制御	6	3.50: 0(0.0%):	0(0.0%):	2(33.3%):	2(33.3%): 2(33.3%):	
1232:	無渋滞システム	6	3.80: 0(0.0%):	0(0.0%):	1(16.7%):	4(66.7%): 1(16.7%):	
1240:*** (高効率物流システム) ***							
1241:	貨物集約システム	5	2.25: 2(40.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):	1(20.0%): 1(20.0%):	
1242:	通信制御型貨物集配システム	3	2.33: 0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1250:*** (交通量低下技術) ***							
1251:	ゴミバイブライン	6	2.17: 3(50.0%):	0(0.0%):	2(33.3%):	1(16.7%): 0(0.0%):	
1252:	高品質通信システム	6	2.50: 1(16.7%):	2(33.3%):	2(33.3%):	1(16.7%): 0(0.0%):	
1253:	立体化都市	4	2.50: 1(25.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	1(25.0%): 0(0.0%):	
1254:	都市内貨物無人搬送システム	5	3.60: 0(0.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	4(80.0%): 0(0.0%):	
1260:*** (自然エネルギー利用技術) ***							
1261:	帆船	6	2.17: 2(33.3%):	1(16.7%):	3(50.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1262:	ソーラーカー	7	3.00: 1(14.3%):	0(0.0%):	3(42.9%):	2(28.6%): 1(14.3%):	
**1-3 排出抑制技術 (民生技術)		**	[1]	[2]	[3]	[4]	[0]
番号	[技術名]	回答数	平均 間もなく	3-5年	5-10年	10年以後	無回答など
1310:*** (断熱建築物技術) ***							
1311:	断熱壁面技術	5	2.25: 1(20.0%):	1(20.0%):	2(40.0%):	0(0.0%): 1(20.0%):	
1312:	断熱窓面技術	3	2.00: 1(33.3%):	0(0.0%):	1(33.3%):	0(0.0%): 1(33.3%):	
1313:	熱交換型換気技術	4	1.50: 3(75.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1314:	除湿技術	2	2.50: 0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1320:*** (高効率冷暖房技術) ***							
1321:	高効率ヒートポンプ	9	1.56: 5(55.6%):	3(33.3%):	1(11.1%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1322:	高伝達率ヒートポンプ	7	1.57: 3(42.9%):	4(57.1%):	0(0.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1323:	河川熱利用冷暖房	2	2.50: 1(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%): 0(0.0%):	
1330:*** (自然エネルギー利用技術) ***							
1331:	パッシブソーラーハウス、ビル	8	1.63: 4(50.0%):	3(37.5%):	1(12.5%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1332:	アクティブソーラーハウス、ビル	4	1.50: 2(50.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1333:	耐雪住宅	3	2.50: 0(0.0%):	1(33.3%):	1(33.3%):	0(0.0%): 1(33.3%):	
1334:	地温吸上冷暖房システム	5	2.40: 1(20.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	1(20.0%): 0(0.0%):	
1335:	太陽熱給湯	12	1.42: 8(66.7%):	3(25.0%):	1(8.3%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1340:*** (省エネルギー型建築設備) ***							
1341:	高効率床暖房システム	3	1.67: 2(66.7%):	0(0.0%):	1(33.3%):	0(0.0%): 0(0.0%):	
1342:	分散型冷暖房システム	2	2.50: 0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):	

1350:*** (家庭、ビル内省エネルギー技術) ***							
1351:高効率照明	: 2:	2.00:	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1352:在時節電装置	: 2:	2.50:	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1353:小規模廃棄物処理資源化技術	: 11:	2.56:	3(27.3%):	0(0.0%):	4(36.4%):	2(18.2%):	2(18.2%):

**1-4 排出抑制技術 (農業関連技術)	**	[1]	[2]	[3]	[4]	[0]	
番号 [技術名]	回答数	平均	間もなく	3-5年	5-10年	10年以後	無回答など

1410:*** (農業生産用エネルギー低減技術) ***							
1411:ビニールハウス断熱技術	: 4:	1.00:	3(75.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):
1412:省エネルギー型乾燥施設	: 4:	1.00:	2(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	2(50.0%):
1413:省エネルギー型農業機械	: 3:	2.00:	0(0.0%):	1(33.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):	2(66.7%):
1414:風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設	: 5:	2.00:	1(20.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):	3(60.0%):

1420:*** (農産物貯蔵技術) ***							
1421:低温貯蔵施設	: 3:	1.00:	2(66.7%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(33.3%):
1422:無酸素貯蔵施設	: 4:	1.67:	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):
1423:防虫包装技術	: 3:	1.50:	1(33.3%):	1(33.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(33.3%):

1430:*** (農産物流通技術) ***							
1431:防震梱包技術	: 1:	1.00:	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1432:低温化流通技術	: 2:	1.50:	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):

1440:*** (生物による発生を抑える技術) ***							
1441:動物によるメタン発生抑制	: 6:	3.20:	0(0.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):	3(50.0%):	1(16.7%):
1442:植物によるメタン発生抑制	: 8:	2.29:	1(12.5%):	4(50.0%):	1(12.5%):	1(12.5%):	1(12.5%):
1443:N ₂ O、CH ₄ を抑制する農業技術	: 7:	2.86:	0(0.0%):	3(42.9%):	2(28.6%):	2(28.6%):	0(0.0%):

**2-1 温室効果ガス処理(物理的技術)	**	[1]	[2]	[3]	[4]	[0]	
番号 [技術名]	回答数	平均	間もなく	3-5年	5-10年	10年以後	無回答など

2110:*** (投棄技術) ***							
2111:深海注入	: 9:	3.38:	0(0.0%):	1(11.1%):	3(33.3%):	4(44.4%):	1(11.1%):
2112:ドライアイス化深海投棄	: 3:	3.33:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):
2113:高圧縮化深海投棄	: 4:	3.75:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):

2120:*** (貯蔵技術) ***							
2121:ドライアイス化極寒地貯蔵	: 2:	3.50:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):
2122:高圧縮化地底貯蔵	: 2:	3.50:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):
2123:高圧縮化深海貯蔵	: 3:	3.33:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):

2130:*** (CO₂の分解技術) ***							
2131:CO ₂ の高温分解	: 6:	2.00:	2(33.3%):	2(33.3%):	2(33.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):
2132:CO ₂ の光分解	: 11:	3.00:	0(0.0%):	3(27.3%):	4(36.4%):	3(27.3%):	1(9.1%):
2133:CO ₂ のビーム分解	: 4:	3.25:	0(0.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):
2134:CO ₂ の触媒分解	: 16:	2.60:	1(6.3%):	6(37.5%):	6(37.5%):	2(12.5%):	1(6.3%):

**2-2 温室効果ガス処理(化学的技術)	**	[1]	[2]	[3]	[4]	[0]	
番号 [技術名]	回答数	平均	間もなく	3-5年	5-10年	10年以後	無回答など

2210:*** (循環技術) ***							
2211:CO ₂ のアルコール化	: 16:	2.50:	3(18.8%):	4(25.0%):	4(25.0%):	3(18.8%):	2(12.5%):
2212:CO ₂ の糖酸化	: 6:	2.40:	0(0.0%):	3(50.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):	1(16.7%):
2213:CO ₂ の酢酸化	: 7:	2.83:	0(0.0%):	2(28.6%):	3(42.9%):	1(14.3%):	1(14.3%):
2214:CO ₂ のメタン化	: 8:	2.67:	1(12.5%):	2(25.0%):	1(12.5%):	2(25.0%):	2(25.0%):

2220:*** (CO₂の固定技術) ***							
2221:CO ₂ のCaCO ₃ 化	: 12:	2.57:	2(16.7%):	2(16.7%):	0(0.0%):	3(25.0%):	5(41.7%):
2222:CO ₂ のNaHCO ₃ 化	: 4:	2.67:	1(25.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):

2223:CO₂のBaCO₃化 : 4: 3.33: 0(0.0%): 0(0.0%): 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%):

**2-3 温室効果ガス処理(生物学的技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 間もなく 3-5年 5-10年 10年以後 無回答など

2310:*** (陸生生物による固定技術) ***
 2311:砂漠緑化 : 34: 3.38: 3(8.8%): 2(5.9%): 5(14.7%): 19(55.9%): 5(14.7%):
 2312:C4植物の大量栽培 : 13: 2.67: 2(15.4%): 5(38.5%): 0(0.0%): 5(38.5%): 1(7.7%):
 2313:冬期栽培技術 : 5: 2.75: 1(20.0%): 0(0.0%): 2(40.0%): 1(20.0%): 1(20.0%):

2320:*** (水中生物による固定技術) ***
 2321:海草によるCO₂固定 : 9: 2.44: 2(22.2%): 3(33.3%): 2(22.2%): 2(22.2%): 0(0.0%):
 2322:光合成細菌によるCO₂固定 : 16: 2.93: 2(12.5%): 2(12.5%): 6(37.5%): 5(31.3%): 1(6.3%):
 2323:微細藻によるCO₂固定 : 16: 2.56: 3(18.8%): 4(25.0%): 6(37.5%): 3(18.8%): 0(0.0%):
 2324:マングローブによるCO₂固定 : 11: 2.56: 2(18.2%): 2(18.2%): 3(27.3%): 2(18.2%): 2(18.2%):
 2325:珊瑚礁化によるCO₂固定 : 14: 3.00: 0(0.0%): 2(14.3%): 6(42.9%): 2(14.3%): 4(28.6%):

2330:*** (人為施設による固定技術) ***
 2331:植物工場 : 12: 1.90: 3(25.0%): 6(50.0%): 0(0.0%): 1(8.3%): 2(16.7%):
 2332:クロレラ工場 : 8: 1.86: 3(37.5%): 2(25.0%): 2(25.0%): 0(0.0%): 1(12.5%):

2340:*** (バイオマス利用技術) ***
 2341:低エネルギー抽出技術 : 4: 3.00: 0(0.0%): 2(50.0%): 0(0.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):
 2342:地下埋めもどし技術 : 3: 2.50: 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 1(33.3%):
 2343:炭化技術 : 5: 2.50: 1(20.0%): 0(0.0%): 3(60.0%): 0(0.0%): 1(20.0%):
 2344:発酵技術 : 11: 2.45: 2(18.2%): 3(27.3%): 5(45.5%): 1(9.1%): 0(0.0%):

**3-1 気候変動適応技術(農業技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 間もなく 3-5年 5-10年 10年以後 無回答など

3110:*** (品種改良) ***
 3111:耐温度化改良 : 6: 3.80: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(16.7%): 4(66.7%): 1(16.7%):
 3112:耐乾燥化改良 : 6: 3.80: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(16.7%): 4(66.7%): 1(16.7%):
 3113:耐塩分化改良 : 5: 3.75: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 3(60.0%): 1(20.0%):
 3114:耐海水化改良 : 3: 3.67: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):
 3115:高CO₂対応改良 : 4: 3.67: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):

3120:*** (作付け地域の移動) ***
 3121:最適作物の選択技術 : 7: 2.00: 3(42.9%): 1(14.3%): 1(14.3%): 1(14.3%): 1(14.3%):
 3122:森林の人為的移動 : 3: 3.00: 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(66.7%): 0(0.0%):

**3-2 気候変動適応技術(海面上昇対策技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 間もなく 3-5年 5-10年 10年以後 無回答など

3210:*** (防潮技術) ***
 3211:フロート式防波堤 : 6: 2.50: 1(16.7%): 1(16.7%): 4(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3212:エネルギー分散式防波堤 : 4: 2.00: 1(25.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):

3220:*** (都市改造技術) ***
 3221:フロート式都市 : 3: 3.00: 0(0.0%): 1(33.3%): 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 3222:高床式都市 : 3: 2.33: 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 3223:防水式都市 : 6: 3.00: 1(16.7%): 1(16.7%): 1(16.7%): 3(50.0%): 0(0.0%):

3230:*** (住居) ***
 3231:フロート式住居 : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):
 3232:防水式住居 : 1: 1.00: 1(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3233:潜水式住居 : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%):

**3-3 気候変動適応技術(生活関連技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 間もなく 3-5年 5-10年 10年以後 無回答など

3310:*** (都市技術)***
 3311:アルベド向上技術 : 5: 3.00: 0(0.0%): 1(20.0%): 1(20.0%): 1(20.0%): 2(40.0%):
 3312:水分蒸散技術 : 8: 2.33: 2(33.3%): 2(33.3%): 0(0.0%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 3313:屋上緑化技術 : 15: 1.67: 6(40.0%): 1(6.7%): 1(6.7%): 1(6.7%): 6(40.0%):

3320:*** (水確保技術)***
 3321:河川水還流技術 : 6: 2.33: 1(16.7%): 1(16.7%): 0(0.0%): 1(16.7%): 3(50.0%):
 3322:水製造技術 : 5: 2.00: 2(40.0%): 0(0.0%): 2(40.0%): 0(0.0%): 1(20.0%):
 3323:氷山移動 : 2: 3.50: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

4-1 その他 (地球反射率上昇技術) [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 間もなく 3-5年 5-10年 10年以後 無回答など

4110:*** (地球表面反射率上昇技術)***
 4111:アルミ粉散布 : 5: 1.00: 1(20.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 4(80.0%):
 4112:アルミコートシート敷設 : 5: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 0(0.0%): 4(80.0%):
 4113:白色粉散布 : 5: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 4(80.0%):
 4114:人工雪 : 1: -9.90: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%):

4120:*** (上空の反射吸収率増加技術)***
 4121:人工雲 : 4: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%):
 4122:金属微粉撒布 : 4: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%):
 4123:SO₂撒布 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%):

表 2. 8. 4 対策技術の費用面での評価

**1-1 番号	排出抑制技術 〔技術名〕	(産業関連技術)	**	[1]	[2]	[3]	[0]
			回答数	平均	非常に高い	高い	安い
							無回答など
1110:***	(高効率エネルギー変換技術)						
1111:	高効率ガスタービン		11:	1.78:	2(18.2%):	7(63.6%):	0(0.0%): 2(18.2%):
1112:	燃料電池		31:	2.00:	3(9.7%):22(71.0%):	3(9.7%):	3(9.7%):
1113:	高効率スターリングエンジン		10:	2.13:	0(0.0%): 7(70.0%):	1(10.0%):	2(20.0%):
1114:	スーパーヒートポンプ		19:	2.20:	1(5.3%):10(52.6%):	4(21.1%):	4(21.1%):
1115:	MHD発電		7:	1.33:	4(57.1%): 2(28.6%):	0(0.0%):	1(14.3%):
1116:	超電導発電		10:	1.56:	4(40.0%): 5(50.0%):	0(0.0%):	1(10.0%):
1117:	超電導送電		13:	1.83:	3(23.1%): 8(61.5%):	1(7.7%):	1(7.7%):
1118:	超電導モーター		10:	1.67:	3(30.0%): 6(60.0%):	0(0.0%):	1(10.0%):
1119:	コジェネレーション		30:	2.39:	1(3.3%):15(50.0%):12(40.0%):	2(6.7%):	
1120:***	(高密度エネルギー貯蔵技術)						
1121:	高密度二次電池		14:	2.17:	1(7.1%): 8(57.1%):	3(21.4%):	2(14.3%):
1122:	超電導電力貯蔵		12:	1.75:	5(41.7%): 5(41.7%):	2(16.7%):	0(0.0%):
1123:	超高速フライホイール		3:	2.00:	0(0.0%): 3(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1124:	揚水発電		1:	3.00:	0(0.0%): 0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):
1125:	揚粉発電		1:	2.00:	0(0.0%): 1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1130:***	(自然エネルギー転換技術)						
1131:	太陽電池		45:	1.88:	9(20.0%):28(62.2%):	4(8.9%):	4(8.9%):
1132:	太陽光発電		14:	2.22:	0(0.0%): 7(50.0%):	2(14.3%):	5(35.7%):
1133:	風力発電		10:	2.25:	0(0.0%): 6(60.0%):	2(20.0%):	2(20.0%):
1134:	地熱発電		14:	2.08:	1(7.1%): 9(64.3%):	2(14.3%):	2(14.3%):
1135:	水力発電		15:	2.23:	0(0.0%):10(66.7%):	3(20.0%):	2(13.3%):
1136:	波力発電		16:	2.07:	1(6.3%):12(75.0%):	2(12.5%):	1(6.3%):
1137:	温度差発電		28:	1.84:	6(21.4%):17(60.7%):	2(7.1%):	3(10.7%):
1140:***	(省エネルギー技術)						
1141:	省エネルギー精練技術		5:	2.00:	1(20.0%): 3(60.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):
1142:	断熱炉技術		1:	2.00:	0(0.0%): 1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1143:	熱交換炉技術		4:	2.67:	0(0.0%): 1(25.0%):	2(50.0%):	1(25.0%):
1144:	複合生産技術		3:	2.50:	0(0.0%): 1(33.3%):	1(33.3%):	1(33.3%):
1150:***	(エネルギーバス利用技術)						
1151:	天然ガスからエチレンへの製造技術		3:	2.33:	0(0.0%): 2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):
1152:	建築利用技術		8:	2.17:	1(16.7%): 3(50.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):
1153:	生活用品利用技術		5:	2.50:	0(0.0%): 2(40.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):
1154:	土木利用技術		3:	1.50:	1(33.3%): 1(33.3%):	0(0.0%):	1(33.3%):
1155:	自動車利用技術		4:	2.00:	0(0.0%): 2(50.0%):	0(0.0%):	2(50.0%):
1156:	船舶利用技術		4:	2.50:	0(0.0%): 1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):
1157:	高温燃焼技術		5:	2.25:	0(0.0%): 3(60.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):
1160:***	(リサイクル技術)						
1161:	鉄リサイクル		5:	2.75:	0(0.0%): 1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%):
1162:	アルミリサイクル		5:	3.00:	0(0.0%): 0(0.0%):	4(80.0%):	1(20.0%):
1163:	鉛リサイクル		5:	3.00:	0(0.0%): 0(0.0%):	3(60.0%):	2(40.0%):
1164:	銅リサイクル		2:	3.00:	0(0.0%): 0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):
1165:	ガラスリサイクル		2:	3.00:	0(0.0%): 0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):
1170:***	(CO ₂ の発生の少ないエネルギー技術)						
1171:	LNG		6:	2.60:	0(0.0%): 2(33.3%):	3(50.0%):	1(16.7%):
1172:	メタノール (化石燃料の代替)		14:	2.36:	0(0.0%): 9(64.3%):	5(35.7%):	0(0.0%):
1173:	水素 (化石燃料の代替)		25:	2.17:	3(12.0%):13(52.0%):	7(28.0%):	2(8.0%):
1174:	安全の保証された原子力		14:	1.82:	4(28.6%): 5(35.7%):	2(14.3%):	3(21.4%):
1175:	核融合		17:	1.13:	13(76.5%): 2(11.8%):	0(0.0%):	2(11.8%):
1176:	石炭ガス化		9:	2.11:	1(11.1%): 6(66.7%):	2(22.2%):	0(0.0%):

**1-2 排出抑制技術 (交通関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

1210:*** (高効率省エネルギー個別輸送技術) ***
 1211:自動車省エネルギー技術 : 13: 2.09: 0(0.0%):10(76.9%): 1(7.7%): 2(15.4%):
 1212:電気自動車 : 21: 1.95: 3(14.3%):14(66.7%): 2(9.5%): 2(9.5%):
 1213:アルコール自動車 : 16: 2.15: 1(6.3%): 9(56.3%): 3(18.8%): 3(18.8%):
 1214:水素自動車 : 16: 1.46: 8(50.0%): 4(25.0%): 1(6.3%): 3(18.8%):
 1215:超電導自動車 : 4: 2.00: 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):
 1216:コンピュータシステム : 4: 2.25: 1(25.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):

1220:*** (高利便性大量輸送技術) ***
 1221:新交通システム : 15: 1.85: 5(33.3%): 5(33.3%): 3(20.0%): 2(13.3%):
 1222:高機能化鉄道 : 6: 1.83: 2(33.3%): 3(50.0%): 1(16.7%): 0(0.0%):
 1223:飛行船 : 4: 2.00: 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):
 1224:高速船 : 4: 1.75: 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):

1230:*** (高効率・省エネルギー輸送システム) ***
 1231:交通流制御 : 6: 2.00: 1(16.7%): 1(16.7%): 1(16.7%): 3(50.0%):
 1232:無渋滞システム : 6: 1.75: 1(16.7%): 3(50.0%): 0(0.0%): 2(33.3%):

1240:*** (高効率物流システム) ***
 1241:貨物集約システム : 5: 2.50: 0(0.0%): 2(40.0%): 2(40.0%): 1(20.0%):
 1242:通信制御型貨物集配システム : 3: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%):

1250:*** (交通量低下技術) ***
 1251:ゴミバイパス : 6: 1.67: 2(33.3%): 4(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1252:高品質通信システム : 6: 2.17: 1(16.7%): 3(50.0%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 1253:立体化都市 : 4: 1.75: 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1254:都市内貨物無人搬送システム : 5: 1.60: 2(40.0%): 3(60.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

1260:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1261:帆船 : 6: 2.50: 0(0.0%): 3(50.0%): 3(50.0%): 0(0.0%):
 1262:ソーラーカー : 7: 2.17: 1(14.3%): 3(42.9%): 2(28.6%): 1(14.3%):

**1-3 排出抑制技術 (民生技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

1310:*** (断熱建築物技術) ***
 1311:断熱壁面技術 : 5: 2.00: 0(0.0%): 5(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1312:断熱窓面技術 : 3: 2.00: 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1313:熱交換型換気技術 : 4: 2.00: 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1314:除湿技術 : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

1320:*** (高効率冷暖房技術) ***
 1321:高効率ヒートポンプ : 9: 2.38: 0(0.0%): 5(55.6%): 3(33.3%): 1(11.1%):
 1322:高伝達率ヒートポンプ : 7: 2.67: 0(0.0%): 2(28.6%): 4(57.1%): 1(14.3%):
 1323:河川熱利用冷暖房 : 2: 2.00: 0(0.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):

1330:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1331:パッシブソーラーハウス、ビル : 8: 2.29: 0(0.0%): 5(62.5%): 2(25.0%): 1(12.5%):
 1332:アクティブソーラーハウス、ビル : 4: 1.67: 1(25.0%): 2(50.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):
 1333:耐雪住宅 : 3: 2.00: 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%): 2(66.7%):
 1334:地温吸上冷暖房システム : 5: 2.25: 0(0.0%): 3(60.0%): 1(20.0%): 1(20.0%):
 1335:太陽熱給湯 : 12: 2.18: 0(0.0%): 9(75.0%): 2(16.7%): 1(8.3%):

1340:*** (省エネルギー型建築設備) ***
 1341:高効率床暖房システム : 3: 2.00: 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1342:分散型冷暖房システム : 2: 2.00: 0(0.0%): 2(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

1350:*** (家庭、ビル内省エネルギー技術) ***						
1351:高効率照明	: 2:	2.50:	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):
1352:在時節電装置	: 2:	2.50:	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):
1353:小規模廃棄物処理資源化技術	: 11:	2.00:	3(27.3%):	3(27.3%):	3(27.3%):	2(18.2%):

****1-4 排出抑制技術 (農業関連技術)** ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

1410:*** (農業生産用エネルギー低減技術) ***						
1411:ビニールハウス断熱技術	: 4:	2.50:	0(0.0%):	2(50.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):
1412:省エネルギー型乾燥施設	: 4:	2.00:	0(0.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):	2(50.0%):
1413:省エネルギー型農業機械	: 3:	2.00:	0(0.0%):	1(33.3%):	0(0.0%):	2(66.7%):
1414:風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設	: 5:	2.33:	0(0.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	2(40.0%):

1420:*** (農産物貯蔵技術) ***						
1421:低温貯蔵施設	: 3:	2.33:	0(0.0%):	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%):
1422:無酸素貯蔵施設	: 4:	2.00:	0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1423:防虫包装技術	: 3:	2.00:	0(0.0%):	3(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):

1430:*** (農産物流通技術) ***						
1431:防震梱包技術	: 1:	2.00:	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1432:低温化流通技術	: 2:	2.00:	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):

1440:*** (生物による発生を抑える技術) ***						
1441:動物によるメタン発生抑制	: 6:	2.00:	1(16.7%):	3(50.0%):	1(16.7%):	1(16.7%):
1442:植物によるメタン発生抑制	: 8:	2.71:	0(0.0%):	2(25.0%):	5(62.5%):	1(12.5%):
1443:N ₂ O、CH ₄ を抑制する農業技術	: 7:	2.43:	1(14.3%):	2(28.6%):	4(57.1%):	0(0.0%):

****2-1 温室効果ガス処理(物理的技術)** ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

2110:*** (投棄技術) ***						
2111:深海注入	: 9:	1.63:	3(33.3%):	5(55.6%):	0(0.0%):	1(11.1%):
2112:ドライアイス化深海投棄	: 3:	1.67:	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):	0(0.0%):
2113:高圧縮化深海投棄	: 4:	1.25:	3(75.0%):	1(25.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):

2120:*** (貯蔵技術) ***						
2121:ドライアイス化極寒地貯蔵	: 2:	2.00:	0(0.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
2122:高圧縮化地底貯蔵	: 2:	2.00:	0(0.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
2123:高圧縮化深海貯蔵	: 3:	2.00:	0(0.0%):	2(66.7%):	0(0.0%):	1(33.3%):

2130:*** (CO₂の分解技術) ***						
2131:CO ₂ の高温分解	: 6:	2.50:	0(0.0%):	3(50.0%):	3(50.0%):	0(0.0%):
2132:CO ₂ の光分解	: 11:	1.82:	2(18.2%):	9(81.8%):	0(0.0%):	0(0.0%):
2133:CO ₂ のビーム分解	: 4:	1.75:	1(25.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
2134:CO ₂ の触媒分解	: 16:	2.25:	0(0.0%):	12(75.0%):	4(25.0%):	0(0.0%):

****2-2 温室効果ガス処理(化学的技術)** ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

2210:*** (循環技術) ***						
2211:CO ₂ のアルコール化	: 16:	2.07:	2(12.5%):	9(56.3%):	3(18.8%):	2(12.5%):
2212:CO ₂ の糖酸化	: 6:	2.60:	0(0.0%):	2(33.3%):	3(50.0%):	1(16.7%):
2213:CO ₂ の酢酸化	: 7:	2.60:	0(0.0%):	2(28.6%):	3(42.9%):	2(28.6%):
2214:CO ₂ のメタン化	: 8:	2.17:	1(12.5%):	3(37.5%):	2(25.0%):	2(25.0%):

2220:*** (CO₂の固定技術) ***						
2221:CO ₂ のCaCO ₃ 化	: 12:	2.00:	3(25.0%):	1(8.3%):	3(25.0%):	5(41.7%):
2222:CO ₂ のNaHCO ₃ 化	: 4:	1.67:	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):

2223:CO₂のBaCO₃化 : 4: 2.00: 1(25.0%): 1(25.0%): 1(25.0%); 1(25.0%):

**2-3 温室効果ガス処理(生物学的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

2310:*** (陸生生物による固定技術) ***
 2311:砂漠緑化 : 34: 1.79: 12(35.3%): 10(29.4%): 6(17.6%): 6(17.6%):
 2312:C4植物の大量栽培 : 13: 2.75: 0(0.0%): 3(23.1%): 9(69.2%): 1(7.7%):
 2313:冬期栽培技術 : 5: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 5(100.0%): 0(0.0%):

2320:*** (水中生物による固定技術) ***
 2321:海草によるCO₂固定 : 9: 2.89: 0(0.0%): 1(11.1%): 8(88.9%): 0(0.0%):
 2322:光合成細菌によるCO₂固定 : 16: 2.50: 1(6.3%): 5(31.3%): 8(50.0%): 2(12.5%):
 2323:微生物によるCO₂固定 : 16: 2.67: 0(0.0%): 5(31.3%): 10(62.5%): 1(6.3%):
 2324:マングローブによるCO₂固定 : 11: 2.50: 0(0.0%): 4(36.4%): 4(36.4%): 3(27.3%):
 2325:珊瑚礁化によるCO₂固定 : 14: 2.50: 1(7.1%): 3(21.4%): 6(42.9%): 4(28.6%):

2330:*** (人為施設による固定技術) ***
 2331:植物工場 : 12: 1.50: 5(41.7%): 5(41.7%): 0(0.0%): 2(16.7%):
 2332:クロレラ工場 : 8: 2.00: 1(12.5%): 5(62.5%): 1(12.5%): 1(12.5%):

2340:*** (バイオマス利用技術) ***
 2341:低エネルギー抽出技術 : 4: 2.00: 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 2342:地下埋めもどし技術 : 3: 1.50: 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%): 1(33.3%):
 2343:炭化技術 : 5: 2.50: 0(0.0%): 2(40.0%): 2(40.0%): 1(20.0%):
 2344:発酵技術 : 11: 2.55: 0(0.0%): 5(45.5%): 6(54.5%): 0(0.0%):

**3-1 気候変動適応技術(農業技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

3110:*** (品種改良) ***
 3111:耐温度化改良 : 6: 2.50: 0(0.0%): 2(33.3%): 2(33.3%): 2(33.3%):
 3112:耐乾燥化改良 : 6: 2.50: 0(0.0%): 2(33.3%): 2(33.3%): 2(33.3%):
 3113:耐塩分化改良 : 5: 2.75: 0(0.0%): 1(20.0%): 3(60.0%): 1(20.0%):
 3114:耐海水化改良 : 3: 2.33: 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 3115:高CO₂対応改良 : 4: 2.67: 0(0.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):

3120:*** (作付け地域の移動) ***
 3121:農作物の選択技術 : 7: 2.83: 0(0.0%): 1(14.3%): 5(71.4%): 1(14.3%):
 3122:森林の人為的移動 : 3: 2.33: 1(33.3%): 0(0.0%): 2(66.7%): 0(0.0%):

**3-2 気候変動適応技術(海面上昇対策技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

3210:*** (防潮技術) ***
 3211:フロート式防波堤 : 6: 2.00: 0(0.0%): 5(83.3%): 0(0.0%): 1(16.7%):
 3212:エネルギー分散式防波堤 : 4: 2.00: 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):

3220:*** (都市改造技術) ***
 3221:フロート式都市 : 3: 1.67: 2(66.7%): 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 3222:高床式都市 : 3: 1.67: 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 3223:防水式都市 : 6: 1.33: 4(66.7%): 2(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%):

3230:*** (住居) ***
 3231:フロート式住居 : 2: 1.00: 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):
 3232:防水式住居 : 1: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):
 3233:潜水式住居 : 2: 1.50: 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

**3-3 気候変動適応技術(生活関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 非常に高い 高い 安い 無回答など

表2.8.5 対策技術に対する回答者の専門度

**1-1 番号	(産業関連技術 技術名)	**	[1]	[2]	[3]	[0]
		回答数	平均	極めて近い	近い	知っている 無回答など
1110:***	(高効率エネルギー変換技術)					
1111:	高効率ガスタービン	: 11:	1.50:	7(63.6%):	1(9.1%):	2(18.2%): 1(9.1%):
1112:	燃料電池	: 31:	2.23:	7(22.6%):	9(29.0%):	14(45.2%): 1(3.2%):
1113:	高効率スターリングエンジン	: 10:	1.87:	5(50.0%):	2(20.0%):	2(20.0%): 1(10.0%):
1114:	スーパーヒートポンプ	: 19:	1.88:	8(42.1%):	3(15.8%):	6(31.6%): 2(10.5%):
1115:	MHD発電	: 7:	2.43:	1(14.3%):	2(28.6%):	4(57.1%): 0(0.0%):
1116:	超電導発電	: 10:	2.33:	3(30.0%):	0(0.0%):	6(60.0%): 1(10.0%):
1117:	超電導送電	: 13:	2.40:	2(15.4%):	2(15.4%):	6(46.2%): 3(23.1%):
1118:	超電導モーター	: 10:	2.22:	3(30.0%):	1(10.0%):	5(50.0%): 1(10.0%):
1119:	コジェネレーション	: 30:	1.77:	15(50.0%):	7(23.3%):	8(26.7%): 0(0.0%):
1120:***	(高密度エネルギー貯蔵技術)					
1121:	高密度二次電池	: 14:	2.23:	3(21.4%):	4(28.6%):	6(42.9%): 1(7.1%):
1122:	超電導電力貯蔵	: 12:	2.33:	2(16.7%):	4(33.3%):	6(50.0%): 0(0.0%):
1123:	超高速フライホイール	: 3:	2.67:	0(0.0%):	1(33.3%):	2(66.7%): 0(0.0%):
1124:	揚水発電	: 1:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%): 0(0.0%):
1125:	揚粉発電	: 1:	2.00:	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):
1130:***	(自然エネルギー転換技術)					
1131:	太陽電池	: 45:	2.60:	5(11.1%):	7(15.6%):	31(68.9%): 2(4.4%):
1132:	太陽光発電	: 14:	2.33:	4(28.6%):	0(0.0%):	8(57.1%): 2(14.3%):
1133:	風力発電	: 10:	2.70:	1(10.0%):	1(10.0%):	8(80.0%): 0(0.0%):
1134:	地熱発電	: 14:	2.14:	5(35.7%):	2(14.3%):	7(50.0%): 0(0.0%):
1135:	水力発電	: 15:	2.27:	4(26.7%):	3(20.0%):	8(53.3%): 0(0.0%):
1136:	波力発電	: 16:	2.38:	4(25.0%):	2(12.5%):	10(62.5%): 0(0.0%):
1137:	温度差発電	: 28:	2.39:	5(17.9%):	7(25.0%):	16(57.1%): 0(0.0%):
1140:***	(省エネルギー技術)					
1141:	省エネルギー精練技術	: 5:	1.20:	4(80.0%):	1(20.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):
1142:	断熱炉技術	: 1:	1.00:	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%): 0(0.0%):
1143:	熱交換炉技術	: 4:	2.33:	1(25.0%):	0(0.0%):	2(50.0%): 1(25.0%):
1144:	複合生産技術	: 3:	2.00:	1(33.3%):	1(33.3%):	1(33.3%): 0(0.0%):
1150:***	(エネルギーパス利用技術)					
1151:	天然ガスからエチレンへの製造技術	: 3:	1.33:	2(66.7%):	1(33.3%):	0(0.0%): 0(0.0%):
1152:	建築利用技術	: 6:	2.50:	1(16.7%):	1(16.7%):	4(66.7%): 0(0.0%):
1153:	生活用品利用技術	: 5:	2.60:	0(0.0%):	2(40.0%):	3(60.0%): 0(0.0%):
1154:	土木利用技術	: 3:	2.00:	0(0.0%):	2(66.7%):	0(0.0%): 1(33.3%):
1155:	自動車利用技術	: 4:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	3(75.0%): 1(25.0%):
1156:	船舶利用技術	: 4:	2.33:	1(25.0%):	0(0.0%):	2(50.0%): 1(25.0%):
1157:	高温燃焼技術	: 5:	2.00:	1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%): 0(0.0%):
1160:***	(リサイクル技術)					
1161:	鉄リサイクル	: 5:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	5(100.0%): 0(0.0%):
1162:	アルミリサイクル	: 5:	2.75:	0(0.0%):	1(20.0%):	3(60.0%): 1(20.0%):
1163:	鉛リサイクル	: 5:	2.75:	0(0.0%):	1(20.0%):	3(60.0%): 1(20.0%):
1164:	銅リサイクル	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(100.0%): 0(0.0%):
1165:	ガラスリサイクル	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(100.0%): 0(0.0%):
1170:***	(CO ₂ の発生の少ないエネルギー技術)					
1171:	LNG	: 6:	2.40:	1(16.7%):	1(16.7%):	3(50.0%): 1(16.7%):
1172:	メタノール(化石燃料の代替)	: 14:	2.14:	3(21.4%):	6(42.9%):	5(35.7%): 0(0.0%):
1173:	水素(化石燃料の代替)	: 25:	2.52:	2(8.0%):	8(32.0%):	15(60.0%): 0(0.0%):
1174:	安全の保証された原子力	: 14:	2.29:	4(28.6%):	2(14.3%):	8(57.1%): 0(0.0%):
1175:	核融合	: 17:	2.53:	3(17.6%):	2(11.8%):	12(70.6%): 0(0.0%):
1176:	石炭ガス化	: 9:	1.88:	4(44.4%):	1(11.1%):	3(33.3%): 1(11.1%):

**1-2 排出抑制技術 (交通関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて近い 近い 知っている 無回答など

1210:*** (高効率省エネルギー個別輸送技術) ***
 1211:自動車省エネルギー技術 : 13: 1.91: 4(30.8%): 4(30.8%): 3(23.1%): 2(15.4%):
 1212:電気自動車 : 21: 2.74: 1(4.8%): 3(14.3%): 15(71.4%): 2(9.5%):
 1213:アルコール自動車 : 16: 2.25: 3(18.8%): 6(37.5%): 7(43.8%): 0(0.0%):
 1214:水素自動車 : 16: 2.50: 1(6.3%): 5(31.3%): 8(50.0%): 2(12.5%):
 1215:超電導自動車 : 4: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(75.0%): 1(25.0%):
 1216:コンピュータシステム : 4: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%):

1220:*** (高利便性大量輸送技術) ***
 1221:新交通システム : 15: 2.55: 2(13.3%): 1(6.7%): 8(53.3%): 4(26.7%):
 1222:高機能化鉄道 : 6: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 6(100.0%): 0(0.0%):
 1223:飛行船 : 4: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%):
 1224:高速船 : 4: 2.25: 1(25.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 0(0.0%):

1230:*** (高効率・省エネルギー輸送システム) ***
 1231:交通流制御 : 6: 2.50: 1(16.7%): 1(16.7%): 4(66.7%): 0(0.0%):
 1232:無渋滞システム : 6: 2.60: 1(16.7%): 0(0.0%): 4(66.7%): 1(16.7%):

1240:*** (高効率物流システム) ***
 1241:貨物集約システム : 5: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 5(100.0%): 0(0.0%):
 1242:通信制御型貨物集配システム : 3: 3.33: 0(0.0%): 0(0.0%): 2(66.7%): 0(0.0%):

1250:*** (交通量低下技術) ***
 1251:ゴミバイパスライン : 6: 2.33: 0(0.0%): 4(66.7%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 1252:高品質通信システム : 6: 2.40: 1(16.7%): 1(16.7%): 3(50.0%): 1(16.7%):
 1253:立体化都市 : 4: 1.75: 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1254:都市内貨物無人搬送システム : 5: 2.80: 0(0.0%): 1(20.0%): 4(80.0%): 0(0.0%):

1260:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1261:帆船 : 6: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 6(100.0%): 0(0.0%):
 1262:ソーラーカー : 7: 2.50: 1(14.3%): 1(14.3%): 4(57.1%): 1(14.3%):

**1-3 排出抑制技術 (民生技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて近い 近い 知っている 無回答など

1310:*** (断熱建築物技術) ***
 1311:断熱壁面技術 : 5: 2.20: 2(40.0%): 1(20.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):
 1312:断熱窓面技術 : 3: 2.67: 1(33.3%): 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 1313:熱交換型換気技術 : 4: 1.50: 3(75.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1314:除湿技術 : 2: 3.00: 0(0.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

1320:*** (高効率冷暖房技術) ***
 1321:高効率ヒートポンプ : 9: 1.44: 6(66.7%): 2(22.2%): 1(11.1%): 0(0.0%):
 1322:高伝達率ヒートポンプ : 7: 1.14: 6(85.7%): 1(14.3%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1323:河川熱利用冷暖房 : 2: 1.50: 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

1330:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1331:パッシブソーラーハウス、ビル : 8: 2.38: 2(25.0%): 2(25.0%): 3(37.5%): 0(0.0%):
 1332:アクティブソーラーハウス、ビル : 4: 1.50: 3(75.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1333:耐雪住宅 : 3: 2.00: 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%): 2(66.7%):
 1334:地温吸上冷暖房システム : 5: 2.20: 2(40.0%): 0(0.0%): 3(60.0%): 0(0.0%):
 1335:太陽熱給湯 : 12: 1.83: 6(50.0%): 2(16.7%): 4(33.3%): 0(0.0%):

1340:*** (省エネルギー型建築設備) ***
 1341:高効率床暖房システム : 3: 1.67: 2(66.7%): 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 1342:分散型冷暖房システム : 2: 2.50: 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):

1350:*** (家庭、ビル内省エネルギー技術) ***						
1351:高効率照明	: 2:	1.00:	1(50.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
1352:在時節電装置	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):
1353:小規模廃棄物処理資源化技術	: 11:	2.00:	2(18.2%):	5(45.5%):	2(18.2%):	2(18.2%):

**1-4 排出抑制技術 (農業関連技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて近い 近い 知っている 無回答など

1410:*** (農業生産用エネルギー低減技術) ***						
1411:ビニールハウス断熱施設	: 4:	1.75:	2(50.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	0(0.0%):
1412:省エネルギー型乾燥施設	: 4:	2.25:	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):
1413:省エネルギー型農業機械	: 3:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	3(100.0%):	0(0.0%):
1414:風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設	: 5:	2.00:	1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%):	0(0.0%):

1420:*** (農産物貯蔵技術) ***						
1421:低温貯蔵施設	: 3:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	3(100.0%):	0(0.0%):
1422:無酸素貯蔵施設	: 4:	3.00:	0(0.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):
1423:防虫包装技術	: 3:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	3(100.0%):	0(0.0%):

1430:*** (農産物流通技術) ***						
1431:防震梱包技術	: 1:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):
1432:低温化流通技術	: 2:	2.50:	0(0.0%):	1(50.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):

1440:*** (生物による発生を抑える技術) ***						
1441:動物によるメタン発生抑制	: 6:	1.60:	3(50.0%):	1(16.7%):	1(16.7%):	1(16.7%):
1442:植物によるメタン発生抑制	: 8:	1.50:	5(62.5%):	2(25.0%):	1(12.5%):	0(0.0%):
1443:N ₂ O、CH ₄ を抑制する農業技術	: 7:	1.14:	6(85.7%):	1(14.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):

**2-1 温室効果ガス処理(物理的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて近い 近い 知っている 無回答など

2110:*** (投棄技術) ***						
2111:深海注入	: 9:	2.88:	0(0.0%):	1(11.1%):	7(77.8%):	1(11.1%):
2112:ドライアイス化深海投棄	: 3:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	3(100.0%):	0(0.0%):
2113:高圧縮化深海投棄	: 4:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	4(100.0%):	0(0.0%):

2120:*** (貯蔵技術) ***						
2121:ドライアイス化極寒地貯蔵	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):
2122:高圧縮化地底貯蔵	: 2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(100.0%):	0(0.0%):
2123:高圧縮化深海貯蔵	: 3:	2.67:	0(0.0%):	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):

2130:*** (CO₂の分解技術) ***						
2131:CO ₂ の高温分解	: 6:	1.67:	4(66.7%):	0(0.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):
2132:CO ₂ の光分解	: 11:	1.80:	5(45.5%):	2(18.2%):	3(27.3%):	1(9.1%):
2133:CO ₂ のビーム分解	: 4:	2.50:	1(25.0%):	0(0.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):
2134:CO ₂ の触媒分解	: 16:	2.00:	5(31.3%):	6(37.5%):	5(31.3%):	0(0.0%):

**2-2 温室効果ガス処理(化学的技術) ** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて近い 近い 知っている 無回答など

2210:*** (循環技術) ***						
2211:CO ₂ のアルコール化	: 16:	2.33:	4(25.0%):	2(12.5%):	9(56.3%):	1(6.3%):
2212:CO ₂ の脂肪酸化	: 6:	1.83:	3(50.0%):	1(16.7%):	2(33.3%):	0(0.0%):
2213:CO ₂ の酢酸化	: 7:	2.00:	3(42.9%):	1(14.3%):	3(42.9%):	0(0.0%):
2214:CO ₂ のメタン化	: 8:	2.38:	2(25.0%):	1(12.5%):	5(62.5%):	0(0.0%):

2220:*** (CO₂の固定技術) ***						
2221:CO ₂ のCaCO ₃ 化	: 12:	2.73:	0(0.0%):	3(25.0%):	8(66.7%):	1(8.3%):
2222:CO ₂ のNaHCO ₃ 化	: 4:	2.50:	0(0.0%):	2(50.0%):	2(50.0%):	0(0.0%):

2223:CO ₂ のBaCO ₃ 化	:	4	2.75	0(0.0%)	1(25.0%)	3(75.0%)	0(0.0%)
2-3 温室効果ガス処理(生物学的技術)	)**	[1]	[2]	[3]	[0]		
番号 [技術名]	回答数	平均	極めて近い	近い	知っている	無回答など	
2310:*** (陸生生物による固定技術))***						
2311:砂漠緑化	:	34	2.56	2(5.9%)	10(29.4%)	20(58.8%)	2(5.9%)
2312:C4植物の大量栽培	:	13	2.38	2(15.4%)	4(30.8%)	7(53.8%)	0(0.0%)
2313:冬期栽培技術	:	5	1.60	2(40.0%)	3(60.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)
2320:*** (水中生物による固定技術))***						
2321:海草によるCO ₂ 固定	:	9	2.22	2(22.2%)	3(33.3%)	4(44.4%)	0(0.0%)
2322:光合成細菌によるCO ₂ 固定	:	16	1.93	6(37.5%)	4(25.0%)	5(31.3%)	1(6.3%)
2323:微細藻によるCO ₂ 固定	:	16	2.06	6(37.5%)	3(18.8%)	7(43.8%)	0(0.0%)
2324:マングローブによるCO ₂ 固定	:	11	2.64	0(0.0%)	4(36.4%)	7(63.6%)	0(0.0%)
2325:珊瑚礁化によるCO ₂ 固定	:	14	2.62	1(7.1%)	3(21.4%)	9(64.3%)	1(7.1%)
2330:*** (人為施設による固定技術))***						
2331:植物工場	:	12	2.40	2(16.7%)	2(16.7%)	6(50.0%)	2(16.7%)
2332:クロレラ工場	:	8	2.14	1(12.5%)	4(50.0%)	2(25.0%)	1(12.5%)
2340:*** (バイオマス利用技術))***						
2341:低エネルギー抽出技術	:	4	2.25	1(25.0%)	1(25.0%)	2(50.0%)	0(0.0%)
2342:地下埋めもどし技術	:	3	1.50	1(33.3%)	1(33.3%)	0(0.0%)	1(33.3%)
2343:炭化技術	:	5	2.40	1(20.0%)	1(20.0%)	3(60.0%)	0(0.0%)
2344:発酵技術	:	11	1.64	7(63.6%)	1(9.1%)	3(27.3%)	0(0.0%)
3-1 気候変動適応技術(農業技術)	)**	[1]	[2]	[3]	[0]		
番号 [技術名]	回答数	平均	極めて近い	近い	知っている	無回答など	
3110:*** (品種改良))***						
3111:耐温度化改良	:	6	2.17	1(16.7%)	3(50.0%)	2(33.3%)	0(0.0%)
3112:耐乾燥化改良	:	6	2.17	1(16.7%)	3(50.0%)	2(33.3%)	0(0.0%)
3113:耐塩分化改良	:	5	2.40	1(20.0%)	1(20.0%)	3(60.0%)	0(0.0%)
3114:耐海水化改良	:	3	2.33	1(33.3%)	0(0.0%)	2(66.7%)	0(0.0%)
3115:高CO ₂ 対応改良	:	4	2.25	1(25.0%)	1(25.0%)	2(50.0%)	0(0.0%)
3120:*** (作付け地域の移動))***						
3121:最適作物の選択技術	:	7	1.57	4(57.1%)	2(28.6%)	1(14.3%)	0(0.0%)
3122:森林の人為的移動	:	3	2.00	1(33.3%)	1(33.3%)	1(33.3%)	0(0.0%)
3-2 気候変動適応技術(海面上昇対策技術)	)**	[1]	[2]	[3]	[0]		
番号 [技術名]	回答数	平均	極めて近い	近い	知っている	無回答など	
3210:*** (防潮技術))***						
3211:フロート式防波堤	:	6	2.00	1(16.7%)	4(66.7%)	1(16.7%)	0(0.0%)
3212:エネルギー分散式防波堤	:	4	2.00	1(25.0%)	2(50.0%)	1(25.0%)	0(0.0%)
3220:*** (都市改造技術))***						
3221:フロート式都市	:	3	3.00	0(0.0%)	0(0.0%)	3(100.0%)	0(0.0%)
3222:高床式都市	:	3	2.00	0(0.0%)	2(66.7%)	0(0.0%)	1(33.3%)
3223:防水式都市	:	6	2.40	1(16.7%)	1(16.7%)	3(50.0%)	1(16.7%)
3230:*** (住居))***						
3231:フロート式住居	:	2	3.00	0(0.0%)	0(0.0%)	1(50.0%)	1(50.0%)
3232:防水式住居	:	1	9.90	0(0.0%)	0(0.0%)	0(0.0%)	1(100.0%)
3233:潜水式住居	:	2	3.00	0(0.0%)	0(0.0%)	1(50.0%)	1(50.0%)
3-3 気候変動適応技術(生活関連技術)	)**	[1]	[2]	[3]	[0]		
番号 [技術名]	回答数	平均	極めて近い	近い	知っている	無回答など	

3310:***<都市技術)***
 3311:アルベド向上技術 : 5: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 5(100.0%): 0(0.0%):
 3312:水分蒸散技術 : 6: 2.83: 0(0.0%): 1(16.7%): 5(83.3%): 0(0.0%):
 3313:屋上緑化技術 : 15: 2.69: 0(0.0%): 4(26.7%): 9(60.0%): 2(13.3%):

3320:***<水確保技術)***
 3321:河川水還流技術 : 6: 1.75: 2(33.3%): 1(16.7%): 1(16.7%): 2(33.3%):
 3322:水製造技術 : 5: 1.75: 2(40.0%): 1(20.0%): 1(20.0%): 1(20.0%):
 3323:氷山移動 : 2: 2.00: 0(0.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):

***4-1 その他 (地球反射率上昇技術)** [1] [2] [3] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 極めて近い 近い 知っている 無回答など

4110:***<地球表面反射率上昇技術)***
 4111:アルミ粉散布 : 5: 2.20: 1(20.0%): 2(40.0%): 2(40.0%): 0(0.0%):
 4112:アルミコートシート敷設 : 5: 2.00: 1(20.0%): 3(60.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):
 4113:白色粉散布 : 5: 2.00: 1(20.0%): 2(40.0%): 1(20.0%): 1(20.0%):
 4114:人工雪 : 1: 2.00: 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):

4120:***<上空の反射吸収率増加技術)***
 4121:人工雲 : 4: 1.75: 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 4122:金属微粉撒布 : 4: 1.67: 1(25.0%): 2(50.0%): 0(0.0%): 1(25.0%):
 4123:SO₂撒布 : 3: 2.00: 1(33.3%): 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%):

表 2. 8. 6 対策技術への現在、今後の取り組み

1-1 番号	排出抑制技術 〔技術名〕	(産業関連技術))	[1] 回答数	[2] 平均	[3] 現在実施中	[4] 是非希望	[5] 予算あれば	[6] 計画なし	[7] [0] 無回答など
1110:***	(高効率エネルギー変換技術)	***							
1111:	高効率ガスタービン		11:	2.73:	4(36.4%):	0(0.0%):	2(18.2%):	5(45.5%):	0(0.0%):
1112:	燃料電池		31:	2.89:	8(25.8%):	2(6.5%):	2(6.5%):	15(48.4%):	4(12.9%):
1113:	高効率スターリングエンジン		10:	2.40:	4(40.0%):	1(10.0%):	2(20.0%):	3(30.0%):	0(0.0%):
1114:	スーパーヒートポンプ		19:	2.00:	8(42.1%):	1(5.3%):	2(10.5%):	3(15.8%):	5(26.3%):
1115:	MHD発電		7:	3.33:	0(0.0%):	1(14.3%):	2(28.6%):	3(42.9%):	1(14.3%):
1116:	超電導発電		10:	3.25:	2(20.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	6(60.0%):	1(10.0%):
1117:	超電導送電		13:	3.33:	1(7.7%):	1(7.7%):	1(7.7%):	6(46.2%):	3(23.1%):
1118:	超電導モーター		10:	3.14:	1(10.0%):	1(10.0%):	1(10.0%):	4(40.0%):	2(20.0%):
1119:	コジェネレーション		30:	2.55:	9(30.0%):	1(3.3%):	3(10.0%):	9(30.0%):	7(23.3%):
1120:***	(高密度エネルギー貯蔵技術)	***							
1121:	高密度二次電池		14:	3.00:	2(14.3%):	1(7.1%):	1(7.1%):	5(35.7%):	5(35.7%):
1122:	超電導電力貯蔵		12:	2.75:	3(25.0%):	2(16.7%):	2(16.7%):	5(41.7%):	0(0.0%):
1123:	超高速フライホイール		3:	3.33:	0(0.0%):	1(33.3%):	0(0.0%):	2(66.7%):	0(0.0%):
1124:	揚水発電		1:	-9.90:	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):
1125:	揚粉発電		1:	4.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):
1130:***	(自然エネルギー転換技術)	***							
1131:	太陽電池		45:	3.09:	7(15.6%):	2(4.4%):	7(15.6%):	19(42.2%):	10(22.2%):
1132:	太陽光発電		14:	3.13:	2(14.3%):	0(0.0%):	1(7.1%):	5(35.7%):	6(42.9%):
1133:	風力発電		10:	3.78:	0(0.0%):	0(0.0%):	2(20.0%):	7(70.0%):	1(10.0%):
1134:	地熱発電		14:	2.92:	4(28.6%):	0(0.0%):	2(14.3%):	7(50.0%):	1(7.1%):
1135:	水力発電		15:	3.55:	1(6.7%):	0(0.0%):	2(13.3%):	8(53.3%):	4(26.7%):
1136:	波力発電		16:	3.36:	3(18.8%):	0(0.0%):	0(0.0%):	11(68.8%):	2(12.5%):
1137:	温度差発電		28:	2.95:	4(14.3%):	2(7.1%):	6(21.4%):	9(32.1%):	7(25.0%):
1140:***	(省エネルギー技術)	***							
1141:	省エネルギー精練技術		5:	3.40:	0(0.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):	3(60.0%):	0(0.0%):
1142:	断熱炉技術		1:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(100.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1143:	熱交換炉技術		4:	3.75:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	3(75.0%):	0(0.0%):
1144:	複合生産技術		3:	3.50:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(33.3%):	1(33.3%):	1(33.3%):
1150:***	(エネルギーバス利用技術)	***							
1151:	天然ガスからエチレンへの製造技術		3:	2.00:	1(33.3%):	1(33.3%):	1(33.3%):	0(0.0%):	0(0.0%):
1152:	建築利用技術		6:	3.40:	0(0.0%):	1(16.7%):	1(16.7%):	3(50.0%):	1(16.7%):
1153:	生活用品利用技術		5:	4.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	2(40.0%):	3(60.0%):
1154:	土木利用技術		3:	3.67:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(33.3%):	2(66.7%):	0(0.0%):
1155:	自動車利用技術		4:	3.50:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(25.0%):	1(25.0%):	2(50.0%):
1156:	船舶利用技術		4:	3.00:	1(25.0%):	0(0.0%):	0(0.0%):	2(50.0%):	1(25.0%):
1157:	高温燃焼技術		5:	2.75:	1(20.0%):	0(0.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):
1160:***	(リサイクル技術)	***							
1161:	鉄リサイクル		5:	3.25:	0(0.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):	2(40.0%):	1(20.0%):
1162:	アルミリサイクル		5:	3.00:	0(0.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):	1(20.0%):	2(40.0%):
1163:	鉛リサイクル		5:	3.75:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(20.0%):	3(60.0%):	1(20.0%):
1164:	銅リサイクル		2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
1165:	ガラスリサイクル		2:	3.00:	0(0.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):	0(0.0%):	1(50.0%):
1170:***	(CO ₂ の発生の少ないエネルギー技術)	***							
1171:	LNG		6:	3.00:	0(0.0%):	2(33.3%):	0(0.0%):	2(33.3%):	2(33.3%):
1172:	メタノール(化石燃料の代替)		14:	2.78:	1(7.1%):	3(21.4%):	2(14.3%):	3(21.4%):	5(35.7%):
1173:	水素(化石燃料の代替)		25:	3.37:	1(4.0%):	2(8.0%):	5(20.0%):	11(44.0%):	6(24.0%):
1174:	安全の保証された原子力		14:	3.00:	3(21.4%):	0(0.0%):	1(7.1%):	6(42.9%):	4(28.6%):
1175:	核融合		17:	3.50:	2(11.8%):	0(0.0%):	1(5.9%):	11(64.7%):	3(17.6%):
1176:	石炭ガス化		9:	2.88:	2(22.2%):	0(0.0%):	3(33.3%):	3(33.3%):	1(11.1%):

**1-2 排出抑制技術 (交通関連技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

1210:*** (高効率省エネルギー個別輸送技術) ***
 1211:自動車省エネルギー技術 : 13: 2.55: 4(30.8%): 1(7.7%): 2(15.4%): 4(30.8%): 2(15.4%):
 1212:電気自動車 : 21: 3.59: 1(4.8%): 1(4.8%): 2(9.5%): 13(61.9%): 4(19.0%):
 1213:アルコール自動車 : 16: 2.36: 4(25.0%): 1(6.3%): 4(25.0%): 2(12.5%): 5(31.3%):
 1214:水素自動車 : 16: 3.08: 2(12.5%): 1(6.3%): 3(18.8%): 6(37.5%): 4(25.0%):
 1215:超電導自動車 : 4: 3.50: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 2(50.0%):
 1216:コンピュータシステム : 4: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 4(100.0%): 0(0.0%):

1220:*** (高利便性大量輸送技術) ***
 1221:新交通システム : 15: 3.10: 3(20.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 7(46.7%): 5(33.3%):
 1222:高機能化鉄道 : 6: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 5(83.3%): 1(16.7%):
 1223:飛行船 : 4: 3.33: 0(0.0%): 1(25.0%): 0(0.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):
 1224:高速船 : 4: 3.67: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):

1230:*** (高効率・省エネルギー輸送システム) ***
 1231:交通流制御 : 6: 3.60: 0(0.0%): 1(16.7%): 0(0.0%): 4(66.7%): 1(16.7%):
 1232:無渋滞システム : 6: 3.50: 1(16.7%): 0(0.0%): 0(0.0%): 5(83.3%): 0(0.0%):

1240:*** (高効率物流システム) ***
 1241:貨物集約システム : 5: 3.75: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 3(60.0%): 1(20.0%):
 1242:通信制御型貨物集約システム : 3: 3.67: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%): 0(0.0%):

1250:*** (交通量低下技術) ***
 1251:ゴミバイブライン : 6: 2.75: 1(16.7%): 0(0.0%): 2(33.3%): 1(16.7%): 2(33.3%):
 1252:高品質通信システム : 6: 2.80: 2(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(50.0%): 1(16.7%):
 1253:立体化都市 : 4: 2.00: 2(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%):
 1254:都市内貨物無人搬送システム : 5: 2.80: 0(0.0%): 2(40.0%): 2(40.0%): 1(20.0%): 0(0.0%):

1260:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1261:帆船 : 6: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 5(83.3%): 1(16.7%):
 1262:ソーラーカー : 7: 3.17: 1(14.3%): 1(14.3%): 0(0.0%): 4(57.1%): 1(14.3%):

**1-3 排出抑制技術 (民生技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

1310:*** (断熱建築物技術) ***
 1311:断熱壁面技術 : 5: 3.20: 1(20.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 3(60.0%): 0(0.0%):
 1312:断熱窓面技術 : 3: 3.00: 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(66.7%): 0(0.0%):
 1313:熱交換型換気技術 : 4: 2.00: 2(50.0%): 1(25.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 0(0.0%):
 1314:除湿技術 : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):

1320:*** (高効率冷暖房技術) ***
 1321:高効率ヒートポンプ : 9: 1.29: 6(66.7%): 0(0.0%): 1(11.1%): 0(0.0%): 2(22.2%):
 1322:高伝達率ヒートポンプ : 7: 1.67: 4(57.1%): 0(0.0%): 2(28.6%): 0(0.0%): 1(14.3%):
 1323:河川熱利用冷暖房 : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):

1330:*** (自然エネルギー利用技術) ***
 1331:パッシブソーラーハウス、ビル : 8: 2.67: 2(25.0%): 1(12.5%): 0(0.0%): 3(37.5%): 2(25.0%):
 1332:アクティブソーラーハウス、ビル : 4: 1.75: 2(50.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 0(0.0%): 0(0.0%):
 1333:耐雪住宅 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%):
 1334:地温吸上冷暖房システム : 5: 2.60: 2(40.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 2(40.0%): 0(0.0%):
 1335:太陽熱給湯 : 12: 2.00: 6(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(25.0%): 3(25.0%):

1340:*** (省エネルギー型建築設備) ***
 1341:高効率床暖房システム : 3: 2.00: 2(66.7%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 1342:分散型冷暖房システム : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):

1350:*****(家庭、ビル内省エネルギー技術)*****
 1351:高効率照明 : 2: 2.50: 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 0(0.0%):
 1352:在時節電装置 : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):
 1353:小規模廃棄物処理資源化技術 : 11: 3.00: 2(18.2%): 0(0.0%): 0(0.0%): 4(36.4%): 5(45.5%):

1-4 排出抑制技術 (農業関連技術) [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

1410:*****(農業生産用エネルギー低減技術)*****
 1411:ビニールハウス断熱技術 : 4: 2.00: 2(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%):
 1412:省エネルギー型乾燥施設 : 4: 2.00: 2(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%):
 1413:省エネルギー型農業機械 : 3: 2.50: 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 1(33.3%):
 1414:風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設: 5: 1.25: 3(60.0%): 1(20.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(20.0%):

1420:*****(農産物貯蔵技術)*****
 1421:低温貯蔵施設 : 3: 1.00: 1(33.3%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(66.7%):
 1422:無酸素貯蔵施設 : 4: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 3(75.0%):
 1423:防虫包装技術 : 3:-9.90: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(100.0%):

1430:*****(農産物流通技術)*****
 1431:防震梱包技術 : 1:-9.90: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%):
 1432:低温化流通技術 : 2: 1.00: 1(50.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):

1440:*****(生物による発生を抑える技術)*****
 1441:動物によるメタン発生抑制 : 6: 3.00: 1(16.7%): 0(0.0%): 1(16.7%): 2(33.3%): 2(33.3%):
 1442:植物によるメタン発生抑制 : 8: 1.50: 4(50.0%): 1(12.5%): 1(12.5%): 0(0.0%): 2(25.0%):
 1443:N₂O、CH₄を抑制する農業技術 : 7: 2.00: 3(42.9%): 2(28.6%): 1(14.3%): 1(14.3%): 0(0.0%):

2-1 温室効果ガス処理(物理的技術) [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

2110:*****(投棄技術)*****
 2111:深海注入 : 9: 3.33: 0(0.0%): 1(11.1%): 2(22.2%): 3(33.3%): 3(33.3%):
 2112:ドライアイス化深海投棄 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%):
 2113:高圧縮化深海投棄 : 4: 3.50: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 2(50.0%):

2120:*****(貯蔵技術)*****
 2121:ドライアイス化極寒地貯蔵 : 2:-9.90: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(100.0%):
 2122:高圧縮化地底貯蔵 : 2:-9.90: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(100.0%):
 2123:高圧縮化深海貯蔵 : 3: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 0(0.0%): 2(66.7%):

2130:*****(CO₂の分解技術)*****
 2131:CO₂の高温分解 : 6: 2.40: 2(33.3%): 0(0.0%): 2(33.3%): 1(16.7%): 1(16.7%):
 2132:CO₂の光分解 : 11: 2.64: 2(18.2%): 3(27.3%): 3(27.3%): 3(27.3%): 0(0.0%):
 2133:CO₂のビーム分解 : 4: 2.00: 1(25.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 0(0.0%): 2(50.0%):
 2134:CO₂の触媒分解 : 16: 2.56: 5(31.3%): 2(12.5%): 4(25.0%): 5(31.3%): 0(0.0%):

2-2 温室効果ガス処理(化学的技術) [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

2210:*****(循環技術)*****
 2211:CO₂のアルコール化 : 16: 2.92: 2(12.5%): 2(12.5%): 3(18.8%): 5(31.3%): 4(25.0%):
 2212:CO₂の糖酸化 : 6: 2.83: 1(16.7%): 1(16.7%): 2(33.3%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 2213:CO₂の酢酸化 : 7: 2.83: 1(14.3%): 0(0.0%): 4(57.1%): 1(14.3%): 1(14.3%):
 2214:CO₂のメタン化 : 8: 3.33: 1(12.5%): 0(0.0%): 1(12.5%): 4(50.0%): 2(25.0%):

2220:*****(CO₂の固定技術)*****
 2221:CO₂のCaCO₃化 : 12: 3.70: 0(0.0%): 0(0.0%): 3(25.0%): 7(58.3%): 2(16.7%):
 2222:CO₂のNaHCO₃化 : 4: 3.25: 1(25.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):

2223:CO₂のBaCO₃化 : 4: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(75.0%): 0(0.0%):

**2-3 温室効果ガス処理(生物学的技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

2310:*** (陸生生物による固定技術) ***
 2311:砂漠緑化 : 34: 3.36: 3(8.8%): 2(5.9%): 3(8.8%): 17(50.0%): 9(26.5%):
 2312:C4植物の大量栽培 : 13: 3.43: 1(7.7%): 0(0.0%): 1(7.7%): 5(38.5%): 6(46.2%):
 2313:冬期栽培技術 : 5: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(40.0%): 3(60.0%):

2320:*** (水中生物による固定技術) ***
 2321:海草によるCO₂固定 : 9: 3.50: 0(0.0%): 1(11.1%): 2(22.2%): 5(55.6%): 1(11.1%):
 2322:光合成細菌によるCO₂固定 : 16: 3.00: 3(18.8%): 1(6.3%): 4(25.0%): 7(43.8%): 1(6.3%):
 2323:微細藻によるCO₂固定 : 16: 2.43: 3(18.8%): 5(31.3%): 3(18.8%): 3(18.8%): 2(12.5%):
 2324:マングローブによるCO₂固定 : 11: 3.67: 0(0.0%): 0(0.0%): 2(18.2%): 4(36.4%): 5(45.5%):
 2325:珊瑚礁化によるCO₂固定 : 14: 2.73: 3(21.4%): 1(7.1%): 3(21.4%): 4(28.6%): 3(21.4%):

2330:*** (人為施設による固定技術) ***
 2331:植物工場 : 12: 3.10: 1(8.3%): 1(8.3%): 4(33.3%): 4(33.3%): 2(16.7%):
 2332:クロレラ工場 : 8: 3.29: 1(12.5%): 0(0.0%): 2(25.0%): 4(50.0%): 1(12.5%):

2340:*** (バイオマス利用技術) ***
 2341:低エネルギー抽出技術 : 4: 3.67: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 2(50.0%): 1(25.0%):
 2342:地下埋めもどし技術 : 3: 2.67: 1(33.3%): 0(0.0%): 1(33.3%): 1(33.3%): 0(0.0%):
 2343:炭化技術 : 5: 3.00: 1(20.0%): 0(0.0%): 1(20.0%): 2(40.0%): 1(20.0%):
 2344:発酵技術 : 11: 2.89: 2(18.2%): 0(0.0%): 4(36.4%): 3(27.3%): 2(18.2%):

**3-1 気候変動適応技術(農業技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

3110:*** (品種改良) ***
 3111:耐温度化改良 : 6: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 4(66.7%): 2(33.3%):
 3112:耐乾燥化改良 : 6: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 4(66.7%): 2(33.3%):
 3113:耐塩分化改良 : 5: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(60.0%): 2(40.0%):
 3114:耐海水化改良 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%):
 3115:高CO₂対応改良 : 4: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(50.0%): 2(50.0%):

3120:*** (作付け地域の移動) ***
 3121:最適作物の選択技術 : 7: 3.00: 1(14.3%): 0(0.0%): 1(14.3%): 2(28.6%): 3(42.9%):
 3122:森林の人為的移動 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(33.3%): 2(66.7%):

**3-2 気候変動適応技術(海面上昇対策技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

3210:*** (防潮技術) ***
 3211:フロート式防波堤 : 6: 3.00: 1(16.7%): 0(0.0%): 3(50.0%): 2(33.3%): 0(0.0%):
 3212:エネルギー分散式防波堤 : 4: 3.50: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(25.0%): 1(25.0%): 2(50.0%):

3220:*** (都市改造技術) ***
 3221:フロート式都市 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 3(100.0%): 0(0.0%):
 3222:高床式都市 : 3: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 2(66.7%): 1(33.3%):
 3223:防水式都市 : 6: 3.00: 0(0.0%): 1(16.7%): 1(16.7%): 1(16.7%): 3(50.0%):

3230:*** (住居) ***
 3231:フロート式住居 : 2: 3.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 0(0.0%): 1(50.0%):
 3232:防水式住居 : 1: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(100.0%): 0(0.0%):
 3233:潜水式住居 : 2: 4.00: 0(0.0%): 0(0.0%): 0(0.0%): 1(50.0%): 1(50.0%):

**3-3 気候変動適応技術(生活関連技術) ** [1] [2] [3] [4] [0]
 番号 [技術名] 回答数 平均 現在実施中 是非希望 予算あれば 計画なし 無回答など

巻末資料

地球温暖化対策技術のリスト一覧

この一覧は、地球温暖化対策技術を、

I. 温室効果ガスの排出抑制技術

II. 発生した温室効果ガスの処理技術

III. 温暖化に伴う気候変動に対応する技術

IV. その他の技術

に分類した上で、可能性のある対策技術をリストアップしたものです。

1ページ目に対策技術をさらに中項目に分類したものを示してあります。2ページ以降に各技術とその簡単な説明をまとめてあります。

ここで取り上げた地球温暖化ガスは、二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化窒素(N₂O)、オゾン(O₃)、フロン(CFC)およびO₃、CH₄の生成に深く関与する窒素酸化物(NO_x)、非メタン炭化水素(NMHC)、一酸化炭素(CO)です。なお、一般に地球温暖化に各ガスが与える影響はCO₂が50%、その他のガスの総和が50%と言われております。

1. 対策技術大項目および中項目

I. 温室効果ガスの排出抑制技術

1. 産業関連技術

2. 交通関連技術

3. 民生関連技術

4. 農業関連技術

II. 発生した温室効果ガスの処理技術

1. 物理的技術

2. 化学的技術

3. 生物学的技術

III. 温暖化に伴う気候変動に適応する技術

1. 農林、水産業関連技術

2. 海面上昇対策技術

3. 生活関連技術

IV. その他

2. 対策技術小項目

1-1 産業関連技術

(1) 高効率エネルギー変換技術

1) 高効率ガスタービン

現在のガスタービンよりも効率的なガスタービン

2) 燃料電池

実用的に使うことができる燃料電池

3) 高効率スターリングエンジン

内燃機関より高効率化期待されるスターリングエンジンの実用化

4) スーパーヒートポンプ

熱の回収率がさらに良いヒートポンプ

5) MHD発電

効率が良いとされる流体発電の実用化

6) 超電導発電

超電導コイルを用いた高効率発電機

7) 超電導送電

送電線に超電導ケーブルを用いた低損失送電

8) 超電導モーター

超電導コイルを用いた高効率モーター

9) コージェネレーション

発電と給熱を同時に行う発電システム

(2) 高密度エネルギー貯蔵技術

1) 高密度二次電池

単位重量当りの電力容量の大きな充放電繰返し可能な電池

2) 超電導電力貯蔵

無損失の超電導コイルへの電力貯蔵

3) 超高速フライホイール

超高速でまわる円盤への電力貯蔵

4) 揚水発電

揚水発電の効率化

5) 揚粉発電

揚水発電と同様の原理で高い位置に貯えた比重の重い粉体を落下させることによる発電

(3) 自然エネルギー転換技術

1) 太陽電池

太陽光による直接発電

2) 太陽光発電

太陽光の熱を集めてタービンを回す発電

3) 風力発電

風車による発電

4) 地熱発電

地熱を汲み上げる発電

5) 水力発電

水力による発電

6) 波力発電

岸に打ちよせる波力を利用する発電

7) 温度差発電

海水の表面と水面下の温度差を利用する発電

(4) 省エネルギー技術

1) 省エネルギー精練技術

超高熱炉によるアルミ精練、直接プラズマ還元法による製鉄等

2) 断熱炉技術

断熱化した炉

3) 熱交換炉技術

高炉による熱の放散の50%が製品の鉄鉄とスラグを通してのことから、これらの放散を熱交換器で抑える機能を持つ炉

4) 複合生産技術

高炉や、ガラス製造用の炉は1400° c程の温度があり、焼物や家の外壁用のセラミックの焼く成に必要な温度は1000° c以下であることから、高温の炉の余熱を低温の炉に利用するシステム

(5) エネルギーバス利用技術

石油製品や天然ガスを直接燃焼させずに一旦他の目的で利用した後燃やし熱を得る技術

1) 天然ガスからエチレンへの製造技術

天然ガスから工業製品を作るための基本的プロセスであるエチレンの製造技術の確立

2) 建築利用技術

プラスチック製品のほとんどはコンクリートよりも引っ張り、圧縮強度が強いことを利用して、これらを建築構造材として使用する。建築物の寿命が来た時に燃料として使用

3) 生活用品利用技術

家具、日用品衣類等を可燃物で作成、使用後燃料として使用

4) 土木利用技術

建築利用技術と同様の考えを土木関係にも適用

5) 自動車利用技術

ほとんどが鉄製品で作られている車のボディや足まわりをプラスチック化し、廃車後燃料として使用

6) 船舶利用技術

ほとんどが鉄でできている大型船をプラスチック化し、利用燃料として使用

7) 高温燃焼技術

高温で燃えるプラスチックを燃焼させる技術

(6) リサイクル技術

製品の製造段階からリサイクルを容易にする技術

1) 鉄リサイクル

建設用を主体とする鉄のリサイクルシステム

2) アルミリサイクル

民生用を主体とするアルミのリサイクルシステム

3) 鉛リサイクル

自動車用電池を主体とする鉛のリサイクルシステム

4) 銅リサイクル

電線を主体とする銅のリサイクル

5) ガラスリサイクル

建設、自動車、民生用のガラスのリサイクル

(7) CO₂の発生が少ないエネルギー技術

1) LNG

LNGの開発、液化、輸送、販配の効率化

2) メタノール

メタノールの大量生産

3) 水素

LNG、メタノール、バイオマスによる水素の大量生産

4) 原子力

安全性を確実に保証する原子力利用技術

5) 核融合

十分に安全な核融合の実用化

6) 石炭ガス化

高効率な石炭のガス化

I-2 交通関連技術

(1) 高効率省エネルギー個別輸送技術

1) 自動車省エネルギー技術

エンジンの高効率化、NO_x発生低下、炭化水素発生低下、走行抵抗の低下

2) 電気自動車

電気自動車の高性能化

3) アルコール自動車

アルコール自動車の低公害化

4) 水素自動車

水素貯蔵法の改良

5) 超電導自動車

超電導モーターを用いた電気自動車の実用化

6) コミュニタシステム

乗車人数の少ない軽量、低エネルギー型コムニタ自動車の実用化

(2) 高利便性大量輸送技術

1) 新交通システム

新交通システムの実用化と普及

2) 高機能化鉄道

トラックに競合できる貨物輸送システムや乗用車に競合できる旅客輸送システムの開発

3) 飛行船

取り扱いの便利な飛行船の開発

4) 高速船

航空機による貨物輸送に対抗できる速度の貨物船の開発

(3) 高効率・省エネルギー輸送システム

1) 交通流制御

交通流の円滑化による自動車の走行エネルギーの低下

- 2) 無渋滞システム
交通システムの改良による渋滞の解消にともなう自動車の走行エネルギーの低下
- (4) 高効率物流システム
 - 1) 貨物集約システム
貨物の集約による自動車走行量の低下
 - 2) 通信制御型貨物集配システム
通信ネットワークを活用して無駄な自動車通行量を減らすシステム
- (5) 交通量低下技術
 - 1) ゴミバイブライン
ゴミ収集にバイブラインを用いることによる自動車走行量の低下
 - 2) 高品質通信システム
通信手段をより高品質化することによる人間の移動量の低下
 - 3) 立体化都市
都市をより立体化することによる人流・物流の低下
 - 4) 都市内貨物無人搬送システム
専用軌道を設け貨物を無人で搬送するシステム
- (6) 自然エネルギー利用技術
 - 1) 帆船
・ 高効率の帆船
 - 2) ソーラーカー
太陽エネルギーで走る車

I-3 民生技術

- (1) 断熱建築物技術
 - 1) 断熱壁面技術
住宅やビルの壁面の断熱性を向上させる技術
 - 2) 断熱窓面技術
住宅やビルの窓面の断熱性を向上させる技術
 - 3) 熱交換型換気技術
住宅やビルの換気を熱交換しながら行う技術
 - 4) 除湿技術
住宅やビルの除湿を高効率で行う技術
- (2) 高効率冷暖房技術
 - 1) 高効率ヒートポンプ
エネルギー使用量の少ないヒートポンプ技術
 - 2) 高伝達率ヒートパイプ
エネルギー伝達率の高いヒートパイプ技術
 - 3) 河川熱利用冷暖房
河川の持っている熱を利用した冷暖房
- (3) 自然エネルギー利用技術
 - 1) パッシブソーラーハウス、ビル
太陽の角度を利用して冷房・暖房の効果を高める技術
 - 2) アクティブソーラーハウス、ビル

太陽光の受光面を機械的方法等によって変化させ冷房、暖房の効果を高める技術

- 3) 耐雪住宅
雪おろしをしなくても良い程丈夫な住宅により雪に関わるエネルギーの使用を低下させる技術
- 4) 地温吸上冷暖房システム
ほぼ一定している地下の温度を利用する冷暖房システム
- 5) 太陽熱給湯
太陽熱による給湯システムの一酸化
- (4) 省エネルギー型建築設備
 - 1) 高効率床暖房システム
効率が高いと言われる床暖房を格安に設備できる技術
 - 2) 分散型冷暖房システム
無駄が少ないと言われる分散型の冷暖房設備の技術
- (5) 家庭、ビル内省エネルギー技術
 - 1) 高効率照明
家庭やビルの照明の効率化
 - 2) 不在時節電装置
人の居ない部屋でのエネルギーを自動的に節約する技術
 - 3) 家庭、ビル内、小規模廃棄物処理資源化技術
家庭やビルから出る廃棄物をその中で処理しあるいは資源化する技術

I-4 農業関連技術

- (1) 農業生産用エネルギー低減技術
 - 1) ビニールハウス断熱技術
ビニールハウスの壁面の断熱性を改良する
 - 2) 省エネルギー型乾燥施設
稲等の乾燥機の省エネルギー性を高める
 - 3) 省エネルギー型農業機械
農業機械の省エネルギー化を進める
 - 4) 風力利用揚水、エネルギー貯蔵施設
風力等の自然エネルギーを農業に利用する
- (2) 農産物貯蔵技術
 - 1) 低温貯蔵施設
生産物を低温で貯蔵する格安な施設
 - 2) 無酸素貯蔵施設
生産物の腐敗を防ぐため、酸素に触れずに貯蔵する方法
 - 3) 防虫包装技術
生産物を虫害に会わずに貯蔵できる方法
- (3) 農産物流通技術
 - 1) 防震梱包技術
農産物が輸送中に傷まないようにする技術
 - 2) 低温化流通技術
農産物を低温状態で輸送する格安な技術
- (4) 生物による発生を抑える技術

1) 動物によるメタン発生抑制

はんすう動物のゲップによるメタンの発生を抑える技術

2) 植物によるメタン発生抑制

たい肥等によるメタン発生の抑制技術

3) N_2O 、 CH_4 を抑制する農業技術

施肥方法、かんがい技術による N_2O 、 CH_4 の抑制技術

II-1 物理的技術

(1) 投棄技術

1) 深海注入

CO_2 をパイプ等で深海に導き投棄する

2) ドライアイス化深海投棄

CO_2 をドライアイス化して深海に投棄する

3) 高圧縮化深海投棄

CO_2 を高圧で圧縮し液化あるいは固化した上で深海に投棄する

(2) 貯蔵技術

1) ドライアイス化極寒地貯蔵

CO_2 をドライアイス化して南極や北極の極寒地に保存する

2) 高圧縮化地底貯蔵

CO_2 を高圧圧縮して炭坑跡地や石油井戸跡地に保存する

3) 高圧縮化深海貯蔵

CO_2 を高圧に圧縮し容器ごと深海に貯蔵する

(3) 分解技術

1) 高温分解

地球温暖化ガスを高温で分解する

2) 光分解

地球温暖化ガスを光で分解する

3) ビーム分解

地球温暖化ガスを電子ビーム、陽子ビーム等で分解する

4) 触媒分解

地球温暖化ガスを触媒を用いて分解する

II-2 化学的技術

(1) 循環技術

1) アルコール化

CO_2 をアルコール化する

2) 糖酸化

CO_2 を糖酸化する

3) 酢酸化

CO_2 を酢酸化する

4) メタン化

CO_2 をメタン化する

(2) 固定技術

1) C_3CO_3 化

CO_2 を C_3CO_3 に化学変化させる

2) N_3HCO_3 化

CO_2 を N_3HCO_3 化させる

3) B_3CO_3 化

CO_2 を B_3CO_3 化させる

II-3 生物学的技術

(1) 陸生生物による固定技術

1) 砂漠緑化

砂漠を緑化して CO_2 を光合成により固定する

- 2) C4植物の大量栽培
CO₂の固定量の大きいC4植物を大量に栽培する
- 3) 冬期栽培技術
冬期にも成長できる植物を大量に栽培する
- (2) 水中生物による固定技術
 - 1) 海藻
海藻の光合成を利用してCO₂を固定する
 - 2) 光合成細菌
光合成細菌を利用してCO₂を固定する
 - 3) 微細藻
海中の微細な藻を利用してCO₂を固定する
 - 4) マングローブ
浅水海に生えるマングローブを利用して固定する
 - 5) 珊瑚礁化
珊瑚礁を利用してCO₂を固定する
- (3) 人為施設による固定技術
 - 1) 植物工場
露地植よりも最大で6倍も成長が早いと言われている植物工場を利用してCO₂の固定を効率良く行う
 - 2) クロレラ工場
クロレラを大量に培養してCO₂の固定を効率良く行う
 - (4) バイオマス利用技術
 - 1) 低エネルギー抽出技術
バイオマスでできた低濃度のアルコールを少ないエネルギーで高純度にする
 - 2) 地下埋めもどし技術
バイオマスで固定化したCO₂を地下に効率よく埋めもどす
 - 3) 炭化技術
バイオマスで固定化したCO₂をさらに安定なものにするため炭化する
 - 4) 発酵技術
バイオマスを効率よくするため発酵技術を改良する

III-1 農業技術

(1) 品種改良

- 1) 耐温度化改良
農作物が高温に耐えられるように品種改良する
- 2) 耐乾燥化改良
農作物が乾燥に耐えられるように品種改良する
- 3) 耐塩分化改良
農作物が塩分に耐えられるように品種改良する
- 4) 耐海水化改良
農作物が海水でも育つように品種改良する
- 5) 高CO₂対応改良
農作物が高い濃度のCO₂を効率良く吸収できるように品種改良する

(2) 作付け地域の移動

- 1) 最適作物の選択技術
変化した気候に最適な作物を選択して植える技術
- 2) 森林の人為的移動
変化した気候に合うように森林の植生を人為的に変化させる

III-2 海面上昇対策技術

(1) 防潮技術

- 1) フロート式防波堤
浮いた状態で高波を防ぐ防波堤
- 2) エネルギー分散式防波堤
高波のエネルギーを分散させる防波堤

(2) 都市改造技術

- 1) フロート式都市
海上に浮いた構造物の上に造られる都市
- 2) 高床式都市
高床とし、高波や洪水に備える構造物とした都市
- 3) 防水式都市
都市施設に防水を施し、高波や洪水時に水が進入することを防ぐ構造物とした都市

(3) 住居

- 1) フロート式住居
海上に浮いた構造物の上に造られる家
- 2) 防水式住居
高波や洪水時に水の進入を防ぐために開口部に防水を施した住居
- 3) 潜水式住居
水に潜った状態で生活ができる構造物を持つ住居

III-3 生活関連技術

(1) 都市技術

- 1) アルベド向上技術
太陽光を受ける場所を白色とし、太陽光の反射率を高めて気温を下げる都市構造
- 2) 水分蒸散技術
至るところから水分の蒸発を可能とし蒸発熱により気温を下げる都市

3) 屋上緑化技術

建物の屋上を含む太陽光を受けるあらゆる場所を緑化して、太陽光を吸収するとともに水の蒸散も促す都市

(2) 水確保技術

1) 河川水還流技術

河口部に水門を設けて海に流れる水を上流に還元する

2) 水製造技術

低エネルギーで海水から真水を製造する

3) 氷山移動

南極や北極地方の氷山を移動させて利用する

IV-1 地球反射率上昇技術

(1) 地球表面反射率上昇技術

1) アルミ粉散布

砂漠や南極の氷が触れた場所などにアルミの粉末を散布する

2) アルミコートシート敷設

砂漠や南極の氷がとけた場所などにアルミをコートした薄いシートを敷く

3) 白色粉散布

BaSO₄などの白色で光の反射率の大きな物質を砂漠や南極の氷がとけた場所などに散布する

4) 人工雪

南極の氷がとけた場所などに氷を用いて人工雪を撒く

(2) 上空の反射吸収率増加技術

1) 人工雲

人工雲を発生させて地表に届く太陽光の強度を減らす

2) 金属微粉散布

成層圏に金属微粉を散布し、地表に届く太陽光の強度を減らす

3) SO₂散布

成層圏にSO₂を散布し、地表に届く太陽光の紫外線を減らす

【平成元年11月30日編集委員会受理】

[国立公害研究所資料 F-14-'90/NIES]

地球温暖化対策としての環境調和型技術と
その評価に関するセミナー報告

問い合わせ先：総合解析部地域計画研究室

清水 浩 青木 陽二 森口 祐一

平成2年1月30日発行

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 株式会社 イセブ

茨城県つくば市天久保2-11-20