

公開シンポジウム
地球環境基準設定にむけて—
地球温暖化による
環境・社会経済影響研究の方向

A report of the Symposium on Environmental and Socio-Economic Impact
Induced by Global Warming
— towards establishing global environmental standards

期日 平成元年12月12日

会場 国立公害研究所

西岡秀三 編

Edited by S. NISHIOKA

THE NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES

環境庁 国立公害研究所

地球環境基準設定にむけて—地球温暖化による環境・社会経済影響研究の方向—
報告書刊行にあたって

本報告書は、平成元年12月12日に当研究所大山ホールにおいて開かれた公開シンポジウム「地球環境基準設定にむけて—地球温暖化による環境・社会経済影響研究の方向」の結果をとりまとめたものである。

本シンポジウムは、2件の基調講演と13件の研究状況報告及び5件の問題提起に導かれたパネルディスカッションで構成された。当日は所内外から200名を越える参加者があり、活発な討論が行われた。

シンポジウムの前半で、地球温暖化の環境・社会・経済影響研究の方向づけの一環として、先駆的に「地球環境基準」を設定するとして、そのためにはどのような考え方がいるのか、何を研究しなければならないか、についての討論を行った。後半はすでに各方向で始まっている影響研究の状況について産・官・学の各研究者から報告を得た。

本報告はこのシンポジウムの速記録を基にし、講演者が校正したものをとりまとめたものである。

本シンポジウムの実施は、国立公害研究所で本年度形成された「地球温暖化影響研究グループ」が担当し、報告書のまとめは総合解析部環境管理研究室長 西岡秀三が行い、編集作業は滝沢美幸嬢の手をわずらわした。

本報告書の刊行が、地球環境問題に対する施策を実行に移すに際し、現時点における方向づけの一助になれば幸いである。

平成2年3月24日
国立公害研究所 総合解析部長
内藤 正明

目 次

あいさつ	国立公害研究所 所長 不破敬一郎	1
第Ⅰ部 地球環境基準の設定		
1. 基調講演：地球温暖化への対応の手順	東京大学 松原 望	5
2. パネルディスカッション：地球環境基準の設定の問題点		
2.1 「環境容量」はきめ得るか	国立公害研究所 内藤 正明	18
2.2 地球環境保全政策における基準の意味	環境庁 小林 光	28
2.3 温暖化防止対策の見通し	工社連-経済研究所 小川 芳樹	32
総合討論		
第Ⅱ部 温暖化影響研究の現状		
3. 基調講演：気候変動の環境影響研究の方向	お茶の水女子大学 内嶋善兵衛	63
4. 研究状況報告		
4.1 IPCCにおける検討状況	環境庁 山村 尊房	75
4.2 米国における研究	東京大学 花木 啓祐	80
4.3 エネルギー分野	電力中央研究所 西宮 昌	86
4.4 農業分野	農業環境技術研究所 宇田川武俊	94
4.5 水文・水資源分野	土木研究所 吉野 文雄	99
4.6 沿岸影響	港湾技術研究所 細川 恭史	107
4.7 大気汚染	桜美林大学 大喜多敏一	112
4.8 健康影響	国立公害研究所 村上 正孝	115
4.9 人間居住	EX都市研究所 C. Rouviere	118
4.10 地域研究	北海道大学 山村 悦夫	135
4.11 WCIPの状況(CIES 1991年会議)	筑波大学 甲斐 憲次	138
4.12 国立公害研究所の取り組み	国立公害研究所 西岡 秀三	141
4.13 環境庁の研究計画	環境庁 国安 俊夫	143
5. パネルディスカッション：地球環境基準設定に向けた影響研究の課題		
5.1 気候予測モデルの開発状況	気象研究所 野田 彰	148
5.2 社会・経済影響をどう見るか	国立公害研究所 森田 恒幸	158
総合討論		
あいさつ	国立公害研究所 副所長 小泉 明	173

あいさつ

国立公害研究所長 不破 敬一郎

「地球環境基準設定にむけて」、副題として「地球温暖化による環境・社会経済影響研究の方向」というシンポジウムを本日、研究所の総合解析部が中心となって計画いたしました。皆さん大変お忙しい時期に、あるいは講師として、あるいはディスカッションのためにお集まりいただきまして、大変感謝にたえません。

いわゆる地球環境問題の中で、地球温暖化の問題が最も重要な課題の部分であろうと考えております。学際的、国際的、そして各省庁の境を超えて省際的の3つがうたい文句になっているようです。政府内では環境庁長官が担当の大臣ということになり、この問題に対する全体の調整役を果たすことになっています。

9月に行われた東京会議では、幾つかの提言、勧告が出ましたが、その1つに、“不確かさ”を除くためのモニタリングやサイエンティフィックな研究の必要性を最初に強調してあります。地球環境研究センターといったものを各国に設けて、国際協力のもとでこうした研究をやるべきであるということになっております。環境庁や私どももその方向に向けて努力をしているところです。

また、先ごろ、オランダでのノールドベイク宣言に、長官と環境庁のスタッフが参りまして、とりまとめを一生懸命やったというので、結果につきましてはいろいろご批判なども聞いておりますが、日本の努力で一致して宣言にこぎつけられたことに感謝もされているという事情を、あるいはご存じであろうかと思えます。

本日のプログラムを拝見いたしますと、大学、省庁、研究所の皆様、エキスパートの方々のお話が並んでおります。どうか本日一日、忌憚のないご熱心なお話とご討論をお願いする次第でございます。本日は大変ありがとうございました。

第 I 部
地球環境基準の設定

1. 基調講演 地球温暖化への対応の手順

東京大学 松原 望

「シンポジウムのねらい」中に次の5つの課題が出ておりますが、この5つの課題にどのような分析法が対応可能かということを中心に話をいたします。

- (1) 温暖化の予防には相当のコストがかかるのではないか
- (2) どこまで対策を打てば環境は守られるのか
- (3) 環境はそんなにまでして守らねばならないのか
- (4) どれくらいの変化速度ならば環境は追従できるのか
- (5) 環境に対しどのような適応策が打てるのか

「不確実性下の意思決定」ということを専門にする立場から、この温暖化問題についてどのようなアプローチが可能か、どんな方法があり得るかということについて、不確実性下の意思決定のツール・ボックスの中から、これに参考になりそうだと思う方法を少しピックアップしてみ、どんなふうの問題を切り取ってこれに対応すればいいかというお話をさせていただきます。この問題は始まったばかりで、確実にこれである、この式を解けばいいという段階まで、まだ来ていませんので、今のところは基本的にはこういう方向の対応が可能ではないかという、やや漠然とした話にならざるを得ません。

意思決定には、①対象の状況、②行動選択の範囲、③一定の状況のもとで特定の行動をとったときの結果の評価、この3つぐらいの要素があります。

私は特に不確実性を含んだ意思決定の問題を専門にしてきましたが、この問題が地球温暖化問題に非常に有効ではないかと考えます。情報は若干はあるが、確定的には何もわかっていない、しかしながら行動は今とらないと何らかの意味において手おくれになるから、不確実性のまま意思決定をしなくてはいけない。そういうやむを得ない場合において、意思決定を適切にどのように行えばいいか、この問題が不確実性下の意思決定で、通常は確率論とか統計学の課題として扱われてきました。私の専門はもともと確率論と統計学ですが、社会科学の分野に応用していますので、地球温暖化の問題はこちらから見ると良い適用の分野になります。

ふつう、「意思決定理論」というのは、「決定分析」とか「決定科学」などと言われており、非常に多様な分野を含んでおります。例えば「効用理論」がありますし、「線形計画」、「ポートフォリオ理論」、「統計的決定理論」、「ゲーム理論」など、それぞれの分野に分けることができるわけです。

具体的に言いますと、先ほど申しました不確実性下の意思決定の問題でシンボリックな例とし

てよく使われる例が、朝、家を出るときに、今日の天気の状態が晴れか曇りか雨か、3つの状態があり得るとして、それがわからない状況において、雨具を持たないでいくか、傘を持っていくか、あるいは傘を持って雨靴を持っていくか、どの行動にしようかということです。我々は朝出るときに当然迷うとともに、しかしどれかをとらなくてはいけないのです。まさかこの問題自体を理論的に解くことはありませんけれども、例えば、こういうものに含まれている本質的な問題を取り出して数理化したものが、「不確実性下の意思決定」(decision making under uncertainty) というわけです。この問題が、実は温暖化問題と共通している部分があります。将来どのような状態になるか具体的にはわからない、しかしながらどれかの行動を我々はとらなくてはならない。例えば、とるとすれば対策のどの選択肢をとるのか、あるいは全くとらないのか、それを今決めなくてはならないという問題です。これは温暖化問題にとって、最初の取り組み方であり

ます。例えば、天候の状態がきょうは3種類、朝とるべき選択肢が3つという例を、先ほどの雨の問題でいいました。一般的に言えば、状態の数は n 個、とり得る行動の数は m 個というマトリックスが考えられるわけです。この例は状態の数が4個、可能な行動の数が4個あります。この2、2、0、1という数字は、各 θ_i に対して一定の行動をとったときに、どれぐらいの利得ないしは損失が考え得るか評価が定まっている、この数字が与えられている。この表が与えられているならば、どのような行動をとればいいのか、こういう問題が意思決定の最初です。

	a_1	a_2	a_3	a_4
θ_1	2	1	0	1
θ_2	2	1	4	3
θ_3	0	1	0	0
θ_4	1	1	0	0

表1.1

意思決定理論家は、普通はいろいろなことを考えます。例えば、よく行われるのが「意思決定基準」を定めることです。ここでは「状態」の「空間」、統計学では「母数空間」といいますが、状態が k 個あり、行動が l 個あるとして、先ほどの図を u_{il} とします。 θ_i と a_j の組み合わせに対してどれぐらいの利得が得られるか、その価値を u_{il} とします。それが先ほどのマトリックスです。それに対して、どのようにこれを処理して、それから行動を抜き出すかということです。

まず、第1番目には「ラプラスの基準」があります。「ラプラスの基準」は、この表の、それぞれの θ が4分の1の確率で起こり得ると考えて、それぞれの4分の1ずつのウェイトで2、2、0、1を加重平均し、単純平均をそれぞれ考えて、最大の単純平均を与えるものを適切な行動と

0、1を加重平均し、単純平均をそれぞれ考えて、最大の単純平均を与えるものを適切な行動としてとる。

なぜ等しい確率を置くかといいますと、我々が全く何もわからないときは、等しい確率を置く以外に理由が見当たらない。やや消極的ですが、それがラプラスの基準です。

次の「ワルドの基準」は、最小利得の最大化です。2、2、0、1の中では、0が一番ひどい結果ですので、最悪の結果を想定しながら、最悪で見て最善をとる。ですから、それぞれの打つ手に対しての前歴は0、1、0、0となり、どのように見ても、常識でいえば a_2 が最悪でも1を保証します。最も保守的に考えて最悪の場合を考え、その中で最善を得る。これが「ワルドの基準」です。

「ハーヴィッツの基準」は、これは先ほどのワルドの基準とは逆で、“最善”の基準といいますが、最も楽観的に考えて、一番いいものが実現するとする。これは根拠がないのですが、とにかく、楽天的な人は最善が実現すると考えるでしょう。最も楽天的な場合と最も悲観的な場合とを一定の割合 α 、 $1-\alpha$ で入れて、それが最大になるような行動を選ぶ。これが「ハーヴィッツの基準」です。他に「サベジの基準」とか、いろいろな基準がありますが、要はいろいろな決定基準があるということです。これが意思決定理論の最もエレメンタリーな部分ですが、まとめておきます。

i) ラプラス(Laplace)の基準：平均利得の最大化

$$\lambda_l(j) = \sum_{i=1}^k u_{ij} / k$$

を最大化する a_j を a^* とする。

ii) ワルド(Wald)の基準：最小利得の最大化

$$\lambda_w(j) = \min_i \{u_{ij}\}$$

を最大化する a_j を a^* とする。マクシミン利得基準ともいう。最悪を想定するという意味で、悲観主義の立場に立つ。

iii) ハーヴィッツ(Hurwicz)の基準：ワルドの基準の緩和。 $0 < \alpha < 1$ として

$$\lambda_h(j) = \alpha \max_i \{u_{ij}\} + (1-\alpha) \min_i \{u_{ij}\}$$

を最大化する a_j を a^* とする。

第1項は、最善が実現するという楽観主義の前提に立脚している。

iv) サベジ(Savage)の基準：最大機会損失の最小化

$$\lambda_s(j) = \max_i \{r_{ij}\}$$

を最小化する a_j を a^* とする。

ただし $r_{ij} = \max_i \{u_{ij}\} - u_{ij}$ は得べかりし最大利得からの失敗量(リグレット regret という)であり、経済学では機会損失(opportunity loss)といわれる。この基準はミニマックス損失基準、リグレット基準ともいう。

これがどのように役に立つかですが、「温暖化の予防には相当のコストがかかるのではないか」という課題(1)に適用できます。先ほどの θ_1 、 θ_2 、 θ_3 、 θ_4 という4つの状態を考えて評価をしました。一定のシナリオを考えて、各シナリオごとにいろいろな対応方法を考えると、先ほどのマトリックスができます。さらに、それに対して先の意思決定基準を考えて、その基準で最適な政策を選んで、その最適な政策に対してどれぐらいのコストがかかるかと考え、さらに突っ込みが深くなります。

意思決定問題のやや詳しい問題として、「リスク管理問題」というのがあります。環境リスクという問題が非常に重要な問題となります。これは意思決定問題の各論的な部分ですが、いろいろな研究がなされており、我々として確認したいことは、よき環境を実現するために、「環境を管理する」という立場が必要であるということです。環境を管理するという考えに対し、「環境は管理できるものではない」という考え方もありますが、できるだけよき環境を実現するために適切な行動をあらかじめ打つ、不確実である場合でも、いろいろな手法を利用して適切な行動を打つ、いわば、「よき環境の管理」という立場をとったほうが結局はいいのではないかと思います。そのためには、ただ自然科学的な問題だけではなくて、工学の分野へ問題を移して、その中で、よき環境管理のためにはどのような「現象モデル」が適切かという発想でとらえていくこととなります。例えば、統計学の立場からは、現象に対する「統計的モデル」がありまして、「第一種の誤り」とか「第二種の誤り」という概念があります。これも「リスク管理」の立場に踏み込んだときの考え方の典型的なものです。

「リスク概念」についていえば、「リスクは悪いものだ」という考え方と、「リスクはよいものだ」という考え方と、「リスクはよくも悪くもある」という考え方があります。我々は通常、リスクというのは悪いと考えていますけれども、やや問題を広げてみますと、投資においては、「リスクなくして利益なし」と言われるように、リスクは、いわば企業の経営活動の源泉で、この場合にはリスクはよいものであると考えられます。もっとも、人間というものは古代から、リスクというのは悪い、不吉である、自然は人間に対していろいろな災害を及ぼす危険があるというので、「リスクは悪い」と考えられますけど、現代においては、本来は「リスクはよくも悪くもある」ということとなります。

どうして現在において「リスクが悪い」ものと考えられるようになったかといえば、近代になって人間活動の量が増し、人為的なもの、本来、自然界にないものがたくさん出現してきました。あるいは「人間」の行為の「自然」に対する介入が非常に大量に発生して、それからはね返りとして、リスクが危険なものとしてあらわれる。そういう意味において、我々としてリスクの悪い面に対応しなくてはいけない、と考えられてきているからです。

結局、我々として普通どう考えるかという、リスク概念は企業の基本概念などの基礎として認めると同時に、それから生じるあしき問題に対しては、それに対する「責任」という形で「利益の存するところに責任もまた存する」と考えて、リスクの問題を処理するということとなります。

地球温暖化問題も、学問的にいえばリスク問題として考えられます。それでは、リスク問題に対してどのような管理方法が考えられるか。「リスク管理」という立場から、地球温暖化問題に具体的に踏み込んでいけば、それが意思決定問題の立場から地球温暖化に対応する1つの方法だろうと申しました。ではリスク管理に対してどんな方法が考えられるか。幾つかの方法があると思いますが、管理思想の類型と構成要素を概括的にまず述べてみましょう。

1. 素朴確率論型管理思想 ← (例：古典的社会観察)
「ポリヤのつぼ」モデル (Polya's urn scheme)
2. ゲーム理論型管理思想 ← (例：「自然」の思想)
 - i) 零和の場合
自然対人間：自然は不動で、人間と対抗する
自然(混合戦略)対人間：自然には意思があり、人間と対抗する
 - ii) 非零和(協力ゲーム)の場合 ← 自然と人間はさまざまな関係に入りうるが、
その中には「協力」という関係もありうる。
3. 伝統的帰納理論 ← (例：疫学的因果関係)
統計的仮説(帰無仮説)
統計的観測
因果関係の同定
4. カルマン・フィルター型管理思想 (例：人工衛星の観測)
系の運動方程式(システム方程式)
系の観測方程式
最適推定(追跡)及び制御
5. 統計的決定理論型管理思想 ← (例：品質管理)
系の状態、及びその認識
統計的観測
損失・利得関数
行動決定
6. マルコフ決定過程型管理思想 ← (例：高速道路の交通量管理)
系の状態
損失・利得関数
(制御)行為
系の状態変化
7. 認知科学型管理思想 ← (例：世論と政策決定)
問題決定方式
人間の認知の本質的不確実性

1) まず、「ポリヤの壺」というモデルがあります。これは確率論的なモデルです。確率論では、しばしば壺から球を出すとか、球の色を問題にしますけれども、「ポリヤの壺」というのは非常におもしろいモデルで、最初に**b**個の黒い球と**r**個の赤い球が**つぼ**の中に入っていて、その中から球を1個出して戻す。そのときに、抜かれた球と同じ色の球を**c**個入れ、抜かれた球と反対の色の球を**d**個入れると考えます。**c**と**d**がいろいろと設定されますが、抜かれた球と反対の色の球だけを入れる場合を考える($c = 0, d > 0$)。例えば赤の球が出てきたら、黒の球を入れていきます。例えば、「赤」を交通事故といたします。赤が頻出してきますと、黒の球を入れていきます。「黒」を交通事故のキャンペーンといたしますと、それで対抗していきます。黒の球を入れていきますから、つぼの中身はだんだん黒が多くなり、「赤」つまり交通事故は起こりにくく、黒が出やすくなりますが、それは長く続かない。黒が出やすくなると、赤を入れることになり、黒が稀釈されるからです。そして、逆にまだその後進んでいくことになります。これは交通事故の「キャンペーン・モデル」と言われているモデルです。キャンペーンというのは必然的に、効果が出てくるとだんだん緩んできて、効果が出てきたときには、逆に事故が多くなるような傾向に反転するからです。

温暖化問題に対し、適当な対応をやってよくなると「これでいい」というので、人類が手を緩めてしまうということになりかねない。そういう意味において何らかのアナロジーになるが、大まかなモデルで、赤に対し黒を入れていくことで、「対応」とは言えますが、やや間接的な対応になるであろうと思います。

2) 次に、「ゲーム理論型管理思想」というのがあります。「ゲーム理論」のモデルでは、要するに人間と自然が「対抗的」にゲームをしている。自然は不動で、人間に対して荒々しき自然であり、人間と対抗する。いわば、人間と自然が仲よくお互いに人間が自然を慈しんだり、自然が人間に対して恩恵を与えるというものではない、まさに対抗的な概念です。

「協力ゲーム」もあります。自然と人間はさまざまな関係に入り得るが、その中には「協力」という関係もあり得るということで、協力ゲームという形でとらえる。これもゲーム理論的な管理思想です。哲学的で、工学的には役には立ちませんが、基本的なものの考え方、東洋の自然観という立場から考えますと、あるいは役に立つかもしれません。

3) は、いわば公害の時代の管理思想で、伝統的な帰納理論です。統計的な仮説検定で、自然の中で起こっているいろいろな現象に対して、因果関係を人間が測定して統計的に同定していく、「疫学的因果関係」とかつて言われたものがこれに相当します。自然の因果関係を探ろうというところはこれでいいんですけども、自然に対して何らかの意味において働きかけて、これを「管理する」、「行為をする」立場が、ここでは欠けているということです。

4) は「カルマン・フィルター型管理思想」です。「カルマン・フィルター」というのは、統計学、制御工学、経済学の方面で使われる動的な推論の考え方です。3)と同じようにシステムの状態に対して一定の推論をするが、3)と違うところは、システム自身は動いている、系が運動をしている——環境はそうだと思うんですけども——それを人間が統計的に観察して、その後をフォローする、この考え方が「カルマン・フィルター」です。

シミュレーションをやってみると、その結果は2つの図のようになる。点々がランダムに動くシステムです。これに対して、最初はねらいが大きく離れていますが、時間がたつに従って、ほぼ追従するようにシステムの変化状態をうまくとらえていくような観測モデルがここに出てきます。下の図の場合は、初期的な推定と真の状態にはひどい推定誤差があらわれていますけど、だんだん回を重ねるに従ってフィードバックが効いて、後には完全に系に追従するような観測をするようになる。これがカルマン・フィルターの観測モデルです。これも温暖化問題については、役に立つだろうと思います。

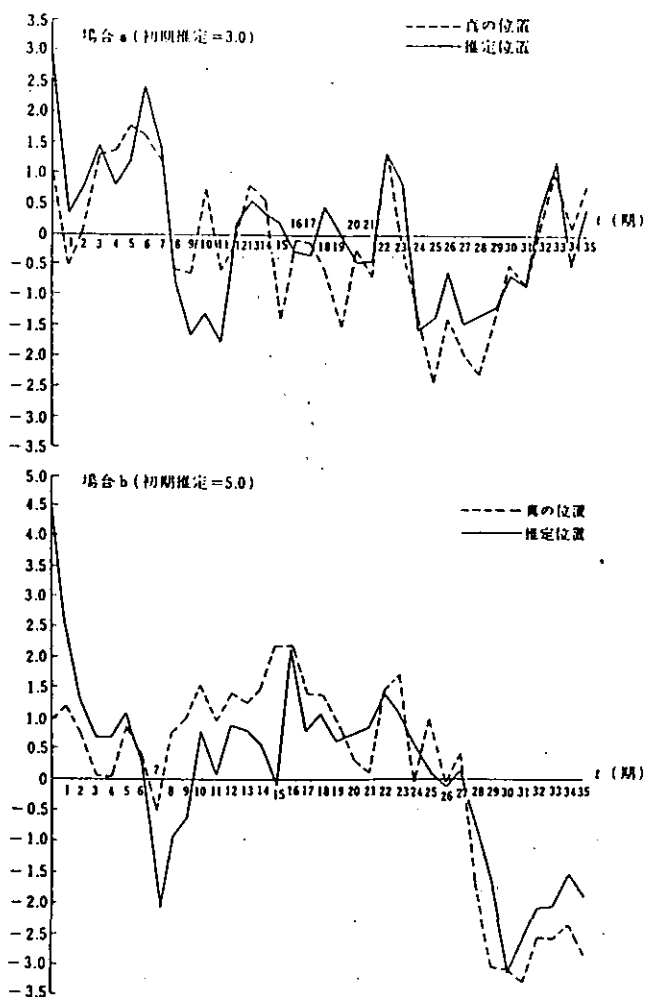


図1.1 カルマンフィルター

「カルマン・フィルター」という考え方に、さらに「制御」という考え方をつけ加えることもできます。そうしますと、典型的に人工衛星の観測のような問題になる。観測して、かつ人工衛星の軌道とか姿勢を制御するという問題が、「カルマン・フィルター型管理思想」です。「カルマン・フィルター」の問題は、地球環境がどのように動いているか、なるべく正確に追隨して観測しなさい、といっていますが、環境に対してこれを管理するという「管理行動」はこれには入っていません。これは観測モデルだけですから、管理行動をするにはカルマン・フィルターに「制御」という概念を入れればいわけです。カルマン・フィルターによる制御の問題は制御理論でしばしば行われております。

x というのは系の状態です。1個点がついているのは変化の状態です。この

$$\dot{x}(t) = A x(t)$$

という部分が系の運動方程式です。ここに制御 $u(t)$ を加えますと、通常の「カルマン制御」という問題になります。

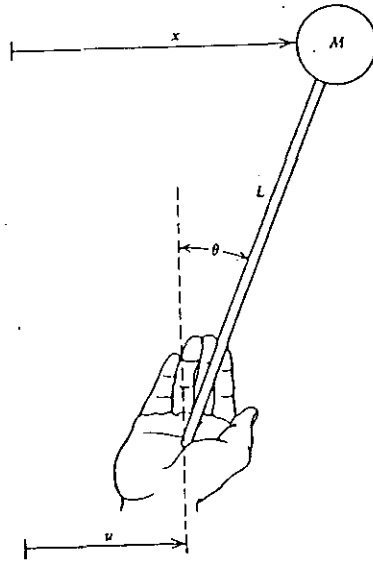


図1.2 棒たて

この図はある制御理論の本にある「棒たて」です。つまり、手の位置 u を動かすことが「制御」として考えられ、これによって M というおもりの位置 (x) と速度 (x の時間微分) を、位置はこの位置、速度はゼロにするという制御を考えます。ニュートンの運動方程式から若干の操作をやると、上のカルマン制御の方程式に当てはめることができます。「カルマン制御」の場合には、もともと制御ができるかどうか、可制御性を判定することがまず最初に重要です。できない場合もありますが、この場合はみてもわかるとおり当然できます。数学的にも、できるかできないかの判定基準があり、その判定基準を使いますと、制御できることが証明されます。

これと似たものに「皿回し」があります。ふつう、「皿回し」の場合はさおは1本しかありません。その上にさらにもう一本さおを立てて、2本つなげてその上におもりをつける。こうなりますと、明らかに制御は不可能になります。こういう目にみえるアナロジーを用いて、環境をなるべく一定の位置に、しかも余り変動のない状態で維持するには、我々が地球環境に対してどういう制御をすればいいのか、そういう制御があり得るかを考えてみればいい。これはもちろん余りにも単純なイメージですけれども、要するに、このアナロジーで地球問題を、粗く、同じ数学的形式に書ければ、地球環境は実は制御できるであろうとか、もしかしたら制御できない、ということになるのです。その客観的な基準は制御理論が与えております。ある系が思うとおり制御できるかできないかを判定する基準は、パラメーターからきちんと判定できます。

連続時間システムの可制御性：連続時間システムに対する完全可制御性の定義は、
離散時間システムの場合と全く同様である。

定義 システム

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

が完全可制御であるとは、 $x(0) = 0$ と任意に与えられた状態 x_1 に対して、有限時間 t_1 と区分的に連続な入力 $u(t)$ 、 $0 \leq t \leq t_1$ が存在して、 $x(t_1) = x_1$ となることである。

行列 A 、 B による完全可制御性の条件も離散時間の場合と同じであるが、証明はやや異なる。連続時間の場合、階数に関する条件を特定の入力関数に置き換えるためには、やや間接的な議論が要求される。しかしながら、後で示すように、条件の解釈は離散時間の場合と同じである。

定理 連続時間システムが完全可制御であるのは、可制御性行列

$$M = [B, AB, A^2B, \dots, A^{n-1}B]$$

が階数 n をもつ場合であり、そしてその場合に限る。

5) は「統計的決定理論」で、典型的には品質管理の問題です。これは生産している機械の状態と、それに対する認識を含んでいて、それから出てくるデータを統計的に観察して、それが不良品であるか良品であるかという判断をする。この際、不良品を良品と判断したり、あるいは良品を不良品と判断したりすれば、そこに損失が生じる。損失が少なくなるような判定方法を考える行動決定の問題です。不適切な管理をした場合には非常に大きな損失が生じる、という状況で、その意味を「適切に」管理するという問題に使えることになると思います。

4)、5)、6)に重要なのは、すべて「制御」や「行動」の要素が入っていること、環境システムに対して一定の働きかけをすることでそれが、今までの1、2、3とは違っている点です。

6) は「マルコフ決定過程型管理思想」というので、「高速道路の交通量管理」がその例です。全体の交通量自体はなかなか管理できないかもしれません。例えば料金所のゲートを幾つつくればいいのかという問題です。ゲートを幾つつくるかによって、そこで自動車の滞留現象が起こって、そこでコストが発生する。これを解消するために、ゲートをつくるのにコストがかかるということもあり、ここに経済的な概念が入ってくる。それに応じて、当然、ゲート近くの交通の状態が変化するという制御行為が逆にシステムの方へフィードバックされて、システム自体の状態に変化を来すという点が、このマルコフ決定過程の重要な面で、「マルコフ決定過程」の考え方は、地球の温暖化の問題に対して重要な応用を持つのではないかと、少なくとも考え方として重要であろうと思います。

7) は最近活発に議論される認知科学的発想に基づくものです。問題が呈示 (Framing) される仕組みによって、人間の行動は劇的に変化するものです。

最後に「環境はそんなにまでして守らなければならないのか」というかなり根本的な指摘がありました。これは果たして環境科学の問題であるか、については重要な論点があります。「環境は守るべきである」という前提で我々はやっているわけです。

もう一つ前に、「環境倫理」の問題がなくてはいけません。「環境倫理」の問題は、少なくとも重要な切り取り方をすることができます。それは、次世代と今世代とどちらが大切なのか、今世代が大切なのか、次世代が大切なのか、あるいは次世代も今世代も両方大切なのか、それとも今世代はこれでよい、次世代のために重要なものを守ってやらなくてはいけないかが、広く倫理学の問題になります。これは社会哲学者の課題であって、ベンサムとかロールスとかニーチェとかパレートとか、いわば社会学者、哲学者が言ったことを簡単な式に書くことができます。この式のもしどれかをとれば、ある倫理基準が採用されて、それにふさわしい政策を考えることができるのです。まとめてみましょう。

U_1 = 現世代の総効用、 U_2 = 次世代の総効用 (確率的)、 $E(\cdot)$ = 期待値、
 として、現世代の環境政策 x は

- a) Bentham的ルール $\text{Max}_x \{ U_1 + E(U_2) \}$
- b) Rawls的ルール $\text{Max}_x \text{Min} \{ U_1, E(U_2) \}$
- c) Nietzsche的ルール $\text{Max}_x \text{Max} \{ U_1, E(U_2) \}$
- d) Pareto 的ルール $\text{Max}_x \{ U_1 \mid E(U_2) \geq U_0 \}$

などで決定される。

最後の図は、プロットしてみたマウナロアのCO₂の濃度です。原系列移動平均をとってみますと、中心化8期移動平均で少しトレンドが出て、この移動平均の期数を少し長くし、12期移動平均にすると、確かにある一定速度で、この何年間かは上向きに行っていることがわかる。重要なのは傾きです。傾きが、先ほど申したカルマン制御の場合の速度に関係してくる。

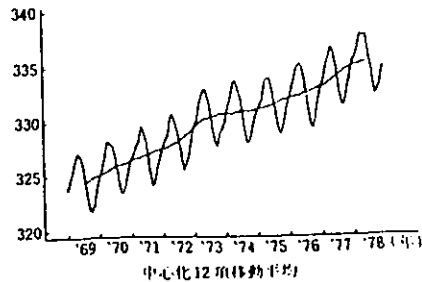
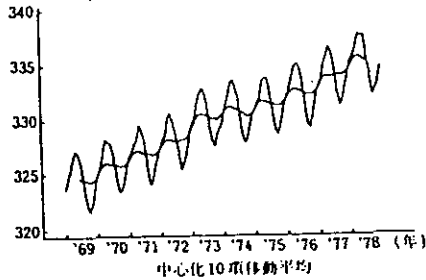
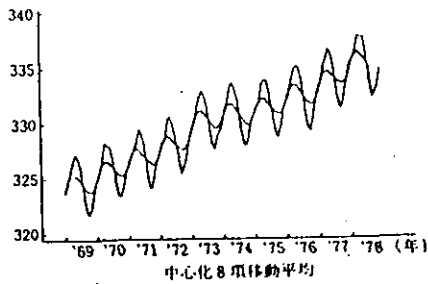
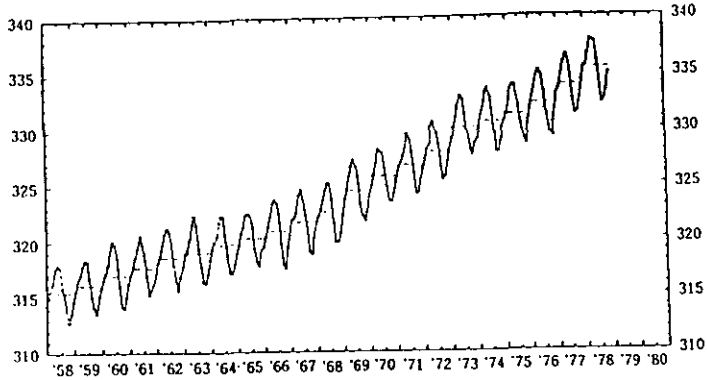


図1.3 CO₂の濃度(マウナロア山)の年時系列より

まとめましょう。(1)の「温暖化の予防には相当のコストがかかるのではないか」については、先ほど言いましたように、ある一定のシナリオを書いて、それに対して一定の決定基準を設けていけば、この問題はさらに詳しく論議できる。

(2)の「どこまで対策を打てば環境は守られるのか」というと、これは品質管理の理論に非常に似た対応がとられるだろうと思います。

(3)は「環境倫理」の問題です。世代間問題について、どのような倫理学を我々が選び出すのか。

(4)は、「どれぐらいの変化速度ならば環境に追従できるか」というのは、先ほどの「おもり」を制御する問題で、倒れる前に手をうまく出さないと、おもりほうが早く倒れます。モデルを環境問題に適用すれば、数学的には一定の共通部分がある。

(5)は、「環境に対してどのような適応策が打てるのか」というと、これは恐らく先ほどの高速道路の問題に似たような構造があるのではないかと。すなわち、非常に大まかに言うと、環境をそんなにドラスティックに変えることはできません。我々は「対応策」を打てるぐらいである。高速道路で流れていく自動車の台数自身は我々にはどうにもできないんですけれども、どのようにゲートをつくって、そこに人を配置して、どれぐらいの間隔でサービスをすればいいかという問題、これが1つの流れに適應するモデルであろうと思います。これは恐らく先ほど言いました「マルコフ決定型モデル」と共通部分がある。

私が不確実性下の意思決定問題を研究してきた立場から、温暖化問題に対して考えたアイディアは以上のとおりで、これがさらに温暖化問題に対して適用できるかという適用の問題、いろいろな定数を、パラメーターをどのようにするかという問題はありますが、ある場合にはそれがうまくいき、ある場合には使えないという問題ができてくる。それは今後の問題であろうと思います。

問：森田（公害研） 最後に挙げられたモデルを温暖化についてどう適用していくか、これから検討だとおっしゃいましたが、ヒントとして、7つぐらいのモデルのうち、先生が今お考えになってらっしゃる今後のモデル化の方針について、例えばこのモデルとこのモデルぐらいを組み合わせれば何とかいい方向にいくんじゃないかとか、これが適切だという見通しがおありでしたら、ちょっとご説明いただければと思います。

答：モデルを選択するときに重要なのは、モデル自身が非常に扱いやすいという点です。人間が基礎的な部分からやらなくてはいけない、余りにも時間もかかる問題ですから、その分野の専門家が、そのモデルについて蓄積を積んでいるという基準。いま一つは、アルゴリズムが明確にと定義されている、データがきちんとそろっている、それがわかりやすい、そういう基準を立ててみますと、先の「カルマン制御」のような動的管理モデルというのが1つのモデルである。これは地球温暖化のイメージにも当然合うわけです。それが第1です。

第2に、人間ができることは基本的にはわずかであるとする、グランドシステムである環境に対して、厳密には「管理」は、ある意味ではできないのです。「適応」という意味での管理ならできる。我々がそれに対していわば微調整を加える。高速道路でとうとうと車が来るのに対して、ゲートを幾つつくるか、その程度の管理はできる。その意味において、「マルコフ決定型モデル」が有効です。

第3には、地球環境はいかなる意味において守らなくてはいけないかという根拠づけをはっきりするという意味において、倫理的なモデルは重要である。この問題は社会的問題ですので、最後に「どうして地球環境を守らなくてはいけないか」ということになれば、要するに次世代と今世代とをどうするか、あるいはどのような形で議論できるか、という問題。これは倫理学的問題、あるいはメタ倫理の問題です。「このごろの若い者は」という言い方からは、「今世代」が一番しっかりしていて、「次世代」は何も守るに値しない、次世代のことは別に考えてやる必要はない、今世代のことを考えてやるのが責任ある立場だ、となればどうなるのでしょうか。先ほどのモデルになるとどれかになる、あるいは次世代のことも十分に考えてやる。いや、人類は1つだから、今世代も次世代も、幸福の足し算したものを最大にする、こういった考えがあるでしょう。

以上、3つであると思います。最初の2つはphysicalなモデル、最後の1つはsocialあるいはethicalなモデル、そんなふうを考えております。

2. パネルディスカッション

地球環境基準の設定の問題点

(司会：九州大学 井村 秀文)

2.1 「環境容量」はきめ得るか

国立公害研究所 内藤 正明

(1) 従来容量議論

環境容量は何か、地球環境問題に対してそれは同使えるかということ、環境基準との関連においてお話ししたいと思います。

地球環境問題と関連して、環境にある種の「容量」を設定できるかどうかという議論も一方では起こっております。環境容量という言葉は非常にアトラクティブで、従来からもいろいろなところで使われてきております。必ずしも環境分野限らず、それ以外にも大変広い場面で使われておまして、しかも、その定義がまちまちであります。というよりも、むしろ定義自身がはっきりしない、非常に抽象的な概念として使っているケースもあります。しかし、一時期、公害規制、特に総量規制ということを経験したときには、割と具体的な定義で規定しているという場合もあります。従来のものを整理してみると、環境容量という言葉は幾つかに分類される。

例えば、1つは汚染の浄化能というようなものを見積もって、これを環境容量としようという定義があります。もう一つ、非常に違うのは、環境の場を具体的に取り上げてきて、大気なら大気の物理的な広がりによって定義しようとするものです。これは容量という言葉のイメージによく合うということもあって、結構使われたことがあります。

しかし、もう少し広がりのある定義としては、生態系影響というものまで対象に考えた場合のその限界をもって容量としようとするものです。このあたりが、これからお話しする私の容量の定義にも関係することです。

公害時代の容量の定義として我々の分野で現実に使われたのは、先に言った総量規制をやるときの“許容排出総量”としてある地域から排ガスをどれくらい出してもよいかという、極めて具体的かつ操作性のあるものでした。

以上をざっと整理しますと表 2.1.1 のようになります。これを見ると今申し上げた環境分野以外にも、非常にいろいろな領域で定義されていることがわかります。

大きく分けると、自然だとか環境の領域、その中でも大気汚染とか水質汚染というタイプが1つあります。また一つは、自然公園みたいなものを対象にしたものです。さらに、そういう自然を

表 2.1.1 従来の各種「容量」概念の整理

対 象 例				
自然生態系			社会生態系	人間生態系
[タイプ 1] 大気汚染 水質汚染	[タイプ 2] 自然公園	[タイプ 3] 生態系	都 市	
(庄司, 1974) (環境文化研 究所, 1972)				
(菱田, 1974)	受入地域 容量 (環境庁自然 保護局, 1974)		影 響 圏 (駒井ほか, 1983)	標準間距
兵庫県河川 環境容量				
Resource bearing capacity (Bishop <i>et al.</i> , 1973)				
	(地域容量 Space capacity)		System constraint capacity (Bishop <i>et al.</i> , 1973)	
宮城県大気 汚染容量	宮城県グ リーンミニ ム容量	(村上, 1974 a, b) (Bishop <i>et al.</i> , 1973)		
長崎県水質 汚染容量	入込地域 容量			
大阪府(1973) 兵庫県 大気汚染容量		輸作容量 (自然環境容量調査懇談会, 1974)		
Social carrying capacity				

相手にした定義と違って、社会とか都市を相手にした定義もあります。例えば都市の“影響圏”であるとか、“System Constraint Capacity”というものです。さらにもう少し空間的に狭い定義で、人間の“心理空間”みたいなもの、猿や人間をどれぐらいのポピュレーションで詰め込んだら、そこで変なことが起こるかというような意味での容量です。

(2) 新たな容量概念

しかし、今回、我々は具体的には地球規模の環境破壊を対象にするわけですので、もう少し容量の概念を絞って定義してみたいということで描いたのが図 2.1.1です。タンクモデルのアナロジーで図化してみるとこういうことになるのかというものです。真ん中に社会活動があり、左に

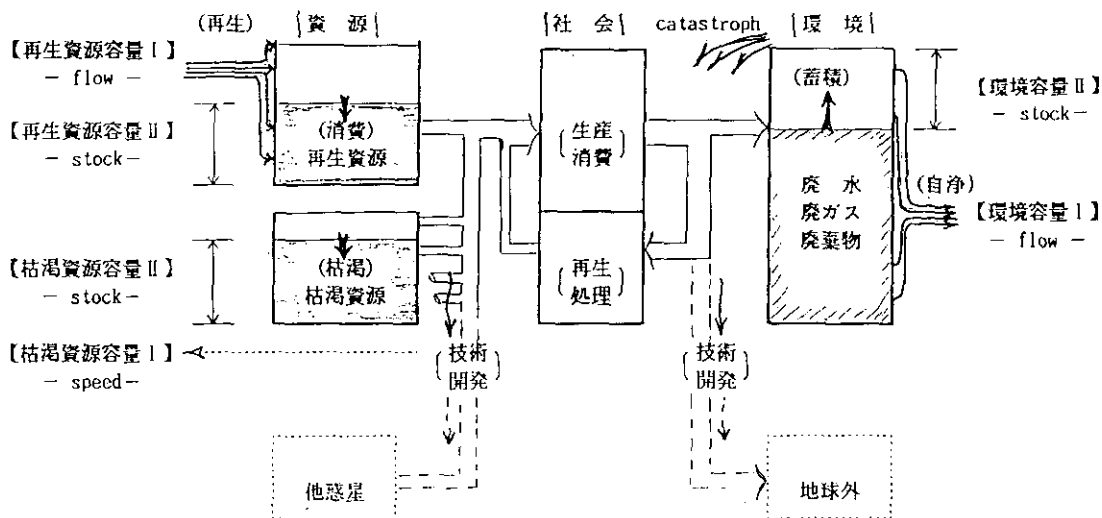


図 2.1.1. 「環境容量」及び「資源容量」の概念図

資源、右に環境があります。資源を収奪し、消費したあと環境に排出していくプロセスの中で、いろいろな問題が起こっているわけです。それに対して、一体我々は資源と環境の制約の下でどこまで活動が許されるかということのメジャーを、今回容量として定義したいというわけです。

よくイメージとして言われるのは、社会活動の結果、いろいろな排出物が出され、それが環境の中で蓄積していき、最後にはある種のカタストロフィーみたいなものが起こるだろう。そこに至るまでのその残存許容分が環境容量である、という“ストック的”な定義が1つあり得ます。直観的にはわかりやすいんですが、問題は、これがわかったとして一体我々はどうしたらいいかということには直ちにつながらない、という意味でこれは操作性がないということです。

もう一つは、サステナブルという考え方で言いますと、環境が持つ自浄能力をきちっと推定する。これは“フロー概念”になってきますけれども、これに見合うだけの排出が許されるのであるという意味での容量を決める。これはかなり操作性がある。ですから、ここではこれに近い概念を“環境容量”の定義として使いたいと思います。これはおとぎ話ですが、将来もし地球の外へ物が放り出せるようになれば、この浄化容量は極めて大きくなることを示しています。

これと全くアナログに考えたいというのが、こちらの資源のほうです。これも今の汚染浄化と対応がつかますが、資源の場合は、再生可能資源と枯渇資源の2つに分ける必要があります。再生可能資源については環境破壊と全く同じで、再生速度が自然に備わっている。これはフロー

量であります。これに対応するだけバランスよく利用すれば、それはサステナブルに使って
いけるということでもあります。

もう一つのストック概念として、あとこれだけ残ってるよというのも一種の容量と考えられま
すけれども、これはさっき申し上げたように操作性がない。これだけ残ってるのはわかったけれ
ども、一体どうしたらいいのかということに必ずしも直接結びついてこない。

もう一つは枯渇資源、これが非常に難しいのであります。枯渇資源に再生能力は基本的にはな
い。これをどう定義するか。歴史的に見れば、枯渇資源が枯渇しなかったというのは、あくまで
どんどん技術開発で新しい代替素材を開発してきたことと、資源を探索して新しい埋蔵量を見つ
けてきたからです。実はこの開発スピードがさっきの再生スピードに対応するというふうに定義
したい。これが人間の収奪にちょうどバランスをどっていってくれば、これがある意味で枯渇
資源に対するサステナビリティであるというふうにイメージするしかしようがない。将来、
技術開発によって、ほかの惑星から資源を取ってくるというようなことがあり得れば、“資源容
量”が増えていくことになります。

(3) 具体的な定義

さて、それでは、この定義を定式化するためにもう少し具体的に概念規定をすると、「環境系
というものの安定性を保持するための人為活動の限界強度」となります。ただし、これをもっと
明確に定義するためには、“環境系”、“人間活動”、“安定性”という3つのキーワードをき
ちっと定義しないといけない。先ほどの松原先生がお出しになったシステムの方程式にも安定問
題が出てきました。

まず「環境系」というのをどういうふうにとらえるかということですが、従来の例でお話しし
たとおりで、自然の生態系みたいなものをトータルに見たものがひとつ我々の対象になる。それ
以外に社会——つまり、情報と財で構成されるシステム——を取り上げた容量概念もあり得るわ
けですけれども、こういうものは対象にせず、ここでは、気圏、地圏、水圏、生物圏、人間も
含んだトータルな系を環境系と呼んでおきたいと思います。

「人間活動」というのは、具体的には次の3つのタイプすべてを包含したい。まず環境への
“負荷”、汚染排出みたいなものです。もう一つは環境から取り上げる、森林伐採とか漁獲とか
いう“収奪あるいは収穫”。もう一つは環境を“開発”して、人間が入り込んで利用するという
ものです。この大きな3つのタイプ全部を取り上げて、それらに対する容量を全く同じ形で定義
したいと考えました。

そのときに一番大事なのは、「安定性」の意味です。システムの安定性を保持するということ
にしていますけど、これにもいろいろな定義がありますが、ここでは少なくとも“有界入力に対

表 2.1.2 安定レベルの3段階

〔第1段階〕 系特性不変での安定（入出力フローのバランスによる）

多くの自然系は（物理、化学、生物過程に拘らず）ある限界までは damping effect を有する（例：吸着、吸収、反応、…）。これは “直結 negative feed-back” と同等の効果。

なお、浄化施設は damping effect の人為的補強。

〔第2段階〕 相変異の下での安定（パラメータが変化）

環境状態のある限度以上の変化によって、生物相が変化して、対応する。（例：アワヨトウ、ワタリバッタ）

〔第3段階〕 安定的変革の下での安定（パラメータと構造が変化）

さらにある限度を越えた新たな環境状態変化に対し、生態系は安定的変革という意味での進化によって対応する。これは極めて長期的変化なので、事前に予測することは困難。

遺伝子操作による新種の創出は、これに対応する人為的補強。

（外乱が強くなると第1→第3へと移り、安定を保とうとする。）

して出力がある有界の範囲を超えない”という定義をもって安定性としたい。それ以外にも、最近のガイア理論みたいな話になりますと、いろいろな外乱があっても、地球というガイアは極めて恒常性（ホメオスタシス）を持っているんだとか、レジリアンスでもう一遍復元するんだとか、いろいろな定義もあり得ると思うんですけども、ここではそういう難しいことは抜きにして、極めてオーソドックスな安定の定義をしておきます。ところが、環境系というシステムは物理系と違ってまた非常に難しく、安定の性質というのがいろいろあります。

一つは、系自身が全然変わらないで安定する。これは多くの物理系と同じだと思います。もう一つは、外的状況が変わってくると、生態系はみずから生物相を変えて安定していく。さらにもっと長時間では、進化によって外的変化に適応してやっぱり安定化（時には不安定化）する。

いずれの場合も環境系というものは、ネガティブ・フィードバックとよく言われる安定の要素が組み込まれている。これはガイア理論を持ち出すまでもなく一般にわかっていることで、吸着現象とか、反応現象とか、生物反応でも全部そうです。例えば汚染なんかが進めば進むほど反応が早くなって、浄化していこうという能力はある限度までは増えていくということです。これをダンピング・エフェクトと呼んでもいいし、ネガティブ・フィードバックと考えてもいいと思

ます。例えば、浄化施設なんかつけるということは、ダンピング・エフェクトを人為的に補強することになっているというわけで、これを式で書くと、(1)式となります。これを組み込んだシステムの挙動を表現する式は(2)式となります。さらに、 $\phi(t)$ が我々が環境に放り出す汚染物質の強度（時間当たりの量）で、系への入力になってくるといわけです。ダンピングエフェクトを

$$r = -k y \quad (1)$$

という一次速度（浄化）過程とすると、系の式は、

$$\dot{y} = \phi(t) - V \cdot k y \quad (2)$$

実は生態系をこれから対象にしようというわけですから、難しいのは——私は生物の門外漢ですが、例えばある種の生物は状況が変わると、さっき申し上げたように自分自身の相が変化して対応しようとする。これは(1)式で書くと、ダンピングの係数 k が複雑な状態量の関数になってくるといことであって、システムが非常に難しくなってきます。さらに言えば、進化みたいなことによって適応しようという安定的変革（何千年オーダーの安定性）もあり得るわけです。

非常に難しいのは、人為的な入力の限界を今決めようとするわけですが、そのときにも入力の入れ方にいろいろな工夫ができるわけです。例えば、適正立地をすれば、下手な立地するよりは沢山の人間活動が受け入れられる。つまり容量を増やすことができる。また時間的配分としても、輪作なんかが一例ですが、うまくやれば同じ環境利用全体でも量を高めることができるということです。いろいろな選択の余地が出てくる。そこをどこまで組み込むかによって定義は複雑になります。これらの入力の加え方について、時間的には「周期的」「瞬間的」などの形がありますが、ここでは一番代表的な「ステップ入力（一定量の負荷を絶えずかけ続ける）」ときの安定限界というものをまず、考えてみることにします。（図2.1.2）

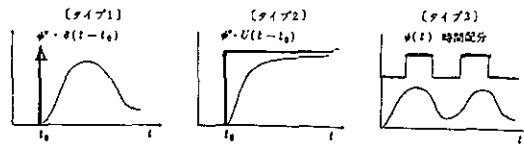


図 2.1.2 入力変動の代表的3パターン

そうなりますと、今の系の特性と入力特性の幾つか組み合わせが出てまいります。ここでは系特性として全然変わらないのと、相の変化をする場合と、構造そのものが変わる。これは先の進

化なんかのケースだと思います。また、空間特性として、地球全体を一様と考えて定義することもできます。それが地域的に分布があると考えると非常に難しくなる。今から次の3つの典型的な例をお見せしたいと思います。

タイプ1というのは最も単純な系で（ここではA a S系と定義（表 2.1.3））、系特性は時間と共に全然変わらず、1変数であるものです。この系に対して今ある許容上限値を我々が設定することができるとする。これが非常に大事なことです。例えば、今までの例で言えば、環境基準みたいなものがアプリアリに与えられることによって、(3)式によって容量が決まってきます。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y = (\max y) = \frac{\phi}{kV} \leq y^* \quad (3)$$

これが基準と容量の関係を数式上明確にするわけです。ここに先ほどのダンピング・エフェクトが入る一番単純な系を考えてみます。この方程式を解くと(4)式ようになります。

$$\text{容量: } \phi^* = y^* \times k \times v \quad (4)$$

[基準値] · [浄化係数] · [空間スケール]

絵でかいてみると（図 2.1.3）、環境というのがあって、人為的な負荷がかかってくる。それに対して自浄作用みたいなもので浄化するわけですが、負荷と浄化能のバランスによつてどこかに環境質のレベルが決まる。汚染でいえば汚染濃度であり、地球でいえばCO₂ レベルなどです。その場合 -ky はCO₂ の吸収、吸着、除去の自然の浄化能力の総体であります。

それに対して、ここにある種の限界(y*) が設定できるかどうか。この限界が設定できるとすれば、この出力はこういうふうに時間的に単調にこれに近づいていくわけですが、(3)式によってこの極限をとったところが(4)式になります。

これを見ますと、容量というのは“基準値、浄化係数、空間スケール”の3つの積で簡単に決まってくる。直観的にも大体納得いただけるんじゃないでしょうか。基準値をできるだけ高く設定すると容量は大きくなる。また、浄化係数が大きいと大きい。これは当然ですね。対象とする空間スケールが大きければよろしいというのも理解されます。この3つの単純な積で、一応、一番簡単なケースの容量は設定できるというわけです。

したがって、この3つのパラメータがこれから非常に大事になってくるわけですが、環境容量のほうについて、その内容は表 2.1.4に一覧にします。資源の側については、定義の内容は変わりますけれども、全くアナログカルです。

表 2.1.3 各種容量の定義と条件設定

タイプ	特性	系特性	入力特性	
			空間	時間
1. A a S型	不変 (A)	不変 (A)	一様 (a)	定常 (S)
2. A b S型	"	"	分布 (b)	"
3. B a S型	相変化 (B)	相変化 (B)	一様 (a)	"
4. C b N型	系変化 (C)	系変化 (C)	分布 (b)	非定常 (N)

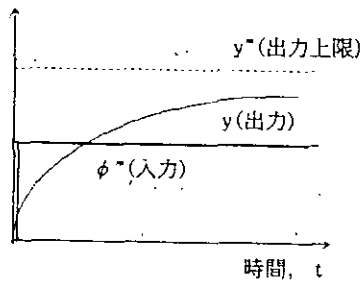


図2.1.3 1次系の応答と容量

表 2.1.4 「A a S型容量」の内容

対象	条件	k	V	ϕ^*
環境容量 I		自然浄化速度係数	浄化に関わる空間領域	汚染許容レベル
再生可資源容量 I		資源再生速度係数	再生に関わる空間領域	資源保全レベル
枯渇資源容量 I		新資源・素材開発速度係数	新資源・素材存在量	可採率

ということで、今のは一番単純なケースですが、地球を1つの玉じゃなくて、場所的な配分が操作可能であると考えますと難しくなってきました、どう配分するか。つまり、負荷のトータル量は一定でも、うまく地域的に配分することによって影響が少なくできるといたします。CO₂についてはそういうことはあり得ないと思いますけれども、海洋汚染や酸性雨などを対象にすれば、そういうことは十分可能なわけです。そういう地域の配分をすると、(2)式の方程式はさっきみたいに解けなくて、ある種の複雑な形で場所的な配分の関数式が容量の中に入ってくる。ここがみそであります。つまり、このことは、地域配分(次式のマトリクス)をうまくすれば容量(xのトータル)を増すということがあり得ることを示唆しているわけです。

$$\begin{pmatrix} y^1 \\ y^2 \\ \vdots \\ y^m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M^{11}, M^{12}, \dots, M^{1n} \\ \vdots \\ M^m \dots \dots \dots M^{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi^1 \\ \phi^2 \\ \vdots \\ \phi^n \end{pmatrix} \quad (5)$$

最後に、今回の一番難しいケースですが、系の特性が時間的に変わっていく場合、例えば生物相が変化するという例です。これをBAS型と名づけたんですが、つまりこういうことが起こり得るということです。浄化だとか反応の速度が状態の変化によって影響されて変わってくるという複雑な場合です。この一例として水中の自浄作用過程を考えてみます。

$$\begin{aligned} y_1 &= -k_1 y_1 + \phi(t) && \text{[BOD]} \\ y_2 &= k(y_2 - y_2^*) - k_1 y_1 && \text{[DO]} \end{aligned} \quad (6)$$

これは解析的には解けませんので図的に書きますと(図 2.1.4)、平衡点が2つあります。P₁が安定的な平衡点で、ここからずっと強引に人為的外力ですらして行って、P₂に到達した途端に発散してしまう。したがって、さっきの定義に従えば、2つの平衡点の距離に対応する部分が環境容量であるということになります。これもまた形式的には次の(7)式のようになります。

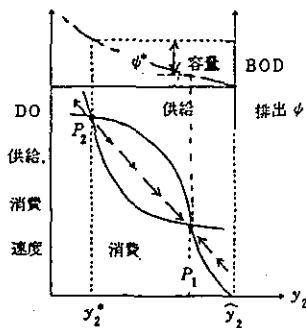


図 2.1.4 2つの平衡点をもつ系の容量

あるいは先ほど松原先生がご指摘になりましたように、次の世代の利益を保護するのかといったような、いろいろな価値判断がどうしても入る。そうでありますならば、なおのこと、私どもとしては目標を設定し、また、その目標設定自身を、裁判で争うかどうかは別としても、明示的に社会システムの中でわかるようにすべきである。その目標自体も争うことができるということであればさらにベストなのかもしれませんけれども、少なくともどういう価値基準のもとに、どういう考え方でその目標をつくったのか、あるいはそれがそれゆえどういう数字になったのかということをつまらなくにする必要があるのではないかと思うわけです。価値判断が入る以上、そういうことをしてほしいという気がしております。また、そういうことをすれば、例えば環境基準とかいうものは、行政実務上非常に便利なものになるのではないかと考えているわけです。

最後に申し上げたいのは、冒頭申し上げましたように、そういうもので目標があるとするならば、どんな要素といいますか、どんなことを考慮して環境上の目標を決めればいいのか。もっとお役所的な、権限争いのことで申し上げてみますと、どの官庁が環境政策の目標たる環境基準を決めるべきなんだろうかということでもあります。

フランスの環境省というのは日本と違いまして、大環境省といいますか、都市計画部局とか、公共事業の部局と一緒にあったこともありますし、独立して1つの環境省だったこともあるわけです。ちょっと話が余談にわたりますが、日本の環境庁の場合には、最初は公害対策本部みたいな、いわば調整だけをやる官庁として発足し、それを生んだのが環境庁だったんだと思いますけれども、フランスの場合には、現業まではやっていたんでしょうが、大きな現業をやっているのと、いわば環境部門だけ純粹培養した官庁とがくっついたり離れたたりしているのが現実であります。

それを比較して一体どこが違うのかと聞いてみたことがございます。1つの官庁ですと、確かにいろいろな政策手段を持っておりますから、政策の実行方という点ではいろいろなアイデアが出てくるんだろうと思います。ただ、どうしてある政策をとることになったのか。それは基準の設定、例えば環境基準みたいなものはフランスでは余り多くありません。日本では、例えば排出基準の設定なり何なりという具体的な政策をなぜとったか、どういう過程でどういう議論をしてそれを決めたのかということは外にはほとんど出ていかない。それに対してフランスの場合には、産業官庁と一緒にじゃなくて公共事業の官庁と一緒にですが、その公共事業の官庁と分かれた場合には議論が盛んになって、いわば民主的な決定に少しでも道を開くことができる。総体として見ると、2つの官庁であったほうがうまくいくような経験を持っている。これはたまたま私が聞いた人がそう言ったというだけで、全く普遍化はできませんけれども、そういうお答えがあったわけです。

それが正しいかどうかは別にして、幸いか不幸か知りませんが、日本の場合にはそういう経験がありませんので私としては比較ができませんが、これをつらつら考えてみますと、今みんなで議論しなきゃいけないのは、対策のために要する費用と、将来の世代が被害として背負うような費用といいますか、こういったものをどう評価するかということなんだろうと思いますけれども、

ということもありまして、場合によっては、その対策ができるかどうか、相対ずくのネゴシエーションだけに基礎を置いておきますと、政策目標が下がっていってしまうということすらあるわけです。

もうちょっと賢く見ますと、いわば環境を利用する人というのはいろいろいるわけで、いろいろな利用の仕方があるわけです。簡単に汚染物質の例をとってみますと、汚染を出す人が対策費用として負担する費用と、あるいは被害を受ける人が被害として負担する費用が最低になるというか、あるいはある工場が操業することによって得られる、被害なんかも差し引いた、あるいは公害対策費用なんかも差し引いた純便益が最大になるということを価値基準として行動することが、観念的にはできると思うんですけども、現実にはそんなことを個々の事業者が——それを国と言いかえていただいても結構だと思いますけれども——思うことはできないわけです。それはいろいろな理由があると思います。ここでそれを議論する時間もないと思いますが、いずれにいたしましても、個々の経済主体がなるべく経済合理的に考えて行動しようと思ったところで、社会的に見て一番いいような回答になってくるかということ、どうも怪しいと言わざるを得ないと思います。

そういうことで、いわばそういった問題を解くときの便宜と申しますか、1つのアプローチとして目標の設定は欠かせません。目標というのは、先ほどの内藤先生の定義で非常にクリアになったと思います。私ども行政実務的に見ますと、環境の利用の仕方は、経済資源として利用する、あるいはレクリエーションみたいなことで使うとか、いろいろあります。環境政策の目標は何も健康を守るだけではありませんから、そういったいろいろな環境利用を保証するというのと、それを保証するために、個々の社会の成員、あるいは経済主体が分担すべき努力の間をつなぐような、いろいろな目標のヒエラルキーみたいなものがあるんだろうと思います。そういう、いわば環境の状態から個々の、例えば工場にとっての排出基準、あるいはもっと細かく言えば、排出基準を満足するための、例えば煙突なら煙突、あるいは製造機械のいろいろなスペックだとか管理基準みたいなものがあると思いますが、そういう個別の経済主体が操作できることとのちょうど間にあるような、いろいろな目標が行政目標たり得るのではないかと考えております。

こういうことを設定することによりまして、実はそういう目標を達成するんだから、その役割分担はこうすべきなんだよということが、1つの工場主にとってみれば、だんだんと身近に迫ってくる感じがして、行政側から見れば説得がしやすい。

そういう意味で、行政実務的には目標がぜひとも必要だ。また、目標がないとなかなか行政の説得ができないということについては後で申し上げたいと思います。目標を立てるということは、先ほど松原先生が最後のほうに、いろいろな倫理システムと申しますか、違った倫理学の存在ということをご指摘になりましたけれども、やはりどうしても価値判断が入ります。さっき私が使った例で言えば、例えば工場の対策費用を重く見るのか、あるいは被害側の費用を重く見るのかといったようなことがあると思います。あるいはどんな環境利用を保護すべきだと思うのか、

2.2 地球環境保全政策における基準の意味

環境庁 小林 光

私は、行政実務の観点から環境基準とか環境目標があったほうがいいし、それをだれがつくったらいいか、どういうことを配慮してつくったらいいかということにつきまして、どちらかという経験則的にお話を申し上げたいと思います。

たまたま私は地方自治体に環境庁から出向して、現場で事業者の指導とか監督とか取り締まりをやっていたことがあります。そのときに経験したのは、環境政策について言うことを聞いていただくのが難しいということでもあります。それはどんな行政でもそうだろうと思いますが、どんな場合に政策が実行できないかということをいろいろ考えてみたところ、当時、十数通りぐらいのケースがありました。

例えば、変な話ですが、実は本当は問題がないのに問題があると主張すれば、問題がないわけです。この問題を解こうと思ってもなかなか解けないという極端なケースもあると思います。温暖化がそうだという人もいますし、そうじゃないという人もいますのかもしれませんが、そういった問題がある。

また、ややこしいのは、問題を起こした原因者が実はこの世の中にいない場合です。例えば休廃止鉱山がありますが、蓄積の汚染といいますが、その汚染物質を出した人はもうここにはいない。例えば工場の跡地みたいな場合、工場は倒産しちゃって承継している人がだれもいない、ところが汚染はあるという場合もなかなか解けないわけです。

一番多いのはどういうケースかという、関係者がすごく多い。いわば関係者の間の役割分担が、ある政策上の効果を達成するに当たっていろいろである。例えば、AさんとBさんが50円出してある目的を達成するというやり方もあれば、Aさんが20円でBさんが80円出す、そういういろいろな代替案があり得る場合には、当然、費用の帰着も全然違うということで、争いが起きるわけです。しかし、現実の環境問題は1つの工場がもたらすものではありませんので、当然ながらこういうケースがそれに当たるんだろうと思います。

よく説得に行きますと、要するに自分以外にも悪い人がいるじゃないか、何であいつを取り締まらないうだ、もっと悪いやつがいるじゃないかということをもっと盛んに言うわけです。大体そういう押し問答をしながら行政をしていくというのが現実なんだろうと思います。

それは小さな現場の実例ですけれども、温暖化の場合でも、例えばAさんとBさんをアメリカと日本にしてもいいですし、あるいは日本と中国にしてもいいわけですが、現実に私どもが日ごろ接している各国の主張は、せんじ詰めてみればそんなものではないかと思うわけです。

そうなりますとなかなか問題が解けないものですから、極端な話は、政策目標自身を引き下げて、みんなが何とか妥協する最低の義務だけで政策をやっているということになってしまうと

$$\text{容量: } \phi^* = \phi(y_2^*; k, k^{10}, \beta) \quad (7)$$

[基準値] [浄化係数]

こういう容量を求めれば一体何ができるかというわけですが、実はこの容量をそのまま使うのではなくて、これで残存量を割り算します。するとこれは時間の単位になります。

$$\tau_i = (y_i^p - y_i^x) / (\phi_i^p - \phi_i^x) \quad (8)$$

[残 存 量] [過利用速度]

つまり、これは“我々に残された時間は、環境質及び天然資源のそれぞれについてどれぐらいか”という、おおよその目安を与えるものになります。したがって、政策のプライオリティーを考える場合の一つのメジャーになるのではないかと思うわけです。まず最初に、この τ_1 について、我々は限界に突き当たってしまう。これをクリアすれば、次に τ_2 がクリティカルになってきますよ、こういうことに定量的な一応の目安を与えることに使えないかというのが、今回の一つの提案であります。

一般に言いますと、対策側の費用は過大評価されがちであるということが1つ特色なのかなと思っております。

例えば自動車排出ガス規制を最初にやろうとしたときなんかは、日本の自動車工場なんていうのはなくなっちゃう、GMやなんかにみんな占領されちゃうんだということがまことしやかに議論されたわけです。果たしてそうではなかったわけですが、ことほどさように対策費用というのは、特に政策が始まる前は過大に評価されがちである。実際に始めてみると下がってしまうこともあるわけです。政策が技術を決めている以上、こういうことは避けられないと思います。

対策の費用というのは、結局、工学的なシステムで、それをどうつくるかということですから、基本的にはお金で解決ができる、お金で勘定できるというものです。

また、さっき申し上げましたように、政策的にも減らすことができる、機械が普及すればだんだん下がっていくという特色がある費用なんだということが特色としてあると思います。

他方、被害側の費用というのは、残念ながら過小に評価されがちです。一体環境がどういう役割を果たしているかというのは、一般にはなかなか知られていない。また、費用の計算も、当然ながら、環境の利用というのは全部金銭換算するわけではありませんから、対策費用といいますか、技術的な費用と比べるとときには、どうも苦しい立場になるわけです。

また、先ほどは内藤先生から、生物相が変化して、あるいは種が進化することによって変わった環境に適応するという可能性もご披露されたわけですが、一般にはそういったことがないとすれば、非常に不可変的といいますか、そういった費用は、算定ができるかどうかは別としても、切り下げられる余地が余りないんだろうと思います。そうなりますと、そういった2種類の費用を、単純に同じ主体が分け隔てなく本当に算定ができるんだろうかと、環境行政をあげる私どもとしては率直に疑問に思うわけであります。私どもとしては、大変えこひいきというか、自画自賛、我田引水な結論になるかもしれませんが、環境部局におきまして、もっぱら環境利用をどう保証するかという観点でまず目標を立て、それについてチャレンジする側の対策を取り扱うところがチェックをするというか、文句があれば議論を挑むという構造が、こういった環境基準なり環境上の目標を定める上で大変いい解決ではないだろうかと思います。

きょうお話し申し上げましたことは全部経験則みたいな話で、必ずしも論駁不可能というものではございませんけれども、日ごろの実務でそのような経験を持っておりますことをご披露させていただきまして、今回のシンポジウムに若干でもお役に立てればと考えている次第でございます。

2.3 温暖化防止対策の見通し

エネルギー経済研究所 小川 芳樹

(1) 地球温暖化問題と南北問題

ふだんエネルギー経済研究所で、エネルギー問題を考えているエネルギーの専門家という立場から、エネルギー消費と地球温暖化の問題をどう考えていったらいいか、地球温暖化の問題を全体としてどういう認識を持ってとらえたらいいだろうかといったような観点について、参考になるような材料を幾つか提供させていただき、少し私見を述べさせていただきたいと思います。

まず、過去のエネルギー消費の中で地球温暖化問題を考えてときに、どんな点が問題になるだろうかということ整理してみたいと思います。必ずしも温室効果ガスの排出源について科学的知見はしっかりしてないんですけども、図 2.3.1の左部分では二酸化炭素とメタンと N_2O の濃度増大と温度上昇の関連を見て、化石燃料の燃焼が全体の中では57%のウエートを占めるということが出てきます。

図 2.3.1の右部分はEPAのレポートからの図ですが、いろいろな温室効果ガスの中で CO_2 が66%とか50%と、非常に大きなウエートを占めています。そういった意味で、化石燃料の燃焼による CO_2 排出が、地球温暖化問題の中ではかなり大きなウエートを持っていると認識する必要があります。

一応その認識を持った上で、図 2.3.2以降では、経済発展やエネルギー消費に伴って炭酸ガスの排出が過去どのように変化してきたかをまとめてあります。71年と87年を比較すると、世界計で年率 1.8%の増ですけども、その中で先進工業国の場合はわずかに年率 0.5%の増にとどまっています。それに比べてソ連、発展途上国は年率 3.3%の増ということで非常に大きな伸びを占めております。ソ連、発展途上国は71年に41%のシェアしかなかったんですけども、87年は53%と過半を占める位置にきています。グローバルな観点から地球温暖化防止ということを考えて、 CO_2 の排出に抑制をかけようとするのであれば、ソ連、発展途上国の存在をある程度規制の枠内に取り込まないと意味をなさないということ、はっきり認識する必要があります。

ただ、この点を認識しようと思うと、図 2.3.3に示すように、先進工業国と発展途上国の間の経済格差が非常に大きな問題となって出てきます。図 2.3.3は1人当たりGDPの変化を示しておりますが、発展途上国にとっては先進工業国以上に経済成長は不可欠で、それに伴うエネルギー消費の増大も避けられません。地球温暖化問題を本当に解決しようと考えたら、南北問題の解決をその前に迫られるようになるのではないかと、という点がまず指摘したい第1点です。

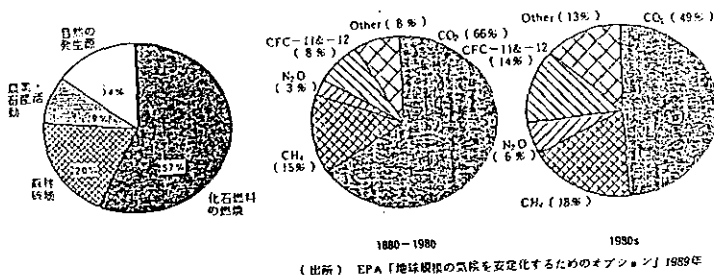


図2.3.1 温室効果と化石燃料および CO_2 排出の位置付け

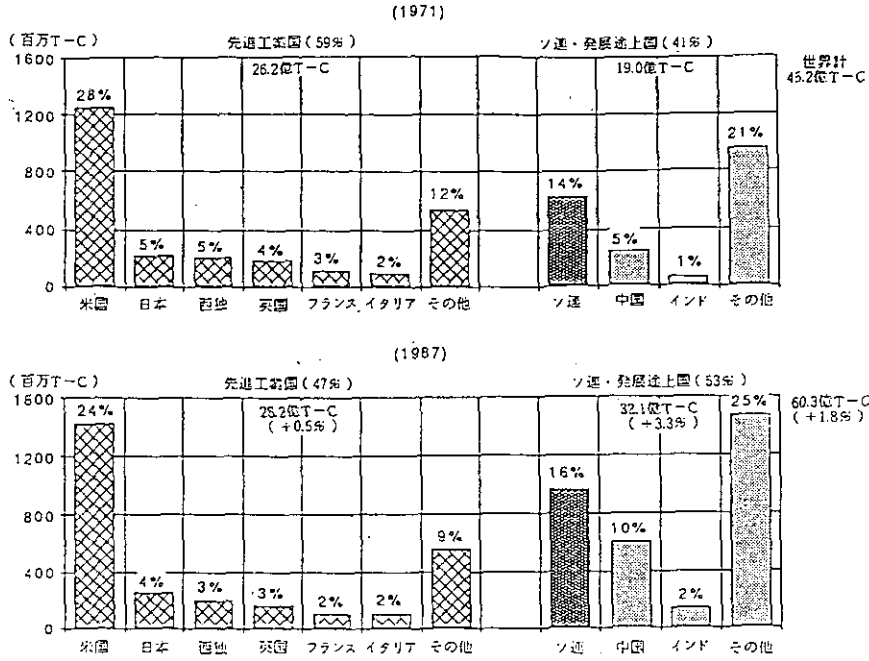


図2.3.2 先進工業国と発展途上国による炭酸ガス排出の増加

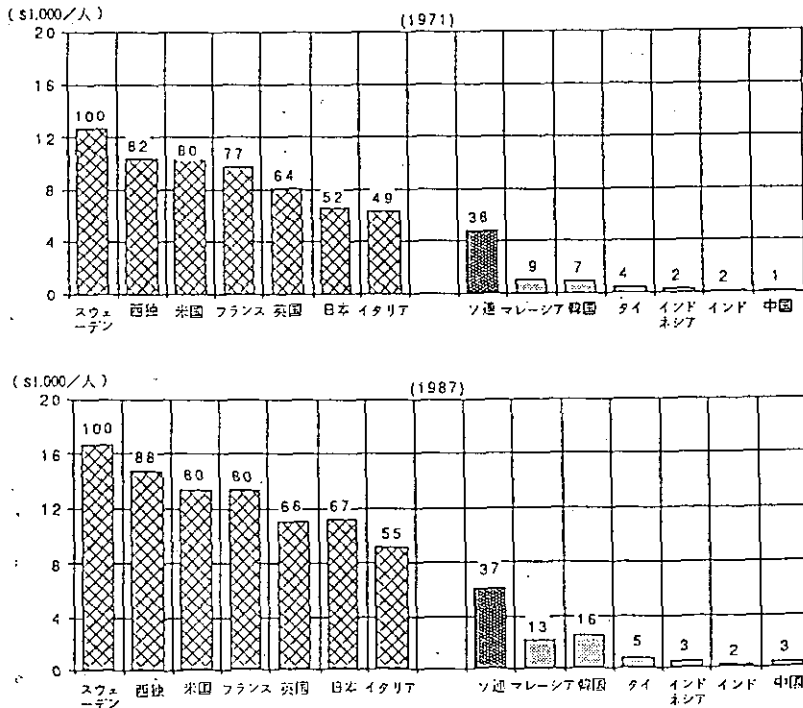


図2.3.3 1人当たりGDPの変化と経済水準の格差

(2) 過去のCO₂排出の要因分析

図 2.3.4では、過去のCO₂排出量が一体どんな要因で変化してきたのかを分析しております。CO₂排出量を式で表すと、

$$\underset{\text{C}}{\text{CO}_2\text{排出量}} = \left(\frac{\text{CO}_2\text{排出量}}{\text{エネルギー消費量}} \right) \cdot \left(\frac{\text{エネルギー消費量}}{\text{GDP}} \right) \cdot \left(\frac{\text{GDP}}{\text{人口}} \right) \cdot (\text{人口}) \quad (1)$$

のように、エネルギー消費当たりのCO₂排出量にGDP当たりのエネルギー消費量を掛け、1人当たりのGDPを掛けて、それで人口を掛けるという形で考えることができます。高次項を無視して、この式から変化要因をあらわす式を求めると、

$$\frac{dC}{C} = \frac{dU}{U} + \frac{dE}{E} + \frac{dG}{G} + \frac{dP}{P} \quad (2)$$

のような形になり、さらにそれを変形すると、

$$\underbrace{\frac{dC}{C}}_{\text{CO}_2\text{排出量の変化}} = \underbrace{\left(\frac{C}{U} \right) \cdot dU}_{\text{燃料転換要因}} + \underbrace{\left(\frac{C}{E} \right) \cdot dE}_{\text{エネルギー増減要因 (省エネルギー-要因)}} + \underbrace{\left(\frac{C}{G} \right) \cdot dG}_{\text{経済成長要因}} + \underbrace{\left(\frac{C}{P} \right) \cdot dP}_{\text{人口増加要因}} \quad (3)$$

のような形になります。エネルギー消費当たりのCO₂排出量の中には燃料転換の要因が当然反映して入ってきていますし、GDP当たりのエネルギー消費の中には、産業構造の変換等も含むマクロな省エネルギー——エネルギーの増減要因——が入ってきます。1人当たりGDPの中には経済成長の要因が入ってきますし、人口の変化の中には当然、人口増加要因が入ってきます。この4つの要因が、一体、過去のCO₂排出にどんな寄与の仕方をしてきたんだろうかというのが、図 2.3.4の中で先進工業国と発展途上国のいろいろな国について示してあります。

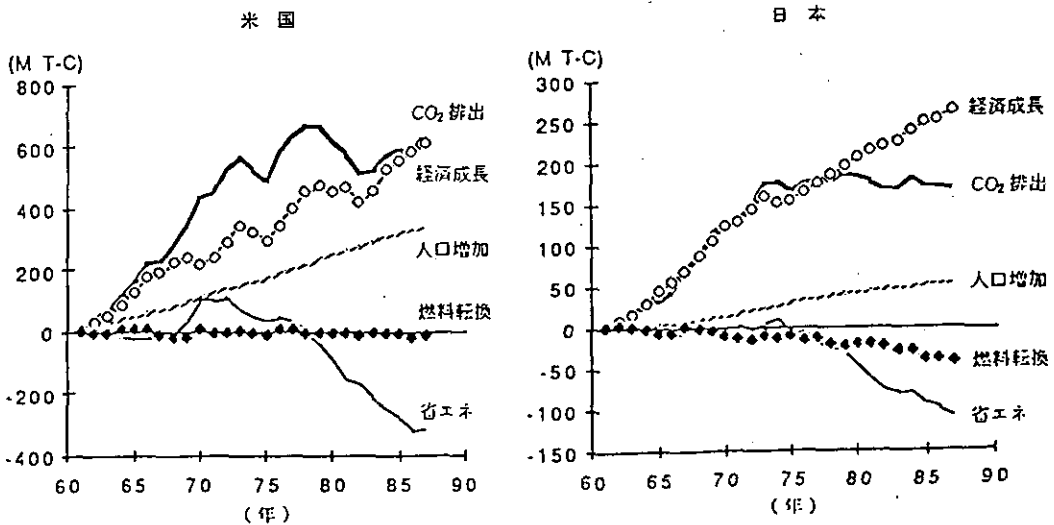


図2.3.4 CO₂排出量の要因変化

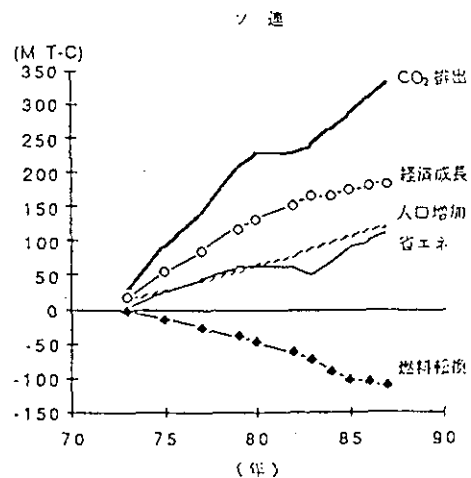
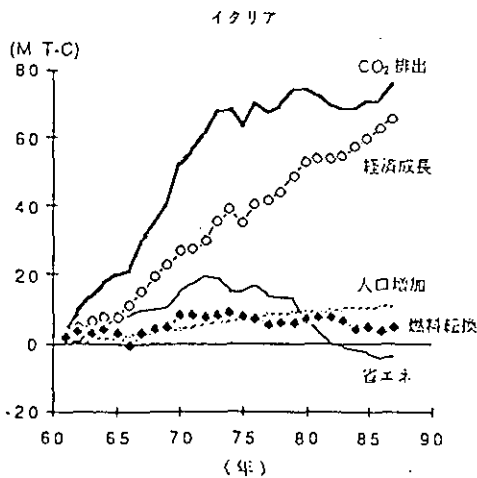
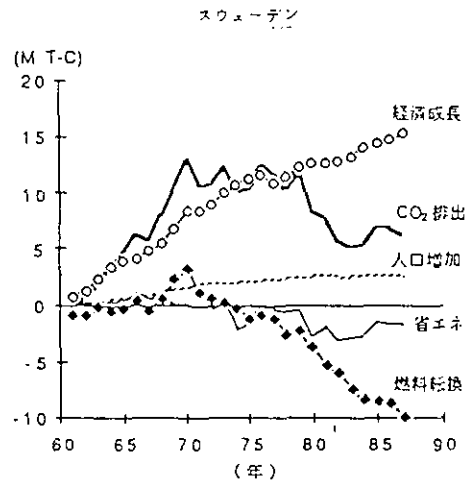
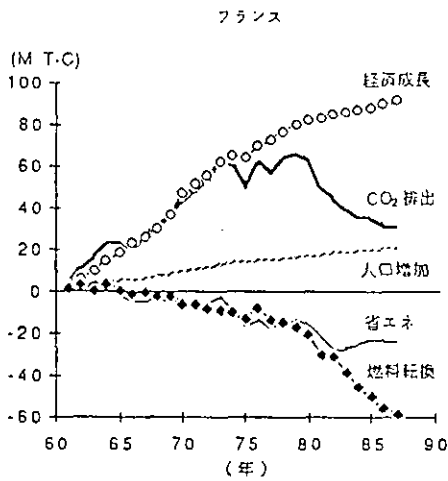
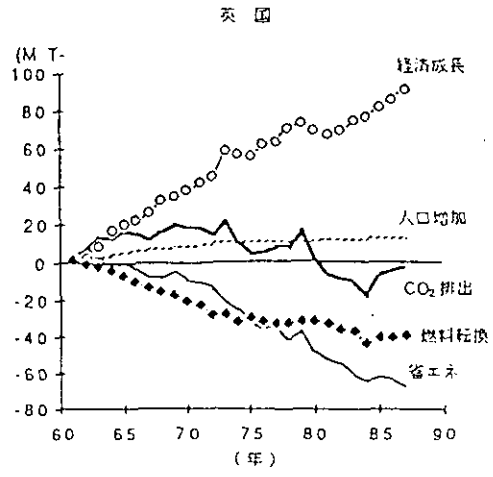
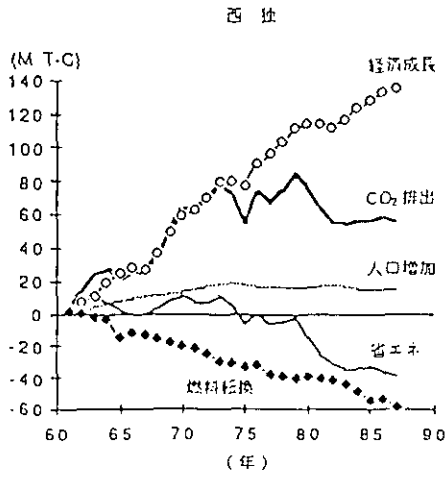


図2.3.4 CO₂ 排出量の要因変化

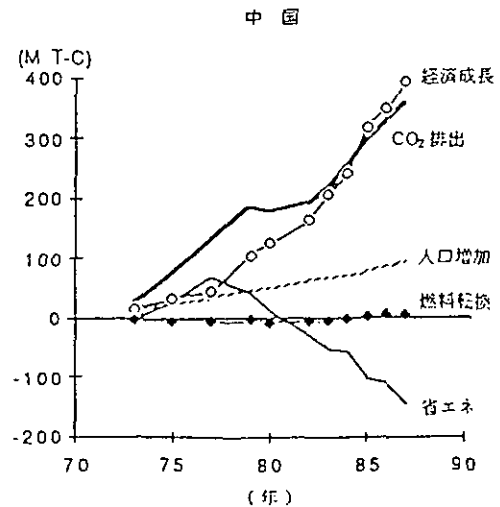
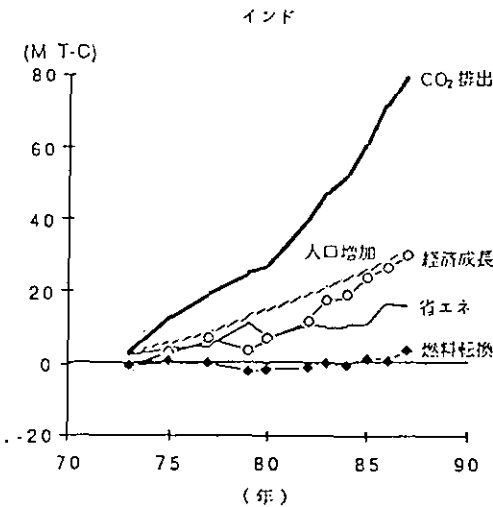
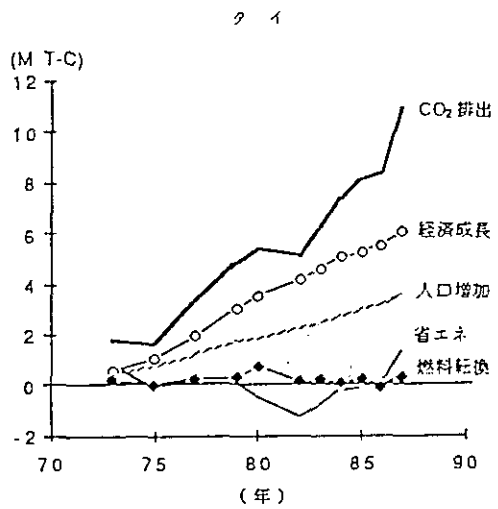
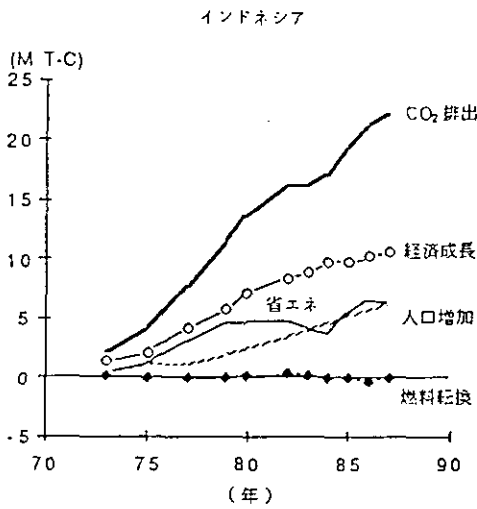
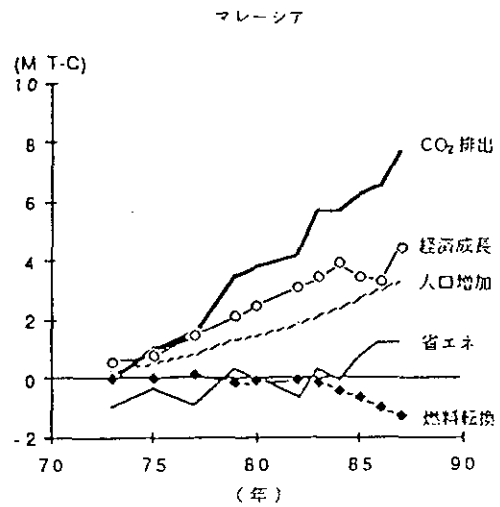
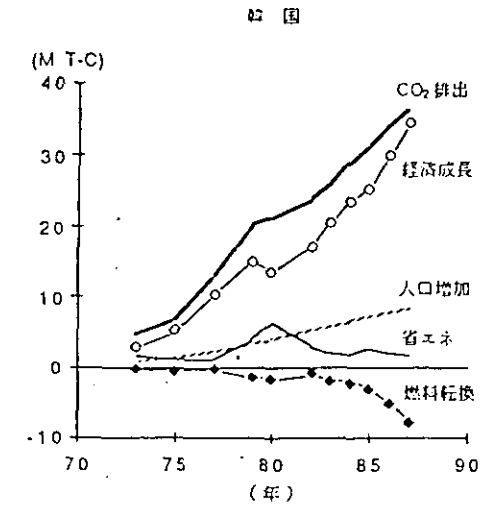


図2.3.4 CO₂ 排出量の要因変化

先進工業国では、省エネルギーと燃料転換が、特に第1次石油危機以降働いて、CO₂排出を全体として横ばいあるいは微増ぐらいに抑えてきたということです。米国、日本の場合は省エネルギーのほうが中心になっていますし、フランス、スウェーデンの場合は、原子力、水力の導入といった燃料転換が中心になっています。

イギリスの場合は、産業移転を含む産業構造の転換が60年代から進み、石炭から石油、天然ガスへの燃料転換も進んで、60年以降ほぼ横ばいから微減の方向でCO₂排出は抑えられています。これからの先進工業国におけるCO₂排出の抑制を考えると、産業移転を含む産業構造の転換がある程度寄与する可能性を持つのではないかと思います。

ソ連や発展途上国の場合、経済成長はもちろんCO₂増の方向で働いていますが、先進工業国とは異なって、エネルギーの増減要因もCO₂に関して増の方向で働いています。もう一つ、先進工業国と違うのは、人口増加率がかなり高くて、人口増加の要因によるCO₂排出の増加が大きいということです。

例えば、インドの場合は、経済成長よりも人口増加のほう大きい要因になっています。燃料転換が余りうまく進まないということも加わって、全体として70年以降、石油危機のさなかでも、CO₂排出はかなり大きな勢いで伸びています。そういった意味で、発展途上国の場合、人口抑制の問題が今後重要なキーの1つになると思います。

(3) 米国環境保護庁による温室効果ガスのシナリオ分析

将来に関してどんな見方ができるかということで、表 2.3.1に示すように、これまでにいろいろなシナリオ分析が行われています。図 2.3.5に示すように、2050年の1次エネルギー消費は、30億トンから 300億トンの範囲で見られています。年率マイナス1%からプラス2%ぐらいの幅の中で伸びを考えているということです。図 2.3.6に示すように、2050年のCO₂排出は10億トンから 250億トンぐらいの幅で見られております。これまでのいろいろな国際会議の中で、CO₂の抑制案として20%削減とか50%削減というのが提案されております。これらの提案も、ある程度下限値に近いんですけども、シナリオの中に入っております。

1989年2月にアメリカの環境保護庁（EPA）が、エネルギー需給だけでなく、森林伐採なども含めた総合的なシナリオ分析を出しています。このEPAのレポートの中では、気候安定化の政策を施さないで、ある程度自然体で進むケースとして非常に急変化してエネルギー消費が増大するケース（RCWケース）と、エネルギー消費が比較的ゆっくりと増大するケース（SCWケース）の2つを考えています。さらにその2つのケースに対して、気候安定化の政策を施したケースを考えています。SCWPケースとかRCWPケースとPのついているものが政策を施したケースです。

気候安定化政策を施すと、基本的にエネルギー消費の中で何がかわるかといいますと、図 2.3.7に示すように、1つは省エネルギーがある程度進んで、エネルギー消費が大分減になるという

表2.3.1 地球規模のエネルギー、CO₂ 排出シナリオ予想結果

シナリオ (発表年)	人口 (億人)	経済成長率 (% / 年)	1次エネルギー消費 (億TOE)	CO ₂ 排出量 (億T-C)	備考
1 I I A S A (1981)	80 (2030年)	2.0-3.4 (1980-2030年)	112-252 (2030年)	67-170 (2030年)	西欧だけでなく、東欧、途上国の研究者も参加した研究。
2 Lovins (1981)	80	2.4	32	10 >	省エネ、エネルギー効率内上、代替エネルギーによるCO ₂ 排出量の下限を評価。
3 W E C (1983)	77 (2020年)	2.5, 3.4 (1978-2020年)	133-174 (2020年)	100-144 (2020年)	種ごとの特性が反映されている。
4 Nordhaus & Yohe(1983)	-	-	70-770	50-260	人口、経済成長など入力を変え3段階にレベル分けし、100ケースをランダムサンプリング。
5 Edmond & Reilly(1983)	82	2.7	363	157-263	人口、労働生産性から、GNP、エネルギー需要を求め技術、資源制約の下にエネルギー、CO ₂ 排出評価。
6 N I T E L (1983)	82	2.7	115-280	27-150	幅広い未来が期待され、既存の技術により、大きなエネルギー効率向上が期待できる。
7 E P A (1983)	82	2.7	78-143	100-180	エネルギー、CO ₂ 濃度、温度の予測を結合させて、温暖化時期を予測。
8 Edmonds (1984)	-	-	120-440	68-474	7.に入力データを適正化して評価。
9 Edmonds (1985)	82	2.7	28-1060	68-474	入力データを確率関数で与え、恣意性を排除して、可能な未来の変化幅を評価。
10 Goldemberg (1985)	-	1-2	78 (2020年)	48 (2030年)	少ないエネルギー消費で、人口増加と経済成長が可能であることを検証。
11 W R I (1987)	97	2.2	63-260	27-210	CO ₂ 以外の温室効果ガスも考慮、CO ₂ 排出削減政策を検討。
12 E P A (1989)	108, 99	1.8, 3.1	103-199	44-149	エネルギーの供給、消費に加え、工業、農業、森林の効果も考慮した総合的評価。

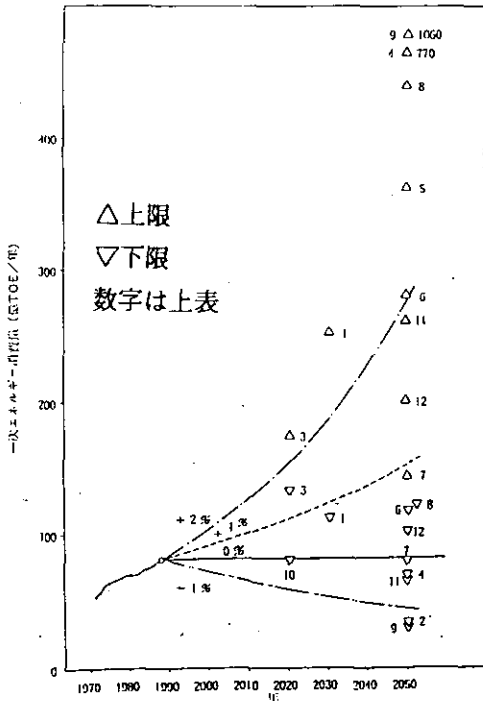


図2.3.5 シナリオ分析における1次エネルギー消費量の予測結果の範囲

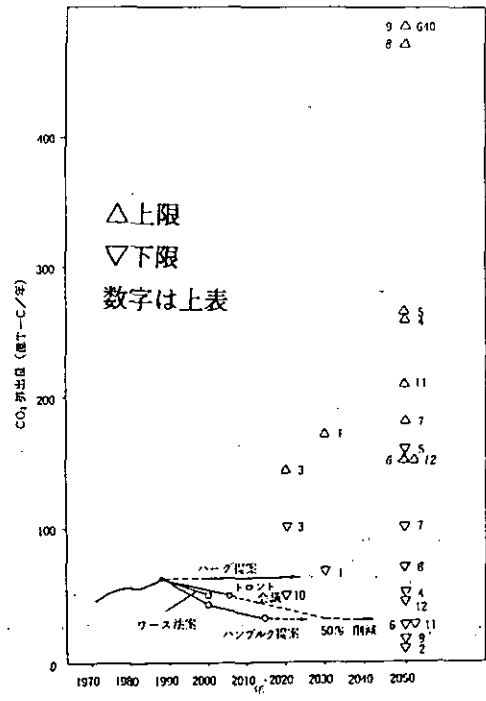


図2.3.6 シナリオ分析におけるCO₂ 排出量の予測結果の範囲

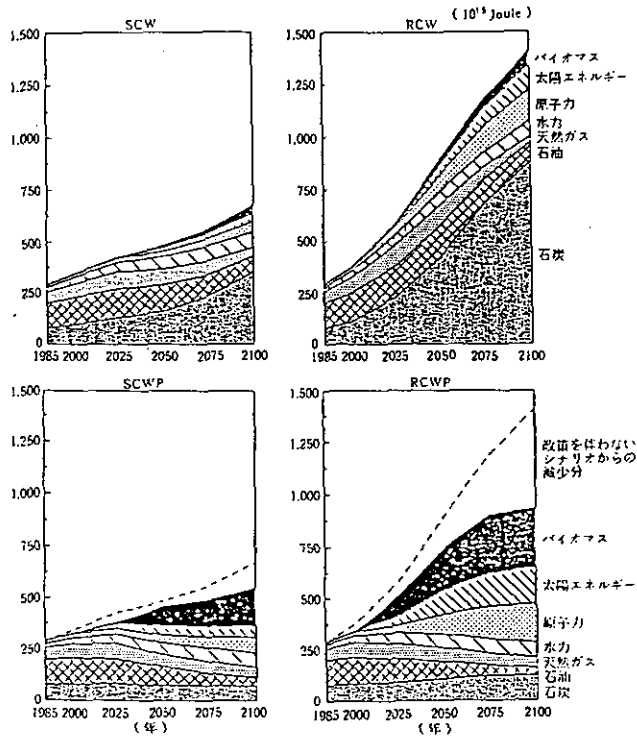


図2.3.7 1次エネルギー消費に関する予測結果（気候感度3℃の場合）

表2.3.2 2050年における温室効果ガス排出量と温暖化の予測

	SCW	SCWP	RCW	RCWP	RR**	目標**
排出量						
CO ₂ (億t-C/年)	99	42	116	51	30	35
N ₂ O (百万t-N/年)	13.7	10.6	14.0	10.8	10.8	10.8
CH ₄ (百万t/年)	740	534	880	567	567	567
CFC ₁₁ (百万t/年)	27.6	4.9	30.0	5.2	5.2	5.2
CFC ₁₂ (百万t/年)	40.5	6.2	48.4	8.4	8.4	8.4
CFC ₁₁₃ (百万t/年)	66.7	68.7	219.4	219.4	219.4	219.4
CFC ₁₁₃ (百万t/年)	14.0	1.4	19.0	2.5	2.5	2.5
平衡温暖化温度 (°C)	3.4	2.0	4.1	2.2	1.5	1.8
実現温暖化温度の変化速度 (°C/年)	0.026	0.012	0.032	0.014	0.007	0.01*
	(経済成長率1.8%)			(経済成長率3.1%)		

* フィルラッパ会議（1987年）、EPAレポート（1989年）で植生が耐えられる実現温暖化温度の変化速度として与えられている値。
 ** 「RR」と「目標」の場合、CO₂排出量以外は「RCWP」と同じと仮定。CO₂排出量は外挿で求めた値。

ことです。そのほかにバイオマス、太陽エネルギー、原子力がかなり増加して、その一方で石油、特に石炭が大幅に減少するという絵を描いております。

EPAのレポートの中での1つの重要な考え方が図 2.3.8に示されています。これは前の報告で話題に上った環境容量という話ともある程度関係してくると思いますが、EPAのレポートの場合は、地球温暖化はある程度は避けられないと考えた上で、ただし非常に急速な変化で進むと植生が耐えられない、植生が耐え得る範囲内に実現温暖化の変化速度を抑えていこうという考え方をとっております。

その目標値として $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ が与えられています。87年のフィルラッハの会議あたりからこういう考え方が出て、それがEPAのレポートまで受け継がれているようです。ただし、この目標値が本当に植生が耐えられない値なのかどうかは、これからの科学的検討でもう少し詰めていく必要があると思います。

実現温暖化の変化速度が、図 2.3.8に示すように、平衡温暖化温度と関連づけられて、この平衡温暖化温度のもとで、2050年における CO_2 や他の温室効果ガスの排出量が表 2.3.2のように決まってきます。

EPAの目標値に対する CO_2 の排出量は、35億トンです。現状の森林伐採も加えると、現状の CO_2 排出は64億トンとなります。したがって、35億トンは46%の減少に対応することになります。そういった意味で、トロント会議などで50%の削減が提案されていますが、単純やみくもにその数字が出てきているということではなくて、ある程度こういった考え方を背景にしているという認識を持つ必要があると思います。

EPAのレポートでは、大きく分けて6つの政策効果、政策オプションというものを考えて分析が行われております。急変化のシナリオ(RCWケース)では 4.1°C ぐらい温暖化温度が上がるということで予測されています。図 2.3.9には、それに対して安定化政策を施したとき(RCWPケース)に、白抜きでそれぞれのオプションの効果がどれぐらいの大ききで、全体として温暖化をどれぐらい抑えられるかまとめられています。さらに急速低減ということで、もっと強い安定化政策をとったとき(RRケース)、プラスアルファの効果がどんな大ききになるかも示されています。

急変化に安定化政策を施したときには、新エネルギーの導入、エネルギー効率の改善、森林の回復といった順で効いております。急速低減の場合には、エネルギー課税の効果が非常に大きく効いております。

(4) EPAレポートの政策オプションの検討

EPAのレポートの場合には、こういったオプションをとることに対するコストの分析は必ずしも明快になされていません。研究所の方で、かなり粗い推計ですが、一つ一つのオプションの評価を若干行ってみました。

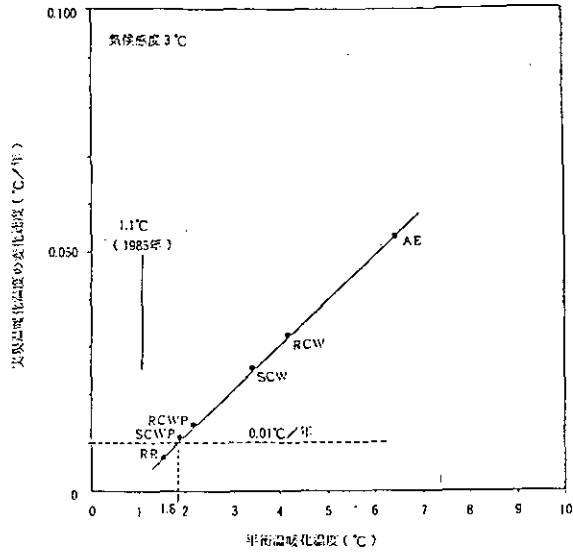


図2.3.8 実現温暖化温度の変化速度と平衡温暖化温度の関係

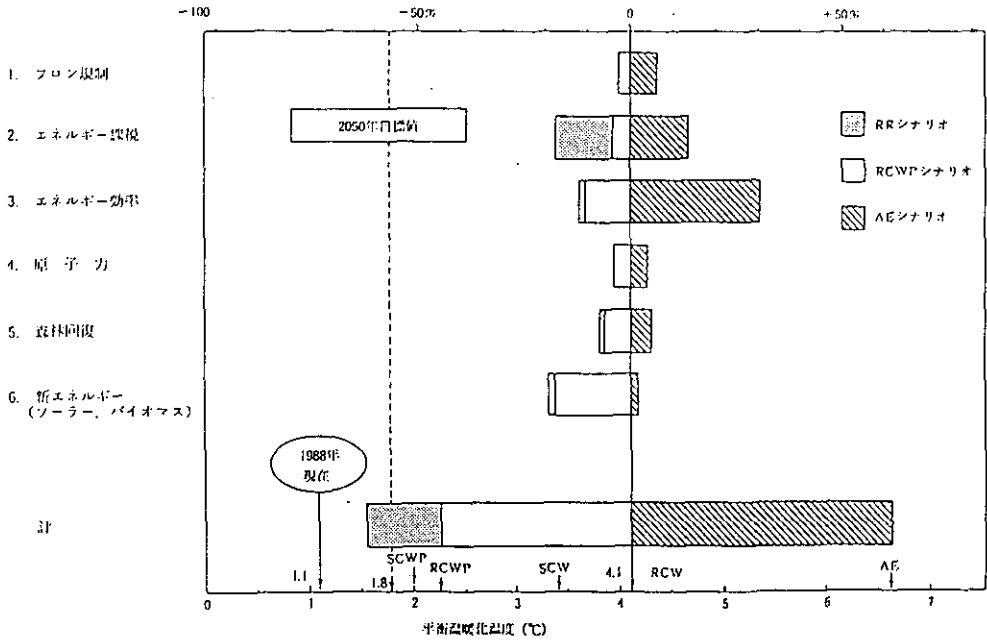


図2.3.9 2050年におけるRCWシナリオに対する政策効果

まずフロン規制に関しては、EPAのシナリオだと、安定化政策を施したとき、図2.3.10の左部分のような削減で考えられています。モントリオール議定書とかヘルシンキ宣言で考えていることは、これよりも速いテンポで進みますので、フロンに関するEPAのシナリオは達成可能と評価できます。

エネルギー効率の向上の場合、EPAのシナリオでは技術的な面での向上を考えています。価格上昇による省エネルギーは、むしろ課税の方に含まれていると思います。輸送、工業、民生といった部門で、2050年まで表2.3.3に示すような向上率が年率で考えられています。各部門の寄与率を考えて平均すると、それぞれRCWPで年率1.68%とか、RRで年率1.98%といった値になります。

2回の石油危機でエネルギー価格が高騰したときに、確かに省エネルギーは進みましたが、このような1.5%から2%近いエネルギー効率の改善を果たして今後60年も70年も続けていけるでしょうか。もし続けるとすれば、所要コストが合理的かどうか非常に難しい問題になると思います。

図2.3.11に示したエネルギーに対する課税を考えてみると、RCWPという安定化政策を施したケースでは、課税そのものの額は石炭については大分大きいのですが、エネルギーの価格関係を大きく変えてしまうほどには必ずしもかかっていません。図2.3.9に示したように、RCWPの場合は課税の効果は余り効いてません。ただし、急速低減のケースでは、石炭を10倍ぐらいの価格にするとか、石炭、石油、ガスの価格関係を完全に逆転させるといった設定が行われていますので、大きな効果が出ています。しかしながら、本当にこんなドラスティックな課税は可能なのかという問題が出てくるように思います。

課税というのは、対策資金の確保という点では1つの意味を持ちますが、どれぐらいの額が税収として入ってくるかという試算結果が、図2.3.11の横の表に出ています。RCWPケースで84.5億ドル。急速低減ケースでその100倍、8,795億ドルという数字になります。後で対策に要するコストの推計を示しますが、それとの比較の意味で、この数字は念頭に置いておいてください。

原子力の導入で賄われるエネルギー量を100万キロワット級の原子炉の基数に直すと、表2.3.4に示すように、1,542基という非常に大きな数になります。表2.3.5にありますように、アメリカの場合、運開までのリードタイムが長くなり、平均の資本コストも80年に入ってからかなり上昇しています。この傾向が続く可能性と、現状でも新設の計画がそんなに多くないという点を考えますと、1,542基の原子力の導入にはいろいろ困難が生じると思います。

次は森林の回復ということです。ブラジルとかインドネシアでは、表2.3.6に示すように、ある程度純排出の状況が見られます。このまま続くと、2050年ぐらいまでに森林が失われて、むしろ森林がなくなるがゆえにCO₂の純排出がなくなるという事態も起こるということを図2.3.12は示しています。

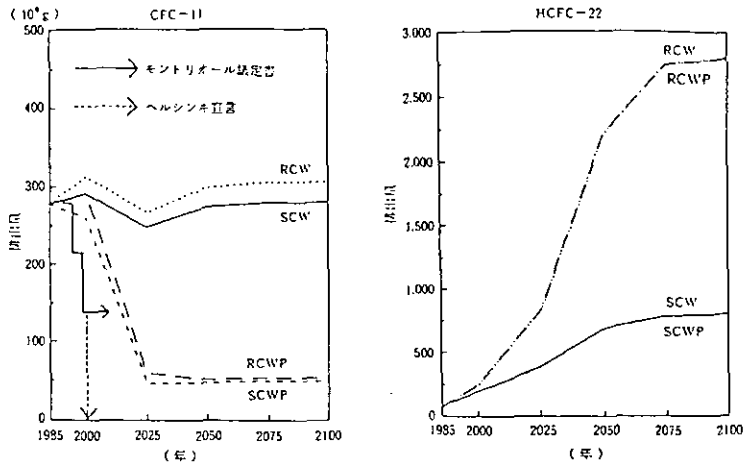


図2.3.10 フロンに関する予測結果と合意されたフロン規制

表2.3.3 シナリオで見込まれている効率の向上

	温暖化係数(%)	エネルギー効率向上(1985-2050年)(%/年)			
		RCW	RCWP	RR	AE
輸送 (燃費)	20	0.87 (26.5mpg)	1.84 (50mpg)	2.88 (100mpg)	0.0 (15mpg)*
工業	22	1.5	1.6	1.6	0.75
民生	15	1.5	1.6	1.7	0.75
平均		1.18	1.68	1.98	0.44

* 1986年全米平均の値。

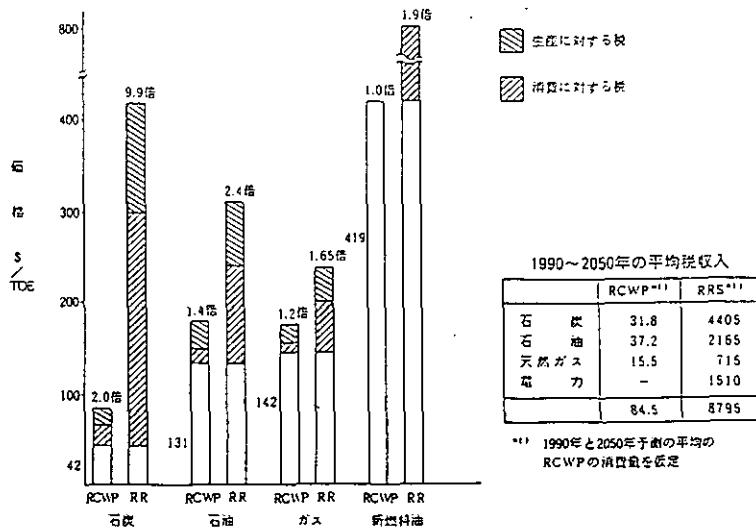


図2.3.11 RCWPシナリオとRRシナリオにおけるエネルギー課税の大きさ

表2.3.4 2050年の原子力エネルギーの予測と原子炉の基数(100万kW規模)

	1983年	2050年 **)			
		SCW	SCWP	RCW	RCWP
エネルギー量 (GTOE)	4.4	6.3	8.3	16.5	20.6
原子炉基数	420**)	467	615	1223	1542
設備コスト**) (億\$)	-	18840	24810	49350	62220
年間投資額**) (億\$/年)	-	314	414	823	1037

- ・1) 稼働中 420基 (32.6万MW)
建設中 118 (10.1万MW) (626基)
計画 86 (9.1万MW)
- ・2) 設備能力は、100万kW/基とし、火力の燃費率38.5%、原子力と火力の稼働率の比を0.74として、基数を計算
- ・3) 設備コストは、新設又は全面更新とし、1986年の2693\$/kW (26.9億\$/基)とした。原子炉の寿命を40年とし、1990~2050年の60年の総コストを
(2050年の必要基数) × $\frac{60}{40}$ × 26.9億\$/基で計算した。
- ・4) 60年で直線平均

表2.3.5 原子力建設のリードタイムと資本コスト

送給開始年	1971-74	1975-76	1977-80	1981-84	1986
送給までのリード・タイム(年)	6.8	8.7	9.8	13.1	14.4
平均資本コスト (\$/kW)	388	564	670	1,644	2,593

表2.3.6 熱帯林の破壊によるCO₂の純排出 (1980年)

国名	ブラジル	インドネシア	コロンビア	象牙海岸	タイ	ラオス	ナイジェリア	フィリピン	ビルマ	ミャンマー	その他	合計
純排出量 (10 ¹² g-C)	336	192	123	101	95	85	60	57	51	45	516	1,661
構成比 (%)	20.2	11.6	7.4	6.1	5.7	5.1	3.6	3.4	3.1	2.7	31.1	100.0

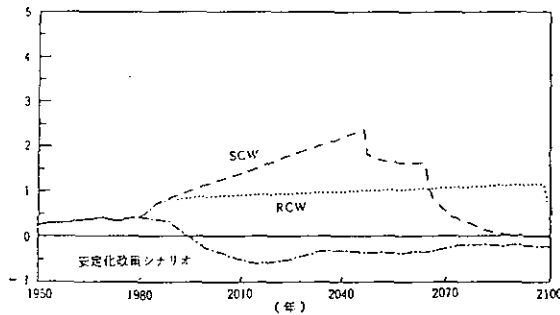


図2.3.12 森林破壊によるCO₂排出の予測結果

表2.3.7 森林をCO₂吸収源に変える計画(RCWP)の内容、植林、コスト

1980年代	RCWPの計画			
	内容	期間	総面積 (10 ⁴ ha)	コスト*) (億\$)
森林伐採 1) × 10 ⁴ ha/年	・2025年にゼロ ・2020年から、木材プランテーションから1~5 × 10 ⁴ ha/年収穫			
植林 1) × 10 ⁴ ha/年	・85%の焼畑農地を定住型に代替し、 植林 14.6 × 10 ⁴ ha/年	1990-2015	365	1460
	・南米の設置された草原 10 × 10 ⁴ ha/年	1990-2000	100	400
	・アジアの草原 5 × 10 ⁴ ha/年	1990-2010	100	400
	・アフリカのナバシナ 5 × 10 ⁴ ha/年	1990-2050	300	1200
4億t-C/年の 排出源	・木材プランテーション (40年伐期) 1~5 × 10 ⁴ ha/年	1980-2100	320	1280
	・3~7億t-C/年の吸収源	1980-2100	1185	4740

・) 400Sha

このような森林の荒廃に対してEPAのレポートでは、表 2.3.7に示すように、植林を考えて純吸収へ導こうという考え方をとっています。EPAのレポートでは、新エネルギーの導入の中でバイオマスエネルギーも考えていますが、もしこれを植林で考えると、表 2.3.8に示すように、植林に必要な面積は23億 8,000万ヘクタールぐらいになります。植林コストを 400ドル/ヘクタールと置くと、年間の所要コストは 238億ドルとなります。コスト的には原子力に比べれば大分低いのですが、世界全体で見渡したときに、23億 8,000万ヘクタール、あるいは表 2.3.8の11億 8,500万ヘクタールという植林が必要となります。この面積を本当に確保できるのかどうかという問題が出てくると思います。

表 2.3.9は太陽光発電の場合をまとめてありますが、このソーラーエネルギーに必要な太陽光発電の年間投資費用を求めると、634億ドルぐらいが粗い推計で出てきます。ただし、2050年の話ですので、太陽電池のコストはアメリカが開発の目標にしているワット当たり1.40ドルを達成し、耐用年数も30年という非常に長いものになっているという前提で計算した結果です。現状はまだ7から10ドル/ワットぐらいの位置にありますので、本当にこのコストが達成できるか、あるいは耐用年数は本当に大丈夫なのかといった点で問題が出てくると思います。これまで述べてきたように、EPAのレポートで考えているオプションは、実際に実施することを考えると、いろいろな点で難しい面があるということを確認する必要があると思います。

表2.3.8 バイオマスエネルギーの2050年の予測値を実現するために必要な土地面積と植林コスト

	SCW	SCWP	RCW	RCWP
バイオマスエネルギー (GTOE)	4.2	22.8	10.3	47.6
植 林 面 積 ^{**} (10 ⁸ ha)	210	1140	515	2380
コ ス ト 総 額 ^{**} (億 \$)	840	4560	2060	9520
植 林 面 積 ^{**} (10 ⁸ ha/年)	5.3	28.5	12.9	59.5
植 林 コ ス ト (億 \$/年)	21.2	114.0	51.6	238.0

- ・ 1) 木材 4500Kcal/kg, C=52%, 9.6t/ha・年, 効率50%とした。
- ・ 2) 400 \$/ha ・ 3) 木材の寿命を40年

表2.3.9 太陽光発電2050年の予測値を実現するために必要な土地面積と設備コスト

	SCW	SCWP	RCW	RCWP
ソーラーエネルギー (GTOE)	2.0	8.4	8.3	24.8
太陽光発電 ^{**} (GW)	1.1	4.5	4.5	13.6
所 要 土 地 面 積 ^{**} (10 ⁸ ha)	2.7	11.0	11.0	33.0
総 設 備 コ ス ト ^{**} (億ドル)	3,080	12,600	12,600	38,000
年 間 投 資 費 用 ^{**} (億ドル/年)	51.2	210	210	634

- ・ 1) 火力発電の効率 38.5%
太陽光発電システムの稼働率を火力と同じと仮定
- ・ 2) 全日日照量 月平均 120 kWh/m²・月
太陽電池パネル総合変換効率 5%
パネル面積 50%
- ・ 3) 1.40\$/W, 耐用年数30年 ・ 4) 60年(1990-2050年)で単純平均

(5) 地球温暖化に対する総合的な対応策の必要性

EPAのレポートでもう一つ重要な観点は、排出加速化シナリオ（AEシナリオ）によって、もし急変化シナリオ（RCWシナリオ）で考えているよりもっと事態が悪化する場合、温暖化にどのような影響が出てくるかを分析している点です。AEシナリオの場合は、図 2.3.9に示したように、エネルギー効率の改善が進まないということが大きな要因となって温暖化が悪化するという像がまとめられています。

そういった観点から現在の状況を考えますと、72年にローマクラブの成長の限界とか、国連人間環境会議が開かれて、そのときに環境問題は非常にクローズアップされました。その後、石油危機が起こって、ある程度経済も停滞するし、エネルギー面でも省エネルギーなどが進んで、ある意味で環境問題に対する関心は一部それるといって経過をたどってきたわけです。しかし、実際には科学的な知見の探求や地球環境問題の認識の面で脈々とした流れが続いてきています。

86年に原油価格の低落があって、その後、エネルギー需要の増大成長が急速に進み始めています。現在はむしろそういったものが定着しそうな勢いを示しています。ですから、この問題そのものが起こるべくして起こってきた問題という認識を持つ必要があると思いますし、かなり対策は難しいとしても、積極的に取り組んでいくという姿勢を持つ必要があると思います。

最後に、地球温暖化対策ということで考えますと、表2.3.10に示すように、1つは防止対策として、これまでに述べた燃料転換とか省エネルギーがその中に1つの項目として入ってきます。

もう一つ、防止対策という意味ではCO₂の固定化処理技術の開発が挙げられます。しかし、CO₂固定化の場合、確かに固定化する技術は既に確立したものがありますが、固定化したものをどこへ捨てるかとかどこへ永久的に閉じ込めるかということを見ると、壁にぶつかってしまうという状態にあります。人工光合成のようなものもアイデアとしては出ていますが、確かにこれができるんだという用途は、必ずしも現段階では立っていません。このように、防止対策にはなかなか難しい面があるということ認識する必要があると思います。

その一方で、もう一つの可能性として適応対策があります。地球が温暖化したときに海面上昇とか穀物生産に影響が出てくると言われていますが、こうした変化にある程度適応しながら対策を打っていくという考え方です。灌漑とか護岸とか、農地、農業改良、品種改良といった方向性が考えられます。

ただ、この適応対策の実施を考えた場合、社会的影響とか、生態系への影響の研究が必ずしもまだ十分に進められていないという点が問題となります。有効な適応対策がとれるように、いろいろな分野の研究者の英知を集めて、こういった問題に対する対策のベースになるように科学的な研究を進めていくことが必要です。

科学的知見ということに関しても、なかなか不確定な要素が多いため、まだ対策をとるのは早いといったように後ろ向きの姿勢となりがちですが、むしろ着実な対策を打っていくために科学的解明を行うという考え方が必要であると思います。

表2.3.10 地球温暖化に対する対策

(1) 防止対策	
①CO ₂ 排出量抑制低減技術の開発	
燃料転換	軽炭化水素燃料指向 水素、原子力、自然エネルギー利用
省エネルギー	コージェネレーション等エネルギーの総合利用 トータルエネルギーシステムへの転換
エネルギー転換効率向上	熱機関の高温化、複合発電
②CO ₂ 固定化処理技術の開発	
CO ₂ 分離貯蔵	分離コストおよび貯蔵場所
CO ₂ 海水吸収処理	酸性化による海洋生態系変化 排ガスの高圧化
③植物によるCO ₂ 固定化技術の開発	
木炭化後地中貯蔵	植林、木炭製造、構内埋め戻しの合理化
バイオマス・エネルギー	植林、バイオマス・エネルギー化、再生
(2) 適応対策	
①環境適応技術の開発	
地球の生態変化に対する 生物の適応	乾燥した地球での植物確保 海洋資源の利用
②気候変動の間接的な影響への適応技術の開発	
海面上昇、降水量の変化	治水、灌漑、護岸
穀物生産の変化に対する適応	農地、農業改良、品種改良 食糧資源

地球温暖化の問題は、単にどれか1つが非常に有効な決め手になって、それで解決できるという種類の問題ではありません。いろいろな選択肢の可能性をうまく組み合わせ、全体として解決していかなければなりません。

幸いと、ここ10年ぐらいの範囲で何か大きな影響が出てくるという問題ではなくて、むしろもう少し長いスパンで対応を考えていけます。ですから、今はむしろできるだけ温暖化をおくらせる方向でのいろいろな対策を実施して、さらに有効な対策を科学的知見の検討も含めて研究していくという考え方で解決を図っていけるのではないかと思います。

総合討論

○司会 今から約1時間ほど討論に移りたいのですが、3人のお話を承った後にいきなり討論にといっても、なかなか議論の視点が絞れないかと思しますので、私がお話を聞きながらとったメモをちょっとご説明して、それに沿うような形で皆様のご意見を賜ればと思います。

もともと午前中の目標は地球環境基準を測定する際の問題点ということです。基準を設定するというは、従来、我々は既にNO₂、SO₂でしてきた経験はあるんですが、新たに地球環境基準という視点で、もう一度基準設定の問題点を振り返ってみますと、まずはとにかく影響がはっきりしないといけない。少なくとも何らかの影響が予測されるということがはっきりしている。これはCO₂の問題、あるいは温室効果ガスの問題、全体について明らかだと思んですが、確実性があるかということです。

ある程度その辺の研究が進んで、科学的にそういうことが正しいと認知されて合理性がないといけない。ですから、不確実性をできるだけ少なくするというのが必要です。

それが社会的に知れ渡って、みんながそれでいいんだという社会的なアクセプタンスがないといけない。同時に、基準だけ決めてもそういうものが実行できないという話になっては困りますので、達成できるというある程度の展望、その達成の技術とかコスト、あるいは今ご説明いただいたような将来のシナリオ、こういうものがないといけなんだろうと思います。

こういった社会的アクセプタンスになってくると、当然ここにいろいろな価値基準が入ってきて、きょうは今までのところお話を承ってないんですけども、こういった関連の法律論が必要になるだろう。これは地球全体の基準ですので、当然、最終的には国際的な合意、何らかの国際的な取り組みとか条約といったものにつながっていかないとけない話でしょう。

最初の内藤先生のお話、あるいはその前の松原先生のお話は、この1番、2番あたりの話をご説明いただいたのかなという感じがいたします。

これと3番目あたりの話をつなぐところで小林さんのお話があって、最後に、お話の中ではこの辺の達成の展望、シナリオ、この辺についていろいろなお話があったわけですが、若干の法律的話とか、国際的合意に向けての筋道の話、そういうところが残っているのかなという感じを私は持ちました。

議論をどう進めようかということですが、まず最初に、今、1年に0.01℃という話でしたが、最終的には何らかの形で温度に換算して、ある程度以上の温度上昇をとめるという形で、この辺の議論が進むだろうと思いますが、その辺、内藤先生は生態系の安定性ということでは言われました。そういうことを踏まえて、果たして0.01℃/年だとか、最終的な合意で地球平均気温で3℃とかいう話があるんですが、この辺が果たしてどういうところに合理性があるのか。もちろん、午後の話でその辺の研究上の課題は議論されるわけですが、一応午前のセッションの範囲の中で、一体この辺でどういう話があるんだろうかということを見てみたい。

じゃ、それが法律的に社会的にアクセプトされて実施できるためのいろんな価値判断とか基準、法律、その辺の問題はどうなんだろう。それが一体達成できるという展望を持ってそういう話をするのか、あるいはとにかく時間稼ぎという意味でとりあえず設定するのか、あるいは絶対的な将来的なものとして設定するのか、その辺の問題。この辺の国際的な合意が果たしてできるかどうかという問題。そのようなところにつきまして、フロアからのご意見をいただければありがたいと思います。

どういう順序でも構わないんですが、最初の内藤先生の環境容量、あるいは松原先生の科学的不確実性、最終的には気温の問題ですが、こういった気温の問題等、あるいは地球の生態系、そういうものを踏まえて、環境基準、あるいは環境容量という概念が果たして成り立つのかどうか、あるいは将来そういうものについての科学的知見がこれから深まって行って、それで不確実性が減るのかどうか、その辺についていろいろなご意見が聞ければと思いますが、どなたかいかがでしょうか。

内藤先生、主として環境濃度の観点から言われましたが、地球温暖化という問題を議論の前提にしますと、何らかの形で気温とかそういうものが1つのメルクマールになるかと思いますが、その辺はどうなんでしょうか。

○内藤 実は具体的にそういう話はほかの専門家に全部お任せするつもりで定義だけをまず述べたわけですが、容量の定義は非常にとらえにくいので、さしあたりここではある種の浄化係数とか、自然のフィードバック能力掛ける許容レベルみたいなもので定義しましょうと言ってみたんですが、じゃ許容レベルはどう決めるんだと、問題を先送りしただけだということにも、言葉をかえて言えば言える。ですから、容量というのはタマネギみたいなもので、一皮むいたら、次に皮があって、どんどんむいていけば最後に何も残らないという人もあります。きょうはさしあたり一皮だけむいてお見せして、その皮を3つぐらいに分けたわけですが、これをどう決めるかということなんです。

例えば、今問題提起された温暖化については、いきなり温度をどこまで許容するかということが難しければ、さしあたり今の2倍量のCO₂レベルを1つの目標値として、みんなで合意して決めてしましましょう。例えばその段階の1つ手前のところで言うていただければ、私が言ったマイスターという上限レベルが一応決まるわけです。あとは、CO₂が地球全体でどれくらい浄化するかというのは、昼からお話になるかと思いますが、いろいろな分野で先生方がおやりになっているデータを強引にかき集めて、それにかける。それでさしあたり地球全体で出せるCO₂の総量が計算できるというのが今の容量の定義ですが、あとはそれを空間的、時間的にどう分配するかというのが政策技術だと理解しているんですけども、ご質問はそこから先の話で、残念ながら、私はその道の全く素人でありますので、できれば、例えばそれぞれ、海洋なら海洋、生物なら生物にかかわっておられる先生方がたくさんいらっしゃると思いますので、お伺いできればありがたいと思います。

○司会 午後のセッションに具体的に話がありますので、午前中は一般的なところにとどめておいたほうがよろしいかとも思われます。

例えば、SO₂ですとジュネーブ条約で30%カット。例えば、各国一律に30%カットなんていうのが合意されて、あれは国連のヨーロッパのほうだけですけれども、CO₂なんかについても、例えばそういう範囲のものも一種の環境基準というのかどうか。つまり、基準にもいろいろ幅があって、さっき小林さんから、だれがどう負担してどう配分したらいいのかという問題も提起されたわけですが、そういう意味で、基準というのも、必ずしも従来の健康中心の環境基準で考えていたような概念のようにはいかないだろう、何らかの達成、維持すべき目標という意味で考えるべきかなという感じを持っています。

例えば科学的な不確実性がある程度消去されていったとして、従来の環境基準はかなり厳密に健康影響ということではかられて設定されてきたんですけども、今の地球の気温とか生態系とか、そんなところで一体環境基準に近いようなもので設定されてくるものかどうか、そういうものが社会的に認知されてくるものなのかどうか、そんなところも含めて、どっちかというところと社会科学的分野の先生にどなたかご発言いただければと思います。

あるいは基準を設定されたとして、そういうものがもろに自分の、例えば直接、産業とかそういったものに影響を受ける立場の方もおられるかと思うんです。そういう立場からのご意見もお伺いできればと思うんですが、いかがでしょうか。

国際条約化とか、社会的にこういったものについて環境基準の概念が当てはまるかどうかというところ、いかがでしょうか。

○浅野 環境基準という場合に、法的な観点から言いますと、1つの政策目標なり、あるいはそれをもとに規制基準なりにつながっていくわけですけども、その前提として、きょうの内藤先生のお話を伺った限りでは、むしろそういう政策決定とか価値判断を抜きに、客観的な認識のレベルで、どういうことがどうなったら起こるのかということをも明らかにしていくという意味での、情報提供的な意味での目標なり容量なりの議論があるだろうという気がするんです。それを具体的に受け入れてどうするかというレベルで——これは松原先生などにおしかりを受けそうなんです。法律家は、それは政策決定の問題だからわしらは知らんと言って逃げる傾向があります。さっき小林さんは、ネゴシエーションだけではどうしようもないというようなことをおっしゃったんですけども、少なくともこの問題は、国際的な取り決めということで対応せざるを得ないとすれば、その客観的なデータをもとに、あとはネゴシエーションかなという気がするわけです。

先ほどの井村先生の整理なされたところでは、まず法的な価値判断があって、それからずっといった先のほうに国際的合意という並びになっていっていましたが、この問題について、果たしてこういう並べ方でうまくいくのかしらという疑問があります。むしろ国際的な合意というところがまずスタートになって、それを国内に持ち込んできて、国内ではどうするかという話になるのではなからうかという気がします。

目標を決める場合に、どの段階の目標を決めるかという井村先生のご指摘は非常に的確ではないかと思えます。例えば、フロンの削減の場合でも、どういうふうにそれを国内で具体的に政策化するかは各国に任せるというやり方で、現在のコントロールのシステムは成り立っておりますが、温暖化の問題でも、ある意味ではそういう決め方でないとうまくいかないかもしれません。石炭を使うとか、何を使うとか、何にかえろとか、原子力を 1,500 つくれとか、そんな形の取り決めは恐らく不可能だろうと思えますから、かなり漠としたといえますか、このぐらいのところでもまず全体合意できることを決めておいて、あとそれを国内に持ち込んでどうするかは各国に任せるということになるのではないかと思えます。

ただ、井村先生の整理なさったことの中で、私も前から感じていましたが、批判をしたようにすけれども、井村先生のご指摘が正しい面もあるかと思えます。例えば、フロンの規制の法律をつくるときに、私は従来の法律家の感覚でいいますと、ちょっと難しい話をするんだと思っておりました。といいますのは、化学物質の規制については、相当危険であることがわかってないとコントロールができないのに、フロンのように割合に大まかなところでそれを使うなという法律を、日本の法体系の価値判断、基準で一体できるんだろうかと思って随分悩んだんです。幸いにも、これは条約上の義務ということであさきり押し切ってしまったんですが、果たしてこういう条約上の義務という押し切り方だけでいいんだろうかという疑問が前からあります。日本の国内法をつくる場合に、当面一番議論をしなくて済むのは外圧ですから、条約上の義務があるんだからと言って何でも進めていくというのは方法ではあると思うんですけれども、今までの我々の持っている法政策的な価値判断の基準の中に、本当に目に見える危険がない限りは規制はできない、警察規制は最小限にとどめるべきであるという発想から抜け出していかなくちゃいけないと思うわけです。

橋本道夫先生がまさに的確に、フロン規制法が単に条約上の義務だということより、我が国の国内法体系の中での価値判断の基準を変えるきっかけになれば素晴らしいことだとおっしゃいました。我々の観点から言いますと、さしあたりはどうも国際的合意から始まるのかもしれないけれども、日本の国内での価値基準をつくっていくということも同時にやらなくちゃいけない、両方うまくどこかで接点ができていくという方向が望ましいのではないかと考えております。

○司会 どうもありがとうございました。

国際的合意があって、条約みたいなものができると、日本は外圧に弱いからそういうものができるとい話もありました。これも午後の話にわたるんですけれども、その辺、国際的にどんな動きになっているのかということもちょっと知りたいような気がするんですが、その辺どうなんでしょうか。国際的に環境基準、あるいは規制的な基準ができようという動きがあるんでしょうか。

○小林 フロンの経験について言いますと、CO₂の場合とアナロジーになるかどうかわかりませんが、役立つことがあるのではないかと思えます。国際的な合意が先か、国内的な合意

が先かということですが、非常にいい論点だろうと思います。フロンの場合、法律自体を見ますと、あいまいもこととしてよくわからないように書いてあります。正直なところ、大変残念ですが、外圧8分か9分で、2分か1分ぐらいがちょっと工夫があるところです。例えば法律について言いますと、施行期日みたいなのは、必ずしも条約とか議定書の発効日にリンクしていないようにわざとつくっているところもあったりするわけです。その意味するところは何かというところ、当時、私は担当もしておりましたが、条約だけが法律をつくる根拠じゃないんだよということをあえて示すためにそういうことをしたのではないかと思ったような記憶もあります。

しかし、大事なことは、条約も国内の合意がなければ結べないわけで、日本みたいな大国がダダをこねれば国際条約もできません。しかし、本当は条約を結ぶときの判断の中に、国内の合意なり決意、意思決定があるんだろうと思います。その部分で言いますと、条約をつくるモーメントみたいなものは何だったのかということは非常に重要で、CO₂はまだオンゴーイングですから、何がきっかけになるかわかりませんが、酸性雨の場合とフロンの場合を、似たような地球規模の大気汚染ということで見ると、熱心な国が率先垂範して、まずリスク負担をしたといえますか、対策の技術を例えば実証するとかですね。さっきの30%クラブという話もありましたけれども、西ドイツは勝手に50%削減するという宣言をしていますし、窒素酸化物については、実はまだそういうクラブがないわけで、何とか凍結しようという話ですけども、これについても削減をするということを一方向的に宣言している国があります。ちょうどこの間のノールドベイクのCO₂の宣言みたいな妥協が図られているわけです。

そういう率先垂範の国があることによって、いわば国際社会の雰囲気为建设的なものになってきたのではないかと思います。ですから、そういう役割を日本が引き受けるかどうか。そうしないと国際合意もできない。大国であればそういうことになりかねないわけですが、問題は、じゃ、率先垂範するための合意が国内でとれるかということになってくるのかなと考えております。

もう一つは、被害が起きないとなかなか話が進まない。被害まではいかないかもしれませんが、オゾン層にしてもオゾンホールというのがあった、あるいは酸性雨については被害があったということがあつたと思います。

フロンの場合でも酸性雨の場合でも忘れてならないのは、一律カットで合意されたように見えますが、実はそうじゃないんじゃないか。特にフロンの場合について言いますと、カナダ条項とかソ連条項とか、いろいろな例外規定がたくさんあります。途上国については全く歯止めがなく、本当のことを言えば、途上国側の規定どおりフロンをどんどん使えば、むしろ世界のフロンの排出量がふえるような形になっていますから、そういう意味で見ますと、CO₂も一律カットと報道されていますが、それだけに目を奪われて過剰な日本の反応をしていくことが果たして問題の解決に役に立つのだろうか。フロンの経験、酸性雨の経験から、国際合意の取り方はもう少し賢くなることのできるのではないかという気がしております。

○山村（環境庁） 環境基準的なものが国際的につくられるような動きがあるかどうかということ、

国際的な流れといたしましては、今のIPCCのレポートが来年の9月ごろにまとまることになっております。それを受けて気候変動のための条約、オゾン層のときにつくったような条約を念頭に置いた国際的な条約をつくろうということが、UNEP、WMOの中で決議されており、国際的にそういうスケジュールになっております。遅くとも92年の「開発と環境に関する世界会議」までにその条約をつくろうというのが現在の動きでございます。したがって、それが何らかの基準になるのか、どういうものになるのかあれですけれども、国際的な合意に向かって世界が動きつつあるというのが今の状況だと思います。

さっきの小林さんのお話を聞きながら思ったんですけれども、国内が先か国際的なものが先か、その合意の手順ということですが、オゾン層の保護のときのウィーン条約がまとまりましたとき、日本は署名をしなかったということで国際的に非難を浴びたわけです。オゾン層のほうの話につきましては日本は少し出してくれたという感じを现阶段では持っていますが、そのウィーン条約がまとまるという時点が、いわばちょうど黒船が来たというような感じではなかったかと思えます。それまでに、霞ヶ関でもある一部のところではフォローはしていたんですけれども、国内的に、国際的な動きに合わせて対応するところまでの機運が醸成できていなかったということもあって、結果的には署名をしないでその時点をパスしてしまったということになったと思えます。

現在、そういった反省を踏まえて、温暖化の場合には最初から日本も検討の中に積極的に参加していこうということで進んできております。これは環境庁のみならず、通産省初め関係各省ともそういう形で積極的にやっており、IPCCの中でもとりまとめ役を買って出るという、今までの日本の国際的対応になかったような動きも出ております。恐らくそういうことを通して、国内的な意見の形成が図られていくという効果をもたらすのではないかと。

そうしますと、92年に条約の案案がまとまって、手続的には、国際的な批准をして寄託をするという手続をもって、その国がその条約を受け入れるということが決まるわけですけれども、オゾン層の条約のときに、国際的に日本は後ろ向きだと言われたようなことにはならず、国内的にもある程度サポートできるような形で92年を迎えられるんじゃないか。そういう意味では、まさに今の温暖化のことにつきましては、国際的な動向を見つつ、国内的な合意形成もだんだん図られつつある、同時並行的に事が進んでいるという状況にあるんじゃないかと感じています。

○小川（エネルギー経済研究所） 今、少し皆さんからいろいろお話があった中で、私どもの研究所も少し問題の解析を行っていて、ただいまご発言があったことについて、若干参考になるようなことも申し述べられるんじゃないかと思えますので、ご意見させていただきたいと思えます。

1つは、地球環境問題の中で酸性雨の問題とフロンの問題、地球温暖化問題が挙がってきているわけですけれども、最初、いろいろ科学的な意味で認識が出て、それが全体としてコンセンサスが得られて、それでどうしていこうかといういろいろな討論が行われて、1つは枠組み条約のような形で、まず全体的な枠を決めましょうという合意ができて、その後、じゃ具体的にどうやっていきましょうという形での議定書の調印みたいな格好へ進んでいく。全体としては、国際

的な条約を結んでいくところの流れというのは、そういう形である程度進んでいるように考えられます。

そういった意味で、これまで、酸性雨に関してはヨーロッパでずっといろいろなディスカッションが行われて合意されたわけですし、フロンについては、先ほどのロンドン会議とかヘルシンキの会議で議定書まで結びついていくという形になってきているわけです。

それがどれくらいの時期から始まって、議定書の調印まで結びついたという形での変化の速度といえますか、どの時期にどういう変化をしていったというステップを見てやりますと、酸性雨についても、フロンの規制についても、同じぐらいの速度で年々進んできているという格好なんです。それに関して、地球温暖化問題はどうかということなんですけれども、79年の全米科学アカデミーが、ある程度科学的なコンセンサスが得られたという1つの出発点になっているんじゃないかと思います。そこから始まって、ずっとこれまで進んできているステップは、ほかの2つの問題と同じ程度の速度で進んできていると言えるんじゃないかと思います。

先ほどお話がありましたように、92年で枠組み条約の合意、それから先、議定書へどういうステップでということになっていくんだろうと思うんですけれども、地球温暖化問題というのは非常にグローバルな問題であるということが1つありますし、科学的な知見という意味では、じゃ、温室効果ガスが将来これだけ増大することによって、過去の実験結果から温度がどれだけ上がるんだということが決められない。その次善の手段として、結局いろいろなモデルを使うんですけども、そのモデルは必ずしも自然のメカニズムをちゃんと説明する上では十分なものではない。その辺のところでは社会的なコンセンサスが得られるためには、そういった意味での科学的知見の不確定性が非常に大きくて、かつグローバルな問題全体を見てとらえなきゃいけないという話で難しい面がある。だから、そういった意味では、最終的な議定書の合意に至るというのは、ほかの問題に比べるとおくれる可能性がある。今の流れとしては、好むと好まざるにかかわらず、そういった形で進む可能性があるという見方は1つ考えておく必要があるんじゃないかという気がいたします。

第2点目は、ヨーロッパでの酸性雨のディスカッションで、たしか83年ぐらいだったと思いますけれども、ECで大型のボイラーについて、枠組みとして、とにかくSOxの排出を削減しましょうという合意は得られたわけです。その後、じゃ各国どういうやり方でやりましょうということについては、スペインとかポルトガルとか、ある意味でヨーロッパの中では少し発展がされているような国は、当然、経済成長が優先である。ですから、排出といったことよりも、むしろ経済成長をとにかく進めていかなきゃいけない。当然そういう論議の仕方をしましたし、ギリシャとかアイルランドみたいところは、まだそういった意味での工業化が進んでないということで、必ずしもある基準以下のところの環境状態にあるということがあって、つい87年か88年ぐらいだと思います、5年ぐらいいろいろなディスカッションを経て、それでまとまってきたことは、ターゲットとしてはある年次に向かってやってきていることはあるんですけれども、ただ、その

進め方は各国まちまちで合意するという格好での合意になっていたと思います。

そういった意味でいきますと、CO₂問題に関しても、ある程度グローバルな枠は国際的に合意して決められるという形になる可能性があるんじゃないかと思いますけれども、じゃ、具体的に各国どういうことをやりましょうかということについては、それぞれそういった意味で何かの議定書は結ぶかもしれないですけれども、各国のある程度の意味が尊重されるという方向が1つ考えられるんじゃないかなと気が、酸性雨の例からはいたします。

第3点目として、オランダのノルドベイクで出された宣言というのは、2000年に向かって横ばいのような形とか、2000年に現状のあれに安定化しましょうという方向性が出され、最終的にはIPCCのディスカスを待ちましょうということになったわけですが、その中で1つ、先進工業国に対してそういった枠をはめる、発展途上国のほうは必ずしも枠をはめるという考え方ではなかったわけです。その点で、私もちょっと指摘しましたけれども、発展途上国の問題がそれなりに考えていかなきゃいけない問題だという認識が入ってきているんじゃないかと思います。

CO₂排出を抑制していくことも1つの重要なキーポイントになると思いますけれども、発展途上国に対して、省エネルギーにしても、SO_x、NO_xを抑えるということにしても、いろいろな技術援助をしていかなければいけないという観点が出てくるだろうと思います。その技術援助をしていくときに、ある程度無制限に先進工業国が何か技術援助をしていくという仕組みではなくて、発展途上国もそれなりに自分たちでできる範囲の努力をして、だんだん改善が進んでいく、それをサポートするような形での技術援助が行われていく、そういった意味での仕組みを、もう一つしっかりと考えてやる必要があるんじゃないかと思います。

以上、3点、皆さんのお話を聞いていてちょっと思いましたものですから、ご発言させていただきました。

○(質問) NO_x、SO_xの話が出ましたので小林先生に質問したいんです。NO_x、SO_xの技術は、日本は世界をリードする技術を持っているというわけで、先ほどお話がありましたような経済援助の話もあるわけですが、そもそも日本が優秀な技術を持つようになったのは、行政面からの強力な目標設定があったんじゃないか。それに企業がうまく技術開発をした。日本の企業はなかなか優秀ですからね。そういうわけで、先ほどの話じゃないですけど、政策が技術を決めていくという話をもっともな話じゃないかと思います。企業のほうとしても、そういう優秀な技術を持てば、何か商売に利用しようというわけで、三菱重工さんとか日立さんとか、そういうのを含めて商売に利用しようという動きがあるわけですが、CO₂とかメタン関係においても、やはり強力な行政の政策が必要じゃないか。日本がリードして対応していけば、いい技術が開発されるんじゃないか。そういう意味においては、企業も十分追従できるような人材と技術を持っているんじゃないか。先ほどの話じゃないですけど、1年や2年の問題じゃないですから、10年計画で進めなきゃいけないので、そういう面において、日本が技術をリードしていくという強力な行政が必要じゃないかと思うんです。環境庁の範囲かどうか知りませんが、通産省と一

緒になって、そういう強力な政策を打ち出すべきじゃないかと思えますけれども、その辺のご意見を伺いたいと思います。

○小林 政策が技術を決める例としては、例えば、自動車排出ガス規制の53年規制のときに、規制の前にある銀行の調査部が、どのぐらいの経済インパクトがあるかということで、たしか製造業出荷額を8,800億円ぐらい減少させるという指摘だったと思えますけれども、現実にはやってみただけでは、実際には非常に成長が高まったり好景気だったということがあり、環境政策のネガティブ・エフェクトは埋め込まれて、現実にはほとんど検出できなかったわけです。しかし、ほかにはもっとふえているわけで、差し引きチャラですけれども、計算上は1,000億円ぐらい製造業全体で下がっている可能性があると思えますので、実際に規制の前に将来についてすごく不安を持つ立場から見ると、現実にはやったものとは8倍ぐらい費用が違うといったような例もあったのかなと思っております。

先ほどご指摘のとおり、脱硝装置につきましては、日本では350基ぐらいあるのに対して、アメリカでは10基ぐらいしかないと思えますが、そういったぐあいで、政策が環境保全技術を決めるところはあると確かに思えます。

たまたまおもしろい数字をご披露したいと思いますけれども、硫酸化物の場合には、世界の排出量に占める日本のシェアはわずか1%であります。窒素酸化物の場合には2%ぐらい。コンマ以下は覚えてないので済みません。一酸化炭素の場合は3%、二酸化炭素が4%で、今まで対策を何もしてこなかったフロンだと10、何%ですか。こんなことを言ったら、公害対策を企業でやっている人に怒られちゃいますけれども、どんな物質を燃やしても、世界じゅうどこで燃やしても大体同じように出てくるわけですから、早い話、政策努力によってそれだけの幅が出てくるということだと思います。そういうことをいろいろ経験しておりますので、今のお言葉を励ましに、例えば技術開発目標を定めるといったようなことで環境庁は頑張っていく必要があるのかなと。ただ政策が技術を決めるというだけではいけませんので、そういった行政措置をつくっていかなくちゃいけないのかと思っております。

例えば、自動車排ガス規制の場合には、10年先ぐらいの低減目標を中央公害対策審議会の答申でいただくという形になっておりますが、二酸化炭素についても技術開発目標を環境庁が示すといったようなアイデアがあるのかなと思っております。どうもありがとうございました。

○松原 内藤先生から、CO₂で基準をつくるのがいいか、あるいは温度で基準をつくるのがいいかということに関連するようなお話が出ましたので、ちょっと考えてみましたが、CO₂で基準をつくる場合と温度で基準をつくる場合、どういうメリット、デメリットがあるかなと考えてみたんですが、どちらかというと、今私が考えたところでは、CO₂で基準をつくるほうがいろんな意味でメリットがあると思えます。5つぐらいあると思えます。

簡単に言いますと、1番は、先ほど私も図を示しましたけれども、少なくとも明らかにCO₂の濃度は上がっているわけです。これは午後の話だと思いますが、温度が上がっているかという

ことについてはよくわからないわけですから、温度で規制するというより、科学的な明晰さから言うとCO₂での規制のほうがすぐれているのではないかと。ご反論もあるかもしれませんが、それが第1点です。

第2点で言いますと、論理的な因果連鎖としては、CO₂の濃度が上がれば温度が上がるということはどうも確からしい。この論理自身は確からしいですから、原因・結果の連鎖に人間が対応するときには、当然、原因のほうをターゲットにする。少なくとも政策論理についてはそうなる。だからCO₂になるんじゃないか。

第3番目にパブリック・アクセプタンスと申しますか、国民に訴えるときに、CO₂として訴えるか、温度が高くなることで訴えるか、これはちょっと難しい問題で、人間というのは結果で物事を判断する、第1次的には結果で判断しますから、温度がこれだけ上がると困るんだよというほうが国民に訴えやすいのかどうか。しかし、国民に一定の知的水準があれば、当然、そのためにはどういうことをしなくちゃいけないかということと結局CO₂へ戻ってくるわけですから、国民の合意から言うと、結局はCO₂のところへ来るのであろうと思います。

第4番目に、CO₂問題は温暖化問題だけではなくて、森林伐採の問題とか、温暖化ではない環境問題の原因にも当然なっておりますから、CO₂でやったほうがより広い環境政策をとることができるだろう。

第5番目には、CO₂の規制は技術的な問題にそのままつながっていきますし、法的な規制の問題にもそのままつながっていきます。温度そのものを規制する技術とか、温度自身を規制する法的な技術は、ちょっとなかなか考えにくい。地球全体を氷で冷やすということにはもちろんいかないわけですから、どっちかという原因を抑えるという話になります。温度で規制することも若干のメリットがあるわけです。我々は温暖化というのは結果と考えていますけれども、実は温暖化は原因の部分があるわけです。つまり、温暖化が原因となって、インパクトという形で結果があるわけです。その部分はよくわからない。ですから、温度上昇が原因と考えるならば、やはり温度を規制することはメリットがあります。

もう一つのメリットは、心理学的に言うと、人間というのは温度が上がってくることはよくないということは、国民が大体よくわかっているわけですから、パブリック・アクセプタンスから言うと、先ほど言いましたように、CO₂で規制する場合のほうがいいこともあるけれども、第1次的には温度でやったほうが、少なくともわかりやすいというメリットはある。そうすると、私の思いついたところでは、CO₂で規制するほうが政策的にも論理的にもより妥当かなという印象は、今の段階では持っております。ご反論があるかもしれませんが、そんなふうに思います。○殿岡（計量計画研究所） 議論を振り出しに戻しちゃうかもしれないんですが、今までの議論を伺っていて、突然、基準、基準とか、あるいは法律論とか国際的な法律論といったところへ来ちゃっているんですけれども、基準以前のところでもっと詰めるべき問題、少なくとも研究者の間ではもっと詰めておくべき問題があるのではないかと感じを受けました。

地球温暖化問題の根本を考えたときに、これはやはり文明の方向性の問題ですから、そうした黒船議論のようなことを言っているのでは、とても日本が世界をリードするとは言えないわけで、日本がリードしていくということは、結局、文明の方向性について、みんなが同じような認識として、こういう方向が望ましいんだという共通の認識を持てるような感覚を持つことが大事で、感覚はどこから来るかという、科学的知見から来るわけですから、我々が今一体何をしているのか、工業文明ということで地球を傷つけるまでに至った生産力の発展ということ、我々がやっていることがどういうことになっているのかということについて、まずはっきりした自覚を持たなきゃいけない。その自覚を持つことによって初めて技術のパラダイムシフト、つまり、今やっているような工業力に物を言わせたような技術はまずいということにははっきりわかっているわけですから、どういう方向に技術を変えていったらいいのか、そこに何かの合意が生まれるはずなので、その方向に持っていくためには、基準云々以前に、もっと科学的知見として、どうしたらどうなるのか、温暖化とはどういう現象なのかということをもっと整理していく必要があると思うんです。ですから、いきなりどうした基準をつくったらいいかという議論は、どうも私はしっくり来ない。もちろん、方法論として、わからないなりにそういう合意をつくっていかなくちゃいけないことは確かです。けれども、今の突きつけられている問題をもう少しきちっと整理していく必要があるんじゃないかと思います。

大きな流れとして私が考えていることは、とにかく生産力が非常に発展したということ。今の技術はどちらかというと20世紀初頭のニューヨークが発展したころの技術であって、例えば、冷房するにしても、エネルギーをたくさん使って、力づくで快適な温度をつくっちゃいましょうという技術で、そういう方法はまずいということがわかってきたわけですから、技術のパラダイムをどう変えていくかという方向性を1つ見出していく。

もう一つは、フィジカルな技術だけでなく、結局、国際的な合意を得なくちゃいけないという新しい社会科学的な技術を突きつけられている。

もう一つは、科学の方法論として、今もこうして集まってられる方はいろんな専門の方が多いと思うんですけれども、今まで環境問題にかかわってきて、一人一人の専門分野ではとてもカバーし切れない問題を突きつけられている。だから新しい科学の方法論が必要なので、そのためには違う専門家がどうやって協力して物事を解決していくのか、真剣になって方法論をつくらなくちゃいけないんじゃないか。もっと長い目で見て、大きな方向性を自覚した上でこういった議論をしていく必要があるんじゃないかというのが、今お話を伺って感じたことです。

○司会 どうもありがとうございました。

殿岡さんのご指摘は全くごもっともだと思う点が多かったんですが、前提となる科学的議論を抜きに基準の議論をしていることでは必ずしもなかったと私は理解しています。というのは、きょうの午後に多方面にわたる科学的な討論があるものですから、午前中はあえてその辺を簡略化していたということが背景にありまして、何らかの合理的な環境基準設定の理屈があったとし

て、そういうものが社会的にどういうふうに動いていくんだろうか、あるいは行政的にどうなるんだろうか、あるいは国際的にどうなるんだろうかというところに議論を先取りしちゃったものですから、殿岡さんのご感想のような問題点が出てきたんだと思いますが、少なくとも司会者としてはその分野を飛ばして、その議論に先走りしているつもりはありません。

ただ、その中で、例えば将来、そういう形で基準を設定できたとして、それが実現できるかどうかという中で、今のハードな技術を前提にいろいろなものが考えられているんですけども、全然違う解決の方法も、これは我々が予測できないだけで何かあるかもしれない。私、個人的にもそういう問題を疑問と同時にいろいろ感じるところです。

今、松原先生から、CO₂と温度、そういうところの基準の設定のいろんな理屈づけといえますか、合理性、そういったようなコメントをいただきましたが、CO₂だけでなくメタンなどもあり、また、化石燃料から出てくる問題だけじゃなくて農業分野のものとかいろいろあります。きょうの午後にそうそうたるメンバーがそれぞれの分野からコメントなさるものですから、午前中、そういう方々が発言を控えておられるんじゃないかと心配しますが、午後に発言される方でも結構ですので、もう1人か2人、何かいただければと思います。

○内藤 今のコメントも含めて、全体の議論の中でもう一遍話を容量に戻すようなんですけども、私、容量というものをこういう形で定義して、さしあたり大きく一皮だけむいてみるとういうものでありますということをお願いしたんです。多分、こういうことをもっときちっと本当は詰めておかないといけないではないかというお話が、今のコメントの一つだろうと思うんですが、それは当然おっしゃったとおりで、これからどんどんこういう話に入っていきわけです。

少なくとも、これを全部やらないと何かできないというふうにしてしまいますと永久に時間がかかってしまうわけで、さしあたり今の段階の規制で何ができるか、どこまで皮をむくかということに対応する。一番荒っぽく言えば、こういうものをアプリアリにバンと決めて、それを割りつけてしまうということが合意がとれればいいけど、ここはちょっとやり過ぎだろう。

もう一段階だけむきますと、この3つぐらいにむける。ちょっとここは浅野先生にも若干誤解を与えたようですが、この2つはかなり科学的に決めざるを得ない。現在の知見ではわからないことも含めて、エイヤッと。これは一応科学だと言わざるを得ないんだけど、ここについては、本当は科学でやればこういうことなんでしょうけれども、これは大変難しい。これ以上に難しいので、ここはある程度政策的にさしあたりは合意して、この2つの政策と科学の掛け算によってこれを決めてしまおうというのが、私のさっきの提案でした。したがって、ここに星印がついているのは、かなり政策的なアンウン・ファクターが組み込まれてますよ、しかしこれはできるだけ科学で行きましょう、という体系を申し上げたつもりです。

○司会 今の殿岡さんのご指摘のように、なぜ環境基準が必要かという基本論の科学的なところの議論を抜かして、行政的手段としてのこういった基準の話に飛んでいますので、その点、確かにその前の基本的なものが抜けているという感想はめぐい切れなかったかと思いますが、それに

については午後のセッションで多方面にわたる先生方のお話がありますので、こういったところの研究によって補完していただきます。

しかし、これによって基準が決められるかということ、今、内藤先生のご指摘のように、これを全部詰めるまで待ってはいけないという基本的なところがあると思うんです。CO₂問題に限らず、NO₂やSO₂の問題ですら、全部決め切ってスタートしたわけじゃない、ある程度見切りでやらざるを得なかったところがあって、それがまたフロアからご指摘のように、いろいろな技術開発、それも、例えばSO₂の規制をやったときに、脱硫装置がこれぐらい普及するとも思わなかったし、あるいはそのコストもこれくらい低下するという予測もなかったわけです。NO₂にしても、自動車の排ガス規制と対策技術がお互いに駆けっこしながらできてきた。もちろん、CO₂についてこういうことが当てはまるかどうか、その辺、いろいろな疑問はあると思いますけれども、こういった実際の対策と実際の技術とか科学的知見が深まっていくことは、多分に相互に追い駆けっこという要素があるのではないかと私は考えます。

残されたいろいろな科学的な疑問については、ぜひ午後のセッションで大いに議論を深めるようにしていただきたいと思います。

第Ⅱ部

温暖化影響研究の現状

お茶の水女子大学 内嶋 善兵衛

私に課されたテーマは環境影響研究の方向という題になっておりますが、午前中のお話と環境研究とをつなげるとい意味の話から入っていきたいと思っております。

(1) 地球上の環境

地球上の気候、気象条件の平均的な気候というのは、太陽から入ってくるエネルギーが気候システムという中を通して、また宇宙へ流れていく、その過程でのさまざまな物理現象の総合として成り立っております。この気候条件の中で私たち人類、それを取り巻くいろいろの生物が生き、繁栄しているわけですが、こういう現在の気候がどういったエネルギー配分でできているかというのを最近の気象学の書物からとってみますと、図 3.1 のようになります。

入ってくるエネルギーは1.5億kmのかなたの太陽から射出される太陽エネルギーです。大気上端で1.96cal/cm²/minということになっております。これらさまざまなプロセスを経て地表上に入ってくるのが51%。例えば東京付近で考えてみますと、年間1cmに100kcalぐらい入ってきます。これは地球平均値に近いわけです。これらさまざまな現象、特に蒸発の潜熱、並びに長波放射等に使われています。このおかげで、地球上に私たち生物の存在の可能な気候条件、すなわち平均的に15℃という温度が保たれているわけです。

現在問題になっているのは、赤外放射に作用するさまざまな温室効果ガス、CO₂、CH₄等が人為的な活動によって急速に増えているために、このエネルギーバランスが崩れてきているということだろうと思います。

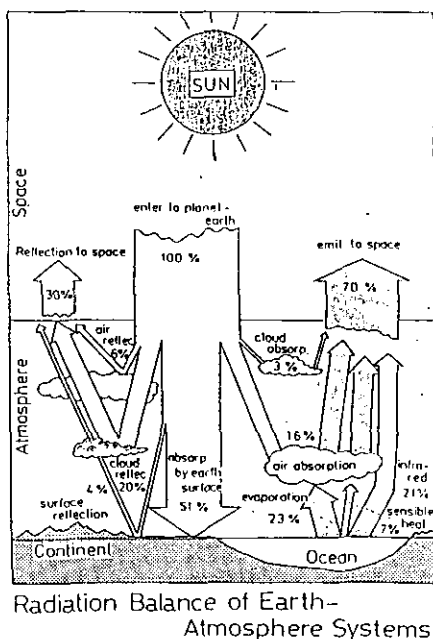


図3.1 地球上におけるエネルギー収支 (木村を一部改変)

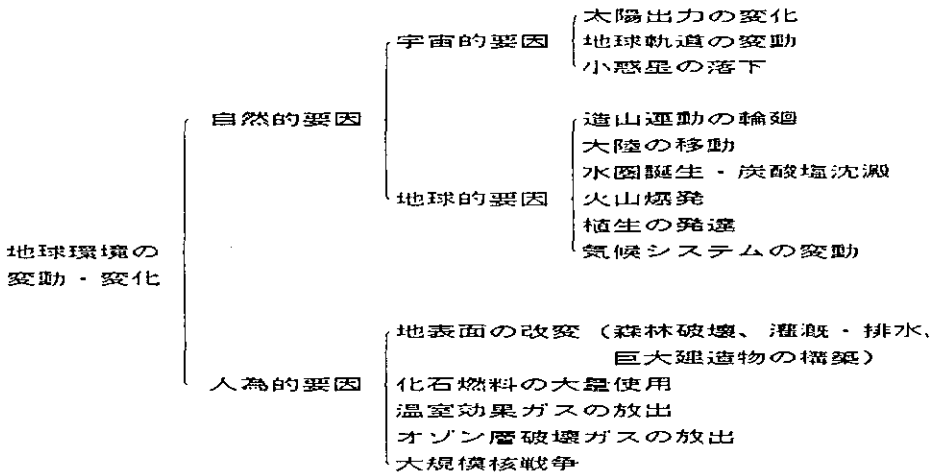


図3.2 地球環境へ作用する種々な要因

しかし、こういうエネルギーバランス等に対する働きかけの中には多くのプロセスが含まれております。私が一応考えられるものを挙げてみますと、地球上の環境の変化を引き起こす原因としては、自然的な要因、人為的な要因という2つに分けることができるかと思えます。少なくとも過去1,000年以前は人為的な要因の影響は無視することができたろうと思われれます。自然的要因としては、宇宙的な要因と地球的な要因の2つに分けることができるかと思えます。

宇宙的要因としては、太陽の出力の時間的な変化というのがあります。もう一つは、地球自身が太陽の周りを回っている軌道要素がさまざまに変動するということがあります。

3番目に、小惑星の落下のようなイベントも考えられます。

地球的要因としては、地球内のマントル対流の変化に伴っての造山運動の輪廻とか、それに伴う大陸の移動、水圏の誕生、炭酸塩の沈澱、大きな火山の爆発、植生の発達など幾つかあります。最後の気候システムの変動、例えば最近のエルニーニョ等の現象は気候システムの変動に大きく関係しているようです。

地球誕生以来、46億年のほとんどは、すべてこの上のほうの自然的要因で地球の環境条件は決定されてきたらうと思われれます。しかし、約1,000年、特に約150年前から人間が化石燃料を使用するようになって以来、地表面の改変、すなわち森林の破壊、灌漑、排水、巨大建築物の構築ということによる地表面の改変、化石燃料の大量使用、温室効果ガスの放出、オゾン層破壊ガスの放出、大規模核戦争、こういうものの危険性が非常に大きくなってきております。そういうものを背景として、現在、地球上の環境条件が非常に心配されている状況にあります。

今挙げましたような地球環境をもう少し時間のスケールを長くしてみますと、現在の地球の温度状態、すなわち、平均15℃と過去のそれぞれの地質時代の温度状態との差を ΔT としますと、この ΔT の形成に大きく作用したのは、 ΔT_c 、 ΔT_s 、 ΔT_a の3つに分けることができるかと思えます。この ΔT_c というのは、 CO_2 を主体とする温室効果ガスの効果だろうと思われま。す。 ΔT_s というのは、太陽出力の変化による効果、すなわちこれは今の太陽の進化の歴史によりますと、10億年に7℃地球の平均温度を上げていくと言われております。 ΔT_a というのは、惑星地球のアルベードの変化による効果で、これは少なくとも水圏ができて以来ほとんど変化していない。すなわち、水圏が形成される以前の地球のアルベードが0.05ぐらいですが、現在、約0.3ということになって、これは当分ほとんど変化してないということが知られています。

ΔT_s 、太陽の出力が過去において非常に低かったということを考えますと、少なくとも30億年、40億年以前は地球の温度はかなり低かったはずで。す。しかし、古生物学から知られておりますように、地球上の生物の発生というのは30億年ぐらいにさかのぼります。それ以来、生命が絶えることなく存続し、かつ進化を遂げてきたということは、生命の維持、進化に適した温度条件が地球上に維持されてきたためだろうと言われております。その範囲を0℃から40℃の範囲に考えますと、太陽出力の非常に低い温度条件を補償したのは、大気中にあった CO_2 が非常に高かったということの影響だろうと言われております。

前者は宇宙的な出来事であるし、後者は地球的な出来事である。こういう宇宙的な出来事と地球的な出来事との2つのプロセスがうまく同調的に動いてきてくれたということが、地球上に生命を発生させ進化させた1つの大きな原因だと思われま。す。

しかし、ここで環境という話をいたしました。が、環境というものをどのようにつかむかということについてはいろいろな考え方がありますが、私は最近次のように考えております。

環境というのを考えてみた場合、4つの大きな機能というものを持っているだろうと考えま。す。これを私は、ロマンチックに言いまして、環境の四つ葉のクローバーと呼んでおります。が、環境は、生物が生命活動を営み、次世代を育てる空間である、これが第1の機能だろうと思いま。す。

第2の機能としては、環境は生物の生命活動に必要なエネルギーと物質が蓄えられている空間である。

3番目に、環境は生物の生理的な必要に応じてエネルギーと物質とが貯蔵空間から生物へ運ばれる通路である、というように考えられます。

最後に、環境は生物の老廃物が排出、分解され、再利用のため準備される空間であると考えられるかと思いま。す。

こういう考え方をしてみますと、私たちが現在、先ほど午前の討論の最後に指摘がありました。が、現在の文明の中でこういうような環境の機能というものに対してどういうインパクトを与えているかということが具体的にわかってきます。

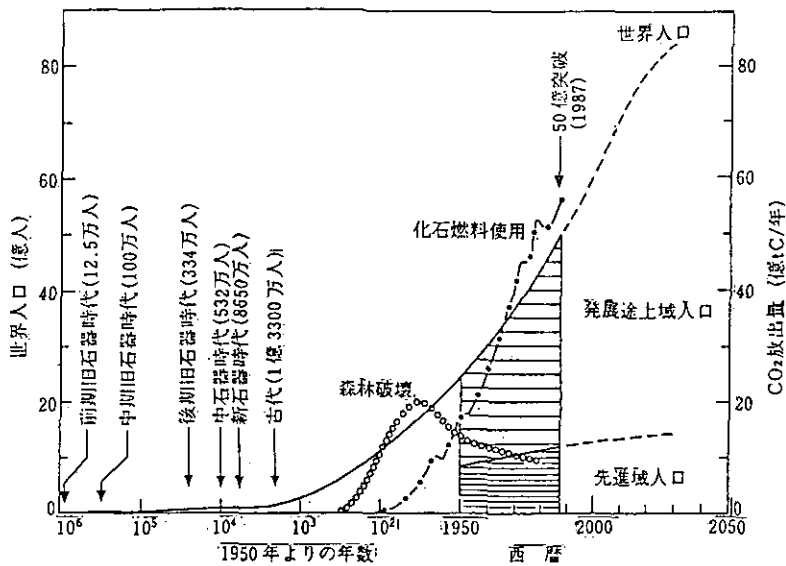


図3.3 人間活動の歴史 (内嶋, 1988)

(2) 地球環境と人間

そこで、少し人類の歴史というものを振り返ってみますと、図 3.3 のようになります。この図で実線が人口の伸びです。1950年を境にし、過去のほうは対数スケール、こちらのほうは普通スケールであらわしております。また図中の○線が人類を養うために森林を破壊して、その森林の中に蓄えられていたカーボンが大気中に排出した量です。最後の線が約 150年前から始まりました化石燃料の大量使用の結果です。

こういうことによって私たちは科学技術文明というものをつくり上げて、私たち人類の影武者といえますか、二人三脚で歩いてきた病氣と飢餓から解放されるということをし遂げたわけです。その結果として、人口爆発のプロセスに入ってきました。そして、1950年に約25億人だったのが、30年後の1987年7月に50億人を突破して、現在、52億人に達しています。

そして現在のエネルギーの消費量は、炭素当量で52億トン、CO₂で200億トンに達しますが、この消費速度は、地質時代、例えば石炭期等に古代植物が100万年をかけて蓄えた太陽エネルギー

ギーを10年で消費するスピードだと言われています。そういうことから考えますと、私たち現在の人類が大気に与えているインパクトの速度は、過去に古代植物が大気に与えたインパクトの大体10万倍というタイムスピードになっているだろうと思われます。

しかも、今後、人口の増加を背景に、またより豊かで便利な生活をしたいという欲望を達成するために、私たちはさまざまな科学技術等を使って地球を利用しております。そういう地球の利用の仕方を考えますと、はっきり言って地球資源化技術体制ということが言えるかと思ひます。この技術は、地球上のすべての現象、すべての空間、すべての生物、すべての物質を人類のためだけに利用する技術、それを推し進める政治、経済体制だろうと思われます。これをリンカーン流にあらわしますと、人類の、人類のためだけの、人類による地球の独占的利用技術ということが言えるかと思ひます。

このような技術体制の発展によって、現在、地球が非常な危険状態になっている。では、その中で私たちがどれくらい地球自身にインパクトを与えているかということを一工業生産廃棄物と生存廃棄物という立場から眺めてみます。

これは、原子力と化石燃料から発生する熱で、 6.92×10^{16} kcalを、毎年、人為的に地球環境内に放出しています。そのプロセスの一環として、二酸化炭素を 200億トン、一酸化炭素、二酸化硫黄、窒素酸化物、カーボンダスト等を約1億トン、炭化水素を 3,000万トンぐらい、固形廃棄物を6億トン近く。これが工業生産廃棄物です。

一方、地球上に52億の人類が住んでいるということ、また豊かな食生活を支えるためにたくさんの家畜を飼っているということで、環境内へ放出するいわゆる排泄物の量は、これまた膨大な量になっています。

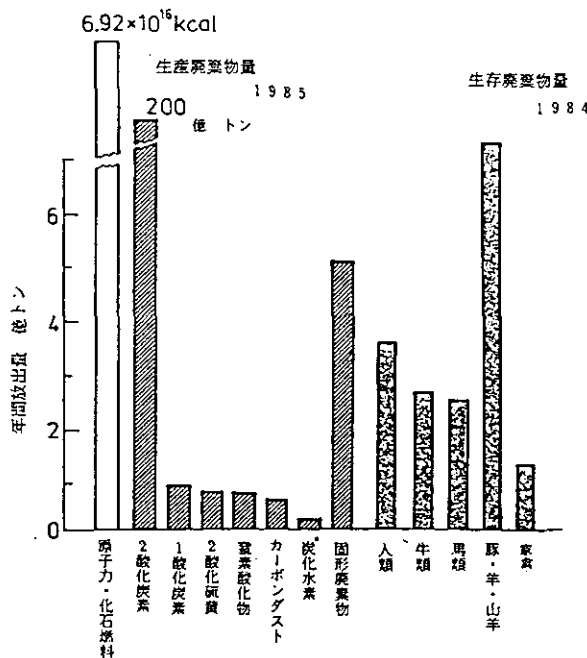


図3.4 人間活動による排出物 (内嶋, 1989)

こういうたくさんの方が、特に現在の文明社会、大都市集中を背景として集中的に排出されて、きょう午前中にありました自然の持っている環境容量をはるかにオーバーした形で出されている。それが1つは環境破壊を引き起こしている原因だろうと思います。

その様子を漫画的にあらわしますと、人間活動に悲鳴を上げる地球というのを図 3.5のように表すことができるかと思ひます。

このダムの高さが自然浄化能だろう。この内で維持されているときには地球環境は悲鳴を上げなかったわけですが、いろいろな公害対策技術ということでここにかさ上げをして、しかもそれを背景にして52億の人口、肥大する物質的な欲望、増大するエネルギー使用を背景にしてオーバーフローして、地球環境がおかしくなり始めていると考えていいだろうと思ひます。

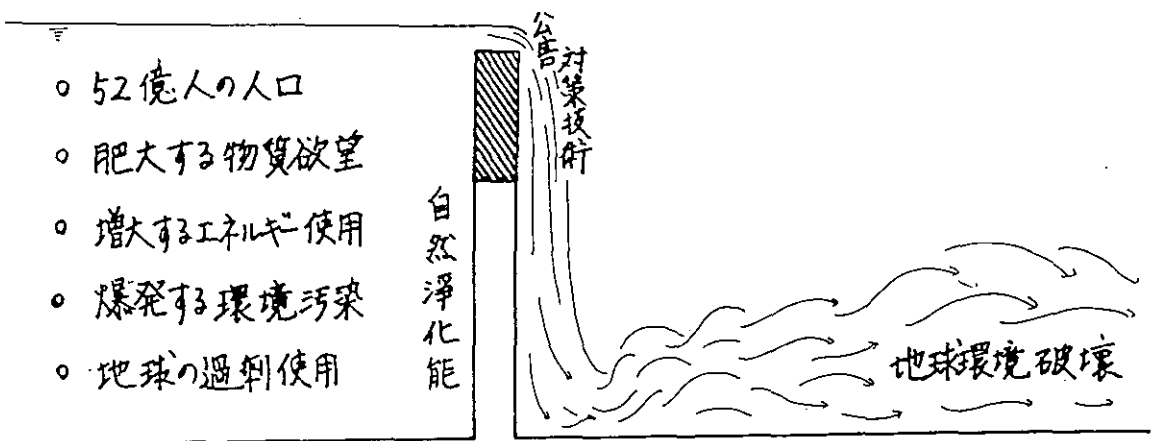


図3.5 人間活動に悲鳴をあげる地球

(3) 近未来の地球環境

近未来の地球環境の評価については、最近、多くのシミュレーション結果が出されておりますが、2050年近くまでの近未来としまして、大気汚染物質の濃度がA、B、Cという形で出されている。それを背景にして、GCMと呼ばれる大気循環モデルでトランジェントな変化を追ってみますと、こういう形になって、2030年で少なくともシナリオAというエネルギー成長のときには地球平均で2.5℃近く上がる。Bで1.2～1.3℃、Cで0.7～0.8℃という気温上昇は避けられないだろうということになっています。

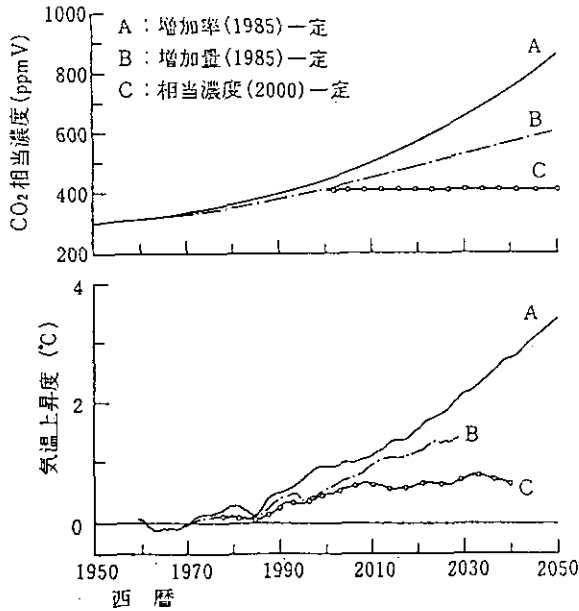


図3.6 近未来における大気質と気候の人為的変化(Hansen 他)

しかも、この中で、近い将来の人口の爆発と、それを養ういろいろな物質的な欲望を考えると、Aというエネルギー使用のシナリオが最も現実味が高いとされています。そういうことから考えて、2030年に2.5℃近い平均気温の上昇は避けられないかもしれないと考えています。

では、そういう2.何℃という地球温度の上昇が過去にあったかというのは、最近の古気候の研究からかなり進んできています。古気候の研究の結果が1つありますが、これは後期アトランティック・ヒブシサーマル時代と呼ばれていますが、今から約6,000年前±3,000年という時代に、地球が現在より平均で2℃ぐらい高かったという時代が知られております。

そういうときの気候条件はどういうことかということ、極北のほうでかなり高くて、今、砂漠になっているサハラ砂漠、アラビア半島、中近東にかけて現在より2～4℃低いという条件が出ていたと言われております。

もう一つ、気候形成、並びに植物生産に重要な役割を果たしている年間降水量を見ると、赤の部分の部分が現在より低かったということです。特にここで注目していただきたいのは、現在の世界の食料倉庫である北米大陸が、その時代で200mm以上も低いという地域になっております。もう一つは、ヨーロッパ、ソビエトの大平原地帯にかけてもかなり少なかったということが知られております。

一方、現在のサハラ砂漠には少なくとも現在より200mm以上も雨が降っていたということも知

られております。

こういうことから考えますと、2～2.5℃ぐらいの地球平均気温の変化は、かなり大きなインパクトを、私たちの生活、またそれを支えている植物生態系及び農業に与える可能性が非常に高いと見ざるを得ないだろうと思います。

そこで、そういうCO₂濃度が変化していった場合に、我々の周辺環境が変化して、どういふところに影響が出てくるだろうかということの流れ図的にまとめてみますと、4つの大きなルートがあるだろうと思います。

1つはCO₂が直接影響する部分、あとの3つは、気候変化、並びにそれを通しての海水位の上昇を通して間接的にきいてくる部分が考えられます。

ここに書いてありますように人口の爆発。2030年という80億になるとありますが、それから生活水準はGNPが伸びると相当上がっていくだろう。また、途上国の人当然、人間の1つの権利として豊かな生活をしたという欲望を相当持っております。そういうものを背景として、食料需要の増大、資源消費、生産活動の増大というのはさらに突き進んでいくだろうと思います。

食糧需要の増大というのは、耕地の過剰使用、森林破壊の拡大、肥料使用の増大を引き起こして、大気中のいろんなガス類を増大させていくだろう。生産活動の増大というのは、大気汚染物質を数多く放出して、この濃度を上げていくことは当然考えられます。その影響として、まずCO₂があります。CO₂というのはご存じのように光合成の素材でありますので、植物の光合成が高くなっていくことがまず考えられます。また、気孔の開度が狭まるということで、蒸散量が減少していくということが考えられていきます。

温室効果ガスが増大して気温が上昇するというので、地球上の気候形成過程が攪乱されて、温度状態、水文状態が狂ってくる。また、氷河、氷原が溶けて海水位が上昇していくということが起きるでしょう。

そういうことから、気候資源、水資源、土壌資源、レジャー資源、大気の汚染状態、自然生態系、農林水産業、保健衛生条件、電力、水消費、沿岸、低湿地の水没、護岸港湾施設の機能低下などのいろいろなものに対する影響が大きく起きてくる。

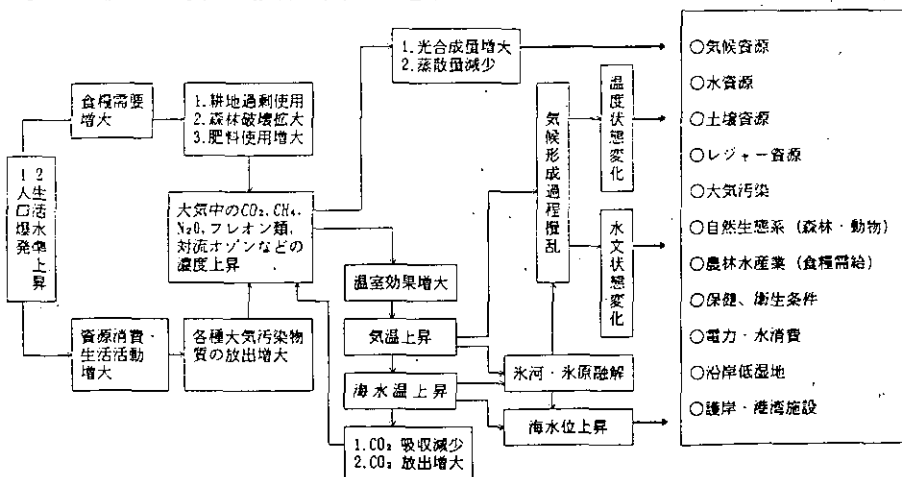


図3.7 CO₂濃度上昇とそれによる気候変化の人間社会への影響

(4) 自然生態系への人間活動の影響

これをもう少し生態系関係に限って描いてみますと、図 3.8 のようになります。ここで生態系関係だけに絞って描いたのは、いろんなプラスマイナスということがかなり明確に判断できやすいということと、陸上生態系は大きな気候変化の影響を受けやすい、また、それに伴って食糧生産システムが狂ってくるのが考えられますので、これを取り上げてみたわけです。

1、2、3、4 とここに 5 番までありますが、これが直接、間接でプラスに働くだろう。こういうことで気候変化、CO₂ の濃度上昇はプラスに作用してくる可能性があります。6 番から 10 番は、場所、また季節によってはプラスになったりマイナスになったりするだろうと思います。この四角の十幾つのは、ほとんどすべてマイナスの要因として作用するだろうと思っております。

そういうことから考えますと、すべての分野についていろいろな定量的な情報をまとめて、インパクトの評価モデルをつくり上げ、それに基づいて総合的な評価をやるべきだろうと考えます。

そこで、そういう研究をどのように進めたらいいだろうかということでも少し考えてみますと、ここに人口増加、化石燃料の使用増大、森林破壊の進行ということから、温室効果ガスの濃度上もう一つ大気大循環モデルの現在のところでは、ほとんどの場合、数百 km、500~400 km、もしくは 700 km というグリッドメッシュでやられております。私たち、いろいろな生態系とか農業への影響、そういう影響評価をやる場合、大きなスケールでのメッシュのシナリオではまだまだ不足しております。そういう意味で、少なくとも 100 km メッシュ程度の GCM ではなくて LCM——ローカル・クライメート・モデルというものが大切になってくるだろう。気象のほうの方にぜひこういうモデルをつくって、我々影響評価をする人に十分役に立つ気候シナリオをつくっていただきたいということが一つ大きく考えられます。そういうものから、2050年もしくは2030年という時代における気候変化の状態が明らかになったとします。

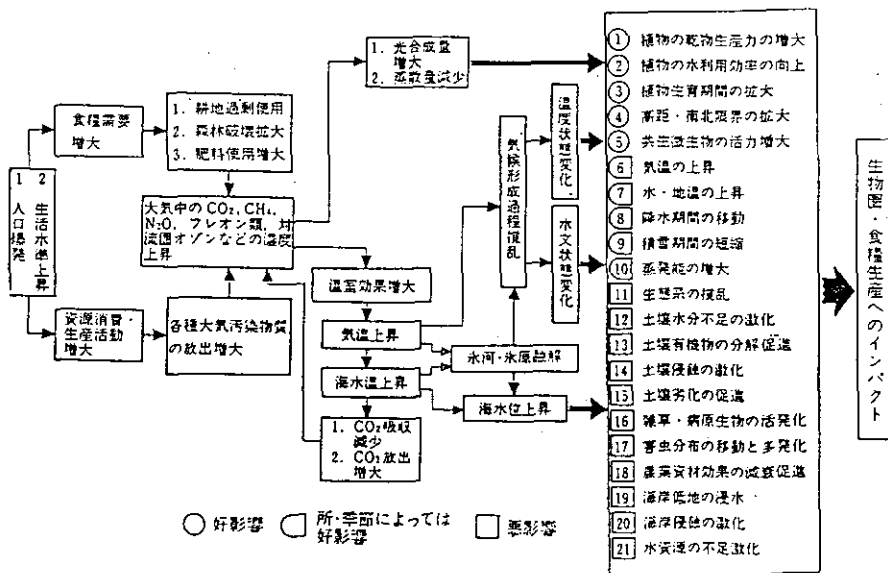


図3.8 陸上生態系への気候変化の影響 (内嶋, 1988)

そういうものを背景にして、生物レスポンスモデル、環境レスポンスモデル、そういうものを複合した社会経済レスポンスモデルが、それぞれのグループにおいて研究されるべきだろうと思っております。

例えば生物レスポンスモデルでは、植物レスポンスモデル、動物レスポンスモデル、病原生物レスポンスモデル、雑草、昆虫、人体生理という生物関係のレスポンスモデルを、定量的な知見に基づいてインパクトを定量的に評価できるモデルをつくっておくことが必要だろうと思います。

環境レスポンスモデルとしては、気候資源が大きな気候変化につれてどう変わっていくか、例えば農業気候資源等がどう変わっていくかは大切なことだろうと思っております。それから水資源がどう変わっていくかという問題、土壌資源がどう変わるかということ、大気環境、特に大気汚染物質の汚染濃度、特に最近注目されているのは地表近くのオゾン濃度の問題、光化学スモッグの問題等があります。

沿岸水位がどれぐらい上がるかということも定量的に確実に評価しておかなければいけない。沿岸のいろいろなもの、特にインフラの非常に長期的な、しかもお金のかかる構造物の改築には、これらの定量的なモデル予測が大切だと思います。

もう一つ大切なのは、保健衛生条件のレスポンスモデルもこの中に入れることができるかと思っております。

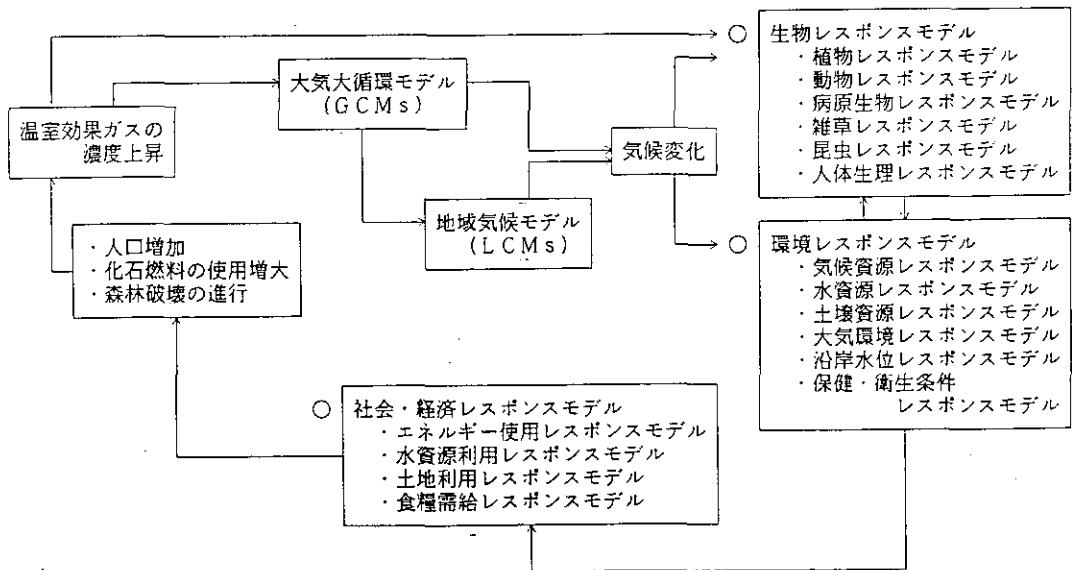


図3.9 人為的気候変化への対応

こういうものを背景としまして、最後に、自然環境と生態系というものに支えられて動いている人類社会、経済体制、それが気候変化に対してどのようにレスポンスするかというものが大切になってきます。この場合、社会経済レスポンスモデルは、フィードバックとしてここに返っていく必要があるだろう。そこで初めて、きょうの午前中の話にあったいろいろな環境基準、環境容量、それを達成するためのいろんな国際的な条約の締結等にこれが生かされて、ここの操作に移っていくことになっていくだろうと思います。そういう意味で、社会経済システムのレスポンスモデルは重要な役割を果たすだろうと考えています。

そこで、先ほどの話を農業関係だけに限ってみます。ここで大規模な大循環モデルは、温度シナリオの予測は比較的いいと言われていますが、気候条件の中の重要なファクターである水文条件の変化、特に降水の強度分布、パターンの変化、降水間隔の変化については、まだまだ多くの不正確な部分がかかなり残されており。そういうことから関連過程の正確化ということが当然要求されていくだろう。特に雲物理、地表・大気間におけるいろんなエネルギー、マスの交換の問題、海洋との問題、そういうものは個々の素過程と呼んでもいいかと思いますが、そういうことの正確化が当然必要になっていくだろう。

もう一つは、大気大循環モデルを動かしていく、またはローカル・クライメート・モデルを動かしていくときに大切な、温室効果ガスのフラックスがどのように出ているのか、それが空間的にどのように分布しているのかという情報を正確化していくことが必要だろうと思います。

そういうことから、より正確な気候シナリオができ、より正確な気候シナリオを背景として、影響評価に対して一番大切なのはローカルな気候シナリオをどうやってつくり上げていくかということだろうと思います。これには、日本では例えば国土数値情報等がかかなり役立つだろうと思われる。

その場合もう一つ大切なことは、接地気層を通しての陸地、特に植生ですが、植生と大気との間のいろんなガスエネルギーの交換過程をこの中に盛り込んでいって、より正確な局地気候シナリオをそれぞれの地域について手に入れることだろうと考えております。

そういう局地気候シナリオがもし提示されるならば、それに基づいていろんな個々のものについての影響評価モデルの開発。これはあくまでも生理的、もしくは生化学的、もしくはフィジカル、そういうようなプロセスに対する気候変化の影響の定量化、そしてその定量的知識に基づいての予測モデルの作成ということが一番大切なことになるだろうと思っています。多くの場合、地球規模の環境変化の研究だということで、すぐに地球上を飛び回るという発想が若干なきにしもあらずですが、そうではなくて、地域地域の環境を形成している、また環境に作用しているいろんなプロセスについて定量的な知見を集めて、そのレスポンスを定量的に予測できるモデルを作成して、それを集大成して地球環境の影響評価に結びつけていくという一つの大きな研究の見方が大切じゃないかと思っています。

(5) 地球環境の保全を目指しての IGBP-研究

幸い、ICSUにおいてインターナショナル・ジオスフェア・バイオスフェア・プログラム、地圏・生物圏国際協同研究計画 (IGBP) というのが今進んでおります。これはICSUの会議で提案されて了承され、日本も現在、学会会議を中心にしてJIGBPという委員会をつくって一生懸命やっています。このIGBPの計画は、1991年をスタートラインとして世界じゅうの国々がこれに参加していこうということになっておりますが、IGBPの三大目標というのがあります。

1つは、トータル地球システムを制御している物理学的、化学的、生物学的過程を相互作用を考慮しながら解明する科学的知見の収集。今までの多くの研究は、地球物理——大気とか海洋とか地質というように、それぞれの専門分野でなされていましたが、トータル地球システムとしてこれを理解していこう。そのためには、その中で重要な役割を果たしているバイオロジカルなプロセスを重要視していこうということが1つここにあります。

2番目に現在、このトータル地球システム内で生じている変化を解明すること。これは現在、人類の作用によってトータル地球システムが何か変調を来しているということは、多くの研究者がこれを認めているところです。しかし、グローバルにこれを解明していくということについては、まだまだ情報が不足しております。

次に、トータル地球システムの人間活動へのレスポンスを解明すること。現在私たちの地球環境は、人類の文明活動による影響を抜きにしては考えられません。そのためにじょどのようなレスポンスをしつつあるのかということ解明していこうということです。この基礎になるのは1番の、相互作用を考慮しながら物理学的、化学的、生物学的過程を解明する。その解明された知識に基づいて、地球を人間の影響下でどうレスポンスするかを予測して、悪いということがもし予測された場合には、トータル地球システムを守るためにどのような政治的、政策的なものを選び、採用すればいいかということを経済決定者に伝えるということを言外に含みながら、IGBPがいろいろな分野で検討されております。

幸い、学会会議の中にJIGBPという委員会ができて、近藤会長のもとに行動を開始しております。既に2年ないし3年近くこういう活動を続けております。12月18日にこれの最終案ができつつありますが、この中に、きょうの不破所長の話にもありましたが、学際的、省際、国際的という意味合いを持った研究が6つの課題の中に盛り込まれ、ここに集まっておられる多くの研究者もこの中に入っただくという形で案が練られております。

こういう研究は、きょうの午前中の話にありましたようにトータル地球システムというものをどうすれば守れるかということ。その中には少なくとも午前中の最後にちょっと指摘がありました現代の石油化学技術文明をどこで見直すかということも含めて、単に自然科学者だけではなくて社会科学系の研究者の協力も得ながら、こういう方向に研究が進んでいく必要があるかと思っております。

4. 研究状況報告

4.1 IPCCにおける検討状況

環境庁 山村 尊房

(1) IPCCの性格

最近、IPCCという言葉を一々訳さなくても皆さんにご理解いただけるようなところまで来ていると思います。昨年の11月にWMOとUNEPの主催によって第1回の会合が開かれ、3つの作業部会を設けて、現在、活発な検討が行われております。3つの作業部会というのは、科学的知見、環境的社会経済的影響、対策ストラテジーの3つです。議長は、スウェーデンの科学者のボーリンが務めています。

このパネルの特徴としては、2つあります。

まず1つは、政府間による検討の場ということです。従来、科学者の間で行われていたのを政府間の場に持ち上げたということです。検討作業は各国の参加と貢献が前提となって進められています。このところが特徴的で、常設の国際機関が独自の調査あるいはどこかのコンサルタントに委嘱して行う調査とは極めて進め方が違って、いわば各国の行政官がコーディネーターとなった巨大プロジェクトという様相を呈しています。これまで国連に関連するプロジェクトでこれほど各国を能動的に巻き込んで、短期間の間にこれだけ活発に行ったプロジェクトは、これが初めてと言ってもいいんじゃないかと思えます。

2つ目の特徴ですが、科学的知見、影響、対策の3つの検討が同時並行的に進められているということです。本当ならば、科学的知見がはっきりして、次に影響で何が出てくるかがわかって、その上で対策というステップをとるべきところを、同時並行的に進めている。ということは、相互に関連のある事項について出てくる問題点というのは初めから承知の上で進められている作業だということです。

今進められている作業のスケジュールは1990年の秋を目標としているんですが、この作業の中心がどこにあるかについて、1989年6月に第2回のIPCCの会合があったときに、中心人物2人の言っておられることを紹介します。UNEPのトルバ事務局長が、今の作業は今後継続的に検討を進めていくための第1段階であると言っております。議長であるボーリン氏は、細かいことにこだわらずに、地球的政策のかぎとなるような事項を検討して、今後の進め方の方向を示すことが大事だと言っております。その2人の言葉に今の作業の性格があらわされているんじゃないかと思えます。

(2) 作業部会

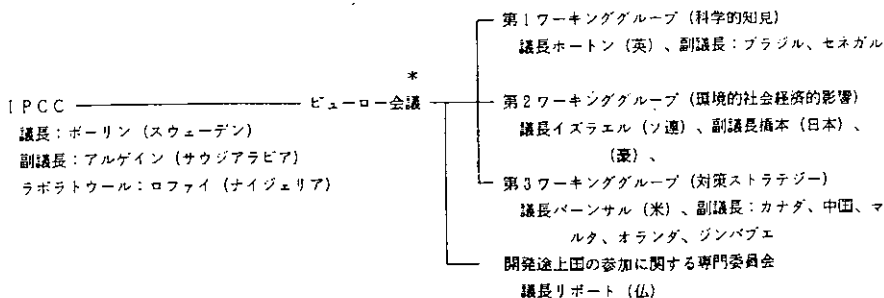
図 4.1.1 に、今の作業グループの機構が書いてあります。IPCC の本会議は今まで 2 回開かれており、1988 年 11 月と 1989 年 6 月ですが、その下にビューロー会議というのがあります。ビューロー会議というのは、その下にある作業部会の議長、副議長、あるいは全体の議長、副議長等によって構成されていますが、実はこれは 1989 年 2 月に 1 回しか開かれておりません。これまで 1 年間の作業は、ほとんどこの作業部会、あるいはその下のレベルのサブグループの段階で活発に行われております。

まず第 1 作業部会ですが、議長はイギリスの気象庁長官のホートンが務めております。この作業部会は、温暖化の今までの科学的な検討の総合的な取りまとめをするという役目を持っていて、初めから 11 のセクションにきっちり目次立てを分けて、専門家ベースの作業を中心に行っております。したがって、全体会合は 1989 年 1 月に 1 回開かれた切りです。

そういうことで中で行われている活動の詳細については余り見えてこないというのが実情ですが、日本としては、気象研の時岡先生が「気候変動の平衡 (Equilibrium Climate Change)」のところで入っておられます。気候変化のメカニズム、気候予測、海面上昇ということをいろいろ検討して、アウトプットになってくるわけですが、中で議論になっているのが、どういう予測モデルで評価をしていくかということです。GCM モデルをベースにやっているようですが、特にソ連のほうから、先ほど内嶋先生のお話にもあった古気候のデータをもっと活用すべきだということが出されています。11 月末にはイギリスでパレオ・クライメート、古気候の評価と GCM の比較のワークショップなども開かれていて、GCM ベースの中にどのようにパレオの評価を盛り込んでいくかということが 1 つの中心になっているようです。

先ほど地域的な影響という話がありましたが、地域的影響の検討ということで、サヘルとかアジアモンスーン、北米グレートプレーンズという代表地域の検討をやっているようですが、その検討によって明快に地域的な影響が出てくるところまではいかない、ということが言われています。

全体のスケジュールとしては、1990 年 2 月末から 3 月初めにかけてリードオーサー会議があって、ここで大体骨格がまとまってくる。それで、最終会合が 5 月末に行われるというスケジュールになっています。



注) ビューロー会議は、IPCC 議長、副議長及びラポラトール並びに各ワーキンググループの議長及び副議長により構成される。

図 4.1.1 IPCC の構成

次に、第2作業部会のほうは、ソ連の国家水理気象委員会のイズラエル議長が議長になっていて、副議長に日本の橋本道夫先生が入っています。この作業部会は環境的社会経済的影響という面で、図 4.1.2にあるように7つのセクションに分かれてやっています。

まず1は、将来の気候予測ということで、この辺はまさにワーキンググループ1との関連が強いところですが、影響の評価のためには将来の気候がどうなるかというところが前提としてはっきりわかってなくてはいけない、それをどういうふうを設定するかというところから始まって、2は農業、森林、土地利用、3の陸上自然生態系、4の水文、水資源、5のエネルギー、産業その他、6の世界の海洋と沿岸域、7が永久凍土地帯と極地圏となっています。

将来の気候の予測のシナリオがまだはっきりしない どのモデルを使っていいかもまだ決まっていないう状況の中で、影響を調査しなければいけないというのは無理のある話なんです、にもかかわらず、今わかっていることをまとめようではないかということでやっているわけです。

日本の参加としては、セクション5の共同議長を橋本先生が——ソ連側もありますが日本が中心となって——引き受けております。それについては後ほど説明いたします。

3つ目の第3作業部会ですが、これはアメリカ国務省のバーンサルが議長をやっていて、抑制の観点から2つ、適応の観点から2つのサブグループがあります。これに加えて、中心的な関心を集めているものに、実施メカニズムの検討があります。これはフレーム条約等の姿を念頭に置いた法制度、あるいは経済的手段、援助の方法、こういうものを含めて検討を行っているということです。日本はエネルギーと産業グループの共同議長を務めているという参画をしております。

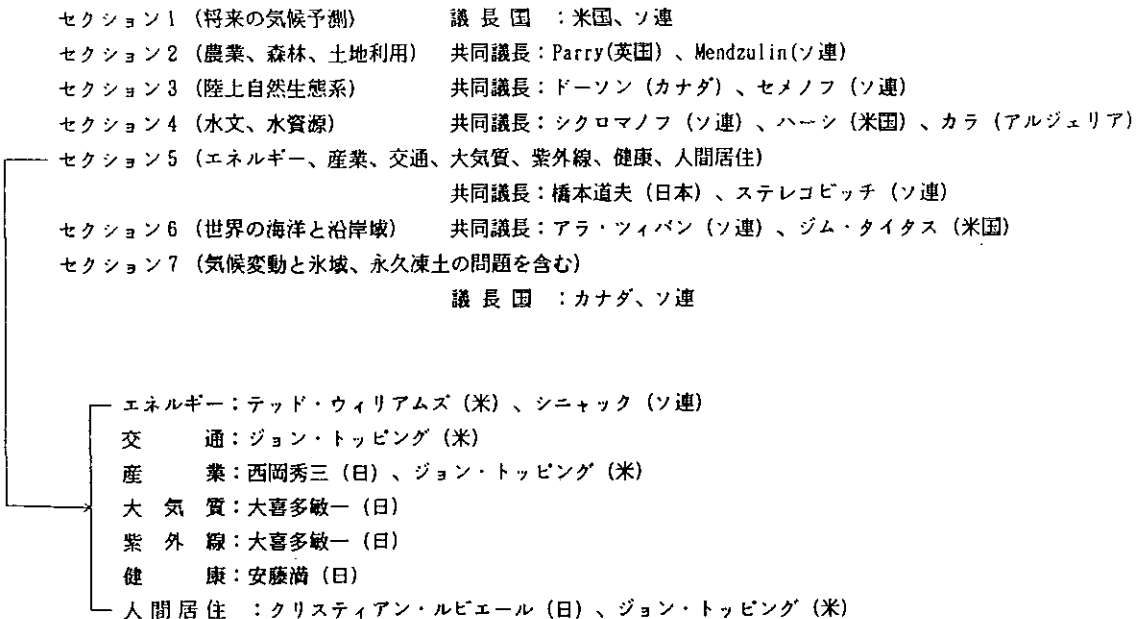


図4.1.2 第2作業部会の構成と第5セクションのリードオーサー

(3) 日本の貢献

I P C Cへの日本の取り組みですが、分野が多岐にわたって一度に進んでいるということではなかなか難しいのですが、今ご紹介した第2ワーキンググループの第5セッション、第3作業部会のエネルギーと産業サブグループ、これはいずれも日本が中心となってまとめています。その他のものにつきましては、外務省の中で連絡会議をつくりまして、それぞれ一番関係の深いところが幹事役となって進めていくことになっていますが、実質的には、日本が共同議長になっているところが今のところ日本の貢献の中心ということになっているようです。

第2作業部会の第5セッションの活動としては、橋本先生が共同議長で、国公研の西岡先生が議長代理になっていて、そのご指導で私も環境庁のほうで事務局でお手伝いさせていただいております。リードオナーを国内海外広く呼びかけまして、図 4.1.2に書いてあるような方々のご協力を得まして、レポートの作成をしております。9月に国公研のこの隣の部屋でリードオナー会議というのを開催しました。「今までこういう国際的な報告書づくりに、日本がこれだけ積極的にイニシアティブをとってやったことはなかったんじゃないか」と、各国の参加者、アメリカ、ドイツ、オーストラリア、途上国からはインドネシア、エチオピア、バングラディッシュと、多くの方が参加してくれましたが、非常に評価をしていただきました。

せんだって11月にジュネーブで第2ワーキンググループの全体会議がありまして、それに報告をしたわけですが、7つあるセッションの中で日本が一番作業が進んでいるという評価をいただいたところですよ。

もう一つのほうの第3作業部会のエネルギーと産業グループ、これは通産省の通産研究所の横堀次長が日本側の共同議長になって、こちらも精力的に作業を進めております。東大の茅先生も大きな貢献をしておられまして、関係省庁の行政官も含めて頻りに会議を開いて検討しているという状況です。

(4) 今後のスケジュール

今後のスケジュールですが、1990年2月に第3回のI P C Cの全体会合があります。ワシントンで開かれるんですけども、恐らくこのところがせんだってのオランダのノールドベイク宣言を受けた対応とか、今後の報告書取りまとめの最終的な方向とか、その辺をめぐって大きな山場になるんじゃないかと考えております。

その後は、5月ぐらいに3つの作業部会の最終会合を開きまして、8月に第4回のI P C C全体会合をやる。ここで報告書をセットする。11月に世界気候会議に提出するというスケジュールです。

昨年の11月から始まった活動が、これほど短期間の間に盛り上がって進んでいるわけですが、多くの方からI P C Cの動きが速過ぎて、貢献したくても間に合わないというお話をよく伺います。午前中にも、科学的知見よりも政策が先行しているんじゃないかというご意見もありました。

が、今のIPCCの流れの中で、完全なものができるとはだれも思っていないだろうと思われます。オゾン層保護の話でも、既にモントルー議定書が決められた直後から、その改定の話が予定を早めて進んで、現在そのための会合が行われております。

そういうことに照らしてみましても、温暖化についても恐らく、条約議定書ができて、さらに新たな科学的な知見に照らして見直しが頻繁に行われていくということがあり得るんじゃないかと思います。そのためにも、最初のボーリンさんたちのお話もありましたように、第一段階の検討なんだということで、IPCCの活動そのものが今後継続して行われていくということになるんじゃないかと思えるわけです。

こういった観点に立ってこれからの研究活動、特に我が国の研究活動の貢献、活発化を積極的に進めていただきますようお願いしたいと思います。

4.2 米国における研究

東京大学 花木 啓祐

私に与えられたテーマは、地球温暖化の影響評価に関するアメリカでの研究ということになっております。最初にお断りしなければいけないんですが、私自身は、アメリカへ行って温暖化の研究について調査したとかそういうのではなくて、たまたまアメリカのEPAのレポートを詳細に検討する機会がありましたので、せっかくだからそれを少しご紹介したいということでここで話するわけです。

アメリカにおいてはEPAとエネルギー庁で精力的な研究がかなり前から進められておりまして、温暖化の問題が注目を浴びるようになったのは1988年の6月ごろですが、それに先立つこと2年ほど前、1986年6月にEPAへアメリカの議会が、こういう研究をやりなさいという2つの注文を出しております。

1つは健康面、環境面で気候変化がどういふ影響を与えるか。きょうはこれについて話するわけですが、もう一つ、温室効果ガスレベルを現状維持するための政策の研究で、これについては午前中に小川さんからご紹介がございました。1番目につきましては、1988年の10月に報告書の草稿といったものが出ておりまして、「The potential effects of global climate change on the United States」という題名がついています。

この内容をざっとご紹介します。まず基本的な考え方(図4.2.1)についてご説明します。先ほど内嶋先生から、影響評価の研究をどういふふうに進めればいいのかというフローチャートのご説明がありましたが、その一部分に相当するところをここではやっておりまして、基本的には気候モデル、GCMのアウトプットを使いまして、それを既存の各種モデル——これは例えば水文の流出モデルとか農業の収率のモデルとか、それぞれの分野のいろいろなモデルにインプットする方法をとっています。GCMのアウトプットとしては、地域別あるいは月別の気温・降水量といったものを使っています。ただこの場合に残念ながら、先ほど内嶋先生からLCM——ローカルなモデルが必要だというお話があったんですが、ここではもう少し大きいスケールの数百キロメッシュぐらいの気候のデータが使われています。

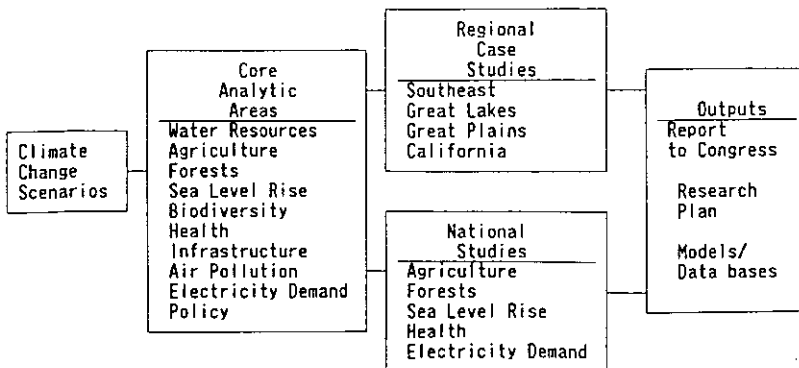


図4.2.1 Elements of Effects Report
“The Potential Effects of Global Climate Change on the United States”

ただ、現在のところGCMについてもまだまだ不確定性が大きい。モデルについてもそう確実ではないということで、EPAのレポートではあらかじめ断ってあるんですが、ここで出てくる結果というのは必ずしも予測ではない、プレディクションということはできない。将来どの程度の影響があり得るだろうか、大体その幅はどんなものか。あるいは気候変化に対して系がどれぐらい敏感か、例えば水文の系がどれぐらい気候変化の影響を受けるだろうかということを経験的スタディーの形で示したい、ということです。ケーススタディーで示すとそれだけ理解がしやすいという意味で、ケーススタディーを中心に行っております。

そのような観点で行っていますので、GCMについても現在知られている幾つかのモデルの中から1つを選ぶということはずせずに、結果が食い違う幾つかのモデルをあえて使って、そのアウトプットに基づく計算をしております。

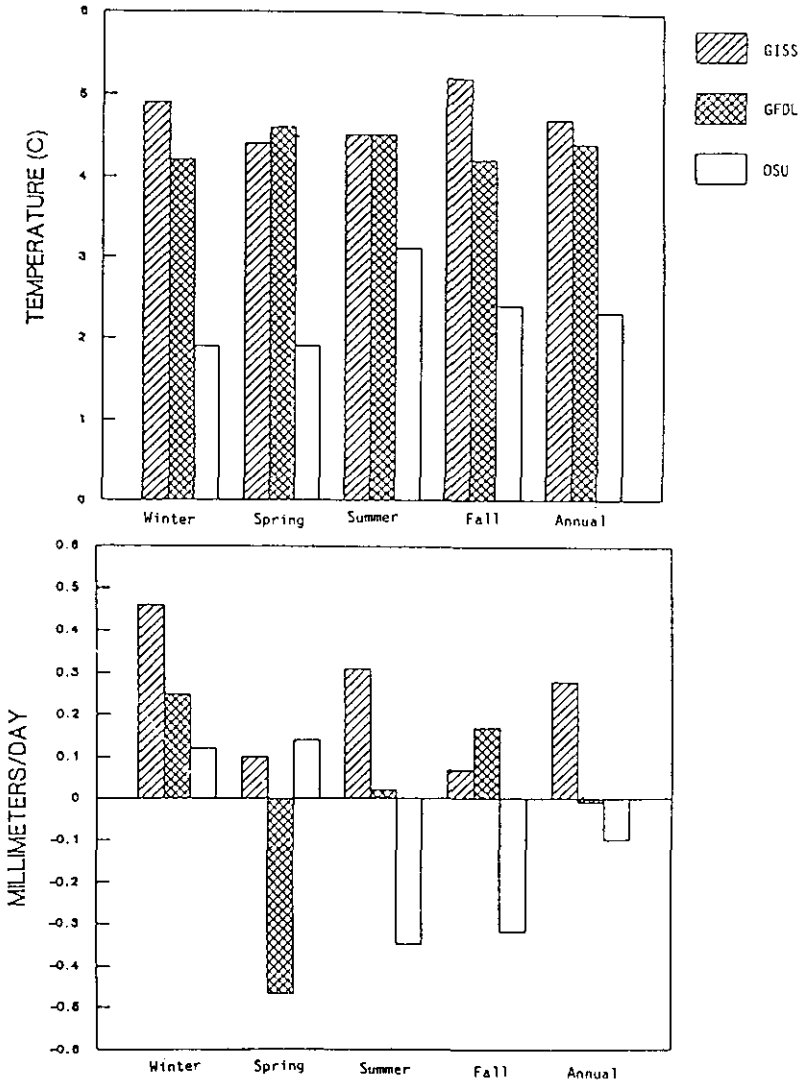
全体の流れを見ても、最初に気候変化のシナリオが与えられて、それを使ってここに書いてあるような項目について調べるわけです。これは水資源であるとか農業とか森林とか、以下省略しますが、そういう幅広い分野について調べる。地域のケーススタディーと国全体の研究の両方を行っています、主に地域のケーススタディー、具体的にはアメリカの南東部と五大湖地方、大平原とカリフォルニアの4つの地域について、モデルを使ってこういったアウトプットを出そうというわけです。

レポートにはたくさんの例が入っているんですが、ごくごく一例だけを示します。最初に示すのはカリフォルニアの例ですが、カリフォルニアにおいて炭酸ガスの濃度が2倍になって、なおかつ気候が平衡状態に達したとき、温度と降水量が現在に比べてどの程度増えるか、あるいは減るかというのを季節ごとに示したグラフが図4.2.2です。温度の上昇は2～5℃ぐらいですが、モデルの種類によってその幅がかなり違ってまいります。ここではGLSSモデルと呼ばれるものとGFDLモデル、OSU（オレゴン州立大）の3つのモデルについて、図のような結果が出ています。

降水量について見ますと、モデルによる違いも大きいし季節による違いも大きい。増えるか減るかすらはっきりわからないというのが今の使われている気候モデルの状況です。

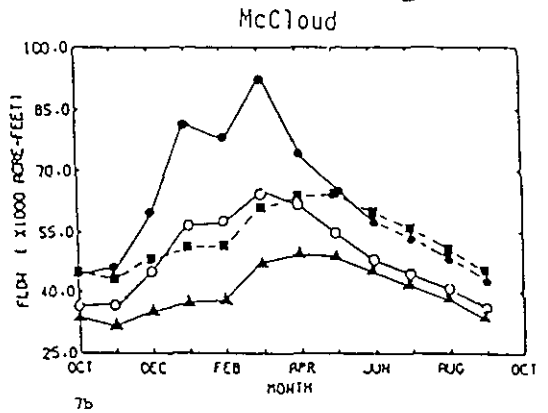
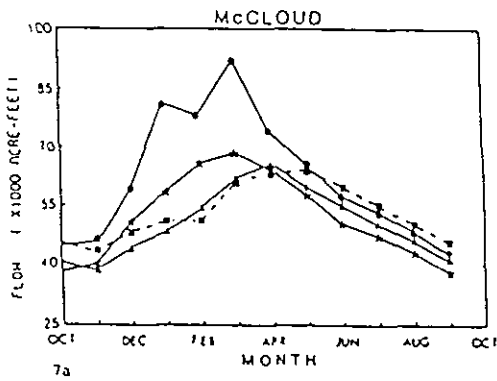
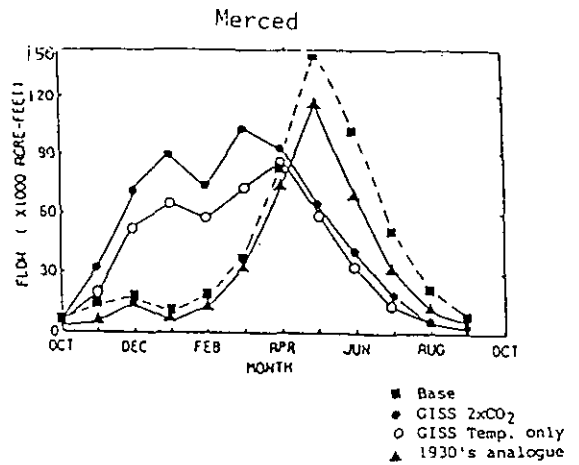
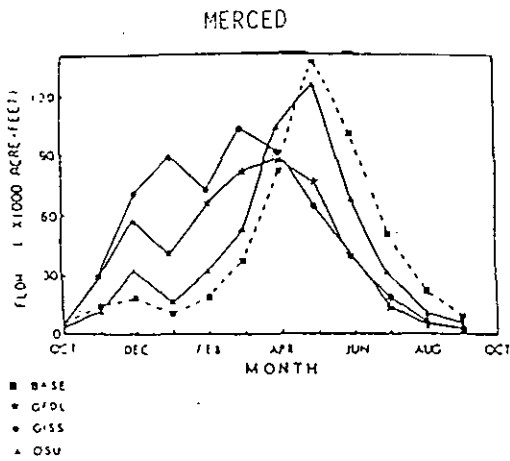
そういう不確定性を残しつつ、このモデルの月別の出力を水文の流出モデルにインプットしてみるとどうなるかというのが図4.2.3です。これは2つの河川流域について河川の流量がどうなるかという予測を出したものです。左側は温度と降水量両方の変化を考慮した場合、右側は温度の変化だけを考慮した場合で、今、右側の温度の変化を考慮した場合だけについて見ますと、現在の流出状況は、冬には積雪があって、河川に流出しないが、4月ごろに雪解けでドッと水が出てくるというパターンなんです。これに対して温暖化した状況では積雪が少なくなる。ですから2月ごろにたくさん出てくる。これはいいんですが、問題は雪解けの水が減ることです。特に4月、5月の河川の流量が従来よりもかなり減る。5月ごろは水の需要のほうも増えてまいりますので、需給問題を考えますと、水不足がこういったときに起きる可能性があるということです。

California



4.2.2 General Circulation Model (GCM) scenario results showing seasonal and annual (a) temperature changes and annual (b) precipitation ratios between GCM model runs at double current carbon between GCM model runs at double current carbon dioxide concentrations ($2\times\text{CO}_2$) and at current dioxide concentrations ($1\times\text{CO}_2$).

"The Potential Effects of Global Climate Change on the United States -California Case Study"



4.2.3 Mean monthly streamflows under different climate scenarios in two study catchments (see Figure 5 for locations of the study catchments)

- a. Results from the three GCM scenarios
- b. Results from the scenario incorporating only the temperature change projected in the GISS model run, and from the 1930's analogue scenario

Source: Lettermann et al.

"The Potential Effects of Global Climate Change on the United States -California Case Study"

表 4.2.1は、農業の収率について、カリフォルニアに対してモデルを適用した場合です。これは炭酸ガスの濃度が2倍になった場合に、いろんな作物、シュガービート、コーン、コットン、トマトとありますが、それに対してどれだけ収量が増えるか減るか予測したものを地域別に書いてあります。表の中にCCとかNet とか書いてありますが、実はCCというのは気候変化だけの影響——具体的には温度と降水量が変わる変化だけを考えた場合で、Net というのは、そういった温度変化とCO₂の濃度が上がることによるプラスの面も考慮した場合です。その場合に収量がどうなるかといいますと、気候変化だけを見ると大概マイナスになっている。この地域でできる作物については収量が減るということを意味しています。ただ、Net を見ますと、CO₂が増えることによるプラスの効果がある作物もあります。ところが、トウモロコシのようなものについては、CO₂の濃度が増えてもプラスの面が余り出てきませんので、実質的にも収量がかなり減るという結果が出ております。

ただ、これは、先ほども言いましたように、あくまでもプレディクションではありませんので、今の状況でつくられた今のモデルに気候モデルの出力を入れると大体これぐらいの範囲になりますよという数字です。

表4.2.1 Regional and statewide percentage yield changes (relative to 1985) under different General Circulation Model climate scenarios. Regional changes are projected by the Doorenbos and Kassam agricultural productivity model while statewide production changes are projected by the California Agriculture and Resources Model (CARM). The latter estimates include economic adjustment "Net" includes the direct effects of increases in CO₂ and climatic change (CC).

Region ^a	Scenario	Crop							
		sugarbeets		corn		cotton		tomatoes	
		CC	Net	CC	Net	CC	Net	CC	Net
<u>South Coast</u>									
Los Angeles	GISS	-26	21	-41	-37	-22	11	-7	18
	GFDL	-20	30	-26	-22	-4	41	-5	21
<u>North Interior</u>									
Red Bluff	GISS	-28	12	-27	-22	-18	22	-15	11
	GFDL	-23	21	-14	-8	-10	35	-13	13
<u>Sacramento Valley</u>									
Sacramento	GISS	-30	17	-20	-14	-17	25	-12	16
	GFDL	-27	22	-6	0	-11	34	-8	21
<u>Southern San Joaquin</u>									
Fresno	GISS	-33	5	-26	-21	-16	25	-15	11
	GFDL	-39	-8	-14	-8	-10	36	-13	14
<u>Southern Deserts</u>									
Blythe	GISS	-40	-2	-31	-27	-28	6	-13	13
	GFDL	-39	0	-14	-8	-19	21	-12	15
<u>CARM Statewide</u>									
	GISS	-30	12	-21	-17	-17	23	-13	5
	GFDL	-26	15	-9	-4	-10	35	-11	16

Refer to Figure 1 for city locations.
Source: Dudek

"The Potential Effects of Global Climate Change on the United States
-California Case Study"

今度は水質汚濁に対して適用してみるとどうなるかという1つの例で、図 4.2.4に示すのはエリー湖の場合です。湖沼の中に無酸素域が夏にできますが、気候が変わることによってどの程度無酸素域が拡大するかというのが描いてあります。例えば1970年8月について見ていただきますと、現在の気候条件下では約40%の地域が無酸素になっている。ところが、炭酸ガスが2倍になりますと、モデルによって結果が違いますが、無酸素域が80%以上にまで拡大します。富栄養化のモデルと温度成層のモデル——これは公害研でも随分熱心にやっておられますけれども——に気候のデータをインプットすることによって、こういった結果を出すことができるわけです。

EPAでは、こういったモデルを使った定量的な解析の一方で、過去に具体的にどういことが起きたか詳しく調べてみようという研究もされていまして、具体的には、湖の水位が過去に何らかの原因で下がったときに社会的にどんな問題が起きたかを調べて、それによって、今後、気候変化によって同じような水位変化が起きるとどれだけ社会的影響があるだろうかというのを研究した「Forecasting by analogy: social responses to regional climatic change」というレポートを出しており、社会的要因を定性的に把握するといった面からも研究が進められているようです。

こういった研究を見ますと、アメリカでは随分精力的に取り組まれています。これから我々がどうい研究をやるかというのが大きい問題なのですが、それはきょうの午後のセッションの最後に皆さんで議論していただければと思っております。

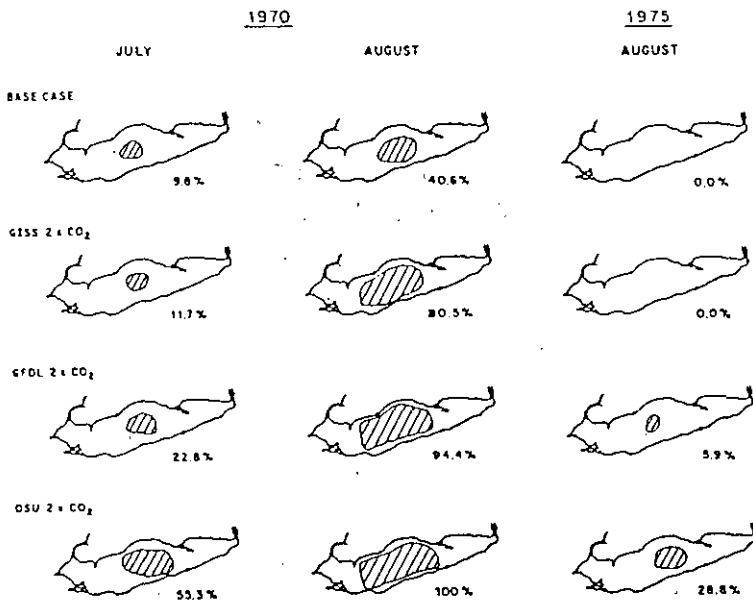


図4.2.4 Area of central basin of Lake Erie that becomes anoxic.

Source: Blumberg and DiToro

“The Potential Effects of Global Climate Change on the United States
-Great Lakes Case Study”

4.3 エネルギー分野

電力中央研究所 西宮 昌

きょうの午前中のエネ研の小川さんのお話で、地球温暖化問題に対するエネルギー戦略、あるいはCO₂抑制ということがどれほど難しいことかということ詳しく解説されましたので、今改めてここで申し上げることは特になんですが、一応用意したものを報告したいと思います。

先ほど来何度か出てきている11月の初めにオランダで開かれました会議で、CO₂の排出凍結ということがいろいろな観点から議論されたわけですが、この問題を強く主張したのがヨーロッパ先進国の大部分です。背景としては、ベースとしては国内の環境保護勢力に対する配慮というのがあると思いますが、エネルギーの観点からしますと、人口増加傾向が鈍化していて、エネルギー消費の伸びが将来にわたって余り期待できない。あるいは生活水準がある程度に安定、定着しておりまして、これ以上無理な経済成長を国民が求めなくなってきた。あるいは、フランスの原子力とか北欧の水力資源などエネルギー事情が有利であって、なおかつまだ省エネルギーの余地があるということを背景にして、ノールドベイク宣言というのが強く打ち出されてきたのではないかと考えられております。

新聞では、かなり一側面的なところしか報道されておりませんで、あの会議に参加した日本の代表団の取りまとめに関する努力が新聞報道では余り読めなかったんですけども、その陰ではかなりの活躍をされたということで評価されているように聞いております。

今後、世界の潮流としては2000年とか2005年ごろを目標にCO₂の排出凍結に向けていろいろの対応、あるいは国際会議がなされていくと思われませんが、流れとしては、CO₂凍結というのは近い将来に現実のものとなるのではないかと考えております。

振り返って、日本におけるエネルギー利用の現状を考えてみます。(図 4.3.1)

日本と欧米、あるいはオーストラリア、ニュージーランドと比べたいろいろな産業当たりのCO₂放出量の比較を示してあります。年度が古いのがあったり新しいのがあったりということでもちまちまですが、日本はほかの諸外国、先進国に比べて、電力の生産、鉄鋼の生産、セメント生産に関してかなりの省エネルギーを示しています。自動車1台当たりのCO₂排出量も極めて低いものになっています。

図 4.3.2は、民生用機器の省エネルギーの進展状況を昭和48年を100としたときの比較で示しています。冷蔵庫、カラーテレビというのが、48年に比べて著しく省エネ化されていることがわかりかと思えます。ただ、ここでは、例えば冷蔵庫の場合ですと、170リットルクラスの比較ということですが、最近では170リットルというような小さい冷蔵庫ではなくて、400、500といった大型冷蔵庫が家庭に入り込んできていますので、トータルのエネルギー使用量からいけば増えている傾向にあるのではないかと思います。いずれにしても、1973年に比べてエネルギー消費に対するGNP原単位が36%程度改善されているということです。

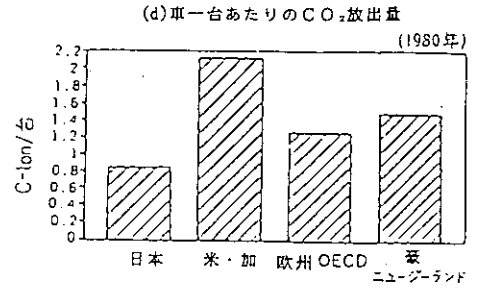
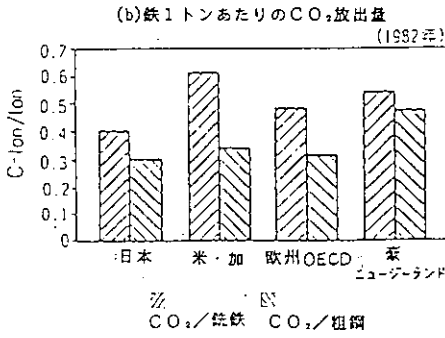
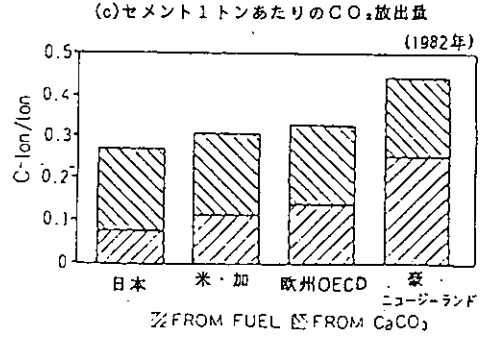
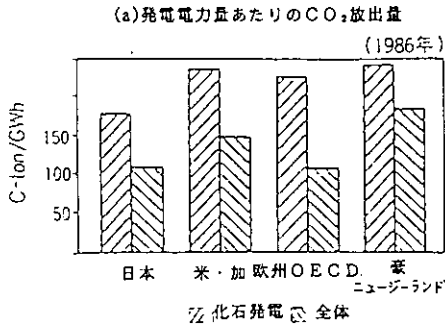
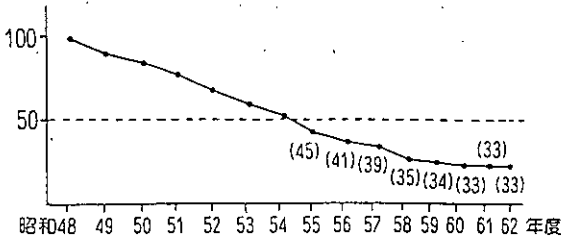
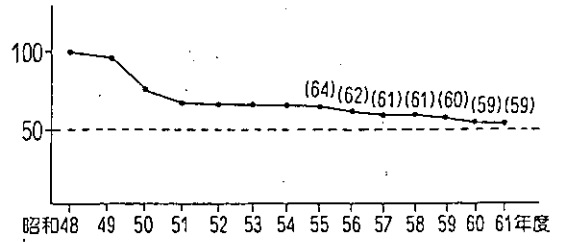


図4.3.1 分野別CO₂放出量の比較

○冷凍冷蔵庫
2ドア冷凍冷蔵庫 170ℓクラス年平均
一ヵ月当たりの消費電力量の推移
(48年度=100)



○カラーテレビ
19、20インチ消費電力の推移
(48年度=100)



(注) 年度は冷凍年度 (前年10月~当年9月) を示す

(出所) 省エネルギーセンター
「省エネルギー便覧」

図4.3.2 我が国の主要民生用機器の省エネルギーの進展状況

図 4.3.3は、我が国の昭和62年度の1次エネルギー消費です。1次エネルギーとして、石油、石炭、原子力、LNGの順序でありまして、84.6%がCO₂を発生する化石燃料に依存していることがわかりだと思えます。

図 4.3.4は、我が国の1次エネルギー消費の推移です。左のほうの4つのグラフが実績で、右の3つが今後の長期エネルギー需給見通しを示しています。

昭和30年、40年に比べて、エネルギー消費が著しく増加しています。石油依存が、例えば50年度ですと73%程度あったものが、現在は57%程度、昨年でもう少し下がっているようですが、将来は2005年ぐらいを目標に、石油を42%程度、化石燃料全体としても60数%に抑えようという計画になっており、こういう需給計画が今度の地球環境に問題にどう対応できるかということになります。聞いたところによりますと、10年先、15年先ぐらいの電源計画は簡単には変えられない社会システムになっているということで、今後どういうCO₂の抑制が出てくるか、推移を見守っているところがエネルギー業界の動向だと思えます。図 4.3.5-aは最大電力発生日の電力負荷曲線であり、電力需要の伸びとして、図 4.3.5に波線グラフが示してあります。1日のうちの電力の昼夜間格差を示していますが、年々、日中高く夜間少ないという、昼夜の格差がますます大きくなってきていることがわかりだと思えます。

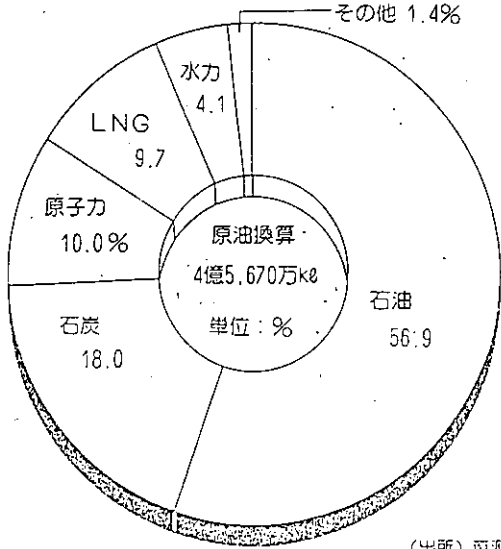
図 4.3.5-bは季節別の格差を示しており、発電電力も増えていますが、季節間格差もますます大きくなってきています。ことしの8月21日が今までの最高記録でありまして、ちょうど高校野球の決勝戦があったときですが、この数字だけでいきますと1,400ぐらいのピークを示しています。電力を供給する側としては、高校野球をナイターにしてくれればというのが本音の話ではないかという気がいたします。

地球温暖化によるエネルギー分野への影響については、2つの点から研究を進めていく必要があるのではないかと考えております。

1つは、温暖化による自然・社会環境への直接的な影響、もう一つは、温暖化を抑制あるいは遅延化させるためのCO₂排出規制という問題による影響です。

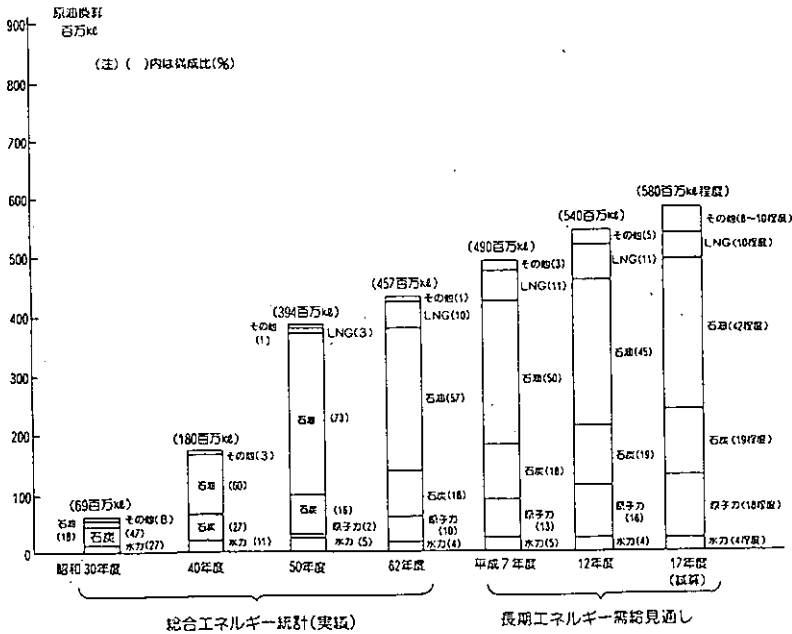
図 4.3.6には矢印と線をいっぱい書いてありますが、これは大気中CO₂濃度の増加というインパクトが自然、生態系、社会にあったときに、どのようなインパクトが自然、生態系、社会にあらわれるかを大づかみに示したものです。すなわち、大気中CO₂濃度の増加によりまして気候の変化が起こり、陸域、海象の変化が起こるといようなインパクトが新たに発生したときに、生態系、社会がどう影響を受けるかということを示したものです。

特に子どもは電力をつくり出すところの分野に絡んでおりますので、その方面に話を絞らせていただきますと、こういうことを前提にして生態系あるいは社会にどのような影響を与え、それを通して電気事業あるいは電力供給、電力の需要というものに対してどう影響があらわれるかを絞り込んでいきました。その結果が図 4.3.6の下のほうなんですが、1つ考えられるのは需要の変化であります。これは前のグラフでもお見せしましたように、温暖化しますと恐らく確実に夏期の需要が増え、冬期の需要が減るでしょう。



(出所) 資源エネルギー庁編「総合エネルギー統計」

図4.3.3 我が国の一次エネルギー消費 (昭和62年度)



(注) 構成比の合計が100に合わないのは、四捨五入のため

図4.3.4 我が国の一次エネルギー消費の推移

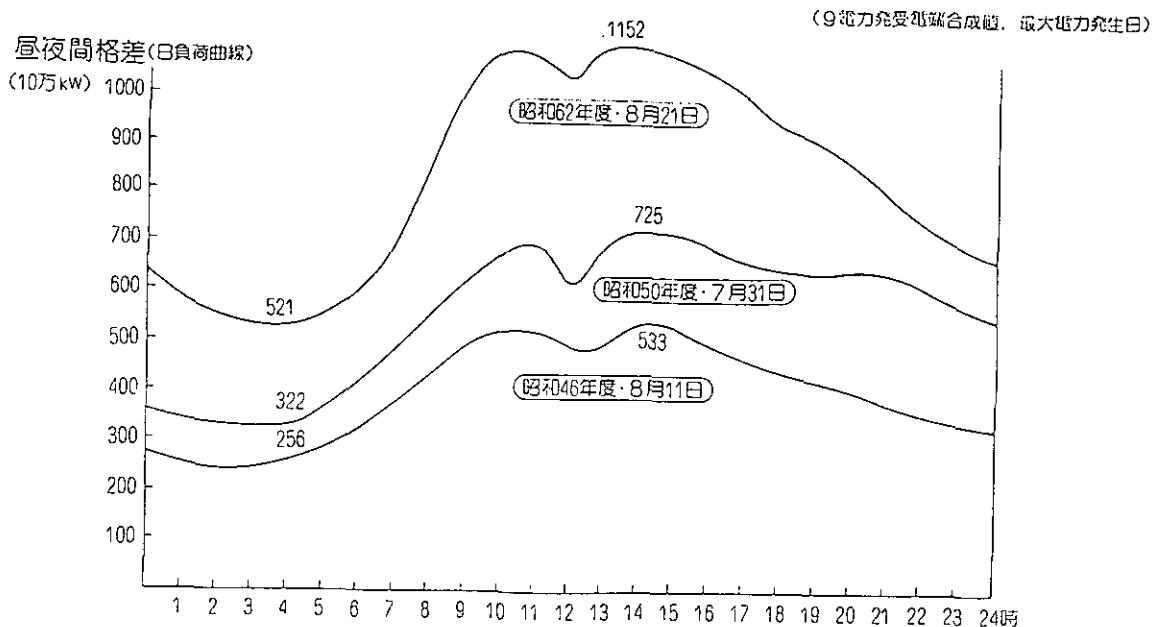


図4.3.5-a 電気の使われ方 (負荷曲線)

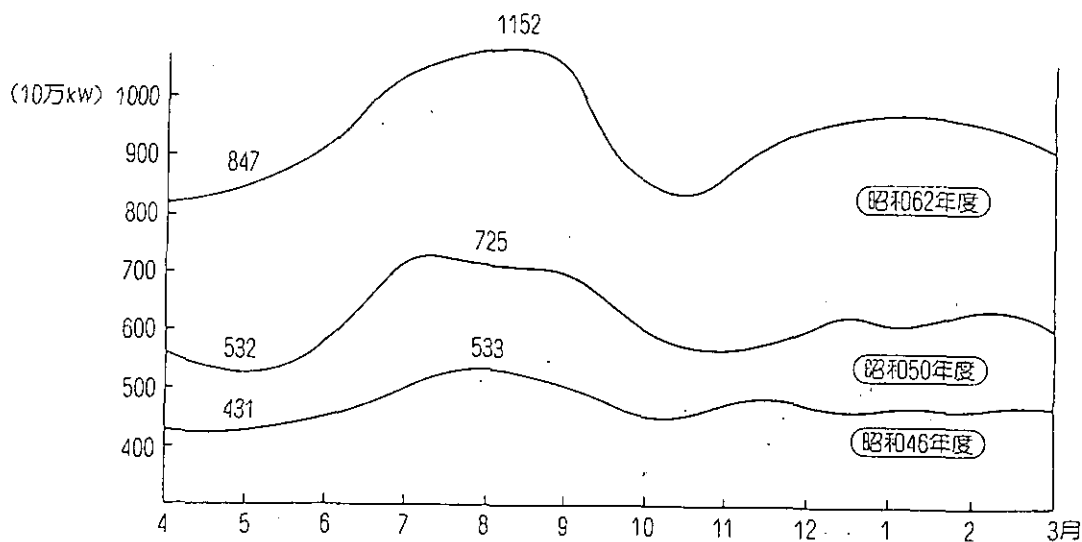


図4.3.5-b 季節間格差 (年負荷曲線)

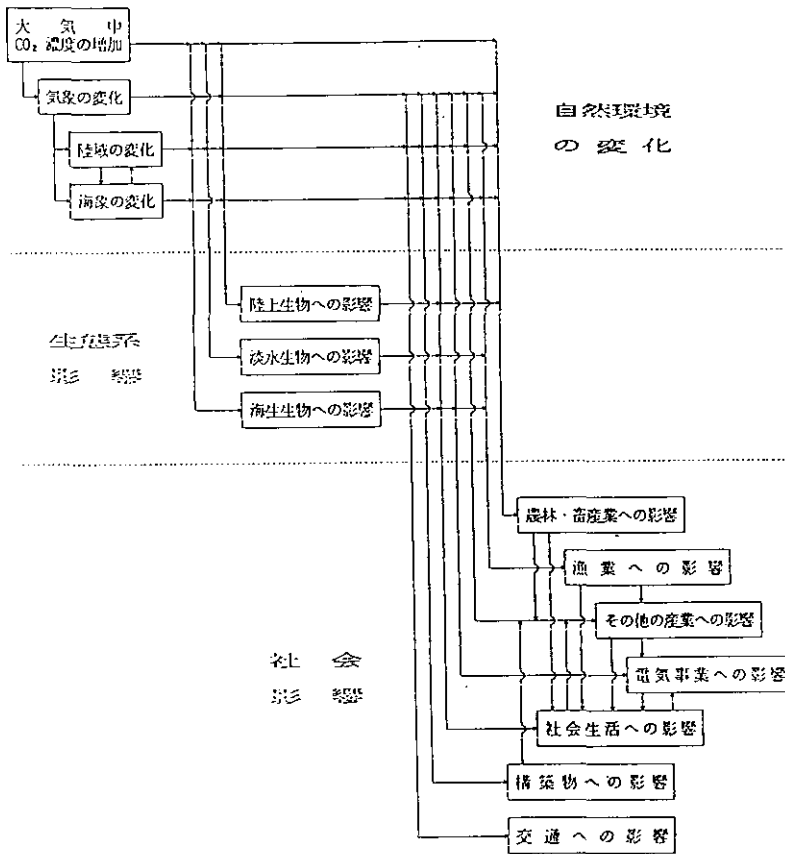


図4.3.6 CO₂濃度増加が自然・生態系・社会に与える影響

それから、ますます夏のピーク需要が増えることが考えられます。

こうして、昼夜あるいは夏冬の、季節間格差あるいは時間格差がますます拡大していくわけですが、電気事業と申しますのは1つは設備産業でありまして、ニーズに的確に対応していかなければならない。ピークが増えれば増えた分だけそれに対する設備を増やしていけないといけない。そういう宿命を持っているわけです。それに対して、今後の電源をどう調整していくかが大きな問題になってくると思います。

あとは運転、運用のほうにかかわりますが、発電設備に関しては、雨の降り方が変わったり旱魃があらわれたりという結果によって水力発電の運用に大きな影響が出てくるでしょう。あとは、冷却水の取放水、温度上昇や変動、あるいはそれによる発電効率の低下なども考えられます。

それから発電設備、施設に関してですが、今、予測されている気候変化からしますと、台風が増えるか、大きな台風が来るか、どちらかよくわからないところがありますが、いずれ強風とか波浪、高波対策、あるいは塩害、雪害などによるこれまでとってきた設備の維持というのが、今までどおりの考え方ではできなくなるのではないかと考えられています。

もう一つは、需要の変化に絡んでまいりますが、気候変化によって地域産業の変化が考えられてまいります。これは細かく言えば切りがありませんが、気象条件に左右される産業というふうに、直接的には考えていただければよろしいですし、それが二次的、三次的に絡んでくる産業もあると思います。それによって、ある地域におけるエネルギーの利用形態が変わってくれば、それに対応する供給体制をとっていく必要があるという事態が発生してまいります。

1つの例として、図 4.3.7 に水力発電施設への影響を示しています。水文、気象の変化があった場合に、例えば冬に、雪ではなくて雨が増えるとか、積雪が減少する。先ほどの話で、積雪が一気に解け出して夏までもってくれないというのもありましたが、そういう影響が出てきます。それによって、冬期の水力発電が増える、水力の運用が変化する、こういうプロセスが考えられます。

ここまでは定性的に、こういうことが起こり得るということで整理してみたんですが、今後はこれをできるだけ定量的に評価していきまして、温暖化に対してどういう対策を適切にとっていかねばならないか、一つの適応対策になるわけですが、それについて考えていくつもりです。

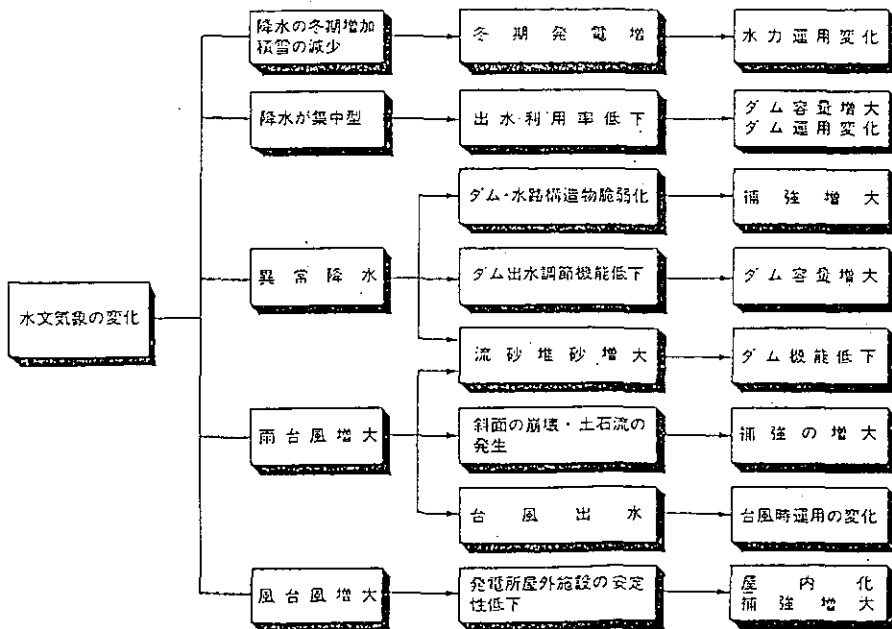


図4.3.7 水力発電施設への影響

もう一つは、CO₂削減による影響。これは確実にエネルギーの需要形態が変わってくるものが考えられます。最初に示した一次エネルギーの利用システム、可能なところでは自然エネルギー、あるいは再生エネルギーの利用の導入ということで対応できるような議論がありますが、先ほどのエネルギー構成を考えてみますと、日本の場合にはなかなかそれは難しい話ではないかと考えられます。

それから、CO₂抑制ということになりますと、各産業からのエネルギー源として電力へシフトするということがごく自然に考えられます。こうなったときに電力を供給する側としてはどう対応したらいいかが大きな問題になってまいります。

CO₂削減による影響のもう一つは、産業構造が確実に変化するでしょうと。今まで燃料として使っておりました石油が恐らく原料として利用されるようになりますし、CO₂の排出量が少ないということで、一時的にLNGへのシフトが考えられますが、この導入にかかわるもろもろの産業が新たに発生してくると考えられます。

3番目はCO₂抑制技術ですが、新エネルギー、省エネルギーの技術開発に日本としては拍車をかける必要があると考えられます。CO₂を出さない、あるいは極力CO₂の排出を抑制する、減少させるという技術——エネルギーの有効利用という観点になるわけですが、これについてはいろんなところで今、技術開発がされていて、2000年、2010年、2030年ごろに目標を定めたものもありますが、その技術開発が加速化され、できるだけ早く今のエネルギー供給システムの中に組み込まれいく必要があるのではないかと考えられます。

もう一つ大事なものは、CO₂削減ということを経済全体がどのように考えていくかということになります。これも午前中からいろいろの議論がなされています。例えば節エネルギーとか省エネルギー——現在エネルギー消費がどんどん伸びていますが、これは豊かな社会を目指す日本の成熟しつつある社会がそういう状態になってきていますが、豊かな社会を目指すエネルギー消費量も必然的に増えてきます。そういう社会の流れに対してCO₂削減がどういう意味を持つかを正しく知ってもらわないと、議論が先に進まないのではないかと気がいたします。

例えばCO₂を出さない技術としては原子力がありますが、これは午前中の話にありましたように、簡単にこれを導入するという社会体制にはなっておりません。個人の生活レベルでいいますと、いろいろの省エネルギー、節エネルギーという観点でライフスタイルの見直しが当然求められてくるんじゃないかと考えられます。

いずれにしても、日本の社会は今成熟期に足を突っ込み始めているところですが、このCO₂排出抑制という問題は、ちょっと言葉は悪いんですが、観念的な議論に流されないで、日本の置かれている状況、あるいは今後エネルギーをどう使っていくかということに関して、長期的、総合的な視点に立ったエネルギーの利用哲学といったものが求められていくのではないかと考えます。

4.4 農業分野

農業環境技術研究所 宇田川 武俊

(1) 温暖化と農業

地球温暖化と農業ということですが、先ほど内嶋先生から農業に関してかなり詳しいお話がありましたので、温暖化と農業の関係、特に農業が温暖化でどう影響を受けるということについては省略させていただきます。

農業というのは温暖化の影響をもろに受けるわけですが、一方で農業自身が温室効果ガスのソースとして温暖化に寄与している、こういう両面を持っているわけです。ここで温暖化の影響について若干の補足をさせていただきますと、先ほどアメリカの研究の例として東大の花木先生から、カリフォルニアの作物の収量予測の例がありました。その中で温度上昇の効果がほとんどマイナスになっていましたが、CO₂濃度上昇を考慮するとプラスのものとマイナスのものがあるという説明でした。あそこにありましたマイナスの作物はトウモロコシです。プラスに上がっているのがシュガービートとかワタです。マイナスになっている作物は光合成のタイプでいいますと、C₄型作物と呼ばれるもので、プラスになっていたのがC₃型作物です。そういう光合成タイプの違いによってCO₂濃度上昇の効果は違うという例であったかというふうに見ました。

温暖化と農業の影響に、そこには9つほど書いてありますが、こういった温暖化そのものの問題だけではなくて、これに加えて、地球規模の環境問題の一つである紫外線の増加とか、酸性雨の問題、そういったものが相乗的に加わってくるということがありますので、それらについても十分注意していかなければならないと思います。また、生産力とか生産地域の変動が当然予測されますが、その結果、食料供給とか貿易、あるいは産業、社会経済に大きな影響を加えるわけで、こういった問題が特に開発途上国に深刻な問題をもたらします。

一方、温暖化への寄与の問題ですが、温室効果ガスであるCO₂、あるいはメタン、N₂O等の生成に農業は関係を持っています。そこにあるように、まず第1は、CO₂のソースとして現在の近代的な農業がエネルギー多消費型になっている。オイルショックの時代に農業におけるエネルギー利用が一時停滞しましたが、最近、特にここ数年、温室栽培の増大等を通じて、農業におけるエネルギー利用が急激に増えてきております。食生活の高度化といいますか、グルメ化ということに対応して、そういう需要にこたえるための供給を維持するために、温室栽培でのエネルギー投入が非常に増えているということです。

第2点は、開発途上国に多く見られるところで、人口の増加に対応して食料生産をふやさなきゃならない。そのために耕地の拡大が必要ですが、その耕地の拡大のために森林の伐採を行った結果、CO₂のシンクの機能を破壊しています。こういったことに対しては、既存の耕地の生産力をどうやって維持していくかということが一つの大きなポイントかと思われまして、さらに土

地利用の効率を上げることが必要になってくるかと思えます。

第3番目ですが、水田や家畜から発生するメタン、これが温室効果ガスとして注目されています。表 4.4.1に示すように、大気中のメタンの放出源として一番上にある腸内発酵は、実は大部分が家畜です。家畜の体内でメタンガスが生成されます。特に草食動物である牛、羊等は——腸内発酵と書いてありますが、正確には、反芻動物の場合は胃の中でメタン発酵が起こって、それから出るメタンが年間放出量にすると全体の15%ぐらいの寄与を持ちます。

発 生 源	年放出量		範 囲 Mt,CH ₄
	Mt,CH ₄	%	
腸内発酵(動物)	80	14.8	65-100
天然湿地(沼・沼沢地・ ツンドラ・沖積地)	115	21.3	100-200
水 田	110	20.4	60-170
バイオマス燃焼	55	10.2	50-100
シロアリ	40	7.4	10-100
ゴミ埋め立て地	40	7.4	30- 70
海 洋	10	1.9	5- 20
淡 水	5	0.9	1- 25
メタン水和物の不安定化	57	0.9	0-100
石炭探掘	35	6.5	25- 45
ガスの採取・漏れ・移動	45	8.3	25- 50
合 計	540	100.0	400-640

表4.4.1 大気中のメタンの放出源(R. J. Cicerone & R. S. Oremland, 1988)

もう一つ、水田から出るメタンは地球全体のメタンの20%ぐらいに及びます。また、寄与の大きいものは大部分が自然発生であって、人為的に制御することは極めて難しい。このためメタンの場合は、水田あるいは家畜から発生するメタンをどう制御するかが大きな問題になります。IPCCの第3ワーキンググループでも、メタン問題が1つの中心的な話題になっています。

図 4.4.1は、水田からメタンが生育期間中にどんなふうに出ていくかを示しています。図の一番上の発生量の多い線は、稲わら区から出たものです。現在の水稻栽培では、収穫時に小型のコンバインで収穫します。その際、発生したわらが生のまま水田にすき込まれるという例が普通になっていますが、そういった水田から出てくるメタンが最も多いのです。稲わらを一たん堆肥化する、あるいは有機物の施肥を行わない区からは発生量が極めて少ないことが図からわかります。

同じ稲わらをすき込んだ区であっても、生育の経過をたどると、7月初めの中干しとして、水田の田面の水を落として水田土壌を乾かす過程を経ますと、メタンの発生が減る。つまり、メタンは還元状態で大量に発生しますので、水田土壌を酸化状態に維持してやると発生をかなり抑えられることがわかります。

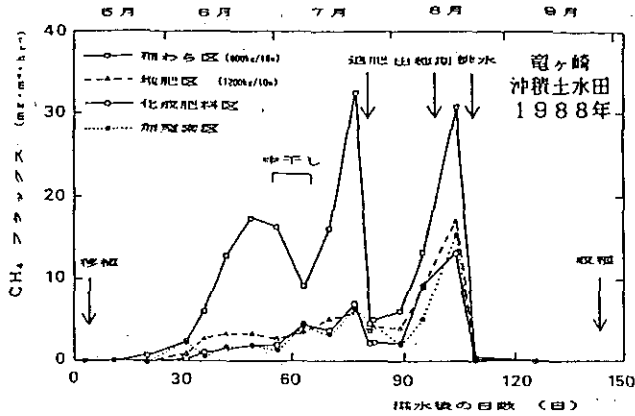


図4.4.1 竜ヶ崎沖積土水田からのメタンフラックスの季節変化 (八木・陽, 1989)

もう一つ、農業と温室効果ガスで関係が深いものに N_2O があります。表 4.4.2 に発生源が示してありますが、その真ん中辺に施肥土壌というのが 있습니다。まだかなり幅のある数字ですが、Nにして年間約 150 万トンくらいの N_2O が出ているということで、発生源全体の10%ぐらいに及んでいます。

この N_2O は化石燃料から出るものが一番多く、ほかに自然の発生源がかなりあります。農業からの発生は人為的に制御できる1つということで、その制御の方法の一例が表 4.4.3 にあります。表 4.4.3 の一番下のところをごらんいただきますと、窒素肥料を施用する際に、硝酸化成の抑制剤と呼ばれる薬剤を同時に施用いたします。表のDCSの効果と書いてあるところですが、硫安区が一番下を見ますと、 N_2O が10アール当たり60グラムぐらい、ニンジンの栽培期間中に発生したとなっていますが、硝化抑制剤を併用したところだと半分以下に抑えられたということがわかります。

こういった実験結果から、 N_2O の発生を抑制する手だても見つけられそうということがわかってきました。

ところが、やっかいなのは家畜でして、草食動物、特に牛の場合ですが、摂取したエネルギーの約10%が反芻胃の中でメタンになると言われています。乳牛のように人間の手が毎日加わるような家畜ですと、メタン発生を抑制する薬剤を与えることが可能ですが、そういった薬剤を与えたミルクを飲むことに対する抵抗感は当然あるかと思えます。一方、肉牛のように放牧主体の飼育がされている家畜ですと、ほとんど手の打ちようがないということになります。したがって

表4.4.2 対流圏における一酸化二窒素の収支 (Mt, N/年)
(W. Seiler & Conrad, 1987)

発生源	
化石燃料の燃焼	2 ± 1
バイオマスの燃焼	1.5 ± 0.5
海洋・沿海	2 ± 1
施肥土壌	1.5 ± 1
天然土壌	6 ± 3
植 生	< 0.1
耕地土壌 (無施肥)	0.4 ± 0.2
合 計	14 ± 7
吸収源	
成層圏での消失	9 ± 2

表4.4.3 ライシメータ試験のN吸収量、溶脱量およびN₂O放出に及ぼす硝抑制剤 (DCS) の効果 (陽, 1988)

処 理 区	無窒素区	硫安区	硫安・DCS区
ニンジンの収量(kg/10a)			
葉	267	533	1,075
根	1,205	2,125	3,516
N 吸収量(kg/10a)	1.96	7.09	12.97
浸透水量(mm)	235	231	229
浸透水の N(mg/l)	2.20	4.14	2.98
N の溶脱量(kg/10a)	0.52	0.95	0.69
N ₂ O-N の放出量(g/10a)	7.7	59.7	25.2

ライシメータ：鴻巣灰色低地土の表土を深さ 1 m 充てん

施肥料：N, P₂O₅, K₂O 各 20kg/10a 元肥, 硫安区は 15+5N 分施, 栽培期間 116 日

DCS：N-(2,5-ジクロロフェニル)スクシナミド酸を N の 5% 添加

メタン発生を抑えるためには牛肉を食べるのをやめるしかない——極端に申しますとそういうことになろうかと思えます。

食生活、あるいは食に対する志向ということも、あるいは温室効果や温暖化に影響があるということ、我々の持つ食文化に対する問いかけも温暖化の観点から必要です。

(2) 研究の方向

ところで、現在進めております研究の方向ですが、表 4.4.4のように、大きくは4つほどにくくれるかと思えます。まず何といても温暖化の影響はダイナミックにどうなっていくか、温室効果ガスの動態、あるいは炭素収支の変動、さらにはグローバルな土地利用のモニタリングを行い、あわせてそういった中で、農林生態系の中での植生の機能がどんなふうに動いていくかということグローバルにははっきりしておく必要があるかと思われま。

第2点としては、農林生物への温暖化の直接の影響の解明です。

第3点が、温暖化と農林環境資源との相互作用の解明で、例えば農業気候資源、あるいは水資源、土壌資源等が温暖化の影響を受けて変動するわけですが、それ自身がまた温暖化にも影響を持つ。そういった関係についての解明が必要です。

第4番目に、温暖化に対応した農林技術の開発。ここは対応技術ないしは温暖化に適用する技術開発ですが、特に例えば上から3つ目ぐらいに書いてあります新しい品種の育成、予想されま高温、あるいは乾燥条件に適応した品種の育成が今から開始されなければならないだろう、ということが言われます。しかしながら、先ほど内嶋先生から指摘がありましたように、温暖化のシナリオが一体どうなっているかということが明確にならない以上、ストラテジーをはっきり立てることが難しいということもありますので、そういう分野の方の一段のご努力をお願いしたいと思います。

表4.4.4 農林業分野での温暖化影響に関する研究課題

- | |
|---------------------------------|
| ① 農林生態系への温暖化の影響の解明 |
| ・ 農林生態系における温室効果ガスの動態 |
| ・ 農林生態系における炭素収支の変動 |
| ・ 土地利用のモニタリングと農林生態系の植生の動態 |
| ② 農林生物への温暖化の影響の解明 |
| ・ 農作物・家畜・森林生物の生理生態反応 |
| ・ 昆虫・微生物・雑草等生物相の変動 |
| ③ 温暖化と農林環境資源との相互作用の解明 |
| ・ 農業気候資源・水資源・土壌資源の変動 |
| ・ 農用化学資材の動態 |
| ・ 農林生態系が大気組成に及ぼす影響 |
| ・ 海面水位上昇に伴う土地利用・生態系の変動 |
| ④ 温暖化に対応した農林技術の開発 |
| ・ 化石燃料削減のための省エネルギー技術 |
| ・ 代替エネルギーとしてのバイオマス利用技術 |
| ・ 高温・乾燥等の条件に対応した作物・家畜新品種の育成 |
| ・ 温暖条件下における栽培・家畜飼養技術 |
| ・ 温室効果ガス発生抑制のための農用資材・栽培管理技術 |
| ・ 海面水位上昇に伴う低標高農地・海岸保全施設等の対策技術 |
| ・ CO ₂ 固定能力の高い森林育成技術 |
| ・ 温暖化に対応した造林樹種・品種の作出 |
| ・ 温暖化に対応した森林造成・保全技術 |
| ・ 農林複合経営技術（アグロフォレストリー） |
| ・ 熱帯林保全技術 |
| ・ 熱帯・亜熱帯地域における農用地開発技術 |

注) 今後推進すべき研究課題を例示的に示したもので網羅的ではない。

4.5 水文・水資源分野

土木研究所 吉野文雄

(1) はじめに

水文・水資源の分野で地球温暖化に伴ってどういう影響があるかというお話をすることになっていますが、ご存じのように、気候変動を評価するGCMモデルによる予測結果は現在の段階では今なお不確定な面が多く含まれており、水文循環、つまり地球上での水の循環に対しての評価もいまだ明確ではないということを前提に置いて、ここでは現在どのような研究が水文・水資源の分野で実施されているかを、文献のレビューにより紹介し、次に建設省土木研究所で現在遂行している研究を紹介し、将来の研究課題を提示してみたいと思います。

(2) 水文循環への影響評価に関する研究例

地球温暖化が水文循環に及ぼす影響について、現在、水文学的に取り扱われている方式、方法論には以下の3つのものがあります。

- 1) 流域水文循環モデルに温暖化による影響量を入力し、現況と比較
- 2) 既往の温暖な時期と寒冷な時期の水文量の比較
- 3) GCMに対応するマクロ水文モデルの構築による評価

第1のものは、従来から我々水文学者が持っている水文循環モデルに、温暖化による影響量、例えば降雨量が増える、あるいは蒸発量が増える、そういうものを入力して、現況と比較してどうという影響が出てくるかという評価です。

第2のものは、気候の温暖な時期と寒冷な時期の水文量がどう違っていたかという方法論で分析するやり方です。

第3のものは、まだ緒についたばかりですが、GCMモデルに対応するマクロ水文モデルといえますか、物理的な流出モデルを構築して、評価するということが行われつつあります。

簡単に、どういう研究が今まで行われてきたかということをご紹介しますが、その前に、2番目については、こういう方法論で温暖化の影響が水文循環の上で評価できるかどうかについては疑問があるというご指摘もあります。こういうことについてはまだまだいろいろな人たちのご意見の一致が見られてないとお断りしておきます。

まず第1番目の方法論による研究についてですが、F. Bultotら(1988)¹⁾はベルギーのRoyal Meteorological Instituteによって開発された概念モデル(IRMB)を用いて、80年間にわたる日単位の流出計算を行い、炭酸ガス濃度が2倍になったと仮定した場合に、蒸発散量、土壌水分、積雪期間、地下水貯流量、河道流量、流域水収支にどんな影響があるか調べています。対象としたのはZwalm川流域(A=115 km²)、Dyle川流域(A=645 km²)と、Semois川流域(1235

km²)の3流域です。シミュレーションの結果、

①可能蒸発散量が9%、実蒸発散量が7%増加すること

②表層土壌帯水分量が、飽和時の40~60%以下になる頻度が増すこと

③積雪期間が短期化することにより、融雪剤散布による汚染の危険性が減ること

④浸透の卓越する流域では、地下水貯留量が増加し、有効蒸発散量の増加や夏期降水量の減少にかかわらず、基底流域や年間流出量の増大をもたらすこと

⑤表面流出の卓越する流域では冬期の洪水生起頻度が増し、夏期の河道流量が減少すること等がわかったとしています。

また、J.Martinec ら (1989)²⁾ は、カナダのBritish Columbia流域 (A=1155km²)、アメリカのRiogrande 流域 (A=3419km²)、及びスイスアルプスのFelsberg流域 (A=3250km²)の3流域を対象とした融雪流出モデルにおいて、実測の気温、降雨、リモートセンシングによる積雪面積データを入力条件として用いた場合と、気温3℃上昇させた場合について流出ハイドログラフを比較し、融雪期の流出総量は3地域平均で12%増加、月別に見ると4月は121%増、5月は65%増となるとの結果を得ています。このように水文循環モデルを応用することにより水資源システムへの影響を予測することができます。

C.Ottle ら (1982)³⁾ は、サクラメントモデル (計算ステップは日単位) を用いて、乾燥地域の代表としてテキサス州 Pease川Vernon上流域 (流域面積9034km²) と、湿潤地域の代表としてMississippiの川流域 (流域面積1949km²) について、それぞれパラメータを同定した後、気候変動のシナリオとして、気温の±1℃、±3℃変化、降雨の±10%、±25%の変動を入力することにより、流出に生じる影響及び必要貯留施設量に生ずる影響をグラフの形で整理しております。ケース数が限られているので一般論としては結論づけられないとの前提のもとで、

①降雨量の1%変動は安定取水可能量の2%変動をもたらすこと

②蒸発散量の1%変動が安定取水可能量に及ぼす影響は、乾燥地域で0.5%、湿潤地域で1%であること

などを示しています。

Bhawan (1987)⁴⁾ は、カナダ国ケベック州内のジェームズ湾準州における3流域を対象にして、CO₂が現在の2倍となったときのGFDLモデルの予測結果 (シナリオA)、及びGISモデルの予測結果 (シナリオB) を入力値とした場合の、各流域での水力発電可能量の変化を概算した結果を報告しています。それによると、カナダでは、気温上昇によって蒸発散量が増えるものの、それをはるかに上回る洪水量の増大 (1月と7月は30~40%も増加) が予測されるため、どちらのシナリオのもとでも水力発電可能量の増加が期待できるとの結論が得られています。

ソビエト連邦においても、0.5℃の気温上昇に対して河川の年流出量はどう変わるかということと同じようなことが行われています。⁵⁾ 長期間の観測値に基づく方法、あるいは水収支式に基づいて推定する方法によりますと、ロシアの中央部で0.5℃上がったときにはロシア中央部で

は流出量が減ることが予測されています。

次に、第2番目の方法論による研究についてですが、D.N.Collins (1987)は⁶⁾、スイスアルプスの氷河流域(流域面積38.9~778 km²の6流域)における1922~1983年の実測値から、平均温度の高い1941~1950年と1966~1975年の10年間連続した期間を抽出し、その比較から、1℃の気温低下は平均年流出量を25%増加させることを見出しています。さらに重相関解析の結果から、大部分が氷河に覆われている流域では、流出量の変動は平均気温で説明され、さらに冬期降水量を説明変数に加えると、最もよい相関を示すとしています。

J.P.Paulutikov(1987)は⁷⁾、イギリス及びウェールズの10地域において、20世紀における最寒の20年(1901~1920)と最暖の20年(1934~1953)における降水量と流出量の変化を調査し、

①降水量は、ウェールズ北部のみで増大し、他の地域では0~0.5%の減少を示したこと、

②それに対応して、流出量も北方の2流域のみで15%程度の増大を示したが、他の8流域では5~25%の減少を示したこと

を報告しております。

またK.McGuffieら(1987)は⁸⁾、同じ最寒、最暖の期間における西ヨーロッパ、北アメリカ、インドにおける雲量データから、平均気温上昇に伴って、雲量が増大傾向にあることを示し、もし雲量が増加するのだとすれば、雲のタイプ、高さ、構造など他の条件が一様と仮定した場合、太陽の放射を遮ることにより、温暖化を抑制する効果などを有する可能性があるとしております。

最後に第3番目の方法論による研究についてですが、先ほども申し上げましたように、GCMに対応するマクロ水文モデルの構築による評価ということがこれからぜひ必要です。と申しますのは、GCMモデルでも問題点として指摘されているのは、地表面付近の蒸発散現象の評価ということがまだ正確に行われていないということもあって、水文学からの寄与ということがこれから十分に考えられなければならない問題だろうと思います。

W.J.Shuttleworth(1988)は⁹⁾、近年の国際的実験であるARME, HAPEX, FIFE をレビューし、蒸発現象に力点を置いた大スケールの水文過程を表現するマクロ水文学について記述する中で、リモートセンシング技術とメソスケール気象モデルの応用の重要性を指摘するとともに、GCMによる気候予測の信頼性を高めるためにも、蒸発現象に代表される大地表面特性を適切にモデルに組み込んでいく必要があるとしております。また、気候変化の水文現象への影響評価に際し、大気と地表面の境界面での現象の研究が重要であることは、A.J.Askew(1987)や¹⁰⁾ A.Beckerら(1987)¹¹⁾も指摘しているところでもあります。

(3) 既往データに基づく、我が国における降雨特性の変化の推定

こういう方法が幾つもとられています。私どもとしては、現在、日本列島においてとり得るGCMモデルの出力が2~3点しかありません。したがってそんな程度のもので川の流域における水文循環への影響を推定することは不可能に近いものですから、過去のデータに基づいてどう

ということが想定されるかということの研究してみました。

この方法論も、使えるか使えないかということについて、いろいろな問題点があるということは先ほど申し上げました。

今後、地球温暖化が起こった場合、降雨特性がどのように変化するのかを類推する1つの方法として、過去の温暖な時期と寒冷な時期を抽出し、その間の実績データをもとに水文現象の比較をすることが考えられています。ここでは、100年程度の観測記録を有する気象庁の気象観測所における気温、降水量データを用いて、温暖化と豪雨、少雨の生起傾向について検討を試みた結果について紹介します。¹²⁾

まず、全国47都道府県の県庁所在地における年平均気温データから全国平均値を求め、これをもとに10年間移動平均値が最大になる10年と、最小になる10年を求めたところ、最も寒冷な10年として1901～1910年（寒冷期とする）、最も温暖な10年として1958～1967年（暖候期とする）が抽出されました。前者の平均は13.84℃、後者の平均は14.58℃であり、その差は0.74℃です。抽出された期間は、北半球の平均地上気温の偏差差から見て北半球での温暖な時期と寒冷な時期にほぼ対応しています。この両期間における全国58カ所の気象観測所の日降雨量データをもとに、連続した2日間の降水量が150mm及び300mm以上の豪雨の発生回数を我が国を10ブロックに分割して調べたところ、図4.5.1と4.5.2に示すような結果になります。豪雨の発生回数の説明因子は気温だけではないのはもちろんですが、この図より明らかなように、沖縄を除くすべての地域で暖候期より寒冷期のほうが豪雨の発生回数が増加していることが指摘されます。2日雨量150mm以上の生起回数で見ると、北海道、北陸、近畿、中国、四国の各ブロックでは、暖候期には寒冷期に比べ約30～140%の増、沖縄では逆に約50%の減、東北、関東、中部、九州の各ブロックではほぼ同程度となっています。また2日雨量300mm以上の生起回数で見ると、生起回数ゼロの北海道、東北、中国ブロック及び暖候期と寒冷期の生起回数がいずれも2回である沖縄ブロックを除く他の6ブロックでは、いずれも暖候期のほうが2倍以上多いのが見てとれます。沖縄以外の地域においては、限られた分析結果から見た限りでは、温暖化に伴って豪雨の生起頻度が増加する傾向にあると言えそうです。このことは、治水対策とかダムをつくったりする対策が重要だろうということをおうかがわせています。

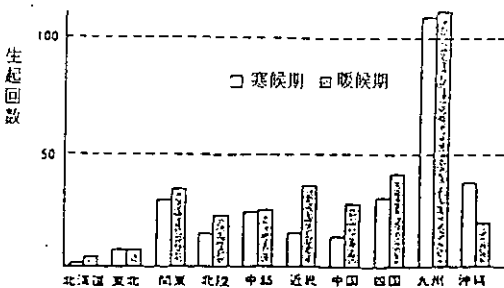


図4.5.1 寒候期と暖候期における2日雨量150mm以上の生起回数の比較

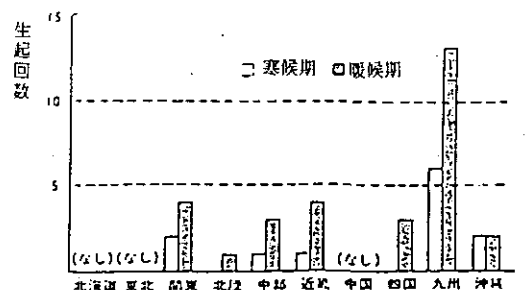


図4.5.2 寒候期と暖候期における2日雨量300mm以上の生起回数の比較

寒候期 1901～1910年 平均 13.84℃
暖候期 1958～1967年 平均 14.58℃

一方、水資源から見た温暖化の影響は、連続した期間の総降水量を調査することで判断されます。ちなみに、過去90年間の日降水量資料により、暖候期と寒候期で降水量がどのような傾向を示しているかを調査すると、図 4.5.3～ 4.5.5に示すような結果が得られております。図 4.5.3によれば、暖候期の年総降水量は寒候期とほぼ同じか、あるいは10%程度多いことが判断されますが、一方、60日間連続した最小降水量では、地域区分したうちの8ブロックで、90日間連続した最小降水量では7ブロックで、寒候期より暖候期のほうが小さくなっております。これらの最小値はすべて冬期に発生していますが、温暖な時期には多くの地域で60日間とか90日間というロングスパンでとった降雨量が少なくなる、つまり、渇水が発生する可能性が高いということ想定させます。水資源的に見て、総降水量は温暖化により増大するが、暖候期における60日や90日といった長期間での少雨傾向が判断されるように思います。

秋、冬に少し雨が多くなるのではないかと申しましたが、ここで取り上げているデータはすべて気象庁所管の降雨観測所のデータで、平地での観測が多いため、雪の観測の代表性があるかどうか私どもは疑問も持っています。

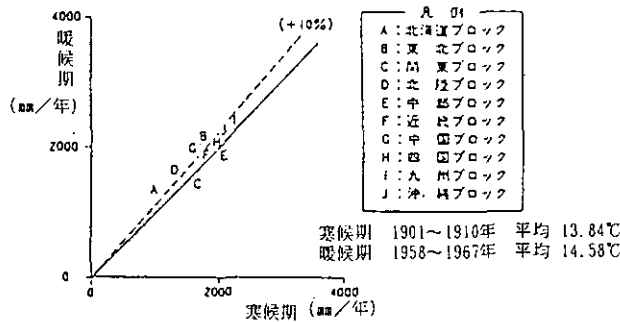


図4.5.3 寒候期と暖候期の年平均水量の比較

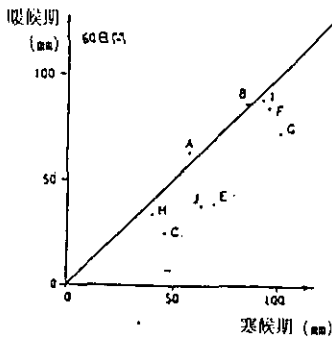


図4.5.4 寒候期と暖候期の連続60日間
最小降水量の比較

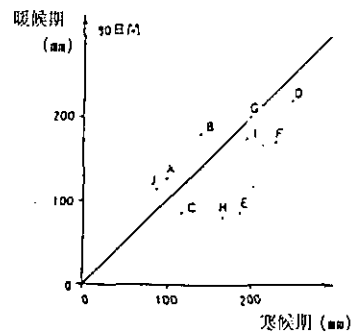


図4.5.5 寒候期と暖候期の連続90日間
最小降水量の比較

そういったことを考えまして、では川の流出量はどうかというのを流出量ベースで現在検討中です。途中段階ですから最終的なことを申し上げるには時期が早いんですが、表 4.5.1 に示すような結果が得られています。こちらは川の名前です。観測所、流域面積、データがどれぐらいあったか、こちらの欄は寒い時期の10年、あるいは5年なら5年、3年なら3年のデータです。こちらが暖かい時期のデータです。これは3～5月の間の平均的な流出高。川の水の量です。mm単位に換算してあります。日平均流出高です。

これを比較しますと、寒いときには東北の太平洋側に流れ込んでいる川の流量は多かったようであるという類推がつかます。暖かいときには東北地方の太平洋側に流れ込んでいる地域の雪の量が少ないのではないかということをおうかがわせるわけです。断定はできません。したがって、こういう分析は今後もっと続ける必要があるのだらうと思いますが、現在まだデータベースがこういう方面では整備されていませんので、今後の課題だと言っているかと思えます。

表 4.5.1 流域別日平均流出高・日平均降水量一覧表

地 域	水系名	河川名	観 測 所 名	流域面積 (km ²)	テ-9数	寒 期 流 出 高 ・ 降 水 量				暖 期 流 出 高 ・ 降 水 量							
						流出高	日 平 均 降 水 量			流出高	日 平 均 降 水 量						
							3-5月	12-2月	3-5月		12-5月	3-5月	12-2月	3-5月	12-5月		
北 海 道	尻別川	尻別川 尻別川	喜茂別	345.0	5	6.912	3.4	2.7	3.0	9.072	3.1	2.8	3.0				
			喜茂別	230.8	3												
	石狩川	夕張川 夕張川	沼の沢	606.0	8	5.875	3.1	2.1	2.6	7.085	3.3	2.2	2.7				
			円山	658.1	8												
			富平川 富平川	穴の沢 雁来	556.0 550.6									5 8	6.394	3.1	2.2
東 北	最上川	最上川 最上川 最上川	上郷	1,690.0	5	9.504	3.6	2.3	3.0	7.690	3.2	2.5	2.8				
			小出	1,350.1	2									11.837	3.6	2.2	2.9
			小出	1,350.1	9												
	名取川	広瀬川 広瀬川 広瀬川	落合	275.0	5	5.184	1.4	2.8	2.1	2.592	1.8	2.7	2.3				
			広瀬橋	309.3	2									3.629	1.5	2.9	2.2
			広瀬橋	309.3	6												
	北上川	北上川 北上川 北上川	川前	1,160.0	5	3.715	1.3	2.9	2.0	5.011	1.0	2.7	2.3				
			船田橋	868.1	2									6.826	1.5	2.9	2.2
			船田橋	868.1	6												
			磐石川 磐石川 磐石川	繁北 北の浦 北の浦	629.0 633.4 533.4									3 1 4	6.998 6.134	1.4 1.3	2.8 2.5
北 陸	信濃川	千曲川 千曲川	照岡	6,970.0	9	3.456	2.1	2.4	2.3	3.370	1.6	2.0	1.8				
			立花	6,442.3	10												
			犀川 犀川	水内市	2,620.0 2,773.0									7 10	4.068	1.3	2.5
	黒部川	黒部川 黒部川 黒部川	宇奈月	613.0	7	11.837	9.2	4.5	6.8	7.949	5.8	4.3	5.1				
			宇奈月	639.0	4									14.774	9.0	4.3	5.6
			黄本	1,090.0	6												
	手取川	手取川 手取川 手取川	中島	731.0	5	14.774	10.2	4.9	7.5	12.010	8.2	5.1	6.6				
			島	732.9	4									12.269	10.0	4.4	7.6
鶴来			745.6	6													

注：流出高 (mm/日) = 流量 (m³/s) / 流域面積 × 86.4

日平均降水量 (mm/日) = 総降水量 / 日数

日数：12～2月は90日、3～5月は92日、12～5月は182日

(4) 今後の調査研究課題

以上、現在まで、地球の温暖化による水文循環への影響に関して行われてきている調査、研究の概略を整理しました。

今後の水文分野での課題として、下記のような諸点が挙げられよう。

- ①現存する水文諸量のモニタリングシステムを強化すること
- ②気候要素の変化が水文諸量に及ぼす影響の評価法を開発すること
- ③土壌水分や地下水を含め、流域の水循環をできるだけ物理的に表現できる水文モデルを開発すること
- ④気候変化による現在の水資源システムへの影響を明らかにすること

私どもが現在、どういう研究をやらなければならないと考えているかと申しますと、まず1番目として、既往の観測記録からの影響の推定をある程度しておかなければどうしようもないだろうということです。

2番目は、気候変化の予測モデル、GCMモデルを水文モデルレベルへブレイクダウンするような方法論を開発しなければならない。そのための調査。

もう一つは、水文学の分野からも当然、蒸発とか融雪、水収支モデルをもう少しGCMモデルに対応するような研究のレベルに上げなければならないということ。

治水、利水対策に関しては、河川計画論、我々が持っている計画論が果たして従来のように定常確率過程で計画しておいていいのかどうかという問題。そういう問題もひっくるめて計画論の研究、あるいは、こういう環境をモニタリングするシステムの研究が重要であろうと考えます。

参考文献

- 1) Bultot F., A. Coppens, G. L. Dupriez, D. Gellens and F. Meulenberghs, Repercussions of a CO₂ Doubling on the Water Cycle and on the Water Balance - A Case Study for Bergium, Proc. of the Vancouver Symp., IAHS Publ. No. 168, 319-347, 1987
- 2) Martinec, J. and A. Rango, Effects of climate change on snowmelt runoff patterns, Proc. of the Baltimore Symp., IAHS Publ. No. 168, 31-38, 1989
- 3) Otter, C., D. Vidal-Madjar and G. Girard, Sensitivity of water resource systems to climate variation, Hydrological Sciences Journal, 27, 327-343, 1982
- 4) Bhawan Singh, The impacts of CO₂ induced climate change on hydro-electric generation potential in the James Bay Territory of Quebec, Proc. of the Vancouver Symp., IAHS Publ. No. 168, 403-418, 1987
- 5) I. A. Shiklomanov, Climate and water resources, Hydrological Sciences Journal, 34, 1989
- 6) D. N. Collins, Climatic fluctuations and runoff from glacierised Alpine basins, Proc. of the Vancouver Symp., IAHS Publ. No. 168, 77-89, 1987

- 7) J.P.Palutikof, Some Possible Impacts of Greenhouse Gas Induced Climatic Change on Water Resources in England and Wales, Proc.of the Vancouver Symp., IAHS Publ.No.168, 585-596, 1987
- 8) McGuffie, K., Will clouds provide a negative feedback in a CO₂ warmed world? Proc.of the Vancouver Symposium. IIAS Publ.No. 168, 619-628, 1987
- 9) W. J. Shuttleworth, Macrohydrology, the new challenge for process hydrology, J. Hydrol., 100, 31-56, 1988
- 10) A. J. Askew, Climate change and water resources, The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources., Proc. of the Vancouver Symp., IAHS Publ.No. 168, 421-430, 1987
- 11) Becker, A. and J. Nemeč, Macroscale Hydrologic Models in Support to Climate Research, Proc. of the Vancouver Symp., IAHS Publ.No. 168, 431-445, 1987
- 12) 吉野清文、国土保全と水資源開発の課題、地球環境問題と建設省の対応、開発、26巻、11号、1989

4.6 沿岸影響

港湾技術研究所 細川恭史

(1) 温暖化の影響

沿岸影響という題は、地域の名前がかぶさったタイトルで、日本全体の温暖化に対する対応はどのようになるだろうという議論がそのまま沿岸にも結びつきます。沿岸部で何も対策を打たなければ年1回は浸水する地域をざっと見ますと、日本の国土の0.4%程度になります。そこに日本の全人口の大体5%程度が住んでいます。かなり高密度に使われている場所で、それだけに温暖化の影響としては大きく出てくるだろうと思われれます。

日本の海岸線は3万キロほどあります。いろんな省庁がそれぞれ分担して所管しています。その中で現在でも波が来たときに浸水したりするという一方で、保全を必要とする海岸と、余り人が住んでいなくて、それほど保全を必要としない海岸、あるいは鉄道などの施設の護岸というように海岸が分類されています。

運輸省所管 8,400km (24%)	我が国の 海岸線延長 34,300km	保全を必要 とする海岸 15,667km (46%)	既に保全施設がある海岸 (26%)	未防護 海岸 (58%)
他省庁所管 25,900km (76%)			未だ保全施設のない海岸	
		その他の 海岸 18,633km (54%)	天然海岸など	
			鉄道、道路等の護岸が ある海岸	

図4.6.1 我が国の海岸の状況

そこでどんなふうになんかの生活が守られているか考えてみます。日本の沿岸では、水位の変動は定期的に起こっています。1日1~2回、潮が低いレベルから潮が高いレベルまで動きます。高潮位より低い区域の人は、潮の満ち引きによっては水につかる可能性があることになります。潮汐のほかに、もっと短い周期で波が来ます。10秒程度のタイムスケール、長さ100メートル程度の空間スケールで水位の変動が波という現象で起きています。潮汐というのは、1日1回~2回起こり、それが1月の間に大きくなったり小さくなったりしています。今問題になっているのはもっとゆっくりした現象で、数年~数十年でゆっくり水位が上がっていく現象です。

日本の沿岸で潮汐や波による水位変動というのはどの程度のオーダーか見てみます。日本海側では潮汐はほとんどない。太平洋側では、東京湾でいうと2メートル程度。台風が来てどれだけの高波を受けるかという、東京湾では潮汐面のさらにその上に3メートル程度と見積もられています。それに比べて水位上昇等が沿岸にどういう影響を及ぼすのか。上昇のタイムスケールと上昇の幅が問題になってくると思います。

温暖化の影響が沿岸にどう及ぼすかというのは、水位上昇というのが一番大きく扱われているわけですが、来襲波が変わるといことも沿岸にとっては大きな影響があります。波は気候の変化、特に風が吹くことによって起こります。温暖化が気候に影響を及ぼし、それが台風の発生頻度や経路あるいは規模に影響が及ぶと、波もかなり影響を受けます。日本海側であれば、冬期の季節風でかなり波が起きています。季節風の規模や頻度、あるいはパターンが変わってくると対応を考えなければいけないことになります。

もう一つは、降雨の規模の変化です。特に河口近くに住んでいる人にとっては河川水の流出というものがかなり問題になるでしょう。河口での流出は、海面上昇とも関連しています。また、海面が長期的にずっと上がっていれば、一時的に上がることを以上の大きな影響が予想されます。地下水の水位が上がったり、塩水が湾奥まで浸透したり、地下水に浸透したり、さらに沿岸の利用に絡んでいろいろな問題が出てくるでしょう。水質が変わるだろうかとか食物生産が変わるだろうか、そこに住んでいる生態が変わるだろうということが次に出てきます。

日本は食物を輸入しているわけで、こういった世界的な物流の変化が起きてくれば、それは沿岸の利用の仕方にも影響してくるだろう、沿岸影響はかなり複雑に現れてくるだろうと思います。

(2) 水位上昇対策

対策としてどんなものがあるのでしょうか。IPCCの第3ワーキンググループ(対策ストラテジー)中に、海岸地域管理というサブグループがあります。どんな対策があるのだろうかという議論をしています。①何もしないという対策から、②現状の活動を維持するために防護しましょうという対策、③一時的にその影響を抑えよう、時間かせぎというような対策、④総合的に適所適応を考えようという対策などが挙げられています。水位が上がったり温暖化に対していろいろな政策のレベルがあります。対策のメニューとしても、構造物による防護というのが議論の中で一番大きなところを占めているようですが、そのほかに自然の生態を利用しましょう(これは人工の養浜をしましょうということから、マングローブを植えましょうということまで含めて、自然の生態を利用して海岸を守ったらどうかという提案)、さらには、産業の配置とか人口の分布みたいなものももう少し考えて、沿岸の管理のところまで含めて対応を考えたらどうかという議論があります。

要するに、影響が複雑なだけに対応についてもいろいろな選択肢があって、いろいろなレベルの議論がなされているようです。

その中で、現状の沿岸防護の技術を使って、水位上昇に対し現状の活動を守りましょうというレベルで考えてみます。先ほど言いましたように、温暖化は水位上昇を初めとしていろいろな気象変化を起し、それが構造物のあり方に影響を及ぼします。単純にかさ上げすればいいだろうという議論が片一方にあるのですが、水位の上昇の速さとか上昇の量によっては、それが構造物自体の不安定さを招いて、例えば水位が上昇して構造物が浮力を受けて不安定になるとか、背が高くなってひっくり返りそうになるということも含めて、いろいろ問題が出てくるのが考えられます。

そういったいろいろな過程はあるのですが、午前中のどれだけ費用がかかるのかという議論の中で、シナリオをつくって評価関数を決めればもうちょっと数字が出て見やすくなるんじゃないかという松原先生のご指摘もあり、運輸省の中の港の構造物をつくっている部局がおおよそ算定した結果がありましたので、それをご紹介したいと思います。

2030年代に1m10cm程度水位が上昇するというシナリオを与え、現状の技術でかさ上げ対策をします。いろいろな地域特性を無視して、運輸省所管の要防護海岸線等に対し幾らか算定してみると、3.8兆円という数字が出ています。最小限、この程度のお金がかかるという試算例です。どの程度お金がかかるのかという議論の中では1つの手がかりになるかもしれませんが、いろんな条件がある中でかなり単純化した前提のもとでの予測ですから、いずれ詳しい見直しが必要になってくるかと思えます。

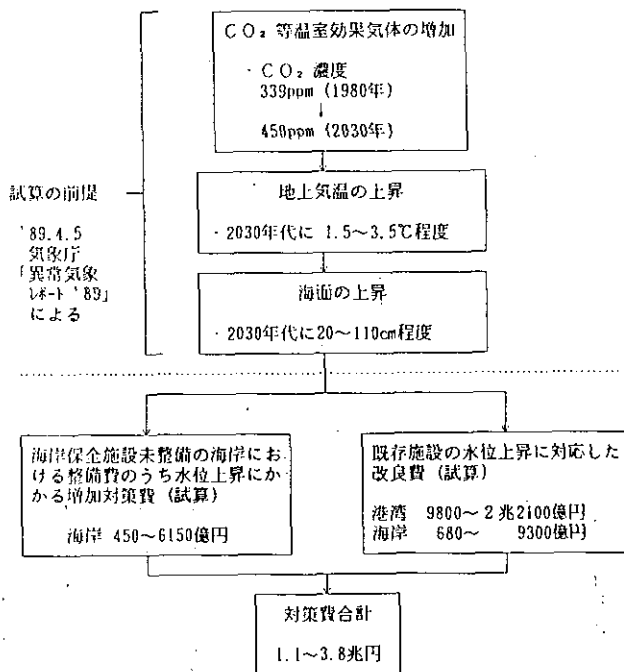


図4.6.2 試算の前提と試算結果

(3) 研究課題

最後に、研究課題の例ということでいろいろ挙げてみます。

水位上昇に限ってみれば、本当に水位が上昇しているのだろうか、それはどんな速度であるのだろうか、地域特性はあるのだろうかということの解明が必要であろう。

これに関してもう少し詳しく説明させていただきます。水位というのは図 4.6.3 のような検潮所で調べられています。検潮所では井戸を掘って、外の海の水位に対応して井戸の中の水位が上下するように水の通り道をくり抜いてあるわけです。ここの水面の位置を井戸の基準点からはかって水位とします。1960年から75年の間に水位はどれだけ上がったでしょうということで単純に測定結果をプロットしますと、東北地方から北海道、三河湾、大阪湾あたりでは水位が5cmとか10cm上昇しているとか、逆に日本海側では水位が低下しているという結果になります。実は井戸の基準点が地殻の変動や局地的な地盤沈下で動いている場合、この深さが必ずしも水位変動にはなりません。そういうものまで補正して考えなければいけないことになります。

従来、ゆっくり地球が暖まっている中で水位の上昇は、この1世紀ほどの期間では1年間に1mmとか2mmとかいう単位で言われています。今回、温暖化に伴って水位上昇が起こるというのはもう少し早いとされています。その早さは、地盤沈下で見かけ上水位が上がっているのとよく似たスケールの早さのようです。そういうことで、地盤沈下地域での防災経験をもう少し勉強する必要があるだろう。先ほど花木先生から、アメリカの研究例で、湖水の水位が上がったとき何が起こったかを研究していたという紹介がありました。沿岸についても同じような研究が必要だと思えます。

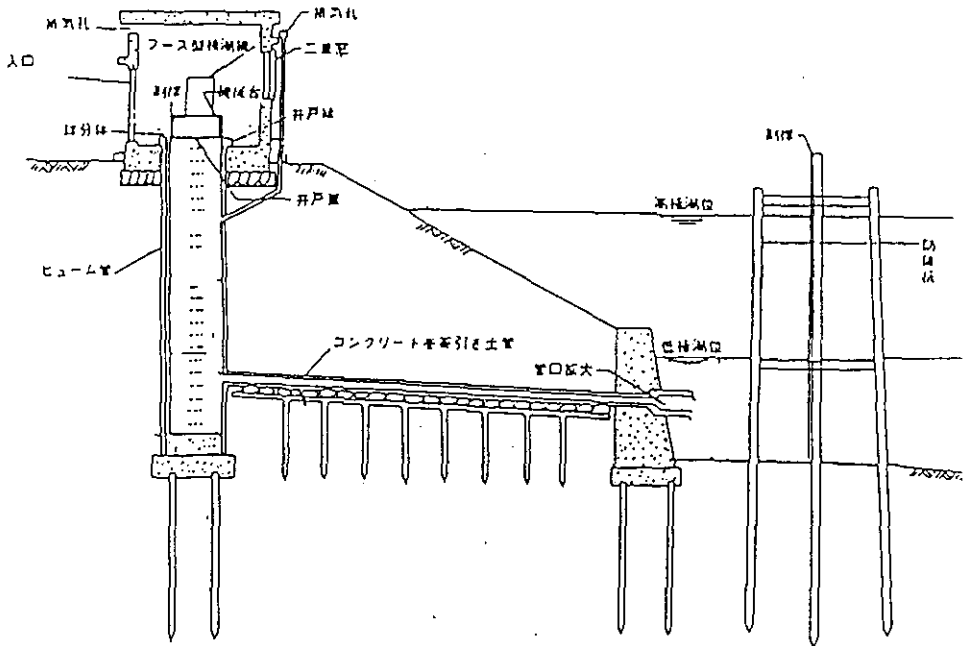


図 検潮所

図4.6.3 検潮所の標準的な構造

次に、現状の認識の後で、水位上昇がどんなところにどのような影響を与えるのか、波とか地下水位の関係でどの程度影響があるのか、はっきりつかむ必要があります。

海浜が決壊し浸食され、水位が上がるとそれだけ沿岸の土地がなくなるとか、ゆっくりした勾配の海浜では水位が1mm上がると国土が30cm後退すると言う人もいます。波の影響や作用している力のバランスを考えるともっと浸食が進むのではないかとっている方もいます。海浜への影響についてはもう少し調べてみる必要があると思います。

同様に、内水の排除など、水の管理技術に対しても今後研究が必要だと思われます。

さらに、IPCCの中でも議論されていたということをご紹介しましたが、沿岸をどう管理するのかという話が政策の問題として出てくるかと思えます。

開発途上国の中には、そういうところは捨てて別のところに住めばいいじゃないかという主張もあるいは出てくるかもしれませんが、どこに住んでどういう産業を配置すべきかということも沿岸影響の中で考えていく必要があるかもしれません。水位上昇の問題に対して、現状の防災技術での手当てだけで済むという話になるのかどうか、もしそれができなかつたときにはかなり問題だろうと思えます。

さらに沿岸独特の問題として、水位が上昇したときに今まで島だったところが水没してしまうと日本の国土でなくなるというところから、法制度や国際法制の検討が必要になってくるのではないのでしょうか。

こういったことが今後、研究の課題として必要になってくるのではないかと思います。

4.7 大気汚染

桜美林大学 大喜多 敏一

私はIPCCの大気質への影響の分野を担当させられましたので、簡単にその結果をご報告いたします。

(1) 全般的な考察

温暖化あるいは気候変化によって、大気質に影響を与える因子のうちどれが影響を受けるかをまず最初の行に並べました。

大気中の例えば亜硫酸ガスやNO_xの化学反応につき、一般に温度とともに反応速度が変わります。その場合2種の反応があります。すなわち、均一ガス反応とエアロゾルや雲水の中での反応がありますが、その反応定数の温度変化が考えられます。

一般にガスは温度が高くなると水中への溶解度が減ります。次に気候から出てくる問題ですが、気塊の種類が変わりますと、その大気安定度が変わります。また、雲量に変化すると放射にも関係し、したがって光化学反応を変化させ、その結果、空気質にも影響を与えます。

気温の変化により、大気中の水蒸気量が当然変わります。

大気中にはメタン等のいろいろな微量ガスが含まれていますが、それらのガスのうちアンモニア、ディメチールサルファイド、硫化水素、テルペン、NO等の土壌起源や植物起源のガスの発生量が気温に伴い変わります。

温暖化すれば、当然、エネルギーの利用形態が変わります。特に、夏にはクーラーの使用が増えますので、それだけ電気の使用量が増えるだろうと考えられます。逆に冬には暖かくなりますので、暖房用エネルギー使用が減るだろうと思われれます。

気候の変化により、地球上の高気圧、低気圧の分布が変わることにより、大気大循環、あるいは降水パターンが変化すると思われれます。これもまた、大気質を変動させます。

植物によるガスの吸収が、やはり温度に依存します。

最後に、一般に拡大すると考えられていますが、乾燥地域の変化があります。

結局、これらがいろいろな形で組み合わせあって、空気質の変化、詳細に言いますと光化学オゾン生成の変化、酸性雨の変化、エアロゾル生成の変化を生じます。特に水蒸気量が変化することにより、大気中の大きな酸化反応を担っているHOやHO₂の濃度が変わってくる可能性があります。

エネルギーを何に頼るかは1つの問題ですが、今までのパターンで、石炭、石油等を使いますと、当然、SO₂やNO_xの発生が増加します。

乾燥地帯が増えますと、当然、砂の舞い上がりが増えます。これらが組み合わせあって、視程の

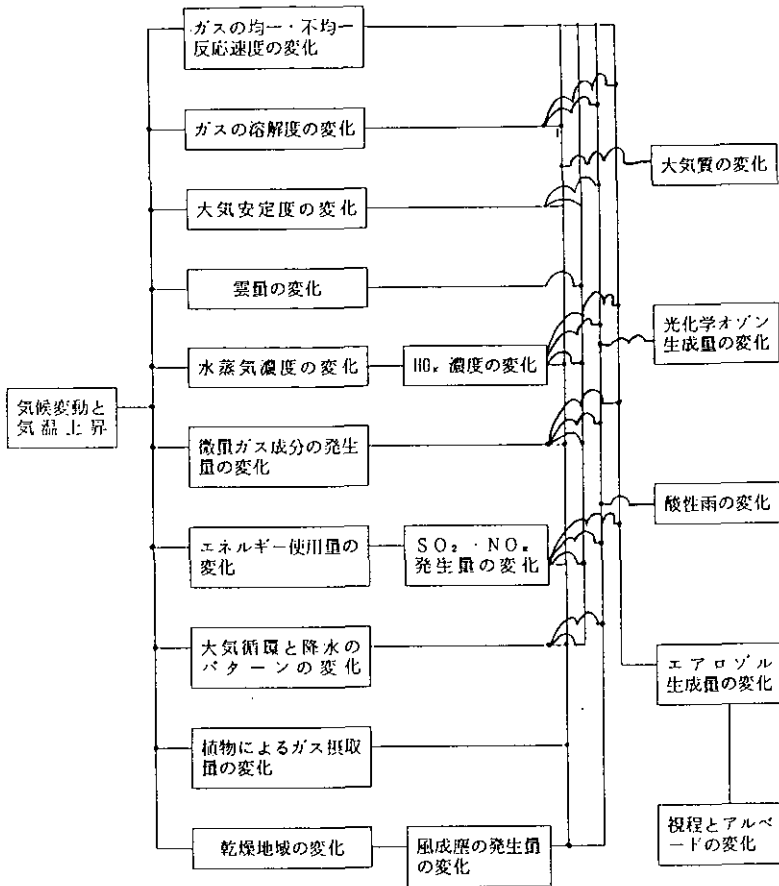


図4.7.1 気候変動と空気質の変化の関係

(2) 定量的な考察

図 4.7.1 に示された機構について定量的な結果がほとんど求まっていないのが実情です。ある程度定量的なデータが出ているものだけを幾つか挙げました。気温が10K上昇するときの濃度あるいは自然発分量の増加倍率として、アンモニア：3.1、DMS：9.0、H₂SとCOS：4.1、NO：3.3、テルペン：6.0というデータが出ています。

気温が1K上昇すると、エアコンの利用により、ピーク電力需要が約3%増加します。これは米国と東京のデータが奇しくもほぼ一致しました。

逆に、冬季気温が上昇しますと、東京では電力需要が0.9%減少するということです。ニュージーランドのクライストチャーチでは、最低気温が1.8ないし3.1K上昇すること、家庭暖房による浮遊粒子濃度が14ないし19%減少するとのデータが出ています。

2 Kの温度上昇で水蒸気濃度は13ないし30%上昇するだろうと考えられています。

私たちが知りたいのは最後の4つ、すなわち気候変化に基づく空気質の変化、光化学オゾン生成の変化、酸性雨の変化、エアロゾル生成の変化ですが、いろいろな因子の組み合わせにより、地域によって非常に差があるだろうと思われます。

その中で一番関心が高く調べられているのは光化学オゾン生成で、それに関するモデルが5つあります。EPAのモデル計算は、ごく最近報告されたデータです。もちろん、温度上昇の値、範囲が違いますし、オゾン濃度の増加と温度上昇が必ずしも直線的な関係がないので、これを直接比較はできませんが、1つのモデル計算を除いて、気温上昇に伴い最高オゾン濃度は上昇するだろうという結論が出ています。過酸化水素等はさらに上昇するのではないかという結果も出されております。

また、国立公害研の畠山らのチェンバー実験やカーターらの実験でも同様に、気温が上昇するとオゾン濃度が増加すること、また気温の高くなった地域で、高濃度オゾンに暴露される地域が増加する、すなわち、高濃度オゾンの時間が長くなるという結果が出ております。

私が特に注目したのは、気温上昇が大きいと思われる高緯度地域での光化学オキシダントの問題で、例えばカナダとか、日本でも札幌の付近で、冬あるいは春にPAN等が検出されています。そういう状況のところで、気温が増加するとオゾンがさらに増加するとなると、やはりいろいろ問題が出てくるのではないかと思います。

「ガイア」というラブロックの思想があり、チャールソンがそのうちの1つを考えて、これは「風が吹けば桶屋がもうかる」式の論理ですが、気温が上昇するとディメチルサルファイドの発生が増え、その結果、大気中の硫酸核が増えて雲量が増加し、それが気温を低下させるという機構を提案しておりますが、これに対する反論もありますし、この辺は今後のおもしろい研究分野だと思います。

今後行うべき研究としては、このフローチャートにあるいろいろな段階の研究をより定量的なものにすることだろうと思っています。

4.8 健康影響

国立公害研究所 村上 正孝 (安藤 満)

(1) はじめに

IPCCのリードオナーである安藤先生は、今、米国とオランダのEPAで行われている「紫外線の影響」に関するワークショップに参加しておりますので、私がかわってご報告します。

先ほど内嶋先生は、地球環境変動としての影響現象の関係について明快に整理されました。その最後のほうに、生物に対するリクスモデル、環境に対するリクスモデルを示され、その中にも人への生理的影響という項目がありました。さらに、環境に対する影響のところでも、人類の生存にかかわる問題が取り上げられました。すなわち、エンドポイントとしては、人類の生存と個人個人の健康な生活が保障されることが重要であるわけですが、その点を抜いては意味がないわけです。しからば、我々健康影響を研究する者が、この問題に直ちにとりかかるべきかということに関して、私は正直申しまして、むしろもう少し先ではないかという感じでいたわけです。

しかしながら、予稿集の「はじめに」の項で書きましたように、IPCCの中間報告がこの10月にとりまとめられ、さらに、産業医大で地域環境の問題についてリスクアセスメントのシンポジウムがあり、私も参加しましたが、ここでもこの問題が米国のEPAの研究者によって取り上げられました。

11月、米国の環境保健研究所(NIEHS)において、地球環境変動による健康影響評価に関するシンポジウムがあり、安藤先生は参加しています。さらに、WHOの来年報告されるPotential Health Effects of Climatic Changeの現時点でのドラフトでは、まとめとして対策の提案まで用意されているわけです。このような資料をつぶさに私自身勉強して、かなり大胆に予測している部分が多いことは事実ですが、健康影響に関しての研究の枠組みがある程度できているということを感じ取ったわけです。

そこで、まずその枠組みを表4.8.1に示しましょう。

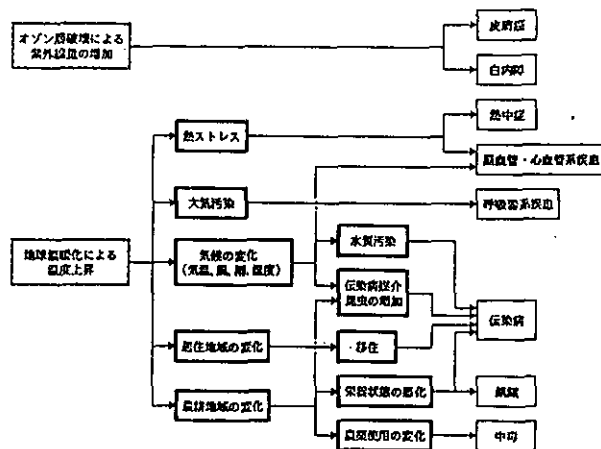


図4.8.1 地球環境変動に伴う健康影響の概念図

(2) 紫外線による影響

我々が当面やるべき研究課題としては、紫外線の増加の問題、さらに、地表の温度が上昇することによって起きてくる直接的あるいは間接的な影響の予測です。しかし、従来の環境研究は、ご承知のように、日本における公害問題の研究がそうであったように、起きてしまった後でそのメカニズムを解明するというのが研究の現状です。これからどのような健康障害の量なり質なりが現れてくるかという問題は、正直に申しまして、全く不慣れであるわけです。しかし、社会的ニーズは極めて高く、いろいろな前提を置いてでも、これから進められるべき研究課題であると考えます。

まず、オゾン層破壊による紫外線増加の問題ですが、結構仕事が進んでおります。紫外線は白内障とか皮膚がんを起こすことがわかっております。さらに、免疫系の抑制に対する知見も動物実験レベルでかなり集積されてきました。そういった視点で古いものをひもといてみれば、1959年に既にマウスの耳の皮膚誘発がんの発生率と紫外線量との量反応関係が認められています。また最近の報告で、米国EPAがアメリカ白人の影響を問題にし、疫学データに基づいて、成層圏オゾンの1%減少によって白内障が約0.4%、皮膚がんにつきましては4%レベルで増加すると推定しています。さらに前述のNIEHSの会議においても、オゾン減少によって起こってくるであろう皮膚がんの発生率を大胆に推定しています。こういったことがひとつのきっかけとなって、国際的にいろいろな地域での紫外線の暴露量と皮膚がんの発生率のデータが整理され始めました。我が国におきましても、11月の大気汚染学会に秋田大の滝沢教授が、厚生省の統計により、日本の各県の皮膚がんの死亡率について地域差はないという報告をしております。

氏はUNEPのワークショップのメンバーで、日本の状況の宿題報告をされたわけでしょう。このような仕事はやはり国際的な共同調査の分担研究と位置づけるのが有効であると思います。

(3) 地球温暖化による影響

次は地球温暖化による地表の温度上昇です。気温、湿度、風向といったような気候総体として暴露負荷を考える必要があります。そして、今まで生気象学会でやられてきた同じような仕事があります。最近、先進国において、冬の山あるいは夏の山といったような死亡の季節変動がなくなってきたということが報告されているわけですが、それに対して、開発途上国では現在でも死亡の季節変動は著しく、このような温暖化現象によって最も影響を受ける地域であろうと予測されます。

さらに、米国で特に高温の異常気象による熱波が問題になっています。熱ストレスあるいは熱中症という言葉でいいと思いますが、それによる死亡が増えるのではないかと懸念されているわけです。熱波の事例調査、あるいは戸外での気温上昇に伴う過剰死亡の発生率の推計、または老人、病人、幼若者等のハイリスクグループの高温への適応能力評価などといった研究が、ここ数年の間はかなり進むであろうと予想されます。

(4) その他の影響

大気汚染に関しましては、紫外線の増加と地表面の温度上昇は対流圏の大気汚染物質の光化学反応を促進し、現在の都市大気環境の汚染をさらに増加させる可能性があり、地域の大気汚染研究を行っている者にとっては非常に関心のあるところです。

特にWHOが関心を持っておられますのは、気候の変化によってマラリアとかフィラリア、トリパノゾーマといったような昆虫媒介性の伝染病が増えることです。高い山地に、また緯度の高い地域にそういう伝染病が増える可能性があるわけです。気候だけを考慮した推定予測によれば、マラリアは世界人口の約半分がその脅威にさらされると予測されます。さらに加えるべき大きな影響因子として、人の移住があります。洪水とか干ばつのような自然災害による急激な移動、それから、先述の沿岸での水域の上昇に伴った計画的な移動があるでしょうが、特に問題になるのは、季節的な農作業に対応した季節的な農民の移住が重要です。しかし、それは非常に予測が難しい。にもかかわらず、大ざっぱであっても、これは計算しなきゃならないとWHOは力説します。といいますのは、伝染病対策並びに公衆衛生上極めて重要であるからです。このことから、私は、リスク・マネジメントのために必要とされるところの項目についてリスク・アセスメント（予測）をあえてすることを、健康影響の部門においても行うべきだと考えております。

4.9 人間居住

E X 都市研究所 Christian Rouviere

人間居住という表現を2つの側面で定義する必要があると思います。

1つは具体的なもの、例えば家、建物、都市基盤、土木関係の基盤、もう一つの側面は社会的、文化的な側面です。それは特に生活環境の質とか、就業の状況、また、近隣関係などです。これまでの評価研究は2番目の定義には触れないで、ほとんど第1の具体的な側面だけを取り上げています。

もちろん、他の分野例えば、エネルギー、産業、農業など行っている評価の結果は人間居住への影響を知るために最も重要です。しかし人間居住ともっと関連する評価研究は次のように分類できるのではないかと思います。

- ① エピステモロジカル、方法論的な研究
- ② (類似に基づいた研究) アナロジカル、特に地理学的、また歴史的な研究
- ③ 環境的、エコロジカル的研究。主に自然災害を中心
- ④ 土木関係の研究

これまでなされた研究を人間居住の観点から、以下のように特色づけることができます。これまでの研究は、非常に限られた範囲でほとんど自然災害を中心に行っています。上記の人間居住の定義を全体的に取り入れるのでしたら、基本的には社会、文化、経済の方向を考慮に入れなければいけません、実際にはそういう研究はありません。要するに総合的な評価はないといえます。

人間居住に関して目下特定できる影響は、資源の配分、人口の分布、あるいは活動の立地・分布のシフトです。シフトは、必ず人間の基本的なニーズのあり方、生活の質を上げることに2次的に影響を与えます。

発展途上国と先進国でその影響のあり方、またその影響に対する感受性は違います。先進国の場合には、生活水準、福祉、ライフスタイルの変更に繋がります。それに対して、発展途上国の場合にはもっと危機的な状態が見られ、基本的なニーズに影響を及ぼし、ハウジングとか食糧資源あるいは水資源が損害を受けます。先進国には、このような損害は地方によってはあり得るでしょうが、全体として人間居住への影響は、単なるライフスタイルの変更に繋がる程度のものでしょう。それに対して、発展途上国には生存の危機の状態をおこすのでしょう。

先進国の問題としては、2つの点が挙げられます。

1つは消費のパターン、また資源の供給の変更、その次は社会環境を含めた環境の変更。発展途上国の場合の危機というのは、人間の移動、また再居住の問題なのです。他の1つの視点です

が、結果として、影響の評価は、先進国の場合にはまだ不確実的です。発展途上国の場合は、相対的ですが、現在、気候変化(Climatic variability)による被害が見られますので、予測しやすいです。

例えば、'88年のジャマイカの台風、また'87年と'88年のバングラデシュの有名な洪水があります。人間の移動と再居住は、主に自然災害、洪水と干ばつ、また海面上昇、そして基本的な資源の不足が原因となっています。

移転と再居住は、それだけでももちろん、移動しなければならない人間にとっては非常に大変な危機ですが、また、間接的に別の影響を与えます。農林部の土地利用の困難が都市の人口を増やすとか、また、資源利用の変更に対して、コンフリクトが発生するとか、また、健康の問題、あるいは国際的なコンフリクトの可能性、例えば環境難民等の問題ですがこのような影響があると考えられます。また、危機というのは非常に複雑な因果関係の結果としてあり得るのです。自然災害、海面上昇、そして資源不足に対する社会のpressureとの間の因果関係などです。

幾つかの一般的な例を挙げると、発展途上国の場合、特に人口密度の高い海岸線、そして低地の地方で、基本的な資源の不足の可能性のある地方、例えばバイオマスの不足、食料品の不足、それは農業との関係で、また水資源の不足、そういうところに感受性が特に高く影響が大きい。

インドネシアの場合、海面上昇によって、人口移動は大きなスケールで生じるのではないかという予測があります。また、水資源不足も問題になると評価されました。アフリカでは水資源も同じように問題になり、特にバイオマス資源の不足が、干ばつの結果として予測されています。バングラデシュでは洪水により、土地を失ったり、また人口移動が大きなスケールで生じることがあります。

先進国の場合には、多分こういう直接的な気象変動の影響より、社会、経済の方向が大きなインパクトになるのではないかと思います。例えば、それは技術の革新(Technological innovation)、職業の変更、貿易、土地利用に関する政策などです。だから評価は非常に難しく、ほとんどされていません。これまで先進国に関していちばん代表的な研究は、米国のUrban Instituteによる調査です。この研究では、南クリーブランド、マイアミ、そしてニューヨーク市に関するコスト評価がされています。

IPCC, WORKING GROUP 2, SECTION 5

Synoptic Tables of Assessment of the Effects of Climate
Change on Environment, Society and Economy

- Second draft reviewed and corrected
after submission to the participants of
the lead authors meeting,
Sept. 18-21, 1989

Christian Rouviere
(EX Corporation)

1. OBJECTIVES

a) To provide materials for discussion during the lead authors meeting.

b) To provide a basic document for the easy delineation of conclusions in the report of the lead authors meeting.

c) To provide the materials to serve as a conclusion into the final draft report of IPCC WG2 Section 5.

2. SCOPE

This document is a set of 3 tables which successively describes the projected potential effects (Table 1), the interrelated effects (Table 2) and a summary table of characterization of the effects within a spatio-temporal matrix.

According to the observations made by the participants of the Lead Authors Meeting, the tables were completed by key-words. Page numbers and chapters should be included for reference to the chairman's report. The same tables are however provided in annex for direct reference and further understanding of the processes indicated in term of effects and key-words in the tables.

3. COMMENTS AND EXPLANATION

- Table 1: The Potential Effects of Climate Change on the Items of IPCC WG2 Section 5 According to the Physical and Management Factors that are Closely Interdependent with Climatic Events.

The primary objective of this table is to review the assessment of potential effects of climate change. "Potential effects" means those effects primarily determined by climatic patterns as explained below. It is covering a broad range of the findings described in the assessment work.

a) Explanation

Items of Table 1 have been arranged in the order proposed by John Topping in the IPCC draft report.

Physical and management factors are as follows:

1. Climatic factors (temperature, precipitation, wind, cloud, water vapor), hydrologic factors (runoff, evaporation, interception, transpiration, infiltration) and ecologic factors (growing season, plant growth, composition...).

2. Climatic variability: Extreme events like drought and floods that are directly involved by climatic factors.

3. Management factors that are strongly interdependent with physical factors and climate issues as a whole. These factors are given in term of resource categories: Water resource, agriculture, forestry.

4. Sea level rise, that is a specific natural hazard determined by the global warming process likely to occur along an extended period of time and with irreversibility.

b) Comments

2 points need discussion: First, the choice to integrate the whole set of physical variables in order to represent the most direct consequences of climatic events. Second, the choice to include some factors of management nature in order to fully represent the primary consequences of climatic events.

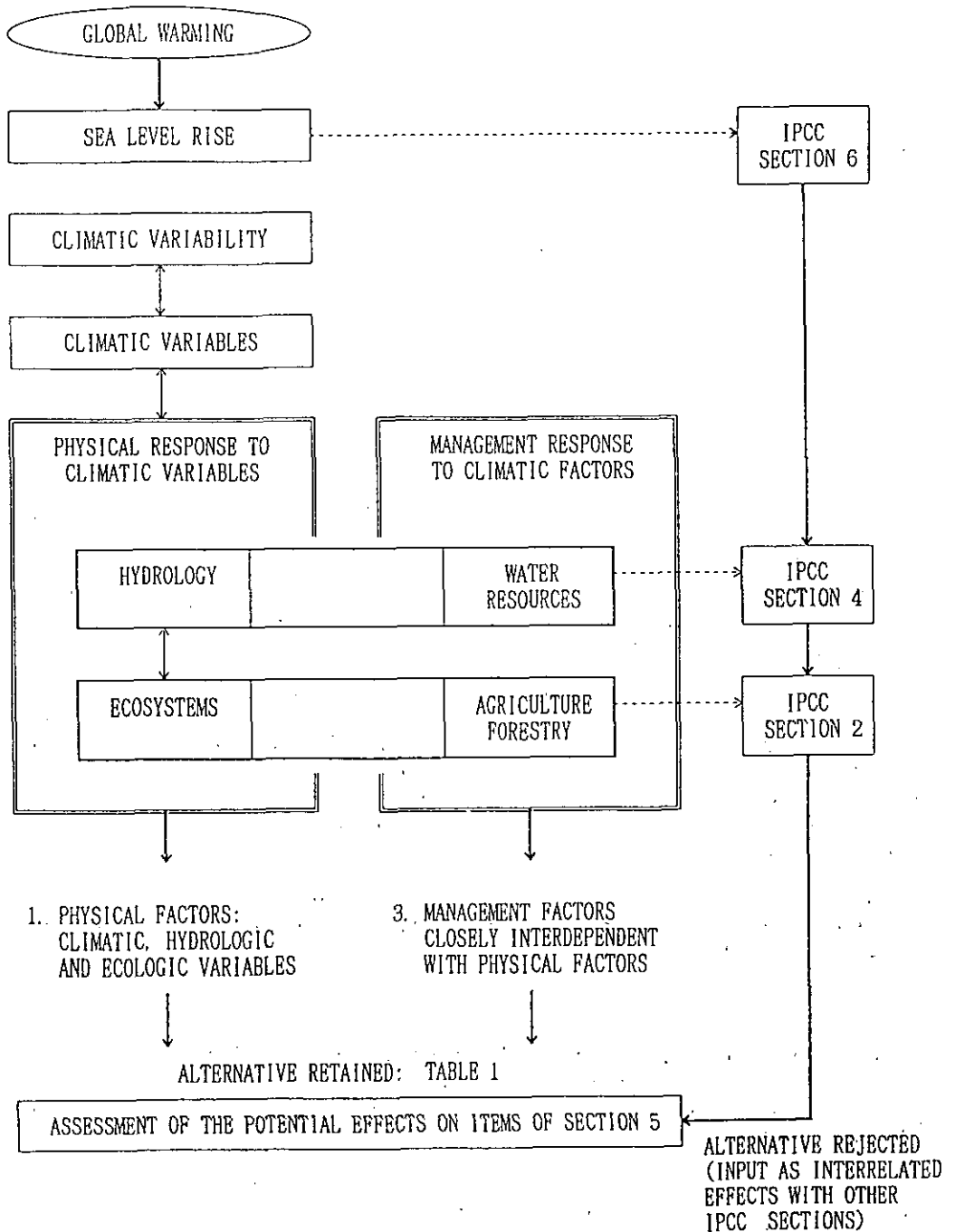
The separation between climatic factors in a strict sense and those of hydrologic or ecologic nature would be artificial since it is their interrelated links that build up the significance of climatic events on human activities. This evidence appears with climate variability, that is a global physical response - in addition to its relationship with human management factors, to climate variables on their own.

Furthermore, some management factors particularly sensitive to climate have been included as a range of factors fully representative of the most direct effects of climate change, because the affected issues are almost of human / social nature (air quality is the exception, while UV-B radiation is not concerned by this table). Fig. 1 explains this process of composition of Table 1 and makes realize that some items under study within the other sections of IPCC are fully belonging to the area of Section 5 as primary factors of potential effects.

- Table 2: The Interrelated Effects of Climate Change According to the Environmental, Social, and Economic Relationships Between the Items Under Study.

Given the nature of most of the items of Section 5, interrelated effects are expected to be of particular significance for the understanding of climate change effects. The term "interrelated effects" should be understood as an analytic step following the evaluation of potential effects as precedently described.

FIGURE 1. LINKS BETWEEN PHYSICAL AND MANAGEMENT FACTORS RELEVANT FOR THE EVALUATION OF POTENTIAL EFFECTS AND SELECTION PROCESS OF THE ALTERNATIVE FOR REPRESENTATION IN TABLE 1



a) Explanation

This table is a matrix of links between the items of Section 5 described in terms of environmental, social and economic effects according to the climate change scenario.

b) Comments

Interrelated effects are defined and then discussed in correlation with sensitivity factors.

A first level of interaction is defined by the environmental, social and economic links involving a chain of effects that are primarily determined at the level of the potential effects of Table 1.

However, given the environmental, social, and economic implications of the items in most cases, such interactions will necessarily occur through a set trends and policy responses more or less related to the climate issue. This represents the second level of interaction.

As a whole, this table summarizes most of the effects of climate change relevant for Section 5. It is a fundamental one since it attempts to integrate sensitivities that are representative of vulnerabilities or resiliencies of changing society to the previous potential effects of climate change.

Such sensitivity factors should introduce the dynamic dimension needed to address the assessment with acceptable credibility. A possible distinction could be made between primary (climate change rate), secondary (policy responses to reduce greenhouse gases emissions), and tertiary (changing trends of nature and society with or without connection with climate and including most of those responses of adaptation type that are not exclusively determined by climatic issues) factors of sensitivity.

However, at the actual stage of assessment, a clear delineation of sensitivities is not feasible. They were implicitly taken into account in Table 2.

- Table 3: Summary Table of Characterization of the Beneficial or Detrimental Nature of Effects Relevant to Section 5 and Likely to Occur in Environment, Society, and Economy According to Space-Time Categories.

The main feature of this table is its focus on time and space categories for the characterization of the effects in terms of beneficiary / detrimental trends on environment, society and

economy.

a) Explanation

This table provides an evaluation of the nature of the effects according to 6 spatial categories gathered into short and long term effects. Those categories are explained in the following table:

SPACE \ TIME	SHORT TERM	LONG TERM
MICRO	1	4
MESO	2	5
MACRO	3	6

Spatial categories defined from an increasing scale (micro, meso, and macro) should be areas having both a climatic and an economic significance as follows:

- micro: Cities and rural areas (plains, floodplains, mountains)
- meso: Regions (climatic/socio-economic entities) and nations
- macro: At a world scale, areas of climatic significance (semi-arid tropical, humid tropical, continental, temperate, arctic) and those of economic significance (developed, developing countries).

Short and long term effects are defined from climate change models. The WMO/ICSU/UNEP Villach scenario envisages a global warming of 1.5 to 4.5 degrees Celsius for a doubling of the concentration of CO₂ (or equivalent) by the year 2030. The same scenario indicates a sea level rise of 20-140 cm in 2030. This time scale could be referred to as the short term horizon, pushing the long term effects to the next century after 2030.

b) Comments

The beneficial or detrimental nature of the effects is intricately linked with the time scale of occurrence (a benefit in the short term may be a detriment in the long term and inversely).

4. FILLING IN THE TABLES

Basically, these tables are filled in according to the lead authors papers and the expert papers. However, each participant is expected to contribute to the completion of the tables as far as possible. The objective is not to fully complete them but rather to make clear what is known and the limits of knowledge in actual assessment works.

Table 1. THE POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE ITEMS OF IPCC WG2 SECTION 5 ACCORDING TO THE PHYSICAL AND MANAGEMENT FACTORS THAT ARE CLOSELY INTERDEPENDENT WITH CLIMATIC EVENTS - KEY-WORDS -

	1. PHYSICAL FACTORS: CLIMATIC, HYDROLOGIC AND ECOLOGIC VARIABLES	2. CLIMATIC VARIABILITY	3. MANAGEMENT FACTORS CLOSELY INTERDEPENDENT WITH PHYSICAL FACTORS: WATER RESOURCE, AGRICULTURE, FORESTRY	4. SEA LEVEL RISE
ENERGY	-Increased electric generating capacity -Reduction of some supplies -Depletion of fuelwood	-Extraction sites -Electricity supply systems	-Vulnerability of hydropower -Lack of water for power-plants	-Availability of coastal sites
INDUSTRY	-Demand of new goods -Tourism -Development of new technologies	-Construction industry -Insurance -Vulnerability to storms	-Availability of local resources	-Construction industry -Vulnerability of coastal industry
TRANSPORT	-Reduction of sea ice and snowfall -Harbours affected by lake levels	-Road access		-Port infrastructure -Coastal airports
HUMAN SETTLEMENT	-Buildings and buildings design -Social-technological adaptation of rural settlement	-Direct damages on urban infrastructure and human settlements -Social/technological adaptation -Migration-resettlement	-Food availability -famine -Water quantity -water quality	-Urban infrastructure -Agricultural land -Endangered settlements -Cultural properties
HEALTH	-Heat stress-mortality -Vector borne diseases	-Seasonal diseases -Socio-pathological behavior	-Water quantity-quality -Food availability	-Vector-borne diseases

Table 1. THE POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE ITEMS OF IPCC WG2 SECTION 5 ACCORDING TO THE PHYSICAL AND MANAGEMENT FACTORS THAT ARE CLOSELY INTERDEPENDENT WITH CLIMATIC EVENTS (FOLLOWINGS)

	1. PHYSICAL FACTORS: CLIMATIC, HYDROLOGIC AND ECOLOGIC VARIABLES	2. CLIMATIC VARIABILITY	3. MANAGEMENT FACTORS CLOSELY INTERDEPENDENT WITH PHYSICAL FACTORS: WATER RESOURCE, AGRICULTURE, FORESTRY	4. SEA LEVEL RISE
AIR QUALITY	-Oxidants -Acidic species -Ozone -Acid deposition			
UV-B				

Table 2. THE INTERRELATED EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ACCORDING TO THE ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND ECONOMIC RELATIONSHIPS BETWEEN THE ITEMS UNDER STUDY.
-KEY-WORDS-

	ENERGY	INDUSTRY	TRANSPORT	AIR QUALITY	UV-B	HEALTH	HUMAN SETTLEMENT
ENERGY		-Development of energy technologies -Energy dependent industries	Fuel economy standards, taxes, energy efficiency, alternative fuels	emission of air pollutants and greenhouse gases	Effects on ground-level ozone		-Biomass resource -Land use -Landscape
INDUSTRY			Regional and international trade	Emission and distribution of air pollutants		Shift in air pollutant related diseases	-Employment-housing -Migration
TRANSPORT		-Freight -Tourism industry		Emission of air pollutants		-Accidents -Access to health services	-Land use -Environment -Life style
AIR-QUALITY	Regulatory effects on efficient generation of energy	Regulatory effects on efficient manufacturing process	Regulatory effects on technology and social choices (mass transit)		Increase of UV-B radiation	Oxidant related diseases	-Urban pollution -Degradation of buildings
UV-B		Industrial process for some materials		-Urban ozone -Acid precipitation		-Snow blindness, cataract, skin cancer, immune system -Malnutrition	Damages to fisheries, vegetation
HEALTH	Energy for control of environment under inadequate response to stresses	Decreased efficiency of work	-Traffic accidents -Mobility of handicapped				Consumption patterns
HUMAN SETTLEMENT	-Energy supply and distribution -Heat island effect	-Human resource		Distribution of air pollutants		-Public health -Environmental health	

Table 3. SUMMARY TABLE OF CHARACTERIZATION OF THE BENEFICIAL OR DETRIMENTAL NATURE OF EFFECTS RELEVANT TO SECTION 5 AND LIKELY TO OCCUR IN ENVIRONMENT, SOCIETY AND ECONOMY, ACCORDING TO SPACE-TIME CATEGORIES -KEY-WORDS-

		NATURE OF THE EFFECTS		
		BENEFICIAL	DETRIMENTAL	UNCERTAIN
SHORT TERM EFFECTS	1	Secondary effects: transport	-Urban and rural settlements affected by sea level rise, storms -Resettlement of environmental refugees	-Socio-economic effects -Land use, rural/urban pattern of settlement
	2	Transport, energy (extraction/transmission) for northern areas	Agricultural/residential land (sea level rise), shortage of resources (water, energy, food)-Maldives, Carribeans, India, Bangladesh, Indonesia, Africa	Regional and national effects
	3	-International cooperation -Technological development (under good management)	Pressures and conflicts at regional, national, international level for use of resources (energy in particular)	National and international policies
LONG TERM EFFECTS	4	-	-	Socio-economic effects and technological-social adaptation
	5	-	-	Distribution of resources, people, activities Inland/coastal resources
	6	-	-	-Food and energy availability -Geopolitical order, and particularly the relation: developed/developing countries

ANNEXE 1

Table 1. THE POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE ITEMS OF IPCC WG2 SECTION 5 ACCORDING TO THE PHYSICAL AND MANAGEMENT FACTORS THAT ARE CLOSELY INTERDEPENDENT WITH CLIMATIC EVENTS (EXPLANATION)

	1. PHYSICAL FACTORS: CLIMATIC, HYDROLOGIC AND ECOLOGIC VARIABLES	2. CLIMATIC VARIABILITY	3. MANAGEMENT FACTORS CLOSELY INTERDEPENDENT WITH PHYSICAL FACTORS: WATER RESOURCE, AGRICULTURE, FORESTRY	4. SEA LEVEL RISE
ENERGY	<p>QUANTITATIVE MODEL ON CHANGES IN ELECTRICITY DEMAND (AFFECTED BY METEOROLOGICAL FACTORS - HEATING AND AIR CONDITIONING). THEN FORECASTING OF INCREASED ELECTRIC GENERATING CAPACITY FOR COVERING PEAKING CAPACITY AND SHIFT IN ENERGY SUPPLY DISTRIBUTION. THEN, PRODUCTION IS AFFECTED:</p> <ul style="list-style-type: none"> - POSSIBLE REGIONAL DEPLETION FOR SOME FUELS (GAS) TO RESPOND TO DEMAND. - CLOUDINESS AND WIND INTENSITY MAY REDUCE THE SUPPLY OR INCREASE THE COST OF RENEWABLE ENERGY SOURCES. - INCREASED INVESTMENT TO JUMPY THE SHIFT IN ENERGY SOURCE DISTRIBUTION. DISTRIBUTION / DEMAND/ SUPPLY AFFECTED BY CLIMATE FACTORS. 	<ul style="list-style-type: none"> - SOME PRODUCTION SITES OF OIL / GAS EXTRACTION ARE SENSITIVE TO EXTREME EVENTS. 	<p>AVAILABILITY OF WATER RESOURCE AFFECTS ENERGY IN TERMS OF PRODUCTION AND CONVERSION:</p> <ul style="list-style-type: none"> - IMPACTS ON WATER RESOURCES MAY RESULT IN NEW POTENTIALITIES OR DISRUPTION OF HYDROELECTRICITY. - POSSIBLE LACK OF WATER FOR POWERPLANTS TOOLING AND FUEL PROCESSING IN CONNECTION WITH INCREASED DEMAND ON THE ONE HAND, AND NEW PRESSURE ON WATER RESOURCES, ON THE OTHER HAND. 	<p>REDUCTION OF SITES AVAILABILITY AND SUPPLEMENTARY EXPENDITURES FOR POWERPLANTS IN COASTAL AREAS.</p>
INDUSTRY	<ul style="list-style-type: none"> - SHIFT IN DEMAND OF SPECIFIC PRODUCTS, RECREATIONAL AND SEASONAL GOODS (THE COMPOSITE). - DIRECT IMPACT ON TOURISM RELATIVITY FOR WHICH CLIMATE IS DETERMINANT. - SOME WEATHER VARIABLES MAY AFFECT OPERATIONS ON CRITICAL-TIME SITES. - INCREASING DEMAND OF TECHNOLOGIES TO REMOVE GREENHOUSE GASES (-) FROM ATMOSPHERE BY AT THEIR EMISSION. 	<ul style="list-style-type: none"> - CONSTRUCTION INDUSTRY AND INSURANCES ARE CLOSELY INVOLVED IN NATURAL HAZARD RISKS AND ARE LIKELY TO BENEFIT FROM WEATHER EXTREMES. - SOME INDUSTRIES MAY BE HOWEVER STORM SENSITIVE. 	<p>SHIFT IN ANY ONE OF THESE CLIMATE SENSITIVE RESOURCES WILL AFFECT REGIONAL INDUSTRIAL ACTIVITIES. WATER RESOURCE IS THE MOST CRUCIAL ISSUE.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - DEMAND OF CONSTRUCTION INDUSTRY FOR IMPROVEMENT OR REPAIRMENT OF COASTAL URBAN INFRASTRUCTURE IS A POTENTIAL BENEFIT. - SOME INDUSTRIES (PREFERENTIALLY LOCATED ON COASTS (FISHERIES FOR EXAMPLE) ARE POTENTIALLY THREATENED.
TRANSPORT	<p>TEMPERATURE INCREASE WILL REDUCE SEA ICE AND SNOWMELT, CREATING NEW POTENTIALITIES IN NORTHERN AREAS FOR SHIPPING, AIR TRAVEL, HIGHWAY AND RAIL. EXTENSION OF ICE FREE SHIPPING SEASON FOR SEA AND INLAND WATERWAYS.</p> <ul style="list-style-type: none"> - NEW HYDROLOGIC PATTERNS LIKE A SHIFT IN LAKE LEVELS AND INLAND WATERWAYS WILL AFFECT HARBOURS (QUANTITATIVE PROJECTIONS): DREDGING, REPLACEMENT OF WOODEN SLIPS AND DOCKS. 	<ul style="list-style-type: none"> - ROAD ACCESS IS AFFECTED BY PERIODIC STORMS. 		<ul style="list-style-type: none"> - EFFECTS ON PORT INFRASTRUCTURE AND COASTAL AIRPORTS (QUANTITATIVE EVALUATION FOR MIAMI AIRPORT).
HUMAN SETTLEMENT	<ul style="list-style-type: none"> - PHYSICAL EFFECTS ON BUILDINGS AND BUILDING DESIGN. - RURAL COMMUNITIES HAVE THE ALTERNATIVE TO SOCIALLY AND TECHNICALLY ADAPT, SHIFTING FROM ONE BUILT AGRICULTURAL SYSTEM TO AN OTHER (DRY LANDS → WET LANDS) 	<ul style="list-style-type: none"> - CLIMATIC VARIABILITY IS THE MOST ESSENTIAL FACTOR OF DISRUPTION OF HUMAN SETTLEMENTS. ITS MAJOR CONSEQUENCES ARE DIRECT DAMAGES AND MIGRATION/ RESETTLEMENT ALTERNATIVE. - WEATHER EXTREMES LIKE DROUGHT ARE RECOGNIZED TO BE AN ESSENTIAL FACTOR OF FAMINE IN THE THIRD WORLD. - AT WISIT, INLAND NATURAL DISASTER MAY INTERACT WITH SEA LEVEL RISE AND OTHER KIND OF PRESSURE ON RESOURCES TO RESULT INTO SOCIAL DISRUPTION. 	<ul style="list-style-type: none"> - ANY OF THESE CLIMATE SENSITIVE RESOURCES IS ESSENTIAL FOR COMMUNITIES, PARTICULARLY THOSE OF DEVELOPING COUNTRIES IN TERM OF POPULATION CONCERNS. - THE FOOD AVAILABILITY IS AFFECTED BY A SHIFT IN FOOD RESOURCE, THE EFFECTS OF UV-B ON MAKING ECOSYSTEMS, AND THE EFFECTS OF WARMING ON CROPS: J. HOFFMAN HAS SHOWN THE POSSIBLE REDUCTION OF RICE PRODUCTION BECAUSE OF SENSITIVITY TO HEAT. - IN UNDEVELOPED COUNTRIES, MANY CITIES ARE POTENTIALLY AFFECTED BY WATER RES. ISSUE. 	<ul style="list-style-type: none"> - COSTLY EFFECTS ON URBAN INFRASTRUCTURE AND POTENTIAL DESTRUCTION OF DENSELY INHABITED AREAS OF DEVELOPING WORLD. - EFFECTS OF DANGEROUS SETTLEMENTS LIKE HALABONG WAIC/ SITES LOCATED IN COASTAL FLOODPLAINS (NEED OF RELOCATION AND NEW TECHNICAL STANDARDS FOR EXAMPLE). - LOSS OF CULTURAL HERITAGES OR SITES IN COASTAL AREAS.

ANNEXE 1

Table 1. THE POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE ITEMS OF IPCC WC2 SECTION 5 ACCORDING TO THE PHYSICAL AND MANAGEMENT FACTORS THAT ARE CLOSELY INTERDEPENDENT WITH CLIMATIC EVENTS (FOLLOWING)

	1. PHYSICAL FACTORS: CLIMATIC, HYDROLOGIC AND ECOLOGIC VARIABLES	2. CLIMATIC VARIABILITY	3. MANAGEMENT FACTORS CLOSELY INTERDEPENDENT WITH PHYSICAL FACTORS: WATER RESOURCE, AGRICULTURE, FORESTRY	4. SEA LEVEL RISE
HEALTH	<ul style="list-style-type: none"> TEMPERATURE AND HUMIDITY ARE FACTORS IN VECTOR BORNE DISEASES. WARMING COULD INCREASE AND CATCHES SOME VECTOR-BORNE TROPICAL DISEASES. HEAT STRESSES MAY SIGNIFICANTLY ENHANCE CARBOHYDRATE METABOLISM. 	<ul style="list-style-type: none"> EFFECTS ON DISEASES HAVING A SEASONAL CYCLE OF MORTALITY OR HUMIDITY: HEART DISEASES AND HYPOTHERMIA. SOCIO-PATHOLOGICAL BEHAVIOR COULD BE AFFECTED BY HEAT WAVES (INDICATED BY DEWEAR AND DAVIS). 	POSSIBLE EFFECTS ON HEALTH THROUGH WATER AVAILABILITY AND QUALITY (POSSIBLE VECTOR OF DISEASES) AND MORE SPECIFICALLY FOOD AVAILABILITY (MALNUTRITION).	VECTOR BORNE DISEASES
AIR QUALITY	<ul style="list-style-type: none"> INCREASING TEMPERATURE WILL CHANGE REACTION RATES, SOLUBILITY, EMISSION AND DEPOSITION OF ATMOSPHERIC GASES. OTHER VARIABLES WILL CHANGE DISTRIBUTION PATTERN/ TRANSFORMATION RATES. OXIDANTS AND ACIDIC SPECIES ARE FORMED WITH WARMING. INCREASED CLOUD COVER MAY REDUCE OZONE PRODUCTION UNDER SPECIFIC CONDITIONS. PRECIPITATIONS RELATED TO ACID DEPOSITION (NO PRECIPITATION). 			
U. V-B				

ANNEXE 2

Table 2. THE INTERRELATED EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ACCORDING TO THE ENVIRONMENTAL, SOCIAL, AND ECONOMIC RELATIONSHIPS BETWEEN THE ITEMS UNDER STUDY. (EXPLANATION)

	ENERGY	INDUSTRY	TRANSPORT	AIR QUALITY	U.V-B	HEALTH	HUMAN SETTLEMENT	
ENERGY		<ul style="list-style-type: none"> NEW TECHNOLOGIES TO FACE INCREASING DEMAND FOR PEAK CAPACITY AND TO RESPOND TO NEW MARKET OPPORTUNITIES FROM PUBLIC GREENHOUSE CONCERN. SHIFT OF LOCAL ENERGY SOURCES AFFECT ENERGY DEMAND PATTERNS (NUMERICAL). 	<p>AS A MAJOR TOOLS OF ECONOMIC POLICY FOREIGN, TRANSPORT IS AFFECTED BY ENERGY POLICIES AND PUBLIC CONCERN, FOR REGULING CO₂ FUEL ECONOMY STANDARDS, TAXES, ENERGY EFFICIENCY, ALTERNATIVE FUEL.</p>	<ul style="list-style-type: none"> PROJECTED INCREASE OF ELECTRICALITY WILL INCREASE AIR POLLUTANTS AND THEREFORE ENERGY POLICY ACTIONS AND TECHNOLOGIES. AIR POLLUTANTS EMISSIONS WITH FUEL SWITCHING. 	<p>SIGNIFICANCE OF ENERGY CHOICES ON UV-B ISSUE (LONG TERM) SINCE GLOBAL WARMING WILL ENHANCE THE EFFECTS OF INCREASED UV-B RADIATION ON CANCER-LEVEL OZONE (MODEL).</p>		<ul style="list-style-type: none"> EFFECTS OF NEW PLANTS SITES FOR INCREASED DEMAND OF ELECTRIC. EFFECTS OF ENERGY ALTERNATIVES IN TERMS OF LAND USE (WIND / SOLAR ENERGY), POTENTIAL ARIAS AREAS (NUCLEAR). LANDSLIDE EFFECTS WITH WHEEL SHIFT. 	
INDUSTRY			<p>EFFECTS ON REGIONAL OR INTERNATIONAL TRADE (IN PARTICULAR) DUE TO A SHIFT IN RESOURCES AVAILABILITY AND CONSUMPTION / PRODUCTION PATTERNS.</p>	<p>INDUSTRIAL REGULATION AND SHIFT IN INDUSTRIAL PRODUCTION (NO PROTECTION).</p>		<p>INDUSTRIAL REGULATION AND SHIFT IN AIR POLLUTANTS RELATED DISEASES (NO PROTECTION)</p>	<p>INDUSTRIAL REDUCTION (NEW AND FORMER SITES ARE AFFECTED IN ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL TERMS). EMPLOYMENT - MOVING LINKAGE IS IN QUESTION. FOREIGN TRADE MAY AFFECT MIGRATION.</p>	
TRANSPORT		<p>CHANGE IN TRAVEL AND TRANSPORTATION PATTERNS MAY AFFECT TOURISM INDUSTRY.</p>		<p>TRANSPORT POLICY RESPONSES WILL AFFECT THE AIR QUALITY ISSUE (THROUGH TECHNOLOGICAL INNOVATION)</p>		<p>A CHANGE IN TRANSPORT PATTERNS MAY HAVE EFFECTS ON ACCESS TO HEALTH SERVICES SOMEWHERE (NO STUDY).</p>	<p>NEW TRANSPORTATION PATTERNS (MASS TRANSIT) WILL AFFECT LAND USE IN CITIES. IMPLICATIONS ON THE ECONOMIC VIABILITY OF THE ONE HAND, ON THE SETTLEMENTS OF ENVIRONMENTAL QUALITY ON THE OTHER HAND.</p>	
AIR QUALITY	<p>INDUSTRIAL MANAGEMENT OF ENERGY PRODUCTION / CONVERSION PLANTS TO BE AFFECTED BY NEW AIR QUALITY REGULATIONS (SEE ALSO THE NEXT BOX).</p>	<p>SPECIFIC INDUSTRIAL ACTIVITIES MAY BE STOPPED, ALTERED OR GIVEN TO HAVE STRIPPER PENALTIES OR FINES, DEPENDS ON AIR QUALITY CONTROL.</p>	<p>AIR QUALITY CONTROL WILL AFFECT TRANSPORT TECHNOLOGY BY CHANGES AND POSSIBLY SOCIAL CHOICES IN TERMS OF INCREASED RELIANCE ON MASS TRANSIT.</p>		<p>REDUCTION OF OZONE LAYER INCREASED UV-B RADIATION.</p>	<p>THROUGH GLOBAL WARMING AND UV-B INCREASE, INCREASE OF OXYGENS ASSOCIATED WITH ACUTE HEALTH EFFECTS.</p>	<p>CONCENTRATION OF OXYGENS IN SUMMER AND IN URBAN AREAS: ENVIRONMENTAL DEGRADATION.</p>	
U.V-B		<p>ALTERATION OF MECHANICAL, PHYSICAL AND OPTICAL PROPERTIES OF SOME MATERIALS (POLYMER)</p>		<p>INCREASED UV-B MAY INCREASE THE RATE OF URBAN OZONE FORMATION AND HYDROGEN PEROXIDE (ENVIRONMENT / MODEL). MAY FINALLY AFFECT ACID PRECIPITATION PATTERN.</p>		<p>DAMAGING EFFECTS ARE SKIN BURNING, SKIN CANCER, AND THE IMMUNE SYSTEM. DAMAGES ON FOOD CHAIN AND CROP SHOULD LEAD TO MALNUTRITION.</p>		
HEALTH	<p>ADDITIONAL ENERGY REQUIRED FOR CONTROL OF ENVIRONMENT TO AVOID RISKS CAUSED BY INADEQUATE RESPONSE FOR STRESSES.</p>	<p>DECREASED EFFICIENCY OF WORK</p>	<ul style="list-style-type: none"> INCREASED RISKS OF TRAFFIC ACCIDENTS. SPECIAL CARES REQUIRED FOR TRANSPORT OF HANDICAPPED PEOPLE (WHEELCHAIR....) 					<p>POSSIBLY AN INCREASED PUBLIC CONCERN FOR HEALTH, WITH CONSEQUENCES ON CONSUMPTION PATTERNS (NO STUDY).</p>
HUMAN SETTLEMENT	<ul style="list-style-type: none"> SHIFT IN ENERGY SUPPLY / DISTRIBUTION (REDISTRIBUTION OF POPULATION). AREAS WITH A NEW BUDGET IN SUPPLY. HEAT ISLAND EFFECT MIGHT IMPACT THE ELECTRICITY DEMAND. 			<p>IF DISORGANIZATION OF SETTLEMENT DUE TO CLIMATE CHANGE IMPLICATIONS, AIR QUALITY MAY BE INCREASED THROUGH BETTER VENTILATION</p>		<p>HEALTH CARE CAPACITY MAY BE TARGETED THROUGH RESETTLEMENT - IN TYPICAL URBAN DISORGANIZATION OF COMMUNITIES (CLOTHING, SANITATION, ACCESS) MAY COLLAPSE WITH RESERVE EXTENSION (NO STUDY). LIFE-ENVIRONMENT STATE</p>		

Table 3. SUMMARY TABLE OF CHARACTERIZATION OF THE BENEFICIAL OR DETRIMENTAL NATURE OF EFFECTS RELEVANT TO SECTION 5 AND LIKELY TO OCCUR IN ENVIRONMENT, SOCIETY AND ECONOMY, ACCORDING TO SPACE-TIME CATEGORIES (EXPLANATION)

		NATURE OF THE EFFECTS		
		BENEFICIAL	DETRIMENTAL	UNCERTAIN
SHORT TERM EFFECTS	1	<p>BENEFICIAL EFFECTS ARE QUITE SECONDARY ONES AT THE ACTUAL STAGE OF STUDY. THEY CONCERN EXCLUSIVELY THE TRANSPORT ISSUE (CLEVELAND: REDUCTION OF ANNUAL SNOW/ICE CONTROL COSTS). THERE IS NO REGIONAL STUDY DELINEATING BENEFITS AT THE ACTUAL STAGE, BUT SOME EFFECTS MAY BE POTENTIAL BENEFITS: A SHIFT TOWARD MASS TRANSIT MAY BE A CONSIDERABLE BENEFIT (ENVIRONMENTAL VIEW) AND IN SOME CASES A DETRIMENT (ECONOMIC VIEW). THIS IS ALSO RELATED TO THE TIME HORIZON.</p>	<p>STUDIES INDICATE THAT CITIES MIGHT BE STRONGLY AFFECTED THROUGH A SHIFT IN RESOURCES AND THEIR SHORTAGE (WATER IN NEW-YORK), THE DAMAGES OF NATURAL DISASTERS AND SEA LEVEL RISE (MIAMI IN FLORIDA) AND RELATED COSTS EXPENDITURE TO READJUST. CITIES OF THE THIRD WORLD ARE PARTICULARLY SENSITIVE BECAUSE OF OVERORGANIZATION, DETERIORATION OF URBAN SERVICES (CAPACITY) AND RESETTLEMENT OF REFUGEES. SOME ASPECTS OF URBAN ENVIRONMENT MAY BE DETRIMENTAL (EX.: DEGRADATION OF AIR QUALITY).</p>	<p>MOST EFFECTS HAVE BEEN EVALUATED FOR URBAN INFRASTRUCTURE AND ENGINEERING WORKS. HOWEVER, THEY SHOULD BE UNDERSTOOD IN INTERACTION WITH THE SOCIO-ECONOMIC EFFECTS, NOT YET STUDIED. THEN, THESE PHYSICAL EFFECTS MAY PROVE TO BE QUITE SECONDARY FOR SPECIFIC CITIES OR COMMUNITIES. AN ESSENTIAL ISSUE NEVER ADDRESSED IS THE EFFECTS ON THE RURAL/URBAN SCHEME OF LAND USE.</p>
	2	<ul style="list-style-type: none"> FOR THE GREAT LAKE AREA: ICE FREE WATERS FOR TRANSPORT IN NORTHERN AREAS, REDUCTION OF SEA ICE AND ICEBERGS COULD BE BENEFICIAL FOR OFFSHORE OIL AND GAS DRILLING. 	<ul style="list-style-type: none"> SOME ISLANDS AND ARCHIPELAGO (MALDIVES, CARIBBEAN) AND COASTAL OR DELTAIC AREAS (BANGLADESH, INDONESIA, AFRICA, INDIA) ARE PARTICULARLY THREATENED BY SEA LEVEL RISE OR NATURAL STORMS. IN INDUSTRIALIZED NATIONS, COASTAL INFRASTRUCTURE WILL NEED COSTS EXPENDITURES. IN NORTHWEST AFRICA, DESERTIFICATION MIGHT INCREASE (DUST COLLECTION, FLUMLI DRYAN). 	<p>MOST STUDIES ON ENTIRE REGIONS HAVE FOCUSED ON POTENTIAL EFFECTS (DESCRIBED IN TABLE 1). THE CARIBBEAN STUDY (O. GRAN-GER) TAKES INTO ACCOUNT THE SOCIAL BACKGROUND. HOWEVER, KNOWLEDGE OF THE REGIONAL AND NATIONAL EFFECTS IS EXTREMELY LIMITED.</p>
	3	<p>INTERNATIONAL COOPERATION FOR COPING WITH THE WARMING PROBLEM COULD PRODUCE MANY BENEFITS (SOCIAL, POLITICAL) IF WELL IMPLEMENTED AND SUCCESSFUL. THE NEW TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT FOR USING RENEWABLE SOURCES OF ENERGY AND FOR REMOVING GREENHOUSE GASES MAY BE A BENEFIT FOR MOST COUNTRIES IF IT IS MANAGED WITH SOCIAL CONCERN AND VALUABLE POLITICAL OBJECTIVES.</p>	<p>PRECEDENT TABLES HAVE SHOWN THAT CLIMATIC VARIABILITY, SEA LEVEL RISE AND SHORTAGE OF RESOURCES AFFECTED BY CLIMATE WILL PROFOUNDLY AFFECT THE DISTRIBUTION OF RESOURCES, PEOPLE, AND ACTIVITIES. THE ENERGY PROBLEM IS CRUCIAL BETWEEN DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES AND IN REGARD TO THE GREENHOUSE EFFECT. OTHER POTENTIAL PRESSURES AND CONFLICTS ARE TRADE AND PEOPLE MIGRATIONS (IMMIGRATION POLICIES).</p>	<p>THE DELINEATION OF EFFECTS ACCORDING TO CLIMATIC AREAS IS NOT POSSIBLE FOR THE ITEMS OF SECTION 5. THE EVALUATION ACCORDING TO BENEFICIAL-DETRIMENTAL EFFECTS IS ESSENTIALLY UNCERTAIN BECAUSE IT DEPENDS ON NATIONAL AND INTERNATIONAL POLICIES.</p>

ANNEXE 3

(1) 平成元年6月10日に、温暖化に関するシンポジウムを北海道で開催しました。

「地球の温暖化とバイオマス生産量」は、先ほどの内嶋先生により同様の話がされました。中国からは「中国農業の栽培システムと地域区分に及ぼす地球温暖化の影響」についての発表がありました。

「地球の温暖化の社会・経済の変動」では、主に北海道の農業への影響について報告がなされ、これに対して「植物生態」「気候変動」「農業生産」「社会経済変動」の面から、コメントーターの議論がされました。ここにおいては、主に地球温暖化のメカニズムと農業生産の影響、特に北海道と中国についての議論がなされました。

主な論点としては、気候温暖化の自然的要因と人為的要因の識別の問題、微気象モデルを用いた広域植生の生産力、及び農業生産力への直接、間接のインパクトの評価、気候の温暖化に対応するための適切な作物の種類、品種、営農体系の確立、温暖化による地球の砂漠化と農産物自由化についてと、大変多彩な議論がなされた。

温暖化ということが大変注目されておりますが、気象の先生から、雲量の予測が大変重要である、それによって温暖化か寒冷化か、どちらかに方向が変わってしまうというお話がありました。これも今後の研究の方向を示していると思われまます。

今回は余り議論がなかったんですが、先ほど内嶋先生からお話がありましたように、現在の穀倉地帯が温暖化によって降水量が大変減少することになりますと、今、日本はそういうところから大量に農産物を輸入しているわけですから、日本は大変危機的な状態になります。農産物自由化に対してどう対応するかということが大変大きな議論になりました。

地球温暖化による環境、社会経済影響研究における地域研究としては、このような不確定性の高い地球規模的な環境変化に対して、各地域がどのように対応、適応、管理するかを、総合的、学際的に研究することではないかと思われまます。

地球環境基準の設定ということで、これから国際的な取り決めが決められていくと思いますが、実はそういう取り決めに対して、地域まで落とししていかなければ、一体どういうことが問題になっているかははっきりわからないのではないかと思われまます。そういう面で、このような基準設定におきましては、総論はどここの国でも賛成で、最後に各地域に落とししていきますと、米の減反問題と同じで、大変なコンフリクトになりますから、そういうのは避けたほうがいいということかもしれませんが、それであっては本質的な問題の把握はできないのではないかと思われまます。ですから、地域に落とししていくことが必要かと思われまます。

地球温暖化による環境、社会経済における地域研究のフレームワークとして、エネルギーを

中心として、産業、生活環境、人口、土地利用、災害と、実はこれは地域的なシステムとして大変複雑な結びつきになっております。図4.10.1はこれを簡単に図式化したものです。

地球温暖化につきましては、先ほど内嶋先生が話されたトータル地球システムから出てくるアウトプットを、こちらの地域システムのほうにインプットして、それがエネルギー初め産業、生活環境、人口、災害、土地利用においてどのような影響を与えるか、また、それによって、逆の方向に今度、地球温暖化、トータル地球システムのほうに影響を与えるということです。これがグルグル回って、今、拡大的な循環になっているのか、または減少的な循環になっているのか。減少的な循環になれば寒冷化にいくということ、拡大的な循環にいくということは温暖化にいくということです。

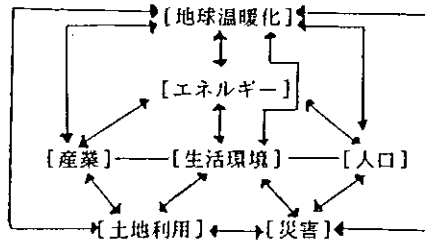


図4.10.1 地球温暖化による環境、社会経済影響における地域研究のフレームワーク

(2) これらのいろいろな関連の結びつきを今後どのように地域的な研究において対応していくかといいますと、いろいろな段階において、総合的に、学際的に対策を立てていく必要があるのではないかと思います。

表4.10.1に、今まで取り組んでいたり、将来取り組むべきものを挙げてあります。

生活的な計画におきまして、北海道で省エネルギー住宅という高断熱住宅が普及しております。これはもう既に住宅として一般的に普及しております。これにより、住宅の省エネ化が大変進んでいるわけですが、これはまだ北海道から東北の北部までしか来ておりません。将来、温暖化がさらに進みますと、こういう暖かい地域におきまして、冷房が一般的な生活パターンになりますと、このような高断熱住宅にしなければ到底対応できないだろうと思います。それにつきましては、北海道において技術的に確立しております。ただ、暖かいところの風通しのよい住宅の生活パターンといいますか、これはライフスタイルが大変変わりますので、そういう面では大変大きな問題になろうかと思います。

表4.10.1 北海道地域の研究者による広範囲な研究

- (1) 生活計画
 - 省エネルギー住宅（高断熱住宅）
 - ソーラハウス（パッシブ・ソーラハウス、アクティブ・ソーラハウス）
 - バイオマス、風力（電力、熱）、波力、地熱
- (2) 都市計画
 - コンパクト・シティ
 - 耐寒耐雪都市（スカイウェイ、プラスフィフティーン）
 - アーコサンティ
- (3) 産業計画
 - ソフトエネルギー産業
 - 農産物品種改良
 - 林産物品種改良
- (4) 気象予測
 - 地域気象予測
 - エアゾール・雲の予測
- (5) 国際調査・協力
 - マレーシアにおける生活環境調査、タイにおける産業環境調査
 - インドにおける都市環境調査、インドネシアにおける地域環境調査
 - 北方圏における気候・環境調査

それから、ソフトエネルギー関係を再評価する必要があるということで、ソーラーハウスとしてはパッシブ型、アクティブ型のソーラーハウス、及びこれを組み合わせた形などの技術的研究がされております。

それから、バイオマス、風力、波力、地熱。地熱は各地で利用されております。発電もちろん利用されておりますし、住宅においても利用されております。

都市計画全体ですけれども、ここに余り耳なれない言葉が並んでいます。コンパクト・シティというのは、ORの専門家であるダンツィクやサアティが提唱しているんですが、極端に言いますと、最近、東京におきまして、どこかの建設会社が超高層のビルディングを建てて、何十万人をそこに住ませる、それも1つコンパクト・シティの考え方ですが、そこまで高層にはいかななくても、ある程度まとまった集合体にすることによって、200万人以下であればこれに対応できる、大変省エネ都市ができるということです。これは新しい都市をつくるということです。従来型の都市をどう省エネ化するかということですが、それはスカイウェイやプラス・フィフティーン計画というのがあります。これはカリガリーなどでやっていますが、こういう対応の仕方がありうかと思えます。

4.11 WCIPの状況 (CIES 1991年会議)

筑波大学 甲斐 憲次

本日は「WCIPの状況」と題して、2つお話しさせていただきます。

第一は、WCIPの国内の研究団体である気候影響利用研究会の活動状況についてです。

第2は、この気候影響利用研究会が中心になりまして、気候変動による環境社会影響に関する国際会議を1991年、筑波で予定しておりますが、その国際会議の概要についてです。

まず最初の気候影響利用研究会の活動ですが、その前に、簡単にWCIPの説明をさせていただきます。

WMO (世界気象機構) は、ワールド・クライメート・プログラム (世界気候計画) を発足させていますが、この世界気候計画は、WCRP (世界気候研究計画)、WCDP (世界気候データ計画)、WCAP (世界気候利用計画)、WCIP (世界気候影響調査計画) になっております。

これらの4つのサブプログラムのうち、最初のWCRPにつきましては、日本では大学の研究者を中心に活動が進んでおります。2番目のWCDPにつきましては、気象庁を中心に気候データの整備が進められております。

ところが、WCAP (気候利用計画) とWCIP (気候影響調査計画) については、1970年代から80年代にかけて、日本の研究組織の受け皿がありませんでした。そこで、WCAPとWCIPに関するいろいろな活動を効率的に推進するために、1983年、気候影響利用研究会が筑波大学の吉野正敏氏を会長として発足しました。この研究会は現在 250名で、いろいろな分野の方々が入って活動されております。活動の主なもの、年2回の研究発表会とニュースレターを発行することです。

1988年には、気候影響利用研究会の活動をまとめた「日本における気候影響利用の課題」を吉野正敏編集で刊行しました。これは、全部で3つの部分から成っております。

第1部は「気候影響利用の諸問題」で、いろいろな角度からレビューが行われております。気候影響、あるいは気候変動が直接に影響を及ぼすのは農林水産業ですので、第2部は農林業を中心にまとめてあります。また、第3部は「人間活動・諸産業・水資源などと気候変化」ということで、これは全部で「気象研究ノート」というものにまとめてあり、231ページのものになっております。

我々はこのような気候影響に関する活動を行ってきたわけですが、WCIPに関係して、1989年3月にアメリカのボルダーのNCAR (米国大気研究センター) で、気候影響に関する国際ネットワークショップが開催されました。この会には、日本側から筑波大学の吉野正敏教授と、国公研の西岡室長、国立防災センターの米谷室長が出席され、研究の方向づけがある程度行われています。

この会議の最後に、次回のWCIPに関するネットワークショップを日本で開催してはどうかという要請があり、これを気候影響利用研究会で検討した結果、1991年の1月27日から2月1日、筑波大学で、略してCIESという国際会議を開催する運びとなりました。このCIESというのは、「International Conference on Climatic Impact on the Environment and Society」、気候変動による環境社会影響に関する国際会議ということで、「Climatic」「Impact」「Environment」「Society」を取り出してCIESというわけです。

この会議は問題の性格上、非常に広い分野の学際的研究になるわけで、共催団体としては、いろいろな省庁のほか学会等が多数含まれております。現在、まだこのすべての団体から全部オーケーが出ているわけではないのですが、一応このような省庁、学会等に共催、後援を依頼しております。

開催場所は筑波大学で、開催の目的は、我が国を初め、世界各国での気候影響研究の発表と討論、2番目として、国内及び国際研究ネットワークの形成状況の把握、最後に国際的ネットワークの強化、以上3つが目的であります。

テーマとしては、水文・水資源への気候変動の影響、自然生態系、農林水産業、産業活動と人間生活、気候とエネルギー問題、気候と人間居住、気候のモデリング、モニタリング及びシナリオということで、きょうの午後から、エネルギー問題、農業分野、水文、各分野の方々から報告がなされておりますが、そういう報告に非常に関連したテーマと言えます。

この会議はアブストラクトを作成しますが、これは400語以内程度で、図表が含まれていない文章だけのものでありまして、この国際会議は、筑波大学地球科学系の河村武教授が事務局長となっております。河村教授もしくは私にお問い合わせいただければ、いろいろな資料をお送りいたします。

また、この国際会議につきましては、コール・フォー・ペーパーということでファーストサーキュラーをつくっております。このファーストサーキュラーは受付で入手することができます。この国際会議に興味をお持ちの方は、ぜひ申し込みはがきでお申し込みいただければ幸いです。

図4.11.1は会議の概要ですが、この国際会議の位置づけについて簡単に説明させていただきます。

この図は、ボールダーで行われた国際ネットワークショップの折に、Peter Usher というUNEPの担当者が、最近いろいろ進行している気候関連のプロジェクト、あるいは組織をまとめたフローチャートです。気候計画があるんですけども、その後、1988年の段階で、気候変動に関する政府間パネルIPCCが発足し、1990年の11月に、この政府間パネルで出されたことを評価して、リサーチとインパクトとポリシーという3つのワーキンググループでこのとりまとめを行うわけです。CIESというのは1991年の1月末から2月の初めにかけて開催されるんですけども、1990年の11月に開催される2つのSWCC（第2回世界気候会議）での結論をうけて、研

究・調査の進展を具体化することについて討論していこうというのが、CIESという国際会議の1つの意義になるかと思われます。ですから、UNEPでは、このCIESという国際会議を、SWCCのフォローアップミーティングと位置づけているようです。

以上、簡単ですが、WCPの概要と1991年に予定されているCIESという国際会議の紹介をさせていただきます。

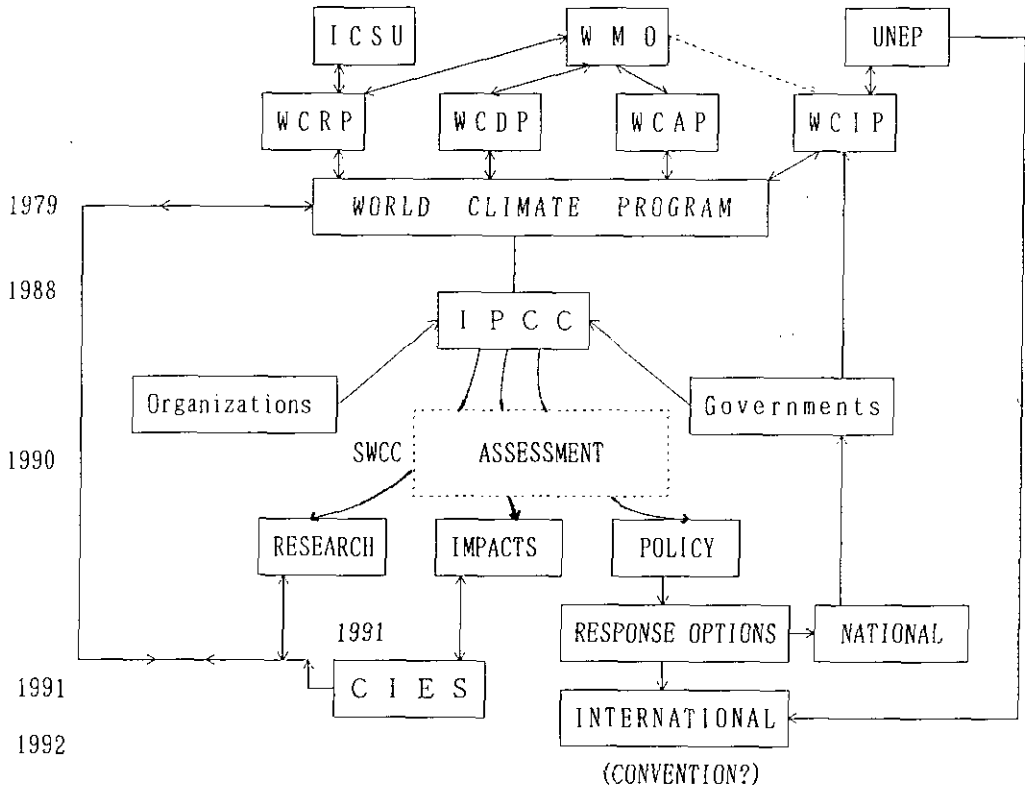


図4.11.1 国際会議CIESの位置づけ

国立公害研究所でやろうとしている研究について、簡単にご報告申し上げます。

昨年から、地球温暖化に伴う環境評価に関する研究を開始しておりまして、実はこのシンポジウムも所内の研究の一環として開いておるわけです。来年度から、やや大がかりな研究にしていきたいと考えております。

国立公害研究所においては、地球温暖化研究というのは全般的に取り組まなきゃいけない問題でして、監視方法から大気のみならず、海、生物、環境影響、対策、政策科学、どうやって手を打ったらいいか、といったことまで全面的に戦線を広げているという状況です。監視方法は、リモートセンシングとか、大気化学だと炭素サイクルもありますし、メタンもありますし、温室効果ガスがどういう挙動をするかという研究もやっています。対策技術につきましては、この前ここでシンポジウムを開きまして、評価をどうするかという議論をしました。さらに、政策科学的といいたほうがいいか、一体全体、手を打つということはどういう意味を持ってるんだろうかといったことについての研究、どういう政策オプションがあるかという話もやっているわけです。

温暖化のメカニズムの基本的なことですけれども、土の中の水分の蒸発散量がどれくらいになるか。これは影響でもあり原因でもあるわけですが、リモートセンシングデータやグラウンドトゥールズデータで研究しています。リモートセンシングのデータを用いて、温暖化の影響、特に熱帯林の近辺とか砂漠化の近辺とか、そういう変化のしやすいところのリモートセンシングの手法を応用した観測をどうやっていくかを考えています。

先ほど土木研究所からも報告がありました、水文・水資源、水質への影響がどうなるかというモデル分析、淡水及び汽水生態系への影響、これは特に生物学的な影響をモデルを使ってやる、陸上植生分布の変動、これもCO₂とか温度の変化によってどんどん変わっていくから、そういうモデルの問題を検討しています。

先ほど大喜多先生からも話がありました大気質、特にいろいろな化学的変化の問題、及び炭酸ガスが増えたときにどういう植物ストレスが起きるだろうか。これはいい影響もかなりあるということですが、それがどれくらいのものかといったこともやっています。

古気候の再現による植生分布、健康影響、産業影響、例えば海面上昇による沿岸への影響、スキーといった地域産業の影響についても検討しています。

さらには、経済的な影響をどう見積もっていくかといったこともやっています。

このフレームは今さら言うまでもなく、こうした研究とともに、なぜこうしたシンポジウムをやっていくかということなんですけれども、きょうのお話の中でなかったなと思うことが幾つか

あります。それは、1つは日本の国の研究だけでいいのだろうかということです。IPCCでも、国際的な分業みたいなことを考えてみますと、これからは東アジア地域ぐらいに地域を広げて、私どもの研究を進めていく必要があるのではないかとということが1つです。

国内における影響研究のネットワークの一環としての機能というのは、今ごらんになりましたように、私どもは割と広くて浅いリソースのスペクトラムを持っているわけです。国内、国際を通じて、環境影響の研究は多くの人の協力が要るだろうと思われま。こうした協力に対して、何かの中心的機能、もしくは情報中心でいいと思うんですけども、そういった機能も要るだろうと思ひまして、できましたら、そういう影響研究のネットワークの結節点ぐらいにはなれるんじゃないかということで、この研究を考えております。それから、先ほど出ておりますIGPP、WCIP、IPCC、こういうものへ参加しながら研究を進めていきたいと考えておひまして、1期4年ぐらいで研究を進めたいと思ひます。

研究者間のリンケージだけでなく、テーマをリンケージする方法も考えています。図4.12.1は、どういふ対策を打ったらどういふ結果が生じるだろうかを検討したものです。環境影響はもう一つ漠然としていて、けさの議論のようにどんどんと高めていきますと、結局は、炭酸ガスの当量濃度だとか温度だとかいふことになってしまうんですけども、対策なしの場合、対策ありの場合で、一体どれだけ影響が違ってくるんだらうか。それを、例えば二酸化炭素の濃度で評価するといふこともやってみたい。これはEPAのモデルをそのまま持ってきて、それなりに解釈していろいろ動かしたということです。これはリンケージプログラムと言っております。いろいろな政策を打ったとき、打たないとき、いろいろな影響、それがCO₂の濃度であるのか、お金のタームになるのか、どういふことになるかわかりませんが、そういったものを評価できるようなモデルをつくっていきたい。これも一種の評価研究の中に入るのではないかとおひます。これはどちらかといふと政策研究かなとも思われま。

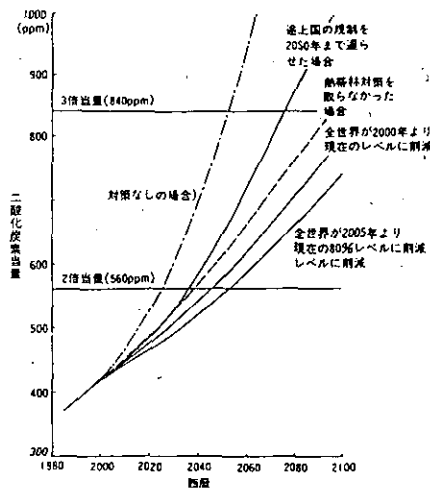


図4.12.1 制御シナリオ別の温室効果ガス濃度（二酸化炭素当量）の変化

4.13 環境庁の研究計画

環境庁 国安俊夫

(1) 研究計画の方向

政府一体となった取り組みの推進ということで、本年の5月12日に、地球環境保全に関する関係閣僚会議が、18省庁の閣僚のもとに設置されました。

その後、6月30日に「地球環境保全に関する施策」についてということで、当面の施策の基本的な方向が示されました。その1つとして、地球環境保全のための基礎づくりを進めるため、地球環境に関する広域的、全地球的な観測・監視及び国際的、学際的な調査研究を推進するということを含めて、6項目の申し合わせがされております。さらに、10月には、特に地球環境保全に関する調査研究、観測・監視及び技術開発の総合的推進についての申し合わせがされました。

この中で、1番目としては、この6月の申し合わせに基づいて、関係省庁の緊密な連携の下に、この3つの項目について総合的に推進するとしております。

2番目に、それを着実に推進するために次の措置を講ずるということで、総合推進計画というものをご各年度当初に定めると書いております。

もう一つは、その推進計画の実施状況及びその結果に関する報告を閣僚会議が受けるという形で、当面の講ずべき措置が書かれております。

(2) 研究の体制

続きまして、平成2年度の地球環境保全関係予算の概要の説明をさせていただきたいと思っております。

表4.13.1は、ことしの10月に環境庁が、各省庁から提出いただいた資料をもとにしてまとめたものです。先ほどの関係閣僚会議の6月の申し合わせの6項目に合わせて分類し、その金額を書いておりますけれども、全体で16省庁より地球環境保全関連経費の要求が行われており、その総額は4,638億円、平成元年度に対して9%の増になっております。

また、この中で特に重点が置かれておりますのは、観測・監視、調査研究、技術開発、普及の関連の経費の2つで、合計すると全体の97%を占めております。

この中には、衛星関係の経費、エネルギー対策、これは原子力関連も入っておりますけれども、そういった経費が非常に大きい比率を占めておりますが、そういったものを除いた経費で比較しても、この調査研究、モニタリング関連の経費は、昨年に対して12%増になっております。また、技術開発の関連経費につきましては4倍近い増になっております。

(単位：百万円)

内 容	平成2年度概算要求額					平成元年度当初予算額				
	地球環境保全 関係一般経費	衛星等研究 開発関係費	エネルギー 対策関係費	その他 関連経費	計	地球環境保全 関係一般経費	衛星等研究 開発関係費	エネルギー 対策関係費	その他 関連経費	計
1. 国際的枠組みづくり	7,814			50	7,864	4,831			44	4,875
2. 観測・監視、調査研究	38,595	22,440		545	61,580	34,403	26,237		85	60,725
3. 技術開発、普及	15,095		373,658	431	389,184	3,623		354,666	361	358,650
4. 環境分野の政府開発援助	1,576				1,576	475				475
5. 環境対応	3,420				3,420	720				720
6. 普及・啓発等	129			35	164	121				121
計	66,350	22,440	373,658	1,061	463,788	44,173	26,237	354,666	490	425,566

注) 衛星等研究開発関係費：気象衛星、地球資源衛星、海洋観測衛星等の研究開発部分の予算。
 エネルギー対策関係費：省エネルギー、新エネルギー、代替エネルギーの開発、普及に係る予算。
 その他関連経費：化学物質の安全性の確保に係る予算、閉鎖性水域及び沿岸海域における水質汚濁防止に係る予算等。
 地球環境保全一般経費：上記以外のもの

表4.13.1 平成2年度地球環境保全関係予算概算要求の概要

次に、環境庁の要求の概要につきまして、簡単にご説明させていただきたいと思います。

環境庁の地球環境保全関連の予算の要求総額は24億円です。先ほどの表の4,000億円の中では非常に小さい金額と思われるでしょうけれども、平成元年度の環境庁の地球関連の予算に比べると2.7倍という、環境庁としては非常に大きな比率を占めた予算要求をしているということになります。

その中の目玉の商品としては、地球環境に関する学際的、国際的な研究及びモニタリングの総合的推進を目的として、まず1つは、新たに内外の有識者による検討をしていただく。それをもとにして、地球環境研究計画を策定するというのを1つ考えております。

2番目として、この研究計画に基づき、国立研究機関はもとより、大学、諸外国の研究機関等の研究者との連携を図りながら、地球環境保全に関する研究を総合的に推進していこうという地球環境研究推進費を12億円要求しています。

また、3つ目の項目として、現在の国立公害研究所を改称して、国立環境研究所というふうな組織要求しておりますけれども、地球環境研究センターというものをその中に設置して、共同研究の推進、スーパーコンピューターとか地球環境データベース等の各種研究の支援体制の整備、アジア、西太平洋地域を中心とする広域環境モニタリングの実施というようなことを、このセンターで行うような形で考えております。

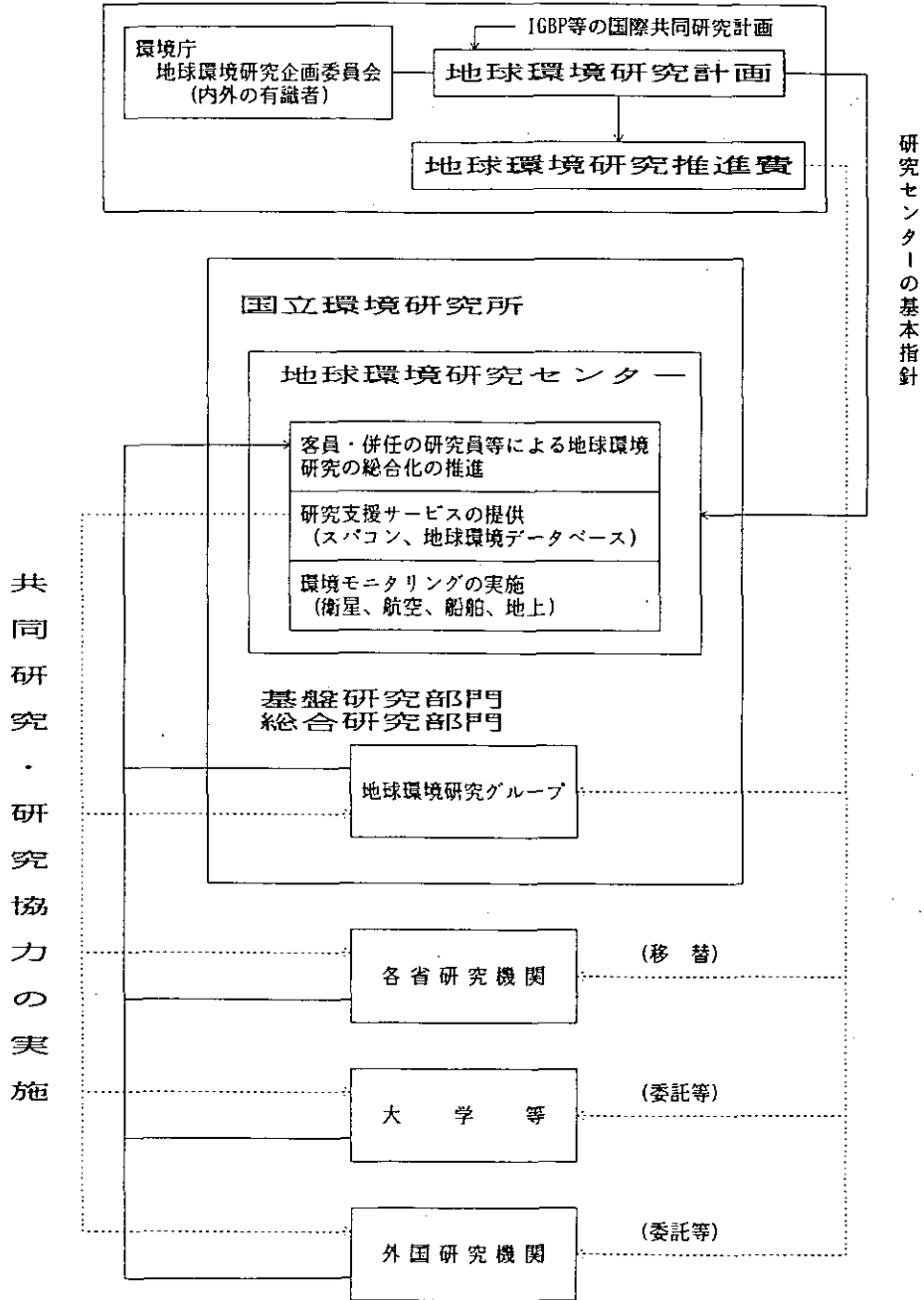


図4.13.1 学際的・国際的地球環境総合研究推進体制 (案)

(3) 各省庁の取り組み

最後に、きょうの議題になっている地球環境温暖化による影響研究への各省庁の取り組みは現在どんな状況かというのを、先ほどお見せいたしました各省庁からヒアリングをした内容をもとにして、若干ご説明させていただきたいと思います。

表4.13.2で、頭に「マル新」と書いてあるのが、平成2年度から新しく要求をしようとしているものであります。例えば、地球環境変化に伴う農林水産生態系に関する研究、これは先ほど宇田川さんからご説明がありましたけれども、このようなものが来年度要求されております。環境庁の目玉として出している12億円の地球環境研究推進費でも、こんなことをやっていきたいと考えております。

ざっと見ていただきましても、ここに書いてあるのは、影響に関する調査研究についてはすべて新規ということで、来年度から着手する。

対策に関する調査研究につきましても、ここに骨子を書いてあります。これは環境庁のほうで今年度から着手している行政調査ですけれども、それ以外についてはすべて新規のものです。予算上で見ますと、我が国では、一部の大学等での研究を除きまして、ほとんど温暖化に関する影響の調査研究等が取り組まれていない。また、取り組まれたとしても、本年度から若干手がつけられているという状況です。

今、お見せしましたように、各省庁ではそれぞれ行政目的のもと、調査研究の新規要求が非常に出てきている。今の表につきましては、実は大学の関係、民間の関係の研究についてはうたっておりません。環境庁として、そこら辺まで正確に把握できなかったものですから、文部省の大学関係については外しております。

環境庁といたしましては、地球温暖化に関する影響研究の重要性にかんがみ、各省庁での取り組みでは不足している部分、横断的、また総合的な研究をやらなくてはいけないところにつきまして、新しく要求している推進費で取り組んでいきたいと考えております。

なお、具体の研究計画につきましては、図4.13.1にも書いてありますように、来年度設置する内外の有識者から成る委員会において具体に研究計画をつくるということですので、まだ具体には決まっておりますけれども、決まりました折には、きょうご参集の研究者、研究機関のご協力、ご参加をお願いしたいと思います。

表4.13.2 各省庁における研究の取り組み

〈影響に関する調査研究〉	
⑨	地球環境研究推進費：環境庁 地球温暖化影響解明及び影響の予測
⑨	地球環境変化に伴う農林水産生態系の動態解明と予測技術の 開発に関する研究：農林水産省 地球環境変化に伴う農林水産生態系の動態解明及びこれに基づく 変動予測技術の開発
⑨	地球温暖化（海面上昇）対策検討調査：農林水産省 温暖化に伴う海面上昇が海岸保全施設等に与える影響の調査
⑨	海面水位の上昇等による臨海部の社会経済活動への影響の調査研究：運輸省 温暖化に伴う海面水位上昇の港湾施設等への影響に関する検討
⑨	海面上昇、流出特性の変化、酸性雨、気温の上昇・水文水質等の影響調査： 北海道開発庁・建設省 各種公共事業での海面上昇、水文条件の変化に伴う影響の検討
〈対策施策に関する調査研究〉	
⑨	地球環境保全のための産業・経済政策検討経費：経済企画庁 地球温暖化対策が実施された場合の産業・経済のあり方等についての検討 大気中二酸化炭素濃度の増大による地球温暖化対策に関する調査費：環境庁 温暖化関連ガスについて発生源の種類、発生量及び除去過程を調査
⑨	地球環境保全対策調査費：環境庁 地球温暖化対策の総合的推進を図るための各種の調査
⑨	地球環境研究推進費：環境庁 地球温暖化対策の分析と評価
⑨	地球的規模の気候変動に対する水需給基礎調査：国土庁 温暖化等による地球的規模の気候変動に対応した水資源対策のための基礎 的調査
⑨	地球温暖化への対応に関する調査：農林水産省 海面上昇に伴う海岸保全施設の機能等の低下に関する検討、今後の施設整 備方策の検討等
⑨	地球環境問題類型調査検討費：建設省 化石燃料の使用の削減に資する住宅の開発、地球温暖化の抑制に資する都 市整備方策等の検討

地球環境基準設定に向けた影響研究の課題

(司会：東京大学 松尾 友矩)

5.1 気候予測モデルの開発状況

気象研究所 野田 彰

(1) 三次元気候モデルを用いた温暖化予測数値実験の現状

きょうは「気候予測モデルの開発状況」について話せということですから、今まで気候モデルを使ってどのような実験がされてきたかをお話して、次に、実験から得られた課題と、それに対する取り組みについてお話したいと思います。

ここに地球の気候系についての図 5.1.1¹⁾を用意しました。地球の気候系で一番よく知られているのは大気です。その他、生物圏、陸地、雪氷圏、海洋があります。天気予報をするためには、大気の運動をしっかりと扱い、他の4つの圏については、境界条件として与えておけば、大体1週間程度はうまくいくことがわかっています。そのため、大気大循環モデルは非常に発達しております。

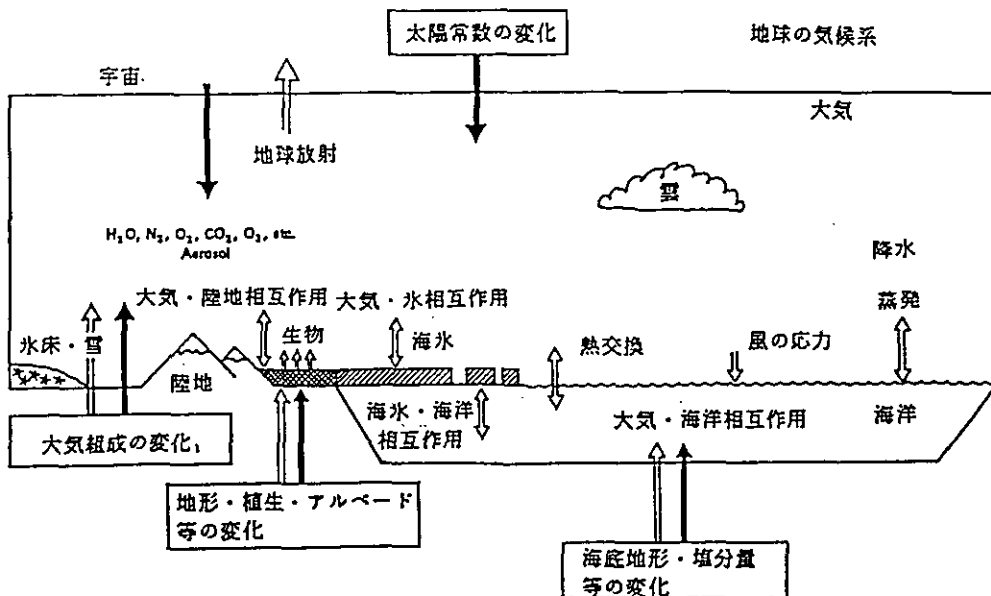


図5.1.1 地球の気候系を構成する5圏（大気、海洋、陸地、雪氷、生物）とその結合関係を示す模式図
 太矢印は気候系外の要因による気候変化、白抜き矢印は気候系の内的要因による気候変化を示す。

ところが、気候系にはもう一つ大循環を行っている海洋があります。モデルの開発には観測との比較が不可欠なのですが、海洋は大気ほど観測が進んでいないので、海洋大循環については余りよくわかっておりません。そのため、海洋大循環モデルは、大気大循環モデルほどにはまだ開発が進んでおりません。

最近問題になっている二酸化炭素が増加したときにどのような気候の影響が気候系に現れるかということを経験する場合には、生物圏とか陸地とか雪氷圏も、非常に長い間にはゆっくり変化するわけですから、天気予報するときみたいに、外部環境条件として与えるわけにはいきません。これらもゆっくり変化する効果を取り入れないといけません。海洋は大循環を行っているわけですから、大気大循環と海洋大循環の両方を同等に取り扱わなければ気候予測はできません。ところが、先ほど申しましたように、海洋大循環モデルは開発段階ですので、大まかな予測として、海洋の中で比較的良好にかきまざっている海面下50メートルぐらいの深さのところだけを取り入れて——海洋混合層と呼ばれているところですが、それと大気大循環を結合させて、まず二酸化炭素の増加の影響を見ようという研究がなされています。

最近、海洋大循環モデルもある程度進んできましたから、これからは大気と海洋を結合させたモデルによる研究が進むと思いますが、現在までは、大気と海洋混合層という非常に薄いところを取り入れただけのモデルで得られた結果だということを経験を、まず指摘しておきたいと思ひます。

実験方法ですが、二酸化炭素が増加したときにどのような効果が現れるかを見るために今まで行われているのは、図 5.1.2 に示すような平衡実験です。すなわち、まず現在の二酸化炭素に相当する量を一時的に与えて長い時間積分して、平衡状態を得ます。次に、あるとき二酸化炭素の量を急に倍にして、2倍になったままずっと長い時間積分して、ある平衡状態に達したら、この2つの平衡状態の差をとって、二酸化炭素が2倍になったときその影響がどのくらいあるか、議論するのであります。

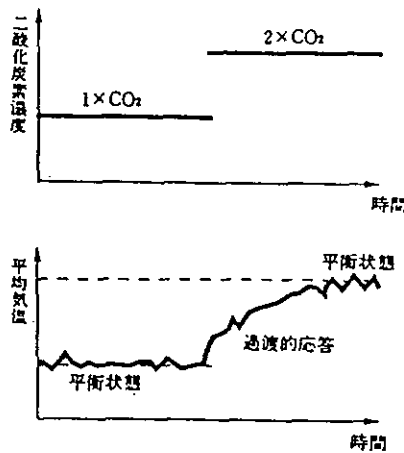


図5.1.2 二酸化炭素倍増実験

ところが、実際に政策を立てる人たちにとっては、何年ごろにどのくらいの効果があるかというのを見積もらないといけない。そのためには徐々に二酸化炭素を増加させていったときに、例えばどのくらいの温度上昇があるかということを見積もる必要があります。その場合、平衡状態を仮定した実験に比べて、海洋は、熱的にも物質的にも非常に大きな慣性を持っていますから、時々刻々の平衡状態に対して、少し遅れた状態で大気の全球的な平均気温の増加が進んでいきます。ですから、平衡実験を実際の場合に適用するときには、少しレスポンスの遅れがあるということに注意しないとけません（図 5.1.3）。

海洋混合層を使ったモデルの結果がたくさん得られています。IPCCに向けて、世界の9つの研究機関で、現在までに23例の計算結果があります。アメリカの研究機関、日本の気象研究所、英国の気象局、オーストラリア、カナダとか、あとソ連での成果が取り入れられています。

こういう海洋混合層を使った研究により、何がモデルについて改良しないといけないかということが大体わかってきました。このことについてもう少し詳しくお話ししたいと思います。

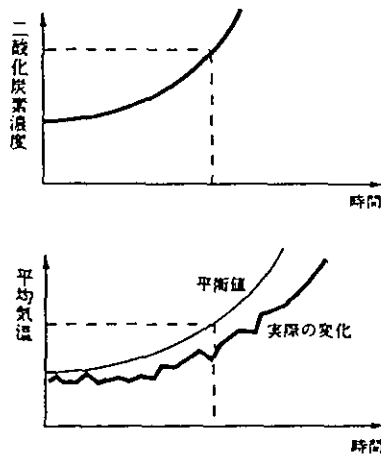


図5.1.3 二酸化炭素漸増実験

(2) 気候モデル開発に際しての課題と取り組みの現状

(2)-1 温室効果気体の物質循環

温室効果気体の問題ですが、これは炭素循環をきちんと扱わないことには温暖化の将来予測はできません。図 5.1.4²⁾からおわかりのように、化石燃料からの二酸化炭素放出量は年々6ギガトンぐらいの量ですが、大気圏と海洋圏・生物圏は、これに比べると1けた大きい量でやりとりしています。実際に大気や海洋が温まったときに、この交換過程がそのまま適用されるかどうかは、気候の将来予測に重大な影響を及ぼします。これからは、炭素循環を予報変数としてモデルで扱う必要があると思います。

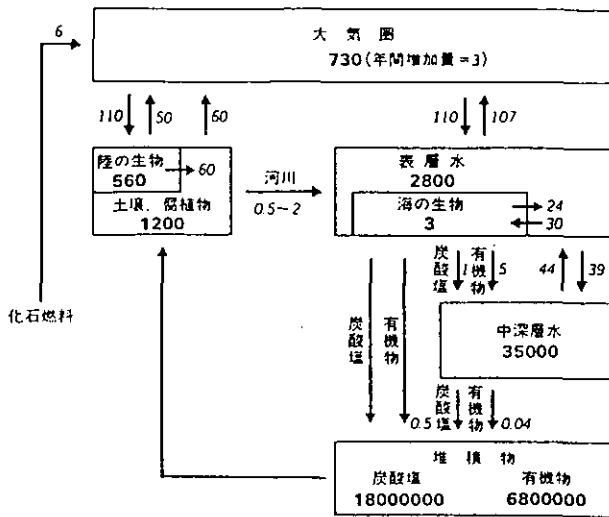


図5.1.4 炭素の地球化学的循環

単位は存在量 (太数字) が 10^{15} g、移動量 (斜体数字) が 10^{15} g/年

(2)-2 雲

雲の効果ですが、雲というのは太陽光線に対しては反射して地面温度を下げる働きがありますが、赤外放射に対しては、地面から出る赤外線を一たん吸収して、そこからさらにもう一度再放射することによって地面温度を上げるという2つの相反する効果を持っています。実際に気候を動かす原動力は、これら2つの大きい効果の差し引きなのです。最近まで、どちらの効果が余計に効いているのか、はっきりしていませんでしたが、人工衛星の観測により、地球全体での平均では、雲が正味 $13\text{W}/\text{m}^2$ ぐらい冷やす効果を持っているということがわかってきました³⁾。我々が議論している二酸化炭素倍増による放射フラックスの効果はどのくらいかといいますと、大体 $4\text{W}/\text{m}^2$ ぐらいだと見積もられています。雲というのはそれに比べて3倍から4倍ぐらい大きい効果を持っているわけで、将来予測に非常に大きい影響を及ぼすことがわかりただけだと思います。

モデルにおける雲の取り扱いで、雲の光学的特性についていろいろ問題があることが指摘されています。すなわち、今まで雲というのは大気の相対湿度が100%あるいは99%ぐらいになればモデルの中で雲が存在すると診断して、雲がこの高度にできればこのぐらいの反射率があるはず

だからというので、反射率を経験的に計算していた⁴⁾わけですが、実際は、雲によって雲水量がいろいろと変化し、それに伴って反射率も変化します。暖かい大気のときの雲が余計に光を反射するとすれば、大気を冷やすほうに余計に効くようになるわけです。この効果を調べた実験例として図 5.1.5があります⁵⁾。今までの相対湿度による雲診断を用いたときの昇温量が、雲水量の効果を考慮すると、半減するような計算結果になっています。ですから、雲の光学的特性をもっときちんと扱わないといけないと言われています。これに関連して、雲量変化についてですが、今までのモデルですと、暖かい大気では対流性の雨が増えるために雲量は減る、雲量が減ることによって温暖化をさらに強める効果がありました⁶⁾。しかし、雲水量を考慮すると、減り方もそれほど小さくなって、昇温量が抑えられる効果も図 5.1.5からわかります。ただし、この効果は、昇温予測の符号を反転させるほどの大きさはなさそうです。

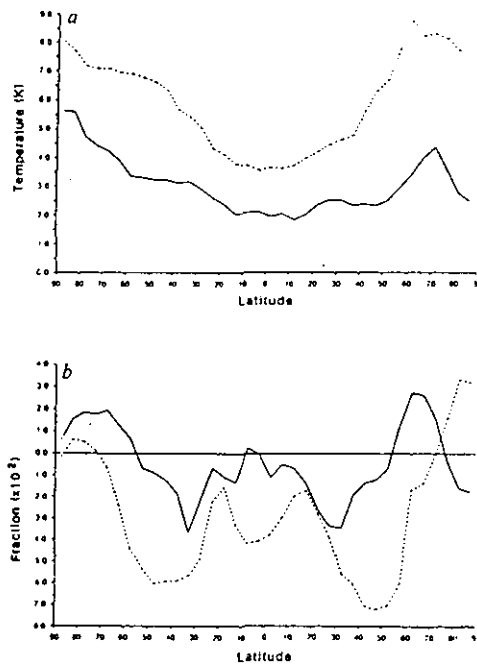


図5.1.5 二酸化炭素倍増に伴う昇温量（上図）と雲量変化（下図）の緯度分布
 実線は雲水量を考慮した雲の取り扱い、点線は相対湿度に基づく雲の診断を用いた実験結果

(2)-3 陸の水文過程

次に、陸の水文過程の問題です。これは農業問題などにとって非常に重要です。図 5.1.6⁷⁾ からわかりますように、現在、モデルで予想される土壌水分量の変化は非常に大きなばらつきがあります。土壌水分の予報に改良の余地があることが示唆されています。現在、どのように土壌水分を予報しているかといいますと、深さ15センチのパケツを各グリッドに置いて、そこでの水の収支を計算しています。ですから、ツンドラ地帯とか砂漠地帯、農耕地帯の可能保水量を全然区別しておりません。そういうところをこれからきちんと扱わないといけないということで、現在、地面過程とか生物圏についてもう少し現実に近い取り扱いをしたモデルがいろいろ開発されています^{8) 9)}。最近、これを大気大循環モデルに入れた実験が行われています。

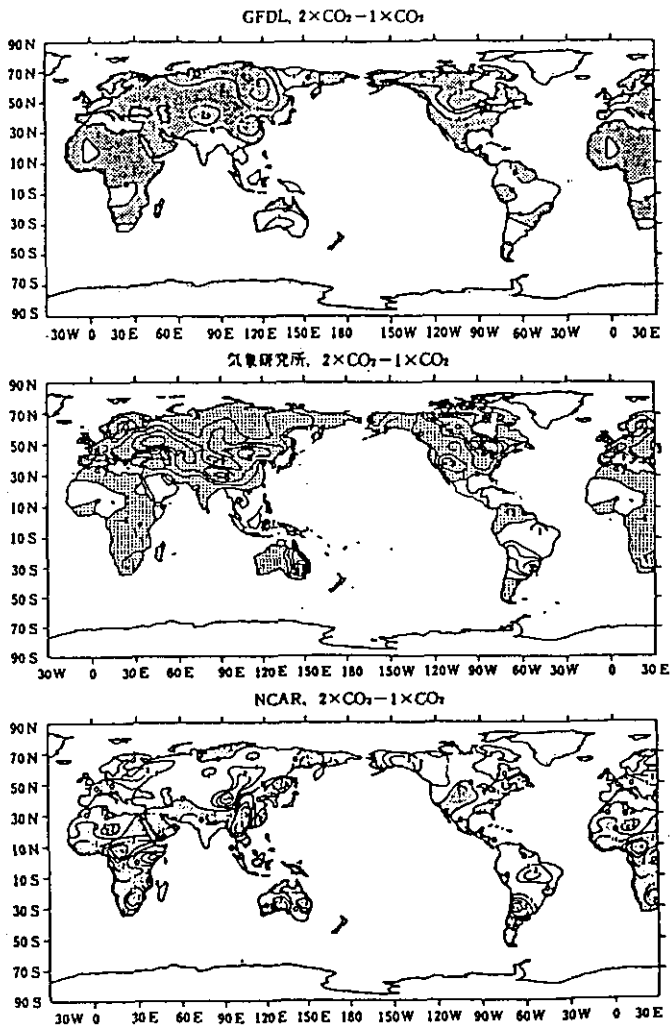


図5.1.6 大気海洋混合層モデルによって得られた二酸化炭素2倍増に伴う北半球夏期(6, 7, 8月平均)の土壌水分変化量の地理的分布
上: GFDLモデル、中: 気象研究所モデル、下: NCARモデル

結果の一例としてアマゾン地帯における地表面の放射収支を図 5.1.7¹⁰⁾ に示します。今までのバケツモデルですと、日が当たれば、直ちに、熱、水分が蒸発して奪われていますが、実際に生物の効果を検討すると、奪われる熱はそれほど大きくなる。太陽が当たってすぐ水分を蒸発させてしまうと植物はしおれてしまうわけですから、気孔を閉じて水分蒸発を抑えようとする効果があり、その効果が効くわけです。こうした効果を取り扱わなければ、地面の水収支はちゃんとできないし、逆にこういうモデルを使えば、かなりいいところまでいくことがわかってきました。しかし、現在、こういうモデルでは、1つの植生に対して外部から与えるパラメーターが30個ぐらいあって、植生として10種類余り、結局、外部から300個以上のパラメーターを与えています。CO₂を増加させたときに外部パラメーターがどのようになるかは不明ですから、このままでは温暖化予測にまだ使えませんが、土壌、生物圏モデルの開発は今後重要な課題になると思います。

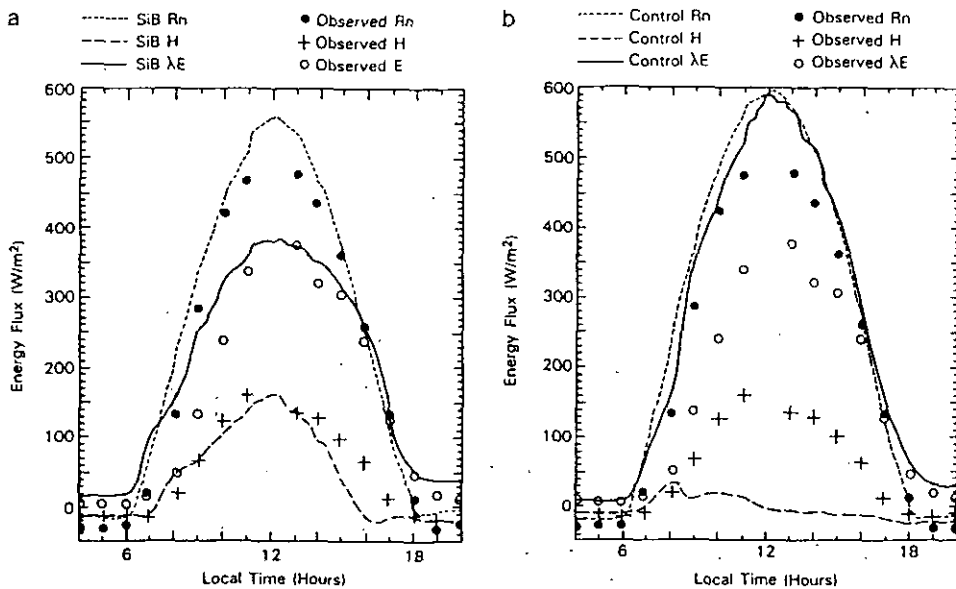


図5.1.7 アマゾン・マナウス付近の格子点での50日平均した正味放射（点線）、
 顕熱（破線）、潜熱（実線）フラックスの日変化
 左図は生物圏モデル Sib、右図はバケツモデルによる結果。観測値
 (Shuttle worth, 1984) を黒丸・白抜丸・+字で示してある。

(2)-4 海洋大循環

最後に海洋大循環ですが、海洋大循環を入れたCO₂漸増実験例として、図 5.1.8に示したGFDLの真鍋さんたちの結果¹¹⁾があります。この図から、平衡モデルとの大きい違いとして、南北半球で昇温の時期に大きな差を生じることがわかります。ここでは、2035年ぐらいにCO₂が倍になるシナリオが用いられております。図からおわかりのように、北半球ではかなり早く昇温が始まっていますが、南半球では遅れています。その理由として、海洋の大循環が非常に大きな影響を与えていることが指摘されています。図 5.1.9¹¹⁾に、二酸化炭素濃度が現在値で持続した場合と2倍になったころの南北方向の海流の深層循環が示されています。南極の周りでは非常に深いところまで循環が及んでいますから、非常に大きな水の量、すなわち熱容量を持ち、そのため、昇温が非常に遅れると説明されております。今までの海洋混合層ですと、50メートルぐらいまでの海水しか考えていなかったの、熱容量も小さく、昇温が速やかに起きたわけです。

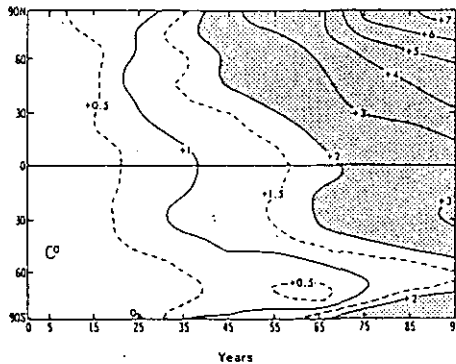


図5.1.8 大気・海洋結合モデルによる二酸化炭素漸増実験で得られた昇温量の緯度・時間分布



- 図5.1.9 海洋子午面循環の流線図

上図は二酸化炭素濃度を現在値で固定させた場合、下図は二酸化炭素濃度を年率1%の割合で増加させた場合、各々 61-70年後の10年間平均

(3) おわりに

モデルの改良点について、今後しっかりやらないといけない課題について以上お話ししました。しかし、モデルの改良のためには、モデルだけで閉じてはだめで、全球的な観測が必要です。きちんとしたデータ解析もしないといけません。モデルだけにとどまらず、いろいろな方面での改良がこれからの気候予測の精度向上のために必要だということを図5.1.10に示して、話を終えたいと思います。

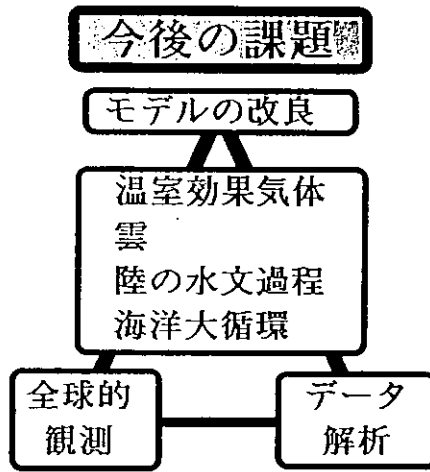


図5.1.10 今後の課題

参考文献

- 1) WMO, 1975: The Physical Basis of Climate Modelling, GARP Publication Series No 16.
- 2) 角皆静男, 1989: 炭素などの物質循環と大気環境, 科学, 59巻, 593-601.
- 3) Ramanathan, V. et al., 1989: Cloud-radiative forcing and climate: Results from the earth radiation budget experiment, Science, 243, 57-63.
- 4) 時岡達志, 1989: 大気大循環モデルにおける雲の取扱, 天気, 36巻, 7号, 9-17.
- 5) Mitchell, J.F.B., C.A. Senior and W.J. Ingram, 1989: CO₂ and climate: a missing feedback?, Nature, Nature, 341, 132-134.
- 6) Noda, A. and T. Tokioka, 1989: The effect of doubling the CO₂ concentration on convective and non-convective precipitation in a general circulation model coupled with a simple mixed layer ocean model, J. Meteor. Soc. Japan, 67, 1055-1067.
- 7) 気象庁, 1989: 異常気象レポート'89, 307p..
- 8) Dickinson, R.E., 1984: Modeling evapotranspiration for three-dimensional global climate models, in Climate Processes and Climate Sensitivity, Geophys. Monogr. Ser., vol. 29, edited by J.E. Hansen and T. Takahashi, pp58-72, AGU, Washington, D.C..
- 9) Sellers, P.J. et al., 1986: A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models. J. Atmos. Sci., 43, 505-531.
- 10) Sato, N. et al., 1989: Effects of implementing the simple biosphere model in a general circulation model, J. Atmos. Sci., 46, 2757-2782.
- 11) Stouffer, R.J., S. Manabe and K. Bryan, 1989: Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of atmospheric CO₂, Nature, 342, 660-662.

5.2 社会・経済影響をどう見るか

国立公害研究所 森田恒幸

(1) はじめに

私は温暖化影響の経済的評価という観点から少し問題を提起して、今どういうことをやろうとしているか、またどんなあたりで悩んでいるかということをご紹介したいと思います。

社会・経済的な影響と申しますのは、結局、いろいろな温暖化の現象と影響の終着駅あるいは総まとめをする部分です。総まとめの部分は、大体いつも非常に不確実なデータを使ってさらに不確実を上塗りするという作業をやっているわけです。しかし、政策決定のためにはこのよう総まとめの作業がどうしても必要で、多くの研究者がこのような作業に奮闘しているわけです。

地球温暖化の影響を経済的に評価した例は、既にいくつもあります。今までの主要な研究例を簡単に紹介しておきます。例えば、表 5.2.1¹⁾ はオランダでやられた I S O S (Impact Sealevel rise on Society) という総合的モデルを使った分析結果でございます。オランダは海面下はかなり陸地がございますので、海面上昇することに対して非常に危機感を持っておりまして、かなり真剣にこういう検討をやっています。このモデルを使って、水資源への影響とか港湾への影響を経済的に見積もりながら、トータルのダメージで約20億ドル程度と弾いているわけです。

アメリカでも同じような研究が幾つかあります。例えば、表 5.2.2²⁾ に示す Gibbs という人が見積もった例ですと、チャールストンの湾を対象にして、海面上昇によってどのくらいの経済的なダメージが見込まれるか、それに対して、対策をやった場合にどのくらいの経済的なメリットが見込まれるかという検討をしています。

表5.2.1 ISOS base scenario (Source: Wind, 1987)

SUMMARY REPORT:	1985	2010	2035	2060	2085
SEALEVEL RISE (m)	0.01	0.11	0.37	0.81	1.11
SAFETY A	0.00010	0.00015	0.00036	0.00164	0.00463
SAFETY B	0.00010	0.00015	0.00036	0.00164	0.00463
SAFETY C	0.00010	0.00015	0.00036	0.00164	0.00463
POPULATION (10 ⁶)	8.2	8.6	9.1	9.5	10.0
LAND CAPITAL LOSS (10 ⁶ \$)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
INTERTID. CAP LOSS (10 ⁶ \$)	0.0	3.3	17.3	60.7	82.7
WRR DAMAGES (10 ⁶ \$)	0.0	54.3	254.5	770.7	1353.9
SHIPP/PORT DAMAGES (10 ⁶ \$)	0.0	28.9	119.7	331.6	557.0
SUMM COST MEASURES (10 ⁶ \$)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL MONETARY (10 ⁶ \$)	0.0	86.4	391.5	1163.0	1993.6
TOTAL LAND LOSS (km ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LANDLOSS ENVIRONM (km ²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
LOSS INTERTIDAL (km ²)	0.00	194.47	678.60	1320.81	2094.30
SALT LOAD (ton/year)	213000	227268	254573	302793	336043

PRESENT VALUES OF:	
ON LAND CAPITAL LOSS	0.0 10 ⁶ \$
INTERTIDAL AREA CAPITAL LOSS	163.9 10 ⁶ \$
WRR DAMAGES	2433.4 10 ⁶ \$
SHIPPING/PORT DAMAGES	1037.2 10 ⁶ \$
SUMMED COST OF MEASURES	0.0 10 ⁶ \$
TOTAL MONETARY VALUES	3634.5 10 ⁶ \$

表5.2.2 Impacts of sea level rise in Charleston

Estimates of Net Economic Services for the Charleston Case Study Area, 1980-2025 (in millions of 1980 dollars)			
	Real Discount Rate (in Percent)		
	3	6	10
Scenario			
A. Trend Scenario	5,395	2,840	1,730
B. High Scenario without Anticipation	4,330	2,570	1,665
C. High Scenario with Anticipation	4,975	2,685	1,675
Results			
Economic Impact (A-B)	1,065	270	65
Value of Anticipation (C-B)	645	115	10

(2) 目標決定の理論

こういった検討はどういうところで活用されるかといいますと、環境基準や目標設定の決定の際に重要な判断根拠になります。経済分野の研究者は基準や目標値を考える時にまず行う思考は、社会全体として最も経済的効率性の高い状態はどこかという思考です。例えば、図 5.2.1 のように横軸に温室効果ガスの濃度又は排出量をとり、縦軸に費用をとります。温室効果ガスの排出量をどんどん抑えれば対策費用 (C) が高くなっていく。一方、対策をして温室効果ガスを抑えれば抑える程、環境影響のダメージ (D) が少なくなってきますので、この二つを足し合わせてトータルな費用 (T) の一番低いところで排出を行えばよいということになるわけです。これは非常に観念的なものですが、目標決定の理論としては広く受け入れられているものです。

問題は、費用 (C) や環境影響 (D) がどういう曲線になるか、なかなか同定しにくいということです。非常に不確実性がある。しかし、なんとかしてこれらの曲線が同定できたとして話を進めてみましょう。

まず、温暖化に対して容易に適応策がとれる場合、即ち、環境影響があっても、何かの適応策をとれば簡単にそれが回避できるような場合については、図 5.2.2 に示すようにダメージの曲線が横に寝てきますので、総費用が最小の点が大きく右に移動して、かなり多くの排出量まで許容してよいという目標設定になります。

また、環境には一定のキャパシティがあって、あるところまで負荷を加えともはや元の状態に戻らないという場合があります。いわゆる不可逆な過程が前提となる場合です。この場合には、図 5.2.3 に示すように、環境を元の状態に修復するのに無限大の経費がかかるとして、環境影響のダメージ曲線を急激に上げ、総費用最小の点が左に大きく移動して、温室効果ガスの排出量は低く抑えられることとなります。しかし、もっと極端なケースは、多少なりとも環境に負荷を

加えると環境が不可逆に劣化してしまう場合で、このような状況では図 5.2.3 の最適点よりもさらに低めに目標値をずらすことが必要になります。この理屈をうまく表現したのが Peace の提唱するサステナブルディベロップメントのモデル³⁾です。こういう不可逆の状況下では経済的効率性は無力でして、生態系の有する環境容量というものが目標決定の判断根拠になるわけです。

一方、対策費用の曲線の方もいろいろと変化いたします。対策技術に関して技術革新が進めば対策に要する費用が安くなりますので、対策費用のカーブが寝てまいります。図 5.2.4 に示すように費用曲線 C が C' にシフトして総費用曲線も T' に変化します。そして、総費用が最小な点は P' に移って、より厳しい目標設定が可能になる訳です。環境保全のために技術革新が必要な理屈はここにあります。

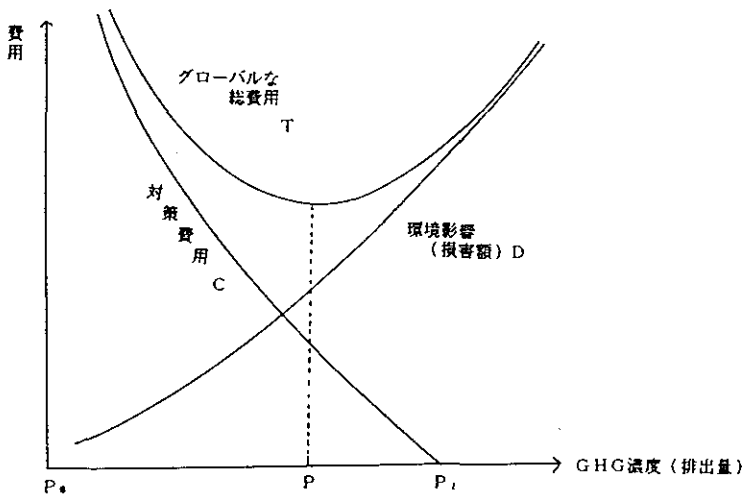


図5.2.1 最適な温室効果ガスの濃度（排出）基準の考え方（その1）

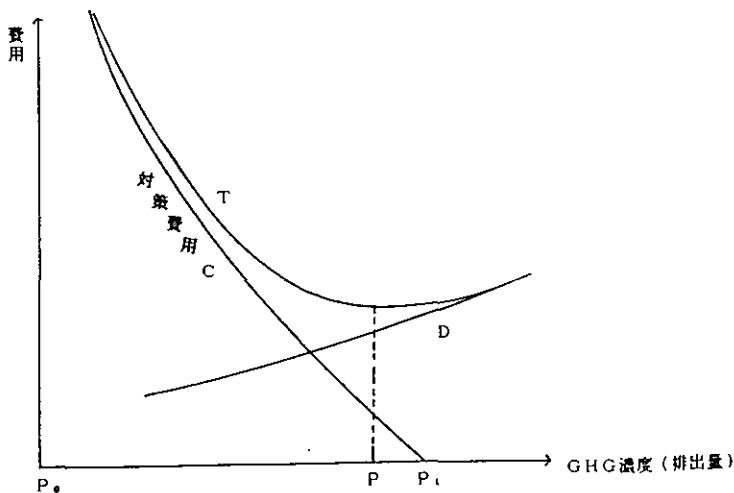


図5.2.2 最適な温室効果ガスの濃度（排出）基準の考え方（その2）

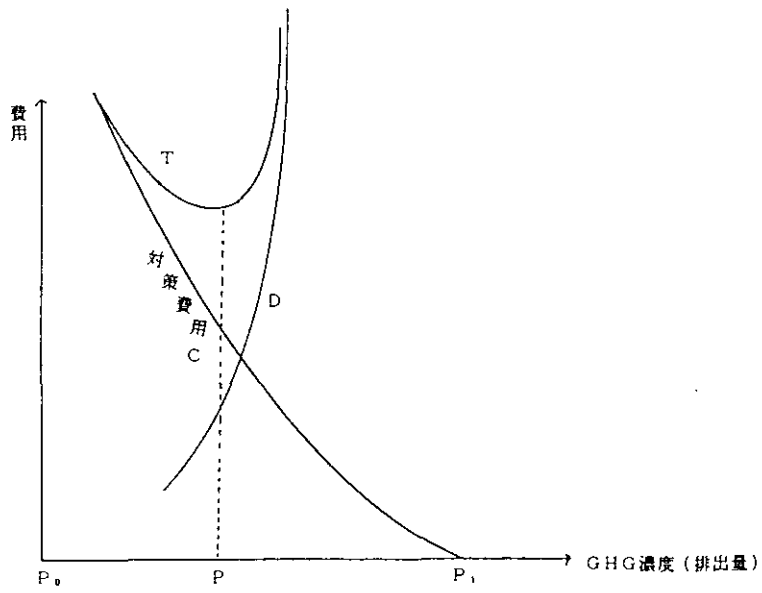


図5.2.3 最適な温室効果ガスの濃度 (排出) 基準の考え方 (その3)

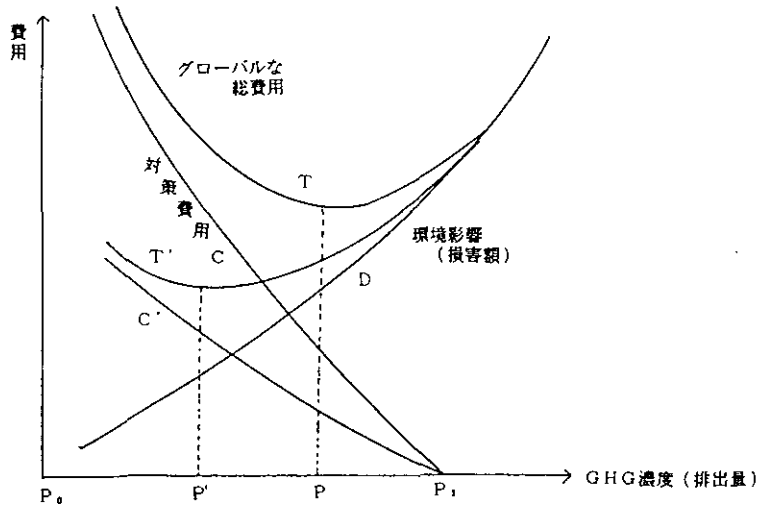


図5.2.4 最適な温室効果ガスの濃度 (排出) 基準の考え方 (その4)

(3) 温暖化影響の経済的評価の難しさ

このように環境影響の被害曲線と温暖化対策の費用曲線がどのような形をするかによって、政策目標にかかげる温室効果ガスの濃度基準や排出基準は大きく変わってきます。従って、政策目標を設定するためにはどうしてもこれらを見積もる必要があります。対策費用については手法的にそんなに難しいことはありませんし、産業界も非常に興味がありますので既にいろいろなところで算定が試みられています。しかし、温暖化影響の被害曲線の方は算定が非常に難しく、また算定の社会的動機づけが弱いのが実情です。しかし、このダメージを弾いておかないと政策目標のたてようがない。この分野の研究は是非とも必要なのです。

ただ、温暖化影響の被害を見積もることは大変な作業ですし、方法論上の難問もあります。第一に、温暖化に伴う全ての影響が貨幣価値に換算できるかという点で、非常に難しい部分があります。第二に、その評価はだれにとっての評価かという評価主体の問題もあります。地球温暖化は長期的な問題ですので、その被害は今の世代よりも後世の世代が受けることになり、世代間の利害対立の問題も生じます。

例えば、図 5.2.5⁴⁾ はある経済学者の予想なんですけれども、最初 100 年間はダメージも大きいけれども、暖くなるメリットも大きいんじゃないかという見積もりです。しかし 100 年過ぎた後は結局、非常に大きなダメージだけが残ると。それはすべて後世の世代が受けるダメージで、今の世代だけの評価なんて意味がなく、将来の世代との間の利害調整問題が非常に重要になりますよと言っているわけです。松原先生が紹介されたような倫理の問題、要するに将来と今の世代をどう調整していくかといったダイミナックな調整、あるいは南北間の貧富の差をどうしていくかといった地球レベルの調整の問題が、どうしても評価に関係してまいります。

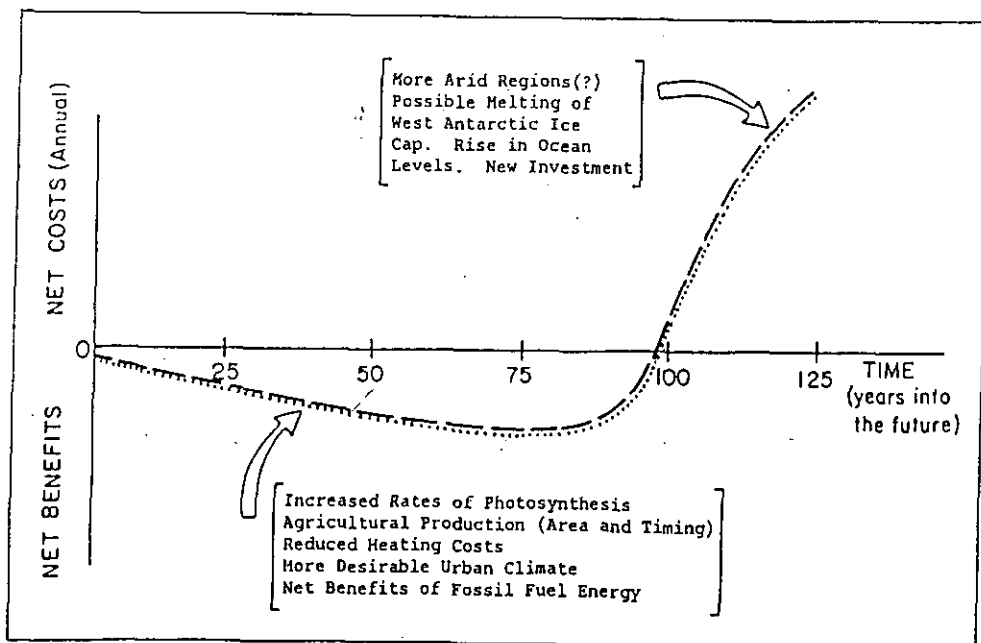


図5.2.5 Long-term net costs of climatic change : a qualitative picture

われわれの予想では、日本が受ける大きなダメージの一つは農業への影響で、しかも外国からのトレードを通じた影響が大きいと思われます。この影響を見積もろうとしますと、農業生産国でもナショナルバランスがあり、多分、気候変化によって貿易政策が変わり、それによってトレードの形態がまた変わってくる。そこを予測するモデルが必要になってくる。最終的に国際的な市場を介して、どのくらい日本にダメージが来るかという検討をやる必要がある。ここが非常に難しいところです。

さらに、われわれ経済屋の勘として先進諸国で見積もれる大きなダメージは、これはヨーロッパ諸国でも注目されているんですが、観光産業に対する影響です。海面が上がることによって、かなり観光産業に大きな被害が出るだろう、それが割と大きく見積もれるんじゃないかと予想しています。

(4) 検討を要する評価手法

このような海面上昇の影響を体系的に評価するため、最近、JansenらのOECD研究グループが一つの手順を提案しています。これは図 5.2.6⁵⁾に示すように、まず、海面が上昇することによる一次的なインパクトを同定し、それに対してある種のアダプティブな適応行動がとられて、それによって少し修正された値でインパクトが決定される。次いで波及的影響が定量化されて、金で勘定できるものとそうでないものに分けられて、具体的な見積りがなされる。そして、さらに適応策が検討されてこれが一次インパクトにフィードバックされていくわけです。

ここで一番問題になるのが、温暖化影響をお金にどうやって換算するかということです。これは古くて新しい問題で、例えば、影響を市場での損失額で積算してみたり、影響を防ぐために必要なコストで見積もったり、あるいは Willingness to pay、即ち、影響を防ぐために進んで支払うであろう額を基準にするやり方が使われてきました。この Willingness to pay に基づく手法の中には、実際のマーケットデータを用いるものもありますし、賃金とか地価のデータをもって統計的に推定するような方法もあります。

さらに、それでもできないときにはアンケート調査などによって直接に関係者に支払っても良い額を聞くこととなります。この方法は通常、CVM (Contingent Valuation Method)と呼ばれております。この方法は、現在利用されていないが将来は利用される可能性がある自然とか、残しておくことに価値のあるエコシステムなどを評価する場合、なくてはならない方法です。このような option value とか non-user value とかいはわれる価値は、直接の質問でしかなかいか見積もれないわけです。

ところが、このCVMの有効性については深刻な論争がありまして、こういった質問の回答と実際に市場で行われる判断の間には大きな乖離があるため、そもそもそういった質問を基にして社会全体の額としてトータルに見積もっていくことは間違いであるという批判が——これもまた古くからある論争ですけど、去年ぐらいからまた活発になってきました。特に、オランダの経済

学者 Hueting は徹底的にこの手法を批判しておりまして⁶⁾、大きな論争になりかかっています。他にいい方法がないからこれを使いますと、すぐに批判されるということで、なかなか難しく、また頭の痛い問題です。

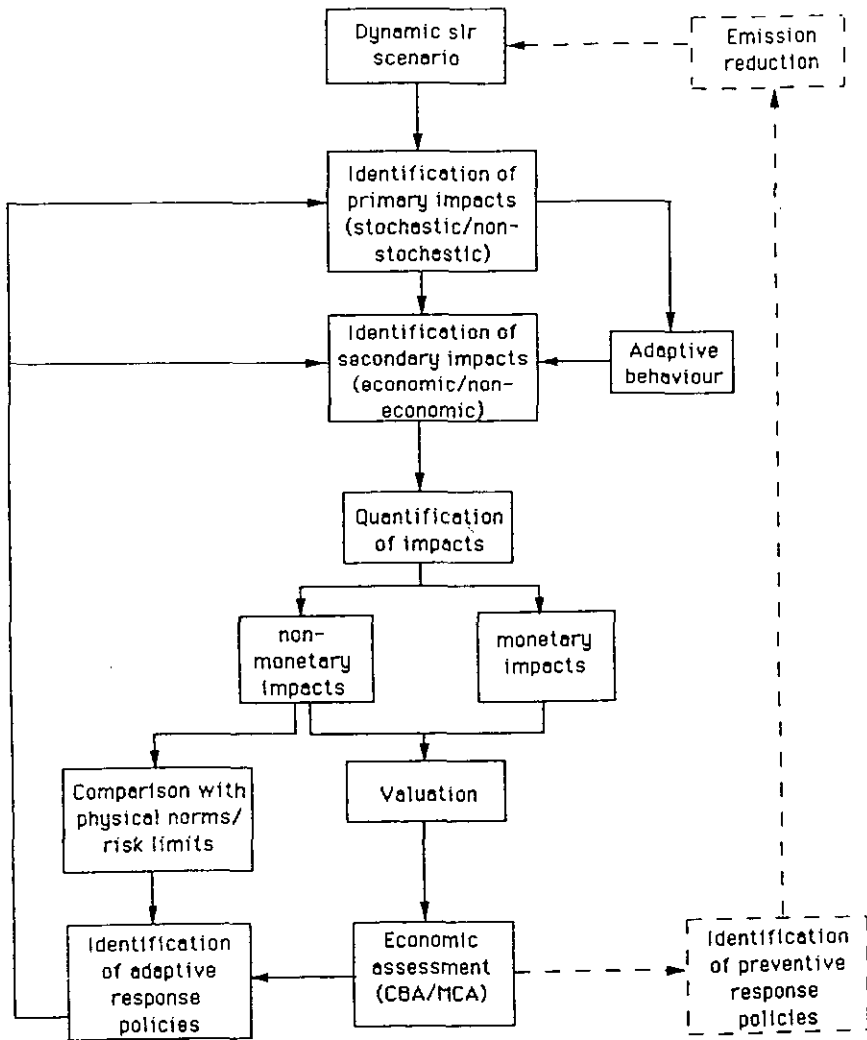


図5.2.6 Framework for Economic Approach to Impacts of Sea Level Rise

(5) おわりに

そこで、私どもは今何を考えているかという、すべてを体系的に金勘定することはまず無理で、戦略的に比較的大きなところから見積もらざるを得ない。特に国内におきましては、海面上昇による観光資源のオプションバリューとか、貿易を通じた農産物、それに自然災害の分野で、比較的大きなダメージを受けるだろう。そういったものをまず見積もっていく。その次に総合的な算定モデルをつくって、細かい影響を体系的に拾い上げていこうという計画を立てています。まず戦略的に、次にコンプリヘンシブに見積もるという方向を考えています。総合的な算定モデルにつきましては、先に紹介しましたオランダのI S O Sモデルがありますがけれども、我々もそれによく似た計算機システム（知識ベース・システム）をすでに開発しておりまして、非常に複雑なシステム全部を網羅しながら総合的に予測・評価していくという仕掛けは持っています。そういったものを利用しながら、これから総合的にも見積もっていこうと思っています。

以上、まだ成果が出ておりませんので、我々の悩みと、今後の方針についての報告をさせていただきます。

参考文献

- 1) Wind, H.G. (ed.) (1987) Impact of Sea Level Rise on Society. A.A. Balkema, Rotterdam.
- 2) Barth, M.C. et al (ed.) (1984) Greenhouse Effect and Sea Level Rise, A Challenge for this Generation. Van Nostrand Reinhold, New York.
- 3) Collard, D., D. Peace and D. Ulph (1988) Economics, Growth and Sustainable Environments. MacMillan Press, London.
- 4) d'Arge, R.C. et al (1982) Carbon Dioxide and Intergenerational Choice. American Economic Review, 72(2).
- 5) Jansen, H.M.A. (1989) Impacts of Sea Level Rise / An Economic Approach. (mimeo)
- 6) Ahmad, Y.J. et al (ed.) (1989) Environmental Accounting for Sustainable Development. The World Bank, Washington, D.C.

総合討論

○司会 きょうは随分いろいろな話題がございまして、現象的な一つずつの細かいことについてのご議論、ご疑問、あるいはご質問もあろうかと思いますが、とりあえずは本日の大きなメインテーマである、影響を評価しながら環境基準を設定するという大きな流れのところで、午前中の議論も踏まえた上で、いろいろな意味での感想等をお述べいただけたらいいのではないかと思います。特定の方にご質問ということじゃなくていいんじゃないかと思います。そういう意味で自由にご議論いただけたらと思います。

○小松（九州大学） 最初の松原先生でしたか、倫理の問題に触れられたんですが、確かに我々の世代が次の世代に対してどういうふうにか考えるかということが一番根本的な問題だと思うんです。アフリカのケニヤだったかタンザニアだったかちょっと忘れたんですが、こういうことわざがあるんです。環境というのは親の世代から譲ってもらったものじゃなくて、次の世代から預かっているものだ。この考え方は私は非常に大事なんじゃないかと。我々は次の世代から環境を預かっている、それをどう考えるか。もらったものではなくて、預かっているものに対して一体どうとらえていくかという視点が非常に大事なんじゃないかと、私は考えております。

一番根本的な課題ともいえる環境というのをどうとらえていくのか、また、次の世代に対して、我々は50年後、100年後をにらんで、環境というものをどう位置づけていくのか、この点、できれば少し議論を深めていただきたいと思います。

○松原 先ほど時間がなくてお話しできなかったんですが、大体4つぐらいの考え方があります。

ベンサムという人は功利主義の哲学者です。現在、このベンサムという人が生きていて、これに対してどういうふうに言うかということ想像してみると、ベンサムという人は、いる人をすべて集めて、その人のトータルの幸せさ——経済学で効用と申しますけれども、そういうのを基準にするといいと恐らく言うでしょう。

U1というのを現世代の総効用、要するに総幸福とする。U2という、次の世代のことは不確実ですからまだわかりません。ですから平均値をとる。いわゆる統計的期待値です。平均値。そうすると、ベンサムという人は、それは簡単だ、現世代と次の世代との幸福の和を最大にするような政策Xがいいんだよということになると思います。

ロールズという人は英米系の現在の倫理学者ですけども、この人は、U1とU2——期待値——の小さいほう、つまり、よりみじめなほうをサポートしなくちゃいけないと。つまり、現世代のほうのみじめならば現世代、次の世代のほうのみじめであるならば次の世代、つまり、2つのうちのより不幸せなほうを、つまり底のほうを持ち上げる。これはその意味では人道主義的ですね。

ニーチェは、ご存じのように、強い者が正しいんだ、弱い者は世の中を背負っていく力もないし権利もないんだから、強い者が世の中を支えていけばいいんだと。これは哲学的には極めて興

味深いわけですけれども、そういう倫理が当然ある。この場合にはさっき言ったローズの逆で、U1とU2の大きいほうを幸福にする、幸福の大きいほうの側をさらに幸福にするのがいいんだとニーチェは言うでしょう。私はそういう考え方は余りとりたくはないですけど、倫理学者としてはそれで成り立ちます。

パレートという人はちょっと違うんです。次の世代の幸福が、ある一定の基準よりも切らないように、つまり、次の世代を一定基準だけ支えるという条件のもとで、現在の世代の幸福を最大にすればいいということです。ですから、EのU2を一定に支えながらU1を最大にする。どっちかという、サステナブル・ディベロップメントというのは、多分パレートのルールに近いであろうと思います。つまり、次の世代の幸福を枯渇させてはいけない、そのようにするなら、現在の世代の人間の幸福を最大にしてもいいだろうと。

私が妥当だと思うのはロールズとパレートぐらいで、アドルフ・ヒトラーが生きていたら、多分、おれはCがいいと言うに決まっているでしょう。Aというのはいいんですけれども、現世代の幸福と次の世代の幸福の足し算というのは、一体いかなる意味があるのか、つまり、全然違う人間の幸福だから、足すということはちょっと意味がないんじゃないかということになると思います。この4つぐらいが一般的に考えられていて、このどれを選ぶかということは大変難しい問題です。

○司会 どうもありがとうございました。非常におもしろいところだと思いますが、ほかにどなたかいらっしゃいますか。

ちょっと皮肉っぽくあれなんです、今の場合も、次世代というのは何年後ぐらいまでかということで基準が変わってくるんじゃないかと思うんです。50年、100年、恐らく1,000年なんていうと、ちょっとお話にならないぐらいにだれも相手にしないと思うんですが、そういう意味で、この問題は恐ろしく幅が広いといいますか、根が深くて、時間的な経過との関係で随分いろいろなことが考えられなければいけないんじゃないかと、私は今ちょっとお話を聞きながら思いました。

温暖化の影響というときに、きょうの話は大体ダメージが起こる、特に森田さんは、ダメージをなるべく高く評価して、しかるべき対策を正当化しようと考えておられる。あえて言うと非常に戦略的な感じも受けて、何となくそれはそれなりにいいだろうと直観的には思えるわけですが、必ずしも温暖化はダメージだけではないんじゃないか。例えば、暖冬になると、我々は少し楽だなと思ったりすることがあるわけです。雪が降らなくなる。スキー場は困るかもしれないけれども、道路は傷まないで済む。山村悦夫さんがさっき言うておられました、雪がないほうが場合によってはいい都市環境ができてくるかもしれない。そういう意味で、どのレベルまでがよくて——行き過ぎたら悪いんだらうと思うんですが、その辺のことについて、あえて議論していただいてもいいんじゃないかと思えます。

○(質問) 今の松原先生のは現在と将来ということだったんですが、私自身思うに、別にそこ

までいなくても、現在、南と北という問題が既に起きているわけです。日本ぐらいだとちょうどいいところにいますから、プラスマイナスうまくいくのかもしれませんが、この際、例えば影響が極端に出てくるところがあるんじゃないか。これは農業のほうの専門家に聞きたいんですけど、例えば赤道付近の国々、例えばバングラデシュなんていうところで極端にものすごい影響が出てくるとか、ものすごい大変な台風が起きるようなことになれば、そのところの被害を、今の松原先生のどれかのルートで守ることが必要なんじゃないかという感じを持っています。

○(質問) 森田さんから、環境関係の費用の見積もりは非常に難しいというお話があったんですが、民間企業ではそういうコストエバリュエーションの話は、仕様が明確になって、将来の費用、設備投資の問題、装置費、経費の問題、いろいろ見積もってそろばんをはじけるはずですよ。そういうコストエバリュエーションの問題は、商売を前提とした民間企業も入れてもらってぜひ評価してもらいたい。企業も、将来有望な市場であれば、いい人材を投入して開発費用もかけてやります。その辺はせいぜい国のほうにもアクションしていただきまして、民間企業も入れてぜひやっていただきたいという要望です。

○森田 今、人的資源も金銭的資源も非常に少ない状態でやっておりますので、大歓迎でございます。ぜひとも協力していただければありがたいと思います。むしろ大きなプロジェクトとして育てて上げたほうがいいんじゃないかと思えます。

通常の環境影響だったら多くの研究者は見積もる自信を持っていると思うんです。ところが、Option valueといいますか、今ユーザーがいないような環境の価値をどう見積もってやるか、あるいは将来の世代のためにリザーブしてやる環境の価値をどう見積もるか、そのところが難しいんです。だれを代弁して価値を見積もっているのかわからない状況もしばしば起こります。

また、不可逆な環境について経済的評価を行おうとすると全く限界にぶつかります。このところを十分わきまえて見積もれば、かなりのところまで研究は進むと考えております。

○山村 温暖化はスピードが問題だろうと思います。ですから、スピードがゆっくりくるのであれば、いかようにでも対応できるということです。6月の私たちのシンポジウムで、中国の方が農業の影響について、膨大なLP問題を説いて行ったんですが、1~2℃の温度上昇であれば、穀倉地帯がふえてよい結果が出ているという報告がございます。

先ほどのぜひ民間の方ということですが、私は温暖化だろうか寒冷化にいかがか、ソフトエネルギー産業のようなのは、ぜひ民間の方が推奨してやっていただきたいと。特にこれは中間技術で、そんな大きな技術でございません。ただ、開発途上国については、私たちは9月、10月にタイに2カ月ぐらい行っていたんですが、電気でふろを沸かして入っている。太陽がいつもさんと降っているところに、何でソーラー発電とかそういうのが普及しないのかというのが疑問です。これから開発途上国が発展途上国にいくときに、私たちが使っているような多消費型の技術にいかないようにですね。この辺の技術は日本は大変進んでおります。向こうから要望がないか

らこちらはやらないんだというのではなくて、こういうことはODAの中で率先して売り込んで、ほとんどコンサルタントが行って掘り起こしているわけですから、民間の企業が方がそういうことをぜひ推奨して大いにやっていただきたいと思います。

○玉置正則（兵庫県） きょうは2つ関心を持って参加しました。

1つは、炭酸ガスを含む地球規模の環境破壊という問題、現実にはNOx等で問題になっている地域汚染との関係がどういうふうに議論されるであろうかということ、もう一つは、科学的に解明された事実と、空論というほどではなくても、スペキュレーションとの間がどういうふうに埋められていくのであろうか、その2点について興味を持って参加したんです。

特に後の問題に関して、午前中も、基準を定める前に何か議論することがあるのではなかろうかというご意見もあったと思うんですけども、最後の印象として、科学的事実とスペキュレーションの間にはかなりギャップがあるのではなかろうか。同じような地球規模の環境破壊という問題で言われている酸性雨等については、もう少し科学的な事実に基づいた積み重ね——それは影響が既に出ていると考えるからそうなんだろうと思いますけれども、影響が出ていけば、そういうことに基づいてかなり責任を持った緻密な議論の積み重ねが行われるのではなかろうかという気がするんです。炭酸ガスの問題については若干ギャップがある。ですから、そういうギャップをどういうプロセスで埋めていくのであろうかということについて、どなたかご意見がいただければありがたいと思います。

○司会 ありがとうございます。

野田さん、先ほど循環モデルのご紹介があったんですが、そういう意味で、今言われている温度上昇のモデルの扱い方みたいなところで、野田さん自体としてご感想といいますか、本当に温度が上がるのかとか、そういう意味での感想はいかがですか。

○野田 物理的にメカニズムを考える限り、上がらないほうが不思議なわけで、自然をシミュレートできるようにモデルをつくってやった結果上がっているわけですから、その面では予想どおりちゃんと起きているわけです。ですから、気温上昇についてはまず間違いのないかと思えますけれども、それが実際にどういう地域でどのように起きるかということについては、現在のモデルの能力ではできません。それは逆に言って、地域特性がどうなるかというのがはっきりして議論しているのがあったとしたら、それはちょっとおかしいのではないかという段階だと思います。

モデルをやっているもので、予想という立場からはちょっと不見識かもしれないんですが、実際に起きてくれれば、モデルの予想もちゃんとよくなるだろうということです。何事もまだ起きてない状態で、現在のプラスマイナス0.5℃とかそのぐらいですと、いろいろな要因が考えられるわけです。ですから、二酸化炭素が倍増するぐらいのインパクトがあれば、モデルでちゃんと出るだろうということは確かなんですけれども、現在そこまでいってないわけで、いろいろな要因に対して二酸化炭素の効果がどうなのかということを言われているわけです。だから、現在、

観測にかかってないからそれはうそだろうという話もあるわけです。雲の話もありましたし、とにかくわからないところは全部責任を押しつけてしまうという考えもあると思うんです。ですから、これからというところではあるんです。

○西岡 ついでに、今、IPCCで問題になっていることですが、前提となる気候のモデルが果たして影響研究側にもらえるのだろうかという話なんです。今は話ではそれは当分あきらめたほうがいいのか。それはどれだけの規模の領域で予測するかということは関連があると思うんですけども、例えば、水文だとある流域で考えるとかいったときに、当分の間はそのことはなしにして、センシティブティ・アナリシスをやっておいたほうがいいのかという見通しについて、ちょっとお伺いしたいんです。

○野田 何ができるかというのは、コンピューターで大体決まっている面があるわけで、海洋がどうしてちゃんと入れられないのかというのは、海洋は大気に比べてもっとメッシュを細かくとらないといけないという面があって、非常に長い時間積分するわけですから……。

もう一つは、海洋の中がどうなっているか、循環がどうなっているかというのは、大気ほどにはわかってないわけです。ですから、その辺がわかるまでは、多分モデルのほうもきちんとした予測は出せないのではないかと思います。ですから、地域に基づいた予測を出すのは、今世紀はあと10年ぐらいですが、10年ぐらいは多分まだ基礎研究の段階だと思います。ですが、グローバルにどうなるかということはわかっているわけです。逆に言って、グローバルにどうなるかというのは、何となく悪くなりそうだという可能性があるから、皆さんいろいろ議論が進むと思うんですけども、実際に、例えば今完全に予測できたとしたら、オゾン層とか酸性雨の問題とは全然違った発展を見せると思うんです。必ずよくなる場所は出てくると思うんです。

私たちのグループでは、鬼頭というのが砂漠化の実験をやったことがあります。あるところのアルペードとか水蒸気量を変えて、砂漠だったところを緑にしたときにどうなるかということもやってみた実験です。緑がふえると確かに雨も余計降るようになって、環境としては非常によくなるわけですが、別の緯度帯で見ると、今度は雨量が減ってしまう。ですから、全部が必ずしもよくなるということはないし、全部が必ずしも悪くなるということもないわけで、その辺がオゾン層とか酸性雨の問題とは多分違うと思います。逆に、どこでいいかわからないから、みんな悪くなりそうだという前提でうまくいくという面があるんじゃないかと思います。

○東（茨城県） エネルギー経済研究所の小川さんの話の中で電力系にかかわる発電ロスが莫大な量だということに気がつきましたので、提案をしたいと思います。

発電にかかわるロスは、無効放流とか電圧保持とか、そういったもので流れ去るものとか、熱になって無効になるものが72%を占めております。これは全体の需要エネルギーの33%、3分の1がこういったロスになって逃げております。そこで、これを何とかストックして、水であれば、低いところに落ちても、また持ち上げれば再利用できる。ところが、電気の場合にはどこへ行くんだか知りませんが、吹っ飛んでなくなっちゃうということで、これを貯蔵するような技術、超

伝導とかいろいろあると思うんですが、そういった技術の開発をひとつお願いしたいと思います。

それとロスの低減、解消についてご研究の成果がありましたら、ちょっとお聞かせ願いたいと思います。

ちなみに、33%のロスというのは、石油に換算して、全石油が2億1,000万トン使われているわけですが、1億3,000万トンに相当しております。

○西宮 そちらのほうの専門ではありませんので、的確にお答えできるかどうかわかりませんが、確かに電気をつくる場所まではいいんですけども、輸送過程、あるいはつくりっぱなしで使われなければそのまま逃げていってしまうという一番大きな欠点がございます。したがって、今、電気事業として目指しておりますのは、季節間格差、昼夜間格差をなくすような負荷平準化の問題とか、電力貯蔵の研究を盛んにやっているところなんですけれども、先ほどの超伝導の話も含めて、実現できるのは20年ぐらい先ではないかという見通しじゃないかと思います。技術革新がいろいろやられておりますので、こういう技術開発の促進がどの程度期待できるかということに大きくかかっていると思います。

○小泉明（国立公害研究所） 先ほどからご議論のありました影響が出ないというか、はっきりしない場合にモデルがつくりにくいということに関連して、環境基準の中でも、かつて各種の大気汚染、水質汚濁を初め、公害対策に非常に威力を発揮した環境基準の場合は、影響が出てから基準がつくられた。したがって、ドースレスポンス的に考えますと、いろいろ議論がまだ残っていますけれども、一応レスポンスがわかっておいて、それに対応したドースを設定するという意味で基準がつくられた。同時に、レスポンスはゼロであることを期待する。人間の健康に影響がない線はどこかということで、いろいろな汚染物の濃度が設定された。そこへいきますと、温暖化の場合は大変難しいと思うんです。

そこで私、伺っていて考えたのは、影響がないとかなんとかということとは難しいので、結局、どういう影響を問題にするか。ということは、結局、何人ぐらいの人がどのぐらいの生活をするということと、環境の基準というか、条件が見合ってくるかということで、これは場合によつたら次の世代も考えますと、人口問題にも関連がございますし、人々の生活様式の将来像ということにも関連があつて、かなり複雑であるかなということを感じながら伺っておりましたので、一言発言させていただきました。

○司会 どうもありがとうございました。

およそいい時間になってまいったんですけども、ちょっと私、最後に一言だけ言わせていただきたいと思います。

きょうは環境容量の話が基準で、それはなぜやるかということ、排出規制につながる、対策を考える、こういう筋立てで考えておられると思うんですが、濃度レベルみたいなものを決めるという話になりますと、どこの場所にそれを決めるのかというのが非常に難しいだろうと思います。対流圏大気というか、ほかの環境基準なんかですと、人間の住んでいるところの大気でいいと思

うんですが、今度の場合は、恐らく対流圏の中の大気中に濃度を設定する。そういう意味で、まさに地球規模の問題なんだなと改めて思います。

しかし、それは一方で我々が日ごろつき合っていないところの濃度レベルを決めようという話にもなるわけで、いろいろな意味での想像力と、次世代に対する責任感、そういうものからしか決められないような要素を含むものではないかと感じました。

時間も余りとれませんでしたし、十分にご議論を引き出せなかったように思いますけれども、一応これをもちまして総合討論を終わらせていただきたいと思います。どうもありがとうございました。

閉会のあいさつ

国立公害研究所副所長 小泉 明

閉会に当たりまして、一言ごあいさつを申し上げます。

本日は早朝から夕方遅くまで、ぎっしりと詰まったプログラムにもかかわらず、熱心にご討論、ご参加くださいましてまことにありがとうございました。

地球環境基準設定という大変チャレンジングな、それだけに難しいテーマに向けて、環境影響研究は何かということの極めて多面的なご議論、問題提起をいただくことができたと思います。温暖化影響研究の方向を探り、日本における研究取り組みの状況の情報交換ということでは十分目的を達し、また、研究者間のネットワーク形成に向けても大きく踏み出すことができた、私は伺いながら感じました。

終わりに、講師の諸先生、並びに熱心にご討論いただきました皆様方に厚くお礼を申し上げて、閉会の言葉にかえさせていただきます。どうもありがとうございました。

講演発表者及び司会者一覧

松原 望	東京大学教養学部社会科学科	教授
内藤 正明	国立公害研究所総合解析部	部長
小林 光	環境庁大臣官房総務課	課長補佐
小川 芳樹	(勸)日本エネルギー経済研究所総合研究部	室長
内嶋 善兵衛	お茶の水女子大学理学部	教授
山村 尊房	環境庁大気保全局広域大気管理室	室長補佐
花木 啓祐	東京大学都市工学科	助教授
西宮 昌	(勸)電力中央研究所狛江研究所発電プラント部	次長
宇田川 武俊	農業環境技術研究所	環境研究官
吉野 文雄	建設省土木研究所水文研究室	室長
細川 恭史	運輸省港湾技術研究所海洋水理部海水浄化研究室	室長
大喜多 敏一	桜美林大学国際学部	教授
村上 正孝	国立公害研究所環境保健部	部長
安藤 満	国立公害研究所環境保健部環境保健研究室	主任研究員
C. Rouviere	EX都市研究所第3部	研究員
山村 悦夫	北海道大学大学院環境科学研究科	教授
甲斐 憲次	筑波大学地球科学系	講師
西岡 秀三	国立公害研究所総合解析部環境管理研究室	室長
国安 俊夫	環境庁企画調整局研究技術課	課長補佐
野田 彰	気象研究所気候研究部	主任研究官
森田 恒幸	国立公害研究所総合解析部環境経済研究室	室長
大政 謙次	国立公害研究所技術部生物施設管理室	室長(総合司会)
井村 秀文	九州大学工学部環境システム工学研究センター	助教授(司会)
古川 昭雄	国立公害研究所生物環境部陸生生物生態研究室	室長(総合司会)
松尾 友矩	東京大学工学部都市工学科	教授(司会)

【平成2年3月23日編集委員会受理】

[国立公害研究所資料 F-20-'90/NIES]

公開シンポジウム

地球環境基準設定にむけて—地球温暖化による
環境・社会経済影響研究の方向

問い合わせ先：総合解析部環境管理研究室
西岡 秀三

平成2年3月31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