

最近の気候影響・利用の研究

——その組織・課題・成果*——

吉野正敏**

1. まえがき

気候が人間社会・経済に及ぼす影響については古くはギリシャ・ローマ時代の文献にすでに詳しく論じられている。中世を除くと、この問題については2,000年以上にわたって、われわれは考え、論じ、また話題として日常生活の間にも入って来ているのである。

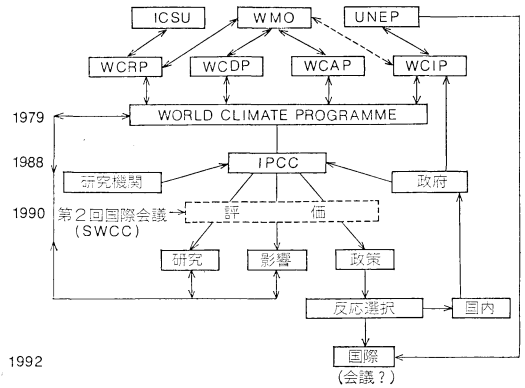
しかし、人口が増大し、交通機関も発達し、“地球は全人類が乗るただひとつの船”としての認識が高まり、また化石燃料の急激な消費の増加にともなって、地球環境が悪化することが指摘され、人間活動と地球環境の問題は、20世紀の最後の10年の極めて重要な、しかも、さし迫った課題となった。もちろん大気以外に、海洋も、土壌も、生物も、その変化は重要である。

この展望は、1980年代において、特に進展のいちじるしかった気候影響・利用の研究について、世界と日本における組織・課題・成果をまとめたものである。

2. 世界の気候影響・利用の研究

2.1 WCIP (世界気候影響研究計画)

WCP (World Climate Programme, 世界気候計画)の中には4本の柱がある。すなわち、WCRP (World Climate Research Programme, 世界気候研究計画)、WCDP (World Climate Data Programme, 世界気候データ計画)、WCIP (World Climate Impact Studies Programme, 世界気候影響利用研究計画)とWCAP (World Climate Application Programme, 世界気候利用計画)である。このWCRP, WCDP, WCAP, WCIPとICSU, WMO, UNEPとの関係、これが1990年の



第1図 WCIP と ICSU, WMO, UNEP との関係、および WCP-IPCC-SWCC への流れ

SWCC にかけてどうかかわるかについての流れ図は第1図に示す通りである。

この4本の柱のうち WCIP, WCAP に関しては、研究者間の連絡組織がなく、国の内外の連絡も充分にとれていなかった。そこでわが国では1982年3月以来検討を重ね、気候影響・利用研究会を設立した。これについては2.3(a)において後で詳しく紹介する。

気候影響利用に関し、UNEP (United Nations Environmental Programme, 国連環境計画)が考えている研究分野は次の通りである。

1. 気候変動と気候変化の直接の影響
 - 1.1 地中の水、海水、海洋、海中生物に及ぼす影響
 - 1.2 淡水の生態系と水供給に及ぼす影響
 - 1.3 農業生産と気候との関係、作物・植物に及ぼす気候の影響
 - 1.4 変化のきざしに対する生物学的なモニタリング
 - 1.5 自然生態系と野生生物へのインパクト
2. 人間社会に及ぼす影響の研究

* Recent Studies on climate impacts and application—Their organization, problems and results—.

** Masatoshi Yoshino, 筑波大学地球科学系教授, 日本学術会議「人間活動と地球環境」に関する特別委員会委員長.

- 2.1 水資源・温度・土壌資源における変化の経済的社会的影響
 - 2.2 食物生産や水産物収穫における変化の経済的社会的影響
 - 2.3 健康と気候の関係
 - 2.4 過去の気候変化への社会のインパクト
 - 2.5 最近の気候変化の原因分析
 - 2.6 気候変化の経済的地政学的関連
3. 影響の反応に関する研究
 - 3.1 気候変化の影響に対する防禦対策, 治療対策, 適応対策, 減耗対策
 - 3.2 気候変化に対する社会の反応
 - 3.3 気候変化に対する政府または政府間反応
 - 3.4 危険の受けとり方, 情報, 政策決定の研究
 4. 気候影響研究計画 (WCIP) に関連した他の研究
 - 4.1 ありうべき将来の気候の研究-気候シナリオ
 - 4.2 大気中の CO₂ の増加のインパクトの研究
 - 4.3 古気候変化と変動の研究
 - 4.4 気候変動のモニタリング
 - 4.5 方法論の研究

次に, WCAP との関連では気候と食糧, 気候と水, 気候とエネルギー, そして気候予報と気候に及ぼす人間の影響などが重要課題である。

食糧については, (1) 立証されている方法と技術の国家食糧問題への体系的な適用, (2) WCAP/Food の活動をうながすための気候利用検索体系の確立, (3) データ, 例えば, 最近の農業気象データや歴史時代の収量データの収集, 衛星資料の利用など, である。

水については, (1) 水文学的データを利用した気候変動度の研究, (2) 水循環のモデリング, (3) 水資源システムの活用における気候予報と情報の利用, (4) 水資源のリストとそのデータ, (5) 水資源に及ぼす気候変動の影響の研究などである。以上, 水文学・水資源に関連する省庁や CHY (WMO の水文学委員会) との関連が強い。

エネルギーについては, (1) 特別のプロジェクト, 例えば太陽エネルギーや風力エネルギーの気象学的な貢献について発展途上国を考慮する, あるいは, 太陽エネルギーや風力エネルギーのアセスメントの方法のレビューなど, (2) 太陽や風力エネルギー源のアセスメントに対する方法のリストアップ, (3) データの考慮, (4) 教

育, 研修などである。

2.2 ネットワークジョブ

1985年5月23日の UNEP の決定に従って各国は気候計画の一部として, 気候影響研究計画を推進することになった。この活動のひとつとして UNEP はアメリカの国立大気研究センター (NCAR) の中の環境と社会の影響グループと共同で, 国際的なワークショップを1989年3月14~17日アメリカ合衆国コロラド州のボルダーにおいて開催した。これはアメリカ国内を対象にして1987年6月に開催した NCIP (国内気候影響研究計画) のシンポジウムに続く国際版である。これをネットワークジョブと呼んでいる。

国別にみると, オーストラリア, ブラジル, カナダ, イギリス, エチオピア, ハンガリー, イタリア, 日本, タイ, アメリカ合衆国, ベトナムなどが関心の度が高い。例えばアメリカ合衆国では, ブッシュ政権が発足するにあたって, 「地球環境変化」に対して国立科学アカデミー (NAS) と国立工学アカデミー (NAE) と医学研究所は合同して勧告を行っている。そのしめくくりには次の5項目が書いてある。

(1) 地球の温暖化と酸性雨, エネルギー効率と節約, 天然ガスなどのクリーンな化石燃料, 原子力や太陽熱などの問題。

(2) オゾンホール, フロンガスの問題。

(3) 海面上昇, 農業システム, 林業, 水資源などのアセスメント。

(4) 熱帯雨林の破壊。

(5) 地球環境の将来予測, そのための研究と地上および高層のモニタリング。

詳しい内容は省略するが, 最近の気候影響の問題の総括と考えてよからう。例えば, エネルギー省に対し, 1989年に議会がオーソライズした研究課題は, 4つあり, a; 代替エネルギー源についての分析・研究・開発 (NAS と NAE と共同で9カ月), b; 温室効果気体の放出のインベントリーをつくる (米国環境保護庁 (EPA) と共同で6カ月), c; 温室効果気体による気候変化を研究するために, 民間企業を引き込むことを強化し推進する方法の分析 (6カ月), d; CO₂ の放出をアメリカ合衆国で5~10年の間に20%, 15~20年の間に50%削減させるための政策と予算の分析 (1カ年), となっている。

現在, 各国はネットワークを確立することが望まれておりニュースレターを刊行し, 国と国間の相互の関連

第1表 日本における平成元年(1989年)度予算額と平成2年(1990年)度概算要求額との比較(単位は百万円)

内 容	平成元年度 予 算 額	平成2年度 概算要求額	備 考
国際的な枠組づくりへの参加等地球的な視野に立った施策の推進	4,835	7,814	WHO, WMO などとの協力が中では大きい
観測・監視と調査研究の推進	65,217	66,198	大学の研究体制の整備・充実, 衛星関係が非常に大きい
技術の開発・普及の推進	112,336	133,241	温暖化対策(通産省関係)がずばぬけて大きい
開発途上国の環境保全努力の支援の推進	475	1,576	熱帯林管理情報システム整備事業が比較的大きい
政府開発援助の実施に際しての環境配慮の強化	720	3,420	国際開発金融機関融資にともなう環境関連技術協力への拠出
地球環境への負荷の少ない経済社会活動, 国民各界層への普及・啓発の推進	191	234	

あるトピックスをとりあげて情報交換, 研究の推進をすべきであるといわれている。

次の国際的ネットワークショップは, UNEP, WMO などの共催によって, 国内および国際的気候影響ネットワークの発展と実情をレビューするため, 1991年1月27日~2月1日の間, 筑波で開催される。

2.3 日本における気候影響・利用研究の動向

(a) 気候影響・利用研究会

上述のような WCIP, WCAP 計画がスタートしたが, わが国では研究者間の連絡経路がなく, 国の内外の連絡が充分にとれていなかった。そこで有志が1982年3月27日, 9月8日, 10月27日, 1983年2月28日の4回日本学術会議内において会合した。その結果独立した研究連絡会のような組織を作る必要があるという結論に達した。その会の当面の目的は,

- (i) 日本国内の研究者間, 担当者間の個人的連絡。
- (ii) 日本と外国間の WCIP, WCAP の研究にかかわる連絡経路の整理。
- (iii) 研究者, 担当者の名簿の整理。

などである。

そこで上記の目的を実現するため, 「気候影響・利用研究準備会」が1983年5月13日に開催され WCIP と WCAP に関する実情を紹介し, 第1回の会合を1983年秋に開催した。その後, 年に2回の研究会を開催し, 毎回, 特別講演と一般研究発表を行っている。また研究者録は日本語と英文のものを1984年1月にそれぞれ刊行した。

気候影響・利用研究会の会員は現在246名である。年に1回会報を刊行し, オゾン特集(第5号), 砂漠化特集(第6号)などを行い, 最新の情報交換にも役立っている。特に, 大学ばかりでなく, 各関連省庁の動向もわかるよう配慮されている。また, 「日本における気候影響・利用研究の課題」(吉野編, 1988c) 231ページをまとめた。これは18人の執筆による農林・水産業などの諸産業や人間社会への影響研究の総合報告で, 現在まとめられつつある日本の IPCC の報告書の基礎となったもので, 各方面から注目された。

(b) 日本の各省庁・民間機関の動き

1988年以来, 地球環境問題がにわかに各国の政治家によって取りあげられるようになった。これにともなって, 日本でも各省庁や民間の諸機関が地球環境問題に強い関心を示し, 気候影響・利用は重要な課題と認められるようになった。しかし, まだ, 問題のとりまとめの段階で, 具体的な研究はこれから予算化されて実施されるとみてよからう。

平成元年(1989年)度の地球環境保全関係予算は, 研究費ばかりでなくそれ以外のあらゆるものを含めて約1,836億円である。いま平成2年(1990年)度の概算要求額との比較をすると第1表の通りである。平成元年度予算額を省庁別にみると通産省が非常に高い比率を占め, 1,836億のうちの1,035億, 次いで1けた小さくなって文部省が358億, 科学技術庁が302億などとなる。平成2年度の概算要求で目立つところは環境庁の地球環境研究推進費が元年度0だったところが12億円の要求がでてい

るところや、大蔵省の国際開発金融機関融資に伴う環境関連技術協力を行うための拠出として34億の要求がでていところ、通産省の新・再生可能エネルギー開発導入、原子力・天然ガス開発・導入促進、エネルギー効率向上などがけた違いに大きい。また通産省の新しい計画である地球環境産業技術研究所に関係した要求も大きい。これらがどのように認められ実施に移されるかはまだわからないが、いずれにしても基礎研究への比率は小さく、わが国のこの分野の研究の内容を左右するであろう。

(c) 日本における IGBP

地球圏—生物圏国際協同研究計画—地球変化の研究—(略称「IGBP」, International Geosphere-Biosphere Programme—A Study of Global Change—)とは、地球の変化を地球圏と生物圏の相互作用に重点をおいて解明することをめざした研究計画である。1982年に開かれた国際測地学、地球物理学連合 (IUGG) の25周年記念会合で会長の G. Garland 教授が発議し、IUGG から国際学術連合 (ICSU) に提案され、1985年オタワで開かれた ICSU 総会で、1990年から国際協同研究として進めることが正式に決定された。そこで、1987年7月日本学術会議の中に、会長の私的諮問委員会として IGBP 検討委員会 (委員長は大島康行、委員26名) が組織された。この委員会は国際組織の中の日本の National Committee として対応している。日本の IGBP に関する研究計画を政府に1990年4月に勧告することを目標として日本学術会議の「人間活動と地球環境」に関する特別委員会 (委員長は吉野正敏、委員15名) は、上記の検討委員会のうちの学術会議会員から構成される IGBP 分科会をもち、目下準備を進めている。

地球圏—生物圏国際協同研究計画 (IGBP) の目的は、全地球を支配し、相互に影響しあっている物理的、化学的、生物的過程とその相互作用の過程を解明・理解し、生命を生み出している地球独特の環境と、このシステムに起こっている変化、さらに人間活動によって影響された変化について記述し、理解することにある。わが国が IGBP に積極的に寄与するためには、国際計画と十分対応し、わが国の位置を考慮しつつ、研究地域を選定し、研究計画を立案することが必要である。わが国の IGBP としては、研究対象地域を広義のモンスーンアジア地域・西太平洋地域・極域とし、国際研究計画と対応しつつ、次の6つ、および人間活動を重点的に対象とする領域を加え7つの研究領域を設定する予定である。

① 大気微量成分の変質および生物圏との交換。

② 海洋における物質循環と生物生産。

③ 陸上群集への気候変化の影響。

④ 大気・水圏と生物圏の間の相互作用を考慮した気候解析とモデリング。

⑤ 環境変化のモデリング。

⑥ 古環境の変遷。

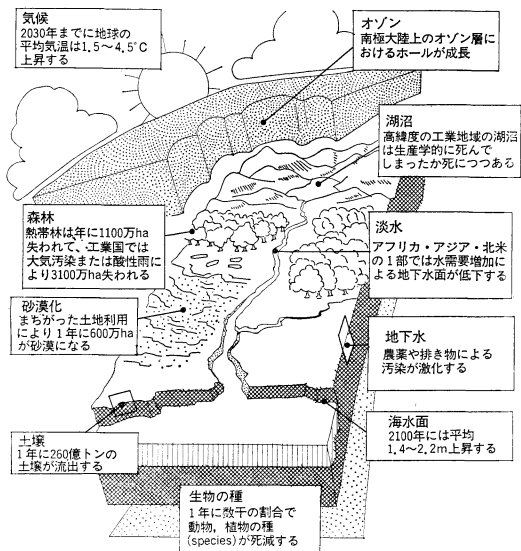
本研究計画は1990年または1991年から10年間進められるが、前期5年、後期5年を別途に研究を進める。前期5年の研究成果をふまえ、国際計画の進展と調整をとりつつ、後期の研究計画を再検討する。研究課題と研究推進の方法の変更、新たな研究課題の追加等を行い、後期の研究を推進し、この国際協同研究を完成させる。

IGBP は気候影響・利用研究と重なる部分が多いので今後の成果が期待されている。

2.4 SWCC ・ IPCC

1990年10月29日～11月7日には第2回世界気候会議 (SWCC) が開催される予定である。そこへ提出される気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第2ワーキンググループの報告は、WCIP に関連する多くの事項を含んでいる。しかし、各官庁に所属した研究者の研究成果は比較的よく収録されているが、大学関係の研究者、国によっては、科学アカデミー関係の研究者の研究成果が集められていなかったり、従来から問題になっている WCIP 関係における横の連絡のむずかしさが、その報告の取りまとめに際しても、すでに指摘されている。しかし、1990年10月に提出される報告は各方面から期待されており、来るべき10年間の研究を方向づけるはずである。例えば、第2ワーキンググループのエネルギー、産業、交通、人間居住、大気汚染、紫外線、健康への影響評価の部門では、次のことが指摘される予定である。

すなわち、地球温暖化による影響は長期的にみて世界的に甚大であり、継続的な検討が必要であることが結論された。中でも、次のことが重要である。(i) 水力、バイオマス、太陽エネルギー、風力等の代替自然エネルギーの利用可能性への悪影響についても十分考慮されねばならない。(ii) 将来の影響を検討する際には、技術進歩、例えばエネルギー効率上昇の可能性についても十分考慮に入れるべきである。(iii) エネルギー多消費型で CO₂ 多量排出型の工業開発の将来について、開発途上国と先進国との間の受取り方に相違がある。そのことが、将来の工業の構造、立地条件および生産技術の開発に影響を及ぼすことを認識しなければならない。



第2図 二酸化炭素と微量気体の増加による地球温暖化の影響

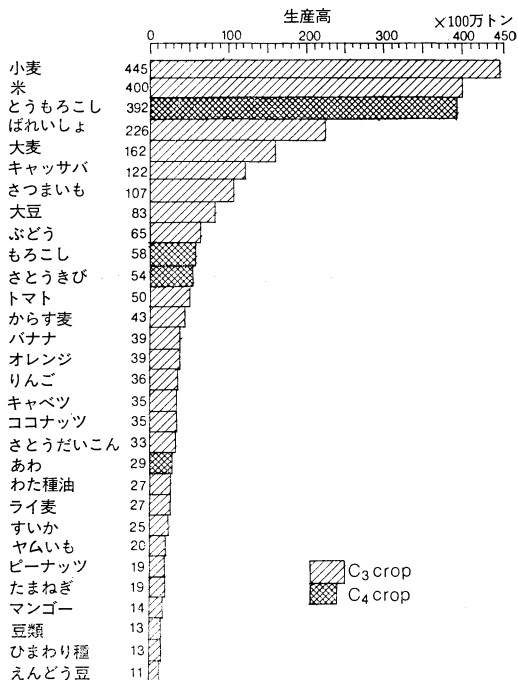
(iv) ダムは長期の資本投下で造成されるものであるが、気候変化がその水量に及ぼす影響やダム建設に伴う環境影響の問題について、CO₂ 非排出型の発電方式であるということを含めて総合的に検討されなければならない。(v) また、健康に関する調査研究が必要である。その際、高齢者等の気候変動に影響を受けやすい人口集団の適応可能性についての調査研究が必要である。

3. 地球温暖化の影響

以上に述べて来た研究組織によって、気候影響・利用に関する研究が行われて来ている。以下、最近の成果をここに紹介したい。限られた紙面であるためと、すでに問題点のところ述べてきたように、極めて広大な研究分野のために、十分に成果をまとめることができない。そこで、最近の最重要課題のひとつである地球温暖化の影響について取りあげたい。

3.1 世界における温暖化の影響

温室効果による温暖化の結果、熱帯の森林面積の減少・砂漠化・土壌の流亡・動植物の種の減少・湖沼の汚染・地下水面の低下・地下水の汚染・海面上昇などの諸問題が起こる。これを模式図で示すと第2図の通りである。二酸化炭素の倍増時の世界における主要な30作物の生産高がどのようになるかについて、第3図に示した。小麦・米・とうもろこしが約4億トン、馬鈴薯が約2億



第3図 二酸化炭素が倍増したときの世界の主要30作物の生産高 (UNEP/GEMS, 1987)

トンなどである。やはり二酸化炭素の倍増時における作物の単位面積あたりの収量の増加を第4図に示す。綿が現在より104%増加、すなわち2倍以上の収量となり、もろこし(ソルガム)が79%増加、などいちじるしく増収となる。それに対し、米はわずか9%の増収といわれている (UNEP/GEMS, 1987)。

ウィーンの南郊のラクセンブルクにある国際応用システム研究所 (IIASA) のプロジェクトのひとつとして気候変動が農業、特に高緯度地方と半乾燥地方における農業に及ぼす影響については Parry et al. (1988 a, b) がまとめた。個々については後述する。

高緯度地方において収量が一般に増加し、生産高も増加することがわかった。もし、そうとすれば、高緯度地方におけるより詳しい調査研究が必要になる。これまでの国際農業センターの分布をみると、ほとんど低緯度にしかない。もちろん、従来の発展途上国が低緯度に多かったし、また熱帯農業が主要課題であったためもある。中高緯度の各国は独自の研究機関をもっていて、独自の研究調査活動を行っていることもあるが、温暖化にともなって問題は高緯度にまで拡大するので、国際研究機関

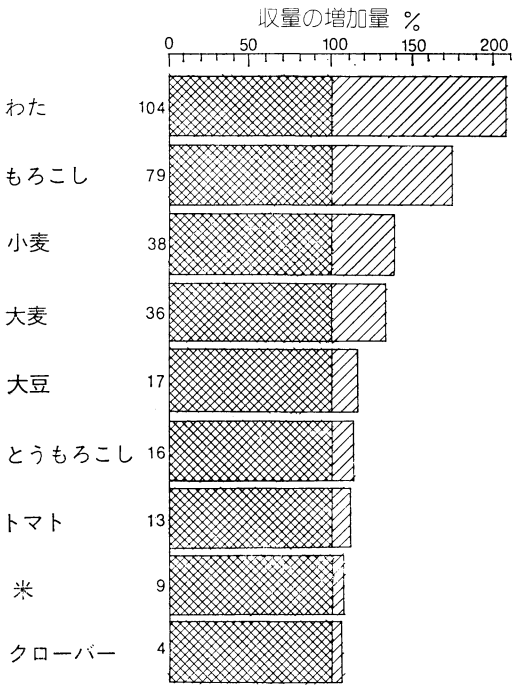
の整備拡充,あるいは研究調査のテーマの見直しも必要になる。

干ばつは地球の環境変化にもともなって発生するもっとも深刻な現象のひとつである。砂漠化にも連なる。第5図は1982年1月から1983年8月までの干ばつの発生分布

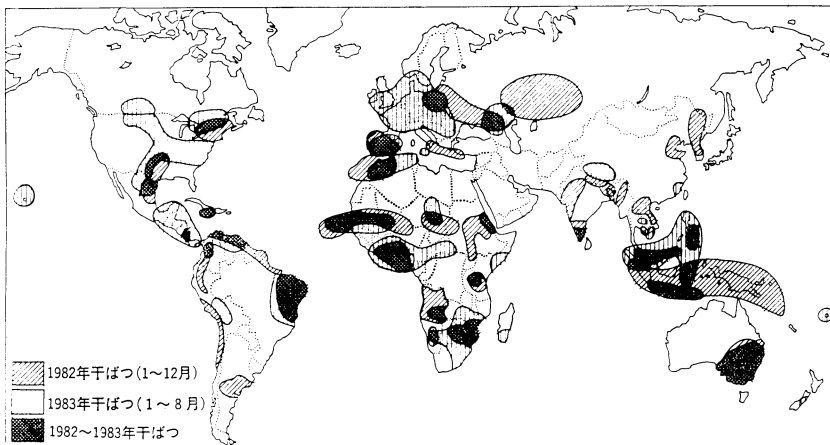
図で,かなり広範囲で,干ばつが生じていることがわかる。ただし,この干ばつとは,いわゆる気象学的干ばつである。この他に,農業的干ばつ,水文学的干ばつ,社会的-経済的干ばつなどがあり,いわゆる気象学的干ばつが,その他の干ばつとは必ずしも期間的にも影響の強さにおいても一致しないことがある。ウィルハイトとグランツは干ばつに関する分類と定義を考察している(Wilhite and Glantz, 1985)。干ばつの影響の過程については極めて多数の因子を考えねばならないことを彼らは示した。また,「1982~83年の全世界的な気候異常にもともなう経済・社会インパクト」に関する会議が開かれその報告書がでている(Glantz et al., 1987)。

CO₂の影響についての最も権威ある刊行物はアメリカのエネルギー省のエネルギー研究局・基礎エネルギー科学局・二酸化炭素研究部がまとめた総合報告書の刊行物である。CO₂のサイクル,植生に及ぼす直接の影響,気候に及ぼす影響の検出,気候影響の予測,水資源・農業・水産業・森林・人間の健康・氷河や氷床や海水準に及ぼす影響,研究の必要性についてそれぞれ200~300ページにまとめられたものである。最近,そのマスター・インデックスがでた(Farrell, 1987)。執行部がまとめた,それぞれの問題の総括——これはおそらく,最近のこの種のもののなかでは最も信頼すべきものと思われる——が49ページにまとめられている。次いで,関連語句の解説,基本的な表,世界の研究者のリストがついている。研究者リストには30人あまりの日本人の名も見られる。また,事項索引は詳細を極める。

人間社会や経済と気候に関する総合報告は, SCOPE



第4図 二酸化炭素の増加による主要作物の生産量(収量)の増加 (UNEP/GEMS, 1987)



第5図 1982年1月から1983年8月までの気象学的干ばつの発生 (Glantz et al., 1987)

第2表 カナダにおける CO₂ 倍増時の気候と諸影響¹⁾

	気温日(デイグリーデー)	降水効果度 ²⁾	生物量(バイオマス)ポテンシャル	風蝕ポテンシャル	春小麦生産量	農業への必要経費	農業雇用	干ばつの頻度
気温と降水量ともに変化	+48~+53%	+1~+13%	+1~+30%	-14%	-18%	×100万 +\$163	-722	+9倍
気温は上昇, 降水量は変化せず	+48~+53%	-10~-12%	-19~+13%	+26%	-28%	×100万 +\$227	-1,224	+10~ +100倍

- 1) +は増加または強くなること, -は減少または弱くなること, 現在を基準とする。
 2) ソーンズウェイト PE 指数, すなわち月降水量と月蒸発量との比を12カ月合計した値。

第3表 CO₂ 倍増時における (a) フィンランドと (b) アイスランドの気候と農業生産の変化

(a) フィンランド

	積算気温	降水量	春小麦(適応品種)	大麦	燕麥
北部フィンランド	+35%	+58%	+20 (+5) %	+14 (+19) %	+13 (+68) %
南部フィンランド	+37%	+50%	+10 (-20) %	+9 (-42) %	+18 (+12) %

() 内は変動係数

(b) アイスランド

年平均気温	年降水量	成長期間の開始日	タイガ面積	白カバ林	トウヒ林	大麦	家畜の飼料の量		
							牛	馬	羊
+4°C	+15%	49日早くなる	+482%	全国を掩う	全国を掩う	全国で栽培可能	-16%	-53%	-53%

Book No. 27 として, 「人間社会・経済活動と気候」のあらゆる面を論じたものが刊行された (Kates, 1985)。これに次いで, 前記のラクセンブルクにある国際応用システム分析研究所におけるプロジェクト研究の成果として, 「生物圏の持続的発展」と題するすぐれた総合報告が出版されている (Clark and Munn, 1986)。1983 年来, 3年をかけた研究で, 生態学的に持続しうる人間社会の発展と気候条件はどうかかわっているかを明らかにしようとするものである。それには, 例えば気候現象の時間・空間スケールを考慮しなければならないなどの指摘があり, 興味ある。人類の発展, 世界環境の発展, 社会の対応, 利用できる知識の部にわかれ, 17章によって世界の研究者が執筆している。

3.2 各国における予測

前述の IIASA におけるプロジェクト研究の報告 (Parry *et al.*, 1988 a, b) から, 2~3の国の例を紹介したい。この国際プロジェクトは極めてよく組織され, 結果も数百ページのもの2巻となって刊行されている。

る。ここでは, 高緯度地方の農林業生産に及ぼす影響を述べたい。

(a) カナダ

二酸化炭素が倍増したとき, カナダの研究者は, 気温と降水量がともに変化した場合と, 気温は上昇するが, 降水量は変化しない場合との2つの場合を想定して, 結果を推定している (Williams *et al.*, 1988)。

その結果は第2表の通りである。後者の場合, 気候条件は, 気温が上昇するので蒸発量は増加するのに対し, 降水量は変化しないので乾燥化する。降水効果度で約10%の増加は注目に値しよう。蒸発量の増加には, 気温上昇の間接的影響も強い。すなわち, 冬の積雪量の減少, 積雪期間の減少, それにともなって春には畑の地表面は早く露出する。その結果, 耕地の風蝕のポテンシャルは26%も強くなる。そして干ばつの頻度は現在は0.1%だがそれが1~10%に増加する。その結果, 春小麦の生産量は28%も減少となる。農業への支出, 言い換えれば必要経費はカナダ全国の合計で2億2,700万カナダドル多

第4表 ヨーロッパ・ソ連の北部における二酸化炭素倍増時の気候と関連した環境農業生産

	1980年の状態	2030年の状態 (CO ₂ 倍増時)	
		1980年の経営水準のまま	適応した経営水準で
(a) レニングラード地域			
5~10月気温	12.2°C	+2.2°C	+2.2°C
5~10月降水量	351 mm	+36%	+36%
土壌肥沃度	10.7*	-22%	+17% [50% 肥料を増加させて]
地表水の チッソによる汚染	0.152 g/l	+314%	+501%
冬ライ麦	2.0トン/ha	+6%	+0% [+50%, もし肥料を 50%増加させ、排水設 備をよくした場合]
(b) 中央 (モスクワ西方地域)			
5~10月気温	13.4°C	+2.7°C	+2.7°C
5~9月降水量	298 mm	+50%	+50%
春小麦	1.15トン/ha	-3%	+16% (+39%)** +26% (+49%***)

* 単位はなし

** 新しい中生品種, カッコ内は変動係数

*** 新しい晩生品種, カッコ内は変動係数

第5表 北方森林の二酸化炭素倍増時の生長量の変化

北方森林	生長量の 増加量	森林面積 (百万 ha)	
		1980年	2030年
カナダ 東部	136.5%	98.6%	120.5%
西部	59.7	92.5	126.5
フィンランド	73.0	19.5	24.3
スウェーデン	51.3	22.2	25.9
イールウェイ	124.3	—	—
ソ連	75.8	534.5	988.8

くなる。農業への雇用はいちじるしく減る。という結果である。

つまり、高緯度地方だから温暖化すれば結構なことと思いがちだが、結果は逆である。極めて注目に値しよう。

(b) フィンランド・アイスランド

同じ高緯度地方でも第3表にみるように、フィンランドやアイスランドは、よい結果が期待される。

フィンランドでは二酸化炭素の倍増時、積算気温は

35~37%増加し、降水量は50~58%増加すると考えられる。そして春小麦の収量は10~20%、大麦は9~14%、燕麦は13~18%いずれも増収となる (Kettunen *et al.*, 1988)。

アイスランドでは、気温は4°C上昇、年降水量は15%増加し、植物(農作物)成長時間の開始日は49日も早くなることになる (Bergthórsson *et al.*, 1988)。こうなれば、これまで凍土地帯であったところはタイガに変わり、その面積はなんと482%の増加となる。白カバ林、トウヒ林は全国を掩う可能性をもち、大麦も全国で栽培可能となる。

家畜の飼料は温暖化の結果、少なくてすむ。その量は牛で16%、馬で53%、羊で53%の減少で、結構なことと言わねばならない。

(c) ソ連

ヨーロッパソ連の北部、すなわち、(a)レニングラード周辺と、(b)中央(モスクワ西方)地域について、ソ連の研究者が推定した結果を第4表にあげておく。作物の成長期間である5~10月の気温は2.2~2.7°C上昇、降水量は36~50%の増加が見込まれる。高温になるため、土

第6表 CO₂ 倍増時における日本の気温と水稲収量の変化

	7～8月の月 平均気温	積算気温	水稲耕作 限界(海拔)	水稲生産 指数	推定水稲生産高		
					現在の品種	中生品種	晩生品種
北海道	+3.5°C	+35%	+556m	+5%	-7%	+23%	+26%
東北	+3.2	+29	+508	+2	(地方平均の水稲供給: +7%)		
全日本	—	—	—		(水稲供給: +6%, 備蓄: +191%)		

壤の肥沃度は減少する。しかし、肥料を現在よりも50%もたくさん投与すれば17%増加する。恐ろしいのは窒素による地表水の汚染でいまよりも3～5倍もひどくなる。結局、冬ライ麦の増収は、見込まれない。もし、肥料を5割もたくさんやり、排水設備をよくした場合には冬ライ麦は現在より5割の増収となる。しかし、これは大変なことである。

モスクワ西方の地域では、現在、春小麦は、1ヘクタールあたり1.15トンとれているが、もし新しく中生品種を導入すれば16%、新しい晩生品種を導入すれば26%の増収となる。しかし問題点はカッコで示してあるように、現在より年による変動は極めて大きくなることである (Pitovranov *et al.*, 1988)。

(d) 北方森林

亜寒帯の針葉樹林いわゆるポリアル・フォレストの生長量の変化をビנקレイがまとめたものを、第5表に紹介する。現在の生長量(単位は1年1ヘクタール当りの立方メートル)を基準として、二酸化炭素の倍増時における北方森林の生長量を推定すると、いずれも大きな増加率が見込まれる。カナダ東部で137%、ノールウェイで124%と最も大きい値である。ついでソ連・フィンランドで73～76%、最も小さいスウェーデンですら51%の増となる。

この結果、森林面積はソ連では9億8千万ヘクタールになる。生長量の増加率は60%で他に比較しては大きくないカナダ西部でも、森林面積の合計は1億3000万ヘクタールと非常に大きくなる (Binkley, 1988)。

この表をみる限り、温暖化はよいことと言える。しかし、限りある利用可能な土地をどのように利用するのかを考えないといけない。森林にするのか、例えば春小麦の耕地にするのか、これは政策の問題であり、それによって、国またはその地域全体としての生産量や森林面積はきまってくる。

3.3 日本における予測

次に、日本について内島立郎らが前述の IIASA のプ

ロジェクトの一部で推定した結果は第6表に示す通りである。やはり北日本で温暖化は明瞭で、積算温度で30～35%大となる。水稲栽培の高距限界は、現在より500～550メートル上昇する。北海道における水稲の生産は現在の品種を使えば7%の減収となるが、中生品種を導入すれば23%の増収、晩生品種ならば26%の増収となる。いずれもこれがもし現実のものと考えれば、大きな値と考えられる。東北地方でも、地方平均の水稲供給は7%の増加、日本全国平均でも6%の増加が推定されている。

水産資源では次の通りである。(i) サンマは、気温が上昇するとサンマの漁場の南下はおそく始まり、漁期が長くなるので漁獲増になる。(ii) タラ類の底びき網による一曳網当たりの漁獲量は北海道沖で分布密度が高く、常盤・房総半島沖の水域では低い。このことから考えて、タラ類が多く分布している北海道沖では影響を与えないであろう。しかし、本州沖では分布域が北の方に移動する可能性がある。(iii) 2月の水温の平均値が5～10°C上昇してもワカメの収穫量は変化しない。しかし、5°C以下の場合には増収になり、10°C以上の場合には、いちじるしい減収になる。したがって、気温が上昇してもワカメの収穫量は、東北地方の沿岸ではあまり変化がみられないが、現在、収穫量の少ない北海道の噴火湾沿岸では、いちじるしい増収となろう。

この他、現在、神奈川県が経済的なミカンの産地の北限であるが、東北地方南部にまで北上するなど、いろいろな影響が考えられる。一方、西南日本では干ばつがひどくなり、南西諸島ではサトウキビは30%も減収になることが推定されている。

以上は、1986年から1988年にかけて行った文部省科学研究費によって17名の分担者が行った総合研究の結果(吉野, 1988)である。この他に、上述のアイスランドなどと同じ IIASA のプロジェクトの1部として行った研究成果がある (Yoshino *et al.*, 1988)。

成果の大部分は 2.3(a) に紹介した気候影響・利用

研究会の刊行物、または気象研究ノート162号として刊行物となっているので、ここでは詳しいことは省く。

最近(平成元年度)、農林水産省は気候変動、特に地球温暖化が農林水産業に及ぼす影響について知見を整理し、対策技術の推進方向をとりまとめた。その中から2~3の重要な点を紹介すると以下の通りである。

(i) 農業気候資源の変化

有効積算気温(日平均気温 10°C 以上の気温の年間積算値)からみると、現在の東北部の状況が東北部ないし北海道南部へ、九州南部は関東平野域へ北上する。この結果、九州南部には亜熱帯・熱帯北物の栽培可能域が広がり、九州・四国の海岸平野部では、インド型稲や日・印交雑型の品種の必要性が想定されている。また、北海道においても現在の品種群では温度資源の増大を収量増に結び付けるのは難しい。

(ii) その他の農業生産環境への影響

ア: 土壌の水分の変化、有機物分解の促進による地力の低下など土壌環境への影響。

イ: 季節的な降水パターンの変化、対流性の降雨の増加、春期の代かきなどの用水源として重要な積雪量の減少等による水資源への影響。

ウ: 熱帯・亜熱帯産の昆虫の分布の拡大とわが国への定着可能性の増大など、病害中や雑草の発生相の変化。

エ: 海面水位上昇による河口部低地等の農地の水没や海岸侵食の激化、浸冠水の頻度の増加、地下水・河川水への塩水の浸入。

オ: さらに、温室効果気体である対流圏オゾンの増加、成層圏オゾン層の破壊による紫外線の増加は光合成等を阻害。

(iii) わが国の農業生産への影響

ア: 稲作に関しては、二酸化炭素濃度の上昇や気温の上昇は、適切な管理が行われれば、光合成量の増大等を通じて、水稲生産にプラスに働く。また、温暖化に伴って、冷害の頻度の高い北日本では冷害発生頻度が低下すると見られる。しかし、異常気象の発生については、なお、十分な留意が必要である。なお、日長、温度条件等も考慮し、品種開発、作付体系等の改善が必要になると考えられる。

イ: 畑作でもほぼ同様の影響が予測される。例えば冬季の温暖化により西南日本では幼穂分化に必要な低温条件を満たせなくなる等、作付適地、作付体系上の配慮が必要な作物も生じよう。

ウ: 果樹作では、適地分布の変化、開花異常などの高温障害や休眠打破に必要な低温条件が満たされなくなるなどの影響が予想され、充実した花芽の確保、同化産物の果実への配分の適正化等の技術対策が課題となろう。

エ: 畜産では、夏季を中心に、飼料の採食量の低下の他、繁殖への影響、泌乳量、増体量、産卵率の低下や乳脂率等の低下が予想され、各種の防暑対策の検討が必要となろう。

(iv) わが国の漁業・養殖業生産に与える影響

ア: 内湾・河口域については、水温上昇によるコンブ等の有用植生の衰退等により、アワビ、サザエ等磯資源の生産力の低下、降雨量増大による富栄養化の進行、赤潮の発生等が懸念される。海面水位上昇による潮間帯空間の増大のプラス要因、護岸工事等による藻場・干潟の減少等のマイナス要因も海洋生態系に大きな影響を及ぼすと予測される。

イ: 沖合域については、温水性と冷水性のプランクトンの分布域の変化が予想される。

ウ: 養殖業については、冷水性魚介藻類の養殖適地の南限の北上、魚の成長促進の効果、赤潮や病気の発生、ノリ等の藻類の生育期間の短縮と病気の発生増加等が懸念される。

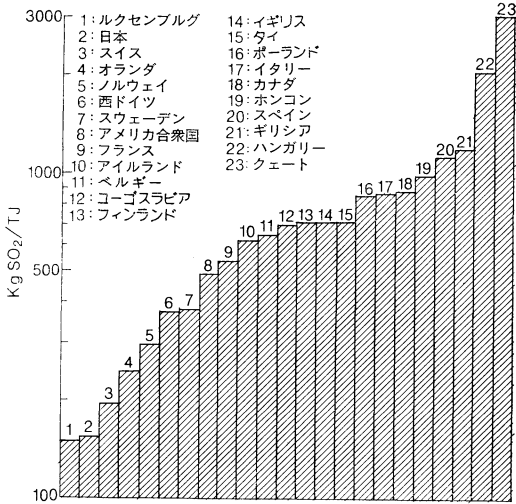
3.4 その他の問題

上述の農業・林業・水産業などにかかわる問題の他に、人間の健康、あるいは水資源やエネルギーなど、最初に述べたようにたくさんある。ここでは都市大気と海面上昇の例を述べたい。

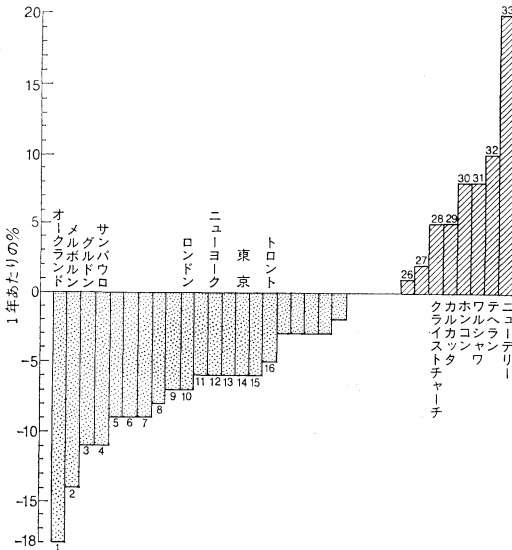
(a) 都市大気の汚染、特に SO_2 について

石炭・石油エネルギーの消費による SO_2 の放出量の1980~1983年の平均を国別にみると第6図の通りである。これによると、ルクセンブルクは第1位、日本は第2位で少ない。一方、最悪の国はハンガリーとクェートである。ただしここではインドや中国が統計に上っていないことに注意してほしい。

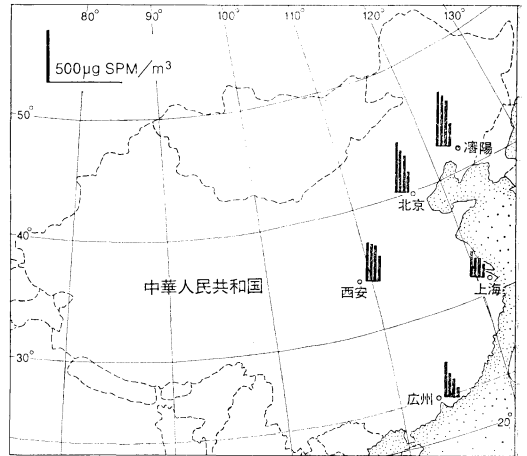
第7図は都市別に最近の変化の傾向をみたものである。オークランドやメルボルンなどはよごれていないことがわかる(UNEP/WMO, 1988)。ところがカルカッタはすばぬけて大きく20%/年の割合で増加している。第8図は特に中国について示したもので、瀋陽・北京・西安・上海・広州などでは、大気中の浮遊粒子量が極めて大きく、季節変化がみられる。この春先に特に大きいのは、黄砂などの自然的な原因によるものが多いためと



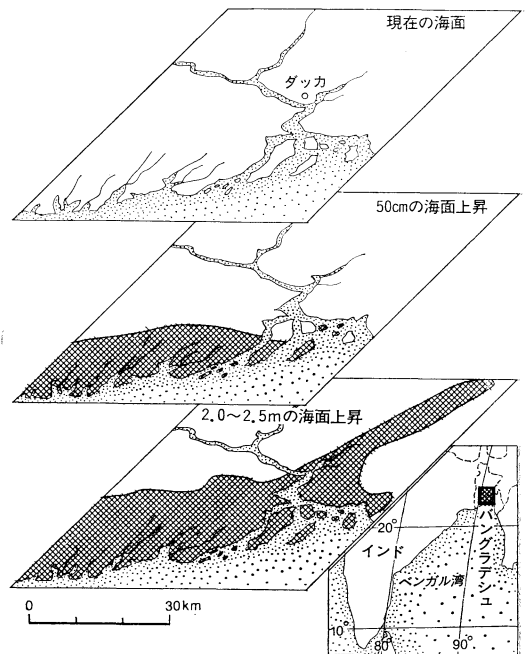
第6図 単位石炭・石油エネルギー消費についてのSO₂放出量, 1980~1983年 (kg/10¹²ジュール) (UNEP/WMO, 1988)



第7図 諸都市におけるSO₂濃度の年平均値の最近(1970年代後半から1980年代前半)の変化傾向 (UNEP/WMO, 1988)



第8図 1983年, 中国の諸都市における大気中の浮遊粒子量の季節変化(UNEP/WMO, 1988)



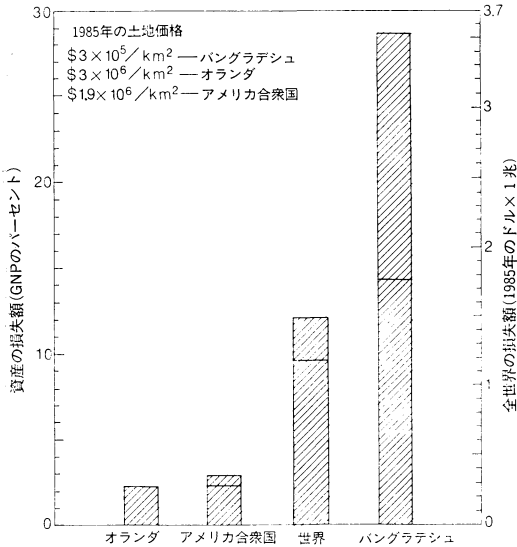
第9図 バングラデシュにおける海面水位の上昇による水没地域の変化 (UNEP/GEMS, 1987)

いう。

(b) 海面の上昇

二酸化炭素が倍増したとき, 2030年には海面は 40 cm から 60 cm は上昇するといわれる。21世紀の末には 1.4~2.2 m も上昇するとも推定されている。

1例としてバングラデシュの場合を図示したのが第9図である (UNEP/GEMS, 1987)。主都も浸水の危険があることを物語っている。もし, 1 m 海面が上昇した場合, 損害の金額は第10図にみるように, GNP に対して



第10図 地球温暖化による海面上昇により (1 m 上昇した場合) 失われる額

オランダは 2.3%, 合衆国は 2.8%, ところがバングラデシュは実に 28.5% に及ぶという推定がある。全世界では、1985年の米ドルに換算して、約 1.5 兆ドルという (Laurman, 1989)。推定値の精度に問題はあるかと考えられるが、いかに大きな額になるかは想像できよう。

氷河・氷床・海水等の変化についての1984年9月13～15日のワークショップの結果 (Ad Hoc Committee on the Relationship between Land Ice and Sea Level, 1985) も詳しい。

4. まとめとあとがき

1990年10月末から11月初めにかけて開催される第2回世界気候会議 (SWCC) に提出される諸報告が, WCIP に関連したこの10年間の正式の報告となる。その主要な総括のルートは IPCC であるが、これが過去の例からみて、必ずしも全世界的にうまく機能しているかどうかはわからない。むしろ各学問の領域や研究者・研究機関の分布など、そのかわる範囲があまりにも広範囲なため、充分にはまとめきれないであろう。これが気候影響・利用研究の本来の特色でもある。従って、これが今後の1990年代においてもやはり同じ難点となろう。

世界における日本の果たすべき役割は、経済面ばかりでなく科学研究の計画面においてもこの10年間にいちじるしく変化した。来るべき10年間にはさらにその重要性が増大するであろう。気候影響・利用の研究において

も、この現実をふまえて、われわれは計画をねり、研究を実施し、成果をあげなければならない。

文 献

Ad Hoc Committee on the Relationship between Land Ice and Sea Level. Commission on Glaciology, Polar Res. Board, Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Resources, National Res. Council, 1985: Glaciers, Ice Sheets, and Sea Level: Effects of a CO₂-Induced Climatic Change. National Academy Press, Washington.

Bergthorsson, P. *et al.*, 1988: The effects of climatic variations on agriculture in Iceland. In: The impact of climatic variations on agriculture, Vol. 1, ed. by M.L. Parry *et al.*, Kluwer Acad Publ., Dordrecht, 381-509.

Binkley, C.S., 1988: A case study of the effects of CO₂-induced climatic warming on forest growth and the forest sector. In: The impact of climatic variations on agriculture, Vol. 1, ed. by M.L. Parry *et al.*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 196-218.

Clark, W.C. and Munn, R.E., (Ed.) 1986: Sustainable Development of the Biosphere. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 491 p.

Glantz, M., Katz, R. and Krenz, M., 1987: The Societal Impacts Associated with the 1982-83 World-wide Climate Anomalies. NCAR, Boulder, 105 p.

Farrell, M.P., 1987: Master Index for the Carbon Dioxide Research State-of-the Art Report Series. United States Department of Energy Washington, DOE/ER-0316, 253 p.

Kates, R.W., Ausubel, J.H. and Berberian, M., 1985: Climate Impact Assessment Studies of the Interaction of Climate and Society. SCOPE (27), John Wiley & Sons, Clichester, 625 p.

Kettunen, L. *et al.*, 1988: The effects of climatic variations on agriculture in Finland. In: The impact of climatic variations on agriculture, Vol. 1, ed. by M.L. Parry *et al.*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 511-614.

Laurman, J.A., 1989: On setting targets for reduction of green-house gas induced climatic warming. A paper presented at "Net-Workshop" in Boulder, March 14, 1989.

Parry, M.L. *et al.*, (Eds.) 1988a: The Impact of Climatic Variations on Agriculture, Vol. 1, Assessments in cool temperate and cold regions. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 878 p.

—, —. *et al.*, (Eds.) 1988b: The Impact of

- Climatic Variations on Agriculture, Vol. 2, Assessments in semi-arid regions. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 764 p.
- Pitovranov, S.E. *et al.*, 1988: The effects of climatic variations on agriculture in the subarctic zone of the USSR. In: The impact of climatic variations on agriculture, Vol. 1, ed. by M.L. Parry *et al.*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 615-722.
- UNEP/GEMS, 1987: The Greenhouse Gases. UNEP/GEMS Environment Library No. 1, 70 p.
- UNEP/WMO, 1988: Assessment of urban air quality. Global Environment Monitoring System, 100 p.
- Western Governor's Policy Office, 1977: Directory of Federal Drought Assistance. Prepared by the Institute for Policy Research for the Western Region Drought Action Task Force, the US Department of Agriculture Washington, DC.
- Williams, G.D.V. *et al.*, 1988: Estimating effects of climatic change on agriculture in Saskatchewan, Canada. In: The impact of climatic variations on agriculture, Vol. 1, ed. by M.L. Parry *et al.*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 219-379.
- Yoshino, M. *et al.*, 1988: The effects of climatic variations on agriculture in Japan. In: The impact of climatic variations on agriculture, Vol. 1, ed. by M.L. Parry *et al.*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 723-868.
- 吉野正敏, 1983: 気候影響・利用研究会—日本の WCIP・WCAP に関連して—, 農業気象, 39(2), 117-120.
- , 1985: 世界気候影響研究計界 (WCIP) の最近の動向, 気候影響・利用研究会報, 2, 41-46.
- , 1986: 同上, 1985年10月~1986年3月, 気候影響・利用研究会報, 3, 7-10.
- , 1987: 同上, 1986年4月~1987年4月, 気候影響利用研究会報, 4, 1-3.
- , 1988a: 地球の植生変化に関するモデリングの諸問題, 気候影響・利用研究会報, 5, 16-120.
- , 1988b: 来る半世紀の気候変動とわが国の食糧・エネルギー・水の予想に関する研究, 気候学・気象学研究報告, 14, 1-108.
- 編, 1988c: 日本における気候影響・利用研究の課題, 気象研究ノート, 162, 1-231.
- , 1989: 国際気候影響ネットワークシンポジウム—1989年3月14~17日の報告—気候影響・利用研究会報, 6, 1-5.

[追記]

本文執筆後, 入手した文献を次に紹介しておく。特に, Bolin *et al.* (1986) の本は, 1985年10月に開催されたいわゆるフィラッハ会議に提出された論文の集大成で, その当時での総括であると同時に, 今日の地球環境問題の原点でもあり, 最も重要な文献である。

Bolin, B., Döös, B.R., Jäger, J. and Warrick, R.A., (Ed.) 1986: The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems. SCOPE (29), 529 p.

Morrisette, P.M., (Ed.) 1987: A selected annotated bibliography of climate and society research. U.S. Dept. of Commerce, NOAA Tech. Rep. NCPO 002, 1-104.

Pearman, G.I., (Ed.) 1989: Greenhouse, Planning for Climate Change. E.J. Brill, Leiden, 750 p.

Rodhe, H. and Herra, R., (Ed.) 1988: Acidification in Tropical Countries. SCOPE (36), 405 p.

UNEP, 1986: Possible effects of man's activities on the ozone layer and climate. UNEP., Nairobi, Policy Support Document.

とても面白い話ですね。まさに新用語の铸造 (coin) は金 (coin) になるということですね。それではまた…

——— Toshio Yamagata
(九州大学・山形俊男)

(P 4 からつづく)
Academic Press 1989」を読んで下さい。

——— George Philander