

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2991号

土 木 研 究 所 資 料

地球環境問題調査研究資料集（その1）

平成3年3月

建設省土木研究所
企画部企画課

Copyright © (1991) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

地球環境問題調査研究資料集（その1）

企画部企画課

要旨：

全世界的に地球環境問題に対する関心が高まり、中でも地球温暖化が注目を浴びている中であって、政府においては、「地球温暖化防止行動計画」が策定されている。

土木研究所においては、平成元年度、外部の専門家による「地球水環境の変化に関する検討委員会」を設置した。同時に、職員による「地球温暖化に関する勉強会」（2年度、「地球環境問題に関する勉強会」と名称変更）を開始した。

本資料は、この検討委員会、及び勉強会の成果を、第一報としてとりまとめたものである。

キーワード：地球環境問題、地球温暖化、地球水環境、水資源、雪資源、海面上昇

は じ め に

20世紀はまもなく終わるが、この世紀は資源とエネルギーの大量消費の世紀であったといえるであろう。資源等の大量消費による社会経済の発展は生活水準の向上をもたらしたが、そのためのマイナス要因として、環境問題を発生させた。この環境問題は単に地域規模に留まらず、地球規模で問題を生じつつあることが指摘されている。

地球環境問題とは

- 1) その被害・影響が一国内に留まらず国境を越え、引いては地球規模にまで広がっている環境問題
- 2) その解決のために先進国等による国際的な取り組みが必要とされる、開発途上国における環境問題

とされている。その具体的な内容は

- 1) オゾン層の破壊
- 2) 地球の温暖化
- 3) 酸性雨
- 4) 熱帯林の減少
- 5) 砂漠化
- 6) 野生生物種の減少
- 7) 海洋汚染
- 8) 有害廃棄物の越境問題
- 9) 開発途上国の公害

に分類されている。

土木研究所ではこれらの問題のうちわが国の建設技術や社会資本の整備に影響が重大であると予測される、地球の温暖化、酸性雨、熱帯林の減少、砂漠化、海洋汚染等について理解を深め、参考情報を整理すると共に、将来の研究課題を明らかにするための「地球環境問題に関する勉強会」を関連研究者の任意参加のもとに平成元年度から実施してきた。

この研究資料集は平成元年度に土木研究所が学識経験者による「地球水環境の変化に関する検討委員会」を設置し審議いただいた結果、及び勉強会を通して調査研究してきた結果の一部を取りまとめたものである。この資料集が今後の建設行政の推進に有効に活用されることを期待したい。

平成3年3月

土木研究所企画部

目 次

はじめに

「地球水環境の変化に関する検討概要報告書（案）（平成2年3月）」の抜粋		1
世界の水資源	河川部水文研究室 吉谷 純一	 25
温暖化による雪資源の変化について	ダム部水資源開発研究室 盛谷 明弘	 45
温暖化に伴う海面上昇対策技術	機械施工部土質研究室 久楽 勝行	 53
「地球温暖化防止行動計画（平成2年10月23日）」地球環境保全に関する関係閣僚会議決定		67

地球水環境の変化に関する
検討概要報告書(案)
抜粋

建設省土木研究所
地球水環境に関する検討委員会

平成2年3月

目 次

1. まえがき	5
2. 地球水環境の変化に関する検討委員会の設置要綱	6
3. 委員会報告要旨	8
1) 問題提起および委員会の主要な課題	8
2) 地球温暖化のメカニズム	8
3) 二酸化炭素濃度増大による温暖化の程度の推定	9
4) 地球温暖化が水文環境に及ぼす影響について	10
5) 降雨特性の変化について	14
6) 海面水位の上昇について	15
7) 既往データに基づくわが国における降雨特性の変化の推定	15
(委員会の主要結論)	
4. わが国の降水特性等の変化について	20
5. 降雨特性の変化に関する研究課題	22
6. その他建設省が取り組むべき研究課題	23

1. まえがき

化石燃料の大量消費による大気中の二酸化炭素濃度増大等に起因する地球温暖化は地球規模での気候変化をもたらし、わが国にも降水量や蒸発量の変化や海水面の上昇といった影響が及ぶ恐れがあることが指摘されている。しかしながら、地球温暖化やそれらに起因する気候変化については必ずしも定説がないのが現状のようである。

そこで、土木研究所は平成元年度に所内に「地球水環境の変化に関する検討委員会」を設け、関係各分野の専門家の知見を賜って温暖化等による降雨特性等の変化について検討を行った。

本報告は、委員会の資料、検討結果について取りまとめたものである。

平成2年度以降、各事業調査費等により所要の調査を続ける予定である。

2. 地球水環境の変化に関する検討委員会の設置要綱

1) 設置目的

化石燃料の大量消費による大気中の二酸化炭素等の濃度増大に起因する地球の温暖化は、大気循環の変化を通じ降水量や蒸発量等の変化をもたらす。これらの変化は河川事業等に直接的な影響を及ぼすものであることから、治水、利水事業への影響を把握し、将来必要となる諸対策について検討しておく必要があるが、現時点では温暖化によりわが国の降雨特性等にどのような影響が及ぼされているかについては、明らかになっていない。そこで、土木研究所に専門家による委員会を設け、現在の段階で想定される将来の降雨特性等の変化について検討するとともに、今後建設省が取り組むべき研究課題を明らかにすることとしたものである。

2) 検討事項

温暖化等の気候変化による降雨特性等の変化についての現況の知見の取りまとめ

降雨特性の変化に関する研究課題の提案

その他建設省が取り組むべき研究課題の提案

3) 委員

別表の通り

4) 委員会の開催

全2回

第1回 平成元年 6月26日

第2回 平成元年12月 4日

地球水環境の変化に関する検討委員会

委員会名簿

委員長	石原安雄	京都大学防災研究所教授（平成2年4月より豊橋科学技術大学に転任）
委員	内嶋善兵衛	お茶の水女子大学理学部教授
	吉川秀夫	早稲田大学理工学部教授
	木下武雄	国立防災科学技術センター第一研究部長
	竹内邦良	山梨大学工学部教授
	富永正照	元土木研究所所長 （セントラルコンサルタント（株）取締役社長）
	中澤式仁	元土木研究所所長 （（財）建設技術研究所会長）
	永田 豊	東京大学理学部教授
	野田 彰	気象研究所気候研究部第一研究室主任研究官
	樋口敬二	名古屋大学水圏科学研究所教授
	松野太郎	東京大学理学部教授
	吉野正敏	筑波大学地球科学系教授
	若濱五郎	北海道大学低温科学研究所所長
	山田俊郎	建設省河川局河川環境対策室長

3. 委員会報告要旨

1) 問題提起および委員会の主要な課題

大気中の二酸化炭素濃度の増大に起因する地球の温暖化や、フロンガスによるオゾン層破壊、酸性雨、熱帯林の減少、砂漠化の進行等、地球規模の環境問題が世界的に重要な環境課題として論じられている。本検討委員会はこのような地球環境問題のうち、温暖化による地球気候の変化、特にそれに伴うわが国での降水特性の変化について、現況での知見を取り纏め、報告することを課題として設置された。

地球規模での気候の変化は地球上での水の循環形態を変化させる。地球の温暖化は単に気温が上昇することだけではなく、蒸発現象や降雨・降雪現象、氷河の融解、土壌水分の増減、等の水文現象の変化につながり、結果として河川の流出量の変化や植生の変化、水資源の変化、等の影響を生じる。温暖化による降雨特性の変化については大気大循環モデル(GCM)等の出力からの推定がなされているが、モデルの諸制約から確定的に言えることはいまだ少なく、かつ出力地点の粗さ等から、地域での評価が重要な水文循環に及ぼす影響の評価は困難な段階にある。

本報告書では、時間と資源の制約もあって、現時点で得られている知見をもとに、温暖化のメカニズム及び水文循環に及ぼす影響について簡単に紹介し、わが国の降水特性の変化をも含めて、水文学に関連する研究課題の提案をおこなうこととした。

2) 地球温暖化のメカニズム

石炭、石油等化石燃料の燃焼等により大気中に放出される二酸化炭素や、大気中の存在量は微量ではあるが一酸化炭素、一酸化二窒素、メタン、その他の炭化水素、窒素酸化物、クロロフルオロカーボン(フロンガス)等の気体は、太陽光をほとんど透過させるが、地表から放射される赤外線を吸収する性質を有している。従って、これらの気体の大気中の濃度が増大すると、太陽から供給される熱と、圏外に放出される熱のバランスが変化し、対流による熱循環の生じている対流圏(地表からおおむね十数km)の範囲では気温の上昇が起こる。これが、いわゆる温室効果による地球温暖化のメカニズムである。

産業革命以降、人類の生産活動の発展や人口の増大、及び生活水準の向上は加速度を増し、それに伴う化石燃料の消費や森林開発によって、土層中、地層中に蓄積されていた炭素が二酸化炭素の形で放出される量も飛躍的に増大した。Keeling(1986)によれば¹⁾、大気中の二酸化炭素濃度は、最近100年間で290ppmから345ppmへと約19%増大した。Revelleら(19

83)によれば²⁾，過去100年間に大気中へ放出された二酸化炭素の約2/3は化石燃料の消費，そして残りの1/3が森林や草地の破壊によるものであり；全放出量の約40%が大気中に残存している。現在のスピードで二酸化炭素排出が続くと仮定すると，2030年には大気中の二酸化炭素濃度は産業革命前の2倍の値に達すると推定される。

3) 二酸化炭素濃度増大による温暖化の程度の推定

大気中の二酸化炭素濃度が増大した場合，それが気温上昇に及ぼす影響の程度を推定するために有効な手段として，コンピュータを用いた数値シミュレーションがあげられる。近年のコンピュータ性能向上がこうした手法の有効性を高めているのはいうまでもない。さて，気候変化をシミュレートするためのモデル（気候モデル）は，大きく3つに分けられる。

第一は，エネルギー収支モデル（Energy Balance Model: EBMと略称）といわれるもので，これは地球表面の温度を一様としてエネルギー保存則を適用し，地球全体で見た平均的温度変化のみ予測するものである。

第二は，放射対流モデル（Radiative Convective Model: RCMと略称）と言われるもので，これは地球全体を代表する空気柱を考え，鉛直方向には複数の大気層で表現するが，水平方向の大気移動は無視するというものである。

第三は，大気大循環モデル（General Circulation Model: GCMと略称）であって，これは地球大気を3次元メッシュに分割し，質量，水蒸気，熱エネルギー，モーメントの各保存式から，大気の運動を解析するものである。3種のモデルの中では最も厳密なものであるが，コンピュータ容量の制約から，現在のところでは地球全体を扱う場合，メッシュ分割は300 km × 300 km程度が限界である。

モデルによって二酸化炭素濃度増大等の影響予測を行っている例を2，3紹介しよう。

Ramanathanら（1985）は，現在の人間活動水準の継続を仮定した上で，RCMによって計算した結果として，1980～2030年の50年間の平均地表面温度の上昇を1.5℃と予測している³⁾。また，McDonald（1985）は，オゾン，メタン等の影響も考慮に入れ海洋の緩和効果も考慮した上で，EBMにより同期間の平均地表面温度上昇を1.0～1.5℃と予測している⁴⁾。これは人類が地球上に登場して以来6000年間での平均気温上昇量に匹敵するとされており，最近の変化がいかに厳しいものであるかがうかがわれる。

世界的に反響を呼び起こし随所で引用されているものとして，Manabe and Wetherald（1987）が3次元のGCMを地表及び熱力学的海洋混合層モデルと組み合わせて行った

予測があげられる⁵⁾。この中で彼等は、現在の二酸化炭素濃度、現在の2倍の二酸化炭素濃度、各々平衡状態にある気候をシミュレートして次のような気象変化を推定している。

①中緯度地域において、下層大気の温度が2～3℃上昇する。これによって北アメリカやシベリアでは春期の融雪が早まり、地表からの蒸発散量が増加し、夏期の土壌水分量が減少する。

②北アメリカ、南ヨーロッパの中緯度地域における夏期の降雨量が増大する。

③中～高緯度地域の大陸中央部で、冬期の降雨量が増大する。

わが国でも、気象研究所が、GCMを用いたシミュレーション結果に基づき、二酸化炭素濃度を倍増させた場合の年平均気温の上昇量を冬期と夏期に分けて世界地図上に等値線の形で表示している。

これらの各種のモデル等の予測結果によると、二酸化炭素濃度が2倍になったとき、全球平均気温で1.5～3.5℃程度の上昇、降水量は7～18%程度の増加が推定されている。

これらの予測に従えば、温暖化によるわが国の水文循環への影響については、年降水量の増加および降水量の変動性の増大、対流性の降水現象の増加すなわち雷雨性の降雨の増加、気温上昇による降雪量の減少と融雪の早期化、等のことが推測される。もしこの推測が当てはまるとすれば、わが国の国土に与える影響は大きなものとなるであろう。

例えば、年平均降水量の増大は、現在10日に一度程度の大気水分サイクルが9日に一回程度に増加することを意味し、沖積作用の活発化をもたらすであろうし、降水量の変動性の増大は防災対策や水資源対策に影響するものとも考えられる。

従って、わが国における降水量の増減および降雨パターンの変化についてより詳細な温暖化の影響を研究する必要がある。このためには気象学のみならず水文学の立場からGCMの精度を向上させることや、その出力を水文循環に応用する研究を進めることが重要と思われる。

4) 地球温暖化が水文循環に及ぼす影響について

温暖化による水文循環および水資源への影響評価の研究は1980年代になって各国で進められてきた。水文循環への影響予測計算は、気候変化の予測の出力結果を水文モデルに入力するため、気候変化の予測以上に不確定な面を多く含んでいる。現在この分野の研究は主に三種類の方法論で検討されている。

①流域水文循環モデルに基づく影響評価

②既往の気象・水文データによる温暖化の影響評価

③大気循環と水文循環の相互作用を考慮したマクロ水文モデルによる影響評価

第一の方法論は、温暖化による降雨量や蒸発散量の変化を流域水文循環モデルにシナリオとして入

力し、現況との比較によって影響の度合を評価するものである。

F. Bultotら(1988)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、二酸化炭素濃度が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、地下水貯留量、河道流量、流域水収支にどんな影響があるか調べた⁶⁾。対象としたのはZwalm川流域(流域面積115km²)、Dyle川流域(流域面積645km²)、とSemois川流域(流域面積1235km²)の3流域である。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る。

J. Martinecら(1989)は、カナダのBritish Columbia流域(流域面積1155km²)、アメリカのRio Grande流域(流域面積3419km²)、及びスイスアルプスのFelsberg流域(流域面積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、月別にみると4月は121%増、5月は65%増となるなどの結果を得ている⁷⁾。

水文循環モデルを応用することにより水資源システムの計画への影響を予測することができる。Nemecら(1982)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のち、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、流出に生じる影響および必要貯留施設量に生ずる影響をグラフの形で整理した⁸⁾。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、降雨量の1%変動は安定取水可能量の2%変動をもたらす、また蒸発散量の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%であること等を示している。

また、Bhawan(1987)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GFDモデルの予測結果（シナリオA），およびGISS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る⁹⁾．これによると当地では，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る．大気中の二酸化炭素濃度増大は，植物の気孔からの蒸散抵抗を減少させることにより，流域からの蒸発散量を減じ，結果として年間流出量が増大するという指摘もある（A. R. Aston, 1984）¹⁰⁾．

第二の方法論は，過去の温暖な時期と寒冷な時期を抽出し，その間の水文現象を実績データをもとに比較することによって，今後の二酸化炭素濃度増大による温暖化の影響を類推するものである．

D. N. Collins (1987) は，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た¹¹⁾．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，最も良い相関を示すとしている．

J. P. Paulutikov (1987) は，イギリスおよびウェールズの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，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が，及びそれに対応して，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いる¹²⁾．

K. McGuffieら (1987) は，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，平均気温上昇にともなって，雲量が増大傾向にあることを示した¹³⁾．そして，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を有する可能性があるとしている．

第三の方法論は，地球大気の循環を表現するGCMに対応して，10⁶～10⁶ km² といった大流域における水文循環を取り扱うことによって，大気循環と水文循環の相互作用を考慮していこうとするマクロ水文学の試みである．これにはいまだ明確な影響評価にまで至る研究は見られないが，Eaglesonによる先駆的な研究¹⁴⁾，Shuttleworthによる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の研究¹⁵⁾，があり，この方向での研究の重

要性は水文学研究者の共通の認識になりつつある。

W. J. Shuttleworth (1988) は、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共に、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いる。

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 A. Becker (1987) も指摘しているところである^{16), 17)}。

一方、Shiklomanov はソビエト連邦における温暖化の水資源への影響評価に関する研究報告を行っている¹⁸⁾。それによればソビエト連邦水文研究所の提出した温暖化に伴う北半球の年降水量の変化図に基づき、第一と第二の方法論によるソビエト連邦の河川流出量への影響が評価されている。

以上は水文循環の変化に関連する研究であるが、水資源への影響は社会的な要因も含めた手法を必要とする。IPCC の「水資源の利用と管理戦略ワークショップ」への提出論文において、Stakhiv 等は「米国の水資源に及ぼす気候温暖化の影響（五大湖流域を例にして）」について言及している¹⁹⁾。それによると水資源の需要と供給のバランスに対する気候変化の影響を分析するには、モデルに組み込まれる不確定性が段階的に増大するため、異なる幾つかの段階を経る必要があり、IPCC の WG2 の水資源影響サブグループには次の三段階シナリオが提案されている。

①類似による解析、すなわち過去の気候変動（例えば高温気候での Hypsithermal）と現在の状態の結果とを関係づける試み

②水文モデルによる感度分析を含む、河川流域レベルの応答の集約的な地域レベルでの評価

③将来の各種水需要の間の競合と水供給の可能性との間の支配的な相互関係の解析による事例研究

このような社会的な問題への影響をも含めた研究の方法論については、USGS が米国のデラウェア川流域の将来水需要を気候モデルと流域、地下水、沿岸の循環モデルとを結合して分析した報告がある²⁰⁾。

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、研究の概略を示したが、Schmidt も指摘するように²¹⁾、今後の水文分野での課題として、下記のような諸点があげられよう。

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の様相を明らかにすること

5) 降水特性の変化について

わが国の気象庁は「異常気象レポート'89」において、わが国の学識経験者の意見を総括して、当面の信頼し得る影響評価を行っている²²⁾。それによれば、温暖化の今後の見通しとして、

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

という三項目が報告されている。

また特に降水量等の変化について、

- 全球平均降水量の増加が予想される。蒸発量も増加する。
- 中緯度の多雨帯は特に北半球で極方向にずれる。
- 海氷域が後退する。
- 温暖化により春の雪解けが早く始まり、その後地表面からの蒸発の盛んな期間が長く続く。

という指摘がなされ、また異常気象については、現在のところ、気候変化に伴う異常気象の発生総数の増減を予測することは困難であるが、異常気象の発生形態の変化として、

- 降水分布の変化に伴い、地域により異常多雨あるいは異常少雨の増加が考えられる。ことが予想されるとしている。

野田²³⁾によれば、気象研究所のGCMを用いたシミュレーション結果によるものとして、上述の主要な事項以外に、

- 層状雲からの非対流性降水量は減少するが、積雲対流からの降水量の増加が勝り、全球平均降水量は増加すること、

- 中緯度多雨帯では大気境界層に根を持つ積雲対流からの降水の増加率は初夏にピークとなるが、自由大気中の積雲対流からの降水の増加率は夏に最少となること、
- 全降水面積の減少は大規模運動に伴う降水面積の減少によること、
- 強い対流性降水の頻度は増大するが、強い非対流性の降水頻度は減少すること、

といった結果が示された。これは、松野による「温暖化による上昇流域の集中の強化」予想²⁴⁾を裏付けている。

温暖化は降水の形態に影響を与える。雨で降るか雪で降るかということは、温暖化による融雪を早める効果とも相俟って、水資源に大きな影響を及ぼす。降水形態が雪か雨かの確率は気温に依存する。Higuchiによれば、この関係はまた地域差を持ち、かつ標高に依存することが指摘されている²⁵⁾。したがって温暖化の程度が明らかにされれば、これらの関係を利用して、水資源への影響も評価可能であろう。一方融雪が早まる効果は積雪量の把握と共に熱収支等の関係を用いて推定可能と考えられる。

6) 海面水位の上昇について

地球温暖化による海面上昇は、フィラッハ'85会議での見通しによると1.5~4.5℃の温度上昇により20~140cmの上昇、わが国の気象庁によると1.5~3.5℃の温度上昇により20~110cmの上昇と予測している。

過去100年の検潮所データによる海面水位の変化は、異常気象レポート'89での研究成果のとりまとめによると、全球平均で1881年~1980年で年率1.43mm、1930年~1980年で2.27mmの上昇となっている。北西太平洋では1954年~1974年までの約20年で2~4cmの水位低下となっている。これらの水位変化の原因は平均気温と関連し、気温より18年遅れて世界の水位が変化するとする報告がなされている。

世界の長期的な水位上昇の原因としては、水温の上昇に伴う海水の熱膨張、グリーンランドの氷床の融解、南極の氷河・氷床の融解、アルプス等小規模の氷河の融解が考えられてきた。現在のところ水位上昇による熱膨張と一部の陸氷の融解によるとする説が有力である。

7) 既往データに基づく、わが国における降雨特性の変化の推定

今後地球温暖化が起こった場合、降雨特性がどの様に変化するのかを類推する一つの方法として、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る。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述べる²⁶⁾。

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(温暖期とする)が抽出された。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℃である。抽出された期間は北半球の平均地上気温の偏差からみ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る。この両期間における全国58か所の気象観測所の日降水量データをもとに、連続した2日間の降水量が150mmおよび300mm以上の豪雨の発生回数をわが国を10ブロックに分割して調べた。結果を図1、2に示す。豪雨の発生回数の説明因子は気温だけではないのは勿論であるが、この図より明らかなように沖縄を除くすべての地域で寒冷期より温暖期のほうが豪雨の発生回数が増加していることがわかる。2日雨量150mm以上の生起回数でみると、北海道、北陸、近畿、中国、四国の各ブロックでは温暖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る。また2日雨量300mm以上の生起回数でみると、生起回数ゼロの北海道、東北、中国ブロック及び温暖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、いずれも温暖期の方が2倍以上多いのがみてとれる。沖縄以外の地域においては、上述、限られた分析結果からみ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いえそうである。

一方、水資源からみ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る。ちなみに、過去90年間の日降水量資料により、温暖期と寒冷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3~5に示すような結果が得られる。図3によれば温暖期の年総降水量は寒冷期とほぼ同じか、あるいは10%程度多いことが判断される。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八ブロックで、90日間連続した最小降水量では七ブロックで寒冷期より温暖期の方が小さくなっている。これらの最小値はすべて冬季に発生している。水資源的にみて、総降水量は温暖化により増大するが、温暖期における60日や90日といった長期間での少雨傾向が判断される。

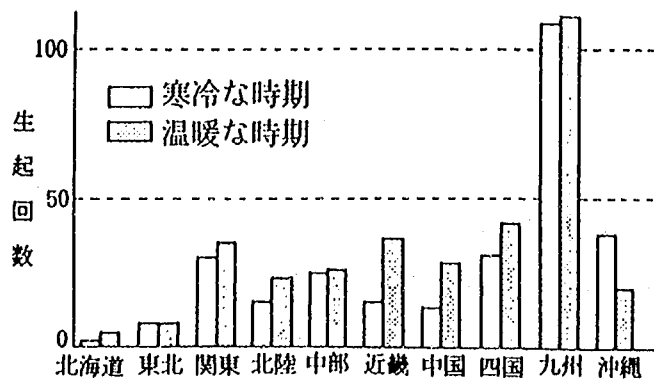


図1 寒冷な時期と温暖な時期における2日雨量
150 mm以上の生起回数の比較

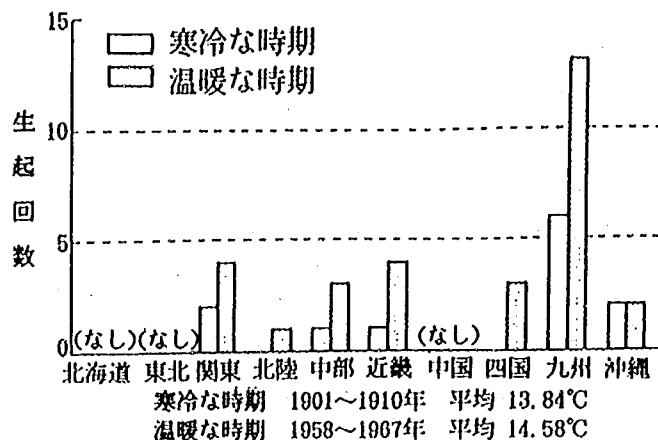


図2 寒冷な時期と温暖な時期における2日雨量
300 mm以上の生起回数の比較

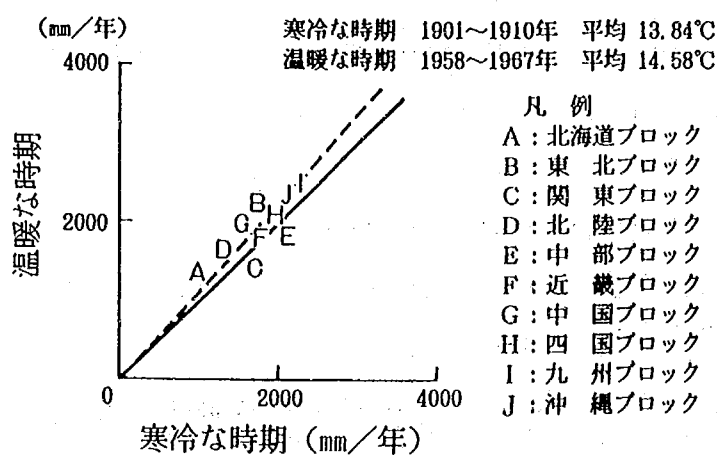


図3 寒冷な時期と温暖な時期の年降水量の比較

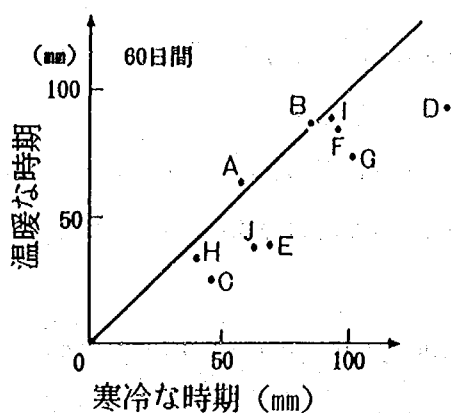


図4 寒冷な時期と温暖な時期の連続60日間
最小降水量の比較

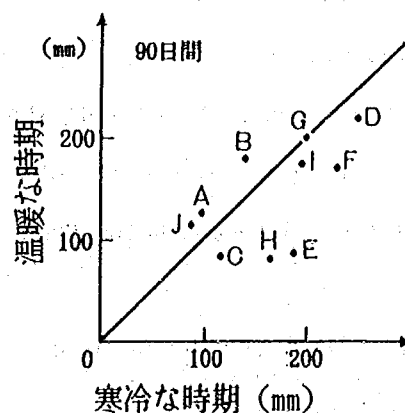


図5 寒冷な時期と温暖な時期の連続90日間
最小降水量の比較

参考文献

- 1) From, E., and C. Keeling, Reassessment of late 19th century atmospheric carbon dioxide variation in the air of western Europe and the British Isles based on unpublished analysis of contemporary air masses by C.S. Callendar, *Tellus* 388, 87-105, 1986
- 2) Revelle, R., Probable future changes in sea level resulting from increased atmospheric carbon dioxide, In *Changing Climate*, Washington, D.C., National Academy Press, 1983
- 3) Ramanathan, V., R. Cicerone, H. Singh and J. Kiehl, Trace gas trends and their potential role in climate change, *J. Geophys. Res.*, 90, 5547-5566, 1985
- 4) MacDonald, G. Climate change and acid rain, The MITRE Corporation, 1985
- 5) Manabe S. and R.T. Wetherald, Large-scale changes of soil wetness induced by an increase in atmospheric carbon dioxide, *J. Atmos. Sci.*, 44, 1211-1235, 1987.
- 6) 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 Belgium, *Proc. of the Vancouver Symp.*, IAHS Publ. No. 168, 319-347, 1987
- 7) 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
- 8) Nemec, J. and J. Schaake, Sensitivity of water resource systems to climate variation, *Hydrological Sciences Journal*, 27, 327-343, 1982
- 9) Bhawan, S., The Impacts of CO₂-induced climate change on hydroelectric generation potential in the James Bay Territory of Quebec, *IAHS Publ. no. 168*, 403-418, 1987
- 10) Aston, A.R., The effect of doubling atmospheric CO₂ on streamflow: a simulation, *J. Hydrol.*, 67, 273-280, 1984
- 11) D.N. Collins, Climatic fluctuations and runoff from glacierised Alpine basins, *Proc. of the Vancouver Symp.*, IAHS Publ. No. 168, 77-89, 1987
- 12) 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
- 13) McGuffie, K., Will clouds provide a negative feedback in a CO₂ warmed world?, *IAHS Publ. no. 168*, 619-628, 1987
- 14) P.S. Eagleson, Climate, soil, and vegetation, *Water Resources Research*, 14, 705-776, 1978

- 15) W. J. Shuttleworth, Macrohydrology, the new challenge for process hydrology, J. Hydrol., 100, 31-56, 1988
- 16) 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
- 17) Becker, A. and J. Nemec, Macroscale Hydrologic Models in Support to Climate Research, Proc. of the Vancouver Symp., IAHS Publ. No. 168, 431-445, 1987
- 18) I. A. Shiklomanov, Climate and water resources, Hydrological Sciences Journal, 34, 495-529, 1989
- 19) Stakhiv, E. Z. and H. Lins, Impacts of climate change on U.S. Water Resources (with reference to the Great Lakes Basin, USA), presented at the IPCC Resource Uses and Management Strategies Workshop, Geneva, Switzerland, October 30, 1989
- 20) Moss, M. E. and H. F. Lins, Water resources in the twenty first century - A study of the implications of climate uncertainty. U.S. Geological Survey Circular 1030, 25pp, 1989
- 21) O. Schmidt, Klimaveränderung-mögliche Auswirkungen auf die Wasserwirtschaft, Wasserwirtschaft, 1, 7-13, 1989
- 22) 気象庁編, 異常気象レポート'89, 大蔵省印刷局, 1989年4月
- 23) Noda A. and Tokioka T., 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, 1057-1069, 1989
- 24) 松野太郎, 二酸化炭素の気候に与える影響, 気象研究ノート, 第160号, 161-185, 1987
- 25) Higuchi, K., Effect of nocturnal precipitation on the mass balance of the Rikha Samba Glacier, Hidden Valley, Nepal, Seppyo, 43-49, 1977
- 26) 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. わが国の降水特性等の変化について

本委員会は過去二回にわたり、温暖化等に伴うわが国の降雨特性等の変化について論議してきた。温暖化等に伴う地球水環境の変化、なかんずくわが国の降雨特性の変化の問題は、現在の学術水準に照らしても解決が困難な課題であることから、限られた時間での討議・検討では答えを出すのがかなり困難であるといわざるを得ない。しかし当委員会の討議を総括し、次の段階に繋げるものとして、前節までに調査した結果、および現在の当該問題に対する研究報告等を勘案し、一応の結論を以下に提示する。

- 1) 各種のGCM等の予測結果によると、二酸化炭素濃度が2倍になったとき、全球平均気温で1.5～3.5℃程度の上昇、降水量は7～18%程度の増加が推定されている。
- 2) Manabe等が3次元のGCMを地表及び熱力学的海洋混合層モデルと組み合わせて行った予測によれば、二酸化炭素倍増に伴い、気温の上昇による北米・シベリアでの融雪の早期化、蒸発量の増加による夏期の土壌水分の減少、北米・南ヨーロッパの中緯度地域における夏期の降雨量の増大、中～高緯度地域の大陸中央部での冬期の降雨量の増大、等の水文循環の変化が予測されている。
- 3) 一方前節にも掲載したように、わが国の気象庁は温室効果による将来の気候変化について検討した結果、現時点での見通しをまとめて報告しているが、それによれば

特に降水量等の変化について、

- ・ 全球平均降水量の増加および蒸発量の増加
- ・ 中緯度の多雨帯の北半球での極方向への移動
- ・ 温暖化による春の雪解けの早期化とそれに続く時期での蒸発量の増加が指摘されている。また異常気象の発生形態の変化として、
- ・ 降水分布の変化に伴う、地域による異常多雨あるいは異常少雨の増加等の事項が予想されるところとしている。

- 4) 上述の主要な事項以外に、

- ・ 積雲対流からの降水の増加と、非対流性降水の減少による降水面積の減少
- ・ 強い対流性降水の頻度の増大と強い非対流性降水の頻度の減少

といった降水の集中化が予想されるところとしている。

しかしながら

- 5) 現在のGCMでは空間・時間分解能の制約から、日本列島スケールでの降雨量の変化についての詳細な議論をすることは困難と考えられる。

6) 過去の100年くらいの観測記録から温暖化の影響を推定することは、温暖化の原因が異なること及び時間スケールの異なった現象であることを考慮して検討されなければならない。

という指摘もなされている。

さらに温暖化は降水の形態をも変化させるが、このことについては

7) 温暖化は降水の形態、雨で降るのか雪で降るのかということに影響を与える。降雨か降雪かの確率は地上気温により変化し、この確率は場所と高度により異なっている。

8) 既往の観測資料から温暖な時期と寒冷な時期を各々10年ずつ取りだし、降雨特性を調査した結果によれば、温暖な時期には2日雨量で150mm, 300mmといった豪雨の発生回数が寒冷な時期より多いことが、わが国の多くの場所で観測されている結果となっている。

9) 同様に既往の観測資料から温暖な時期と寒冷な時期の連続した60日、90日降水量の最小値を比較したところ、この値は温暖な時期には相対的に寒冷な時期より小さい傾向がみられている。

10) 以上のことを総合的に考慮して、わが国における降雨特性の変化および河川水文への影響について、

(1) 豪雨の発生頻度、特に対流性の降雨の頻度が夏期を中心に増大する。

(2) 年間の総降雨量が増大するが、降水量の変動が激しくなる。

(3) 降水形態の変化については、温暖化により降雪量の減少を生じる。しかし、冬型気圧配置の出現回数や豪雪回数の変化については詳しく調べる必要がある。

(4) 土壌水分変化や融雪の変化及びこれに起因する流出パターンの変化も想定され、今後の検討を要する。

ものと考える。

しかしながら、温暖化等によるわが国の降雨特性の変化については、いまだ不明な点が多く、次節以下に示すような課題について研究を継続・推進することが必要である。

5. 降雨特性の変化に関する研究課題

1) 既往の観測記録からの推定

わが国に於ける既存の気象・水文データ（気温・湿度・降水量・流出量・風向風速・気圧配置等）を分析し、温暖化が降雨特性に及ぼす影響を、降水量、蒸発散量、融雪量、河川流量等の変動傾向と極値の発生頻度の観点から把握する。

2) 古気候の研究成果の活用

わが国の歴史資料等に基づく古気候の研究成果から、温暖化が降雨特性に及ぼす影響について調査する。

3) 気候変化についての研究成果の継続的な調査

地球規模の気候変化についての研究動向を継続的に調査し、降雨特性についての研究成果を分析評価する。

4) GCMと水文モデルとの結合に関する研究

大気大循環モデル（GCM）の出力値から日本列島の主要地方における気候や水文要素、特に降雨特性、の変化を推定するための手法を研究する。この結果を用いた降雨特性の変化傾向の解析を行う。

6. その他の建設省が取り組むべき研究課題

水文の研究課題は以下の通り。

1) 流域水文循環モデルの研究

GCM等の気候モデルに対応する水文循環モデル（蒸発散量・土壌水分量・融雪量等を組み込んだ）を流域規模で作成する。

2) 水文環境モニタリングシステムの構築に関する研究

気候変化が水循環に及ぼすインパクトをモニタリングするため、降水量（降雪量を含む）や流出量等を継続的に観測するための特定観測網の構築およびリモートセンシング技術の適用性についての研究を行う。

3) 河川計画論の研究

温暖化等の影響を評価できる河川計画論、特に気候変動期における非定常確率をもった現象に対する事業計画決定手法を研究する。従来の定常確率に基づく計画論とは大きく異なったものとなると考えられ、その早急な対応が必要である。

水資源の研究課題は以下の通り。

1) 降水量、降水パターンの変化による水資源計画への影響に関する研究

2) 気候変化に伴うダム堆砂への影響に関する研究

降水量、降水パターン、植生の変化に伴う土砂生産等の変化によるダム堆砂への影響に関する検討をする。

3) 海面上昇に伴う塩水遡上の延長に関する研究

取水不能をもたらす塩水遡上の延長について、その現象の解明と影響範囲に関する検討をする。

海岸の研究課題は以下の通り。

1) 来襲波浪、潮位条件の変化に関する研究

海面上昇と気象条件の変化に伴う来襲波浪，潮位条件の変化に関する研究，長期モニタリングによる経年変化の観測をする。

2) 侵食助長機構の解明

海面上昇による海浜地形の変化と影響の検討をする。

3) 海岸保全施設の機能維持対策および計画に関する研究

海面が上昇した場合に海岸保全施設に与える影響について，波力，侵食作用，洗掘，越波等の面からの評価および施設の機能の維持対策，新しい構造物の開発に関する検討をする。

土砂の研究課題は以下の通り。

1) 降水の変化が土砂の生産・流出に与える影響に関する研究

降水量，降水パターンの変化が土砂生産（崩壊，土石流）や流出土砂量に与える影響，それによる災害の増加・拡大に関する検討をする。

2) 砂漠化防止に関する研究

砂漠の前進を防ぐ基礎的な研究をする。

3) 熱帯雨林の保全に関する研究

熱帯雨林の破壊によって生じる荒廃地での土砂の生産，流出，堆積などに関する調査，研究をする。

また，地球温暖化とは直接関連しないが，化石燃料の多使用に起因する酸性雨の研究課題も重要である。

4) 酸性雨に関する研究

酸性雨による植生の衰退，破壊に伴う土砂の生産，流出の増加に関する調査・研究をする。

世 界 の 水 資 源

河川部水文研究室

吉谷 純一



世 界 の 水 資 源

1. はじめに

最近まで人類は地球の水資源の利用に不注意であった。他の天然資源とは異なり、水は水循環のサイクルの中で更新され、天然の無限にある贈り物と考えられていた。しかしながら、最近の20年における急激な水消費量の増大はこのような考えに変更を迫っている。淡水の埋蔵量は無限とは程遠いものと考えられつつある。淡水の不足及び水質汚染の進行は多くの国の経済・社会開発の制約要因となってきた。さらに地球の温暖化や熱帯林の破壊・砂漠化の進行は、地球上の水循環の変化を伴い、水資源の分布に影響する。このような状況は地球の水資源の適切な管理の必要性を示すものであり、科学的な水資源の調査研究が必要となる。

地球上における水資源の分布・水収支については、過去にいくつかの研究が行われている。当初の研究動機は地球上での大気循環に伴う水とエネルギーの循環が地球上の気候と密接な関連を有していることに起因していた。しかし水の資源としての重要性が認識され、経済発展に不可欠な資源としての認識が深まるにつれ、単に科学的興味の対象のみならず、資源としての面からの研究が加えられるようになった。この最初の試みはユネスコが提唱した国際水文学十年計画（IHD）である。IHD計画では、地球の水収支が各国の協力の基に進められ、ソ連の科学者がその取りまとめを担当した。以下この研究成果を中心に、その後実施された、ドイツの科学者による研究を加えて、地球の水資源の賦存量・水収支についての現況を紹介したい。

2. 水資源の特性

水は人類にとり最も貴重な資源であり、水無しでは生命は存在しえない。一般に、水を重要な天然資源として認めることには議論の余地がないにもかかわらず、必ずしも、石炭とか石油とか、鉱物、木材などと同じ意味で資源として認められていない。実際、水の管理と利用の方法は、こうした経済資源とは明らかに違っている。この原因は、世界の多くの地域で割合水が豊富にあることや、水の資源としての性格が明らかでないことに原因があるようである。

水は次に述べる特性を持ち、資源として非常に重要な役割を担っている。

1) 水資源はいたるところにある。

石炭・石油資源等と比べ、水は地球上のいたるところにある資源である。

2) 水資源は不均質な資源である。

ほとんどの天然資源に比べ、水は不均質である。液体で使用されることが多いが、固体、気体としても存在する。地球上の水の99%以上は、利用に適していない。塩分のために利用できなかったり、遠い極地にあるために利用に適しない。

3) 水資源は再生可能な資源である。

地球上で水は大気、陸地、海洋、の間を循環している。人間の技術力は、海水の淡水化・人工降雨・地下水の人工かん養等でこの循環系に影響するようになってきている。

4) 水資源は公共財である。

多くの鉱物資源は私的所有の対象であるが、水資源はいたるところにあること、静止していないこと、等から公共財と見なされることが多い。

5) 水資源は大量に使用される。

利用用途が多く、しかも大量に使われる。石炭・石油等の鉱物生産の総量は毎年80億トン程度であるが、水は3兆トン程度、使用されている。

6) 水資源は安価である。

水資源は公共財であること、大量に存在すること、等の理由により一般に安価である。

3. 地球の水賦存量

水は地球上で固体・液体・気体の三相の形態で存在している。これらの形態で賦存している水資源の総量を評価することが、自然の水循環と経済活動によるその変化を理解するために重要である。

IHD計画では世界の水収支を明らかにするため、世界各国の水文（約18,000）、気象（5,000以上）、大気・海洋、の各観測所、および気象観測船、水文気象観測所のデータを収集した。これらのデータを1900-1960年の期間に調整し、世界の諸国で発行されている水文量の分布図（65枚）を利用して、すべての大陸の長期間の平均の降水量、蒸発量、流出量、および水供給量を統一的な方式で図化した。観測が不足している地域や観測されていない地域は間接法で地図を作成した。北極と南極の地域の観測・調査成果も全球の水収支に使用された。表—1はその結果を地球上の水賦存量と滞留時間として表したものである。水賦存量・滞留時間については異なる数字も報告されているが、それらの相違について深い考察を加えられる段階にはないので、以下にこの表の数値を中心にして説明を加えることとする。

現在地球上にある水の総量は、表—1によると、 $1,386,000,000\text{km}^3$ であると推定されている。これは他の報告に比べ約 $68,000,000\text{km}^3$ （あるいは約5%）少ない。この差は主に世界の海洋に蓄えられている水の量の評価によっており、上述の数値はソ連の海洋科学者が実施した最新の海洋の深さの測定結果によっている。世界の海洋の水の量は $1,338,000,000\text{km}^3$ （あるいは地球の総水量の96.5%）であって、コジナ(Kossina)の算出値（ $1,370,000,000\text{km}^3$ ）より $32,000,000\text{km}^3$ 少ない。地下水流出については、地下水が賦存する垂直な滞水層を考慮して評価すると、地下水賦存量について $23,400,000\text{km}^3$ （ $60,000,000\text{km}^3$ の代わりに）が得られる。湖沼、極地の氷河と氷冠、山岳氷河等、に蓄えられている水についても確からしい値が提案されている。

このような精度の改善は一見してそんなに重要とは考えられないかもしれない。しかし $68,000,000\text{km}^3$ という量はカスピ海の水量の860倍以上であり、世界の海洋の面積の水深に換算すると190mの水深に相当することを想像する必要がある。

地球上の淡水賦存総量は $35,000,000\text{km}^3$ であって、総賦存水量のたった2.53%にしかない。淡水の大部分は北極と南極の氷と永久雪（ $24,000,000\text{km}^3$ あるいは68.7%）の形で存在する。

地球の全体体積に対して水の総量は約780分の1に相当する。水の賦存量の一部は連続的に循環している。大気中を循環する水蒸気は完全凝結やそれに続く降水の過程を含めて、地球表面あたり2~3cmにすぎない。地球上の年降水量（97cm）と比較すると大気中の水分子の平均寿命は約10日程度と推定される。淡水の大部分は極地の氷であって、陸上で利用可能な水は非常に少ない。データによると淡水総量のほぼ99%までが氷か地下水として存在する。利用が容易な湖や貯水池および河川の貯留水は淡水総量のたった0.27%でしかない。しかしながらこの種の水が現在もっとも利用されており、人間活動の結果による大きな変化を受けている。

世界の河川にある水の総量は $2,120\text{km}^3$ であって地球上の水の総量のたった0.00015%、淡水総量の

0.006%にすぎない。それにもかかわらずこの水は人類にとり利用が容易で使いやすいことからもっとも重要な資源である。世界の河川の年総流出量は46,800km³と見積もられ、これは平均的にみて河川の水が年間22回入れ替わること、すなわち滞留時間が16.5日であることを意味している。湖の水の滞留時間はこれより相当長く、乾燥地域の小さな湖で1ないし2年、大きくて深い湖では数百年にもなる。地球の湖の水は平均して17年に一度入れ替わり、湖の水の年平均交換率は1ないし2%より若干大きい。地下水貯留量や極地及び山岳の氷河の完全な交換は、もっと遅く、数百年から数千年の滞留時間であろう。

表-1 地球の水賦存量 (Shiklomanov, IAHS, & IHD/IHP25)

水の存在形態	分布面積 (km ²)	体 積 (km ³)	相当する深さ (m)	世界に対する割合(%)		滞留時間
				水の総量	淡水の総量	
海洋の水	361,300,000	1,338,000,000	3,700	96.5	---	2520年
地下水	134,800,000	23,400,000	174	1.7	---	1400年
淡水の地下水		10,530,000	78	0.76	30.1	
土壤水	82,000,000	16,500	0.2	0.001	0.05	1年
氷河および永久積雪中の水	16,227,500	24,064,100	1,463	1.74	68.7	9700年
南極大陸	13,980,000	21,600,000	1,546	1.56	61.7	
グリーンランド	1,802,400	2,340,000	1,298	0.17	6.68	
北極の島島	226,100	83,500	369	0.006	0.24	
山岳地域	224,000	40,600	181	0.003	0.12	
永久凍土層中の地中氷の水	21,000,000	300,000	14	0.022	0.86	10000年
湖沼中の水	2,058,700	176,400	85.7	0.013	---	17年
淡水湖	1,236,400	91,000	73.6	0.007	0.26	
かん水湖	822,300	85,400	103.8	0.006	---	
湿地の水	2,682,600	11,470	4.28	0.0008	0.03	5年
河川中の水	148,800,000	2,120	0.014	0.0002	0.006	16日
生物体中の水	510,000,000	1,120	0.002	0.0001	0.003	数時間
大気中の水	510,000,000	12,900	0.025	0.001	0.04	10日
総貯留水量	510,000,000	1,385,984,610	2,718	100	---	
淡水総量	148,800,000	35,029,210	235	2.53	100	

4. 世界の水収支

4.1 水収支式

地球表面の単位面積あたりの水収支は

$$P = E + D + R + U$$

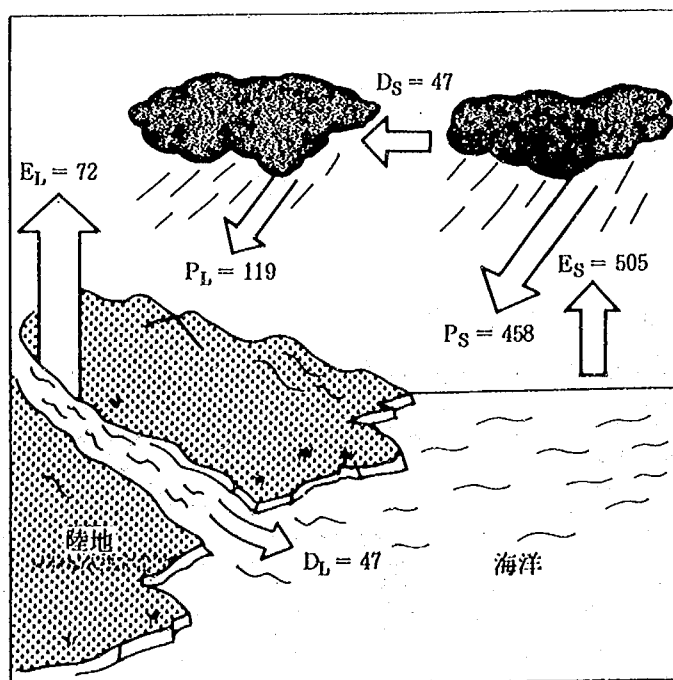
で表される。ここに、 P は降水量、 E は蒸発量、 D は流出量、 R は貯留量あるいは賦存量、 U は水利用量あるいは消費量、である。これは降水により地球表面に加えられた水がその他の要素に分配されることを表している。 R は土壌中の一時的な水の貯留量で、 U は化学的あるいは物理的に拘束される水量を表す。長期間の平均化をすると、 R と U は一定とみなせ、これらの量の変動は重要ではなくなるので、簡略化されて、

$$P = E + D$$

となる。地球全体の水賦存量は変化していないと考えると、全球では降水量と蒸発量は等しくなる。

$$P_G = E_G$$

添え字 G は地球全体に対する量を意味する。この式は陸地と海洋での P と E が等しいことを表すものではない。陸地での値に添え字 L 、海洋での値に添え字 S を付けると、海洋から蒸発した水分が陸地に運ばれ(D_S)、陸地から海洋への流出(D_L)となる($D_S = D_L$)。 $P = E$ は海洋へ流出しない閉鎖された内陸流域において成立する。図一1は地球上の水循環の関係を表現する概念図である。



単位：10³ km³

P_S : 海洋への降水量

P_L : 陸地への降水量

E_S : 海洋からの蒸発量

E_L : 陸地からの蒸発量

D_S : 海洋から陸地への水蒸気移動量

D_L : 陸地から海洋への河川流出量

図一1 地球上の水循環

4.2 世界の水収支

過去に気象学、気候学、地理学、海洋学、水文学等の専門家から世界の水収支についての調査成果が報告されている。それを表—2 に一覧表にして示す。この表はドイツのバウムゲルトナー (Baumgartner) とライヒェル (Reichel) による “The World Water Balance” (1974) に示された値に IHD によるソ連の調査結果 (ユネスコからの翻訳出版、コルズン (V.I. Korzun), “World water balance and water resources of the earth”) を組み入れて作成したものである。表中の数値の相違は使用したデータや計算前提によるものである。上記のドイツとソ連の研究を比較すると、この両者の差は、陸地全体では大きくはないが、個々の大陸では相当異なっていて、流出量の差はアフリカと北アメリカで最大となっている (32% と 40%、ソ連の方が多い。)。この差はドイツの推定値では内陸の地域の流出量の過小評価にあることによって説明し得る。降水量と蒸発量の違いはヨーロッパで最大で、ソ連の方が 20—25% 大きく評価している。

これらの相違の理由は調査の目的と使用された手法にある。IHD の調査の目的は、各大陸や地勢区分毎の水資源量とそれらの空間・時間変動を求めること、人類活動の影響を評価すること、にあるので、河川流出量の信頼のおける長期間の直接観測値を使用している。ソ連の調査では水収支の三要素である、降水量・流出量・蒸発量は各独立に、世界中の気象・水文観測網からのデータに基づき決定され、その結果を地図上の分布として表現し、大陸別に収支が検討された。データの不足しているところでは間接的な相関式等の推定法が採用されている。

一方バウムゲルトナー (Baumgartner) 等の研究の主目的は地球の水収支とその大陸と海洋の比率を評価することにある。そのため世界全体の河川流出量は世界の降水量や蒸発量のたった 7% 程度にすぎないので、河川流出量は降水量と蒸発量の差として決定されている。この方法では流出量の決定に大きな誤差が生じる恐れがある。この時の蒸発量は主に Thornthwaite 法で定められる。この方法では、流出が非常に少ない水の不足している地域で大きな誤差となる。このため水収支の三要素を各々独立に推定することが望ましい。

表—2 世界の水収支の比較

(Baumgartner/Reichel, “The world Water Balance”, 表—2 に基づき作成)

発表者	発表年	陸地 降水量	陸地 蒸発量	陸地から海洋への流出 = 海洋から陸地への 水蒸気移動 ($10^3 \text{ km}^3/\text{year}$)	海洋での 降水量	海洋での 蒸発	全球降水量 (= 全球蒸発量)	
							($10^3 \text{ km}^3/\text{year}$)	(mm)
Albrecht	1960			33	378	411	(478)	(940)
Budyko	1963	107	61	46/48	404	452	512	1000
Mira Atlas	1964	108	72	36	412	448	520	1020
Nace	1968	100	69	31	319	350	419	
Lvovich	1969	109	72	37	411	448	520	
Mather	1970	106	69	37	382	419	468	955
Budyko	1970			43	412	455	(519)	(1020)
Baumgartner/Reichel	1973	111	71	40	385	425	496	973
Korzun	1974	119	72	47	459	506		

IHDの調査では観測降水量を修正したことから、全球の降水総量は1130mm/year、あるいは577,000km³/year、となり、ルヴォビッチ (Lvovich) のものより10%多く、ネース (Nace) より38%多いことになる。大陸の総降水量は、もっとも詳細な以前の計算に比べ約11%多く、800mm/yearあるいは119,000km³/yearとなる。海洋上の降水量は1270mm/year、あるいは458,000km³/yearとなる。地表水、地下水、氷河、を含む総流出量は、以前のものに比べ11%大きく、315mm/yearとなり、47,000km³/yearである。海面からの蒸発の平均は1400mm/year、あるいは505,000km³/yearで、陸地からは485mm/year、あるいは72,000km³/yearである。世界の海洋から年間蒸発する水の量は87.5%であって、陸地からは12.5%である。この水収支解析では、地球大気と宇宙の間の水の交換を考慮していない。

表—3に大陸別の陸地の水収支を示す。流出のある部分は蒸発や水利用にともなう消費水となり海洋には復帰しない。海洋へ直接流出する地域では、蒸発損失および経済活動による損失は1,090km³/yearに達する。海洋へ流出しない内部流出地域では、これらの損失は約1,000km³/yearである。この調査データによると世界の海洋の淡水の収支は次のようである；

降水量 1,270mm/year (458,000km³/year)

蒸発量 1,400mm/year (505,000km³/year)

大陸からの水の流入量 130mm/year (47,000km³/year)

地図上で比較すると、水の余剰な地域と足りない地域が世界の海洋にあることがわかり、大規模な水の交換過程と海洋の塩分の分布を理解することができる。

河川からの流出総量は南極からの氷河・氷山流出を除外すると、44,500km³/year、このうち海洋への直接流出量は43,500km³/year、で1,000km³/yearの流出量は河川からの流出量が完全に蒸発量で消費される、カスピ海やアラル海、チャド湖のような内陸流出量である。このような地域での河川からの水の利用はこれらの内陸海の水量と塩分のバランスを変化させる。

表—3 陸地の水収支 (Shiklomanov, IAHS)

大陸名	降 (mm)	水 量 (km ³)	蒸 発 (mm)	量 (km ³)	流 出 (mm)	量 (km ³)
ヨーロッパ	790	8,290	507	5,320	283	2,970
アジア	740	32,200	416	18,100	324	14,100
アフリカ	740	22,300	587	17,700	153	4,600
北アメリカ	756	18,300	418	10,100	339	8,180
南アメリカ	1,600	28,400	910	16,200	685	12,200
オーストラリアと オセアニア	791	7,080	511	4,570	280	2,510
南極	165	2,310	0	0	165	2,310
全陸地	800	119,000	485	72,000	315	47,000
海洋への流出地域	924	110,000	529	63,000	395	47,000*
内海への流出地域	300	9,000	300	9,000	34	1,000**

* 河川を通らない地下水流出を含む

** 蒸発による地域内の損失

以下に調査の方法と結果の概要を示す。

(a)降水量

降水量は五万カ所以上の気象観測所のデータにより推定された。さらに観測値は通常実際の値より少ないと考えられるので修正を施した。降水量計の受水面積や設置高度の相違、風帽の形状差、などを考慮し、降水量をソ連の標準降水量計（面積 500cm^2 、高さ 2m ）の数値に換算し、それから地表の値に換算した。修正係数はソ連の、いろいろな自然条件にある水収支調査所、世界各国の降水量計を用いたソ連水文研究所の特殊降水量観測所、においての長期実験に基づき決定した。雪やあられの降水量は過小評価されるので、修正係数は高緯度で最大（20から50%まで）とした。海洋での降水量は、平均的な月の降水頻度（気象観測船による記録）と島や海岸の気象観測所からのデータによる平均的な一回あたりの降水量強度のデータから推定されている。

その結果、地球上の降水量の評価はかなり信頼度が上昇しているといえるが、従来の結果に対して、この研究成果は、降水量の修正が大きな地域では流出量に占める降水量の割合を減少させ、蒸発量の割合を増大させる傾向にある。陸上の年降水量平均値は 800mm 、海洋上では $1,270\text{mm}$ 、全球平均値は $1,130\text{mm}$ となる。この値は Albrecht (1960) , Nace (1968) らのデータより15–30%大きい。地球上の平均で、流出率は30%以下となっている。

(b)可能・実蒸発量

可能・実蒸発量は、平坦な地域では、放射収支、気温、湿度、乱流交換、を考慮した可能蒸発量推定式、山地では蒸発量の高度変化を考慮した経験式、で推定した。1,700観測所の月平均可能蒸発量の計算値に基づき、陸地からの年蒸発量を推定し、地図に編集した。土壌からの月蒸発量を計算するには熱収支と水収支の式を組み合わせた解、および土壌水分含有量と蒸発量の経済的關係、を使用した。この蒸発計算の精度を、熱収支法、水収支法、蒸発量計の方法で検証した。

(c)河川流出量

河川流出量は通常他の水収支要素に比べ信頼度は高い。10年以上の期間の観測値を有する18,200観測所のデータにより、適切な水文観測網を持つ地域の年流出総量図を作成した。これには世界各国で出版された27地図が用いられた。観測されていない地域及び観測が不足している地域では、気象データに基づく間接法で流出量が推定されている。

世界の海洋への水の流出を評価するため、約 $2,000\text{km}^3/\text{year}$ の、経済需要による流出損失を考慮している。北極と南極の氷河の流出（約 $2,000\text{km}^3/\text{year}$ ）は世界の海洋と全球の淡水の水収支に重要な役割を演じている。海洋への河川からの流出量は $44,700\text{km}^3/\text{year}$ と見積もられ、これはすでに報告されている推定値に比べ10–15%大きい。

(d)海洋への地下水流出量

地下水は、マントルからの処女水、河川流出の地下水成分、河川を経ずに直接海洋へ流出する地下水、の形で海洋へ流出する。世界の海洋への処女水の流出量については水文地質学者はこれが $0.5-1.0\text{km}^3/\text{year}$ を越えないであろうと推定している。これは水収支の他の項目に比べ非常に小量

である。河川の流出に含まれる地下水流出は除外すると、河川を経ずに海洋へ流出する地下水が主要な地下水流出源であって、その範囲の評価は非常に難しい。この調査では世界の海洋への地下水流出を、近似的に海岸地域の水文地質パラメーターの平均値と陸域と海の境界部での滞水層の厚さを与え推定している。滞水層の厚さを200mとして、海岸線1kmあたりの地下水流出量は $10,000\text{m}^3/\text{day}$ と推定され、海岸線の全長を600,000kmと考えると、大陸から海洋への全地下水流出量は $2,200\text{km}^3/\text{year}$ 、と見積もられる。海洋への地下水流出量の役割は重要ではないが、海洋の塩分バランス、海洋の熱と生物相に大きな影響がある。

(e)北極と南極の氷河の流出

氷河からの流出は氷河が融けるものと冰山からなる。氷河の融解は地表の体積の減少量から見積もられ、南極ではあまり大きな割合ではなく、無視しえるが、北極では、融解流出は大きく ($230\text{km}^3/\text{year}$)、全体の氷河流出量 ($700\text{km}^3/\text{year}$) のほぼ30%にもなる。氷河流出の主要な部分はグリーンランドの氷河から生じる ($603\text{km}^3/\text{year}$)。南極から冰山として流出する年間の氷の流出量は $1,620\text{km}^3/\text{year}$ 程度である。平均した氷河の流出総量は南極と北極を合わせて、ほぼ $2,700\text{km}^3/\text{year}$ と見積もられている。

(f)世界の海面水位の変動

平均年水位の変動の特性と振幅を調べるために、海岸に沿ってほぼ均等に分布する、長期間の観測記録のある信頼のおける126観測所のデータから海水位の変動を計算した。その結果、1900年から1964年の間で、世界の海洋の水位は平均して年間1.5mmの割合で上昇していることがわかった。この間の上昇量は10cmである。この内の大部分はこの期間の後半に生じており、気候の温暖化による北極と南極の氷の融解によるものと思われる。また陸地の水賦存量は内部流出地域の湖沼の水位の低下によりかなりの減少を示してきている。

5. 世界の水資源

5.1 世界の水資源の分布と供給可能性

人類の活動にとって使用可能な水資源は、河川、湖沼、地下の淡水であって、海水のように塩分を含んだ水は用途が限られ、脱塩することで初めて価値がでるものである。人類が工業や農業、都市用水として表流水を利用してきた最大の理由は交換が早くその自浄作用によるところが多い。海洋起源の水分が河川水の主要な起源である。大気循環の特性や、大気の水含有量の違い、蒸発や凝縮の条件の相違により、大陸からの総河川流出量は大きく異なる。表—4 に大陸別の河川水の水資源量を示す。単位面積あたりの最大河川流出量はオセアニアと南アメリカの島島で発生する。一方アフリカやオーストラリアは比較的乾燥した大陸であって最小の平均河川流出量を示す。全陸地 (149,000km²) からの平均年流出比流量は10ℓ/s/km²で、オセアニアの島島では51.1、南アメリカでは21、であるが、アフリカでは4.8、オーストラリアでは1.44ℓ/s/km²、である。

表—4 世界の更新される水資源量 (Shiklomanov et al, IAHS)

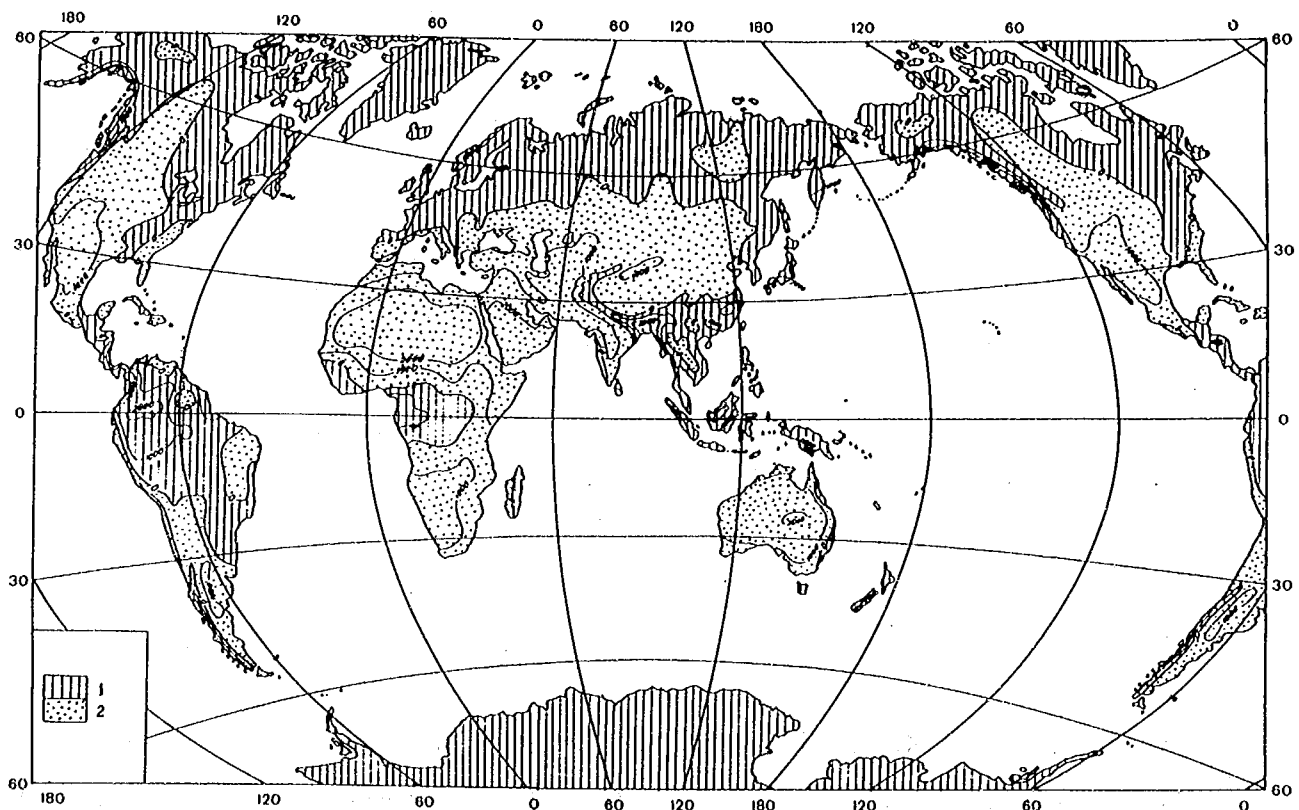
大陸 (島を含む)	年河川流出量 (mm)	年河川流出量 (km ³)	総流出量に対する 割合 (%)	水に関連 する面積 (10 ³ km ²)	比流量 (ℓ/s/km ²)	人口 (1971) (10 ⁸ 人)	一人あたり 水量 (10 ³ m ³ /year)
ヨーロッパ	306	3,210	7	10,500	9.7	654	4.9
アジア	332	14,410	31	43,475	10.5	2161	6.7
アフリカ	151	4,570	10	30,120	4.8	290	15.8
北アメリカ	339	8,200	17	24,200	10.7	327	25.1
南アメリカ	661	11,760	25	17,800	21	185	63.6
オーストラリア (タスマニア含む)	45.3	348	1	7,683	1.44	12.7	27.4
オセアニア	1610	2,040	4	1,267	51.1	7.1	287
南極大陸	165	2,310	5	13,980	5.2	---	---
全陸地	314	46,800	100	149,000	10.0	3637	12.9

注) 陸地の水収支の標注の数値と若干異なる。

大陸内部でも河川流量は非常に不均等に分布している。水分欠損 (可能蒸発量と実蒸発量の差) 以上の河川流出の余剰 (これは実際上は降雨量と可能蒸発量の差を表す) はある地域の水分状態の有効な指標である。最適状態はP—E がゼロに近いとき、あるいは可能蒸発量が熱帯地域以外の緯度で200mm、熱帯地域で400mm程度、降水量より多いときに発生する。P—E が正になるのは湿地の存在をしめし、農業のための排水と干拓が必要な地域を示す。逆にP—E の負値は水分不足のため、農業用にかんがいする必要がある地域を示す。P—E の地球の陸地平均は124mmである。これは地域により異なりサハラ砂漠では-2,000~2,500mm (サハラ砂漠、アラビア半島、中央オーストラリア) から、2,000~3,000mm (南アメリカの熱帯地域の風上斜面、ヒマラヤ、オセアニアの島島、北アメリ

カの北東部等)。図一2に、水が過剰にある地域と不足している地域の分布を示す。この図は水資源の非常に不均等な分布を示すものである。事実、広い範囲に乾燥気候が分布し、すべての大陸に水の不足している地域がある。これらの地域はヨーロッパの33%、アジアの60%、北アメリカの南西部、大部分のアフリカ、南アメリカのほぼ30%、およびオーストラリアの大部分、を占めている。逆に上述のすべての大陸に水が過剰な地域がある。

世界の大部分の地域では、年間の流量変動があるので、年間流出量は水の利用可能性を示す良い指標とはいえない。流出の大部分は洪水期（融雪流出期）に生ずる。この流出変動は、ヨーロッパでは流出の最大の部分は（年総流出量の48%）4月から7月に生じ、アジアでは5月から10月に80%、アフリカでは1月から6月に74%、北アメリカでは5月から8月に54%、南アメリカでは、3月から9月に70%、オーストラリアでは1月から3月に68%、となっている。全陸地域では年総流出量の63%が5月から10月に流出する。



図一2 表流水の余剰地域(1)と不足地域(2) (mm) Facets of Hydrology IIより引用

5.2 世界のいくつかの国の水資源量

ある国や地域の水資源の定量的特性を評価するには、絶対量だけではなく、単位面積あたりの年間総量、あるいは人口あたりの量、が用いられる。表一5に世界のいくつかの国の水資源量を示す。世界の河川流出量の絶対値からみると、ブラジルが世界全体の20%以上の水資源を占め、第二位のソ連

(10.6%) の約二倍に相当する。第三位と四位は中国 (5.7%) とカナダ (5.6%) である。単位面積あたり ($1,250,000\text{km}^3/\text{year}$) 及び単位人口あたり ($98,800\text{m}^3/\text{year}/\text{capita}$) で第一位はノルウェーである。ソ連の単位面積あたりの水資源は $213,000\text{km}^3/\text{year}/\text{km}^2$ で、アメリカの $207,000\text{km}^3/\text{year}/\text{km}^2$ の約6倍である。

世界の人口は急激に増大しており、1850年には人口は約12億人程度であったが、現在は52億人を越えていると推定され、21世紀初めには60億人を越えると考えられている。1950年代以降の人口増加は特に激しい。このため1850年代には一人あたりの水資源量は $33,300\text{m}^3/\text{year}$ であったが、現在では $8,500\text{m}^3/\text{year}$ に減少している。このため人間の水資源へのインパクトが増大し、水質の悪化を招いている。

表-5 世界の国々の水資源量 (IHD/IHP25)

国名	面積 千km2	人口 百万人 1983年	長 期 間 の 平 均 年 河 川 流 出 量 総量 km ³	比流量 千m ³ /km ²	一人あたり 千m ³	世界の総流出 %
ブラジル	8512	129.9	9230	1084	71.1	20.7
ソ連	22274	275.0	4740	213	17.2	10.6
中国	9561	1024.0	2550	267	2.49	5.7
カナダ	9976	24.9	2470	248	99.2	5.6
インド	3288	718	1680	511	2.34	3.8
米国	9363	234.2	1940	207	8.28	4.4
ノルウェー	324	4.1	405	1250	98.8	0.9
ユーゴスラビア	256	22.8	256	1000	11.2	0.6
フランス	544	54.6	183	336	3.35	0.4
フィンランド	337	4.9	110	326	22.4	0.2
日本	378	121.0	303.4		2.5	
全陸地 (南極除く)	134800	4665	44500	330	9.54	100

日本の資料は、国土庁水資源白書による

5.3 水需要量の増大

水資源は生活用水、工業用水、農業用水、発電用水、として使用される。このような使用の過程で、取水された水のうち消費され再び利用することができない水量を消費水量という。表-6 は今世紀中の世界の水消費の動向を示している。現在の人類の各種用途への水需要量は約 $4,000\text{km}^3$ と推定され、20世紀末には20世紀始めの約9倍、 $5,000\text{km}^3$ になるものと推定されてる。この推定値はFAOの水予測とほぼ一致している (M.Holy, Water and the Environment, Irrigation and Drainage Paper No.8, FAO, 1971)。水需要量は、1900年から1950年にかけては 700km^3 の増加量であったが、それに続く25年間では $1,900\text{km}^3$ にもなっている。同様な増大が今後も予測される。完全に消費される消費水量も、1980年には $2,000\text{km}^3$ で、今世紀始めにはこれは年間 420km^3 、今世紀末には年間 $3,000\text{km}^3$ と推定されている。現在の総使用水量の約69%はかんがい用水で、かつ回復不能な消費水量の90%はかんがいによるものである。

表一 6 各種の人間活動による世界の使用水量の変遷 (IHD/IHP25)

用途	1900年	1940年	1960年	1980年		2000年	
かんがい面積 (1,000,000ha)	47.3	75.8	142	217		347	
	(km ³ /年)	(km ³ /年)	(km ³ /年)	(km ³ /年)	(%)	(km ³ /年)	(%)
農業	525 409	893 679	1550 1180	2290 1730	68.9 88.7	3250 2500	82.6 88.2
工業	37.2 3.5	124 9.7	330 24.9	710 61.9	21.4 3.1	1280 117	24.7 4.0
都市	16.1 4.0	36.3 9.0	82.0 20.3	200 41.1	6.1 2.1	441 64.5	8.5 2.2
貯水池からの蒸発	0.3 0.3	3.7 3.7	23.0 23.0	120 120	3.6 6.1	220 220	4.2 7.6
総計 (まるめた)	579 417	1060 701	1990 1250	3320 1950	100 100	5190 2900	100 100

上段の数字は総使用水量、下段の数字は消費水量、を与える。

使用水量は大陸ごとに異なっている。表一 7 に世界の大陸別、地域別の年流出量と使用水量を示す。全使用水量の50%以上および消費水量の70%以上がアジアで生じる。アジアには広大なかんがい地域があり、人口の大部分が集中している。河川流出量と世界の使用水量を比較すると、世界の使用水量は全河川流出量の約8%、完全消費水量は4.5%に相当する。今世紀末にはこれはおのおの、13%と7%になるであろう。ヨーロッパとアジアにおける現在の総使用水量は全河川流出量の13-14%に相当しており、近い将来にはこれは20-25%になると思われる。同様に南アメリカの現在の使用水量は河川流出量のたった1%にすぎないが、今世紀末には2-3%になるであろう。

表-7 世界の大陸別、地域別の年流出量と使用水量

No.	大陸・地域	平均年流出量		一人あたり 利用可能量 m ³ /year	使用水量 (km ³)			
		mm	km ³ /year		1980年		2000年	
					総量	消費水量	総量	消費水量
	ヨーロッパ	310	3210	4.6	435	127	673	222
1.	北部	480	737	32.7	9.9	1.6	13.3	2.3
2.	中央部	380	705	2.4	141	22.3	205	33.3
3.	南部	320	564	2.8	132	50.6	226	73.1
4.	ヨーロッパソ連 (北部)	330	601	24.1	17.5	2.1	29.2	5.2
5.	ヨーロッパソ連 (南部)	150	525	3.2	134	50.4	200	108
	北アメリカ	340	8200	21.3	663	224	796	302
6.	カナダ・アラスカ	390	5300	219	41	8	98	15
7.	米国	220	1700	6.8	527	155	531	194
8.	中央アメリカ	450	1200	9.4	95	61	168	93
	アフリカ	150	4570	9.4	168	129	317	211
9.	北部	17	154	0.69	100	79	150	112
10.	南部	68	349	5.7	23	16	63	34
11.	東部	160	809	6.9	23	18	45	28
12.	西部	190	1350	9.2	19	14	51	34
13.	中央部	470	1909	46.0	2.8	1.3	8.4	3.4
	アジア	330	14410	5.1	1910	1380	3140	2020
14.	中国北部とモンゴル	160	1470	1.9	395	270	677	360
15.	南部	490	2200	2.1	668	518	1200	865
16.	西部	72	490	2.3	192	147	262	190
17.	南東部	1090	6650	7.1	461	337	741	435
18.	中央アジアと カザクスタン	70	170	2.0	135	87	174	128
19.	シベリアと極東	330	3350	96.2	34	11	49	25
20.	トランスコーカサス	410	73	4.5	24	14	33	21
	南アメリカ	660	11760	48.8	111	71.0	216	116
21.	北部地域	1230	3126	72.9	15.4	11.0	32.9	19.5
22.	ブラジル	720	6148	50.3	23.2	10.3	48.1	20.8
23.	西部	740	1714	45.8	40	30.2	64.5	44.4
24.	中央部	170	812	20.5	32.6	19.7		
	オーストラリアと オセアニア	270	2390	64	29.4	14.6	46.8	22.0
25.	オーストラリア	39	301	19.8	27	13.1	42.3	19.7
26.	オセアニア	1560	2090	92.4	2.4	1.5	4.5	2.3
	陸地全体		44500		3320	1450	5190	2900

6. 水資源への人間活動の影響

人類の活動が増大し、乱されていない水文状態の河川や湖沼はきわめて少なくなっている。水文学の歴史を見ると、人間の河川流出への影響の評価が常に重要な課題であったことがわかる。人間活動が河川流出へ与える影響の研究は単に科学的な興味だけではなくなっている。

水資源の開発に伴う水文循環への影響はその程度に応じて次の4種類に大別される。

- 1) 河川、湖沼、貯水池、地下水揚水、等の水の分流による河川流量の減少
- 2) 水路網の変更（人造湖の建設、堤防、河川改修、水路しゅんせつ）による水文状態の変化
- 3) 流域表面の変化（農地、湿地の排水、森林伐採、植林、都市化）による影響
- 4) 大気汚染や、大規模水資源開発による水循環の変化に伴う水文環境の変化、といった、気候の変化をもたらすようなインパクトによる水文循環への影響

図—3に人間活動が大きく影響しているソ連の河川の例を示す。1940年以前のソ連の河川は自然の流況であったが、1955年以後には年流出量の減少が激しくなり、ソ連南部の河川では（ボルガを除き）1971年—1975年では17—40%も流出量が減少し、シルダリヤ川では60%も減じている。この主原因は農業用水の取水による河川流量の減少である。このためこれらの河川が流入するカスピ海やアラル海に重大な影響を与えている。

カスピ海とアゾフ海では流入水量の減少のため、アゾフ海では29%、アラル海では13%の流入量の減少が認められた。このためカスピ海では約1.4m水位が低下し、海岸域の生態系に大きな影響を与えている。アゾフ海では塩分濃度が10%から13—15%に増大し、漁業に大きな被害となっている。アラル海では流入量が70—80%程度に減少したため、海水位が7mも低下し、塩分濃度の増大による生態系の破壊が生じている。

すでに実施された、あるいは現在計画中の大規模水資源開発プロジェクトの全ては気候が定常であるという仮定、すなわち過去に観測された気候特性が流出と同様将来に当てはめられる、という仮定によっている。しかし最近の研究では地球的な規模での気候変化の傾向を示す信頼のおけるデータがえられている。特に炭酸ガスの増大は地球の平均気温を今世紀末までに0.5—1.0°C、50—70年後には3—5°C増大させると考えられている。このため気候が変化し、水文条件も変化するであろう。この変化についての予測計算が行われ、その結果は北緯50度より以北では湿度がかなり増大し水資源も増加するが、南部では乾燥が予測されることを示している。将来の気候変化は非常に複雑で総合的な研究が必要であるが、これらの変化は水資源の分布の不均衡を増大させる結果となろうと予想される。

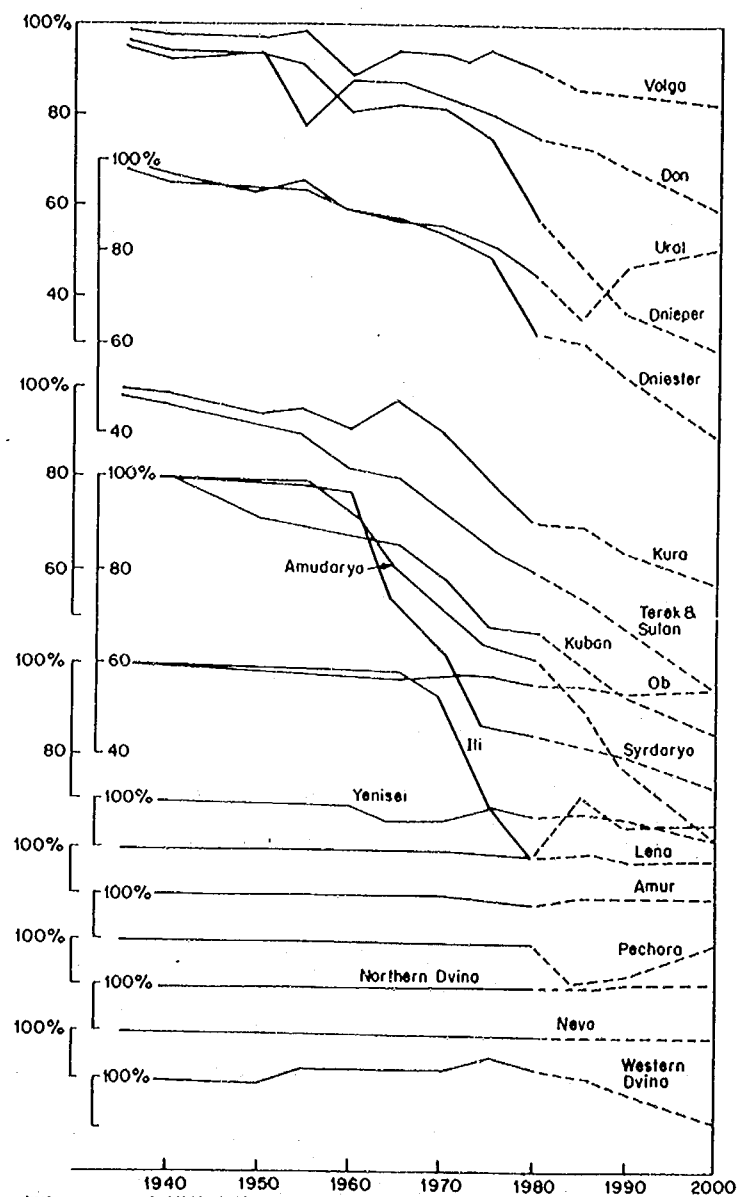


図-3 人間活動によるソ連河川の年流出量の変化

Facets of Hydrology IIより引用
 natural period; for the other rivers, natural water resources of the basins have
 been accepted as the norm of 100%)

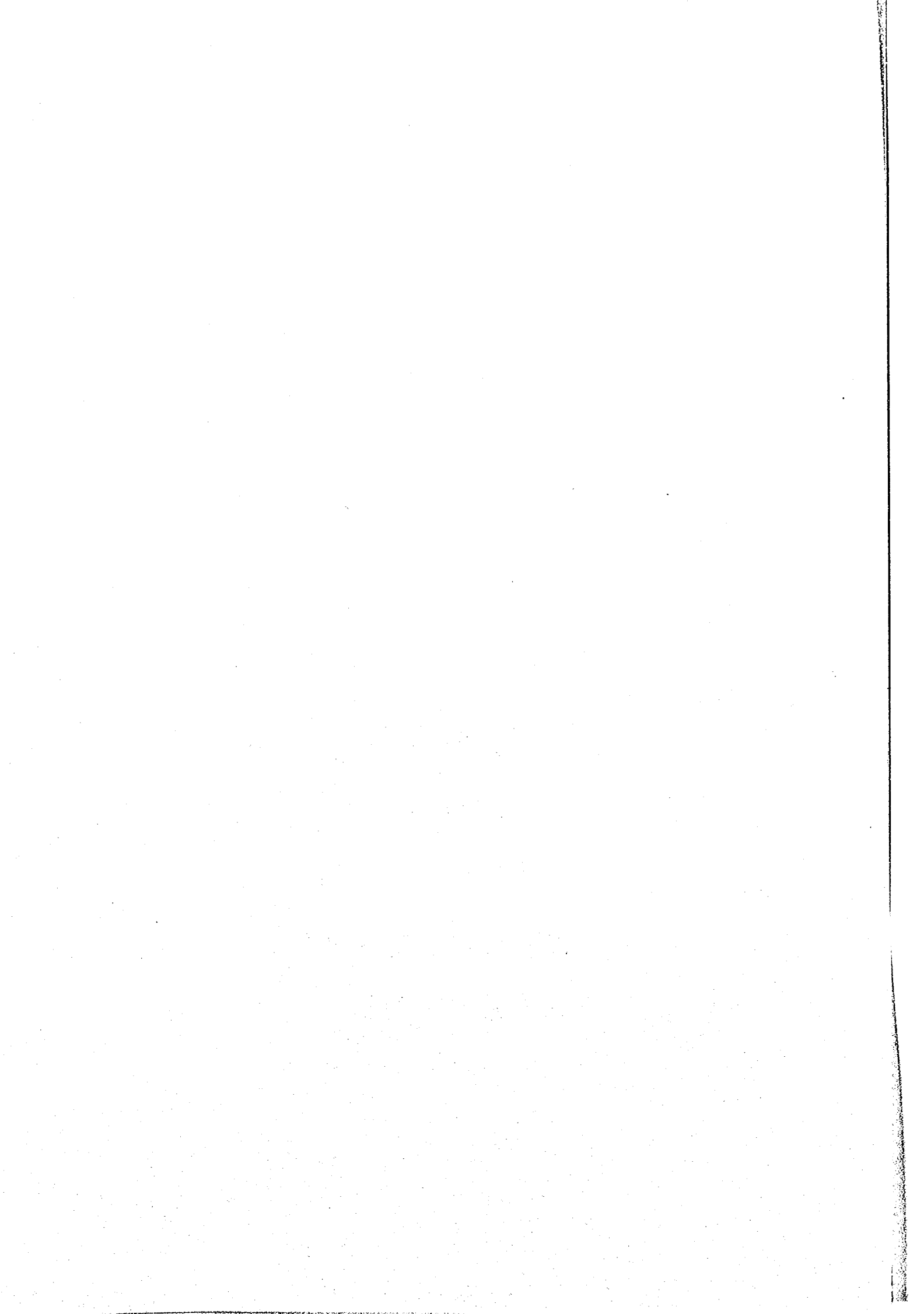
参考文献

- Baumgartner, A. and Reichel, E. : The World Water Balance, Mean Annual Global, Continental and Maritime Precipitation, Evaporation, and Runoff, Elsevier (1975)
- Baumgartner, A. : Water balance, World Climate Research Programme study conference, Maryland (1981)
- Holy, M. : Water and the Environment, Irrigation and Drainage Paper No.8, FAO (1971)
- Kalinin, G.P. : Global Hydrology, Translated from russian., Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem (1971)
- Korzun, V.I. : World water balance and water resources of the earth, UNESCO,
- Lvovitch, M.I. : The global water balance, EOS, 54, pp.28—42 (1973)
- Shiklomanov, I.A. : The world water resources : How much water do we really know about them ?, IHD/IHP 25周年記念シンポジウム (1990)
- Shiklomanov, I.A. : Facets of Hydrology II, Edited by J.C.Rodda, pp.345—387 (1985)
- Shiklomanov, I.A. and Sokolov, A.A. : Methodological basis of world water balance investigation and computation, IAHS Publ. no.148, pp.77—92 (1985)

温暖化による雪資源の変化について

ダム部水資源開発研究室

盛谷 明弘



温暖化による雪資源の変化について

1. はじめに

日本の国土面積の半分以上は積雪地域であり、冬季の降雪・積雪の影響を受けることとなる。冬季の降雪は積雪となって流域に貯留され、気温の上昇にともなって融雪出水が始まる。この特性を水資源という面から見ると、利用可能量及びその期間の安定した資源であるといえる。これは、冬季にダム貯水池を発電や都市活動用水の補給で空にしておいても、融雪出水により確実に貯水量を回復できると計算できるからである。

降雪・積雪と気温の間には密接な関係があり、温暖化の影響を大きく受けるものと考えられる。すなわち、冬季の気温上昇により降水が雨となることが多くなって降雪量が相対的に少なくなることにより、流域内の積雪量及び融雪による河川の流出量は少なくなるものと考えられる。また、気温の上昇により融雪の生ずる時期が早期化することも考えられる。

ここでは、雪の水資源としての利用可能性への上記のような影響を把握するために、過去の気象データの収集・整理を試みた結果について紹介するものである。

2. 積雪深の観測資料の収集と整理

積雪量深の観測資料の収集対象地点及び期間は、表—1に示す通りであり、前年の11月から4月までの月最大積雪深を収集の対象とした。ただし、資料数等を勘案して以下の検討の対象期間は1931～1990年の60年間とした。整理に用いた指標としては、融雪の開始時にどれだけの積雪が流域にあるかが水資源としての利用可能性に関係してくるため、各年の最大積雪深及びその生起月をとった。

年最大積雪深については、各地点毎に1951～1980年の年最大積雪深の平均値を求めて、この平均値に対する比（以下では年最大積雪深比と呼ぶ）として整理した。年最大積雪深の生起月については、各地点毎に1951～1980年の生起月の最頻値を求めて、この最頻値からの偏差として整理した。

また、表—1中に示した16地点については前年の12月～2月の月平均気温から3カ月の平均気温を求め、その全地点の平均値を冬季平均気温として、気温の指標として用いることとした。

表—1 積雪深資料収集地点一覧

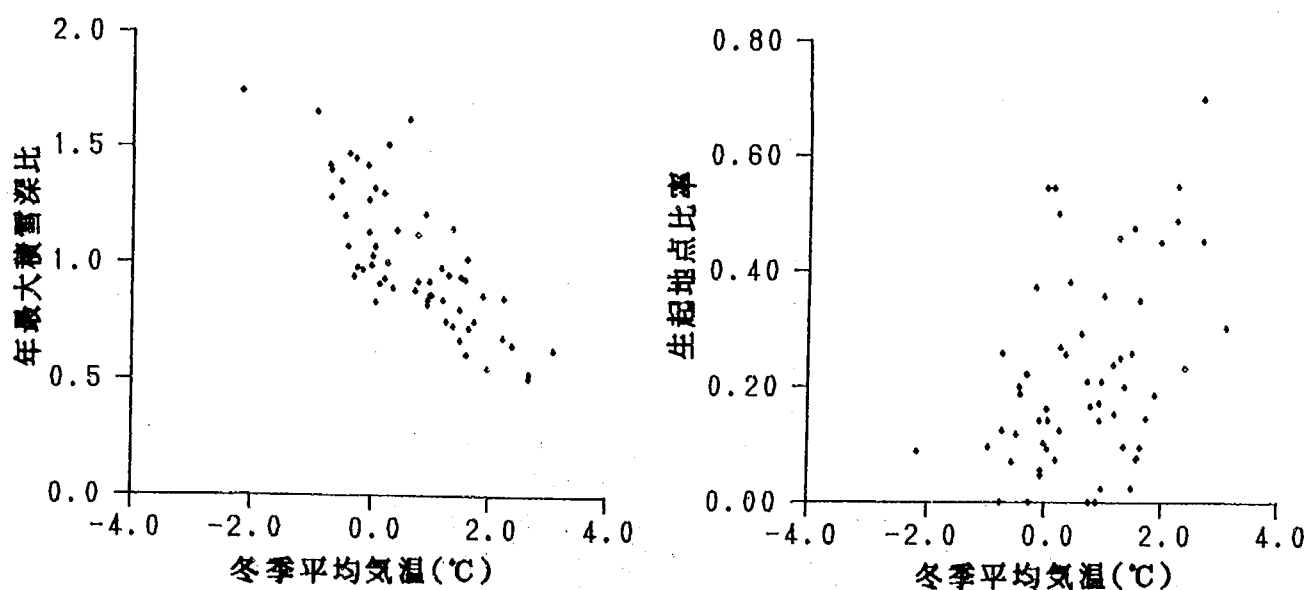
	観測地点	標高 (m)	収集開始年		観測地点	標高 (m)	収集開始年
北海道	美深	77	1930	北	水上	520	1950
	月形	50	1940		草津	1230	1931
	札幌	17	1878		新潟	2	1886
	倶知安	174	1950		長岡	23	1905
東	青森	3	1893	北	入広瀬	230	1940
	弘前	30	1935		高田	13	1913
	休屋	405	1935		飯山	313	1930
	岩見三内	55	1938		長野	418	1915
	秋田	9	1899		白馬	703	1950
	角館	58	1938		富山	9	1940
	横手	75	1938		伏木	12	1909
	鶴岡	16	1930		砺波	58	1955
	新庄	105	1930		七尾	14	1934
	横岡	100	1930		金沢	28	1904
	山形	153	1894		鳥越	180	1930
	盛岡	155	1923		福井	9	1901
北	栗石	208	1930	近	大野	175	1911
	湯田	250	1930		高山	580	1901
	福島	87	1915		白川	478	1930
	喜多方	212	1930		木之元	107	1940
	若松	212	1930		彦根	87	1910
	田島	570	1930				

注) 標高はアメダス観測地点の値
下線は冬季平均気温算定に用いた地点

3. 気温と年最大積雪深及びその生起月との関係

2で求めた冬季平均気温と年最大積雪深比の全地点平均値の関係を整理すると図—1のようになり、両者の間には相関係数が -0.788 と負の相関が見られることがわかる。また、1931年からの10年毎の平均値同士を整理した場合にも、同様に負の相関が見られた。

次に、年最大積雪深の生起が1951～1980年の最頻値より早い地点数の全観測地点数に対する比率と、冬季平均気温との関係を整理すると図—2のようになる。図よりわかるように両者の間には相関係数が 0.386 となるように弱い正の相関が見られることがわかる。2で述べたように年最大積雪深の生起については月単位というかなり粗い時間単位を用いていることを考慮すると、冬季の平均気温が高い時期には融雪の早期化傾向が見られるといえる。



図—1 冬季平均気温と年最大積雪深比との関係 図—2 冬季平均気温と年最大積雪深の生起が早くなった地点の比率との関係

4. 寒冷な時期と温暖な時期との年最大積雪深の比較

全国の46カ所の気象官署での月平均気温資料より求めた全国平均気温からは、1931年以降で最も寒冷な10年間は1938～1947年（期間の平均気温13.88℃）で、最も温暖な10年間は1958～1967年（期間の平均気温14.63℃）である。そこで、この2つの期間での積雪状況の比較を行った。まず、年最大積雪深比の全地点平均の10年平均値を比較すると、寒冷な時期が1.23、温暖な時期が0.99となった。また、年最大積雪深比の全地点平均の10年最小値を比較すると、寒冷な時期が0.73、温暖な時期が0.67となった。このように、平均値と最小値のいずれも温暖な時期が小さい結果となった。

さらに、全地点を4つのブロックに分けて同様の整理を行った結果は図-3のようになった。図からは、北海道を除く3つのブロックでは年最大積雪深比の10年間の平均値・最小値とも温暖な時期が寒冷な時期より小さいことがわかる。

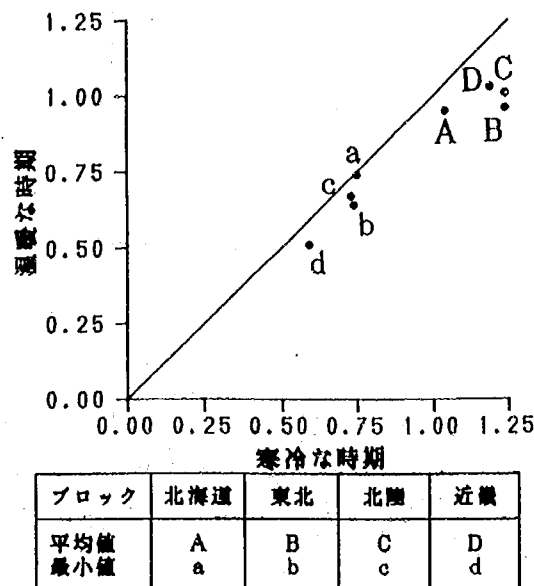


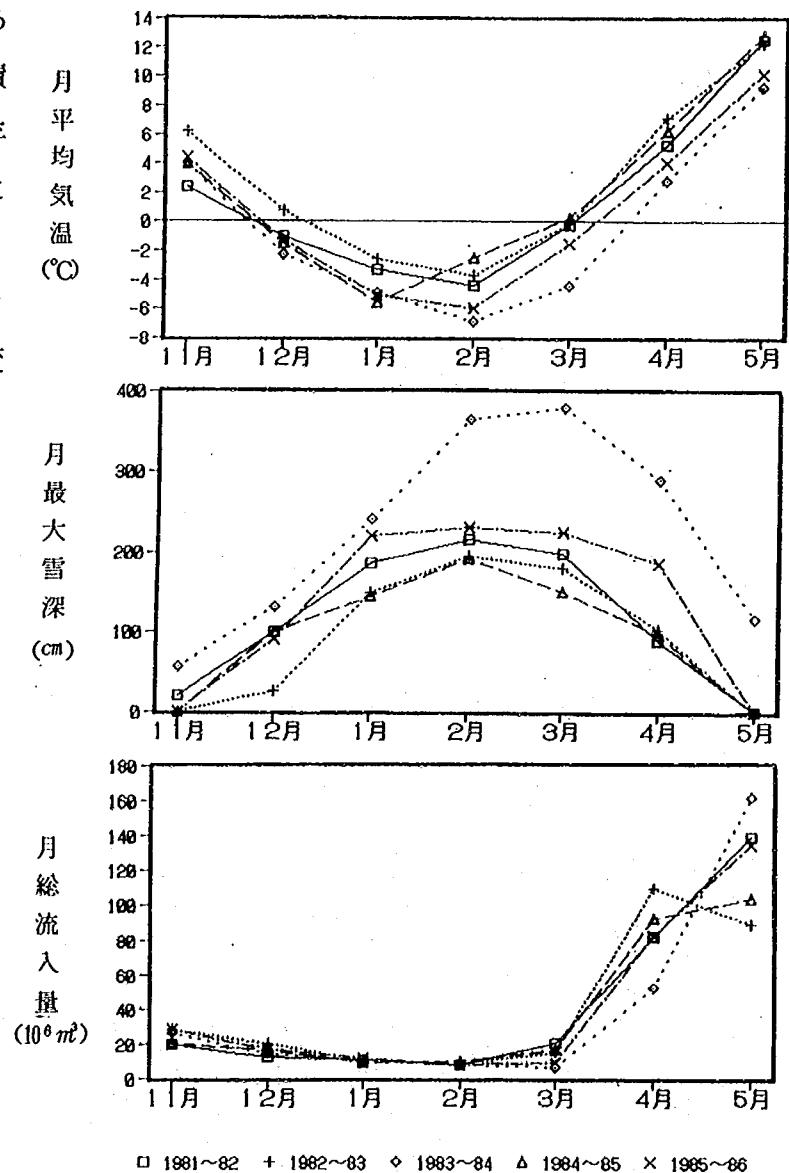
図-3 寒冷な時期と温暖な時期とのブロック別年最大積雪深比の比較

5. 気温変化と積雪地帯の河川の流量との関係の整理

河川の流量資料については、観測地点が少ない上に資料期間も短く、4までで積雪深資料を用いて行ったような長期間の資料に基づいた検討は現在のところ行っていない。そこで、5年間と極めて短期間の資料であるが、豪雪地帯に位置する多目的ダムへの流入量・気温・積雪深の観測結果を用いて簡単な整理を行って結果を紹介する。

整理の対象地点としては、利根川の最上流に位置する矢木沢ダム（水資源開発公団管理、流域面積167.4km²）をとった。整理に用いた資料は、1981～1986年の11～5月（7カ月×5）の期間の、ダム管理所での月平均気温・月最大積雪深とダムへの月流入量である。整理した結果を図—4に示す。図—4より、整理対象の5年間では1982～

1983年が温暖で1983～1984年が寒冷であることがわかる。この2カ年の月最大積雪深の変化を見ると、温暖な1982～83年の場合には2月が最大で2 m以下なのに対して、寒冷な1983～84年の場合には3月が最大で4 m近い値となって差が大きいことがわかる。同様にダム流入量の変化を見ると、温暖な1982～83年の場合には4月に流入量のピークを迎えて5月には流入量が大きく減少している。一方、寒冷な1983～84年の場合には4月の流入量が少なく、融雪の本格的な進行が5月まで遅れたことがわかる。



図—4 矢木沢ダム月平均気温・月最大積雪深・月総流入量の整理

6. まとめと今後の課題

以上の検討よりわかったように、気温の上昇により最大積雪深は小さくなり、水資源として利用可能な融雪水の量が減少することが予想される。このことは、各年で比較した場合だけではなく、寒冷な10年間と温暖な10年間とを比較した結果からも認められる。また、気温の高い時期の融雪の早期化傾向も認められることから、融雪流出の量だけではなく、時期の変化も予想される。このことは、5カ年という短い時期についての検討ではあるものの、実際のダム流入量等の検討からも推測される。よって、春季の水資源を融雪水に依存している地域では、温暖化により水資源計画の見直しが必要となる可能性がある。

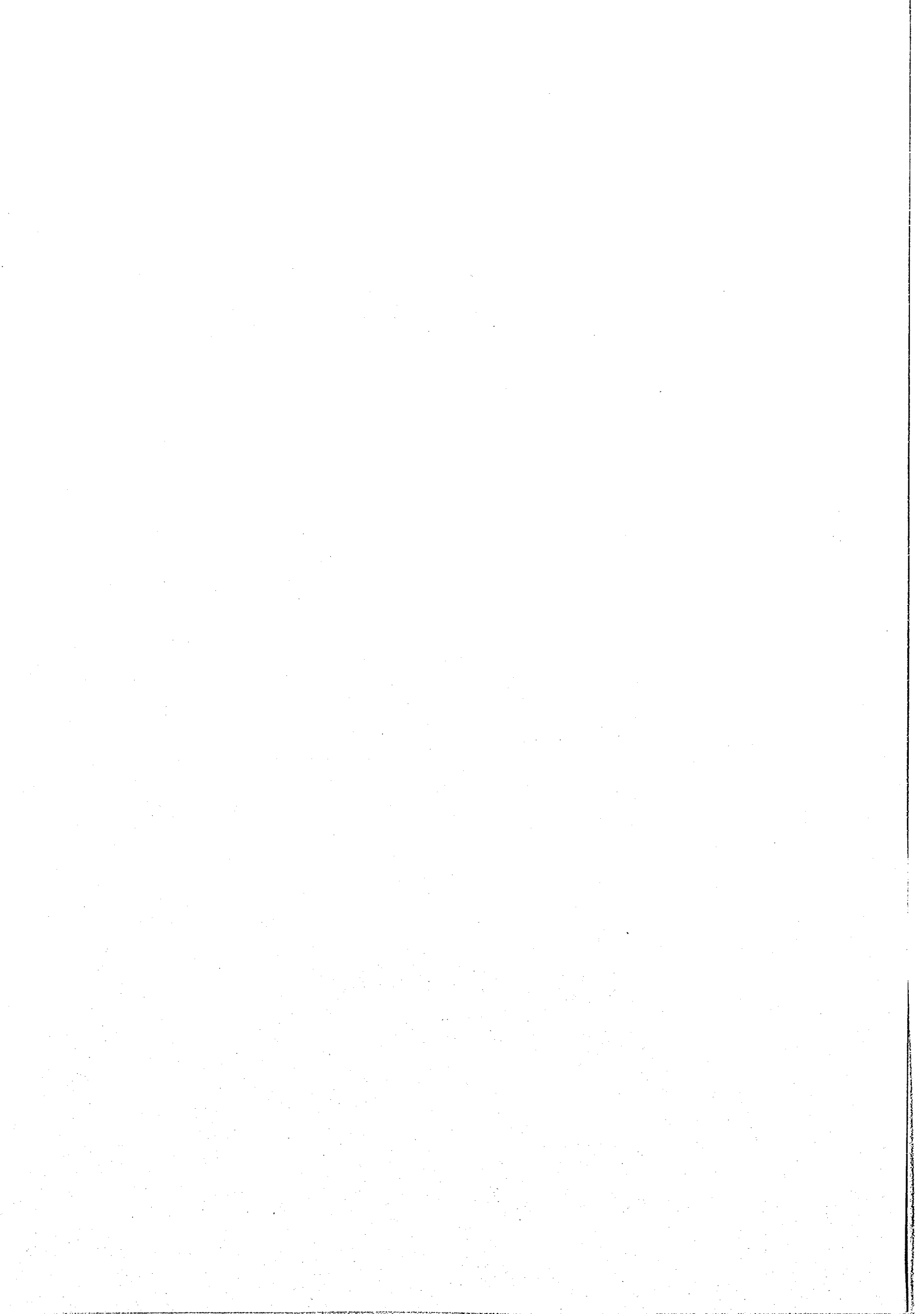
今後の課題としては以下のような点が挙げられる。

- ・降雪や積雪の多い高標高地点の資料に基づいた検討が可能であるか
- ・長期間の融雪期の河川流量資料に基づいた検討が可能であるか

温暖化に伴う海面上昇対策技術

機械施工部土質研究室

久楽 勝行



温暖化に伴う海面上昇対策技術

1. はじめに

地球の温暖化に伴う海面の水位上昇の原因としては、水温の上昇による海水の熱膨張、またはグリーンランドの氷床や南極の氷河・氷床あるいはアルプスなどの一部の陸氷の融解等が考えられており、それらによって、海面が上昇することがいわれている。

例えば、地球の温暖化による海面上昇は、地球の平均気温が1.5～4.5℃上がると、20～140cm程度になるとする見通しがある¹⁾。また、我が国の気象庁によると、1.2～3.0℃の温度上昇により、海面が10～60cm程度上昇することが予測されている²⁾。

ところで、我が国は長さ3,000km、幅300kmの狭長な、しかも複雑な地形・地質を有する島々から成っており、気象条件としても梅雨期の集中豪雨、あるいは台風等による多雨地域に属している。また、地震も多く、災害を受けやすい自然条件下にある。

一方、我が国の大半の人口と社会・経済の活動の盛んな大都市は、沿岸の沖積平野である低平地に集中している。このような条件下において、地球の温暖化により海面の上昇が起こると、国土保全および水資源の確保のうえで表－1に示すような課題が生ずる³⁾。本節では、それらのいくつかの課題

表－1 海面上昇に伴う国土保全および水資源確保上の課題³⁾

テ　　マ	課　　　　　題
海　岸　保　全	・ 海岸浸食の増大 ・ 低平地の災害ポテンシャルの増大 ・ 海岸保全施設の機能・安全性の低下 ・ 海岸保全計画の再検討
治　　　　　水	・ 治水計画の見直し ・ 低平地における災害ポテンシャルの増大及び内水対策 ・ 漏水対策 ・ 地下水上昇による堤防基礎地盤への影響
土砂の生産・流出への影響	・ 沿岸部の土砂災害、がけ崩れの増加
水　　　資　　　源	・ 地下水への塩分侵入 ・ 河川水への塩分遡上
河　川　環　境	・ 高水敷の減少

について述べることにする。すなわち、海面上昇が生ずると、まず高潮や洪水による氾濫のおそれが増大する。したがって、氾濫による大災害を防止し、人命の安全と国土の保全を図るうえで、堤防等の防災構造物の強化対策が何よりも必要となる。また、堤内地の土地の低い場所では、堤内地での排水が困難となり、浸水被害を受けることにもなるので、内水処理施設の一層の整備が重要になる。さらに、常時においても海面上昇等に伴う地下水位の上昇による堤内地の湿潤化の問題や、河口付近の塩水の遡上の激化により、地下水の塩分濃度の増大、すなわち塩害の問題なども懸念される。この他に、塩害に関係した新たな水資源の確保、あるいは海岸保全施設、河川の高水敷におけるレクリエーション空間としての安らぎの場の確保や、干拓・沼沢地の変化による生態系への影響等についても検討することが必要となる。

このように、海面の上昇は治水上の問題のみならず、利水やいこいの場や景観、生態系等の多方面に影響を及ぼすことが考えられることから、それらに対処するための有効な対策技術が求められることになる。

2. 堤防等の強化対策

海面の上昇に伴う高潮や洪水によって、尊い人命や資産はもとより、経済・社会活動の中核機能への壊滅的な被害を回避するため、その主要な防災施設としての堤防等の強化対策が必要である。

(1)高潮対策

我が国の太平洋沿岸や瀬戸内海沿岸、有明海等では、台風による高潮で過去において甚大な被害を受けており、また三陸海岸等では津波による大きな被害を受けた経験を持っている。したがって、そのような高潮や津波を対象にした計画高潮位を求めて、高潮対策を実施しており、海面上昇下においてもそれらに対処できる有効な高潮対策の整備が望まれる。

(a)高潮堤防の強化

地球の温暖化による海面上昇が生ずると、計画高潮位が高くなることから、それらに見合った高さや強度を持つ防潮堤を築造しなければならないことになる。高潮堤防は土砂堤を基本としているが、越波等を考慮に入れて図-1に示すように、コンクリートまたはそれに類する三面張りの構造とすることが多い。したがって、計画高潮位に海面上昇高と打上げ波高を考慮した高潮堤防の嵩上げを行い、さらに越波等に対しても耐え得る防潮堤の強化を進めることが必要となる。

また、市街地内の高潮区間では、必要に応じて耐震性のある構造を検討するとともに、堤内地の市街地再開発と合せて緩傾斜の土堤とし、より親水性の図れる高規格の堤防とすることも必要であろう。

(b)防潮水門等の整備

河口部または支川の合流点等では、高潮や津波が河川に流入し、後背地に影響を及ぼすことを防止する目的で、防潮水門の整備をいっそう進めることが必要となる。

ここで水門によって高潮等の遡上は防止できるが、高潮時に水門を閉鎖することにより、上流の河川水の排水が阻害されることにもなるので、堤防の嵩上げや排水ポンプの設置も合わせて行うが必要になる。

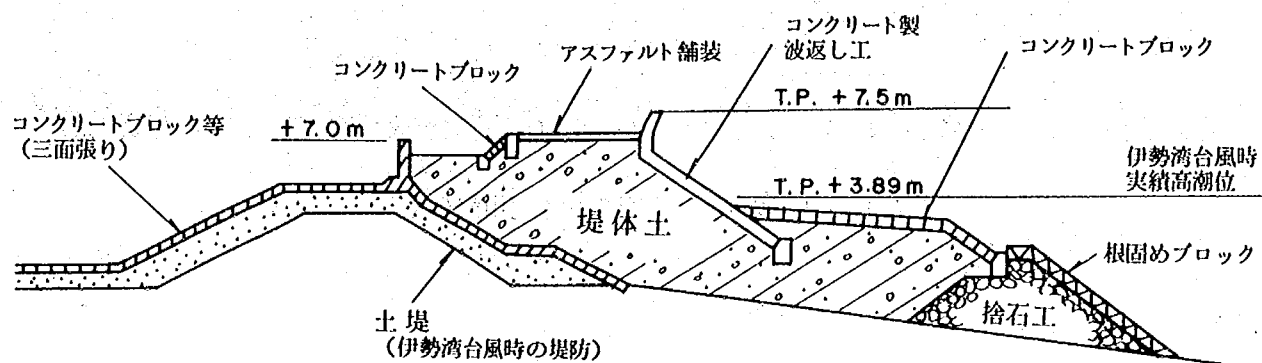


図-1 高潮堤防（長良川）の例

(c)人工バリア等の建設

海岸の沖合いに図-2に示すような島状の大規模な人工バリア、あるいは人工バリアと人工リーフ、護岸堤などを組合せて建設することにより、沿岸への波浪を低減し、高潮や津波、浸食等の災害を防御することが考えられる。

人工バリアは、高潮や津波等が直接背後の沿岸部に侵入するのを防ぐとともに、開口部からの波浪は、回折現象により大きく波高を減ずることもできる。このため、沿岸部に到達する波高は、沖波のものと比べるとはるかに小規模のものとなり、高潮堤防での波浪を軽減させることが可能になる。さらに、人工バリアは、波浪を和らげ海浜の安定化が図られるとともに、陸域との間に新しく静穏海域の形成が図られ、うるおいとふれあいのある水辺環境が創造できるなどの多くの利点を有している。したがって、海面上昇に対する高潮対策として有効であり、人工バリア等の建設の一層の進展が期待される。

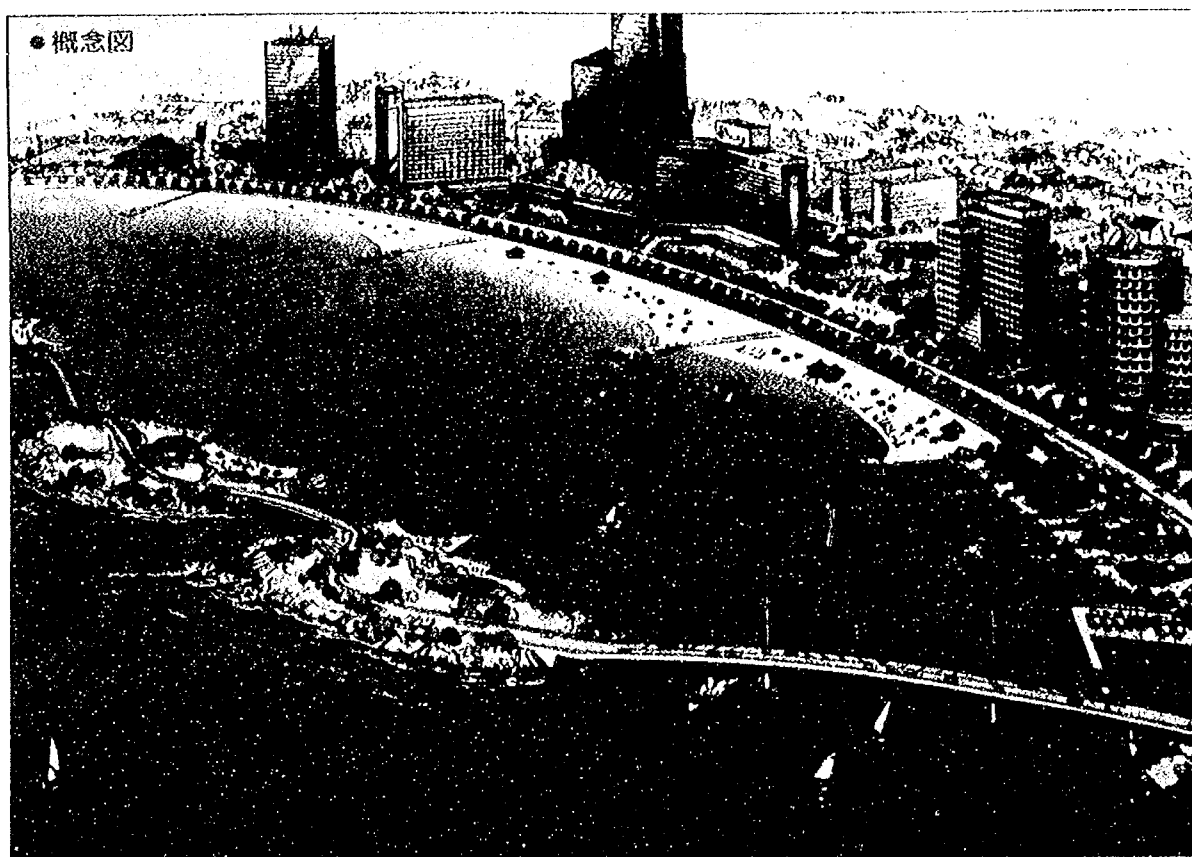


図-2 人工バリアの概念図（建設省河川局の資料による）

(2)洪水対策

河川の下流部においては、海面上昇に伴って洪水時に河川水位が上がり、越水や浸透水によって堤防が決壊し氾濫することのないように、異常洪水にも耐え得る河川堤防の強化が望まれる。そのような対策として、次に示すようなものが挙げられる。

(a)引堤による河積の増大

川幅を広げて河積の増大を図ることにより、洪水時の河川水位が現状のものと変わらないものにする方法である。この場合、現在の堤防を堤内地側に引堤するため、用地を確保することが必要となる。

(b)堤防の嵩上げ

海面上昇において、洪水時の計画洪水流量を現河道で安全に流下させるためには、それに見合った堤防の嵩上げが必要になる。堤防の嵩上げを行うと、堤内地の地盤と河川水位との標高差が大きくなるので、洪水時に堤体の漏水やのりすべりを起こしやすくなる。したがって、図-3に示すように、洪水時の河川水や雨水の浸透による堤防の安定性の低下を防止するための補強対策が求められることになる。すなわち、嵩上げおよび腹付けは、良質土を用いて良く締固め、雨水や河川水の浸透をできるだけ防ぐようにする。また、ジオメンブレン等の遮水シートを堤防表面付近に敷設して、ある程度の越水にも耐え得るような堤防（アーマー・レビー）の強化を図ることが考えられる。さらに、堤防の一層の安定化を図るために緩傾斜の堤防とし、縁と水に親しむ水辺環境を合わせて創り出す方策もある。この他にも、堤体内に浸透した水を速やかに排除するために、裏のり部にドレーン工を設置して、堤体の安定性を向上させる方法などがある。さらに、センターコア式の堤防補強の方法も考えられる。

浸透性の地盤上に造られた堤防では、河川水位の上昇によって、地盤内に浸透した水が堤体内に流れ出す、いわゆる地盤漏水が生ずることがあるので、図-3に示したような剛矢板等による止水壁を浸透性地盤に打設して、地盤漏水を防止する必要がある。

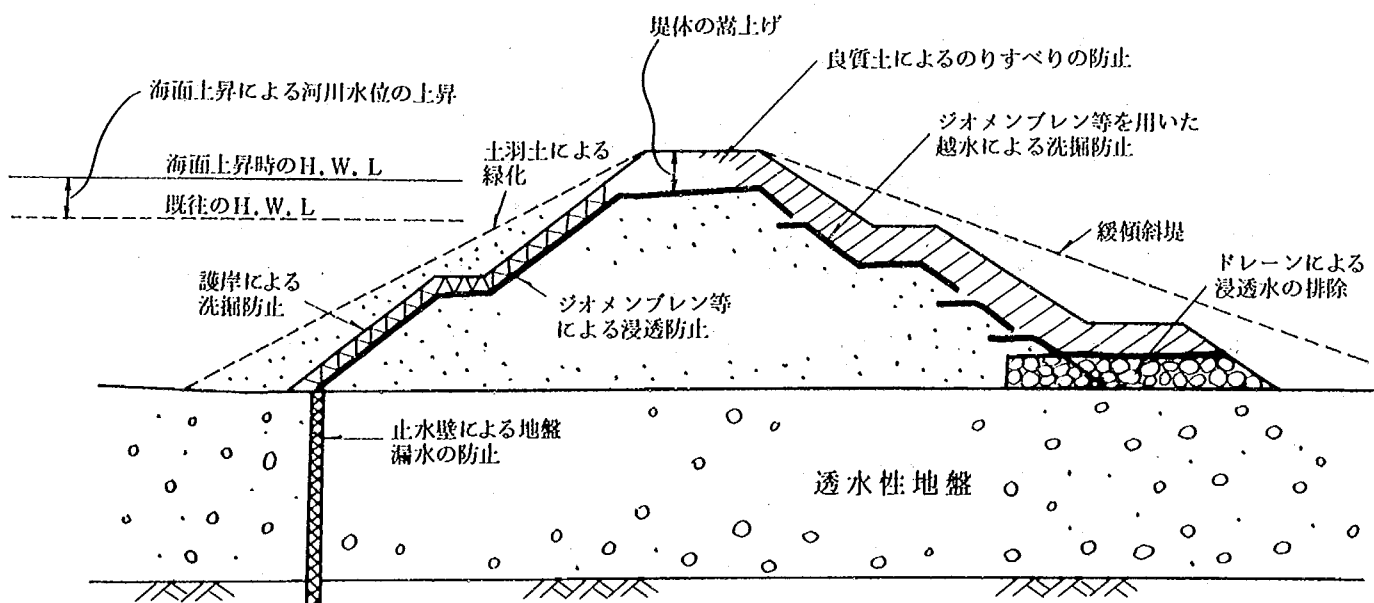


図-3 河川堤防の補強対策

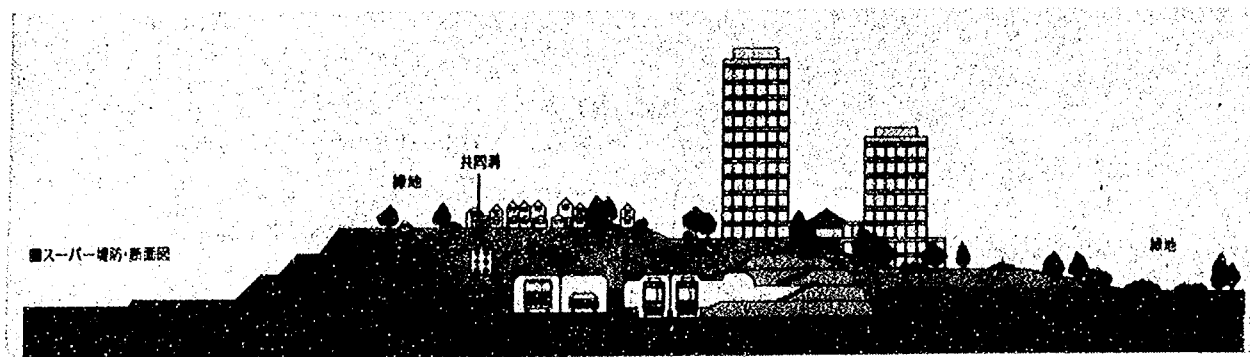
(c)河道の浚渫

計画洪水流量を安全に流下にさせるに必要な河積の不足を、河道の浚渫によって補う方法である。大規模な河道の浚渫を行うと、それによって塩水が上流に遡上し、既設の取水口での取水ができなくなるとともに、堤内地の地下水の塩水化も問題となる。したがって、河道の大規模な浚渫を行う場合には、塩水遡上の防止を図るための河口堰の建設等の対応も合わせて検討することが必要になる。

(d)高規格堤防（スーパー堤防）の促進

洪水が自然現象である降雨に起因するものである以上、極めて規模の大きな洪水、すなわち計画を上回る超過洪水が発生する可能性は常に存在している。そこで、超過洪水や高潮などによる越水が生じた場合でも破堤しない、図－４に示すような幅広い高規格堤防の整備が進められている。高規格堤防は、段差等を設けて流れのエネルギーを減衰させることによって、越水による堤体の洗掘を防ぐこととしている。また、堤防の敷幅が従来の堤防に比べて格段に広いことから、高水位が長期間継続した場合においても、浸透水による破堤が生じない構造となっている。さらに、高規格堤防は、そのような治水機能を有するとともに、積極的に土地利用との調整を図りながら、堤防上に建物や公園などを建設して良好な水辺の都市空間の創造、および防災空間の形成にも資するものとしている。

したがって、地球の温暖化に伴う海水面の上昇による洪水対策のうえからも、その進展が期待される。



図－４ 高規格堤防の概念図（建設省関東地方建設局、リバーフロント整備センターの資料による）

3. 内水排除のための機能強化対策

海面の水位が上昇すると、高潮や洪水による高い外水位の継続時間が長くなるため、堤内地の土地の低い部分では、堤内の流出水を十分に排除できなくなり、浸水などの内水被害を受けやすくなる。そこで、内水排除のための機能強化として、次に示す対策が考えられる。

(a)内水流域からの流出量を減少させる方式

内水の集水域に貯留浸透施設を配置したり、内水被害を受けやすい流域内に調整池や遊水池を積極的に設けるなどして、内水流域からの流出量を減少させるものである。

(b)内水流域から本川等への自然排水を促進させる方法

本川等の水位よりも高い流域、すなわち山地流域の占める割合が大きい地域では、①山地流域の流水を本川に自然合流させるための河川や水路を設置する、②本川に自然合流可能な地点まで、内水流域の河川や水路を下流に付け替える、③本川等に自然合流できる高さまで、内水地域の河川や水路の嵩上げを行うなどして内水流域から本川等への自然排水を促進させる。

(c)内水流域から河川や沿岸へ強制排除させる方式

内水流域から河川や沿岸へ強制的に排水することにより、内水処理を適切に行う方法である。特に、海面上昇によって外水位と内水地域の地盤高の差が大きくなることから、ポンプによる強制排水は効果的であるといえる。なお、この方式で内水処理を行う場合には、容量の大きいポンプを設えた大規模な内水処理施設を検討することも必要になる。

4. 塩水化に対する防止対策

海面上昇が生じると、塩水が遡上して河川水と混合する流域が拡大することにより、従来工業用水や農業用水などの利水に使われてきた河川水が直接利用できなくなる。また、塩水遡上によって堤内地の地下水が塩水化し、塩害の原因にもなる。したがって、塩水化の防止と地下水の涵養のための防止対策を進めることが重要となる。塩水遡上の防止対策としては、堰が挙げられる。堰には、ゲートを有する可動堰と固定堰とがある。大河川等においては、大径間の可動堰が採用されており、既に利根川、信濃川、淀川、加古川、芦田川、遠賀川、筑後川等において河口堰が建設されている。河口堰は、塩水遡上の防止とともに、流水を貯留して用水とし利用する水資源の開発にも役立っている。さらに、必要に応じて高潮防除の機能として合わせ持つ多目的の施設とすることも可能である。

5. 堤内地の湿潤化の防止対策

海面上昇によって水位が上がると、図-5に示すように常時においても、透水地盤上に築造された堤防では、地盤からの浸透水によって堤内地の地下水位が上昇し、堤内地盤の湿潤化が生ずる。また、表土の厚層が薄い場合には、浸水層の被圧水によって地盤漏水が起こることがある。堤内地の農作物の生育や地盤の弱体化にも影響するので、地盤の土層や地層構成、土地利用などに応じて、次に示すような漏水対策を講ずることが必要である。

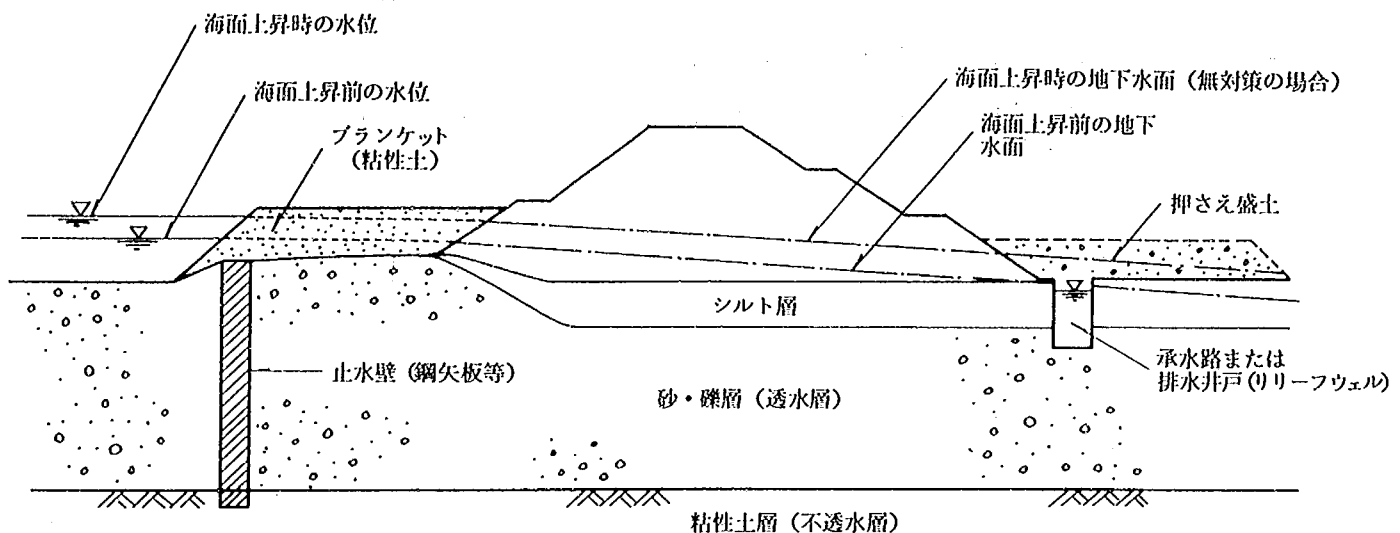


図-5 堤内地の湿潤化の防止対策

(a) ブランケットによる方法

堤外池の透水性地盤を粘性土などの不透水性の土で覆い、透水経路長を大きくすることによって、堤内地盤の地下水位の低下を図る工法である。また、ブランケットをした覆土の部分は、公園やレクリエーション広場等にも活用できる。さらに、ブランケットは高潮時や洪水時においても、地盤や堤体内の浸透水を低減する効果も持っており、堤体の安定性の向上にも役立つといえる。

(b) 止水壁による方法

透水層を止水壁で締め切ることにより、堤内地盤の地下水位の低下や地盤漏水の防止を図るものである。止水壁としては、鋼矢板やコンクリート矢板、高分子材でできた板あるいはシートなどが多く用いられている。止水壁の効果を高めるためには、継手部の漏水を少なくし、透水層を完全に遮断し、不透水層内に止水壁を貫入させるようにする。なお、地下水の函養が必要な箇所では、透水層内での止水壁は不完全貫入とし、裏のり先部の承水路で堤内地の地下水位の調整を行うような方法が考えられる。

(c)承水路、排水井戸等による方法

堤防裏のり尻付近に承水路や排水井戸等を設け、浸透水を流出させて透水層の水頭を下げる工法である。なお、透水層が厚い場合や浸透水の多い場合には、規模の大きい承水路や堤内地に広範囲に地下排水溝を配置して、地下水位の低下を図ることが必要である。

(d)押さえ盛土による方法

川裏側に押さえ盛土を設けて、その重さで透水層内の水頭に抵抗させて地盤漏水を防止する工法である。

なお、海面上昇のように広範囲にわたって外水位の上昇が起こるような場合には、地盤の特性や地層構成によって複雑な地下水の流れとなるので、上記のような対策工法を組合せた対策を講ずるようにする。また、地下水位の上昇によって堤内地等の液状化が予想されるような箇所では、その対策として地下水位の低下工法や地盤の締固め、あるいは構造物の補強工法などを適用する。

6. 海岸、河川の諸施設の整備

我が国の海岸線は、総延長が34,000kmと著しく長い。それらの海岸線に防災構造物としての海岸堤防を始めとして、各種の護岸や根固め工、消波工などが設置されている。また、海岸侵食の制御のための突堤や護岸堤、人工リーフ、安定海浜工、緩傾斜護岸などの各種の構造物が構築されている。

海面上昇の影響を受ける河口部においても、高潮時や洪水時の波浪や流水による洗掘防止のために、各種の護岸や水制、床止めが造られている。また、取水や排水を目的として、堰や水門、樋管、サイフォン等の河川構造物が構築されている。

これらの海岸や河川に造られている構造物は、災害の防止と国土を保全するうえで重要な諸施設であり、海面上昇時においてもそれらの機能が保持されるように整備することが必要である。また、河川を横断する橋梁等についても、水位上昇によってその嵩上げ等の検討が必要となってくる場合も生ずる。

ここで、海洋の沿岸や河川の高水敷などの減少も生ずることになるので、新たな人工汀の造成や海浜公園、高水敷の環境整備等により、水辺の環境づくりや景観の回復などを積極的に進めていくことも必要であろう。また、人工バリアや高規格堤防等は、新たな利用空間を生み出すことにもなるので、レクリエーション施設やスポーツ広場、あるいは公園等に利用できる。さらに、護岸等についても、階段や緩勾配、平場付の護岸とした親水護岸、あるいは動植物の生育、保全を目的とした生態系護岸などの各種環境護岸の整備を増進することが挙げられる。

7. 総合対策

地球の温暖化に伴う海面上昇は、前述のように高潮や洪水による氾濫の危険性の増大や内水処理、塩水化、堤内地の湿潤化、水資源あるいは水辺空間、生態系など、多方面に影響を及ぼすことが予想される。したがって、それらの影響を少なくするための対策が必要なわけであるが、海面上昇は全国各地の広大な範囲にわたって生ずることになる。また、それらの影響度合も、地形、地質、海岸、河川の特徴、あるいは地盤条件、気象条件等によってそれぞれ異なる。

したがって、海面上昇によって生ずる問題とその対策が必要となる箇所を見い出すことが必要となる。そのための調査方法の確立とその影響を評価する予測手法の提示が今後求められることになる。また、それらの結果に基づいて対策を検討することになるが、一般には上記のような様々な要因が問題となるので、前述したような対策工法をいろいろと組合せて、現地の条件に応じた総合的な見地から最も効果的な対策を施すことになると考えられる。特に防災対策を中心にして、内水処理や環境整備、空間利用などの多要因を考慮した総合的な対策が望まれる。

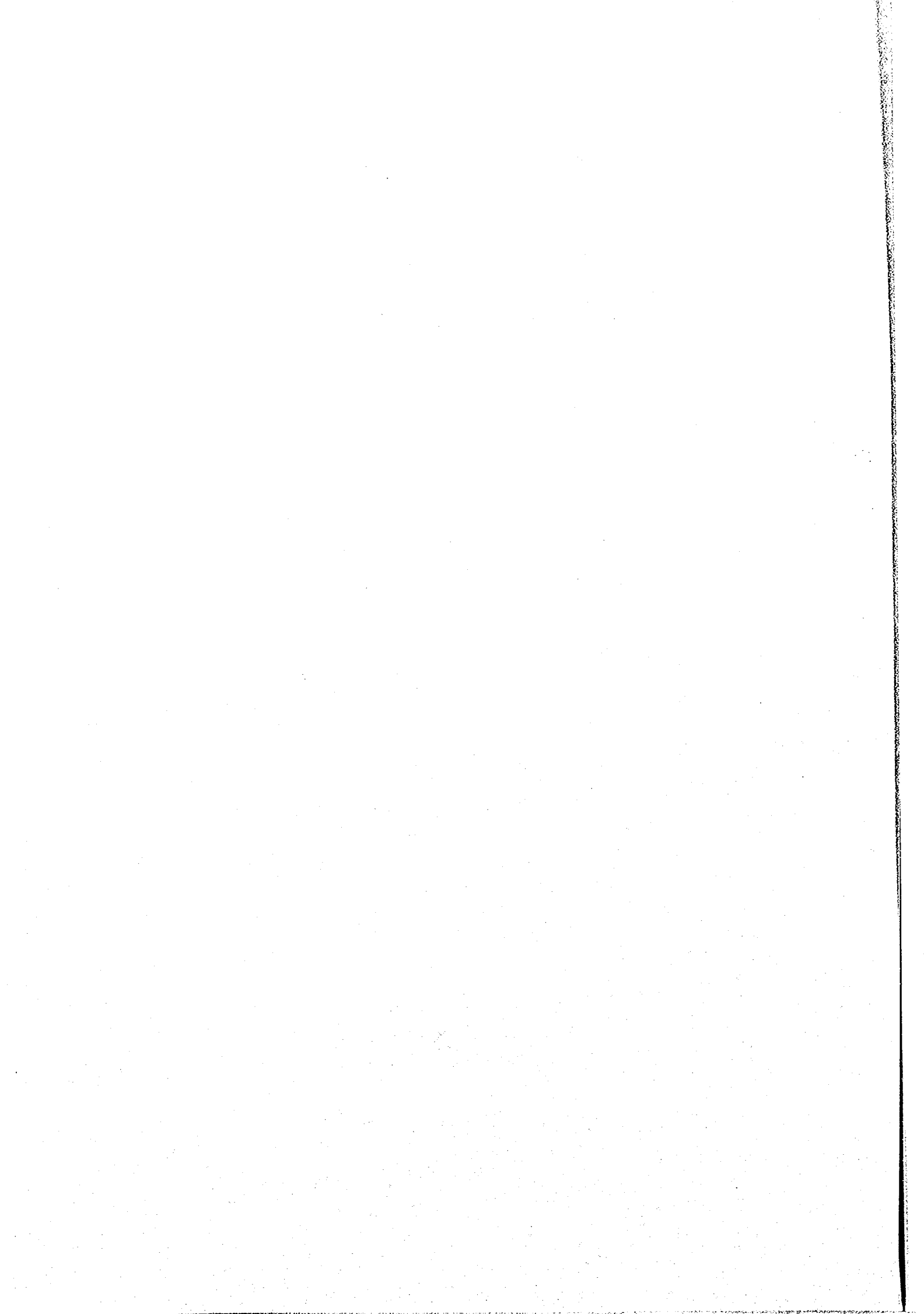
また、高潮や洪水といった自然現象を対象とした対策となり、それらを完了するまでに長年月を要することから、万一破堤などが生じた場合にも、人命の安全な確保と都市機能の壊滅的な大災害を受けないような二次災害を回避する対策も重要である。すなわち、避難路や避難場所の確保および堤内地に流入した水によって都市内の地下構造物等が埋設しないような対策、あるいは流入水が集中して流れ出し、家屋や構造物等を破壊することのないような災害に強い都市づくりといったソフトの検討も今後必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 「二酸化炭素およびその他の温室効果の気候変動とそれに起因する諸影響における役割を評価するための国際会議」、フィラッハ '85 会議
- 2) 気象庁、気候問題懇談会温室効果検討部会；報告書「温室効果気体の増加に伴う気候変化（II）」（1990、7）
- 3) 建設省河川局：地球環境問題に関する河川行政上の課題（1990、1）
- 4) 土木学会編；土木工学ハンドブック、第43編 河川、pp.1799～1850、技報堂（1989）
- 5) 4) と同じ、第44編 海岸、pp.1861～1911

地球温暖化防止行動計画

平成 2 年 10 月



地球温暖化防止行動計画の策定に 当たって

内閣総理大臣 海部俊樹

地球温暖化問題は、人類の生存基盤に深刻な影響を及ぼすおそれのある重大な問題であり、二酸化炭素を始めとする温室効果ガスの排出を抑制するための共通の努力を行うこと等を約束した先のヒューストン・サミットにおける経済宣言のほか、「気候変動に関する政府間パネル（ＩＰＣＣ）」において地球温暖化の影響や対策につき報告書がとりまとめられるなど国際的な取組みが着実に進められてきているところであります。私自身、サミットにおいて、この問題についてはグローバルな取組みが必要であるという見地から、我が国として、途上国に対する支援を含め国際的貢献を着実に果していくとともに、早急に「地球温暖化防止行動計画」を策定し、温室効果ガスの抑制に、鋭意、取り組んでいく決意を表明したところであります。

我が国は、これまで官民挙げてエネルギーの効率的利用に努めてきた結果、一人当たりの二酸化炭素排出量では先進国中最も低いグループに属しておりますが、今後とも、その持てる技術力、経済力等を十分に活用し、地球温暖化防止のため、国際的地位にふさわしい責任と役割を果たしていかなければなりません。そうした意味において、今般、来月開催予定の第二回世界気候会議を始めとした今後の国際的取組みに向けて我が国の基本的姿勢を明らかにするものとして、本閣僚会議において「地球温暖化防止行動計画」が策定されたことは極めて意義深いものと考えます。

本行動計画においては、地球温暖化防止のための対策を広範かつ総合的に講じていくこととし、特に、二酸化炭素の排出抑制目標として、こうした対策を着実に実施していくことにより、一人当たりの二酸化炭素排出量を２０００年以降概ね１９９０年レベルで安定化するとともに、さらに革新的技術開発等の進展により、二酸化炭素の排出総量が２０００年以降概ね１９９０年レベルで安定化するように努めることとしており、この行動計画は、国際的にも十分評価が得られるものと考えております。本計画の策定は、我が国の地球温暖化防止対策の本格的実施に道を開くものでありますが、目標達成への道のりは必ずしも平たんではなく、国民の理解と協力を得ながら積極的かつ総合的な取組みがなされない限り、計画の実効性を確保することは困難であると思われれます。幸い、我が国においては、官民双方が努力を積み重ね、公害防止のための諸制度の整備や技術の開発、省エネルギーの推進、代替エネルギーの開発、利用促進等を図ってきたという歴史と経験を有しております。こうした歴史と経験を踏まえ、我が国が今後、これと同様の、あるいはそれ以上の取組みを積み重ねていくことは、十分に可能であると確信いたします。

今後、私は、この行動計画の着実な実施に向けて全力を尽くすつもりですが、構すべき対策が広範囲で各方面にわたっていることもあり、関係各位におかれましても行動計画の推進に当たって一層の御配慮と御尽力をお願いする次第です。

（第４回地球環境保全に関する関係閣僚会議（平成２年１０月２３日（火））における内閣総理大臣挨拶より）

地球温暖化防止行動計画

平成2年10月23日

地球環境保全に関する

関係閣僚会議決定

「当面の地球温暖化対策の検討について」（平成2年6月18日地球環境保全に関する関係閣僚会議申合せ）に基づき、地球温暖化防止行動計画（以下、「行動計画」という。）を定める。

第一 行動計画策定の背景及び意義

地球温暖化問題は、人類の生存基盤に深刻な影響を及ぼすおそれがある重大な問題である。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告によると、現状のままで温室効果ガスの排出が続けられるならば、過去1万年の間に例をみない急激な温度上昇が生じ、その結果、海面水位の上昇や気候の変化、人間の居住環境への脅威等自然、経済及び社会のシステムに重大な影響がもたらされると予測されている。

将来の世代に、その生存と発展の基盤である良好な地球環境を引き継ぐことは、現在、地球環境の恩恵を受けている我々の世代の責務である。このような認識の下に、地球温暖化に関しては科学的に未解明な部分が残されているものの、その被害が顕在化し取り返しのつかない事態が生じないように、世界各国が協調して直ちに実施可能な対策から着実に推進していく必要がある。

こうした中で、我が国は、その経済力、技術力等を活用して、開発途上国への支援等国際的地位に応じた役割を積極的に果たしていかなければならない。

我が国は、これまで官民挙げてエネルギーの効率的利用に努めてきた成果として、人口一人当たりの二酸化炭素排出量では、先進国中最も低いグループに属している。しかしながら、我が国は相当量の二酸化炭素を排出しており、また、近年の内需拡大を背景とした経済活動の好況や国民のライフスタイルの変化等により、その排出量は、ここ数年増大傾向に転じつつある。

温室効果ガスの排出抑制については、持続可能な開発の考えに沿って経済の安定的発展を図りつつ、地球温暖化による影響の重大さ及びその抑制対策や適応対策の実施可能性等を総合的に勘案して実施すべきものであり、我が国としては、温室効果ガスの排出抑制のための国際的な共通の努力として、第一段階として、温室効果ガスの排出量の安定化を早急に達成する必要がある。

また、二酸化炭素の吸収源としての森林については、地球規模での減少が生じており、我が国と世界の森林資源との関わりを踏まえ、持続可能な開発の考え方に沿って、その減少の防止と保全造成に率先して取り組む必要がある。

さらに、地球温暖化に係る不確実性を低減させ、科学的知見を踏まえた適切な対策を講じていくため、調査研究、観測・監視を推進するとともに、革新的技術を含め一層の技術開発とその普及に努めることが必要である。

以上のような諸状況を踏まえ、地球温暖化対策を計画的総合的に推進していくための当面の政府としての方針及び今後取り組んでいくべき実行可能な対策の全体像を明確にし、もって国民の理解と協力を得るとともに、我が国として国際的な枠組みづくりに貢献していく上で基本的姿勢を明らかにすべく行動計画を定める。

第二 地球温暖化対策の推進に当たり配慮すべき基本的事項

1 環境保全型社会の形成

地球温暖化の防止のためには、社会のあらゆる分野において広範かつ長期的に各般の対策を実施していくことが必要であり、この点についての国民の理解と積極的な協力が不可欠である。こうした国民の理解と協力に基づき、国内の都市機能、経済機能の過度の集中を防止する際に、国土全体での環境と人間活動の適切なバランスを図るとともに、温室効果ガスが排出されにくい都市構造や交通体系の形成等社会経済システムを幅広く見直し、環境倫理の確立を図りつつ、国民のライフスタイルを環境に配慮したものへと改めていくことにより、地球環境への負荷の少ない社会を形成していくことが必要である。

2 経済の安定的発展との両立

地球温暖化は、我々の生活や経済活動のあらゆる局面に関わる問題であり、その対策は、相互依存関係が深化した世界経済に様々な影響を及ぼす。従って、地球温暖化問題の解決に当たっては、経済政策と環境政策の連携の強化や技術によるブレイクスルー等を通じ、持続可能な開発の考えに沿って経済の安定的発展との両立を図っていくことが必要である。

3 国際的協調

地球温暖化は、その原因と影響が地球規模で生じることから、各国の努力のみならず、国際的協調による取組が不可欠である。

特に、二酸化炭素の排出は、今後の世界的な人口増加と経済発展に伴い、急激に増加することが予想されることから、我が国は、優れた技術力と環境保全の豊かな経験を背景に、国際協力を通じて世界の取組の先導的役割を果たしていく必要がある。

また、かかる立場から、長期的視点に立って、世界各国が協調して科学的基盤の整備、省

エネルギー・省資源の推進、クリーンエネルギーの導入、革新的な環境技術の開発、温室効果ガス吸収源の拡大、次世代エネルギー技術の開発等に取り組む総合的かつ長期的ビジョン（地球再生計画）づくりの共同作業の必要性の国際的合意形成に努めてきたが、今後、行動計画を踏まえ、その具体化の促進に努めていく必要がある。

第三 行動計画の目標

温室効果ガスの排出抑制目標は次のとおりとする。

（１）二酸化炭素については、先進主要諸国がその排出抑制のために共通の努力を行うことを前提に、次の目標を定める。

① 二酸化炭素の排出抑制のため、官民挙げての最大限の努力により、本行動計画に盛り込まれた広範な対策を実施可能なものから着実に推進し、一人当たり二酸化炭素排出量について２０００年以降概ね１９９０年レベルでの安定化を図る。

② 上記①の諸措置と相俟って、さらに、太陽光、水素等の新エネルギー、二酸化炭素の固定化等の革新的技術開発等が、現在予測される以上に早期に大幅に進展することにより、二酸化炭素排出総量が２０００年以降概ね１９９０年レベルで安定化するように努める。

（２）メタンについては、現状の排出の程度を超えないこととする。また、亜酸化窒素等その他の温室効果ガスについても、極力その排出を増加させないこととする。

また、二酸化炭素吸収源については、国内の森林・都市等の緑の保全整備を図るとともに、地球規模の森林の保全造成等に積極的に取り組むこととする。

第四 行動計画の期間

行動計画の期間は、１９９１年（平成３年）から２０１０年（平成２２年）までとし、２０００年（平成１２年）を中間目標年次とする。その間、国際的な動向や科学的知見の集積等を踏まえつつ、必要に応じ行動計画の見直しを行い、機動的に対応していくこととする。

第五 計 画 上 の 対 策

政府は、計画の目標達成に向けて、以下の対策を推進するものとし、実施可能な対策から順次着手する。また、その際、地球温暖化対策の実施が他の環境問題の惹起・拡大につながらないように十分留意する。

1 二酸化炭素排出抑制対策

我が国の都市・地域構造、交通体系、生産構造、エネルギー供給構造、ライフスタイル等の在り方を幅広く見直すとともに、技術の開発・普及を促進し、以下の対策を総合的に推進する。

1 二酸化炭素排出の少ない都市・地域構造の形成

諸活動の集中する都市等を中心に、良好な居住環境の確保を図りつつ、二酸化炭素の排出がより少ない都市・地域構造の形成等を図る。

- (1) 都市緑化の推進により、植物の持つ気温低減効果を利用し、ヒートアイランド現象をやわらげる等都市気象を緩和し、冷房に要するエネルギー需要を低減する。
- (2) 住宅等建築物の断熱構造化の推進、パッシブソーラーハウス等の省エネ型の建築物の普及促進を図るとともに、建築物において太陽熱温水器、ソーラーシステム、太陽電池等による自然エネルギーの利用を積極的に促進する。
- (3) NO_x低減等の技術開発、既存電力システムとの整合性を図りつつ、エネルギー効率の向上につながる形での燃料電池をはじめとするコージェネレーション（熱電併給システム）の導入促進を図る。
- (4) 地下鉄排熱、下水排熱等の都市活動に伴う低温排熱や河川や海等の持つ熱エネルギーをヒートポンプによって冷暖房等の熱源として利用するとともに、これらを活用した地域の熱供給システム等を普及・促進する。
- (5) 廃棄物の焼却処理に伴う余熱の供給、発電、下水汚泥のエネルギー利用等を積極的に推進する。また、ごみの輸送、上下水道関連施設等に要するエネルギーの利用の効率化を図る。

2 二酸化炭素排出の少ない交通体系等の形成

増大する交通需要に対応し、人と物の円滑な移動性を確保しつつ二酸化炭素の排出を抑制するため、交通機関単体からの排出量の低減を図る。また、輸送機関の間の連携を図りつつ、自動車交通需要を軽減する方策を検討し、二酸化炭素排出の少ない交通体系の形成を図るため、実施可能なものから逐次導入する。

- (1) 自動車の軽量化、走行抵抗の低減等により燃費改善を更に進めるとともに、ハイブリッドエンジン、超希薄燃焼方式、回生エネルギー利用技術等の開発・導入を積極的に推進することにより、自動車単体からの二酸化炭素の排出量を低減する。また、鉄道、船舶、航空機等についても、技術改良等により、エネルギー効率の向上を図るとともにエネルギー効率の良いものの導入を促進する。
- (2) 自動車部門を中心に、二酸化炭素排出の少ないエネルギーの利用を促進することとし、電気自動車等の低公害車の導入を積極的に推進する。
- (3) 貨物輸送については、中長距離の物流拠点間の幹線輸送において、積極的にモーダル

シフト（鉄道輸送、内航海運等への誘導）を図るとともに、トラック輸送においても、営業用トラックの利用の促進、共同輸送の推進、情報システム、集約的物流拠点の整備等を推進することにより、輸送効率の向上を図る。

- (4) 旅客輸送については、鉄道、バス、新交通システム等の公共輸送機関の整備を推進するとともに、それらの輸送機関におけるサービスの向上等を推進することにより大都市圏をはじめとして公共輸送機関の利用を促進する。
- (5) 自動車交通の渋滞を緩和し、効率的で円滑な走行を確保することにより、走行中の二酸化炭素の排出量を低減するため、立体交差、交差点改良、バイパス、環状道路等の道路整備を行うとともに、交通管制システム等の整備及び高度化を推進する。

3 二酸化炭素排出の少ない生産構造の形成

製造業、農林水産業、建設業等の産業分野において、エネルギー利用の効率化、二酸化炭素の排出の少ない又は排出のないエネルギー源の導入等を積極的に推進する。

- (1) 製造業においては、燃焼効率の向上、各種省エネルギー型の製造設備の普及促進、省エネに資するプロセスの導入促進等を推進する。そのため、例えば、熔融還元製鉄法、直接苛性化技術等の技術開発を推進し、その導入を図る。また、コンビナート等における工場間での排熱等の利用を推進する。
- (2) 農林水産業においては、農業機械、漁船等のエネルギー利用効率の改善を図るとともに、施設園芸等の加温用・穀物等の乾燥用エネルギーとして自然エネルギー、バイオマスエネルギー等の利用を推進する。
- (3) 建設業においては、建設機械のエネルギー利用効率の改善を図るとともに、高炉セメントの利用を促進する。

4 二酸化炭素排出の少ないエネルギー供給構造の形成

発電部門、都市ガス製造部門等のエネルギー転換事業部門においては、エネルギー転換効率の向上、二酸化炭素排出の少ない又は排出のないエネルギー源の導入等を推進する。

- (1) 発電部門においては、
 - ① 二酸化炭素を排出しないエネルギーとして、安全性の確保を前提に原子力の開発利用を推進する。また、水力、地熱の利用を推進するとともに、技術開発を行いつつ、太陽光、風力の利用も併せて進める。さらに、二酸化炭素の排出の少ない燃料である天然ガス等の利用を推進する。
 - ② 発電効率の向上を図るため、コンバインドサイクル発電（複合発電）、超々臨界圧プラント等の開発・導入を促進する。
 - ③ 燃料電池、太陽電池等の分散型電源の導入を積極的に推進する。
- (2) 都市ガスのLNG化、天然ガス導入基盤の整備等を推進する。
- (3) 電気の負荷平準化を図るため、電力の負荷集中制御技術の確立等によるピーク時の需要の低減、エネルギー貯蔵等を推進するとともに、ガス冷房の普及等を促進する。

5 二酸化炭素排出の少ないライフスタイルの実現

家庭等において二酸化炭素の排出を少なくするライフスタイル等を形成するため、社会システムの整備、環境教育の充実を図る。

- (1) 紙、缶、ビン等のリサイクルを推進するとともに、リサイクルしやすい製品、再生品の開発・普及等のためのシステムづくりを推進する。
- (2) 過剰包装、自動販売機のエネルギー多消費形態、ダイレクトメールの氾濫等流通サービスの在り方を見直す。
- (3) 環境マークの活用等により、二酸化炭素の排出の少ない製品等の普及促進を図る。
- (4) サマータイムの導入について検討するとともに、夏季一斉休暇等の推進により労働時間の短縮を図る。
- (5) 家庭、オフィス等において、冷暖房温度の適正化、エネルギー制御システムの導入、エネルギー効率の高い住宅用機器・OA機器の利用を促進する。

2 メタンその他の温室効果ガス排出抑制対策

大気中濃度が増加しているメタン、亜酸化窒素、対流圏オゾン等の二酸化炭素以外の温室効果ガスについても以下の対策を総合的に推進する。

なお、フロン等のうち、成層圏オゾン層の保護の観点から、既に条約・議定書及び国内法に基づき所要の対策が講じられているものについては、本計画によらず引き続きそれらの制度に基づき対策の推進に努める。

1 メタン対策

メタン排出の抑制には、これまで行ってきた環境保全対策や今後の二酸化炭素排出抑制対策が寄与することから、これらの対策を一層推進する。更に、新たな対策の検討及び技術開発を進めつつ逐次対策の推進を図る。

(1) 廃棄物の処理における対策

- ① 一般廃棄物について極力資源化を図り、その減量化を推進する。
- ② 資源化及び他の方法による中間処理が行われない可燃ゴミについて、全量焼却に努め、未処理のまま埋立処分される有機物をなくすことにより、メタン排出量の大幅な削減を図る。なお、これらの対策の実行に際しては、焼却余熱の有効利用に努める。
- ③ 産業廃棄物については、汚でい、木くず等の資源化・再利用や適正処理を推進する。
- ④ 有機物を埋立処分する場合においても、メタン排出の少ない準好気性埋立を推進するとともに、メタンの回収、処理、利用を図る。

(2) 農業における対策

- ① 水田については、放出実態の把握を行いつつ、排水の改良等の水管理の改善や施用有機物の適正管理等がメタン放出低減に資すると考えられることから、これらの対策について検討を進める。
- ② 畜産については、家畜ふん尿の好気性発酵を主体とした対策を推進するとともに、

家畜からの排出の実態把握に努める。

(3) エネルギーの生産・利用における対策

- ① 石炭採掘については、保安対策として取り組まれているガス抜き回収・利用を今後とも進める。
- ② ガス供給事業等については、ガス漏洩防止等の排出抑制対策を今後とも進める。
- ③ 運輸部門等における燃料の燃焼については、エネルギーの有効利用等の対策を推進しつつ、排出量の実態の把握を行い、必要に応じ除去等の排出抑制対策についてその技術的可能性も含め検討を進める。

2 亜酸化窒素対策

窒素肥料を施した土壌からの放出については、放出実態の把握を行いつつ、窒素施用の効率化に資する施肥管理技術、緩効性肥料の開発・使用等の放出抑制対策について検討を進める。また、化石燃料等の燃焼からの排出については、発生・排出の機構解明、排出量の定量的把握を行い、排出抑制対策の導入を目指して調査研究・技術開発を進める。

3 その他の対策

メタン及び対流圏オゾンの大気中濃度を増加させる一酸化炭素、非メタン炭化水素、窒素酸化物(NO 及び NO_2)について、地球温暖化への寄与を把握するとともに、これまで行ってきた対策の推進に努める。

3 二酸化炭素の吸収源(森林等の緑)対策

二酸化炭素の吸収源である森林・都市等の緑の適切な維持及び拡大を図るため、森林の生態的な多様性の保全と持続可能な利用に配慮しつつ、その量、質等を把握して、森林・都市等の緑の保全整備を総合的・計画的に推進する。

また、併せて木材資源の利用の適正化を図る。

1 国内の森林・都市等の緑の保全整備

(1) 森林の適切な保全整備

- ① 自然性の高い森林から都市地域に残された森林に至るまで多様性を確保しつつ、体系的に保全するとともに、持続可能な森林の管理を推進する。
- ② 林業生産体制の整備等に努め、間伐等の保育を適切に実施するなど森林の管理水準を向上させる。また、非皆伐、長伐期、複層林、育成天然林、天然生林施策等により、多様な森林の整備と持続可能な森林経営を推進する。
- ③ ナショナルトラスト活動をはじめとする各種の森林の保全に係る民間活動を支援するとともに、地域住民の参加による里山や都市近郊における身近な森林の保全管理を推進する。
- ④ 国民の参加、資金の拠出による森林の保全整備を推進する。

⑤ 酸性雨等の環境汚染による森林への影響を把握し、適切な対策を推進する。

(2) 都市等における緑の保全創出

① 公共公益施設や工場、事業所等の緑化を推進する。

② 都市内あるいは都市をとりかこむ緑地、森林を相互に結びつけて、広域的かつ連続的に確保するため、都市公園や都市緑地の整備、保全等を図るとともに、宅地、ビルの屋上等における緑化を進めるなど、都市の緑化を総合的に推進する。

③ 国民の参加、資金の拠出による緑化を推進する。

2 木材資源利用の適正化

(1) 熱帯木材貿易の適正化

持続可能な熱帯林の経営をめざした国際熱帯木材機関（ITTO）の活動に積極的に貢献することにより、熱帯木材貿易の適正化を図る。

(2) 木材資源の有効利用

間伐材の利用促進を図るとともに、木材製品の耐久化や再利用、再生紙の利用を促進し、使い捨て型の利用を減らすなど資源の有効利用を総合的に推進する。

4 科学的調査研究、観測・監視の推進

「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」（地球環境保全に関する関係閣僚会議申合せ）、「地球科学技術に関する研究開発基本計画」等を踏まえつつ、地球温暖化に関する調査研究、観測・監視を総合的に推進する。その際、地球圏・生物圏国際協同研究計画（IGBP）、世界気候研究計画等の国際共同研究計画などの国際プロジェクトに積極的に参画するとともに、研究交流を図る。

特に、わが国としては、アジア・太平洋地域に重点をおいた調査研究、観測・監視を当該地域の研究者とも協力しつつ推進する。このため、調査研究、観測・監視の拠点等、研究体制の充実を図る。

さらに、これらの成果をデータベース化及びネットワーク化することにより地球規模での共有化に努める。

また、地球温暖化研究に関連する幅広い分野における研究者・技術者を育成する。

1 科学的調査研究

(1) 機構解明及び将来予測

① 地球温暖化の機構解明及び予測技術の向上のため、雲の影響、大気と海洋の相互作用を含む海洋の影響、雪氷の影響、生態系の寄与、古気候等の解明に努める。

例えば、雲の放射過程、深層を含めた海洋変動及び極域氷床に関する調査研究の実施に努める。

② 気候の形成及び気候変動に影響する主要な因子をモデルへより適切に組み込むとと

もに、モデルのメッシュ間隔の縮小に努める等、気候モデルの高度化を図る。

- ③ 予測精度の向上及び総合的な温室効果ガス削減対策の推進に資するため、二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素等各種温室効果ガスの発生源・吸収源の特定、発生量・吸収量の定量的把握を行う。

例えば、海洋等の二酸化炭素吸収能の把握に関する調査研究及びシベリア等高緯度地域におけるメタンの放出量に関する調査研究の推進に努める。

(2) 影響の評価

地球温暖化が生態系、健康、水資源及び社会経済に与える影響、並びに沿岸域における災害等温暖化の様々な影響の評価の精緻化のため、影響評価モデルの開発を図る。また、影響の経済的評価及び環境資源勘定の手法の確立に努める。

(3) 対策の立案・評価

地球温暖化対策技術の評価手法及び対策の経済的評価手法の確立に努める。また、環境保全型社会システム作りのための研究及び地球環境と調和する生活文化のあり方に関する研究を推進する。

(4) アジア・太平洋地域を対象とした総合的な地球温暖化研究

アジア・太平洋地域における地球温暖化の影響・対策等に関する研究を重点的に推進する。このため、地球温暖化の機構の解明により、地域的気候変化の予測精度の向上を図るとともに、温室効果ガスの排出・吸収量の特定、地球温暖化影響の評価及び対策の立案・評価についてアジア・太平洋地域の各国との共同研究等により、わが国がアジア太平洋地域において中核的な役割を果たしつつ、同地域における地球温暖化研究を総合的に推進する。

2 観測・監視

地球温暖化現象及びその影響の把握、並びに調査研究の推進のため、人工衛星、航空機、船舶、地上観測・監視施設等による温室効果ガス、温室効果関連ガス、気候、海洋、生態系等の変動に関するモニタリングを計画的に実施するとともに、これらの観測・監視データの流通に努める。また、より高度な観測・監視技術の研究開発を進める。

例えば、温室効果ガス、気象・海象等のモニタリングにおいては、人工衛星による観測・監視が重要であることから、センサー等観測技術やデータ処理技術等の研究開発を推進するとともに、国際ネットワークのもとに全球的な観測・監視に貢献する。

5 技術開発及びその普及

わが国は世界的に優れた省エネルギー技術等を有しており、前述の諸計画等を踏まえつつ、これら技術の一層の普及に加えて、より高度な省エネルギー技術、新エネルギー技術、二酸化炭素の回収・固定化技術等の開発の促進に努めるとともに、技術の普及を促進する社会システムの構築を図る。

1 温室効果ガス排出抑制のための技術

- (1) 温室効果ガスの排出を抑制するため、安全性確保を前提に原子力の開発利用を推進する。また、太陽、風力、波力等の自然エネルギー及び天然ガス等、二酸化炭素等を排出しない、あるいは二酸化炭素等の排出が少ない新・代替エネルギー技術の開発・利用を推進する。
- (2) 高効率ガスタービンの開発、燃料電池等のエネルギー利用の効率化、生物機能を利用した製造技術等二酸化炭素等の排出が少ない製造技術の開発を行うとともに、住宅・民生機器における省エネルギー・省資源技術、下水道、河川、海、廃棄物処理等における未利用エネルギーの利用、高効率エネルギー利用技術、及び自動車等交通部門におけるエネルギー効率化のための技術・システムの開発を進める。
- (3) 廃棄物の再生利用技術の開発・普及を推進する。

2 温室効果ガス吸収・固定等のための技術

吸収・吸着剤や分離膜による二酸化炭素等の回収技術の開発を行うとともに、人工光合成等による回収した二酸化炭素等の長期固定化及び再利用のための技術開発を行う。

また、藻類、バイオテクノロジー、バイオマス等を利用した二酸化炭素の生物学的固定能力の向上のための技術開発を行う。

さらに、二酸化炭素の吸収源としての森林の保全造成、砂漠化防止のための技術開発や森林の保全に資するためのパルプ代替資源利用の技術開発を行う。

3 温暖化適応技術

将来の温暖化による気温、日照、降水量等の変化に備え、環境に適応する品種の開発等の農林水産技術、降水パターンの変化に対応する治水・水利用技術、海岸や河川の保全・都市改造等の海面水位上昇対策技術、さらに気候の変動に対する植生・野生生物種の保全技術の開発に努める。

6 普及・啓発

地球温暖化対策の推進については、国民各界各層の幅広い合意と協力を得るとともに、事業者及び国民の地球環境保全に向けた足元からの取組を促進するため、行動計画の周知及び地球温暖化問題に関する最新の科学的知見に基づいた正確な情報の普及を図り、広く環境教育の推進に努めるとともに、その自主的取組に対する支援・助成を行う。

- (1) テレビ等の各種メディアや環境週間等イベントを活用した普及・啓発、環境保護に関する講座の開催等環境教育の充実を図る。
- (2) 学校教育においては、地球環境問題に関する学習や自然体験学習の拡充等環境教育カ

リキュラムの一層の充実に努めるとともに、教員の環境教育に関する指導力の向上を図る。

(3) 省資源・省エネルギー国民運動や緑化推進運動の推進体制の整備を図り、これら運動の一層の広がりにも努めるとともに、各種地球環境保全活動・団体に対する支援・助成を行う。

(4) 調査研究等の成果の公表、地球環境保全活動の実践事例集等の各種マニュアル、ガイドラインの作成等を行う。

7 国際協力の推進

開発途上国における地球温暖化対策を強力に支援していくため、世界銀行の場における地球環境ファシリティに係る検討等開発途上国の支援に関する国際的取組に参加しつつ、政府開発援助の一層の充実等国際協力の推進に努める。また、調査研究、技術開発等の分野での先進国間の協力を積極的に推進する。

この場合、特に、エネルギー効率の高い生産設備・技術や新・再生可能エネルギー技術等の地球温暖化防止に資する技術の開発途上国への移転及び世界の森林の4割を占める熱帯林を中心とした二酸化炭素吸収源の保全・造成に対する支援を積極的に推進する。

1 地球温暖化防止対策の総合的支援

地球温暖化に係る科学的知見に関する情報提供、観測・監視、影響評価、対策戦略の策定・実施、環境問題対処能力の向上等地球温暖化対策に関する開発途上国の取組に対する総合的な支援を積極的に行う。

2 地球温暖化防止に資する技術の移転の推進

(1) エネルギー効率が低く、今後経済発展に伴い二酸化炭素排出量の急激な増加が見込まれる開発途上国に対し、エネルギー効率の高い生産設備・技術、交通施設や新・再生可能エネルギー技術等地球温暖化防止に資する技術の積極的な移転を推進する。

(2) 開発途上国に対する環境保全技術に関する情報提供、コンサルティング、研修等を行い技術移転を図ることを目的とした「UNEP地球環境保全技術センター」(仮称)の本邦への誘致を実現し、関連機関との連携を図ること等により、地球規模の取組を推進する。

3 熱帯林等二酸化炭素吸収源の保全造成の支援

(1) ITTOがその設立目的を真に発揮し得る世界森林基金として活動できるよう支援を強化するとともに、国連食糧農業機関(FAO)の熱帯林行動計画(TFAP)の国際的推進に努める。

なお、熱帯林行動計画は、森林保全と生態系保全を一層重視する形で、改革・強化さ

れるよう、また、ITTOの行動計画は持続可能な森林経営を重視し市場の動きを改善するうえで強化されるよう、国際的協調を図りつつ、適切に対応する。

- (2) 緑の地球を経営するという理念に沿って、熱帯林保有国の主権を尊重しつつ、持続可能な森林経営、造林、生態系保全に対する支援等を推進する。また、国際森林憲章の制定に努めるとともに、その推進を通じ、森林に関する国際的な枠組みづくりに積極的に貢献する。
- (3) 熱帯林のモニタリングと情報ネットワーク作りの支援等熱帯林を中心とする森林の保全・造成、研究への協力に引き続き積極的に取り組む。
- (4) ブラジル等熱帯林保有国の地域特性に応じた熱帯林保全プログラムの支援に努める。
- (5) 新規開墾等焼畑に起因する熱帯林の減少を抑制するため、既存農地の生産性向上のための支援を行う。
- (6) 温帯林についても、熱帯林と同様、国際機関との連携を図りつつ、総合的な保全対策を支援する。
- (7) 世界的な森林の減少については、酸性雨等環境汚染の影響も重要であり、環境汚染対策としての公害防止技術の移転を図る。
- (8) 国際機関との連携を図りつつ、砂漠化防止のための地域毎の行動計画の策定の支援、砂漠化防止に資する研究協力等砂漠化防止のための国際協力を推進する。

4 研究協力、適正技術の開発の推進

- (1) 地球温暖化に関する調査研究、観測・監視、二酸化炭素固定化・有効利用技術等革新的技術開発を中心とした技術開発について、先進国間での研究協力を積極的に推進する。
- (2) 開発途上国においては、その技術、人材、経済力等を踏まえた適正な技術の導入が必要であり、開発途上国に対しその国情に応じ適用可能な技術の開発・普及に努める。その際、開発途上国の研究機関と積極的に研究協力を推進する。

5 民間レベルでの国際協力の推進

我が国の過去の公害防止努力を通じて、多くの環境保全技術が企業等民間部門において蓄積されていることから、民間レベルでの技術移転のための活動を支援する。また、持続可能な森林経営、造林対策等の森林保全・造成、債務・自然保護スワップ等の民間活動についても、支援に努める。

6 国際協力プロジェクトに際しての地球温暖化防止への配慮

開発途上国における開発が地球温暖化防止と両立し得る形で進められるよう、国際協力プロジェクトの実施に当たっては、必要に応じ、二酸化炭素の排出の少ない技術の活用等地球温暖化防止の観点に配慮する。また、熱帯林の保全は、周辺地域を含めた持続可能な開発の実現と密接不可分であることから、熱帯地域における国際協力プロジェクトの実施に当たっては熱帯林の保全のために、必要に応じ、環境、社会、経済、文化等総合的な観点に十分配慮する。

第六 行動計画の推進

政府は、行動計画の効果的かつ円滑な推進に努めるものとする。

- (1) 各省庁は、国際的議論・検討も踏まえ、必要な政策について検討を行いつつ、「第五講ずべき対策」に定める事項を具体化するための必要な措置を講ずる。
- (2) 地球環境保全に関する関係閣僚会議は、毎年度、二酸化炭素の排出総量等の外、対策の実施状況等について報告を受ける。また、必要に応じ、当該報告を踏まえ、行動計画の推進について検討する。
- (3) 地方公共団体は、行動計画に沿って可能な取組を行うことが期待される。国は、地方公共団体の必要な協力を得るため、地球温暖化対策に係る地方公共団体の取組に関し、情報提供や基本的方向の提示、対策の実施に当たっての条件整備等地方公共団体に対する支援措置を講ずる。
- (4) 各省庁は、事業者等により行動計画に沿った取組が積極的に行われるよう、所管の関係団体等を通じ、行動計画の周知徹底を図る外、情報提供等必要な支援措置を講ずる。

北川環境庁長官談話

平成2年10月23日

1 本日、地球環境保全に関する関係閣僚会議が開催され、「地球温暖化防止行動計画」が策定されました。

2 この計画は、関係省庁が総力を結集して策定に当たったものであり、第一段階として、二酸化炭素の排出量を2000年から現状レベルに安定化させること等を目標に、政府としての基本方針及び実行可能な対策の全体像を示したものであります。

地球温暖化問題については、今後、国際協力の枠組みのための条約交渉が進められることとなりますが、この行動計画は、我が国として基本的姿勢を明確にし、国際的な合意形成に貢献するためのベースとなるものです。

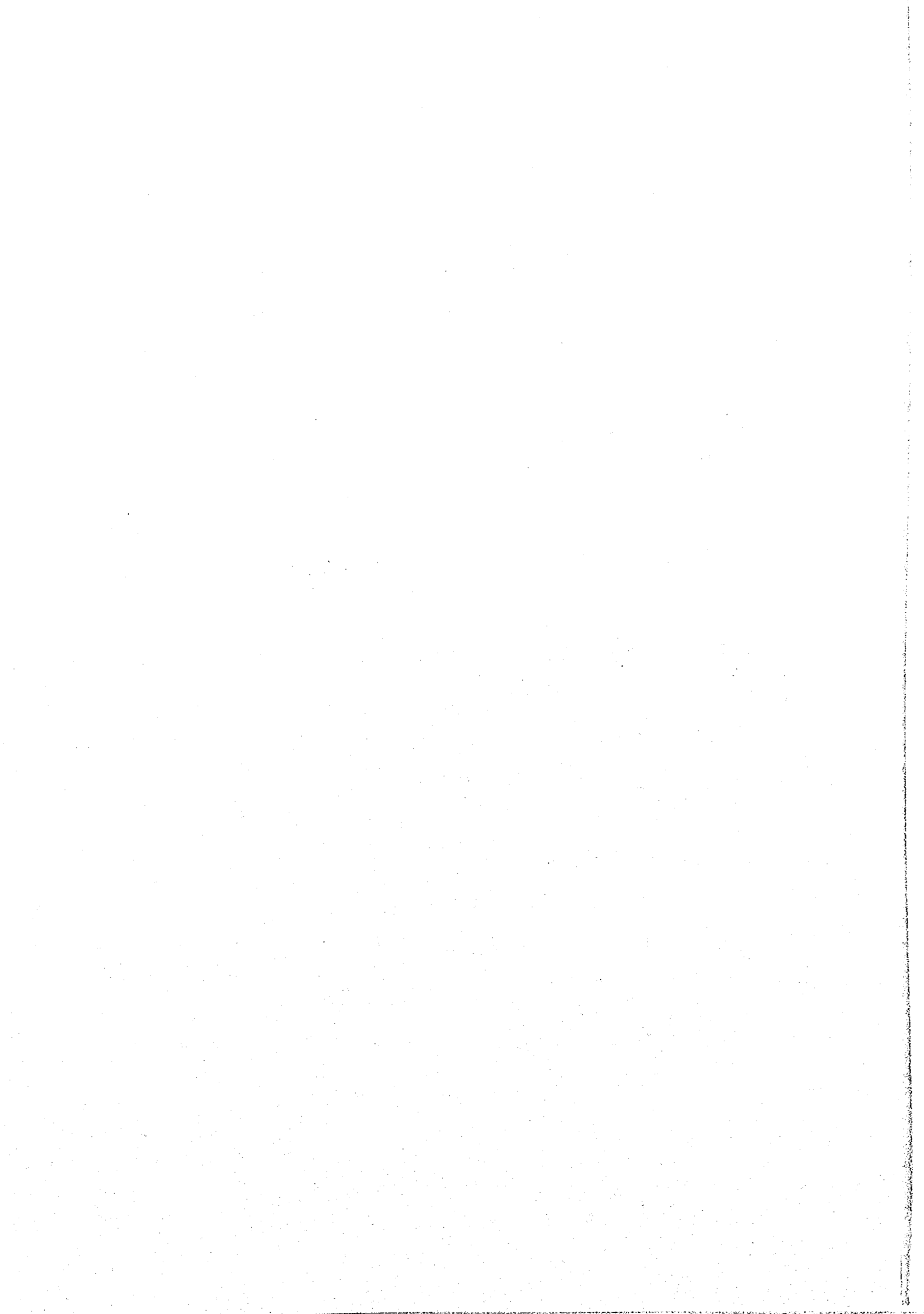
3 政府は、行動計画に盛り込まれた各般の施策を実施可能なものから着実に実施に移していくこととしており、私は、環境庁としても自ら直ちに行動に着手すべきであると考え、行動計画の普及・啓発、計画推進のための全国的な協議会づくり、開発途上国等の取組に対する協力、各種対策の推進方策等について早急にその具体案をとりまとめるよう事務局に指示いたしました。

4 二酸化炭素の排出抑制をはじめとして温暖化対策は、都市・地域の構造、交通体系、エネルギー供給構造、ライフスタイル等の社会システムの在り方にまでさかのぼって、これらを見直しながら、経済の安定的発展を図りつつ推進するものであり、地方公共団体、産業界、さらには国民の皆様におかれましても、この行動計画の推進に十分なご理解と特段のご協力をお願いしたいと思います。

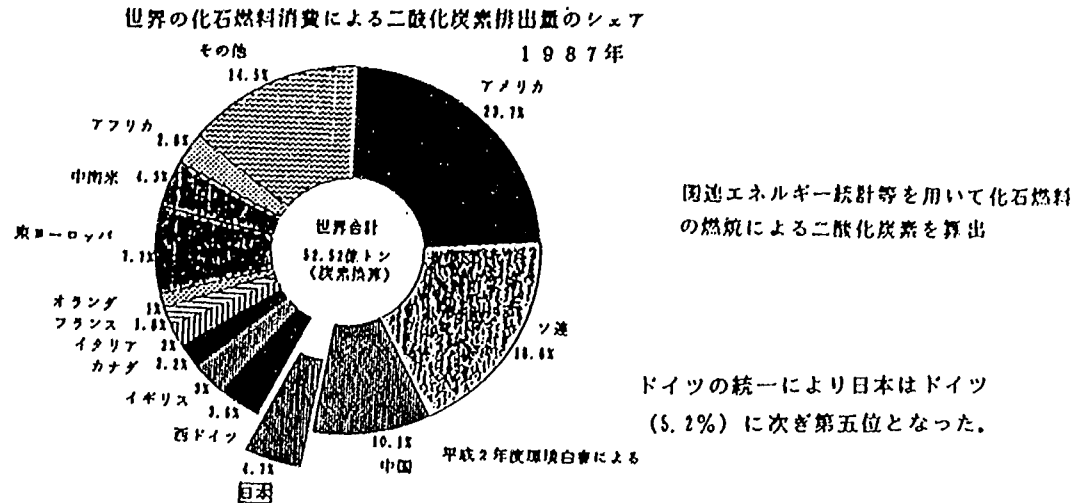
とりわけ、温暖化問題は、地球全体の問題ではありますが、その取組は、足元から、地域から着実に推進していくことが必要であり、家庭や職場における一つ一つの行動の積み重ねが大きな力となります。国民の皆様も是非地球のために知恵と工夫を凝らして実践していただけるよう心からお願い申し上げます。

参 考 資 料

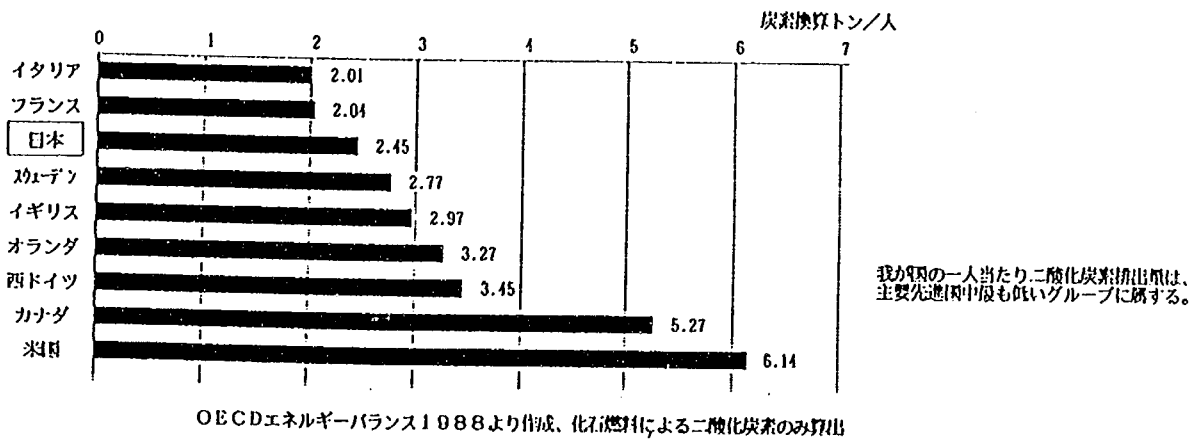
	ページ
1. 我が国及び世界各国の二酸化炭素排出量比較等	89
2. 気候変動に関する政府間パネル（I P C C）報告の概要	90
3. 温暖化防止行動計画用語解説	91
4. 当面の地球温暖化対策の検討について （平成2年6月18日地球環境保全に関する関係閣僚会議申合せ）	96
5. 温室効果ガス目標設定に関する各国の動向	99



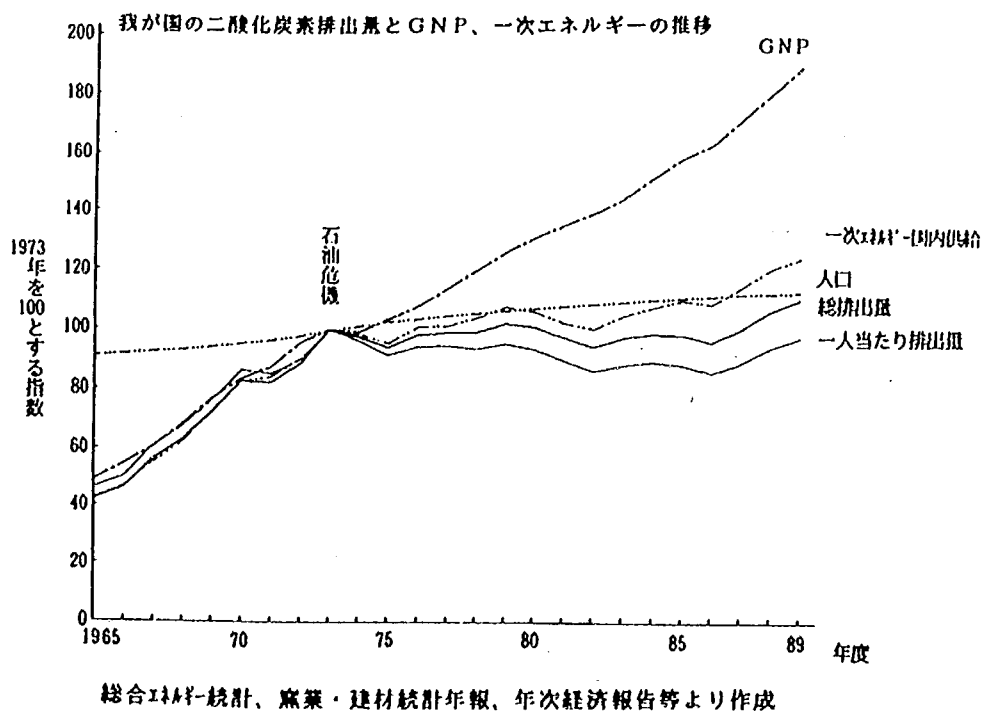
1. 我が国及び世界各国の二酸化炭素排出量比較



先進国の一人当たり二酸化炭素排出量の比較 (1988年)



2. 石油危機以後の我が国のエネルギー消費（二酸化炭素排出量）の動向



このグラフは、総合エネルギー統計等から化石燃料の燃焼、セメントの生産に伴う二酸化炭素排出量を算出したものであり、1.のグラフの値とはかならずしも一致しない。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）報告の概要

[科学的知見]

- 二酸化炭素、メタン、フロン、亜酸化窒素等の温室効果ガスの大気中濃度は人間活動により著しく増加しており（産業化以前と比べ、現在二酸化炭素換算で50%増加）、このため温室効果が増大している。
- 特段の対策が取られない場合、二酸化炭素等の排出量が大幅に増加し、全地球の平均として、来世紀中の温度上昇は10年間で約0.3℃（0.2～0.5℃）、2025年までに現在より約1℃、来世紀末までに3℃の上昇があり得る。また、海水の膨張、氷の融解等により、来世紀中、地球全体で平均して10年間に約6cm（3～10cm）、2030年までに約20cm、来世紀末までに65cm（最大1m）の海面の上昇が予測される。
- 長寿命の温室効果ガス（二酸化炭素、亜酸化窒素及びフロン）の濃度を現在の濃度に安定化するためには、人為的な純排出の60%以上を直ちに削減する必要があるだろう。メタンは同様に15～20%の削減が必要だろう。

[環境的、社会経済的影響]

- 気候変動は、世界の社会、経済及び自然のシステムに多大な影響をもたらす。人類が本格的な予防対策及び適応対策を講じない限り、地球の環境には重大かつ潜在的には破滅的ともいえる変化が生じるだろう。
- 30～50cmの海面上昇は低い島しょや沿岸地域を脅威にさらすだろう。1mの海面上昇はいくつかの島しょを居住不可能にし、都市の低地、氾濫原を脅かすなどし、何千万人もの人々が移住を余儀なくさせられるだろう。
- 気候変動は農業林業に重要な影響をもたらすとともに、降水量を変化させ水資源利用に重大な影響を及ぼすだろう。また自然生態系においては、種の分布や構造が変化し、いくつかの種はストレスの増大により失われるだろう。

[対応戦略]

- 気候変動のもたらす可能性のある深刻な影響に鑑み、不確実性の下でも直ちに正当化される対策を開始すべきである。
- 国際協力の下に、技術開発及び普及を強化していくための段階的かつ柔軟な対応策が計画されるべきである。全ての観点を踏まえた包括的な対応策が必要である。
- 先進工業国と開発途上国は、問題に立ち向かう共通の責任を持つが、その内容は異なる。温室効果ガスの排出に大きな責任を持つ先進工業国は次の2つの事項を率先して実施すべきである。
 - ・排出量を抑制するという将来の合意に沿って、経済を適合させることにより気候変動を抑制する対策をとること
 - ・発展を阻害しないような方法で、開発途上国が対策をとれるよう協力すること
- それぞれの個別の状況に応じて、個別の国家、あるいは国家グループが、人為的活動に起因する温室効果ガス排出量を抑制、安定化、または削減し、また、吸収源の破壊を防止し、吸収源の効果を改善するという試みについて、今行動を開始することを進んで考慮することもできよう。

第一「気候変動に関する政府間パネル（IPCC）」

国連環境計画（UNEP）と世界気象機関（WMO）が1988年11月に設置。地球温暖化の科学的知見、環境的・社会経済的影響、対応戦略について、世界の科学者、専門家による検討を行い、第一次報告書を本年8月にまとめた。

第一「温室効果ガス」

大気中には、地表から宇宙空間に向かって放射される赤外線を吸収し、熱を逃げにくくするガスがあるため、地球は大気のない場合に比べて温かく保たれている。この働きをするガスを「温室効果ガス」といい、二酸化炭素、水蒸気、メタン、亜酸化窒素、フロン、対流圏オゾン等がある。

第五-1-1（1）「ヒートアイランド現象」

アスファルト、コンクリート等による日射熱の蓄積及び人間活動に伴う排熱により都心部で郊外に比べて気温が高くなる現象で、等温線を描くとあたかも都市を中心とした「島」があるように見えることから「ヒートアイランド現象」と呼ばれている。

第五-1-1（2）「パッシブソーラーハウス」

住宅の省エネルギー化を図るために、特別な機器を使用せずに住宅の設計等を工夫することにより、主として冬期において昼間の太陽熱を熱容量の大きい蓄熱体に蓄え、夜間にその蓄熱体からの放熱を暖房に利用する住宅。

第五-1-1（2）「太陽電池」

太陽の光エネルギーを電気に転換して発電するもの。

第五-1-1（3）「燃料電池」

燃料の持つ化学エネルギーを燃焼させることなく直接電気エネルギーに変換する装置の総称。

第五-1-1（3）「コージェネレーション（熱電併給システム）」

エネルギーの多段階利用を行う設備で、燃焼により発生する熱の高温部から動力（発電に用いられる）を、動力がつくられる際の排熱等から熱を、同時に取りだすもの。

第五-1-1（4）「ヒートポンプ」

熱源として河川水、大気等のエネルギーを利用し、電気、ガス等のエネルギーをポンプの駆動エネルギーとして利用することによってより高い熱を得る装置であり、投入エネルギー

以上の再生エネルギーを生み出すもの。

第五-1-2 (1) 「ハイブリッドエンジン」

複数の異なった動力源（内燃機関、電気モーター等）を組み合わせたエンジン。

第五-1-2 (1) 「超希薄燃焼方式」

三元触媒システムを用いた通常のガソリンエンジンの空燃比（空気と燃料の比率）より著しく高い空燃費で燃焼させることにより、燃費の向上及び排出ガスの低減を図る方式。

第五-1-2 (1) 「回生エネルギーの利用」

ブレーキをかけた時に大気中に放出されるはずの熱エネルギーを発電機器等によって、動力のエネルギーとして回収し、利用すること。

第五-1-3 (1) 「溶融還元製鉄法」

従来からの高炉法とは異なる新しい製鉄法。粉末状の鉄鉱石及び石炭をそのまま使用できるため、焼結（粉鉱石の塊状化）設備やコークス炉が不要であり、操業の弾力性向上（設備の起動・停止が比較的容易等）、製鉄コストの低減及び熱効率の向上による省エネ等の効果が期待されている。

第五-1-3 (1) 「直接苛性化技術」

紙の製造工程として、初めに、木材チップを苛性ソーダで蒸解してパルプを製造する工程があるが、ここで使用された苛性ソーダを回収する技術（苛性化技術）の一つ。回収の際苛性化剤として酸化鉄を利用するもので、再生に必要な重油が節約できる。

第五-1-3 (2) 「バイオマス」

エネルギー等として利用可能な生物資源の総体。バイオマスのエネルギーとしての利用形態は、直接燃焼させて熱とするもの、発酵、熱分解等によりアルコール、ガスを発生させこれを燃焼させて熱とするもの等がある。

第五-1-4 (1) 「コンバインドサイクル発電」

燃料をまずガスタービンで燃焼して発電を行い、その排ガスで蒸気を発生させてさらに発電を行うなどガスタービンと蒸気タービンを組み合わせることにより発電効率を飛躍的に向上させる発電方法。

第五-1-4 (1) 「超々臨界圧プラント」

タービン入口の蒸気条件を超高温・高圧化することにより発電効率を飛躍的に向上させるもの。

第五-2-1 「メタン (CH₄)」

地球レベルで見ると沼、湿地、海洋等の自然発生源もあるが、水田、家畜や、石炭、石油、天然ガスの採掘・利用、廃棄物の埋め立て等の人為的発生源が濃度増加の原因とされている。なお、我が国においては、石油、天然ガスの採掘時の排出はないと考えられる。大気中濃度は約1.7ppmと低い、濃度当たりの温室効果は二酸化炭素の数十倍とされ、濃度の増加率も年間約1%と高い。

第五-2-2 「亜酸化窒素 (一酸化二窒素、N₂O)」

地球レベルでの排出源は、土壌、海洋や燃料の燃焼等とされているが、定量的な排出量の把握は十分ではなく、未知の排出源がある可能性もある。大気中濃度は約0.3ppmと低い、濃度当たりの温室効果は二酸化炭素の数百倍とされている。

第五-3-1 (1) 「複層林施業」

人工林の一部を部分的に伐採して苗木を植林することにより、異なった林齢 (異なった高さの複数の層) で構成される森林を造成する施業のこと。

第五-3-1 (1) 「育成天然林施業」

自然に更新した森林に、間伐等の人手を積極的に加えることにより森林を造成する施業のこと。

第五-3-1 (1) 「天然生林施業」

自然の更新により、森林を維持造成する施業であり、禁伐を含む。

第五-3-1 (1) 「ナショナルトラスト活動」

自然景勝地等を、市民が出資した資金により買い取るなどして保全管理する活動であり、イギリスが発祥の地といわれている。我が国では「しれとこ100平方メートル運動」や「天神崎保全市民運動」などの事例がある。

第五-3-2 (1) 「国際熱帯木材機関 (ITTO)」

国際熱帯木材協定に基づいて1986年に設立された、熱帯の森林及び木材に関する生産国、消費国間の国際的な協力を進めることを目的とする国際政府間機関 (本部は横浜)。ITTOの理念として持続可能な開発を掲げており、本年5月の理事会において、2000年までに、持続可能な管理を行う熱帯林から生産された木材を貿易の対象とすべきであるという目標を打ち出し、また、森林経営等のガイドラインを採択した。

第五-4 「地球科学技術に関する研究開発基本計画」

科学技術の側面から、我が国が地球環境問題等に取り組む基本的考え方を示したもの。重要研究開発課題及び推進方策を示したもので、1990年6月の科学技術会議による答申を受け

て、同年8月に内閣総理大臣により決定された。

第五-4「地球圏・生物圏国際協同研究計画（IGBP）」

国際学術連合会議（ICSU）が1990年から10年計画として提唱した国際共同研究計画。地球環境に関連する生物学的・化学的過程を明らかにし、地球の変化を予測するための科学的基盤を作ることを目的とする。

第五-4「世界気候研究計画」

国際学術連合会議（ICSU）と世界気象機関（WMO）によって立案され、その実施について世界各国に参加が要請された国際共同研究計画。気候変動の機構解明、気候の長期予報の物理的基礎の確立、気候変動の予測等に関する研究を行うことを目的とする。

第五-4-1（2）「環境資源勘定」

土地（土壌）、森林、湖沼、鉱物資源等の環境資源のストックとしての存在量及び質を何らかの物的または金銭的尺度で評価して、一定期間の初めと終わりで環境の状態等がどのように変化したかを定量的に表そうとするもの。

第五-5-1（2）「高効率ガスタービン」

セラミックス等を利用した高温ガスタービン。従来のものに比べて発電効率が高い。

第五-7「地球環境ファシリティ」

世界銀行の場で検討されている環境問題に対する基金構想。世界銀行、国連環境計画（UNEP）、国連開発計画（UNDP）の三者の協調の下で、地球温暖化等地球環境問題に対する開発途上国の取組を支援するため譲許的資金供与等を行おうとするもの。

第五-7-2（2）「国連環境計画（UNEP）」

1972年にストックホルムで開催された国連人間環境会議を契機に、既存の国連システム内の諸機関が行っている環境関係の諸活動を一元的に調整し、かつ、これら諸機関等の環境保全分野での活動を促進することを目的として設立された。国連システム内での環境分野の活動の総合的な調整のほか、その他の国際機関、各国政府、非政府機関とも幅広い協力を行っている。

第五-7-3（1）「国連食糧農業機関（FAO）」

1945年に人類の栄養と生活水準の向上を図り、食糧、農林水産物の生産や分配の能率を増進し、さらに農民の生活条件を改善することにより世界経済の拡大に寄与することを目的として設立された。食糧、農林水産業等に関する資料の収集・分析・配布、政策措置や改善計画の示唆、各国政府に対する技術援助等の活動を行っている。

第五－７－３（１）「熱帯林行動計画（ＴＦＡＰ）」

熱帯林の適正な開発と保全を図るため、１９８５年にＦＡＯ（国連食糧農業機関）で採択された国際的な行動計画。熱帯林の持続的な開発を目指した国別の計画策定・実施の支援が主な内容。

第五－７－３（２）「国際森林憲章」

本年８月に行われた国連環境開発会議の第１回準備会合で我が国が提唱したもの。世界規模での森林の保全造成を推進するための合意づくりに向けて、持続可能な開発、国際協調行動等の理念に基づく精神規定として憲章を定めようとするもの。

第五－７－５「債務・自然保護スワップ」

国際的な自然保護団体などが民間銀行から開発途上国に対する債権を取得し、これを開発途上国の現地通貨建ての債権に交換し、それを財源として、当該政府ないしは現地の自然保護団体が自然保護活動を行うもの。

当面の地球温暖化対策の検討について

平成 2 年 6 月 18 日
地球環境保全に関する
関係閣僚会議申合せ

地球温暖化問題は、科学的に未解明な部分が残されているものの、人類の生存基盤に深刻な影響を及ぼすおそれがある重大な問題である。このため、今後とも科学的知見の集積に努めつつ、手遅れとならないよう的確な対応を図ることが重要な課題となっている。

我が国としては、気候変動に関する政府間パネル（I P C C）を中心とした地球温暖化問題に係る国際的検討に積極的に参加し、地球温暖化対策に関する国際的な枠組みづくりに貢献することを基本とし、その一環として我が国としても実施可能な対策から直ちに行動に着手していくことが極めて重要である。

その場合、地球温暖化問題については、人類の英知を結集し、長期的かつ世界的な視野に立って計画的総合的に対策に取り組むことが求められている。

このような認識の下に、政府として、地球温暖化対策について、次により検討を進めることとする。

1 地球温暖化防止行動計画について

本関係閣僚会議は、我が国として当面講ずべき対策等に関する地球温暖化防止行動計画（以下「行動計画」という。）を、国際的な動向に的確に対処し得るよう、本年秋の早い時期を目途に策定することとする。

行動計画は、国際的な動向や科学的知見の集積を踏まえつつ、必要に応じ見直しを行い、機動的に対応していくこととする。

（1）行動計画の趣旨

地球温暖化対策を計画的総合的に推進していくための当面の政府としての方針及び今後取組んでいくべき実行可能な対策の全体像を明確にし、もって国民の理解と協力を得るとともに、我が国として国際的な枠組みづくりに貢献していく上で基本的姿勢

を明らかにしようとするものである。

各省庁は、行動計画の策定に積極的に取組むとともに、策定された行動計画に沿って、国民各界各層の理解と協力を得ながら実施可能な対策から着実に実施に移していくよう努めるものとする。

(2) 行動計画の枠組み

① 行動計画の目標

ア 二酸化炭素(CO₂)等の温室効果ガスの排出の安定化等の必要性

CO₂等の温室効果ガスの大気中濃度が年々増大し、これによる環境への重大な影響が懸念される。ノールトヴェイク宣言では、(ア)世界経済の安定的発展を確保しつつ、CO₂等の温室効果ガスの排出を安定化させる必要性、及び(イ)このような安定化が、IPCC及び1990年11月の第2回世界気候会議によって検討される水準で、先進国により可能な限り早期に達成されるべきこと、並びに(ウ)森林の減少と森林の健全な管理・造林との地球規模でのバランスを追求すること等について、国際的に合意されたところである。

我が国としても、上記合意を始めとする国際的動向を踏まえ、経済の安定的発展を図りつつ、できるだけ早期にCO₂等の温室効果ガスの排出の安定化を目指すとともに、地球規模での森林の保全・造成等CO₂の吸収源の拡大等を目指すこととする。

イ 目標の設定

行動計画の策定に当たっては、地球温暖化問題に係る国際的な動向、科学的知見の集積、今後の我が国の経済の世界経済に占める役割、我が国の望ましい経済運営の在り方、国民のライフスタイルの在り方等を踏まえ、温室効果ガスの排出安定化の具体的目標の設定の在り方に関し、ノールトヴェイク宣言に留意しつつ2000年までに極力低いレベルで安定化させるべく十分な検討を行った上で、本行動計画の指針となる適切な目標を設定するよう努めることとする。

② 計画の期間

当面、1991～2010年とし、適切な計画期間の区分を示すこととする。

③ 講ずべき対策

行動計画に盛り込まれる対策及びその推進方策については、CO₂等の温室効果ガスの排出をできる限り抑制するとともに、吸収源を拡大するとの方針の下に、エ

エネルギー対策、交通対策、都市政策、農林水産政策等幅広くその対象として、経済への影響等を考慮しつつ検討していくものとする。

ア 温室効果ガス排出抑制対策

(ア) 省エネルギー・省資源の推進

(イ) 低CO₂排出及びCO₂を排出しないエネルギー源の導入・普及

(ウ) メタンその他の温室効果ガスの排出抑制対策

イ 造林・緑化等の温室効果ガスの吸収源の保全・整備対策

ウ 地球温暖化のメカニズム、気候変動の将来予測等に関する科学的調査研究及び観測・監視の推進

エ CO₂固定化・有効利用等の技術開発及びその普及

オ 普及・啓発、その他温暖化防止に資する対策

カ 国際協力の推進

④ ③で定められた対策の具体化のための措置

2 地球温暖化防止のための世界的長期ビジョンについて

地球温暖化問題の対応に当たっては、さらに、長期的な視野に立って総合的に世界が協調して取組むことが重要であるため、我が国として、地球環境に優しい社会経済の構築に向けて、次のような事項に関し、世界規模での100年程度の長期的なビジョン（地球再生計画）づくりの必要性を国際的に提唱するとともに、かかる国際的合意の形成に資するため、所要の検討を行うものとする。

ア 科学的基盤の整備

イ 省エネルギー・省資源の推進

ウ クリーンエネルギーの大幅導入

エ 革新的な環境技術の開発

オ 造林、熱帯林の保全等による温室効果ガス吸収源の大幅拡大

カ 次世代エネルギー技術の開発

温室効果ガス目標設定に関する各国の動向

2.10.19 現在

1. 米国（9月ライリー環境保護庁長官講演）

CO₂だけではなくメタン、フロン等を含む全ての温室効果ガスの排出と吸収（森林等）を考慮した場合、2000年において、現在までに提案されている対策を実施しない場合に比べ25%削減（1987年レベル以下に相当）可能（但しこれは目標ではなく対策を実施した時の見込み）

2. 英国（9月環境白書）

他の諸国が同様の措置をとるならば、英国も2005年までにCO₂の排出量を現状（1990年）レベルで安定化

3. 独（6月閣議決定）

① 2005年までに1987年のCO₂排出量の25%を減少させることを目指して案を作成するための関係省庁作業グループを設立

② 同グループは、1990年11月迄に現状報告及び可能であれば閣議決定案を閣議に提出予定

4. 仏（9月閣議了解）

2000年に一人当たりCO₂排出量を2トン／年以下で安定化

5. カナダ（5月ECE環境大臣ベルゲン会合）

2000年までに1990年レベルに安定化

6. イタリア（5月ECE環境大臣ベルゲン会合）

2000年迄に現在レベルでCO₂の排出量を安定化し、2005年以前に20%削減を意図

7. オランダ（6月新国家環境政策計画）

1995年迄にCO₂の排出量を1989年と1990年の平均レベルに安定化し、2000年にはさらに3～5%削減

8. スウェーデン（89年環境白書）

2000年迄にCO₂の排出量を現在（1988年）レベルに安定化

9. オーストラリア（10月閣議決定）

モントリオール議定書で規制されるガスを除く全ての温室効果ガス（例 CO₂、メタン、亜酸化窒素）の排出を2005年迄に1988年レベルより20%削減する暫定計画目標を採択（他国が同様の行動をとらない限り経済に悪影響を及ぼす対策等はとらないことを併記）

要 旨 全世界的に地球環境問題に対する関心が高まり、中でも地球温暖化が注目を浴びている中であって、政府においては、「地球温暖化防止行動計画」が策定されている。

土木研究においては、平成元年度、外部の専門家による「地球水環境の変化に関する検討委員会」を設置した。同時に、職員による「地球温暖化に関する勉強会」（2年度、「地球環境問題に関する勉強会」と名称変更）を開始した。

本資料は、この検討委員会、及び勉強会の成果を、第一報としてとりまとめたものである。

キーワード：地球環境問題、地球温暖化、地球水環境、水資源、雪資源、海面上昇

郵便はがき

3 0 5 - □ □

四十一円切
手をはって
下さい。

建設省土木研究所

企画部企画課
行

茨城県つくば市旭一番地

No. _____

No. _____

配布先住所

配布先氏名

土木研究所資料 第2991号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印