

ISM 0914-7896

DENCHUKEN REVIEW

電中研レビュー

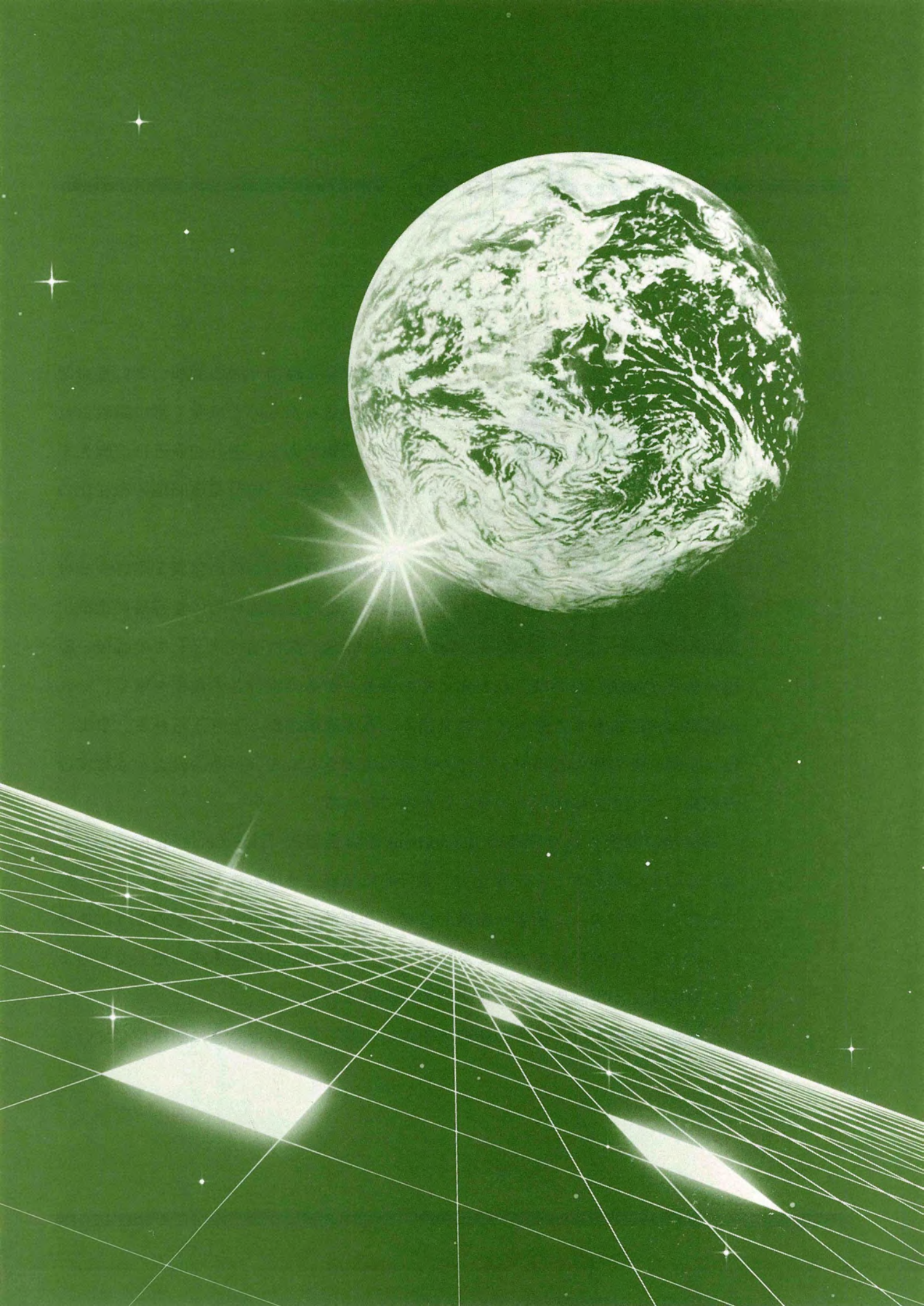
環境研究の新しい展開
望ましい環境を求めて。



NO.22 1989.11

電中研レビュー第22号 ● 目次
環境研究の新しい展開——望ましい環境を求めて——
編集担当●環境総合推進室長 天野 博正

巻頭言	東京大学 工学部 教授 茅 陽	2
はじめに	電力中央研究所 理事 米原 幹夫	5
第I部 望ましい人間環境の実現を目指して		6
第1章 望ましい環境を守る		
1-1●地球温暖化		9
1-2●酸性雨		27
第2章 望ましい環境を創る		
——アメニティ社会を指向した快適環境の創造——		
2-1●都市環境のための新しい技術開発		41
2-2●地域環境のための新しい技術開発		47
第II部 環境アセスメント手法の高度化を目指して		52
第3章 アセスメント手法の高度化		
3-1●大気環境アセスメント手法の高度化		55
3-2●水域環境アセスメント手法の高度化		64
3-3●景観アセスメント手法の高度化		73
おわりに	環境総合推進室長 天野 博正	77
関連する主な研究報告書等		78





環境保全と経済発展の調和、という命題は今に始まったものではなく常に議論されてきた話題である。それが最近再び脚光を浴びているのは、地球環境問題の顕在化の故に他ならない。

環境保全の努力が経済発展を阻害する可能性のあることは論理的にも容易に指摘出来る。欧米で酸性雨対策としての脱硫・脱硝の普及が難航したのは、ひとえにそのコストがその実行者の負担を増し、それが国民経済的にも大きなマイナスを招く、との危惧感からと考えられる。事実、経済企画庁その他の経済モデルでの検討の結果をみると公害防除投資が或程度経済成長にマイナスに働いていることがみてとれる。

1987年に発表された国連の Brundtland 委員会報告「Our Common Future」では、この2つが必ずしも矛盾せず、並行的に発展させ得ることを述べている。たしかにケースによって両者が相補的に働くことは有り得ようが、そのように無理にものごとをきれいにみせるより、むしろこの2つの相克性を認めた上でどのように対応するかを論ずる方が現実的ではあるまいか。

こう述べる理由は、過去の諸環境問題に比較して、最近急速に問題化している

地球環境問題、なかんずく温暖化問題ではこの2つの相克がより明確であるからである。対策の主体をなすとみられる化石燃料の低減は、現在の人類のそれへの依存度の大きさを考えるとどうしても経済成長の低下につながると思わざるを得ない。

しかし、ここで重要なのは、経済発展も環境保全も基本的には我々の生活環境をより向上させるための手段であることを認識することである。その二者択一は決して望ましい答えではなく、この2つの生活環境への貢献の総和を出来るだけ大きくするように我々は行動すべきである。その意味で、いわゆる conservationists と成長論者は対立的なものではなく、両者の差は問題の評価のウエイトの差に過ぎない。

今後、地球環境問題への具体的な対応の議論が進むにつれて、この環境保全と経済発展の問題は再び国際舞台で大きな議論の対象となってくるであろう。特に1992年に第2回の世界環境会議が予定されていることを考えると、この問題は単に先進国のみでなく、南北問題という視点でも議論されることとなろう。我々は、問題を対立的な2つの方向としてみるのではなく、生活環境の改善という統一した目標への努力、という見方でとらえ、行動計画を論議していくべきであろう。

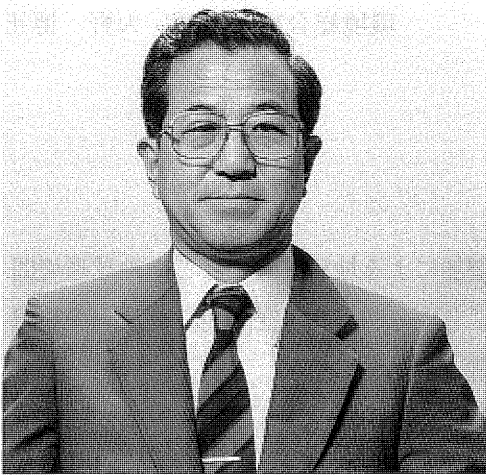
東京大学工学部 教授
茅 陽 一

電中研「環境関連研究」の歩み（1960～1989年）

西暦	月	当 所 の 状 況	月	日 本 と 世 界 の 状 況
1960	10	油燃焼試験炉（立型）を設置		
	10	石油学会との重質油共同試験開始（63年2月終了）		
1962			12	ばい煙規制法施行
1965	5	排ガス実験棟が竣工（中型風洞実験室、SO ₂ 除去実験室）		
1967	10	燃料油燃焼試験炉（横型）を設置（71年燃焼条件調整装置を付設）	8	公害対策基本法施行
1968			12	大気汚染防止法、騒音規制法施行
1969			2	SO ₂ 環境基準設定
1970	12	温排水拡散実験用潮汐発生装置を設置	11	公害紛争処理法の施行
1971	8	技術第一研究所の組織拡充で環境大気部を新設	6	水質汚濁防止法施行
			7	環境庁発足
			9	中央公害対策審議会発足
1972	3	ガス環境実験設備を設置	9	公害紛争の処理手続等に関する規則施行
	12	長20m温調拡散実験風洞設備を設置		第1回国連人間環境会議
1973	4	農電研究所組織改正で水域生物部と緑地生物部を新設	4	自然環境保全法施行
			5	NO _x に係る環境基準設定
			7	大気汚染防止法施行令の一部改正で、新たに窒素酸化物の排出基準と規制対象施設が決定
			7	通産省資源エネルギー庁発足
			10	通産省の環境審査顧問会発足
			11	瀬戸内海環境保全臨時措置法施行
			12	資源エネルギー庁より通達「発電設備の設置に係わる環境保全に関する資料の提出について」
1974			6	大気汚染防止法の一部改正（総量規制導入）
			9	公害健康被害補償法施行
1975	4	エネルギー環境技術研究所発足に伴い環境化学部を新設	6	水質汚濁防止法案一部改正
			12	NO _x 排出基準改定（第2次）
1977	10	高温集じん実験装置を設置	6	NO _x 排出基準改正強化（第3次）
			7	通産省が「発電所の立地に関する環境影響および環境審査の強化」について省議決定
1978	6	海浜変形実験用大型造波水路を設置	6	水質汚濁防止法の改正（総量規制の導入）
			6	瀬戸内海環境保全臨時措置法の改正
			7	NO ₂ の環境基準改定
1979	4	立地・環境研究総合本部を新設	6	資源エネルギー庁「発電所の立地に関する環境影響調査および環境審査の実施について」
	12	潮汐流・気象模擬拡散実験設備を設置		通達
1980	8	立地・環境研究総合本部を立地・環境研究総括室に改編		
1981	1	石炭燃焼試験炉を設置		
1983	6	研究開発本部環境部に改編		
1985	8	研究開発本部環境推進チームに改編		
1986	4	全国規模の酸性雨研究を開始		
	7	研究開発本部廃止、管理部に環境担当を置く		
1988	4	地球温暖化研究に本格的に着手	6	トロント「大気変動世界会議」にてCO ₂ 20%削減（2005年）が提唱される
1989	1	狛江研究所に広域環境研究室を新設	11	第1回気候変化に関する政府間パネル（IPCC）が開催される
	7	本部に環境総合推進室を新設		

はじめに

電力中央研究所 理事 米原 幹夫



環境に係わる研究対象は地域社会の環境に対するニーズと産業の発展過程とをマッチさせるため多くの変遷を遂げてきた。

電気事業に係わる環境問題についてみると、昭和30年代前半の大水力発電建設時代には河川の水温低下や、石炭火力でのばいじんやフライアッシュが問題にされた。昭和40年代に入り、石油火力の建設が進み火主水従の時代となって亜硫酸ガスなどの大気汚染対策が重要問題となった。さらに火力の大容量化と共に温排水や窒素酸化物の問題が取り上げられた。

当所の環境研究はこれらの問題解決に対処すべく昭和30年代に環境対策研究を開始し、昭和50年代にはこれらを取まとめた環境影響予測手法を確立して、電源立地の円滑な推進と国等の環境評価に貢献してきた。さらに昭和60年代は、これらの手法の高度化をはかるとともに、環境保全対策研究を基礎として、より快適な環境を求める環境創造研究へと展開してきた。

一方、このような地域社会での環境問題とは別に、酸性雨など広域での環境問題が注目されるようになり、国際規模での環境問題への取り組みの緒として、昭和47年（1972年）ストックホルムで第1回国連人間環境会議が開催されており、昭和63年（1988年）トロントで大気変動世界会議が開かれ、地球温暖化やオゾン層破壊の問題が一躍注目をあびるようになった。

かかる地球規模の環境問題に対処すべく、当所も酸性雨研究・地球温暖化研究を手掛けるとともに、組織的にも平成元年1月狛江研究所に広域環境研究室を新設し、更にこれら環境問題の総合的推進を目指して、この7月本部に環境総合推進室を発足させた。

当所の環境問題の基本計画については、

- (1) 地球規模環境に関する課題として、①環境と調和するエネルギー戦略研究、②地球温暖化の電気事業への影響評価研究、③酸性雨の影響評価研究、④CO₂回収・固定研究
 - (2) 地域環境に関する課題として、①各種環境アセスメント手法高度化研究
 - (3) 環境創造に関する課題として、①新しい空間の創造利用研究
- 等を重点的に推進している。

環境研究に関する電中研レビューとしては既に昭和58年に刊行したが、この機会にそれ以降に得られた主な研究成果と今後の方向を取りまとめた。

今後、当所は広範囲に亘る専門能力を糾合し、国内は勿論、海外の研究機関とも密接な連携をはかり、環境問題の効果的な研究を推進していく所存である。

第Ⅰ部 望ましい人間環境の実現を目指して

環境総合推進室長 天野 博正

環境問題の新しい動向

最近、環境問題をめぐる社会の動きが、大きく変化しはじめている。

国際的には、1988年（昨年）、炭酸ガス（CO₂）等の温室効果ガスの増加による地球温暖化などの地球環境問題が、突然、世界の注目を集めた。いまや、この問題は、限られた科学者や専門家の研究的関心を超え、宇宙船『地球号』の問題として、世界の政治や経済における極めて重要な課題となった。

そして、このところ毎月、世界のどこかで、この問題に関する国際会議が開かれているが、昨秋、UNEP（国連環境計画）とWMO（世界気象機構）合同のIPCC（気候変動に関する政府間パネル）が設けられ、現在、この問題に対する今後の国際的対応を決めるための総合的検討が進められている。

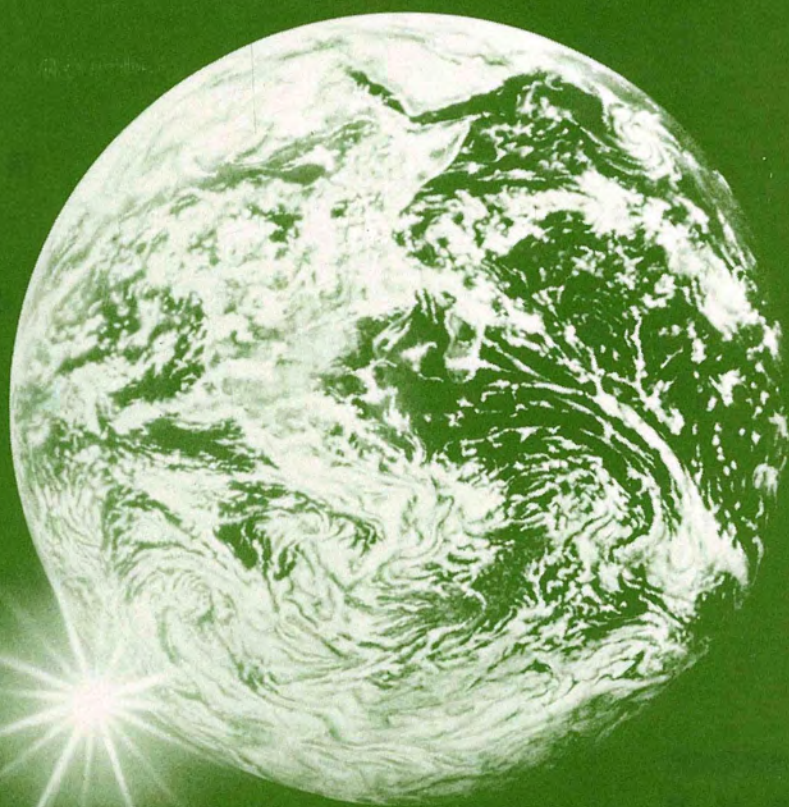
一方、国内的には、世界一の金持ちとなったこともあって、経済的な豊かさを背景に、より快適な生活環境に対する社会的欲求が日増しに強まっている。

環境研究の新しい方向

このような背景を踏まえて、望ましい人間環境の実現を目指して、新しい環境問題に関する研究開発に、当所はより積極的に取り組んでいる。

地球環境問題に関しては、当面、世界全体から見たわが国のあるべきエネルギー方策について検討するとともに、CO₂等による地球温暖化や酸性雨を取り上げ、まず、その影響予測と評価を行い、さらに、対策技術の検討をはじめた。

これらとともに、積極的に、快適な環境造りのためのソフト・ハードにわたる技術開発を試みている。たとえば、都市環境については、都市空間の快適設計方法や地下空間の利用法などを、また、水域（水に係わる）環境については、ウォーターフロントの快適化技術、海浜造成技術や海中砂漠緑化技術などを取り上げている。



第 1 章

望ましい環境を守る

第1章 望ましい環境を守る ● 目 次

狛江研究所	発電プラント部長	四方	浩
	発電プラント部 次長	西宮	昌
発電プラント部	広域環境研究室 主任研究員	藤田	慎一
	広域環境研究室 主査研究員	横山	隆寿
	広域環境研究室 主査研究員	加藤	央之
	環境研究室 主査研究員	佐藤	一男
我孫子研究所	水理部 環境水理研究室長	宮永	洋一
	生物部 陸生生物研究室長	河野	吉久
経済研究所	経済部 エネルギー研究室 主査研究員	内山	洋司

1-1 地球温暖化	9
1-2 酸性雨	27

1-1 地球温暖化

地球上に大気がなかったら…

地球の平均気温はおよそ氷点下18℃になるという。しかし、地球のまわりには大気があり、この中に温室効果を持つ大量の水蒸気 (H₂O)、炭酸ガス (CO₂)、オゾン (O₃) が含まれている。そのため、現在地球は平均15℃という快適な気温に保たれている。

ところが、工業の発達や人口の増加により、大気中に CO₂、メタン (CH₄)、一酸化二窒素 (N₂O)、フロン (クロロフルオロカーボン：CFCs) など温室効果を持つ物質が増え続けている。そしてこのまま世界的に工業化や人口増加が続けば、温室効果ガスも一層増え続け、2030年には工業化以前に比べて、大気中の CO₂ 濃度が2倍になったと等しい効果が現れるという。

CO₂ 濃度が2倍になると…

地球の姿がどのように変化するか、それを予測するには、現状では科学的知見やデータが不足しており、予測結果には不確実性が多い。しかし、現在、世界のいくつかの研究機関における大気大循環モデルを基本とした気候変化予測モデルの数値実験によれば、地球の平均気温は現在より1.5～3.5℃程度上昇し、冬季、特に北半球の高緯度で昇温大となる。それに伴って陸氷の融解や海水の膨張が起これ、海面水位は20～110cm上昇する。さらに、降水パターンが変化し、集中豪雨型が多くなったり、異常な高温や多雨、少雨など異常気象が発生し易くなるという。

しかし、これらの気候変化の予測モデルは、CO₂ 濃度が倍増した時、あるいは徐々に増えていく時の地球全体の变化の概略を表現しているものであるが、特定の地域で、いつ、どのような気候変化が生ずるかを予測することは難しい。それは、モデルの分解能が粗く、海の大循環が気候に与える影響や雲の影響など、モデルを構成する種々の物理過程に多くの未解明な問題が含まれていることなどによるものである。

大気中の CO₂ 濃度の増加の主な原因としては…

化石燃料の燃焼と森林破壊が考えられている。化石燃料は、全世界のエネルギー消費量のうち石油41%、石炭24%、天然ガス17%と全体の82%を占めている (1986年)。将来にわたっても、この傾向はつづき、エネルギーの化石燃料への依存度が大きく減少することは期待できない。

CO₂ 等による地球温暖化問題の対策としては…

CO₂ の排出抑制技術と温暖化への適応技術の確立が求められる。そのため、当所は、省エネルギーとエネルギー効率の向上、あるいは排ガス中 CO₂ の回収・処分など、化石燃料を利用しつつ CO₂ の発生量を抑制する、という温暖化を抑制・遅延化させるための技術の開発を進め、一方、地球温暖化に伴うわが国の気候変化と、それによる影響を予測・評価し、電気事業に必要な適応のための技術を開発することを目的とした研究に着手した。

とくに後者に関しては、EPRI（アメリカ電力研究所）との共同研究により電気事業を対象としたリスクアセスメントを行い、電気事業が将来の地球温暖化によって受ける影響をできるだけ軽減するための適応技術を開発することになっている。

本節では…

温室効果ガスの大気中濃度が倍増したときの気候変化予測に基づいて、地球温暖化が生態系や社会に及ぼす影響の評価を行い、電気事業がとるべき適応策について考察するとともに、CO₂ 抑制対策技術の現状と今後の方向について検討する。

1-1-1 地球温暖化と電気事業への影響

(1) 温室効果とは？

地球上はいま平均して15℃という暖かい状態に保たれている。もし、地球に大気が無かったとして、太陽から流入する日射エネルギーと、地球自体が宇宙に向けて放散する熱放射のバランスから地球の温度を求めてみると、およそ氷点下18℃になる。この差をもたらすのが地球大気の温室効果である。

大量の炭酸ガス(CO₂)、水蒸気(H₂O)、オゾン(O₃)などを含む大気は、波長がおよそ0.5μmの可視光である日射(太陽光線)と、波長4~100μmの地球熱放射(地球からの放射)の2つの波長に対し、全く異なった振舞いをする。すなわち、地球大気は日射エネルギーに対してほとんど透明であるが、熱放射に対しては非常に不透明である。

そのため日射は大気を素通りして地表に達し、吸収され、そこを加熱する。加熱された地表からの放射エネルギー(地球熱放射)は、そのまま宇宙に放出されず、大気層に吸収される。熱放射を吸収して暖められた大気層はその温度に応じた熱放射を行い、結局、大気の最上層から出る熱放射が、最終的に地球が宇宙空間に放散するエネルギーとなる。したがって、日射とバランスする氷点下23℃というのは大気上層の気温に相当する。

一方、地表面では、日射と大気層からの下向きの熱放射による加熱があるために、より高い温度状態が現れることになる。このように、地球や地球大気を温暖化させる現象を、農業や園芸用のガラス室になぞらえて温室効果(greenhouse effect)といい、熱を吸収する性質をもつ気体を温室効果ガスと呼んでいる(図1-1-1)。

温室効果ガスは、現在の地球の気候を維持するためには必要不可欠なものといえる。ガスがなければ、地球の気温は今よりおよそ33℃低くなると考えられる。逆に、温室効果ガスが増えたらどうなるだろうか。大気中のCO₂濃度は現在350ppm程度であるが、CO₂濃度が300ppmのときに比べて、2倍の600ppmに増えると、地表温度は温室効果が増大するため2.3℃上昇するという理論的な計算結果

がある。

温室効果をもつ気体に、CO₂、H₂O、O₃のほかに、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)、フロン(CFCs)がある。これらの気体の大気中濃度はCH₄が1.7ppm、N₂Oが0.3ppm、O₃が地表から9kmで0.025~0.07ppm、CFCsが各種合わせて1ppb(10⁻³ppm)未満と、CO₂濃度に比べて200分の1から10万分の1以下という微量である。

しかし、これらの気体は遠赤外線吸収能が大きいこと、CO₂のように多量ではなく、吸収能が飽和していないので吸収率がガス量に比例すること(CO₂は大量に存在するため吸収能が既に飽和しており、多少増えても吸収力はあまり変わらない)、吸収線の多くが8~13μmにあり、H₂OやCO₂の吸収域と重ならないこと、などのため、ごく少量でも、温室効果は極めて強く作用する。これらのガスが1モル増えたときの温室効果を、CO₂に対する相対的影響として概算すると、CO₂を1とすれば、CH₄は10倍、N₂O 100倍、O₃ 1,000倍、CFCs 10,000倍のオーダーになる(図1-1-2)。

これらの温室効果ガスの大気中濃度が、近年、人間活動の拡大の結果として年々増えている。しかも、それらの温室効果が大きいことから、地球温暖化に対する懸念が大きくなっている。もし、石炭や石油などの化石燃料の燃焼や他の人間活動の結果として、温室効果ガスの大気中濃度が現在と同じ割合で増え続ければ、これらのガスによる温室効果は、2030年代にはCO₂濃度が630ppmになったと等しい効果をもつようになる(表1-1-1)。

その結果、気象庁の発表によれば、地球平均気温は現在よりも1.5~3.5℃上昇し、北半球の高緯度地方ほど昇温が大きく、それに伴って陸水の融解や海水の膨張が起り海面水位は20~110cm上昇する。さらに降水パターンも変化し、集中豪雨型が多くなる。また、異常な高温や多雨・少雨など、いわゆる異常気象が発生し易くなる。

(2) 地球温暖化は始まっている!?

CO₂をはじめとする温室効果ガスの大気中濃度増加と符帳を合わせるように、地球温暖化の兆候が現れているという。気象・海象データの解析によれば、過去100年の間

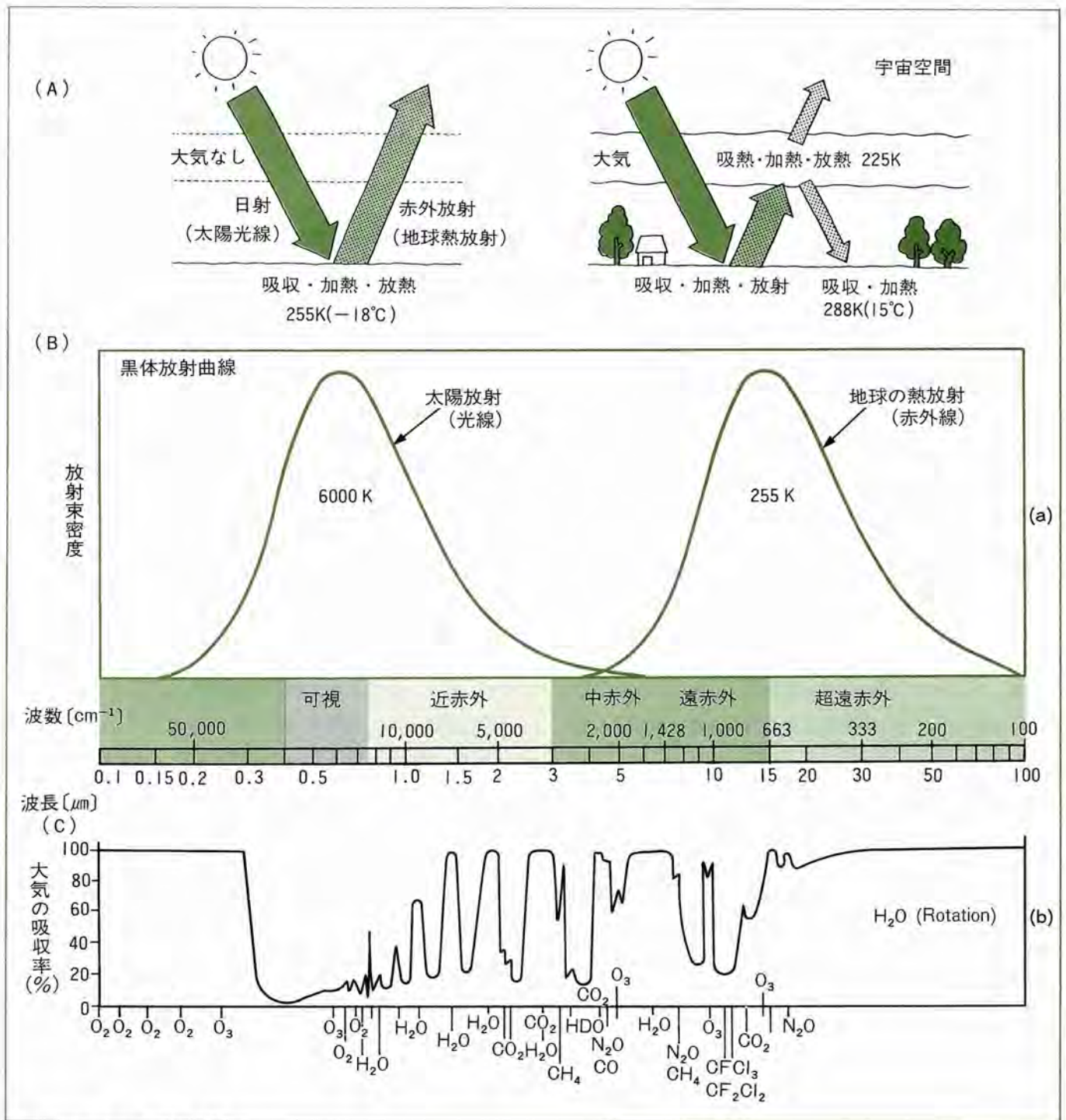


図1-1-1 大気の温室効果

(A) 地球大気の温室効果の模式図

a) 地球に大気がなければ、日射は地表で吸収され、そこを加熱し、その温度に応じた熱エネルギーを宇宙に放射する。そのとき、つり合う温度が255 K (-18°C)である。

b) しかし、地球には熱エネルギーを吸収する性質をもつガスを含む大気があり、これが地球から放射される熱エネルギーを吸収する。その結果、大気は暖められ、その温度に応じた熱放射を行い、日射で受けたエネルギーと同量のエネルギーを宇宙空間に放散する。したがって、大気上層が日射とつり合う255 K (-18°C)という温度を示す。一方地表は、日射と、大気層からの下向きの熱放射により加熱されるため、それとつり合う温度状態になる。現在、それが288 K (15°C)である。

(B) 太陽を6,000 K、地球を255 Kの黒体とみなしたときの地球大気圏外での太陽放射と地球熱放射のエネルギー・スペクトル。太陽は可視域に、地球は赤外域に強い放射エネルギーをもっている。

(C) 地球大気の放射吸収率の波長分布。大気中にはこのエネルギーを吸収するガスが含まれている。大気は可視域の太陽放射に対してはほぼ透明である(素通して地表に到達する)が、赤外域の地球放射ではかなり不透明である。炭酸ガス(CO₂)、水蒸気(H₂O)の他に、メタン(CH₄)、フロン(CFCs)、一酸化二窒素(N₂O)などが、赤外域の波長のエネルギーを吸収することがわかる。

に、気温は約0.7℃上昇し（NASA）、海面も約24cm上昇している（トロント大学）。また、人工衛星による観測によれば海水温は1982年以降、毎年0.1℃ずつ上昇している（NOAA）。

このような気候の変化に対し、温室効果だけのせいではないとする説もある。

大気有るか無いかだけで、約33℃の気温差が生ずるが、自然変動によっても、0.5℃程度の気温は変化するという。たとえば、火山の噴火によって大気中に放出された大量の

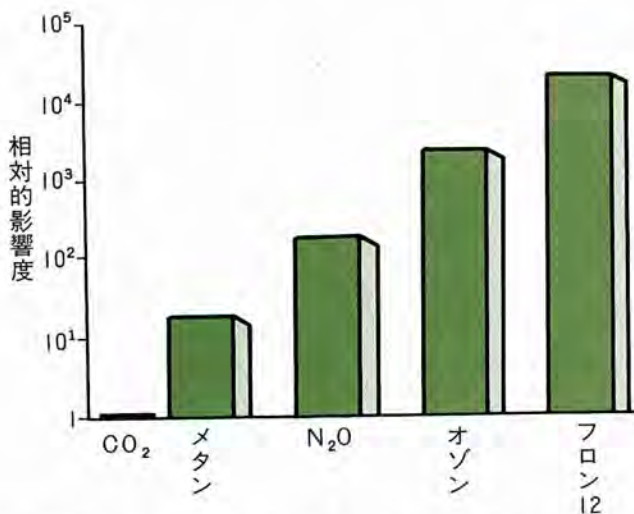


図1-1-2 気体1モル当りの気候への相対影響度

大気中の温室効果ガスの1モル当りの地表大気温度上昇に与える影響度をCO₂と比較して示している。CO₂は大量に存在しているため吸収率が既に飽和しており、多少増えても吸収率はあまり変わらない。それに対し、他の温室効果ガスは量が少なく、吸収率が飽和していないため、吸収率が相対的に大きくなる。（出典：UNEP 86）

二酸化硫黄は、大気中で微細な硫酸の粒子を作り、これがもやのように上空を覆うため、日射が遮られ、地球は冷却される。そのため、時には0.5℃程度の気温低下が起こることもある。しかし、寒冷化の原因となる微細粒子は大気中から1～2年で消滅するので、どんな大きな噴火でも気候変化への影響は小さい。

地球の気候を変化させ得るもうひとつの要因に、太陽活動の変化がある。太陽の輝度が0.3～0.5%増えれば地球の気温が0.5℃上昇する。しかし、この100年の間に、どの程度の太陽活動の変化があったかは不明である。最近の人工衛星観測によると、太陽定数（地球に入射する単位面積当りの太陽エネルギー）は過去10年の間に周期的に0.1%程度の变化をしており、また、太陽と同じ恒星の中に、4年間で0.23～0.42%の輝度変化を示したものがあつた。したがって、太陽輝度が100年間でこの程度の変動をした可能性も否定できない。

このように、地球の気候は、太陽活動の変化や自然の変化によって、大きな影響を受ける。しかし現在、地球温暖化が多くの科学者によって問題提起され国際的な政治課題になっているのは、21世紀半ばまでに人為的に排出されるCO₂や他の温室効果ガスの大気中濃度が増大することによって、人類がかつて経験したことのない急激な気候変化を引き起こす恐れがあると考えられているからである。

（3）温室効果ガスの大気中濃度が増えている！！

温室効果ガスのうちで、人為起源により大気中濃度が増えている主なガスはCO₂、CH₄、N₂O、CFCsである。

表1-1-1 2030年の微量気体の平均濃度予測 (Ramanathan et al. 1985)

成分	工業化以前(1880年)の推定された濃度	1980年の濃度	2030年に予測される濃度
CO ₂	270ppm	339ppm	450ppm
CH ₄	1.15ppm	1.65ppm	2.34ppm
N ₂ O	285 ppb	300ppb	375ppb
O ₃ (対流圏)	1980年より12.5%減		1980年より12.5%増
フロン-11	0	0.18ppb	1.1ppb
フロン-12	0	0.28ppb	1.8ppb

CO₂については1958年以来、ハワイ島マウナロアで濃度観測が続けられている(図1-1-3)。1年周期の変動は、植物サイクルに関係している。すなわち、春から夏にかけて植物の光合成が活発なため、CO₂の吸収が促進され、また、秋から冬にかけては、光合成が弱いため、CO₂の吸収が進まないことによる。

また、南極の氷床中の気泡の分析によると、CO₂濃度の増加が始まったのは、18世紀の中ごろであり、その頃の濃度は280ppm程度であった(図1-1-4)。ちょうどこの頃産業革命がイギリスに起こっているが、化石燃料を基盤にしたエネルギーシステムが形成されたのは、その100年以上後のことである。また、化石燃料以外のCO₂の放出源としては、森林の耕地化など、産業革命以降、今日まで続いている大規模な森林破壊が考えられている。

一方、CH₄とN₂Oについても極地方の氷床コアの分析が試みられている(図1-1-5、図1-1-6)。どちらも、近年著しい増加傾向がみとめられる。

CH₄は1987年の全地球平均濃度が1.68ppm、増加率0.9%/年、増加量にして16ppb/年であり、北半球(1.72ppm)と南半球(1.64ppm)では、濃度差がみられる。それに対し、N₂Oは、平均濃度が0.3ppmで、年々、1.04±0.14ppb/年、0.3%/年ずつ増加しているが、南北半球に差がない。これは、大気中での寿命の差と考えられる(CH₄:5~10年、N₂O:100~170年)。

CH₄の主な発生源は、天然の湿地のほか、水田、家畜の腸内発酵、埋め立てなど人間活動に係わる嫌気性発酵、炭鉱、天然ガスの採掘・利用、バイオマス燃焼など、微生物を介さない人間活動によるものが考えられる(表1-1-2)。近年の濃度上昇には、とくに水田、家畜、天然ガス、バイオマス燃焼が寄与していると考えられている。

一方、N₂Oの発生源は、海洋、熱帯・亜熱帯森林土壌、窒素肥料の施肥土壌、焼き畑などによるバイオマス燃焼などである(表1-1-3)。これまで大きいとされていた化石燃料燃焼による発生量は、最近の調査では、寄与が従来の10分の1以下と、極めて小さいことが明らかになっている。また、オゾン層破壊の主要原因物質でもあるCFCsは年々4~5%ずつ増えており(図1-1-7)、CO₂濃度と比べて極めて微量であるものの、強い温室効果をもつために、

その影響は大きい。大気中での寿命が長い(20年~400年)が、2005年までにCFCsを全面的に製造・禁止するという対策が講じられている。次にCO₂の発生量について詳しく述べる。

(4) CO₂はどこからどれだけですか?

CO₂は炭素を含む物質(化石燃料、材木・紙、薪炭など)の燃焼、生物の呼吸や代謝、有機物の腐敗や発酵、火山の噴火や岩石の風化などによって絶えず生成されており、植物の光合成により消費されている。また、海面を通して、大気と海洋の間でCO₂が交換されている。現在、大気中のCO₂量は7,000~7,400億tC(Cは炭素重量を意味し、CO₂重量で示すときは3.7倍する)と見積られており、約0.4%/年の割合で増加している。増加の原因はおもに、化石燃料の大量消費と森林破壊と考えられている。

化石燃料を燃焼させ1kcalの熱量を得るときに発生するCO₂量は、石炭0.1gC、石油0.08gC、天然ガス0.057gCである。およそ、石炭5、石油4、天然ガス3の割合である。

1986年の化石燃料の燃焼によるCO₂発生量は、世界全体で53.7億tCであり、石炭・石油がほぼ同量の約23億tC、天然ガスがやや少なく8億tCと推算されている(表1-1-4)。CO₂発生量の多い国は、アメリカ22%、ソ連19%、中国10%で、この3カ国で50%を超え、これに日本と西ドイツが約4%ずつで続いている。

世界の化石燃料燃焼によるCO₂発生量の推移を見ると、石油は、第二次大戦以降、生産と消費が急速に伸びたが、中東の政情不安定とOPEC(石油輸出国機構)の原油価格高騰により脱石油化が進み、1980年以降はマイナス増加率である(図1-1-8)。

一方、利用拡大の進む石炭と天然ガスからの発生量は増加傾向にある。化石燃料全体で見れば、73年以降の増加率は鈍っているが、中国を初めとする発展途上国での石炭消費量の増大により、近年は増加率が再び大きくなる傾向にある。

経済地域別のCO₂発生量の推移をみると、先進工業国である欧米諸国の占める割合が年々減少しているのに対し、

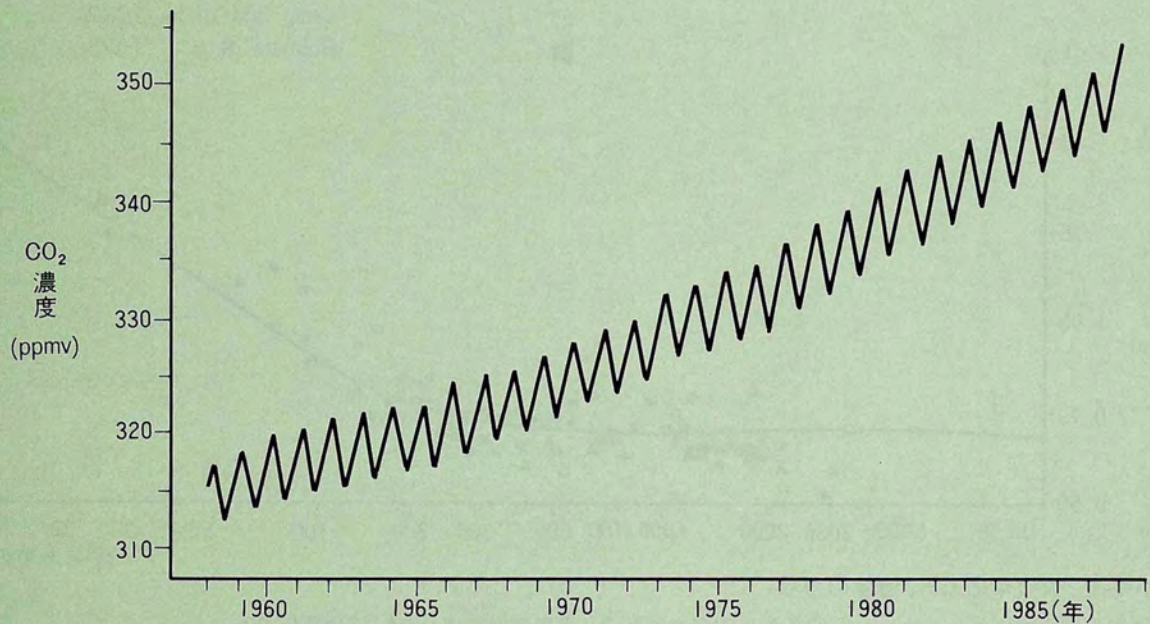


図1-1-3 マウナロア(ハワイ)での CO₂ 濃度観測結果

● 1958年平均315ppmvに比べ、1988年には350ppmv以上に増加し、年率1.3ppmの割合で増えている。

(出典：Keeling et al., 1988)

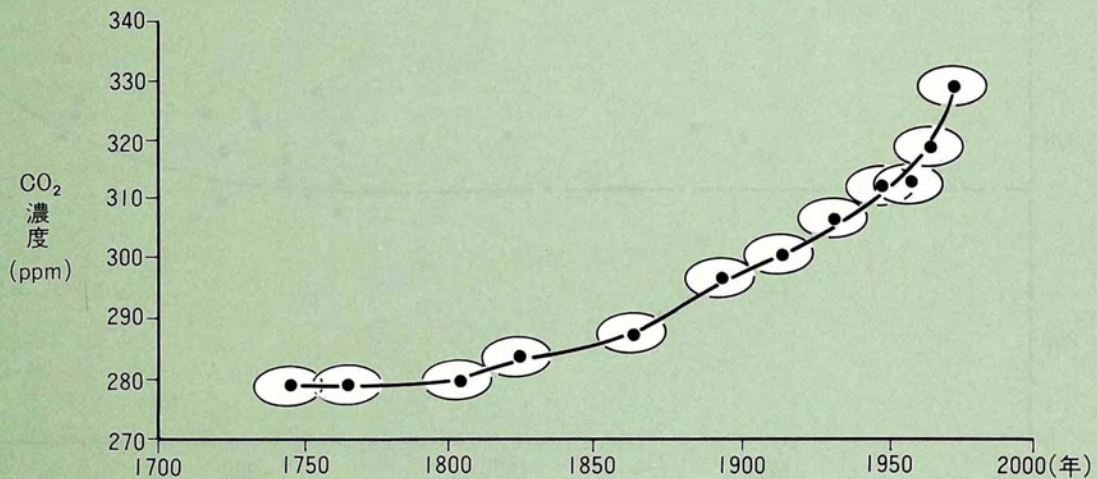


図1-1-4 氷河にとじこめられた空気の分析結果から推定した過去200年間の CO₂ 濃度の経年変化

● 楕円は年代と濃度の推定誤差の範囲を表わす。

● 1800年以前はほぼ一定で、この200年の間に増加し、とくに近年の濃度上昇が著しい。

(出典：Neftel, A. H, Oeschger, J. Schwander, B. Stouffer and R. Zimbrunn, 1982 : Nature, 295,220-223)

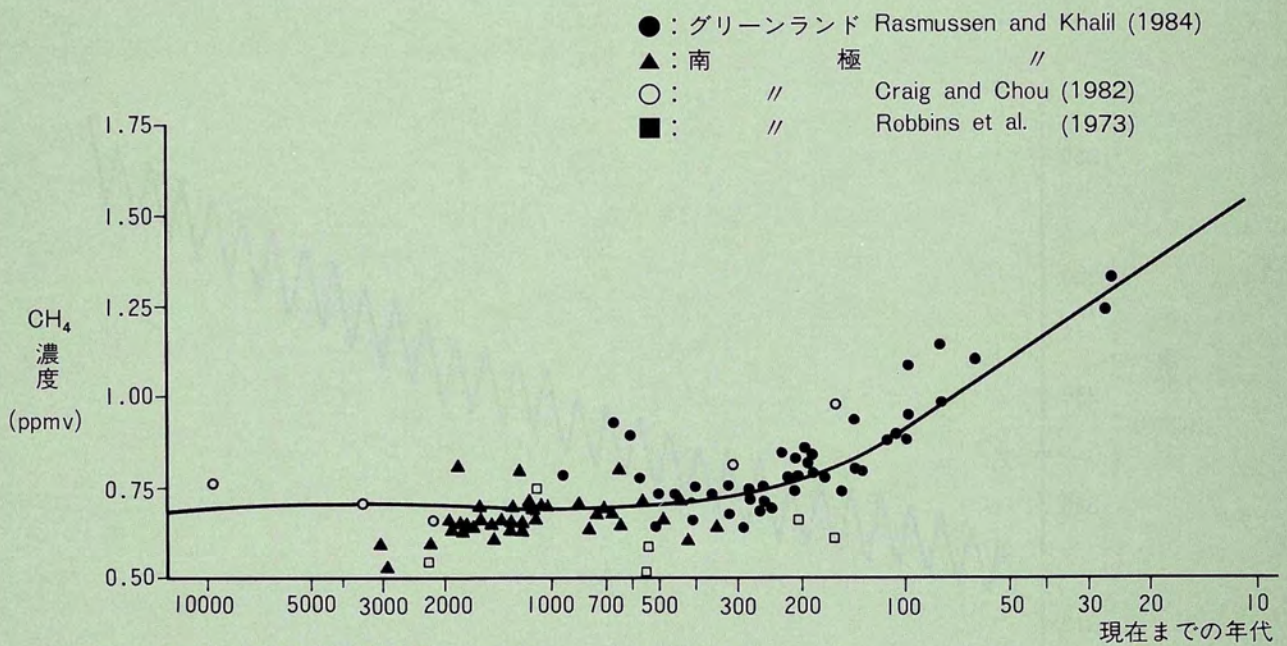


図1-1-5 大気中のCH₄濃度の推移

極地方の氷床中にとじこめられた空気から測定されたCH₄濃度の推定値(出典：SCOPE 29)

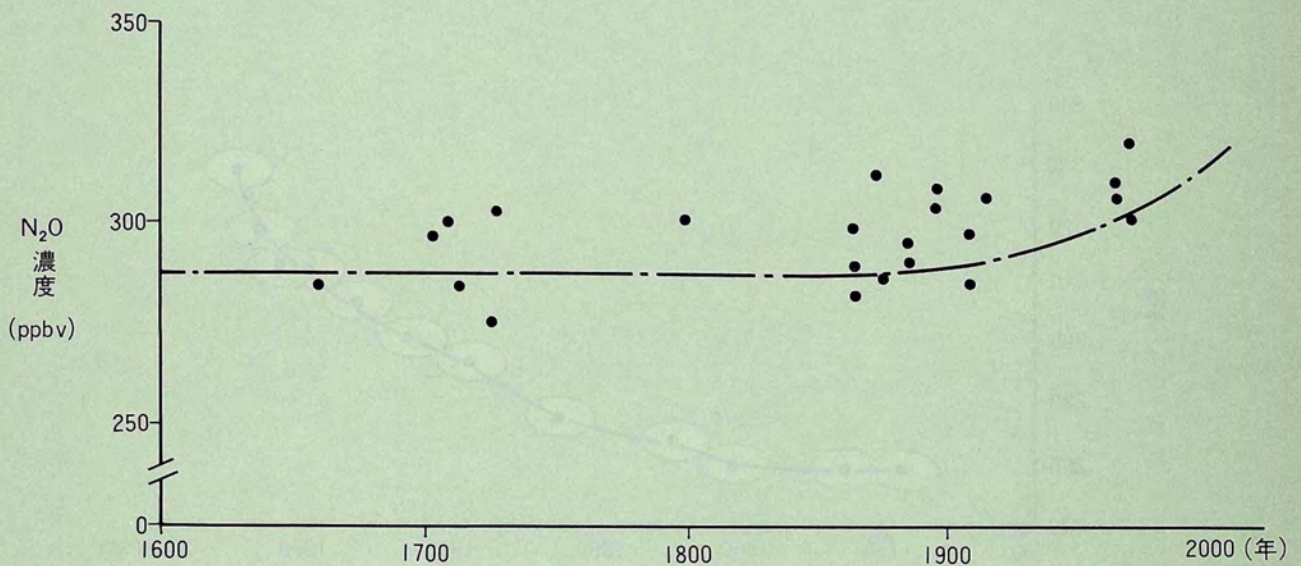


図1-1-6 大気中N₂O濃度の推移

過去400年の南極の氷床中の空気から測定されたN₂O濃度による推定値、最近100年間で約280ppbから約320ppbに上昇。
 (出典：Evidence of Changing Concentrations of CO₂, N₂O, and CH₄ from Air Bubbles in Antarctic Ice, Pearman他, 1986年)

表1-1-2 メタンの年間放出量の発生源別見積り
(CICERONEとOREMLANDから構成)

発 生 源	年間放出量 (Tg CH ₄)	発 生 源	年間放出量 (Tg CH ₄)
自然発生源		人為発生源	
湿 地	115	水 田	110
海 洋	10	家 畜	80
淡 水	5	バイオマス燃焼	55
シロアリ	40	埋めたて	40
水和物分解	5?	炭 鉱	35
		天然ガス	45

表1-1-3 亜酸化窒素の年間放出量の発生源別見積り
(KELLERらから構成)

発 生 源	年間放出量 (TgN)
自然発生源	
熱帯・亜熱帯森林土壌	6.1 ± 3
温帯・ツンドラ森林土壌	<0.1
草 原	<0.1
海 洋	2 ± 1
人為発生源	
化石燃料燃焼	3.0*
バイオマス燃焼	0.7 ± 0.2*
施肥農地	0.8 ± 0.4*
合 計	13.0 ± 5.5

*: 最近の結果では化石燃料燃焼の寄与は小さく、その分バイオマス燃焼、施肥農地の寄与が大きいとされている。

表1-1-4 化石燃料の燃焼による炭酸ガス放出量
(100万トン 1986年)

	天然ガス	石 油	石 炭	合 計	比率(%)
1. アメリカ	222.9	531.1	437.7	1191.7	22.2
2. ソ 連	285.6	335.0	371.9	992.5	18.5
3. 中 国	7.3	77.7	447.3	532.3	9.9
4. 日 本	22.2	147.8	76.3	246.3	4.6
5. 西ドイツ	23.1	77.1	82.4	182.6	3.4
6. イギリス	29.6	53.0	81.7	164.3	3.1
7. イ ン ド	2.8	32.7	104.4	139.9	2.6
8. ポーランド	5.3	11.8	105.3	122.4	2.3
9. カ ナ ダ	28.7	50.3	24.8	103.8	1.9
10. フランス	15.2	56.9	23.1	95.2	1.8
世 界 計	827	2297	2250	5374	

化石燃料を豊富に持つアメリカ、ソ連、中国の3国から、世界全体のCO₂の半分を放出している。

(出典: Marland G., et al; CDIAC NUMERI DATA COLLECTION 1988)

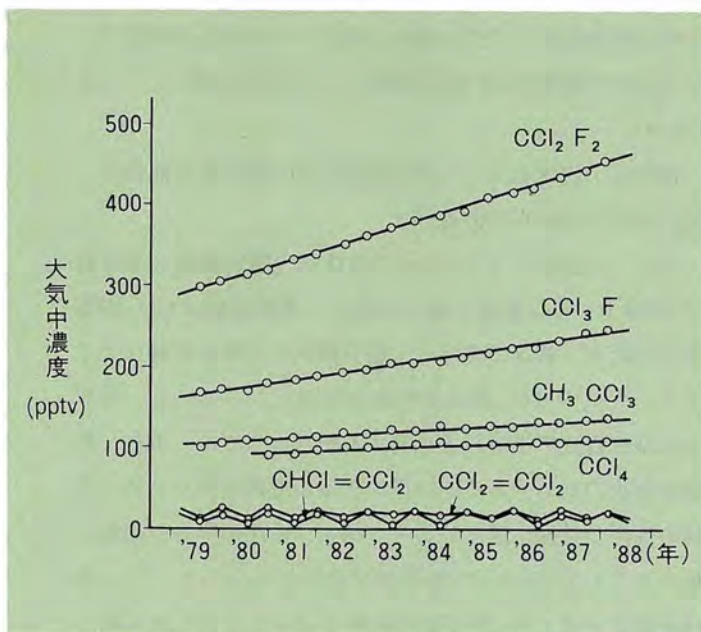


図1-1-7 北半球中緯度(42~45°N、北海道)におけるCFCsおよび有機ハロゲン化合物の大気中濃度の経年変化

●フロン11(CFCl₂)とフロン12(CF₂Cl₂)は冷媒、噴射剤、発泡剤として利用されている。

(出典: MOL第2巻第5号、1989)

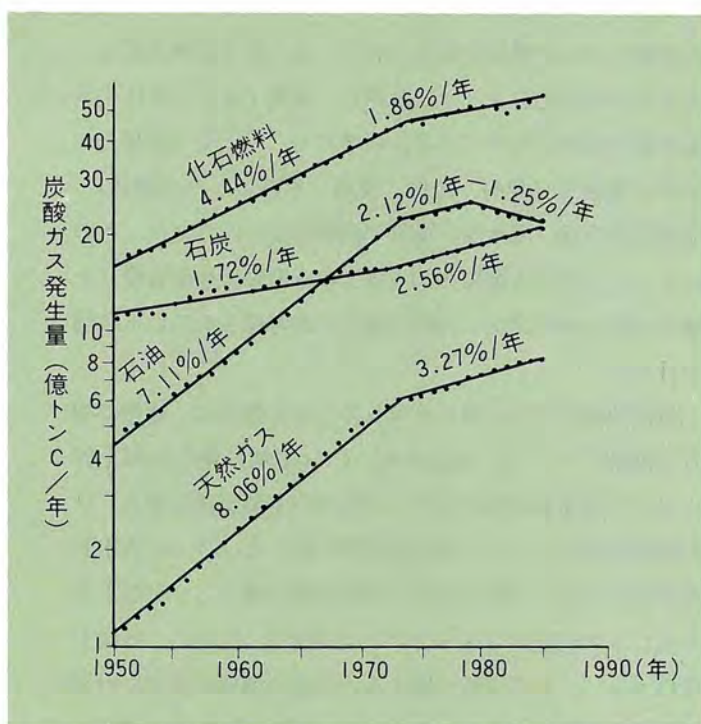


図1-1-8 化石燃料からの炭酸ガス発生量の推移

(出典: Marland G., et al; CDIAC NUMERI DATA COLLECTION 1988)

中央計画経済圏（ソ連、東欧、中国、その他共産圏諸国）や NIES（新興工業経済地域）での増加は著しい（図 1-1-9）。

1986年の日本における産業別の CO₂ 発生量の割合は、図 1-1-10のとおりである。

一方、光合成による CO₂ の森林への固定量は、全世界で 500 億 tC/年と推定されているが、森林破壊は CO₂ 固定能力の低下、薪炭の燃焼、土壌有機物の分解の促進などにより、大気中 CO₂ 濃度の増加の原因となっている。地球上の森林資源の半分以上を有する熱帯地方では、現在、農地や放牧のため、あるいは煮炊き用の燃料を得るための森林の伐採が急速に進んでおり、毎年、本州の半分の面積に相当する 1,130 万 ha の熱帯林が消失しているという。森林破壊による CO₂ 発生量の見積りは人により大きな幅があるが、毎年 10～26 億 tC 程度といわれている。

（5）地球温暖化の予測はどうするか？

大気中の温室効果ガスの増加によって、気候がどのように変化するかを予測するために、世界でいくつかの 3 次元の気候モデルの開発が進められている。その予測方法は、大気を 3 次元的にメッシュ分割し、各格子点での気圧や気温の値を求めるものである。いずれも、①大気大循環と大気中の水循環（放射、温度、運動、水蒸気とその輸送）、②海洋混合層（海水温、海水の面積変化と厚さ変化、ものによっては海洋大循環）③大陸上の水循環と地面温度（土壌水分量、河川流出、雪面の変化）が考慮されている（図 1-1-11）。

気候数値モデルに取り込まれている各要因は、複雑に相互に関連している。すなわち、CO₂ 増加に伴う気温上昇によって蒸発量が増えると、大気中の水蒸気量が増え、その温室効果によって一層気温上昇が起こる。さらに雪水面積が減少すると日射の地表での吸収量が増大し、気温上昇をもたらす（正のフィードバック効果）。反対に、気温上昇によって、水蒸気量が増えると雲量の増加や雲の反射率の増大の可能性があり、そのため、日射の反射量が増加し、地表の日射吸収量が減少するため気温が低下する可能性がある（負のフィードバック効果）。

気候数値モデルは、このような複雑な関係をモデル化したものであるが、科学的知見の不足から、多くの不確定な要素が含まれているため、予測結果にも差異がみられる。気候モデルの精度向上は、雲と海流のモデル化、フィードバック効果の中からどれだけ不確定要素を減少させるかにかかっている。

将来の気候を予測するには、この気候モデルに現在の温室効果ガス濃度（CO₂ 濃度に換算）を与えて計算し、現在の気候が再現されたならば、濃度を倍増させて改めて数値計算を行い、濃度倍増時の気候を推定するものである。

気象庁は、主に気象研究所の予測結果に基づいて、前述のような将来予測を発表した。

それでは、日本では、いつ、どこで、どのような気候変化に見舞われるであろうか。残念ながら、現状のモデルに、その解を求めることは難しい。これは、モデルの分解能が粗く、日本を対象とするときには、東北日本と南西日本とか、日本海側と太平洋側といった地域分割が限度であること、大陸と大洋の境界に位置する日本に対し、海洋の役割のモデル化が不十分であることなど、不確定性が多いことによる。

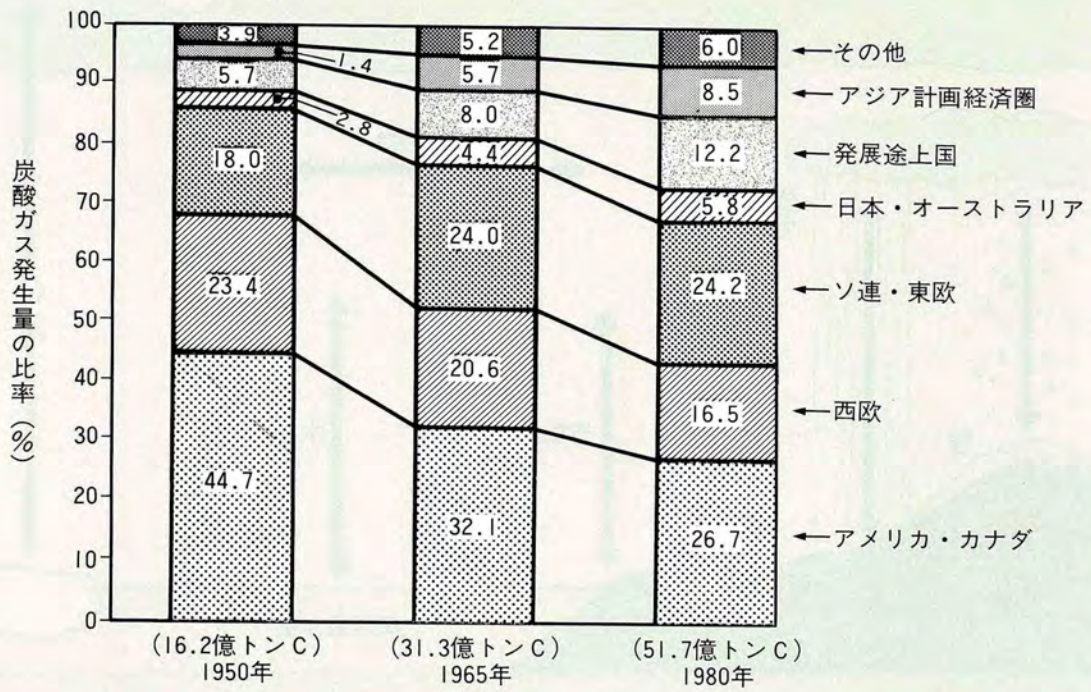
しかし、地球の温暖化は不可逆な現象であり、これらの不確定性の解明に時間がかかり過ぎたり、また、影響が検知されてからでは、対応に遅れる恐れがある。そのため、次節では、日本で起り得る可能性のある気候変化を前提とし、これによる自然環境に与える変化、生態系や社会に及ぼす影響、さらに、電気事業に及ぼす影響について考察する。

（6）もし地球の温暖化が起こったら

地球温暖化による自然や社会への影響は、さまざまな要素が相互に複雑に関連している。

そのため、ある起り得ると考えられる気候変動が、自然環境に対してどのようなインパクト（直接影響）を与え、それによって複雑に関連する生態系や社会においてどのようなエフェクト（間接影響）が生じるかについて分析を試みた。このための前提とする条件は

① 日本での平均気温の上昇は 3℃



()内は世界総発生量(炭素換算)

図1-1-9 経済地域別炭酸ガス発生量の比率の推移

(出典：Smith I. M. : CO₂ and Climatic Change, IEA Coal Research, 1988)

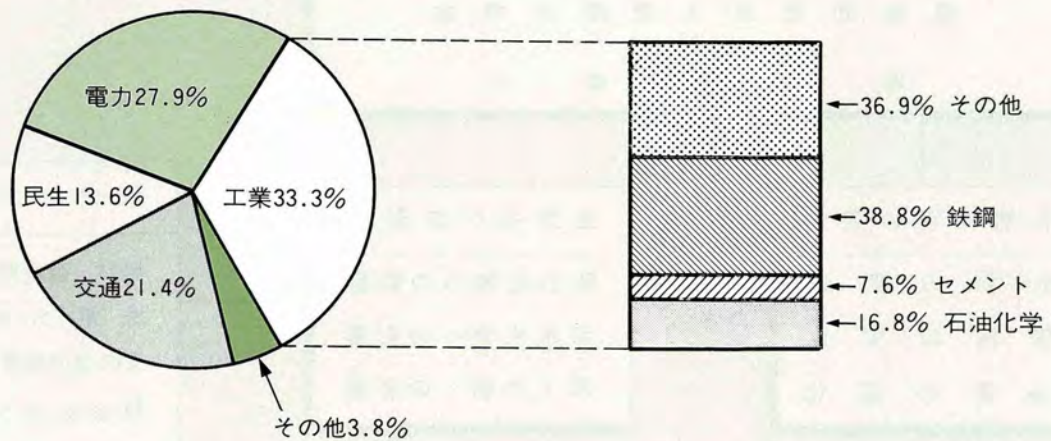


図1-1-10 化石燃料燃焼による産業別炭酸ガス発生量 (日本、5.9億トンC、1986年)

(出典：日本エネルギー経済研究所の「昭和61年度エネルギー・バランス表」より当所が推定・試算)

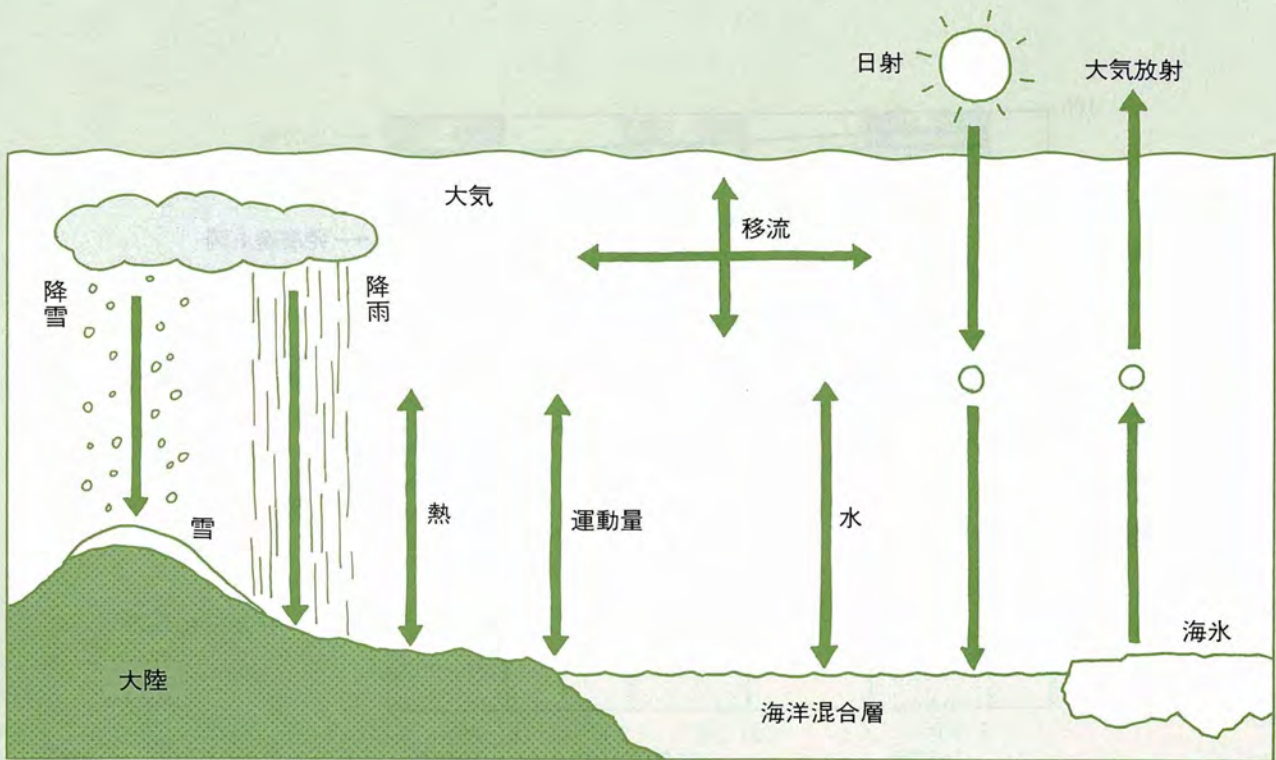


図1-1-11 モデルの中に導入された物理過程を示す模式図

モデルは放射と対流の平衡を考慮した大気大循環モデル、海洋混合層と大気の相互作用、雲の放射、土壌の水分量などさまざまな物理過程を表わすサブ・モデルで構成されている。

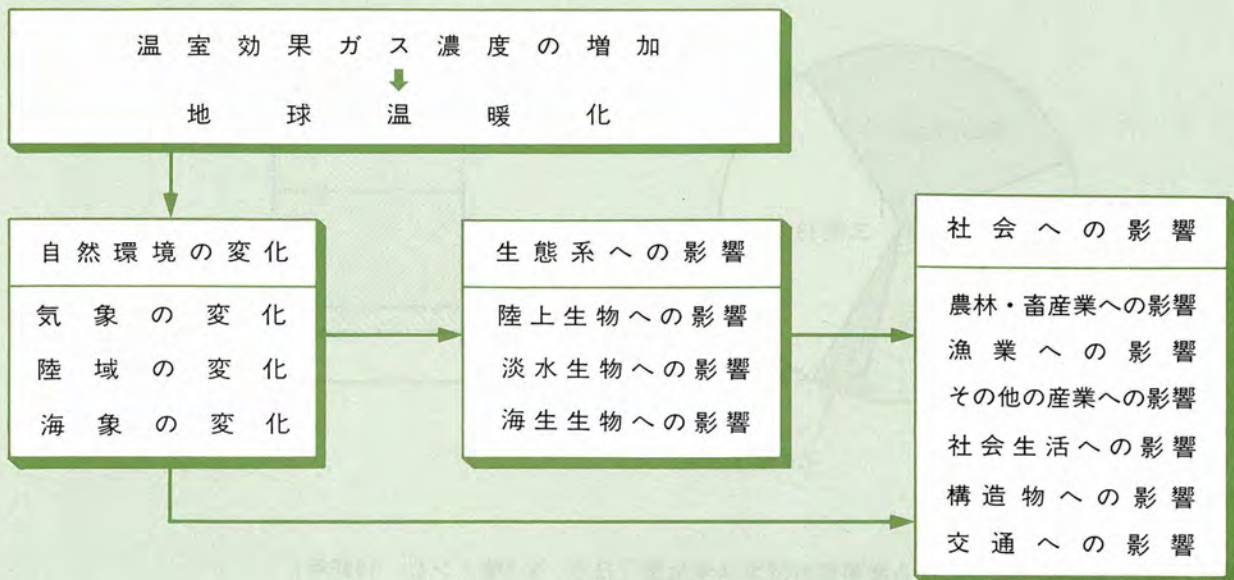


図1-1-12 温室効果ガス濃度の増加による地球温暖化が自然環境、生態系、社会へおよぼす影響

- ② 平均海面上昇は1 m
 - ③ 平均降水量は10%増、ただし、局所的な少雨・多雨地域の出現など降水パターンが変化する
 - ④ 平均値の変化とともに変動の幅も拡大する
- とした。

温室効果ガス濃度増加による地球温暖化が自然環境、生態系、社会に及ぼす影響のおもな事例は次のとおりである(図1-1-12)(表1-1-5)。

- 最高気温が30℃を越す日が現在の2～3倍になる。例えば、東京では45日から114日に増える。一方、最低気温が0℃以下になる日は大幅に減少し、東京では現在の28日からわずか1日程度に減少する(図1-1-13)。
- 植物の生育を支配する有効積算気温が20～30%増加しCO₂濃度の増加による光合成促進の効果と合わせると植物の生育は早まり、生産量は増える。農業生産量の増大とともに、農作物の耕作適地の移動も考えられる。
- 本州での降雪は大幅に減り、山岳部でも積雪量が減少する。そのため、ダムの利水や水資源に影響が現れる。
- 台風の発生頻度が増え、襲来コースが北方へも拡大される。
- 降水量が増えても、集中豪雨型なら、土壌に浸透する前に一時的に河川に流出するため、河川の氾濫や洪水の発生頻度が増えるとともに、流砂、堆砂量が増え、ダム機能が低下する。一方、気温上昇により蒸発が活発になるため、降水量が増えても、土壌の乾燥化が進むという現象も考えられる。
- 積雲系の雲が形成され易くなるため、夏季雷が増えるが、気温上昇により冬季雷の減少が予想される。
- 海面水位の上昇により、0 m地帯の冠水など汀線の後退や河川の排水能力の低下、塩水の進入と水資源や生態系への影響が予想される。

このような気象、陸域、あるいは海象の自然環境の変化によって、電気事業としては、次のような影響が考えられる。

1) 電力需要の変化

- ① 気温上昇による冷房需要増大、暖房需要減少から kW および kWh 面での夏季需要が増加し、冬期需要が減少

する。さらに、ピーク需要が極端に高まる。

- ② CO₂発生抑制のための規制強化から電力需要が増大する一方、利用効率向上など電力需要の減少要因も新たに生ずる。
- ③ 気温上昇による産業形態の変化、ならびに CO₂発生抑制による産業構造の変化をもたらす可能性がある。

2) 水力発電運用への影響(図1-1-14)

- ① 降水量増加による発電量増加要因もあるが、集中豪雨型のためむしろ発電量は減少すると思われる。
- ② 流砂・堆砂量が増大する可能性がある。
- ③ 異常出水、台風頻度の増加のため設計洪水量が増大し、貯水池運用を変更する必要がある。また、段波の発生に対する対策が必要となる。

3) 火力発電設備等への影響

- ① 冷却水として用いる海水や河川水の水温が上昇し、発電効率が低下する。
- ② 海面水位が1 m上昇した場合、仮に水深10 mの深さの防波堤を改修するとすれば新たに工事費が建設費の50%程度を必要とするのに対し、これと同じケースにおいて新規に防波堤を作れば建設費は20%増で済む。
- ③ 既設の冷却水系統が水位上昇によって加圧される。

4) 送変電施設への影響

- ① 冬季雷の被害は減少するが夏季雷は増大する。
- ② 積雪は減少するが、湿分の多い雪が増大する。
- ③ 台風の規模と発生頻度が増大する。
- ④ 塩害は降水のインターバルによって増加要因にも減少要因にもなる。
- ⑤ 異常高温の出現に伴い、送配電機器の最高許容温度幅が縮小する。

電力需要の変化にしても、冷暖房需要の変化という直接的な影響の他に、間接的な影響も予測・評価する必要がある。すなわち、地域ごとに気候や自然環境が変わったとすれば、農作物の変化が、地域経済に影響を及ぼし、エネルギー需要に影響が現れるであろうし、農業形態が変われば、地域産業の変化や人口移動をもたらす、エネルギー需要に

表1-1-5 図1-1-12における自然環境、生態系、社会影響の細目

(1) 自然環境の変化

気象	気温の変化 降水量の変化	<ul style="list-style-type: none"> 平均気温の上昇に伴い、最高・最低気温も上昇する。 平均降水量は増加するが、局地的に多雨・少雨地域が出現する。 積雲系の雲の増加に伴い、降水強度が強まる。 降雪・積雪地域が北へ縮小する。
	その他	<ul style="list-style-type: none"> 平均気温の上昇に伴い、夏季雷は増加、冬季雷は減少する。 気温の上昇に伴い、降霜地域は北へ移動する。 海水温度の上昇に伴い、台風の発生数が増加する。強い台風の頻度が増加し、台風の襲来地域は北へ拡大する。
陸域	土河 壤川	<ul style="list-style-type: none"> 降水量の変化と関連し、土壌水分が変化、早魃が生じる。 降水量の変化と関連し、河川流量が変化する。 流砂、堆砂量が増加し、水質が変化する。 降水強度の増加に伴い、洪水頻度が増加する。
	海岸	<ul style="list-style-type: none"> 海水位の上昇に伴い、河口部の塩分濃度が増加する。 海水位の上昇に伴い、海岸地形の変化、干潟の喪失が起こる。
海域		<ul style="list-style-type: none"> 海水位の上昇、海水温度の上昇が生じる。 海水温度、大気大循環の変化により、海流が変化する。 強い台風の増加により、砕波高、波浪が増大する。

(2) 生態系への影響

陸上生物	植 物	<ul style="list-style-type: none"> CO₂濃度の増加、気温上昇、低温障害の減少により植物の一次生産量は増加する。植物の早魃・洪水・塩風害、病虫害の増加、高温障害の発生により生産量が減少するが、総量では増加する。 気温、降水分布の変化に伴い、植物分布域、植物種数、植物相が変化する。
	動 物	<ul style="list-style-type: none"> 気温、降水分布の変化、植物相の変化に伴い、動物分布域、動物種、動物相が変化する。
淡水		<ul style="list-style-type: none"> 水温上昇に伴い淡水生物分布域、淡水生物相が変化する。 水温の上昇に伴い温水性生物の成長速度が増加する。
海生生物	植 物	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇に伴い海藻類の増殖速度が増加する。また藻場の移動が生じる。
	動 物	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇に伴い付着生物量が増加する。また、赤潮、青潮、魚病が増加する。 海水温、海流の変化により魚類回遊経路が変化する。

(3) 社会への影響

農林・畜産業	<ul style="list-style-type: none"> CO₂濃度の増加、気温上昇、低温障害の減少により、農作物の生産量は増加する。農作物の早魃・洪水・塩風害、病虫害の増加、高温障害の発生により農作物の生産に影響がでるが総量では増加する。 地域によっては降水量の減少により、農業用水の不足が生じる。 気温、降水分布の変化に伴い、栽培可能地域、栽培種が変化する。また、造林地域、造林種の変化、畜産地域の変化により、土地利用の変化が生じる。
漁業	<ul style="list-style-type: none"> 海水温の上昇や海流の変化により、漁場、漁獲量、魚種の変化が生じる。また海藻類の収量にも変化が生じる。 赤潮等の発生件数増加に伴い、増・養殖業への影響が生じる。 海水位の上昇や高波頻度の増加により、漁港施設への影響が生じる。
その他産業	<ul style="list-style-type: none"> 農作物の栽培種、収量の変化や、魚種、漁獲量の変化に伴い、地域加工業への影響が生じる。 気温の上昇に伴い、夏型産業が成長し、冬型産業が衰退する。 地域によっては、降水量の減少や地下水の塩水化により、産業用水の利用形態が変化する。 海水位の上昇や高波頻度の増加により、沿岸工場に被害が生じる。
社会影響	<ul style="list-style-type: none"> 気温の上昇に伴い、服飾様式、居住様式が変化する。また、冷房需要の増加、暖房需要の減少が生じ、ロードヒーティング需要は減少する。 気温の上昇に伴い、水需要は増加する。降水量の減少が生じる地域では飲料水の不足から、河川の利水障害が起こる。 自然環境の変化に伴い、レジャーが変化する。保健・健康への影響が生じる。
構築物	<ul style="list-style-type: none"> 海水位の上昇や高波頻度の増加により、海岸構築物に被害が生じる。また、堤防の機能や安定性が低下し、海拔0m地帯で冠水の危険性が生じる。 降水強度の増加により排水機能が低下し、洪水、地下施設への浸水が生じる。
交通	<ul style="list-style-type: none"> 海水位の上昇により、河川運行・航行障害、船着場施設機能の低下が生じる。 降雪、積雪量の減少により、冬期陸上交通障害が減少する。

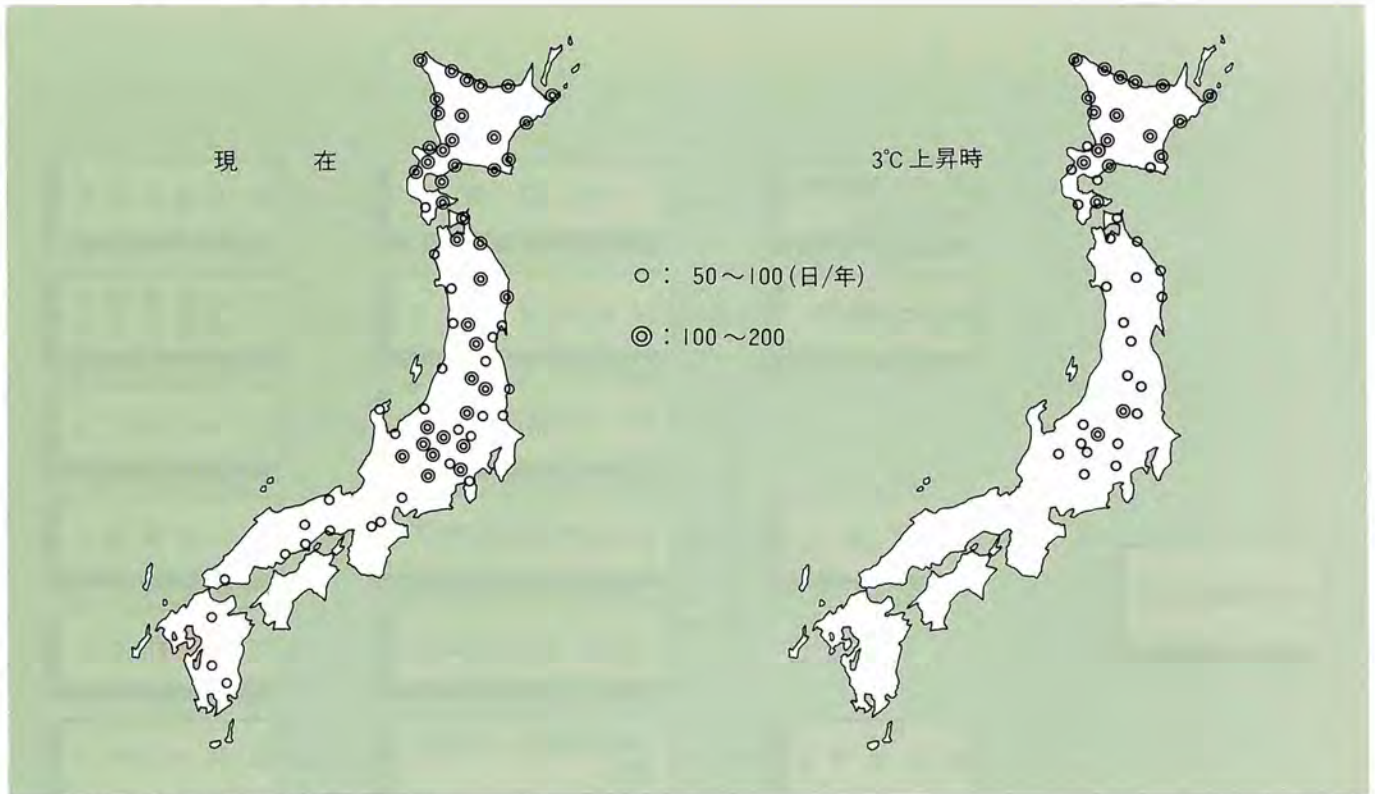


図1-1-13 日最低気温が0℃以下の日数

日最低気温が0℃以下になる冬日も大幅に減少し、東京では現在の28日から僅か1日程度に減少する。

変化をもたらすであろう。これは、農業に限らず、一般産業にも該当することである。

いずれにしても、電気事業としては従来の設備では対応できないおそれが生じる可能性があるため、その見直しや既設設備の増強などが必要になると思われる。

当所は、アメリカの電力研究所（EPRI）との共同研究などを通じて地球温暖化による気候変化が、電気事業にどのような影響を及ぼす可能性があるか、をできるだけ定量的に評価し、今後電気事業が講ずべき対策について検討を進め、最も効果的な方策の提言をとりまとめる。

1-1-2 CO₂ 抑制対策技術の現状と今後の方向

大気中の温室効果ガスの増加による温暖化を未然に防止・抑制、あるいは、その時期をできるだけ遅延させるために、CO₂ 削減を中心とした国際的な議論が活発である。

(1) CO₂ の削減技術

現在検討されている削減技術には次のようなものがある。

- ①植物によるCO₂の吸収・固定
- ②エネルギーの高効率化と省エネルギーの促進
- ③CO₂発生量のない（原子力）、あるいは少ない（天然ガス）エネルギーの選択
- ④水力、地熱、太陽、風力など再生可能エネルギーの利用
- ⑤化石燃料燃焼に伴うCO₂の除去

大気中のCO₂増加を効率的に抑制するためには、1国、1発生源の対策では問題の解決にならない。また、どの対策技術もコストが高いため、各国の国情やエネルギー事情を考慮し、いかなる国も選択・採用できるように、いろいろな対策メニューを幅広く用意し、できる範囲のところから着手し、総合的に削減を図ることを考える必要がある。このうち、当所はエネルギー利用技術の高度化の観点から②と⑤の技術開発を進めている。

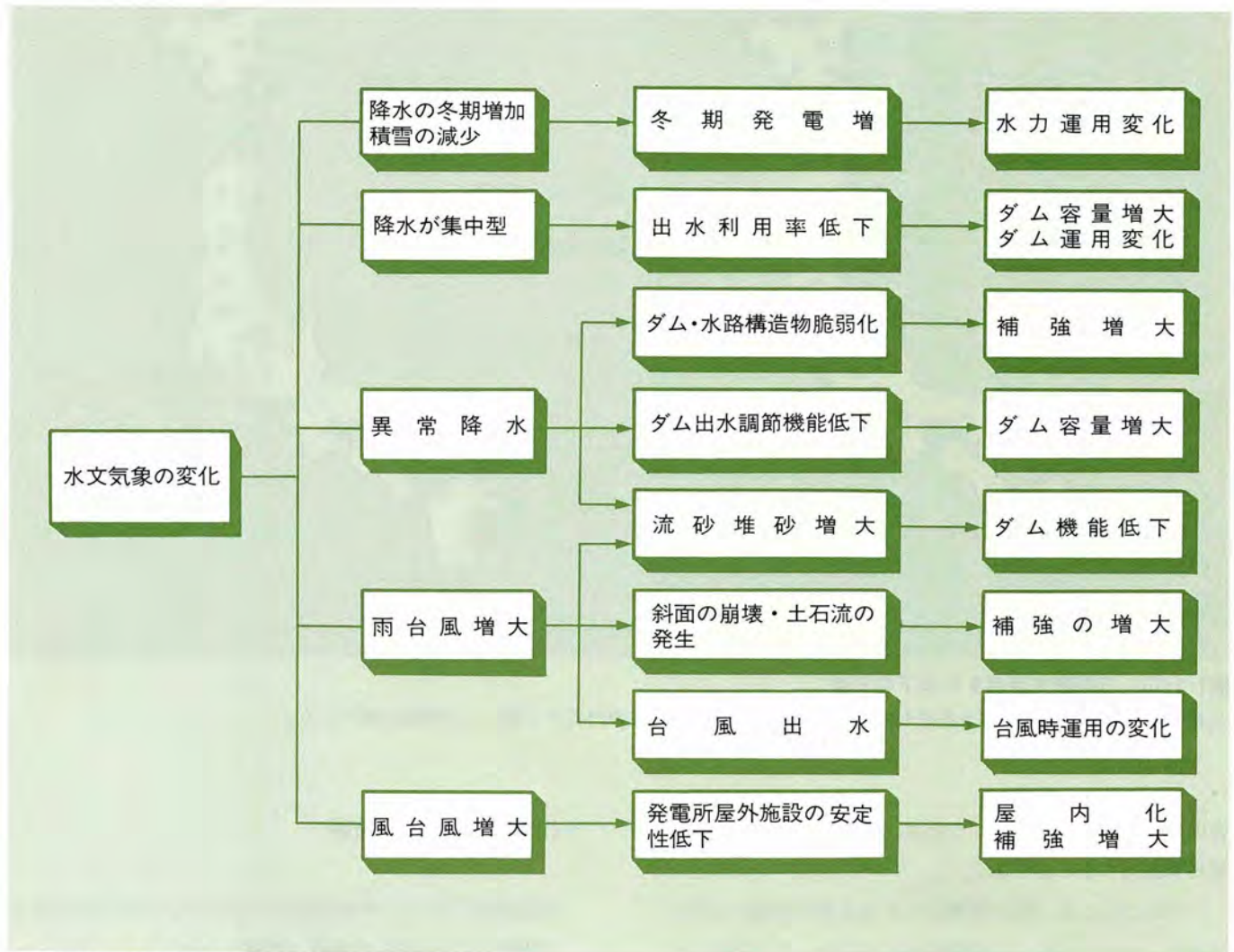


図1-1-14 水力発電施設への影響

(2) エネルギーの高効率化と省エネルギーの推進

当所は従来より原子力の安全性確保のための研究やFBR（高速増殖炉）の開発など、CO₂を排出しない原子力研究の推進を行っているほか、同じエネルギーを得るのに効率のよい使い方をすることがCO₂の排出抑制につながることから、化石燃料を利用したエネルギーの高効率化と省エネルギーの推進に取り組んでいる。

すなわち、ガスタービンの高温化による高効率化、石炭ガス複合発電や燃料電池複合発電のほかに、ヒートポンプの高度化等の技術開発を進めている。

(3) 除去技術

化石燃料を燃焼させると必ずCO₂が発生する。例えば1,000MWの石炭火力発電所からは、年間およそ600～800万トンのCO₂が発生する。もし、排ガスからのCO₂を効率良く分離・回収する技術ができれば、化石燃料を使用することに対する制約も、ある程度緩和されることになる。

CO₂は、物理的か化学的な方法で分離できる。物理的な方法は、技術が実用化に近く、排ガス中の大量のCO₂を分離するのに優れている。その技術には、湿式吸収法、乾式吸着法、膜分離法などがある（図1-1-15）。



図1-1-15 CO₂の分離・回収システムのうち、既存の火力発電プラントへの適用可能性が高いと考えられるものを現時点で選ぶと上図の3システムになる

湿式法は、燃焼排ガス中のCO₂を、アルカリ性吸収液（モノメタノールアミン、ダウ・アルカノアミンなど）に吸収させ、その溶液を再生塔で加熱して吸収液とCO₂を分離し処理する。その技術は、既に実用化されているが、安価な吸収液の開発と処理廃液の環境問題が課題として残されている。

乾式法は、ゼオライトなどの固体吸着剤にCO₂を吸着させ、圧力差や温度差を利用してCO₂を分離・回収する。技術レベルも湿式法とほぼ同じで、課題は安価な吸着剤の開発である。

膜分離法は、湿式法や乾式法のような吸収塔と再生塔に分かれたプロセスではなく、排ガス中のCO₂を直接、分離・除去する方法である。その原理は、膜中の気体の透過速度差を利用しており、分離膜には高分子中空糸やプリズムセパレータ等が使われる。実用化の技術課題は多く、中でも大容量化の問題が最も大きな課題である（図1-1-16）。

これらの技術は、既に一部は天然ガスからのCO₂回収プラントとして小規模ながら実用化されているが、火力発電所からのCO₂を分離する試みはまだなされていない。発電所の排ガス中には、燃料の種類によって様々な異なる成分が含まれているので、現有技術をそのまま適用することはできない。そのため、当所は現在これらの物質が存在するときの分離・回収法について装置材質の特性や回収率などの基礎検討を行うとともに、実際に排ガスに適用す

る際の技術的可能性の評価や、既設発電所に付設するCO₂回収システムの概念設計による回収率とコスト、全体としてのエネルギーコストの検討など総合的なフィージビリティ・スタディを進めている。

検討したシステムは、図1-1-17に示すように、排ガス中のCO₂を処理し、処理した生産物が燃料である場合は、それを再利用するものである。対象発電プラントは石炭火力で、検討に使った経済性試算の前提条件は以下の通りである。

発電出力：1,000MW（送電端）

石炭発熱量：6,200kcal/kg

CO₂発生量：900トン/時

固定費：8.56円/kWH（建設費26万円/kW、年設備利用率70%）

熱効率：35%（送電端）

燃料費：2.44円/kWH（1986年平均価格に灰捨て費用を加算）

経済性についてはCO₂除去設備を付設したときの発電コストを試算し比較した。どの処理方法をとるにせよ、CO₂の除去には、多くの燃料を必要とし、それは当然、経済性に影響を与え、発電コストを3～8割も増大することになる。今回の検討に用いた石炭価格は1986年の平均価格で比較的安く、将来はそれ以上の価格に上昇するのは確実である。その上、回収した大量のCO₂の処分をも考えなければならず、その場合は、石炭火力の経済性はさらに悪化することになる。このことから、今後のCO₂分離・回収技術の開発には、処理技術を含めて効率向上と設備費の低減による経済性を重視した技術改良が望まれる。 ●

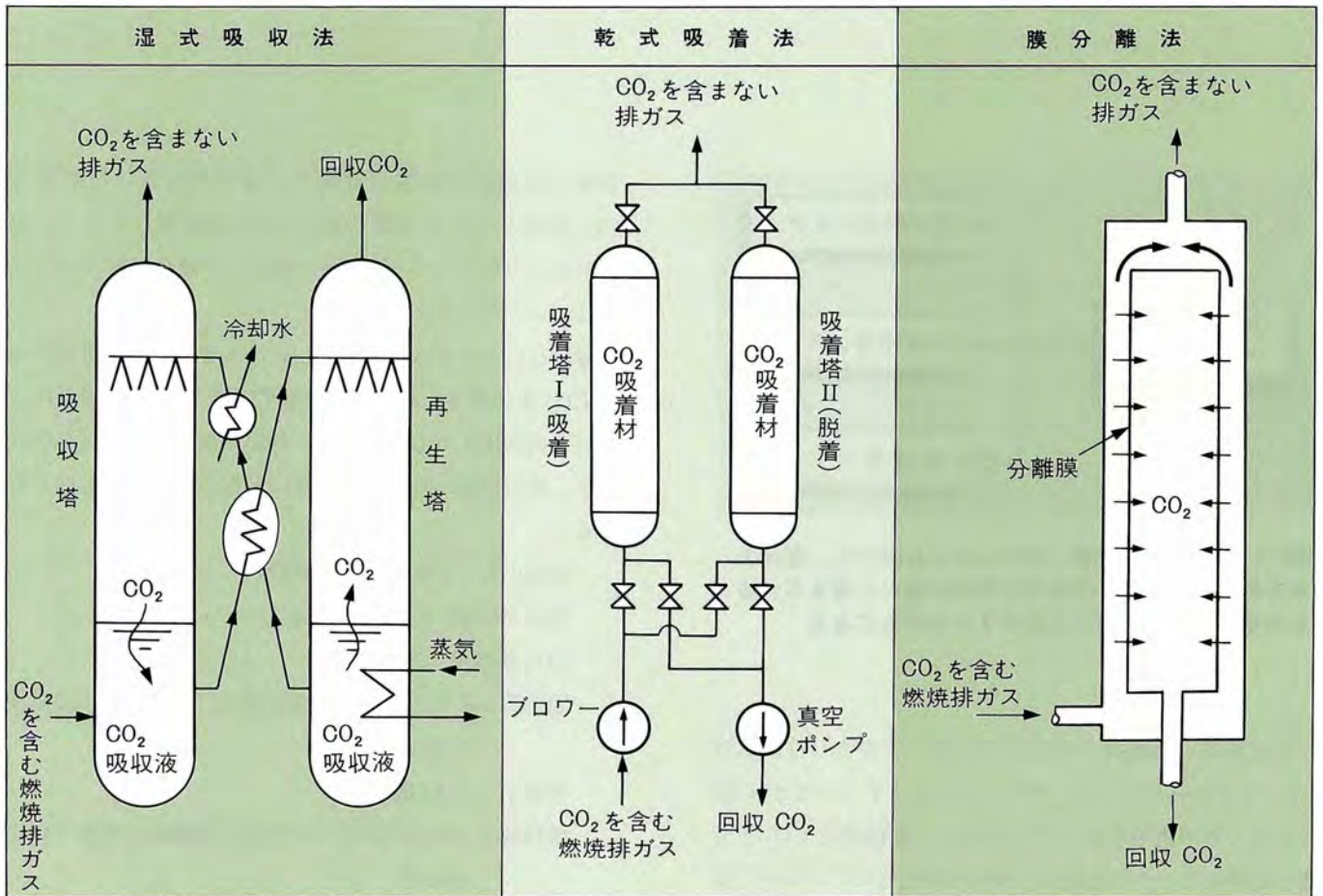


図1-1-16 CO₂分離回収法の例

湿式吸収法 加熱再生可能な吸収液によるCO₂の化学吸収反応を利用したもの。油田における石油の強制回収用CO₂を天然ガス焚ボイラの排ガスから分離するのにこの方法を利用している例が米国にある。大容量プラントに適する。

乾式吸着法 CO₂に対する選択吸着性を有する固体吸着材を用い、吸着量の圧力依存性を利用したもの。加圧による吸着と真空による脱着を交互に連続的に行うことによりCO₂を分離回収出来る。製鉄所の熱風炉排ガス中のCO₂回収に利用している例が国内にある。中小容量プラントに適する。

膜分離法 高分子膜に対するガスの透過速度の違いを利用したもの。透過速度の比が大きい2つ以上のガスを分離する場合に有効。透過ガス量は膜の両側のガス分圧差と膜面積に比例し、膜厚に反比例する。単位体積当たりの膜面積を大きくする為、膜形状としては中空系タイプが採用される。小容量プラントに適する。

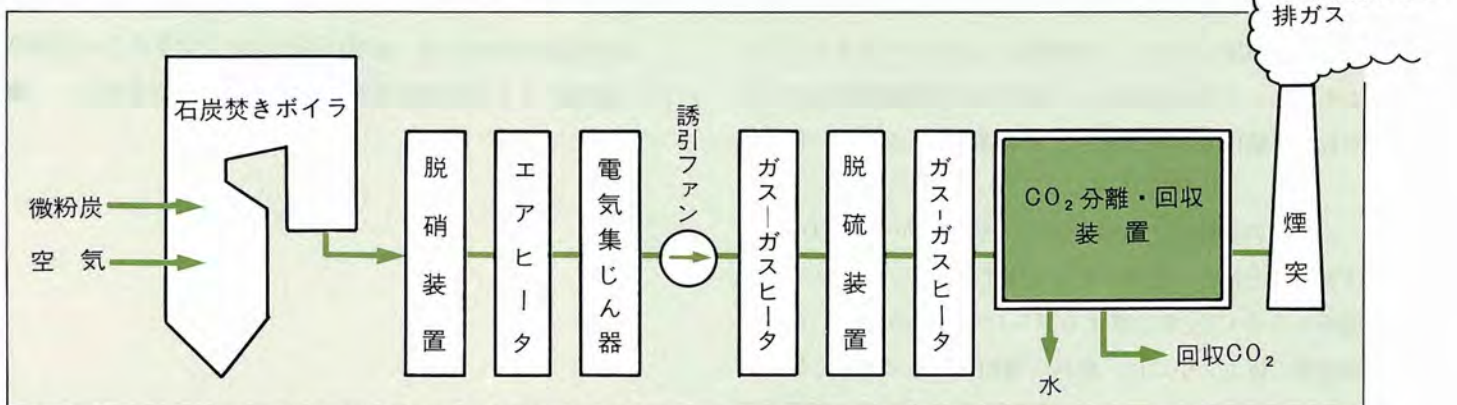


図1-1-17 従来型石炭火力におけるCO₂分離回収の例

ボイラから排出される燃焼排ガスにはN₂、CO₂、O₂、H₂Oなどのガスが主成分として含まれているが、CO₂分離回収装置を通過することによって、このうちのCO₂とH₂Oが個別に分離回収され、残りのガスはCO₂を含まない排ガスとして、煙突から大気中に放出される。

1-2 酸性雨

酸性雨とは…

大気中に存在する SO_2 、 NO_x やそれから生成した硫酸や硝酸のミストは、雲を形成する微細な水滴に溶け込んで雨や雪となっていずれは地上や海上に落下してくる。これを広い意味で酸性雨と呼んでいる。

このような酸性雨の原因となる SO_2 や NO_x は、火山活動やバクテリアの活動といった自然界の営みによっても排出されるが、その多くは、近年大量に消費されている化石燃料に起因していると考えられている。

大気中に排出された SO_2 や NO_x はいずれは降下するものの、その大半が降下するまでには数日かかり、その間、大気中（雲内）で複雑な化学反応を重ね、1,000~2,000kmという長距離を運ばれる。したがって、酸性雨は一国や一地域の局地的な現象ではなく、その影響を軽減するには広域の多国間での協調した対策が必要である。

欧米では…

「ヨーロッパとアメリカ北東部で酸性化した雨が増加している」という警告が最初に言われたのは1960年代であった。それ以来、欧米では酸性雨の実態把握が進み、同時に酸性雨の生成メカニズムや影響に関する研究に関心が集まった。なかでも、湖沼や河川の酸性化による水生生物の死滅、地下水の悪化、森林の衰退、建造物の浸蝕といった現象が確認され、大きな社会問題となった。

そのため、ヨーロッパでは、東側諸国を含む21ヶ国が遅くとも1993年までに、各国の国情に合った方法により、 SO_2 の排出を1980年現在の少なくとも30%削減するという議定書が締結され、現在（1989年8月）18ヶ国が批准している。 NO_x については、1994年までに排出量を1987年のレベルに凍結し、さらに、その後10年間に30%削減する旨の議定書が合意されている。一方、アメリカ・カナダ間では、1980年に「越境大気汚染に関する覚書」が交され、 SO_2 の50%削減が議論され、1989年にはアメリカで大気浄化法の強化により、 SO_2 、 NO_x の大幅削減のための行動目標が議会に提示されている。

日本では…

わが国では、欧米のような湖沼、森林等の生態系への影響は、現時点では認められていない。しかし、近年の東アジアにおける化石燃料消費量の急増傾向を考慮すれば、これらの近隣諸国からの影響をうけ、近い将来、欧米と同じような酸性雨による環境への影響が発生するのでは、との危惧がもたれている。

本節では…

まず、東アジアにおける酸性物質の広域輸送、とくに、中国大陸から日本列島への輸送の可能性と経路について述べる。

次に酸性雨の河川・湖沼への影響の実態等や、各種土壌の酸性雨に対する中和作用とその評価法をとり上げ、最後に、樹木および農作物影響について紹介する。

酸性雨

降水に大気中の CO_2 が溶け込むと、pH が低下する。酸性雨とは通常 pH5.6以下の降水をさす。

1-2-1 酸性物質の広域輸送

SO_2 、 NO_x などの酸性雨の先駆物質の発生から酸性物質として沈着するまでの輸送距離は、通常、千数百km以上の広域にわたる。このため、わが国の酸性雨問題を考えるときは、東アジア規模で把握の必要がある。特に、東アジアにおける化石燃料の消費量は、近年、急激に増加しており、これにともない、 SO_2 、 NO_x など、先駆物質の発生量も急増している。

しかしながら、日本を含む東アジア地域に着目した酸性雨の研究は、基礎データが不十分なこともあって、これまでほとんど行われていなかった。このため、東アジア地域での酸性物質の輸送の研究として、この地域での先駆物質の排出源と酸性雨との関係の解明を進めてきた。

(1) 東アジア地域における SO_2 の発生量

東アジア地域での SO_2 の発生源分布の推計を行った。

調査の対象地域は、北緯20～60度、東経100～150度をほぼ網羅する領域であり、日本・韓国・北朝鮮・台湾・中国の5ヶ国の SO_2 の年発生量を調べた(図1-2-1)。

発生量の分布の推計において、基本的には、地域内の燃料使用量を業種別・燃料別に求め、硫黄の平均含有率を想定して、年発生量に換算する方法を採った。なお、北朝鮮からの発生量については、数十万トンと推計されるが信頼度が低いので、図から除外してある。

このように推計した東アジア5ヶ国からの SO_2 の全発生量は、年間約2,000万トンである。その90%以上は中国から発生し、その大部分は石炭の燃焼に伴うものである。これは、酸性雨による環境影響が喧伝されているヨーロッパ北西部(2,400万トン)や、アメリカ北東部(1,800万トン)に近い値である。

(2) SO_2 の広域輸送

わが国の年間の降水量と硫酸イオンの湿性沈着量との関係についてみると、沈着量は降水量にほぼ比例して増加するが、日本海側と太平洋側とは明らかな差が見られる(図1-2-2)。ことに、日本海側の方が硫酸イオンの量が多く、この傾向は冬季に顕著である。

日本列島の周辺では、暖候季には弱い南東風が支配的であるが、寒候季には強い北西風が卓越し、特に12～3月は

風速が強く、1日当りの気塊の移動距離は数百km以上に及ぶ(図1-2-3)。

ところで、国内の先駆物質の主要な発生源は、北九州から首都圏に至る沿岸地域に集中しており、寒候季にこれら地域で大気中へ放出された先駆物質が日本海側へ輸送されることは考えにくい。東アジアのSO₂の発生源の分布や卓越風の状況などを念頭におくと、東アジア地域の近隣諸国からの流入分の影響を考慮せざるを得ない。

ただ、これは気塊の動きだけから推定されることであり、定量的に把えるためには大気中の化学・物理過程も含めた検討が不可欠である。さらに、最近の大気物理学の知見では、降水中の硫酸イオン部分は雲内で取り込まれたものであり、雲より下層での降水への取り込みは相対的に小さいことが明らかにされている。

従って酸性物質の広域輸送の機構をより定量化するためには、雲での取り込みを含めた移流・拡散、変質、除去の各過程についてのモデルを構築する必要がある。その一環として、現在、当所では、酸性物質の観測や気象解析と並行して、東アジア地域の環境要因・地理条件に即した輸送モデルの開発を進めている。

1-2-2 河川・湖沼の実態と酸性物質の土壌中への移行過程

わが国における酸性雨の影響について、その最も集約的に現われる河川・湖沼の実態調査を実施した。

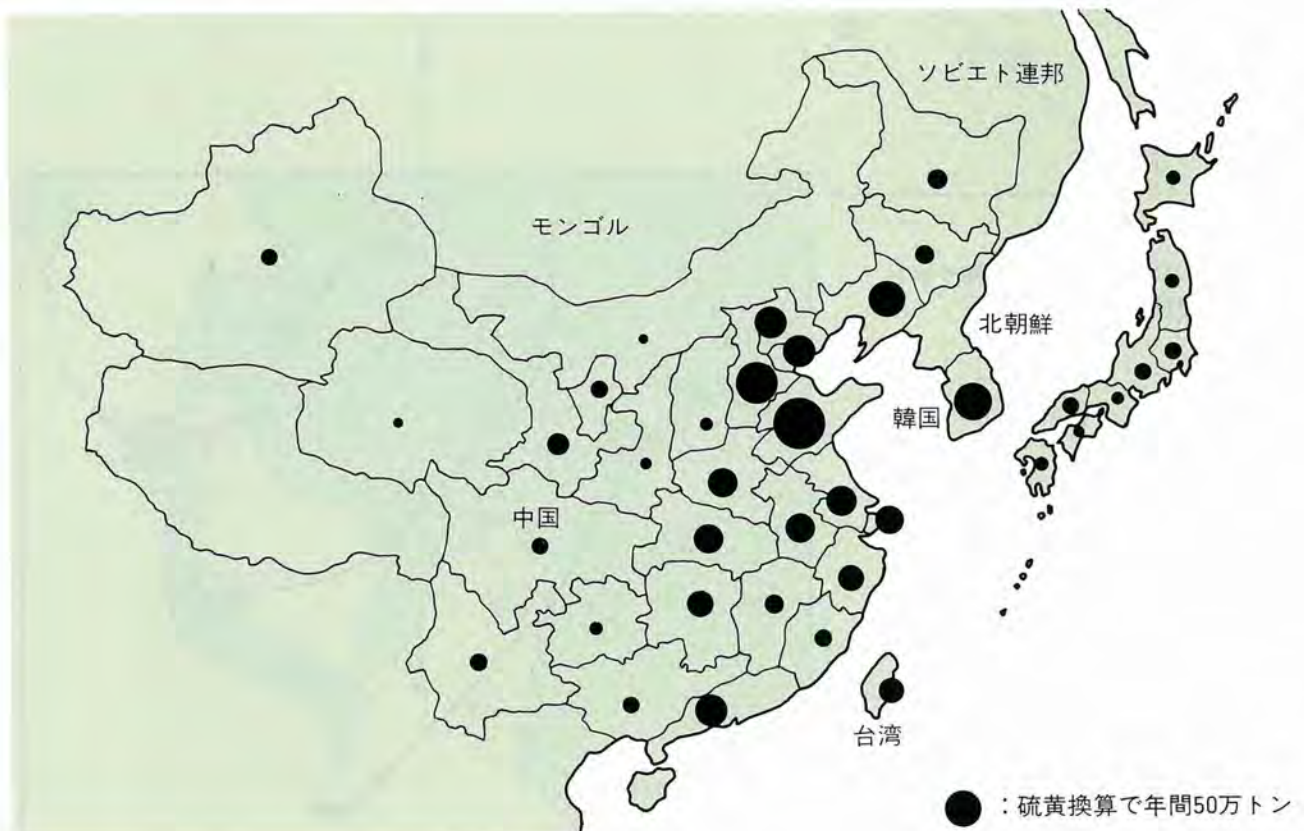


図1-2-1 東アジア地域における二酸化硫黄の発生量の推計結果

当該地域からの発生量は硫黄換算で年間1,000万トン弱であり、最大の発生源は中国華北部にある。そのほとんどは石炭の燃焼に伴うものである。台湾からの発生量はわが国の3割程度であるが、韓国からの最近の発生量はわが国と同等、ないしはこれを上回っているものとみられる。

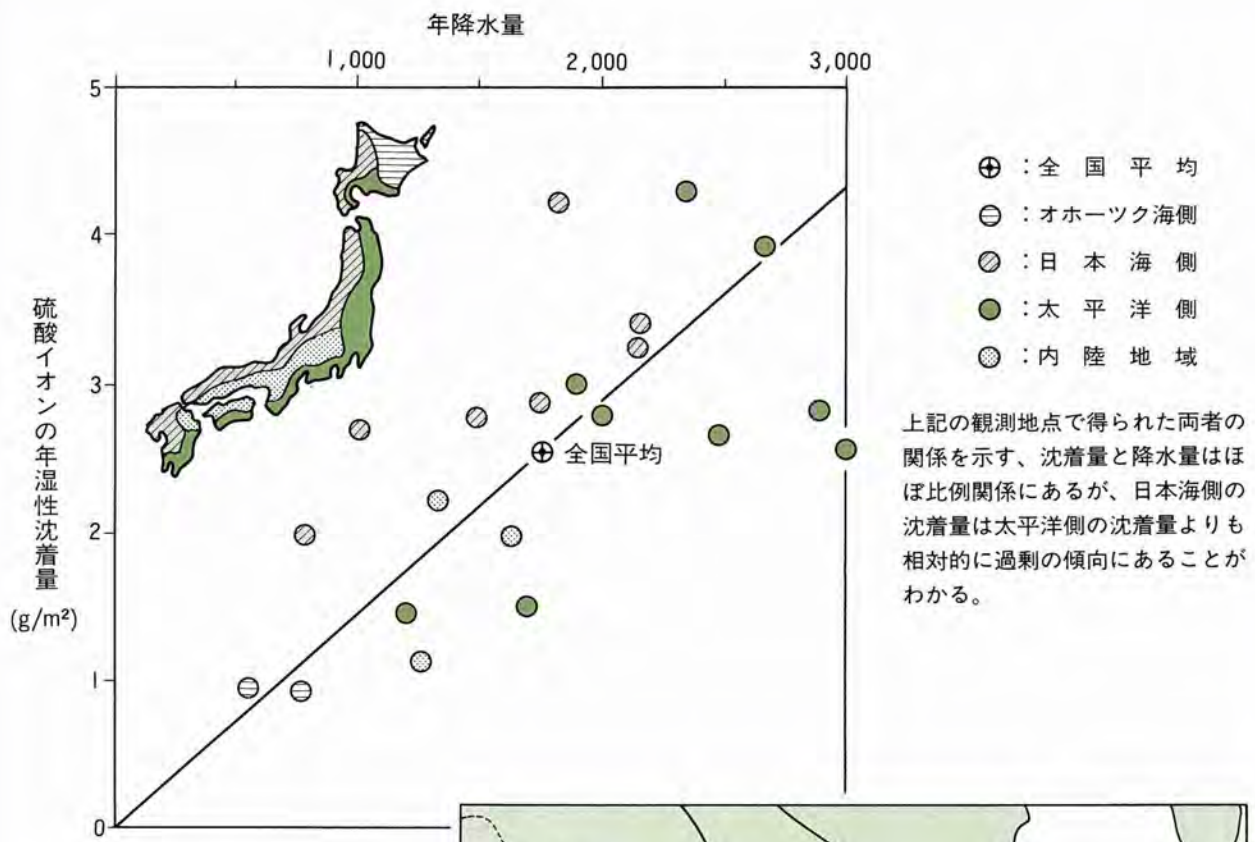
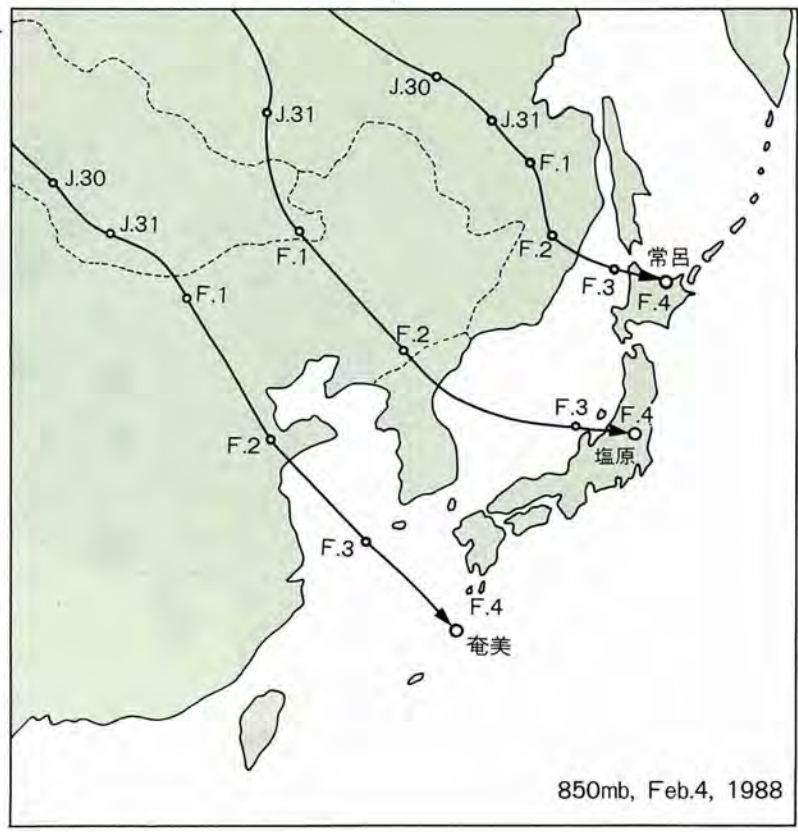


図1-2-2 年間の降水量と硫酸イオンの湿性沈着量との関係

図1-2-3 1988年2月4日の0時(F.4)に常呂、塩原および奄美の上空850mb(高度約1,500m)に到達した気塊の流跡線



1月30日(J.30)頃にモンゴルとシベリアの上空にあった気塊が、偏西風によって中国や韓国を通過し、約5日後にわが国の上空へ到達したことがわかる。

(1) 河川・湖沼 pH の実態

既存の資料により全国規模の流域・水質データベースを作成し、これをもとにわが国の116河川、120湖沼の酸性化の現況を調べた。

調査結果から、火山、鉱山、温泉等に起因する自然の酸性河川・湖沼を除いては、酸性河川・湖沼の pH は低下していない。また、経年的に pH の低い河川・湖沼が増えている傾向もみられない。

ただし、季節的には、融雪期に若干酸性になる河川が一部みられる。

(2) 酸性物質の土壌中移行過程に関するライシメータ実験

わが国の河川・湖沼に酸性雨の影響が認められないのは、流域内の土壌による中和作用のためと考えられる。そこで、試験対象の褐色森林土をライシメータ（土壌層の水および物質収支を把握できるタンク型の実験装置）に充填して模擬土層（図1-2-4）を造り、これに pH 3 の人工酸性雨を散布して、自然と同様の浸透条件における土壌水質の変化を調べている。

土壌水イオンの電荷バランスを基にした酸性化指標（陽イオンと陰イオンの当量の差）をみると、散布水量が、1,200mmまでは、交換性の陽イオンによって土壌の酸性化が防がれている。なおこの実験により、1 m以上の深さでは、微生物活動の影響により土壌中の CO₂ 濃度が大気中に比べて100倍以上高く、この CO₂ の影響で土壌水の pH が低下し、AI イオンの可溶化が起きていることが判明した。

今後は土壌中の酸性物質の動きについてさらに詳細な検討を進め、その結果に基づいて河川・湖沼の酸性雨影響予測モデルを開発する。

1-2-3 土壌の中和作用

地上に降った酸性雨を中和する主要な物質は土壌である。土壌のもつ中和する能力が河川水や湖沼水の酸性化を抑制

している。中和能力の大きさは土壌の化学組成に大きく依存し、中和能力の大きい土壌もあれば小さい土壌もある。酸性雨による環境被害の将来予測を行うためには、わが国に分布する各種土壌の中和能力の現状把握が不可欠である。当所では、酸の中和に関与する主要な化学成分を実験的に特定し、中和能力を簡易、迅速に測定する方法の開発を行った。

(1) 土壌の酸中和能

土壌を実験装置（カラム）に充填し、上部から酸性の水を連続的に滴下して底部の流出水の pH を測定した（図

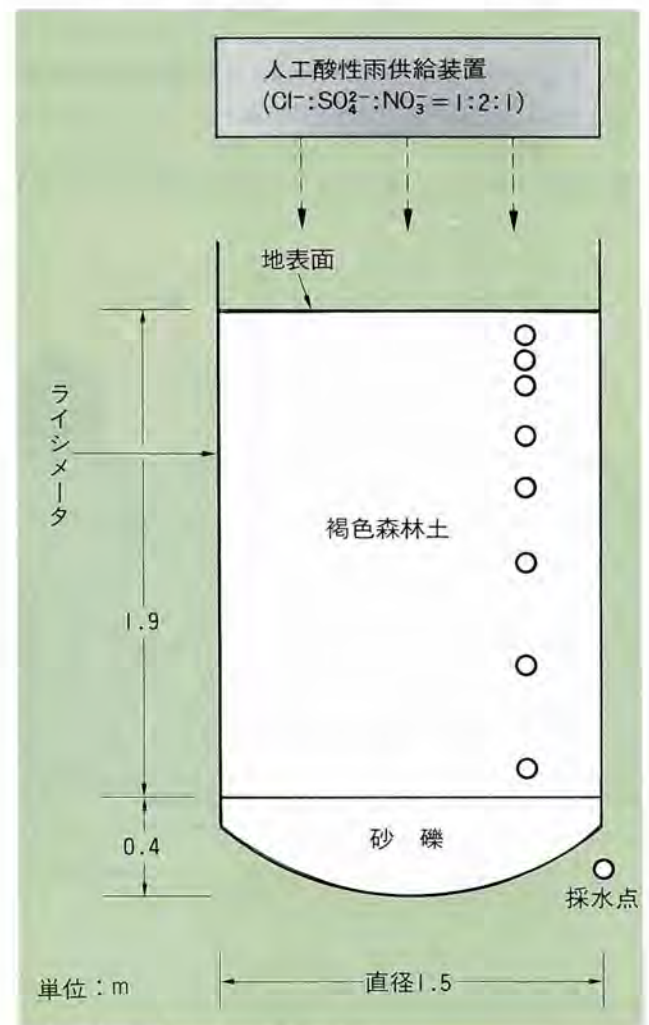


図1-2-4 ライシメータ実験装置

鋼製容器内に試験土壌を充填して人工酸性雨を降らせ、水収支、物質収支を調べる。

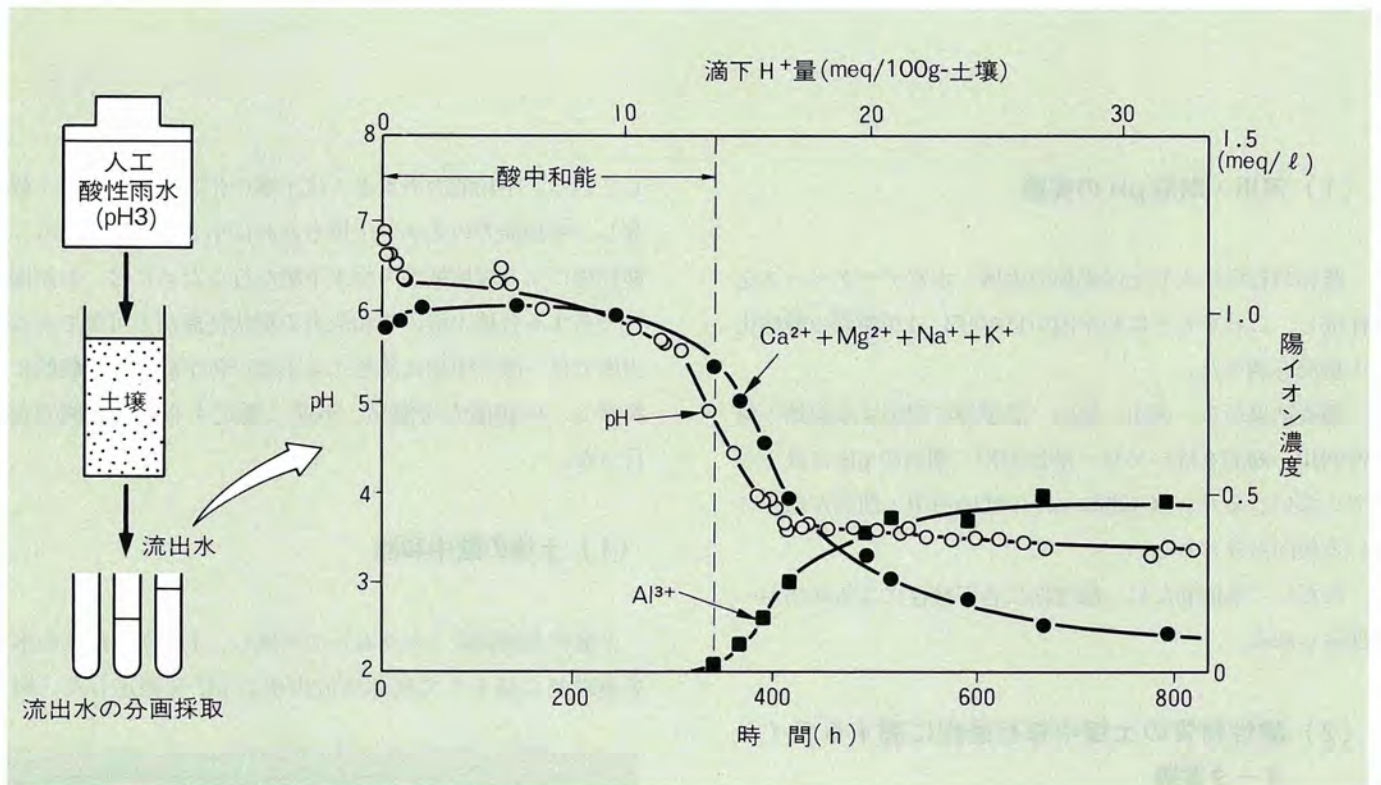


図1-2-5 カラム流出水のpHと陽イオン濃度の経時変化

土壌カラムの上部から人工酸性雨を滴下し、カラム流出水pHと陽イオン濃度の経時変化を調べた(上左図)。流出水のpHは土壌中のイオン交換性陽イオン(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+})の消失とともに急激に低下した(上右図)。同時に水質悪化の原因である Al^{3+} の濃度が増加し始めた。この時点までに土壌が消費した H^{+} の総量が土壌の酸中和能である。

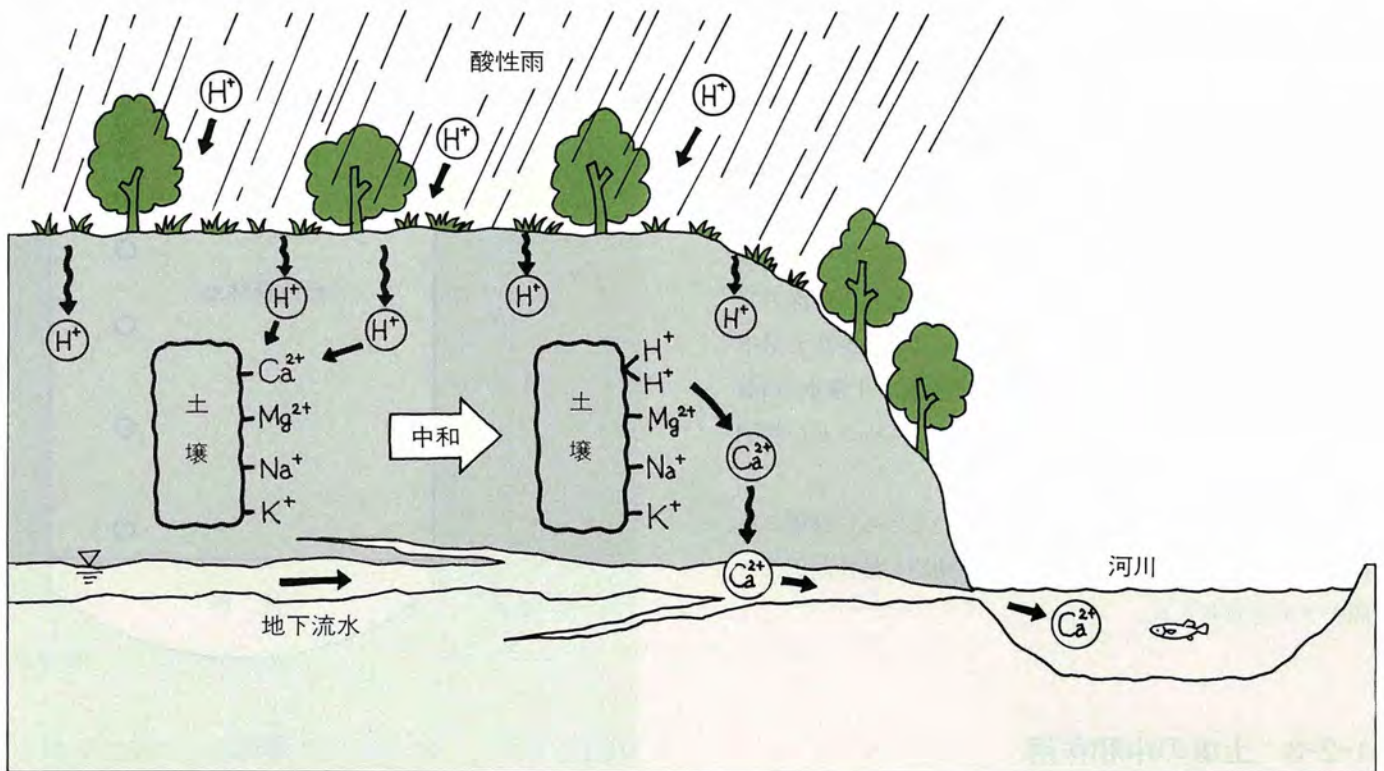


図1-2-6 土壌による酸性雨中和メカニズムの一例

酸性雨の沈着によって土壌に流入した H^{+} は、土壌に吸着している Ca^{2+} などのイオン交換によって土壌に捕捉される。その結果、酸性雨は中和され、一方土壌は酸性化する。土壌からは植物の生育に必要な Ca^{2+} などの栄養分が流出する。

1-2-5)。この場合、pH は約320時間後まで約6に維持されており、土壌の中和作用が働いていることがわかる。

この中和作用には限界があり、それ以上の酸性の水を滴下し続けるとpHが急激に低下する。これとともに、今まで溶解出していたカルシウム (Ca^{2+})、マグネシウム (Mg^{2+})、ナトリウム (Na^+)、カリウム (K^+) のイオンにかわり、動植物に有害なアルミニウムイオン (Al^{3+}) が溶解出し、その濃度が急上昇し始める。この時点までに消費された水素イオン (H^+) の総量を「土壌の酸中和能」という。

(2) 中和メカニズム

13種類の異なる土壌について中和能と化学成分の関係を調べた結果、酸の中和に関与する主要な化学成分は、①炭酸塩、②イオン交換性陽イオン (Ca^{2+} など)、③イオン交換性水酸化物イオン (OH^-) であることが分った。つまり、これらの成分を多く含む土壌ほど酸中和能が大きいことになる。以下では②を例にとり、中和メカニズムについて説明する (図1-2-6)。

②の代表例は Ca^{2+} である。土壌には H^+ とイオン交換を行う性質のある Ca^{2+} が吸着している。酸性雨が土壌を浸透すると酸性雨中の H^+ が土壌に吸着し、それと当量の Ca^{2+} が土壌から水中に溶出する。これによって酸性雨は中和され、一方土壌は酸性化する。また、 Ca^{2+} のほかにわずかではあるが、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ も H^+ とイオン交換を行う。

(3) 酸中和能の簡易測定法

土壌の酸中和能の実験は通常100時間の長時間を要し、操作も煩雑である。そこで、酸中和能の全国調査など多数の試料を扱うルーチン測定に適する簡易測定法の開発を進めてきた。

当所で開発した簡易法は、いわゆるパッチ実験によって酸中和能を求める方法である。この簡易法とカラム法による結果を比較したところ、両者はよい一致を示した (図1-2-7)。本簡易法の最大の特徴は、所要時間が2日程度で

操作が簡易なことにある。

なお、これまでは土壌を無機的なものとして扱ってきた。今後は、土壌微生物の活動など有機的側面を加え、酸性雨の中和にどのように係わるかについて検討する。

1-2-4 樹木および農作物影響

1960年頃から、大都市周辺で、神社林などの小規模な孤立林を中心に原因不明のスギの衰退現象がみられるため、その原因の解明を進めている。

(1) スギ衰退の影響判別法

スギの衰退現象について原因の特定できる衰退と原因不明の衰退を形態的に区分するための判別法について検討を

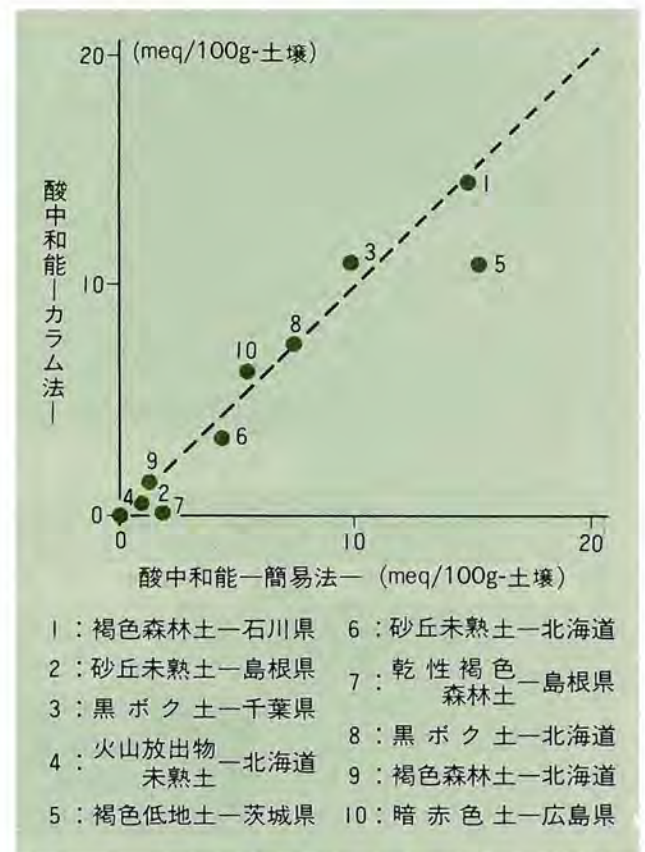


図1-2-7 簡易法とカラム法で測定した土壌の酸中和能の比較

簡易法は中和能が小さい土壌から大きい土壌までカラム法とほぼ同一の酸中和能を与えることがわかった。

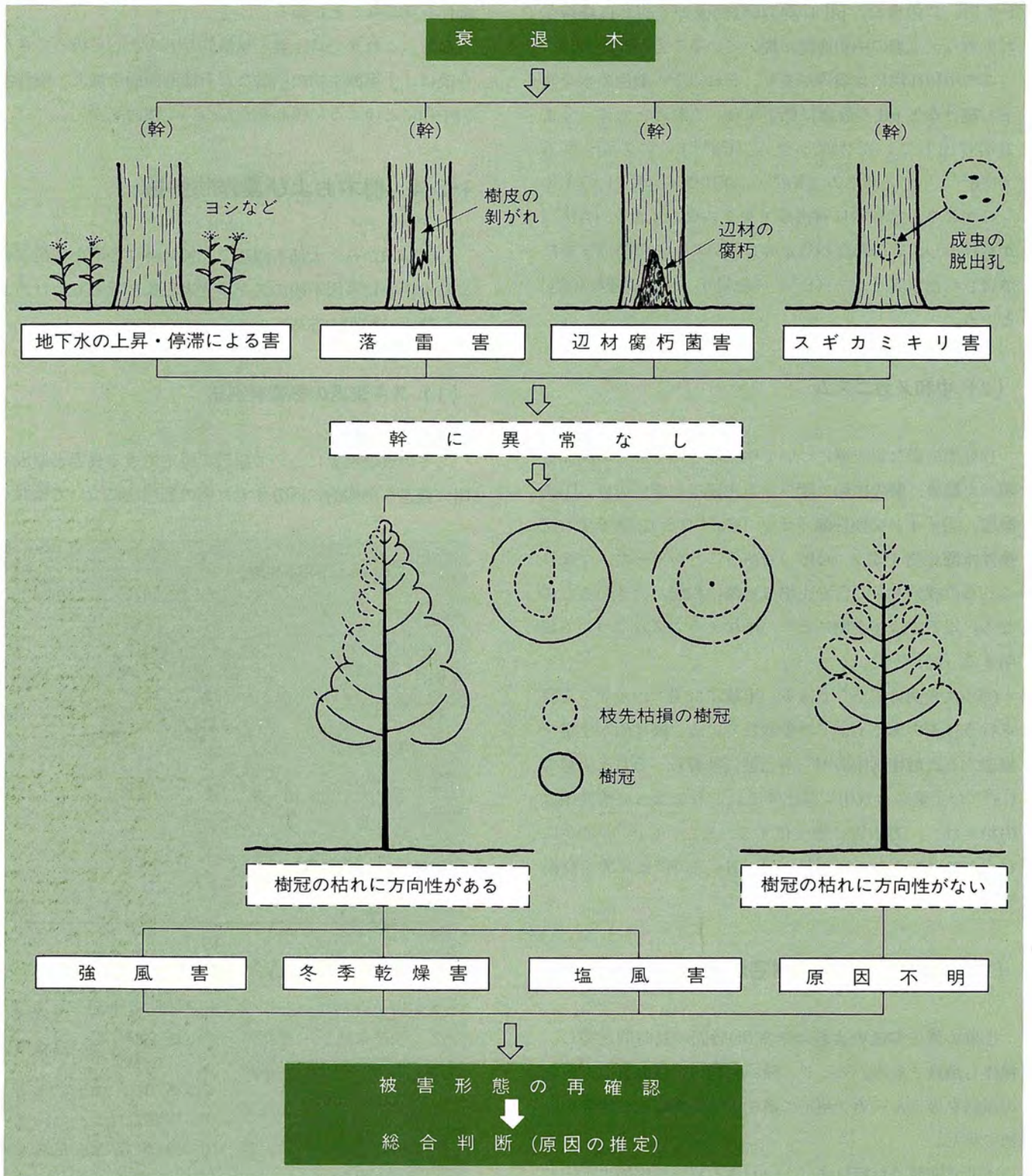


図1-2-8 スギ衰退の被害形態判別法

衰退木の原因を推定する手順として、①根元周辺の状況、幹の状況を観察し、特に異常が見られなかった場合には、②衰退や枯れに方向性があるかどうかを観察する。特定方向に枯れ枝等が偏っている場合には原因が特定できるため、これらに該当しないものを原因不明の衰退木として調査する。

行った。

原因の特定できる衰退には、気象害（冬季乾燥害、強風害、塩風害、落雷害、冠雪害）、病虫害（スギカミキリ害、辺材腐朽菌害）、地下水の上昇・停滞による害などがある。

これらが主因となる衰退には、固有の特徴が認められる。気象害では、樹冠の枯れ、林内における被害木の分布、発生地域などに特徴がある。また、病虫害では樹幹部の徴候に特徴があり、地下水の上昇・停滞による害では根元付近の林床植生にそれぞれ特徴が認められる。一方、原因不明の衰退木の形態的な特徴は、枝葉量の減少、枯枝の増加、先端からの枯れ下がりである。

これらの特徴に基づき、“スギ衰退の被害形態判別法”を作成した（図1-2-8）。これによって、原因の特定できる衰退と原因不明の衰退を形態的に区別することができるようになった（1-2-9）。

（2）樹木影響メカニズム

森林衰退原因については、一般に、単一の原因ではなく、いくつかの要因が複合して作用した結果であると考えられているが、主要な推定原因としては次のような仮説がある（図1-2-10）。

① 土壌酸性化説

長期にわたって湿性・乾性の酸性降下物が沈着して、土壌 pH が低下すると、土壌中の主要養分（Ca、Mg、K など）が溶脱する。さらに土壌の酸性化が進むと、Al イオンの溶出などがおこり、このため、根系が衰弱し、養分や水分を吸収できなくなり、枯死する。

② オゾン+酸性ミスト・酸性霧説

オゾンが葉細胞に直接損傷を与え、これに加えて酸性ミストや酸性霧が葉から養分を溶脱させる結果、Mg、Ca などの養分欠乏がおこり、光合成能も低下し、樹木が衰退する。

③ 窒素過剰説

過剰に供給される窒素化合物を植物が吸収することに

よって、植物の生長が続き、生育期間が長くなることによって耐凍性が低下したり（冬季の気象被害の増大）、土壌中養分の枯渇などを引き起こし、これが原因で各種気象被害や病虫害に対する抵抗性が弱くなる。

（3）スギ樹幹流・樹冠雨の pH と電気伝導度

スギの樹幹流（幹を伝わって流下する雨水）・樹冠雨（樹冠の枝葉から滴下する雨水）の pH と、溶けているイオン濃度の指標となる電気伝導度（EC）の特性を明らかにした。

雨水の pH は、樹幹流<樹冠雨≦林外雨（樹木に直接接しない自然降雨）の順に高くなり、EC は、林外雨<樹冠雨≦樹幹流の順に高くなる。また、樹冠雨の pH、EC は樹冠下の位置によっても異なり、幹に近いほど樹冠雨の pH は低く、EC は高い（図1-2-11）。

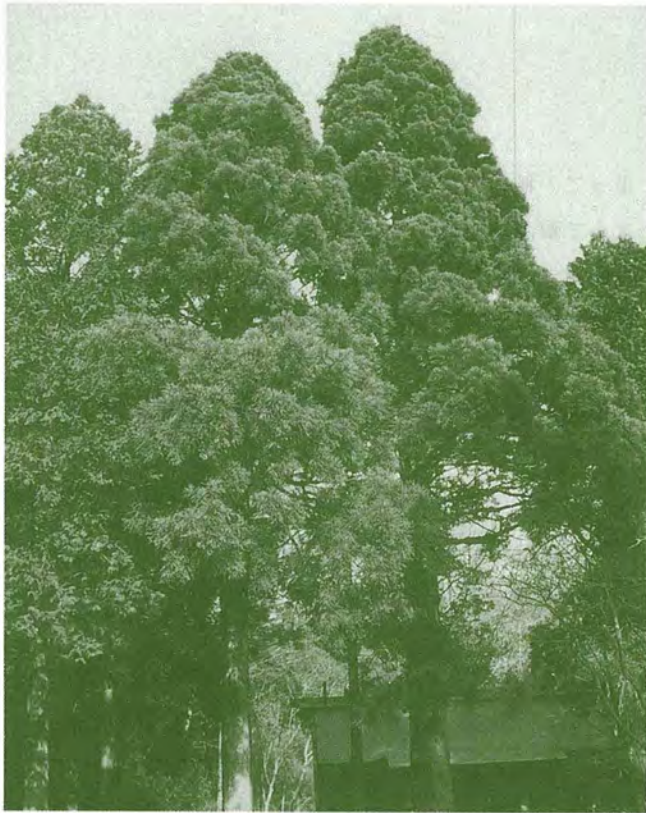
このことは、樹幹流と樹冠雨が枝葉に付着している酸性物質を洗い流していると推測される。また、pH の低い樹幹流は量が多いため、根元周辺土壌に対して酸性物質を負荷する度合いも高まると考えられる。

（4）農作物影響

農作物に対する酸性雨の影響を予測・評価する一環として、主要穀物の1つであるダイズについて酸性雨の接触試験を行い、土壌酸性化や生育・収量に対する影響について検討を行った。

1回当たり2時間で10mmの人工酸性雨（pH5.6、4.0、3.0、2.0）を1週間に3回、9週間接触した。その結果、pH2.0の人工酸性雨を接触した場合に、斑点や葉の縮れなどの可視害の発生が観察された。しかし、pHが3.0になると可視害は非常に軽微となり、ほとんど問題とはならない程度であった。また、生育や種子の収量については、pHが2.0では低下するが、3.0以上では有意な影響は見られなかった（図1-2-12）。

わが国の農耕地土壌の場合には、栽培する前に耕耘や施肥等の土壌改良が行われるため、結果的に酸性雨による土壌酸性化の影響は見られない。また、植物に対する影響も



ほぼ健全



被害度 2



被害度 3



被害度 4

図1-2-9 原因不明のスギ衰退木の被害状況

被害の進行：枝葉量が徐々に減少し、枝先や梢先端に葉が残る状態から次第に枯枝が増加し、ついに梢が枯れ、さらに幹下方へと枯れ下る。

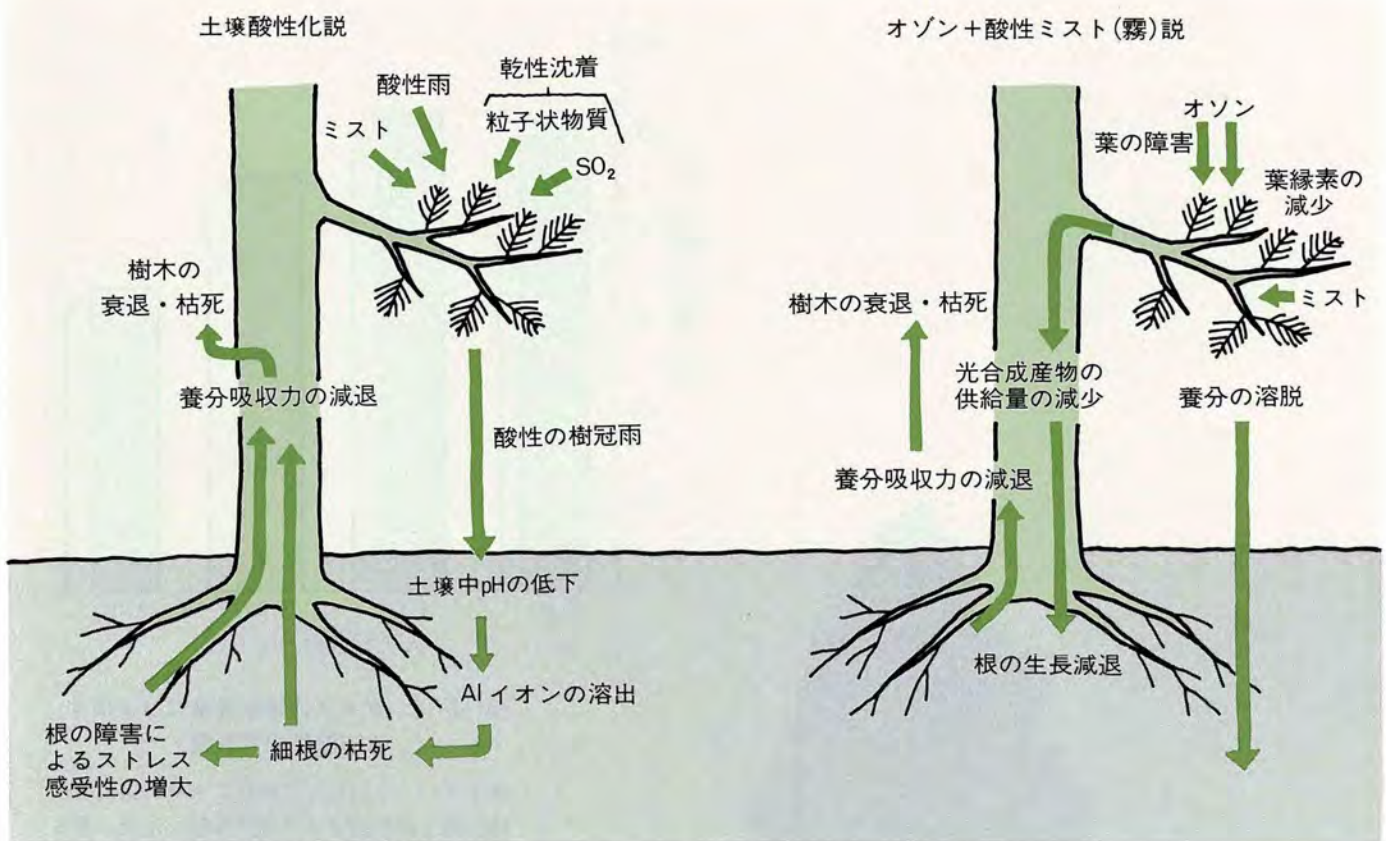


図1-2-10 樹木衰退の主要なメカニズムの模式図

土壌酸性化説の方は、乾性の酸性物質が葉に沈着し、それを酸性雨が洗い落とし、根圏の土壌を酸性化するため根が障害を受け、樹木が衰退することを示している。オゾン+酸性ミスト(霧)説の方は、オゾンが葉に障害を与えるため、光合成機能が低下する。そこへ酸性ミストが接触し、葉中の養分を溶脱してしまう。そのため、葉の機能が低下し、根の伸長生長に必要な養分(同化産物)が十分に供給されなくなるため、根が弱り、ひいては個体の衰退に至ることを示している。

ほとんど問題とはならない。また、米国でも同様な研究結果が得られていることも合わせて考えると、わが国で現在観測されている程度の降雨の酸性度(平均 pH が4.5~

4.7) では、農作物に対する酸性雨の影響はほとんど問題とはならないと考えられる。 ●

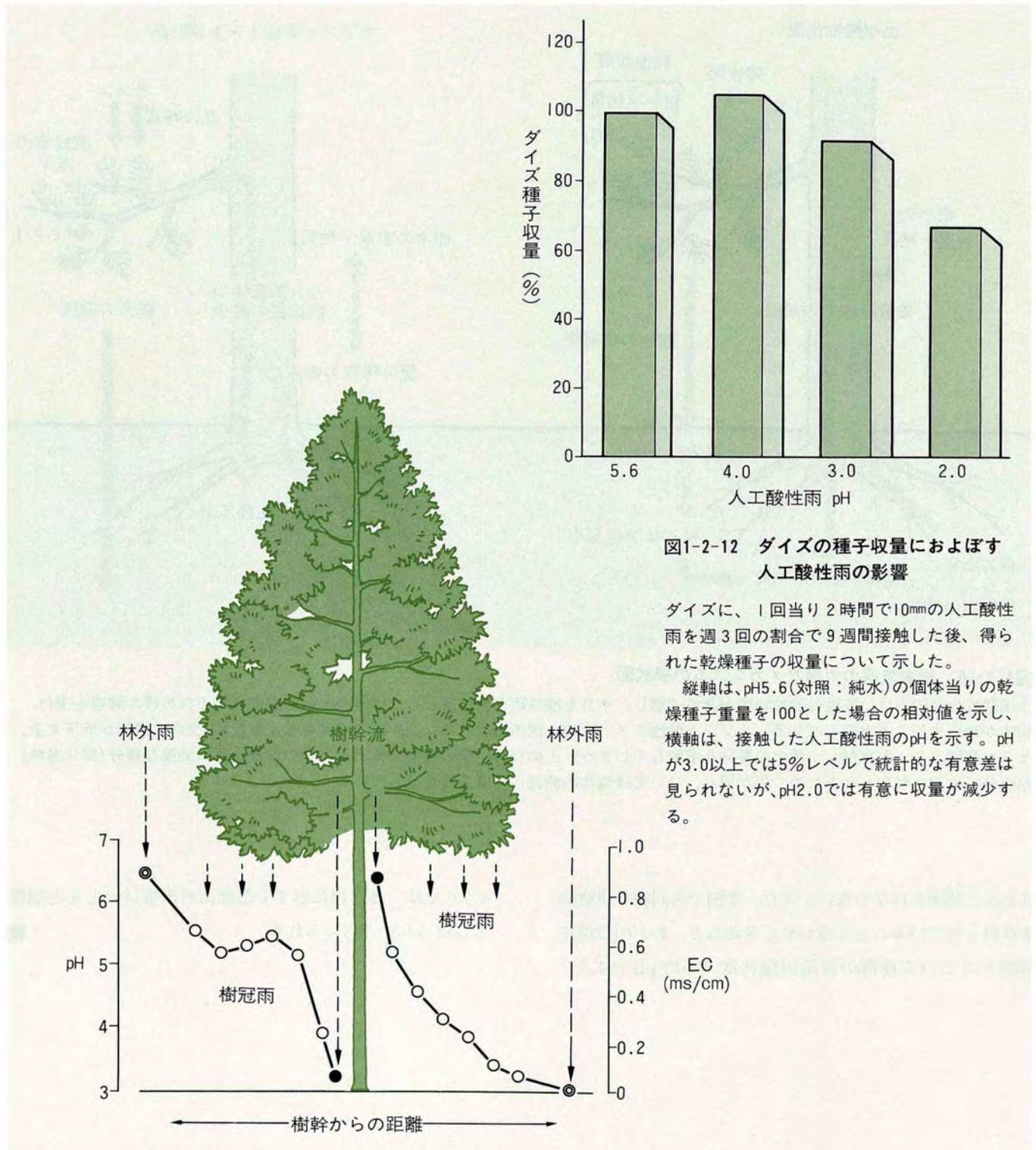


図1-2-11 スギに接触した降雨の酸性度と電気伝導度の変化

模式図の左側は、樹冠の外側から中心の幹に向かって採取した雨水の酸性度 (pH)、右側に電気伝導度 (イオン濃度の指標となる : EC) の変化する状況を示す (当所構内で測定)。

降雨 (林外雨 : pH6.5) が樹冠部に接触すると樹冠雨のpHは少し低下するが、幹を伝わって根元で得られる樹幹流の場合には pH が 3 に低下する状況がわかる。また、EC の場合には林外雨の EC が最も低く、樹幹流の値が最も高くなることを示している。

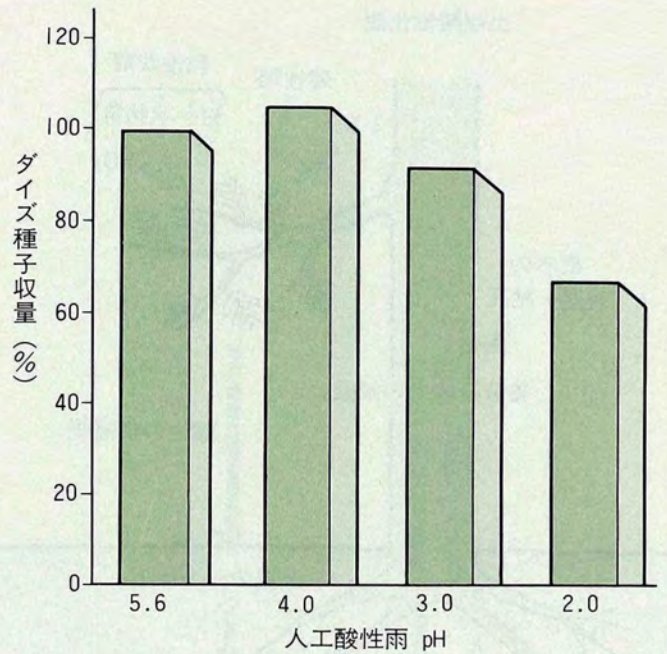
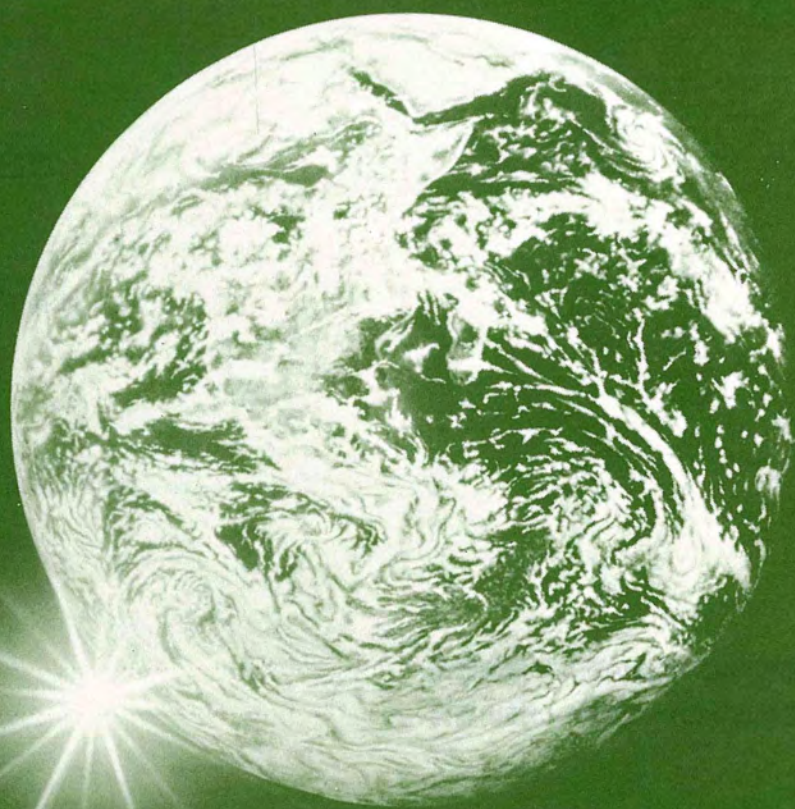


図1-2-12 ダイズの種子収量におよぼす人工酸性雨の影響

ダイズに、1回当たり2時間で10mmの人工酸性雨を週3回の割合で9週間接触した後、得られた乾燥種子の収量について示した。

縦軸は、pH5.6(対照:純水)の個体当りの乾燥種子重量を100とした場合の相対値を示し、横軸は、接触した人工酸性雨のpHを示す。pHが3.0以上では5%レベルで統計的な有意差は見られないが、pH2.0では有意に収量が減少する。



第 5 章

望ましい環境を創る

—アメニティ社会を指向した快適環境の創造—

第2章 望ましい環境を創る ● 目次

我孫子研究所	水理部	主席専門役	鹿島 遼一
	水理部	水域環境研究室長	荒木 洋
	水域環境研究室	主任研究員	川崎 保夫
	構造水理研究室	主査研究員	清水 隆夫
経済研究所	経済部	社会環境研究室長	若谷 佳史
	社会環境研究室	主査研究員	山本 公夫

2-1	都市環境のための新しい技術開発	41
2-2	地域環境のための新しい技術開発	47

2-1 都市環境のための新しい技術開発

都市の再生・創出をめざして…

今後、わが国の都市がこれまでの活力・機能を維持し、かつ健全な発展を続けていくためには、従来見落としがちであった都市の環境に注目し、これをアメニティという側面から見直して再生・創出し、都市生活者にとって快適な都市環境をつくりだしていくことが重要な課題となっている。そして、住民が求める都市生活における新しい生き方やライフスタイルの多様化を実現するために、都市空間の高度利用や快適性の向上などが求められている。

快適都市空間をつくるために…

例えば、都市景観への関心の高まりとともに、配電線の地中化等を契機として、「まち」と電気事業が協力して快適な街路空間を創る努力が各地で進められるようになってきている。

また、高度情報化社会の進展によって、国際化やライフスタイルの多様化が今後ますます進むと考えられるが、このような時代の流れの下で、都市は24時間空間へと変遷していくことであろう。このため、夜間の都市空間は安全性といった機能の確保に加え、街の優れた個性や美しい雰囲気といった快適性が求められるようになってきている。さらに、これまで都市の裏側として位置づけられてきた海や河川の水際は、いまや都市に残された貴重なウォーターフロント空間として見直され、新しいコンセプトの下で開発が行われている。

本節では…

このような背景のもとで、当所では、都市アメニティの創造を基本理念として望ましい人間環境を創り出すべく、快適な都市づくりに関する研究開発に取り組んでいる。

ここでは、街路空間および公共照明に関するデザイン手法について述べる。また、都市のウォーターフロントを開発するうえで必須の条件となる水質の浄化技術の開発について取り上げる。

2-1-1 都市空間のデザイン

当所では、快適な都市空間づくりに寄与する都市デザイン手法の開発を進めている。特に電気事業と係わりの深い、街路空間および都市公共照明を対象としたデザイン手法について述べる。

(1) 街路空間のデザイン

日常生活と密着した街路空間では、配電線地中化を契機として様々な街路整備が実施されている。これらがより効果的に実施し得るように、街路空間のデザインの考え方を明らかにしたうえで、配電設備など地中化の景観に及ぼす効果を定量的に把握するための評価方法を開発した。

1) 街路空間デザインの考え方

「歩行者にとって快適な街路とはどのような空間であるか」の評価方法を明らかにするために、様々な特徴を持つ首都圏の32の街路を実際に歩き、快適性の評価項目を求めるといった心理実験を行った。その結果、評価項目としては、快適性の「阻害感」と「向上感」との2つが考えられ、因子分析によって雰囲気阻害感などそれぞれ4つの評価因子を抽出した(表2-1-1)。

「阻害感」の評価における特徴としては、視覚的、身体感覚的、知覚的という3つの視点から、街全体を対象として、その印象を評価しているのに対して、「向上感」ではショーウィンドウや樹木など、街路を構成する個々の要素を対象として評価する傾向がある。

これらの特徴から、街路空間を設計する場合、配電設備などの個々の要素だけを整備しても、快適性の「阻害感」は必ずしも改善されないことが明らかとなった。

つぎに、周辺建物や街路樹の状況などの街路の空間特性から、街路を5つのタイプ(オフィス街、繁華街、日常商店街、緑の多い住宅地、モール)に分類し、街路の特徴を考慮した空間デザインの目標設定と、空間デザインの具体的方法との関係を整理した(図2-1-1、図2-1-2)。

これによって、空間を構成する個々の要素を相互に関連づけて、効果を充分発揮できるような街路空間のデザイン

が可能となった。

2) 地中化効果の定量的予測

都市景観に対する配電設備や看板などの街路空間を構成する要素の影響を把握するとともに、配電設備などの地中化によって期待される景観に及ぼす効果を、定量的に予測評価する手法を開発するために心理実験を実施した。

評価項目は街並みの「雑然性」とし、実験はモニタージュ写真を用い、10段階で評価する方法を採用した。

実験で得た評価値と街路空間の構成要素(緑、看板、電柱等)の量(図2-1-3)を用いて分析した結果、配電設備よりも看板や路上放置物の方が評価に及ぼす影響が大きかった。従って、配電設備以外の要因によって「雑然性」のかなり高い街路では、地中化しても、景観上あまり効果がないことがわかった(図2-1-4)。

(2) 公共照明のデザイン

当所では、人々の生活と密接に結びついた公共性の高い街路や広場などの夜間空間を対象として、公共照明デザイン手法の開発を進めてきた。

1) 夜間空間デザインの考え方

さきの街路空間デザインの考え方にもとづき、都市における夜間の公共空間デザインの考え方を提案した。コンピュータグラフィックスを用いて、いくつかの場所のタイプについて検討した。

2) 照明による効果の予測と評価

照明方法の違いによる快適性評価の特徴を把握するために、当所の構内において実験用の一般街路をつくり、これを対象に評価実験を実施した(図2-1-5)。

実験結果の分析から、つぎの点が明らかになった。

- ① 評価は、「明るさ」、「安心感」といった直接的な評価と、「落ち着き」、「雰囲気良さ」といった複合的な評価に分けられる。
- ② 「明るさ」や「安心感」は、光源の間隔が狭く、光源にカバーを付けずに光を散乱させて、樹木等をライティ

表2-1-1 街路空間の快適性評価因子

	快適性阻害評価	快適性向上評価
第1因子	歩行阻害・居心地不快感	商業活動による魅力
第2因子	街並乱雑感	緑・うるおい感
第3因子	雰囲気阻害感	ストリートファニチュアによる魅力
第4因子	街路整備の阻害感	配電設備のプラスの評価

街路空間の快適性を「阻害感」と「向上感」の観点から捉え、それぞれ4つの評価因子でその構造を把握している。

—————：すでにある向上要因をより高める - - - - -：新しく向上要因を導入する

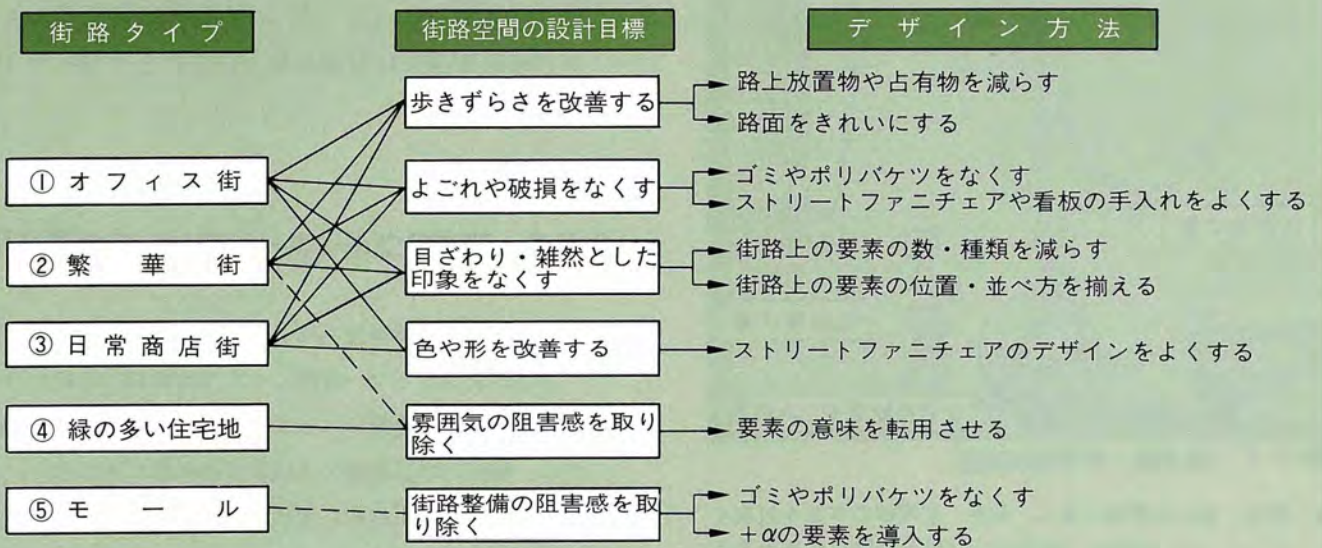


図2-1-1 快適性「阻害感」をなくす設計方法

街路タイプ毎に、快適性「阻害感」をなくすための街路空間の設計目標および具体的なデザイン方法を体系的に整理している。

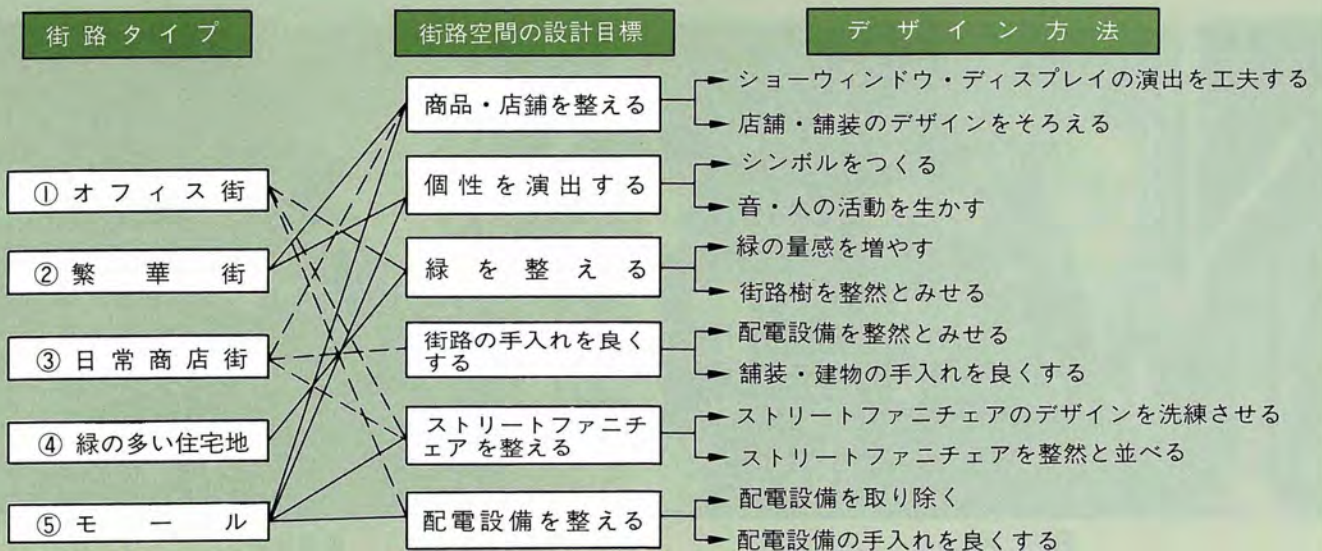


図2-1-2 快適性「向上感」を高めるための設計方法

街路タイプ毎に、快適性「向上感」を高めるための街路空間の設計目標および具体的なデザイン方法を体系的に整理している。

ング（照明し浮き上がらせる）した場合に評価が高かった。これは空間や対象物の明るさにもとづいて評価され

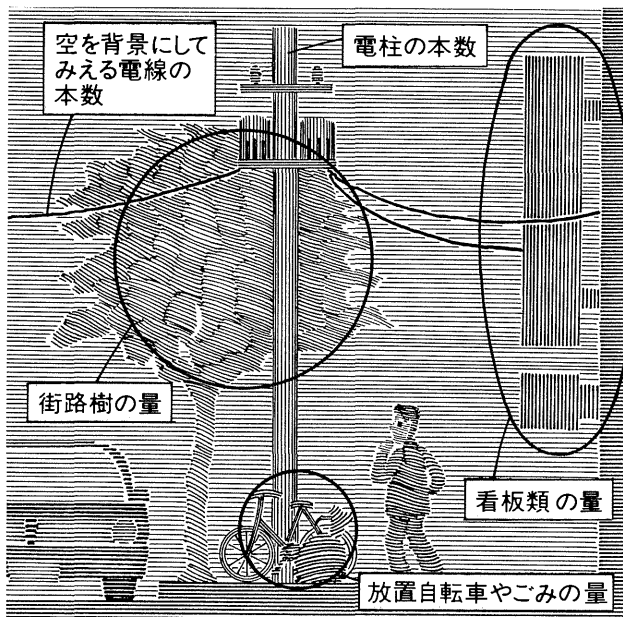


図2-1-3 「雑然性」評価説明要因

緑、看板、路上放置物の量と、電柱、配電線の本数を計測することによって、街路の「雑然性」評価を定量的に算出することができる。

ていることを示している。

- ③ 「落ち着き」や「雰囲気良さ」は、路面に投光せずに、光源の間隔を狭くし、光を散乱または半散乱させ、さらに光源の高さを低くした場合に評価が高かった。
- ④ 路面照度に関して「明るさ」は、照度が高くなるにつれて評価が高まるが、40ルクスを越えるあたりから頭打ちとなる。一方、「雰囲気良さ」は、照度が高くなると評価が高くなるが、高くなりすぎると逆に下ることから路面照度には最適な値があることが分った（図2-1-6）。

2-1-2 都市のウォーターフロントの水質浄化

大都市を控えた湾奥部沿岸、例えば東京湾における水質は、常時悪臭が漂った一時期に比べれば1970年代からの排水規制と下水道整備によって、相当改善が進んでいる。しかし、現在の水質基準の達成率は約60%にすぎない。また、年間の赤潮発生日数は現状でも90日に達している。海浜公園などを含む都市のウォーターフロントとして、アメニティ空間を確保して行くためには、湾内の水質を浄化することが重要である。



現 況

地中化後

図2-1-4 地中化等配電設備の整備効果の1例

配電設備を地中化することによって、街路の「雑然性」を3点から5点まで改善することができる。さらに、看板や路上放置物を整理することにより、整然とした街路を創り出すことが可能である。



図2-1-5 照明デザインの評価実験風景

街灯や投光器を用いて照明パターンを作成し、実際に照明空間を体験することによって照明デザインの方法と効果の関係を明らかにする。

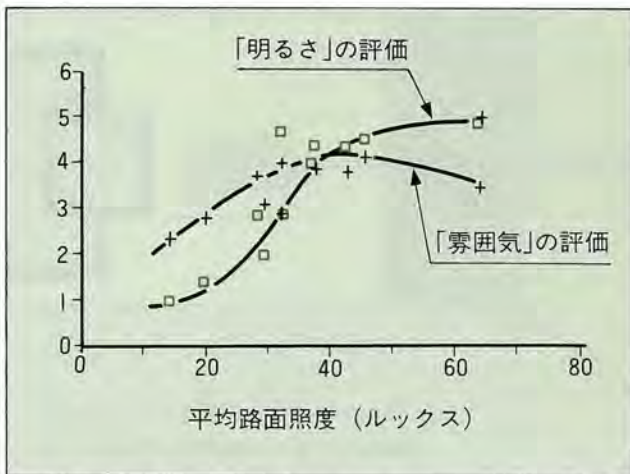


図2-1-6 評価の路面照度との関係

直接的評価である「明しさ」の評価、および複合的評価である「雰囲気」の評価と、平均路面照度との関係。

(1) ウォーターフロントの水質浄化策

当所では、このような考えのもとに、都市のウォーターフロントを対象にした水質の浄化策の検討を行っている。これは、水際線前面の限定した水域内で、夏季に圧縮空気による曝気を行うことによって、温かく軽い水と冷たく重い水が層状を成して停滞する、いわゆる夏期の海水の成層状態を乱し、酸素を多く含んだ表層の海水を底面に到達させて、底層水の酸欠化を防ぐとともに、底泥からの栄養塩の溶出を抑制するものである。これによって、海水の悪臭はなくなることが期待される。この場合、上下の海水循環を効率良く実現するために、水域を平面的に限定する必要がある。その方法としては空気を用い水際から数百m範囲をエアカーテンで仕切ることが考えられる(図2-1-7)。

このような海域浄化のプロセスにおける、エアカーテンによる水域の仕切りや、鉛直循環などの物理的作用とともに、水中への酸素の溶け込みや、生物の作用といった化学的・生物的的作用を含めた総合的な効果の定量的な評価を実施している。これは既に当所で実施した貯水池の富栄養化対策に適用した手法を応用するものである。予備的検討によれば、4百万m²程度の規模の水域に適用する場合の必要エネルギー量は夏場1日当たり900kWh程度である。

このためのエネルギー源として、安い深夜電力でコンプレッサーを回し、圧縮空気をタンクに貯蔵して利用する。さらに、このような圧縮空気貯蔵方式を前提にすれば、地形条件によっては、タンクを清浄な開放水域深部と連結することにより、きれいな海水を湾内に導入することも可能であり、曝気と組み合わせた複合システムが考えられる。

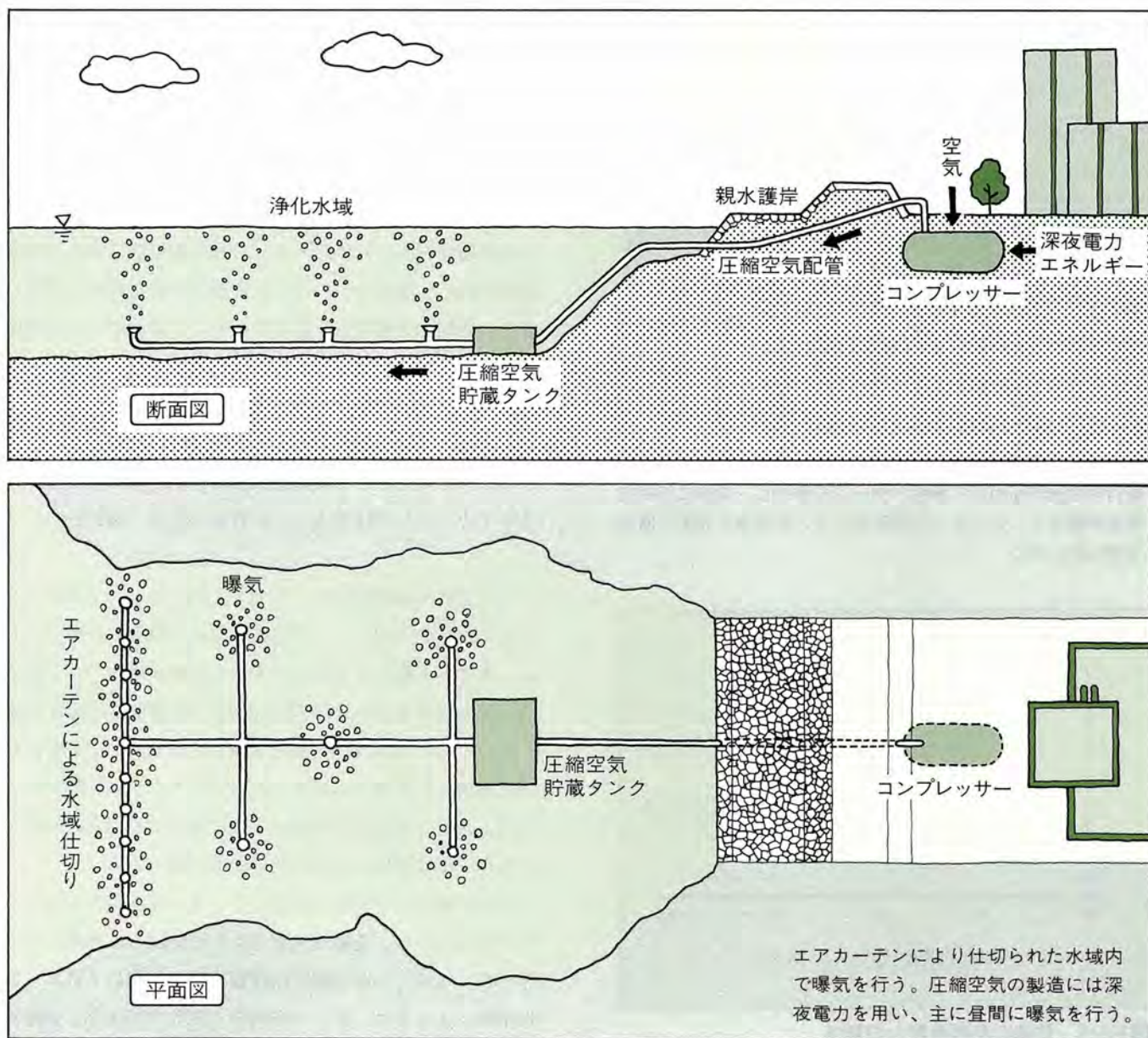


図2-1-7 圧縮空気を利用する水質浄化システムの概念図

2-2 地域環境のための新しい技術開発

地域との共存共栄を目指して…

火力発電所や原子力発電所などの電源立地に際し、地域との共存共栄を目指し、海浜へのアクセスの便を図ったり、取水により内湾の水の交換を高めたりしてきた。

地域の快適性向上や地域の活性化をはかるため、当所では、従来の立地技術、環境保全技術を基盤とし、沿岸立地発電所ならびに沖合人工島立地発電所の周辺海域を対象とする環境創造技術の開発に着手した。

環境創造技術の開発を目指して…

第1段階として、沿岸立地発電所周辺での環境創造に必要な情報・技術についてとりまとめを行い、その結果を踏まえて第2段階の研究を新たに立案し、人工島を含むより広い海域を対象に、総合的な研究開発を進める。

第1段階の具体的な研究としては、

- 海浜造成技術の開発
- 水質改善技術の開発
- 海中砂漠緑化技術の開発

を実施している。

本節では、これらの研究課題の中から、砂浜海岸や藻場の修復もしくは造成を目的とした、海浜安定化・造成技術、ならびにアマモ場の造成技術を取り上げる。

2-2-1 砂浜の安定化・造成技術

海岸の砂浜は外洋からの波浪によって、砂浜が侵食されたり砂が堆積したりする。当所では、このような自然の砂の動きを利用して砂浜の安定化をはかったり、あるいは砂浜を人工的に造成したりする砂浜の安定化・造成技術の開発を進めている。

砂浜を安定化するために、防波堤基部を利用するとすれば、自然の漂砂特性によって砂を引き寄せることができる（図2-2-1）。しかし、これだけでは、台風などによる大波の影響で堆積された砂が削られて沖に流れ出てしまう。これを防ぐために、波を減衰させる方法と海岸線に耐波浪性に優れた被覆ブロック（シーサップ）を敷き詰める方法を提案し、その実用性を確認した。

（1）潜堤による波高制御方法

砂浜に打ち寄せる波の高さや周期などの条件によって砂浜が削られる場合がある（図2-2-2）。

そこで、たとえば、潜堤を設け、波を強制的に砕けさせる方法で波の高さを制御することを考え、三角形型（断面）の潜堤についての研究を実施してきている。また、これに関連して台形型（当所の三角形型と従来からの長方形型とを組み合わせる）の潜堤について、一般に簡易に適用できる波高伝達率算定図を作成した（図2-2-3）。

（2）シーサップによる海浜の造成

当所で開発した海浜被覆用のシーサップ・ブロック（図2-2-4）は、前後左右のブロックと組み合わせ、3次元的に噛み合わせており、結合力は自重の3倍におよぶ。このブロックは千鳥格子状に配置すると集水孔を持つ水の透過性の高い護岸とすることができる。

このブロックでは波によって打ち上げられた水と砂のうち、水が集水孔から地下にしみこんで砂が取り残されるため、護岸の前面に砂が堆積しやすい。これを砂の打ち上げ効果と呼ぶ。また、護岸の勾配を小さくすると波の反射率

が小さくなり打ち上げ効果が高められる。

さらに、波高が小さい場合でもシーサップを用いた緩斜面の護岸は自然の砂浜に比べて20%程度大きな波に対しても砂を打ち上げる効果があることが分った。

2-2-2 アマモ場造成技術

海中での草原や森林に相当する藻場は幼魚の格好の成育場所であり、海藻はアワビやウニなどの餌となったり、海水中の栄養塩を吸収し酸素を供給するといった浄化機能を有している。

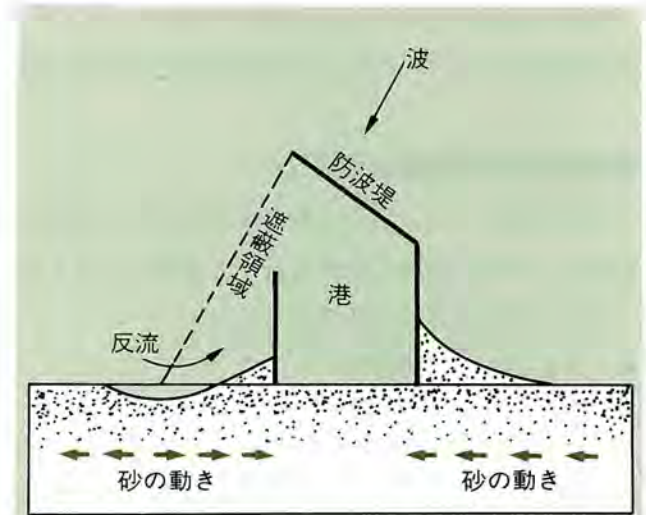


図2-2-1 防波堤の基部に堆砂する特性

右手から波が来ると砂が右から左へ移動し、防波堤の右側に塞き止められて堆積する。防波堤の左側も波の遮蔽領域に生じる反流によって砂が寄ってくる。



図2-2-2 砂浜が削られる条件

砂粒が細かく勾配の急な砂浜に波高が大きく周期の短い波が打寄せると、砂浜が削られてしまう。

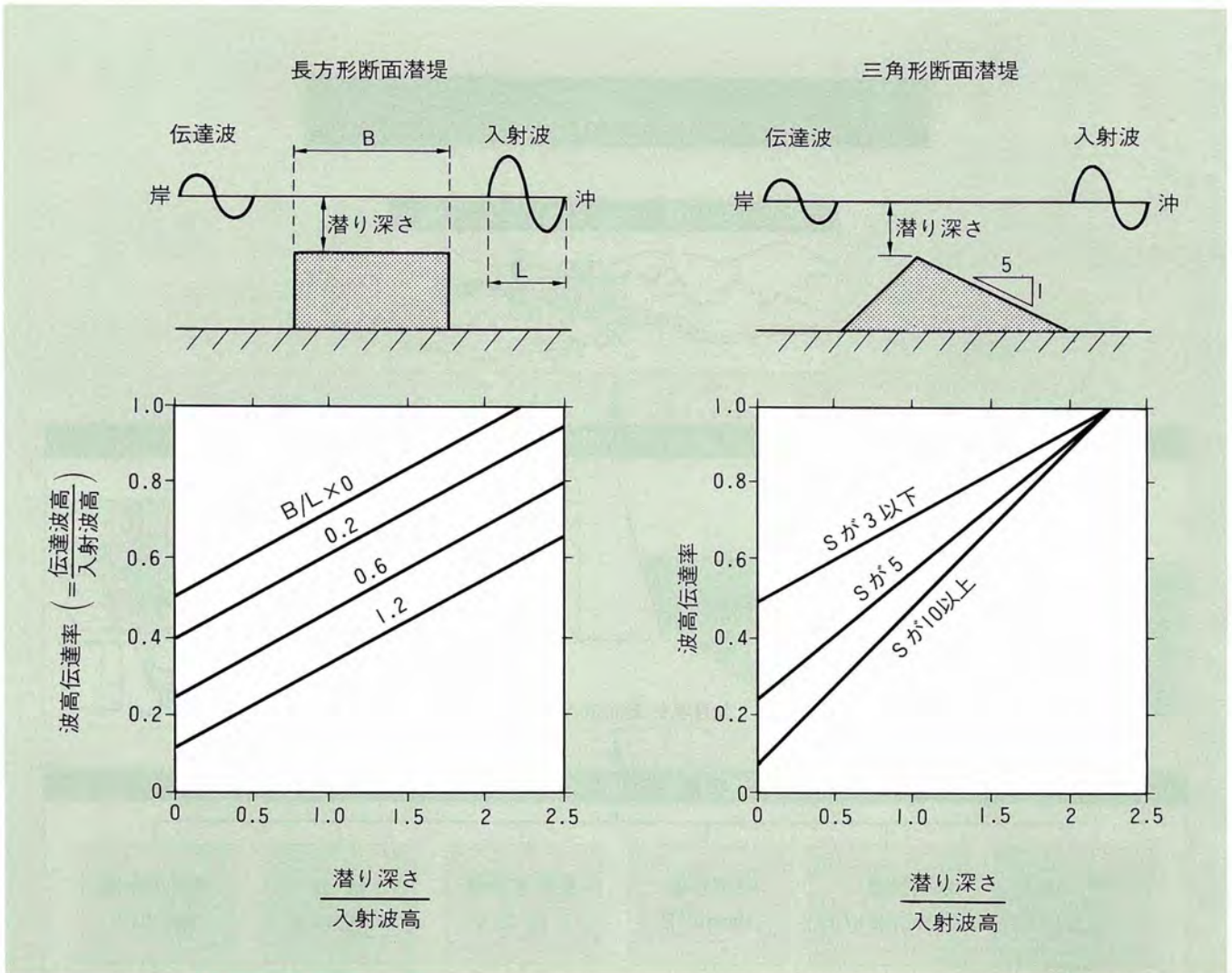


図2-2-3 長方形・三角形断面潜堤の波高伝達率算定図

台形断面潜堤の場合は台形のB/Lに相当する長方形断面潜堤の波高伝達率と台形のSに相当する三角形断面潜堤の波高伝達率を比べて、小さい方を採用することでほぼ推定できる。この図を用いて、例えば、水深(d)5mのところの高さ(h)3m、天端幅(B)9m、斜面勾配(1/S)1/5の台形断面潜堤を考える。そこに、周期(T)7秒(波長Lは45m、数表等で求める)で高さ(H_i) 3mあるいは1mの波が来ると、潜堤を通過した波の高さ(H_t)はそれぞれ1.35m、0.83mになると読み取ることができる。

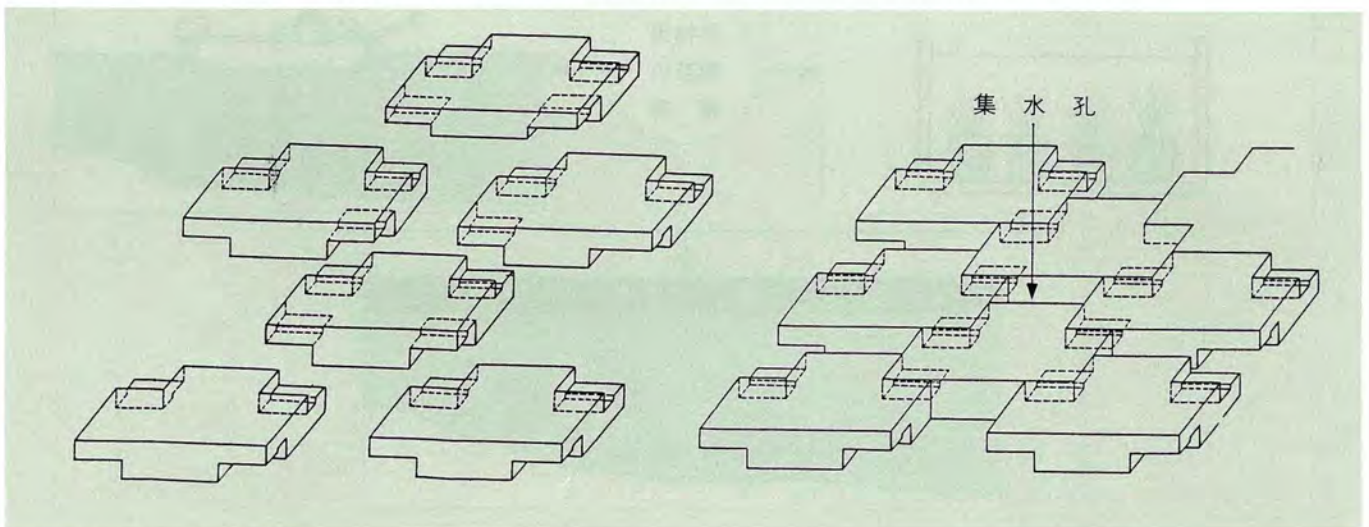


図2-2-4 シーサップの積み方

シーサップを手前の方から順次千鳥に並べて連結していく。連結は手前のシーサップの連結部の上に奥のシーサップの連結部を重ねるようにして行う。

アマモ場の造成手順

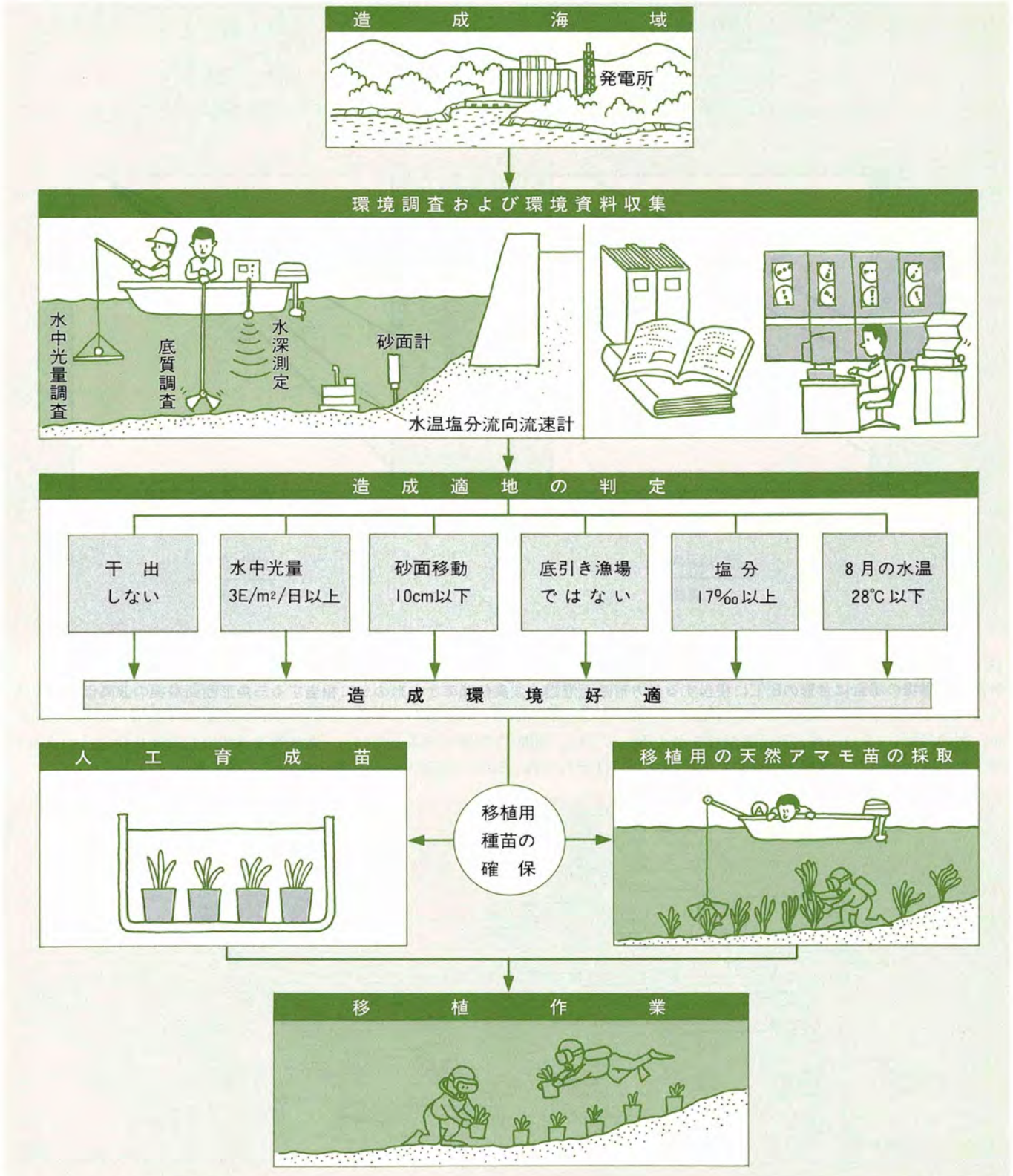


図2-2-5 アマモ場の造成手順

アマモ場の造成候補海域が選定されると、つぎに、その水中光量や砂面変動などの環境条件がアマモの生育に適しているか否かを調査する。そして、環境条件が全て満足する場合であれば、育苗したアマモか天然のアマモ場から採取し苗を移植する。

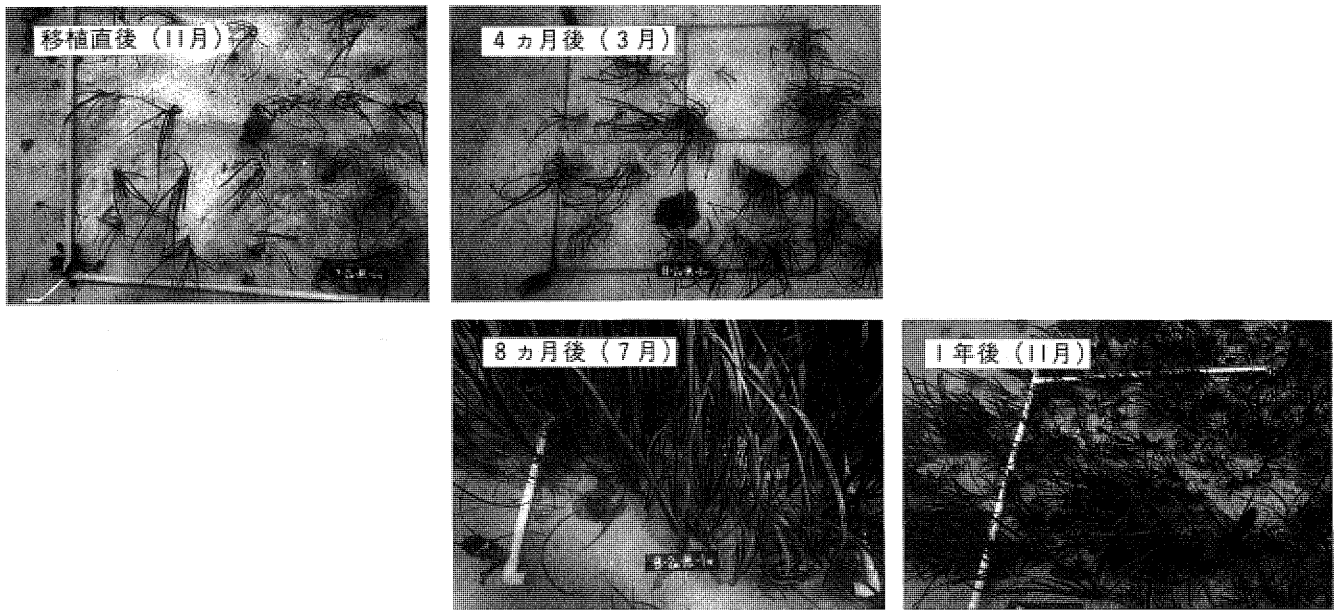


図2-2-6 移植後のアマモの生育状況

1985年11月に長さ約30cmのアマモを32株/m²の密度で三浦半島の小田和湾湾口部の水深約2 mの場所に移植した。アマモは株分かれにより増殖し、1年後の11月にその密度は天然群落とほぼ同様の約600株/m²となった。また、草丈も天然群落と同様の季節変化を示し、11月から7月にかけて伸長したが、その後、短くなった。

藻場はそれを形成している海藻の種類によってアマモ場、ガラモ場、海中林に大別される。現在、いずれの藻場造成技術も研究段階であり、未だ、実用化には至っていない。そこで、当所では、手始めに、砂泥域に生育するアマモを対象としたアマモ場造成技術の基礎的研究を行った。

(1) アマモの種苗生産

アマモ場を造成するためには、アマモの種をまいたり、苗を移植する必要がある。従来、苗は天然のアマモ場から採取していたが、天然の移植苗を大量に確保することは、アマモ場の衰退を招く恐れがある。そこで、種から移植苗を陸上の水槽で育てる方法を検討した。

このため、まず良質な種子を選別する方法、種子の保存方法、育苗の最適条件を明らかにした。また、移植苗を大量に生産し、移植作業を効率化するため、ミズゴケ製のポットを用いる方式を採用して、苗の生産や移植作業を効率化した。

(2) アマモの生育環境条件

アマモの生育は、水温、塩分、水中での光量、砂の移動状況などに依存する。このほか、潮の干満による苗の乾燥や底引漁法などが阻害要因となる。

アマモの生育の最適条件は、8月の平均水温28℃以下、

塩分17‰以上、砂の移動2～3 cm以下（1時的には10cmまで許容）、光量は3 E/m²/日以上である。

(3) アマモ場造成適地

アマモの生育条件としては、水深が浅い場合には砂の動きが、水深が深い場合には水中の光量が重要である。このことに基づき、自然の海の中から、アマモ場造成に適した砂の動きの小さい（10cm以下）場所を探す手法を開発した。なお、水中光量は日射量と水中の光の減衰率から計算し、移植する個所の水深の下限値を求める。

(4) アマモ場造成の実証

アマモ場の形成が可能であることを実証するため、造成手順（図2-2-5）にしたがい、小田和湾湾奥部の水深1、2、3 mおよび湾口部の水深1、2、5 mの場所にアマモを移植し、1年間株数や草丈の変化を調べた。移植したアマモの株数は次第に増加し、1年後には天然群落に近い状態となった（図2-2-6）。株数の増加傾向は移植水深によって異なっており、砂の動きの小さな場合には水深の浅い場所の方が密度が高くなる傾向がみられた。また、同一水深でも海水が濁った湾奥部では湾口部より株密度が低くなった。

第II部 環境アセスメント手法の高度化を 目指して

狛江研究所 発電プラント部長 四方 浩

これまでの研究…

現行の発電所立地に伴う環境アセスメントが実施されるようになってから20年近く経った。

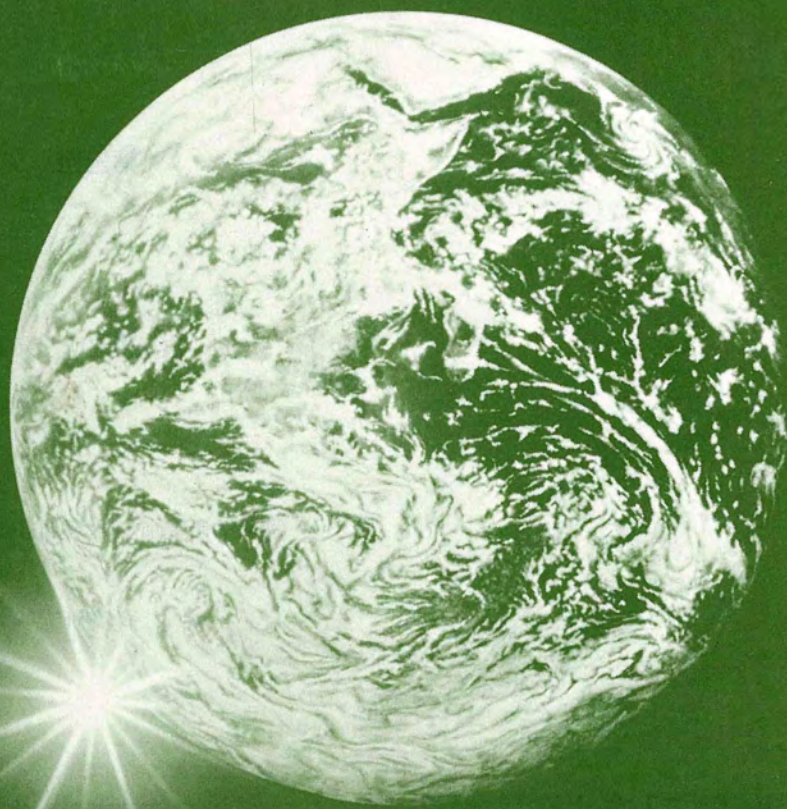
この制度の発足時をはさんだ10数年間の当所の環境研究の中心は、排ガスや温排水の拡散、生物影響あるいは周辺の社会環境や景観に与える影響といった、アセスメントの実施に必要な調査法や予測法の開発であった。それらの成果は、数多くの使用実績を経て現在のアセスメント手法として定着している。

その後、精度向上の観点からの手法の改良を目的とした研究が行われてはきたが、大筋として発電所周辺を対象とした環境アセスメントの研究は一段落した段階にある。

これからの研究…

このような発電所の環境アセスメント手法を今後高度化していくためには、精度向上と合理化の両面から取り組んでいくことになる。環境に関する問題は、つねに周辺住民の理解を得、さらに専門分野での議論に耐える形で対応していく必要がある。そのためには、新しいニーズや科学技術の進展を取り入れ、調査法や予測法を改良していく努力が求められる。

一方、今までに得られた環境に関するモニタリングデータと新しい科学技術を活用し、現行の環境アセスメントやモニタリング手法における無駄をなくしていくことも是非必要となろう。



第 章

アセスメント手法の
高度化

5

第3章 アセスメント手法の高度化 ● 目次

	環境総合推進室	次長	片野 尚明
粕江研究所	発電プラント部	環境研究室長	朝倉 一雄
	環境研究室	主任研究員	市川 陽一
	環境研究室	主査研究員	赤井 幸夫
	広域環境研究室	主査研究員	加藤 央之
我孫子研究所	水理部	環境水理研究室	主査研究員 水鳥 雅文
		環境水理研究室	担当研究員 松梨 史郎
経済研究所	経済部	社会環境研究室長	若谷 佳史
		社会環境研究室	主査研究員 山本 公夫

3-1	大気環境アセスメント手法の高度化	55
3-2	水域環境アセスメント手法の高度化	64
3-3	景観アセスメント手法の高度化	73

3-1 大気環境アセスメント手法の高度化

大気拡散予測に関して…

1960年代後半に発電所排ガス拡散の風洞実験手法を確立し、数多くの火力発電所を対象に実験を行い、環境影響アセスメントの研究を進めてきた。また、排ガスの拡散予測を数値モデルで行う手法については、1982年に電中研方式を開発し、現在火力発電所排ガスの拡散予測に広く使用されてきた。

その後、大気拡散予測手法の精度向上と合理化を目指して、1985年前後から、大気拡散リモートセンシング技術、大気環境測定局の適正配置法、複雑地形上の拡散モデル、工事に伴う大気拡散予測手法について研究を実施してきた。現在実施中の研究としては以下の項目がある。

- 大気拡散数値シミュレーション手法の開発
- 建物の影響を考慮した排ガス拡散予測手法の開発

石炭火力環境予測・対策技術について…

石炭火力の立地が加速化した1980年代前半に、炭じん飛散予測手法、石炭放射能影響評価法を開発するとともに、石炭燃焼に伴う排煙中微量物質の挙動調査を実施してきた。さらに、予測・対策技術の高度化を目指して、1985年頃から以下の項目について研究を実施している。

- 炭じん飛散予測手法の高度化
- 石炭放射能影響評価手法の見直し
- 石炭燃焼に伴う排煙中微量物質の挙動解明

本節では…

気象調査法の高度化を目指したりリモートセンシング手法、大気環境測定局の適正配置法、ならびに大気拡散数値シミュレーション手法に関する最近の研究成果について述べる。

3-1-1 気象調査法の高度化

発電所立地のための環境アセスメントや発電所運転時の排ガス監視を行うために、上層大気の流れや気温等の気象観測が実施されている。しかし、現行の気象観測法は多大な人手と観測コストを要すること、さらに観測高度やデータの連続性が不十分なこと等により、観測手法の改良が必要となっている。

そこで、上層の気象観測を合理的に行う手法としてリモートセンシング技術が内外で急速に進展しているが、当所でも、地上から音波を発信して上層の風を観測できるドップラー音波レーダの実用化研究に1975年頃より着手し、現在実証試験を実施している。また、地上から発信した音波を電波によって追跡することにより、上層の気温を観測できる RASS (Radio Acoustic Sounding System) の性能評価研究を1985年頃から進めている (図3-1-1)。

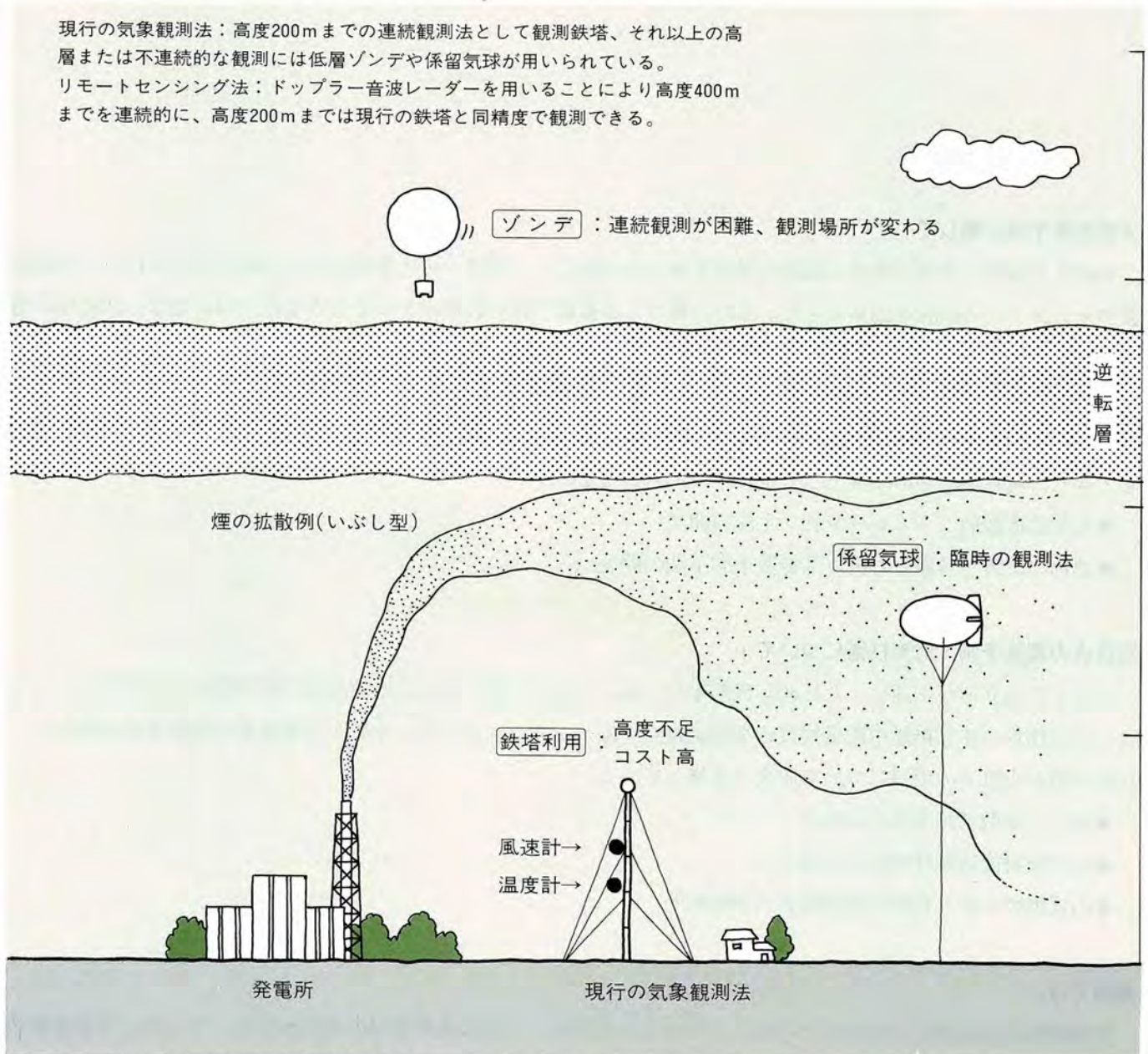
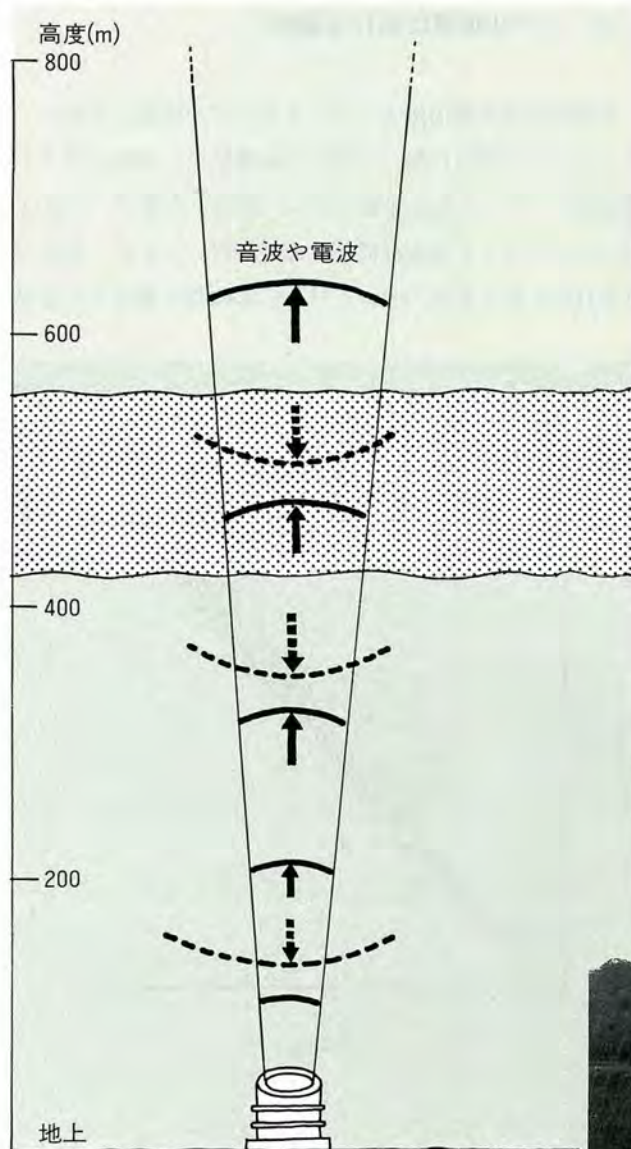


図3-1-1 大気拡散予測のための気象観測法

(1) リモートセンシングによる気象観測

発電所等でリモートセンシング装置を用いた連続観測を実施し、これまで次のような成果を得ている。

ドップラー音波レーダによって観測した風向、風速および RASS によって観測した気温は、鉄塔に取り付けた風向風速計や温度計の観測値とほぼ一致した結果が得られた(図3-1-2)。また、風向、風速の観測可能な高度は、火力



リモートセンシングによる気象観測法
〔風向、風速、気温、逆転層高度〕

発電所排ガスの拡散範囲である400~500m程度であり、精度の高いデータを得る割合は、高度400mまでは全観測時間に対して約80%、気象観測鉄塔と同高度の200m程度ではほぼ100%であった。降雨、降雪時も含めても年間の90%以上の時間について観測可能であり、連続自動観測装置として充分実用性に耐え得ることを確認した。

煙の拡散を妨げる上層逆転層に関して、本手法と低層ゾンデによる気温の観測結果とを比較したところ、本手法によれば上層大気の複雑に変動する成層状態を精度高く捉えることができ、逆転層の高度と強さを連続観測できるようになった(図3-1-3)。

(2) 気象観測手法の合理化

以上の結果から、発電所排ガスの拡散予測に用いられている高度200mに相当する風向、風速の観測については、従来のドップラー音波レーダが気象観測鉄塔の代替測器とすることも可能であること、さらに現在実施されている低層ゾンデによる気温観測にかわり、排ガス拡散評価に重要なデータである年間の逆転層の高度や強さの情報をも得ることができる。しかも、ドップラー音波レーダを設置することにより観測コストを現状の1/5程度に削減できる見通しをえた。



ドップラー音波レーダ

3-1-2 大気環境モニタリングの適正配置法

火力発電所周辺には、その地域の大気環境濃度を把握するために通常数十地点のモニタリング網（測定局）が設置されている。しかし、環境データが集積された現在では、わが国の火力発電所の環境影響は極めて小さいことが一般にも理解されてきている。

そこで、現在火力発電所周辺に設置されているモニタリング網の合理化を客観的に行うための手法を開発した。

(1) 大気環境測定局の合理化・選定手法

本手法は、人口データ、大気環境濃度の実測値（SO₂、NO_x）と気象・煙源条件から計算した拡散予測値を基に、最も合理的な測定局の配置を提案するものである。解析手法は、①大気環境濃度データのメッシュ化、②メッシュの

地域区分、③代表局の選定、の3つのステップから成っている（図3-1-4）。

地域分割の基準としては、大気環境濃度値の時間変動形態の類似性の程度（類似度）を採用した。具体的な地域の分割は、まず対象地域における濃度の主要な時間変動形態を抽出し、次にその変動形態の類似度により地域をグループ化して行う。これに基づき、全体としての適正測定局を選定するものである。

(2) モデル地域における適用

本解析手法の適用例として、まずモデル地域を選定し、そこに2つの測定目的（一般大気環境監視、発電所排ガス監視）、2つの測定要素（SO₂、NO_x）を選び、合計4組のモニタリング適正配置案を作成した。つぎに、全ての測定目的、測定要素のモニタリングを同時に満足させる総

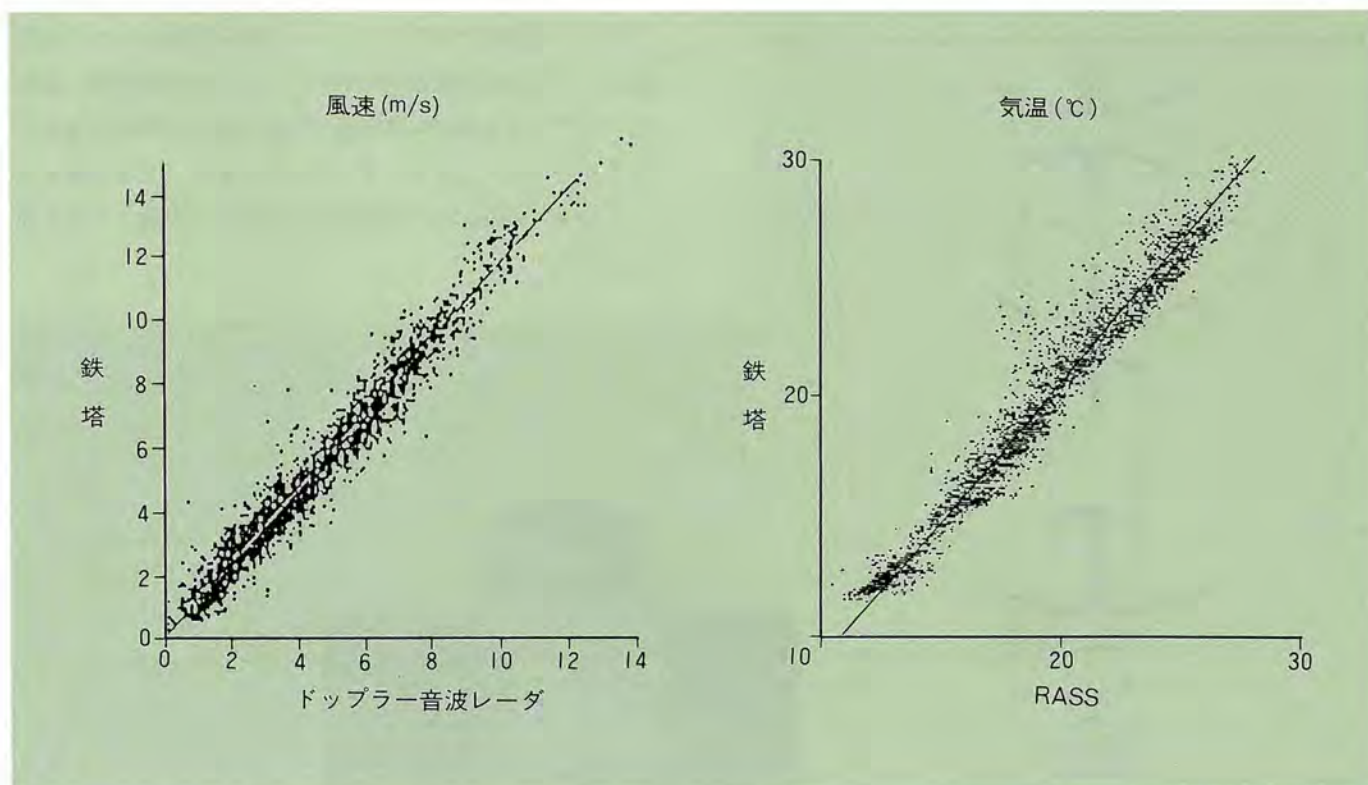


図3-1-2 リモートセンシング手法による観測値と鉄塔との比較（高度150m）

左図は風速についてドップラー音波レーダによる観測値と鉄塔に据え付けた風速計による観測値との比較である。

右図は気温についてRASSによる観測値と鉄塔での温度計による観測値との比較である。風速、気温ともリモートセンシング技術によって十分な高い精度で観測できる。

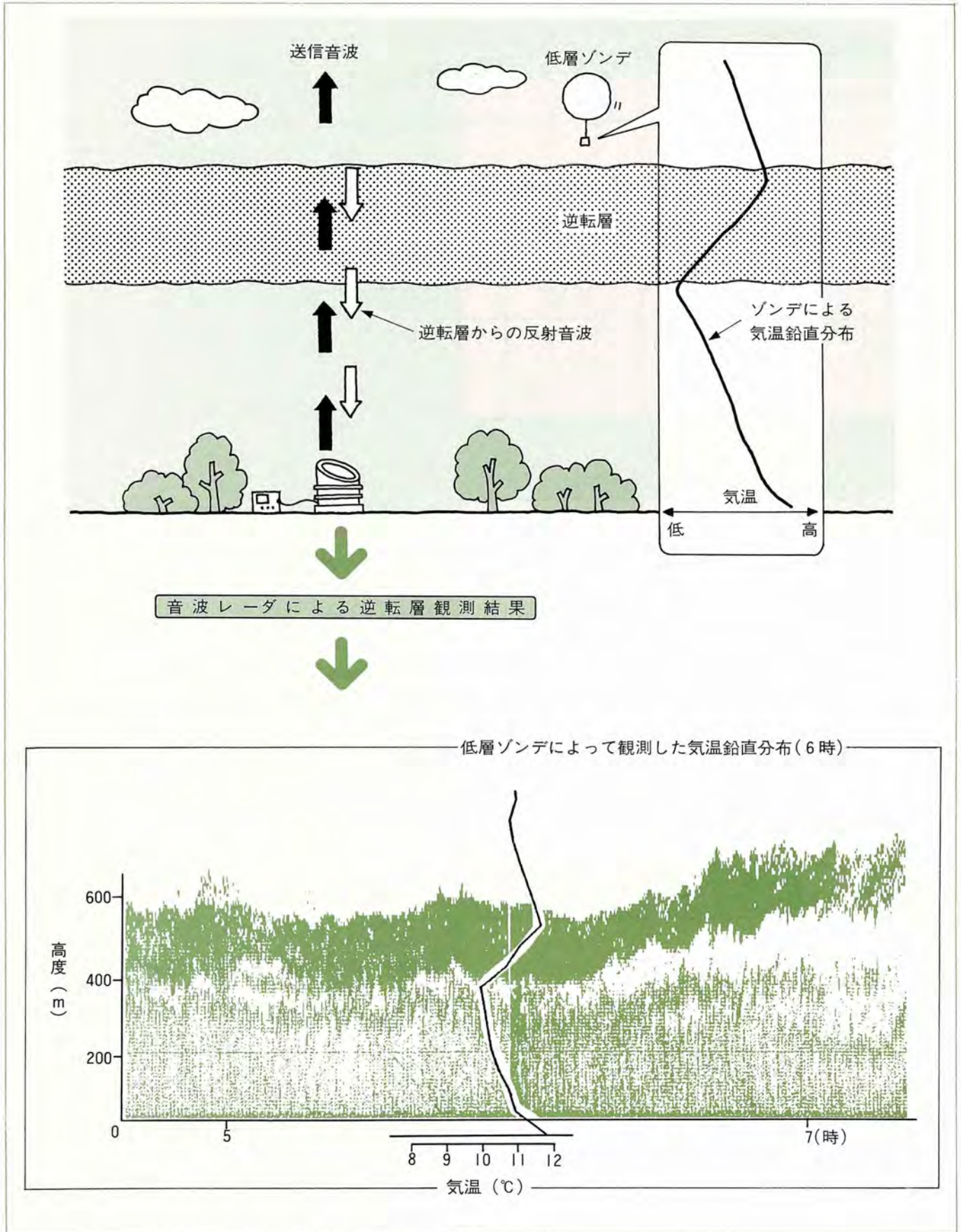
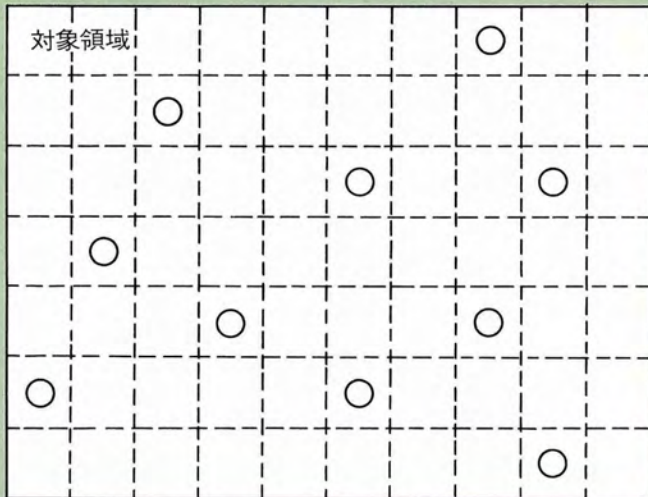


図3-1-3 ドップラー音波レーダによる気温や逆転層の観測

逆転層が存在すると、音波の強い反射帯（黒い部分）が生じ、その位置から逆転層の高さ、反射帯の幅から逆転層の厚み、反射帯の濃度レベルから逆転層の強さがわかる。また、連続観測をすることによってその時間的な変化を把握することができる。

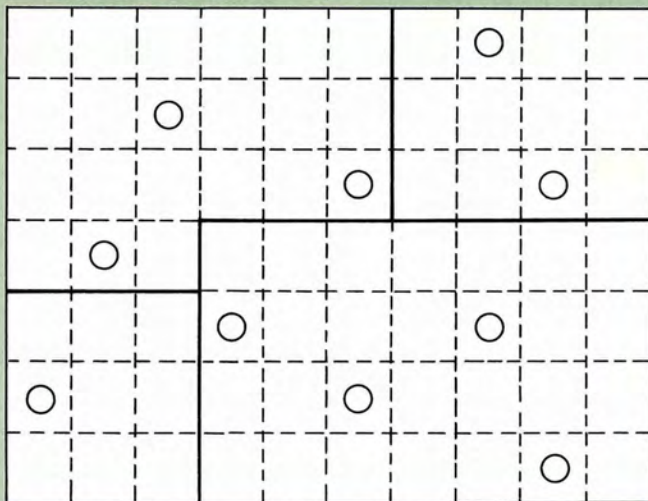
大気環境濃度データのメッシュ化



解析対象領域をいくつかのメッシュに分け、個々のメッシュ地点における大気環境濃度の内挿値または外挿値を求める。この操作を解析対象年の全データについて行う。

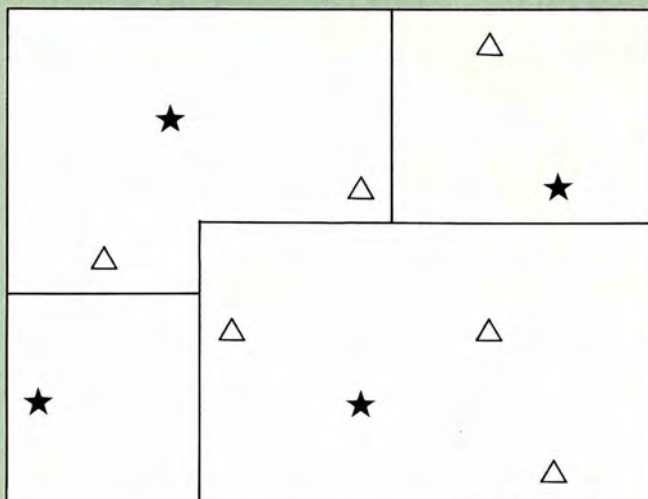
○：既存の測定局

メッシュの地域区分



メッシュ点における濃度値の時間的変動形態の類似度により、対象領域を必要な地域数に（基準局数）に区分する。

代表局の選定



各区分地域内で、既存の測定局の中から一局ずつ代表局を選択する。

★：選択局

△：非選択局

図3-1-4 開発した大気環境測定局の削減手法の概念図

合的な適正配置案を作成した。この結果、モデル地域での適正配置局数は、現在設置されている測定局数の約半数が削減可能であることが分った（図3-1-5）。

3-1-3 大気拡散数値シミュレーション手法の開発

発電所排出ガスの環境アセスメント等で広く使用されている数値モデルはプルームモデルと呼ばれ、平坦な地形を対象に開発された簡易なモデルである。しかし、発電所周辺の地形が複雑な場合には、プルームモデルの適用が不十分であるため、いままで、地形模型を使った風洞実験が行われてきた。そこで、環境アセスメント手法の予測精度の向上と合理化のために、複雑な地形を対象とした拡散予測にも適用できるようプルームモデルの改良を図るとともに、

より高度な数値シミュレーション手法の開発にも着手した。

(1) 複雑な地形を対象とした拡散モデルの改良

改良を図ったプルームモデルは①煙の中心軸が地形の影響を受けて水平方向にも鉛直方向にも歪む、②拡散状態を表すパラメータである煙の拡がり幅に地形の効果が考慮される、という特徴を有し、ガウス型流跡モデルと呼ばれる。

煙の中心軸の計算は、当所が開発した複雑地形上の気流を予測するポテンシャル流モデル（ポテンシャル流モデルは、半球まわりの流れを幾つも重ね合わせることによって複雑な地形上の風の流れを求めるものである）あるいは予測精度をさらに高めた擬似ポテンシャル流モデルで行う。モデルによる予測結果は、山の背後の極めて風速の弱い領域以外は野外実験結果と良く一致することを確認した（図3-1-6）。

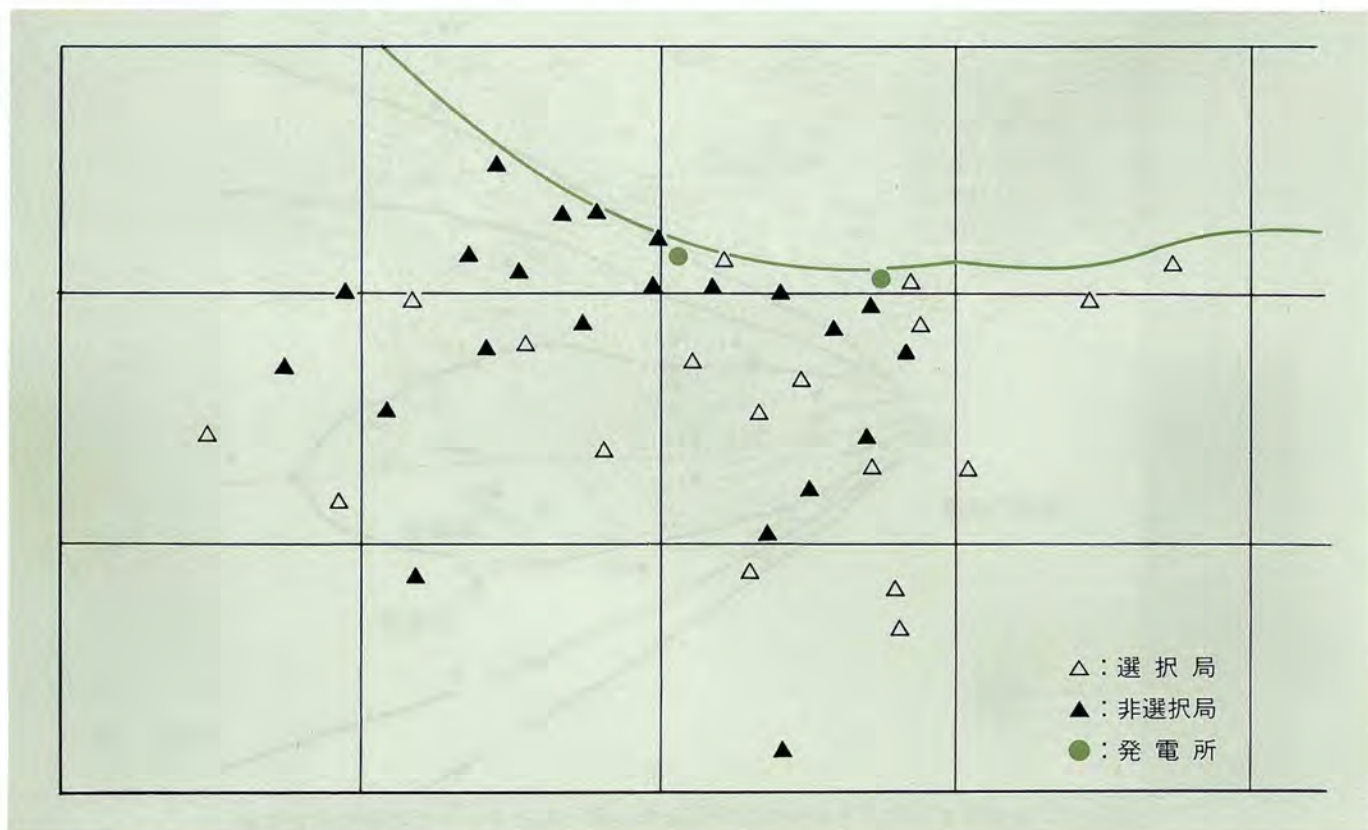


図3-1-5 大気環境測定局の適正配置の解析の1例

大気環境測定局数を適正配置の解析により必要な測定局（選択局）に絞ることが可能となり、測定局の合理化が図れる。



図3-1-6 開発した気流モデルの予測精度を検証するために実施した地形まわりの風向、風速を調べる野外実験状況

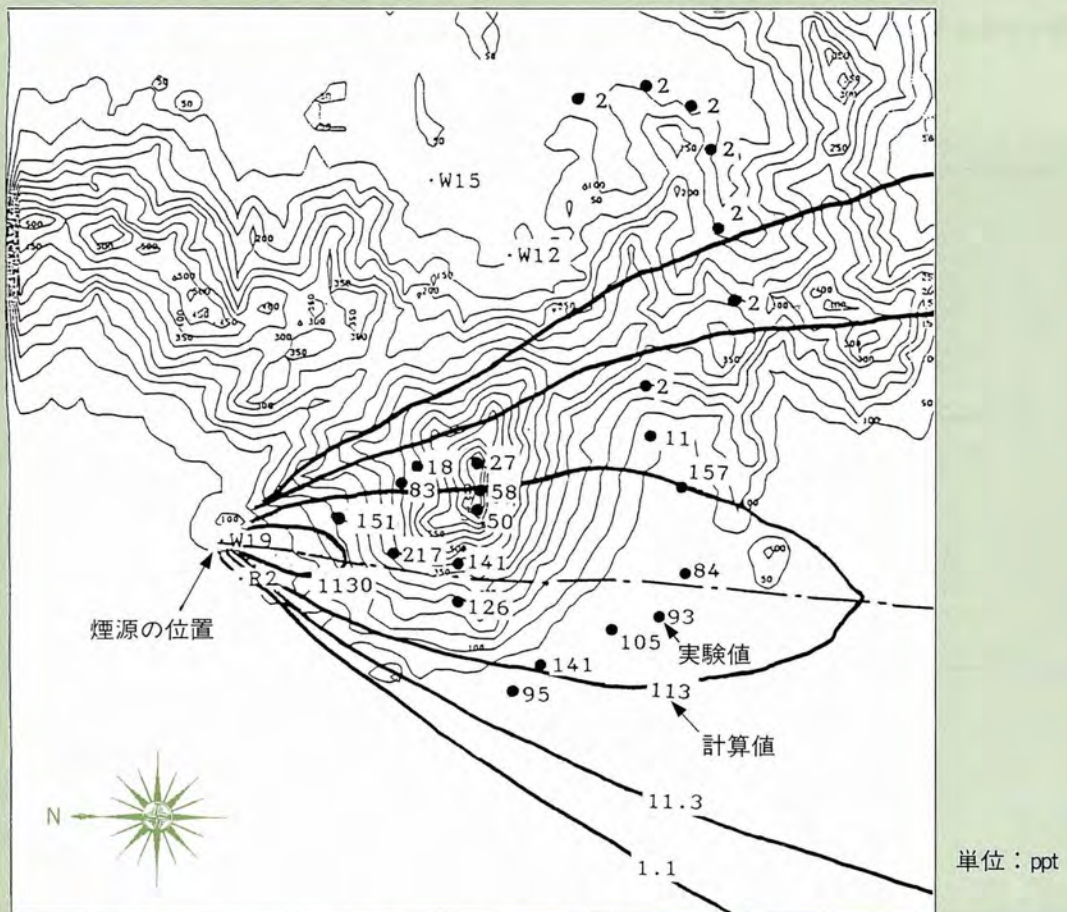


図3-1-7 数値モデルによる排ガス拡散の計算結果と野外トレーサ実験の測定結果の比較例

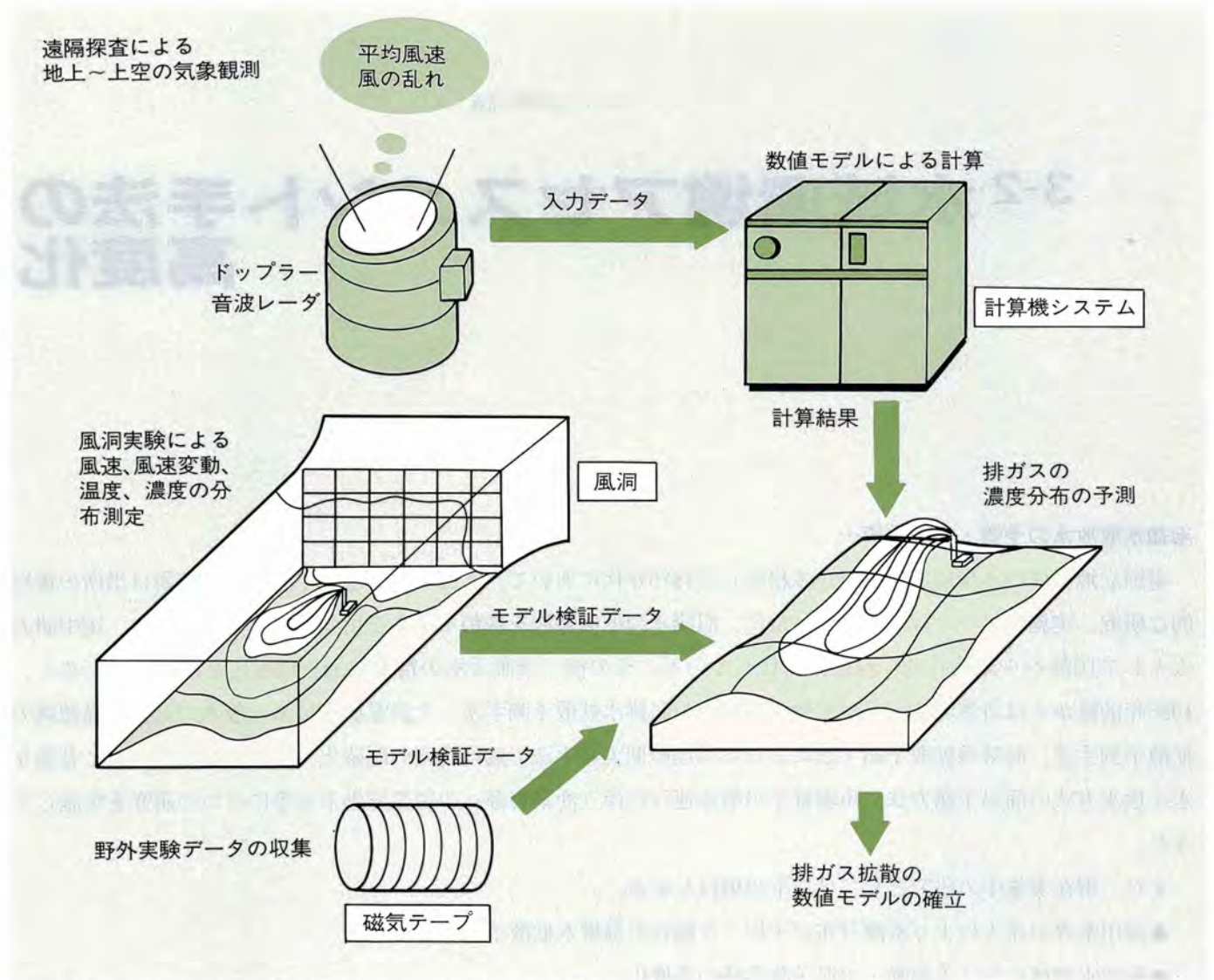


図3-1-8 新しい大気拡散数値シミュレーション手法の開発方法

一方、煙の拡散状態を表す拡がり幅は、従来からパスキル・ギフォード線図が広く使用されている。この線図は、平坦な地形の実験データに基づいて煙の拡がり幅を煙源からの関数で表した図である。そこで地形の影響を受けた煙の拡がり幅を評価するため、既存の風洞実験データを整理し、地形影響を受けた煙の拡がり幅と平地に対する煙の拡がり幅の比を求めた。その結果、地形が存在することにより、水平方向の煙の拡がり幅は2倍程度、鉛直方向の煙の拡がり幅は2～3倍程度平地の場合より大きくなる関係を見出した。

以上の知見を考慮した本ガウス型流跡モデルの予測精度を検証するため、1980年代前半に実施された3つの実規模スケールの野外実験をもとに、モデルによる計算値と測定値の相関等から評価したところ、大気が不安定～中立状態に対しては、モデルの予測精度は良好であるが、安定成層

の場合に対しては予測精度は不十分であった（図3-1-7）。

（2）より高度な数値シミュレーション手法の開発

上述のガウス型流跡モデルは、現在環境アセスメント等で使われているプルームモデルに地形効果を考慮した改良型モデルであるが、さらに大気が強い安定状態など熱の影響が大きい場合や地形の起伏と地表面の熱分布の非一様性が大きい場合には、より高度な数値シミュレーション予測手法が必要となる。

そこで、大気汚染物質の動きを正確に把握するため、熱の影響を受けた地形上の場の平均値だけでなく、それらの変動をも考慮した乱流モデルにより排ガスの濃度予測を行う拡散モデルの開発を進めている（図3-1-8）。 ●

3-2 水域環境アセスメント手法の高度化

冷却水取放水の予測・対策技術…

電源立地に係わる環境影響調査が本格化した1970年代において、冷却水取放水の予測・対策技術は当所の重点的な研究、実施によりほぼ確立した。特に、温排水の拡散範囲を数値モデルを用いて予測する手法は、電中研方式として国等から認められ、現在定着化している。その後、予測手法の精度向上や高度化を推進するために、1985年前後からは自然環境水温が変動する場合の温排水拡散予測手法、大量温排水による放水口近傍高温領域の拡散予測手法、温排水拡散予測手法における水理模型実験手法の適用範囲の明確化、水温低減対策として有効な水中放水方式の簡易予測方法、魚卵稚子の取水連行に伴う漁業資源への影響評価手法等について研究を実施してきた。

また、現在実施中の研究としては以下の項目がある。

- 河川水等の流入により密度分布が不均一な場合の温排水拡散予測手法の開発
- 取放水領域における流動・水温予測手法の高度化

海岸変形の予測と対策について…

海岸変形の予測手法や対策の高度化を目指して、防波堤等の配置を考慮できる3次元海岸変形モデルの実証、荒天時に認められる岸沖方向の漂砂現象のモデル化、緩傾斜護岸用新型ブロック（シーサップと命名）の開発と応用について研究を実施した。これらの成果は、現在、海浜安定化・造成技術に生かしている。

貯水池や河川等の陸水域環境について…

陸水域環境については1970年代の研究展開により、主として河川水質（水温、濁度、富栄養物質）の予測・対策技術の確立を図った。その後、貯水池富栄養化モデルの実証、富栄養化対策としての空気注入技術の開発、河川維持流量の評価手法の確立を行い、ほぼアセスメント手法の高度化を達成した。

海域の水質予測と対策について…

海域の水質予測と対策については、濁りやCODなどの予測手法の研究を展開してきたが、最近の工事中アセスメントの強化に伴い、海上工事に伴う濁水源の定量化とその予測モデルの実証を行うとともに、高度に利用されている内海や湾等の水質問題として、閉鎖性海域の富栄養化現象の予測モデルの改良に着手した。

本節では…

環境水温が変化する場合の表層放水方式に対する温排水拡散予測手法、密度成層場での温排水拡散の実態と予測手法の展開、および水中放水方式に対する簡易予測方法について述べ、また、これまでに開発している卵稚子取り込み評価モデルや漁業資源量モデルを用いて、取水に伴う漁業資源量評価の手順とその適用例について検討する。さらに海域富栄養化の実態、富栄養化のメカニズム、予測モデルおよび水質浄化対策についての調査結果と今後の研究について述べる。

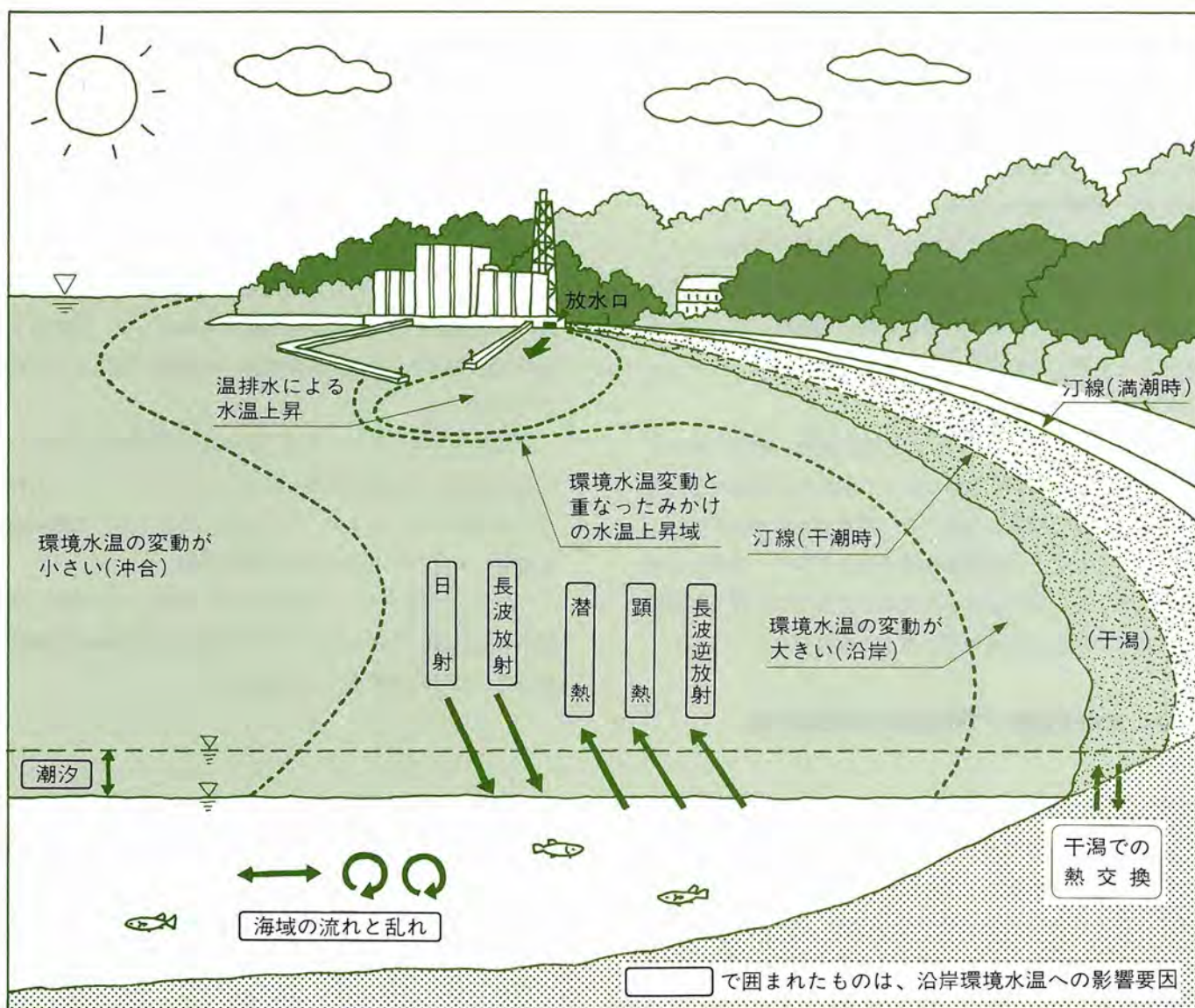


図3-2-1 沿岸浅海域における環境水温の変動機構

水深の浅い沿岸水域では、環境水温の変動が大きい。その主な成因は、海表面や干潟表面での熱交換や潮汐による水位変化と考えられる。大気との熱交換作用には、海水や干潟を暖める過程として太陽からの日射、雲や水蒸気からの長波放射、逆に冷やす過程としては水温の絶対温度で定まる長波逆放射、水の相変化（蒸発、凝結）に伴う潜熱、水温と気温の差で出入りする顕熱がある。

3-2-1 温排水拡散予測手法の改良と新展開

表層放水方式に対する温排水拡散予測手法の改良・新展開として、自然状態における水温（これを環境水温と呼ぶ）の変動が大きい海域や、河川水等が混入している海域でも適用できる数理モデルの開発に取り組んでいる。また、水中放水方式の予測手法の予測に関しては、温排水拡散範囲を簡易に予測する方法の開発を行った。

(1) 環境水温変化を考慮した温排水の拡散予測

水深の浅い沿岸域では、自然状態における水温の変動が大きい。特に夏季における日中の水温上昇が大きく、沿岸から放出された温排水による水温上昇と環境水温の上昇との区別が困難な場合がある。

当所では、現地調査を実施し、その結果を分析したところ、この水温変化の主な要因が海表面や干潟表面での熱交換と潮汐作用であることを定量的に明確にして、これらの要素を考慮した沿岸浅海域の環境水温シミュレーションモデルを開発・実証した。

なお本モデルでは潮汐による汀線の前進、後退に伴う干潟の地形変化を考慮できるなど、干潟域での流動や熱交換現象を精度良く模擬できることに特徴がある（図3-2-1）。

また、これまでの温排水拡散予測モデルに、開発した環境水温モデルを組み込み、従来の予測モデルを環境水温変化の大きい地点にも適用できるよう改良した。

(2) 河川水影響下での温排水の拡散予測

海水の密度は塩分と温度で定まり、塩分の役割が大きい。そのため、一般に河川水（淡水）は温排水（塩水）にくらべて軽い。したがって、河川水が混入する河口付近では、密度の違いによる成層が形成され易く、このような海域に温排水を放出した場合、温排水が河川水の下に潜り込む。このような拡散状況をこれまでの平面2次元モデルによって予測することは困難である。

そこで、2地点で現地調査を実施し、河川水影響下における温排水の拡散状況の実態分析を行った。これらの結果

から、①海表面に現れる水温上昇域の形態は河川水の分布状況に強く影響され、河川水によって形成される密度成層が顕著なほど海面での水温上昇域は縮小する傾向にあること、②海表面における温排水と河川水との境界では水温変化が急で、ところにより「しおめ」と呼ばれる前線の発生がみられること、③この前線を通じた温排水は、河川水の下へ潜り込み、比較的安定な3層構造を形成すること等の特徴を明らかにするとともに、温排水拡散パターンの類型化を行った（図3-2-2）。

今後は、これらの知見および現在実施中の水理実験結果を利用して、河川水影響下における温排水の拡散モデルを開発する。

(3) 水中放水方式による温排水拡散範囲の簡易予測方法

これまで、当所ならびに電力各社が実施した水中放水方式による温排水の水理模型実験結果を利用して、発電所立地の計画段階で、温排水拡散範囲等を簡易に推定する計算式を作成した。

計算式の主なパラメータは、放水量、放水流速、放水口の設置水深および海域流速である。これらのデータを計算式に代入することにより、1℃ないし2℃上昇の拡散範囲を簡単に求めることができる（図3-2-3）。

この方法に基づいて、具体的地点に適用して計算値と実験結果と比較したところ、1℃上昇範囲の計算値に実験結果は十分に包含できることを確認した。

3-2-2 冷却水取水による漁業資源影響評価

取水に伴い魚卵・稚子がどのような範囲でどの程度取り込まれるかを定量的に把握する手段として、これまで、海域の流れと乱れを考慮した確率論的な手法の数理モデルを開発し、その適用性を明らかにしてきた。ここでは、取り込まれた卵稚子が漁業資源量にどの程度影響するかについて検討する。

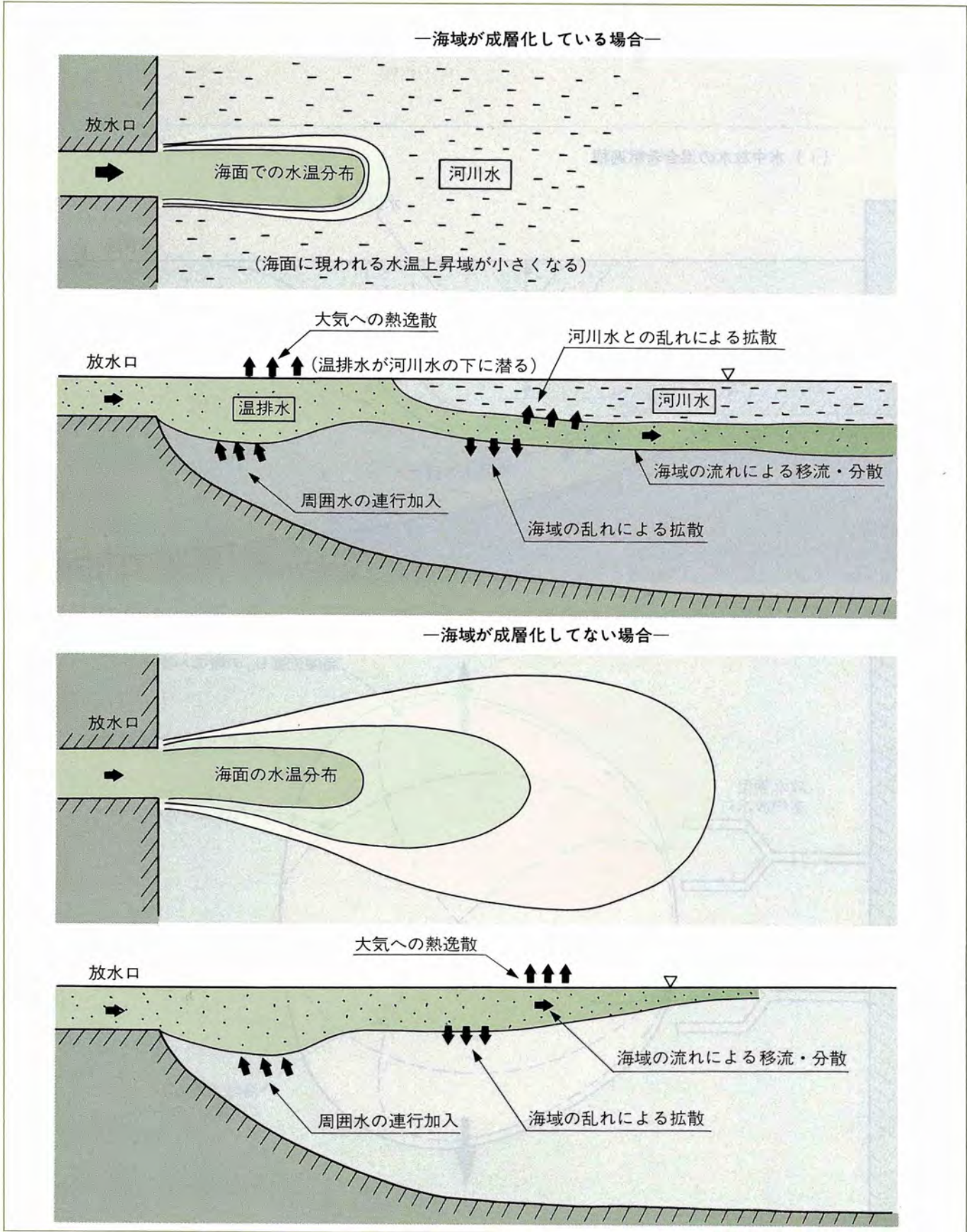
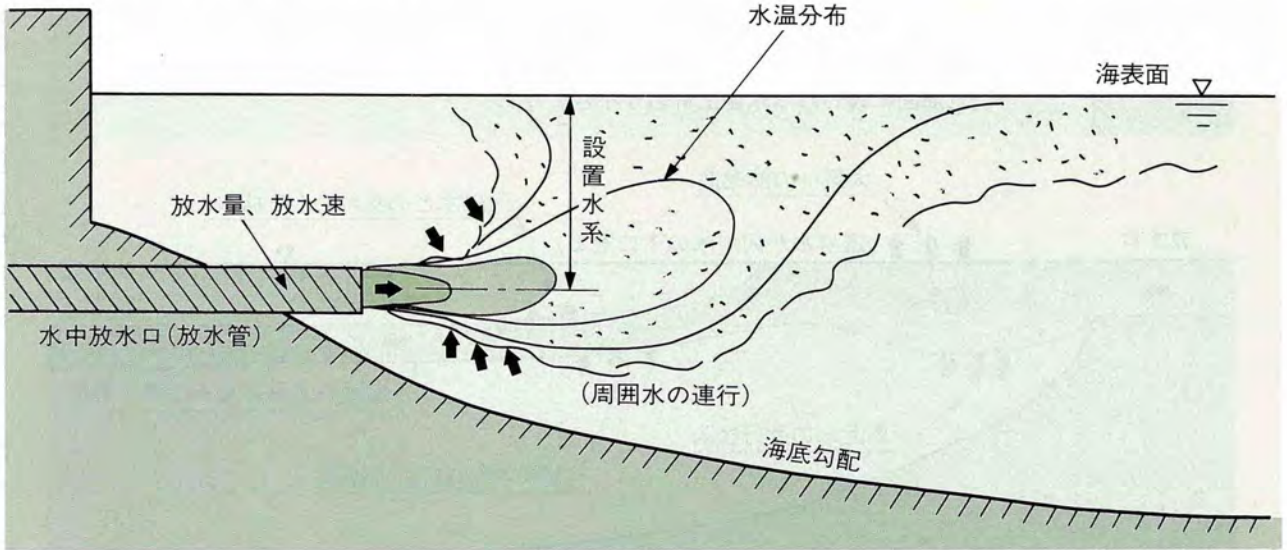


図3-2-2 成層化している海域、または成層化していない海域に温排水を表層放水した場合の水温低減過程
 河川水が表層に拡がり成層化した海域では、温排水と表層付近の海水との密度差の関係から、温排水が中層に潜り込む現象がみられる。この場合、海面に現れる水温上昇域は小さくなる。一方、成層化していないと温排水は潜ることなく表層を拡散し、水温上昇域は大きくなる。

(i) 水中放水の混合希釈過程



(ii) 水温上昇域の包絡範囲

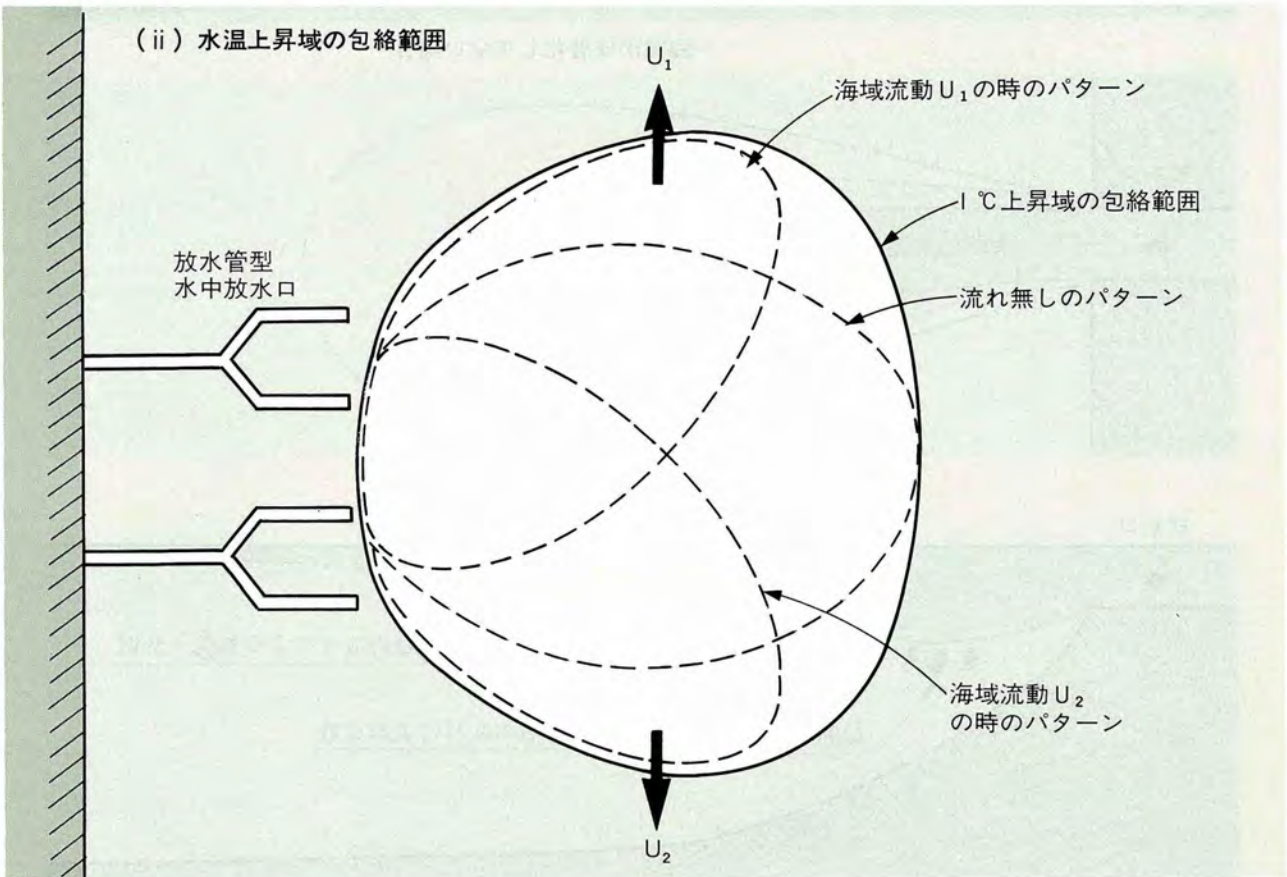


図3-2-3 水中放水による温排水の混合希釈と水温上昇域の概念図

水中放水に伴う温排水の混合希釈は、周囲海水との連行によって支配されている。放水速や放水口設置水深が大きい程、水温上昇域の面積は減少する。また、水温上昇域は、その地点で存在する様々な大きさの海域流動による包絡範囲で評価する。

(1) 影響評価の手順

発電所の大容量化とともに、取水される冷却水量も大量となるため、取水にともなう魚卵・稚子の取り込みの問題も、さらに一步進めて周辺海域における漁業資源の維持・確保という観点からの評価・検討が必要な場合がある（図3-2-4）。

そこで既往の漁業資源解析法をもとに、冷却水取水による漁業資源影響を定量的に評価する手順および考え方を構築した（図3-2-5）。

- ① 対象海域と評価魚種を設定し、その対象資源の生態や漁業の現状を分析する。
- ② 対象資源の全体量や、卵期・稚子期・成魚といった各ライフステージでの自然死亡率や漁獲等を推定する。また、その推定結果をもとに、資源変動の現状を分析する。
- ③ 冷却水取水による魚卵・稚子の取り込み量を予測する。予測方法としては当所の提案した数理モデルの他に、それをもとに作成した汎用図を用いて簡易に求めることもできる。
- ④ 取り込まれる魚卵・稚子の量を将来の漁業資源量、あるいはそれを産出した親魚の量に換算し、全体の資源量との比較を行う。
- ⑤ 最後に、これらの検討結果をもとに、取水による影響を総合的に判断する。

(2) 適用事例

ここでは一例として、カタクチイワシ資源に対して適用した事例を紹介する。

まず対象海域における約10年間にわたる卵・稚子分布の調査データをもとに毎年の資源量の変動を求めた。その結果、次のような特徴が明らかとなった。

- ① 対象海域での資源変動は、外海からの補給に強く影響されており、対象海域内での産卵・成長による資源の生産は低い。
- ② ある年の資源量がある値を越えて増加すると翌年の資源量が減少するような自然変動が認められ、取水に

よる魚卵・稚子の取り込みが必ずしも資源の減少には直接結びつかない。

- ③ 自然変動を除けば、取水影響を検討する対象発電所が運開後においても資源量は平衡もしくは増加傾向にある。

対象海域沿岸に位置する代表的な一火力発電所を対象として、冷却水取水によるカタクチイワシの卵・稚子の取り込み量を予測した後、その卵・稚子量を産卵した親魚量（資源量）に換算して評価した結果、漁業資源への影響は、検討期間内において常に0.1%以下であることが明らかとなった。

以上のような検討結果を総合的に判断すると、対象発電所の取水によるカタクチイワシ資源に対する影響は非常に軽微なものであると評価された。

なお、現状では必要なデータが不足しているために本手法の推定精度が不十分であるので、実用に当っては、さらに詰める必要がある。

3-2-3 海域の富栄養化予測手法の開発

高度利用されている内海や湾においては、汚濁物質等の大量流入によって富栄養化が進行しており、その水質浄化が望まれている。

(1) 内湾の水質実態

国等のCOD流入負荷削減対策によって、河川に流入する負荷量は減少しつつあるが、内湾の富栄養化傾向は一向に改善されない状況にある。

海域における大略の栄養階級区分とその特徴（表3-2-1）からみると、東京湾、伊勢湾および大阪湾等は、特に著しく富栄養化していることがうかがえる。

(2) 富栄養化のモデル化の試み

内湾の水質環境は、物理・化学・生物の多角的な面から考えなければならないが、これらの複雑にからみ合った要

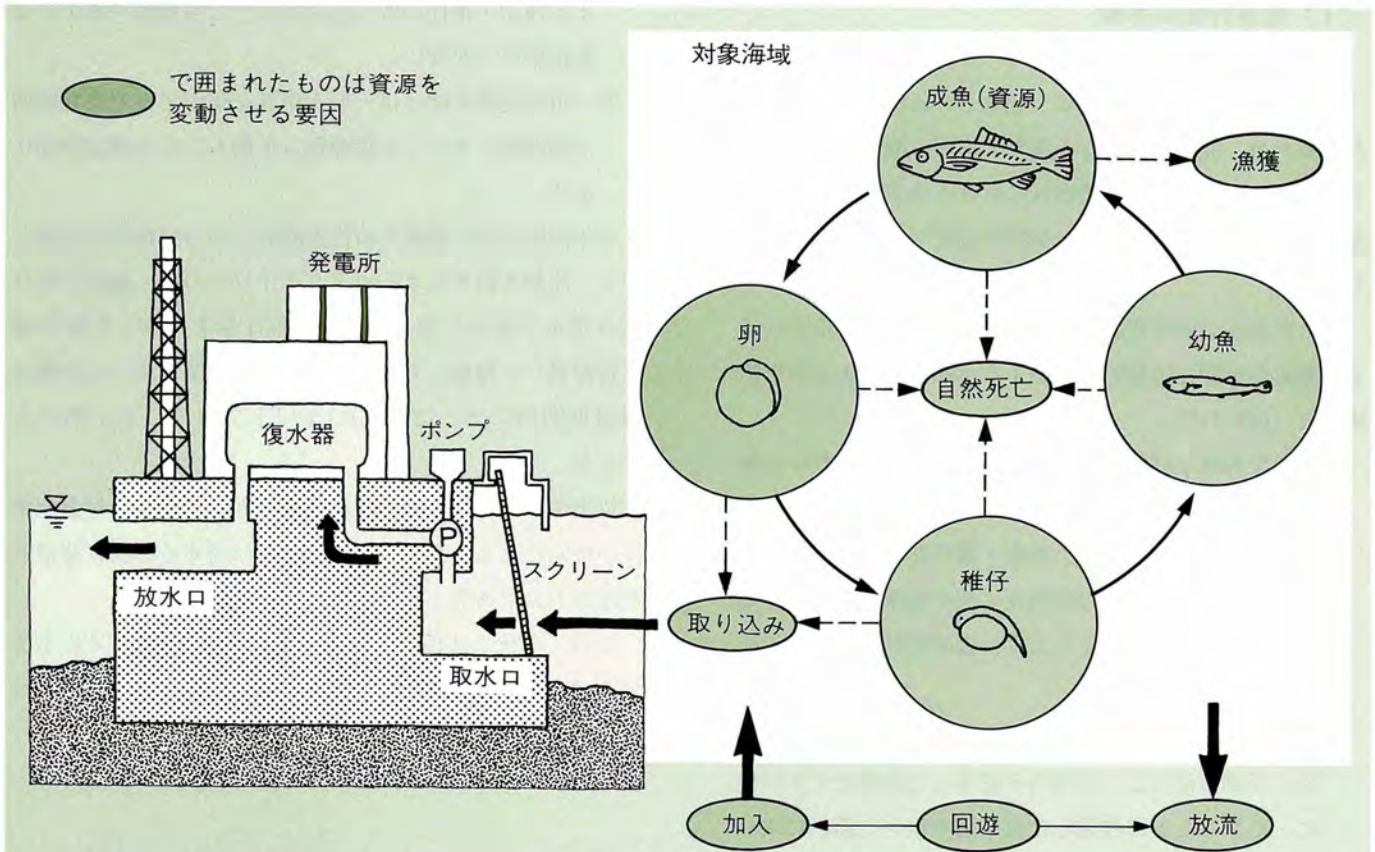


図3-2-4 漁業資源サイクルと取水取り込みのイメージ

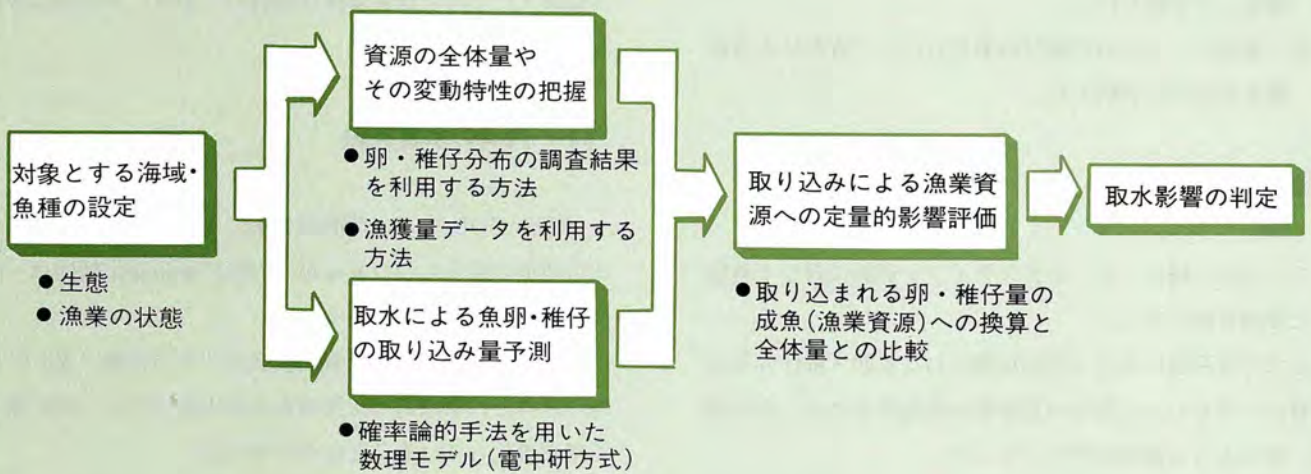


図3-2-5 冷却水取水による漁業資源影響評価のフロー図

取水による漁業資源影響評価とは、冷却用水と共に取り込まれた魚卵・稚子が漁獲対象となる成魚（資源）の量に対してどの程度の影響となって現れるかを評価することである。漁業資源の変動は、主に各ライフステージでの自然死亡と幼魚・成魚時の漁獲によって支配される。

表3-2-1 海域の栄養階級区分とその特徴¹⁾

特 徴	腐 水 域	過 栄 養 域	富 栄 養 域	貧 栄 養 域
透明度 (m)	1.5以下	3以下	3～10	10以上
水 色	黒色を帯びる	黄色、黄緑色、赤褐色	短期間、局所的に着色が見られる	着色は見られない
COD ²⁾ (ppm)	10以上	3～10	1～3	1以下
DO ³⁾ (%)	0～30	表層 100以上 底層 0～30	表・中層 100以上 底層 30～80	表・中・底層とも 80～100
例	河口・汚水流入域 (都市河川の河口部)	内湾奥部・汽水湖、湾口の非常に狭い内湾 (東京湾、伊勢湾、大阪湾等の奥部)	内湾・水深30m以深の沿岸海域、沖合海域の湧昇域 (東京湾等の湾央・湾口部、瀬戸内海、有明海)	水深が30m以上ある沿岸海域、沖合海域 (仙台湾)

- 1) 吉田陽一：低次生産段階における生物生産の変化、水圏の富栄養化と水産増養殖、日本水産学会より
 2) 化学的酸素要求量 3) 溶存酸素量

表3-2-2 海水交換を表す指標

指 標	内 容 (定 義)
1. 海水交換率 (parker, 柏井)	時間単位を潮汐周期とし、指標物質の濃度を用いて上げ潮 (下げ潮) による流入量 (流出量) のうち初めて流入 (流出) する湾外水 (湾内水) の割合
2. 海水交換率 (中田・平野)	海水容積を用いて上げ潮時に対象海域に流入した物質質量に対して1潮汐周期間にこの海域にとり残される物質質量の割合
3. 海水交換率 (電中研)	海域の流動と乱れを数理モデルで再現し、実際に生じているであろう水粒子の移流、分散現象をシミュレートし、湾内の各点における海水交換率を求める方法
4. 更新率	河川水起源の淡水量を河川流入量で除した滞留時間
5. 閉鎖度指標	湾の地形的な特徴を用いて寸法比で閉鎖性を表わす
6. ボックスモデルによる方法	海水交換機構に立ち入ることなく、各ボックス間の物質質量の収支によって海水交換の強さを求める方法

表3-2-3 モデルの分類

モ デ ル 名	現 象	環 境 因 子	モ デ ル の 形 態
港湾技研モデル	富栄養化	流 況 ・ 水 質	シミュレーション
運輸省第二港湾建設局、新日気モデル	富栄養化	水 質	シミュレーション
浮田モデル	富栄養化	水 質 ・ 底 質	ボックス
Salas and Thomann モデル	富栄養化	水 質	ボックス
広島湾栄養塩収支挙動調査検討協議会モデル	低次生態系	流 況 ・ 水 質	ボックス
公資研モデル	低次生態系	流況・水質・生物	シミュレーション

シミュレーションモデルは、現象を支配する環境因子 (流況、水質等) をそれぞれ計算式で表わし、それらを組み合わせて厳密に解くモデル。ボックスモデルは、シミュレーションモデルを簡略化したもので、水質のメカニズムを重視し、流況等を外部情報で与えるモデル。

は計算の対象となる水質項目

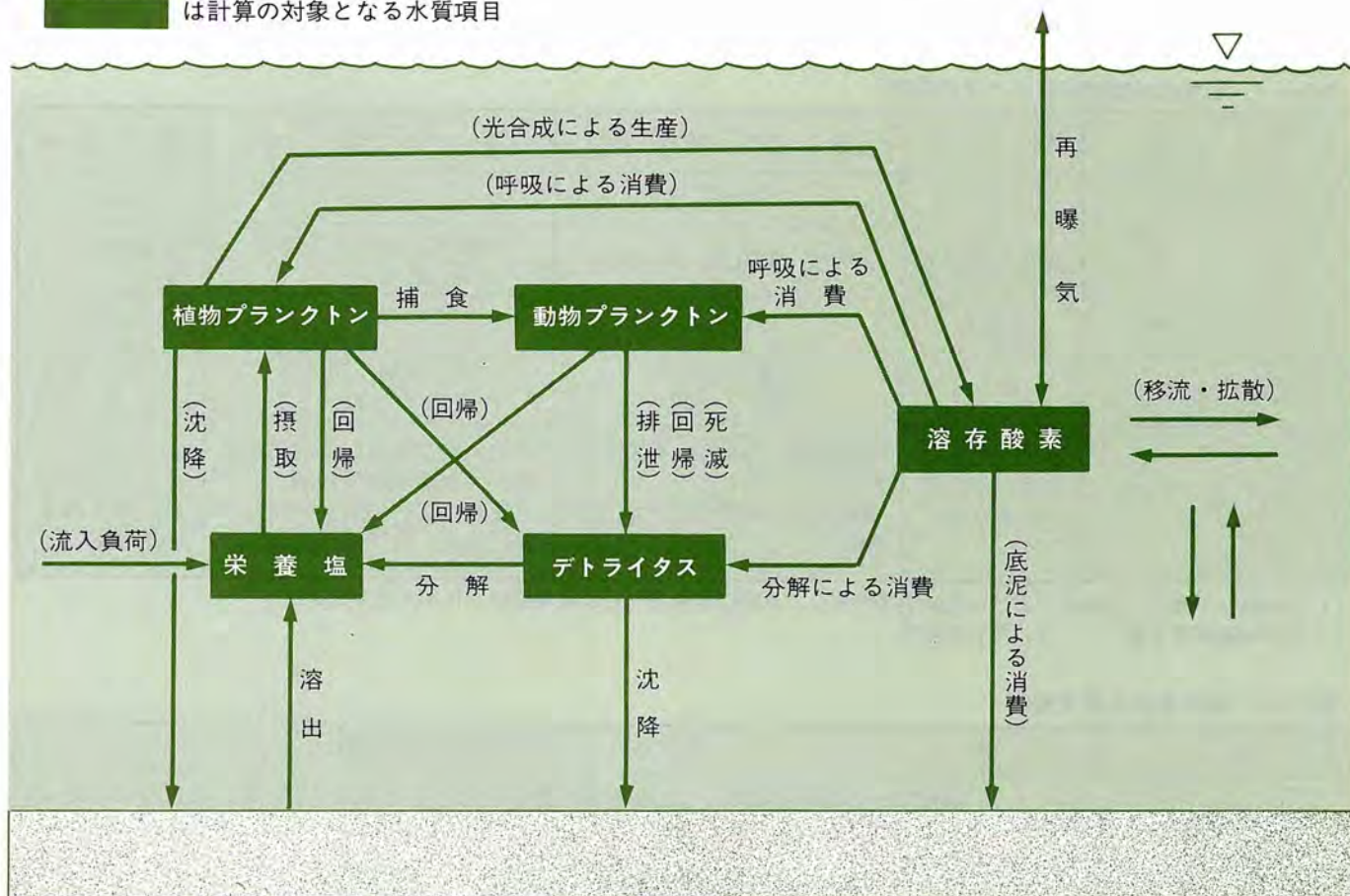


図3-2-6 富栄養化のメカニズムとモデルの構成

植物プランクトンは栄養塩を摂取して、光合成を行うことによって溶存酸素を生産するとともに、呼吸によって消費する。動物プランクトンは植物プランクトンを捕食する。両者は死滅または排せつ等によって、栄養塩やデトライタス（排せつ物・死がい等）に回帰する。デトライタスは細菌の作用によって、溶存酸素を消費して分解される。溶存酸素は生物活動以外に、大気とのやりとりや底泥とのやりとりによって支配される。

因を細かく分析する前段階として、現象を大局的に見る方法が従来より提案されている。

これにしたがい、内湾の水質特性を表す指標・パラメーターとして、海水交換を表すものを取り上げると表3-2-2のようになるが、これらは広域的な海域に提案されたものであり、発電所周辺の取放水海域のような狭い領域に同様の方法を適用するのは難しい。

これまで、このような複雑な富栄養化現象を表現しようとするモデルが各機関で開発されている。現在国内外で発表され、使用されている代表的な水質予測モデルを、現象面（貧酸素水塊形成、富栄養化現象、赤潮発生、動植物プランクトンの増殖、魚類資源予測等）、環境因子（流況、水質、底質、生物）・モデルの形態（統計、ボックス、シミュレーションモデル）から分類を試みた（表3-2-3）。

これらのモデルは海域の物質循環や生態系の扱う範囲によって、モデルの構成要素の数やパラメーター等に差異が生じるが、モデルは簡易すぎると現象のメカニズムを十分表現されないし、逆に複雑すぎると不明瞭なパラメーターが増えるという難点を含んでいる。

このため、モデルの使用目的と限界を明確にすることを前提として、生物の生息にとって不可欠な溶存酸素を中心に、湾内の流動を考慮した水質シミュレーションモデルを開発中である（図3-2-6）。このモデルでは溶存酸素の他に有機物の生産者である植物プランクトン、栄養塩、捕食者である動物プランクトンと、それらの排せつ物や死がいであるデトライタスを水質項目として選定し、これらをりんの循環として扱うものである。

3-3 景観アセスメント手法の高度化

景観アセスメント…

近年、環境対策技術の進歩にともない、人々の環境に対する意識は高度化し、「健康」や「安全性」から「快適性」を重視するようになってきた。一方、発電所や送変電施設といった電力施設は大規模化するとともに、自然風景地への立地も見られるようになった。このため、電力施設の建設にあたっては周辺の自然景観に及ぼす影響に配慮し、事前に適切な対策を検討しておくことが社会的要請となっている。

当所ではこのような要請に応えるために、電力施設の建設が周辺景観に及ぼす影響を、客観的に予測評価する景観アセスメント手法の確立を進めてきた。

緑化手法は…

1973年に「工場に緑を」とのねらいを盛り込んだ「工場立地法」の改正が行われて以来、官民の工場緑化への取り組みが一層進み、現在その効果が現れてきている。発電所の建設においても、周辺環境との調和をより考慮しつつ構内緑化を進めることが求められている。このため、今後予想される多様なニーズに対応し得るように優れた緑化手法や技術の検討を行ってきた。

本節では…

従来当所で開発してきた火力・原子力発電所を対象とした景観アセスメント手法をさらに高度化した結果と、送変電施設に適用し得るように改良した結果について述べる。

3-3-1 火力・原子力発電所の景観アセスメント手法の高度化

火力・原子力発電所の景観アセスメント手法については、これまでに手法の枠組みや評価方法、景観対策などに関して検討を行い、全体的な考え方や方法について明らかにした(図3-3-1)。

しかし、実際の立地地点への適用を考えた場合、現地調査や予測・評価を行う上で膨大な作業量をとめない、実用化に際していくつかの課題を残していた。そこで、より効率的で実用性の高い手法にするために、以下のような点に関して改良を加えた。

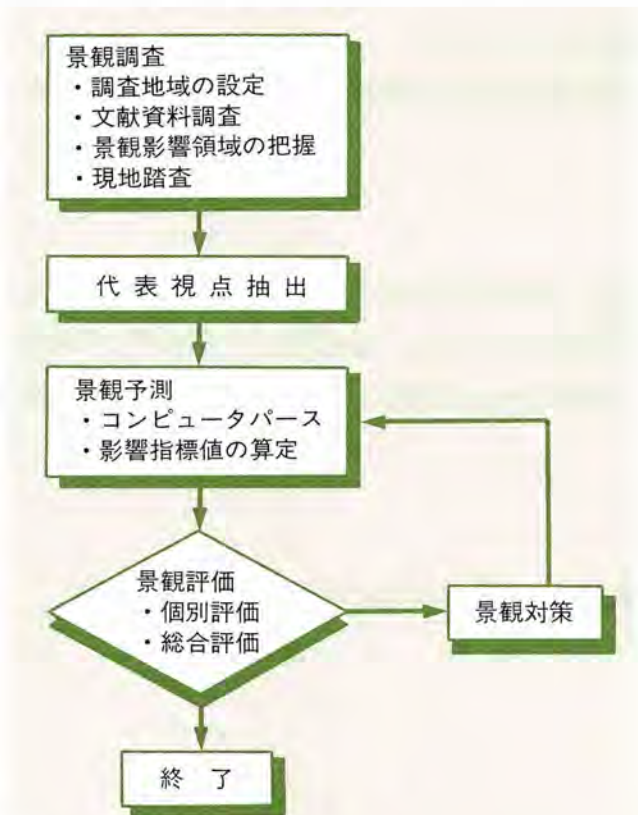


図3-3-1 景観アセスメントの手順

景観アセスメントは、まず文献資料調査や現地調査によって対象地域の景観特性を把握するとともに、予測評価の対象となる代表視点を抽出する。次に、各代表視点からの発電所立地後の景観をコンピュータパースや影響指標値によって予測し、その結果を用いて個別評価を行う。さらに、個々の評価結果を用いて総合評価を行い、問題が生じた場合には景観対策を検討する。

(1) 視点抽出の効率化

景観アセスメントにおいては、どこから眺めた景観を対象として予測評価を行うか、すなわち「視点」の抽出が重要なポイントとなる。「抽出」した視点は、以後の現地調査や予測・評価の作業においても重要であるので、出来る限り早い段階で「視点」の絞り込みを行うことが手法の効率化につながる。

そこで、「視点」を抽出するために、まず、国土地理院の数値地形情報ファイル(標高データ)と発電所施設データ(最高施設高さ)を用いて、コンピュータ処理により調査範囲全域を対象に景観評価値を算出するプログラムを開発した。これを用いて、発電所立地が周辺地域におよぼす景観影響の大きさを4段階の濃淡で視覚的に表現した「景観影響領域図」(図3-3-2)を作成し、この図に文献・資料から選定した「候補視点」をプロットし、影響の小さな範囲にある視点を排除することによって、机上で視点の絞り込みを行うことが可能となった。

(2) 予測手法の改良

発電所立地後の景観を正確に予測するために、(1)で用いた数値地形情報ファイルと施設諸元データ(3次元データ)をもとに、任意の「視点」から景観予測のための透視図(コンピュータ・パース)を作成するコンピュータ・グラフィック・システムを開発した。

(3) 評価方法の簡素化

デルファイ実験にもとづいて、視点と発電所との距離を尺度とした評価項目を対象に検討し、評価項目の簡素化を行った。

(4) 総合評価方法の開発

これまで、発電所が周辺景観に与える影響を定性的に総合判断していたが、これを定量的に評価するために、評価項目ウェイトと視点重要度を用いて視点ごとの評価値を求

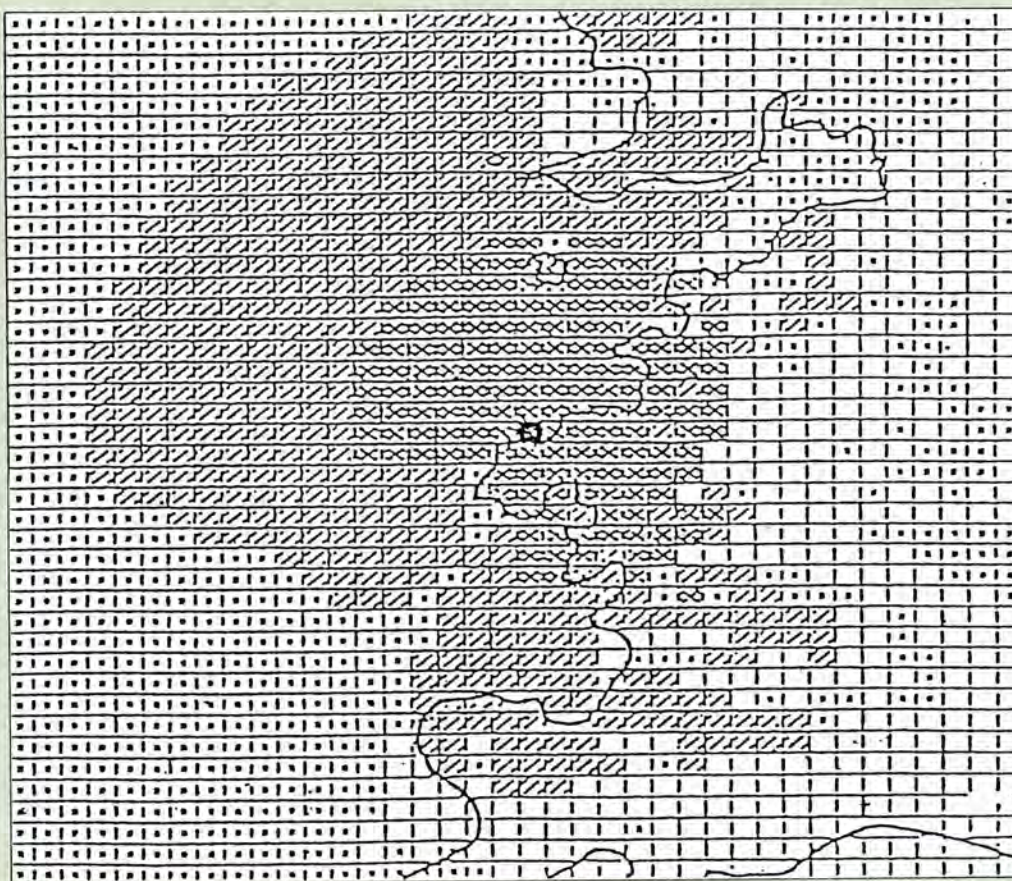
め、それを統合化して総合評価値を算出する手順をまとめた。

3-3-2 送・変電施設の景観アセスメント手法への適用

火力・原子力発電所の景観予測評価手法を、送・変電施設に適用するために手法の拡張を行った。

(1) 景観影響予測

まず、景観影響領域図の作成プログラムを改良し、送・変電施設の建設が周辺景観に与える影響を予測できるようにした。これにより、机上での取り上げるべき視点の抽出が可能となり、現地調査等による視点抽出作業が大幅に軽減した。つぎに、任意の視点から建設後の景観をコンピュータ・パースとして作成できるようにプログラムを拡



評価値	記号	領域	意味
$-2.0 \leq e < -1.0$		強影響領域	かなりあるいは非常に影響がある
$-1.0 \leq e < 0$		影響領域	やや影響がある
$0 \leq e$		可視影響領域	可視であるが影響は小さい
不可視		不可視領域	対象は全く見えない

図3-3-2 景観影響領域図

景観影響領域図は、事前に発電所建設による景観影響を把握するものである。視点の抽出では、この図に文献・資料から選定した候補視点をプロットし、影響の小さな範囲にある視点排除することによって、机上で視点の絞り込みを行うことが出来る。

張した(図3-3-3)。

(2) 景観影響評価

火力・原子力発電所と比べて、送・変電施設は、その形状や立地特性が大きく異なる。そのため、それぞれの施設について新たに評価項目を設定し、個々の項目の評価方法を開発した。さらに、地域全体に与える景観影響を総合的に評価するため、評価値の総合化に必要な評価項目のウェイトを設定した。

評価項目に関しては、既往の知見および事例調査にもとづいて、送・変電施設それぞれについて設定を行った。これらの評価項目の中の定量的評価項目については、心理実験結果を統計的に分析し、各項目ごとに景観評価式を導いた。また、定性的評価項目についてはデルファイ手法を用いて評価の目安を作成した。

また、個々の評価結果を総合化するために、対象施設と視点との距離を尺度とした評価項目のウェイトを設定した。これにより、送・変電施設が地域全体の景観に与える影響を総合的に評価できるようにした。

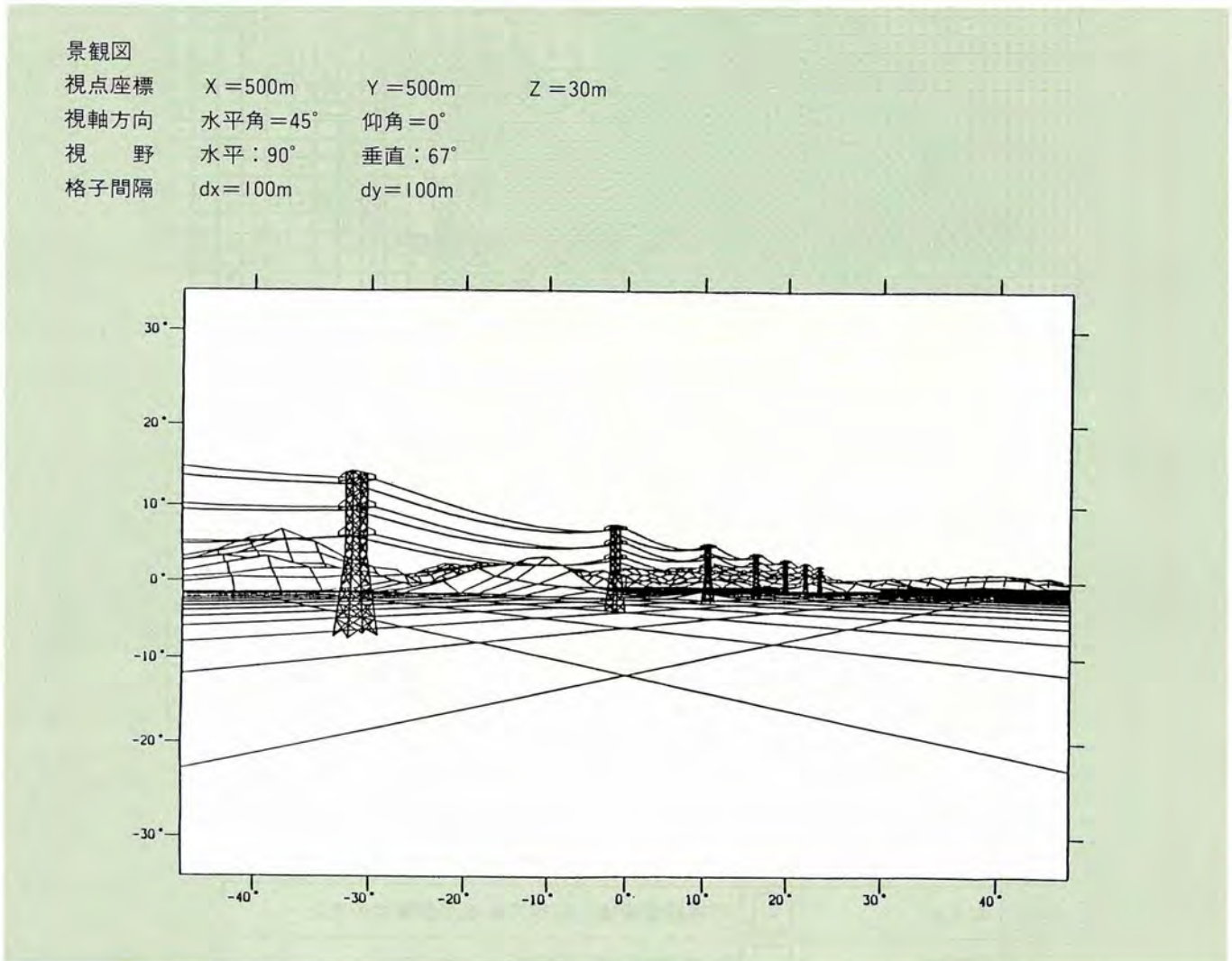


図3-3-3 コンピュータ・パース

コンピュータ・パースは、地形データ(国土地理院)と施設データを用いてコンピュータ処理により、任意の「視点」から送電線立地後の景観を予測するものである。このパースの特徴は、送電線の見え方や周辺地形との関係を正確に表現することが出来ることと、一旦データを作成すれば任意の方向から何枚でも容易に描写できる点にある。

お わ り に

環境総合推進室長 天野 博正

地球温暖化や酸性雨などの地球環境問題が現実化するにおよんで、環境問題は、いまや、すっかり様変わりしてしまった。

地球環境問題の出現は、すっかり忘れていた地球の大きさについて思いをいたらせ、それが限りある大きさをもつものであることを再確認させる契機となった。

今年、七月のアルシュ サミットにつづいて、九月の東京国際環境会議においても、『環境倫理』という考え方が『宣言』に取り上げられた。これは、開発途上国が基礎的なニーズを充足できるように、先進国に対して、物的に豊かな生活様式を含め、その社会経済活動の修正を促すものである。

このことは、宇宙船『地球号』において、人類が平和に生きていくためには、限りある環境やエネルギー資源をわかちあい、助け合う必要のあることを意味するものである。

地球環境問題が今後どのような展開を辿るか、いまのところ、かならずしも明確ではない。しかし、この問題はいずれ、わが国にも、また、わが国電気事業に対しても、新たな厳しい対応を迫ってくるに違いない。

その対応に遅れを取らないために、科学的でかつ、客観的な精度の高い情報やデータを用意できるように、われわれは、あくなき情熱をかたむけ、研究開発をすすめなければならないと考える。

関連する主な研究報告書等

●1-2-1●

1. 「バックグラウンド地域における硫黄化合物の沈着量」電中研 研究報告：T87103 (1988)
2. 「降雨による火山噴出物質の洗浄作用」電中研 研究報告：T86093 (1988)
3. 「瀬戸内地域における降水組成と酸性物質の沈着量」電中研 研究報告：T87902 (1987)
4. 「東アジア地域における二酸化硫黄の発生量の推計」電中研 研究報告：T88086 (1989)
5. 「酸性降下物に対する土壌緩衝能の簡易測定法」電中研 研究報告：T88045 (1989)

●1-2-2●

1. 「土壌水の pH 測定における CO₂ ガスの影響について」電中研 研究報告：U88077 (1989)
2. 「山地流域内の水質変化に関する考察」電中研 研究報告：U 8802 (1989)

●1-2-3●

1. 「酸性降下物に対する土壌緩衝能の簡易測定法」電中研 研究報告：T 88045 (1989)

●1-2-4●

1. 「ヨーロッパにおける森林衰退とその研究の現状」電中研 調査報告：U 89015 (1989)
2. 「都市周辺におけるスギ衰退の現状」(文献調査) 電中研 研究報告：484017 (1985)
3. 「スギの衰退と被害形態判別法」電中研 研究報告：U 87091 (1988)
4. 「スギの樹幹流・樹冠雨特性の解析—孤立木の樹幹流、樹冠雨の pH と EC」電中研 研究報告：U 89016 (1988)
5. 「ポット栽培サイズの生育・収量におよぼす人工酸性雨の影響」電中研 研究報告：U 87015 (1988)
6. 「Effect of simulated acid rain on the growth of soybean」Water, Air Soil Pollution 43：(1989)
7. 「Effect of simulated acid rain on the yield of soybean」Water, Air Soil Pollution 44：(1989)
8. 「Acid Deposition：Effects on agricultural crops」EPRI EA - 5149 (1987)
9. 「Annual Report 1987 to the President and Congress」National Acid Precipitation Assessment Program (1988)

●2-1-1●

1. 「配電設備の景観設計—街路空間の快適性と配電設備のデザイン—」電中研 研究報告：Y87001 (1987)
2. 「配電設備の景観設計—評価測定手法の開発—」電中研 研究報告：Y87007 (1988)
3. 「街路空間デザインと配電設備の地中化」電中研 研究報告：Y88012 (1988)
4. 「夜間の都市公共空間の快適性評価」電中研 研究報告：Y88011 2 (1988)

●2-2-1●

1. 「海岸保全対策の事例調査」電中研 研究報告：U 86004 (1986)
2. 「岸沖地形変化予測モデルの開発と検証」電中研 研究報告：U 86014 (1986)
3. 「突堤による沿岸漂砂の低減特性」電中研 研究報告：U 87007 (1987)
4. 「海底地形変化予測モデルの現地適用性」電中研 研究報告：U 87012 (1987)
5. 「岸沖海浜変形実験の相似性」電中研 研究報告：U 87059 (1988)
6. 「緩傾斜護岸用シーサップブロックの開発」電中研 研究報告：U 87060 (1988)
7. 「新型構造物による海浜波浪制御技術」海域制御と科学技術 大蔵省印刷局発行 (1989)

●2-2-2●

1. 「アマモ場造成法に関する研究」電中研 総合報告：U 14 (1988)
2. 「藻場造成の現状と課題②アマモ場」水産の研究7(6) (1988)
3. 「アマモ場造成の適地選定法」沿岸海洋研究ノート印刷中 (1989)
4. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第1報アマモの移植適期について」電中研 研究報告：484011 (1984)
5. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第2報アマモの生育に及ぼす移植条件の影響」電中研 研究報告：485013 (1985)
6. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第3報移植用アマモの生育に及ぼす培養土、植え付け株数および光り透過率の影響」電中研 研究報告：485030 (1986)
7. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第4報アマモの苗齢および底質の栄養条件と移植後のアマモの生長」電中研 研究報告：486004 (1986)
8. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第5報小田和湾におけるアマモ炭水化物量の季節変化」電中研 研究報告：456003 (1986)
9. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第6報アマモの流失を防ぐための移植法の検討」電中研 研究報告：U 86008 (1986)
10. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第7報環境要因とアマモの花枝形成」電中研 研究報告：U 86044 (1987)
11. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第8報アマモ場造成適地の砂地盤安定度の推定手法」電中研 研究報告：U 87069 (1988)
12. 「電源立地点の藻場造成技術の開発 第9報アマモ場造成適地の砂地盤安定度の推定手法」電中研 研究報告：U 87069 (1988)

●3-1-1●

1. 「Relation between the Atmospheric Stability and the Vertical Wind Variance Measured by the Doppler Acoustic Radar」CRIEPI REPORT,ET 86011 (1987)
2. 「Lower Atmospheric Observation Using Doppler Acoustic Radar-Monitoring of Inversion Layer by SODAR」CRIEPI REPORT,ET 87006 (1987)
3. 「音波レーダによる火力発電所排煙の監視法」電中研 研究報告：282052 (1983)
4. 「ドップラー音波レーダによる下層大気の観測—長期連続観測による性能評価—」電中研 研究報告：T 283049 (1984)
5. 「ドップラー音波レーダによる下層大気の観測 (Ⅱ) —鉛直風速変動量 $6 w$ の特性—」電中研 研究報告：284070 (1984)
6. 「ドップラー音波レーダによる下層大気の観測 (Ⅲ)」電中研 研究報告：T 284071 (1985)
7. 「逆転層存在時の排煙拡散予測手法の検討」電中研 研究報告：T 2840741 (1985)
8. 「リモートセンシングによる気温鉛直分布の観測手法—RASSの性能評価—」電中研 研究報告：T 86092 (1987)
9. 「気象リモートセンシング装置の現行気象観測法への適用性」電中研 研究報告：T 87113 (1987)
10. 「音波による下層大気の観測手法」電中研 総合報告：225 (1986)

●3-1-2●

1. 「大気拡散場における気象要素の代表性(1)—多変量解析法による観測網設定に関する考察—」電中研 研究報告：283059(1984)
2. 「大気拡散場における気象要素の代表性(2)—風の観測値の持つ地域代表性と季節代表性—」電中研 研究報告：285012(1985)
3. 「既設大気環境モニタリングの合理化手法の開発」電中研 研究報告：T 86094 (1987)

●3-1-3●

1. 「A Three-Dimensional Potential Flow Model for the Prediction of the Behavior of Radioactive Plumes」Nuclear Technology, 64 (1984)
2. 「風の場計算のための擬似ポテンシャル流モデルの開発」土木学会論文集363/Ⅱ-4, (1985)
3. 「複数地形を対象としたガウス型流跡モデル」大気汚染学会誌21(1986)
4. 「地形影響を考慮した大気拡散予測手法の開発 (その1) —地形を考慮した大気拡散モデルの調査—」電中研 研究報告：T 86073 (1987)
5. 「地形・熱的条件を考慮した排ガス拡散の数値モデルの開発 (その1) —マルコフチェーンモデルの風洞内拡散場への適用—」電中研 研究報告：T 87121 (1988)
6. 「地形影響を考慮した大気拡散予測手法の開発 (その2) —ガウス型流跡モデルの野外実験による検証—」電中研 研究報告：T 88046 (1989)
7. 「地形・熱的条件を考慮した排ガス拡散の数値モデルの開発(2)—地形を考慮した大気流れの予測手法の調査—」電中研 調査報告：T 89005 (1989)

●3-2-1●

1. 「密度成層場における温排水拡散の実態」電中研 研究報告：U 87043 (1988.)
2. 「干潟の発達する浅海域の自然水温分布予測」電中研 研究報告：383030(1983)
3. 「干潟の発達する浅海域の冬季自然水温分布の形成機構とその予測」電中研 研究報告：384024(1985)
4. 「干潟海域における熱収支の検討」電中研 研究報告：U 87013 (1987.8)
5. 「環境水温の変化を考慮した温排水拡散予測モデルの適合性」電中研 研究報告：U 87014 (1987)
6. 「水中放水による温排水拡散範囲の簡易予測法」電中研 研究報告：U 88071 (1989)
7. 「大規模温排水の沖合水中放流に関する実態的検討」電中研 研究報告：382060(1983)
8. 「冷却水放水口近傍での高温領域拡散予測手法の開発」電中研 研究報告：385034(1986)
9. 「最適復水器上昇温度と取放水影響」電中研 調査報告：U 87026 (1987)

●3-2-2●

1. 「冷却水取水に伴う取り込み予測手法の適合性」電中研 研究報告：383016(1985)
2. 「冷却水取水に伴う取り込み範囲の汎用図の提案」電中研 研究報告：384036(1985)

●3-2-3●

1. 「内湾における水質の実態と今後の技術課題」電中研 調査報告：U 87061 (1988)

●3-3-1●

1. 「発電所の景観評価手法—定量的評価について—」電中研 研究報告：582011 (1983)
2. 「発電所の景観評価手法—景観対策の効果と海岸イメージ—」電中研 研究報告：453017 (1984)
3. 「電力施設の環境設計」電中研 研究報告：585008 (1986)

●3-3-2●

1. 「自然風景地における送電線の景観的影響の評価」電中研 研究報告：582010 (1983)
2. 「送・変電施設の景観予測評価手法」電中研 研究報告：Y89002 (1989)

電中研レビュー NO.22

●平成元年11月17日発行

●編集兼発行・財団法人 電力中央研究所 広報部
東京都千代田区大手町1-6-1[大手町ビル7階]☎100
☎03 (201) 6601(代表)
●印刷・株式会社 電友社

本部／経済研究所

東京都千代田区大手町1-6-1 ☎(03)201-6601 ☎100

我孫子研究所 千葉県我孫子市我孫子1646 ☎(0471)82-1181 ☎270-11

赤城試験センター 群馬県勢多郡富城村苗ヶ島2567 ☎(0272)83-2721 ☎371-02

柏江研究所／原子力情報センター／ヒューマンファクター研究センター

東京都柏江市岩戸北2-11-1 ☎(03)480-2111 ☎201

横須賀研究所 神奈川県横須賀市長坂2-6-1 ☎(0468)56-2121 ☎240-01

UHV塩原実験場 栃木県那須郡塩原町関谷1033 ☎(0287)35-2048 ☎329-28

編集後記

電中研レビュー第22号「環境研究の新しい展開」をお届けいたします。

本号では、「巻頭言」を東京大学工学部教授 茅 陽一様をお願いしました。ご多忙中にもかかわらず快くご寄稿をいただき、心からお礼を申しあげます。

最近、酸性雨の問題や炭酸ガスをはじめとする地球環境をめぐる情勢は国際的に大きく動いており、世論を賑わせています。

昨年カナダのトロントで開催された「大気変動世界会議」以降、地球の温暖化やオゾン層の破壊に関する地球規模の環境問題が一躍注目を浴び、世界中に危機感が広がり、世界レベルでの議論が続けられています。今や、この問題は技術者の関心を越え、世界の政治や経済分野においても、極めて重要な課題となっています。

一方、国内では、経済的な豊かさから、人々は健康でより快適な生活を求め、環境に対する意識は安全性から快適性を重視するようになり、新たな対応が求められてきています。

このため当研究所では、望ましい環境の実現をめざして、地球環境をめぐる問題はもとより、より快適な環境造りのための、新しい課題の技術開発に積極的に取り組んでいます。

本レビューは、当研究所がこれから本格的に取り組む新しい環境問題や、これまで進めてまいりました環境研究の成果についてとりまとめたものです。

本冊子が、電力各社をはじめ、関係諸機関の方々の一助となれば幸いです。

R

電中研レビュー No. 22 「環境研究の新しい展開」 正誤表

頁	図表位置	誤	正
12	図1-1-1(A) 右図中	吸熱・加熱・放熱 225K	吸熱・加熱・放熱 255K
13	図1-1-2標題	気体1モル当りの <u>気候</u> への……	気体1モル当りの <u>温室効果</u> への……
17	表1-1-4標題下	(100 万トン 1986年)	(100 万トンC 1986年)
17	表1-1-4表下	出典… CDIAC NUMEI DATA …	出典… CDIAC NUMEIC DATA …
17	図1-1-8標題下	出典… CDIAC NUMEI DATA …	出典… CDIAC NUMEIC DATA …
19	図1-1-10標題	化石燃料による…5.9億トンC、…	化石燃料による…2.5億トンC、…
37	図1-2-10図中	オゾン 葉の障害⇓⇓	オゾン 葉の障害⇓⇓
60	図3-1-4 中央 図説明2行目	…必要な地域数に(基準…	…必要な地域数(基準…
68	図3-2-3図(i)	設置水系	設置水深
79	上より13行目	第9報 アマモ場………	第9報「水中の光条件に基づくアマモ場造成限界深度の推定手法」電中研研究報告：U88010(1988)