

環境科学大事典

ENCYCLOPEDIA OF
ENVIRONMENTAL
SCIENCE

McGraw-Hill-Kodansha



環境科学 大事典

監修

佐々 学
(国立公害研究所所長)

編集委員(五十音順)

岸保勘三郎
(東大教授 気象学)

高井康雄
(東大教授 土壌学)

高橋 裕
(東大教授 水文・土木工学)

奈須紀幸
(東大教授 海洋学)

橋本道夫
(筑波大教授 環境科学)

宮下和喜
(都立大教授 動物生態学)

門司正三
(東大名誉教授 植物生態学)

編集協力

内藤正明
(国立公害研究所)

和田秀徳
(東大助教授)

原著序文

生態系は、生命が最も簡単な形をもってこの地球上に出現して以来、存在してきた。進化が起り、新しい種が現れるにつれて、これらの種は拡大したり縮小したりする生態系の中にそれぞれの座を見つけ出したのであり、生態系が変化したため、絶滅に瀕(ひん)することすらあった。人類は進化した。しかも、その生態系の中にニッチェ(生態的地位)を得てきた。その際、食物、気候およびその他の環境因子が好適であれば人口は増大し、それらの状態が悪ければ、人口は減少した。

文明が発展するにつれて、人間は自然の協調者から搾取者、征服者になった。何世紀にもわたって、人間は科学と技術の知識を獲得した。それらの知識はゆっくりとした速度で蓄積し、次に19世紀半ばには指数関数的に成長した。人口の増大に伴い、地球上に広がっていくにつれて、人類は、発展し続ける技術のおかげで、環境を開発して今までよりもさらに速く品物を生産できるようになった。その1つの結果として、天然資源、特に、化石燃料や金属鉱石のような再生不能の資源や、また耕地、森林、海洋漁業のような再生可能な資源も加速度的に消費されてきている。それは再生不能だが不可欠な天然資源が、あまり遠くない将来に枯渇するだろうと予想されているのではあるが……。

人口増加や、個人および産業活動の環境に及ぼす影響は、ときに悲惨である。環境に対する被害は河川、空気、湖、海などにも見られる。すなわち、河川は産業廃棄物や下水で汚濁され、空気は有毒ガスで汚染され、湖

は藻類で窒息されている、そして海は、乱獲によって、あるいはたれ流しの下水汚泥や油による汚染によって、その生産性を失っている。

人類の活動が環境に及ぼした影響は、社会的にますます大きな関心事となってきている。‘McGraw-Hill Encyclopedia of Environmental Science’は、生命に影響を与える外的条件の研究に焦点を合わせている。各項目は読みやすく、内容的に確かであり、気象学、気候学、自然保護、生態学、海洋学、土壌学、原子核工学、衛生工学、農学、石油工学などに関する知識の現状を網羅している。本事典は非専門家のために書かれている、しかしもちろん専門家は、自分の分野以外に関しては非専門家である。

本事典は、アルファベット順で、項目数300余、50万語からなっている。各項目は、‘McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology (3版, 1971)’(『世界科学大事典(講談社, 1977)』)とその年鑑(1971~74)から選択され、さらに本事典のために新しく執筆されている。全項目は記名入で、他項目への参照と巻末索引によって項目間を有機的に結びつけて読者の便宜をはかっている。

編集長
ダニエル・N・ラビデス

日本語版序文

このたび多くの執筆者のご協力によってこの『環境科学大事典』の完成をみたことは、まことに喜ばしい。本事典は、もともとアメリカのマグロー・ヒル社の‘Encyclopedia of Environmental Science’の邦訳を骨子とし、これにわが日本の実情からみて特に重要な環境科学に関する諸項目を日本の研究者の筆で加えたもので、この面において本事典はきわめてユニークなものといえよう。

ところで、環境科学とはなんであろうか。それは応用科学の一分野であろうが、工学、農学、医学、経済学などのようなその目的と性格がはっきりした応用科学の諸分野にくらべて、その定義づけも、性格についても明快に記述することがむずかしく、かつ、各人が各様の解釈をもっているといえよう。本事典の意味する環境科学とは、まず本事典のいくつかの項目を読んでみて、〈ああ、これが環境科学なのだ〉と理解していただきたい。それはおそらく読者諸氏が想像されたものとかかなり異なった性格のものであろう。とかく日本では環境問題すなわち公害問題と理解されがちであるが、公害に関するものは環境科学として大切な分野であるにせよ、そのごく一部の対象であり、たとえば人間の生存環境の保全という課題を考えても、ずっと広く大きな問題があることに気がつく、しかし、そうだからといって、公害問題の重要性をばかし、すりかえようとするべきではない。そこで、原著にはない、いくつかの重要な公害の項目を加えた次第である。

ところで、環境とはなんであろうか。本事典の項目〈環境〉をくってみると、まず“生態学的には、環境はすべての外部要因と、生物の生命と発展に影響を及ぼす種々の作用との総体である”と定義されている。それは、原文では“Ecologically, the environment is the sum of all external conditions and influences affecting the life and development of organisms”となっている。これを端的に解釈すれば、環境という概念は、まず〈私〉（ここでは最後のorganismsにあたる）とそれをとりまく〈すべて(sum)〉の2要素からなりたっている。だから、オーストラリアのウイルス学者で、いまは環境科学者と自称しているFenner教授は、環境を“everything except me”と定義している。それはさておき、これまでとりあげられてきたさまざまな環境問題を見渡してみると、そこにはいろいろな異なった立場があることに気がつく。たとえば、同じく環境医学といっても、ガストープをたいたときの室内の空気の汚染を考えるような場合はmeは私個人であり、水俣病や四日市ぜんそくを対象にする場合はそれがある地域で、ある共通の生態をもった人間集団であるし、さらにフロンガスによる大気中のオゾン層の破壊とか、大気中の炭酸ガスの増加に伴う気候の温暖化の影響とかを考えると、人類全体が

〈私〉である。さらにその主体は人間だけとは限らない。自然保護の立場からの環境における主体は、カモシカやイリオモテヤマネコであったり、尾瀬の湿原や富士の樹海であったりする。

また、その主体をとりまく〈すべて〉といっても、ガストープの場合はその室内の何立方メートルかの空気だけを考えればよい。四日市や水俣は1つの地域である。しかし、人間活動が変化を与える範囲、さらにその変化が人間の生活にはねかえってくる範囲といえ、どんなに大きく考えても地表をとりまく数キロメートルの大気圏、地上でいえば植物の根のおよぶ数メートルの深さ、海中にしてもせいぜい数百メートルの深さまでであろう。いま地球上であらゆる生物が生活し繁殖している範囲もそのくらいのものであって、これを生物圏(biosphere)と呼んでいる。それにしても、人間の生存にとってきわめて重要な環境というものが、地球の直径のおよそ1万3,000キロメートルにくらべてなんとうすっぱらなものであろうか。それは、まんじゅうという菓子の表面をとりまくほんの薄皮のようなものでしかない。しかも、その薄皮のなかで起っている現象が人類の運命を支配しているのだから、きわめて恐ろしい。そして、人間の活動はすでにその薄皮の性状を刻々と変化させるだけの力をもってきているのだから、それをいかにコントロールするかを考える〈環境科学〉の立場はこれからますますその重要性を増していくであろう。

それにしても、人間活動が地球環境の保全にとってこんなに大きな影響を与えるにいたった今日においても、人間はなお全体的な立場を考えてそれを子々孫々まで住みよくしていこうという方向への研究をおろそかにしていることの愚かさは嘆かわしい。いま、この地球上の生物圏という薄膜のなかにすむ何千万種類もの生物のなかで、人類Homo sapiensというたった1種が、過去数千年という短い期間のうちによりやく今日のような圧倒的な優位にたち、その知恵をもとにたいへんな文明を築いてきたが、それがさらに進んでいくと、この地球をとりまく生物圏という薄膜はいったいどうなっていくのであろうか。

いわゆる人間らしい人類が誕生してから何百万年というスケールの時間にくらべて、最近の数千年、いや数十年の人類の営みは、指数関数的に巨大化していったことは否めない。おかげで、たとえば健康という面では、いわゆる先進国にすむ人間にとってはたいへん伝染病はもはや脅威ではなくなってきた。そのためこれらの地域での人間の死亡率はたいへん低下しているが、そのための人口の増加は新たな地球環境の破壊への重大な

脅威となりつつある。人口がふえればそれだけ森林を切りひらいて農作物を増産したり、住居をつくったり、あるいは新聞の発行部数をふやしたりしていかねばならない。しかし、森林をへらすことが大気中の炭酸ガスの濃度にどのような影響をおよぼすであろうか。あるいは、水の生物圏における循環にどのような変化をもたらすであろうか。いわゆるIBP（国際生物学事業計画）の研究プロジェクトとして、このような疑問に答えるための小規模な観察や実験が始められてからまだ十数年しかたっていない。そうして地球環境保全のため正しいかじ取りをしていくためには、単なるイデオロギー論争だけでは無意味であって、こうした小規模にせよ数多くの研究を積み重ねてゆき、そこから生まれてきたデータの総合と解析を根気よくすすめていく必要があろう。

ひるがえって、この日本という、1億1,600万人あまりの人口をわずかに37万平方キロメートルの島国にささえ、1945年の敗戦のあと驚異的な経済発展をとげた小地域に起った環境汚染や環境破壊の問題は、環境科学の面からみても多くの貴重な資料を提供してくれた。この経済発展のおかげで多くの日本人が利益と福祉を甘受した反面にその副作用として深刻な身体的、精神的な打撃を受けた人々が現れてきた。これらの面で日本に起った環境変化の人間へのはねかえりは、地表上の他の地域ではまだ経験したことのない現象さえも含んでいる。そこに、日本における環境科学研究の成果が国際的にも期待される一面があろう。

日本における総合的な環境科学研究の発足は、まず1971年に文部省科学研究費の特定研究として組織された〈人間の生存にかかわる自然環境の基礎的研究（略称 人間生存と自然環境）〉というプロジェクトの開始をとりあげるべきであろう。その研究組織の構成や成果については『人間生存と自然環境』という表題で4巻に分れて東京大学出版会から刊行されている。

そのころから日本の学界でも環境保全のための研究への関心が高まり、科学研究費の特定研究としてさらに〈環境汚染制御〉、〈環境保全のための化学反応の制御〉、〈微生物による環境浄化〉、〈海洋環境保全の基礎的研究〉、〈自動車の排気浄化に関する基礎的研究〉が1972年度以降に逐次発足して活発な協力研究がスタートした。そして、1977年度からは科学研究費の特別研究として、がん、自然災害の2課題に次いで3番目の課題として環境科学が組織され今日にいたっている。この研究プロジェクトがどのような組織で運営されているかは環境科学というもののすすめ方の一例として参考となると思われるので、ここにそのあらましを紹介しておこう。

この特別研究計画は1978年度は総計8億円あまりの研究費の交付を受けて、それを総合班を含め133の研究班に配分している。これらの研究班は、全体の総括を行う総合班と、環境の動態、環境の人体影響、環境改善技術、環境の理念、環境の情報という5領域に分類されている。その運営に関する基本方針の設定に関しては総合班の中におかれた運営委員会がこれにあたることになっている。

総合班には約20の〈検討班〉を設け、それぞれのテーマについておよそ1年間の期限をもって、その研究を将来進めていくためにはどのような組織と計画を立てるべきかを検討している。その検討班のテーマとしては、環境科学の理念、生物指標、気圏と人間活動の関係、窒素酸化物、UNESCOのMAB計画に対する対応、環境浄化容量、沿岸生態系、環境における突然変異原、環境科学におけるシステムズアプローチ、などがとりあげられている。

環境の動態に関する領域はさらに総括、気圏、陸域、陸海域、海域、都市域に分類されている。それぞれについては、たとえば〈大気中における二酸化炭素量の変動とその影響〉、〈霞ヶ浦とその周辺の生態系動態〉、〈琵琶湖とその集水域の環境動態〉というような総合研究が進行している。また、環境改善技術に関しては、これを〈生物を利用する環境改善技術〉、〈化学的方法による環境改善技術〉、〈資源のリサイクリングによる環境改善〉の3方面に志向した研究が進められている。これには、たとえば〈固定発生源からのNOx除去の新しい手法に関する基礎研究〉というようなテーマが含まれている。

環境科学における情報領域とは、化学計測、物理計測、生物学的指標などを利用した環境の状態の把握と、その総合解析を行おうとする研究が含まれ、たとえば〈多元素同時分析法の開発〉とか、〈リモートセンシングによる環境計測法〉とかの研究がいくつか進められている。

日本においては、環境科学の推進に対して以上のような文部省から主として大学における研究者に向けて支出される研究費のほか、他省庁に属する国立の諸研究機関に対して環境庁から支出される研究費によるプロジェクトも進められており、さらに民間における環境改善技術の開発などに向けられている研究も膨大なものになっている。こうして、環境科学とは、昔から応用科学の分野として認められてきた医学、農学、工学などと並んで、1つの独立した理念をもった応用科学の一分野として確立されつつあるものといえよう。

1980年3月

佐々 学

編集協力者

翻訳・執筆などにご協力いただいた方々

合田周平 — 電気通信大助教授 — 生産
相田 浩 — 東大教授 — 微生物学, 生化学
青木昌治 — 東大教授 — 電気, 電子
浅井富雄 — 東大教授 — 気象
朝倉 正 — 気象庁予報部 — 気象
麻田亀雄 — 京大助教授 — 理論物理
浅野康一 — 東京工大助教授 — 化学工学
安部喜也 — 国立公害研究所 — 地球化学
五十嵐寿一 — 小林理学研究所 — 音響
池内義則 — 北大助教授 — 農業工学
池淵周一 — 京大教授 — 土木
石原藤次郎 (故) — 京大名誉教授 — 土木
市川龍資 — 放射線医学総合研究所 — 環境衛生
井上隆弘 — 農林水産省農業技術研究所 — 土壌
井上 寛 — 大妻女子大教授 — 無脊椎動物
岩間吉也 — 大阪大教授 — 比較生理学, 一般生理学
宇井 純 — 東大助手 — 衛生工学
宇野 佐 — 国立公害研修所所長 — 自然保護
梅田安治 — 北大助教授 — 農業工学
大木靖衛 — 神奈川県温泉研究所所長 — 地球物理
大塩敏樹 — 環境庁環境審査課 — 水質管理
大杉次男 — 北大助教授 — 畜産
太田秀樹 — 京大助教授 — 土木
大森昌衛 — 麻布獣医科大教授 — 古生物学
岡市友利 — 香川大教授 — 生物, 水産
岡嶋 透 — 大分医科大教授 — 医学
奥田重俊 — 横浜国大助教授 — 植物生態
奥谷喬司 — 農林水産省東海区水産研究所 — 無脊椎動物
片山泰久 (故) — 京大教授 — 理論物理
加藤一郎 — 東大教授 — 法学
樫根 勇 — 筑波大助教授 — 水文学
河端俊治 — 国立予防衛生研究所 — 食品衛生
岸保勲三郎 — 東大教授 — 気象
北沢右三 — 産業医科大教授 — 動物生態
北原喜男 (故) — 東北大教授 — 有機化学
木下浩二 — サハリン石油開発協力 — 石油工業
後藤典弘 — 国立公害研究所 — 化学工学
小山弘道 — 大阪市立大助手 — 植物生態
佐伯敏郎 — 東大教授 — 植物生態
酒井哲郎 — 京大助教授 — 土木
佐藤 久 — 東大教授 — 地理
佐貫亦男 — 日大教授 — 航空, 宇宙
四方英四郎 — 北大教授 — 農学
重田芳廣 — 日本環境衛生センター — 衛生工学
重松逸造 — 国立公衆衛生院 — 医学
清水 弘 — 北大助手 — 畜産
霜鳥 茂 — 北大助教授 — 林学
白井喬二 — 農林水産省農業技術研究所 — 土壌
白木博次 — 前東大教授 — 医学
鈴木善次 — 山口大教授 — 生物
鈴木秀郎 — 産業医科大教授 — 医学
砂川一郎 — 東北大教授 — 鉱物, 岩石

砂原茂一 — 元国立療養所東京病院院長 — 医学
高井康雄 — 東大教授 — 土壌
高岸秀次郎 — 農林水産省蚕糸試験場 — 農学
高橋浩一郎 — 元気象庁長官 — 地球物理
高橋長雄 — 札幌医大教授 — 医学
高橋英紀 — 北大助教授 — 農業気象
高橋 裕 — 東大教授 — 水文
高橋万右衛門 — 北大教授 — 農学
竹内 均 — 東大教授 — 地球物理
武部 啓 — 京大教授 — 比較生理学
立川 涼 — 愛媛大教授 — 環境汚染
茅野充男 — 東大助教授 — 肥料
千原光雄 — 筑波大教授 — 植物
中馬一郎 — 大阪大教授 — 比較生理学, 一般生理学
塚谷恒雄 — 京大助手 — 衛生工学
津田周弥 — 北大助教授 — 農学
時田保夫 — 小林理学研究所 — 音響, 振動
外村井一郎 — 京大助教授 — 食品
長州南海男 — 横浜国大助教授 — 生物
仲谷紀男 — 農林水産省農業技術研究所 — 土壌
長野 敬 — 自治医大教授 — 生物
奈須紀幸 — 東大教授 — 海洋
橋本道夫 — 筑波大教授 — 環境科学
八戸芳夫 — 北大教授 — 畜産
浜 弘司 — 農林水産省農業技術研究所 — 農学
春名 攻 — 京大助教授 — 土木
藤田至則 — 新潟大教授 — 地質
逸見謙三 — 東大教授 — 農学
堀口郁夫 — 北大助教授 — 農業工学
堀部純男 — 東大教授 — 海洋
正田英介 — 東大助教授 — 電気, 制御
真宮三男 — 秋田大教授 — 鉱山
宮下和喜 — 都立大教授 — 動物生態
三輪谷俊夫 — 大阪大教授 — 微生物医学, 細菌学
武藤憲由 — 北大教授 — 林学
森 元 — 東京都立大助手 — 無脊椎動物
森 樊須 — 北大教授 — 動物生態
森山 知 — 北興化学 — 動物生態
安岡善文 — 国立公害研究所 — 計数工学
安野正之 — 国立公害研究所 — 動物生態
山 登 — 国立公衆衛生院 — 化学
山岬正紀 — 気象研究所 — 気象
横井 肇 — 農林水産省農業技術研究所 — 土壌
吉沢四郎 — 京大教授 — 化学工学
和田秀徳 — 東大助教授 — 土壌
渡辺 茂 — 東大名誉教授 — 機械
渡部泰輔 — 農林水産省東海区水産研究所 — 脊椎動物

写真収集・版下作成にご協力いただいた方々

宇宙開発事業団
小山正忠
通産省工業技術院
リモート・センシング技術センタ

凡例

本事典は、マグロー・ヒル社‘Encyclopedia of Environmental Science’の翻訳をベースに、わが国独自の新項目を追加した。翻訳にあたっては適宜加筆した。
なお、原著は、同社の‘Encyclopedia of Science and Technology’（『世界科学大事典』として1977年講談社から刊行）をもとにして、さらに年鑑を参照しつつアップ・ツー・デイトなものに集大成したものである。

見出しの形式

①原著は見出しにかっこやカンマを使うことにより多角的な項目体系を構成している。本事典も原著の項目体系を大きく改めることなく、内容を考えて相当する日本語の見出しをあてた。

例 Ecology, applied 応用生態学
Plants, life forms of 生活形(植物の)
Mining, undersea 採鉱(海底採掘)
Vegetation zones, world 植生帯(世界の)

②見出し中のひらがな、カタカナ以外の文字には原則として次に読みがなを掲げた。その場合、ひらがな、カタカナの部分はダッシュ(――)によって省略した。

例 海洋生態系 かいようせいたいけい
システム生態学 せいたいがく
土壌微生物のバランス としゅうびせいぶつ

英語見出し

本文の初めに、原著の見出しをそのままの形で示すことを原則とした。ただし、本文記述の必要上、原著の見出しを変更したもの、2つ以上併記したもの、新たに追加したものもある。

参照見出し

同意義で2つ以上の名称のあるもの、その事項が音順の異なる他の項目で解説されているものについては、参照見出しを掲げ、そのあとに参照すべき項目名を示した。

例 遠隔探査 えんかくたんさ ①リモートセンシング
環境影響評価 かんきょうえいきょうひやうか ②環境
アセスメント
殺真菌剤 ころしきんさい ③静真菌剤と殺真菌剤
油症 ゆしやう ④PCB汚染
環境権 かんきょうけん ⑤環境法

見出しの配列

配列は五十音順とした。ただし長音符は音順に入れない。また、かっこによって補足を加えた見出しは、かっこがないものとして上記の順序によって配列し、その結果同じ見出しが並んだ場合は、かっこのあるものはないもののあとに置いた。

例 植生
植生(日本の)
植生帯(世界の)

用字・用語

①漢字は原則として当用漢字を用いた。専門用語等ひらがな書きでは読みにくいか理解しにくいものは当用漢

字以外も用い、項目の初出に読みがなをつけた。

例 脊椎(背)動物

②専門用語は‘學術用語集’および各学会で編纂した用語集を参考にした。

③生物名、岩石・鉱物名、物質名にはカタカナ書きも採用した。

④外国人名・地名、外国語、外来語などのカタカナ表記は原音を尊重したが、特定の慣用のあるものや、義務教育の場で使われている表記法はできるだけとり入れた。なお、ティ、ディ、ドゥ、ツイ、ツォの表記は採用したが、〈ヴ〉の表記はとらなかった。

例 ジーゼルエンジン→ディーゼルエンジン
ヴァイオリン→バイオリン

計量単位

単位系はMKSA国際単位系を原則として用いた。ただし、分野によりMKSA国際単位系が慣用となっていない場合、またはMKSA国際単位系に換算することで無理が生じるような場合は、適宜それ以外の計量単位を用い、特殊な単位についてはそのつど注記した。

記号

- [] 英語見出しを示す。
- [] 本文中の最小見出しを示す。
- () 注記、図・表への参照の指示、外国語綴り、読みがな、かな書きにした専門用語の漢字などを示す。
 - > 注意をうながす語を示す。
- [] 用語の一部で省略してもよい部分を示す。
- “ ” 引用を示す。
- ・ ・ 書名およびそれに類するものを示す。
- [] 筆者・訳者名を示す。
- 参照すべき項目を示す。

その他、各専門分野で使われている記号はこれを用いた。

筆者・訳者名

- ①原著の筆者名は原著にしたがって示した。
- ②訳者名は巻頭に一括して掲示したが、個々の項目で相当量加筆した訳者名は原筆者名とともに示した。
- ③新たに加えた項目には筆者名を示した。

図版・表

- ①図版番号は、本文との関連で、グラフ、図解、写真の区別なくすべてFig. 1、Fig. 2……とした。表番号は表1、表2……で示した。なお、1項目1図版の場合は、グラフ、図解、写真は(図参照)とし、表は(表参照)とした。
- ②表の脚注の順序は、*†‡§の順とした。
- ③グラフ、図解、写真および表の出典は、書名、発行所、刊行年次のみを掲載した。
- ④図版が他の項目の本文中にはいった場合は、その図版の項目名と――をつけて区別した。

赤潮 アカシオ

〔Red tide・Water bloom〕 微小生物による海水の変色現象を広く赤潮という。海の色や魚介類に及ぼす影響から苦潮、薬水、厄水、菜々薬水、青潮、しらけ潮、星の汁、星のよだれなど地方によっていろいろな呼び名がある。

英語でも red tide 以外に、red water, brown water, discolored waterなどが使用されているが、内容を示す言葉として最も適切なのはwater bloomである。河川や湖沼での微小生物による変色現象は、従来水の華と称して赤潮と区別していたが、琵琶湖やその他人造湖などで多発するようになってから淡水赤潮ともいわれるようになった。しかし、これは学術用語としてはまだ認められていない。

赤潮の色は原因生物と細胞数によって異なり、赤色ないし桃赤色の赤潮はヤコウチュウ、*Polykrikos schwartzi* および繊毛虫の1種の*Mesodinium rubrum*などによって、黄かっ色、かっ色および黒緑色を呈するのはいわゆる鞭毛(べんもう)藻やケイソウ類の赤潮であり、ミドリムシの類では鮮やかな緑色となる。

赤潮時の1ml当りの細胞数は種類によってかなり差があり、ヤコウチュウでは千〜数千、ホリネリアといわれる*Chattonella*では数百〜数千、緑色鞭毛藻の1種*Heterosigma inlandica*では数十万に達する。通常、表層の数十cmから1mくらいが濃密で、それ以下では急激に減少する。

赤潮の記録 水の変色現象については古い記録が残されており、「旧約聖書」の出エジプト記第7章の「川の水はことごとく血に変わった。それで川の魚は死に、川の水を飲むことはできなくなった」という記事を多くの研究者は赤潮現象であったと考えている。わが国では「大日本史」に16件におよぶ池水や海水の変色が記録されている。最も古いものについては「天平三年(732年)六月十三日庚寅紀伊阿氏郡海水赤如血」とあり、「文暦元年(1234年)九月二日戊戌、海水入淀河、殷黑如血、魚皆死、食魚者亦死」。「正和元年(1312年)四月十二日丁丑、相模伊豆等五国海水変赤、三百余里、三日復旧」という被害例や大規模な記録もある。ピーグル号による航海の際、チャールス・ダーウィンも南アメリカ沿岸で赤潮を観察しているが、わが国での科学研究は、野元・丸川(1899)および西川(1900)が静岡県江の浦、三重県英虞湾での赤潮を報告したのがはじめて、当時から赤潮の原因生物として、ヤコウチュウ、*Peridinium*、*Gymnodinium*があげられている。辻田がまとめたところでは、わが国で1907年から57年までの50年間に123報の赤潮に関する研究報告や解説が発表されている。その多くが赤潮の観測例であるが、朝倉は1912年に東京湾の赤潮のうち、初夏に発生するものは降雨とあまり関係がないが、初秋の赤潮は大雨の後に発生し、魚類の斃死は*Gymnodinium*赤潮によってのみ起ることを報告している。

最近の赤潮発生状況 1960年代に入ると、まず岩手県大船渡湾のアカザラガイ中毒、相模湖における有毒水の華の発生などがあり、1965年以降は、瀬戸内海、長崎県大村湾などで大規模な赤潮が増加して社会問題となった。瀬戸内海漁業調整事務所の調査によれば瀬戸内海の赤潮発生件数は1965年44件、70年79件、75年300件、76年326件、77年236件となっている。この間、最も大きな被害を生じたのは72年で、播磨灘一帯で、1,400万尾にのぼる養成ハマチが斃死し、被害金額は約70億円に達した。原因種は*Chattonella* sp.で、同一種によるハマチの被害は、70年、77年および78年にも発生し、72年を含めたハマチの総斃死尾数は約2,100万尾である。

現在、赤潮の発生は、北海道、日本海沿岸、九州一帯を含め日本の全沿岸域に及んでいる。また、赤潮のように海水の変色は伴わないが、*Gonyaulax*属のプランクトンの生産するまひ性貝毒(paralytic shellfish poison, 略称PS

P)により、北海道、三陸沿岸、三重県南部および瀬戸内海東部で、ホタテガイ、イガイおよびアサリなどの貝類が毒化し、食品衛生上の問題となっている。

赤潮の原因生物 わが国でこれまで赤潮として出現した種類は約60種にのぼり、藍藻(らんそう)植物(Cyanophyta)、クリプト植物(Cryptophyta)、渦(うず)鞭毛植物(Dinophyta)、有色植物(Chromophyta)、緑藻植物(Chlorophyta)、ミドリムシ植物(Euglenophyta)、およびラフィド植物(Raphidophyta)に及んでいる。藍藻、緑藻、有色植物門のケイソウ類およびミドリムシを除き、鞭毛を有するものがいわゆる鞭毛藻類である。これらのうちで発生件数とともに被害も大きく問題になるのは渦鞭毛藻である。そのうちで主なものは帯鞭毛藻亜綱(Haplodiniophycidae)に属する*Prorocentrum micans*、*P. triestinum*、*P. minimum*、渦鞭毛藻亜綱(Dinophycidae)に属する*Gymnodinium breve*、*G. nelsoni*、*G. type'65*、*Gonyaulax catenella*、*G. polyedra*、*G. polygramma*、*Peridinium polonicum*(淡水産)、*Ceratium furca*、*C. fusus*、*Noctiluca miliaris*(ヤコウチュウ)などがある。*Gymnodinium*属とヤコウチュウを除くと殻を有し、*Gonyaulax*や*Peridinium*では殻を形成している鎧(よろい)板の数と配列が分類の基準となっている。いずれも2本の鞭毛を有し、ヤコウチュウを除くと15〜100μmくらいの大きさである。ケイソウ類の赤潮もしばしば発生するが、主なものは*Skeletonema costatum*や*Chaetoceros*属の種類である。

播磨灘で養成ハマチを大量斃死させた*Chattonella*ははじめミドリムシ植物に属するとし、新聞紙上などでは海産ミドリムシと呼ばれたが、後にこれがインドのウエストヒルで1949年から53年まで多発した赤潮の原因種*Hornellia marina*と同一かまたは近縁種とされ*Hornellia*と訂正された。ところがまた最近では、ラフィド植物の*Chattonella*属に含めるのが正しいと指摘されている(ただし、*Chattonella*と*Hornellia*はシノニム(Synonym 同義語)として扱われている)。この鞭毛藻は写真に示すように紡錘型で、体長とほぼ等しいかやや短い2本の鞭毛をもっている。播磨灘に出現する種の体長は60〜120μm(平均80μm)、鹿児島湾の赤潮種は体長60〜70μm、幅20〜35μmである。*Chattonella*属については、これまでのところ、*C. subsalsa*のみが報告されており、その体長は30〜50μm、幅15〜25μmで、わが国で出現するものよりやや小さい。播磨灘や鹿児島湾の種類が、新種であるかどうかについてはさらに分類学的検討を必要とする。

赤潮の発生要因 一般的に温帯地方では、植物プランクトンは水温の高くなる春から夏のはじめにかけて増殖し、夏にはやや減少し、秋の水の垂直循環期に入るとまたやや増加する。赤潮はこのような植物プランクトンの季節的変動とまったく関係なく出現することが多いが、降雨の後に晴天が続いたときによく観察されるので、古くから、河川水からの栄養塩類の補給、塩分量の低下、日照および赤潮生物が表層に集積するのを妨げない平穏



1977年8月播磨灘で発生した *Chattonella* sp.

2 アクシユウ

な海況などが、発生条件として考えられてきた。しかし、播磨灘の*Chattonella*赤潮や大村湾の*Gymnodinium*赤潮のような、海域と特定の赤潮種との結びつきについては、これでは十分説明できず、赤潮生物の増殖生理特性と海域の環境特性の両者を明らかにしてゆく必要がある。

赤潮生物は窒素やリンの化合物である栄養塩類以外にビタミンB₁₂を要求するものが多いが、培養結果から、栄養塩類の供給のみで赤潮となり得るもの(Ⅰ型)、鉄、マンガンなどの重金属でよく増殖し得るもの(Ⅱ型)および酵母の自己消化物やその他の有機窒素化合物によって増殖が促進されるもの(Ⅲ型)に区分されている(岩崎)。また、バルブ廃水やある種の化学工場廃水も増殖を促すことが知られている。このような培養実験以外にも、大村湾では、夏の赤潮は降雨と関係するが、秋のはじめの赤潮は底層の無酸素化と関連することが指摘されている。瀬戸内海、東京湾、伊勢湾などでは人為汚染の影響が大きく、海の富栄養化の進行に伴った現象としてとらえられている。

赤潮の害 赤潮による魚介類の斃死原因としては、赤潮生物が鰓(えら)につまって起る呼吸障害、赤潮が消滅するときにみられる酸素減少や硫化水素などの有害物質の発生、赤潮生物そのものが生産する有毒物質の作用などが考えられるが、最近では、赤潮生物の生産する有毒物質に関する研究が活発になりつつある。

有毒プランクトンは20数種知られており、魚介類の斃死原因となるばかりでなく、*Gonyaulax*属の生産するPSPのように貝類に蓄積され、人間の神経まひ性の中毒の原因となるものもある。またブラジルのレシフェ周辺では藍藻の*Trichodesmium*の赤潮が発生すると、陸上でタマシダレー熱という軽い熱病が流行し、フロリダ周辺では*Gymnodinium breve*の赤潮時にぜんそく状の発作が広まるともいわれている。*Microcystis*(藍藻)の水の華が水源池に発生して胃炎の集団中毒が発生した例もあるので、衛生上も重要な問題である。 [岡友利]

悪臭 あくしゅう

[Offensive odor] 不快なおい。悪臭物質とは不快なおいの原因となって生活環境をそこなうおそれのある物質をいう(悪臭防止法、第2条)。現在、同法ではアンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、トリメチルアミン、二硫化メチル、スチレン、アセトアルデヒドの8物質が悪臭物質に指定されている。

悪臭物質の特性としては、揮発性や蒸気圧が大きく、化学反応性が強いことが多い。一般に、水よりエーテルなどの有機溶剤に溶けやすく、同族体では分子量の大きいものほどにおいは強くなるが、炭素数で18以上になると弱まる傾向にある。また、概して、化学構造が似ていると、似たにおいのものが多いが例外もある。不飽和結合はにおいを強めるが、必ずしもにおい発生の原因とはならない。以上がモンクリーフ(R. W. Moncrieff)やアモア(J. E. Amoore)らが述べたにおい物質の共通した特性である。

種類 地球上には、約200万の化合物があり、その中の約15(40万)の化合物が、それぞれ特有のにおいをもつ物質であるという。その有臭物質のうち、芳香物質と悪臭物質の比率については、まだ明確ではないが、悪臭物質として、環境公害上、関連する物質としては約1万種ぐらいあり、特に重要なものは、約200種程度であるといわれている。

重要であると思われる悪臭ないしは有臭物質を、化学特性基(官能基)別にみると、次のとおりである。

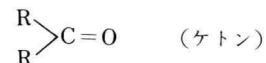
1. ケトン類、アルデヒド類(エステル、カルボキシル基も含む)

(a)



ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、*n*-ブチルアルデヒド、イソブチルアルデヒド、アクロレイン、フルフラール、ベンズアルデヒドの8物質とその他。

(b)



アセトン、メチルエチルケトン、ジエチルケトン、*n*-ジプロピルケトン、メチル-*n*-ブチルケトン、メチルイソブチルケトン、メチル-*t*-ブチルケトンなどの物質とその他。

2. -COOH(脂肪酸)

ギ酸、酢酸、プロピオン酸、*n*-酪酸、イソ酪酸、*n*-吉草酸、イソ吉草酸、カプロン酸、カプリル酸、カプリン酸、オレイン酸、アクリル酸、メタアクリル酸の13物質とその他。

3. 窒素化合物

(a) アンモニア

(b) R-NH₂(アミン類、その他)

メチルアミン、エチルアミン、*n*-プロピルアミン、*n*-ブチルアミン、*n*-アミルアミン、ジメチルアミン、ジエチルアミン、トリメチルアミン、エチレンジアミン、ピリジン、インドール、スカトールなどの13物質とその他。

4. 硫黄化合物

(a) 硫化水素

(b) R-SH(メチルメルカプタン類、チオール類その他)

メチルメルカプタン、エチルメルカプタン、*n*-プロピルメルカプタン、*n*-ブチルメルカプタン、*t*-ブチルメルカプタン、アリルメルカプタン、フルフリルメルカプタンなどの9物質とその他。

(c) R-S-R'(スルフィド類)、R-S-S-R'

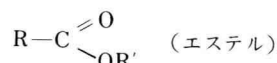
(d) 硫化メチル、二硫化メチル、二硫化プロピル、硫化イソプロピル、硫化アリル、二硫化メチル、エチルメチルスルフィド、硫化フェニル、テトラヒドロチオフェンなどの10物質とその他。

5. アルコール類

R-OH(アルコール類)、R-O-R'(エーテル類)

メチルアルコール、エチルアルコール、イソプロピルアルコール、*n*-ブチルアルコール、イソブチルアルコール、*n*-アミルアルコール、イソアミルアルコール、ラウリルアルコール、アリルアルコール、ジエチルエーテル、テトラヒドロフラン、エチレングリコールモノメチルエーテルの12物質とその他。

6. エステル類



酢酸エチル、酢酸ブチル、酢酸イソアミル、アクリル酸メチル、アクリル酸エチル、アクリル酸ブチル、フタル酸ジオクチル、酢酸セロソルブ、酢酸メチルセロソルブ、酢酸エチルセロソルブ、酢酸ブチルセロソルブの11物質とその他。

7. ハロゲン化合物類、ハロゲン化炭化水素類

次亜塩素酸ナトリウム、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、*p*-ジクロロベンゼン、1,1,1-トリクロロエタン、四塩化炭素、三塩化エチレンの7物質とその他。

8. フェノール類

フェノール、クレゾール、トリクレゾール、グアヤコールの4物質とその他。

9. 炭化水素類(脂肪酸および芳香族炭化水素類)

ベンゼン、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、トリメチルベンゼン、イソプロピルベンゼン(クメン)、スチレン、ナフタレン、イソプロピレン、 α -ピネン、イソホロンの11物質とその他。

影響 悪臭は、一般に極めて低い濃度で感知される。

悪臭防止対策一覧

	原理	具体的内容・特徴	適用業種
作業内容の改善	原料および製品の変更、工程の改善などによる悪臭物質の発生抑制または軽減化	クラフトパルプ製造工程で、カスケードエバポレータを多重真空濃縮かんを強化することによりなくし、回収ボイラからの悪臭発生を減少させる。製薬工場で、メチオニンの製造方法をアクロレインとメチルカプタンからの合成から、他方法に変更し悪臭発生をなくした	クラフトパルプ工場、製薬工場、魚腸骨・獣骨処理場、レーヨン工場、セロハン工場、ごみ焼却炉、火葬場
悪臭発生工程・建物の密閉化	発生悪臭物質を特定の空間に密閉し、周辺環境大気に漏洩することを防ぐ	し尿や下水処理場の曝気槽(ばうきそう)密閉化など	し尿処理場、下水処理場、クラフトパルプ工場、養豚場、養鶏場
大気中への拡散	悪臭物質が大気中に排出されてから地表に到達するまでに無臭に拡散、希釈されるようにする	比較的薄い臭気をボイラ排気用高煙突から放出し、大気拡散により臭気濃度を公害の起らない低濃度とする	小規模汚水処理場
脱臭装置の設置			
燃焼法			
直接燃焼法	悪臭物質を650～800℃程度的高温で燃焼分解する	悪臭を650℃、0.3secの高温に接触させ脱臭する。どのような高濃度の腐敗臭でも脱臭できる	し尿処理場、魚腸骨・獣骨処理場、金属・グラビア印刷工場
触媒燃焼法	白金パラジウムなどの触媒を用い、悪臭物質を250～300℃程度の比較的低温で酸化分解する	白金などの触媒を用い、200～350℃で臭気を酸化、分解する。直接燃焼法と比較すると燃費が40%ですむ。有機溶剤系臭気の脱臭に適する	魚腸骨処理場、クラフトパルプ工場、ごみ焼却炉
既設の火室による	ボイラ、熱風発生炉などの火室の2次空気として臭気を用い燃焼分解する	建設費、燃費はほとんど不要であるが、脱臭効果はやや不安定である	魚腸骨処理場、クラフトパルプ工場、ごみ焼却炉
吸着法	活性炭、シリカゲルなどによる物理吸着法とイオン交換樹脂、石炭吸着剤などによる化学吸着法とがある	物理吸着：低濃度、大量の臭気処理に適する。効果は極めて高い、比較的高分子のにおいの脱臭に適する 化学吸着：同上、ただし低分子の化学活性のあるにおいの脱臭に適する	塗装・塗料工場、下水処理場、し尿処理場、(冷蔵庫)
吸収法	酸、アルカリなどの溶液による化学吸収法、次亜塩素酸ソーダ、過酸化水素、過マンガン酸カリなどの溶液による酸化剤吸収法	化学吸収法：化学活性をもった高濃度の脱臭に適する。方式は充てん塔、もれ棚塔などが適する 酸化剤吸収法：NaClO溶液が多用され、メルカプタン類、サルファイド類など広い範囲の高濃度臭気の処理に適する	し尿処理場、下水処理場、鋳物工場、魚腸骨・獣骨処理場、化学工場、薬品工場
微生物を利用する方法	土壌、活性汚泥、酵素、微生物生菌などを用いて臭気を吸収(着)分解する方法	10cm厚さの土壌層を通過させると、H ₂ S、NH ₃ などはよく除去される	下水処理場、鶏糞乾燥場
中和剤法	中和剤により悪臭の不快感や強度を軽減させる	特定の悪臭に対し特定の中和剤を噴霧すると弱いにおいになる。中和剤の原料は樹脂分などをもとにしている	し尿処理場、下水処理場、ポンプ場、ごみビット、プロパンボンベ検定場
マスキング法	焦臭(木酢液など)や芳香臭(花香)の強いにおいによって悪臭の刺激を置換えて感じなくする	木酢液は酸性で焦げたにおいが強いので、NH ₃ 、R-NH ₂ の除去や焦臭による陰蔽(かげ)作用がある。芳香臭は家庭用のトイレなど、においの薄いところに使用される	家庭用トイレ、病室、押入れ、し尿処理場、養豚場
その他の方法	電氣的に脱臭するもの、冷却、凝縮などにより悪臭の強さを軽減させる	高圧直流電流によるコロナ放電により、臭気をイオン化して脱臭する。高温多湿の臭気は水などによる冷却で凝縮させてかなりの脱臭ができる	魚ソリューブル吸着飼料工場、魚腸骨・獣骨処理場などのクッカー排ガス処理

悪臭による苦情の主なもの、頭痛、吐き気、息苦しさ(強臭)、食事がまずい、気分がいらいらする、頭が重い、仕事や読書の邪魔(中等度臭気)、気にかかる、いやな感じがする(低濃度臭気)などで、これらが生活環境へ影響する内容であるといわれている。

ただし、直接人間の健康にかかわる影響を与える大気汚染物質とは異なり、悪臭は、直接的な健康影響(被害)のない状態の現象をいう。

測定 悪臭の測定には、官能試験法と化学成分測定法とがある。官能試験は優れた検出能力をもつ人間の嗅覚を用いて、においの質、強度および快・不快度等を総合的に、かつ迅速(翌)に測定することができる。しかしながら、人間の嗅覚は、悪臭強度の数量化が不得意であ

り、また、判定者ののにおいに対する先入観や嗜好(嗜好)性の影響を排除するための客観性の確保がむずかしいなどの問題点もある。

元来、においの質や快・不快などの認容性については、人間の嗅覚でしか評価できないものであり、これらを客観的な手法で数量化することはむずかしいとされている。しかし、悪臭の強度(広播性)は空気希釈法(どんな強度をもつ悪臭でも、無臭空気で薄め続けていけば、無臭になる希釈倍数がある。この希釈倍数を臭気濃度として数量化する測定法)を用いれば、客観性のある数量化が可能であることが近年わかってきた。

空気希釈法は、日本では3点比較式臭袋法、無臭室法、注射器法、サイクロオルファクター法などがあり、

アメリカではセントメータ法、ASTM注射器法、各種オルファクトメータ法などがある。

官能試験の場合、においを判定する人(以下パネルという)の選定と育成が大切である。日本で多用(東京都、埼玉県草加市、宮城県での条例による測定法)されている3点比較式臭袋法に例をとってみると、パネルは3基準臭による選定試験をパスした人(一般住民の大多数が通過する)6人を用いて試験を行うことによって、判定の客観性と安定性を確保している。

化学成分測定は、悪臭の原因となっている悪臭物質の種類と濃度を測定するものである。悪臭物質別に測定することは、低濃度(ppb, すなわち10億分の1のレベル)で多成分系(一般に、一事業所の臭気物質は数十成分)であるので、物質別に悪臭を測定することは容易なことではない。しかし、最近の化学成分測定方法の進歩は著しいものがあり、多種類の高感度検出器をもつガスクロマトグラフ法や、全成分分析に近い能力をもつガスクロマトグラフ質量分析法(GCMS-Com.法 Com.はコンピュータ解析装置)の2方法は、従来の機器測定法のもつ技術上の操作の煩雑(ぎ)さを相当程度改善しえたと思われる。特に、炎光光度検出器(FPD)の出現は、悪臭の主要原因物質である硫黄化合物を、特異的に検出する選択性と高感度検出能力をもつので、悪臭防止法(環境庁告示)でも採用されている。また、これら硫黄化合物については自動連続測定装置もすでに開発されている。

発生源 悪臭の発生源には大別して、生物系の不快臭と非生物系の有機溶剤臭とがある。

前者には、住民からの苦情が多い畜産農業(養豚、養鶏、養牛など)、へい獣処理施設(魚腸骨、獣骨、フエザー処理場など)、都市清掃施設等(し尿、下水、ごみ、廃棄物、火葬場、と場など)、飼・肥料製造工場(吸着飼料、配合飼料、複合肥料など)、パルプ製造業(クラフトパルプなど)、食品製造工場(水産加工、畜産加工、デンプン、発酵など)等の業種で、全体の約62%を占めている。非生物系発生源としては、石油精製、石油化学工場、印刷インキ工場、塗装・塗料工場、FRP工場、セロハン・レーヨン工場、合成ゴム工場、鋳物製造工場などがある。

実態 悪臭による苦情件数は、1966年、3,494件(17.0%、公害苦情件数中の悪臭苦情の比率)、1970年、1万4,999件(23.6%)、1975年、1万8,143件(22.6%)、1977年、1万5,987件(22.9%)と1974年までは増加してきたが、石油危機以来、若干減少の傾向にある。最近では悪臭防止法指定8物質で規制されていると思われる発生源事業所、例えば、クラフトパルプ工場、へい獣処理施設、都市清掃施設、FRP工場などの苦情は減少してきたが、規制対象外の事業である塗装工場、木材具・家具製造業、プラスチック製品工場、クリーニング店や飲食店などや、また、脱臭対策が経済的にむずかしい小規模養豚場などの畜産業の悪臭に対する苦情が漸増してきている。

対策 悪臭対策は大別して悪臭発生源の脱臭対策と、付近住民への人間関係を正常化するための活動とがある。前者には、対策のための3つの柱があって、第1は悪臭を発生する製造工程や処理工程を、悪臭の発生しにくい加熱、反応、合成、乾燥工程等に改善すること。ときには、原料や製品の種類、品質までも、そのために変更することがある。第2は、発生源の臭気捕集方法の改善で、発生源である装置を覆蓋し、漏れのないように密閉構造にしてから、少量の悪臭をとり出すようにする。

第3は、捕集された悪臭を表1に示した各脱臭方法のうち、1つか、または、いくつか組み合わせた方法を用いて脱臭をする。

特性と評価 悪臭は次に述べるいくつかの特異性によって、その評価がむずかしいといわれている。それらの内容は、(1)複合臭気成分と嗅覚閾値(きき) 嗅覚で感知し得る最小のにおい物質濃度)の相違の問題がある。例えば、閾値は物質によって大きく異なり、大気中にアセ

トン30 ppmの濃度がないと人間の嗅覚ではその存在がわからないが、アンモニアは0.14 ppm、メチルメルカプタンにいたっては0.0001 ppmでその存在がわかる。一般に、1つの事業所から発生する臭気には、このような閾値の異なる臭気成分が数十成分以上複合されて排出されている。(2)としては、そのような複合悪臭物質間で、強さや快・不快感の相乗相殺作用があること。(3)としては、それらの悪臭を判断する人間側にも、その悪臭を感知したときの、ある個人の、そのときの心理的、身体的な状態や、その人のもつ公害意識および周辺の生活環境等の状況によって、その悪臭の受けとめ方が変わってくることである。(4)としては、ヒトの嗅覚には悪臭に対する疲労、慣れや好みの個人差等の問題もある。

これらの悪臭の特異性によって、悪臭の評価はむずかしく、それによって、測定方法の確立や脱臭対策の遅れがみられたものと思われる。

今後の動向 悪臭物質規制の悪臭防止法は、近い将来、3点比較式臭袋法(官能試験法)の併用によって、規制外の悪臭発生事業所も包含し、規制に万全を期する方向に向いている。また、体系的な測定方法の確立や脱臭装置の性能向上によって、大規模発生事業所は著しく対策が進められてきたが、今後は、零細企業である小規模な畜産農業、へい獣処理施設、飲食店、廃品回収業などへの対策をいかに行うかが、悪臭苦情件数を減少し得るかどうかの鍵である。

法律・条例 悪臭防止法(1971年6月1日、法律第91号)、宮城県公害防止条例(1971年9月25日改正、県規則第67号)、埼玉県草加市条例(1973年、市条例第14条)、東京都公害防止条例(1977年3月30日、都条例第12号)。

[重田芳廣]

油汚染 あぶらおせん ⇨海洋汚染

嵐 あらし

[Storm] 大気中の発達した擾乱(うらん)、およびそれに伴う悪天候のことをいい、その規模は大きさ1 km程度の竜巻きから2,000~3,000 km程度の低気圧までいろいろある。しかし、ここでは主として、地球表面の約半分を占める中・高緯度地方の、代表的な擾乱である高気圧と低気圧について述べる。この高・低気圧の流れによって、その中にあるより小さいスケールの嵐は大勢を決められてしまう。一方、熱帯地方の大規模な擾乱は、中・高緯度のものとは性質がだいぶ異なっている。→スコール線：台風：トルネード：雷雨

中・高緯度地方の高・低気圧は、だいたい緯度30°から極よりの方に発生するもので、緯度55°~60°付近に最もよく現れる。強い低気圧は、暖気団と寒気団の接する前線付近で発生する。低気圧の一生は、まず地上天気図にみられるような弱い波動擾乱から始まり、この擾乱の振幅がしだいに強まってきて、最終的には閉塞(きそく)低気圧となる。→気象学：前線

低気圧の力学過程 大気は水平面内で風が吹込んで収束している所と、吹出して発散している所に分けられる。対流圏下層で強い収束のある領域では、その上層の対流圏では発散になっている。大気中の高・低気圧に伴うような運動の場合、空気はほぼ非圧縮流体のように振舞うので、質量保存の法則からいって下層に収束場があるときは対流圏中層では上昇流が起きている。下層に発散場があるときは、逆に下降流が生じている。

強い収束・発散場があると、だいたい上層では(例えば300ミリバール高度では)Fig. 1に示したような波動がみられる。流線の曲率の最大・最小のところは、それぞれ鉛直方向の渦度の最大(気圧の谷)・最小(気圧の峰)のところになっている。今、空気塊が気圧の谷から峰に移動する場合を考えると、渦度は減少する。この渦度の減少が角運動量保存則と矛盾なく起るには、気圧の谷と峰の間に水平発散場があればよい。実際、対流圏上部では

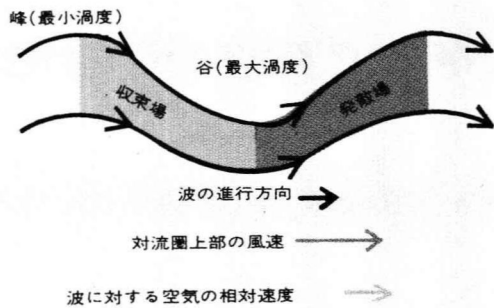


Fig. 1 対流圏上部あるいは成層圏下部でみられる波動に伴う収束場と発散場。矢印の長さは速度に比例している。

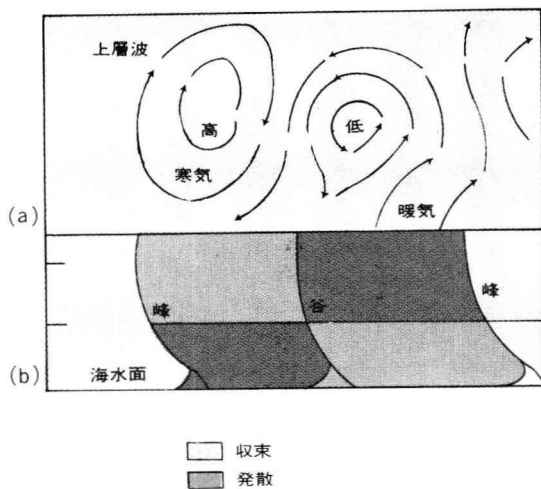


Fig. 2 波動に伴う空気の動き (a)大気上層の波動に結びついた下層の流れ。(b)東西垂直断面内の収束・発散領域と、気圧の谷・気圧の峰の関係の模式図。(J. Bjerknes)

風速の方が波動の位相速度より速いので、気塊は気圧の谷から峰の方に動いていて、上の推論どおりに気圧の谷の東側に発散場ができている(Fig. 1)。低気圧を維持するには、上層と下層のつながり具合はFig. 2のようにならなければならない。下層の収束域は低気圧の中心部から前面にかけて位置している。その上層ではFig. 1でみたように発散場になっている。下層の発散場は高気圧の中心部から前面にかけて存在し、上層では収束場になっている。

上層の流れと下層の流れは、上にみたように互に関連をもっているが、実際には相対位置関係は変化する。上層の気圧の谷が、地表近くをゆっくり進行している前線に近づいたとき(Fig. 3の第1、第2段階)、低気圧は発達する。これは、このとき上層の気圧の谷の前面にある発散場が、ちょうど下層の上に重なって、Fig. 2に示した状態になるからである。低気圧の発達の程度は、上層の発散場の強さに比例して決まる(Fig. 3の第3段階)。発散場は、波の波長が短くて振幅が大きく、また上部対流圏の風が強いときに大きくなる。傾圧場が強くて、風速が高さとともに大きく増加しているジェット気流の近くでは、上層の風が強くて発散が大きいのので、低気圧はここでよく発達する。→ジェット気流

前線を伴う嵐と天気 低気圧に伴う天気は、低気圧の中で空気中の水蒸気量や熱力学安定度が変わっているの場所によって変化する。低気圧の中心から東部に伸びる温暖前線や閉塞前線付近では、ゆっくりした上昇域になっていて、広い範囲に雲が出ている。降雨はあるが、比較的风は弱くおだやかである。雲の出る領域は、低気圧

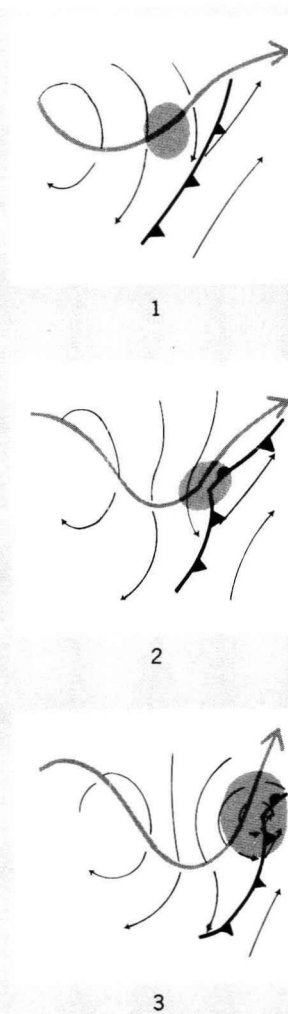


Fig. 3 大気上層の気圧の谷の接近によって、下層の前線上に低気圧が発生するようす。(S. Petterssen)

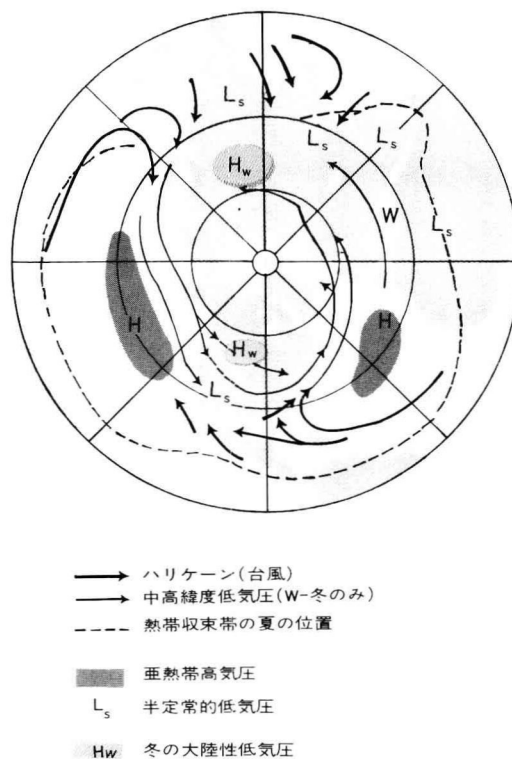


Fig. 4 北半球の中高緯度低気圧、ハリケーン(台風)の主だった経路、およびこれらに関連した高気圧の位置。

の暖気団域にも広くみられることが多い。

寒冷前線の通過は、風向きが急に変わり、突風の吹くこともあるので、容易にわかる。またこの通過に伴い、上昇領域から下降領域に変わるので、天気回復も早い。空気が湿っていて、一方では下層で空気が暖められる場合には、にわか雨が降ることもある。寒冷前線の近傍では湿った暖気が押し上げられるので、スコールや強い降雨を伴った雷雨が発生し、それは暖域に向って東方に移動する。

中緯度高気圧 低気圧が過ぎると、これに代って高気圧部が張出してくる。高気圧の流れは、低気圧の流れとは逆であるが、流れの強さは低気圧ほど強くはなく、風も弱い。下層では、風は渦状に吹出している。高気圧の上層部では、高気圧に伴う下降流により、断熱昇温し、空気が乾燥している。

高気圧は大きく2種類に分けられる。1つは暖かい〈亜熱帯高気圧〉で、もう1つは極地方の冷たい〈寒冷高気圧〉である。亜熱帯高気圧は、水平規模も大きく、背も高く、緯度25~40°にかけて海洋上に位置していて、低緯度の偏東風(貿易風)と中緯度の偏西風を分けている。

寒冷高気圧は、極地方の気団によってつくられていて、背も低い。この高気圧は長い期間動かないで居すわり、ときに寒気の噴出しとなって、小さい高気圧が分れて、低気圧の後面を南に下がってくる。中緯度を強い低気圧が通過すると、寒冷高気圧の本体は強い寒気の張出しとなって南下する。

大吹雪(ブリザード)の特徴は気温の低いこと、強風によって地面の雪が吹上げられることである。大吹雪は、普通発達した寒冷高気圧と強い低気圧の間の気圧の傾度の強い所で起る。北アメリカ中部や、シベリア大陸、南極大陸のものはよく知られている。

低気圧の主経路 北半球の低気圧の主な経路をFig. 4に示した。中緯度では、低気圧は大陸の東側の海上や、ロッキー山脈の東でできることが多い。日本付近では、冬季乾燥した寒冷な大陸気団が南西諸島海域に吹出し、海面から熱や水蒸気の補給を受けて、著しい気団変質が起りやすい。この気団変質に伴って、台湾付近に小さい低気圧がよく発生し、この台湾小低気圧は東進とともに急速に発達する。

中緯度低気圧も熱帯低気圧も、その経路に関しては、対流圏上部の半球規模の波動の場に支配されている。この大規模波動は亜熱帯高気圧等の流れにも関係している。大規模波動が正常な位置からずれているときは、低気圧の経路もFig. 4より大きくはずれてくる。温暖高気圧はときおり高緯度に入り込むことがあり、低気圧の東進を妨げて、低気圧は高気圧の北、または南を大きく迂回(まが)させられることになる。

大気のエネルギー平衡からみた低気圧の役割 低気圧の東側を極の方に流れる空気は、低気圧の西側を赤道方向に向う空気に比べると暖かい。また、極の方に向う風は普通水蒸気をたくさん含んでいる。ところで地球は、赤道地方では放射エネルギーの形でエネルギーを得ており、極ではエネルギーを失っているが、このようなエネルギーの不均衡は上に述べたような、低気圧による顕熱、および潜熱の北向き輸送によって、うまく解消されている。擾乱に伴う上昇流は下降流より一般に温度が高く(Fig. 2)、水蒸気の凝結による潜熱放出は上昇域で起っている。したがって、低気圧は極に熱を運ぶだけでなく、上層にも熱を運んでいて、上層の大気の放射エネルギーの損失を補っている。→大気大循環

[CHESTER W. NEWTON]

嵐の発見 あらしのはっけん

[Storm detection] 嵐を発見するためには通常の上天気図、上層天気図の解析や、定時の気象観測、目視観測のほか、レーダーや気象衛星などいろいろな手段が用いられている。それらによって嵐の発生を探り、位置

を決定し、追跡し、その進路予報を出す。→嵐; 天気図; 天気予報

レーダー 気象器械としてのレーダーの発達は目ざましく、これによって降水の状態を連続的に観測できるようになった。その結果、前線に伴う降雨域の追跡、台風、ハリケーン、スコール線、雷雨、竜巻きの追跡をするうえで非常に有力な方法となった。レーダーのおおむねの範囲は半径200 kmから400 km程度の領域なので、1つのレーダーで低気圧や前線帯を全部とらえることはできないが、レーダー網をめぐらせば擾乱(き乱)全体に伴う降雨域のようすを天気図として書けるようになる。降雨域があることは、そこに上昇流があることを示しているの、これを追跡して解析すると、天気図から推定される擾乱の力学過程を知るうえでの助けとなる。したがってレーダーのエコーの形の変化や発達、衰弱、移動には大きな注意がはらわれている。

レーダーは海上の台風や進路を知り、危険地域を予想するうえで有力な手段である。台風に伴うスパイラルバンド(らせん状の雲帯)はレーダーでははっきりととらえることができる。スパイラルバンドは強い対流雲の列(スコール線)の集ったもので、レーダーによるバンドの到着時間の予報はかなりの精度で行うことができる。また、このスパイラルバンドから、台風の中心位置を、10 kmから20 km以内の誤差で決められる(Fig. 1)。さらに、レーダー観測によって、そのエコー強度および嵐の移動する速さなどから、雨域や少なくとも降水量の定性的推定は可能である。

雷雨やスコール線の追跡にも、一般にレーダーが用いられており、ときには竜巻きの追跡にも使用されている。アメリカでは、定時観測で200 km範囲の降水量を0.01 in/h単位で測っている。非常に小さい雲粒はレーダーに映らないので、はっきりしたエコーやエコー群があるときは、しゅう雨性降雨があることを意味している。したがって強いエコーがあったり、急速に発達するエコーがあるとき、またひょうの存在を示唆する突起状のエコーや異常なパターンが現れた場合は、観測回数を増やしてエコーの位置を細かく天気図に記入している。

エコーの強度は降水量に比例しているので、局所的な擾乱の強さはこれによって推定できる。ひょうがあると

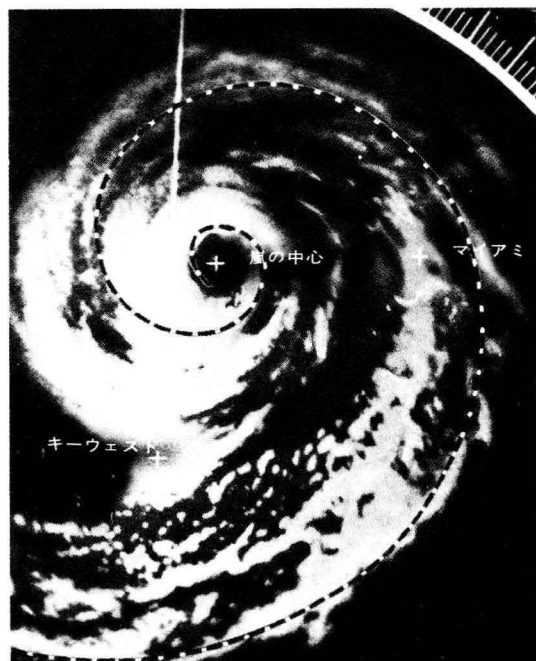


Fig. 1 1960年9月10日午前8時40分(東部標準時)、アメリカ、フロリダ州キーウエストのWSR-57、10cmレーダーでとらえられたハリケーンDonnaのようす。スパイラルバンドに合せて、交差角15°のらせんが破線で示してある。これにより、ハリケーンの中心位置が求められる。(ESSA)

きはエコーは最も強く現れる。新しいレーダではエコー強度の等値線が示されるようになってきている。またアメリカの主なレーダ観測所では、Fig. 2に示した表示装置が備えつけられている。レーダエコーの垂直断面図はRHI (range-height indicator)によって得られる。RHIはレーダのアンテナをある方位角に定め、その高度角を変えていったときに得られるエコーパターンである。

竜巻は強い雷雲に伴って起きることが多い。竜巻きの発生条件がそろっているとき、強いエコーが急速に発達した場合は、まず竜巻きの発生が疑われる。持続性のある強い竜巻きでは、ほとんどの場合Fig. 3に示したようなかき状あるいは数字の6の形をした突起状エコーが観測される。しかしこのような観測には、竜巻きとレーダの距離が100 km以下で、アンテナの仰角や受信感度が適当であることが必要である。ときにはかき状エコーがあっても竜巻きのないこともあるが、変わったエコーが現れたときにはすぐに目視観測を行うようになっている。本当に竜巻きがあると確認されると、連続観測が開始され、竜巻きの進んでいく地域には警報が出される。

レーダの標的物(反射物)が動いていると、周波数にドップラーシフトが起きる。これを利用して竜巻きや乱流を観測することも考えられる。すなわち標的物の相対運動が大きく変動するので、この変動をレーダに装置してある器械で記録し解析することができる。しかし竜巻きのような現象は局所的であり、風速の変動幅も大きく、一方風の最も強い所ではレーダの反射率も小さいので、この変動の解析から種々の情報を得るにはまだ問題が残

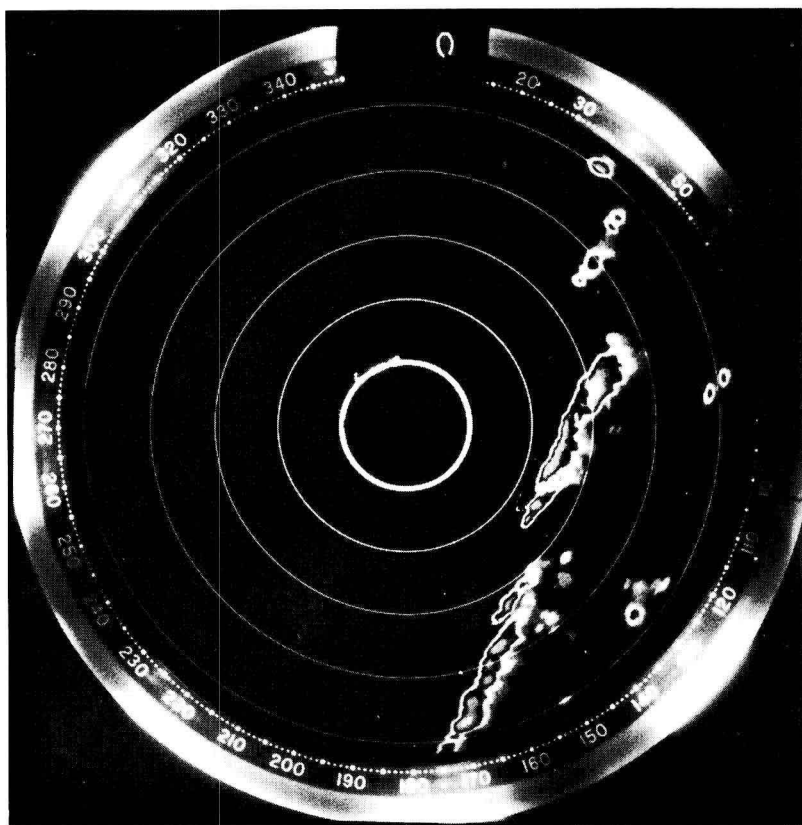


Fig. 2 レーダエコーのPPI (plan-position indicator)図 降雨強度の等値線が示されている。特に明るい部分では降ひょうの可能性がある。(ESSA)

っている。これらの点が改良されると、将来はドップラーレーダが暴風雨探知の有力な手段となるだろう (Fig. 4)。→トルネード；雷雨

スフェリックス スフェリックス(空電)とは雷放電による電磁波の放出現象である。これはAMラジオ受信機で受信できるので、これを使用して雷雨の追跡を行うことができる。最も簡単な雷放電カウンタはこの原理を用いたものである。しかしこれは方向性がなく、近距離の空電しか受信できないので、狭い範囲の雷雨活動しかとらえられない。1960年代の初めに、アメリカ中央部でスフェリックス探知網を張り、これによる雷雨域の追跡実験が試みられた。しかし観測所が数百km以上離れると、このような観測網の同時観測から雷放電の起きた位置を決めるのは、むずかしく、実際に業務として行うのは留

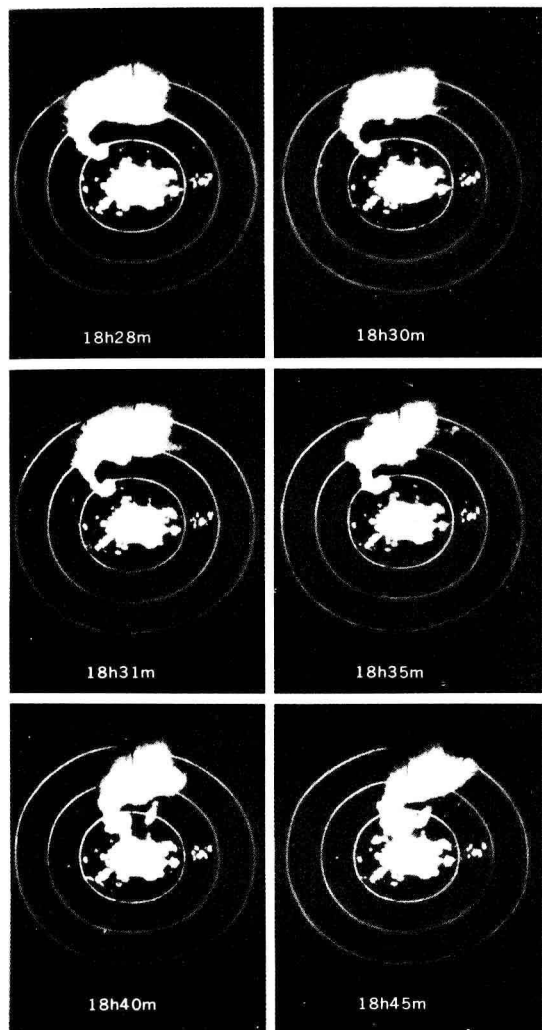


Fig. 3 1960年5月19日カンザス州トピカのWSR-3、10cmレーダでとらえられた竜巻き。発達した雷雲からかき状のエコーが伸びているのがわかる。10マイルごとに補助線が入っている。(ESSA)

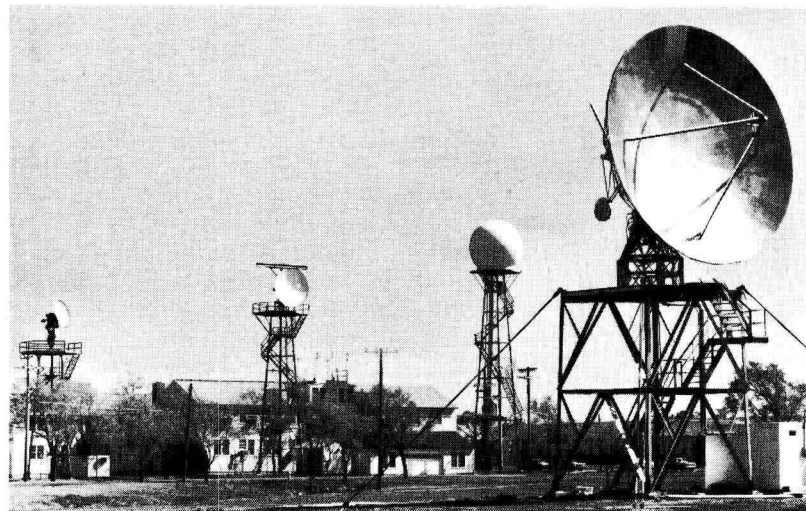


Fig. 4 オクラホマ州ノーマンにあるNational Severe Storms Laboratoryの研究用のレーダシステム 手前の30-ftアンテナを用いて、ドップラーレーダの実験研究が行われている。(ESSA)

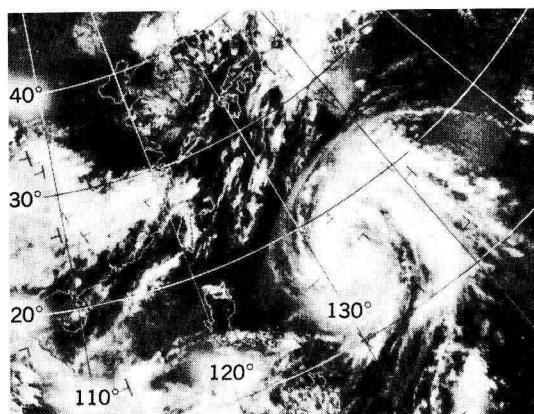


Fig. 5 気象衛星ESSA-7によって得られた合成写真(1968年10月16～17日) 中央部から右よりのところに台風Gloriaがある。日本は上部中央付近に位置している。(ESSA)

保された。しかし、その後エレクトロニクス技術が進歩し、信号処理もうまくできるようになったので、この方法も再検討する価値がある。

飛行機および人工衛星 大気上空に観測点があれば、そこから大規模な雲の分布を観測して暴風雨探知を行うことができる。この方法では、特定の天気現象の形とか広がりだけでなく、その周囲の場との関連もはっきりとらえられ、全体像をつかむことができるので有力な手段といえる。

〔飛行機〕 アメリカでは定時の気象観測や人工衛星写真でハリケーンの発生したことがわかると、地上のレーダーが届かないときは飛行機を飛ばして再度確認をし、こまかい観測を行っている。〈ハリケーンハンター〉と呼ばれる飛行機を海軍と気象局がもっていて、これでハリケーンの周囲ばかりでなく、ハリケーンの中にも突入していろいろな気象観測を行っている。目視観測や写真撮影、レーダーによる雲や降水分布の観測なども行っている。こうして観測されたハリケーンの中心位置、移動速度、規模、強さ、発達程度などが予報中枢に送られる。またハリケーンが陸から十分離れている場合には、ハリケーンの中の雲を人工的に発達させてハリケーンの発達や進路を制御しようという実験も試みられている。

→人工気象調節；台風

ハリケーンの中心(目)を追跡するには、飛行機から目の中の高度5 km付近に、一定高度を飛ぶ風船または信号標識を放ち、それから出る電波を追跡する方法もとられている。

〔人工衛星〕 気象衛星は1960年代に急速な進歩を遂げ、地球大気中のさまざまな大規模擾乱を適確にとらえられるようになった。その一例がFig. 5に示してある。極軌道衛星には赤外線測定装置が備えられていて、昼夜を通して雲の分布図と雲頂温度分布図が得られている。これとほかの観測結果とを総合して用いると、ハリケーンや台風の位置や強さをより正確に知ることができる。また赤道上空約3万6,000 kmの所に打上げられている静止衛星(ATS)からは、半球写真が1時間に約2枚の割合で送られてくる。データセンターでこのような写真を解析することにより、現在では速くしかも正確に半球規模で擾乱の動向がつかめるようになった。

ほかのいろいろな衛星からのデータも、比較的簡単な装置で受信できるので、現在では世界の約200か所で受信して電送写真装置にかけ、写真の形に直してこれを利用している。衛星からの俯瞰(ふく)図を再生するために、自動写真電送(APT)技術が開発され、受像装置も比較的安価なので、世界各国の気象台または研究機関で利用できるようになっている。こうして半径360 kmの範囲の衛星写真が毎日得られるようになり、飛行機による台風観測の手間なども省かれるようになってきた。気象衛星では、雷雨に伴う強い雨などはレーダー写真のようにには

からないが、将来はこういった小規模擾乱の追跡に対しても有効な手段となるだろう。 [EDWIN KESSLER]

育種(植物) イクシュ(シヨクブツ)

〔Breeding (plant)〕 育種は、遺伝学の諸原理を適用して栽培植物を改良しようとする科学技術であるが、関連諸科学として統計学、植物病理学、植物生理学および生物化学に依存する度合いが大きい。その目的は普通、作物や花卉(き)類の新規の型や改良型をつくりだして、それを栽培する農家や加工する業者、そして最終的には消費者の要望にこたえることにある。ある特定の形質について、あるいはまた総合された形質群に関して既存の品種をしのぐように、その遺伝的な内容が新たに組立てられたときには、その栽培植物についての新品種ができあがったことになる。したがって、植物育種学は応用遺伝学の1部門とみることでもできるが、そこでは植物に関する諸科学、なかでも植物生理学と植物病理学のいろいろな知識と技術が役だっている。さらに生物化学や昆虫(こ)学なども重要な関連分野となり、また実験を計画し成績を分析するにあたっては、数理統計学を欠くことができない。

植物育種は作物の収量を直接に高め、また生産を限定し低下させるいろいろな障害に対する感受性をより少なくするうえで大きく貢献してきた。アメリカのトウモロコシについていえば、育種方法として特に一代雑種トウモロコシの利用技術が開発されたことによって、年生産でおよそ1,900万tの増収があったと推定されている。また西ヨーロッパのコムギとオオムギでは1940年の春まき品種の収穫このかた、年収量の増加率約1%という数字を保っている。植物育種の成果として最も劇的な衝撃を与えたのはロックフェラー財団の農業技術計画による、1960年を期とするメキシコでのコムギの改良であろう。コムギの輸入国であったこの国が、生産に大きな余剰を生じて輸出国へと変わってしまったのである。

合理的な方法の基礎 すべての育種方法は選抜という操作をその柱としている。育種家にとってこの操作は、農業形質についていろいろの遺伝的構成をもつ個体の集りの中から、一般的な農業形質や品質などで最良の組合せを示す個体をつかみだすことを意味する。選びだされた個体の種子は次の世代の養成にあてられるが、そこでおお個体の間に変異が認められるならそれがなくなるまで、つまり全個体が齊一に優良な形質を示すようになるまで、幾世代にもわたって選抜がくり返される。古くからある作物の多くは、古い時代にその近縁の野生種から分化発達したものである。それにはそのころの人間すなわち人類の最初の農民の無意識な選抜行為に負うところが大きかったであろう。しかし現在みられる作物の姿は、その後の意識的な選抜がしだいにそれをつくり上げたものである。そして20世紀の初頭からこのかた、急速に拡大されてきた遺伝学そのものに対する認識や理解と、育種の対象となったいろいろな生物の種(しゅ)についての詳しい生物学的な知見に支えられて、育種家は育種の体系と行為を理論的に裏づけることができるようになってきた。

植物育種の体系は対象植物がいかなる方法で農業的に繁殖し維持させられているかによって、3つの大きな部類に分けられる。有性生殖を行い種子で繁殖するものがその2つを占めるが、その第1は自家受粉で種子を着生する植物である。自家受粉植物とは原則として同一個体の花粉が柱頭の上で発芽し、それによって受精が行われ種子を生ずるものであり、別名自家受精植物または自殖性植物ともいわれる。第2は他家受粉すなわち他家受精によって種子を生ずる他殖性植物であり、ここでは種子を着生する個体の柱頭に別の個体からの花粉が付着し発芽して初めて受精が行われる。第3の部類には無性的に繁殖がなされる種類が含まれ、これらは栄養体の部分を植込んだり、つぎ木をしたりして農業品種の増殖がは

かられる。したがって広大な作付面積が、ある1つの優秀な個体を芽つぎなどで増やして得られる1つの栄養系(クローン)、すなわち遺伝的には全く同一の個体の集りによってすべて占められることになる。実際、育種の手順は以上に述べたような植物の種それぞれの繁殖のしかたによって大きく異なってくる。

自殖性作物の育種 イネ、コムギ、オオムギ、エンドウおよびその他多くの食用マメ科作物にみられるような自殖性作物をつらぬく基本的な特質は、それらの作物の品種がひとたび遺伝的に純粋(純系)に仕上げられると、その品種の特性は幾世代にもわたって変ることなく保たれることである。現在の品種以上のものを望むときは、まずそのような品種を選びだせるような遺伝的変異を示す素材集団を用意することが必要である。それには互いが別々の希望形質を担っている点で対照的ともいえる2つの品種を交雑の親として、その間で人為的な交配を行い雑種をつくること目的を達するための第一歩である。雑種の当代すなわち雑種第1代を F_1 と記すが、同じ交雑組合せの F_1 個体間では遺伝的な差はない。しかしその次の世代すなわち雑種第2代(F_2)とそれに続く各世代($F_3, F_4, \dots, F_n$)では、交雑両親間の遺伝的な差についての再配分、すなわち遺伝子の再組合せが行われるから、各個体は互に遺伝的内容が異なってくる。この状態がすなわち遺伝子の分離であるが、この分離各世代を経過する間に育種家はみずから描く理想の姿に最も近いものをその後の世代養成用にとり上げ、他は捨ててしまうという、いわゆる選抜の操作をくり返し実施するのである。このようにしてあとまで残されたものはその遺伝的な構成が新たなものとなっていく、もし育種家が有能であり、うまくことが運ぶならば、何世代かののちにはそこに遺伝的な分離現象はみられなくなってしまう。つまり、この交雑の後裔(ごい)は再び純粋な固定型になったわけで、このとき初めてここに新しい優秀な品種が育成されたことになる。

このような育種の進め方は系統育種法として知られるものであり、いまだ最も広く用いられてきた方法であるが、そこにはまたいろいろな変法も可能である。例えば F_2 世代とその後世代の分離世代で選抜を行わず、ある時期に至るまで各世代を常に一括した集団のままで維持する方法である。ここでは自殖による世代の積重ねの結果として、おのおのの個体が遺伝的に同型接合体に近づき、形質の分離が後代になるほどみられなくなってくるはずである。つまりここに構成される集団は、いろいろな純系の混合から成立つことになる。この段階にきたとき初めて選抜操作が加えられるのであるが、もしそれを大規模に行うならば、有用な遺伝子型の個体を見落さずにとり上げることができようであろう。なお、どのような選抜方法から得られた有望個体ないしは個体群であっても、それが本当に新たな品種にふさわしいかどうかを決めるためには、多くの地域で数年にわたる反復生産力検定試験を経なければならない。

自殖性作物にしばしば用いられるもう1つの育種方法は、その手順の中にもどし交雑という名で知られる操作がとり入れられたものである。これは現行品種がほぼ満足すべき性能をもちながら、ある特定の重要な形質に欠陥があり、しかもその形質自体の遺伝性は単純であって、それを補うものが他の品種中に見いだされるという場合に最も効果的に適用される方法である。まず2つの品種、すなわちほぼ満足すべき性能の現行品種 α と特定形質保有の品種 β との間で交雑を行って F_1 雑種をつくり、この F_1 に反復親という名で呼ばれる一方の親、すなわちほぼ満足すべき現行品種 α を再び交雑するのである。これは $(\alpha \times \beta) \times \alpha$ と表され、このような形の交雑をもどし交雑という。ここにできた多数のもどし交雑第1代(B_1 と記すことがある)の個体の中から、反復親でない方の親、すなわち一回親の品種 β のもつ有用形質をなるべく強く表現するものを選抜し、それらに再び反復親品種をもどし交雑する。一回親にみられる1つの有用形質

が反復親の遺伝的背景の中に付加編入されて初めて反復親品種が理想どおりに改良されたことになるわけである。しかし、そのような反復親の遺伝的構造をもどし交雑の子孫の中に再現させるためには少なくとも6回かそれ以上の一連のもどし交雑操作が必要である。もどし交雑育種法はさび病、黒穂病、ウドンコ病などに対する抵抗性をエンバク、コムギ、オオムギなどの現行品種や有望系統に付加してやるようなときに極めて有効であり、従来から育種の実技として広く応用されているが、イネのいもち病抵抗性の育種でもこれがとり入れられている。→植物病害

他殖性作物の育種 他家受粉を旨とする他殖性作物の集団は、各個体が遺伝的にいろいろな程度で異型接合的であることを特徴としており、純系として固定するような種子を着生するいわゆる同型接合的な個体は見当らないといえてよい。その理由は、まずどの個体も常に異個体間の交雑から生れること、そしてその際に受精にあずかる花粉が遺伝的に多様であることにある。このような繁殖系の作物を育種しようとするときに種実生産のうえで最も関心がもたれているのは、雑種強勢がうまく利用できる、しかも形質のばらつきが少ない栽培用の種子を生ずるような体系をいかに工夫するかということである。

〔自殖系統〕 雑種強勢はヘテロシスとも呼ばれ、雑種第1代(F_1)が大きき、耐性、多産性などを含む一般的な生活力において両親の品種や系統をしのぐ現象をいう。植物育種家は雑種強勢を目的とする一代雑種を生みだすために、その両親系統を自殖系統に求めたり、循環選抜で得られた材料を利用したりしている(図参照)。トウモロコシのような他殖を旨とする作物の自殖操作は人為的に自家受粉を強制することによって行われる。この操作は対象材料が遺伝的に純粋(固定型)となり、斉一な自殖系統が生みだされるまで幾世代も続けられるが、そこではまた一般的な生産力や収量、および病害抵抗性やその他の重要特性についてきびしい選抜が行われる。したがって、これらの自殖系統はそれなりに望ましい形質を保有していることになるが、その反面いくら選抜に努力しても自殖弱勢という生物学的現象のために、生産力が劣りかつ種実の程度も貧弱なのが通例である。しかしこのようにして得られた自殖系統の真の価値は、異なる自殖系統同士の交雑で生じた雑種個体が著しい生育性、高い収量性、形質の斉一性、およびその他の農業上の優秀性を示すときにはじめて発揮される。個々の自殖系統をながめただけでは、それが交雑親となって生みだされる次代の雑種がどれほど優れているかを予測することは残念ながら不可能である。その価値をあらかじめ推定するために行われるのがいわゆる組合せ能力の検定であるが、検定方法の種類は、作物の種類と検定用交雑の難易によりいくらか異なっている。

検定方法にはトップ交雑(自殖系統 $\times$ 品種)、単交雑(自殖系統 $\times$ 自殖系統)、または三系交雑(自殖系統 $\times$ 単交雑)などがあるが、ここで得られた交雑種子はその作物が普通に出会う環境と栽培慣行のもとで、組合せのすべてについて収量性の統計的な評価が行われるように、よく設計され管理された圃場(ほ)で生産力試験に供するよう生育させる。この検定を通じて、農業栽培用の種子を生産する交雑親としてどの自殖系統が有望であるかをさぐることができる。すなわちある特定の交雑親が組合わさって得られる一代雑種が特に強勢を示し、それが多収性につながるときは、この組合せによる雑種種子は栽培品種の育成に利用することが可能となるわけである。〔経費の問題〕 このような栽培用の種子を生産するうえで、どのようなかたちで自殖系統を利用するのがよいかは、それにかかる経費によって変ってくる。飼料作物の多くやテンサイなどのように一代雑種種子の生産費が個体当りの作物の値段にくらべて高過ぎては困る場合には、いくつかの優れた自殖系統を使ってその間で自然に相互の交雑を行わせ、雑種種子の生産と増殖を同時にはかるという、いわゆる合成系統を形づくるような組合せ