

環境と化学の半世紀 ——生物濃縮，オゾン層破壊，地球温暖化——

和光大学総合文化研究所助手 内田正夫

1 はじめに

化学の力によって作り出された物質が人々の生活に利便性と豊かさをもたらしてきた一方、その背後に環境を汚染し安全な生存の基盤を脅かすという作用をも持っていることがはっきりと認識されてきたのは20世紀後半以来のことである(本誌第23号「合成化学物質の功罪」参照)。これまでのところ社会における化学技術は先見の明をもって進んできたということではできない。いわば泥縄式に、問題の顕在化したところにつきを当てるようなやり方であったといわざるを得ない。しかしそれでもこの半世紀の間に化学物質の環境影響の認識は漠とした「懸念」から確実な「科学的知見」へと深められてきた。

公害・環境問題はこの半世紀の専売特許ではないのだが、1950年代以後、物質の生産と消費の巨大化と多様化によって、人間活動の環境に与えるインパクトが増大するにつれ、それが社会問題として認識され、環境が化学の研究対象として登場してきた。だからこの半世紀が化学の歴史にとっても大きな画期であることは明らかであろう。

人々の環境意識や政策によって第二次大戦後の60年間をつぎのように区分けしてみよう。

1945～1962	大量生産・大量消費を歓迎した時代
1962～1970	いっそうの成長とひずみの顕在化
1970～1988	環境政策形成期
1988～現在	地球規模の環境問題顕在化

本稿ではこのような社会の流れを背景としつつ、この間に環境問題の認識と対応に影響を与えた化学上の知見を事例として紹介する。

2 事例1 — DDTの長期的影響

① DDTの登場から大量散布の時代へ

DDTという有機合成農薬の出現する以前には除虫菊など植物起源の殺虫剤やヒ酸鉛などが使われていた。ヒ酸鉛はヒトや非標的生物にとっても有害性の明らかな物質であったが、後の合成農薬と比べればわずかな量であった。第二次大戦の始まった直前

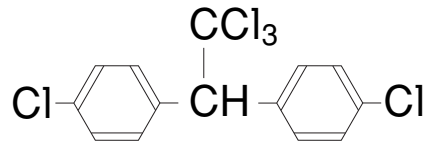


図1 DDT (p,p'-Dichlorodiphenyltrichloroethane)の構造式の1939年スイスのガイギー社の化学者パウル・ミュラーによってその殺虫性が発見されたDDTは、アメリカ軍によって戦地の防疫用に採用され、発疹チフスやマラリアを媒介するシラミや蚊の駆除に絶大な効力を発揮した。戦後民間に解放されたDDTは奇跡の殺虫剤として歓迎され、植物を食害したり植物の病気を伝播する虫類を駆除するために、航空散布を含め畑や森林や街路樹に散布された。また家畜やヒトの感染症対策としても広く使用され、生産量・使用量はウナギのぼりに増大した。

DDTに引き続きその他の多様な合成農薬も次々と開発され市場に投入されていった。すなわちDDTと同じ有機塩素系ではBHC、ディルドリン、ヘプタクロルなど、有機リン系のTEPPやパラチオン、カーバメイト系、フェニル水銀などである。日本でも1940年代末ころからこれらの農薬の国産化が進み、とくにBHCが多用された。1971年にその使用が原則禁止されるまで、日本でのDDT原体累積生産量は4万4千トン余り、BHCは38万9千トンであった。

②初期の懸念

この新しい強力な殺虫剤の使用に対して懸念を持つ人々がいないではなかった。けれども水や土壌や非標的生物への影響、ヒトの健康に関する研究はごくわずかしが行われなかったし、その研究方法は未熟であり、多くは大量投与の急性毒性試験に限られ、哺乳動物に対する急性毒性の低いDDTの実験結果はかえって安全無害な薬剤という印象を強める結果になった。

DDTは表1のような多くの特徴をもっていた。いずれの点も殺虫剤としてはすばらしい性能であるが、環境への影響を考えたときには、それらはすべて大きなマイナス要因となる。はじめはほとんど考

表1 DDTの特徴

	殺虫剤としての利点	長期的観点からの問題点
1	農林害虫から衛生害虫や不快害虫まで有効対象害虫のスペクトルが広く、かつ強い	益虫など生態系への影響が大きい 害虫の薬剤耐性の発達
2	効力が長期に持続する	環境中に長期にわたって残留する
3	哺乳類への急性毒性が低い	慢性毒性・蓄積性が見逃されやすい
4	粉剤、油剤、水和剤など剤型が自在で、航空散布を含め使いやすい	大量使用を促す 脂溶性のため生物体から排出されにくい
5	価格が安い	大量使用を促す
6	大量生産が可能	大量使用を促す

慮されなかったこれらのことが、その使用が拡大するにつれて顕在化していったのが、その後の20年間のことであった。

③野生生物への影響と『沈黙の春』の刊行

1950年代に入ってますます広範にDDTが使用されるにつれ、魚類や鳥類などさまざまな野生生物の大量斃死が報告されはじめ、この事態が化学物質の挙動を生態系のみで考えることを促した。大量散布といういわば実地の野外実験を通してはじめて研究が始まったといえよう。そのなかで、農薬の直接的な影響だけでなく、生物濃縮や遠距離移動のメカニズムを介して非標的生物が重大な影響を受けることが理解されはじめた。

その際立った一例は、カリフォルニア州クリア湖のカイツブリの事例である。この湖の不快害虫であった蚊を撲滅するため1949年この湖の全面にDDD(DDTの類縁化合物)油剤が散布された。湖面はボウフラの死骸で覆われ計画は成功したかに見えたが、1、2年のうちに害虫は再発生し、散布が繰り返されることになった。ところが第2回の散布以後この湖に数多く生息していた野鳥のカイツブリが激減し始めたのである。湖水には0.015ppmの濃度で散布された薬剤が死んだカイツブリの内臓脂肪組織から最高1600ppm検出された。容易に分解も排出もされない物質が食物連鎖の段階を上るにつれて生物体内に濃縮され、ついに生物の生存を害するレベルになる。とくに飢餓や育雛などのストレスのかかる時に体脂肪中に蓄積された物質が脂肪とともにいっきに体内に放出されることにより中毒がおこることが推定された。

同様の事例はオランダニレ病を媒介する蛾を駆除するために散布されたDDTによりそれが落葉→土壌→ミズミ→鳥類と移動してコマドリなどの野鳥が斃死することが報告された。1950年代後半このような事例が数多く報告されるにつれて、殺虫剤散

布を警戒する声も出始め、ロングアイランドやウィスコンシンでは散布の中止を求める訴訟が提起された。

1962年に出版されたレーチェル・カーソンの著書『沈黙の春』はこうして高まってきた心配の声と集積された事例研究を背景として書かれたものである。この本は自然界のあらゆる生物とそれらを取り巻く土壌や水や空気などすべての環境条件が網の目のようにつながりあっていることを説き、その理解の上に立って、むやみな化学物質の投入が思いもかけない帰結をもたらすものであることを説いた。この本に対して産業界の反論をはじめかまびすしい論議が巻き起こったが、ケネディ大統領はただちに科学諮問委員会に調査を命じ、委員会はまもなくこの本の警告が事実であることを確認する報告を提出した。かくして『沈黙の春』は人びとの環境に対する認識を喚起する歴史的書物となった。

1960年代はじめにはイギリスやアメリカでハヤブサなどの猛禽類が激減していることが見出された。1950年代からこれらの鳥類の繁殖力が低下し、とくに卵の殻が薄くなってきたこと、そしてその時期と地域がDDTの使用拡大と一致していることが保存されていた卵殻の調査からわかり、また卵殻の薄さが卵の内膜の残留DDT濃度と相関することもつきとめられた。さらにハトやウズラへの投与実験によって、DDTのために親鳥の肝臓におけるステロイドホルモンの代謝が異常となる結果、血中カルシウムの低下によって卵殻薄化が起こることが明らかにされた。

環境中の挙動については、1967年、PCBやDDT類がその使用地域から遠く離れた北極海のアザラシなどの体脂肪に蓄積されていることが発見され、これら有機塩素化合物が広汎な地球規模の汚染を引き起こしていることが確認された。

環境中の放射能

環境における有害物質の挙動や消長が研究された初期の重要な事例に放射性降下物(フォールアウト)の問題がある。1954年のビキニ水爆実験の被爆後、その放射能が太平洋に帯状に広がっていることが明らかになった。ビキニ事件後もり上がった原水爆禁止の世界世論にも関わらず、立て続けに行われた米ソ英仏の核実験は地球大気に放射能をまきちらした。パリー・コモナーやライナス・ポーリングらは牛乳中に含まれるストロンチウム90などの核種の危険性を指摘し、放射性降下物の脅威に対する危機感が世間に広まった。ようやく米ソ間に部分的核実験停止条約が結ばれたのは、キューバ危機後の1963年のことである。

④環境ホルモン問題へ

1972年、最初の国連特別総会「人間環境会議」がストックホルムで開催され、1970年代初期には、アメリカ合衆国の環境保護庁や日本の環境庁など先進諸国に環境行政官庁が設置されて、ようやく行政制度が整備され始めた。また、日本の四大公害訴訟判決のように遅ればせながら公害被害者が救済されるようになってきた。DDTはじめ有機塩素系や水銀系の農薬が規制され、日本ではDDT、BHCが71年に、ディルドリンが75年に、酢酸フェニル水銀が73年に登録失効した。

しかしその後も有害化学物質による汚染は、ベトナム戦争の枯れ葉作戦によるダイオキシン汚染、イタリアセベソの農薬工場爆発事故など次々と深刻な事態が発生し続けた。DDTなど残留性の強い汚染物質は数十年にわたり長く環境にとどまって生物に影響を及ぼしつづける。そして1990年代に入るころそれまで注目されてきた発ガン性のほかにあらたな有害性が見出された。動物学者のシーア・コルボーンは各地から報告される野生動物たちの性徴や繁殖の異常に関する多数の事例を研究し、DDTなどある種の化学物質がごく微量で生物の内分泌系の信号を混乱させ、それがこれらの異常を引き起こしていると推定した。この影響はヒトにも及んでいると考えられる兆候もあった。1991年ウィスコンシンのウイングスブレッド会議場に集まった科学者たちは世界に警告を発した(『奪われし未来』(1996))。

この外因性内分泌攪乱物質(いわゆる環境ホルモン)問題は、生物の発生過程の調節などに関する未知の部分が多く、精力的な研究が要請されているが、それと並行して化学物質のこの新たに見いだされた有害性を考慮した残留性有機汚染物質規制条約

(POPs条約)が採択されて2004年に発効し、当面DDTを含む(マラリア防疫用DDTは例外)12物質が規制されることになった。

3 事例2—オゾン層破壊と地球温暖化

アポロ11号の宇宙飛行士は月面に降り立った最初の人であると同時に、はるか遠方から地球を眺めた最初の人でもあった。このときから「地球」は観念ではなくなった。「宇宙船地球号」は70年代環境運動の合言葉になった。それは森林破壊や海洋汚染に見られるように環境の劣化が地球規模で起こっており、それには地球規模で対処しなければならないことが明らかになってきたからである。そのもつとも顕著なものが国境をもたない大気汚染であった。

①オゾン層破壊

オゾン層の破壊が問題となった最初は1960年代の超音速航空機(SST)計画であった。高度20kmの成層圏を飛ぶ航空機から排出される水蒸気あるいは窒素酸化物によって成層圏オゾンが破壊されることが懸念された。経済効率などの理由からアメリカは1971年にSST計画を断念したが、オゾン層破壊にはあらたな懸念要因が提出された。フロン(クロロフルオロカーボン、CFC)である。1974年モリナとローランドは成層圏に拡散したフロンが紫外線の光化学反応によって塩化物ラジカルを生成し、これによってオゾンが破壊されることを警告した(1995年度ノーベル化学賞受賞)。

揮発性、不燃性、非腐食性、安定性、無毒性等すぐれた性能を持つフロンは、1930年代に冷凍庫やエアコンの冷媒として利用されて以来、エアゾル噴射剤、発泡ポリウレタン等の発泡剤、電子部品の洗浄剤として広く使用されてきた。1974年アメリカだけで30億個のスプレー缶が出荷されたという。

成層圏オゾンが破壊されると地表に到達する紫外線量が増える。その影響はヒトや動物の皮膚ガンや眼病の増加、植物の生産量の低下等が考えられるが、それらの現象を疫学的研究によって実証することはなかなか困難である。すでに影響が出ているのかどうか、フロン規制後のオゾン層の消長の見直しなど、科学的な知見が不確実ななかで規制のための国際交渉が行われ、1985年により「オゾン層保護のためのウィーン条約」が結ばれた。

1974年当時モリナらの予測は理論的なもので

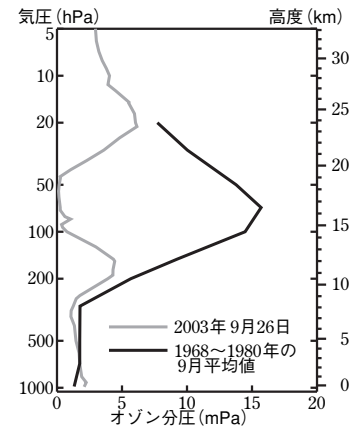


図2 南極昭和基地上空のオゾンホール(気象庁提供)

あったが、約10年後その予測は衝撃的に実証されることになった。1985年10月イギリスの南極観測基地で測定された上空オゾンの量は異常に少なく、南極上空にぽっかりと穴があいた状態であること(オゾンホール)がわかったのである。南極の春先に起こる上空オゾン濃度の低下はすでに1982年日本の基地でも気づかれていたし、アメリカの人工衛星ニンバスもそれを捕らえていたが測定エラーとして見逃されていたことがわかった。オゾンホールの認識によって具体的な規制交渉は加速され、1987年に「モントリオール議定書」が調印されて全廃への具体的なステップが決定された。これはその後の交渉で次々に前倒しされ、21世紀はじめの現在までにほぼ達成されたが、しかし地球規模に拡散した汚染はタイムラグが大きい。今年も南極上空には大きなオゾンホールが開き、オゾン層がもとどおり回復するまでには今後数十年間はかかるものと見られている。

②地球温暖化

アメリカの気象学者キーリングは1958年、都市活動の影響を受けないハワイのマウナロア山頂と南極で大気中二酸化炭素濃度の継続観測を開始し、長年月のデータによってそれがじわじわと上昇しつつあることを実証した。二酸化炭素の増加による温室効果によって地球大気温暖化が起こることは19世紀末の物理化学者アレニウスによって予測されていたが、それが地球環境にとって大きな脅威であることを世界気象機関が警告したのは1979年であった。その後1985年にはオーストリアのフィラッハに科学者の会議が召集された。

1988年は地球温暖化が国際政治の場に大きく登場した年であるといつてよい。トロントサミットに合わせて会議「変わりつつある大気 地球安全保障 についての意味」が開かれ、国連環境計画と世界気

候機関との協力でIPCC(気候変動に関する政府間パネル)が設置された。二酸化炭素排出大国アメリカも、この夏の熱波と大旱魃や気象学者ハンセンの議会証言によってこの問題に本腰を入れて取り組む姿勢を見せた。1992年のリオ地球サミット(国連特別総会)においては「気候変動枠組み条約」が採択され、97年具体的なCO₂削減目標である京都議定書が採択された。しかし、いくつか特定の用途に利用されたフロンと異なり、二酸化炭素はあらゆる人間生活と産業の基本となるエネルギー生産に伴う排出物である。その規制について世界百数十カ国の合意を形成することは至難の業である。現在にいたるも(不十分ではあるが最初の一步となる)京都議定書にすら、決定的ないくつかの排出大国が参加を拒んでいる。しかし、2001年のIPCC第三次報告書は、不確定要因は多いものの過去50年間の温暖化のほとんどが人為的原因によるものと結論した。実験もやり直しもできないこの種の問題においては科学的に不確実な点があるとも政策決定には予防原則によるべきことが現代の考え方になりつつある。

4 むすび

日本は今夏もまた暑さの記録を更新した。アメリカも日本も強いハリケーンや台風が襲われた。これらの気象現象を人為的な地球温暖化と直結させることには慎重な意見もあるが、化石燃料の燃焼から気象変化までを解明する大気科学の進展は喫緊の課題である。それと同時にこの半世紀に環境という新しい対象に取り組み始めた科学の進歩の歴史から教訓を得ることも大切であろう。化学物質の環境中の動態や生物に対する影響の研究は、ガスクロマトグラフィや質量分析などの分析機器やリモートセンシングといった手段、地球規模の物質移動を追跡する手法、生物の発生の調節のような微妙な生化学的過程の研究法や大量のデータを扱う疫学や統計学の方法の発達、また同時に、狭い意味での因果関係の証明が困難な場合の「科学的な」判断の考え方にも変更をもたらしてきた。

参考図書

レイチェル・カーソン『沈黙の春』(邦訳初版は『生と死の妙薬』1964) 新潮社(改版2004)
ポール・ブルックス『レイチェル・カーソン』新潮社(新装版2004)
G.J.マルコ『サイレント・スプリング』再訪 化学同人 1991
シェルドン・クリムスキー『ホルモン・カオス』藤原書店 2001