

NIRS-M-82

放射線医学総合研究所



890000155

放医研環境セミナーシリーズ No.18

地球環境の汚染と保全

小柳 卓 編

放射線医学総合研究所

放医研環境セミナーシリーズ No.18

地球環境の汚染と保全

小柳 卓 編

放射線医学総合研究所

Pollution and Preservation of the Earth Environment

**Proceedings of
The Eighteenth National Institute of
Radiological Sciences
Seminar on Environmental Research
Chiba, November 29 • 30, 1990**

**Edited by
T. KOYANAGI**

**March, 1992
National Institute of Radiological Sciences
Chiba, Japan**

緒 言

第18回放医研環境セミナーは日本保健物理学会との共催のもと、平成2年11月29、30の両日放医研講堂において開催された。

今回のセミナーの開催に当たり、実行委員会に課せられた課題の一つは“放医研、あるいは放射能という枠に必ずしもとらわれず、一般公害物質にも目を向けて広く地球全般の環境を主題として取り上げてはどうか”ということであった。環境放射線(能)に関しては既に過去17回のセミナーで一通りはカバーされた感もあることから、歓迎されるコメントと思われたが、いざ委員会で話し合ってみると最近の新聞に“地球環境”と言う活字が見当たらない日はない程で、オゾン層破壊、温暖化、酸性雨等々、環境汚染に関わるキーワードがいかにも多く使われているかに改めて気付かされた。それらをテーマとしてシンポジウムやセミナーも数多く開催されており、その点講師には事欠かないとしても今更セミナーを計画しても二番煎じにはならないかという心配も出た。まして放射線や放射能以外のこととなると、縁故を辿ることも決して容易ではなく、簡単と思われた講師の選択が何よりも大変な作業となった。そこで出たのがお任せ方式で、セッションをあまり細かく分けず、時間をたっぷり取った特別講演を中心にすえて内容は大部分講師にお任せするという案で、そのために大物講師にご出馬をお願いするという苦勞は余儀無くされたが、結果として一応目的は果たされたのではないかと思われる。各論に相当する三つのセッションも出来るだけ大きなテーマとし、講師には時間をかけてお話し頂くことをお願いした。先に掲げたキーワードについても一応カバーできたものと思う。そのような体裁を取った結果、最後の総合討論も従来の方式とは少し趣を異にして各演者にそれぞれまえてテーマを頂き討論材料とした。講師陣に負けず劣らず大先生方のご来聴を頂いたことも予想外の成果で討論をもちたてて頂いた。日常的にしばしば耳にしている問題であっても、改めてそれぞれの専門家にじっくりお話しを伺うことによって、いかに理解の度合いが高められるかを痛感させられた。とくに平素放射線(能)のことばかりに集中して環境研究の意義を見失いがちな研究者にとってその視野を広げる手助けになったとすれば、なにより大きな成果であったと思う。本報告書が環境問題に取り組む色々な場面で役立てられることを祈るものである。今回のセミナーの主旨に暖かい賛同を頂き、快く力を貸して下さいました講師の先生方をはじめ、関係各位のご協力に心から感謝の意を表したい。

第18回放医研環境セミナー実行委員会
委員長 小柳 卓

目 次

緒言	小柳 卓	v
座長一覧		vii
執筆者一覧		ix

特別講演－1

1 ジャーナリストから見た地球環境問題	竹内 謙	3
2 地球環境問題の現状	不破敬一郎	5

I セッション－1

I－1 温室効果の環境への影響	岡本 和人	15
I－2 酸性雨の化学と環境への影響	一國 雅巳	25

II セッション－2

農薬の環境中の動態	山田 忠男	33
-----------------	-------	----

特別講演－2

1 放射線による環境汚染と人体への影響評価	松平 寛通	43
2 最近の水質汚濁問題	梅崎 芳美	51

III セッション－3

III－1 フロンによるオゾン層の破壊	富永 健	59
III－2 重金属による環境汚染	野見山一生／野見山絃子	65

IV 総合討論

IV－1 施設従事者の被曝とそのリスク ——医療被曝と職業被曝を中心に	丸山 隆司	75
IV－2 環境汚染の人為的低減方法と内部被曝線量の軽減効果の評価	内山 正史	85
IV－3 地球とヘルストランジション	松原 純子	91
IV－4 小さな生き物から見た自然	宮下 衛	97

第18回放医研環境セミナー実行委員会委員一覧		105
------------------------------	--	-----

座長・司会一覧 (敬称略)

(所属は平成2年11月末現在)

特別講演Ⅰ-1	上田 泰 司	(放射線医学総合研究所)
特別講演Ⅰ-2	岩倉 哲 男	(放射線医学総合研究所)
セッションⅠ	大桃 洋一 郎	(放射線医学総合研究所)
セッションⅡ	長 屋 裕	(放射線医学総合研究所)
特別講演Ⅱ-1	阿 部 史 朗	(放射線医学総合研究所)
特別講演Ⅱ-2	小 林 定 喜	(放射線医学総合研究所)
セッションⅢ	花 木 昭	(放射線医学総合研究所)
総合討論	鈴 木 讓	(放射線医学総合研究所)

執筆者一覧

(50音順・所属は平成2年11月末現在)

- | | |
|---------|--------------|
| 一 國 雅 巳 | (東京工業大学) |
| 内 山 正 史 | (放射線医学総合研究所) |
| 梅 崎 芳 美 | (産業公害防止協会) |
| 岡 本 和 人 | (東京学芸大学) |
| 竹 内 謙 | (朝日新聞社) |
| 富 永 健 | (東京大学) |
| 野見山一生 | (自治医科大学) |
| 不破敬一郎 | (東京大学) |
| 松 平 寛 通 | (放射線医学総合研究所) |
| 松 原 純 子 | (東京大学) |
| 丸 山 隆 司 | (放射線医学総合研究所) |
| 宮 下 衛 | (国立環境研究所) |
| 山 田 忠 男 | (農業環境技術研究所) |

特別講演－ 1

- 1 ジャーナリストから見た地球
環境問題 竹内 謙
- 2 地球環境問題の現状 不破敬一郎

1 ジャーナリストから見た地球環境問題

竹内 謙

朝日新聞社

近年、地球の危機に対する認識が急速に高まり、環境保全が国際政治の主要な議題になった。が、論議を重ねれば重ねるほど、問題の難しさが浮き彫りになる。人類が生活の向上を求めて築き上げてきた生産、消費、開発のあり方を問い直さざるを得ないからだ。国際的な合意づくりは難航している。先進国内には、ヨーロッパを中心とする積極派と米国を中心とする消極派の争いがある。途上国は先進国の責任を追及する。ソ連・東欧は途上国並みの経済援助を求めている。三すくみ四すくみの閉塞的な状況に陥っている。

なぜ地球環境問題は浮上したのか、なぜヨーロッパは走るのか、日本は何を目指すのか、世界の合意はできるのか、ジャーナリストの視点から地球環境問題の現状を分析する。

1, 東欧で見た風景

*環境を無視した社会主義経済

*チェルノブイリの衝撃

*市民革命の背景

2, 西欧の環境ブーム

*緑の消費者革命

*サッチャー英首相の変身

*ペレストロイカと東欧改革支援

3, 急浮上した地球環境問題

*1988年の異変

*軍備から転身した米ソ

*ミッテランの思惑

4, 対立を深める論議

*ノルドベイク会議

*ホワイトハウス会議

*IPPC報告

*第2回世界気候会議

*ワシントン会議

5, 温暖化防止はできるか

- * 行動計画の思想
- * 日本の先進性と後進性
- * 第2回国連環境会議

(予稿集より)

2 地球環境問題の現状

不破 敬一郎

東京大学名誉教授

Global Environmental Problems

Keiichiro Fuwa (Prof. Emeritus, Univ. of Tokyo)

The University of Tokyo

7-3-1, *Hongo, Bunkyo-ku*, 113 *Japan*

ABSTRACT—Environmental problems of the last half of this century has become one of the big sciences which includes almost all scientific disciplines, or the environmental science. In the last several years it has developed to the global scale and particularly is called global environmental problem. The phenomena such as ozone layer depletion, CO₂ increase and the weather change, acid rain, oceanic pollutions etc, are treated as the problems of the global scale. In this article, the environmental science or the global environmental problems are discussed particularly from the view point of geochemistry, cosmochemistry, chemical pollution or the chemical substances and analytical chemistry.

近代科学のみならず、近代社会は所謂巨大科学の進展により大きな影響を受けている。第二次大戦を契機に現れた巨大科学とは、原子力・放射能；スペース科学；生命科学；環境科学；エネルギー問題；食料問題等であり、更に情報科学、コンピューターサイエンス等もあげられる。地球環境問題は最近数年間に、南極オゾンホールの出現等を含め、地球温暖化、酸性雨、海洋汚染等重大な事象として社会、国際政治の場で論ぜられ出したのであるが、基礎となる気圏、水圏、生物圏の化学的、物理的変化は、古くから存在し、研究されている分野である。

地球化学、化学物質、分析化学等の視点を採り入れて、環境科学又は地球環境問題を記述した論文「環境科学と化学」(不破：科学，60，290～294(1990)岩波書店)を以下に引用する。

化学と環境科学の関係

環境問題を対象として取り扱う環境科学(environmental science)は、学際的(interdiscipli-

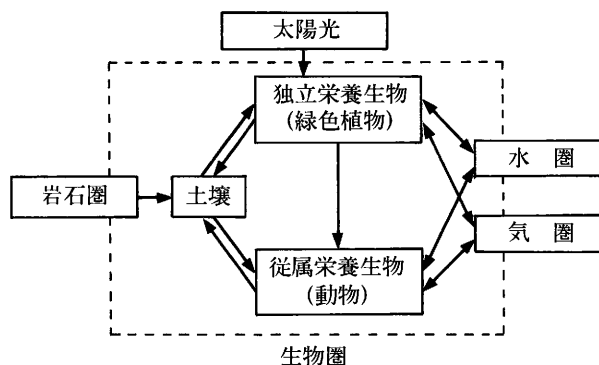


図1 地球化学における生物圏の範囲。Y. MIYAKE: Elements of Geo-chemistry, Maruzen (1965) p.434から。

表1 地球, 生命, 人間の起源

惑星地球の生成	
宇宙・元素の起源：120億年前	
定常宇宙論	ホイルの説
膨張宇宙論	ハッブルの時点, “ビッグクバン”
太陽系・地球の起源：45億年前	
宇宙塵説	カントーラプラスの星雲論
潮汐説	ビュフォンの説
生物・人間の誕生	
生命の起源：30億年前	
原始大気：CH ₄ , H ₂ , (CO ₂)など	
化学進化(Chemical Evolution)	
生物進化(Darwinian Evolution)	
人類の起源：400万年前	

nary)あるいは、多学際的(multi-disciplinary)な巨大分野であり、既存の多くの科学分野が、あるいは手段を提供し、あるいはその一部となって関与している。化学、特に地球化学はその典型的な一例である。

今世紀初頭から、F.W.クラーク、W.J.ヴェルナツキー、V.M.ゴルトシュミットらによって発展した地球化学は、地球を四つの圏に分けて取り扱っている。それは気圏(atmosphere)、水圏(hydrosphere)、岩石圏(lithosphere)、そして生物圏(biosphere)である。最後の生物圏は、前三者とやや異なり、動植物、およびそれらの生息する気圏、水圏、岩石圏を含んだ概念で(図1)、特にこの領域の地球化学を生物地球化学(biogeochemistry)と呼んでいる。環境問題においても、生物圏という言葉がしばしば用いられるように、生物地球化学と環境科学、特に環境化学とはきわめて類似した点が多い。しかし、両者の最も顕著な違いは、前者では人間に対し他の動物と異なる取扱いをしないのに対して、環境問題においては人間が他の生物と異なった扱いを受けるという点である。

環境問題を考えるにあたって、惑星地球の誕生、そして生命の誕生時のことを考えてみよう(表1)。地球の生成時における大気が、現在の酸化的状態とは異なって、メタン(CH₄)、水素(H₂)に富んだ還元的な状態であり、またある時点において、二酸化炭素(CO₂)に富んだ状態であったことは、両隣の惑星である金星、火星の現在の大気が95%以上CO₂である事実をみても想像に難くない。生命の基盤であるタンパク質、核酸の構成分子であるアミノ酸、核酸塩基が還元状態の始原大気の下で化学進化過程を通じて合成されたことも、先人の実験事実から確かなことと信じられている。したがって、地球大気の現在の状態が酸素に富んだ酸化的なものであることが、むしろ宇宙においてはユニークなのであり、光合成で生じた酸素こそが、生物活動による地球の汚染気体の最初であるという考え方もできる。しかし、環境問題においては一般動植物に対して人間活動を別扱いにするため、酸素が環境汚染気体とされていないのである。人間の特別扱いは、ユネスコのMABプロジェクトが端的に示している。MABは、Man and the Biosphereの略であり、人間を生物圏の中から取り出し、他のすべての動植物を含めた生物圏に相対するものという位置づけをしているのである。

一言でいえば、生物圏——動植物そのもののほかに、気圏、水圏の一部と岩石圏の表層部、すなわち土壌を含む——に対する人為起源の物質の化学的影響、または人間の行なう行為の物理的影響が、直接ある地域の不特定多数の人間に被害を与えた場合、これを環境問題(または公害)と称し、それをあらゆる既存科学によって研究する分野が環境科学である。地球化学は、地球4圏における元素の存在状態と、その動きを追求し、生物地球化学は、生物圏にかぎって同じ追求をする。環境科学の一分野である環境化学は、対象とする物質が人為起源の物質、すなわち合成化合物である点が大きな特色である。

環境科学の発展

環境化学を含む環境科学の起源はいつのことであろうか。これには、400万年の歴史をもつ人類が、はじめて農耕を行なって自然を改変しだしたときという説もあり、また、近代に至って産業革命の行なわれた18世紀初頭、わが国では同時代におきた足尾鉍毒事件などを起源とする説もある。しかし、より狭義な現代の環境問題を論ずる場合には、DDT、BHCなどの合成農薬が、人間の予想に反して生態系を傷つけたことを初めて広く公に警鐘を鳴らしたR.カーソン女史の不朽の名作‘Silent Spring(沈黙の春)’の出版(1962年)をその起源とするのが通例である。表2に、同書出版から今に至るまでに起こった環境問題関連事項、特にわが国に関連の深い事項を列挙しよう。

公害という言葉は、わが国独特の環境問題を表現する言葉である。1967年に“公害対策基本法”が定められ、その内容が定義づけられている。その中では七つの具体的事例が示されており、大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、悪臭の四つが化学的事象であり、残りの騒音、振動、地盤沈下の三つが物理的事象である。法的にはこれらのそれぞれの項目について、基準値を示すことを含めて法律が定められ、行政的に公害の規制が進められたのはもちろんであるが、一方

表2 わが国に関係の深い環境問題関連事項

1962	‘沈黙の春(Silent Spring)’(R.カーソン女史)
1964	国際生物学事業計画/国際学術連合会議(IBP/ICSU)
1965	Keep America Beautiful 運動(L.ジョンソン大統領夫人)
1967	公害対策基本法(厚生省)
1968	水俣病、イタイイタイ病原因認定
1969	環境問題科学委員会/国際学術連合会議(SCOPE/ICSU)
1970	“人間生存”研究課題(文部省), アメリカ環境保護局(EPA)発足
1971	環境庁発足, 人間・生物圏計画(MAB)/UNESCO
1972	国連人間環境会議, ストックホルム会議, 国連環境計画(UNEP)
1973	化学物質規制法(厚生省, 通産省)
1974	国立公害研究所発足(環境庁)
1977	環境科学特別研究(文部省)
1981	環境影響会議/MAB(東京)
1984	沿岸影響会議/MAB(東京), 湖沼法(環境庁)
1985	オゾン層保護のためのウィーン条約
1986	化学物質規制法改訂(厚生省, 通産省, 環境庁)
1987	オゾン層保護モントリオール議定書, 環境科学会, “我ら共有の未来(Our Common Future)”(G.H.ブルントランド女史)
1988	国際地圏・生物圏問題(IGBP/ICSU), “地球変容と人間活動”(HRGC)会議(UNU/IFIAS, 東京)
1989	地球環境世界会議(東京), 環境化学部会(IUPAC/ICSU)
1990	世界閉鎖性海域環境保全会議, 国際水質汚濁研究会議

科学者は、おのおのの専門分野の立場からこれらの事象と直接、間接に関連ある研究を進めた。当然、物理、化学、生物、地学、医学、工学、農学などほとんどあらゆる分野において採り上げうる問題であるため、学際的もしくは多学際的分野として、環境科学と称せられる巨大科学に自然と発展をした。

化学物質と環境問題

環境化学における研究対象物質は、社会的に問題となっていた硫黄酸化物(SO_x)、窒素、酸化物(NO_x)、浮遊粉塵(SPM)、光化学オキシダント(O₃, PAN)、一酸化炭素(CO)、あるいは重金属ならびに無機イオンを主とするカドミウム、鉛、六価クロム、ヒ素、水銀、有機水銀、シアン、有機リン、PCBなどの大気中または水中の有害物質であった。水銀とカドミウムに関しては、水俣病、イタイイタイ病という公害病との関連で、医学的、生化学的、化学的に研究が長期にわたって行なわれた。特にイタイイタイ病に関しては、厚生省に設けられた研究チームの公式の研究結果が1989年4月に発表され、カドミウムがイタイイタイ病発生の十分条件とはいえないという注目すべき見解が示されている。PCBに代表される人工の合成有機化合物に関する環境化学、毒物学などの研究は、それらの製造または輸入を取り締まる、いわゆる“化学物質規

制法”が1973年に制定されて以来、一段と社会に直結した研究課題としてさかんとなった。

“化学物質”という言葉は化学の分野で従来使用されていなかった耳新しい言葉であり、その使用に際しては注意しなければならない。法律上は定義づけられており、合成化合物、特に合成有機化合物にきわめて近い、DDTやPCBなどがこの化学物質の典型的なものであるが、よく知られている2,3,7,8-クロロダイオキシンなどはその範囲から除外される。それはこの化合物を意図的に合成して製造したのではなく、不純物として作られたり、焼却炉中で燃焼生成物としてできたものであるからで、特にこのような場合、“非意図的生成化学物質”というような呼び方がされる。

合成化合物の数は、通算で数えると1000万種近く報告されており、現在社会で用いられているものも数十万種ある。化学物質規制法では、これらの化合物の分解性、生物ひいては人間に

表3 第1種特定化学物質、第2種特定化学物質および指定化学物質の例、化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律から、1990年1月現在。

第1種特定化学物質

ポリ塩化ビフェニル(PCB)
 ポリ塩化ナフタレン(PCN, 塩素数が3以上のものにかぎる)
 ヘキサクロロベンゼン(HCB)
 アルドリン
 ディルドリン
 エンドリン
 DDT
 クロルデン類(クロルデンまたはヘプタクロル)
 ビス(トリブチルスズ)=オキシド

第2種特定化学物質

四塩化炭素
 テトラクロロエチレン
 トリクロロエチレン
 トリフェニルスズ=*N*, *N*-ジメチルジチオカルバマート
 トリフェニルスズ=フルオリド
 トリフェニルスズ=アセタート
 トリフェニルスズ=クロリド
 トリフェニルスズ=ヒドロキシド
 トリフェニルスズ脂肪酸塩(脂肪酸の炭素数が9,10または11のものにかぎる)
 トリフェニルスズ=クロロアセタート

指定化学物質

トリクロロメタン(別名クロロホルム)
 1, 2-ジクロロエタン
 4,4'-ジアミノ-3,3'-ジクロロジフェニルメタン(別名4,4'-メチレンビス(2-クロロアニリン))ほか46点

対する濃縮性，さらに毒性に基づいて分類を行なっている。使用禁止または制限をしている第一種ならびに第二種特定化学物質，それに準じる指定化学物質が実験データに基づいて定められている。国際的にも，かなり共通部分があるが，現在の時点におけるそれらの化合物名を表3に示す。今年度に入り，特定化学物質に指定された一連の有機スズ化合物は，各種船底塗料，または養殖魚用魚網塗料として，貝殻の附着防止に広く使用されている物質である。これらは各国で使用されている大変重要な物質であり，代替品の開発が求められているものである。また，表3に示された物質以外にも，多くの化学物質が環境に出まわっており，その存在，動態を知り，人体に対するリスクの評価を行なうことは，環境化学の中心的な課題である。

地球環境問題の展開

成層圏におけるオゾン層の破壊，対流圏におけるCO₂の増加，そして酸性雨の三つの事項が，地球的規模，または国際的環境問題であるといわれたしたのは昨今のことではない，1977年に”環境特別研究”が開始されてまもなく，わが国において大気中のCO₂濃度測定を行なうべきであるという話が特別研究幹部会の間で行なわれたし，成層圏オゾンの値に変化はないという報告もあった。北ヨーロッパ，北アメリカの湖に対する酸性雨の影響の顕著な話も，すでに既知の報道であった。

その後，ここ2，3年の間に急に地球規模環境問題が，社会的に取り上げられ，かつ国際政治の場において論議されるようになり，各地において会議が行なわれるようになった。その一つのきっかけとなったのは，南極におけるオゾン層の大きな減少によって起こった”オゾンホール”の出現と，その原因がフロンガスから遊離する塩素であることが，推測でなく実証されたことであったと思われる。上述の3大事項を含めて，現在考えられている地球環境問題を表4に列記する。

低温の南極渦中に生じるオゾンホールの出現については，大気の流れによって説明しようとする流体力学的な説(これは当然地球物理，気象学者の考える説である)と，フロンガス中に塩素による化学反応， $Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$ ， $ClO + O \rightarrow Cl + O_2$ によるとする化学反応説(こちらは化学者グループの考える説)の二つがあった。1987年に直接ホール中において行なわれた航空機観測によって，確かに化学反応が進行していることが証明され，それとその場を与えている力学説の両者が，いずれも必要であることがわかったのである。これが地球環境問題がさかんになる重要な端緒であった。

一方，同じ1987年に公表されたいわゆるブルントラント報告書“我ら共有の未来(Our Common Future)”は，一般的に特に温暖化問題，熱帯雨林問題などを含み，今後の地球規模環境問題に対処するにあたって，きわめて重要な文書である。1984年国連に設けられた，ノルウェー首相B.H.ブルントラント女史を座長とする環境と開発に関する世界委員会が3年かけてまとめたこの報告書の中で，キーワードといわれる“持続可能な開発(sustainable development)”の意味するところは，環境を破壊することなく，自然と共存して，子孫に至るまで持続しうる開

表4 地球環境問題関連事項。地球環境キーワード事典(環境庁(1990))参照。

成層圏オゾン層の破壊

フロンガスによるオゾン層破壊説(F.S. ROWLAND, 1974), O₃年平均1.7~3.0%減(1969~86), オゾンホール(1986), モントリオール議定書(1999年までにフロン半減)
対流圏二酸化炭素の増加, 地球温暖化

ロア山観測所において大気中CO₂の観測開始(C.D. KEELING, 1958), 温暖化問題検討会(環境庁, 1988), トロント国際会議(CO₂20%削減提案, 1988), ハーグ環境首脳会議(ハーグ宣言, 1989), 地球環境保全東京会議(1989)

CO₂濃度: 280ppm(18世紀半ば), 345ppm(1986)

温室効果気体: CO₂, CH₄, N₂O, O₃, CFC

2030年予想: 気温上昇1.5~3.5°C, 海面上昇20~110cm

酸性雨

最初の指摘: R. SMITH (1982), 国連人間環境会議においてスウェーデンが報告(1972), 酸性雨対策検討会(環境庁, 1983)

海洋汚染, 有害廃棄物越境移動

汚染物質: 赤潮, 青潮, 水銀, DDT, PCB, 油膜, TBT, ダイオキシン, 農薬, 六価クロム, カドミウム

ロンドン・ダンプング条約(1975), マルポール条約(1978), セベソ事件(1976~82), ココ事件(1986)

熱帯林の減少, 砂漠化

熱帯林の面積19億3500万ヘクタール(森林の44%, 1980)から毎年1130万ヘクタール減少(本州の半分に相当, FAO, UNEP, 1981~85), 世界自然保全戦略(IUCN, WWF, 1980)

砂漠の面積34億7500万ヘクタール(乾燥地域の79%, 1984)に加え毎年600万ヘクタール砂漠化(四国+九州に相当, 1984), 国連砂漠化防止会議(1977)

野生生物種の減少

2000年までの減少予測: 15%または300~1000万種のうち50~100万種, ラムサール条約(1971), ワシントン条約(1973), 生物圏保護地域(Biosphere Reserve, MAB/ユネスコ, 1970)

発行為ということであり, 国際問題, 特に南北問題, 開発途上国の森林問題などと深く関連して, 今後の地球規模環境問題の議論において忘れることのできない基本的な言葉である。言うはやすく, 個々の実行においては, きわめて困難を伴う内容であることも多々あることはいうまでもない。

さらに, 1989年夏に行なわれたIUPAC(純正応用国際化学連合)の事務会議において, 化学者は最近の地球環境問題にもっと目を向けるべきである, ということが合意され, environmental chemistry(環境化学)を特別部門として設置することとなったのは, 重要な決定であった。

化学分析と環境問題

分析化学は, 化学の中の最も基本的な分野である。これは化学種の定性, 定量分析を行なう

手段であって、あらゆる自然科学の中で有用な基本的方法であるから、当然環境問題の研究または解決のためにもなくてはならない基礎分野である。環境モニタリングは、環境問題解決のための最初に必要なプロセスであり、その最初のそして中心的操作が、対象とする環境中の汚染物質の化学分析であることはいうまでもない、既述した硫酸化物、窒素酸化物、重金属類、化学物質などなどが、物質種としての分析の対象種である。分析化学の手段は、昔から数多くしかも日進月歩で進んでいる。分析値の正確さ、精度の高さ、感度の高さなどがその方法の進展の目標となるが、近年いわゆる機器分析と称せられる部門の進展が特にいちじるしい、昔のビーカーと天秤を用いた古典的分析化学は、基準となる物質の標準値の決定においてももちろん有用不可欠であるが、日常の分析、殊に環境モニタリングにおける大気、水などの分析のために、できるだけ速く、容易にできる機器が開発されている。その中でも、分光学的方法は汎用性があり、原子吸光法、プラズマ発光法、ガスクロマトグラフ/質量分析法などが現在の最もすぐれた手法として、金属類、有機化合物類の分析に用いられている。

地球環境問題における観測には、やはり分光学的方法が多く用いられるが、大気の上層部や広域の観測の場合、一般の化学分析のように分析試料を採取できない場合が多い。分子種の分光学的定数を用いて計算によって観測値から濃度を求めるのであるが、例えば O_3 、 CO_2 などの化学種の量を求めるのであるから、化学分析であることに変わりはない。これはサンプリングをしない化学分析法という部門としてとらえることができる。逆にいえば、試料採取が可能な場合にも吸光値からの計算によって試料採取を行わず、いわゆる *in situ* の分析が行なえる場合もあり、このような方法の開発も可能であり、必要である。

大気、水などの流動的な試料は、ある一定時に一定点において試料採取しても、必ずしも目的とする環境のままの状態をあらわさないため、その意味からも試料採取を行わない化学分析の方が好ましいといえる。そうした新しい分析方法の開発が、将来の環境化学の一つの重要な課題であるといえるだろう。

I セッションー 1

I - 1 温室効果の環境への影響

岡本 和人

I - 2 酸性雨の化学と環境への影響

一國 雅巳

I - 1 温室効果の環境への影響

岡 本 和 人

東京学芸大学, 物理.*

Environmental Influence of the Greenhouse Effect

Kazuto Okamoto

Tokyo Gakugei University

ABSTRACT—Environmental influence of the greenhouse effect is discussed. Greenhouse gases including CO_2 have been increasing steadily. A main CO_2 source is fossil fuel burning, but, although oceans have been believed to be a main CO_2 sink, recent investigations suggest that forests may be more important. While there are still many uncertainties in theoretical calculations, particularly effects of oceans and clouds, the temperature rise by doubling of CO_2 is unlikely to be far outside the range of $3.0 \pm 1.5^\circ\text{C}$ which is frequently quoted. Observed tendencies of temperatures are mostly consistent with theoretical predictions except for marine air temperatures.

In agriculture the Great Plains in the United States is likely to suffer severe droughts because of drier climate expected from the greenhouse warming. Forests will probably be unable to follow shifts of isotherms initiated by warming. In Japan also the climate will be warmer and, while prediction of precipitation is difficult, summer will probably be drier. Strongest typhoons will be even stronger.

Radiation exposure will also change by the greenhouse warming. Exhalation rates (E) of R_n and T_n change as follows. ①Temperature rise itself increases E by about $1\%/1^\circ\text{C}$. ②Soil is exposed by melting of snow and ice, which increases E. At high latitudes this increase will be of the order of 10% when CO_2 is doubled. ③The largest factor is soil moisture, but its sign depends on locations and cannot

*現在 東洋学園大学

be predicted. However its magnitude will reach several tens to 100% and cannot be overlooked. There are two types of stratospheric ozone depletion, conventional type and ozone hole type. The stratospheric cooling expected from the increase of greenhouse gases will suppress the former and stimulate the latter. Finally the temperature rise itself is harmful for sperm. Although its magnitude is small, it is much larger than genetic effects of use of nuclear energy.

1. 温室効果気体の増加

気体の中には、可視光線のような比較的短波長の放射線には透明だが、遠赤外線のような長波長の放射線は吸収する性質のあるものがある。これらの気体により、可視光線は自由に通過するが地表からの熱線は吸収されることになり、地表の温度が上がる。これを温室効果と言い、温室効果を持つ気体を温室効果気体と呼ぶ。

主な温室効果気体の1987年の濃度(ppm)と増加率(%/y)はCO₂ 348, 0.5; CH₄ 1.7, 1.0; N₂O 0.3, 0.2; O₃ 0.02, 1 (北半球), 0 (南半球); CCl₄ 1×10⁻⁴, 1; CCl₃F(フロン11) 2.4×10⁻⁴, 4; CCl₂F₂(フロン12) 4.2×10⁻⁴, 4でありいずれも漸次増加しつつある¹⁾。

最も重要なのはやはりCO₂である。図1にハワイでの最新の測定値を示す。上下の振動は植物の光合成の四季による差を反映している。

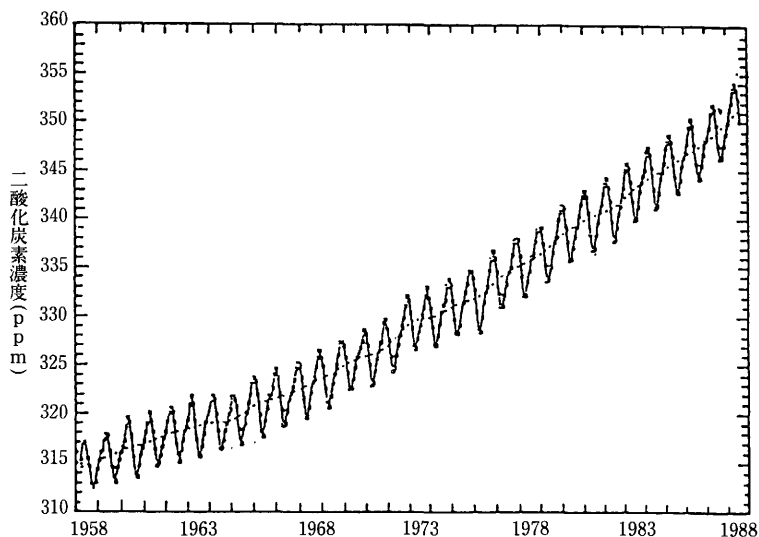


図1 ハワイでの大気中二酸化炭素濃度の経年変化。上下振動は植物の光合成の四季による変動の影響。

Annual variations of atmospheric carbon dioxide at Hawaii. Vertical oscillations are due to seasonal differences of photosynthesis of plants.

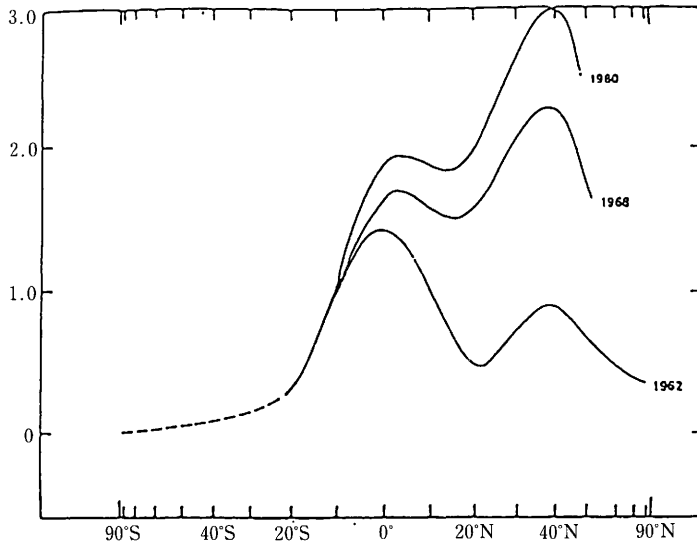


図2 炭酸ガスの緯度分布。40°N辺が年と共に高くなるのは化石燃料燃焼なら説明がつくが、森林破壊では説明困難。(赤道付近に極大があるのは、この海域からは炭酸ガスが放出されているため。)

Latitudinal distributions of CO₂. Increasing maxima around 40°N can be explained by fossil fuel burning but not by deforestation. (Maxima at the equator are due to CO₂ emission from the ocean at this region.)

CO₂増加の大部分は化石燃料の燃焼によると思われる。森林破壊が大きいという説もあるが、図2²⁾の緯度分布とその説明から分かるように、森林破壊は、少なくとも赤道地区に集中した形では起きていない。

CO₂以外では、フロンは完全に工業生産である。CH₄は大部分農業によると言われているが緯度分布を見ると北緯90°近くまで増加し続けている。これはあるいは高緯度地区でツンドラが融解し、中に埋蔵されている膨大な量のCH₄が放出され出したのではないかと疑われる。そうだとすると、放出されたCH₄によって温暖化が進み、さらにCH₄放出を促進する、という正のフィードバックとなり、事態は深刻となろう。その他の温室効果気体の発生源はよく分かっていない。

CO₂吸収源については、簡単のため化石燃料以外の発生源をゼロとすると、現在炭素換算(以下同)年約60億t放出されているがその中約58%が大気中に残り約42%(25億t)はどこかに吸収されなければならない。主な吸収源は以前は海と思われていたが³⁾、最近この説に疑問が出されるようになって来た¹⁾。

以前の計算では海表面のCO₂濃度の実測値が十分に考慮されていなかった傾向があり、それを考慮した計算では海洋による吸収は高々5～6億tである⁴⁾。最近のアメリカでの計算もほぼ同じ結論で、北半球の森林が主な吸収源ではないかという意見である⁵⁾。

一方CO₂が増加すると植物の光合成が促進され、森林のCO₂吸収も大きくなり得る。この点に

ついて東京学芸大で行った予備的な研究¹¹⁾でもこの可能性を示しているが、より詳細な研究が必要である。

CO₂以外は大部分が大気中のOHにより酸化されて消滅するが、フロンは対流圏では安定で成層圏で紫外線により分解する。このまま温室効果気体の増加が続けば来世紀前半にはCO₂換算濃度(CO₂以外の気体を温度上昇でCO₂に換算した濃度)は倍増すると予測される。

2. 温室効果気体増加による昇温の理論計算

全世界で多数の計算があるが、CO₂が倍増し、その後十分な時間が経過して地球全体が平衡状態になったときの昇温を ΔT_D とすると通常よく引用されるのは

$$\Delta T_D = 3.0 \pm 1.5^\circ\text{C} \quad (1)$$

という値である。最近の計算を表1にまとめて示す。大体において番号の多いもの程補正を多く加えている。 ΔT_D の値は大きく異なっているが、それでもおおむね(1)の範囲にはいつている。

なお、昇温によって水蒸気の蒸発が促進され、降水量が増加する。表1の ΔPr がそれで、大体数%から10%位の増加だが、昇温の値とほぼ比例している。ただし ΔT_D 、 ΔPr ともに全地球的な値で、局所的ではこれよりはるかに複雑である。

これらの計算が含む多くの不確実性中特に重大で、全世界的に議論されているのは海洋と雲の影響である。

初期の計算では大気だけを取り扱っていたので海洋の影響は入っていなかった。その後漸次に大気と海洋を結合させるモデルが現れて来た。しかし結合にもいろいろな方法があり、最初は大気と海表面だけを結合させていたが、最近では深海まで結合させたモデルも現れた。さらにCO₂の増加も、(1)式で説明したような一挙に倍増させて平衡状態になるまで待つ平衡モデルから、漸次増加させてゆくより現実的なモデルに変わりつつある。

そのようなモデルの中で現在最も詳細なものと思われるStoufferらの計算結果⁹⁾を図3に示す。これは温室効果気体がCO₂換算濃度(前節最後参照)で年1%ずつ増加して70年後に倍増した際の昇温の世界的な分布状態である。北半球のほうが昇温が大きい。これは海の面積が南半球より少ないことから来る当然の結果で、他の計算でも大体そうになっているが、(ただし最近の観測値は後述のように逆である。)この計算で独特なのは、南極付近の西経120°辺で逆に降温が生じていることである。これは海洋循環が活発化して、深海水が海表面に汲み上げられるためだという。

これは深海まで結合したため始めて出て来た結果で、学問的にも極めて興味深いのみならず、実際的にも西南極が昇温により決壊するかどうかという重大問題と関連があるので、今後より研究が行われることが望ましい。

雲の影響は、温室効果の理論計算で最も不確実性が大きく、最大の難問として世界中で議論されている。

表1 最近の温室効果の理論計算のまとめ¹⁾
Summary of recent theoretical calculations of the greenhouse effect.

実験	研究者	ΔT_D (°C)	ΔPr (%)	備考
雲量は固定 海流の熱輸送なし	1 Manabe & Stouffer (1981)	2.0	3.5	GFDL (地球流体力学研究所)/NOAA
	2 Manabe & Wetherald (1986, 88)	3.2	—	"
雲量は予報 海流の熱輸送なし	3 Schlesinger & Zhao (1988)	2.8	8	OSU (オレゴン州立大学)
	4 Schlesinger (1989)	4.4	11	"
	5 Noda & Tokioka (1989)	4.3	7	MRI (気象研究所)
	6 Washington & Meehl (1984)	3.5	7	NCAR (国立大気研究センター)
	7 Washington & Meehl (1989)	4.0	8	"
	8 Manabe & Wetherald (1986)	4.0	9	"
雲量は予報 海流の熱輸送を 与える	9 Gordon & Hunt (1989)	4.0	7	AUS/CSIRO (オーストラリア科学産業研究機関)
	10 Hansen et al. (1979)	3.9	—	GISS (ゴダード宇宙研究所)
	11 Hansen et al. (1984)	4.2	11	"
	12 Hansen et al. (1984)	4.8	13	"
	13 Manabe & Wetherald (1989)	4.0	8	GFDL/NOAA
	14 Wilson & Mitchell (1987)	5.2	15	UKMO (連合王国気象局)
	15 Mitchell & Warrilow (1987)	5.2	15	"
	16 Mitchell et al. (1989)	2.7	6	"
	17 Mitchell et al. (1989)	3.2	8	"
	18 Mitchell et al. (1989)	1.9	3	"
水平高解像度, 雲量は予報, 海流 の熱輸送を与える	19 Boer et al. (1989)	4.4	4	CCC (カナダ気候センター)
	20 Manabe & Wetherald (1989)	4.3	8	GFDL/NOAA
	21 Mitchell et al. (1989)	3.5	9	UKMO

ΔT_D : CO₂倍増による昇温

temperature rise due to CO₂ doubling.

ΔPr : CO₂倍増による降水量増加

precipitation increase due to CO₂ doubling.

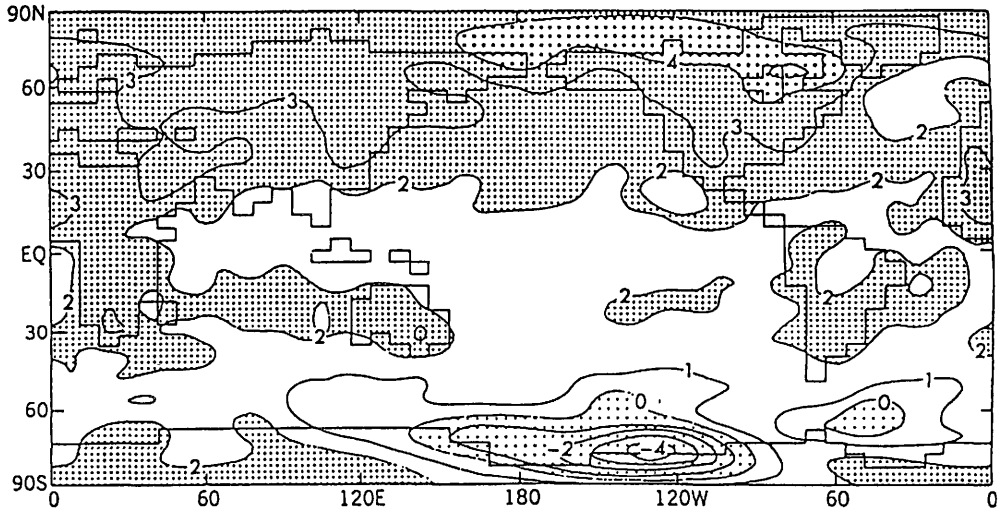


図3 大気-深海結合モデルによるCO₂倍増時の全世界の昇温分布⁶⁾

Global distributions of temperature rise by CO₂ doubling calculated by the combined atmosphere-deep-ocean model⁶⁾.

まず、雲の地球気温への影響には、太陽光線を遮る遮蔽効果(降温)と、地表からの熱線を閉じ込める温室効果(昇温)という相反する2つがあるが、最近の研究⁷⁾によれば前者が勝って降温となることが示された。

しかし絶対値はこの2効果は極めて大きく、単独ではCO₂倍増の約10倍、差し引きで約4倍となる。

温室効果との関連ではるか以前から言われていることは、昇温によって水蒸気の蒸発が盛んになるので、雲が増加して昇温を抑制しないかということである。

これについては、最近の大気大循環モデルの計算結果では、表1の第1列の説明にあるように、計算1, 2では雲量を固定しているが3~8では変動させている。そして両グループの ΔT_D を比較すると後者のほうが前者より1~2°C大きい。これは、全地球的には ΔPr の変化で示すように降水量が増加するが、高緯度に集中するため中低緯度ではかえって雲が減少するためである。しかしこれについてはまだ議論が続いている。例えばSommerville, Remer⁸⁾は雲の中の水滴が雲の反射能が増加して ΔT_D が半分くらいになる可能性を指摘した。またMitchellは氷晶まで考えるとさらに ΔT_D は小さくなることを示した(表1の15~18)。これに対しDelGenio⁹⁾は、水滴についてはSommervilleらの評価はソ連のデータを用いたもので、他の地域のデータを用いれば逆の結論となる。またMitchellらの議論も雲物理の詳細な議論からは正しくないと反論し、雲の影響は僅かに正で ΔT_D を0.5°C増加させる位だと評価している。

しかし(1)式の後でもふれたように、表1の値は1.9~5.2°Cで(1)式の範囲にほぼ収まっているので、今後の変化を考えても、(1)式の下限を大幅に下回る可能性は低いと思われる。又

CO₂以外の温室効果気体の影響を加えるとCO₂のみの場合の1.5~2倍位となると見てよいであろう。

3. 温度変化の観測値

地表面及び対流圏の温度は過去約100年大体増加している。図4に観測値を示す¹⁾。1890年頃から1940年頃まで上昇、その後1970年頃まで下降、1970年以降急上昇している。一時騒がれた地球寒冷化はこの1940~70の間の一時的傾向が誇張されたもので、全体としては温室効果の理論の予測と矛盾はない。なお成層圏気温は下降しており、これも予測と一致する¹⁾。

しかし陸上では廃熱の影響が考えられるのでその意味では海上の気温の方がよい。ところが海上気温のデータは最近では南半球の方が北半球より昇温が大きい¹⁾。これは前述の理論予測とは異なり今後の研究が必要である。

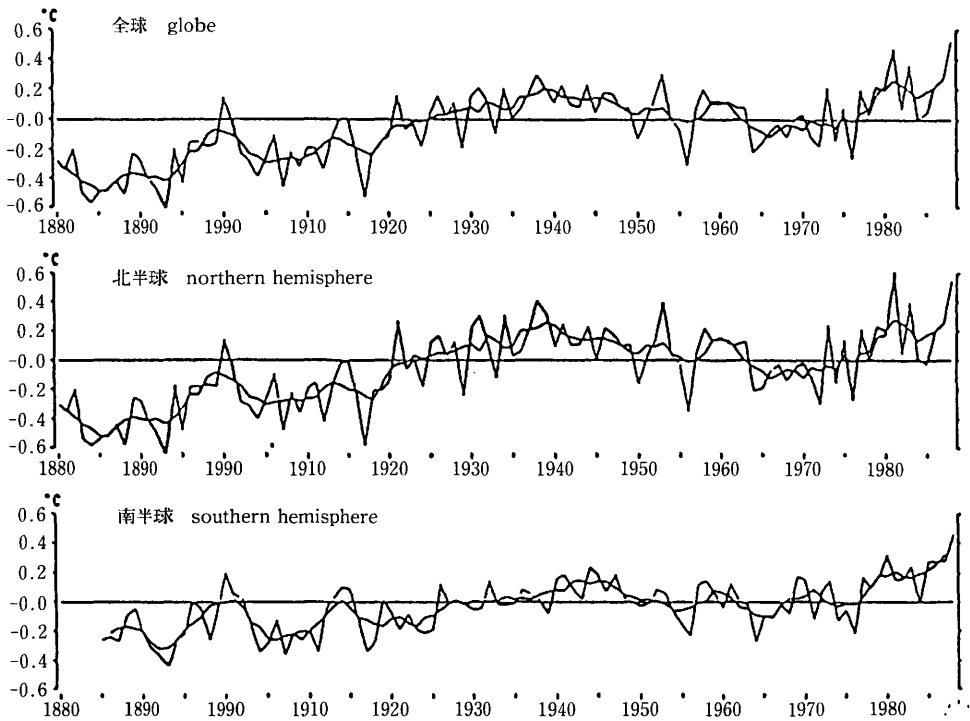


図4 全球及び南北半球平均地上気温の年平均偏差の経年変化(1880~1988年)

細線：年平均値，太線：年平均値の5年移動平均¹⁾

Observed variations of surface temperatures for 1880~1988. thin curves: annual values. thick curves: 5 year running means.

4. 環境への影響

環境への影響は、まず農業では、世界最大の穀倉地帯である米国の大平原地域は、温暖化によって夏乾燥化する可能性が極めて高く、農業生産が大打撃を受けよう。CO₂増加による光合成促進を考慮に入れても、化石燃料の大量消費が続けば悪影響が出る可能性が高い¹⁰⁾。

昇温により等温帯が高緯度に移動するので、森林も一緒に移動しなければならない。その速度が余り早いと森林について行けず大規模な枯死が生ずる可能性がある。定量的な検討の結果は、通常考えられる程度のエネルギー増加では上記の危険性は否定できない¹¹⁾。

日本の気候も温暖化するが、降水量の推定は困難である。しかし過去の気象の分析からは夏は乾燥化するようである。また台風データの統計解析の結果、台風全体としては温暖化してもさして変化はないが、日本に到達する台風中最強のものは強大化するようである¹²⁾。

5. 放射線被曝の変化

放射線被曝ではRn, Tnの放出率(E)が影響を受ける¹³⁾。これにはいろいろな異なった効果がある。

まず昇温1℃につき1%位Eが高まる¹⁴⁾。CO₂倍増による昇温は図3では北半球で2～4℃なので、Eの増加によりRn, Tnによる被曝も2～4%高まる。

高緯度では昇温による氷雪の融解により土地が露出しEが高まる。これは地域にもよるが10%程度にはなるであろう。さらに土地からのγ線被曝も高まるが¹⁵⁾、E増加の影響に較べ、局所的で絶対値も小さい。

最大の要素は土の湿度変化の影響で、これは極めて複雑である。まず放出率の土中湿度依存性が単調増大や単調減少ではなく、20～30%辺を極大として両側で減少する¹⁴⁾。また昇温による土中湿度の変化も場所によって増加したり減少したりする。従って個々の場所について検討する他はない。しかし絶対値としてはあらゆる要素中最大で、優に数10～100%に達する。Rnによる被曝は通常の被曝中最大なので、それがこれだけ変化することは放射線防護の立場からも無視できない。

また温室効果による成層圏温度低下は成層圏オゾンに影響するがこれも次に述べるように極めて複雑である。

オゾン破壊は、フロンが成層圏に上がって紫外線により分解され塩素を放出し、オゾンを破壊するのだが、詳しく言えば通常型とオゾンホール型の2種類あり、両者には成層圏寒冷化の影響が全く逆となる。

通常型では塩素は気相で放出されオゾンと反応する。気相のみが関与するので均一化学と呼ばれ、数10%に及ぶような深刻な破壊は来世紀の後半と推定される。

オゾンホール型では、冬に極地成層圏で気温が-80℃位になるとpolar stratospheric cloud (PSC)という特殊なエアロゾルが発生、その表面でフロンが反応し生じた塩素分子に日光が当

ると、塩素原子となりオゾンを破壊する。気相と固相が関与するので不均一化学と呼ばれる。この場合は効果が極めて大きく、現在でも既に数10%達する。

温室効果による成層圏寒冷化の影響は、均一化学の場合は、低温になるとオゾン生成反応は促進され破壊反応は抑制されるので全体としてオゾン破壊が抑制される。このことは以前から良く知られ、多くの論文もある¹⁶⁾。またオゾン破壊自体により成層圏温度が下がり、破壊が抑制されるので負のフィードバックとなる。

ところが不均一化学の場合は、温室効果による寒冷化でPSCが発生し易くなるので、オゾン破壊は促進される。そしてオゾン破壊自体による寒冷化でも促進されるので、正のフィードバックを持つ。最近の詳細な研究¹⁷⁾によると、均一化学では中低緯度はオゾンが減少するが高緯度は温室効果による破壊抑制が効いて逆に増加する。しかし不均一化学を入れると全緯度でオゾンが減少する。またPSC以外に、成層圏に存在する硫酸エアロゾルも不均一化学型のオゾン破壊に強く寄与することが分かった。

さらに昇温自体が精子を通じて遺伝に悪影響を及ぼす可能性もある。数値的には小さいがそれでも原子力使用の影響よりはるかに大きい¹³⁾。

参考文献

- 1) 気象庁編：温室効果気体の増加に伴う気候変化(II)。気象庁気候問題懇談会温室効果検討部会 1990。
- 2) W.A. Nierenberg, P.G. Brewer, L. Machta, W.D. Nordhaus, R.R. Revelle, T.C. Schelling, J. Smargorinsky, P.E. Waggoner and G.M. Woodwell ; Changing Climate. Report of the Carbon Dioxide Assessment Committee, National Academy of Sciences, National Academy Press, 1983.
- 3) W.S. Broecker, T. Takahashi, H.J. Simpson, and T.H. Peng : Fate of fossil fuel carbon dioxide and the global carbon budget. *Science*, **206**, 409-418, 1979.
- 4) H. Inoue and Y. Sugimura : Distribution and variations of oceanic carbon dioxide in the western Northern Pacific, eastern India, and Southern ocean south of Australia. *Tellus*, **40B**, 308-320, 1988.
- 5) P.P. Tans, I.Y. Fung, T. Takahashi ; Observational constraints on the global atmospheric CO₂ budget. *Science*, **247**, 1431-1438, 1990.
- 6) R.J. Stouffer, S. Manabe and K. Bryan ; Interhemispheric asymmetry in climate response to a gradual increase of atmospheric CO₂. *Nature*, **342**, 660-663, 1989.
- 7) V. Ramanathan, R.D. Cess, E.F. Harrison, P. Minnis, B.R. Parkstrom, E. Ahmad and D. Hartman : Cloud-radiative forcing and climate : results from the earth radiation budget experiment. *Science*, **243**, 57-63, 1989.
- 8) R.C. Somerville and L.A. Remer : Cloud optical thickness feedbacks in the CO₂ climate problem. *J. Geophys. Res.*, **89**, 9668-9672, 1984.

- 9) A. DelGenio : private communication.
- 10) K. Okamoto, T. Ogiwara, T. Yoshizumi and Y. Watanabe : Influence of the greenhouse effect on yields of wheat, soybean and corn in the United States for different energy scenarios. *Climatic Change*, **18**, 397-424, 1991.
- 11) 岡野清：温室効果の気候と生態系に及ぼす影響。修士論文(東京学芸大学に提出)1991.
- 12) 岡本和人, 瀬谷勝頼, 岡野清, 江沼直樹, 中川睦美, 吉原茂：気候影響・利用研究会報 7, 48, 1990.
- 13) K. Okamoto : Somatic and genetic effects of the increase of carbon dioxide and other trace gases in the atmosphere through changes of radon and thoron exhalation rates and other factors. *Atmos. Env.*, **24A**, 1591-1597, 1990.
- 14) E. Stranden. K.A. Kolstad and B. Lind : Radon exhalation : moisture and temperature dependence. *Health Phys.*, **47**, 480-484, 1984.
- 15) 藤元憲三：地表からの γ 線に対する雪の遮蔽効果。保健物理, 21, 3-8, 1986.
- 16) G. Brasseur and M.H. Hitchman : Stratospheric response to trace gases perturbation ; Changes in ozone and temperature. *Science*, **240**, 634-637, 1988.
- 17) G. P. Brasseur, C. Grainer and S. Walters: Future changes in stratospheric ozone and the role of heterogeneous chemistry. *Nature*, **348**, 626-628, 1990.

I - 2 酸性雨の化学と環境影響

一 國 雅 巳

Acid rain : Chemistry and environmental impacts

Masami Ichikuni

Department of Environmental Chemistry and Engineering,
Tokyo Institute of Technology
Midori-ku, Yokohama 227

ABSTRACT—The capturing of acidic aerosols by raindrops produces acid rain. Such aerosols often contain sulfuric and nitric acids of anthropogenic origin. The acids are partially neutralized with ammonia of biological origin, so that acid deposition originating from human activity can be assessed by $[H^+] + [NH_4^+]$, where the concentrations are given in mol dm^{-3} . The chemical analysis of rain-water samples showed that $[H^+] + [NH_4^+]$ is approximately equal to $2 [SO_4^{2-}] + [NO_3^-]$. Annual acid deposition rate, calculated as $H^+ + NH_4^+$, was 150 mmol m^{-2} in suburban area of Yokohama and 30 mmol m^{-2} in remote mountainous area. Worldwide acid deposition rate was estimated to be annually 10 mmol m^{-2} , based on sulfur oxide and nitrogen oxide emission data reported by UNEP. The decline of Japanese cedar forests may depend to some extent on acid deposition, but for complete understanding of this phenomenon, different environmental factors, such as oxidant concentration in the atmosphere, should also be considered. No evidence for acidification of freshwater lakes has been found in Japan. The acid-neutralizing capacity of freshwaters is due to HCO_3^- ion produced by weathering of silicate rocks and limestone. The upward movement of groundwater in soil prevents acidification of soil. The environmental problems caused by acid rain can be resolved only by reducing consumption of fossil fuels.

1. はじめに

酸性雨(acid rain)という語は、英国のSmithがManchesterとその周辺の大気汚染を研究した

ときに使用したのが最初とされている。これは1872年のことであった¹⁾。

一般に用いられている酸性雨の定義はpH5.6以下の雨である。これは正常な大気の水蒸気を飽和したときに、CO₂だけが酸として挙動すると仮定し、計算によって求めたpHに基づいている。

実際は正常な大気であっても、このほかにわずかながらH₂S、SO₂、NO、NO₂などの酸性物質を含んでいる。これらは主として土壌、底泥中の微生物活動によって生成する化合物で、大気中を浮遊している間にいつかは硫酸、硝酸となり、雨を酸性化することになる。これらの酸の寄与を考慮するとpH5.0までは正常な雨ということになる²⁾。

これらの化合物とは反対に雨のpHを高くする成分も大気中に存在する。NH₃、CaCO₃などがその例である。畑に施された窒素肥料の一部はNH₃となって大気中に放出される。窒素を含む有機物の分解によってもNH₃は発生する。温度の高い季節に雨の中のNH₄⁺の濃度が增大するが、これはNH₃の発生が微生物活動と関係していることを示している。

またCaCO₃は砂漠の土の中に普遍的に見いだされる成分で、わが国の場合は中国奥地の乾燥地帯から強風に舞い上げられ砂じんとともに運ばれてくる。春先の黄砂はその典型的な例である。このような粒子が雨に捕集されるとpHが6.0を超える雨となることもある。

雨のpHは通常4.0~6.0を示す。異常なpHをもった雨は雨量が少ないとき、あるいは降雨の初期にみられることが多い。これは初期の雨がそれまで大気中に浮遊していたエアロゾルを効率良く捕集してくるためである。このことを模式的に示したものが図1である。酸性霧は酸性雨よりも低いpHを示すことが多い。これも少量の水の中に酸性物質が濃縮されるためである。

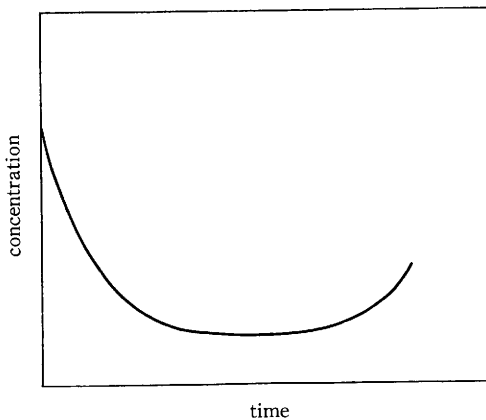


図1
模式的に示した降雨時の雨水中の溶存成分濃度の時間的变化
Schematic representation of temporal variation of dissolved constituent concentration in rainwater during rainfall event.

2. わが国における酸性雨の記録

東京の雨がpH 3~4を示すことはすでに1936年に三宅泰雄によって報告されている³⁾。これは石炭の燃焼によって発生したSO₂が原因であった。戦後しばらくは生産活動が低迷していたために酸性雨の問題は起こらなかったが、1960年代になると杉の樹勢の衰退が目立つようにな

った。ところが1970年代にはいると衰退していた杉に回復の兆しがあらわれてきた。

それにもかかわらず、大気環境の方は一向に改善されず、1973年7月には東京都調布市でpH3.0の雨が記録された。このことから杉の被害は酸性雨だけが原因ではないという考えも提出された。1989年に環境庁が発表したデータによると近年は全国的にpH4.4~5.5の雨が降っているという⁴⁾。

3. 雨の酸性化の原因

酸性雨の被害が深刻であった北米、北欧ではさまざまな角度から酸性化の原因が検討された。現在では、酸性化が化石燃料の燃焼によるものであることを疑う人はいない。石炭、石油を燃やすとその中の硫黄分はSO₂となって大気中に放出される。これが水蒸気と結合し、空気中の酸素によって酸化されると硫酸となる。

また、石炭、石油の燃焼時には当然高温となるためにN₂とO₂が反応してNOが生成する。NOは大気中に放出されるとO₂と作用してNO₂となり、これが水に溶けて硝酸となる。

硫酸の生成は硫黄分の少ない燃料を使うことで防止できるが、硝酸の生成を抑制することは困難である。このために雨の酸性化の原因物質の中で硝酸の占める割合は増大する傾向にある。

雨の酸性化が硫酸と硝酸によって起こるとすれば、雨の中のH⁺、SO₄²⁻、NO₃⁻のモル濃度の間には次の関係が成立するはずである。

$$[H^+] = 2[SO_4^{2-}] + [NO_3^-] \quad (1)$$

ここでH⁺の一部はNH₃によって中和され、NH₄⁺になっていることを考慮すれば、(1)は次のように書きかえられる。

$$[H^+] + [NH_4^+] = 2[SO_4^{2-}] + [NO_3^-] \quad (2)$$

実際はSO₄²⁻の一部は海塩起源であるから、その分の補正が必要である。通例はNa⁺のすべてが海塩起源と仮定して、海塩起源のSO₄²⁻の量を求め、全SO₄²⁻からそれを差し引いたものを(1)、(2)の関係を検討するために使用する。ただし、都市の雨であれば海塩起源のSO₄²⁻の寄与は小さく、全SO₄²⁻をそのまま用いても大きな誤差にはならない。

図2は東京工大長津田キャンパスにおいて1989年10月に採取した雨(一続きの降雨を一定雨量ごとに分取したもの)について(2)の関係が成立することを示す⁵⁾。従ってH⁺とNH₄⁺の濃度の和は人類活動によって放出された酸性物質の量を評価する尺度と考えてよい。H⁺とNH₄⁺の濃度の和の代わりに(2)の右辺を用いることもできるが、ときとして(2)の関係が成立しないことがある。それは雨が硫酸、硝酸以外の酸、例えば、塩酸、有機酸などを含むときである。このような場合を想定すれば、(2)の左辺を用いる方が安全である。

極端にpHの低い雨では非海塩起源のCl⁻の存在が認められる。このCl⁻はHClとして大気中に存在していたものらしい。その発生源としてはごみ焼却炉、海塩粒子と硫酸ミストとの反応などいろいろな可能性が示唆されているが正確なことはわかっていない。

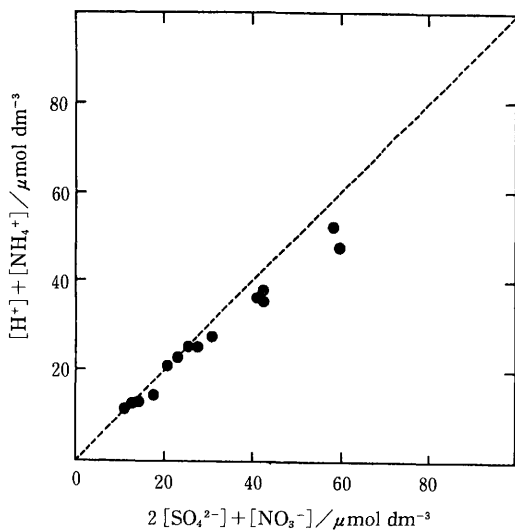


図 2

雨水中の $[\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+]$ と $2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]$ との関係。

1989年10月に東京工大長津田キャンパスで採取した雨水試料(日本化学会の許可を得て転載)

Plots of $[\text{H}^+] + [\text{NH}_4^+]$ vs. $2[\text{SO}_4^{2-}] + [\text{NO}_3^-]$ in rainwater samples collected at Nagatsuta Campus, Tokyo Institute of Technology, in October 1989 (Reproduced with permission of the Chemical Society of Japan).

4. 酸性雨の環境影響

酸性雨が原因とされる環境問題には森林枯死, 土壌の変質, 湖水・河川水の酸性化, 建造物の損壊などがある。

4.1 酸降下量

これらの被害を評価するためには雨とともに降ってくる酸性物質ばかりでなく, 雨以外の形で降ってくる酸性物質も考慮に入れなければならない。そのためには降下物全部を捕集し, 酸の全降下量を求める必要がある。

前に述べた理由で NH_4^+ も元来は酸と考え, これを H^+ に換算して H^+ の年間降下量を求めると, 横浜近郊では 150 mmol m^{-2} , 多摩川上流部でも 30 mmol m^{-2} 前後の値をとっている⁶⁾。いま pH5.0 の雨が年間 1800 mm 降ったとすると, それによって供給される H^+ の量は 20 mmol m^{-2} となる。

UNEP(国連環境計画)が1983年に発表した硫黄酸化物の年間発生量はSとして $75 \times 10^9 \text{ kg}$, 窒化酸化物の量はNとして $20 \times 10^9 \text{ kg}$ になる。これらが定量的に酸になったとすれば, H^+ として $6 \times 10^9 \text{ kg}$ が大気中に放出されたことになる。この酸が地球の表面 ($510 \times 10^6 \text{ km}^2$) に一様に降下したとすれば, その量は年間でおよそ 10 mmol m^{-2} となる。実際は酸のかなりの部分が発生源の近くに降下しているため, 局地的にはかなり酸性の強い雨が降ることになる。

4.2 杉枯れ

杉枯れの原因としては酸性雨ばかりでなく, 酸性物質を含む大気粉じん, あるいは有害なガ

ス状物質を杉の葉が捕集していることもあげなければならない。葉に付着した酸の一部は葉の表面で中和されるが、このようなことが植物にとって好ましいことであるとは思われない。

地上に降下した酸は土壌を酸性化し、ついにはAlの溶脱を引き起こす。可溶化したAlは杉の根に沈着し、植物を衰弱させてしまう。

杉の健全度は葉の繁り方で評価される。関東地方についていうならば、都心に近づくほど衰弱した杉が多くなる傾向がある。しかしながら、樹木の健全度は酸性物質の降下のほか、日照、水の供給などによっても影響されるので、樹木が衰弱したからといって直ちに酸性雨が原因と断定することはできない。現に雨のpHは横ばいであるのに、これまで衰えていた杉の枝から新芽が出て生長しつつあることは説明困難である。

わが国で大規模な森林枯死がみられないのは、硫酸化物、窒素酸化物の排出規制が効果をあげているためかもしれないが、これは雨のpHが横ばいであることと矛盾している。このような酸性物質よりもむしろオキシダントの方が有害という見解もある。これらの影響は複合的であるからどちらか一方だけのせいにするのは無理であろう。

4.3 土壌中の塩基の溶脱

酸性雨によって土壌が保持していたアルカリ金属、アルカリ土類金属が溶脱することは土壌をカラムに詰め、上から酸を注いだときにカラムから流出する溶液中に上述の金属元素が含まれていることに基づいている⁷⁾。しかしよく考えてみると酸をたえず流し続けるということは酸性雨が間断なく降り続けることを意味している。このようなことは自然界ではあり得ない。

晴天が続けば今度は地下水が毛管現象によって土壌中を上昇して行くことになる。地下水は土壌から失われたアルカリ金属、アルカリ土類金属などを補給することができる。従って土壌中の塩基が完全に溶脱されるのに要する時間は、カラム実験から予測される時間よりも長いはずである。このことはまた地下水のアルカリ度(中性に近い天然水の場合は HCO_3^- 濃度と考えてよい)にも関係した問題である。

4.4 湖水の酸性化

湖水の酸性化は酸性雨が引き起こした環境問題としては森林枯死とともに最もよく知られている。湖水の酸性化が報告された地域はいずれも年間の平均気温が低いことが共通している。

酸が湖水に流入したとしても、湖水に酸中和能力があれば急激なpHの低下は起こらない。天然水の酸中和能力はアルカリ度で評価することができる。アルカリ度はケイ酸塩岩石の風化、石灰岩の溶解などによって供給される。一般に温度の高いほどこれらの反応は速く進行し、反応生成物を溶解した地表水、あるいは地下水のアルカリ度を高めることになる。

わが国の陸地全体に降る雨の量は年間 $0.66 \times 10^{12} \text{m}^3$ と見積られている。降った雨のおよそ1/3は蒸発散によって失われるので、海に流入する河川水の全量は年間で $0.44 \times 10^{12} \text{m}^3$ となる。河川水中の HCO_3^- 濃度は $0.5 \times 10^{-3} \text{mol dm}^{-3}$ である。これだけのアルカリ度があればpH3.5

までの酸性雨は中和可能である。

わが国の湖水が酸性化しつつある証拠は今のところ見いだされていない。国内の湖沼のほとんどはpH6.5～8.0の範囲にある⁸⁾。いくつかの湖沼は酸性を示しているが、その原因は火山・温泉活動であることが多い。

北米のAdirondack山地にある湖のpHはわが国の湖沼に比較してかなり酸性側に寄っていて、湖の半数以上はpH5.5以下を示している。この場合は明らかに酸性雨の影響によるものである。

以上の事実からすれば、わが国の湖水・河川水が急激な酸性化を起こす可能性は小さいように見える。しかし事態は必ずしも楽観的ではない。淡水に酸中和能力があるといってもそれは限られている。とくに山岳地帯の湖沼の場合は溶存成分の濃度がもともと低い上に、植物の分解によって生じた高分子有機酸が含まれるために弱酸性を示すことさえある。このような湖沼は酸性雨の影響を受け易いといえる。従って、淡水酸性化の前兆を捉えるためには山岳地帯の湖沼のモニタリングが重要である。

5. おわりに

酸性雨は化石燃料の大量消費から必然的に発生してきた環境問題である。現在でも世界の人口は増加しつつあり、それに加えてだれもが生活レベルの向上を望んでいる。このために酸性物質の発生源は世界の陸地全体に広がりつつある。

化石燃料の消費量を減らすことが酸性雨の被害を軽減するための基本的方針である。これに成功すれば、二酸化炭素による地球温暖化にブレーキをかけることもできよう。しかしそれを実施することはきわめて難しい。

現在、酸性雨に関して発表される論文の数は年々増大しつつある。そのこと自体、酸性雨の問題が短期間では解決されないことを雄弁に物語っている。

参考文献

- 1) Irwin J.G., and Williams M.L.: Acid rain: Chemistry and transport. *Environ. Pollut.*, **50**, 29-59, 1988.
- 2) Charlson R.J., and Rodhe H.: Factors controlling the acidity of natural waters. *Nature*, **295**, 683-685, 1982.
- 3) 三宅泰雄: 地球化学, 朝倉書店, 1954.
- 4) 環境庁編: 環境白書(総説)(平成2年版), 大蔵省印刷局, 1990.
- 5) 一国雅巳: 酸性雨の環境化学, 化学と教育, **38**, 17-21, 1990.
- 6) 大河内博: 南関東地方における降下物の環境化学的研究, 東京工業大学修士論文, 1991.
- 7) 佐藤幸夫: 酸性雨による溶脱, 季刊化学総説, No. 4, 162-167, 1989.
- 8) 環境庁酸性雨対策検討会大気分科会: 酸性雨対策調査中間報告書, 1987.

II セッションー 2

農薬の環境中の動態

山田 忠男

農薬の環境中の動態

山田 忠男

農業環境技術研究所

Pesticides in the environment

Tadao Yamada

National Institute of Agro-Environmental Sciences

Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

ABSTRACT—In 1989, the production of pesticide formulations in Japan was totally 535 thousand tons, being 415 billion yens (Fig.1). The numbers of registered pesticides after the severe checks were 6,274 composed of 424 active ingredients. The pesticides was very useful for control of crop diseases, insect pests and weeds. The weeding labor time for paddy fields decreased to almost 6% during these 40 years owing to the herbicides (Fig.2). As shown in Table 1, the application rates of some new pesticides are lower than 100 g/ha, while higher than 100 kg/ha in case of some humigants.

Soon after the application of pesticides to paddy fields, rather higher contents of pesticides are detected in surface water from the down streams, and then, the contents rapidly decrease in general, as shown in Fig.3. The contents of an insecticide fenitrothion in soil after the aerial spray over a forest were traced during ten years (Fig.4). Two models of pesticide residue in soil are shown in Fig. 5. The microbial degradation plays an important role in soil, and are enhanced by the repeated applications in many cases. The pesticide contamination of ground water is a matter of concern. Many papers on the contamination in U.S.A., Canada, and European countries were published, but, few in Japan.

1. はじめに

ゴルフ場における農薬の使用, ポストハーベスト農薬の食品残留など, 農薬使用とそれによる環境汚染問題に対する社会的関心は極めて高い。ここでは, 農薬使用の現状と問題点, とく

に環境中の動態について若干の話題を提供したい。

2. 農薬の使用

1971年の農薬取締法の大改正などによって、農薬の登録審査が厳しくなり、DDT・BHC・PCP・パラチオン・有機水銀など戦後の食糧増産期に広く使用されて環境汚染などのために批判の対象とされた農薬は姿を消し、それに代って、厳しい審査を通った新しい農薬が使われるようになった。主要農薬の変遷は著しいが、わが国で1989年9月末現在登録されている農薬は6,274件、有効成分として424種である。工場で生産された有効成分原体、あるいはその混合物が溶媒・界面活性剤・増量剤などを加えて市販製剤とされるのであるが、製剤の生産量(図1)は53.5万トン、金額で4,150億円である⁸⁾。新農薬の開発には長い年月と莫大な経費を要するので、それに耐えられる巨大企業への集中が国際的レベルで進行し、各農薬原体はそれぞれのメーカーの独占的生産物となりつつある。

農薬が使用されるのは、その優れた効果のためである。農作物の病害虫・雑草の防除によって、省力的に安定した生産をあげることが可能になり、さらに積極的な栽培技術を組み立てることが可能になっている(図2)。登録された作物・時期・方法などにしたがって、農薬使用が適性に行なわれれば、効果とともに毒性・残留性など安全性にも十分な確認試験が行われたも

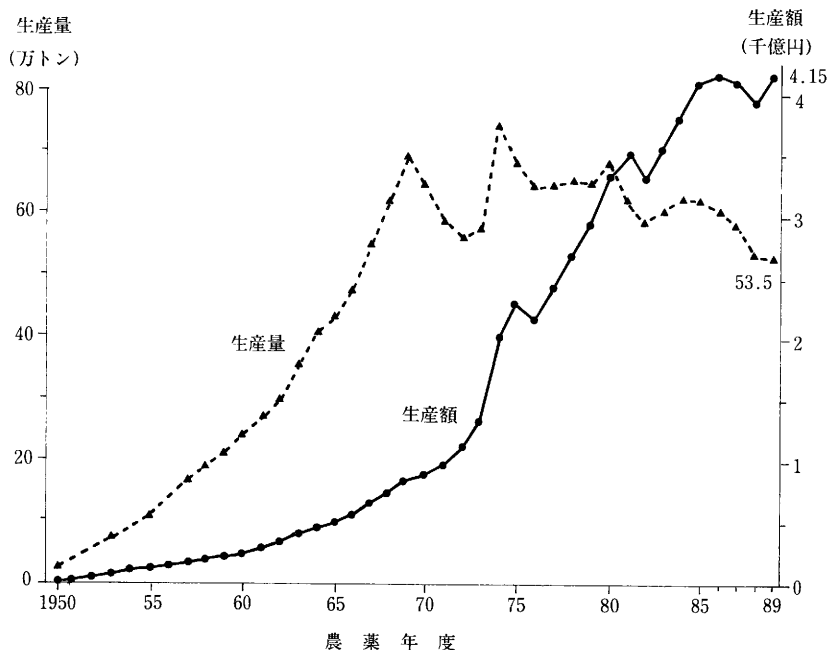


図1 わが国における農薬製剤生産の推移
(農薬のあゆみ、農薬要覧)
Production of pesticide formulations in Japan

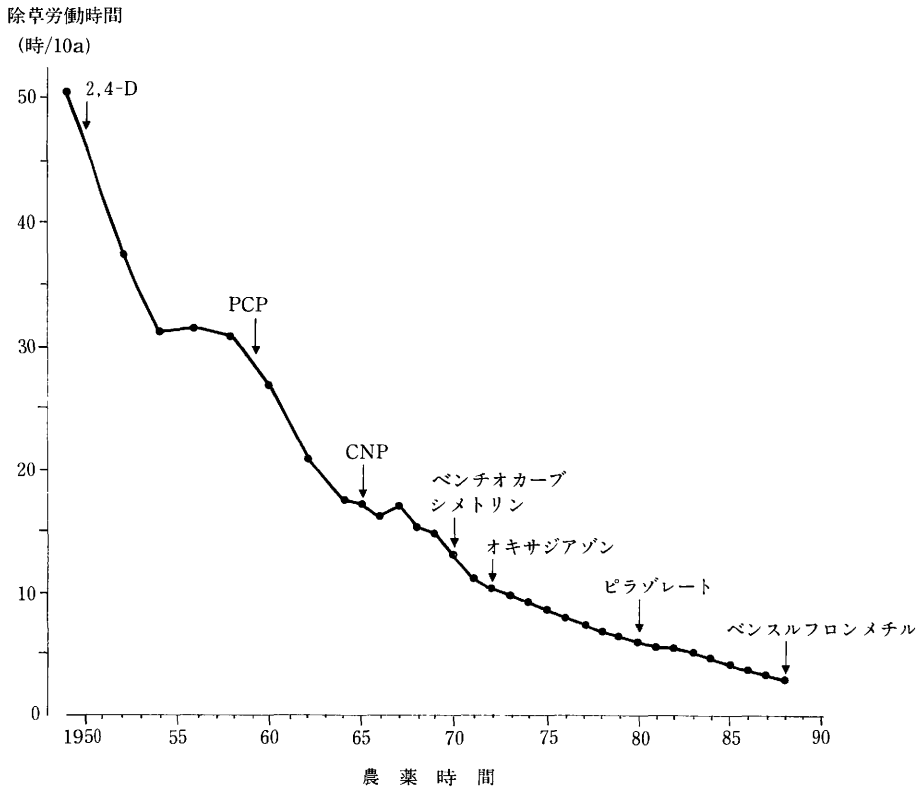


図2 水稲作における除草労働時間の年次推移
(農林水産省統計報告2-15)

Decrease of the labor time for weeding of paddy fields

のであり、大きな問題はないと考えられる。実際に農薬が広範に使用された場合には、試験段階で予期されなかった新しい環境問題の生じる事もまれには生ずるが、その対応策も速やかにとられるようになってきている。

農薬有効成分の化学構造は様々であるが、その多くは有機リン酸エステル・カーバメートなど複雑な構造の有機合成化合物で、生物に対する選択作用性を有し、環境中で比較的分解されやすい。環境中における農薬の動態を考える上で重要な物理化学性として、極性・水溶性・脂溶性・土壌吸着性・蒸気圧などがあげられる。10a当たりの農薬施用量は通常100g前後であり、最近では、スルホニル尿素系除草剤など、1gオーダーの農薬も多数開発されている(表1)。これは肥料成分が10kgのオーダーであるのと比較して極めて微量であり、農薬の環境中動態を考える上で重要な点である。しかし、土壌処理農薬では、その防除効果上げるために有効な形態で、ある程度土壌中で長く残留する必要があるが、処理量も多くなる傾向がある。とくに、くん蒸剤では肥料なみの処理量になることに留意する必要がある。

表1 単位面積当たり農薬の使用量比較
Application rates of some pesticides

		(per 10 are)	
用途	製 剤	使用量	有効成分量(g)
除草	CNP粒剤(9%)	3kg	270
	ベンゾスルフロメチル粒剤(0.17%)	3kg	5.1
	ピラゾスルフロエチル粒剤(0.07%)	3kg	2.1
	オキサジアゾン乳剤(12%)	0.6L	72
	グリホサート液剤(41%)	1L	410
	塩素酸塩水溶剤(60%)	10kg	6,000
殺虫	MEP乳剤(50%)	0.1L	50
	ダイアジノン粒剤(5%)	3-30kg	150-1,500
	カルタップ水溶剤(50%)	0.1L	50
	エトフェンプロックス粒剤(1.5%)	2.5kg	38
くん蒸	D-D剤(55%)	30L	16,500
	クロルピクリンくん蒸剤(80%)	20kg	16,000
	臭化メチルくん蒸剤(98%)	30kg	29,400
殺菌	カスガマイシン粉剤(0.2%)	3kg	6
	イソプロチオラン粉剤(2.5%)	3kg	75
	TPN粉剤(4-10%)	4-30kg	160-3,000
	PCNB粉剤(20%)	20kg	4,000

3. 環境中における農薬の動態

作物・土壌などに向けて施用された農薬は、害虫など標的生物に作用するとともに、その施用状況に応じて大気・水系・土壌など環境中に広く拡散し、光・微生物などによって分解されていく。環境中における動態は、農薬の特性と環境条件によって大きく異なり、一様でない。一般に、作物の茎葉に向けて散布された農薬の一部は、気流にのって周辺に飛散する。また、作物体に付着した直後の農薬の一部はガス化により大気中へ移行しやすく、水系にはいった農薬の一部も、水との共蒸留などにより大気中へ移行する。大気中では、太陽光による分解の役割が大きいと推定されている。

水田施用農薬では、農薬を含む田面水が河川へ流出することに伴い、水系の農薬濃度は施用時期にピークとなり、その後急速に低下がみられる。図3はその一例であり、河川水中農薬濃度の季節変化と同調した魚介類体内の農薬濃度の季節的变化も認められる⁶⁾。河川水中農薬濃度は、その流域における農薬の使用状況、地形・気象条件などにより影響される河川水の状況によって異なるが、農薬濃度と流出水量の積の総和として求められる農薬流出量、あるいは使

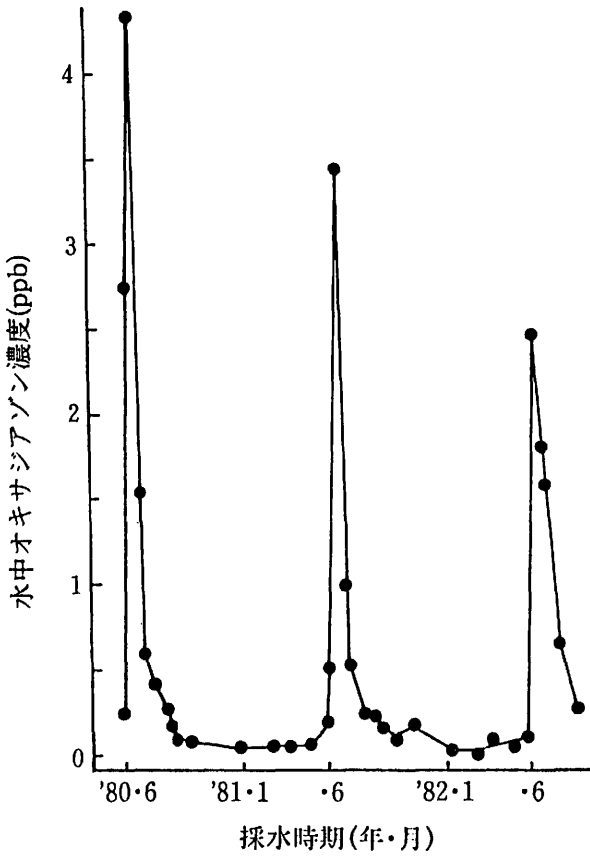


図3 水田地帯の河川水中除草剤濃度の経時変化の一事例
(今中ら：岡山県笹ヶ瀬川，オキサジアゾン)
The seasonal change of the content of a paddy herbicide oxadiazon in river water

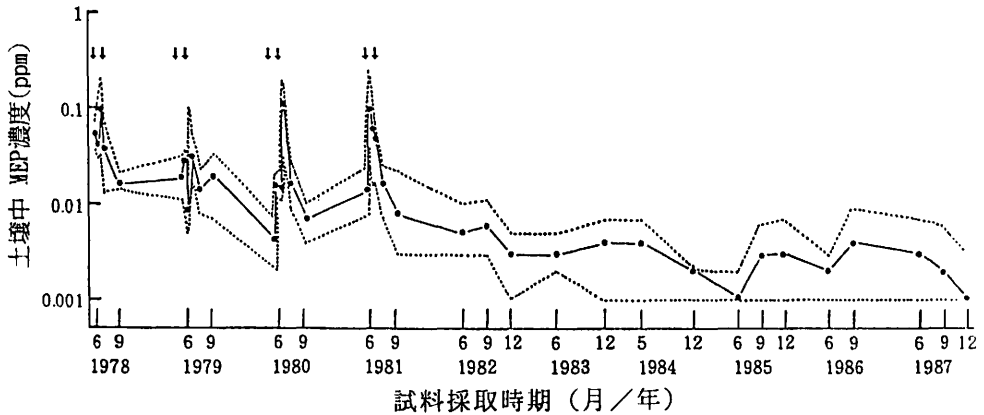


図4 松くい虫防除のため空中散布されたMEPの土壌中濃度変化(平松ら)
.....測定5地点の濃度範囲, -.-平均値
↓散布時期(年2回)

The change of fenitrothion contents in soil after the aerial spray over forest for control of pine sawyer beetles

用量に対する流出率の測定が行われている。流出率は水溶性の高い農薬ほど大きい傾向がある。一方、魚介類への濃縮比は、水溶性が低く脂溶性の高い農薬ほど大きい傾向がある。

松くい虫防除のために有機リン剤をヘリコプター散布した場合、薬剤は森林の樹木・下草に落下すると共に土壌・水系に移行し、その生態系への影響が調査されている。図4はその一事例で、土壌中のMEPの濃度変化を10年間に亘って追跡調査した結果であり、分解は比較的速いが、なかなかゼロにならないことを示している⁴⁾。

土壌中で農薬は、土壌有機物あるいは粘土鉱物などの微細粒子と、イオン結合・共有結合および種々の強さの吸着力によって結合して保持される。一般に、陽イオンは強く吸着され、陰イオンは吸着が弱い。土壌へ混入した農薬が微量であり、しかも時間を経過するに従い、農薬は土壌中の最も吸着の強い部分へ入りこみ、生物活性を示さなくなると考えられる。

土壌・水系などで農薬は、種々の微生物によって分解される。とくに、土壌中における農薬分解の主要な部分は微生物によるものと考えられている。微生物分解の速度・経路などは、水分・温度・酸素・栄養成分・その他の共存物質などの条件によって極めて多様である。一般に、同一種の農薬を繰り返し施用する事により、微生物の分解活性は高まり、獲得した分解能の遺伝性が認められる。

土壌中に混入した農薬は、初期には種々の原因によって比較的速やかに消失するが、次第に消失速度は減少する。図5は、模式的に、土壌中半減期が1年の農薬を毎年1回使用した場合の農薬残留を示したものであり、最高値が、1回使用直後の2倍に接近する(A)。しかし、微生物の分解活性が顕著に高まる場合には(B)のように速やかに消失するようになる。最近、土壌中半減期が1年以上の農薬は登録が認められていない。

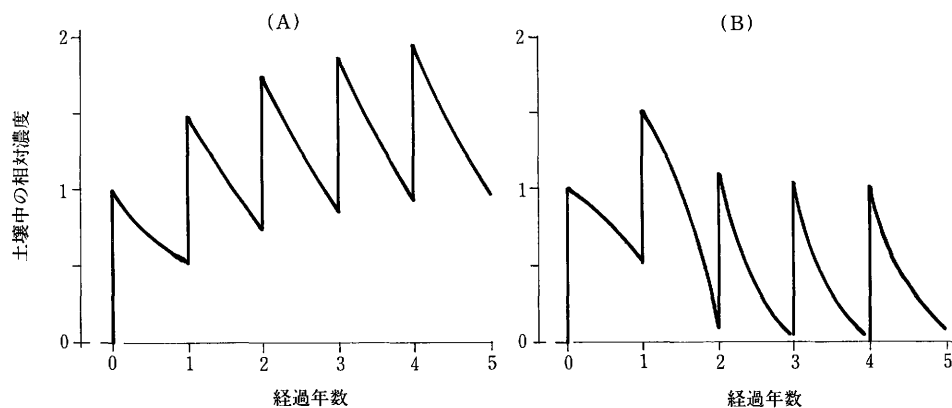


図5 農薬を毎年1回施用した場合の土壌中農薬残留模式図

(A)：半減期1年の消失速度が続く場合

(B)：微生物分解活性が顕著に高まる場合

Models of pesticide residue in soil after annual applications of a pesticide

4. 農薬による地下水汚染

最近、農薬による地下水汚染問題に関心が高くなっている。わが国ではその汚染事例報告はかならずしも多くないが、欧米では多くなっており、その研究も盛んになってきている^{1-3,5,7,9-11)}。1984年、Cohenら¹⁾は、アメリカの18州で12農薬の地下水汚染が認められた事を報告したが、その後、これらの数はかなり増している。地下水汚染は複雑でその全貌が把握しにくく、一度汚染がおこると除去されにくい。農薬による地下水汚染には二つのタイプがある。一つは、その地域の地下水にまで広く農薬が浸透し汚染を生じた場合であり、他は、何かの偶然的事故により、たまたま調査対象の井戸に農薬が混入した場合である。後者の場合には、井戸を汚染しないように、農薬散布時などの注意を喚起することによって汚染事例は減少している^{2,5)}。以下に述べるのは主として前者の場合である。

農薬による地下水汚染の起こりやすい条件として次のような点が上げられている^{1,3)}。

農薬の条件：水に溶けやすく、土壤に吸着されにくく分解しにくいこと。ほかに、揮発性、

製剤と施用形態、使用量など

土壤の条件：土性、構造、水分、微生物活性、地下水の状況、地形など

植物の条件：種類、生育、根圏

気象条件：降雨量、温度、風、光

汚染を起こした農薬の一つのグループは、EDB、DBCPなどの土壤くん蒸剤^{1,9,11)}で、これらはトリクロロエチレンなどと同じ揮発性のハロゲン化合物であり、すでに述べたように、単位面積当たりの使用量が多い。この両薬剤はすでに、使用が規制されている。aldicarbは土壌害虫や線虫の防除剤で、水に溶けやすく、その代謝物も水に溶けやすく安定であり、著しい地下水汚染の事例が報告されている^{1,3,7)}。アトラジンなどのトリアジン系除草剤は、その広範な使用のため、各地で汚染が問題にされている^{1,3,10)}。これらの土壤中の病虫害や雑草の防除剤開発の難しさがここに表れているとも言える。

5. おわりに

消費者側から安全性についての強い批判を受け、農薬関係者の努力によって、農薬は厳しく淘汰され、その内容も大きく改善されてきている。しかし、個々の事例では、試験段階で予想されなかったことが、時折生じているので、今後とも改善の努力が必要と考えられる。また、分析機器の進歩により、微量の残留農薬も検出されるようになってきた。大気・水・食品などから農薬が検出されることは、微量で毒性の点で問題が認められない場合が多いとしても、やはり好ましい事ではないので、目標値をきめて環境汚染を少なくすることが必要と考えられる。

参考文献

- 1) Cohen, S.Z., Creeger, S.M., Carsel, R.E., and Enfield, C.G. : Potential Pesticide contamination of

- groundwater from agricultural uses. ACS symposium series 259, American Chemical Society, Washington, D.C., 297-325, 1984.
- 2) Frank, R., Braun, H.E., Clegg, B.S., Ripley, B.D., and Johnson, R. : Survey of farm wells for pesticides, Ontario, Canada, 1986 and 1987. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**, 410-419, 1990.
 - 3) Garner, W.Y., Honeycutt, R.C., and Nigg, H.N. (ed.) : Evaluation of pesticides in ground water. ACS symposium series 315, American Chemical Society, Washington, D.C., 1984.
 - 4) 平松禮治, 古谷扶美枝, 榑良實, 岡日出生, 田坂美和子 : 松くい虫防除のために空中散布されたMEPの自然環境における動態。日本農薬学会誌, 15, 23-30, 1990。
 - 5) Hogmire, H.W., Weaver, J.E., and Brooks, J.L. : Survey for pesticides in wells associated with apple and peach orchards in West Virginia. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, **44**, 81-86, 1990.
 - 6) 今中雅章, 日野誠二, 松永和義, 石田立夫 : 食品中の有害化学物質に関する研究(第7報)。岡山県環境保健センター, 第7号, 153-162, 1983。
 - 7) Jones, R.L., and Marquardt, T.E. : Monitoring of aldicarb residues in Long Island, New York potable wells. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **16**, 643-647, 1987.
 - 8) 農林水産省農蚕園芸局植物防疫課監修 : 農薬要覧(1990ほか各年版)。日本植物防疫協会, 東京。
 - 9) Pignatello, J.J., and Cohen, S.Z. : Environmental chemistry of ethylene dibromide in soil and ground water. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, **112**, 1-47, 1990.
 - 10) Pionke, H.B., and Glotfelty, D.W. : Contamination of groundwater by atrazine and selected metabolites. *Chemosphere*, **21**, 813-822, 1990.
 - 11) Sun, M. : Ground water ills ; many diagnoses, few remedies. *Science*, **232**, 1490-1493, 1986.

特別講演－ 2

- 1 放射線による環境汚染と人体への
影響評価 松平 寛通
- 2 最近の水質汚濁問題 梅崎 芳美

1 放射線による環境汚染と人体への影響評価

松 平 寛 通

放射線医学研究所

Environmental Radiation Pollution and Human Health

Hiromichi Matsudaira

National Institute of Radiological Sciences

Anagawa 4-chome, 9-1, Chiba-shi 260, Japan

ABSTRACT—Reference was made to the present knowledge concerning health effects of ionizing radiation based on follow-up studies on atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki and others. Except in younger children, no evidence has been found for significant increase, in particular, of radiogenic cancers following exposure to doses below 0.2 Sv. Exposure to 1 Sv is considered to carry a risk of 5% of mortality from radiation-induced cancer.

Then, consequences of various radiation accidents with known level of environmental contamination were briefly reviewed. Among the large events thus far reported, that of Techa river in south Ural in 1949-1952 seemed to be only one in which were reported detectable late health effects with risk estimates in members of public living in the affected area.

Consequences of Chernobyl accident are being reported variously in official and unofficial documents. Except for about 200 persons who received initial acute exposure, the increased incidence of late somatic effects such as cataract of the lens of the eye, leukemia and thyroid cancer, etc has not yet been confirmed.

It is hoped that Soviet scientists may establish suitable cohorts for follow-up studies to determine to what extent the exposure experienced in Chernobyl accident may affect the human health. For this, international collaborations are under way.

Claims for increased cancer incidence or mortality in Utah following atomic weapon tests in Nevada were not confirmed. No health effects have been reported

after accidents at Windscale and Three Mile Island reactors.

The effects on natural environment including those on living organisms other than humans were discussed.

1 放射線被ばくと人体影響

放射線被ばくの形式は、外部被ばくと内部被ばく、全身被ばくと局所(部)被ばく、急性(短期)被ばくと慢性(長期)被ばくの3つに分類されるが、実際にはこれらの組み合わせあるいは混ぜ合わせの形をとる。放射線の影響は身体的(被ばくした人に現われる)と遺伝的に大別される。前者はさらに影響の現われる時期によって、急性と晩発性(白内障、白血病、がん)に分けられる。胎内(出生前)被ばくの影響(主に発生異常)は、身体的影響の特殊な場合といってよい。

放射線の影響は、被ばく形式と線量によって異なる。放影研の調査によると、初期の死(爆風、火災、多量の放射線)をまぬかれた原爆被爆生存者に増加が確認されたものは、悪性腫瘍(白血病、甲状腺癌、肺癌、多発性骨髄腫、食道癌、結腸癌、泌尿器癌)、水晶体混濁、リンパ球染色体異常、若年期の成長・発育の遅延、胎内被爆者の精神遅滞等である。増加が認められなかったものは、悪性腫瘍(慢性リンパ性白血病、骨肉腫)、悪性腫瘍を除く死亡率、心臓血管を含む加齢促進、不妊(全身被ばくで生残れる位の線量では永久不妊にはならない)、被爆者の子供の先天性奇形、死亡率はかかわる遺伝的影響等である。

2 放射線による発がんはどの位の線量からふえるか

大人の場合、白血球が一過性に減少する0.2Gy(20rad)以下の線量で、がん(悪性腫瘍)による死亡がはっきりふえたという報告はない。代表例が40年にわたる広島・長崎の調査結果で表1にしめす¹⁾。相対リスク値がはっきりと1以上になるのは、白血病でほぼ0.2Gy、ほかの癌で0.5Gyである。低線量率被ばくと考えられる診断用¹³¹I投与患者35,000人についての追跡では、平均ほぼ2 MBq(50 μ Ci)、甲状腺で0.5Gyの被ばくあった人達に甲状腺癌の増加はみとめられていない²⁾。

一方、特種例として幼児期に頭部白癩治療のためX線を受けたイスラエルの子供達27,000人(うち対照16,000人)の追跡では、平均0.09Gyで甲状腺癌が4倍(ただし、死亡はゼロ)に、ある

吸収線量(Gy)	0.01~0.05	0.06~0.09	0.10~0.19	0.20~0.49	0.50~0.99	1.0~1.9	2.0+
白血病	0.99	0.61	1.08	1.79	4.15	8.01	18.57
全癌	1.06	1.08	1.06	1.12	1.36	1.66	2.05
胃	1.06	0.93	1.05	1.16	1.28	1.29	1.73
肺	1.30	1.21	1.02	1.54	1.63	2.45	2.14
乳房(女性)	1.12	1.02	1.10	1.39	2.67	2.39	4.22
大腸	1.04	1.01	0.53	0.93	1.04	2.23	5.87

時期だけに限ると0.016Gyで乳癌が2倍にふえている³⁾。

放射線発がんには潜伏期があり、白血病では被ばく数年後、一般の癌では10年以上経過しないと増加はみられない。増加するといっても1 Gyの被ばくに対し、広島・長崎の経験から、白血病でピーク時対照の10倍(全期間で5倍)、白血病を除く全癌で40%程度である。さらに、はっきり物を言うためには30~40年の追跡が必要で、線量にもよるが数万人規模の人々を対象としなければならない。

3 環境汚染があつて実際に人体影響がみとめられた例—ウラル、テチャ河事故

南ウラルのKyshtymに核兵器工場が建設されてすぐ、1949—1952(とくに1950—1951)にわたつて、近くを流れるTecha河という小さな河に3百万Ciの放射能が放出された。その中⁹⁰Sr、⁹⁰Srが約20%、¹³⁷Csが約12%である。セシウムは沈殿物を作り河の上流にとどまったが、ストロンチウムは240kmに及ぶ下流まで流れ出た。流域には38ヶ村、28,000人の住民が居り、河の水または流域の井戸水を飲料としていた。住民の被ばくは、上流では80%が河底や周囲に沈着した放射能からの外部被ばく、下流では80%が汚染した飲料水等からの内部被ばくである。放出事故がわかってからいろいろの対策がとられた。1950年から手製のカウンタでガンマ線の線量率が、1960年頃から住民の歯などについてβ線測定が、1974年より特種な全身カウンタで⁹⁰Srと¹³⁷Csの分別測定が行なわれた。赤色骨髓ほかの線量推定は、外部被ばくに関しては、河からの距離、年齢、行動など、内部被ばくに関しては、主として⁹⁰Srの身体負荷量から行なわれた。線量は大部分放出後の5年位に蓄積され、以後ほぼ30年位までプラトーになっている。1955年チェリビヤンスクにソ連保健省生物物理研究所支所(病院をふくむ)ができ、住民の健康調査が行なわれ、1951—1981までのデータがまとめられた。対照としては、被ばくのないタタール人とバシユキール人、ロシア人2集団の3群を選んだ。

内部と外部被ばくをあわせた平均骨髓線量は、0.4Gyである。被ばくした28,000人中、30年間に37人が白血病と診断され、また27人が死亡している。死亡数が少ないのは、白血病があつてもたとえば事故死すると後者が死亡原因とされるためらしい。初期の外部被ばく線量の推定のむずかしさ、病気の診断や被ばくした人達の追跡等々にまつわる不確かさを考えると、白血病の過剰はいわゆる絶対リスクでは 10^4 人・年・Gy当たりほぼ1(広島・長崎は約3)、相対リスクでは1 Gy当たりほぼ4(広島・長崎は約5)で、低線量率、照射の値としては思ったより高い。ほかの癌、被ばく者の子孫での異常の有無、胎内被ばくの影響その他についても追跡が行なわれているが、データはまだ内部資料の段階である。なお、1957年のKyshtym事故、1967年のカラチャイ小事故では、疫学調査で有意の差がでるほど白血病ほかの病気はふえていない(コセンコ論文)。

4 チェルノブイリ事故

チェルノブイリ事故(1986年)に関しては報道が多い割に、信頼すべき論文が少ない。国連科

学委員会1988年報告, IAEA資料, IAEA-TECDOC-516 (1989), 国連科学委員会1989資料, 寺島・市川編, チェルノブイリの放射能と日本, 東海大出版会, 1989, 1990年6月の日ソセミナー資料等を総合するとおよそ次の様になるらしい。ただし, 数学にはあまり自信がない。

4.1 汚染の規模

放出された放射能は, 希ガス50MCiをふくめ, 約1億Ciで, この中30km内に約20MCi, 以遠に10~30MCi, 計50MCi (2×10^{18} Bq)が降下物となって汚染を起こした。ソ連(ウクライナ, 白ロシア, ロシア共和国)へは, 上記の約50%が降下物となって沈着した。主な核種は, ^{131}I , 17MCi (7.3ともある), ^{137}Cs ほか, 1.9MCi (初期 $^{137}\text{Cs}/^{134}\text{Cs} = 2/1$), ^{90}Sr 0.2MCiである。被ばくは, 体外被ばくと体内被ばくで, 後者は事故数ヶ月は主に ^{131}I , その後は主に ^{137}Cs による。地球的規模での人の将来にもわたる被ばく量は 6×10^5 人・Svで, 過去のすべての核実験による集団線量で表した被ばくの10%強と推定された。

放射性セシウムの降下量は, ソ連全体で1MCi, この中の多くが, チェルノブイリ附近(ウクライナ)とゴメリ附近(白ロシアほか)に降下した。高汚染地域, 40Ci/km²以上は, はじめ1000km²に及び, 11万人が移住した(汚染レベルはその後減り, 1988年では16km²)。嚴重管理地域, 15~40/km²は10,000km²に及び, ここに27.3万人が住んでおり, 事故後3年間の線量は最大0.24Sv(24rem)と推定された。 ^{137}Cs の身体負荷は1986年夏からへってきている。汚染地域, 5Ci/km²以上は, 21,000km²に及び, ここに150万人(子供16万人)が住んでいる。

これらの数字は, 多分初期のもので, 移住, 除染作業, 食品制限その他のいわゆる介入措置により, 汚染レベルや被ばく量はその後徐々に減少してきているらしい(最近の情報では屋外では多くとも毎時0.6 μ Sv, 1日1.4mrem, ^{137}Cs の身体負荷量も最高10 μ Ci位らしい)。

4.2 被ばく線量と影響

1: 事故直後消火作業等を行なった人の中, 約200人が入院し, この中28人が放射線障害で, 他の3人が別の原因で死亡した。

2: 30km内をふくめ, 初期に避難した13,500人の平均線量は0.12Sv, 12rem(3-50rem)である。プリピャチ市から最初に避難した45,000人では, 平均3.3remとかえって低い。

3: 除染作業に従事した20-45歳の20万人(60万人ともいわれる)の被ばくは, 50%が0.1-0.25Svである。

4: 汚染地域(セシウムで5Ci/km²以上)の住民の被ばくは次のようである。

^{131}I による甲状腺の被ばくは, 当時7歳以下の16万人の平均が0.7Sv(組織線量当量), 全人口150万人の平均が0.15Svと推定されている。 ^{137}Cs ほかによる全身被ばくは, 当時7歳以下の16万人および全人口170万人の平均がともに0.1Svと推定されている。これらの被ばく線量は, 1990年1月までの推定値で, 実際の線量はもっと低くなっている。

初期の入院例を除き, 被ばく線量が最も確からしいのは, 除染業者である。一般人の甲状

腺の被ばく線量や体外被ばく線量がどの位正確であるかは、不明の点もあり、再構築のためいろいろの努力がなされているが、どうであろうか。

人体影響については、確かなものは目下何もない。鉄欠乏性貧血が増加したといわれるが、食事制限による栄養不良が原因と考えられる。甲状腺疾患に関しては、地方病性甲状腺腫との鑑別が必要であり、診断上まだ問題がある。WHOやIAEA他とソ連中央政府、各共和国政府間での協力の結果、疫学調査ほか順調に進むことを希望する。

5 ウィンズケール事故(1957)

チェルノブイリと同じ黒鉛を減速材とした炉の火事による。放出された主な核種は、 ^{131}I 16,000Ci, ^{137}Cs 1,200Ci, ^{90}Sr 6 Ci, 希ガス30万Ci位である。事故の翌日より25ないし44日間、ウィンズケール炉のある海岸に沿った520km²の地域で、 ^{131}I 3700Bq/l(0.1 μCi /l)以上をふくむ牛乳の飲用を禁止した(そのため子供の甲状腺線量は1/2～1/3に減っている)。北西イングランドの ^{131}I 降下量は、0.1Ci/km²以上でおよそ150×200km位の地域に及んだ(ウィンズケールの風下3kmでは26Ci/km²)。一部の住民については、 ^{131}I の甲状腺摂取量が測定された。3km以内の住民の甲状腺線量は、大人で0.13, 10歳以下の子供で0.21Svと推定され、実測値は子供で最大0.16Svに近い。ただ、被ばくした住民の数等々を考慮すると、実際に甲状腺癌の増加が検出できるとは思えず、事実そういった報告もない。推定された集団線量(イギリス全土で2000人・Sv)から、汚染の規模はチェルノブイリ事故の1/300位である^{4,5)}。

6 ネバダ核実験(1951-1958)

ネバダでの核実験の結果近傍にもたらされた放射性降下物によって、核実験当時(1958年以前)に生まれた子供にその後白血病がふえているのではという報告がなされた。その後、ユタ州を中心として土壤中の放射能の分析が行なわれ、地球全域に及んだ核実験によるものを除いた、つまりネバダでの核実験による ^{137}Cs の降下量が算定され、1958年前の値として14-19mCi/km²と推定された。これによるユタ州70万の住民の被ばくは、平均1.2R(0.6-6R)で、降下量が高いといわれた南西ユタ州の方が平均0.86Rと、降下量が低いといわれた地域の平均1.3Rよりも低い⁶⁾。つまり、風下に当る南西ユタ州にネバダの核実験による降下物がとくに多かったという証拠はえられなかった。

この地方の住民について、全癌(1964-1980)および白血病(1955-1980)の死亡率が調べられた。全癌の死亡率は、ユタ州全体、アメリカ全土より10-40%低く、白血病は25-45%高いが、被ばく量その他から考え放射性降下物のためとは思えない⁷⁾。甲状腺腫瘍の発生率も別に調べられたが増加はみられなかった⁸⁾。

ちなみに、スリーマイル島発電所より16km以内の住民159,684人について、1975-1985年のがん発生率が調べられたが、ペンシルバニア州、アメリカ全土と比較してとくに増加していない⁹⁾。

7 生態系への影響

この問題は国連科学委員会でも目下討議中である。自然界にヒトを含めた哺乳動物よりもっと放射線高感受性の生物が存在するか、放射線・放射能による環境汚染によって特定の生態系が変化するようなことがあるか等々で、チェルノブイル事故以後問題になった。答えは目下ノ一である。一般的にいえば、哺乳動物を除く生物は放射線にはむしろ耐性である。松は植物の中では比較的高感受性であるが、枯死させるに要する線量は、ヒトの50%致死量(60日)の数倍である。メダカや金魚は、培養細胞としてみても、ヒトの数倍耐性である。自然界の生物に対しては、非イオン化放射線(紫外線)や化学物質を問題とすべきである。

8 おわりに

人に対する放射線の影響をみつけるのには、ある特定の集団(コホート)を選び、しかも適切な対照集団を設定して、数十年以上にわたる追跡調査をする必要がある。被ばく量が少なくなればなる程放射線以外の要因による影響が大きくなり、観察された事象を一義的に放射線と関連づけるのは大変むづかしくなる。幸か不幸か、放射線や放射能のレベルはごく微量まで測定できるが、そのレベルが少しかわったからといってそれが人体にすぐ悪影響をもたらすとは思えない。

参考文献

- 1) Shimizu, Y., Kato, H. and Schull, W.J. : Life span study report 11. Part 2. Cancer mortality in the years 1950-85 based on the recently revised doses (DS86). RERF TR 5-88, 1988.
- 2) Holm, L-E. et al. : Thyroid cancer after diagnostic doses of iodine-131 : A retrospective cohort study. *J. Natl Cancer Inst*, **80**, 1132-1138, 1988.
- 3) Modan, B., Chetrit, A., Alfandary, E. and Katz, L. : Increased rike of breast cancer after low-dose irradiation. *Lancet*, i, 629-631, 1989.
- 4) Baverstock, K.F. and Vennart, J. : Emergency reference levels for reactor accidents : A re-examination on the Windscale reactor accident. *Health Physics* **30**, 339-344, 1976.
- 5) Crick, M.J. and Linsley, G.S. : An assessment of the radiological impact of the Windscale reactor fire, October 1957. *Int. J. Radiat. Biol.*, **46**, 479-506, 1984.
- 6) Beck, H.L. and Krey, P.W. : Radiation exposures in Utah from Nevada nuclear tests. *Science*, **220**, 18-24, 1983.
- 7) Machado, S.G., Land, C.E. and McKay, F.W. : Cancer mortality and radioactive fallout in southwestern Utah. *Am. J. Epidemiol.*, **125**, 44-61, 1987.
- 8) Rallison, M.L., Lotz, T.M., Bishop, M., Divine, W., Haywood, K., Lyon, J.L. and Stvens, W. : Cohort study of thyroid disease near the Nevada test site : A preliminary report. *Health*

Physics, **59**, 739-746, 1990.

- 9) Hatch, M. C., Beyea, J., Nieves, J.W. and Susser, M. : Cancer near the Three Mile Island nuclear plant : Radiation emissions. *Am. J. Epidemiol.*, **132**, 397-412, 1990.

2 最近の水質汚濁問題

梅 崎 芳 美

Recent water pollution issues in Japan

Yoshimi Umezaki

Industrial Pollution Control Association of Japan

1-17-6, Ueno, Taito-ku, Tokyo, 110 Japan

ABSTRACT—The result of the water quality measurement of public water area in 1988 revealed that the non-compliance of toxic substances such as cadmium, lead, cyanide to the environmental standards was 0.02%. This figure is constant since 1985. On the contrary, the results on BOD and COD were poor, i.e., the attainment of environmental standard was 73.7% as a whole, and BOD for rivers was 73.0%, COD for lakes and seas were 43.3% and 82.7%, respectively.

Since the attainments of environmental standard on COD are low at three closed water areas, Seto Inland Sea, Tokyo Bay and Ise Bay where the total pollutant load control has been adopted, the 3rd stage total load control was recently enacted. Recently, the pollution derived from factories is remarkably improved, however that from household effluent is still serious state because of low extension of public sewerage system (about 40%, 1988).

As for marine pollution, oil-spill is most popular. Environmental survey of chemicals in sea-water, fishes and sediments carried out by Environment Agency indicates the presence of traces of PCB, pesticide, organo-tin compounds. Recently, the presence of dioxin in a pulp-mill effluent and fishes was reported.

Though acidification of lakes by acid rain is not prominent in Japan, precipitation of low pH is observed frequently.

Improvement of official water analysis methods is now in progress. It contains adoption of inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, furnace atomic absorption spectrometry both for metal elements and ion chromatography

both for simultaneous determination of inorganic anions and alkali-metal elements.

1. はじめに

最近、地球温暖化、オゾン層の破壊、酸性雨などいわゆる地球環境問題の論議が賑やかであるが、水環境に関する話題は比較的少ない。水環境は海洋汚染を除けば、本質的にローカルな問題が主であり、地球規模の話題が少ないのはむしろ当然であろう。

平成2年度環境白書には、百年河清を待つに近い閉鎖性水域や都市河川の汚濁、酸性雨による湖沼の酸性化、化学物質による地下水や海域汚染などの問題が示されている。ここではこれらの問題について考えると共に、その周辺についても触れてみたい。

2. 水質汚濁の現況

昭和63年度公共用水域水質調査結果によると、カドミウム、シアンなどの有害物質については全国5,329地点(河川3,759, 湖沼265, 海域1,305)からの166,193検体について測定されたが、水銀以外の項目の環境基準を超える検体数の割合(不適合率)は0.02%と極めて低く、この数値は昭和60年度以来不変であり、ほとんど問題はない。なかでも、シアン、有機りん、クロム(VI)、アルキル水銀及びPCBにいたっては、すべて環境基準を達成していた。また、全水銀については28,535検体が対象となったが、不適合率0%(昭和46年以来)で、これまた全く問題はない。

ところで、BOD、CODなどの生活環境項目に関しては、6,189地点で411,485検体の測定が行われた。このうち、BOD、CODの環境基準の達成率は、3,083水域(河川2,378, 湖沼120, 海域585)の全体について73.7%(前年度70.1%)であり、水域別にみると、河川73.0%(70.1%)、湖沼43.3%(43.1%)、海域82.7%(82.6%)であり、特に湖沼に於ける達成率の低さが目立っている。

これらの水域についてワースト5が毎年発表されているが、河川では不老川(埼玉県)、綾瀬川(東京都)などの都市河川、湖沼では都市近傍の手賀沼(千葉県)、児島湖(岡山県)など、また海域では東京湾、風蓮湖(北海道)などが、順位は変わっても毎年常連として顔を出している。

昭和62年度までに全窒素、全りんについて環境基準類型当てはめが行われた水域のうち42水域についての環境基準の達成状況は28.6%(前年度36.1%)で、低い値に留まっている。

このような主として有機物による汚濁のうち、工場、事業場に由来するものは排水規制の強化、モラルの向上などによって著しい改善がみられている。中でも、我が国独自の公害防止管理者制度が果たした役割は特筆されなければならない。公害防止管理者は国家試験、認定講習などでその資格を取得できるが、公害環境問題に関して十分な知識を持った管理者が環境へのインパクトの大きい特定工場に配置され、環境保全のソフト面で活躍しているのである。

調理、入浴、洗濯などに伴って排出される生活雑排水は下水道の普及率が低い(普及率=処理人口/行政人口は昭和63年度末約40%)こともあって、未処理のまま放流されることが多く、

重大な汚染源となっている。

下水道の処理人口は、近年年間200万人ずつ伸びてきているが処理施設の急速な普及は望めないで、し尿浄化槽の維持・管理の徹底、合併処理浄化槽の普及を図るほか、各家庭からの汚濁負荷を減少させる運動が環境庁を中心に展開されている。たとえば、台所の水切り用ろ紙の使用、使用済み食料油の回収利用などであり、平成2年の環境白書には「地球に優しい足元からの行動」として位置付けているいくつかの行動の一つである。また、このような趣旨を骨子とする水質汚濁防止法の改正が平成2年4月に閣議決定された。

このほか、有機汚濁源としては畜産、農地、都市雨水など点、非点の汚染源があり、いずれも特に閉鎖性水域に大きな汚濁負荷を与えるので、それぞれに対策が必要である。また、長年の水質汚濁の結果として、汚染された底質の巻き上げ、溶出による汚濁がしばしば問題化している。

内湾、湖沼などの閉鎖性水域の水質汚濁は依然として続いている。COD総量規制が適用されている3海域の環境基準達成率(COD)は瀬戸内海の81%はまずまずとして(大阪湾は67%)、東京湾63%、伊勢湾65%低い状態である。湖沼は前述のとおりわずか43%である。このため、赤潮の発生は少なくなったとはいえ、平成元年、瀬戸内海で9件、東京湾3件、伊勢湾21件が確認されている。また、東京湾、三河湾などでは貧酸素水塊の湧昇に起因する青潮の発生もみられている。

一方、湖沼ではアオコ、淡水赤潮の発生が各地で認められ、景観の悪化、水道水の異臭味などの被害が報告されている(昭和63年度、89件)

法的規制として、「水質汚濁防止法」における総量規制の導入、「瀬戸内海環境保全特別措置法」におけるりん化合物の削減指導、あるいは「湖沼水質保全特別措置法」による総合的措置が図られてきた。特に、瀬戸内海、東京湾、伊勢湾の3海域では昭和54年以来1次、2次のCOD総量規制が行われてきたが、平成2年7月、更なる削減を定めた第3次総量規制の考え方が中央公

表1 海域の水質レベル

利水目的	全窒素 (年平均, 上層)	全りん (年平均, 上層)
自然環境保全	0.2mg/l以下	0.02mg/l以下
水浴	0.2-0.4mg/l以下	0.03mg/l以下
水産	自然環境保全と環境保全の間で区分分けをする方向で検討中	
環境保全	0.6-1.0mg/l以下	0.05-0.09mg/l以下

害対策審議会から示された。また、平成2年4月、環境庁は海域のりん、窒素の利水目的別の望ましい水質レベルを取りまとめた。これを表1に示す。

海洋汚染では、平成元年における日本近海の発生件数934件のうち、約65%が油汚染で、そのほかプラスチック類の海面浮遊が多数発見されている。[1973年の船舶による汚染の防止のための国際条約に関する1978年の議定書](MARPOL73/78条約)は海洋汚染防止のための国際条約で、我が国もこの条約に加盟し海洋汚染防止の国際的協力を行っている。

3. 水環境に関する二、三の話題

(1) 有機すず化合物など

現在、製造、流通している化学物質は数万点に及ぶといわれているが、これらが環境に与えるインパクトは重大である。環境庁では環境残留性の高い物質を中心に環境調査を行っているが、昭和63年度調査では、既に製造が中止されているPCB、DDT、ディルドリンなどが魚介類から高い濃度で検出されており、汚染された環境の回復が容易ではないことが分かる。

また、船舶、漁網の防汚剤として使用されているトリブチルスズ化合物については昭和61年度から魚介類調査が行われているが、平成元年度までの結果では状況は横這いであり、直ちに危険な状況とはいえないものの、十分な監視と対策が必要である。トリフェニルスズ化合物についても昭和63年度調査では底質、魚類について、検出頻度はそれぞれ99/129,118/144、平均値はそれぞれ0.048ppm、0.39ppmであり、同様な状況にある。これを受けて、平成2年1月ビス(トリブチルスズ)オキシド(TOBO)を第1種特定化学物質(難分解性、高蓄積性で慢性毒性を有する化学物質で許可外製造や輸入が禁止)に、トリフェニルスズ化合物7種類を第2種特定化学物質(難分解性で慢性毒性を有するが高蓄積性を有しない化学物質で、必要に応じて製造及び輸入量の規制が行われる)に指定した。

一方、最強の毒物とされるダイオキシン類に関する調査では、人の健康に影響を及ぼさない程度の低濃度のものが底質、魚介類から検出されている。最近、製紙工場の排水からダイオキシン類が検出され、これは塩素漂白の過程でリグニンなどの有機物との反応に由来するものと考えられ、現在漂白工程の見直しが行われている。

(2) 有機塩素化合物

発がんの可能性があると言われるトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンなどによる地下水汚染状況調査が行われているが、昭和63年度調査では、これまでの未調査地域で水道水暫定基準を越えて汚染された井戸が、トリクロロエチレンで2.0%(62年度2.9%)テトラクロロエチレン4.3%(4.8%)、1,1,1-トリクロロエタン0.2%(0.2%)の割合で検出され、前二者の有害物質としての排水規制、及び地下浸透規制が平成元年10月から開始された。これらの、地下浸透は禁止されるが、これらを含めた有害物質の定量限界に関して極めて厳しい数値が示されている。

なお、3種類のジクロロエチレン(1,1-, cis, trans)の検出率も高くWHOの飲料水ガイドライン、EPAの飲料水基準値を超えるものも散見される。これらは、トリクロロエチレンが地中で生物的に分解して生成した可能性が高いとみられる。

(3) 酸性雨

酸性雨は主として化石燃料の燃焼によって生成する硫黄化合物や窒素化合物などによって生成するpH5.6以下の雨と定義されている。これらの大気汚染物質は長距離移動をするので国境を越えた環境問題として注目されている。ヨーロッパ、北米において森林被害が重大化しているが、そのほか北ヨーロッパにおいて湖沼の酸性化が伝えられ、ノルウェー南部の湖沼ではその70%が酸性化し、魚の数は減少し、既に絶滅した湖もあるといわれている。

我が国では、昭和58年から5ヵ年計画で実施された酸性雨に関する調査結果を取りまとめられている。日本では年平均値でpH4.4-5.5程度の雨が観測されており、特に冬期日本海側では硫酸イオンが多く測定されている。

我が国では湖沼の酸性化、生態系への影響はまだ顕在化していないが、十分な警戒が必要なことは言うまでもない。

(4) 水質計測

工場・事業場の排水、公共用水域の水の試験は主としてJIS K0102「工場排水試験方法」に基づく環境庁告示の方法で行われているが、分析法の進歩を反映すべく、JIS法の見直しが進行中である。

平成元年度に問題点の摘出を行い、これに基づいて平成2年度JIS K0101「工業用水試験方法」の改正作業が行われている。このJISはかなりの部分がJIS K0102と重複しているので、次に行われる予定の「工場排水試験方法」を予測することができる。

大きな改正点としては次のものが考えられる。

a. 誘導結合プラズマ(ICP)発光分析法の採用

この方法は多元同時分析法として有力なもので、Cu、Pb、Zn、Cdなど10数元素の定量にこの方法が採用されており、内標準として、発光強度が大きいイットリウムを用いている。また、アメリカでは水道水、環境水、排水、下水などを対象に25成分に対してこの方法が適用されている。

ICP法における検出限界は原子吸光法のそれと同等以上である。(特に、フレイム中で安定酸化物を生成するものに対しては有利)。装置はやや高価であるが、かなり普及してきており、環境庁でも水質試験への適用性について検討を既に行っている。

b. フレイムレス原子吸光法

黒鉛炉やメタル炉(W, Mo, Taなど)などを用いて原子化を行うファーネス原子吸光法が、その著しい高感度のゆえに注目されてから久しい。JIS K0221(原子吸光分析のための通則)にも

この方法が採択され、電気加熱方式として記載されている。しかし、この方法では、共存成分の影響が大きいことが問題である。その対策として、目的成分を事前に分離する方法のほか、炉内に適当な試薬を添加して、干渉成分を系外に揮散させたり、目的成分を安定化させる方法、すなわち、Matrix modificationが用いられる。例えば、Cd(硫酸アンモニウム)、Pb(リン酸アンモニウム)、Pb, Mn, Sn(アスコルビン酸)、As, Se(Ni塩)などである(カッコ内はmodifier)。最近、硝酸パラジウム(及び硝酸マグネシウム)が汎用modifierとして注目されている。また、海水の塩化ナトリウムを揮散させるのに硝酸アンモニウムが用いられる。

一方、メタル炉はタングステン(m.p.3382°C)、タンタル(m.p.2850°C)、モリブデン(m.p.2622°C)などの高融点金属製のボートやフィラメントに少量の試料を添加し、アルゴン-水素混合気流中で電氣的加熱により原子を生成させ、原子吸光法によって微量金属類を定量するものである。黒鉛炉と異なって、炉材中への試料の浸透がなく、再現性が良いこと、炉の寿命が長いこと、消費電力が少ないことなどの特徴がある。反面、炉材と目的成分との組み合わせに制限があり、十分な検討が必要である。

c. イオンクロマトグラフ法

低交換容量のイオン交換樹脂を用いる一種の高速液体クロマトグラフ法である。無機陰イオン類を同時に定量出来るのが魅力である。比較的綺麗な水が対象となる。

なお、アルカリ金属類、アンモニアに対しても容易に適用できるほか、有機イオン、重金属への応用も開発されている。

d. 水質自動監視

公共用水域の常時監視は都道府県知事、政令市長が行うことになっているが、この監視体制の強化を図るために、水質監視の自動化が進められている。

昭和63年度末現在、都道府県、政令市の160個所に水質自動監視測定器が設置され、環境庁はその助成を行っている。また、建設省では、一級河川の主要水域で63年度までに、65水系、127箇所に水質自動監視測定器を設置し、そのうち106箇所はテレメーター化を図っている。環境庁では、全りん、全窒素測定 of 自動化を推進している。

III セッションー 3

III-1 フロンによるオゾン層の破壊
富永 健

III-2 重金属による環境汚染
野見山一生／野見山紘子

III－1 フロンによるオゾン層の破壊

富 永 健
東京大学理学部

Stratospheric Ozone Depletion by Chlorofluorocarbons

Takeshi Tominaga

Department of Chemistry, Faculty of Science, The University of Tokyo

ABSTRACT—A great concern has been expressed for the stratospheric ozone depletion by chlorofluorocarbons since the first warning in 1974. In fact, the predicted ozone loss has now been observed globally ; dramatic destruction of the ozone layer has been observed particularly in the stratosphere over Antarctica (ozone hole). Chlorofluorocarbons (CFC-11, 12 and 113) with very long atmospheric lifetimes are responsible for the stratospheric ozone depletion and global warming as they accumulate in the atmosphere. The atmospheric concentrations of the chlorofluorocarbons have been increasing steadily both in the northern and the southern hemisphere. The vertical profiles of chlorofluorocarbons measured by balloon sampling reflect their UV photolysis in the stratosphere. The mechanisms of the stratospheric ozone depletion through chlorine-catalyzed reactions and the Antarctic ozone hole formation through ice-catalyzed reactions are discussed briefly. The environmental impact of chlorofluorocarbons and the current state of countermeasures for the ozone layer protection are also reviewed in this article.

クロロフルオロカーボン(わが国では特定フロンとよばれている)は、現代生活を支える化学物質として不可欠なものであり、洗浄溶媒、冷媒、発泡剤、エアロゾル噴射剤などに広く用いられている。しかし、この物質が成層圏のオゾン層を破壊し、地球環境に重大な影響を及ぼす恐れがあることが明らかとなり、すでにオゾン層保護のための国際的な規制が行われるに至った。

フロンによる成層圏のオゾン破壊の可能性が指摘されたのは、十数年前のことである。オゾン層は、生物に有害な紫外線(UV-B)を吸収して地上の生命を保護するとともに、成層圏の熱源としてその温度構造を保つ働きをしている。1974年、F.S. Rowlandらは、対流圏では化学的にきわめて安定なクロロフルオロメタンが成層圏に達すると、紫外線で分解されて生じた塩素原子がオゾンと連鎖的に反応し、オゾン層を破壊するとの予測を発表したが¹⁾、その後の観測や地上の実験によってこの予測は今日ではほぼ実証されたといつてよい。さらに、ここ数年来南極上空のオゾンホールや、地球全域にわたるオゾン量の減少などが観測され、予言は現実となったのである。

オゾン層破壊によって、地上では有害紫外線の強度が増えるため、人間では皮膚がんや白内障の増加、免疫力の低下などさまざまな障害が発生し、また農作物の収量・品質の低下、動植物の生態系への悪影響なども予想される。成層圏の温度の低下によって気候変動が起こる可能性があり、また、対流圏でのフロンの増加は二酸化炭素などと同様に温室効果による地球温暖化を促進することになる。

大気中のフロンと成層圏のオゾン層破壊

成層圏オゾンを破壊する特定フロンは、フロン11(CCl_3F)、フロン12(CCl_2F_2)およびフロン113($\text{CCl}_2\text{FCClF}_2$)が主なもので、このほか量は少ないがフロン114($\text{CClF}_2\text{CClF}_2$)、フロン115(CClF_2CF_3)などがある。これらは対流圏ではきわめて壊れにくく、大気中での寿命は数十年ないし数百年である。世界で毎年生産されるフロンは100万トンを超えるが、わが国は十数万トンに達し、特に洗浄溶媒用のフロン113の使用量が多いのが特徴である。これまでに大気中に放出されたフロンの総量は2000万トンに達するが、その大部分はまだ対流圏を漂っており、成層圏に流れこんだものはまだ1割程度に過ぎない。

われわれは1979年以来大気中のフロン、ハロカーボンなどの微量成分気体の精密分析を続けてきたが、その結果によれば、南北両半球の大気中のフロン11やフロン12の平均濃度は、年々

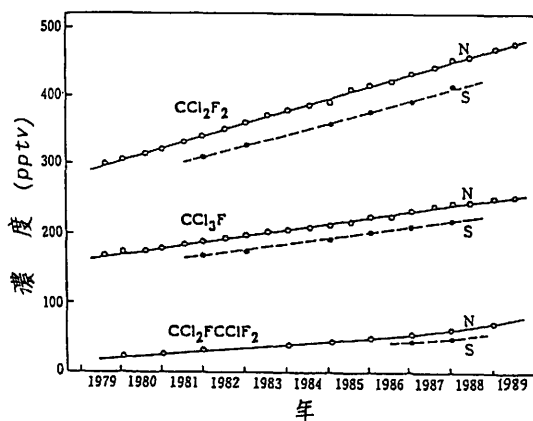


図 1

北半球(N)及び南半球(S)の大気中における主なフロン濃度の経年変化(1979-1989)。Surface level atmospheric concentrations of major chlorofluorocarbons in the northern hemisphere (N) and the southern hemisphere (S) for period 1979-1989.

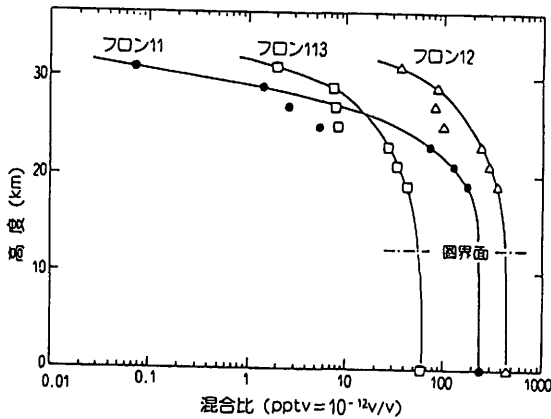


図 2

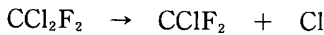
三陸上空成層圏におけるフロンの高度分布 (1988年5月)。

Vertical profiles of chlorofluorocarbons in the stratosphere over Sanriku in May 1988.

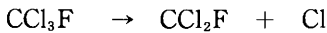
約4%ずつ増加している。フロン113はさらに急速で、毎年10~20%ずつ増加し続けている(図1)。フロン以外にも成層圏オゾン破壊物質とされている四塩化炭素(CCl₄)やメチルクロロホルム(CH₃CCl₃)が毎年1~3%の割合で増加する傾向が認められる²⁻⁴⁾。

対流圏に蓄積したフロンは徐々に成層圏に到達し、成層圏上部の強力な紫外線によって分解され、塩素原子を放出する。三陸沖における大気球による観測でも、フロンの³実際に成層圏に達し、光分解が起きていることが明らかである(図2)³⁻⁵⁾。

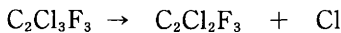
UV



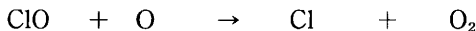
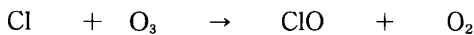
UV



UV



また、光分解が起こりやすいフロンほど、成層圏での濃度が高度によって急激に減少する傾向を示すこともわかる。フロンから放出された塩素原子によるオゾン破壊は連鎖反応的に進み、塩素原子1個が平均数万個のオゾン分子を分解すると見積られている。



塩素、オゾンをはじめ成層圏の種々な微量化学種の間で起こる多数の化学反応を組み込んだモデルによって、将来の全地球オゾン量の変化が理論的に予測できる。1974年にRowlandはオゾン減少が最終的には10%近くなることをすでに予言したが、その後もさまざまなフロン等の放出シナリオに対してモデルによる理論的予測が試みられてきた。モントリオール議定書の現行のフロン規制スケジュールはこのような予測に基づいて策定されたのである。その後、これまでの世界のオゾン長期観測データを再評価したNASAオゾン・トレンズ・パネルの報告(1988年)などによって、過去10~20年間に、地球全域にわたってオゾン量は自然の変動を差し引いて

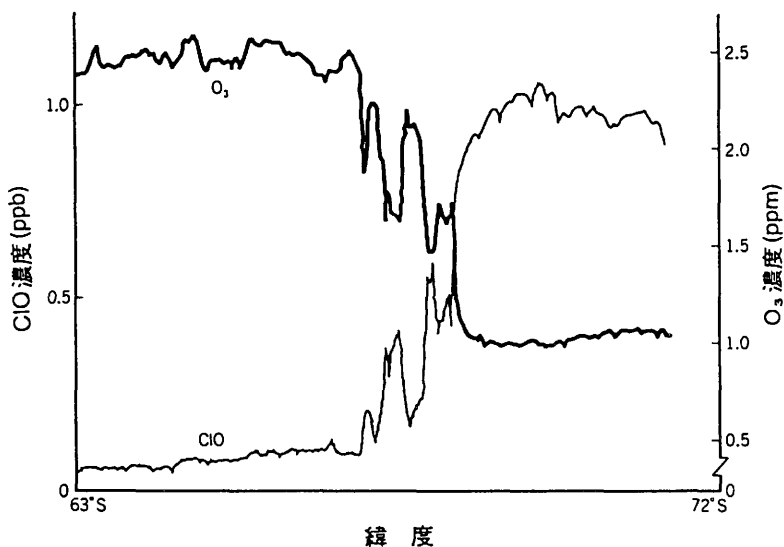


図3 ER-2機による南極域成層圏のCIO及びO₃の同時観測(1987年9月16日)⁷⁾。
Simultaneously observed CIO and O₃ in the stratosphere over Antarctica, by the ER-2 aircraft (September 16, 1987)⁷⁾.

もすでに2～3%も実際に減少していることが明らかになった⁶⁾。

南極では、1980年代になって成層圏オゾン全量が毎年春先に異常に減少する現象が見出され、これはオゾンホールとよばれている。南極域での大規模な科学的調査の結果、オゾンホールの主な成因がフロンからの塩素であることがわかった。航空機による成層圏の大気成分の測定によって、オゾンホール内では、オゾン全量が急減すると同時に、一酸化塩素(CIO)濃度が急増することがみとめられたのである(図3)⁷⁾。冬の南極の大気は極渦のため孤立し、成層圏の温度は-90℃付近まで低下するため、水蒸気などが凍結した微粒子の雲(極域成層圏雲)が発生する。この雲の表面で起こる不均一反応によって、ほとんどの塩素は、オゾンと反応しやすい活性塩素化学種となり、オゾン破壊が異常に促進されるものと考えられる。さらに、北極域での観測によれば、小規模なオゾンホールが短期間ではあるが出現し、一酸化塩素濃度が異常に高いなど、南極オゾンホール出現直前によく似た化学的な状況にあることが報告されている。

オゾン層保護への対応策

フロンによる成層圏オゾン層破壊のメカニズムが科学的に解明されるとともに、米国や北欧などでは、すでに1978年頃からスプレーなどへの使用が禁止された。その後、国連環境計画(UNEP)が中心となって国際的なオゾン層保護対策が検討され、1985年にオゾン層保護のためのウィーン条約、つづいて1987年には具体的なフロン規制の内容を示したモントリオール議定書が定められた。現行のモントリオール議定書のスケジュールは、フロン11、フロン12、フロン113、フロン114、およびフロン115の5種類の特定フロンの生産・消費量を1989年から段階的

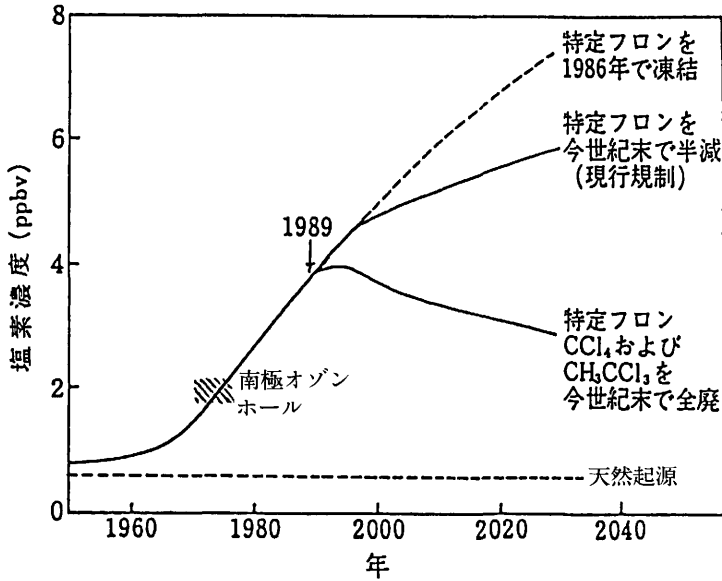


図4 大気中の全有機塩素濃度の経年変化と規制による今後の予測

Calculated future organochlorine concentrations in the atmosphere according to controlled emission levels.

に規制し、1998年には1986年水準の50%まで削減することになっている。けれども、オゾン・トレンズ・パネルや、南極、北極の科学的調査は、オゾン層の現状がモントリオール議定書策定当時よりもさらに悪化していることを明らかにした。

図4のように、大気中のフロンなどオゾン層破壊物質の全塩素濃度は、現行規制スケジュールにしたがってフロンの放出量を今世紀末までに半減させても、依然として増え続け、21世紀には現在の2倍に達するものと予想される。これら原因物質の濃度増加をおさえて、オゾン層の状態を少なくともオゾンホール出現以前に回復させるには、特定フロンなどのオゾン層破壊物質の全面規制が必要なが明らかである。1960年6月の締約国会議(ロンドン)で大幅な規制強化を目指したモントリオール議定書の改正案が採択され、特定フロンの今世紀末での全廃や、規制対象物質の拡大が図られることになったのは、このような厳しい状況をふまえたものである。この改正案では、特定フロンやハロン(臭素を含む)の他に四塩化炭素やメチルクロロホルムなどが新たにオゾン層破壊物質として加えられ、いずれ全廃されることになった。

フロンは現代文明で重要な役割を果しているため、その全廃にあたっては、代替物質(塩素や臭素を含まないか、または大気中の寿命が数年程度で長すぎない物質)や代替技術の開発が不可欠である。すでにフロン系の代替物質として有望なものが見出されており、プラントでの生産が開始されているものもある。しかし、環境保全および省資源の見地からは、かりに代替品が開発されても、排出抑制や回収・再利用を推進し、これまでのような人工物質の大気中への無制限の排出は避けねばならない。また、開発途上国の多くはまだ国際的なフロン規制に加わっ

ていないが³、地球環境の保護は、世界のすべての国が協力しなければ十分な効果が期待できないので、途上国への科学的知見の普及、技術移転や財政的な援助によって参加を促進することが重要である。議定書の改正案には、途上国におけるフロン等規制対策の実施のための先進国の援助がもりこまれた。

このようにフロンによる成層圏オゾン破壊は、代表的な地球規模の環境問題であり、従来の地域的な公害問題とは全く性格が異っている。すなわち、発生源がどこであっても、影響は国境をこえて地球全体に及び、また影響が発現するのにも、原因が除かれた後回復するのにも、100年もかかる超長期的な問題である。また、被害が発生してから原因を探索するのではなく、原因とメカニズムははじめから明らかになっている。したがって地球環境問題では、将来起こり得べき環境破壊と影響を予測して予防的に対応することが重要であり、そのために国際協力が不可欠なのである。

参考文献

- 1) Molina, M.J., Rowland, F.S. ; Stratospheric sink for chlorofluoromethanes-chlorine atom catalysed destruction of ozone. *Nature* **249**, 810-812 (1974).
- 2) Makide, Y., Yokohata, A., Kubo, Y., Tominaga, T. ; Atmospheric concentrations of halocarbons in Japan in 1979-1986. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **60**, 571-574 (1987).
- 3) 富永 健, 卷出義紘, Rowland, F.S. : 「フロンー地球を蝕む物質」東京大学出版会(1990).
- 4) 富永 健, 卷出義紘, 日本化学会誌, 1991, 351-357.
- 5) Makide, Y., Yokohata, A., Tominaga, T., Honda, H., Kubo, H., Itoh, T. : Vertical profiles of CCl_3F , CCl_2F_2 , and CH_4 in the stratosphere and troposphere over Japan as observed by balloon grab-sampling and by gas-chromatographic analysis. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **60**, 1540-1542 (1987).
- 6) Present State of Knowledge of the Upper Atmosphere 1988 : An Assessment Report, NASA Reference Publication (1988).
- 7) Anderson, J.G., Brune, W.H., Proffitt, M.H. : Ozone destruction by chlorine radicals within the antarctic vortex : the spatial and temporal evolution of $\text{ClO}-\text{O}_3$ anticorrelation based on in situ ER-2 data. *J. Geophys. Res.* **94**, 11, 465-11, 479, 1989.

III-2 重金属による環境汚染

野見山一生／野見山紘子

自治医科大学衛生学教室

Health Effect Episodes by Environmental Pollution with Heavy Metals

Kazuo Nomiya and Hiroko Nomiya

Jichi Medical school,

Tochigi-Ken 329-04, Japan

ABSTRACT—Dietary intake of methylmercury through fish induced an endemic of serious neurological disorders in Minamata area in 1956. Methylmercury was found to be emitted from a factory. Minamata disease were endemic again in another area of Niigata after 9 years. Total number of the patients were 2,920 by the end 1989. Cadmium, which were eliminated from a mine, induced Itai-Itai (Ouch-Ouch) disease in Toyama area. This episode triggered to perform a large scale health effect investigation in Japan, which revealed some renal tubular dysfunctions but not any Itai-Itai disease in other areas contaminated with cadmium than Toyama area. Total number of patients were 128 by the end 1989. Arsenic intoxication was found in 1971 for the first time among people lived closed to arsenic mines. Patients were 161 in total by the end 1989.

Local environment had been contaminated with mercurials or metallic mercury in batteries or fluorescent lamps and those emitted from factories, but no health effects have not been detected so far. Organic lead, especially used as anti-knocking agent, polluted air especially in metropolitan areas, but the pollution has been improved by the use of lead-free gasoline since 1974. Drinking water was contaminated with chromium accidentally flowed from plating factories, but no serious health effects have not been found so far. Copper eliminated from mines contaminated paddy soil and induced poor harvest, but not health effects. Beryllium polluted neighbourhood through dirty clothes of workers or wheels of trucks, but not induced "neighbour disease" in Japan. Organic tin has polluted sea water,

but the contamination of Japan sea-water is not so serious as completely to stop the production and usage.

1 メチル水銀

1) 健康影響(水俣病)

昭和31年4月21日、5歳の女の子が歩行障害、言語障害、狂吠状態で熊本県水俣市のある病院に受診した。その後、同様の症状を呈する患者が多発していることを知った病院長は水俣保健所に「原因不明の中枢神経疾患が多発している」と報告した。これが水俣病発見の糸口となった。

水俣病患者では知覚障害、視野狭窄、構音障害、運動失調、聴力障害、振戦などの中枢神経症状が高率にみられる。また、母親の胎内で多量のメチル水銀にばく露した小児に同様の症状を示す胎児性水俣病が発生している。この病気が「水俣湾内ならびに周辺の海域の住民、ことに魚介類を多食する人達に多発する有機水銀中毒である」ことが熊本大学医学部の研究グループの努力によって明らかにされたのは昭和34年のことである。水俣市に所在するチッ素肥料製造工場のアセトアルデヒド生産工程からメチル水銀が水俣湾に流出し、湾内の水生動物体内で生物学的濃縮した。これらメチル水銀を含む魚介類を摂取した漁民ならびにその家族が中毒したものである。その後の調査で、水俣湾域のみならず鹿児島県を含む周辺の海域にも水俣病が発生していることが明らかとなった。これまで水俣病と認定された患者は2,230名(平成2年3月現在)であるが、未処分の申請者も多く、その認定業務の促進が最大の課題となっている。

新潟県阿賀野川流域の漁民に水俣病と類似した神経疾患が見出されたのは昭和40年のことである。河口から65kmも上流にあるチッ素肥料製造工場のアセトアルデヒド生産工程から流出したメチル水銀が原因物質であることが判明した。これまでに認定された阿賀野川流域の水俣病の患者数は690名である。

2) 環境汚染

日本から米国に輸出したマグロのカン詰からメチル水銀が検出され、さらに、人為的な水銀汚染とは全く無縁のインド洋で捕獲したマグロからも高濃度のメチル水銀が検出されるに至って、「水俣病恐怖症」が日本内外に蔓延し、米国は日本製のマグロの罐詰の輸入を制限するに至った。

極く微量であってもメチル水銀を継続的に食すれば水俣病になるのだろうか。経口的に摂取されたメチル水銀の80%が消化管で吸収され、主として、腎と脳に蓄積する。脳での生物学的半減期(生体に蓄積された重金属が排泄されて半分に減少する期間で、蓄積の推定にも用いられる)は70日と短い。体内蓄積量が100mgになると水俣病が起るので、以上の数値を代入して一日摂取量を計算すると1mgとなる。安全を見込んだ無作用レベルは0.1mgで、一日摂取量がこれ以下であればメチル水銀中毒にはならない。そこで、厚生省は、メチル水銀の一週間許容摂

取量は0.17mg, 汚染食品のアクション・レベルは0.4 μ g/gという指導基準を設けている。

インド洋に出漁している漁民は高濃度のメチル水銀を含むマグロを多食しているのにメチル水銀中毒が発症しない。その後の研究によって、マグロに含まれるセレンは分子1対1でメチル水銀を解毒していたためであることも分ってきている。

3) 環境汚染の改善

暫定除去基準を越え、除去の必要がある水域は全国で42水域あったが、有害物質を含む底質を除去し、水俣湾を除き全ての対策は終了している。

2 水銀

1) 健康影響

温度計、体温計、気圧計、血圧計、アマルガム、塩素アルカリなどの製造従事者は金属水銀、殺菌剤、水銀蓄電池、皮なめし、水銀灯、農薬などの製造従事者は無機水銀にばく露している。

金属水銀の腸管吸収率は0.01%と極めて低く、殆んどは肺から吸収される。高濃度の金属水銀にばく露するとびらん性気管支炎や間質性肺炎を起す。また、少しずつ吸収された金属水銀は血液脳関門を通過して脳に蓄積し、精神障害、過敏症、振戦、記憶力減退、不眠症などの精神、神経系の障害を起す。昔の物理実験には金属水銀が多用されたこともあって、ニュートン(1642-1727)やファラデー(1791-1867)が、晩年、水銀による精神、神経疾患で悩んでいたことは良く知られている。ニュートンの遺髪から197ppm(正常人は5 ppm)の水銀が検出されている。

無機イオン型の水銀に大量にばく露した場合には、消化管潰瘍、循環性ショック、急性腎不全などを起すが、微量長期ばく露の場合には、金属水銀中毒症状と同様の症状を呈する。

2) 環境汚染

養魚池底質の水銀がメチル化すること、さらに、水銀のメチル基が非酵素的に転移する機構が判明してくると、水質環境中の水銀そのものも健康影響を惹起する可能性が大きい。そこで、日本各地の水域の水銀汚染調査をしたところ、水銀を用いた回虫駆除薬、殺菌剤、農薬などの製造工場所在の湾内や河川のみならず、人為的な環境汚染のない水域からも高濃度の水銀が検出された。

こうして、水銀を用いた製品の製造も昭和43年までには中止され、昭和49年には日本国内の全ての水銀鉱山も閉山した。しかし、その後も、工場、試験研究機関跡地から水銀等の有害化学物質が土壤中に検出されたり、焼却処理施設からの水銀排出による環境汚染と話題には事欠かなかったが、幸いにしていずれも大きな問題となる汚染レベルではなかった。また、使用済みのボタン電池、水銀乾電池による水銀の局所環境汚染の可能性が社会問題となり、石川県などの一部の自治体では回収も始めたが、回収費が高くリサイクルに必要な経費も賄えないうえ、

住民の協力も得にくい状況になってきている。また、水銀を多用している蛍光灯もリサイクルし、北海道イトムカの旧水銀鉱山で水銀の回収をしている。

3 カドミウム

1) 健康影響

(1) 作業着

カドミウム作業着では、大量のカドミウム・ヒューム吸入時には15-20%と著しく死亡率の高い化学性肺炎が起る。微量長期ばく露の場合には、肺機能の低下、肺気腫、また、蛋白尿、 β_2 -ミクログロブリン尿、糖尿、アミノ酸尿などの近位尿管機能異常が起ることが知られている。大量のカドミウムにばく露した低栄養作業者に骨軟化症がみられたとの報告も2-3ある。

(2) イタイイタイ病

富山県神通川流域に原因不明の激痛を伴う疾患が流行し、昭和30年10月に学会で報告された。昭和43年5月に、「三井金属神岡鉱業所から排出されたカドミウムによって腎障害が起り、ついで骨軟化症を来し、幾つかの要因が誘因となってイタイイタイ病という疾患を形成した」との厚生省見解が発表された。昭和44年12月以降、救済法などによる疾病の治療と補償が行われたが、治療による改善はみられていない。平成元年12月現在の患者数は認定患者128名(うち生存者15名)、要観察者12名である。

(3) カドミウム汚染地域住民

日本各地にカドミウム汚染地域が見出され、多数の住民の健康調査が繰り返し実施された。このうち、秋田、石川、兵庫、長崎県ではカドミウムばく露による腎機能異常発症率が高く、尿管機能異常とカドミウム環境汚染との間に関連性があると考えられた。また、加齢により健康異常は増強していた。しかし、臨床的骨軟化症は富山県神通川流域以外のカドミウム汚染地域では見出されなかった。

カドミウムメッキによる田畑の局所的な環境汚染も社会問題となり、全国のカドミウムメッキ工程は殆んど中止された。

チェコスロバキア、ハンガリー、ポーランド、ユーゴスラビア、ドイツ、ベルギー、オランダなどにカドミウム環境汚染がある。国境近くにある工場が多く、周辺地域住民のカドミウムばく露は比較的軽度である。しかし、工場周辺の田畑はカドミウム汚染されているが、時には汚染食品を知らないで食べているところもある。中国では遼寧省瀋陽市、遼寧省葫蘆島区、河南省新郷市、湖南省株州市、広東省韶関市などの工場内の汚染は日本より著しく、空气中カドミウム濃度は $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、著しい所で $1,500\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、周辺地域のカドミウム汚染も起っている。

カキはカドミウムを最も高濃度に含む食品であるが、多食してもカドミウム中毒は起らない。カドミウムの化学形が違うためかも知れない。鳥獣の肝(ホアグラなど)や腎にも高濃度のカドミウムが含まれているが、メタロチオネインと結合したカドミウムなので腎機能異常を起し易

いとも考えられ、日常的に食べてはいけない。

3) 環境汚染の改善

カドミウムの摂取量を低減させるために、玄米のアクション・レベルは1.0ppm、政府米の販売基準は0.4ppmとし、国が購入した汚染米は食用以外の用途米として民間に払い下げている。この差額負担は460億円(昭和61年末まで)は国が負担している。

汚染地域及び汚染の恐れのある地域は6,510ha(91地域)で、うち3,960ha(86地域)の土壤改善が終了している。昭和61年末までに、国は280億円、都道府県は230億円、企業は160億円を負担したが、さらに、2,000億円の費用が必要であると考えられている。

4 ヒ素

1) 健康影響

ヒ素取扱い作業者にみられる健康影響は、皮ふ症状(ヒ素疹、黒皮症、角化、のちにボーエン氏病、爪の横に白条、脱毛)、眼症状(結膜炎、眼瞼浮腫、角膜潰瘍)、鼻症状(鼻中隔穿孔)、末梢神経症状(感覚異常、運動麻痺)、胃腸症状(悪心、嘔吐、腹痛、下痢、肝脾腫)、貧血、悪性腫瘍(皮ふがん、肺がん、肝血管肉腫)である。

経口摂取によって起ったヒ素の集団中毒事件は、フランスではブドウ酒汚染事件(明治21年)(患者500名、死者15名)、英国ではビール汚染事件(明治33年)(患者6,000名、死者70名)とサイダー汚染事件(明治33年)(患者28名、死者15名)、日本では森永ヒ素ミルク事件(昭和30年)(患者1万数千名、死者百数十名で、知能障害、てんかん発作、脳波異常、難聴)などがある。

なお、海草、貝、カニ、エビなどの食品にはヒ素が大量に含まれているが、ヒ素中毒は起らない。生体内に侵入した無機ヒ素は代謝されてメチルアルソン酸、ジメチルアルソン酸、トリメチルアルソン酸になり解毒されるが、これら海産物のヒ素の多くはジメチルアルソン酸またはトリメチルアルソン酸であるためにヒ素中毒は起らない。

2) 環境汚染と健康被害

昭和46年には宮崎県高千穂町土呂久地区、昭和48年には島根県津和野町笹ヶ谷地区のヒ素精錬工場周辺で健康異常のある住民が見出された。平成元年末現在の認定患者は161名、未処分者は67名であった。

暫定除去基準以上の農用地390haのうち200haの土壤汚染対策が平成元年末までに終了している。

5 鉛

1) 健康影響

作業者の健康影響はまず造血系に現われる。生体内に侵入した鉛は血液を介して骨に蓄積し、

骨髄のデルタアミノレブリン酸脱水酵素、フェロケラターゼなどの酵素活性を抑制してヘム代謝を阻害する。このために低色素性貧血、赤血球および尿中プロトポルフィリンの増加、尿中デルタアミノレブリン酸の増加がみられる。また、高濃度ばく露では、伸筋麻痺、神経伝道障害などもみられる。歯ぐきに濃紫色の鉛線がみられることがある。これは硫化鉛で、高濃度ばく露の一つの指標でもある。

ハンターが間違えてヒトを撃ち、鉛の散弾が被害者の身体に入った場合には、出血と神経切断の処置は早急に行う。間もなく肉芽組織が散弾の周囲を覆い鉛は溶出しなくなるので、中毒になることは殆どない。従って、被弾直後に、多くの散弾を長時間かけて外科的に摘出するなど被害者に無用の身体的負担をかけてはならない。健康影響チェックのために経時的に検査する必要があるが、余り心配することはない。

2) 環境汚染

(1) アンチノッキング剤としての四エチル鉛

グリーンランドの氷中鉛は1,700年から1,900年前半まで漸増している。これは産業界の発展によるものである。第2次世界大戦後には氷中鉛は急増しているが、これは加鉛ガソリン使用によるものである。こうした中で、昭和45年に東京都新宿区柳町で一つの事件が発生した。柳町は谷間にあり、2つの重要道路が交差している。さる病院スタッフが「周辺住民の尿中鉛を測定したところ異常に高かったので、鉛中毒が多発している可能性がある」と報じ、パニックを呼んだ。後になって、未熟な尿中鉛測定技術のために起った一騒ぎであることが判明はしたが、昭和49年に、国は無鉛ガソリン使用に踏み切った。こうして、環境空気中の鉛濃度は著名に低下し、都市部で $0.99\mu\text{g}/\text{m}^3$ (昭和44年)から $0.13\mu\text{g}/\text{m}^3$ (昭和56年)と激減した。しかし、外国では、マンガンを代替アンチノッキング剤として用いたために新たな環境汚染を起し、問題となっている。

(2) 含鉛塗料

欧米では、家屋塗料の着色剤に鉛を用いてきた。このため、子供が家屋の甘い含鉛塗料を嚙り、造血系や中枢神経系の異常を起していた。最近では、古くなった家屋の鉛塗料が剥げ落ちて周辺の土壌を汚染し、その地区の子供達の知能が低下していると社会問題となっている。このため、多額の費用をかけて、試験的な汚染土壌の除去が始まっている。

6 クロム

1) 健康影響

クロムメッキ作業では鼻中隔穿孔やクロム潰瘍、クロム酸塩製造作業では肺がん、クロムを含有しているセメント取扱い作業では喘息が起ることがある。

クロムで汚染された水(7 ppm)を利用していた住民に湿疹、鼻・眼の粘膜刺激症状、腹痛・下痢・嘔吐などの消化器症状を呈するものが少なくなかった。また、日本ザルに4年半10ppmの

クロム水を飲ませたところ、胃穿孔や糖尿で死亡した動物もいたという報告もある。

2) 環境汚染

昭和48年、東京都江東区でクロム鉱滓の廃棄により工場周辺の土壌や小川の水が黄色くなった事件があった。また、昭和49年には栃木県小山市、宇都宮市でメッキ槽の亀裂からクロムが流出して井戸水を汚染するという事件が発生した。その後、日本各地でも同様の事件が発生してはいるが、水が酸性で、かつ、黄色くなるためか、環境汚染は周辺住民によって早期に発見されており、これまでのところ、重大な健康被害発生にまで至っていない。

7 銅

1) 健康影響

銅の熔解、鋳物、鍛冶作業者などでは銅ヒューム吸入によって悪寒、一過性発熱、悪心、口渇、疲労などの金属熱の症状を呈することがある。また、長期ばく露により鼻中隔穿孔も起る。

高濃度の銅を含む飲料水の毒性については殆ど報告がない。後ほど述べる足尾銅毒事件の時には、被害地の死亡率は高い(明治31年調査)が、銅は微量で影響はなく(坪井二郎報告)、銅中毒もなかった(入江達吉報告)。しかし、当時の臨時診療所の記録では貧血、流産が多いようだ。そこで、日本ザルに10ppm硫酸銅溶液を4年半投与した実験をしたが、何ら健康影響はみられなかった。

2) 環境汚染

明治10年代に、足尾銅山から排出された銅が渡良瀬川流域の飲料水や農業用水を汚染したが、水田の水口の銅汚染が著しく、稲は不稔となり、被害農民は古河銅業と示談で補償の解決をした。明治29年の洪水で再び銅毒が起ったが、この時は免租となった。明治31年の洪水によって再び稲が不稔となり、被害農民は大挙して上京し国会に訴えたが、事態は好転せず、明治34年には社会的問題となった。代議士の田中正造は明治天皇に直訴したが、国は、被害がもっとも大きかった谷中村を明治39年に廃村とし、足尾銅毒事件は終結した。

8 ベリリウム

1) 健康影響

酸化ベリリウム、ベリリウム合金、ベリリヤ磁器の製造業者では、大量ばく露により急性肺炎、肺水腫を起すことがあるが、急性肺炎の予後は良く我が国では死亡例はない。慢性ばく露の健康影響は肺のびまん性間質性肉芽腫で、女性の発症率が高い。時には接触性皮膚炎が起る。

2) 環境汚染

ベリリウム取扱い工場周辺の住民に慢性ベリリウム症がみられることがある。労働者の作業衣に付着したベリリウムが工場周辺の生活環境を汚染したために起った「近隣病」である。日本では、中部地域の碍子製造工場に出入するトラックが工場周辺地域をベリリウムで汚染したために、社会問題となり、この工場でのベリリウムを用いた製品の製造は昭和51年に中止された。

9 ビス(トリブチル錫)=オキシドとトリフェニル錫化合物

1) 健康影響

生体内に侵入すると、蓄積性が高く、造血、免疫への毒性のあるものもある。がん原性はなく、次世代への影響もないが、環境中で難分解であり、化学物質審査規制法により特定化学物質に指定されている。

2) 環境汚染

有機錫は船底塗料、塗料の防霉剤、殺ダニ剤、また、養殖いけすの魚網防汚剤として使用されており、船舶や漁網の防汚剤に用いられるトリブチル錫による内湾、内海域の魚介類の汚染が見出されている。昭和63年度には17地区の水質、底質について調査しているが、水質は51試料中34試料に検出し0.003-0.11ppm、底質は51試料中51試料に検出し0.4-230ppmと、環境中に広範囲に残留していることが分った。現在の汚染レベルは横ばいで直ちに危険な状況ではない。米国では既に使用について規制措置を講じているが、日本では指定化学物質として使用状況と環境汚染状況を監視している段階である。

10 新素材物質

最近の科学技術の進歩により、その他の金属が用いられるようになった。しかし、毒性が充分解明されていない物質も少なくなく、今後、予知的、組織的な毒性研究が必要となっている。

参考文献

- 1) 環境庁(編)：環境白書(総論、各論)，大蔵省印刷局，東京，平成2年。
- 2) Nomiya, K. and Nomiya, H. : Health effects of environmental metal contamination in Japan : a historical review, in : Metal Cycling (Eds. Hutchingson and Meema), Ellis Horwood, in press.

IV 総合討論

IV-1 施設従事者の被曝とその リスク

——医療被曝と職業被曝を中心に

丸山 隆司

IV-2 環境汚染の人為的低減方法 と内部被曝線量の軽減効果 の評価

内山 正史

IV-3 地球とヘルストランジション

松原 純子

IV-4 小さな生き物から見た自然

宮下 衛

IV-1 施設従事者の被曝とそのリスク —医療被曝と職業被曝を中心に—

丸山 隆司

放射線医学総合研究所

Collective effective dose equivalents from medical and occupation exposures in Japan.

Takashi Maruyama

National Institute of Radiological Sciences

ABSTRACT—From point of view of risk estimates from radiation contamination on the earth, recent medical and occupational exposures in Japan were reviewed based on the results of nationwide surveys carried out in the National Institute of Radiological Sciences in Chiba. The effective dose equivalent was calculated using experimental data on organ or tissue doses, according to the formula recommended by the ICRP-Publication 26. The resultant collective effective dose equivalents from diagnostic radiological procedures except for X-ray CT examinations and occupational exposures in Japan were 210,000 person Sv and 116.4 person Sv, respectively.

1. はじめに

人類は大古の昔から自然放射線の洗礼を受けており、この洗礼が人類は勿論のことすべての生き物の進化に関係してきたといわれている。前世紀末の1895年にレントゲンによるX線の発見、1896年にベッケレルによる放射能の発見と続き、人類は放射線と放射能の利用により自らを放射線被曝の危険に曝すことになった。

第2次世界大戦後は、原子力エネルギーや人工放射性物質が実用されるようになり、医療をはじめ農工業などの産業分野で、人類の放射線被曝の危険は増大している。1950年代から1960年代半ばごろまで続いた大気圏核実験によるフォールアウトにより、地球上は人工放射性物質で汚染した。人類が自らで作った地球環境の放射能汚染である。最近、チェルノブイル原子力発電所の事故により、北半球を中心にした地球規模の放射能汚染が発生した。さらに、科学技術

の進歩により、自然放射性物質を含む建築材や肥料などが使用されるようになり、またジェット機などによる海外旅行が盛んになり、人類は自ら自然放射線の被曝を高めることになった。

現代の人類は、地球上にあっても一世紀前には考えられなかった「複合被曝の危険」をもった環境に居住しているのである。そのような環境の中で、疾病の診療という理由のため、人間が人間に意図的に放射線を照射する「医療被曝」によって放射線を受けている。さらに、そのような医療における放射線や放射性物質の利用、原子力産業などに関連して、職業的に放射線被曝の危険に曝されているグループがある。そのような被曝は「職業上の被曝」(職業被曝)と呼ばれている。この2つの被曝は、人間活動に伴う人為的な被曝であり、自然環境の中での被曝とは異なるかも知れない。しかし、地球環境の汚染源の一つである放射線と放射能について、人類が受けているリスクを知るため、これらの被曝を取り扱うことは有意義と考えられる。そのような観点から、我が国における医療被曝と職業被曝の現状について述べる。またこれらの被曝による実効線量当量を推定し、ほかの被曝との比較を行う。

2. 職業被曝の実態

放射線や放射能を取り扱う場合、障害防止法、医療法施行規則あるいは電離則など放射線防護関連法令の規制を受ける。法令により、放射線業務従事者あるいは放射線診療従事者等(両者を以下、従事者等という)の受けた線量の測定が義務づけられている。殆どの従業者等は個人線量計を装着しており、それにより被曝線量の測定が行われている。被曝線量が低いなど測定が著しく困難な場合には、計算により線量を算出することが許されている。そのような場合の被曝線量は、通常、ゼロと見做すことができる。

現在、我が国の大多数の事業所では、個人線量計としてフィルムバッジを使用している。これらのフィルムバッジによる被曝線量の測定は、4つの測定機関に委託されており、それらの測定機関には測定データが保管されている。従事者等の個人に関するデータの秘密を保持しながら、測定データに基づき、性別、年齢別及び業種別に集団線量を集計した。

原子力発電所の従事者等の被曝線量については、放射影響協会の被曝管理登録センタに保管され、それらの集計結果が原子力安全委員から報告されている。また、一部の原子力機関では、独自の測定部門を有し、従業者等の被曝線量を測定している。それらについても、集団線量を集計した。

表1に集計結果¹⁾を示す。業種を医療、工業、研究・教育、原子力産業および原子力発電の5つに分類し、医療についてさらに医師、技師、看護婦及びその他に分類した。また、工業については、非破壊検査と一般工業に分けて集計した。ここで集計された線量は、従来の被曝線量で、現行法令の1センチメートル線量当量ではない。しかし、SI単位を採用して線量当量の単位をSvで表した。表1の集団線量は、1988年4月から1989年3月までの1年間の値であり、フィルムバッジの検出限界(100 μ Sv)以下の線量当量はゼロとみなした。この1年間に個人線量計を装着していた従業者等の総数は、原子力発電所を含めて、260,745人であり、集団線量は、

表1 我が国における職業被曝による業種・職業別、性別集団線量当量(人・Sv)
Collective dose equivalent by type of radiation work from occupational
exposures in Japan.

Type of work	Number of workers	X rays Detectable*	Gamma rays Detectable*
Medical:			
Doctor	48,952	13.0862	1.6082
Nurse	758	0.2964	0.0128
Technician	21,347	11.4156	1.2687
Others	16,223	5.4743	0.281
Subtotal	87,280	30.2725	3.1704
Industry:			
NDI***	3,007	1.5023	1.4197
General	31,131	1.4872	3.6118
Subtotal	34,138	2.9895	5.0315
Research & Education	27,139	0.2033	0.4645
Atomic energy industry****	11,427	0.0171	2.6830
Nuclear power station	50,010		91.6900
Total	209,994	33.4824	103.0397
Medical:			
Doctor	3,496	0.3250	0.0509
Nurse	27,378	4.1227	0.4579
Technician	2,131	0.2636	0.0063
Others	9,462	6.2808	0.5927
Subtotal	42,467	6.2808	0.5927
Industry:			
NDI***	30	0	0
General	3,827	0.0064	0.0132
Subtotal	3,857	0.0064	0.0132
Research & Education	4,337	0.0703	0.0084
Atomic energy industry****	90		0.0016
Total	50,751	6.3575	0.6159
Total	260,745	39.8399	103.6556

X, γ 線あわせて143.4955人・Svである。すべての業種について一人あたりの平均の被曝線量は、 $550\mu\text{Sv}$ である。業種別では、医療関係の従業者等の人数は129,747人で全体の約50%を占め、原子力発電関係の人数、50,010人の約2.6倍である。しかし、医療関係の一人あたりの平均被曝線量は、約 $310\mu\text{Sv}$ であり、原子力発電関係の $1,833\mu\text{Sv}$ で約6倍である。また、医療関係の被曝線量の約90%がX線によるのに対して、原子力発電関係ではほとんどが γ 線によるものである。

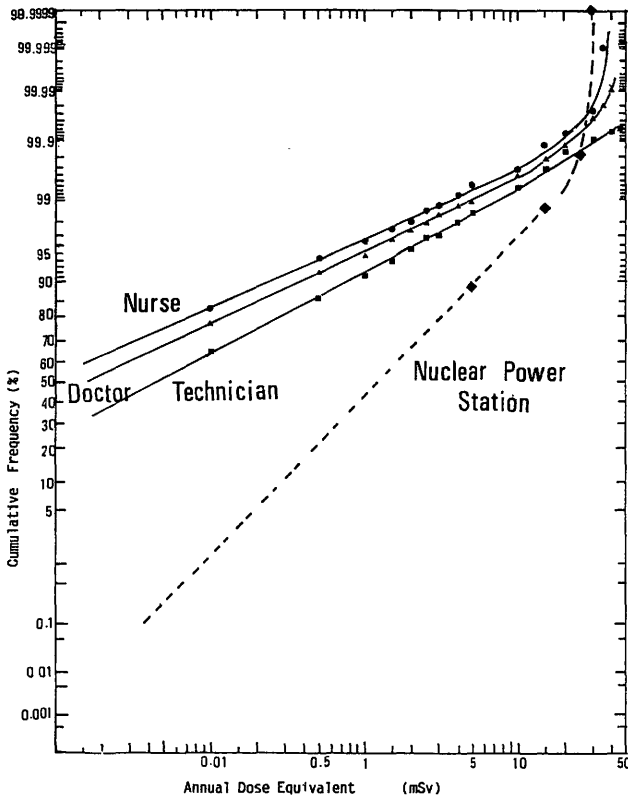


図1
我が国の医療および原子力発電所の放射線業務従事者に対する年線量当量の対数確率紙プロット。
Log probability plot of annual doses to radiation workers of hospitals and nuclear power stations in Japan.

従業者等の個人が一年間に受けた被曝線量は、医師関係の場合、医療では75%、技師では約65%および看護婦(士)では約85%が、検出限界以下であった。図1は、医療関係と原子力発電関係の従業者等について、一年間に受けた線量の対数確率紙プロットを示す。原子力発電関係では、検出限界以下の線量を受けた人数の割合はほぼ3%であり、全員が30mSv以下の線量を受けていることを示している。しかし、医療関係では、上で述べたように大部分が検出限界以下の被曝線量であるのに、医師や技師では50mSvの年限度を超えて被曝している人もおり、原子力発電関係とは対照的である。研究・教育関係では、ほとんどが検出限界以下の被曝であり、50mSvを超える被曝は皆無である。

3. 医療被曝の実態

医療被曝は、疾病の診断・治療のための患者や被検者の被曝であり、ペースメーカーとしてアイソトープ電池を使用した場合の被曝などもこの範疇に含まれる。医療被曝では、放射線被曝によるリスクを受ける患者自身が救命という大きな便益を受けている。この点が他の被曝とは特異的である。また、放射線治療では、非確率的影響が発生するような大きな線量を受けることがある。その線量を受けることがない放射線診断と放射線治療とをあわせて医療被曝とすることには抵抗がある。ここでは、放射線診断を中心に医療被曝の実態を考える。

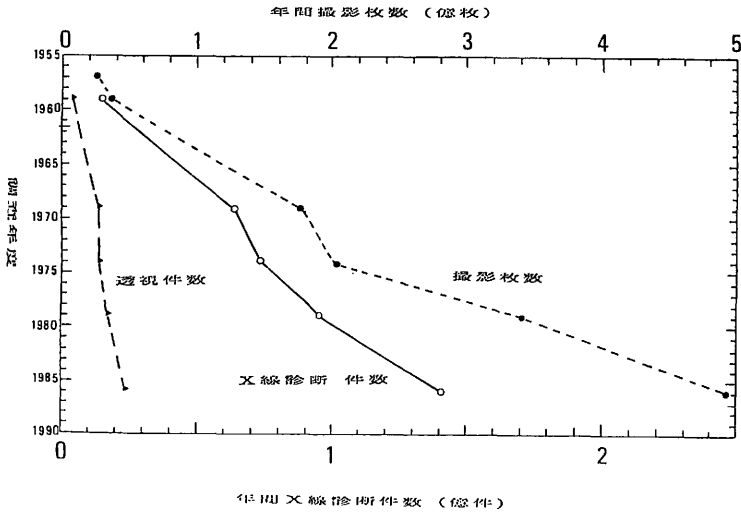


図2 我が国のX線診断における撮影枚数、撮影件数および透視件数の年次変化。
Growth of in the use of medical diagnostic radiology in Japan.

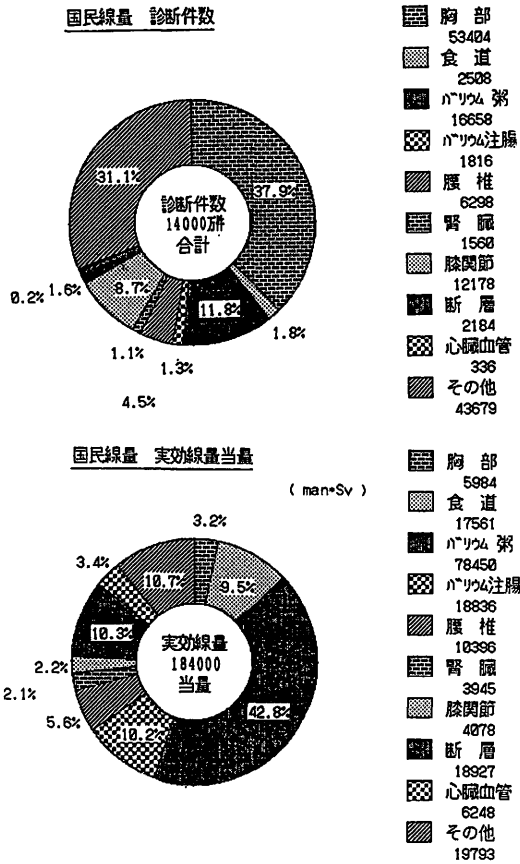


図3 我が国におけるX線撮影枚数の部位別分布。
Distribution of frequency of X-ray radiographics by type of examination in Japan.

表2 世界のおもな国におけるX線撮影枚数と診断用X線装置台数の人口に対する比率⁷⁾
Comparisons of diagnostic X-ray examinations in the world (UNSCEAR)⁷⁾

国名	人口1,000人あたり、 年あたりX線診断件数	X線装置1台 あたりの人口
コスタリカ	270	19,200
中国	259	16,400
コロンビア	211	14,300
イラン	180	
ブラジル	179	13,400
チリ	166	13,000
キューバ	139	11,000
メキシコ	70	15,000
リベリア	80	70,000
タイ	34	—
ナイジェリア	25	90,000
日本	1,380	2,500
カナダ	1,016	3,200
フィンランド	958	—
ソ連	958	—
西ドイツ	863	—
フランス	835	2,700
米国	790	1,800
イタリア	744	3,290
オランダ	648	—
ノルウェー	641	—
スウェーデン	494	—
英国	488	5,000

医療を取り巻く科学技術の進歩にともない、人体の横断画像をつくるX線CT、注目している血管像だけを撮るDSRなど最新のX線診断技術が生まれている。そのためか、X線撮影枚数は鰻登りに増加している。図2は放医研グループの調査結果をまとめたものである²⁻⁶⁾。1986年の一年間に全国の医療機関で撮影された一般のX線撮影枚数は、約4億8千万枚であり、国民一人あたり、一年間に約4枚のX線撮影をしていることになる。X線の撮影件数は約1億4千万件であり、それを撮影部位別にみると図3のように与えられる。胸部撮影が全件数の約40%をしめている。撮影1件あたりの撮影枚数は約3.4枚である。一件あたりの撮影枚数は、バリウム粥を用いる上部消化器場合約12枚、バリウム注腸検査の場合約15枚である。

国連科学委員会の1988年⁷⁾報告によれば、世界のおもな国におけるX線診断件数と診断用X線装置台数は、表2のように与えられており、我が国の診断件数が高いことを示している。

4. 実効線量当量と集団実効線量当量

いろいろな線源からの被曝を比較する場合、1977年にICRPが勧告した実効線量当量⁸⁾を用い

表3 我が国における職業被曝による集団実効線量当量(人・Sv)
Collective effective dose equivalent from occupational
exposures in Japan.

職業被曝による集団実効線量当量(人・Sv)			
業 種	従業者数	集団実効線量当量	
医 療	129,747	20.59	
工 業	37,995	8.29	
研究・教育	31,476	0.70	
原子力工業	61,527	86.82	
合 計	260,745	116.40	

るのが便利である。ICRPが勧告している荷重係数 W_T を用いれば、実効線量当量 H_E は次式で与えられる。

$$H_E = \sum W_T \cdot H_T$$

ここで、 H_T は確率的影響に関係した臓器・組織Tの線量当量である。ICRPは、人体の形状をしたファントムに種々な方向から入射する光子について、自由空間中における単位照射線量あたりの実効線量当量を、光子のエネルギーの関数として与えている⁹⁾。ファントム実験による臓器・組織線量の測定データもある¹⁰⁾。これらのデータ等を参考にして、業種および職種別に個人線量計の単位線量あたりの実効線量当量を算出した¹⁾。

表3は、表1の値に基づいて推定した職業被曝による集団実効線量当量を業種別に示している。我が国における職業被曝による集団実効線量当量は、1988年度においては116.4人・Svであった。従業者等が一年間に受けた平均の実効線量当量は、一人あたり約450 μ Svである。

医療被曝については、放射線や放射性医薬品の使用条件、患者の体格により、同一の患者であっても医師らの考え方などいろいろなファクタによって、臓器・組織線量は異なる。全国の医療機関を対象にして行われた実態調査によって、使用条件などの全国的な傾向を把握し、全国平均と思われる条件を設定した。X線診断、X線集団検診、核医学診断及び歯科X線診断について、1980年代の調査結果から推定した診断件数と集団実効線量当量を図4に示す。X線診断の中にはX線CTやDSRなど特殊X線撮影は含まれていない。X線CTの診断件数は、最近、増加していることから、X線CTを含めると診断による集団実効線量当量はかなり大きな値となることが予想される。特殊X線診断を除いた放射線診断による集団実効線量当量は、約214,000人・Svと推定される。このうち、約86%はX線診断によるものである。この値から国民一人あたりが1年間に受けた実効線量当量を求めると、約1.7mSvとなる。国連科学委員会の1988年報告書は、世界の平均的な住民がいろいろな線源から一年間に受ける一人あたりの実効線量当量を表4のように与えている。自然放射線からの実効線量当量は、宇宙線及び大地からの放射線による外部被曝により約0.8mSv、ラドンによる内部被曝が約1.1mSvであり、その他の放射性物質からの内部被曝を含めた全体で、約2.4mSvである。医療被曝による一人あたりの実効線量

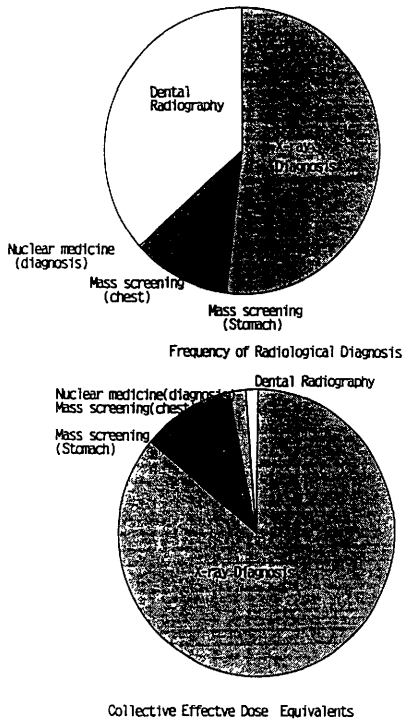


図4 我が国における放射線診断の年間件数と集団実効線量当量(人・Sv)

Annual frequency and collective effective dose equivalent from diagnostic radiological procedures in Japan.

表4 世界の平均的な住民がいろいろな線源から1年間に受ける一人あたりの実効線量当量⁷⁾

Annual effective dose equivalent from natural sources⁷⁾.

照射線源	年間実効線量当量(mSv)		
	外部	内部	合計
宇宙線			
直接電離成分	0.30	—	0.30
中性子成分	0.055	—	0.055
宇宙起源放射性核種	—	0.015	0.015
原始放射性核種			
カリウム-40	0.15	0.18	0.33
ルビジウム-87	—	0.006	0.006
ウラン-238系列	0.1		1.34
ウラン-238からウラン-234		0.005	
トリウム-230		0.007	
ラジウム-226		0.007	1.24
ラドン-222からポロニウム-214		1.1	
鉛-210からポロニウム-210		0.12	
トリウム-232系列	0.16		0.34
トリウム-232		0.003	
ラジウム-228からラジウム-224		0.013	0.18
ラドン-220からテルル-208		0.16	
合計	0.6	1.6	2.4

当量は、先進国における平均で約1 mSvであり、自然放射線の約50%である。しかし、我が国の医療被曝では、上述の用に1.7mSvであり、自然放射線の約70%であった。職業被曝では、医療従事者が人口一人あたり1 μ Svとしているが、我が国の場合も0.97 μ Svであり、世界平均とよく一致している。1988年の我が国の原子力発電量は176,663GWであるから、原子力発電による単位発電量あたりの集団実効線量当量は約0.5X10⁻³人Sv/GW年である。世界全体で30人Sv/GW年であるから、世界全体の約5万分の1しか寄与していない。

6. おわりに

我が国の職業被曝と医療被曝からの集団実効線量当量の推定結果を国連科学委員会の報告書の値と比較した。職業被曝に関しては、特に対象者の多い医療従事者で世界の平均値に比べて、同程度の被曝であることを示している。しかし、医療被曝では、先進国平均に比べてほぼ70%大きな国民一人あたり実効線量当量が得られた。これは、我が国の医療における放射線利用の頻度が高いことを反映している。地球環境の中で、人類はいろいろな線源からいろいろな形で放射線被曝を受けている。それらの被曝の代償として、医療では疾病の診断・治療による救命という計り知れないほど大きな便益を受ける。しかし、被曝線量は小さいが職業被曝のように、便益がはっきりしない被曝もある。

今後は、地球環境の中でリスクを実効線量当量のような共通尺度で考えて、地球環境を汚染する因子と汚染をもたらす人間活動についてリスク-便益解析手法を開発し、最適化された住みよい地球環境を創造していきたいものである。

参考文献

- 1) 丸山ほか：放医研英文年報，1989-1990，1990.
- 2) Kumamoto, Y.: Polulation doses, excess deaths and loss of life expectancy from mass chest X-ray examinations in Japan-1980, *Health Phys.*, **49**(1) 37-48, 1985.
- 3) 丸山隆司ほか：胃集団検診における件数，国民線量およびリスクの推定，日本医放会誌**47**(7)，971-982，1987.
- 4) 丸山隆司ほか：歯科X線撮影における件数，国民線量およびリスクの推定，日本歯放会誌，**27**，143-153，1987.
- 5) 丸山隆司ほか：核医学診断における件数，国民線量およびリスクの推定，日本医放会誌**48**(12)，1938.
- 6) 丸山隆司ほか：放医研年報，平成元年，1989.
- 7) 国連科学委員会報告書：放射線の線源，影響及びリスク(放医研監訳)，1990.
- 8) 国際放射線防護委員会報告(1977年1月17日採択)，ICRP Publ. 26. 日本アイソトープ協会訳，1978.
- 9) 国際放射線防護委員会：ICRP-Publ. 51. 体外放射線に対する防護のためのデータ，日本アイソト

ープ協会誌, 1988.

- 10) Maruyama, T., et al.: Estimations of population doses and risk estimates from occupational exposures in Japan, 1978, Part 1., *J. Radiat. Res.*, **22**, 204-225, 1981.

IV-2 環境汚染の人為的低減方法と 内部被曝線量の軽減効果の評価

内山正史

放射線医学総合研究所

Methodology for artificial mitigation of environmental contamination by radionuclides and
its efficiency to decrease internal dose

Masafumi Uchiyama

National Institute of Radiological Sciences

4-9-1, Anagawa, Chiba-shi, 260 Japan

ABSTRACT—In order to mitigate health and environmental consequences from the Chernobyl accident, the following various countermeasures have been implemented depending on the basis of radiation protection systems in an emergency: evacuation, relocation, prohibition of marketing contaminated food, restrictions on domestic foodstuffs from affected area, ban on whole milk consumption, control of water supply and so on. The countermeasures taken in USSR after the Chernobyl accident was introduced with the evaluation of effectiveness. Not only situations of contamination but also perspective doses are considered at the decision making on countermeasures. Effectiveness and cost are also considered. Prophylactic uses of stable iodine and Prussian blue are another type of countermeasure to reduce internal dose from radioiodine and radiocesium, respectively. Effectiveness concerning decrease of internal dose varies widely between measures. Countermeasures taken permitted a 5-20 fold reduction of thyroid doses to children and a 10 fold of decrease in internal doses. Life of 7000 man-year will be saved in the population living highly contaminated area and 80% of individuals was projected to be of less than 0.35 Sv of lifetime dose in the controlled area in USSR in which all regulation can be removed.

はじめに

エネルギー需要の現状は原子力発電にその多くを頼らざるを得ない。チェルノブイリ事故により環境に甚大な放射性核種の汚染が生じたことは周知の事実である。環境に人工放射性物質

が増加したこと及び食物連鎖等を介してこれを摂取しているため、ある地域では放射線被曝で生じる健康影響が憂慮されている。健康への影響を軽減するために、被曝線量を人為的に低減する方法が実施されている。

被曝線量を低減する方法の選択は放射線と放射性核種のモニタリングおよび線量予測等に基づいて決められる。その土地に居住し続けることにより、健康障害が明確に予測される場合には、その土地を離れて移住することになる。住民を避難させた地域よりも放射性核種による汚染がやや低い地域では、住民はその土地に住み続ける。この地域をソ連邦では汚染のレベルに応じて管理区域、あるいは嚴重管理区域と称している。健康影響の観点からは、この地域の住民の被曝線量を低減させることが肝要である。

人間の生活に直接関わる範囲の環境における放射性核種による汚染のうちで、特に内部被曝を低減する方法とその線量軽減効果についてソ連の実施例を紹介する。

人為的低減法

住居や公共施設などの建築物では表面の放射性核種を水や除染剤で洗い流したり、ペンキ等の塗料を塗って封じ込めて外部被曝を低くすることができる。あるいは路面の放射性核種を撒水して除去するほか、表面を削って砂、砂利、碎石を撒いたり汚染していない土を客土したり、アスファルト、コンクリートで舗装することでソ連邦では管理区域等の外部被曝線量や呼吸器の被曝を下げる事ができた¹⁾。

内部被曝を生じる経路には①放射性核種が落ちた水源から引いている上水道水の飲用②放射性核種が付着している野菜や果物の生食③放射性核種で汚染した農耕地や牧場で生育した農畜産物の摂取④吸入等がある。

チェルノブイリ事故後のソ連邦では取水口の濾過装置の改良で、貯水池の放射性核種濃度が1/5－1/7に減った。またヨウ素-131とセシウム-137を飲料水から取り除くため、水道施設のフィルターを活性炭とゼオライトに交換したり、放射性核種濃度の低い飲料水を確保するために掘抜き井戸を作りその給水網を敷設した。このような総合的な飲料水対策により、ソ連邦では放射性核種レベルがチェルノブイリ事故の対策としての許容基準を越えなかった²⁾。

セシウム-137濃度が高い土壌で栽培されると野菜や飼料作物のセシウム-137の濃度が高くなる。このような飼料を与えられると家畜の乳や肉はセシウム-137濃度が高くなる。土壌作物間の放射性核種の移行率を下げる対策として土壌からセシウム-137を取り除くことや、土壌中のセシウム-137を植物が利用しにくい状態にする。土壌からセシウム-137を取り除くには①セシウム-137濃度が高い表土を取り除き、濃度の低い土を客土する②作物の根圏に濃度の低い土壌があるように、深いところの土壌を浅いところの土壌と入れ換える。セシウム-137の土壌作物移行率を低下させる方法として③セシウム-137と挙動が類似するカリウムを多く含む肥料の使用や④土壌のpHを上げ、セシウム-137の土壌から植物への移行率を下げるために石灰やアンモニアが用いられる。このような土壌改良によりセシウム-137が作物へ移る量は1/3－2/3になっ

た³⁾。セシウムの移行係数が小さい別の作物を栽培する等の対策も採られた。これらの対策でも土壤作物移行率を十分に下げられない場合は、農耕地以外に用途が変更された。牧場についても農耕地と類似の対応策が取られた。

年少者には牛乳の摂取を介してヨウ素-131による甲状腺被曝やセシウム-137による全身被曝が生じる。放射性核種濃度の低い牛乳を生産するために乳牛を汚染の低い牧場に放牧したり、汚染の少ない貯蔵飼料を与えたりする。また、汚染した牛乳が生産された場合は、直接飲用とはせずにチーズやソフトチーズあるいはバターに加工して、放射性ヨウ素や放射性セシウムの濃度を下げた後から食用に供した。生乳をプルシアンブルー基材の濾過装置を通すことで含まれている放射性セシウムが1/5から1/10にまで減少し、飲用に適する牛乳を得ることができている。

内部被曝線量に関して、内部環境の被曝の予防あるいは除染という側面から、放射性ヨウ素を摂取する前に非放射性ヨウ素(ヨウ素剤)を服用すると甲状腺への放射性ヨウ素の到達量を顕著に減らすことが出来る事実はよく知られている。放射性ヨウ素が連続的に摂取される場合には、最初の摂取があつてから3~5日目にヨウ素剤の服用を始めても、3歳までの子供では1/10に、10~15日目にヨウ素剤の服用を始めた成人では1/3~1/4に甲状腺吸収線量を下げることができた³⁾。プルシアンブルーには放射性セシウムによる内部被曝線量の低減効果が、アルギン酸塩には放射性ストロンチウムの腸管吸収を抑える効果のあることが知られている。

社会的側面から濃度の高い食品の流通を制限することも内部被曝の集団線量を減らすためには非常に有効である。これには①出荷を禁止する②出荷時期を延ばすことを含めて濃度が低くなるように加工する③別の食品に用途を代える④家畜の飼料に用いて人間への直接の影響を小さくする等の対策がある。たとえば、市販牛乳中の放射性セシウムの濃度と面積当りの地上に降った放射能との比は、出荷制限した地域では制限しなかった地域の1/4に下がった。また高い放射能濃度の牛乳の出荷を制限した地域では市販牛乳中のヨウ素-131の濃度は、制限しなかった地域の1/4~1/10になった⁵⁾。

低減効果の評価

このような被曝低減の対策を取った結果、被曝者集団の年齢や職業による違いはあるが³⁾、甲状腺線量では1/5~1/20、外部被曝線量では2/5~2/3、放射性セシウムからの内部被曝線量は1/10に低減できた。内部被曝線量の低減が特に著しく1987年には全被曝線量への寄与が10~30%迄減少している¹⁾。

特にヨウ素剤の投与とヨウ素-131濃度の高い牛乳や新鮮野菜を摂取させないようにする方法は有効で、ヨウ素-131の甲状腺被曝線量を平均で70%下げた。高い濃度の放射性セシウムを含む食品の摂取を制限すると、放射性セシウムからの内部被曝線量も72%減らすことができた。セシウムについては1987年夏の放射性セシウムの体内量の平均値は1年前の1/2~1/5に下がった⁴⁾。

以上に挙げた方法による事故後2年間の線量軽減の効果を図1に示した。

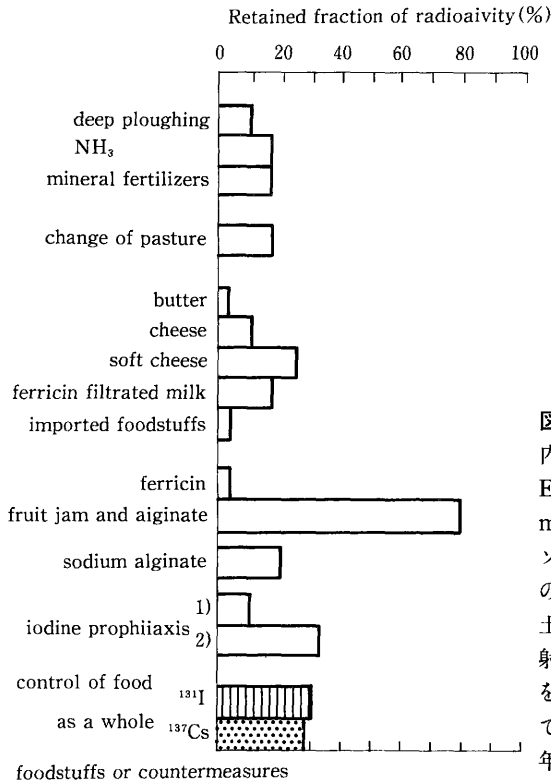


図 1
内部被曝線量軽減対策の効果
Efficiency of countermeasures taken to mitigate internal dose.
ソ連でチェルノブイリ事故後、内部被曝線量の軽減対策を実施している。対策を行った後、土壌、食品等に残留した放射能の対策前の放射能の比として、あるいは現実の線量の対策を行わなかった時の予測線量に対する比として、対策の有効性を評価してある。事故後2年間の成績を示した。

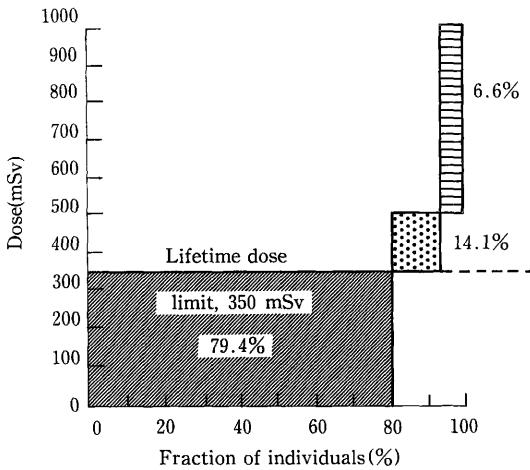


図 2
ソ連の放射性核種濃度が非常に高い地域住民の生涯線量分布
Distribution of projected lifetime dose in the population living in the strictly controlled area in USSR.
ソ連の放射性核種による汚染が非常に高い地域に住む集団について、1990年1月1日に被曝軽減対策を全て中止した場合に、予測される生涯線量の分布を示した。このうち80%の人は、チェルノブイリ事故対策の限度としてソ連で設定した生涯線量350mSv以下の被曝線量である。

嚴重管理区域に住んでいる人たちが実際に受けた被曝線量は、事故後第1年目に0.037Sv、1987-1989年に0.023Sv(1989年は一部推定が入る)であった。被曝軽減対策をとった結果、この期間に割り当てられた許容線量の65%を受けなくて済んだ。全ての低減策を総合して、健康影

響への効果を計算すると、放射性核種濃度の非常に高かった地域に住む住民の7,000人・年の寿命が救われたことになる¹⁾。1990年1月1日以降、被曝線量を下げたための方法を何も取らなかったとした場合に、一生の間に受ける被曝線量の分布を、ソ連で生涯被曝線量として定めている0.35Svと比較して図2に示した。80%の人はこの生涯線量以内の線量を受けることになる⁴⁾。

参考文献

- 1) イリン, L.A.とパブロフスキー, O.A.: チェルノブイリ事故のソ連における放射線影響の結果と影響緩和の措置, IAEA機関誌1987年第4号, 20-41, 1987.
- 2) Kachalovsky, E.V., : Experience of the Government the Ukrainian SSR in cleaning up the accident at the Chernobyl nuclear power plant. in : Recovery operations in the event of a nuclear accident or radiological emergency, IAEA-SM-316/56 235-248, 1990.
- 3) Avetisov, R.M., Aleksakhin, V.P., Antonov, V.P., Buldakov, L.A., Gordeev, K.I., Ivanov, E.V., Ilin, L.A., Kondrusev, A.I., Liberman, A.N., Perminova, V.M., and Samojlenko, V.M. : Protective measures to reduce population exposure doses and effectiveness of these measures. : In Medical aspects of the Chernobyl accident. IAEA-TECDOC-516, 151-168, 1989.
- 4) Ilyin, L.A. et al., : Ecological Features and biomedical effects of the Chernobyl accident, ソ連医学科学アカデミーの総会(1989年3月21-23日)で発表された論文の要約。1989年5月11日第38回国連原子放射線影響科学委員会へソ連代表団が提出した。
- 5) Pavlovskij, O.A. : Long term prognosis of individual and collective exposure doses to the population. : In Medical aspects of the Chernobyl accident. IAEA-TECDOC-516, 217-229, 1989.

IV-3 地球とヘルストランジション

松原純子

東京大学医学部

はじめに

あらゆる生命は環境との絶え間ない相互作用の中に生存している。人間は高度産業社会を形成することによって、自然環境に対し大規模な働きかけを行ってはいらぬものの、人間の生死には確実に自然的社会的文化的なトータルな環境の影響が反映されている。乳児死亡率が地域環境のトータルなインディケータであることは古くから知られている。乳児死亡率ならずとも、人間集団の疾病や生死に関する時代的地域的情報を量的に集約している疫学データは、人間をとり囲む環境の質を最も端的に表現しているものと私には思われる。人間の健康リスクを科学する拙論「リスク科学」においての基本的な方法論が疫学であるのは、人間集団こそが環境の影響をトータルに反映しており、人体影響の評価に結びつかないリスク科学は意味をなさないからである。疫学データの解析には、多重要因の影響を解析する先端的な情報科学的手法が必要とされるが、一方まず手はじめにグローバルな環境の変化を考えるには、疫学データをそのまま観察することにも意義がある。

時代的ヘルストランジション

日本における結核死亡率の時代的変遷を見ると、戦後劇的に減少しており、抗生物質の導入や結核検診システムの普及などの効果を示しているように思われる。他方、より長期的な変遷を合衆国のデータなどでみると、結核の死亡率は抗生物質の発見以前にも、時代が下ると共に着実に減少し続けて来たことがわかる(図1)。この理由について合衆国の公衆衛生学の分野で大きな議論となったが、ジョンズホプキンス大学のリー女史が指摘したように、合衆国にあっては、物的な豊かさよりも人々の衛生思想の向上が、人間の生命の延長に大きな役割を果たしたのではないかと考えられている。

各国の男女別の平均寿命の時代的変遷を調べると、男女の社会的地位や環境によって著しい差が現われている。

スウェーデンは長期的に整備された世代的データを持つ数少ない国の一つであるが、健康リスクの主流が、集団的に人びとを襲う疫病から、個々の感染症による死亡、そして現代は癌などの退行性疾患に移ってきたことを示している(図2A)。すなわち人間に脅威を与える健康リ

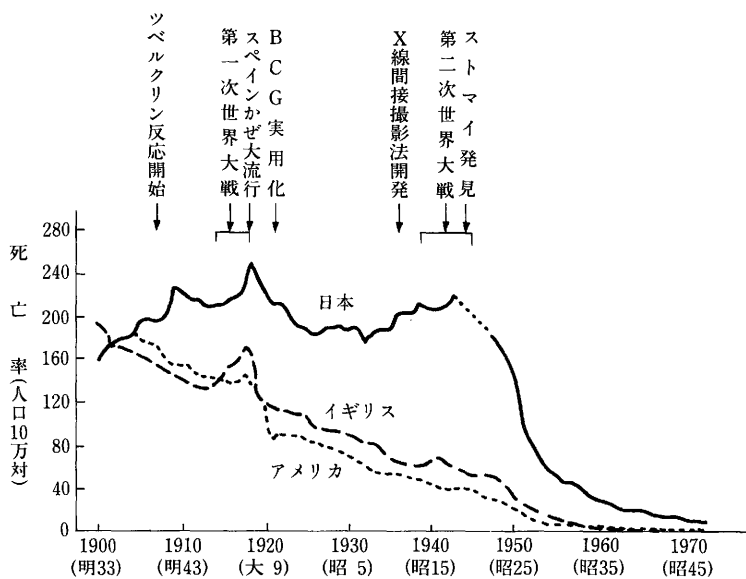


図1 結核死亡率の年次推移。日本、イギリス、アメリカの比較

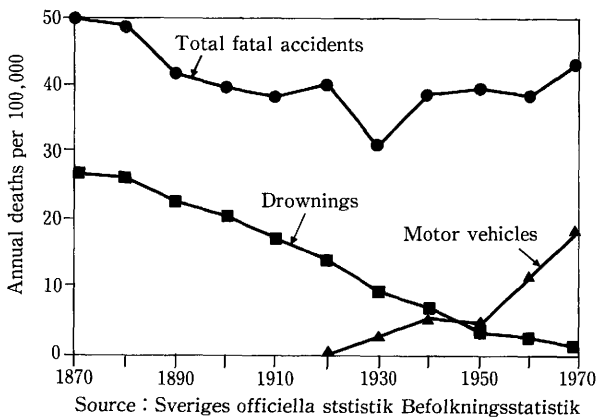
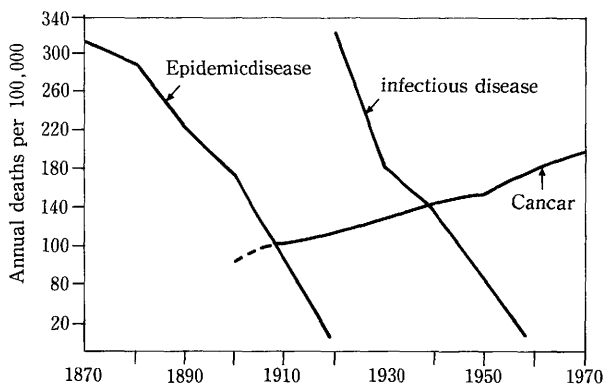


図2 スウェーデンにおける死因別死亡率の時代的変遷

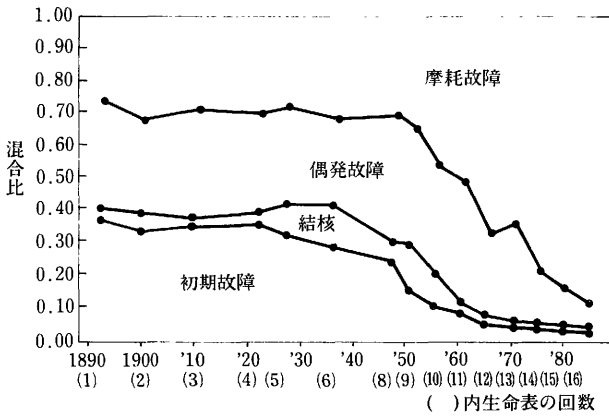


図3 わが国の年齢階級別死亡率のワイブル成分の混合比の年次推移

スクは、病原微生物などの生物的要因や溺死などの自然的要因から、長期的に発癌などに作用する環境の化学的要因や交通事故などの人為的要因に焦点が移って来たわけである(図2B)。

図3はわが国の年齢階級別死亡率データをもとに、死亡に寄与する成分を、ワイブル故障モデルを用いて推定し、その寄与成分の時代的変動を示したものである。

地球的リスクランジション

健康リスクの変遷を考えるにあたって、現在もまた将来的にも、いわゆる北の先進国群と主

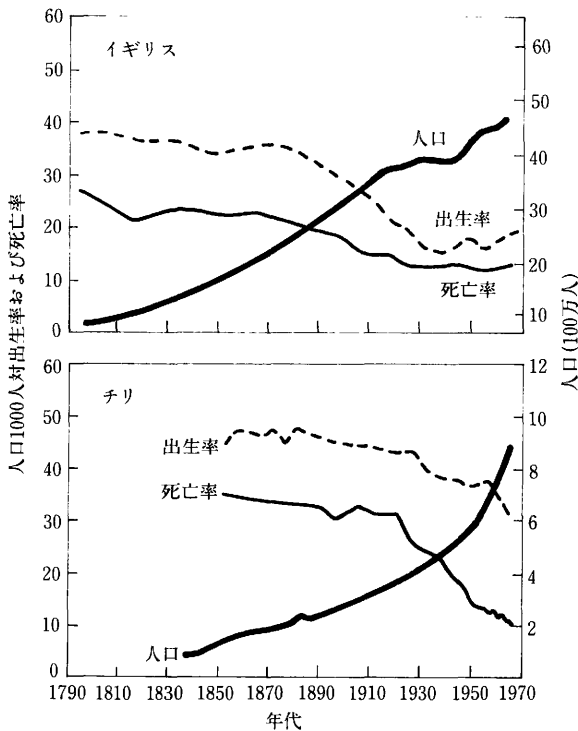


図4 世界の2地域における人口の変化

として南の開発途上国としては大きな差がある。オムランは地球上の四地域の世代的リスクランジションを示すことによって、各地域にあらわれた異なる健康問題の特徴づけを行った。

図4はその一部を示すもので、ここには死亡よりも出生によって人口が動く北欧、死亡の減少と依然として高い出生によって人口が急増する途上国の姿がみえる。開発途上国では急激な人口増加のために経済成長することを余儀なくされる一方、自身の豊かな天然資源をなくすしに使用しなければならないジレンマに置かれている。産業開発や科学技術の普及は、先進国では生活水準の向上というメリットと同時に、環境破壊や社会的ストレスの増大などのデメリットを生じ、それが未来に向けて先進国の人々に特徴的なヘルストランジションをもたらすであろう。

一方途上国では開発は食料生産の増大や失業の減少、生活水準の向上をもたらすと同時に、先進国同様急激な環境破壊が進行し、その上、過去から引き続いている生活環境の貧困による伝染病などの生物的脅威がある。さらに途上国は地球上の他の富める先進国の排出する公害物質や資源の買占めのために、先進国よりも格段に被害に対して弱い状態に置かれている。途上国では、こうした状況を適切に解析し、健康リスクとの関連で迅速な政策を実施する必要にせまられている。

私たちの将来とリスクランジション

筆者は都市環境の健康への総合的な影響を将来的に予測するために、川崎市を例にとって昭和45年から60年までの16年間の主要死因別死亡率の年次変動に関するデータについて因子分析を行い、死因の動向を支配する主要因子を抽出し、その年次的変化を調べた。最も寄与の大き

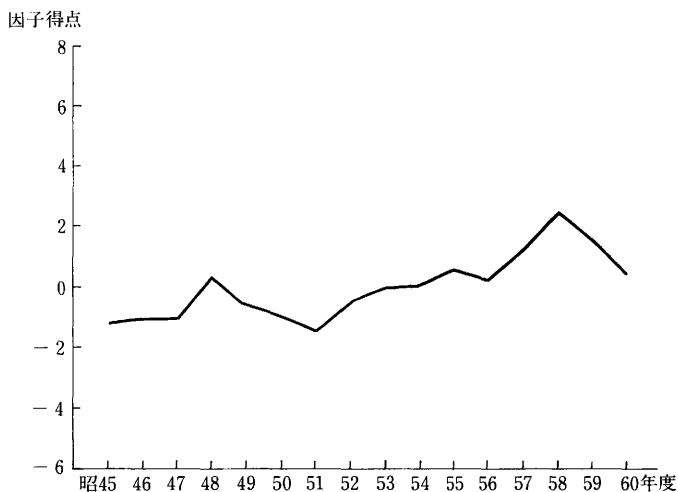


図5 死因別死亡率の年次的変動を支配する第1因子(都市化因子)の年次変化

い第1因子は心疾患、肺癌、膵癌、肝臓癌による死亡に関連し、その対極に脳血管、胃潰瘍による死亡に特徴づけられる要因で、いわば死亡に関する都市型対農村型因子と考えられた。第1因子は経年的に増加し、今後も増加が続くと思われた(図5)。第2因子は腸癌に負荷が大きく、胃潰瘍に負荷の少ない因子と見られ、食生活関連因子と思われるが、その年次変動はバラツキが大きく、その将来予測は困難であった。

さて、近年のわが国における平均寿命の驚異的な伸びを医療技術の進歩の産物と見る向きも多い。しかし日本人の都道府県別男女別の平均余命データと都道府県別の社会経済文化指標に関するデータとを主成分分析すると、男では1970年前後、女は1960年前後を境として、都市化や近代化が平均寿命に対してマイナスの影響を示唆したという報告もある。高度成長期には一般に都市化は人間の寿命延長に正比例するかの如くに考えられてきたが、早くも我々自身の人口動態データが都市化に警鐘を鳴らしているわけで、健康にプラスする環境とは何かを早急に検討する必要がある。

IV-4 小さな生き物から見た自然

宮 下 衛

環境庁国立環境研究所生物圏環境部

State of indicator insects in Japan

Mamoru Miyashita

Environmental Biology Division, National Institute for Environmental Studies,
Onogawa, Tsukuba 305, Japan

ABSTRACT—One of environmental problems on a global scale is the extinction of animal and plant species. However, the extinction or decline of wildlife occurred close at hand. The causes of the extinction or decline of insect species are various. About 253,000 hectares of forests was converted to urban land use and agricultural land in 13 yeares from 1975 to 1987 in Japan. The habitable environment for butterfly species such as Luehdorfia japonica (Gifu butterfly), L. puziloi (Hime-gifu butterfly) and Sasakia charonda (Emperor butterfly) is shrinking as a result of deforestation and housing construction. While, paddy field decreased by 580,000 hectares in 27 yeares from 1961 to 1988 in Japan. Freshwater species such as Nannophya pygmaea (Hattcho dragonfly), Luciola cruciata (Genji firefly) and L. lateralis (Heike firefly) are threatened by the destruction or deterioration of their habitats. On the other hand, the cause of the extinction of Lethocerus deyrollei (Giant waterbug) was the spraying of pesticides in paddy field.

There are two golf courses at the foot of Mt. Tsukuba. As a result of the construction of these golf courses, the habitable environment for indicator insects such as Epiophlebia superstes (Mukashi damsefly), Tanypteryx pryeri (Mukashi dragonfly), Terpnosia vacua (Spring cicada), Genji firefly and Emperor butterfly was destructed.

1 はじめに

地球環境問題のひとつに、野生生物の種の減少の問題があげられている¹⁾が、この野生生物の

種の減少の問題は、グローバルなことだけでなく、私達が住む身近な環境でも起こっている。森林の伐採や水田の圃場整備のホタルやトンボなどの身近な生物に及ぼす影響について報告する。

2 我が国における野生生物の現状

我が国に生息する野生生物の種数は、哺乳類136、鳥類530、爬虫類76、両生類52、淡水魚類187、昆虫類29,000、種子植物およびシダ植物5,565となっている¹⁾。南北に細長い日本列島は、その気候的、地理的、地史的多様性を反映して、同じ緯度にある他の地域と比較して多く、また、多くの日本固有種を含む特徴をもつ^{2,3)}。

しかし、昭和50年から62年までの最近13年間に25万ha余りの森林が工場・宅地や農地などに変えられた⁴⁾。昭和60年の調査では、干拓などにより埋立てられた湖沼は52にものぼり、自然湖岸の比率も59%に減少している⁵⁾。そのため、かつては身近に見られた動植物を含めた多くの種類の野生生物が姿を消しつつあり、絶滅の危機に瀕しているものも少なくない。

環境庁が昭和61～63年度に実施した「緊急に保護を要する動植物の種の選定調査」⁶⁾によると、我が国においてすでに絶滅したと考えられる動物の種数は22、また、絶滅のおそれのある動物の種数は650にものぼる。

絶滅の危機に瀕していたり、絶滅が危惧される種には、哺乳類ではイリオモテヤマネコ、アマミノクロウサギ、ケナガネズミ等が、鳥類ではヤンバルクイナ、トキ、ノグチゲラ、シマフクロウ等が、両性・爬虫類ではホクリクサンショウウオ、セマルハコガメ等が、淡水魚ではサツキマス、ミヤコタナゴ、ムサシトミヨ、イトウ等がある。昆虫類ではヒスマイトトンボ、ベッコウトンボ、ヤンバルテナゴコガネ、ゴイシツバメシジミ、オオウラギンヒョウモン等の絶滅が危惧されている。

3 身近な昆虫の減少・絶滅の要因

ホタルやゲンゴロウ、オニヤンマやカブトムシなど、身近な昆虫も私達の前から姿を消しつつある。タガメ、ギフチョウ等は、「緊急に保護を要する動植物の種の選定調査」⁶⁾では、現在の状態をもたらした圧迫要因が引続き作用するならば、近い将来、「絶滅危惧種」のランクに移行することが確実視される「危急種」に指定されている。

表1は、昭和53～54年度に実施された第2回「緑の国勢調査」⁷⁾による、身近な昆虫の減少および絶滅の要因について示したものである。これらの昆虫類の生息は、汚染や改変の進んでいない溪流や湿地、池沼などの水環境、自然林や山麓の雑木林、田園的な自然環境が残っていることを示すものでもある。調査結果によると、既に絶滅している地点および生息環境が破壊されている地点の割合の高い昆虫は、タガメとハッチョウトンボである。一方、ムカシヤンマやガロアムシの生息地は比較的に残っている。また、これらの昆虫の絶滅・減少要因についてみると、タガメは農薬散布、ハッチョウトンボは宅地造成や観光開発が多くあげられている。一方、ギフチョウ、ヒメギフチョウ、オオムラサキは乱獲や森林の改変が主な原因としてあげられて

表1 指標昆虫の減少および滅亡の要因

Causes of decline and extinction of insects species, indicator of natural environment.

種名	土地利用の変化						汚染			合計	生息メッシュ数	
	道路建設	森林伐採	宅地造成	観光開発	河川改修	その他	農薬散布	河川汚染	その他			
ガロアムシ	0	3	1	3	0	0	0	0	0	0	7	521
ムカシトンボ	12	98	1	3	3	18	1	1	0	0	137	1694
ムカシヤンマ	17	14	2	0	1	0	14	2	0	0	50	957
ハルゼミ	0	22	58	1	0	39	16	0	21	0	157	9730
ゲンジボタル	1	0	3	1	52	29	27	30	0	266	409	2505
ギフチョウ	0	131	61	7	0	9	66	0	0	197	471	1811
ヒメギフチョウ	1	12	0	0	0	14	0	0	0	11	38	670
オオムラサキ	0	165	86	0	1	43	86	0	0	110	491	3043
タガメ	1	0	7	0	0	6	307	2	0	0	323	1110
ハッチョウトンボ	1	6	25	17	6	8	0	0	0	0	63	678

いる。道路建設や森林の伐採，宅地造成，河川改修，そして農薬の散布や水質汚染等により昆虫の生息できる環境は，今も失われつつある。

4 身近な昆虫の現状

(1) ゴルフ場開発の影響

平成2年度現在，全国には1710のゴルフ場があり，造成中のものが352カ所ある。ゴルフ場ガイドマップ⁹⁾および国土地理院の2万5000分の1の地図より求めた千葉，茨城，栃木の3県におけるゴルフ場の標高を図1に示した。平成2年度現在，千葉県には107，茨城県には79，栃木県には86のゴルフ場がある。茨城県の例に最も顕著に示されるように，新たに開設されるゴルフ場の標高は年々高くなる傾向にあり，その起伏差も拡大している。これは，ゴルフ場に適する平坦地が減少したためと思われる。

山麓の傾斜地のゴルフ場開発による身近な生物に対する影響についてみてみよう。

図2は，筑波山における指標昆虫とホタルの垂直分布である。筑波山およびその周辺には，ギフチョウおよびヒメギフチョウを除く8種類の指標昆虫が生息している⁹⁾。ヒメボタルとヘイケボタルは茨城県の特定昆虫(環境指標種)⁹⁾として位置付けられており，前者は筑波山頂周辺のブナ林に，後者は周辺の水田一体に広く生息する¹⁰⁻¹²⁾。この他に，オニヤンマやヒメハルゼミ，トウキョウサンショウウオやハコネサンショウウオなどの生息が報告されている^{9,13-15)}。

筑波山麓の南面の傾斜地と稜線には，昭和49年に開設されたゴルフ場が2つある。ひとつは

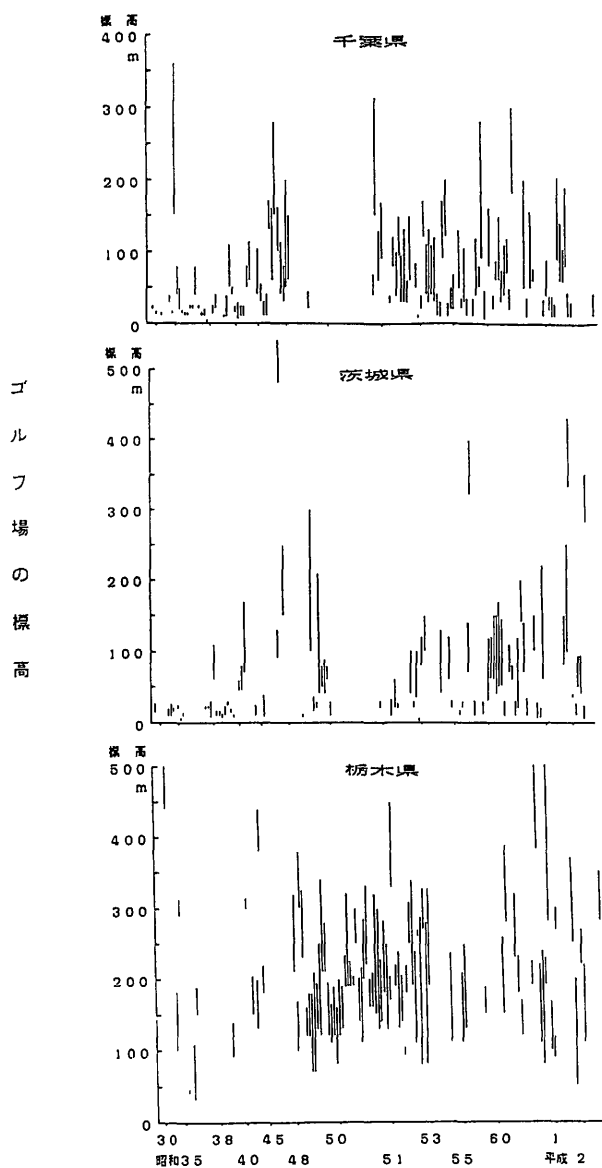


図1
ゴルフ場の標高
The altitude of golf courses.

面積79.2ha，標高100～350m，もう一つは，面積115.5ha，標高70～200mである。昆虫の分布状況からこのゴルフ場開発により，指標昆虫ではムカシトンボ，ムカシヤンマ，ハルゼミ，ゲンジボタル，オオムラサキの生息地が破壊されたと推定される。また，カジカガエル，サンショウウオの生息地も消滅したと思われる。

平成3年2月27日夜，著者は筑波山で初めてムササビの飛行を目撃した。山麓の開発は，昆虫のみならず，それらに依存する鳥類や哺乳類の生息環境を破壊することは言うまでもない。

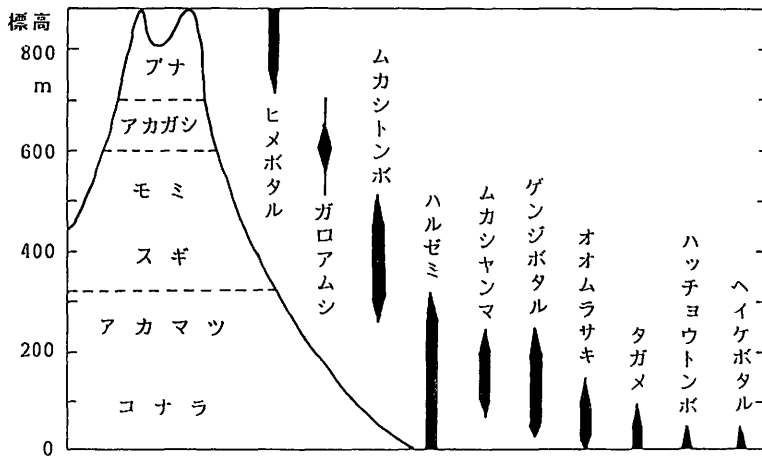


図2 筑波山における指標昆虫とホタルの垂直分布

Vertical distribution of insects species, indicator of natural environment on Mt. Tsukuba.

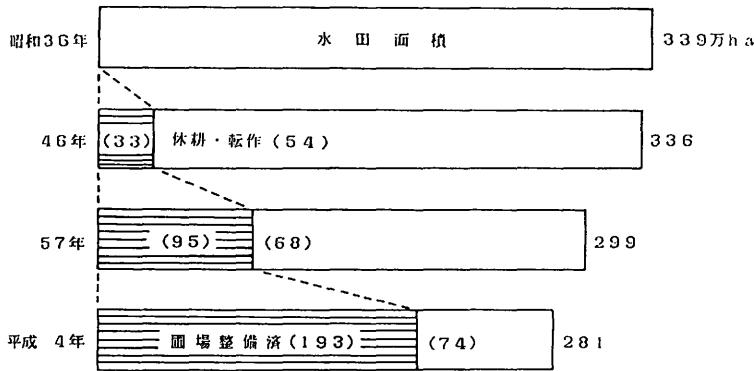


図3 水田面積の推移

Changes in area of paddy field.

(2) 水田の圃場整備の影響

身近な生物に対する水田の大規模化に伴う圃場整備事業の影響も見過ごすことはできない。図3に農業白書^{16,17)}より求めた水田の圃場整備と休耕・転作の状況について示した。水田の面積は、昭和36年の最大時には339万haであった。昭和41年から水田の本格的な圃場整備、昭和46年から休耕・転作が始まり、昭和63年には291万haに減少している。水田面積は、平成4年には281万haと昭和36年の約80%に減少する見込みである¹⁷⁾。区画整備や暗渠排水化された汎用水田の面積は193万ha、水田総面積の70%が整備済みの水田となる。このように整備された水田は用水路と排水路が区別され、必要な時だけ導水される仕組みになっている¹⁷⁾。したがって、秋から春

にかけての水田は乾燥した畑のようで、水路にも水はない。

筑波山周辺の水田でも10数年前から圃場整備が始まり、水田の間を流れる、いわゆるメダカやドジョウの生息する小川はほとんど姿を消した。圃場整備とそれに伴う水田の乾田化は、かつては身近な生き物であったヘイケボタル¹⁰⁾、タガメ^{7,18)}、ゲンゴロウやメダカなどに壊滅的な打撃を与えた。特にタガメは、保護を必要とするほどの希少種となった⁹⁾。

しかし、筑波山麓のある河川沿いの水田では、圃場整備後十数年経って、ヘイケボタルがあたり一面広範囲にみられるようになったところもある¹⁰⁾。圃場整備もやりかた次第では、水生生物に対する影響を軽減できるのではないだろうか。

5 おわりに

昭和30～40年代のDDTや有機水銀系の毒性の強い農薬や河川改修などによりホタルの生息地が消滅し、ほかの水生生物も絶滅するのではないかと危惧された。近年になり、再びホタルが見られる場所が増えつつあると報告された⁷⁾。それは、農薬が蓄積性の少ない低毒性のものに転換されると、それまで、農薬の撒かれなかった山間や湧水に細々と生き残っていたホタルが数を増しながらゆっくりと山を降り、他の生物と共に我々の前に再び姿を見せたからである。それは、ホタルが生き延びられる場所が残っていたからである。ホタルのみならず多くの生物にとっての最後の砦が今、ゴルフ場やリゾートなどの開発の波に消えようとしている。

「動植物の個々の種の絶滅という問題は、群集に影響を及ぼす、より大きな問題のひとつの側面にすぎないのだが、これまで自然保護に対して寄せられた関心の大半を獲得してきた。ある特定の種の絶滅というのは、わかりやすいものであり、劇的なものである。それは美術品の破壊と同じく、取り返しの利かない決定的なものである。生物の種というものは総て潜在的なハンプティ・ダンプティなのだ。現在わかっている生物進化のしくみからすると、ひとたび滅ぼされてしまえば、その種はこの惑星上で、もう一度つくりだされることはないだろう¹⁹⁾」。

参考文献

- 1) 環境庁；環境白書(平成元年度)，1990。
- 2) 桐谷主治・編；日本の昆虫，東海大学出版会，1986。
- 3) 川合禎次，川那部浩哉，水野信彦・編；日本の淡水生物，東海大学出版会，1980。
- 4) 国土庁；国土利用白書(昭和53～平成元年度版)，1978～1989。
- 5) 環境庁；環境白書(昭和63年度)，1988。
- 6) 環境庁自然保護局野生生物課；「緊急に保護を要する動植物の種の選定調査」のとりまとめ結果について，1989。
- 7) 環境庁；第2回自然環境保全基礎調査報告書，1982。
- 8) 国際地学協会ゴルフ編集部；'91関東ゴルフ場ガイドマップ，1990。
- 9) 環境庁；第2回自然環境保全基礎調査，動物分布調査報告書(昆虫類)茨城県，1979。

- 10) 宮下衛；ヘイケボタルにとって水田とは?。採集と飼育, 51, 260-262, 1989。
- 11) 宮下衛；筑波山と幻のヒメボタル。神社新報, 6月18日, 1990。
- 12) 宮下衛；ヘイケボタルに対する農薬の空中散布の影響。日本公衛誌, 35, 125-132, 1988。
- 13) 日本自然保護協会；筑波山自然公園学術調査報告, 1966。
- 14) 芳賀和夫；筑波山の動物。日本の生物, 7, 36-41, 1988。
- 15) 廣瀬誠；筑波山の自然。ふるさといばらきの山, 茨城新聞社, 1990。
- 16) 農林水産省；農業白書(昭和38~63年版), 農林統計協会, 1963~1988。
- 17) 加藤讓・編；水田利用再編と土地利用, 農林統計協会, 1984。
- 18) 市川憲平；タガメの生態。昆虫と自然, 25, 8, 8-13, 1990。
- 19) Ehrenfeld, D.W.；小原秀雄・浦本昌紀共訳, 自然保護入門, 共立出版, 1975。

第18回放医研環境セミナー実行委員会委員一覧

(所属は平成2年11月末現在)

委員長	小柳 卓	那珂湊支所長
副委員長	鈴木 讓	海洋放射生体学研究部 海洋放射生態学第2研究室長
委員	花木 昭	薬理化学研究部薬理化学第2研究室長
〃	村磯 知採	生物研究部生物第1研究室
〃	渡利 一夫	環境衛生研究部環境衛生第4研究室長
〃	湯川 雅枝	環境衛生研究部主任研究官
〃	内山 正史	総括安全解析研究官付 主任安全解析研究官
〃	村松 康行	環境放射生態学研究部 環境放射生態学第2研究室長
〃	河村日佐男	環境放射生態学研究部 環境放射生態学第3研究室長
〃	石川 昌史	海洋放射生態学研究部主任研究官
事務局	管理部企画課	

第18回放医研セミナー 「地球環境の汚染と保全」 プログラム

・主 催：放射線医学総合研究所 ・開 催 日：平成2年11月29日(木)・30日(金)
 ・開催場所：放射線医学総合研究所 講堂

時 間	セッション・講演タイトル	演 者	座 長
第1日目			
－11月29日(木)－			
09:50～09:55	開会の辞	松平寛通(放医研所長)	
09:55～10:00	共催学会長挨拶	市川龍資(保物学会長)	
10:00～11:00	特別講演1 ジャーナリストから見た地球環境問題	竹内 謙(朝日新聞社)	上田泰司(放医研)
11:00～12:00	特別講演2 地球環境問題の現状	不破敬一郎(東大名誉教授)	岩倉哲男(放医研)
12:00～13:30	昼 食		
13:30～14:30	I. セッション(1) 1. 温室効果の環境への影響	岡本和人(東京学芸大)	大桃洋一郎(放医研)
14:30～15:30	2. 酸性雨の化学と環境影響	一國雅巳(東工大)	
15:30～15:45	休憩		
15:45～16:45	II. セッション(2) 3. 農薬の環境中の動態	山田忠男(農業環境技術研究所)	長屋 裕(放医研)
16:45～17:00	質疑応答		
17:30～19:00	懇親会		
第2日目			
11月30日(金)			
10:00～11:00	特別講演3 放射線による環境汚染と人体への影響評価	松平寛通(放医研所長)	阿部史朗(放医研)
11:00～12:00	特別講演4 最近の水質汚濁問題	梅崎芳美(産業公害防止協会)	小林定喜(放医研)
12:00～13:30	昼食		
13:30～14:30	III. セッション(3) 4. フロンによるオゾン層の破壊	富永 健(東大)	花木 昭(放医研)
14:30～15:30	5. 重金属による環境汚染	野見山一生(自治医大)	
15:30～15:45	休憩		
15:45～17:00	IV. 総合討論		小柳 卓(放医研)
	・施設従事者の被曝とそのリスク	丸山隆司(放医研)	鈴木 讓(放医研)
	・環境汚染の人為的低減方法と内部被ばく線量の軽減効果の評価	内山正史(放医研)	
	・地球とヘルストランジション	松原純子(東大)	
	・小さな生き物から見た自然	宮下 衛(国立環境研)	
17:00～17:05	閉会の辞	戸張巖夫(放医研科学研究所)	

放医研環境セミナーシリーズ No.18

地球環境の汚染と保全

1992年3月31日

編集 小柳 卓

編集協力 石澤 義久/城 正弘/小島謙次郎

放射線医学総合研究所

〒260 千葉市穴川4-9-1

電話 0472-51-2111