

地球環境の放射性物質による汚染*

杉 村 行 勇

1. はじめに

1938年にドイツの科学者オットー・ハーンらがウラン235の中性子による核分裂を発見し、その核分裂によって大量のエネルギーが放出されることが明らかになった。この核分裂の発見は、その後の地球人類の運命を大きく変えることになる。

当時すでにヨーロッパでは第2次世界大戦が始まっており、アメリカでもドイツでも、科学者たちが原子力を兵器として使おうという提案を戦争指導者に行ったのが、核分裂の発見後1年の1939年のことであった。テネシー河開発による余剰電力を利用するウラン濃縮工場の建設と並行して1942年には、世界で初の黒鉛減速型原子炉がシカゴ大学構内に建設され、ここで核分裂による熱中性子を利用してプルトニウムの生産がはじめられた。この原子爆弾開発計画には、最盛期約5,000人の科学者・技術者が動員されたといわれる。ナチス・ドイツの“ウラン爆弾”計画に対する恐怖から始まった原子爆弾開発計画は、1945年7月16日のプルトニウム原子爆弾の最初の爆発で完成し、ナチス・ドイツにはなく、日本に向けて8月6日広島ウラン爆弾、8月9日長崎のプルトニウム爆弾として使用された。

原子核兵器の開発競争は、はじめ米ソ両国で開始され、地上、水中、空中での実験が繰り返された。1963年の大気圏内外および水中核実験停止条約の調印後は、仏・中両国を除き、地下核実験へと移行したが、核弾頭の開発競争は依然として継続されている。

爆弾としての利用のほかに、原子力艦船の建造競争

もまた激しく行われたが、原子力の平和利用という名で原子力推進艦船用に開発した加圧水型原子炉を発電に利用するため、1954年には原子力発電所建設計画が発表され、1958年に世界初の商業用原子力発電所が稼動するに至った。現在世界では397基の発電用原子炉が稼動中で、その総発電量は273ギガワット(GW:10億kW)に達している。原子力発電による電力は世界の15.5%、日本では1987年で31%になると報告されている。

原子力開発に伴う最大の問題は、核分裂生成物の環境汚染である。本稿では、核兵器実験による海洋の汚染とその経過、および原子力平和利用等に伴う海洋環境の汚染について、最近のチェルノブイリ原子力発電所事故を含めて述べたいと思う。

2. 核兵器実験による環境汚染

核兵器の米ソ二大国における開発競争は、核分裂爆弾から核融合を利用するいわゆる水素爆弾へと発展し、1962年の大気圏内実験の停止までに全爆発量はTNT火薬に換算して511メガトン(MT:100万トン)に達する。その大部分は北半球の中・高緯度で実施されたために、爆発に伴って生じた核分裂生成物は、ジェット気流に乗って地球を周回し、成層圏降下物として地表に降下した。

太平洋のマーシャル諸島にあった核実験場では米国のネバダ実験場で行うことのできない大型核兵器の実験が行われ、1954年のキャッスルテスト(ビキニ環礁)で行ったブラボー爆弾のために、付近で操業中の日本漁船は大量の放射性降下物を浴び、焼津漁港を基地とする第5福竜丸では、被爆後遺症のために船員の久保山氏を失うことになった(図1)。

海上に落下した核分裂生成物と核分裂物質の残渣は海洋生物に付着し、あるいは摂取されて日本の主要な遠洋^{まてう}鯨の漁場を汚染し、漁獲物の多くを放射能汚染のために廃棄しなければならなかった(図2)。放射性物質はさらに北赤道海流に乗って移動し、約1年後には日本沿岸を洗った。当初米国原子力委員会は太平洋における核兵器実験の影響を過少評価していたが、日本の研究結果をみて大規模海洋汚染の状況を認めざるをえなくなった。西太平洋の汚染はその後広く太平洋全域に及び、図3にみるように北太平洋では依然として



Yukio Sugimura

昭和35年 東京都立大学大学院博士課程修了

同年 気象研究所

62年 同地球化学研究部長

理学博士 日本海洋学会岡

田賞 気象庁長官表彰

〔趣味〕 船舶模型製作 古仏古寺鑑賞

* Radioactive Pollution of Earth's Environment, 昭和63年1月21日受理

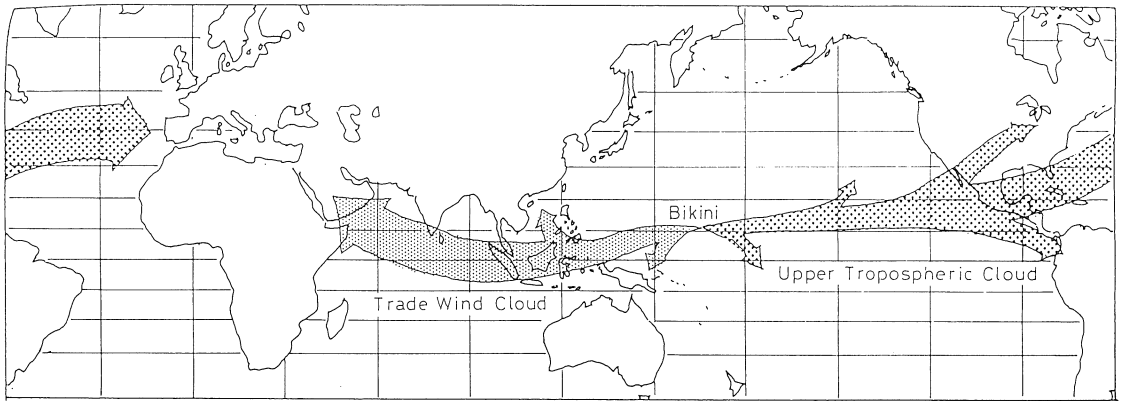


図1 ビキニ核実験の放射能雲の移動経路

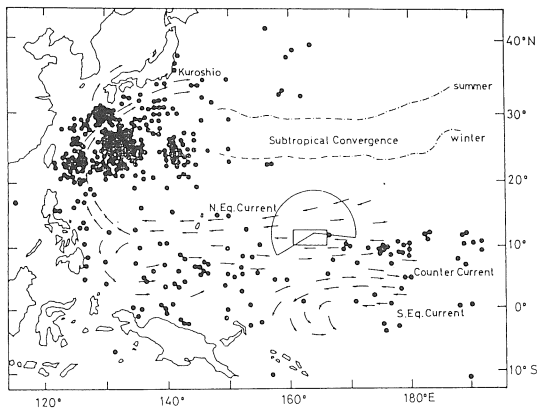


図2 放射能汚染 鮪の漁獲地点分布

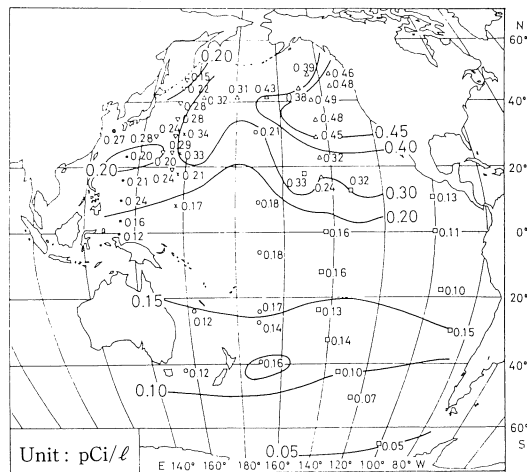


図3 大太平洋表面海水のセシウム137濃度分布 (1968~1972)

南太平洋に比べて高いレベルを保っている。現在の表面濃度はかつての大規模実験の名残りである大気圏降下物によって保たれている。

ビキニやエニウェットク環礁の付近では核実験の影響が続いてみられており、放射能のレベルは依然として高く保たれている(図4)。

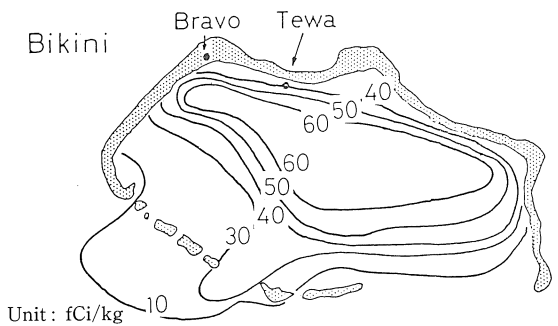


図4 ビキニ、環礁海水中のプルトニウム濃度

3. 沿岸原子力施設による海洋汚染

核兵器生産あるいは核燃料再処理による放射性廃棄物の海洋投棄・沿岸放出は、核兵器実験と並んで大きい問題である。米国はワシントン州コロンビア河上流のハンフォードにプルトニウム生産炉を建設し、長期間にわたって放射性廃液をコロンビア河を通じて太平洋に放出した。北太平洋東部の中緯度海域はこのため図5にみられるように、かなり放射性物質の濃度が高まっている。現在世界的によく知られているのは、英国核燃料公社のセラフィールド再処理工場からの放出およびフランスのラ・アグ原子力工場からの放出がある。これらは、イギリス沿岸、北海を広く汚染し、さらに東部北大西洋にも広がっている(図6)。日本の

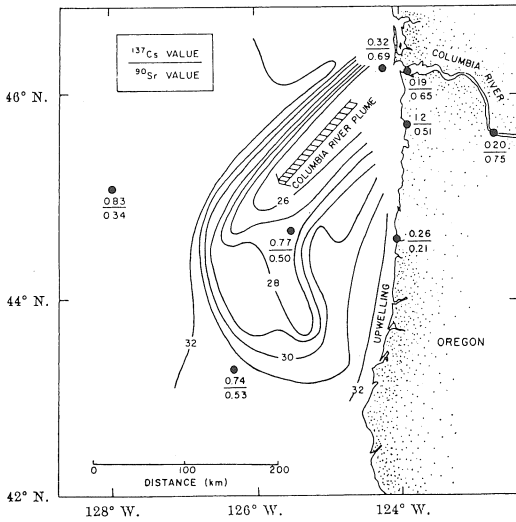


図5 北米コロンビア河河口域のセシウム137およびストロンチウム90濃度分布と塩分で示した河川流入水の分布

再処理工場は試験操業を目的として作られたため、現状では環境レベルを増加させるような放出量はないが、近い将来予定されている大規模な本格的再処理工場の建設には、十分注意することが必要であろう。

こうした液体の放射性廃棄物の投棄はいわゆる管理された放出であるが、原子力施設からの低レベル固体廃棄物あるいは高レベル廃棄物固化体についても海洋がその受け皿と考えられている。

大西洋あるいはカリフォルニア沖の太平洋への固体廃棄物の投棄を巡って、ヨーロッパ諸国や米国での追跡調査が行われた結果は、固体廃棄物の容器が必ずしも完全なものではなく、着底後破損して内容物が周辺海底を汚染している例が見出された。日本でも北太平洋の深海底に投棄する計画があり、そのための調査が進められているが、太平洋諸国はこれに反対の意向を示している。高レベル廃棄物固化体は、原子力開発に伴う最もやっかいな物である。鉱道の奥に保管あるいは深海底埋没ということが検討されていて、多くの議論をよんでいる。

4. チェルノブイリ原子力発電所の事故

1986年4月26日（現地時間）ウクライナ共和国キエフの北約130kmにあるチェルノブイリ原子力発電所の第4号炉（電気出力1,000メガワット、黒鉛減速軽水冷却チャンネル型、1984年3月運転開始）で、原子炉建屋の破壊を伴う重大事故が発生した。これまでも世界各地で炉心熔融に至るような事故は約10例が知られているが、その影響が全地球規模に及ぶものはなかった。しかし今回の事故では、4月27日まずスウェーデンで大気放射能の急増が検出され、数日のうちに東欧・西欧諸国は放射能雲で覆われることとなった。当時ソ連南部から北欧諸国の上空1,500m付近には、南から南西の強い風が吹いており、ソ連の内陸からこの風に乗って放射性物質が運ばれた。その後図7に示すような風向の変化につれて、この高い放射能を含んだ空気の一部は南下し、汚染域は拡大した。

原子炉の中にはふつう100万kWの発電炉であると約100kgの低濃縮ウラン（ウラン235の割合を天然の0.7%から3%に高めたもの）が詰められている。稼動日数に応じて原子炉の中には核分裂生成物が蓄積される。表1に推定される蓄積量を示した。ソ連の発表による放出量を同じ表に示す。希ガスを除き、原子炉内にあった放射性物質の約3%が事故によって放出されたものとされている。こうした放出に伴って、世界各地の大気放射能は急増した。

日本では、5月3日から各地の降水や空気から高い放射能が検出されはじめ、そのガンマ線スペクトルを

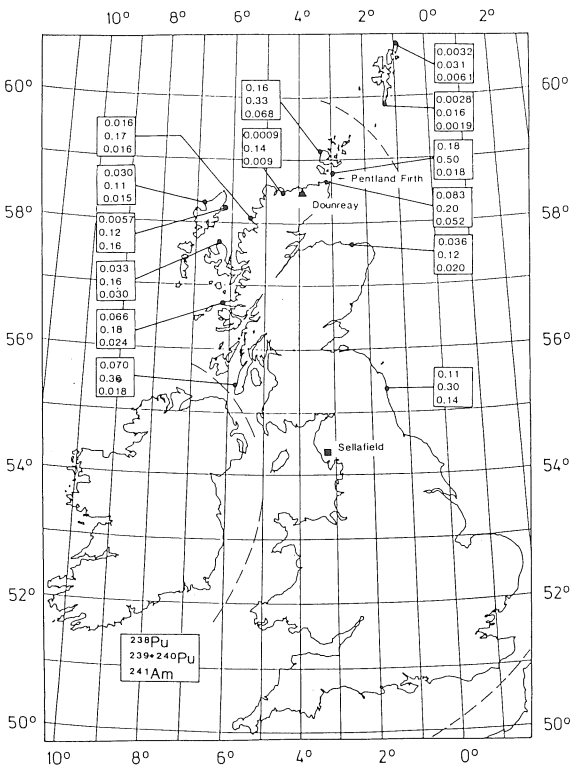


図6 1982年6月の英国周辺の表面海水中のプルトニウムおよびアメリシウム

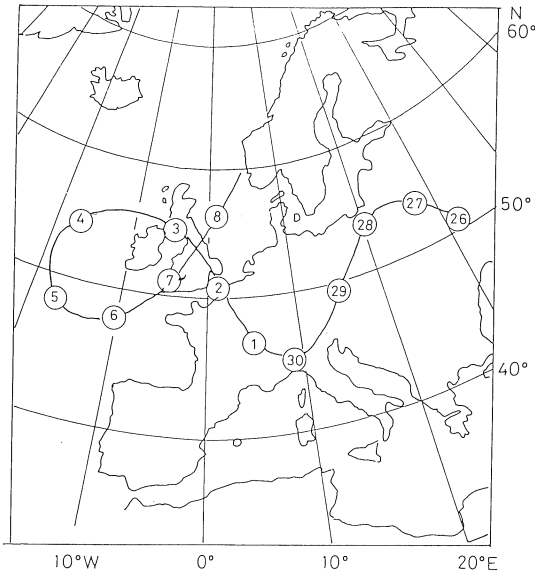


図7 1986年4月末から5月はじめまでのヨーロッパ上空におけるチェルノブイリ原子雲の流跡，図中丸の中の数字は到達日を示す

表1 チェルノブイリ原子力発電所事故による放出放射能

核種	炉心蓄積量 (MCI)	放出放射能		放出量/炉心蓄積量 (%)
		4月26日	5月6日までの全量 (Mci)	
¹³³ Xe	45	5	45	possibly 100
⁸⁵ Kr	0.9		0.9	possibly 100
¹³¹ I	35	4.5	7.3	20
¹³² Te	8.6	4	1.3	15
¹³⁴ Cs	5.1	0.15	0.5	10
¹³⁷ Cs	7.8	0.3	1.0	13
⁹⁹ Mo	130	0.45	3.0	2.3
⁹⁵ Zr	119	0.45	3.8	3.2
¹⁰³ Ru	111	0.6	3.2	2.9
¹⁰⁶ Ru	54	0.2	1.6	2.9
¹⁴⁰ Ba	78	0.5	4.3	5.6
¹⁴¹ Ce	119	0.4	2.8	2.3
¹⁴⁴ Ce	86	0.45	2.4	2.8
⁸⁹ Sr	54	0.25	2.2	4.0
⁹⁰ Sr	5.4	0.015	0.22	4.0
²³⁸ Pu	$2.7 \cdot 10^{-2}$	$0.1 \cdot 10^{-3}$	$0.8 \cdot 10^{-3}$	3.0
²³⁹ Pu	$2.3 \cdot 10^{-2}$	$0.1 \cdot 10^{-3}$	$0.7 \cdot 10^{-3}$	3.0
²⁴⁰ Pu	$3.2 \cdot 10^{-2}$	$0.2 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-3}$	3.0
²⁴¹ Pu	4.6	0.02	0.14	3.0
²⁴² Cm	0.7	$0.3 \cdot 10^{-2}$	$2.1 \cdot 10^{-2}$	3.0

1 MCI = 3.7×10^6 Bq

みると、セシウム134のような通常の核実験からはほとんど生成しない核種が検出された。

それと同時に、大量の気体状ヨウ素131、クリプトン85も検出された。日本列島における放射性物質の地域

分布をみるため日本の12地点の降水量分布をみると、図8に示すように30°Nから40°Nに極大をもつことがわかった。これらの事実は、チェルノブイリ原子力発電所の事故により、放出された放射性物質が対流圏を通過して東へ運ばれ約1週間で、まずはじめの放出物が到着したことを示している。

原子炉事故により放出されたセシウム137の約30%がソ連領内に降下し、60%がヨーロッパ諸国に、残りの10%以下が、東アジアや北米にふり分けられたものとみられる。大部分の放射能は対流圏に放出されたので、その平均滞留時間は1カ月程度で地表に降下した。ごく一部（1%以下）が成層圏に達したとみられる。

中緯度から高緯度に広がった放射性物質は、海洋上にも降下した。黒海および北太平洋西部において研究が行われた。チェルノブイリ起源の放射能のよい指標はセシウム134の存在である。セシウム134/セシウム137放射能比は約0.5で放出され、降下物でもこの値が保たれている。日本周辺の海域でセシウム134は25°N以南では、ほとんど海水中に検出されない。また降下したセシウムは表層にとどまり、ゆっくりと下層に広がっていくことがわかった（図9）。

5. チェルノブイリ事故とビキニ水爆テストとはどちらが周辺に大きい影響を与えたか

核兵器実験による環境汚染と、今回のチェルノブイリ原子力発電所事故による影響を比較しておくことは、人類に対するよい警告になる。

チェルノブイリでは、事故原子炉を中心とした30km内の汚染は甚だしく、セシウム137で比較すると、ビキ

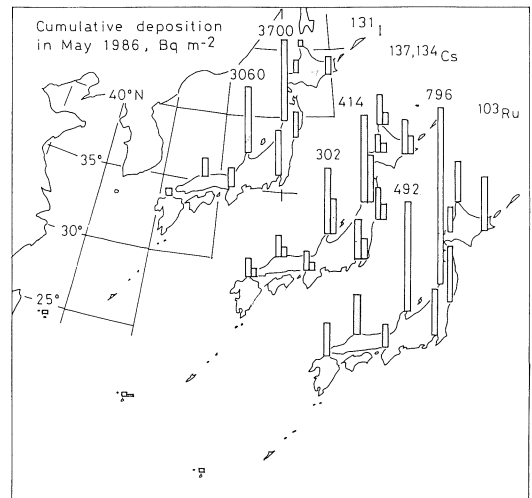


図8 日本各地におけるヨウ素131、セシウム137、134およびルテニウム103の1986年5月降水量

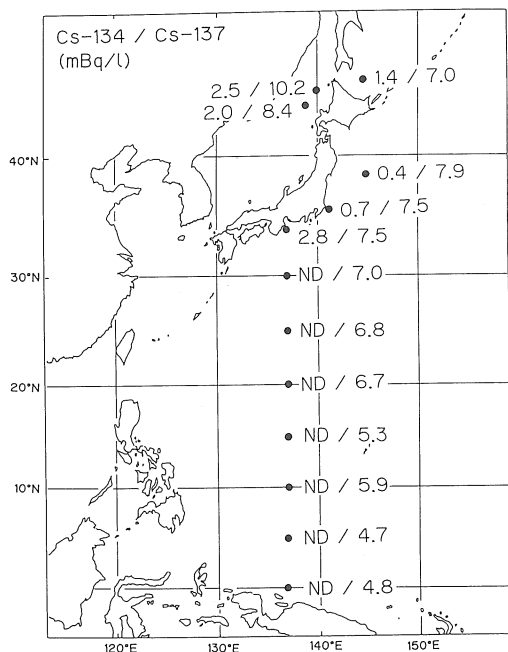


図9 1986年6～9月の北太平洋西部表面海水のセシウム134, 137濃度

ニテストの場合の数百倍に及ぶ汚染が観測されている。

原子炉事故の場合、放出された放射性物質の大部分は対流圏下部から中部にとどまり、降水等によって比較的早く地上に降下するために、局地的な汚染が大きい。核兵器実験の場合は、爆発による火球は、爆発の規模にもよるが、1 MTを超える場合は大部分が成層圏に達してその後1～2年の半減期をもって地上にゆっくりと降下することになる。この場合爆発直後の局地降下物は比較的少なく、影響は全地球的で長期継続する。

図10に1966年に行われた中国核実験の原子雲の流跡線を示すが、数千mの上空に吹きあげられた物質は、約2週間で北半球中緯度を一周する。チェルノブイリ事故のような場合その放出は核爆発と異なり上空3km程度であるために、移動速度はやや遅くなる。移動途中に希釈されたり、降下するため、空気中の濃度は10,000kmで約1/10に減少する。原子雲の通路に当たったところでは降水の有無によって地表汚染に著しい差が生じた。

6. 海洋生物への濃縮

わが国のように海産資源を多く利用しているところでは、海洋水を汚染した放射性核種が食物連鎖を通じて生物に濃縮され、経口摂取される問題を重要視しな

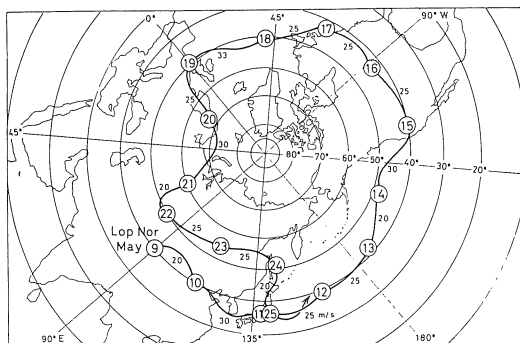


図10 1966年5月9日中国核実験原子雲の500mb高度における流跡線、図中丸の中の数時は到達日、線上の数字は平均移動速度(m/s)を示す

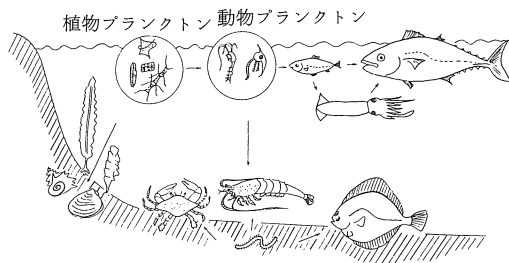


図11 海洋の食物連鎖

ければならない(図11)。

海洋環境から人体に移行し、放射線被曝の上で重要な核種は、核分裂生成核種としてストロンチウム90、セシウム137、ヨウ素131、ルテニウム106、セリウム144などがあり、誘導放射性核種としてコバルト60、亜鉛65、鉄55、マンガン54などがあげられる。

人類はその発生から今日まで長期間にわたり、地球環境に存在する天然の放射性元素や放射線と共存し、それらに対するつき合いの方法を代々伝えてきた。しかし、原子力開発や原子爆による新しい放射性物質について安全なつき合い方を覚えるためにはまだ期間が短かすぎる。

地上で放出された物質の終点が海洋であることを考えると、放射性物質による海洋汚染はできることなら何もない方がよいし、もしあったとしても人類への影響が極小になるような方法で対応すべきであると考ええる。

文 献

- Radioactivity in the Marine Environment, Nature. Acad. Sci. US (1971) pp.272, Wash p.c.
- 三宅泰雄ほか (1978) 核兵器と地球環境の放射能汚染、被爆の実相と被爆者の実情、1977NGO被爆問題シンポジウム、185-212, 朝日イブニングニュース。