

## 東京電力(株)福島第一原子力 発電所事故による海水汚染問題と ビキニ事件

青山 道夫  
Aoyama Michio

### 1. はじめに

広島・長崎の事例を別にして、我が国における組織的な環境放射能研究は、日本時間では1954年3月1日(現地時間では2月28日)に北太平洋の赤道域にあるビキニ諸島で実施された大規模な大気圏内核実験に始まる。15メガトン級水素爆弾の爆発実験がビキニ環礁で行われた。プルトニウム原子爆弾を爆発させ、その時発生する高熱・高圧で水素を核融合させて、更に大きなエネルギーを放出させる実験であった。実験により生成した放射性物質を含む雲は西から東に吹く風に流され、実験場から160km東の海上で操業中だった第五福竜丸を被曝させた。その後も実験は繰り返され、放射能塵は風や海流に乗って北太平洋の広範囲を汚染し、マグロを中心に我が国の漁業に甚大な損害を与えた。

日本の陸上で観測された最初の人工放射性雨の報告は「天文と気象」誌第20巻に掲載されており<sup>1)</sup>、そのはしがきには「第五福竜丸その他の漁船がうけた災害によってビキニ海域における水爆実験の威力がいまさらの如く注目の的となり、人工放射性物質の大量撒布による世界的な汚染の危険性が日本の科学者たちによって報告された。しかも、その警告がついに事実となって、(1954年)5月14日以降、日本全国に人工放射性物質をふくむ雨が、やむことなく降りつづけているのである。」とある。最大値は $18,500 \text{ Bq L}^{-1}$ と記されている。鹿児島市、広島市、大阪市、京都市、名古屋市、静岡市、東

京都、仙台市、金沢市、弘前市、新潟市の大学、又は各都府県の衛生研究所における観測結果が記述されている。また、流跡線解析と気圧計の解析により、この雨に含まれていた人工放射性物質の起源は同年5月5日の核爆発によるものと推定されている。

マグロの放射能汚染の状況については、国立医薬品食品衛生研究所小史第4号に、「ビキニ調査船俊こつ丸、放射性降下物漂う海へ」と題する宮原氏の明快な解説<sup>2)</sup>があるので、マグロ汚染がどのようなものであったかを再確認する意味で少し長くなるが以下に引用して紹介する。

——引用文——日本各地の漁港に水揚げされたマグロはその場で放射能検査され、魚体から1~2cmの距離で100cpm以上(GM測定;自然放射能を含む)だと廃棄された。このような汚染マグロは核実験が行われた海域だけでなく、広い範囲で漁獲されたので、事態を重く見た政府は調査船「俊こつ丸」をこの海域に派遣した。俊こつ丸は5月15日14時55分に竹芝栈橋を出航した。俊こつ丸調査に参加した人は調査団の科学者22名、報道関係者9名、漁師5名、船長以下船員32名、総勢72名であった。出発の前日5月14日3時20分(日本時間)にもビキニ海域で核実験(キャッスル・ネクター)が実施され、3月から二ヶ月半の間に全部で6回の実験がこの海域で行われた。

3月(静岡県焼津港に被ばく後13日目に帰港:著者追記)に第五福竜丸の持ち帰ったマグ

口はその表面だけが放射性物質に汚染されていたが、4月始めに焼津に水揚げされたビンナガマグロはえらに放射能があり、精密検査したところ、胃内容物や幽門部に著しい汚染が見つかった。これを受けて、築地で汚染のために廃棄処分になった魚の内臓を国立衛生試験所に持ち込み、GM測定器による詳細検査が始まった。5月になると、ビキニ環礁から遙かに離れた、フィリピン東方、沖縄近海で漁獲されたキハダ、クロカワ、シイラ、バショウカジキの内臓にも明らかな放射性物質による汚染が検出され、汚染魚の回遊範囲が極めて広い範囲であることが判明した。7月の検査では、魚体内の放射性物質の分布は血液、腎臓、肝臓などにも現れ始めた。汚染が最大のカツオは腎臓全体で18156 cpm、乾燥肉1g当たり52 cpmであった。

【極秘文書】1955年3月ボストンから南に約80 kmの小さな町の民間海洋研究所で、“俊こつ丸の航海中に日本人科学者が収集したデータの分析”という1つの極秘報告書が作成された。その中で、960マイルの海域にわたり、海水、プランクトン、魚の試料の放射能を測定し、15週間の放射性物質の減衰を記録しており、その拡散や今後の放射能問題の観点から、きわめて重要な事実を含んでいると米国は高く評価していた<sup>3)</sup>。——引用了——

偶然にも俊しゅんこつまるこつ丸が出港する1954年5月15日の前日に日本に降った雨から人工放射性物質の検出が始まったということは、既に水揚げされていた水産物のみならず、陸上で生産された農産物にも汚染が拡大していったことを意味しており、正しく地球規模の人工放射能汚染の時代が始まったといえる。陸上での農産物の汚染も当初は表面のみであり、マグロと同様に初期は表面汚染であった。時間がたつにつれて、物質循環の経路に新たに加わった人工放射性物質が入ることにより、マグロや農産物の生体内部に入っていく様子が多くの報告に記録されている。

本稿では、海洋における人工放射能汚染の状況について、ビキニ核実験に始まり、大規模核実験による汚染、チェルノブイリ原発事故による汚染、更に東電福島第一原発事故による太平洋の海水の放射能汚染について特化して述べることとする。

## 2. 地球環境中での人工放射性物質の移動

大気圏核実験を実施する、あるいは原子力施設で大気環境中への放出事故があると、大気中に出た人工放射能は風に乗って大気中を輸送されて比較的容易に地球を一周し、最終的には地面に降下するあるいは海面に降下する。さらに、海岸に原子力発電所が立地しており、東電福島第一原発事故のような事故が起きると、汚染水が直接そのまま海へ流出するということが起きる。本当に地球を一周するかというと、観測事例は沢山あるが、1945年に広島・長崎に落とされた原爆の痕跡がグリーンランドのそばの北極の氷床の中に記録として残っていることが報告されている。氷を掘り出してレイヤーに切って時間を特定すると、1945年のところにプルトニウムの痕跡が見える<sup>4)</sup>というので、大気中に出たものは非常に簡単に地球上を長距離移動するという証明となっている。

海表面に降下したもので<sup>137</sup>Csのように海水に溶けてしまっているものは、浅いところではその表層でよく混ざり、その後は海の流れて動いていくということになる。

## 3. ビキニ水爆実験の海洋汚染についての日本及び米国等の調査

既に述べたように、ビキニ環礁での核実験による海洋の放射能汚染の実態を調査するために俊こつ丸が行き、海洋汚染の状況を調査した。アメリカはインク一滴落としたようなもので影響はないと言い切っていたが、日本の調査結果はビキニ環礁付近で西北西に2,000 km程度延びるやや顕著な汚染域と東北東700~800 kmの付近に顕著な汚染域があるということを見出し

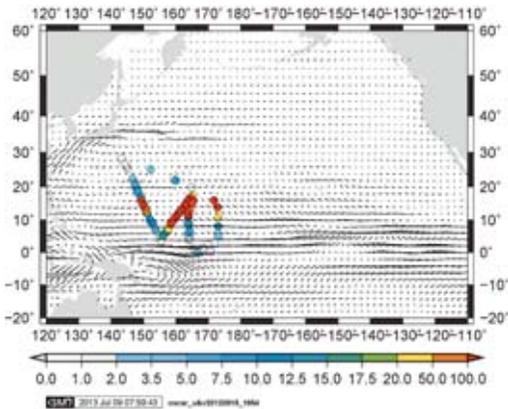


図1 第一次俊鵲丸調査の結果（1954年）  
 カラーズケールは換算計数を求めて得られた<sup>90</sup>Sr相当分のBq m<sup>-3</sup>、矢印は海水の流れを示す

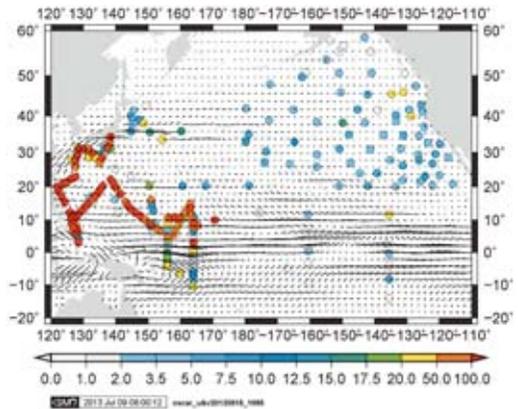


図2 Operation Troll 及び NORPAC 観測の結果（1955年）  
 カラーズケールは換算計数を求めて得られた<sup>90</sup>Sr相当分のBq m<sup>-3</sup>、矢印は海水の流れを示す

た<sup>5)</sup> (図1の赤い部分)。

この結果を受けて、米国は1955年2月からOperation Troll<sup>6)</sup>という調査航海を行い、また1955年8～9月にかけて日本と米国、カナダの3か国は共同で北太平洋全域の調査(NORPAC)<sup>7)</sup>を行い、結果として汚染域が黒潮に沿って亜熱帯循環西部に広がっている様子を確認している(NORPACのデータは原子力委員会が1959年に発行した「放射能調査の展望」<sup>7)</sup>の135ページに掲載されている図から読みとって図2とした)。また北太平洋東部のカナダや米国沿岸ではビキニ環礁での実験による人工放射性物質の大気経由の降下物による汚染が主であり、そのレベルは直接海水が汚染された西部北太平洋とは異なり、汚染の程度は西部北太平洋の10分の1程度であったことも観測結果から分かる。

さらに米国は、第2次俊鵲丸調査(1956年5～6月)の時期には戦艦Waltonをビキニ環礁付近に派遣して調査をする<sup>8)</sup>とともに、1956年8月～1958年3月までは西部北太平洋を航行する米海軍の艦船を用いて、表層海水の高密度の採取を継続的に行い、米国が行った核実験による海洋汚染の状況を監視し続けていた<sup>9)</sup>。その結果は、実験を継続したために、強い汚染

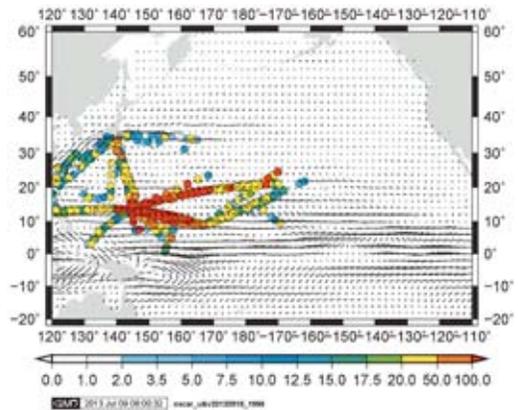


図3 戦艦Walton 及びほかの海軍艦船による調査結果（1956～1958年）  
 カラーズケールは換算計数を求めて得られた<sup>90</sup>Sr相当分のBq m<sup>-3</sup>、矢印は海水の流れを示す

域が広範囲に広がっていったことを示している(図3)。

1954年の水爆実験による汚染がどのように広がっていったか。筆者が前に所属していた気象研究所の当時の地球化学研究部の三宅泰雄氏がその広がり時間発展を1954年から55年にかけての観測結果を基に図にしている<sup>10)</sup>。ビキニの実験海域から西に広がり、その後は黒潮に乗って北上して日本南岸に運ばれ、その後東へ

行くという図（図4）が公表されている。この図4は人類が起こした最初の地球規模の海洋汚染の進行を示した図といえる。

#### 4. 表層及び海洋内部での挙動

海洋内部において核実験起源の人工放射性物質の分布がどうなっていたかということについては、ピキニ実験当時に俊鶴丸によって行われた調査では核実験場の近傍では表層に偏在していること、西方に570 km離れた場所では近傍よりも深い所まで到達していたこと<sup>5)</sup>等が報告されている。筆者らが2000年代に太平洋全域で観測を行って得られた太平洋における3次元分布が、内部輸送過程に関する初めての包括的な研究であり、その知見は今回の東電福島第一原発事故の調査にも大いに役に立った。

内部輸送の概要を図5に示す。太平洋における内部輸送過程を概説すると、日本東岸や南岸から汚染水がスタートすると、まず黒潮に乗って東へ行き、その後冬季の冷却による中央モード水の形成に伴って沈み込み、海洋内部で向きを南から南西に変えて、一部はインド洋を抜けて大西洋へ行く。あとの一部は日本へ帰ってくる。また赤道の北を東へ行って赤道を南に越え、西へ戻った後に南半球へ広がっていくという輸送のルートがあるということが東電福島第一原発事故以前に核実験起源の人工放射能を追いかけた観測結果の解析<sup>11)</sup>と海洋大循環モデルを使った研究<sup>12)</sup>から分かっていた。

また、表層海水の<sup>137</sup>Cs濃度が東電福島第一原発事故の前と後でどうだったかということで、1953年から2013年の60年間のデータを見てみる（図6）<sup>13)</sup>。この表層海水中の<sup>137</sup>Cs濃度の時系列にも1950年代のピキニ環礁での核

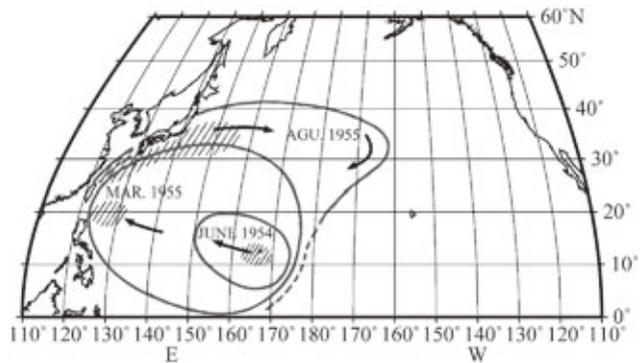


図4 ピキニ水爆実験による放射能の海洋表面汚染の広がり (Miyake, 1963<sup>10)</sup> から作成)

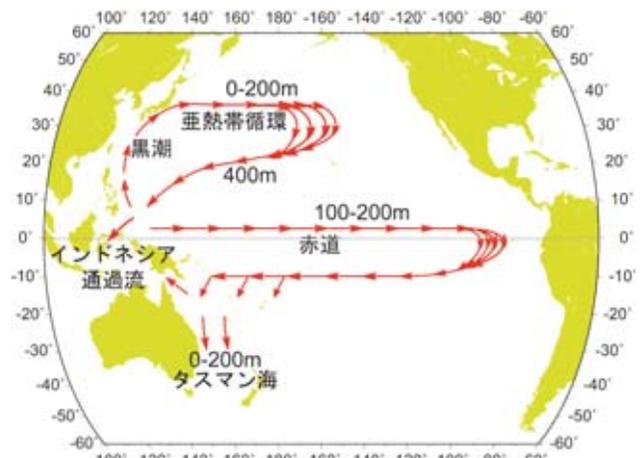


図5 太平洋での放射性物質の内部輸送の経路

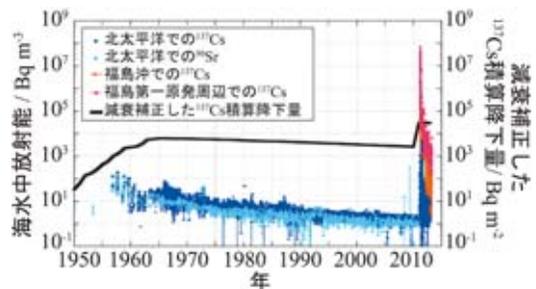


図6 1953年から2013年までの北太平洋表層での人工放射性物質の濃度

実験、1960年代初頭の大規模核実験、1986年チェルノブイリ原発事故、東電福島第一原発事

故等に起因する人工放射性核種による濃度の上昇が読み取れる。1960年代初頭の大規模核実験の結果、表層で  $10 \text{ Bq m}^{-3}$  から  $100 \text{ Bq m}^{-3}$  まで上昇した  $^{137}\text{Cs}$  濃度は、降水量の減少に伴いゆっくり減少し、事故直前の2000年代には  $1 \text{ Bq m}^{-3}$  から  $2 \text{ Bq m}^{-3}$  程度となった。海洋中での滞留時間が大気と比べて長いことによる濃度低下の大きさ（度数）の違いを反映し、1960年代初頭から東電福島第一原発事故直前までで比べてみると、海洋表層での濃度の減少は2桁の減少にとどまっている。また、表層海水中濃度に対する1986年チェルノブイリ原発事故の影響も減衰補正した蓄積量に対する増加と同じように微小なシグナルであった。さらに、1990年代では  $^{137}\text{Cs}$  濃度の減少傾向が小さくなっていることが特徴である。この理由は、既に述べた海洋の内部輸送により、亜熱帯循環内を一周して日本周辺に戻ってきた核実験起源  $^{137}\text{Cs}$  がソースであると考えられる必要があり、その一周の時間スケールは30年程度と推定される。

### 5. 東電福島第一原発事故由来の放射性セシウムの輸送過程

ビキニ核実験の調査では広域長期の調査に際し米国は海軍艦船を使っていたが、筆者等が行った図7に示す300か所を超える採取地点のうち多くの場所ではコンテナ船に依頼して試料の採取を行っている。2011年4～6月に観測された結果を、筆者らの研究成果<sup>14)</sup>だけでなく国内外の研究者の結果も全て合わせて図8に示す。

$^{134}\text{Cs}$  の半減期は2年であり、過去の大気圏核実験や原子力事故等で海洋に放出された  $^{134}\text{Cs}$  濃度は東電福島第一原発事故以前では検出限界以下となっていたこと、及び検出された  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の放射能比はほぼ1であり東電福島第一原発事故サイト近傍での  $^{134}\text{Cs}$  と  $^{137}\text{Cs}$  の放射能比は  $0.99 \pm 0.03$  であったことから、検出された  $^{134}\text{Cs}$  は東電福島第一原発事故由来であると判断できる。

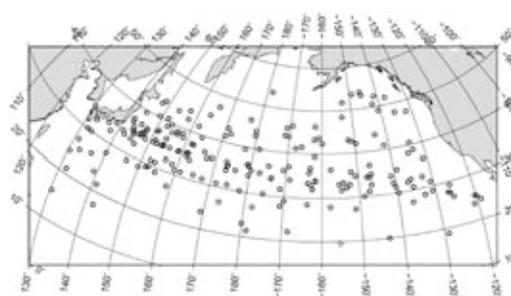


図7 採取地点（2011年3月から2012年3月）

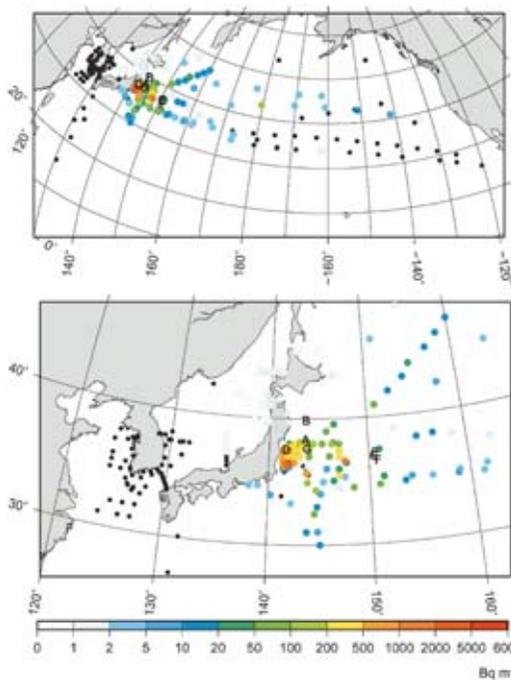


図8 2011年4月から6月の表層の  $^{134}\text{Cs}$  濃度 (Aoyama, et al., 2013<sup>14)</sup> から再掲)

東電福島第一原発は沿岸に立地しており、事故サイト近傍の海洋では北向きあるいは南向きの沿岸に沿う流れが卓越していることから、海洋へ直接漏洩した人工放射性物質は拡散ではなくその沿岸の流れの様相に従って輸送されたと考えられる。また、沿岸から沖合に視点を移すと、事故サイトの沖合である本州東方沖は、日本のはるか南からフィリピン-琉球列島沿いに北上してくる黒潮とアリューシャン列島から千

島列島沿いに南下してくる親潮が出会い、更に黒潮統流につながる東向きの流れが卓越している海域である。事故時には、沿岸では南向きの流れが卓越していたので、東電福島第一原発事故起源の人工放射性物質は、まず南に輸送され、その後東に輸送されることになった。

また、東電福島第一原発から大気へ放出された放射性セシウムが日本から主に東や北東方向へ大気経路で輸送された結果を反映し、事故直後の2011年4～6月では図8に示すように西部北太平洋高緯度域において濃度が高い。また、日本海側や日本の北及び南では濃度が低い。また、北太平洋のところどころに大気経路で輸送されたものが局所的に降下してできたと考えられる周辺より高濃度となっている領域が北緯40度と北緯50度の間日付変更線付近や西経140度から150度付近に見えた。

また、直接漏洩の結果により、東電福島第一原発事故サイト近傍での濃度上昇が著しいことが分かる。表層での $^{137}\text{Cs}$ の濃度が $10\text{ Bq m}^{-3}$ を超えていることを指標として東電福島第一原発事故起源の放射性セシウム同位体の東への広がりを見てみると、表層での $^{137}\text{Cs}$ の濃度が $10\text{ Bq m}^{-3}$ を超える領域は2011年6月には東経160度までしか到達していなかったが、その後海洋表層での輸送により東に移動し、2011年10～12月には東経170度程度まで広がっていることが分かった。その東側の東経170度から西経170度の領域でも、わずかな表層 $^{137}\text{Cs}$ 濃度の上昇が見出されている。さらに、2012年1～3月では表層での $^{137}\text{Cs}$ の濃度が $10\text{ Bq m}^{-3}$ を超える領域は東経180度線（日付変更線）付近まで達していることが観測された。この観測結果から東への移動速度を見積もると、270日間で1,800 km移動したことになり、 $8\text{ cm s}^{-1}$ あるいは $7\text{ km day}^{-1}$ と推定ができる。海洋物理学の観測から見積もられているこの海域での表

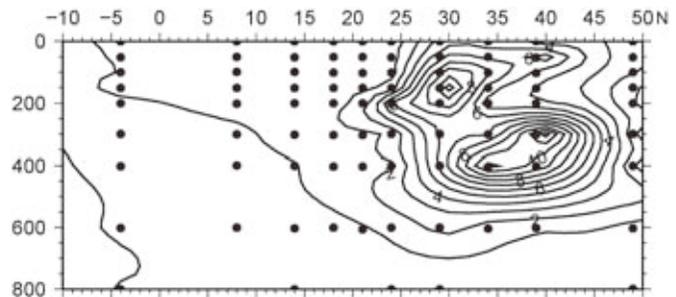


図9 2012年6～7月時点の北緯50度から南緯5度までの東経165度線に沿う $^{137}\text{Cs}$ 濃度鉛直断面図

層の流速は $4\sim 16\text{ cm s}^{-1}$ であることから、得られた速度から放射性セシウムは環境中に放出された後、海洋表面から海洋に入った後よく溶けて海水とともに輸送されていると考えることができることを示している。

その後、2011年と2012年間の冬季に冷却により表層を輸送されていた東電福島第一原発事故起源の $^{137}\text{Cs}$ は、表層からサブダクションによる亜熱帯モード水あるいは中央モード水の生成に伴って海洋内部へ輸送されたことが観測から分かっている。図9に示すように2012年6月の時点で、東経165度線北緯40度では海水中 $^{137}\text{Cs}$ 蓄積量の80%が200 m以深に存在している。この観測は過去の内部輸送過程の知見に基づいて、場所と時間を限定し、結果をある程度予測して行った観測である。

## 6. 終わりに当たって

今回の東電福島第一原発事故により海洋環境に放出された人工放射性核種の調査に当たっては、東電福島第一原発事故以前のビキニ核実験での調査に始まった海洋環境における人工放射性核種の長期挙動の研究成果が生かされたといえることができる。また、東電福島第一原発事故により放出された人工放射性核種の将来の挙動の予測も比較的簡単に行うことができた。これらのことは、過去と現在を知ることが将来を知ることにつながるという研究の当たり前ではあるが、なかなか実行することは難しいという現実

がある中で、比較的上手くいった事例であろう。水爆実験が行われたビキニ環礁は東電福島第一原発事故の前年の2010年第34回世界遺産委員会において、ユネスコの世界遺産（文化遺産）に登録された。正に負の文化遺産であるが、人類が決して忘れてはいけないこととして、登録されることにより、より多くの人々が思い出す助けとなるであろう。人工放射性核種の海洋環境への新たな大量放出が起きないことを願って本稿を終える。

### 【追記】

本文中の極秘報告書とされている参考文献<sup>3)</sup>について、筆者は宮原氏の文献を読むまでその存在を知らなかった。そこでその内容を確認するため、日本の国会図書館に収蔵されているのを見つけてコピーを取り寄せた。それが届いたのは本稿の締切を過ぎた後であったので、追記としてその内容を記す。1) 作成者は著者も短期滞在したことのある海洋学の研究では世界的にも著名な米国ウッズホール海洋研究所の研究者であること、2) 作成は1955年3月で、1959年4月に秘密指定は解除されていること（ドラフトは1955年1月に既に提出済み）、3) 報告の基になったデータは、気象研究所三宅泰雄氏が1954年11月に開催された日米放射能会議に出席したEisenbud氏にpersonal communicationの形で観測データを渡したことなどが記載されていた。日米放射能会議については、Eisenbud氏の講演記録を翻訳して掲載されている本誌の1985年2月、3月号<sup>15,16)</sup>にも記載がある。このVine氏の報告書の中では、1) 日本のデータは良質のデータであると感じることができる、2) 俊鷗丸の調査の時点で既に4か月たち900マイルの範囲がカバーされていたので、それらを外挿することにより、放出された放射能は西太平洋の海流システムで1年若しくはそれ以上流動するであろう、3) 放射能の広がりを調べるために調査船を送るべきである、4) 北太平洋全域に広がる可能性を示唆

した図を提示（図2に示した観測範囲とよく一致している）、5) 米国側による表層海水の採取と分析は汚染水の広がりを知る上で役に立つ。サンプルは25～50マイルごとにとるべきである。採取場所は、マリアナ諸島からグアム島の南100マイルまで、日本の沖200マイルの範囲、フィリピン沖から北東に300マイルまで、台湾から米国に至る黒潮に沿う500マイルの距離を提案していた。

これらは米国海軍の艦船による毎時観測の時間スケールと一致し、また図2と図3の観測された海域ときれいに重なる。このことは米国がVine氏の報告に書かれたことを極めて忠実に実行したことを意味している。これに関連して、東電福島第一原発事故の年の7月に開催された「第48回アイソトープ放射線研究会」における「福島原子力発電所から放出された放射能の環境影響、社会生活への影響：我々科学者の仕事は何か？」と題する緊急セッションにおいて「行政の中に科学のわかる専門家を置くことが大事であり、リスクコミュニケーションを上手にやることにつながる。政治家にそれを求めるのは無理である。」との奥村裕一氏（東京大学公共政策大学院）の指摘<sup>17)</sup>を思い起こした。なぜならば、東電福島第一原発事故直後に海域でどのような観測を行うべきであるかを提案された日本政府は事故対策支援本部が「政治家と役人」で構成されていたために、その重要性が判断できずに事故前の観測体制と全く同じスタイルで観測を行っていた。それが改められたのは、かなり後になってからであった。改めて科学者の仕事とは何かを考えさせられる報告書<sup>3)</sup>であった。

### 参考文献

- 1) 三宅泰雄，日本に降った人工放射能雨，天文と気象，**20**，1-8（1954）
- 2) 宮原誠，ビキニ調査船俊こつ丸 放射性降下物漂う海へ，国立医薬品食品衛生研究所小史第4号，[http://www.nihs.go.jp/nihs/history/syunkotsumaru\\_20120308.pdf](http://www.nihs.go.jp/nihs/history/syunkotsumaru_20120308.pdf)，（2013）

- 3) Vine, A.C., Analysis of data obtained by Japanese scientists during the cruise of the Syunkotsu Maru, US AEC, NYO-4627, New York (1955)
- 4) Kudo, A., *et al.*, Global Transport of plutonium from Nagasaki to the Arctic: review of the Nagasaki Pu investigation and the future, In: Plutonium in the Environment, A. Kudo Editor, Amsterdam, (2001)
- 5) 三宅泰雄他, ビキニの灰とそれによる傷害第三; ビキニ海域における人工放射能の分布とその海洋学的考察, 科学, **24**, 601-605 (1954)
- 6) Operation Troll, NYO4656, HASL-USAEC (1956)
- 7) 放射能調査の展望, 原子力委員会 (1959) (NHK 静岡放送局奥秋氏が発掘した NORPAC 観測結果が掲載されている貴重な資料)
- 8) Donaldson, L. R., SURVEY OF RADIOACTIVITY IN THE SEA NEAR BIKINI AND ENIWETOK ATOLLS, UWFL-46, Washington (1956)
- 9) Pacific Sea Water Samples, HASL, USAEC, (1958)
- 10) Miyake, Y., Artificial radioactivity in the Pacific ocean, In: IUGG monograph, 21-30 (1963)
- 11) 青山道夫他, 太平洋における  $^{137}\text{Cs}$  の 3 次元分布とモデル計算結果との比較, 第 12 回環境放射能研究会 proceedings (2011)
- 12) Nakano, H., Motoi, T., Hirose, K., and Aoyama, M., Analysis of  $^{137}\text{Cs}$  concentration in the Pacific using a Lagrangian approach, *Journal of Geophysical Research*, **115**, C06015, doi:10.1029/2009JC005640 (2010)
- 13) Aoyama, M. and Hirose, K., Artificial Radionuclides database in the Pacific Ocean: Ham database, *The Scientific World JOURNAL*, **4**, 200-215 (2004) and update.
- 14) Aoyama, M., Uematsu, M., Tsumune, D., and Hamajima, Y., Surface pathway of radioactive plume of TEPCO Fukushima NPP1 released  $^{134}\text{Cs}$  and  $^{137}\text{Cs}$ , *Biogeosciences*, **10**, 3067-3078, doi:10.5194/bg-10-3067-2013 (2013)
- 15) M. Eisenbud, ビキニ事件の追憶と今後の放射線安全問題 (1), *Isotope News*, **368**, 8-12 (1985)
- 16) M. Eisenbud, ビキニ事件の追憶と今後の放射線安全問題 (2), *Isotope News*, **369**, 22-27 (1985)
- 17) 青山道夫, 第 48 回アイソトープ・放射線研究発表会「から一緊急公開セッション印象記と報告一, *Isotope News*, **691**, 26-29 (2011)

(福島大学 環境放射能研究所)