

ビキニ環礁水爆実験による  
元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書

令和元年 9 月

全国健康保険協会船員保険部



全国健康保険協会船員保険部では、平成 29 年 12 月、「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書」を公表したところですが、同報告書において検討対象とした船舶とは異なる船舶に乗船していた船員及びその遺族から、船員保険による職務上給付を求める申請がありました。

このため、前回と同様、「船員保険における放射線等に関する有識者会議」において、元船員の水爆実験による被ばく線量等について検討を行っていただきました。

本報告書は当協会が給付決定を行うに当たり審査の参考とするために作成したものです。

本報告書に関する問合せにつきましては、全国健康保険協会船員保険部までお願いします。

本報告書は当協会船員保険部のホームページより入手することができます。

本報告書に関する著作権は当協会に帰属します。

無断複写・複製・転載などを禁じます。

(問合せ先)

全国健康保険協会船員保険部

〒102-8016

東京都千代田区富士見 2-7-2

ステージビルディング 14 階

電話 03-6862-3060

<http://www.kyoukaikenpo.or.jp/senpo>

## 目次

I. 総括 .....	1
II. 臨床症状と血液検査結果からの放射線影響評価.....	12
III. 外部被ばくによる線量の評価.....	18
IV. 内部被ばくによる線量の評価.....	44

# I. 総括

## 総括報告書

### ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量の評価

代表者 明石真言（茨城県保健福祉部技監 茨城県竜ヶ崎保健所 所長）  
栗原 治（量子科学技術研究開発機構 量子医学・医療部門 部長）  
辻村憲雄（量子科学技術研究開発機構 客員研究員）  
（日本原子力研究開発機構 研究主席）

大土佐丸、第五大鵬丸、第七芳丸、第六宝生丸、ひめ丸または弥彦丸に乗船した申請者から提出された資料、公開された科学的な文献・記録等から、申請者の放射線被ばくによる線量を評価した。個々人の被ばく線量の評価については、それぞれの船舶上での行動様式を考慮する必要があるため、船舶毎に一定の条件の下に評価を行った。請求者から提出された資料に記載された症状、血液検査データを分析した結果、白血球数、血小板数及び赤血球数、また血色素の値からは明らかな放射線被ばく線量を推定できるような所見を確認することはできなかった。一方、平成 29 年度と同様に、厚生労働省が開示した資料にあった船舶毎の航路を基に、ブラボーを含め各実験における対流圏及び局地放射性降下物についてのセシウム ( $^{137}\text{Cs}$ ) 沈着密度及び線量率分布図を、漁船の航路に重ね合わせることで、外部被ばくによる線量を評価した。申請者が乗船した船舶が実験直後に「危険区域」、「拡大された危険区域」並びに「水産庁指定要報告区域」内に入った事実はないか検討したが、入域した可能性があったとしても実験後約 4 ヶ月以上経過後であり、申請者の外部被ばくは考えられなかった。しかしながら、弥彦丸（第 19 次航）については、ビキニ環礁の風下（東）側の海域を航行したため詳細に検討し、外部被ばく線量を評価したが、その結果は 0.03 mSv であった。内部被ばくに関しては、外部被ばくの可能性のあった弥彦丸（第 19 次航）、入港時の漁獲物の放射能検査及び操業期間の記録があった第 5 大鵬丸とひめ丸の 2 隻について評価を行った。各船舶の内部被ばく線量は、それぞれ実効線量で < 0.001 mSv, 0.06 mSv, 0.08 mSv となった。これらの分析結果から、放射線による健康影響が現れる程度の被ばくがあったことを示す結果は確認できなかった。

#### A. 目的

この報告書は、大土佐丸、第五大鵬丸、第七芳丸、第六宝生丸、ひめ丸または弥彦丸に乗

船した申請者について、水爆実験によって被ばくしたことが疾病発症又は死亡の原因であるとする船員保険の給付申請を審査する

にあたって、申請の原因とされた疾病等と水爆実験による放射線被ばくとの因果関係を科学的に評価するため、被ばく線量を推定することを目的とした。

## B. 評価方法

請求者から提出された資料、平成 26 及び 27 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）「ビキニ水爆関係資料の線量評価に関する研究」で収集した米国エネルギー省科学技術局（OSTI）及び国防総省国防技術情報センター（DTIC）等の文献を中心に、ビキニ水爆実験後に実施された現地のモニタリングのデータを活用し、1 回目の水爆実験（ブラボー実験）を含め、6 回の実験に関して放射性降下物の分布図を作成後、線量を評価した。弥彦丸（19 次航）に関しては、新たに航路を検討した。各個人の線量を推定するためには、詳細な行動記録が必要であるため、船舶毎に一定の条件の下で、外部被ばく及び内部被ばくによる線量評価を行った。平成 29 年度全国健康保険協会船員部委託「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量の評価に係る委託事業」で行われた方法と、基本的に同様である。線量評価に必要なパラメータは限られており、この報告書では最も科学的に合理的と考えられるものを使用した。さらに内部被ばくに関しては、基本的に放射性物質の吸入が起きた、また汚染した魚を食したという仮定で評価を行った。同時に提出された資料中の血液検査の結果と症状から、線量評価の可能性を検討した。

- ① 急性放射線症の症状と被ばく後の血液細胞数の変化からの線量推定  
酸素を運搬する血色素をもつ赤血球、血液

凝固に関係する血小板、感染症や免疫に関係する白血球は、それぞれ放射線に対する感受性が異なるため、放射線被ばく後、それぞれの細胞数の減少曲線が異なる。米国保健福祉省が、「被ばく医療処置」の中で公開している「放射線による血球数への影響」<https://www.remm.nlm.gov/>（2016 年 1 月 13 日更新）を参考に、被ばく後それぞれの細胞の減少曲線を比較することで放射線による線量の推定の可能性を検討した。

### ② 外部被ばくによる線量

核実験当時の気象情報・放射線モニタリング情報及び近年になってマーシャル諸島住民に対してなされた被ばく評価結果等を参考に、それぞれの船舶については放射性降下物の沈着密度と到着時刻（TOA）を推定し、それに沈着密度と到着時刻における全核種による寄与を含む被ばく線量率の換算係数を適用することによって外部被ばくによる線量を求めた。即ちマーシャル諸島に沈着した  $^{137}\text{Cs}$  沈着密度分布図をそれぞれ作成し、それに基づく空間線量率分布図と、漁船の航路の重ね合わせから外部被ばくによる線量を評価した。なお、評価にあたっては、建造物、船室等による遮への影響は考慮せず、船舶の甲板面積は無量大とし、放射性降下物が一様に広がった無量大の甲板上に乗組員が一日当たり 24 時間立ち続け、かつ放射性壊変によるもの以外（例えば風化作用による）の放射性物質の減少が全くないという条件で評価した。

放射性降下物については、比較的大きな粒子からなり、爆発地点近くに概ね 24 時間以内に降下する局地放射性降下物と、比較的小さな粒子からなり対流圏内の気流によってより遠方まで運ばれ、核爆発地点と同じ緯

度帯に主に広がり、降雨等によって地表に沈降するとされる対流圏放射性降下物を対象とした。局地放射性降下物については、ビキニ環礁の東側海域で観測されており、ブラボー実験以外の実験で影響を受けた可能性は、きわめて低かった。対流圏放射性降下物についてはブラボー、ロメオ、クーン、ユニオン及びヤンキー実験での被ばくを考慮した。放射性降下物に遭遇したと推定される位置と時刻は、降下物の TOA が一致する時間とした。

### ③ 内部被ばくによる線量

第五福竜丸以外の船員の内部被ばく線量については、内部被ばく線量の評価に参考となる当時の検査データが存在していない。汚染したマグロ等の経口摂取に関して、原因となった放射性核種について、核実験当時観測された魚肉等の放射能濃度に基づき、核種の組成内訳(核分裂生成物・放射化生成物)を検討し、61核種による汚染したマグロ類を経口摂取したとして推定した。当時の分析結果から<sup>65</sup>Znの他、<sup>54</sup>Mn、<sup>55</sup>Fe、<sup>59</sup>Fe、<sup>89</sup>Sr、<sup>90</sup>Sr、<sup>113m</sup>Cd、<sup>115m</sup>Cd、<sup>140</sup>Ba、<sup>140</sup>Laが検出されているが、検出された放射性核種の大半が<sup>65</sup>Znであり、Sr以外の核種については1954年時点では極めて微量と考えられ、<sup>65</sup>Zn、<sup>90</sup>Sr、<sup>89</sup>Srの3核種のみが内部被ばく線量に寄与したと仮定した。

吸入摂取に関しては、吸入摂取が起きたという前提にたち、UCRL-53505に示された61核種の沈着密度とTOAに、適切な摂取モデルを組み合わせることによって、吸入による内部被ばく線量を評価した。各核種の実効線量係数は空気力学的放射能径 $1\mu\text{m}$ 及び呼吸器官から血中への吸収タイプは、基本的にタイプMとし、ヨウ素などの一部の核種につ

いてはタイプFとした。対象となる漁船が放射性降下物に遭遇する時刻とその位置については、外部被ばく線量の評価(外部被ばく報告書を参照)で評価された結果を用いた。

沈着速度については、WHO福島報告書と同様、全核種に対して $0.07(\text{m}/\text{秒})$ を用いた。すなわち、湿性沈着(雨、霧や雪など大気中にさまざまな形で存在する水分を媒体にして降下沈着すること)であると仮定した。

## C. 結果

### (1) 請求者から提出された資料による臨床症状と血液検査データ等の分析

4名の請求者からの資料には、実施された時期が示された血液検査結果等線量評価につながるデータは無く、他1名に関しても線量評価につながる請求者自身の結果は示されず、提出された資料から、放射線被ばくの有無を推定することは困難であった。

### (2) 物理学的線量評価について

#### 1. 外部被ばく線量

まず核実験当時の観測値等に基づき核実験毎に作成した放射性降下物の分布図と船の航路図を比べ、操業した場所とその期間からそれぞれの船が操業中又は航行中に放射性降下物に遭遇したかどうかを判定した。

米国によって3月1日以前に設定された立入禁止区域(以下「危険区域」)及び3月19日に拡大された立入禁止区域(「拡大された危険区域」)並びに水産庁によって3月18日に設定された区域(「水産庁指定要報告区域」)内に入った船舶は、申請されたものの中にはない。また第5大鵬丸は、水産庁指定要報告区域の西南端で操業したとされているが、その期間は9月12日～10月4日であり、最後の実験から4ヶ月以上も経過しており、外部被

ばくが生じた可能性は極めて低い。

厚生労働省開示資料によれば、弥彦丸（日本と南太平洋のフランス領ポリネシアに属するマカテア島を往復する貨物船）は、第19次航の場合、往路は3月22日横浜発、4月8日ホノルル着、同9日ホノルル発、同22日マカテア着で、復路は「4月30日23時マカテア、5月30日芝浦入港」であった。従って核実験からの放射性降下物による被災したとは考えにくい。復路は「ビキニ水爆実験による放射能被害あるため実験区域より1,200 哩（海里）離れた航路を選定して5月30日正午に芝浦入港」とあり、資料の図によると、距離1,200海里（2,220 km）の地点は、北緯26-27度、東経179度付近、ミッドウェー島（約2,600 km）よりもややビキニ環礁寄りであるが、その正確な通過日時は不明であり、5月23日にビキニ北方1,200海里を航行したという資料もある。このような航路の場合、5回目のヤンキー実験（現地時間5月5日6時10分）後にビキニ環礁の風下（東）側の海域をちょうど航行すると推定され、その際に何らかの被災を受けた可能性もわずかに残る。計算した航路に基づき、ビキニ環礁からの距離とその距離の移動に放射性降下物が要した時間を考えると、局地放射性降下物による被災は起こり得ず、対流圏放射性降下物による影響が考えられる。弥彦丸は、ビキニ環礁の東方2,900 km（北緯11度、西経168度付近）、爆発の約180時間後に、 $^{137}\text{Cs}$  沈着密度で  $13 \text{ Bq/m}^2$  の対流圏放射性降下物に遭遇した可能性がある。この沈着密度は、最大照射線量率で  $0.018 \text{ mR/h}$ 、帰港（5月30日正午）までの積算照射線量で、 $4 \text{ mR}$  に相当する。また、これまでと同じ手順でこれを実効線量に換算すると、 $0.004 \text{ (R)} \times 8.76 \text{ (mGy/R)} \times 0.817 \text{ (Sv/Gy)} = 0.03$

$\text{mSv}$  となる。

ひめ丸に関しては、提出された資料によれば、7月8日に高知県安田港出港、7月18日から8月7日にかけて北緯5~7度、東経140~150度付近（ラモトレック環礁付近：現在のミクロネシア連邦カロリン諸島の環礁）で操業、8月17日東京入港とされている。またこの操業で得られた漁獲物の一部に放射性表面汚染が見つかり、国立衛生試験所（現在の国立医薬品食品衛生研究所）の当時の報告から確認されている。5月にも操業しているが、いずれも水産庁指定要報告区域外であり、しかも西側である。以上から外部被ばくの可能性は低い、と考えられる。

## 2. 内部被ばく線量

外部被ばく線量の項で述べたとおり、申請者が乗船した船舶が実験直後に「危険区域」、「拡大された危険区域」及び「水産庁指定要報告区域」内に入った事実はない。しかしながら、外部被ばくの可能性のあった弥彦丸（第19次航）については、吸入摂取の線量評価対象とし、入港時の漁獲物の放射能検査及び操業期間の記録があった第5大鵬丸とひめ丸の2隻に関しては、経口摂取の評価対象とした。

吸入評価対象となった弥彦丸は前述のとおり爆心地より相当な距離があるため、対流圏降下物であり、爆心地から数百から数千 km 範囲内に数日から数十日以内に降下する成分による、と考えるのが科学的に合理的である。吸入被ばくに関しては対象となる漁船が放射性降下物に遭遇する時刻とその位置については、外部被ばく線量結果を用いた。

経口摂取は、表3に示す方法を用いて計算した。魚体から約10 cmでのGM計数管の計測値と筋肉中の放射能の関係（※前者が

1,000 cpm のとき、後者は 10 cpm/g (約 1.1 Bq/g)) と 1954 年 3 月 15 日時点に半減期補正した  $^{65}\text{Zn}$ ,  $^{89}\text{Sr}$  及び  $^{90}\text{Sr}$  の放射能比に基づく線量係数のみを計算に考慮した。魚体から 10 cm での GM 計数管の計測値が 1,000 cpm の場合、魚肉各部位を 100 g 食したときの内部被ばく線量として示されている。魚体表面で 1,000 cpm の魚の切り身(筋肉)を毎日 300 g, 30 日間食べ続けると 0.04 mSv となる。また、内臓可食部として、肝臓, 小腸, 心臓, 胃及び生殖器を等量ずつ合計 1 日 300g, 30 日間食べ続けると 1.1 mSv (切り身の約 30 倍) となる。しかしながら、ひめ丸の漁獲したキハダ鮪の検査記録を一例に挙げれば、魚体表面において 1,670 cpm (最大値) に対し、筋肉は 1g 当たり数 cpm に過ぎず、過大評価の傾向が強い。

### 3. 被ばく線量

表 5 に、線量評価結果を示す。外部被ばく及び内部被ばく線量の総線量は、最大でも 0.08 mSv と評価された。

## D. 考察

本報告書の目的は水爆実験によって被ばくしたことが疾病発症又は死亡の原因であるとする船員保険の給付申請を審査するにあたり、申請の原因とされた疾病等と水爆実験による放射線被ばくとの因果関係等を適正に評価するため、被ばく線量を推定することが目的である。

昭和 29 年 3 月 1 日～5 月 14 日までの間、6 回の水爆実験が行われているが、ブラボー実験における外部被ばくに関する線量分析については、第五福竜丸を除けばビキニ環礁の東側海域に広がる高レベルの放射性降下物の分布域、特に爆発後 24 時間以内に滞在

していた船舶がないことは、平成 26 及び 27 年度の厚生労働省の研究および平成 29 年度全国健康保険協会船員部委託「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量の評価に係る委託事業」報告書で示した通りである。今回の線量評価でも前回同様、データの無いパラメータについてはある仮定に基づき計算を行わざるを得なかった。船舶の甲板の面積を無限大としたこと、船員は 24 時間船外に滞在し続けたと仮定し、線量率を積分する際に、放射性壊変を除く損失も建屋による遮へいも考えておらず、風化作用を無視している等がある。また吸入による内部被ばく線量評価について、世界保健機関(WHO)が福島原発事故に被災した住民の線量推計に用いた方法と基本的に同じもので行っている。しかしながら、各船が放射性降下物に遭遇した位置は、少なくとも実験場所から数百 km は離れており、小径である対流圏放射性降下物(粒子)が降下する可能性は小さいが、降雨などにより降下したと仮定している。また径が大きい粒子は鼻腔や咽頭より深く気道に入る可能性は小さく、実際は吸入による被ばくが占める割合は小さい。経口摂取は、マグロ類を食したとして計算しており、魚表面の汚染と魚肉の汚染の関係で言えば、実験直後は魚の表面とエラなどに汚染が限定するが、食べた魚肉の汚染は、魚表面の測定結果から求めているため、実際よりは高いと考えられる。

## E. 結論

マーシャル諸島のビキニ環礁で計 6 回の水爆実験が行われた。米軍等の放射線モニタリング結果と船舶毎の航路情報、魚の汚染レベルから線量を評価した。本報告書で得られた線量評価結果は、国際放射線防護委員会

(ICRP) を含め、国内外の専門機関で得られている科学的知見に照らして、がん死亡のリスクが線量とともに徐々に増えることが明らかになっている 100 mSv を大きく下回っている。これらの分析結果から、放射線による健康影響が現れる程度の被ばくがあったことを示す結果は確認できなかった。

## F. その他

本報告書は、下記の専門家を含めた「船員保険における放射線等に関する有識者会議」6名で議論した。

中村 典（放射線影響研究所 顧問）

鈴木 元（国際医療福祉大学 教授）

中川恵一（東京大学医学部附属病院放射線科  
准教授）

## G. 参考文献

1. ビキニ海域における放射能影響調査報告（第一輯）（昭和 30 年 3 月水産庁調査研究部）
2. 昭和 29 年におけるビキニ海域の放射能影響調査報告（第 2 集）（昭和 30 年 11 月水産庁調査研究部）
3. マーシャル諸島のビキニ環礁における水爆実験に関する厚生労働省の公開資料（平成 26 年 9 月・10 月）
4. 平成 26 年度厚生労働科学特別研究事業「ビキニ水爆関係資料の整理に関する研究」報告書
5. 平成 27 年度厚生労働健康安全・危機管理対策総合研究事業「ビキニ水爆関係資料の線量評価に関する研究」報告書
6. 平成 29 年度全国健康保険協会船員部委託「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量の評価に係る委託事業」報告書
7. World Health Organization, 2012. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami.

表 1 臨床症状と血液検査データ等の分析

資 料	内 容	結 論
診断書	血小板数が 100,000/mm <sup>3</sup> まで減少という情報	1 回のみ検査であり、時期も不明
家族の聞き取り記録	当時の症状等線量に関する記載なし	
医師の意見書等	昭和 31~32 年頃全身が非常にだるい時期があったが健康診断で異常なし	血液検査値等に異常が認められなかった可能性が高く、「健康診断記録」にも、当時の被ばくに関する情報なし
「総合臨床」(昭和 30 年 11 月第 4 巻第 11 号・別冊、1857-1867 頁)	白血球数が 3,750/mm <sup>3</sup> であるという方がいるという記載	検査は 1 回のみ (6 月 1~3 日) で、同じ船舶に乗船した船員の記録あるが、線量評価につながる結果なし
弥彦丸の乗組員であった元徳島大学医師からの資料弥彦丸船員 47 名の血球検査記録メモ (昭和 29 年 6 月 1~3 日検査、この資料は、上記学会報告原稿の筆者のメモ)	東京入港 3 日前に操舵手 1 名が頑固な眩暈と白血球数の減少があった、との記載	この眩暈が放射線被ばくによる血色素量の減少 (貧血) によると仮定すると、白血球のみならず血小板数の減少も起きているはずであるが、情報なし

表 2 外部被ばくによる線量の評価結果

船名	操業期間	操業海域	線量 mR	線量 mSv
大土佐丸	4月5日～4月16日	水産庁指定要報告 区域外 <sup>注1</sup>	-	-
第5大鵬丸	9月12日～10月4日	水産庁指定要報告 区域西南端	-	-
第7芳丸	2月25日～3月9日	水産庁指定要報告 区域外	-	-
第6宝生丸	7月頃	水産庁指定要報告 区域外	-	-
ひめ丸	5月13日～5月30日 7月18日～8月7日	水産庁指定要報告 区域外		
弥彦丸 <sup>注2</sup> (第19次航)	3月22日～5月30日 <sup>注3</sup>	水産庁指定要報告 区域外	4	0.03

<sup>注1</sup> 水産庁によって3月18日に設定された区域（水産庁指定要報告区域 東経152～175度、北緯2～21度の海域）

<sup>注2</sup> 日本と南太平洋のフランス領ポリネシアに属するマカテア島（南緯15度49分、西経148度16分）を往復する貨物船

<sup>注3</sup> 3月22日横浜発、4月8日ホノルル着、同9日ホノルル発、同22日マカテア着  
復路は、「4月30日23時マカテア発、5月30日芝浦入港」

表3 魚各部位の経口摂取による内部被ばく線量  
(魚表面で1,000 cpmの魚肉を100 g食したときの線量)

組織	放射能 (相対値) ※Wet tissue	放射能 (相対値/筋肉)	Bq/g	実効線量 (mSv)	赤色骨髄 (mSv)
胆嚢	100	333	370.0	1.4E-01	1.8E-01
腎臓	30	100	111.0	4.3E-02	5.5E-02
肝臓	16	53	59.2	2.3E-02	2.9E-02
小腸	8.5	28	31.5	1.2E-02	1.6E-02
幽門垂	14	47	51.8	2.0E-02	2.6E-02
心臓	6	20	22.2	8.7E-03	1.1E-02
胃	4.7	16	17.4	6.8E-03	8.6E-03
生殖器	6.3	21	23.3	9.1E-03	1.2E-02
小腸(内容物)	32	107	118.4	4.6E-02	5.9E-02
胃(内容物)	4.8	16	17.8	6.9E-03	8.8E-03
血合肉	1.5	5	5.6	2.2E-03	2.8E-03
えら	0.5	2	1.9	7.2E-04	9.2E-04
筋肉	0.3	1	1.1	4.3E-04	5.5E-04
目	0.4	1	1.5	5.8E-04	7.3E-04
鎖骨	0.1	0	0.4	1.4E-04	1.8E-04
皮	0.07	0	0.3	1.0E-04	1.3E-04

表4 各船舶の内部被ばく線量推計結果

船舶名	TOA 及び <sup>137</sup> Cs 沈着密度	線量(吸入)	漁獲物の検査結果 (最大値)	線量(経口)
弥彦丸 (第19次航)	180 h 13 Bq m <sup>-2</sup> *1	< 0.001 mSv	—	—
第5大鵬丸	—	—	1,280 cpm*2	0.06 mSv*4
ひめ丸	—	—	1,670 cpm*3	0.08 mSv*4

\*1 本報告書「外部被ばくによる線量評価」表2から引用

\*2 全国健康保険協会船員保険部提供資料

\*3 長沢ら, 衛生試験所報告第74号(昭和31年9月), 225頁 Table 15

\*4 ヤンキー実験が行われた1954年5月5日を起点として計算

表 5 各漁船の線量評価結果

船名	外部被ばく線量 (mSv)	内部被ばく線量 (mSv)	実効線量 (mSv)
大土佐丸	-	-	-
第5大鵬丸	-	0.06	0.06
第7芳丸	-	-	-
第6宝生丸	-	-	-
ひめ丸	-	0.08	0.08
弥彦丸 (第19次航)	0.03	< 0.001	< 0.031 <sup>注</sup>

<sup>注</sup> 0.031mSv 又はそれを超えることはない。

## II. 臨床症状と血液検査結果からの放射線影響評価

## 臨床症状と血液検査結果からの放射線影響評価

請求者から提出された資料より、臨床症状と血液検査結果等から放射線の影響を評価することが可能どうかを検討した。提出されたのは、大土佐丸および第五大鵬丸に乗船した船員の医師意見書、第七芳丸と第六宝生丸に乗船した船員の医師意見書、ひめ丸に乗船した船員の家族からの聞き取りと健康記録（平成2年～11年）、弥彦丸に乗船した船員に関しては医師の意見書、元徳島大学医師からの資料、「弥彦丸船員47名の血液検査記録」等である。当該者の検査結果、症状、他の船員の状況等からは、線量の推定につながる結果はなかった。正常値より低い血液検査の結果が放射線被ばくによる影響であるとすれば、より感受性が高い白血球数特にリンパ球数に変化が現れる。被ばく約1ヶ月後に放射線により赤血球数と血色素量に影響が観察されるとすれば、少なくとも1,000 mSv以上の被ばくが必要であり、その時は白血球数の減少が観察される。また約60日後に赤血球数と血色素量の減少が起きる線量であれば、白血球数の減少が観察される。一方、赤血球数と血色素量に影響が残り、白血球と血小板数は回復していることもあり得るが、少なくとも2-3 Sv (2,000-3,000 mSv)を超える被ばくの場合であり、急性放射線の前駆症状や脱毛等も生じる。以上のことから提出された資料から、被ばく線量を推定することは困難である。

### A. 目的

今回5名の請求者から提出された資料から、臨床症状と血液検査結果等を中心に、被ばく線量を推定することが可能かどうかを検討する。

### B. 評価方法

平成29年度全国健康保険協会船員部委託「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量の評価に係る委託事業」で行われた方法と、基本的に同様である。米国 Department of Health & Human Services 保健福祉省は、「Radiation Emergency Medical Management 被ばく医療処置」の中で、「Radiation Effects on Blood Counts 放射線による血球数への影響」を公開してい

る（2016年1月13日更新）（図1、2）<sup>1)</sup>。1Gyに被ばくをすると、全ての血液の中を流れる細胞（血球）数に影響が現れることがある、としている。線量が増加すると、影響は大きく、また早期に現れる。特に感染症や免疫に関係している白血球数に関しては、チェルノブイリ事故の結果から推定される影響を示している。これを参考に、被ばく後それぞれの細胞の減少曲線を比較することで放射線による線量を推定の可能性を検討した。

血液中を流れる細胞には、血色素をもつ赤血球、血液を凝固させる血小板、感染症や免疫に関係する白血球があり、それぞれ放射線に対する抵抗性が異なるため、それぞれの細胞の減少曲線を比較することで放射線による線量を推定出来る事がある。白血球には大

大きく分けて、主に骨髄由来の細胞である顆粒球とリンパ節由来のリンパ球がある。通常顆粒球のうち大部分は好中球が占める。リンパ球は最も放射線に対する感受性が高く、リンパ球数は 500 mGy (X や $\gamma$ 線であれば 500mSv)、顆粒球数は 1 Gy (1,000 mSv)、ぐらゐの被ばくまでは減少しない。放射線被ばくでは、血色素値は赤血球数とほぼ同じ変化を示し、1 Gy 程度の被ばくでは、影響が現れない。3 Gy の被ばくすると、血色素の値は 15 g/dl が 11 から 12 g/dl まで、20–27 %ぐらゐの減少が起きるが、この線量では白血球数と血小板数ともそれぞれ 1,000/mm<sup>3</sup>、10,000/mm<sup>3</sup> 以下になる。これらの知見は被ばく医療の世界では、共通認識である(図 3)。即ち、放射線影響による血球数の低下は、赤血球数・血色素量よりも白血球数の方がより低い放射線量で起こり、低下の程度も大きい。

## C. 結果

### 血小板の減少について記載された診断書について

血小板数の減少がいつ観察されたのか、またその程度も 1 回の検査結果の 100,000/mm<sup>3</sup> という情報しかない。血小板数の減少が生じる被ばくであれば、リンパ球と顆粒球の減少は必ず起こる。リンパ球と顆粒球数の結果は示されておらず、血小板数のみから被ばく線量を推定することはできない。

### 家族の聞き取り記録について

家族の聞き取りには、当時の症状等線量に関する記載はない。

### 医師の意見書等について

ひめ丸の船員に関して提出された医師の

意見書の中に「昭和 31~32 年頃 体が全身非常にだるい時期があったが健康診断で異常なし」とあり、血液検査値等に異常が認められなかった可能性が高く、線量評価につながる情報はない。「健康診断記録」にも、当時の被ばくに関する情報はない。

また、弥彦丸の船員に関して提出された医師の意見書には、弥彦丸は 3 月 22 日に横浜港を出港、5 月 30 日に東京港に入港後、東京中央病院で検査を行い、その後玉野三井病院で検査を受けたことが記載されている。これは申請者が資料として提出した厚生労働省の開示資料「昭和 29 年 6 月 18 日付 本局船員部長宛の(玉野)支局長の報告書」から引用されたものである。

同じく資料として提出された平木らの「総合臨床」(昭和 30 年 11 月第 4 巻第 11 号・別冊、1857-1867 頁)に掲載された論文には、白血球数が 3,750/mm<sup>3</sup> である方の記載があるが、数日後には回復し、その後安定していることも含め、平成 27 年度厚生労働科学研究費補助金(健康安全・危機管理対策総合研究事業)総括研究報告書「ビキニ水爆関係資料の線量評価に関する研究」の中で、「白血球数及び赤血球数の値や臨床症状からは明らかな放射線による影響を認める所見は確認することはできない」ことをすでに報告している。さらに資料 3 からの引用として宇部港への入港中であつた浅香山丸船員 31 名の白血球数が示されている。白血球数が 4,000/mm<sup>3</sup> 未満の方はおらず、また 1 回の検査結果から線量を評価することはできない。

### 元徳島大学医師からの資料について

弥彦丸の乗組員であつた元徳島大学医師による学会報告の原稿には、東京入港 3 日前に操舵手 1 名が頑固な眩暈と白血球数の減少

があった、との記載がある。この眩暈が何で起きたのかは不明であるが、放射線被ばくによる血色素量の減少（貧血）によると仮定すると、白血球のみならず血小板数の減少も起きているはずである。

#### 弥彦丸船員 47 名の血球検査記録メモ（昭和 29 年 6 月 1、2、3 日検査）について

この資料は、上記学会報告原稿の筆者のメモであるが、白血球数減少即ち  $4,000/\text{mm}^3$  未満の方は 2 名で、それぞれ  $3,800$  と  $3,750/\text{mm}^3$  ある。一方血色素量はそれぞれ 100 と 134%（ザーリー法）である。正常範囲は 88-112%とされている。「臨床検査法提要」（金原出版株式会社 改訂第 28 版、1978 年）は、日本血液学会の検査規格では、16 g/dl を 100%と定めている、としている。ザーリー法からの血色素量の定量変換に関して、 $16 \text{ g/dl} \times (\text{ザーリー値}\%) \div 100 = (\text{血色素量 g/dl})$ により計算すると、正常値（ザーリー）88 - 112%は  $16 \text{ g/dl} \times (88-112\%) \div 100 = 14.08 - 17.92 \text{ g/dl}$  となり、血色素量はそれぞれ 100 と 134%であり貧血はなく、この眩暈は貧血

によるとは考えられない。また 1 回の検査結果から線量評価することはできない。なお請求対象者の昭和 29 年 6 月 1、2、3 日のうちに行われた検査では、白血球数が  $6,500/\text{mm}^3$  という情報のみであり、線量評価につながる情報ではない。

#### D. 結論

今回提出されたデータの中に、線量評価につながる臨床および検査結果は含まれておらず、これらの資料から放射線被ばくの線量を推定することは困難である。

#### 【参考】

1. <https://www.remm.nlm.gov/>
2. ビキニ水爆関係資料の線量評価に関する研究：平成 27 年度総括・分担研究報告書：厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）  
<https://iss.ndl.go.jp/books/R100000002-I027492004-00>  
<http://mhlw-grants.niph.go.jp/niph/search/NIDD00.do?resrchNum=201525022A>

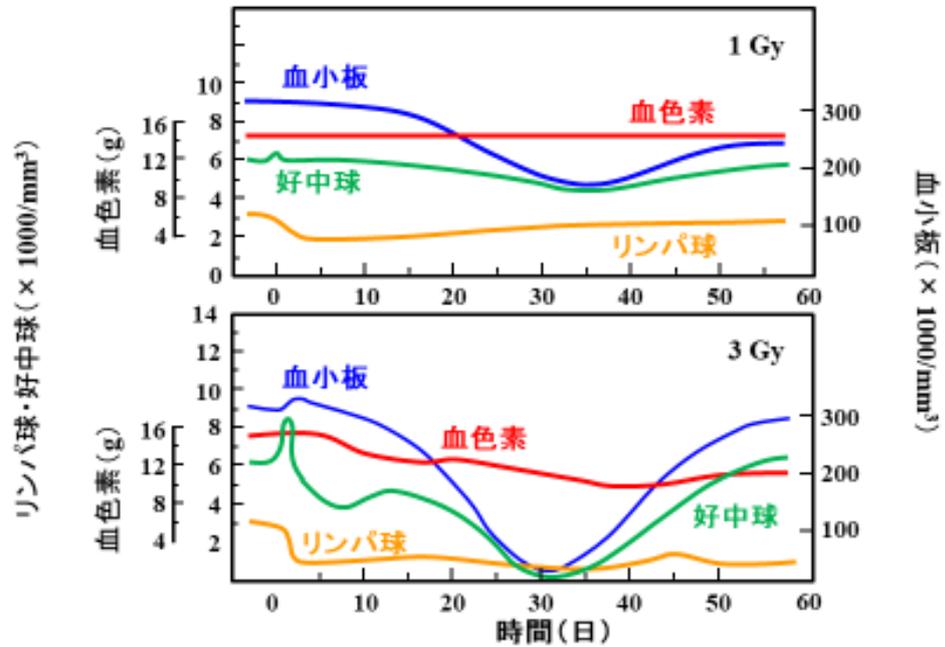


図1 放射線による血球数への影響 - 1Gy と 3Gy

Radiation Effects on Blood Counts (1) – Illustration から引用

<https://www.remm.nlm.gov/radeffectblood.htm>

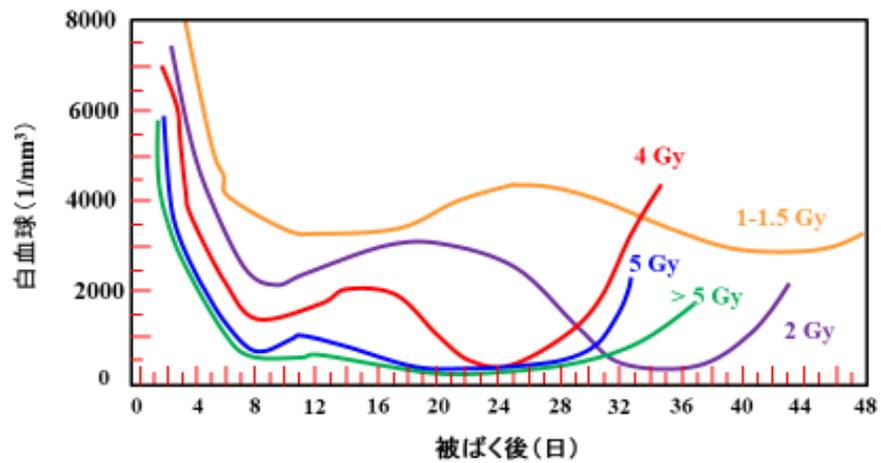


図2 放射線による白血球数への影響 - 1Gy - 5Gy

チェルノブイリ事故の間に、放射線に被ばくした患者の白血球数から算出

Radiation Effects on Blood Counts (1) – Illustration から引用

<https://www.remm.nlm.gov/radeffectblood.htm>

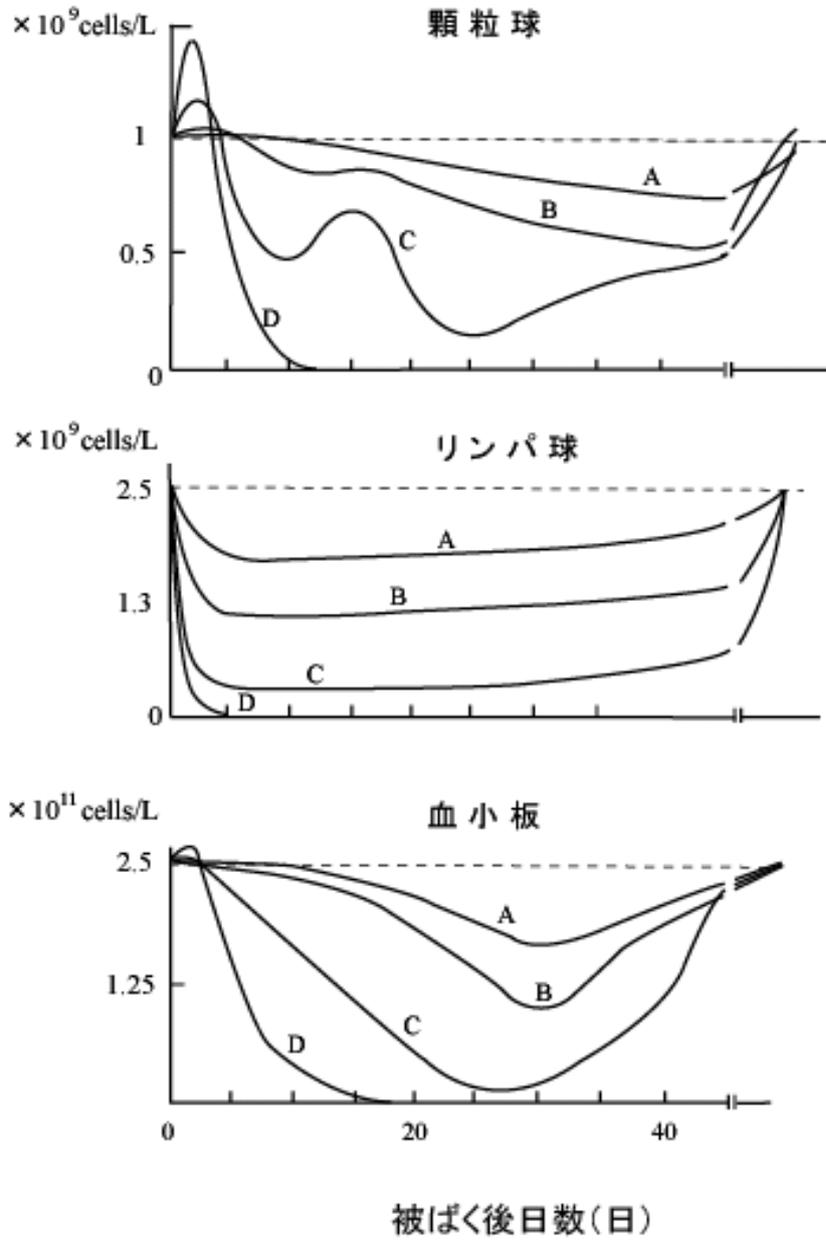


図3 被ばく後の血球数の変動

A: < 1 Sv、B: 1 - 2 Sv、C: 2 - 5 Sv、D: > 5 Sv

Nickson JJ. Industrial medicine on the plutonium project : 1951 ; 308-37.

### III. 外部被ばくによる線量の評価

## 外部被ばくによる線量の評価

### 要 旨

1954（昭和 29）年 3～5 月にビキニ環礁等で行われた核実験による放射性降下物に被災したとされる船舶（弥彦丸とひめ丸）について、外部被ばくによる線量を評価した。結論は以下のとおりである。

#### (1) 弥彦丸

第 19 次航の出港は、3 月 1 日の 1 回目の核実験（ブラボー実験）の後であり、その航行海域は、往路・復路ともに拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域の外である。ただし、復路（マカテア→日本）が 5 回目の核実験の際にちょうど風下付近を通るため、その航路と放射性降下物の分布から放射性降下物による被災の可能性について調べた。その結果、本船は、ビキニ環礁の東方 2,900 km（北緯 11 度，西経 168 度付近）を航行中に、核爆発の約 180 時間後に対流圏放射性降下物に遭遇し、 $^{137}\text{Cs}$  沈着密度で  $13 \text{ Bq/m}^2$  に相当する放射性降下物を受けた可能性がある。これに相当する最大照射線量率は、 $0.018 \text{ mR/h}$ ，帰港までの積算の照射線量は、 $4 \text{ mR}$ ，実効線量は、 $0.03 \text{ mSv}$  と見積もられる。ただし、船体サイズや遮へいの影響について補正すると、外部被ばくによる線量はその 1/4 程度、すなわち自然放射線による数日間の被ばく線量と変わらない。

#### (2) ひめ丸

漁獲物に放射性表面汚染が見つかったときの出港は、5 月 14 日の 6 回目の核実験の終了後であり、その操業及び航行海域は、拡大された危険区域（出港時点で解除されていた）及び水産庁指定要報告区域の外である。核実験終了から既に 2 ヶ月経過しているため、船上に飛来した放射性降下物による乗組員への外部被ばくがあったとは考えられない。また、漁獲物の表面汚染は、回遊魚のうち汚染があったものを捕らえたことによると考えられる。なお、当該漁船は、3 月下旬～4 月中旬にフィリピン西方，5 月中旬から下旬に東経 140 度付近でも操業しているが、いずれも拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域の外側である。これらは、ビキニ環礁の西側で距離が離れていること、特段の汚染の報告もないことから、個々に外部被ばくによる線量の評価を要する事例にはあたらないと判断した。

### A. 目的

1954（昭和 29）年 3 月 1 日から 5 月 14 日にかけて、アメリカ合衆国（以下、「米国」と記す）が太平洋諸島信託統治領（現在のマーシャル諸島共和国）のビキニ環礁及びエニウェトク環礁において実施した核実験によっ

て被災したとされる船舶の乗組員について、外部被ばくによる線量を評価することを目的とする。

この評価は、貨物船・弥彦丸（第 19 次航）と漁船・ひめ丸を対象とする。評価の方法は、全国健康保険協会が 2017（平成 29）年 12 月

に発行した「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書」（以下、「平成 29 年度報告書」と記す）[1]に基づく。

## 背景

1954 年 3 月 1 日早朝にビキニ環礁で行われた核実験によって発生した局地放射性降下物に曝された第 5 福竜丸が、3 月 14 日に焼津港に戻り、その被災の事実が明らかになった後、日本政府並びに関係機関は関係情報の収集とその対応準備を始めた。中でも水産庁は、3 月 16 日に、ビキニ環礁付近の海域が立入禁止であること及びその付近で第 5 福竜丸が被災したことについて沿岸都道府県知事・漁協などに通知した。米国が設定したこの立入禁止区域は、前年 10 月 10 日に海上保安庁告示として既に周知されていたが、このとき改めて再周知と注意喚起がなされた。続いて、3 月 18 日に、水産庁は、関係省庁と協力し、乗組員の保健、漁獲魚類等による危険防止を図るため、3 月 1 日以降ビキニ環礁付近において操業又は航行中の漁船について、その対象とする海域を定め、五カ所の入港地で漁獲魚類等进行检查することとし(3 月 18 日付「マーシャル群島附近海域出漁漁船の入港報告要領」)、翌 19 日には関係知事に協力を要請した。これらは、各地の無線局を通じて出漁中の漁船等に連絡された。なお、こうした国内での対応とは別に、米国は、ビキニ環礁及びエニウェトク環礁付近に設定していた立入禁止区域を拡大し、我が国に通告した。ただし、この拡大された立入禁止区域は、水産庁による 3 月 18 日付指定海域の中に含まれる。

図 1 に、米国によって 3 月 1 日以前に設定された立入禁止区域(以下、図に合わせて「危

険区域」と記す)及び 3 月 19 日に拡大された立入禁止区域(以下、「拡大された危険区域」と記す)、並びに水産庁によって 3 月 18 日に設定された区域(以下、「水産庁指定要報告区域」と記す)を、第 5 福竜丸の航路とともに示す。当初 3 月 13 日にビキニ環礁で予定されていた二回目の核実験をその決行に慎重になった米国が同月 27 日に延期したこと[2]も相まって、水産庁による上記の対応は、出漁中の漁船に対する放射性降下物による被災の拡大やその程度の軽減に大きく貢献した。

表 1 は、米国及び水産庁によって指定された海域で、3 月 1 日以降に操業又は航行したかどうかの観点からそれぞれの船舶についてとりまとめたものである。拡大された危険区域内で操業をしていたのは第 5 福竜丸のみである。これに対して、水産庁指定要報告区域内で操業していたのは、第 5 福竜丸と尾形海幸丸の計 2 隻であるが、後者の操業は局地放射性降下物を受けない南方の海域であり、第 5 福竜丸とは大きく異なる。また、航行の有無については、3 月 1 日の核実験以前から操業していた漁船(第 12 高知丸、第 5 明神丸及び第 13 光栄丸)は、上記の区域指定以前に帰路についたため、復路で拡大された危険区域を通行した。一方、3 月 1 日の核実験の最中又はそれ以降にこの海域に入ってきた漁船(第 11 高知丸、第 2 幸成丸、瑞洋丸、第 12 宝幸丸及び尾形海幸丸)は、往路でこそ拡大された危険区域を通行したが、復路ではそれを迂回した。これは、出漁中の各漁船に対して危険区域の拡大についての周知がなされていたことを示すものである。ただし、第 5 海福丸のように、無線連絡は受けてはいたものの、操業は禁止されているが航行はそうではないと判断した船もあったようであ

る<sup>1</sup>。2 回目の核実験以降にこの海域に入ってきた漁船（第 5 明賀丸や第 8 順光丸）にあつては、往路・復路ともに水産庁指定要報告区域の北東端を通り過ぎるのみで、その中をできるだけ航行しないような航路選択がなされていた。

本報告書で線量評価の対象とする 2 隻の船舶（弥彦丸とひめ丸）は、上述した漁船とは状況が明らかに異なる。両船は、拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域のいずれも通過していない。さらに、ひめ丸については、その主たる操業時期は、一連の核実験の終了後、米国による危険区域の設定が解除された後であったとされる。したがって、これら 2 隻の船舶の放射性降下物による被災の可能性あるいはその程度は極めて小さいことが容易に推察されるころではあるが、本報告書で実施する詳細な線量評価が、元乗組員らが長年にわたって抱いてきたであろう核実験による健康影響への漠然とした不安に対する回答になれば幸いである。

## B. 線量の評価方法

### 1. 基本的考え方

外部被ばくによる線量の評価の基本的考え方は、平成 29 年度報告書で展開したものと同じである。核実験当時の観測値等に基づき核実験毎に作成した放射性降下物の分布図と船の航路図を比べることによって、それぞれの船が操業中又は航行中に放射性降下物に遭遇したかどうかを判定し、遭遇したと判定される場合、その時刻（核爆発からの経過時間）とその位置での放射性降下物の単位

面積当たりの放射能（沈着密度）から、線量率、さらに帰港までの積算線量を計算する。なお、このとき、海面に落ちた放射性降下物はほどなく海中に沈降し、放たれる放射線を海水が遮へいするため、限られた面積を持つ船の上では、広い陸上で放射性降下物に被災する場合に比べて高い放射線防護効果が得られる<sup>2</sup>。

放射性降下物には、二つの成分—局地放射性降下物と対流圏放射性降下物—を考慮する。これらの計算方法については、平成 29 年度報告書に詳述しているで、ここではそれぞれの特徴についてだけ概説する。

局地放射性降下物は、比較的大きな粒子からなり、爆発地点近くに概ね 24 時間以内に降下するものとして一般に定義される。とりわけ短半減期かつ高放射能の放射性物質からなり、高線量（率）被ばくの原因になる。1 回目のブラボー実験におけるその降下範囲は、風下の東側で 350 マイル（563 km）、その南北にわたる横幅は爆発地点からの距離によって変わるが最大で 60 マイル（97 km）を超える葉巻形であったと報告されており [3]、この範囲の中に第 5 福竜丸や住民の避難が行われたロンゲラップ環礁等が含まれる。ブラボー実験の後に再設定された「拡大された危険区域」（半径 833 km）は、こうした局地放射性降下物による被災の再発を防ぐことを意図したものである。ただし、その降下範囲の中心軸近くでは予想以上に高い線量（率）をもたらす可能性もあるため、平成 29 年度報告書では、局地放射性降下物の一般的な定義をやや拡張し、24 時間以降に降下する

降下物が地表に落ちた後も、そこに残ることによって放射線被ばくを受け続けるような状況（例えば「入市被爆」）にはない、海（水）上に特有のものである。

<sup>1</sup> 山下正寿，核の海の証言 ビキニ事件は終わらない，新日本出版社（2012），29 頁。

<sup>2</sup> 海（水）上におけるこの防護効果は、放射性

成分についても念のため計算を行った。なお、別紙 1 に、ブラボー実験の局地放射性降下物に被災した米国の船舶について外部被ばくによる線量を計算した例を参考に示す。

一方、対流圏放射性降下物は、対流圏に注入された比較的小さな粒子からなり、対流圏内の気流に乗ってより遠方まで運ばれ、核爆発地点と同じ緯度帯に主に広がる。降雨等によって大気中から除去され、約一ヵ月で地表に沈降するとされる<sup>3</sup>。対流圏放射性降下物による線量寄与は、爆発地点からの距離で変わるが、遠方ではおしなべて小さい。粘着フィルム (gummed film)<sup>4</sup> による観測によれば、1955 年 9 月までに行われた全ての核実験を起源とする放射性降下物によるその時点での寄与の合計で、ビキニ環礁の東北東約 2,800 km にあるジョンストン島で 28 mrad (照射線量で 28 mR に相当)、ビキニ環礁の西南西約 1,600 km にあるトラック島で 47 mrad (同 47 mR に相当) と評価されている [4]。なお、これらの値は、平成 29 年度報告書の図 2 (29 頁) に、粘着フィルム観測による放射能の等値線マップとともに示されている。

## 2. 航路調査

弥彦丸及びひめ丸それぞれについて線量評価に必要な航路を明らかにする。

### (1) 弥彦丸 (第 19 次航)

弥彦丸は、日本と南太平洋のフランス領ポリネシアに属するマカテア島 (南緯 15 度 49 分、西経 148 度 16 分) を往復する貨物船である。ここでは、船員保険の適用申請をした元乗組員が乗船していた第 19 次航を対象とする。

厚生労働省開示資料によれば、第 19 次航の往路は、3 月 22 日横浜発、4 月 8 日ホノルル着、同 9 日ホノルル発、同 22 日マカテア着である。この航路では、2 回目のロメオ実験の際は房総半島野島崎の東方、3 回目のクーン実験の際はホノルル付近、及び 4 回目のユニオン実験の際はマカテア停泊中であるので、それぞれの核実験からの放射性降下物による被災を受けたとは考えにくい。一方、復路は、「4 月 30 日 23 時マカテア発、ビキニ水爆実験による放射能被害あるため実験区域より 1200 哩 (海里) 離れた航路を選定して 5 月 30 日正午に芝浦入港」とある。資料の図によると、距離 1,200 海里 (2,220 km) の地点は、北緯 26~27 度、東経 179 度付近、ミッドウェー島 (約 2,600 km) よりもややビキニ環礁寄りであるが、その正確な通過日時は不明である。また、別の資料によれば、5 月 23 日にビキニ北方 1,200 海里を航行したとされる。このような航路の場合、5 回目のヤンキー実験 (現地時間 5 月 5 日 6:10 爆破) 後に、ビキニ環礁の風下 (東) 側の海域をちょうど航行すると推定されるので、そ

<sup>3</sup> 1954 年 5 月中旬から下旬にかけて日本で観測された放射性物質を含む雨 (いわゆる放射能雨) は、5 月 5 日に行われた核実験を起源とする対流圏放射性降下物による。

<sup>4</sup> 粘着フィルムによる放射性降下物の測定法は、低レベルの放射性降下物を簡便に観測することを目的に開発された。この方法の場合、放射性降下物を付着させたフィルムを低バックグラウンド放射線環境に移動して測定するこ

とができるので、放射性降下物からの放射線だけを分離した測定が可能になる。なお、粘着フィルムの観測データを基に、第 5 福竜丸乗組員の外部被ばく線量を 0.08 mSv と計算した例があるとの報道 (例えば、高知新聞、2018 年 1 月 11 日付、28 面) があるが、同船の被ばくの主たる原因は粘着フィルムの観測結果とは何ら関係もない局地放射性降下物によるものなので、この計算は誤りである。

の際に何らかの被災を受けた可能性が考えられる。

そこで、まず正確な航行座標とその日時を特定するため、以下の条件で、詳細な航路の検討を行う。

- ・マカテア、ビキニ環礁の北東 2,220 km 地点及び横浜の 3 点を通る大圏航路<sup>5</sup>
- ・プロペラ回転速度一定
- ・船体サイズ並びに航行海域の平均的な海流の速度等による影響考慮

得られた航路座標を用いて、平成 29 年度報告書と同じ手順 (26～27 頁) に基づき、5 回目のヤンキー実験を起源とする放射性降下物による外部被ばく線量の計算を行う。なお、本船舶の航路は、往路復路ともに、表 1 に示したとおり、拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域の外である。

## (2) ひめ丸

船員保険の適用申請にあたって提出された情報によれば、当該船舶は、7 月 8 日に高知県安田港出港、7 月 18 日から 8 月 7 日にかけて北緯 5～7 度、東経 140～150 度付近 (ラモトレック環礁付近：現在のミクロネシア連邦カロリン諸島の環礁) で操業、8 月 17 日東京入港とある。また、この操業で得られた漁獲物の一部に放射性表面汚染が見つかり、それが研究用試料として使用されたことは、国立衛生試験所 (現在の国立医薬品食品衛生研究所) の当時の報告から確認される。この操業期間は、背景にも記述したように、拡大された危険区域の設定解除後であり、また操業海域は、拡大された危険区域及び水産指定要報告区域の外側にあたる。

一方、当該漁船の元乗組員の一人は、1 回目のブラボー実験が行われた 3 月中にもマーシャル諸島の近海にいたようなことを仄めかしている。それが事実であれば、7～8 月の漁労活動以外の期間にも核実験による何らかの被災を受けた可能性がある。そこで、念のため、核実験実施期間の前後における当該漁船の操業位置とその時期について、水産研究所 (現在の水産研究・教育機構) から取り寄せた当時の漁労記録に基づき追加調査を行う。

## C. 結果

### 1. 弥彦丸 (第 19 次航)

詳細な検討結果から得られた航路を図 2 に示す。これによれば、当該船舶は、5 月 5 日の核実験実施時刻に、ビキニ環礁から距離約 4,900 km (南緯 7.4 度、西経 155 度) を航行中で、5 月 8 日にキリバス共和国クリスマス島付近、5 月 14 日にジョンストン島付近を通過し、5 月 18 日 4:00 にビキニ環礁の北東 (方位 45 度)、距離 2,200 km の地点、さらに 5 月 23 日 12:00 に、ビキニ環礁の北 (方位 355 度)、距離 2,200 km の地点を通過する。これらの計算によって算出した航路は、関係資料に記述された位置情報と何ら矛盾もないので、十分に正確なものであると考えられる。

計算した航路に基づき、外部被ばくによる線量を評価した結果を表 2 に示す。ビキニ環礁からの距離とその距離の移動に放射性降下物が要する時間を考えると、局地放射性降下物による被災は起こり得ないので、ここでは、対流圏放射性降下物による影響について

<sup>5</sup> 大圏(Great circle)とは、地球における大円を指す。また、大圏航路とは、地球上の 2 点

間を大円の一部である弧で結んだ航路のことである。2 点間の最短距離になるため、船舶等の航路に利用される。

のみ結果が示される。その結果、弥彦丸は、ビキニ環礁の東方 2,900 km（北緯 11 度，西経 168 度付近），爆発の約 180 時間後に，<sup>137</sup>Cs 沈着密度で 13 Bq/m<sup>2</sup> の対流圏放射性降下物に遭遇した可能性がある。この沈着密度は，最大照射線量率で 0.018 mR/h，帰港（5 月 30 日正午）までの積算照射線量で，4 mR に相当する。また，これまでと同じ手順でこれを実効線量に換算すると，0.004 (R) × 8.76 (mGy/R) × 0.817 (Sv/Gy) = 0.03 mSv となる。ただし，これは，放射性降下物が一様に広がった無限大の甲板上に乗組員が 24 時間立ち続け，かつ放射性壊変による以外の放射性物質の減少（例えば風化作用による）が全くないという条件での値であるので，実際に受ける線量はさらに小さくなると考えられる。この詳細については，「D. 考察」で論じる。

## 2. ひめ丸

### (1) 事実確認

水産研究所等の漁労記録を基に取りまとめた当該漁船の出入港日，操業位置及び操業期間を表 3 に示す。また，操業位置及び操業期間を図 3 に示す。

元乗組員の一人によれば，「（竣工後の）1953 年 12 月に野島沖に向け出港した。（中略）1 航海 40～50 日程度を 2 航海した後にビキニ環礁方面へ向けて出港。キャスル作戦（水爆ブラボー）に遭遇した。（中略）東京築地でガイガー測定器で検査され（中略）魚を投棄処分した」とある<sup>6</sup>。この証言と表 3 に

示した操業①～④を照合すると，竣工後の野島崎の沖合での操業が①に，1 航海当たり 40～50 日の 2 回の操業が②と③に，そして，東京築地で漁獲物の検査を受けた際の操業が④に対応付けることができる。すなわち，当該漁船の操業期間は，第 5 福竜丸乗組員やロンゲラップ環礁住民等に対して高線量被ばくをもたらした 3 月 1 日の核実験よりも後で，②の出港日にあつては，第 5 福竜丸の被災の事実が広く知れ渡った以後であること<sup>7</sup>，また②～④の操業海域は，いずれもビキニ環礁の西方で，拡大された危険区域にも水産庁指定要報告区域にも該当しないこと（前者の区域設定は③の操業期間中に解除）も改めて確認された。

### (2) 線量評価

核実験の実施期間中又はその終了直後に操業②と③が行われたビキニ環礁の西方海域については，平成 29 年度報告書において，適用可能な線量計算モデルは開発されなかった。これは，計算の基礎とする <sup>137</sup>Cs 沈着密度等の評価データが西側海域では希薄であったためである<sup>8</sup>。しかしながら，地表近くの貿易風等によって放射性降下物の一部が運ばれるこれら—特に拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域の外側の—海域については，第 5 福竜丸や現地住民が甚大な被害を受けた東側の海域に比べるとその汚染の程度はそもそも小さい<sup>9</sup>。例えば，②及び③の操業海域に近い場所で行われた粘着フィル

<sup>6</sup> ビキニ核被災ノート 隠された 60 年の真実を追う，太平洋核被災支援センター，2017，145-146 頁。

<sup>7</sup> 元乗組員の一人は（3 月 1 日の）「水爆ブラボーに遭遇した」と認識していたようであるが，そうした事実はないことが確認された。

<sup>8</sup> Beck らの論文[5]で，ビキニ環礁の西側近海のデータはウジェラング環礁のみである。

<sup>9</sup> 平成 27 年 3 月 16 日に室戸市で行われた「ビキニ環礁水爆実験の健康影響に関する健康等相談会」においても，「西方は被ばく線量が低い」との説明がなされている。

ムの観測結果によれば、1955年9月までに  
行われた全ての核実験を起源とする放射性  
降下物によるその時点での寄与の合計は、ト  
ラック島：47 mrad (47 mR)、ヤップ島：40  
mrad (40 mR)、マニラ：29 mrad (29 mR)  
であり<sup>10</sup>、また、これらは広い平滑な地表を  
前提に積分期間を無限とした保守的な値で  
ある[4]。さらに、船舶の場合、放射性降下物  
が降りてくるタイミングとその位置に船舶  
が移動してくるタイミングがたまたま合致  
したときのみ放射性降下物との遭遇は限  
られるので、その線量も必然的に陸上で観測  
された上記線量の値の一部になるに過ぎ  
ず、加えて、前述したように船に特有の防護  
効果が期待されるため、さらに小さな値にな  
ると考えられる。また、何よりも当該船舶の  
場合は、操業②③において汚染が見つかった  
とする報告はなく、したがって、ここで特別  
な線量評価を必要とする理由は見当たらない。

一方、漁獲物に放射性表面汚染が見つかった  
操業④であるが、核実験の終了から2ヵ月  
以上経過しているため、局地放射性降下物は  
言うに及ばず対流圏放射性降下物さえも既に  
地表に落ちた後である。したがって、その  
漁労活動中に、上空から船上に落ちてきた放  
射性降下物によって乗組員が外部被ばくを  
受けたとは考えられない(D.2を参照)。表面  
汚染が見つかった漁獲物は、もともと何らか  
の汚染のあった回遊魚を捕らえたもので、例  
えば船上での作業の際に新たな汚染が付着  
したものなどではないと考えられる。

<sup>10</sup> これらは、同じように粘着フィルムによっ  
て日本国内(東京)で観測された13 mrad  
(13 mR) [4]と大差ない。

<sup>11</sup> 図4から第5福竜丸の型幅に相当する半径

## D. 考察

### 1. 船体サイズと遮へいの影響

弥彦丸(第19次航)について評価した積  
算照射線量4 mRは、無限に広い甲板上に放  
射性降下物が一様に降り、かつその甲板上に  
乗組員が昼夜を通して立ち続けていた場合  
の線量である。したがって、これらについて  
適切な補正を加えると、実際の被ばく線量は  
さらに小さな値になる。

まず、船体サイズによる影響についてであ  
るが、図4に、半径の異なる地表に一様に放  
射性物質が分布し、その表面から $\gamma$ 線を等方  
的に放射したときの、高さ1 mの点における  
空気カーマの計算結果を示す[6]。弥彦丸の型  
幅18.2 mにほぼ相当する半径9 mの線源の  
場合、空気カーマは、無限に広い条件での値  
に比べて、 $\gamma$ 線エネルギーに依らず約0.5倍  
である<sup>11</sup>。

次に、船体の構造材による放射線の遮へい  
の影響については、ビキニ環礁での核実験に  
参加した米国海軍船舶の乗組員の線量評価  
で使用された方法を参考にする。文献[7]によ  
れば、遮へい係数は、甲板上线量率と甲板  
下の線量率の比 $f$ 、1日当たりの甲板上の滞在  
時間9.5 hと甲板下の滞在時間14.5 hから、

$$9.5/24 + 14.5/24 \times f \approx 0.4 + 0.6 \times f$$

で表される。比 $f$ は、船の構造によって変わ  
る(0.06~0.15)が、遮へい効果の最も小さ  
な曳船の数値(0.15)をここで使うと、遮へ  
い係数0.49が得られる。

これら補正の係数を、積算照射線量4 mR  
に適用すると、実効線量で、 $0.004 \text{ (R)} \times 0.5$   
 $\times 0.49 \times 8.76 \text{ (mGy/R)} \times 0.817 \text{ (Sv/Gy)} =$

3 mでは約0.25倍である。これは、同程度  
の大きさの船についての線量評価結果(平成29  
年度報告書、表4及び表A1)に補正係数とし  
て適用してよい。

0.007 mSv (= 7  $\mu$ Sv) が得られる。この値は、自然放射線による数日間の被ばく線量に相当するに過ぎない。

## 2. 俊鷗丸との比較

核実験の終了後、5月下旬から6月末にかけて、水産庁の調査船・俊鷗丸は、水産庁指定要報告区域内における放射線状況の現地調査を行った。報告[8,9]によれば、「外部被ばくによる線量（ローリツェン検電器の測定による）は、日本の陸上における値と比較してあまり差異がない」、「（この海域での）航行は差し支えない」とある。また、俊鷗丸で観測された雨水全 $\beta$ 放射能[8]を表4に示す。単位面積当たりの全 $\beta$ 放射能は、観測期間（5月17日～6月27日）の合計で2.0 GBq/km<sup>2</sup>、6月以降の合計で0.72 GBq/km<sup>2</sup>であった。これらは、5月中旬以降に日本国内で観測されたもの（例えば5月16日に京都大学で観測された11 GBq/km<sup>2</sup>[10]）よりもむしろ小さい。

漁獲物に汚染が見つかったとされる漁船ひめ丸の操業（④）は、俊鷗丸の調査によれば、汚染の比較的少ない反赤道海流域<sup>12</sup>のもので、また俊鷗丸の調査よりも後に行われたものであることを考えると、その操業期間中における当該漁船の放射性降下物による外部被ばくは特段なかったと考えることは合理的である。熱帯地方にしばしば見られる、局地的な上昇気流に起因する急激な風速の増加現象（いわゆるスコール）につきものわか雨は、汚染海水による船体や漁獲物の放射性表面汚染を洗い流す効果をむしろもたらしたと考えられる。

## 3. 第5福竜丸との放射性表面汚染の比較

船体や漁獲物の一部から放射性表面汚染が見つかったことを根拠の一つとして、「多くの船が第5福竜丸と同様の被災を受けた」とする主張が散見される。しかしながら、この主張は、放射性表面汚染の程度に着目して、第5福竜丸のそれと定量的な比較を行った結果に基づいたものではない。例えば、第5福竜丸で当時主に測定されたのは、電離箱式サーベイメータによる「照射線量率」（単位：R/h）であり、一方、他の漁船等で測定されたのは、GM計数管による表面汚染の「計数率」（単位：cpm）である。これは、前者は、GM計数管で測定するには汚染レベルが高すぎ、反対に、後者は、電離箱式サーベイメータで測定するには線量率が低すぎたという意味でもある。

第5福竜丸と他の漁船の間におけるこれら異なる単位での観測結果の直接的な比較を目的に、1954年3月17日に第5福竜丸上で測定された照射線量率の最大値100 mR/h[11]に相当する表面汚染密度を計算し、それを当時のGM計数管で測定したときに得られる計数率を試算した研究報告[6]がある。それによれば、汚染面から距離10 cmで測定した場合、GM計数管（窓面積4.9 cm<sup>2</sup>仮定）の計数率は300万cpmを超えると推定された。その他の船舶の表面汚染の多くは、数百～数千cpm程度であるので、第5福竜丸とは優に3桁は異なる。表面汚染の程度と外部被ばくによる線量とは、必ずしも正比例の関係にあるわけではないが、第5福竜丸とその他の船舶との被災状況に、大きな差があったことは歴然である。

<sup>12</sup> 朝日新聞「俊鷗丸の調査、水産庁で発表」

1954年7月6日付

## E. 結論

1954 (昭和 29) 年 3 月 1 日から 5 月 14 日にかけてビキニ環礁等で行われた核実験によって放射性降下物に被災したとされる船舶 (弥彦丸とひめ丸) について、外部被ばくによる線量を評価した。結論は以下のとおりである。

### 1. 弥彦丸

弥彦丸 (第 19 次航) の出港は、3 月 1 日の 1 回目の核実験 (ブラボー実験) よりも後であり、その航行海域は、往路・復路ともに拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域の外である。ただし、復路 (マカテア→日本) が 5 回目の核実験の際にちょうど風下付近を通るため、大圏航路に基づく航路と放射性降下物の分布図から放射性降下物による被災の可能性について調べた。その結果、当該船舶は、ビキニ環礁の東方 2,900 km (北緯 11 度、西経 168 度付近) を航行中に、核爆発の約 180 時間後に対流圏放射性降下物に遭遇し、その際の  $^{137}\text{Cs}$  沈着密度で  $13 \text{ Bq/m}^2$  に相当する放射性降下物が船上に降下した可能性がある。この沈着密度に相当する最大照射線量率は、 $0.018 \text{ mR/h}$ 、帰港までの積算の照射線量は、 $4 \text{ mR}$ 、実効線量は、 $0.03 \text{ mSv}$  と見積もられる。ただし、船体サイズや遮へい効果について補正すると、その 1/4 程度の値になり、これは自然放射線による数日間の被ばく線量と同程度にすぎない。

### 2. ひめ丸

当該漁船の漁獲物に放射性表面汚染が見つかった際の出港は、5 月 14 日の 6 回目の核実験の終了後であり、その操業及び航行海域は、拡大された危険区域 (出港時点で解除されていた) 及び水産庁指定要報告区域の外

である。核実験終了から既に 2 ヶ月経過しているため、船上に飛来した放射性降下物による外部被ばくがあったとは考えられない。また、漁獲物で見つかった表面汚染は、回遊魚のうち汚染があったものを捕らえたことによると考えられる。なお、当該漁船は、3 月下旬～4 月中旬にフィリピン西方、5 月中旬から下旬に東経 140 度付近でも操業しているが、いずれも拡大された危険区域及び水産庁指定要報告区域の外側である。ビキニ環礁の西側で距離が離れていること、特段の汚染の報告もないことから、個々に外部被ばくによる線量の評価を要する事例にはあたらないと判断される。

## F. 参考文献

- [1] ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書、全国健康保険協会、(2017).
- [2] 例えば、E. F. Martin and R. H. Rowland, CASTLE Series, DNA 6035F, Defense Nuclear Agency, (1982).
- [3] S. Glasstone and P. J. Dolan, The Effects of Nuclear Weapons, Department of Defense, (1977).
- [4] M. Eisenbud and J. H. Harley, Radioactive Fallout through September 1955, *Science*, **124**, 251–255 (1956).
- [5] H. L. Beck, A. Bouville, B. E. Moroz, and S. L. Simon, Fallout Deposition in the Marshall Islands from Bikini and Enewetak Nuclear Weapons Tests, *Health Phys.* **99**, 124–142 (2019).
- [6] 辻村憲雄, 日本放射線事故・災害医学会第 7 回学術集会講演予稿集, (2019).
- [7] C. Thomas, J. Goetz, J. Stuart, and J. Klemm, Analysis of Radiation Exposure

for Naval Personnel at Operation IVY, DNA-TR-82-98, Defence Nuclear Agency, (1983).

- [8] 浦久保五郎, ビキニ調査船俊鷗丸の調査結果について, 公衆衛生年報, **2**, 5–10 (1954).
- [9] 杉浦吉雄, ビキニ環礁付近海域の調査について, 天気, **1**, 115–117 (1954).
- [10] 辻村憲雄, 1954年に日本各地で観測された雨水中全β放射能の再検討, 保健物理, **54**, 40–44 (2019).
- [11] 笈弘毅, ビキニの灰と放射能障害, 日本医師会雑誌, **31**, 497–504 (1954); 笈弘毅, 「ビキニの灰と放射能障害」についての追補, 日本医師会雑誌, **31**, 622–623 (1954).

表1 船舶の操業・航行位置による分類

(3月1日以降に当該区域で操業したか又は航行したかどうかで分類)

船名	核実験	米国によって拡大された危険区域 (3/19 設定, 海保告示は 3/27)			水産庁指定要報告区域 (3/18 設定)		
		往路航行	操業	復路航行	往路航行	操業	復路航行
第5福竜丸	B		○	○		○	○
第12高知丸	B		×	○		×	○
第5明神丸	B		×	○		×	○
第13光荣丸	B		×	○		×	○
第7大丸	B	×	×	○	×	×	○
第10宝成丸	B	×	×	○ <sup>a</sup>	×	×	○ <sup>a</sup>
第11高知丸	B,R	○	×	×	○	×	○
第2幸成丸	B,R	○	×	×	○	×	○
瑞洋丸	B,R	○	×	×	○	×	○
第12宝幸丸	B,R	○	×	×	○	×	×
尾形海幸丸	B,R	○	×	×	○	○ <sup>b</sup>	○
第5海福丸	R	×	×	○ <sup>c</sup>	×	×	○
第5明賀丸	R,K	×	×	×	○	×	○
第8順光丸 <sup>d</sup>	K,U,Y	×	×	×	○	×	○
弥彦丸 (第19次航)	Y	×	×	×	×	×	×
ひめ丸	—	× <sup>e</sup>	× <sup>e</sup>	× <sup>e</sup>	×	×	×

「核実験」欄の記号は、B：ブラボー（日本時間 3/1 爆発）、R：ロメオ（同 3/27）、K：クーン（同 4/7）、U：ユニオン（同 4/26）、Y：ヤンキー（同 5/5）を表す。

- <sup>a</sup> 詳細な航路図無し。漁労海域から当該区域を通過してまっすぐ帰路についたと仮定した。
- <sup>b</sup> 北緯 9～10 度、東経 172～173 度付近（Wotje 環礁の東側であり、ブラボー実験による局地放射性降下物の降下範囲から南側に大きく外れている）で水産庁の区域指定以前（3/13）から操業した。
- <sup>c</sup> 操業は禁止されているが航行は支障ないと判断したのだと思われる。なお、当該漁船は、ロメオ実験による放射性降下物が到達するより前に危険区域から離れた。
- <sup>d</sup> 当該漁船は、3月にも南緯 13～18 度、東経 111～115 度で操業した。3月下旬に三崎港で受けた汚染検査では特に異常はなかった。
- <sup>e</sup> 米国によって設定された危険区域は 5 月 21 日に解除された。当該漁船の元乗組員から申告されたカロリン諸島付近での操業は、解除後かつ区域外である。

表 2 弥彦丸（第 19 次航）のヤンキー実験による放射性降下物遭遇時の座標，距離，経過時間，<sup>137</sup>Cs 沈着密度及び外部被ばくによる線量

対流圏放射性降下物							積分期間 (迄)
北緯 (度)	西経 (度)	距離 (km)	経過時間 (h)	<sup>137</sup> Cs 沈着密度 (Bq/m <sup>2</sup> )	照射線量 (mR)	実効線量 (mSv)	
11.3	168	2,900	180	13	4 注 (1)	0.03 注 (0.007)	5/30

注) 無限に広い甲板上に放射性降下物が一様に降り，かつその甲板上に乗組員が昼夜を通して立ち続けていた場合の線量（平成 29 年度報告書と同様）である。また，括弧内の数値は，船体サイズと遮へい効果による補正を組み込んだ値である。詳細については本文を参照。

表 3 ひめ丸の出入港日，操業位置及び操業期間

	出港日・入港日	操業位置（操業期間）	出典
①	S28.12.31～S.29.2.5（東京入港）	北緯 31～32 度，東経 159～164 度 (S29.1.8～1.29)	水産研究所
②	S29.3.23～4.22（室戸入港）	北緯 14～16 度，東経 115～118 度 (S29.3.31～4.14)	水産研究所
③	S29.5.2～6.8（東京入港）	北緯 1～9 度，東経 139～143 度 (S29.5.13～5.30)	水産研究所
④	S29.7.8～8.17（東京入港）	北緯 5～7 度，東経 140～150 度 (S29.7.18～8.7)	外務省開示資料 衛生試験所

注) ④で漁獲物等に放射性表面汚染が見つかった。

表 4 俊鷗丸で観測された雨水中全  $\beta$  放射能 (単位容積当たりと単位面積あたり)

観測日	降水量 (mm)	試水量 (mL)	計数率 (cpm)	放射能濃度 (Bq/L)	放射能密度 (MBq/km <sup>2</sup> )
1954年5月17日	1.3	50	21	6.2E+01	8.1E+01
5月18日		50	6	1.8E+01	
	2.2	50	20	5.9E+01	1.3E+02
5月22日	0.35	50	870	2.6E+03	9.0E+02
5月25日	0.1	20	180	1.3E+03	1.3E+02
6月1日	0.2	50	200	5.9E+02	1.2E+02
6月2日	1.6	50	180	9.6E+00	1.5E+01
6月3日	0.3	80	45	8.3E+01	2.5E+01
	1	50	2	8.8E+00	8.8E+00
	1.6	50	0	0.0E+00	0.0E+00
	0.3	80	10	1.8E+01	5.5E+00
	0.4	85	10	1.7E+01	6.8E+00
	2.8	90	0	0.0E+00	0.0E+00
	0.7	80	1	0.0E+00	0.0E+00
	0.6	140	0	0.0E+00	0.0E+00
	1	150	0	0.0E+00	0.0E+00
	0.1	25	0	0.0E+00	0.0E+00
6月9日	0.5	100	73	1.1E+02	5.4E+01
	0.4	90	56	9.1E+01	3.7E+01
6月11日	0.16	8	0	4.9E+01	7.8E+00
	0.04	39	13	7.4E+01	2.9E+00
6月15日	12.4	8.5	4	2.4E+01	2.9E+02
6月17日	0.8	100	16	2.3E+01	1.9E+01
6月18日	0.03	190	30	1.1E+02	3.2E+00
6月22日	6.5	7.5	5	1.1E+01	7.1E+01
	3.3	500	24	7.1E+00	2.3E+01
6月23日	12.2	500	7	2.1E+00	2.5E+01
6月27日	0.4	86.5	8	1.4E+01	5.4E+00
合計					2.0E+03
合計(6/1以降)					7.2E+02

注) 5月18日の降水量は原論文で空欄になっており不明である。

参考) 環境放射線データベースによれば、単位面積当たりの全  $\beta$  放射能の国内観測における過去最大値は、1966/12/31の鹿児島での 222,888 MBq/km<sup>2</sup> (220 GBq/km<sup>2</sup>)、次いで、同日、高知での 180,909 MBq/km<sup>2</sup> (180 GBq/km<sup>2</sup>) である。いずれも中華人民共和国の第五回核実験によるものである。

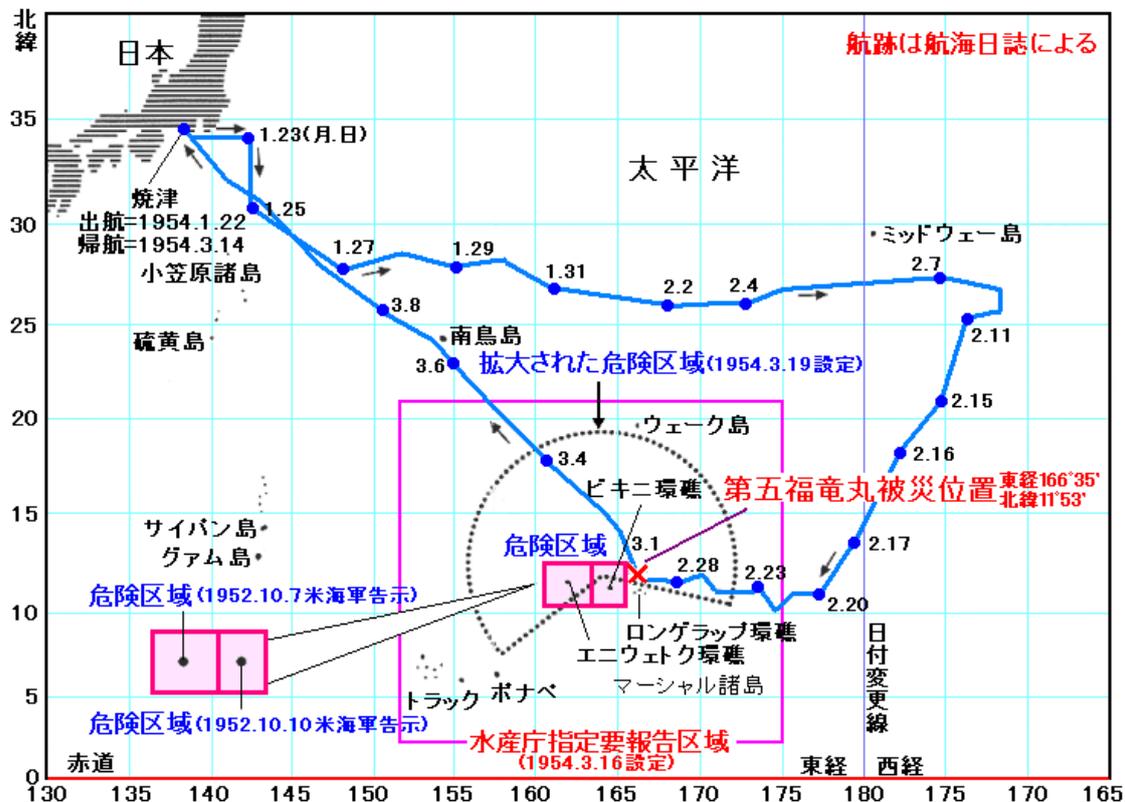


図1 米国によって3月1日以前に設定された「危険区域」及び3月19日に設定された「拡大された危険区域」, 並びに水産庁によって3月18日に設定された「水産庁指定要報告区域」と, 第5福竜丸の航路

図は, [https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat\\_detail\\_09-03-02-16.html](https://atomica.jaea.go.jp/data/detail/dat_detail_09-03-02-16.html) から引用した。なお, 原図は, 「第五福竜丸ものがたり」(第五福竜丸平和協議会) による。

補足説明

危険区域：北緯 12 度 45 分～10 度 15 分, 東経 160 度 35 分～166 度 16 分の線で囲まれた範囲

拡大された危険区域：北緯 12 度, 東経 164 度を中心に半径 450 海里 (833 km), 方位 95 度から 240 度 (反時計回り) が従来の危険区域に追加された。

水産庁指定要報告区域：東経 152～175 度, 北緯 2～21 度 (図では, 3/16 設定とあるが 3/18 の間違い)

なお, トラック諸島の正しい位置 (北緯 7 度 25 分 東経 151 度 47 分) は水産庁指定要報告区域の西側である。

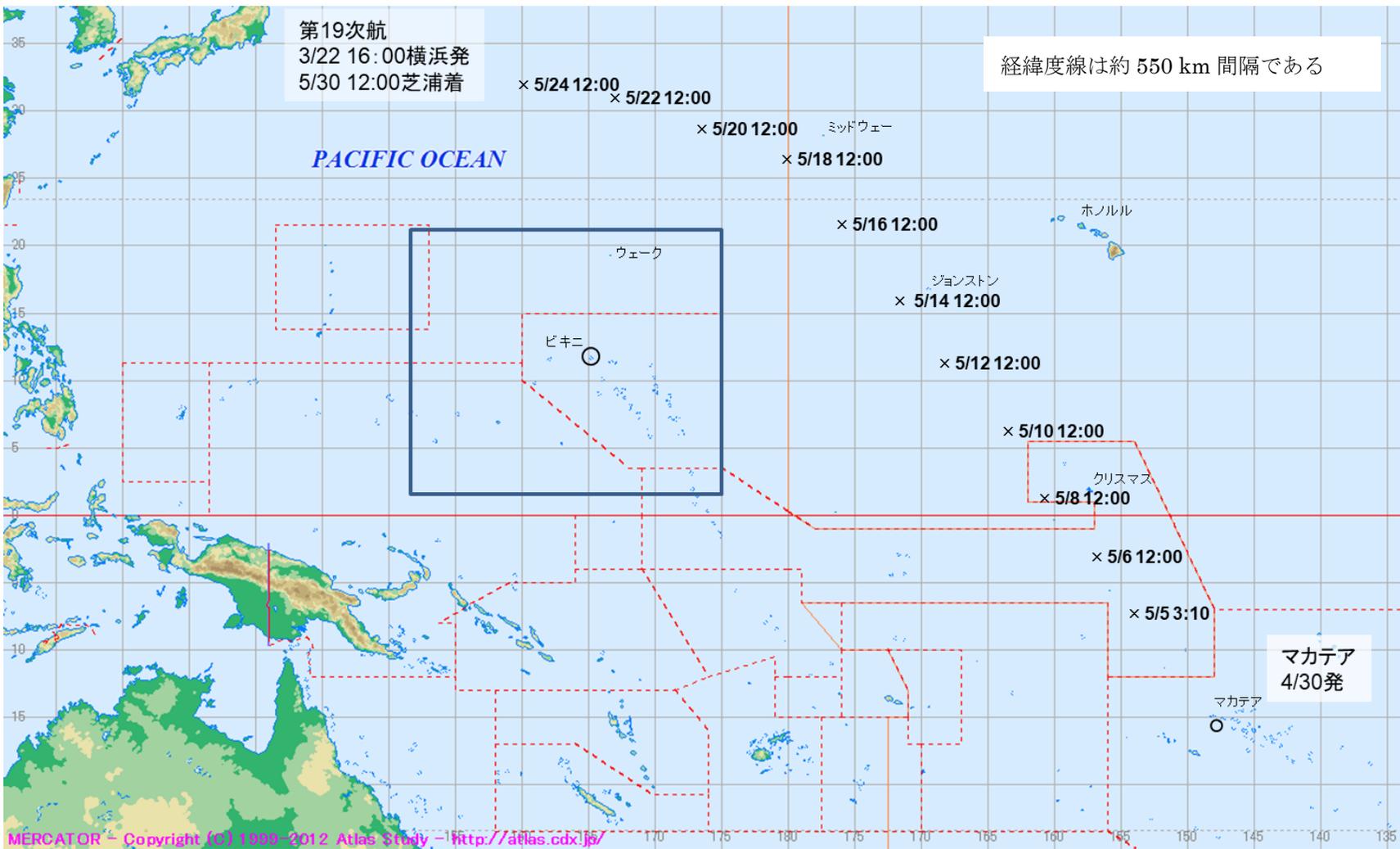


図2 弥彦丸（第19次航）の航路（×印プロットの時間は日本時間である）

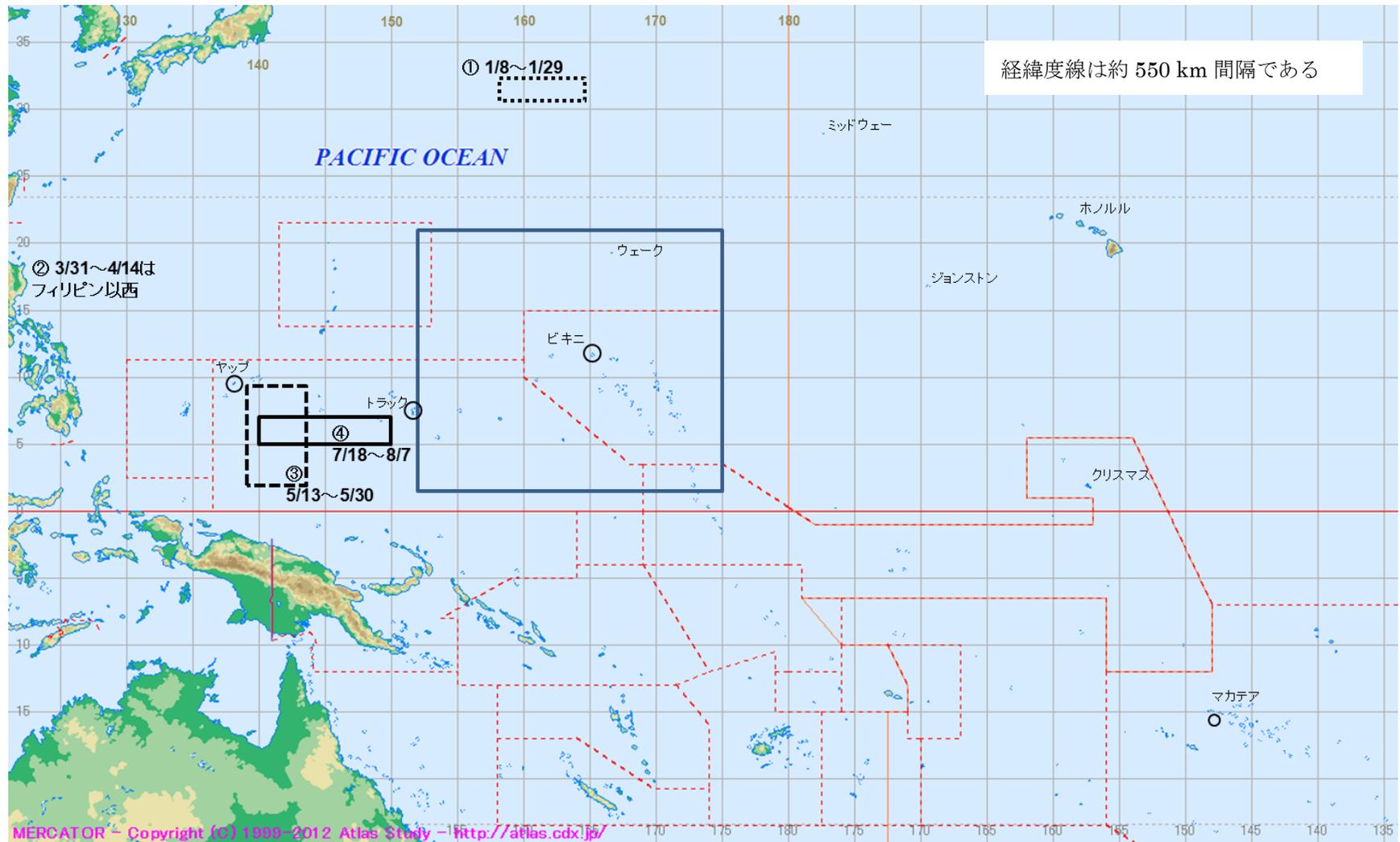


図3 ひめ丸の操業海域と操業期間

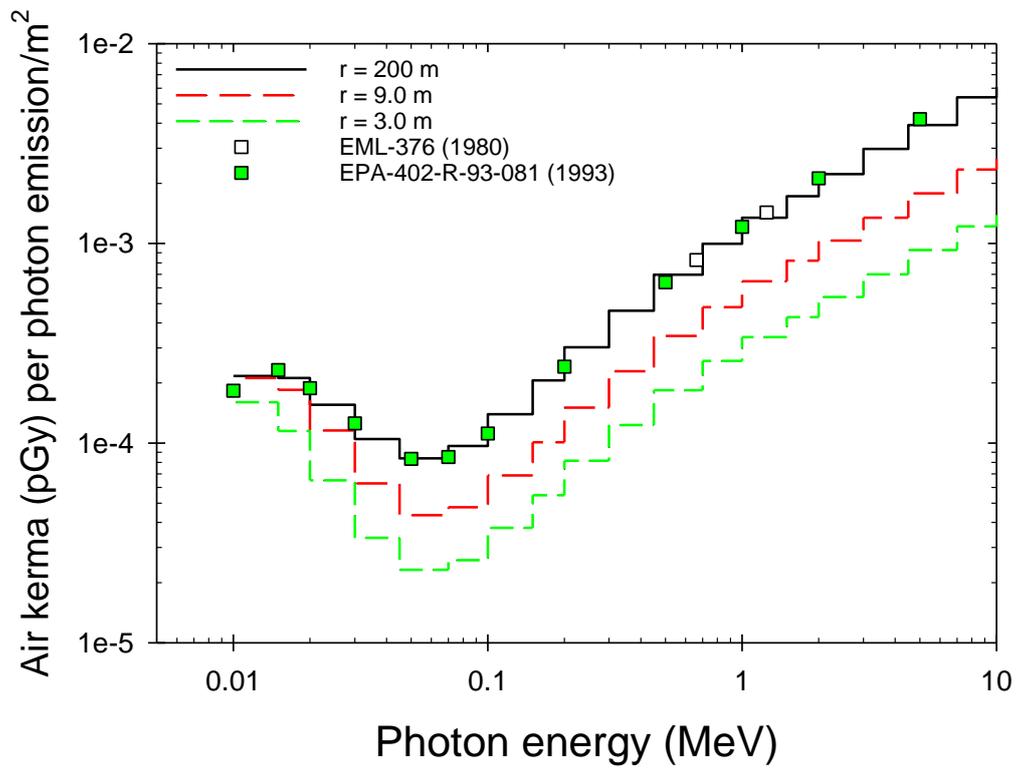


図4 異なる半径 ( $r = 200 \text{ m}$ ,  $9 \text{ m}$ ,  $3 \text{ m}$ ) の円形の地表に放射性物質が一樣に分布し、その表面から  $\gamma$  線を等方的に放射したときの、地表中央の高さ  $1 \text{ m}$  の点における空気カーマ[6]

(計算は MCNP による。□及び■は広い一樣な地表汚染での文献値であり、前者は  $^{137}\text{Cs}$  と  $^{60}\text{Co}$  の  $\gamma$  線、後者は単色エネルギーの  $\gamma$  線に対する値である)

## 別紙1：ブラボー実験による局地放射性降下物の影響範囲について

### 1. はじめに

平成 29 年度報告書で使用した局地放射性降下物の分布計算モデルを、ブラボー実験時に同降下物に被災したことが知られている米海軍の輸送艦パタプスコに適用し、計算の入力条件を精査するとともに、それを漁船等についての再計算に反映してみたので報告する。

### 2. 輸送艦パタプスコの被災状況

ブラボー実験時にビキニ環礁周辺海域<sup>13</sup>に多くの米海軍船舶が展開していたこと、そしてそれら船舶が核実験による放射性降下物に被災したことはよく知られている[1]。ただし、これらは、当初の予想を超えるものであったものの、計画されていた作戦行動での被災であったに過ぎない。一方、これらとは別に、まったくの想定外に放射性降下物に被災した船舶として、輸送艦パタプスコ (USS Patapsco) の事例が知られている<sup>14</sup>。輸送艦パタプスコは、ブラボー実験の際にハワイに向かう途上にあつたが、故障のためビキニ環礁近海からの離脱が遅れ、核実験の約 33 時間後、ビキニ環礁の東北東 (方位約 80 度)、距離にして約 1,100 km の地点で被災したとされる。3 月 8 日 (パールハーバー着) までの外部被ばくによる線量は、最大条件で 18 R、現実的条件で 3.3 R と見積もられている[1]。なお、本艦には

ウォッシュダウン・システム (放射性降下物の船上除染設備) は搭載されておらず、また乗組員による除染も特に行われなかった。

### 3. 局地放射性降下物計算モデルの計算入力条件の精査

輸送艦パタプスコへの局地放射性降下物計算モデルの適用にあたって、入力値が計算結果に与える影響の感度分析を目的に、風速と降下範囲の中心軸の方位を変化させる。ここで、風速については、平成 29 年度報告書で使用した 8.3 m/s (= 30 km/h) を基準に±10%及び±20%に増減させる。中心軸の方位については、同じく平成 29 年度報告書で使用した 86.5 度にさらに 80 度を追加する。前者は、ブラボー実験の前後にビキニ環礁近くから放球した観測気球が飛翔した方位[2]、後者は輸送艦パタプスコが被災した位置の方位に相当する。

### 4. 結果

表 G.1 に輸送艦パタプスコについて計算した結果を示す。風速を減じた場合、本艦は放射性降下物には遭遇しなかったため、この表では、それら結果の記載を省略する。また、同表では、放射性降下物の降下範囲の中心軸への本艦の接近の程度を明確にするため、爆心から本艦が放射性降下物を受けた地点までの距離に加え、その地点から中心軸に下ろした「垂線の足」までの距離  $L_2$  と、爆心からその垂線の足までの距離  $L_1$  も示す。また、図 G.1 に、局地放射性降下物に

<sup>13</sup> ビキニ環礁の主に南東側 (距離だけを見れば、第 5 福竜丸よりもビキニ環礁にむしろ近い)

<sup>14</sup> 読売新聞「米油送船も被災」1954 年 3 月 25 日付。

含まれる  $^{137}\text{Cs}$  の沈着密度及びその到着時間のヒートマップに、本艦の航路を重ね合わせたものを示す。航路とともに図中に示した数字は、爆発からの経過時間である。

当初の条件（風速 8.3 m/s, 方位 86.5 度）で計算した場合、本艦は、核実験の 45 時間後に放射性降下物に遭遇し、積算で 45 mR の線量を受けると算出された。これらは、米国による推定遭遇時刻（約 33 時間）よりも遅く、またその推定線量（3.3~18 R）よりも小さい。一方、風速を+10%増、中心軸を方位 80 度に変えると、遭遇時刻で 32 時間、線量で 6.7 R が算出され、米国による推定値にはほぼ合致する結果が得られることが分かった。線量の計算値が若干小さいようにも見えるが、これは、本計算モデルが、パタプスコのような特殊な被災状況（船と放射性降下物の進行方向が合致し、移動した先々で同様に飛来してきた放射性降下物が船に堆積し続ける）までを忠実に組み込むものではないためと考えられる。ただし、こうした現象が生じるのは、ブラボー実験時にビキニ環礁から東北東に進む船舶に限られるため、下記に示す漁船等への適用にあたっての障害にはなりえない。

## 5. 漁船への適用

平成 29 年度報告書で線量の計算を行った 5 隻（第 12 高知丸、第 5 明神丸、第 11 高知丸、第 7 大丸及び第 10 宝成丸）について、前節の輸送艦パタプスコでの精査結果をもとに、計算入力条件のうち風速を+10%増、中心軸方位を 80 度にして再計算した結果を表 G.2 に示す。

平成 29 年度報告書で使用していた基準の入力条件での計算結果に比べると、変更

した条件での計算結果— $^{137}\text{Cs}$  沈着密度及び線量—はともに減少した。この減少は、垂線距離  $L_2$  がより長くなったことに対応している。輸送艦パタプスコの被災事実に合致するよう局地放射性降下物の降下範囲の中心軸をより北側に調節した再計算の条件では、漁船が操業又は航行していた海域は、局地放射性降下物の主な降下範囲から外れた、すなわちその被災をほとんど受けることのない海域であったということである。

なお、放射性降下物がある特定の方位ではなく全方位に放射状に広がる、すなわち何らかの寄与がそれぞれの漁船位置に及ぶことを前提とした対流圏放射性降下物の計算モデルには、降下範囲の中心軸方位という概念は適用されないため、平成 29 年度報告書の対流圏放射性降下物についての結果はこれまでどおりとなる。

## 6. まとめ

平成 29 年度報告書で使用した局地放射性降下物の分布計算モデルを、ブラボー実験時に同降下物に被災したことが知られている米軍の輸送艦パタプスコに適用し、計算の入力条件を精査するとともに、その精査した条件で漁船等の線量の再計算を行った。

その結果、これまでの風速を+10%に、降下範囲の中心軸を方位 80 度にずらすことでより適切な計算条件になることが判明した。この条件でパタプスコについて計算された  $^{137}\text{Cs}$  沈着密度 ( $> 10,000 \text{ Bq/m}^2$ ) は、住民の避難が行われたウチリック環礁のそれ ( $21,000 \text{ Bq/m}^2$  [3]) に近い。なお、この精査した条件で、ブラボー実験後に近海で操業又は航行した 5 隻の漁船について、局

地放射性降下物による影響等を再計算した結果、いずれの漁船も局地放射性降下物の主たる降下範囲から南側に大きく外れた位置にあり、またその外部被ばくによる線量も平成 29 年度報告書で示した値よりも小さくなることが分かった。

危険区域の拡大等の措置が行われたのは、ブラボー実験の後、第 5 福竜丸の被災事実が明らかになった以降である。輸送艦パタプスコのこうした被災事例を考えるに、第 5 福竜丸を除き、わが国の漁船等がその当時に局地放射性降下物の分布中心付近を通らなかったことは、不幸中の幸いだと言ってよいのかもしれない。

#### 別紙 1 の参考文献

- [1] E. F. Martin and R. H. Rowland, CASTLE Series, DNA 6035F, Defense Nuclear Agency, (1982).
- [2] Howard A Hawthorne (Ed), Compilation of Local Fallout Data from Test Detonations 1945-1962 Extracted from DASA 1251. Volume II—Oceanic US Tests, DNA-1251-2-EX, Defense Nuclear Agency (1979).
- [3] H. L. Beck, A. Bouville, B. E. Moroz, and S. L. Simon, Fallout Deposition in the Marshall Islands from Bikini and Enewetak Nuclear Weapons Tests, *Health Phys.* **99**, 124–142 (2019).

表 G.1 輸送艦パタプスコにおけるブラボー実験による局地放射性降下物遭遇時の座標、距離、爆発後経過時間、<sup>137</sup>Cs 沈着密度及び外部被ばくによる線量

風速	中心軸方位	北緯(度)	東経(度)	距離(km)	経過時間(h)	<sup>137</sup> Cs 沈着密度(Bq/m <sup>2</sup> )	線量*(mR)
8.3 m/s (±0%)	86.5°	14.3	177.6	1,400 [L <sub>1</sub> : 1,400] [L <sub>2</sub> : 240]	45	130	48
8.3 m/s (±0%)	80°	14.4	177.9	1,400 [L <sub>1</sub> : 1,400] [L <sub>2</sub> : 95]	47	1,400	520
9.2 m/s (+10%)	80°	13.4	174.8	1,100 [L <sub>1</sub> : 1,100] [L <sub>2</sub> : 23]	32	14,000	6,700
10 m/s (+20%)	80°	13.1	173.7	930 [L <sub>1</sub> : 930] [L <sub>2</sub> : 3]	26	23,000	13,000

\* 無限に広い甲板上に放射性降下物が一様に降り、かつその甲板上に乗組員が昼夜を通して立ち続けていた場合の線量（平成 29 年度報告書と同様）である。また、積分期間は日本時間で 1954/3/8 10:00 までである。

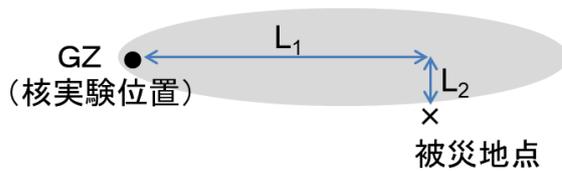
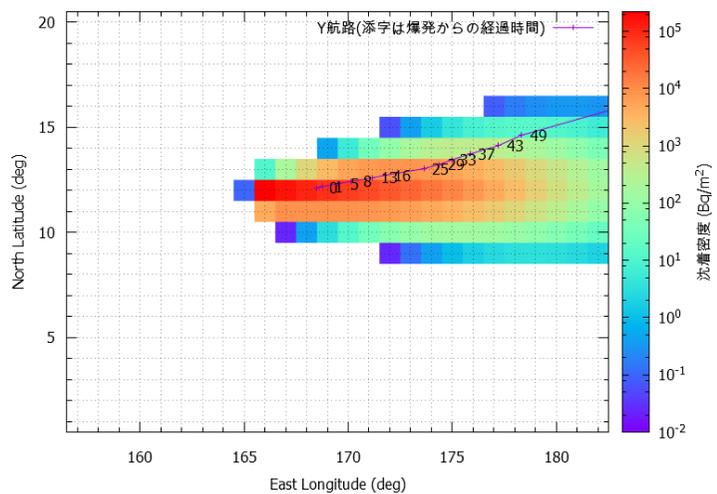


表 G.2 漁船等におけるブラボー実験による局地放射性降下物遭遇時の座標，距離，爆発後経過時間，<sup>137</sup>Cs 沈着密度及び外部被ばくによる線量

船名	局地放射性降下物：中心軸方位 86.5° (H29 年度報告書)						局地放射性降下物： 中心軸方位 80°，風速+10%						積分 期間 (迄)
	北緯 (度)	東経 (度)	距離 (km)	経過 時間 (h)	<sup>137</sup> Cs 沈着密度 (Bq/m <sup>2</sup> )	線量* (mR)	北緯 (度)	東経 (度)	距離 (km)	経過 時間 (h)	<sup>137</sup> Cs 沈着密度 (Bq/m <sup>2</sup> )	線量* (mR)	
第 12 高 知 丸	10.0	177.1	1,300 [L <sub>1</sub> : 1,300] [L <sub>2</sub> : 240]	43	120	71	10.0	177.1	1,300 [L <sub>1</sub> : 1,200] [L <sub>2</sub> : 390]	38	0.15	0.09	1954/3/17
第 5 明 神 丸	9.6	177.1	1,300 [L <sub>1</sub> : 1,300] [L <sub>2</sub> : 290]	43	33	22	9.6	177.1	1,300 [L <sub>1</sub> : 1,200] [L <sub>2</sub> : 430]	37	0.01	0.008	1954/3/27
第 13 光 栄 丸	10.0	179.1	1,500 [L <sub>1</sub> : 1,500] [L <sub>2</sub> : 240]	50	84	51	10.0	179.2	1,500 [L <sub>1</sub> : 1,500] [L <sub>2</sub> : 420]	44	0.14	0.09	1954/3/26
第 7 大 丸	9.6	179.1	1,500 [L <sub>1</sub> : 1,500] [L <sub>2</sub> : 290]	50	27	18	10.2	178.6	1,500 [L <sub>1</sub> : 1,400] [L <sub>2</sub> : 380]	43	0.53	0.37	1954/4/1
第 10 宝 成 丸	11.3	-177.2	1,900 [L <sub>1</sub> : 1,900] [L <sub>2</sub> : 100]	64	64	37	11.2	-176.6	2,000 [L <sub>1</sub> : 1,900] [L <sub>2</sub> : 330]	59	3.8	2.3	1954/4/2

\* 無限に広い甲板上に放射性降下物が一様に降り，かつその甲板上に乗組員が昼夜を通して立ち続けていた場合の線量（平成 29 年度報告書と同様）である。

従来条件



条件変更  
風速: +10%  
方位: 80 度

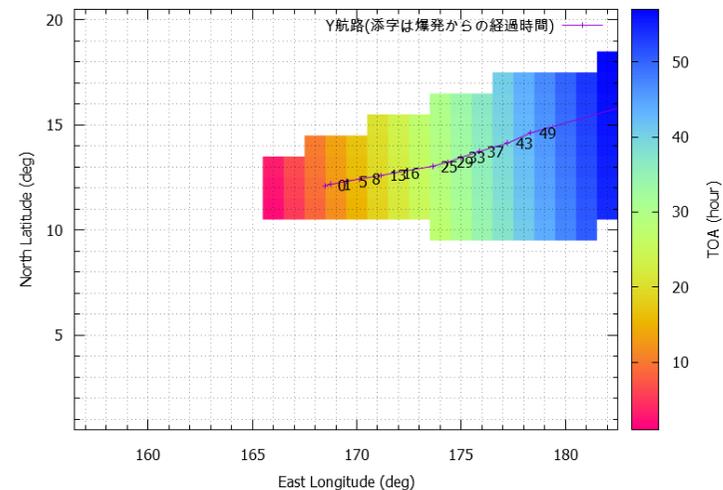
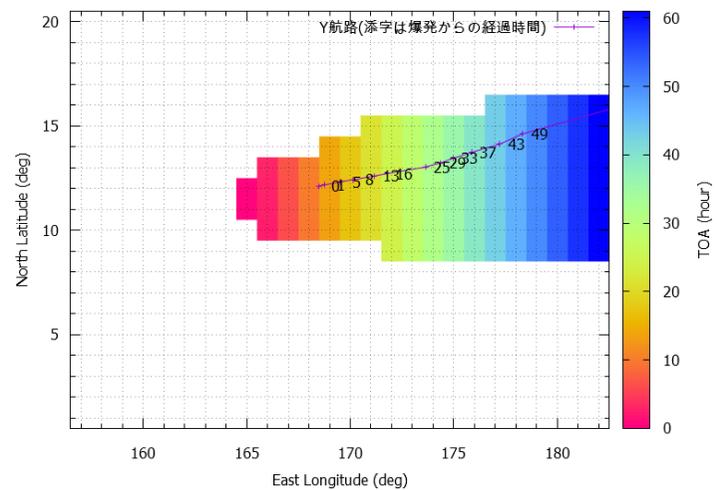
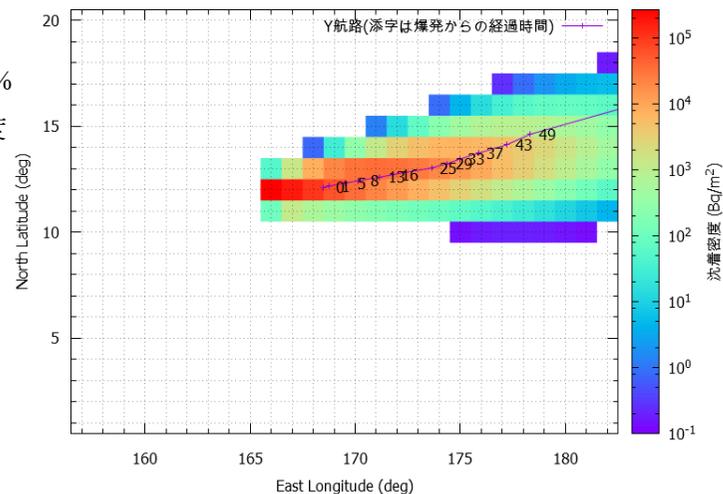


図 G.1 ブラボー実験における局地放射性降下物に含まれる  $^{137}\text{Cs}$  の沈着密度及びその到着時間 (TOA) とパタプスコの航路

## 別紙 2 : 他の漁船の操業海域

船員保険の適用申請がなされた元乗組員が乗船していた船のうち、平成 29 年度報告書及び本報告書本文で取り上げていなかった船（大土佐丸、第 5 大鵬丸、第 7 芳丸、第 6 宝生丸、及び第 1 月山丸）の主だった操業海域とその時期を図 H.1 に示す。その多くは水産指定要報告区域の外側である。一部に水産指定要報告区域の内側で操業したものがあるが、その時期は、核実験終了から 4 ヶ月ほど経過した以降である。これらは、いずれも個別の線量評価を必要とする事例にはあたらないと考えられる。

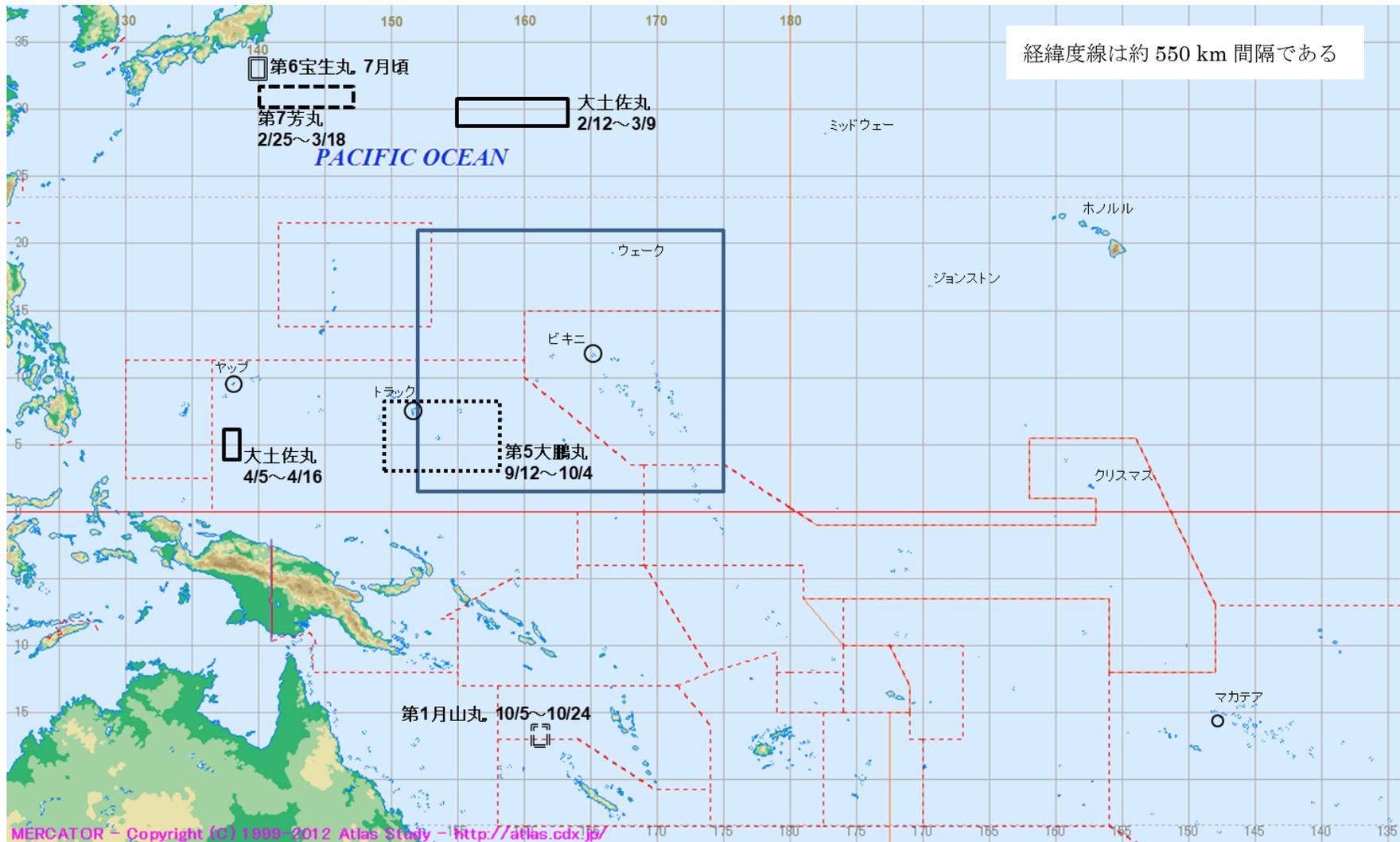


図 H.1 他の漁船の操業海域と操業期間

#### IV. 内部被ばくによる線量の評価

## 内部被ばくによる線量の評価

### 要旨

今回の申請者が乗船していた船舶のうち、核実験により生じた放射性降下物に遭遇した可能性のある船舶（弥彦丸）と入港時の漁獲物の放射能検査及び操業期間が記録されている船舶（第5大鵬丸、ひめ丸）について、放射性物質の吸入あるいは経口により生じ得る内部被ばくの線量を推計した。線量評価の方法は、平成29年12月に公開された「ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書」（全国健康保険協会船員保険部）に示された方法を踏襲した。その結果、上記3船舶の内部被ばく線量は、実効線量で< 0.001 mSv, 0.06 mSv, 0.08 mSv となった。線量推計の不確実性は相当大きいものの、船員保険の適用申請がなされたものの線量評価が行えなかった船舶も含め、これまでの科学的知見に照らして1 mSvを超える可能性は低いと評価される。

### A. 目的

1954年3月から5月にかけて米国がマーシャル諸島で実施した一連の核実験（キャッスル作戦）によって被災されたとされる船舶乗組員の内部被ばく線量を推計する。推計対象とした船舶は、今回新たに船員保険の適用申請がなされた船舶の内、核実験により生じた放射性降下物に遭遇した可能性のある船舶（弥彦丸）と入港時の漁獲物の放射能検査及び操業期間が記録されている船舶（第5大鵬丸、ひめ丸）である。ただし、前者の船舶については放射性降下物の吸入摂取による内部被ばく、後者2隻の船舶については放射性物質により汚染した漁獲物の経口摂取による内部被ばくについて検討した。

### B. 線量評価の方法

内部被ばくによる線量推計の方法は、平成29年度全国健康保険協会報告書に示したものと基本的に同一である[1]。すなわち、船舶

乗組員の内部被ばく経路としては、核実験によって生成された放射性降下物を吸入することによる内部被ばく（吸入摂取）と放射性物質に汚染された漁獲物を食することによる内部被ばく（経口摂取）とした。吸入摂取による内部被ばく線量の推計には対象船舶への放射性降下物の降下量が必要となるが、それについては本報告書「外部被ばくによる線量の評価」の結果を参照した。今回の申請者が乗船していた船舶のうち、吸入摂取の評価対象となる船舶は弥彦丸（第19次航）のみであった。他の船舶については、マーシャル諸島から遠く離れた海域（日本近海、東シナ海など）にて航行または操業していたため、放射性降下物の降下量は微量であると推定される。他方、経口摂取の評価対象となった船舶は、入港時の際の漁獲物の放射能検査及び操業期間の記録があった第5大鵬丸とひめ丸の2隻であった。内部被ばくによる線量推計の方法は別添に再掲した。

## C. 結果

表 1 に、評価対象とした船舶の内部被ばく線量の推定結果を、使用した情報と併せて示した。いずれも、預託実効線量で 1 mSv を大きく下回る結果となった。

## D. 考察

### (1) 吸入摂取

今回の申請者が乗船していた船舶のうち、核実験による放射性降下物の影響を受けたと推定される船舶は弥彦丸（第 19 次航）のみであった。ただし、本報告書「外部被ばくによる線量の評価」にある解析のとおり、同船が放射性降下物に遭遇した時点でのビキニ環礁からの距離は 2,900 km と離れており、外部被ばく線量と同様に内部被ばく線量も低い結果となった（前者が 0.03 mSv、後者が < 0.001 mSv）。

核実験に伴う放射性降下物の吸入摂取による内部被ばくは、クラウドシャインやグラウンドシャインによる外部被ばくと比較して低いとされる[2, 3]。図 1 には、Levanon らが保守的な条件で計算した吸入摂取による内部被ばく線量と外部被ばく線量の関係を示した。同図の横軸は爆心地から風下に沿った距離である。

放射性降下物には、爆心地の近傍に短時間以内に降下する成分（局地降下物）、対流圏内の気流によって爆心地から比較的遠方まで輸送される成分（対流圏降下物）、及び、成層圏まで到達した放射性物質が地球的規模に広がり、それらが長期間にわたって少しずつ降下する成分（成層圏降下物）がある。これらのうち、各船舶での吸入摂取の評価の対象となるのは局地降下物と対流圏降下物になるが、両者の時空間的な違いは、大まかには前者が爆心地から数百 km 範囲内に 1 日以内

に降下する成分、後者が爆心地から数百から数千 km 範囲内に数日から数十日以内に降下する成分と見なすことができる。局地降下物は放射能が高く、ロンゲラップ環礁や第五福竜丸に降り注いだために住民や船員に深刻な被ばくをもたらしたが、粒子径が大きいためには容易には吸入されない。実際、ビキニ環礁から比較的近い島々（ロンゲラップ島など）では局地降下物の粒子径は 100  $\mu\text{m}$  程度であったことが報告されている[4]。対流圏降下物については、局地降下物よりも遠方に輸送される過程で、大きい粒子は重力沈降によって除去されてゆくために、平均的な粒子径は徐々に小さくなる。したがって、吸入摂取が生じる粒子径となる可能性が考えられるが、評価対象となった弥彦丸は前述のとおり爆心地より相当な距離があるため、吸入摂取による内部被ばく線量はごく微量であったと推定される。俊鵜丸の一次調査においても、ビキニ環礁周辺海域での空気汚染はほとんど無かったと報告されている[5]。

### (2) 経口摂取

第五福竜丸事件に端を達した漁獲物の放射能検査は、当初、魚体から約 10 cm の距離で GM 計数管により測定を行い、バックグラウンド込みで 100 cpm を超えた場合は廃棄処分の対象とされた。この措置は、有害な物質を含有あるいは汚染された食品を流通させないという食品衛生法に基づくものであった [6]。当時の GM 計数管のバックグラウンドは 20~30 cpm とされているが[7]、100 cpm はその 3 倍程度であり、放射性物質による汚染判断の目安として考えられたものであった[8]。

漁獲物の放射能検査は、その後、汚染部位（鰓、内臓等）除去後の再検査や基準値の引

き上げなどの緩和がなされ、1954年12月下旬に中止された。その理由は、魚体の可食部（筋肉）の汚染が低く、また、魚体内の放射能の大部分は最大許容負荷量が高い<sup>65</sup>Znによるものであることが分かったためであった[1]。ひめ丸の漁獲したキハダ鯨の検査記録を一例に挙げれば、魚体表面において1,670 cpm（最大値）に対し、筋肉は1g当たり数cpmに過ぎなかった[9]。<sup>65</sup>Znについては、原水爆装置の構造部中に真鍮があり、核実験により生じた中性子により誘導されたものと考えられた。また、軟体動物その他の海棲生物には選択的にZnを集めるものがあり、プランクトンから小型魚、小型魚から大型魚へと食物連鎖を介して<sup>65</sup>Znが魚体内に濃縮した可能性が示唆された。

表2に経口摂取の計算例を示す。この例では、魚体から10cmでのGM計数管の計測値が1,000cpmであったときに、魚肉各部位を100g食したときの内部被ばく線量である。線量評価の方法は別添に記載のとおりであるが、表2ではIshikawaとHiyama[10]によって得られた魚体から約10cmでのGM計数管の計測値と筋肉中の放射能の関係（※前者が1,000cpmのとき、後者は10cpm/g（約1.1Bq/g）と1954年3月15日時点に半減期補正した<sup>65</sup>Zn、<sup>89</sup>Sr及び<sup>90</sup>Srの放射能比に基づく線量係数のみを計算に考慮した（3核種の選定理由においては別添参照）。ただし、魚肉各部位の放射能比は天野ら[11]の結果を参照した。同表から、魚体表面で1,000cpmの魚の切り身（筋肉）を毎日300g、30日間食べ続けると0.04mSvとなる。また、内臓可食部として、肝臓、小腸、心臓、胃及び生殖器を等量ずつ合計1日300g、30日間食べ続けると1.1mSv（切り身の約30倍）と計算される。しかしながら、内臓可食

部を毎日300g経口し続ける状況は考えにくい。

より正確な推計のために、各船舶の実際の食生活に関する情報を収集すべきではあるが、経口摂取による内部被ばく線量の推計に利用可能なデータとしては漁獲物の放射能検査の結果しかないために、現時点ではこれ以上の推計は難しい。また、海水で炊いた米を食したとする証言もあるが[12]、俊鶴丸の一次調査において海水（表層水）の最大値は5,540cpm（1,207BqL<sup>-1</sup>）[13]であり、この濃度の海水1Lを仮に経口しても、<sup>90</sup>Srの経口摂取による実効線量係数は $2.8 \times 10^{-5}$  mSv Bq<sup>-1</sup>であるので、内部被ばくによる実効線量は約0.03mSvに留まる。その他、海水のしぶきが口に入る場合などの状況も考えられるが、第五福竜丸事件後は船員も注意を払っていたと思われるので、今回の申請者が乗船していた船舶（線量評価を行わなかった船舶を含む）について、1mSvを超える内部被ばくを受けた可能性は低いと推察される。

## E. 結論

今回の申請者が乗船していた船舶のうち、弥彦丸、第5大鵬丸、ひめ丸について、放射性物質の吸入摂取あるいは経口摂取による内部被ばく線量を推計し、いずれも実効線量で1mSv未満であった。線量推計の不確実性は大きいものの、これまでの科学的知見に照らして、1mSvを超える内部被ばくを受けた可能性は低いと評価される。

## F. 参考文献

- [1] ビキニ環礁水爆実験による元被保険者の被ばく線量評価に関する報告書. 全国健康保険協会船員保険部 (2017).
- [2] Buddemeier B. R. Nuclear Detonation

- Fallout. Key Considerations for Internal Exposure and Population Monitoring. LLNL-TR-754319 (2018).
- [3] Levanon I. and Pernick A. The inhalation hazard of radioactive fallout. *Health Physics* 54, 645-657 (1988).
- [4] Lessard E., Miltenberger R. P., Conard R. A., Musolino S. V., Naidu J. R., Moorthy A., Schopfer C. J. 1985. Thyroid absorbed dose for people at Rongelap, Utirik, and Sifo on March 1, 1954. BNL 51882, Brookhaven National Laboratory (1954).
- [5] 水産庁調査研究部, ビキニ海域における放射能影響調査報告(第1輯), 昭和30年3月(1955).
- [6] 浦久保五郎, 城戸靖雅. 日本における飲食物の放射能汚染に関する基準について. *食衛誌*. 11, 396-404 (1970).
- [7] 三浦市, ビキニ事件三浦の記録 (1996).
- [8] 斉藤要, 鮫島宗雄. 放射能汚染魚に関する研究. *鹿児島大学水産学部紀要*. 4, 124-142
- [9] 長沢ら. 原水爆実験による放射能汚染の研究(第5報) 魚類の放射能汚染とその放射化学分析. *衛生試験所報告*. 第74号, 213-229 (1956).
- [10] Ishikawa R., Hiyama Y. Some notes on the radioactivity of the contaminated fishes”, *Research in the effects and influences of the nuclear BOMB test explosion. Research in the effects and influence on the nuclear bomb test explosion-II*. 883-888, Japan Society for the Promotion of Science, Ueno, Tokyo (1956).
- [11] 天野慶之, 山田金次郎, 尾藤方通, 高瀬明, 高瀬明, 田中昭二. 放射能汚染魚に関する研究-I. 魚体組織の放射能について. *日本水産学会誌*, 20, 907-915 (1955).
- [12] 伊東英郎. 放射線を浴びたX年後. 講談社 (2014).
- [13] Miyake Y., Sugiura Y., Kameda K. On the distribution of the radioactivity in the sea around the Bikini Atoll in Jene, 1954. *Research in the effects and influence on the nuclear bomb test explosion-II*. 953-963, Japan Society for the Promotion of Science, Ueno, Tokyo (1956).

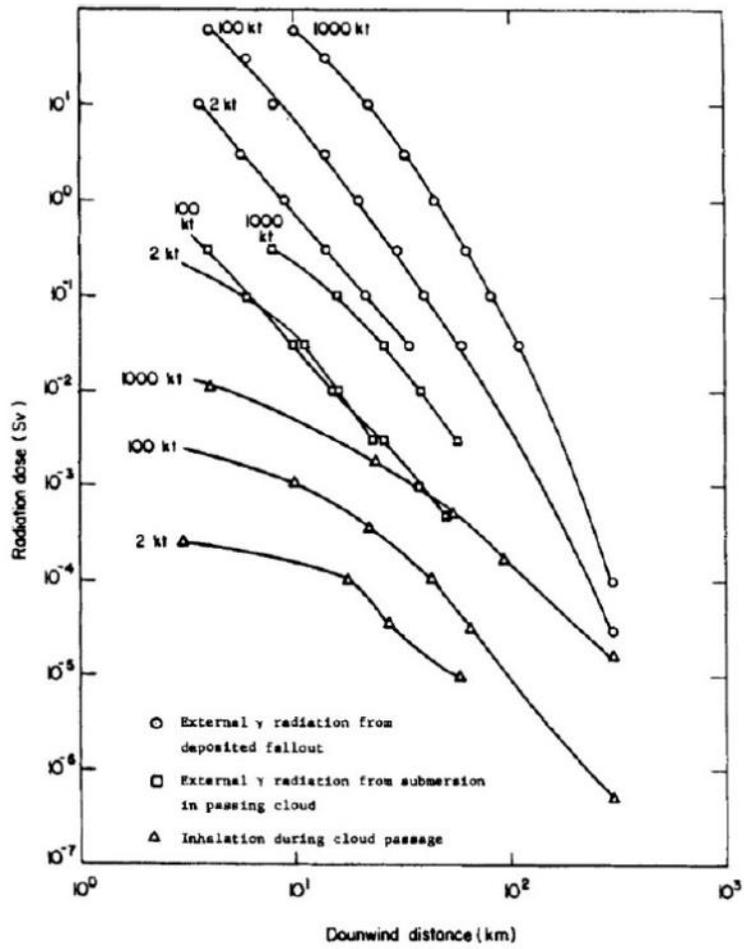


図1 爆心地からの風下距離を関数とした各被ばく経路による線量寄与 (Levanon, 1988)  
 ○: グランドシャイン (外部被ばく), □: クラウドシャイン (外部被ばく), △: 吸入摂取  
 図中の 2 kt, 100 kt, 1,000 kt は核出力

表 1 各船舶の内部被ばく線量推計結果

船舶名	TOA 及び $^{137}\text{Cs}$ 沈着密度	線量 (吸入)	漁獲物の検査結果 (最大値)	線量 (経口)
弥彦丸 (第 19 次航)	180 h 13 Bq m <sup>-2</sup> ※1	< 0.001 mSv	—	—
第 5 大鵬丸	—	—	1,280 cpm ※2	0.06 mSv ※4
ひめ丸	—	—	1,670 cpm ※3	0.08 mSv ※4

※1 本報告書「外部被ばくによる線量評価」表 2 から引用

※2 全国健康保険協会船員保険部提供資料

※3 長沢ら，衛生試験所報告第 74 号 (昭和 31 年 9 月)，225 頁 Table 15

※4 ヤンキー実験が行われた 1954 年 5 月 5 日を起点として計算

表2 魚各部位の経口摂取による内部被ばく線量  
 (魚表面で 1,000 cpm の魚肉を 100 g 食したときの線量)

組織	放射能 (相対値) ※Wet tissue	放射能 (相対値/筋肉)	Bq g <sup>-1</sup>	実効線量 (mSv)	赤色骨髄 (mSv)
胆嚢	100	333	370.0	1.4E-01	1.8E-01
腎臓	30	100	111.0	4.3E-02	5.5E-02
肝臓	16	53	59.2	2.3E-02	2.9E-02
小腸	8.5	28	31.5	1.2E-02	1.6E-02
幽門垂	14	47	51.8	2.0E-02	2.6E-02
心臓	6	20	22.2	8.7E-03	1.1E-02
胃	4.7	16	17.4	6.8E-03	8.6E-03
生殖器	6.3	21	23.3	9.1E-03	1.2E-02
小腸 (内容物)	32	107	118.4	4.6E-02	5.9E-02
胃 (内容物)	4.8	16	17.8	6.9E-03	8.8E-03
血合肉	1.5	5	5.6	2.2E-03	2.8E-03
えら	0.5	2	1.9	7.2E-04	9.2E-04
筋肉	0.3	1	1.1	4.3E-04	5.5E-04
目	0.4	1	1.5	5.8E-04	7.3E-04
鎖骨	0.1	0	0.4	1.4E-04	1.8E-04
皮	0.07	0	0.3	1.0E-04	1.3E-04

別添

## 内部被ばくによる線量推計の方法

### 1. 放射性降下物の吸入摂取による内部被ばく線量

放射性降下物の空气中濃度と海上への沈着率とには次の関係がある。

$$F = v \cdot C \dots (1)$$

ここで  $F$  は沈着率 ( $\text{Bq m}^{-2} \text{sec}^{-1}$ )、 $C$  は空气中濃度 ( $\text{Bq m}^{-3}$ )、 $v$  は沈着速度 ( $\text{m sec}^{-1}$ ) である。一方、放射性降下物の沈着密度  $A$  ( $\text{Bq m}^{-2}$ ) と  $F$  には次の関係がある。

$$A = \int F \cdot dt = \int v \cdot C \cdot dt = v \int C \cdot dt \dots (2)$$

したがって、ある放射性核種の吸入量は次式で計算される。

$$I = \dot{B} \cdot \int C \cdot dt = \frac{\dot{B} \cdot A}{v} \dots (3)$$

ここで  $I$  は吸入量 ( $\text{Bq}$ )、 $\dot{B}$  は呼吸率 ( $\text{m}^3 \text{sec}^{-1}$ ) である。内部被ばく線量は、吸入量に国際放射線防護委員会 (ICRP) の刊行物に示された実効線量係数等 [1] を乗じて計算される。

核種が複数存在する場合は、次式により内部被ばく線量が計算される。

$$\begin{aligned} E_{\text{total}} &= \sum_i E_i = \dot{B} \sum_i \frac{A_i}{v_i} \cdot e_i \\ &= \dot{B} \sum_i X_i = \dot{B} \sum_i \frac{X_i}{X_{137}} \cdot X_{137} \dots (4) \end{aligned}$$

$$\text{ただし, } X_{137} = \frac{A_{137}}{v_{137}} \cdot e_{137} \dots (5)$$

ここで、各諸量の添え字  $i$  は核種を意味し、137 は  $^{137}\text{Cs}$  を指す。 $e$  は実効線量係数 ( $\text{Sv Bq}^{-1}$ ) である。

(4)式を用いて内部被ばく線量を計算するには、①核実験後の経過時間を関数とする核種組成、②各核種の実効線量係数、③沈着速度、④呼吸率が必要となる。これらについて、①については UCRL-53505[2] に示された 61 核種 (後述する Simon らが評価対象とした 63 核種からデータのない  $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{240}\text{Pu}$  を除く。) の沈着密度 (ブラボー実験に対するもの)、②については、空気力学的放射能径  $1 \mu\text{m}$  及び呼吸器官から血中への吸収クリアランス区分を基本的にタイプ M (ただし、ヨウ素などの一部の核種についてはタイプ F とした) とした条件の各核種の実効線量係数、③については、放射性降下物が湿性沈着により降下したと仮定し、 $0.07 \text{ (m sec}^{-1}\text{)}$  を文献 [3] から引用した。④の呼吸率は成人男性に対する値として  $2.57 \times 10^{-4} \text{ (m}^3 \text{sec}^{-1}\text{)} = \text{(22.18 m}^3 \text{day}^{-1}\text{)}$  を用いた [4]。

対象となる船舶が放射性降下物に遭遇する時刻 (TOA: Time of Arrival) とその位置での  $^{137}\text{Cs}$  沈着密度については別に評価される (外部被ばくによる線量評価を参照)。本研究と併行して行われた外部被ばく線量の推計 (本報告書を参照) で算定される。TOA が得られれば  $^{137}\text{Cs}$  に対する他核種の沈着密

度（相対値）が求まるが、線量計算には TOA ではなく摂取した時刻（TOI: Time of Intake）とした。TOI は Simon ら[5]にならい、TOA の 1.4 倍とした。

## 2. 汚染魚の経口摂取による内部被ばく線量

### (1) 核種組成の推定

マグロ等の汚染検査が昭和 29 年 12 月を以って中止された根拠は、魚体内に含まれる放射性核種の大半が最大許容量の高い  $^{65}\text{Zn}$  であったことに加えて、可食部となる筋肉部分の濃度が他部位に比べて低いためであった[6]。

汚染魚中の放射性核種に関しては、当時の分析結果から  $^{65}\text{Zn}$  の他、 $^{54}\text{Mn}$ 、 $^{55}\text{Fe}$ 、 $^{59}\text{Fe}$ 、 $^{89}\text{Sr}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{113\text{m}}\text{Cd}$ 、 $^{115\text{m}}\text{Cd}$ 、 $^{140}\text{Ba}$ 、 $^{140}\text{La}$  が検出されている[7-12]。ただし、これらの放射性核種の経口摂取による内部被ばく線量係数（実効線量係数）は、高い順に  $^{90}\text{Sr}$  ( $2.8\text{E}-08\text{ Sv Bq}^{-1}$ )、 $^{113\text{m}}\text{Cd}$  ( $2.3\text{E}-08\text{ Sv Bq}^{-1}$ )、 $^{65}\text{Zn}$  ( $3.9\text{E}-09\text{ Sv Bq}^{-1}$ )と続くが、前述のとおり検出された放射性核種の大半が  $^{65}\text{Zn}$  であること、また Sr 以外の核種については 1954 年時点では極めて微量と考えられることから、 $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  の 3 核種のみが内部被ばく線量に寄与したと仮定した。Sr については、昭和 54 年 12 月 15 日に分析を行った Nagasawa らの報告[13]によれば、筋肉中の全放射能に対して 0.27%（内 0.2%が  $^{90}\text{Sr}$ 、残りが  $^{89}\text{Sr}$ ）の割合で存在した。その結果に基づき、昭和 54 年 12 月 15 日時点での  $^{65}\text{Zn}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ 、 $^{89}\text{Sr}$  の放射能比を 99.73%、0.20%、0.07%と仮定し、3 核種の物理半減期を考慮して同年 3 月 15 日時点での放射能比を算出すると 98.31%、0.09%、1.60%となる。結果

的に、全体の割合としては  $^{65}\text{Zn}$  が大半を占めるため、3 核種の放射能比で加重した実効線量係数は  $^{65}\text{Zn}$  単体の場合とほぼ同じになる。

### (2) 魚体内の放射能濃度

当時の魚の汚染検査は、魚体表面から 10 cm の距離での端窓式 GM 計数管の計数値を測定することで行われ、100 cpm が基準値（バックグラウンドによる寄与を含む）とされた[14]。魚体表面での計数値と筋肉中の比放射能の関係は Ishikawa と Hiyama [14]によって調べられており、個々の測定間のばらつきはあるものの、マグロ表面から 10 cm の計数値が 1,000 cpm のとき、筋肉中での比放射能を約 1 Bq/g (wet)に相当することが示された。筋肉以外の部位については、天野ら[15]の報告にもあるとおり、腎臓、肝臓、幽門などの臓器官において高い放射能が検出されているが、乗組員がこれらの部位のみを食べ続けたかは不明であるため、必要に応じて天野らの結果等を参考にとし、本報告ではマグロ類の通常の可食部となる筋肉を、操業開始から帰港までの間、毎日 300 g 食すると仮定して線量を算定した。300 g は寿司（ネタ）15~20 貫分に相当する。

### (3) 計数値の補正

漁獲物の放射能検査は各船舶が帰港した際に得られたものであるため、摂取期間中の計数率に補正する必要があるが、この補正に必要な情報が乏しい。よって、操業期間の直近となる核実験が行われた日（※前回の評価ではブラボー実験が行われた 1954 年 3 月 1 日）を起点とした核実験後の線量率に関する経験式 ( $t^{-1.2}$ ) を適用し、操業開始日及び操業終了日における計数率を検査結果から計

算し、操業期間中は操業開始日の計数率、操業終了から帰港までは操業終了日の計数率が持続すると仮定して、それぞれの期間の線量を計算した。

#### 参考文献

- [1] ICRP, 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41(Suppl.).
- [2] Hicks H. G. 1984. Results of calculations of external gamma radiation exposure rate from local fallout and the related radionuclide compositions of selected U.S pacific events. UCRL-53505. Lawrence Livermore National Laboratory.
- [3] World Health Organization, 2012. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan earthquake and Tsunami.
- [4] ICRP, 1994. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. ICRP Publication 66. Ann. ICRP 24 (1-3).
- [5] Simon S.L., Bouville A., Melo D., Beck H. L., Weinstock R, M. 2010. Acute and chronic intakes of fallout radionuclides by Marshallese from nuclear weapons testing at Bikini and Enewetak and related internal radiation doses. Health Phys. 99, 157-200.
- [6] 三宅康雄, 檜山義夫, 草野信男. 2014. ビキニ水爆被災資料集, 東京大学出版会. (434 頁, 厚生省公衆衛生局長 衛発第 384 号 昭和 29 年 12 月 28 日)
- [7] 佐伯誠道, 岡野真治, 森高次郎. 1955. 放射性汚染魚の放射性物質. 日本水産学会誌, 20, 902-906.
- [8] 山田金次郎, 戸沢晴己, 天野慶之, 高瀬明. 1955. 放射能汚染魚に関する研究－Ⅲ.  $^{65}\text{Zn}$  の確認について. 日本水産学会誌, 20, 921-926.
- [9] 佐伯誠道, 白井和雄, 大野駿, 森高次郎. 1957. 放射能汚染魚類の放射性物質－Ⅱ. 1956 年の太平洋における放射能汚染カツオ(その 1). 日本水産学会誌, 22, 645-650.
- [10] 白井和雄, 佐伯誠道, 大野駿. 1957. 放射能汚染魚類の放射性物質－Ⅲ. 1956 年の太平洋における放射能汚染カツオ(その 2)  $^{113\text{m}}\text{Cd}$  の存在について. 日本水産学会誌, 22, 651-653.
- [11] 白井和雄. 1958. 放射能汚染魚類の放射性物質－Ⅳ. 分属分析による汚染メバチの放射性物質の分析. 日本水産学会誌, 23, 723-728
- [12] 佐伯誠道. 1958. 放射能汚染魚類の放射性物質－Ⅴ. イオン交換樹脂による汚染メバチ“肝臓”の放射性物質の分析. 日本水産学会誌, 23, 729-734.
- [13] Nagasawa K., Kawashiro I., Nakayama G., Kashima T., Serizawa J., Ohkuma S., Kawamura S., Nishizaki, S. 1956. Results of investigations and examinations on the influences upon sea food in Japan caused by the hydrogen bomb experiments at Bikini atoll, 1954. Research in the effects and influence on the nuclear bomb test explosion-II. 895-916, Japan Society for the Promotion of Science, Ueno, Tokyo.

- [14] Ishikawa R., Hiyama, Y. 1956. Some notes on the radioactivity of the contaminated fishes”, Research in the effects and influences of the nuclear BOMB test explosion. *ibid.* 883-888.
- [15] 天野慶之, 山田金次郎, 尾藤方通, 高瀬明, 高瀬明, 田中昭二. 1955. 放射能汚染魚に関する研究－ I . 魚体組織の放射能について. 日本水産学会誌, 20, 907-915.