

ビキニ原爆被災事件から半世紀：今思うこと

山本 政儀

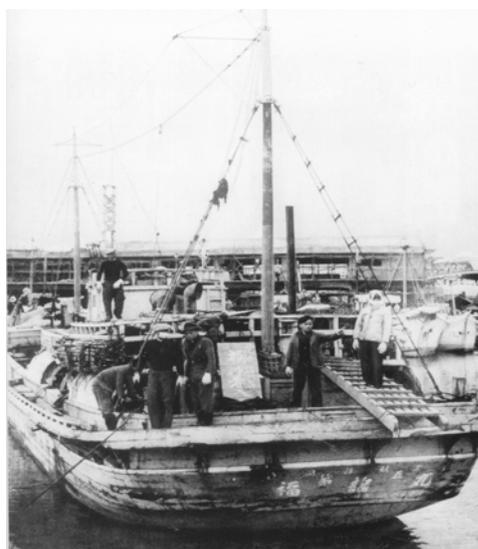
金沢大学・環日本海域環境研究センター

低レベル放射能実験施設

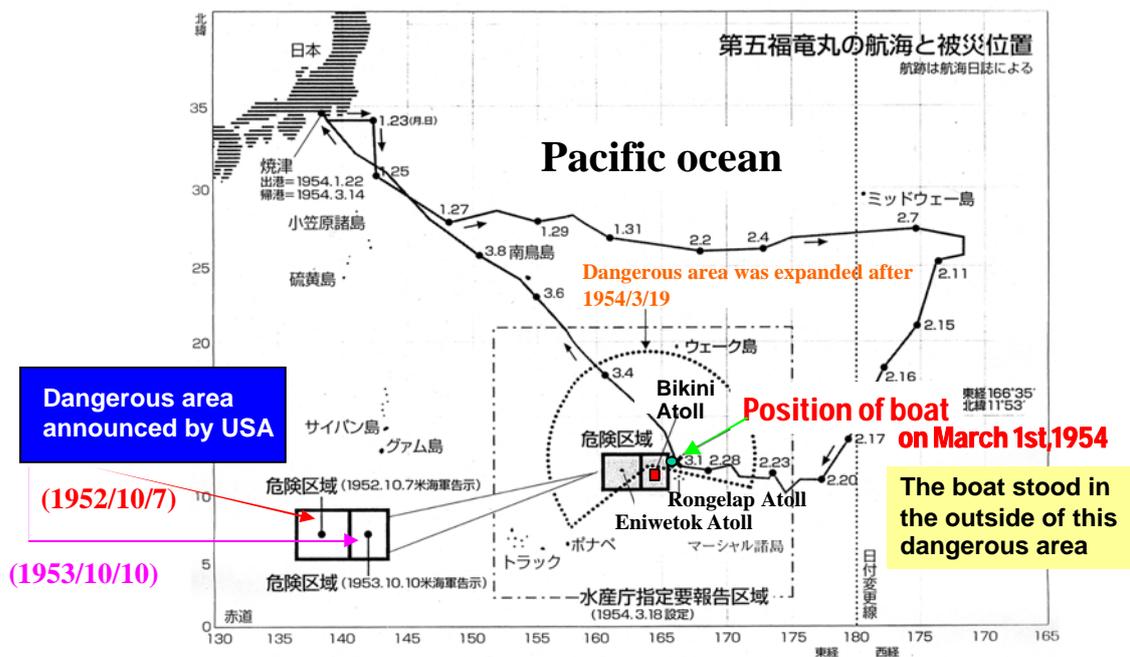
1945年7月16日、米国・ニューメキシコ州のアラマゴルドで世界最初の原子爆弾の実験を行なわれ、1ヶ月も経たないうちに広島と長崎の原爆悲劇が起こった。その後、米ソの核競争の中で1952年10月31日、米国は第一回の水爆実験、10.4 Mtの通称「マイク」の核実験を南太平洋のエニウェトク島で行った。旧ソ連も1953年8月12日、セミパラチンスク核実験場（カザフスタン）で最初の水爆実験を実施した。このような状況を受けて米国はその翌年の1954年に前回を上回る大規模な第二回の水爆実験 CASTLE 実験を行なった。このシリーズの最初の爆発が3月1日（米国時間、2月28日）、ビキニ島で実施された15 Mt級の水爆、通称「ブラボー(Bravo)」の実験であった。実験はサンゴ礁の地表で行われ、膨大な量のサンゴなどの破片や蒸発物（その後、凝集物）が放射性核分裂生成物と共に上空に吹き飛ばされた。当時、この海域には、900隻以上の日本からのマグロ延縄漁船が操業しており、ビキニ環礁の東方約160km水域にいた第五福竜丸が、米国原子力委員会想定の大規模な危険区域から約30km外側にいたにもかかわらず、乗組員23名が被災した不幸な事件が発生した。

The fishermen witnessed a reddish white flash on the horizon in the west-south-westerly direction at about 3:40 (J.S.T.) and 7 or 8 min. later they heard a loud explosion. About 3 h after the explosion, fine dust and debris began to fall on the boat and the fallout continued for several hours and ceased towards noon. The boat as well as the fishermen and the tuna fishes caught by them were covered with a white sheet of fine fallout dust, such as snow.

After a two weeks' voyage, on March 14th, the boat contaminated heavily by radioactive fallout returned to her home harbor, Yaizu, Shizuoka Prefecture of Japan. The fishermen were exposed to nuclear radiation.



これが、いわゆる「ビキニ原爆被災事件」である。周辺海域にいたその他の漁船も多かれ少なかれ、またマーシャル諸島の島民数百人も被曝した。この1954年も年配の人たちにとって今なお忘れがたい年である。歴史を回顧しながら、筆者のビキニ試料の分析結果も交え所感を述べてみたい。



The total doses estimated for the fishermen, as well as peoples living around the Marshall Islands near Bikini Atoll.

Group	Number exposed	Fallout stating time after detonation	Exposed time	Body Dose (Rem)	Thyroid Dose by I-131 etc. (Rem)
Rongelap(1)	64	4-6	約50時間内に退去 38カ月で帰還	175	10-150
Rongerik(1)	28	7	約30時間内に永久退去	78	50
Alinginate(1)	18	4-6	約50時間内に退去 38カ月でLongelapに帰還	69	—
Utirik(1)	157	22	57-58時間内に退去 Utirikに帰還	14	—
福龍丸 (2)	23	4	Stay during the 13 days on board a fishing boat	170-700	20-120

(1) Cronkite et al.'1956): Conard et al. (1960), (2) Kumatori et al. (1970).
Data was cited : Environmental radioactivity, M. Eisenbad & T. Gesell, Eds. Academic Press)

第五福竜丸が3月14日母港の焼津に帰港した後、放射線被曝した乗組員の診察・治療はもちろん、マグロの放射能汚染調査が行われた。汚染された大量のマグロは一部海域に、そして大部分は地中に投棄された。市場は大混乱し、放射能汚染マグロ、放射能雨、久保山愛吉さんの死など国内は騒然とした。乗組員の全身被曝は170-700rem、甲状腺被曝は20-120remと推定されている。

Photograph of Tuna fishes landed on the Yaizu Harbor (1954/3/16)

Soon after landing fishes (mainly Tuna) on the harbor, Japanese scientists monitored the radioactive contamination of fishes, with end-window type G.M counters and scintillation counters with liquid phosphors available at that time



The No.5 Fukuryu Maru returned to her home harbor, Yaizu



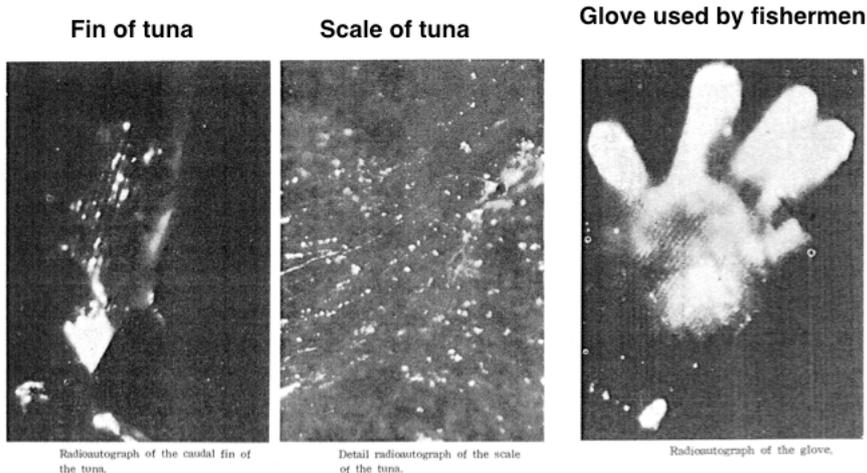
A total of 856 boats landed fishes by the end of December,1954

また、ビキニ環礁の東にあるロンゲラップ島の住民64名（約50時間内に退去、38ヶ月後に帰還）に対して全身被曝は175rem、甲状腺被曝は10-150remと推定されている。

3月16日に東京大学（木村健二郎、南英一ら）の研究室に降灰試料が持ち込まれ、総力態勢で放射化学分析・測定が行われた。また、静岡大学（塩川孝信ら）、大阪市立大学（山寺秀雄、西脇安ら）、金沢大学（木羽敏泰ら）、さらに後日京都大学（清水栄ら）でも各自で採取したビキニ関連試料の分析が精力的に実施され、第五福竜丸の帰港以来二ヶ月あまりで、研究者の努力により核分裂生成核種に加えて、誘導放射性核種イオウ-35 (^{35}S)、カルシウム-45 (^{45}Ca)、さらに原爆材料に由来する超ウラン核種、ウラン-237 (^{237}U)、プルトニウム-239,240 ($^{239,240}\text{Pu}$) を検出し、降灰の本質が究明された。当時の放射能測定で最

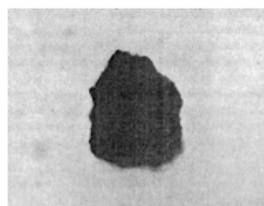
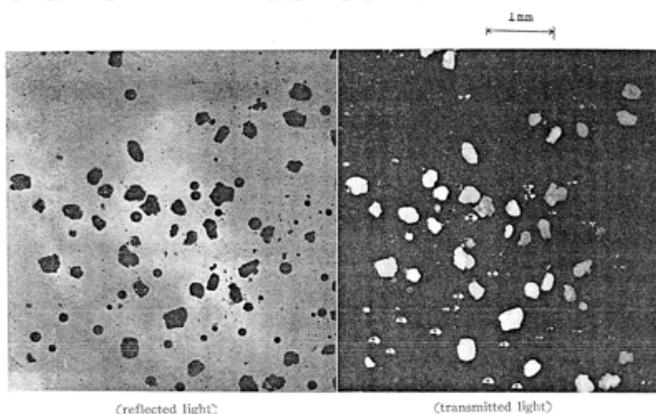
も特筆すべきことは、降灰試料中に ^{237}U ($T_{1/2}=6.75\text{ d}$)を検出し、その放射能が大きな割合 (20 ± 10) %を占めることであった。この事が、核爆発時に $^{238}\text{U}(n,2n)^{237}\text{U}$ 反応が起こっていたことを示すものであり、図らずも米国政府が秘密にしていた水爆の構造 (3F爆弾, **Fission-Fusion-Fission**) の解明に決定的貢献をした。それらの成果は、世界の学会に公表された。

Radioautographs of some samples contaminated by Bikini ashes



Microscopic detail of Bikini ashes

The fine particles appeared like white sands rather than ash, and black spots were seen on their surfaces. The particles were mostly formed in irregular shape. The mean diameter of the size of most particles ranged from 100 to 400 μm , with 2.4 in apparent density.



A particle of the radioactive ashes (x150)

CaO	55.2 %
MgO	7.0
CO ₂	11.8
H ₂ O (by difference)	26.0
	100.0 %

From the analysis of chemical composition of ashes, it was found that the ashes mainly consisted in coral reef, and a huge amount of them were evaporated or blown up,

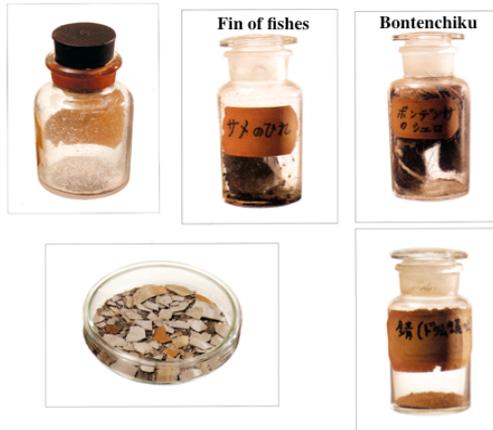
Radiochemical analysis of the fallout

The fishermen, fishing tools, fishes and everything else on the deck were covered by the fallout of fine particles, the so-called "Bikini Ash"

Some samples analyzed are shown in this slide



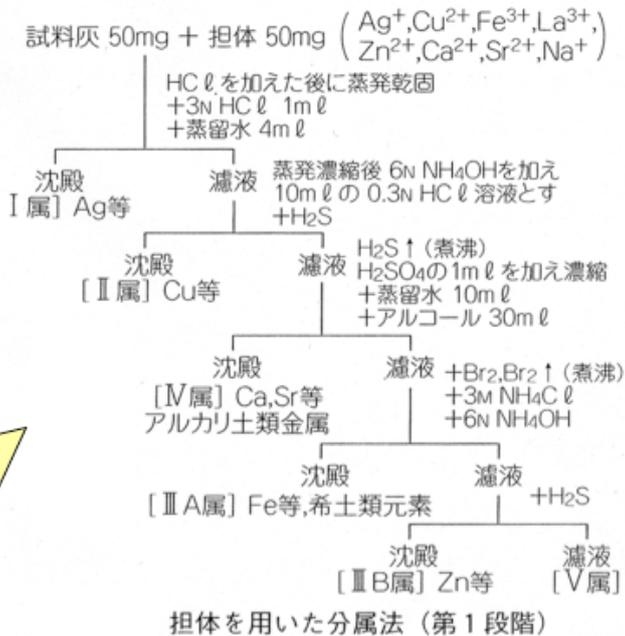
Pure fine particles



Analyses of radionuclides and their measurements

1. Separation

Group separation of metals with the addition of carrier

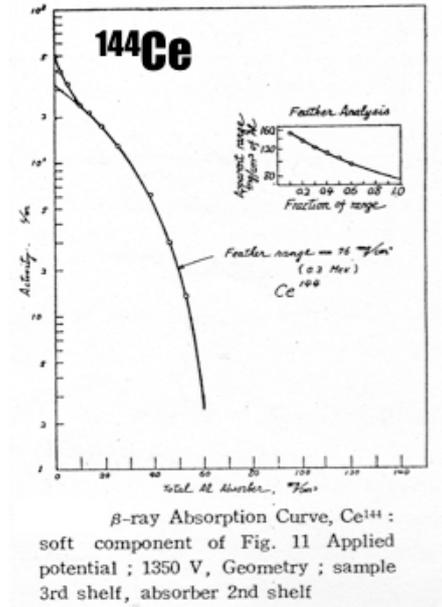
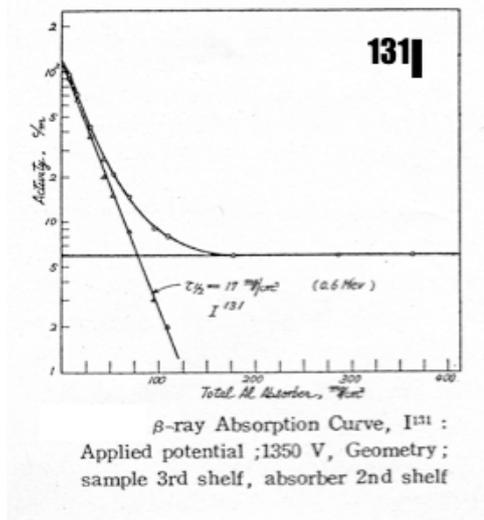


After group separation, radionuclides in each fraction were purified radiochemically by applying the ion-exchange techniques and paper chromatography.

2. Radioactivity measurements

The physical assignment of separated nuclides was performed by determining β - and γ -ray energies by the adsorption method and if possible, their half-lives by means of end-window type GM counters and scintillation detectors with liquid phosphors available at that time.

The very hard works were independently continued for several months by researches in Tokyo, Sizuoka, Kyoto, Kanazawa Univs. and so on.



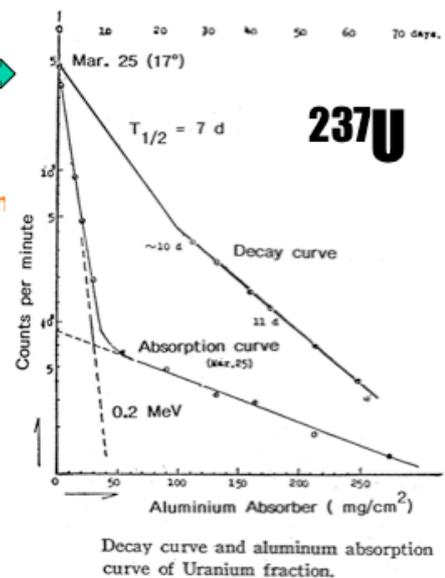
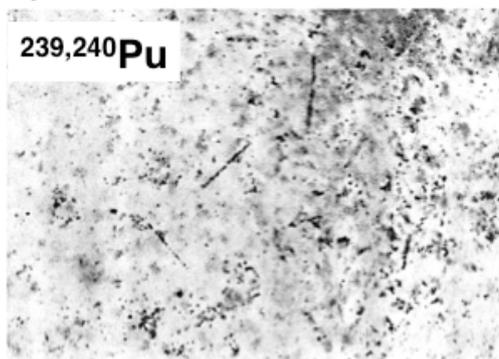
3. Great surprise during the analyses

A considerable amount of ²³⁷U was found from the Bikini ash

Why ?, How ?

The presence of Pu was confirmed by α -tracks in emulsion revealed the minute existence of ²³⁹Pu(+ ²⁴⁰Pu)

Microscopic detail of a nuclear emulsion showing plutonium (²³⁹) alpha tracks.



*7 ²³⁷U の定量値よりみて ²³⁷Np は検出される可能性がはなだ少ない。

Radionuclides detected in the Bikini Ash

Fission products

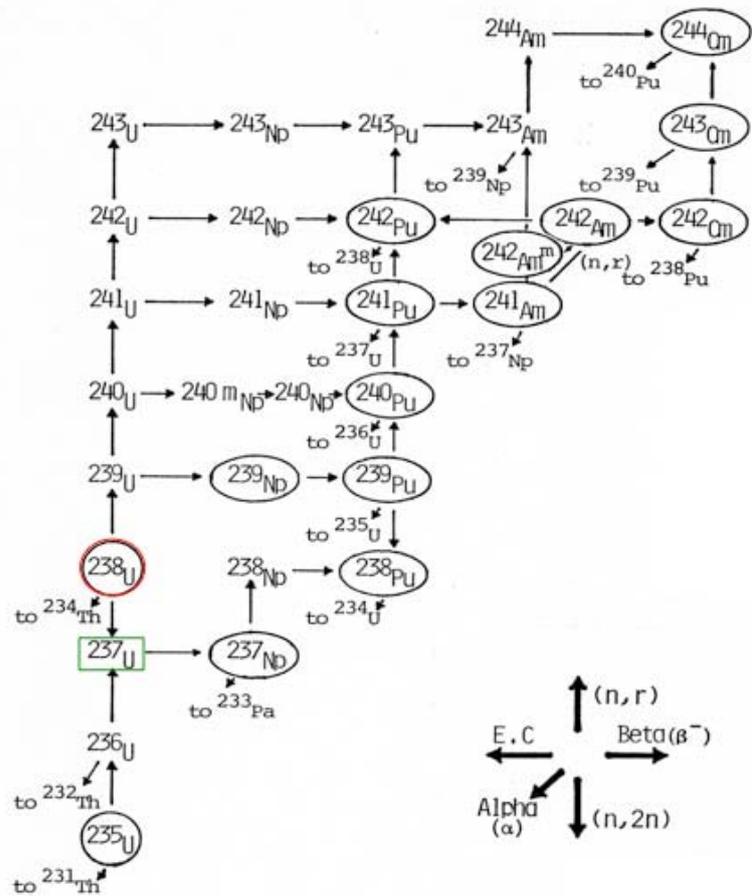
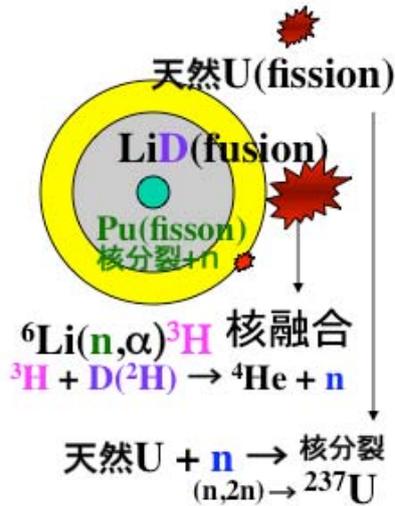
Induced radionuclides

Radionuclides derived from bomb materials themselves (U, Pu)

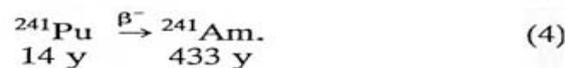
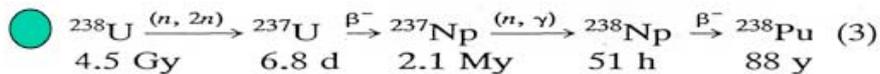
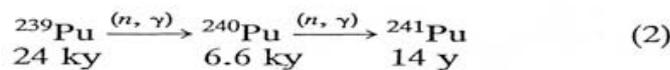
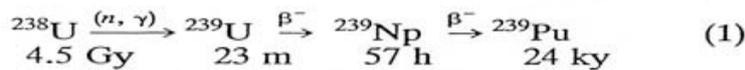
	Nuclides	Half-life	Activity(%) (1945/3/26)
核分裂生成物			
ストロンチウム	⁸⁹ Sr	50.53d	1.0 ± 0.5
ストロンチウム	⁹⁰ Sr	28.74y	0.02 ± 0.01
イットリウム	⁹⁰ Y	64.10h	0.02 ± 0.01
イットリウム	⁹¹ Y	58.51d	8 ± 3
ジルコニウム	⁹⁵ Zr	64.02d	5 ± 2
ニオブ	^{95m} Nb	86.6h	—
ニオブ	⁹⁵ Nb	34.98d	3 ± 1
ルテニウム	¹⁰³ Ru	39.26d	15 ± 5
ルテニウム	¹⁰⁶ Ru	373.6d	
ロジウム	¹⁰⁶ Rh	29.8s	
テルル	^{127m} Te	109 d	
テルル	¹²⁷ Te	9.35 h	
テルル	^{129m} Te	33.6d	
テルル	¹²⁹ Te	69.6m	
テルル	¹³² Te	3.204d	
ヨウ素	¹³¹ I	8.021d	
ヨウ素	¹³² I	2.295h	
バリウム	¹⁴⁰ Ba	12.75d	5 ± 1
ランタン	¹⁴⁰ La	1.678d	5 ± 1
セリウム	¹⁴¹ Ce	32.50d	7 ± 5
セリウム	¹⁴⁴ Ce	284.9d	2 ± 1
プラセオジウム	¹⁴³ Pr	13.56d	16 ± 5
プラセオジウム	¹⁴⁴ Pr	7.2m	2 ± 1
ネオジウム	¹⁴⁷ Nd	10.98d	9 ± 4
プロメチウム	¹⁴⁷ Pm	2.623y	—
誘導放射性核種			
硫黄	³⁵ S	87.51d	0.05 ± 0.02
カルシウム	⁴⁵ Ca	162.6d	0.2 ± 0.1
爆弾原料に由来する核種			
ウラン	²³⁷ U	6.75d	20 ± 10
プルトニウム	²³⁹ Pu	24,110y	0.0004 ± 0.0002

Much amount of ²³⁷U

Nuclear reaction sequences for production of heavy nuclides by thermonuclear explosion



How was the ${}^{237}\text{U}$ produced ?



From the unexpected presence of ${}^{237}\text{U}$ in the Bikini ash, it became clear that the nuclear explosion test (ca. 15 Mt) at Bikini Atoll on March 1, 1954, might be **the F-F-F bomb having a bulk of natural or depleted uranium**. The discovered ${}^{237}\text{U}$ was produced by the ${}^{238}\text{U}(n, 2n){}^{237}\text{U}$ reaction.

(This finding was one of the most important results of Japanese scientists)

その後、政府は、我が国の水産業の重要性を考慮し、南方漁場の放射能汚染状況を早急に把握するために、学会および関係官庁に協力を求め、俊鷲丸によるビキニ海域とその付近の放射能影響調査を2回実施した（一次調査：1954年5月15日出港、二次調査：1956年5月26日出港）。



電気探測器による大気汚染調査(上)や魚の各内臓部について精密検査(下)がおこなわれた



東京港を出航する俊鷲丸 (1954年5月15日、橋本勝子博士撮影)

科学調査船
俊鷲丸の派遣

ビキニ水爆被災事件で、遠洋漁業は大きな打撃を受けた。とうぜんのことながら、国民のなから太平洋の科学的調査の必要性が強く望まれるようになった。

その声、世論を背景に、政府はビキニ周辺の海域を調査する科学調査船の派遣を決めた。そして、その計画を作るため、生物、海床、大気、気象、海洋、環境、食品衛生の五班からなる顧問団を編成し、顧問には宇田道隆、柳山義夫、三宅泰雄氏らが就任した。顧問団は、調査の海域、調査の対象、調査の方法、研究員の選考などについて審議した。調査船には農林省下関水産講習所の練習船「俊鷲丸」(五八トン)が選ばれた。俊鷲丸は、科学者二、三名をはじめ船員、漁夫、報道関係者たち総員七、二名を乗せ、五月一日、東京港を出航した。

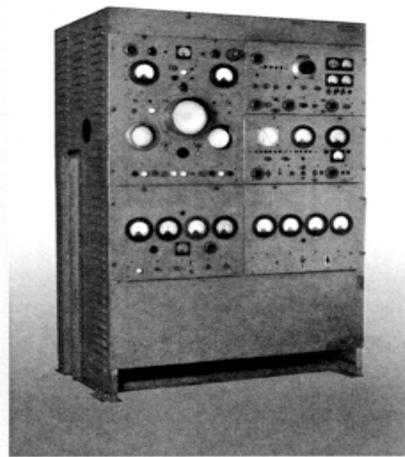
調査員は魚類その他の生物および海水、大気、雨水の放射能の測定、海流、気象などの観測に従事し、ビキニ水爆実験場をとりまく海域で魚類採集の採取をおこない、七月四日、帰港した。



2. 集塵器による大気汚染調査



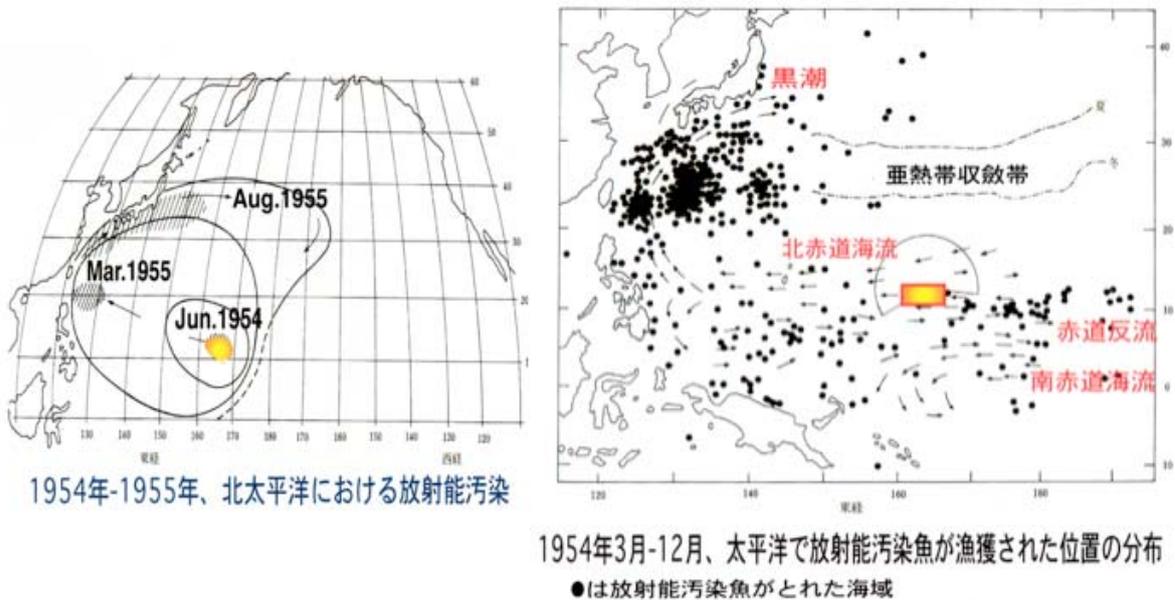
3. 魚の内臓調査



1. シンチレーション計数管

放射線が衝突すると蛍光を発する物質を使って、放射線粒子を検出する装置。放射線が蛍光物質にあたると、原子内の電子をはじき飛ばす。そこに別の電子が落ちこんで、そのとき蛍光を発する。この光をシンチレーションといい、それを光電子増倍管で増幅し、電気信号に変えて測定する。蛍光物質としては、ヨウ化ナトリウム、ナフタレン、アントラセンなどの結晶や、プラスチックなどが使われる。当時日本に1台しかなかった。俊鷲丸に乗船した岡野真治博士寄贈

これらの調査により、海域の広範囲の汚染をシンチレーションカウンタで把握できることや放射能汚染魚の分布から放射性核種が海流の動きの追跡子として利用できることなどの新知見を得た。



このような背景には、1937年に完成した理研サイクロトロンを用いて、仁科芳雄（理化学研究所）、木村健二郎（東京大学）らが核分裂生成物の研究を行い、7元素の核分裂生成物、さらに ^{237}U の発見、広島・長崎原爆関連の放射能汚染試料の分析、さらに占領下の中、1950年にアメリカから初めて放射性同位元素が輸入され、各大学にアイソトープ実験室が不完全ながらも設けられていたことを忘れてはならない。この年から、アイソトープの学術的利用を促進するために、文部省科研費で人工放射性同位元素の応用に関する総合研究が発足した。また、学術会議が1954年春、放射線影響調査特別委員会を発足させ、檜山義夫（東京大学）を班長として10年間文部省科研費を受けて今日の原子力安全研究のための基礎を築いた。さらに1957年に放射線医学総合研究所が設立された。

一方、被曝した第五福竜丸は、米国から船を引き渡せという要求もあったと伝えられているが、最終的には文部省が船を買い上げ、1954年8月には東京湾に開航され、東京水産大学の品川岸壁に係留された。引き続き残留放射能の調査、除染作業がおこなわれ1956年5月安全が確かめられ、大幅な改造後、「は

やぶさ丸」と改名され千葉県館山を母港に東京水産大学の練習船として再出発した。

On March 10,1968, it was announced by a newspaper that the No.5 Fukuryu Maru had been dumped at the coastal area of reclaimed land of the Tokyo Bay

By hearing this news, many peoples deplored (1969). “Not to forget a tragedy of this atomic bomb including atomic bombs at Hiroshima and Nagasaki”, construction of this boat’s museum was started in 1975 and opened in June,1976.



1967年3月、「はやぶさ丸」は廃船処分され、エンジン等ははずされ残りの船体が東京湾のゴミ埋め立て地、夢の島に捨てられた。その後、会社員の武藤氏の投書『沈めてよいか第五福竜丸』（朝日新聞、1968/3/10）を契機に保存運動がはじまり1973年11月に「財団法人・第五福竜丸保存平和協会」が設立され、東京都へ船が寄付され都立の第五福竜丸展示館が建設される合意に達した。廃棄処分から9年、1976年6月10日に展示館が開館され永久保存されることになった。

第五福竜丸の展示館の開館と時を同じくして、その後環境放射能に対する社会の関心が高まる中、環境放射能研究所として1976年金沢大学に理学部附属低レベル放射能実験施設が開所した。施設が出来てまもなくの頃、ビキニ被災事件後25年経た1979年4月下旬頃に阪上正信（金沢大学）、小村和久（金沢大学）らが東京・夢の島の第五福竜丸展示館を訪ねin-situ Ge検出器で、船体のほか、延縄や延縄の浮きの目印に使用していたシュロ（ボンテンチク）、船体塗料などの放射能測定を行い、セシウム-137 (^{137}Cs)、コバルト-60 (^{60}Co)、アンチモン

-125 (^{125}Sb) , ユーロピウム-152 (^{155}Eu) , アメリシウム-241 (^{241}Am) をレベルが低いが検出した。

Museum of the Peace Society for the No.5 Fukuryu Maru

Opened in June, 1976

DAIGO FUKURYU MARU EXHIBITION HALL
第五福竜丸展示館



財団法人 第五福竜丸平和協会
連絡所：東京都江東区夢の島3-2 〒136-0081
Tel.03-3521-8494 Fax.03-3521-2900
3-2 Yumenoshima, Koto-ku, Tokyo 136-0081, Japan
E-mail: fukuryumaru@msa.biglobe.ne.jp



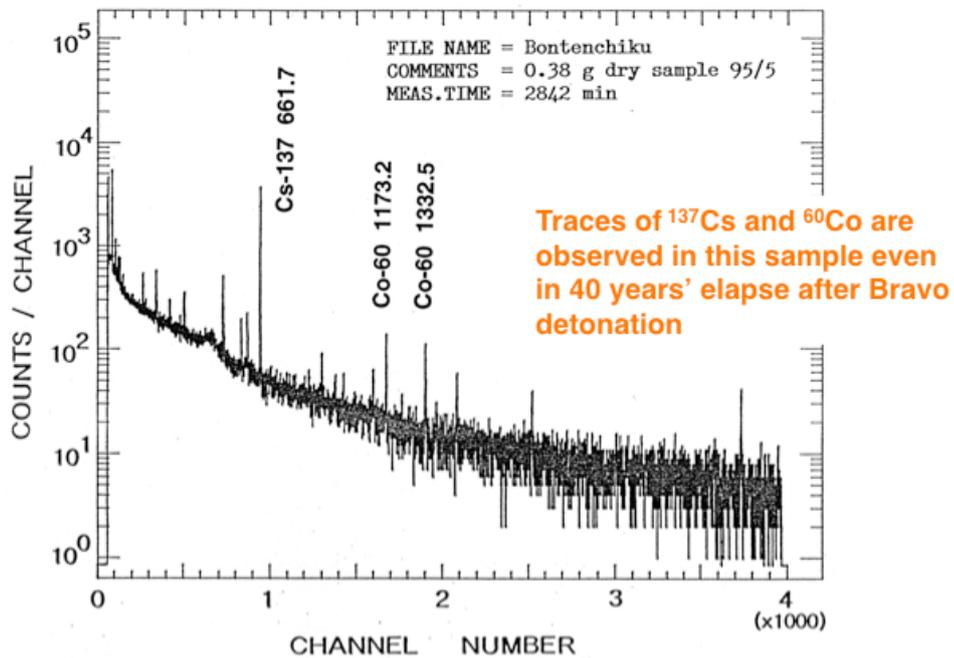
展示館の前庭には、きょうちくとら（広島）、あじさい（長崎）、みかん（静岡）など、原爆禁止運動にちなんで花が植えられている。



入口近く、先程山愛おきさんの言葉をきぎんだ碑

この時に、研究用にとほんの少し頂いたと思われるシュロ（ボンテンチク）試料が、当実験施設に保存されていた。私は、当時検出された ^{237}U がどの程度の放射能強度であったのかに興味を持ち、このシュロ試料の ^{237}Np （半減期： 2.14×10^6 年）の測定を試みた（1995年頃、 ^{237}U は $^{238}\text{U}(n,2n)^{237}\text{U}$ の核反応で生成し、半減期6.75日で β 壊変して半減期の長い ^{237}Np に壊変する）。まず、シュロ試料0.38g（乾燥物）をゲルマニウム(Ge)検出器で γ 線測定をすると ^{137}Cs 、 ^{60}Co がはっきり検出され、死の灰が付着していることを確認した。次いで、電子顕微鏡-蛍光X線分析を併用して付着成分の元素組成を調べ、Ca, Mg, Sが存在することを確かめた。

γ -ray spectrometry of Bontenchiku sample by Ge detector



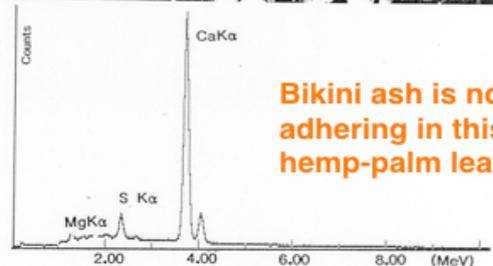
In 1995, 40 years after Bravo, I had a chance to measure Hemp-palm leaves of Bontenchiku.

(I had a very interest in knowing the activity levels of ^{237}U at that time)



Dried Bontenchiku stored in the Museum of the Peace Society for the No.5 Fukuryu Maru

Scanning electron micrograph of the debris adhering to the surface of bulk of the Bontenchiku sample, showing a high Ca content with a small amount of ma and S by point analysis of one piece of debris.



その後、放射化学分離・精製を行い、ネプツニウム (^{237}Np) と共にウラン ($^{234,235,238}\text{U}$)、プルトニウム ($^{238,239,240,241}\text{Pu}$) 同位体およびアメリシウム (^{241}Am) を α 線スペクトロメトリー等で定量した。下記に示すように上記のすべての核種を定量でき、極微量ではあるが 11.5 mBq/g の ^{237}Np を被災から 40 年後に初めて検出することに成功した。

U, Np, Pu and Am isotopes were also measured

Most important finding is that ^{237}Np (from ^{237}U decay) was detected.

Table 1 Residual radioactivities of actinides and ^{60}Co and ^{137}Cs measured in Hemp-palm leaves of "Bontenchiku" sample (It is a kind of fishing gear for the long-line fishing used by the Fifth Fukuryu-Maru (Lucky Dragon), and was exposed to heavy fallout due to the second thermonuclear test of the USA at Bikini Atoll in March 1954).

Radionuclide	Activity (Bq/g dry)	Activity relative to $^{239,240}\text{Pu}$	Atom relative to ^{239}Pu
$^{239,240}\text{Pu}$	5.27 ± 0.11	1.0	
^{239}Pu	2.41 ± 0.23 ^a		1.0
^{240}Pu	2.86 ± 0.28 ^a		0.32 ± 0.03
^{238}Pu	0.0053 ± 0.0003	0.0010 ± 0.0001	(7.91 ± 0.92) × 10 ⁻⁶
^{241}Pu	15.4 ± 0.3	2.92 ± 0.08	(3.78 ± 0.23) × 10 ⁻³
^{241}Am	3.13 ± 0.08	0.59 ± 0.02	0.023 ± 0.002
^{237}Np	0.0115 ± 0.0008	0.0022 ± 0.0002	0.42 ± 0.04
^{238}U	0.055 ± 0.002	0.010 ± 0.0004	(4.18 ± 0.43) × 10 ³
^{235}U	0.0026 ± 0.0004		
^{234}U	0.061 ± 0.002	0.012 ± 0.0005	

^{60}Co	0.091 ± 0.011	0.017 ± 0.002	
^{137}Cs	1.86 ± 0.05	0.35 ± 0.01	

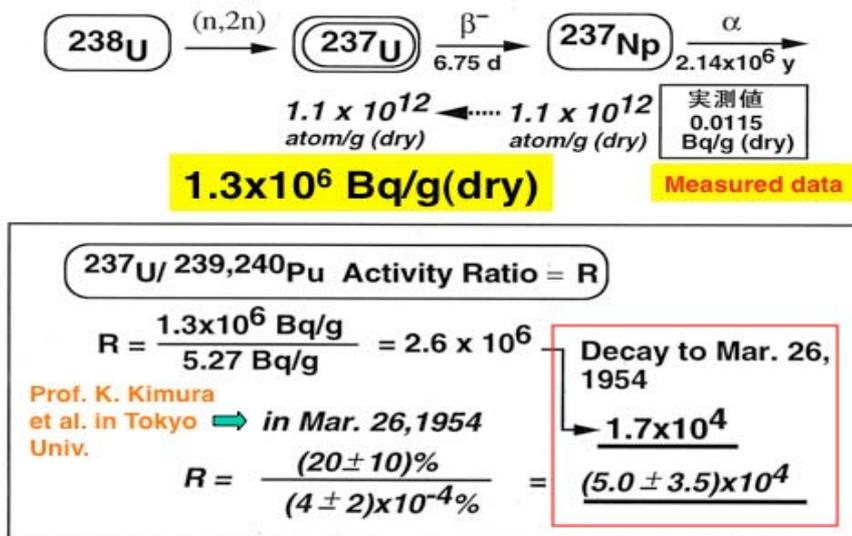
All data are as of the date of measurements (May 1995). The error indicates one standard deviation of counting statistics.

^a Measured previously based on the measurement of Lx /alpha-ray activity ratio (Komura et al. 1984).

この ^{237}Np 放射エネルギーを基に当時のシュロ中の ^{237}U を評価すると核実験当時の値として原子数で 1.1×10^{12} 個/g、放射能強度で 1.3×10^6 Bq/g 存在していたことが推定できた。当時の科学者たちは、測定試料によって異なるが、恐らくこれ以上のレベルの放射性核種を化学分離・精製しながらガイガー・ミュウラー (GM管) 計数装置で徹夜しながら測定し続けていたと推察できる。最も興味深いことは、上記に示すように 1954 年 3 月 26 日での木村健次郎等の評価した $^{237}\text{U}/^{239,240}\text{Pu}$ 放射能比 (5.0 ± 3.5) × 10⁴ が、今回の測定から評価した値 1.7×10^4 と測定誤差内でよく一致していることである。改めて、当時の科学者達の分析、測定能力の素晴らしさと努力の結晶を強く認識させられる思いである。当時の Pu は、化学分離操

作を何回も繰り返し原子核乾板上にできるPuからのアルファ線の飛跡を顕微鏡で入念に観察して求められている。きめ細かな根気の必要な仕事である。現在、分析法や測定法の進歩は目覚ましく、放射能測定が比較的簡単に精度よく行えるようになった。

I interested in knowing the activity level of ^{237}U at that time



My data using new instruments was in good agreement with Tokyo Univ's data at that time. I was very impressed with skill techniques of separation and radioactivity measurement of Japanese scientists at that time

もし第五福竜丸がビキニ環礁の東方 160 km (危険区域の外側 約 30 km) よりも遙か遠方において被災を免れ、大気圏での核実験が継続していたならば、我が国の放射能研究がどのような方向で進んでいたかを想像することも非常に興味深い。悲惨な事件ではあったが、この事件は、放射能に関する核化学や放射化学研究の進展のみならず、医学、物理、化学、農学その他多くの専門分野がこの問題に取り組み、殆ど未開拓の我が国の環境放射能や放射線防護の学際的研究を飛躍的に進展させたことで歴史的意義を有するものと言える。

すでに、この事件からもう半世紀が経過した。第五福竜丸の当時の乗組員の半数はすでに亡くなられている。ビキニ環礁周辺に当時 900 隻以上いた他の船の乗組員は、どうしているのだろうか。心の苦痛、痛手を負いながらある人は

すでに亡くなり、またある人は生存していらっしゃると思う。亡くなられた方々にご冥福を祈ると同時に、二度とこのような被災がおこらないように祈るのみである。この事件は、広島、長崎の原爆被災、それに継ぐ悲惨な事件として後世に語り継がれ、決して風化されるべき出来事ではありません。肝に銘じながら核の無い平和な世界構築を目指して少しでも貢献しながら生きたいものである。

参考文献

- 1) 特集 第五福竜丸事件から 50 年, エネルギーレビュー, 2003. 8.
- 2) ビキノの灰の特集総説・報文, 分析化学 (日本分析化学会誌), 3 (4), 1954.
- 3) The Radiation Dust from the Nuclear Detonation, The institute for chemical research in collaboration with the radioisotope research committee, Kyoto University, (Bull. Inst. Chem. Res., Supplementary issue, Kyoto Univ.), November. 1954.
- 4) M. Yamamoto, et al., Health Phys. 70(5),744-748 ,1996