

原著

全国各地における海水中のトリチウム濃度

新井 正一^{1,2)}・久志野 彰寛³⁾

1) 純真学園大学 大学院 保健医療学研究科 保健衛生学専攻

2) 純真学園大学 保健医療学部 放射線技術科学科

3) 久留米大学 医学部 放射性同位元素施設

Survey of Tritium Concentration in Seawater in Various Parts of Japan

Shoichi ARAI^{1,2)}, Akihiro KUSHINO³⁾

1) Course of Health Sciences, Graduate School of Health Sciences,

2) Department of Radiological Science, Faculty of Health Sciences, JUNSHIN GAKUEN University

3) Radioisotope Institute for Basic and Clinical Medicine, School of Medicine, KURUME University

【要旨】 2011年3月11日14時46分に東日本大震災が発生し、それに伴い東京電力福島第一原子力発電所で大規模な放射能汚染を伴う事故が発生した。原子炉を冷却するためそこで発生する汚染水は多核種除去設備（ALPS）によって、トリチウム以外の放射性物質を取り除く処理が行われている。日本近海におけるトリチウムの状況を把握することでALPS処理水をはじめとした原子力発電所から排出されている処理水の海洋への影響について検討する。

試料は青森県から鹿児島県の海水16サンプルにおけるトリチウム濃度を測定した。比較対象として水道水、地下水をバックグラウンド試料として海水サンプルと同様の測定を行った。その結果、トリチウム濃度（BG1~3）は平均値1.23~1.27 [Bq/l]（最小値1.14 [Bq/l] ~最大値1.31 [Bq/l] 標準偏差0.04）、海水サンプルNo. 1~16は1.01~1.31 [Bq/l]（最小値0.96 [Bq/l] ~最大値1.42 [Bq/l] 標準偏差0.03~0.05）であった。特にサンプルNo. 1~4は福島県内浜通地区の海水で、福島第一原子力発電所より直線距離で5~20km程度の地点におけるトリチウム濃度であり1.24~1.29 [Bq/l]（最小値1.15 [Bq/l] ~最大値1.37 [Bq/l] 標準偏差0.03~0.04）と他の海域と差は見られなかった。

1950-60年代には世界各地で大気圏内核実験によりトリチウムが環境中へ放出された。大気中も今の200倍以上のトリチウムが存在していた。また北東大西洋における海域と日本近海域のトリチウム濃度を比較した。北東大西洋における海域のトリチウム濃度は海域により大きな差が見られ、付近の原子力施設の関与が指摘されている。しかし日本近海域のトリチウム濃度は比較対象とした水道水の値と大きな差は見られなかった。

ただ、東京電力福島第一原子力発電所事故で海洋へ放出されたトリチウムは $(1\sim5) \times 10^{14}$ [Bq]と推計されており、いったん上昇したトリチウム濃度も今後緩やかに減少していくことが考えられる。

キーワード：トリチウム、海水、放射線モニタリング、原子力発電所事故、放射性水質汚染

Abstract: The Great East Japan Earthquake occurred at 2:46 p.m. on March 11, 2011, and an accident involving large-scale radioactive contamination occurred at Tokyo Electric Power Company Holdings, Incorporated (TEPCO) Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. The contaminated water generated by the reactor was treated using a multi-nuclide removal system (Advanced Liquid Processing System: ALPS) to remove radioactive substances other than tritium. In order to understand the situation of tritium concentration in the waters of and around Japan, we examined the impact of the treated water discharged from nuclear power plants, including ALPS-treated water, on the ocean.

The tritium concentration was measured in 16 samples of seawater from Aomori to Kagoshima prefectures. As a comparative object, tap water and groundwater were used as background samples (BG1~3)) in the same way as seawater samples. As a result, the tritium concentration (BG1~3) was 1.23~1.27 [Bq/l] (minimum value 1.14 [Bq/l] ~maximum value 1.31 [Bq/l] standard deviation 0.04), seawater sample No. 1~16 was 1.01~1.31 [Bq/l] (minimum value 0.96 [Bq/l] ~ maximum value 1.42 [Bq/l] standard deviation 0.03~0.05). The concentration of tritium in the Hamadori area of Fukushima Prefecture, which was 1.24~1.29 [Bq/l] (minimum value 1.15 [Bq/l] ~ maximum value 1.37 [Bq/l], standard deviation 0.03~0.04) at a point about 5~20 km from the Fukushima Daiichi Nuclear Power

Station.

In the 1950s and the 1960s, tritium was released into the environment through atmospheric nuclear tests worldwide. Currently, there is >200 times more tritium in the atmosphere than the amount that should ideally exist. Tritium concentrations in the northeast Atlantic Ocean and Japan were compared. The concentration of tritium in the northeast Atlantic Ocean varies greatly depending on the sea area, and it has been pointed out that nearby nuclear facilities are involved. However, the tritium concentration in the waters around Japan did not differ significantly from the value of tap water used for comparison.

The tritium released into the ocean due to the accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station is estimated to be $(1-5) \times 10^{14}$ [Bq], and it is thought that the tritium concentration will gradually decrease in the future.

Key words: tritium, seawater, radiation monitoring, nuclear power plant accident, radioactive water contamination

1. 緒言

2011年3月11日14時46分に東北地方太平洋沖地震いわゆる東日本大震災が発生し、それに付随して東京電力福島第一原子力発電所で大規模な放射能汚染を伴う事故が発生した。

この事故により原子炉の内部に残っている燃料デブリを冷却するために放水を継続し、さらに雨水や地下水が原子炉建屋内に流れ込むことにより放射性物質が含まれる汚染水が発生している¹⁾。2020年現在1日あたり平均で140 m³の汚染水が発生している²⁾。この汚染水は多核種除去設備 (a multi-nuclide removal system : ALPS) などの浄化装置によって、ほとんどの放射性物質を取り除く処理がされている。浄化処理後の水をALPS処理水とよび、処理を行う際は含まれる放射性物質が基準値を大幅に下回ることを確認している。ALPS処理水とはこの処理された水のなかでも、2次処理や希釈を行うことでトリチウムを含めた各核種を環境中に放出する際、国の規制基準以下の値になる水のことである^{3,4)}。

2023年8月24日に福島第一原子力発電所のALPS処理水の海洋放出が開始した。海洋放出開始から現在も、国・自治体・東京電力によって海水、海底土や海洋生物のモニタリングや分析が継続的に行われている⁵⁾。この海洋放出の様子はそれぞれのホームページで確認することができる⁶⁾。

我々は、このような状況を踏まえ、近年の日本国近海における環境動態、特にトリチウムの状況把握をすることでALPS処理水をはじめとした原子力発電所から排出されている処理水の影響について検討したので報告する。

2. 理論

2.1 トリチウム

トリチウムとは三重水素とも呼ばれ、水素原子の中に中性子が2個入った放射性同位体である。低エネルギー β -線を放出する核種であり、最大エネルギーは18.6 keVと、エネルギーが低いため皮膚を通過することはできず、半減期は12.3年である。自然界にはおよそ $100\sim 130 \times 10^{16}$ [Bq]のトリチウムが存在している。トリチウムは水素原子と変わらないため、水(H₂O)のうち水素原子がトリチウムに置き換わった場合、他の水と性質が変わらず、体内に入っても水と一緒に排出されるため、体内蓄積がされない。そのため、食物連鎖による生物濃縮の影響がほとんどないとされている。

しかし最近の社会情勢から、東日本大震災による福島第一原子力発電所事故に伴う発電所構内で発生している放射性同位元素を含んだ汚染水をALPSによって、ほとんどの放射性物質を除去したALPS処理水を海水中に放出している。この処理水で唯一取り除けないトリチウムは水で薄めることにより海洋中に放出している。

2.2 ALPS処理水

多核種除去装置 (Advanced Liquid Processing System: ALPS) を利用した処理水は、福島第一原子力発電所で発生した放射性物質を含む汚染水を浄化した水である。ALPSは、トリチウムを除く62種類の放射性物質を取り除くことができる¹⁻³⁾。

この処理水の海洋放出は2023年8月24日より

行われており、唯一取り除けないトリチウムの濃度も国の規制基準以下に薄めた上で、海洋放出して³⁾。放出にあたっては、東京電力、東京電力が委託する外部機関および国の第三者機関がCs-134, Cs-137, H-3の測定を行っている。またトリチウムについても環境や人体への影響は無視できるほど小さいとされている。

2.3 低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ

トリチウムは低エネルギー β -線放射体で環境中に存在する水で、測定法としては低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタ装置を用いる。

低バックグラウンド液体シンチレーションカウンタは、液体シンチレータに放射性物質を溶解し、放射線によって励起されて再び基底状態に遷移する際に放出される蛍光（シンチレーション）を光電子増倍管で電氣的に増倍、パルス増幅をして測定を行っている。

3. 実験方法

3.1 サンプル試料

まず試料採取地点として、全国16か所の海水サンプルを準備した。そのうち福島第一原子力発電所付近の海岸付近の海水は4か所である。（表1）採取の期間は、2023年2024年の2年間で、ともに4月下旬～9月下旬に行った。

サンプルの採取にあたって、採取試料は分析行程での損失や再分析等の試料保存などを考慮し、1サンプル当たり500 mlを採取した。サンプルの保管は大気水蒸気と容易に同位体交換を起こさないよう測定を行うまでの間、ねじ式蓋付き試薬瓶で保存し気密性を保った。その後、必要に応じて、砂や浮遊物がある場合には沈殿法にてその浮遊物の除去を行った。

処理後の試料も、蒸発や大気中の水蒸気が混入しないよう密栓をして保存を行った。

表1 サンプル試料

No.	採取場所		試料	海域	採取日
1	福島県双葉郡広野町	姥獄蛇王神社付近	海水	太平洋	2023.9.1
2	福島県双葉郡広野町	浅見川河口付近	海水	太平洋	2024.9.4
3	福島県双葉郡檜葉町	岩沢海水浴場	海水	太平洋	2024.9.4
4	福島県双葉郡浪江町	請戸海水浴場	海水	太平洋	2024.9.5
5	福岡県北九州市	若松北海岸	海水	日本海	2023.9.29
6	福岡県福岡市	百道浜1	海水	日本海	2024.5.5
7	青森県青森市	浅虫温泉海岸	海水	陸奥湾	2024.5.5
8	山口県萩市	菊ヶ浜	海水	日本海	2024.5.5
9	三重県三重郡川越町	高松海岸	海水	太平洋	2024.4.29
10	香川県高松市	高松港	海水	瀬戸内海	2024.5.7
11	東京都港区お台場	東京湾	海水	太平洋	2024.5.7
12	広島県広島市	宇品海岸	海水	瀬戸内海	2024.5.12
13	大分県大分市	田ノ浦ビーチ	海水	太平洋	2024.9.20
14	鹿児島県鹿屋市	荒平天神	海水	東シナ海	2024.9.13
15	長崎県西海市崎戸町	崎戸島海岸	海水	東シナ海	2024.9.15
16	鹿児島県大崎町	益丸海岸	海水	東シナ海	2024.9.13

3.2 バックグラウンド用サンプル試料（表2）

下からくみ上げた水2箇所（糸島市ならびに宗像市）の井戸水）を採取した。

表2 バックグラウンド用試料

No.	採取場所		試料	採取日
BG1	福岡県福岡市	福岡市内	水道水	2024.2.29
BG2	福岡県糸島市	雷山千如寺	地下水	2023.10.14
BG3	福岡県宗像市	城山	地下水	2023.10.23

3.3 使用機器、試薬品

実験で使用した機器は以下の通りである。（表3）

表3 使用機器

使用機器	型番	メーカー
冷却装置	CLU-3	株式会社イワキ
電圧調節器	61-16225	山菱電機株式会社
マントルヒーター	YE 型 100V	株式会社三商
マグネチックスターラー	45-0439 PC-220	株式会社三商

使用した薬品は以下の通りである。（表4）

表4 使用試薬品

試薬品	メーカー	国名
過酸化ナトリウム	ヒドラス化学株式会社	日本 東京
過マンガン酸カリウム	富士フィルム和光純薬株式会社	日本 大阪
硝酸銀	シグマ アルドリッチ ジャパン合同会社	日本 東京
硝酸	富士フィルム和光純薬株式会社	日本 大阪

3.4 シンチレータカクテル（表5）

本実験で用いたシンチレータカクテルはULTIMA GOLD LLTを用いた。このシンチレータは乳化シンチレータと呼ばれ、界面活性剤が入ったカクテルである⁷⁾。今回の試料は海水を対象としているため親水性の高い乳化シンチレータを選

択した。また、ULTIMA GOLD LLTは、バックグラウンドが極めて低く、アルファ/ベータ識別用に設計されており、クエンチ耐性があるという特徴があり、トリチウムを液体シンチレーションカウンタで測定するにあたって、最も適切な薬剤であると判断した。

表5 シンチレータカクテル

試薬品	メーカー	国名
ULTIMA GOLD LLT	Perkin Elmer Japan 合同会社	オランダ

3.5 蒸留方法

低レベルトリチウム濃度を精度良く測定するために、トリチウム以外の放射性核種や塩類などを除去する必要がある。一般に試料の精製には、常圧蒸留法、減圧蒸留法などの蒸留法が用いられる。本実験では常圧蒸留法を用いた。実験方法については、文献 8（トリチウム分析法 文部科学省平成14年改正）を参考に実験を行った⁸⁾。実験方法については以下に示す。

常圧蒸留法

実験で使用した常圧蒸留法の実験機材を図1に示す。以下に、その実験手順を示す。

採取した試料水70~100 ml をメスシリンダーで測りビーカーへ入れた。この中に過酸化ナトリウム含量95%（ヒドラス化学株式会社）0.1 g、

過マンガン酸カリウム含量99.3%（富士フィルム和光純薬株式会社）0.1 g を入れ、マグネチックスターラー 型番45-0439 PC-220（株式会社三商）を使って5分間、攪拌を行った。攪拌後、試料水を吸引濾過瓶に入れ、マントルヒーター 型番45-0439 PC-220（株式会社三商）にセッティングした。電圧調節器によってヒーターの出力は60-70 V 程度に保った。試料水が乾固するまで熱した。冷却装置 CLU-3（株式会社イワキ）によって4℃に冷却した水を、チューブを使ってジムロート型冷却管に循環、連結管の上にセットした。熱された試料水（水蒸気）を回収するためにチューブや連結管を用いて、試料水を入れる蒸留水トラップ用濾過瓶をセットし、蒸留濾過された試料水を回収した。

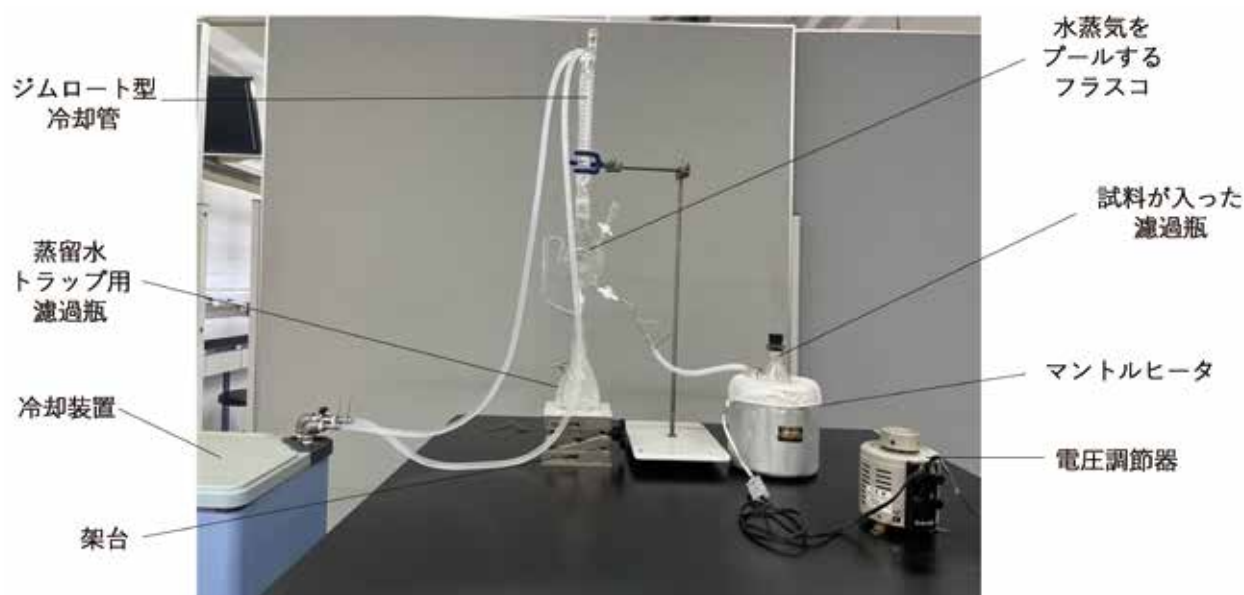


図1 実験で使用した常圧蒸留装置

出来た蒸留水の質量を測定した。蒸留水に不純物が入っていないことを確認するために、蒸留水を10 ml 程度ビーカーに移し、硝酸銀含量99%（シグマ アルドリッチ ジャパン合同会社）1 g を0.1M 硝酸含量60%（富士フィルム和光純薬株式会社）100 ml に溶解して作った硝酸銀溶液を数滴垂らした。このとき白色沈殿ができるかどうかで不純物の有無の確認を行った。

3.6 液体シンチレーションカウンタによるトリチウムの測定

バックグラウンドを減らすため、蒸留した試料水を2~3日間静置、暗所保管を行った。その後、液シン用ガラスバイアルに1 ml マイクロピペットで測り入れ、カクテルに ULTIMA GOLD™ LLT（Perkin Elmer）を1 ml 加えた。この試料も2~3日間、暗所、静置保管をして、液体シンチレー

ションカウンタ LSC-7200（アロカ株式会社）にガラスバイアルをセットした。（表 6）

試料の測定時間は、それぞれのサンプルで50分測定を20回行った（1サンプル当たり1,000分間測定）。

測定した結果はスミノフ・グラブス検定の統計処理を行った。このときの危険率は0.05とした。この検定では、データ数 n 、データの平均値 \bar{C} 、分散 V を用いて最大値を求め、最大値 C_{max} を検

定した。最大値 C_{max} の検定には、

$$T = (C_n - \bar{C}) / \sqrt{V}$$

を用いた。この T とグラブスの方法の棄却限界値 $G(n, \alpha)$ と比較して、 $T > G(n, \alpha)$ ならば危険率 α で異常値と判断した。今回の検定では、危険率を0.05（5%）としたため、文献 8）より20回測定ของときは $G(20, 0.05) = 2.557$ とした⁸⁾。この値と求めた T を比較し、異常値を取り除いた。

表 6 使用測定機器

使用機器	型番	メーカー
液体シンチレーションカウンタ	LSC-7200	アロカ株式会社

4. 結果

トリチウム濃度の測定結果

液体シンチレーションカウンタのトリチウム濃

度の測定は、バックグラウンドとして3箇所（BG1~3）、ならびに試料16箇所（No.1~16）の測定結果を表7に示す。

表 7 トリチウム濃度測定結果

No.	最小値 [Bq/l]	最大値 [Bq/l]	トリチウム濃度 平均値 [Bq/l]	標準偏差
1	1.20	1.33	1.25	0.03
2	1.20	1.37	1.29	0.04
3	1.19	1.35	1.29	0.04
4	1.15	1.29	1.24	0.03
5	1.05	1.19	1.14	0.04
6	1.10	1.29	1.20	0.05
7	1.17	1.38	1.27	0.05
8	0.99	1.10	1.04	0.03
9	0.96	1.06	1.01	0.03
10	1.17	1.32	1.24	0.04
11	0.98	1.09	1.03	0.03
12	1.18	1.34	1.26	0.05
13	1.16	1.32	1.24	0.04
14	1.16	1.33	1.23	0.04
15	1.20	1.42	1.31	0.05
16	1.16	1.33	1.23	0.04
BG1	1.14	1.28	1.27	0.04
BG2	1.16	1.31	1.23	0.04
BG3	1.18	1.31	1.25	0.04

BG は福岡市内の水道水、同じく福岡県糸島市ならびに宗像市内の地下水をサンプルとしており、トリチウム濃度 (BG1~3) は平均値1.23~1.27 [Bq/l] (最小値1.14 [Bq/l] ~ 最大値1.31 [Bq/l] 標準偏差0.04) であった。

海水サンプル No. 1~16は、日本全国の16か所より海水を採取し、トリチウム濃度を測定した。その結果は、トリチウム濃度1.01~1.31 [Bq/l] (最小値0.96 [Bq/l] ~ 最大値1.42 [Bq/l] 標準偏差0.03~0.05) であった。特にサンプル No.1~4は福島県内浜通地区の海水で、福島第一原子力発電所より直線距離で5~20km 程度の地点におけるトリチウム濃度であり1.24~1.29 [Bq/l] (最小値1.15 [Bq/l] ~ 最大値1.37 [Bq/l] 標準偏差0.03~0.04) と、他の全国各地の濃度と大きな差はみられなかった。

5. 考察

5.1 結果からの考察

今回の結果より、海水サンプル16か所のトリチウム濃度は1.01~1.31 [Bq/l] (最小値0.96 [Bq/l] ~ 最大値1.42 [Bq/l] 標準偏差0.03~0.05) とばらつきもなく差異は見られなかった。特にサンプル 1~4 については福島浜通地区のサンプルで福島第一原子力発電所より5~20km の距離に位置する場所で、トリチウム濃度の値も1.24~1.29 [Bq/l] と他の地域の値と大きな差は見られなかった。これらの結果を踏まえ、2023年8月24日より、福島第一原子力発電所ではALPS 処理水として、トリチウムを含んだ水を海洋放出しているが、その影響は、今回の結果より見られないまたは極わずかでトリチウム濃度の値として計測できない程度と考えられる。

これは、環境省や東京電力で公表している海域モニタリングのトリチウムの濃度のデータでは日本全国 (福島県沖を含む) でも、0.043~20 [Bq/l]、福島県沖の0.043~2.2 [Bq/l] と示されており、本研究で得られた結果として合致している⁹⁾。

また、これらのトリチウム濃度については、WHO の定める飲料水の基準は10,000 [Bq/l]¹⁰⁾、ALPS 処理水を海洋放出する際の濃度基準は1,500 [Bq/l]¹⁾ と比較しても、本実験で測定した全ての試料はこの基準値より明らかに低く、さらに福

島の海水のトリチウム濃度も1.24~1.29 [Bq/l] であり、ALPS 処理水の海洋放出の基準値を大きく下回っている。これらの結果より、ALPS 処理水の放出による海水への影響はないと推測される。

5.2 原子力災害対策指針に基づいたトリチウムモニタリング

2012年に策定された原子力災害対策指針では、原子力施設周辺において災害等の緊急事態が発生した場合に迅速に対応ができるよう、平常時から空間線量率や環境試料中の放射性物質のモニタリングが行われることが示されている¹¹⁻¹²⁾。

ここ10年来、平常時における環境試料中の放射性物質の濃度は、一定範囲に収まることが確認されており¹³⁻¹⁴⁾、本研究データとも一致することが確認できた。

また、今回使用した水道水 (福岡市内) のトリチウム濃度についても、西日本各県においては、ND*~2.3 [Bq/l]、海水についても、先行論文で示されたND*~4.3 [Bq/l] という値¹⁵⁻¹⁷⁾ と本研究で得られた値1.23~1.27 [Bq/l] (最小値1.14 [Bq/l] ~ 最大値1.31 [Bq/l] 標準偏差0.04) は、同程度の値となった。

* ND: Not Detected (検出限界値未満)

5.3 過去の核実験による影響

1950-60年代に世界各地で行われた大気圏内核実験によって、 $(1.8\sim2.4)\times10^{20}$ [Bq] のトリチウムが環境中へ放出されたと推定されている。この核実験で生成されたトリチウムは、天然トリチウムと混合して雨として世界中に降下したとされる。核実験起源トリチウムは海に移行していくが、大量の水が存在するため希釈され、その濃度は希釈されていく¹⁸⁾。

図2に1960年から2010年の東京、千葉における雨のトリチウム濃度の経時変化を示す。この図から、大気圏内核実験は1960年代前半に行われ、1963年ごろに最大値を示すことがわかる。その後、対流圏に降下し、放射性壊変および海水へ移行し、濃度は減少していったとされ、トリチウム濃度は現在の200倍を超える濃度となっていたことがわかる。大気圏内の雨中のトリチウム濃度と海水とサンプルの種類に違いはあり、海水では薄められ

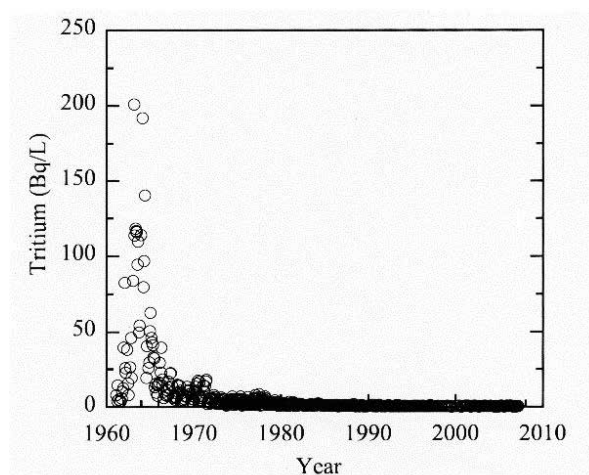


図2 雨のトリチウム濃度の経時変化（東京と千葉）[9].

NETS DB, <http://www.nirs.go.jp:8080/anzendb/NetsDB.html> 文献19)

濃度も減少することが考えられるが、本研究で得られた日本近海におけるトリチウム濃度は $1.01\sim 1.31$ [Bq/ℓ] とバックグラウンド (BG1~3) $1.23\sim 1.27$ [Bq/ℓ] と比較しても、この160年代前半の値と大きな差があり当時は現在の値よりかなり高濃度のトリチウムであった¹⁹⁾。

5.4 海域の違いによる影響の検討

図3は1980~2015年における北東大西洋における海域で水深100m以浅のバルト海、北海、ケルト海、イギリス海峡、アイリッシュ海における海水中のトリチウム濃度の測定値を示している²⁰⁻²¹⁾。水深100mまでの表面海水中の観測値で、概ね1.0

[Bq/ℓ] を中心に推移をしているが、高い値を示す箇所もある。これは付近の原子力施設を起源とした関与が指摘されている。

我々がサンプルを採取した日本国内近海域の場所を図4に示す。北は青森県から南は鹿児島まで行っているが、太平洋（陸奥湾も含める）、日本海、瀬戸内海、東シナ海と海域ごとにトリチウム濃度を比較したものを表8に示す。この結果を見ると、ほぼどの海域も大きな差異はなく、値は変わらないことがわかる。つまり日本近海におけるトリチウム濃度は大きな変化はないと考えられる。

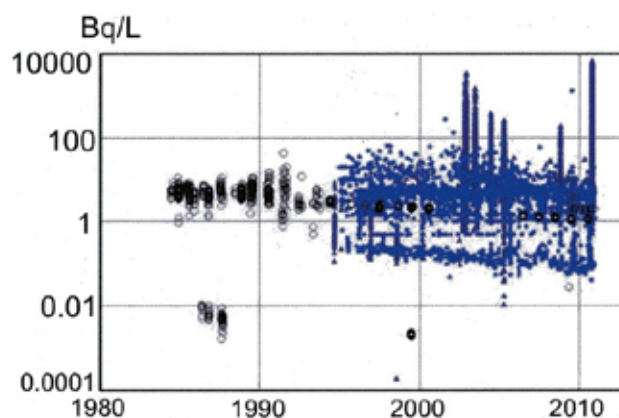


図3 北東大西洋水深100m以浅の海中トリチウム濃度
○：バルト海，●：アイリッシュ海，北海，▲：ビスケー湾，ケルト海，イギリス海峡，アイリッシュ海

IAEA MARIS(2021) IAEA marine radioactivity information system. 文献21)



図4 サンプルングを行った地点
近い地点は1箇所にとまとめて表示している

表8 海域ごとのトリチウム濃度

海域	都道府県	平均トリチウム濃 [Bq/l]
太平洋	福島県	1.25
		1.29
		1.29
		1.24
	青森県	1.27
瀬戸内海	東京都	1.03
	三重県	1.01
	大分県	1.24
	広島県	1.26
	香川県	1.24
日本海	山口県	1.04
	福岡県	1.20
		1.14
東シナ海	長崎県	1.31
	鹿児島県	1.23
	鹿児島県	1.23

5.5 福島第一原子力発電所事故起源によるトリチウム

原子力関連施設では運転に伴い必然的にトリチウムが生成するが、通常は外部に漏れないように保管されている²²⁾。しかし事故が起これと施設内に保管されていたトリチウムが漏れ出し、周辺環境のトリチウム濃度レベルが一時的に上昇する。チェルノービリ原子力発電所事故後、1ヶ月以内に原子炉から500~1000km離れた複数箇所での降雨内のトリチウム濃度が事故前より高い値を示したことが報告されている²³⁾。

2011年3月の東京電力福島第一原子力発電所事故でも環境中にトリチウムが放出されている。原子炉内に存在していた存在していたトリチウムは 1.5×10^{15} [Bq] と推計されている。海洋への放出は $(1-5) \times 10^{14}$ [Bq] と推計されている²⁴⁾。

事故直後、関東地方の降水中のトリチウムや大気中のトリチウムを含んだ水 (HTO) 濃度が上昇し、さらに原発に近い福島県内の陸水のトリチウム濃度や植物に含まれる組織自由水中トリチウム (FWT) 濃度にわずかな上昇が見られた²⁵⁾。

チェルノービリ原発事故の影響と同様に、降水中トリチウムや大気 HTO 濃度は速やかに減少した。それと比較すると陸水のトリチウム濃度や植物に含まれる組織自由水中トリチウム (FWT) 濃度は緩やかに減少することが考えられる²⁶⁾。

これら先行論文から、原発事故によりトリチウムは、大気や海洋にいったん放出され、その環境や、その周りにあった植物など、特に組織自由水中トリチウム (FWT) に取り込まれたと考えられるが、徐々にその濃度は減少しつつあることが推測される。

6. 結語

日本国近海におけるトリチウムの状況を把握することで ALPS 処理水をはじめとした原子力発電所から排出されている処理水の海洋への影響について検討した。

試料は日本全国の海水を16サンプル準備し、トリチウム濃度を測定した。その結果トリチウム濃度は0.91~1.31 [Bq/l] が得られ、特に福島原発から5~20kmの海水4サンプルのトリチウム濃度は1.09~1.29 [Bq/l] と他の海域との差は見られな

かった。これにより福島第一原子力発電所からのトリチウム水の放出による影響はないまたは影響があっても極わずかと推測される。

【参考文献】

- 1) 新井正一. 福島第一原子力発電所からの ALPS 処理水の海洋放出. 純真学園大学雑誌 14, 55-68, 2024
- 2) 環境省. 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 令和3年度版 13-15, 2022
- 3) 経済産業省「みんなで知ろう。考えよう。ALPS 処理水のこと」
https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/hairo_osensui/shirou_alps.html (2024.10.31閲覧)
- 4) 東京電力ホールディングス株式会社. 多核種除去設備等処理水の取扱いに関する海域ミニ多リングの状況について.
<https://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/decommissioning/committee/osensuitaisakuteam/2024/02/02/3-1-8.pdf> (2024.10.31閲覧)
- 5) 原子力災害本部. 総合モニタリング計画, 3-4, 2024改訂
- 6) 環境省. ALPS 処理水にかかる海域モニタリング情報.
<https://shorisui-monitoring.env.go.jp> (2024.10.31閲覧)
- 7) 公益法人日本アイソトープ協会. 「シンチレータって何?」
<https://www.jrias.or.jp/report/hakarou/sintinani.htm> (2024.10.31閲覧)
- 8) 文部科学省. 放射能測定法シリーズ (No.9) トリチウム分析法. 5-7, 60-64, 73, 2023改定
- 9) World Health Organization, Guidelines for drinking-water quality - 4th ed, 228, 2022
- 10) 日本の環境放射能と放射線 環境放射線データベース. <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/> (2024.10.31閲覧)
- 11) 佐賀県環境放射能技術会議資料. 玄海原子力発電所周辺環境放射能調査結果. 令和5年度年報
- 12) 土田大輔, 佐藤恵美, 山村由貴, 梶原佑介, 板垣成泰. 玄海原子力発電所30km 県内における環境試料中の放射性物質濃度の把握. 福岡県保健環境研究所年報50, 94-97, 2023
- 13) 岡村正紀, 平井英治, 松岡信明. 福岡市における降水中トリチウム濃度の最近の変動. 35, 2, 87-93 地下水学会誌
- 14) 仲宗根駿也, 中村夏織, 石津裕二ほか. 沖縄島における降水中のトリチウム濃度と水素・酸素安定同位体比及び主要イオン濃度との関係. Jpn. J. Health Phys. 56 (4), 265-279, 2021
- 15) 渡利一夫, 森本隆夫. 放射性物質の基礎と環境試料

- 分析. Bull. Soc. Sea. Sci. Jpn. 68.4-11. 2014
- 16) 狩野直樹, 諸橋峻秀, 宮本直人. 降水中のトリチウム濃度及び酸素・水素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$, δD) から見た近年の環境動態の評価. RADIOISOTOPES 70, 41-54, 2021
- 17) 百島則幸. 環境トリチウムの現状と分布 雨のトリチウム. J. Plasma Fusion Res. 85 (7), 426-428, 2009
- 18) H. Morishima, H. Kawai, T. Koga and T. Niwa. J. Radiat. Res. 26, 283 1985
- 19) 国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構. NETS DB. <http://www.nirs.go.jp:8080/anzendb/NetsDB.html> (2024.10.31閲覧)
- 20) 宮本霧子. 海洋におけるトリチウムの導体と海生生物への蓄積. MERI NEWS 155, 6-7, 2022
- 21) IAEA MARIS. IAEA marine radioactivity information system. Division of IAEA Environment Laboratories. Monaco.
- 22) 柿内秀樹, 赤田尚史. 原子力関連施設周辺での環境トリチウムモニタリングの実際. J. Plasma Fusion Res. 89 (10), 645-651, 2013
- 23) I. Y. Katrich, "Tritium innaturalwaterafter theChernobyl accident," SovietMeteorology and Hydrology 80-84. 1990
- 24) P. P. Povinec, M. Aoyama, D. Biddulph et al., "Cesium, iodine and tritium inNW Pacific waters-a comparison of the Fukushima impact with global fallout," Biogeosciences Discussions, 10 2013.
- 25) UNSCEAR, "Sources and effects of ionizing radiation. ANNEX C, Biological effects of selectedinternal emitters Tritium," UNSCEAR 2016 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes, NewYork: United Nations, 2017.
- 26) 柿内秀樹 トリチウムの環境動態及び測定技術. 日本原子力学会誌 60, 9, 537-541 2018