

海水を対象としたトリチウムの 分析方法とその実測例

昨今の社会情勢から関心が高まりつつある環境試料中のトリチウムについて、海水を例として試料採取、蒸留、電解濃縮、放射線計測に至る一連の概要を記した。トリチウムを分析・定量するに当たっては、海水 600 mL 程度を供することが多く、約 1 月半の時間を要するなど、思いのほか手間と時間がかかることや、未熟者による分析については多くの場合「高め」の結果に繋がることなど、実測から得られた知見の一部を紹介し、併せて調査結果の一部を記載した。

城谷 勇 陸, 神林 翔 太, 及川 真 司

1 はじめに

自然界に存在する水素には 3 種類の同位体が知られている。このほとんど (99.99 %) が質量数 1 の水素 (^1H , protium) で占められ、ごく僅か (0.02 % 程度) に質量数 2 の水素 (deuterium, ^2H) がある。また、極微量ではあるが質量数 3 の水素 (tritium, ^3H) が存在することは、最近開かれた国の検討会合での専門家からの説明資料にも掲載されるほど知られてきた¹⁾。

これら水素の同位体のうち、質量数 3 の水素は放射性同位体であり、「トリチウム」として世に知られている (固有名称で呼ばれる同位体は珍しい)。環境に存在するトリチウムの由来は、宇宙線と高層大気との相互作用で生じて絶えず地表面に付加される天然起源に加え、1945 年以降に北半球を中心に盛んに実施された大気圏核爆発実験や、人類の発展を支えてきた原子力発電、原子力施設の事故など人為的起源に帰する施設由来トリチウムの存在も知られている²⁾。天然起源と人為的起源の割合については、時期により異なるが、例えば 1995~1997 年の 3 年間に全世界の関連施設から気体として放出されたトリチウムでは、年平均換算で宇宙線により生成する量のおおむね 1/5 に相当するとされる³⁾。また、過去には腕時計の夜光塗料に含まれたトリチウムが、分析を実施する際の影響が指摘されるなど、身近にある放射性核種の一面も持つ⁴⁾。

2021 年 4 月には、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所 (以下、「東電福島第一原発」という。) 敷地内に保管・管理されている多核種除去設備 (advanced liquid processing system, ALPS) で浄化したいわゆる ALPS 処理水について、政府の原子力災害対策本部 (当時、本部長は菅義偉内閣総理大臣) によりト

リチウムを含む ALPS 処理水の海洋放出での処分方針が示された⁵⁾。これを契機に、ALPS 処理水のみならず海洋環境におけるトリチウムに対する社会的関心が高まってきた。海洋でのトリチウムの環境動態の要約については、併せて文献⁶⁾を参照されたい。

トリチウムの物理的性質としては、約 12.3 年の半減期を持つ純 β 線放出核種の一つであり、 ^3He への壊変に際して、最大 18.6 keV (平均で約 5.7 keV) の弱い β 線を放出する。この微弱な β 線を直接に効率よく測定することは困難であるものの、比放射能 (Bq/g) は約 3.6×10^{14} (計算上トリチウムは 1 g 当たり約 360 兆 Bq の放射能になる) と質量分析によるよりも放射線計測によるほうが有利であるため、ほとんどの調査研究機関において β 線計測による方法が採用されている。

我が国で実施されている環境試料を対象としたトリチウム分析は、国の方法⁷⁾に準じて、前処理、電解濃縮 (必要に応じて実施)、蒸留及び液体シンチレーションカウンタ (以下、「LSC」という。) を用いた β 線計測による定量が行われているが、人の手間と多くの時間を要することはあまり知られていない (図 1)。

本稿では、一般環境に存在するトリチウムのうち、海水を例とし、公益財団法人海洋生物環境研究所 (以下、「海生研」という。) で実施してきた試料採取から分析結果を得るまでの概略をまとめ、併せて現在得られている海洋環境での調査結果の一部を記載した。

2 海水を対象としたトリチウム分析の実例

環境に存在するトリチウムは、そのほとんどが水 (HTO) として存在しており、分析方法も試料水の精製から始まる。例えば、河川水、湖沼水、飲料水、海水など既に水の形である場合には蒸留を、生物試料 (肉部等) の場合には真空凍結乾燥等による水分の分け取りや燃焼などの多くの手間のかかる処理が必須となり、迅速化に向けた検討も行われてきた⁸⁾。

Radioanalytical Method for Tritium in Seawater Samples and Recent Status of Tritium in the Coastal Sea around Japan.

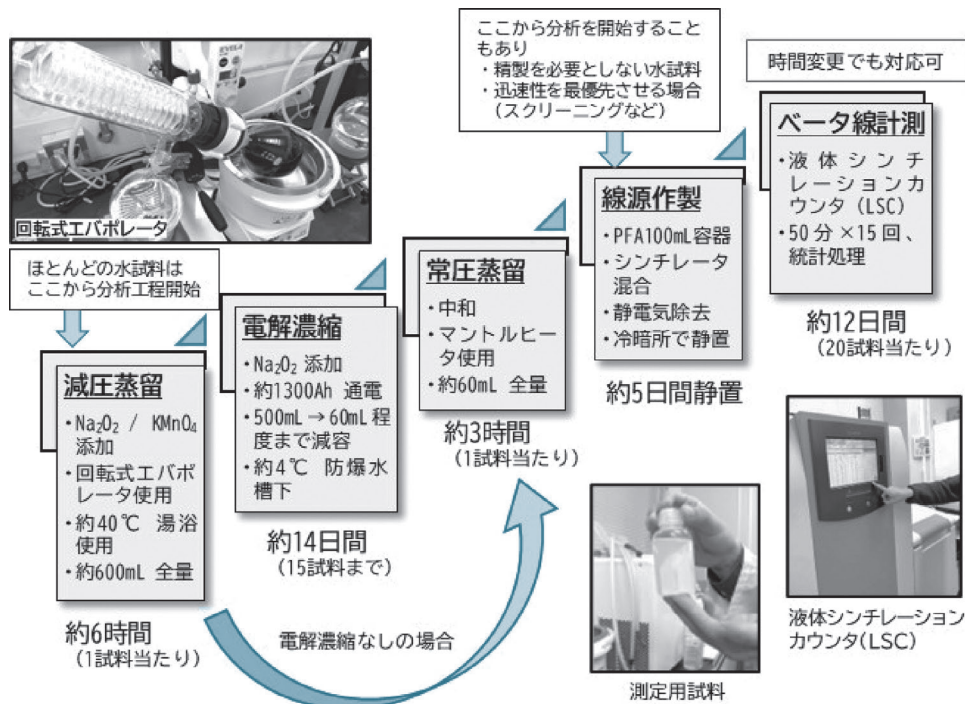


図1 海水試料を対象としたトリチウム分析の工程概要

2.1 海水試料の採取

海水試料を採取することは、本誌でも既出⁹⁾のとおり洋上での作業になる。沿岸の場合には比較的小型の漁船等で対応可能であるが、数十 km 以遠の沖合や外洋ともなれば相応の調査船が必要になる。また、試料採取時の海洋観測情報として、気象・海象観測、水温、塩分などの物理観測も必要となる。

表層水の採取では、バンドーン採水器の使用やポンプ採水などによる方法が一般的に行われている。一方、下層水の採取では、海流の影響により採水器を常に垂直に



CTD: Conductivity Temperature Depth profiler
電気伝導度、温度、水深を観測する装置のことで、電気伝導度と水温、圧力から実用塩分を得る。

写真1 洋上における海水試料の採取作業例
(撮影協力: 海洋エンジニアリング株式会社)

- (a) 船上ウインチにより大型バンドーン採水器を揚収しているところ。
(b) トリチウム分析用に海水を褐色容器に分取しているところ。

降下させることは至難の業であり、目的深度に応じた相応の資機材が必要となる。また、海水の採取量が少ない場合でも大型バンドーン採水器やニスキン採水器等を用いる場合が多い (写真1)。

トリチウム分析に供する海水の量としては、予備を含めて2 L程度で十分であり、酸などの添加も水素の添加行為になるため行わない。海水試料はプラスチック製容器に分け取り、大気水蒸気との接触を断つために密栓する。なお、海洋放射能モニタリングの対象である⁹⁰Srや¹³⁷Csの放射化学分析に供するための海水試料は、50~100 Lの大量採水で得ており、採取直後に硝酸や塩酸を添加するため、トリチウム分析との系統分析や試料の融通は原則できない。

2.2 バックグラウンド水

大気水蒸気や水道水などのトリチウム濃度は海水よりも高いことが多く、分析中に湿気を含めた水分の付加があってはならない。そこで、トリチウムを含まない水を用意して、実際の試料と同時並行分析を行い、トリチウムが検出されないことを確認している。このトリチウムを含まない水はバックグラウンド水 (以下、「BG水」という。) として試料と区別している。

BG水は大気由来のトリチウムが含まれる地表面の河川水や海水等から得ることはできない。国の方法⁷⁾では、深層地下水、深海水、天然ガスの燃焼水などを蒸留精製してBG水とするが、温泉・鉱泉水を利用することも多い。海生研では、相当期間 (トリチウムの半減期 (約12.3年) の数倍の期間) で大気との接触や地表水の混

入がない比較的深い掘削深度の温泉・鉱泉水、日本海のほぼ中央部に位置する大和堆で採取した深層海水などを検討し、前者の温泉・鉱泉水がトリチウム濃度に換算して約 0.03 Bq/L 以下（後述の電解濃縮法でも検出されない濃度レベル）であることを確認して BG 水としている。

2・3 海水試料の前処理

海生研で実施しているトリチウム分析の概要は既出の図 1 のとおりで、その内容を次に記した。

海水に含まれる塩や有機物などは夾雑物そのものであり、蒸留による前処理・精製が必要不可欠である。実際には、1 L の丸底フラスコに粒状の過マンガン酸カリウム（約 0.1 g）と粒状の過酸化ナトリウム（約 0.1 g）を入れ、次いで約 600 mL の海水試料を注ぎ、回転式エバポレータ（40 °C 程度のウォーターバス）での減圧蒸留による前処理・精製を行っている。

この減圧蒸留作業時には、時としてフラスコ等の表面に目に見えるほどの結露が生じる場合がある。機器の接合が不十分であると減圧下にある系内へ結露水が混入する恐れが生じ、ウエス等で拭くなどの注意を要する。

蒸留時の水素の同位体分別効果については、国の検討会合でも指摘があり、蒸留が進むにつれて残液に含まれるトリチウムの割合が高くなり、蒸留が 9 割程度進んだ時点において 1.2 倍程度までになるとされる¹⁾。このため、海生研では以前から減圧蒸留の工程は途中で止めず、過マンガン酸カリウム溶液が乾固するまで（フラスコ内壁が乾固物で一樣になるまで）蒸留を続けている。

蒸留後の試料溶液は、LSC での計測時に有機物の影響が及ばないこと、微量でも電解濃縮時に金属電極を腐食させる原因となる塩化物イオン等のイオン類がないことを確認するため、電気伝導度が 10 μS/cm 以下（市販の純水製造装置で得られる純水～蒸留水と同程度）になるまで蒸留を繰り返すこととしている。この減圧蒸留の作業は、6 時間程度の時間を要し、ほとんどの場合、1 回の蒸留で終わる。蒸留後の試料溶液はガラス瓶に入れて密栓し、次の工程に供するまで冷暗所で保管している。

2・4 金属電極を用いたトリチウムの電解濃縮

電解濃縮の実施に際して、試料水をアルカリ性とし、金属電極を利用した電気分解によりトリチウムの同位体濃縮ができることは以前から知られている⁷⁾。この電解濃縮に関する基本的原理を含む知見は文献¹⁰⁾を参照されたい。海水のようにトリチウム濃度が極めて低いことが予想される試料に対しては、測定用試料調製の一環として、電解濃縮法がよく用いられている。水を電気分解すると同位体間の質量差（¹H と ³H では 3 倍もの差が

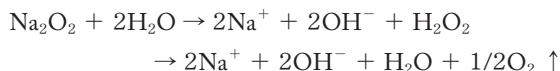
ある）が著しい水素では、電気化学反応速度の相違も大きく、同位体濃縮ができる。

純粋な水を電気分解すると、次の反応により陽極と陰極から酸素と水素が発生する；



この電気分解を行う際には、理論上 1.23 V 以上の印加電圧を要するが、電極表面での電子の授受に際しての活性化エネルギーの存在により、ある程度の過電圧となるように電圧の印加を要する。しかし、純粋な水に含まれる水素イオンや水酸化物イオンの数はごく僅かで、過電圧としても電位差が高くなり反応式の通りの電気分解は思うように促進されない。

実際には、電極表面での酸化還元反応（電子の授受）を促進させるため、電気分解に供する試料水に電解質として少量の過酸化ナトリウム（水酸化ナトリウムは水素の添加行為となるため使用できない）を加え、



とし、アルカリ性溶液を調製して電気分解に供している。

金属電極による電気分解では、金属と試料溶液の接触面及び通電終了後の試料容量を考慮して、へら状に加工

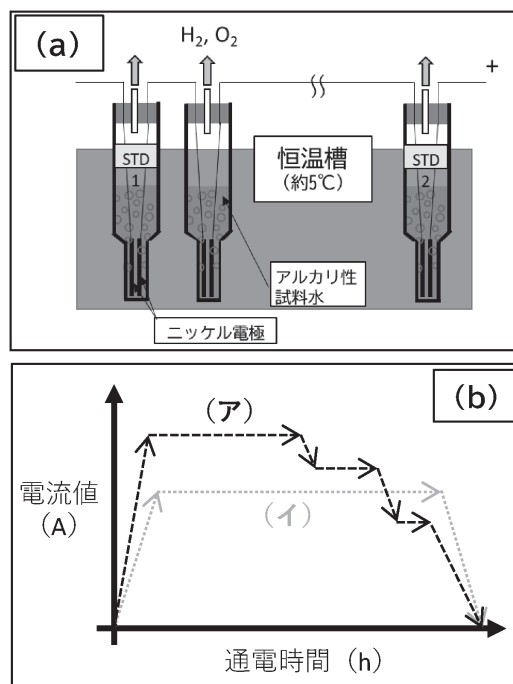


図 2 (a) 電気分解の際の接続模式図
各セルを直列に接続して通電を行う（海生研の場合、15 セルまで対応可）。

(b) 電気分解を行う際の通電パターンの例
(ア) 段階的に調整するパターン
(イ) 段階的な調整を行わないパターン

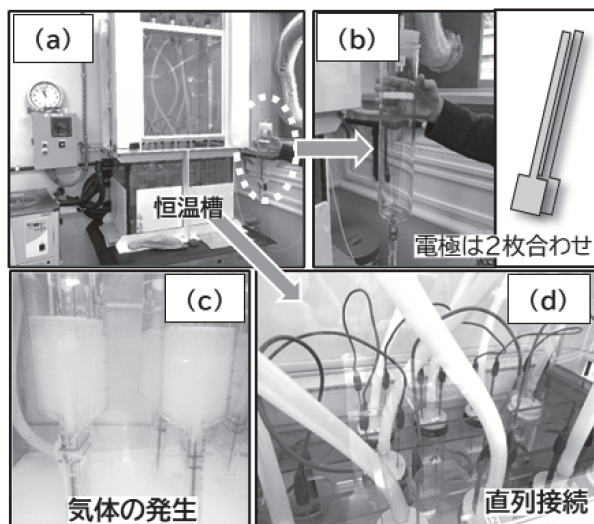


写真2 電解濃縮のための電気分解装置例
(a) 装置外観, (b) 電解セル, (c) 通電時の気体の発生, (d) 直列接続したセル (白い管は気体排出管)。

した金属電極及び対応するガラスセルを用い、複数セルを並べて直列接続としている (図2 (a) 及び写真2)。この際、電極に用いる金属の選定では、鉄 (Fe) やニッケル (Ni) などが候補になる。Fe 電極は保管の際にはアルカリ性溶液に浸し、使用前に表面に生じた錆などを除去するため、希硝酸や希塩酸での処理を要するなど取り扱いは煩雑となるが、電解濃縮率は高い利点がある。一方、Ni 電極は Fe 電極と比較して錆が生じにくいなどの利点があるが、電解濃縮率は Fe 電極には及ばない⁷⁾。なお、通電時に水素が発生する陰極に Fe 電極、酸素が発生する陽極に Ni 電極を用いることも選択肢の一つとなる⁷⁾。

電気分解時の主たる注意点は、通電中の試料水の蒸発を可能な限り避けることである。すなわち、蒸発なしに「水分子の電気分解のみで減容する」ことが理想である。金属に電流が流れると、金属の抵抗値に比例するようにジュール熱が生じて発熱する。電極として用いる Fe と Ni の電気抵抗率は温度により若干差はあるが、Ni に比べて Fe のほうが僅かに大きいようで、ジュール熱による電極の発熱による試料水の蒸発を少しでも避ける観点では、Ni のほうに利点がある。なお、これら電極の金属を選定する際には、機関ごとの実情に合わせることになる。

理論上、1 g の水を完全に電気分解するために要する積算電流値は 2.98 Ah (2.98 A の電流を 1 時間流す) である⁷⁾。金属電極を用いた電解濃縮法では、電気分解により約 500 mL の試料水を約 60 mL まで減容させる際、電極自体の発熱を抑えつつ、積算電流値として約 1300 Ah を要し、約 2 週間かかる状況である。試料水の電気分解では、単に電極を試料水に入れて通電すればよいわけではない。通電により試料水が減容するにつれ

て、電極の露出部分が増え、電極面の単位面積当たりの電流値が変わるため、電気分解時の条件を一樣に保つために電流値の調整が必要となる (図2 (b))。また、通電開始初期は比較的高い電流を通じ、電気分解が進みトリチウム濃度が上昇する終盤に、電流値を段階的に下げるなど、一定条件下で穏やかに電気分解を行うことで同位体分別の効果を高める狙いもある。海生研では使用する電極やガラスセルの形状により通電条件を検討し、段階的に電流値を下げるパターン (図2 (b) (ア)) のほうが電解濃縮率として 1 割程度の改善が見られることを見だし、季節 (気温・湿度) に応じた運用効率と高い電解濃縮率となるような通電パターンを適用している状況である。

なお、海生研では Fe 電極の適用によりトリチウムの濃縮率が 9 程度 (元の試料の濃度に比べ、トリチウム濃度が 9 倍) になることも経験しているが、煩雑さを考慮して当初より両極を Ni 電極とした電気分解を実施してきた。これまで実施してきた一連の電解濃縮法による濃縮率は 6~7 程度を達成している。

2・5 固体高分子電解質膜を用いたトリチウムの電解濃縮

固体高分子電解質膜 (solid polymer electrolyte, SPE) を用いた電解濃縮法は、2・4 に記載した方法とともに既知の方法⁷⁾で、現在ではトリチウム電解濃縮装置として市販品もあり、必要に応じて利用できる。

SPE は陽イオン交換樹脂の一種であり、高分子鎖にイオン伝導を担う化学結合したスルホン酸基などを有する。SPE 膜の両側を多孔質の金属電極で挟み、電極に通電することで電気分解が行われる。装置の原理や構造は文献¹¹⁾のとおりで、基本的原理としては金属電極を用いた電解濃縮法と同様である。この装置の主な利点は、水素ガスと酸素ガスが SPE 膜の両側から分離状態で発生できること、通電中 SPE 膜は露出しないため、細かな電流値の調整が不要であること、そして金属電極を用いた電解濃縮法では必須の電解質 (Na₂O₂ など) の添加を必要とせず、その後の中和や精製処理も不要になるなど作業の簡略化が期待できることである。

一方、装置の構造上、同時に複数試料の処理ができないことや、試料水を入れるリザーバ容器や SPE 膜の洗浄に多量の BG 水を要するなどの難点もある。例えば、トリチウム標準溶液や比較的高い濃度の試料水を電解濃縮した後には、純水等 (トリチウムとして 1 Bq/L 以下) を用い、1 A 程度の小電流で 48 時間程度 SPE 膜に通電するなど、いわゆるメモリ効果を除去する必要がある¹²⁾。

なお、海生研では 2021 年度中盤から同装置の運用を開始しており、約 3 日間かけて約 1 L 試料水を約 55 mL まで減容した場合の濃縮率は 10 程度となる。

2・6 測定用試料の調製

電解濃縮後の試料水は、水素の添加を避けるように塩化鉛（II）を少量加えて中和する。次いで、常圧蒸留・精製して液体シンチレータと混合させLSCによる β 線計測を行うための測定用試料の調製に供する。

液体シンチレータは、界面活性剤を含む親水性の乳化シンチレータ（キシレンなど）を溶媒とし、溶質として発光剤であるPPO（2,5-ジフェニルオキサゾール）や*bis*-MSB（1,4-ビス-(*o*)-メチルスチリルベンゼン）を主たる有機成分とするものが市販されている（例；Parkin-Elmer社製高引火点シンチレーションカクテル「Ultima Gold uLLT」）。測定用試料は、試料水50 mLと同量の液体シンチレータを混合してPFA製100 mL容器に定容して調製している（図1）。なお、近年では極めて低いトリチウムの β 線エネルギーに対応するため、計測上夾雑物となる ^{40}K を低減化した液体シンチレータやガラス容器などが製品化されている。

2・7 LSCによる β 線計測

LSCは β 線を直接計測するのではなく、 β 線とシンチレータとの相互作用で生じる微弱な蛍光を光電子増倍管を経て生じた電気パルスとして計測する機器で、上述のPFA製100 mL容器でのトリチウムの計数効率は30%程度と比較的高い。

測定用試料を調製した直後に計測を開始すると、ほとんどの場合「高め」の値になる。この一因として、測定環境に存在するラドンとその子孫核種からの α 線や β 線、測定用試料調製時の化学疑似発光（ケミカルルミネセンス）、そして試料容器への帯電が挙げられる⁷⁾。特にフッ素樹脂製品は有機溶媒の浸透蒸発を防止できるが、経験上ではあるが帯電しやすいようである。

これら要因への対処法として、調製した測定用試料を「一週間程度冷暗所で静置すること」が必要で、この静置は実際上省略できない。この静置期間が十分でない場合、疑似発光により計数値がほぼ高めとなり、実際のよりも高い定量結果となる。

これとは逆に「低め」の結果を得る要因の一つとして、クエンチング（消光現象）があり、主に共存する化学種に帰する化学クエンチングや溶媒の着色に帰する色クエンチングがある。いずれも本来計数すべきトリチウムからの β 線による発光エネルギー領域をずらす要因となり、エネルギースペクトルを変位させ、計数効率の低下を招く。なお、この事象に対しては試料水の適切な精製前処理と共に、測定用試料のクエンチングの程度を標準試料との比較による補正で克服でき、分析をやり直すことなく正確な計数値を得ることができる⁷⁾。

LSCによる β 線の計測時間は、国の方法⁷⁾では目安として「500分」が例示され、複数の試料を測定している時間中に起こるBG計数率の変化を考慮して「500

分×1回」ではなく、「50分×10回」の計測結果から計数率（通常1分当たりの計数（cpm））を求めることが推奨されている。海生研では、事前に計数時間等を検討して「50分×15回程度」とし、初回を除く2回目以降の14回程度の結果について棄却検定の対象としている。

計数時の検出下限値については、計算上、バックグラウンド計数率、測定供試量、計測時間及び計数効率から得ることが一般的である⁷⁾。海生研で実施した事例では、電解濃縮法で供試量約600 mL、500分（50分×10回）計測した年間約100試料の実測において、試料ごとに若干の差が生じるものの、計算上の定量下限値は0.04～0.05 Bq/L程度であった¹³⁾。

2・8 分析に係る技能試験の結果

国際原子力機関（International Atomic Energy Agency, IAEA）が中心となり様々な環境試料中放射能を対象に国際的規模で分析機関間比較（Inter-Laboratory Comparison, ILC）や技能試験（Proficiency Test, PT）が実施されてきた¹⁴⁾¹⁵⁾。これら比較・試験について、海生研も積極的に参加し、昨今、本稿記述の方法によるトリチウムに加え、 ^{134}Cs と ^{137}Cs について、2015～2019年のILCとPTで良好な結果を得たことをまとめた¹⁶⁾。さらに直近の2021年にもILCとPTが実施され、トリチウム、 ^{134}Cs 及び ^{137}Cs に対して合格とされる「Accepted」の評価を受けた。

3 海水中トリチウムの濃度変遷（青森・岩手県沖太平洋の例）

一般環境に存在するトリチウムは極めて量が少なく容易に検出できない。なかでも海水中のトリチウムは、通常、降水や河川水よりも濃度が低い。この理由の一つとして、降水、河川水、海水の「量」に帰するもので、環境に付加されてから均質になるまでに時間を要するが、同時にトリチウム自身の物理壊変により減少するため、降水直後や河口近くの表層海水などは別として、海水のトリチウム濃度は降水→河川水の濃度変化に追いつけず、低い濃度を維持するとされる¹⁷⁾。

日本周辺海域のトリチウムについて、国が主導した調査研究の一環として、1970～1980年にかけて科学技術庁放射線医学総合研究所（現国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構）により、原子力施設に面する海域での調査が実施された。また、1975年以降には原子力発電所立地道県を中心に、当該自治体により表層海水を対象に調査が実施されてきた。さらに、1991年以降、海生研により国の委託事業の一環で、主に青森・岩手県の太平洋側の核燃料（原子燃料）サイクル施設沖合海域（以下、「核燃海域」という。）での調査が実施されてきた。これらの結果は調査報告書に集約され、併せて国所

1991（平成3）年度から測点「1～16」で調査を開始。2007（平成19）年度に測点「17～22」を追加し、現在の測点「1～22」までの22測点で継続した調査を実施している（右図→）。

海水に含まれるトリチウムの濃度は調査開始時期から年々減少傾向があり、また、表層よりも下層のほうが低い傾向にある（下図↓）。

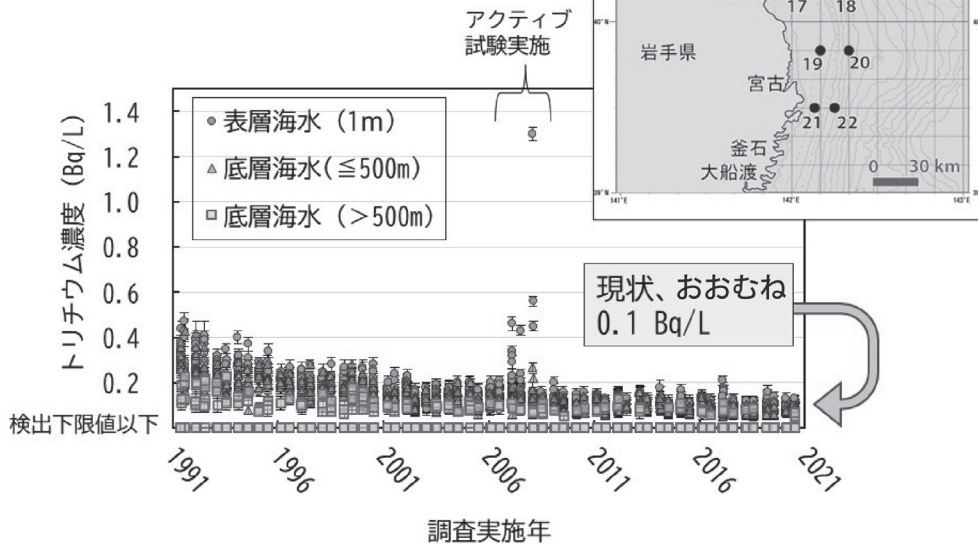


図3 核燃海域（青森・岩手県の太平洋側沖合）で採取した海水に含まれるトリチウム濃度の経年変化（文献13）及び19）を基に改編。

管のデータベース¹⁸⁾へ登録されている。

昨今、海生研では一連の調査結果を基に、核燃海域におけるトリチウム濃度の変遷を取りまとめた¹⁹⁾。この一部成果から、調査を開始した1991年の表層水と底層水の濃度は0.47及び0.43 Bq/Lであったが、2019年には0.13及び0.11 Bq/Lとなり全体を俯瞰して減少傾向にあることを確認している（図3）。

2007～2008年には日本原燃(株)核燃料再処理工場（青森県六ヶ所村）で、使用済核燃料を用いたアクティブ試験が実施され、同年中3か月間にPBq（ペタ Bq：1000兆 Bq）オーダーのトリチウムを含む液体廃棄物が管理排出された。同年にはこれら排出に帰すると思われる一時的な濃度上昇が見られ、表層水（1.3 Bq/L）及び底層水（0.27 Bq/L）で最大濃度を観測した。この試験後には同工場から管理排出されたトリチウムは3か月間でGBq（ギガ Bq：10億 Bq）～TBq（テラ Bq：1兆 Bq）程度まで減少し、表層海水のトリチウム濃度は2009年までに同試験前の水準に減少していた（図3）。

また、2011年3月に発生した東電福島第一原発事故で環境中に放出されたトリチウムの総量は約1.6 PBqと推定されている²⁰⁾。しかし、当該原発から数km以遠ともなれば経年変化で有意なトリチウム濃度の上昇は確認されていない。その後に海生研で分析を実施した福島県

沿岸沖合を含む全国規模の調査結果¹³⁾も踏まえると、2022年時点において日本周辺で採取した海水のトリチウム濃度には地域差はほぼなく、表層水では「おおむね0.1 Bq/Lの濃度で、約20%の計数誤差が付く」結果を得ている¹³⁾。

なお、0.1 Bqのトリチウムは約 2.8×10^{-16} gに相当し、量としては極めて少ないが、分析結果が社会に与える影響は計り知れず、今後更なる精進を期するところである。放射能分析に係る基礎的事項は文献²¹⁾を併せて参照いただくこととし、本稿がトリチウム分析等の理解の一助となれば幸いである。

謝辞 一連の業務では大型調査船等の運用や放射能分析の実施・検討に携わった皆様の多大なご尽力を賜りました。本稿には原子力規制委員会原子力規制庁からの委託事業成果の一部を含み、検討実験等に尽力いただいた村上優雅、早野和彦、島袋舞の各氏、原稿作成にご助言を賜った宮本霧子博士と山田正俊博士に感謝申し上げます。また、本稿執筆の機会をいただいた公益社団法人日本分析化学会機関誌「ぶんせき」編集委員会の皆様に感謝申し上げます。

文 献

- 1) 鳥養祐二：“環境トリチウムについて”，ALPS処理水に係る海域モニタリング専門家会議（第1回）・海域環境の監

- 視測定タスクフォース（第1回）合同会議資料4, 環境省（令和3年6月18日開催）。<https://www.env.go.jp/water/shorisui/committee/2021_06.html>, (accessed 2022. 5. 20).
- 2) 百島則幸：プラズマ・核融合学会誌, **85**, 421 (2009).
 - 3) 宇田達彦, 田中将裕：プラズマ・核融合学会誌, **85**, 423 (2009).
 - 4) 徳山秀樹, 吉田暁美：Radioisotopes, **47**, 560 (1998).
 - 5) 首相官邸：“廃炉・汚染水・処理水対策関係閣僚等会議（第5回）（令和3年4月13日開催），資料1”，<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/hairo_osensui/dai5/index.html>, (accessed 2022. 5. 20).
 - 6) 宮本霧子：海洋生物環境研究所研究報告, **27**, 71 (2022).
 - 7) 文部科学省：放射能測定法シリーズ9「トリチウム分析法」（平成14年改訂），(2002).
 - 8) 玉利俊哉, 島長義, 百島則幸：保健物理, **55**, 136 (2020).
 - 9) 井上睦夫：ぶんせき (Bunseki), **2019**, 154.
 - 10) 柿内秀樹：プラズマ・核融合学会誌, **92**, 26 (2016).
 - 11) 斎藤正明, 高田茂, 島宗孝之, 錦善則, 清水秀人, 林貴信：Radioisotopes, **45**, 285 (1996).
 - 12) 斎藤正明, 磯貝啓介, 佐藤兼章, 今泉洋：Radioisotopes, **49**, 333 (2000).
 - 13) 公益財団法人海洋生物環境研究所：令和2年度原子力施設等防災対策等委託費（海洋環境における放射能調査及び総合評価）事業調査報告書（令和3年3月）。<<https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/16000/15909/view.html>>, (accessed 2022. 5. 20).
 - 14) IAEA：IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series, No. 10 (2010).
 - 15) IAEA：IAEA Analytical Quality in Nuclear Applications Series, No. 13 (2010).
 - 16) 城谷勇陸, 津吹忠弘, 岸田智穂, 工藤なつみ, 村上優雅, 及川真司：海洋生物環境研究所研究報告, **26**, 69 (2021).
 - 17) 宮本霧子：特別寄稿“環境水の中のトリチウム”，海生研ニュース No. 99, 2008年7月。<<https://www.kaiseiken.or.jp/publish/news/lib/news99.pdf>>, (accessed 2022. 5. 20).
 - 18) 原子力規制庁：“環境放射線データベース”，<<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>>, (accessed 2022. 5. 20).
 - 19) Y. Shirovani, N. Inatomi, K. Miyamoto, M. Yamada, M. Kusakabe：Fusion Eng. Des., **172**, 112738 (2021).

- 20) K. Nishihara, I. Yamagishi, K. Yasuda, K. Ishimori, K. Tanaka, T. Kuno, S. Inada, Y. Gotoh：J. Nucl. Sci. Technol., **52**, 301 (2015).
- 21) 公益財団法人海洋生物環境研究所ホームページ：“海洋環境放射能の解説資料”，<<https://www.kaiseiken.or.jp/radionuclide/index2.html>>, (accessed 2022. 5. 20).



城谷 勇陸 (Yuhei SHIROVANI)

公益財団法人海洋生物環境研究所中央研究所（〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地）。金沢大学大学院自然科学研究科物質化学専攻（博士前期課程）修了。修士（理学）。《現在の研究テーマ》原子力発電所周辺海域の海水中の³H放射能濃度に係る調査研究。《趣味》サッカー。E-mail: shirovani@kaiseiken.or.jp



神林 翔太 (Shota KAMBAYASHI)

公益財団法人海洋生物環境研究所中央研究所（〒299-5105 千葉県夷隅郡御宿町岩和田300番地）。富山大学大学院理工学教育部地球生命環境科学専攻修了。博士（理学）。《現在の研究テーマ》海洋中の微量元素や放射性核種の動態・物質循環に関する調査研究。E-mail: kambayashi@kaiseiken.or.jp



及川 真司 (Shinji OIKAWA)

海洋エンジニアリング株式会社技術部（出向元：公益財団法人海洋生物環境研究所）（〒110-0016 東京都台東区台東4丁目28番11号（6階））。神奈川大学理学部非常勤講師。金沢大学大学院自然科学研究科物質化学専攻（博士後期課程）修了。博士（理学），技術士（原子力・放射線部門/放射線防護）。《現在の研究テーマ》環境放射能分析・放射化学。《主な著書》日本放射化学会編：“環境放射能測定法，放射化学の事典”（分担執筆），（朝倉書店）（2014）。E-mail: oikawa@kaiseiken.or.jp

原稿募集

トピックス欄の原稿を募集しています

内容：読者の関心をひくような新しい分析化学・分析技術の研究を短くまとめたもの。

執筆上の注意：1) 1000字以内（図は1枚500字に換算）とする。2) 新分析法の説明には簡単な原理図などを積極的に採り入れる。3) 中心となる文献は原則として2年以内のものとし，出所を明記する。

なお，執筆者自身の文献を主として紹介すること

とは御遠慮ください。又，二重投稿は避けてください。

◇採用の可否は編集委員会にご一任ください。原稿の送付および問い合わせは下記へお願いします。

〒141-0031 東京都品川区西五反田1-26-2
五反田サンハイツ 304号

(公社)日本分析化学会「ぶんせき」編集委員会
[E-mail: bunseki@jsac.or.jp]