

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：82706

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04245

研究課題名(和文)放射性セシウムと放射性ストロンチウムを用いた日本海の底層水循環に関する研究

研究課題名(英文) Study on bottom water circulation in the Japan Sea by means of radiocesium and radiostrontium

研究代表者

熊本 雄一郎 (Kumamoto, Yuichiro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地球環境部門(海洋観測研究センター)・主任研究員

研究者番号：70359157

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：日本海の底層水循環を議論するために、大気中核実験起源Cs-137とSr-90濃度を2018年と2019年に日本海において測定した。過去の観測データによると、2001年の新たな底層水の沈み込みにより、2500m以深の底層水中Cs-137とSr-90濃度は有意に上昇した。一方、2011年の福島第一原子力発電所事故後には、Sr-90濃度は変化しないにも関わらずCs-137は濃度上昇した。本研究で得られたCs-137濃度から、2011年以降に報告されているCs-137の分析法に問題があったことが示唆された。また本研究で得られたSr-90濃度から、2001年に沈み込んだ底層水量が初めて定量化された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、化学トレーサであるCs-137とSr-90を利用して、2001年に発生した底層水形成量を定量化することに初めて成功した。日本海を含む日本周辺海域は過去100年間の表面水温上昇が著しい海域のひとつであり、今後表面水温上昇のさらなる加速が懸念されている。閉鎖性の強い日本海は、底層水を含む深層水の形成、すなわち深層水のベンチレーション(換気)の変動がその環境に大きく影響を与える。深層水中の溶存酸素濃度の減少傾向が継続すれば、それが完全に枯渇する前であっても、生物活動に影響を与え始めると予想されている。本研究で得られた結果は、関連する将来の温暖化予測研究に資することが期待される。

研究成果の概要(英文)：To discuss the bottom water circulation in the Japan Sea, concentrations of Cs-137 and Sr-90 released by the nuclear weapon testing in atmospheric were measured in the Japan Sea in 2018 and 2019. According to the historical observational data, the concentrations of Cs-137 and Sr-90 in the bottom water deeper than 2500 m depth significantly increased due to the subduction of new bottom water in 2001. On the other hand, after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident in 2011, Cs-137 concentration increased while Sr-90 concentration did not change. The Cs-137 concentrations obtained in this study suggest that there were problems with the analytical methods for Cs-137 reported after 2011. From the Sr-90 concentrations obtained in this study, the amount of bottom water formation in 2001 was estimated for the first time.

研究分野：化学海洋学

キーワード：日本海 セシウム137 ストロンチウム90 底層水 大気中核実験 福島第一原子力発電所事故

1. 研究開始当初の背景

近年、地球温暖化に起因すると考えられる変化が海洋環境においても検出されている。モデル計算によって予測された表面水温の上昇に伴う海洋鉛直循環の弱化和深層水の昇温は、実際の観測によっても三大洋で確認されている (Kouketsu et al., 2011)。日本海は水深 150m 以浅の 4 つの海峡によって周辺海域と隔てられた閉鎖性縁辺海であるが (図 1)、その深層水は周辺海域に比べて低温かつ溶存酸素濃度が高いことがすでに 1930 年代の観測によって明らかにされている。この結果は酸素を多く含んだ表面水が冬季の季節風によって冷却され深層まで沈み込む、という大洋型の鉛直循環が日本海で起きていることを示唆している (須田, 1932)。一方で 1960 年代以降の精密な海洋観測によって、数十年という時間スケールで 2500m 以深の日本海底層水の水温が上昇し、溶存酸素濃度が減少していることが発見された (Gamo et al., 1986、図 2)。これらは日本海北部の温暖化によって底層水の形成が停滞し、表層からの酸素供給量が底層における有機物分解によるその消費量を下回ったことが原因であると推定された。しかし底層水形成を実際に観測した例は無く、その定量的な議論は困難であった。2001 年冬、多くの研究者によって西部日本海盆ウラジオストク沖における底層水形成が初めて観測され (例えば Senju et al., 2002)、日本海盆と大和海盆では底層水中の溶存酸素濃度が増加したことが明らかになった (熊本, 2010、図 2)。酸素は有機物の分解によって消費されるため、その濃度変化だけから底層水形成を定量的に議論することはできない。一方、生物化学的な要因による影響が小さい化学トレーサ濃度の変化を把握することで、2001 年の底層水形成量を見積もることが可能となる。

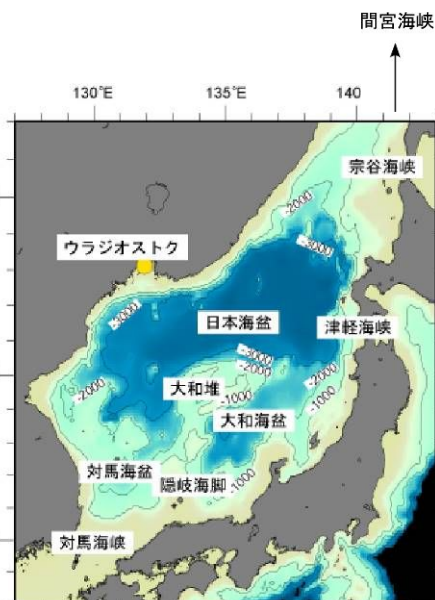
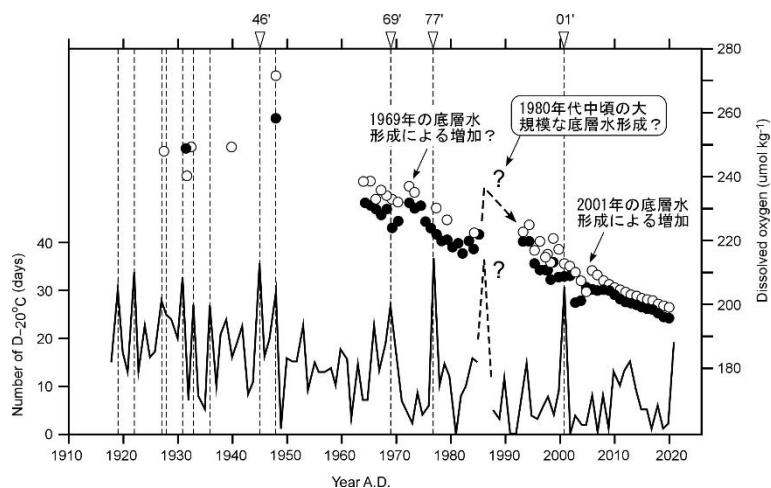


図 1 日本海の地形と海域名

主に 1950-60 年代に実施された核実験によって大気中に放出され海洋表面に沈着・溶解した放射性セシウム (^{137}Cs) と放射性ストロンチウム (^{90}Sr) は、深さ 2500m 以深の日本海底層水中でも検出されている。このことは、過去約 60 年間に表面水の沈み込み (底層水形成) によって、表面水中の ^{137}Cs と ^{90}Sr が底層に運ばれたことを示している。 ^{137}Cs と ^{90}Sr は生物化学的な要因によるその濃度変化が小さいため、それらの増加量から底層水の形成量を求めることが可能となる。それらを利用して 2001 年冬季の底層水形成量を定量できれば、その前後の溶存酸素濃度の変化と組み合わせることで底層水における有機物分解 (生物化学的影響) による酸素消費速度を求めることができる。最終的に、その真の酸素消費速度と過去の溶存酸素濃度の見かけの減少速度 (図 2) から、過去に遡って表層からの酸素の供給速度、すなわち底層水形成率の変化を定量的に議論することが可能となる。

図 2 日本海東部日本海盆 (○) および大和海盆 (●) における深度 2500m 以深の底層水中溶存酸素濃度 ($\mu\text{mol kg}^{-1}$) の経時変化 (右目盛)。実線はロシア・ウラジオストク市において、日最低気温がマイナス 20 以下だった積算日数/年 (左目盛) を示す。破線は、その積算日数が 25 日を超えた厳冬期を示す。1950 年年代以降厳冬期がそれ以前に比べて減っているのは、温暖化の影響と考えられる。2001 年と同様に 1977 年と 1969 年にも、ウラジオストク沖で新たな底層水が形成された可能性がある。



2. 研究の目的

本研究は 2001 年冬季の底層水形成量を見積もることを目的とするため、1993 年以降の ^{137}Cs と ^{90}Sr の観測データを議論する。1993 年以降は比較的多くのデータがすでに報告されている。1993 年～2005 年までのデータは、国際原子力機関の The Marine Information System (MARiS) から引用した。MARiS には 2006 年以降のデータが登録されていなかったため、1999～2017 年のデータを海上保安庁による「放射能調査報告書」から別途引用した。放射壊変による減少を

1993年1月1日に補正した表面水中濃度は、 ^{137}Cs と ^{90}Sr ともに減少傾向が認められた。これは主に1950-60年代に海洋表面に沈着・溶解したものが、海水混合によって徐々に希釈されたことを示している。2011年以降、福島第一原子力発電所事故によって放出された ^{137}Cs により表面水中 ^{137}Cs 濃度は増加に転じた一方で(Takata et al., 2018)、 ^{90}Sr はそれ以前の減少傾向が継続している。これは福島原発事故由来の ^{90}Sr が、同 ^{137}Cs に比べて1/40程度と少なかったことで説明される(Casacuberta et al., 2013)。一方底層水においては、新たな表面水の沈み込み(底層水形成)が起きた2001年以降両者の濃度が増加したことが明らかになった。さらに2011年の福島第一原発事故後にも、 ^{137}Cs 濃度が増加している。このことは、2011年以降も底層水の形成が起きたことを示唆している。しかし新しい底層水が形成されたとすると、 ^{90}Sr 濃度は変化していないこと、 $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比が表面水中のそれらよりも高いことは不自然である。また気象庁による日本海の海洋観測データ(溶存酸素、水温など)からは、2011年以降の底層水形成は示唆されていない。したがって、2011年以降の底層水中 ^{137}Cs 濃度の増加は、海上保安庁による ^{137}Cs データの分析上の問題(例えば福島第一原発事故による試薬または分析機器の汚染)に起因する可能性も否定できない。その場合、 ^{90}Sr 濃度の時間変化が示唆するように、2001年の底層水形成を最後に、それ以降は新たな底層水は形成されていないと解釈される。本研究では海洋観測によって海水試料を採取し、日本海日本海盆と大和海盆において ^{137}Cs と ^{90}Sr 濃度の表面から海底までの鉛直分布を測定する。新たに得られるデータと過去データを統合することで、1993年以降のそれらの底層水中濃度の時間変化を修正・確定させ、その期間の底層水形成イベントを議論する。最終的に ^{137}Cs と ^{90}Sr 濃度の変化から、2001年冬季の底層水形成量を定量化する。

3. 研究の方法

(1) 海水試料の採取

2019年7月9日から18日に実施された北海道大学水産学部附属練習船「おしよる丸」第73-3次航海に乗船し、日本海日本海盆の1観測点(Station GM1、北緯41度21分、東経137度20分、水深3630m)において、表面(4m)、100m、500m、1000m、2000m、3000m、3620mの7層で海水試料を採取した。また、2019年10月7日から10日に実施された長崎大学水産部附属練習船「長崎丸」第40-2次航海に乗船し、日本海大和海盆の1観測点(Station PM5、北緯37度42分、東経134度43分、水深2910m)において、表面(4m)、100m、500m、1000m、2000m、2500m、2910mの7層で海水試料を採取した。2020および2021年度に計画していた日本海における海水試料の採取は、新型コロナ禍の影響で実施することができなかった。そこで、2018年10月の「長崎丸」第17次航海において、日本海大和海盆の同じくStation PM5で採取した海水試料(10m、100m、300m、500m、750m、990m、1380m、1780m、2170m、2560m、2760m、2915mの12層)を ^{137}Cs の分析に供することで、2019年の観測結果を補足した(^{90}Sr は測定せず)。

(2) 海水試料の分析

実験室に持ち返った海水試料中(各20~40リットル)の ^{137}Cs を、リンモリブデン酸アンモニウム(AMP)を使って濃縮した(Aoyama and Hirose, 2008)。担体として海水試料に加えて安定セシウム濃度のICP-MSを使った測定結果から、AMPによる放射性セシウムの回収率は約95%と見積もられた。AMPに濃縮された ^{137}Cs 濃度は、金沢大学環日本海域環境研究センターの低バックグランドゲルマニウム半導体検出器を用いて測定した(Hamajima and Komura, 2004)。一方、 ^{137}Cs を濃縮し終わった後の残留海水中の ^{90}Sr を、シュウ酸塩共沈法によって濃縮した。その後、 ^{90}Sr と放射平衡になった ^{90}Y を吸着樹脂(DGA Resin)を用いて単離した。ベータ線計測器で測定されたその濃度から、間接的に ^{90}Sr の濃度を決定した(Tazoe et al., 2016)。なお、海水試料はろ過処理をしていないため、得られた濃度は厳密には溶存態と粒子態の合計濃度であるが、後者の濃度は無視できるくらい低いことが確認されている。

4. 研究成果

(1) 結果

図3に、2018年及び2019年に日本海日本海盆及び大和海盆で観測された、 ^{137}Cs (Bq m^{-3})および ^{90}Sr (Bq m^{-3})の鉛直分布を示す。それぞれの濃度は現場で測定された濃度ではなく、後で議論するように過去データと直接比較できるように、1993年1月1日に放射壊変分を補正してある。 ^{137}Cs および ^{90}Sr ともに表面水で濃度が高く、深度が深くなるにつれて減少する傾向が

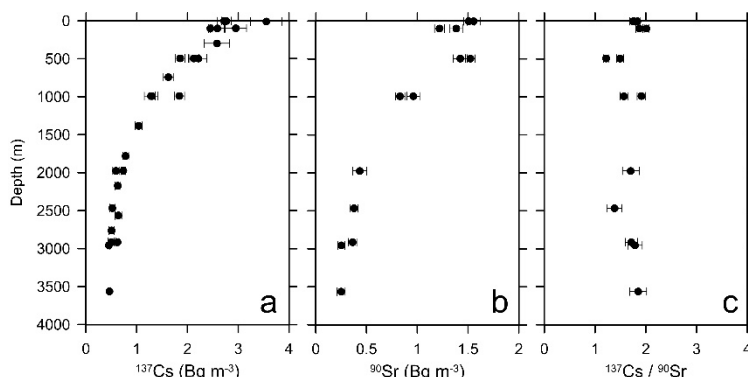


図3 2018年および2019年に、日本海日本海盆および大和海盆において観測された ^{137}Cs (a)と ^{90}Sr (b)の鉛直分布(Bq m^{-3})。濃度は、1993年1月1日に放射壊変補正されている。(c)は、両者の比を示す。

認められる。これは、大気中核実験に由来する ^{137}Cs および ^{90}Sr が大気から海洋表面に移行後、移流と拡散により徐々に海洋内部へ広がっていることによる。深度 2500m 以深の日本海底層水中の平均濃度は、 ^{137}Cs が $0.53 \pm 0.11 \text{ Bq m}^{-3}$ 、 ^{90}Sr が $0.31 \pm 0.07 \text{ Bq m}^{-3}$ であった。また両者の比 ($^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$) は、表面水から底層水に至るまで約 1.5 ~ 2.0 の範囲に収まっており、鉛直的に有意な変動は見られなかった。このことは、日本海における ^{137}Cs および ^{90}Sr が同じ起源、すなわち 1950 年代および 1960 年代を中心とした大気中核実験に由来するものであることを示唆している。

(2) 考察

図 4 に、過去日本海底層水 (2500m 以深) で測定された ^{137}Cs および ^{90}Sr の濃度 (Bq m^{-3}) の時間変化を示す。先に述べたように、底層水においては 2001 年の新たな底層水の沈み込みによって、 ^{137}Cs および ^{90}Sr とともに濃度が上昇したことが確認されている。また ^{137}Cs 濃度は、2011 年の福島第一原発事故後にも上昇したことが報告されている (図 4 a)。しかしながら、本研究で得られた 2018 年および 2019 年の底層水中の平均濃度 (それぞれ $0.55 \pm 0.08 \text{ Bq m}^{-3}$ と $0.51 \pm 0.08 \text{ Bq m}^{-3}$) は、2011 年以前の濃度と比べて有意な差が見られなかった。このことは、報告されている 2011 年以降の日本海底層水中 ^{137}Cs 濃度の上昇は、分析上の問題 (例えば福島第一原発事故による試薬または分析機器の汚染) に起因する可能性が高いことを示唆している。一方、2019 年の ^{90}Sr 濃度の平均値は、2001 年以降に報告されている濃度範囲の中におさまっている (図 4 b)。また 2018/2019 年の $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比の平均 (1.68 ± 0.21) も、2011 年以前の値とよく一致している (図 4 c)。本研究で新たに得られた ^{137}Cs および ^{90}Sr 濃度の観測データは、2001 年の底層水形成を最後にそれ以降は新たな日本海底層水は形成されていないことが強く示唆する結果となった。

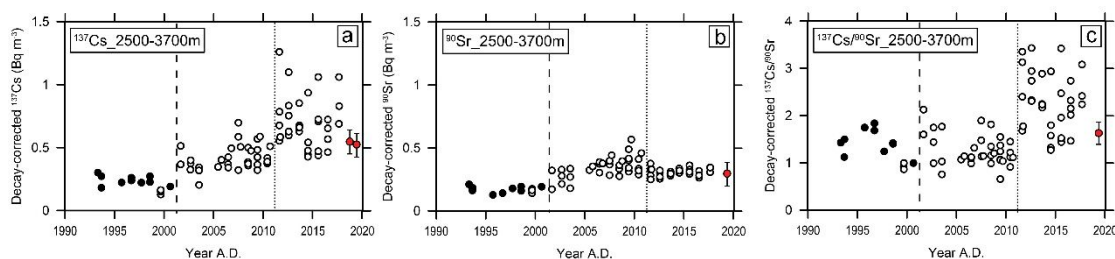


図 4 日本海底層水 (2500m 以深) の ^{137}Cs (a) と ^{90}Sr (b) の濃度 (Bq m^{-3}) および $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ 比 (c) の時間変化。それぞれの濃度は 1993 年 1 月 1 日に放射壊変補正されている。黒丸は MARiS、白丸は海上保安庁、赤丸は本研究で得られたデータを示す。破線は 2001 年の底層水形成、点線は 2011 年の福島第一原子力発電所事故の時期を示す。

観測された ^{90}Sr の濃度変化の幅は ^{137}Cs のそれに比べて小さく、そのデータを利用した計算誤差は相対的に小さいことが期待される。そこで ^{90}Sr の 2001 年の底層水形成イベント前後の濃度変化 (増加) から、2001 年に沈み込んだ底層水の量を見積もった。 ^{90}Sr の 2001 年前後の平均濃度差は、約 0.2 Bq m^{-3} である (図 4 b)。この濃度増加と 2001 年の表面水中濃度及び底層水中濃度から、2001 年のイベント時の底層水形成量は約 $3.5 \times 10^{13} \text{ m}^3$ と計算された。この量は、日本海底層水の体積の約 9% に相当する。また、この値は核実験起源炭素 14 濃度の増加量から推定された、1977 年の底層水形成イベント時の底層水形成量約 $6 \times 10^{13} \text{ m}^3$ (熊本, 2010) よりも約 40% 少ない (図 2)。このことは、1977 年の底層水形成に比べて 2001 年のその規模が小さかったことを示している。この底層水形成量の減少は、日本海北部の温暖化が要因かもしれない。また、2001 年の底層水形成によって底層水中の溶存酸素濃度は、約 $8 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 上昇したと計算される。この推定された濃度上昇は、実際に底層水中で観測された濃度上昇に近い (図 2)。日本海底層水中の真の溶存酸素消費速度が約 $0.8 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (熊本, 2010) であるならば、2001 年と同規模の底層水の形成が 10 年に一度の頻度で発生すれば、単純計算で溶存酸素濃度は一定に保たれることになる。

(3) 結論

日本海における底層水を含む深層水中の溶存酸素濃度の減少傾向は、現在も継続している。底層水中溶存酸素濃度は、過去 100 年間に $50 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 以上低下しているが (図 2)、これは新たな底層水形成による表面水からの溶存酸素の供給の影響を受けているため、見かけの消費速度である。有機物分解のために単位時間あたりに消費される溶存酸素濃度、すなわち真の溶存酸素消費速度の時空間変動の把握には、日本海底層水全体の溶存酸素濃度の時空間変動が必要とされるが、そのための観測データは十分ではない。2001 年の底層水形成を最後に、過去 20 年間に新たに底層水が形成されたことを示す観測データは報告されていない。この間に底層水形成による攪乱が無かったと仮定できるのであれば、2003 年以降の溶存酸素の減少速度 (約 $0.8 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) は、真の溶存酸素消費速度と見なすことができる。今後、底層水の形成が完全に停止するならば、単純計算 ($200 \mu\text{mol kg}^{-1} / 0.8 \mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) で約 250 年後には、底層水は無酸素化することになる (熊本, 2021)。2001 年の底層水形成によって底層水中溶存酸素濃度は約 $8 \mu\text{mol kg}^{-1}$ 上昇したと推定された。したがって、2001 年と同規模の底層水形成が 10 年に一度の頻

度で発生すれば、底層水中溶存酸素濃度は一定に保たれることになる。ウラジオストク市の記録からは、2020～2021年の冬季は1977年と2001年に匹敵する厳冬であったことが示されている(図2)。もしも2021年に約10年ぶりに新たな底層水が形成されたのであれば、今後日本海底層水中の溶存酸素と¹³⁷Csおよび⁹⁰Srなどの化学トレーサ濃度がどのように変化するのか、今後の観測研究の成果にも注目する必要がある。

<引用文献>

- Aoyama, M., Hirose, K., 2008. Radiometric determination of anthropogenic radionuclides in seawater, in: Povinec P.P. (Eds), Analysis of Environmental Radionuclides, Radioactivity in the Environment, vol. 2. Elsevier, Amsterdam, London, pp. 137-162.
- Casacuberta, N, P. Masque, J. Garcia-Orellana, R. Garcia-Tenorio, K.O. Buesseler (2013) ⁹⁰Sr and ⁸⁹Sr in seawater off Japan as a consequence of the Fukushima Dai-ichi nuclear accident, Biogeosciences 10, 3649-3659.
- Gamo, T., Y. Nozaki, H. Sakai, T. Nakai, H. Tsubota (1986) Spacial and temporal variations of water characteristics in the Japan Sea bottom layer. J. Mar. Res. 44, 781-793.
- Hamajima, Y., Komura, K., 2004. Background components of Ge detectors in Ogoya underground laboratory. Appl. Radiat. Isot. 61, 179-183.
- Kouketsu, S., T. Doi, T. Kawano, S. Masuda, N. Sugiura, Y. Sasaki, T. Toyoda, H. Igarashi, Y. Kawai, K. Katsumata, H. Uchida, M. Fukasawa, T. Awaji (2011) Deep ocean heat content changes estimated from observation and reanalysis product and their influence on sea level change. J. Geophys. Res. 116, C03012, doi:10.1029/2010JC006464.
- 熊本雄一郎 (2010) 生物地球化学から見た日本海底層水の時空間変動, 月刊海洋 42, 51-57.
- 熊本雄一郎 (2021) 日本海底層水中の溶存酸素濃度の時間変動, 月刊海洋 53, 343-350.
- Senjyu, T., T. Aramaki, S. Ootosaka, O. Togawa, M. Danchenkov, E. Karasev, Y. Volkov (2002) Renewal of the bottom water after the winter 2000-2001 may spin-up the thermohaline circulation in the Japan Sea. Geophys. Res. Lett. 29, 1149, doi:10.1029/2001GL014093.
- 須田皖次 (1932) 日本海の底層水に就いて (予報). 海洋時報 4, 211-240.
- Takata, H., M. Kusakabe, N. Inatomi, T. Ikenoue (2018) Appearances of Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant-derived ¹³⁷Cs in coastal waters around Japan: results from marine monitoring off nuclear power plants and facilities, 1983-2016. Environ. Sci. Technol. 52, 2629-2637.
- Tazoe, H., H. Obata, T. Yamagata, Z. Karube, H. Nagai, M. Yamada (2016) Determination of strontium-90 from direct separation of yttrium-90 by solid phase extraction using DGA Resin for seawater monitoring, Talanta 152, 219-227.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 熊本雄一郎	4. 巻 53
2. 論文標題 日本海底層水中の溶存酸素濃度の時間変動	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 343-350
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 千手智晴, 川口悠介	4. 巻 53
2. 論文標題 総論：日本海研究の最前線	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 339-342
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 酒井秋絵, 千手智晴	4. 巻 53
2. 論文標題 日本海長期観測定点PM5における深層流の特徴	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 月刊海洋	6. 最初と最後の頁 386-391
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Tomoharu Senjyu, Hong-Ryeol Shin	4. 巻 126
2. 論文標題 Flow intensification due to the superposition of near-inertial internal waves in the abyssal Yamato and Tsushima Basins of the Japan Sea (East Sea)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research, Oceans	6. 最初と最後の頁 1-24
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2020JC016647	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Tomoharu Senjyu	4. 巻 78
2. 論文標題 Deep current structure in the Toyama Deep-Sea Channel in the Japan Sea	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Oceanography	6. 最初と最後の頁 25-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10872-021-00622-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tomoharu Senjyu	4. 巻 8
2. 論文標題 Changes in mid-depth water mass ventilation in the Japan Sea deduced from long-term spatiotemporal variations of warming trends	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Marine Science	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fmars.2021.766042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirofumi Tazoe, Takeyasu Yamagata, Kazuki Tsujita, Hisao Nagai, Hajime Obata, Daisuke Tsumune, Jota Kanda, Masatoshi Yamada	4. 巻 16
2. 論文標題 Observation of dispersion in the Japanese coastal area of released 90Sr, 134Cs, and 137Cs from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant to the sea in 2013	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International journal of environmental research and public health	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph16214094	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hirofumi Tazoe, Yuto Tomisaka, Naofumi Akata, Ben Russell, Peter Ivanov, Masahiro Hosoda, Shinji Tokonami	4. 巻 11
2. 論文標題 Rapid chemical separation protocol for optimized 90Sr determination by ICP-MS in water samples for radiological incident	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Radiation Environment and Medicine	6. 最初と最後の頁 7-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.51083/radiatenvironmed.11.1_7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 熊本雄一郎, 田副博文, 浜島靖典, 井上睦夫, 千手智晴, 荒巻能史
2. 発表標題 日本海深層水中の放射性セシウム/ストロンチウム濃度の2000年代以降の変化
3. 学会等名 2020年度秋季日本海洋学会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoharu Senjyu, Hong-Ryeol Shin
2. 発表標題 Flow intensification by the superposition of near-inertial internal waves in the abyssal Japan Sea (East Sea)
3. 学会等名 Ocean Science Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千手智晴, 銭玉
2. 発表標題 Argoフロートデータにみられる日本海上部固有水の温暖化
3. 学会等名 日本海洋学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千手智晴
2. 発表標題 富山深海長谷内部の流れと海水特性
3. 学会等名 2021年度日本海洋学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田副博文
2. 発表標題 精密分析による化学トレーサーの探求と物質循環の研究
3. 学会等名 2021年度東北分析化学会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirofumi Tazoe
2. 発表標題 Method development of Sr-90 in aqueous samples by using ICP-mass spectrometry
3. 学会等名 1st TI-FRIS International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 田副博文, 富坂侑斗, 赤田尚史, 細田正洋, 床次眞司
2. 発表標題 原子力災害時に資する飲料水中の迅速ストロンチウム - 90 測定法の確立
3. 学会等名 第81回分析化学討論会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	千手 智晴 (Senjyu Tomoharu) (60335982)	九州大学・応用力学研究所・准教授 (17102)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	田副 博文 (Tazoe Hirofumi) (60447381)	弘前大学・被ばく医療総合研究所・准教授 (11101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関