



Title	「おしよろ丸」を利用した北太平洋表層における東京電力福島第一原子力発電所事故後の放射性セシウム濃度の継続的調査
Author(s)	今井, 圭理; 渡邊, 豊
Citation	北海道大学水産科学研究彙報, 65(2), 111-116
Issue Date	2015-08-20
DOI	https://doi.org/10.14943/bull.fish.65.2.111
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/59792
Type	departmental bulletin paper
File Information	bull.fish.65.2.111.pdf



「おしよ丸」を利用した北太平洋表層における東京電力福島第一原子力 発電所事故後の放射性セシウム濃度の継続的調査

今井 圭理¹⁾・渡邊 豊²⁾

(2015 年 4 月 24 日受付, 2015 年 5 月 19 日受理)

Time series of radioactive cesium concentration in the North Pacific surface water after the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident by using T/S “Oshoro-Maru” cruises

Keiri IMAI¹⁾ and Yutaka W. WATANABE²⁾

Abstract

Massive radioactive cesium was released to the North Pacific Ocean by the accident of the TEPCO Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant from March 2011. Using the T/S “Oshoro-Maru” cruise, we started monitoring the concentration of radioactive cesium (^{134}Cs and ^{137}Cs) in the North Pacific surface water from May 2011. Until December 2014, the samplings were carried out at 394 stations in the North Pacific Ocean including the Japan Sea and the Bering Sea. High concentration of radioactive cesium has been observed off Tohoku in 2011, and afterwards spread through the eastern side of the North Pacific by the Kuroshio Extension. In the most region, the radioactive cesium in the surface water reduced by less than the detection limit by the end of 2012. In order to clarify the spatiotemporal change of radioactive cesium in the ocean in future, the continuous monitoring by using the T/S “Oshoro-Maru” cruise would be useful.

Key words : Fukushima dai-ichi nuclear power plant accident, Radioactive cesium, Surface-seawater, North Pacific, T/S “Oshoro-Maru”

緒 言

2011 年 3 月 11 日、東北地方太平洋沖地震とそれに伴った大津波の影響で東京電力・福島第一原子力発電所において原子力事故が発生し、原子炉の崩壊および汚染水の意図的な放水によって、大量の放射性物質が大気および海洋へ放出された。この原子力発電所から直接海洋に流入したと推定される放射性セシウム量は、事故後から 2 ヶ月以内の間に、原子力発電所内部から高放射能汚染水として発電所専用港湾を経由して海洋に流出した部分が大半を占めると報告されている (Tsumune et al., 2013; Kanda, 2013; 神田, 2013)。また、多くの研究機関によって放射性物質による汚染状況を把握するために、海洋、大気および陸域の調査が行われ、放射性セシウムの測定がなされた (Honda et al., 2012; Aoyama et al., 2013a, b)。同時に数値シミュレーションを用いて、福島第一原子力発電所から大気および海洋へ放出された放射性物質の量や、その広がりが予測され (Takemura et al., 2011; Tsumune et al., 2013)。さらに、いくつかの調査および予測の結果、事故後 2 ヶ月間におけるセシウム 137 放出量は、大気へは 14-17

PBq、海洋へは 3.5 ± 0.7 PBq、そして日本の陸域へは 2.5 PBq と推定され、大気への放出量のうち 80% 程度が西部北太平洋へ降下したとしている (青山, 2014)。一方、陸域に放散した放射性物質は土壌や陸上生物に吸着するも、降雨によって河川を経由して海洋に流入する結果となることが示唆されている (山敷ら, 2013)。また、福島第一原子力発電所沖で漁獲される水産生物内の放射性物質調査では暫定規制値を超える高濃度の放射性物質が検出され、該当海域での水産生物および生息環境に大きな影響が確認されている (根本ら, 2012; Wada et al., 2013; Sohtome et al., 2014)。

海洋中の放射性物質の調査は福島第一原子力発電所専用港湾内およびその周辺海域では事故後集中的に行われ現在も継続されているが、北太平洋全域にまたがる継続的な調査は少ない。今回の福島第一原子力発電所の事故はこれまでに起きた原子力施設事故と比較すると、放射性物質の海洋への放出量が多かったことが特徴であり、さらに事故後、長期間に渡って放射性物質の海洋への流入が押さえられない現状を考慮すると、海洋における放射性物質のモニタリングは必要不可欠であるといえる。

¹⁾ 北海道大学水産学部附属練習船おしよ丸
(T/S Oshoro-Maru, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

²⁾ 北海道大学大学院地球環境科学研究院地球圏科学部門
(Division of Earth System Science, Graduate School of Environmental Earth Science, Hokkaido University)

北海道大学水産学部附属練習船「おしよ丸」は年間、長短はあるものの、10 航海程度の実習航海および研究航海を実施している。その航路は一定ではないが、2, 3 年間でベーリング海を含む北太平洋の広範囲を網羅している。このため、「おしよ丸」航海の航路上にて表面海水を採取し測定することができれば、放射性物質を日本沿岸から北太平洋の広い海域に渡って、継続的に監視することが出来る。そこで、我々は福島第一原子力発電所事故発生の約 2 ヶ月後からほぼすべての「おしよ丸」航海の航路上において適宜表面海水を採取し、陸上の実験室で分離濃縮操作の後、海水中のセシウム ^{134}Cs およびセシウム ^{137}Cs 濃度を測定し、その値を発信し続けている (HP: <http://geos.ees.hokudai.ac.jp/eesatom/index.html>)。本報ではこれらの蓄積したデータを用いて、北太平洋および日本沿岸域における放射性セシウムの経時的な濃度変化について評価を行った。

サンプリングおよび方法

2011 年 5 月から 2014 年 12 月の間に行われた北海道大学水産学部附属練習船「おしよ丸」航海を利用して、専用ポンプによって船上に汲み上げられた研究用海水を航海中適宜採取した。この間、のべ 501 層を採水し、そのうち、表層サンプルとして 394 点での採集を行った。「おしよ丸」の研究用海水の取水口は喫水線より約 5 m 下に設けられている。海水は 1L デュラン瓶を使用して 1 試料あたり 2 本を採取し、常温保存した。2014 年 8 月以降の採水量は検出精度を上げるために 4L とした。

採取された海水は研究室に持ち帰った後、 ^{134}Cs および ^{137}Cs について分析を行った。海水試料 2 L を分取し濃硝酸を添加して酸性にした後、塩化セシウム 0.026 g を加えバブリングして均一にした。その後、リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) 0.400 g を加え、1 時間バブリングし、AMP にセシウムを吸着させ、AMP / セシウム沈殿を生成させた。静置後、AMP / セシウム沈殿をメンブランフィルター (孔径 0.45 μm) でろ過し、AMP / セシウム沈殿を濾紙と共にプラスチックチューブ (内径 13 mm, 外径 15 mm, 長さ 100 mm) に入れて、デシケーター内で 14 日間乾燥させた。乾燥した AMP / セシウム沈殿は井戸型ゲルマニウム半導体検出器を利用して ^{134}Cs および ^{137}Cs について 24 時間の測定を行った。検出限界は 0.001 Bq/L であった。(広瀬, 2011; Levy et al., 2011)。

結果および考察

・ ^{134}Cs および ^{137}Cs の経時的な濃度変化

2011 年 5 月から 2014 年 10 月までの ^{137}Cs の濃度変化を Fig. 1 に示す。2011 年 5-7 月の観測において ^{134}Cs および ^{137}Cs の濃度は最高でそれぞれ 0.164 Bq/L および 0.425 Bq/L であった。この値は同様な時期および海域において測定

された濃度と同程度である (Honda et al., 2012; Aoyama et al., 2013a,b)。また、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の放射能比は Aoyama et al. (2013a) と同じく約 1 以下であった。福島第一原子力発電所の事故が起こってから半年後には減少傾向を示し、2012 年 7 月以降にはほとんどの海域において ^{137}Cs 濃度は 0.001 Bq/L 程度となり、事故が起こる以前に示されていた平衡状態へと移行していた (Aoyama et al., 2011)。 ^{134}Cs は半減期が約 2 年であることから 2013 年以降の観測では検出できていない。これら放射性セシウムの動態は、神田 (2013) が示した福島第一原子力発電所、専用港湾内の海水の ^{137}Cs 濃度の推移と同様な減少傾向である。つまり、2011 年 4 月初旬までに大規模な放射性物質汚染水の海洋への流出が止められ、時間の経過と共に海洋表層から放射性セシウムは除去された結果であると考えられる。

一方、ほとんどの観測点において平衡状態と思われる濃度結果が示される中で、2012 年、2013 年および 2014 年の 10 月から 12 月頃に観測された 4 点においては、他の観測点に比べて比較的高い ^{137}Cs の値が測定された。これらの点は陸に極めて近い東北地方の沿岸域である。福島第一原子力発電所の事故後、放射性物質の海洋への流入経路は事故現場からの直接流入あるいは大気からの降下以外に河川を経由した陸域からの流入経路が指摘されており (山敷ら, 2013)、一旦、陸域に存在した放射性セシウムが、河川経由で海洋へ流入した場合に海洋沿岸域での放射性セシウム濃度を変化させる可能性がある (乙坂, 2013)。このように、沿岸域での比較的高い値は河川からの突発的な放射性物質の流入、あるいは沿岸 (浅海) 海底堆積物の巻き上がりによる可能性が考えられる。

・ ^{137}Cs の時空間的な濃度変化

本研究における放射性セシウム濃度は「おしよ丸」航海の航路上にて表面海水を継続的に採取・測定されたもので、観測した時点のデータだけでは海洋における面的分布ならびにその変化を評価し難い。そこで、海洋表層の水平空間の時系列変化を調べるために、ある一定期間毎に採取した試料から得た放射性セシウムのデータをまとめて地図上にプロットすることで、海洋表層における水平分布の経時変化を明らかにすることを試みた。

観測期間の 2011 年 5 月から 2014 年 12 月の間を約半年間毎に期間 I (2011 年 5 月から 2011 年 11 月)、期間 II (2011 年 12 月から 2012 年 6 月)、期間 III (2012 年 7 月から 2012 年 12 月)、期間 IV (2013 年 3 月から 2013 年 8 月)、期間 V (2013 年 9 月から 2014 年 2 月) および期間 VI (2014 年 4 月から 2014 年 10 月) と、6 つの期間に区分して、それぞれの期間に採取された表層海水の ^{137}Cs 濃度の値を日本周辺の海域 (Fig. 3) と、ベーリング海を含む北太平洋の広い海域 (Fig. 4) の 2 つの地図上に描いた。6 期間、それぞれの期間内における ^{137}Cs 平均濃度は、期間 I にて 0.051 Bq/L と最も高い値を示した後、期間 II から期間 VI において 0.004-0.013 Bq/L と低い値に推移している (Fig. 2)。期

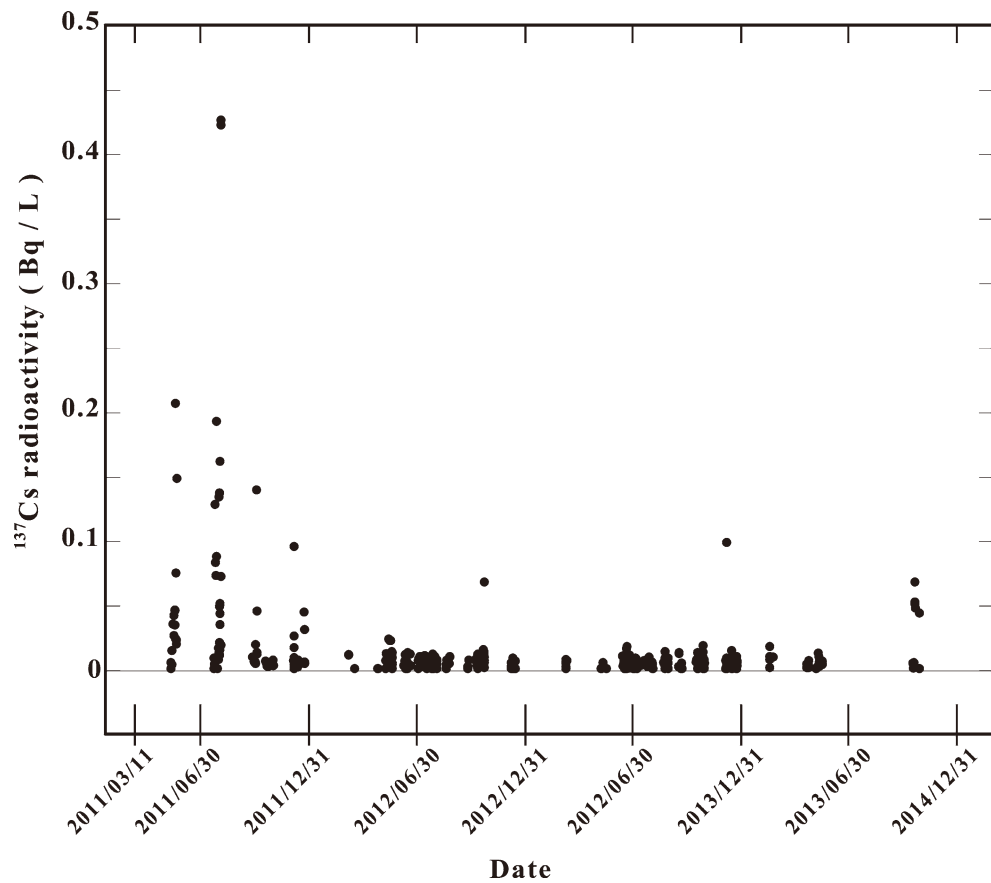


Fig. 1. ^{137}Cs radioactivity in the North Pacific surface water from May 2011 to October 2014.

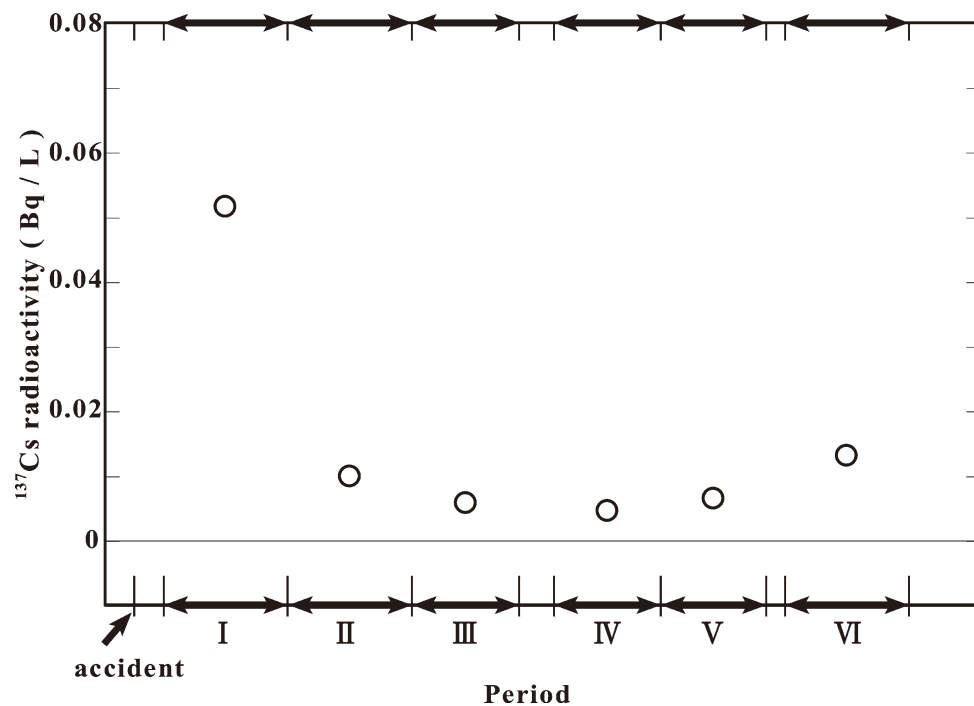


Fig. 2. The averaged value of ^{137}Cs radioactivity as each during the 6 periods (I : May 2011–November 2011, II : December 2011–Jun 2012, III : July 2012–December 2012, IV : March 2013–August 2013, V : September 2013–February 2014, VI : April 2014–October 2014).

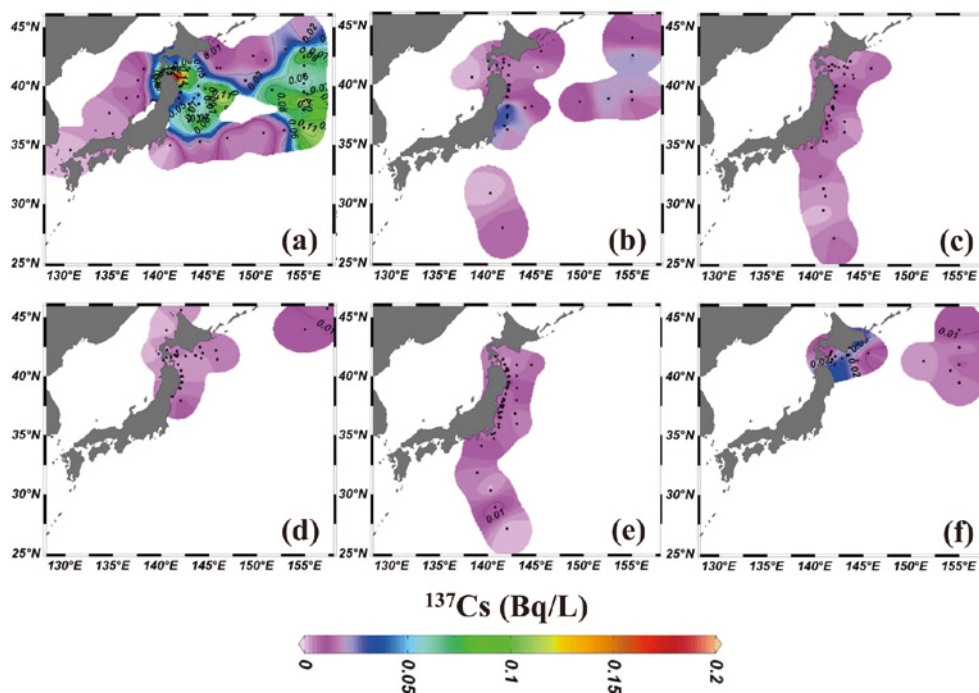


Fig. 3. The horizontal distributions of ^{137}Cs radioactivity in the sea surface water surrounding Japan during the period from 2011 to 2014. (a) period I (May 2011–November 2011), (b) period II (December 2011–Jun 2012), (c) period III (July 2012–December 2012), (d) period IV (March 2013–August 2013), (e) period V (September 2013–February 2014) and (f) period VI (April 2014–October 2014). Dots are the sampling site. We here used the Ocean Data View to draw these figures [http://odv.aw.de].

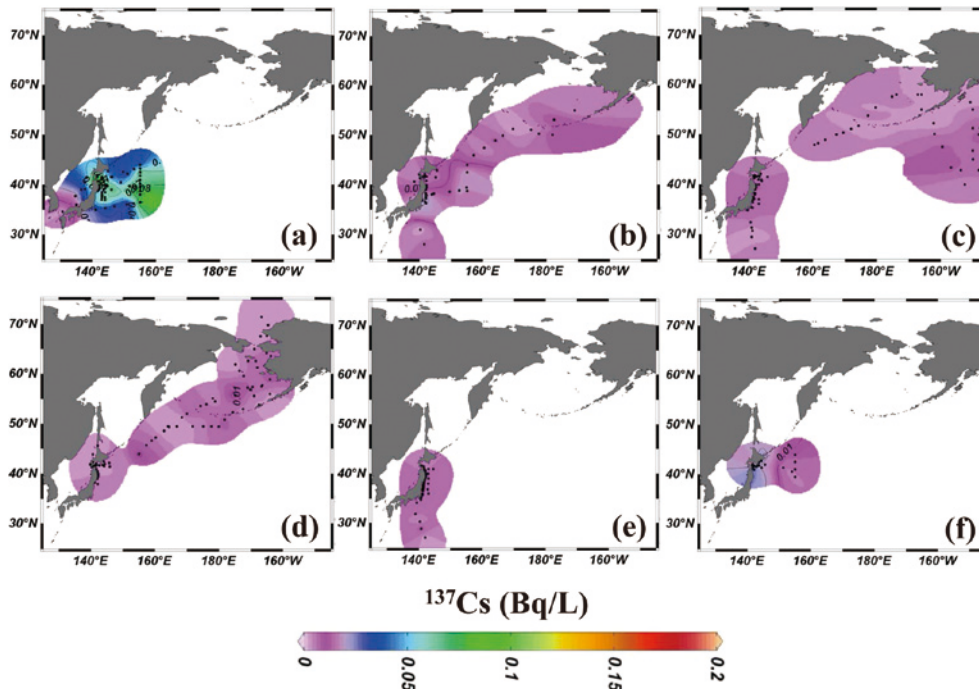


Fig. 4. The horizontal distributions of ^{137}Cs radioactivity in the sea surface water of the North Pacific Ocean during the period from 2011 to 2014. (a) period I (May 2011–November 2011), (b) period II (December 2011–Jun 2012), (c) period III (July 2012–December 2012), (d) period IV (March 2013–August 2013), (e) period V (September 2013–February 2014) and (f) period VI (April 2014–October 2014). Dots are the sampling site. We here used the Ocean Data View to draw these figures [http://odv.aw.de].

間 I では、福島県から北海道東部の沖に Fig. 1 に見られた福島第一原子力発電所の事故直後の高い ^{137}Cs 濃度が存在し、この高濃度は北太平洋の東側に向かって黒潮続流に沿って帯状に分布していたことが確認できた。また、日本近海の青森県沖では、周辺海域に比べて高い ^{137}Cs 濃度が見られ、日本の極近海における局地的な分布があったことが分かった。調査期間中に海洋に存在する ^{137}Cs は、ほぼ福島第一原子力発電所の事故によるものであることから (Aoyama et al., 2013a), 福島第一原子力発電所から直接あるいは大気経由で放出された放射性セシウムは黒潮続流に混合し、北太平洋東部へ輸送されていることが考えられる。また、Tsumune et al. (2013) の数値シミュレーションによって予測された ^{137}Cs の分布と本研究の分布は極似しており、これは上記考えの妥当性を示すものである。

次の期間 II 以降、狭域および広域の両海域において放射性セシウムの測定限界濃度となり、海洋表面から放射性セシウムの検出は困難となった。Kumamoto et al. (2015) は海洋中深層 (水深 200 m から 600 m) の海水中から放射性セシウムを検出したことを報告し、鉛直混合あるいは等密度水の潜り込みを指摘している。また、Honda and Kawakami (2014) は福島第一原子力発電所の事故直後から 1 年間、西部北太平洋亜寒帯域における海水中の沈降粒子中から放射性セシウムを検出している。さらに Kitamura et al. (2013) は西部北太平洋において福島第一原子力発電所の事故から 10 か月後に行われた観測で、動物プランクトン群集から放射性セシウムを検出し、高次栄養段階生物への放射性物質の移行を示唆している。これらのことより、海洋表層における放射性セシウム濃度の経時的な減少は、外洋域への希釈混合以外にその他の物理作用あるいは生物ポンプにより海洋深層へ輸送されることによって、海洋表層から除去された結果であると考えられる。

ま と め

北太平洋の海洋表層水では、福島第一原子力発電所から放出された高い放射性セシウム濃度は事故後 1 年後には検出限界以下へと減衰し、事故前の大気中核実験起源のバックグラウンドレベル (Aoyama et al., 2011) までに近づきつつある。「おしよ丸」航海を利用して採水・分析を繰り返した場合においても、放射性セシウム濃度の時空間変化は Aoyama et al. (2013a,b) と同様の結果を得ることが出来た。また、本報のデータ解析は Tsumune et al. (2013) の数値シミュレーションによる時空間的変動と一致しており、数値シミュレーションの検証にも貢献できる結果を得た。

残念ながら、本報執筆時においても福島第一原発事故は収束しておらず、事故直後のような放射性物質の大量放出はないとしても、原子力発電所からの放射性物質の漏洩は続いており、長期的かつ継続的な海洋調査が必要不可欠である。これに 대응の一つの手段として、広い海

域を何度も航行する「おしよ丸」航海の利用は有効なものであり、今後も引き続き、放射性セシウムのモニタリングを行う予定である。

謝 辞

本研究および調査を行うにあたりサンプリングの準備、放射性セシウムの分析・測定およびデータ解析に多大なる御支援を頂いた北海道大学大学院地球環境科学研究院の技術支援員の山口梓氏に心から感謝いたします。また、サンプリングに御協力して頂いた北海道大学水産学部附属練習船「おしよ丸」の船舶職員に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- Aoyama, M., Fukasawa, M., Hirose, K., Hamajima, Y., Kawano, T., Povinec, P.P. and Sanchez-Cabeza, J.A. (2011) Cross equator transport of ^{137}Cs from North Pacific Ocean to South Pacific Ocean (BEAGLE2003 cruise). *Prog. Oceanogr.*, **89**, 7-16.
- Aoyama, M., Tsumune, D. and Hamajima, Y. (2013a) Distribution of ^{137}Cs and ^{134}Cs in the north Pacific Ocean: impact of the TEPCO Fukushima-Daiichi NPP accident. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **296**, 535-539.
- Aoyama, M., Uematsu, M., Tsumune, D. and Hamajima, Y. (2013b) Surface pathway of radioactive plume of TEPCO Fukushima NPP1 released ^{134}Cs and ^{137}Cs . *Biogeosciences*, **10**, 3067-3078.
- 青山道夫 (2014) 東京電力福島第一原子力発電所事故に由来する汚染水問題を考える. 科学, **84**, 856-865.
- 廣瀬勝己 (2011) 海洋の放射性物質の動態と計測. 分析, **8**, 446-450.
- Honda, M.C., Aono, T., Aoyama, M., Hamajima, Y., Kawakami, H., Kitamura, M., Masumoto, Y., Miyazawa, Y., Takigawa, M. and Saino, T. (2012) Dispersion of artificial caesium-134 and -137 in the western North Pacific one month after the Fukushima accident. *Geochem. J.*, **46**, e1-e9.
- Honda, M.C. and Kawakami, H. (2014) Sinking velocity of particulate radiocesium in the northwestern North Pacific. *Geophys. Res. Lett.*, 3959-3965.
- 神田譲太 (2013) 福島第一原子力発電所から海に流れ続ける放射性セシウム. 科学, **83**, 634-638.
- Kanda, J. (2013) Continuing ^{137}Cs release to the sea from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant through 2012. *Biogeosciences*, **10**, 6107-6113.
- Kitamura, M., Kumamoto, Y., Kawakami, H., Cruz, E.C. and Fujikura, K. (2013) Horizontal distribution of Fukushima-derived radiocesium in zooplankton in the northwestern Pacific Ocean. *Biogeosciences*, **10**, 5729-5738.
- Kumamoto, Y., Aoyama, M., Hamajima, Y., Murata, A. and Kawano, T. (2015) Impact of Fukushima-derived radiocesium in the western North Pacific Ocean about ten months after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *J. Environ. Radioac.*, **140**, 114-122.
- Levy, I., Povinec, P.P., Aoyama, M., Hirose, K., Sanchez-Cabeza, J.A., Comanducci, J-F., Gastaud, J., Eriksson, M., Hamajima, Y., Kim, C.S., Komura, K., Osvath, I., Roos, P. and Yim, S.A. (2011) Marine anthropogenic radiotracers in the Southern

- Hemisphere : New sampling and analytical strategies. *Prog. Oceanogr.*, **89**, 120-133.
- 根本芳春・島村信也・五十嵐敏 (2012) 福島県における水産生物等への放射性物質の影響. 日本水産学会誌, **78**, 514-519.
- 乙坂重嘉 (2013) 海底堆積物中の放射性セシウム濃度の推移. *Isotope News*, (710), 12-15.
- Sohtome, T., Wada, T., Mizuno, T., Nemoto, Y., Igarashi, S., Nishimune, A., Aono, T., Kamda, J. and Ishimaru, T. (2014) Radiological impact of TEPCO's Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident on invertebrates in the coastal benthic food web. *J. Environ. Radioac.*, **138**, 106-115.
- Takemura, T., Nakamura, H., Takigawa, M., Kondo, H., Satomura, T., Miyasaka, T. and Nakajima, T. (2011) A numerical simulation of global transport of atmospheric particles emitted from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *SOLA*, **7**, 101-104.
- Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M. and Horose, K. (2012) Distribution of oceanic ^{137}Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant simulated numerically by a regional ocean model. *J. Environ. Radioac.*, **111**, 100-108.
- Tsumune, D., Tsubono, T., Aoyama, M., Uematsu, M., Misumi, K., Maeda, Y., Yoshida, Y. and Hayami, H. (2013) One-year, regional-scale simulation of ^{137}Cs radioactivity in the ocean following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *Biogeosciences*, **10**, 5601-5617.
- Wada, T., Nemoto, Y., Shimamura, S., Fujita, T., Mizuno, T., Sohtome, T., Kamiyama, K., Morita, T. and Igarashi, S. (2013) Effect of the nuclear disaster on marine products in Fukushima. *J. Environ. Radioactiv.*, **124**, 246-254.
- 山敷庸亮・恩田裕一・五十嵐康人・若原妙子・立川康人・椎葉充晴・松浦裕樹 (2013) 阿武隈川から海洋への浮遊土砂を通じた放射性物質の移行状況調査. 京都大学防災研究所年報, (56A), 25-36.