

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24310009

研究課題名(和文) 陸域から沿岸域への放射性セシウムの移行動態解析と生態系への影響評価

研究課題名(英文) Study on transport behavior of radiocesium from river watershed to coastal marine environment and its ecological effects

研究代表者

長尾 誠也 (Nagao, Seiya)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授

研究者番号：20343014

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月11日に発生した福島原発事故により環境中に放出された放射性核種の陸域と沿岸域での影響評価を行うために、主に福島県浜通りを調査地域に設定し、沈着した放射性セシウムの河川流域から沿岸域への二次的な移行動態を調べた。2011年5月から2014年12月までの観測結果では、河川水中の放射性セシウムの放射能濃度は、降雨時に一時的に増加するが、平水時には時間の経過とともに指数関数的に減少した。また、2011年度には、粒子態に含まれる放射性セシウムの存在割合が、それ以降の観測試料に比べて20～30ポイント低く、放射性セシウムの河川への流出挙動が事故初期時とそれ以降では異なることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The secondary dispersion of radiocesium is important to understand the migration behavior of radiocesium (^{134}Cs and ^{137}Cs), released from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (NPP) accident, in river systems running through the areas with widely various radiocesium deposition. This study investigated radiocesium radioactivity in river waters in Abukuma, Same, Natsui, Niida, and Uta Rivers, Japan. The secondary dispersion exhibited that total radioactivity of radiocesium decreased concomitantly with increasing time after the NPP accident at normal flow condition. Higher radioactivity and particulate phase percentage were found at high flow condition caused by rain events. The percentage of particulate phase for May-September 2011 was 20-30 points lower than those after December 2011 at normal flow condition. These results indicate that the supply of radiocesium from the watershed differs from the early stage up to September-December 2011 and from the last stage.

研究分野：地球化学

キーワード：河川流域 Cs-137 Cs-134 溶存態 懸濁態 河川水 移行動態

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所（以下、福島原発）の事故は、大量の放射性物質が周辺環境に放出された。放出された¹³¹I、^{134,137}Cs等の放射性核種は、原子力発電所周辺のみならず、東北・関東等の広範囲にわたり土壌表層環境に沈着し、当時の気象条件により遠方でも高い放射線量を示す水平分布が形成された。

広範囲に放射性セシウムが拡散した状況では、今後の降雨、積雪後の雪解けにより、被爆評価上重要な放射性セシウムが、一度沈着した水田・畑・森林土壌から河川・沿岸域へ移動する2次汚染が発生する可能性が考えられる。過去にチェルノブイリで発生した原子力発電所事故において、放射性セシウムが沈着した汚染域からプリピャチ川、ドナウ川を経由して、下流600 kmまで放射性セシウムが移動したことが報告されている(MEXT, 1999-2003)。また、プリピャチ川とドナウ川での定点観測の結果、河川水中の放射性セシウムの濃度は、1986年から時間の経過とともに指数関数的に減少する傾向が報告されている(UNSCEAR, 2000)。この観測において、春先の雪解け時に河川水の放射能濃度が高くなることが認識された。

福島県において中長期の放射性核種の環境への影響を考える場合、土壌から河川への移行、河川内での挙動、ならびに移動してきた放射性核種の沿岸域での沈着等の評価が必要不可欠である。降雨の影響とともに、放射性セシウムの蓄積量が高い東北や関東の山間地を対象にした雪解け時の影響を詳細に評価する必要がある。また、年間を通しての移行量を把握し、沿岸域での放射能濃度レベルの推移、今後数年間の沿岸生態系への影響評価は、避けて通ることができない重要な課題の1つである。

2. 研究の目的

福島原発事故により環境中に放出された放射性核種の陸域と沿岸域での放射能の影響評価を行うために、福島県浜通りを主な調査地域に設定し、沈着した放射性セシウムの土壌から河川への移行動態と河川から沿岸域への移行量を把握するとともに、沿岸域での放射性セシウムの挙動を解明することを目的に研究を開始した。

3. 研究の方法

阿武隈川、宇多川、新田川、夏井川、鮫川の5河川8測点で2~3ヶ月毎に河川調査を実施した。観測点は図1に示す。また、放射性セシウムの輸送に及ぼす降雨の影響を評価するため、阿武隈川下流の岩沼、宇多川、新田川において、降雨後の河川水を採取した。台風4号通過前後の2012年6月19~21日には、阿武隈川の4地点（上流部：白河、中

流部：本宮、下流部：伊達、岩沼）において河川水15~20L採水した。不定期ではあるが、阿武隈川の丸森、久慈川、那珂川、利根川水系の利根川・鳥川・渡良瀬川でも河川水を採取した。

採取した河川水試料は、定量濾紙（東洋濾紙 No.5A）及びメンブレンフィルター（0.45μm）を用いて濾過後、濾液からリンモリブデン酸アンモニウム沈殿法によりCsを分離し、金沢大学低レベル放射能実験施設、

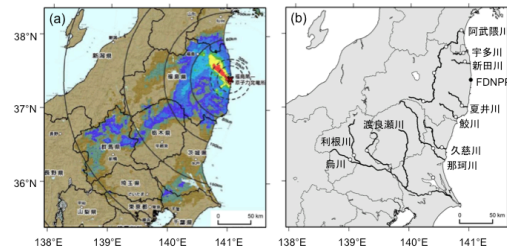


図1 文部科学省により公表された第4次航空機サーベイデータから計算した表層土壌の¹³⁴Cs+¹³⁷Csの存在量と本研究での試料採取地点(○)

あるいは尾小屋地下実験施設の極低バックグラウンドGe半導体検出器を用いたγ線測定により河川水中の溶存態¹³⁴Cs、¹³⁷Csの放射能濃度を測定した。フィルター及び懸濁粒子を回収し粒子態放射性セシウムの割合を見積もった。

4. 研究成果

2011年5月20日に採取した河川水を測定した結果、河川水中の¹³⁷Csの放射能濃度は0.23~4.18 Bq/Lの範囲を示し、福島原発事故以前の久慈川・利根川河川水の報告値に比べて3桁程度高い値であった(図2)。これらの河川水の¹³⁴Cs/¹³⁷Cs放射能濃度比は1前後であり、沈着した表層土壌試料の値と一致

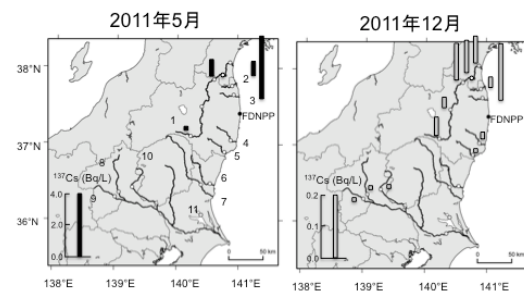


図2 河川水中¹³⁷Cs放射能濃度の空間分布

○は観測点で左図の数字は観測対象の河川を示す：1 阿武隈川（上流から白河、本宮、伊達、丸森、岩沼）；2 宇多川；3 新田川；4 夏井川；5 鮫川；6 久慈川；7 那珂川；8 利根川；9 鳥川；10 渡良瀬川；11 霞ヶ浦。

することから、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の大部分が福島原発事故由来と考えられる。分布の特徴としては、上流の流域に飯舘村が存在する新田川で他の観測点に比べて1桁高い放射能濃度であり、阿武隈川上流では最も低い値であった。これらの結果は、福島県内表層土壌の ^{137}Cs の沈着状況と一致していた。2011年7月12~13日の河川水の測定結果は、 ^{137}Cs の放射能濃度が0.064~1.54 Bq/L、9月12~13日では0.019~0.79 Bq/L、12月7~8日は0.011~0.19 Bq/Lと、採取時期により ^{137}Cs の放射能濃度は変動したが、河川毎の空間分布は維持されていた。これらのことは、河川流域の放射性セシウムの沈着量が平水時の河川水の ^{137}Cs 全放射能濃度を支配していると考えられる。

時系列による河川水中の ^{137}Cs 放射能濃度の変動傾向を明らかにするため、福島原発事故後の2011年5月から2014年12月までの観測データを解析した。その結果、 ^{137}Cs 放射能濃度は、平水時に時間の経過とともに指数関数的に減少する傾向にあった。図3には、放射能濃度レベルの異なる阿武隈川下流の岩沼、新田川、夏井川の観測結果を示した。 ^{137}Cs 放射能濃度は河川によらず1~2桁の減少が認められる。この結果は、福島原発事故後、時間経過とともに河川流域から河川へ供給される放射性セシウムの供給量が減少していることを示唆している。

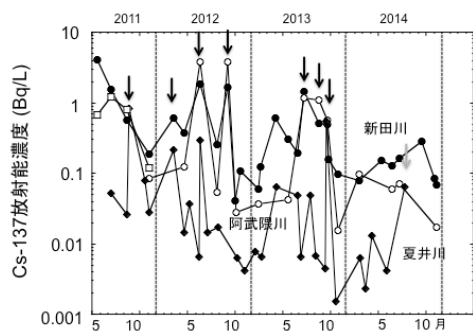


図3 阿武隈川(伊達口、岩沼○)、新田川(●)、夏井川(◆)における河川水中 ^{137}Cs 放射能濃度の変動。矢印は降雨イベント。

一方、図3に示されるように、降雨時にはパルス的に放射能濃度が急激に増加していた。降雨の影響を詳細に検討するため、図4には2011年5月から2013年1月までの阿武隈川中流域の梁川大橋とその近傍の大正橋における ^{137}Cs 全放射能濃度、懸濁態の割合、濁度を示した。2012年6月20日未明に日本列島を縦断した台風4号は、福島県内で

70~90 mmの降雨量を記録した。台風通過後の河川調査時に採取した河川水は6月20日に3.58 Bq/L、6月21日でも平水時に比べて高い0.59 Bq/Lの放射能濃度であった。また、図4に示されたように、2012年3月5日に福島県中通りで28.0~49.0 mmの降雨が観測された後の3月7日の ^{137}Cs 全放射能濃度は0.55 Bq/L、2012年5月3日から4日に40.5~119.5 mmの降雨が発生した翌日の5月5日には0.36 Bq/Lの放射能濃度を計測し、2012年8月と11月の観測値に比べて約2~3倍高い値であった。さらに2011年7月9日と11日に郡山市から福島市にかけての局所的な降雨(6.0~17.0 mm)の影響が残る2011年7月10日の大正橋、7月13日の梁川大橋では1.14~1.20 Bq/Lと2011年5月に比べて約2倍高い。7月13日の梁川大橋近辺の大正橋(伊達市)における文部科学省のモニタリングデータでは1.04 Bq/L、上流の郡山市に位置する阿久津大橋では1.95 Bq/Lの放射能濃度が報告されている。しかし、降雨の影響がない2011年6月5日と8月3日では、阿久津大橋の1.18 Bq/Lを除いて1 Bq/Lの検出限界以下であった。つまり、2011年7月10日と13日の観測結果は、降雨の影響を受けて高い値を示したと考えられる。

なお、河川により輸送される放射性セシウムの存在形態は、流況により大きく変動した。平水時における粒子態 ^{137}Cs の割合は61~89%であったのに対し、降雨時にはその割合は著しく増加し、約99%が粒子態として存在・移行していることが明らかとなった。こ

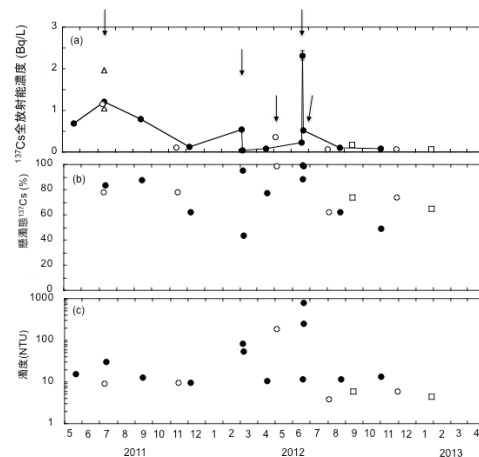


図4 阿武隈川における河川水中 ^{137}Cs 全放射能濃度(a)、懸濁態 ^{137}Cs 放射能濃度(b)と濁度(c)の変動

●は阿武隈川中流伊達市の梁川大橋における観測データ。○は伏黒(大正橋 Sakaguchi et al., 2015)、□は Tuji et al., 2014の梁川大橋、△は文部科学省による大正橋と阿久津橋。矢印は降雨イベント。

のことは、平水時に比べ降雨時には、 ^{137}Cs を吸着した表層土壌侵食量の増加、河床堆積物の再懸濁等に伴い、粒子態 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の供給量が増加したことが要因と考えられる。同様な現象は、観測した全ての河川において認められた。

2011年3月～12月の夏井川と鮫川の放射性セシウムの移行フラックスを見積もった結果、9月の台風通過時に年間の30-50%がほぼ粒子態として輸送することが明らかとなった。つまり、粒子態の動態が沿岸域への寄与としては重要なことを示唆している。

図4に示した2011年12月以降の ^{137}Cs 全放射能濃度と濁度には正の相関性(相関係数0.98)が存在する。つまり、河川水中の ^{137}Cs 全放射能濃度の変動には懸濁粒子濃度が支配要因として作用していることが考えられる。ただし、この相関性は福島第一原発事故後の7ヶ月間では認められない。同様な傾向は福島県内の新田川でも報告されている。阿武隈川の2012年8月以降の平水時における河川水中の ^{137}Cs 全放射能濃度は0.066～0.17 Bq/L、懸濁態 ^{137}Cs の存在割合は49～74%、平均すると $64 \pm 9\%$ である。この値は2011年5月から2012年4月までの平水時の平均値($77 \pm 4\%$)に比べると若干低い。以上の結果は、放射性セシウムの流出挙動が福島第一原発事故後の時間経過に伴って変化している可能性が考えられる。

沿岸域では津波によりこれまで堆積していた堆積物が浸食された夏井川・鮫川河口域で調査し、福島原発事故後に河川により輸送される河川懸濁粒子の時系列における移行状況を把握することを試みた。調査地点はいずれも砂質の河床堆積物で構成され、放射性セシウムの移行媒体である細粒懸濁粒子の沈着は殆ど起こっていないことが明らかとなった。この結果は、河川流域から河川を経由して移行する放射性セシウムが沿岸域へ輸送されることを示唆している。また、新田川沖の調査を実施した結果、こちらも水深20m以浅の海域では砂質の海底が大部分を占め、沿岸流による南方向への移動、あるいは降雨時に外洋域への移行が支配的であることが考えられる。一方、阿武隈川沿岸域では泥質の海底土が堆積する地点も存在していた。なお、いわき沿岸域の魚類の放射性セシウム濃度は、平成25-26年度の調査結果として国の基準値以下であった。

以上の結果より、河川流域からの放射性セシウムの移行量は事故発生後、時間の経過とともに指数関数的に減少はしているが、降雨時にスパイク的に増加することが明らかとなった。また、年間のフラックスに対して、降雨の寄与は高く、2011年9月の台風時には30-50%であった。なお、河川から沿岸域

に定常的に供給される懸濁態放射性セシウムの動態については、今後の検討課題である。

<引用文献>

- ① MEXT, 1999-2003, Research Project for Means of Mitigation on Influences related to the Chernobyl Nuclear Power Plant. Ed. Nuclear Safety Research Association, Tokyo.
- ② UNSCEAR, 2014, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes Volume I Scientific Annexes A, United Nations, New York.
- ③ Sakaguchi, A., Tanaka, K., Iwatani, H., Chiga, H., Fan, Q. and Takahashi, Y., 2015, Size distribution studies of ^{137}Cs in river water in the Abukuma Riverine system following the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Journal of Environmental Radioactivity*, **139**, 379-389.
- ④ Tsuji, H., Yasutakae, T., Kawabe, Y., Onishi, T. and Komai, T., 2014, Distribution of dissolved and particulate radiocesium concentrations along rivers and the relations between radiocesium concentration and deposition after the nuclear power plant accident in Fukushima, *Water Research*, **60**, 15-27.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文等] (計 7件)

- ①長尾誠也, 2015, 福島第一原発事故により放出された放射性Csの河川流域における移行挙動. *Isotope News*, 2015年3月号, No.731, pp. 13-17. (査読無し)
<http://www.jrias.or.jp/books/cat3/2015/731.html>
- ②Ochiai, M., Yamamoto, M., Nagao, S., Itono, T. and Kashiwaya, K., 2015, Sediment transport processes in a reservoir-catchment system inferred from sediment trap observations and fallout radionuclides. *Journal of Radioanalytical Nuclear Chemistry*, **303**, 1497-1501. Doi 10.1007/s10967-014-3577-0 (査読有り)
- ③Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Inoue, M. and Yamamoto, M., 2015, Migration behavior of ^{134}Cs and ^{137}Cs in the Niida River water in Fukushima Prefecture, Japan during 2011-2012. *Journal of Radioanalytical Nuclear*

Chemistry, **303**, 1617-1621. Doi 10.1007/s10967-014-3686-9 (査読有り)

- ④ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Suzuki, K. and Yamamoto, M., 2014, Dispersion of Cs-134 and Cs-137 in river waters from Fukuhsima and Gunma prefectures at nine months after the Fukuhsima Daiichi NPP accident. *Progress in Nuclear Science and Technology*, **4**, 9-13. Doi 10.15669/pnst.4.9 (査読有り)
- ⑤ 長尾誠也, 2013, 河川環境への影響と課題. 水環境学会誌, **36(3)**, 91-94. (査読無し)
- http://jswe.or.jp/publications/journals/contents/2013/pdf/mokuji_36_03.pdf
- ⑥ Ochiai, S., Nagao, S., Yamamoto, M., Itono, T., Kashiwaya, K., Fukui, K. and Iida, H., 2013, Deposition records in lake sediments in western Japan of radioactive Cs from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Applied Radiation Isotopes*, **81**, 366-370. Doi 10.1016/j.apradiso.2013.03.073 (査読有り)
- ⑦ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Tomihara, S., Fukushi, K. and Yamamoto, M., 2013, Export of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in the Fukushima river systems at heavy rains by Typhoon Roke in September 2011. *Biogeosciences*, **10**, 6215-6223. Doi 10.5194/bg-10-6215-2013 (査読有り)

[学会発表] (計 21 件)

- ① Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Tomihara, S., Suzuki, K. and Yamamoto, M., Cs-134 and Cs-137 radioactivity in river waters in Fukuhsima, Miyagi, Ibaraki and Gunma Prefectures in August 2012 after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *ICRER2014*, Barcelona, Spain (2014.9.7-12).
- ② Nagao, S., Study on dynamics of dissolved and particulate organic matter in river systems using carbon isotopes (Keynote lecture). *The 17th Meeting of the International Humic Substances Society*, Ioannina, Greece (2014.9.1-5).
- ③ Nagao, S., Kanamori, M., Suzuki, K., Ochiai, S. and Yamamoto, M., Variation of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs radioactivity in river waters from the Tone River system during snow-melting season. *AOGS 11th*

Annual Meeting, Sapporo, Japan (2014.7.28-8.1).

- ④ 長尾誠也, 福島県内の河川水中の放射性セシウムの濃度推移 (依頼講演). 第 74 回分析化学討論会 市民公開講座「放射能と分析化学-生活と健康」, 日本大学工学部, 郡山, (2014.5.25).
- ⑤ 青井裕介・福土圭介・富原聖一・長尾誠也, 福島県いわき市ため池中の放射性 Cs 汚染堆積物の特徴. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜アリーナ, 横浜 (2014.4.28-5.2).
- ⑥ 長尾誠也・金森正樹・落合伸也・富原聖一・山本政儀, 2012 年 6 月の豪雨後の阿武隈河川等を行く懸濁粒子の Cs-134, Cs-137 放射能濃度の変動. 日本地球惑星科学連合 2014 年大会, 横浜アリーナ, 横浜 (2014.4.28-5.2).
- ⑦ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S. and Yamamoto, M., Migration behavior of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in the Niida River water in Fukushima Prefecture, Japan during 2011-2012. *APSORC 2013*, Kanazawa Bunka Hall, Kanazawa (2013.9.22-27).
- ⑧ Nagao, S., Study on transport of particulate organic matter in river and coastal marine system using radiocarbon (Plenary talk). *APSORC 2013*, Kanazawa Bunka Hall, Kanazawa (2013.9.22-27).
- ⑨ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Tomihara, S., Kirishima, A. and Yamamoto, M., Transport of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in river waters from Fukushima Prefecture in Japan during 2011-2012. *Joint Assembly of IAHS-IAPSO-IASPEI*, Gothenburg, Sweden (2013.7.22-26).
- ⑩ 長尾誠也・金森正樹・桐島陽・落合伸也・山本政儀, 阿武隈川における放射性セシウムの移行に及ぼす降雨の影響評価. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 幕張メッセ, 幕張 (2013.5.20).
- ⑪ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Tomihara, S. and Yamamoto, M., Transport of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in the Natsui River and Same River in Fukushima Prefecture, Japan (招待講演). *2013 Taiwan Geosciences Assembly (LOICZ-Land Ocean Interaction in the Coastal Monitoring)*, Taoyuan, Taiwan, (2013.5.13-17).
- ⑫ 長尾誠也・金森正樹・富原聖一・落合伸也・山本政儀, 河川を含めた陸水の蓄積—放射性セシウムの河川からの流出に及ぼす影響—. 2013 年日本海洋学会春季大会シンポジ

ウム「東日本大震災による放射性物質汚染：堆積物の謎に迫る」, 東京海洋大学, 東京 (2013.3.25) .

- ⑬ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Tomihara, S. and Yamamoto, M., Migration behaviour of ^{134}Cs and ^{137}Cs derived from the Fukushima Daiichi NPP in river systems in Fukushima Prefecture, Japan after a heavy rain event. *The 9th East Asia International Workshop on Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Asia*, Kobe University, Kobe (2012.10.8-12).
- ⑭ 長尾誠也・金森正樹・富原聖一・鈴木究真・落合伸也・山本政儀, 福島・茨城・群馬県における河川水の放射性セシウムの放射能濃度. 2012 放射化学年会, 東京工業大学, 東京 (2012.10.3-5).
- ⑮ 金森正樹・長尾誠也・落合伸也・山本政儀, 降雨時における阿武隈川河川水の放射性セシウムの移行挙動. 2012 放射化学年会, 東京工業大学, 東京 (2012.10.3-5).
- ⑯ 長尾誠也, 福島河川における放射性セシウムの移行動態. 第 61 回分析化学年会公開特別シンポジウム「福島原発から考える元素動態」, 金沢大学, 金沢 (2012.9.19-21) .
- ⑰ 長尾誠也・浜高一仁・井上睦夫・田中潔・本多牧生・張頌・早川和一・濱島靖典・山本政儀, 日本周辺海洋環境における放射性セシウムの動態 (依頼講演). 第 61 回分析化学年会環境分析研究懇談会, 金沢大学, 金沢 (2012.9.19-21) .
- ⑱ Ochiai, S., Nagao, S., Yamamoto, M., Itono, T., Kashiwaya, K. and Fukui, K., Deposition records in lake sediments in western Japan of radioactive Cs from the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. *6th International Conference on Radionuclide Metrology Low-level Radioactivity Measurement Techniques*, Jeju, Korea (2012.9.17-21).
- ⑲ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Suzuki, K. and Yamamoto, M., Dispersion of Cs-134 and Cs-137 in river waters from Fukushima and Gunma Prefecture at nine months after the Fukushima accident. *ICRS-12 & RSPD 2012*, Nara, (2012.9.2-7).
- ⑳ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Iwata, K., Tomihara, S. and Yamamoto, M., Export of ^{134}Cs and ^{137}Cs in the Fukushima river systems at the heavy rain event in September 2011. *2012*

ASLO Aquatic Sciences Meeting, Otsu, Japan (2012.7.8-13).

- ㉑ Nagao, S., Kanamori, M., Ochiai, S., Iwata, M., Hayakawa, K. and Yamamoto, M., Migration behavior of ^{134}Cs and ^{137}Cs derived from the Fukushima Daiichi NPP in river systems from Fukushima Prefecture, Japan (英語セッション). 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 幕張メッセ, 幕張 (2012.5.20-25).

〔図書〕 (計 1 件)

長尾誠也, 2014, 5.2 河川～沿岸域での放射性セシウムの挙動. 福島原発事故環境汚染(編者: 中島映至・大原利真・植松光夫・恩田裕一) 編, 東京大学出版, 東京, pp.103-106.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

長尾 誠也 (NAGAO, Seiya)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授

研究者番号: 20343014

(2) 研究分担者

山本 政儀 (YAMAMOTO, Masayoshi)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・教授

研究者番号: 10121295

福士 圭介 (FUKUSHI, Keisuke)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・准教授

研究者番号: 90444207

桐島 陽 (KIRISHIMA, Akira)

東北大学・多元物質科学研究所・准教授

研究者番号: 00400424

井上 睦夫 (INOUE, Mutsuo)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・助教

研究者番号: 60283090

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

富原 聖一 (TOMIHARA, Seiichi)