

令和 2 年 7 月 6 日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05675

研究課題名(和文)放射性物質はいつまで検出されるか：福島県猪苗代湖堆積物3.11前後の比較と予測

研究課題名(英文) Radiocesium inventory in the lacustrine sediments collected from Lake Inawashiro-ko, Fukushima Prefecture: Assessment for impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident

研究代表者

長橋 良隆 (Nagahashi, Yoshitaka)

福島大学・共生システム理工学類・教授

研究者番号：10292450

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：猪苗代湖の14地点の湖底堆積物に記録された2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故(福島原発事故)による放射性セシウム(^{134}Cs ・ ^{137}Cs)のインベントリーは、33,000-93,000 Bq/m²の範囲にある。この値は福島原発事故時に猪苗代湖周辺に降下した放射性セシウムのインベントリーよりも大きい。また、堆積速度が大きい地点は放射性セシウムのインベントリーも大きい。よって、福島原発事故による放射性セシウムは、初期沈着量に加えて猪苗代湖外からも流入したことが、蓄積量に地点による偏りがあることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

猪苗代湖は湖水浴場、水上レジャー、農業用水、漁業、水力発電など、多目的に活用されている湖であり、2011年の東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性セシウムに関する社会的な関心が高い。学術的には、猪苗代湖の水深60 m以深の25もの地点において採取した堆積物コアから過去150年間程度の標準層序を構築し、大気圏内核実験時から福島原発事故以降までの放射性セシウム濃度の経時変化を明らかにしたことに意義がある。

研究成果の概要(英文)：Radiocesium ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$) inventory in lacustrine sediment cores collected from 14 sites at Lake Inawashiro-ko after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident has a range between 33,000 and 93,000 Bq/m². This value is larger than that of the initial deposition of radiocesium on the ground around Lake Inawashiro-ko due to the FDNPP accident. In addition, there is a positive correlation between radiocesium inventory in lacustrine sediments and its sedimentation rate. The excess radiocesium originated from the FDNPP was supplied from the lake catchment through rivers. The radiocesium accumulation varies among sites according to the topography of the depositional areas.

研究分野：地質学

キーワード：猪苗代湖 湖底堆積物コア イベント層 放射性セシウム 大気圏内核実験 2011年東北地方太平洋沖地震

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

福島県中央部に位置する猪苗代湖は、東北地方で最も大きい面積 (103 km², 全国 4 位) と最大水深 93.5 m の大水深を有する湖である。湖のすぐ北には、1888 年噴火により火山体が大崩壊したことで知られる磐梯山がある。磐梯山の南の猪苗代町では、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震時に震度 5 強を記録し、猪苗代湖の湖水が濁ったとの地元住民による目撃談もある。同年 4 月 11 日の福島県浜通り地震では、猪苗代町で震度 5 弱を観測した。また、東京電力福島第一原子力発電所の放射能放出事故 (以下、福島原発事故とする) により、会津若松市の環境放射線量率は、3 月 15 日 14 時に 0.11 μ Sv/h を観測し (平常時は 0.04~0.06 μ Sv/h)、22 時に 2.39 μ Sv/h のピーク値を観測した (現在は 0.08 μ Sv/h)。さらに、2011 年 9 月 21 日には台風 15 号が福島県内を通過し、猪苗代湖南方のアメダス (湖南) では日雨量 108.5 mm (歴代 11 位、2018 年 7 月時点) の降水を観測した。

2011 年 3 月の福島原発事故では、福島県のみならず東日本の広範囲に放射性物質が拡散し、地表に降下・沈着した。福島原発事故後に陸域の土壌や福島県内の河川・湖沼や人工池沼の堆積物、また福島県沖を含む東北地方の太平洋海底堆積物では、放射性物質の濃度測定が盛んに行われてきた (例えば、末永ほか、2016)。猪苗代湖でも放射性物質のモニタリング調査が行われている (環境省、2012) が、湖水浴場を除くと猪苗代湖の湖心部の 1 地点のみであった。福島大学は、猪苗代湖の湖心部のやや南 (水深 90 m) で湖底ボーリングを 2012 年に実施し、掘削長約 29 m、過去 5 万年間の地層記録となるボーリングコア (INW2012 コア) を得た。INW2012 コアの最上部 50 cm では、放射性元素 (²¹⁰Pb・¹³⁴Cs・¹³⁷Cs) の測定から、1950 年以降の大気圏内核実験と福島原発事故による放射性セシウムの検出が層序学的に検討されるとともに、堆積速度が 0.2 cm/年であることが明らかになった (廣瀬ほか、2016)。ただし、猪苗代湖の多地点における湖底堆積物の層序と放射性セシウムの濃度プロファイルとの対応や、福島原発事故による放射性セシウム濃度の水平変化などの検討はなされていない。

2. 研究の目的

本研究では、猪苗代湖に流入・堆積する砕屑粒子と放射性物質の動態を地質学的検討から時空間的に把握することで、2011 年 3 月以降の放射性物質の移動・蓄積量の将来予測を行うことを目的とする。放射性物質の移動・蓄積量とその将来予測を地質学的に検討するには、放射性物質の蓄積場として猪苗代湖のような静水域があること、流域面積が適度に大きく、河川系からの砕屑粒子の供給が一定量ある (堆積速度が比較的大きい) ことがこの検討に適している。本研究の特色は、猪苗代湖の水深 60 m 以深の多地点において採取した堆積物を扱うこと、また、1950 年以降に行われた大気圏内核実験から 2011 年までの放射性セシウム濃度の経時変化 (濃度プロファイル) を参照しつつ、福島原発事故による放射性セシウムの移動・蓄積量の将来予測を検討することにある。

3. 研究の方法

本研究では、最表層の湖底堆積物をできるだけ乱すことなく採取することが重要である。なおかつ、採取コアから地質学的検討と放射性セシウム濃度の測定を両立するためには、コア径をできるだけ大きくして、試料量を確保したい。これを多地点で効率的に採取するために、持ち運びが容易な離合社製 HR 型不攪乱柱状採泥器 (内径 11 cm、採取長 40 cm 程度) を用いた。コアの採取は、猪苗代湖の水深 60 m 以深を網羅するように、2 km 四方の 17 区画から、少なくとも 1 点はコアを採取する計画とした。採取した湖底堆積物コアは、層序学的・堆積学的検討を行った上で放射性セシウムの濃度測定用の試料を 0.5~1 cm 間隔で切り出した。

採取したコアの層序学的・堆積学的検討からは、肉眼とルーペによる層相観察と記載、軟 X 線像による堆積構造等の観察を組み合わせ、イベント層を含む採取コアの層序を明らかにした。また、補助的に顕微鏡による構成粒子の鑑定や粒度組成分析などを実施した。放射性セシウム (¹³⁴Cs・¹³⁷Cs) 濃度の測定は、福島大学に既設の Ge 半導体検出器を用いて行った。1 試料の測定時間を 80,000 秒とし、放射性セシウム濃度を 2011 年 3 月 15 日時点に壊変補正を行った。¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の濃度測定から、1950 年以降の大気圏内核実験と 2011 年 3 月以降の福島原発事故による放射性セシウムの濃度プロファイルとインベントリーが得られた。大気圏内核実験により降下・沈着した放射性セシウムは、1950 年代初頭に検出が始まり、1963 年に極大値になるとされている。本研究では、これとは独立した年代指標となる 2 つのイベント層 (1888 年磐梯山噴火に伴って湖内に流入した密度流堆積物と 2011 年地震動による湖底タービダイト; Kataoka and Nagahashi, 2019) や ¹⁴C 年代測定によって堆積物コアの年代モデルを構築し、地点毎の堆積速度の違いと共に放射性セシウムのインベントリーを評価する。

4. 研究成果

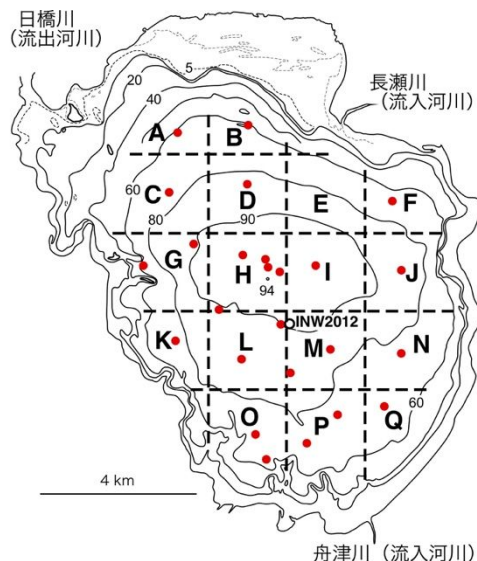
本研究では、水深 60 m 以深の全域を網羅する 25 地点において、HR 型不攪乱柱状採泥器を用いて猪苗代湖の湖底堆積物コアを採取した (第 1 図)。ただし、E 区画は、長瀬川デルタの延長にあたり、粗粒砕屑物が卓越するため採泥器が貫入できず、コアが採取できなかった。採取した湖底堆積物コアの総合的な層序は、上位より順に、1) 層厚 3 cm 程度の茶色の粘土質シルトからなる酸化層、2) 層厚 1.6~27 cm の塊状のシルト~粘土質シルトからなり基底部分に細粒砂を挟む 2011 年イベント層、3) 黒色粘土質シルト (湖北部で層厚 15~29 cm、湖南部で層厚 13~21

cm), 4) オリーブ灰色粘土質シルト (北部で 8.5 cm, 南部で 5~7 cm), 5) 層厚 0.3-4.9 cm の茶灰色で塊状の粘土質シルト~粘土からなる 1888 年イベント層, 6) オリーブ灰色~黒色の粘土質シルト, からなる. 25 地点から採取した湖底堆積物コアのうち, 15 地点において 2011 年イベント層を, 10 地点において 1888 年イベント層を識別した. 放射性セシウム濃度の測定からは, 17 本の湖底堆積物コアにおいて大気圏内核実験の ^{137}Cs 濃度プロファイルが得られ, 14 本の湖底堆積物コアから 2011 年福島原発事故による ^{134}Cs ・ ^{137}Cs 濃度プロファイルが得られた.

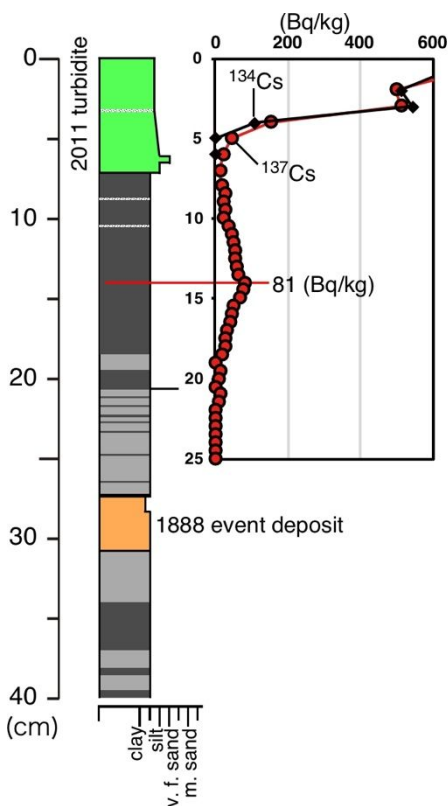
これら全体の層序と放射性セシウム濃度の鉛直変化が模式的に示される 2016-H1 コア (採取長 40 cm) を例として, 湖底堆積物の層序と放射性セシウム濃度のプロファイルとの対応について説明する (第 2 図). なお, このコアは INW2012 コアの採取位置とほぼ同じ地点で採取したものである. 2011 年イベント層 (層厚 7.7 cm) の ^{134}Cs は, 深度 0~4 cm において検出 (110~610 Bq/kg) されるが, それより下位では検出されない. ^{137}Cs は深度 0~4cm では 152~650 Bq/kg, 下部では 20Bq/kg 未満となり, 基底付近で最小値 (15 Bq/kg) となる. このことから 2011 年イベント層の発生は, 3 月 11 日地震の直後 (かつ福島原発事故以前) と考えるのが良い. また大気圏内核実験の ^{137}Cs は, 深度 21.5 cm で初めて検出され, 深度 14 cm でピーク (81 Bq/kg) となり, さらにその上位へと減少する. 2016-H1 コアにおける大気圏内核実験時の放射性セシウムのインベントリーは 1,900 Bq/m², 福島原発事故以降の放射性セシウムのインベントリーは 17,000 Bq/m² と計算される. ただし, 2016-H1 コアは, 湖底表層にある酸化層がコア採取時に確認できず, 2011 年イベント層の最上部が欠如していると考えられることから, 2016-H1 コアでは福島原発事故以降の放射性セシウムのインベントリーの正しい見積りはできない. なお, 2016-H1 コアの 1888 年イベント層上面から 2011 年イベント層基底までの堆積速度は, 0.15 cm/年である.

大気圏内核実験により日本に降下した ^{137}Cs のインベントリーは, 2010 年末時点で, 2,500 Bq/m² とされている (青山ほか, 2012). また, 福島原発事故による放射性セシウム (^{134}Cs ・ ^{137}Cs) の土壌濃度は, 猪苗代湖周辺において, 約 30,000 Bq/m² とされている (文部科学省, 2011). 猪苗代湖の湖底堆積物の大気圏内核実験時の放射性セシウムのインベントリーは, 1,100~3,000 Bq/m² の範囲にあり, 日本に降下した大気圏内核実験のインベントリーの値を大きくは超えない. 一方, 福島原発事故による放射性セシウム (^{134}Cs ・ ^{137}Cs) のインベントリーは, 33,000~93,000 Bq/m² の範囲にあり, 猪苗代湖周辺に降下したとされる値 (30,000 Bq/m²) よりも明らかに大きい. これは, 湖外から放射性物質が猪苗代湖に流入し, 湖底堆積物に付加されたためと考えられる. ここで, 1888 年イベント層上面から 2011 年イベント層基底までの堆積速度 (11 地点から算出) は, 0.15~0.29 (平均 0.20) cm/年であり, 北部と湖心部では 0.2 cm/年を超え, 南部では 0.2 cm/年以下であった. 堆積速度と大気圏内核実験および福島原発事故のインベントリーとは正の相関があり, 堆積速度が大きい地点は放射性セシウムのインベントリーも大きい. よって, 福島原発事故による放射性セシウムは, 湖外から流入し湖底堆積物に一樣に付加したのではなく, 堆積速度が大きい地点ほど付加される放射性セシウムの量が多くなった可能性が高い.

本研究では, 大気圏内核実験から福島原発事故時とその後を含む放射性セシウム濃度の堆積物プロファイルを, 猪苗代湖の多地点において, 系統的に明らかにした. また, 放射性セシウムの濃度プロファイルとイベント層との層序関係を詳しく検討することにより, 2011 年 3 月地震時の混濁流の発生時期を限定することができた. 放射性セシウムの濃度の値そのものや, プロファイルを正しく評価するためには, 湖底堆積物の堆積学的・層序学的検討が重要である. 福島原発事故による放射性セシウムの降下・沈積から流入付加の過程を明らかにすることは, 放射性セ



第1図 HR型不攪乱柱状採泥器によるコア試料の採取地点
粘土が卓越する水深60m以深を2km四方に区切ったA~Qまでの17区画. 赤丸が採取地点を表す.



第2図 2016-H1 コアの柱状図と放射性セシウム濃度プロファイル

シウムの蓄積に関する予測はもとより、猪苗代湖流域の表層物質の移動・堆積に関するモデルを構築する際の基礎資料としても重要である。

引用文献

- 青山道夫・五十嵐康人・廣瀬勝巳(2012)月刊降水物測定 660 ヶ月が教えること- ^{90}Sr , ^{137}Cs および Pu 降水量 1957 年 4 月~2012 年 3 月. 科学, 82, 442-457.
- 廣瀬孝太郎・山崎秀夫・長橋良隆(2016) ^{210}Pb , ^{134}Cs , ^{137}Cs 分析を用いた猪苗代湖の湖底堆積物コア (INW2012) 上部 2m の年代モデル. 地質学雑誌, 122 (11), 565-571.
- Kataoka K.S. and Nagahashi Y. (2019) From sink to volcanic source: Unravelling missing terrestrial eruption records by characterization and high-resolution chronology of lacustrine volcanic density flow deposits, Lake Inawashiro-ko, Fukushima, Japan. *Sedimentology*, 66, 2784-2827. doi:10.1111/sed.12629
- 環境省 (2012) 平成 23 年度公共用水域放射性物質モニタリング調査結果 (まとめ), http://www.env.go.jp/jishin/monitoring/results_r-pw-h23/2-04.pdf (2020 年 6 月 1 日確認)
- 文部科学省 (2011) 文部科学省による放射線量等分布マップ (放射性セシウムの土壌濃度マップ) の作成について (平成 23 年 8 月 30 日), https://radioactivity.nsr.go.jp/ja/content/s/6000/5043/24/11555_0830.pdf (2020 年 5 月 25 日確認)
- 末永友佑・計良勇太・難波謙二 (2016) 桧原湖北部堆積物中の放射性セシウム濃度. 塘忠顕編, 裏磐梯・猪苗代地域の環境学, 福島民報社, 41-45.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kataoka, K.S., Nagahashi, Y.	4. 巻 66
2. 論文標題 From sink to volcanic source: Unravelling missing terrestrial eruption records by characterization and high-resolution chronology of lacustrine volcanic density flow deposits, Lake Inawashiro-ko, Fukushima, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sedimentology	6. 最初と最後の頁 2784-2827
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1111/sed.12629	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 Sakuma Kazuyuki, Takahiro Nakanishi, Kazuya Yoshimura, Hiroshi Kurikami, Kenji Nanba, Mark Zheleznyak	4. 巻 208
2. 論文標題 A modeling approach to estimate the 137Cs discharge in rivers from immediately after the Fukushima accident until 2017.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Radioactivity	6. 最初と最後の頁 106041
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2019.106041	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 長橋良隆・片岡香子	4. 巻 73
2. 論文標題 磐梯火山北西斜面に露出する完新世テフラ層の記載と14C年代	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球科学	6. 最初と最後の頁 49-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.73.1_49	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 長橋良隆・片岡香子	4. 巻 73
2. 論文標題 安達太良火山東麓に露出する完新世テフラ層の記載と14C年代	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 地球科学	6. 最初と最後の頁 47-48
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.15080/agcjchikyukagaku.73.1_47	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 長橋良隆・木村純一・隅田まり・池原 研・片岡香子・中澤なおみ	4. 巻 57
2. 論文標題 猪苗代湖底堆積物コアおよび仙台沖海底堆積物コアに見出された北海道支笏カルデラ起源のSpfa-1テフラ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第四紀研究	6. 最初と最後の頁 65-75
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.4116/jaqua.57.65	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 -

〔学会発表〕 計11件(うち招待講演 0件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 長橋良隆・片岡香子・難波謙二
2. 発表標題 猪苗代湖の湖底堆積物に記録された1888年と2011年のイベント層と放射性セシウム濃度
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長橋良隆・片岡香子
2. 発表標題 ItmaxとXGTのXRF分析によるX線強度プロファイルの比較と火山起源イベント層の化学的特徴：福島県猪苗代平野地下ボーリングコア試料の例
3. 学会等名 高知大学海洋コア総合研究センター共同利用・共同研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 片岡香子・長橋良隆
2. 発表標題 猪苗代湖の湖底堆積物に記録された2011年タービダイトと磐梯山1888年噴火に関わるラハールイベント堆積物
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kataoka, K., Nagahashi, Y.
2. 発表標題 Reconstructing missing terrestrial eruption records without tephra-fall layers: high-resolution chronology of lacustrine volcanic density flow deposits, Lake Inawashiro-ko, Fukushima, Japan.
3. 学会等名 The 20th INQUA Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satish-Kumar, M., Kataoka, K., Nagahashi, Y.
2. 発表標題 Stable isotopes as tracers for elucidating the origin of siderite in the volcanogenic Lake Inawashiro-ko, Japan
3. 学会等名 The 20th INQUA Congress (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Nanba K., Onda Y., Sakaguchi A., Zheleznyak M., Hirao S., Igarashi Y., Ishiniwa H., Konoplev A., Rahman I., Shibasaki N., Takahashi J., Tsukada H., Uematsu S., Yoschenko V., Wakiyama Y., Yamasaki S.
2. 発表標題 Overview of initial phase of the project SATREPS: Strengthening of the environmental radiation control and legislative basis for the environmental remediation of radioactively contaminated sites
3. 学会等名 Fourth International Conference on Nuclear Decommissioning and Environment Recovery, Slavutych, Ukraine (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長橋良隆・片岡香子・難波謙二
2. 発表標題 猪苗代湖の湖底堆積物に記録された2011年のイベント層と放射能濃度
3. 学会等名 日本地質学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大槻弘晃・長橋良隆・柴崎直明
2. 発表標題 XRF分析結果とMT法解析結果を用いた磐梯火山山体の地下断面
3. 学会等名 地学団体研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 片岡香子・長橋良隆
2. 発表標題 地質記録に残りにくい高頻度小規模噴火の湖底イベント流堆積物を用いた履歴復元：安達太良火山・磐梯火山と猪苗代湖の例
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長橋良隆・片岡香子・難波謙二
2. 発表標題 福島県猪苗代湖湖底堆積物の2011年イベント層の識別
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 片岡香子・長橋良隆
2. 発表標題 隠された高頻度噴火およびバラハールの湖底イベント堆積物による履歴復元：安達太良火山・磐梯火山と猪苗代湖
3. 学会等名 日本地質学会第124年学術大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

磐梯朝日自然環境保全研究所
<http://www.sss.fukushima-u.ac.jp/bandai-asahi-project/>

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	片岡 香子 (Kataoka Kyoko S.) (00378548)	新潟大学・災害・復興科学研究所・准教授 (13101)	
研究分担者	難波 謙二 (Nanba Kenji) (70242162)	福島大学・共生システム理工学類・教授 (11601)	