

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年6月7日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02467

研究課題名(和文)福島原発事故で沈着した放射性セシウムの生活圏内再分布のモデル化と影響予測

研究課題名(英文) Modeling re-distribution of radioactive cesium deposited by the accident of Fukushima Dai-ichi nuclear power station and predicting influences of the cesium in livelihood area

研究代表者

西村 拓 (Nishimura, Taku)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：40237730

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,000,000円

研究成果の概要(和文)：対象とした流域から出る ^{137}Cs (以下RCs)の流出速度は小さく、かつ流出懸濁物質と高い相関を持っていた。しかし、その関係は2015年夏の台風による大きな出水を境に変化した。対象流域を小さく絞り、実踏と数値計算によってRCs流出を検討した結果、土砂ならびにRCsの流出は、流水部分近傍の限定された部分を起源としていることが示唆された。降雨毎に流出RCs量を精査すると、流出土砂の少ない時に採水試料が相対的に大きな放射能を示す事があった。そこで、採水試料からRCsを含む粒子を分画し、得られた粒子を電子顕微鏡等で観察・分析した結果、流出水中の懸濁物質の中にセシウムボールが含まれていたことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東日本大震災時の事故で環境中に大量の放射性物質が放出された。居住域や農地では一定の除染が行われたが、広大な面積を有する森林は手付かずである。森林に沈着した放射性物質の長期にわたる動態を予測することは、避難地域への帰還、被災地に関わる今後の様々な安全安心において重要である。水食数値計算、河川観測、実踏によって、流出する放射性物質は、森林中限定された領域を起源とすること、有機物や細粒土砂によるCs移動の促進が重要であること、さらに、森林域からセシウムボールの形で放射性物質が流出する事例があることが明らかになった。これらを踏まえて、今後、より精度の高いリスク評価が可能になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we confirmed discharge of radioactive Cs (RCs) is small and was correlated with sediment discharge. However, the relationship between RCs and sediment discharges has changed by a flooding during large typhoon at summer of 2015. From an examination of a smaller forested watershed by a combination of numerical simulation, monitoring of river discharge and ground truth revealed that quite limited area in the forest floor contributed sediment and RCs discharges from the forest. This suggested low annual RCs discharge rates from forests. Observation and analysis by transmission and scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry suggested cesium-bearing particle in river water samples had a role on radioactivity of the water samples, especially the sample contained less suspended solids.

研究分野：土壌物理学

キーワード：放射性セシウム 水食 森林 WEPP 溶存有機物 コロイド促進輸送

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

チェルノブイリ事故以後ヨーロッパ各地で事故で環境中に放出された放射性 Cs の動態について知見が蓄積されてきた。一方、福島温暖湿潤な気候や急峻な地形といったヨーロッパとの自然条件の違いに起因する土壌内外の物質移動の速さが放射性 Cs 再分布に影響を及ぼすことが想定されるが、詳細については、まだ未解明な点が多い。営農再開や住民の帰還を前に安全安心を議論するために、環境中の Cs の分布の変化についてさらに研究する必要がある。

2. 研究の目的

土砂に収着した放射性 Cs の生活圏内再分布の予測、評価手法の提案ならびに流亡した土砂と放射性 Cs のため池等水域への蓄積実態の解明を目的とした。

3. 研究の方法

福島県南相馬郡飯館村内において、比較的大きな集水域(11 および 26km²)を持つ 2 河川と、この河川の集水域に含まれる森林小集水域(56ha)の 3 か所において、水位、濁度、気象状況などを連続的にモニタリングすると共に、自動採水器で降雨時に濁水を採取した濁水試料は、大学に持ち帰り、ろ紙、メンブレンフィルターでろ過し、ろ液中の水溶性 Cs、ろ過で固液分離した吸着態 Cs に分画し、それぞれ、放射能に応じて NaI シンチレーション検出器、Ge 半導体検出器で放射性物質の定量を行った。また、気象データ、公開されている DEM 等を入力値として、広域の水食予測プログラム GeoWEPP を用いて、土砂流出予測計算を行った。計算結果と森林小集水域の実踏・表層土壌の採取・分析ならびに侵食状況観察結果に基づいて、森林内から流出する土砂とそれに伴う懸濁態 Cs の流出について考察した。

さらに、濁水試料の放射能のばらつきに留意し、単位質量当たりの放射能が高い試料から固体粒子を分離し、イメージングプレート撮像、電子顕微鏡観察ならびにエネルギー分散型 X 線分析を行った。

4. 研究成果

(1) 大きなスケールの放射性 Cs 流出

河川における各採水地において、河川水の濁度、濁度と懸濁粒子濃度(G/L)、懸濁粒子濃度(g/L)と¹³⁷Cs濃度(Bq/L)の関係を求めた。さらに、水位と流量の関係を求め、モニタリングした水位、濁度から、¹³⁷Cs流出量を算出した。

図1は懸濁粒子濃度とそれに含まれる¹³⁷Csである。南部に位置する Hiso の方が若干高い値を示す。2013年から2015年は、懸濁粒子濃度と¹³⁷Cs濃度の間に非常に高い相関があった。2016年のデータは、過去3年間の傾向から大きく外れた。2015年夏の大きな台風による大規模な出水と大量の土砂流出の後、懸濁物質と共に移動する¹³⁷Csの流出特徴が変化したことがわかる。

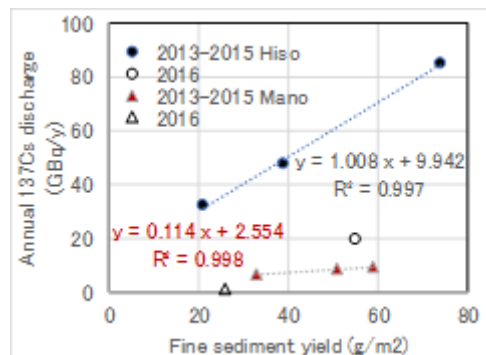


図1 流域からの年間¹³⁷Cs流出量と侵食土砂の関係(引用 から作成)

(2) 森林小流域を対象とした土砂ならびに放射性 Cs 流出の詳細検討

既往の研究にもあるように、2011年の事故時の沈着量に対して、年間の¹³⁷Cs流出量は、1%未満であり(たとえば、Ueda et al. 2013)、大半の¹³⁷Csが森林内で循環していると考えられている。一方、表層土壌の有機物含量が高い場合、相対的に深い位置まで¹³⁷Csが移行していることがわかった。溶存有機物を用いた室内カラム実験においてもこれを定性的に再現することができた。

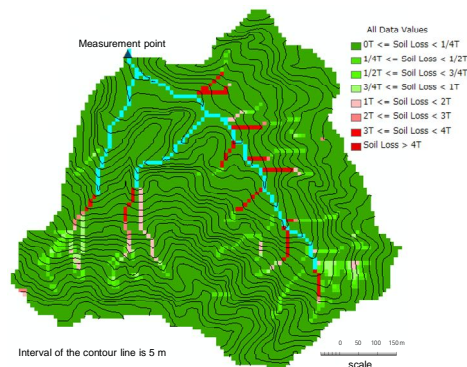


図2 森林小流域からの土砂流亡の分布計算値(引用)

森林からの¹³⁷Cs流出速度が小さいことを検証するため、実踏可能な大きさの集水域を選んで、GeoWEPPによる水食シミュレーションと現地調査を行った。また、(1)に述べたモニタリングと採水も行った。計算に用いるパラメータが入手困難であったため、今回は、類似した花崗岩風化土からなる愛知県の森林集水域のデータを用いてパラメータを推定し、このパラメータを用いて、モニタリング結果を再現するような降雨流出、土砂流出が得られるか検討した。

図2は結果の一例であるが、土砂流亡が生じるのは、森林内でも水域に近い極めて限定された場所であることが示唆された。この結果は、実踏時の観察とも整合性があった。すなわち、水域にアクセス可能な¹³⁷Csが沈着した全量に対して少ないことが、¹³⁷Csの年間流出量を抑制している要因であると考えられる。

(3) 質量当たりの放射能が高い粒子の分画

採水試料中の細粒分(SSC)と¹³⁷Cs含量の関係をみると、それなりに高い相関があるものの、回帰直線から外れる値も多い。これが、いわゆる自然のばらつきなのか、それとも理由のある

偏りなのか、明らかにすべきと考えて、検討を進めた。図3のように集水域が広い河川の試料は、複数の小河川が合流した結果を反映すると推察される。そこで、(2)で対象とした小さな集水域のデータを精査した。

図4に示す様に、小集水域で比較的懸濁粒子濃度が低い時のデータを見ると、懸濁粒子濃度がある程度 (<100 mg/L) 小さくなると、試料水中の¹³⁷Cs濃度のばらつきが著しくなることがわかった。逆に懸濁粒子濃度が200 mg/Lを超えると、試料水中の¹³⁷Cs濃度は若干の外れ値を除いて、ほぼ一定になる。そこで、懸濁粒子濃度が低いにも拘らず、¹³⁷Cs濃度が高い試料をろ過したものについて、イメージングプレート(IP)で分画した懸濁粒子中の放射能分布を得、ここから、特に放射能の高い部位について、放射能を発する粒子の分離を試みた。粒子の分画とIPの撮影については、協力者の二瓶直登准教授、羽田野聡氏の協力を得た。図5に示す様に、メンブレンフィルター上に残った懸濁粒子に対して、相対的に大きな放射能を示すスポットが存在する。スポットの有無は、懸濁粒子濃度に関係ないようであり、低懸濁粒子濃度であっても、いくつかスポットを示すような場合には、試料全体として高めの放射能を示す結果となった。

分画した粒子を協力者の小暮敏博教授(東京大学)ならびに奥村大河博士の協力で電子顕微鏡ならびにエネルギー分散型X線分析による定性分析を行った。結果の一例を図6に示す。

図6は、直径1.4 μm程度の球状の粒子であり、分光スペクトルの分布から¹³⁷Csを含んでいることがわかる。さらに、元素の面的分布をみると(本報告には未掲載、投稿中)球状粒子の断面に均質にSi, O, Fe, Zn, Kが分布していることから、ケイ酸塩鉱物で鉄(Fe)、亜鉛(Zn)を含んでいるとみなせる。また、低濃度ではあるが、万遍なくRbが含まれると同時に、Csは表面(周囲)近傍に円上に分布していた。

引用文献

Osawa, K., Y. Nonaka, T. Nishimura, K. Tanoi, H. Matsui, M. Mizoguchi, T. Tatsuno: Quantification of dissolved and particulate radiocesium fluxes in two rivers draining the main radioactive pollution plume in Fukushima, Japan (2013–2016), *Anthropocene*, 64, 197–206 2018.

Yamasaki, T., S. Hamamoto and T. Nishimura, Prediction of particulate radiocesium discharge from a small forested catchment by using GeoWEPP, Annual Meeting of Paddy and Water Environment Engineering, 2018

西村 拓, 福島県の森林小流域から流出する放射性Csの特徴, 平成29年度農業農村工学会大会, 2017(藤沢)

Ueda, S., H. Hasegawa, H. Kakiuchi, N. Akata, Y. Ohtsuka, and S. Hisamatsu, Fluvial discharges of radiocesium from watersheds contaminated by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, *Japan, J. Environ. Radioact.*, 118, 96–104, 2013

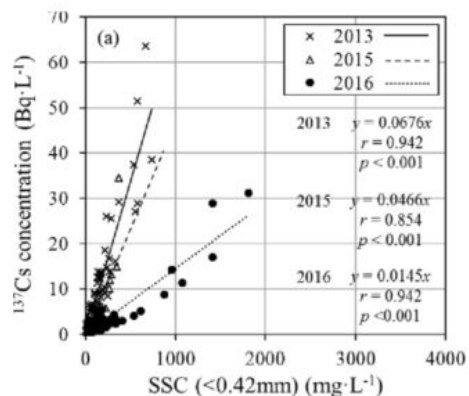


図3 比叢川採水試料中の細粒分(SSC)と¹³⁷Cs含量の関係(引用)

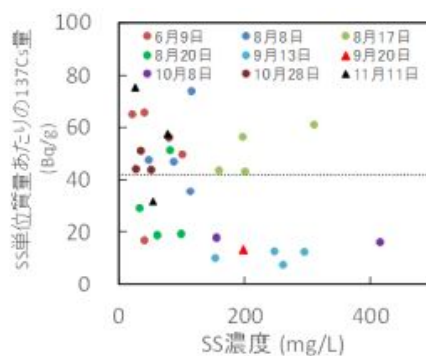


図4 森林小河川における採水試料中の懸濁粒子濃度(SS)と単位固体質量当たりの¹³⁷Cs含量(2016年, 引用)

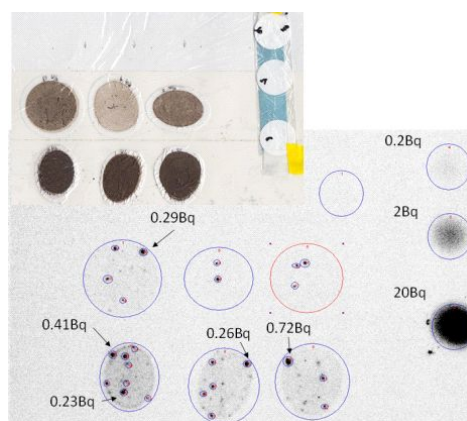


図5 メンブレンでろ過した懸濁物質とそのイメージングプレート画像(引用)

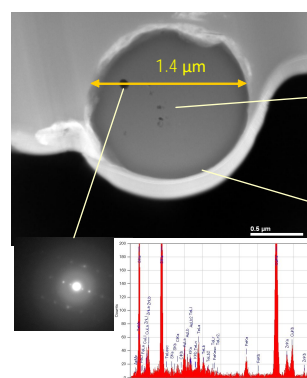


図6 メンブレン残留粒子から分画したセシウムボールの例(引用)

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 10 件)

Kazutoshi Osawa, Yui Nonaka, Taku Nishimura, Keitaro Tanoi, Hiroyuki Matsui, Masaru Mizogichi, Takahiro Tatsuno: Quantification of dissolved and particulate radiocesium fluxes in two rivers draining the main radioactive pollution plume in Fukushima, Japan (2013–2016), *Anthropocene*, 64: 197-206 (2018). 査読有り

Yoshida, S., Shiozawa, S., Zaito, T., Yamano, H., Nishida, K., Handmade Becquerel meter using commercial scintillation survey meter, 139: 15-20 (2018) 査読有り

Hamamoto, S., T. Eguchi, K. Kubo, N. Nihei, T. Hirayama, and T. Nishimura, Adsorption and Transport Behaviors of Potassium in Vermiculitic Soils, *Radioisotopes* 67(3): 93-100–108 (2018) <https://doi.org/10.3769/radioisotopes.67.93> 査読有り

Ochi, K., M. Sasaki, M. Ishida, S. Hamamoto, T. Nishimura, Y. Sanada, Estimation of the Vertical Distribution of Radiocesium in Soil on the Basis of the Characteristics of Gamma-Ray Spectra Obtained via Aerial Radiation Monitoring Using an Unmanned Helicopter, *Environmental Engineering and Public Health* 14(8): 926-940; (2017) 査読有り

Yamasaki, T., H. Imoto, S. Hamamoto and T. Nishimura, Determination of the role of entrapped air in water flow in a closed soil pipe using a laboratory experiment, *Hydrological Processes*. 31:3740-3749 (2017) 査読有り

Kato C. and T. Nishimura, Predicting soil moisture condition in arbitrary agricultural lands using the digital soil map and soil physical properties database, *Paddy and Water Environment*, 15: 159-169 DOI: 10.1007/s10333-016-0537-z (2017) 査読有り

Guan, Z., Tang, X.Y., Yang, J.E., Ok, Y.S., Xu, Z.H., Nishimura, T., Reid, B.J. A review of source tracking techniques for fine sediment within a catchment, *Environmental Geochemistry and Health* 39(6): 1221-1243 (2017) 査読有り

西脇淳子, 浅木直美, 小松崎将一, 溝口勝, 登尾浩助, 飯舘村除染後水田における生産性回復のための有機資源投入実証実験, 土壌の物理性, 135:33-39 (2017) 査読有り

溝口勝, 飯舘村における村学民協働による農地除染と農業再生の試み, 水土の知, 84(6), 469-473 (2016) 査読有り

塩沢昌, 放射性セシウムの土壌中の挙動と水系への流出, 農業農村工学会誌, 84(6): 495-499, (2016). 査読有り

[学会発表] (計 26 件)

西村拓, 土壌中の Cs の移動: 速い現象 遅い現象 (依頼講演), 2016 年度土壌物理学大会 2016(京都),

辰野宇大, 二瓶直登, 濱本昌一郎, 休石美佐, 篠原 魁, 西村 拓, 飯舘村における森林からの Cs 流出のモニタリング, 2016 年度土壌物理学大会, 2016(京都),

溝口勝, 板倉康裕, 小原壮二, 高橋正二, 田尾陽一, 飯舘村の居久根 (屋敷林) の除染実験, 2016 年度土壌物理学大会, 2016 (京都),

登尾 浩助, 本多 隆太, 高木 悠輝, 溝口 勝, 西村 拓, 飯舘村除染後斜面におけるセシウム移動, 平成 28 年度 農業農村工学会大会, 2016 (仙台)

Quoc Thuyet Dang, 辰野 宇大, 井本 博美, 浜本 昌一郎, 西村 拓, 福島県飯舘村の放棄林地内の不かく乱土における放射性 Cs 分布の特徴, 平成 28 年度農業農村工学会大会, 2016 (仙台)

辰野 宇大, Thuyet Dang, 井本 博美, 濱本 昌一郎, 西村 拓, Effects of Dissolved Organic Matter on Transport of Cesium in weathered granite soil, 日本地球惑星科学連合大会, 2016(幕張)

山崎琢平, 休石美佐, 濱本昌一郎, 西村 拓 GeoWEPP を用いた森林小流域からの Cs 流出予測に関する検討, 第 59 回土壌物理学大会, 2017(札幌)

西村 拓, 福島県の森林小流域から流出する放射性 Cs の特徴, 平成 29 年度農業農村工学会大会, 2017(藤沢)

大澤和敏, 野中優衣, 西村拓, 溝口勝, 松井宏之: 福島県飯舘村の 2 河川における放射性セシウム流出の形態と経年変化, 平成 29 年度農業農村工学会大会, 2017(藤沢)

西村 拓, 濱本 昌一郎, 二瓶 直登, 篠原 魁, Monitoring of radioactive Cs in stream discharge from small un-decontaminated forest in Fukushima, 日本地球惑星科学連合大会, 2017(幕張) .

大澤 和敏, 西村 拓, 溝口 勝, 福島県飯舘村の 2 河川における放射性セシウム流出の形態と経年変化, 2017 年度日本地球惑星科学連合大会, 2017(幕張) .

辰野 宇大, 濱本 昌一郎, 西村 拓, Effects of Soil Organic Matter on Transport of Cesium in weathered granite soil, 日本地球惑星科学連合大会, 2017(幕張)

Yasumiishi, Misa; Nishimura, T.; Osawa, K.; Renschler, C., Decoding Environmental Processes Using Radioactive Isotopes for the Post-Radioactive Contamination Recovery Assessment, 19th EGU General Assembly, EGU2017, 2017 (Vienna, Austria)

西村 拓 第 8 回「放射線計測フォーラム福島」主催: 日本学術振興会第 186 委員会 除染前後の土壌における諸課題, 2017(京都大学東京オフィス) (依頼講演)

Yasumiishi, Misa; Nishimura, T.; Renschler, C. Assessing the Distribution Patterns of

Radiocesium in a Small Watershed in Fukushima, Japan Using Soil Samples and Walk-through Air Dose Data, 20th EGU General Assembly, EGU2018, 2018 (Vienna, Austria)

Yasumiishi, M.; Renschler, C. S.; Nishimura, T. Exploring Renewed Methods to Identify the Spatiotemporal Distribution Patterns of Fallout Radiocesium in Watersheds 日本地球惑星科学連合大会, 2018 (幕張)

Nishimura, T., T. Yamasaki, S. Hamamoto, H. Imoto, M. Mizoguchi, Soil compaction: Old but a new problem in Fukushima caused by decontamination, 日本地球惑星科学連合大会, 2018 (幕張)

Saito M., K Osawa, T Nishimura, Variation of ¹³⁷Cs dynamics from 2013 to 2017 and its analysis with GeoWEPP in Fukushima, 日本地球惑星科学連合大会, 2018 (幕張)

Osawa, K., T. Nishimura., M. Mizoguchi Radiocesium transport processes and their temporal variation in Fukushima, Japan, 日本地球惑星科学連合大会, 2018 (幕張)

Yamasaki, T., S. Hamamoto, T. Nishimura, Prediction of water discharge and sediment runoff from a small forested catchment for evaluating radioactive cesium discharge, 日本地球惑星科学連合大会, 2018 (幕張)

⑲ Noborio, K., Y Sunakawa, R. Honda, Y. Takagi, M. Mizoguchi, T. Nishimura, Radiocesium transport on the hillslope of a backyard mountain, 日本地球惑星科学連合大会, 2018 (幕張)

⑳ 山崎琢平・濱本昌一郎・西村 拓, GeoWEPP を用いた森林小流域からの放射性セシウム流出予測に関する研究, 平成 30 年農業農村工学会大会, 2018 (京都)

㉑ 斉藤真利・大澤和敏・西村 拓・松井宏之, 福島県飯館村における土壌侵食に伴う放射性セシウムの流出動態評価, 平成 30 年農業農村工学会大会, 2018 (京都)

㉒ 山崎琢平・濱本昌一郎, 西村 拓 森林小流域における土壌流亡のモデル計算と現地調査の比較, 2018 年度土壌物理学学会大会, 2018 (札幌)

㉓ Yamasaki, T., S. Hamamoto and T. Nishimura, Prediction of particulate radiocesium discharge from a small forested catchment by using GeoWEPP, Annual Meeting of Paddy and Water Environment Engineering, 2018 (Nara)

㉔ Renschler, C. K. Osawa, T. Yamasaki, and T. Nishimura, Measureing and modeling runoff, soil erosion and sediment yields to assess management options in the Post-Fallout Watersheds on Iitate village, Fukushima, Japan, American Geophysical Union Fall Meeting 2018 2018 (Washington D.C.)

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：飯田俊彰

ローマ字氏名：Iida Toshiaki

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院農学生命科学研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁): 30193139

研究分担者氏名：溝口 勝

ローマ字氏名：Mizoguchi Masaru

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院農学生命科学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁): 00181917

研究分担者氏名：塩沢 昌

ローマ字氏名：Shiozawa Sho

所属研究機関名：東京大学

部局名：大学院農学生命科学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁): 80134154

研究分担者氏名：大澤和敏

ローマ字氏名：Osawa Kazutoshi

所属研究機関名：宇都宮大学
部局名：農学部
職名：准教授
研究者番号（8桁）：30376941

研究分担者氏名：登尾浩助
ローマ字氏名：Noborio Kousuke
所属研究機関名：明治大学
部局名：農学部
職名：専任教授
研究者番号（8桁）：60311544

(2)研究協力者

研究協力者氏名：クリス レンシュラー
ローマ字氏名：Chris Renschler
所属研究機関名：University at Buffalo, The State University of New York
部局名：Department of Geography, Collage of Arts and Sciences
職名：准教授

[その他の研究協力者]

研究分担者氏名：休石美佐
ローマ字氏名：Yasumiishi Misa
研究協力者氏名：濱本昌一郎
ローマ字氏名：Hamamoto Shoichiro
研究協力者氏名：山崎琢平
ローマ字氏名：Yamasaki Takuhei
研究協力者氏名：二瓶直登
ローマ字氏名：Nihei Naoto
研究協力者氏名：吉田修一郎
ローマ字氏名：Yoshida Shuichiro
研究協力者氏名：小暮敏博
ローマ字氏名：Kogure Toshihiro
研究協力者氏名：奥村大河
ローマ字氏名：Okumura Taiga
研究協力者氏名：羽田野聡
ローマ字氏名：Hadano Satoshi

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。