

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04965

研究課題名（和文）堆積物の放射性核種・磁化特性による河川流域の土砂流出イベント履歴復元手法の開発

研究課題名（英文）Reconstruction of the past sediment discharge events based on atmospheric radionuclides and magnetic properties of lacustrine and inner bay sediments

研究代表者

落合 伸也 (Ochiai, Shinya)

金沢大学・環日本海域環境研究センター・助教

研究者番号：10401936

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では湖沼や内湾の堆積物に含まれる大気由来放射性核種Pb-210と磁化特性を組み合わせた土砂流出イベント層の検出法の開発と、流域における過去数十年～百数十年間の土砂流出イベント履歴の復元を試みた。石川県七尾西湾および富山県立山地域の泥鰯池にて堆積物コアを採取し、Pb-210濃度、帯磁率等の鉛直変動からイベント層の識別及び年代推定を行った。推定されたイベント層の年代は過去に流域で発生した洪水・豪雨記録によく対応しており、年代推定とともに直接イベント層を識別できるPb-210と高分解能測定が可能な磁化特性を組み合わせる本研究の手法は、高い精度でイベントを検出・復元可能であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、豪雨など極端気象現象に伴う土砂災害が相次いでおり、こうした水文環境の変化が流域からの土砂流出に与える影響の予測が不可欠になっている。従来こうした豪雨災害や土砂災害の定量記録は、測器による気象観測が開始された明治時代以降に限られていることから、本研究の成果は特に観測網が整備されていない国土縁辺部における、数十年に一度の規模の流域の土砂流出挙動の詳細把握、土砂流出イベントの発生頻度等の知見の取得につながり、適切な流域管理、防災計画の策定等に寄与できると考えられる。

研究成果の概要（英文）：This study aims to reconstruct the past sediment discharge events in river catchments based on atmospheric radionuclides and magnetic properties of lacustrine and inner bay sediments. Vertical changes in excess Pb-210 and magnetic susceptibility of the sediment cores obtained in the West Nanao Bay (Ishikawa Prefecture) and the Lake Dojo-ike in Tateyama area (Toyama Prefecture) were analyzed to identify event layers and estimate their ages. Estimated ages of the event layers in the sediment cores corresponded well to the past heavy rainfall and flood events documented in the catchment area. These results indicate that Pb-210 and magnetic properties of the sediment are useful to reconstruct the past sediment discharge events in the catchment area.

研究分野：水文地形学

キーワード：土砂流出イベント 堆積物 大気由来放射性核種 磁化特性

## 1. 研究開始当初の背景

河川流域を構成する碎屑物・有機物等を含む土砂の侵食・運搬作用は、陸域から海洋への主要な物質流出プロセスであるとともに、流域の地形発達や土砂災害等に深く関与するプロセスでもある。これらの侵食・運搬作用は降水を元とする流水の作用であり、河川流域での降水量等の水文環境の変化は、これらの作用に大きな影響を及ぼす。

近年、豪雨など極端気象現象に伴う土砂災害が相次いでいるが、今後の地球温暖化による気候変動に伴い、こうした極端気象現象の増加が予想され、水文環境の変化が流域からの土砂流出に与える影響の予測が不可欠になっている。また、人為的な植生改変等による河川流域の環境変動もまた、土砂移動プロセスに影響する。特に、過疎高齢化に伴う森林・耕作放棄地の増加等の流域環境の変化は、国土縁辺部の共通問題である。こうした地域を含む適切な流域管理、防災計画の策定には、流域の土砂流出挙動の詳細把握、土砂流出イベントの発生頻度等の知見は必要不可欠である。しかし従来、こうした豪雨災害や土砂災害の定量記録は、測器による気象観測が開始された明治時代以降に限られており、特に観測網が整備されていない国土縁辺部では、数十年に一度の規模の土砂流出イベントの知見は、限定されているのが現状である。

## 2. 研究の目的

以上の背景から本研究では、湖沼・貯水池・閉鎖性海域（湾）の堆積物に含まれる大気由来放射性核種と磁化特性（帯磁率・残留磁化）を用いた土砂流出イベント層の検出法を開発し、流域における過去の土砂流出イベント履歴の復元を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

湖沼・貯水池・湾には流域から流出する土砂が堆積物として蓄積していくため、これらの堆積物は過去の土砂流出イベントのアーカイブとして利用可能である。大気由来放射性核種の $^{210}\text{Pb}$ （半減期 22.3 年）は土砂と共に堆積物中に蓄積する。定常的堆積環境では、 $^{210}\text{Pb}$  濃度は下方へ指数関数的に減少し、それをもとに堆積年代が推定できる。一方、急激な土砂流入時には濃度異常層が形成されることを利用してイベント層を検出できる。また堆積物の磁化特性は含まれる磁性鉱物の量・種類を反映し、粒径等の物理特性とともに堆積構造や堆積時の流水状況も推定できる。

本研究では、石川県・能登半島の七尾西湾と富山県の常願寺川上流域（立山カルデラ）に位置する泥鱈池を研究対象地とした（図 1）。七尾湾の主要流入河川である熊木川では、過去に度々氾濫・洪水が発生しており、イベント層が沖合堆積物に記録されている可能性がある。また立山カルデラ内の泥鱈池は、1858 年の飛越地震の際に発生した鳶崩れで形成された堰止湖の名残と言われている。2019 年 5 月に七尾西湾北西部の熊木川河口沖合で、重力落下式コアサンプラーにより堆積物コア(19NW-2、約 62 cm)を採取した。泥鱈池においても同様に、2019 年 10 月に堆積物コア(19DJ-1、約 46 cm；19DJ-2、約 64 cm)を採取した。これらのコアは 2 cm 毎に切断し、 $^{210}\text{Pb}$  と粒径分析用試料とした。また内径 2 cm のプラスチックキューブを用いて、堆積構造を保ったまま磁化測定用試料を採取した。また、現在進行している堆積過程でも、これらの堆積物パラメータが降水イベントを反映するかを検証するために、石川県珠洲市の貯水池にて毎月堆積する堆積物をセディメントトラップ（沈降粒子捕集装置）で採取し、水文変動への応答性を検証した。

これらの試料は、金沢大学の Ge 半導体検出器により過剰 $^{210}\text{Pb}$ （大気由来 $^{210}\text{Pb}$ 、以下 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ ）濃度を測定した。また、帯磁率を富山大学の帯磁率計で求め、粒径を金沢大学のレーザ回折式粒度分布測定装置で測定した。

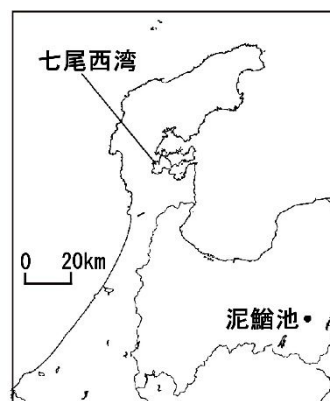


図 1 調査対象地域

## 4. 研究成果

七尾西湾 19NW-2 コアでは、堆積物の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  濃度は変動を伴いながら下方へ減衰しており、最下部の年代は 60-70 年前と推定された。この間、4 つの急激な堆積を示す $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  濃度の異常層が見られた（図 2）。これらの $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  濃度の異常層は、概ね帯磁率と粒径が大きくなる層準に対応しており、密度の高い磁性鉱物・粗粒粒子の急激な流入を伴う土砂流入イベントを示唆している。各イベント層内の平均 $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  濃度を算出し、イベント間の $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  濃度差から年代を求めた結果、各層準は 2019 年頃、2013 年頃、2003 年頃、1986 年頃と推定された。これらを熊木川に

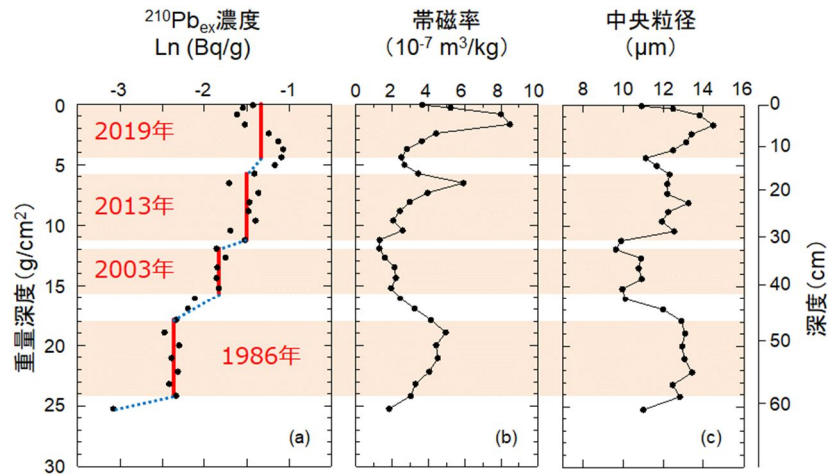


図2 七尾西湾 19NW-2 コアの(a) $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$ 濃度(自然対数表示)、(b)帯磁率、(c)中央粒径の鉛直変動。網掛け箇所は  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  濃度からイベント層と推定された層準。

において過去に発生した氾濫・洪水災害記録と比較したところ、これらのイベント層は、2018年(または2019年)、2011年(または2009年)、2002年、1985年に熊木川で発生した洪水イベントにそれぞれ対応する可能性が考えられた。これらの結果から、年代推定とともに直接イベント層を識別できる  $^{210}\text{Pb}$  と、高分解能測定が可能な帯磁率を組み合わせる本研究の手法は、高い精度でイベントを検出・復元可能であることが示された。

また、泥鱧池の 19DJ-1 コアおよび 19DJ-2 コアでは、おおよそ 100 年間の堆積記録が得られ、この間  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  の鉛直分布には 4 つの急激な堆積を示すイベント層が見られた。過去に泥鱧池において実施されたセディメントトラップによる堆積量の経時観測では、2004 年に豪雨による土砂流出が報告されており、コアの最上層のイベントは、この土砂流出に対応していると考えられた。このことから、七尾西湾の結果と同様に、本研究の手法によりイベント層の判別および年代推定が可能であることが示された。泥鱧池コアの下層に見られた残り 3 つのイベント層は、現時点では年代および豪雨記録との対応の検証に至っていないものの、おおよそ 1960 年代、1940 年代、1920 年代頃と推定され、本地域における過去約 100 年間にわたる土砂流出イベント履歴を推定することができた。

さらに、現在進行している堆積過程での帯磁率・粒径の水文変動への応答性を検証するため、石川県珠洲市の貯水池にて沈降粒子の採取を 2019 年から 2021 年まで実施した。沈降粒子の帯磁率・粒径は降水量・流量と対応した変動を示し、これらが豪雨等の推定に有効であることが確認できた。

これらの地域での研究結果から、年代推定とともに直接イベント層を識別できる  $^{210}\text{Pb}$  と高分解能測定が可能な磁化特性を組み合わせる本研究の手法は、高い精度でイベントを検出・復元可能であることが示された。こうした手法は、特に観測網が整備されていない国土縁辺部における、数十年に一度の規模の流域の土砂流出挙動の詳細把握、土砂流出イベントの発生頻度等の知見の取得につながり、適切な流域管理、防災計画の策定等に寄与できると考えられる。今後はより古い時代の土砂流出イベント履歴の復元への応用を行うとともに、他地域の湖沼・内湾等での調査を行い、豪雨・洪水に加えて地震、火山噴火等による土砂流出イベント履歴についても研究を行っていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

|                                                                                                                |                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Ochiai Shinya, Fujita Atsushi, Tokunari Takeo, Sakai Hideo, Nagao Seiya                              | 4. 巻<br>198               |
| 2. 論文標題<br>DISTRIBUTIONS OF 210PB, 137CS AND PHYSICAL PROPERTIES IN BOTTOM SEDIMENTS OF WEST NANA O BAY, JAPAN | 5. 発行年<br>2022年           |
| 3. 雑誌名<br>Radiation Protection Dosimetry                                                                       | 6. 最初と最後の頁<br>1058 ~ 1065 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/rpd/ncac053                                                                | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|                                                  |                    |
|--------------------------------------------------|--------------------|
| 1. 著者名<br>落合伸也, 酒井英男, 柏谷健二, 長尾誠也, 丹保俊哉, 飯田 肇     | 4. 巻<br>17         |
| 2. 論文標題<br>堆積物の放射性核種・磁化特性・物理特性に基づく過去の洪水イベント推定の試み | 5. 発行年<br>2020年    |
| 3. 雑誌名<br>富山県立山カルデラ砂防博物館研究紀要                     | 6. 最初と最後の頁<br>7-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                   | 査読の有無<br>無         |
| オープンアクセス<br>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<br>-          |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

|                                                             |
|-------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>落合伸也, 柏谷健二, 酒井英男, 卜部厚志, 石丸聡, 仁科健二                |
| 2. 発表標題<br>湖沼・内湾堆積物の大気由来放射性核種・磁化特性・物理特性に基づく流域の土砂流出イベント履歴の推定 |
| 3. 学会等名<br>日本地形学連合2022年秋季大会                                 |
| 4. 発表年<br>2022年                                             |

|                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Ochiai, S., Fujita, A., Tokunari, T., Kawamura, K., Sakai, H., Nagao, S.                                                        |
| 2. 発表標題<br>Distributions of 210Pb, 137Cs, and physical properties in bottom sediments of West Nanao Bay, Japan                             |
| 3. 学会等名<br>International Symposium on the Environmental Dynamics of Radionuclides and Biological Effects of Low Dose-Rate Radiation (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年                                                                                                                            |

|                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>鶴岡幹矢, 落合伸也, 松木篤, 長尾誠也                                                 |
| 2. 発表標題<br>大気由来放射性核種 <sup>7</sup> Beと <sup>210</sup> Pbを用いた貯水池-集水域系における土壌粒子の動態把握 |
| 3. 学会等名<br>日本放射化学会第64回討論会                                                        |
| 4. 発表年<br>2020年                                                                  |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>落合伸也, 田原龍之介, 松中哲也, 長尾誠也    |
| 2. 発表標題<br>能登半島・熊木川流域での大気由来放射性核種の流出挙動 |
| 3. 学会等名<br>日本陸水学会 第84 回大会             |
| 4. 発表年<br>2019年                       |

|                                          |
|------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>落合伸也, 長尾誠也, 林俊全, 柏谷健二         |
| 2. 発表標題<br>堆積物の放射性核種・物理特性から見た流域の土砂流出イベント |
| 3. 学会等名<br>汽水域研究会2019年(第11回)北潟湖大会        |
| 4. 発表年<br>2019年                          |

|                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>Tsuruoka, M., Ochiai, S., Matsuki, A., Nagao, S.                                                                                        |
| 2. 発表標題<br>Dynamics of earth surface materials in a reservoir-catchment system inferred from <sup>7</sup> Be and <sup>210</sup> Pb.                |
| 3. 学会等名<br>The 16th East Eurasia International Workshop Present Earth Surface Processes and Long-term Environmental Changes in East Eurasia (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年                                                                                                                                    |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|               | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                    | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号)                | 備考 |
|---------------|----------------------------------------------|--------------------------------------|----|
| 研究<br>分担<br>者 | 酒井 英男<br><br>(Sakai Hideo)<br><br>(30134993) | 富山大学・理学部・客員教授<br><br><br><br>(13201) |    |

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|