

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：25101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06343

研究課題名(和文) 河川懸濁物質の組成および同位体データベースを用いた表層崩壊検知システムの構築

研究課題名(英文) System for detection of the event of shallow landslide using the composition and isotope database of particulate material in river water

研究代表者

角野 貴信 (Kadono, Atsunobu)

公立鳥取環境大学・環境学部・准教授

研究者番号：50511234

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)：流域内における母材の元素組成は、河川水中の懸濁および溶存物質組成に影響を与える。しかし、流域全体の土壌と河川の構成成分の変化を推定可能なモデルは少ない。そこで千代川流域において河川水を採取し、懸濁および溶存物質組成を調べた。また、流域内の地質、地形、土壌、降水量分布をGISによって統合し、採水地点における懸濁および溶存物質組成を説明する因子を抽出した。その結果、母材因子としては、花崗岩が溶存イオン組成、花崗閃緑岩・デイサイトが懸濁態組成の一部にそれぞれ影響を及ぼしていた。気象因子として、中間流出量は懸濁態物質含量と有意な正の相関を示したが、地域別にみると必ずしも流出量は影響していなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球規模での気候変動の顕在化により、増加する傾向のある表層崩壊や土壌侵食、洪水等の豪雨被害への関心は全世界的に高まっており、表層崩壊や土壌侵食の発生場所と規模を検知するシステムの構築につながる本研究は、大きなインパクトを持つと考えられる。特に、高度な防災システムを持たない途上国において、システムの簡便さからより大きな役割を持つと考えられる。また学術的にも、これまであまり正確な推定値が求められていない、日本近海に対する陸域からの河川経由の物質輸送量について新たな知見を提供できると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The elemental composition of the parent material in the river basin affects the particulate and dissolved material composition in river water. However, there are few models that can estimate changes in soil and river compositions throughout the basin. Therefore, river water was collected in the Sendai River basin, and the composition of particulate and dissolved materials were investigated. In addition, the geology, topography, soil, and precipitation distribution in the basin were integrated by GIS, and the factors explaining the particulate and dissolved materials composition at the sampling point were extracted. As a result, as the parent material factor, granite affected the dissolved ion composition, and granodiorite/dacite affected a part of the particulate composition. As a meteorological factor, the intermediate runoff showed a significant positive correlation with the particulate content, but the runoff did not necessarily explained the variation of compositions.

研究分野：土壌学

キーワード：土壌侵食 地下水質

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

防災上、宅地に近く地質や地形などの点から土砂災害が起こりやすいと考えられる地域が「土砂災害警戒区域」として指定されているものの、その総数は全国で約 67 万区域に上り、豪雨や地震の度にその全てを点検することは不可能である。また、2018 年 9 月に北海道胆振東部地震で起きた大規模な表層崩壊のように、警戒区域の指定がなされていない地域でも侵食が発生して下流の河川に大きな影響を与えた例や、衛星画像で判別できないような小規模あるいは植生下の侵食の存在を考え合わせると、表層崩壊や土壌侵食の発生場所と規模をできるだけ早期に検知するシステムの構築は焦眉の課題である。

そこで研究代表者らは、降雨から流出までが早い日本の河川の特徴を生かし、河川懸濁物質の質の変化から早期に崩壊場所や規模を特定できるシステムを構築すべく、過去の知見を整理し、課題を抽出した。既往の研究によると、河川懸濁物質は、粒径 $20\ \mu\text{m}$ 以下の細粒質画分（粘土やシルト）が多く、細粒質画分は炭素含量が約 1~2%、炭素/窒素比が 4~15 である。また、粒径 $1\ \mu\text{m}$ 以下の画分は「浮遊性物質 (SS)」として水質汚濁防止法によりモニタリングされているが、近年は 1970 年代に比べて人為的な水質汚濁が減少傾向にあり、特に人口密度の低い地域を流れる河川であれば、より上流の陸域の寄与が大きくなりつつある。このように、河川懸濁物質は上流の表層土壌の特徴を色濃く反映していると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、河川中のいくつかの採水地点における懸濁物質とそれらの上流部の土壌物質を比重および粒径で分離し、画分ごとに同位体プロファイルおよび化学組成を調べてそのデータベースを作成すること、平水時と懸濁物質増加減少時の河川中の懸濁物質を比較し、その違いを土壌物質の組成や同位体プロファイルの違いから説明するプロセスモデルを構築すること、上記とを地理情報システム (GIS) 上で統合することにより、表層崩壊や土壌侵食の発生場所と規模を検知するシステムを構築することである。

3. 研究の方法

研究対象としたのは、鳥取市を流れる一級河川である千代川である。千代川は、鳥取県八頭郡智頭町の沖ノ山 ($1,319\text{m}$) から、途中、佐治川・八東川・砂見川・袋川・野坂川等の支川を合せながら、北流、鳥取平野の中央を貫流して、鳥取市浜坂より日本海に注いでいる。流域面積は $1,190\text{km}^2$ である。また、中国地方を山陽側と山陰側に隔てる山脈が北寄りに発達しているため、流路延長は 52km と短く、急峻な山地を流れる河川である。千代川流域の地下水は、山地部では沢地形沿いに流下しながら湧出と埋没を繰り返して合流し、千代川や八東川、佐治川、曳田川などの河道周辺の河床堆積物沿いに流下して鳥取平野に流出する。

千代川流域（鳥取市、八頭町、智頭町、若桜町）内の 11 地点において、2021 年 7 月 2 日（平水時）7 月 14 日（増水時）12 月 3 日（平水時）の 3 日間、各時点において河川水 1 L をポリ瓶に採取し、吸引ろ過装置を使用して懸濁態物質と溶存態物質に別した。採取した水試料は、自動吸引ろ過装置を用い、メンブレンフィルター ($0.45\ \mu\text{m}$) でろ過した後、ろ液をイオンクロマトグラフィー (Dionex Integrion, Thermo) で 12 成分 (F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+}) の濃度分析を行った。また、フィルター上の懸濁物質について、エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 (NEX DE, Rigaku) によって 24 元素組成を調べた。上記の試料に加えて、2019 年 10 月 30 日 (R01~R08) 2019 年 12 月 11 日 (R01~R10) 2020 年 12 月 4 日 (R01~R10) に採取した過去の試料のデータも合わせて解析した。

流域内の降雨データや地質・土壌データ、土地利用データを GIS (ArcGIS Pro, ESRI) で統合することにより、流出モデルを作成した。まず GIS によって、各採水地点と国土交通省の観測基点に対する集水域面積を、数値標高モデル (10m メッシュ; 基盤地図情報、国土地理院) を用いて推定した。さらに、観測基点である佐貫と源太橋の 2 地点の流量データを予測する簡易な流出モデルを構築した。このモデルでは、2 つの最大 100mm の水を貯留できる土壌層 A と B を仮定した。A 貯留層は実際の佐貫における基底流出に基づき、定常状態なら滞留時間約 60 日、B 貯留層は降水を受けて滞留時間 6 日となり、それぞれ基底流出、中間流出として流出するとした。また両者を越えた降水を受けた場合は、表面流出となるとした。

任意の群間の平均値に対する検定は、SYSTAT8.0 (SPSS Inc.) を用いて分散分析 (Tukey の post hoc 検定) で行った。

4. 研究成果

佐貫および源太橋で近年 (2019.1~2021.3) 観測された流量は、各地点より上流の集水域内に対して簡易的な降水流出モデルによって正確に ($p < 0.001$) 予測された。ただし本モデルでは、降水量分布は流域内で一様であると仮定しており、各地点での表面流出・中間流出・基底流出の割合も面的に一定だが、日降雨量に差があるためそれぞれの割合は日変化する。ここで、

佐貫および源太橋より上流の集水域内で近年（2019.1～2021.3）観測された、単位集水域面積当たり平均浮遊物質（SS）移動速度は、約 6.5～6.8 kg/km²/日と推定された。両集水域とも、上流から中流域までを含む広い範囲に及んでいるが、平均的な単位面積当たり移動速度は大きく変わらないことが分かった。

各試料採取地点におけるフッ化物イオン濃度は、カルシウムイオン濃度と有意な正の相関がみられた。水試料中の溶存フッ化物イオン濃度は、周辺の表層地質が花崗岩であった際に、有意に高い濃度を示した。花崗岩では、他にもナトリウムイオン、カリウムイオン、カルシウムイオン濃度で他の地質よりも有意に高い数値を示し、硫酸イオンは花崗閃緑岩・デイサイトでのみ有意に値が低かった。千代川水系で得られたフッ化物イオン濃度はカルシウムイオン濃度と有意な正の相関が得られていることから、花崗岩中に含まれる蛍石（CaF₂）が土壤中、あるいは大気からの二酸化炭素によって酸加水分解を受けることにより、溶解してフッ化物イオンとカルシウムイオンが放出されたことによると考えられた。

懸濁態物質組成では、地質ごとの測定値の平均値に有意差が確認できたのは、21 元素中、二酸化チタンのみであった。二酸化チタンは花崗閃緑岩・デイサイトにて他の地質よりも有意に高い値を示した。

全採水地点でみると、中間流出量と懸濁態物質含量には有意な相関が見られた。だが地点ごとにとみると、流量に相関が確認できたのは R1 地点のみで、負の相関関係であった。

地質因子として、花崗岩が溶存イオン組成の一部に影響し、花崗閃緑岩・デイサイトが懸濁態物質組成の一部に影響を及ぼしていた。また、気象因子として、流量変化は懸濁態物質含量に影響していたが、地域別にみると必ずしも流量は影響していなかった。このように、観測地点ごとに流量が懸濁態物質含量に与える影響は様々に異なるため、小流域の特性に合わせたより詳細なモデル化が必要であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Tanaka Sota, Kakinuma Hotaru, Adati Taro, Atarashi-Andoh Mariko, Koarashi Jun	4. 巻 58
2. 論文標題 Transfer of ¹³⁷ Cs to web-building spiders, <i>Nephila clavata</i> , and its pathways: a preliminary study using stable carbon and nitrogen isotope analyses	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Nuclear Science and Technology	6. 最初と最後の頁 507 ~ 514
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00223131.2021.1894255	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 該当する

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Nagano, H., Tanaka, S., Atarashi-Andoh, M., Koarashi, J.
2. 発表標題 Soil organic carbon and its water-extractable fraction in volcanic ash soils in a Japanese temperate forest: relations to phosphate absorption coefficient and their implication
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fukushima, K., Iwasaki, K., Oda, Y., Sakai, Y., Katata, G., Yamaguchi, T., Kubota, T., Nagano, H., Watanabe, M., Koarashi, J.
2. 発表標題 Nitrate contamination of mountainous headwater streams from adjacent agricultural and pasture lands beyond the watershed boundary in eastern Hokkaido, Japan
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 角野 貴信・越田 祐加・石本 有乃・井上 隼
2. 発表標題 河川水中の懸濁態及び溶存態元素組成に及ぼす流域環境要因とそのモデル化～鳥取県東部の事例
3. 学会等名 日本土壌肥料学会2021年北海道大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 角野貴信・栗栖哲
2. 発表標題 流域内の母材及び流出過程が河川水中の懸濁態及び溶存態元素組成に与える影響
3. 学会等名 日本土壌肥科学会2022年東京大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 高井 亨、甲田 紫乃	4. 発行年 2020年
2. 出版社 ナカニシヤ出版	5. 総ページ数 220
3. 書名 SDGsを考える	

1. 著者名 犬伏 和之、白鳥 豊	4. 発行年 2020年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 208
3. 書名 改訂 土壌学概論	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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	小嵐 淳 (Koarashi Jun) (30421697)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 原子力科学研究所 原子力基礎工学研究センター・研究主幹 (82110)	

6. 研究組織（つづき）

	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	山本 敦史 (Yamamoto Atsushi) (40332449)	公立鳥取環境大学・環境学部・准教授 (25101)	

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