

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：19K01157

研究課題名(和文) プロセスベースの河川侵食速度の解明：地形ダイナミクスの階層構造の理解に向けて

研究課題名(英文) Processes of river incision in small and large scales: experimental study for understanding of geomorphological dynamics

研究代表者

遠藤 徳孝 (Endo, Noritaka)

金沢大学・地球社会基盤学系・准教授

研究者番号：60314358

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：岩盤河床侵食のブラッキング過程の水利実験により、節理で切り取られ、且つ、周囲より高い位置にある岩塊(ブロック)の流下方向のサイズが大きいほど、また、鉛直方向のサイズが大きいほど、ブラッキングは発生しやすいことが分かった。流域スケールの実験では傾動と分水界移動の関係について検討した。自然地形の発達過程解析への応用として、傾動隆起を受けている佐渡島をGIS解析し、分水界が現在の位置にある理由や将来の移動の可能性を検討した。その結果、分水界の位置は現在、島の隆起速度が遅い側に偏っているにも関わらず移動性が低いことが分かった。これは隆起速度が速い側の沿岸の陸地化が原因であると結論付けた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

隆起速度が速い(地殻変動が活発な)地域地域は、遅い地域と比べて斜面崩壊や土砂災害の発生頻度が高いが、これは河川の下刻に伴う斜面不安定化と関係がある。個々の斜面崩壊はほぼ一瞬であり、一か所につき劇的地形変化の発生は低頻度である。一方、流域全体では異なる箇所でも多数生じるとともに、流路ネットワークを通じて相互作用が起き、河川地形は隆起に対し非線形に応答する。タイムスケールが大きく異なる現象の関係を理解して、短期的かつ長期的な地形変化に伴う社会的リスク評価を実現するには定量的な理解が不可欠だが、実用的なモデルは確立していない。本研究の成果は、そうした定量的モデルの基礎となる素過程の理解を前進させた。

研究成果の概要(英文)：The obtained data from one-dimensional flume experiment showed that the possibility of occurrence of plucking depends on both longitudinal and vertical sizes of the protrude rock block. Three-dimensional basin-scale model experiments were conducted to investigate the relationship between the type of tilting uplift and the migration of drainage divide. In application for a natural landform, we examined the mobility of drainage divides in Sado Island, and found that the divides are inactive in many places despite of being on the slower uplift side of the island, which can be attributed to the land expansion at the coast on the faster uplift side.

研究分野：地形学

キーワード：岩盤河川 山岳河川地形

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

岩盤河川の研究は近年海外でも増加しているが、残された問題の1つに、岩盤河床の侵食モデルの式に使われるパラメータの具体的な決定要因が明らかになっていない点がある。様々な河川発達モデルが提案されているが、多くは半経験的値が用いられ、直接的な素過程における岩盤の侵食されやすさの評価方法は確立していない。また、流域内の河川地形全体を1つの排水システムとしてとらえた場合の有機的な発達メカニズムについても未だ不明な点が多い。

### 2. 研究の目的

岩盤河床の侵食素過程の代表的なものとして、アブレーション(研磨)とブラッキング(岩塊剥離過程)の2つがあるが、本研究では後者に絞って、岩盤侵食速度に関連するブラッキング発生のしやすさを水理実験により検討する。また、流域内全体の流路ネットワークが様々な様式の隆起を対してどのように応答するか、分水界(隣の流域との境界)の場所の移動も含めてその性質を検討する。

### 3. 研究の方法

ブラッキングによる岩盤侵食について、亀裂(節理)のある岩盤を直方体のプラスチック製ブロックで再現し、1次元直線水路内で底面剪断応力を変えて実験を行った。本研究では、ブラッキング発生準備段階の岩盤の緩い結合状態を、室内アナログ実験により磁石を用いてモデル化し、引張による分離が起きる際の限界の力(引張強度)により結合状態を定量的に評価する。室内モデル実験には、長さ650 cm、幅15.3 cm、高さ15 cm、勾配0.5%の循環型一方向流水槽を用い、下流の堰を段階的に下げて平均流速を上げながら河床を観察した。引張強度や基盤との結合部の向きを変化させ10回ずつ実験を行い、再現性を確認した。ブラッキング発生時の流速プロファイルや底面せん断応力、せん断速度といったパラメータは数値シミュレーションソフト(CADMAS-SURF)から算出した。

流域全体の地形発達を模したモデル実験においては、降雨を与え削剥を生じさせるとともに、異なる様式の隆起を作用させ、分水界や縦断形の応答を観察した。実験に用いる水槽は、長さ約110 cm、幅90 cmの実験領域を持ち、それと繋がる傾斜15°で長さ21 cmの排水域からなる。実験領域と排水域は壁で隔てられ、壁の中央部には幅1 cmのスリットがあり、水と土砂はここから流域外へと流出する。スリットに接したステンレス板が堰として機能し、堰の高さは水槽底面から0 cm~16 cmの範囲でプログラムによって変化させることができ、ベースレベルの調整を行う。加えて、水槽片側の下部に取り付けられたジャッキにより全体を傾動させることもできる。降雨には、水槽底面より110 cmの高さから14個のスプリンクラーで霧状の散水を行うことで実現した。実験水槽内で発達した地形は、一定時間ごとに写真撮影を行い、SfMを用いて3Dデジタルデータ(DEM)を作成して解析する。

自然地形の解析例として取り上げる佐渡島は、完新世と更新世の海成段丘が明瞭で、それらの形成年代と標高から、島全体が傾動隆起していると考えられる。小木半島を別にすれば、基盤は概ねデイサイトと安山岩で構成されると見なすことができ、地形解析において複雑な地質の影響が少ないと考えられる。地形解析には、最近よく使われるようになったカイ・パラメーターとギルバート・メトリクスを用いる。

### 4. 研究成果

岩盤河床において亀裂で分離した岩塊は、前後および上下方向のサイズが大きいほど、ブラッキングが発生しやすい傾向にあった。また、結合の程度を変えた実験から、わずかな引張強度の差がブラッキング発生の抑制に大きく寄与することがわかった。このことから、自然界でも多くの場合、引張強度がほとんどない岩盤でブラッキングが発生することが推測される。しかし、短期間での水理条件や気象の大きな変動が起きた際には、ある程度引張強度を持った状態の岩塊でもブラッキングが発生することが考えられる。また、数値シミュレーションから得られた流速分布に基づき渦度を計算し、ブラッキングとの関連を検討するため、隣り合うブロックの高低差(段差比率)に対し、ブラッキングするブロックの前方と後方の渦度を比較した。段差比率が小さい場合には、後方の渦が優勢で、段差比率が大きい場合には、前方の渦が優勢の傾向が確認できた。渦を考慮したブラッキング発生の閾値を求める式を構築するなら、概念的には、「ブラッキング促進トルク+後方の渦トルク=ブラッキング抑制トルク+前方の渦トルク」のような形になることが考えられる。

流域全体を模擬した発達モデル実験においては、傾動隆起による分水界を挟んだ標高、勾配、起伏の値の差(Gilbret metrics)に関して、各パラメータのうち標高は、時間経過と共に増加傾向が確認できるが、勾配と起伏は変動しながらもほぼ一定の値で、必ずしも明確な移動を示唆しなかったが、実験の初期段階など特定の時間では移動を示唆した。どのパラメータも標準偏差(ばらつき)が大きいのが、平均値では平衡状態に近いが、傾動隆起による隆起が優勢な側への

移動を示唆し、実際の分水界の移動方向と整合的であった。一方、一様隆起実験によるギルバート・メトリクスでは、パラメータのうち標高はわずかに減少傾向であり、勾配と起伏は隆起速度が速い側の値でやや増加傾向が見られた。傾動隆起実験と同様に、全ての時間を通してギルバート・メトリクスが移動を示唆するということにはなかった。データのばらつきを別にして、パラメータの平均値だけを見ると、平衡状態に近いが、実際に観察された分水界の移動方向と逆を示す場合が見受けられた。

佐渡島の解析結果については、分水界の移動指標となるパラメータとギルバート・メトリクスを用いて分水界の移動傾向を見積もると、分水界の移動を示す場所と示さない場所に分けられた。移動を示す場所では、傾動隆起から示唆される方向と一致した北西側への移動が進行中であることを示すが、移動を示さない場所は準定常状態に達していると推定される。大佐渡と小佐渡の一部で河川争奪の発生が確認できることから、佐渡島全域で分水界は過去北西側へ移動した可能性が高い。このことから、現在の分水界の位置が中心、もしくは南東側に偏しつつも一部の分水界の移動性が不活発であるのは、傾動隆起に伴い海成段丘化した北西側の陸地の拡大や海食に伴う陸地の縮小の作用により、分水界移動とは別の要素として、島全体の輪郭が変化した影響によるものと考えられる。

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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakashita Akimasa, Endo Noritaka	4. 巻 15
2. 論文標題 Mobility and Location of Drainage Divides Affected by Tilting Uplift in Sado Island, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 729 ~ 729
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs15030729	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6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 坂下 輝匡, 遠藤徳孝
2. 発表標題 佐渡島における傾動隆起に伴う分水界の移動
3. 学会等名 日本地形学連合2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石塚 雅大, 遠藤 徳孝
2. 発表標題 節理が十分に発達した粗度のある岩盤におけるブラッキングの特性
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂下 輝匡, 遠藤 徳孝
2. 発表標題 隆起による分水界移動と流路再構成
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石塚雅大, 遠藤徳孝
2. 発表標題 粗度に着目したブラッキング発生率の水槽実験
3. 学会等名 日本地形学連合2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岩盤河川の地形発達プロセス：モデル実験
2. 発表標題 高瀬 裕太, 遠藤 徳孝
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 遠藤徳孝・今村明弘
2. 発表標題 ストリームパワーモデルにおけるべき指数の定常性について：モデル実験による考察
3. 学会等名 日本地形学連合
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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	谷口 圭輔  (Taniguchi Keisuke)  (80774794)	津山工業高等専門学校・総合理工学科・准教授   (55301)	

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
---------	---------