

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：34506

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23501035

研究課題名(和文) 河川の流速の測定と土石流概念の導入による河川学習の転換

研究課題名(英文) Revision of the learning contents about rivers based on the introduction of debris flow and measuring current

研究代表者

林 慶一 (HAYASHI, KEIICHI)

甲南大学・理工学部・教授

研究者番号：10340902

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：河川の堆積物や周辺地形は、従来はすべて流水作用で説明されてきたが、近年の科学研究によって、上流部では土石流の作用が主であることが明らかになってきた。そこで、河川学習に土石流の概念を導入するとともに、流水の作用を実際の流速測定結果に基づいて正しく位置づける内容に転換する研究を行った。異なる地質・地殻変動・気候の地域で発生したさまざまな土石流を分析して、多様性と共通性を踏まえた土石流の学習教材を作成するとともに、土石流のメカニズムを理解するためのモデル実験を考案した。そして、これらを教員を対象にして実践して、有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：All of the fluvial deposits and adjacent topography have been attributed to the function of flowing river water in science education of Japan. Recently it is revealed that those of the upper stream are formed mainly with debris flow. In this study, the concept of debris flow is introduced into the science education, and the range predominated by flowing water is restricted based on the data by measuring with newly developed electromagnetic velocimeter. Accounting the variation of debris flows occurred in various geology, tectonism and climate, teaching materials using aerial and satellite photography and modeling laboratory instrument are developed. They are evaluated through application by many elementary and high school teachers.

研究分野：地学教育，地質学，古生物学

キーワード：河川学習 土石流 斜面崩壊 河床堆積物 流速 モデル実験 空中写真 衛星写真

1. 研究開始当初の背景

(1) 河川は、侵食・運搬・堆積によって、V字谷、扇状地、沖積低地、デルタなどの陸上地形を形成する最も基本的な営力である。このため、学校教育でも河川とその作用は大きく扱われてきた。そこでは、上流から下流へ向かって「川の流は次第に緩やかになる」と、この流速低下によって「河床堆積物は下流へ向かって次第に細粒となり、地形はより緩やかで平坦になっていく」という考え方が、疑う余地のない前提となっていた。

(2)ところが、本研究に先立って筆者が予備研究として実河川の流速を測定したところ、上記の既存概念とは大きく異なる実態が垣間見えた。特に上流部の流速は従来の想定よりも著しく小さく、河床に存在する数十 cm を越えるような礫は流水による侵食・運搬・堆積作用では全く説明できないことが明らかになってきた。

(3) 一方、従来は河川とは別のカテゴリーと見なされてきた土石流が、実際の河川の上流部では堆積物の侵食・運搬・堆積に大きな役割を果たしていることが、溪流に設置されたカメラによる動画記録等で明らかになってきた。そこで、従来の理科教育でほとんど扱われていない土石流の役割を、河床堆積物の粒径変化や扇状地の地形形成などを理解する学習に取り入れる必要性が明白となった。

2. 研究の目的

(1) 第1の目的は、河川における侵食・運搬・堆積作用において、流水の果たしている役割を、流速計を用いた定量的測定に基づいて明らかにする一方、上流部において土石流の果たしている役割の大きさを河床に残されている土石流堆積物を調査することによって科学的に正しく評価することである。

(2) 第2の目的は、(1)の科学的な成果を教育分野に活かして、河川学習において流水の流速の上流から下流への変化を正しく認識させるとともに、上流部では流水よりも土石流の作用がはるかに大きいことを認識させる、新しい河川観に基づく学習内容へと転換することである。そのため、新しい学習教材と実験教材を開発する。

3. 研究の方法

(1) 目的(1)の河川における流水と土石流の役割の大きさを評価するため、()実河川における流水の流速を測定するとともに、その場所の河床堆積物の粒径を調べ、次に()水路実験によって測定された流速で堆積する最大粒径粒子を明らかにして、実際の河床堆積物の最大粒径と整合的に解釈される地点までを流水作用による範囲と認定し、()それよりも上流の粒径が不連続に大きくなることを土石流による運搬・堆積の範囲と認

定することとした。

(2) また、河川上流部の堆積物と地形は、地質や地殻変動・降水特性などによっても大きく支配されているので、日本を地質・地殻変動・気候を組み合わせた5つの地域に区分して(1)の調査を行い、現象の多様性と共通性を評価することとした。

(3) これらの成果に基づき、最終年度には前記の目的(2)を達成するため、理科の河川学習の基本的な考え方を土石流概念を導入した学習内容に改め、それに即した学習教材・実験教材を作成し、小・中・高校教員を対象に実践して、その効果を検証する。

4. 研究成果

(1) 土石流堆積物の解明の新展開

土石流の発生は非常に稀である上に、発生後の流水による細粒物質の選択的除去や復旧工事による改変のため、土石流堆積物を初期状態を観測できる場所は現実にはほとんど無い。本研究ではこの困難を、前記3.(1)の～の方法で克服する計画を立てた。

ところが全くの偶然であるが、研究初年度の平成23年9月に、台風12号が紀伊半島に日本の気象観測史上最大の連続雨量をもたらし、明治22年の十津川水害以来120年ぶり、日本の近代の土砂災害観測史上では空前の規模と数の斜面崩壊と土石流をほぼ同時発生させた。これにより不可能と思われていた土石流を初期状態で観察・調査できる状況が出現した。そこで、前記3.(1)の～の方法で土石流の認定を行う当初の計画を変更して、紀伊半島で発生したばかりの斜面崩壊と土石流の調査に研究を集中した(図1)。

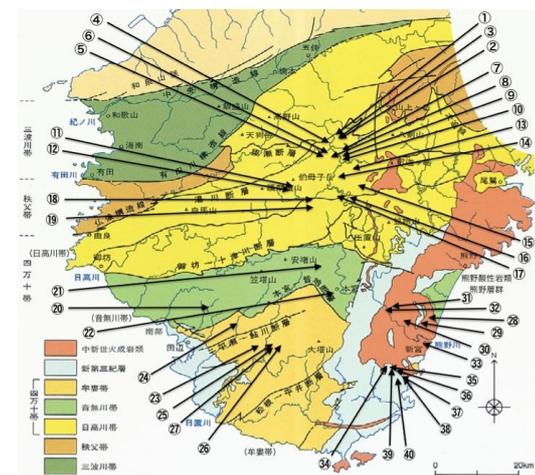
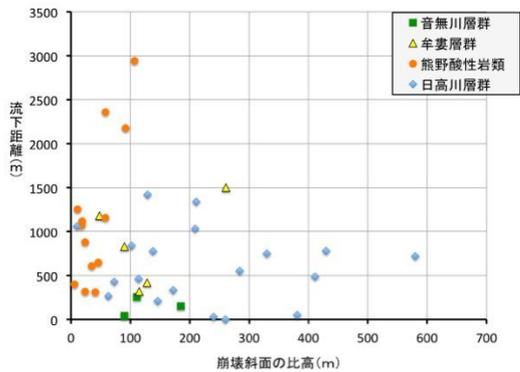


図1 紀伊半島の地質と調査した40の土砂災害発生箇所(背景の地質図は引用文献より引用)

(2) 地質と斜面崩壊・土石流の関係

紀伊半島では、図1に示したように4つの地質帯で大規模な斜面崩壊と土石流が発生した。発生した斜面崩壊の規模と、土石流等

による土砂の流下距離の関係をグラフ化して解析した(図2上)。その結果、図2下のような特徴が見出された。



中新統 熊野酸性岩類	中～小規模崩壊→風化花崗岩類の土石流化→ 旧土石流堆積物の再移動で長距離流下
漸新統 牟婁層群	巨大～大～中規模崩壊→厚層砂岩・礫岩の巨大 礫による破壊的土石流の流下
晩新～始新統 音無川層群	大～中規模高粘度崩壊→河岸・山麓の厚層埋積 (+河道閉塞)
上部白亜系 日高川層群	① 巨大斜面高速崩壊→対岸直撃+河道閉塞 ② 源流部での崩壊+谷口での泥流

図2 紀伊半島の地質帯ごとの斜面崩壊・土石流の特性

この結果は、地質と土砂災害の関係が従来は中生代堆積岩や第三紀堆積岩のような大きなカテゴリーでしか把握されていなかったのに対し、一段階下の層群レベルでの関係が存在することを初めて示した。

また、この結果は、地質帯ごとに警戒すべき土砂災害のタイプを絞り込んで具体的に示すことができることを示したものであり、各地質帯の住民がとるべきより適切な避難行動を明らかにする。これは、土砂災害の防災に今後大きな進展をもたらす。

(3) 地質が土石流の特性を生み出すメカニズムの解明

土石流は主に工学分野において流体として扱われ、物理学的手法で実験的に研究されてきており、地質学あるいは堆積学からの研究は少ない。このため、前記(2)のような土石流の特性が生じるメカニズムについても、地質学的な視点から解明する研究は進んでいない。本研究では、さまざまなタイプの崩壊堆積物・土石流堆積物を初期状態で観察する機会を得たので、これらを地質学的・堆積学的手法で解析した。その結果、メカニズムの解明に成功したので、ここではそのうちの2例を紹介する。

音無川層群の地質帯では、いずれの場所でも斜面崩壊後直下に厚く崩壊土砂が堆積してほとんど流下しないという際だった特徴を示す(図3)。これは、音無川層群が海溝充填堆積物である泥岩を主体とするため、地下水により深層まで風化して準備された堆積物は軟質で、崩壊に際して運動エネルギーが岩石破壊と粒子間の摩擦に消費されたため、一体的に崩壊・移動するというメカニズムを

持っているからであることがわかった。内部摩擦による発熱は、崩壊直前に水蒸気が出て白煙が上がったことから裏付けられる。

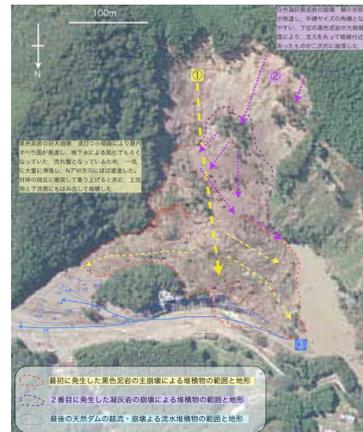


図3 音無川層群内の田辺市本宮町奥番地区(図1の㉑地点)の崩壊の状況と、崩壊堆積物から解析した崩壊の順序と移動方向

熊野酸性岩類の地質帯では、いずれの場所でも、崩壊の規模はそれほど大きくないにもかかわらず、多数の巨礫が長距離流下して、遠く離れた流域に大きな被害をもたらした(図4)。これは一般的に、花崗岩類の風化ではマサと呼ばれる細粒の粒子が大量に作られる一方、未風化部分は球状の巨礫として残り、崩壊後流下する過程で両粒子は異なる挙動を取るため分級され、巨礫集団を先頭とした大きな流下エネルギーを持った土石流となるからと説明される。

しかし熊野酸性岩類の地帯では、このメカニズムから想定される流下距離よりもはるかに長距離流下したものが多(図4)。また、崩壊土砂量の10倍以上の土砂が流動した例もある。これは、谷を埋めていた大量の旧土石流堆積物が、崩壊地で発生した最初の土石流によって、玉突き的に次々と土石流化して伸びたためであることが判明した。この成果は、地質学会発表したところ、読売新聞の科学欄でも紹介された。



図4 熊野酸性岩類地帯的那智勝浦町那智川支流金山谷川(図1の㉓地点)を流下した'玉突き'土石流の解析

(4) 地質・地殻変動・気候の異なる地域の土石流の相違

紀伊半島での発生直後の土石流の調査の経験により、日本の各地の河川についても、

河床堆積物から過去の土石流の分布・特徴の推定が容易となった。その結果、各地区ごとの土石流は概ね次のような特徴を持つことが判明した。

本州太平洋側の、新生代褶曲堆積岩類からなる多雨地域

前述の紀伊半島での調査なので省略。

西日本瀬戸内区の中・新生代花崗岩類からなる少雨地域

平成 26 年の広島土石流の調査を行い、同じ花崗岩地域でも、谷によって未風化巨礫の最大粒径・含有率が著しく異なること、それによって土石流のエネルギー・流下距離が大きく異なり、被害に大きな差が出たことを見出した。これは多数出された他の報告には、記述されていない本研究独自の成果である。

日本海側の古期岩類からなる融雪増水期を持つ地域

新潟県の糸魚川水系での調査を行い、融雪増水は大きな侵食力・運搬力により他地域には見られない急傾斜の深い谷を形成すること、そのため河床には斜面崩壊による巨礫が頻繁に見られることが判明した(図5)。巨礫の起源を、本研究では紀伊半島での研究に基づき土石流に帰するという考え方で出発したが、別の起源があることを見出すことができたという意味で重要な成果である。



図5 新潟県糸魚川のヒスイ峡 斜面崩壊で直下の谷に10mクラスの巨礫が落下して集団をなしている

関東地方の新規水平堆積岩類の平野地域

人工的な改変が最も進んでおり、自然の状態の河川の姿がどの程度見られるかが最大の課題であった。平野周辺部においては、渡良瀬川などでの調査により、河床堆積物の粒径の集団的急変部が見出され、上流側で土石流の及ぶ範囲を見出すことができる場合があることがわかった。

北海道の寒冷気候の地域

北海道の日高山系では、古第三系の堆積岩類および花崗岩類について調査をして他地域と比較したところ、冬期の凍結風化により谷に落ちる前に山地斜面で露出する岩石の碎屑化が著しく進行していることが特徴であることが判明した(図6左)。このため、河川への碎屑物の供給量が多く、本来のV字谷は埋められて山間部でも平瀬になりやすく、河床に巨礫が少ないことが特徴である(図6右)。



図6 日高山系の古第三系の凍結風化による細片化(左)と、その大量供給で埋められた溪流(右)

(5) 土石流概念を導入した学習内容の構成

観察教材～土石流動画と空中写真・衛星画像～

理科では自然の事象を観察するところから学習を始めることが求められている(小・中・高の各学習指導要領)。しかし、土石流は極めて稀な現象で、発生場所も山間部などアクセスが難しい場合であることが多く、発生時刻も豪雨の最中や直後で、児童・生徒が直接観察することは不可能である。しかし、近年溪流に設置されたライブカメラ等によって流下する土石流の動画が得られ、インターネット上で公開されており、観察教材としてはこれらを極めて効果的な教材となる。

また、土石流の跡の土石流堆積物の分布や侵食の状態、また土石流を引き起こした上流側での斜面崩壊の崩壊面と崩落堆積物についても、現地への災害後の立ち入りは危険なため、専門家以外には直接観察はほとんど不可能である。しかし、近年は災害発生の数日後には国土地理院のHPで高精度の空中写真が公開されており、これらを活用して大きな礫の分布までもが判読できる(例:図3の背景空中写真)。また、Google Earthでも災害発生時には特別にその地域の衛星画像が公開され、通常画像に更新された後も過去画像として見る事ができる。Google Earth 画像は、図7のように、高度や倍率・方向を自由に変えてさまざまに立体視できるので、初見の学習者にも、深層崩壊や土石流の規模と事後の状況を、現地に行ったかのように把握できる。また、発生前の画像も閲覧できるので大規模な変化の様子を知ることでもできる。



図7 平成 23 年 9 月に奈良県十津川村赤谷で発生した高さ 600mの大規模斜面崩壊と、それにより発生した土石流の3D画像(平成 27 年 7 月に Google Earth にて過去画像を選択して閲覧)

実験教材

理科教育では「何が」、「どのように」という現象の把握に止まるのではなく、「どうして」というメカニズムを解明して納得するところにまで到達する必要がある。前節の土石流の動画や、上空からの斜面崩壊や土石流堆積物の観察により、「大量の土砂が」「一連の流体のように流下する」現象を把握するところまではできるが、「どうして」に相当する土石流のメカニズムを理解するところには至らない。このメカニズムは難しく、これまでも専門家の間での流体力学的議論に止まっており、一般の人々に理解させる解説方法は見当たらない。そこで、本研究では小・中・高校生にも土石流が理解できるようにするため、教室内で土石流の流動メカニズムを体験的に理解できる、世界初のモデル実験を開発した。

このモデル実験教材開発は、長大な時間や巨大なスケールで起こる地学の諸現象を縮小モデル実験にする際の一般的な方法を示した林(2004)の考え方に基づいた。これにより、従来試みられてきた実際の砂や礫を用いた方法では、土石流と同じ流動特性を教室内で再現することが不可能であることが示され、レイノルズ数を近づけることが絶対的な要件であることが示された。それには粘性係数を可能な限り小さくすることが現実的な唯一の方法であることが明らかとなり、そのような素材の探索と改良を行った。その結果、完成したモデル実験装置を図8に示す。



図8 平成23年9月に和歌山県那智勝浦町金山谷川で発生した熊野酸性岩類(花崗斑岩)地帯の土石流と、そのモデル実験

この場合は、土石流の素材が花崗斑岩の風化したマサと未風化の礫からなり、末端部に基質を欠いた巨礫が集中し、後へ向かって次第に細粒になっている。実験では、マサに見立てた細粒の発泡スチロール球(白)と巨礫に見立てた大型発泡スチロール塊(青)に単純化して、これを均質に混ぜたものを、実験斜面上端で崩壊させ流下させた。巨礫は低速で流下するマサの上に乗ってより高速で流下して、時間の経過と共に先端部に集中し、停止した先端部には基質がなく巨礫のみとなっている状況が復元された。

実験では粗粒物質の大きさや数、さらには円磨度を変えたり、斜面の傾斜角を変えるなどして、ほとんどの土石発生現場の状況を再現でき、そのモデルの挙動は実際の土石流堆積物の分布とほぼ同じとなった。

(6) 実践による評価

これらの学習教材とモデル実験装置を用いて、筆者が行った教員免許更新講習「河川作用と土石流の野外観察」の中で実践して、参加した小・中・高の教員にそれぞれの学校現場での有効性を評価していただいた。その設問と結果を図9に示す。

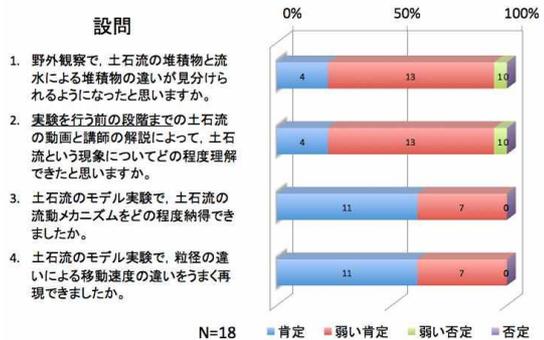


図9 小・中・高の教員を対象に実践した土石流の学習と実験の評価

4段階での評価で、学習教材でほとんどの受講者がある程度またはよく理解でき、さらに実験を行うことで半数以上がよく理解できたとの回答が得られた。また、モデル実験についても、学校現場で十分に実施でき、効果的なものであることが分かった。課題としては、発泡スチロールを室内に散乱させた場合の事後処理が難しいということなどで、実験自体の課題はほとんど寄せられなかった。

<引用文献>

アーバンクボタ 38, 紀伊半島の地質と温泉, クボタ, 36 p.

林 慶一, 地学教材の特性と開発の視点. 地球惑星科学関連学会 2004 年合同大会, 幕張メッセ国際会議場, 特別公開セッション「新しい地学教育の試み-地球惑星科学から『高校地学』へ-」, 2004, pp. 42-52. http://www.jpгу.org/education/2004education_abs/2004edu_abs5.pdf

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

林 慶一, 平成 23 年台風 12 号により那智川水系金山谷川で発生した斜面崩壊・土石流の発生過程の復元-熊野酸性岩類の花崗斑岩の崩壊・大規模土石流の特徴-甲南大学紀要(理工学編), 査読有, Vol. 61, No. 1, 2015, pp. 1-28.

松川正樹・福井真木子・小河佑太力・田子 豪・小荒井千人・林 慶一, 富山-岐阜県境に分布する神通層群の堆積環境と堆積盆地の発達. 地質学雑誌, 査読有, Vol. 120, No. 6, 2014, pp. 201-217.

松川正樹・福井真木子・小河佑太力・田子 豪・小荒井千人・大平寛人・林 慶一: 手取層群の分布域東部(富山・岐阜県境)の層序の再検討と神通層群(新称)の提案. 地質学雑誌, 査読有, Vol. 120, No. 5, 2014, pp. 147-164.

Matsukawa, M, Lockley, M. G., Hayashi, K., Koarai, K., Chen, P., Zhang, H., First report of the ichonogenus *Magnoavipes* form China: New discovery from the Lower Cretaceous inter-mountain basin of Shangzhou, Shaanxi Province, Central China. Cretaceous Research, 査読有, Vol. 47, 2014, pp. 131-139.

林 慶一, 河川の堆積物と周辺地形の学習への斜面崩壊と土石流の作用の導入. 日本科学教育学会年会論文集, 査読無, Vol. 37, 2013, pp. 426-427.

林 慶一, 紀伊半島の四万十帯音無川層群における土砂災害の特徴. 甲南大学紀要(理工学編), 査読有, Vol. 59, No. 1, 2012, pp. 21-36.

〔学会発表〕(計7件)

林 慶一, 土石流・斜面崩壊の多様性とメカニズムを理解させるための教材開発. 日本地学教育学会第 69 回全国大会・平成 27 年度全国地学教育研究大会, 2015 年 8 月 22 日, 福岡教育大学(福岡県・宗像市).

林 慶一, 地学教育は“科学の予測”をどのように扱うべきか. 日本地学教育学会第 68 回全国大会・平成 26 年度全国地学教育研究大会, 2014 年 8 月 9 日, 酪農学園大学(北海道・江別市).

林 慶一・山下浩之, 河川学習に流速測定と斜面崩壊概念を導入した教員免許更新講習プログラムの開発. 日本地学教育学会第 67 回全国大会・平成 25 年度全国地学教育研究大会, 2013 年 8 月 18 日, 大阪教育大学天王寺キャンパス(大阪府・大阪市).

林 慶一, 土砂災害に対する防災能力を育

成するために求められる理科教育の内容の改善. 平成 24 年度日本理科教育学会近畿支部大会, 2012 年 12 月 1 日, 奈良教育大学(奈良県・奈良市).

林 慶一, 平成 23 年台風 12 号によって紀伊半島で発生した地盤災害にみられた地質との関連性. 日本地質学会第 119 年学術大会, 2012 年 9 月 15 日, 大阪府立大学(大阪府・堺市).

林 慶一, 斜面崩壊・土石流の防災教育のための基礎研究-平成 23 年台風 12 号による紀伊半島での地盤災害の調査に基づいて-. 日本地学教育学会第 66 回全国大会・平成 24 年度全国地学教育研究大会, 2012 年 8 月 4 日, 岩手大学(岩手県・盛岡市).

林 慶一, 地質の学習を土砂災害の防災教育に活かす方法. 日本地学教育学会第 66 回全国大会・平成 24 年度全国地学教育研究大会, 2012 年 8 月 4 日, 岩手大学(岩手県・盛岡市).

〔図書〕(計2件)

木村龍治・吉岡一男・懸 秀彦・井出 哲・大路樹生・大山智輝・加藤昌典・田近英一・田中義洋・坪田幸政・饒村 曜・林 慶一・半田 孝・半田利弘・前川寛和・宮嶋敏・吉川 真・米澤正弘, 東京書籍, 高等学校用文部省検定済教科書「改訂 地学基礎」, 2016, 199 p.

酒井信介, 成子浩明, 大北耕三・中川 渉・林 慶一, 地盤工学会関西支部, 第 編 奈良県における地盤災害 4.10 十津川村野尻地区, 4.11 十津川村川津地区, 4.12 十津川村三浦地区, 深川良一[編], 平成 23 年台風 12 号による紀伊半島における地盤災害調査報告書, 2011, pp. -47~II-54.

〔その他〕

読売新聞 2012 年(平成 24 年)10 月 22 日朝刊, 科学欄「岩など玉突き 土石流拡大」.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 慶一 (HAYASHI, Keiichi)

甲南大学・理工学部・教授

研究者番号: 10340902