

機関番号：12102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700668

研究課題名（和文） 風化・侵食速度が山地小流域の水文地形プロセスにおよぼす影響

研究課題名（英文） EFFECT OF RATES OF WEATHERING AND EROSION ON HYDROGEOMORPHIC PROCESSES

研究代表者

八反地 剛 (HATTANJI TSUYOSHI)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・講師

研究者番号：00418625

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、小流域の長期的な風化速度・侵食速度を定量し、風化－侵食システムと水文地形プロセスの関連を議論することである。主な結果は以下の3点である：(1) 足尾山地の小流域を対象に TCN 法を適用して得られた過去 1 万年程度の削剥速度を最近 10 年間の現地観測結果と比較して、約 100 年サイクルで生じる土石流イベントがこの地域の地形変化において重要であることを指摘した。(2) 北アルプス芦間川の花崗岩流域を対象に TCN 法と地球化学物質収支法を適用し、長期の化学的風化速度を定量した結果、削剥速度の大きな領域 (>500 mm/kyr) において、物理的侵食が化学的風化に対して卓越することが明らかとなった。(3) 阿武隈高地の花崗岩流域を対象に地球化学物質収支法を適用し、長期的な削剥速度に対して化学的風化速度が占める割合を求めたところ、その値は 74% と高い値を示した。これは短期的な観測に基づく既存の報告 (17%) よりも大きく、この地域の削剥に対して化学的風化が重要な役割を果たしていることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：This study attempted to quantify long-term erosion rate and weathering rate to unravel the relationship between hydrogeomorphic processes and balance in weathering-erosion system. The results are summarized as follows: (1) Denudation rate estimated from ^{10}Be was compared with that obtained from direct observation in recent 10 years for experimental watersheds in the Ashio Mountain, implying that debris flow with recurrence interval of about 100 years is a dominant hydrogeomorphic process in this area. (2) Long-term chemical weathering rates in steep granitic basins, North Alps are calculated based on TCN method and geochemical mass balance model. The result indicates that physical erosion overcomes chemical weathering if denudation rate exceeds 500 mm/kyr. (3) Ratio of long-term chemical weathering rate to denudation rate calculated from geochemical mass balance model was 74% for gentle granitic basins in Abukuma Mountains. This value is much larger than the reported short-term ratio (17%), implying that chemical weathering plays a major role for denudation in this area.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
平成 21 年度	700,000	210,000	910,000
平成 22 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：地形学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：地形

1. 研究開始当初の背景

1990年代以降の水文地形学の発展により、基盤岩石の異なる流域での、降雨流出特性と谷の発生条件などが明らかになってきたが、特に山地小流域で侵食が進む速度あるいは侵食の準備段階である風化が進む速度が良くわかっていないという問題があった。

風化速度と侵食速度のバランスに関しては、1970年代から理論的な議論がなされていたが野外における風化・侵食速度のバランスについて、実測により解明した事例が少ないことが問題となっていた。

最近10年間で宇宙線生成核種年代測定法（以下、TCN法）が飛躍的に進展し、長期間の侵食速度や岩石の露出年代を測定することができるようになったが、基盤岩石の異なる流域で比較するといった研究は行われていないのが実情であった。

2. 研究の目的

足尾山地や阿武隈高地の小流域を対象に、長期的な風化速度・侵食速度を求め、風化制約と運搬制約の問題や、風化-侵食速度のバランスと水文地形プロセスとの関連について議論する。

3. 研究の方法

侵食速度や風化速度の推定には2種類の方法がある。1つは数年スケールの短期的なものであり、野外観測や野外実験によって求められる。もう1つは数千年や数万年といった長期的なものである。従来は長期間の侵食速度を正確に見積もることが困難であったが、本研究では近年多用されるようになったTCN法を用いて長期侵食速度の推定を試みる。また、野外での基盤岩石の風化速度の測定例が少ないという点もあったが、土層中の微量元素（主にジルコン）の濃度分布に基づく地球化学的物質収支モデルとTCN法を組み合わせるといった新しい手法により、長期間の風化速度推定も試みる。

4. 研究成果

(1) 堆積岩山地（栃木県鹿沼市）においてTCN法によって求められた過去1万年間の平均侵食速度と、最近10年間の水文地形観測で得られた土砂流出量の比較を試みた。最近10年間の掃流土砂流出結果を図1に示す。チャートを基盤とするC3流域では2005年に小規模な土石流（崩壊土量 6.8 m^3 ）が生じているほか、降雨に応じてたびたび多量の土砂流出が生じていることが明らかとなった。一方砂岩・頁岩互層を基盤とするS3流域では土石流は見られず、安定した土砂流出の継続が確認された（図1）。

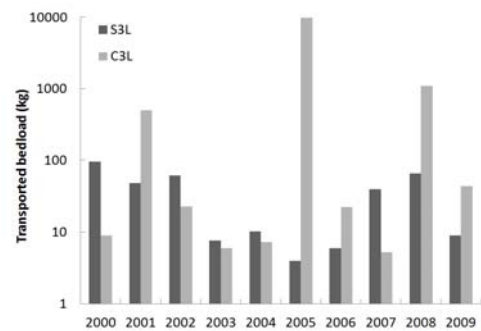


図1 足尾山地の小流域における過去10年間の掃流土砂流出の変動

掃流土砂流出の観測結果を元に浮遊土砂流出量を推定し、さらに、溶存物質の分析結果に基づき、過去10年間の全削剥速度を推定した。一方、現地で採取した溪流土砂試料についてTCN法を適用し、加速器により 26Al 濃度を測定し、長期削剥速度を推定した。両者の結果を表1にまとめて示す。

表1 足尾山地の2つの小流域における短期および長期削剥速度。

流域名	C3(チャート)	S3(砂岩)
短期削剥速度	24-27(土石流無)	12-18
(mm/kyr)	135-138(土石流含)	
長期削剥速度	41 ± 4	51 ± 5
(mm/kyr)		

チャートを基盤とするC3流域では土石流を除く短期削剥速度(24-27 mm/kyr)は長期削剥速度(41 ± 4 mm/kyr)の6割程度であったが、土石流を含む短期削剥速度(135-138 mm/kyr)は長期削剥速度を大きく上回った。同程度の規模の土石流が100年に1度程度の頻度で発生した場合、長期削剥速度の値とほぼ等しくなることから、チャート流域の侵食は2.3年以内の頻度の洪水で生じる土砂流出に加えて、比較的規模の小さい土石流が寄与していると推定される。砂岩を基盤とするS3流域では、現地観測による短期の削剥速度(12-18 mm/kyr)が長期削剥速度(51 ± 5 mm/kyr)の4割程度を占めるにとどまった。C3流域と同様に、崩壊や土石流が寄与していることが推定された。また、基盤岩質の異なる2つの流域の長期削剥速度の値には大きな差異が見られなかった。両地域では化学的風化などのプロセスは異なっていて、侵食現象にも強く影響しているが、異なるプロセスで排出される量が積算された結果である削剥速度には、基盤岩質の違いが反映されないことが明らかとなった。

(2) 海外の既存研究で利用される地球化学的物質収支モデルに基づき国内の流域で風化速度が推定できるか検証するため、急峻な花崗岩質山地（長野県芦間川）を対象にしてその検証を実施した。まず現地で採取した土層の試料を粉碎し XRF により成分分析を行い、土層中の非溶性元素の挙動を確認した。海外の研究事例では非溶性元素群のなかでは Zr がもっとも風化に強く濃縮する傾向が見られたが、当対象地域では Zr よりも Ti の濃縮率が高いことが明らかとなった。そこで Ti 濃度の濃縮率を用いて化学的風化が全削剥に対して占める割合（Chemical Depletion Fraction と呼ばれ、以下 CDF と略称）を求めた。海外の既存研究では CDF 値は削剥速度に依存せずほぼ一定であり、化学的風化速度は削剥速度に正比例することが指摘されていたが、本研究では削剥速度が 500 mm/kyr 以上の領域において、CDF 値が低下傾向であることが明らかとなった（図 2）。

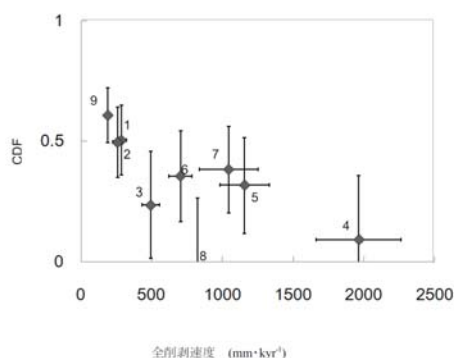


図 2 芦間川の支流における全削剥速度と CDF の関係

過去の研究例と比較すると、既存の文献では削剥速度が 500 mm 未満の低領域でしか CDF 値が測定されておらず、そのような領域での削剥は化学的風化の影響を強く受けている。本研究で取り扱った削剥速度 500 mm 以上の領域では、物理的な侵食プロセスが卓越することにより、化学的風化が削剥に追いつかなくなるものと予想される（図 3）。

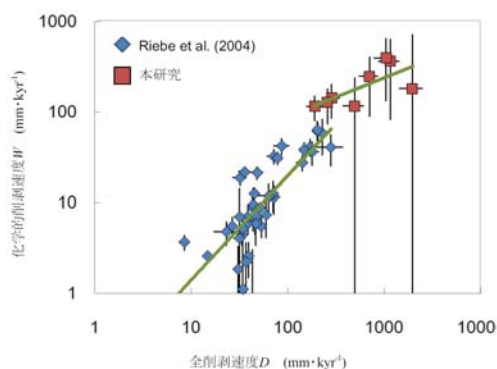


図 3 全削剥速度と化学的削剥速度の関係

(3) 低起伏な花崗岩質山地（福島県阿武隈高地）を対象に、微量元素の濃縮と TCN 法を長期的な削剥速度に対して化学的風化速度が占める割合（CDF 値）を求めた。阿武隈においても Zr よりも Ti の濃縮率が高いことから、Ti 濃度をモデル計算に使用した。ここでは既存研究で水文観測が実施された花崗岩流域と花崗閃緑岩流域の 2 流域を対象とした。従来から風化しやすいとされてきた花崗閃緑岩流域では、サブロライトにおいて Ti が濃縮し、土層では Ti がそれほど濃縮しなかったため、モデルの適用ができず、適切な CDF 値を求めることができなかった。花崗岩流域では、土層で Ti が明瞭に集積傾向にあり、化学的風化が全削剥に占める割合が平均 74%と比べて高い値を示した（表 2）。この値は短期的な観測に基づく既存の報告による推定値（約 17%）よりも大きな値であり、短期的には浮遊土砂などによる侵食が卓越しているが、数千年スケール長期的には化学的風化が削剥に対してきわめて重要な役割を果たしていることが明らかとなった。一方花崗閃緑岩流域では既存のモデルとは異なる様式で濃縮が進んでいることがあきらかとなり、本手法の適用条件が基盤岩質に依存することが明らかとなった。同様の手法でより広範囲を対象にして化学的風化速度の推定を行う場合、本手法を改良して適用することが必要と思われる。

表 2 阿武隈高地の花崗岩の小流域における CDF 値

地点名	[Ti] _{soil}	[Ti] _{rock}	CDF
Ab-Gr-N1	0.56	0.09	0.85±0.01
Ab-Gr-N2	0.50	0.09	0.83±0.01
Ab-Gr-N5	0.15	0.09	0.53±0.03
平均	0.43	0.09	0.74±0.02

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 3 件）

- (1) Imaizumi, F., Hattanji, T. and Hayakawa, Y.S. Channel initiation by surface and subsurface flows in a steep catchment of the Akaishi Mountains, Japan. *Geomorphology*, 査読有, 115 巻, 2010, 32–42.
- (2) 八反地 剛・秋山沙苗・松倉公憲. 阿武隈山地の野外風化実験サイトにおける風化環境. 筑波大学陸域環境研究センター報告, 査読無, 11 巻, 2010, 21-27.
- (3) Wasklewicz, T.A. and Hattanji, T. High-resolution analysis of debris

flow-induced channel changes in a headwater stream, Ashio Mountains, Japan. *The Professional Geographer*, 査読有, 61 巻, 2009, 231–249.

〔学会発表〕(計 2 件)

- (1) 八反地 剛・松四雄騎. 足尾山地の小流域における長期スケールと短期スケールの削剥速度の比較. 日本地形学連合 2010 年度秋季研究発表会, 2010 年 11 月 13 日～14 日. 立正大学熊谷キャンパス.
- (2) 北村裕規・八反地 剛・松四雄騎・小口千明. 宇宙線生成核種年代測定法と物質収支法による化学的削剥速度の推定: 北アルプス芦間川での事例. 日本地形学連合 2009 年度秋季研究発表会. 2009 年 10 月 3 日～4 日. 京都教育大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八反地 剛 (HATTANJI TSUYOSHI)

筑波大学・大学院生命環境科学研究科・
講師

研究者番号: 00418625