

北潟湖の湖沼堆積物を用いた津波災害調査

Investigation of tsunami disasters using lake Kitagata sediment

*衣川 公太郎¹、Piziki Patricia、長谷部 徳子²、北川 淳子⁴、香月 興太³、福士 圭介²、Nahm hyun³

*kotaro kinugawa¹, Patricia Zazo Piziki, Noriko Hasebe², Junko Kitagawa⁴, Kota Katsuki³, Keisuke Fukushi², Nahm Wook Hyun³

1.金沢大学理工学域自然システム学類、2.金沢大学環日本海域環境研究センター、3.韓国地質資源研究院、4.福井県里山里海湖研究所

1.College of Science and Engineering, Kanazawa University, 2.Institute of Nature and Environmental Technology, Kanazawa University, 3.Surface Environment & Global Change department, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource, 4.Fukui Prefectural Satoyama-Satoumi Research Institute

2011年に発生した東日本大震災での津波災害を機に、日本海側沿岸地域でも津波災害に対する警戒意識が高まった。過去の歴史文献記録を見ると、日本海側沿岸地域でも秋田・青森沖を中心に多くの大規模津波が発生した記録があり、大規模津波災害の発生を否定することはできない。そこで本研究では福井県にある北潟湖の湖沼堆積物を用い日本海側、特に北陸地域で過去に発生したとされる、津波災害の痕跡の調査を行った。北潟湖は日本海と接続する部分がある汽水湖であり、津波が発生した場合、この接続部から遡上してくることが考えられる。調査の結果、海から約2km地点にあるコア(KT14-5)の深さ170~203cm付近から、津波堆積物と思われる層を確認した。物理量分析結果では、鉱物粒子径の粗粒化や炭酸カルシウム量の増加、有機物量や含水率の減少が示された。また別のコアの対比できる層準からは海から運ばれた異地性の貝が発見された。更に珪藻分析を行ったところ、海水種と汽水種が珪藻全体の約70%を占めることがわかった。この層の下30cmで同様の珪藻分析を行った結果では、淡水種が珪藻種全体の約60%を占めており、この層が海起源であることがより明確に示された。この層から発見された貝殻の¹⁴C年代測定結果(196cm)は、1404-1474 cal ADとなった。この地域で過去に発生した津波記録の一つに1586年の天正津波がある。この津波記録は、ルイス・フロイス著書の「日本史」や、吉田兼見の著書「兼見卿記」に記載が残され、巨大な波が陸に押し寄せたことを示す。しかし、この津波による堆積学的な痕跡は、若狭湾地域を中心に多くの調査が行われているものの、正式な発見にまで至っていない。また天正地震と関連付けられる事が多いが詳細は不明である。本研究で得られた津波堆積層の年代はそれ天正津波の年代よりもやや古く、別の津波である可能性もある。本研究で行ったような取り組みをさらに多くの地点で実施することにより、日本海側の過去の津波の規模の評価につなげたい。

キーワード：津波、湖沼堆積物、珪藻

Keywords: tsunami, lake sediment, diatom

火星・南極露岩地域での塩類風化に関する室内実験

An experimental study on salt weathering in cold and dry climate

*佐藤 昌人¹、八反地 剛¹*Masato Sato¹, Tsuyoshi Hattanji¹

1.筑波大学大学院生命環境科学研究科

1.Graduate School of Life and environmental Sciences

火星や南極露岩地域のような寒冷乾燥地域には、露岩に発達したタフォニや、土壌表面を覆う小角礫などの物理風化による生成物が多くみられる。これらの地域では、液体の水がほとんど存在せず、水分の供給源は大気中の水蒸気や霧、風雪などに限られる。このような環境下では、多量の水を必要とする化学風化や凍結による破碎は起こりにくい。その一方で、土壌には大量の塩類が集積しており、塩類風化が起きている可能性が指摘されている。本研究では、塩類を含ませた岩石試料を恒温恒湿庫内に設置して、湿度変化による塩類風化実験を行った。

実験には、各辺5 cmの立方体に整形した大谷凝灰岩と青島砂岩を用いた。また、塩類として、塩化ナトリウム、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウムを使用した。はじめに、試料を3種類の塩の10°C飽和溶液に72時間浸したのち、乾燥炉で110°C、48時間乾燥させ、試料間隙内に塩類を析出させた。次に、塩類の析出によって生じた応力、ひずみ取り除くため、およそ1か月間、試料をデジケータ内に保管した。その後、試料を恒温恒湿庫内に設置し、風化実験を行った。庫内を10°Cに保った状態で、湿度を20~100 %RHの範囲、6時間周期で変化させ、20サイクルごとに試料の重量、弾性波伝搬速度、エコーチップ反発値を測定した。さらに、試料表面に一軸歪みゲージを、試料表面から0.5 cmと2.5 cmの深さに熱電対をそれぞれ設置して、試料のひずみと温度を1分おきに測定した。

大谷石を用いた実験の結果、湿度変化による塩類風化が生じ、最大2 mm程度の小片が試料表面から剥離した。重量減少は塩化ナトリウムを含む試料でもっとも著しく、次いで、硫酸マグネシウム、硫酸ナトリウムを含む試料の順であった。また、塩化ナトリウムを含む試料では、実験の進行に伴ってエコーチップ反発値が低下し、試料表面の強度低下が起きた。一方、弾性波伝搬速度はどの試料でもほとんど変化せず、湿度変化による塩類風化は試料表面でのみ起きることが示された。庫内の湿度が高くなる際には試料の温度が上昇し、湿度が低下する際には試料の温度が低下した。温度の変化は、塩化ナトリウムを含む試料でもっとも大きく、硫酸マグネシウム、硫酸ナトリウムを含む試料、塩を含まない試料の温度変化は同程度であった。加湿時の水蒸気の凝結による塩類の溶解、乾燥に伴う再結晶によって、潜熱が生じ、試料の温度が変化したと考えられる。とくに、塩化ナトリウムは強い潮解性を示すため、試料表面に付着する水が他の試料よりも多く、温度変化がもっとも大きくなったと考えられる。本研究で生じた小片の剥離は、岩盤表面やタフォニ内壁で見られる、"granular disintegration"と呼ばれる小片の剥離とよく似ていた。南極露岩地域や火星にみられるタフォニの表面には、硫酸マグネシウムや硫酸カルシウムなどの塩類が析出していることが多い。とくに硫酸カルシウムは潮解性を示すことが知られており、本研究で用いた塩化ナトリウムと同様に、大気中の湿度変化によって、活発な塩類風化を引き起こしうる。したがって、これらのタフォニは、湿度変化による塩類風化によって形成された可能性がある。

キーワード：塩類風化、湿度、タフォニ、南極、火星

Keywords: salt weathering, humidity change, tafoni, Antarctica, Mars

カンボジア王国アンコールワット寺院・第一回廊の生物風化に関する一考察

Biological weathering on the first gallery wall of Angkor Wat temple, Cambodia

*宋 苑瑞^{1,3}、藁谷 哲也²、小口 千明³*Wonsuh Song^{1,3}, Tetsuya Waragai², Chiaki T. Oguchi³

1.日本学術振興会外国人特別研究員、2.日本大学大学院理工学研究科、3.埼玉大学大学院理工学研究科

1.JSPS Postdoctoral Research Fellow, 2.Graduate school of Science and Technology, Nihon University,

3.Graduate school of Science and Engineering, Saitama University

アンコール遺跡は、クメール王朝によっておもに9～13世紀に建てられたカンボジアの石造建築物群である。遺跡には王朝を代表する芸術と文化が建物の彫刻に多く残され、1992年にユネスコ世界遺産に指定されたことから、毎年多くの観光客を集めている。自然劣化の進んだアンコール遺跡の保存修復は、20世紀初頭からフランス極東学院によって行われてきた。また内戦後、とくに悲惨な状態にあったアンコールワット寺院の修復作業は、インド考古調査局 (ASI) によって1986～1993年に行われた。ASIはアンコールワット寺院を構成する砂岩ブロックの割れ目にモルタルを注入して水の浸透を防ぎ、紛失部分や毀損箇所を修復するとともに、建物を覆う植物の除去作業を行った。また、寺院のほぼ全域 (約20万m²) を対象として、砂岩ブロックの表面洗浄を行った。このような膨大な規模の洗浄作業後、アンコールワット寺院の表面の色は建築当時の砂岩本来の色である灰色～黄色い茶色に戻った。現在、アンコールワット寺院を構成する砂岩ブロックの表面は全体的に黒っぽく見える。これは、おもにシアノバクテリアのバイオマットであり、1994年以降に形成されたものである。文化財の保存修復分野では、バクテリア、カビ、地衣類をはじめミミズやシロアリ、植物などの生物的要素が遺跡 (岩石) を風化 (生物風化) しているのか、保護しているのか長く議論が続いている。これは風化現象が物理的、化学的、生物的な要素が合わさって起こるとても複雑な現象であり、風化環境や風化継続時間によって異なる結果がもたらされているためと考えられる。本研究では、アンコールワット寺院の第一回廊基壇に付着するシアノバクテリアが、砂岩ブロック表面にどのような影響を与えているかについて検討を進めた。ASIによると、基壇の砂岩ブロックに対しては、アクリル樹脂を用いた防水処理を行っている。しかし、その約2年後からシアノバクテリアが基壇表面を覆い始め、砂岩ブロックはスレーキングによる剥離部分とシアノバクテリアの付着した黒色変色部分が共存するようになったという。そこで、このような砂岩ブロック表面の剥離部分と変色部分に対して、シュミット・ロックハンマーとエコーチップ硬さ試験機を用いた反発硬度測定を行った。その結果、剥離部分は変色部分に比べて反発値が最大3.7倍大きかった。剥離されず、シアノバクテリアにも覆われていない部分も変色部分に比べて最大3.6倍も大きかった。シアノバクテリアはアンコールワット寺院の回廊を保護しているのではなく、表面硬度の低下を引き起こしている点では風化を促進していると言える。さらに、アンコールワット寺院に関しては、殺虫剤を使い生物的要素を除去してもすぐに原状に戻るため、表面洗浄作業はほとんど意味がなく、人工樹脂処理後20年以上経過した今はそれが蒸発を防ぎ風化を加速させたり、それ自体が溶け落ちるなど他の問題の生じているため樹脂の使用を慎重にする必要がある。

キーワード：アンコールワット寺院、生物風化、シアノバクテリア、文化遺産

Keywords: Angkor Wat temple, Biological weathering, Cyanobacteria, Cultural heritage

宇宙線生成放射性核種によるチベット高原北東縁共和盆地の埋積過程の解明

Burial history of the Gonghe Basin, northeastern Tibet, constrained by in situ cosmogenic radionuclides

*白濱 吉起¹、中村 淳路¹、宮入 陽介²、何 宏林³、狩野 謙一⁴、岡田 真介⁵、横山 祐典²、池田 安隆⁶

*Yoshiki Shirahama¹, Atsunori Nakamura¹, Yosuke Miyairi², Honglin He³, Ken-ichi Kano⁴, Shinsuke Okada⁵, Yusuke Yokoyama², Yasutaka Ikeda⁶

1.国立研究開発法人産業技術総合研究所、2.東京大学大気海洋研究所、3.中国地震局地質研究所、4.静岡大学防災総合センター、5.東北大学災害科学国際研究所、6.東京大学理学系研究科地球惑星科学専攻

1.National Institute of Advanced Industrial and Science Technology, 2.Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, 3.Institute of Geology, China Earthquake Administration, 4.Center for Integrated Research and Education of Natural Hazards, Shizuoka University, 5.International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University, 6.Earth & Planetary Science, The University of Tokyo

チベット高原はインドプレートとユーラシアプレートの衝突により隆起し、その領域を側方へと拡大させている。高原北東縁では、側方拡大に伴う短縮変形により、高原に沿って伸びる複数列の山脈とそれらに挟まれた盆地が形成されている。それぞれの山脈の隆起開始時期や山間盆地の埋積開始時期はチベット高原北東縁の発達過程を議論する上で重要であり、盛んに研究が行われている。共和盆地はそれらの盆地の内の一つで、活発に隆起する北側のQinghai Nan Shanと南側のHeka Shan (Gonghe Nan Shan)にはさまれた東西方向に伸びる平均標高3200 mの盆地である。共和盆地はかつて閉塞しており周囲の河川からの堆積作用によって厚さ500 m以上埋積されたが、その後、黄河による下刻が進行し、多数の侵食段丘が形成されたと考えられている。我々は本地域において詳細な地形分類と段丘面の編年を行うとともに、盆地堆積物中の宇宙線生成放射性核種を分析することにより、盆地の埋積・下刻の年代とその過程を明らかにすることを試みている。本発表では、主に盆地堆積物の分析結果について報告する。

埋没年代を分析するための試料として、黄河が盆地堆積物を下刻して形成された谷壁を利用しておよそ深度50mごとに9地点から石英の礫を採取した。採取した試料中の²⁶Al / ¹⁰Be比を測定し、宇宙線が遮蔽されてからの期間（埋没年代）を推定した結果、一部の試料を除き、深い深度の試料ほど古い年代を示す系統的な年代が得られた。堆積と同時に宇宙線から遮断された場合の埋没年代と埋没深度は、ほぼ直線上にプロットされ、5-8Ma以降の堆積速度が約70 mm/kyrと求められた。これは中新世後期以降の共和盆地では定常的な堆積が生じていたことを示唆している。発表では、定常的な堆積が生じていた場合の埋没年代の変化や黄河の下刻による再露出がもたらす埋没年代への影響についてより詳細な議論を行う。

キーワード：チベット高原、共和盆地、宇宙線生成放射性核種、埋没年代

Keywords: Tibetan Plateau, Gonghe Basin, cosmogenic radionuclide, burial age

ネパール、トリスリ川流域ドゥンチェ付近の時系列SAR干渉画像を用いた地すべり性地表変動の検出
Detection of landslide surface deformation around Dhunche, Trishuli River watershed in
Nepal using time-series InSAR images

*佐藤 浩¹

*Hiroshi, P. Sato¹

1. 日本大学文理学部

1. College of Humanities and Sciences, Nihon University

ネパール、トリスリ川流域のドゥンチェはカトマンズの北、46kmに位置する町であり、標高3,000m程度の低ヒマラヤから高ヒマラヤに漸移する場所にある。ドゥンチェ付近は2015年ゴルカ地震で斜面崩壊が多発したところであり、モンスーン期の豪雨によって地すべりの再滑動の危険性がある。そのため、地すべりによるわずかな地表変動を監視することは、防災に資するため重要である。本研究では、地震前後の2015年2月21日と5月2日、モンスーン期の7月25日と8月22日、モンスーン後期の8月22日と10月3日のAdvanced Land Observing Satellite-2 (ALOS-2)/Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar-2 (PALSAR-2)データからSAR干渉画像を生成した。生成にはRinc 0.47ソフトウェア (小澤 2014) を用いた。これらのSAR干渉判読したところ、(1) 地震で生じた地すべりが継続的にわずかに変動しているもの、(2) 地震では変動しなかったが継続的にわずかに変動しているものがあることが分った。これらの知見は、斜面災害評価図の作成の基礎資料となると考えられる。本稿で用いたPALSAR-2データについては、東京大学地震研究所の特定(B)「新世代合成開口レーダーを用いた地表変動研究」の枠組みでJAXAから支給されたものを利用した。また、本研究は科学技術振興機構 J-Rapidプロジェクトの2015年ネパール地震に関連した「ネパール大地震による山地斜面災害の現状把握と復興計画策定のための斜面災害評価図の作成」(研究代表者: 京都大学千木良教授)の費用の一部を使った。

○参考文献

小澤 拓 (2014): 防災科研におけるInSAR解析ツールの開発ーその3ー. 2014年日本地球惑星科学連合大会予稿, STT59-P12. <http://www2.jpgu.org/meeting/2014/session/S-TT59.html>

キーワード: 合成開口レーダー、地すべり、ネパール、地震、モンスーン

Keywords: SAR, Landslide, Nepal, Earthquake, Monsoon

造山帯と大地形—数値標高モデルを用いた再検討—

Orogens and global landform, revisited through an analysis of digital elevation model

*池田 敦¹*Atsushi Ikeda¹

1.筑波大学生命環境系

1.Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

造山運動という用語は、その意味することが使い手によってしばしば異なり、誤解を生みやすい専門用語である。さらに、地球科学においては「造山帯」は地質による地域区分であるが、高校の地理教育によって、一般には「造山帯」は地形の区分であると誤解されている。つまり高校では、新期造山帯は高く険しい山脈、古期造山帯はなだらかな山脈であり、さらに古い安定陸塊（安定地塊）は平原であると教えられている（例えば、池田、2015）。そこで本発表では、大陸地殻の成長期と、数値標高モデルから抽出した標高および高低差の関係を検討し、造山帯と大地形の関係をどのように理解すればよいのか提案する。

1グリッドを150 km四方にして表した標高や高低差の分布をみると、幅数百kmの山岳地帯は、パンゲア分裂（中生代）以降の造山運動を示す地質構造と対応関係がよいことが確かめられた（図1）。一方、パンゲア形成期（古生代）の造山運動でできた造山帯と先カンブリア時代の造山運動でできた安定地塊（盾状地・卓状地）を比べると、両者の起伏に差は認められなかった（図2）。つまり、造山運動終了後の侵食時間の長さによって、新期造山帯とそれ以外の大地形に差ができると教育するのはよいが、同じ理由で安定地塊と古期造山帯の大地形に差があると教育するのは望ましくない。なお、古期造山帯や安定地塊でも「例外的に」起伏が大きいところがあるが、その成因については、造山帯の年代よりずっと最近になって、起伏を大きくする作用が働いた可能性を検討するのがよい。

大地形の標高は基本的にアイソスタシーを反映するために、造山運動とはプレート収束境界における大陸地殻の成長過程であるという定義（平ほか、1998）を採用し、造山帯を大地形と対応付けることが、もっとも合理的な説明であると考えられる。貝塚（1996）は、新しい造山帯＝変動帯という用語法を採用し、陸上の大地形の地域差を説明している。しかし、変動帯という概念には地殻の厚化が含まれておらず、1千万年前よりも昔に遡って変動帯を復元することも難しいことから、その語は第四紀の地殻変動や中小の地形の分布を説明する際にとどめておく方がよいと思われる。

引用文献

Amante, C. and Eakins, B.W. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24.

Artemieva, I.M. (2006) Global 1°x1° thermal model TC1 for the continental lithosphere: Implications for lithosphere secular evolution. *Tectonophysics*, 416, 245-277.

池田 敦 (2015) 高校生に「大地形」をどう教えますか？ ②造山帯・盾状地・卓状地の分け方、ご存じですか？ *地理*, 60(11), 118-124.

貝塚爽平 (1996) 世界の変動地形と地質構造. 貝塚爽平編『世界の地形』東京大学出版会, pp. 3-15.

Laske, G. and Masters, G. (1997) A global digital map of sediment thickness. *EOS Trans. AGU*, 78, F483.

平 朝彦・阿部 豊・川上伸一・清川昌一・有馬 眞・田近英一・箕浦幸治 (1998) 『地球進化論』岩波書店.

キーワード：造山帯、大地形、数値標高モデル (DEM)、地理教育

Keywords: Orogen, Megascale landform, Digital elevation model (DEM), Geographic education

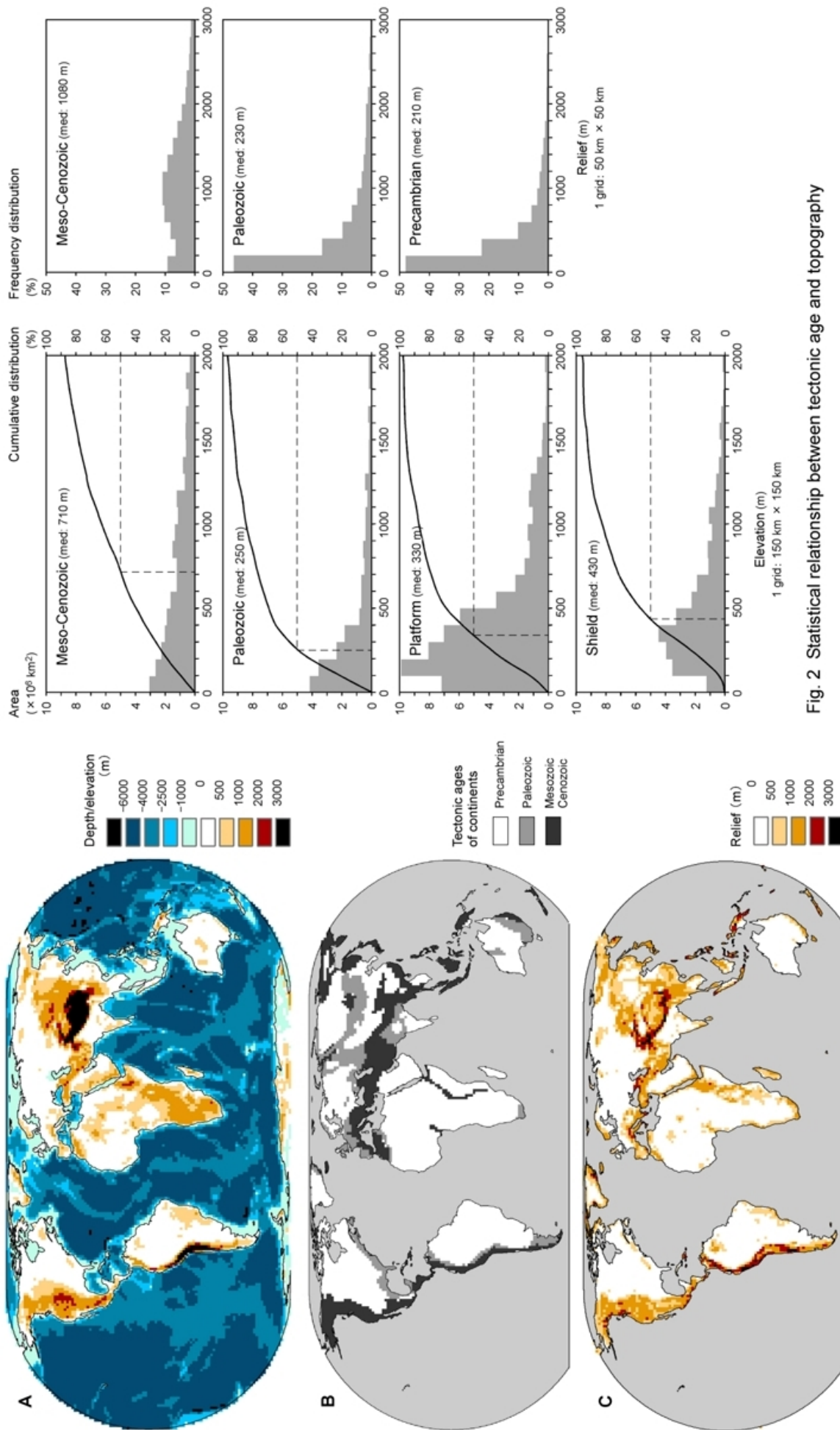


Fig. 1 Global elevation (A), tectonic ages (B) and relief (C). A grid size is 150 km x 150 km.

Fig. 2 Statistical relationship between tectonic age and topography

Data source:
 Amante, C. and Eakins, B.W. (2009) ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24.
 Artemieva, I.M. (2006) Global $1^\circ \times 1^\circ$ thermal model TC1 for the continental lithosphere: Implications for lithosphere secular evolution. *Tectonophysics*, 416, 245-277.
 Laske, G. and Masters, G. (1997) A global digital map of sediment thickness. *EOS Trans. AGU*, 78, F483.

梓川上流における降雨、水位変動、地形変化の関係

Relationships between rainfall, fluctuation of water level and landform changes in the upper reaches of the River Azusa, central Japan

*島津 弘¹

*Hiroshi Shimazu¹

1.立正大学地球環境科学部地理学科

1.Department of Geography, Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

長野県西部、北アルプス南部を流れ下る梓川の上流は幅の広い谷底平野の中にある礫床網状河川となっている。この区間では1年～数年に1度の頻度で河床地形の変化が起こる。降雨の状況と出水、水位上昇の関係を明らかにするとともに、それらと地形変化の関係を明らかにすることを目的として、2011年7月以降、インターバルカメラを設置して、15～20分間隔（秋季は30分、冬季は2～3時間間隔）での撮影によって河床の観察を続けてきた。結果は次の通り。降雨の開始から30分後には水位が上昇し始める。また、降雨の減少に素早く反応して水位の低下が起こり、数時間後には上昇前の水位に戻る。比較的流域面積が大きく、源流からの距離が12kmに達する流域でも関わらず、降雨応答と降雨終了後の水位低下が速い。降雨量に対する水位上昇量は梅雨明けの7月下旬までとそれ以降で大きく異なる。梅雨時期では日降水量80mm程度の降雨で中州がほぼ水没する程度の流路における50cm以上の水位上昇が生じるのに対し、それ以降では日降水量140mmを超える降雨でも同程度の水位上昇にとどまる。地形変化は河道のほとんどの部分が水没し、河道内での最大水位が1mに達する出水で生じた。しかし、インターバルカメラ設置以降にとらえられた大きな地形変化は166mmの日降水量を記録した2013年6月19日のみであり、今後の検証も必要である。梓川上流が位置する上高地谷は数10m以上の厚さがある砂礫層からなることから、砂礫層中に蓄えられた水の状態と、降雨によって集まる水との関係がこのような出水の特徴を形成したと考えられる。

キーワード：降雨流出、水位変動、地形変化、インターバル撮影カメラ、梓川上流、上高地

Keywords: rainfall-runoff, water level fluctuation, landform change, interval shooting camera, upper Azusa River, Kamikochi

2015年9月10日鬼怒川破堤によって発生した侵食地形とクレバススプレー堆積物の水理条件
Hydraulic conditions of erosion and crevasse spray sedimentation generated by the breach
of Kinugawa River around Misaka area, Joso City on September 10, 2015.

*七山 太¹、重野 聖之²、渡辺 和明¹

*Futoshi Nanayama¹, Kiyoyuki Shigeno², Kazuaki Watanabe¹

1.産業技術総合研究所 地質調査総合センター、2.明治コンサルタント(株)

1.Geological Survey of Japan, AIST, 2.Meiji consultant co.,Ltd.

大川において洪水が発生した場合、破堤箇所周辺に特殊な地形が発生する。破堤すると、まず堤内地を洪水流が深く削り込んで、クレバスチャンネルと呼ばれる侵食地形を作つくる。その周辺にはクレバススプレー堆積物が堆積する。クレバスチャンネルやクレバススプレー堆積物は、地質時代の河川成堆積物には普遍的に報告されてきているが、現世の産状報告はあまり多くない。

2015年9月9日から11日にかけて、台風18号の影響によって東日本各地で河川の氾濫や土砂災害が発生し、これら一連の災害は「平成27年関東・東北豪雨」と名付けられた。茨城県を常総市三坂地域においては、9月10日12時50分頃に鬼怒川左岸の堤防が約200 mにわたって決壊し、大災害となった。破堤箇所の直近には射流によって生じた侵食地形、クレバススプレー堆積物には、流速の変化によって生じた3Dデューン～リップルまでのベッドフォーム、および流水の方向を示す瓦礫の作るファブリック等の各種堆積構造が観察された。本発表においては、予察的な粒度分析結果も踏まえ、洪水発生時の水理条件について地形学的ならびに堆積学的見地から、考察を試みたい。

キーワード：クレバススプレー、鬼怒川、常総市三坂地区、水理条件、地形学、堆積学

Keywords: crevasse spray, Kinu River, Misaka area, Joso City, hydraulic condition, Geomorphology, Sedimentology

スーパースロービデオカメラを用いた飛砂粒子のreptation運動解析

Wind duct experiments on reptation particle motions using a high speed video camera

*小玉 芳敬¹、竹野 杏里*Yoshinori Kodama¹, Anri Takeno

1.鳥取大学地域学部

1.Faculty of Regional Sciences, Tottori University

はじめに

砂丘や砂浜では、波長10cmほどの風紋（砂漣, wind ripple）がしばしば観察されるが、風紋の形成要因は未解明のままである（たとえばThomas,2011）。最近では被弾飛散動（reptationを命名）による粒子が風紋の形成に重要な役割を担う説（Anderson,1987）が支持を集めている。ReptationとはAnderson and Haff（1988）が命名した粒子の運動様式であり、saltation（躍動）粒子が着床した際に、そこにある砂粒をはじき飛ばす運動様式のことである。従来はcreep（匍行）と呼ばれてきた現象の一部にあたる。

本研究の目的は、スーパースロービデオカメラを用いてsaltationとreptationの実態を解明し、差違を明らかにすることである。従来の数力学的モデル研究に対して新たな材料を提供する意義をもつ。

実験装置と実験方法

幅9cm・深さ56cm・全長7m28cmの風洞実験装置は、透明アクリル板（厚さ8mm）とツーバイフォー木材で作られ、上流端に送排風機（マキタ製, MF302）を設置した。送排風機と風洞の接合部には台形型の整流槽（長さ180cm・上底21cm・下底53cm・深さ48cm）をはさんだ。風洞の下流端には、円形状のアクリルチューブ（径32cm, 長さ103cm）と洗濯ネットで捕砂装置を作り、風洞から排出される飛砂粒子を捕捉し、飛砂量を計測した。

粒子の軌道を可視化しやすくするために、平均径0.36cmの扁平なポリプロピレン楕円体粒子（比重0.9）を実験材料に選定した。SONY製スーパースロービデオカメラ（NEX-FS700R/FS700RH）にレンズ（SONY E3.5-6.3/PZ 18-200 OSS SELP18200）を装着して風洞長で3m21cm～3m64cm区間を側面から撮影し、粒子の軌道を追跡した。スーパースローカメラは毎秒960コマで撮影を実施した。無給砂の実験と毎秒0.22g/秒のポリプロピレン粒子を風洞上流端で供給する実験（給砂実験）を行った。

スーパースロービデオカメラで撮影した動画は、パソコンソフトでコマ送りにし、OHPシートに粒子の軌道をプロットして座標を読み取り、2粒子間の移動距離と速度、跳躍高を求めた。トレースした粒子は全部で45粒であり、これらを解析した。

実験結果と考察

コマ数（経過時間）に応じた粒子の速度変化を調べたところ、reptation粒子は主に50cm/秒以下の速度で移動したのに対して、saltation粒子は主に100cm/秒以上で動いていた。また、saltation粒子は砂面に衝突して速度が急降下し、その後の跳ね上がりで風により加速する傾向が顕著であった。本実験で1粒子のみ観察できたcreep粒子は、50cm/秒ほどで移動していた。

粒子運動様式別の最高跳躍高/粒子径を比べた結果、無給砂の条件下では、reptation粒子のほとんどが粒子径（0.36cm）以下の跳躍運動を行い、saltation粒子やcreep粒子は、粒子径よりも高い跳躍運動を行うことが明らかになった。給砂条件下（0.22g/秒）では、reptation粒子は粒子径の2倍（0.72cm）以下の跳躍運動となり、それ以上の跳躍を示すsaltation粒子と明確に区別された。

給砂をすることで、飛砂量は給砂量の4-5倍に増加した。給砂によりsaltation粒子が衝突した際に飛散するreptation粒子数も増えたことがビデオ映像で確認された。reptation粒子数の増加は、砂面近傍を吹く風の風

速を弱め、そのために粒子径の2倍以上の高さまで粒子が跳ね上がらないと風による加速が不十分となり、つまりsaltationへの移行が起こらなかったと考えられる。saltation粒子に関して、跳躍毎の最高跳躍高と粒子の加速度の関係を調べたところ、正の相関が得られた。

粒子の運動様式に関しては、給砂条件下では風上に向かって飛散するreptation粒子が22%の割合で確認できた。一方、無給砂の条件下では風上に向かって飛散するreptation粒子が7%、reptation粒子が移動途中からsaltation粒子に変わるものが22%観察された。また風のみのもので始動するcreep現象よりもreptation現象やsaltation現象が圧倒的に多い粒子運動様式であることが、実験的に初めて明らかにされた。飛砂の運動様式に関しては、従来のcreepの代わりに、今後はsaltation, reptation, そしてsuspension（浮遊）を使用すべきである。

文献

Anderson, R.S.(1987)Eolian sediment transport as a stochastic process: the effects of a fluctuating wind on particle trajectories. *Journal of Geology*, 95, 497-512.

Anderson, R.S. and Haff, P.K. (1988) Simulation of eolian saltation. *Science*, 241, 820-823.

Thomas, D.S.G.(2011) *Arid Zone Geomorphology 3rded.* John Wiley & Sons, 624 pp.

キーワード：飛砂様式、躍動、被弾飛散動、匍行、スーパースロービデオカメラ、粒子運動解析

Keywords: aeolian sediment transport mode, saltation, reptation, creep, high speed video camera, particle motion analysis

河床縦断形の解析からみた養老山地東斜面における削剥と堆積

Causal connection between denudational and depositional mechanism: an approach based on stream analysis at Eastern Yoro Mountains

*大上 隆史¹

*Takashi OGAMI¹

1.中央大学理工学部

1.Faculty of Science and Engineering, Chuo University

濃尾平野の西縁を画する養老山地、とくにその東斜面には起伏が大きい山地地形が発達している。これらは養老・桑名断層帯の活動に伴う山地の活発な隆起、および東流する河川網の下刻に伴って形成されたと考えられ、山地で生産された土砂が東麓に扇状地群を形成している。扇状地の形態に関して多くの研究が蓄積されており、扇面勾配が集水域面積（≒河川流量）と負の相関を持つことが広く認識されている。さらに、扇面勾配の大きさが土砂流量/河川流量と相関関係を持つことが地形実験によって示されており（Whipple *et al.*, 1998）、実際の扇状地においても扇面勾配が河川流量に加えて集水域の削剥速度にコントロールされている可能性が高い。しかし、それらの関係を具体的に検討するためには、集水域の平均削剥速度や扇状地における堆積速度を定量化する必要がある。それらの値を直接得ることは一般に難しいため、集水域における削剥速度の指標として斜面傾斜や起伏比が計測されてきた。ところが、“Threshold Hillslope（限界傾斜）”を獲得するような険しい流域では削剥速度は斜面傾斜と無関係となることが示されており（Burbank *et al.*, 1996）、起伏比は集水域面積と負の相関をもつ場合が多いため河川流量と切り分けた議論が困難である。一方で、ストリームパワー侵食モデルにもとづいて“平衡状態にある”岩盤河川の河床縦断形の解析手法が発展しつつあり、隆起速度と岩盤の抵抗性に依存する流路の「Steepness（急峻さ）」の概念が導入されている（Wobus *et al.*, 2006）。岩盤強度が一樣であれば、“平衡状態にある”河川のSteepnessは隆起速度（≒侵食速度）の関数となることが期待されており、近年ではSteepnessと侵食速度の関係が実際に検討されつつある（DiBiase *et al.*, 2010）。特に限界傾斜を獲得するような山地では、Steepnessが岩盤河川の下刻速度を表し、河川の下刻速度が山地の削剥速度を規定している可能性がある。そこで、養老山地東斜面の河川群における河床縦断形から流路のSteepnessを試算するとともに、それらと扇面勾配との関係を検討した。

養老山地の東斜面を流下する河川群のうち、養老山地の中央分水嶺に谷頭を持つ25流域を研究対象とした。国土地理院が公開している5 mメッシュ数値標高データにもとづき直交座標系（UTM53N）における10 mグリッドのDEMを発生させ、これを用いて集水域解析を行った。谷頭を起点とする河床縦断形を作成し、それらを χ -標高プロット（Perron and Royden, 2013）に変換した。 χ -標高プロットが直線回帰されるとき、その河床縦断形は“平衡状態にある”とみなせる。また、 χ -標高プロットの勾配は「Steepness」を表す。流路距離および集水域面積を用いて χ を計算するのにあたり、 $A_0=10\text{ km}^2$ とし、定数 $m/n=0.5$ を採用した。 χ -標高プロットにもとづき、流路は大きく3つのセグメントに分けられる。最上流部における χ -標高プロットの勾配は比較的小さく、これらの流路の集水域は $<0.1\text{ km}^2$ 程度である（最上流セグメント）。集水域面積 $>0.1\text{ km}^2$ 程度の山地河川の流路では χ -標高プロットの勾配は大きくなり、その勾配はほぼ一定で直線回帰される（上流セグメント）。上流セグメントは χ -標高プロットで直線回帰されるため“平衡状態にある”流路とみなせる。下流部の堆積域では χ -標高プロットの勾配は小さくなっている（下流セグメント）。養老山地東斜面の山地における河川網の大部分は上流セグメントに属する。そのため、各集水域の流路のSteepnessを、本流の上流セグメントにおける χ -標高プロットの勾配とした。本発表では χ -標高プロットの勾配をそのままSteepnessとした。

対象河川の集水域面積は $0.15\text{--}5.09\text{ km}^2$ であり、それらの平均傾斜は $36\text{--}44^\circ$ 、起伏比は $0.09\text{--}0.45$ である。Steepnessは $35.2\text{--}89.6\times 10^{-3}$ の値をとる。これらの集水域の地形量のうち、起伏比は集水域面積と負の相関関係を示すが、その他は明瞭な相関関係が認められない。ただし、起伏比とSteepnessの関係に着目すると、同程度の集水域面積のクラスター毎に概ね正の相関がある。扇頂から下流に連続する直線的な河床勾配（以下では堆積勾配と呼ぶ）は $0.024\text{--}0.338$ であり、これらはよく知られているように集水域面積と負の相関関係を示す。Steepnessと堆積勾配の関係をみると、同程度の集水域面積のクラスター毎に正の相関関係があるとみなせる。このことは、堆積勾配が集水域面積とSteepnessによって規定されていることを意味する。ま

た, Steepnessが流域の削剥速度を表していることを間接的に示し, 養老山地東斜面における削剥プロセスは“Threshold Slope”パラダイムにもとづく侵食モデル, つまり岩盤河川の下刻速度が流域の削剥速度を律するモデルによって説明できる可能性が高いことを示唆する. すなわち, 集水域における土砂生産速度と集水域面積(≒河川流量)が扇状地の扇面勾配にあらわれていると解釈できる.

引用文献: Whipple *et al.*, 1998. *Journal of Geology* 106. Burbank *et al.*, 1996. *Nature* 379. DiBiase *et al.*, *EPSL* 289. Wobus *et al.*, 2006. *GSA Spec. Pap.* 398. Perron and Royden, 2013. *EPSL* 38.

キーワード: 山地河川、限界傾斜、削剥、 χ プロット、扇面勾配

Keywords: mountain river, threshold hillslope, denudation, chi plot, fan slope

実験侵食地形の発達における堆積域幅の影響

Effects of piedmont deposition on the development of experimental erosion landform

*大内 俊二¹*Shunji Ouchi¹

1.中央大学理工学部

1.Faculty of Science and Engineering, Chuo University

隆起と降雨侵食によるこれまでの実験地形の発達実験の中から、他の条件が類似で堆積域幅の異なる実験を比較することによって、60×60cmの四角い隆起域を囲む堆積域の広さが実験侵食地形の発達に与える影響について考察する。比較したrunの概要は以下のとおりである。平均降雨量はどのrunも80~90mm/hで、侵食と隆起による地形発達は**Ouchi (2015) の言うsteady state phaseに入る。

.....堆積域幅	.....隆起時間	.....透水係数	.....隆起速度
run27 ...10cm	.....960h	.....2.94cm/s	....0.36mm/h
run32 ...20cm	.....1000h	.....1.84cm/s	....0.36mm/h
run30 ...10cm	.....1160h	.....2.99cm/s	....0.1mm/h
run31 ...20cm	.....1160h	.....4.68cm/s	....0.1mm/h

実験地形は、隆起とともにまず表面流による侵食が進み、谷系（流域）が発達して行く。同時に堆積域では、流路が移動を繰り返して堆積の場を変えながら扇状地を発達させる。実験終了後の堆積断面の観察からは勾配をほぼ一定に保ったまま扇状地が少しずつ前進した様子が分かる。扇状地が堆積域の端まで達し堆積域をほぼ埋めるようになると、堆積域は運搬物質の通過域となり、表面流による隆起域の侵食がそれまでより急速に進むことが観察された。比高がある程度増大して斜面が広がりだすと、斜面崩壊が頻繁に起こるようになって、流水の働きは斜面崩壊によって生産された物質を域外に搬出することが中心となる。それまで隆起とともに上昇してきた隆起域の平均高度は、このあたりからほぼ一定の高さで安定するような変化を見せる。堆積域の幅が広ければ扇状地発達の時間が長く、この間の隆起によって隆起域の平均高度がより上昇するし、流水の侵食による谷の発達も遅いため崩壊するような斜面の拡大発達も遅れがちで、隆起域の平均高度は堆積域の幅が狭い場合よりも高いところで安定する傾向があった。実験の後半、斜面崩壊が盛んに起こり平均高度が安定するところには水路勾配も安定するが、堆積域の幅が広い場合に縦断形がその分長くなり扇頂部がより高くなることを除けば、水路縦断形自体は堆積域の幅にかかわらず類似の形態となった。安定する水路勾配は砂山構成物質が同じであれば隆起速度と降雨量によって決定され、堆積域幅の影響は小さいようである。他の条件が同じであれば、堆積域の広さは隆起域の侵食基準高度となる扇頂高度を規定し、隆起域全体の高度に影響を与えると考えることができる（堆積域が広い方が隆起域の平均高度は高くなる）が、堆積域が堆積物で埋められて運搬物質の通過域となった以降は地形変化に大きな違いが見られない。ただし、堆積域の幅が狭いほうが比高が比較的小さなうちに谷の発達が進むために谷幅が広がって“山地”が分裂する傾向がある。

**Ouchi, S. 2015. Experimental landform development by rainfall erosion with uplift at various rates. *Geomorphology* 238: 68-77.

キーワード：降雨侵食実験、堆積域の幅、扇状地発達、流水侵食、斜面崩壊、隆起速度

Keywords: rainfall-erosion experiment, width of deposition area, development of alluvial fans, fluvial erosion, slope failures, uplift rate