

# 天竜川～遠州灘を例にした河川－海岸系の砂礫にはたらく円磨作用の特徴

## Grain abrasion of gravel-sand in fluvial-beach systems: the case study of Tenryu River to Enshu Coast, central Japan

\*宇津川 喬子<sup>1</sup>、白井 正明<sup>1</sup>

\*Takako UTSUGAWA<sup>1</sup>, Masaaki Shirai<sup>1</sup>

1. 首都大学東京大学院 地理学教室

1. Department of Geography, Tokyo Metropolitan University

砕屑粒子は河川から海浜へと運搬される過程で破碎作用や摩耗作用を受ける、すなわち角張ったり丸みを帯びたりしながら最終的に「円磨」される。こうした粒子の形状、特に輪郭の滑らかさを評価する「円磨度」は、砕屑物の堆積環境や運搬－堆積過程などを示す指標として、長年様々な研究で用いられてきた (Krumbein1941; 宇津川・白井2016a)。河川環境において、相対的に細かい礫は粗い礫に比べて円磨度が低い傾向が知られており (Sneed and Folk1958)、Utsugawa (2017MS) は渡良瀬川水系の礫だけではなく粗粒な砂 (径0.5～128 mm) においても、その傾向を確認した。細かな粒子がより角張る要因としては、粗い粒子より耐久性があること (Kodama1994) や運搬中の粒子同士の衝突しにくさ、また、新しく生産された、すなわち角張った粒子の供給 (宇津川・白井2016b) があげられる。発表者らは、粒径と“運搬環境 (水流条件、底質の粒径等)”によって、粒子にはたらく円磨作用が異なると考え、河川下流～海浜環境において、河川環境ではほとんど円磨されない傾向にある砂粒子の円磨度変化を検証した。

本研究では、砂粒子でも同定しやすい微粒子で構成され、運搬－堆積リサイクルの影響が少ない岩種 (“軟らかい”頁岩および“硬い”チャート) を選定し、天竜川中流域のダム群より下流域から遠州灘海岸にかけての約62km計6地点において、砂粒子 (粗粒砂～極粗粒砂; 径0.5～2 mm) の円磨度を調べた。ふるい分けした試料から、デジタルマイクロスコープVHX-1000 (KEYENCE社製; 首都大学東京地理学教室所有) を用いて頁岩とチャートを選別した。円磨度は、画像解析型粒度分析装置FF-30micro (ジャスコインタナショナル社製; 同上) に搭載されている画像解析ソフトウェアPIA-Proを用いて“O. Bluntness” (Pirard1993MS) を測定した。O. BluntnessはKrumbein (1941) の円磨度印象図の階級値と高い相関があり、独自に求めた換算式を用いてこの値から“Krumbein円磨度”を再計算した。

粗粒砂 (径0.5～1 mm) と極粗粒砂 (径1～2 mm) の頁岩およびチャートの円磨度 (約110～130粒) を調べたところ、両岩種とも、全体的な傾向として、極粗粒砂よりも粗粒砂の方がやや低い円磨度平均値を示すとともに、海浜での運搬距離が長くなるにつれて円磨度が高くなる傾向が得られた。特に河口から最も遠い前浜での円磨度はチャートでも高い。石英粒子が河川よりも海浜での波の作用 (粒子の往復運動) で顕著に円磨されることは以前から知られているが、本研究では、頁岩およびチャートでも同様の傾向が観察された。興味深い点として、河口付近 (河口州前浜側および河口から約3 kmの前浜) について詳細に検討すると、頁岩の円磨度平均値が海浜環境であるにもかかわらず上昇しなかった。河口付近では、天竜川から供給された礫 (主に径2～64 mm) が前浜表面に広く堆積しており、日常的な波の作用でも転動や跳動を繰り返している様子が観察される。こうした粗い粒子同士が波の作用によって衝突し、新たに生産された、すなわち角張った粒子の供給が河口付近の前浜では盛んであると推察される。

### 引用文献

宇津川喬子・白井正明 2016a. 地理学評論89: 329-346.

宇津川喬子・白井正明 2016b. 日本地球惑星連合大会2016年大会要旨 (HGM14-P07) .

Kodama, Y. 1994. Jour. Sed. Res. A64: 76-85.

Krumbein, K. C. 1941. Jour. Sed. Pet. 11: 64-72.

Pirard, E. 1993MS. Doctoral Thesis submitted to Univ. of Liege (in French).

Sneed, E.D. and Folk, R.L. 1958. Jour. Geol. 66: 114-150.

Utsugawa, T. 2017MS. Doctoral Thesis submitted to Tokyo Metro. Univ.

キーワード：砂、円磨度、円磨作用、天竜川、遠州灘

Keywords: sand, roundness, grain abrasion, Tenryu River, Enshu Coast

## 星砂の磨耗度と放射性炭素年代に基づく瀬底島海浜堆積物の年代と堆積過程

### Age and depositional process of beach sediments around Sesoko Island (Okinawa, Japan), based on abrasion grades and radiocarbon ages of *Baculogypsina* (Foraminifera)

\*伊藤 真裕子<sup>1</sup>、森 愛<sup>2</sup>、本郷 宙軌<sup>2</sup>、浅海 竜司<sup>2</sup>、宮入 陽介<sup>3</sup>、横山 祐典<sup>3</sup>、藤田 和彦<sup>2</sup>

\*Mayuko Ito<sup>1</sup>, Ai Mori<sup>2</sup>, Chuki Hongo<sup>2</sup>, Ryuji Asami<sup>2</sup>, Yosuke Miyairi<sup>3</sup>, Yusuke Yokoyama<sup>3</sup>, Kazuhiko Fujita<sup>2</sup>

1. 琉球大学大学院理工学研究科物質地球科学専攻、2. 琉球大学理学部物質地球科学科、3. 東京大学大気海洋研究所

1. Graduate School of Engineering and Science University of the Ryukyus, 2. Faculty of Science, Department of Physics and Earth Sciences, University of the Ryukyus, 3. Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo

Topographic changes of coral-reef beaches are predicted to occur due to sea-level rise associated with global warming. Beach sediments are mainly composed of skeletal fragments and shells produced by calcifying organisms, which are sensitive to environment changes. However, the production age, transport time and depositional age of beach sediments have not yet been fully understood. Here we show the age and depositional process of beach sediments around Sesoko Island (Okinawa, Japan), based on the abrasion grades and radiocarbon (<sup>14</sup>C) ages of *Baculogypsina* (star sand; Foraminifera). Results of abrasion-grade analysis showed that well-preserved tests of *Baculogypsina* (a pristine test with most spines remained) became fewer from the reef flat toward the beach, where abraded tests with no spines were found abundantly. Results of <sup>14</sup>C dating showed that all *Baculogypsina* ages were after ca. 1300 cal AD, while most of coral fragment ages were younger (ca. 1700 cal AD-Modern) than *Baculogypsina* ages. *Baculogypsina* ages generally became older from the reef flat toward the beach. *Baculogypsina* ages in beach sediments were younger in the north side than the south side. These results suggest that the production of *Baculogypsina* tests increased after 1300 cal AD. This is likely caused by the formation of a reef flat (i.e. the increase of foraminiferal habitats) related to a relative sea-level fall at late Holocene. After transported from a reef flat, *Baculogypsina* tests were deposited into a beach mainly from the north to the south by nearshore currents. The presence of modern coral fragments brought by tidal waves and typhoons suggest that beach formation continues until present.

キーワード：有孔虫、サンゴ礁、海浜堆積物、放射性炭素年代、磨耗度

Keywords: foraminifera, coral reef, beach sediments, radiocarbon age, abrasion grade

# 確率論的評価による鎌倉市および逗子市の海岸低地埋積過程モデル Probabilistic Evaluation of Coastal Aggradation Models of Kamakura and Zushi areas, Japan

\*萬年 一剛<sup>1</sup>

\*Kazutaka Mannen<sup>1</sup>

1. 神奈川県温泉地学研究所

1. Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture

相模湾北東岸に位置する鎌倉市および逗子市の海岸低地では、現在の海面高度付近に礫質の干潟堆積物が広く認められる。この堆積物の炭素14年代値は3つのグループを形成し、各々のグループの年代は、歴史文書から確認出来る大地震の時期に近接している。このことから、干潟堆積物の形成がテクトニックな変動を反映している可能性が指摘された（萬年ほか、2014；第四紀学会予稿）。しかし、年代値や限られたボーリングの地質観察からだけでは、干潟堆積物が徐々に拡大していった可能性を否定することは難しい。そこで、本研究では、干潟の埋積が連続的に行われた場合（Model 1）と、間欠的に行われた場合（Model 2）のどちらかが観測された炭素14年代分布をより説明できるか、確率論的に考察した。

まず、各埋積モデルについて干潟堆積物全体の炭素14年代分布モデルを求めた。この年代分布モデルから、実際のボーリング調査同様のサンプリングをした際、実際のボーリング調査で得られた炭素14年代分布と「似た」ものが得られる確率を $p^*$ と定義し、 $p^*$ 値をモンテカルロ法により計算しモデル間で比較した。ここで「似た」とする定義は、2標本の母集団の確率分布が異なっているか否かを調べる為に用いられるコルモゴロフ・スミルノフ（K-S）検定を用いた。また、Model 1については干潟の存続期間、Model 2は干潟の形成時期を可変のパラメータとしたほか、また干潟堆積物中の物質の平均滞留時間を様々に仮定し、実際のボーリング調査で得られたサンプルの年代分布を最も説明するシナリオを探索した。

その結果、Model 1の最適解は干潟の存続期間がAD1800-500で、その時の $p^*$ 値は0.0600であった。Model 2の最適解は干潟の形成時期が、AD1680および1180、780で $p^*$ 値は0.2150であった。また、歴史地震（1703, 1257, 878）と干潟の形成が関係しているというシナリオで、 $p^*$ 値は0.0942であった。Model 2の炭素14年代分布モデルと実際の年代分布を比較すると、1703年、1293年、1257年の地震に関連して干潟が形成または定置した可能性は高いと判断できたが、878年の地震に関しては関連性が薄いように見えた。

以上のことから、鎌倉・逗子の海岸低地に認められる干潟堆積物は、1) 連続的な埋積と言うより間欠的な埋積によって形成された可能性が高く、2) 埋積の間欠性は歴史地震と関係している可能性があるが、3) その他の要因も考慮する必要がある、と結論できる。

キーワード：干潟、埋積過程、歴史地震、年代測定、相模湾、確率論的評価

Keywords: tidal flat, aggradation, historical earthquake, dating, Sagami Bay, probabilistic evaluation

# 生物攪拌は初生堆積構造をどう変える？：ルール型格子モデルによる検討

## Investigation of preservation potential of sedimentary structures by ruled-lattice model for bioturbation

\*小川 琴奈<sup>1</sup>、成瀬 元<sup>1</sup>

\*Kotona Ogawa<sup>1</sup>, Hajime Naruse<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室地球生物圏史分科

1. Biosphere Study Group, Department of Geology and Mineralogy, Faculty of Science, Kyoto University

生物攪拌とは、巣穴の形成や採餌といった底生生物の活動によってすでに堆積した粒子が拡散・混合されることを指す。地表面の堆積物は多くの場合、底生生物による生物攪拌作用を受けている。生物攪拌によって地層中に含まれる化石の産出層準が時間的に平均化されたり、初生的な堆積構造が失われたりする現象が起こる。すなわち、地質記録から古生態系の構造や機能を復元したり、古環境情報の保存確率を検討したりするためには、生物攪拌によってどれほどの初生的な情報が失われたかを定量的に見積もることが重要になる。そこで、本研究は、生物攪拌作用による初生的な堆積構造の保存確率がどのような要因によって決まるのかを定量的に検討するため、生物攪拌のルール型格子モデルによる数値計算を行った。その結果、生物攪拌に関するパラメーターを変化させると、条件が特定の閾値を超えた場合に堆積構造が急激に塊状化すること、生物攪拌作用が堆積構造に対し特定の周期の堆積構造のみを保存するいわばバンドパスフィルターの役割をになうことが明らかになったので報告する。

本研究は、生物攪拌作用による堆積物粒子の拡散を定量化するための数理モデルであるSchiffers et al(2011)による生物攪拌のルール型格子モデルを発展させ、数値実験を行った。このモデルは、堆積層を格子状に区切り、それぞれの格子内の堆積物（以下「粒子」とよぶ）が単位時間当たり一定の確率で上方もしくは下方へ移動するようにルールを定めた生物攪拌作用の格子モデルである。なお、粒子移動距離の確率密度関数は正規分布で与えられる。Schiffersらはこの格子モデルにより、飼育実験下の生物攪拌作用を的確に表現できることを示した。生物攪拌のルール型格子モデルは、実際の堆積構造や底生生物の生態、生痕化石の形状をモデルパラメーターとして取り込みやすいという利点がある。本研究はこのモデルを発展させ、生物攪拌が起こる深度範囲、粒子移動確率、粒子移動平均距離、粒子移動方向という4要素に加えて堆積速度を考慮するモデルを作成した。初生的な堆積構造としては、一定の時間間隔で交互にトレーサー粒子と非トレーサー粒子の薄層を交互に堆積させた葉理構造と、二種類の波長の正弦波を合成した波に従って、トレーサー粒子の濃度を変動させた葉理堆積構造を用いた。そして、生物攪拌の影響を受けなくなる限界深度以下の堆積物（ヒストリカルレイヤー）におけるトレーサー粒子濃度の垂直変化に対してフーリエ解析を行い、初生的な葉理の特徴が保存される度合いを定量化して、初生的構造が生物攪拌によって失われる条件について検討を行った。

ヒストリカルレイヤーにおけるトレーサー粒子濃度の垂直分布をフーリエ変換した結果、設定したパラメーターに応じて、初生的な葉理と同じ周期におけるスペクトル密度が十分に大きい堆積層が形成される場合と、スペクトル密度がバックグラウンドと識別できなくなる塊状堆積層が形成される場合とははっきりと分かれることが明らかになった。また、初生的な堆積構造が二つの波長を持つ場合、生物攪拌の度合いが大きくなると、堆積構造にはより長い波長の構造のみが残されることが明らかになった。すなわち、ここでは、生物攪拌作用がいわばバンドパスフィルターの役割を果たしているということになる。様々なパラメーターの下で実験を行ったところ、こうした堆積構造の保存には、葉理の幅に対する生物攪拌が起こる深度範囲や、粒子移動平均距離が強く影響している可能性が高いことがわかった。

キーワード：生物攪拌、堆積構造、ルール型格子モデル

Keywords: Bioturbation, Sedimentary structure, ruled-lattice model

## ベースレベル低下による岩盤河床流路の形状変化と岩盤強度との関連性：モデル実験による探究

### Relationship between bedrock strength and change in shape of bedrock channel due to base level lowering: Laboratory experiments

\*飯島 荘太<sup>1</sup>、遠藤 徳孝<sup>1</sup>

\*Sota Iijima<sup>1</sup>, Noritaka Endo<sup>1</sup>

1. 金沢大学自然科学研究科

1. Kanazawa university, Graduation school of natural science and technology

岩盤河川の発達には気候、隆起量、岩盤強度など様々な要素によって支配されている。このうち岩盤強度は古くから河川地形発達の様相を左右する重要なパラメータである可能性が示唆されており、岩盤強度が高い区域に遷急区間が存在するなどといった報告がフィールド研究からされている。しかし、地形変化には長い時間がかかることと、そのほかのパラメータがフィールドでは千差万別であるため、岩盤強度との正確な関係の理解は十分でない。そこで、本研究では山岳河川の形状について、モデル実験を用いて高精度で観察を行い、その形成過程・要因等を岩盤強度に焦点を当てて考察する。今回は、河川形状の特徴として勾配と蛇行度の変化に着目した。

箱型の実験装置に砂を敷き、中央に単一の直線チャンネルを持ち、一定の傾斜を有するような初期地形を作った。砂は標準砂( $\phi=0.2\text{mm}$ )とシルトを一定量比で混ぜ合わせたものであり、この量比を変えることで岩盤強度の違いを再現している。上流端から水を流し、20分おきに下流端に存在する堰を1cmほど下げ、これを7回ほど繰り返してベースレベルの低下(相対的な隆起)を発生させる。実験は縦断形が約30分以上ほぼ変化しない状態をもって終了した。

実験終了時の縦断形を見ると、岩盤強度の違いがあっても縦断形にほとんど差異が無いことが確認された(この約30分以上ほぼ変化しない縦断形を安定状態とみなす)。このことから、岩盤強度は最終的に流れに対して安定する縦断形を決定する要因としては機能せず、初期状態から最終的な縦断形へと変化する間にのみ影響を与えるものと考えられる。

勾配は実験中一度極大となった後減少し、一定の値をとり安定状態となる。ピーク時の勾配は岩盤強度が大きいほど高かった。また、蛇行度は勾配が極大となるタイミングで、大きくなる傾向が見られ、この傾向は岩盤強度が高いほど顕著であったが、実験終了時の蛇行度の値もじゃ、岩盤強度の差による違いが見られなかった。よって、自然界の岩盤強度が高い地域においてしばしば見られる大きな蛇行度は、地球科学的タイムスケールでは遷移的な現象である可能性が高い。遷移的である間の蛇行の大きさを決定する要因として、岩盤自身の絶対的な強度以外に、岩盤強度の空間的差異などが考えられるため、今後更に実験を重ね考察する必要がある。

キーワード：河川地形、岩盤強度、蛇行

Keywords: river topography, bedrock strength, meandering

## 河成段丘の形成過程と侵食速度の時間変化

### Temporal change of incision rate in relation to river terraces: model experiment

\*山村 美稀<sup>1</sup>、遠藤 徳孝<sup>1</sup>

\*Miki Yamamura<sup>1</sup>, Noritaka Endo<sup>1</sup>

1. 金沢大学大学院 自然科学研究科 自然システム学専攻 地球環境学コース

1. Department of Earth Science, School of Natural System, Kanazawa University

河成段丘は、過去の河床と下刻の記録であり(Pazzaglia, F. J. & Brandon, 2001)、隆起や海水準の低下といった急激な変化によって、階段状の地形が形成されることから、河川の鉛直侵食速度を定量化する直接的な方法を提供している。しかし、段丘から算出される侵食速度が新しい段丘ほど速く見えてしまうというSadler effectがフィールド研究(Finnegan, Schumer and Finnegan, 2014)、数値的モデル(Hancock and Anderson, 2002)を行った研究でみられており、段丘からの侵食速度は見かけ上の下刻速度であると示唆されている。

本研究では、時間経過の観察が可能な山側傾動隆起をつけたモデル実験を行い、段丘から侵食速度を計算し、Sadler effectがみられる要因について検証することを目的としている。

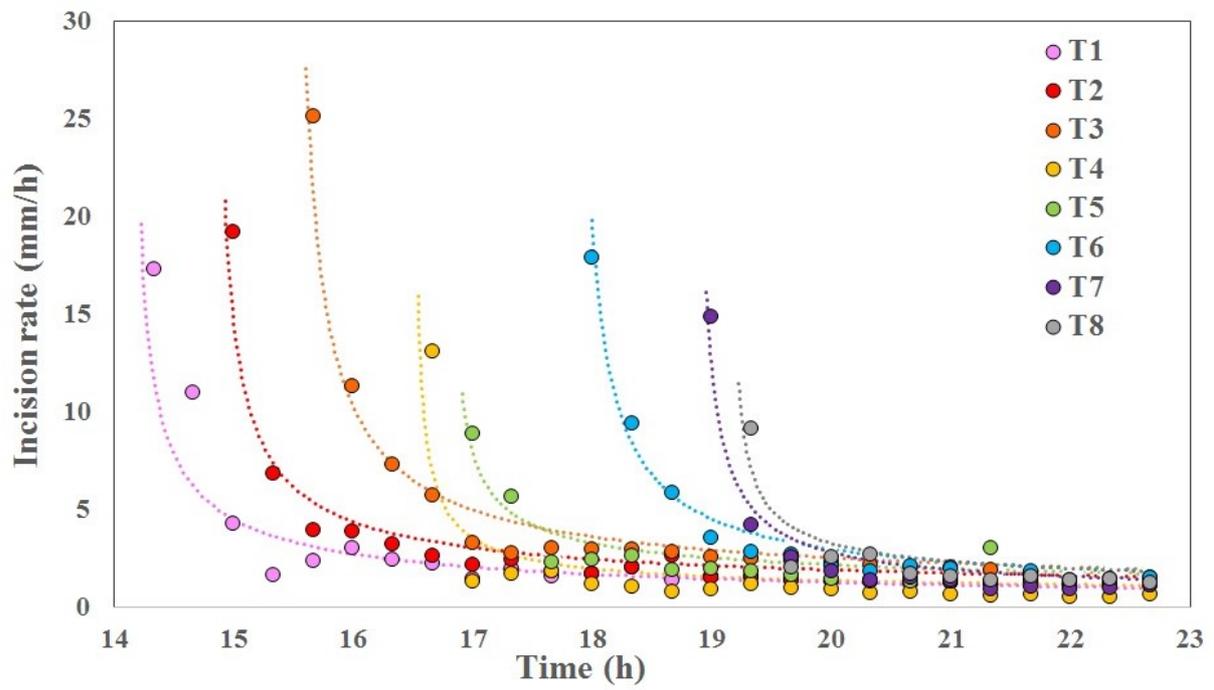
水槽に標準砂とカオリナイトの量比を10.5:1(Ouchi, 2011)で混合した砂を初期斜面1°で水槽に敷き詰め、スプリンクラーで霧状の雨を降らせることによって地形を発達させていくモデル実験を行った。河口側に設けた傾動モーターを用いて、河口をゆっくりと下げることによって相対的な山側傾動隆起を再現している。はじめの40分間は地形を発達させるために隆起をさせずに雨を降らせた。その後の試行は隆起をさせながら、雨を20分間降らせ、その後の地形をカメラで撮影する作業を繰り返し行った。

ある一つの流路に沿って8個の段丘(T1-T8)を観察することができた。それらの段丘から侵食速度を算出すると、形成してからの時間が短いほど高い侵食速度がみられ、Sadler effectを実験でも再現された。また、Sadler effectは段丘形成からの経過時間が長くなるほど小さくなることが確認できた。

Sadler effectの減衰について考えるために、河川の高度変化から実際の侵食速度を見積もったところ、20分間隔の侵食速度から、侵食優勢と堆積優勢が周期的に変動していることから、河床が一定でなく変動していると考えられる。20分間隔の侵食量を累積し、時間平均した侵食速度の時間変化と段丘からの侵食速度の時間変化の傾向と一致している。河床変動の周期性がSadler effectがみられる要因であると考えられ(Gallen et al., 2015)、この周期を知ることができれば、Sadler effectが減衰するまでの時間を予測することができるかもしれない。

キーワード：段丘、侵食速度

Keywords: terrace, incision rate

**Temporal change of averaged incision rate estimated from identical terraces**

## 古琵琶湖層群下部における供給源変化と後背地風化：鮮新世における古風化環境の復元

### Paleoweathering environments recorded in the Pliocene-Pleistocene Kobiwako Group, southwest Japan

\*吉田 孝紀<sup>1</sup>、葉田野 希<sup>2</sup>、笹尾 英嗣<sup>3</sup>

\*Kohki Yoshida<sup>1</sup>, Nozomi Hatano<sup>2</sup>, Eiji Sasao<sup>3</sup>

1. 信州大学理学部理学科地球学コース、2. 信州大学大学院総合工学系研究科、3. 日本原子力研究開発機構

1. Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, 2. Interdisciplinary graduate school of Science and Technology, Shinshu University, 3. Japan Atomic energy Agency

三重県北部から琵琶湖南部に分布する鮮新統・更新統は古琵琶湖層群と呼ばれ、古くから古生物学的・層序学的研究がなされてきた。この地層群は新第三紀鮮新世～第四紀の西南～中部日本の陸上環境を復元する際に重要な役割を果たすと期待される。今回、三重県北部から滋賀県南部に分布する古琵琶湖層群下部の鮮新統について、層序と堆積相、堆積物の顕微鏡観察、全岩化学組成と粒度分析による風化残留元素の濃集状態について検討し、全岩化学組成・REE組成などの多角的なアプローチによって、古風化度の見積もりを行った。

調査地域を三重県伊賀市上野～島ヶ原地域とし、古琵琶湖層群の下部を占める伊賀層・北又層について検討を行った。伊賀層では、氾濫原、湖沼堆積物が卓越する。下部では含角礫塊状シルト層相が卓越し、上部ではチャンネル状斜交層理砂礫層相が増加する。これらは堆積相の多様性から蛇行河川システムによって形成された可能性がある。一方、北又層は大礫を含む礫支持礫層相とその上位の斜交層理砂礫層相からなる。これらはシルト-粘土層と指交関係にあり、泥質岩相に乏しく、礫質・砂質な堆積物が卓越する。これらのことからチャンネル堆積物と考えられる。

古琵琶湖層群伊賀層および北又層の堆積相解析をもとに、泥質岩試料の採取を行い、その主要元素組成とREE組成を検討した。その結果、伊賀層の化学組成は、おおよそSiO<sub>2</sub>が47%から77%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が13%から34%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が1%から6%である。一方、北又層では、おおよそSiO<sub>2</sub>が70%から74%、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が18%から22%、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>が2%から4%である。風化度を表すCIA値は伊賀層で52から95であり、北又層で72から80であった。

一方、コンドライトによって規格化されたREEスパイダーダイアグラムにおけるEu異常と重希土類と軽希土類の比(La/Sm)<sub>N</sub>を使用して、供給源の識別を行った。その結果、分化した火成岩類を起源とするグループと未分化な火成岩類に由来するグループ、その中間のグループが識別でき、それぞれのCIA値が大きく異なることが判明した。

結果として、伊賀層の供給源岩と古風化度は一見すると多様であるが、供給源岩ごとにCIA値を区別すると、分化した火成岩、たとえば花崗岩、に起源を持つグループが卓越し、CIA値85-95程度を示す。一方、伊賀層上部と北又層では、玄武岩・安山岩などの、分化の低い火成岩に起源を持つグループが卓越し、それらは70-83程度のCIA値を示す。供給源の変遷をまとめると、古琵琶湖層群初期には強い風化を受けた花崗岩類から堆積物が供給され、その後、ほとんど風化を受けていない凝灰岩類・火山灰類からの供給に変化したことが示唆される。

従って、古琵琶湖層群下部の堆積期初期には強い風化条件をもたらす陸上環境が出現していたと考えられる。凝灰岩の年代からその時期は3.3-3.1 Maと考えられ(川辺ほか, 1996; 林・川辺, 1993)、落葉樹からなる暖帯型の植物群で特徴付けられる時期とされる(木田, 1989)。気候区と古風化度の関連については今後の検討が必要であるが、供給源岩の識別によって古風化度を限定し、具体的な見積もりが可能となったといえる。

風化帯は、地質環境の最上部に位置することから、本研究は過去の風化状況の復元を通じた、地質環境の変遷の理解に活用されることが期待される。

本研究は、経済産業省資源エネルギー庁委託事業「地質環境長期安定性評価確証技術開発」の成果の一部を使用した。

キーワード：古風化、後背地、供給源

Keywords: paleoweathering, hinterland, provenance

## 瀬戸内区中部中新統におけるバーティソルの発見とそれが示す古風化・古気候条件

### Development of vertisol in the Middle Miocene Porcelain Clay Formation in the Setouchi Geologic Province; its paleoclimatic and paleoweathering significances

\*葉田野 希<sup>1</sup>、吉田 孝紀<sup>2</sup>

\*Nozomi Hatano<sup>1</sup>, Kohki Yoshida<sup>2</sup>

1. 信州大学大学院総合工学系研究科、2. 信州大学理学部地球学コース

1. Interdisciplinary graduate school of Shinshu University, 2. Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu university

The description of paleosols, chemical and mineralogical analysis and sedimentary facies analysis were carried out for the Middle Miocene Seto Porcelain Clay Formation distributed in the Toyota City, Aichi Prefecture. The main paleosol characterized by hummock-and-swale structure showing gilgai microrelief and mukgara subsurface horizon is equivalent to Vertisol (Soil Survey Staff, 1999). This result indicates that climatic conditions in this period were subhumid to semiarid climates with a pronounced dry season.

The Seto Porcelain Clay Formation, the lower member of the Seto Group, distributed in the Aichi Prefecture, is considered to be deposited in the middle Miocene period (6-9 Ma) dated by the paleomagnetic data (Nakayama and Yoshikawa, 1990; Nakayama et al., 1995).

The Sedimentary facies analysis suggests that deposition occurred mainly in a lacustrine, backswamp and floodplain with meandering river channel.

Three paleosol horizons were developed in the stagnant water sediments and have been described and compared to modern soils; vertisol-like (swelling clay soils), histosol-like (peaty soils) and inceptisol-like (young soils). Histosol-like paleosol and inceptisol-like paleosol were developed on lowland topography. Histosol-like paleosol, characterized by thick peaty horizon and reddish mottling showing subsurface-water gleization, ascribes to poor-drainage condition on the lower topography and high vegetation cover. Inceptisol-like paleosol, characterized by thin soil horizon and poor illuviated clay, ascribes to lower topography and rapid sedimentation with short exposure duration. These paleosols, therefore, reflect on the local topographic and/or sedimentary features, for example drainage condition, vegetation cover and sedimentation rate. On the other hand, the vertisol-like paleosol was developed on the flat terrace with gentle slope. The paleosol is characterized by illuviated clay-rich B horizon (Bt horizon, argillic horizon), hummock-and-swale structure showing gilgai microrelief and mukgara subsurface horizon (Paton, 1974). The strongly differentiated soil horizons of vertisol-like paleosol reflect on the X-ray bulk and clay-fraction mineralogy and bulk chemistry of soil profiles. The paleosol shows vertical fluctuating of chemical weathering ratio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  wt. % /  $\text{Na}_2\text{O}$  wt. % and CIA value; Nesbitt and Young, 1982), mineral weathering ratio (kaolinite/feldspar ratio by intensity of XRD) and proportion of clay fraction in the soil horizons. Higher chemical and mineral weathering ratio and finer grain size in the Bt horizons than those in the Bw and C horizons suggest pronounced leaching of cation from surface soil horizons (O and A horizons) and their accumulation in sub-surface soil horizons (B and C horizons). Besides, the effects of parent material and grain size have been checked by using REE composition (especially by Eu anomaly) and clay minerals/quartz ratio by intensity of XRD and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wt. % /  $\text{SiO}_2$  wt. %. Above described vertisol-like paleosol, accordingly, indicates the typical soil type that represents the

climatic division (zonal soil) in the period. The results are suggestion that the climatic conditions in this period were subhumid to semiarid climates with a pronounced dry season.

#### References

- Nakayama, K. and Yoshikawa, S., 1990, Magnetostratigraphy of the late Cenozoic Tokai Group in central Japan. *Journal of Geological Society of Japan* 96, 967-976.
- Nakayama, K., Yoshikawa, S. and Ito, T., 1995, Magnetostratigraphy of the Late Cenozoic Tokai Group in central Japan and its sedimentologic implications. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 12, 95-104.
- Nesbitt, H.W. and Young, G.M., 1982, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715-717.
- Paton, T.R., 1974, Origin and terminology for gilgai in Australia. *Geoderma* 11, 221-242.
- Soil Survey Staff, 1999, *Keys to Soil Taxonomy*. Pocahontas Press Inc., Blacksburg, Virginia, USA, 600 p.

キーワード：古土壌、バーティソル、化学風化、微地形、地化学、中期中新世

Keywords: paleosolol, vertisol, chemical weathering, microtopography, geochemistry, Middle Miocene

## 福島県・猪苗代湖における湖底堆積物の音響地質構造と巨大湖底地すべりの発見

### Seismic reflection profiling of lacustrine deposits and discovery of an extremely large sublacustrine landslide in Lake Inawashiro, Fukushima, Japan

\*山崎 新太郎<sup>1</sup>、片岡 香子<sup>2</sup>、長橋 良隆<sup>3</sup>

\*Shintaro Yamasaki<sup>1</sup>, Kyoko S Kataoka<sup>2</sup>, Yoshitaka Nagahashi<sup>3</sup>

1. 北見工業大学、2. 新潟大学災害・復興科学研究所、3. 福島大学

1. Kitami Institute of Technology, 2. Research Institute for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, 3. Fukushima University

沿岸域や浅水域では過去に大地震に伴う数百から数千m<sup>2</sup>以上の大規模な崩壊や地すべりが発生している。これは水で飽和した地質が大地震により液状化したり破壊されたりすることにより強度を失うことで発生するものと考えられる。しかし、近年の大地震により大規模に沿岸域が崩壊・喪失した事例や、その痕跡として浅水域に地すべり地形が確認されたものは、液状化の発生事例数やその範囲に比べると明らかに小さい。沿岸域や浅水域における大規模崩壊や地すべりの発生には、加えてさらに特異な条件が必要であることが示唆される。沿岸域には人口が集中し、もし沿岸一浅海域における大規模崩壊の条件を理解することができれば、特に地震時の危険性に注意を払うべき場所が明確になるだろう。本講演でとりあげる福島県・猪苗代湖では、その沿岸に地すべりの地形であることを示す馬蹄形滑落崖と、それから伸びた舌状地形が複数認められる。この状況の存在は猪苗代湖が前述のような大規模崩壊を発生させやすい特異な条件を備えていることを強く示唆し、それを地質学的かつ地盤工学的に詳しく検討すれば、前述した地すべりの発生条件の解明に繋がるものと思われる。

筆者らは、2015年と2016年の2カ年に渡って3.5 kHzサブボトムプロファイラによる音響地質構造探査を、のべ120 kmに渡って猪苗代湖全域を網羅するように実施した。この音響地質構造データと、2012年に福島大学が猪苗代湖湖心部で湖成堆積物を貫通するように採取した約28m長のコア（INW2012コア）との対比を行った。その結果、湖底における斜面の安定性と地すべりについて特に得られた知見を以下に3つ列挙する。

1) 猪苗代湖の湖心より南部の水域において湖形成以降の湖底堆積物の全体の音響地質断面画像が得られた。同水域の底質は全域に渡って一貫した成層構造であり、層内に水平に連続して認められた強反射層の一部はINW2012コアに認められた広域テフラ層準と一致していた。また、湖底堆積物底面には湖形成以前の砂礫層と位置する反射が認められた。この湖心から南部の水域では湖成層が安定的に堆積してきたものと思われる。一方で湖の北部では湖底最表層での音響の減衰が大きいため下方の構造を認識できなかった。おそらく、北部では磐梯山の火山活動及び長瀬川の流入による砂礫成分の流入が活発であるため最表層での音波の反射と減衰が大きいためと思われる。従って北部に認められる大規模な地すべり地形は粗粒の堆積物の下位に存在すると思われる。

2) 得られた音響地質断面画像では、ほぼ全てに渡って、無構造な堆積物であることを示す音響的透明相が頻繁に認められた。これらは猪苗代湖の湖成層内では、流体またはガスの噴出がこれまでに複数繰り返されてきたことを示唆し、湖成層がこれまでに複数の地震の影響を受けてきたことを示すと考えられる。特にその密度は湖心部で約13 m下から湖成層底部までの区間で高い。この深度は浅間火山起源のAs-Kテフラ層準（18, 100年前；廣瀬ほか2014）より1 m下である。この深度は約2万年前に相当し、この時期に猪苗代湖の周辺で

大地震が発生した可能性がある。

3) 猪苗代湖南部を起源とする長さ2.8 km, 最大厚さ約25 mの大規模な湖底地すべりを示す地質構造が発見された。この地すべりは前述のAs-Kの約1 m下に存在し, この湖底地すべりの主たる運動は, 塊状移動体の滑動によるものである。地すべりは0.8度の傾斜を持つすべり面で発生し, 下方末端には約1 kmに渡って複数のスラストと褶曲を伴って衝突変形している様子が観察できた。この地すべりは音響探査により地層の変形構造とすべり面が追跡できた貴重な例であり, 今後, この地すべり体を直接掘削し, その地質と構造および材料的な地震に対する反応性の面から分析すれば, 沿岸域や浅海域で崩壊・地すべりが発生する条件の解明に迫れるものと思われる。

<文献>

廣瀬孝太郎・長橋良隆・中澤なおみ (2014) 福島県猪苗代湖の湖底堆積物コア (INW2012) の岩相層序と年代. 第四紀研究, 日本第四紀学会, 157-173.

キーワード: 海底地すべり、水底地すべり、地層探査、猪苗代湖、地震、津波

Keywords: submarine landslide, subaquatic landslide, seismic profiling, Lake Inawashiro, earthquake, tsunami

## A study of relationship between stratigraphic patterns and paleo-climatic changes in Rathnapura basin, Sri Lanka

\*Sumanajith Kumara<sup>1</sup>, Nelum Kanthilatha<sup>2</sup>

1. Department of Geography, University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka. , 2. Department of Sociology and Anthropology, University of Sri Jayewardenepura, Sri Lanka.

Quaternary sediments of Sri Lanka is distributed in river valleys as valley-fill deposits and floodplain deposits. Sri Lanka, as a tropical country is prominent of depositing sediments because of high rate of erosion, transportation and deposition in river flows. There is an evidence of stratigraphical patterns and paleo-climatic changes from the Quaternary period. The dominant mode of sediment transport and deposition as well as the composition and stratigraphy reflect the prevailing environmental conditions. Stratification of many sediment types in the Kalu Ganga river basin in Rathnapura is conspicuous in terms of depth of sediments and number of sediment layers. This research aims to study the sediment types and stratigraphy in Rathnapura basin. Sediment samples were taken from the gem mines representing the middle and lower catchment of the Kalu Ganga river basin. Gem mines provide a valuable opportunity to examine the stratigraphy and other physical characteristics of the fluvial sediments in this area. Sediment types identified mainly by sieve analysis and pipette analysis. There is a spatial variation in the number and the depth of gem bearing sediment layers. Evidence of a lake has come from the lower catchment area of the river. Stratigraphy of the area has rich of evidences to study of paleo-climate of the region.

Keywords: stratigraphy, sediments, Kalu Ganga, deposition, paleo-climate

## 新潟-長野県境に発達する更新世巨大山体崩壊の発生と堆積物

# Occurrence of Huge Mountain Collapse and its Sediments Developing in Niigata - Nagano Prefecture border, Central Japan ; Pleistocene Epoch Events

\*朝比奈 利廣<sup>1</sup>

\*Toshihiro Asahina<sup>1</sup>

1. 株式会社パスコ

1. PASCO CORPORATION

### 1.はじめに

火山での事例が多い“山体崩壊-岩屑流発生”と類似した巨大崩壊が火山体以外の地域で発生していた事例について報告する。調査地域は新潟-長野県境に位置する関田山脈北東部であり、山脈の稜線北側には最大比高400m、延長約6kmに及ぶ急崖が連なっており、巨大崩壊により菖蒲高原、渋海川上流域、大蔵寺高原などの小起伏平坦面などが形成された。当該地域の地質は竹内ほか（2000）によると後期鮮新世～後期更新世の魚沼層が分布する。

### 2.巨大崩壊地形

本報告では、菖蒲高原などを形成した巨大崩壊を野々海崩壊、渋海川上流域に小起伏平坦面を形成した巨大崩壊を天水崩壊、大蔵寺高原面などを形成した巨大崩壊を大蔵寺崩壊と称し、これらの崩壊について論ずる。野々海崩壊は比高約150mの滑落崖と約950mの滑落幅を有し、土砂堆積を確認できるのは菖蒲高原の面である。堆積物の水平流動距離は約2,700m、層厚は最大約50m、平均15～20mと推定される。天水崩壊は最大比高約400mの滑落崖と約3,000mに達する滑落幅を有し、土砂堆積を確認できるのは渋海川上流域に広がる小起伏平坦面である。堆積物の水平流動距離は約4,500m、層厚は平均15～30mと推定され、流山も3箇所確認される。大蔵寺崩壊は地形条件から天水山付近が滑落崖頂部と推定される。崩壊による土砂堆積を確認できるのは天水山から大蔵寺牧場に至る河川沿いの緩勾配斜面や牧場の面で、堆積物の水平流動距離は約3,300m、層厚は平均10～35mと推定される。

### 3.崩壊堆積物の性状と構成

崩壊堆積物はいずれの地域においてもシルト岩の角礫からなる堆積層(sis)と、安山岩質火山岩類を主体とした堆積層(tfb)から構成される。いずれの地層もハンマーでは簡単に貫入できない程度に固結している。堆積層(sis)は直径数cm程度の角礫状のシルト岩が密にパックされており、安山岩角礫を含むこともある。堆積層(tfb)の特徴は、①安山岩の亜角～角礫( $\phi$ ～3m、多くは $\phi$ 10～50cmを主体)を多く含んだ礫支持～マトリックス支持堆積物、②堆積時に水を伴ったと思われる堆積構造が見られない、③礫には安山岩のほかにシルト岩、砂岩、凝灰岩などがありクサレ礫を含む、④基質部は凝灰質～砂混じりシルト質で新鮮部では青みがかった灰色～青緑色がかった灰色である。野々海崩壊と天水崩壊による堆積層は基盤から上位へtfb-1(最大層厚20m)、sis-1(同5m)、sis-2(同15m)、tfb-2(同10m)、tfb-3(同20m)、表土へと積層し、sis-1-sis-2間、sis-2-tfb-2間には厚さ数cmの古土壌・有機物集積層を挟在する。一方、大蔵寺崩壊による堆積層は基盤から上位へtfb(最大層厚20m)、sis(同15m)、tfb(同10m)、表土へと積層する。

### 4.崩壊堆積物の発生とソース

巨大崩壊した地層は竹内ほか（2000）を参照すると、魚沼層の主に安山岩凝灰角礫岩・火山礫凝灰岩などと海成シルト砂相とが該当する。層序的には前者が上位で後者が下位となる。この巨大崩壊は層序的に上位の地層が先に崩壊した後に、古土壌が形成される程度の時間間隙を2回挟みながら下位の地層が繰り返し崩壊し、その後上位の地層が再度崩壊するサイクルを示している。現在、安山岩火山岩類は関田山脈北東部の最も多くを占める構成物であるが現在の山地形状での崩壊発生では堆積層sisの単独生成は困難であると考えられる。

### 5.まとめと議論

巨大崩壊は堆積層の分布から最低5回のイベントがあったと推定される。しかしLidarデータからはこれ以上のイベントの発生が推定可能であり、堆積層との対応、時間の特定及び崩壊堆積層の対比などは今後の課題である。

#### 参考文献

久保田ほか（2014）新潟・長野県境関田山脈南麓のサギング地形とその地質的要因，地学団体研究会専報，60，143-160。竹内ほか（2000）松之山温泉地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，76 p.

キーワード：巨大崩壊、岩屑流、更新世、魚沼層、関田山脈

Keywords: huge collapse, rockslide avalanche, Pleistocene Epoch, Uomuma Group, Sekita Mountains

## 津波実験堆積物のGPR（地中レーダ）三次元解析

### Three-dimensional analysis with high-frequency ground penetrating radar of tsunami experiment deposits

\*岡崎 浩子<sup>1</sup>、吉井 匠<sup>2</sup>、秋山 大地<sup>3</sup>

\*Hiroko Okazaki<sup>1</sup>, Takumi Yoshii<sup>2</sup>, Daichi Akiyama<sup>3</sup>

1. 千葉県立中央博物館地学研究科、2. (一財) 電力中央研究所、3. 東京大学大学院新領域創成科学研究科

1. Division of Earth Science, Natural History and Institute, Chiba, 2. Central Research Institute of Electric Power Industry, 3. Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

(一財) 電力中央研究所の大型造波水路（長さ205m, 幅60cm, 深さ95cm）において津波堆積物実験が行われ（2016年3月1日），そこで形成された堆積物について高周波アンテナを用いた地中レーダ（Ground Penetrating Radar : GPR）探査を行ったので報告する。実験は水路に混合砂（中央粒径：約0.2mm）をしき，中央部に高さ20cmの砂丘をつくり汀線としている。津波（波高約80cm）は砂丘をこえて陸側に遡上し層厚が1-3cm程度の津波堆積物を堆積した。

GPR探査は1.6GHzアンテナで砂丘前後の10m区間で行った。探査結果からは砂丘付近に凹地状反射面が，砂丘より陸側では緩やかに上に凸の平行する二層からなる反射面が認められた。この実験水路で行われた同条件の実験のCT測定結果とも整合する（吉井ほか，2016）。

また探査後の水路に平行なトレンチからは砂丘付近の凹地は津波が砂丘を越えてできた落掘と考えられた。また，遡上した津波堆積物は粒径の異なる二層（下部の細礫を含む粗粒砂層と上部の細粒砂層）からなり，これらの境界面が反射面となっていることが明らかになった。

吉井 匠・松山昌史・田中姿郎（2016）水理実験で形成された津波堆積物の堆積構造。JpGU2016. MIS11-P18

キーワード：津波堆積物、地中レーダ、実験

Keywords: tsunami deposits, GPR, experiment

## 沖永良部島及び徳之島周辺の表層堆積物分布

### Distribution pattern of surface sediments around Okinoerabu-jima and Tokuno-shima Islands

\*天野 敦子<sup>1</sup>

\*Atsuko Amano<sup>1</sup>

1. 産業技術総合研究所

1. National institute of Advanced Industrial Science and Technology

沖縄島北方に位置する与論島，伊平屋島，沖永良部島，徳之島周辺の水深約1400 m以浅の海域155地点でグラブ採泥器を用いて取得した表層堆積物及びサブボトムプロファイラー（SBP）記録を用いて，底質分布の変化と堆積環境について検討した。島嶼部周辺の約600 m以浅の海域では，露岩またはサンゴ，貝，コケムシなどの生物性碎屑物を多く含む1φ以下の粗粒堆積物が分布する。これら結果は，この海域の堆積環境が強い水理営力を受けていることを示す。沖永良部島一徳之島西方海域の水深約600-800 mでは2~4φの砂質堆積物が分布し，水深が増加するに伴い細粒化する。与論海盆や沖永良部海盆などの水深800 m以深の海盆底には5~7φのシルト堆積物が分布する。砂質堆積物が分布する海域のSBP記録は，海底面の強い反射面のみ，または透過深度が20 m以下で成層した反射面を示す。一方，シルトが堆積する海盆底では，透過深度が約60~100 mの成層した反射面を示す。これら結果は，堆積環境が水深増加に伴い，水理営力の影響が弱くなり，水深800 m以深の海盆底には半遠洋堆積物が分布することを示す。一方，太平洋側海域では砂質堆積物が分布し，沖縄トラフ側海域の同水深の堆積物と比較すると，粗粒傾向を示す。太平洋側海域は，沖縄トラフ側海域と比較すると，開放的な海洋環境であるため，より深い海底まで水理営力が影響していると考えられる。沖永良部島の南東の水深約700 mの海台では，褶曲や断層を呈する下部層を，東方からの水理営力によって運搬された砂質堆積物によって形成された上部層が覆っていると考えられる。

キーワード：堆積物、粒度、沖永良部島、徳之島

Keywords: sediment, grain size, Okinoerabu-jima, Tokuno-shima

## 茨城県霞ヶ浦の過去約500年間の環境変遷

## Environmental history of Lake Kasumigaura during the last 600 years

\*井内 美郎<sup>1</sup>、天野 敦子<sup>2</sup>

\*Yoshio Inouchi<sup>1</sup>, Atsuko Amano<sup>2</sup>

1. 早稲田大学人間科学学術院、2. 国立研究開発法人産業技術総合研究所

1. Faculty of Human Sciences, Waseda University, 2. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

霞ヶ浦の湖心域で採取した柱状試料について、粒度測定および全炭素・全窒素・全硫黄濃度測定を行い、霞ヶ浦の水域環境変遷史を過去約500年間について検討した。年代指標として1783年（天明3年）噴出の浅間Aテフラおよび1707年（宝永4年）噴出の富士宝永テフラおよび補助的指標としてヤマトシジミ層準を用いた。粒度測定や元素分析の結果から、富士宝永テフラ降下時までに水域の閉鎖性がかなり進行し、浅間Aテフラ降下後に閉鎖性が急激に進行したことが明らかになった。従来の研究結果では、時間分解能が低かったため、浅間Aテフラ降下後に閉鎖性の進行は徐々に進行したと考えられていたが、今回の研究の結果、その変化は非常に急激であったことが明らかとなった。その原因として富士宝永や浅間A降下後に利根川流域でテフラ起源の碎屑物の供給量が増加し、霞ヶ浦の外洋に近い湖尻域の埋め立てが急激に進行し、利根川筋・常陸利根川筋を通じた外洋との海水交換量が著しく減少したことが原因と考えられる。

キーワード：霞ヶ浦、環境変遷史、堆積物

Keywords: Lake Kasumigaura, Environmental history, sediment

## Evaluation of ichnodiversity by image-resampling method to correct outcrop exposure bias

\*菊地 一輝<sup>1</sup>、成瀬 元<sup>1</sup>

\*Kazuki Kikuchi<sup>1</sup>, Hajime Naruse<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院 理学研究科 地球惑星科学専攻

1. Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University

This study proposes a new method to evaluate the diversity of ichnofossils from the outcrop records. Ichnofossils are records of responses of benthic animals to marine environmental conditions. Therefore, detailed analyses of ichnoassemblages provide information of the paleoenvironmental conditions on ancient seafloor. Activities of benthic animals affect superficial to subsurface sediment on seafloor. For instance, burrowing or grazing by infauna may rework sediment and destroy sedimentary structures. These behaviors may raise pore water oxygenation level, and may result in accelerated decomposition of the organic matter in sediment (Aller, 1994). Thus, it is important to evaluate ichnoassemblage in quantitative way from various aspects (e.g. diversity, abundance, disparity, and bioturbation intensity) to reveal the paleoenvironmental conditions from geologic records. Particularly, ichnodiversity (defined here as number of ichnogenera in an ichnoassemblage) is regarded as an important parameter that characterizes sedimentary environments (e.g. Cummnings and Hodgson, 2011). However, numbers of ichnogenera observed in outcrops reflect not only actual diversity in activities of benthic animals but also exposed area of observed outcrops. Even though there are several established methods for correcting such sample size biases in studies of paleobiodiversity, such as rarefaction (Sanders, 1968) or shareholder quorum subsampling (SQS; Alroy, 2010), these methods cannot be applied to analyses of ichnodiversity because number of individuals of ichnofossils is difficult to identify due to their morphological characteristics. For instance, an individual specimen of planar-formed regular network graphoglyptids that may be preserved in fragments cannot be defined in observation on outcrops.

To this end, this study proposes a new method to evaluate the ichnodiversity independent of exposed area of outcrops by using of image-resampling technique with application of the SQS method. The procedures of our method are following. First, the line-of-interest for data resampling is randomly set in the acquired outcrop image. The number of ichnogenera on the line is then counted. As the length of the line-of-interest increases, the number of counted ichnogenera increases. Repetition of this resampling process derives the relationship between the observed length and number of ichnogenera, which can be approximated by the non-linear function fitted to the resampled data. The obtained curve can be regarded as the equivalent of “rarefaction curves” of the biodiversity. Next, the ichnodiversity (the expected number of ichnogenera) of the examined outcrop image is calculated at a given value of the “coverage” of the actual diversity, which is estimated from the slopes of the tangential lines of “rarefaction curves” (Chao and Jost, 2012). Consequently, fluctuation of the ichnodiversity in the outcrop image data at any given “coverage” is obtained independent of differences in the exposed area of outcrops. This method was applied to artificial data of ichnoassemblages to verify the methodology particularly on effects of distribution patterns of ichnofossils on bedding planes. Ten kinds of artificial ichnofossil images were allocated on the virtual bedding planes to generate artificial outcrop images showing ichnoassemblages. In these series of experiments, two types of spatial distribution pattern of ichnofossils were examined: uniform and patchy distributions. Our method indicated that the distribution patterns did not affect ichnodiversity at sufficiently high “coverage.”

This method was also applied to the field data of deposits of the submarine channel-levee complex in the Izaki olistolith of the Nichinan Group distributed on the southeastern part of Kyushu, southwestern Japan

(Sakai, 1987). Our method revealed that the ichnodiversity of the successions in the Izaki olistolith is relatively high in channel deposits and is low in levee deposits.

キーワード：生痕化石、生痕多様性、露頭面積バイアス、海底チャネルレービー堆積物

Keywords: Ichnofossil, Ichnodiversity, Outcrop exposure bias, submarine channel-levee deposits

## ベンガルファン堆積物とヒマラヤ前縁盆地堆積物における重鉱物比較 The comparison of heavy mineral assemblage and chemical composition of detrital garnets between Bengal Fan and Himalayan foreland basin sediments

\*吉田 孝紀<sup>1</sup>、大崎 愛<sup>2</sup>、葉田野 希<sup>3</sup>

\*Kohki Yoshida<sup>1</sup>, Ai Osaki<sup>2</sup>, Nozomi Hatano<sup>3</sup>

1. 信州大学理学部理学科地球学コース、2. 信州大学大学院理工学系研究科、3. 信州大学大学院総合工学系研究科

1. Department of Geology, Faculty of Science, Shinshu University, 2. Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 3. Interdisciplinary Graduate School of Science and Technology, Shinshu University

The submarine Bengal Fan is the largest submarine fan system on Earth. The changes in the mineral assemblages of fan sediments record the uplift history of the Himalayan orogenic system.

IODP Expedition 354 drilled seven sites in an E-W transect along the 8°N latitude in the Bengal Fan (France-Lanord et al., 2015). The deepest site U1451 A and B recovered a complete sequence of fan deposits. The sediments drilled at this site consisted of mica and quartz-rich sand, silt, and clay, with the exception of the lower Oligocene-Eocene section. In this study, we examined the chemistry of detrital garnets in the sediments in Bengal Fan and Siwalik Group in Nepal in order to compare both provenance characteristics. The garnet compositions plotted are shown on the Py-Sp+Alm-Gro-And triangular diagram with discriminant fields by Mange and Morton (2007). The data of mineral assemblage in the Siwalik Group is after Yoshida et al. (2016).

It is already reported that the heavy mineral assemblage of the Late Oligocene silt-sands mainly consists of tourmaline and rutile assemblage with rare garnet and amphibole by Yoshida et al. (2016). At the early part of the Middle Miocene sequence, amphibole and garnets increase rapidly, and there are frequent occurrences of aluminosilicate and staurolite. In the Middle Miocene sediments, the assemblage of heavy minerals becomes diverse, and metamorphic minerals, such as staurolite, chloritoid, aluminosilicate, amphibole, and garnet, are normally included in the sediments. The detrital garnets show the derivation from crystalline schist and amphibolite facies metamorphic rocks in the Early Miocene period and granulite facies metamorphic rocks in the Middle Miocene period.

In the lower Siwalik Group, foreland basin deposits, the mineral assemblage is characterized by the predominance of zircon and tourmaline. The heavy mineral assemblage was changed in the middle part of the lower Siwalik Group. The sediments include a large amount of blue-green amphibole and aluminosilicates (kyanite and sillimanite) with staurolite and chloritoid. In the end of Early Miocene, the detrital garnets were shed mainly from amphibolite facies metamorphic rocks. The detrital garnets were derived from granulite and amphibolite facies metamorphic rocks in the Middle Miocene time. These changes seem to have been occurred around 13-10 Ma in western Nepal and 9-7 Ma in central Nepal (Yoshida et al., 2016).

These measurements of heavy minerals demonstrate wide exposure and sediment production from a metamorphic terrane in the Himalayas during the Middle Miocene period, though these high-grade metamorphic minerals are occasionally included in Early Miocene sands. Also the above mentioned metamorphic mineral grains of Early Miocene and Late Oligocene sands may record exposure history of a metamorphic terrane, consists of amphibolite facies, prior to the period of high sediment production during the Middle Miocene. The chemistry of detrital garnet, records the gradual change of source terranes, from low-grade metamorphic facies and amphibolite facies to high-grade metamorphic facies. This change is similar to the provenance transition recorded in foreland basin deposits.

## References

France-lanord, C., Spiess, V., and Klaus, A., 2015, Expedition 354 Preliminary Report Bengal Fan Neogene and late Paleogene record of Himalayan orogeny and climate: a transect across the Middle Bengal Fan, (March). doi:10.14379/iodp.pr.354.2015

Mange, M.A. and Morton, A.C., 2007, Geochemistry of heavy minerals. In: Mange, M. and Wright, D.K. (eds), Heavy Minerals In Use. Developments in Sedimentology, 58, 345-391.

Yoshida, K., Nakajima, T., Osaki, A., Matsumoto, Y., Gyawali, B.R., Regmi, A.D., Rai, L. and Sakai, H., 2016, Heavy mineral assemblages in Bengal Fan sediments, IODP Exp. 354, and foreland basin fill of Himalaya. 123th Ann. Meet. Geol. Soc. Japan, R8-P-7.

キーワード：ヒマラヤ、堆積物組成

Keywords: Himalaya, sediment composition

## Lithological properties on diagenesis process of Miocene carbonate rocks in northeast Java basin, Indonesia

\*Hada Muhlash<sup>1</sup>、狩野 彰宏<sup>2</sup>

\*Hada Firman Syah Muhlash<sup>1</sup>, Akihiro Kano<sup>2</sup>

1. 九州大学、2. 東京大学

1. Kyushu University, 2. University of Tokyo

Currently Northeast Java Basin contains the sixth largest oil reserve in Indonesia, but the complexity and heterogeneity of carbonate reservoir increasing the exploration risk. Sedimentology and diagenesis process are the most fundamental aspects for appropriate exploration. Accurate knowledge of these parameters for hydrocarbon reservoir is required for increasing performance of the oil and gas field. Thus, sedimentology as well as diagenesis aspect must be studied as detail as possible. This should be done along with microfacies analyses and stable isotope analyses.

The Miocene carbonate rocks of 283m thick were deposited in a high energy shallow marine settings in a rifting basin. The carbonate succession can be divided into 3 main units from base to top: fine grain limestone, dolostone, and coarse grain limestone. Fine grain limestone, wackestone and mudstone, was interpreted as fore-mound carbonate likely derived from pre-existing limestone, characterized by the abundances of intraclasts. Dolostone unit was a diagenetic product from marine dolomitization process. The planar structure with polymodal fabric of dolostone suggest that dolomitization process was worked on single nucleation from homogenous parental rocks under uniform growth at low temperature (Sibley and Greg, 1987). While coarse grain limestone, packestone and grainstone, is interpreted as terrigenous carbonate in which its fossil components show different responses to fluctuation of siliclastic influx. Negative values both of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  on limestone and dolostone unit suggest a marine diagenesis process followed by an intensive meteoric diagenesis that was likely related with tectonic uplift activity. In detail, the dolostone unit showed higher  $\delta^{18}\text{O}$  value than limestone unit, most likely associated with different fractionation factors between dolomite and calcite. Between two limestone units also showed different values both  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ . The coarse grain limestone unit showed lower both  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values than fine grain limestone. This suggests that meteoric diagenesis works very effectively on coarse-grained and permeable limestone in which meteoric water easily go through into the rocks, then change its constituents.

キーワード：石灰岩、苦灰岩、中新世、インドネシア

Keywords: Limestone, Dolostone, Miocene, Indonesia