

陸から海への堆積物運搬を解く：Source-to-Sinkシステムに対する近年の理解

Linking Onshore-to-Offshore Sediment Dispersal: Recent Understanding of Source-to-Sink System

*江川 浩輔¹

*Kosuke Egawa¹

1. 国際石油開発帝石株式会社

1. INPEX Corporation

I briefly review a recent understanding of source-to-sink system and introduce some applications of its analysis. The source-to-sink system covers a suite of erosion, transportation, and deposition of sediments from catchment to deep-marine basin floor, and its analysis adopts both the sedimentological and morphological knowledge of any erosional-depositional system. Such a concept and approach have attracted increasing attention, especially from industries, to predict semi-quantitative characteristics in relationship between offshore sandstone distribution and onshore catchment evolution through geologic time.

キーワード：Source-to-sink system、Sediment dispersal、Linkage of offshore stratigraphy to onshore (paleo-)topography

Keywords: Source-to-sink system, Sediment dispersal, Linkage of offshore stratigraphy to onshore (paleo-)topography

海底谷と海底チャネルがもつ混濁流の流量調整機能

The regulating function of discharge of turbidity currents by submarine canyons and channels

*成瀬 元¹

*Hajime Naruse¹

1.京都大学大学院理学研究科

1.Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

深海底には、しばしば長大な自然堤防付き海底チャネルが形成される。海底チャネルは長期間に渡って蛇行を繰り返しつつも数万年以上にわたって安定に存在し、巨大な海底扇状地を形成する。しかし、なぜこれほど海底チャネル地形は安定しているのだろうか。もし、発生する混濁流の流量が毎回一定せず、しばしば流量が極端に増大するとしたら、海底チャネルの自然堤防は頻繁に決壊して流路の付け替えが起こってしまうだろう。一方、混濁流の流量が小さすぎると、海底チャネル内部ばかりで堆積が進み、自然堤防は成長できない。すなわち、長大な海底チャネルが安定的に存在しているということは、逆に混濁流の流量の定常性を物語っているともいえる。しかしながら、その流量の定常性の原因についてはこれまで明らかになっていなかった。

本研究では、数値実験によって、海底谷内での自己加速作用と海底チャネルからの溢れ出し作用が混濁流の流量を安定化させていることを示す。混濁流は海底チャネルの上流部に位置する海底谷で発生し、成長する。混濁流が底面を侵食し、成長していくプロセスは混濁流の自己加速化作用と呼ばれている。この自己加速化作用についてモデル計算を実施したところ、混濁流に含まれる浮流砂が増大するにつれて流れの乱流運動エネルギーが消費され、混濁流の成長に限界が生じることが明らかになった。この混濁流の成長限界は発生時の堆積物輸送量にはあまり関わらず、海底谷の勾配と長さに応じて決まる。結果として、海底谷の末端での混濁流の流量は、発生時の流量の分布と比較して狭い範囲に収まるようになることがわかった。さらに、海底チャネルからの溢れ出し作用は自然堤防の成長に対してネガティブ・フィードバックの関係があり、流量が大きいほど自然堤防を速く成長させるため、海底チャネルの形状を安定化させる方向に働くことも分かった。これら海底チャネルおよび自然堤防の流量調整機能が混濁流の流量を安定化させ、海底扇状地の成長を促進させているものと考えられる。

キーワード：混濁流、海底チャネル、海底扇状地

Keywords: turbidity current, submarine channel, submarine fan

Submarine landslides and the trigger on the Kumano Basin

Submarine landslides and the trigger on the Kumano Basin

*川村 喜一郎¹、グレゴリー ムーア²、浅田 美穂³*Kiichiro Kawamura¹, Gregory F. Moore², Miho Asada³

1.山口大学・JAMSTEC、2.University of Hawaii、3.JAMSTEC

1.Yamaguchi University/JAMSTEC, 2.University of Hawaii, 3.JAMSTEC

Submarine landslides are indirectly visible, but they directly affect our society. Tsunamis might be excited mostly by an active fault movement on a seafloor, but some of the tsunamis could be excited by large submarine landslides in coastal areas in the 1952 Alaska Earthquake¹⁾ and the 2010 Haiti Earthquake²⁾. Some of the large tsunamis at convergent margins have been suspected as a result of submarine sliding³⁾.

Underwater cables are cut suddenly by submarine landslides and related bottom currents. Such a cable cut accident damages economics⁴⁾. We have various observation data in the events, but we can not critically understand its trigger mechanism yet.

The trigger mechanism of submarine landsliding is thought to be earthquake shaking, pore pressure increment, slope steepening and so on⁵⁾. It is possible that uplift due to mud diapir could be responsible for slope steepening. The gas-related high-pressure could induce fluid escaping from deeper sub-seafloor toward seafloor and causes mud volcanism. We observed a gas-related submarine landslide example at off-Hachinohe⁶⁾. Some of the researchers challenged to understand the formation mechanisms using various soil mechanics experiments⁷⁾. However, we need more descriptive and also experimental studies to understand the formation mechanism. These attempts are the first step for a prediction of the submarine landslides.

In this June, Dr. Asada (chief scientist for the cruise), Prof. Moore and others challenged to survey what at the outer ridge of the Kumano Basin using *AUV Urashima* during the cruise YK15-10. This challenge was a series of difficulty caused by the Kuroshio Current, but finally the *Urashima* recovered dataset of topographic textures, sub-bottom profiling images, side scan sonar images, and bathymetric images in a submarine landslide area, as shown by Moore and Strasser⁸⁾. Based on these survey results, we conclude that

- 1) The submarine landslide might be critical state by a slope gradient of several degrees.
 - 2) This slide was formed by one big slide (~1.0 x 1.0 x 0.03 km) and many small slope failures resulting turbidite layers covering on the wasted-mass.
 - 3) This might not need any triggers for sliding (e.g. large earthquake).
 - 4) In the wasted mass, we observed transparent dome-shaped bodies of ~several tens meters in the subbottom profiling images. These might result from fluid escaping and/or small mud volcanoes.
- We further analyze in detail the *Urashima's* data to decipher the trigger mechanism and also formation process of the submarine landslides on the Kumano Basin.

References

1) Plafker and Mayo, 1964, USGS OF-Rep., 2) Hornbach et al., 2010, Nat. Geosci., 3) Kawamura et al., 2014, Mar. Geol., 4) Hsu et al., 2008, TAO, 5) Locat and Lee, 2002, Can. Geotech. J., 6) Morita et al., 2012, Springer, 7) Sultan et al., 2004, Mar. Geol.), 8) Moore and Strasser, 2016, Springer

キーワード：海底地すべり、南海トラフ、泥火山

Keywords: Submarine slide, Nankai trough, Mud volcano

八重山前弧～琉球海溝域におけるイベント層の堆積過程

Sedimentary process of event deposits along the southern Ryukyu forearc and the southern Ryukyu Trench

*宇佐見 和子¹、池原 研¹、金松 敏也²、宮崎 征行²、Hsiung KanHsi²、味岡 拓¹

*Kazuko Usami¹, Ken Ikehara¹, Toshiya Kanamatsu², Masayuki Miyazaki², KanHsi Hsiung², Taku Ajioka¹

1.産業技術総合研究所地質情報研究部門、2.海洋研究開発機構

1.Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.JAMSTEC

琉球海溝域南部では、1771年明和津波により石垣島を中心とした地域で大きな津波被害があったことが知られている。しかし、それ以前の地震・津波に関する情報が少なく、再来周期や津波波源域に関して不明な点が多い。Ujiie et al. (1997)は、八重山諸島前弧域の海底扇状地上から採取された海底堆積物コアの1本から地震性と考えられるタービダイト10層準を認定し、その堆積間隔が約1000年であることを明らかにした。一方でAraoka et al. (2013)は、宮古島から石垣島にかけての沿岸に分布する津波石の放射性炭素年代測定から、琉球列島南部における津波の再来間隔を150～400年と推定しており、両者の間には大きな相違がある。タービダイトの堆積頻度は、海底地形等の堆積場の設定により異なってくるので、タービダイトからの地震発生履歴復元の精度を高めるためには、ある程度広範囲から採取した複数のコアをもとにその周辺海域の堆積過程を理解しておく必要がある。このため、「よこすか」のYK15-01航海と「かいいい」のKR15-18航海で八重山諸島前弧域とその南方の琉球海溝底において、海底地形調査・表層地層探査および海底堆積物の概要、特にイベント層の挟在状況について調査を行った。そのうち2本のピストンコア試料については、放射性炭素年代測定にもとづいてタービダイト堆積間隔の見積もりを行った。

石垣島～西表島南方で、浅海からの海底谷が前弧海盆に達した付近には、石灰質の生物源を主とする砂質堆積物が分布し、これらの海底谷が主に生物源石灰質からなる粗粒物質の供給ルートであることを示唆する。前弧海盆に形成された海底扇状地上で採取されたピストンコア試料には、貝殻片やサンゴ片などの石灰質生物遺骸の破片を多く含む極細粒砂～中粒砂のタービダイトが挟在し、扇状地上では北側（扇頂部）に向かってタービダイトの粗粒化及び厚層化が確認された。しかし扇状地北東側（扇央部）と南西側（扇端部寄り）からの2本のコアについての年代測定結果から推定されるタービダイトの堆積間隔は、共にUjiie et al. (1997)で示されたものと大きな相違はなかった。

石垣島側南方に位置する前弧海盆上凹地の最深部近傍では、上方細粒化する生物源石灰質の細粒砂～粗粒シルトとそれを覆う灰色の塊状粘土からなるタービダイトが採取された。一方、最深部から得られたコアの下部では、灰色の厚い塊状粘土層より下位に級化構造が不明瞭な生物源石灰質の極細粒～極粗粒砂が確認され、水中土石流のような形態による浅海域からの多量の粗粒物質供給イベントがあったことを示す。この凹地と南北性の高まりをもって西方に接する、台湾側から続く前弧海盆の最深部は、上方細粒化する粗粒シルトとそれを覆う塊状粘土に薄い生物擾乱を伴ったシルトが挟在する層相からなる。コアの中部以下は、3m以上の層厚をもつ灰色の厚い塊状粘土からなり、細粒タービダイトの上部を構成するものと考えられる。碎屑性粒子に富むことから、その給源は台湾である可能性が高い。

八重山諸島南方の琉球海溝底には、西から続く明瞭な海底チャンネルが確認できる。自然堤防外側から得られたコアは、シルト質粘土中に薄層（数mm厚）の粗粒シルト～極細粒砂を非常に多数挟在する。これら粗粒層の粒子起源は、碎屑性粒子に富むことから台湾である可能性が高い。

Araoka, D., Y. Yokoyama, A. Suzuki, K. Goto, K. Miyagi, K. Miyazawa, H. Matsuzaki and H. Kawahata, 2013. Tsunami recurrence revealed by *Porites* coral boulders in the southern Ryukyu Islands, Japan. *Geology* 41, 919-922.

Ujiie, H., T. Nakamura, Y. Miyamoto, J.-O. Park, S. Hyun and T. Oyakawa, 1997. Holocene turbidite cores from the southern Ryukyu Trench slope: suggestions of periodic earthquakes. *Jour. Geol. Soc. Japan* 103, 590-603.

キーワード：地震、八重山前弧域、琉球海溝、タービダイト、水中土石流

Keywords: earthquake, Ryukyu forearc, Ryukyu Trench , turbidite, subaqueous debris-flow

地中レーダ (Ground Penetrating Radar : GPR) 探査から推定する愛知県矢作川砂州の形成過程
Formation of a gravelly sand bar in the Yahagi River, central Japan, inferred from a
Ground Penetrating Radar (GPR) survey

*岡崎 浩子¹、田村 亨²、郭 榮珠³

*Hiroko Okazaki¹, Toru Tamura², Youngjoo Kwak³

1.千葉県立中央博物館地学研究科、2.産業技術総合研究所地質情報研究部門、3.国立研究開発法人 土木研究所

1.Division of Earth Science, Natural History and Institute, Chiba, 2.Institute of Geology and Geoinformation Geological Survey of Japan, AIST, 3.National Research and Development Agency, Public Works Research Institute

GPRは、河川の砂州（砂礫州）の形成過程を知る上で有効な手法である。砂州の主要な反射面として、傾斜反射面、トラフ状反射面、平行反射面、大型チャンネル状基底をもつ反射面セットなどがあり、これらはそれぞれ、砂州の下流方向や側方方向の付加、砂州上のデューンの移動、平滑床やベッドロード・シートの形成、シュートチャンネルやクロスチャンネルなどの埋積を示す。本報告では、愛知県岡崎平野を流れる矢作川下流域の彎曲する河道の凸側にみられる比較的固定した砂州の形成過程をGPR探査から推定した。探査した砂州の長さは約725 m、幅は約160 mで中礫まじりの極粗粒～粗粒砂からなる。GPR探査は2015年1月に250MHzのアンテナを用いておこない、砂州縦断方向の3側線、横断方向の6側線で、3次元的な検討を試みた。GPR断面からは上記の主要な反射面が認められ、これらの3次元結果からは、砂州の堤防側部での継続する上方付加の堆積が、中央部での砂州を縦断するシュートチャンネルの浸食と埋積が、流路側でのサイドバーの新たな付加が復元された。これらの形成は、この流域のダム建設や河床砂礫採取などによる土砂供給量変化を反映している可能性が考えられる。

キーワード：矢作川、砂州、地中レーダ探査

Keywords: the Yahagi River, gravelly sand bar, ground-penetrating radar (GPR) survey

瀬戸内区における中期中新世と鮮新世の古風化条件：陸成泥質堆積物の地化学組成

Paleoweathering condition in the Middle Miocene and the Pliocene in Setouchi Province:
Geochemical composition of fluvial muddy sediments

*葉田野 希¹、吉田 孝紀²、足立 佳子³

*Nozomi Hatano¹, Kohki Yoshida², Yoshiko Adachi³

1.信州大学大学院総合工学系研究科、2.信州大学理学部地質科学科、3.新潟大学理学部

1.Graduate School of Science and Technology, Shinshu University, 2.Faculty of Science, Shinshu University, 3.Faculty of Science, Niigata University

The Middle Miocene to Pliocene fluvial sediments, which are distributed in Setouchi Province, are characterized by the finer sediments had been used as a high quality resource of ceramics. In general, finer sediments are suitable for examination of the paleoweathering condition, because their chemical compositions show representative value of paleoweathering degree reflecting their wide catchment area at that time. The geochemical composition is a result of the complicated influence of paleoweathering condition and fluvial processes involved in hydrodynamic sorting. This study examine geochemical variations within the fluvial muddy sediments of the Middle Miocene Tokiguchi Porcelain Clay Formation and the Pliocene Iga Clay Formation in order to assess the paleoweathering condition considering hydrodynamic sorting.

The sedimentary environments of the each formation are considered to be deposition in lake-pond and floodplain environments with partly channel and natural levee. The muddy sediments in the Middle Miocene were collected from three mines in the Gifu Prefecture and those in the Pliocene were taken from two mines in the Mie Prefecture. Then the geochemical analysis were made using XRF and ICP-MS.

The Middle Miocene sediments display clear negative linear trends between SiO₂ and other major elements, which is result of quartz dilution by effective hydrodynamic sorting. On the other hands, the Pliocene sediments have relatively high concentrations of Na₂O and CaO. Almost samples, furthermore, have positive correlation between SiO₂ and Na₂O, CaO and K₂O. Those results are caused by its sandy nature with richness of feldspar grains led by less hydrodynamic sorting and relatively felsic source rock in the Pliocene sediments.

On the A-CN-K diagram, the Middle Miocene sediments show high weathering ratio (CIA value: 79-93). The Pliocene sediments, meanwhile, can be divided into highly CIA value (80-94) and low CIA value group (70-75). The grain size effect (Al₂O₃/SiO₂) to the chemical weathering index is unclear in the Middle Miocene sediments and obvious in the Pliocene sediments. Moreover, ΣREE, which is generally higher in clay sized sediments than the parent rocks, in the Middle Miocene sediments are higher than those in the Pliocene sediments.

Also, the Middle Miocene sediments are characterized by the clear hydrodynamic sorting effect and high chemical weathering ratio. The Pliocene sediments, whereas, show bimodal chemical weathering ratio and the less hydrodynamic sorting. These results indicate that the variety of weathering degree in provenance and/or source rock composition. Additionally, typical geography probably affected the formation of facies variation in finer and coarser sediments, which made weathering variation along the basin.

キーワード：風化、地化学組成、中新世、鮮新世、瀬戸内区、河川成堆積物

Keywords: weathering, geochemical composition, Miocene, Pliocene, Setouchi Province, fluvial sediments

開水路ベッドフォーム形成条件の判別分析

Discriminant functions for formative conditions of bedforms in open-channel flows

*大畑 耕治¹、成瀬 元¹、横川 美和²

*Koji Ohata¹, Hajime Naruse¹, Miwa Yokokawa²

1.京都大学、2.大阪工業大学

1.Kyoto University, 2.Osaka Institute of Technology

Fluvial bedforms such as ripples and plane bed are formed by interactions between flows and processes of sediment transport. Sedimentary structures formed by bedforms, hence, are clues to reconstruct paleo-flow conditions. For analysis of sedimentary structures, bedform existence diagrams have been proposed on the basis of laboratory and field observations, and have been widely used. To utilize the bedform existence diagrams for analysis of sedimentary structures, boundary lines of bedform stability regions are significant.

This study provides boundary surfaces of bedform stability regions defined as discriminant functions of dimensionless parameters. In previous studies, the lines were described manually without quantitative examination. Thus, previous studies that apply these diagrams to sedimentary structures lack sufficient statistic basis. To this end, this study obtained boundary lines as polynomial equations of dimensionless parameters.

First of all, we defined a new bedform existence diagram based on 3272 existing laboratory and field data. We used three parameters in dimensionless form. Some of diagrams in previous studies were not sufficient in the number or kinds of parameters. This study produces a new bedform stability diagram, which defines bedform stability regions by three dimensionless parameters: dimensionless grain size D_* , Shields mobility parameter τ_* and Froude number Fr .

On the basis of the diagram described above, discriminant functions are derived by following procedures. At first, a polynomial function with arbitrary coefficients which divides parametric space is supposed as a candidate of a discriminant function. Then, the ratio of data points of bedform experiments that was judged incorrectly by the polynomial function is calculated. At last, in order to minimize the ratio, coefficients of polynomial function is optimized.

The discriminant functions of bedforms obtained in this study can serve quantitative paleo-flow analysis of sedimentary structures. Their form is $Fr = f(D_*, \tau_*)$. This function can be recast in the form $U = f(D, h)$, where U = flow velocity; D = sediment particle size; h = flow depth. Thus, when we obtain the data of sediment particle size and flow depth from sedimentary structures, we can estimate paleo-flow velocity. The discriminant functions are useful and objective for estimation of paleo-flow conditions.

キーワード：ベッドフォーム、判別分析

Keywords: Bedform, Discriminant analysis

重力流堆積物の基底の侵食構造の定量化

Quantitative analysis of erosional marks at the bases of sediment gravity flow deposits

*石原 与四郎¹、弓 真由子³、大西 由梨²、大熊 文子³

*Yoshiro Ishihara¹, Mayuko Yumi³, Yuri ONISHI², Ayako Okuma³

1.福岡大学理学部地球圏科学科地球科学分野、2.福岡大学大学院、3.朝日航洋株式会社

1.Department of Earth System Science Faculty of Science, Fukuoka University, 2.Graduate School of Fukuoka University, 3.Aero Asahi Corporation

タービダイトをはじめとする重力流堆積物の基底には、これらが堆積する前に形成されたフルートマークやグループマークといった侵食構造が認められることがある。これらの侵食構造は、基底のそのものの特徴や基底に流れが与える影響によって規制されると考えられている。特に、流れの影響については、その流速と持続時間が構造の大きさや形、配置等に影響を与えることが指摘されている。

宮崎県日南市猪崎には、日南層群のオリストリスが分布する。このオリストリスはタービダイトサクセッションからなり、多くのタービダイトの基底にはフルートマークが発達する。このフルートマークを含む侵食構造の大きさや形、配置について面的に検討した結果では、同じタービダイトの基底でも距離が離れるとその特徴が異なり、それは流れの侵食作用の持続時間がそれぞれの場所によって異なったことが原因であると推定されている（弓・石原，2012）。タービダイトが堆積する前の流れの持続時間を知ることで、より詳細な堆積場や古地形を推測できると考えられる。一方、弓・石原（2012）では、フルートマークについて平面的な特徴のみを検討した。多くの露頭で認められる侵食構造は断面で観察されることが多く、これらから同様な解析を行うには、侵食構造を地形として解析することが必要である。本研究では、猪崎および実験で得られた侵食構造の3次元での特徴化を試みた結果を報告する。

弓・石原，2012，堆積学研究，71，173-190.

キーワード：タービダイト、フルートマーク、地形解析

Keywords: turbidite, flute mark, geomorphic analysis

タービダイト逆解析に向けた数値フォワードモデルの検討：房総半島に分布する更新統清澄層タービダイトの単層解析と数値計算結果の比較

Investigation of numerical forward model toward inverse analysis of ancient turbidities: Comparison between results of numerical simulation and grain-size analysis of the ancient turbidite bed in the Pliocene Kiyosumi Formation, Boso Peninsula, Japan

*中尾 健人¹、成瀬 元¹

*Kento Nakao¹, Hajime Naruse¹

1.京都大学大学院理学研究科

1.Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

Turbidity currents are considered as a main mechanism of sediment-transport toward deep-seas, and deposits of turbidity currents, i.e. turbidite sandstones, can be reservoir rocks of petroleum. Therefore it is important to understand the behavior of turbidity currents not only from the perspective of earth sciences, such as sedimentology and stratigraphy, but also resource geology. However, it is quite difficult to observe turbidity currents directly because of their high-velocity and intermittency of occurrences, so that the detailed mode of sediment transport and depositional processes remain unclear. To this end, the methods for inverse analysis to reconstruct flow conditions of turbidity currents from thickness and grain-size distribution of ancient deposits have been developed. However, previous studies have difficulty in feasibility of application to natural examples because of calculating costs of their forward model (2D DNS model). Here we examine that applicability of the forward model of turbidity currents based on the non-steady 1D shallow-water equation for inverse analysis of ancient turbidites. The 1D shallow-water equation model of turbidity currents is superior to the DNS model from the viewpoint of calculation costs, but it is not fully tested for flows that contain sediments of multiple grain-size classes.

First, this study investigated thickness and grain-size distribution of the ancient turbidite bed in the Mio-Pliocene Kiyosumi Formation, Boso Peninsula, Japan. The Formation is composed of sand-rich alternating beds of sandstone and mudstone, which have been interpreted as deposits of the submarine fan. This study focused on the turbidite sandstone G1, which is sandwiched between two characteristic tephra and therefore it can be traced over 40 km. We measured thickness of the sandstone bed and collected samples for grain size analysis by using the settling-tube method. As a result, it was revealed that (1) bed thickness decrease downcurrent non-linearly. There are points where volume per unit area of each grain-size class decrease remarkably. (2) Locations of the points where sediment volume per unit area decrease vary depending on grain size classes. Then, we conducted numerical experiments to reproduce geometrical features of the turbidite bed described above. We employed 1D shallow water equation model with sediment conservation equations of each grain-size class and active-layer approximation of grain-size distribution of the basal surface. In this study, grain-size distribution is approximated to the two grain-size classes: medium sand (2 phi) and silt (8 phi). As a result, distribution pattern of sediment volume per unit width was well reproduced by our model. Sand-sized sediments pinched out downcurrent, whereas silt-sized sediments show continuous thickness distribution downcurrent. This result imply that the inversion model using the forward model based on shallow-water equation could be applicable for ancient turbidites that have 10s km in spatial scale.

キーワード：清澄層、数値シミュレーション、混濁流

Keywords: Kiyosumi Formation, numerical simulation, turbidity currents

姫川河床堆積物における石英の形態変化

Changes in shapes and microtextures on quartz grains of fluvial sediments at Hime Kawa.

*板宮 裕実^{1,2}、須貝 俊彦²*Hiromi Itamiya^{1,2}, Toshihiko Sugai²

1.科学警察研究所、2.東京大学大学院

1.National Research Institute of Police Science, 2.The Graduate School of Frontier Science, The University of Tokyo

[はじめに]

石英は風化に強く保存性が高い性質を有しており、粒子の表面には粒子の運搬過程及び堆積環境を反映した微細な孔や断口等が見られる。石英表面の観察は、1970年代頃から走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて行われており、粒子の表面形態と、運搬過程や堆積環境の関係が調べられている(Krinsley and Doornkamp, 1973; Mahaney, 2002)。粒子の表面形態の観察により後背地を推定する研究は、ヨーロッパをはじめとする安定陸塊での事例が大部分を占めている。粒子の表面形態は、機械的及び化学的作用から形成されるため、地形や地質の異なる地域では出現する形態的特徴やその頻度が異なることが考えられるが、日本のような変動帯のモンスーン地域における石英の表面形態については知見が不足している。日本において石英の表面形態の解析を後背地の推定に応用するためには、地形的要素と石英の形態を詳細に調べる必要があると考えた。そこで本研究では、日本で多く見られる急流河川に着目し、河川の上流から下流にかけて石英の表面形態や外形の変化を調べた。

[実験]

本研究では、長野県～新潟県を流れ、流路延長約60 km(こわたり河床勾配が1/100～1/110とほぼ変わらない)姫川を対象とした。姫川の上流から下流にかけて7地点の河床堆積物及び姫川河口より約10km離れた親不知の海岸堆積物を採取した。風乾した土砂試料は脱炭酸、脱鉄及び有機物分解を行い、粒径0.1 mm～1 mmの石英を観察に用いた。観察には日本電子製走査型電子顕微鏡JSM-6610LVを用い、加速電圧25 kVの高真空モードで1試料につき15粒観察した。蒸着は、パラジウム蒸着を30秒×2回行った。

[結果及び考察]

いずれの河床堆積物からも角張っている石英が多く観察され、その外形は上流から下流にかけて大きな変化は見られなかった。海岸堆積物では、海外での報告例(Vos, 2014)とは異なり河床堆積物に似た角張った粒子が多く観察された。一方、粒子表面の起伏度は下流へ向かうにつれて徐々に低下した。水中での粒子同士の衝突により、表面の起伏度は若干低下したものの、粒子の外形に顕著な変化を与えるだけの運搬距離はないことが推察される。また、姫川全域において、様々なタイプの石英の双晶が確認された。

石英粒子の表面には、貝殻状の断口、V字型の衝突痕、階段上の構造などの微細形態が確認された。いずれの微細形態も、水中での高いエネルギー環境下における粒子同士の衝突という機械的作用により形成されたと考えられる(Vos, 2014)。これらの形態の出現頻度は上流と下流で大きな変化は見られなかったが、包有物に由来すると考えられる直径約数 μm の微細な孔については、下流側の4試料で出現頻度が顕著に低下していた。姫川の中流域では、土砂供給量の多い支流である中谷川と土谷川が本流に合流するため、合流地点より下流側の3地点では、上流側の3試料と包有物の量に差のある、由来の異なる石英を観察している可能性がある。

キーワード：石英、表面形態、走査型電子顕微鏡、双晶、後背地推定

Keywords: quartz, surface texture, SEM, twins, provenance study

互層の堆積相を特徴づける情報の探索：ガンマ線検層と岩相柱状図の例

Use of statistical information to characterize sedimentary facies of alternating successions: an example using gamma rays and graphic logs

*大西 由梨¹、佐々木 華¹、石原 与四郎²、高野 修³

*Yuri ONISHI¹, Hana Sasaki¹, Yoshiro Ishihara², Osamu Takano³

1.福岡大学大学院理学研究科、2.福岡大学理学部、3.石油資源開発株式会社

1.Graduate School of Science, Fukuoka University, 2.Faculty of Science, Fukuoka University, 3.JAPEX

地層の単調な繰り返しからなる互層は様々な堆積環境で形成される。このような互層は定性的な堆積環境の推定の他、それらの数値としての取り扱いが容易であることから、しばしば定量的な解析や堆積相の認定が行われてきた。特に砂岩・泥岩の互層からなるタービダイト・サクセッションに関しては石油やガスの貯留層として重要であるため、しばしば検層データを用いた堆積相の自動認定も行われる (Rider and Kennedy, 2011)。しかしながら、これらを共通して取り扱うことができる解析方法や指標は必ずしも明らかになっていない。本研究では、タービダイト・サクセッションにおける検層ログデータと岩相柱状図を用いて、どちらのデータにも適用可能な堆積相を特徴づける指標を検討した。

解析では検層ログデータの中でも岩相を最もよく反映するSGR: Spectroscopy Gamma Ray (ガンマ線検層)を主として用いた。用いたSGRはデータ取得間隔が15 cmであるため、一般には単層の厚さの情報を持たない。同じ層準の岩相柱状図もSGRに合わせて等間隔のデータにすることでこれらを比較できるようにした。検層ログデータおよび岩相柱状図での堆積相の特徴として、それぞれ岩相、砂岩泥岩比、鉛直方向の粒度変化を示す指標を検討した。これらについてクラスター解析を行い、堆積相の情報をもつクラスターに区分した。

SGRから情報を得る場合、岩相はSasaki et al. (2015) の手法を用いて推定した。また、その岩相の推定結果を用いて解析Window内の砂岩泥岩比を得た。鉛直方向の粒度変化はSGRの値のWindowの上部の合計と下部の合計の差で求めた。一方、岩相柱状図から情報を得る場合は、等間隔の情報から砂岩泥岩比を、鉛直方向の粒度変化は解析Windowの上部と下部の岩相を比較することで得た。

得られた情報をクラスター解析した結果、それぞれ12のクラスターが認定された。これらのクラスターは、岩相、砂岩泥岩比、粒度の変化傾向の情報により区分された。そのため、これらは岩相が砂または泥で、砂質または泥質の層準であり、上方細粒化または粗粒化するか、もしくは粒度の変化は小さい堆積相であるといった情報を持つ。本研究ではこれらの情報の累重関係も検討し、堆積相の認定を試みた結果を紹介する。

引用文献

Rider, M. and Kennedy, M., 2011, *The Geological Interpretation of Well Logs*. 432p.

Sasaki et al., 2015, *Journal of the Sedimentological Society of Japan*, 74, 31-43.

キーワード：堆積相解析、タービダイト・サクセッション、ガンマ線検層、クラスター解析

Keywords: sedimentary facies analysis, turbidite succession, gamma-ray log, cluster analysis

白保竿根田原洞穴遺跡から得られた石筍の年縞層厚と蛍光強度の記録

Record of thickness and fluorescence intensity of annual layers in a stalagmite of Shiraho Saonetabaru Cave, Ishigaki Island

*佐々木 華¹、大西 由梨¹、石原 与四郎²、吉村 和久³

*Hana Sasaki¹, Yuri ONISHI¹, Yoshiro Ishihara², Kazuhisa Yoshimura³

1.福岡大学大学院 理学研究科、2.福岡大学 理学部、3.九州大学大学院 理学研究院

1.Graduate School of Science, Fukuoka University, 2.Department of Earth System Science, Fukuoka University, 3.Faculty of Sciences, Kyushu University

石筍の地球化学的分析からは酸素同位体比やMg/Caの変動など、様々な古環境のプロキシとなる情報が得られている。このような石筍には紫外線を照射することによって蛍光する年縞が認められることがあり、これらは古環境解析では年代のプロキシとしても用いられる。一方、石筍の年縞の層厚変化は形成時の降水量と結び付けられることが多いが(Burns et al., 2002など)、その過程についてははっきりしてない点も多い。また、年縞を形成する蛍光強度も変化するが、これが何を意味するのかもほとんど検討されていない。本研究では、沖縄県石垣市の白保竿根田原洞穴遺跡から得られた石筍に縞状堆積物の自動認定方法(Sasaki et al., 2015)を適用し、年縞層厚と相対的蛍光強度の変化を得た。そして、その時系列に関して、どのような環境が記録されるのかを検討した。

本研究の対象である白保竿根田原洞穴遺跡は石垣島の東海岸に位置し、新石垣空港付近にある。この周辺では、琉球石灰岩の溶食によって形成された東西に延びる鍾乳洞が分布し、本洞穴遺跡もその一部である。白保竿根田原洞穴遺跡に認められる洞穴堆積物からは、多くの人骨や動物化石などが得られている(Nakagawa et al., 2010など)。

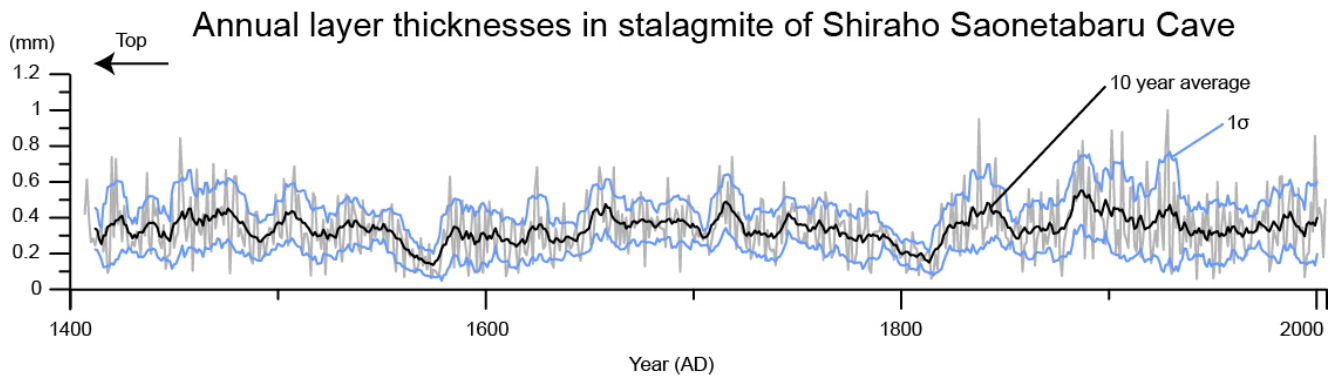
得られた石筍を解析した結果、約600年分の年縞が認められることが明らかになった。年縞層厚の平均は約0.35 mmと本州の洞窟よりもやや厚い傾向がある。層厚の時系列では、1540-1580年、1790-1810年付近で著しい減少が認められた。石筍の形成は主として滴下水の滴下間隔、洞内の気温、二酸化炭素分圧に依存する滴下水中の方解石に関する過飽和の程度に影響される。洞内の気温は年間を通じてほぼ一定であるため、洞内大気の循環に影響される二酸化炭素分圧が方解石過飽和の程度を主に支配していると考えられる。したがって、層厚が著しく減少した時期は、たとえば降水量の低下もしくは洞内大気の循環の減少によって石筍の成長が低下した可能性が示唆される。一方、蛍光の相対的強度は1480-1500年、1530-1540年、1880-1890年、1960-1990年で明瞭な低下が認められた。石筍の年縞の蛍光強度は主に年縞の形成速度と滴下水中のフルボ酸含有量に影響を受けると考えられている。形成速度が大きく、滴下水中のフルボ酸含有量が少ない程、蛍光強度は弱い。そのため、1480-1500年、1530-1540年、1880-1890年、1960-1990年の蛍光強度の大きく低下した時期は、このような影響を受けた可能性が示唆される。一方、1480-1500年は年縞層厚も共に減少し、特にフルボ酸の量の低下が示唆される。本講演では、このようにして得られた年縞の形成速度やフルボ酸の供給量の指標(蛍光強度)は、古環境プロキシとして何を意味しているのか検討した結果を報告する。

引用文献

Burns et al., 2002, *Journal of Geophysical Research*, 107, 4434-4442; Nakagawa et al., 2010, *Anthropological Science*, 118, 173-183; Sasaki et al., 2015, *Journal of the Sedimentological Society of Japan*, 74, 31-43

キーワード：年縞、石筍、時系列解析

Keywords: annual layer, stalagmite, time series analysis



トアルシアン海洋無酸素事変にリンクした堆積環境の変化：西中山層の堆積相解析からの示唆
Variation in depositional conditions across the Toarcian (Early Jurassic) OAE: Mudstone lithofacies analysis of the Nishinakayama Formation

*泉 賢太郎¹、Kemp David²

*Kentaro Izumi¹, David B. Kemp²

1.国立環境研究所 生物・生態系環境研究センター、2.アバディーン大学

1.Center for Environmental Biology and Ecosystem Studies, National Institute for Environmental Studies, 2.The University of Aberdeen

The early Toarcian (Early Jurassic) oceanic anoxic event (T-OAE) was a significant palaeoenvironmental perturbation that led to marked changes in ocean and atmospheric chemistry. This event is characterized by the widespread occurrence of a ~3-7‰ negative excursion in the carbon-isotope ($\delta^{13}\text{C}$) composition of marine organic and inorganic matter and terrestrial plant material. In addition, one of the distinct phenomena during the early Toarcian is the abrupt rise of $p\text{CO}_2$ and consequent global warming, which led to tropical to subtropical storm intensification. Although such storms are predicted to have been intensified globally at low to mid latitudes during the Early Jurassic, tropical storm intensification outside the Tethys realm has not been demonstrated. To address this issue, we investigated the Nishinakayama Formation of the Toyora area, southwest Japan, which represents an organic-rich silty mudstone-dominated succession deposited at the shallow margin of the northwestern Panthalassa Ocean. First, we established a high-resolution carbon-isotope chemostratigraphy. As a result, the characteristic T-OAE negative $\delta^{13}\text{C}$ excursion was recognized around the middle part of the Nishinakayama Formation, making accurate international correlation possible. Then, we carried out a mudstone microfabric analysis to reconstruct hydrological and sedimentological changes. Our results indicate that the Nishinakayama black silty mudstones exhibit a variety of microfabrics, sedimentary structures, and textures. These features indicate a dynamic range of depositional conditions. In particular, we note evidence for mudstone deposition by bottom currents, and silty mudstones exhibiting evidence of energetic conditions are concentrated during the carbon-isotope negative excursion interval. Mudstones from the pre- and post-excursion intervals generally show parallel-laminated features that suggest settling from suspension. These sedimentological changes, in combination with carbon isotope stratigraphy, provide the first evidence for storm intensification during the T-OAE interval from the mid latitude Panthalassic margin. Our results are consistent with previously published papers documenting sedimentological changes in Tethyan T-OAE successions.

キーワード：トアルシアン海洋無酸素事変、パンサラッサ海、西中山層

Keywords: Toarcian oceanic anoxic event, Panthalassa, Nishinakayama Formation

平衡指数モデルで説明する海岸線自動後退

A rationale of shoreline autoretreat provided by the grade index model

*武藤 鉄司¹、成瀬 元²*Tetsuji Muto¹, Hajime Naruse²

1.長崎大学環境科学部、2.京都大学理学研究科

1.Department of Environmental Science, Nagasaki University, 2.Graduate School of Science, Kyoto University

適当に長い時間スケールで観ると、デルタ分流チャネル(distributary channels)の動態はデルタ前縁の堆積盆水深(basin water depth)の影響を強く受ける。水槽を用いたこれまでのモデル実験からは、堆積盆水深が大きいほど分流チャネルの埋積速度と側方移動速度は小さくなる。デルタが前進できないほどに大きな堆積盆水深のもとであれば分流チャネルは平衡状態(grade)を実現し、デルタ平原上の特定の位置に固定されて側方移動しなくなる。このような堆積盆水深の効果は、平衡指数(G_{index} : grade index)を用いて定量的に示すことができる。堆積盆水深 h 、デルタ平原の水平半径 x 、デルタ平原の沖積勾配 S_a とし、無次元水深を $h_* = h/S_a x$ で与え、さらに一部の水槽実験で採用された特殊な基盤条件、すなわちデルタの背後が垂直壁で堆積盆底が水平である場合を仮定すると、 $G_{\text{index}} = (1 + 2h_* + S_a^* h_*^2)^{-1}$ で示される。ただし、 S_a^* は S_a をデルタフォーセット勾配 S_f で除した値である($S_a^* = S_a/S_f$)。 G_{index} は0から1までの値をとり、 $G_{\text{index}} = 0$ ならば河川平衡、 $G_{\text{index}} = 1$ ならば完全なる陸上埋積に対応する。 G_{index} はデルタの成長に伴って変遷する変数である。

この平衡指数モデルは静止海水準を想定しているが、これを海水準が一定速度で上昇していく場合へ拡張する。供給されたセディメントがすべてデルタに堆積し、デルタの角度パラメータが常に一定に保たれる条件のもとであれば、デルタ体積 $V(x, h)$ の時間微分は系外上流域からのセディメント供給速度 Q_s に等しい。この関係を基本の式として、基準面上昇期のデルタ海岸線の無次元前進速度 R_{pro^*} を計算すると、 $R_{\text{pro}^*} = (1 - A_{\text{B}^*}) G_{\text{index}}$ という関係式に行き着く。ただし、 A_{B^*} はオート層序学における三次元長さスケール L_{3D} を用いて無次元化したデルタ底面積である。この式は、成長していくデルタの無次元底面積が A_{B^*} を越えるときに海岸線自動後退の開始に他ならないことを示している。同様に、デルタ陸上部分の無次元埋積速度 R_{agg^*} は、 $R_{\text{agg}^*} = A_* + (1 - A_{\text{B}^*}) G_{\text{index}}$ で表すことができる(A_* は L_{3D} で無次元化したデルタ平原の水平面積)。自動後退する海岸線が陸側基盤に到達すると沖積部分は消失し、供給されるセディメントのすべてが水没したデルタの水中斜面に堆積する(オートドロウニング)。このとき、 $G_{\text{index}} = 0$ かつ $A_* = 0$ でもあるから、当然 $R_{\text{agg}^*} = 0$ となる。

以上の考察から、海水準上昇期のデルタにおける非平衡応答の形態の一つである自動後退～オートドロウニング系列は平衡指数と密接に関わることがうかがえる。同系列がデルタのサイズの累進的増大とデルタ前縁の堆積盆水深の増大(i.e. 海水準上昇)に支配される現象であることを考えても、平衡指数の関わりは明らかである。平衡指数は自動後退～オートドロウニング系列の生起に、従来とは別の角度から理論的な根拠を与える。

キーワード：デルタ、海岸線自動後退、平衡指数、海水準上昇、非平衡応答

Keywords: deltas, shoreline autoretreat, grade index, sea level rise, nonequilibrium response

河床縦断形から地殻隆起履歴を読み取る手法の検証：房総半島中央部への適用例

Verification of the method to reconstruct histories of crustal uplift rate from river longitudinal profiles: Application to the central part of Boso Peninsula, Japan

*中島 由以佳¹、成瀬 元¹

*Yuika Nakajima¹, Hajime Naruse¹

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

A method for estimating spatial and temporal histories of crustal uplift rate from longitudinal river profiles was proposed by Roberts and White (2010). When bedrock is uplifted, an abrupt change in gradient (i.e., knickpoint) occurs along the river bed, and then subsequent erosional processes cause upstream-migration of knickpoints. Therefore, river longitudinal gradient change reflects the history of uplift rate of bedrock, where older history is recorded in the upstream region. For analyzing river longitudinal profiles, a forward model that calculates incisional processes of river profiles from uplift rate histories with four erosional parameters was developed. Then, the inverse algorithm that minimizes the misfit between calculated and observed river profiles by optimizing uplift rates and erosional parameters was produced to obtain spatial and temporal patterns of regional uplift rate histories. This method is superior to other existing methods for estimating spatial variation of bedrock uplifting rate, and has been applied on profiles of rivers in stable continental regions (e.g., Africa and Australia). However, it has not been tested to tectonically active regions such as the Japan Islands.

Here, we aim to verify the method for analyzing river profiles in tectonically active regions where the uplifting rates of bedrock varies in smaller spatial and temporal scales. We investigated uplift rate histories of the central part of the Boso Peninsula in Japan, and examined the effectiveness of the method, comparing results of multiple rivers that locate in same region. As a result, we found that the uplift rate histories estimated from multiple rivers were inconsistent each other although they locate on the same tectonic terrain. We infer that cause of this inconsistency in estimated uplifting histories can be attributed to the heterogeneity in erodibility of the bedrock in the study area. The forward model employed in this study assumes that the erodibility of bedrock is constant in space; however, several knickpoints actually locate at the lithological boundaries, suggesting the possibility that variation in erodibility should be taken account in the model. Thus, we suggest that parameterization of physical controls such as lithologic variation is significant in order to improve the method to estimate uplift rate histories from longitudinal river profiles in tectonically active regions.

キーワード：河床縦断形、逆解析、侵食

Keywords: river longitudinal profile, inverse analysis, erosion

関田山脈東部に発達する更新世巨大山体崩壊群

Deep-seated Rockslide Avalanches of The Eastern Sekita Mountains, Niigata Prefecture, Central Japan; Pleistocene tectonic events

*朝比奈 利廣¹

*Toshihiro Asahina¹

1. 株式会社パスコ

1.PASCO CORPORATION

はじめに

関田山脈は新潟-長野の県境に位置し、標高1000~1300m、第四系から構成されており、大規模な崩壊地形が数多くあることが知られている。本報告は、関田山脈の新潟県側に発達する更新世の大規模崩壊について報告する。

地形概要

菱ヶ岳以東の関田山脈東部は、菱ヶ岳(1129.2m)、三方岳(1138.5m)、天水山(1088m)と続く平頂峰をなすが東へと徐々に高度を下げる。菱ヶ岳-三方岳間に位置する野々海池周辺は関田山脈中最も広く小起伏平坦面が分布し、野々海池の伸長方向には現在も湿地が点在する。一方、関田山脈の北、新潟県側は比高150~400mの急崖が連なって発達しており、この急崖に続いて北側には菖蒲高原、渋海川上流域中原周辺の平原、大蔵寺高原などの小起伏平坦面などが広がっている。

地質概要

関田山脈稜線から南の信濃川までの山地斜面には後期鮮新世~後期更新世とされる魚沼層火山岩類が広く分布するが、この稜線より北側の新潟県側には魚沼層の砂岩、シルト岩などの堆積岩類が広く分布する(竹内ほか, 2000)。更に北方へ向かうに従いより下位の地層が分布し、稜線から約4km北には後期中新世の松之山ドームが位置する。

巨大崩壊斜面の地形地質

2014年10月にALS70システムによりLidar計測を実施した。Lidarデータよりグリッドセルサイズ1mのデータを作成し、解析に用いた。

本報告では、菖蒲高原を形成した大規模崩壊を野々海崩壊、渋海川上流域の小起伏平坦面を形成した大規模崩壊を天水崩壊と称し、この両崩壊について報告する。

1) 野々海崩壊

野々海畔付近を滑落崖頂部(標高1085~1090m)として、比高約150mの滑落崖と幅約2,000mに達する滑落幅を有する。崩壊による土砂堆積面を確認されるのは現在の菖蒲高原の面で、滑落崖頂部から現在確認した堆積物末端までの水平距離は約2,700mである。他の土砂堆積物は崩壊後の変動や浸食等により山地が深く穿たれたため断片的に推定または確認できるに過ぎない。現在確認される堆積物の厚さは最大50m程度、平均的には15~20m程度と推定される。

2) 天水崩壊

野々海池北側~三方岳~天水山付近を滑落崖頂部(標高1080~1130m)として、比高約200~400mの滑落崖と約2,500mに達する滑落幅を有する。崩壊による土砂堆積面を確認されるのは現在の渋海川上流、中原集落周辺およびその上流域で、流山を含む小起伏平坦面として確認される。滑落崖頂部から現在確認した堆積物末端までの水平距離は約4,500mである。地形的特徴から数回の大きな崩壊イベントを経て現在のような堆積面形状になったと推定される。現在確認できる堆積物の厚さは平均的には15~30m程度と推定される。天水崩壊による堆積物を被覆するテフラはまだ確認できていない。

3) 崩壊堆積物

崩壊堆積物調査から、初期にシルト岩の崩積土を、その後安山岩質火山岩類を主体とした崩積土を生み出したイベントに移行したと考えられる。今のところシルト岩からなる崩壊堆積物は天水崩壊による堆積域に3箇所確認されており、安山岩質火山岩類を主体とした崩積土の下位層として古土壌を挟んで直接確認された。この堆積物は直径数cm程度の角礫状シルト岩が密にパックされているのが特徴的であり、地震による崩壊堆積物の

性状に酷似する。後者の安山岩質火山岩類の堆積物の特徴は、①最大径3mに達する安山岩の角礫を多く含んだ堆積物で堆積時に水を伴ったと思われる堆積構造が見られない、②含まれる礫には、安山岩の他にシルト岩、砂岩、凝灰岩などがあり、クサレ礫を含む、③マトリックスは、概ね凝灰質～砂混じりシルト質で、新鮮部では青みがかかった灰色～青緑色がかかった灰色、である。

等摩擦係数 (H/L) は、野々海崩壊0.18、天水崩壊0.14となり、Ui (1983) の分類ではVolcanic dry avalancheとNonvolcanic dry avalancheの中間的な値を示す。

4) 巨大崩壊後背地及び滑落崖周辺の地形的特徴

巨大崩壊後背地、すなわち稜線より信濃川に至る山腹斜面は、久保田ほか (2014) がサギング地形とした斜面であるが、巨大崩壊滑落崖周辺には多くの小崖、谷状に延びる大小の陥没状地形を確認される。多くの小崖は南落ちの変位を示しているのが特徴的である。また、陥没地形の中心軸方向やリニアメントは関田山脈の方向や魚沼層の走行とは斜交し西側ほど大きく開き約45度に達する。

まとめ

関田山脈北側で発生した巨大崩壊は、現在の主稜線を構成する魚沼層分布域で発生したものであり、降水などによる土石流のように水を介在したものではないと推定される。また、稜線南側のサギング地形の形成やこの地域より東側山地に発達する巨大崩壊や山地変形とも関連する山体形成に関わる大きなイベントと考えられる。

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.

Ui, T. (1983) Volcanic dry avalanche deposits. Jour. Volcanol. Geotherm. Res., 18, 135-150.

キーワード：岩盤崩壊、巨大崩壊、関田山脈、魚沼層

Keywords: rockslide avalanche, giant collapse, Sekita Mountains, Unuma Group