

**Program and Abstracts**

**Annual Meeting of  
The Sedimentological Society of Japan  
April 19–23, 2019  
Osaka, Japan**



***Sedimentological Society of Japan***

**プログラム・講演要旨**

日本堆積学会 2019年大阪大会  
2019年4月19日～23日

大阪市立自然史博物館

## 日本堆積学会 2019 年大阪大会 プログラム

<日 程> 2019 年 4 月 19 日 (金) ~ 23 日 (火)

19 日 (金) : プレ巡検「大阪平野海岸部の遺跡と地層」, 自然史博物館バックヤード見学

20 日 (土) : 個人講演, 市民向け講演会, 総会議事, 懇親会

21 日 (日) : 個人講演, 最優秀口頭・ポスター発表賞授賞式, 堆積学トーク・トーク

22 日 (月) ~ 23 日 (火) : ポスト巡検「田辺層群・牟婁層群の堆積相と泥ダイヤピル・泥火山」

<会 場> 大阪市立自然史博物館 (長居公園内)

<http://www.mus-nh.city.osaka.jp/1attention/parkmap.html>

\* 自然史博物館への博物館南側の職員通用口 (上記地図上で, 博物館の建物南の黒矢印の場所) からご入館下さい。

### 4 月 19 日 (金) プレ巡検

「大阪平野海岸部の遺跡と地層」

案内者 : 趙 哲済 氏・小倉徹也 氏 (大阪文化財研究所)

### 4 月 19 日 (金) 自然史博物館バックヤード見学

案内者 : 中条武司 氏 (大阪市立自然史博物館) ほか

### 4 月 20 日 (土) 市民向け講演会

地質の日協賛行事・第 36 回地球科学講演会「OSL 年代—砂粒に刻まれた時の記憶」

時間 : 15 時 00 分 ~ 16 時 30 分

場所 : 大阪市立自然史博物館 講堂

講師 : 田村 亨 氏 (産業技術総合研究所)

### 4 月 22 日 (月) ~ 23 日 (火) (1 泊 2 日) ポスト巡検

「田辺層群・牟婁層群の堆積相と泥ダイヤピル・泥火山」

集合・出発 : 大阪市立自然史博物館周辺 22 日 8 時 30 分

解散 : 新大阪駅または天王寺駅周辺 23 日 17 時頃

案内者 : 宮田雄一郎 氏 (山口大学)・松本 弾 氏 (産総研)・潮崎翔一 氏 (千葉環境研究センター)

## 4月20日(土)

**会場：**大阪市立自然史博物館 講堂（口頭発表）、ホール周辺（ポスター会場）

建物への入館は 8:00 から可能です。受付開始は 8:15 です。

9:00-9:05 会長挨拶 高野 修

### <口頭発表の部>

【座長：宇津川喬子】

- O1 9:05-9:25 イベント堆積物と生物攪拌：津波堆積物の例  
清家弘治（産総研）
- O2 9:25-9:45 北海道東部床潭沼における 19 世紀以降の津波痕跡の検出  
篠崎鉄哉（筑波大）・澤井祐紀・伊藤一充・原 淳子・  
松本 弾・谷川晃一郎（産総研）・  
Jessica Pilarczyk（Simon Fraser Univ）
- O3 9:45-10:05 宮崎県延岡市島浦島における津波堆積物  
山田昌樹（東京大）・後藤和久（東北大）・篠崎鉄哉（筑波大）・  
千葉 崇（秋田県立大）・藤野滋弘（筑波大）
- O4 10:05-10:25 三重県志摩市で見つかった歴史時代・先史時代の津波堆積物  
藤野滋弘（筑波大）・木村治夫（電中研）・小松原純子・松本 弾・  
行谷佑一・澤井祐紀・宍倉正展（産総研）
- O5 10:25-10:45 表層堆積物再懸濁：地震性タービダイトの一つの形成プロセス  
池原 研（産総研）・金松敏也（JAMSTEC）・宇佐見和子（東京大）

休憩（10:45-10:55）

【座長：山田昌樹】

- O6 10:55-11:15 白保竿根田原洞穴遺跡に分布する人骨・遺物の 3 次元分布とその堆積過程  
伊藤百花・石原与四郎（福岡大）・土肥直美（元琉球大）・  
片桐千亜紀（沖縄県立埋蔵文化財センター）
- O7 11:15-11:35 沖縄県久高島の沿岸巨礫分布に基づく台風・波浪の最大強度推定  
南館健太・後藤和久・渡部真史（東北大）・  
Volker Roeber（ハワイ大学, ポー・エ・デ・ペイ・ド・ラトゥール大学）・  
渡久地健（琉球大）・三納正美（ミクニヤ株式会社）・  
中島洋典（有明高専）・菅 浩伸（九州大）
- O8 11:35-11:55 河口堆積物形成における洪水流の役割：東京湾多摩川河口干潟  
村山正樹・西田尚央・大本拓輝・  
真山茂樹・藤本光一郎（東京学芸大）

O9 11:55-12:15 長野盆地南部の考古学遺跡から発見される西暦 888 年の洪水堆積物  
保柳康一・内山しおり (信州大)

【座長：佐々木 華】

<ポスター発表ショートトーク： 奇数番号の講演> 12:15-12:45

1 件あたりの講演は 3 分以内とします。

昼休み (12:45-13:50)

<ポスター発表の部> 13:50-14:50

4 月 20 日 (土) 8:00 より掲示できます。4 月 21 日 (日) 16:00 までに撤収をお願いします。

- P1 三重県津市周辺の海岸低地の堆積相とイベント堆積物  
松本 弾 (産総研)
- P3 和歌山県田辺湾における表層堆積物中の有孔虫殻の粒度分布  
廣木義久 (大阪教育大)
- P5 紀伊半島南部海岸地域「サラシ首層」に含まれる砂岩の碎屑性ジルコン U-Pb 年代  
別所孝範 (大阪市立大)・鈴木博之 (元同志社大)・  
山本俊哉 (和歌山県立田辺高校)・  
檀原 徹・岩野英樹 (京都フィッシュントラック (株))・  
平田岳史 (東京大)
- P7 砂岩物性からみた西南日本各地の堆積体  
宮田雄一郎・坂口有人・原田隆弘 (山口大)
- P9 伊勢・三河湾の中央部に埋没する氷期の残丘  
佐藤智之 (産総研)・古山精史朗 (東京海洋大)
- P11 大阪海岸低地の津守新田に干拓された古代に遡る干潟  
趙 哲濟 (大文研)・渡部哲也・  
高田良二・山西良平 (西宮市貝類館)
- P13 福島県南相馬市小高区井田川におけるボーリング調査  
田中姿郎・吉井 匠・佐々木俊法・  
濱田崇臣・伊藤由紀・松山昌史 (電中研)
- P15 一方向流下におけるポットホール内の礫のふるまい  
問田雄真・北沢俊幸 (立正大)
- P17 Experimental Investigation of Entrainment Rates of Mixed Grain-size Particles to Suspended Load: Difference between Open Channel Flows and Turbidity Currents  
姚 奇峰・成瀬 元 (京都大)
- P19 泥 vs 波 (予報)  
山口直文 (茨城大)・関口智寛 (筑波大)



<市民向け講演会>

【座長：中条武司】

15:00-16:30 OSL年代-砂粒に刻まれた時の記憶

田村 亨 (産総研)

休憩 (16:30-16:50)

<総会> 16:50-17:50

<懇親会> 18:00-20:00 大阪市立自然史博物館 ナウマンホール

4月21日(日)

<口頭発表の部>

【座長：藤野滋弘】

O10 9:00-9:20 小・中学校のための堆積学的教材データベースとネットワークの構築

宇津川喬子 (立正大)

O11 9:20-9:40 鳥取層群からの断層で隔てられた堆積盆境界の発見とその意義

丸山祐太 (島根大)

O12 9:40-10:00 淡路島南西海岸部に分布する上部白亜系和泉層群の堆積環境

奥田朱音・成瀬 元 (京都大)

O13 10:00-10:20 Autogenic non-equilibrium responses of river deltas: Extension of the grade index model to base level rise

Junhui Wang (China Univ of Petroleum, Beijing / Nagasaki Univ),

Hajime Naruse (Kyoto Univ), Tetsuji Muto (Nagasaki Univ)

休憩 (10:20-10:30)

【座長：浦本豪一郎】

O14 10:30-10:50 湖水環境によって影響を受けた湖成重力流のタイプと挟在頻度：栃木県塩原層群宮島層の例

佐々木 華 (福岡大)・大西由梨 (応用地質)・石原与四郎 (福岡大)

O15 10:50-11:10 密度流ベッドフォームの形成条件

大畑耕治・成瀬 元 (京都大)・

Isabel de Cala・Bill McCaffrey (Univ Leeds)・

Robert Dorrell・Stuart McLelland (Univ Hull)

O16 11:10-11:30 Inverse Analysis of Experimental Scale Turbidity Currents by Deep Learning Neural Network

蔡 之榕・成瀬 元・姚 奇峰 (京都大)

【座長：篠崎鉄哉】

<ポスター発表ショートトーク： 偶数番号の講演> 11:30–12:00

1 件あたりの講演は 3 分以内とします。

昼休み (11:57–13:00)

<ポスター発表の部> 13:00–14:00

4 月 20 日 (土) 8:00 より掲示できます。4 月 21 日 (日) 16:00 までに撤収をお願いします。

- P2 子ども向けワークショップ「砂・つぶ・すな絵」を通して学ぶ砂の組成とその成り立ち  
山中亜希子・山下和子 (NPO 法人大阪自然史センター)・  
中条武司 (大阪市立自然史博物館)
- P4 福島県南相馬市小高区井田川低地で掘削した 2 本のボーリングコアの堆積相, 化学分析,  
珪藻化石分析に基づく完新世の堆積環境変遷の復元とイベント堆積物  
内山しおり・町田順一・保柳康一 (信州大)
- P6 石巻市大谷川浜の人工構造物に残された特徴的な津波堆積物  
吉井 匠・田中姿郎・濱田崇臣・伊藤由紀・松山昌史 (電中研)
- P8 富山市に分布する更新統三田層の堆積環境と化石密集層  
佐々木 稔 (筑波大)
- P10 Fluvio-tidal controls on the lateral reservoirs: Implications from the Onshore Depobelts of the  
Niger Delta, Nigeria, West African Margin  
Onema Adojoh (Univ of Missouri Science and Technology / Nagasaki Univ),  
Jude Omuije (Shell Petroleum Development Company of Nigeria Ltd),  
Tetsuji Muto (Nagasaki Univ)
- P12 埼玉県秩父地域に分布する中新統小鹿野町層の堆積環境  
石井さよ・西田尚央 (東京学芸大)
- P14 露頭面積の違いが生物攪拌強度に与える影響  
菊地一輝・成瀬 元 (京都大)
- P16 地層を音楽に変換する Web アプリ「Sedimentary Rock!」の開発  
北沢俊幸 (立正大)・安友裕秋・加藤琢磨 ((株) シフトブレイン)・  
野田琢真・青木和昭 (立正大)
- P18 Initial flooding surface からみた九十九里平野の長期的隆起  
小松原純子 (産総研)
- P20 潮の名残り：混濁流は潮汐の影響を受けうるか？  
成瀬 元 (京都大)・Robert Dorrell (ハル大)

<口頭発表の部>

【座長：池原 研】

- O17 14:00–14:20 タービダイトに記録された前弧海盆の沈降変遷: 鮮新–更新統掛川層群  
曾根明樹 (島根大)

- O18 14:20–14:40 Sedimentary characterization and source rock potential of siliceous formations in Neogene Tsugaru basin, Aomori Prefecture, Japan  
Martizzi Paolo・Chiyonobu Shun・Arato Hiroyuki (秋田大)
- O19 14:40–15:00 沖縄島南西沖プラットフォームに認められる樹枝状古水系の三次元サイスマミック地形学的特徴とその意義  
小松侑平 (JOE)・藤本 暁 (JOGMEC)
- O20 15:00–15:20 3D 震探データを用いた海底扇状地舌状体の構造・階層性の考察  
高野 修 (石油資源開発)
- O21 15:20–15:40 粗粒セディメントウェーブ堆積物の形態と内部構造  
伊藤 慎・島野恭史 (千葉大)

休憩 (15:40–15:50)

【座長：保柳康一】

- O22 15:50–16:10 熊本県天草上島上部白亜系姫浦層群の油徴を伴う泥質岩の有機地球化学的検討  
松田博貴・清野隆太 (熊本大学)・  
黒川将貴・西田英毅・八木正彦 (石油資源開発)
- O23 16:10–16:30 房総半島に湧出する上ガスの地球化学的研究  
若林泰葉・戸丸 仁 (千葉大)
- O24 16:30–16:50 酸化的な遠洋性粘土中に存在する大量の微小マンガング粒について  
浦本豪一郎 (高知大・JAMSTEC)・諸野祐樹・富岡尚敬・  
若木重行・中田亮一 (JAMSTEC)・和穎朗太 (農研機構)・  
上杉健太郎・竹内晃久・星野真人 (JASRI/SPring-8)・  
鈴木芳生 (JASRI/SPring-8・東京大)・光延 聖 (愛媛大)・  
白石史人 (広島大)・菅 大暉 (東京大)・武市泰男 (高エネ研)・  
高橋嘉夫 (東京大)・稲垣史生 (JAMSTEC)
- O25 16:50–17:10 海水準変動の要因としての陸域水循環とモンスーン  
池田昌之 (静岡大)
- O26 17:10–17:30 河岸段丘の形成について—気候変動コントロール説の具体例—  
八木下晃司 (早稲田大)・小松原純子 (産総研)

<事務連絡> 17:30–17:40

<最優秀口頭発表賞・最優秀ポスター賞授賞式> 17:40–17:50

<堆積学トーク・トーク> 18:00–20:00「遺跡で堆積学！ 考古学と堆積学をつなげる」

会場：大阪市立自然史博物館 集会室

下記4件ほかの話題提供を予定しています。

趣旨説明：堆積学研究者は遺跡調査で何を求められているのだろうか？

中条武司 (大阪市立自然史博物館)

遺跡調査における考古学と堆積学との協業－考古学の立場から

大庭重信（大阪文化財研究所）

梶山・市原（1972）への呪縛と、考古学／地球科学の時空間スケールギャップ－大阪の場合

別所秀高（東大阪市鴻池新田会所）

遺跡現場で堆積学者から教わったこと、お願いしたいこと（仮）

趙 哲済（大阪文化財研究所）

## **注意事項**

### **<口頭発表>**

- ・口頭発表は発表 16 分、質疑応答 4 分です。発表時間を厳守して下さい。
- ・口頭発表は液晶プロジェクターの使用を標準とします。スライドのサイズ設定は 4:3 としてください。講演用に準備されるのは Windows PC (Windows 7, Power Point 2013), Macintosh (Power Point 2019) です。
- ・口頭発表される方はファイルの入った CD もしくは USB メモリを持参下さい。メディアおよびファイルは、ウイルス対策ソフトの最新定義で事前にチェック頂きますようお願いいたします。ファイルは遅くとも講演前の休憩時間までに会場の PC に直接コピーして下さい。心配な方はご自分のパソコンを持参下さい。
- ・会場のプロジェクターにパソコン接続ケーブル (miniD-SUB15) を用意します。

### **<ポスター発表>**

- ・ポスターは 20 日と 21 日の 2 日間にわたり掲示できます。ポスター 1 件あたりの展示可能スペースは、縦 180 cm×横 90 cm の縦長です。画鋲は会場にも用意があります（テープは使用不可）。ポスターには、必ずポスター番号を記入して下さい。はぎ取り標本など重量物の展示を希望される方、テーブルや電源を使用される方は、事前に行事委員会までお知らせください。
- ・ポスター発表のショートトークは 1 人 3 分以内でお願いします。液晶プロジェクターを使用して発表する場合、使用するスライドはタイトルスライド以外に 2 枚でお願いします。スライドのサイズ設定は 4:3 としてください。なお講演を円滑に進めるために、用意して頂いたスライドはあらかじめこちらで 1 つのファイルにとりまとめます。

### **<写真・ビデオ撮影の制限>**

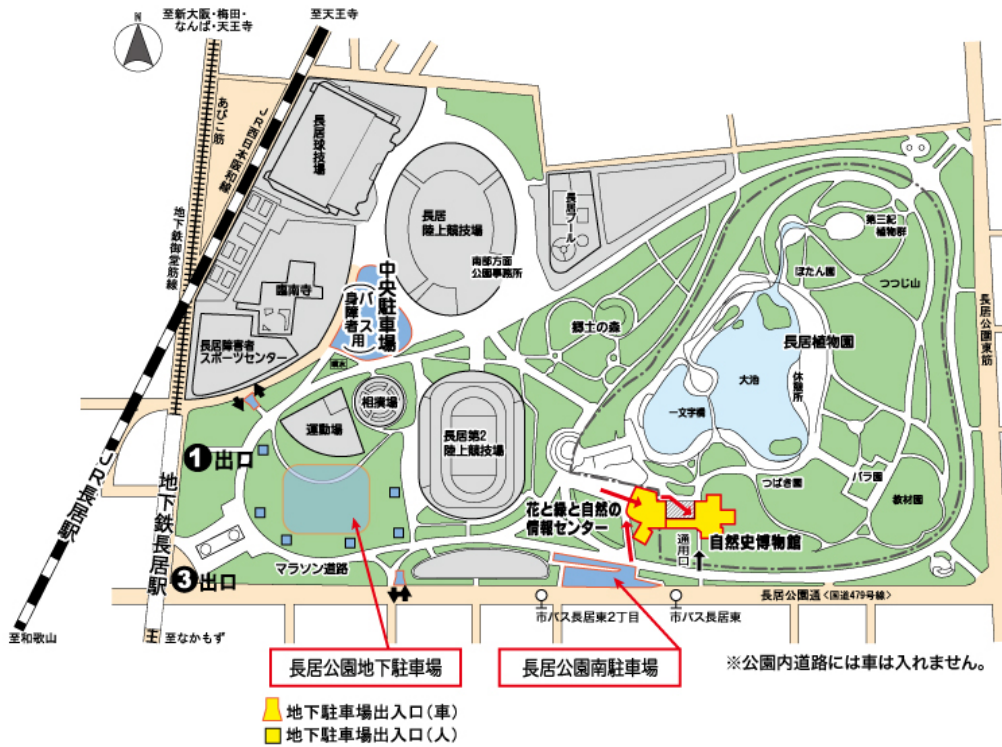
本大会における全ての講演の様子や内容について（口頭発表・ポスター発表など）、発表者に無断で写真撮影・ビデオ撮影することを禁止します。撮影には発表者の許可が必要です。また、それらを発表者の許可なく SNS 等で配信することを禁止します。

### **<その他>**

会場の大阪市立自然史博物館および敷地内の長居植物園内は、全面禁煙です。

<会場周辺マップ>

入館に関する注意事項：大会中，自然史博物館への博物館南側の職員通用口（地図上で，博物館南にある黒矢印の場所）からご入館下さい。受付前に通常の入館口からは入ることはできません。



## イベント堆積物と生物攪拌：津波堆積物の例

## Event deposits and bioturbation: an example of tsunami deposits

清家弘治（産総研・地質調査総合センター）

Koji Seike (Geological Survey of Japan, AIST)

連絡先：清家弘治 (seike-k@aist.go.jp)

地層中のイベント堆積物の存在から、過去のイベントの発生間隔や規模を推測することができる。しかしながら、イベント層の保存ポテンシャルを理解すること無しには、イベント堆積物から多くの情報を得ることはできない。底生生物による生物攪拌作用によってイベント層は混合され、その堆積構造は変形すると考えられる。津波堆積物を含むイベント層が形成後に年スケールでどのように変化していくのか、あるいはどれくらいの期間にわたって生物攪拌の影響を受けるとイベント層として認識できなくなるのか、という点について検証した例は少ない。以上を踏まえ、三陸沿岸において2011年3月の大津波により形成された津波堆積物が、震災から5年後の2016年にどのような状態で存在しているかを調べ、津波堆積物の保存ポテンシャルを評価した。さらには、2011年津波堆積物と過去に形成された津波堆積物を比較し、長い時間スケールで津波堆積物が生物攪拌によってどのように改変されているかを調べた (Seike et al., 2017a)。また、イベント発生から数年後のイベント層を調べることで、生物攪拌の特性を知ることが可能である。その理由としては、イベント堆積物の形成直後には生物攪拌構造が一切存在しない「白紙」の状態であり、その後に新規に書き込まれる生物攪拌構造はサンプル採取時の生物攪拌の性質を反映しているからである。つまり、津波堆積物の場合は、津波発生から数年が経過した時期の津波堆積物を調べることで、津波後に回復した底生生物群集がどのような生痕を形成し、海底面からどの深さまで堆積物を攪拌（混合）し、さらには海底の物理特性をどのように改変しているかを理解することができる (Seike et al., 2017b)。このような視点から、2011年震災後の岩手県船越湾におけるオカメブングク（ウニ類）の生痕の観察をおこなった。その結果、オカメブングクの生物攪拌の最大深度は基質の粒径によって制限されていること、またオカメブングクの生物攪拌によって海底地盤が軟化されていることがわかった (Seike et al., 2018)。

Seike, K., Kobayashi, G. and Kogure, K., 2017a, Post-depositional alteration of shallow-marine tsunami-induced sand layers: A comparison of recent and ancient tsunami deposits, Onagawa Bay, northeastern Japan. *Island Arc*, **26**, e12174.

Seike, K., Sassa, S., Shirai, K. and Kubota, K., 2018, Lasting impact of a tsunami event on sediment-organism interactions in the ocean. *Journal of Geophysical Research - Oceans*, **123**, 1376-1392.

Seike, K., Shirai, K. and Murakami-Sugihara, N., 2017b, Using tsunami deposits to determine the maximum depth of benthic burrowing. *PLoS One*, **12**, e0182753.

## 北海道東部床潭沼における 19 世紀以降の津波痕跡の検出

## Geological evidence of tsunamis after 19th-century from Lake Tokotan, eastern Hokkaido

篠崎鉄哉（筑波大）・澤井祐紀・伊藤一充・原淳子・松本弾・谷川晃一郎（産総研）・  
Jessica Pilarczyk (Simon Fraser University)  
Tetsuya Shinozaki (University of Tsukuba), Yuki Sawai, Kazumi Ito, Junko Hara,  
Dan Matsumoto, Koichiro Tanigawa (AIST), Jessica Pilarczyk (Simon Fraser University)  
連絡先：篠崎鉄哉 (shinozaki@ied.tsukuba.ac.jp)

## 1. はじめに

過去の津波の痕跡である津波堆積物は、沿岸湖沼や塩性湿地など、通常時に静穏な環境で保存がされやすい。津波堆積物が目視できる程度の厚さを持っていれば通常堆積の泥や泥炭、土壌と区別がつきやすく地層中であっても識別が容易である。しかしながら、津波の規模や沿岸域からの距離などの理由により運ばれる砂の量が少なく、目視によるイベント層の識別が困難な場合がある。本研究ではそのような‘目視による識別が困難な津波堆積物’を識別するため、ケーススタディーとして歴史記録が残っている北海道東部で掘削調査をし、CT 写真、軟 X 線写真、粒度分析、Cs・Pb 測定、水溶性イオン分析から、これまで見つかっていない津波の地質学的痕跡の識別を試みた。

## 2. 調査地域

調査地である北海道東部<sup>とこたんぬま</sup>床潭沼は、現在の海岸線から 300 m ほど内陸に位置する大きさ 600 × 450 m、水深 1~2 m ほどの湖沼である。1808 年以降の気象災害記録（厚岸町，2015）によると、調査地周辺では 1843 年十勝沖地震、1952 年十勝沖地震、1960 年チリ地震、1973 年根室沖地震そして 2003 年十勝沖地震による津波が襲来していると記録されている。さらに同記録によると、1879 年に高波によって浸水被害があったことが記されている。

床潭沼ではこれまでも古津波堆積物調査が行われており、17 世紀に千島海溝で発生した連動型地震による津波の痕跡やさらに古い年代の津波堆積物が見つまっている（七山ほか，2001；Sawai, 2002）。しかしながら、上述した 19 世紀以降の津波や高波による地質学的痕跡はいまだ報告されていない。

## 3. 方法

湖沼内で海岸線と直交する方向の 3 地点でジオスライサー（3 m 長）もしくはコアサンプラー（1 m 長）を用いて堆積物の採取を行った。採取後は、肉眼観察、写真撮影、はぎ取り試料の作成後、CT 写真、軟 X 線写真、粒度分析、含砂率の測定、Cs・Pb 測定、水溶性イオン分析およびテフラ分析を行った。

#### 4. 結果と考察

長さ 20 cm 程度の表層堆積物は主に黒色泥より構成されていた。CT 写真の結果、Location 1（最も海側）の堆積物からは 3 層、Location 2（湖沼中央）の堆積物からは 2 層の密度が高い層が識別されたが、Location 3（最も内陸側）の堆積物は一様に密度が低かった。密度の高い層で平均粒径が粗く、含砂率が高いことから、これらの層をイベント砂層とした。 $^{137}\text{Cs}$ 、 $\text{Pb}$  濃度の変動から砂層の対比を行ったところ、濃度が急激に低下する Location 1 の基底の砂層と Location 2 の 2 枚目の砂層が対比された。層序関係から判断し、合計 4 枚のイベント砂層（上位から、E1～E4）が見られた。

すべてのイベント層は内陸側には見られず、海側から湖沼中央付近に限られていた。また、2 地点のみの結果ではあるが、E2、E3 層は内陸方向に粒径が細粒化し含砂率が低下する傾向を示した。これらの結果から、堆積物中に含まれるイベント層は、津波や高波などによって海側から湖沼内に運ばれ形成されたと考えられる。

$^{137}\text{Cs}$  の濃度変化から砂層の年代決定を行った。 $^{137}\text{Cs}$  が 1950～1955 年に環境中へ初めて出現したことから、 $^{137}\text{Cs}$  濃度が検出されはじめる E3 層が 1952 年十勝沖地震津波により堆積した可能性が高い。さらに、層序関係から、E1 層を 1973 年根室沖地震、E2 層を 1960 年チリ地震、E4 層を 1843 年十勝沖地震に対比した。

#### 5. まとめ

CT 写真、粒度分析、含砂率、 $\text{Cs} \cdot \text{Pb}$  測定を用いることで、これまで認識されてこなかった津波の痕跡を識別することができた。これらの手法を組み合わせることで、他地域においてもこれまで見つからなかった津波堆積物の識別を行うことができる可能性があり、津波履歴のより詳細な理解へと繋がることを期待される。

#### 謝 辞

本研究の掘削調査では厚岸町海事記念館の皆様にご協力いただきました。1952 年十勝沖地震に関して厚岸町の室崎正之さんから有益な情報を頂戴しました。以上の方々に記して感謝の意を申し上げます。

#### 文 献

厚岸町、2015、新厚岸町史 資料編 2 日鑑記。厚岸町、1007p.

七山太、重野聖之、牧野彰人、佐竹健治、古川竜太、2001、イベント堆積物を用いた千島海溝沿岸域における津波の遡上規模の評価-根室長節湖、床潭沼、馬主来沼、キナシベツ湿原および湧洞沼における研究例-。活断層・古地震研究報告、**1**、251-272.

Sawai, Y., 2002, Evidence for 17th-century tsunamis generated on the Kuril-Kamchatka subduction zone, Lake Tokotan, Hokkaido, Japan. *Journal of Asian Earth Science*, **20**, 903-911.



## 宮崎県延岡市島浦島における津波堆積物

## Probable tsunami deposits at Shimanoura Island, Miyazaki Prefecture

山田昌樹（東京大学）・後藤和久（東北大学）・篠崎鉄哉（筑波大学）

千葉 崇（秋田県立大学）・藤野滋弘（筑波大学）

Masaki Yamada (The University of Tokyo), Kazuhisa Goto (Tohoku University)

Tetsuya Shinozaki (University of Tsukuba), Takashi Chiba (Akita Prefectural University)

Shigehiro Fujino (University of Tsukuba)

連絡先：山田昌樹 (yamadama@eri.u-tokyo.ac.jp)

## 1. はじめに

南海トラフで将来発生し得る最大クラスの超巨大地震 ( $M_w=9.1$ ) の想定震源断層域は、静岡県から九州地方東部の日向灘まで及んでいる（中央防災会議，2012）。1707 年宝永地震 ( $M=8.4$ ：南海トラフで過去最大規模) の破壊域が高知県足摺岬より西方まで広がっていた可能性が、大分県佐伯市の龍神池で発見された津波堆積物（岡村・松岡，2012）とそれに基づく数値シミュレーションにより示されている（Furumura et al., 2011）。しかしながら，中央防災会議（2012）が想定した宮崎県南部まで破壊域が及ぶ超巨大地震が過去に発生したことを示す古文書記録や地質学的証拠は見つかっていない。この原因として，九州地方東部沿岸地域に残された地震と津波に関する古文書記録が南海トラフ沿岸地域と比較して古い時代まで遡れないことに加えて，津波堆積物研究がほとんど行われていないことが挙げられる。そのため，南海トラフから宮崎県南部まで破壊域が及んだ超巨大地震が過去に発生していたのか否かを解明するためには日向灘地域における古地震・古津波研究が必要不可欠である。これまでに，宮崎県最南端の串間市において約 4600 年前の日向灘地震に伴う津波堆積物とその前後での地震性地殻変動が報告されているが（Yamada et al., 2019），宮崎県以南における津波堆積物研究はこの 1 件だけであるため，その地震の破壊域や発生頻度は未解明のままである。本研究では，津波堆積物データの空白域である日向灘地域において過去数千年間の地震・津波履歴を解明することを目的として，宮崎県最北端に位置する島浦島の沿岸湿地において津波堆積物掘削調査を実施した。

## 2. 結果

島浦島の北岸に位置する湿地において，GPS 測量機器による地形測量とハンディジオスライサーとハンドコアラーによる堆積物コア試料の採取を行った。標高 2 m 程度の湿地の外側には標高 6 m 程度の砂州が発達しており，湿地の大きさは幅約 250 m，奥行約 180 m である。合計 35 地点（湿地西端の測線上でジオスライサー 3 地点，ハンドコアラー 12 地点，測線外でハンドコアラー 20 地点）で採取した最大深度 3 m までの堆積物コアは，大部分が有機質泥で構成されている。最も内陸の地点を除く全てのコアの表層付近には，下位の有機質泥と明瞭な地層境界で区切られた細粒砂～極粗粒砂で構成される層厚 2～26 cm の砂層（以下，砂層 A）が認められる。砂層 A は内陸方向への薄層化と細粒化の傾向を示している。海岸線から約 90 m の地点でハンディジオスライサーを用いて掘削したコアに

含まれる層厚 23 cm の砂層 A (深度 20–43 cm) は、上記の堆積学的特徴に加えて、級化構造と偽礫の存在により特徴付けられる。別地点 (海岸線から約 145 m) のコアにおいて、砂層 A の下位から植物片を採取して放射性炭素年代を測定したところ、 $118.4 \pm 0.4$  pMC (modern) という結果が得られた。

表層に見られた砂層 A の下位にも複数の砂層が認められる。最も内陸の地点で採取した深度 2 m までのコアには 11 枚の砂層が見られるが、他の地点では 0–3 枚しか認められない。湿地中央部で採取した 4 つのコア (海岸線から 80–210 m) の深度 170 cm 付近に認められる砂層の直下から植物の種子を採取して放射性炭素年代を測定したところ、4240–4420 cal. yr BP–5270–5330 cal. yr BP という年代値が得られた。

### 3. 考察と今後の課題

砂層 A については、この湿地が以前は農地として使われていたことと下位から modern という放射性炭素年代測定結果が得られたことから、耕作土の基底部に敷き詰められた砂である可能性も否定できない。しかしながら、砂層 A が内陸方向へ向かって薄層化と細粒化の傾向を示しており、級化構造や偽礫などの現世の津波堆積物に見られる特徴を有していることを考えると、農地化の際に敷き詰められた砂というよりも海側からの海水の流入により形成されたと考える方が妥当かもしれない。まだ結論には至っていないが、仮にこの砂層が過去の津波により形成されたものであるとすれば、深度から考えて歴史時代に発生した地震に伴う津波堆積物である可能性が高い。砂層 A より下位に見られた複数の砂層については、コア間で枚数が異なり、またほぼ同じ深度で測定した放射性炭素年代値にも 1000 年程度の差があったため、現時点で先史時代の砂層を地点間対比するのは難しい。

今後は、砂層 A が津波堆積物であるかどうかを識別し、形成年代を特定することが必要である。追加調査を実施してこの砂層の平面分布を詳細に調べるとともに、地球化学分析と珪藻などの微化石分析を行い、過去の海水流入の証拠を検出したい。また、先史時代の砂層の側方対比に向けて、追加調査で採取するコア試料に対して粒度分析と放射性炭素年代測定を実施する予定である。

### 文 献

- 中央防災会議, 2012, 南海トラフの巨大地震の想定震源断層域. 1–11. [http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1\\_1.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/1_1.pdf).
- Furumura, T., Imai, K., Maeda, T., 2011, A revised tsunami source model for the 1707 Hōei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. *Journal of Geophysical Research*, 116, B02308.
- 岡村 眞, 松岡裕美, 2012, 津波堆積物からわかる南海地震の繰り返し. *科学*, 82, 182–191.
- Yamada, M., Fujino, S., Chiba, T., Goto, K., Goff, J., 2019, Redeposition of volcanoclastic sediments by a tsunami 4600 years ago at Kushima City, south-eastern Kyushu, Japan. *Sedimentology*.

## 三重県志摩市で見つかった歴史時代・先史時代の津波堆積物

## Historical and prehistoric tsunami deposits at Shima City, Mie Prefecture

藤野滋弘（筑波大学）・木村治夫（電力中央研究所）・小松原純子（産総研）・

松本 弾（産総研）・行谷佑一（産総研）・澤井祐紀（産総研）・宍倉正展（産総研）

Shigehiro Fujino (Univ. of Tsukuba), Haruo Kimura (Central Research Institute of Electric Power Industry), Junko Komatsubara (AIST), Dan Matsumoto (AIST), Yuichi Namegaya (AIST),

Yuki Sawai (AIST), Masanobu Shishikura (AIST)

連絡先：藤野滋弘 (shige-fujino@geol.tsukuba.ac.jp)

南海トラフを波源とする津波の発生履歴を明らかにするために三重県志摩市の沿岸湿地で機械ボーリングとハンドコアリングによる掘削調査を行った。その結果約 4500–500 年前に堆積した有機質泥層中に 10 層の砂層が見つかった。有孔虫や巻貝、二枚貝などの海生生物の遺骸を多く含み、現世津波堆積物と共通する堆積構造を示すことから、本調査地で見つかった砂層を津波堆積物と解釈した。三重県を含むいわゆる東南海地域では永長地震津波（1096 年）、明応地震津波（1498 年）、宝永地震津波（1707 年）、安政東海地震津波（1854 年）、昭和東南海地震津波（1944 年）によって被害が発生したことが文書に記されており、この調査地が安政東海地震津波で浸水し砂が堆積したことも記録されている。本調査地で見つかった砂層の内、上位 3 層の年代値は明応地震津波、永長地震津波、白鳳地震津波（684 年）に重なる。白鳳地震とそれに伴う津波による被害は四国などで記録されているが、紀伊半島より東の地域に関しては記録が無い。東海地方の遺跡で見つかった地割れや液状化などの痕跡から、白鳳地震の破壊域が東南海地域にまで及んでいたか、白鳳地震前後に別の地震が東南海地域で発生していたと考えられている（e.g. 寒川, 2009）。本研究の結果はこの地震考古学の仮説を支持する。一方、破壊域が東南海地域にまで及んでいたとも言われる仁和地震（887 年）や正平地震（1361 年）の津波の痕跡は見つからなかった。仮に、上位 3 層の砂層が明応、永長、白鳳地震津波によるものであり、かつ仁和、正平地震津波がこの地域に及んでいなかった場合、7–15 世紀の東南海地域における津波の再来間隔は約 400 年となる。また、調査地における先史時代の津波堆積物の年代間隔も 100–600 年程度でばらついていて、このことは南海トラフでは 100 年前後の一定の間隔で地震・津波が発生する、という一般に広く信じられている説と一致しない。一部の津波の痕跡が地層から失われている可能性もあるため、南海トラフにおける地震・津波の再来間隔については今後さらに検証する必要があるが、一定の再来間隔という先入観を持たないことが必要である。

## &lt;文献&gt;

寒川 旭, 2009, 遺跡が語る巨大地震の過去と未来 –境界領域「地震考古学」の開拓–. シンセシオロジー, **2**, 91–100.

## 表層堆積物再懸濁：地震性タービダイトの一つの形成プロセス

Surface sediment remobilization: a process to form the earthquake-induced turbidite

池原 研（産業技術総合研究所）・金松敏也（海洋研究開発機構）・

宇佐見和子（東京大学大気海洋研究所）

Ken Ikehara (Geol. Surv. Japan, AIST), Toshiya Kanamatsu (JAMSTEC),

Kazuko Usami (AORI, Univ. Tokyo)

連絡先：池原 研 (k-ikehara@aist.go.jp)

巨大地震発生時には混濁流の発生とタービダイトの形成が知られており、地震性タービダイトを用いた地震履歴の検討が世界各地で試みられている。1929年グランドバンクの斜面域における地震時の海底斜面崩壊の発生とそれに伴う混濁流の発生と海底ケーブルの連続的な破断並びに斜面基部でのタービダイトの堆積の報告 (Heezen and Ewing, 1952) は有名であり、地震時の海底斜面崩壊の末端相としてのタービダイトの形成は広く知られているところである。一方近年、最近の巨大地震で形成されたと考えられるタービダイトに表層堆積物起源の証拠が見つかった。例えば、チリの湖での有機物含有量や堆積物の色調 (Moernaut et al., 2017)、日本海溝域の放射性同位元素 (Oguri et al., 2013; Ikehara et al., 2016; McHugh et al., 2016 など) などである。これらのプロキシは表層堆積物のそれと類似し、海底下の堆積物の混入が少ないことを示唆する。しかし、このような表層堆積物の再移動が地震時に普遍的に発生しているかについての証拠はまだ十分でない。また、地震直後に通常よりも濁った深層水や海底直上水が形成されたことが観測されたり (Noguchi et al., 2012; Ashi et al., 2014)、地震動による海底表面の再懸濁・再堆積現象が観察されたり (Oguri et al., 2016) しているが、これらの再懸濁・再堆積がどのような堆積物を形成するか、タービダイトを形成するかについてはまだ十分な証拠が得られているとは言い難い。2011年東北地方太平洋沖地震では、三陸沖の広い範囲でイベント堆積物の形成が確認された (Ikehara et al., submitted)。これらの一部はタービダイトの構造を持つが、イベント堆積物は長距離輸送の証拠に乏しいものが多い。また、放射性同位元素からは表層堆積物の再堆積が指示されている。このことは巨大地震時に表層堆積物の再堆積が広範囲で発生し、その一部はタービダイトを形成することを示唆する。

一方、九州西方日向灘の前弧域の小海盆から採取されたピストンコア試料には多数の細粒タービダイトの挟在が確認された。タービダイト泥中並びにタービダイト間の半遠洋性泥中の有機炭素の放射性炭素年代値は非常に近似しており、タービダイト泥が海底表面近くの起源であることを示した。このことは表層堆積物の再懸濁・再堆積が日向灘海域でも頻繁に発生していたことを示唆し、地震による現象である可能性を示唆する。

文献：Ashi, J. et al., 2014, EPS, 66, 1-9. Heezen, B.C. and Ewing, M., 1952, Am. J. Sci., 250, 849-873. Ikehara, K. et al., 2016, EPSL, 445, 48-56. McHugh, C.M. et al., 2016, Geology, 44, 391-394. Moernaut, J. et al., 2017, Mar. Geol., 384, 159-176. Noguchi, T. et al., 2012, G3, 13, Q11003. Oguri, K. et al., 2013, Sci. Rep., 3, 1915, doi:10.1038/srep01915. Oguri, K. et al., 2016, J. Oceanogr., 72, 151-166.

白保竿根田原洞穴遺跡に分布する人骨・遺物の 3 次元分布とその堆積過程  
 Three dimensional distributions and depositional processes of Paleolithic human  
 bones and remains in the Shirahosaonetabaru Cave Site,  
 Ishigaki Island, southwest Japan

伊藤百花・石原与四郎（福岡大学理学部）・  
 土肥直美（元琉球大学）・片桐千亜紀（沖縄県立埋蔵文化財センター）  
 Momoka Ito, Yoshiro Ishihara (Fukuoka University),  
 Naomi Doi (Ryukyu University), Chiaki Katagiri (Okinawa Prefecture)  
 連絡先：石原与四郎 (ishihara@fukuoka-u.ac.jp)

## 1. はじめに

白保竿根田原洞穴遺跡は、沖縄県の石垣島南東に位置する白保海岸から約 800 m 内陸側、標高 30 m 付近の段丘斜面に分布する洞窟遺跡である(沖縄県立埋蔵文化財センター, 2017a, b). 本遺跡は、白保海岸から内陸側に形成された隆起サンゴ礁地形からなる石灰岩に形成された洞窟中に形成された洞窟遺跡で、細粒な洞窟堆積物中に 28,000 年前のものを含む 19 体分以上の旧石器人骨が認められている(沖縄県立埋蔵文化財センター, 2017b). 遺跡の堆積物は、(1)落盤礫、(2)落盤再堆積相、(3)洞口斜面～洞窟平坦面相、(4)洞窟凹凸充填相、(5)津波堆積物等からなり、人骨・遺物は洞口斜面～洞窟平坦面相に含まれる。本遺跡の人骨・遺物は洞窟堆積物中に散点的に認められることから、当初流れ込みであると考えられてきたが(沖縄県立埋蔵文化財センター, 2013)、その後の調査では解剖学的位置を保った旧石器人骨が認められるなど墓としての利用の可能性が示唆された(片桐ほか, 2017)。

本遺跡の発掘調査では、人骨・遺物の位置座標がその都度計測されており、取り上げられたそれらの堆積物中での 3 次元位置座標を堆積過程とともに検討できるようになっている。本研究では、これらの人骨・遺物の空間分布の特徴と堆積過程について検討した結果を報告する。

## 2. 旧石器人骨・遺物を含む堆積物

旧石器人骨を含む堆積物は下位の落盤礫もしくは洞窟凹凸充填相を覆い、約 1 m 程度の層厚を持つ。細粒な粘土～シルトの基質に遺物、石灰岩や鍾乳石の礫、鉄・マンガン酸化物の小粒子等をわずかに含む。基質の細粒分含有率はほぼ 90%以上で、細粒粒子は 10  $\mu\text{m}$  前後、1  $\mu\text{m}$  以下に 2 つのピークが認められる。露頭においてはほぼ塊状で明瞭な堆積構造はない。また、稀に認められる粒子配列は考古学的に区分された層序区分と調和的で、おおよそ洞口から続くとみなせる緩い傾斜をなす。堆積速度は約 25 cm/1000 年と遅く、有機炭素の含有量も通常の土壌に比べて低い。これらの堆積物中には顕著な侵食面や水流による堆積物は認められず、基本的には洞口からのレス等の流入や天井の落盤、また、洞窟内での生成物に起源を持つと推定される。これらの堆積物の特徴や分布からは、洞口から続く斜面およびその先に連続する平坦面の堆積物であることが示唆される(沖縄県立埋蔵文化財センター, 2017b)。

### 3. 旧石器人骨・遺物の3次元分布

人骨、遺物は、その位置座標、長骨である場合にはその両端の座標のほか、属性情報として人骨の身体部位や遺物の種類(岩石の種類、動物骨の種類など)が記録されている。これらの空間分布について検討した結果、以下のようなことがわかった。(1)遺物のうち、動物骨と岩石は二箇所の集中点を除いては分散して分布するとともに、面的で地層区分と調和的な広がりをもつ。(2)人骨はいくつかの集中部が認められ、一部を除いては面的な広がりや地層区分との関係は不明瞭である。(3)人骨の長骨の向きは、解剖学的位置を比較的保ったものは集中する傾向があるが、比較的小さく分散したものは、特定の方向を示さない。

人骨の産状では、鉄・マンガン酸化物の付着の状況と、個体識別がなされた身体部位の分布も検討した。鉄・マンガン酸化物の付着は、それらに軟体部が残されている段階で、水を含んだ洞窟の土壌中に浅く埋もれているとき、微生物による軟体部の分解の際に形成された還元環境で溶け出した鉄およびマンガンイオン、あるいは土壌中に含まれる水に可溶性重炭酸マグネシウムが、二酸化炭素の脱ガスや蒸発、また微生物活動の停止による酸化環境への移行によって骨の表面に沈殿したものと考えられる(たとえば、López-González et al., 2006)。このため、この付着の有無は人骨が土壌表層部にあったか否かを示唆する。

解剖学的位置が保たれた人骨では基本的に下位に分布する人骨にのみこれらの付着が見られた。これらは身体部位も復元できる程度に集中しており、人体が配置されてからほぼ移動がなく下位から徐々に埋没していったことが推測される。一方、他の人骨の集中部ではほとんどこれらの酸化物の付着が見られない場合や、同層準に付着した骨と付着しない骨が隣り合って混在する場合などが認められた。前者は土壌に埋没する前に軟体部が分解された可能性、後者は埋没後に再移動があった可能性が示唆されるが、いずれも身体部位の分布が比較的散らばっていることとも整合的である。人骨・遺物の分布は、堆積物の産状と整合的であるとともに、その堆積・埋没過程を明らかにする上でこのような情報が極めて有効であることを示唆する。

#### 文献

片桐ほか, 2017, 科学, 87, 559-564.

López-González et al., 2006, *Journal of Archaeological Science*, 33, 707-717.

沖縄県立埋蔵文化財センター, 2013, 白保竿根田原洞穴遺跡-石垣空港建設工事に伴う緊急発掘調査報告書-沖縄県立埋蔵文化財センター調査報告書第65集, 265p.

沖縄県立埋蔵文化財センター, 2017a, 白保竿根田原洞穴遺跡-重要遺跡範囲確認調査報告書1 事実報告編-沖縄県立埋蔵文化財センター調査報告書第85集, 136p.

沖縄県立埋蔵文化財センター, 2017b, 白保竿根田原洞穴遺跡-重要遺跡範囲確認調査報告書2 総括報告編-沖縄県立埋蔵文化財センター調査報告書第86集, 201p.

## 沖縄県久高島の沿岸巨礫分布に基づく台風・波浪の最大強度推定

### Numerical estimation for the maximum intensity of the past typhoon and storm waves constrained by coastal boulders at Kudaka Island, Japan

南館健太（東北大学大学院理学研究科）・後藤和久（東北大学災害科学国際研究所）・渡部真史（東北大学大学院工学研究科）・Volker Roeber（ハワイ大学, ポー・エ・デ・ベイ・ド・ラドゥール大学）・渡久地健（琉球大学）・三納正美（日本ミクニヤ株式会社）・中島洋典（有明工業高等専門学校）・菅浩伸（九州大学大学院地球社会統合科学府）

Kenta Minamidate (Graduate School of Science, Tohoku University), Kazuhisa Goto (International Research Institute of Disaster Science (IRIDeS)), Masashi Watanabe (Graduate School of Engineering, Tohoku University), Volker Roeber (Hawaii University, Université de Pau et des Pays de l'Adour), Ken Toguchi (Ryukyu University), Masami Sannoh (Mikuniya Corporation), Hironori Nakashima (NIT, Ariake College), Hironobu Kan (Graduate School of Integrated Sciences for Global Society, Kyushu University)

連絡先：南館健太 (kenta.minamidate.t7@dc.tohoku.ac.jp)

#### 1. はじめに

台風は、地球上で起こるエネルギーの大きい気象現象の一つである。台風によって引き起こされる高潮・高波は、沿岸の生物環境を脅かし、侵食・堆積によって地形自体を変化させることもある。しかしながら、台風およびそれに付随する波浪イベントは、沿岸部の地質記録には直接残りづらいため、観測記録を超える数百年、千年オーダーで規模を復元する手法は確立されていない。そのため、超長期の台風および波浪の最大強度を復元することが重要である。

過去の波浪イベントの頻度や強度を記録するプロキシとして有用性が指摘されているのが沿岸巨礫である（例えば、Goto et al., 2009）。特に、サンゴ礁地域に存在する沿岸巨礫の分布は、リーフ上の波浪変化に強く依存している。本研究では、沖縄県久高島の沿岸巨礫の分布を制約として、数値シミュレーションを用いて過去千年オーダーにおける最大波および台風を推定することを目的とした。

#### 2. 手法

久高島に存在する巨礫群は、内陸細粒化を示しながら礁嶺から礁池の沖側斜面にかけてのみ存在し、礁縁から数百 m 離れた海岸付近には存在しない（Goto et al., 2009）。これらの巨礫群は、過去のある時期に打ち上げられ、その後も繰り返し襲来した高波の累積的な影響を受けて移動を繰り返すことで、現在の分布を形成したと考えられる。つまり、現在の巨礫分布を崩し、数百メートル内陸の海岸付近まで移動させる波力を持つ大波は、津波を含めこれらの巨礫が打ち上がって以降発生していないと言える。このことから、現在の巨礫分布は、巨礫打ち上げ以降の最大波により形成されたと仮定でき、数値計算の制約条件として与えることで、その規模を推定できる。

本研究ではまず、拡張型ブシネスクモデルである BOSZ モデル（Roeber et al., 2010）を用いて高波

の一次元波浪計算を行った。また、波浪場の計算と同時に、堆積物の運搬・堆積に関する計算式も組み合わせた巨礫移動計算を、合計 133 ケースの入射波条件で行った。次に、流体シミュレーション (Delft3D) と位相波浪シミュレーション (SWAN) を組み合わせ、流速分布と高潮の効果を含めた波浪場を計算した。台風の気圧場と風場を推定するにあたり、台風の経路と中心気圧から算出する Holland (1980) のパラメトリックモデルを用いた。

### 3. 結果および議論

高波の遡上計算では、水深が十分に深いところでは波が変形せず、礁斜面に達すると波の波長が短くなり波高が高くなるという、いわゆる浅水変形が起きた。また、礁縁付近で砕波したのちに礁原上で波高が単調に減衰した。133 ケースの巨礫移動計算結果から、実際の巨礫分布を最も説明できる入射波の有義波高とピーク周期 (波浪スペクトルのピーク) の条件を推定した。

次に、台風・高潮シミュレーションから、台風の強度が増すほど高波の波高と周期はともに大きくなる結果となることがわかった。この計算結果と、巨礫分布から求まる最大波の条件を照らし合わせることで、最大波を生成しうる台風の強度を求めた。

これらの計算により推定された過去に久高島に襲来した最大波および台風の条件は、観測史上最大よりも大幅に強い強度であることがわかった。一方で、推定された台風は、同緯度で過去に観測された台風 6118 号と同等の強度であり、十分推定されうる規模のため、今回の推定結果は妥当であると言える。また、本結果は、過去千年オーダーの期間においても、現在の環境から気象学的に想定しうる気候環境だったことを示唆している

#### 文献

Goto, K., Okada, K., and Imamura, F., 2009, Characteristics and hydrodynamics of boulders transported by storm waves at Kudaka Island, Japan: *Marine Geology*, **262**, 14–24.

Holland, G.J., 1980, An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes: *Monthly Weather Review*, **108**, 1212–1218.

Roeber, V., Cheung, K.F., and Kobayashi, M.H., 2010, Shock-capturing Boussinesq-type model for nearshore wave processes: *Coastal Engineering*, **57**, 407–423.



## 河口堆積物形成における洪水流の役割：東京湾多摩川河口干潟

## Flood-discharge impact on the formation of river-mouth deposits:

## Tama River sandy flat, Tokyo Bay

村山正樹・西田尚央・大本拓輝・真山茂樹・藤本光一郎（東京学芸大学）

Masaki Murayama, Naohisa Nishida, Hiroki Omoto, Shigeki Mayama, and Koichiro Fujimoto  
(Tokyo Gakugei University)

連絡先：西田尚央 (nishidan@u-gakugei.ac.jp)

一般に、潮汐の影響を受ける河川では、河川流とのバランスの空間変化に対応して多様な堆積物が形成されることが知られている。特に、潮汐作用の影響が大きい河口域においては、砂と泥が規則的に重なるいわゆる「潮汐堆積物」の形成で特徴づけられる。しかし、それらが形成されるのは、十分に泥が供給され、潮位差が大きいことが条件である。一方、日本の河川は、平常時の泥の供給量が少なく、潮位差も大きくないのが一般的である。近年、そのような日本の河口域において、洪水流にともなって供給される泥が堆積物形成に大きな影響を与えることがわかってきている（西田・伊藤，2011；山下ほか，2011）。しかし、検討例に限られるため必ずしも十分な理解が進んでいるとはいえない。本研究の主な目的は、東京湾に面する多摩川河口干潟を例に、台風通過による増水直後の表層堆積物の特徴や、ハンディジオスライサーを用いて採取したコア試料の特徴を検討することで、河口堆積物形成における洪水流の役割を明らかにすることである。

本研究では、多摩川河口域の右岸（川崎市）に発達する砂質干潟を対象として、2017年10月の台風21号通過に伴う増水直後におおよそ等間隔の56地点で、表層堆積物の状態を観察した。また、より上流側に500mまでの範囲の20地点において、ハンディジオスライサーを用いて長さが最大およそ1mのコア試料を採取し、岩相の特徴を検討するとともに、深度方向に1cm間隔で2cm単位の堆積物試料を採取し、粒度分析、珪藻分析、鉱物組成解析を行った。

増水直後の干潟表層には、厚さが4–51mmで一部に多量の植物片を含む泥が広く堆積していることが観察された。この泥は、岩相の特徴からfluid mudであると考えられる。また、淡水生珪藻が認められることや、鉱物組成が石英、アルバイト、クロライト、マスコバイトで主に特徴づけられ、東京湾内に存在するスメクタイトが認められないことは、上流側から供給されたことを示す。特に、水位変動の特徴や、過去の増水時のサスペンション濃度の記録をふまえると、満潮と多量のサスペンションの供給が重なることが、fluid mudの形成条件として重要と考えられる。また、このような泥質堆積物の上位に重なる砂質堆積物の厚さの経時変化に注目すると、4ヶ月間で正味1cm以内の増加であった。一方、コア試料は、砂質堆積物を主体として一部に厚さが15–50mmの泥質堆積物が散在的に挟在することが認められた。岩相の特徴に基づくと、それらはfluid mudであると考えられる。また、淡水生珪藻を含むことや鉱物組成の特徴から、増水直後に認められたfluid mudと同様のプロセスで形成されたと考えられる。したがって、従来の検討例もふまえると、洪水流に伴って供給される泥や砂が、河口域における堆積物の形成と保存に大きな役割を果たすと同時に、平常時はそれらの再移動や侵食が卓越することが理解される。

## &lt;引用文献&gt;

西田尚央・伊藤 慎，2011，堆積学研究，70，3–14. 山下翔大・中条武司・西田尚央・成瀬 元，2011，堆積学研究，70，81–92.

長野盆地南部の考古学遺跡から発見される西暦 888 年の洪水堆積物  
Flood deposits in 888 AD on southern part of the Nagano Basin,  
central Japan

保柳康一（信州大学理学部）内山しおり（信州大学大学院総合理工学研究科）

Koichi HOYANAGI, Shiori UCHIYAMA, (Shinshu Univ.)

連絡先：保柳康一 (hoya101@shinshu-u.ac.jp)

## 1. はじめに

長野県から新潟県に流れる千曲川・信濃川は、日本最長の河川である。千曲川は長野県内における呼称で、長野・山梨・埼玉県の県境の付近を源流とし、佐久盆地、上田盆地を流れ長野盆地に達して松本盆地を流れてきた犀川と合流し、新潟県境で信濃川となる。この河川はこれまで氾濫で多くの水害を起こしているが、長野県内における歴史的洪水として記録されているのが、江戸時代末（西暦 1847 年）の「善光寺地震洪水」、江戸時代（1742 年）の「戌の満水」そして平安時代（888 年）の「仁和の洪水」である。戌の満水が台風による豪雨が原因であるのに対して、善光寺地震洪水と仁和の洪水は天然ダムの決壊洪水である。仁和の洪水によって堆積したと考えられている洪水砂層は、上田盆地、長野盆地において平安時代の遺物を覆って堆積しているのが、埋蔵文化財の発掘の際に見出される（川崎，2000）。砂層は長野盆地では厚さ最大 2 m 以上に達する。この洪水の原因となった堰き止め湖は千曲川上流の八ヶ岳に源流をもつ大月川を流れ下った岩層なだれ（大月川岩層流）によって作られたとされる（河内，1983）。さらに、石橋（1999）は、大月川岩層流が 887 年の仁和地震に原因があり、千曲川が堰き止められて出現した巨大な天然ダムがおおよそ 1 年後に決壊し、発生した洪水が上田盆地、長野盆地を襲った可能性を指摘している。この研究では、長野盆地南部の千曲市北部と長野市南部の塩崎周辺の遺跡発掘によって見出された 888 年の洪水によると考えられる砂層の堆積学的特徴から、この洪水堆積物の運搬・堆積機構を考察する。

## 2. 洪水前の土地利用

洪水砂の下位の地層は、多くの場合、水田耕作土もしくは水田の畦である。千曲川右岸の千曲市屋代の洪水砂層は 2 m の厚さがあり、水田や畦をそのまま覆っている。発掘時の記録によれば水田面の足跡も削られることなく保存されている（市川，1992）。また、洪水砂の底面付近には伏せられた陶器の皿が散在している。ただし、いくつか



の皿は上向きで、徳利様の陶器も見出される。一方、千曲川左岸の長野市篠ノ井塩崎の洪水砂層は、自然堤防上の住居跡を覆っている。さらに南西の石川条里遺跡、長谷鶴前遺跡（千曲市稲荷山との境界近く）では、水田の耕作土と畦を覆っている（位置図参照）。このように左岸のやや小高い自然堤防部は、弥生時代から居住区となっており、その西側に広がる氾濫原は水田として利用されていたが、888年の洪水砂層はこの両者を覆って堆積している。

### 3. 洪水砂の堆積構造が示す洪水の特徴

上述の4カ所の遺跡いずれからも、その堆積年代から仁和の洪水によるものと考えられる砂層が発見されている。千曲川右岸の千曲市屋代の洪水砂層は、砂層に埋もれている平安期の陶器類の存在によって、仁和の洪水砂層とされる。層厚は2 mを越え、陶器類を含む最下部で逆級化構造を示し、その上位に2回の正級化を繰り返す複級化構造をもっている。最下部の逆級化構造と陶器の埋もれ方は、洪水初期に洪水流がゆっくりとした水位の上昇を伴い、それに続いて強い流れの洪水本体が流下したことを示している。

千曲川左岸の自然堤防堆積物上(加藤・赤羽, 1986)にある塩崎遺跡から発見される砂層は、平安期の住居跡を覆うことから、仁和の洪水砂層と考えられている。ここでは、1回の正級化を示す層厚50 cm以下の砂層からなっている。千曲川左岸の自然堤防より西側には、新第三紀中新世の裾花凝灰岩からなる山地の直下まで氾濫源堆積物が広がっている(加藤・赤羽, 1986)。ここには石川条里遺跡とその南西に位置する長谷鶴前遺跡があり、いずれの遺跡でも平安期の水田を覆う洪水砂層が見出され、仁和の洪水砂層とされている。石川条里における洪水砂層の詳細を検討する機会は得られなかったが、長谷鶴前遺跡では、4カ所の発掘現場で仁和の洪水砂層を確認、さらに試料を採取して粒度分析などをおこなった。洪水砂層は50 cmから1 mで、多くの場合2回の正級化を持つ砂層からなっている。ただ、最も西側の1地点だけ、厚さ1 mの1回の正級化砂層からなっている。

このような、左岸における洪水砂層の級化構造の違いが何に起因するかは、今のところ分からない。砂層上部が後の耕作により、失われている可能性もある。しかし、右岸左岸とも、多く砂層が2回の正級化を示すことから、洪水流はやや間をあけて少なくとも2度来襲していることは確かである。また、右岸側では最下部に明瞭な逆級化を持つが、左岸側では1カ所のみで若干逆級化的な粒度変化をするが、右岸側ほどははっきりとした逆級化を示さない。このことは、左岸側では、洪水初期の水位上昇期を伴わず、直接洪水流本体が到達した可能性があることを示している。また、洪水砂層がいずれも正級化構造を持つことから、洪水後に湖沼のような停滞水塊が残されたと考えられる。

### 引用文献

加藤 碩一, 赤羽 貞幸, 1986, 5万分の1地質図幅「長野地域の地質」120p.

河内 晋平, 1983, 地質学雑誌, 89, 599-600.

川崎 保, 2000, 長野県埋蔵文化財センター紀要, 8, 39-49.

石橋 克彦, 1999, 地学雑誌, 108, 399-423

市川 隆之ほか, 1992, 長野県埋蔵文化財センター年報, 8.

### 研究協力

(財)長野県埋蔵文化財センター

## 小・中学校のための堆積学的教材データベースとネットワークの構築

### Establishment of a database and a network focusing on sedimentological learning materials for science education on elementary and junior high schools

宇津川喬子（立正大学地理学科）

Takako UTSUGAWA (Rissho University)

連絡先：宇津川喬子(tk-utsugawa@ris.ac.jp)

#### 1. 背景

発表者は、大学院在学中より小・中学校での理科教育に、堆積学的な教材をどのように活用するか検討する機会に触れ、現職場での経験を経て、堆積学的な教材の活用を具体的に考え始めている。本発表では、現在検討中の教材データベースの概要を紹介し、その構築に必要な情報提供を呼びかける。

2020年から実施される小学校学習指導要領「理科」では、「野外に出かけ地域の自然に親しむ活動や体験的な活動を多く取り入れる」（文部科学省，2017a），また、翌2021年から実施される中学校学習指導要領「理科」では、「身近な地形や地層・岩石などの観察については、学校内外の地形や地層，岩石などを観察すること」「観察・実験・野外観察などの体験的な学習活動の充実に配慮すること」（文部科学省，2017b）と述べられている。しかし、現在の教育現場ではいわゆる教材研究に十分な時間を割くことが難しく、教科書や参考書の内容，すなわち画一的な内容を主軸に授業が構成・展開されやすいと考えられ、2020年以降も大きく状況が変わるとは言い難い。

近年、地学の啓蒙活動と地域活性を目的としたジオパークの台頭や、アクティブラーニング導入の全国的な意識向上などによって、地域で行う理科活動が活発化に向かう傾向はあるといえる。教育大学などでは、地域の児童・生徒を対象とした野外地層観察学習が行われており（例えば、香西ほか，2016），効果も期待されるが、実際に野外で学習をできる機会のある学校は少ないといえる。同じく教育大学では、教員志望の学生を対象とした野外地層観察学習の実践教育が行われており（例えば、高橋，2017），将来的な効果は期待できるものの、即時的な効果があるとは言い難い。残念ではあるが、実際に野外に赴くことは難しくても、教室内で地学学習ができるような環境を整備する必要があるといえる。

本発表では、こうした背景を踏まえ、今後実施が望まれる“地域に根ざした地学学習”に適した教材を研究界から提供する必要性と現時点で考えているその仕組みを紹介する。

#### 2. 教材データベースとネットワーク構想

発表者が考える教材は、理科学習（地学分野）のなかでも堆積学に関わる内容、具体的には各地域で観察される地層（露頭）や実際の河川や海浜などの堆積物の解説、関連した実験（水路や風洞など）の画像や映像である。既に公開されているものもあるが、情報が散在している点や地学を専門としない教員にとって専門用語の難解さは効率の良い教材研究に繋がっているとは言い難い。何より、その地域に関連した情報が入手できるとは限らない。そこで、上述の例で示したような情報を集約したデータベースの構築と、小・中学校教員と情報提供者（研究者）とを結びつけるネットワーク（相談

窓口) の構築を考えている。

この教材データベースのコンセプトは「すぐ授業で使えるようにすること」である。小・中学校教員の教材研究においてインターネットは欠かせないツールとなっていることから、電子シームレス地図を活用したジオサイト分布マップを主軸とし、小・中学校の児童・生徒を意識したわかりやすい解説や、ダウンロード可能な画像や映像のリンクを設ける。

こうした教材提供を研究者が行うことは、学習内容の信ぴょう性や新規性という点で大きな意義があると考えられる。また、質の高い地学学習に小・中学校の段階からふれさせることは、その先の中等・高等教育まで興味・関心を広げていく契機を与えるという点でも重要である。

## 参考文献

- 香西 武・川真田早苗・新延貴弘・吉川武憲・廣田将義・福田智亮・松本 卓・寺島幸生, 2016. 鳴門教育大学授業実践研究, 15, 87-89.
- 高橋典嗣, 2017. 武蔵野教育學論, 2, 57-68.
- 文部科学省, 2017a. 小学校学習指導要領理科.
- 文部科学省, 2017b. 中学校学習指導要領理科.

## 鳥取層群からの断層で隔てられた堆積盆境界の発見とその意義

## Discovery of faulted basin margin from the middle Miocene Tottori Grope, Tottori Prefecture, Southwest Japan and its significance

丸山祐太（島根大学大学院）

Yuta Maruyama (Shimane University)

yuuta4645@gmail.com

山陰地方には湾入部と呼ばれる、ほぼ南北から、北東-南西方向に伸びる中新世の堆積盆が存在しており、それらを日本海拡大に伴って形成されたオラーコジン、西南日本の回転以前に拡大軸に平行に割れた盆地、と見なすアイデアが出されているが、その発達については未解明のままである。こうした盆地の形成を正しく理解することは、日本海拡大に伴う堆積盆の発達、ひいては日本海の拡大に伴う西南日本の変形を正しく理解することにつながる。これらの盆地の発達が未だ理解されずに至っている理由は、こうした盆地を埋める地層に対する堆積地質学的研究、年代学的研究が少ないためである。とくに、盆地の特性や発達を理解するためには、盆地を埋める地層の縁辺部における地質情報が欠かせない。

鳥取県東部には鳥取湾入部とよばれるほぼ南北に延びる盆地を埋める地層がある。この湾入部を埋める地層は、島根県側の湾入部とは異なり、大規模な火山岩の貫入を被っていない。このため、湾入部と呼ばれる盆地の発達を理解するためには最適の地層である。そこで、この研究では鳥取層群の地質調査を行うとともに、一般的な堆積地質学的手法（堆積相解析）を適用して、鳥取層群南東部の縁辺部分の地層（岩美層）の堆積環境の復元を行った。

調査対象とした鳥取層群・岩美層はさらに円通寺礫岩砂岩部層、普含寺泥岩部層からなり、普含寺泥岩部層はさらに淡水成の泥岩と海成の泥岩からなる。これまでの調査で、従来は不整合と扱われてきた基盤岩との境界、あるいは基盤岩周辺の地層内部に、比較的変位量が大きいと推定される断層が見つかった。さらに、断層の活動時期を制約することができた。この断層の西には河原火山岩部層由来と思われる礫を含む礫岩と河原火山岩部層の大礫が孤立して含まれる泥岩が見られた。泥岩中の大礫は斜面からの崩落によるものと判断され、泥岩の堆積中にはすぐ近傍に斜面があったと判断される。このほか、崖錐堆積物と判断できる砂礫岩も断層周辺に確認された。この断層の破砕帯では下位の八頭層・河原火山岩部層の岩石が変形を受けているため、河原火山岩部層の堆積後、泥岩の堆積前にはこの断層が活動をはじめており、断層の西側が相対的に沈降して湖が形成されたと考えられる。また、斜面の存在を示す小規模なスランプ構造が見られ、西方向への斜面の傾斜が確認されたため、このほかの鳥取層群の東縁の一部についても断層の存在が強く疑われる。

今回の研究で鳥取層群が埋めた堆積盆の少なくとも東縁は複雑な断層活動によって形成されたことが示された。今後、鳥取層群の研究を行い、堆積盆の形成を理解することで、日本海拡大に伴う堆積盆の発達を理解できると考える。なお、この調査は山陰海岸ジオパークの支援を受けて調査を行った。

## 淡路島南西海岸部に分布する上部白亜系和泉層群の堆積環境

## Depositional environments in the Upper Cretaceous Izumi Group in southwest coast of the Awaji Island, southwest Japan

奥田朱音・成瀬 元 (京都大学)

Akane Okuda and Hajime Naruse (Kyoto Univ.)

連絡先：奥田朱音 (okuda.akane.82x@st.kyoto-u.ac.jp)

## 1. はじめに

上部白亜系和泉層群は、中央構造線に沿ってその北側に南北 10 数 km の幅で愛媛県松山市から紀伊半島和泉山脈まで東西約 300 km にわたって分布する。本層群は、後期白亜紀における中央構造線の左横ずれ運動に伴って形成されたプリアパート堆積盆と考えられており（例えば、市川ほか，1981），堆積盆の発達に伴いその堆積の中心は段階的に東へ移動していったと解釈されている（市川ほか，1981；Tanaka, 1989）。和泉層群は岩相と地質構造に基づき、1) 分布域の北縁に沿って分布し、主に厚い礫岩および泥岩層によりなる浅海性の非タービダイト相の北縁相、2) 堆積盆の主埋積体であり、砂岩、泥岩、および礫岩の互層で構成される主部相、3) 分布域の南縁に散在的に露出し、厚い礫岩、砂岩、泥岩よりなる非タービダイト相の南部相の 3 つに大きく区分される（市川ほか，1979；Morozumi, 1985）。淡路島南部に分布する和泉層群は、アンモナイト化石や放射虫化石に基づいた生層序学的研究（Morozumi, 1985；山崎，1987），そして古地磁気層序の検討（小玉，1990）が知られている。しかし、淡路島南部での堆積環境を詳細に復元した研究は行われていない。そこで、本地域の詳細な堆積相解析を行い、堆積環境の復元を試みた。

## 2. 堆積相

本研究は、淡路島南西部の海岸部に好露出する北縁相の西淡層、主部相の阿那賀層および北阿万層を調査地域とした。調査の結果、以下の 4 つの堆積相を認定した。

堆積相 I は、円磨の良い大礫岩層で、層厚 100 m 程度である。明瞭な級化構造は見られず、礫の淘汰がよいこと、半遠洋性泥岩など海成層の特徴を示す堆積物が狭在しないことから、陸上の沖積扇状地の堆積物と解釈される。

堆積相 II は、礫質砂岩、礫質シルト岩の等量互層から成り、しばしばスランプ構造を伴う。層厚は最大 150 m である。礫質砂岩の下面にはフルートキャストが見られ、礫質タービダイトと解釈される。礫質シルト岩には葉理構造が見られず、大型の礫がシルト中に散在する産状を示すことから、水中土石流堆積物と解釈される。高頻度で水中土石流堆積物が混在し、タービダイトも粗粒な堆積物で構成されていることから、堆積相 II はプロキシマルなチャンネル充填堆積物と解釈される。

堆積相 III は、礫質砂岩、砂岩、泥岩の互層から成る。泥岩は塊状のものと平行葉理が卓越するものが混在し、礫質砂岩および砂岩は荷重痕、フルートキャストなどの底痕と、上部に平行葉理や脱水

構造が観察され、半遠洋性泥岩と互層することから、タービダイト砂岩と考えられる。レビー相を構成する泥岩優勢互層の発達が弱いため、本研究では堆積相 III の全体が海底扇状地のフロントルスプレイでの堆積を表しているものと解釈している。さらに詳細な特徴から、本研究ではこの堆積相 III を以下の3つに細分した：IIIa) 砂岩優勢砂岩泥岩互層から成る上方厚層化サクセッション、IIIb) 砂岩優勢と等量砂岩泥岩互層から成る上方薄層化サクセッション、IIIc) 泥岩優勢砂岩泥岩互層から成る上方薄層化サクセッション。これらは、それぞれフロントルスプレイのプロキシマル相、ミディアム相、ディスタル相を示すものと解釈される。

堆積相 IV は、20 m 以上の分厚いシルト岩層と 0.5-1.0 m 規模の礫質砂岩および砂岩層から構成される。礫質砂岩および砂岩層は、稀にフルートキャストも観察され、主としてタービダイト砂岩よりなる重力流堆積物と解釈される。一方、分厚いシルト岩層は、葉理構造が見られないほど強い生物攪拌作用を被っている。また、このシルト岩層からは異常巻きアンモナイト化石 *Dydimoceras awajense* および *Pravitoceras sigmoidale* を産する。これらの特徴から、堆積相 IV は陸棚外縁・上部斜面の堆積物と解釈される。礫質の重力流堆積物は陸棚上の小規模なガリーを充填する堆積物である可能性が高い。

### 3. 堆積環境の遷移

調査地域の和泉層群では、堆積開始に伴って、陸域（堆積相 I）から陸棚外縁部（堆積相 IV）を経て海底扇状地（堆積相 IIIb）に至る急速な海進がみられる。その後は2回にわたってフロントルスプレイのプロキシマル相（堆積相 II または IIIa）からディスタル相（堆積相 IIIc）へと移り変わる小規模な海退が見られた。典型的な海底扇状地の勾配を 1%程度と仮定し、サクセッションの厚さを考慮すると、これら2回海退はおおむね 2 km 程度の海底扇状地の前進をそれぞれ示唆する。

#### 引用文献

- 市川浩一郎・宮田隆夫・篠原正男, 1981, 和泉層群堆積盆の段階的東進に関するモデルと中央構造線の運動様式. 日本地質学会関西支部報, **89**, 11-12.
- 市川浩一郎・篠原正男・宮田隆夫, 1979, 和泉山脈の和泉層群の層序区分. 日本地質学会関西支部報, **85**, 10-11.
- 小玉一人, 1990, 四国および淡路島の中央構造線沿いに分布する和泉層群の古地磁気層位. 地質学雑誌, **96**, 265-278.
- Morozumi, Y., 1985, Late Cretaceous (Campanian and Maastrichtian) ammonites from Awaji Island, Southwest Japan. *Bulletin of the Osaka Museum of National History*, **39**, 1-58.
- Tanaka, J., 1989, Sedimentary facies of the Cretaceous Izumi turbidite system, southwest Japan: An example of turbidite sedimentation in an elongated strike-slip tectonic basin. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **95**, 119-128.
- 山崎哲司, 1987, 四国・淡路島西部の和泉層群の放散虫群集. 地質学雑誌, **93**, 403-417.



## Autogenic non-equilibrium responses of river deltas: Extension of the grade index model to base level rise

Junhui Wang (China University of Petroleum, Beijing / Nagasaki University), Hajime Naruse (Kyoto University), Tetsuji Muto (Nagasaki University)

Correspondence: Tetsuji Muto (tmuto@nagasaki-u.ac.jp)

The autostratigraphy of shoreline behaviors reveals that river deltas being subject to constant base level change take autogenic non-equilibrium responses, which are modulated by topographic conditions. Given a sufficient period of time for base level rise, the delta inevitably meets the onset of shoreline autoretreat and thereafter can have different modes of transgression in response to different slope conditions. In case the hinterland slope ( $\gamma$ ) is steeper than the foreset slope of the delta ( $\beta$ ) (i.e.  $\gamma > \beta$ ), the topset surface progressively shortens during the transgressive phase and finally disappears, reaching the moment of autodrowning. In case that  $\gamma < \beta$ , it is the subaqueous foreset that will finally disappear, reaching the moment of autobreak. These autogenic non-equilibrium responses have been well-illustrated by two-dimensional (2D) numerical simulations and physical experiments, but only insufficiently in three-dimensional (3D) examinations.

Recently, a geometrical idea named the “grade index model” was proposed, which can help examine the autoretreat theory in 3D conditions. Grade index ( $G_{\text{index}}$ ) is a dimensionless number to denote how close the downstream alluvial river is to a graded state. It is given as the ratio of subaerial allocation of the supplied sediment to both subaerial and subaqueous allocations of the sediment and can be expressed with a function of dimensionless basin water depth ( $h^*$ ):

$$G_{\text{index}} = \frac{\dot{V}_{\text{subaerial}}}{\dot{V}_{\text{total}}} = \frac{1}{1 + \chi(h^*)}, \quad (1)$$

where  $V_{\text{subaerial}}$  and  $V_{\text{total}}$  are sediment volume allocated to the subaerial part and the total sediment volume supplied to the system, respectively;  $\dot{V}_{\text{subaerial}}$  and  $\dot{V}_{\text{total}}$  are the derivative of  $V_{\text{subaerial}}$  and  $V_{\text{total}}$  with respect to time  $t$ ;  $\chi(h^*)$  is a function of dimensionless basin water depth  $h^*$ , which is given by dividing the real basin water depth by the elevation of delta apex relative to the base level.

We here examine by geometrical consideration and numerical simulations the validity of  $G_{\text{index}}$  as a rationale for autogenic non-equilibrium responses of deltas to constant base level rise. Our finding is that the autoretreat of shoreline (topset-foreset break) begins when  $A_t^*$  increases to become equal to  $G_{\text{index}}(\gamma - \alpha)/\gamma$ , where  $A_t^*$  is a dimensionless form of the horizontal area of the topset surface ( $A_t$ ) normalized with the square of three-dimensional autostratigraphic length scale ( $\Lambda_{3D}^2$ ),  $\alpha$  is the averaged slope (in tangent) of the topset surface.

During the early stage of base level rise,  $A_t^*$  increases from 0 and  $G_{\text{index}}$  decreases from 1, which leads to the attainment of shoreline autoretreat. Continuing base level rise gives rise to a persistent decrease in  $G_{\text{index}}$  for  $\gamma > \beta$ , or an increase in  $G_{\text{index}}$  for  $\gamma < \beta$ . Eventually, the former realizes autodrowning of the whole depositional system at which  $G_{\text{index}} = 0$ , thus all the sediment is accumulated in subaqueous realm; the latter causes autobreak of the deltaic sedimentation at which  $G_{\text{index}} = 1$ , thus all the sediment is consumed for subaerial aggradation.

Initially, the grade index model was derived from stationary base level (or constant basin water depth) settings, where some important parameters of the delta morphodynamic can be expressed by  $G_{\text{index}}$ , including those related to delta progradation, deltaplain aggradation, and distributary channel migration and avulsion:

$$R_{\text{pro}^*} = R_{\text{agg}^*} = R_{\text{mig}^*} = (\tau_{A^*})^{-1} = G_{\text{index}}, \quad (2)$$

where  $R_{\text{pro}^*}$ ,  $R_{\text{agg}^*}$ ,  $R_{\text{mig}^*}$ , and  $\tau_{A^*}$  are nondimensionalized values of the average progradation rate  $R_{\text{pro}}$ , the average alluvial aggradation rate  $R_{\text{agg}}$ , the average channel migration rate  $R_{\text{mig}}$ , and the channel avulsion timescale  $\tau_A$ , respectively. Each dimensionless value (e.g.,  $R_{\text{pro}^*}$ ) is obtained by dividing the real value (e.g.,  $R_{\text{pro}}$ ) with the value obtained when  $h$  is very small (e.g.,  $R_{\text{pro } h \rightarrow 0}$ ).

This work has successfully extended the grade index model to base level rise settings.  $R_{\text{pro}^*}$ ,  $R_{\text{agg}^*}$ ,  $R_{\text{mig}^*}$ , and  $\tau_{A^*}$  can still be expressed by  $G_{\text{index}}$ , but with slight modifications as follows:

$$R_{\text{pro}^*} = R_{\text{mig}^*} = G_{\text{index}} - \frac{\gamma}{\gamma - \alpha} A_{t^*}, \quad (3)$$

$$R_{\text{agg}^*} = (\tau_{A^*})^{-1} = G_{\text{index}}, \quad (4)$$

To summarize, the grade index model accounts for the origin of autoretreat, autodrowning and autobreak events in 3D conditions. It also grasps the morphodynamics of river deltas that are subject to base level rise.

## 湖水環境によって影響を受けた湖成重力流のタイプと挟在頻度

： 栃木県塩原層群宮島層の例

Sediment-gravity flow types and their frequency affected by lake water environments:  
an example of the Middle Pleistocene Miyajima Formation,  
Tochigi Prefecture, northeast Japan

佐々木 華 (福岡大学), 大西由梨 (応用地質), 石原与四郎 (福岡大学)

Sasaki Hana (Fukuoka University, JSPS Postdoctoral Research Fellow),

Yuri Onishi (OYO Corporation), Ishihara Yoshiro (Fukuoka University)

連絡先: 佐々木華 (E-mail sasakihana.study@gmail.com)

## 1. はじめに

湖成層に挟在する重力流堆積物は洪水や地震などのイベントを記録する。湖成層は堆積速度が大きいために高い時間分解能でイベント記録を抽出できるうえ、侵食による記録の欠損が少ない。特に湖成層が年縞である場合、一年単位でイベントの発生間隔や発生年代を得る事ができる。近年、現世の湖成堆積物に認められるイベント堆積物について、歴史記録や環境変動との対比する研究が盛んに行われている。しかしながら、洪水や地震のイベント堆積物の識別基準は明確ではない。また、現世の湖における研究ではボーリングコアを用いているために観察範囲が限られ、それによってもイベント堆積物の識別が難しい場合がある。本研究では、栃木県那須塩原市に分布する中部更新統塩原層群宮島層のイベント堆積物の層相の検討を行った。その結果、年縞から想定される湖水環境と重力流堆積物の種類や挟在頻度に関連性があることが示唆されたので紹介する。

## 2. 塩原層群宮島層

栃木県那須塩原市に分布する中部更新統塩原層群宮島層は、カルデラ湖と考えられている古塩原湖に堆積した湖成層である。宮島層には年縞珪藻土が卓越しており、珪藻化石の *Stephanodiscus akutsui* から成る明るい葉理と主に流入物から成る暗い葉理で構成される。また、1年に2セットの年縞(4枚の葉理)を形成する“double couplet”を形成する場合がある。通常年縞は夏期の1回のみ湖水が成層し、初春に珪藻が繁茂することで形成されるのに対し、“double couplet”は夏期と冬期の2回、湖水が成層し、初春と初秋に珪藻が繁茂する事によって形成される。これらの年縞珪藻土にはイベント性重力流堆積物が多数挟在する。本研究では、箒川沿いの約10m区間で解析を行った。

## 3. 湖水環境とイベント堆積物

観察の結果、1177年分の年縞と634枚の重力流堆積物を得る事ができた。宮島層の年縞と重力流堆積物は“double couplet”が特に多い時期は、重力流堆積物が下位を侵食しないタイプが多いことがわかった。これは年に2回形成された温度躍層によって潜り込む重力流が減少した可能性や気候や水位の変化による水の密度の変化、降水量による重力流の密度の変化が原因である可能性が示唆される。これらの現象は例えば、寒冷化が進むことによって年間2度の湖水の成層や水温の低下に伴う湖水の密度の増加が原因となることが考えられる。

## 密度流ベッドフォームの形成条件

## Formative conditions of density current bedforms

大畑耕治・成瀬 元（京都大学）・Isabel de Cala・Bill McCaffrey (University of Leeds)

Robert Dorrell・Stuart McLelland (University of Hull)

連絡先：大畑耕治 (ohata.koji.24z@st.kyoto-u.ac.jp)

密度流によるベッドフォームの安定領域を明らかにするため、本研究では、水槽実験を実施した。さらに、既存の密度流実験の結果および本研究の実験結果を開水路ベッドフォームの安定領域図と比較した結果を報告する。

深海で発生する密度流は、陸上の河川と同様に、流れの底面にベッドフォームを形成する。ベッドフォームは地層中に堆積構造として保存されるため、ベッドフォームの形成条件は地層から古環境を復元するための手がかりとして用いることができる。そのため、ベッドフォームの形成条件・安定領域を示す相図が多くの堆積学者の手によって作成されてきた。しかしながら、既存研究で求められたベッドフォームの形成条件は、すべて自由水面を持つ開水路（河川）での実験や観測に基づいている。開水路に比べ室内実験・野外観測が困難であることから、密度流ベッドフォームの形成条件に関する理解は進んでいない。既存研究では密度流堆積物（タービダイト）に対して開水路ベッドフォームの安定領域図を適用した例もあるが、開水路の流れと密度流では水理学的挙動に違いがあるため、開水路の安定領域図をそのまま密度流に適用できる保証はない。すなわち、タービダイトの堆積構造を研究するためには、密度流の観測データに基づいたベッドフォーム安定領域図を新たに作成することが必要である。

そこで、本研究では、密度流ベッドフォームの形成条件を求めるため、塩水を用いた水槽実験を行った。また、既存の密度流実験のデータを収集し、開水路ベッドフォームの安定領域と比較した。安定領域図の軸としては、無次元粒径  $D^*$ 、シールズ数  $\tau^*$  などの無次元数を用いた。また、密度流実験の水理条件を代表する値として、(1) 流速や濃度を鉛直方向に平均した層平均値、(2) 流速最大値を示す高さまで平均した下層平均値、の2つの値を採用し、それぞれ無次元数を求めた。

結果として、以下のことが明らかになった。(1) 本実験の結果は、既存の密度流実験の結果と整合的であった。そして、(2) 実験条件を表すパラメーターとして層平均値を用いた場合は、密度流ベッ

ドフォームの安定領域は開水路ベッドフォームの安定領域とは大きく異なっていた，一方，(3) 実験条件を下層平均値を用いて表した場合は，密度流ベッドフォームの安定領域は開水路ベッドフォームの安定領域とよく一致した．このことは，開水路と異なり密度流の場合は流れ全体ではなく下層のみがベッドフォームの形成に影響しているかもしれないことを示している．すなわち，開水路ベッドフォームの安定領域図を密度流堆積物に適用できしした場合，復元された水理条件は密度流の下層の状態を表している可能性がある．

## 深度学习によるタービダイト逆解析手法の実験的検証

## Inverse Analysis of Experimental Scale Turbidity Currents by Deep Learning Neural Network

蔡 之榕 (京都大学) ・ 成瀬元 (京都大学) ・ 姚 奇峰 (京都大学)

Zhirong Cai (Kyoto University), Hajime Naruse (Kyoto University), Qifeng Yao (Kyoto University)

連絡先 : 蔡 之榕 (cai.zhirong.64w@kyoto-u.jp)

In this study, inverse analysis of turbidite deposited in flume experiments will be performed using a new machine learning method. The results of inverse analysis will serve to verify the accuracy of the machine learning method.

Understanding of the hydraulic conditions of turbidity current remains limited due to its destructive nature and its unpredictable occurrences. Thus, the inverse analysis of turbidity currents from ancient deposits of submarine fans is required for estimating the conditions of flows in the natural environments.

In the past, inverse of turbidity currents was done in a trial and error fashion by adjusting initial conditions of numerical models, which is high in calculation load, making such technique very expensive and highly impractical. Naruse (2017 AGU Fall Meeting) developed a completely new method for inverse analysis of turbidity currents using a deep learning neural network. In this method, training data is generated by a numerical model, and a neural network for reconstructing hydraulic conditions of turbidity currents from turbidite is produced by machine learning of the training dataset. However, validity of this new inverse model has not yet been tested in actual deposits. Therefore, this study aims to verify the method by flume experiments.

Currently, the initial conditions of a dataset produced by a flume experiment sized forward model program is used to test the applicability of the neural network method when applied to flume experiment size data. Nine thousand sets of training data were fed into the neural network as training data. Another two hundred separate cases were used as test data to verify the accuracy of prediction by neural network. Result shows initial flow velocity can be predicted relatively accurately. The initial concentrations of the finer grain size class and the initial flow height was partially reconstructed. The flow duration, the coarser grain size classes and the slopes within the flume could not be predicted. After tuning of the neural network and the forward model, the neural network trained for flume sized data will be applied to flume experiment results.

## 引用文献 :

Naruse, H. (2017, December). *Inverse analysis of turbidites by machine learning*. 2017 American Geophysical Union Fall Meeting, New Orleans, LA.

タービダイトに記録された前弧海盆の沈降変遷: 鮮新-更新統掛川層群  
 Tectonic behavior of a forearc basin reconstructed using turbidites: an  
 example from the Plio-Pleistocene Kakegawa Group, central Japan

曾根明樹 (島根大学大学院)

Sone Haruki (graduated Shimane university)

e-mail [tanjou@outlook.jp](mailto:tanjou@outlook.jp)

この研究では、タービダイトの層厚や古流向の情報を利用して、堆積盆の「動き」の復元を試みた。地形的に複雑な堆積盆を流れる混濁流は地形の影響を受けて流れの方向を変える。これまで、鮮新-更新統掛川層群において、先行研究では、陸側から流れてきた混濁流が、沖合の地形的高まり（外縁隆起帯）によって流れの方向が反転した証拠を見つけた。これらの研究では、凝灰岩に沿って広域的にタービダイトを対比し、その特徴の変化から、堆積盆の地形を復元した。その時に利用したアイデアは、(1) タービダイト砂岩は盆地の地形変換点で流れがよどむために、厚くなる、(2) 泥は盆地の中心で厚くなる、ことである。先行研究では掛川層群中部の一部の層準で、掛川堆積盆内での堆積中心が時間と共にシフトしたことを示した。盆地の発達を理解するためには、さまざまな層準に対して、この解析方法を適用する必要がある。ここでは、掛川層群下部のタービダイトの特徴を記載し、古流向の情報などから、反転したタービダイトの有無を確認、その情報を元に堆積盆の沈降や隆起の変遷が読み取れたので、報告する。

掛川層群中部から下部にかけては砂泥互層からなる。ここでは、下部の砂岩泥岩互層に焦点を向けた。掛川層群の下部の砂岩泥岩互層内には、斜交層理や、地滑りなどの斜面運動によって変形させられたコンボリュート構造などが見られる。この斜交層理の走向・傾斜方向を測ることで古流向を求め、コンボリュート構造の斜面下方にずれを生じた褶曲軸を測ることで古斜面方向を求めた。

調査の結果、掛川層群中部の砂岩泥岩互層は細粒 - 極細粒砂から構成され、反転タービダイトの特徴が見られる。しかしながら、下部のタービダイトの特徴は中部とは異なり、粗粒 - 極粗粒砂から構成され、厚い塊状部、薄い平行葉理と斜交層理が見られる。また、いくつかのタービダイトはうねった葉理の中に上に凸の構造がみられ、これはアンティデューンの一部分であると解釈される。さらに、タービダイトの最上部の泥が欠損したタービダイトや、マッドクラストを多く含む層が見られた。これらは小規模な海底地すべりによって形成されたと考えられる。掛川層群内の沖に向かった流れは東から南にかけて優勢とされる。反転流による堆積構造を持つタービダイトは研究地域の中部から下部にかけて存在頻度が減少し、全く見られない層準も存在する。このことは、研究地域下部のタービダイト層は陸側から沖合に向かった斜面環境下で沖合に向かう流れによって堆積して形成されたことを示す。すなわち、掛川層群下部では堆積物が北側から南に向けて前進するように堆積し、堆積盆の中心は掛川層群の中部よりも沖合に位置していたと考えられる。本研究で、研究地域内で反転タービダイトの存在頻度が変化していることが明らかとなった。この変化の要因を調べるために、より広範囲を調査する必要がある。この変化の一つの可能性として、沖合の地形的高まり（外縁隆起帯）の隆起の速度の変化が考えられる。

## Sedimentary characterization and source rock potential of siliceous formations in Neogene Tsugaru basin, Aomori prefecture, Japan

Martizzi Paolo (Akita University), Chiyonobu Shun (Akita University), Arato Hiroyuki (Akita University)

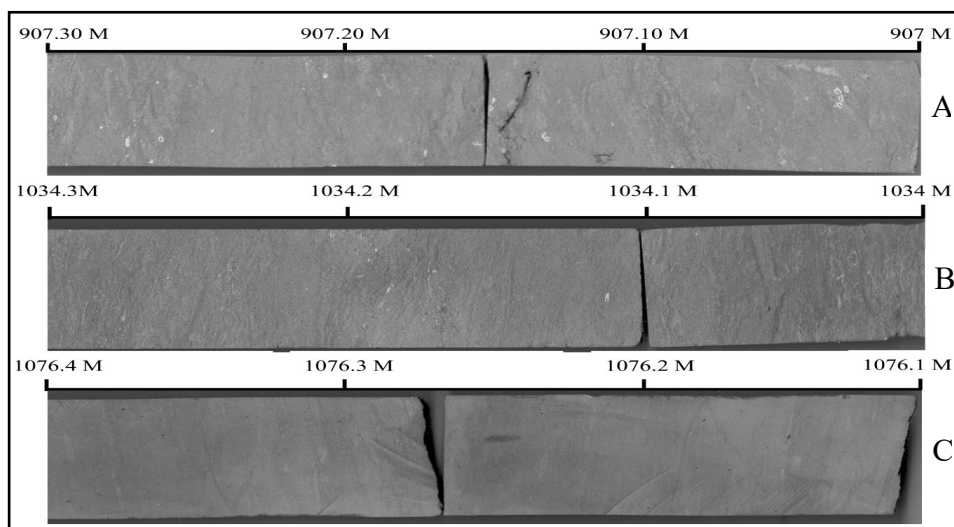
連絡先 : Martizzi Paolo (paolo.martizzi@gmail.com)

The northwestern side of Honshu island in Japan, is the area where most of the Japanese hydrocarbon fields occur and Middle-Late Miocene age formations are considered the most prospective source rock (Aoyagi and Omokawa, 1992). In the Tsugaru back-arc basin, located in the western part of Aomori prefecture, the Middle-Late Miocene geological record is represented by the diatomaceous siltstones of Akaishi Formation and the siliceous mudstones of Odoji Formation (Ujiié et al., 1995).

In this study we evaluated the hydrocarbon potential and the sedimentary environment of Akaishi and Odoji Formations, through the analysis of a 200 m-long portion of core from the DTH27-1 well. In detail, visual descriptions of split core sections were coupled with the measure of geophysical properties by means of a Multi spectrum core logging (MSCL). Additionally, we selected some representative samples and we performed on them Rock-Eval Pyrolysis.

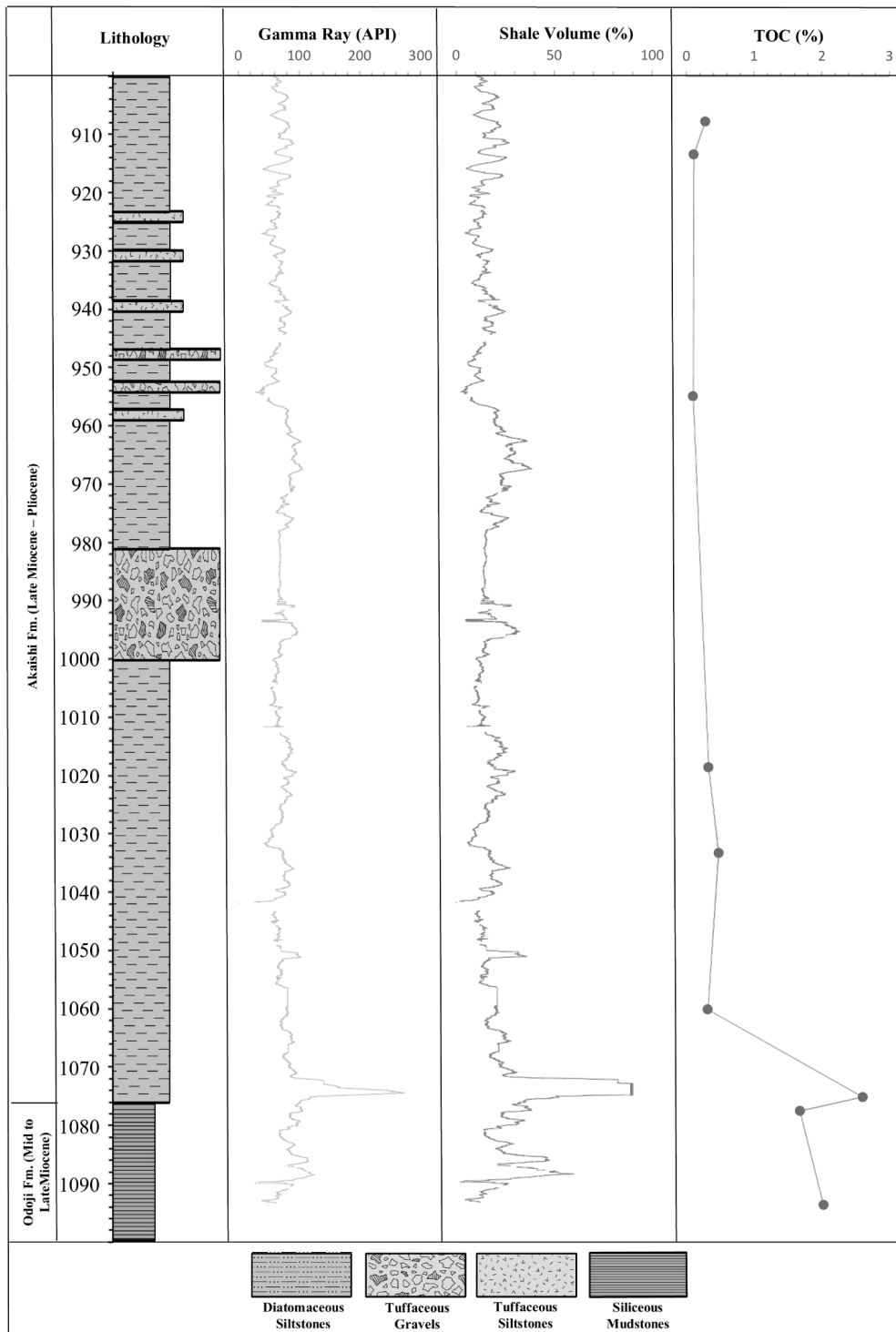
Visual and geophysical descriptions showed that Akaishi Formation is characterized by massive and bioturbated diatomaceous siltstones, with very low magnetic susceptibility, and with a natural radioactivity of 60-70 API degrees. On the other hand, Odoji Formation is characterized by moderately laminated siliceous mudstone, with very low magnetic susceptibility, and with a natural radioactivity of 90-110 API degrees. Rock-Eval Pyrolysis results revealed that Total Organic Carbon (TOC) in Akaishi Formation is ranging from 0.1 to 0.5%, while in Odoji Formation is ranging from 1.6 to 2.6%; maximum temperature (TMax) in both formations is around 410°C. Therefore, these two formations are considered immature source rocks.

The strong difference between Akaishi and Odoji Formation in the organic carbon content, in the sedimentological facies, and in the degree of bioturbation, suggest a difference in the paleo-oxygenation conditions of water and the transition from anoxic conditions in the Middle Miocene to oxic-dysoxic conditions in the Late Miocene.



**Fig. 1** Photos of split core sections from Akaishi Formation (A, B) and Odoji Formation (C).





**Fig. 2** Stratigraphic column of the analyzed core portion. From left to right are shown respectively the Gamma Ray, the shale content and the Total Organic Carbon (TOC).

### References

- Ujiié, Y., 1995, Petroleum Source Rocks from the Neogene Tsugaru basin, Northern Honshu, Japan, *AAPG Bulletin*, **79**, pp. 880-894.
- Aoyagi, K., Omokawa, M., 1992, Neogene diatoms as the important source of petroleum in Japan, *Journal of petroleum science and engineering*, **7**, pp. 247-262.

## 沖縄島南西沖プラットフォームに認められる

## 樹枝状古水系の三次元サイミク地形学的特徴とその意義

## 3D seismic geomorphology of dendritic paleo-drainage systems in submarine platform, southwestern off Okinawa Island, and its significance

小松侑平 (JOE) ・ 藤本 暁 (JOGMEC)

Yuhei Komatsu (JOE), Akira Fujimoto (JOGMEC)

連絡先：小松侑平 (komatsu@joe.co.jp)

沖縄島を含む琉球列島（琉球弧）は九州から台湾の間に位置する長さ約 1200 km にもおよぶ島嶼からなり、フィリピン海プレートが琉球海溝に沿って沈み込むことによって形成された島弧-海溝系である。宮古島から沖縄島の間には約 300 km にわたり島が存在せず、宮古鞍部（水深 904 m）と慶良間海裂（水深 1000 – 1900 m）に挟まれた海域には北東-南西方向に延びる比較的平坦なプラットフォーム（水深 200 – 500 m）が存在する（浜本，1979）。この海域では陸上踏査による地質情報の取得ができず海洋調査による研究も限られていることから（例えば，Arai et al., 2014），その堆積環境の変遷や構造発達史については、いまだ解明されていない点が多く残されている。

本研究では、沖縄島南西沖・東大九曾根から宮古島北東沖・宮古曾根に至る海域で取得された三次元地震探査データ（石油天然ガス・金属鉱物資源機構，2014，2015，2016）を用いた三次元サイミク地形学的解析により明らかになった樹枝状古水系の特徴とその意義について報告する。本海域の地震探査断面では、海底面下 0.03 – 0.09 秒（往復走時）程度の極浅層部に、下位の層準を削り込む多数の下に凸のチャンネル形状を示す顕著な侵食面が認められた。侵食面の下位の層準は大局的に南東方向に傾斜する反射面で特徴づけられ、多数の断層が発達する。その上位には海底面にほぼ平行な反射波で構成される最大で約 0.08 秒（往復走時）の堆積物が傾斜不整合で覆っている。これらの反射波の特徴を考慮すると、侵食面下位の層準は、調査海域北東部で掘削された沖縄沖 1 号井（古川，1991）から報告された中新統～鮮新統島尻層群（半深海性泥質堆積物）に、上位の層準は更新統琉球層群（礫性炭酸塩堆積物）にそれぞれ対比される可能性が高い。島尻層群堆積後、琉球層群堆積前には、琉球弧の隆起を引き起こした大規模な構造運動（島尻変動：木崎編著，1985）があったとされている。したがって、この侵食面は陸化に伴う剝削により形成された不整合面と考えられる。

不整合面を対象に海底面に沿ってホライズンスライス解析を実施した結果、強振幅で特徴づけられる樹枝状水系模様や蛇行状パターンを呈するチャンネル群が抽出された。続いて、これらのチャンネル群を対象としたアトリビュート解析（similarity, semblance, dip azimuth など）や Spectral Decomposition 解析（地震探査データの波形に対する周波数分解）を行い、詳細な地形学的特徴を明瞭に可視化した。調査海域北東～中央部に発達する樹枝状水系模様は、水系密度が高く、支流が不規則にあらゆる角度をもって様々な方向に枝分かれしていることによって特徴づけられる。この水系模様の流域面積は約 420 km<sup>2</sup> に達し、4 つの水系に区分される。各水系の主流長は約 20 km、幅は 150 – 200 m であり、大

局的な流向は南～南東方向を示す。主流と二次的な支流は平均合流角  $40^\circ$  で接し、Horton (1945) の水流次数区分に従うと最低でも 4 次オーダーに相当するチャンネルが認められる。こうした水系模様は、側方侵食に対して抵抗が一様である塊状均質な岩石に発達することが知られている。特に、泥岩などの浸透性の低い岩石では、少量の降雨でも地下水とならず地表を流れるため、いたるところに細かい溝が不規則に掘られ、これらが成長して細かい密な間隔の流路をもった樹枝状水系模様を発達させる。本海域に認められた樹枝状水系模様の基盤である島尻層群の岩相は、均質なシルト岩や泥岩を主体とすることが沖縄島や宮古島の陸上露頭や周辺海域の坑井で確認されており、このような成因論的条件と整合的である。

不整合形成時においては、河川などの諸地形はほとんど削剥されることから、不整合面上に古地形が残されることは非常に稀である。すなわち、本海域の不整合面に保存された樹枝状古水系は、島尻層群堆積後に陸化した際に形成された後、急激な沈降運動により陸域が沈水し、琉球層群によって埋積されたことを示唆する。したがって、島尻層群と琉球層群の境界である不整合面に発達する樹枝状古水系模様は、琉球列島周辺海域が泥質堆積物の堆積する半深海環境から、炭酸塩堆積物が形成されたサンゴ礁の広がる浅海環境へと変化を遂げた時期や要因を理解するための重要な鍵となる。

#### 文献

- Arai, K., Machiyama, H., Chiyonobu, S., Matsuda, H., Sasaki, K., Humblet, M., and Iryu, Y., 2014, Subsidence of the Miyako-Sone submarine carbonate platform, east of Miyako-jima Island, northwestern Pacific Ocean. *Island Arc*, **23**, 1-15.
- 古川雅英, 1991, 琉球弧と沖縄トラフの発達史-とくに沖縄トラフの形成年代について-. 地学雑誌, **100**, 552-564.
- 浜本文隆・桜井 操・永野真男, 1979, 宮古・八重山諸島周辺の海底地形. 水路部研究報告, **14**, 1-38.
- Horton, R. E., 1945, Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, **56**, 275-370.
- 木崎甲子郎編著, 1985, 琉球弧の地質誌. 沖縄タイムス社, 那覇市, 278p.
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2014, 平成 23 年度国内石油天然ガス基礎調査基礎物理探査「沖縄 2D・3D」データ解釈報告書.
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2015, 平成 24 年度国内石油天然ガス基礎調査基礎物理探査「沖縄 3D」データ解釈報告書.
- 石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 2016, 平成 25 年度国内石油天然ガス基礎調査基礎物理探査「沖縄 3D」データ解釈報告書.

## 3D 震探データを用いた海底扇状地舌状体の構造・階層性の考察

## 3D seismic survey data-based examination of structure and hierarchy of submarine-fan depositional lobes

高野 修 (石油資源開発)

Osamu Takano (JAPEx)

連絡先：高野 修 (E-mail: osamu.takano@japex.co.jp)

## 1. 目的

舌状体(もしくは frontal splay)は海底扇状地の主要構成要素であるが、地表露頭や坑井ポイントデータのみでは三次元的な形状と広がりを把握することが難しいことから、構造詳細などの実態解明が遅れている。今般、高解像度の三次元地震探査データを用いることで、舌状体の構造、累重様式、階層性に関する情報を得たので、本講演において報告し、今後の議論の基礎としたい。

## 2. 手法

本研究において用いた三次元地震探査データは下北半島東方において取得されたもので、とくに浅層部は高解像度であることから海底扇状地の内部詳細構造の解析に適している。解析には三次元地震探査データ解析ソフトウェアを用い、第四系海底扇状地堆積物(下北沖海底扇状地)を対象として、断面解析のほか、振幅不透明度調整解析、層準間均等スライス解析などの手法を用いて舌状体の形状の特徴を把握した。

## 3. 舌状体(frontal splay)の階層性

下北沖海底扇状地では、transition point(主チャンネルからファンが開き始めるポイント)より下流側は、分枝状チャンネルごとに形成される「分枝状チャンネルコンプレックス(distributary channel complex)」, 舌状体の集合体である「舌状体群(lobe complex)」, 「舌状体(depositional lobe)」の階層性(大オーダー→小オーダー)をもって形成されている。すなわち、分枝状チャンネルコンプレックスの内部には複数の舌状体群が含まれ、さらに舌状体群は複数の舌状体の積み重なりによって形成されている。舌状体群は、先にできた舌状体群の側方に形成される場合、乗り越えて下流側にできる場合、チャンネルのクレバススプレイとして形成される場合などの複数の形成パターンが認められる。

## 4. 舌状体群の断面形状・累重様式

舌状体群(lobe complex)は1~数 km 規模を呈し、個々の舌状体が積み重なることによって形成されている。地震探査断面では、多くの場合、複合マウンドを示すが、ほぼ同じ位置に幾重かのマウンドが累重する場合(aggradational case)や、徐々に側方シフトしながら累重する場合(lateral migration case)、下流側に付加しながら累重する場合(progradational case)などが認められる。

## 5. 舌状体群とシート

舌状体群に碎屑物を供給するチャンネルが急速に側方シフトする場合や供給ポイント付近のチャンネル自体が浅く不明瞭な場合、舌状体群はマウンド状を呈さず、シート状に堆積する場合がある。この場合、平面形態としてもより広がりを持った形状を示す。

## 粗粒セディメントウェーブ堆積物の形態と内部構造

## Geometry and lithofacies architecture of coarse-grained sediment wave deposits

伊藤 慎 (千葉大学) ・ 島野恭史 (千葉大学)

Makoto Ito (Chiba University) and Yasushi Shimano (Chiba University)

連絡先：伊藤 慎 (mito@faculty.chiba-u.jp)

物理探査技術の高精度化にともない、様々な規模や形態のベッドフォームが深海底で広く認められている。このようなベッドフォームの多くはセディメントウェーブとして一括され、構成堆積物の粒径や波長に基づいて粗粒-細粒セディメントウェーブや小規模-大規模セディメントウェーブなどの分類が提案されている (Wynn and Stow, 2002; Symons et al., 2016)。多くのセディメントウェーブは重力流起源と解釈されているが、セディメントウェーブの移動方向やセディメントウェーブを形成した重力流の特徴などが実測された事例は限られている (Hughes Clarke, 2016; Covault et al., 2017)。Symons et al. (2016) で検討された 82 例の現世セディメントウェーブの中で、その移動方向が明らかにされたものは全体の 36% であるが、その大部分が上流進行を示すことから、セディメントウェーブの多くはサイクリックステップとして形成され、その内部構造はバックセット層理や塊状層理で特徴づけられると解釈されている (Hage et al., 2018)。しかし、現世のセディメントウェーブから採取されたコアの長さは限られおり、地層から認定されたバックセット層理や塊状層理をとまなう堆積物のベッドフォームとしての特徴は必ずしも明らかにされていない (Postma et al., 2014; Lang et al., 2017)。今回、地層に記録された礫質-砂礫質の粗粒セディメントウェーブ堆積物の断面形態や内部構造の特徴と現世の粗粒セディメントウェーブの堆積形態の特徴との比較検討を行い、粗粒セディメントウェーブの形成過程を検討した。

今回、地層記録のケーススタディーとして 7 つの時代や地域の異なる国内外の地層に認定された粗粒セディメントウェーブ堆積物を検討した。これらは、海底谷や海底チャネルの充填堆積物であり、波長は 3-100 m、波高は 0.4-2.2 m である。波形勾配は 0.028 以上のものが多く、断面形態は上流側あるいは下流側が長い非対称を示すものから対称性の高いものまで様々である。構成堆積物は全体として不淘汰な礫岩であるが、上流側では逆級化層理が基底部に、クレスト付近から下流部にかけては下流側へ緩く傾いた層理が広く認められる。最も下流側では正級化層理を示す礫岩の発達で特徴づけられる。さらに、最上部には正級化を示す礫岩が発達している場合多いが、上流側で欠如することがある。礫岩の上位は、波状層理を示す礫質砂岩でドレープされる。一方、古流向に直交あるいは斜交した露頭断面では、トラフ型斜交層理の発達が広く認められる。したがって、今回地層で観察された粗粒セディメントウェーブ堆積物は、クレストのうねった下流進行型の 3 次元礫質ベッドフォームとして形成された堆積物と解釈される。

現世の粗粒セディメントウェーブ堆積物の比較対象として、経済産業省が実施した平成 14 年度基礎物理探査「東海沖～熊野灘」の 3 次元地震探査データの解析に基づいて、水深がおよそ 1600 m 付近の天竜海底谷上部に発達する粗粒セディメントウェーブ堆積物に関して、その形態的特徴を 265 個の計測に基づいて検討した。ここでは、幅約 5 km、勾配 0.9-1.6° の海底谷を南西方向に約 10 km にわたって大小様々な粗粒セディメントウェーブの発達が認められる。クレストは緩い波状パターンを示し、側方で 2 つに分離するものが多い。波長は平均 110 m、波高は平均 3.7 m で、海底谷中央部でそれぞれの値が大きくなる傾向が認められる。また、上流部ほど波長と波高が大きい値を示す傾向が一部で認められるが、値のばらつきは大きい。さらに、海底勾配と波長や波高の間には明瞭な対応関係は認められない。波形勾配や対称性に関してもばらつきが認められるが、今回検討した 265 の計測値の約 66% は地層で認定された粗粒セディメントウェーブ堆積物の波形勾配と対称性の値の範囲内に入る。

このように、地層で認定された粗粒セディメントウェーブ堆積物に比べ天竜海底谷で認められる現世の粗粒セディメントウェーブは、規模が平均で2倍程度大きいですが、形態的特徴には類似点が認められる。一方、現世の粗粒セディメントウェーブ堆積物の内部構造や移動方向などに関しては、詳しく検討することはむずかしいが、形態的特徴の類似点から、地層で認定された粗粒セディメントウェーブ堆積物と類似した特徴を持っている可能性が考えられる。したがって、礫質堆積物で構成される粗粒セディメントウェーブの場合、下流進行型のアンティデューンやデューンなど、サイクリックステップや上流進行型のアンティデューンとは異なったベッドフォームとしても広く形成されている可能性が考えられる。

なお、基礎物理探査の成果の利用および発表については、経済産業省ならびに独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構に許可を頂いた。ここに記して感謝致します。

<文献>

- Covault, J.A., Kostic, S., Paull, C.K., Sylvester, Z., Fildani, A., 2017. Cyclic steps and related supercritical bedforms: Building blocks of deep-water depositional systems, western North America. *Marine Geology*, **393**, 4–20.
- Hage, S., Cartigny, M.J.B., Clare, M.A., Sumner, E.J., Vendettuoli, D., Hughes Clark, J.E., Hubbard, S.M., Talling, P.J., Linter, D.G., Stacey, C.D., Englert, R.G., Vardy, M.E., Hunt, J.E., Yokokawa, M., Parson, D.R., Hizzett, J., Azpiroz-Zabala, M., Vellinga, A.J., 2018. How to recognize crescentic bedforms by supercritical turbidity currents in the geologic record: Insights from active submarine channels. *Geology*, **46**, 563–566.
- Hughes Clark, J.E., 2016. First wide-angle view of channelized turbidity currents links migrating cyclic steps to flow characteristics. *Nature Communications*. DOI: 10.1038/ncomms11869.
- Lang, J., Brandes, C., Winsemann, J., 2017a. Erosion and deposition by supercritical density flows during channel avulsion and backfilling: Field examples from coarse-grained deepwater channel-levée complexes (Sandino Forearc Basin, southern Central America). *Sedimentary Geology*, **349**, 79–102.
- Postma, G., Kleverlaan, K., Cartigny, M.J.B., 2014. Recognition of cyclic steps in sandy and gravelly turbidite sequences, and consequences for the Bouma facies model. *Sedimentology*, **61**, 2268–2290.
- Symons, W., Sumner, E.J., Talling, P.J., Cartigny, M.J.B., Clare, M.A., 2016. Large-scale sediment waves and scours on the modern seafloor and their implications for the prevalence of supercritical flows. *Marine Geology*, **371**, 130–148.
- Wynn, R.B., Stow, D.A.V., 2002. Classification and characterization of deep-water sediment waves. *Marine Geology*, **192**, 7–22.

熊本県天草上島上部白亜系姫浦層群の油徴を伴う泥質岩の有機地球化学的検討  
Organic geochemical research on mudrocks with oil seep of the Upper Cretaceous  
Himenoura Group, Amakusa-kamishima, Kumamoto Prefecture

松田博貴・清野隆太（熊本大学）・黒川将貴・西田英毅・八木正彦（石油資源開発株式会社）

Matsuda, H., Kiyono, R. (Kumamoto Univ.), Kurokawa, M., Nishita, H. and Yagi, M. (JAPEx)

連絡先：松田博貴 (hmat@kumamoto-u.ac.jp)

我が国において、石油や天然ガスは主に東北日本の日本海側での産出が知られているが、それはごく一部の地域に限られている。しかし石油ポテンシャルを持つ地域は、これら地域以外にも存在すると推定され、これまでも各地の白亜系や第三系からなる堆積盆を中心に探鉱・試掘が試みられてきた。そのような地域の一つに熊本県天草諸島が挙げられ、白亜系姫浦層群や古第三系弥勒層群白岳層では、古くから油徴あるいは油臭があることが知られている（影山・鈴木，1958）。そこで本研究では、油徴が確認された上部白亜系姫浦層群泥質岩の石油生成ポテンシャルを検討することを目的として、天草上島姫戸町小島周辺の地質調査を実施すると共に、当該地域に分布する泥質岩の根源岩性状について有機地球化学的分析を実施した。根源岩分析には Rock Eval 分析計を用い、試料中に含まれる全有機炭素量（TOC）、遊離炭化水素量（ $S_1$ ）、熱分解炭化水素量（ $S_2$ ）、ならびに熱分解二酸化炭素量（ $S_3$ ）を測定するとともに、それらを基にケロジェンタイプと熟成度を検討した。

その結果、油徴が認められた泥質岩は姫浦層群樋島層中部に位置し、主として塊状黒色泥岩からなる。中でも油徴は、イノセラムスを多産する1層準でのみ確認された。Rock Eval 分析の結果では、 $TOC=0.63\sim 1.10$  (wt%)、 $S_1=0.02\sim 0.13$  (mgHC/gRock)、 $S_2=0.16\sim 0.36$  (mgHC/gRock)、ならびに  $S_3=0.09\sim 0.59$  (mgCO<sub>2</sub>/gRock) であり、油徴のあった層準では、TOC は最大 1.10wt%、平均 0.92wt%の高い値を示した。



Fig. 1 上天草市姫戸町小島周辺の泥質岩に認められる油徴

Peters and Cassa (1994) によれば、0.5wt%以上の TOC を含むものは、根源岩としてのポテンシャルを有するとしている。今回、すべての試料において TOC は 0.5wt%以上含まれ、特に油徴層準では 1.10wt%を示すことから、TOC の観点からは根源岩としての性質を有すると考えられ、特に油徴が認められる層準の試料は比較的良好な根源岩性状を有する。

一方、 $S_1 \cdot S_2$  は共にきわめて低い値を示し、 $S_1 \cdot S_2$  の観点では、いずれの試料も根源岩とはいえない (Peters and Cassa, 1994) 。熟成度の指標である  $T_{max}$  ( $S_2$  の排出量が最も多くなる温度) を見てみると、油徴層準を含む 2 試料で熟成後期に相当する 460~469°C を示すものの、その他の試料はすべて過熟成を示す 470°C 以上である。このことから、TOC からは比較的良好な根源岩性状を示すのに対し  $S_1 \cdot S_2$  が低いのは、初生的に根源岩中に含まれていたケロジェンの多くが、既に炭化水素となり排出してしまった可能性が示唆される。また水素指数 (HI ;  $S_2/TOC$ ) と酸素指数 (OI ;  $S_3/TOC$ ) は、ケロジェンタイプ分類の指標となるが、今回の分析では、 $S_1 \cdot S_2$  共にきわめて小さい値のため、ケロジェンタイプの正確な決定は難しい。

以上のことから、本地域の上部白亜系姫浦層群泥質岩は、堆積後の埋没に伴う温度・圧力の上昇により既に過熟成に達していることが明らかになった。しかし現在も相当量の有機物を含んでいることから、これらの泥質岩は初生的には石油生成ポテンシャルを有していたと推定される。また油臭を発する古第三系白岳層粗粒砂岩層も知られていること (影山・鈴木, 1958) から、これまでに生成された石油・ガスは、既に移動してしまった可能性が示唆される。今後、より広域的な調査と地下試料による検討が望まれる。

謝辞：本研究を実施するにあたり、石油資源開発株式会社高橋利宏氏には露頭に関する貴重な情報をいただいた。ここに深謝いたします。

## 引用文献

影山邦夫, 鈴木尉元, 1958, 熊本県天草の石油徴候について. 地質調査月報, **12**, 978-980.

Peters, K.E. and Cassa, M.R., 1994, Applied source rock geochemistry. *AAPG Memoir*, **60**, 93-120.



## 房総半島に湧出する上ガスの地球化学的研究 Distribution and geochemistry of gas seepage on Boso peninsula, Chiba

若林泰葉・戸丸仁（千葉大学大学院融合理工学府）  
Yasuha Wakabayashi, Hitoshi Tomaru (Chiba University)  
連絡先：戸丸仁 (tomaru@chiba-u.jp)

千葉県を中心とする関東平野南部の地下には南関東ガス田と呼ばれる天然ガス鉱床が広がっている。この天然ガスは水溶性天然ガスであり、成分の約 99%をメタンが占めている。南関東ガス田の一部である九十九里平野中部～南部にかけて、天然ガスが地上に自然に湧出する“上ガス”と呼ばれる現象が報告されている。上ガスは地元住民が燃料として利用する一方で、爆発事故の原因となったり農業被害をもたらしたりすることがある。また、上ガスが、水溶性ガス田が発達する地域で広く見られる現象であり、上ガスによってメタンが継続的に地下から大気へ放出されているならば、温暖化や地球表層の炭素循環モデルへの影響は小さくない。しかし、上ガスがどこにどの程度湧出しているのかといった分布状況やメタンの放出量に関する研究はほとんど報告例がない。そこで、上ガスの分布や流量、成分を測定し、その起源や湧出経路から地球表層部での上ガスの挙動を明らかにすることを本研究の目的とした。調査は東金市・大網白里市・九十九里町・茂原市の水田および用水路と、南白亀川・一宮川・瑞沢川を対象とし、ガスの採取と流量の測定を行った。

上ガス発生地点は、沖積層砂岩上もしくは上総層群上、かつ沖積層泥岩との境界付近に位置しており、間隙率の高い砂岩層中をガスが上昇し、間隙率の低い泥岩層がキャップロックとして働くことでこのような分布を示すものと考えられる。ガスの成分は一宮川を除くサイトで 50～80%がメタンで、他には微量の二酸化炭素、エタンのほか、大気由来の窒素および酸素が含まれていた。メタン/エタン比およびメタンの炭素安定同位体比から、メタンの起源を推定することができる (Bernard et al.,1997)。メタン/エタン比が 1000 以上、かつメタンの炭素安定同位体比が-60‰以下であったことから、上ガス中のメタンは微生物起源であることが示唆される。微生物起源のメタンには二つの生成経路が知られており、メタンの炭素安定同位体比および水素安定同位体比から判別することができる (Whiticar et al.,1986)。上ガス中のメタンの水素安定同位体比は約-180‰～-190‰であり、炭素安定同位体比との関係から、上ガス中のメタンは海洋で卓越する二酸化炭素還元で生成したことが示唆され (第 1 図)、海成層である上総層群に胚胎する天然ガスが地表に湧出していると考えられる。また、二酸化炭素の炭素安定同位体比は-20‰～-40‰であり、メタン炭素安定同位体比との関係からは、メタンが地下から地表へ湧出する過程で酸化されたことが示唆される (第 2 図)。瑞沢川での流量調査では、1 日単位では潮汐との相関は見られなかったが、噴出口 1 つにつき約 50 mL/分変化することが明らかとなった。また、時期によっても流量が変化しており、河川の水量や河底の堆積物の厚さ、気圧など複数の要因によって上ガスの流量は変化すると考えられる。

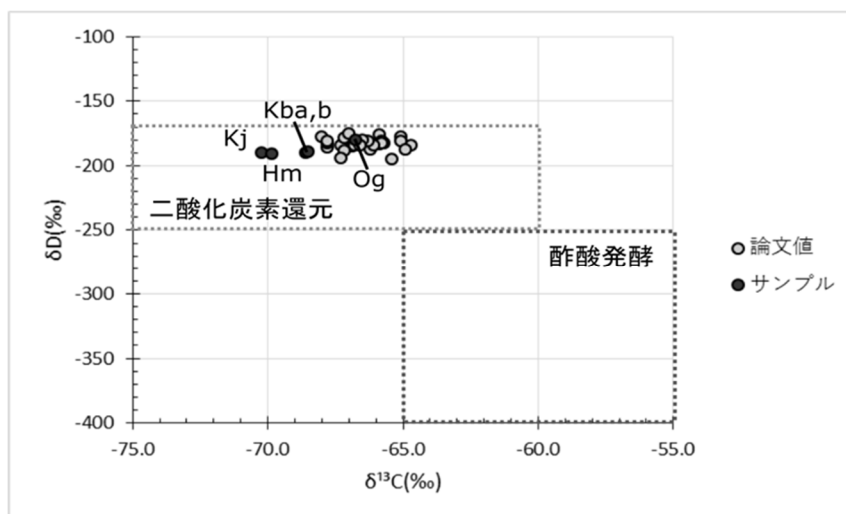


図1 メタンの炭素安定同位体比および水素安定同位体比から見るメタンの生成経路. 論文値には金子 (2002) より南関東ガス田の生産ガスのデータを使用.

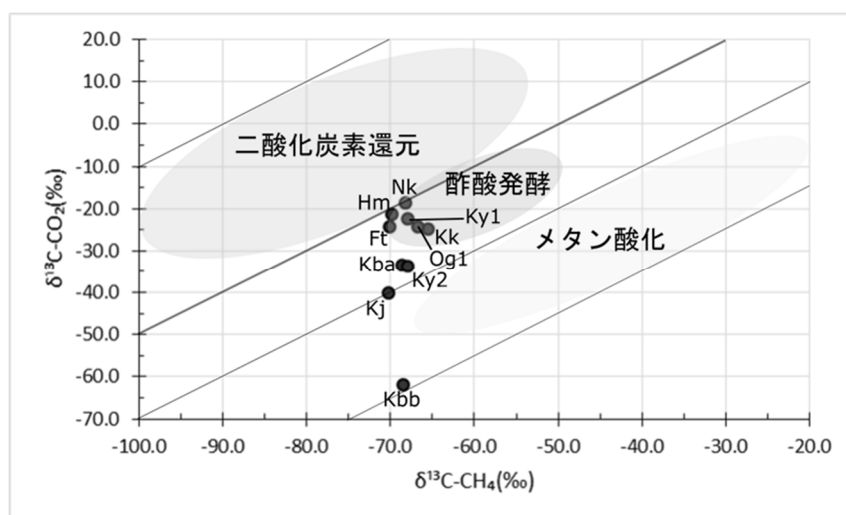


図2 メタンの炭素安定同位体比および二酸化炭素の炭素安定同位体比. 二酸化炭素還元によって生成したメタンが酸化されたことが示唆される.

「文献」

Whiticar, M. J., Faber, E., and Schoell, M., 1986, Biogenic methane formation in marine and freshwater environments: CO<sub>2</sub> reduction vs. acetate fermentation—Isotope evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **50**, 5, 693-709.

Bernard, B. B., Brooks, J. M. and Sackett, W. M., 1977, A geochemical model for characterization of hydrocarbon gas sources in marine sediments. *Offshore Technology Conference*, 435-438.

## 酸化的な遠洋性粘土中に存在する大量の微小マンガング粒について

## Abundant ferromanganese microparticles in oxic pelagic clays

浦本豪一郎（高知大学・JAMSTEC）・諸野祐樹・富岡尚敬・若木重行・中田亮一（JAMSTEC）・  
 和穎朗太（農研機構）・上杉健太郎・竹内晃久・星野真人（JASRI/SPring-8）・  
 鈴木芳生（JASRI/SPring-8・東京大学）・光延聖（愛媛大学）・白石史人（広島大学）・  
 菅大暉（東京大学）・武市泰男（高エネ研）・高橋嘉夫（東京大学）・稲垣史生（JAMSTEC）  
 Go-ichiro Uramoto (Kochi Univ. and JAMSTEC), Yuki Morono, Naotaka Tomioka, Shigeyuki Wakaki,  
 Ryoichi Nakada (JAMSTEC), Rota Wagai (National Agriculture and Food Research Organization),  
 Kentaro Uesugi, Akihisa Takeuchi, Masato Hoshino (JASRI/SPring-8), Yoshio Suzuki (JASRI/SPring-8  
 and Univ. Tokyo), Satoshi Mitsunobu (Ehime Univ.), Fumito Shiraishi (Hiroshima Univ.),  
 Hiroki Suga (Univ. Tokyo), Yasuo Takeichi (High Energy Accelerator Research Organization),  
 Yoshio Takahashi (Univ. Tokyo), and Fumio Inagaki (JAMSTEC)  
 連絡先：浦本豪一郎 (uramoto.go@kochi-u.ac.jp)

マンガンは地殻を構成する金属元素の中で鉄、チタンに次いで存在量が多く、酸化還元状態のような化学環境の変化に反応して希少金属を伴って沈殿物を形成または分解するため、環境中での金属元素の挙動を理解する上で、重要な元素として注目されてきた。深海底ではマンガング塊やマンガングクラストのような球状ないし板状の金属酸化物として広く存在し、近年はその成因について調査研究が進められている。ただし、鉄マンガング酸化物の生成が大規模に生じている広大な外洋環流域の海底下の酸化的な地層環境内における鉄マンガング酸化物の存在実態は分かっていなかった。本研究では、統合国際深海掘削計画第 329 次航海で得られた南太平洋環流域の海底堆積物 [1] の微細構造を詳しく調べた。その結果、直径数ミクロンの鉄マンガング酸化物微粒子（以下「微小マンガング粒」）が、堆積物 1cc あたり 1 億～10 億個存在することを発見した [2]。微小マンガング粒は、外洋域の酸素に富む堆積物にのみ見つかり、外洋地層全体での存在量を計算した結果、 $10^{28}$ ～ $10^{29}$  個の微小マンガング粒が海底下に存在することが分かった。さらに、比重分画と鉱物の光学的性質から、こうした微粒子を堆積物から分離する技術を確立した。その上で主要・微量元素の組成を分析した結果、微小マンガング粒は海水中で形成されたことが示唆され、鉄やマンガング等の主要金属元素だけでなく、レアアースのような有用希少金属を多く含むことが分かった。特にマンガングについては、地層中に含まれるマンガングの 30～60%、重さにして 1.28～7.62 兆トンのマンガングに相当することが明らかとなった。これは、海底表層のマンガング塊やマンガングクラストに含まれるマンガング総量の 100～1000 倍に相当し、膨大なマンガングが微粒子状の形で海底下に埋もれていることを示している。以上から、存在すら知られていなかった金属酸化物の微粒子が、海洋での金属元素循環や物質保持メカニズムを理解する上で重要な役割を果たすことが明らかになった。また、本研究で確立した環境試料から特定の微細粒子を精密かつ高速に分離・回収する技術は、今後、微粒子解析の基礎技術として、様々な応用展開が期待される。

[1] D'Hondt, S., Inagaki, F., Zarikian, C. A., Abrams, L. J., Dubois, N., Engelhardt, T., Evans, H., Ferdelman, T., Gribsholt, B., Harris, R. N., Hoppie, B. W., Hyun, J.-H., Kallmeyer, J., Kim, J., Lynch, J. E., McKinley, C.

C.,Mitsunobu, S., Morono, Y., Murray, R. W., Pockalny, R., Sauvage, J., Shimono, T., Shiraishi, F., Smith, D. C.,Smith-Duque, C., Spivack, A. J., Steinsbu, B. O., Suzuki, Y., Szpak, M., Toffin, L., Uramoto, G., Yamaguchi, T.Y., Zhang, G, Zhang, X.-H., and Ziebis, W. Presence of oxygen and aerobic communities from seafloor tobasement in deep-sea sediment. *Nature Geosciences*, 8, 299-304, 2015.

[2] Uramoto, G.-I., Morono, Y., Tomioka, N., Wakaki, S., Wagai, R., Uesugi, K., Takeuchi, A., Hoshino, M.,Suzuki, Y., Shiraishi, F., Mitsunobu, S., Suga, H., Nakada, R., Takeichi, Y., Takahashi, Y., and Inagaki, F.,Significant contribution of subseafloor microparticles to the global manganese budget. *Nature Communications*. 10, 400, <https://doi.org/10.1038/s41467-019-08347-2>, 2019.

## 海水準変動の要因としての陸域水循環とモンスーン

## Hydrological cycle and monsoon as controlling factors for sea-level change

池田昌之 1 (静岡大学 1)

Masayuki Ikeda (Shizuoka University)

連絡先: 池田昌之 (ikeda.masayuki@shizuoka.ac.jp)

海水準は様々な時間スケールで変動し、第一次 (5000 万年以上) や第二次オーダー (300 万～5000 万年) の時間スケールでは、海盆形成のテクトニックな要因、第四次オーダー (5～50 万年) より短い時間スケールではいわゆるミランコビッチサイクルに伴う氷河性海水準変動がその要因と考えられている (Vail et al., 1991) . 一方、三次オーダーの要因や、氷床のない温室地球における第四次オーダーより短周期の変動要因などについては議論が続いている.

近年、軌道計算の精密化と地質年代の高精度化により、従来のミランコビッチサイクルより長い数百万年スケールでも地球軌道が変わることが天体力学計算から導かれ、海水準変動が同期したことが確認された (Boulila et al., 2012). この関係は、氷室地球のみならず氷床のない温室地球においても確認される. その要因として、モンスーン強度変化に伴う降水量変化も地球軌道周期で変化することに注目されている (Martinez and Dera, 2015) .

近年の地質年代尺度の高精度化により、海水準変動を記録した海成層と、モンスーンを記録した陸成層の対比が可能になり、温室地球では海進と乾燥化が同期することが知られてきた (Föllmi, 2016). すなわち、乾燥化により地下水が減少することで海水総量が増加した可能性が示唆される. 従来、地下水量の変化では海水準変動の 10m 分程度しか説明できないとされていたが、近年の見積もりでは最大 80m にも及ぶとされている (e. g. Sames et al., 2016). 地下水量は時代と共に変化するため、超大陸パンゲア時代では内陸域の増加や、分裂時のリフト盆地形成も地下水量増加に寄与した可能性がある. 実際、三疊紀後期のリフト盆地の湖水位は 2 万年から 1000 万年周期で変化し、1000 万年周期の乾燥期には砂漠面積も増加している. この乾燥期は海進期に対応することから、温室地球においても地球軌道要素の変化に伴い海水準変動が引き起こされた可能性がある.

## 文献

Boulila, S., Galbrun, B., Miller, K.G., Pekar, S.F., Browning, J.V., Laskar, J., Wright, J.D., 2011. On the origin of Cenozoic and Mesozoic “third-order” eustatic sequences. *Earth Science Reviews*, **109**, 94–112.

Föllmi, K., 2012. Early Cretaceous life, climate and anoxia. *Cretaceous Research*, **35**, 230–257, <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2011.12.005>.

Martinez, M., & Dera, G., 2015. Orbital pacing of carbon fluxes by a ~9-My eccentricity cycle during the Mesozoic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **112**, 12604–12609.

Sames, B., Wagreich, M., Wendler, J.E., Haq, B.U., Conrad, C.P., Melinte-Dobrinescu, M.C.,

& Zorina, S.O., 2016. Short-term sea-level changes in a greenhouse world—A view from the Cretaceous. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **441**, 393-411.

Vail, P.R., Audemard, F., Bowman, S.A., Eisner, P.N., PerezCruz, C., 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology – an overview. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A. (Eds.), *Cycles and Events in Stratigraphy*, 617-659.

## 河岸段丘の形成について—気候変動コントロール説の具体例—

## Formation of river terraces - an example of the climate controlled terraces

八木下晃司（早稲田大学エクステンションセンター）

小松原純子（産業技術総合研究所地質情報研究部門）

Koji Yagishita (Extension Center, Waseda University), Junko Komatsubara (GSJ, AIST)

連絡先：八木下晃司 (yagishita.kj@purple.plala.or.jp)

河岸段丘の形成について、かつて貝塚(1977)は「地殻変動の影響を受けない気候変動のコントロールのみによる河岸段丘の形成」という概念を提唱した。しかし欧米ではこれより10数年を経てアメリカのBlum (1992)による多数の14C法のデータを基にした同様の概念が明らかにされた。これらの経過については八木下(2011, 2015)や八木下・小松原(2018)が詳しく述べている。

しかしその後、貝塚(1977)の概念もまた、彼よりさらに10数年も前に発表されたイギリスの地理・地質学者であるシドニー大学のDury (1959)が発表したアイデア(概念)に基づいているのではないのか?という指摘を東洋大学の渡辺満久教授から演者らは得た。早速、演者らはDury (1959)が表した”The Face of the Earth”を取り寄せ、検討を行った。そして同著の中にFig. 1に見られるような概念図を見出した。こうしてみるとBlum (1992)による「気候変動による河岸段丘の形成」という概念は、彼より4半世紀以上も前に既に提唱されたということになる。

演者らはDury (1959), 貝塚 (1977), Blum (1992)らに基づく「気候変動による河岸段丘の形成」説が関東平野南部に発達する「立川段丘面」に具体的に表されているとみているので、これについて述べたい。立川段丘面は多摩川によって形成された段丘面である。

立川段丘面は最終氷期最盛期 (Last Glacial Maximum, 略称 LGM, 20 ka) に形成された段丘面であるが、Dury の概念図 (Fig. 1) によればAの2面に相当する。すなわち東京湾に注ぐ多摩川の中流域に発達する段丘面ということになる。この段丘面の南端は「府中崖線」(Fucyu Cliff)によって沖積平野と区別され、またその北側は「国分寺崖線」(Kokubunji Cliff)によって武蔵野面と区別される(Fig. 2)。演者らは「東京都土木技術・人材育成センター」が公表しているデータを基にいくつかの柱状図を作成した。柱状図の作成から明らかになったことは1) 言うまでもなく柱状図(コア)最上層の比高(両者の落差は6~7 m)がヒントであるが、2) 沖積層のコアにはローム層が無いのに対して、3) 立川面のコアの上部にはローム層が必ず存在することである。このことが沖積面のコアと立川面のコアを識別する一つの基準となっている。

さて沖積面と立川面のそれぞれの柱状図を見ると、両柱状図の地表近くには礫層が著しく発達している。特に立川面の地表近くにある礫層は2万年以降における礫の著しい供給に帰せられる。これら礫層は氷期(寒冷期)での河川上流の山岳部における森林限界の降下による粗粒堆積物の流出による(渡辺, 1981)。氷期における河川中流域の礫の堆積はDury, 貝塚, Blumのいずれの研究者も強調しているところである。しかしFig. 1でも明らかのように、氷期に発達する2面も下流に行くに従い、やがて3の沖積面に埋没してしまう。これはFig. 2の立川面が東京湾に達していないことでも読み取

れる。

Blum, M.P., 1994, Genesis and architecture of incised valley fill sequences: a Late Quaternary example from the Colorado River, Gulf Coastal plain of Texas. In P. Wemer and H. W. Posamentier eds., *Siliciclastic sequence stratigraphy*, AAPG Memoir, no.58, 259-283.

Dury, G.H., 1959, *The Face of the Earth*. Penguin Books, 238p.

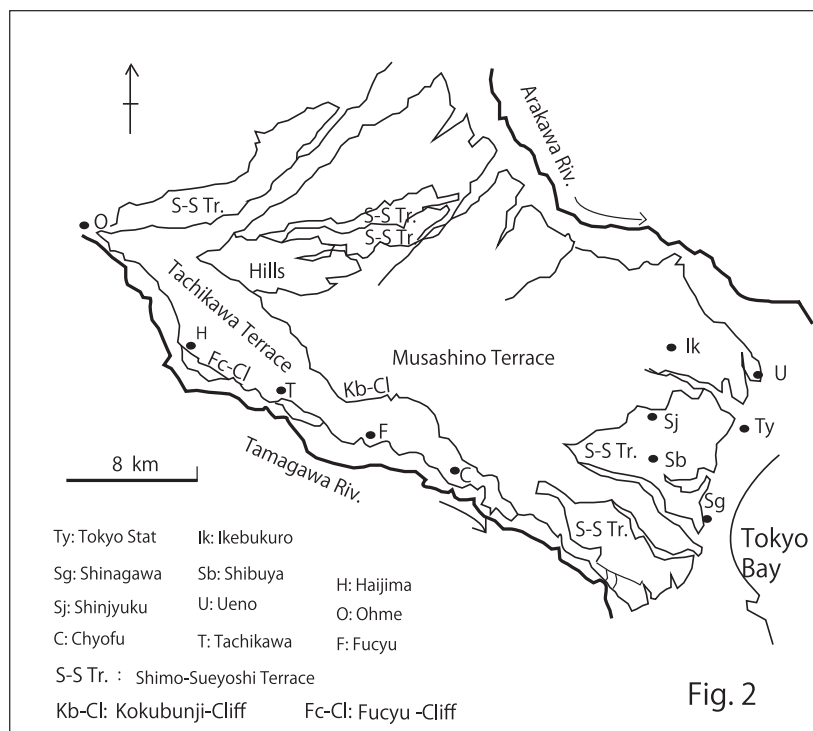
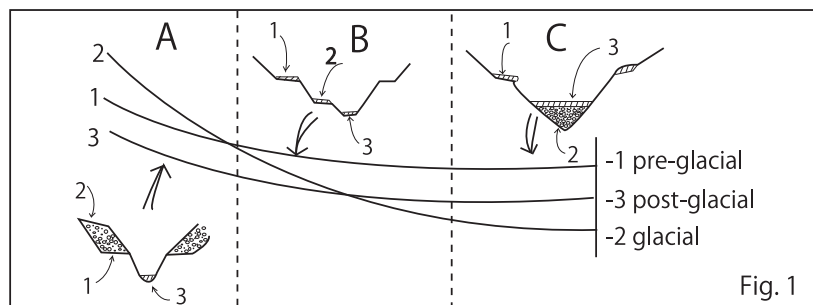
貝塚爽平, 1977, 日本の地形—物質と由来—. 岩波新書, 234p.

渡辺満久, 1981, 北上低地帯における河成段丘面の編年および後期更新世における岩屑供給. 第四紀研究, 30, 19-42.

八木下晃司, 2011, 岩相解析および堆積構造(増補・改訂版). 古今書院, 283p.

八木下晃司, 2015, 堆積岩石学の概要. NSK 出版, 206p.

八木下晃司・小松原純子, 2018, 河岸段丘の形成 —立川段丘面の例—. 日本堆積学会講演要旨, 27-28.





三重県津市周辺の海岸低地の堆積相とイベント堆積物  
Facies and event deposits of the Holocene succession  
at a coastal lowland around Tsu City, Mie Prefecture

松本 弾 (産総研)

Dan Matsumoto (GSJ, AIST)

連絡先: 松本 弾 (dan-matsumoto@aist.go.jp)

太平洋に面する三重県南部では、地質記録から南海トラフ沿いで発生する津波の発生履歴を解明する研究が行われてきた(たとえば、藤野ほか, 2008)。一方、伊勢湾に面する三重県北部周辺では、たとえば1498年明応津波によって当時日本三津(港)であった安濃津が壊滅する被害が出る(たとえば、矢田, 2005)など、過去に津波の被害を受けていたことが、歴史記録や考古学的研究から明らかになっているが、津波の履歴や規模などについて地質記録からの検証は十分に行われていなかった。本発表では、三重県津市周辺の海岸低地において実施した古津波堆積物調査を目的としたボーリング掘削(松本, 2014)の結果を報告する。

調査は比高1~2 m程度の浜堤が2~3列存在する海岸線から約2 km内陸までの範囲で実施した。浜堤間の低地において17地点の掘削地点を選定した。そのうち14地点では掘削長2~3 m程度の定方位簡易ボーリングを実施し、3地点では掘削長5 m程度のオールコアボーリングを実施した。得られたコア試料から種子などの植物遺骸を抽出し、放射性炭素年代測定を12件実施した。

コア試料の解析の結果、多くの場所で下位から(1)生痕がみられる淘汰のよい平行葉理砂層もしくは砂泥互層、(2)粗粒砂~中礫からなる砂礫層、(3)植物根がみられる粘土層もしくは淘汰の悪い砂質泥層、(4)有機質な泥層もしくは泥炭層が累重し、最上位に耕作土が覆われており、それぞれ(1)海浜もしくは干潟、(2)河川、(3)沿岸湖沼、(4)湿地、の環境で形成された堆積物と解釈した。年代測定結果からは、代表地点の環境が約5300年前に海浜もしくは干潟から河川環境に、約4000年前に湖沼環境に、約3500年前に湿地環境にそれぞれ変化したことが示唆された。また耕作土直下(地表下約35 cm)の試料からは約800年前、地表下約70 cmの試料からは約2800年前の年代値が示され、有史時代の地質記録がほとんど残されていないことが明らかになった。さらに代表地点の地表から約420 cm下の試料からは約5800年前の年代値を示すことから、コア全体でみると約77 cm/千年という堆積速度が得られた。

一部のコアには津波堆積物の可能性がある砂層が耕作土直下の泥層/泥炭層中にみられるが、海からの堆積物運搬を示唆するような微化石や貝殻片等は含まれていない。さらに、その形成年代は約800年~2800年前と幅広く、現時点では歴史津波との対比も行うことができなかった。この砂層の形成過程についてさらなる検討が必要であると考えられる。

#### 引用文献

藤野滋弘, 小松原純子, 宍倉正展, 木村治夫, 行谷佑一, 2008, 志摩半島に置けるハンドコアラーを

用いた古津波堆積物調査報告. 活断層・古地震研究報告, No. 8, 255-265.

松本 弾, 2014, 三重県中部における津波堆積物調査. 地質分野研究企画室(編)「巨大地震による複合的地質災害に関する調査・研究報告書」. 地質調査総合センター速報 no. 66, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 49-54.

矢田俊文, 2005, [講演記録] 1498年明応東海地震の津波被害と中世安濃津の被災. 歴史地震, 20, 9-12.

子ども向けワークショップ「砂・つぶ・すな絵」を通して学ぶ  
砂の組成とその成り立ち

A learning opportunity of composition and origin of sand for children at the museum:  
A case study of the kid's program "Sands, Grains and Sand Pictures"  
at the Osaka Museum of Natural History

山中亜希子・山下和子（NPO 法人大阪自然史センター）・中条武司（大阪市立自然史博物館）  
Akiko YAMANAKA, Kazuko YAMASHITA (Osaka Natural History Center)  
and Takeshi NAKAJO (Osaka Museum of Natural History)  
連絡先：中条武司（nakajo@mus-nh.city.osaka.jp）

### はじめに

「砂」は砂遊びや工作などを通して、子どもたちにとって身近に接する自然の素材である。「砂」という素材を使った遊びから一歩踏み込んで、砂の観察や研究者の説明などを通して、子どもたちにも砂粒子の背後にある砂の成り立ちや地球の歴史を感じることができるとも思われる。大阪市立自然史博物館では学芸員とNPOの教育スタッフが協力して、未就学児～小学生を主な対象とした子ども向けワークショップを毎月開催しており、自然史博物館の展示や生物・地学分野の普及教育活動を行っている。その中で、子どもたちが砂でただ遊ぶだけでなく、砂の組成やその成り立ちを考えるきっかけとなる子どもワークショップ「砂・つぶ・すな絵」について報告する。

子どもワークショップ「砂・つぶ・すな絵」は、2008年に1回目を開催し、以降、2010年・2014年・2017年と定期的に開催しており、これまでに12日36回、527人の参加者（砂絵を作った対象参加者）がこのワークショップを体験している。以下に、2017年に実施した際のプログラムを中心に、ワークショップの目的や運営、進行について紹介する。

### 目的

- ・ 小さな砂粒が様々なものでできていることに気づいてもらう
- ・ 場所によって海の砂が異なり、多様であることを紹介する
- ・ それらを通して地質学への興味・関心を引き出す

### 対象

小学生以上を対象としたが、定員に満たない場合は保護者同伴で未就学児にも対応した。最も多い参加者年齢は小学生1～3年生で、全体の50%以上になる。

### 運営スタッフ

- ・ 教育スタッフ（2-3名）：実際の進行・運営を行う
- ・ 学芸員（1名）：ハカセとして砂の解説を行う
- ・ 大学生ボランティア（2-3名）：進行アシスタント・補助

### 材料

2008年・2010年の実施回は日本各地の砂浜や砂質干潟の砂（和歌山県和歌川河口、北海道石狩川河口、長崎県福江島など）と市販のカラーサンドを用いたが、2014年・2017年の実施回については砂浜の砂だけを用いた。2017年は特別展「瀬戸内海の自然」関連事業として実施したため、瀬戸内海の砂浜（香川県小豆島、愛媛県関川河口）の砂を用いた。

## プログラム進行

1. 導入：ハカセ（学芸員）が各地で集めてきた砂を見る。直感的に場所によっていろいろな色・粒径の砂があることを子どもたちに認識してもらう。また砂浜の後背地の岩石も観察してもらい、その関係性などに着目してもらう。
2. 砂のより分け：参加者ごとに分けた砂を、味噌こしを用いて粒径ごとに選りわけると、その後、ルーペを用いて砂粒を観察し、砂の構成物にどのようなものがあるかを見てもらう。粒径を選りわけると、砂絵作りの材料として工作しやすくなると共に、ルーペを用いた観察がしやすくなる。
3. 砂絵作りの作業：自分でより分けた砂で、色画用紙の上に砂絵を制作する。
4. できた砂絵をハカセに見せ、自由解散。時間に余裕のある参加者は、ワークショップ用に製作した砂に関する展示コーナーの見学や、砂絵を作成した同じ砂を実体顕微鏡を用いて詳細な観察をしてもらった。

## 参加者の感想・様子

- ・参加者は砂の中から貝殻などを発見し、色の美しさや形の不思議さを楽しんでいた。気になるものは、その場でハカセに質問し、珍しいものが発見されると、参加者同士が集合して、見せ合う場面もあった。砂が何からできているかを知るだけでなく、ハカセや参加者の交流の場を築くことができた。
- ・海の生き物を描く参加者が多く見られた。導入で採集地（砂浜・干潟）の写真を見せていることに加え、ルーペを用いて砂粒を観察することで、砂の中から貝殻やフジツボ、ウニの破片などを見いだすことができていることも関係しているだろう。
- ・2017年のプログラムで使用した小豆島産の砂は、大阪周辺の公園や学校の砂場の砂と似た様相をしている。そのためプログラム開始当初は、参加者たちからは「ただの砂だ」「普通の砂」という意見が目立った。しかし、プログラムの中で砂の観察やハカセから解説を通して、終了後には同じ砂に対しても「これは石英」「巻貝が入ってる」「黒雲母があった」と、全然違う意見に変わっていた。
- ・「今度海に行ったら砂を集めて来よう」「帰ってからもう1回試そう」という発言が聞かれ、参加者自身がプログラムを色々な形に発展していってくれることが期待できた。
- ・展示コーナーを作成することで、参加者の子どもたちだけでなく、保護者の興味と関心を高めることができ、ハカセに子ども・保護者からの数多くの質問が寄せられた。

## 子どもワークショップ「砂・つぶ・すな絵」を通じた教育効果とその手法

砂絵という多くの子どもたちが体験したことのある工作を、教育スタッフによる進行・誘導と学芸員による解説を組み合わせることにより、砂の組成が様々であることや、場所や後背地による違いを感じ取りながら体験してもらうことに成功しているといえる。実際に、砂の観察前と後で砂粒子の構成物に関する意見が変わっていたことから、砂に対する見方・理解を深めることができたと考える。また、展示コーナーや実体顕微鏡での観察や学芸員による質疑対応は、参加者および保護者への疑問や好奇心への対応とともに、地質学的知識の普及教育に寄与しているであろう。多様な年代の子ども（および保護者）に興味を持ってもらうことは、専門的知識が十分でない教育スタッフだけ、逆に子どもへの対応が上手でない研究者（学芸員）だけで実施することとは困難であり、両者がプログラム製作段階から連携することでなしえることである。

和歌山県田辺湾における表層堆積物中の有孔虫殻の粒度分布  
Grain-size distribution of foraminifera tests in surface sediments  
of Tanabe Bay, Wakayama Prefecture

廣木義久（大阪教育大学）

Yoshihisa Hiroki (Osaka Kyoiku Univ.)

連絡先：廣木義久 (hiroki@cc.osaka-kyoiku.ac.jp)

## 1. はじめに

海底面や海底面直下で生活する底生有孔虫は堆積環境に応じて特定の底生有孔虫群集を構成することから、底生有孔虫化石群集の解析は、堆積物の堆積環境や堆積過程に関する有効な情報を与える。また、底生有孔虫化石群集には現地性群集と異地性群集とが混在している可能性があるが（高柳・氏家, 1968）、廣木（2015）は底生有孔虫化石殻の粒度分布特性から、有孔虫化石殻の堆積過程を議論できる可能性のあることを示した。しかしながら、地質時代の堆積物について、現地性の化石群集と異地性の化石群集を区別するのは難しい。そこで、本研究では、和歌山県田辺湾における現世表層堆積物を用いて、生きている有孔虫の殻と遺骸の有孔虫の殻とを区別し、それらの粒度分布の特徴を明らかにすることにより、粒度分布と堆積過程との関係を考察した。

## 2. 研究方法

### （1）試料の採取と処理

試料は2015年7月3日に和歌山県田辺湾古賀浦湾奥の京都大学瀬戸臨海実験所棧橋脇（東経135度21分51秒，北緯33度40分37秒，水深7 m，泥底）で採取した。スミス・マッキンタイヤ式採泥器を用いて表層堆積物を採取し、その表面（海底面）から深さ3.5 cmの部分を採取した。

採取した試料を以下の手順で処理した。（1）試料瓶に入れた試料を、採取直後に0.5%ローズベンガルにより染色し（生きている有孔虫殻は赤色に染色される）、冷暗状態で保存した。（2）試料採取5日後、試料にホルマリン（10%）を加えて、試料を固定した。（3）スプーン1杯の試料を200メッシュのふるい（目の開きは0.075 mm）に入れ、水洗した。（4）水洗した試料を電機乾燥器に入れ、120°Cで一昼夜乾燥させた。

### （2）有孔虫殻と砂粒子の拾い出しと粒径測定

処理した試料の分割試料から有孔虫殻と砂粒子を拾い出した。拾い出した有孔虫殻と砂粒子は1個体あるいは1個ずつ別々の有孔虫化石用ホールスライドに移し、有孔虫殻、砂粒子それぞれについて識別番号を付けた。有孔虫殻および砂粒子の粒径（長径，中径，短径）を双眼実体顕微鏡にマイクロメータを装着して計測し、直径（実測粒径）を求めた。また、沈降管を用いて、有孔虫殻と砂粒子の沈降速度を測定し、Gibbs *et al.* (1971) により石英換算粒径（沈降粒径）を求めた。

## 3. 結果

#### (1) 有孔虫殻の染色具合による分類

有孔虫殻を染色具合により分類した。タイプA：濃い赤色，タイプB：うすい赤色，タイプC：非常にうすい赤色，タイプD：無色。タイプAの殻の内部には泥が入っていないが，タイプB，C，Dの殻には泥が入っていた。また，タイプB，C，Dの順で，殻内部に入っている泥の量が多くなる。

#### (2) 沈降粒径による砂粒子と有孔虫殻の粒径分布の比較

砂粒子の粒径分布は0.2 mm以下の山からなり最大粒径は0.3 mmであった。タイプAの有孔虫殻の粒径分布は0.08 mm以下の山からなり最大粒径は0.2 mmであった。タイプBの有孔虫殻の粒径分布は0.2 mm以下の山からなり最大粒径は0.2 mmであった。タイプCの有孔虫殻の粒径分布は0.14 mm以下の山からなり最大粒径は0.14 mmであった。タイプDの有孔虫殻の粒径分布は0.14 mmの山からなり最大粒径は0.22 mmであった。砂粒子の最大粒径(0.3 mm)よりも粗粒な有孔虫殻はなかった。

### 4. 考察

染色具合および泥の充填具合から，タイプAの有孔虫殻は生きていた有孔虫の殻で，タイプB，C，Dの有孔虫殻は試料の採取時に死んでいた遺骸有孔虫の殻であると解釈できる。試料の採取時に遺骸であったと解釈できるタイプB，C，Dの有孔虫殻は砂粒子の粒径分布と重なる。このことは，タイプB，C，Dの有孔虫殻は砂粒子と同じ挙動により堆積したことを示唆している。一方，タイプAの有孔虫殻は砂粒子よりも小さな粒径のものからなる。タイプAの有孔虫殻の粒径分布が砂粒子および他のタイプの有孔虫殻と比べて小さいことについては，次の2つの可能性が考えられる。(1)タイプAの有孔虫殻はそれらのアダルトサイズの粒径が小さな種のものである。(2)タイプAの有孔虫殻はすべてがまだ幼体のものである。試料の採取日である2015年7月3日から1ヶ月前までの潮岬における海面気圧と南紀白浜の風速のアメダスデータ(気象庁ホームページ)によれば，7月3日の一週間前(6月26日～27日)に海が荒れるような気象状況があった。この海が荒れた時に，海底の堆積物が攪拌され，その時に生存していた有孔虫が死んでしまったことが考えられる。その後，海が静穏化すると，有孔虫が戻ってきて成長を始めたと考えられる。この成長を始めた有孔虫の殻が本研究のタイプAの殻で，海が荒れた時に死んでしまった有孔虫の殻がタイプBとCの殻であったと考えられる。タイプDの殻はそれ以前に死骸であった有孔虫の殻であったと考えられる。浅海の底生有孔虫の寿命は数週間と考えられていることから，タイプAの有孔虫は生後一週間の幼体であると考えられる。また，本研究では種の同定ができていないため，上記(1)の可能性については今後検討する。

### 5. 引用文献

Gibbs, R. J., Matthews, M. D. and Link, D. A., 1971, The relationship between sphere size and settling velocity. *Journal of Sedimentary Petrology*, 41, 7-18.

廣木義久, 2015, 粒径測定による有孔虫化石殻の分析：タービダイトが卓越する斜面盆地のケース。化石, 98, 17-27.

高柳洋吉・氏家 宏, 1968, 有孔虫殻と非生物的環境の復元。地質学論集, 3, 99-110.

# P4

## 福島県南相馬市小高区井田川低地で掘削した2本のボーリングコアの堆積相，化学分析，珪藻化石分析に基づく完新世の堆積環境変遷の復元とイベント堆積物 Holocene drilling cores in Odaka district, Minamisoma City, Fukushima Prefecture, Northeast Japan: Reconstruction of paleo environmental changes based on the interpretation of two cores

内山しおり・町田順一（信州大・院）・保柳康一（信州大・理）  
Shiori UCHIYAMA, Junichi MACHIDA, Koichi HOYANAGI (Shinshu Univ.)  
連絡先：内山しおり (18ss401a@shinshu-u.ac.jp)

### 1. はじめに

古環境の復元および津波堆積物を識別することを目的として、2015年と2018年に南相馬市小高区にて計2本のボーリングコアを採取した。2015年に掘削されたコア（ODMS コア）は海岸線から西方約0.9 kmの地点（site ODMS）で採取された全長26.5 mのコアである。ODMS コアの記載および堆積相解析結果は角張ほか（2017）によってまとめられている。2018年に掘削されたコア（ODMS II コア）は海岸線から西方約1.8 kmの地点（site ODMS II）で採取された全長15 mのコアである。それぞれ、砂質シルト岩からなる鮮新-更新統の基盤岩（大年寺層）とそれを不整合に覆う完新統エスチュアリー埋積堆積物からなる。エスチュアリー埋積堆積物を構成する泥層中には、イベント堆積物と思われる砂層が周期的に挟在している。

コア記載，粒度分析， $^{14}\text{C}$ 年代測定，全硫黄量分析，全有機炭素量分析，安定炭素同位体比分析，珪藻化石分析に基づき過去1万年間の環境変動とそこに挟在するイベント砂層について考察をおこなった。

### 2. 研究地域

研究地域は、太平洋沿岸部の福島県南相馬市小高区南部の井田川浦に位置する。井田川浦周辺は、鮮新統-更新統大年寺層の堆積岩から構成される標高100 m以下の丘陵間の小規模なエスチュアリーを埋積した沖積平野である。約6000年前の縄文海進期には現在よりも海水準が3~6 m高く、平野部河口付近を中心に海が内陸まで入り込んでおり（環境省自然環境局生物多様性センター，2013），海進に伴い基盤の大年寺層を侵食した谷に海水が侵入することで井田川浦地区にエスチュアリーが形成された。干拓事業により、およそ100年前から研究地域は水田として利用されてきたが、2011年3月11日に宮城県沖を震源とするモーメントマグニチュード9.0の東北地方太平洋沖地震（澤井，2012）による津波の襲来を受けた。

### 3. 環境変遷

堆積年代，堆積相ともに類似したODMS コアとODMS II コアを対比して過去1万年間の環境変動について考察した。

### (1) 最終氷期以降の海進期

約 1 万年前から 9,000 年前まで：礫質な海進ラグを覆って不淘汰な砂質堆積物が堆積していることから、最終氷期以降の海水準上昇に伴い約 10,000 年前から海側 (site ODMS, 角張ほか, 2017) で海進ラグの堆積が始まると考えられる。海岸線が陸側に移動するにしたがって、海側は不淘汰な砂質堆積物から構成される後浜環境へと変化する。その頃、陸側 (site ODMS II) では基盤の大年寺層を覆うように海進礫が堆積しはじめ、その上位を後浜の堆積物が覆うようになる。

約 9,000 年前から 7,500 年前まで：カキ化石を含む泥質および砂質堆積物からなる。よって海進に伴い海側では泥質潮汐平底環境となり、陸側では砂質潮汐平底が広がったと考えられる。泥質堆積物の存在からこの頃には現在の海岸線付近に砂嘴あるいはバリア島が発達し、内湾環境が成立しはじめたと考えられる。

### (2) エスチュアリー拡大期

約 7,500 年前から 5,500 年前まで：エスチュアリー中央盆地の泥質堆積物からなる。したがって、縄文海進期の約 6,000 年前には研究地域にエスチュアリーの水域が広がっていたと考えられる。

### (3) エスチュアリー埋積期

約 5,500 年前から現在：塩水湿地の堆積物とそこに挟在するイベント砂層からなる。縄文海進後は海退による水域の縮小と陸側から海側への堆積物の流入が相まって研究地域は浅海化し、しばし離水する塩水湿地環境に変化したと考えられる。各コアの最上部は人工埋積土および耕作土により覆われる。

## 4. ODMS コア (角張ほか, 2017) と ODMS II コアのイベント砂層について

それぞれのコアに含まれるイベント砂層の多くは貝殻片や偽礫を含み、級化構造・複級化構造・葉理など津波堆積物に特徴的な内部構造を呈す。また、陸側の ODMS II コアで各砂層が薄層化・細粒化することからも海側からの供給であることが示唆される。ODMS コアと ODMS II コア (角張ほか, 2017) の堆積速度曲線からイベント砂層の出現周期を見積もると、およそ 600 年から 650 年間隔であると求まる。

#### ・文献

角張友律ほか, 2017, 堆積学研究, 75, 73-82.

環境省自然環境局生物多様性センター, 2013, <https://www.env.go.jp/press/files/jp/23305.pdf>

澤井祐紀, 2012, 地質学雑誌, 118, 535-558.

Sawai, Y. et al., 2015, Geophysical Research Letters, 42, 4795-4800.



## 紀伊半島南部海岸地域「サラシ首層」に含まれる砂岩の碎屑性ジルコン U-Pb 年代 Zircon U-Pb Ages from sandstones included in "Sarashikubi beds" in the southern coastal region of the Kii Peninsula, southwestern Japan

別所孝範（大阪市立大学）・鈴木博之（元同志社大学）・山本俊哉（和歌山県立田辺高校）・  
檀原 徹・岩野英樹（京都フィッシュントラック（株））・平田岳史（東京大学大学院）  
Takanori Bessho (Osaka City Univ.), Hiroyuki Suzuki (EX-Doshisha Univ.), Toshiya Yamamoto  
(Tanabe High School), Tohru Danhara, Hideki Iwano (Kyoto FT), Takafumi Hirata (Tokyo Univ.)  
連絡先：別所孝範 (bessho@sci.osaka-cu.ac.jp)

### はじめに

紀伊半島南部の串本町田子の波蝕台には大小様々な角礫が泥岩中から突出し、その特異な景観から「サラシ首層」と呼ばれている田子含角礫泥岩層が露出している。この地層の成因をめぐっては海底土石流堆積物説（例えば、久富ほか, 1980; 中屋, 2010等）と泥ダイアピル説（例えば、Shiozaki and Miyata, 2016等）があり、未だ決着をみていない。

今回、「サラシ首層」に含まれる砂岩の碎屑性ジルコンU-Pb年代について昨年引き続き検討し（別所ほか, 2018a ; Bessho et al, 2018b）, この地層の成因について若干の考察を行ったので報告する。

### 地質概説

田子海岸付近には東より西へ、下位より牟婁付加シーケンスの田並川層（古第三紀前期漸新世；スランピングの発達する砂岩泥岩互層）→大ザラシ→富山礫岩→小ザラシ→成層泥岩層の順に累重する。以上のうち、大ザラシ、富山礫岩、小ザラシは田子含角礫泥岩層、通称「サラシ首層」そして、その上位の成層泥岩をまとめて枯木灘層と呼ばれている（鈴木ほか, 2012）。

**大ザラシ**（層厚約150m）は塊状無層理の変形を受けていない泥岩中に様々な大きさの礫を含む。礫は大小の砂岩礫、泥岩角礫および数mに及ぶ砂岩礫岩互層の岩塊等からなる。中部に厚さ2.6mの成層礫岩砂岩層がみられるが、この地層の一部は薄層細層理と砂岩層が平行層理を形成し、また礫岩層中の礫は扁平率の高い円礫で、こうした特徴からこの地層は前浜で堆積したものと推定される。砂岩礫には固結度が高い角～亜角の角礫、葉理がロール状に変形したもの、小角礫に分解し間隙を泥岩が充填しているもの、砂岩泥岩互層、さらに中部付近には礫径が5mに及ぶ超巨礫が数個含まれる。前三者は久富ほか(1980)で記載された角礫型、流動型、分解型に相当する。

**富山礫岩**（層厚約40m）中粒～粗粒砂岩層と含角礫泥岩層および礫岩層の互層で砂岩層にはハンモック状斜交層理が顕著に発達する点から外浜下部から内側陸棚で形成されたと推定される。この地層は内陸側では厚層砂岩（一部に礫岩を挟在）へと岩相変化し、二枚貝化石を含む。

**小ザラシ**（層厚約120m）成層した含角礫泥岩層で前期中新世の貝化石を含む。

**成層泥岩層**（層厚約150m）上部にK-Ar年代が18.11Ma前期中新世の珪長質凝灰岩（中屋・中屋, 2017）を挟在し、前期中新世の貝化石を多産する。

### 砂岩試料・方法・結果

U-Pb年代測定に供した試料は下位より①大ザラシ中の中粒砂岩角礫、②超巨礫砂岩、③砂岩泥岩互層礫の砂岩、④大ザラシに挟在する成層礫岩砂岩層の砂岩、⑤分解型の砂岩、⑥富山礫岩中の砂岩層の6試料である。U-Pb年代測定は東京大学平田研究室所有のLA-ICP-MSを用いて各砂岩試料より60個のジルコン粒子を測定した。以下、各砂岩試料のコンコード年代粒子中、最も若い粒子の集団（最若粒子集団）年代のみを示す。

①大ザラシ中の中粒砂岩角礫：**58.8±0.4Ma**（後期暁新世サネティアン）②超巨礫砂岩：**59.6±0.7Ma**（後期暁新世セラディアン）③砂岩泥岩互層礫の砂岩：**32.1±0.3Ma**（前期漸新世ルペリアン）④成層礫岩砂岩層の砂岩：**26.8±0.3Ma**（後期漸新世チャティアン）⑤分解型の砂岩：**32.8±0.3Ma**（前期漸新世ルペリアン）⑥富山礫岩中の砂岩層：**61.8±0.4Ma**（前期暁新世ダニアン）

### 考察

1. 各層の堆積年代：最も下位の牟婁付加シークェンスの田並川層は付加体で放散虫化石から古第三紀前期漸新世である。そしてその上位に重なる大ザラシは化石を産しないが、中部に含まれる成層礫岩砂岩層の砂岩のU-Pb年代は26.8Maで後期漸新世を示すことから、大ザラシは後期漸新世以降に堆積したと推定される。この上位に累重する富山礫岩中の砂岩層のU-Pb年は61.8Ma（前期漸新世）また、最近、発見されたこの地層の泥岩礫の放散虫化石（未公表）は中期始新世～漸新世初期である。しかし、二枚貝化石を産することから富山礫岩は前期中新世の可能性が高い。さらに上位の小ザラシも産する貝化石から前期中新世、そしてもっとも上位に位置する成層泥岩層も含まれる貝化石や珪長質凝灰岩のK-Ar年代から前期中新世の地層と推定される。
2. 大ザラシは下部漸新世統田並川層と上位の下部中新統富山礫岩の間の地層で、その年代は後期漸新世ないし前期中新世と考えられる。
3. 今回検討した大ザラシ中の砂岩礫の中でU-Pb年代が牟婁層群（中期始新世から前期漸新世； 48-28 Ma）を示すのは③砂岩泥岩互層礫の砂岩（前期漸新世）と⑤分解型の砂岩（前期漸新世）であり、これらは牟婁層群に由来するであろう。しかし、①中粒砂岩角礫と②超巨礫砂岩はともに後期漸新世の年代を示し、この年代からは牟婁層群起源と言えない。しかし、これは60-40Maの頃の後背地で火成活動が不活発なハイエタスが影響を与えた可能性を考慮すると、これらの砂岩礫も牟婁層群に由来すると推定される。
4. 大ザラシは塊状無層理の含礫泥岩層とされているが、下位の田並川層との境界や上位の富山礫岩との境界はともにN40~70° E, 50~60° NW, また中部に含まれる成層礫岩砂岩層もN45° E, 70° NWと調和的である。この地層はブロックではなく正常層であるという見解もある（久富ほか, 1980）。大ザラシの最上部では礫の量と大きさが増加し、こうした礫の配列による成層構造が観察される。また、大ザラシ中に見られる渦構造からこの地層は高速で流動した土石流という見解もある（中屋, 2010）。以上の点は、大ザラシが地層としての特徴を持つことを示している。
5. 今回検討された大ザラシ中の砂岩の碎屑性ジルコンU-Pb年代を検討すると、下位の層準の2試料（①と②）が後期漸新世、一方、より上位の3試料（③, ④と⑤）のそれは前期～後期漸新世と明らかに時間差が認められる。
6. 大ザラシには前浜環境を示す成層礫岩砂岩層が含まれ、このU-Pb年代は後期漸新世で下位の田並川層（前期漸新世）よりも新しい。こうした事実は泥ダイアピル説と相いれないものと思われる。
7. 以上のような点から考えると、大ザラシは後期漸新世ないし前期中新世に海底土石流として堆積した可能性が高い。
8. 今後、さらにサラシ首層の内陸側の調査を進め、また採取砂岩についても岩石学的検討からその所属を推定する必要がある。

**謝辞：**本研究には平成30年度南紀熊野ジオパーク研究助成事業を使わせていただいた。

## 参考文献

- 別所孝範・檀原 徹・岩野英樹・平田岳史, 2018a, 紀伊半島四万十帯「サラシ首層」に含まれる砂岩の碎屑性ジルコンU-Pb年代（予報）. 日本堆積学会.
- Bessho, T, Danhara, T, Iwano, H., Hirata, A., 2018b, On Zircon U-Pb Ages from "Sarashikubi beds" in the Shimanto Superbelt, Kii Peninsula, SW Japan. JpGU.
- 久富邦彦・石上知良・中屋志津男・坂本隆彦・鈴木博之・立石雅昭, 1980, 牟婁層群の「サラシ首層」—オリス トストロームの一形式—. 地球科学, 34, 73-91.
- 中屋志郎, 2010, 海底土石流に発達する渦構造と渦山構造. 日本地質学会第117年学術大会講演要旨集, 91.
- 中屋志津男・中屋志郎, 2017, 紀伊半島四万十帯枯木灘層の層序・K-Ar年代および牟婁付加シークェンスの変形構造. 日本地質学会第124年学術大会講演要旨集, 112.
- Shiozaki, S and Miyata, Y, 2016, Diapiric melange of the Shimanto belt in south Kii peninsula. JpGU. SGL40-P05.
- 鈴木博之・中屋志津男・福田修武, 2012, 牟婁付加シークェンス（牟婁層群）の層序と構造—中部始新統～下部始新統付加体—. 地団研専報, 59, 71-86.

## 石巻市大谷川浜の人工構造物に残された特徴的な津波堆積物

### Characteristics of tsunami deposit in an artificial structure

吉井匠（電中研）・田中姿郎（電中研）・濱田崇臣（電中研）・

伊藤由紀（電中研）・松山昌史（電中研）

Takumi Yoshii (CRIEPI), Shiro Tanaka (CRIEPI), Takaomi Hamada (CRIEPI),

Yuki Ito (CRIEPI), Masafumi Matsuyama (CRIEPI)

連絡先：吉井匠 takumi@criepi.denken.or.jp

#### 1. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う津波（以下、3.11 津波）による沿岸域の壊滅的な被害を受け、津波堆積物調査に基づく長期の津波発生履歴・規模の解明が求められている。津波規模を推測する方法として津波堆積物の分布範囲を用いた手法が用いられてきたが、多量の調査結果が必要であることなど適用できる地点が限られている。近年、津波の堆積構造から津波の水理量を逆解析する方法が開発されており、条件によっては少ない調査地点のデータからも津波の水理量を算出できる可能性がある。このような逆解析を実施するためには、津波作用下における砂移動を正確に把握する必要がある。

#### 2. 現地調査・分析

3.11 津波堆積物が豊富に残されており、かつ古津波の痕跡記録が残されている石巻市大谷川浜において、2014 年に現地調査を実施した。ジオスライサーによる縦列調査、ボーリング調査、およびピット掘削による 3.11 津波堆積物厚の分布調査を実施した。また、津波浸水域内には津波により一部流出したものがあつたもののデリニエーター（道路境界を示す円柱状の視線誘導設備）が数本残されていた。そのうちのいくつかは頭頂部の反射板が紛失しており、内部に堆積物らしきものが残されていることを確認した。そこで、ジオスライサー調査地点付近から反射板が紛失したデリニエーターを 1 本取得した。試料は実験室へ運搬後、1cm 間隔でサンプリングした。採取した試料について粒度分析、蛍光 X 線分析、珪藻分析を実施した。

#### 3. 結果と考察

ジオスライサーで取得した試料から、当海岸では沿岸付近に厚さ 1m 程度の津波堆積物が存在し、内陸方向に向かい薄層化する傾向が確認された。津波堆積物は堆積物の中央付近に礫層もしくは粘土層を含んでおり、上下 2 枚のサブユニットに分類された。一方、デリニエーター内の堆積物は約 120 cm の厚さがあり、堆積物の全層準を通じ級化構造を示し、構成物は周辺の津波堆積物と類似していた。そのため、粒度の連続性から津波作用中に流砂がトラップされたものである可能性が高いと推察された。デリニエーター内の堆積物の珪藻種は鉛直方向に変化を示しており、これは押し波、引波のサブユニットを有している可能性がある。また、デリニエーター中の堆積物は周辺の陸上堆積物（厚さ約 20cm）に比べて厚く、粘土層含んでいないなどの相違があつた。デリニエーターの上部口から

入った土砂は周辺の流れの影響をほとんど受けずに内部に堆積したと考えられ、押し・戻り流れの作用下で堆積する陸上の津波堆積物とは堆積過程が異なる。そのため、両者の対比は津波作用下における土砂移動形態、および津波作用下から津波堆積物形成までの堆積過程を解明するための鍵となると考えられる。

## 砂岩物性からみた西南日本各地の堆積体 Physical properties of sandstones from SW Japan

宮田 雄一郎・坂口 有人・原田 隆弘 (山口大学)

Yuichiro MIYATA, Arito SAKAGUCHI and Takahiro HARADA (Yamaguchi Univ.)

連絡先：宮田雄一郎 (you@yamaguchi-u.ac.jp)

西南日本各地から年代や形成条件の異なる砂岩について、物性値を比較して違いをもたらす背景を議論した。この目的には、河川や海浜の礫が適している。採取場所を吟味すれば、一定の流域に関する統計値が容易に得られるからであり、風化の影響も抑えられるからである。本研究では西南日本のペルム紀から新第三紀にいたる 29 カ所の地層から合計 2600 試料の物性値を得た。同時に、広域変成や接触変成の影響についても比較できる試料の物性値を得た。物性は、弾性波速度( $V_p$ )、かさ密度、粒子密度および間隙率( $\phi$ )の 4 項目からなる。その結果、以下のことが明らかになった。すなわち、(1) 砂岩礫は流域の砂岩層を代表する試料として有効であり、試料採取の労力を大幅に節約できる。(2)  $V_p$  は 2-5km/s で  $\phi$  は 0.3-15%の砂岩が多くを占めるが、同一層内でもばらつきが非常に大きい。 $V_p$  は平均値にかかわらず  $\pm 1$ km/s ほど、 $\phi$  は平均値の 1/10 から 4 倍におよぶ大きなばらつきを示す。(3) 間隙率分布は平方根目盛りで正規分布に近づくため統計値が得やすく、 $V_p$  との相関も明瞭になる。(4) 一般に  $V_p$  の高い砂岩ほど  $\phi$  が小さく良好な負の相関を示す (図 1)。(5) 山口県内 10 地域では、古い年代の砂岩ほど  $V_p$  が高く  $\phi$  が小さい傾向がある。他の地域でも同様の傾向は認められるが、決して明瞭ではない。(6) 付加体の砂岩は同時代の浅海堆積物より  $V_p$  が高く  $\phi$  が小さいが、その差はわずかでしかない。(7) 広域変成を受けた砂質片岩は同時代の非変成砂岩より  $V_p$  が高く  $\phi$  が小さいが、その差はわずかでしかない。(8) 貫入岩の接触変成を受けた砂岩は、 $V_p$  が高く  $\phi$  が小さい傾向がある。(9)  $V_p$ - $\phi$ トレンドは、数 10km 四方の地域では年代に関わらず共通するが、他地域とは異なる。すなわち、四国西部では相対的に  $\phi$  が小さく、紀伊半島では大きい (図 1)。

砂層が埋没すると圧密・続成が進む結果、 $\phi$  が低下して  $V_p$  が増大する。後に隆起して地上に露出すると、拘束圧から除荷・解放される。このとき、間隙率はほとんど増加しないが、 $V_p$  は顕著に低下する。これらのことを考慮すると、以下のことが考えられる。

(10) 続成の初期の不均一な間隙充填によって間隙率のばらつきは拡大し、固結後も透水性や強度の  $10^0 \sim 10^{-1}$ メートルスケールの不均一をもたらした。(11) 付加体や広域変成帯で  $\phi$  や  $V_p$  にほとんど違いがないのは、圧力の増加で  $\phi$  が低下しなかったことを示唆している。(12) 山口県内や接触変成作用を受けた砂岩のように、時間の経過や加熱によって  $\phi$  が低下すると同時に  $V_p$  は増大する。(13) 相対的に  $\phi$  と  $V_p$  の高い紀伊半島では、粒子間セメントが原因として考えられ、地下の流体の関与が疑われる。(14) 四国西部は、 $\phi$  が小さく  $V_p$  が高い領域に集中することから、深部に熱源の可能性が考えられる。

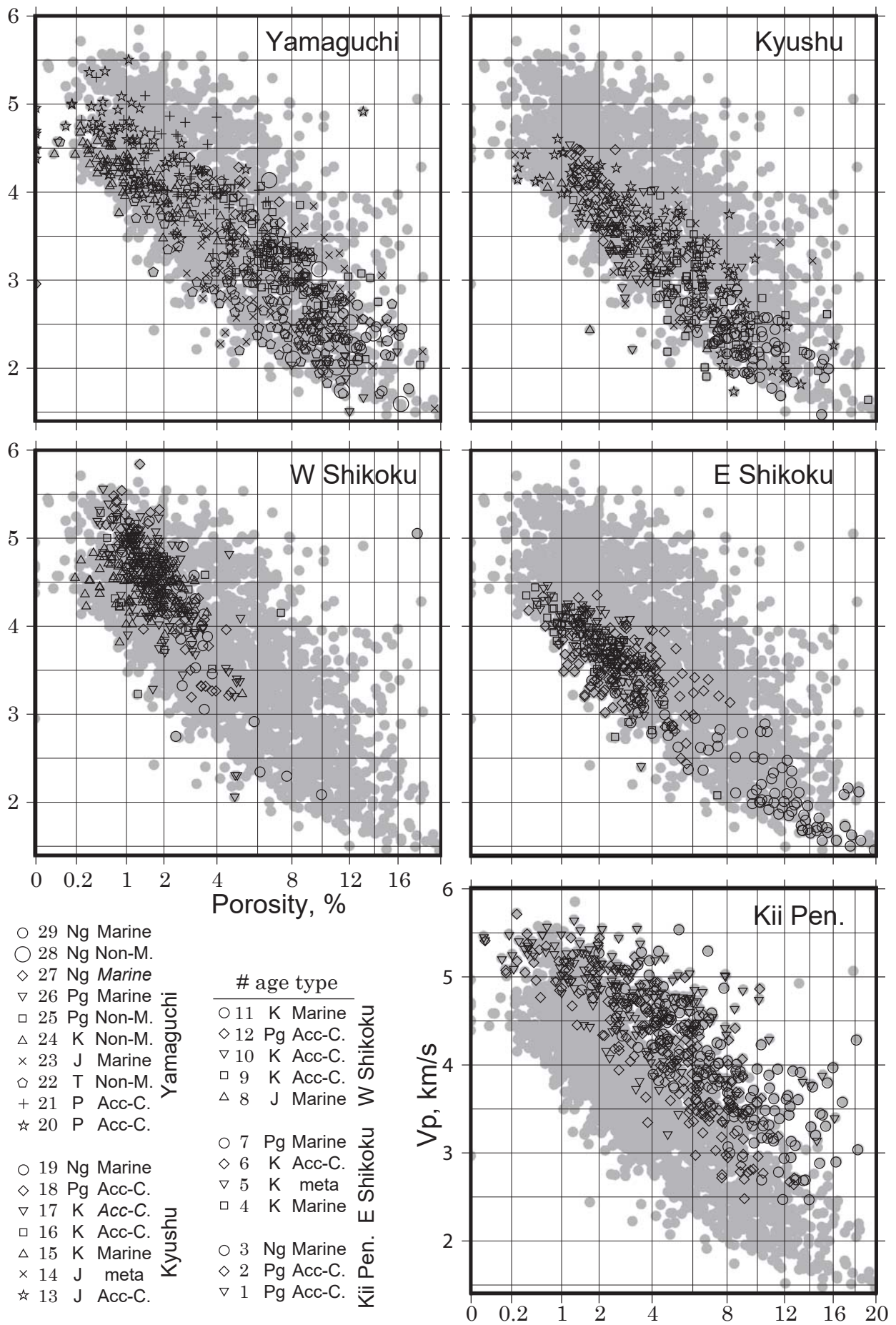


図1 西南日本砂岩の間隙率とP波速度 砂岩タイプのAcc-Cは付加体, metaは砂質片岩, 斜体は接諸変成部を示す。

## 富山市に分布する更新統三田層の堆積環境と化石密集層

## Sedimentary environments and Shellbeds of the Pleistocene Mita Formation, Toyama City, central Japan

佐々木稔 (筑波大学)

Minoru Sasaki (University of Tsukuba)

連絡先：佐々木稔 (minor2.037@gmail.com)

二枚貝などの軟体動物の化石は密集層をなすことがあり、化石密集層の種構成はしばしば古環境の復元に利用される。しかしながら化石密集層には様々な成因があり、例えば海水準変動によってできる化石密集層の場合、一つの密集層ができるのに数百年以上の時間がかかることもある。この場合、様々な年代に異なる環境で生きた生物の化石が一つの密集層をなす。そのため化石の種構成のみに基づいて古環境復元をすると解釈を誤る可能性がある。したがって、古環境を復元するには密集層の成因を明らかにすることが重要である。

富山市八尾町から婦中町にかけて分布する三田層は更新世に堆積した層であり、軟体動物化石の密集層を複数含む。三田層ではこれまでに、密集層に含まれる化石の種構成の変化に基づいて、古水温の変化や暖流の流入時期が議論されている（たとえば、天野ほか、2008）。しかし、これらの密集層がどのような成因によって形成されたのかは明らかになっていない。

本研究では富山市に分布する更新統三田層で観察される化石密集層の成因を堆積構造に基づいて推定した。三田層の分布範囲の4ルート（ルートA-D）で調査し、実測柱状図を作製した。三田層は主に塊状の細粒から極細粒砂層によって構成され、複数の凝灰岩層が挟在する。凝灰岩層付近の層準では、生痕化石 *Rosselia* がよく見られる。ルートDでは4層の化石密集層が見られ、いずれの密集層からも浅海域に生息する *Glycymeris yessoensis* や *Mizuhopecten yessoensis* などが産出した。全体的に堆積構造に乏しいが、暴浪時の堆積構造がまれに見られることから、三田層は暴浪時のみ海底に波浪の影響を受ける内側陸棚に堆積した地層であるかもしれない。三田層の砂岩中にみられた4層の化石密集層のうち、MT1凝灰岩層の直上に位置する密集層Aと、MT1凝灰岩層の約50m下位に位置する密集層Bは側方に連続せず、密集層の上下の層準で堆積相の変化が見られなかった。密集層A中には細礫・中礫が見られ、密集層Bではハンモック斜交葉理(HCS)が見られた。密集層を採取、切断して断面を観察したところ、密集層Aでは離弁した二枚貝化石がランダムな方向を向いて堆積して密集層Bでは離弁した二枚貝化石が一方向を向いて堆積していた。密集層BはHCSが見られることから、暴浪によって形成されたと考えられる。密集層Aの成因は不明だが、礫質の塊状砂岩であることや、化石の姿勢に定向性が見られないことから、堆積物重力流などによる短期的なイベントで形成されたと推定した。三田層の化石密集層が海水準変動などではなくこのような短期的なイベントで形成されていた場合、化石密集層の種構成は形成当時の古環境をよく反映していると考えられる。

## 文献

天野和孝・葉室麻吹・佐藤時幸, 2008, 鮮新世における日本海への暖流の流入：富山市八尾町の三田層軟体動物群の検討を通じて。地質学雑誌, 118, 516-531.

## 伊勢・三河湾の中央部に埋没する氷期の残丘

Buried hill formed during glacial stage

in the central part of Ise Bay and Mikawa Bay, Central Japan

佐藤智之（産業技術総合研究所）・古山精史朗（東京海洋大学）

Tomoyuki Sato (Geological Survey of Japan, AIST),

Seishiro Furuyama (Tokyo University of Marine Science and Technology)

連絡先：佐藤智之 (tomoyuki-sato@aist.go.jp)

### 1. はじめに

産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、2008年度から国の知的基盤整備事業の一環として沿岸海域における地質図の作成を進めてきた。広く利用するための基盤情報ではあるが、特に沿岸部に立地する都市の地質災害の規模予測や土地利用に役立つことが期待されている。主に陸棚の地下構造を扱うが、そこには現世の半遠洋性泥に覆われて氷期に形成されたデルタ平野が埋もれていることが多い（佐藤，2014；佐藤・荒井，2016）。この特徴を明らかにすることで、まずは都市近傍の浅海域の地質地盤を知ることができ、また海水準低下時のデルタ形成過程について知ることができる。今回は二つの内湾の中央部に発見された埋没残丘について報告する。

### 2. 研究地域・データセット

研究対象地域は、日本中部地方の伊勢湾と三河湾である。両湾は知多半島を挟んで隣接しているが、さらに紀伊半島と渥美半島に囲まれているために内湾になっており、太平洋への開口部は湾幅よりも狭く20 kmに満たない。海底は湾中央付近に向かって緩やかに傾斜しており、平均水深は伊勢湾が19.5 m、三河湾が9.2 mである。

本研究に使用したデータは、2017年5月から8月にかけて取得した総測線長740 kmに及ぶ反射法音波探査断面であり、分解能は水平・垂直方向ともに5 m以下である（佐藤・古山，2018）。

### 3. 埋没した残丘

両湾とも、海底表層には反射強度が弱く側方連続性の良い層が15から30 msec（往復走時：およそ11 mから22 m）の厚さで分布し、その下位に反射強度が強く側方連続性がやや悪い層が同じ程度の厚さで分布する。さらに下位は浸食面を挟んで側方連続性が良く、ところどころで沖側に傾斜する層が分布する。これらは下位から、氷期のデルタ堆積物、最終氷期以降の海進期堆積体、高海水準期堆積体と解釈した。年代については既存のボーリングコア資料を参照した。従って浸食面は最終氷期の浸食面である可能性が高い。この形状をみていくと、両湾のそれぞれほぼ中央部に直径1から3 km程度の楕円形の丘があることが分かった。これら二つの丘は水平に成層した堆積層から形成され、周囲の堆積層と連続しているため、断層や基盤岩によるものではない。従って海水準低下時および海進期に侵食され残った更新統以下からなる残丘であると考えられる。

### 4. 引用文献

佐藤智之，2014. 勇払平野沿岸域20万分の1海底地質図. 地質調査総合センター.

佐藤智之・荒井晃作，2016. 20万分の1駿河湾北部沿岸域海底地質図. 地質調査総合センター.

佐藤智之・古山精史朗，2018. 伊勢湾沿岸域における反射法音波探査の概要，地質調査総合センター速報.



Fluvio-tidal controls on the lateral reservoirs: Implications from the Onshore  
Depobelts of the Niger Delta, Nigeria, West African Margin

Onema Adojoh (Missouri University of Science & Technology / Nagasaki University), Jude Omuije  
(Shell Petroleum Development Company of Nigeria Ltd), Tetsuji Muto (Nagasaki University)

Correspondence: Onema Adojoh ([adojoho@mst.edu](mailto:adojoho@mst.edu))

An understanding of the depositional processes and their impact on the stratigraphy of the Delta is essential for the effective exploration, reservoir modelling, reservoir management and well placement. To further explore the depositional environmental processes, an approximately 16,000 ft. of the conventional cores have been taken from twenty wells on the onshore depobelts (Northern delta, Ughelli depobelt, Central Swamp, Coastal Swamp). The ages of the cored intervals which is about middle Miocene, was determined using biostratigraphic data, and the spatial distribution of the cored facies. The deposition suggests a mixture of tidal, fluvial – estuarine and wave influenced depositional sequences. This is dominated by a tidal and fluvial channel turbidite sandstone, and associated interfluvial deposits alongside the wave formed shoreface facies. The distribution of the lithofacies showed a dominance of tidal channels facies constituting 37 % of the observed interval, fluvial channels constituted 16 %, shoreface facies is about 21 %, and 27 % made of coastal plain deposits. The result has unravelled a distinct lithofacies distribution and depositional sequences of the reservoirs in space and time across the selected wells from the onshore settings. These cores from several producing reservoirs representing a range of paralic depositional settings, indicate biogenic structures and the lithofacies associations deposited into the formative depositional environments. Similar facies patterns present in the offshore settings could also be explained by using similar depositional control on the onshore facies that have lateral transport of tidal, fluvial – estuarine and wave sediments as a critical component for the reservoir evaluation. This impact has generated the various sand body frameworks which made up the reservoirs within the Niger Delta. Thus, suggesting the importance of core data as an essential tool for field appraisal and development.

## 大阪海岸低地の津守新田に干拓された古代に遡る干潟

Tidal flat back to the ancient times reclaimed for the Tsumori recently-developed paddy field in the Osaka coast lowland

趙哲済 (大阪文化財研究所), 渡部哲也・高田良二・山西良平 (西宮市貝類館)  
 CHO, Chuljae (Osaka City Cultural Properties Association),  
 WATANABE, Tetsuya; TAKADA, Ryoji; YAMANISHI, Ryohei (Nishinomiya Shell Museum)  
 連絡先: 趙哲済 (activelayers@gmail.com)

## 1. はじめに

大阪市西成区の木津川と十三間堀川(現阪神高速15号堺線)とに挟まれた津守一帯は、1698年(元禄11)に新田が開発された海岸低地にある。大阪湾岸における江戸時代初期の新田開発が未開の三角州や沿岸の荒れ地を開墾したのに対して、津守新田などの元禄期の開発は干潟を堤防で囲む干拓であった。昨年の北津守4丁目所在遺跡の発掘調査(BM18-1)で、干拓による作土層の下位に分布した干潟堆積層が、古代(飛鳥~平安時代前期)以来存続した可能性のあることが明らかとなった。

## 2. 新田と干潟の堆積相と貝化石・巣穴化石

調査地の標高はほぼTP±0mで、現代の盛土・整地層や攪乱層を除くTP-1.6~3.8mの地層は、下半の生物攪乱の著しい砂層(第5・4層)とそれが攪拌されたやや泥質の砂層(第3層)、上半の泥層(第2・1層)に大別できる(図1)。当該地における新田開発は、堤防内を盛土するのではなく、堤防予定地の内側に溝を掘り下げ、その上げ土で堤防を築いて海水の侵入を防ぎ、堤防内を水田化した(玉置1980)というから、これを参考にすれば、第3層が干潟の掘削と堤防築造時の攪拌層、第2層が堤防閉塞により堆積した泥層、第1層が泥層を耕起した作土層と考えられる。

下半の砂層(第4・5層)は、一見すると人工の客土と見間違ふほどに細かく生物攪乱を受けていた。これを水掛け法により堆積構造や生痕化石を浮き出させて観察した。詳細に見ると、第4層上部の4a層は全体として中粒砂ラミナとわずかにシルト質の細粒砂ラミナが不連続に細互層し、不明瞭ながら南~南南東向きのトラフ型クロスラミナが認められる。上限付近にはヨシの根や地下茎が分布する。貝化石はほとんどが異地性だが、合弁の二枚貝が水管側を上直した現地性の産状もある。下部の4b層は中粒~細粒砂層で、下半部には多くの異地性貝殻が、上半部には植物片が平行ラミナをつくって並ぶ。第5層は細粒砂が主体で、上部の5a層は中粒~極細粒砂からなる平行ラミナや平板状クロスラミナが発達する。貝化石はハマグリ・シオフキがほとんどを占め、合弁のカガミガイなどの貝殻が異地性で横向きに含まれる。下部の5b層は細粒~極細粒砂からなるが、堆積構造はよくわからない。

第5層の断面には、巣穴化石(*Ophiomorpha*)が密に分布した\*。巣穴は直径8~15mmが多く、最大でも20mm未満で、外壁は直径1.5~2mm程度の砂質の泥団子で裏打ちされている(写真1)。巣穴の穿孔生物は懸濁物食のアナジャコ属(*Upogebia* sp.)で、比較的小さな種類と推定した。

## 3. 堆積年代と堆積環境

堤防閉塞後の第2層から出土した17世紀末以降の陶磁器の年代は、上述の干拓史と矛盾しない。第4・5層の葉・種子・果実などの微細な植物片から得た放射性炭素年代は、上位から、第4a層が鎌倉時代末~室町時代初め、第4b層が平安時代中頃、第5b層が弥生時代後期前半を示す(図1)。

貝化石の多くはクロスラミナに調和して含まれており、木津川上流にあたる北~北北西からの断続的な一方向流により運搬されてきたと考えられる。特に第5a層と第4b層を堆積させた上流の浸食は激しかったと推測される。このような構造と貝殻や植物片の堆積状況からは、当該地が河川の流れが届き、生物活動が活発な潮間帯~潮下帯であったと推定される。また、アナジャコ属の巣穴からは、

本来の底生面と推定できる第4/5層間が、第5層の示す潮下帯より浅い潮間帯（河口干潟）であったと考えられる。

以上の状況に当該地の累積地盤沈下量（約1m）を考慮すると、当該地の環境は次のように変化したと考えられる。すなわち、潮下帯（外浜、第5b層：弥生時代後期初頭）→洪水による河口域の浸食と外浜への堆積（第5a層：弥生～古墳時代のある時期）→潮間帯（河口干潟、第4b/5a層間：古代前期）→浸食と堆積を繰り返しながら累積した潮下帯～潮間帯（外浜～河口干潟、第4層：古代～近世初め）→干潟への人間の積極的な進入＝干潟の掘り上げと堤防の築造（第3層：17世紀末）→堤防閉塞による泥の堆積（第2層）と耕起（第1層：18世紀以降）、と遷移した。

\* *Ophiomorpha* の形態的特徴については、堆積学スクール2018講師の奈良正和・清家弘治両氏からご教示を得た。

引用文献

玉置豊次郎, 1980, 大阪建設夜話 附・大阪古地図集成解説. 大阪都市協会, 368p.

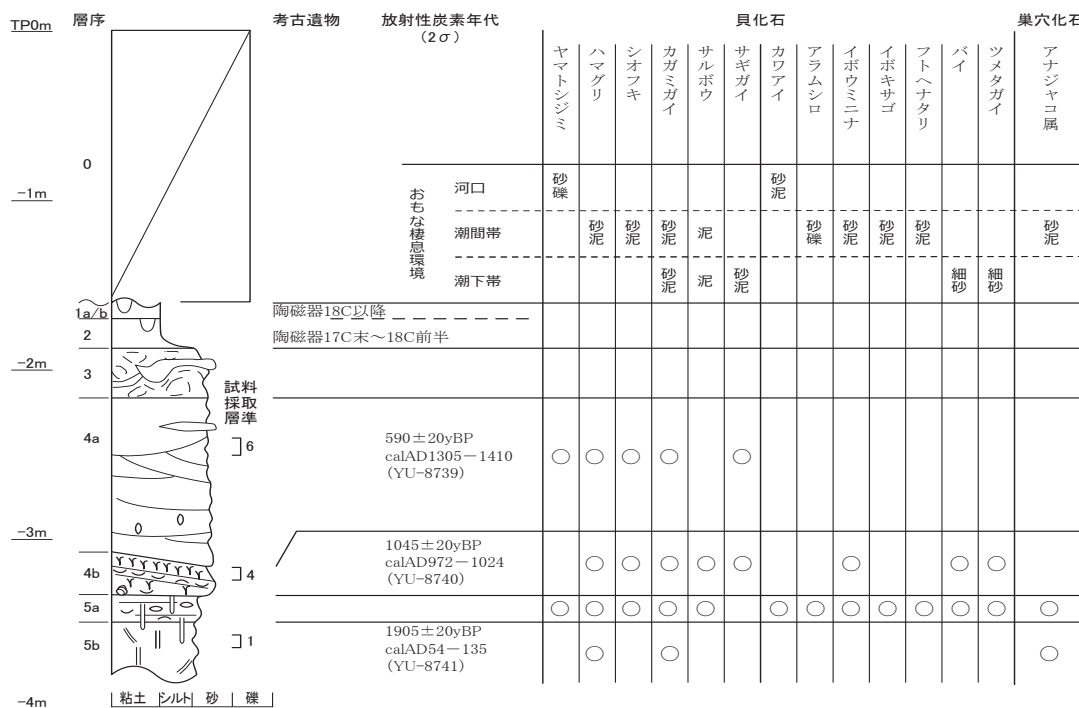


図1 北津守4丁目所在遺跡 (BM18-1) の層序・化石・年代

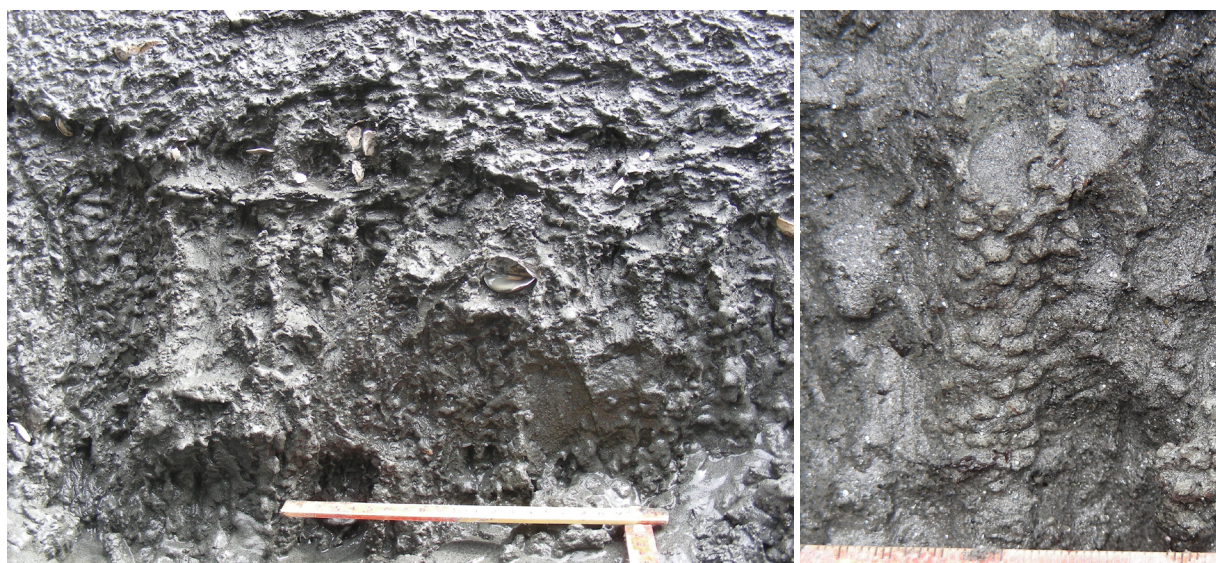


写真1 密集して産出した *Ophiomorpha* (左: 第5層断面) とそのひとつの拡大 (右)

埼玉県秩父地域に分布する中新統小鹿野町層の堆積環境  
Sedimentary environments of the Miocene Oganomachi Formation,  
Chichibu Basin, Saitama, central Japan

石井さよ・西田尚央（東京学芸大学）

Sayo Ishii and Naohisa Nishida (Tokyo Gakugei University)

連絡先：石井さよ ([a150304p@st.u-gakugei.ac.jp](mailto:a150304p@st.u-gakugei.ac.jp))

埼玉県秩父・長瀬地域では、従来、地質学的、古生物学的、岩石学的研究が多数行われてきた。一方、秩父盆地に分布する中新統の地層を対象とした堆積学的視点からの詳細な調査・研究は、Latt (1989) によって堆積システム全体の枠組みが示されて以降、近年ほとんど行われていない。本研究の主な目的は、秩父盆地に分布する中新統の地層のうち最も厚く発達する小鹿野町層を対象として、詳細な堆積プロセスおよび堆積環境を明らかにすることである。

秩父盆地層群小鹿野町層は、砂岩泥岩互層によって主に構成され、全体の厚さはおよそ 3,000 m である (牧本・竹内, 1992)。これらの地層は、従来、スロープー海底扇状地の環境で形成されたと考えられてきた (Latt, 1989)。本研究では、赤平川沿いに連続的に露出する地層 (厚さ 168.1 m) を対象として、粒度、層の厚さ、堆積構造、境界面の特徴、地層の重なり様式に着目して岩相の特徴を詳しく検討した。また、一部の泥岩を対象として、走査型電子顕微鏡を用いて微細組織を観察した。

詳細な露頭観察の結果、5つのタイプの岩相 (A-E) が認定された。上方細粒化砂岩で特徴づけられるタイプ A は、厚さ、粒度、堆積構造をもとにさらに A-1, A-2, A-3 の 3 種類に細分できる。このうち、厚さが 0.5–40 cm のタイプ A-1 ならびに A-2 は低密度タービダイト、厚さが 40–223 cm のタイプ A-3 は高密度タービダイトと考えられる。上方に粗粒化しさらに細粒化する砂岩で特徴づけられるタイプ B は、粒度変化の特徴からハイパーピクナイトと考えられる。塊状厚層砂岩で特徴づけられるタイプ C は、デブライトと考えられる。スランプ構造で特徴づけられるタイプ D は、スロープ環境下における未固結変形によって形成されたと考えられる。泥岩で特徴づけられるタイプ E は、顕著な生物擾乱は観察されない一方で、一部に弱いラミナが認められる。また、微細組織に注目すると、層理面に平行に配列する平板状粒子で特徴づけられる。このため、貧酸素環境のような生物活動の少ない条件における泥粒子のゆっくりとした沈降によって形成されたと解釈される。このような岩相の特徴を総合すると、小鹿野町層は全体としてスロープ環境で形成されたと考えられ、海底扇状地の環境で形成されたことを示す積極的な特徴は認められなかった。また、検討対象の区間では、下位から上位に向かって、低密度混濁流主体からハイパーピクナル流、そして高密度混濁流および土石流主体の堆積プロセスへの変化で特徴づけられる。このことは、相対的海水準の低下と堆積システム全体のプログラデーションを反映すると解釈される。特に、相対的海水準の低下をもたらす要因として、この地域の活発なテクトニクスが影響した可能性が考えられる。

<引用文献>

牧本 博・竹内圭史, 1992, 寄居地域の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅), 地質調査所, 136p.  
Latt, K. M. 1989, Turbidites and related clastic systems in the Tertiary Chichibu Basin, central Japan.  
In: Taira, A. and Masuda, F., eds., Sedimentary facies in the active plate margin, TERAPUB, 421–438.



## 福島県南相馬市小高区井田川におけるボーリング調査

### Drilling survey in the Idagawa area, Fukushima Prefecture, Northeast Japan

田中姿郎・吉井 匠・佐々木俊法・濱田崇臣・伊藤由紀・松山昌史（一般財団法人電力中央研究所）  
Shiro Tanaka, Takumi Yoshii, Toshinori Sasaki, Takaomi Hamada, Yuki Ito, Masafumi Matsuyama  
(Central Research Institute of Electric Power Industry)  
連絡先：田中姿郎 (tanakasr@criepi.denken.or.jp)

#### 1. はじめに

津波堆積物認定手法の高度化には、その特徴を明らかにするための現地調査と各種分析、津波を模擬した水路実験等に基づく検討が必要である。著者らはその調査・研究の一貫として、福島県南相馬市小高区井田川の堆積物調査を行っている。本地域では、角張ほか（2017）、Kusumoto et al（2018）らにより、古津波堆積物の可能性がある砂層が報告されているが、当地域には 4,000 年前より古い津波履歴を考察する地質試料は、角張ほか（2017）による 1 地点のボーリング調査結果しか存在しない。そこで、この時代の津波履歴を補間するために群列ボーリングを実施した。

#### 2. 調査方法

海一陸側線上と干拓地の中心付近での群列ボーリングを行った。合計 15 孔掘削し、孔長はそれぞれ約 3~20m である。回収したコア試料は速やかに X 線 CT 撮影を行い、イベント堆積物の可能性がある砂層の分布の確認、堆積構造の調査および各種分析用の試料採取を行った。

#### 3. 結果

本調査では東北日本太平洋沖地震による津波堆積物はほとんど確認できなかったものの、耕作土の下位に泥層に挟まれた複数の砂層を確認した。砂層は陸側で薄層化する傾向があり、群列ボーリングでは層厚の側方変化を確認した。深度約 10.6m には十和田中礫テフラ(約 6,300 年前)を確認した。テフラ降灰以降の地層には 10 層以上の砂層を確認できたが、降灰以前(深度 20m まで)の地層には級化構造を有するような砂質な層は確認できなかった。砂層の成因と堆積年代を求めることが今後の課題である。

謝辞：東京大学地震研究所の楠本聡博士、五島朋子博士、佐竹健治教授には、当該地点における津波堆積物の分布状況など貴重な情報を提供していただいた。ここに記し謝意を表します。

#### 文献

- 角張友律・太田勝一・保柳康一，2017，エスチュアリー埋積堆積物中の津波堆積物：福島県南相馬市小高区井田川地区における完新統ボーリングコア。堆積学研究，第 75 巻，p. 73-82。
- Kusumoto, S., Goto, T., Sugai, T., Omori, T., Satake, K., 2018, Geological evidence of tsunamis in the past 3800 years at a coastal lowland in the Central Fukushima Prefecture, Japan. *Marine Geology*, Vol.404, p.137-146.

露頭面積の違いが生物攪拌強度に与える影響  
Effect of outcrop exposure bias on bioturbation intensity

菊地一輝・成瀬 元 (京都大学)

Kazuki Kikuchi, Hajime Naruse (Kyoto University)

連絡先：菊地一輝 (kikuchi@kueps.kyoto-u.ac.jp)

底生動物の活動による堆積物への影響は、これまで生物攪拌を受けた露頭の面積によって定義される“ichnofabric index” (Droser and Bottjer, 1986) や “bioturbation index” (Taylor and Goldring, 1993) などの指標によって見積もられてきた。しかしながら、従来の生物攪拌強度の評価方法には、露頭の観察面積の大きさに依存して解析結果が変化してしまうという問題 (露頭面積バイアス) がある。たとえば、生物攪拌強度は、一定面積のサンプリングウィンドウを無作為に露頭面上に置き、ウィンドウ中を占める生痕化石の面積の割合として推定されてきた (Miller and Smail, 1997)。しかし、この方法ではウィンドウの大きさと、ウィンドウを設置した位置によって解析結果が変化してしまう。野外調査においては、1 辺の長さが 25 cm の正方形の枠を、露頭面に投げ置くか乱数表に従って設置位置を決定する方法が提案されているものの (Miller and Smail, 1997)、サンプリングウィンドウの大きさに明確な基準はなく、設置方法も無作為性を保っているとはいいがたい。

そこで本研究では、露頭画像のリサンプリングを行って生物攪拌強度の推定を繰り返すことで、露頭面積と観察位置の変化によって生物攪拌強度が受ける影響を検討した。解析を行ったデータは、宮崎県日南市に分布する漸新統日南層群猪崎オリストリスのタービダイト砂岩層の下面を撮影した 288 枚の露頭写真である。まず、各露頭写真を生痕分類群ごとに着色した画像を作成する。そして、作成した画像から無作為に 1 枚を選び出し、選んだ画像上に長さ  $L$  の走査線が無作為に配置する。走査線上の生痕化石を示すピクセル数を計数し、画像解像度から面積に変換して  $L$  との比を求める。この手順を 1000 回繰り返し、長さ  $L$  を観察したときの生物攪拌を受けた面積の割合  $B_i$  を 1000 個生成する。これらのサブサンプルから  $B_i$  の平均値を求め、また 10000 個の平均値のブートストラップ標本からパーセンタイル法で 95%信頼区間を推定した。 $L$  を変化させて上述の過程を繰り返し、 $L$  と  $B_i$  の関係を見積もった。

解析の結果、Miller and Smail (1997) が示したサンプリングウィンドウの面積である 625 cm<sup>2</sup> の場合、観察位置によって  $B_i$  は最大で約 4 倍異なることが明らかになった。観察面積を変化させると、面積が小さいときには  $B_i$  の平均値は大きな値をとりやすく、露頭の最大面積の半分程度以降は平均値が安定し、信頼区間の幅が十分に小さくなる傾向が認められた。このことは、生痕化石のサイズに対してサンプリングウィンドウが小さい場合、ウィンドウ中に占める生痕化石の面積が相対的に大きくなる効果を示していると考えられる。したがって、生物攪拌強度を精確に評価するには、対象となる生痕化石群集の“一般的な個体サイズ”を反映したサンプリングウィンドウの大きさを設定し、露頭画像のリサンプリングを行うことで信頼区間を推定する必要があるだろう。

#### 文献

Droser, M. L. and Bottjer, D. J., 1986, *Journal of Sedimentary Research*, **56**, 558–559.

Miller, M. F. and Smail, S. E., 1997, *Palaios*, **12**, 391–396.

Taylor, A. and Goldring, R., 1993, *Journal of the Geological Society*, **150**, 141–148.

## 一方向流下におけるポットホール内の礫のふるまい

### Motion of gravel in pothole under unidirectional flow

問田雄真(立正大学)・北沢俊幸(立正大学)

Yuma Toida (Rissho University), Toshiyuki Kitazawa (Rissho University)

連絡先:問田雄真 (151w00098@rissho-univ.jp)

#### 1. はじめに

ポットホールは主に岩盤河床や岩石海岸で見られる穴状の地形である。丸い穴の内径が地表面から地下までほぼ一定であることも多く、一般的には凹地に礫が入り込み、それが渦流で円運動し、岩盤を円形に侵食することで形成されると考えられている。しかし形成には膨大な時間を要することから、その形成プロセスはよく分かっていない。杉山・北沢(2017)は、糊で固めた人工砂層を岩盤河床に見立てた水路実験によりポットホールの成長プロセスを直接観察することに成功し、1)流速が速いほど穴の中の礫は速く円運動すること、2)円運動が速いほどポットホールが深さ方向に成長すること、を明らかにした。本研究では岩盤河床におけるポットホールの成長プロセスについてさらに理解を深めるために、一方向流下におけるポットホール内の礫のふるまいについて、ポットホールの内径と深さ、礫の直径との関係を実験的に明らかにする。

#### 2. 実験手法

実験には長さ4000mm、幅150mm、深さ200mmの開水路を用い、下流側に3°傾斜させた。内径25mm、51mm、77mm、100mmの4種類の塩化ビニール管(塩ビ管)をポットホールに見立て、高さ10mmで切った物を重ねて10~60mmの範囲で深さを調整した。これを塩ビ管の上端と水底面の高さが一致するように水路内に設置した。礫に見立てたビー玉の直径は15.8mm、19.0mm、24.5mmの3種類を用いた。塩ビ管周辺を通過する一方向流は深さ5mm程度、流速700mm/s程度で一定に保ち、塩ビ管内にビー玉を一つ入れ、1分間経過後に動き方を記録した。塩ビ管の内径と深さ、ビー玉の直径を変え72通りの条件でそれぞれ3回ずつ実験を行った。

#### 3. ビー玉の動き方

ビー玉の動き方は大きく分けて位置を変えるものと変えないものがあった。位置を変えるものは塩ビ管内で常に動いていた。それに対して位置を変えないものは塩ビ管内の同じ場所に留まり続けた。位置を変える動き方にはさらに「往復」、「小さく円運動」、「壁面に沿って円運動」の3種類に分類された。往復とは塩ビ管内で流れに対し垂直方向に揺れる動きであり一定範囲を行き来した。小さく円運動は塩ビ管の内径よりも小さい範囲内での円運動で壁面には触れなかった。壁面に沿って円運動は塩ビ管に接触しながら円運動を行った。位置を変えないものには、その場に留まり鉛直方向の軸で回転する「鉛直軸まわりの回転」と、「動かない」の2種類があった。上記のそれぞれの動き方は動きの方向(流れに対して横断方向、鉛直方向)や位置(上流側、下流側)でさらに細分され、合計10種類の動き方があった。

#### 4. 穴の内径と深さ

同じ流速であっても、穴の内径と深さに応じてビー玉の動き方は異なることが分かった。ビー玉の直径より浅い穴では、穴の内径に関わらず下流部で動いた。これは主に壁面に触れる往復運動で、一部は壁面に触れずに小さく円運動を行った。それに対してビー玉の直径より深い穴では上流部で動き、内径が大きい穴では主に壁面に触れずに小さく円運動を行った。比較的内径が小さくかつ浅い穴では上流部の壁面にのみ触れる半月状の動き、比較的内径が小さくかつ深い穴では壁面に触れる往復運動を行った。さらに内径が小さい穴では壁面には触れず鉛直軸まわりの回転を行った。これより深くなると穴の中央部で鉛直軸まわりの回転を行うようになった。内径と深さが同程度の穴では、壁面に沿って一周するように回転した。これが一般的に考えられているポットホールを侵食する礫の円運動に該当する。穴の内径がビー玉の直径にほぼ等しく、深さがビー玉の直径の 1/2 未満の穴ではビー玉は上下動したが、それより深い穴では動かなかった。

#### 5. ポットホールの成長プロセス

上記の実験結果から、自然界におけるポットホールの成長プロセスについて考察する。礫が壁面に沿って回転するのは、内径と深さが同程度のポットホールのみである。それより相対的に深さの比率が小さい(広く浅い)ポットホールでは、初期の浅い窪みでは礫は下流側で侵食を行う。その侵食によって内径と深さが大きくなると上流側で壁面に触れない動きで深さ方向に侵食を行う。その結果、深さが内径と同程度になると壁面に沿う回転によりポットホールの内径を広げる侵食が起こる。それにより深さの比率が小さくなるので、再度壁面に触れない動きとなり深さ方向の侵食が起こる。これを繰り返すことにより、主に深くする侵食と内径を広げる侵食が交互に起こり、ポットホールが成長する。大きくなったポットホールには新たに大きな礫が入りうるため、この一連の成長プロセスのいずれかの段階からまた穴を広げる作用が起こると考えられる。

#### 文献

杉山 修, 北沢俊幸, 2017. ポットホールの形成実験. 日本堆積学会 2017 年松本大会(信州大学)講演要旨集, 16.



## 地層を音楽に変換する Web アプリ「Sedimentary Rock!」の開発

Sedimentary Rock!: Creation of the web application to convert strata to music

北沢俊幸(立正大学), 安友裕秋(株式会社シフトブレイン), 加藤琢磨(株式会社シフトブレイン),  
野田琢真(立正大学), 青木和昭(立正大学)

Toshiyuki KITAZAWA (Rissho Univ.), Hiroaki YASUTOMO (Shiftbrain Inc.), Takuma KATO (Shiftbrain Inc.),  
Takuma NODA (Rissho Univ.), Kazuaki AOKI (Rissho Univ.)

連絡先: 北沢俊幸 (kitazawa@ris.ac.jp)

### 1. Sedimentary Rock!の概要

地層から得ることができる一次的な情報は主に視覚によるものであるが, 指先の触覚で粒度を確認したり, 直接見ることのできない地下に対しては物理探査など, 目視以外の方法も用いて地層を捉えている. 新しい手法や見方で地層を捉えることで, 新たな発見や解釈が得られる可能性がある. そこで地層を人間の聴覚やリズム感で捉えるべく, 層厚を音の長さに変換し, 堆積物の粒径を音の高さに変換して音楽を奏でる Web アプリ「Sedimentary Rock!」を開発した. このように自然界のものを音に変換する「可聴化」には他に, 分子のふるまいを音に変換する試み(中村, 2012)などが知られている.

アプリの作成は JavaScript で行った. パソコン, スマートフォン, タブレットなどの Web ブラウザ上で作動する. 操作画面は全て英語表記である. 使用時のおおまかな流れは, まずアプリ上で一つの柱状図を作成・編集し, その柱状図を音楽に変換する. 音楽を再生せずに, 柱状図を作成するだけの目的でも使用でき, メモ欄に簡単な記載も可能である. はじめに立正大学のサーバ上の <http://rissho-es.jp/kitazawa/SedimentaryRock/> に接続する必要があるが, 一度起動したあとは Web ブラウザの画面を閉じない限りはオフラインでも柱状図の作成, 保存, 読み出し, および音楽の再生ができる. 誰でも自由に簡単に使えるためアウトリーチなどでも利用が可能と思われる.

### 2. 柱状図の作成と保存

単層の厚さと粒径を入力し, さらに下位または上位に別の単層を加えるという流れで柱状図を作成する. あとから任意の単層を指定して編集したり, 任意の場所に別の単層を挿入することもできる. 厚さは 1mm-100m の範囲で入力が可能で, m, cm, mm のいずれかで値を入力する. 万が一 100m 以上の厚さの単層を表現したい場合は 100m ずつに区切って入力する. 粒径の入力は, gravel, very coarse sand, coarse sand, medium sand, fine sand, very fine sand, silt, clay の 8 種類の粒径および none(露欠やコア欠損を想定している)の中から選択する. 作成される柱状図では礫は茶色, 砂は黄色, 泥は水色で表示される. 単層の最下部と最上部の粒径を変えることができ, その間は直線で結ばれるため, 級化や逆級化も表現できる. 粒径の変化傾向が変わる所で分けて入力すればたいの粒径変化は表現できる. その他の機能としては, 柱状図の横幅と長さを調整でき, 画面の大きさに対応したり見た目の印象を変えられる. また, 初期設定では層理面に線がついていないが, 黒い境界線を表示することができる.

作成された柱状図の厚さと粒径などの情報を保存するには, 色のついた四角いパターン画像 (Sedimentary

Rock Data:SRD と呼ぶ)として出力する. これはただの画像ファイル(PNG)なのでスマートフォンの写真フォルダに保存したり他人にも送信できる. 保存した柱状図をアプリ上で読み出すには SRD を指定する. 読み出した柱状図は続けて編集ができ, もう一度保存すると上書きではなく, 新たな SRD が作成される.

### 3. 地層から音楽への変換

単層の厚さ  $t(\text{mm})$  から音の長さ  $l(\text{msec})$  への変換は, 厚いほど音が長くなるように設定し, 様々な厚さの地層に対応するために厚さの自然対数を取り,  $l = 100 \log t$  とした. 入力可能な単層の厚さ 1mm-100m は, 音の長さで 0-約 1151msec に相当する. 粒径から音の高さへの変換は, ロック音楽などでよく使われ, 半音で隣接する音がないため C メジャーのとき不快になりづらい音階である C メジャーペンタトニックスケール(ドレミファソラシドからファとシを除いたもの)を用いた. 粒径が細かいほど高音になるように設定し 440Hz のラから 8 音, すなわち gravel をラ, very coarse sand をド, coarse sand をレ, medium sand をミ, fine sand をソ, very fine sand をラ, silt をド, clay をレとし, none を無音とした.

再生ボタンを押すと, 柱状図が下位から順に音に変換・再生される. この連続音が(ロック調かどうかはともかく)音楽として聴こえ, 地層が可聴化される. 気持ちの良い音楽にするにはより音楽的な改良が必要であるが, 地層を人間の聴覚やリズム感で捉えるという初期の目的は達成された.

### 文献

中村振一郎 (2012) 化学の音-分子動力学の情報を音に変換すると!?- . 現代化学, 5, 39-41.

混合粒径の浮遊砂連行率の実験的検討：開水路と混濁流の違い  
Experimental Investigation of Entrainment Rates of Mixed Grain-size Particles  
to Suspended Load: Difference between Open Channel Flows and Turbidity  
Currents

姚 奇峰 ・ 成瀬 元（京都大学大学院理学研究科）

Qifeng Yao, Hajime Naruse (Kyoto Univ.)

連絡先：姚 奇峰 ([yaoqf0217@gmail.com](mailto:yaoqf0217@gmail.com))

Turbidity currents in the ocean and lakes are driven by excess density originated from suspended sediment. The dynamics of turbidity currents are largely governed by suspended sediment that is entrained from the bed. Therefore, quantitative estimation of transport rates of suspended sediment is critical to predicting the behavior of turbidity currents. A key feature for the prediction of suspended load is the entrainment rate of basal sediment into suspension at the solid-fluid interface, which is the subject of this research. The previous research revealed that entrainment rates of basal sediment can be estimated from several flow parameters such as flow shear velocity on the basis of flume experiments and field observation. However, the empirical function of sediment entrainment rates established by previous research was mostly based on experiments using uniform particles, and very few research examined the entrainment function that can be applied to the mixed-grain size particles.

To this end, we conducted in total 17 flume experiments of turbidity currents especially focusing on differences between single and mixed grain-size cases. The lightweight plastic particles were used in our experiments in order to reproduce suspension in a relatively small-scale flume (4 m long and 15 cm wide). In this research, plastic particles with the specific gravity of 1.45 were chosen as the model sediment material. As the focus of the experiments reported here was centered on the dynamics of the current body, rather than the head, care was taken to measure only after the current front had passed and the flow had achieved a quasi-equilibrium state. At this condition, entrainment rate of basal sediment is balanced with the rate of sediment settling from suspended load in the flow, so that we measured basal concentration in the experimental flume by siphon tubes to estimate entrainment rates from basal sediment. Also, flow velocity profiles that were used for estimating flow shear velocity were measured by the acoustic Doppler velocity profiler. After the experiments were conducted, grain-size distribution of basal sediment was measured by a settling-tube grain size analyzer.

We examined the entrainment rate of basal sediment to suspension in turbidity currents and compared our measurements with the prediction using the empirical formulations that have been commonly used for numerical simulations of turbidity currents for these 20 years. In the uniform particle experiments, the prediction of entrainment of sediment matches with the measurement consistently. However, in the mixed

grain-size particle experiments, it represents less consistent with anticipation. This implies that the new empirical formulation is needed for predicting entrainment rate of the mixed grain-size sediments into suspended load.

To obtain a new entrainment function, we examined our experimental results with compilation of existing data in previous research by using the multiple regression analysis. Adequacy to employ possible flow parameters to the entrainment function were examined by AIC and BIC, as well as PCA analysis with k-fold cross-validation. As a result, a new empirical function for sediment entrainment that is applicable to mixed-size particles was proposed in this research.

#### References

- Eggenhuisen, J. T., Cartigny, M. J., Leeuw, J. (2016). "Physical theory for near-bed turbulent particle-suspension capacity." *Earth Surf. Dynam. Discuss.*, doi:10.5194/esurf-2016-33.
- Elhakeem, M., and Sattar A.M. (2015). "An entrainment model for non-uniform sediment." *Earth Surf. Process. Landforms* 40, 1216–1226.
- Garcia, M., and Parker, G. (1991). "Entrainment of bed sediment into suspension." *J. Hydraul. Eng.*, 117(4), 414–435.
- Garcia, M., and Parker, G. (1993). "Experiments on the entrainment of sediment into suspension by a dense bottom current." *J. Geophys. Res.*, 98(3), 4793–4807.
- Graf, W. H., and Cellino, M. (2002), "Suspension flows in open channels; experimental study." *J. Hydraul. Res.*, 40(4), 435–447.
- Sequeiros, O. E., Spinewine, B., Beaubouef, R. T., Sun, T., García, M. H., and Parker, G. ( 2010). "Characteristics of velocity and excess density profiles of saline underflows and turbidity currents flowing over a mobile bed." *J. Hydraul. Eng.*, 136(7), 412-433.

Initial flooding surface の年代と標高からみた九十九里平野の長期的隆起  
Long-term tectonic movement of Kujukuri Plain inferred from ages and elevations of  
initial flooding surface

小松原純子（産総研）

Junko Komatsubara (GSJ, AIST)

連絡先：小松原純子 (j.komatsubara@aist.go.jp)

房総半島東岸の九十九里平野は海流で運ばれた砂が作った典型的な浜堤平野である。地表から深度 20 m 付近までは主に浜堤を形成する砂と、それに続く海浜堆積物からなる。その下には最終氷期の谷を埋めた完新統が帯状に分布し、深いところでは地表から深さ 50 m に達する（小松原，2019）。

海浜堆積物のボーリング調査および地中レーダー調査からは、平野が広がり始めた 6000 年前以降、平野が断続的に数回隆起していることがわかっており、隆起量は累積で 5 m と見積もられている（増田ほか，2001；Tamura et al., 2008）。ただし非変動域の古奥東京湾で得られている海面変動曲線（遠藤ほか，1989）と比較すると、これらの隆起はその後のゆっくりとした沈降により相殺されて累積しない（増田ほか，2001）。一方で平野の背後に広がる最終間氷期の段丘面（小池・町田，2001）は標高 40 m 以上あり、10 万年スケールでは明らかに隆起している。

産総研地質調査総合センターでは九十九里平野の地下地質を調査するため 2015 年度に 4 本のボーリング調査を行ったが、そのうち 2 本で沖積層の最下部に海成層と陸成層の境界（initial flooding surface）を認めることができた。旭市萬歳のコア GS-QAS-1 では標高-25 m 付近に境界があり、直下の植物片から得られた  $^{14}\text{C}$  年代から、10220 cal BP 以降に海水の浸入があったことがわかった。旭市の旭スポーツの森公園で掘削したコア GS-QAS-2 では標高-45 m 付近に境界があり、上下の  $^{14}\text{C}$  年代から海水の浸入は 10746-12387 cal BP と推定された。どちらも境界付近の地層は連続しており、潮汐ラビンメント面は形成されなかったと考えられる。

これらの標高-年代値を古奥東京湾の海面変動曲線（遠藤ほか，1989；田辺ほか，2012）と比較すると、GS-QAS-1 では標高-年代の範囲内で一致し、GS-QAS-2 ではやや高めの値であるものの年代幅の最も若い範囲で古奥東京湾のものと一致した。少なくとも 11000 年前以降は九十九里平野に長期的な隆起沈降傾向はないものと考えられる。

古奥東京湾に比べ九十九里平野の古海面が高い値を示す原因として、増田ほか（2001）は堆積後の圧密が原因である可能性を指摘している。古奥東京湾では潮汐の影響が強く潮汐ラビンメントが広く形成されているが、外洋に面した九十九里平野の沖積層には形成されなかったことも関係があるかもしれない。また、海面指標として古奥東京湾では潮間帯の貝化石を用いている一方、九十九里平野では前浜堆積物の中間標高および海成層の下限を用いているため、これらの海面指標の違いが影響している可能性もある。

遠藤邦彦ほか(1989)第四紀研究, 28, 61-77. 小池一之・町田 洋 (2001) 日本海成段丘アトラス. 東京大学出版会. 小松原純子 (2019) 海陸シームレス地質情報集「房総半島東部沿岸域」, 地質調査総合センター. 増田富士雄ほか (2001) 地学雑誌, 110, 650-664. Tamura, T., et al. (2008) Marine Geology, 248, 11-27. 田辺 晋ほか (2012) 地質学雑誌, 118, 1-19.

## 泥 vs 波 (予報)

## Mud vs wave-induced oscillatory flow: preliminary experiment

山口直文 (茨城大学) ・ 関口智寛 (筑波大学)

Naofumi Yamaguchi (Ibaraki Univ.), Tomohiro Sekiguchi (Univ. Tsukuba)

連絡先 : 山口直文 (naofumi.yamaguchi.sci@vc.ibaraki.ac.jp)

## 1. はじめに

波浪が底面近傍まで作用するような浅い水底環境において、細粒な泥質堆積物は、水中を漂い続けその場にはほとんど残されないとこれまで一般的に考えられてきた。一方で、近年の研究によって、高濃度の泥質堆積物が供給された場合には fluid mud と呼ばれる高濃度のサスペンション粒子を含む泥質流体が形成され、短時間で急速に堆積しその場に残されることが明らかになっている (例えば、西田・伊藤, 2009)。前述のような波浪が作用する場に、高濃度の泥質堆積物が供給された場合、実際に底面近傍でどのような現象が起き、どの程度の濃度で残されるようになるのかについては明らかになっていない。こうした泥質堆積物の波浪場での堆積についての定量的な解析の足がかりとして、この研究では、波浪が作用しウェーブリップルが形成されうる条件を造波水路内に再現し、そこに泥質堆積物を供給した場合の底面近傍での現象を調べた。

## 2. 実験方法

実験は、筑波大学アイソトープ環境動態研究センター環境動態予測部門の二次元造波水路を用いて行った。実験区間には水路内に入れ子型の仕切りを設置し、中に初期砂床として珪砂 (中央粒径 : 約 200  $\mu\text{m}$ ) を敷いた。今回の実験では、波浪条件は一定 (水深 : 0.30 m, 周期 : 1.0 s, 波高 : 7 cm (設定値)) とし、実験区間上方から供給する水と泥質堆積物 (含水カオリン, 中央粒径 : 5  $\mu\text{m}$ ) の混合物の濃度を変化させて計 3 試行実施した。波浪条件は、底面に凹凸がある場合にウェーブリップルがかろうじて形成する程度の小さい振動流流速になるように設定している。水と泥質堆積物の混合物の初期濃度は、それぞれ 20, 100, 250 g/L とした。

各実験試行では、まず波浪を作用させ、初期地形としてウェーブリップルの形状が定常状態になるまで発達させた。その後、上方から、攪拌させた水と泥質堆積物の混合物を約 40 分間供給し、砂床上への泥質堆積物の堆積の有無や底面近傍での現象を観察した。また、底面近傍の泥水の堆積物濃度を測定するため、初期砂面直上 5 cm においてサイフォンによる採水を行った。

## 3. 結果・議論

実験では、3 条件全てにおいて、上方より供給された水と泥質堆積物の混合物は波によって攪拌されたが、水塊内に濃度躍層と思われる境界が観察された。低層の高濃度泥水は、波により水平方向へ拡散され、砂床がない、より低い場所へ輸送され堆積している様子が観察された。一方、3 条件全てにおいて、波浪が作用する間は砂床上には泥質堆積物は明瞭に堆積せず、ウェーブリップル内に葉理

状に薄く残されるのみであった。底面近傍で採水した泥水に含まれる堆積物濃度を測定した結果、供給した濃度が 20, 100, 250 g/L である実験において、それぞれおよそ 2–2.5, 6–7.5, 9–12 g/L であった。また、それぞれの実験において、波浪の作用を停止させた場合には砂床上に泥質堆積物が残された。

今回の実験の振動流は、ウェーブリップルが形成されうる限界に近い小さい流速であった。また、底面近傍の泥水の堆積物濃度は、最も大きい実験では 10 g/L を超える状態であったことが採水の結果から明らかになっている。一般に、堆積物のサスペンション濃度が 10 g/L を超えた場合に Fluid mud と呼ばれる状態になると考えられている (Faas, 1991)。今回の実験結果は、こうした比較的小さい流速条件で、さらに Fluid mud 状態になりうる高濃度の泥水であっても、ウェーブリップルが存在し底面近傍で渦が発生する場合には、泥質堆積物が常に巻き上げられ堆積しにくいことが示唆された。

今回の実験で使用した泥質堆積物は、自然界の泥質堆積物と比べて非常に細粒であり、カオリンに限られている。今後は、より粗粒なシルトサイズの場合や、ベントナイトなど別の鉱物組成の場合についても検討が必要であると考えられる。また、今回の実験では、高濃度の泥水が水平方向のわずかに低い場所へと拡散する様子が観察された。こうした波浪による水平拡散と、低い場所への濃集は、泥質堆積物の局所的かつ急速な堆積を引き起こす可能性がある。こうした泥質堆積物の堆積における、微小な高低差などの地形の影響についても今後検討が求められる。

#### 参考文献

- Faas, R. W., 1991, Rheological boundaries of mud: Where are the limits? *Geo-Mar. Lett.*, 11, 143–146.  
西田尚央・伊藤 慎, 2009, Fluid mud の特徴とその地層解析における役割, 115, 149–167.

**潮の名残り：混濁流は潮汐に影響されうるか？****The remain of the tide: can turbidity currents be influenced by tidal flows?**

成瀬 元 (京都大学・理) ・Robert Dorrell (ハル大学)

Hajime NARUSE (Kyoto University), Robert Dorrell (University of Hull)

連絡先：成瀬 元 (naruse@kueps.kyoto-u.ac.jp)

**1. はじめに**

混濁流が潮の満ち引きに影響されることがあり得るだろうか。混濁流は深海底で卓越する現象であり、潮流は主として浅海域で働く作用である。したがって、両者が関連することは通常はあり得ないように思える。しかし、混濁流が発生する海底谷の谷頭部では状況が異なる。海底谷には潮汐作用によって内部波が発生し、地域によっては 30 cm/s を超える流速の潮流が流れることが知られている。一方、混濁流は海底谷の谷頭部で発生し、自己加速現象を経て下流の海底扇状地へと流出する。谷頭部で発生したばかりの混濁流の流速は 1-2 m 程度に過ぎないため、場合によっては海底谷内の潮流の流速とオーダーとしては一致することになる。しかし、引き潮・満ち潮それぞれの場合で、潮流が混濁流の発達にどのような影響を与えるかについてはほとんど研究が行われていない。また、影響があるとしても、下流の海底扇状地における混濁流の挙動にそれが残るのかどうかについては良くわかっていない。そこで、本研究は二層浅水方程式モデルによって潮汐が混濁流に与える影響を検討した。

**2. 数値モデル**

本研究では、海底谷の谷頭付近での混濁流及び周囲水の挙動を再現するため、一次元二層浅水方程式モデルを構築した。このモデルでは、混濁流および上位の海水（潮流）の流速を鉛直平均して二つの層として扱い、それぞれの層における運動量および質量保存式、そして混濁流の運搬する浮遊砂質量保存式が考慮される。また、二層の間での摩擦および流体の混合による連行作用が経験式に基づいて計算される。二層流モデルを解く際には、二層の境界が傾斜することによる圧力の変化を考慮しなくてはならないが、これに関する項は以下のようにして解決する。まず、本モデルでは、海面が常に平坦であることを仮定する。すなわち、海水面の高さは時間的にも空間的にも一定である。この仮定のもとでは、二層の連続式を一式にまとめることができる。また、二層の運動量保存式を一式にまとめる際に、二層の境界の形状効果による圧力変化の項を消去することができる。結果として、二つの偏微分方程式を解くことによって、二層の運動量保存式・質量保存式の解がすべて得られることになる。これらの式の数値解を得るにあたっては、CIP 法を用いた。

**3. 結果と考察**

上流端での水深を 100 m、底面の勾配を 5%、潮流の流速を  $\pm 0.3$  m/s、計算区間の長さを 10 km に設定して、数値実験を行った。混濁流の上流端での厚さ・流速・濃度を様々に変化させて実験を行ったところ、自己加速が起こる境界に近い条件の下では、潮流の存在が計算区間の下流端における混濁流の流速に大きく影響することが明らかになった。潮流の流速変化と比較して、下流端の混濁流の流速変化は数 m/s におよぶ。



これは、混濁流の自己加速作用が潮流の影響を増幅した結果である。

この事実は、以下のような仮説を想起させる。(1)内部潮汐が大きい海底谷ほど混濁流が発生しやすい可能性がある。現世の観測結果から、いくつかの海底谷ではほとんどきつかけ無しに混濁流が発生していることが明らかになっている。しかし、すべての海底谷で混濁流が頻繁に起こっているわけではなく、発生頻度を支配している要因は未だにわかっていない。仮に潮流が混濁流を促進する効果があるとすれば、内部潮汐の大きい海底谷ほど混濁流が発生しやすいという傾向が見つかるかもしれない。(2)海底扇状地における持続的混濁流の流速変化は潮汐の影響の名残りかもしれない。持続的混濁流から堆積したと解釈されるタービダイトには、しばしば級化・逆級化を繰り返すような構造がみられる。また、現世で観測された混濁流には、数時間スケールの流速変動がみられることもある。これらの流速変化は、もしかすると上流端での潮流の流速変化が下流端へ伝播したものであるかもしれない。(3)海水準変動が混濁流発生頻度に与える影響を説明するかもしれない。海底谷内部の潮汐は密度成層した海水の内部波が地形の複雑な影響を受けて引き起こす現象であり、海水準が変われば潮流の強度も大きく変わることが予想される。近年になって、海水準変動と海底扇状地の発達時期の関係は複雑であり、海底谷によって海底扇状地の発達時期は大きく変化することが明らかになりつつある。あくまでも可能性に過ぎないが、混濁流の発生が潮流に影響を受け、潮流の強度変化が海水準変動に反応したものだとする、上記の海底扇状地の海水準に対する複雑な反応が説明できるかもしれない。

以上の仮説を検証するためにも、数値実験を進めると同時に、海底谷内部での潮流と混濁流の関係について現世の観測や水槽実験などが今後は必要であろう。



### MEIJI ML9000シリーズ 偏光顕微鏡

メイジテクノのML9000シリーズは透過照明のみの高性能中級偏光顕微鏡です。偏光顕微鏡に求められる全ての機能を備えています。鏡筒の違いにより、3モデルがあります。

- ML9100 単眼型 定価 ¥340,000
- ML9200 双眼型 定価 ¥390,000
- ML9300 三眼型 定価 ¥400,000

(写真はML9300です。)

# POLARIZING MICROSCOPE

## 偏光顕微鏡

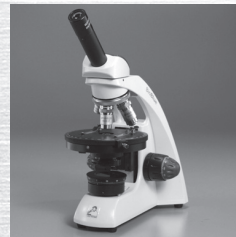


### MEIJI MT9000シリーズ 偏光顕微鏡

メイジテクノのMT9000シリーズは透過のみと透過・反射両照明の2モデルがあり、教育・研究機関、医療、産業界分野で使用される高級偏光顕微鏡です。

- MT9200 双眼型 定価 ¥576,000
  - MT9300 三眼型 定価 ¥596,000
  - MT9420 双眼型 定価 ¥707,000
  - MT9430 三眼型 定価 ¥727,000
- (写真はMT9300です。)

※価格は税抜き価格です。



### MEIJI MT-90シリーズ 簡易偏光顕微鏡

メイジテクノのMT-90シリーズはLED透過照明装置を装備した教育・実習向けに最適な1台です。鏡筒と倍率の違いにより3モデルがあります。

- MT-90 単眼型 定価 ¥128,000  
(総合倍率:40~400×)
  - MT-94 双眼型 定価 ¥138,000  
(総合倍率:40~400×)
  - MT-93 双眼型 定価 ¥148,000  
(総合倍率:40~1000×)
- (写真はMT-90です。)



### MEIJI MS40DR/SAM1-P ユニマック スタンドアロン・ マイクロスコプセット 簡易偏光観察仕様

メイジテクノのMS-40DR/SAM1-Pはスーム式マイクロスコプセットに、LED透過照明スタンド・ポラライザ付回転ステージ・回転アナライザ・モニター付フルHDカメラを組み合わせて、超広視野偏光観察を可能にしました。

- 表示倍率:  
約13.8~88.7倍(11.6インチモニター上)
- MS40DR/SAM1-P 定価 ¥588,900

## メイジテクノの製品は日本製です。

メイジテクノは顕微鏡の専門メーカーです。  
メイジテクノの製品は自社工場で製造します。  
メンテナンス、アフターサービスは万全です。  
ご請求あり次第カタログをお送りします。

日本顕微鏡工業会会員

## メイジテクノ株式会社

〒354-0043 埼玉県入間郡三芳町竹間沢322-1

TEL:049-259-0111 FAX:049-259-0113

E-mail : meiji@meijitechno.co.jp



<http://www.meijitechno.co.jp>



# Add New Layers to Your Research

- ✓ 信頼できる年代を迅速な納期で  
AMS C14 Dating 3~10営業日
- ✓ 年代測定を行わなかった試料のキャンセル料  
はかかりません (溶媒/セルロース抽出を行った場合は除きます)

— Since 1979 —

## Radiocarbon Dating

Consistent Accuracy, Delivered on Time

日本総代理店 株式会社地球科学研究所



Beta Analytic

[www.radiocarbon.com](http://www.radiocarbon.com)



2019年4月19日発行  
発行者 日本堆積学会  
〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1  
福岡大学理学部地球圏科学科(石原与四郎)内

日本堆積学会事務局  
<http://sediment.jp/>  
© The Sedimentological Society of Japan, 2019