

日本堆積学会 2018年秋田大会 プログラム

<日 時> 2018年3月25日(日)～28日(水)

25日(日): ワークショップ(2コース)

26日(月): 個人講演, 総会議事, 懇親会

27日(火): 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

28日(水): ポスト巡検「男鹿半島に分布する最上部新生界の地質と秋田の油田」

<会 場> 秋田大学手形キャンパスほか

<http://www.akita-u.ac.jp/honbu/access/>

3月25日(日) ワークショップ(2コース)

コースA 「コアワークショップ: 椎谷層砂岩貯留層コアの堆積相解析」

国際石油開発帝石株式会社主催, 堆積学会との共催

場所・時間: 国際資源学部2号館B105 石油地質学実験室 13:00-17:00

講師: 佐藤隆司氏(国際石油開発帝石)・荒戸裕之氏(秋田大学)・保柳康一氏(信州大学)

コースB 「津波堆積物ワークショップ」

秋田大学地方創生センター, 秋田大学大学院理工学研究科附属地域防災力研究センター共催

場所・時間: 秋田大学地方創生センター1号館2F 会議室等 13:00-17:00

講師: 鎌滝孝信氏(秋田大学)

3月28日(水) ポスト巡検

「男鹿半島に分布する最上部新生界の地質と秋田の油田」

集合: 秋田大学正門 7:40 解散: 秋田大学正門 16:00, 秋田駅東口 16:15, 秋田空港 17:00

講師: 山崎 誠氏・千代延俊氏・荒戸裕之氏(秋田大学)

3月26日(月)

会場：一般教育1号館103講義室(ポスター会場)2号館103講義室(口頭発表会場)

建物への入館は08:15から可能です。

9:00-9:05 会長挨拶 高野 修

<口頭発表の部>

【座長：齋藤 有】

- O1 9:05-9:25 白保竿根田原洞穴遺跡の堆積物の特徴
石原与四郎(福岡大)・吉村和久(九州大)・
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)
- O2 9:25-9:45 IODP-ICDP 第364次研究航海によるチチュルブ・クレーター掘削の成果とク
レーター内部堆積物の再堆積過程
後藤和久・石澤堯史(東北大)・
菅原大助(ふじのくに地球環境史ミュージアム)・
モーガン ジョアンナ(インペリアル・カレッジ・ロンドン)・
グリック ショーン(テキサス大学オースティン校)・
Expedition 364 scientists
- O3 9:45-10:05 北米グリーンリバー湖成層に見られるチャート層の成因と始新世前期“温室
期”の湖生物生産量変動
隈 隆成(名古屋大)・長谷川精(高知大)・
山本鋼志(名古屋大)

休憩(10:05-10:15)

【座長：山田昌樹】

- O4 10:15-10:35 タイ南西部沿岸における2004年インド洋大津波による津波堆積物の保存可
能性
阿部朋弥(産総研)・海津正倫(奈良大)・
Naruekamon Janjirawuttikul(タイ王国土地開発局)
- O5 10:35-10:55 津軽半島、十三湖周辺における津波堆積物
岡田里奈(弘前大)・鎌滝孝信(秋田大)・
梅田浩司(弘前大)

- O6 10:55-11:15 仙台湾南部における 3.11 津波による冲向き土砂移動
吉河秀郎 (清水建設(株)技術研究所)・
佐藤 晃・後藤和久 (東北大)・
菅原大助 (ふじのくに地球環境史ミュージアム)・
金松敏也・阪口 秀 (JAMSTEC)
- O7 11:15-11:35 ブロック試料を用いた陸上津波堆積物に含まれるマッドクラストの特徴
高清水康博・玉木恵理菜・ト部厚志 (新潟大)
- O8 11:35-11:55 液状化による砂脈の分類と粒径
比後有廉・北沢俊幸 (立正大)

【座長：宇津川喬子】

<ポスター発表ショートトーク： 奇数番号の講演> 11:55-12:34

1 件あたりの講演は 3 分以内とします。

昼休み (12:34-13:30)

<ポスター発表の部> 13:30-14:45

3 月 26 日 (月) 8:30 より掲示できます。3 月 27 日 (火) 17:00 までに撤収をお願いします。

- P1 礫形状の摩耗に伴う変化
宮田雄一郎・廣田毬子 (山口大)
- P3 多摩川中流域における深成岩礫の供給・運搬過程
白井正明・遠藤紗花・宇津川喬子 (首都大)
- P5 混濁流中の泥質礫の起源および分解過程の解明：下部更新統上総層群大田代層の例
福田壮二郎・成瀬 元 (京都大)
- P7 高密度ボーリング調査と微地形から明らかにする歴史津波の挙動と堆積物の特徴
～北海道登別市における 17 世紀津波堆積物～
中西 諒・長谷川大輔・岡村 聡 (道教大)
- P9 津波による海底砂の運搬プロセスに関する実験的研究
鈴木貴大・篠崎鉄哉 (筑波大)・
山口直文 (茨城大)・関口智寛 (筑波大)
- P11 秋田県男鹿市生鼻崎地域に分布する更新統北浦層の堆積相解析
阿部史孝・千代延俊・荒戸裕之 (秋田大)
- P13 新潟県東頸城丘陵北東部における更新世の海水準変動に応答した 2 つのデルタシステム
による堆積盆地の埋積
河西夏美・保柳康一 (信州大)
- P15 埼玉県秩父盆地北縁における中新統の堆積環境解析
吉岡拓実・北沢俊幸 (立正大)

- P17 茨城県霞ヶ浦における堆積速度の相違解決に向けた試案
井内美郎（早稲田大）・天野敦子（産総研）・
木下愛海・宮村笑子（元早稲田大）
- P19 堆積物供給量の違いによる最大海氾濫面の年代差－首都圏沖積層の例－
小松原純子（産総研）・石原与四郎（福岡大）・
中島 礼（産総研）・内田昌男（国環研）
- P21 紀伊半島四万十累帯「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）
別所孝範（大阪市立大）・
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）
- P23 気象観測に基づく石筍年縞の形成シミュレーション－秋吉台こうもり穴の例－
佐々木華（福岡大）・大西由梨（応用地質）・
村上崇史（美祢市立秋吉台科学博物館）・
石原与四郎（福岡大）・吉村和久（九州大）
- P25 後期完新世メコン河デルタはオートジェニックな平衡河川系の実例か
王俊輝（中国石油大）・田村 亨（産総研）・武藤鉄司（長崎大）

<口頭発表の部>

【座長：長谷川精】

- O9 14:45-15:05 遠洋性堆積物の構造解析から分かる堆積性マンガン鉱床の形成過程
浦本豪一郎（高知大）
- O10 15:05-15:25 メタンハイドレートが高濃集するガスチムニーはどのように形成されたか
松本 良・柿崎喜宏・蛭田明宏（明治大）・
山王梨沙・鈴木麻希（東京大）・
沈川洲（台湾大）
- O11 15:25-15:45 北海道日高海岸地域の中中部～上部中新統前縁盆地埋積物の堆積システム
加瀬善洋・川上源太郎（道総研地質研）・
高野 修（石油資源開発）
- O12 15:45-16:05 Thermal history and provenance studies of the Scillato wedge top basin
(central-northern Sicily, Italy) by means of vitrinite reflectance and XRD on clay
minerals
Martizzi Paolo（秋田大）・
Balestra Martina・Corrado S.（ローマトレ大）
- O13 16:05-16:25 秋田堆積盆の発達史と石油の成因
中嶋 健（産総研）

<総会> 16:30-17:30

<懇親会> 17:45-20:00 秋田大学学生会館クレーン1階

3月27日(火)

<口頭発表の部>

【座長：小松原純子】

O14 9:00-9:20 モンゴル年縞湖成層に記録される白亜紀中期“超温室期”の太陽活動周期の
気候変動

長谷川精(高知大)・安藤寿男(茨城大)・
勝田長貴(岐阜大)・村木 綏(名古屋大)・
Ichinnorov N. (モンゴル古生物地質研)・
村山雅史(高知大)・山本鋼志(名古屋大)・
太田 亨(早稲田大)・長谷川卓(金沢大)・
山本正伸(北海道大)・長谷部徳子(金沢大)・
Heimhofer U. (ハノーバー大)

O15 9:20-9:40 河川～湖沼成シークェンス層序解釈における生痕化石データの有効性：ユタ州
ユインタ堆積盆に露出する始新統ユインタ層およびドゥシェーンリバー
層の例

佐藤隆司(国際石油開発帝石)・
Marjorie A. Chan・Allan A. Ekdale(ユタ大)

O16 9:40-10:00 鹿児島県喜界島 2017年9月豪雨で新たに出現した知念層相当層とその意義
(予察)

松田博貴(熊本大)・
千代延峻・山崎 誠(秋田大)・
佐々木圭一(金沢学院大)

休憩(10:00-10:10)

【座長：吉河秀郎】

O17 10:10-10:30 河川泥質堆積物の Sr-Nd-Pb 同位体比と流域地質との関係

齋藤 有(地球研)

O18 10:30-10:50 河岸段丘の形成 -立川段丘面の例-

八木下晃司(早稲田大)・小松原純子(産総研)

O19 10:50-11:10 メコンデルタの形態を決める要因は何か

田村 亨(産総研)・齋藤文紀(産総研・島根大)・
Marcello Gugliotta(島根大)・
Nguyen Van Lap・Ta Thi Kim Oanh(ベトナム科学アカデミー)

- O20 11:10-11:30 波浪と海流が影響する砂質陸棚の形成過程：房総半島九十九里浜沖海域
西田尚央（東京学芸大）・
味岡 拓・池原 研・
中島 礼・片山 肇（産総研）
- O21 11:30-11:50 差別浸食によって海岸線と平行に延びた埋没チャネル：房総半島東部沿岸海
域の沖積基底
佐藤智之・古山精史朗（産総研）

【座長：佐々木華】

<ポスター発表ショートトーク： 偶数番号の講演> 11:50-12:26

1件あたりの講演は3分以内とします。

昼休み（12:26-13:30）

<ポスター発表の部> 13:30-14:45

- P2 Artificial Neural Networking による Krumbein の円磨度印象図の数値化予測
仁科健二（道総研地質研）
- P4 河川－海浜に堆積する砂礫の運搬作用に伴う形状変化に基づいた『円磨度の飽和過程モデル』の提案
宇津川喬子・白井正明（首都大）
- P6 南相馬市小高区における3.11津波堆積物と完新統ボーリングコア中のイベント堆積物の比較研究
内山しおり・角張友律・太田勝一・保柳康一（信州大）
- P8 大型造波水路津波堆積物と現世津波堆積物観察例
岡崎浩子（千葉県立中央博）・吉井 匠（電力中央研究所）・
宮田雄一郎（山口大）
- P10 鬼界カルデラ噴火に伴う津波堆積物と火山噴出物の層序関係
山田昌樹・佐竹健治（東京大）・藤野滋弘（筑波大）
- P12 秋田県五城目町杉沢地域に分布する女川層の岩相解析
－特に微細堆積構造に着目して－
日比康貴・大和寛享・荒戸裕之・千代延俊（秋田大）
- P14 長野市信州新町地域における北部フォッサマグナ新第三系の堆積システムと貝化石の埋積モデル
中島悠介・保柳康一（信州大）
- P16 島根県出雲市に分布する大森層の特徴とその空間変化
松澤ひかり・酒井哲弥（島根大）

- P18 房総半島東部沿岸域 20 万分の 1 海底地質図
古山精史朗・佐藤智之・荒井晃作（産総研）
- P20 風成砂丘から探る超大陸パンゲア時代の気循環：火星やタイタンとの類似性
庄崎弘基・長谷川精（高知大）
- P22 河床縦断形の逆解析を用いた東北日本弧の地殻隆起速度の時空変動復元
中島由以佳・成瀬 元（京都大）
- P24 新しい混濁流数値モデル：駆動層・希薄層構造を考慮した深さ平均モデルの開発
大畑耕治・成瀬 元（京都大）

<口頭発表の部>

【座長：浦本豪一郎】

- O22 14:45-15:05 サージ的混濁流によって形成されるサイクリックステップの特徴
藤田和典・森 勇・横川美和（大阪工業大）・
Roberto Fernandez・Matt Czapiga・John Berens・
Jeffrey Kwang・内藤健介・Gary Parker（イリノイ大）・
泉 典洋（北海道大）・成瀬 元（京都大）
- O23 15:05-15:25 深層学習を用いた堆積プロセスの逆解析フレームワーク
成瀬 元（京都大）・中尾健人（Schlumberger）
- O24 15:25-15:45 沖縄宮古島～西表島前弧域の堆積作用
池原 研（産総研）・金松敏也（JAMSTEC）

休憩（15:45-15:55）

【座長：田村 亨】

- O25 15:55-16:15 陸棚縁辺における堆積シーケンスの階層構造とシーケンス境界の形成時期：ニュージーランド，カンタベリー堆積盆地を例にして
保柳康一・角張友律（信州大）
- O26 16:15-16:35 日本海の堆積物における有機炭素濃度の変動メカニズム
公文富士夫（高知大）
- O27 16:35-16:55 日本周辺前弧・背弧堆積盆の埋積様式の類型化
高野 修（石油資源開発）
- O28 16:55-17:15 茨城県北茨城沖の三次元地震探査に認められる磐城および日立海底スライド～スランプコンプレックスの産状
荒戸裕之（秋田大）

<事務連絡> 17:15-17:25

<最優秀口頭発表賞・最優秀ポスター賞授賞式> 17:25-17:35

<堆積学トーク・トーク> 17:45-19:45

会場：一般教育 2 号館 103 講義室

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。講演で使用する PC については，講演者に後日，直接お知らせします。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。持参いただくメディアおよびファイルにつきましては，ウイルス対策ソフトの最新定義で事前にチェックを頂きますようお願い致します。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。

<ポスター発表>

*ポスターは 26 日と 27 日の 2 日間に渡って掲示することができます。ポスター 1 件あたりの展示可能スペースは，講演者に後日，直接お知らせします。画紙は会場にも用意してあります。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。

白保竿根田原洞穴遺跡の堆積物の特徴

Sedimentary facies of cave deposits in the Shirahosaonetabaru Cave Site, Ishigaki Island, Okinawa Prefecture

石原与四郎（福岡大学理学部）・吉村和久（九州大学 RI センター・九州大学名誉教授）・
土肥直美（元琉球大学医学部）・片桐千亜紀（沖縄県立埋蔵文化財センター）
Yoshiro Ishihara (Fukuoka University), Kazuhisa Yoshimura (Kyushu University),
Naomi Doi (EX-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、石垣島（沖縄県石垣市）の白保海岸の内陸側約 800 m に位置する。この遺跡は、現在標高 30 m 付近の段丘上に分布するが、もともとは琉球層群大浜層の石灰岩中に形成された洞窟の内部に形成されており、発掘前は埋没していた。本遺跡からは、細粒な洞窟堆積物の中に旧石器時代の 19 人分も含む 27 人分に相当する人骨化石が確認されており、旧石器人骨や墓域としての考古学的・人類学的重要性が明らかになっている（沖縄県立埋蔵文化財センター、2017a, b; 片桐ほか、2017）。遺跡のある洞窟は、MIS9 に向けての海進期～高海水準期に形成された砂礫を含む石灰岩とそれを覆うサンゴ石灰岩に胚胎する。遺跡はこの洞窟の天井部が陥没してできた陥没ドリーネから続く洞窟内部の斜面～平坦面に形成されていたと考えられている（石原・吉村、2017）。洞窟の内部は様々な複雑な地形や著しく変動する地下水面等も認められることもあり、その堆積物も複雑な履歴を経て形成されることが多いと考えられている（たとえば、Gillieson, 1986）。白保竿根田原洞穴遺跡は 2 万 7 千年前から 17 世紀まで続く重要な遺跡であることから、その遺跡の堆積・埋没過程を明らかにすることはこれらの位置づけを行う上でも重要である。本講演では、遺跡の形成環境と堆積環境について取りまとめた結果について、主として沖縄県埋蔵文化財センター（2017a, b）を基に紹介する。

2. 遺跡の堆積物

洞窟の堆積物の起源は大まかに内因性と外来性にわけられる（Ford and Williams, 2007）。洞窟遺跡の堆積物は内因性の堆積物として天井や壁に起源を持つ落盤礫、侵食および溶食の溶け残りである大浜層中の異質岩片礫（変成岩礫）と細粒の粘土、外来性の堆積物としてレスを主体とすると見られる土壌、および津波による砂礫からなる。遺跡は最下位に洞口の開口に伴うと考えられる落盤礫が認められ、それらを覆って化石や遺物を含む細粒の洞窟堆積物を主体とする地層が堆積する。細粒な堆積物は 10 μm 程度の平均粒径を持つレス、および 0.2～0.3 μm 程度の粒度からなる風化残渣からなる。これらの細粒な洞窟堆積物には、サンゴ等の海棲生物遺骸を多く含む、粒子配列の見られる砂礫を挟在する。細粒な堆積物は粘土～シルトの含有率が 90%以上であり、大半は 6 以下の低い C/N 比を持つ。また、炭酸カルシウムの含有量は 1～10%と層準によって変化する。

遺跡の洞窟堆積物は、産状や分析結果から以下のような形成環境の堆積物に区分できる。すなわち、(1) 落盤堆積物、(2) 落盤礫の再移動した堆積物、(3) 凹凸充填堆積物、(4) 洞窟斜面～平坦面堆積物、(5) 津波堆積物である。(1)の落盤堆積物は、淘汰が悪く、細粒な堆積物中に孤立して分布するか、密集する場合には礫間が細粒堆積物で充填されている。一方、(2)の落盤の再移動した堆積物は(1)に比べて淘汰がよく、透かし礫となる場合もある。(3)は、主として(1)の礫の隙間およびその上面の凹凸を充填し、平坦化するように分布する。(4)よりもやや粗粒で淘汰が悪く、炭酸カルシウムの含有量も変化に富む。また、連続性は良くない。(4)は、下位ほど細粒で上位ほど粗粒な傾向があるが、一般には90%以上が細粒分からなり、TOCやTN、炭酸カルシウム含有量が低い。層準によっては、(1)の配列や基盤の風化礫も見られるが、基本的に均質である。水流等の証拠を示す特徴は認められず、洞口から少しずつ入り込んだ風成および僅かな堆積物の移動の積み重ねによって形成されたと見られる。この層相に認められる遺物な分布は、想定される斜面と整合的である。(5)は、(1)～(4)の堆積物とは明瞭に異なり、サンゴの破片、変成岩や石灰岩の細礫～大礫、下位の粘土を侵食したリップアップクラストを主体とし、上方細粒化するとともに下部では明瞭な粒子配列、上部では級化層理を示す。

このような堆積物の特徴および累重からは、白保竿根田原洞穴遺跡は、落盤によって形成された陥没ドリーネの縁に開口しており、陥没時の落盤を徐々に堆積物が充填して形成されたことが示唆される。津波堆積物の粒子配列や斜面堆積物の分布からはおよそ遺跡の南西側にその入口があったことがうかがわれる。更新世の人骨は特に(3)の堆積物にともなって認められる場合も多い。また、破片であったとしても数カ所のクラスターを作って分布するので、再移動の量も少ないとみられる。津波堆積物は放射性炭素年代では1800年前の堆積が考えられており、沖縄先島津波(河名・中田, 1994)に対比される可能性がある(沖縄県立埋蔵文化財センター, 2017b)。17世紀までの遺物が認められることから、少なくともその時代までは洞窟が開口しており、堆積物が流入していたと推定される。

文献

Gillieson, D., 1986, Cave sedimentation in the New Guinea Highland. *Earth Surface Process and Landforms*, 11, 533-543.

Ford, D. and Williams, P., 2007, *Karst Hydrogeology and Geomorphology* revised edition. 562p. Wiley.

石原・吉村, 2017, 科学, 87, 537-542.

片桐ほか, 2017, 科学, 87, 559-564.

河名・中田, 1994, 地学雑誌, 103, 352-376.

沖縄県立埋蔵文化財センター編, 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, 86, 136p.

沖縄県立埋蔵文化財センター編, 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, 86, 201p.

IODP-ICDP 第 364 次研究航海によるチチュルブ・クレーター掘削の成果と
クレーター内部堆積物の再堆積過程
Initial results of the IODP-ICDP Expedition 364 Chicxulub Impact Crater and
resedimentation process of the impactite

後藤和久（東北大学）・石澤堯史（東北大学）・菅原大助（ふじのくに地球環境史ミュージアム）・
モーガン ジョアンナ（インペリアル・カレッジ・ロンドン）・
グリック ショーン（テキサス大学オースティン校）・ Expedition 364 scientists
Kazuhisa Goto (Tohoku Univ.), Takashi Ishizawa (Tohoku Univ.), Daisuke Sugawara
(Museum of Natural and Environmental History, Shizuoka), Joanna V. Morgan
(Imperial College London), Sean P. S. Gulick (Univ. Texas at Austin), Expedition 364 scientists
連絡先：後藤和久 (goto@irides.tohoku.ac.jp)

1. はじめに

2016年4月から5月にかけて、IODP-ICDP 第364次研究航海によりメキシコ・ユカタン半島沖で白亜紀末の天体衝突クレーター（チチュルブ・クレーター）内部の掘削が行われた。同クレーターは直径約200 kmとされており、白亜紀末の大量絶滅の引き金になった天体衝突クレーターとして知られている（例えば、Schulte et al., 2010）。また、衝突地点は当時海域であり（Gulick et al., 2008）、海洋衝突だった点もこの衝突現象の特筆すべき特徴である。本発表では、同掘削の概要及び採取されたコア中の堆積物の堆積過程について、記載と数値解析に基づき予察的な報告をする。

2. 掘削試料の特徴

掘削は、ピークリングと呼ばれる巨大衝突クレーター特有の構造上において行われた。深度約505 m以下からコアが採取され、掘削コアの上位から下位にかけて層厚約110 mの古第三紀半遠洋～遠洋性堆積岩、層厚約130 mの衝突起源堆積物（インパクトタイト）、そして主に花崗岩からなる厚い基盤岩で構成される（Morgan et al., 2016）。インパクトタイトのうち、下位はインパクトメルト岩、上位はスウェイバイトと呼ばれるメルト片やその他の岩片が混在した堆積物からなる。スウェイバイト層は、粒度特性から上部と下部に区分される。特にスウェイバイト層上部は上方細粒化層、粗粒化層が繰り返しており、上方に向かって全体的には細粒化傾向にある。さらに、最上部には斜交葉理が発達する。

3. 堆積過程

衝突以前、衝突地点には炭酸塩岩、硫酸塩岩が厚く堆積していたと考えられているが（Sharpton et al., 1996）、掘削コア中ではインパクトタイトが花崗岩上に直接堆積しており、炭酸塩岩、硫酸塩岩層は確認されなかった。これは、衝突に伴い炭酸塩岩、硫酸塩岩層が気化あるいは岩片として放出され、より下位に存在していた花崗岩層がインパクトタイトの堆積時点で地表に露出していたためと考

えられる (Morgan et al., 2016) . その後, インパクトメルト岩の堆積ののちに, イジェクタとして空中に放出されていたメルト片やその他の岩片が堆積してスウェイバイト層を形成したと考えられる.

スウェイバイト層のうち特に上部においては, 複数回の流水の作用により堆積したと考えられる堆積構造が確認される. 衝突地点は海域であり, 衝突直後は高温状態になり海水は蒸発するが, その後冷却が進むにつれて海水がクレーター内部に侵入した可能性が指摘されている (例えば, Goto et al., 2004) . 本掘削コア中のスウェイバイト層の堆積構造も, 衝突クレーターの埋積過程で海水流入が発生した可能性を示唆するものと考えられる. 同様の特徴は, チチュルブ・クレーター内部の他地点の掘削試料中でも報告されており (Claeys et al., 2003; Goto et al., 2004) , 海水流入は局所的な現象ではなく, クレーター全域に痕跡が残るほど大規模なものであった可能性が考えられる.

The IODP-ICDP Expedition 364 Science Party : S. Gulick (US), J. V. Morgan (UK), E. Chenot (France), G. Christeson (US), Ph. Claeys (Belgium), C. Cockell (UK), M. J. L. Coolen (Australia), L. Ferrière (Austria), C. Gebhardt (Germany), K. Goto (Japan), H. Jones (US), D. A. Kring (US), J. Lofi (France), L. Xiao (China), C. Lowery (US), C. Mellett (UK), R. Ocampo-Torres (France), L. Perez-Cruz (Mexico), A. Pickersgill (UK), M. Poelchau (Germany), A. Rae (UK), C. Rasmussen (US), M. Rebolledo-Vieyra (Mexico), U. Riller (Germany), H. Sato (Japan), J. Smit (Netherlands), S. Tikoo-Schantz (US), N. Tomioka (Japan), M. Whalen (US), A. Wittmann (US), J. Urrutia-Fucugauchi (Mexico), K. E. Yamaguchi (Japan), and W. Zylberman (France)

引用文献

- Claeys P. et al., 2003, The suevite of drill hole Yucatán 6 in the Chicxulub impact crater *Meteoritics & Planetary Science*, **38**, 1299-1317.
- Goto, K. et al., 2004, Evidence for ocean water invasion into the Chicxulub crater at the Cretaceous/Tertiary boundary. *Meteoritics & Planetary Science*, **39**, 1233-1247.
- Gulick S. P. S. et al., 2008, Importance of pre-impact crustal structure for the asymmetry of the Chicxulub impact crater. *Nat. Geosci.* **1**, 131-135.
- Morgan, J. et al., 2016, The formation of peak rings in large impact craters. *Science*, **354**, 878-882.
- Schulte, P. et al., 2010, The Chicxulub asteroid impact and mass extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. *Science*, **327**, 1214-1218.
- Sharpton V. et al., 1996, A model of the Chicxulub impact basin based on evolution of geophysical data, well logs, and drill core samples. *Geological Society of America Special Paper*, **307**, 55-74.

北米グリーンリバー湖成層に見られるチャート層の成因と

始新世前期“温室期”の湖生物生産量変動

Origin of chert layer in lacustrine deposits (Green River Fm) in NW America:
Implication for lake productivity change during the Early Eocene Climatic Optimum

隈隆成 (名古屋大学) ・長谷川精 (高知大学) ・山本鋼志 (名古屋大学)

Ryusei Kuma (Nagoya Univ.), Hitoshi Hasegawa (Kochi Univ.), Koshi Yamamoto (Nagoya Univ.)

連絡先: 隈隆成 (kuma.ryusei@i.mbox.nagoya-u.ac.jp)

始新世前期温室期[Early Eocene Climatic Optimum (EECO): 53–49 Ma]は、大気二酸化炭素濃度が 1000 ppm に達し、新生代を通して最も温暖な時期である (e.g., Zachos et al., 2008; Beerling and Royer, 2011). この EECO の期間における地球軌道要素変動に伴う日射量増大期には、高緯度域の永久凍土が融解して更なる温暖化が進行したことなどが示されており (Deconto et al., 2012), 温暖化が進行する地球環境の未来像を予測する上でも重要な時代である. 本研究ではこの EECO における陸域中緯度域での古環境変動を明らかにするために、アメリカ中西部に広域的に広がった湖成層(グリーンリバー層)を研究対象とした. グリーンリバー層は、オイルシェールの代表的な地層であり、石油探査等を目的とした多くの有機地球化学的研究や、堆積学的な検討から古環境を復元する研究がなされてきた (Smith et al., 2008; Whiteside and Keuren, 2009). しかし、堆積学的解析と無機化学組成分析を組み合わせることで、定量的な古環境や古気候変動を復元する研究はなされていない. そこで本研究では、グリーンリバー層の野外地質調査を行い、岩相解析に基づく湖水位変動 (Depth Ranks) の推定と、採取した岩石試料の無機元素組成分析の結果とを組み合わせることによって、古環境指標となる元素を検討した. 特に、グリーンリバー層中に介在するチャート層 (Bradley and Eugster, 1969) に着目し、その成因と、古環境指標になり得るかを検討した. そして抽出した古環境指標を基に、グリーンリバー層を通した湖水位変動や生物生産量変動などの古環境変動の復元を行った.

グリーンリバー層は大きく分けて三つの堆積盆からなる(北部: Greater Green River Basin, 南西部: Uinta Basin, 南東部: Piceance Creek Basin). このうち、層厚約 1100 m が露出するユタ州北部の Uinta Basin 西部に位置する Indian Canyon セクションにおいて野外地質調査を行い、堆積相から推定する湖水位変動 (Depth Ranks) と、層厚約 250 m 間を約 1 m 間隔で連続的に採取した岩石試料の無機元素組成分析によって、古気候指標となる元素を検討した. その結果、まず $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 量が岩相 (Depth Ranks) と良く対応しており、湖水位変動の指標となることが明らかになった. また後背地のテクトニクス変化 (供給源変化) を反映すると考えられる $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 量はセクションを通じてほとんど変化せず、テクトニックな変動はほとんど影響していないことが示唆された. さらに SiO_2 量と Al_2O_3 量の相関を見てみると、砕屑鉱物起源を示す正の相関関係だけではなく、過剰な SiO_2 量を示す試料が多数を占めており、それらはグリーンリバー層中に介在するチャート層と対応していることが明らかになった. この過剰シリカ成分を持つチャート試料に対して、蛍光顕微鏡観察と SEM-EDS 分析を組み合わせることで、シリカの濃集がどこで起きているかを検討したところ、藻類起源有機物が多量に含まれている試料でシリカの濃集が起きていることがわかった.

これまでの研究では、グリーンリバー層中に介在するチャートは Magadi-type chert と呼ばれ、主に無機的に

形成されると考えられていた (Bradley and Eugster, 1969). Magadi-type chert は高アルカリ環境下の湖 (e.g., ケニアの Magadi 湖) でナトリウムを伴って無機的に沈殿すると考えられていたが (e.g., Eugster, 1967; Hay, 1968), 最近の研究ではその成因に藻類やバクテリア起源有機物の関与が示唆されている (e.g., Krainer and Spötl, 1998; Behr and Rohricht, 2000). 本研究の検討でも, グリーンリバー層中のチャート層の形成には藻類起源有機物が関与しており, 過剰シリカ量の変動は堆積当時の湖生産量変動を反映している可能性が高いことが明らかになった.

本研究ではさらに, 抽出した湖水位変動や湖生物生産量の古環境指標 (Depth Ranks, CaO/Al₂O₃ 量, 過剰シリカ量) がどのような要因で変動しているかを探るために周期解析を行った. その結果, Depth Ranks および CaO/Al₂O₃ 量 (湖水位変動指標) と共に, 特に過剰シリカ量 (湖生物生産量指標) が, 地球軌道要素変動の離心率変動の約 10 万年および約 40 万年周期で変動していることが明らかになった. そこで, 復元した過剰シリカ量の変動を始新世前期における日射量変動 (Laskar et al., 2004; Westerhold et al., 2012) と比較したところ, 約 40 万年および約 240 万年周期で変動する日射量変動との強い相関が見られ, 湖生産量変動が EECO 当時の日射量変動に強く駆動されていることが示唆された.

参考文献

- Beerling, D. J., & Royer, D. L., 2011, Convergent Cenozoic CO₂ history. *Nature Geoscience*, **4**, 418-420.
- Behr, H. J., & Röhrlich, C., 2000, Record of seismotectonic events in siliceous cyanobacterial sediments (Magadi cherts), Lake Magadi, Kenya. *International Journal of Earth Sciences*, **89**, 268-283.
- Bradley, W. H., & Eugster, H. P., 1969, *Geochemistry and paleolimnology of the trona deposits and associated authigenic minerals of the Green River Formation of Wyoming* (No. 496-B).
- DeConto, R. M., Galeotti, S., Pagani, M., Tracy, D., Schaefer, K., Zhang, T., Pollard, D., Beerling, D. J., 2012, Past extreme warming events linked to massive carbon release from thawing permafrost. *Nature*, **484**, 87-92.
- Eugster, H. P., 1967, Hydrous sodium silicates from Lake Magadi, Kenya: precursors of bedded chert. *Science*, **157**, 1177-1180.
- Hay, R. L., 1968, Chert and its sodium-silicate precursors in sodium-carbonate lakes of East Africa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **17**, 255-274.
- Krainer, K., & Spötl, C., 1998, Abiogenic silica layers within a fluvio-lacustrine succession, Bolzano Volcanic Complex, northern Italy: a Permian analogue for Magadi-type cherts?. *Sedimentology*, **45**, 489-505.
- Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M., Correia, A. C. M., and Levrard, B. 2004, A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth. *Astronomy & Astrophysics*, **428**, 261-285.
- Smith, M. E., Carroll, A. R., & Singer, B. S., 2008, Synoptic reconstruction of a major ancient lake system: Eocene Green River Formation, western United States. *Geological Society of America Bulletin*, **120**, 54-84.
- Whiteside, J.H. and Van Keuren, M.A., 2009, Multiproxy environmental characterization of lake level cycles in the Green River Formation of Utah and Colorado. US Open File Report, 544, 1-22.
- Westerhold, T., Röhl, U., & Laskar, J., 2012, Time scale controversy: Accurate orbital calibration of the early Paleogene. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **13**, doi:10.1029/2012GC004096.

タイ南西部沿岸における 2004 年インド洋大津波による津波堆積物の保存可能性

Preservation potential of 2004 Indian Ocean tsunami deposits
in the coastal area, southwestern Thailand

阿部朋弥（産総研）・海津正倫（奈良大）・Naruekamon Janjirawuttikul（タイ王国土地開発局）

近年、2004 年インド洋大津波や 2011 年東北地方太平洋沖地震津波などの巨大津波の発生直後には多くの現地調査が実施され、津波堆積物の堆積学的特徴や形成過程などが詳細に明らかにされた。津波の発生直後の調査から得られた知見を、地層中からの津波堆積物の認定や古津波の規模推定などの古津波調査に活かすためには、津波堆積物が地層中に埋没・保存されていく過程、及び津波堆積物の層厚や堆積構造、粒度組成などの堆積学的特徴の保存可能性を明らかにすることは重要である。しかし、津波堆積物の形成後の経年調査は非常に少なく、これらはほとんど理解されていない。本研究では、2004 年 12 月に発生したインド洋大津波によってタイ南西部の沿岸低地に堆積した津波砂層について、津波発生から約 13 年後に当たる 2017 年 9 月に現地調査を実施し、既存の津波直後の調査結果と比較することで、津波堆積物の堆積学的特徴の保存可能性を検討した。

本研究で比較対象とした既存研究では、2005 年 3 月にタイ南西部の Nam Khem と Khao Lak において、長さ 1.1 km と 1.5 km の海岸線とほぼ直交する測線沿いの 11 地点と 12 地点でインド洋大津波による津波堆積物を調査し、層厚や粒度組成、堆積構造、サブユニット等の堆積学的特徴を明らかにした。本研究では、既存研究の調査地点とほぼ同地点でピット掘削を行い、津波堆積物の層相を記載し、沈降管天秤法を用いて粒度組成を明らかにした。

Nam Khem の測線沿いでは、計 11 地点のうち、7 地点で層厚 1~28 cm の津波砂層が保存されていた。しかし、2 地点では小川や津波後に回復した植生によって既存の調査地点に近づくことができず、2 地点では津波後の人為的改変によって津波堆積物が失われていた。この測線沿いでは、津波砂層が観察できた 7 地点のうち、海岸線から約 200 m 内陸までの範囲では砂層の層厚が津波直後から大きく減少しており、それより内陸側の沿岸低地では層厚が津波直後とほぼ同じか少し増加する傾向が見られた。一方で、Khao Lak の測線沿いでは、計 12 地点のうち、7 地点で層厚 1~14 cm の津波砂層が保存されていた。しかし、3 地点では小川や津波後に回復した植生によって既存の調査地点に近づくことができず、2 地点では津波後の侵食や人為的改変によって津波堆積物が失われていた。この測線沿いでは、津波砂層が観察できた 7 地点のうち、海岸線から約 150 m 内陸までの範囲では津波堆積物の層厚は津波直後から大きく減少しており、それより内陸側の沿岸低地では、小川沿いの地点で層厚が大きく減少したのを除けば、層厚が津波直後とほぼ同じか少し増加する傾向が見られた。

海岸線近くでは、津波後に形成された津波砂層を被覆する土壌層が内陸側の沿岸低地と比べて薄く、地形的にも風雨による堆積物の再移動や侵食の影響を受けやすいため、津波堆積物の形成から約 13 年間で層厚が大きく減少したと推定される。一方で、内陸側の沿岸低地では、津波後に回復した植生の生物擾乱による津波砂層上部の土壌化が特に進行しており、植物根が貫入する深度では、津波砂層と被覆土壌層との境界やリップアップクラストなどの津波砂層内部の堆積構造が不明瞭になっていた。

津軽半島，十三湖周辺における津波堆積物

Tsunami deposits recorded in coastal lowland around the Lake Jusanko,
Tsugaru Peninsula

岡田里奈（弘前大学）・鎌滝孝信（秋田大学）・梅田浩司（弘前大学）
Okada, R. (Hirosaki Univ.), Kamataki, T. (Akita Univ.), Umeda, K. (Hirosaki Univ.)
連絡先：岡田里奈 (h14s4013@hirosaki-u.ac.jp)

突発的な事象により地質学的な時間のスケールに比べて瞬時に形成された堆積物を総称してイベント堆積物という。イベント堆積物のうち津波堆積物の分布調査や年代測定は、当時のおおまかな浸水範囲や発生時期等が明らかにされ、これらの情報は将来の津波・地震ハザード評価に反映できる。本研究では津軽半島西岸の五所川原市十三五月女菴（そとめやち）においてボーリング調査を行ない、津波堆積物の認定と形成年代、津波を引き起こした歴史地震の特定を試みた。

調査地域は日本海に沿って南北に延びる砂丘の背後に位置する標高 1.0～1.6m の低地であり、そこには汽水湖である十三湖に注ぐ小河川が存在する。この河口付近から上流（北側）に向かって、12 地点（約 20m 間隔）からハンディジオスライサーを用いて幅 10cm、厚さ 3cm、深さ 2m までのブロックサンプルを定方位で採取した。採取したコアを用いて、層相観察・記載、X 線 CT による堆積構造の解析、砕屑粒子の検鏡観察・粒度分析などを実施した。採取したボーリングコア試料のほとんどは有機質シルト層や泥炭層を主体とし、そこに粗粒から中粒砂サイズの砂層がいくつか挟まれる。砂層の特徴としては、平行層理や低角の斜交層理がみられ上方細粒化すること、下位の有機質シルト層との境界は明瞭な浸食面であること、砂層の下部には有機質シルトの偽礫が、最上部には植物片が多く含まれる。また、砂層には円磨された石英や赤褐色や黄色の石質岩片などが多く含まれており、構成鉱物や形態は海浜砂と類似している。これらの特徴から砂層は海からの突発的な水流下における運搬、堆積作用によって形成されたイベント堆積物と解釈した。さらに、下位の有機質シルト層中に中粒砂からなる砂脈がみられ、砂脈の形状から噴砂痕と判断した。これらの情報から、このイベント堆積物は津波堆積物である可能性が高い。また、イベント堆積物の直下の有機質シルトに含まれる植物片の¹⁴C 年代測定を行なった結果、140±30 y BP という値が得られた。

イベント堆積物の粒度分析によると、砂層の下部では砂サイズの砕屑粒子が卓越するが、上部では砂サイズとシルトサイズの二峰性のパターンを示す。このことは、単峰性の下部の砂層は遡上流によって運ばれる過程で堆積した堆積物で、泥成分を含む二峰性の堆積物は遡上流の停滞期もしくは陸方向からの戻り流れの過程を反映しているかもしれない。さらに、イベント堆積物の厚さの空間分布から津波は堤間低地を 450m 以上遡上したと考えられる。

仙台湾南部における 3.11 津波による冲向き土砂移動
Offshore-directed sediment transport generated by the 3.11 tsunami at southern part
of the Sendai bay

吉河秀郎（清水建設(株)技術研究所）・佐藤晃・後藤和久（東北大学）・菅原大助（ふじのくに地球
環境史ミュージアム）・金松敏也・阪口秀（海洋研究開発機構）
Shuro Yoshikawa (Inst. of Tech., Shimizu Corp.), Akira Sato, Kazuhisa Goto (Tohoku Univ.), Daisuke
Sugawara (Mus. of Nat. and Env. Hist., Shizuoka), Toshiya Kanamatsu, Hide Sakaguchi (JAMSTEC)
連絡先：吉河秀郎(s-yoshikawa@shimz.co.jp)

津波による沿岸域被災の全体像を把握する上で土砂移動現象の理解は重要である。2011 年東北地方太平洋沖地震津波（以下、3.11 津波）のケースは地形・地質・沿岸構造物の設備状況等、環境が異なる様々な地域で生じたため、現状を知り今後の津波被害対策を検討する上で重要といえる。土砂移動の全体像を理解するには遡上・引き波の両者の研究が必要であるが、後者の対象範囲は主に浅海底であり、津波前の地形や堆積物の情報が多い場所が少なく津波による変化を捉えづらいことや、海洋調査による土砂堆積作用の空間的な把握の難しさにより全容解明へのハードルは高い。また、津波事前事後の地形・底質情報が十分でない地域における実現象推測や今後の津波による現象予測には、数値シミュレーションによる土砂移動計算が有用であり、その精度向上には観測結果の解釈との擦り合せが重要である。

著者らは 3.11 津波による土砂移動現象解明のため、津波の影響がより大きく海底に残されたと考えられる、海岸が著しく侵食された仙台湾南部を研究対象としている（Yoshikawa et al., 2015；吉河ほか, 2017）。水深約 30m 以浅における音波探査、柱状試料採取、また、東北地方整備局による深淺測量結果に基づき、海浜堆積物の冲向き移動プロセス(粒径, タイミング, 侵食作用)を以下のように検討している。

海底下に 2 枚の明瞭な反射面 (R1, R2) が認められ、R1 は水深約 8~15 m に、R2 は約 10 m 以浅におもに分布し、海底からの深度はそれぞれ 0.3~1.2 m, 0.4~2.1 m 程度である。それらの形状・分布、試料の特徴、及び地形変化の傾向から、本域の土砂移動は主に引き波時に生じたと考えられる。まず海浜起源の中粒~粗粒砂の移動に伴い水深 8 m 以深の海底に侵食面 R1 が形成され、続いて主に水深 10 m 以浅を侵食する粗粒~細礫を主体とした海浜堆積物の移動、堆積が生じ R2 が形成されたと推測される。後者の方が土砂移動の際の侵食作用が大きい。粒度分析から、この引き波によると考えられる堆積ユニットは一様ではなく、上方細粒化する堆積物、粒径変化がほとんどない堆積物、上方粗粒化と細粒化の両者を含む堆積物がみられる。粒径変化と土砂移動プロセスとの関係は解析中である。

文献

- Yoshikawa, S., Kanamatsu, T., Goto, K., Sakamoto, I., Yagi, M., Fujimaki, M., Imura, R., Nemoto, K., and Sakaguchi, H., 2015, Evidence for erosion and deposition by the 2011 Tohoku-oki tsunami on the nearshore shelf of Sendai Bay, Japan. *Geo-Mar Lett*, **35**, 315–328.
- 吉河秀郎, 後藤和久, 菅原大助, 金松敏也, 阪口 秀, 2017, 仙台平野南部沖における津波による沿岸侵食と冲向き土砂移動. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), **73**, 823-828.

ブロック試料を用いた陸上津波堆積物に含まれるマッドクラストの特徴
 Sedimentary characteristics of mud clast of onshore tsunami deposits using
 undisturbed block sampling

高清水康博（新潟大学）・玉木 恵理菜（新潟大学）・ト部厚志（新潟大学）

Y Takashimizu (Niigata University), E Tamaki (Niigata University), A Urabe (Niigata University)

連絡先：高清水康博 (takashimi@ed.niigata-u.ac.jp)

1. はじめに

沿岸低地を遡上した津波による堆積物にはマッドクラストがよく含まれるという報告が多い。しかしながら、津波堆積物中に存在するマッドクラストについての分布や特徴・成因に焦点をあてた具体的な報告はほとんどない。高清水ほか（2017）は、福島県南相馬市小高区の沿岸低地を遡上した現世津波堆積物の解析から、津波堆積物に含まれるマッドクラストの堆積過程について概要を考察した。そこで本研究では、調査地域南部の T07 地点において採取した 2011 年東北沖地震による陸上津波堆積物のブロック試料を用いてマッドクラストの詳細解析を行い、より詳細な特徴把握を試みたので報告する。

2. 津波堆積物の特徴

福島県南相馬市小高区の 2011 年東北沖地震による陸上津波堆積物は 3 ユニットに区分されている（高清水ほか, 2017）。層相区分と堆積物の磁気ファブリックの解析結果を併せて検討した結果、ユニット 1 は津波の遡上流、ユニット 2 は戻り流れからの砂質堆積物であり、ユニット 3 は津波後の静水域で沈殿した泥層からなると解釈された。また、堆積物の空間分析結果を統合して検討した結果、津波は北東部の小高川の河口付近から遡上したものと、東側の海浜域から遡上したものの 2 つがあり、構成する堆積物の特徴も異なることが分かった（高清水ほか, 2017）。

3. 結果と考察

画像解析ソフトウェアを利用してマッドクラスト部の 3D モデルを作成した。その結果、基底面はイレギュラーで侵食的形状を示していた。径数 cm 程度の比較的粗粒なマッドクラストは基底面直上のマッドクラスト部の下部に堆積していた。また、径 1~5 mm 程度の細粒なマッドクラストは密集して分布しており、マッドクラスト部の上部側によく存在していた。作成したマッドクラスト部の断面図の解析からは、マッドクラストは基底面上に一樣に分布しているのではなく、不均一に堆積していることがわかった。

マッドクラストの円磨度 R (Takashimizu and Iiyoshi, 2016) を測定したところ、マッドクラスト粒子は、比較的丸みを帯びていた。また、粒径と円磨度に大きな相関は見られなかった。このことから、マッドクラストは底面から侵食されて津波流体に取り込まれた後、かなり早い段階で摩擦が進行し円磨されたのだろうと解釈された。

【文献】高清水ほか 2017. 堆積学会講演要旨 ; Takashimizu and Iiyoshi 2016. *PEPS*.

液状化による砂脈の分類と粒径

Classification and particle size of sand dike caused by liquefaction

比後 有廉（立正大学）・北沢 俊幸（立正大学）

Aren HIGO (Rissho University), Toshiyuki KITAZAWA (Rissho University)

連絡先：北沢俊幸 (kitazawa@ris.ac.jp)

1. はじめに

地震に伴う液状化で生じた砂脈や噴砂に関してこれまで多くの研究が行われてきた。1978年宮城県沖地震では、噴砂の粒度組成から液状化層の推定が行われた (Tohno and Yasuda, 1981)。しかし、噴砂と液状化層の粒度組成の同一性については、①液状化層及び噴出口内における上向き流動過程で分級が起こる可能性がある (吉見, 1991)、②砂脈と液状化層の粒度組成が異なる (寒川, 1992)、という理由から噴砂は液状化層の性質を反映しないとの反論もあり、噴砂から液状化層を推定できるかどうかは明確でない。本研究では地層の粒径と組み合わせを変えて液状化の実験を行い、砂脈を分類するとともに、砂脈と噴砂と液状化層の関係性について検討する。

2. 液状化の実験

薄い水槽（縦45cm、横30cm、内厚0.5cm）に水を入れ、4種類の粒径の砂（砂Aは0.5-1φ、砂Bは1.5-2φ、砂Cは2.5-3φ、砂Dは3.5-4φ）を厚さ5cmずつ入れて全体で20cmの厚さの地層を作る。砂の組み合わせで24通りの累重様式ができるが、これ以降の累重様式の表記は、下層からA-B-C-D（1-2-3-4層目）のように表す。地表面より上の水を取り除き、震度5.1の横揺れを与え、地層が変形する様子を観察した。

3. 砂脈が発生しやすい累重様式

顕著な砂脈が発生する累重様式は、A-B-C-D、A-B-D-C、B-A-C-D、B-A-D-Cであり、最下層を除いたB-C-D、B-D-C、A-C-D、A-D-Cの3層をまたいだ砂脈が形成された。上の2層の組み合わせがB-D、C-Dのように、ある程度粒径が小さい層の上にD層がある時に砂脈が発生し、A-Dのように下の層の粒径が大きい場合は発生しない。また、上の2層の組み合わせがB-C、A-Cの場合は砂脈が発生しないが、D-Cの場合は発生し、一概に最上層がD層の場合のみ砂脈が発生するわけではなかった。

4. 砂脈の分類

液状化による砂の動きと、地層に残される変形構造から、砂脈を2つに分類した。

1) 消散タイプ (図1)。地表面下の地層の累重様式がC-Dのように、ある程度粒径が小さい地層の上位がさらに細粒な地層である場合に発生する砂脈のタイプで、以下の特徴がある。①砂脈形成時間が短い。②加振中は砂脈が多く発生する。③個々の砂脈は小さい。④砂の上昇過程で分級が起きる。⑤加振終了後は砂脈が消え、波状の模様がD層の中央部にできる。消散タイプの砂脈は地層に明瞭に残

らないため、自然界の地層では液状化による変形構造として認識されていない可能性がある。

2) 残留タイプ (図 2) . 地表面下の地層の累重様式が消散タイプとは上下逆で、D-C のように、非常に粒径が細かい地層の上位がある程度粒径が小さい地層である場合に発生する砂脈のタイプで、以下の特徴がある。①砂脈形成時間が長い。②加振中は大きく太い砂脈が発生する。③砂の上昇過程で分級が起きず、まとまって地表に上がる。④加振終了後は砂脈が明瞭に残る。残留タイプの砂脈は自然界の地層でも認識が容易であると思われる。

5. 砂脈と噴砂と液状化層の関係

消散タイプの砂脈では、下位の地層から上昇してきた粒径の粗い砂は途中で止まり、地表面まで到達しない。吉見 (1991) や寒川 (1992) が述べたように、上昇過程で分級が起るため、噴砂は液状化層の性質を反映しない。一方の残留タイプの砂脈では、上昇する砂の集団内では分級が起きず、砂はまとまって地表まで到達する。そのため Tohno and Yasuda (1981) が述べるように、噴砂の粒度組成から液状化層を推定できる。

本研究では限られた条件でしか実験を行っていないが、噴砂と液状化層の粒度組成が同一である場合と、異なる場合があることが分かった。その要因の一つとして粒径が異なる地層の上下関係があることが分かった。

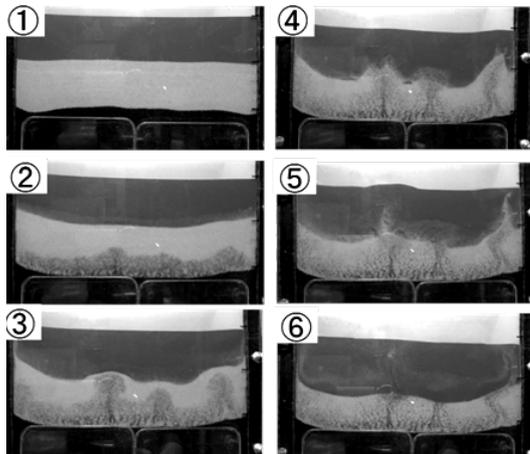


図 1. 消散タイプの砂脈の形成過程.

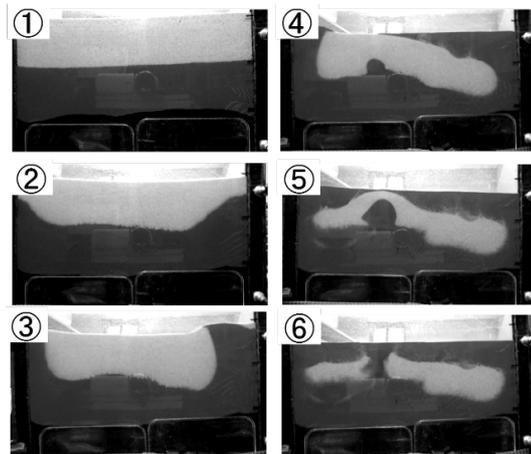


図 2. 残留タイプの砂脈の形成過程.

文献

Tohno, I., and Yasuda, S., 1981. Liquefaction of the ground during the 1978 Miyagiken-Oki earthquake, *Soils and Foundations*, 21, 18-34.

吉見吉昭, 1991. 浚渫埋立土の粒度・塑性特性と液状化抵抗. *土と基礎*, 39, 49-50.

寒川 旭, 1992. 地震考古学. 中央公論社, 250p.

遠洋性堆積物の構造解析から分かる堆積性マンガン鉱床の形成過程

Formative processes of sedimentary manganese mineral deposits based on structural analysis of pelagic sediments

浦本豪一郎（高知大学）

Go-Ichiro Uramoto (Kochi University)

連絡先 : uramoto.go@kochi-u.ac.jp

マンガンは元素の存在度が比較的大きいこと、また酸化還元環境の変化に鋭敏に反応して溶解度が大きく変化するため、海洋・陸上を問わず様々な環境にマンガン鉱物を普遍的に形成する。特に外洋域の海洋表層の一次生産量が低い海域における、酸化的な深海底環境ではマンガン団塊のような鉱物塊として存在し、特異的なマンガン鉱物の濃集層を形成している。このような海底表層に存在するマンガン鉱物塊は主要成分となる鉄とマンガン酸化物に加え、副成分となる石英や微化石の含有量に応じて特徴的な葉理構造を形成しながら、100万年当たり数mmという極めて低速で成長することが知られている。一方、マンガン鉱物の成長には、海水中の酸化還元状態や各種金属元素の濃度が大きく影響し、遠洋性堆積物中の微化石記録などと異なったタイプの海洋環境変動の記録媒体として有用なツールとなる可能性がある。ただし、深海底環境はアクセスが難しく、実際の鉱物形成のプロセスを長期観測する困難さもあいまって、その形成プロセスについては未知の点が多い。そもそも、深海底のマンガン鉱物は、より比重が小さく堆積速度の大きい遠洋性堆積物の上に産出する、という奇妙な産状を示すが、その原因は全く分かっていない。古環境研究への応用では周辺堆積物の形成過程との関係が不明のため、制約が大きいというのが現状となっている。本発表では、遠洋性堆積物の内部に埋没して存在するマンガン鉱物について、地層試料の構造解析から明らかとなってきた鉱物形成プロセスの特徴をまとめ、海底の堆積性マンガン鉱床の成り立ちについて議論を行う。

メタンハイドレートが高濃集するガストムニーはどのように形成されたか How were the highly hydrated gas chimneys formed in the Sea of Japan?

松本 良・柿崎喜宏・蛭田明宏（明治大学）山王梨紗・鈴木麻希（東京大学）沈川洲（台湾大学）
Matsumoto, R., Kakizaki, Y., Hiruta, A. (Meiji Univ.), San-no, R., Suzuki, M. (Tokyo Univ.), and
Chuan-Chou Shen (National Taiwan University)
Contact: Matsumoto, R., ryo_mat@meiji.ac.jp

1. ガストムニー構造へのメタンハイドレートの高濃集

約 2500 万年前、ユーラシア大陸東縁の開裂・拡大に始まる原日本海は、1500 万年前まで背弧海盆としての大枠を完成、数 100 万年前には拡大から収縮へとテクトニック場を変え、地殻は収縮し逆断層と褶曲が日本海東縁に発達した。この結果、高熱流量に特徴付けられた若い日本海には有機物に富んだ堆積物が大量に埋積、有機物の熱分解と微生物分解が進行、炭化水素が生成され、これらは数 100 万年以降のテクトニクスを反映して発達した断層を介して上方へと移動した。これらが現在、メタンハイドレートや在来型炭化水素鉱床として広く分布することになる。

日本海の表層型メタンハイドレートは泥質堆積物中に発達する直径数 100 メートル～数キロメートル、深さ数 10 メートル～百数十メートルの円柱～円盤状音響ブランキング帯（ガストムニーと呼ぶ）内に、厚さ数センチメートルから最大数 10 メートルの、純粋なハイドレート塊として産する。このような産状は、メタンハイドレートが周囲の堆積物粒子を押しつけて成長したことを意味する。この点が、既存の隙間を充填して発達する孔隙充填型の”砂層型ハイドレート”との最大の違いである。メタンの過剰な供給が継続し、過飽和状態が維持されれば、メタンハイドレートは周囲の泥を排除しながら成長を続け、その結果、海底面は膨らみマウンド地形が形成・発達すると考えられる。一方、ハイドレートの集積帯はハイドレート安定領域基底深度（BGHS: 海底下 100 メートル～130 メートル）に限定されており、この深度は地震探査で BSR (海底疑似反射面) として明瞭に示される。

高分解能 3 次元地震探査 (HR3D) はガストムニー構造の内部に明瞭な堆積面反射を示した。ガストムニーはしばしば “泥火山” と混同されるが “泥火山” は基本的に深部からもたらされた泥礫のカオティックな堆積相からなり堆積面は認識できない。これに対し、ガストムニーはガス含有流体の移動通路となっているだけでガストムニー内に堆積物の大規模な流動はない。HR3D はガストムニー内に BSR の鋭いプルアップを明らかにした。このことは、ガストムニー内にかなりの量のメタンハイドレートが存在することを意味する。よく発達したガストムニーで実施された掘削同時検層 LWD はガンマ線強度が殆どゼロ、音響速度が 2.5 km/s～3.5 km/s、比抵抗が 100～1000 Ω・m など極端な異常を示し、ハイドレートが密集して存在することを示した。コアリング調査では複数の層準から、厚さ 1 m～6 m の塊状メタンハイドレートが連続的に回収された。ハイドレートが周囲の泥を排除しながら生成・成長したことがよく分かる。メタンの過剰な供給をもたらした地質要因とは何か、ガストムニー・マウンドのシステムがどのような時間経過の中で成長・発達してきたのかという、表層型ハイドレートに関わる核心的問いに答えるため、メタンハイドレートに伴って産する炭酸塩に注目した。

2. メタン由来炭酸塩の年代測定から表層型ハイドレート濃集時期の推定

ガストムニー・マウンドの海底には数センチメートル～数 10 センチメートルの炭酸塩コンクリーションやノジュール（炭酸塩団塊）がよく見られる。ガストムニーを貫通する掘削コアでもいくつかの深度レベルに炭酸塩コンクリーションが密集して見られることがある。多くのコンクリーションは高 Mg カルサイトもしくはアラゴナイトあるいはそれらの混合物から成るが、石英や粘土鉱物など周囲の泥の成分も含み、埋没後に泥質堆積物中に形成されたものと考えられる。凝集炭素同位体法から見積もった生成温度は、これらが海底直下で形成されたことを示唆する。一方、炭素同位体組成は、これら炭酸塩が、硫酸によるメタンの嫌氣的酸化 (Anaerobic oxidation of methane, AOM) で生じた

ことを示している。このような炭酸塩を MDACs (Methane derived authigenic carbonates) と呼びメタンフラックスが顕著であった証拠とされる。

MDACs が密集することはその時代にメタンフラックスが強化されとことを意味し、海底面下ではメタンハイドレート生成集積が進んでいたと考えられる。実際、MDACs はハイドレート濃集帯に伴うことが多く、また、MDACs の酸素同位体組成異常は、炭酸塩を形成した間隙水組成にハイドレートの形成と分解が強く影響していることを示唆する。これらのことから、MDACs の生成年代は、メタンハイドレートの濃集が進んだ時代を示すと言える。炭酸塩の年代測定では ^{14}C 法が使われることが多いが、MDACs はメタン由来の炭素を多く含むため、 ^{14}C 法は採用できない。ここでは、U-Th 放射非平衡法を採用する。原理的には炭酸塩鉱物中に取り込まれたウランの放射壊変を利用するものであるが、実際は、ウラン放射壊変系列の中で、半減期 24.5 万年の ^{234}U とその生成物である ^{230}Th に注目し、50 万年前程度までの高精度年代測定を目指すものである。測定は国立台湾大学理学院地質科学系で行った。

3. 表層型メタンハイドレートの集積プロセス

海底下深部に集積した炭化水素ガスは、数 100 万年以降に発達する断層・褶曲によって浅部に移動、この時、ガスチムニー構造の原型が形成され、表層型ハイドレートの形成が始まったと考えられる。温度・圧力に敏感なハイドレートは、海底下一定の深度 BGHS 以深に存在することはできず、堆積-埋没の進行に伴って分解-メタンの上方移動-再沈殿を繰り返し、定常的に上方への移動と集積を続ける。つまり、安定領域基底深度付近では常にメタンのリサイクリングが起きている。U-Th 分析により、現在の安定領域基底付近までの堆積物から回収された炭酸塩 MDACs の生成年代は 350ka, 300ka, 270ka, 100ka, 60ka 付近に集中していることが分かった。この事は、この頃にメタンハイドレートの集積も強化されたことを意味する。MDACs の年代 (メタンハイドレートの集積が強化された年代) は、いずれも氷期-低海水準期に当たり、現在見られる表層型ハイドレートの濃集は少なくとも過去 35 万年間の 5 回の低海水準期における BGHS の一時的な上昇、ハイドレートの分解、それに伴うメタンフラックス強化 (=メタンのリサイクリング) の結果であることが明らかとなった。

謝辞：本研究の一部は、経済産業省の表層型メタンハイドレート探査プロジェクトの一部として、産業技術総合研究所から明治大学への再委託事業として実施されたものである。

参考文献

- Risa Sanno (2009) Origin and the U-Th ages of carbonate concretions of gas hydrate field, Joetsu basin, eastern margin of Japan Sea. Master Thesis Dept of E.P.S, Univ of Tokyo.
- 鈴木麻希 (2010) 有孔虫の群集解析と安定同位体比測定に基づく過去 33,000 年の日本海の環境変動の復元：特に底層環境の異常に関する考察。東京大学・地球惑星 修士論文。
- Matsumoto et al. (2017) Growth of a hydrate mound in the Sea of Japan over 300ka as revealed by U-Th ages of MDAC and by H_2S concentrations of massive hydrates. AGU, New Orleans.
- Matsumoto et al. (2017) Occurrence and origin of thick deposits of massive gas hydrate, Eastern margin of the Sea of Japan. Proc.ICGH-9, Denver, Co.
- Matsumoto et al. (2017), Fire in the Ice, 17, 1-6.

北海道日高海岸地域の中部～上部中新統前縁盆地埋積物の堆積システム
 Depositional systems of the Middle–Late Miocene foreland basin deposits in the
 Hidaka coast area, central Hokkaido, Japan

加瀬善洋・川上源太郎（北海道立総合研究機構地質研究所）・高野 修（石油資源開発株式会社）
 Yoshihiro KASE (Geological Survey of Hokkaido, Hokkaido Research Organization),
 Gentaro KAWAKAMI (GSH, HRO) and Osamu TAKANO (JAPEX Research Center)
 連絡先：加瀬善洋 (kase-yoshihiro@hro.or.jp)

前期中新世末期～中期中新世の北海道中央部では、島弧—島弧衝突により南北約 400 km、幅数 10 km にわたる地域に狭長な前縁盆地群が形成された。この堆積盆地群を埋積した堆積物には、古第三紀～中期中新世における中央北海道のテクトニクスの変遷が記録されていることから、これまで多くの堆積学的な研究が行われてきた（Kawakami, 2013 およびその引用文献を参照）。一方、これら前縁盆地群の南端部、日高海岸地域に分布する日高堆積盆地埋積層の陸上露出部には顕著な油徴が認められ、沖合延長部（日高沖）も含めて、石油・天然ガスポテンシャルが高いと期待される。石油天然ガスポテンシャルを正確に評価するには、堆積相とその側方変化や累重様式、古流向などの堆積学的検討を通じて、前縁盆地埋積物の三次元形態の詳細を把握することが極めて重要である。著者らは、主要貯留層として期待される中部中新統受乞層～上部中新統下部二風谷層、およびそれらの相当層の陸上露出部を対象に、堆積相および古流向に関する予察的な検討を行った。

受乞層は、衝上断層の前進に伴って形成された北西—南東方向に延びるトラフを埋積する粗粒タービダイトを主体とし、トラフ軸に沿う北西から南東方向、および沖合側（南西側）へ細粒化する（保柳ほか, 1985）。一方、二風谷層およびその相当層については十分な堆積相解析がなされておらず、詳細な堆積システムは明らかではないが、下位の海底扇状地（受乞層）からファンデルタ（二風谷層）へ変化したことが報告されている（嵯峨山ほか, 1992）。

本論で検討した日高町賀張付近における受乞層は、上方細粒化・薄層化傾向を示す厚層理の砂礫岩層を主体とし、それに伴われる砂岩泥岩薄互層で構成される。礫のインプリケーションから推定される古流向は南向きを示す。また砂岩層には油徴が認められる。詳細な検討結果および先行研究（保柳ほか, 1985）に基づくと、主要構成岩相である砂礫岩層は（中部～上部海底扇状地の）チャンネル充填堆積物、最下部の砂岩泥岩薄互層はレビー堆積物と解釈される。得られた古流向資料（南向き）は、堆積相の変化（南へ末広がりを示す海底扇状地堆積物；保柳ほか, 1985）と整合的である。

平取町小平付近および新ひだか町静内真歌付近における二風谷層およびその相当層（元神部層）は、砂岩泥岩互層を主体とし、砂礫岩層を伴う。堆積相解析の結果、砂礫岩層は（プロファンデルタの）チャンネル充填堆積物、砂岩泥岩互層はレビー堆積物と解釈される。一方、新冠川河口付近（現在の位置関係からいえば、上記 2 地点（小平、静内真歌）の間の場所に位置する）における二風谷層相当層（元神部層）は、主に砂礫岩層および砂岩泥岩互層で構成され、侵食基底面をもつ厚さ 3～10 数 m 以上の上方細粒化サクセッションをなす。砂礫岩層中には、大規模な礫質デューンや粗粒セディメント

ウェーブが発達する。これらの砂礫岩層および砂岩泥岩互層は、それぞれ海底谷を埋積するチャンネル充填堆積物、レビー堆積物と解釈される。

受乞層は、堆積盆北端の北東方向から伸びる海底谷が碎屑物供給経路であると推定され、海底扇状地（保柳ほか、1985）であると考えられる。海底谷からトラフに流入した高密度な重力流は、トラフ内を南方向に向かって堆積盆全体に広がりを持つ粗粒タービダイトを形成したと推定される。一方、二風谷層は、地質図スケールでは、砂礫岩相の卓越する層準が延長数 km～5 km 程度のレンズ状をなして分布し、上下および側方を泥質岩相に囲まれている。このように、二風谷層は分布域全体で見ると細粒タービダイトが卓越し、粗粒タービダイトは高密度な重力流の流下経路である海底谷内に限定される特徴をもつ。

このような受乞層と二風谷層層準のタービダイトの特徴の違いを生む一つの解釈として、堆積盆の地形的規制の差を反映している可能性が指摘される。すなわち、（1）受乞層では狭長なトラフの地形的規制を受けて、重力流がトラフ堆積盆全体に広がるようにトラフ軸流として流下した一方、

（2）二風谷層層準では地形的規制が弱まり、高密度な重力流の移動経路が海底谷や海底チャンネルに限定され、低密度の重力流のみが堆積盆の広い範囲に広がった可能性が考えられる。また（3）二風谷層層準において地質図スケールで確認されるチャンネル充填堆積物は、トラフ軸に沿って発達したのではなく、相対的に陸側に位置するトラフと沖側のトラフとを繋ぐ海底谷を埋積した可能性が考えられる。

【文献】

保柳康一・三戸 望・吉岡正俊・宮坂省吾・渡辺 寧・松井 愈（1985）石狩一天塩帯南部の中部中新統層序と堆積環境－受乞層海底扇状地の復元－。地球科学, **39**, 393–405.

Kawakami, G. (2013) Foreland Basin at the Miocene Arc-Arc Junction, Central Hokkaido, Northern Japan. In Ito, Y., ed., *Mechanism of Sedimentary Basin Formation -Multidisciplinary Approach on Active Plate Margins*, InTech, 131–152.

嵯峨山 積・保柳康一・宮坂省吾（1992）中央北海道日高海岸地域の新第三系珪藻生層序と粗粒堆積の形成期。地質雑, **98**, 309–321.

Thermal history and provenance studies of the Scillato wedge top basin (central-northern Sicily, Italy) by means of vitrinite reflectance and XRD on clay minerals

Martizzi Paolo (Akita U.), Balestra Martina (Roma Tre U.), Corrado Sveva (Roma Tre U.)

連絡先 : Martina Balestra (E-mail: martina.balestra@uniroma3.it)

Keywords: Scillato basin, thermal history, $R_o\%$, XRD on clay minerals, wedge-top

Wedge top basins are key elements for unravelling the tectonic evolution of fold-and-thrust belts. In detail, their thermal signature and sedimentary fill records modes and time of exhumation of their edges.

The Scillato basin is a wedge-top basin located in the central-northern sector of the Sicilian fold-and-thrust belt (western sector of the Madonie Mountains). Upper Serravallian-upper Tortonian succession composed by up to 1,200 m thick delta-river to open marine siliciclastic sediments, fills the basin. This succession lies on a deformed substrate made up of thrust sheets composed of Numidian Flysch, Sicilidi and Imerese units stacked with a SW tectonic transport.

The basin records a polyphase tectonic evolution characterized by two non-coaxial compressional to transpressional tectonic events since the middle-late Miocene that caused changes in basin geometry, uplift of local structural highs and creation of new source areas for sediments.

Organic matter optical analysis and X-ray diffraction of clay minerals have been performed on the basin fill and on the substrate to unravel source to sink evolution.

The organic matter shows two separate cluster of vitrinite reflectance ($R_o\%$) in the basin fill. The first one has values of 0.4-0.5 $R_o\%$ with an increase of thermal maturity with depth. The second one has values of 0.7-0.8 $R_o\%$, indicating reworked, more mature kerogen.

The substrate shows higher $R_o\%$ values: from 0.6% in Numidian Flysch up to 0.9% at the base of Imerese unit.

XRD on clay minerals presents, among the other phases, two populations of mixed layers Illite-Smectite (R0 and R1 stacking order) in the wedge top basin. The first population, R0, indicates thermal maturity levels in agreement with the $R_o\%$ and is authigenic; the second one, R1, has detrital origin. The substrate shows R3 in the older formations of the Imerese unit and R1 in younger formations of the Imerese unit and Numidian Flysch.

Coupling the results from the organic and inorganic fine fractions of the studied sedimentary successions, it has been possible to: 1. quantify the maximum sedimentary/tectonic loads and exhumation the wedge top and the substrate underwent; 2. identify, at least, two distinct source areas for the basin fill changing through time: the Numidian Flysch in the initial stage of the basin development and the Imerese unit in the final stages of basin filling.

秋田堆積盆の発達史と石油の成因

Evolution of the Akita Basin and its relationship with origin of petroleum

中嶋 健 (産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門)

Takeshi Nakajima (GREEN, GSJ, AIST)

連絡先: 中嶋 健 (E-mail takeshi.nakajima@aist.go.jp)

1. リフト期

後期始新世から漸新世にかけて日本海沿岸に海成層を含む小規模な堆積盆が点々と分布することが報告されており、これらは古第三紀の引張場で大陸地殻に形成された初期リフトの堆積物であると考えられている (Kano et al., 2007). 秋田堆積盆では、男鹿半島の門前層が代表的な初期リフトの堆積物で、36-34 Ma 頃の火山岩を主体とし、生痕化石から浅海成層とされる非火山性の潮瀬ノ岬砂礫岩部層を挟んでいる (鹿野ほか, 2011). 漸新世には、日本列島全体が広域不整合に覆われた (鹿野ほか, 1991; Kano et al., 2007). 男鹿半島では、34 Ma 頃の門前層真山流紋岩部層を 20 Ma 頃の野村川層が不整合で覆っており、約 10 Ma 以上に及ぶ不整合が存在する (鹿野ほか, 2011). その後、日本海沿岸では 21Ma 頃から堆積盆の沈降が生じてリフト堆積盆が形成された。男鹿半島では、デイサイト～玄武岩質の火山岩・火砕岩を主体とする野村川層と、礫岩・砂岩・泥岩からなる台島層がこの時期のリフト堆積物である (鹿野ほか, 2011). その後、一時的な不整合を挟んで、18 Ma 頃からは急速なリフト堆積盆の沈降と広域海進が始まった。この時期の秋田堆積盆は、東西方向にホルストとグラーベンが交互に並ぶ地質構造を形成していた。秋田堆積盆では青沢グラーベンでの玄武岩、黒鉱グラーベンでの珪長質火山岩の集積を伴ってリフティングは 13.5 Ma まで継続した (Nakajima, 2013).

2. ポストリフト期と石油の生成

13.5~12 Ma のポストリフト遷移期には、出羽丘陵と男鹿半島がテクトニックに急速に沈降し、秋田沿岸に深海盆が出現した。12~9 Ma には、奥羽山脈にリフト期に形成されたハーフグラーベンの一部が一時的にインバージョンを起こし、部分不整合を形成し、山脈全域で隆起を伴った。同じ 12 Ma 頃、秋田沿岸では女川層の珪質頁岩の堆積が始まり、秋田堆積盆の中では、西にプログラデーショナルな堆積パターンを形成した。この時期の東北日本のテクトニクス場は圧縮テクトニクスと推定され、火山活動の抑制を伴った (Nakajima, 2013). その結果、南北方向の隆起帯と沈降帯が繰り返す現在の東北日本弧の骨格ができたと考えられ、日本海が北方海峡を残して太平洋から隔離された半閉鎖的縁海となり、女川層の石油根源岩の堆積を引き起こした可能性がある (中嶋, 2012). その後、9~6.5 Ma の広域沈降期を挟んで、6.5 Ma から再び圧縮場が強まり、奥羽山脈では隆起域と沈降域の分化が始まると同時に、周辺で礫岩の堆積が始まり、インバージョンによる隆起が本格的に始まったと推定される。それまで沈降域であった出羽丘陵も隆起に転じ、5 Ma 頃から徐々に陸化し、北由利衝上断層の活動と秋田油田の貯留岩である桂根相の堆積を生じた (Nakajima, 2013). 3-2 Ma 頃から、圧縮場がさらに強

まり，奥羽山脈の中軸と東縁で傾斜不整合を伴う隆起が起こり，秋田平野も隆起し離水する (Nakajima, 2013)．秋田油田での背斜構造の形成開始時期は地域によりばらきがあり，4 Ma 以降パルス状に何度か構造形成が行われたと考えられる (平松・三輪, 2005)．この構造形成に伴って，断層関連背斜構造の下盤では 1.7 Ma 以降沈降が生じ，石油根源岩が熟成帯に達し，女川層からの油の生成／移動／集積が行われた結果，秋田油田が形成された (佐藤, 2017)．

参考文献

- 平松 力・三輪美智子, 2005, 秋田油田における鮮新世～更新世の浮遊性有孔虫化石マーカーの出現パターンと集油構造形成時期. 石油技術協会誌, 70, 105-113.
- 鹿野和彦・加藤禎一・柳沢幸夫・吉田史郎(編), 1991, 日本の新生界層序と地史. 地調報告, no. 274, 114p.
- 鹿野和彦・大口健志・柳沢幸夫・栗田泰夫・小林紀彦・佐藤雄大・林 信太郎・北里 洋・小笠原憲四郎・駒沢正夫, 2011, 戸賀及び船川地域の地質(第2版). 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 127p.
- Kano, K., Uto, K. and Ohguchi, T., 2007, Stratigraphic review of Eocene to Oligocene successions along the eastern Japan Sea: Implication for early opening of the Japan Sea. *Jour. Asian Earth Sci.*, 30, 20-32.
- 中嶋 健, 2012, 女川層. 寺泊層石油根源岩の形成要因はテクトニクスか? 日本堆積学会 2012 年札幌大会プログラム・講演要旨, 21-22.
- Nakajima, T., 2013, Late Cenozoic tectonic events and intra-arc basin development in Northeast Japan. In: Itoh Y. (ed.) *Mechanism of Sedimentary Basin Formation – Multidisciplinary Approach on Active Plate Margins*. InTech, Rijeka, 153–189. doi.org/10.5772/56706
- 佐藤時幸, 2017, 石油資源. 日本地質学会 (編) 日本地方地質誌 東北地方, 朝倉書店, 552–563.

モンゴル年縞湖成層に記録される白亜紀中期“超温室期”の太陽活動周期の気候変動

Solar influence of climatic oscillations in the mid-Cretaceous Supergreenhouse:
Insights from Mongolian lacustrine varve record

長谷川精(高知大学)・安藤寿男(茨城大学), 勝田長貴(岐阜大学), 村木綏(名古屋大学), Ichinnorov N. (モンゴル古生物地質研), 村山雅史(高知大学), 山本鋼志(名古屋大学), 太田亨(早稲田大学), 長谷川卓(金沢大学), 山本正伸(北海道大学), 長谷部徳子(金沢大学), Heimhofer U. (ハノーバー大学), Hasegawa H. (Kochi Univ.), Ando H. (Ibaraki Univ.), Katsuta N. (Gifu Univ.), Muraki Y. (Nagoya Univ.), Ichinnorov N. (Paleontol. Geol. Inst., Mongolia), Murayama M. (Kochi Univ.), Yamamoto K. (Nagoya Univ.), Ohta T. (Waseda Univ.), Hasegawa T. (Kanazawa Univ.), Yamamoto M. (Hokkaido Univ.), Hasebe N. (Kanazawa Univ.), Heimhofer U. (Hannover Univ.)
連絡先: 長谷川精 (hito_hase@kochi-u.ac.jp)

地球の気候変動には明確な周期性が見られ, 例えば万年~十万年周期で変わる軌道要素に伴う日射量変動(いわゆるミランコビッチサイクル)が駆動する氷期-間氷期サイクルは良く知られている. また完新世や最終氷期の古気候記録には百年~千年周期の変動も見られ, 宇宙線生成核種(^{14}C や ^{10}Be)の生成量変動との相関が見られることから, 太陽活動の長周期変動が地球の気候変動に影響を及ぼしている可能性が指摘されている(約 210 年周期の de Vries cycle や約 2300 年周期の Hallstatt cycle, そして議論はあるが約 1500 年周期の Bond event やダンスガード・オシュガー・サイクル(DOC)など; e.g., Bond *et al.*, 2001; Darby *et al.*, 2012; Obrochta, *et al.*, 2012; Adolphi *et al.*, 2014; Moffa-Sanchez *et al.*, 2014; Soon *et al.*, 2014). しかし, 太陽活動の変動が地球気候に影響するメカニズムは不明な点が多く, 特に古気候記録に見られる約 1500 年周期の変動は気候システムが持つ内部振動であるという反論もある(Debret *et al.*, 2009; Isono *et al.*, 2009; Muscheler, 2012). また百年~千年周期の変動が過去においても一貫して見られる変動なのかは, 更新世や中新世の例(Masuda *et al.*, 2004; Kern *et al.*, 2012)を除いて示されておらず, 太陽活動と気候変動との関係性は依然として不明な点が多い. 本研究では, 年縞を保存するモンゴルの湖成層を解析することで, 完新世や氷期に見られる太陽活動周期と極めて類似する十年~千年周期の気候変動が白亜紀中期にも見られることを報告する.

白亜紀中期“超温室期”における陸域気候システムの変動を解明するため, 我々はモンゴル南東部に露出するアプチアン期前期(123~119Ma)の湖成層(シネフダグ層)を対象に研究を進めてきた(Hasegawa *et al.*, 2018). シネフダグ層は数 m から数十 m 毎にリズムカルに互層する頁岩とドロマイトからなり, 地球軌道要素変動に伴う湖水位(降水量)変動を反映している. また高湖水位期に対応する頁岩層準では, 春~夏の生物生産増大と秋~冬の碎屑物流入の季節変動を反映した年縞(ねんこう)を保存する. そこで蛍光顕微鏡画像の画像解析により, 連続した約 1090 年区間の夏季強度の変動を解析した結果, 約 3-5 年, 11 年, 35-40 年, 90-120 年, 220 年, 360-400 年の周期性が検出された. これらは報告されている太陽活動周期(11 年の Schwabe cycle, 88-105 年の Gleissberg cycle, 約 210 年の de Vries cycle)と良く一致しており, 太陽活動が影響したと考えられる十年~百年周期の気候変動が白亜紀中期のアジア中緯度域に起こっていたことが明らかになった.

本研究では更に, μXRF コアスキャナー(ITRAX)を用いて 20m 長のコア試料(約 20 万年区間に相当)に

対して 500 μm 毎(約 10 年の解像度)で主要・微量元素組成を測定し、百年～千年スケールの気候変動がどのような周期性を持っているかを検討した。その結果、降水量因子(Ca/Ti)の変動から約 400–500 年, 1000 年, 1400 年, 2000–2300 年, 3500–4000 年の周期性が検出された。この 1000 年および 2000–2300 年の周期性は、報告されている太陽活動周期(約 1000 年の Eddy cycle や約 2300 年の Hallstatt cycle)とほぼ一致する。また約 1400 年周期の変動は、完新世の Bond event や最終氷期の DOC と周期性や変動パターンが非常に類似していた。これらの結果は、白亜紀中期“超温室期”と氷期・間氷期という全く異なる気候モードにおいても共通の外力(フォーシング)によって気候が変動していたことを示唆し、上述の年縞解析の結果と併せて考えると、太陽活動が影響して百年～千年周期で地球気候が変動するという考えを支持する。また完新世や氷期に見られる約 1500 年周期の変動は氷床融解や海洋循環などの内部変動に起因するという考えが多いが(Debret *et al.*, 2009; ; Isono *et al.*, 2009; Muscheler, 2012), 海-陸分布が全く異なる白亜紀にも類似した周期変動が見られることから、約 1400–1500 年の周期性についても太陽活動の気候影響の可能性を示唆した先行研究(Bond *et al.*, 2001; Braun *et al.*, 2005)を支持する。さらに、氷期の気候モードでのみ見られた千年周期の急激な気候変動(Barker *et al.*, 2011)が白亜紀中期“超温室期”にも見られることから、現在よりも温暖な気候モードにおいても千年周期の急激な気候変動を引き起こす安定解が存在する可能性が示唆された。

参考文献

- Adolphi, F., *et al.* (2014) Persistent link between solar activity and Greenland climate during the Last Glacial Maximum. *Nature Geoscience* **7**, 662-666.
- Barker, S., *et al.* (2011) 800,000 years of abrupt climate variability. *Science* **334**, 347-351.
- Bond, G., *et al.* (2001) Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science* **294**, 2130-2136.
- Braun, H., *et al.* (2005) Possible solar origin of the 1,470-year glacial climate cycle demonstrated in a coupled model. *Nature* **438**, 208-211.
- Debret, M., *et al.* (2009) Evidence from wavelet analysis for a mid-Holocene transition in global climate forcing. *Quaternary Science Reviews* **28**, 2675-2688.
- Darby, D. A., *et al.* (2012) 1,500-year cycle in the Arctic Oscillation identified in Holocene Arctic sea-ice drift. *Nature Geoscience* **5**, 897-900.
- Hasegawa, H., *et al.* (2018) Depositional ages and characteristics of Middle-Upper Jurassic and Lower Cretaceous Lacustrine deposits in southeastern Mongolia. *Island Arc*, doi: 10.1111/iar.12243.
- Isono, D., *et al.* (2009) The 1500-year climate oscillation in the midlatitude North Pacific during the Holocene. *Geology* **37**, 591-594.
- Kern, A. K., *et al.* (2012) Strong evidence for the influence of solar cycles on a Late Miocene lake system revealed by biotic and abiotic proxies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **329**, 124-136.
- Masuda, F., *et al.* (2004) Dansgaard-Oeschger Millennial Oscillations in Global Climate Caused by Solar Cycles: an 8000-yr record of Lake varves at 500ka. CAWSES Kickoff Meeting, 130-131.
- Moffa-Sánchez, P., *et al.* (2014) Solar forcing of North Atlantic surface temperature and salinity over the past millennium. *Nature Geoscience* **7**, 275-278.
- Muscheler, R. (2012) Palaeoclimate: The enigmatic 1,500-year cycle. *Nature Geoscience* **5**, 850-851.
- Obrochta, S. P., *et al.* (2012) A re-examination of evidence for the North Atlantic “1500-year cycle” at Site 609. *Quaternary Science Reviews* **55**, 23-33.
- Soon, W., *et al.* (2014) A review of Holocene solar-linked climatic variation on centennial to millennial timescales. *Earth-Science Reviews* **134**, 1-15.

河川～湖沼成シーケンス層序解釈における生痕化石データの有効性：ユタ州ユインタ堆積盆に露出する始新統ユインタ層およびドゥシェーンリバー層の例
 Utility of Trace Fossil Assemblages in Interpreting Fluvial-Lacustrine Sequence Stratigraphy: Example from the Eocene Uinta and Duchesne River Formations, Uinta Basin, Utah

佐藤 隆司（国際石油開発帝石）・Marjorie A. Chan（ユタ大学）・Allan A. Ekdale（ユタ大学）
 Takashi Sato (INPEX CORPORATION), Marjorie A. Chan and Allan A. Ekdale (Univ. of Utah)
 連絡先：佐藤隆司 (takashi.sato@inpe.com.jp)

はじめに

生痕化石や生痕群集は、古環境の推定や堆積シーケンスの解釈を行う上で、非常に有用な情報となる。特にグローバルな海水準変動、すなわちユースタシーが主な外的要因として支配する沿岸域～海洋環境の堆積シーケンスに対しては、学術的な研究に加え、石油開発事業における貯留層コアの堆積シーケンス解析などの分野でも生痕化石が利用されてきている。しかしながら、ローカルな要因に支配され、河川、氾濫原、湿地および湖沼といった堆積環境の時空変化が著しい陸成層では、堆積シーケンスにおける体系的な生痕群集の変化や応答を示した研究事例は少ない。本研究は、米国ユタ州ユインタ堆積盆の河川～湖沼成シーケンスを題材として、堆積相と生痕群集または生痕相の関係を整理し、陸成層のシーケンス解析における生痕化石データの有用性を示すことを目的としたものである。

地質概要・アプローチ

ユインタ堆積盆は古第三紀のララミー造山運動に伴って形成された内陸型湖成堆積盆であり、層厚5000mに達する河川～湖沼成堆積物から成る。研究対象地域に分布する始新統ユインタ層およびドゥシェーンリバー層は、後背地であるユインタ山脈とセビア褶曲・衝上断層帯の構造運動による強い支配を受け、それらの堆積相は複雑な時空分布を呈す (Sato and Chan, 2015)。今回の発表では、湖沼から河川および氾濫原環境への垂直（時間）方向の堆積相変化が顕著な堆積盆西部のシーケンス、すなわち下位よりユインタ層 C 部層（湖沼環境優勢）、ドゥシェーンリバー層 Db 部層（河川環境優勢）、Dd 部層（湿地環境優勢）、D1 部層（湖沼環境優勢）に着目し、広域的な地表地質調査によって得られた生痕化石データ（属レベルでの記載）および生痕群集について整理し、それらの変化について議論する。

研究結果

部層レベルでの大きな堆積相変化、すなわち砂岩に富む河川および氾濫原環境優勢の部層から緑色泥岩に富む湖沼環境優勢の部層への上方細粒化シーケンスに応じて、生痕属または生痕群集に明瞭な変化が見られた（図 1）。上方細粒化シーケンス下部の Db 部層は、河川および氾濫原環境を示し、*Scoyenia*、*Ancorichnus*、*Beaconites*、*Naktodemasis* 等の meniscate backfill 型生痕や *Celliforma*、

Termitichnus などの社会性昆虫の巣穴によって特徴付けられる。上方細粒化シーケンス上部の C 部層および D1 部層は、湖沼環境を示し、U 字型巣穴生痕である *Arenicolites* や *Gordia/Haplotichnus* 等の水平方向の生痕 (grazing trace) に富む。上方細粒化シーケンス中部の Dd 部層は、湿地環境を示し、Dd 部層 (河川) と D1 部層 (湖沼) の中間的な生痕群集を有する。これらの生痕群集は、既往研究により代表的な陸成生痕相モデルとして提唱されている *Scoyenia* 生痕相 (河川環境)、*Mermia* 生痕相 (湖沼環境) および *Coprinisphaera* 生痕相 (土壌環境) に一部対比可能、またはこれら生痕相の混合として対比可能なものである。今後、より厳密な堆積環境-生痕相の関係を議論するには、詳細な単層レベルでの生痕ファブリック (Ichnofabric) の理解が必要となる。

結論・まとめ

ユタ州ユインタ堆積盆に露出する河川～湖沼成シーケンスを調査し、出現する生痕化石とその群集を整理した。その結果、河川、湿地、湖沼環境という堆積シーケンス (上方細粒化のサイクル)、すなわちベースレベル変動に対する生痕群集の応答を捉えることができ、生痕化石が陸成層のシーケンス層序解釈を行う上で、有効なツールと成り得る一例を示した。

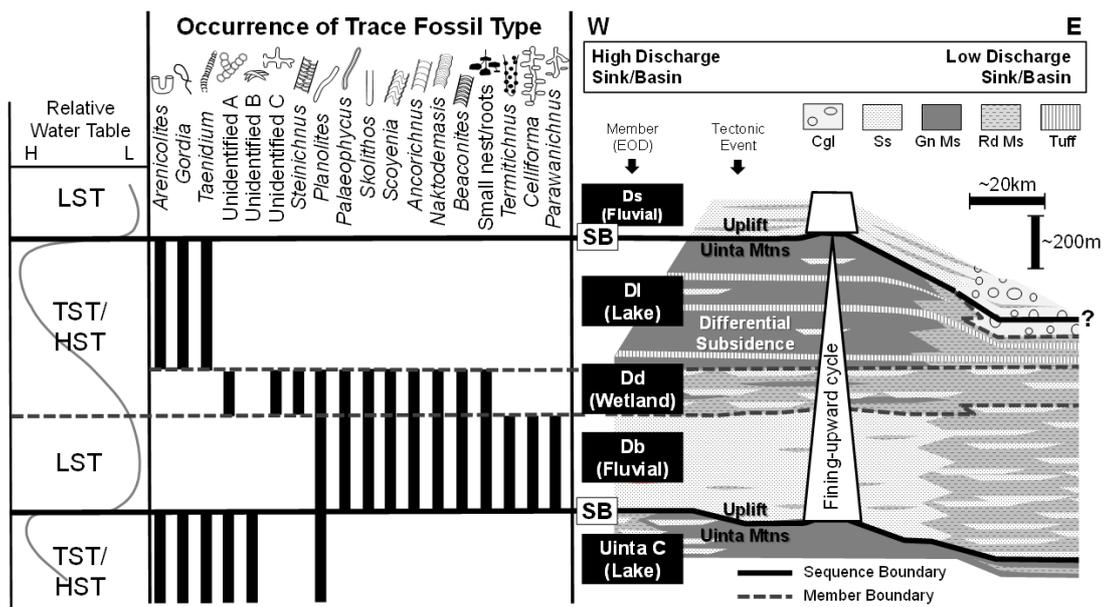


図1 研究対象層のシーケンス層序フレームワークと生痕属の出現状況

文献

Sato, T., and Chan, M.A., 2015, Fluvial Facies Architecture and Sequence Stratigraphy of the Tertiary Duchesne River Formation, Uinta Basin, Utah, U.S.A. *Journal of Sedimentary Research*, **85**, 1438-1454.

鹿児島県喜界島 2017 年 9 月豪雨で新たに出現した知念層相当層とその意義（予察）
Chinen-equivalent Formation and its significance appeared by torrential downpours
on September 2017, Kikai Island, Kagoshima Prefecture – preliminary result -

松田博貴（熊本大学）・千代延峻・山崎 誠（秋田大学）・佐々木圭一（金沢学院大学）
Hiroki Matsuda (Kumamoto Univ.), Shun Chiyonobu, Makoto Yamasaki (Akita Univ.)
and Keiichi Sasaki (Kanazawa Gakuin Univ.)
連絡先：松田博貴 (hmat@kumamoto-u.ac.jp)

琉球列島には、泥質岩を主体とする上部中新統～下部更新統島尻層群とサンゴ礁性堆積物を主体とする中～上部更新統琉球層群が広く分布することが知られている。一方、この島尻層群と琉球層群の間には、その中間的な岩相を示す知念層が局所的に分布する。この知念層は、島尻層群が堆積するような「泥の海」からサンゴ礁が形成されるような「美ら海」へと琉球列島が大きく堆積環境を変化させる時期の地層として、琉球列島の構造発達史を考える上できわめて重要であると考えられている(井龍・松田, 2010)。その地表分布は、沖縄本島中～南部に限られ、層厚、岩相、ならびに堆積時代は地域によって大きく異なり、1990年代後半から積極的に調査・研究がなされてきた(例えば、中川ほか, 2001; 佐藤ほか, 2004; 千代延ほか, 2009)。

鹿児島県喜界島には、沖縄本島中部以北では、唯一、島尻層群が分布し、その上位には琉球層群が広く分布する。しかしこれまで、喜界島の知念層についてはその存在の可能性は知られていた(佐々木, 私信)が、その詳細はよくわかっていなかった。喜界島は、2017年8月と9月に50年に1度という記録的豪雨に2度見舞われ、それにより多くの斜面災害が発生したが、その際に島尻層群と琉球層群の境界部に知念層と酷似した地層が出現した。

今回、出現した知念層相当層の露頭は、島東部の塩道から石灰岩台地上に上がる町道沿いの崖である。これまでも島尻層群と琉球層群の不整合が観察できる露頭として知られていた地点であるが、今回の土砂災害により表面が大きく崩落した結果、新鮮な境界部が出現した(写真)。ここでは、青灰色泥岩からなる島尻層群の上位に、明瞭な境界面を境として、コケムシを豊富に含む淡青灰色石灰質泥岩からなる層厚 30cm 程度の知念層が重なる。さらにその上位には、よく固結した琉球層群の礁性石灰岩が重なる。琉球層群基底部には、下位の島尻層群由来の径 10cm に達する泥岩円礫を含む。知念層の岩相は、沖縄本島中～南部に分布する下部知念層に酷似する。予察的に実施した石灰質ナンノ化石分析では、堆積年代は概ね 1.7~1.4Ma であり、沖縄本島の下部知念層～上部知念層中部相当層と考えられる。講演では、喜界島知念層の産状と年代、ならびにその意義について発表する。



島尻層群、知念層相当層ならびに琉球層群基底部（転石側）

文献

- 千代延峻, 猿渡隼人, 佐藤時幸, 樺元淳一, 井龍康文, 2009, 沖縄本島勝連半島に分布する知念層の石灰質ナンノ化石生層序. 地質学雑誌, **115**, 528-539.
- 井龍康文, 松田博貴, 2010, 琉球列島-新第三系・第四系- (項目執筆). 佐野好弘・酒井治孝・西山忠男・長谷義隆編, 地方地質誌「九州地方」, 日本地質学会, 朝倉書店.
- 中川 洋, 松田博貴, 佐藤時幸, 平塚美友紀, 尾田太良, 2001, 沖縄本島南部知念層の堆積相と堆積年代-予察-. 堆積学研究, no.53, 99-101.
- 佐藤時幸, 中川 洋, 小松原純子, 松本 良, 井龍康文, 松田博貴, 大村亜希子, 小田原啓, 武内里香, 2004, 石灰質微化石層序からみた沖縄本島南部, 知念層の地質時代. 地質学雑誌, **110**, 38-50.

河川泥質堆積物の Sr-Nd-Pb 同位体比と流域地質との関係

Sr-Nd-Pb isotope composition of river mud correlated with watershed geology

齋藤 有 (総合地球環境学研究所)

Yu Saitoh (Research Institute for Humanity and Nature)

連絡先: 齋藤 有 (yu-saitoh@chikyu.ac.jp)

泥は量的に最も重要な堆積物である。石灰岩を含めた地球上の全堆積岩に占める泥岩の割合は 5~8 割に及ぶと推測されており (Pettijohn, 1975), 分布も陸上から海洋底まで広大な範囲に及ぶ。また、泥は一般に静穏な環境で定常的に堆積するため、連続的な地質記録としても重要である。泥の起源を精度良く求めることは過去の環境や地殻変動の具体的な復元に繋がる。泥の起源指標としては Sr-Nd-Pb 同位体比が有効であることが知られている。しかしながら、供給源となる陸域の多くで細粒砕屑物についてのデータが整備されていないため、その利点はあまり生かされていない。例えば四国海盆北部の半遠洋堆積物の Sr-Nd-Pb 同位体比は、4.2Ma から 3Ma にかけてメインの供給源が東シナ海から日本列島にシフトしたことを示唆するが (Saitoh et al., 2015), 3Ma 以降の日本列島の供給源が具体的にどこかまでは特定できていない。日本列島には、古生代の堆積岩から第四紀の火山岩まで様々な地質が分布し、Sr-Nd-Pb 同位体比に幅広いバリエーションがあることが推定される。そこで本研究では、四国海盆への重要な砕屑物供給源である日本列島中西部を対象とし、太平洋に流出する 50 の河川について下流の泥質堆積物 (< 20 μ m) の Sr-Nd-Pb 同位体比を求め、流域地質との関係を考察した。その結果、同位体比は主要地質を鋭敏に反映して流域毎に大きく変化することが明らかとなった。特に日本列島中西部の主要地質であるジュラ紀付加体、白亜紀付加体、白亜紀深成岩、領家三波川変成岩類、第四紀火山岩の排出する泥については、同位体比と元素組成を複合的に比較することで互いに明確に識別できることが明らかとなった。

ジュラ紀付加体が卓越する(面積で 70%以上)流域は肱川、桂川、揖斐川などであるが、中央構造線の北(内帯)と南(外帯)とで明確な違いが見られる。例えば Sr 同位体比では、内帯では $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が 0.720~0.730 であるのに対し、外帯では 0.710~0.717 と低い。外帯と内帯でジュラ紀付加体の形成場に大きな地理的隔たりがあったこと (Taira, 2001 など) がこの大きな違いの要因と考えられる。

白亜紀付加体が卓越する流域は、四万十川、新莊川、日高川である。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は外帯のジュラ紀付加体流域と類似するが、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ が約 0.5123 と、外帯ジュラ紀付加体の約 0.5124 よりかなり低いことで区別できる。

白亜紀深成岩が卓越する流域は雲出川、鈴鹿川、矢作川である。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ は外帯のジュラ紀付加体や白亜紀付加体の流域と類似するが (0.712~0.718), $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ はそれらの地質の値よりかなり低い (0.5122 程度)。また、Zr[mg/kg]/Al[g/kg]比がそれら付加体では 1.2 以上であるのに対し、白亜紀深成岩では 1.0 以下と低いことも特徴である。ジルコニウム (Zr) は花崗岩に含まれるジルコンに主に含まれる元素であるが、ジルコンは風化に強い鉱物であることから、流域内での風化程度では泥サイズにまでは破碎されないことが考えられる。

第四紀火成岩が大半を占める流域には、菱田川、大分川、狩野川などがある。これらの流域の泥は顕著に $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (0.705~0.706), $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (15.57~15.61) が低く、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (0.5125~0.5128) が高いことから、他の地質が卓越する流域の泥とは明確に識別できる。

領家三波川変成岩類が大半を占める流域は、吉野川と榎田川である。これらの流域の泥の Sr-Nd 同位体比は外帯のジュラ紀付加体流域に類似する値を示すが、 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (18.65~18.8), $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (約 38.8) が外帯ジュラ紀付加体より顕著に高い。

以上のように Sr-Nd-Pb 同位体比と元素組成を複合的に比較すれば、日本列島中西部の主要地質が排出する泥を互いに識別することが可能である。このことを利用すれば、四国海盆や南海トラフ周辺の半遠洋性堆積物の起源を解析することによって日本列島の地殻変動や環境変動を高い時間解像度で復元できる可能性がある。

文献

Saitoh, Y., Ishikawa, T., Tanimizu, M., Murayama, M., Ujiie, Y., Yamamoto, Y., Ujiie, K., Kanamatsu, T., 2015, Sr, Nd, and Pb isotope compositions of hemipelagic sediment in the Shikoku Basin: Implications for sediment transport by the Kuroshio and Philippine Sea plate motion in the late Cenozoic. *Earth and Planetary Science Letters*, **421**, 47-57.

Hallam, A., 1992, Pettijohn, F.J., 1975, *Sedimentary rocks*. Harper & Row, New York, 628p.

河岸段丘の形成 —立川段丘面の例—

Formation of LGM terraces - an example of Tachikawa Terrace -

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（産総研 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は 1970 年代の半ばまでは「段丘面は地殻変動による当該地域の上昇によって形成される」という説が一般的であった。しかし我が国の貝塚(1977)はこの一般的な説に疑問を呈し、「地殻変動など全くなくても気候変動のみによっても段丘面は形成されうる」という仮説を提唱した。その後、彼の仮説 (Fig. 1) は日本の第四紀研究者によって次々と立証されていった。しかし欧米諸国では貝塚のこの気候変動による段丘形成説が堆積学や第四紀の研究者に知られることは全くなかった。貝塚の仮説はテキサス大学の Mike Blum によって初めて彼自身の仮説として提唱され、テキサス州のコロラド川に沿う第四紀の河岸段丘について、多数の ^{14}C 法のデータを基にその形成史が立証された。欧米の研究者の間には、現在でも気候変動による河岸段丘の形成説は Mike Blum が初めて提唱したと信じているものが圧倒的に多い。

貝塚の主張は次のようなものである (Fig. 1). 1) まず氷期が到来すると、海面が降下するので（これは 100 m を超える降下量）、河口の河床面も降下し激しい侵食を受ける。Fig. 1 では河川プロファイルの 2 がこれに相当することになる。2) しかし中流域では上流域における寒冷地の発達による裸地の大幅な出現と森林限界の降下により大量の粗粒堆積物が河床面に貯まり、河床面が高くなる。3) そして氷期が去り、温暖な間氷期がやってくると、まずかつての河口では海面の上昇により堆積作用が発生し、谷が埋められ沖積面 (alluvial plain) をつくる。Fig. 1 の図では河川プロファイル 3 がこれに相当する。4) しかし中流域では上流域での水量は増し、森林限界も上昇するため排出される堆積物は減少し、侵食作用のみが卓越しかつての粗粒堆積層は段丘面として残る (Fig. 1)。このようにして地殻変動などを考慮しなくても段丘面は形成されうると貝塚は主張した。繰り返しになるが Fig. 1 における氷期中流域における粗粒堆積物の大量の堆積は森林限界の降下によるものである。貝塚の提唱したこの概念はその後、多くの若手研究者によって立証された (例、渡辺, 1981; 久保, 1997)。

演者らはもとより貝塚の仮説を早くから信じてきたが、残念ながら欧米の学会誌には貝塚の仮説をもとに公表した我が国の研究者による論文はなかったように思う。演者らは関東平野南部に発達するいわゆる「立川段丘面」がまさに貝塚や Blum が言う気候変動コントロールによる段丘の形成であるというデータを得たので論文を準備中であるが、その内容の一部を紹介したい。立川段丘面は最終氷期最盛期 (Last Glacial Maximum, 略称 LGM) に形成された段丘面である。

立川段丘面は Fig.2 に示されるようにその南端は「府中崖線」(Fucyu Cliff) によって沖積平野と区分され、またその北端は「国分寺崖線」(Kokubunji Cliff) によって武蔵野段丘面と区分される。演者らは「東京都技術支援人材センター」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。それらの柱状図は段丘を形成する主たる地層が礫層であることを示している。これは Fig. 1 の a にお

る 2 の段丘に相当する。また柱状図の上部にはいずれもローム層が存在しており、このことが沖積面からは区別される。

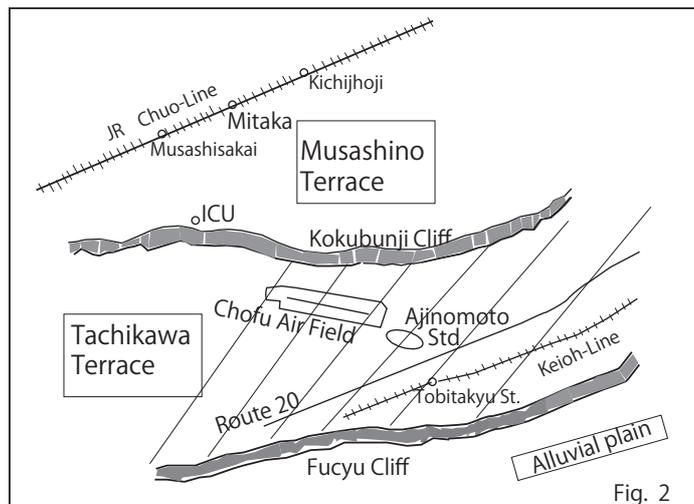
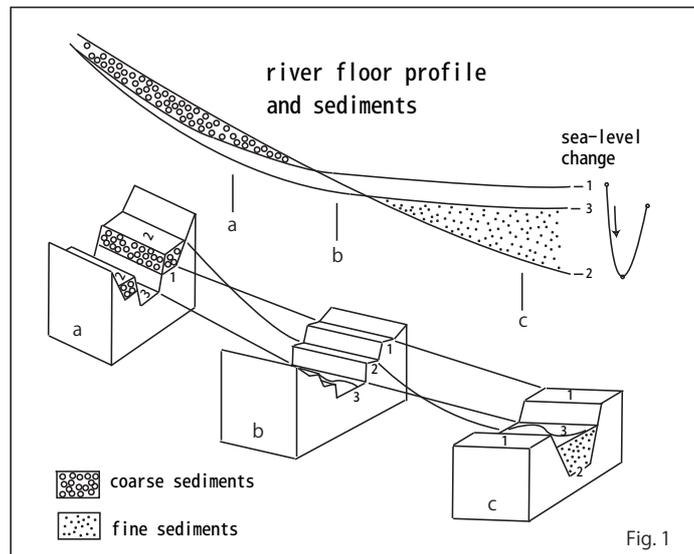
引用文献

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. Werner and H. W. Posamentier eds., Siliclastic sequence stratigraphy, AAPG Memoir, no.58, 259-283.

貝塚 爽平, 1977, 日本の地形—物質と由来—. 岩波新書, G38, 234pp., 東京

久保 純子, 1997, 相模川下流平野の埋没段丘から見た酸素同位体ステージ以降の 5a 海水準変化と地形発達. 第四紀研究, 36, 147-163.

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



メコンデルタの形態を決める要因は何か

Factors determining the geometry of the Mekong River delta

田村 亨 (産業技術総合研究所)・斎藤文紀 (産業技術総合研究所・島根大学)・Marcello
Gugliotta (島根大学)・Nguyen Van Lap・Ta Thi Kim Oanh (ベトナム科学アカデミー)
T. Tamura (AIST), Y. Saito (AIST, Shimane Univ.), M. Gugliotta (Shimane Univ.)
V.L. Nguyen, T.K.O. Ta (VAST)
連絡先: 田村 亨 (toru.tamura@aist.go.jp)

デルタの一般的な分類は、波浪・潮汐・河川の堆積プロセスの相対的な寄与度と粒度、あるいは海岸線の形態、の類型により行われ、デルタの形態と堆積プロセスおよび粒度との間には相関があると考えられている。しかし、堆積プロセスの相対的な寄与度といっても定量化は難しく、これら3つの要素以外でも周囲の地形や海面変動など、デルタの形態を決める要因は様々である。また、デルタの形態が長期における堆積・侵食作用の累積である以上、現在の姿のみからデルタ形態の多様性を完全に理解することはできず、デルタの地形・堆積物の性質とその編年に基づく長期的な発達過程の解明が欠かせない。ここではベトナム南部のメコン (Mekong) デルタにおいて過去20年間に蓄積された成果から、完新世における発達過程をまとめ、その形態の要因を検討する。

メコンデルタは、デルタ平野の面積が世界で4番目に大きく、地域の人口が2000万人ともいわれる、有数の巨大デルタである。Niger デルタなどとともに、波浪と潮汐の両方の作用が同程度に寄与する mixed-energy delta と考えられているが、そのユニークな形態の要因についての全容は解明されていない。南シナ海沿岸では大潮の最大潮差が3m以上におよび、また11~4月の乾季には北東からの季節風によって波浪や沿岸流の作用が大きくなる。こうした波浪と潮汐の作用により、南シナ海沿岸では潮汐海浜 (tidal beach) が発達する。河川からの堆積物は雨季に集中して沿岸域に堆積し、それが乾季の沿岸流によって再移動されて南西に漂流するというサイクルを繰り返すが、その先で Ca Mau 岬とよばれるデルタの突出部が南シナ海とタイ湾を隔てている。メコン河はデルタにおいていくつかの分流路に分岐し、河口は南シナ海岸の北東部に集中している。北東部への分流路の集中は、基本的に氷期の開析谷の位置を反映している。分流路の間には流路に平行な細長いデルタ平野が発達するが、デルタ平野の下流部では海岸のプログラデーションに伴い残された浜堤の保存が顕著であり、アバレーション等分流路の側方移動の痕跡はほとんど見られない。

メコンデルタの完新世における発達過程の全体像は、メコン河近傍部の沖積層ボーリングコアの堆積相と¹⁴C年代から明らかにされている。後氷期の海面上昇によりマングローブ性の海岸線がカンボジアの Phnom Penh 付近まで進入した後、8000年前以降は約6000年前の高海面期から相対的海面が下降しはじめる。3500~4000年前までは、アグラデーションを伴いながらプログラデーションを示し、その後アグラデーションを伴わないプログラデーションに転じて現在に至る。この3500~4000年前の前後に、それまでの潮汐堆積作用の卓越から波浪と潮汐両方が影響するようになり、浜堤の発達が始まる。この変化は、相対的海面変動の変化が影響している可能性もあるが、主にデルタのプログラ

デーションにより海岸がより外洋の波浪にさらされるようになったことが原因と考えられる。海岸線が上流へと湾入していた海進期～海退期初期には、メコンデルタ東方の Vung Tau に発達する半島が北東の冬季節風により駆動される波浪と沿岸流をブロックすることにより、デルタ海岸への波浪の影響が限定的であった。

現在のメコンデルタの形態の特徴のほとんどは、波浪堆積作用の影響が強くなった 3500 年前以降につくられている。この時期のデルタ形成過程は、北東部の河口域と南西部の Bassac 川河口～Camau の地域で分けてとらえられる。

北東部の河口域では、浜堤を伴うデルタ平野が分流路の間に細長く発達することが特徴である。これらの平野の浜堤の OSL 年代は、北部の平野ほど形成開始が若いことを示す。こうしたパターンは、分流路の河口部を分岐させる砂州が生まれてはデルタ平野へと成長するサイクルの繰り返しにより説明される。さらに、Tra Vinh のデルタ平野では 3500 年前以降に約 5 km の間隔で浜堤群が発達する。詳細な OSL 年代測定から、600 年間隔であった 1 度を除き、200～250 年と一定の間隔で海岸線が不連続な移動を繰り返してきたことが明らかである。こうした不連続な海岸線の移動は、分流路河口沖のデルタフロントに波浪の作用によって形成される河口砂州が核になり進んでいく。

メコンデルタの南西部海岸では、メコン河の分流路の中で最も南西（漂砂下手）側に位置する Bassac 川の河口から南西端の Camau 岬に向けての沿岸運搬が特徴である。この沿岸運搬に伴い堆積物も細粒化するが、同じように沖積層も細粒化し、Bassac 川河口付近では砂泥互層からなる一方、南西の Camau 岬ではほぼ泥のみからなる。また、河口付近ではよく発達する浜堤も南西方向にせん滅する。Bassac 川河口付近の浜堤堆積物および Camau 周辺の潮間堆積物の OSL 年代、さらに両地域のボーリングコアの ^{14}C 年代からの見積りによると、1400～2400 年前に $2 \text{ km}^2/\text{yr}$ 程度であったデルタの拡大速度は、600～1400 年前に約 3 倍、600 年前以降は約 4 倍に増加した。また、現在南側に突出している Camau 岬の大半は 600 年前以降に形成された。こうした急激な堆積速度の上昇は、メコン河上流での人間活動や気候変動が引きがねとなり河川堆積物の供給量が増加したことを反映していると考えられる。同時期に北東の砂質な河口部ではここまで極端な変化は見られないため、供給量の増加は砂よりも泥で顕著であった可能性がある。

以上のように、堆積物の性質や詳細なプロセス、さらには堆積物・地形の編年にもとづいて長期的発達を検討すると、メコンデルタの現在の形態が、周辺の地形やアジアモンスーン、さらにはその時間的な変化など、地域的・時代的な特殊要素に強い影響をうけながら形成されてきたことが明らかである。メコンデルタの長期的な発達は、大規模なデルタとしては世界的にもかなり理解が進んでいるが、ここ数年では、河川や沿岸域の現行プロセスや堆積物に関する研究も大きく進展してきた。今後は現行過程の理解や、さらには理論・数値モデリングを取り込むことで、メコンデルタの堆積学的な検討がさらに進み、デルタの形態とプロセスに関する理解が進展することが期待される。

波浪と海流が影響する砂質陸棚の形成過程：房総半島九十九里浜沖海域
 Stratigraphic evolution of a wave and oceanic-current-influenced sandy shelf:
 Offshore Kujukuri strandplain, Boso Peninsula, central Japan

西田尚央（東京学芸大学）・味岡 拓・池原 研・中島 礼・片山 肇（産業技術総合研究所）
 Naohisa Nishida (Tokyo Gakugei University), Taku Ajioka, Ken Ikehara, Rei Nakashima, and
 Hajime Katayama (Geological Survey of Japan, AIST)
 連絡先：西田尚央 (nishidan@u-gakugei.ac.jp)

陸棚上で堆積物形成に影響を与える主なプロセスは、波浪、潮流、海流である。このうち海流による堆積物形成は、波浪や潮流によるものと比べると、必ずしも十分に理解が進んでいない。特に、海流によって形成される地形や堆積物の空間分布の特徴は一部で詳しく検討されているのに対し、岩相の特徴やそれに基づく地層形成過程の特徴については、ほとんどわかっていない。房総半島九十九里浜沿岸域では、波浪作用が卓越する条件のもと、完新世後期に堆積物が形成されている (Tamura et al., 2008)。また、その沖合では黒潮が発達しているが、陸棚上の堆積物の特徴は詳しく検討されていない。本研究の目的は、このような九十九里浜沖海域を例に、最終氷期最盛期以降の波浪と海流が影響する砂質陸棚の形成過程を明らかにすることである。

九十九里浜沖の陸棚は、幅が 45 km で、陸棚外縁の水深は 170–180 m である。また、沖合には黒潮が発達している。流入河川からの堆積物供給は限られ、屏風ヶ浦と太東崎での波浪侵食起源の堆積物が供給されている (堀川・砂村, 1971)。陸棚表層には砂質堆積物が広く分布している (西田ほか, 印刷中)。本研究では、このような陸棚上の 6 地点 (水深 34–124 m) から採取されたコア試料 (長さ 31.5–400.5 cm) を検討対象とした。

得られたコア試料は、わずかに上方粗粒化する極細粒–細粒の砂質堆積物で主に構成される。また、生物擾乱の発達で特徴づけられ、軟エックス線写真では一部にラミナが認められる。産出貝類は、現在の沿岸–浅海生種で構成される。このため、これらは主に内側陸棚の堆積物と解釈される。ただし、最も沖合の地点の試料の上部を構成する粗粒な堆積物は、黒潮の影響を受けて形成された可能性がある。また、放射性炭素年代測定の結果から、主に最終氷期最盛期以降の相対的海水準の上昇期とその後の安定・低下期に形成されたと考えられる。特に、海水準の上昇期に形成された堆積物は、より沖合の地点で厚い。一方、安定・低下期に形成された堆積物は、より浅い地点で厚い。ただし、最も沿岸寄りの地点では堆積物自体が薄い。以上をふまえると、次のような堆積物の形成過程が考えられる。

(1) 海進期前期 (~12 cal kyr BP) は、陸棚外縁近くのより沖合域で、黒潮の影響下で速い堆積速度で堆積物が形成された。より浅い海域では活発な外浜侵食があった。(2) 海進期後期 (12–6.6 cal kyr BP) は、堆積の中心がより陸側に移動した。沖合では黒潮による流れの影響で堆積物が形成されなかった。最も浅い海域では引き続き外浜侵食が行われた。(3) 高海水準期 (6.6 cal kyr BP 以降) は、沿岸域を中心としたプログラデーションにともなって、その沖合の陸棚でも堆積物が形成された。最も沖合では引き続き黒潮の影響で堆積物が形成されていない。このような堆積物形成過程は、河川流入の影響が小さいことに加えて、沖合で黒潮の影響を受けることを反映した特徴と考えられる。

<引用文献> 西田ほか, 海陸シームレス地質情報集, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 印刷中。Tamura et al., 2008, SEPM Sp. Pub. 90, 191。堀川・砂村, 1971, 海岸工学講演論文集, 18, 417。

差別浸食によって海岸線と平行に伸びた埋没チャネル：
房総半島東部沿岸海域の沖積基底

Buried channel extending parallel to coastline by differential erosion:
Alluvial base of the coastal zone around the eastern part of Boso Peninsula

佐藤智之・古山精史朗（産業技術総合研究所）

Tomoyuki Sato, Seishiro Furuyama (Geological Survey of Japan, AIST)

連絡先：佐藤智之 (tomoyuki-sato@aist.go.jp)

1. 房総半島東部沿岸域の海底下の地質

房総半島東部沿岸域海域地質図（古山ほか，本大会にて概要を講演）の成果から，沖積層基底に発達する埋没チャネルの形状について紹介する。

九十九里浜沖の陸棚下の層序は反射法音波探査によって明らかにされ，下部～中部更新統の九十九里沖層群が陸棚全体に広く分布し，表層を完新統のH層が薄く覆っていることがわかった。九十九里沖層群上面にはチャネルが発達しており，チャネルは主にH層によって埋められている。一部チャネル底には上部更新統の蓮沼沖層群が分布している（古山ほか，2018，本大会）。

2. 海域の上総層群相当層に刻まれた海岸線に平行な埋没チャネル

この九十九里沖層群上面に発達するチャネルについては，既に海上保安庁の調査によって「沖積層の基底」として詳細な地形が明らかにされている（海上保安庁，1986；2000）。彼らによればチャネルは単純に山から沖に向かって南東に伸びるのではなく，現在の九十九里浜に沿って一旦北東に向かってから南東に伸び，片貝海底谷につながるものが明らかにされている。チャネルが一見不自然に北東に向かう理由はこれまでよくわかっていなかった。

今回得た反射法音波探査によって，九十九里沖層群の内部構造を検討した結果，二つのことが分かった。まず，九十九里沖層群は背斜構造を示すが，それは北北東－南南西に伸びてチャネルと斜交していることがわかった。次に内部の反射面の走向を調べたところ，北東－南西でチャネルと平行であることがわかった。以上のことから，海岸線と平行に不自然に伸びるチャネルは，構造運動によるものではなく，岩相による差別浸食によって説明される可能性が高いと考えられる。

2. 埋没チャネルと夷隅川は砂泥互層分布域に沿って形成されている

本調査で明らかになった海域の走向は，海域の南西側の太東埼周辺の地層とほぼ同じである。従って太東埼周辺の地層がそのまま調査海域まで伸びていると仮定すると，チャネルが海岸線と平行に伸びる箇所には，砂泥互層の上総層群大田代層と梅ヶ瀬層，チャネルの南東側には泥層の黄和田層が分布していると推定される。また，太東埼に流れる夷隅川も九十九里浜と平行に北東に流れているが，その流路の大部分には大田代層が分布している。これらチャネルと夷隅川はどちらも泥層の黄和田層が浸食に強いために南東に伸びることができず，砂泥互層の大田代層，梅ヶ瀬層に沿って北東に伸びたのではないかと考えられる。

3. 引用文献

海上保安庁水路部，1986. 沿岸の海の基本図（太東埼）。

海上保安庁水路部，2000. 沿岸の海の基本図（九十九里浜）。

古山精史朗・佐藤智之・荒井晃作，2018. 房総半島東部沿岸域 20 万の 1 海底地質図. 日本堆積学会 2018 年秋田大会講演要旨。

サージ的混濁流によって形成されるサイクリックステップの特徴

Characteristics of cyclic steps formed by surge-type turbidity currents

藤田和典・森 勇・横川美和(大工大)・Roberto Fernandez・Matt Czapiga・John Berens・Jeffrey Kwang・内藤健介・Gary Parker(イリノイ大学)・泉 典洋(北大)・成瀬 元(京大)
Kazunori Fujita, Isamu Mori, Miwa Yokokawa(Osaka Institute of Technology),
Roberto Fernandez, Matt Czapiga, John Berens, Jeffrey Kwang, Kensuke Naito,
Gary Parker(Univ. of Illinois), Norihiro Izumi(Hokkaido Univ.), Hajime Naruse(Kyoto Univ.)
連絡先：藤田和典(fujitakazunori.study@gmail.com)

カナダ，ブリティッシュコロンビア州スコームッシュ河口デルタの斜面上では，雪解けなどの河川流量増加時に混濁流が発生し，それに伴ってサイクリックステップが形成されていることが知られている．この混濁流は継続時間 1 分程度のサージ的なものであることがわかっている(Hughes Clarke, 2016)が，サージ的混濁流によるサイクリックステップの形成実験はまだ少なく，形成条件の詳細は明らかになっていない．山野ほか(2017)では，サージ継続時間 3 秒と 7 秒の実験を行った結果，ステップの形態に違いがあることがわかり，その差異を生み出す要因は混濁流の流速・流量・濃度であるとした．そこで本実験ではサイクリックステップの形態に対する流量の影響を調べることにした．また現世や地層のセディメントウェーブの形成機構を考えるためには，サイクリックステップの内部構造を条件のわかった実験で調べる必要がある．そこで本実験では，2 種類の粒径のプラスチック粒子を混ぜた材料を用いて，粒度分布や堆積構造の観察を行った．

本研究ではイリノイ大学 Hydrosystems Laboratory で 2017 年 3 月に行った実験と，大阪工業大学で 2017 年 12 月～2018 年 1 月に行った実験の結果を解析した．イリノイ大学の実験では，塩水(密度 1.17g/cm^3)と 2 種類のプラスチック粒子(比重 1.5, 中央粒径 $68\mu\text{m}$, $206\mu\text{m}$)を重量比 20:1:1 の割合で混ぜ合わせた．長さ 14.5m, 幅 10cm, 高さ 50cm の水路を勾配 2.5° で設置し，1 回のサージの流量をヘッドタンク全量(単位幅総流量約 5.87L)と半量(単位幅総流量約 2.74L)の 2 セットの実験を行った．混濁流の材料はヘッドタンクから水路に落下する形で供給され，ヘッドタンク全量が流れ切る時間は約 40 秒，半量では約 10 秒であった．この間，単位時間当たりの流量は徐々に小さくなった．ヘッドタンク全量のサージを 40 回，半量のサージを 80 回流した結果，どちらも 4 つのステップが形成された．大阪工業大学の実験では，塩水(密度 1.12g/cm^3)と 2 種類のプラスチック粒子(比重 1.47-1.52, 粒径 $75\text{-}150\mu\text{m}$, $150\text{-}250\mu\text{m}$)を重量比 20:1:1 の割合で混ぜ合わせた．長さ 7.0m, 幅 8cm, 高さ 50cm の水路を勾配 5.5° で設置し，サージ 1 回あたりの単位幅総流量約 0.46L(Run1)と約 0.63L(Run2)の 2 セットの実験を行った．いずれもサージ継続時間は 3 秒で，単位時間当たりの流量はほぼ一定である．実験全体の総流量がほぼ同じになるように，Run1 ではサージ 140 回，Run2 ではサージ 100 回を流した結果，どちらも 2 つのステップが形成された．

形成されたステップの波形勾配を測ったところ，イリノイ大，大工大，いずれの実験においても 1 回のサージの総流量が多い方の波形勾配が大きかった．また，混濁流が流れ始めてからヘッドとボ

ディに分かれる地点を解析したところ、イリノイ大学の実験では、ヘッドタンク全量では 5.42m、半量では 5.78m、大阪工業大学での実験では、Run1 では 2.6m、Run2 では 2.4m となり、1 回のサージの総流量が多い方がより上流側で分かれることがわかった。またこの時、流量が多い方がヘッド、ボディともに大きいことが確認された。

堆積構造を観察したところ、イリノイ大、大工大、いずれの実験においても上流側斜面の堆積構造が残っていた。すなわち、上流側にゆるく傾くラミナが卓越していた。これらのラミナはステップの下流側斜面でトランケートされていた。

イリノイ大学での実験のステップについて粒度分析を行った結果、中央粒径は水路の下流に向かうほど小さくなる傾向が見られ、その傾向はサージの総流量が多いほどより顕著に見られた。また、ステップ毎に上流側斜面と下流側斜面を比較すると、下流側の中央粒径が小さいことがわかった。この分布は、ステップの上流側での跳水に起因すると考えられる。



図1 イリノイ大学のヘッドタンク全量(サージ1回の単位幅総流量約 5.87L)のトレース画像。0回目、20回目、40回目のトレースを 10cm 間隔で重ねた。縦方向を 2 倍に強調。水路の全長 14.5m。スケールの各辺は 20cm。

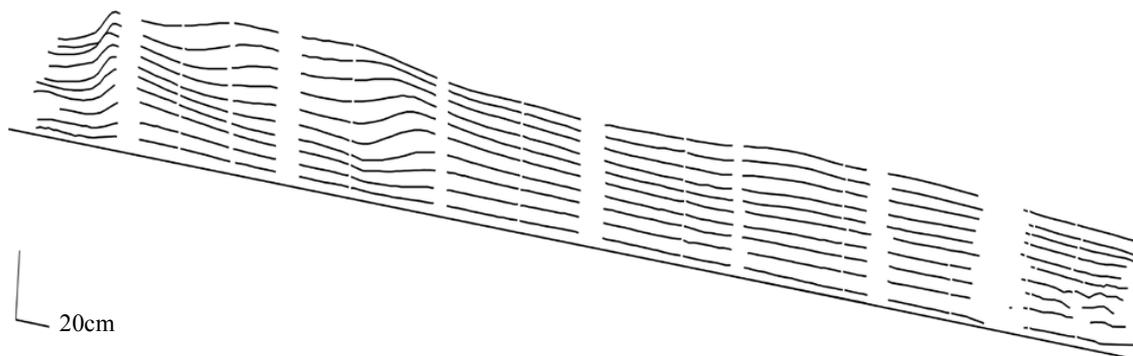


図2 大阪工業大学の Run2 (サージ1回の単位幅総流量約 0.63L)のトレース画像。0回目から100回目まで10回毎に 5cm 間隔で重ねた。縦方向を 2 倍に強調。水路の全長 7.0m。スケールの各辺は 20cm。

文献

Hughes Clarke, J.E., 2016, First wide-angle view of channelized turbidity currents links migrating cyclic steps to flow characteristics, *Nature communications*, 7, 11896, doi:10.1038/ncomms11896.

山野純平・宮井正智・横川美和, 2017, サージ的混濁流によって形成されるサイクリックステップの発達と形態, *日本堆積学会 2017 年松本大会講演要旨*, 47-48.

深層学習を用いた堆積プロセスの逆解析フレームワーク
A framework for inverse analysis of depositional processes
using deep-learning

成瀬 元 (京都大学) ・ 中尾健人 (Schlumberger)

Hajime NARUSE (Kyoto University) and Kento NAKAO (Schlumberger)

連絡先：成瀬 元 (naruse@kueps.kyoto-u.ac.jp)

本発表は、深層学習ニューラルネットワーク (DNN) を利用し、地層から過去の堆積プロセスを復元する一般的手法のフレームワークを提案する。このフレームワークは、以下の手順よりなる。まず、(1) 何らかの堆積プロセスに関するフォワードモデルを設定し、(2) さまざまな初期条件 (流速・濃度など) に対応して形成される堆積物の特徴 (粒度分布・堆積構造・層厚分布など) をフォワードモデルによって計算する。そして、(3) DNN を用いた機械学習によって、堆積物の特徴と初期条件との関係を学習する。手順 (1) - (3) によっていったん学習が行われれば、(4) ニューラルネットワークは堆積物の特徴から瞬時に初期条件 (古水理条件) を推定することが可能となる。

すなわち、本研究が提案する手法は、堆積物の逆解析を直接行うモデルを DNN によって経験的に発見しようとするものである。トレーニングデータを得るには反復計算が必要ではあるが、計算条件が互いに依存しないため、この計算の並列化は極めて容易である。また、DNN の学習については多少の時間がかかるものの、いったんネットワークが確立されてしまえば、一つの堆積層に対する逆解析計算は瞬時に終了する。したがって、数百もの堆積物の形成条件を一気に解析することも簡単である。また、フォワードモデルを変更するだけで、同じフレームワークを様々な種類の堆積物に適用することも特筆に値する。タービダイト・津波堆積物・火砕流堆積物・海底扇状地層序など、今回提案する逆解析手法は幅広い応用が考えられる。

この逆解析フレームワークの実例として、タービダイトから混濁流の古水理条件を逆解析する手法を実装したので紹介する。この手法は、露頭もしくはコア間で対比されたタービダイト単層の層厚・粒度分布より、混濁流の古流速・濃度を復元するものである。まず、混合粒径堆積物を運搬するサージ型混濁流の 1 次元モデルを用いて、ランダムに発生させた初期条件の下でタービダイトの粒径別堆積量分布を出力した。本研究では計 1000 回のシミュレーションを実施し、計算結果をトレーニングデータとして、4 層の深層学習 NN の機械学習を行った。その後、トレーニングデータとは独立に計 100 回のシミュレーションを行い、学習結果を検証した。その結果、タービダイトの層厚・粒度分布データのみから初期水理条件が復元された。さらに、本手法の推定精度についても検証を行ったところ、タービダイト層厚や粒度の計測誤差に対しては、推定値が極めて頑健であることが数値実験の結果から明らかになった。また、計測の不完全性 (露頭がまばらであることなどによる影響) も検討したところ、おおむね 1-2 km 間隔で露頭やコアが分布していれば、ほぼ適切な推定が行えることが明らかになった。すなわち、本研究で検討する手法は、実用性という観点からも大いに期待できるといえるだろう。

沖縄宮古島～西表島前弧域の堆積作用

Depositional system of forearc area off Miyako-jima to Iriomote-jima islands,
southern Ryukyu arc

池原 研（産総研）・金松敏也（海洋研究開発機構）

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

連絡先：池原 研 (k-ikehara@aist.go.jp)

琉球海溝（南西諸島海溝）ではフィリピン海プレートが海溝に対して斜めに沈み込んでいる。宮古島南東方では海溝は北東—南西方向から東西方向に向きを変えるが、これに対応して宮古島南方から前弧海盆が認められるようになる。Okamura et al. (2017)は西表島西方と石垣島東方を南北に切る測線の地質断面を示し、前弧域に八重山海盆の厚い堆積層の存在を示した。しかし、この海域の最近の堆積作用の詳細は明らかとなっていない。一方、1771年明和津波は石垣島に大きな被害を与え、その局所的に高い津波の原因として海底地すべりの寄与も言われている（例えば、Miyazawa et al., 2012）が、海底地すべり発生の直接的な証拠は見つかっていない。

この海域での地震・津波発生履歴の解明のため、海底地形調査、表層地層探査、海底堆積物採取を4年間にわたって行った。その結果、宮古島～西表島の前弧域は堆積作用の観点から、1) 石垣島南方以東、2) 石垣島～西表島南方、3) 西表島南方以西、の3つの区域に分けられることが分かった。

1) 石垣島南方以東：前弧海盆の形状は明瞭でない。また、宮古島側斜面での海底谷の発達も悪く、粗粒粒子の供給は少ない。一方、緩く盛り上がった地形を示す石垣島南方斜面には複数の明瞭な海底谷が発達し、石灰質生物源粒子に富む粗粒堆積物が海底谷沿いや海盆底で半遠洋性シルト中に挟在する。二つの海底谷が合流する斜面中部の平坦面には水中土石流堆積物も認められる。

2) 石垣島～西表島南方：前弧海盆の形状が明瞭であり、複数の明瞭な海底谷が斜面を刻み込む。西表島南東の海底谷の出口には明瞭な海底扇状地が形成されており、海底谷を通じた頻繁な粗粒堆積物の輸送がある。石灰質生物源粒子に富む砂層の堆積間隔は500～1000年程度である。砂層の多くはこの扇状地上のみに認められ、海盆底を長距離輸送されたものはわずかである。最も水深の深いのは波照間海盆の西端であるが、ここではサンゴ礁に生息する底生有孔虫を含む極粗粒砂～中粒砂層が認められ、頻度は少ないが琉球列島側斜面の浅海域からの粗粒粒子の供給があることを示す。また、以西の前弧海盆にみられる碎屑性泥からなる塊状の厚い泥層が挟在し、西方から波照間海盆の西端をなす比高約1000mの地形的高まりを乗り越えるイベント的な泥の供給があることを示す。

3) 西表島南方以西：複数の明瞭な前弧海盆がより西方の台湾側から連なる。生物擾乱をもつ石灰質泥に厚い塊状の碎屑性泥が挟在する。琉球列島側に大きな碎屑物の供給源を考えにくいことから台湾からの細粒粒子の供給が示唆される。

文献:Okamura, Y. et al. (2017) *Tectonophysics*, 717, 399–412. Miyazawa, K. et al. (2012) In Yamada, Y. et al. (eds.) *Submarine Mass Movements and Their Consequences*, Springer, 497–506.

陸棚縁辺における堆積シーケンスの階層構造とシーケンス境界の形成時期：

ニュージーランド，カンタベリー堆積盆地を例にして

Shelf margin depositional sequences and formation timing of sequence boundaries:

An example from the Canterbury Basin offshore New Zealand

保柳康一（信州大学理学部）・角張友律（信州大学大学院総合理工学系研究科）

Koichi Hoyanagi, Yuri Kakubari (Shinshu University)

連絡先：保柳康一 (hoya101@shinshu-u.ac.jp)

1. はじめに

陸域から碎屑物が多量に供給される陸棚は地層形成の主要な場であり，シーケンス層序学では海水準変動が陸域から海盆地までの堆積物の配分を決めているとしている。しかし，シーケンス層序学を生み出した陸棚縁辺において，地層パッケージと汎世界的海水準変動の関係を直接確かめた研究は，ニュージャージー沖の科学掘削（ODP, IODP）による研究など少ない。そこで，この研究では，ニュージーランド南島沖で得られた震探断面（2D グリッド，57 側線）と IODP 第 317 次航海で掘削された陸棚-上部陸棚斜面のコア，それにこのコアから得られた底棲有孔虫の酸素同位体変動曲線を用いて地層形成と海水準変動の関係を考察した。

2. 結論

200 万年前以降の地層中に 7 つのシーケンス境界が震探解釈とコア解析の両方で認められ，それらを上位から SB1-SB7 とした。斜面上部のサイトから得られた U1352B コアの酸素同位体変動曲線から作られた更新統年代モデルに基づくと，シーケンス境界 SB1-SB6 は MIS 6, 8, 12, 18, 20, 58 の最も海水準の低い時期に形成されている。また，SB7 は全掘削サイトで 2.7 から 1.8 Ma のハイエイタスを持つシーケンス境界である。これら全てのシーケンス境界の 2D 震探断面 57 測線における空間分布から，シーケンス形成時の陸棚と陸棚斜面地形を三次元で復元した。SB7 は堆積盆沈降速度と長期的な海水準低下速度が釣り合った時に形成された第 3 オーダーのシーケンス境界である。また，この時期は陸棚斜面最下部から海盆地にかけて低海水準期堆積体を形成していた。その後 SB5 形成にかけて，海進期および高海水準期を経て再び低海水準傾向へと変化した。このことから，SB5 がこの堆積シーケンスの上面の第 3 オーダーシーケンス境界であることが分かる。また SB5 形成時は，陸棚で約 0.4m. y. のハイエイタスを形成し，この間に斜面と斜面下に低海水準期堆積体が形成された。SB5 以降，SB2 までは海水準が上昇傾向にあるときに形成され，海進期の累重パターンを示す。堆積物は陸棚に堆積し，陸棚縁は上方累重作用を強く受けていた。SB2 の形成以降，海水準は海進期から高海水準期へと変化した。この時期に陸棚縁は急激に沖側に前進した。このように周期約 1 m. y. の長期的な第 3 オーダーの海水準変動が陸棚-斜面の成長と地層形成パターンを規制している。また，第 3 オーダーの堆積シーケンス中には 10 から 25 万年周期で生じる海水準低下量の大きな氷期に形成される第 4 オーダーのシーケンス境界が見出される。

日本海の堆積物における有機炭素濃度の変動メカニズム

Controlling mechanism of TOC concentration in the sediment of the Japan Sea

公文富士夫（高知大・海洋コア総合研究センター 客員教授）

Fujio KUMON (Marine Core Research Center, Kochi Univ.)

連絡先：公文富士夫 (shkumon@shinshu-u.ac.jp)

1. はじめに

日本海における複数の堆積物コア試料で、沖合海底の堆積物中の有機炭素濃度（TOC）が、少なくとも数十万年前から準周期的に変動してきたことが確認された。この TOC の経年的変動は、その 90% 程度の期間（広義の氷期に相当）で汎世界的気候変動の指標と一致し、10% 程度の期間（間氷期）では乖離が見られる。このような気候変動にリンクする（しない）仕組みについて検討し、TOC 濃度が準周期的に変動するプロセスを明らかにした。この成因的な理解は、TOC 濃度変動の層序・年代指標としての有効性を裏づけるものとしても重要である。

2. 議論

日本海の堆積物中の TOC 濃度変動を規制する要因は、直接的には表層水における生物生産性と深層水に供給される溶存酸素量であるが、前者には深層水からの栄養塩の回帰量が、後者には深層水の形成率が決定的な要因となる。深層水の形成率を支配する要因は、一般的に言えば温度と塩分濃度であるが、日本海においては間氷期の現在でも活発な深層水形成が行われているので、第四紀中・後期の氷期・間氷期サイクルの期間においては温度が支配的要因であったとは考えられない。つまり、深層水の形成率は、日本海北部へ高塩分の海水が供給される度合いに支配されることを意味しており、対馬海峡を通じて供給される対馬暖流の流入量が第一義的な要因になる。現在の日本海では、ごく寒冷的な冬に、ウラジオストック沖のピョートル大帝湾で、海氷が形成される際の塩析が加わって重くなった海水が沈み込むことによって深層水が形成されている（例えば、Talley et al., 2003）。このような沈み込みは、それを補償する湧昇の存在も意味しており、深層水に豊富に含まれる栄養塩（馬場ほか, 1985）を表層へ回帰させて、生物生産性を強化することにつながる。生物生産性が強化されることによって、水柱を沈降する有機物粒子が多くなり、深層水中の溶存酸素を消費しつくして還元的になると、有機物の保存ポテンシャルが高まり、有機炭素濃度の高い堆積物（多くの場合は暗色層）が形成される。LGM のような最寒冷期を除く氷期の大部分の期間は、生物生産性と深層水へ酸素供給とが微妙なバランスにあり、有機炭素濃度の高い暗色層とその低い明色層が頻りに繰り返して形成されたものと考えられる。なお、夏の季節風による吹送が日本海南西部における湧昇の一因となったとも考えられる。

3. 結論

TOC 濃度を変動させる 4 つのシナリオを以下に示し、結論を述べる。

最高海水準期：MIS 1, 5e など

高塩分の対馬暖流の流入が大きく、深層水の形成が活発である。それに応じた湧昇や夏の季節風による吹送によって低層から表層水への栄養塩供給が豊富で、高い生物生産性が維持される。多量の有機物粒子が深層水へ沈降していくが、酸素供給が多くて酸化的な環境が維持されるため、有機物の保存ポテンシャルが低くて、高い生物生産性にも関わらず、中程度の TOC 濃度となる。

最低海水準期：MIS 2, 6 など

対馬暖流の流入がほとんど止まった結果、深層水の形成が強く抑制される。沈降水を補償する湧昇もなくなって、栄養塩の表層水への回帰が止まり、生物生産性が低下する。鉛直循環の停止は、深層水の無酸素化をもたらすので、有機物の保存ポテンシャルは高くなるが、生物生産性が極度に低下したため、堆積物中の TOC 濃度がもっとも低くなる。

中間的な海水準期の温暖期：MIS 3 interstadials, MIS 5a, 5c など

対馬暖流の流入量がやや多く、深層水への沈降水量もやや多く、酸素の供給量も多い。一方で、押し出される湧昇も多くなり、やや強い夏の季節風の吹送による湧昇も強化される。利用できる栄養塩に恵まれて生物生産性は高めで、沈降する有機物粒子を増やす。その分解による酸素の消費量が沈降する水塊が深層へもたらす酸素量を上廻り、深層水が還元的な環境になり、有機物の保存ポテンシャルが増加して、海底に沈積して保存される有機物量が大きく増加する。「暗色層」を形成する。

中間的な海水準期の寒冷期：MIS 3 stadials, MIS 4, MIS 5b, 5d など

対馬暖流の流入量はやや少なめで、深層への沈降する水塊量もやや少なめとなり、深層水への酸素の供給も少ない。押し出される湧昇が少なくなるだけでなく、夏の季節風がやや弱い時代であるので、吹送による湧昇も弱体化する。深層からの栄養塩回帰が制限されるため、表層水中の生物生産性は低い。沈降する有機物粒子が減り、有機物の分解に消費される酸素量が減少したため、供給される酸素量が減ったにもかかわらず、深層水の酸化的環境が維持される。低生物生産性と有機物の保存ポテンシャルが低いことが合わさって、海底まで沈降する有機物が少なくなる。TOC 濃度が低く、「明色層」ができる。

日本海沖合に分布する泥質堆積物の TOC 濃度は、直接的には表層水の生物生産性と深層水の酸化還元状態によって規制されるが、その背後には対馬暖流の日本海への流入量と関連した深層水の形成率とともに、深層水形成率と夏季のモンスーン強度が底層から表層へ回帰する栄養塩量を変動させる仕組みがある。また、生物生産性自体が、沈降する有機物粒子の分解を通じて、深層水の酸化還元状態へ影響を与える。これらの込み入った相互作用の遠因は汎世界的な気候変動とそれに支配された氷河性海水準変動であり、そのために TOC 濃度の変動が汎世界的な古気候プロキシと強い相関性をもつと考えられる。

引用文献

- 馬場信夫・榎原資嗣・高谷祐吉, 1985, 日本海におけるリン酸塩の分布. 海と空, **60**(3), 127-143.
- Talley, L.D., Lobanov, V., Ponomarev, V., Salyuk, A., Tishchenko, P., Zhabin, I. and Riser, S., 2003, Deep convection and brine rejection in the Japan Sea. *Geophys. Res. Letters*, **30**(4), 1159.

日本周辺前弧・背弧堆積盆の埋積様式の類型化 Categorization of forearc and backarc basin filling sedimentation styles around Japan

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. 目的と手法

東北日本弧, 西南日本弧の前弧側には前弧堆積盆 (一部は前縁堆積盆化), 背弧側には背弧リフト堆積盆 (反転リフト堆積盆) が連続的に発達している。これらの堆積盆の形態的特徴および埋積物の堆積システム三次元分布 (垂直変化・水平変化) と規制要因, 不整合イベント, 応力場の変遷等を総括することによって, 堆積盆埋積様式の類型化と後背テクトニクスの考察が可能である。本講演では, 前弧側と背弧側それぞれの堆積盆埋積様式の類型化を行った結果の概要を述べる。

2. 前弧堆積盆の埋積様式の類型化

前弧堆積盆の埋積様式は, 前弧堆積盆の断面形態と碎屑物供給量の多寡によって規制されている。断面形態は, 前弧堆積盆の沈み込み帯側縁辺に当たる外縁隆起帯 (trench slope break; 以下, TSB) が隆起しているかどうかによってタイプ分けされる (Dickinson, 1995; Takano et al., 2013)。TSB の隆起が少ない沈水 TSB タイプ~斜面タイプの前弧堆積盆の埋積物はおもに深海堆積物からなるが, 碎屑物供給系近傍では海底扇状地システムが優勢になる (Takano et al., 2013)。これに対して, 隆起 TSB タイプでは, 碎屑物供給が少ないあるいは相対的の海水準が高い状態では内湾システムが優勢になり, 碎屑物供給が多い場合には堆積盆空間が充填されて河川システムが優勢になる (Takano et al., 2013)。これらの前弧堆積盆埋積サクセションは, 沈み込むプレートの運動変化による広域不整合によって頻繁に分断される傾向にある。

3. 東北日本弧前弧の埋積様式

東北日本弧の前弧堆積盆の埋積様式は, 漸新世不整合 (Ounc; 大澤ほか, 2002) の下位と上位で大きく異なる。下位 (白亜系~始新統) は隆起 TSB タイプの前弧堆積盆であり, 内湾~夾炭河川システムの上方積層で特徴付けられる。上位 (上部漸新統~完新統) は緩い斜面タイプの前弧堆積盆となり, 深海泥岩主体の堆積物からなる。北部では日高ブロックの西進により, 前縁盆地化し, 厚い海底扇状地タービダイトと深海泥岩からなる。

4. 西南日本弧前弧の埋積様式

西南日本弧の前弧では, 後期漸新世~中期中新世ギャップによって下位と上位に分けられる。下位は白亜紀~古第三系の四万十タイプの付加帯およびその内側の前弧堆積盆堆積物からなる。上位の新第三系前弧堆積物はおもに深海堆積物 (泥岩・タービダイト) からなるが, 碎屑物供給量の多いセッティングでは厚い堆積物中に上方浅海化傾向が見られる。これらの新第三系前弧堆積物は, 時間面に斜交する広域不整合で頻繁に分断されている。

5. 背弧反転リフト堆積盆の類型化と埋積様式

背弧反転リフト堆積盆の埋積様式は, シンリフト~ポストリフト~圧縮反転のテクトニクス変化に

対応したステージと碎屑物供給量の多寡によって規制されている (Takano, 2002)。堆積システムの変化は、堆積空間量と碎屑物供給量のマスバランスによって決まり、シンリフト～ポストリフト初期には堆積空間量が碎屑物供給量を上回るため、海進・深海化サクセションが優勢になる。ポストリフト中～後期には、堆積空間量と碎屑物供給量はバランスする機会が多いため、上方積層サクセションが優勢になる。圧縮反転期には碎屑物供給系沿いでは基本的に碎屑物供給量が堆積空間量より多くなり、海退・上方浅海化サクセションが優勢となる。碎屑物供給が非常に多いと埋め立て作用が優勢となり、浅海・デルタ→河川システムの順に累重する。碎屑物供給が少ない場では、反転期においても上方積層する泥質堆積物が主となる。反転のタイミングは、東北日本弧と西南日本弧間で異なるとともに、それぞれの内部でも、堆積盆ごとおよび同一堆積盆内で時間差が見られる。

<文献>

Dickinson, W.R., 1995, In Busby C. and Ingersoll R.V. eds., *Tectonics of Sedimentary Basins*, 221-261, Blackwell; 大澤正博ほか, 2002, 石油技協誌, **67**, 38-51; Takano, O., 2002, *Sedimentary Geology*, **152**, 79-97; Takano, O. et al., 2013, In Itoh Y. ed., *Mechanism of Sedimentary Basin Formation: Multidisciplinary approach on active plate margins*, 3-25, InTech.

茨城県北茨城沖の三次元地震探査に認められる

磐城および日立海底スライド～スランプコンプレックスの産状

Occurrence of Iwaki and Hitachi Submarine Slide-slump Sedimentary Complexes
observed by 3-dimensional seismic data in Offshore Kitaibaraki, northeastern Japan

荒戸裕之（秋田大学大学院国際資源学研究科）

Hiroyuki Arato (Akita University)

連絡先：荒戸裕之 (h_arato@gipc.akita-u.ac.jp)

1. はじめに

茨城県沖北部で収録された三次元地震探査データには、陸棚～陸棚斜面域の海面下約 400～1,000m 付近の海底面にスライド～スランプ堆積層が複数箇所で観察される。今般、それらの堆積学的、震探層序学的な特徴を整理し記載するとともに、昨今、世界各地で調査・研究の進んでいる陸棚外縁の集合運搬堆積層、重力流堆積層と比較検討し、その形成機構を検討したので報告する。

2. データおよび解釈作業

今般の研究には、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（JOGMEC）が経済産業省の委託を受けて平成 27 年度に収録した基礎物理探査「茨城沖北部 3D」のデータセットを使用した。同三次元地震探査は、福島県いわき市から茨城県日立市の当方沖合約 15～30km の太平洋上、約 4,400 平方キロメートルの範囲で、経済産業省所有の三次元物理探査船「資源」によって収録された。解釈作業は、秋田大学大学院国際資源学研究科所有のワークステーションと Schlumberger 社提供のソフトウェア PETREL を用いて行った。

本研究は、JOGMEC が実施した「国内堆積盆地再評価ワーキング」の一環として実施したものである。

3. 解釈結果

今回の研究で対象としたスライド～スランプ堆積層は、基礎物理探査「茨城沖北部 3D」の収録範囲のうち、北西部と南西部に認められた。本研究では便宜的に、北西部のスライド～スランプ堆積層を Iwaki Slide-slump Complex (ISSC)、南西部のものを Hitachi Slide-slump Complex (HSSC) と仮称する。

(1) Iwaki Slide-slump Complex (ISSC)

ISSC は、震探収録域の北西部に位置し、北東-南西幅は約 5km、北西-南東方向の長さは少なくとも 10km を超える。当該位置は現在、水深約 150m の陸棚域であるが、ISSC は往復走時で約 600msec から 900msec の深度に分布し層厚は約 250msec 相当である。亀尾・佐藤（1999）による当該海域付近の石灰質ナノ化石層序を参照する限り、同堆積層は更新統に含まれる。ISSC は、平行な反射面の繰り返しに特徴づけられる下部層と内部構造のやや不明瞭な上部層の大きく上下 2 層から構成される。この周辺に広く堆積した下部層は、ISSC の範囲内北西部において同心円状の数条の断裂を形成し、ブロッ

ク化しているが、その下底面は非常に平坦なままであり、下位層と全く調和的である。断裂の描く同心円の中心点は震探データ域外北西に想定され、また断裂が分布する範囲の北東および南西縁は極めて直線的な境界を示す。また、各断裂の上位には、この下部層が上方に押し出され持ち上げられたブロックないしスランプリックブロックとなって分布する。このポップアップ状のブロックは、同心円状の断裂に沿ってその上位に分布する。下部層は、ISSC 範囲内南東部においては安定して分布しており、変形を受けた形跡は認められない。一方上部層は、ポップアップブロック周辺では強く変形され内部構造を留めない。ポップアップブロックの認められない ISSC 南東部では、上部層は不規則な内部構造で特徴づけられるデブリ層と一部通常堆積層で構成される。上部層の上限は比較的平坦な面であり、上位層とも調和的である。

(2) Hitachi Slide-slump Complex (HSSC)

HSSC は、震探収録域の南西部に位置し、北東-南西幅は約 10km、北西-南東方向の長さは少なくとも 20km を超える。当該位置は現在、水深約 150~500m の陸棚~陸棚斜面に位置する。層位的には、ISSC とほぼ同層準の更新統と解釈される。HSSC は、北西-南東の長軸方向の北西側が上流、南東側が下流と考えられるが、震探に認められる特徴は上流部・中流部・下流部の 3 区域に分類される。上流部では Slide-slump Complex を構成する層準の堆積物が完全に欠如し、その空間をスライド後の堆積物が埋積している。そこからスライドしたこの層準の堆積物は、下流部に非常に複雑なスランプリック堆積物となって押し縮められて分布する。両者間の中流部には、スライド後の空間を埋めて堆積した初期の堆積物が小規模なスライドによって下流側に寄せ集められたスランプリック堆積層が分布する。

4. 形成機構（試案）

盆地の発達上、また層位的にも類似した場に形成された ISSC と HSSC は、いずれもスライド~スランプリック堆積層と解釈されるものの非常に異なる特徴を有する。ISSC は堆積後ある程度時間を経て上載層が堆積した後の変形で、しかも断裂に沿って押し上げられたブロックが一部のの上載層を押し、その結果として下流側にスランプリック層を形成したと推測される。一般に考えられるスライドが引張的な応力場で形成されるのに対して、大きなポップアップブロック列が複数条にわたって形成される点、しかもこれが大きな角度を持つ斜面でない場で起こっていることは特徴的である。一方の HSSC は、スライドを起こした範囲の堆積層は斜面下部に掃き寄せられ、その部分がスランプリック堆積物となっており、ある程度の傾斜のある場で 10km 近くもの距離を流下したことで形成されたと推定される。いずれの形状も、森田ほか（2011）が基礎物理探査「三陸沖 3D」に認めたインブリケーション型やカオティック型とは必ずしも一致しない。

文献

- 亀尾浩司・佐藤時幸，1999，石灰質ナンノ化石層序の最近の知見とその応用—とくに常磐海域坑井の新第三系・第四系層序について—。石技誌，64，1，16-27。
- 森田澄人・中嶋 健・花村泰明，2011，海底スランプリック堆積層とそれらに関わる脱水構造：下北沖陸棚斜面の三次元地震探査データから。地質雑，117，2，95-98。

礫形状の摩耗に伴う変化
Gravel shape by abrasion

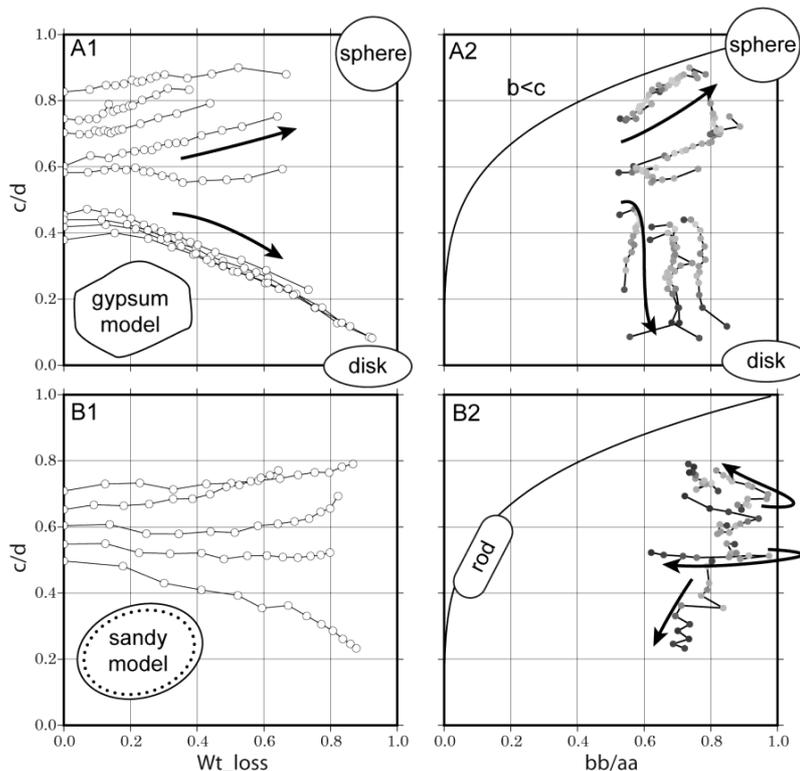
宮田 雄一郎 (山口大学 院) ・ 廣田 穂子 (山口大学)
Yuichiro MIYATA and Mariko HIROTA (Yamaguchi Univ.)
連絡先: 宮田 雄一郎 (you@yamaguchi-u.ac.jp)

1. はじめに

礫の摩耗に伴う形状の変化について、宮田・末弘(2017)は大礫ほど扁平である傾向が海浜で顕著であり、特有の摩耗が働いている可能性を示した。しかし、検討例が少なく礫種による違いも考慮されていない。摩耗様式は運搬用式や礫のサイズ、初期形態、礫種などによって異なると考えられる。単体の礫は衝突・転動・滑動によってそれぞれ球・ロッド・円盤に近づくと考えられる。ところが、これに礫同士の摩擦が加わるといったん球や円盤に近づいた後、ロッドに近づくという複雑な形状変化をたどる可能性も指摘されている (Szabo et al., 2013; Domokos and Gibbons, 2012)。

2. 摩耗実験

形の異なる石膏礫と砂質石膏礫をローラーミルを用いて摩耗する実験を行った。その結果、初期形状によって形状変化が異なり、ある境界値より厚い礫は球に、扁平な礫はさらに扁平になることがわかった(第1図A)。輸送速度を速くするとこの境界値は低くなって、球に変化するケースが増えた。一方で、球や円盤に近づいた後に一転してロッドに近づく場合も見られた(第1図B2)。また、角型や砂質礫、大礫、扁平礫の方が他より摩耗速度が大きかった。



第1図 模型礫の摩耗に伴う形状変化 上段は角型石膏礫、下段は丸型砂混じり石膏礫を、左側は重量の減少割合を横軸に、縦軸に扁平率を、右側は横軸に(中軸/長軸)の2乗をとって、それぞれ形状の変化を追跡した結果を示す。扁平率は短軸/(長軸と中軸の平均)を c/d と表している。礫の運搬速度はいずれも 0.82km/h で、輸送距離はAが約 15km 、Bが 5km まで。図中の矢印は、形状変化トレンドを模式的に表したものである。実験開始時の模型礫の大きさは長径 3cm 程度。石膏礫と砂質石膏礫の密度は、それぞれ 0.94 および 1.48g/cm^3 である。

3. 天然礫の摩耗度と形状

このような多様な形状変化が天然の河川や海浜でどのように実現されるのか、西日本各地から特定の礫種を選別して18試料、計35000個を採取し、摩耗度と形状を測定した。その結果、(1)すべての地点で摩耗度が高いほど b/a 比が大きくなる（短くなる）が、(2)扁平度(c/d 比)は様々の傾向を示した。すなわち、砂岩礫は一例を除けば摩耗度が高いほど扁平であった。この傾向は海浜の軟質砂岩礫で顕著であった。これに対して石英礫は摩耗度が高いほど c/d が大きく、砂岩礫の一例と花崗岩礫では摩耗度によって扁平度が変わらなかった。すなわち、摩耗度の高い礫は、そうでない礫より球か円盤に近いものも多く、ロッドはほとんどみられなかった。扁平度が異なる原因を検討するため、強度と表面起伏に注目した。(3)ペルム紀付加体を除いた新生代の砂岩礫が凸部に富んでいるのに対して、それ以外の泥岩・花崗岩などの礫表面には、凹みはあっても凸部に乏しかった。基質の弱い砂岩礫は、滑動すると礫底面のせん断によって砂粒子が欠落し、扁平になりやすいと考えられる。(4)摩耗不良の泥岩礫は小礫ほど扁平であったが、摩耗したものにはこの傾向が不明瞭であった。(5)多くの場合、大礫ほど摩耗度が高かった。

4. 形状変化の要因

上記の結果(1)は、天然では衝突による摩耗が支配的なことを示しており、河川では輸送速度が不安定で転動が維持されることなどほとんど起こらず、大礫であっても跳躍輸送が働いたことを示唆している。ロッド状の礫が稀なこともこの結論を支持している。結果(2)と(3)は、礫種の違いを示しており、とくに組織粒子と基質のコントラストが摩耗に影響することを示している。軟質の砂岩などはせん断で摩耗しやすく、海浜の引き波の効果が表れやすいと考えられる。結果(4)は、礫の起源となる泥岩の層厚に応じて初期形態が異なっており、摩耗してもその違いが失われなかったことを示唆している。このように、摩耗に伴う礫の形状は、輸送形態、礫種、初期形状の順に強く支配されながら変化すると考えられる。

・文献：

Domokos, G. and Gibbons, G. W., 2012, The evolution of pebble size and shape in space. *Proc. royal soc. A. math. phys. & engineer. sci.* 468. 3059-3080.

Szabó, T., Fityus, S., and Domokos, G., 2013, Abrasion model of downstream changes in grain shape and size along the Williams River, Australia. *Jour. Geophys. Res., Earth Surf.*, **118**, 2059-2071.

宮田 雄一郎・末弘 美咲, 2017, 海浜礫の形状. 日本堆積学会 2016 年松本大会講演要旨, 37-38.

Artificial Neural Networking による Krumbein の円磨度印象図の数値化予測 Prediction of Krumbein's Roundness Scale Index by Artificial Neural networking

仁科健二（道総研地質研）

Kenji NISHINA (HRO Geological Survey of Hokkaido)

連絡先：仁科健二 (nishina-kenji@hro.or.jp)

1. はじめに

近年急速にコンピュータに学習をさせた人工知能を利用した計算や制御が普及し、囲碁では世界チャンピオンに勝利するなど、ヒトの能力を凌駕する場面がみられるようになった。脳細胞のニューロンネットワークを模した Neural network の手法は 1940 年代から開発されており、計算機の能力の向上とともにビッグデータ処理や画像処理に威力を発揮している。情報が少なくノイズが含まれるデータであっても複雑で非線形な関係性を学習することができる特性を利用した、パターン認識、大量のデータ分類と処理、モデリングや予測が研究・産業に応用されている。石油産業では 90 年代には既に震探パターンの認識、砂岩の岩相識別、貯留岩特性の評価などがおこなわれてきた (Ali, 1994)。機械学習には高度で専門的なプログラミングの技術や知識が要求されるように思われているが、本研究では人工知能が手軽に利用できる環境を利用して、礫の円磨度指標の深層学習による分類を試みた。

2. 方法

IBM や google などによってフリーで利用できる機械学習プラットフォームやオープン化されたライブラリが公開されている。ここでは 2017 年 8 月に Sony から公開された Neural Network Console (NNC) を利用した回帰モデルによって画像の数値化をおこなった。NNC はフリーソフトであり、マウスによる操作によるニューラルネットワーク構成と視覚的な学習の状況確認ができる。処理スキームの組み合わせは、手書き数字画像を教師あり分類するサンプルプロジェクトを数値回帰用に変更して用いた。学習データと評価データは Krumbein(1941)の円磨度印象図に示された円磨度が 0.1 から 0.9 までの 9 分類の画像とした。学習用・評価用の画像のサンプル数を確保するために、ひとつの画像から 45 度ずつ回転した 8 画像とそれらを反転した 8 画像の計 16 個の画像を作成し、総計 1392 個の画像を用意した。これらを 28, 56, 128, そして 460 ピクセル四方の 4 種類の異なる解像度の 265 グレー階調画像 (第 1 図) として、それぞれ学習用 1200 個、評価用 192 個に分けて、学習・評価した。なお、評価用の画像 192 個は 9 段階の指標値ごとに 1 つずつの画像に、割れた形状の礫形状の画像 4 種 (指標 0.3-0.5) を加えた計 12 種類を 8 方向・反転させたものである。

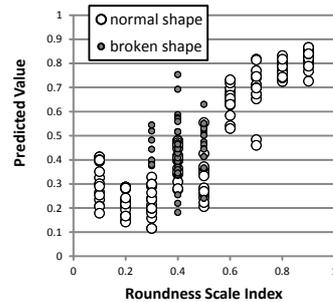
3. 結果

同一の画像を回転・反転した画像から得た予測値はばらつきのある値であったことから、それぞれは別々の画像として判別されたことが分かり、学習・評価用画像の調整は適切であったと判断される。

いずれの解像度の画像によるケースでも、線形な応答をするモデルが得られた。それぞれの解像度に対しては、画像解像度が高いほど正確でばらつきの少ないモデルは得られず、4 ケース中では 56 ピクセル四方の画像から得たモデル成績が最も良好であった。56 ピクセル画像のケース（第 2 図）ではそれぞれの指標値ごとの標準偏差は 0.03-0.14 であった。直線性はあるものの、指標値の違いによっては、ばらつきが大きく（指標値：0.7, 0.5, 0.1）、正確さも低い（指標値：0.1, 0.3, 0.5）場合がある。さらには 0.1 と 0.2 の予測値の平均値が逆転する。なかでも割れた形状の画像に対しては、割れた形状を含まない画像の予測値と比較して正確さが低くばらつきは大きかった。これらの指標値に対する応答は解像度を変えたケースでも共通に認められた。



第 1 図 解像度の異なる 4 種の画像，円磨度 0.1 の部分拡大。左から 28, 56, 128, 460 ピクセル。



第 2 図 評価用データと予測値
56 ピクセル四方データのケース，線形性のある応答モデルを得た。図中右下に画像を示す。

4. 考察とまとめ

分解能が高い画像から得たモデルの正確さが高いことが期待されたが、4 種の解像度を変えたケースではそのような結果ではなかった。逆に、画像解像度を下げて明瞭なエッジが失われた 28 ピクセル四方の低解像度の画像であっても直線性のあるモデルが得られたことは、エッジの複雑さが平均化されてピクセルのグレースケールに縮約された特徴が学習されたモデルが今回のそれぞれのケースでは構築されたことが判断される。

当初、AI の万能性に過大な期待があり、直線性がより強い回帰モデルができることを予期していたが、実際には直線性のあるモデルが得られたものの、円磨度で 2 段階の差を判別できる程度の精度である。ただし、このモデルは低解像度画像を用いたとしても評価が可能であるといった Neural Network の特性が反映されたモデルであると評価する。なお、円磨度 0.1 と 0.2 の分別が良好でないこと、割れた礫形状が正しく予測できていないことは、今回のスキームによるモデルでは特徴量が得られていないことを示しており、円磨度に結びつく特徴量がより正確に抽出される高解像度の画像をもとにしたスキームの構築が要求される。

なお、本研究用の習熟に要した時間は非常に短く、企画から短時間で深層学習によるモデル構築と結果を得ることができた。

文献

- Ali, J. K. (1994). Neural networks: a new tool for the petroleum industry?. In European petroleum computer conference. Society of Petroleum Engineers, 217-231.
- Krumbein, W. C. (1941). Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sedimentary Research, 11, 64-72.

多摩川中流域における深成岩礫の供給・運搬過程

Supply and transport processes of plutonic gravels on the middle reaches of Tama River

白井正明（首都大・地理）・遠藤紗花（首都大・地理）・宇津川喬子（首都大・地理）

M. Shirai (TMU), S. Endo (TMU) and T. Utsugawa (TMU)

連絡先：白井正明 (mshirai@tmu.ac.jp)

関東地方南西部を東京湾へ流下する多摩川は、関東山地の付加体部分を流下してくるため河床礫のほとんどが砂岩礫やチャート礫であるが、多摩川源流域や支流の秋川源流域から花崗閃緑岩や石英閃緑岩の礫が流入している。礫種組成や他の指標の変化から、多摩川中流域河床における深成岩礫の供給・運搬について検討を行った。なお本研究は、第2発表者の遠藤の卒業研究を学会発表用に再構成したものである。

花崗閃緑岩体の東縁にあたる甲州市の笠取山や柳沢峠を水源とする丹波(たば)川は、関東山地を東に流れ、奥多摩湖より東では多摩川と名前を変え、武蔵野台地と丘陵地の間を流下し、秋川などの支流と合流し、東京湾に注いでいる。秋川源流の三頭山(標高 1531 m)の大部分は、付加体である四十帯の堆積岩からなるが、山頂付近に石英閃緑岩が分布する(例えば、倉持・渡辺, 1957)。秋川は五日市付近から最終氷期末期～完新世初期に形成された秋留台地(例えば、植木・酒井, 2007)の南側に谷を刻み、多摩川に合流する。多摩川の河床礫のほとんどが砂岩礫やチャート礫であるが、中流域ではこれらの深成岩礫も比較的良好に見られる。

多摩川が関東平野に流れ出る直前の青梅市東部から、秋川の合流点付近にかけて、多摩川中流域の河原の各所で調査地点を設定し(図)、25 m長のライン上の51箇所から大きな礫を選んで礫種を同定し、岩種組成を算出した。その結果、上流側から下流側に向かって徐々に減少した深成岩礫の割合が、秋川の合流地点よりも上流側で増加に転じているとの傾向を得た。深成岩礫の割合の増加が確認されたのは、秋留台地の北縁を流れる平井川の合流点のやや上流から($T_5 \sim T_7$)である。

ライン法を用いた少数の礫の個数比の評価には疑問点もあるため、深成岩礫の分布を検討するための他の手法も検討した。2017年10月末の増水後に多摩川沿いのいくつかの地点において、目視で大きな深成岩礫が多く見られる場所に10 m四方の区画を設定し、区画内の大きな深成岩礫10個の3軸の長さを測定した。長径の平均値は、 T_1 から T_3 にかけて減少したが、 T_4 から下流にかけては大きな値を示した。また3軸の長さから算出した扁平な礫が占める割合も T_4 から増加している。多摩川との合流地点の近くの秋川河床(A_2)では、深成岩体からの流下距離を反映してか、 $T_2 \sim T_6$ と比較して、扁平で大きな深成岩礫がよく見られる。つまり秋川源流の三頭山起源とみられる深成岩礫の流入があるため、多摩川中流域では長径の平均値と扁平な礫が占める割合が増加に転じたと考えられるが、実際の礫の流入は秋川合流点より3~6 km上流側から始まっていることになる。

秋川合流点より上流側の多摩川中流域に深成岩礫を供給する可能性があるのは、秋留台地の河成段丘構成層、武蔵野台地の地下に存在する埋積谷堆積物とされる青梅層、草花丘陵(秋川と多摩川本流

に挟まれる丘陵地)の上総層群相当層の礫層(大荷田層;植木・酒井, 2007)である。草花丘陵の礫層には深成岩礫は見られるが,露頭では著しく風化している。一方,秋留台地では好条件の露頭を見出すことはできなかったので,秋留台地北端を流れる平井川の河原に注目した。平井川は関東山地の堆積岩の他,北側の草花丘陵の礫層や南側の秋留台地の礫層に由来する礫を運搬している。平井川の上流側の,四万十帯と秋留台地からの碎屑物の供給はありうるが,草花丘陵からの碎屑物は供給されない地点(H₀)において河原の礫を確認したところ,長径20cm以上の深成岩礫が豊富に分布していることを確認した。平井川流域に深成岩は露出しないため,これらの閃緑岩礫は秋留台地の礫層内の深成岩礫が再移動していると考えられる。多摩川と平井川の合流点より上流側にも秋留台地は広がっているため,秋留台地構成層から多摩川本流に深成岩礫が供給されている可能性が高い。青梅層についてはその分布自体に不明な点が多く,本研究では十分な評価ができなかった。

従って現状では,多摩川中流域での深成岩礫の供給源として,最終氷期末期~完新世初期の秋川が堆積させた河成段丘構成層が大きな役割を果たしていると推定される。

引用文献

倉持・渡辺, 1957, 三頭山に露出する石英閃緑岩について。岩石鉱物鉱床学会誌, 41, 27-32.

植木・酒井, 2007, 青梅地域の地質 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)説明書。189p.

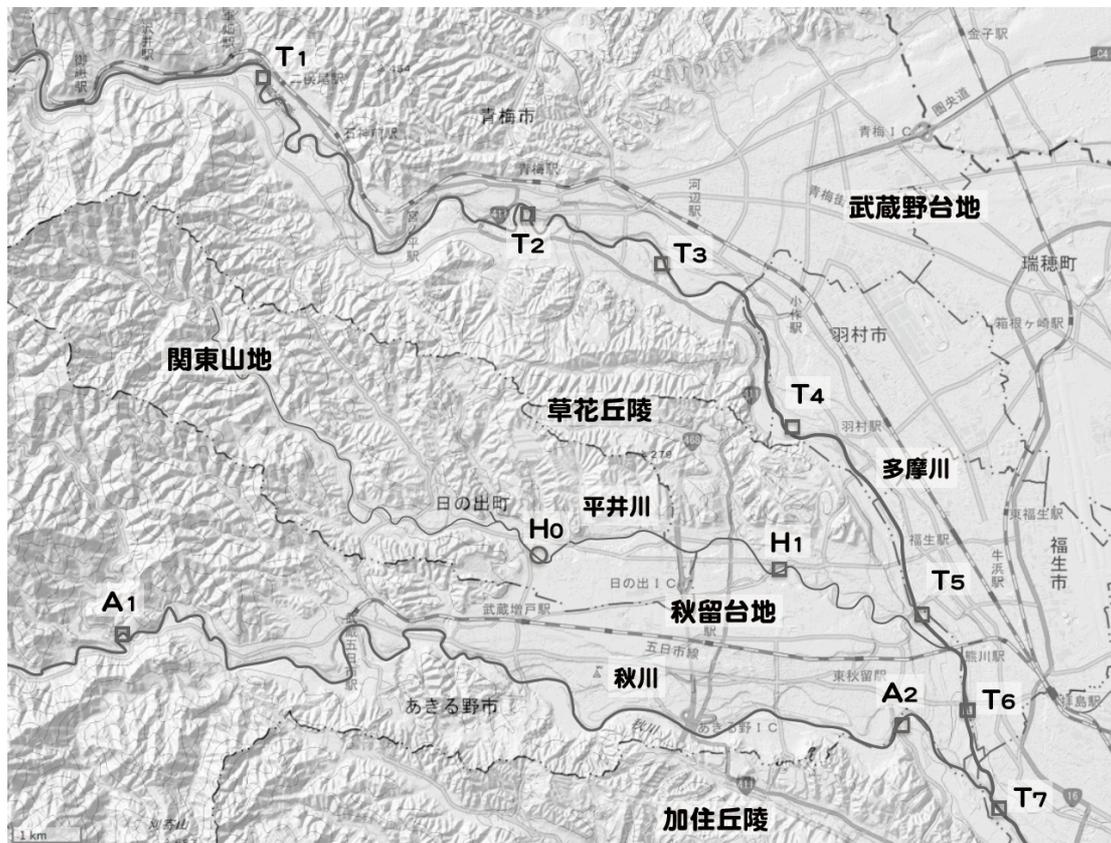


図 本研究における調査地点(地理院地図に加筆)

河川－海浜に堆積する砂礫の運搬作用に伴う形状変化に基づいた

『円磨度の飽和過程モデル』の提案

An approach of “the model of roundness in saturation” based on the changes in roundness of fluvial and beach clastic sediments during transport process

宇津川喬子・白井正明（首都大学東京地理学教室）

Takako UTSUGAWA, Masaaki SHIRAI (Tokyo Metropolitan University)

連絡先：宇津川喬子(taka-utsugawa@tmu.ac.jp)

1. はじめに

運搬中の砂礫は、破碎や摩耗によって角張ったり丸みを帯びたりしながら最終的に“円磨”され、また、その過程で新たな粒子を生産している。砂礫の堆積環境や運搬－堆積過程などの指標である“円磨度”は、長年様々な研究で用いられており（例えば、Krumbein, 1941；宇津川・白井, 2016）、上述の傾向から破碎・摩耗作用のはたらきの評価にも適している。

発表者らは、現世の堆積物を用いて“破碎・摩耗作用”を検証する過程で、「岩種」「粒径」「形状（特に、円磨度）」の関係について調べており、前回の松本大会では、河川上流域（渡良瀬川水系）の砂礫におけるこれら3要素の関係について発表した（宇津川・白井, 2017）。今回は、より運搬作用を受けた砂礫が堆積する河口～海浜環境において、河川上流域と同様に、特定の岩種について幅広い粒度で円磨度の運搬方向への変化を調べたので、その結果を報告する。その上で、河川上流域の結果と併せて、河川－海岸系における砕屑粒子の「粒径と円磨度の関係」を踏まえて構築した『円磨度の飽和過程モデル』について紹介する。

2. 試料採取および分析手法

調査の対象とした岩種は、砂粒子でも同定しやすい微粒子で構成され、かつ運搬－堆積リサイクルの影響が少ない“軟らかい”頁岩および“硬い”チャートを選定した。河川－海岸系を調査対象地域とするにあたり、渡良瀬川水系すなわち利根川水系の下流域は、支流による砂礫の供給が著しく、加えて、礫洲の水面上への露出が少ないために考察に十分な試料を得られないことから対象としなかった。そこで、頁岩およびチャートの砂礫が十分に観察される天竜川河口～遠州灘海岸で試料を採取した。本要旨では、海浜環境における試料採取と分析手法について述べる。

天竜川河口と河口から約3 km および約30 km 離れた海浜（前浜）の全3地点を調査した。礫はどの地点も海浜上にパッチ状に堆積しており、無作為に径8～32 mmの礫を採取した。また、礫下から径8 mm以下の砂礫を採取して持ち帰った。砂礫は1φごとに篩い分けて、以下のように分析した。

円磨度の測定にはKrumbein (1941) の印象図を用い、径2～32 mmの礫は肉眼で測定した。径0.5～2 mmの砂粒子は、デジタルマイクロスコープVHX-1000（KEYENCE社；首都大学東京地理学教室所有）で岩種を同定し、画像解析型粒度分析装置FF-30micro（ジャスコインタナショナル社；同上）に搭載されている画像解析ソフトウェアPIA-Proを用いて、Krumbeinの印象図の階級値と高い相関がある“O.Bluntness”を測定し、独自に求めた換算式で“Krumbein円磨度”として再計算した。

3. 結果：粒径と円磨度の関係

海浜（天竜川河口～遠州灘海岸）で観察された砂礫の円磨度は、河川上流域（渡良瀬川支流）よりも値が全体的に 0.05～0.20 ほど高いものの、同様の傾向（宇津川・白井, 2017）を示した。すなわち、チャート、頁岩共に細粒になるほど平均円磨度が低くなった。細かな粒子がより角張る要因には、新しく生産されたばかりの角張った粒子の供給や、運搬中の粒子同士の衝突しにくさによる丸みの帯びにくさが考えられる。

海浜で得られた径 4～32 mm のチャート礫および頁岩礫の円磨度に注目すると、チャートは 0.65、頁岩は 0.70 以上の値を示すことはなく、むしろそれぞれ 0.65 や 0.70 に収束しているように見られた。これは「円磨度の飽和状態（例えば、Sneed and Folk, 1958）」、つまりはそれ以上丸みを帯びにくくなり始める円磨度（Limiting Roundness Value）に近づいていると推察される。

4. 円磨度の飽和過程モデル (Fig.)

結果を踏まえ、自然条件を基にした碎屑粒子における『円磨度の飽和過程モデル』を構築した。

- (i) 生産されたばかりの碎屑粒子は、基本的にどの粒度でも円磨度は低い
- (ii) 粗粒であるほど円磨されやすく、細粒であるほど円磨されにくい
- (iii) 細粒成分も少しずつ円磨されるが、硬い岩種ではその進行が遅い
- (iv) 粗粒成分から円磨度は上昇し、細粒成分との円磨度の差が広がる。ただし、実際には水流条件によって、運搬されやすい粒径の礫から円磨され、飽和に近づく ((iv)の破線 ; Fig.)
- (v) 円磨作用の飽和状態に近づき、粗粒成分から徐々に円磨されにくくなる

この「粒径と円磨度の関係」は、従来頻繁に議論されてきた「粒子の運搬距離と円磨度の関係」との間に強い関連性があるといえる。例えば、粗粒または軟らかい粒子ほど、河川の上流（相対的に短い運搬距離）で円磨度の飽和状態に達し、細粒または硬い粒子もより長い距離を運搬された後に飽和状態に達する。今後更なる調査を進めることで、粒子の「運搬過程の熟成度」を評価することができると考えられる。つまり、堆積構造の判読が困難な狭小で局所的な露頭でも、モデルを応用して堆積粒子そのものを解析することで、堆積学的・地形学的な情報を得られるようになる可能性がある。

謝辞

本内容の一部は平成 27 年度笹川科学研究助成（学術研究部門複合系：助成番号 27-612）による助成を受けて実施した。

参考文献

- Krumbein, W.C., 1941, Jour. Sed. Petro., **11**, 64–72.
- Sneed, E.D. and Folk, R.L., 1958, Jour. Geol., **66**, 114–150.
- 宇津川喬子, 白井正明, 2016, 地理学評論, **89**, 329–346.
- 宇津川喬子, 白井正明, 2017, 日本堆積学会松本大会講演要旨集, 11–12.

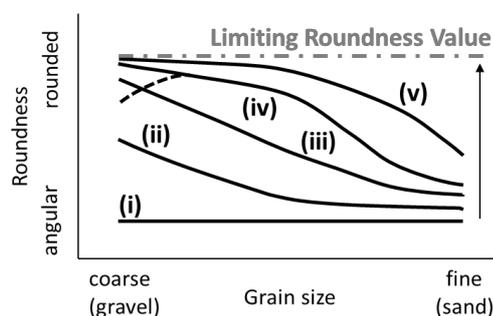


Fig. : Scheme of relationship between changes in roundness and grain size

P5

混濁流中の泥質礫の起源および分解過程の解明：下部更新統上総層群大田代層の例

Origin and abrasion process of mud clasts in turbidity currents: a case study of the lower Pleistocene Otadai Formation, Kazusa Group central Japan

福田 壮二郎（京都大学）・成瀬元（京都大学）

Sojiro Fukuda (Kyoto University), Hajime Naruse (Kyoto University)

連絡先：福田 壮二郎 (070 4021 7719)

The origin and abrasion process of mud clasts in turbidites are investigated by 3-D morphology of an ichnofossil included in mud clasts and image analysis of outcrop photograph of mud clasts. As a result, it was implied that these mud clasts were entrained from a surface of the seabed (less than a few meters below sea floor). In addition, the shape analysis of mud clasts suggests that intense abrasion occurred in turbidity currents while mud clasts contained in debris flows retain their angular shapes.

Mud clasts are gravels of mudstone which occur in sandy deposits such as turbidite or debrite. The mud clasts in turbidites are generally originated from (1) collapse of side walls of submarine canyons or channels, or (2) rip-up clasts eroded from the sea floor. Recent studies suggested that unconsolidated clasts from the latter origin can be a trigger of flow transformation in which sandy turbidity currents turn to muddy debris flows. Thus, the origin and abrasion process of mud clasts in turbidity currents are significant in terms of the understanding of behavior of sediment gravity flows. However, there are few previous researches pertaining to quantitative analysis of the origin and abrasion process of mud clasts.

In this study, variations in characteristics of individual turbidites and debrites were investigated in detail in the lower Pleistocene Otadai Formation distributed in Boso Peninsula, central Japan. To estimate the maximum burial-depth of mud clasts before the entrainment, 3-D morphology of the ichnofossil *Phycosiphon incertum* included in mud clasts were used as a marker of the compaction ratio of deposits. As a result, it was implied that turbidity currents entrained these clasts from deposits shallower than a few meters below sea floor. Besides, image analysis of outcrop photographs of mud clasts indicated that mud clasts in turbidites reduce their size downstream and show very rounded shape. On the other hand, these trends in size and shape of mud clasts were not observed in debrites. These facts suggest that intense abrasion of mud clasts occurs in turbidity currents, while the clasts in debris flows were less abraded. It suggests that turbidity currents can rapidly transform their flow type because the mud clast entrained from surface of sea floor are fragile and are easily abraded. In future studies, a new numerical model considering abrasion process of mud clasts will be developed to understand the flow transformation processes.

南相馬市小高区における 3.11 津波堆積物と完新統ボーリングコア中の イベント堆積物の比較研究

Comparative study of 3.11 tsunami deposits and event deposits in Holocene drill cores in Odaka district, Minamisoma City

内山しおり・角張友律・太田勝一・保柳康一（信州大学理学部）

Shiori Uchiyama, Yuri Kakubari, Katsuichi Oota, Koichi Hoyanagi (Shinshu University)

連絡先：内山しおり (14s4004b@shinshu-u.ac.jp)

1. はじめに

津波堆積物に関する検討は、過去の地震に伴う津波の規模の推定や発生周期の復元に有効であることから、防災面でも重要とされている (瀬尾・大串, 2014)。したがって、津波堆積物を検討するにあたり、他の堆積物と津波堆積物を区別する必要がある。特徴的な堆積構造の有無、化学分析や微化石を用いた供給源の復元など、複数の状況証拠から堆積物を形成したイベントの認定が可能となる。(例えば, 小松原, 2012)。

調査地域は太平洋沿岸の南相馬市小高区井田川地区に位置する。井田川地区周辺は、最終氷期後の年前の縄文海進の頃までに形成されたエスチュアリーを干拓した低地である。2011年3月11日に宮城県沖を震源とする東北地方太平洋沖地震の襲来を受け、津波堆積物が形成された (Oota *et al.*, 2017)。過去には貞観津波 (西暦 869 年) の襲来を受け、被害が広範囲に及んだことが報告されている (Sawai *et al.*, 2015)。また、この地域は津波被害だけでなく洪水被害にも見舞われたことが報告されている (福島県, 2004)。よって、津波堆積物や洪水堆積物といったイベント性の堆積物が保存されていると考えられる。

そこで本研究では、3.11 津波堆積物について検討し、そこから得られた結果を津波堆積物の識別基準として用いて完新統ボーリングコア中のイベント堆積物の成因および過去 1 万年間の環境変遷について考察した。

2. 3.11 津波堆積物を用いた津波堆積物の検討

3.11 津波堆積物は、Lunch box 法 (七山・重野, 1998) を用いて採取された定方位試料を用いた。肉眼観察に基づく記載と珪藻化石分析から、下位より 5 つのユニットに区分した。ユニット I は稲片を含む有機質な泥層からなり、淡水生種の *Navicula elginensis* などが優的に産出することから旧耕作土であると解釈した。ユニット II は有色鉱物がラミナを呈する極粗粒砂を基質とし複級化成層を示す。また、砂層は下位の泥層を削り込み基底部と中部に亜角礫を含む。最上部の泥質極細粒砂中から外洋指標種群である *Thalassionema nitzschioides* などの海生種が多産することなどを合わせて、遡上流による堆積物であると解釈した。ユニット III は中粒砂層からなり、1.0 ~ 2.0 mm 程度の小礫を含むことから流れの速い戻り流れによる堆積物であると解釈した。ユニット IV は圧密された泥層からなり、上部に向かって海水生種が減少し相対的に淡水生種の珪藻が占める割合が多くなることから冠水期間における堆積物であると解釈した。ユニット V は弛緩された泥層からなることから、重機などにより攪乱された二次的堆積物であると解釈した。以上のことから、水田に津波が襲来した後に流れの速い戻り流れが発生し、その後は冠水期間が続いたと考えられる。

また検討結果より、津波堆積物の特徴として(1) 砂層は級化構造を示し下部を侵食的に覆う。(2) ラミナや偽礫を伴うことがある。(3) 砂層上部で海生種、特に外洋性種が増加するということが示された。これらの特徴は、Dawson and Stewart (2007) や小松原 (2012) で示された津波堆積物の特徴と一致する。

3. 完新統 ODMS コアを用いた古環境の復元

完新統 ODMS コアは主に泥質堆積物とそこに挟在する砂層からなる最終氷期以降の完新統を掘り抜いた全長 26.5 m のコアで、深度 25.9 m で鮮新-更新統の大年寺層に達していると報告されている (角張ほか, 2017)。コア深度 19.70 m より上位の泥質堆積物中から採取した試料について珪藻化石分析と全硫黄量分析、全有機炭素量分析、安定炭素同位体比測定をおこなった。それらの分析結果から 9 つの堆積相に区分

し、環境変遷を以下のように考察した。尚、コア深度 27.0 ~ 19.50 m (約 1 年前 ~ 8,000 年前) の解釈は角張ほか (2017) に従った。(1) 約 1 万年 ~ 8,000 年前: 最終氷期終了後の約 1 万年から海進がはじまり、最終氷期後の海水準上昇によって後浜環境へと変化した。また、海進の進行とともに砂質潮汐平底から泥質潮汐平底へと変化した。(2) 約 8,000 年前 ~ 約 5,500 年前: 縄文海進に伴いエスチュアリーが拡大し、エスチュアリー中央盆地の環境となった。(3) 約 5,500 年前 ~ 約 100 年前: 5,500 年以降から海退と埋積がはじまりエスチュアリーは縮小し、閉鎖的な塩水湿地となった。弥生の小海退の時期にあたる 2,500 年前に湖沼生種の珪藻が多産するため、一次的に湖沼環境が成立した。(4) 約 100 年前 ~ 現在: およそ 100 年前から干拓事業により水田として利用されはじめた。

4. 3.11 津波堆積物の検討結果を用いた ODMS コア中のイベント堆積物の識別

完新統 ODMS コア中には大きく分けて 9 枚の砂層 (下位より F-1 ~ F-9 とする) が挟在する。砂層は約 5,500 年以降の地層に見られ、縄文海進後の海退期に入ってからである。9 枚の砂層の内、7 層 (堆積相 F-1, 2, 3, 5, 6, 7, 9) は級化構造を示し、砂層上位で海水生、特に外洋指標種群の *Thalassionema nitzschioides* が増加する傾向が見られる。また、それら砂層のいくつかは下位の層を削り込み礫やラミナを呈する。以上のことから、3.11 津波堆積物の検討結果から得られた津波堆積物の特徴と類似していると考えられ、砂層は津波堆積物であると解釈することができる。角張ほか (2017) により測定された ^{14}C 年代から 7 層の津波堆積物の形成周期を求めると、およそ 600 年であり Sawai *et al.*, (2015) で示された東北地方における津波発生周期と一致する。また、堆積相 F-9 の堆積年代はおよそ 1,000 年前程度で貞観津波と年代的に近い。残りの 2 層 (堆積相 F-4, F-8) は逆級化構造を示し、砂層上位で河川性種の *Achnanthes lanceolata* などが増加する。逆級化構造は洪水堆積物に特徴的な構造 (Iseya, 1989) であることから、これらの砂層は洪水堆積物であると解釈することができる。

5. 参考文献

- Dawson, A.G. and Stewart, I., 2007, Tsunami deposits in the geology record. *Sedimentary Geology*, **200**, 166-183
- 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地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*, **75**, 73-82
- 小松原 純子, 2012, 浅海域および沿岸低地に堆積した津波堆積物の識別基準. *堆積学研究*, **71**, 119-127
- 福島県, 2004, 二級河川宮田川水系河川整備計画.
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/10223.pdf>
- Iseya, F., 1989, Mechanism of inverse grading of suspended load deposits. *Sedimentary Facies in the Active Plate Margin*, 113-129
- 七山 太, 重野聖之, 1998, 北海道東部, 千島海溝沿岸地域における歴史堆積物—研究序説—. *月刊海洋*, **15**, 177-182
- Oota, K., Ishizawa, T. and Hoyanagi, K., 2017, Formation processes of tsunami deposits following the 2011 Tohoku-oki earthquake in the estuary of Odaka District, Minamisoma City, Fukushima Prefecture, northeast Japan. *Journal of the Sedimentological Society of Japan*, **76**, 印刷中
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Tamura, T. and Nakashima, R., 2015, Shorter intervals between great earthquakes near Sendai: Scour ponds and a sand layer attributable to AD 1454 over wash. *Geophysical Research Letters*, **42**, 4795-4800
- 瀬尾 菜々美, 大串 健一, 2014, 東北地方太平洋沖地震津波により岩手県久慈市に形成された津波堆積物. *神戸大学大学院人間発達環境学研究科研究紀要*, **8**, 97-102

高密度ボーリング調査と微地形から明らかにする歴史津波の挙動と堆積物の特徴
～北海道登別市における 17 世紀津波堆積物～

17th century tsunami behavior in Noboribetsu, western Pacific coast, Hokkaido:
Depositional and topographical constraints.

中西 諒 (北海道教育大学) ・長谷川 大輔・岡村 聡 (北海道教育大学札幌校)

Ryo Nakanishi (Hokkaido Education University), Daisuke Hasegawa, Satoshi Okamura
(Hokkaido Education University, Sapporo)

連絡先: 中西諒 (kurando2121@gmail.com)

1. はじめに

本調査地域が位置する北海道太平洋西岸では津波堆積物の痕跡が認められ、歴史記録や津波堆積物の地質層序からその波源の一つとして 1640 年の駒ヶ岳山体崩壊による津波が挙げられる。この津波による痕跡は噴火 (内浦) 湾のほぼ全域と胆振海岸の白老町までおよんでおり、登別においても 10m 近い津波が押し寄せたと考えられている (西村・宮地, 1998)。また、北海道における 17 世紀の津波の波源候補としては、道東の広範囲に認められるプレート境界型地震があり、地震調査推進本部 (2017) は、同地域の地震発生の確率について、M8.8 を超える地震が 30 年以内に最大で 40% と想定しており、この地震による津波が北海道太平洋西岸にまで襲来する可能性が現実味を帯びてきている。そこで本報告では、17 世紀に複数の津波が押し寄せた可能性の高い北海道登別周辺を対象に、高密度なボーリング調査と地形測量の結果を用い、同地域の歴史津波の挙動を詳細に復元することによって波源推定の糸口とする。

2. 地質概要と手法

登別市は海岸幅 1 km ほどの砂丘-後背湿地を成しており、砂丘は昭和期に砂鉄採掘が行われていた経緯があり正確な高さは不明であるが、現在の地形から 6 m 以上あったと考えられ南西の富岸川に向かって 1 m ほど低くなる。湿地帯には分解の進んでいない腐植層が数 m の厚さで堆積しており、数枚の火山灰層と砂層を挟んでいる。地質層序の概要は下位より、深度 1 m に B-Tm (10 世紀)、同 0.6 m にイベント砂層 (数 mm ~ 3 cm)、その直上に Ko-d (1640 年)、さらに上位に 1 cm ほどの腐植を挟んで砂層が数地点で認められる。Ko-d から約 3 cm の腐植層を挟んで Us-b (1663 年)、その上位に層厚数 cm の Ko-c2 (1694 年) が広く認められる。

地形測量は 1m×1m 間隔で格子を作成し、トランシットを用いて精度 0.5cm で比高を読み取った。このデータから ArcMap を用いて微地形図を作製した。標高は測量基準点における国土地理院の航空レーザー測量の DEM データ (5m メッシュ: 標準偏差 0.3m) を利用した。掘削調査は長さ 60 cm のハンディージオスライサー及び、径 7 cm の簡易ボーリングを用いて約 100 箇所行い、試料を採取した。火山灰の同定は、RIMS を用いて火山ガラスと有色鉱物の屈折率測定を行い、中村ほか (2002) と対比することで行った。粒度分析は 15% の過酸化水素で有機物を除去し、乾燥篩い分け法 (1/2 φ 階級) で平均粒径及び分級度を求めた。

3. 結果と考察

登別市若山で行った調査の結果、古地形と堆積物の分布の特徴から、当時の低まりに厚く堆積物を残していることがわかった。すなわち、海岸線から一様に波が押し寄せ高まりを越え後背湿地に浸入したという単純なモデルではなく、当時の河川を浸入経路として相対的に低い場所を選んで砂粒子を運んだモデルが考えられる。また、詳細な測量によって得られた地形とイベント砂層の厚さには相関があり、標高が5 mを越えると薄層化が顕著になる。粒度に関しては5 mを越えた高まりにおいて一度粗粒化する傾向があり、これは高まりを越えたことによる急激な営力の低下が生じたためと考えられる。標高5 m付近におけるイベント砂層が比較的粗い粒子から構成されている（細粒成分を失った）にも関わらず層厚が相対的に小さいことは、戻り流の影響により浮遊によって運ばれるような細粒成分が流し戻され、凹地に堆積したとことが考えられる。浸水深の推定を層厚や粒度特性から行った結果（Fig. 2）、少なくともこの地域では標高6～7 m以上の高さまで津波が浸入した可能性が高い。この推定結果は、標高6 m台の高まりを持つこの地域において、波の流路が6 m台の浜堤を越えて砂を運搬するようなものでないという見解と矛盾しない。イベント砂層と駒ヶ岳d火山灰（Ko-d）の上位に腐植を介して砂層がもう一層発見された場所は、津波の営力が急激に衰えたと考えられる高さに対応しており、この上位の砂層は駒ヶ岳の山体崩壊とは違う起源の可能性が高い。さらに、この上位の砂層が津波由来のものであれば、当時の標高で5.5 mを越えない高さに分布しており、1640年駒ヶ岳由来の津波より小規模な津波であったと考えられる。

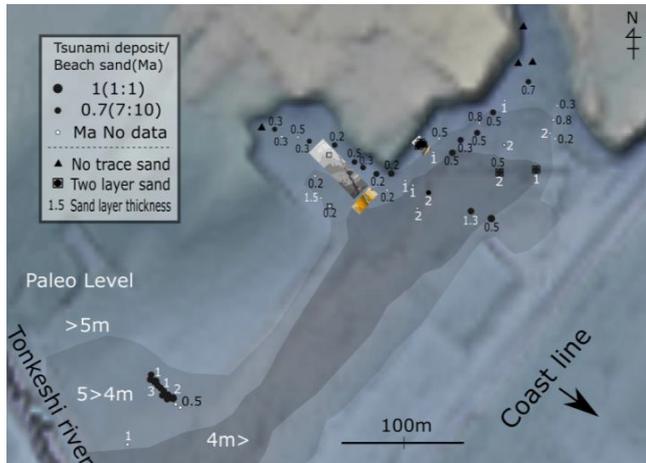


Fig. 1: イベント砂層の層厚・粒径と古地形。砂層は富岸川から北東方向の低い地域（4m>）に厚く堆積し、標高5~4mの範囲では河川に近い地点で層厚・粒径ともに大きい。3カ所の長方形は、微地形測量をおこなった範囲。

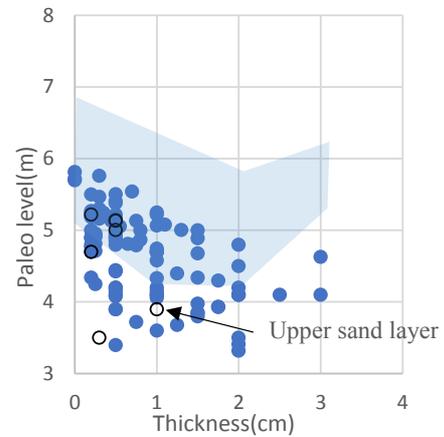


Fig. 2: イベント砂層の堆積時の標高と層厚。塗りつぶしは浸水深に対して堆積物の濃度が2%（Goto et al. 2104）と仮定したときの浸水深。

5. 引用文献

Goto K, Hashimoto K, Sugawara D, Yanagisawa H, Abe T (2014) Spatial thickness variability of the 2011 Tohoku-oki tsunami deposits along the coastline of Sendai Bay. Mar Geology 358:38-48.

地震調査研究推進本部, 2017, 千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）. 130p.

西村裕一・宮地直道, 1998, 北海道駒ヶ岳噴火津波（1640年）の波高分布について. 火山, 43. 239-243.

大型造波水路津波堆積物と現世津波堆積物観察例

Tsunami deposits in a large wave flume and the 2011 Tohoku-oki tsunami

岡崎浩子（千葉県立中央博）・吉井 匠（電中研）・宮田雄一郎（山口大学）
 Hiroko OKAZAKI (Natural History Museum & Institute, Chiba),
 Takumi YOSHII (Central Research Institute of Electric Power Industry),
 Yuichiro MIYATA (Yamaguchi Univ.) 連絡先：岡崎浩子 (kohiroko@chiba-muse.or.jp)

1. 津波実験

大型造波水路（長さ205m, 幅60cm, 深さ95cm）を用いて津波堆積物実験が行われた（電力中央研究所）。実験は混合砂（中央粒径：約0.2mm）を用い、造波機から下流約40m付近に高さ20cmの砂丘をつくり汀線とし沖側勾配は1/215また陸上勾配は1/100に設定された。津波（波高約80cm）は1回の波の発生で、砂丘をこえて陸側に遡上した。これによって形成した津波堆積物は層厚が1-3cm程度で汀線より陸側まで6mほど堆積した（砂丘背後のフルード数は1.6程度）。

2. 3次元形状-GPR 探査

GPR 探査（1.6GHz アンテナ, SIR-3000 システム）を36m~46m 区間（砂丘前後の約5m 区間）で行った。水路に平行に5cm 間隔で計11本の側線を用いて、3次元断面を求めた。探査結果からは砂丘（津波により消失）より沖側に砂丘側に深くなる三次元凹地状反射面、陸側の遡上部には砂丘側に深い波高数cm, 波長約2m 程度の緩やかに上に凸の平行する2層の反射面が見られた（岡崎ほか, 2017）。

3. 内部構造-剥ぎ取り資料の粒子ファブリック

水路に平行な資料写真から粒子ファブリックの計測を行った（宮田ほか, 2016；岡崎ほか, 2017）。粒径は、全体的に見ると砂丘より沖側の凹地堆積物が最も粗く、陸側の遡上堆積物はより粗い下部層と細かい上部層からなる。陸向きには凸状の頂部付近で粗粒化し、さらに陸側で細粒化する。粒子のインプリケーションには陸傾斜と沖傾斜の2方向があり高角度（20-30度）で傾くものも見られる。この実験と一連の陸上勾配1/50では逆級化・級化構造が報告されている（Yoshii et al, 2016）。

4. 2011年東北地方太平洋沖地震津波堆積物（九十九里浜平野）

現世津波堆積物の観察事例を紹介する。九十九里浜平野東端の刑部岬の海食崖下とその前にある消波堤の間には約55cm と厚い津波堆積物が堆積した。津波堆積物は侵食面上に貝殻片や泥岩偽礫を多く含む粗粒砂層と、その上に緩やかに上に凸の葉理もつ細粒-中粒砂層がのり逆級化するものも見られた。

したがって、これら実験と現世津波堆積物は砂丘や堤防の越流による侵食と射流による砂の移動埋積により形成された可能性が考えられる。

引用文献

- 宮田雄一郎, 花本夏輝 (2016) 写真画像を用いた3D 砂粒子ファブリックの計測. 日本堆積学会要旨, P19.
 岡崎浩子・吉井 匠・秋山大地 (2017) 津波実験堆積物のGPR (地中レーダ) 三次元解析. JpGU2017, HCG30-P02.
 岡崎浩子・吉井 匠・宮田雄一郎 (2017) 津波実験堆積物の形状と内部構造の解析例. 日本地質学会要旨, R11-P5.
 Yoshii, T., Tanaka, S., Matsuyama, M. (2017) Tsunami deposits in a super-large wave flume. *Marine Geology*, 391, 99-107.

津波による海底砂の運搬プロセスに関する実験的研究

Flume experiment on seafloor sediment transport process by tsunami flow

鈴木貴大（筑波大）・篠崎鉄哉（筑波大）・山口直文（茨城大）・関口智寛（筑波大）
 Takahiro SUZUKI (Univ. Tsukuba), Tetsuya SHINOZAKI (Univ. Tsukuba),
 Naofumi YAMAGUCHI (Ibaraki Univ.), Tomohiro SEKIGUCHI (Univ. Tsukuba)
 連絡先：鈴木貴大 (s1410782@u.tsukuba.ac.jp)

1. はじめに

21世紀に生じた大規模津波を契機に津波堆積物研究が改めて注目される中で、津波による堆積作用の基礎的な理解の重要性も増している。たとえば、古津波堆積物認定の重要な根拠である海洋起源の指標が現世津波堆積物中でも検出されない場合があるなど、津波堆積物の起源・堆積プロセスが関与する問題は多く、さらなる研究が望まれる。本研究では津波堆積物の起源・堆積プロセスの理解を深める一環として、津波による海底砂の運搬プロセス・運搬量に着目し、津波の規模と水深の影響を評価する水路実験を行った。

2. 実験手法

実験では、図1に示す水路（長さ12 m、幅0.2 m）内において、貯水タンク前面に設けた堰を開放して津波段波を発生させ、水路水平部の水面下に設置した砂床（長さ0.7 m、幅0.2 m、厚さ1 cm）に作用させた。実験砂には豊浦標準砂（中央粒径0.2 mm）を用いた。土砂運搬プロセスを観察し映像を記録するとともに、砂床沖側端で砂面直上付近における流速、その沖側で津波波高を測定した（図1）。また、実験後に砂床陸側に堆積した砂を回収し乾燥重量を測定した。水路底面からの水深（以下、初期水深 h_0 ）を1.0, 2.5, 5.0, 7.5 cm、貯水タンクの水深（タンク水深 h_1 ）を14–28 cmとして計13回の実験を行った。

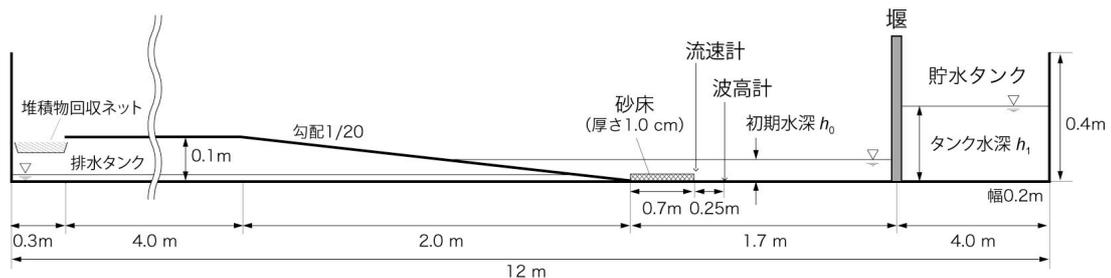


図1 水路模式図

3. 結果・考察

実験の結果、周期15.3–23.2 s、最大波高9.2–16.2 cmの段波が発生した。段波による岸向き流の底面流速は実験条件によらず段波の到達直後に最大となり、その後漸減した。最大底面流速 V_{max} は39.1–102.4 cm/sであり、タンク水深が大きく段波の規模が大きいほど、また初期水深が小さいほど増加する傾向を示した。なお、沖向き流の最大流速は14.8–27.0 cm/sであった。

本実験では、初期水深条件により異なる岸向きの土砂運搬プロセスが確認された。初期水深 $h_0 \geq 5.0$ cm では段波が砂床付近で砕波し、水面で生じた気泡を含む乱れた流れ（以下、乱流水塊）が底面へと伝播した。段波の規模が大きい場合、乱流水塊が砂床の岸側の一部に到達して砂を顕著に巻き上げ、生じた浮遊砂はその後の流れにより運搬された（図 2a）。乱流水塊は砂床全体のうち、 $h_0 = 5.0$ cm では 50–60 cm、 $h_0 = 7.5$ cm では 10–20 cm の範囲に作用した。一方、 $h_0 \leq 2.5$ cm では砕波は生じず、気泡を含む乱流水塊は観察されなかった。砂床全体を通して、段波先端部が通過する際に砂が最も巻き上げられ（図 2b）、流速の漸減とともに巻き上げ・運搬される砂は少なくなった。いずれの場合においても、沖向きの土砂運搬はほぼおきなかった。

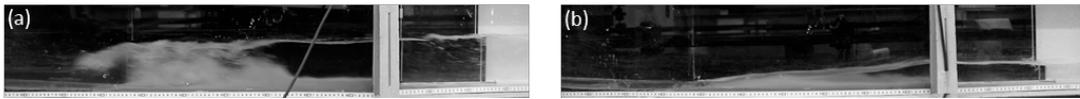


図 2 段波による土砂の巻き上げの様子：(a) $h_0 = 5.0$ cm, $h_1 = 24$ cm, $V_{\max} = 65.1$ cm/s ; (b) $h_0 = 1.0$ cm, $h_1 = 16$ cm, $V_{\max} = 65.7$ cm/s.

段波によって砂床の岸側に堆積した土砂量（以下、堆積砂量）は、同一の初期水深条件下であれば底面最大流速と正の相関を示した。すなわち、同一水深下で運搬される砂量は段波の規模に依存して増加した。ただし、底面最大流速が同程度であっても、初期水深が小さいほど堆積砂量が大きくなる傾向があった。堆積砂量は、 $h_0 \leq 2.5$ cm と砂床の 7 割以上に乱流水塊が作用した $h_0 = 5.0$ cm では同程度であったのに対し、3 割以下しか作用しなかった $h_0 = 7.5$ cm の場合には極端に少なかった。

以上述べてきた通り、同一底面最大流速条件下において、 $h_0 = 5.0$ cm では大半の領域に乱流水塊が作用したにもかかわらず $h_0 \leq 2.5$ cm と同程度の堆積砂量であり、乱流水塊の作用領域が小さい $h_0 = 7.5$ cm では堆積砂量が極端に少なかった。これらから、水深が大きい場においては、岸向き流のみによる土砂運搬量は少なく、海底砂の運搬には乱流水塊による砂の巻き上げが極めて重要なことが明らかになった。つまり、津波により陸上にもたらされる海底堆積物の大部分は乱流水塊が作用する領域以浅を起源とするものと示唆される。また、堆積砂量、底面流速、段波規模の関係から、海域から供給される土砂の総量は津波の規模に依存して増加し、より浅い領域からの供給量が大きいと予想される。

4. まとめ

本研究は、津波段波による海底砂の運搬プロセスが水深により異なり、特に水深が大きい領域では砕波に生起する乱流水塊が土砂の巻き上げ・運搬に大きく寄与する可能性を示した。

鬼界カルデラ噴火に伴う津波堆積物と火山噴出物の層序関係

Stratigraphic relationship between a tsunami deposit and volcanic ejecta by the 7.3 ka eruption of the Kikai volcano

山田昌樹・佐竹健治（東京大学地震研究所）・藤野滋弘（筑波大学生命環境系）

Masaki Yamada, Kenji Satake (The Univ. of Tokyo), Shigehiro Fujino (Univ. of Tsukuba)

連絡先：山田昌樹 (yamadama@eri.u-tokyo.ac.jp)

1. はじめに

約 7300 年前、東シナ海において鬼界アカホヤ噴火が発生した。噴火時には、浅海域に大規模なカルデラが形成され、現在でも薩摩硫黄島と竹島を除く大部分が海面下に沈んでいる。この噴火では、山体崩壊時や火砕流流入時の海面変動によって津波が発生したと考えられており (Maeno et al., 2006 ; Maeno and Imamura, 2007) , 実際に噴火に伴う津波堆積物が大分県大分市と屋久島において報告されている (藤原ほか, 2010 ; Geshi et al., 2017 ; 七山ほか, 2017) 。しかしながら、噴火プロセスの中で、何が原因で、どれくらいの規模の津波が発生したのかなど、具体的なことはほとんど解明されていない。本研究は、より広範囲に分布するアカホヤ津波堆積物から、津波の規模と発生様式を解明することを目的としている。なお、本発表では、火山噴出物と津波堆積物の層序関係に基づいた噴火プロセスの中での津波発生タイミングの推定に焦点を絞る。

2. 結果

別府湾の南岸に位置する大分県大分市の^{おおえんじ}大圓寺湿地で採取された長さ 880 cm の堆積物コア (海岸線から約 170 m, 標高約 2 m の地点で採取) には、アカホヤ火山灰層 (K-Ah, 層厚約 120 cm) の直下に級化構造を示す層厚 4 cm の砂礫層が認められた。また、徳島県海部郡の田井ノ浜 (海岸線から約 200 m, 標高約 1 m の地点で採取 ; Fujino et al., 2014) と和歌山県日高町の阿尾湿地 (海岸線から約 240 m, 標高約 1 m の地点で採取 ; 竹田ほか, 2016) においても、K-Ah 層の直下に層厚 3–6 cm 程度の砂層が確認された。砂層とその上位の K-Ah 層、下位の泥層との地層境界は、いずれの地域でも非常に明瞭である。また、大圓寺湿地と田井ノ浜においては、K-Ah 層の内部にも複数枚の薄い砂層と平行葉理が認められた。

3. 考察

大分県から和歌山県の広範囲において K-Ah 層の直下に確認された砂層は、下位の泥層と明瞭な地層境界で区切られていることから、突発的に形成されたイベント層であると言える。そして、イベント砂層が広範囲の同一層準に認められることを考慮すると、砂層の形成は、局所的な高潮やストームではなく、広域に伝播する巨大津波を想定することで最もよく説明できる。さらに、イベント砂層と K-Ah 層が互いに接しており、それらの堆積に時間間隙がないことを考えると、イベント砂層は、鬼界アカホヤ噴火と同時に発生した津波によって形成された「アカホヤ津波堆積物」であると言える。

アカホヤ津波堆積物層と K-Ah 層の層序関係は、少なくとも鬼界カルデラから遠く離れた地域においては、K-Ah の降灰前に津波が到達したことを示している。また、砂層を覆う K-Ah 層の内部にも砂層と平行葉理が認められており、降灰の最中にも津波の後続波により砂層や堆積構造が形成された可能性を示唆している。屋久島の海岸露頭では、アカホヤ津波堆積物が幸屋火砕流堆積物に覆われていることから、火砕流の到達前に津波が遡上した可能性が提案されている。山体崩壊のタイミングは、噴火プロセスの中では火砕流の発生後である可能性が高いため、巨大津波の発生は、カルデラ形成による山体崩壊ではなく、火砕流の流入が主な要因である可能性が示された (Geshi et al., 2017)。一方、それぞれの現象を仮定した津波シミュレーションによると、カルデラ形成による津波の方が火砕流の流入よりも規模の大きな津波を発生させることが分かっており (Maeno et al., 2006 ; Maeno and Imamura, 2007)、今後は、火砕流の流入による津波が和歌山県や別府湾に到達するの否かも含めて、改めてそれぞれの現象で発生する津波とアカホヤ津波堆積物の広域分布を比較する必要があると考えている。

文 献

- Fujino, S., Kobori, E., Chiba, T., Yamada, M., Shinozaki, T., 2014. Stratigraphic records of tsunamis in the past 5,600 years in Tokushima, western Japan. *AOGS 11th Annual Meeting*.
- 藤原 治, 町田 洋, 塩地潤一, 2010. 大分市横尾貝塚に見られるアカホヤ噴火に伴う津波堆積物. *第四紀研究* 49, 23–33.
- Geshi, N., Maeno, F., Nakagawa, S., Naruo, H., Kobayashi, T. 2017. Tsunami deposits associated with the 7.3 ka caldera-forming eruption of the Kikai Caldera, insights for tsunami generation during submarine caldera-forming eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 347, 221–233.
- Maeno, F., Imamura, F., 2007. Numerical investigations of tsunamis generated by pyroclastic flows from the Kikai caldera, Japan. *Geophysical Research Letters* 34, L23303.
- Maeno, F., Imamura, F., Taniguchi, H., 2006. Numerical simulation of tsunamis generated by caldera collapse during the 7.3 ka Kikai eruption, Kyushu, Japan. *Earth Planets Space* 58, 1013–1024.
- 七山 太, 中川正二郎, 前野 深, 成尾英仁, 2017. 南九州, 屋久島において記載された過去の巨大地震津波を示唆する幾つかの証拠. *月刊地球号外* 67, 99–106.
- 竹田大輔, 藤野滋弘, 千葉 崇, 篠崎鉄哉, 山田昌樹, 2016. 和歌山県日高町における津波浸水履歴の復元. *日本堆積学会 2016 年福岡大会*.

秋田県男鹿市生鼻崎に分布する更新統北浦層の堆積相解析

Sedimentary facies analysis of the Pleistocene Kitaura Formation at Oibanazaki, Akita Prefecture,
Japan

阿部史孝（秋田大学国際資源学部）千代延俊・荒戸裕之（秋田大学国際資源学研究科）

Fumitaka Abe, Shun Chiyonobu, Hiroyuki Arato (Akita Univ.)

連絡先：阿部史孝 (s1014202@s.akita-u.ac.jp)

1. はじめに

男鹿半島は第四系が広く分布することから、日本の第四系標準層序として重要な地域である。男鹿半島の地質学的研究は大橋（1918MS）に始まり、藤岡（1959）で総括された。男鹿半島生鼻崎には砂岩、泥岩互層の発達した更新統北浦層が分布しており（北里, 1975；佐藤ほか, 1988）、露出が良好なことから上下・側方に連続的な観察が可能である。本研究は生鼻崎地域に分布する北浦層上部の詳細な観察から 1/10 実測柱状図を作成し、それらの堆積物、堆積メカニズムを堆積学的に明らかにすることを目的とする。この研究は重力流堆積物で構成される貯留層に関する研究に寄与するものである。

2. 結果

本研究では生鼻崎地域に分布する北浦層上部の砂岩、シルト岩の堆積相から、砂岩を 7 つのユニット、シルト岩を 2 つのユニットに区分した。各ユニットの堆積相は第 1 図のとおりである。調査層準を通してユニット③シルト岩が確認され、粗粒、または砂質で炭質物を含む。また不規則に砂岩を挟在し、その粒径は主に極細粒～細粒砂である。これらの砂岩は下位のシルト岩を削り込んでおり、規模の大きいものは砂岩層の癒着がみられる。

3. 考察

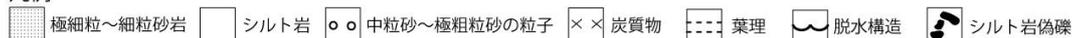
ユニット③粗粒シルト岩が調査層準を通して確認できることから、北浦層上部の堆積場は大陸棚の浅海環境を示唆しており、ユニット①-3 を除くユニット①、②の砂岩は、基底部を削り込んでいることから、沖合に砂を供給する重力流堆積物であると考えられる。これらの堆積相から各ユニットを形成した堆積物重力流を、Middleton and Hampton (1973) の粒子支持機構と Mulder and Alexander (2001) の碎屑物濃度による分類を基に考察した。その結果、ユニット①-1, 2 は粒子間衝突によって支持される Concentrated density flow の堆積物、ユニット②-1 は砂岩の流れに随伴する Debris flow の堆積物、ユニット②-2 は基質の支持力や相対的な浮力、粘性によって支持され、碎屑物濃度が非常に高い Debris flow～Hyperconcentrated density flow の堆積物、ユニット②-3 は流れによって削り込まれただけのシルト岩、または海底地すべり堆積物であると解釈される。

4. 結論

生鼻崎地域に分布する北浦層上部では、平穏時に粗粒シルト岩が堆積する大陸棚の浅海環境が示唆される。また不規則に流入する砂はその堆積相からユニット区分され、それぞれ Debris flow～

①-1： 塊状砂岩		極細粒～細粒砂岩。主に塊状、部分的に脱水構造や平行～トラフ型葉理がみられる。砂岩層の癒着や、炭質物を含む場合もある。単層内で粒度の変化は小さく級化・逆級化を示すことは稀である。基底部の削り込みは比較的小規模なことが多い。層厚：7～276cm
①-2： 粗粒粒子を含む砂岩		細粒～中粒砂岩。主に塊状、部分的に脱水構造や平行葉理がみられ、炭質物を含む場合もある。単層では粗粒砂～中礫を含み、全体として逆級化を示す傾向にある。基底部は下位層を削り込んでいる。層厚：7～265cm
①-3： 凝灰質砂岩薄層		淡灰色～淡褐色を示す極細粒～細粒砂岩。他のユニットが非凝灰質であるのに対して、このユニットは凝灰質であり、層厚も著しく薄い。平行葉理やリップルの堆積構造がみられ、炭質物を含む場合もある。層厚：2～7cm
①-4： その他の砂岩		比較的不淘汰な極細粒～細粒砂岩で構成され、乱れた堆積構造や、砂質部とシルト質部がバンドを示す層準がみられる。基底部は下位層を削り込んでいる。 層厚：19cm～67cm
②-1：単層最上部にのみシルト岩偽礫を有する砂岩		砂岩部は主に塊状で部分的に平行葉理がみられ、炭質物を含む場合もある。砂岩部の上位にシルト岩偽礫（円礫～亜角礫・granule～cobble. 基質支持）を含むユニットが続き、基質は砂岩部よりやや細粒な場合が多い。層厚：20～164cm
②-2：単層内にシルト岩偽礫を有する砂岩		基質部は細粒～極細粒砂岩で脱水構造を示すものもある。シルト岩偽礫（主に亜円礫～亜角礫、granule～boulder.）を含み、単層ごとにその量比や礫径は異なるが、偽礫の量比が多く礫支持を示す層準では礫径が大きく角礫な傾向にある。層厚：17～260cm
②-3：シルト岩層の破碎やジグソーフィッティングを示すユニット		単層に占める礫の割合が大きく、シルト岩礫同士がジグソーフィッティングを示す。シルト岩層が破碎されたような産状で、大きなブロックは数mにまでおよぶ。割れ方は主に脆性的だが、やや延性的なものもみられる。
③：1.塊状シルト岩 2.葉理の入ったシルト岩		③-1. やや粗粒・砂質な塊状シルト岩であり、淡青灰色～暗青灰色を示す。炭質物を含む場合がある。層厚：3～156cm ③-2. やや粗粒で葉理の入ったシルト岩。炭質物を含む場合があり、調査層準上部に発達する。層厚：15～95cm

凡例



第1図. 堆積相によるユニット区分

Concentrated density flow の堆積物であると考えられる。また同堆積場では、発生した重力流が非常に高密度で基質の支持力が優勢に働く Debris flow から、運搬・希釈に伴い砕屑物濃度の低下と粒子支持機構を変化させ、粒子間衝突による支持機構が優勢に働く、Concentrated density flow へと移り変わる一連の堆積メカニズムの変遷が推察される。

参考文献

- 藤岡一男・高安泰助・的場保望・大口健志・秋田大学鉱山学部鉱山地質学教室，1973，秋田県男鹿半島地質図。財団法人日本自然保護協会，44，5-34.
- Middleton, G. V. and Hampton, M. A., 1973, Part I. Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition. In: Middleton, G. V., Bouma, A. H. (Eds), Turbidites and Deep-water Sedimentation. SEPM, Anaheim, CA, SEPM Pacific section Short Course, 1-38.
- Mulder, T. and Alexander, J., 2001, The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. Sedimentology, 48, 269-299.
- 佐藤時幸・高山俊昭・加藤道雄・工藤哲朗，1988，日本海側に発達する最上部新生界の石灰質微化石層序。石油技術協会誌，3，199-212.
- 菅原豊和，1997MS，男鹿半島に分布する第四系の堆積学的，シーケンス層序学的研究。秋田大学大学院鉱山学研究科応用地球科学講座修士論文，175p.

秋田県五城目町杉沢地域に分布する女川層の
岩相解析—特に微細堆積構造に着目して—

Lithofacies of the Miocene Onnagawa Formation in the Sugisawa area,
Akita Prefecture, Japan, based on the details of sedimentary structure.

日比康貴・大和寛享（秋田大学国際資源学部）

荒戸裕之・千代延俊（秋田大学国際資源学研究科）

Yasutaka Hibi, Hiroataka Yamato, Hiroyuki Arato, Shun Chiyonobu (Akita Univ.)

連絡先：日比康貴 (sl014231@s.akita-u.ac.jp)

1. はじめに

秋田地域の中新統女川層は、平均有機炭素量が 1.5%を超える優秀な根源岩である(早稲田・重川 1990 など). これまでの研究により、女川層の根源岩能力は、葉理が発達した暗色の岩相が高いこと(辻ほか, 1991; 杉井, 1998MS), また軟質部が高いこと(早稲田・辻, 1990) が判明しており、堆積時の溶存酸素量や碎屑物供給量が有機物量に関連していることが示唆されている. そこで本研究では、秋田県五城目町杉沢地域に分布する女川層を対象に詳細な岩相区分を行い、とくに微細堆積構造の観察を実施して根源岩能力の高い岩相の特徴を明らかにすることを目的にした.

2. 手法

本研究地域に分布する女川層露頭に対して 10 分の 1 実測柱状図を作成し、岩石試料を採取した. 試料の垂直切断研磨面の観察を行った. 典型的な試料は、薄片を作成し、偏光顕微鏡を用いて微細構造を観察した.

3. 結果

実測柱状図を葉理の有無、色調(暗色/明色)、硬さ(硬質/軟質)の 3 要素に基づき、Facies1~Facies8 に区分した(表 1). Facies1~4 は、葉理が無く、Facies6~8 は、葉理がある. 実測柱状図において、葉理が発達し暗色である Facies6/8 が最も連続的に存在する部分と前後の試料に対して、葉理に着目した微細観察を行い、B1~B7 に区分した(表 2). Facies1~4 は、B6 や B7 を主としており、Facies5~8 は、B2 や B3 を主としている. 薄片下において、Facies6/8 と他の岩相の、微細堆積構造の有無や葉理の連続性、葉理の移り変わりが明らかとなった. Facies5~8 内において、単位厚さ当たりの暗色葉理数が異なり、B3 では、1mm 厚さ当たり約 7.4 枚であるのに対し、B2 は、1mm 厚さ当たり約 3.4 枚であった. また葉理の持たない岩相(Facies1~4)は、微細堆積構造が観察できなかった.

表 1: 女川層の岩相区分と根源岩能力の関係

岩相	葉理	色	硬さ	根源岩能力
Facies1	無	明色	硬質	×
Facies2	無	暗色	硬質	△
Facies3	無	明色	軟質	×
Facies4	無	暗色	軟質	△
Facies5	有	明色	硬質	○
Facies6	有	暗色	硬質	◎
Facies7	有	明色	軟質	○
Facies8	有	暗色	軟質	◎

り、Facies5~8 は、B2 や B3 を主としている. 薄片下において、Facies6/8 と他の岩相の、微細堆積構造の有無や葉理の連続性、葉理の移り変わりが明らかとなった. Facies5~8 内において、単位厚さ当たりの暗色葉理数が異なり、B3 では、1mm 厚さ当たり約 7.4 枚であるのに対し、B2 は、1mm 厚さ当たり約 3.4 枚であった. また葉理の持たない岩相(Facies1~4)は、微細堆積構造が観察できなかった.

4. 考察

微細堆積構造の観察に基づく葉理に着目した区分 B1~B7 は、Borocovsky et al. (2017)によれば、それぞれ、堆積環境の解釈ができる(表 2). Facies5~8 は、還元的な環境や生物の繁栄中もしくは繁栄後の堆積を示し、Facies1~4 は、貧酸素~酸素な環境を示した. また、Facies1~4 に葉理が認められないのは、生物擾乱によると解釈される. 生物擾乱の有無は、(坂本, 1992)などによると、堆積環境を表す. 従って

Facies1～4 は、酸化的環境で堆積したと解釈される。また葉理が保存されている Facies5～8 は生物擾乱がなく、還元的環境で堆積したと解釈される。このことは、多田(1995)などが指摘する根源岩が成立する堆積環境と調和的であり、Facies5～8 は根源岩能力を有すると示唆される。また Facies5～8 における色調変化は、単位厚さ当たりの暗色葉理数の違いによって生じると解釈される。さらに B2 と B3 を比較すると、単位厚さ当たりの暗色葉理数が 2 倍異なる。根源岩能力が高いとされる岩相 (Facies6/8)の特徴は、B3 を主とし、単位厚さ当たりの暗色葉理数が多いことである。暗色葉理の単位厚さ当たりの枚数は、根源岩能力に影響を与える要因のひとつであると考えられる。

5. 結論

以上の検討の結果、以下の点が明らかとなった:

- (1) 杉沢地域に分布する女川層では、根源岩能力の高い岩相暗色葉理部(Facies6/8)である、
- (2) Facies6/8 に含まれる単位厚さ当たりの暗色葉理数は、ほかの岩相に比べて多い、
- (3) Facies6/8 の堆積環境は還元的であると推定され、そのことは女川層の堆積環境に関する先行研究と調和的である、
- (4) 女川層における単位厚さ当たりの暗色葉理数は、根源岩能力の高さの指標となり得る可能性がある。

参考文献

- Borocovsky D. , Egenhoff S. Maletz J. Boehlke A, and Lowers H., 2017, Sedimentology, facies architecture, and sequence stratigraphy of a Mississippian black mudstone succession-The upper member of the Bakken Formation, North Dakota, United States. AAPG Bulletin, **101**, 1625-1673.
- 坂本竜彦, 1992, 佐渡島中山層 (中期中新世～初期鮮新世) の堆積リズム. 地質学雑誌, **98**, 611-633.
- 杉井大輔, 1998MS, 秋田地域に分布する中新統女川層の堆積環境と石油根源岩特性-岩相、生痕化石、および地化学分析から-. 秋田大学院 鉱山学研究科 修士論文.
- 多田隆治, 1995, 我が国における石油根源岩堆積環境の再検討. 石油技術協会誌, **60**, 5-14.
- 辻 隆司・増井 泰裕・早稲田 周・井上 洋子・栗田 裕司・甲斐 邦男, 1991, 秋田県矢島町周辺の女川層の岩相区分と堆積環境,およびその根源岩特性. 石油資源開発技術研究所研究報告, **7**, 45-99.
- 早稲田周・重川守, 1990, 由利原油・ガス田における炭化水素の生成・移動・集積. 石油技術協会誌, **55**, 233-244.
- 早稲田周・辻隆司, 1990, 秋田県五城目の女川層珪質岩における有機物相と堆積環境. 石油資源開発株式会社技術研究所報告, **6**, 17-23.
- 早稲田周・辻隆司・梶原義照・西田英毅, 1995, 女川層の有機物相と堆積環境-モンテレー層との比較-. 石油技術協会誌, **60**, 50-61.

表 2: 微細観察における葉理を持つ岩相を基本とした分類と環境解釈の対応関係

分類	特徴	環境解釈 (After Borocovsky et al., 2017)
B1	明色層	生物の繁栄中の堆積
B2	明暗色層	生物の繁栄中もしくは繁栄後の堆積
B3	暗色層	ストレスの多い環境を示す (貧酸素)
B4	変形層	掃流移動を示す
B5	明色薄層	暴風雨堆積物を示す
B6	生痕含む暗色層	貧酸素～酸素な環境を示す
B7	生痕含む明色層	貧酸素～酸素な環境を示す

新潟県東頸城丘陵北東部における

更新世の海水準変動に応答した2つのデルタシステムによる堆積盆地の埋積

Basin Filling by two Delta Systems with Response to Pleistocene Sea Level Changes
in the northeastern part of Higashikubiki Hills, Niigata Prefecture, Central Japan

河西夏美・保柳康一（信州大学・理学部）

Natsumi Kasai and Koichi Hoyanagi (Shinshu University)

連絡先：河西夏美 (E-mail: naxkasai123@gmail.com)

1. はじめに

新潟堆積盆は厚い新第三系・第四系によって埋積された北部フォッサマグナの一部であり、日本海拡大に伴って形成された構造盆地である(高野, 1989). 近年の堆積盆解析では震探断面と坑井地質の検層データなどを用いたシーケンス層序学的研究が進められている. 一方で, 新潟堆積盆におけるフィールド調査からのシーケンス層序学的研究は高野(1995), 卜部ほか(1995), 保柳ほか(2000)などによって行われた. これらによって新潟堆積盆の埋積過程が述べられたが, 本研究における調査地域については未だ詳細は明らかにされていない. よって, 研究地域に分布する堆積システムの考察から堆積盆埋積過程を明らかにするとともに, 堆積シーケンスの設定から海水準変動との関連についても考察することを目的とする.

2. 研究地域と研究手法について

研究地域は長岡市南東部における渋海川西側の丘陵地帯である. この地域に主に分布する魚沼層群は岩相と層厚の側方変化が著しく(宮下ほか, 1972), 火山灰鍵層の対比により層序が明らかにされてきた(宮下ほか, 1972; 魚沼丘陵団体研究グループ, 1983 など). 保柳ほか(2000)は一般的に用いられる「魚沼層群」の名称を用いて, 「下部魚沼層」「中部魚沼層」「上部魚沼層」に火山灰鍵層によって区分した. この研究においても保柳ほか(2000)の層序区分に従う.

各調査ルートに分布する地層を対象に, 野外調査により 1/2500 ルートマップ(縮尺は適宜変更した)を作成し, 堆積相解析を行った. ルートマップをもとに堆積柱状図, 対比柱状図, 1/10000 岩相分布図, 1/10000 地質図, 1/10000 堆積相分布図を作成し, 堆積システム, 堆積シーケンスの考察を行った.

3. 2つのデルタシステムと堆積盆の埋積

フィールド調査において, 粒度, 淘汰度, 堆積構造, 生痕化石などから岩相を 21 に区分し, それらの遷移関係に基づいて 11 の堆積相を設定した. また, 堆積相の累重から蛇行河川システム, エスチュアリーシステム, デルタシステム, 海岸平野システムの 4 つの堆積システムを設定した. その結果, 研究地域北部と南部ではシステムの累重が異なり, 北部では下位からデルタシステム, 海岸平野システム, 内湾環境・デルタシステムによる堆積を示す. 一方, 研究地域南部では下位から海岸平野システム, 内湾環境・デルタシステムによる堆積に遷移することが明らかとなった. これらの結果と風岡ほか(1986), 小林ほか(1986), 小林・立石(1992), 卜部ほか(1995), 保柳ほか(2000)などの周辺地域の研究に基づき古地理の復元を行った. これにより研究地域には 2 本の河川が常に影響しており, 北部では東から西へ向かうデルタシステムを, 南部では南から北へ向かうデルタシステムが発達していることが明らかとなった.

これらの堆積システムの累重より, 堆積盆の埋積過程を考察する. 約 1.7 Ma では調査地域北部では東から西へのデルタの前進による埋積が進んだが, 南部は陸棚環境であった. その後約 1.3 Ma から調査地全域が内湾化し, 東から西方向と南から北方向への 2 つのデルタが同時に前進することによって埋積が進んだ. 約 1.15 Ma からは, 南から北方向へ前進するデルタの影響が支配的となり, 河川システムが支配的になる(保柳ほか, 2000)ことから, 堆積盆の埋積をほぼ終了したと考えられる.

4. 堆積盆埋積過程と海水準変動の応答

デルタシステムによる堆積盆埋積と海水準変動の関連について考察を行う.

研究地域において広範囲に追跡可能な不連続面からシーケンス境界として SB-1~SB-7 (SB:

Sequence boundary)を認定し、堆積シーケンス ds-1～ds8(ds: depositional sequence)を設定した。火山灰鍵層(黒川, 1999 など)と石灰質ナンノ化石(佐藤ほか, 1999)の年代から、これらの堆積シーケンスは平均約9万年周期の第4オーダー堆積シーケンスであると考えられる。また、SB-1, SB-5は厚い河川成堆積物をシーケンス境界の基底に持ち、長期間の比較的大きな海水準の低下が生じたと考えられることから、これらをより周期の長い第3オーダー堆積シーケンスのシーケンス境界として設定した。

研究地域における堆積シーケンスと汎世界的海水準変動の指標として用いられる LR04 stack (Lisiecki and Raymo, 2004)との対比を行い、各堆積シーケンス形成時期と氷期-間氷期サイクルとの関連性の考察を行った。SB-1～SB-7はそれぞれ MIS (MIS: Marine isotope stage) の氷期ステージ、60, 58, 54, 48, 39, 36, 34に対応する。したがってこれらの堆積シーケンスは、気候変動にともなう海水準変動により形成された可能性が高い。

また、SB-1(約1.7 Ma)は MIS60 までの長周期の寒冷化傾向から温暖化傾向に、SB-5(約1.3 Ma)は MIS39 までの温暖化傾向から寒冷化傾向への転換点に対応する。寒冷化傾向にある時期には研究地域のような沿岸部では海水準の低下から堆積空間が減少し、河川による侵食作用を強く受ける。海水準が上昇に転ずると、河川侵食によって形成された開析谷に堆積空間が生じるため、これを低海水準期堆積体(LST)に特徴的な河川システム、エスチュアリーシステムが埋積し、温暖化傾向にある時期には海水準上昇のために海進期堆積体(TST)や高海水準期堆積体(HST)に特徴的な海岸平野システムやデルタシステムが卓越する。研究地域における第3オーダー堆積シーケンスの形成は長周期の氷河性海水準変動と調和的である。

以上より、堆積盆を埋積した2つのデルタシステムは1.7 Ma までの寒冷化傾向においては高海水準期に形成され、海水準低下傾向にともなう堆積空間の減少によって前進した。この時期のデルタシステムは一方、1.7～1.3 Ma の海進期や高海水準期にはデルタシステムは後退し、海岸平野システムやエスチュアリーシステムが卓越した。再び1.3 Ma からの寒冷化傾向によって高海水準期から低海水準期にかけてデルタシステムは前進し、堆積盆の埋積を完了したと考えられる。

4. 引用文献

- 保柳康一・池津大輔・清水由花・大村亜希子, 2000, 新潟県東頸城丘陵北東部に分布する鮮新-更新統におけるデルタ・エスチュアリーシステムの復元とシーケンス層序. 地球科学, **54**, 393-404
- 風岡 修・立石雅昭・小林巖雄, 1986, 新潟県魚沼地域の魚沼層群の層序と層相. 地質学雑誌, **92**, 12, 829-853
- 黒川勝己, 1999, 新潟地域における七谷層～魚沼層群の火山灰層序. 石油技術協会誌, **64**, 1, 80-93
- 小林巖雄・立石雅昭, 1992, 新潟地域における新第三系の層序と新第三紀古地理. 地質学論集, **37**, 53-70
- 小林巖雄・立石雅昭・安井 賢・風岡 修・黒木勝己・油井 裕・渡辺其久男, 1986, 新潟積成盆地における西山・灰爪累層, 魚沼層群の層序と古環境. 地質学雑誌, **92**, 5, 975-990
- Lisiecki, L.E. and Raymo, M.E., 2005, A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*, **20**
- 宮下美智夫・三梨 昂・鈴木尉元・島田忠夫・影山邦夫・樋口茂生, 1972, 魚沼. 日本油田・ガス田図7, 地質説明書
- 佐藤時幸・亀尾浩司・三田 勲, 1999, 石灰質ナンノ化石による後期新生代地質年代の決定精度とテフラ層序. 地球科学, **53**, 265-381
- 高野 修, 1998, 新潟堆積盆における上部鮮新統～下部更新統のシーケンス層序-研究の現状と今後の課題-. 堆積学研究, **48**, 21-39
- 高野 修, 1995, 北部フォッサマグナ堆積盆浅海相前進ステージにおけるデルタ～陸棚システムと堆積シーケンス-東頸城地域鮮新統東川累層・奈良立累層の例-. 地質学論集, **45**, 170-188
- 魚沼丘陵団体研究グループ, 1983, 魚沼層群. 専報26, 地学団体研究会
- 卜部厚志・立石雅昭・風岡 修, 1995, 魚沼層群にみられる海成層の堆積サイクルと相対的海水準変動. 地質学雑誌, **45**, 140-153

長野市信州新町地域における北部フォッサマグナ
新第三系の堆積システムと貝化石の埋積モデル
Burial model of molluscan fossils with depositional systems
of Neogene strata in Northern Fossa Magna,
Shinshu-shinmachi, Nagano City, Central Japan

中島悠介・保柳康一（信州大・理学部）

Yusuke, Nakashima., Koichi, Hoyanagi. (Shinshu University)

連絡先：中島悠介 (14s4015h@shinshu-u.ac.jp)

1. はじめに

北部フォッサマグナ長野市信州新町地域周辺には背弧海盆を埋積する新第三系のうち小川層境ノ宮砂岩泥岩部層および柵層権田礫岩砂岩部層・高府泥岩部層が分布しており、また柵層においては海棲軟体動物化石を多産することから、古くから堆積作用や化石群集に関する研究が盛んに行われている。特に化石を扱った研究は田中（1973）による軟体動物化石の変遷の総括や、Yano（1989）による堆積環境の移り変わりなどが議論されている。これらの研究は群集解析から述べられている一方で、構成種一つ一つの産状から詳細に述べられているものはない。そこで、本研究では柵層から産出する化石について従来の群集解析と合わせて種解析を行い、堆積相との比較から堆積環境を復元した。さらに産状に基づく化石の埋積過程と海水準変動との関連について考察した。

2. 研究手法

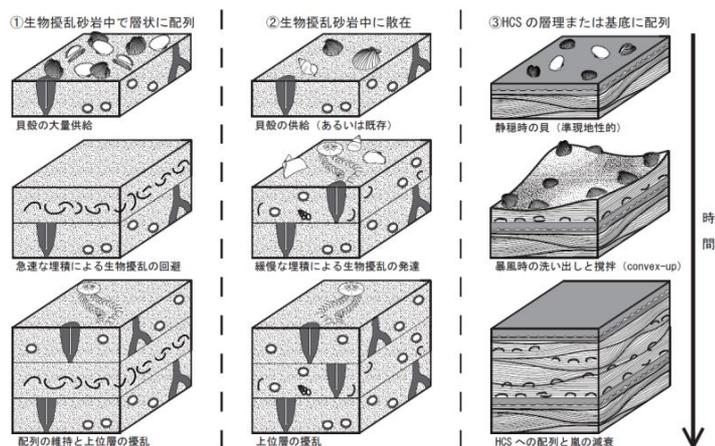
堆積相解析は地表踏査に基づき 1/2500 のルートマップを作成し、これを用いて堆積柱状図を描いた。そこから堆積岩の構造や粒度に基づいて岩相区分・堆積相区分を行い、堆積環境の推定を行った。一方、産出化石の研究は地表踏査中に確認した化石について種ごとの産状を記載し、さらに調査後に化石を多産する地域を選択してランダムサンプル法による採取を行った。持ち帰ったサンプルは室内でのクリーニングのちに集計・同定を行い、群集解析および構成種解析に用いた。

3. 結果と考察

小川層境ノ宮砂岩泥岩互層は泥岩および砂岩泥岩互層を主体とし、柵層権田礫岩砂岩部層は堆積構造に富む砂岩および礫岩から構成される。高府泥岩部層は泥岩および砂岩泥岩互層からなり、権田部層と指交関係にある。権田礫岩砂岩部層については岩相の変化から下部・中部・上部・最上部に区分できる。また、堆積相解析により調査地域の 17 の岩相の組み合わせから 10 の堆積相を認定した。種解析では産出した軟体動物化石 21 種について、各産地における現地性度に加え、奥谷（2001）と高安（1986）のデータに基づく現生種と絶滅種の生息深度・生活様式・底質から調査地域内での傾向を見出した。これによると化石は異地性のものが多く、腹足類は半内生～表生、二枚貝類は内生を示す。また、潮間帯～水深 30m および水深 50～60m に生息深度をもつ種が多いことが明らかになった。群集解析では各産地から一定量得られる現地性・準現地性種を優占種とした結果、*Cryptonatica* sp. を付随する準現地性の *Anadara amicula* 群集が識別され、現生の *Anadara* 属の生態に基づくと生息環境は潮間帯～正浅海帯の細砂～泥底を示す。

これらを踏まえ調査地域の堆積環境および堆積システムについて検討した。上方粗粒化のサクセッションや浅海域の礫質堆積物、スランプによる斜面の存在などの特徴がみられること、堆積構造の多くが波浪の影響を受けたものであることから、ファンデルタシステムとその縁辺の海岸平野システムの作用を受けていたと考えられる。このうち化石はデルタフロントスロープに相当する内側陸棚の堆積相から産出する。現地性および準現地性を示す貝化石の生息深度と内側陸棚の水深（約 20m~80m：西村ほか, 1995）を比較すると、両者は共通の範囲をもち、生息底質である砂~泥底も堆積相の岩質と類似している。さらに複数の現地性種がみられる産地においても生息深度に共通範囲をもち矛盾は認められない。このことから堆積相の示す環境と化石の生息深度は概ね一致することが明らかになった。

準現地性・異地性化石の産状と形成過程について考察した。産状は①生物擾乱砂岩中で層状に配列、②生物擾乱砂岩中に散在、③HCS 砂岩泥岩互層中で HCS に沿って配列、の 3 タイプがみられる。生物擾乱砂岩中での①および②の産状の違いは、化石の供給量と埋積速度の違いで生じたものと考えられ、③に関しては半内生の貝が洗い出され、暴風時の波の振動により convex-up の形態で HCS に沿って配列したと考えられる (図)。



図：貝化石の産状別埋積モデル

堆積システムと貝化石を合わせて海水準変動に伴う環境変化について考察した。小川層~榑田礫岩砂岩部層下部では海退によりプロデルタ縁辺からデルタフロントプラットフォーム縁辺に変化した。この時期の内側陸棚（デルタフロントスロープ）には *Serripes Groenlandicus* (Bruguière) や *Macoma calcarea* (Gmelin) が生息しており、異地性化石から潮間帯~正浅海帯には *Solen* sp. などが生息していたと考えられる。榑田部層中部では海進初期に波浪営力の増大による洗い出しによって異地性化石層が形成された。榑田部層上部になるとスランプやフォアセットの発達し、ファンデルタの影響が強まったことが示唆される。*Anadara amicula* 群集はこの時期に形成され、異地性化石から潮間帯には *Crassostrea gigas* (Thunberg) によるカキ礁が発達していたと考えられる。榑田部層最上部では化石は存在せず、ファンデルタの下で礫質堆積物により埋積が終了したと推測される。

4. 引用文献

- 西村瑞恵・渡辺大輔・保柳康一, 1995, 波浪卓越沿岸の堆積相—北部フォッサマグナ中期中新世の礫質堆積物から—。信州大学理学部紀要, 29, 71-77.
- 奥谷喬司, 2001, 日本近海産貝類図鑑。東海大学出版, 1173p.
- 高安克己, 1986, 山陰地方中部の中新世貝化石群集特性。瑞浪市化石博物館専報, 6, 155-169.
- 田中邦雄, 1973, 北部フォッサ・マグナ地域の軟体動物群の時代的変遷について。信州大学教養部紀要, 自然科学 7, 35-47.
- Yano, T., 1989, Late Cenozoic Geohistory in the Northern Fossa Magna Region, Central Japan. Jour. Sci. Hiroshima Univ., Sec. C, 9, 81-132.

埼玉県秩父盆地北縁における中新統の堆積環境解析 Analysis of sedimentary environment of the Miocene at the northern margin of the Chichibu Basin, central Japan

吉岡 拓実（立正大学）・北沢 俊幸（立正大学）

Takumi YOSHIOKA (Rissho University), Toshiyuki KITAZAWA (Rissho University)

連絡先：吉岡 拓実 (141w00082@rissho-univ.jp)

1. はじめに

埼玉県の秩父市、皆野町、小鹿野町、横瀬町にまたがる秩父盆地では、盆地全体の形成・発達過程に関する多くの研究がされてきた。特に盆地北縁地域については、高橋ほか(1989)や秩父盆地団体研究グループ (2009)などが地質年代や堆積環境を検討しており、新第三紀以降に盆地域の沈降に伴い海が浸入し、だんだんと深い海になったとされている。しかし地域ごとの細かい環境変化についてはよく分かっていないため、本研究では、秩父盆地北縁地域に分布する中新統を対象に、盆地発生期の詳細な堆積環境を明らかにすることを目的に堆積学的な検討を行った。

2. 秩父盆地の概略

秩父盆地は関東山地北東部に位置する東西約 14 km、南北約 12 km の四角形の盆地である。基盤岩として中・古生界の三波川帯・秩父帯北帯・山中部溝帯・秩父帯南帯・四万十帯が分布している。新第三系は上記の中・古生界に対し、盆地北縁で不整合関係、南縁や東縁で断層関係、西縁で一部断層、一部不整合関係で接している。

3. 研究手法

秩父盆地北縁地域において、主に 6 本の沢沿いでルートマップとルート柱状図を作成した。露頭観察により堆積相の区分を行い、堆積相の累重様式、随伴様式の解析を行った。これらを基に堆積環境の解釈、古環境の復元を行った。

4. 中新統の地質

地質調査の結果を以下に示す。秩父盆地北縁に分布する中新統秩父盆地層群として、下位より彦久保層群と小鹿野町層群を確認した。彦久保層群は下位より淘汰が悪い崖錐性の角礫岩からなる牛首層殿谷戸角礫岩部層（層厚 0～約 100 m）、主に細～粗粒のアルコース質砂岩からなる牛首層白沙砂岩部層（層厚約 50～170 m）、主に黒～灰色の粘土岩もしくはシルト岩からなる富田層（層厚約 70～110 m）で構成される。基盤岩を不整合で覆うのは場所によって異なるが、牛首層の殿谷戸角礫岩部層か白沙砂岩部層である。小鹿野町層群は、下位より主に灰色で細粒の凝灰質砂岩からなる子ノ神層（層厚約 30～120 m）、灰色の泥岩を主とした砂岩泥岩互層の宮戸層で構成される。

5. 堆積相区分

露頭の観察から、中新統は堆積時の環境条件を反映していると考えられる 22 個の堆積相に区分された。それらは崖錐組相(TG)、網状流河川組相(BS)、ベイヘッドデルタ組相(BD)、内湾組相(BA)、前浜組相(FS)、外浜組相(SH)、陸棚組相(SL)、海底扇状地組相(SF)の 8 個の堆積組相にまとめられた。

6. 大久保入沢の谷地形と内湾

牛首層の殿谷戸角礫岩部層は、礫支持で淘汰が悪く、同様に基質も淘汰が悪い。また礫種も基盤由来のチャートであることから、近くの基盤岩の山からの崖錐性の堆積物と判断される。研究地域中央部の大久保入沢ルートは、周辺と比べ殿谷戸角礫岩部層とその上位の白沙砂岩部層が厚いことから、当時ここに基盤岩の低まりである谷地形が存在したと推定される。崖錐性の角礫が谷底に堆積し、その層中にチャンネル構造や亜円礫の級化構造が見られることや、河川成と思われる平行葉理を持つ砂岩層がはさまることから、網状流河川の堆積環境が考えられる。

また白沙砂岩部層は大久保入沢ルートでのみ泥岩を多くはさみ、下位から河川下流域の泥岩、ベイヘッドデルタの砂岩、内湾の泥岩、HCS が発達する海成の砂岩が累重していると解釈される。すなわち海進により環境が河川から内湾へと変化し、外洋へ移り変わった。これ以外のルートでは白沙砂岩部層は薄く、基盤岩と不整合で接する（殿谷戸角礫岩部層を欠く）こともあり、湾のまわりの海岸は基盤岩が露出する岩石海岸であったと解釈される。その後の海面上昇に伴い、基盤岩の谷地形は白沙砂岩部層によって埋め立てられ平坦な海底地形に変化したと考えられる。

7. 中新統全体の環境変化

秩父盆地層群堆積初期である牛首層殿谷戸角礫岩部層堆積時には、大久保入沢では基盤の山に囲まれた谷地形で、網状流河川があった。その後海進が進み、低地の河川の環境に変わった。牛首層白沙砂岩部層堆積初期には、大久保入沢ルートでは内湾の環境だが、海進が進むと他のルート同様前浜から外浜、内側陸棚の環境になっていった。富田層堆積時には、より深い場所に堆積するシルト～泥が見られることから外側陸棚の環境となった。子ノ神層堆積時には、基底部に海進ラグ堆積物と解釈される円礫岩が見られることから、隆起または海水準低下で外浜以浅の環境になるまで海退し、その後の再びの海進によって外浜侵食が起こったと解釈される。その上位には HCS が見られることから、内側陸棚周辺の環境になるまで海進した。宮戸層堆積時には、下位の砂岩との互層から次第に泥岩のみになることから、外側陸棚の環境に変化した。その上位では、タービダイト砂岩と遠洋性の泥岩の互層が見られことから、海底扇状地の環境まで深くなった。

文献

- 秩父盆地団体研究グループ, 2009. 秩父堆積盆地の発生過程の研究—盆地北～北東縁における解析—. 地球科学 **63**, 151-166.
- 高橋雅紀・長濱裕幸・田中裕一郎, 1989. 石灰質ナンノ化石からみた秩父盆地新第三系最下部の地質年代. 化石 **46**, 516-521.

島根県出雲市に分布する大森層の特徴とその空間変化

Characteristics of the Miocene Omori Formation, distributed in Izumo, Shimane Prefecture and its spatial variation

松澤ひかり(島根大学)・酒井哲弥(島根大学)
Matsuzawa, H. and Sakai, T. (Department of Geoscience, Shimane University)

連絡先: 松澤ひかり (shimao.matsu312@gmail.com)

1. はじめに

島根県東部に分布する中部中新統大森層は 15~14Ma 頃の地層で、引張場にあった西南日本・日本海側がフィリピン海プレートの沈み込みに伴って圧縮場へと変化する時期の地層である。このようなテクトニックな背景が堆積盆の発達や地層形成に与えていた影響は、これまで評価されていない。本研究対象である出雲市湖陵町周辺と出雲市多伎町周辺の大森層は、それぞれ南北方向に伸びる盆地と東西方向に伸びる盆地を埋める地層である。南北方向に伸びる盆地は湾入部と呼ばれ、全体的に緩やかな盆状構造をなす。湾入部の一部に西南日本が時計回りに回転する前~回転中の岩石が確認されていることから、回転前後にできた盆地であると考えられている。一方で東西方向に伸びる盆地は突出部と呼ばれ、一般的に北方への同斜構造をなす。ここでは、2つのタイプの盆地を埋める大森層の特徴を具体的に示し、比較検討する。

2. 結果と考察

大森層は久利層の泥岩、流紋岩質凝灰岩を覆い、その上位に布志名層の泥質砂岩が重なる。大森層の主要な岩相は下位から安山岩、礫岩、砂岩である。突出部の地層が分布する多伎町周辺の大森層には、安山岩に塊状のものと破碎を受けたものが認められた。破碎を受けたものの一部はハイアロクラスタイトの特徴を示すことから、安山岩の一部は水中で噴出したものと判断される。礫岩を構成する礫はよく円磨されている。礫岩には小規模なスランプスカーを埋める崩落の堆積物、土石流堆積物やタービダイトが見られる。礫岩はファンデルタスロープの堆積物と解釈される。その上位に重なる礫混じり砂岩にはハンモック状斜交層理やトラフ型斜交層理が観察された。これは外浜またはファンデルタフロントの堆積物と解釈される。一方で、湾入部の地層が露出する湖陵町周辺の大森層には、大部分がハイアロクラスタイトの特徴を示す安山岩、砂岩にはハンモック状斜交層理やトラフ型斜交層理の見られる、外浜から内側陸棚の堆積物、砂岩層の基底には河川成とみられる堆積物が確認された。

多伎町と湖陵町周辺の大森層には共通して、砂岩または礫岩の下位に安山岩を削り混む谷地形が認められた。両地域に共通してみられる安山岩のトップから布志名層の基底までの層厚を比較すると、谷地形のない地域と比べて、多伎町周辺の谷地形を埋める地層の層厚は、約 1.5 倍、湖陵町周辺の谷地形を埋める地層の層厚は約 2 倍となり、湖陵町周辺ではより厚く地層が堆積している。この層厚の差は、湾入部の外側と内側の隆起量や沈降量の差を反映している可能性があり、湾入部では応力場が変化した後であっても継続して、相対的に大きな沈降が継続した可能性が示された。

茨城県霞ヶ浦における堆積速度の相違解決に向けた試案

A tentative idea for solution of contradictory values of sedimentation rate in Lake Kasumigaura, Ibaragi, Japan

井内美郎（早稲田大学）・天野敦子（産総研）・

木下愛海（元早稲田大学）・宮村笑子（元早稲田大学）

Yoshio Inouchi (Waseda University), Atsuko Amano (AIST),

Manami Kinoshita (Waseda University), Emiko Miyamura (Waseda University)

連絡先：井内美郎 (yinouchi@waseda.jp)

1. はじめに

茨城県南部に位置する霞ヶ浦は日本第2位の面積を擁する湖沼であり、その水資源は様々な人間活動に利用され、湖水環境の変化に対しては周辺住民を中心として関心が高い。その中で湖底堆積物の果たす役割（底質からの溶出）も無視できないとされ、湖底堆積物の浚渫工事も1975年から2010年までの35年間実施されたほど重要視されてきた。今回扱う湖底堆積物の堆積速度に関する問題は、湖の物質収支を論じる際の非常に重要な指標であるにもかかわらず、問題点が解決されていないと考える。具体的には鉛同位体（Pb-210）を用いて求められた堆積速度と浅間Aテフラの層準を基にして得られた堆積速度の不一致である。今回は、この問題の所在と現在考えている解決策について提案する。なお、鉛同位体による堆積速度算定は、愛媛大学沿岸環境科学研究センターの加氏に依頼した。

2. 堆積速度不一致の現状

霞ヶ浦全域の堆積速度について、我々（井内と斎藤文紀氏らによる）は1980年代に1kmメッシュで柱状採泥を行い、湖底表層約2mの堆積物中に3~4枚のテフラを確認し、霞ヶ浦全域の堆積速度を明らかにした。具体的には1783年降下の浅間Aテフラ（以下、浅間A）、1707年降下の富士宝永テフラ（以下、富士宝永）そして1108年降下の浅間Bテフラ（および5世紀末とされる榛名FP）である。その結果、最近約200年間の平均堆積速度は約2mm/年と推定された。その後、国立環境研究所などで鉛同位体を用いた堆積速度推定が行われ、約1cm/年という値が述べられるようになった。類似の堆積速度に関する問題は、霞ヶ浦の東に位置する北浦でも生じ、茨城大学のメンバーによって約1cm/年の値が報告されている。井内は昨年日本地質学会でこの問題を論じ、もし鉛同位体で求められた値が1960年代の高度経済成長期以降に生じた環境変化を契機とするなら、浅間A降下時からその環境変化開始時までの堆積速度が理論上マイナスになる場合もあるという矛盾点を示した。

3. 試料採取および分析結果

今回分析に供した試料は、2014年に霞ヶ浦湖心域の水質監視塔北方で採取したものである。押し込み式柱状採泥器を用いて採取した約70cm長の試料について、粒度分析および全有機炭素・全窒素・全硫黄濃度測定を行った。分析は1cm間隔で実施した（産総研で行った粒度分析は5mm間隔で実施した）。また、重力式コアラで採取した試料を用いて、鉛同位体法による堆積速度も測定した。

湖底堆積物の中央粒径値は4~8 μ mで変化し、いくつかの極大値を示すが、浅間Aの層準では60 μ

mを超える値を示す。全有機炭素濃度は浅間 A の層準直上で急激な濃度上昇を示し、3%前後から 8% 前後へと変化し、表層部 20 cm で緩やかにさらに高濃度となっている。全硫黄濃度は下部から富士宝永の層準までいくつかの極大値を示しながら低下する。その後、一旦上昇を示したのち浅間 A の層準に向かって濃度低下する。その後の変化は緩やかであるが、深度約 25 cm で極大値を示したのち表層に向かって低下する。なお、中央粒径値に関しては産総研で行った結果と早稲田大学で行った結果を平均して表示した。

4. 考察

粒度分析の結果と全有機炭素濃度測定の結果を比較すると、ほぼ似た層準で粒度の極大と全有機炭素濃度の極小を示すことが明らかになった。その特徴は浅間 A 以降の層準で顕著であるが、富士宝永以深の層準では全有機炭素濃度の変化が顕著でないため、中央粒径値の極大値に注目した。

中央粒径値で極大を示す試料については、44 μm より粗い粒子について実体顕微鏡を使用して観察を行った結果、鉱物粒子や軽石から成っていること、および少ないながらも 100 μm を超える粒子の存在を確認した。霞ヶ浦は平均水深 4m 程度の「浅い」湖沼ではあるが、100 μm を超える粒子が通常の波浪によって運ばれることは考えにくい。このことからこれらの層準は通常の霞ヶ浦の堆積作用では運ばれないイベント堆積物であると考えられる。

すでに述べたように、霞ヶ浦湖底表層部に確認されているテフラは浅間 A および富士宝永であるが、今回の調査の結果、それら以外に表層下 12~13cm と 59~60 cm でテフラの可能性が高い層準がみられた。これら以外のイベント層について、歴史的洪水イベントや歴史的津波イベントとの対応を浅間 A 層準を基準とした重量堆積速度を基に検討した。その結果、残る 7 層準については歴史的津波イベントと対応する可能性が高いと判断された。また、1 cm/年という鉛堆積速度をもとに重量堆積速度を求め、それをもとに歴史的イベントとの対応を検討したが、良い対応は得られなかった。

以上のことから推定されることは、浅間 A 以降の霞ヶ浦の堆積速度はほぼ一定であったこと、また、堆積速度は浅間 A を基準に求められる堆積速度にほぼ等しいこととなった。

5. 解決に向けた試案

では、「なぜ鉛同位体を用いて求められた堆積速度とテフラ層準を基準として求められた堆積速度の値が異なるか」であるが、金井ほか(2002)は「海洋では鉛-210 の親核種である Ra-226 濃度が河川水よりも高いので鉛-210 も多く存在することになり、その漸移域では海水の寄与率に応じて変化し、・・・」と述べている。霞ヶ浦の最近数百年間の歴史は、まさに海水環境から汽水環境、さらに淡水環境へと変遷した歴史であり、そのことは湖底堆積物の全硫黄濃度の変化にも示されている。霞ヶ浦における淡水化の原因は、潮汐作用に伴う海水と湖水の交換量の漸減であり、これに伴って鉛-210 のフラックスが漸減したとすると、堆積速度を示すとされる深度一過剰鉛-210 濃度グラフ上の傾きは通常より緩やかになり、その逆数である堆積速度が見かけ上大きくなったことも考えられる。

6. まとめ

今回は霞ヶ浦の最近約 100 年間の堆積速度の値が一致しない原因について検討し、鉛-210 のフラックス減少がその原因である可能性を指摘した。堆積速度が異なる原因はほかにもあるかもしれない。この問題に関しては、今後専門家からの検討を期待したい。

房総半島東部沿岸域 20 万分の 1 海底地質図

1:200,000 Marine geological map along the coastal zone around eastern part of Boso Peninsula

古山精史朗・佐藤智之・荒井晃作（産業技術総合研究所）

Seishiro Furuyama・Tomoyuki Sato・Kosaku Arai (AIST)

連絡先：古山精史朗 (holocene2007.furuyama@aist.go.jp)

1. はじめに

産業技術総合研究所では、陸・海域地質情報のシームレス化を目的として、沿岸域の海底地質図作成を 2008 年から行ってきた。本発表では、高分解能反射法音波探査による調査に基づいて作成した「房総半島東部沿岸域 20 万分の 1 海底地質図」の概要を報告する。本地質図の対象海域は北緯 34°56′～35°42′，東経 140°01′～141°11′の陸棚上である。本地質図では海底の地形と地質の特徴に基づき、鴨川海底谷を境に北側の九十九里沖と南側の鴨川沖に対象海域を区分した。

2. 層序

九十九里沖では、音響基盤を覆う堆積層を下位から下部～中部更新統の九十九里沖層群，上部更新統の蓮沼沖層群及び片貝沖層群に音響的層相に基づき層序区分した。九十九里沖層群は発達した成層構造が背斜や断層により著しく変形した内部構造を示す。蓮沼層群及び片貝層群もまた成層構造が発達した地層であるが、ほとんど変形は受けていない。一方、鴨川沖の音響層序は下位から、古第三系～下部第四系の鴨川沖層群，上部更新統の江見沖層群に区分した。鴨川沖層群は、鴨川市江見沖以北では内部構造をほとんど確認できないが、それより南側では成層構造が変形した様子を確認できる。江見沖層群は成層した地層が背斜や断層により変形した内部構造を示す。なおこれらの地層は、調査海域のほぼ全域で完新統の H 層に覆われる。

3. 地質構造

九十九里沖における地質構造として、旭市から茂原市の沖合にかけて、おおよそ北北東-南南西に延びる背斜構造が九十九里沖層群を変形させる。この背斜構造に従って九十九里沖層群は概ね北西または南東に傾斜する。犬吠埼の沖合から片貝海底谷以北では、基盤岩が浅部まで隆起しており、これらを北部九十九里沖隆起帯とした。また九十九里沖層群中には南北または北北東-南南西に延びる多数の正断層が発達する。これらの断層では東落ちが卓越するが、西落ちの正断層が卓越する蓮沼の沖合ではグラーベンが形成される。九十九里沖層群中で認められるこうした特徴は、上総層群に発達する正断層群と一致していることから、上総層群の正断層群の海域延長と考えられる。

堆積物供給量の違いによる最大海氾濫面の年代差 -首都圏沖積層の例-

Difference in timing of maximum flooding in two adjacent lowlands in the Tokyo area caused by the difference in sediment supply rate

小松原純子（産総研）・石原与四郎（福岡大）・中島 礼（産総研）・内田昌男（国環研）

Junko Komatsubara (GSJ, AIST), Yoshiro Ishihara (Fukuoka Univ.), Rei Nakashima (GSJ, AIST),
Masao Uchida (NIES)

連絡先：小松原純子 (j.komatsubara@aist.go.jp)

2002年から2010年にかけて産総研で行われた都市地質プロジェクトでは、首都圏の沖積層の標準層序確立のため、これまでに20本以上のボーリングコアを解析してきた（石原ほか，2004ab；宮地ほか，2004；田辺ほか，2006ab，2010；小松原ほか2009，2010ab，2011；中西ほか，2011ab）。東京から埼玉にかけての沖積低地は大宮台地を挟んで東側の中川沿いの中川低地と西側の荒川沿いの荒川低地に分かれている。都市地質プロジェクトで得られたデータを元に、中川低地とさらに下流の東京低地に分布する沖積層についてはTanabe et al. (2015)によってシーケンス層序学的解釈が行われ、最終氷期最盛期以降の海水準変動に対応した堆積システムの変遷が明らかにされた。同様に荒川低地の沖積層についてはKomatsubara et al. (2017)によって堆積環境の変遷が明らかにされ、海水準変動への対応が中川低地と異なることが明らかとなった。

中川低地および荒川低地下の沖積層はどちらも完新世のいわゆる縄文海進時にデルタが前進して形成された。このふたつの低地は下流で東京低地に合流しているため、海水準変動の影響は共通しているが、沖積層の岩相（土質）と海水準変動に対する海岸線の挙動が異なる。中川低地の沖積層は内湾からデルタの環境で形成された軟弱で泥質堆積物が卓越する。それに対し荒川低地では河川堆積物が卓越し、全体に砂質である。東京湾の相対的海水準は7000年前ごろピークを迎えるが（遠藤ほか，1989）、中川低地ではちょうどその頃海岸線がもっとも陸側に達していた（Tanabe et al., 2015）。一方、荒川低地では8000年前を境にデルタが海側に前進を始める（Komatsubara et al., 2017）。両者の最大海氾濫面は形成年代に1000-2000年程度の大きな違いがある。

このような岩相の違いと最大海氾濫面の年代差は、当時の堆積物供給量の違いで説明できる。現在利根川は江戸時代の河川改修の結果として銚子付近から太平洋に直接注いでいるが、それ以前は中川低地を経由して東京湾に注いでいた（埼玉県，1987）。さらにおよそ5000年前以前は（菊地，1979，1981；遠藤ほか，1987，1988；諸説あり）、利根川は荒川低地を流れ、北関東の第四紀火山から大量の火山砕屑物を荒川低地に供給していた。利根川が供給した世界的に見ても大量の堆積物によって、中川低地と荒川低地の沖積層の岩相の違いおよび最大海氾濫面の年代差が生まれたと考えられる。

石原与四郎ほか，2004a, 地質調査研究報告，55(7/8)，183-200. 石原与四郎ほか，2004b, 地質調査研究報告，55(7/8)，221-235. 宮地良典ほか，2004, 地質調査研究報告，55(7/8)，201-219. 田辺 晋ほか，2006, 地質調査研究報告，57(9/10)，289-307. 田辺 晋ほか，2010b, 地質調査研究報告，61(11/12)，453-463. 小松原純子・木村克己，2011，堆積学研究，70(2)，93-103. 小松原純子ほか，2010a，堆積学研究，69(1)，3-15. 小松原純子ほか，2009a，堆積学研究，68(1)，13-25. 小松原純子ほか，2010b，堆積学研究，69(2)，73-84. 中西利典ほか，2011a，地質調査研究報告，62(1/2)，3-46. 中西利典ほか，2011b，地質調査研究報告，62(1/2)，47-84. Tanabe, S. et al., 2015, *Sedimentology*, 62, 1837-1872. Komatsubara, J. et al., 2017, *Quaternary International*, 455, 56-69. 埼玉県，1987，荒川総合調査報告書1自然編。埼玉県，722p. 菊地隆男，1979，第四紀研究，17(4)，215-221. 菊地隆男，1981，アーバンクボタ，no. 19，2-5. 遠藤邦彦ほか，1988，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，no. 23，37-48. 遠藤邦彦ほか，1987，日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要，no. 22，47-56.

風成砂丘から探る超大陸パンゲア時代の大気循環：火星やタイタンとの類似性 Reconstruction of the atmospheric circulation pattern during the period of Pangaea Supercontinent based on eolian dune records: Analogy with Mars and Titan.

庄崎弘基（高知大）・長谷川精（高知大）

Hiroki Shozaki (Kochi Univ.), Hitoshi Hasegawa (Kochi Univ.)

連絡先：庄崎弘基 (b153k109@s.kochi-u.ac.jp)

風成砂丘は、地球以外の惑星(火星や金星)や衛星(タイタン)の表層にも普遍的に見られ、その分布や形態・配列方向は、地表風系や大気循環に関する重要な情報を提供する(長谷川, 2012; Taniguchi et al., 2012). また風成砂丘の地層(風成層)を解析することで、過去の海陸分布が異なる時代における大気循環パターンを復元できる可能性もある。本研究では、超大陸パンゲア時代(ペルム紀～ジュラ紀前期)の風成層記録を調査・解析し、現在とはどのように大気循環パターンが異なっているかを復元した。さらに、火星やタイタンに見られる現在や過去の風成砂丘の分布・形態・配列方向とも比較し、特定の惑星・衛星に関わらず、海陸分布と大気循環パターンに関係性が見られるかどうかを考察した。

現在の地球では、砂漠環境はハドレー循環の下降域に当たる南北30度付近の亜熱帯高圧帯下に分布し、砂丘の配列方向は高緯度側の偏西風と低緯度側の貿易風の風系を大局的に反映している。また赤道域には熱帯収束帯(ITCZ)により降雨量が多いため砂漠環境は発達しない。一方で、超大陸パンゲア時代には赤道域まで砂漠環境が広がっていたとする地質証拠が報告されている(Peterson, 1988; Ziegler et al., 2003). また風成層記録から復元された卓越風系(Loope et al., 2004)と気候モデルにより再現された風系パターン(Rowe et al., 2007)も整合的ではなく、パンゲア超大陸時代の気候モデルの実態は大きな謎であった。そこで本研究では、2017年8月にアメリカ中西部に広がるペルム紀～ジュラ紀の風成層(e.g. Navajo 砂岩, Cedar Mesa 砂岩)を調査し、風成砂丘の形態や配列方向から推定される風系パターンを最新の古地磁気データに基づく古緯度推定と併せて詳細に復元することで、パンゲア超大陸時代の気候モデルの解明を試みた。

ジュラ紀前期(190-176Ma)の風成層(Navajo 砂岩)を調査した結果、北東風・北西風・南西風の3方向の風系により形成された縦列砂丘の発達を示していた。特に北部(古緯度で北緯25～30度)で南西風および北西風が、そして南部(北緯20～25度)において北東風および北西風というバイモーダルな風系が卓越する傾向が見られた。本研究で復元された古風系は、気候モデルの結果(Rowe et al., 2007)と比較すると、冬季に卓越する北東風と、夏季に卓越する南西風によって、大局的に南東方向に移動する縦列砂丘が形成されたと考えると整合的である。すなわち、Loope et al. (2004)らが推察したようなモンスーン循環により強化される熱帯偏西風を考慮する必要はなく、当時の大気循環は超大陸の存在により季節毎もしくは軌道要素変動スケールでの風系変化を反映すると考えることで矛盾なく説明できることがわかった。

次にペルム紀前期(313-275Ma)の風成層(Cedar Mesa 砂岩)の結果は、赤道域に北東風・北西風・南西風の3方向の風系により形成された縦列砂丘の発達を示した。この結果を気候モデルの結果(Peyser and Poulsen, 2008)と比較すると、ペルム紀前期以降の温暖化によるゴンドワナ氷床の退氷と、それに伴うハドレー循環の弱体化および南方移動による風系変化と整合的であり、温暖化によってパンゲア超大陸の赤道域まで

砂漠が広がる可能性を指摘した Poulsen et al. (2007)の気候モデルの結果を支持する結果であった。パンゲア超大陸時代に赤道域まで砂漠が発達する要因については未だ不明な点もあるが、季節毎に ITCZ が南北に大きく移動し、卓越風系も南北に逆転することで、赤道付近に縦列砂丘が形成されたと考えられる。

このパンゲア時代に赤道域や低緯度域で縦列砂丘が発達することは、タイタン表層に現在見られる縦列砂丘の形成モデルを考えると類似の点が多い。タイタンでは赤道～低緯度域に縦列砂丘が発達しており、北風・西風・南風の3方向の風系により形成されたことを示す (Lucas et al., 2014; Carnay et al., 2015)。気候モデルに基づくタイタンの季節毎の風系と比較すると、縦列砂丘は季節毎に南北に反転する風系と、春分秋分のみ強い西風によって形成されたと考えられる (Tokano, 2010)。季節ごとに風系が南北に大きく逆転することは、現在の火星表層の風系にも見られる特徴である。現在の火星には表層に液体の水が存在しないため、季節毎に大きく変動する北半球-南半球間の温度勾配の違いによって風系が大きく逆転する。火星の風成砂丘の配列方向をまとめた Gardin et al. (2012)の結果を見ると、火星の低緯度～赤道域には北西風・北東風・南西風・南東風の風系が見られ、あまりはっきりしないが、南北双方向の風により配列したと矛盾しない。

以上をまとめると、現在の地球とは異なり、パンゲア時代には赤道をまたぐ超大陸の存在により、季節毎にハドレー循環が赤道をまたいで南北に反転する大気循環系が卓越していたと考えられる。また、現在の火星のような海のない場合では季節変化をより強く反映した赤道非対称の大気循環パターンが卓越している。さらに、高緯度域に湖が点在するタイタンでも火星ほど季節変化は大きくないもの同様な赤道非対称な大気循環パターンが発達している。このように風成砂丘記録と気候モデル結果を比較検討することで、惑星・衛星に関わらず、海-陸比率に伴って季節毎の南北熱コントラストが変わり、大気子午面循環パターンが変わる(赤道をまたいだ南北非対称なハドレー循環が卓越するようになる)という関係性を見出すことが出来た。

参考文献:

- Charnay, B., et al. (2015) Methane storms as a driver of Titan's dune orientation, *Nature Geoscience*, 8, 362-366.
- Gardin, E., et al. (2012) Dune fields on Mars: Recorders of a climate change?, *Planet. Space Science*, 60, 314-321.
- 長谷川精 (2012) 風成砂丘から見る火星およびタイタンの大気循環システム, *地質学雑誌*, 118, 632-649.
- Loope, D. B., et al. (2004) Tropical wasterlies over Pangaean sand seas, *Sedimentology*, 51, 315-322.
- Lucas, A., et al. (2014) Growth mechanisms and dune orientation on Titan, *Geophysical Research Letters*, 10.1002/2014GL060971, 6093-6100.
- Peterson, F. (1988) Pennsylvanian to Jurassic eolian transportation systems in the western United States, *Sedimentary Geology*, 56, 207-260.
- Peyser, C.E., Poulsen, C.J. (2008) Controls on Permo-Carboniferous precipitation over tropical Pangaean: A GCM sensitivity study, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, palaeoecology*, 268, 181-192.
- Poulsen, C.J. (2007) Late Paleozoic tropical response to Gondwanan deglaciation, *Geology*, 35, 771-774.
- Rowe, C. M., et al. (2007) Inconsistencies Between Pangaean Reconstructions and Basic Climate Controls, *Science*, 318, 1284-1286.
- Taniguchi, K., et al. (2012) The effect of periodic changes in wind direction on the deformation and morphology of isolated sand dunes based on flume experiments and field data from the Western Sahara, *Geomorphology*, 179, 286-299.
- Tokano, T. (2010) Relevance of fast westerlies at equinox for the eastward elongation of Titan's dunes, *Aeolian Research*, 2, 113-127.
- Ziegler, A.M., et al. (2003) Tracing the tropics across land and sea: Permian to present, *Lethaia*, 36, 227-254.

紀伊半島四万十累帯「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）

Zircon U-Pb Ages from sandstones included in "Sarashikubi beds" in the Shimanto Superbelt, Kii Peninsula, southwestern Japan (a preliminary report)

別所孝範（大阪市立大学）・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.), 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

和歌山県串本町の田子海岸の波蝕台には泥岩中の角礫が突出した特異な景観を示す含角礫泥岩層「田子含角礫泥岩層」通称「サラシ首層」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という考え（久富ほか，1980，紀州四万十帯団体研究グループ，2012，中屋・中屋，2015, 2016）と泥ダイアピル（潮崎・宮田，2012, 2015, Shiozaki, S and Miyata, Y, 2016，潮崎・原田，宮田，2016）という考えがあり，未だ決着をみていない。今回，「サラシ首層」を構成する砂岩に注目し，その碎屑性ジルコンU-Pb年代を検討し，若干の考察を行ったので予報として報告する。

地質概説

紀伊半島南部には四万十累帯のうち，古第三系牟婁付加シーケンス（牟婁層群：中期始新世～前期漸新世）が広く分布している。問題の「サラシ首層」は田子海岸の波蝕台に東西約1.5Kmにわたり露出している。東より西へ，牟婁付加シーケンスの田並層（古第三紀前期漸新世；スランピング構造が顕著な砂岩泥岩互層）→大ザラシ（塊状無層理の含角礫泥岩層）→富山礫岩（粗粒砂岩層と含角礫泥岩層および礫岩層の互層，砂岩層にはハンモック状斜交層理がよく発達）→小ザラシ（成層した含角礫泥岩層）→成層泥岩層（前期中新世の貝化石を産出，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）の順に連続する。野外ではこれらの地層は西側上位で整合に重なっているように見える。以上のうち，大ザラシ，富山礫岩，小ザラシが通称「サラシ首層」と名付けられている。

大ザラシの構成物

この地層は塊状無層理で，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。また，一部には厚さ2.6mの成層礫岩砂岩層がみられる。この地層の一部は薄層細礫層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ある。大ザラシの砂岩礫には固結度の大きいもの，葉理がロール状に変化したもの，さらに小角礫に分解し間隙を泥岩が充填しているものも認められる。これらはそれぞれ，久富ほか(1980)で記載された角礫型，流動型，分解型に相当すると思われる。

砂岩試料・方法・結果

U-Pb年代測定に供した試料は①大ザラシ中の中粒砂岩角礫，②大ザラシに挟在する成層礫岩砂岩層の砂岩③富山礫岩中の中粒砂岩層の三試料である。U-Pb年代測定は東京大学平田研究室所有のLA-ICP-MSシステムを用いて行った。

① 大ザラシ中の中粒砂岩角礫(071009-3)

この試料はジルコン結晶に富み，測定された60粒子のうち，コンコード年代粒子は56粒子（93%）と高く，安定した結果が得られた。その年代は50Ma台から1800Ma台まで広範囲に及ぶが最も若い粒子の集団（最若粒子集団）3粒子の加重平均 58.8 ± 0.4 Maを年代値とした。ただし，粒子年代 56.9 ± 0.6 Maが最若粒子となり，より若い粒子集団の存在の可能性もある。

② 大ザラシ中の成層礫岩砂岩層の砂岩(071009-8)

ジルコン結晶を豊富に含み，測定された60粒子のうち，コンコード年代粒子は55粒子（91%）と高く，安定した結果が得られた。その年代は22Ma台から1900Ma台まで広範囲に拡散するが最若粒子集団2粒子の加重平均 26.8 ± 0.3 Maをもって年代値とした。

③ 富山礫岩の中粒砂岩(071009-9)

ジルコン結晶含有量は①や②に比べて10分の1以下であるが年代測定には十分な量であった。測定された60粒子のうち、コンコードント年代粒子は49粒子(81%)と①や②に比べて低い。60Ma台から2500Ma台まで広範囲に広がるが、 61.8 ± 0.4 Maが単独で最若粒子となり、他には最若粒子集団の形成は認められないので、これをもって年代値とした。

若干の考察

以上の測定結果をまとめると、①大ザラシの中粒砂岩角礫(071009-3)が 58.8 ± 0.4 Maで後期暁新世サネティアン、②大ザラシ中の成層礫岩砂岩層の砂岩(071009-8)は26.8Maで後期漸新世チャッティアン、そして③富山礫岩の中粒砂岩(071009-9)は61.8Maで前期暁新世ダニアンとなる。

最も若い大ザラシ中の成層礫岩砂岩層の砂岩のU-Pb年代26.8Ma(後期漸新世チャッティアン)が堆積年代に近似されると仮定すると、これは大ザラシを作った海底土石流が堆積した年代か、それよりも若い年代の可能性もある。この東側に分布する田並川層の放散虫年代が前期漸新世であることも調和的である。しかしながら、先に述べたようにこの地層の一部は薄層細礫層と砂岩層が平行層理を形成し、礫岩中の礫は扁平率の高い円礫であることからこの層の形成場は前浜である可能性がある。

大ザラシの中粒砂岩角礫が示す年代(58.8Ma;後期暁新世サネティアン)は音無川付加シーケンスの丹生ノ川層の凝灰質砂岩の示すU-Pb年代63.0Ma前期暁新世ダニアン(常盤ほか,2016)に近い。また、丹生ノ川層最上部の丹生ノ川礫岩層中の泥岩礫の放散虫年代が中〜後期暁新世セランディアンないしサネティアン(紀州四万十帯団体研究グループ,2017)とも近い。これらの点からこの砂岩角礫は音無川付加シーケンスの砂岩に由来した可能性がある。

富山礫岩の中粒砂岩が示す年代は61.8Ma前期暁新世ダニアンで、年代的には丹生ノ川層の凝灰質砂岩63.0Maに近い。しかしながら、先に述べたように、この礫岩層中の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、丹生ノ川層のようなタービダイト砂岩ではなく、外浜下部から内側陸棚で形成された砂岩と推定される。

「サラシ首層」には大小様々な礫や地層が含まれるが、今回の検討はわずか3試料に過ぎない。今後、他の礫の岩石学的な検討と合わせて礫内部の堆積構造の観察も行い、この地層の形成過程の解明に努めたい。

謝辞:本研究には平成29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

- 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」—オーストロームの一形式—. 地球科学, 34, 73-91.
- 紀州四万十帯団体研究グループ,2012, 牟婁層群中に発達する含角礫泥岩・砂岩の形成過程—「サラシ首層」の再検討. 地団研専報, 59, 139-149.
- 紀州四万十帯団体研究グループ,2017, 紀伊半島四万十帯「丹生ノ川層」の泥岩礫から発見された暁新世放散虫化石とその意義—紀伊半島四万十帯の研究(その16)—. 地球科学, 71, 167-184.
- 中屋志津男・中屋志郎,2015, 紀伊半島南部四万十帯の海底地すべり—土石流堆積物. 日本地質学会第122年学術大会講演要旨集119.
- 中屋志津男・中屋志郎,2016, 紀伊半島南部四万十帯の海底地すべりの構造. 日本地質学会第123年学術大会講演要旨集127.
- 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ケンスの変形構造. 日本地質学会第124年学術大会講演要旨集112.
- 潮崎・宮田,2012, 和歌山県四万十帯サラシ首層の層序と構造—泥火山可能性—. 日本地質学会第119年学術大会講演要旨集255.
- 潮崎・宮田,2015, 礫ファブリックからみた含礫泥岩メランジュの形成様式. 日本地質学会第122年学術大会講演要旨集200.
- Shiozaki,S and Miyata, Y,2016, Diapiric melange of the Shimanto belt in south Kii peninsula. JpGU. SGL40-P05.
- 潮崎・原田・宮田,2016, サラシ首層周辺の地質構造・層序および岩石物性. 日本地質学会第123年学術大会講演要旨集254.
- 常盤哲也・竹内 誠・志村侑亮・太田明里・山本好鋼志,2016, 紀伊半島に分布する四万十帯凝灰質砂岩の碎屑性ジルコンのU-Pb年代とその意義. 地質雑, 122, 625-635.

河床縦断形の逆解析を用いた東北日本弧の地殻隆起速度の時空変動復元
Reconstruction of temporal and spatial variation in crustal uplift rate of Tohoku Japan
Arc from inverse analysis of longitudinal river profiles

中島 由以佳・成瀬 元 (京都大学)

Yuika NAKAJIMA and Hajime NARUSE (Kyoto University)

連絡先：成瀬 元 (naruse@kueps.kyoto-u.ac.jp)

本研究は、新たに確立された河床縦断形逆解析手法を応用し、東北日本弧の第四紀における隆起速度履歴の復元を試みる。近年になって、Pritchard et al., (2009) により、河床縦断形の逆解析から長期的かつ広域的なスケールにおける地殻隆起速度履歴を推定する手法が考案された。この手法は、河川による岩盤侵食作用を再現する数値モデルを利用し、計算によって得られる河床縦断形の予測値と実際の観測値との差を最小化する隆起速度分布を探索するというものである。この手法は、隆起速度の短期的な分布や局所的な変化ではなく、面的な広がりを持った分布履歴が得られるというメリットがある。

本研究では、この河川縦断形逆解析手法を活動的縁辺域である島弧地殻へ初めて適用した。その手順ならびに結果は以下の通りである。(1) まず、国土地理院の基盤地図情報・数値標高モデル(10 m メッシュ)より、東北地方の七河川系(計 82 支流)の流路の位置およびそれに沿った標高を測定した。(2) 次に、既存研究による現在の東北日本弧の隆起速度推定値を用いて、本手法に必要な河川侵食パラメーターの較正を行った。(3) そして、本手法のテストの為に、仮想的な隆起速度履歴を与えて人工的に河床縦断形を作成し、このデータの逆解析を行った。その結果、あらかじめ設定した過去 60 万年の隆起速度履歴が、地形データの逆解析によって適切に復元されることが確認された。ただし、60 万年よりも遡ると、設定した値と大きく異なる履歴が復元された。このことは、東北地方の河川縦断形に残される隆起履歴の時間的限界がおおよそ 60 万年程度であることを表しているものと解釈できる。(3) 最後に、実測された河床縦断形を逆解析し、東北日本弧の過去 60 万年間の隆起速度の変動履歴を復元した。その結果、この時期において、東北地方全域がおおよそ平均 0-700 m/Myr 程度の速度で隆起してきたことが復元された。隆起速度は北上山地から奥羽山脈・出羽山地にかけての中軸帯で最も大きく、太平洋・日本海側の平野部(仙台平野・秋田平野)において最小となることが推定された。これまで、活断層の活動履歴からは、東北日本弧の背弧側と前弧側で隆起速度履歴が大きく異なる可能性が示唆されていた。しかしながら、本研究の結果からはそのような傾向は確認されなかった。今後は、河床岩盤の岩相に応じた侵食耐性の違いや気候・海水準変動の影響を反映するようモデルを変更し、推定結果の妥当性を高める改良を行う予定である。

文献

Pritchard, D., Roberts, G. G., White, N. J. and Richardson, C. N., 2009, Uplift histories from river profiles.

Geophysical Research Letters, **36**, L24301, doi:10.1029/2009GL040928.

気象観測に基づく石筍年縞の形成シミュレーション—秋吉台こうもり穴の例— Formation condition of fluorescent annual layer in a stalagmite: a simulation base on climate monitoring data in Koumori Cave, Akiyoshi-dai, Yamaguchi Prefecture

佐々木華（福岡大），大西由梨（応用地質），村上崇史（美祿市立秋吉台科学博物館），
石原与四郎（福岡大），吉村和久（九州大）
Hana Sasaki (Fukuoka University), Yuri Onishi (OYO Corporation),
Takashi Murakami (Akiyoshi-dai Museum of Natural History),
Yoshiro Ishihara (Fukuoka University), Kazuhisa Yoshimura (Kyushu University)
連絡先：佐々木華 (sasakihana.study@gmail.com)

1. はじめに

洞窟内に形成される石筍からは植生変動や気候変動の長期記録が得られている。こうした石筍には紫外線で蛍光する厚さ数 10~100 μm 程度の厚さの年縞が認められることがある。この年縞は、石筍の成長に伴い炭酸カルシウムと共沈したフルボ酸が蛍光することで認識される。フルボ酸などの腐植酸は土壌中の腐植物質の分解や植物の活動により生成され、滴下水とともに洞窟内へ運ばれて石筍中に保存される。従って、石筍年縞の形成にはフルボ酸の濃度と滴下水量や洞内の CO_2 濃度に影響される石筍の成長速度の季節変化が深く関わると考えられる。大西ほか（2015）は、既報の石筍の形成モデルを基に石筍年縞の形成シミュレーションを行った。そして石筍の成長速度と供給されるフルボ酸の季節変化の位相差によって実際に観測されている様々なパターンの年縞が形成されることを明らかにした。しかしながら、この年縞形成のシミュレーションが観測データを用いて再現可能かどうかについては検証できていない。本研究では、山口県美祿市の秋吉台に位置するこうもり穴において、石筍年縞の形成に関するパラメーターの観測を行い、石筍年縞の形成シミュレーションの検証を行った。

2. 観測地及び観測方法

観測を行ったこうもり穴は秋吉台の麓にある長さ約 150 m の横穴である。本研究では、洞口付近の洞外 1 箇所と洞口からおよそ 90 m 地点までの 5 箇所に気温計を、石筍の形成場所の 2 箇所（40 m 地点と 90 m 地点）に雨量計と CO_2 濃度計を設置し、15 分~30 分間隔で観測を行った。また、1 ヶ月に 1 度、雨量計を設置した地点において滴下水の採取を行い、滴下水の pH、Ca や Mg などのイオン濃度、蛍光スペクトルの相対強度、溶存有機炭素（DOC）濃度の分析を行った。得られた結果は大西ほか（2015）の石筍年縞の形成シミュレーションに適用し、形成される年縞のパターンを再現した。

3. 観測結果

観測は 2016 年 12 月から現在も継続中だが、本発表では 2018 年 1 月までの観測データと 2017 年 10 月までの滴下水の分析結果を用いた。

洞口付近で測定された洞外の気温については、最高気温が 8 月、最低気温が 1 月に記録され、秋吉台気象観測所（北緯 $34^\circ 14' 1''$ 東経 $131^\circ 18' 4''$ ）の気温データとほぼ同期していた。一方、洞内の気温は洞外へ続く通気口がある 45 m 地点を除いて、どの地点も $12\sim 16^\circ\text{C}$ の間で洞外の気温と同期するように変動する。煙突効果による空気の循環が認められるため、洞窟下部にある洞口から遠いほ

ど冬の気温低下が小さく、洞窟上部にある 45 m 地点の通気口から遠いほど夏の気温上昇が小さい。40 m 地点の滴下水量は秋吉台気象観測所の降水量データと同期するため、割れ目に沿って地下水が浸透したものと思われる。一方、90 m 地点の滴下水量は年間を通してほぼ一定であり、洞内の僅かな気温変化等による結露である可能性がある。CO₂ 濃度は 12~3 月の間は外気に近いおよそ 450 ppm で両地点ともに安定しているが、4 月ごろから上昇し、9 月に最高値に達する（40 m 地点：およそ 1800 ppm、90 m 地点：およそ 2800 ppm）。

40 m 地点の滴下水中の Ca イオン濃度は 9 月が最も高く、およそ 60~80 mg/L の範囲で緩やかな季節変化を示す。K や Mg などの他のイオン濃度は年間ではほぼ変化しないが、Cl と NO₃ のイオン濃度はある 1 点のみ異常に大きな値を示す。これは洞内に生息するコウモリのグアノの影響によると推定される。一方、90 m 地点の各イオン濃度は 5~11 月の間、Ca や Cl を含む計測したほとんどのイオン濃度が高い。従って、コウモリが冬眠している期間を除き、90 m 地点は定常的にコウモリの影響を受けると推定される。DOC はコウモリの影響を受けているデータを除いた両地点のデータにおいて、およそ 0.9~4.8 mg/L の間で変動を示し、4 月と 9 月で比較的大きな値を示す。一方、滴下水中の蛍光スペクトルの相対強度はおよそ 10~23 の値で変動し、5 月に最も高く、DOC との相関性は見られない。

4. 石筍年縞の形成シミュレーションへの適用

大西ほか（2015）は、石筍中のフルボ酸濃度が石筍の成長速度に反比例し、滴下水から供給されるフルボ酸の絶対量に比例するとして、年縞の形成シミュレーションを行った。本研究ではシミュレーションにおいて、フルボ酸の絶対量に代わるものとして蛍光スペクトルの相対強度の値を使用した。また、40 m 地点のコウモリのグアノの影響が大きいデータは例外として除外した。

40 m 地点の観測データをシミュレーションへ適用した結果、5~9 月に蛍光強度が高く対称に蛍光が変化するタイプの年縞が再現された。成長速度は年間で 0.45~6.2 $\mu\text{m}/\text{month}$ の変動を示し、12~4 月に大きい。蛍光スペクトルの強度は 12~1 月の間におよそ倍に増加するが、シミュレーションでは石筍中のフルボ酸濃度は変化せず、むしろ成長速度に影響を受けることが示唆される。また、滴下水量に関しても同様であった。これらの結果からは最も年縞の形成に影響を及ぼすのは成長速度に影響する Ca イオンの過飽和程度を支配する CO₂ 濃度であることが示唆される。すなわち、こうもり穴においては洞内の大気循環の季節変動が年縞の形成に最も影響を及ぼしていると考えられる。このような結果に基づくと、先に述べたような石筍から気候変動を復元する場合、成長速度の大きい 12~4 月のデータを特に強く反映している可能性が示唆される。

90 m 地点の観測データは CO₂ 濃度が高く、滴下水量が非常に少ない。シミュレーションを行った結果、5~6 月と 9~10 月の間は Ca イオンが過飽和にならず石筍が成長せずに溶ける可能性が示された。1 年間でおよそ 15 μm 成長するが、成長速度の大きい 7 月（およそ 14.5 $\mu\text{m}/\text{month}$ ）の直前にこれまで形成した分が溶けてしまうため、ほぼ 7 月に成長した石筍のみが残ると推定される。このような場合には、溶けた際の侵食面で年縞に似た縞が作られる可能性も考えられる。

謝辞

本研究は、日本科学協会の笹川科学研究助成による助成を受けたものである。

引用文献：大西ほか，2015，洞窟学雑誌，39，53-66

新しい混濁流数値モデル：駆動層・希薄層構造を考慮した深さ平均モデルの開発

A new numerical model of turbidity currents:
Development of the two-layer depth-averaged model

大畑耕治・成瀬 元（京都大学）

Koji OHATA, Hajime NARUSE (Kyoto University)

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

本研究は、長距離を移動する混濁流の構造を考慮した新しい混濁流数値モデルを提案する。このモデルにより、天然で見られる長い海底チャンネルを形成するような混濁流の数値実験が可能になる。

深海で発生する堆積物重力流の一種である混濁流は、長距離を移動しながら海底に大量の碎屑物を堆積させている。混濁流の移動の結果として形成される海底チャンネルの長さは数十～数千 km にわたることが知られている。しかしながら、既存の混濁流数値モデルは計算コストが重いことや、天然スケールの計算を行うと非現実的な値となってしまうことから、天然スケールの混濁流の数値実験を行うのは困難である。

近年、鉛直1次元のレイノルズ平均ナビエーストークス（RANS）式による数値実験を行った先行研究により、天然スケールの混濁流は濃度の高い下層と希薄な上層に分離して流れていることが明らかになった。上層（希薄層）は周囲の流体を取り込んで希薄化しつつける一方で、下層（駆動層）は上層とほとんど混合せずに厚さと濃度を保ち、一定の流速で流れ続ける。混濁流中の堆積物のほとんどはこの下層に含まれて運搬される。希薄化した上層を、下層が密度を保持して駆動し続けるため、混濁流全体は長距離を移動することができる。

そこで本研究では、混濁流を2層に分けて取り扱う深さ平均モデル（2層モデル）を提案する。既存の深さ平均モデルを踏まえ、上層・下層それぞれについて運動量・流体質量・堆積物質量の保存式を立てた。本研究では、(1)このモデルに必要な層間での流体・堆積物の連行を定式化するため、(2)開発した混濁流2層モデルの計算結果を検証するため、という2つの目的で鉛直2次元のRANS式を用いた数値実験を行った。結果として、流速・堆積物濃度などの各変数の空間変化の傾向は2つのモデルで一致し、2層モデルの有用性が示された。今後は様々な初期条件や地形の条件において数値計算を行い、層間での物質のやり取りについて高精度なパラメータ化を行うこと、および、水槽実験や野外観測の結果とも比較し2層モデルの有用性を確かめることが求められる。

後期完新世メコン河デルタはオートジェニックな平衡河川系の実例か

The late Holocene Mekong River delta: A possible natural example of autogenic grade system

王 俊輝（油気資源与探測国家重点實驗室, 中国石油大学(北京), 長崎大学）・田村 亨（産業技術
総合研究所地質情報研究部門）・武藤鉄司（長崎大学）

Junhui Wang (State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University
of Petroleum (Beijing), Nagasaki University), Toru Tamura (AIST), Tetsuji Muto (Nagasaki University)

連絡先：武藤鉄司 (tmuto@nagasaki-u.ac.jp)

平衡河川は地質学における古典的概念の一つであるが、その実現可能性や形態の特徴などがよく理解されるようになったのは2000年代半ば以降のことである。シークウェンス層序学では、平衡河川を海水準停滞期に対する平衡応答で実現する河川系の究極的安定状態と捉えており、陸域アコモデーションを規定する役割を担わせている。オート層序学における平衡河川の理解はシークウェンス層序学のそれとは全く異なるものであり、平衡河川を実現するプロセスに複数のパターンが存在することを唱えている(Muto et al. 2007, 2016)。すなわち、(1)移動境界系(=デルタが前進できる系)のもとで減速海水準下降に対する非平衡応答によって実現するアロジェニックな平衡河川、(2)移動境界系のもとで定速海水準下降に対する平衡応答によって実現するオートジェニックな平衡河川、(3)固定境界系(=デルタが前進できない系)のもとで静止海水準に対する平衡応答によって実現する強制的平衡河川、である。これらはいずれも理論的に予言され、その確からしさはモデル実験の手法で検証されている。しかし、天然の地層記録から平衡河川が検出されたことはこれまでない。なぜなら平衡河川は実質的な堆積および実質的な侵食を伴わない特殊な河川であり、それに由来する河川成の堆積層も侵食構造も残されようがないからだ。ただし、平衡河川それ自体は保存されなくても、平衡河川の存在を示す間接的痕跡は地層中に記録されうると考えられる。後期完新世のメコン河デルタを形造った河川系はその最初の認定例となるかもしれない。

メコン河デルタは世界でも有数の規模を誇る、いわゆるメガデルタの一つである。上流域からの堆積物供給量は完新世においては $1.0\text{--}1.2\times 10^8\text{ m}^3/\text{年}$ のレンジで安定していたという(e.g. Ta et al., 2002)。また、メコン河が流入する大陸棚海域では過去3500年間に渡って $9\times 10^{-4}\text{ m}/\text{年}$ の速度で海水準が下降する傾向にあったらしい。デルタ上の分流チャネルはそのオートサイクリックな機構により側方移動とアバルジョンを頻繁に繰り返すのが普通であるが、メコン河の下部デルタプレーンには少なくとも過去3500年間は分流チャネルが側方移動やアバルジョンを経験した明瞭な痕跡がない。分流チャネルは直線的な形態を持続しつつ海側へ50km超に渡ってひたすら前進するだけで、側方方向には極めて安定していた。縦断プロファイル(e.g. Tamura et al., 2012)に示されるデルタのトップセットは沖積堆積物を欠く一方で、顕著な削剥を示す侵食構造も見当たらない。過去3500年間に前進したデルタ堆積体の底面の勾配($\sim 1\times 10^{-4}$)はトップセットの勾配($\sim 0.8\times 10^{-4}$)に近い。またこのデルタ堆積体のセット厚は20~25m程度である。

トップセットに明瞭な沖積堆積層と侵食構造が残されていないことから平衡河川が想起される。分流チャネルが側方移動しないことも平衡もしくはそれに近い状態に到達していたことを物語る (Wang et al., 投稿中)。上述したように、デルタの供給河川が平衡状態を実現するには海水準下降が必須であるが、この条件もクリアしている。過去 3500 年間の堆積物供給速度と海水準下降速度から求められるメコン河デルタのオート層序学的長さスケールは 330–410km であり、この値と沖積勾配(トップセット勾配)から推定されるデルタセット厚の理論値(26–33m)は実測値(上述)にかなり近い。これらのことから、過去 3500 年間におけるメコン河デルタはオートジェニックな平衡河川の系として成長した、もしくはその状態へ近づく過程にあった、というシナリオが考えられる。この復元が正しければ、メコン河デルタは、オートジェニックな平衡河川によって成長したことが地質記録から読み取れた最初の実例である。

ところで、デルタ堆積体の底面がデルタトップセットの勾配に等しい地形条件はどのようにして準備されていたのだろうか。このこともオート層序学の枠組みの中で説明することができる。海水準上昇のもとで埋積過程にある下流域沖積河川にはデルタ堆積作用を維持することのできる限界の長さ及び限界の面積が存在し、それぞれ、オート層序学的長さスケール Λ およびその二乗 Λ^2 で与えられる (Tomer et al., 2011)。海水準上昇が始まる以前に河川系が限界長さ・限界面積を大幅に超えて海側へ伸長・拡大すると、海水準上昇開始と同時に非デルタ性の急激な海進が進行し、非デルタ化した堆積系は海底に無堆積面を残しながら陸側へ後退していく。これによって生じる無堆積面は上方に凹型のジオメトリをもち、海側へ向かって勾配を減じ、少なくともディスタル部の海底面はデルタトップセットとおおよそ同じ勾配を持つことになる。最終氷期極大期以降の海水準上昇速度をもとにメコン河の限界長さ Λ と限界面積 Λ^2 を計算すると、それぞれ $\Lambda=114\text{--}119\text{km}$ 、 $\Lambda^2=1.3\text{--}1.4\times 10^4\text{ km}^2$ が得られる。最終氷期極大期にメコン河が最寄り的大陸棚外縁まで到達していたとすると、プノンベン付近を沖積河川の起点にした場合の沖積河川の長さは 340–520km、デルタプレインの限界面積は $1.0\times 10^5\text{ km}^2$ となり、限界値を大幅に超える。すなわち、最終氷期極大期以降の海水準上昇のもとでは、メコン河はデルタを維持することができず、急激に陸側へ後退したはずである。その際、かつてのデルタプレインは放棄され、水没し、後の大陸棚海底面となって残されたであろう。

メコン河デルタは潮汐と波浪の作用を強く受けながら成長したデルタでもある。マングローブの森林も繁茂している。本講演ではそれらの影響も考慮に入れつつ、上で述べた見解を検証する。

文献

- Muto, T., Steel, R. J., and Swenson, J. B., 2007, Autostratigraphy: a framework norm for genetic stratigraphy. *Journal of Sedimentary Research*, **77**, 2–12.
- Muto, T., Furubayashi, R., Tomer, A., Sato, T., Kim, W., Naruse, H., and Parker, G., 2016, Planform evolution of deltas with graded alluvial topsets: Insights from three-dimensional tank experiments, geometric considerations and field applications. *Sedimentology*, **63**, 2158–2189, doi:10.1111/sed.12301.
- Ta, T. K. O., Nguyen, V. L., Tateishi, M., Kobayashi, I., Tanabe, S., and Saito, Y., 2002, Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam. *Quaternary Science Reviews*, **21**, 1807–1819.
- Tamura, T., Saito, Y., Nguyen, V. L., Ta, T. K. O., Bateman, M. D., Matsumoto, D., Yamashita, S., 2012, Origin and evolution of interdistributary delta plains; insights from Mekong River delta. *Geology*, **40**, 303–306.
- Tomer, A., Muto, T., and Kim, W., 2011, Autogenic Hiatus in Fluviodeltaic Successions: Geometrical Modeling and Physical Experiments. *Journal of Sedimentary Research*, **81**, 207–217, doi:10.2110/jsr.2011.19.

信頼できるC14年代測定 のパートナーと 更なる高みを目指して



- ✓ 正確かつ高精度な結果
- ✓ 迅速な納期 3-7営業日
- ✓ Webで結果の確認 24/7
- ✓ ISO/IEC17025:2005認定試験所

Beta Analytic

日本総代理店 株式会社 地球科学研究所

<http://radiocarbon.jp> sumi@radiocarbon.jp

名古屋市天白区植田本町1-608 tel 052(802)0703

BETA

RADIOCARBON DATING

Consistent accuracy
Delivered on time



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 ML9400シリーズ 偏光顕微鏡

メイジテクノのML9400シリーズは、透過・反射両照明装置を装備したコストパフォーマンスに優れた偏光顕微鏡です。鏡筒の違いにより、3モデルがあります。

- ML9410 単眼型 定価¥430,000
- ML9410 双眼型 定価¥480,000
- ML9410 三眼型 定価¥490,000

(写真はML9420、オプションの100X対物レンズ付です。)



MEIJI ML9700シリーズ 偏光顕微鏡

メイジテクノのML9700シリーズは、アナライザーがスライダタイプで360°回転が可能です。従って、セナルモンコンベンセータ(別売)等を装備することにより、高分子フィルム等のレターデーションの正確な測定が可能な測定顕微鏡としてもご利用頂けます。鏡筒の違いにより2モデルがあります。

- ML9720 双眼型 定価¥450,000
- ML9730 三眼型 定価¥460,000

(写真はML9720です。)



MEIJI EMZ-5POL-2 ズーム式実体偏光顕微鏡 LED照明モデル

メイジテクノのEMZ-5POL-2はズーム式実体顕微鏡(LED証明型)に回転ステージと偏光装置を装備した、岩石薄片や鉱物標本を観察するための実体偏光顕微鏡です。ベースの薄型LED透過照明で、広い視野全体に鮮明像が得られます。

- 総合倍率：7.0から45X
- ENZ-5POL-2 定価¥349,000

※価格は税抜価格です。

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>