

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース

2020

6

Vol.9 No.6



6月号

-
- 143 **Marion Dufresne (マリオン・デュフレヌ) 号と
ジャイアント・ピストンコアリング：MD218 航海乗船記**
池原 研
-
- 157 **丹波帯東南部，天ヶ瀬のデュープレックス群** 楠 利夫
-
- 168 **令和元年度廣川研究助成事業報告
鉦山開発跡地における坑廃水の対策に係る水文調査技術
の動向調査および情報収集**
松本親樹
-
- 172 **柴田 賢さんを偲んで** 富樫茂子

Marion Dufresne (マリオン・デュフレヌ) 号と ジャイアント・ピストンコアリング： MD218 航海乗船記

池原 研¹⁾

1. はじめに

フランスの調査船であり、インド洋のフランス領南方・南極地域の島々への補給船でもある「Marion Dufresne」(マリオン・デュフレヌ, 以下, MD と記す)号は, 口径約 12 cm の長尺ピストンコアを採取できる船として, IMAGES などの国際研究プロジェクトを始めとして, 世界各地の海で活躍しています. 東アジアでも 2001 年に日本周辺海域で長尺ピストンコアの採取が行われ, 古海洋学に関する多数の研究成果をあげてきています. その後, 世界中のいくつかの船で 40 m を越す長尺ピストンコアの採取が可能となってきていますが, MD 号の実績を上回るものは見当たりません. すなわち, 長尺ピストンコアの採取では MD 号が一番経験を持った船と言えます.

2019 年 2～3 月にかけて, インド洋海域の南大洋において MD 号による長尺ピストンコア採取の調査航海 (MD218 CROTALE 航海) がフランス・ボルドー大学の

Crosta 氏らによって計画されました. 筆者はこの調査航海に日本からの参加者として乗船する機会を得ました. この小文は, この MD 号の航海の経験を記録として残し, 今後の日本の海洋調査に少しでも貢献することを願って, MD 号乗船記としてまとめておくものです.

2. Marion Dufresne 号と MD218 CROTALE 航海

MD 号 (写真 1) は 1995 年に建造された総トン数 9403 トン, 全長 120.50 m のフランスの海洋調査船であり, インド洋の南大洋に浮かぶフランス領南方・南極地域のクローゼー諸島, ケルゲレン諸島, アムステルダム島, サンポール島への物資補給船でもあります. この船名はフランスの探検家マリオン＝デュフレヌに因んで命名されたもので, 現在の船は 2 代目に当たります. 物資補給船としては年に 4 回, 30 日/回の航海で, これらの島を回って物資を補給する役目を持ちます. このため貨物は 2500



写真 1 レユニオン島の Marion Dufresne 号

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

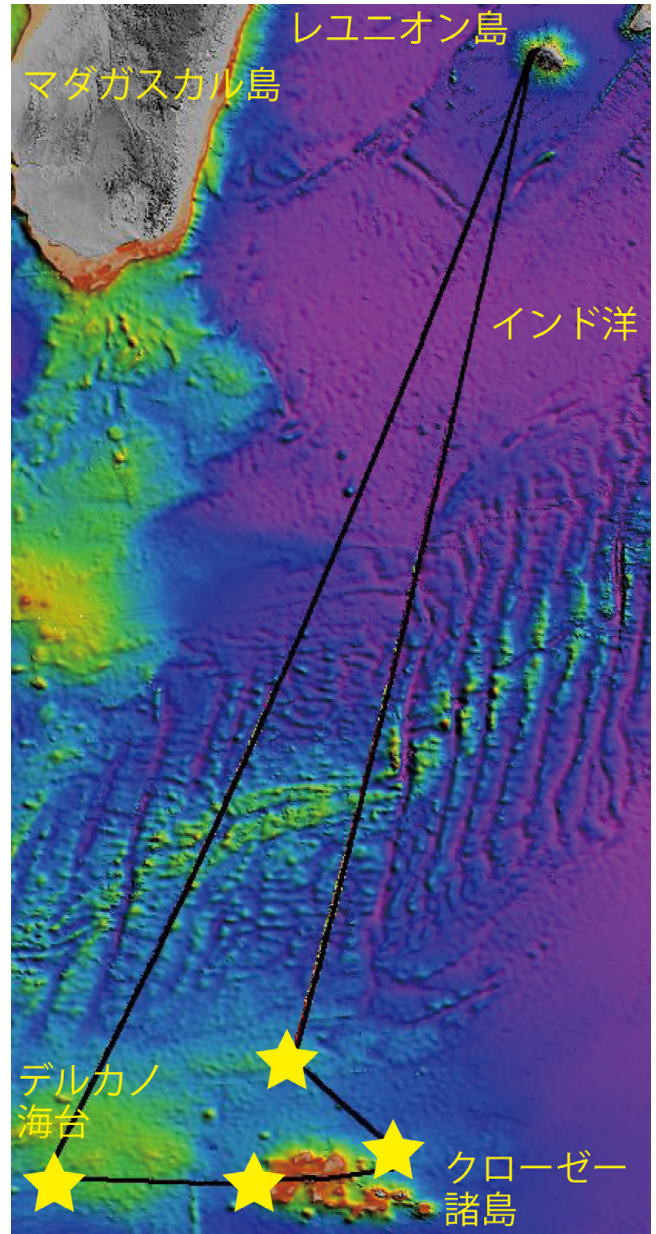
キーワード：ジャイアント・ピストンコアリング, マリオン・デュフレヌ号, 海底堆積物, 海洋地質調査



第1図 MD218 (CROTALE) 航海のロゴ

トン、20 フィートコンテナは最大で 110 個を搭載できる船です。海洋調査船としては、年間 200 日以上航海が可能であり、採泥器として CALYPSO II と呼ばれる口径約 12 cm でパイプの長さが最大 75 m の長尺ピストンコアを採取するシステム (giant piston coring と呼ばれています) に加えて、CASQ と呼ばれる角柱状の重力式コアラー (長さ 9 もしくは 12 m)、長さ 17 m までの熱流量計付き重力式コアラー、表層堆積物の採取のためのマルチプルコアラーとボックスコアラーを備えています。また、海底マッピング用に Kongsberg 社の EM122 及び EM710 のマルチビーム音響測深機と SBP 120-3 表層地層探査機を搭載しているほか、磁力計、海上重力計、ドップラー流速計、採水器付電気伝導度・水温・水深測定装置 (CTD) などが装備されています。このほか、ドレッジや反射法地震探査、プランクトンネットなどの調査も可能です。研究者とテクニシャンを合わせて最大 110 名まで乗船可能となっています。調査船としての運航はフランス極地研究所 (Institut Polaire Francais Paul-Emile Victor ; IPEV) によって行われています。

MD 号によるクローゼー諸島周辺の長尺ピストンコア採取の調査航海 (MD218 CROTALE 航海: 第 1 図) はフランス・ボルドー大学の Crosta 氏を中心としたグループによって提案され、2019 年 2~3 月に行われることとなりました (実際の航海は 2019 年 2 月 23 日~3 月 11 日、



第2図 MD218 (CROTALE) 航海の航跡図。レユニオン島から出発し、南緯 45 度線を底辺とする三角形のルートで航海が行われた。星印は試料採取地点。

レユニオン島入出港)。この提案には高知大学の池原 実教授や韓国釜山国立大学の Khim 教授も参画しているため、フランスだけでなく日本や韓国からの乗船者も含めた国際航海になりました。研究関連の乗船者は、研究者 18 名、テクニシャン 6 名、医師 1 名の 25 名でした。研究者の所属機関で見ると、フランス 9 名、スイス 2 名、インド 2 名、韓国 1 名、日本 4 名で、日本からの乗船者は高知大学の松井さんと Civel さん、国立極地研究所の Zhao さんと産総研の筆者になります。提案では、約 150 万年間にわたる南大洋の古環境変動とその地球環境への影響の解明のため、クローゼー諸島とその西に位置するプリンスエド

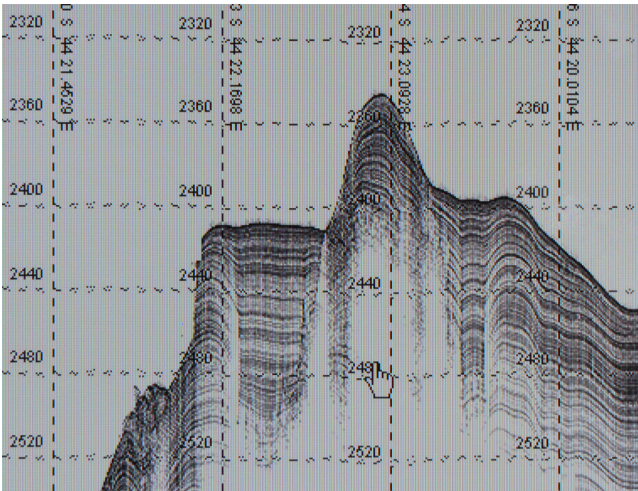


写真2 MD218 航海でのサイトサーヴェイの記録の例

ワード島の間のデルカノ (Del Cano) 海台、クローゼー諸島の東と西の3地点で、それぞれ表層堆積物コア (9 もしくは 12 m の重力式コアラーによる) と 40 m 級及び 60 m あるいは 70 m 級のピストンコアの採取が予定されていました。実際には予定されていた3地点で、9 m の重力式コアラーと 45 m あるいは 60 m 級のピストンコアラーによる採泥が行われたほか、帰路の途中で1地点で70 m 級のピストンコアの採取が追加され、4地点で採泥作業が行われました(第2図)。最後の追加地点で採取された全長 69.83 m (コア記載長は 69.73 m) はこの時点での1回のコアリングで採取された世界最長コアとのことでした。

3. MD号での採泥作業とコア処理作業

この航海では採泥予定地点に着くと、まず採泥地点を決めるための海底地形と表層地層探査の調査(サイトサーヴェイと呼ばれます)が行われます。MD号に搭載されたEM122 マルチビーム音響測深機とSBP 120-3 表層地層探査機を駆使して、調査が行われます。それぞれのサイトの周辺では以前の調査航海で得られた海底地形や表層地層探査記録、海底堆積物コアがあるので、それらを考慮して調査測線を決め、定速(この航海では8ノット(時速15 km 弱)で実施)で測線上を航走し、サイトサーヴェイが行われます。ほとんどの地点で海底下100~200 m までの堆積物の堆積状況が地層探査記録に描かれていました(写真2)。

サイトサーヴェイの記録を基に実際の採泥実施地点が決めます。今回の海域では、南極周回流に関係した底層流による堆積物の移動があるため、堆積状況は場所によ

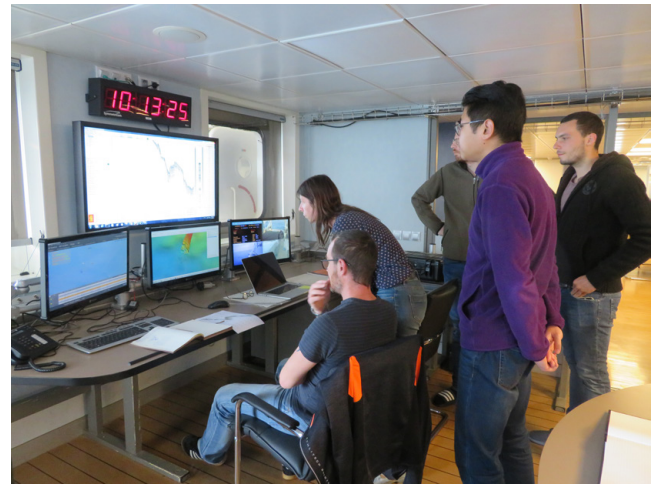


写真3 MD218 航海でのサイトサーヴェイの様子

て変わります。このため、重力式コアラーの採泥点ではできる限り表層堆積物がきれいに堆積している地点が選ばれました。一方で、より長尺のピストンコアラーの採泥点では表層の10 m 弱の堆積層は欠如していても、それより古い地層までが連続的に堆積していて、同じ長さのコアでより古い地層までが得られる地点が選ばれました。重力式コアラーと長尺ピストンコアラーの試料をつなぐことで表層(現在)から過去までの地層記録が得られることとなります。これらの作業は電気関係のテクニシャンの支援の下、研究者が行いました(写真3)。

採泥地点が決まるといよいよ採泥作業の開始です。採泥器は、乗組員が基本的な組み立てを行い、テクニシャンが確認や調整を行います。南緯21度のレユニオン島から南緯45度の調査地点まで6日程度を要しますので、採泥器の準備は万全でした。MD号でのコアリングは全て右舷後方に設置されたギャロス(測定装置を吊るすための可動式構造物)から実施されます。このギャロスは45 t の荷重に耐えられるように設計されています。ギャロスの下には重さ500 kg の直方体の重り(錘)が8個つけられた重錘が横たわって置かれています。この先に、まず角柱状の重力式のパイプが取り付けられました(写真4)。重力式コアラー(写真5)ではウィンチの繰り出しによってコアラーの自重で海底に貫入させる仕組みのため、後述するピストンコアラーのようにトリガーとなる天秤を使用しません。ウィンチケーブルに接続された重力式コアラーは横倒しの位置から垂直に吊り下げられて、海底へと向かいます。海底への貫入と引き抜きはケーブルの張力を監視しながら行われます(残念ながら筆者は仕事時間の関係でこの作業を見ていません)。海底から引き抜かれた重力式コアラー



写真4 コアリング用の重錘（ヘッド：左）. 黄色のフレーム（右）に 500 kg の直方体の錘を 8 つ付加させている.

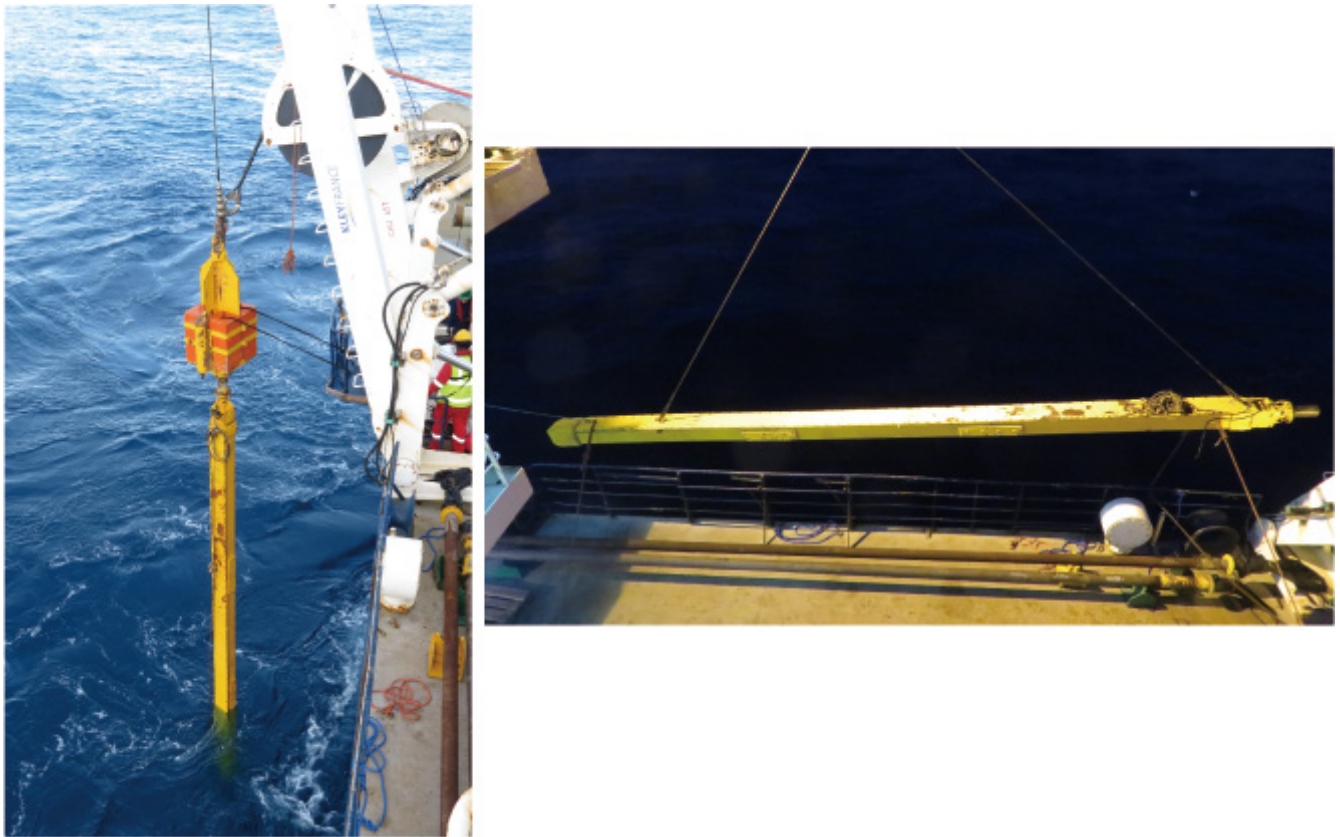


写真5 重力式コアラー CASQ（左）と甲板上に揚収された角柱状パイプ（右）



写真6 舷側に沿って投入準備完了のピストンコアラー CALYPSO (左) と重錘の音響切り離し装置 (右)

はウィンチによるケーブルの巻き上げによって舷側まで回収されたあと、パイプをクレーンに繋がったワイヤーで吊るし、重錘を取り外して、重錘置き場に収めます。パイプ上部の蓋を外して、揚収時にパイプを横倒しにしても堆積物表面が流れ出さないように試料表面に蓋をしたあと、クレーンでデッキ上に揚収します(写真5)。揚収された堆積物入りの角柱状パイプは次の採泥作業の邪魔にならない場所に移動されたあと、角柱パイプ表面の蓋を外すと揚収作業は終了になります。

重力式コアラーの採泥が終わると、ピストンコアラーの採泥作業が始まります。あらかじめ組み立ててあったパイプ(と言っても40 m以上ある)を船外に引き出し、重力式コアラーで使ったのと同じ重錘に取り付けます(写真6)。重力式コアラーとの違いの一つは長いピストンコアラーのパイプが海底から抜けなくなった時に備えて、音響切り離し装置によるパイプの切り離し機構(写真6右)がつくことです。パイプが海底から抜けなくなった際には音響信号を送ることで切り離し装置を作動させ、パイプ保持装置を支えているワイヤを切り離し装置のフックから解放することでパイプと重錘とを切り離します。ピストンコアラーのパイプは重力式コアラーのパイプの揚収時と同様に船尾のクレーンとこれに加えて舷側に沿って並んだ4つのダビットクレーンで船外に引き出して、パイプが重錘に取り付けられます。その後、コアラーを垂直位置に吊り下げた後、ウィンチケーブルの先に取り付けられたトリガーとなる天秤を重錘に接続します。天秤を使うのが重力式コ

アラーとピストンコアラーのもう一つの違いになります。天秤の先にはトリガーを作動させる重り(100 kg)がつけられ、投入準備完了となります(筆者はこれらの投入作業を見ていません)。コアラー本体の重量は重錘も含めて7 t程度になるとのことですが、それを100 kgの重りで保持できるように天秤も特別な仕組みを持っています。

海底近傍まで降ろされたピストンコアラーはさらにゆっくりと降ろされ、まず天秤の先についた重りが海底に着きます。重り側の張力がなくなると天秤が作動し、コアラーが天秤から切り離されて自由落下することでパイプが海底に貫入します。貫入後、ケーブルを巻き上げてパイプを引き抜き、さらに船へと巻き上げます。舷側まで来たコアラーは、重力式コアラーと同様にまずパイプ上部をクレーンから伸びたワイヤーにつないで吊り下げ、重錘部分をパイプと切り離して重錘置き場に収めます。さらにダビットクレーンから伸びたワイヤーの先端につけた輪にしたチェーンをパイプに通していきます。4つのダビットクレーン(70 m級の時にはさらにCTD用のクレーンなども使った)とパイプの上部を吊したクレーンを巧みに操ってパイプを舷側に沿った位置まで引き上げ(写真7)、デッキ上へと揚収します。デッキ上に揚収されたパイプの先端を外し、パイプの内部に入れられたプラスチック製のライナー(インナーチューブとも呼ばれる)をデッキの船首側にあるウィンチで引き出して(写真8)、揚収作業は終了します。

MD号での長尺ピストンコアリングでは、2001年の日本周辺海域で調査も含めて、コア上部での著しい変形や

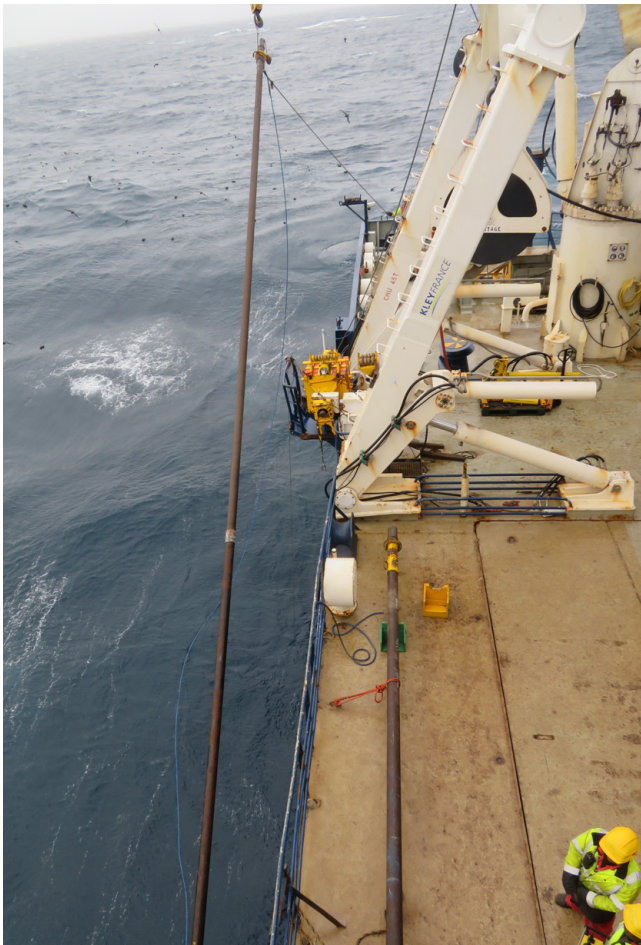


写真7 ピストンコアラーのパイプ揚収作業。70 mのパイプの揚収では、パイプの上部先端は船尾を超える位置までクレーンで持っていかれる。

コアの引き伸ばし(いわゆるオーバーサンプリング)が問題となっていました(例えば, Szeremeta *et al.*, 2004)。これは、コアラーを吊り下げているケーブルがトリガーが作動した際にケーブル先端にかかっていた数t以上の荷重から解放されるために縮み、それに応じてコアラーの先端のピストンがコアラーの貫入時に動いてしまうために発生していました。その後、フランスのチームでは、トリガー作動時のケーブルの縮みの計算を行うとともに、実際のピストンコアリングの際に天秤とコアラーの重錘それぞれに加速度・深度センサーを取り付けて双方の動きを把握し、それを計算に反映させることで、最良の設定を作り出すCINEMA programを作成し、使用していました。また、ケーブルも以前のものに比べて硬いものを使うことで、縮みを減らしたということです(Rousseau *et al.*, 2016)。このため、今回得られたコアについてもコア上部までほとんど乱れのない、良質なものでした(写真9)。今回のコアリングにおいてもセンサーが取り付けられており、さらにデータの蓄積が進んでいると思います。

これらのコアラーの組み立て、投入、揚収、分解、サンプル処理後の機材の洗浄などの作業はすべてテクニシャンと乗組員によって行われ、研究者はサンプル処理の全てを行うことになっていました。重力式コアについて言えば、コアの整形、サンプリング、不要サンプルの廃棄とそれ以降のサンプル処理と梱包作業まで、ピストンコアについて言えば、引き出されたコア試料のセクション毎への切断とそれ以降のサンプル処理・梱包作業が研究者の仕事になります。全ての調査作業は24時間体制で実施可能であるため、天候や海況などの問題がなければ、調査地点に到着し、採泥地点が決まって準備が整えば、時間によらず採泥作業が始まります。実際、ピストンコアラーの投入作業は深夜の時間帯だったことがほとんどで、そのため見逃した作業も多々ありました。

次に研究者が行うコアの処理作業を簡単に紹介しておきます。重力式コアラーの角柱状パイプは船尾のデッキに移動させられた後、先端のコアキャッチャー部分が外され、上面の蓋が外されます。蓋の表面にはビニールシートが貼られているので、それを剥がして、ようやく堆積物とご対面です。この航海では、堆積物表面を削った後、長さ1.5 mの角柱状容器(コア保管用のDチューブと呼ばれる容器の片面をとって転用したもの)を押し込んでサブコアを複数採取しました(写真10)。採取されたサブコアの1本は肉眼記載と写真撮影、もう1本はマルチセンサコアロガー(multi-sensor core logger: MSCL)による物性と色測定に供され、その後、梱包されて冷蔵保管されます。ピストンコアの方は、鉄管のパイプから引き抜かれたインナーチューブにメジャーを当ててコアの長さを測り、1.5 m毎にセクション境界を入れていきます。セクション毎に、コアやセクションの情報、上下方向とワーキング/アーカイブハーフの別を記載した後、セクション境界で1.5 m毎に切断します(写真11)。40 m級のコアだと30近いセクション数になりますので、1.5 m毎の切断だけでも2時間くらいの作業となりますが、南緯45度の寒い環境下ではインナーチューブの切断面にはめ込むキャップが硬くなるため、バケツに汲んだお湯にキャップを漬け込んで柔らかくしておくことが肝要になります。寒い中での作業の上に、大事でかつ重いコアを扱う作業はなかなか堪えました。1.5 mのセクション毎に切断された円柱状のコアは半割装置(写真12)でインナーチューブの部分の切断し、作業台の上でテグスを用いて半割されます(写真13)。半割されたコアの片方(ワーキングハーフ)はMSCLによる測定に、もう片方(アーカイブハーフ)は写真撮影(写真14)と肉眼記載に回され、それらの終了後、梱包されて冷蔵保管

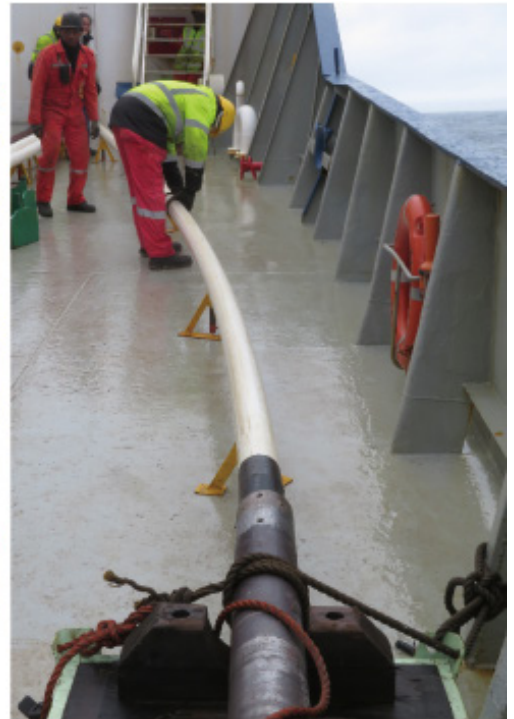


写真8 インナーチューブの抜き出し作業。インナーチューブにロープを巻きつけ(左),船首側にあるホイストで巻き取って,抜き出していく(右)。



写真9 MD218 航海で採取されたピストンコア上部の様子。1～4の順に深度が深くなる。再表層の50 cm 程度までに若干の乱れはあるが,以下では認められない。1セクションの長さは1.5 m。

されます。コアの解体作業はデッキから連続するコンテナラボの脇, 記載と写真撮影は一つ上のフロアのラボで行うのでアーカイブハーフの試料はコア用のエレベータで上下されます。なにぶん, 一つの地点で採取されるコアの長さが長い(重力式コアとピストンコアを合わせると1地点で50 m程度)上, コア採取地点間の距離も長くない(おおよそ半日～1日の航走時間)なので, コア処理の作業は3

チーム4時間交代のシフト制で24時間体制で行われますが, 調査期間中は非常に忙しい日々が続きます。1チームの構成は, コアの半割などの処理に3名, MSCLに1名, 写真撮影と肉眼記載に2名の6名体制でしたが, それぞれの持ち場で空き時間ができれば他の作業を補助するなどしつつ, 1回の4時間のシフトの間に15セクションほどの処理がなされました。1セクションあたりにかけられる

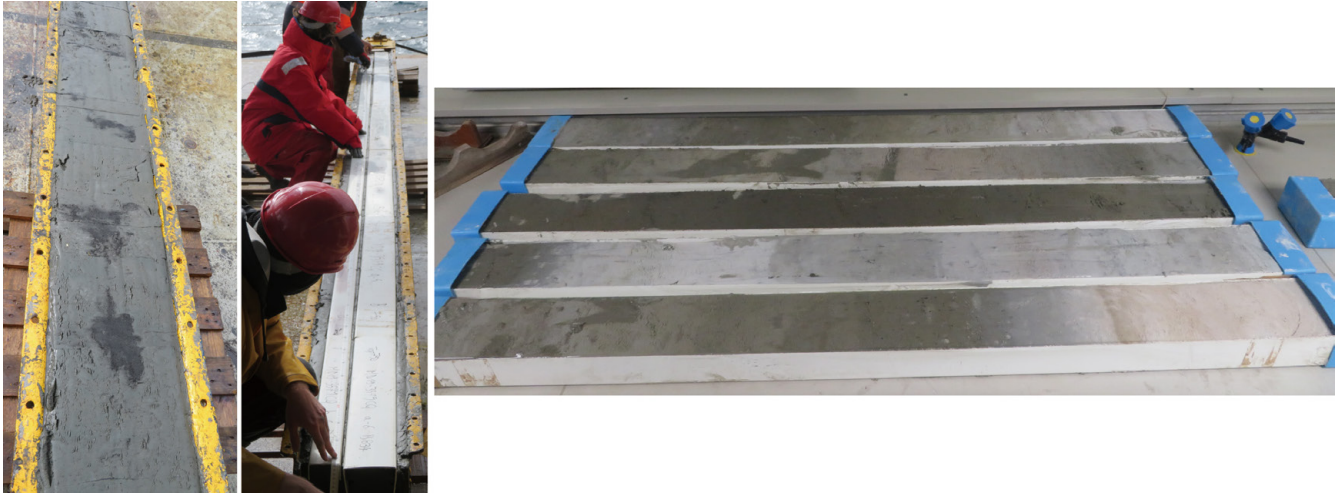


写真10 重力式コアラー CASQ 試料（左）とそこから試料分取（中）と採取された試料（右）。左の試料と右の試料は採取地点が異なる。

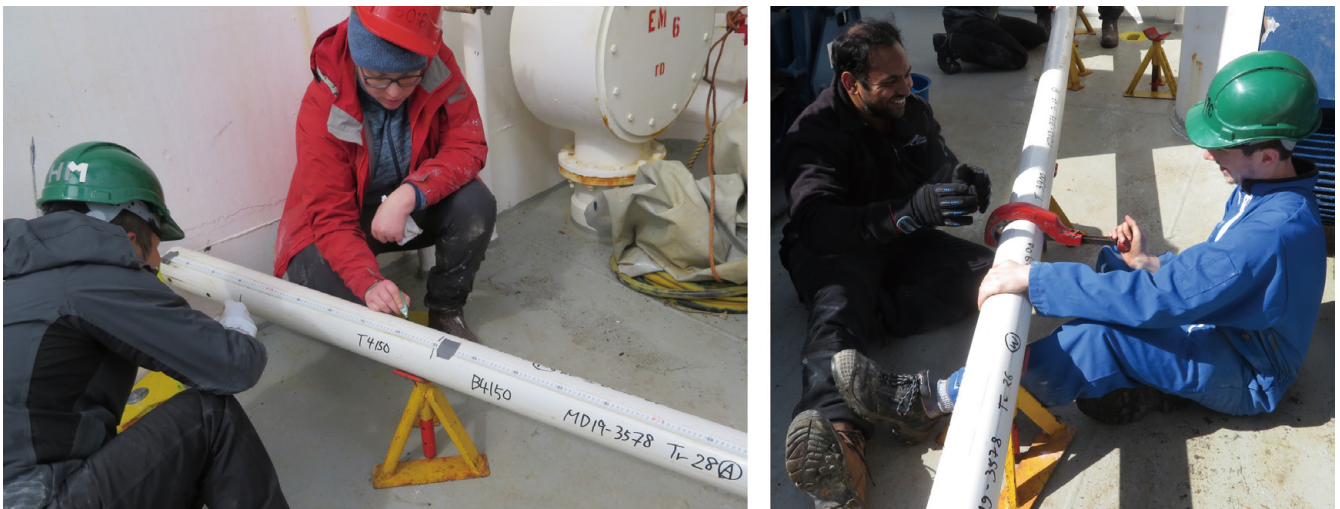


写真11 甲板上でのセクション毎のコア解体作業。コアトップからの深度を測り、1.5 m 毎にコア情報を書き込んで（左）から、切断する（右）。

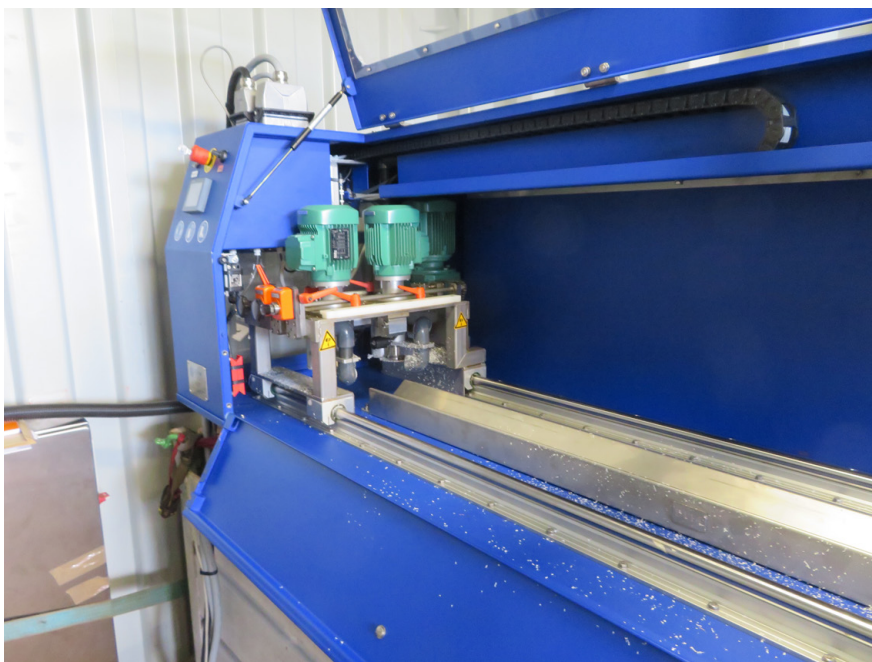


写真12 格納庫のコンテナに設置された
コアインナーチューブ切断装置



写真13 コアの半割作業



写真14 コアラボに設置されたコア写真撮影装置

肉眼記載の時間を単純に計算すれば、15分程度になります。今回の場合には、ピストンコアが揚収され、コア処理作業が始まってからおおよそ12時間程度でMSCL測定を除くコア処理作業が終了する感じでした。

船上ではフランスボルドー大学のチームによって、船上での測定結果が集約され、全体に配布されたほか、入港前日に主席研究者であるCrosta氏によって採泥地点毎の簡単な要約が紹介されました。

4. MD号での生活

MD号での生活は快適でした。今回は乗船研究者数が少ないこともあって、大学院生も含めすべての研究者が一人部屋でした。筆者の割り当てられた部屋は左舷側の部屋でしたが、ベッドと机、ロッカーとトイレ、シャワー付きの部屋でした(写真15)。食事は朝、昼、夜の3回ですが、深夜勤務の場合にはバケットとチーズ、ハムなどの軽食が取れるようになっています。朝食はパンにコーヒーあるいは紅茶とジュース程度の軽いものですが、昼食と夕食は前菜から始まって、メイン、チーズにデザートと給仕されます(写真16)。全部食べていたら、確実に大きくなります。メニューも多彩で、飽きさせませんでした。ただ、ベジタリアンへの対応は慣れていないのか、オムレツの時間が多く、これでオムレツ何回目、とベジタリアンの人はぼやいてい

ました。また、昼と夜にはワイン(赤とロゼ)が各テーブルに置かれる他、船長や主席研究者からの差し入れでボトルワインが出されたこともありました。帰りの入港前日の夜はヘリデッキでバーベキューを楽しみました。調査地までの往復では、食事が終わると食堂の横のバーのスペースでそれぞれ好きなものを飲みながら(アルコールもあり、免税)、ダーツやカードゲームで遊んだり(写真17)、若い人たちは映画鑑賞会や倉庫スペースでのバトミントンを楽しんだりもしていたようです。

筆者の割り当てられた左舷側の部屋は窓から海が見えて、なかなかいい感じでした。一方、右舷側の部屋は直下がコアの出し入れに使われる舷側の通路でダビットクレーンも動くので、コアの投入・揚収の時には寝ていられないと言っていました。部屋の掃除は二日に一回、給仕の人がやってくれます。洗濯は各自で行いますが、洗剤はないので自分で持ってこい、という指示が乗船前に主席から流れてきました。同じく、シャワーはあるものの、石けんやシャンプーもないので、これらは自前で持ち込みました。

船内にはWi-Fiが張られていて、船内のほぼどこでも船内LANには接続可能でした。しかし、インターネットはラボの2台のコンピュータのみということになっていて、自分のコンピュータからは接続できません。陸上とのメールのやり取りは専用のウェブメールシステムを介してでしたが、問題なく利用できました。インターネットに接続で



写真15 MD号の居室(レユニオン停泊中)



写真 16 昼食（上2つ）と夕食（左下）とデザート（右下）



写真 17 バーでゲームに興ずる研究者たち

きる2台のコンピュータについてはネット上での動きも普通で、研究情報の検索に使っていた人もいました。一方で、裏技を介して自分のコンピュータでネットに接続していた人もいたようです。

MD号は前述の通り、フランス領南方・南極地域の島々への物資輸送船でもあります。このため、これらの島々からの郵便物を取り扱うので、船の上に郵便局があるという珍しい船でもあります。研究航海でもレユニオン島への帰路、郵便局が開局されました。何度かこの船に乗った経験

のあるフランス人研究者はそれを承知で、陸上でこの地域の切手を買って乗船していました。切手の図柄もこれらの島々やフランス人によるこの地域の探検、ペンギンや海鳥、海棲生物など様々で、かつ綺麗なものでした。MD号の絵葉書や封筒はバーで購入することができます。多くの外国人はそれぞれ好みの切手をその研究者から購入して送りましたが、船長や主席研究員、船医のサイン付きスタンプや航海毎のスタンプなどスタンプの数が多く、ラボの大きな机で手分けしてスタンプを押す作業をしました



写真18 MD号の絵葉書(左)と船上郵便局でのスタンプ押し作業(右)

(写真18)が、絵葉書では全てを押しきれない状態でした。

今回はボルドー大学を始めとしたフランスの人たちが主体でしたので、公用語は英語でもフランス語が普通という世界でした。日本人は高知大の松井さんと私の二人だけでしたし、私は研究者チームの中で多分最年長だったので若い人たちと一緒に遊ぶということもなかったので、比較的余裕を持って過ごすことができました。

5. レユニオン島とクローゼー諸島

入出港地となったレユニオン島(写真19)はインド洋のマダガスカル島の東、モーリシャス諸島の南西の南緯約21度に位置するフランスの海外県の火山島です(第2図)。その大きさは面積2512 km²(神奈川県とほぼ同じ)と車があれば1日で回れる程度の大きさですが、東に2018年にも噴火したことのあるピトン・ド・ラ・フルネーズ火山(写真20; 標高2631 m)、西に開析の進んだ古い火山のピトン・デ・ネージュ山(標高3069 m)からなり、洋上からでも目立つ島です。フランスの海外県のため、パリからは複数の航空会社により毎日の航空便があるほか、タイのバンコクへも直行便が飛んでいます。モーリシャスとの間にも飛行機便があるので、モーリシャス経由でレユニオンに来た研究者も多くいました。火山と多雨で作られる島の景観は「レユニオン島の尖峰群、圏谷群及び絶壁群」として世界遺産に登録されています。島の西側の海岸は珊瑚礁が発達する場所(写真21)もあり、フランスからの保養客の滞在地にもなっているようです。

一方、二つ目と三つ目の調査地点の間に位置するクローゼー諸島は南緯約45度に位置するフランス領南方・南極地域に属する火山島です(第2図)。一番大きな島はポセッ

ション島で、次いでレスト島、コション島などからなります。ポセッション島にはアルフレッド・フォール基地があり、気象、生物、地質の調査や地震や地磁気の観測が通年行われています。大洋底からそびえる海底の高まりの上にはクローゼー諸島のいくつかの島が点在します。南極周回流の流れる緯度帯にあるこの島は海鳥とペンギンの島でもあり、MD号もペンギンの営巣地の沖合で少しの間停泊し、ペンギン観察(写真22)の時間を持つことができました。

6. おわりに

以上、簡単ですが、世界最長のピストンコアリング(giant piston coring)で有名なフランスの調査船「Marion Dufresne」(マリオン・デュフレーヌ)号の調査航海についてご紹介させていただきました。日本でも40 m級のピストンコアリングが可能な調査船ができています。また、IODPのmission specific platformで日本海溝での40 mジャイアントピストンコアリングの航海が予定されています。日本の調査船では多くの船で重量物であるピストンコアラーのオペレーションは昼間の作業とされています。筆者にとっては、効率の良い調査、特に多数の長尺コアを短期間に採取するにはどのような体制が必要であるか、甲板作業とコア処理作業の両方について実地で体験できた良い調査航海になりました。この航海への乗船のきっかけを作っていただいた高知大学の池原実教授とこの航海の首席研究員であるボルドー大学のXavier Crosta教授に深く感謝いたします。また、ピストンコアリングの技術的な点についてはテクニシャンであるGRAVIERチームの首席オペレータであったYvan Reaud氏にいろいろ教えていただきました。さらに、調査航海を共にした研究者チーム、乗



写真 19 洋上から見たレユニオン島。昼近くになると雲が発達し、島の頂部は見えなくなる。

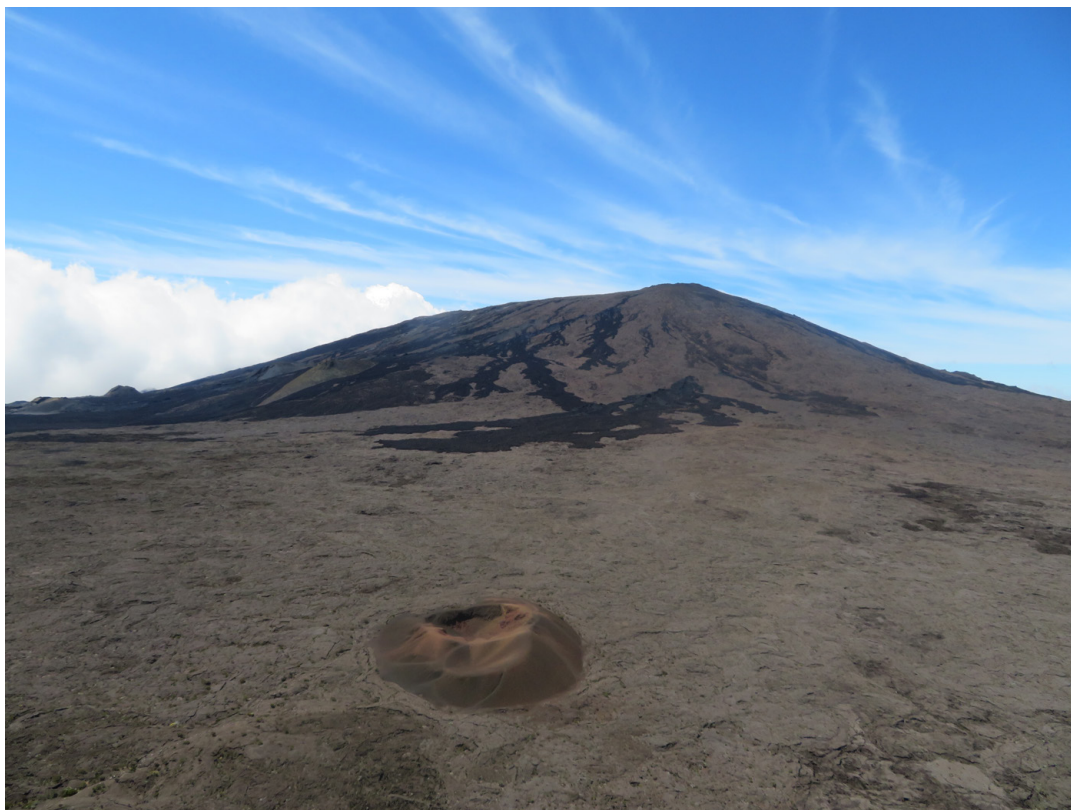


写真 20 レユニオン島のピトン・ド・ラ・フルネーズ火山（標高 2631 m）

組員の皆様，特にいろいろ助けていただいた日本からの参加者である松井さん，Matthieu (Civel) さん，Xiangyu (Zhao) さんと Elizabeth Michel さんを中心とした筆者と同じ 0 時から 4 時のシフトで一緒に働いた皆さんに感謝したいと思います。

文 献

Rousseau, D.-D., Leau, H., Reaud, Y., Crosta, X. and Calzas, M. (2016) Top-class, new generation sediment coring on Research Vessel Marion Dufresne. *PAGES Magazine*, 24, 26.



写真 21 レユニオン島南側の珊瑚礁の発達する海岸



写真 22 クローゼー島（左上）とペンギン営巣地（左下）と船のそばまで来たペンギンたち（右）

Szeremeta, N., Bassinot, F., Balut, Y., Labeyrie, L. and Pagel, M. (2004) Oversampling of sedimentary series collected by giant piston corer: Evidence and corrections based on 3.5-kHz chirp profiles. *Paleoceanography*, **19**, PA1005, doi: 10.1029/2002PA000795.

IKEHARA Ken (2020) Introduction of R/V Marion Dufresne and her giant piston coring system CALYPSO II: A report of cruise MD218.

(受付：2020年3月31日)

丹波帯東南部，天ヶ瀬のデュープレックス群

楠 利夫^{1), 2)}

1. はじめに

京都府宇治市東部の^{あまがせ}天ヶ瀬ダム(2019/06/05 京都府位置情報：北緯 34° 52'52"，東経 135° 49'41") 下流約 500 m，宇治川に志津川が合流する付近の河床に分布する“天ヶ瀬砂岩層”にて比較的大きい露頭規模の duplex 構造を見出した。露頭規模における duplex 構造の報告は，Hanamura and Ogawa (1993)以降多くなっているが，丹波帯での報告は今回が初めてである。

本露頭はダムの「放水路トンネル」建設に伴う下流の護岸工事で水位を下げたため，これまで水没していた部分まで露出し見出された。現在，本構造の主要露頭の^{はつこうぼし}一部は常時観察可能であるが，全貌は水位低下時に限って白虹橋から観察できる。しかし，「放水路トンネル」の吐口部が対岸の斜め上流で近くにあり，工事完了後は水位上昇と流水の攻撃面による露頭の侵食と水没の可能性がある。この露頭は，duplex 構造はもとより，海溝周辺の「剥ぎ取り付加」や「底付け付加」が陸上で確認できるなど，模式的構造形成過程が分かる珍しい露頭であるため，記録として残しておく必要がある。

2. 地質概略

京都府宇治市東部は丹波地帯東南部に位置し，前期ジュラ紀前期の放散虫化石群集の産出するブローケン・フォーメーション(以後天ヶ瀬 Br.：変形による破断のため連続性を失った砂岩泥岩互層)と前期ジュラ紀中・後期～中期ジュラ紀最前期(楠，2001a)のメラランジュからなる付加体で，当地域西方の京都西南部図幅では田能ユニット(宮地ほか，2005)，広域対比ではⅡ型地層群の TIIc-TIIb ユニットに相当する(楠，1989，2001b；脇田ほか，2013：第 1 図(a))。天ヶ瀬ダム付近はチャートや緑色岩類(玄武岩類)を含まない層準で，砂岩・泥岩主体のブローケン・フォーメーションとして区分されている(脇田ほか，2013；楠，2019)。天ヶ瀬 Br. は，年代的に新しい志津川メラランジュの上位に重なり，各ユニットの上位が古いと

いうⅡ型地層群の付加体と同様の特徴を呈している。天ヶ瀬 Br. の一般走向は N65°～70° W，傾斜が 65° S で，志津川メラランジュの背斜軸南翼に位置する。

天ヶ瀬 Br. には，整然相(第 1 図(b)：正常堆積物で整然層とも表記されている。単層間は整合的な層序関係があり，走向方向への連続性が比較的良く保たれている堆積相)が挟まれる。天ヶ瀬ダム下流の河原に分布する整然相は，内部堆積構造と外部堆積構造から南上位で，堆積体はレビーやレビー崩壊礫岩と削り込みが頻繁する上方薄層化・細粒化の堆積サイクルを示すチャンネル充填堆積物とされ“天ヶ瀬砂岩層”と呼ばれている(楠，1989，2001b)。整然相最上部の極細粒砂岩・泥岩互層の泥岩部からは，*Cosmorhaphé* や *Nereites* タイプの深海相を示す生痕化石や，波長数 mm で波高 1 mm 以下の非対称タイプ漣痕も見られ，大陸斜面最下部から海溝までの堆積場とされている(楠，1989，2019)。

3. 付加体 duplex の特徴と観察のポイント

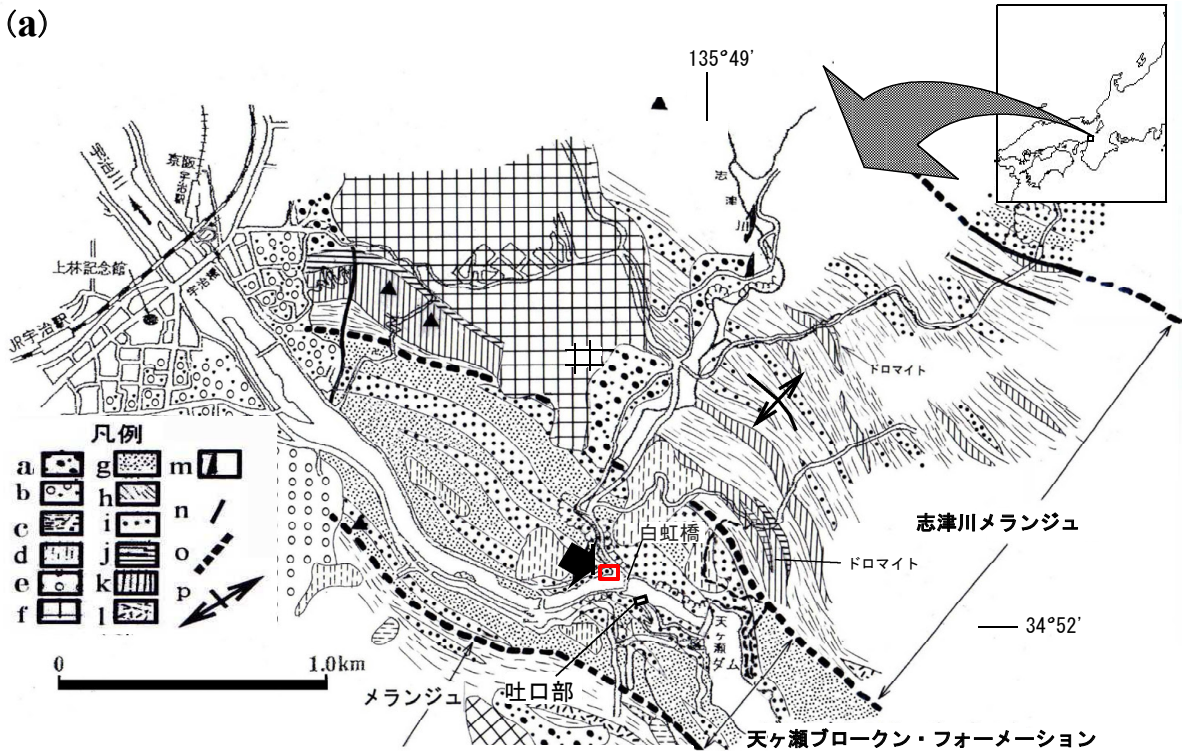
duplex 構造は付加体のほか，大陸縁辺の重力崩壊(数百 km オーダーの巨大な海底地滑り)や正断層・逆断層などによっても類似構造が形成される(村田，1996，p879；川村・小川，2008；村田・福田，2012)。一般的に付加体で見られる衝上性のものはピギーバック型(下盤側に新しい衝上断層ができる)で，duplex と呼ばれている。これら付加体の構造は，近年の海洋掘削や多成分反射法探査(multichannel seismic profiler)の映像で得られた DSDP・IODP や最近の海洋底データの解析でよくわかっている。本項では前半でその記載と剥ぎ取り付加と底付け付加について述べ，後半で露頭観察のポイントについて触れる。

duplex は，深さ 10 km を超える深部の底付け付加現象で普通に生じ(Kimura *et al.*, 2010)，「断層の変位が次々と前方に移動していき，それにより分枝し合流した 2 つの断層によって囲まれた岩体(ホース：horse)が覆瓦状に積み重なる構造(小川，1998，p295 右段)」とされている。一般には，海洋プレートの沈み込みの際の側方圧縮力

1) 同志社国際中・高等学校

2) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門 元客員研究員

キーワード：duplex，順序外衝上断層，覆瓦ファン構造，ブローケン・フォーメーション，ジュラ紀，丹波帯東南部



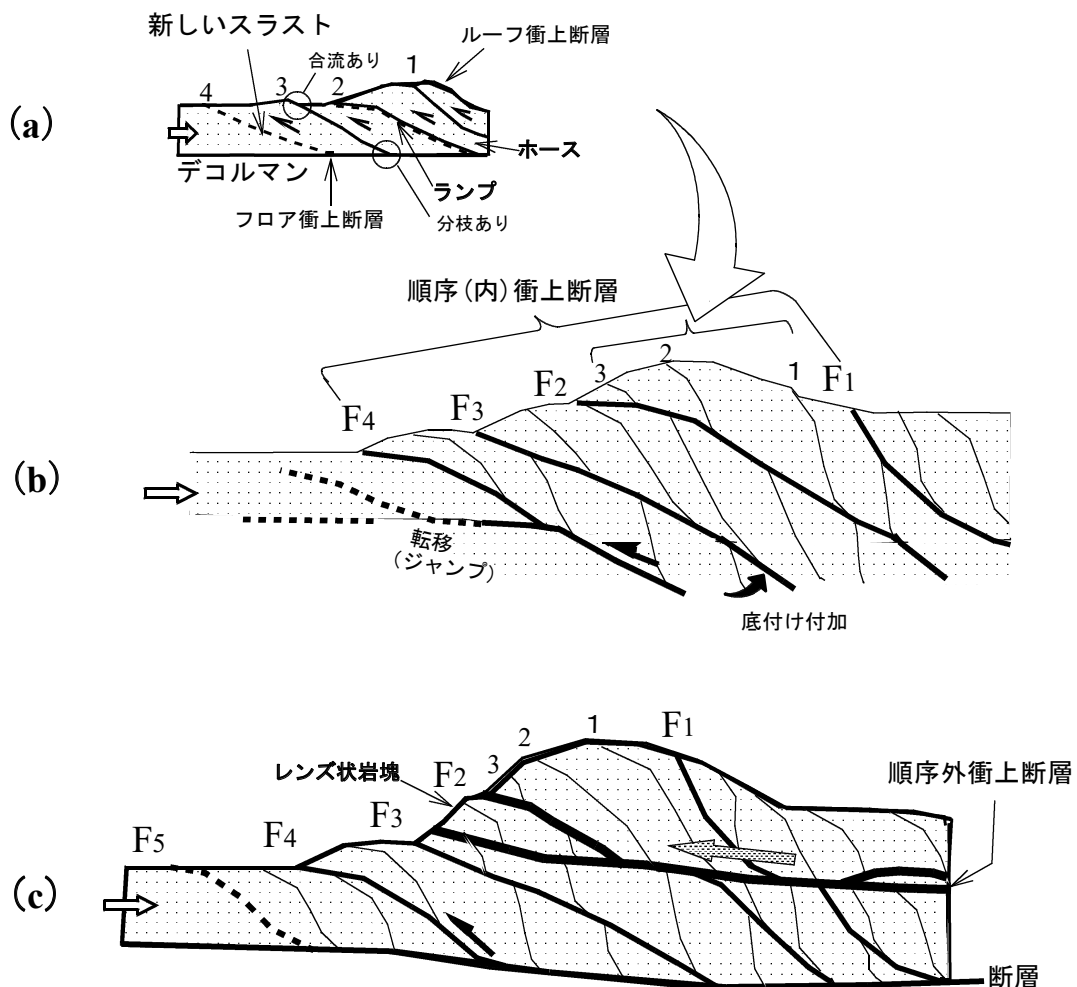
第1図 (a) 宇治市東部、朝日山-天ヶ瀬地域の地質ルート図(楠, 1989, 2019; 脇田ほか, 2013 を元に改変作成)
 a: 崖錐堆積物, b: 低位段丘堆積物, c: 高位段丘堆積物(I), d: 高位段丘堆積物(II), e: 大阪層群長池層,
 f: 大阪層群深草層, g: 破断砂岩泥岩互層, h: 泥質混在岩, i: 厚層理砂岩, j: 砥石型珪質粘土岩, k: 層状チャート,
 l: 緑色岩(玄武岩), m: 岩脈, n: 断層, o: 岩層境界, p: 背斜軸, □: 調査位置, 吐口部: 天ヶ瀬放水
 水路トンネルの吐口部
 (b) 宇治川増水時, 調査位置における河床付近の duplex 構造を呈する露頭の状態. 河床から北側の法面
 には整然相が見られる. また, 増水時には duplex 構造を呈する露頭のほとんどは水没し侵食を受けている.
 写真は白虹橋から北西方向に撮影したもので整然相部分は上方細粒化・薄層化が認められる(楠, 1989).

によって、ほぼフラットな2枚の堆積面に水平な衝上断層(デコルマン)の間に、剥ぎ取られた岩体が挟まれ、覆瓦状の傾斜構造を duplex と呼んでいる。「2つの断層」の合流する層理に平行な上側をルーフ衝上断層(高位フラット)、分枝する同様の下側をフロア衝上断層(低位フラット)と呼び、低位フラットからホースが傾斜に沿って移動した走向滑り成分を表す面をランプと呼んでいる(Park, 1983, p. 69: 第2図(a)).

ところで、生じつつある duplex の新しいデコルマンは、増加する自重と横圧力によって、一定の間隔で構造的低位側に転移(ジャンプ)し、底付け付加を繰り返す(第2図(b)). この低位へ新しく連続的に生じる衝上断層 F1 ~ F4 を順序(内)衝上断層(in-sequence thrust: IST)と呼んでいる。底付け付加によって生じた各衝上断層は、上に開いた(発散した)形態の覆瓦ファン構造を形成する(木村, 1998). その後、第2図(c)のように連続的に底付け付

加された岩体を切る低角の逆断層(順序外衝上断層 out-of-sequence thrust: OST)が後方から生じ、付加体はプレートの移動方向とは逆向きの下側に再配列して付加し、全層厚はさらに厚くなる(木村, 1998). このとき、OST で切られた duplex の上部(下部)の岩体は、衝上断層で囲まれた「レンズ状の岩塊」として OST 直上(直下)に沿って並行に分布する(第2図(c)).

一般的に、砂岩泥岩互層やチャートなどは、大洋底や深海底で水平な一定の広がりを持つ堆積面を作る。これらの地層は、メルクマールとなる岩相や同生堆積構造(syngentic: 堆積時や堆積直後の堆積構造)が明瞭に連続し、側方数メートル単位で層厚の堆積リズムなどが急激に変化することはない。このため、露頭表面が duplex をどんな角度で切断しているかを図学的に立体視することのみで、規則的図柄から比較的容易に duplex を確認できる。しかし、天ヶ瀬の堆積物は塊状砂岩も多く、レビー崩壊礫



第2図 ビギーバック型の duplex, 順序(内)衝上断層, 順序外衝上断層の形成過程と構成要素の名称(木村, 1998 を元に改変作成). (a) 剥ぎ取り付加と duplex 構造の形成と名称. 断層に分枝と合流がある. (b) 底付け付加と覆瓦ファン構造の形成で F1 → F4 は古いデコルマンから新しいデコルマンへ. (c) 順序外衝上断層 (OST) の形成と付随するレンズ状岩塊.

岩や巨礫を含むチャンネル充填堆積物、海底土石流堆積物なども含み、層厚が走向方向の数 m 先で変化していたり、侵食面が凹凸でランプ部分に至っていたりするため、露頭で直線に見えるはずのランプ部分の線が図学的に曲がっていたり消えていたりするなどホースをなす岩体を特定することさえ容易ではない。この場合、基準となるのはデコルマンである。デコルマンはほぼ水平な面を持って形成されるため、底付け付加の覆瓦ファン構造は「露頭規模」程度ではほぼ等間隔の数本の直線状の衝上断層として観察される。また、後で述べる「鞘状構造」のように鞘^{きや}だけに焦点を当て duplex 構造の全体像を把握するような観察方法が必要となる。本稿では写真に多色の補助線や文字を入れて識別図として示す。

4. 天ヶ瀬の duplex と順序外衝上断層

河床露頭のうち、南東部の断層 Fa (N20° E, 60° SE) と断層 Fb (E-W, 80° S) で囲まれた内側 (南側) に主要な duplex の露頭が認められる (第 3 図 (a), (b))。また、断層 Fb 北側 (道路側) 露頭は整然相 (第 1 図 (b)) : 走向 N70° W, 65° S 傾斜) である。これら断層で接する二つに区分された碎屑岩層のうち、断層 Fb の南側の砂岩の岩相は、楠 (1989) で報告された整然相の岩相層序の下部から中部に認められる岩相である。このことから、断層 Fb で二分された露頭は、本来一連の堆積物であったか、もしくは同一堆積場におけるサイクリックな堆積物であったと推定される。

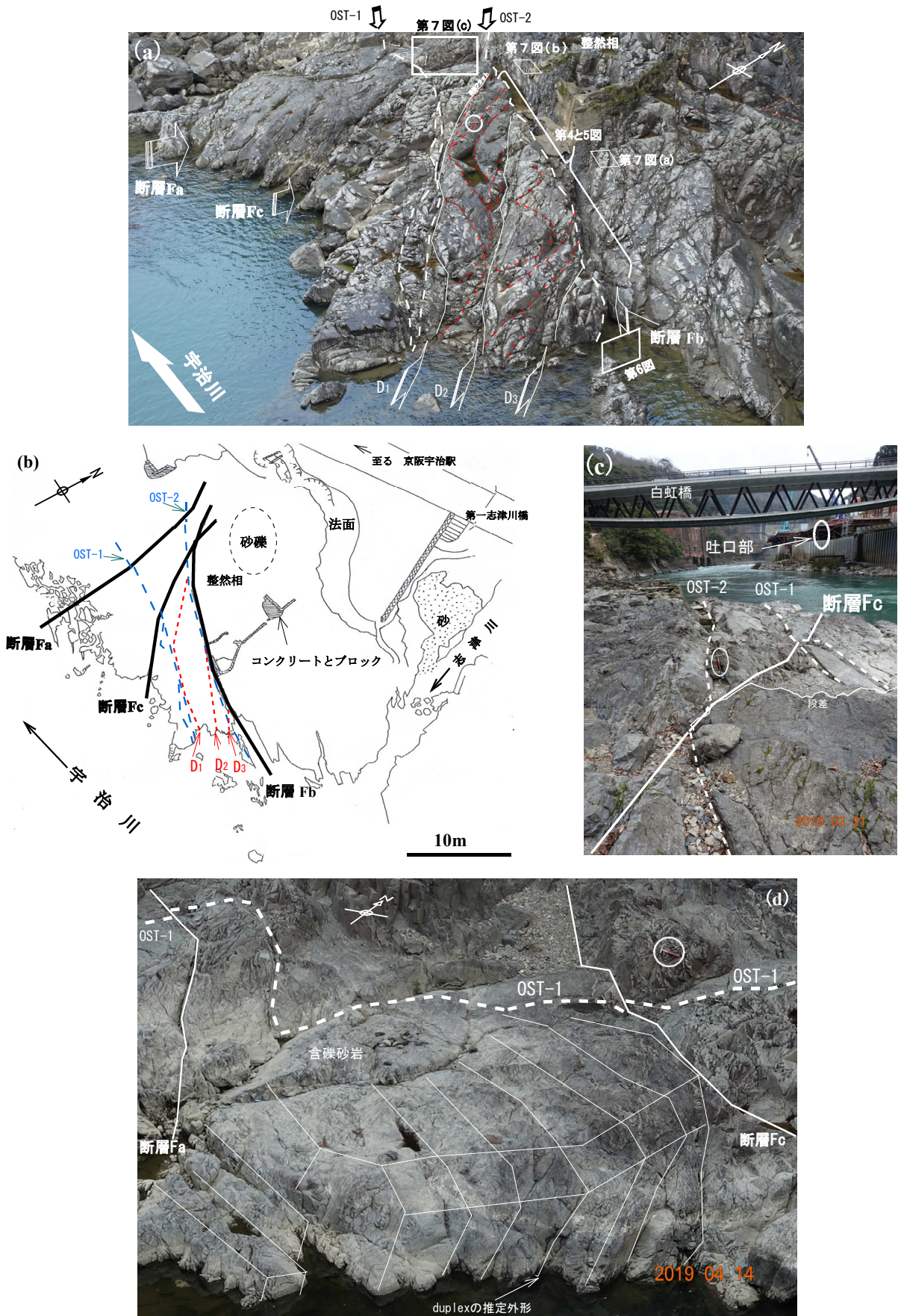
川側に面した露頭は、さらに断層 Fc によって東西 2 つに区分できる。理由は、覆瓦状構造の表面に残る細礫質の含礫砂岩の侵食状況により見かけが異なるためである。一方は、断層 Fc (N40° W, 60° W) の東側の露頭 (上流側 : ダム側) で侵食が進んだ結果、一部を除いてホースとなる砂岩がランプ部分まで露出している部分がある反面、含礫砂岩はホース間に挟まれたフラットランプの屈曲部と中央部にわずかに残り、衝上断層の合流を確認できる。他方は、断層 Fc 反対側の西側の露頭 (下流側) で、含礫砂岩がホースを全面的に覆い、覆瓦状構造の外形だけが見える露頭である (第 3 図 (a), (d))。この二つに区分した露頭の特徴について、前章の第 2 図に合わせて以下に記述する。

断層 Fc 東側の特徴 : 第 3 図 (a) のようにルーフとフロアの各衝上断層 (N50° W, 45° ~ 50° S 傾斜) は、ほぼ等間隔で D1, D2, D3 の 3 本の断層が認められる。これらは志津川背斜南翼の南上位であることから、上部から下部 (南側から北側) へ D1, D2, D3 と底付け付加によ

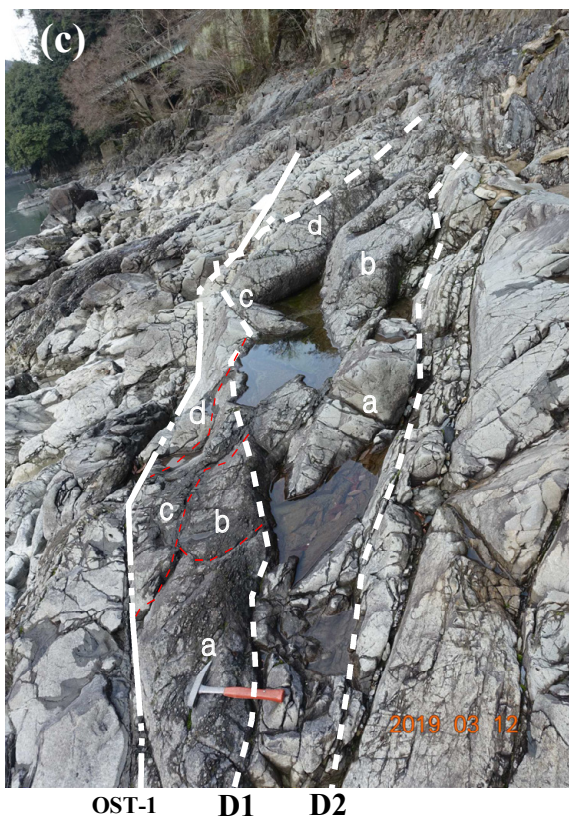
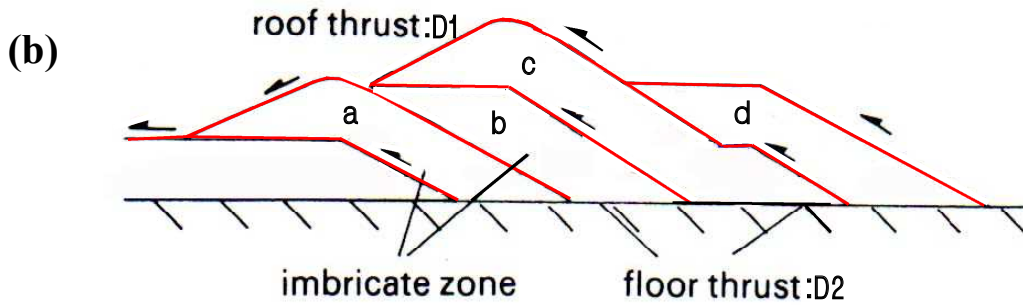
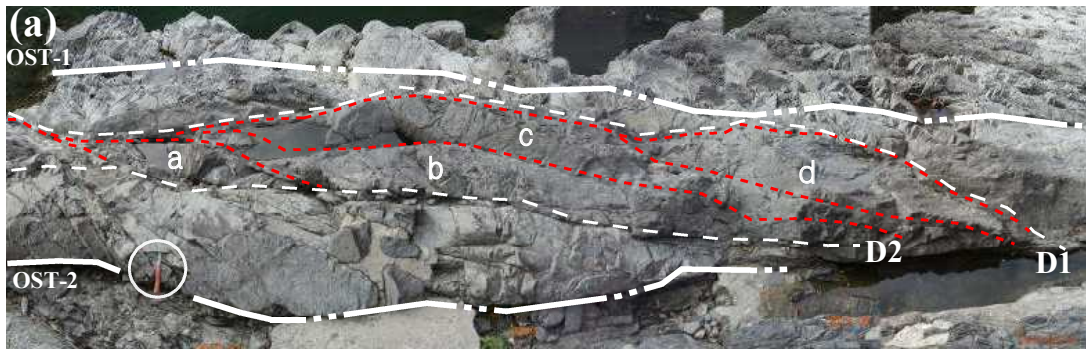
て連続的に形成された順序 (内) 衝上断層と位置づけられる。このルーフとフロアの各衝上断層で挟まれた内部には、第 3 図 (a) のハンマー部とその拡大図 (第 4 図と 5 図 (a), (b)) のように衝上断層 (D1, D2) に囲まれた duplex のホースの岩体 (a, b, c, d) が認められる。特に第 4 図 (a) は D1 と D2 に平行な視線で撮影したもので、D1 と D2 に挟まれた領域には、一部含礫砂岩で覆われ、侵食による欠落と水没 (第 5 図 (c)) も認められるが、Park (1983, p. 68 ~ 69-fig.9-11E) : 第 4 図 (b)) の典型的な duplex とされる構造と同様な構造が認められる。この (a) 図はルーフ (D1) とフロア (D2) の衝上断層 (白鎖線内) で挟まれ、覆瓦状のランプ (赤鎖線) で囲まれた a, b, c, d, のホースが重なり、分枝と合流の点で第 4 図 (b) に類似性が見出せる。さらに、第 4 図 (c) に D1 直上にも同様の a, b, c, d の構造が繰り返している。第 4 図 (a) と第 5 図 (a) の duplex のホースは、D2 と D3 の順序 (内) 衝上断層が順序外衝上断層の OST-2 (第 5 図 (a), (b)) : 東西に分布する侵食された細い溝状の部分は断層 Fb に起因) によって約 30° で斜交し、ホースの岩体が縦断面より約 2 倍長く見えている。第 5 図 (b) は、断層 Fb の共役な方向で切られた面で表面を覆っている含礫砂岩が侵食され、低位フラットの部分が明瞭に露出している。第 5 図 (a) の東端で D3 付近の露頭は、増水の影響で上部 1/3 が欠けているが、残った部分で衝上断層の分枝や合流が観察できる。目を転じて、志津川の河口側から衝上断層面に平行な視線でこの露頭を観察すると、第 5 図 (c) の東側 (左側) のフロア衝上断層の分枝の位置 (ハンマーの柄の端部) から赤鎖線のように、ホースの衝上断層断面の曲率の変化や層厚の連続性から、大きく上下にうねりながら下位のホースに被さっており、背斜状スタックの duplex に近いものと判断される。また、第 6 図 (a) で河原露頭面がほぼ平坦でランプとは低角の斜交関係 (約 15° の南西傾斜角) であること。河原露頭面とランプの交線が、第 3 図 (a) の赤鎖線 (D1-D2 間と D2-D3 間) のように北東側 (右方向) に緩い凸の線であることから図学的に見ると、露頭付近のランプは向斜状の面で、「全体にランプは波がうねった形態である」と判断できる。

次に、順序外衝上断層 (OST-1 と OST-2) について記述する。順序外衝上断層は、第 3 図 (a) ~ (d) の白太鎖線の断層である。

OST-1 は第 3 図 (b), (d) のように露頭全体を直線的に切っているが、断層 Fa や断層 Fc によって切られている。また、第 3 図 (a) 中の四角内を拡大した第 7 図 (c) で詳しく見ると、OST-1 は「レンズ状の塊状砂岩」の手前 (東側) で断層 Fc に切られた後 2 本に分枝し、2 本の OST-1



第3図 (a) 露頭と各断層および図の位置。○：ハンマー位置。Fa, Fb, Fc：記載ブロック境界の断層，OST：順序外衝上断層，D1, D2, D3：順序(内)衝上断層。(b) 調査地域のルート図と断層位置の概略図。(c) 露頭の西側からの撮影で，順序外衝上断層(OST-1, OST-2)と断層Fcの関係を示している。順序外衝上断層は，断層Fcによって切られながら断層を越えて西側に延びている。(d) OST-1と断層Fa-断層Fc間の南側露頭で，duplexが含礫砂岩によって全面的に覆われる露頭。細実線は「鞘状構造」から推定されるduplex構造の外部形態。



第4図 (a) 第3図(a)のハンマー部をD1とD2に平行な方向からf: 24mmレンズで平行に7枚撮影した合成画像。赤鎖線: ランプ。白鎖線: D1がルーフスラスト, D2がフロアスラスト, a~d: ホース。○: ハンマー位置。(b) 典型的な duplex (Park, 1983, p68~69-fig.9-11のE図を改変作成) とされる構造模式図。ホースa~dが(a)図の同文字に相当する。(c) 第3図(a)ハンマー部分の拡大写真。a~dに相当する凸部の露頭, 背斜状の軸部分が欠けたり侵食されたりして水がたまっている。覆瓦状のホースで積み上げられた二階建ての構造。D1, D2: 順序(内)衝上断層。OST: 順序外衝上断層。

に挟まれる形で「レンズ状の塊状砂岩」が認められる。さらにその内部を詳しく見ると、含礫砂岩と高位フラットーランプの屈曲部が認められ、「レンズ状の塊状砂岩」がOST-1によって切断されたホースの上端部であることがわかる。これらのことから、OST-1は前章の第2図(c)で示した順序外衝上断層の特徴と一致する。

OST-2は第3図(c)と第6図(a)を見ると断層Fbの直

南側の位置に伏在していたことが分かる。つまり、第6図(b)の断層Fbは傾斜が80°Sの正断層で、固結後の非対称変形と破碎を伴う断層である。また、duplexの低位フラットの傾斜は65°Sで、D3や整然相の層理面とほぼ平行であるが、OST-2は順序(内)衝上断層(D1, D2, D3)を約30°の低角で切り、OST-1と同様に破断や破碎の形跡が見られない断層である。さらに、断層Fb直下の砂



第5図 (a) duplexを第4図(a)より角度で約 10° 上からf:24 mmレンズで平行移動することで撮影した合成画像。D1, D2, D3:順序(内)衝上断層。第4図(a)のduplexの全体写真。○:ハンマー位置。(b) duplexのフロア衝上断層部(中央がD2)とホース。(c)背斜状スタックに見えるduplex。白鎖線□内:ホースの欠けや凹みのある部分。赤鎖線は背斜状スタック。

泥互層や砂岩層(整然相)には第7図(a)や(b)のようなハンマー大の小さなduplexが認められ、それらの低位フラットの走向傾斜は第4図のduplexにほぼ等しく、構造上の大きな変化が見られない。これらの点から、断層Fbは、順序(内)衝上断層が下底で収斂する順序外衝上断層(OST-2)であった所に、固結後に生じた断層と判断できる。

断層Fc西側の特徴:露頭は先に区分基準で示したように、主に含礫砂岩で覆われた高位フラット(走向 $N^{\circ}40^{\circ}W$, $50^{\circ}S$ 傾斜)とランプ(走向 $N40^{\circ}W$, $20^{\circ}S$ 傾斜)しか見ることにはできない。しかし、第3図(a)の上辺中央部の白色実線四角の位置に、含礫砂岩で覆われたこの不明な露頭の内部構造を詳しく観察できる露頭が見られる(第7図(c))。露頭は風化侵食を受けたホースの断面で、南北性の断層Fcによって生じた節理面で手前(東)側の岩石が侵食されてなくなり、含礫砂岩の内部構造が見えている。この断面を例えるなら、全体に枝豆の背面がそぎ落とされて中身が見えるように、傾斜して並んでいるduplexで、枝豆の鞘状の構造(鞘状構造 sheath structure:ホースの部分

はやや変形した砂岩泥岩互層と砂岩、鞘の部分は含礫砂岩)である。やや厚い層状砂岩の部分で膨らみ砂岩泥岩互層の部分でやや凹んで、含礫砂岩が鞘となる形のduplexである。鞘状構造の西側は、その形を収斂させ、衝上断層の分枝らしい砂質頁岩が見える。このように後者の露頭も前者と同様に内部にはduplexが認められると推定される。そのduplex構造の外形は、第3図(d)の細白実線のようなものである。フラットやランプと推定される走向傾斜は断層Fcの東側露頭と変化はない。以上のように、断層Faと断層Fcで囲まれた露頭もduplexと順序(内)衝上断層で構成されていると推定できる。

全体に、白虹橋から露頭を遠望し詳しく観察すると、第8図のようにA'にも下底に四角で囲まれた背斜状スタックが認められる。さらに、下部から上部への岩相変化の類似性と周期性などから、このAとA'は順序外衝上断層によって再配列し繰り返している(小川・久田, 2005, p57図A-3-17(c))ことが読み取れる。



第6図 (a) 河床から西北西方向に撮影した露頭の断面写真。断層 Fb とデコルマン (D3) や OST-2 と走向傾斜を含めて明瞭に異なる。また、OST-2 や D3 のフラットを南東方向を軸に時計回りで水平にすると、ランプの傾斜が南南西フェルゲンツとなる。(b) 断層 Fb による砂岩の S 字の非対称剪断。

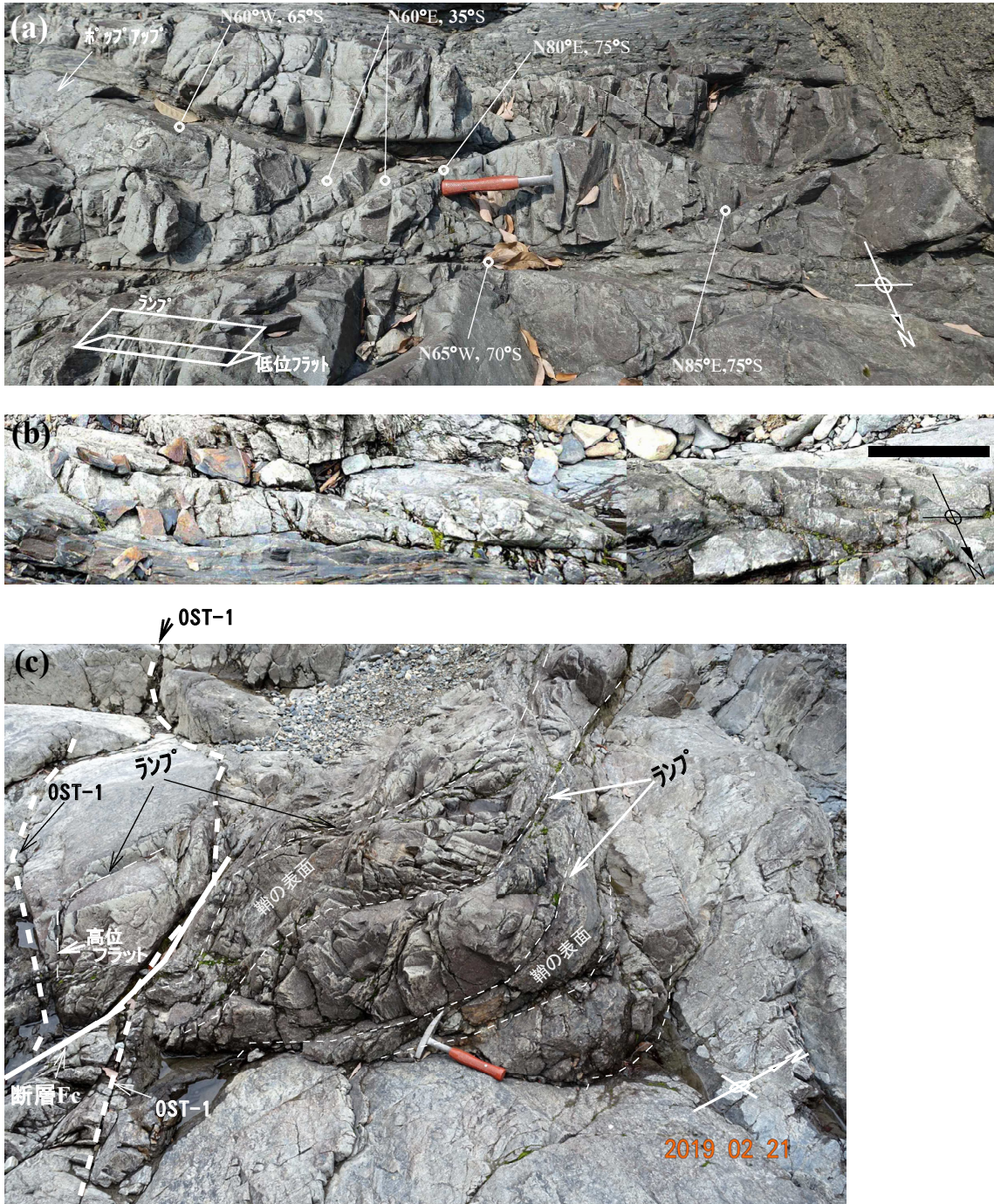
5. 考察

「duplex は海洋プレートの沈み込みの向きに制約を与え、地域のテクトニクス解明に有用である(山本ほか, 1998).」と指摘されている。本考察では前期ジュラ紀のイザナギプレート(古太平洋プレート)の沈み込みの運動方向と duplex の特性について考察する。

天ヶ瀬の duplex は、志津川メランジュの背斜軸(第1図)の南翼に位置すること、ルーフおよびフロア衝上断層がこの背斜軸とほぼ平行であることから、天ヶ瀬 Br. と志津川メランジュの年代は異なるが、一連の付加プロセスで形成されたものと仮定できる。よって“天ヶ瀬砂岩層”に認められる衝上断層のフラット部や整然相を志津川メランジュの背斜軸(北西-南東方向)を基準に、背斜軸南翼回りに $65^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 回転復元すると、ランプ(北東に 25°

$\sim 30^{\circ}$ N 傾斜)は南西～南南西フェルゲンツとなる。さらに、日本海形成時の西南日本の 47° 時計回り回転(石川, 1995)を考慮し、反時計回りに復元すると、イザナギプレートの運動方向は、ほぼ南南東から北北西への移動方向となる。このイザナギプレートの海溝への沈み込み方向は「後期三畳紀～前期ジュラ紀の古太平洋プレートが北～北西への運動方向(八尾, 2009, p. 27)」と整合する。

さて、第7図(a)～(c)のランプは南西フェルゲンツの duplex で、上記のやや大きめの規模のものともほぼ一致する。このように、付加体で発見されている duplex のスケールは、手のひらサイズの「露頭規模」のものから、地質図上に示されるような数 km に及ぶ「マッピング規模」のものまで存在する(村田, 1998; 木村, 1998; 小川, 1998, p. 295)。このことから、duplex の基本的形態は、第5図(a)や第7図(a), (b), (c)のように大小と岩相



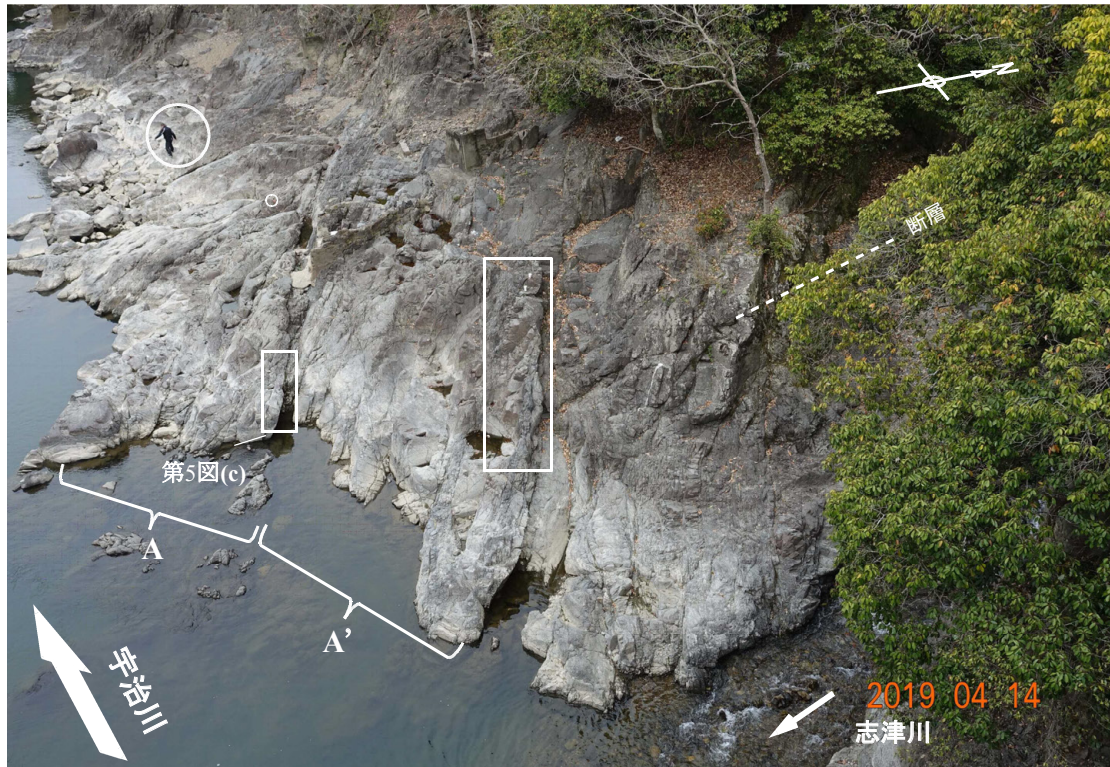
第7図 天ヶ瀬で見られるその他の duplex. (a) 左端の duplex では階段状の欠落によって覆瓦状構造を立体的に見える。コンクリート構築物を挟んで西にさらに存在する。(b) 整然相最上部の duplex. スケールは 30 cm. (c) 含礫砂岩が一部取り除かれた鞘状構造の duplex. ランプの走向 $N45^{\circ} W$, 傾斜 $25 \sim 30^{\circ} SW$, ホース内の塊状砂岩や砂泥互層が一部露出。左側には OST-1 に切られたフラット-ランプ屈曲部を含む「レンズ状の塊状砂岩」が認められる。

にかかわらず自己相似性があり、フラクタルな構造を持つといえる。また、付加体での duplex は「普通に生じる」とされているが、中生代の野外調査で見える混在岩相で、規則的な duplex を見かけることは経験的に少ないといえる。その理由は、陸上に露出して混在岩相となる時に多くの覆瓦状構造が失われるか、もしくは今回報告したように、フラクタルな特性と複雑さの混在により周辺構造に同化し

ているためと考えられる。

6. おわりに

「露頭規模」における今回の duplex の報告は、日本の前期ジュラ紀の付加体を代表する丹波帯 II 型地層群でイザナギプレートの運動方向を実証している。また、天ヶ瀬ブ



第8図 順序外衝上断層によるAとA'の再配列(繰り返し)による肥厚化. 南北性の断層(断層面の走向N15° W, 65° E傾斜)で乱されているが, AとA'の四角線内にスタックが見られる。○:人の位置とハンマー。

ローケン・フォーメーションの衝上断層群は、海洋掘削や多成分反射法探査の海洋底データと整合性があり、海溝での付加形成過程の解明によって得られた知識が、陸上露頭で付加体形成過程を合理的に説明できる点で貴重な露頭である。

文献

Hanamura, Y. and Ogawa, Y., (1993) Layer-parallel faults, duplexes, imbricate thrust and vein structures of the Miura Group: Key to understanding the Izu fore-arc sediment accretion to the Honshu forearc. *The Island Arc*, 2, 126-141.

石川尚人 (1995) 日本列島は新生代にどのような動きをしたか - 日本海の生成発達史 -. 公開普及講演会. 講演資料, 19-29. 日本地質学会関西支部.

川村喜一郎・小川勇二郎 (2008) ロンドン地質学会「Gravitational Collapse at Continental Margins」に参加して. *geo-Flash*, 48, <http://www.geosociety.jp/faq/content0131.html> (閲覧日: 2019年9月17日)

Kimura, H., Takeda, T., Obara, K. and Kasahara, K. (2010) Seismic Evidence for Active Underplating Below the

Megathrust Earthquake Zone in Japan. *Science*, 329, 210-212.

木村克己 (1998) 付加体の out-of-sequence thrust. 地質学論集, no.50, 131-146.

楠 利夫 (1989) 丹波帯Ⅱ型地層群天ヶ瀬砂岩層の堆積機構と堆積場. *地球科学*, 43, 211-223.

楠 利夫 (2001a) 宇治市東方, 宇治川沿いの丹波層群から産出した微化石について. 日本地質学会近畿支部報, no.1, 26-29.

楠 利夫 (2001b) 京都府宇治田原町の丹波層群の頁岩から産出したジュラ紀放射状化石とその意義. *地球科学*, 55, 313-317.

楠 利夫 (2019) 野外実習, 地域を生かした便利な地質巡検 (改訂版) - 宇治地域 -. *フォーラム理科教育*, no.20, 107-122.

宮地良典・楠 利夫・武蔵野 實・田結庄良昭・井本伸広 (2005) 京都西南部地域の地質. 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, 90p.

村田明広 (1996) デュープレックス. *地学事典*, 東京, 1443p.

村田明広 (1998) デュープレックスとメランジュー造山

- 帯に見られる特徴的な地質構造と地質体ー. 土と基礎, no.481-2, 13-16.
- 村田明広・福田佳代 (2012) 徳島県, 和泉層群中の衝上デュプレックスと伸張デュプレックス. 徳島大学自然科学研究, no.26, 31-37.
- 小川勇二郎 (1998) デュプレックス構造. 堆積学辞典. 朝倉書店, 東京, 477p.
- 小川勇二郎・久田健一郎 (2005) Field Geology 5 付加体地質学. 日本地質学会フィールドジェオロジー刊行委員会編, 共立出版, 東京, 160p.
- Park, R. G. (1983) Foundations of structural geology 1ed. BLAKIE USA, 135p.
- 脇田浩二・竹内圭史・水野清秀・小松原 琢・中野聰志・竹村恵二・田口雄作 (2013) 京都東南部地域の地質. 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, 124p.
- 山本由弦・太田恭史・小川勇二郎 (1998) 三浦半島南端の三崎層に見られるデュプレックス構造. 地質学雑誌, 104, XVII-XVIII.
- 八尾 昭 (2009) 日本地質学会編 日本地方地質誌 5 近畿地方, 2. 近畿地方の地質構造発達史 2-1. 古生代～ジュラ紀: 12-28, 朝倉書店, 東京, 453p.
-
- KUSUNOKI Toshio (2020) Duplex structures in the Amagase Broken-formation, southeastern part of the Tamba Belt, Southwest Japan.
-
- (受付: 2019 年 9 月 13 日)

令和元年度廣川研究助成事業報告

鉱山開発跡地における坑廃水の対策に係る 水文調査技術の動向調査および情報収集

松本 親樹¹⁾

1. はじめに

令和元年度廣川研究助成事業により、2019年5月28日から同年6月3日の期間でチェコ共和国(以下、チェコ)にあるオストラバ工科大学(写真1)を訪問し、23rd Conference on Environment and Mineral Processing (EaMP) and workshop(以下、EaMP2019)に参加した。また、本学会の統括者でもあるVladimír 准教授を訪問し、欧州の鉱山開発跡地における坑廃水の水文調査に関する情報収集をおこなった。本稿では、今回の訪問の内容について報告する。



写真1 オストラバ工科大学構内の様子

2. 研究及びEaMP2019参加目的

坑廃水(採掘坑道から出る坑道水と集積場から出る廃水の呼称)の問題は、鉱山開発により発生する水汚染の問題であり、開発地域周辺の環境に多大な影響を与えるため、世界中で深刻な問題とされている。本問題は、石炭や金属等の資源を採掘する際に、採掘残土に含まれる硫化鉱物が酸素や水に曝されることで発生する。一度発生すると、発生源となる硫化鉱物と酸素および水の接触が妨げられない限り、半永久的に発生し続けるため、膨大な坑廃水処理コストと時間を要することになる。我が国には、およそ5,000カ所の休廃止鉱山が存在しており、そのうちおよそ79カ所の鉱山において坑廃水の処理が必要とされている(田中ほか, 2017)。坑廃水の処理には、毎年、多額の費用を要しており、この処理費用を削減することが求められている。この処理費用の削減に通じる方法として、これまで殿物造粒技術や坑道閉そく技術等、様々な方法が検討されてきた(上田・増田, 2005)。筆者はこの中でも、水文学的視点から、採掘跡である坑道内に流入する地下水等の流入量を削減する方法に着目している。しかしながら、このためには坑道内とその周辺の地下水流動をよく理解することが必要不可欠となる。

広域の地下水流動を調べる水文調査において、近年では酸素・水素の安定同位体比、放射性同位体や溶存ガス等の環境トレーサーを用いた方法が広く利用されている(松葉谷・川原谷, 2014; 井手ほか, 2016)。酸素・水素安定同位体は、1950年ごろから水文学の分野で利用され始め(Craig, 1961)、地下水流動の調査に世界中で広く利用されてきた(Huang and Wang, 2017)。我が国の休廃止鉱山においても、鉱山周辺の地下水流動の調査に適用された実績がある(奥村, 2003; 富山ほか, 2016)。しかしながら、鉱山の規模や採掘方法、降雨量や坑廃水の量等、各鉱山における環境は大きく異なるため、鉱山跡地における水文調査に必ずしも酸素・水素安定同位体比を適用できるとは限らない。鉱山跡地の水文調査における本指標の有用性や汎用性を確認するためには、更なる情報の蓄積が必要である。一方で、chlorofluorocarbons(以下、CFCs)やsulfur hexafluoride(以下、SF₆)は地下水年代の推定に利用される環境トレーサーであり、数年単位で地下水の年代を推定できる。比較的若い地下水が坑道内に流入すると予想される国内の休廃止鉱山において、その有用性が期待されるが、わが国では2000年初期より利用され始めた環境トレー

1) 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

キーワード：坑廃水、水文調査、鉱山、同位体

サーであるため(浅井・辻村, 2010; 榊原ほか, 2017), 国内の休廃止鉱山での適用例は報告されていない。

筆者らはこれまで, 国内の休廃止鉱山において, 坑道内とその周辺の地下水流動を把握するために, 表流水および地下水の水質と酸素・水素安定同位体比に着目した水文調査を行うことで, これらの指標の有用性を示してきた(Matsumoto and Machida, 2019)。しかしながら, 上述の理由から, 鉱山跡地における CFCs と SF₆ の適用事例や, 酸素・水素安定同位体比の鉱山跡地への適用に関する更なる情報の蓄積が必要である。そこで筆者は, 自身のこれまでの研究成果の発表と欧州における坑廃水調査の情報収集を行うため, EaMP2019 が開催されたオストラバ工科大学を訪問した。

3. EaMP2019 参加報告

EaMP は, チェコのオストラバ工科大学で毎年開催されている鉱山分野に関する学会であり, 2019 年で 23 回目の開催となる。開催地であるオストラバは, 19 世紀に石炭開発や製鉄で急速に発展した都市であり, 周辺には鉱山開発に関する施設が数多く存在する(写真 2, 3)。本会議には同分野に関係する研究者・技術者が欧州を中心に世界中から 100 名以上参加するとともに, 資源開発による環境汚染, 選鉱, 資源回収, 自然エネルギー発電など鉱山・資源・エネルギーに関する幅広い分野の発表がおこなわれた(写真 4)。環境汚染に関する発表は 15 件あり, その中でも水汚染に関する発表は 6 件であった。筆者の発表も含めて坑廃水に関する発表は 2 件のみであったが, 坑廃水は世界中で生じている問題であり, 欧州においても多数報告されていることから, 多くの参加者に興味をもってもらうことができた。また, 参加者と議論を行う中で, 欧州における鉱山開発の歴史や坑廃水の現状とその対策に関する情報を収集することができた。

さらに本学会中に, オストラバ工科大学の鉱業・地質学部の副学部長であり, 本学会の統括者でもある Vladimír 准教授を訪問し, これまでの研究成果に関する議論や欧州における同様の研究事例, チェコの資源開発の歴史に関する情報収集を行うことができた。中世前期(西暦 500 ~ 1000 年)より, チェコは鉱山開発地域として有名な地域である。1875 年に Vojtech 鉱山で採掘深度が 1,000 m の深さまで到達し, 1940 年には本学会開催地であるオストラバの西に位置する Olomouch 州にある Anna 鉱山の Annenska Shaft が 1,455 m にまで達し, 当時ヨーロッパで最も深い鉱石鉱山となるなど(Grmela and Rapantova,



写真 2 オストラバの Vítkovice 地区にある製鉄所 (Dolní Vítkovice) 19 世紀に石炭開発により栄えた地域であり, それらの石炭を燃料として鉄の製造が盛んにおこなわれていた。工場を見学できるツアーがあり, 建物の上に登り, オストラバを一望できる。



写真 3 オストラバの街並み
写真右奥に見える工場地帯が写真 2 の製鉄所跡地である。ここからオストラバ工科大学までは車で 10 分ほどである。



写真 4 EaMP2019 の発表会場の様子

2005), チェコの資源開発の歴史に関して大変興味深い話を聞くことができた。

4. 欧州の鉱山開発跡地における坑廃水に関する情報

今回の訪問中に、チェコおよび欧州の資源開発の歴史や同位体を用いた研究事例に関して、参考となる数多くの論文や書籍の情報を入手することができた。その中でも筆者の研究に密接に関係する情報を以下にまとめた。

チェコでは中世前期(西暦 500 ~ 1000 年)より、金、銀、銅、錫やタングステン等の金属や石炭資源の開発が行われてきた(Grmela and Rapantova, 2005)。現在では鉱石を採掘していたすべての鉱山が閉山し、石炭鉱山の数も減少している。石炭に関しては、オストラバが位置する上部 Silesian 炭田の一部で坑内掘り採掘が現在でも行われており、露天掘り採掘はチェコの首都であるプラハの北西付近に位置する Podkrušnohoří と呼ばれる地域で行われているのみである。そのほかには、セメントやレンガ、ガラス等の原料が採掘されている。

坑廃水の問題は、数多く報告されており、チェコ国内の主要な環境問題のひとつとされている。例えば、上部 Silesian 炭田の無煙炭採掘地や Podkrušnohoří 地域における褐炭採掘地からの坑廃水である。上部 Silesian 炭田における坑廃水は塩水の水質を示し(Bondaruk *et al.*, 2015)、坑廃水中に多量の Cl⁻ や Na⁺、SO₄²⁻ を含んでいる。チェコでは、操業が終了したほとんどの石炭鉱山の採掘跡は、雨水や地下水などで浸水した状態になる。これにより、採掘残壁から採掘跡を満たす水に重金属等の汚染物質が溶出し、鉱山跡地から汚染された坑廃水が発生する。このように、過去に開発された鉱山や現在も操業が行われている鉱山から坑廃水が継続的に発生しており、今もなおそれらの対策が行われている状態である。

筆者らが日本国内の休廃止鉱山における水文調査で利用した酸素・水素安定同位体比は、欧州の鉱山地域ではすでに数多くの地域で適用されている。Rózkowski and Przewlocki (1974) は、ポーランドに位置する Lublin 炭田と上部 Silesian 炭田において、酸素・水素安定同位体比を用いた水文調査を実施することで、地下坑道への流入水の種類や経路を調査した。Hubbard *et al.* (2009) は、坑廃水の発生場所として世界的に有名なスペインの Rio Tinto 川において、水と硫酸の酸素同位体比に着目し、フィールドスケールでの硫化物酸化のメカニズムを調べている。また、Hofmann *et al.* (2008) は、ドイツの東部に位置する Lusatian 褐炭採掘地域の集水エリアにおいて、酸素・

水素安定同位体比を利用して水収支を計算した。さらに、Seebach *et al.* (2010) は、同地域の露天掘り採掘跡地に形成された部分循環湖において、酸素同位体比とトリチウム、SF₆ を利用し、湖水と周辺地下水の相互作用およびそれぞれの年代を議論した。このように、酸素・水素安定同位体比や日本国内での休廃止鉱山における適用事例が報告されていない CFCs や SF₆ などの環境トレーサーを用いた坑廃水に関する研究事例は、欧州でいくつか報告されていることが分かった。さらに、坑内掘り鉱山跡地の水文調査におけるそれらの環境トレーサーの有用性についてまとめた情報も公開されていた(Wolkersdorfer, 2008)。

以上のような欧州における事例から、日本国内の休廃止鉱山の坑廃水に関する研究においても CFCs や SF₆ を適用することは十分に可能であるといえる。しかしながら、日本の休廃止鉱山の多くが山間部に位置しており、その周辺に工業関連施設や火成岩、温泉等がある場合には、工業地域での CFCs 付加や自然起因の SF₆ 付加が年代推定に影響を及ぼす(浅井・辻村, 2010; 榊原ほか, 2017)。そのため、上述の環境トレーサーを必ずしも日本国内の鉱山跡地に適用できるとは限らない。したがって、今回の訪問により得られた知見やこれまでの研究結果を基に、今後は日本国内の休廃止鉱山での研究事例を増やしていく計画である。

5. おわりに

今回の訪問では、世界中から集まった鉱山開発分野に係る研究者・技術者の方々と様々なテーマに関して議論する機会を得ることができ、非常に貴重な経験をさせていただいた。また、その中で鉱山開発に由来する環境問題に関する研究に益々興味を持つことができ、研究意欲の向上につながった。文献等で情報を得るだけでなく、実際に現地の方々のお話を聞くことで、その地域の歴史の重みや環境問題の深刻さ等を肌で感じることができ、貴重な経験となった。

謝辞: 今回の訪問を快諾していただきました、オストラバ工科大学の鉱業・地質学部の Vladimír 准教授に感謝の意を表します。また、廣川研究助成事業により今回の渡航を実現することができました。最後に、このような機会をいただきました関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

文 献

浅井和由・辻村真貴(2010)トレーサーを用いた若い地下

- 水の年代推定法—火山地域の湧水へのCFCs年代推定法の適用—. 日本水文科学会誌, **39**, 67-78.
- Bondaruk J., Janson E., Wysocka M. and Chałupnik S. (2015) Identification of hazards for water environment in the Upper Silesian coal basin caused by the discharge of salt mine water containing particularly harmful substances and radionuclides. *Journal of Sustainable Mining*, **14**, 179-187.
- Craig H. (1961) Isotopic variation in meteoric waters. *Science*, **133**, 1702-1703.
- Grmela A. and Rapantova N. (2005) Mine water issues in the Czech Republic. In Wolkersdorfer, Ch. and Bowell, R., eds., *Contemporary reviews of mine water studies in Europe, part 2. Mine Water and the Environment*, **24**, 31-33.
- Hofmann H., Knöller K. and Lessmann D. (2008) Mining lakes as groundwater-dominated hydrological systems: assessment of the water balance of Mininig Lake Plessa 117 (Lusatia, Germany) using stable isotopes. *Hydrological Processes*, **22**, 4620-4627.
- Huang P. and Wang X. (2017) Applying environmental isotope theory to groundwater recharge in the Jiaozuo mining area, China. *Geofluids*, **2017**, 1-11.
- Hubbard C. G., Black S. and Coleman M.L. (2009) Aqueous geochemistry and oxygen isotope compositions of acid mine drainage from the Río Tinto, SW Spain, highlight inconsistencies in current models. *Chemical Geology*, **265**, 321-334.
- 井手 淨・利部 慎・細野高啓・嶋田 純 (2016) 繰り返し採水試料のCFCs (クロロフルオロカーボン類) による霧島火山群湧水の滞留時間推定—Lumped parameter model による年代解析—. 日本水文科学会誌, **46**, 213-231.
- 松葉谷 治・川原谷 浩 (2014) 水素・酸素同位体比から見た地下水, 河川水及び降水の関係—秋田における若干の観測結果についての考察—. 地下水学会誌, **56**, 309-320.
- Matsumoto S. and Machida I. (2019) Investigation of groundwater flow using $\delta^{18}\text{O}$ and δD in a sulfur mine in Japan. *Proceedings of 23th International Conference on Environment and Mineral Processing workshop Waste-Secondary Raw Materials*, 151-158.
- 奥村維男 (2003) 旧松尾鉱山 3M 坑道水の水文地化学的調査・解析. 資源地質, **53**, 173-182.
- Rózkowski A. and Przewłocki K. (1974) Application of stable environmental isotopes in mine hydrogeology taking Polish coal basins as an example. *Proceedings of Symposium on Isotope Techniques in Groundwater Hydrology*, 481-501.
- 榊原厚一・辻村真貴・浅井和由 (2017) フッ化硫黄 (SF₆) を用いた地下水の滞留時間推定における課題と展望. 地下水学会誌, **59**, 87-103.
- Seebach A., Rohden C., Ilmberger J. Weise S. M. and Knöller K. (2010) Dating problems with selected mining lakes and the adjacent groundwater body in Lusatia, Germany. *Isotopes Environ Health Studies*, **46**, 291-298.
- 田中 勝・青山 勲・石坂 薫・大畑ゆき・福池伊織・川瀬啓一・渡邊雅範・時澤孝之・宮川 洋・石森 有 (2017) リスクコミュニケーション実施上の課題の研究. JAEA-Research 2017-003, 65p. doi:10.11484/jaea-research-2017-003.
- 富山真吾・五十嵐 敏文・井伊博行・高野日出男 (2016) 地球化学的手法と数値解析を用いた下川鉱山坑内水の起源推定. *Journal of MMIJ*, **132**, 80-88.
- 上田英之・増田信行 (2005) 坑廃水処理コストの分析と鉱害防止技術開発. 資源と素材, **121**, 323-329.
- Wolkersdorfer C. (2008) *Water management at abandoned flooded underground mines—fundamentals, tracer tests, modelling, water treatment, berlin—*. Springer, Heidelberg, 466p.

MATSUMOTO Shinji (2020) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2019 fiscal year: Report of 23rd Conference on Environment and Mineral Processing (EaMP) and workshop 2019 to collect information on Acid Mine Drainage in closed mines and the hydrological research in European countries.

(受付: 2020年3月17日)

柴田 賢さんを偲んで

富樫 茂子¹⁾



2001年3月 名古屋大学にて

柴田 賢 元地質調査所首席研究官・地殻化学部長が、2020年2月28日満87歳で
ご逝去されました。

柴田さんは日本における地質年代学の草分けの一人として、長きにわたり、地質学の
発展のために尽くされてきました。1956年11月に地質調査所入所後、1960年に英国
ケンブリッジ大学に留学し、K-Ar地質年代測定法について研鑽を積みました。帰国後、
地質調査所にK-Ar法による地質年代測定実験室を整備し、日本列島の基盤を形成する
花崗岩類、変成岩類のK-Ar年代測定を実施しました。さらに、1967-1969年にはカナ
ダ地質調査所においてRb-Sr地質年代測定法の研究に従事し、帰国後、Rb-Sr法による地
質年代測定実験室の整備に努め、地質調査所がわが国における地質年代測定研究のセン
ターとなる基礎をつくりました。

1978年10月には技術部地球化学課長となり、つくばへの移転を進めました。1988
年には地質調査所の初代首席研究官、1989年から新設の地殻化学部長として地質調査所
における地球化学分野の研究組織の体制を整備しました。1993年には母校の名古屋大学
理学部教授となり、地球惑星科学教室において、岩石学と地球化学の教育・研究に務める
とともに、年代測定資料研究センターのタンデム型加速器質量分析装置の導入にも貢献
しました。1996年から名古屋文理短期大学教授として名古屋文理大学の創設に貢献し、
1999年から名古屋文理大学教授を務めました。

日本列島の地質を構成する主要な岩石や地層の年代データを出すことに多大の精力をそ
ぞぎ、技官の内海 茂さん、中川忠夫さん、青山秀喜さんらの協力を得て、共同研究者の
宇都浩三さんや松本哲一さん、内外の地質研究者と共に地質調査所在職中に出した地質年

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門 名誉リサーチャー

代データは 2,100 を越え、それを公表した学術論文は 200 編を越えています。なかでも、中部日本の飛騨変成岩である上麻生礫岩中に、それまでわが国の基盤岩類には存在が確認されていなかった先カンブリア時代の年代(約 20 億年前)の片麻岩を発見し、その標本は今も地質標本館に展示されています。

これらの業績に対し、1983 年には日本地質学会賞、1988 年には通商産業省研究業務優秀者賞、1993 年には日本地質学会小藤賞、2007 年に日本岩石鉱物鉱床学会渡邊萬次郎賞を受賞しています。

柴田さん自身が執筆された「地質調査所における地質年代測定研究」が AIST 研究秘話の一つとして、工業技術院および産総研の OB 組織である「産工会」の WEB ページに掲載されており、留学時や地質調査所での研究の様子がよくわかります。

私は、つくば移転後は課長である柴田さんとは近くの机で仕事をしていました。少し研究分野が異なり、ご一緒に研究をする機会はありませんでしたが、柴田さんの研究者として、研究リーダーとしての活動を間近で知ることができたのは貴重な経験でした。

印象に残っているのは、1982 年 6 月に日光市で開催された第 5 回地球年代学・宇宙年代学・同位体地質学国際会議での事務局長としての仕事ぶりです。得意の英語だけでなく、海外の人的ネットワークを活かし、世界を代表する多くの研究者を招き、日本人より外国人の出席者が多く、当時の国際会議として画期的な成功を収めました。この会議は私にとっては初めての国際会議であり、刺激の多いものでした。

当時、私は、炭素 14 法の実験室の立ち上げと、学生時代から続けていた火山の研究、2 人の子供の出産育児などの両立で悩みながら仕事をしていました。かなり無茶なこともしていたと思いますが、柴田さんは暖かく見守って下さいました。炭素 14 法の研究が一区切りついた頃、地質調査所での共同利用の蛍光 X 線分析装置の担当の機会をくださり、その後の私の研究の展開のきっかけとなり、今でも感謝しています。きっと私の悩みを理解されていたと思います。

「大急ぎで」が口癖で日中はテキパキと仕事をして、夕方 6 時頃には退庁しておられました。しかし、あれだけの論文を書いておられたのですから、ご帰宅後も仕事されていたのではと想像しています。一方で釣りが趣味とのことで、そのコントラストを不思議に思っていました、バランスを取っておられたかもしれません。

この追悼文を執筆するにあたって、奥様に手紙を差し上げたところ、眠るように穏やかな最期だったとのこと。心からご冥福をお祈りいたします。

チバニアン

祝
誕生

— 国際境界模式層と地磁気の逆転とは? —



2020年

7月7日 火 **入場無料**
~ 8月30日 日

開催場所：地質標本館 1階ホール
開館時間：9時30分～16時30分
休館日：毎週月曜日（休日の場合は翌平日）
協力：茨城大学理学部、国立極地研究所
※ご見学には事前予約が必要です

日本の地名から初めて地質時代の名前に認められた『チバニアン』。この地層で発見された地磁気の逆転が大きなきっかけとなりました。チバニアンってなに？地磁気？そして逆転？そんな疑問の答えやこれまでの研究の成果などをまとめて紹介します。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター



〒305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1
TEL: 029-861-3750, 3754 <https://www.gsj.jp/Muse/>

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 宮地良典
副委員長 名和一成
委員 杉田創
児玉信介
竹田幹郎
落唯史
小松原純子
伏島祐一郎
森尻理恵

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第9巻 第6号
令和2年6月15日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7

印刷所

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : MIYACHI Yoshinori
Deputy Chief Editor : NAWA Kazunari
Editors : SUGITA Hajime
KODAMA Shinsuke
TAKEDA Mikio
OCHI Tadafumi
KOMATSUBARA Junko
FUSEJIMA Yuichiro
MORIJI Rie

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 9 No. 6
June 15, 2020

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan



銚子の飯岡地区にある古い家では石垣が丸みを帯びた平たい白い石で作られていることがある。この石は飯岡石と呼ばれ、屏風ヶ浦を形成している更新統犬吠層群中のコンクリーションが太平洋の波で洗い出されて海岸に打ち上げられたものである。現在の屏風ヶ浦は防波堤で保護されており、飯岡石の洗い出しは見られない。以前は海岸近くにもこのような石垣が見られたが、2011年の東北地方太平洋沖地震による津波でその多くが破壊され、現在は台地上にのみ残っている。

(写真・文：小松原純子 産総研地質調査総合センター地質情報研究部門)

Stone wall made of "Iioka-ishi". Photo and Caption by KOMATSUBARA Junko