

# GSJ 地質ニュース

GSJ CHISHITSU NEWS

～地球をよく知り、地球と共生する～

2013

9

Vol. 2 No.9



## 口絵

---

地質標本館 第5回地質写真コンテスト受賞作品の紹介(2)	地質標本館	257~258
地質標本館の体験学習教材:筑波山見たまま砂絵で地質図	芝原暁彦・住田達哉・加藤碩一	259~260

---

シームレス地質図でたどる幸田文『崩れ』(第8回)	森尻理恵・中川 充・斎藤 眞	261~264
天売島周辺の海底下の地質を調べる	荒井晃作・山崎俊嗣・駒澤正夫	265~269
地球化学図からテクトニクスを読むー黒潮古陸は再浮上するか?ー	田中 剛	270~273
平成24年度廣川研究助成事業報告(2) スイスにおける地中熱システムの現状	吉岡真弓	274~278
3D模型と砂絵で楽しむ筑波山のジオ ー地質図を立体的に理解するための砂絵教材の開発とイベントでの活用ー	芝原暁彦・住田達哉・加藤碩一・大和田朗・佐藤卓見	279~281
誕生石の鉱物科学 — 9月 ブルー・サファイア(2) —	奥山康子	282~283
地質標本館 第5回地質写真コンテスト結果について(2)	宮内 渉・青木正博	284

## ニュースレター

---

日本ジオパーク委員会公開プレゼンテーション開催報告	住田達哉・宮内 渉・下川浩一・利光誠一・濱崎聡志	285~286
第21回GSJシンポジウム「古地震・古津波から想定する南海トラフの巨大地震」開催報告	丸山 正	286~287
新人紹介 風早竜之介(地質情報研究部門),内出崇彦(活断層・地震研究センター)		287~288
スケジュール / 編集後記		

## 表紙説明

### 上総一ノ宮玉前神社の境内にある“さざれ石”

さざれ石は、元来小さな石(細石)の意味であるが、長い年月をかけて小石の欠片の隙間を石灰岩が溶解して生じた炭酸カルシウムが埋めることによって、1つの大きな岩の塊に変化したものがさざれ石と呼ばれることが多い。千葉県長生郡一宮町に鎮座する玉前神社は鎌倉時代より上総国の一宮として格式を保ってきており、現在の建造物も鎮座以来1200年以上経過しているといわれている。君が代で親しまれているさざれ石が、当時の内閣総理大臣であった橋本龍太郎の揮毫の碑を添えて境内に奉納されている様は、一見の価値がある。(写真・文:七山 太<sup>1)</sup> 1)産総研 地質情報研究部門)

### Cover Page

The Sazareishi stone in the precincts of the Tamasaki shrine, Ichinomiya, Chiba Prefecture.  
( Photograph and Caption by Futoshi Nanayama ).

本誌のPDF版は次のホームページでオールカラーで公開しています。 <http://www.gsj.jp/publications/gcn/index.html>

## 地質標本館 第5回地質写真コンテスト受賞作品の紹介 (2)

<地質標本館<sup>1)</sup>>

第5回地質写真コンテスト(2009年3月開催)において受賞されました作品紹介の2回目です。今回ご紹介するのは入選作品4点および入館者賞作品3点です。写真の説明等は284頁をご覧ください。

※敬称略。氏名あとの( )内の所属は応募当時の所属です。



1. 入選「薩摩硫黄島(3) キンツバ火口の夕景」  
西 祐司(産総研 地圏資源環境研究部門)



2. 入選「火山灰と石切場跡」  
澤田結基(産総研 地質標本館)



(a)



(b)

3. 入選「その露頭は世界遺産!？」(2枚組)  
佐藤 努(産総研 地質情報研究部門)

257ページ-258ページの写真はGSJ地質ニュースへの掲載に限って使用許諾を受けており、CC-BYの対象外です。  
Photos on page 257-258 are copyrighted material and CC-BY is not applied to them.

1) 産総研 地質標本館

Geological Museum (2013) Introduction of prize winners in the 5th Geological Photograph Contest, held in the Geological Museum, GSJ (2) .



4. 入選「アムール川の蛇行」  
澤田結基（産総研地質標本館）



5. 入館者賞「『最後の砦』…水晶の群晶」  
窪田真弓（茨城県立並木高等学校）



6. 入館者賞「土筆水晶（つくしすいしょう）」  
井上裕貴（埼玉県越谷市立越谷小学校5年生）



7. 入館者賞「タービダイト砂岩を覆う泥岩に2種類識別できるかな？—平成20年度地質調査研修（4泊5日）の記録10—」  
徳橋秀一（産総研地圏資源環境研究部門）

## 地質標本館の体験学習教材：筑波山見たまま砂絵で地質図

<芝原暁彦<sup>1)</sup>・住田達哉<sup>1)</sup>・加藤碩一<sup>2)</sup>>

地質標本館の体験学習の教材として、小学生低学年も楽しめるように「筑波山見たまま砂絵で地質図」を作製しました。これまで実際にいくつかのイベントにおいて体験学習も実施して、小さなお子さん方にも地質への関心を高める効果のあることがわかりましたので、本誌においてご紹介します。関連記事が p.279-281 にありますので詳細についてはこちらをご覧ください。



第1図 「筑波山見たまま砂絵で地質図」の実施工程（つくばフェスティバル 2013 での様子）。A：概要と作り方の説明，B：地質図の岩石種ごとにシールをはがして，C：好きな色の砂を粘着部分にまき，余分な砂を筆で払いのけます。D：砂絵の地質図ができたらラミネートフィルムをかけて，E：ラミネーターで定着させてできあがり。

1) 産総研 地質標本館  
2) 産総研 名誉リサーチャー

SHIBAHARA Akihiko, SUMITA Tatsuya and KATO Hirokazu (2013) Experiential learning of geology using "Sand painting geological map of Mt. Tsukuba" produced by Geological Museum.

# 筑波山に見たまま砂絵で地質図

ひつげ 日付  
なまえ 名前

ねん 年  
がつ 月  
にち 日



なんたいさん  
男体山  
(871m)

にょたいさん  
女体山  
(877m)



じょうやま  
城山

・この立体地質図はつくば市ヴェルネスパーク (〒300-4234 つくば市山木1562) から眺めた筑波山の形(左上写真)に、地質図を重ねたものです。  
 ・この立体地質図は カシミール3D (<http://www.kashmir3d.com/>) と、シームレス地質図 (<http://nodb02.ibase.aist.go.jp/db084/>) によって作成されました。

はん 斑れい岩類  
 (約7500万年前)



かこうがん 花崗岩類  
 (約6000万年前)



さんろくやくめんたいせきぶつ  
山麓斜面堆積物  
 (風化で崩れた斑れい岩や花崗岩がたまった地層)



約4億6千万年前	約2億2千万年前	約1億4500万年前	約2億300万年前	約2億600万年前	現在
古生代 三畳紀	中生代 ジュラ紀	白亜紀	古第三紀	新第三紀	第四紀
アンモナイト類	ソラツ	恐竜	シロコ	アスモスルス	人類

独立行政法人  
 産業技術総合研究所 地質標本館  
 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 <http://www.gsj.jp/Muse/>  
 岩石写真引用元: 筑波山地質巡検ガイド (<http://www.gsj.jp/researches/openfile/openfile2008/openfile0481.html>)



第2図 砂絵の教材。

# シームレス地質図でたどる 幸田文『崩れ』(第8回)

森尻理恵<sup>1)</sup>・中川 充<sup>1)</sup>・斎藤 眞<sup>1)</sup>

## 8. 1 稗田山

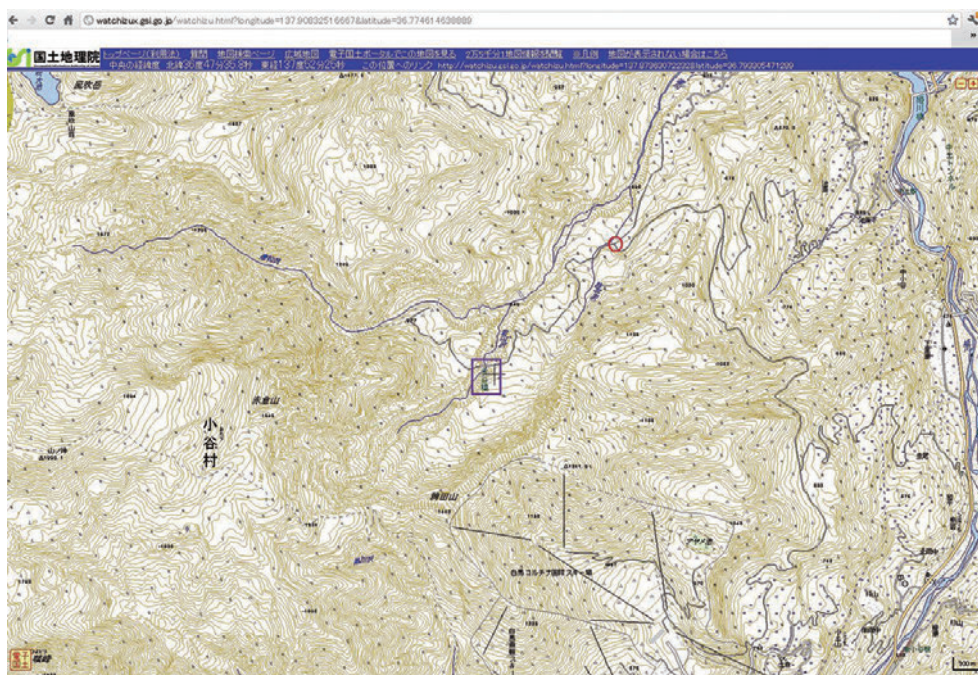
次に幸田文が訪ねて行くのは、長野県小谷の稗田山崩壊です。いくつか説はあるようですが、「大谷崩れ」、「常願寺川とんびやま山崩れ」、「稗田山崩れ」を日本三大崩れと呼ぶようです。幸田文は7月7日に小谷村へ行っています。しかし、霧と道路工事に阻まれて、間近に見上げることはできなかったようです。最後の部分を引用します。

止むを得ずあきらめて、遠く山の頭だけを見て引上げた。縁がなければ、二度行っても二度ムダになるが、いつかもう一度行って、可能なら橋よりさらに近付いて、どんなふうに壊れているか知りたい。崩れにはそれぞれの雰囲気があり、たたずまいがあり、一様ではない。稗という穀類の名のついた山である。大谷、大沢、鳶、の崩れともまた違うと思う。(幸田文『崩れ』講談社文庫、136頁)

何やらとても残念そうな終わり方です。第1図に国土地理院の地図閲覧サービスで見た稗田山付近の地形図を示します。四角で印をつけたところが、幸田文が行きたがっていた金谷橋かなやばしです。のちに幸田文の文学碑が丸印の場所に建てられました。

孫である青木奈緒の『動くとき、動くもの』によると、幸田文は「何かにつけていつか必ず見に行きたいと口にしてはいたが、それはついに果たされずに終わってしまった。」ようです。青木奈緒は幸田文が訪ねた25年後に稗田山を訪ねて、念願の崩れを見てきました。『動くとき、動くもの』には、幸田文の文学碑をめぐるエピソードも出ています。

それから時が流れ、稗田山の大崩壊が起きた1911(明治44)年からも80年が過ぎ、祖母が書いた一節を引いた「歲月茫茫」の碑が、金谷橋から山をくだった石坂という



第1図 国土地理院地図閲覧サービス (<http://watchizux.gsi.go.jp/index.html> 2012/05/29 確認) による稗田山付近。中央の四角は金谷橋、その北東にある丸印は幸田文の文学碑。

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：シームレス地質図, 幸田文『崩れ』, 地すべり, 地理情報システム (GIS), Google マップ

ところに建てられることとなった。1992（平成4）年10月の碑の除幕には母が伺ったが、お披露目がすむかすまぬかで、もう雨もよいのお天気だったと聞いている。

それから3年後の1995（平成7）年7月11日、小谷村はかつてないほどの集中豪雨にみまわれる。先に述べた姫川沿いで重要な幹線となっている国道やJR大糸線がずたに寸断され、停電と電話の不通があいつぎ、村は一時完全に孤立するほどの被害が出た。この惨状にあって、重傷者1名が出たきり人命が失われずにすんだのは、災害とともに暮らす小谷村の小谷村たるゆえんである。

豪雨のさなか、「歲月茫茫」碑もまた向かい側の山の崩落をまともに受けて台座ごとぶっ飛び、土砂の中へ行き方知れずと消えた。碑をつくるにあたって、どうせつくるなら立派なものを、と選考の過程で選ぶ石はどんどん大きくなっていった。移動には重機2台が必要だったという。それが土砂に埋もれてわからなくなってしまった。当時の写真を見ると、山からまっ赤に流れ出した土砂がそこら中にずでっと広がり、すでにまっ茶色の濁流と化した浦川に流れこんでいる。

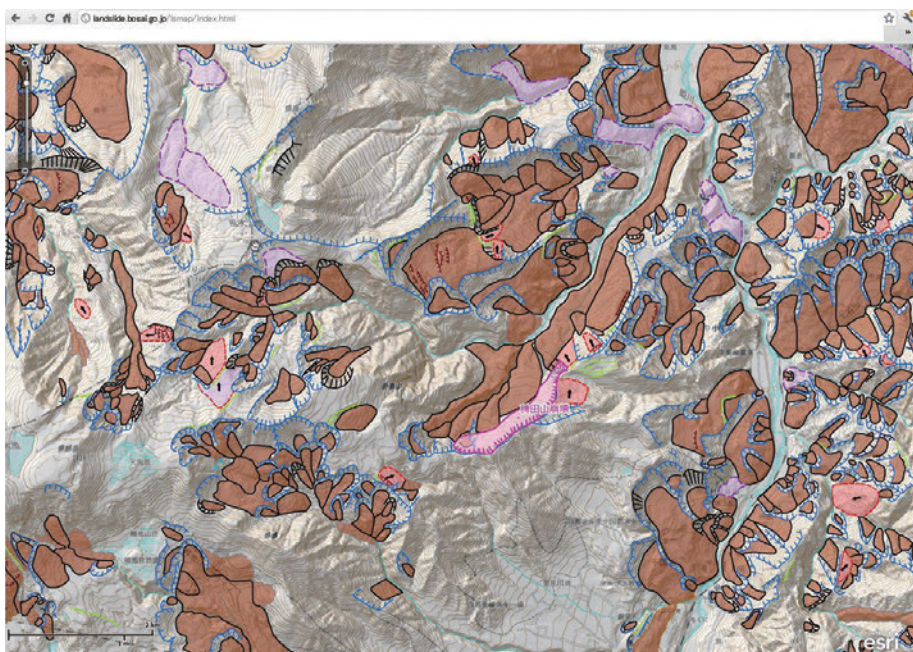
碑は翌年になって80mほど移動したところで見つけられた。建てるときにご尽力くださった方々に、探すときにもお世話になった。土の中から石の角がわずかのぞいているのをご覧になっただけで、あれだな、とすぐにおわかりになったそうだ。引きあげてみると、碑文を刻んだ御影石には幾筋かの傷が残されていた。

6月24日、改めて寄せさせていただいた母はこの傷を祖母の勲章と言ったとか。土砂の中をかいくぐり、そしてまた見つけ出してもらうなんて、祖母も本望に違いない。このとき豪雨による災害から1年近くがたっていたにもかかわらず、小谷の谷にはいまだに重機の音が響き、まだまだ復興作業がつづいていた。（青木奈緒『動くとき、動くもの』講談社文庫、138-140頁）

文学碑は、無事に再建されたようです。『動くとき、動くもの』には「今、碑は小谷の方々の手で気持ちよく整えられた一角に、祖母の好んだ大板谷楓と一緒に落ち着いている。」とあります。何とも縁を感じさせるエピソードです。

第2図は、防災科学技術研究所の地すべり地形分布図データベースに記された稗田山崩れの位置です。

稗田山崩れとは、松本砂防事務所の解説によれば(<http://www.hrr.mlit.go.jp/matumoto/hiedayama/about/index.html> 2012/05/29 確認)、1911（明治44）年8月8日に現在の小谷村にある姫川左支川・浦川の上流部の稗田山で大規模な山体崩壊が発生しました。浦川沿いに流下した土砂によって、23名が犠牲となりました。さらに押し寄せた土砂は、姫川本川を河道閉塞し、上流側に「長瀬湖」と呼ばれた湖を形成しました。湖の端部は3km上流の下里瀬集落まで達し、43戸が浸水したと記録にあります。その3日後には北城・南小谷の住民が排水路を開き、<sup>ほくじょう</sup>湛水位をわずかに下げることができたため下里瀬集落等は



第2図 防災科学技術研究所地すべり地形分布図データベース ([http://lswb1.ess.bosai.go.jp/lswb\\_jp\\_new/gis/map\\_blue.html](http://lswb1.ess.bosai.go.jp/lswb_jp_new/gis/map_blue.html) 2012/05/29 確認)で稗田山崩れ付近を表示したもの。



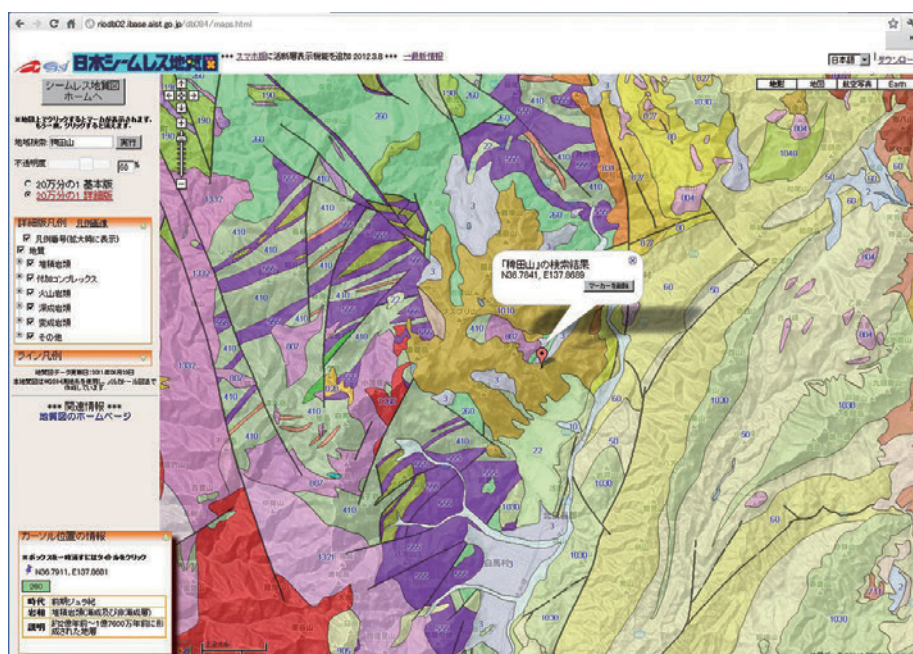
漸次引水しました。一方、上流から流れ下った濁流は下流の来馬河原集落に流れ込み、役場・郵便局・駐在所をはじめ多くの民家や水田を埋めてしまいました。翌1912年4月26日に2回目の崩壊が、同年5月4日には3回目の崩壊が発生しました。そして7月21日からの豪雨で22日に天然ダム（長瀬湖）は完全に決壊し、来馬河原全面を濁流が襲い、わずかに残っていた人家も流失してしまいました。

防災科学技術研究所の既往斜面災害データベースによれ

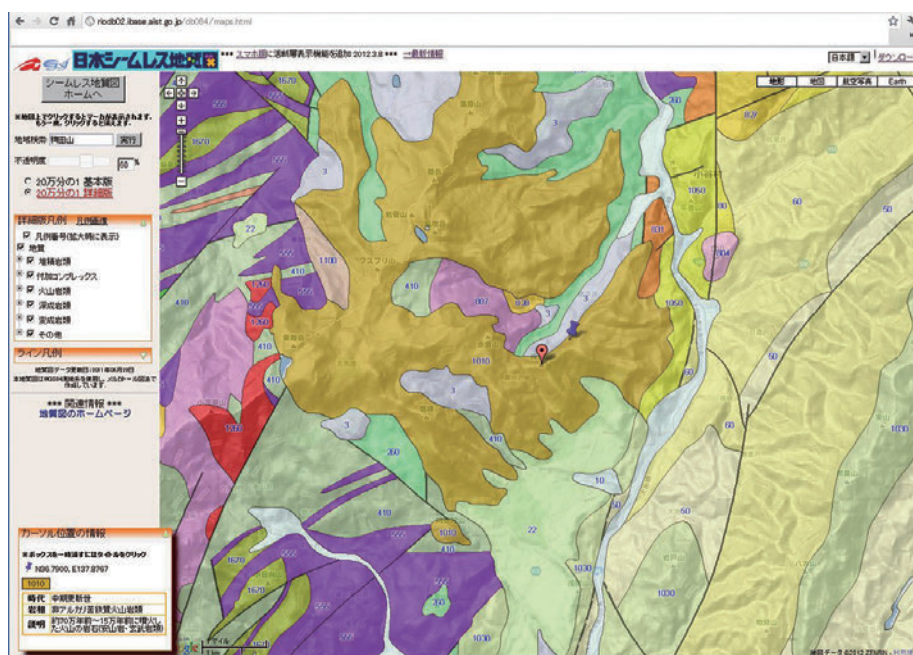
ば、この稗田山崩れの原因は不明ということです。突如山が崩れたというのですから恐ろしいことです。

## 8. 2 シームレス地質図で見る

それでは、該当する場所のシームレス地質図（詳細版）（産業技術総合研究所地質調査総合センター編、2012）を第3図と第4図に示します。まずは、「稗田山」で検索をすると、



第3図 シームレス地質図による稗田山周辺の表示。



第4図 シームレス地質図による稗田山崩れ周辺の表示。第3図を拡大したもの。中央のバレーン形マーカーは稗田山を指す。ピン形マーカーの指すところの凡例が左下に表示されている。

ここはヒットしてマーカーがつくので、どんどん拡大していきます。凡例を表示させると、稗田山には1010番の凡例番号がつけられている「約70万年前～15万年前に噴火した火山の岩石（安山岩・玄武岩類）」が分布しています。さらに稗田山の北側には、3番の凡例番号がつけられている「地すべり・崖錘堆積物（崖や急斜面から崩落した岩屑類が、その斜面の下部に堆積したもの。半円錐状を呈した地形を形成）」が山の麓にまとまって分布しています。そのほか3番の堆積物は複数個所にまとまって分布しています。これは、大量の土砂が崩れる大規模な斜面崩壊が複数個所で起きていることを示しています。5万分の1地質図幅「白馬岳地域の地質」（中野ほか、2002）によれば、火山岩が変質・風化作用を受けているところや、向斜・背斜構造の発達した堆積岩が分布するところにも大規模な地すべりが発達するとあります。稗田山も古い火山岩の分布が見られますので、斜面崩壊が起りやすい地質だと言えます。また、糸魚川-静岡構造線に付随する活断層の古地震活動も地すべりの誘因として挙げられています。

## 文 献

- 青木奈緒（2005）動くとき、動くもの。講談社文庫，東京，333p.
- 幸田 文（1994）崩れ。講談社文庫，東京，206p.
- 中野 俊・竹内 誠・吉川敏之・長森英明・苅谷愛彦・奥村晃史・田口雄作（2002）白馬岳地域の地質。地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），産業技術総合研究所地質調査総合センター，105p.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター（編）（2012）20万分の1日本シームレス地質図データベース（2012年3月30日版）。産業技術総合研究所研究情報公開データベース DB084，産業技術総合研究所地質調査総合センター，<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/db084/maps.html>（2012/05/29 確認）\*

\*2013/05/10より<https://gbank.gsj.jp/seamless/>に移転

---

MORIJIRI Rie, NAKAGAWA Mitsuru and SAITO Makoto (2013) Seamless Digital Map of Japan shows landslide slopes in "KUZURE" written by Aya Koda (8).

---

（受付：2012年5月29日）

# 天売島周辺の海底下の地質を調べる

荒井晃作<sup>1)</sup>・山崎俊嗣<sup>1) 2)</sup>・駒澤正夫<sup>1) 3)</sup>

## 1. はじめに

日本の周辺海域の海洋地質図は既に 80 枚を出版しています (2013 年 3 月末現在)。そのうち、日本全体を広くカバーする 100 万分の 1 の広域海洋地質図は、8 枚が既に出版されています。現在は、20 万分の 1 スケールの詳細な地質図を作成するために調査を続けています。20 万分の 1 海洋地質図シリーズは、海底地質図および表層堆積図に分けられます。海底地質図は、反射法音波探査および重力・磁力などの物理探査データを基にした海底面下の地質イメージ図です。海底地質図には重力・磁力異常図が付けられています。表層堆積図は海底表層の堆積物を採取

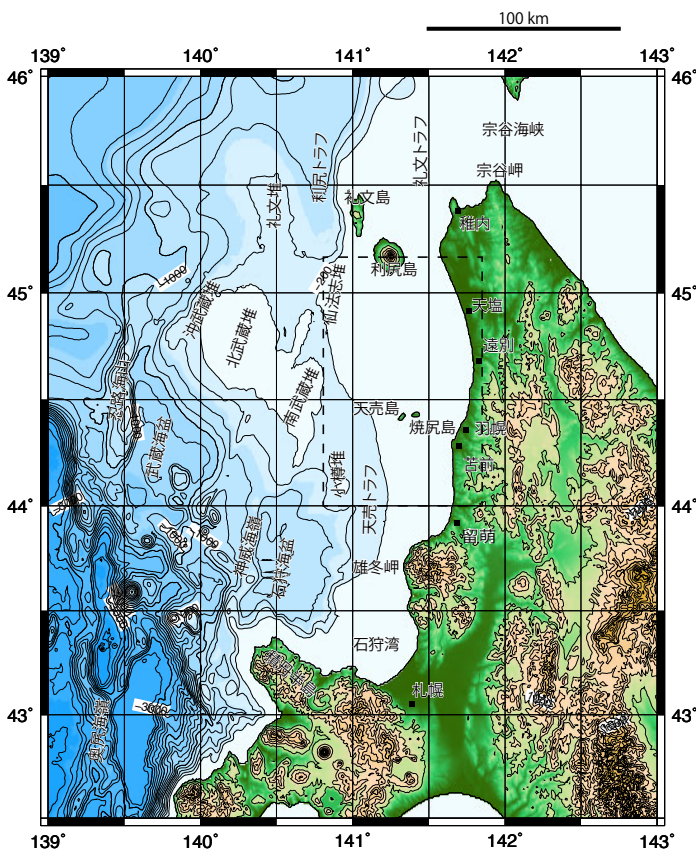
して作成する図面です。

北海道北西部の留萌市よりも北の日本海には、大陸棚が広く発達しています。この大陸棚は雄冬岬沖で狭く幅約 10 km ですが、北に向かって徐々に広くなり、天塩川沖の利尻島南西に発達する仙法志堆に続き幅約 70 km に達します (第 1 図)。「天売島周辺海底地質図」(荒井, 2012 および山崎・駒澤, 2012) はこの広い大陸棚を中心とした海域の地質図です。この海域の大陸棚は地形的には平坦ですが、海底下の構造を調べると古い地層が隆起していることがわかります。ここでは、天売島周辺海底下の地質構造やそれによってできている磁気異常図・重力異常図を紹介したいと思います。

## 2. 海洋調査

「天売島周辺海底地質図」は 1998 年度および 1999 年度に実施された GH98 航海 (1998 年 6 月 25 日～8 月 3 日, 40 日間) および GH99 航海 (1999 年 6 月 25 日～8 月 3 日, 40 日間) の調査結果に基づいて作成しました。産総研の調査航海は「GH98 航海」のように示され、地質調査総合センターの英語名である Geological Survey of Japan の頭文字 G と使用船舶である白嶺丸の頭文字 H, ならびに実施年度 (西暦) で航海名を表しています。GH98 および GH99 航海は地質調査船「白嶺丸」(金属鉱業事業団 (現独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構) 所有, 1,831 トン) により行われました。地質図は反射法音波探査断面および地質図の海域の範囲外も含む GH98 航海 (ロックコアラーによる 2 試料とグラブ採泥の 4 試料) と GH99 航海 (ロックコアラーによる 7 試料) で得られた 13 個の堆積岩試料の微化石年代を基に作成しました。磁気異常図・重力異常図も同じ航海で得られた物理探査データを基にして作成されています。

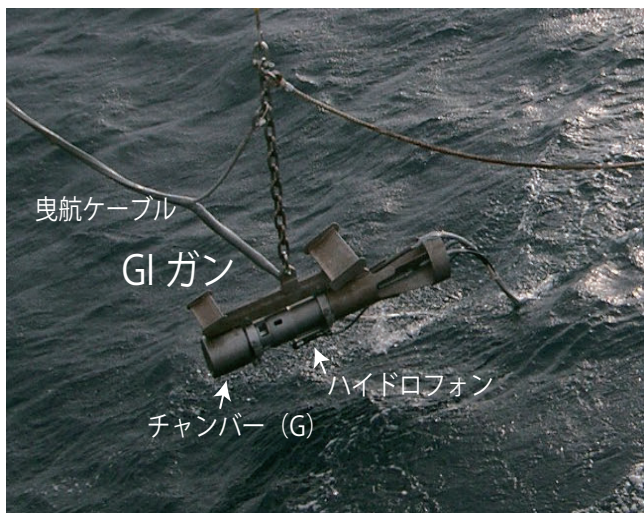
調査航海は 24 時間体制で行われます。主に昼間は船を停船して採泥作業を行います。夜間は決められた測線を航走観測します。測線は、東西方向の約 2 マイル (約 3.7



第 1 図 北海道西方の海底地形および天売島周辺海底地質図の位置図。破線で示した海域が地質図のエリア。

1) 産総研 地質情報研究部門  
2) 東京大学 大気海洋研究所  
3) 応用地質株式会社

キーワード：天売島、焼尻島、利尻島、地質構造、海底地質図、海洋地質

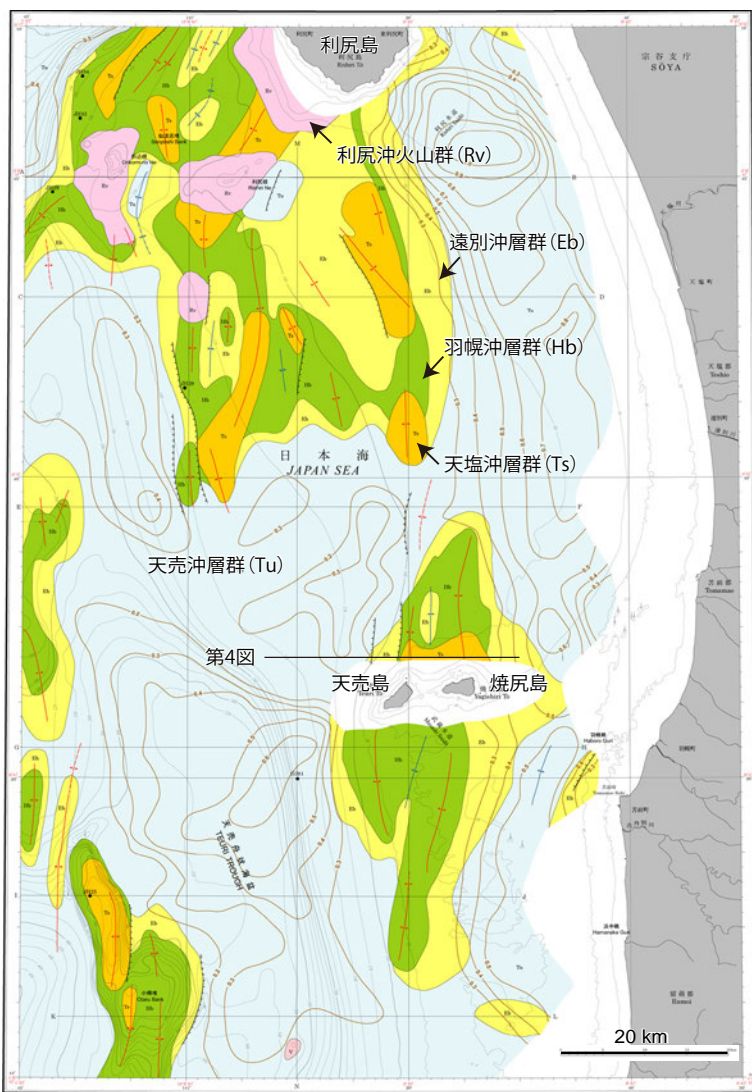


第2図 調査航海で反射法音波探査に使用したGIガン。チャンバーに圧縮空気をためて、電磁弁を用いて一定間隔で発振させる。チャンバー (G) は、ジェネレーターのチャンバーの位置を示す。

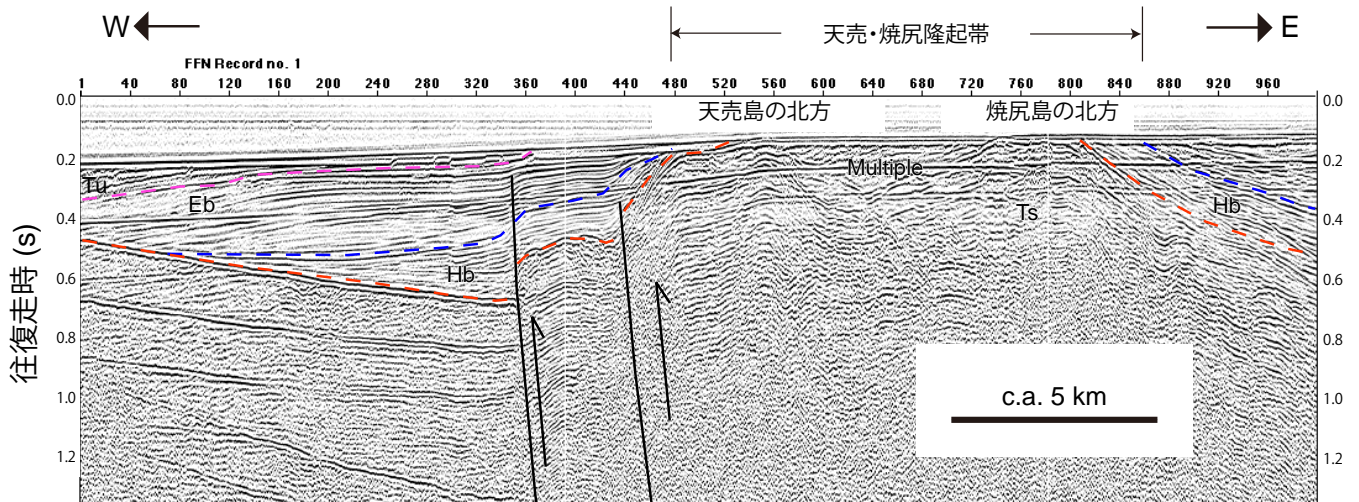
km) 間隔と、それと直交する南北方向の約4マイル (約7.4 km) 間隔の測線を設定しました。反射法音波探査はGIガンを音源にして (第2図), 6chのストリーマケーブルで受波しました。GIガンはジェネレーターとインジェクターと呼ばれる2つの独立したチャンバーに圧縮空気をためます。それを独立した電磁弁でずらして発振させます。これによって、より矩形波に近いシャープな音を作ることのできるエアガンです。これらの反射法音波探査と同時に3.5 kHz サブボトムプロファイラー (SBP), 12 kHz 精密音響測深機 (PDR) による観測, および船上重力計 (LaCoste & Romberg 社製のストレートライン型船上重力計: SL-2) による観測を行います。地磁気全磁力の観測にはプロトン磁力計 (GeoMetrics G866 型) を用い、センサーを船尾より約250 mに同時に曳航して観測しました。

### 3. 天売島周辺の海底地質

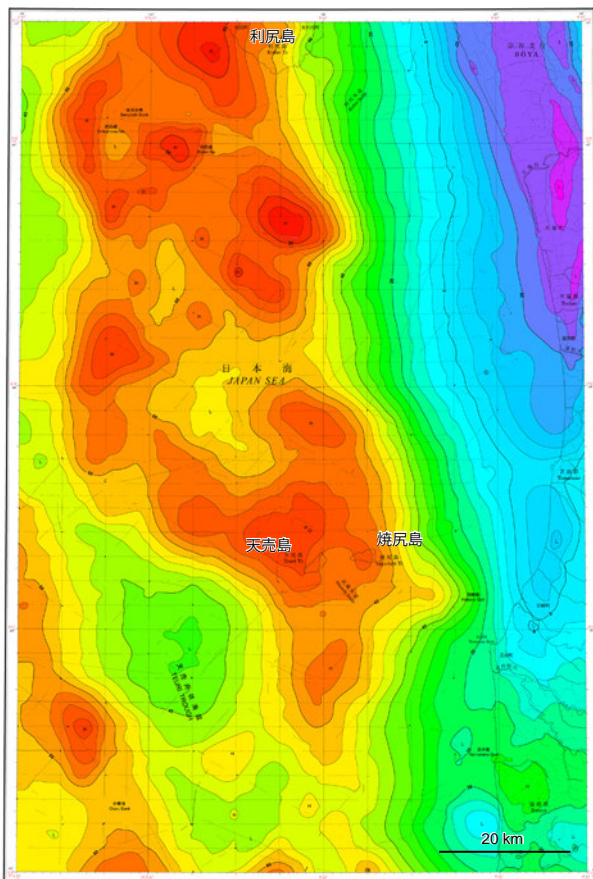
石狩湾より北側に発達する大陸棚下には、南北方向の背斜軸や断層構造が発達しています (第3図)。天売島周辺海底地質図の調査海域の大陸棚下に発達する隆起帯は大きく2つに分けられます。南側の羽幌町沖では天売島および焼尻島をよびはさんで南北方向に背斜軸が伸びています。この隆起帯は、南北方向に長さ約50 km, 幅約20 kmになります。荒井(2012)は、天売・焼尻隆起帯と呼んでいます。一方、天塩平野沖の北緯44°40'付近より北側では、天売・焼尻隆起帯を構成する背斜軸と比べて、長さや周期が短い、規模の小さな多数の背斜構造が複雑に発達しています。この背斜構造をつくる隆起帯は、大陸棚外縁に発達しており、北緯45°付近で西側にシフトして、仙法志堆から礼文島に向かって伸びます。この隆起帯は仙法志隆起帯と呼ばれ、南北方向には80 km, 幅40 kmを超えます。これらの隆起帯の東側の海岸線との間には堆積盆が形成されて、新しい堆積物が覆っています。既存の研究からも天北堆積盆と呼ばれる新第三系が厚く堆積していることが知られています (山本, 1979 など)。音響層序学的な解析の結果, 荒井 (2012) はこの地域の地層を音響基盤 (Bs), 天塩沖層群 (Ts), 羽幌沖層群 (Hb), 遠別沖層群 (Eb) および最上位の天売沖層群 (Tu) の5つに分けました (第3図)。



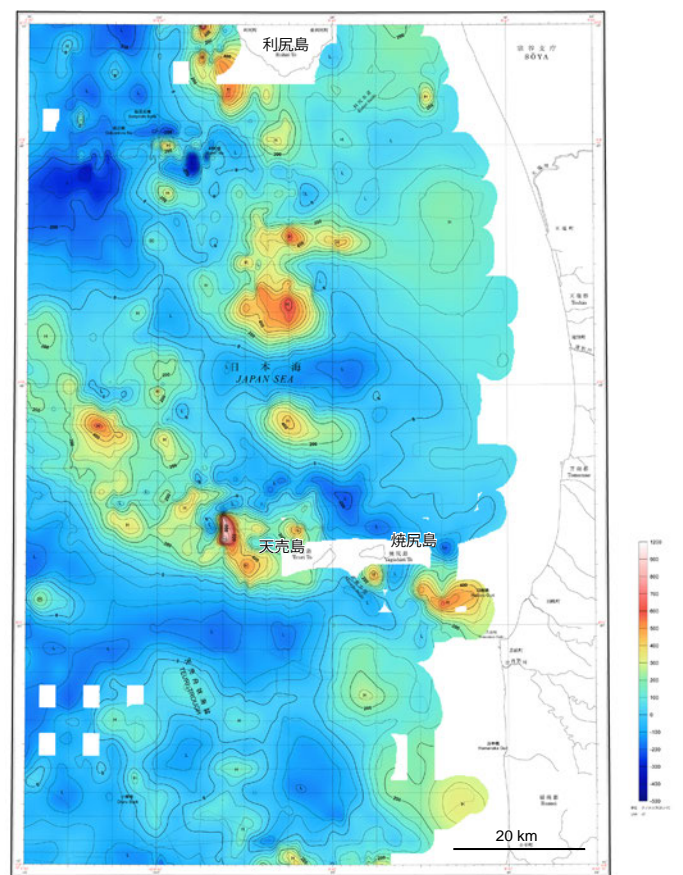
第3図 天売島周辺海底地質図。荒井 (2012) のスケールを縮小して、各地層名、島名およびスケールを加筆した。



第4図 天売島北方沖大陸棚の6ch音波探査断面。2つの背斜構造が南北方向に延びる。天売・焼尻隆起帯は天塩沖層群(Ts)からなり、2つの背斜軸が南北方向に延びる。羽幌沖層群(Hb)から上位の地層が不整合面を覆っている。測線は第3図。



第5図 ブーゲー重力異常図(仮定密度: 2.3 g/cm<sup>3</sup>)。等値線およびスケールの数値は重力値を示す。山崎・駒澤(2012)のスケールを縮小して加筆した。第3図の地質図において、天塩沖層群の分布域が高い重力異常とよく一致していることが分かる。



第6図 地磁気異常図。等値線の間隔は50 nT。山崎・駒澤(2012)のスケールを縮小して加筆した。

また、利尻島南西沖には特に内部反射面の不明瞭な地層が分布しており、利尻沖火山群(Rv)としています。地質図は、南側の「石狩湾海底地質図」(岡村, 2008)、北側の「宗谷岬西方海底地質図」(荒井, 2013)に接続します。

#### 4. 大陸棚下の地下構造

第4図は天売・焼尻両島の北方の重合断面になります。両島の南方から連続的に南北方向に2列の背斜構造が発達しています。天売・焼尻両島の北方には天塩沖層群が露出していると考えられます。この地層は、天売島や焼尻島に露出している火山噴出岩類(秦, 1959)に対比されます。この火山噴出岩類は安山岩溶岩および火山角礫岩からなり、新第三系中部～上部とされています。また、天売・焼尻隆起帯の背斜軸の西方では南北方向に延びる断層が発達しており、少なくとも遠別沖層群上部の地層が変形していることが分かります(第4図)。

このような反射断面をもとにして作成された地質図をブーゲー重力異常図と比べてみます。ブーゲー重力異常図は地形による影響を補正し地下構造のみを反映するようにした重力異常図と言えます。つまり、地表下および海底下を一律の密度とした重力効果を差し引いた重力異常図です。第5図に示したブーゲー重力異常図は海底下の岩石の密度を $2.3 \text{ g/cm}^3$ と仮定し、海水もすべてこの密度の岩石で置換した場合の重力異常です。ブーゲー異常については、東経 $141^\circ 30'$ 以西は概ね高重力異常域になっており、この位置は天売・焼尻隆起帯および仙法志隆起帯の位置とよく一致しているように見えます。特に第3図の天塩沖層群の分布域にブーゲー異常の高いピークがよく一致しています。また、範囲の北東にある負の異常は既述の天北堆積盆に対応していると考えられます。

地磁気異常図は、留萌沿岸から天売島・焼尻島を通り、利尻島にかけて、それぞれの広がり方が $10 \sim 20 \text{ km}$ 程度の磁気異常( $-250 \sim 500 \text{ nT}$ )が並んでいます(第6図)。この分布は、北海道の地体構造区分上の礼文-樺戸帯(小松, 1985)に一致しています(山崎・駒澤, 2012)。礼文-樺戸帯は白亜紀の島弧性の火山帯であったと考えられており、これに沿う磁気異常帯の存在は、白亜紀の火成岩が海底下数 $\text{km} \sim 10 \text{ km}$ 程度に伏在している可能性を示しています。礼文-樺戸帯に沿う磁気異常帯と交差して、焼尻島の南東から天売島の北西の $44^\circ 40' \text{N}$ ,  $140^\circ 55' \text{E}$ 付近にかけて、比較的短波長大振幅の磁気異常が並んでいます。特に、天売島のすぐ西の、 $44^\circ 28' \text{N}$ ,  $141^\circ 08' \text{E}$ 付

近の磁気異常は特に短波長・大振幅で、海底付近または海底下浅所に火山岩体が存在すると推定されますが、反射断面では明瞭な海底火山は見えていません。ただし、焼尻東南東や天売島の西方には活動的な断層が分布しています(第3図)。ここで観測された地磁気異常がこれらの地下構造と何らかの関係があるかもしれません。また、第四紀火山である利尻島南西沖にも地磁気異常が見つかりました。海底地質図上の利尻沖火山群(Rv)におおむね対応して短波長の磁気異常が存在し、火山岩の存在が裏付けられます。

#### 5. まとめ

一見すると広く平坦な大陸棚で特徴付けられる天売島周辺の地質構造を調べると、必ずしも単調でないことが分かります。この地域は日本海東縁に連続する収束型プレート境界(小林, 1983や中村, 1983)による、南北方向に連続する構造が特徴的に認められます。天売島周辺海域の海底地質をみると、南部では大陸棚の中央部、北部では大陸棚縁部に隆起帯が存在します。日本海東縁に続くと思われる歪み集中帯(大竹ほか編, 2002やOkamura *et al.*, 2005)は、奥尻海嶺から<sup>おくしり</sup>忍路海山に続っていますが、北緯 $45^\circ$ 付近まで続きその北側には顕著な背斜構造が連続しません(Tamaki, 1988)。オホーツクプレートとアムールプレートの境界とされる日本海東縁に続く逆断層を伴う構造が、積丹半島以北で東側へ移動している可能性は、石川(1992)で既に論じられています。大陸棚下に存在する隆起帯は重要な意味を持つと考えられます。

船上調査にあたっては白嶺丸の田森勝範船長(GH98航海)、高橋利明船長(GH99航海)を始めとする乗組員の皆さんから多大な助力をいただきました。独立行政法人産業技術総合研究所の池原 研調査団長を始めとする乗船研究者の皆さんには調査中およびその後のデータ解析、検討にあたって御協力していただきました。記して感謝申し上げます。

#### 文 献

- 荒井晃作(2012) 天売島周辺海底地質図。海洋地質図, no. 75 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 荒井晃作(2013) 宗谷岬西方海底地質図。海洋地質図, no. 78 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター。

- 秦 光男 (1959) 5万分の1地質図幅「焼尻島」および同説明書. 地質調査所, 24 p.
- 石川有三 (1992) 日本列島の地震活動. 月刊地球, 号外4, 134-139.
- 小林洋二 (1983) プレート“沈み込み”の始まり. 月刊地球, 3, 510-518.
- 小松正幸 (1985) 北海道中軸部の構造帯—その構造, 性格および構造運動—. 地質学論集, no. 25, 137-155.
- 中村一明 (1983) 日本海東縁新生海溝の可能性. 地震研究所彙報, 58, 711-722.
- 大竹正和・平 朝彦・太田陽子編 (2002) 日本海東縁の活断層と地震テクトニクス. 東京大学出版会, 201p.
- 岡村行信 (2008) 石狩湾海底地質図. 海洋地質図, no. 67 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- Okamura, Y., Satake, K., Ikehara, K., Takeuchi, A. and Arai, K. (2005) Paleoseismology of deep-sea faults based on marine surveys of northern Okushiri ridge in the Japan Sea. *Jour. Geophys. Res.*, 110, B09105, doi:10.1029/2004JB003135.
- Tamaki, K. (1988) Geological structure of the Japan Sea and tectonic implication. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 39, 269-365.
- 山本裕彦 (1979) オホーツク海および天北日本海側海域の地質構造と堆積盆について. 石油技術協会誌, 44, 28-35.
- 山崎俊嗣・駒澤正夫 (2012) 天売島周辺海底地質図磁気異常図・重力異常図説明書. 海洋地質図, no. 75 (CD), 産業技術総合研究所地質調査総合センター.

---

ARAI Kohsaku, YAMAZAKI Toshitsugu and KOMAZAWA Masao (2013) Marine geological and geophysical surveys on the vicinity of Teuri Island.

---

(受付: 2013年4月11日)

# 地球化学図からテクトニクスを読む —黒潮古陸は再浮上するか？—

田中 剛<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

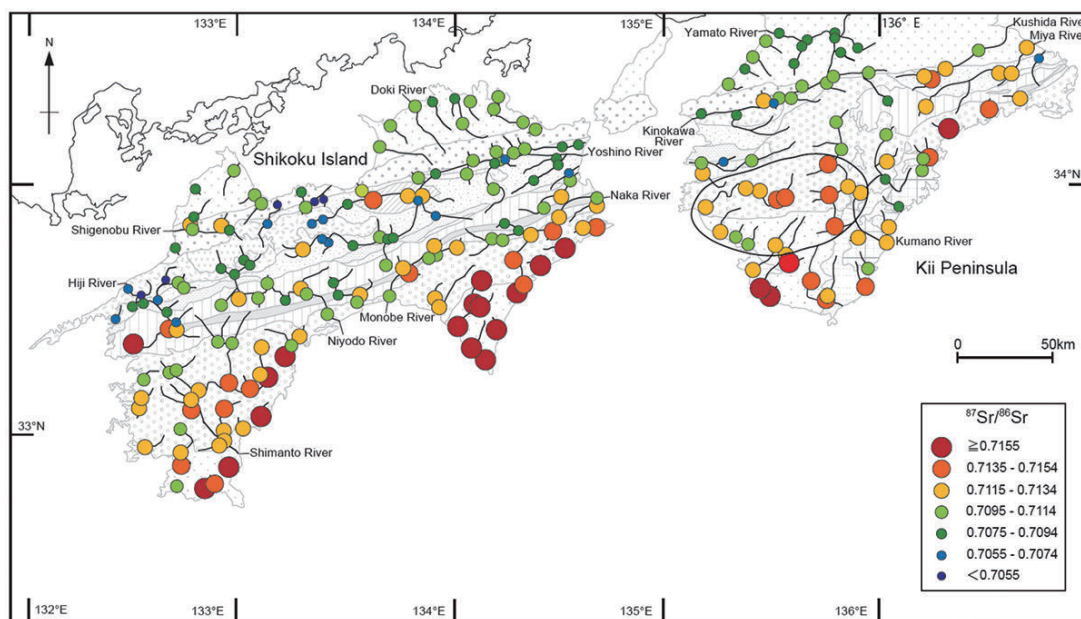
世界各地で地球化学図が公表されている。日本では、椎川ほか（1984）による「秋田県の地球化学図」や伊藤ほか（1991）の「地球化学アトラス—北関東—」に始まり、今井ほか（2004）による「日本の地球化学図」で全国カバーが成し遂げられた。これらの地球化学図では、巻頭にその作成に際しての目標が掲げられている。1980年代以前においては、新しい賦存資源の発見が中心であったが、やがて公害が大きな社会問題となるにつれ、その目標は、環境汚染の防止となり、さらに、地圏環境の化学バックグラウンド評価へと展開し、地形図や地質図などに共通する国土基盤情報図の一つとなった。

最近、城森ほか（Jomori *et al.*, 2013）は、上記の今井ほか（2004）により採集された試料を用いて、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  同位体の地球化学図を作成した。この図からは資源でも公害でもなく、あたらしい地質テクトニクスを物語る情報が読み取れる

かと思われるのでここに紹介する。元名古屋大学年代測定総合研究センター教授の柴田 賢博士、名古屋大学博物館特任教授の足立 守博士からは多くのご助言を頂いた。

## 2. 黒潮古陸

1970年の前後、堆積物の起源や形成過程の研究が隆盛を極めた。例えば、Adachi（1971）による上麻生礫岩の発見とソールマークによる古流向の推定は、これらの礫岩を供給した後背地が北方大陸に露出し、そこからの供給を示唆する強力な証拠となった。紀州四万十帯団体研究グループ（1968）は、紀伊半島に露出する四万十帯を精査し、牟婁層群では堆積盆の伸張方向に沿った東西方向のタービダイトに加えて、北→南、南→北の側流が顕著に見られることから、そこに含まれるオーソコーツァイト礫を供給した大陸的性格を持った南方陸地を推定した。さらには、上麻生に見いだされた片麻岩礫が、先カンブリアの放



第1図 四国および紀伊半島の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 地球化学図。Jomori *et al.* (2013) のfig.2から転載。

1) 名古屋大学 年代測定総合研究センター

キーワード：地球化学図、テクトニクス、ストロンチウム同位体、黒潮古陸、後背地



射年代を示したことから、先カンブリア基盤を持つ大陸『黒潮古陸』への期待はいつそう高まった。しかし、黒潮古陸は、その後何処に消滅したのだろうか？プレートは先カンブリア地殻を含み密度の低い物質を引きずり込むのだろうか？といった疑問や、四万十帯の白亜系砂岩の供給源は、北側の内帯東部にありとの調査（寺岡, 1977）、さらには、四万十帯の『顔』が「砂岩」から「チャートを含むメランジュ」に移ったことより、流行に追従できなかった『黒潮古陸』は、いつしか意識の底に沈んでしまった。

### 3. 地球化学図

地圏表層部の環境情報は、理学の4分野、物理/化学/生物/地学に対応して整理される。地球化学図は、どの地域にどのような元素や化合物が分布するかについて化学の1次情報を図化したものである。化学分析が容易になったとはいえ、信頼できる分析データを得るには時間がかかる。今井ほか（2004）は、もれなくできるだけ細密に元素の分布を把握できるよう、全国で約3000の川床堆積物を採集した。約100 km<sup>2</sup>に1試料の割合になる。結果は上記出版物、さらには多数の英文国際誌に掲載され、高い評価を得ているので、再度の紹介は割愛するが、一言で言えば、『地質と鉱床を反映した』地球化学図であった。

城森らは、同一の川床堆積物試料を用いて、その<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比を測定した（Jomori *et al.*, 2013）。その四国、紀伊半島地域の空間分布（地球化学図）を第1図に示す。ここで注目したいのは四万十帯が花崗岩や片麻岩を含む北の領家帯よりも<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比が高く、さらには四万十帯でも若い南方ほど、同位体比がより高くなっていることである。より若い南帯の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比ほど一層高い、その理由はなぜだろうか？

### 4. 四万十帯の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr地球化学図

良く知られているように、<sup>87</sup>Rbは488億年の半減期で<sup>87</sup>Srに放射壊変する。したがって<sup>87</sup>Rbの多い岩石や鉱物ほど、<sup>87</sup>Srの増加が早い。第2図は、年代を求めるいわゆるアイソクロンプロットに使われる座標で、同一のマグマから生じ、様々な<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr比を持つ岩石や鉱物は、時間とその<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Srに比例した、右上がりの直線上にプロットされる。堆積岩の場合も年代が経つに従い<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Srが大きいく程<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比は早く上昇する。<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Srが2なら、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比の上昇は、1億年あたり約0.003

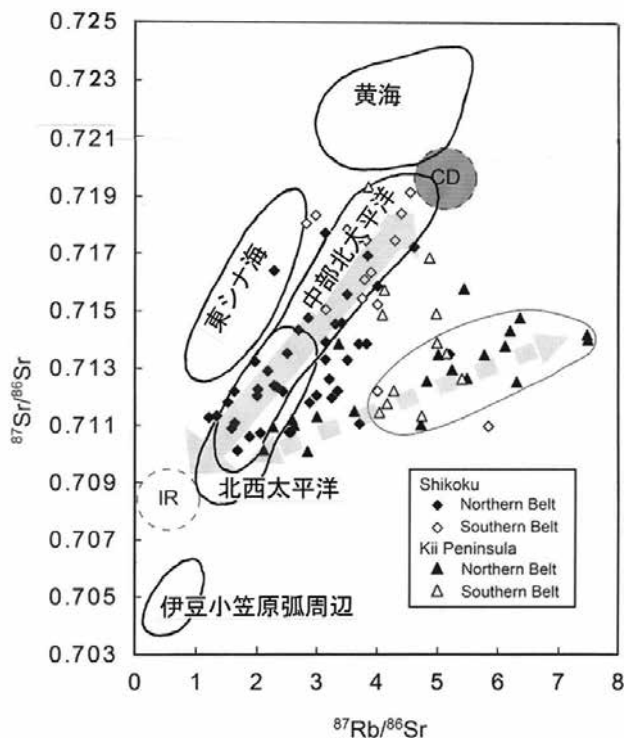
である。しかし、固体粒子から構成される堆積岩は、マグマと異なり、堆積時に化学的に均質化されないで、第2図のようなアイソクロンプロット上の列は、複数の供給源からの物質の混合線である場合が多い。時代が経つに従い、古い堆積岩の混合線もその傾斜が急になるが、新しく堆積した堆積岩も、古い堆積岩とその供給源（後背地）が同じなら、後背地の物質も<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比が進化しているので、古い堆積岩と同じ傾斜の混合線をもってプロットされる。いずれにせよ、古くてRbの多い後背地からの堆積岩ほど、<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比が高い傾向には変わりがない。同位体比が低くなるのは、Jomori *et al.* (2013)でも紀伊半島東部で取り上げられているように、若い火成岩に起源を持つ物質が混入した場合である。

### 5. 地球化学図からテクトニクスが読めるか

第1図の地球化学図では逆に、南方の若い堆積物ほど<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比が高いことが示されている、この事象を説明する最も容易な仮定は、南方の太平洋中により古い供給源を仮定することであろう。より供給源に近い南帯ほど<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比が高いことを説明し易い。黒潮古陸は再浮上するのだろうか？

四万十帯の碎屑物の研究からは、それをもたらした後背地は北方に分布した内帯酸性火山岩類、領家複合岩類、秩父累帯古生層などにあると考えられている（紀州四万十帯団体研究グループ, 1968；寺岡, 1977）。しかし、第1図に示した地球化学図をじっくりと見て頂きたい。四万十帯の北方には、より高い<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr同位体比を示す地体は見当らない。いやいや、四万十帯に物質を供給した地体は、すでに剝離され、残っていないのだ、と言われるかもしれない。さらには日本海の形成以前、大陸からの碎屑物が直接太平洋に流入していたと考えることも可能であろう。碎屑性白雲母のK-Ar年代325~335 Maから寺岡ほか(1994)は、三郡変成岩相当層を候補の一つと見た。

第2図に四万十帯の<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr-<sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr図（Jomori *et al.*, 2013のfig.6d）にAsahara *et al.* (1995)による太平洋各地域の海底表層堆積物のデータを重ねあわせて示した。太い実線で囲い、日本語で地名を書いている領域がAsahara *et al.* (1995)から引用した各海域のデータ分布域である。両者を比較して、四万十帯南帯の高い同位体比は、揚子江や黄河からの碎屑粒子が沈積している、東シナ海や黄海堆積物のそれとも異なっている。このことから、かつての四万十帯が東シナ海にあり、大規模な横ずれ断層



第2図 第1図に掲載したデータのうち、四万十帯からの試料の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 図 (Jomori *et al.*, 2013 の fig.6d による) に Asahara *et al.* (1995) による太平洋諸地域の表層堆積物のデータ分布域を太実線で囲み、和文で地域名を表記した図。図中の細実線で囲んだデータは第1図中で囲った地域のデータ、CD と IR は、continental detrital materials および igneous-rock-derived materials を示す。いずれも Jomori *et al.* (2013) の fig.6d による。

により、現在位置にまで移動したことも考えにくい(四万十帯に供給された大陸性物質が、現在の黄海や東シナ海の堆積物とは異なっていたと考えることを否定はしない)。

一方、第2図からは四万十帯の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 分布は、現在の西太平洋ではなく、中部北太平洋の表層堆積物の分布に似ていることがわかる。中部北太平洋の表層堆積物は、大陸起源の風成塵と火山起源物質や生物遺骸の混合した軟泥とされ、同位体比もそれを物語る。しかし、四万十帯堆積物の主体は砂岩類である。

もう一つ、四万十帯の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 地球化学図の特徴は、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ が小さく、 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ が低いデータに欠けることである。第2図で言えば、左下の伊豆小笠原弧周辺堆積物の分布するあたりである。Jomori *et al.* (2013) の fig.6 によれば、三波川帯や秩父帯には、この領域に少なからずデータ点が分布する。このことは、四万十帯は、島弧型あるいは海嶺型の塩基性火山活動による物質供給が三波川帯や秩父帯ほど多くなかった地に堆積したことを物語る。

## 6. これからの地球化学図

黒潮古陸は再浮上するのか、しないのか！ここまでの紹介をお読みいただいた読者の方々は、結論の見えない議論に大きなフラストレーションを感じられたと思う。なぜもっと他の地域の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 地球化学図が無いのか？100 km<sup>2</sup>に1試料などと言わずに、せめて1/20万地質図に対応した全国の地球化学図があれば、読者自身をご存知の岩相に対比して考えられるのに…と。筆者も同感である。

いま、地球化学図が燃えている。城森らは、今井ほか(2004)による川床堆積物試料の分析を昼夜兼行で進めているという。内帯古生層や三郡帯を含めた、日本列島の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 地球化学図が完成する日もそう遠いことではあるまい。韓国の地質調査機関であるKIGAMの地球化学図全国カバーは、日本に先んじていた。KIGAMで表面電離型質量分析計の稼働が始まった今、韓国全土をカバーする $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 地球化学図に着手したようである。地球化学図も日本と韓国は連続しよう。日本の地質調査機関であるGSJで、1/20万図幅に対応した地球化学図ができないものだろうか？筆者は、地球化学図が資源と環境に加えて、地質テクニクスを読む強力な助っ人になると信じる。

## 文献

- Adachi, M. (1971) Permian intraformational conglomerate at Kamiasso, Gifu Prefecture, Central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **77**, 471-482.
- Asahara, Y., Tanaka, T., Kamioka, H. and Nishimura, A. (1995) Asian continental nature of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios in north central Pacific sediments. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **133**, 105-116.
- 伊藤司郎・上岡 晃・田中 剛・富樫茂子・今井 登・金井 豊・寺島 滋・宇都浩三・岡井貴司・氏家真澄・柴田 賢・神谷雅治・佐藤興平・坂本 亨・安藤 厚 (1991) 地球化学アトラス—北関東—。工業技術院地質調査所, 35p.
- 今井 登・寺島 滋・太田充恒・御子柴(氏家)真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井 豊・上岡 晃・谷口政碩 (2004) 日本の地球化学図。産業技術総合研究所地質調査総合センター, 209p.
- Jomori, Y., Minami, M., Ohta, A., Takeuchi, M. and Imai, N. (2013) Spatial distribution of  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of stream sediments in Shikoku Island and the Kii Pen-

- insula, Southwest Japan. *Geochemical Jour.*, **47**, 321–335.
- 紀州四万十帯団体研究グループ (1968) 紀伊半島四万十帯の研究 (その2). *地球科学*, **22**, 224–231.
- 椎川 誠・金山道雄・滝沢行雄 (1984) 秋田県の地球化学図. 秋田大学教育学部地学教室, 29p.
- 寺岡易司 (1977) 西南日本中軸帯と四万十帯の白亜系砂岩の比較. *地質学雑誌*, **83**, 795–810.
- 寺岡易司・柴田 賢・奥村公男・内海 茂 (1994) 九州東部－四国西部の四万十帯層群中の碎屑性カリ長石および白雲母の K-Ar 年代. *地質学雑誌*, **100**, 477–485.
- 
- TANAKA Tsuyoshi (2013) Findings on tectonics in geochemical map – revival? of Kuroshio paleoland –.
- 

(受付: 2013 年 5 月 13 日)

# 平成 24 年度廣川研究助成事業報告 (2)

## スイスにおける地中熱システムの現状

吉岡真弓<sup>1)</sup>

### 1. はじめに

地中熱利用ヒートポンプ (GHP) システムは、欧米を始めとして、世界中で普及拡大が進んでいる再生可能エネルギー利用法の 1 つである。CO<sub>2</sub> の削減や電力使用量の低減が各国で求められる昨今、高い省エネルギー性能が見込まれる GHP システムの普及は、日本においても喫緊の課題である。日本における GHP の導入数は、2011 年以降急速に増加しているが、未だ 1000 件程度である (環境省、2012)。

欧米や中国では、日本と比較し GHP システムの普及が進んでいる。特にスイスでは、GHP システムの面積密度が世界最高であり、また、2000 年から 10 年間の年間成長率は約 20% と GHP システム先進国であるといえる (Rybach, 2013)。なぜスイスはこれほど GHP システムが普及したのか？ また、日本において今後、GHP システムを普及させるためには何が必要で、どのような研究を進めるべきであるのか？ この疑問に対するヒントを探るため、2012 年 2 月に、GHP システム研究の権威であるチューリヒ工科大学 (ETH Zürich: Swiss Federal Institute of Technology Zurich) の Ladislaus Rybach 教授のもとを訪問した。本稿では、この訪問によって知り得た、スイスにおける GHP システムの現状や、GHP システム導入のための制度などについて報告する。

### 2. スイスにおける地中熱システム導入に関する制度

Rybach 教授の案内で、スイスにおける GHP のパイオニアであり、キーパーソンでもある Walter J. Eugster 博士を訪問した (写真 1)。Eugster 博士は GHP システムの導入・施工に関する会社を経営しながら、連邦政府による GHP システム関連の仕事にも従事している。Eugster 博士には、彼自身が設計した、高速道路の陸橋に導入されたヒートポンプを使用しないタイプの融雪システム “SERSO” や、スイスでの GHP 管理システムについて話を聞くことがで



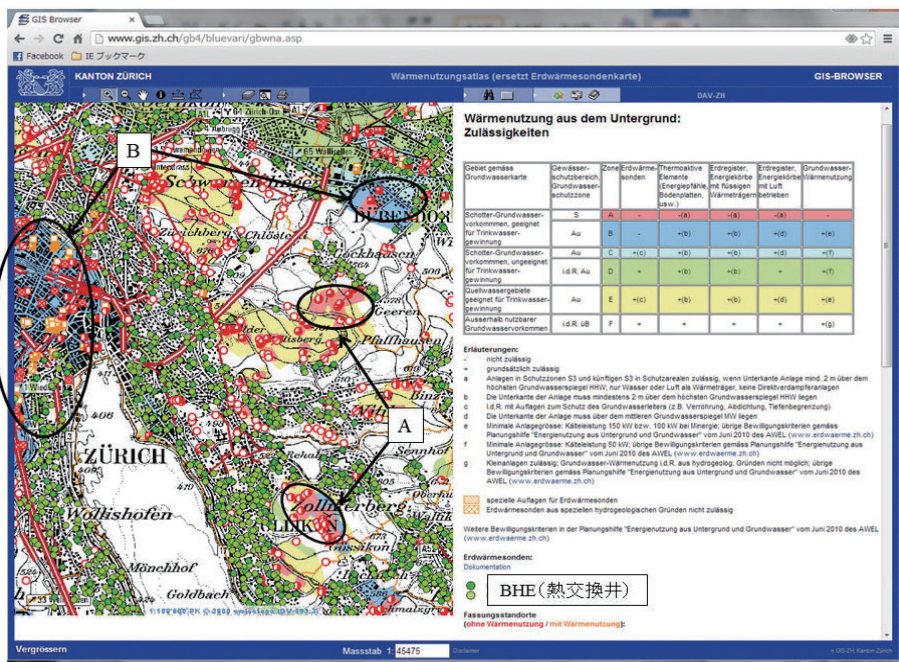
写真 1 今回の訪問でお世話になった Rybach 教授 (右) と Eugster 博士 (左)。中央は吉岡。

きた。ここでは、後者について詳しく報告する。

まず、Eugster 博士が見せてくれたのは、スイスにおける熱交換井 (BHE: Borehole Heat Exchanger) の設置位置を閲覧できる Web ページである (第 1 図)。第 1 図はチューリヒ周辺の BHE の設置分布を示したものである。この Web ページは、GIS をベースとして、既存の BHE の設置位置や地下水の保護地域を、誰でも見ることができる。飲料に適した地下水が利用できる地域 (図中、A、B で示した地域) では、基本的に BHE を設置することはできない。スイスでは、現在平均で 1 km<sup>2</sup> あたり 2 つの GHP システムが稼働しているという。なぜ、このようなマッピングを行うことができるのか？ それは、スイスでの厳しく細かな GHP システムの設置・管理に関する取り決めがあるためである。GHP システムの施工会社は、まず、国によって定められたライセンスを取得する必要がある。そして、BHE を設置する際には、SIA (スイスの建設・環境技術に関する協会) が取り決めている地中熱に関するマニュアル (Swiss Society of Engineers and Architect, 2010) に従わなければならない。SIA の地中熱利用に関するマニュアルは、ドイツの地中熱に関するマニュアルである VDI (Verein Deutscher Ingenieure, 2001) を参考に作成されている。その詳細なマニュアルに従うと共に、実際に施工する際には多

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード：廣川研究助成金、地中熱利用、スイス、データベース、熱交換井



第1図 スイスにおけるGHPシステムの導入状況を示すWebサイトの画面 (http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gbwna.asp 2013/06/19 確認) に加筆. チューリヒ周辺の熱交換井BHE分布(丸印)や地下水の保護地域を色分けして示している. 図中A, Bで示した地域等は飲料に適した帯水層がある地域を示している. 白色の地域は, 地下水が利用可能ではないため, GHPシステム設置が許可されている.

く書類を作成し、提出する必要がある。その書類は、スイス連邦局によって作成されており、施工方法や申請書の書き方などを含め、その内容は50ページにも亘っている。この中に14ページの申請書が含まれており、建物の持ち主や施工会社、設置位置、ボーリング柱状図などの情報を連邦局に提出しなければならない。この申請書による届け出を基に、第1図で示したBHEマップが作成されている。これらのGHP情報の管理組織は、スイス連邦局に属する地下水保全の部署の下に置かれている。このガイドラインと申請書の形式はEugster博士によって作成されたものである。

Rybach教授とEugster博士によると、GHPシステムの普及拡大には、詳細なマニュアルを決めることがカギになるという。マニュアルには、熱交換器や充填剤(熱交換井内で熱交換器と孔の間を充填するもの)の配合まで詳細に決められているため、それらの製造会社が安定して製品を製造・販売することができる。このようにマニュアルによりGHPシステムに関わる製品を規格化することはGHP市場を増強させ、価格の低減や普及拡大に繋がると強く話されていたことがとても印象に残っている。

### 3. チューリヒ周辺における地中熱利用システムの導入事例の見学

次に、スイスにおいて地中熱利用システムの設計を行っているGeowattという会社を訪問することができた。この会社は、Rybach教授の学生であったThomas Mège博士が10年ほど前に立ち上げた会社であり、現在は10数名の方が働いている。今回の訪問では、Mège博士とSarah Signorelli博士からGeowatt社で設計を行っている地中熱利用システムや地下熱物性データベースについて聞くことができた。

まず、Geowatt社が設計・管理しているいくつかの地中熱システムについて説明があった。1つは、BHEを利用した小規模融雪装置についてである。このシステムでは170mのBHEに循環ポンプのみを取り付け、ヒートポンプを使わず、地中との熱交換のみで、玄関のスロープの40m<sup>2</sup>を融雪している。循環用のポンプはマンホールの中に設置されており、見た目にもとてもシンプルなものであった。現在のスイスにおけるBHE掘削のためのコストは、1mあたり60ドル程度であるが、深度250m程度を境界にボーリングマシンが変わるため価格も変化する。250m以浅のBHEの場合、4m<sup>2</sup>程あれば掘削が可能なハンマー型の掘削機を使用できるため、既存の住宅であっても比較的容易にBHEを設置することができる。

次に、Signorelli博士が設計を担当している2つの現場を見学することができた。1つ目は、今年中に完成予定のオフィス用大型ビルディングである(写真2)。このビルでは、深さ150mのBHEを30本掘削し、ビル全体の冷暖房をGHPシステムで賄う設計になっている。写真3は地下の配管設備の一部である。30本のBHEからの循環液は、写真3の太いパイプで一括され、ヒートポンプに送られる。オフィスの冷暖房やサーバーームの冷房など、



写真2 GHPを導入する大型ビルディングの工事現場。オフィスとして使用される。

必要に応じて熱量を分配できるシステムになっており、ビル全体のトータルの抽出熱と排熱が年間で収支が取れるように設計されている。設計には、Geowatt社の開発したソフトウェアを使っており、1時間毎の熱収支の計算を15年間分言い、夏・冬のバランスが取れるようにデザインされている。スイスでは、事前にこのようなシミュレーションを利用した設計が一般的だそうだ。建物が完成した後のモニタリングは困難な場合が多いという。これは、モニタリングを行うには費用がかかること、また、建物の所有者が移る場合に契約などが面倒になるためクライアントの許可が出ないためらしい。

2つ目に見学したところは、チューリヒ市内の共同住宅である。この共同住宅は、居住者たちが共同で出資し購入したものだという。そのため、GHPシステムの利用についても、住民たちが自ら提案し、導入を決めたのである。その共同住宅ではGHPを設置する工事を行っている最中であり、合計で15本のBHEを掘削しているところであった(写真4)。住宅の周囲には、他の集合住宅などもあり、決して広々としたものではなく日本でも見られるような住宅集中地域であったが、この例のように新規のGHPシステムの導入が進められているのである。

見学の移動中に、Signorelli博士に「スイスにおける今後のGHPの課題は何か」と尋ねてみた。Signorelli博士は少し考えて、「BHEの施工会社を管理することではないか」と答えてくださった。もし私たちが家にGHPシステムを導入したいと思っても、どの会社を選べばよいかかわらず、値段だけで決めてしまうかもしれない。そんな場合でも、クオリティを維持できるようにGHPシステムに関連する会社をきちんと管理するシステムが必要だと言っていた。



写真3 写真2のビルディングの地下に設置されたGHPシステムの配管の一部。30本のBHEから集められた循環液がここで一つにまとめられ、ヒートポンプへ送られる。



写真4 共同住宅におけるBHEの掘削現場。周辺は住宅が密集している地域であるが小型の掘削機によって掘削が行われている。

スイスでもまだ課題は残されているようである。

#### 4. 地中熱利用に関するデータベース

##### 4.1 地下熱物性データベース「SwEWS」

Mégel博士には、スイスの地下熱物性データベース「SwEWS」(Leu *et al.*, 2006) について詳しく話を伺うこ

とができた。このソフトウェアでは、位置情報を入力すると、その地点の地質データから、平均的な地下熱物性を自動的に計算することができる。地質分類に関しては、3つの地質カテゴリに対し、5つの岩相がそれぞれ与えられており、合計 15 種類の分類があるという。このデータベースの中には、基本的には統計処理されたデータのみが収録されており、実際の測定データは参考値として閲覧することができる（後日、データベースの構築に関するキーパーソンである Ueli Schärli 博士に話を伺うことができたので、それについては後述する）。このデータベースでは、地下水に関する情報も入力するが、それは参考に過ぎないという。なぜなら、基本的に地下水が流れているようなところや地下水が豊富な地域は地下水保護地域に指定されており、GHP システムの設置ができないためである。スイスでは、地下水は貴重な水資源であり、地下水保護地域が定められているからこそ、安心して GHP システムの設置を行うことができるのである。

このデータベースは、誰もが使いやすく有益であるが、一番の問題は、何も考えなくても「答え (= 熱物性値)」が出てしまうところにあると Mégel 博士はいう。本来であれば、データベースによって得られた物性値が地質と整合しているかについて地質の専門家に相談することが必要である。これらのデータは、あくまで設計の際の参考値であることを認識しておかなければならないのである。

#### 4.2 データベースのための熱物性の測定

地下熱物性データベースの基礎となるデータの収集や研究は、Schärli 博士と Thomas Kohl 博士が Rybach 教授の下で行ったものである。Rybach 教授の案内で Schärli 博士を訪問した。

オフィスには、様々な測定器や岩石が並べられていた。それらの岩石は、GHP システムに関連する会社などから測定を依頼されたものらしい。岩石試料は、ボーリングコアや辺長が数 10 cm の直方体状の塊、また掘削時に生じた碎石などである。写真 5 は熱伝導率の測定に使用されている測定装置である。この装置では、中央の円盤の下に岩石を置き、上部から熱を与えることで熱伝導率を測定する。Schärli 博士によると、岩石試料を 2 方向で測定することが重要であるという。これは、岩石の異方性により、熱伝導率が平均で 1.2 ~ 1.4 倍程度異なるためである。Schärli 博士は学生時代に、スイスの様々な地域に赴き、200 サンプル以上の岩石を持ち帰り、熱伝導率等の物性を測定し、それらの熱物性の測定方法や地質・岩

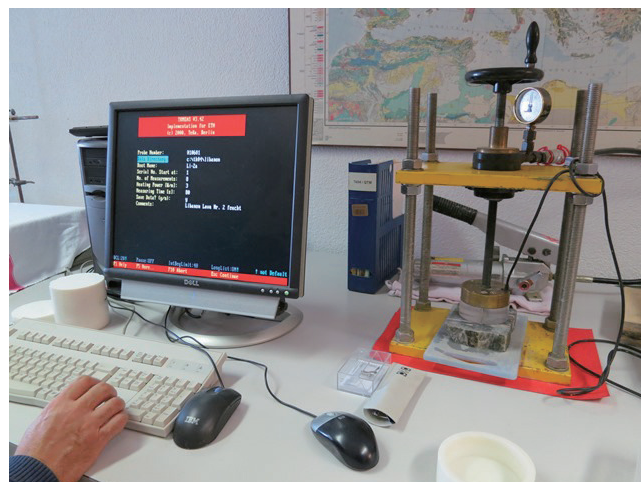


写真 5 熱伝導率測定装置。中央に岩石試料を挟み、上部から熱を与えることで熱伝導率を測定する。

相との関係についての研究に従事された（例えば、Leu *et al.*, 1999）。その後、Rybach 教授や Schärli 博士を中心とした ETH Zürich の Geothermics and Radiometrics 研究グループは、様々なボーリングコアのサンプル、石油開発のための坑道やトンネルのサンプルなど、2335 のサンプルから熱物性を中心としたデータを収集し、データベースを構築した。そのデータベースの中には、サンプルの採取場所、用途（ボーリング試料なのか、トンネルなのか、など）、標高、岩相、地質、乾燥状態の熱伝導率、湿潤状態の熱伝導率、異方性、密度、熱容量などが整理されている (Schärli and Kohl, 2002)。これらのデータを基に、前述したチューリヒおよびその近郊の熱物性データベースが構築されたのである。

#### 5. おわりに

今回の訪問では、スイスにおける GHP システム普及のキーパーソンから直接 GHP システムについて話を聞くことができ、また、実際の施工現場を見学するなど、大変有意義な情報を得ることができた。さらに、様々な参考資料も提供していただいた。資料のほとんどはドイツ語であり翻訳には時間を要するが、これらは実際に現地へ赴くことで入手できた貴重な資料であると考えている。

スイスと日本では、地質や気候などの自然環境や電力供給方法などの社会システムが異なっているため、スイスにおける GHP システム普及のプロセスをそのまま日本に適用することはできない。しかし、そのエッセンスを学ぶことはできるであろう。Rybach 教授は、日本でも GHP システムのきちんとしたマニュアルを作り、GHP システム

に必要な材料や施工方法が規格化されていれば市場は拡大する、と強調されていた。また、日本の地質に適した地中熱のための地下熱物性データベースを構築することも、日本における GHP システム導入拡大のためには重要である。スイスで作られたデータベースも 1 つの参考にしながら、日本に合った地中熱データベースを構築する必要があると考えている。

訪問の最後に、Schärli 博士の案内で ETH Zürich のキャンパスとそこにある地球科学に関する博物館である“focusTerra - Erdwissenschaftliches Forschungs- und Informationszentrum der ETH Zürich”を見学することができた(写真 6)。博物館内には、スイスを中心とした周辺地域の岩石や地質図を始め、地震、火山などの地球科学に関する情報についても詳しく説明・展示がなされていた。この博物館では、研究者の居室・研究室と展示スペースが同じフロアに置かれており、研究者や学生と博物館への来訪者が顔を合わすことができる。このようなオープンな環境は、学生や来訪者にとっても、また、研究者にとっても刺激になるのではないかと感じた。ETH Zürich のキャンパスには他にも数種の博物館があり市民に開放されている。多くの店舗や商業施設が休みになる日曜日には、閑散とした市街地とは対照的に、大学キャンパス内の博物館は家族連れや小中学生で賑わっていたのが印象的であった。

**謝辞：**本訪問に際し、ETH Zürich の Ladislaus Rybach 教授には、事前の調整を始めとしてあらゆる面で大変お世話になりました。また、貴重な時間を割いて面会して下さった Eugster 博士、Mégel 博士、Signorelli 博士、Schärli 博士、および、誌面の都合上紹介できなかったが、太陽エネルギーと GHP のハイブリットシステムについて説明して下さった ETH Zürich の Hanasjurg Leibundgut 教授と学生の Jose Antonio Sanchez 氏に記して謝意を表します。また、Rybach 教授を紹介して下さり、渡航前にも様々なアドバイスを下さった地圏資源環境研究部門地圏環境評価研究グループの安川香澄グループ長に御礼申し上げます。

本調査は、地質調査総合センターの廣川研究助成の援助により実施することができました。このような機会を与えて下さった関係者のみなさまに深く御礼申し上げます。

## 文 献

環境省 (2012) 地中熱利用ヒートポンプシステムの設



写真 6 ETH Zürich にある地球科学に関する博物館“focusTerra”。

置状況調査の結果について、平成 24 年 11 月 13 日 環境省報道発表資料、<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=15945> (2013/06/17 確認)。

Leu, W., Rybach, L., Schärli, U., Mégel, T. and Keller, B. (1999) New thermal property data base of the Swiss Molasse Basin sediments: integrating wireline logs, cores and cuttings. *European Geothermal Conference Basel '99 Proceedings*, 2, 213-220.

Leu, W., Mégel, T. and Schärli, U. (2006) PC-Programm für die Berechnung geothermischer Eigenschaften der Schweizer Molasse (Tiefenbereich 0 - 500 m) Benutzerhandbuch zu Programm SwEWS (Version 2.0). *Bundesamtes für Energie*, 37.

Rybach, L. (日本地熱学会国際交流委員会訳) (2013) 地中熱ヒートポンプにおける新たな開発—スイスでのサクセス・ストーリーを交えて—. *日本地熱学会誌*, 35, no. 1, 35-40.

Schärli, U. and Kohl, T. (2002) Archivierung und Kompilation Geothermischer Daten der Schweiz und Angrenzender Gebiete. *Geophysik*, NR.36.134.

Swiss Society of Engineers and Architect (SIA) (2010) Erdwärmesonden. *SIA 546384/6*.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2001) Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. *VDI 4640*, 43.

YOSHIOKA Mayumi (2013) Report of the Hirokawa Research Fund in the 2012 fiscal year (2) : report of current situation of Ground Source Heat Pump System in Switzerland.

(受付: 2013 年 6 月 19 日)



# 3D 模型と砂絵で楽しむ筑波山のジオ —地質図を立体的に理解するための砂絵教材の 開発とイベントでの活用—

芝原暁彦<sup>1)</sup>・住田達哉<sup>1)</sup>・加藤碩一<sup>2)</sup>・大和田朗<sup>1)</sup>・佐藤卓見<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

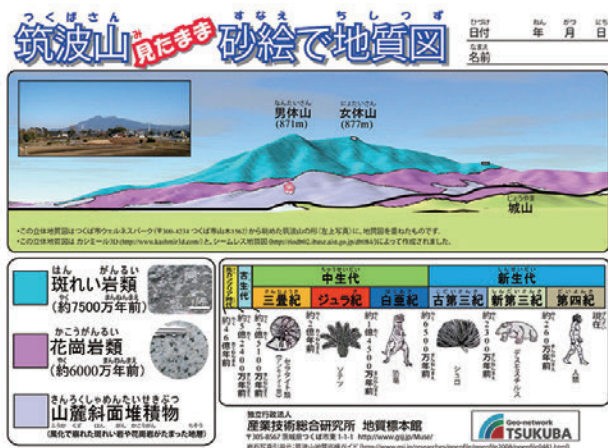
博物館展示やイベントにおいて、地質の積み重なりと、それがもたらす地形の広がりについて伝えることは非常に重要である。地形や地質は非常に身近なテーマである一方、自らが生活している地域において、通常平面に印刷された地形図上の地質分布を、立体的にイメージできるようにするにはかなりの修練を必要とする。

これらの理解を促すため、地質の広がりを立体的に理解できる砂絵教材を開発した。対象地域は筑波山周辺である。なお筑波山地域は、2012年8月に筑波山地域ジオパーク推進協議会が設立され、ジオパークの認定を目指している。

## 2. 砂絵教材の概要

今回開発した砂絵教材は、地質図を印刷したA4サイズの台紙と、数種類の色砂を用いる。色砂は、カナダの

Sandstastik社が製造したClassic colored sandを使用した。台紙にはつくば市内のポイントから眺めた筑波山の立体地質図と同視点からの写真、筑波山を構成する各岩体の解説、凡例、地質年代表などが印刷されている(第1図)。台紙の地質境界線と凡例部分に沿って切り込みが入っており、これに沿って台紙を剥がすと、その下にある糊面が露出するため、そこに色砂を撒くと砂が付着する(第2図)。余分な砂を筆で落とし、また別の岩体に同様の作業を繰り返せば砂絵の地質図ができあがる。凡例部分にも砂を撒けるため、岩体と凡例部分の色砂を統一できることも、地質図の判読を学ぶ上で大きなポイントとなる。最後にもう一度紙全体から余分な砂を除去した上でラミネートすれば完成となる(第3図)。ラミネート作業を行うことで保存性が高まり、砂絵の見栄えも向上する。また、砂の色分けによって陰影等をつけることで、より色彩豊かな砂絵を作ることにも可能である(第4図)。



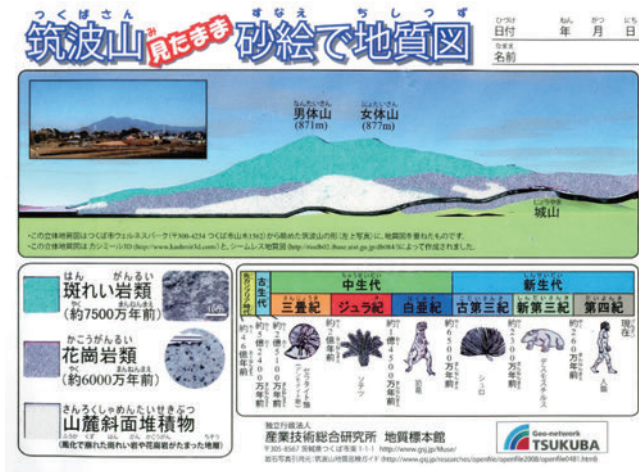
第1図 砂絵教材の図案。



第2図 砂絵教材を用いた指導の様子。写真の児童は、筑波山麓斜面堆積物部分に砂を撒いている。砂絵の左手のつまようじは、台紙表面をはがすのに利用。さらにその左は、解説で使用する斑れい岩のサンプル。

1) 産総研 地質標本館  
2) 産総研 名誉リサーチャー

キーワード：アウトリーチ、地質図、立体、砂絵、教材、筑波山



第3図 完成した砂絵の例。



第4図 陰影をつけた砂絵の例。

### 3. 砂絵教材の開発

砂絵の原案は、ラベル用紙を活用した筑波山の地質図である。ラベル用紙は本来、ラベル部分に印刷を行い、台紙(裏紙部分)を剥がして使用するものであるが、今回は台紙部分に印刷を行う。

立体地質図は、筑波山山頂より南西約8kmの方角に位置する「つくばウェルネスパーク」(つくば市山木1562)の駐車場から、筑波山を見上げた構図とした。鳥瞰ではなく、ウェルネスパークから見上げる視点を選んだ理由は下記のとおりである。

- ・現地で実際の筑波山と砂絵教材とを見比べるなどして理解を深めることが可能。
- ・鳥瞰図では麓の地質が含まれるため、絵柄が複雑になり過ぎて砂絵に適さない。
- ・筑波山の特徴である双耳峰を形成する男体山と女体山が視認できる。
- ・施設と筑波山の間には、観察の障害となるような大きな

建造物が無い。

- ・ウェルネスパークはつくば市の公共施設であり、収容人数も多いことから、ジオパーク推進活動に関連するジオツアーや研修等に適している。

また、立体地質図は、同地点の地上高1mからの視点を想定した。これは、教材の主な対象年齢が小学生以上であるため、小学校低学年の身長を考慮したことによる。

印刷する立体地質図の作図には、フリーソフトウェアである「カシミール3D」(<http://www.kashmir3d.com/> 2013/06/19確認)を使用した。地形標高データは同ソフトウェア専用の50mメッシュデータを、また地質図データは産業技術総合研究所地質調査総合センター発行の20万分の1シームレス地質図(<https://gbank.gsj.jp/seamless/> 2013/06/19確認)およびカシミール用プラグイン(<http://www.kashmir3d.com/kash/kashget.html#tilemap> 2013/06/19確認)を用いた。

まずA4サイズのラベル用紙の台紙に、筑波山の立体地質図や、岩石の解説等を印刷する。次に印刷した立体地質図の地質境界線部分と凡例部分に、専用工具で用紙を貫通しない程度に浅く切り込みを入れ、台紙のみが剥がれる様に加工する。各地質岩体と凡例部分の台紙を剥がすと、ラベルの裏側にあたる糊面が露出するため、ここに凡例に応じた色砂を撒けば糊面に砂が付着する。

### 4. イベントでの活用

本教材は「3D模型と砂絵で楽しむ筑波山のジオ」と題した以下のイベントで活用された。括弧内に日時、会場、教材の使用部数を示す。

- ・親子であそぼう ジオネットの日 (2013年3月3日、つくばエキスポセンター、66部)
- ・茨城の食の王座決定戦2013 (2013年4月28~29日、つくば市役所、142部)
- ・つくばフェスティバル2013 (2013年5月11~12日、つくばセンター、318部)

いずれのイベントも、筑波山地域のジオパーク推進活動を意識しており、ジオネットの日とつくばフェスティバルにおいては、ジオパークパネル展も併催された。

イベントでの砂絵作成にかかる時間は、一人当たり15分~20分程度を想定した。会場では長さ180cmの会議机を4脚、口の字型に配置し、そのうち3脚を砂絵作成の作業スペースとして使用し、残りの1脚にラミネーターや台紙、砂のストック等を配置した。砂絵の作成者は机1脚

当たり2～3人で、都合6～9人程度が同時に作業を行った。指導者は口の字型に配置した机の内側から指導を行った。なお、作業時間が作成者によって大きく異なるため、全員を一斉に入れ替える方式にはせず、砂絵が完成した作成者を、次の作成者と個々に入れ替える方式を採用した。

イベントにおける指導の手順は以下のとおりである。括弧内にそれぞれの手順に要する大まかな時間を示す。

1) 砂絵の台紙を作成者に見せ、筑波山を構成する斑れい岩、花崗岩、山麓斜面堆積物等について、それぞれの岩石の特徴や年代を含め簡潔に説明する。なおこの際、大人の握り拳大に加工した斑れい岩と花崗岩のサンプルを見せる。岩石サンプルは研磨面と未研磨の面を併せ持つため、研磨面で岩石鉱物の解説を、また未研磨の面で野外における岩石の観察方法を解説することが可能である(5分)。

2) 上記の説明を踏まえ、砂絵を作成する。各岩体の色は、用意した色砂から作成者の好みで選択してもらうことが基本である。作成の際、凡例部分と岩体とを違う色の砂で塗らたがる児童がいるが、できる限り色を統一するよう説得する(5～10分)。

3) ラミネート作業を行う。この間、1)で説明しきれなかった内容について補足する。また会場に設置されたプロジェクションマッピング方式の筑波山立体地質模型(芝原, 2013a, b)と砂絵の地質図を見比べることで、仮想的なジオツアーを体験してもらう(5分)。

本来であれば、完成した砂絵を手にしながらか実物の筑波山を観察するのが最良の方法ではあるが、会場の立地条件や天候の関係上それが困難であったため、次善の策として筑波山の立体地質模型と砂絵を見比べながら、岩体の分布を把握できる方式を採用した。

## 5. 今後の方針

今回はモデルケースとして筑波山地域のジオパーク推進活動を背景に筑波山周辺を対象地域としたが、日本各地で

行われるイベントに合わせて、その地域における代表的な地形や地質をテーマとした砂絵教材を開発することで、イベントの話題性と集客力および学習効果を高めることも可能である。同様の試みが、全国の博物館やジオパーク等で採用されるよう積極的な技術協力を進める予定である。

## 6. 謝辞

砂絵教材の開発とイベントでの活用に当たり、つくば市役所の柴原利継氏、伊藤祐二氏をはじめとする科学技術振興課ジオパーク推進係および都市施設課の皆様には多くのご助言とご協力を頂いた。また地質標本館の酒井 彰氏には、イベントにおける岩石標本を使った指導方法についてご助言頂いた。また谷田部印刷株式会社専務取締役の井上誠氏をはじめ、同社の皆様には、砂絵の台紙となるラベル用紙の選定や、台紙を浅くカットするための工具の選定および調整など、技術的なサポートを頂いた。さらに「カシミール3D」の作者である杉本智彦氏には、同ソフトウェアの使用についてご快諾頂いた。以上の方々にこの場をお借りして深謝申し上げる。

## 文 献

- 芝原暁彦(2013a) 精密立体地質模型の開発と博物館展示への応用. 地質調査総合センター研究資料集, no. 578, 38-39.
- 芝原暁彦(2013b) 三次元造型技術とプロジェクションマッピングを用いた精密立体地質模型の開発と、博物館およびジオパーク地域での活用. GSJ地質ニュース, 2, no. 8, 243-248

---

SHIBAHARA Akihiko, SUMITA Tatsuya, KATO Hirokazu, OWADA Akira and SATO Takumi(2013) Three dimensional visualization and outreach activities using 3D miniature and "Sand painting geological map of Mt. Tsukuba."

---

(受付:2013年6月19日)

# 誕生石の鉱物科学

## — 9月 ブルーサファイア (2) —

奥山康子<sup>1)</sup>

9月の誕生石はブルー・サファイアです。昨年は誕生石一般の紹介と抱き合わせで解説してしまいましたが(奥山, 2012), その際に表に掲げた第1順位の誕生石のうち, 色の名前がついているのはブルー・サファイアだけだったのにお気づきでしょうか? そうです, 鉱物としてのサファイアつまりコランダム  $Al_2O_3$  は本来無色であり, 宝石であるルビーもブルー・サファイア(第1図)も微量成分の働きなどで発色する, 「他色」の代表例なのです。では, 赤と青以外の宝石質コランダムはあるのでしょうか, またそれらは宝石としてどう呼ばれるのでしょうか?

第2図は様々な色のコランダムの原石, 第3図は同じくカットストーンです。黄色, ピンク色, オレンジ色…色彩的には結構バラエティーがあります。そしていずれの色でも, 良質の石は宝石利用されます。では宝石名はというと, 意外かもしれませんが, すべて「サファイア」なのです。区別する際には, ブルー・サファイア同様に, ピンク・サファイア, イェロー・サファイアなど色名をつけます。ブルー・サファイアはサファイア・ファミリーの中で別格の宝石であることを踏まえると, 何となく釈然としませんが, 商習慣では仕方ありません。もっとも最近ではブルー・サファイアを単に「サファイア」と呼ぶ一方, ルビーおよびブルー・サファイア以外の色のコランダムたちを「ファンシー・サファイア」と一括りする呼び方も広まってきました。宝石としてはルビーとブルー・サファイアの評価が別格なのですから, こちらの扱いの方が素直であるように私には思われます。

これまで紹介してきた他色の宝石では, ルビーにおけるクロムのように, 結晶構造の中にある遷移金属原子のd軌道分裂による電子遷移状態「d-d遷移」が, 発色を担っていました。ところで化合物の中の遷移金属元素は, エネルギーを吸収することで「電荷移動遷移」と呼ばれる別の遷移状態に至ることがあります。これは名前の通り原子間での電子のやり取りということであり, d-d遷移が単一の原子についての現象であったのに対して, 複数の原子が関与



第1図 スミソニアン博物館所蔵「Logan sapphire」. 約423カラットあり, 世界第2位の大きさ. Smithsonian Institute (1999) より.



第2図 様々な色のサファイア結晶. 左上と右中央の黄色系の2結晶が, 長さ1.5cm. スリランカ産.

します。ブルー・サファイアの発色は, 微量成分として含まれるチタンと鉄の間での電荷移動によると考えられています(白水・青木, 1989)。

色の良いブルー・サファイアには, 約1%の鉄と約0.1%のチタンが含まれます。「コーンフラワー・ブルー」と呼ばれる, 明るく強さを感じる青色のサファイアでの鉄とチタンの量は, この程度です。鉄もチタンもイオンの価数

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: 宝石, 誕生石, ブルー・サファイア, コランダム, チタン, 鉄, 電荷移動



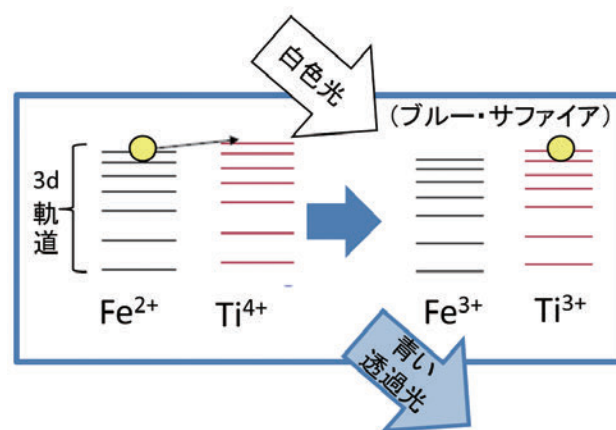
第3図 様々な色のサファイアのカットストーン. スミソニアン博物館所蔵. Smithsonian Institute (1999) より.

は1つではなく、鉄の場合はよく知られるようにプラスの2価と3価をとります。チタンはプラスの4価であることが多いのですが、還元環境下では3価になることもあります。両元素とも、イオン化に関するのはともに3d軌道の電子です。

コランダムは化学式のとおり、プラス3価のアルミニウムが酸素のマイナス電荷と電氣的にバランスを取って成立しています。ここで微量成分に注目すると、プラス2価の鉄とプラス4価のチタンが同数あれば、電氣的に破綻しません。それでは仮に、チタンも鉄も共にプラス3価の状態であればどうでしょうか？ 電氣的にはそれでもOKですね。両元素とも、イオン化に関するのはエネルギー的に類似した3d軌道の電子であり、外から何かのエネルギーを受けることで一緒に遷移状態になることができます。この状態をコランダムの結晶という巨視的な単位で2種類の不純物元素に注目して見ると、「2価の鉄+4価のチタン」という状態と「ともに3価」という状態の間を行き来していることになります。まるで鉄とチタンの間で電子をやり取りしているように見えるわけです(第4図)。

コランダム中の鉄とチタンの「電荷移動」では、可視光のうち赤から黄色の成分が選択的に吸収され、吸収されなかった青色の光が私たちの目に届きます。ブルー・サファイアの青色は、こうしたメカニズムで現れるわけです。鉄だけ、あるいはチタンだけではだめで、両者がそろって初めて魅惑の青色が生み出される—ブルー・サファイアは発色機構においてもサファイア・ファミリーの中で別格のような気がします。

ブルー・サファイアでは鉄が過剰、あるいは逆にチタンが過剰であると、理想的な色から外れる傾向があります。鉄が過剰の場合は、鉄のd電子による光の吸収が電荷移動に重なって、サファイアは「インク・ブルー」と呼ばれる暗い色調を呈すようになります。色が暗くなるにつれ、宝



第4図 ブルー・サファイアでの電荷移動と発色メカニズム. 図中の黄色い丸は、d電子.

石としての評価も下がります。一方過剰のチタンは不純物として存在しきれず、ルチルTiO<sub>2</sub>という鉱物の細針状結晶をなして析出するようになります。このようなブルー・サファイアは、普通は透明度が下がって評価も低くなるのですが、特別な場合にはカボション研磨で6条の光の筋を発する「スター・サファイア」になり、高く評価される可能性が出てきます。

電荷移動による着色は、イオン化した際に複数の価数を取ることができ、イオン化に関する電子のエネルギー準位が近い金属元素を含む物質では、鉱物に限らず広く知られています。宝石では3月の誕生石アクアマリンの藍色をなすバラエティーで、微量の鉄が関与する電荷移動が発色に関係していることが知られています。主成分元素での電荷移動が、鉱物に色を与える例もあります。鉛丹Pb<sup>2+</sup>Pb<sup>3+</sup><sub>2</sub>O<sub>4</sub>は、オレンジ色を帯びた赤色の鉱物で、合成品は顔料やさび止めペイントとして用いられます。この赤色は、鉛の2価と3価の間での電荷移動によります。鉛の化合物や鉱物は、鉛白PbO、白鉛鉱PbCO<sub>3</sub>に代表されるように色のないことが多いのですが、例外的存在である鉛丹にはこんな秘密があったのです。

## 文 献

- 奥山康子 (2012) 誕生石の鉱物科学—9月 ブルー・サファイア—. GSJ地質ニュース, 1, 264-265.
- 白水晴雄・青木義和 (1989) 宝石の話. 技報堂出版, 東京, 190p.
- Smithsonian Institute (1999) Smithsonian National Museum of Natural History Gem Gallery, <http://geogallery.si.edu/index.php/en/gems> (2013年8月5日 確認)

OKUYAMA Yasuko (2013) Mineralogical science of birthstones – September; Blue sapphire 2 – .

(受付: 2013年8月7日)

# 地質標本館 第5回地質写真コンテスト 結果について (2)

宮内 渉<sup>1)</sup>・青木正博<sup>1)</sup>

第5回地質写真コンテスト(2009年3月開催)において受賞されました作品紹介の2回目です。今回は入選作品4点および入館者賞作品3点をご紹介します。作品は口絵257-258頁に掲載しました。写真説明等については

第1表のとおりです。なお、地質写真コンテストの概要については、本誌2012年5月号で報告しておりますので合わせてご覧ください。

MIYAUCHI Wataru and AOKI Masahiro (2013) Result report of the 5th Geological Photograph Contest (2).

(受付:2013年2月22日)

第1表 第5回地質写真コンテスト受賞作品一覧(2)

	氏名	題名	テーマ・ カテゴリー	撮影場所	撮影年月日	カメラ名	フィルム名・ 画素数	写真の説明
入選	西 祐司	薩摩硫黄島(3)キ ンツバ火口の夕景	地質現象	薩摩硫黄島硫黄 岳 山頂火口縁 (鹿児島県)	2001/11/20	Canon PowerShot S20	3M pixel × 3 枚の合成	キンツバ火口は、山頂の大穴火口の南西側にある直径約200mの火口地形です。写真の右側のU字型の谷状地形は大谷平に続く珪石採掘の影響です。硫黄岳では、江戸時代には珪石よりも硫黄の採掘が行われており、写真左下に昔の硫黄の搬出に使っていた廃屋があります。写真手前の地表には、右側の山頂火口から噴出された火山灰が厚く積もっています。
入選	澤田 結基	火山灰と石切場跡	地質現象	札幌市南区石山 緑地公園	2007/5/20	RICOH Caplio400G wide	2048x1536	札幌市南区には石切場の跡が随所に残っています。ここで採れる石材「札幌軟石」は、支笏カルデラから約4万年前に噴出した火山灰が固まった溶結凝灰岩です。火山灰は高温のガスと混じった火砕流として流れ、自分の熱で融けて固まりました。火山灰層の下側はよく固まっているので石材として使われましたが、上側は柔らかく、石切が終わった今では侵食に身をまかせています。
入選	佐藤 努	その露頭は世界遺 産!?	組写真 (地質現 象)	三重県紀北町 馬越峠	2008/10/31	Xacti DMX-CA6	2816x2112	山道に砂岩泥岩互層の露頭を発見!と思っても、ハンマーで叩いてはいけません。この山道は、世界遺産に登録されている熊野古道なのです(写真a)。熊野古道といえば、綺麗な石畳が有名。この山道だって、少し坂を下れば立派な石畳が出現します(写真b)。熊野古道の石畳は、現地調達した石を用いるのが原則なんだそうです。この馬越峠(海山側)の地質は、下部が熊野酸性岩、上部は四十帯上部白亜系です。ということで、綺麗な石畳が有名な下部とは対比的に、上部では四十帯上部白亜系の地層がそのまま露出しています。
入選	澤田 結基	アムール川の蛇行	地質現象	ロシア沿海地方・ アムール川上空	2005/6/10	RICOH Caplio GX	2592x1944	成田からヨーロッパに向かう飛行機は日本海を越えたあと、しばらくロシア上空を飛行します。離陸してから2~3時間、機内食をいただいたあと窓の外を見ると、ちょうどアムール川が見えていました。この水がオホーツク海に注ぎ、冬には流水をつくっています。
入館者賞	窪田 真弓	「最後の岩」…水 晶の群晶	地質標本	地質標本館		Nikon D300 +60mmマク ロレンズ		福島県郡山市の鉱山跡に出かけたときに、最初に見つけた水晶である。そのため、自分が所有している鉱物標本の中でも、格別な思い入れがある。とても形の良い結晶で、水晶が三方晶系である事もよく分かる。ほとんど無色透明であるために、結晶内の溝りが見通せる。大きな三本の水晶の周りにはことごとく貝殻状の断口になっていることから、かつてびっしりと生えていた水晶のほとんどが壊れてしまった事がわかる。三本の中心には小さな水晶が無傷で残っている。この三本が最後の岩となって、幼い水晶を破壊から守って来たのだ。写真の横が4.5cmに相当。
入館者賞	井上 裕貴	「土筆水晶」(つくし すいしょう)	地質標本	地質標本館		Nikon D300 +60mmマク ロレンズ		細長い水晶の上を、僅かに太い水晶が覆った二階建てになっています。このような水晶を「松茸水晶」とよぶならわしがありますが、松茸の茎に相当する部分がスリムになると土筆に似てきます。「土筆水晶」という言葉があると便利だと思いました。珍しい形なのでお気に入りの一品です。光の角度によって、一階部分の褐色が美しく際立ちます。長さ3.3cm。
入館者賞	徳橋 秀一	タービダイト砂岩を 覆う泥岩に2種類 識別できるかな? —平成20年度地質 調査研修(4泊5日) の記録10—	調査風景	勝浦市吉尾漁港 東方	2007/10/10	SANYO Xacti DMX-CA65型	5M pixel	勝浦市吉尾漁港のすぐ東方にのびる海蝕崖の大部分は、清澄層上部のタービダイト砂岩優勢砂岩互層から構成されている。厚いタービダイト砂岩を覆う直上の泥岩をよく観察すると、どの泥岩も、下部が下位のタービダイト砂岩と同時にもたらされた細粒均質なタービダイト起源泥岩、上部がタービダイトと関係がなく時間をかけて非常にゆっくと堆積してできたやや粗粒で不均質な泥岩(シルト岩)の2種類から構成されている。

1) 産総研 地質標本館

## 日本ジオパーク委員会公開プレゼンテーション開催報告

住田達哉・宮内 渉・下川浩一・利光誠一（産総研 地質標本館），濱崎聡志（産総研 地質情報研究部門）

2013年5月20日に日本ジオパーク委員会（JGC）公開プレゼンテーションが、日本地球惑星科学連合2013年大会（千葉市幕張メッセ国際会議場）のパブリックセッションとして開かれました。公開の場でのプレゼンテーションは、審査プロセスの透明化とジオパークの理念の普及のために2011年から行われており、今回で3回目となります。

2012年度において25地域ある日本のジオパーク（そのうち5地域が世界ジオパーク）ですが、今年の公開プレゼンテーションでは、日本ジオパークから世界ジオパークへの申請を目指す3地域（霧島、白山手取川、アポイ岳）の他、新たに日本ジオパークの認定を目指す10地域（本部半島、佐渡、四国西予、桜島・錦江湾、おおいた豊後大野、三笠、三陸、とかち鹿追、おおいた姫島、美祢）の合計13地域によって行われ、現地審査を経ての審査結果次第では、大幅に認定地域が増える可能性があります。今回は、発表会場を最も広い国際会議室（300人収容）に移し、9時から15時40分（途中お昼休みが1時間半）に及ぶ長丁場の公開プレゼンテーションとなりました。

昨年までは200人収容の会場でしたが、発表者によっては当日に初めて会場の広さを知り驚き、緊張してしまい本領発揮とらなかった方々がおられました。そこで今回は、会場の広さについて事前に発表者に伝えておくことで、十分な準備を行っていただきました。また、昨年まではプレゼンテーションで動画を用いることによる発表中のトラブルが散見されたため、発表で用いるパソコンのスペッ

クをあらかじめ伝えておくなどして、トラブルの未然防止に役立てていただきました。他にもパワーポイントファイルの受け渡しの段取りをあらかじめ取り決めておくなど、JGC事務局としても当日の進行をスムーズに進めるための事前準備を整えてプレゼンテーションに臨みました。

さて、当日の発表の様子ですが、会場はほぼ満員御礼でした（写真1）。世界を目指す3地域には発表と質疑応答それぞれで12分ずつが、日本ジオパークを目指す10地域には同10分ずつが、与えられた持ち時間です。日本ジオパークネットワークによる特設ホームページ（<http://jpgu2013.geopark.jp/> 2013/7/30確認）から、全ての申請地域の発表内容を動画にてご覧になれます。事前準備で伝えておいた情報が功を奏し、全ての地域が、発表中のトラブルも無くほぼ時間通りにプレゼンテーションを行うことができ、発表地域の交代もスムーズで、成功裏に公開プレゼンテーションを行うことができました。印象的だったのは、多くの地域が、発表の雰囲気盛り上げるため、のぼりを立てたり、イメージガールを登場させたりしていたことです。また、学会発表等ではお馴染みのレーザーポインタを使用しているプレゼンテーションが少なく、どこの地域の登壇者も、しっかりと観客席を向いて、堂々としたプレゼンテーションでした。しかし、情報量の多いスライドでは、やや不親切さを感じる場面もありました。質疑応答では、委員からの鋭い指摘や今後に向けての建設的な意見などが出され、活発に議論が交わされました。どこの地域もジオパーク全体を束ねるストーリーの構築に苦労してい



写真1 プレゼンテーション中の観客席の様子。300人収容の広い発表会場でしたが、若干の立ち見と空席がある位で、ちょうど良い大きさでした。最前列は関係学協会からの代表を含む委員11名、2列目机席は関係省庁の担当者ら。写真はパノラマ合成。

るようでした。それは、定義があいまいなまま語感から意味を想像する日本人らしい特性のためか、「ジオストーリー」という言葉について、JGC委員の共通認識と申請地域の担当者の理解に溝があることも一因のようです。JGCとしても用語の意味を適切に発信する必要性を認識しました。それ以外にも、今年は申請地域の増大に伴う審査体制

の見直しなど、ジオパーク活動の持続的発展に向けての転換点として、特別な年になりそうです。公開プレゼンテーション後には、委員会会議も開催され、7～8月に13地域の現地視察を実施し、次回9月の委員会にて世界ジオパークへの推薦地域と日本ジオパークの新規認定地域が決定されることとなりました。

## 第21回GSJシンポジウム「古地震・古津波から想定する南海トラフの巨大地震」開催報告

丸山 正（産総研 活断層・地震研究センター）

2013年7月10日（水）、秋葉原コンベンションホールにおいて、第21回GSJシンポジウム「古地震・古津波から想定する南海トラフの巨大地震」が開催された。折しも、今年3月には内閣府により、「南海トラフ巨大地震の被害想定（第二次報告）」が公表され、また5月には地震調査研究推進本部により、「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」が公表されたばかりである。そのようななか、南海トラフ沿いで過去に発生した地震・津波や将来の地震発生について、第一線の研究者が一堂に会し最新の成果が紹介されるということで、梅雨明け直後のうだるような暑さにも関わらず、会場は329名（招待講演者を除く産総研外部からは279名）の参加者によってほぼ満席となった（写真1）。会場を見渡すと参加者は幅広い年齢層で構成されており、南海トラフの地震について世代を越えた関心の高さを認識した。

シンポジウムでは、まず文部科学省の吉田康宏氏による上述の「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の評価方針や評価結果についての紹介があり（写真2）、続いてその評価の基礎データにもなっている南海トラフ沿いの過去の地震の時期や破壊域、津波の広がり、地殻変動の

規模などについて、地質学、地形学、地震考古学、史料地震学の幅広い見地に基づく成果が報告された。そのうち地形・地質記録から見た南海トラフの過去の巨大地震・津波については、南海トラフを東部と西部に分けて、東海地域（南海トラフ東部）は産総研の藤原 治により、南海地域（南海トラフ西部）は同じく産総研の穴倉正展より、最新の研究成果が紹介されるとともに、過去の津波規模や破壊域のより正確な復元に向けて今後取り組むべき課題についても触れられた。産総研の寒川 旭の講演では、史料がないために地震の存在が把握されていなかった歴史地震の実体や先史地震の時期や破壊域の広がりを明らかにするうえで、遺跡で見いだされた地震の痕跡が重要な手がかりになることをはじめ、南海トラフの巨大地震の歴史に関する「地震考古学」の研究成果が総括された。新潟大学の矢田俊文氏の講演では、確実な史料の解読により、宝永地震による浜名湖北部の地殻変動と大坂の被害数をきわめて詳細に把握できることが述べられた。さらに、南海トラフを震源とする将来の大地震発生の可能性やその際の規模に関する、最近提案された新たなモデルについて東京大学地震研究所の瀬野徹三氏から紹介があり、最後に産総研の安藤亮輔により、地球物理学的データ・モデルと古地震データの融合による地震発生予測手法の高度化に向けた将来展望についての紹介で締めくくられた。講演の詳しい内容は、GSJ地質ニュース2013年7月号（<http://www.gsj.jp/publications/gcn/gcn2-07.html> 2013/08/02 確認）に掲載されているので、そちらを参照されたい。

歴史資料の信頼性を正しく吟味しなければ、地殻変動や被害の分布、被害者数を著しく誤って評価する場合があることについて実例をもとに紹介された矢田氏の講演は、ふだん歴史学・史料地震学に触れる機会の少ない筆者には新鮮であった。

上記7件の講演の後、産総研活断層・地震研究センター長の岡村行信の進行のもと総合討論が行われた。会場からは、「同じ公的機関でありながら、内閣府と産総研で地震



写真1 講演に熱心に聞き入る会場を埋める参加者（以下写真はすべて活断層・地震研究センター北川有一撮影）。



のリスクについて見解が異なっている、どう受け止めればよいか?」,「過去の南海トラフの地震の破壊区間や活動様式の捉え方によって異なってくる発生間隔や将来の地震発生の可能性をどのように理解すればよいのか?」などの質問や、「東北地方太平洋沖地震では海溝付近の浅い部分が大きくすべったことにより大規模な津波が発生したことを踏まえて、横方向の連動だけでなく、深さ方向にどのように連動するのか理解することも大きな課題」などの今後の

研究に関する提案があり、終了時間まで活発な議論が行われた。

また、会場では活断層・地震研究センターの最新の研究成果が12件ポスター展示された。講演の休憩時間に設けられたポスター発表のコアタイムでは、各ポスター前で熱心な議論が行われた(写真3)。ポスター発表の要旨もGSJ地質ニュース2013年7月号に掲載されている。



写真2 文部科学省地震・防災研究課吉田康宏氏による講演。

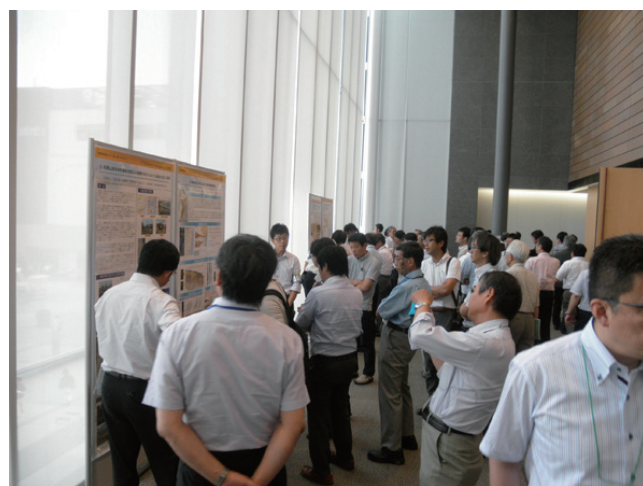


写真3 ポスター発表の風景。

## 新人紹介 ①



### 風早 竜之介 (かざはや りゅうのすけ)

地質情報研究部門 (マグマ活動研究グループ)

地質情報研究部門マグマ活動研究グループ博士型任期付研究員の風早竜之介です。研究テーマは火山ガス研究による火山活動・噴火プロセスの解明です。これまでは主として、紫外線カメラという火山噴煙中の有毒ガス(二酸化硫黄)を可視化する装置を用いて、火山活動と火山噴煙との関係について研究を行ってきました。

大学の学部までは早稲田大学の数理科学科というところで純粋数学(関数解析・収束論)を勉強していました。火山や地質については全くの門外漢でしたが、大学3年の時にイタリアのエトナ火山に登る機会があり、フィールドの面白さに触れ、地球科学を勉強してみたいと思うようになりました。大学院からは東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻へと移り、修士課程にて火山ガス観測技術の開発を行いました。博士課程からは、その観測技術を応用して火山ガス放出と火山性地震・地殻変動・噴火現象の比較を主として研究を行ってきました。



今後は、産総研において地球化学的な素養を身につけると共に、特に地球物理及び地球化学的なアプローチを結びつけた研究を進めていければと思っています。若輩者ですが、ご指導ご鞭撻のほどよろしくお願い致します。



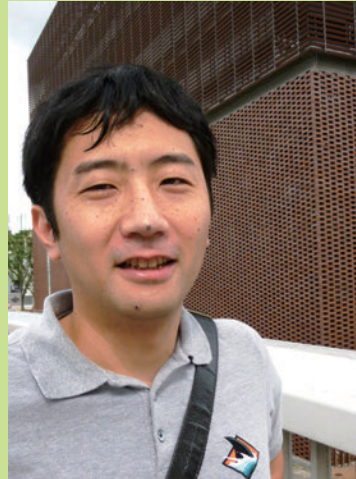
**内出 崇彦** (うちで たかひこ)

活断層・地震研究センター (地震発生機構研究チーム)

私は2013年4月より活断層・地震研究センター地震発生機構研究チームに配属されました。2009年3月に東京大学で博士号を取得した後、カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所、京都大学防災研究所でポスドク研究員として研究を行ってきました。茨城県南地域が地元なので、つくばには「帰ってきた」という気持ちです。

専門は震源地震学です。これまで地震波形データの解析によって震源過程のさまざまな特徴を明らかにしてきました。独自に開発したマルチスケール断層すべりインバージョン解析法を用いて、米国パークフィールドの地震について、規模の違う地震であっても似たような成長過程をたどることを見出しました。同じ手法により、2011年東北地方太平洋沖地震の初め20秒間の破壊過程を詳らかにしました。そのほか、2010年メキシコ・バハカリフォルニア州の地震の解析にも取り組んできました。

産総研着任後は、微小地震や低周波地震の解析を通して、それらの背後にある応力状態などの解明に取り組んでいます。



そして、活断層や津波堆積物といった地質学的情報も取り入れて、地震発生の総合的理解に努めます。どうぞよろしくお願いいたします。

【スケジュール】

9月18日	第16回ヨウ素学会シンポジウム (千葉大学, 千葉市)
9月22日～9月24日	第10回アジア地熱シンポジウム (Tagaytay, Philippines)
9月23日～9月26日	EUROCK 2013 - ISRM European Regional Symposium - Rock Mechanics for Resources, Energy and Environment (Wroclaw, Poland)
9月24日	第18回日本ジオパーク委員会 (経産省別館, 東京都)
9月26日～9月27日	International symposium on sediment disasters under the influence of climate change and tectonic activity (3rd) (京都大学宇治キャンパス, 宇治市)
9月28日～9月30日	日本地理学会2013秋季学術大会 (福島大学, 福島市)
9月29日～10月1日	日本火山学会2013年度秋季大会 (猪苗代町体験交流館「学びいな」, 福島県耶麻郡猪苗代町)
10月5日	地質標本館野外観察会
10月7日～10月9日	日本地震学会2013年度秋季大会 (神奈川県民ホール, 横浜市)
10月15日	産総研本格研究ワークショップ (ホテル札幌ガーデンパレス, 札幌市)
10月15日～10月18日	日本ジオパーク隠岐大会 (隠岐ジオパーク)
10月19日～10月20日	2012年度日本水文科学学会学術大会 (千葉商科大学, 市川市)
10月19日～10月20日	第2回G-EVER国際シンポジウム (仙台市情報・産業プラザ, 仙台市)
10月20日～10月26日	第49回東・東南アジア地球科学計画調整委員会 (CCOP) 年次総会 (仙台国際センター, 仙台市)
10月29日～10月31日	日本測地学会第119回講演会 (国立極地研究所, 立川市)
10月31日～11月1日	産総研オープンラボ (産総研, つくば市)

速報!

9月9日に隠岐ジオパークが世界ジオパークに認定

韓国济州島で開催されたアジア太平洋ジオパークネットワーク会議で、隠岐ジオパークの世界ジオパークネットワーク加盟認定が発表されました。

◆ 編集後記 ◆

各地の最高気温がニュースになることの多かった、長く暑い夏がようやく終わり、少しずつ秋らしくなってきました。今月号から、今年度産総研地質分野に新たに加わった方々の自己紹介を掲載していきます。

今月号には、連載の「シームレス地質図でたどる幸田文『崩れ』」に加え、北海道沿岸域の海洋地質図の紹介、地球化学図に同位体のデータを加えてテクトニクスを読むという試み、そして地質図に親しんでもらうために開発された砂絵教材など、産総研地質分野が出版する各種地質図類に関する記事が集まりました。地中熱利用が進んでいるスイスの様子を紹介した記事は、日本での地中熱利用の普及に参考になるのではないのでしょうか。今月の「誕生石の鉱物科学」では、ブルーサファイアの発色の仕組みが解説されています。

(9月号編集担当：渡辺真人)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 利光誠一  
副委員長 金井 豊  
委員 北川有一  
杉原光彦  
中嶋 健  
七山 太  
森尻理恵  
牧本 博  
渡辺真人  
宮内 涉  
デザイン  
レイアウト 菅家亜希子

事務局  
独立行政法人 産業技術総合研究所  
地質標本館  
TEL : 029-861-3687  
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

<http://www.gsj.jp/publications/gcn/index.html>

GSJ 地質ニュース 第2巻 第9号  
平成25年9月15日 発行

独立行政法人 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  
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

印刷所 朝日印刷株式会社

© 2013 産総研 地質調査総合センター  
<http://www.gsj.jp>

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor: Seiichi Toshimitsu  
Deputy Chief Editor: Yutaka Kanai  
Editors: Yuichi Kitagawa  
Mituhiko Sugihara  
Takeshi Nakajima  
Futoshi Nanayama  
Rie Morijiri  
Hiroshi Makimoto  
Mahito Watanabe  
Wataru Miyauchi  
Design &  
Layout Akiko Kanke

Secretariat  
National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
Geological Survey of Japan  
Geological Museum  
Tel : +81-29-861-3687  
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol.2 No.9  
Sep. 15, 2013

National Institute of Advanced Industrial  
Science and Technology  
**Geological Survey of Japan**  
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome  
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved

Asahi Printing Co., Ltd

© 2013 Geological Survey of Japan, AIST  
<http://www.gsj.jp>

