

# GSJ 地質ニュース

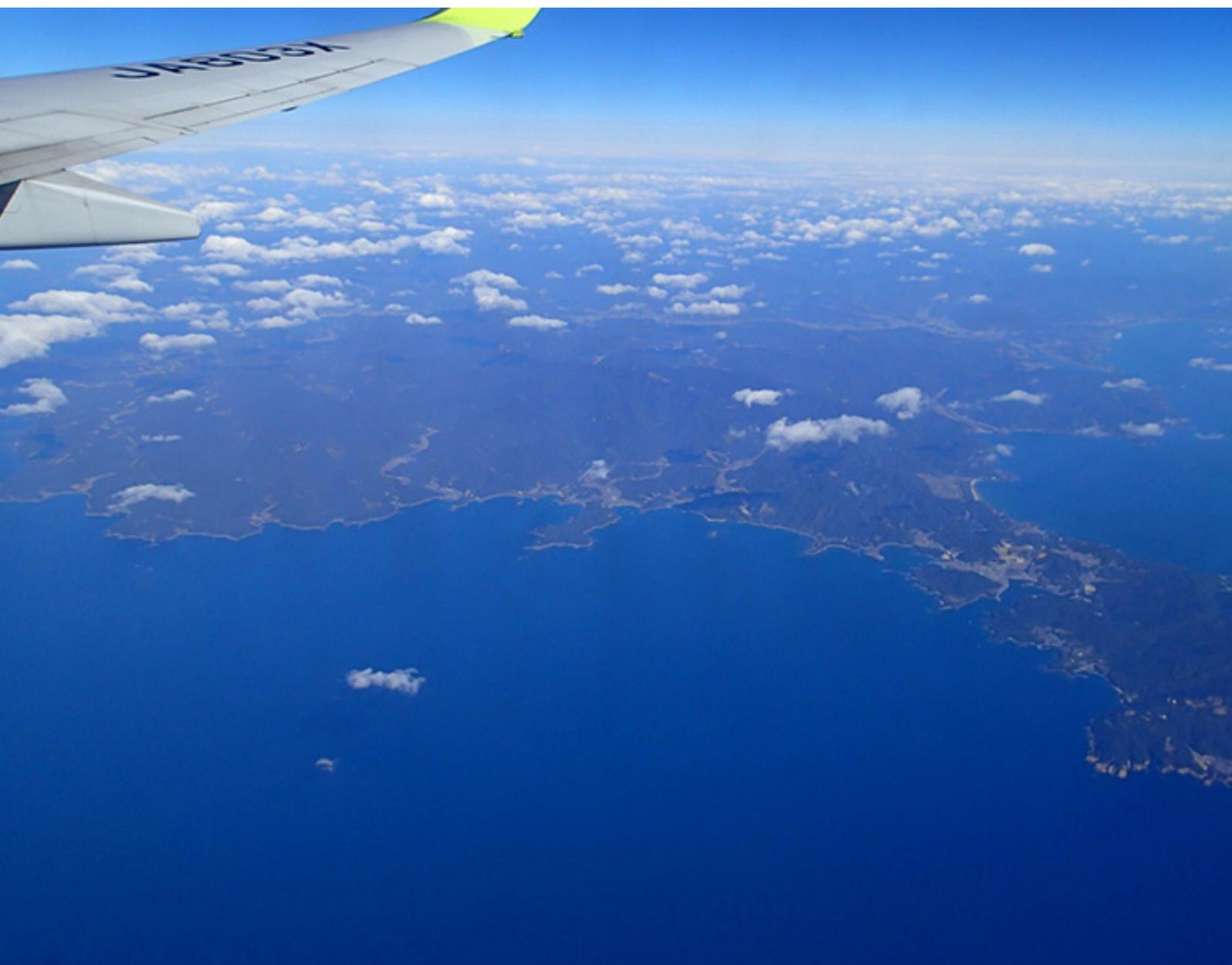
GSJ CHISHITSU NEWS

— 地球をよく知り、地球と共生する —

2016

8

Vol. 5 No.8



# 8月号

口絵 233-234

## 千葉市の沖積層内湾堆積物から発見された 海綿動物化石

小松原純子・宮地良典・伊勢優史

235-239

## 長期の断層活動性を評価する手法の開発を 目指して：手法の紹介とその適用事例

大坪 誠

240-243

## 少人数で実施する反射法地震探査

伊藤 忍

244-250

## 東西日本の地質学的境界【第二話】見えない不連続

高橋雅紀

251-255

## SIP「次世代海洋資源調査技術」における 産総研の2015年度の成果と今後の取り組み

山崎 徹, 池原 研, 石塚 治, 井上卓彦

256-259

## 産総研と鹿児島地方気象台との連携による 火山灰処理と2014年研修会報告

大石雅之・宮城磯治

260-262

## 科学と社会の狭間で：一報道記者として 思うこと

濱田哲郎

### ニュースレター

263 平成28年度地質調査総合センター新規採用職員研  
修報告

### Cover Page



Aerial view of Cape Ashizuri-misaki, southwestern Shikoku Island.

(Photograph and caption by Futoshi NANAYAMA)

### 航空機から見た四国南西端の足摺岬

弘法大師の縁の地である足摺岬は、地質学的な見所が多いことが従来より知られている。岬の中～東部には、後期漸新世～前期中新世に海溝域で生じた清水層と呼ばれる四万十帯の付加コンプレックスが分布する。一方、西側の電串海岸から足摺港付近にかけては、三崎層群と呼ばれる前期中新世の非変形の浅海層が不整合でこれを覆う。さらに岬の先端部には約1,400万年前に貫入した足摺深成複合岩体が分布し、この中には本邦では珍しいラパキビ花こう岩が認められる。足摺岬は第四紀に隆起し、中期更新世以降に複数の海成段丘面が形成された。

(写真・文：七山 太 / 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門)

# 千葉市の沖積層内湾堆積物から発見された 海綿動物化石

小松原純子<sup>1)</sup>・宮地良典<sup>2)</sup>・伊勢優史<sup>3)</sup>

2014年12月に幕張海浜公園内の砂浜で沖積層のボーリング調査を行ったところ(第1図)、ボーリングコア中に白い繊維状の濃集層が見つかった(第2図, 第3図)。肉眼では人工物(厚紙)が挟まっているように見えたものの、コアの採取深度は30.45-30.60 mと深く、想定される堆積年代は更新世末期から完新世初期(18.8-9.5 ka; 宮地ほか, 2016)であったため、人工物ではなく海生生物の遺骸であろうと推測した。顕微鏡で観察すると非晶質の透明な物質からなる中空のまっすぐな管であった(第4図)。その中に矢印状の末端を持つ管(後向三叉体)が含まれていた(第5図)、海綿動物の骨片(海綿骨針)であると結論した。沖積層に海綿骨針が含まれている例は国内でも知られ(川村・塩田, 2010)、一般に海浜堆積物中にも含まれることは多い。しかし、今回のように層状に濃集して発見されたという報告は見つけることができなかった。泥質な内湾堆積物中に濃集しているという産状から、水流に

よるリワークは受けておらず、海綿動物の個体が泥に埋もれ圧密で潰れてできた現地性のものと考えられる。この海綿動物は、骨片の特徴、硬い基盤に固着しないこと、内湾泥底に棲息していた可能性があることから、マルカイメン属の1種 *Tetilla* sp. であると考えられる。産総研が東京湾の千葉県沿岸で実施したボーリング調査では複数の地点で同様の産状を示す海綿骨針が見つかっており、当時は普遍的に棲息していたと推測される。関東近郊の内湾環境においては、1970年代前半までマルカイメン属のトウナスカイメンやグミカイメンが豊富に分布していたが、近年これらの海綿動物はほとんど見つからない。今後は海綿動物の同定を進めることで海綿動物から示唆される環境特性や保存過程などを検討していく予定である。



第1図 ボーリングの掘削風景。千葉マリスタジアムの南側の砂浜。標高はTP 3.9 m、ボーリングの掘進長は40.3 m。この付近一帯は埋立地であり地表から深度10.75 mまでは人工地層からなる。沖積層の基底は深度37.55 mに確認された。



第2図 ボーリングコアをワイヤーで半割したところ、泥質な内湾堆積物中に白い繊維状のものが2枚の層状に挟まっており、周辺にも繊維の集合体が点在して観察された。スケールは30.0 mからの深度を示す。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門 2) 産総研 企画本部 3) 名古屋大学大学院 理学研究科 附属臨海実験所

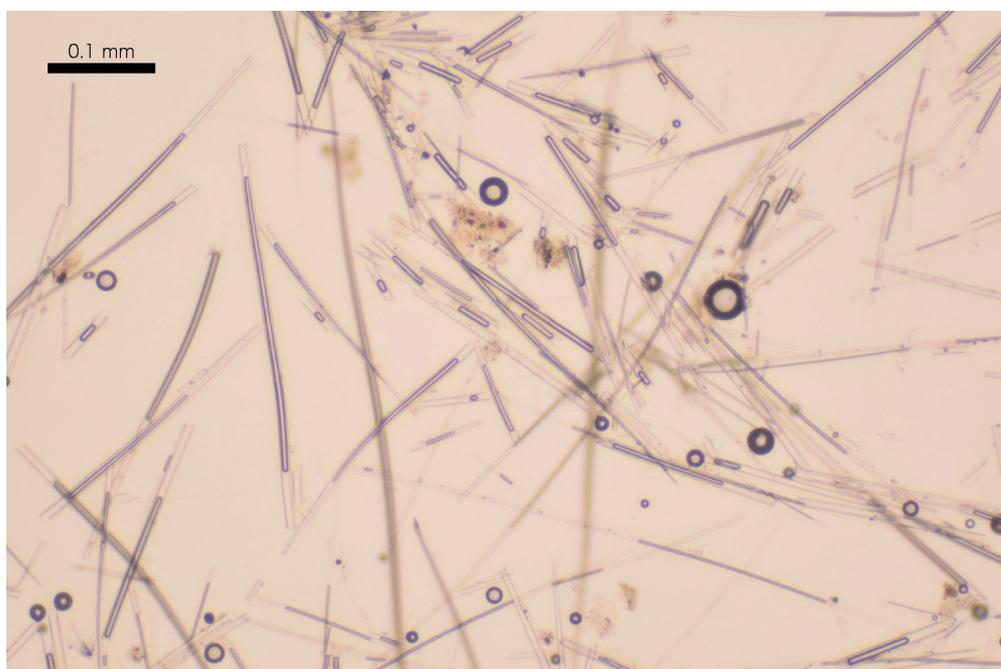
### 参考文献

川村教一・塩田浩之 (2010) 愛媛県八幡浜・川之石低地の上部更新統および完新統の層序と堆積環境. 秋田大学教育文化学部研究紀要 自然科学, 65, 9-16.

宮地良典・小松原純子・中島 礼 (2016) 千葉県北西部の沖積層基準ボーリング調査 (平成 27 年度掘削試料とその対比). 平成 27 年度沿岸域の地質・活断層調査研究報告, 地質調査総合センター速報, 印刷中.



第 3 図 コアから採取した白い繊維状のもの. グラスウールのように見える.



第 4 図 スメアスライドを作成し顕微鏡下で撮影したもの. 管の中には封入時に取り残された空気が入っているのが見える.



第 5 図 海綿骨針に特徴的な矢印状の先端を持つ骨片 (後向三叉体) が確認された.

---

KOMATSUBARA Junko, MIYACHI Yoshinori and ISE Yuji (2016) Sponge spicules observed in Holocene inner-bay deposit, Chiba City.

---

# 長期の断層活動性を評価する手法の開発を目指して： 手法の紹介とその適用事例

大坪 誠<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

活断層・火山研究部門地質変動研究グループでは、10万年～100万年という長期的な時間スケールにおける、断層活動や隆起浸食などの地質変動の調査・研究を行っています。現在、日本列島で地質変動が激しいところ、例えば新潟地域や秋田地域の日本海東縁地域のいわゆる油・ガス田地域では、人類が地球上に出現した第四紀に堆積した比較的若い地層(100万年前や200万年前の地層)が水平方向からの押しの力によって大きく“ぐにゃっ”と曲がっている様子(活褶曲変形)を観察することができます(第1図)。私たちはこのような大変形や地質変動の長時間での成り立ちを研究しています。具体的には、過去の地質変動の解析を高精度に行い、精緻な地質変動のプロセスやその要因に対する科学的な解釈を行っています。なぜなら、過去の地質変動の歴史を精度よく知ることにより、地質変動の将来予測に対する科学的信頼性の向上ができると考えられるためです。このような長期の地質変動を明らかにすることは、放射性廃棄物の地層処分、二酸化炭素の地中貯留やその他地下利用を行う際の地質環境の長期安定性を評価する上で重要です。その研究例の1つとして、筆者が中心となって研究を行っている、長期の断層活動性評価の研

究について紹介します。例えば、日本列島に存在する活断層の活動開始の時期に注目してみると、全国一斉に活断層が活動的になったわけではなく、比較的早い時期(250万年前など)に活断層が活動を開始したところもあれば、そうではなく最近(80万年前など)になって活動を開始した地域もあることが報告されています(第2図、道家ほか、2012)。プレート運動方向が変化する時間スケールの最小単位である100万年、もしくはもっと長い時間では、あるところでは断層活動のような地質変動が活動的だったとしても、違うところではそれが活動的ではないことがあるということです。第1図で紹介しました日本海東縁地域で認められる活褶曲変形は海側から陸側へその活動場が移動していることが地質学的地形学的情報から読み取れます(第3図、Otsubo and Miyakawa, 2016)。

## 2. 地殻応力の空間的な広がり把握する

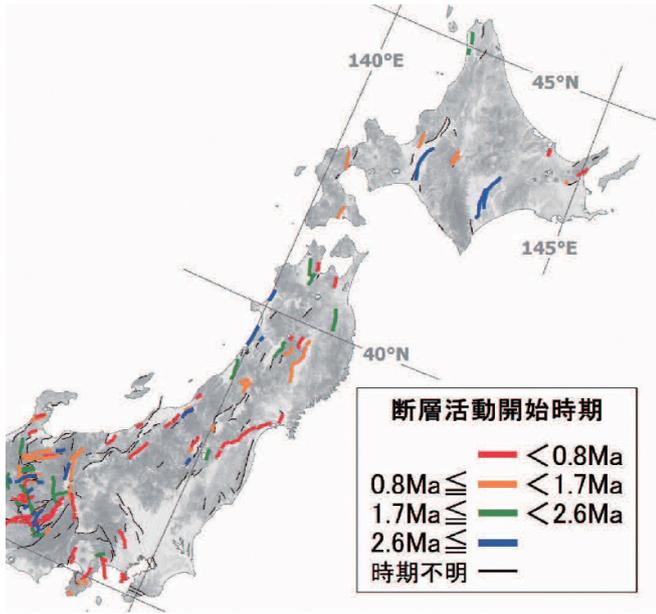
断層活動を含む地殻の変形発達的主要な源は地殻に働く応力(単位面積あたりに働く力)です。そのため、地殻に働く応力の空間的な広がりや各地域での応力の特徴をうまく理解することが必要です。応力の空間的な広がり、各地域での断層の動く方向を規制したり、後述する断層の動きや



第1図 新潟中越地域で認められる活褶曲の露頭。新潟県長岡市不動沢<sup>なるで</sup>成出。不動沢成出の渋海川<sup>しぶみがわ</sup>右岸の崖で見られるこの露頭は、第四紀に形成されつつある、いわゆる活褶曲(向斜)です。褶曲軸が北東―南西に延び、両翼が20°～40°傾斜した対称的な向斜です。200万年前～60万年前に魚沼層の浅海性～河川堆積物が堆積した後約60万年前以降に水平短縮に伴って形成され始めました。

1) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

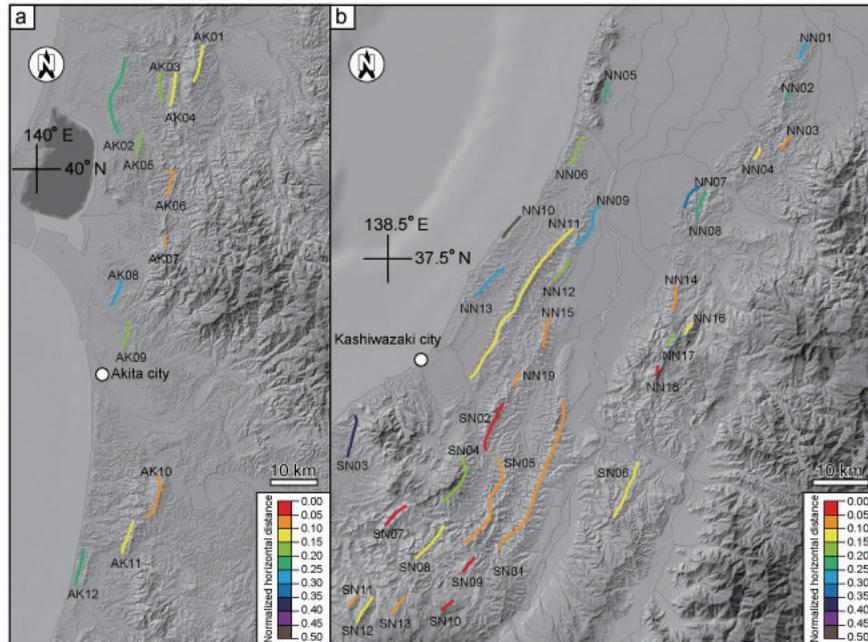
キーワード：活断層、地質断層、再活動、応力、スリップテンデンス、内陸地震、変形、地殻



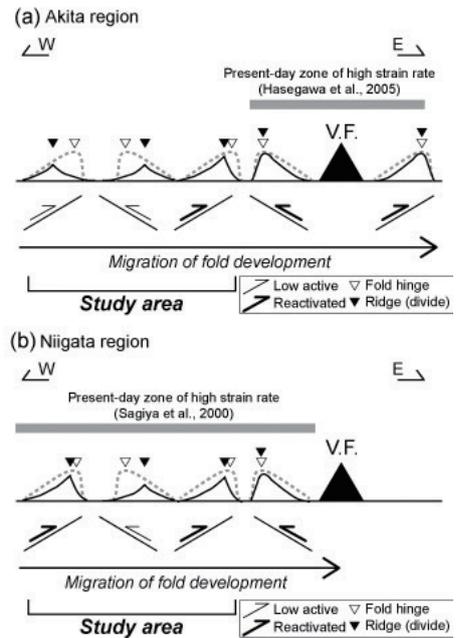
第2図 既存情報に基づく活断層の活動開始時期の分布(道家ほか, 2012)。ここでは中部地方より東の地域の結果を示しています。活断層を線で示し、線の色が暖色系になればなるほど、断層活動開始時期が若いことを示します。

すさに影響を与えたりします。各地域の現在の応力の情報は地震データなどから統計解析によって求めることができます。これまで多くの地震学者が求めた現在の応力の情報を使って、例えばある活断層周辺の地殻に働く現在の応力の空間的な広がりを検討することが可能です。応力は“テンソル”という物理量ですが、ここでは各地域間でのその物理量の「近さ(類似性)」を評価することが鍵となります。その際には応力に対して統計解析を行って、その結果を地図上に表示します(Otsubo *et al.*, 2013a)。岐阜県飛騨高山地域にある活断層である跡津川断層周辺での応力の空間的な広がりを研究した例を紹介します。跡津川断層は、1858年4月9日(安政5年2月26日)にマグニチュード7.0から7.1と推定される飛越地震を引き起こしたと考えられています。まず、最大圧縮の応力方向と跡津川断層の断層面のなす角度(Reference stress)が30°となるような横ずれ断層を生成する応力(跡津川断層が相対的にすべりやすい応力)を基準応力とします。この基準応力と跡津川断層周辺の地震データ(Katsumata *et al.*, 2010)から明らかになった応力との「近さ」を評価してみると、跡津川断層周辺の応力の空間的な広がりが一様でないことがマッピングを通して見えてきます(第4図)。第4図の色

日本海東縁地域を含む歪み集中帯での褶曲地形発達度



地殻短縮場(褶曲発達場)の移動モデル



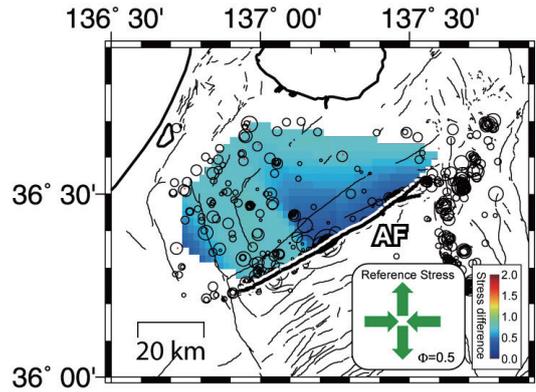
第3図 日本海東縁地域(秋田地域および新潟地域)での(左)褶曲の褶曲軸と地形的稜線のズレと、(右)両者のズレから推定される褶曲発達場の移動モデル(Otsubo and Miyakawa, 2016)。V.F.は火山フロント。この地域での第四紀堆積層は地下の逆断層活動によって褶曲変形します(上に凸となります)。褶曲変形が低調になると侵食作用が優勢となり、稜線と褶曲軸のズレが拡大します。ここでは、稜線と褶曲軸のズレを褶曲発達度合いの指標として、ズレの小さい方が褶曲発達中であることを示します。左図では各褶曲軸にズレの程度を着色しています。暖色はずれが小さいことを示します。このズレは、おおむね海側が大で、陸側が小となっています。これは変形場が海側から陸側への移動を示唆しています(右図)。

の広がりか応力の空間的な広がりを示している、ここではより寒色の領域が設定した基準応力に近い応力(跡津川断層が相対的にすべりやすい応力)が広がる領域となります。このことは、一つの活断層に対して、跡津川断層では、東西で異なる応力が働いていた可能性を示すものです。また、応力の把握に関しては、地震のデータから時間的空間的に変動する地下の応力状態をきめ細かく把握することが可能となる応力推定法(Otsubo *et al.*, 2008)や、ボーリングコアを切る断層面を用いた応力推定法(大坪ほか, 2009)を開発して、応力の時間的空間的な変化における断層の再活動性の検証なども行っています。

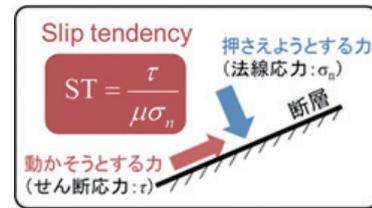
### 3. 力学的な基準によって断層の活動性を評価する

地殻に働く応力の情報を用いて、力学的な基準による断層活動性を評価する手法の開発を目指した研究を行っています。ここでの研究のミソは、「現在の応力の下で動きやすい断層が活断層であって、現在の応力の下で動きにくい断層は活断層ではないかもしれない」という考え方です。力学的な基準による断層活動性評価の利点は、現在取得可能な力学的パラメータにより活動性を評価できることです。断層の活動性評価に関して、国内では、第四紀堆積物や変動地形を指標に活断層の抽出とその活動度評価が広く行われてきました。しかし、活断層の活動時期を把握するための堆積物が欠如する場合や低活動性断層を対象とする場合には、これらの手法による評価が難しい場合があります。力学的評価手法は、堆積物などの上載地層を欠き活動履歴が不明な場合や変動地形が不明瞭な場合であっても、断層の活動性を評価できる可能性があります。また、従来の活断層で想定されるような数万年の時間を超える活動の再来周期を有する断層においても、活動性を評価できる可能性があります。今回紹介する手法では、空間的な広がりをもつ応力および断層形状をもとに、各断層面に作用する応力を計算し、その応力下での断層の姿勢に対する動きやすさを表すスリップテンデンスー(Morris *et al.*, 1996)を計算します。3つの主応力(最大, 中間, 最小の圧縮応力)軸の方向と応力比から断層面に働くせん断応力 $\tau$ と垂直応力 $\sigma_n$ の比を計算することができて、それがスリップテンデンスー(略してSTと呼ぶことにします)という値です( $0 \leq ST \leq 1$ で規格化することがあります)(第5図)。

ここで2つ事例を紹介します。まず東北地方における活断層にSTによる活動性評価を実施した例を紹介します。研究の結果、東北地方における活断層のSTは現在の応力(東西方向の最大圧縮をもつ応力)の下で全体的に高



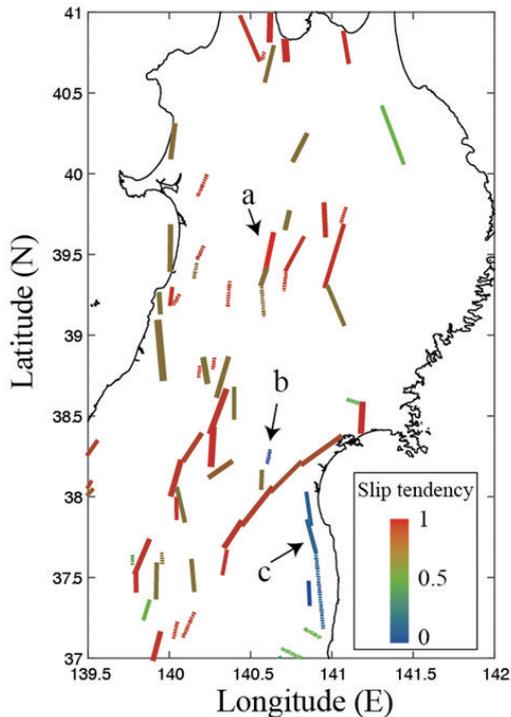
第4図 岐阜県飛騨高山地域にある跡津川断層(この図でのAF)周辺の地下8~20 kmでの応力の空間的な広がり。右横ずれの活断層である跡津川断層の北西側領域での応力の空間的な広がりを検討しました。色が塗られた領域が寒色系になればなるほど、ここでは跡津川断層が相対的に活動しやすい応力であることを示します。



第5図 スリップテンデンスー(ST)の概念図。

いことが分かりました(第6図; Miyakawa and Otsubo, 2015a)。東北地方における活断層の多く(全体の約80%の活断層)が0.7を超える高いSTの値(高い活動度)を示します。このことから、STの値に基づく断層活動性評価手法により、活断層のほとんどを“活動的”と適切に評価できる可能性を示しました。STの値が小さい活断層に関しては、①局所的な応力、②地下深部での断層姿勢、③間隙水圧の寄与、などが原因と考えています。

次に、一つの活断層に注目して詳しくSTを検討した例を紹介します。ここでは2011年4月11日に福島県いわき市周辺で発生した福島県浜通りの地震(Mw = 6.6)を扱います。この地震は2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震(Mw = 9.0)の一か月後に発生し、井戸沢断層および湯ノ岳断層沿いで地表に最大約2 mの垂直変位をもつ地震断層が露出しました(第7図; Otsubo *et al.*, 2013b)。この内陸地震が発生したいわき市周辺は、地形に明瞭な断層変位がこれまで認められなかった地域であり、かつ地震活動が活発ではない地域でした。これまでの研究で、いわき地域での東北地方太平洋沖地震発生直前の応力場と東北地方太平洋沖地震発生直後から2011年4月11日の福島県浜通り地震発生直前の応力場が推定されて

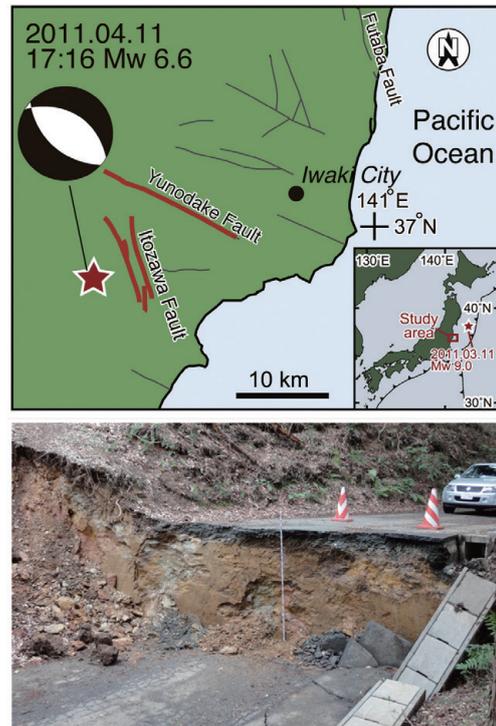


第6図 東北地方の活断層に対するスリップテンデンスー(ST)による活動性評価 (Miyakawa and Otsubo, 2015a). 活断層を線で示し、線の色が暖色系になればなるほどSTの値が高いことを示します。

います (Imanishi *et al.*, 2012; Otsubo *et al.*, 2013b). また、福島県浜通り地震時に活動した井戸沢断層および湯ノ岳断層の地下での深部形状が推定されています (Fukushima *et al.*, 2013). 以上の応力および断層形状をもとに、各断層面に作用する応力とSTを計算しました (第8図; Miyakawa and Otsubo, 2015b). 計算されたSTから、東北地方太平洋沖地震の前後で、井戸沢断層および湯ノ岳断層の活動性の变化が明らかになりました。東北地方太平洋沖地震前の応力場では、井戸沢断層および湯ノ岳断層はいずれも低いSTの値を示し、活動性が低かったと推定されます。一方、東北地方太平洋沖地震後の応力場では、井戸沢断層 (第8図のIEおよびIW) および湯ノ岳断層 (第8図のYd) はいずれも高いSTの値 (約0.7~0.8) を示し、活動性が高かったと推定されます。これは東北地方太平洋沖地震発生によって、いわき地域周辺下の地殻では井戸沢断層と湯ノ岳断層が動きやすい応力状態に変化したことを示します。

#### 4. おわりに

本断層活動を含む地殻の変形に関して、地殻に働いている応力の空間的な広がりや断層の活動性評価の研究を紹介

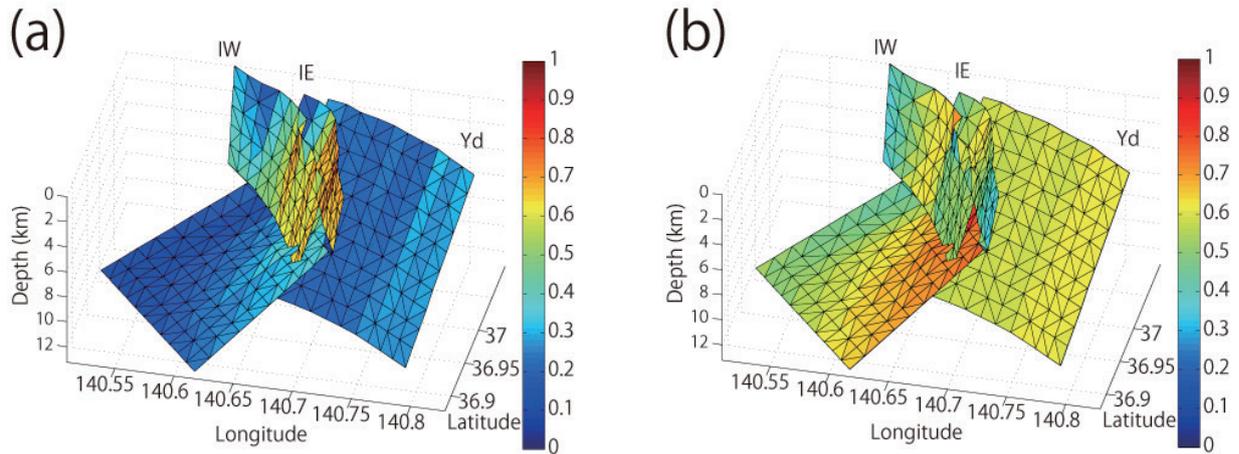


第7図 2011年福島県浜通りの地震 (Mw = 6.6, 上図) で地表に露出した地震断層 (下図、井戸沢断層の一部)。写真手前側 (上盤) が西で奥側 (下盤) が東です。この断層は手前側が西へ落ちる正断層です。地震発生後の道路復旧工事により、現在はこの断層露頭は観察できません。

しました。地震や火山の活動が活発である日本列島において、「なぜそこが変形するのか? (逆に変形しないのか?)」や「なぜそこで断層が動くのか? (逆に動かないのか?)」などの問題を明らかにするには、10万年~100万年という長期の視点に立って、これまでの理論やモデルが正しいかどうかを現場 (野外) で検証し、その検証結果を理論やモデルに反映させることが必要です。また、その際には実験を行いながら確かめていく必要があります。そのため今後も、私たちは研究で①野外調査、②理論構築、③実験をバランスよく行い、長期的な地質変動を明らかにしていきたいと考えています。また、一つの専門分野に偏らず、幅広い専門性をもつことを意識し、国内外研究者と連携をとりながら研究を行うことが重要と考えています。

#### 文献

- 道家涼介・谷川晋一・安江健一・中安昭夫・新里忠史・梅田浩司・田中竹延 (2012) 日本列島における活断層の活動開始時期とその傾向. 活断層研究. 37, 1-15.
- Fukushima, Y., Takada, Y. and Hashimoto, M. (2013) Complex ruptures of the 11 April 2011 Mw 6.6 Iwaki Earthquake triggered by the 11 March 2011



第 8 図 2011 年東北地方太平洋沖地震 ( $M_w = 9.0$ ) 前後の井戸沢断層および湯ノ岳断層の断層面におけるスリップテンデンス (ST) の値 (Miyakawa and Otsubo, 2015b). (a) 東北地方太平洋沖地震前の ST の値. (b) 東北地方太平洋沖地震後の ST の値. 色の意味については、第 6 図と同じです.

Mw 9.0 Tohoku Earthquake, Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **103**, 1572–1583.

Hasegawa, A., Nakajima, J., Umino, N. and Miura, S. (2005) Deep structure of the northeastern Japan arc and its implications for crustal deformation and shallow seismic activity. *Tectonophysics*, **403**, 59–75.

Imanishi, K., Ando, R. and Kuwahara, Y. (2012) Unusual shallow normal-faulting earthquake sequence in compressional northeast Japan activated after the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake. *Geophysical Research Letters*, **39**, L09306.

Katsumata, K., Kosuga, M. and Katao, H. The Japanese University Group of Joint Seismic Observations at NKTZ (2010) Focal mechanisms and stress field in the Atotsugawa fault area, central Honshu, Japan. *Earth, Planets and Space*, **62**, 367–380.

Miyakawa, A. and Otsubo, M. (2015a) Effect of a change in the state of stress on inland fault activity during the Mw 6.6 Iwaki earthquake resulting from the Mw 9.0 2011 Tohoku earthquake, Japan. *Tectonophysics*, **661**, 112–120.

Miyakawa, A. and Otsubo, M. (2015b) Applicability of slip tendency for understanding long-term fault activity: a case study of active faults in northeastern Japan. *Journal of JSCE*, **3**, 105–114.

Morris, A., Ferrill, D. and Henderson, D. (1996) Slip-tendency analysis and fault reactivation. *Geology*, **24**, 275–278.

Otsubo, M. and Miyakawa, A. (2016) Landward migration of

active folding based on topographic development of folds along the eastern margin of the Japan Sea, northeast Japan. *Quaternary International*, **397**, 563–572.

Otsubo, M., Miyakawa, A. and Kubo, A. (2013a) Spatial stress heterogeneity imaging by using difference between reduced stress tensors detected from earthquake focal mechanisms. *Proc. the 6th International Symposium on In-situ Rock Stress (RS2013)*, 1123–1128.

Otsubo, M., Shigematsu, N., Imanishi, K., Ando, R., Takahashi, M. and Azuma, T. (2013b) Temporal slip change based on curved slickenlines on fault scarps along Itozawa fault caused by 2011 Iwaki earthquake, northeast Japan. *Tectonophysics*, **608**, 970–979.

大坪 誠・重松紀生・北川有一・小泉尚嗣 (2009) 南海トラフ沈み込み帯前弧陸域での応力場変遷：熊野市井内浦および紀北町海山観測井コアをきる断層面を用いて. *地質学雑誌*, **115**, 457–469.

Otsubo, M., Yamaji, A. and Kubo, A. (2008) Determination of stresses from heterogeneous focal mechanism data: An adaptation of the multiple inverse method. *Tectonophysics*, **457**, 150–160.

Sagiya, T., Miyazaki, S. and Tada, T. (2000) Continuous GPS array and present-day crustal deformation of Japan. *Pure and Applied Geophysics*, **157**, 2303–2322.

OTSUBO Makoto (2016) Approaches to evaluate fault activities for long-term.

(受付：2016 年 3 月 31 日)

# 少人数で実施する反射法地震探査

伊藤 忍<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

反射法地震探査とは、弾性波を用いて地下の構造を知る物理探査手法であり、資源探査等に使われている。具体的には、多数のジオフォンを地表に展開し、多数の地点で発震することにより、多数の発震点と受振点の組み合わせで取得したデータを処理するものである。効率的にデータを取得するためには作業員を増やすことが手っ取り早く、一般的には多数の作業員を動員して探査を実施している。しかしながら、探査に割けるリソースは有限であるため、作業員を確保できない場合もある。我が国の人口減少も相まって、将来そのようなケースが増えることが予想される。

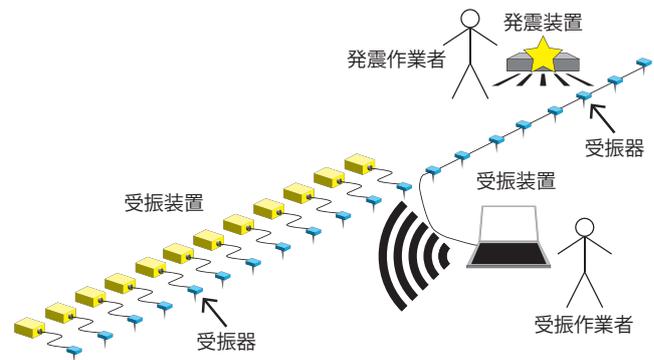
一般に、反射法地震探査の探査深度は測線の展開長の4分の1から2分の1程度と言われている。資源探査のような深さ数kmをターゲットとする探査では、数kmの長さを受振器を展開する必要があり、作業員数を減らすことはなかなか困難である。一方、地盤調査や活断層調査を目的とした深さ数十mから200m程度の浅部をターゲットとする探査ならば、ある程度は作業員数を減らすことは可能かもしれない。そこで筆者らは浅層探査において動員する作業員を減らしつつも効率的にデータを取得することに取り組むことにした。

## 2. 発震作業の効率化

反射法地震探査の作業は、発震に関わる作業と受振に関わる作業に大別される(第1図)。それぞれの作業を1人で実施できれば、計2人で探査を実施できる。筆者らは最初に発震作業の効率化に取り組んだ。

簡便な発震作業として、まず掛矢の使用が思い浮かぶ。一般に探査深度が浅い程、高分解能な結果が期待される。S波はP波よりも伝播速度が遅いため、高分解能な結果を得るには適している。浅層探査ということでS波を発震させる場合、地面に板を置き、掛矢で板を横から叩く(写真1)。この際、板に与えた衝撃をより効率的に地面に伝えるために、板と地面とのカップリングが大変重要になる。板と地面とのカップリングを増加させるには、板の重量を

増やせば良い。しかしながら、発震点の移動の際には板を移動させる必要がある。取り扱いの容易さとカップリングのための重量の増加はトレードオフ関係にある。試しに高さ20cm、幅40cm、長さ100cmの松材を用いてみたところ、移動は特に大変ではなかった。欠点は、掛矢で叩く作業を繰り返すのは想像以上の重労働であったことである。同じ高さから掛矢を振り下ろす場合、掛矢の重量が大きいほどエネルギーは大きくなるが、取扱いは大変になる。2016年3月に石垣島で実施した探査では、これまでの経験から重量約5kgの掛矢を用いたのであるが、2



第1図 反射法地震探査の概念図。作業は発震に関わるものと受振に関わるものに大別される。後述するように発震装置・受振装置には様々なものがある。



写真1 掛矢を用いた板叩きによるS波発震作業の様子。この探査では2人が板にのって荷重を加えて発震したが、撮影のためにこの写真では1人しかのっていない。

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：反射法地震探査, 探鉱機, 地震探査システム

人で20回/点×40点/日、すなわち800回/日くらいが限度であった。

発震作業を人力に頼るには限界があるため、筆者らは可搬型バイブレーター震源の使用も試みた。使用したのはGeosym社製のEIVIS IIIというものである(伊藤ほか, 2014; 写真2)。震動ユニットを交換することでS波だけでなくP波を発震することも可能である。電源として鉛蓄電池を用いているが、ケースに入ったバッテリーユニットの重量は73.5kgであり、震動ユニットと地面とのカップリングを増加させる用途も兼ねている。また、さらにカップリングを増加させるために、発震時には作業員がバッテリーユニットの上ののりようメーカーが指示している。2016年9月に福島県会津若松市で実施した調査で可搬型バイブレーター震源を用いた際に、比較のために掛矢でも



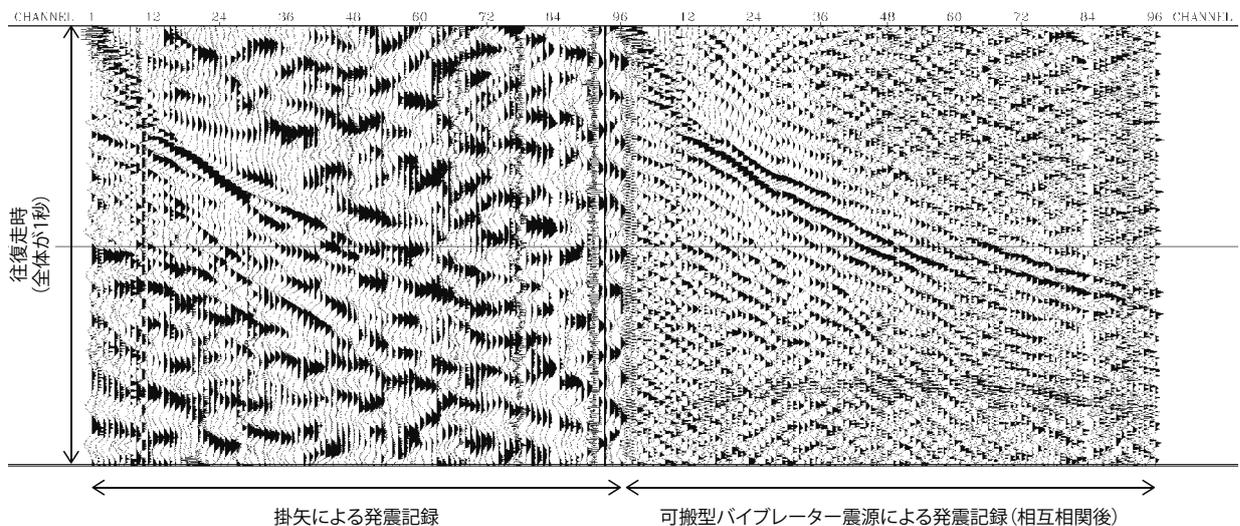
写真2 可搬型バイブレーター震源を用いたS波スイープ発震作業の様子。作業員はバッテリーユニットの上ののりようを加えている。

発震を行った。発震記録は掛矢と比較すると、短周期成分が良く生成されている(第2図)。欠点は、バッテリーユニットの重量が大きいので、坂道を上りながら発震点を移動するのはやや困難なことである。また、バッテリーユニットの脱着は筆者1人では無理であった。

### 3. 受振装置周辺作業の効率化

10年程前、CDPケーブルを接続しアナログ信号を1台の探鉱機に集約して記録していた頃は測線上の探鉱機の位置の制約が大きかった。筆者らが使用していたCDPケーブルは48チャンネル仕様であり、96チャンネルを超える探査では中継ケーブル等を使用する必要が生じる。展開を移動する際には48チャンネル仕様の太いケーブルを大量に移動する必要があるため、作業員を減らすことは困難であった。

10年近く前に、筆者らのグループでは分散型の探査システムを導入した。筆者らが使用しているのはサンコーコンサルタント社製のDSS-12というものであり、1台の収録ユニットで12チャンネルを記録するものである(写真3)。従って、ケーブルは片側6チャンネル+LANという仕様であり、従来のCDPケーブルと比較して圧倒的に細く軽量である。また、探査のチャンネル数が増えても中継ケーブルは不要である。このため、展開移動に携わる作業員をかなり減らすことが可能となった。しかし当然ながら、作業が軽減されようとも作業員が多いほど展開移動は早く進捗するので、バランスを考えながら探査計画を立案するのに苦慮したものである。



第2図 掛矢による発震記録(左)と可搬型バイブレーター震源による発震記録(右)の比較。可搬型バイブレーター震源はスイープ型震源と呼ばれ、受振器の記録と震源の生成したスイープ波形記録の相互相関を取って発震記録を得る。掛矢等の衝撃型の震源と比較して雑振動に強いという優位性がある。



写真3 分散型地震探査システムの展開の様子。いくつか見える青いものが受振器であり、受振器12個分の波形記録をオレンジ色の収録ユニットでA/D変換し、デジタル化された信号をLANで送信する。

その後、筆者らのグループでは独立型の探査システムも導入した。独立型の探査システムは基本的にデータを連続記録するもので、発震記録は探査後に連続記録から切り出すものである。筆者らのグループでは、2014年1月から2月にかけて富士川河口断層帯で探査を実施したが、その際に使用していた分散型の探査システムでは富士川を越えることができなかった(伊藤・山口, 2016)。測線レイアウトの自由度をさらに高める目的で独立型の探査システムである、Geospace社製のGSXというものを導入した(写真4)。このシステムは浅層探査を念頭において製作されたものではないため、2016年3月に石垣島で実施した浅層探査では2つの問題点が浮上した。1つ目は、個々のpod(収録ユニット)を設定する際の問題である。Line Viewerと呼ばれるハンドヘルドPC(写真5)を用いて個々のpodが測線上のどの測点に配置されているのかを設定するのであるが、通信にはBluetoothを使用している。それぞれのpodが相互に20m程度離れていれば、同時に通信できるpodは1台か、多くてもせいぜい3台程度である。しかし、浅層探査の場合、podは相互に1m程度しか離れていないため、数十台のpodを同時に認識してしまう。この中から目的のpodのシリアル番号を確認して測点を設定しなくてはならず、手間がかかることとなった。2つ目は、データの切り出しの際の問題である。個々のpodはGPS受信機を内蔵しており、あまり高精度ではないものの設置位置の情報を記録している。podが相互に20m程度離れていれば、その位置情報を手がかりに、処理ソフトウェアの機能で自動ソートすることが可能である。しかしながら、pod間の距離が1m程度の場合、こ



写真4 独立型地震探査システムの展開の様子。右側のフェンスに沿って配置されている上面の白いユニットはバッテリーであり、それぞれの左隣に配置されているのがpodと呼ばれる収録ユニットである。受振器はスパイクでしっかりと地面に固定しており、草の陰となつてほとんど見えていない。



写真5 Line Viewerと呼ばれるpodの動作確認装置。上に飛び出ている青いものは本体とUSB接続されており、動作確認用のアプリケーションソフトウェアのライセンスを確認するドングルとBluetoothのアンテナを兼ねている。

#### 4. 発震・受振作業の統合

発震・受振作業自体の効率化については上述した。この他に、作業内容を記録するという作業がある。通常、発震作業は厳密に測点上で実施することは不可能で、受振器の設置位置からある程度のオフセットを設けて発震する。こ

のオフセット量を記録する必要がある、以下では発震ログと呼ぶことにする。一方、受振側では、トリガ時刻と発震点との対応付けを記録する必要がある、以下では観測ログと呼ぶことにする。反射法地震探査では発震失敗やトリガ失敗が一定程度発生することは避けられないため、これを確実に記録しなければならない。

上述した独立型の探査システムであるGSXでは、トリガ時刻を記録するのにSDR (Source Decoder Recorder) と呼ばれる装置を使用する (写真6)。このSDRを発震作業員が持つことにより、発震失敗とトリガ失敗を統一的に把握することが可能になる。SDRはpodと同様にGPS受信機を内蔵しているので、トリガ時刻と発震位置の対応付けの機能はあるものの、発震点間隔が小さい場合には機能しない。



写真6 SDRと呼ばれるトリガ時刻を記録する装置。AUX入力も備えており、バイブレーター震源を用いた場合にはスイープ信号を記録することが可能である。

そこで、観測ログと発震ログを同時にカメラで記録する方法を試みた (写真7)。ほとんどのデジタルカメラには時刻を映し込む機能がある。発震点がわかるような写真を撮れば観測ログとして必要な情報は記録される。筆者らは工事現場用の黒板を用いた。あとは発震ログとして必要な情報も写真に映し込むために、測量用の伸縮ポールを用いた。筆者らが使用した伸縮ポールは20cmごとに紅白に塗り分けられており、その程度の精度でオフセット量を認識できる。

## 5. おわりに

筆者はここ数年、本稿で述べた内容を「1人でできる反射法地震探査」というキーワードを使って人に説明してきた。本稿のタイトルも「1人でできる反射法地震探査」



写真7 カメラ撮影によるログの例。黒板は全天候型の既成品であるが、ログ用に記入項目をカスタマイズすることも可能である。

にしようかとも考えたのであるが、道半ばであり、現状では誇大広告となりそうなので自重した。

現状では、掛矢と独立型地震探査システムを用いれば1人でも反射法地震探査を実施できそうである。しかしながら本来、反射法地震探査とはイメージしたいものに合わせて震源や受振器の種類、発震・受振の間隔や受振器のチャンネル数を決定するのが筋である。今後は、より幅広い要求に応えられる工夫が必要であろう。手近なところでは、たとえば、可搬型バイブレーター震源を1人で扱えるような工夫をすることや、分散型探査システムの制御用PCを携行しながら発震作業を行えるような工夫をすることが考えられる。

本稿では触れなかったが、反射法地震探査では測点測量も不可欠である。1人で扱える光波測量とGPSのハイブリッドな装置も市販されているが、高価かつ過剰性能である。もう少し廉価で要求仕様を満たせるようなものが望まれるところである。

## 文 献

- 伊藤 忍・山口和雄 (2016) 富士川河口地域における反射法地震探査。海陸シームレス地質情報集, 「駿河湾北部沿岸域」, 海陸シームレス地質図 S-5, 産業技術総合研究所地質調査総合センター。
- 伊藤 忍・山口和雄・入谷良平 (2014) 可搬型バイブレーター震源を用いた浅層反射法地震探査, 日本地震学会講演予稿集 2015 年度秋季大会。

ITO Shinobu (2016) Seismic Reflection Survey with Very Few People.

(受付: 2016年4月1日)





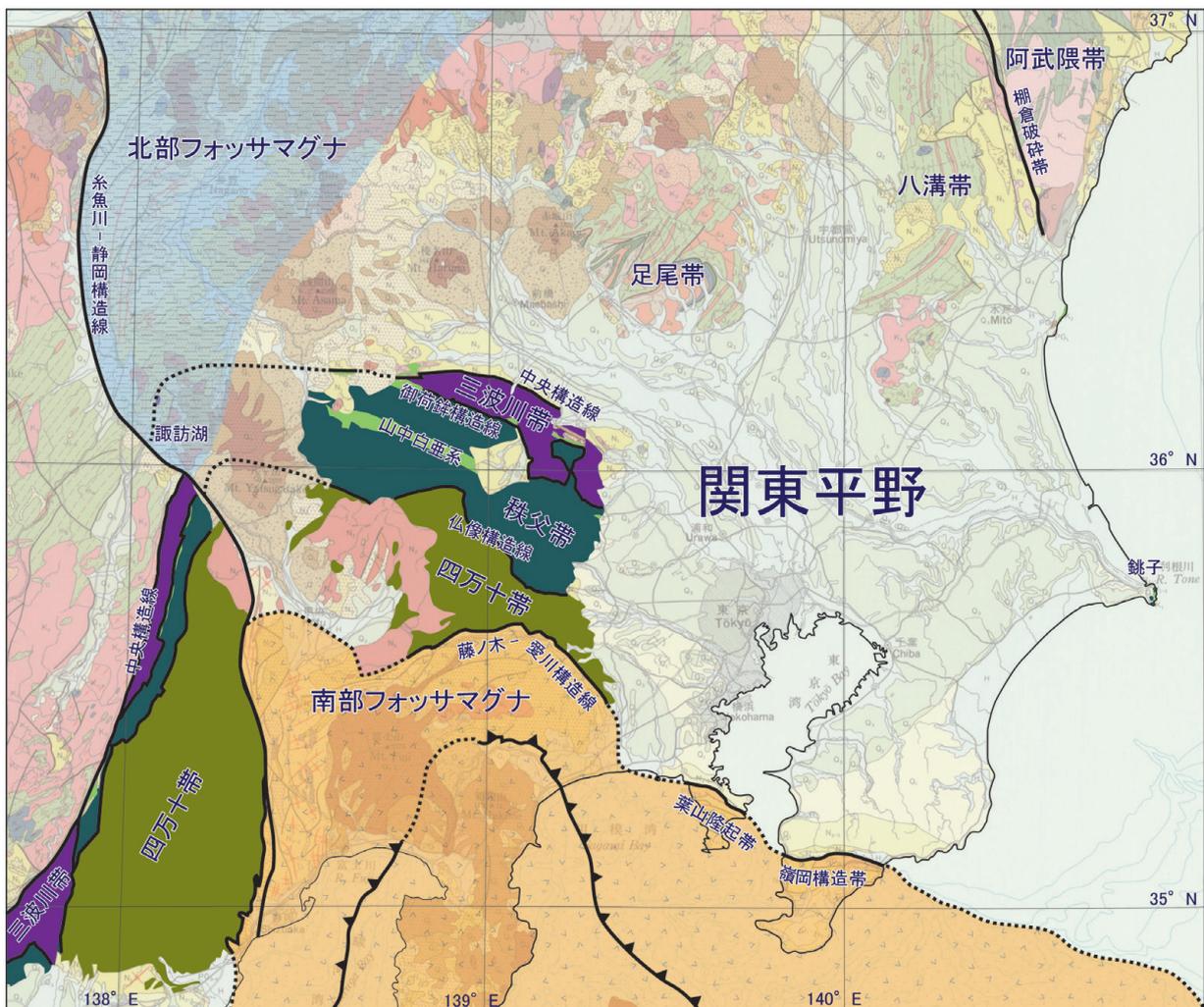
部フォッサマグナの東縁は関東山地の西側に伏在し、関東山地(四万十帯)と丹沢山地(丹沢層群)の境界である藤ノ木-愛川構造線(篠木・見上, 1954)から相模川付近を大磯丘陵の東まで南下したあと、葉山層群が露出する江ノ島から三浦半島の葉山隆起帯、さらに、東方に房総半島の嶺岡構造帯へ続くと考えられる(第3図)。この境界は、1,500万年前に関東地方に沈み込みを開始したフィリピン海プレートと、上盤であるユーラシアプレートとの境界である。

もちろん現在では、プレート境界は丹沢ブロックの衝突に伴って、伊豆半島との境である<sup>かなわ</sup>神縄断層および国府津-松田断層にシフトしている。そして、地質学的に近い将来に伊豆ブロックが完全に付加すると、プレート境界はさらに南方の銭州海嶺の北縁にジャンプすると予想される。南部フォッサマグナの東縁は、太平洋プレートの沈み込みに伴う付加体(四万十帯)とフィリピン海プレートの沈み込みに起因する付加体との境界と定義されよう。とすると、

南部フォッサマグナの西縁は厳密には糸魚川-静岡構造線ではなく、その西側を併走する十枚山構造線が適切である(第1図)。

これに対し、北部フォッサマグナの東縁については様々なモデルが提唱されてきたが、いずれも説得力に欠く。その理由は、北部フォッサマグナの東縁が第四紀の火山噴出物や堆積物によって完全に被覆されていることに起因するが、それ以上に、そもそも北部フォッサマグナの成因が不明だからである。非常に厚い地層が分布する範囲が北部フォッサマグナであるが、その定義如何によって境界線の引き方が異なってしまう。換言するなら、北部フォッサマグナの成因とその東縁問題は表裏一体の問題であって、両方を同時に明らかにしなければならない。本論の後半で議論するように、関東平野の利根川付近に伏在する利根川構造線が、北部フォッサマグナの東縁であると私は考えている(高橋, 2006)。

さて、フォッサマグナについて概要を述べたが、西南日



第3図 西南日本外帯の地帯配列を分断するフォッサマグナ。関東対曲構造と呼ばれる地帯配列の大屈曲は、過去1,500万年間に亘って伊豆-小笠原弧が南部フォッサマグナに衝突し続けたからである。地質調査所(1992)の地質図を基図として作成。

本外帯の帯状配列はフォッサマグナによって分断された後に、関東山地で再び地表に現れている(第3図)。三波川帯は、赤石山地で分布幅が非常に狭くなったり、あるいはところどころ分布が途切れているが、関東山地では再び分布幅を広げ、関東平野の第四系に被覆されるまで連続して露出している。そして、その南側にはジュラ紀付加体である秩父帯が、さらに白亜紀以降の付加体である四万十帯が分布し、明瞭な帯状配列が認められる。したがって、関東山地は間違いなく西南日本外帯に帰属する。

このように、赤石山地と関東山地で帯状配列の連続性が保持されていることから、先新第三系地体構造の議論や東西日本の境界に関する考察において、フォッサマグナの存在を深く考慮する必要はないであろうと考えられてきた。問題となる先新第三系基盤岩類の帰属という意味では、フォッサマグナは西南日本の内部に形成されたことに異論を挟む地質研究者はほとんどいないからである。

## 2. 関東平野下の不連続

関東山地と足尾山地との間に基盤岩類を分断する地質学的不連続が存在することは、本邦地質学の歴史における早い段階から指摘されてきた。例えば、関東山地は西南日本表帯(外帯)の赤石山地に連続すべきものであり、一方、阿武隈山地は西南日本裏帯(内帯)に相当すると小川琢治が論じたのは19世紀末であった(小川, 1899)。その根拠は、九州から関東山地まで連続する西南日本外帯の明瞭な帯状配列が、関東平野を越えると、北側の足尾山地や八溝山地には全く認められないからである(第4図)。そして、西北西-東南東に延びる関東山地の地帯配列と、おおよそ南北方向の基盤構造と考えられる東北日本が、利根川中流低地帯を挟んでほとんど直交しているからである(小林・大塚, 1938)。



第4図 関東山地と足尾山地の基盤構造の相違 (中野ほか, 1998; 尾崎ほか, 2002; 須藤ほか, 1991; 坂本ほか, 1987をもとに作成)。三波川帯、秩父帯、四万十帯からなる帯状配列が明瞭な関東山地では、ジュラ紀付加体である秩父帯の中のチャートブロック(オレンジ色で塗色)も西北西-東南東方向に配列している。一方、同じジュラ紀付加体からなる足尾帯は湾曲した地質構造を示し、利根川に沿って地質学的不連続が推定されてきた。

小林・大塚(1938)は、東北日本が関東山地に対して大きく東方(太平洋側)に移動した際の水平横ずれ断層帯として、利根川に沿う関東構造線帯(関東構造線)を想定した。ただし、関東構造線帯を変位量が非常に大きい幅のある横ずれ破碎帯と考え、銚子の基盤岩類が破碎帯内部に含まれる場合も考えられるとし、銚子の帰属については必要を認めないとして議論していない。ただし、Kobayashi(1941)は東北日本の阿武隈山地に領家帯と三波川帯が延長されると考えており、西南日本の地帯配列が関東構造線によって一旦は分断されてはいるものの、西南日本の地帯配列は東北日本にも連続すると考えていたようである。

より詳細な地質調査がなされている今日では、関東山地と足尾山地や八溝山地との間の地質学的不連続はさらに明瞭である。西南日本外帯の秩父帯に含まれる無数の石灰岩やチャートなどの巨大な岩塊は、西南日本外帯の帯状配列とほぼ並行に延びるが、同様の岩相組み合わせからなる足尾帯や八溝帯に含まれる異質ブロックは緩く湾曲した配列を示し、両者には明瞭な地質構造の差が認められる。例えば、足尾山地では石灰岩の巨大なブロックが馬蹄形に分布している。巨視的には、緩く湾曲した石灰岩の巨大なブロックが、ジュラ紀付加体の基質である砂岩や泥岩に対して低角度の姿勢で取り込まれていることを示唆する。石灰岩だけでなくチャートや海洋底玄武岩等の緑色岩ブロックも、巨視的には石灰岩ブロックと同様に馬蹄形の分布を示し、低角度の地質構造を示している。

これに対し、関東山地の秩父帯では北に急傾斜した地質構造が卓越し、地質図では西北西-東南東方向に連なる巨大な異質ブロック列が明瞭である。周知のように、西南日本外帯の秩父帯は北から北帯、中帯、および南帯に区分されているが、先ジュラ系や古期深成岩・変成岩体で特徴づけられる中帯は黒瀬川帯とよばれている。関東山地では黒瀬川帯を特徴づける先ジュラ系の分布が非常に断片的で、境界断層に沿って蛇紋岩が貫入する<sup>さんちゅう</sup>山中地溝帯の非変成山中層群(下部白亜系)分布域が秩父中帯に相当すると考えられている。西北西-東南東方向に連続する山中地溝帯が秩父中帯(黒瀬川帯)であるとすると、それはまさに西南日本外帯の直線的な地帯配列に合致する。

関東山地では、山中地溝帯の南側が秩父南帯とされている。秩父南帯では高角度で北に傾斜する構造が卓越するので、地質図にはチャートや石灰岩ブロックが直線状に連なって示されている。一方、山中地溝帯の北側は秩父北帯とされるが、その地質構造は低角度の断層を介して重なったパイルナップ構造であると考えられている。したがって、地質構造を考慮するならば、足尾帯は低角度の構

造が支配する秩父北帯に類似するが、その場合、その内帯側(北ないし西)には三波川変成岩が分布するはずなので、足尾帯が西南日本外帯に対応するとは考えられない。すなわち、基盤岩類の地質構造の不連続だけでなく、三波川帯およびその北縁である中央構造線が関東山地以北で発見されないことが、東西日本の地質学的不連続の決定的論拠となっている。

このように、関東山地では三波川帯、秩父帯、四万十帯の帯状配列だけでなく、秩父帯に分布する下部白亜系山中層群の分布域(黒瀬川帯)や、ジュラ紀付加体中の巨大な異質ブロックの分布方向など、西北西-東南東方向の直線的な地質構造が明瞭であり、湾曲構造が顕著な足尾山地とは明らかに地質構造が不連続である。関東山地と足尾山地の間の利根川中流低地帯は第四系によって被覆されているために、両山地の基盤構造の不連続境界を直接観察することはできないが、第四系の地下深部には基盤構造を切断する規模の大きな断層(構造線)が伏在するのは確実である。そのような断層として、関東構造線(小林・大塚, 1938)とか利根川構造線(望月, 1950)、あるいは柏崎-銚子線(山下, 1970)などの推定断層が古くから想定されてきた。付加体の概念が存在せず、地向斜の考え方で日本列島の地質構造発達史を解釈していた当時でも、関東山地と足尾山地の間の地質学的不連続の存在は、本邦地質学の第一級の問題であったわけである。

少なくとも20世紀初頭には、西南日本外帯が足尾山地や八溝山地の基盤岩類にそのまま連続しないことが認識されていたが、今日の地質学的視点に立脚するとその判断がより鮮明となる。西南日本を内帯と外帯に二分する中央構造線は、白亜紀の高温型変成帯である領家帯と高圧型変成帯である三波川帯の境界断層である。全く形成場の異なるふたつの変成帯が、現在では断層を介して接しているわけだから、中央構造線の成因や運動史は、日本列島の地質構造発達史の中核を成すものと多くの地質研究者は考えてきた。

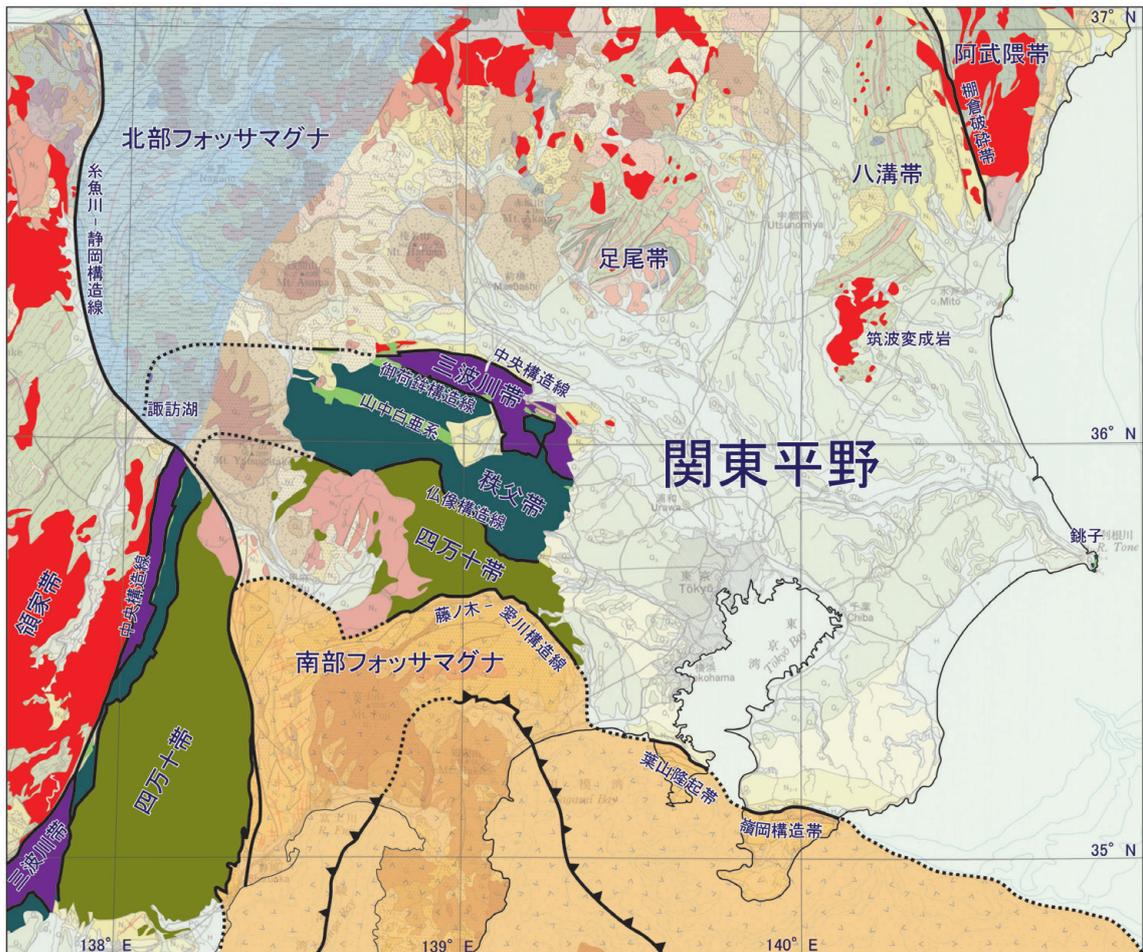
四国や紀伊半島、中部地方では領家変成岩と三波川変成岩が断層を境に接している露頭が多く確認されており、中央構造線は九州東部から四国、さらに紀伊半島を横切り、赤石山地を北上して諏訪湖までほぼ連続して追跡される。一方、関東山地では三波川変成岩と新第三系が断層で接している場合がほとんどで、領家帯との直接的な関係を確認できる露頭は皆無に等しい。しかしながら、白亜紀の花崗岩やその変成岩からなる領家帯の岩石と、高圧型変成岩である三波川帯の結晶片岩を野外で区別することは比較的容易であることから、中央構造線の断層露頭そのものが確認

されなくとも、花崗岩類の露出域と結晶片岩の露出域の間に中央構造線が存在していると判断されている。関東山地の北縁に推定されている中央構造線は、そのほとんどがこのような根拠でトレースされている。

このように、西南日本の外帯と内帯を区別する根拠として、三波川変成岩（結晶片岩）と領家花崗岩・変成岩が野外で確認されることが重要である。言い換えるならば、白亜紀花崗岩・変成岩類が野外で確認されれば、少なくともその場所は三波川帯ではなく領家帯であろうと地質研究者は判断するであろうし、結晶片岩が確認されれば三波川帯であると結論づける。中央構造線は領家変成岩と三波川変成岩との境界断層であるが、断層そのものが単独で存在しているわけではなく、断層面を挟んだ両側の物質とセットで存在し規定される。例えば、断層の両側がいずれも白亜紀花崗岩であったなら、それは領家帯の中のひとつの断層であって、中央構造線とは呼ばないであろう。中央構造線を規定するためには、領家花崗岩・変成岩と三波川変成岩の両方の存在が必須なのである。

さて、このような視点を持って地質図を眺めると、足尾帯や八溝帯が西南日本の外帯には相当しないことが明らかであろう。足尾山地や八溝山地、あるいは筑波山周辺には白亜紀末期から古第三紀初頭の花崗岩類が貫入しているので、それらが皆無である西南日本外帯に対比されることはあり得ない（第5図）。さらに、阿武隈山地や北上山地の地質を概観すれば、足尾山地や八溝山地だけでなく、東北日本の陸域はすべて西南日本の外帯ではなく内帯に相当すると予想される。とすると、西南日本外帯である関東山地の北側に、西南日本内帯に相当する足尾山地や八溝山地、さらに阿武隈山地が位置していることから、関東山地に対して東北日本の陸域が東方に大きくずれていることになる。

このように、ナウマン以来議論されてきた東西日本の地質学的境界は、長年に亘って利根川付近に推定されてきた。ところがその後、日本列島の中・古生界は、阿武隈山地と八溝山地の間の棚倉破碎帯を境に東北日本と西南日本に区分されるとする考えが広まった。関東構造線や利根川構造



第5図 関東地方周辺域の基盤岩類の地帯区分。西南日本外帯の明瞭な帯状配列は関東山地まで連続するが、足尾山地や八溝山地の基盤構造とはほとんど直交しているため、両地域の間には地質学的不連続（断層）が伏在していなければならない。

線などは、第四系によって被覆されているため地表では全く確認することができない推定断層である。これに対し、野外で直接観察される棚倉破碎帯に沿っては、中央構造線と同様に地下深部の剪断帯に特徴的なマイロナイトが形成され、白亜紀の大規模な左横ずれ剪断帯であることが構造地質学的に明らかにされた。その結果、棚倉破碎帯は東北日本の地質における第一級の断層であり、西南日本の中央構造線に匹敵する大断層であると考えられるようになった。そして、棚倉破碎帯こそ東西日本の地質学的境界であるとする考えが、日本の地質研究者に受け入れられる。その要因として、関東平野のボーリング調査により掘削された基盤岩と、銚子にわずかに露出する先新第三系基盤岩類が重要な役割を演じることとなる。(第三話につづく)

## 文 献

- Amano, K. (1991) Multiple collision tectonics of the South Fossa Magna in central Japan. *Modern Geol.*, **15**, 315-329.
- 天野一男・高橋浩之・立川孝志・横山健治・横田千秋・菊池 純 (1986) 足柄層群の地質 - 伊豆微小大陸の衝突テクトニクス -. 北村 信教授記念地質学論文集, 7-29, 東光印刷, 仙台.
- 地質調査所 (1992) 100 万分の 1 日本地質図 第 3 版. 地質調査所.
- 藤岡換太郎・平田大二, 編著 (2014) 日本海の拡大と伊豆弧の衝突 - 神奈川の大地の生い立ち. 有隣新書, 191pp, 有隣堂.
- Hyodo, H. and Niitsuma, N. (1986) Tectonic rotation of the Kanto Mountains, related with the opening of the Japan Sea and collision of the Tanzawa Block since middle Miocene. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **38**, 335-348.
- Kobayashi, T. (1941) The Sakawa Orogenic Cycle and its bearing on the origin of the Japanese Island. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, II, **5**, 219-578.
- 小林貞一・大塚弥之助 (1938) 西南日本地帯構造と中生代古地理に関する一考証 (その 7). *地質学雑誌*, **91**, 665-677.
- Matsuda, T. (1978) Collision of the Izu-Bonin arc with central Honshu: Cenozoic tectonics of the Fossa Magna, Japan. *Jour. Phys. Earth*, **26**, Suppl., S 409-S 412.
- 望月勝海 (1950) 東北日本・中央日本の関東対曲. *地質学雑誌*, **56**, 285.
- 中野 俊・竹内圭史・加藤碩一・酒井 彰・濱崎聡志・広島俊男・駒澤正夫 (1998) 20 万分の 1 地質図幅「長野」. 地質調査所.
- Niitsuma, N. and Mastuda, T. (1985) Collision in the South Fossa Magna area, central Japan. *Recent Prog. Natural Sci. Japan*, **10**, 41-50.
- 小川琢治 (1899) 日本群島地質構造論. *地質学雑誌*, **11**, 413-423, 475-505, 537-560, 685-695, 810-812.
- 尾崎正紀・牧本 博・杉山雄一・三村弘二・酒井 彰・久保和也・加藤碩一・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (2002) 20 万分の 1 地質図幅「甲府」. 産業技術総合研究所地質調査総合センター.
- 篠木嶺二・見上敬三 (1954) 丹沢山塊東北部の構造について. 東京教育大学地質学鉱物学教室研究報告, no. 3, 117-123.
- 坂本 亨・酒井 彰・秦 光男・宇野沢昭・岡 重文 (1987) 20 万分の 1 地質図幅「東京」. 地質調査所.
- 須藤定久・牧本 博・秦 光男・宇野沢昭・滝沢文教・坂本 亨・駒澤正夫・広島俊男 (1991) 20 万分の 1 地質図幅「宇都宮」. 地質調査所.
- 高橋雅紀 (2006) 日本海拡大時の東北日本弧と西南日本弧の境界. *地質学雑誌*, **112**, 14-32.
- 武井暁朔 (1976) 東西両日本の境界地域に関する研究史. *地質学論集*, no. 13, 3-14.
- 矢部長克 (1918) 糸魚川 - 静岡線. *現代之科学*, **6**, 147-150.
- 山下 昇 (1970) 柏崎 - 銚子線の提唱. 星野通平・青木 斌編「島弧と海洋」, 東海大学出版会, 179-191.

---

TAKAHASHI Masaki (2016) Geological problem for the tectonic boundary between Northeast and Southwest Japan -Invisible discontinuity-.  


---

(受付: 2016 年 4 月 4 日)

# SIP「次世代海洋資源調査技術」における 産総研の2015年度の成果と今後の取り組み

山崎 徹<sup>1)</sup>・池原 研<sup>1)</sup>・石塚 治<sup>2)</sup>・井上卓彦<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

戦略的イノベーション創造プログラム(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program : SIP)は、総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)が司令塔機能を発揮して、府省の枠や旧来の分野を超えたマネジメントにより科学技術イノベーションを実現するために創設された国家プロジェクトです。このプロジェクトは、国民にとって真に重要な社会的課題や、日本経済再生に寄与できるような世界を先導する課題を解決することを目的としています。その特徴として、1)社会的に不可欠で、日本の経済・産業競争力にとって重要な課題を総合科学技術・イノベーション会議が選定すること、2)府省・分野横断的な取り組み、3)基礎研究から実用化・事業化までを見据えて一気通貫で研究開発を推進すること、4)企業が研究成果を戦略的に活用しやすい知財システム、が挙げられます。

産総研地質調査総合センター(GSJ)地質情報研究部門は、11課題あるSIPプログラムのうち、「次世代海洋資源調査技術」(PD、浦辺徹郎東京大学名誉教授、国際資源開発研修センター顧問)に発足当初の2014年度から参画しています。本論では、このSIPプログラムにおける成因研究に関するGSJの2015年度までの成果と、第3事業年度となる今年度の取り組みを紹介します。

なお、本論におけるSIP施策全体および「次世代海洋資源調査技術」全体に関する記述は、内閣府のウェブサイト<sup>(注1)</sup>やパンフレットに公開されている資料に基づいており、全体としてそれらの内容を引用・要約したものです。SIP施策「次世代海洋資源調査技術」に関しては、研究開発計画(内閣府政策統括官、2016)に、より詳しい記述があります。また、本SIPプログラムの成因研究に関するGSJの取り組みの全体像については、本論における完結性を保つために、山崎・池原(2014)及び山崎ほか(2015)に基づいて記述しており、それらと一部重複があります。

## 2. 「次世代海洋資源調査技術」(海のジパング計画)の概要

我が国は、国土面積の12倍を超える領海・排他的経済水域を有しており、これらの海域には、産総研をはじめ、独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)、国立研究開発法人海洋研究開発機構(JAMSTEC)や大学等の海洋調査によって、海底熱水噴出口を伴う塊状硫化物やコバルトリッチクラストなど、数多くの有用元素濃集域の存在が報告されています。しかしながら、これらは厚い海水に覆われているため、資源の確認や開発、利用のためには、有望海域を絞り込むための海洋資源の成因解明研究や、従来よりも飛躍的な効率で調査するための調査機器・手法の開発、さらに、開発に伴う海洋環境悪化を防止するための海洋環境を長期に監視する技術の開発が必要です。

SIPプログラム「次世代海洋資源調査技術」(海のジパング計画)では、府省連携のもと、海洋鉱物資源の科学成因論に基づいた、低コスト・高効率で調査する技術及び将来の海洋資源開発に不可欠な環境影響評価手法の開発に取り組んでいます。これらの実現のため、本SIPプログラムでは(1)海洋資源の成因に関する科学的研究、(2)海洋資源調査技術の開発、そして(3)生態調査・長期監視技術開発の3つの柱で研究開発を実施しています。さらに、2015年度からは、既存の取り組みの充実に向けて、大学等を取り込んで海洋資源調査技術を産学官一体で開発し、海洋調査産業の創出の加速を目指しています。GSJ地質情報研究部門は、研究開発の3本の柱のうち、「(1)海洋資源の成因に関する科学的研究」においてJAMSTECと連携しているほか、後に述べる地球深部探査船「ちきゅう」を用いた海底熱水鉱床の成因研究においては、国立大学法人九州大学を代表とする研究課題と連携して研究開発を推進しています。加えて、「(2)海洋資源調査技術の開発」実施機関である民間の次世代海洋資源調査技術研究組合(J-MARES)及び一般社団法人海洋調査協会(JAMSA)と連携し、成因研究で得られた科学的知見や海洋調査技術の民

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)、次世代海洋資源調査技術、海底鉱物資源、海洋地質

間企業への橋渡しを目指しています。

### 3. 産総研の取り組みの全体像

我が国周辺の海洋鉱物資源有望海域は数千 km<sup>2</sup> 規模であり、船舶や探査機が短期間で行動でき概査が可能な面積である数百 km<sup>2</sup> 規模にまで絞り込むためには、資源の形成過程や濃集メカニズム等の成因解明による地球科学的根拠に基づいた手法を用いるほかに考えられません。また、その後の準精査によって有望海域をさらに絞り込むためにも、成因論に基づき最適な取得データ項目や調査機器のスペックを決定することが重要です。そして、その海洋資源の成因を深く理解するためには、採取試料の化学分析等の知見に加え、海洋調査によって得られる空間的広がりを持った海底地形や海洋地質情報等の知見が必要です。

GSJ は我が国の「地質の調査」に関するナショナル・センターとしての役割を担っており、地質学的研究の多岐にわたる専門家を有しています。また、同センターでは、過去 40 年以上にわたり日本周辺海域の海洋地質学的研究及びその成果としての海洋地質図の出版を行っており、海域の地質調査による資試料の取得からその解析・分析を一貫して行うことのできる組織です（例えば、荒井ほか、2013）。海底鉱物資源に関しては、特にこの数年、沖縄周辺海域において活発な熱水活動域を複数域で発見し、多種類の金属を含む塊状硫化物等の採取に成功しています（注<sup>2</sup>~<sup>4</sup>）。そこで、本 SIP プログラムにおける「海洋資源の成因に関する科学的研究」において、GSJ では、海洋資源の調査手法開発に資するため、地質学的観点から、造構場や成因に由来する地形的・地球物理学的情報や、岩石学的・地球化学的情報を取得・解析し、新たな有望海域の抽出に資する各種地球科学的指標の特定と、有用元素濃集域形成をともなう造構モデルの構築を行うことを目標としています。このうち、前者の各種地球科学的指標の特定は、JAMSTEC と連携し、「海洋資源の成因に関する科学的研究」全体として一体となって研究開発を推進するもので、後者の造構モデルの構築は、GSJ の有する地質学的知見に基づいて GSJ が主導して推進するものです。

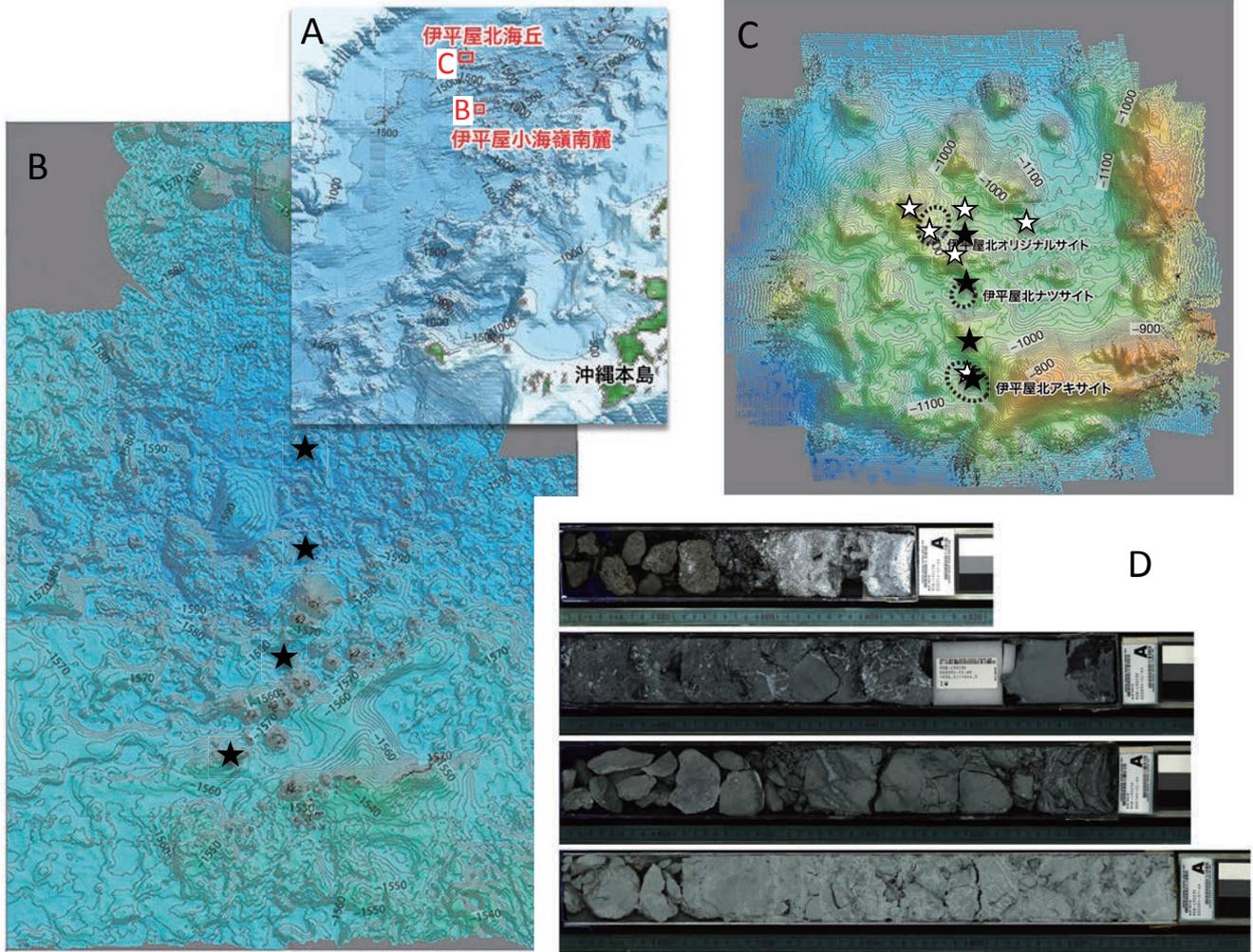
### 4. これまでの研究成果

本 SIP プログラムの 3 本柱である、「海洋資源の成因に関する科学的研究」と「生態調査・長期監視技術開発」との共同調査航海として、2014 年 7 月 8 日から 7 月 26 日までの 19 日間にわたり、沖縄トラフ伊平屋北海丘（水深

約 1,000 m）において、地球深部探査船「ちきゅう」による掘削航海が実施されました。また、「海洋資源の成因に関する科学的研究」の一環として、2015 年 2 月 3 日から 2 月 12 日までの 10 日間、南鳥島沖の拓洋第 5 海山の水深 3,000–4,000 m において、深海調査研究船「かいらい」による、海底資源探査用遠隔操作無人探査機（Remotely operated vehicle : ROV）「かいこう Mk-IV」を用いたコバルトリッチクラスト調査航海が実施されました。これらの成果の概要は、山崎・池原（2014）及び山崎ほか（2015）に紹介しています。

第 2 事業年度となる 2015 年度は、2016 年 2 月 15 日から 3 月 17 日までの 32 日間にわたり、沖縄トラフ伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺（水深約 1,550 m）（第 1 図）において「ちきゅう」によって海底熱水域掘削調査航海が実施され、GSJ から乗船研究者として参加しました。この掘削結果の速報は、航海終了時の 3 月 18 日に JAMSTEC からプレス発表されており（注<sup>5</sup>）、以下の船上での成果は主としてこの発表に基づくものです。この掘削航海では、2014 年度と同様に掘削同時検層（Logging/Measurement While Drilling: LWD/MWD、以下 LWD）機器を用いて掘削を実施し海底下の物理検層を行った後、隣接した場所でコア試料取得のための掘削を行いました。さらに、伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺の各 1 孔において、熱水の物理パラメーター（温度、圧力、流量）長期観測や鉱物沈殿プロセスを観察するためのモニタリング装置を設置しました。LWD の結果、詳細な物理検層データと地震波探査構造解析との照合に成功したほか、2014 年度の掘削では観察されなかったパターンの、ガンマ線強度と比抵抗の深度方向への変化を新たに捉えることなどに成功しました。また、掘削孔における鮮明な孔壁比抵抗画像の取得に成功しました。引き続き掘削試料採取では、硫化鉱物濃集層、変質粘土層、変質火山岩層及び珪化岩層など熱水鉱床を構成する典型的な岩相から網羅的にコア試料を取得することに成功しました（第 1 図）。特に伊平屋北海丘では熱水鉱床マウンドを海底下 208.5 m まで掘削し、掘削孔全体を通じて各岩相の層厚や物性データを取得することができたほか、伊平屋小海嶺においては、珪化質岩から構成される伊平屋北海丘とは著しく異なる、玄武岩質の一連の層序を観察・取得することに成功しました。

JAMSTEC と連携した掘削航海に加えて、2015 年度は海洋地質調査手法の精度向上に資する研究開発の一環として、2014 年度に導入した深海曳航式海底調査機器の実海域での運用を実施しました（第 2 図）。この調査航海では、海底面から高度 100 m 以内で機器を曳航することにより、



第1図 地球深部探査船「ちきゅう」による中部沖縄トラフの掘削地点と回収された掘削コア。A. 伊平屋小海嶺及び伊平屋北海丘の位置。B. 伊平屋小海嶺の海底地形図と掘削地点(星印)。C. 伊平屋北海丘の海底地形図と掘削地点。塗りつぶしの星印は2015年度掘削地点、白抜きの星印は2014年度掘削地点。D. 代表的な掘削コア試料。上から順に、硫化物濃集層、変質粘土層、変質火山岩層及び珪化した白色粘土層の代表的なコア試料(4本目のコア試料は一部分のみを抜粋。それぞれのコアは左が上位で、直径は約6cm)。図・写真はいずれも、国立研究開発法人海洋研究開発機構プレスリリース<sup>(注5)</sup>掲載の図に基づく。



第2図 深海曳航式精密海底調査機器の海域での運用の様子。サイドスキャンソナーとサブボトムプロファイラー、インターフェロメトリックのスワース測深装置、動揺センサー等を装備している。海中で曳航することにより、調査船に比べて格段に詳細な精度の海底表面の情報、海底表層部の地層情報、海底地形情報を得ることが可能である。

海底面の詳細なサイドスキャンソナーイメージやこれまで認められなかった地点において水中音響異常を効率的に捉えることができました。

産総研の研究開発の目標である造構モデルの構築に際しては、特定元素の濃集に係る熱水活動と火成活動との成因的關係や地質構造発達史の解明のために、地質学的な諸現象に対して年代軸を与えるという作業が決定的に重要です。そこで、2015年度は、Ar-Ar年代測定システムを導入し、高精度の年代測定環境の整備を開始しました(第3図)。Ar-Ar年代測定法は、岩石中に含まれる放射性カリウムがアルゴンに放射壊変することを利用した岩石の年代測定法です。産総研では、過去20年間にわたりAr-Ar年代測定を実施しており(石塚, 2006)、国の大陸棚限界画定調査でも、日本近海の地殻構造発達史の解明に大きな役割を果たしました(例えば、石塚ほか, 2015)。今回このシステムの心臓部である質量分析計について、最新のマルチコレクター(多検出器)型希ガス質量分析計を導入しました(第3図)。この質量分析計はこれまでの質量分析計にはなかった優れた特徴を持っています。Ar-Ar年代測定で測定が必要なアルゴンの5つの同位体( $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{37}\text{Ar}$ ,  $^{38}\text{Ar}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ )を同時に計測できる5つの検出器を備えると同時に、極微量試料の測定の場合に使用できる二次電子増倍管も備えています(第3図)。このため、これまでより大幅に測定時間を短縮できると同時に、高精度な年代決定が可能となります。海底での岩石試料採取では、採取量が限られていたり、海底熱水活動等による風化・変質により、分析に適した試料の量が極めて限られていることがよくあります。今回導入したシステムは、このような状況下でも正確で誤差の小さな岩石の形成年代を与えることが可能です。このシステムにより、海底掘削や調査船に

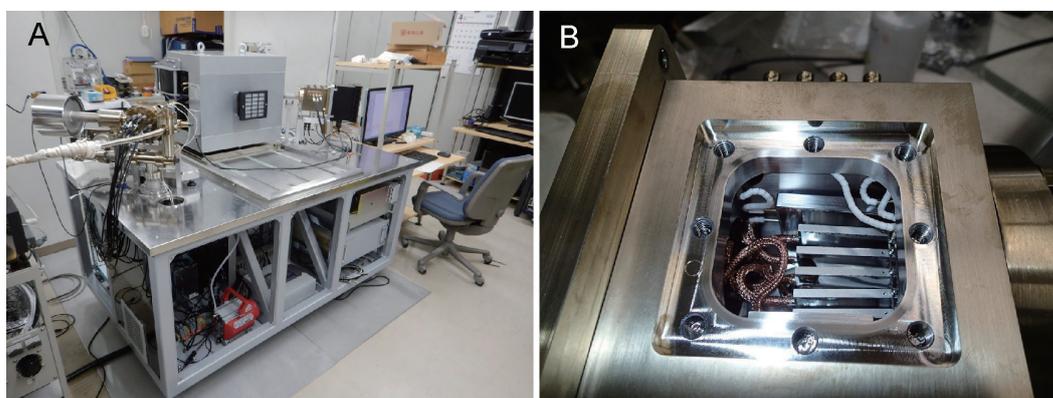
よるサンプリングによって得られた岩石試料の年代を精度良く決定し、火成活動史、構造発達史の解明に貢献することが期待されます。

## 5. 産総研における2016年度(第3事業年度)の取り組み

産総研のSIP全体開発計画書(5カ年)では、中間目標として本年度(第3事業年度)に、特定の検討海域での造構モデルの提案を掲げています。この目標に向けて、本年度は特に海底熱水鉱床の成因研究に重点的に取り組みます。

具体的には、2014-2015年度にSIP事業として科学掘削が行われた伊平屋北海丘及び伊平屋小海嶺をモデル海域として、これまでに得られた岩石試料の全岩・鉱物化学組成分析、同位体比測定、岩石の表面伝導度計測等を実施し、資源濃集部周辺の基盤岩類の岩石学的・地球化学的・物性的特徴を明らかにします。これらの結果をもとに、モデル海域周辺の基盤岩類である火成岩類の成因と起源、噴火様式等の詳細な検討を進め、熱水活動を規制する熱源の実態や岩石層序、広域的な地質構造等に関する造構モデルを構築・提案します。さらに、基盤岩類等の形成年代を得るため、2015年度に導入したAr-Ar年代測定システムによる高精度の年代測定環境の整備を続けます。

一方、空間的な広がりをもった海底地形や海洋地質情報と、資源を胚胎する地殻形成過程・地質構造発達史との関連性を検討するための、地形地質調査手法の精度向上に関する研究開発も引き続き行っています。この研究開発の結果は、既存の調査機器を用いた民間等における効率的な調査技術開発に直接的に貢献することが期待されることから、SIP実施項目「海洋資源調査技術の開発」に従事する民間のJ-MARESやJAMSAとの共有により、産総研が実



第3図 2015年度に導入したマルチコレクター型希ガス質量分析計。A. 装置全体(撮影 石塚 治)。B. 質量分析計の検出器。手前の5個がファラデー検出器、一番奥の厚めの板状の検出器が二次電子増倍管(撮影 山崎誠子)。

施する成因研究における成果の民間への橋渡しを目指します。

コバルトリッチクラストの成因研究に関しては、これまでに引き続いて、モデル海山として調査が予定されている拓洋第5海山等において、ROV「かいこう Mk-IV」を用いたコバルトリッチクラストの詳細な産状観察や試料を実施し、JAMSTECや高知大学等と分担して化学分析・解析を実施し、成因・形成過程についての研究を連携して進めていきます。

## 6. おわりに

本SIPプログラムは、地質調査総合センターの有する海洋地質学的な知見・地質情報に関するこれまでの蓄積を活かし、科学的知見や基礎研究成果を、出口を見据えた調査機器開発や民間での調査技術開発に活かす「橋渡し研究」の一環です。私たちは、我が国の地質調査に関するナショナル・センターとして継続的かつ着実な地質情報の整備を行うと同時に、こうしたSIPの取り組み以外の産総研独自の調査航海等を含めた経験や科学的知見の蓄積の継続的な努力によって、我が国最大級の公的研究機関として日本の産業や社会に役立つ技術の創出とその実用化や、革新的な技術シーズを事業化に繋げるための「橋渡し」を目指し、今後もより一層の成果の獲得とその成果普及に努めていきます。

- 注1 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP：エスアイピー）  
<http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/index.html>（2016/4/7確認）
- 注2 沖縄県久米島西方海域に新たな海底熱水活動域を発見（2012年12月12日プレス発表）  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2012/pr20121212\\_3/pr20121212\\_3.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2012/pr20121212_3/pr20121212_3.html)（2016/4/7確認）
- 注3 鹿児島県徳之島西方海域に新たな火山活動域を発見（2013年9月9日プレス発表）  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2013/pr20130909/pr20130909.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2013/pr20130909/pr20130909.html)（2016/4/7確認）
- 注4 沖縄県硫黄島周辺海域のごく浅海に海底火山を発見（2014年3月6日プレス発表）  
[http://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2014/pr20140306/pr20140306.html](http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2014/pr20140306/pr20140306.html)（2016/4/7確認）
- 注5 地球深部探査船「ちきゅう」による「沖縄トラフ熱性堆積物掘削II」について（航海終了報告）（2016年3月18日プレス発表）  
[http://www.jamstec.go.jp/j/about/press\\_release/20160318/](http://www.jamstec.go.jp/j/about/press_release/20160318/)（2016/4/7確認）

## 文 献

- 荒井晃作・下田 玄・池原 研（2013）沖縄海域の海洋地質調査—海底鉱物資源開発に利用できる国土の基盤情報の整備—。 *Synthesiology*, **6**, 162–169.
- 石塚 治（2006）極微量の岩石鉱物試料についての地質年代測定。 *AIST Today*, **61**, 38–39.
- 石塚 治・小原泰彦・湯浅真人（2015）フィリピン海海盆形成とマグマティズム。 *地学雑誌*, **124**, 773–786.
- 内閣府政策統括官（科学技術・イノベーション担当）（2016）戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）次世代海洋資源調査技術（海のジパング計画）研究開発計画。内閣府，35p.，[http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/5\\_kaiyou.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/5_kaiyou.pdf)（2016/7/28確認）
- 山崎 徹・池原 研（2014）戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「次世代海洋資源調査技術」に対する産総研の成因研究への取り組み。 *GSJ地質ニュース*, **3**, 346–349.
- 山崎 徹・池原 研・後藤孝介・井上卓彦（2015）SIP「次世代海洋資源調査技術」における産総研の2015年度の取り組み。 *GSJ地質ニュース*, **4**, 191–195.

---

YAMASAKI Toru, IKEHARA Ken, ISHIZUKA Osamu and INOUE Takahiko (2016) GSJ's 2015FY results and 2016FY research objectives about the genesis of submarine mineral resources on the Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), "Next-generation technology for ocean resources exploration".

---

（受付：2016年4月15日）

# 産総研と鹿児島地方気象台との連携による 火山灰処理と 2014 年研修会報告

大石雅之<sup>1),2)</sup>・宮城磯治<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

火山噴火は、一連の活動の最初に最大の活動が起きるとは限らず、しばしば、活動の後半に最大規模の噴火が起きたり、継続的に噴火を繰り返すなど活動が長期化するものが特徴である。噴火活動が継続的になると、避難など長期的な災害対策計画を整えるため、活動推移の予測が必要となる。火山噴火の推移予測のためには、地震・地殻変動観測といった地球物理的な観測が精力的に行われている。一方、地下からの物的証拠としての火山噴出物も、特徴とその時系列変化から、噴火メカニズムの理解と活動の推移予測に資することができる。そのため産総研では、火山噴火が発生した場合にいち早くその噴出物の解析を行っている。

桜島火山(第1図)は1955年以降、火口位置や噴火頻度の変化はあるものの爆発的な噴火を繰り返している。特に2008年頃から昭和火口における噴火の頻度は大幅に上がり、2011～2015年にかけては、年間の噴火回数が2014年を除き1000回を超える状態が続いている(気象庁)。産総研は2012年から気象庁鹿児島地方気象台と連携し、桜島火山の火山灰の特徴の記載を継続的に行っている。具体的には、鹿児島地方気象台が定期的もしくは現地観測中に採取した火山灰に対して、基本観察(おもに火山灰構成粒子の種類や粒子タイプごとの含有量などの解析)を行ってその結果を鹿児島地方気象台に報告している。さらに、火山灰の構成粒子などの基礎的な特徴が大きく変化した場合に、いち早くそれを把握することができるように、鹿児島地方気象台で火山灰の処理を行い、画像を撮影、即座に産総研へメール添付で送付する手筈になっている。

気象庁と産総研によるこのような火山灰観察の連携体制が確立された背景には、2011年に発生した霧島新燃岳噴火の苦い思い出がある。この噴火において、1月26日の準プリニー式噴火に先立つ約1週間前の火山灰中にマグ

マ物質が含まれていたにもかかわらず、火山灰の入手に時間がかかったため把握が準プリニー式噴火の前日にまで遅れ、せっかくの火山灰観察成果を噴火推移の予測に結びつけることができなかったのである。産総研との火山灰観察の連携体制が確立する以前、気象庁は、火山灰の解析を業務として行うことを原則としていなかった。火山灰の基本観察の手法を気象庁の担当者と共有する必要が生じたため、産総研は気象庁と情報交換を行い、また、火山灰解析に適した実体顕微鏡の貸与などを行うようになった。さらに定期的に鹿児島地方気象台において産総研の研究者が火山噴出物や火山噴火に関するレクチャーや情報交換を行って、協力体制を補強してきた。本稿では、2014年3月5日に鹿児島地方気象台で実施された研修会(第2図)での、産総研によるレクチャーの概略と、鹿児島地方気象台における火山灰採取、処理、解析方法の紹介の様子を紹介する。



第1図 桜島火山周辺の位置図。

1) 立正大学地球環境科学部地理学科

2) 2011-2014年産総研特別研究員

3) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：気象庁鹿児島地方気象台，研修会，連携，火山灰，桜島火山



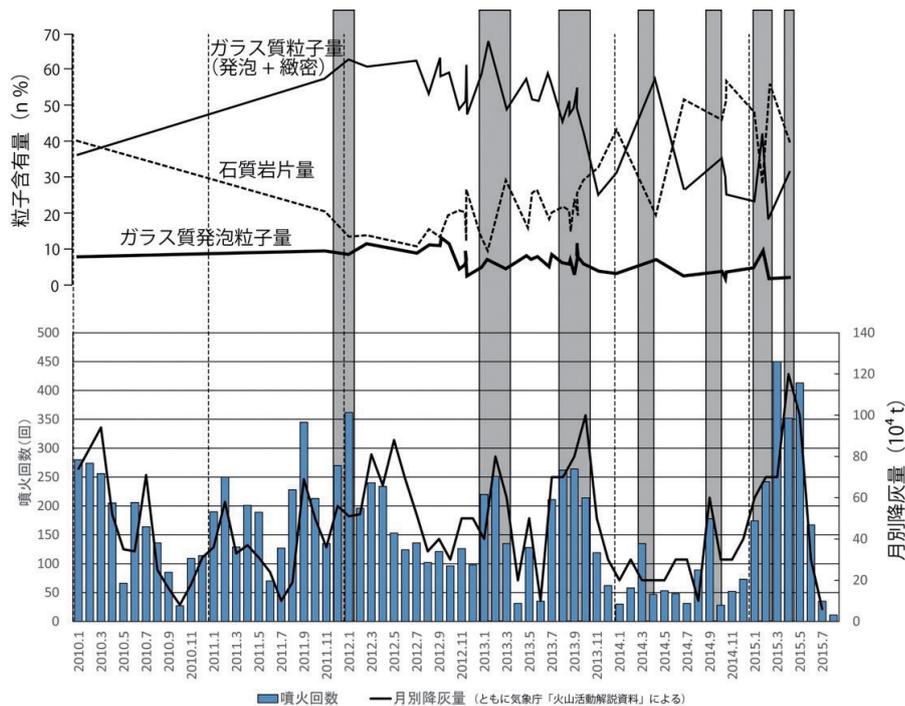
第 2 図 鹿児島地方気象台における研修会での、産総研職員によるレクチャー。

## 2. 火山灰の処理方法およびその意義に関するレクチャー

産総研のレクチャーでは、産総研で行われている火山灰の処理と基本的観察の手法、およびその意義について紹介された。特に鹿児島地方気象台と産総研とで基本的な観察方法を統一することは、高品質のデータ蓄積をはかるうえで重要であるため、産総研における噴出物の採取から処理、解析に至る手法について説明された。試料の採取にあたっては、風などによる降灰後の再移動や異物の混入(コンタミネーション)を防止することや、定面積での試料採

取を行って単位面積当たりの降灰量データを蓄積することが紹介された。鹿児島地方気象台でも試料採取時に定面積での試料採取によって、単位面積当たりの降灰量を求めている。火山灰の処理については、火山灰試料 1~2 g をビーカーにとって水道水を加え、超音波洗浄器で 1 分程度洗浄し、水の濁りがなくなるまで必要に応じて超音波洗浄と水洗を繰り返す手法が紹介された。洗浄が完了した試料は、実体顕微鏡を用いて構成粒子の種類や含有量の観察が行われる。また粒子の種類(ガラス質粒子か岩片か、また気泡の有無、など)の分類を行ったうえで、それらの含有量を求め、構成粒子の時系列変化の解析を行っている(第 3 図)。現在の桜島火山はブルカノ式の単発の爆発的噴火を繰り返しているが、そのような噴火様式が変化、例えば継続的なマグマ噴火に移行する場合、マグマ由来の粒子、特に発泡の良いガラス質粒子の増加など、何らかの構成粒子の変化が起こる可能性があり、それをいち早く検知できることが期待される。

さらに、産総研で行われている火山噴出物の多様な解析によって分かること、すなわち火山灰の解析をすることによって火山噴火のメカニズムを明らかにすることができるなど、火山灰解析の意義に関するレクチャーが行われた。例えば火山灰粒子の表面に付着する水溶性成分や表面の色の変化により、マグマの上昇から火山灰形成、大気中での火山灰のふるまいに至るプロセス、メカニズムに関する知



第 3 図 桜島火山から噴出した火山灰の構成粒子の時系列変化と噴火回数。噴火回数と粒子含有量を結ぶ縦のグレーの帯は、噴火頻度上昇期にガラス質粒子量が増加し石質岩片量が減少することを示している。大石・下司 (2014) に基づく。

見を得ることができることが説明された。

### 3. 鹿児島地方気象台における火山灰採取・処理・撮影

ここでは2014年の研修会で見学した、鹿児島地方気象台における桜島の火山灰の採取、処理と写真撮影の様子について報告する。

コンタミネーションや再移動のない火山灰を採取することは、一連の観察を行う上で重要な出発点である。鹿児島地方気象台のある第2合同庁舎の敷地内には、降灰採取用の金属製のバットが設置されている。ここは桜島火山の南西約11 km地点にあたる。バットの大きさは66.5 × 51.6 cmの長方形(第4図)で、深さは6 cmである。毎朝9時に、バットを交換すると同時に、バット内に堆積した火山灰を採取している。一方、桜島島内の黒神河原(昭和火口から約3 km地点)にも、63 × 47 cmで深さ19 cmのプラスチック製のバット(第5図)が設置されている。



第4図 鹿児島地方気象台で定期的な降灰採取に用いられているバット。



第5図 桜島火山南東山麓の黒神河原に設置されたバット。

これはおもに礫サイズの噴出物の採取を目的としている。礫サイズの噴出物はこのようなプラスチックのバットの底面に着地した際にバウンドして外に飛び出す恐れがある。このため、今回は見学できなかったが、底面に緩衝材を敷いているものもあるという。なお、バットには10 kgの重石が置かれ、風でバットが転動しないようにしてある。また、雨水の排水のための穴が隅に開けられている。

採取された火山灰試料は、火山現業室と呼ばれる室内のスペースに運ばれて処理されている(第6図)。まず大きじ0.5～1杯をピーカーにとって超音波洗浄にかける。約30秒超音波洗浄して水道水ですすぐことを3回程度繰り返す。上澄みの濁りがなくなれば終了とする。数十分といった長時間、超音波洗浄するとガラス粒子の形態が変化するおそれがあるが、鹿児島地方気象台の手法は丁寧かつ必要最小限の洗浄を行っている。なお丁寧に洗浄するのは、2011年霧島新燃岳噴火の際の噴出物を処理する際に、降下火砕物の気泡中のごみを取りたかったことが発端であるという。顕微鏡観察は、携帯型の実体顕微鏡「ニコン製ファール」のうち、デジタルカメラを接続するブラケットが付属するものを用いている。倍率は20倍固定である。光源については、スタンドがついているミニLEDライトを使用している。これを用いて、試料が水で濡れた状態と乾燥状態との2種類の写真を撮影している。

撮影された写真は試料採取状況のレポートとともに産総研の火山灰観察メーリングリストに送られる。産総研では複数の研究者が当番制でこの写真を観察し、構成粒子の種類、マグマ由来と推定されるシャープな形態を有するガラス質粒子の有無や含有量、特に発泡粒子の有無や含有量などに関してコメントを返している(第7図)。必要に応じて、構成粒子の含有比の解析やSEM像撮影、化学組成の



第6図 鹿児島地方気象台の火山現業室にある降灰処理のスペース。

測定、色や付着成分の測定等を目的として、試料そのものの送付を依頼する場合もある。また場合によっては、鹿児島地方気象台への返信だけではなく火山噴火予知連絡会への報告も行われている。

#### 4. おわりに

2014年3月に行われた気象庁鹿児島地方気象台における研修会で、産総研から火山灰処理の実際的な手法とその意義についてレクチャーを行い、鹿児島地方気象台からは火山灰の採取・処理・撮影方法について紹介された。これにより、鹿児島地方気象台で桜島火山を始めとする噴火火山灰の撮影と必要に応じた試料提供、産総研での写真へのコメントや試料分析といった協力関係の情報共有による高品質化がはかられた。

このようにいち早く現地で噴出物試料を採取して即時的な観察・記録を行うことを現地の気象台が担い、それを火山の研究機関や研究者がフォローし、さらに深い解析によって噴火メカニズムを推定するといった、複数機関によ

る連携は、火山噴火の際の防災初動体制を確立する上で重要である。そのために、このような研修会の機会に、実際的な手法に関する情報交換、さらにはそれがどのような意義を持つのかに関する共通意識を持つことは非常に有意義であり、今後もこのような協力関係が質・量ともに発展することが期待される。

気象庁および気象庁鹿児島地方気象台には火山灰解析業務とその研修会、および本稿作成にあたり多大なご協力を頂いている。また火山灰解析業務は地質調査総合センターの多くの火山研究メンバーのチームワークにより遂行されている。関係各位に感謝いたします。

#### 文 献

大石雅之・下司信夫（2014）桜島火山昭和火口噴火の細粒火山灰構成粒子の時系列。日本火山学会講演予稿集，C1-02，102。



第7図 鹿児島地方気象台撮影の写真に産総研からコメントを付して返答したレポートの例。

OISHI Masayuki and MIYAGI Isoji (2016) Cooperation of analysis about volcanic ash between Kagoshima Meteorological Office, JMA and Geological Survey of Japan, AIST, and the report of 2014 meeting.

(受付：2016年4月19日)

# 科学と社会の狭間で：一報道記者として思うこと

濱田哲郎<sup>1)</sup>

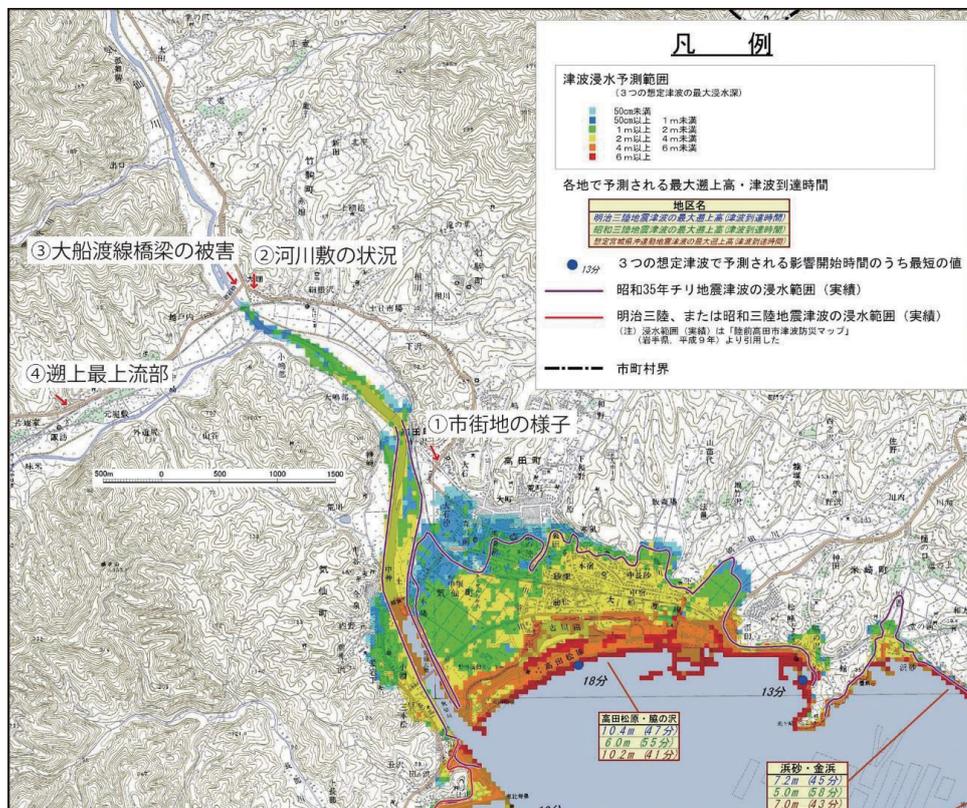
私はこの4月から、町内会の自主防災組織に加わった。地質に関する国立研究所の機関紙に「町内会」とはどういうことだろうと、違和感を持つ方もいるかもしれないが、問題を提起したくてペンを取った次第である。

私は日本放送協会(NHK)の記者として、大半の期間を報道・放送の現場で過ごしてきた。社会部記者時代の取材テーマは環境と医療、そして災害であった。とりわけ災害は、NHK 生活最後の部署の放送文化研究所でも、研究テーマの一つに決めた。

私は誕生日のプレゼントに何がいかと問われ「鉱物標本」と答えるなど、小学生の頃から理科、とりわけ地学が好きであった。記者として最初の地学デビューは、気象台による北海道駒ヶ岳の噴火口調査への同行で、地球の鼓動を足下を感じる体験であった。しかし、記者の地学関係の取材というと、学術分野よりも地震、噴火、気象といった

災害のほうがはるかに多い。主なものでも、地震としては日本海中部地震、北海道南西沖地震、阪神・淡路大震災、新潟県中越地震、東日本大震災など、火山の噴火は、十勝岳、有珠山、三宅島などである。これらのうち、東日本大震災は、地震被害と放送の関係について、放送文化研究所の研究者としての視点で検証することができたが、従来の災害報道に対する私の考え方を根底から覆した。

東日本大震災から1ヵ月半が経った2011年4月27日、京都大学防災研究所の調査チームに同行して現地入りした(第1図)。一関からタクシーで陸前高田を目指したが、いくつかの峠を越えて1時間ほど走ったのち、運転手さんが車を止めて言った。「ここが、津波が遡った最上流部です」と。そこは、山に囲まれた地域(第2図の4)であった。道路わきの大船渡線の線路に上がると、津波の被害に遭った家屋や流されてきた様々な“もの”が、まだそのま



第1図 岩手県津波浸水予測地図(岩手県, 2004)と第2図に示す写真撮影地点。

1) 株式会社 NHK グローバルメディアサービス デジタルニュース部

キーワード：地学、自然災害、防災教育、報道、マスメディア

まだった。そこは陸前高田市<sup>やはぎちやう</sup>矢作町<sup>けせんがわ</sup>、気仙川に注ぐ支流の左岸で、河口から6キロメートルほど遡ったところである。海の気配すら感じられない。私がここに住んでいたとしたら、大津波警報が出されたとしても避難しようとは露も思わない場所である。

震災の前に岩手県が作成した津波浸水予想図(第1図)によると、川の合流地点でも50センチメートル未満、支流にまで遡ることは予想されていなかった。しかし、実際は、合流点のすぐ上流にある唯一通行が可能だった国道

343号線にかかる廻館橋<sup>まあたちぼし</sup>まで津波が押し寄せ、大船渡線の鉄橋も橋げたまで流されている(第2図の2および3)。しかし、廻館橋から上流は被害がほとんど無い。その理由は、川を遡った津波によって流されてきた建物の破片などが廻館橋の橋げたに引っかかり、津波をせき止めた状態になったため、津波が支流へとまわったと考えられた。

私は愕然とした。心配されている南海・東南海・東海地震が起き、大津波が発生したら、こうした地域の住民に避難してもらうためにはどのような放送をすればよいのか、



第2図 東日本大震災の一ヶ月半後の陸前高田の状況。

その答えがとっさには思い浮かばなかったからである。

被害を軽減する方法の一つとして考えられているのが、普段からの啓発と訓練である。それには、地震や津波だけでなく、洪水や土砂崩れ、火山の噴火などの自然現象への基礎的な理解が欠かせない。その理解が十分だといえるであろうか。大地の現象を学ぶのは地学である。しかし、現状はどうであろうか。入試科目に地学がある大学はいくつあるか。多くは無いと思われる。自然現象が人間社会のそばで起きれば災害となる場合がある。自然に恵まれた日本では、自然災害と隣り合わせに生活しているともいえるが、自然現象に対する理解と知識レベルでの災害への備えが十分とは決していえないのが現状ではなかろうか。

そこで考えたことがある。災害と防災を地学の教科の範疇に入れ、災害や防災を学校教育の中で学ぶ機会を増やしてはどうだろうか。小学校から大学までそれぞれのレベルに応じて教えるのである。教育が迅速な避難につながった事例を紹介する。「平常心のバイアス」。ご存知の方も多いと思うが、非常事態に陥っても平常時の延長だと考えたく

なる心理状態のことである。東日本大震災の3ヶ月ほど後、陸前高田市で行った聴き取り調査でもその傾向がうかがえた。避難行動まで時間がかかった方が多かつた中、直ちに行動を起こした人は消防団や自治会活動で災害とその際の行動に深い知識を持っていたのだ。まさに「知識は命を救う」のである。研究者の中には、「地学はサイエンスであり、防災はエンジニアリングだから同一視はできない」とお考えの方もおいでだろう。しかし、国民にとって重要なのは、生命と財産を守ることである。サイエンスとエンジニアリングは、社会にとっていわば車の両輪である。一考を是非お願いしたい。

## 文献

岩手県 (2004) 岩手県地震・津波シミュレーション及び被害想定調査に関する報告書 (概要版), 巻末資料 市町村別津波浸水予測図, 15.



### 濱田哲郎

大阪生まれ。北海道大学水産学部卒業。1981年NHK入局。記者として札幌、北見、京都、報道局社会部で勤務。その後、広島、首都圏放送センター、ラジオセンターでニュースデスク。専門分野は環境、医療、災害。定年前に勤務したNHK放送文化研究所では、より避難行動につながる放送のあり方を陸前高田市をケースとして研究したほか、メディア・リテラシー教育と評価の研究のため立命館大学で1年半にわたり実験授業を実施。現在、株式会社NHKグローバルメディアサービス デジタルニュース部担当部長。Email: hamada-t@tk9.so-net.ne.jp

---

HAMADA Tetsuro (2016) Intermediate between science and general public from the viewpoint of news media.

(受付: 2016年7月4日)



## 平成 28 年度地質調査総合センター新規採用職員研修報告

川畑大作（産総研 地質調査総合センター研究戦略部 研究企画室）

地質調査総合センター（以下、GSJ）では、新規採用の職員を中心に研究の円滑な遂行を目的として新規採用職員研修を毎年 4 月に行っています。研修内容は、GSJ の歴史やミッション、4 ユニット（地質情報研究部門、地圏資源環境研究部門、活断層・火山研究部門、地質情報基盤センター）の紹介、調査におけるコンプライアンスや安全管理、共同利用施設紹介、事務手続き、野外巡検、研究発表会など多岐にわたっています。今年度は常勤職員 10 名ポスドク研究員 8 名、計 18 名が参加しました（写真 1）。ここでは、納谷（2015）同様、平成 28 年度の新規採用職員研修について報告します。

### 研究発表会

4 月 13 日から 4 月 15 日までの諸研修の後、4 月 18 日に新規採用職員による研究発表会を行いました。発表形式は昨年度に引き続きポスドク研究員の発表をポスターセッションとしました。今年度は、常勤職員による口頭発表 9 件とポスドク研究員によるポスター発表 8 件になりました。今年度は発表会の進行は新規採用職員で行い、ポスター発表では 2 分間の概要説明を挟む新たな試みを行いました。以下は当日の発表者と発表題目です。発表内容の多

様性からもわかる通り GSJ の研究分野は多岐にわたっています。研究分野に合わせて研究ユニットが構成されていますが、毎年恒例になっているこの研究発表会は全ての研究ユニットが参加する数少ない機会です。さらに、GSJ 新人としての自己紹介の機会でもあることから、普段の学会などでの発表とは異なる緊張感がありつつも活発な議論が行われていました。

### 口頭発表

伊尾木圭衣（活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ）津波堆積物から求めた 17 世紀北海道巨大地震の断層モデル構築

草野有紀（活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ）陸上地質調査でわかってきた初期島弧火山の発達史  
杉崎彩子（地質情報研究部門 海洋地質研究グループ）海底堆積物の光ルミネッセンス年代測定

伊藤 剛（地質情報研究部門 層序構造地質研究グループ）ペルム紀放射虫の古生物地理：*Pseudotormentus* 属の不均一分布

佐藤善輝（地質情報研究部門 平野地質研究グループ）浜松平野周辺および足柄平野における完新世後期の地



写真 1 平成 28 年度 GSJ 新規採用職員研修に参加されたみなさん（敬称略）。  
前列左から大谷真紀子、浜橋真理、大槻静香、三好陽子、伊尾木圭衣、杉崎彩子、金子雅紀  
後列左から、木下佐和子、高橋幸士、佐藤善輝、伊藤 剛、阿部朋弥、草野有紀、佐藤 稔  
窓左から、中村淳路、岩崎晋弥、綱澤有輝、後藤宏樹

## 形発達過程の復元

後藤宏樹（地圏資源環境研究部門 CO<sub>2</sub> 地中貯留研究グループ）CO<sub>2</sub> の浸入に伴う帽岩の連続的な破壊とシール能力低下の可能性評価

三好陽子（地圏資源環境研究部門 地圏化学研究グループ）粘土鉱物資源であるベントナイトの性能評価手法の研究

金子雅紀（地圏資源環境研究部門 地圏微生物研究グループ）メタン生成場と規模を理解する

高橋幸士（地圏資源環境研究部門 燃料資源地質研究グループ）新生代石炭起源炭化水素ガスの排出タイミング推定法の開発

## ポスター発表

中村淳路（活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ）宇宙線照射生成核種に基づく木曾山脈の隆起・侵食史

大槻静香（活断層・火山研究部門 大規模噴火研究グループ）表面張力による発泡マグマの組織緩和実験：火道増圧過程への意義

佐藤 稔（活断層・火山研究部門 水文地質研究グループ）真三軸応力下で累進変形する堆積岩の透水異方性の評価に関する研究

浜橋真理（地質情報研究部門 地球物理研究グループ）コスタリカ沖前弧ウェッジの固結を支配する隆起過程と沸石沈殿

木下佐和子（地質情報研究部門 地球物理研究グループ）レシーバ関数解析からみた富士山下の地震波低速度領域の分布

阿部朋弥（地質情報研究部門 海洋地質研究グループ）陸上の津波堆積物の粒度・層厚分布を用いた津波の水利条件の逆解析法

岩崎晋弥（地質情報研究部門 海洋環境地質研究グループ）海洋酸性化が浮遊性有孔虫の殻形成に与える影響の評価 ～マイクロフォーカス X 線 CT を用いた有孔虫殻状態の定量化～

綱澤有輝（地圏資源環境研究部門 鉱物資源研究グループ）資源処理の高度化を目的とした離散要素法の応用に関する研究

## 野外巡検

4月19日には、野外巡検が行われました。巡検では地質情報研究部門平野地質グループの中島 礼氏と地質情報研究部門地殻岩石研究グループの佐藤大介氏が案内を担当し、新規採用職員14名が参加しました。巡検コースは昨年と同様、つくば周辺の代表的な地質を見学するツアーで、今年も茨城県稲敷郡美浦村馬掛<sup>みほまがき</sup>の最終間氷期の浅海成層を観察するところから始まりました。中島氏による露頭の説明を受けながら、参加者はそれぞれ堆積環境や地殻変動について考察し議論を行いました(写真2)。昼食を挟んでJR 稲田駅(茨城県笠間市)に隣接する「石の百年館」を見学しました。この施設で茨城県の石である花崗岩を始めとした様々な石材を見学した後、採石を行っている、(株)想石の採石場に移動しました。ここは通称「稲田石」と呼ばれる花崗岩を採石しており、モニュメント作品も展示されています(写真3)。

続いて、南下して「真壁トライアルランド」にて花崗岩



写真2 茨城県稲敷郡美浦村馬掛での露頭観察の様子。



体の貫入関係について観察を行うとともに佐藤氏による解説があり、貫入の順序に関する議論を行いました。筑波山方面へ移動し筑波山の地形と地質の概要について説明を受けた後、筑波山梅林にて関東平野の地形観察を行いました。最終観察地点のつくば市上菅間<sup>かみすがま</sup>では桜川の河原の露頭観察を行いました。堆積している礫層について観察があり、その起源や環境変遷について解説がありました(写真4)。

## まとめ

本報告ではGSJの新規採用職員研修について述べました。GSJの研修の前には、約2週間の産総研全体の研修があり、新規採用職員は1ヶ月弱を研修で過ごすことになっています。一刻も早く研究に専念したい時期でもありますが、長い目で見れば、組織概要からアウトリーチまでを非常に短期間で学ぶことができたのではないのでしょうか。また、研究発表会では、GSJの様々な研究分野の専門家に研究内容を聞いてもらい、別な視点から自分の研究を見る

良い機会になります。地質標本館の説明員研修や巡検などでは、自分の研究分野についてわかりやすく説明することの難しさ、楽しさを再認識していただけたのではないかと思います。これらの経験はなかなか得がたいものです。

最後に、研修を実施するにあたり、各研究ユニット、第七事業所研究業務推進室の皆様には講義や見学、実習など研修の実施に多大なご協力をいただきました。また巡検においては中島 礼氏、佐藤大介氏に企画、準備、案内などご協力をいただきました。前任者の納谷友規氏には研修全般に関わるアドバイスをいただきました。円滑な研修実施に協力していただいた新規採用職員の皆様も含め、研修にご協力いただいた皆様にご礼申し上げます。

## 文献

納谷友規(2015)平成27年度地質調査総合センター新規採用職員研修報告。GSJ地質ニュース, 4, 214-216.



写真3 野外巡検の集合写真。

写真4 茨城県つくば市上菅間での露頭観察の様子。



# 首都をささえる 地質情報展2016とうきょう 大地のしくみ

2016年9月  
10(土)・11(日)・12(月)

時間 10:00～17:00  
(12日は16:00終了)

会場 日本大学文理学部3号館  
世田谷区桜上水 3-25-40

**入場無料**

東京都および周辺地域の地質をはじめ、地盤、地震、火山、資源などに関する最新の「地質学」の成果をわかりやすく展示・解説します。

小学校入学前のお子様から大人まで、皆さんに楽しみながら「地質」を学んでいただけるイベントです。

また、さまざまな「体験学習コーナー」を用意しており、実験や実演を通じて「地質学」をわかりやすく学ぶことができます。

ぜひ、「地質情報展2016とうきょう」にご来場ください。

同時開催 (日本地質学会主催)

市民講演会「ジオハザードと都市の地質学」  
9月11日(日) 14:00～16:30

小さな Earth Scientist のつどい  
第14回 小、中、高校生徒「地学研究」発表会  
9月11日(日) 9:00～15:30

「地質情報展2016とうきょう 首都をささえる大地のしくみ」は、平成28年度科学研究費補助金研究成果公開促進費補助事業です。

主催：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  
一般社団法人 日本地質学会

共催：日本大学文理学部

後援：東京都、世田谷区、世田谷区教育委員会、全国地質調査業協会連合会、  
日本ジオパークネットワーク、下高井戸商店街振興組合

【問い合わせ先】

産業技術総合研究所 地質調査総合センター  
TEL：029-861-3540  
Email：johoten2016jikko-ml@aist.go.jp  
URL：https://www.gsj.jp/event/johoten/



#### GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 岡井貴司  
副委員長 中島礼  
委員 中嶋健  
星野美保子  
竹田幹郎  
山崎誠子  
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5巻第8号  
平成28年8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 前田印刷株式会社

#### GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : Takashi Okai  
Deputy Chief Editor : Rei Nakashima  
Editors : Takeshi Nakajima  
Mihoko Hoshino  
Mikio Takeda  
Seiko Yamasaki  
Junko Komatsubara  
Yuichiro Fusejima  
Rie Morijiri

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. 5 No. 8  
August 15, 2016

**Geological Survey of Japan, AIST**

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

Maeda Printing Co., Ltd

