

# GSJ 地質ニュース

GSJ CHISHITSU NEWS

～地球をよく知り、地球と共生する～

2014

10

Vol. 3 No.10

特集：福島再生可能エネルギー研究所（FREA）の地熱・地中熱研究



御嶽山, 2014年9月の噴火(速報) — 上空観察および報道映像から見る火口周辺の状況と火砕流の分布 —	中野 俊・及川輝樹・山崎誠子・川辺禎久	289~292
---	---------------------	---------

口絵

産総研 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) 紹介	安川香澄	293~294
産総研 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) 地熱チーム紹介	浅沼 宏・安川香澄	295
産総研 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) 地中熱チーム紹介	内田洋平・安川香澄	296

特集：福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) の地熱・地中熱研究

産総研 福島再生可能エネルギー研究所 — 再生可能エネルギーの大量導入の早期実現を目指して —	安川香澄・浅沼 宏・内田洋平・阪口圭一	297~302
地熱研究紹介	浅沼 宏	303~307
地中熱研究紹介	内田洋平	308~311

「巨大地震の後に火山噴火」は俗説か？	須藤 茂	312~315
誕生石の鉱物科学 — 10月 トルマリン —	奥山康子	316~317
新刊紹介 世界の砂図鑑：写真でわかる特徴と分類	七山 太	318

● ニュースレター

2013年度第4四半期(2014年1月~3月)および2013年度全体の地質相談報告	下川浩一	319~321
新人紹介 最首花恵(再生可能エネルギー研究センター), Gaurav SHRESTHA(再生可能エネルギー研究センター), 石橋琢也(再生可能エネルギー研究センター), 小畑建太(地質情報研究部門), 宇都宮正志(地質情報研究部門), 古山精史朗(地質情報研究部門), 遠藤俊祐(地質情報研究部門)		321~324

表紙説明

産総研 福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) の研究本館

福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) は 2014 年 4 月に正式オープンし、産総研の 10 番目の拠点となった。2014 年 3 月 24 日撮影。(写真・文：安川香澄<sup>1)</sup> 1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター)

Cover Page

Main building of Fukushima Renewable Energy Institute, AIST.( Photograph and caption by Kasumi Yasukawa ).



# 御嶽山，2014年9月の噴火（速報）

— 上空観察および報道映像から見る火口周辺の状況と火砕流の分布 —

中野 俊<sup>1)</sup>・及川輝樹<sup>1)</sup>・山崎誠子<sup>1)</sup>・川辺禎久<sup>1)</sup>

長野・岐阜県境の御嶽山において2014年9月27日午前11時52分頃（気象庁発表）に水蒸気噴火が発生し（写真1），火山灰は主に東方へ流れ（写真2，3），山梨県まで達しました。レーダーエコー像に基づく推定によると，

最大噴煙高度は火口上7,000 mに達し，主に監視カメラなどの映像から火砕流の発生も確認されました。秋の行楽シーズンで天候に恵まれた週末の昼頃であったため，山頂付近には多くの登山客がおり，多数の死者・負傷者がでる



写真1 南方上空から見た噴煙を上げる火口群。中央の谷が地獄谷。火砕流は地獄谷および北西の斜面を流下した。白色噴煙が卓越。中日新聞社ヘリより28日11時59分撮影。



写真2 御嶽山の東斜面を南東上空より見る。左の火口から写真右下方へ灰色になった火山灰の厚い分布域が明瞭に広がる。右（北）が継子岳，左端（南）が剣ヶ峰。その間にいくつもの火口が南北に並んで稜線を形成している。細粒の火山灰は山梨県まで到達したことがわかっている。写真下中央やや左に御岳ロープウェイの終点（飯森駅）がある。読売新聞社ヘリより28日11時16分撮影。

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：御嶽山，噴火，火山，御岳火山，水蒸気噴火，火山灰，火砕流





写真3 南西遠方より見る御嶽山（左端）から南-南東へ流れる噴煙。右奥の山脈は中央アルプス。噴煙は複数の層になって流れていることが明瞭に確認できることもあった。噴煙は火山ガスが主体で火山灰は少量。読売新聞社ヘリより28日15時57分撮影。



第1図 2014年9月27～28日に確認された火口位置を1997年7月1日撮影写真に記入。番号は火砕丘が形成された火口（写真4参照）。1979年火口列および写真撮影時に確認した噴気地点も示した。地獄谷上部は岩石の変質が進み、もろくて崩れやすく、火口の位置は正確ではない。

悲惨な状況となってしまいました。御嶽山における同程度の噴火は、1979年に発生した水蒸気噴火以降、初めてです。産総研では、噴火後速やかに複数の緊急調査班を組織し、いくつかの調査を実施しましたが、ここでは速報として、噴火翌日の28日に読売新聞社と中日新聞社、30日にテレビ東京の報道ヘリに同乗した際の撮影画像と、テレビやインターネット上に掲載された映像を含めて推定した火口や火砕流の分布について概略を報告します。

今回の噴火の火口群は、御嶽山の最高峰（剣ヶ峰）の南方、地獄谷の源頭部から剣ヶ峰西方にかけて、1979年火口列の南西側に、それとほぼ平行に、北西から南東方向に伸びる向きに形成されました（第1図）。1979年火口列からの噴気は、今回の噴火の前後で顕著な変化は認められません。



写真4 地獄谷中心部の火口付近。番号は火口の周囲に火砕丘が確認された火口（第1図参照）。このうち1の噴煙活動はこの時点ではほぼ停止状態。読売新聞社ヘリより28日11時25分撮影。





写真5 最も西側に形成された山頂西方の火口列。噴煙の右に舌状の泥流(?)堆積物が認められる。読売新聞社ヘリより28日11時39分撮影。



写真6 南方上空から見た地獄谷の火口と噴煙。写真下部、地獄谷右岸上部の小規模な噴気は1979年噴火以前から確認されていたもの。テレビ東京ヘリより30日16時43分撮影。

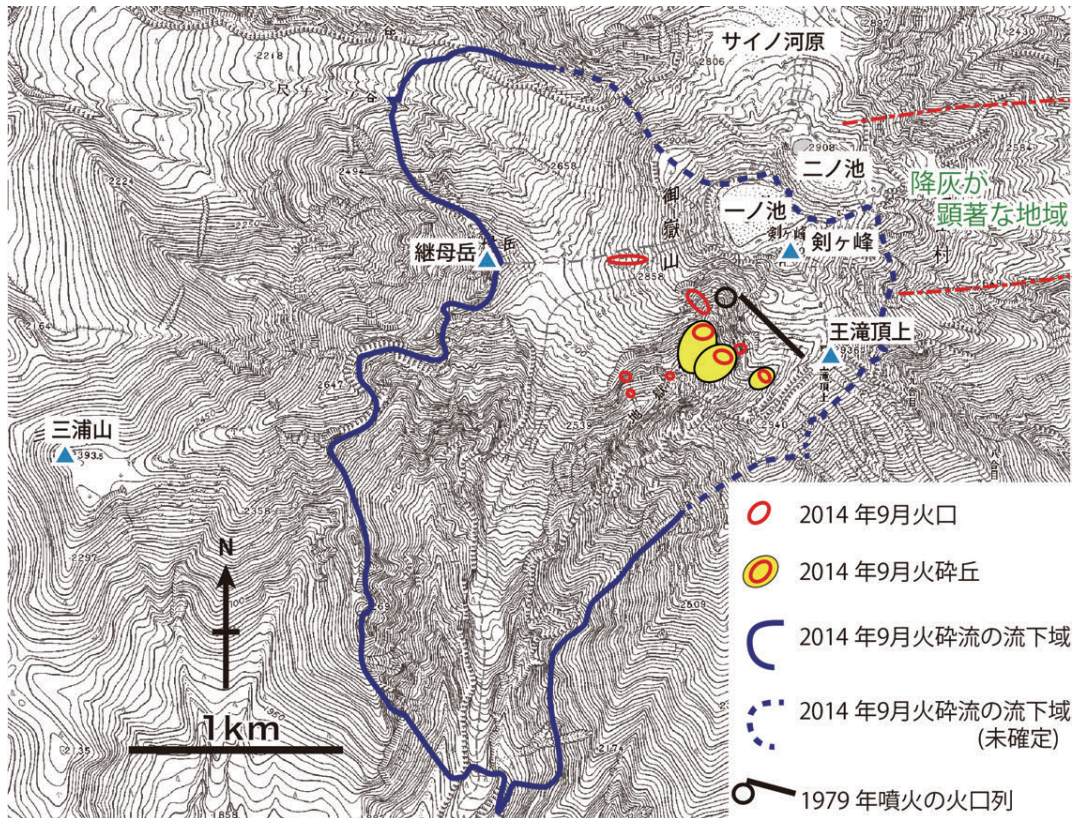


写真7 剣ヶ峰南方の地獄谷を流れ下った火砕流の跡(白い変色域)。中日新聞社ヘリより28日8時17分撮影。



写真8 剣ヶ峰北西の兵衛谷上流部を流れ下った火砕流の到達域。写真下端付近まで白色になっている。読売新聞社ヘリより28日16時07分撮影。





第2図 御嶽山 2014年9月噴火の火口分布と火砕流の分布（暫定）。地形図は「国土地理院数値地図 25000（地図画像）御嶽山」の一部を使用した。



写真9 地獄谷を流れ下った火砕流の先端部。火砕流到達域での樹木の延焼や損傷は認められない。読売新聞社ヘリより28日11時38分撮影。

28日の上空からの観察で、地獄谷内の3つの火口に小規模な火砕丘が形成されていることを確認しました（写真4）。1979年噴火では火口周辺に火砕丘は形成されなかったことから、今回の噴火では火口近傍により多量に噴出物がたまったと考えられます。また、一部の火口から泥流状のものが流れ出ていることが確認されました（写真5）。山頂部の一ノ池火口底や八丁たるみには、噴石落下による直径最大1mを超える多数の衝突痕が認められました。

噴煙高度は、28日午前中は火口上800～500m程度でしたが、同日正午前後以降には300～200m程度に減少しました。30日も300～200m程度でした（写真6）。

火砕流の流下によると考えられる、火砕物により白く変色した地域は、地獄谷および北西の谷に沿って分布しています（写真7、8；第2図）。火砕流の流下距離は、火砕丘を伴う火口から地獄谷沿いで約2km、北西側の兵衛谷源頭部に約1.5kmです。そのほか、王滝頂上東側や剣ヶ峰東側の谷沿いにも、火砕流が流れたと考えられる噴出物の厚い地域が認められました。これらの火砕流が通過したとみられる地域では樹木の損傷や火災、炭化は認められません（写真9）。そのため、火砕流自体は樹木を焦がすほどの温度ではなかったと推定されます。なお、この現象を火砕流と呼ぶか否か、専門家の間でも議論が分かれるでしょうが、ここでは火砕サージを含めた広義の用語として「火砕流」を用いています。

この原稿執筆時点で、国内の火山噴火としては1926年の十勝岳噴火以降最悪の犠牲者数に達し、自衛隊・警察・消防の方々などによる救出活動・行方不明者捜索はいまだに続いています。今後の噴火活動も見通せない状況です。亡くなられた皆様のご冥福をお祈りするとともに、被災された皆様やご家族の皆様にご心よりお見舞い申し上げます。上空観察の機会をいただいた読売新聞社、中日新聞社およびテレビ東京に感謝します。

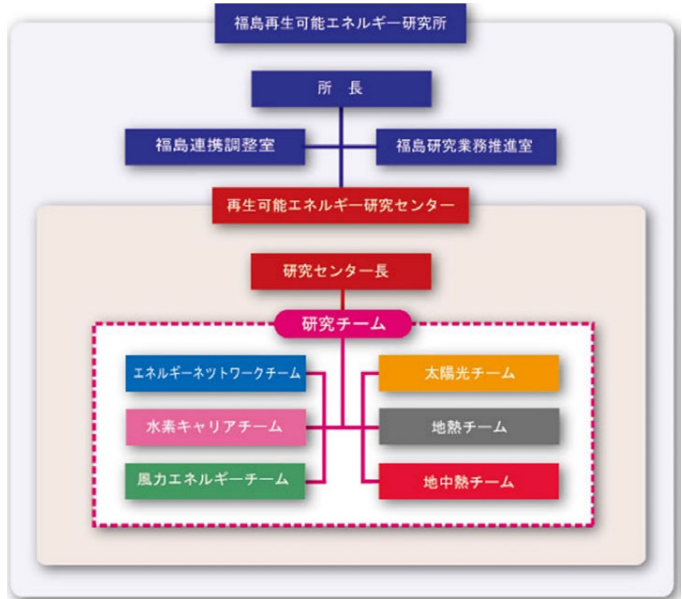
NAKANO Shun, OIKAWA Teruki, YAMASAKI Seiko and KAWANABE Yoshihisa (2014) Eruption of Ontakesan in September, 2014.

（受付：2014年10月8日）



# 産総研 福島再生可能エネルギー研究所(FREA)紹介

< 安川香澄<sup>1)</sup> >



FREA組織図.



←福島再生可能エネルギー研究所の位置:  
福島県郡山市西部第二工業団地内  
(赤い部分は西部第二工業団地)

産総研の福島再生可能エネルギー研究所は、2014年4月、福島県郡山市に開所しました。福島再生可能エネルギー研究所は、「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」を大きな使命とし、国内外から集う様々な人々と共に、再生可能エネルギーに関する新技術を生み出し発信する拠点を目指しています。

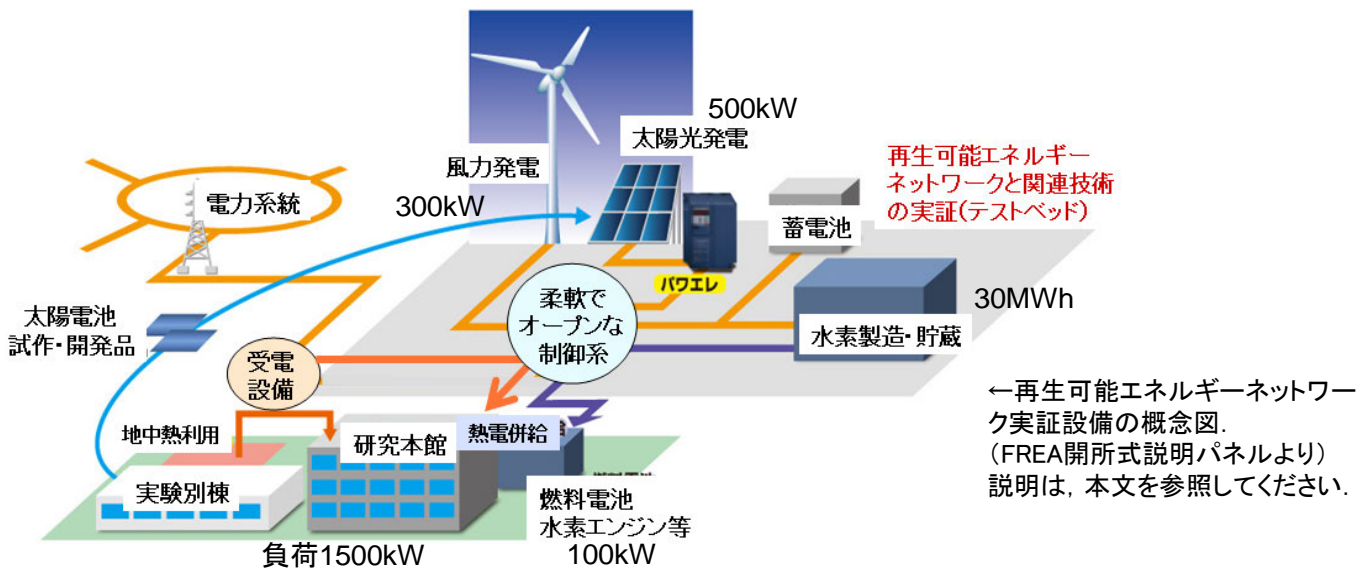


FREA全体の航空写真(2014年7月撮影)。風車および太陽光パネルが見えている部分が実証フィールド。風車は定格出力300 kW、太陽光パネルは全部で2000枚、500 kW。右手前が研究本館、左が実験別棟。

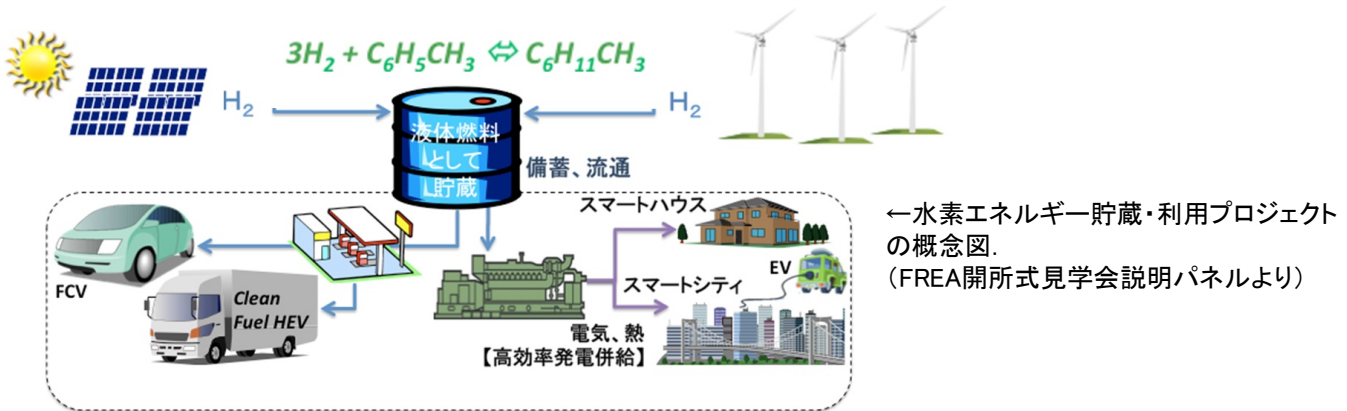
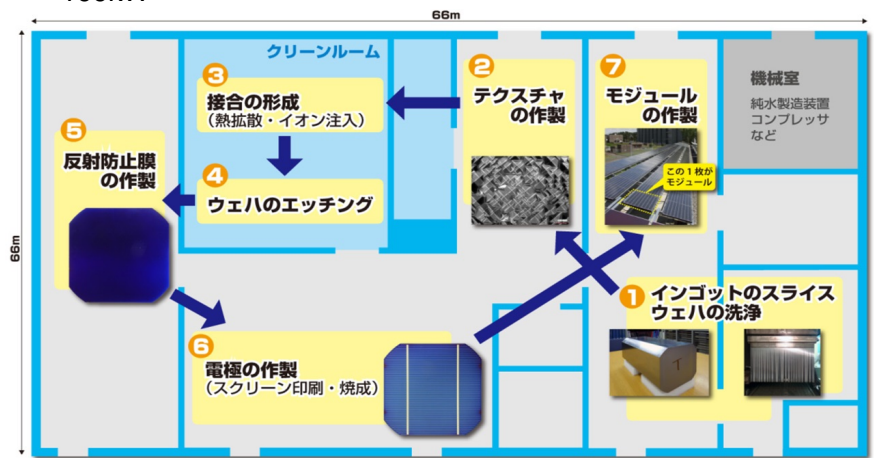
1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

YASUKAWA Kasumi (2014) Introducing Fukushima Renewable Energy Institute, AIST (FREA).

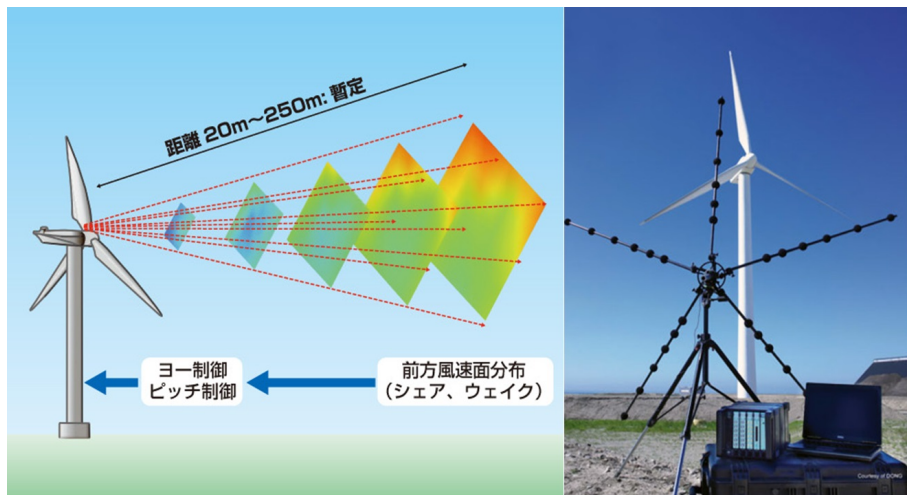




→一次世代結晶シリコン太陽電池(セル・モジュール)の一貫製造ライン。(FREA開所式見学会説明パネルより)



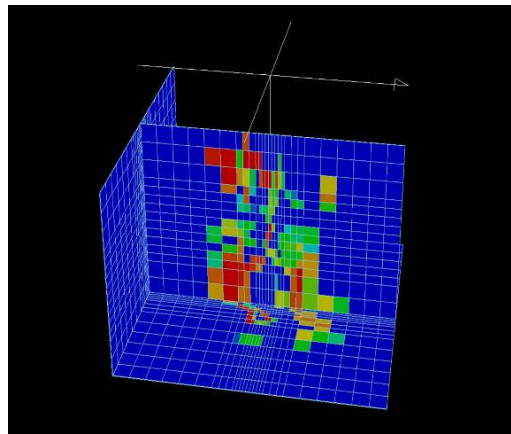
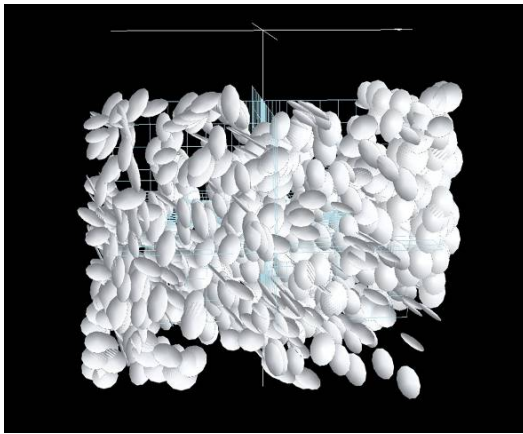
→LIDAR利用による高性能化研究(左)と音計測システム(右)。(FREA開所式見学会資料より)





# 産総研 福島再生可能エネルギー研究所(FREA)地熱チーム紹介

< 浅沼 宏<sup>1)</sup>・安川香澄<sup>1)</sup> >

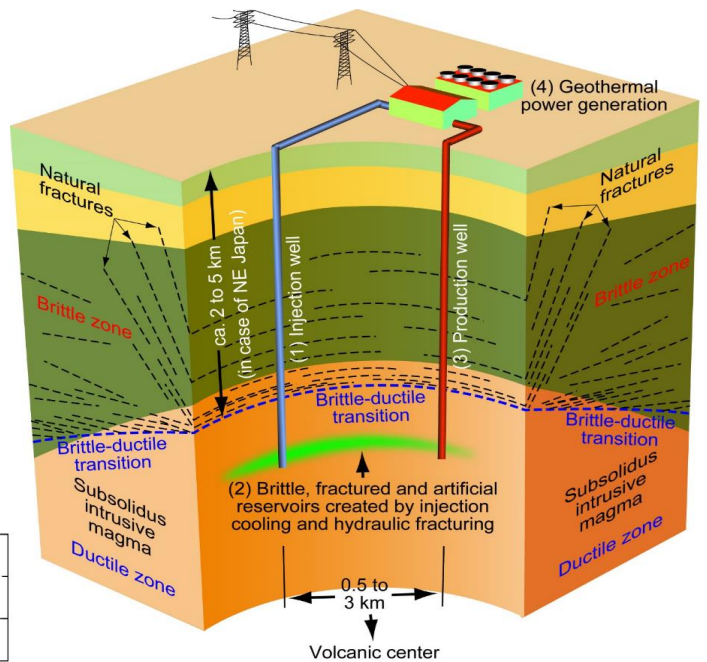
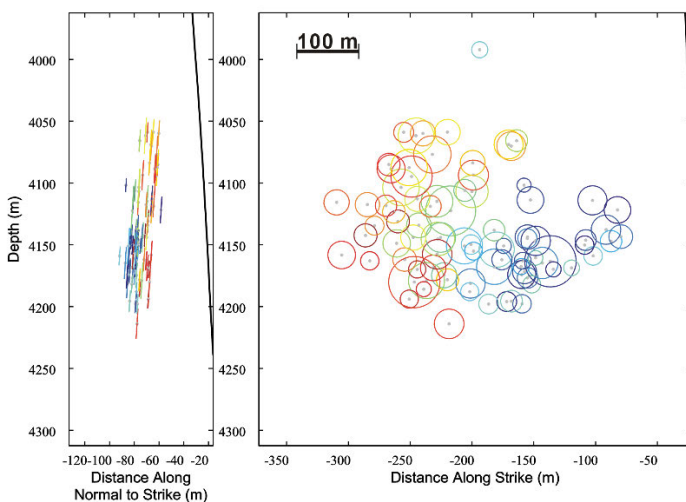
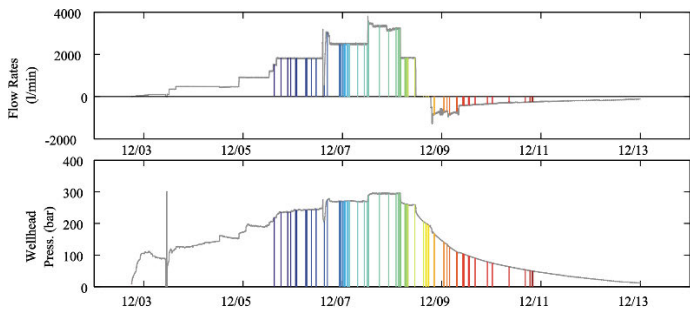


←人工地熱貯留層造成シミュレータ。

地熱チームで開発した、地下への加圧注水による人工地熱貯留層造成シミュレータ。岩石力学に基づくシミュレーションにより、様々な地下条件、開発目的に対応した貯留層の形成、微小地震の発生、抽熱特性等を評価可能です。

## ↓誘発微小地震の超解像マッピング。

浅沼地熱チーム長らによる、人工貯留層造成時に発生した誘発微小地震の超解像マッピング結果(Asanuma *et al.*, WGC2010)。波形の類似性を利用した高度な解析を適用することにより、地下の亀裂の中を加圧された水が伝わり、亀裂の透水性が改善されていく様子がわかります。このような高度モニタリングを実現するためには、センシングシステムの開発、モニタリング計画の立案、高度解析等の一連の技術を有している必要があります。地熱チームのメンバーは、EU、スイス、オーストラリア等の地熱開発プロジェクトに参画し、現地で、貯留層造成時のリアルタイムモニタリングを実施してきた実績があります。



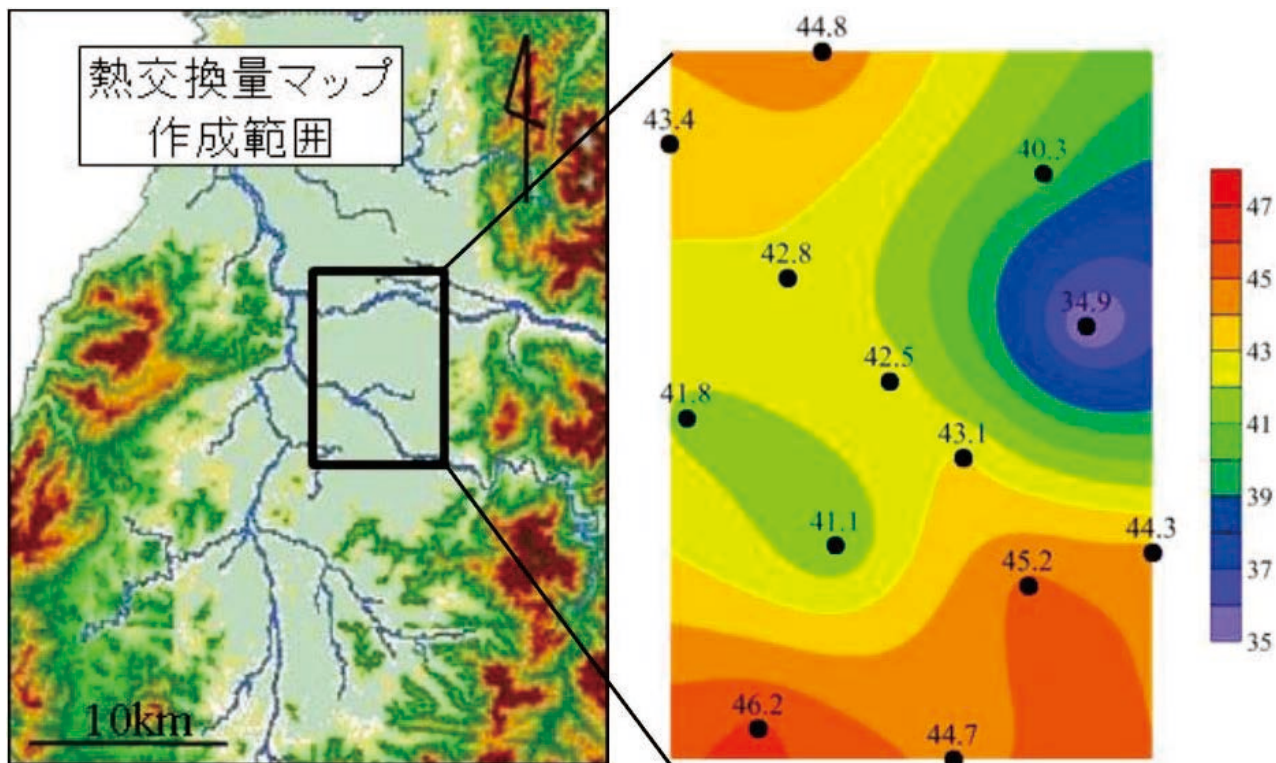
## ↑JBBP概念図。

これまで人類がほぼ未到達であった、深部基盤岩内の脆性-延性境界での工学的地熱開発を目指すJBBP (Japan Beyond-Brittle Project)の概念図。JBBPが成功すれば、資源の不確定性の低減、開発可能地域の飛躍的拡大、妥当な発電コスト、温泉との共生等、これまで地熱開発の阻害要因とされてきた課題の多くが解決する可能性があります。脆性-延性境界が浅部に存在す北海道、東北地域において本手法は特に有効な開発手段になると考えています。本プロジェクトには産総研、東北大を中心とする内外の研究者が参画しており、ICDP(国際陸上科学掘削プロジェクト)の枠組みを利用した試験井の掘削を目指しています。

1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

ASANUMA Hiroshi and YASUKAWA Kasumi (2014) Overview of research activities in Geothermal Energy Team(GET), FREA.

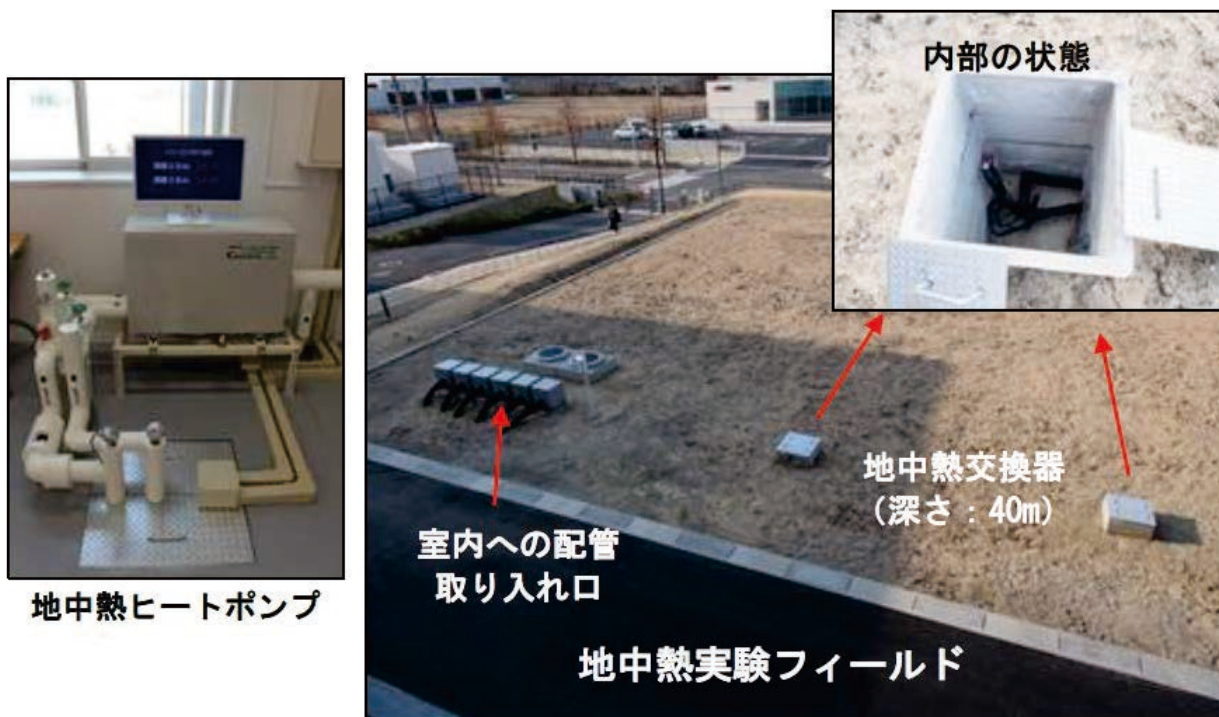




地中熱ポテンシャルマップの作成例(単位:W/m).

福井平野の地下水調査や地質データに基づき、地下水流動と地下温度構造などを正確に表現できる3次元モデルを構築した後、モデル上の福井市を中心に交換量を計算し、地中熱ポテンシャルマップ(右)を作成しました。今後は、福島県を中心とした東方地域で同様なマップを作成します。

出典:吉岡真弓・内田洋平・與田佑季・藤井 光・宮本重信(2010) 地中熱利用適地の選定方法 その2 地下水流動・熱輸送解析を用いた熱交換量マップの作成. 日本地熱学会誌, 32, 241-251.



福島再生可能エネルギー研究所内の地中熱実験フィールド。つくばセンター・地質標本館と同じ仕様の地中熱システムを導入し、地質や地下水の流れが異なると、地中熱システムにどのような影響を与えるかを実証試験しています。

1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

UCHIDA Youhei and YASUKAWA Kasumi (2014) Overview of research activities in Shallow Geothermal and Hydrogeology Team(SGHT), FREA.



# 産総研 福島再生可能エネルギー研究所 —再生可能エネルギーの大量導入の早期実現を目指して—

安川香澄<sup>1)</sup>・浅沼 宏<sup>1)</sup>・内田洋平<sup>1)</sup>・阪口圭一<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

産総研の福島再生可能エネルギー研究所（以下、FREA）は、2014年4月、福島県郡山市に開所しました（第1図）。福島再生可能エネルギー研究所は、「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」を大きな使命とし、国内外から集う様々な人々と共に、再生可能エネルギーに関する新技術を生み出し発信する拠点を目指しています。

産総研はFREA開所に先立つ2013年10月1日、新たな研究ユニットである再生可能エネルギー研究センターを、産総研つくばセンター内に発足させました。それに伴い、2001年の産総研発足以来、地圏資源環境研究部門で行われていた地熱・地中熱の研究の大部分は、この再生可能エネルギー研究センターの地熱チーム、地中熱チームで行われることになり、地圏資源環境研究部門から合計7名の研究員が同センターへ所属変更になりました。その後、2014年3月までに、再生可能エネルギー研究センターのメンバーは郡山市に移り、4月のFREA開所に備えました。このようにしてFREAは、産総研の10番目の拠点としてオープンしたのです（写真1）。

## 2. 経緯

それでは、なぜこの時期に新たな研究拠点が、しかも産総研の下にさらに「福島再生可能エネルギー研究所」という正式名称を持ってオープンしたのでしょうか？

2011年3月の東日本大震災の後、同年7月の「東日本大震災からの復興の基本方針」および「エネルギー基本計画」などの国の方針を受け、福島県に再生可能エネルギーの技術開発から実証までを行う研究開発拠点を整備し、世界に開かれた研究開発を推進することが決まりました。また、同方針には、新産業の集積を通して復興に貢献することも謳われています。

このため産総研は、2012年1月に、郡山市の西部第二工業団地への研究所新設を決定しました。それから設計および施工業者の選定を行い、2012年11月には郡山市との協力協定を結び、2012年12月に着工。そして、研究所新設の決定からわずか2年足らずの2013年12月末までに、本館、実験棟等の研究棟がすべて完成というスピード建設が行われました。震災復興のため資材や労働力が不足する中、特別に優先して作業してもらったとのことでした。こうして、2014年1月に竣工し、建設業者から産総



第1図 福島再生可能エネルギー研究所の位置。



写真1 FREA 研究本館。

1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：福島再生可能エネルギー研究所、再生可能エネルギー研究センター、エネルギーネットワーク、太陽光、風力、水素キャリア、地熱、地中熱





写真2 FREA全体の航空写真(2014年7月撮影)。風車および太陽光パネルが見えている部分が実証フィールド。風車は定格出力300kW、駒井ハルテック社製。ナセル(風車の軸受け、タービンがある部分)までの高さは42m、羽根の長さは16.5m。太陽光パネルは全部で2000枚、500kW。左列の200kW分では、国内メーカー8社、10種類のパネルの効率を比較している。中央列および右列の300kW分は、Qセルズ社製。



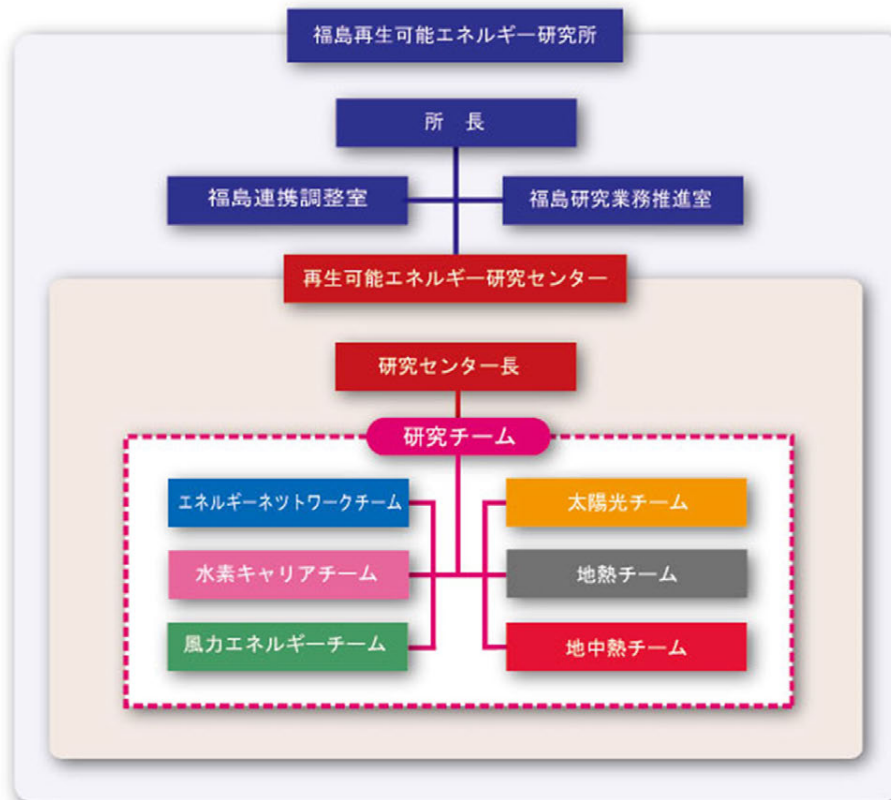
写真3 2014年4月19日、開所式の後にFREAにて撮影した職員集合写真(東京本部、つくばセンターからの助っ人を含む)。

研に建物が受け渡されると、今度は4月のオープンを目指して大型実験設備の搬入や、実証フィールドへの風車や大量の太陽光パネルの設置が急ピッチで進められました。この冬は、異例の寒さと大雪でしたので、極寒と強風の中で屋外作業が行われたのです。ちなみに、FREAの敷地面積は55,000m<sup>2</sup>、101億円(平成23年度補正予算)の初期整備総工費が費やされました。

こうして完成したFREAは、福島県の「福島県復興計画」(2011年12月)および政府の「エネルギー基本計画」(2014年4月閣議決定)において、福島が再生エネルギー産業の拠点として発展していくための重要施設と位置づけ

られています。2014年4月19日には、政府要人等を招いた大々的なFREA開所式が執り行われました。開所の日には晴天に恵まれ、適度の風も吹いていたため、300kWの風車と500kWの太陽光パネルは、定格出力に達した状態で、お披露目することができました(写真2, 3)。FREAでは、個々の再生可能エネルギー技術を向上させるとともに、それらを組み合わせて利用する場合の制御技術とエネルギー貯蔵技術を所内で運用していくことで、再生可能エネルギー大量導入社会に向けた技術実証を行っていきます。





第2図 FREAの組織図（産総研ホームページ [http://www.fukushima.aist.go.jp/ja/02\\_outline/02\\_outline.html](http://www.fukushima.aist.go.jp/ja/02_outline/02_outline.html) より；2014/08/20 確認）。

### 3. FREAの組織

FREAの組織は、大和田野芳郎所長および2名の所長代理（宗像鉄雄，近藤道雄），福島研究業務推進室および福島連携調整室，そして再生可能エネルギー研究センターから成ります（第2図）。福島研究業務推進室は，一般的な事務関係の業務，福島連携調整室は産学官の連携や視察対応など外部と関係した業務を行っています。研究を行うのは，再生可能エネルギー研究センターです。再生可能エネルギー研究センターは，地質情報研究部門や地圏資源環境研究部門などと同じ「研究ユニット」の位置づけです。

この再生可能エネルギー研究センターは，大和田野芳郎センター長（所長と兼任），古谷博秀副センター長，安川香澄総括研究主幹の3役と，エネルギーネットワーク・チーム，太陽光チーム，風力チーム，水素キャリアチーム，地熱チーム，地中熱チーム，という6つの研究チームで構成されます。研究チームのうち，前者4つは，産総研内の「分野」分けでは「エネルギー・環境分野」に属しますが，地熱チームと地中熱チームは「地質分野」に属しており，同じ研究ユニット内で所属分野が異なるという異例の体制となっています。そのため，研究テーマの設定などに関して，地熱チームと地中熱チームは，地質分野の企画室と，エネ

ルギー・環境分野の企画室との双方と連携しながら，研究を進めています。

### 4. FREAにおける研究

再生可能エネルギー研究センターでは，再生可能エネルギーの「発電量が不安定」「発電コストが高い」「予測の難しさ」などの課題を解決するための研究を進めていきます。再生可能エネルギーの大量導入のためには，時間的に大きく変動する，コストが高い，場所ごとに適切な技術の選択が必要，などの課題を解決する必要があります。このため，当研究センターでは，研究拠点に設置する実証フィールドを有効に活用し，以下の研究開発を中心に進めます。

- ・水素や蓄電池等のエネルギー貯蔵とパワーエレクトロニクスを駆使した統合システム技術を開発し，時間的に変動する大量の再生可能エネルギーを活用する技術モデルの実証研究
- ・軽量安価な太陽光発電モジュール等，大幅なコストダウンを実現する革新的技術の研究開発
- ・健全な技術普及と社会の受け入れを目的とした，地熱，地中熱などの再生可能エネルギーデータベースの構築と提供



これらの内容を、研究チーム毎に紹介すると、以下のようになります。

#### 4.1 エネルギーネットワーク・チーム (チーム長：大谷謙仁)

「再生可能エネルギーネットワークの開発・実証」を行います(第3図)。太陽光や風力による発電は、天候や季節によって出力が変動する一方で、電力需要の方も、時間帯や曜日、季節によって変動します。これを上手にバランスさせるための技術を開発・実証していきます。

福島再生可能エネルギー研究所へ太陽光発電、風力発電を高密度・集中的に導入し、研究所の電力需要の半分を再生可能エネルギーで供給します。将来の実証実験では100%の電力自給を目指します。スマートグリッド、マイクログリッドの模擬実験設備を企業等に開放し、インバータや蓄電池などプロトタイプの実験評価のためのテストベッドとしても活用してもらう予定です。

#### 4.2 太陽光チーム(チーム長：高遠秀尚)

「薄型結晶シリコン太陽電池モジュール技術」を開発します(第4図)。

薄くて軽く、高性能な太陽光パネルを開発することにより、太陽光発電による発電電力量コスト10円/kWhを目標に、徹底的にコストを下げます。薄いことは材料費の削減、軽いことは輸送費や設置費用の削減という形で、直接的にコスト低下につながります。

高効率と省資源を達成する薄型(80 $\mu$ m)結晶シリコン太陽電池を、量産レベルで試作可能な研究開発環境を構築します。

低コスト・軽量モジュールの開発を、コンソーシアム形式(参画企業20社)で実施します。

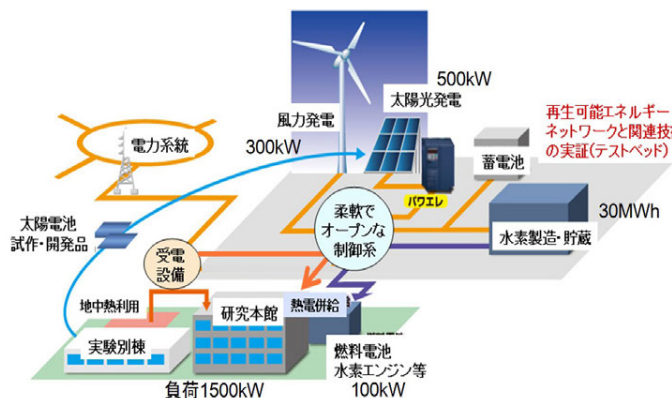
素材、製造装置、評価装置など様々な業種の企業との共同開発を推進します。

福島大学による極薄太陽電池、JSTによる量子効果(ナノワイヤー)太陽電池の開発とも連携します。

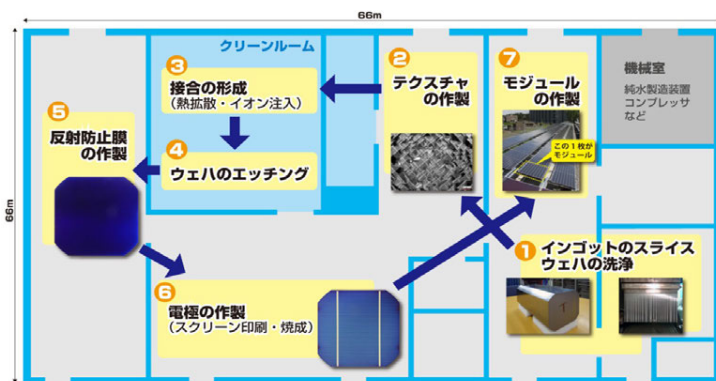
#### 4.3 風力チーム(チーム長：小垣哲也)

「高効率風車技術およびアセスメント技術」を開発します(第5図)。

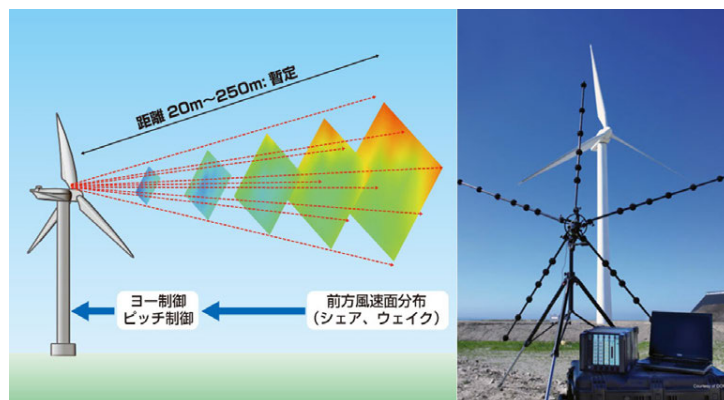
風力発電の導入拡大のため、高度な風・騒音技術の開発、およびそれらを利用した風車予測技術を開発す



第3図 再生可能エネルギーネットワーク実証設備の概念図(太陽光発電、風力発電は導入済)。FREA 開所式見学会資料より。



第4図 次世代結晶シリコン太陽電池(セル・モジュール)の一貫製造ライン。FREA 開所式見学会説明パネルより。



第5図 LIDAR 利用による高性能化研究(左)と音計測システム(右)。FREA 開所式見学会資料より。

ることにより、発電電力量の5%向上と、使用年数の10%向上を目指します。

発電電力量の画期的な増大技術として、風車ナセル搭載LIDARによる風車の予見制御アルゴリズムを開発します。これは、レーザー光線を使って風車の前方で風向を測定することにより、従来は後追いでしか調整できなかった風車の方向を事前に調整し、発電量を向上させる技術です。



発電電力量と環境影響（騒音など）をより正確に予測できるようにするため、サイトアセスメント技術を改良します。

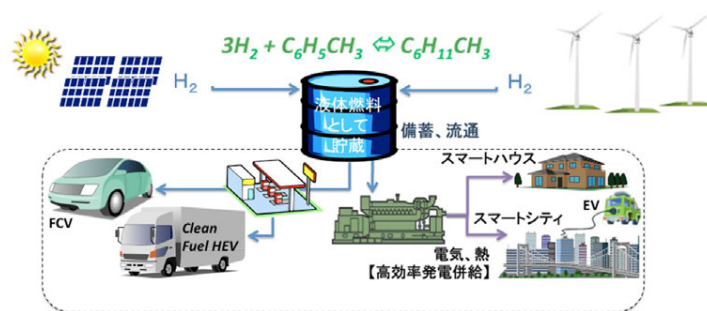
#### 4.4 水素キャリアチーム（チーム長：辻村 拓）

「水素キャリア製造・利用技術」を開発します（第6図）。

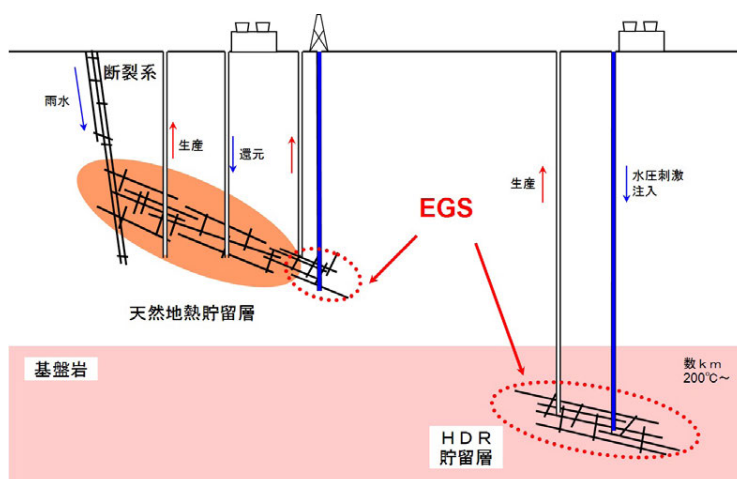
変動する発電出力と電力需要をバランスさせるためには、電力を蓄え、必要な場所へ運ぶ技術が必要となります。そのため、太陽光発電、風力発電等の変動する電力を、長期的かつ大量に貯蔵し、効率的に利用するシステムを開発し、再生可能エネルギーの大規模貯蔵と電力需要の平準化を目指します。

水素を高密度に貯蔵できる水素キャリア（有機ハイドライド、アンモニア等）の製造技術とこれを利用する高効率コジェネエンジン技術を研究開発します。

水素キャリア製造から熱電併給までのトータルシステムを開発・実証します。



第6図 水素エネルギー貯蔵・利用プロジェクトの概念図。FREA 開所式見学会説明パネルより。



第7図 地熱貯留層の貯蔵能力改善および人工貯留層開発の概念図。平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業の説明資料より。

#### 4.5 地熱チーム（チーム長：浅沼 宏）

「地熱の適正利用のための研究開発」をします（第7図）。

地熱発電を行うためには、地熱地域に井戸を掘り、貯留層を掘り当てる必要がありますが、実際には地下の状態を正確に知ることは困難で、掘削した井戸から蒸気や熱水を十分生産できないという、開発リスクがあります。また、付近の温泉への影響が懸念されることもあります。そこで、産総研の地質計測・探査技術を駆使して、地熱貯留層の適切な開発・管理や温泉資源との共生を実現します。

地熱の高度モニタリング技術を活用して、地熱発電の開発に要する費用を削減します。

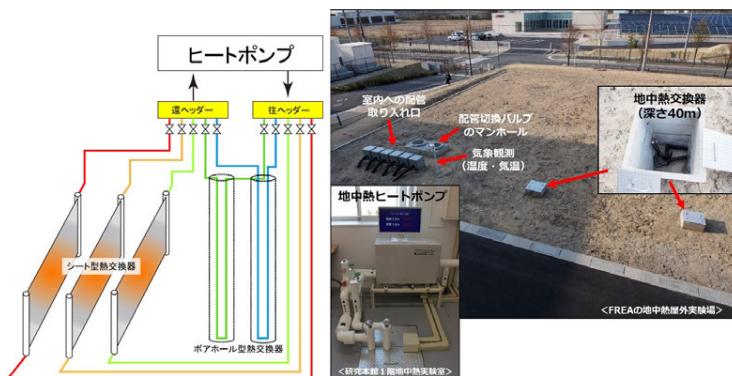
環境アセスメントに要する期間や地元への配慮、温泉審議会への対応のような社会的要因に対して合意形成を図るためのデータと知見を提供します。

地熱貯留層の貯蔵能力改善や人工貯留層開発のための技術開発を行い、国内外における環境と調和する適正な地熱発電可能地域の拡大を目指します。

#### 4.6 地中熱チーム（チーム長：内田洋平）

「地中熱のポテンシャル評価」と「地中熱システムの最適化技術」の研究開発を行います（第8図）。

通常のエアコン（空気熱ヒートポンプ）より高効率、



第8図 地中熱実験システムの概念図（左）と FREA の地中熱交換井およびヒートポンプの写真（右）。FREA 開所式見学会説明パネルより。

省エネルギーの地中熱利用冷暖房システムは、日本中どこでも利用できますが、地下の地質構造や地下水の存在などによって、採排熱できる量や最適な掘削深度が異なってきます。そこで、地質情報を駆使して地域ごとのシステムを高性能化・低コスト化し、普及促進します。

現地地質調査・地下水調査を実施し、地下水流動・熱交換量予測シミュレーションに基づく地中熱ポテンシャルマップを作成します。



このマップを使うと、地中熱利用システムの設計精度が上がり、システムの高性能化と低コスト化が達成されます。

様々な地質特性に最適化された地中熱利用システムの設計技術を日大、福島県ハイテクプラザ、地元企業と共に開発します。

## 5. おわりに

「はじめに」で述べた通り、FREAのミッションには、震災復興への貢献が含まれています。そのため、人材育成事業や、被災地（福島県、宮城県、岩手県）企業の技術シーズ育成事業といった具体的な研究事業を通して、地元の活性化を図る活動をしています。このほか、海外の再生可能エネルギー関連の研究機関との連携も強調されており、ドイツのフラウンホーファー、米国の国立再生可能エネルギー研究所（NREL）、タイの国立科学技術開発庁（NSTDA）といった研究機関との連携が進められています。地熱チームは米国のローレンス・バークレー国立研究所（LBNL）やインドネシアの地質局（GA）、地中熱チームはタイの鉱物資源局（DGR）、地下水資源局（DMR）等との共同研究を行っているほか、東南アジア地球科学計画調整委員会

（CCOP）や東アジア・アセアン経済研究センター（ERIA）の事業を通じた多国間での共同研究も行っています。

今年3月に産総研つくばセンターからFREAに異動したメンバーは、研究職と行政職含めて40名程度でしたが、地元採用のテクニカルスタッフ、ポスドク、産学連携により科学技術振興機構（JST）や大学からFREAに常駐するメンバー、人材育成事業により大学からFREAに通う非常勤の大学院生らを含め、現在では150名ものメンバーが、FREAで仕事をしています。FREAは、国内外から人が集まり、再生可能エネルギー大量導入の早期実現のための研究を行う場所となっていくことを、目指しています。

地熱チームと、地中熱チームは共に、産総研つくばセンターの地圏資源環境研究部門から異動した研究員と、2014年4月に新規採用となった研究員、そして契約職員で構成されます。この2チームをまとめて内部的には「地球熱ブロック」と呼んでいます。地球熱ブロックでは、産総研つくばセンターの地質分野および大学や他研究機関との連携を行いながら、地熱・地中熱の適正利用に向けた研究を展開していく予定です。その詳細については、この後に続く2つの記事で紹介しますので、そちらをご覧ください。

---

YASUKAWA Kasumi, ASANUMA Hiroshi, UCHIDA Youhei and SAKAGUCHI Keiichi (2014) Fukushima Renewable Energy Institute, AIST — For early mass installation of renewable energy systems.

---

（受付：2014年8月20日）



# 地熱研究紹介

浅沼 宏<sup>1)</sup>

## 1. 福島再生可能エネルギー研究所における地熱研究のポリシー

産業技術総合研究所福島再生可能エネルギー研究所(FREA)地熱チームでは、「地熱の適正利用のための研究開発」をキーワードに、地熱発電に関する一連の研究活動を行っています。地熱発電には資源の偏在性、不確定性、開発コスト、温泉との共生、持続性の維持等、多くの導入阻害要因があり、それらを早急に解決していくことが不可欠ですが、このためには科学的アプローチのみならず、社会的アプローチも必要となります。また、阻害要因克服に必要な見込まれる期間も課題により大きく異なります。このため、当チームでは、(a) 我が国における早期の発電量の増大や持続性維持に直接的に寄与できること、および(b) 科学的アプローチにより阻害要因の克服が見込めること、という2つの観点から研究課題のプライオリティ付けを行い、地域性の高い地下の状態、社会システムに合わせて地熱資源を適正に開発・利用可能にすることを目標に研究開発を行っています。これに加え、長期の研究開発が必要な革新的技術についても、開発が実現した場合の波及効果を勘案して長期的視点に立って基礎研究を行っています。一方、FREAのミッションのひとつである、「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」に寄与するために、被災地域の企業が有する技術シーズ実用化のための支援事業や大学等との連携による人材育成事業を行っています。

## 2. 現在実施中の地熱研究

### 2.1 Engineered Geothermal Systems (EGS) に関する研究

加圧注水、水圧破碎等の人工的な手段により新規に造成、あるいは能力が改善した地熱貯留層はEngineered Geothermal Systems (EGS) と呼ばれています。EGS型の地熱開発は欧州やオーストラリア等、非火山地域での地熱開発において中心的役割を果たしています。また、米国ではEGS技術のひとつである涵養技術(注水)が貯留層の持

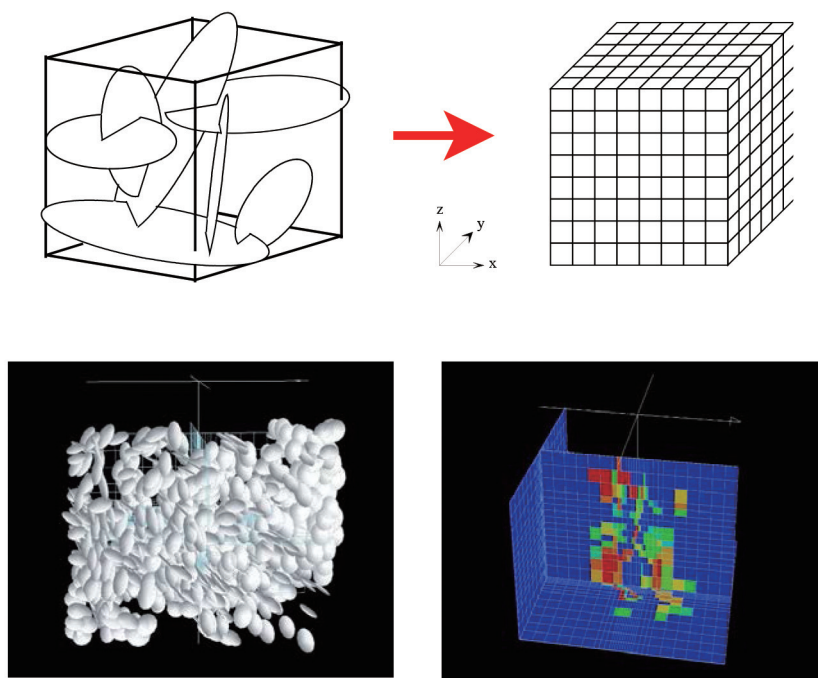
続性維持のために用いられています。

当チームでは地圏資源環境研究部門に所属する研究者らとともに、(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構(JOGMEC)から「地熱貯留層評価・管理技術」(FY2013-2017)の一部を受託し、福島県柳津西山地熱発電所での生産量増大、持続性維持に向けた研究を行っています。地熱チームでは、微小地震/Aコースティックエミッション(AE)による貯留層のモニタリング部分を担当しています。このための遠隔モニタリングシステムとリアルタイム解析ソフトウェアの開発を実施し、2014年度末より連続モニタリングを開始する予定です。本システムにより微小地震/AEの発生位置、マグニチュード等の基本的情報をリアルタイムにFREAでモニタリング可能になるとともに、当地域で発生する微小地震/AEの地震統計学的性質もモニタリングする予定です。これらを通じて、涵養効果の高度評価、環境影響の低減に寄与したいと考えています。

EGSにおいては既存亀裂への加圧注水が最も主要な開発手段ですが、最適な加圧法の導出が困難である、あるいは、加圧注水時に誘発有感地震が発生する事例がある等の課題があります。このなかで、近年、米国やドイツの研究機関が誘発地震の発生を抑圧した上で、亀裂の透水性を改善する技術の導出に成功したとの報告がなされています(Dempsey *et al.*, 2013; Zang *et al.*, 2013)。これらの新技術は地下構造が比較的単純な地域を対象に開発されてきましたが、国際共同研究により、我が国での加圧注水による最適な貯留層作成工程設計技術の導出を目指した研究を実施しています(平成26年度日米等エネルギー技術開発協力事業(クリーンエネルギー利用技術及び評価技術の開発)「地熱エネルギー抽出量増大のための革新的技術の開発」)。ここでは、岩石力学モデルを用いた加圧注水貯留層造成シミュレータを作成し、地下の状態、加圧注水の目的に合わせた工程を設計可能にし、また、加圧注水作業時に地下のレスポンスに応じて工程を更新できるようにしています。このシミュレータの基本部分は2013年度に完成し(第1図)、本年度末に国内地熱地域で小規模な加圧注水試験を行い、本手法の有効性を検証する予定です。

1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

キーワード: 地熱発電, モニタリング, EGS, 温泉との共生, 社会受容性, センサ

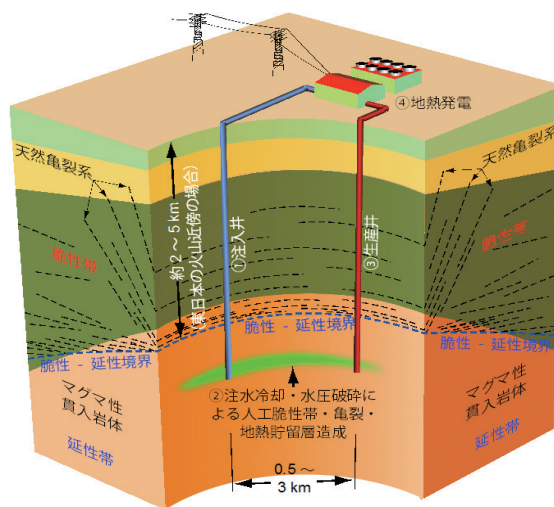


第1図 加圧注水貯留層造成シミュレータ。

EGS型地熱開発の概念は1970年代に米国で提唱された高温岩体 (Hot Dry Rock : HDR) 発電に起源を有しますが、我が国を初めとする各国で実施されたHDRプロジェクトを通じて、HDR型の地熱開発、すなわち、基盤岩内に新規に地熱貯留層を造成する開発方式では、発電コストの高さ、誘発地震の発生、流体循環時における回収率の低さ (Kaieda *et al.*, 2005) 等の課題があることが明らかになってきました。このような問題は開発対象をより深部の脆性-延性境界 (BDT) 以深とすることにより解決可能であると考えています (第2図)。地熱チーム所属の研究者は東北大の地熱研究者等と連携して、BDTにおける地熱開発の可能性を探る Japan Beyond-Brittle Project (JBBP) を2011年より開始しています (Muraoka *et al.*, 2014)。地熱チームの研究者は、プロジェクト全体の管理を行うとともに、JBBP型貯留層のモニタリング技術、地化学的視点からの貯留層内での流れ場の理解とその制御法の導出 (第3図; Saishu *et al.*, 2014)、貯留層造成時に発生する誘発地震抑制法の検討等を行っています。

## 2.2 地熱貯留層の高度モニタリング技術に関する研究開発

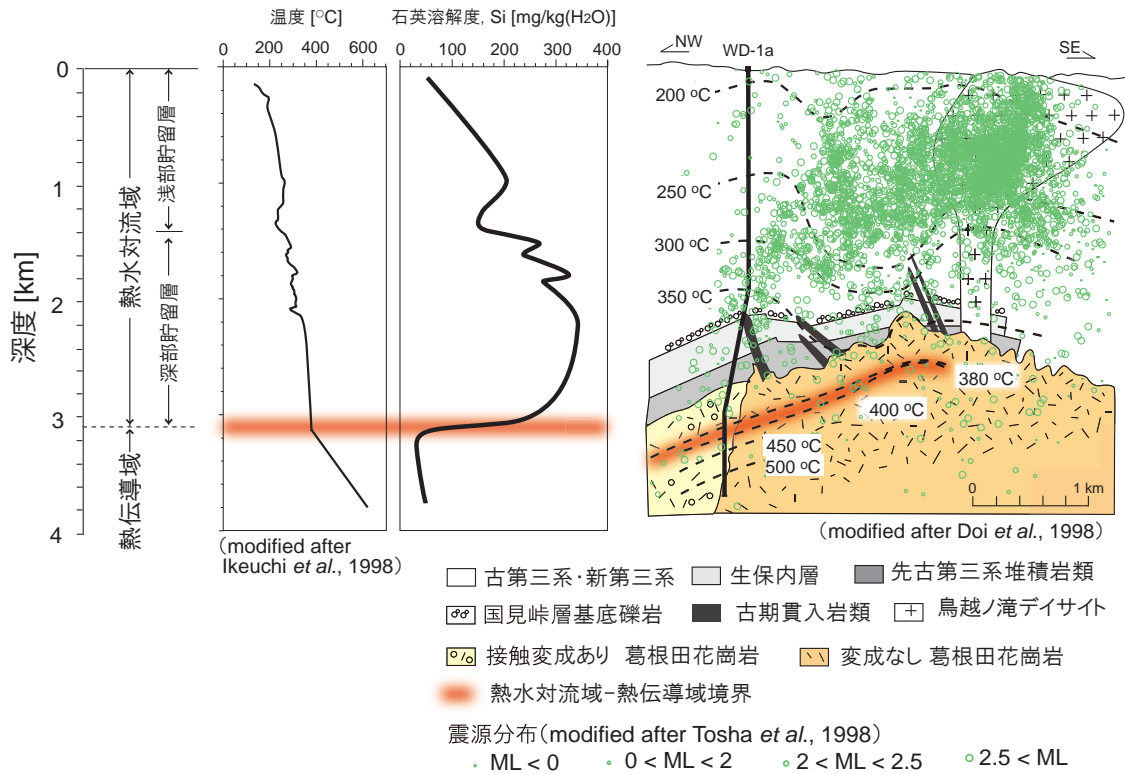
地熱貯留層は多くの亀裂により構成されていますが、各亀裂の透水性は大きく異なっており、高い透水性 (生産性) を有する亀裂は極めて不均質に分布しています。しかしながら、現在の技術でこのような亀裂の位置や配向を精



第2図 脆性-延性境界以深での地熱開発 (JBBP) の概念。

度よく検出することは困難であり、このことが地熱開発の不確定性を高める主要因となっています。地熱チームの研究者は、貯留層内で発生する微小地震/AE、あるいは坑井の掘削音を利用した貯留層モニタリング技術の開発を行っています。ここでは「超解像イメージング技術」と呼ばれる一連の高分解能の震源位置決定法、震源パラメータ推定法、反射イメージング法等を組み合わせ、通常の方法ではモニタリングが困難な貯留層の構造とその内部での流体の挙動を明らかにしようとしています。また、各種の物理探査手法により得られた結果の統合解釈法の検討も行って





第3図 葛根田地熱地域における地質構造とシリカ溶解度 (Saishu *et al.*, 2014 へ加筆).

います。

地熱貯留層の探査・モニタリングでは、対象の近傍で高分解能な情報を取得することにより、不確実性や開発リスクの低減に結びつきます。このためには、高温高圧環境下で動作するセンシングシステムを経済的に許容できるコストで実現する必要があります。本チームでは民間企業と連携して、坑内多点弾性波モニタリング用光マイクロセンサシステム、条件困難井でも使用可能なLWDツールの開発等も実施しています。

### 2.3 温泉モニタリング技術の開発

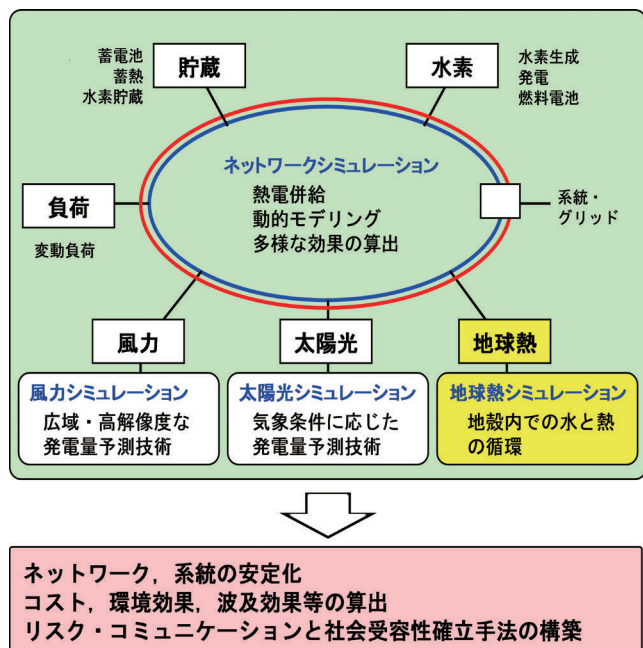
国内の地熱開発においては社会的合意形成、特に既存の温泉との共存を図ることが重要です。温泉資源は地熱発電のために用いられる地熱貯留層に比して浅部に存在することが多いため、直接的に大きな影響が出る事例は少ないと考えられていますが、両者の関連性を科学的に十分に説明できていないのが現状です。この理由の一つとして長期間にわたる連続的な温泉モニタリングが実現できていないことがあげられます。当チームでは(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの受託(「地熱発電技術研究開発」FY2014-2017)を受け、簡易遠隔温泉モニタリングシステムの開発を行っています。このシステムは

温泉配管に取り付け、温度、流量、電気伝導度を1分間に一回程度計測し、各種通信回線を通じてサーバへ転送するものです。温泉の性状に合わせて各種センサの追加を容易に行えるという特長も有しています。このプロジェクトを通じて実際の温泉地で長期使用が可能なモニタリングシステムを実現するとともに、その運用法についての提言も行う予定です。

地熱発電が温泉に与える影響を評価するために、当チームでは、地表付近から深部マグマに及ぶ広域での物資・熱の移動をシミュレートすることも重要であると考えています。このシミュレータを「地球熱シミュレータ」と名付け、地中熱グループ等と連携して開発を行っていく予定です。また、地熱開発に起因する温泉変動を定量的に評価するための時系列解析手法についても研究開発を始めています。

### 2.4 再生可能エネルギーネットワークシミュレータの開発

再生可能エネルギーは、エネルギー密度が大きくはなく、また、出力変動を有するエネルギー源が多いため、そのまま単体で既存のエネルギーネットワークに組み込むと様々な問題を発生させることが知られています。再生可能エネルギー研究センターでは、太陽光、風力、地熱による発電・



第4図 再生可能エネルギーネットワークシミュレータの概念図。

熱供給システムと地中熱利用システム、蓄電システム、水素利用システム等を組み合わせた「福島県産エネルギー自給自足システム」と「温暖化ガス0エネルギーシステム」の実現を目指しています(第4図)。これを実現するためには各要素技術の研究開発に加え、気象条件や負荷の状況等に応じてローカルエネルギーネットワークを最適に運用する技術を構築する必要があります。当センターでは再生可能エネルギーネットワークシミュレータの開発を予定していますが、地熱チームでは、先述の「地球熱シミュレータ」と熱電併給地熱利用システムシミュレータを開発し、ネットワークシミュレータへ組み込むことにより地域によって大きく異なる地下の状態に合わせて地熱エネルギーをベースエネルギー源として適切に利用可能にしたいと考えています。

### 2.5 地熱発電の社会への実装に関する研究

地熱発電を実現するためには地下の状況に合わせて適切な開発を行う必要がありますが、我々が取得可能な地下情報は有限であるため、特に開発の初期段階においては大きな不確定性を有さざるを得ません。このことが、過剰な設備投資や発電コストの増大に結びついている事例があると考えています。一方、地熱発電を実現するためには地元との合意形成が必要ですが、このためには、様々な立場の個人や組織との関連性を十分に考慮する必要があります。さらには発電事業の経済性や地元への波及効果についても検討すべきです。このように、地熱開発に関連する様々な事

項を総合的に検討し、地下条件、社会条件に適合させた地熱利用システムを開発時にフレキシブルに設計する概念を Overall System Design (OSD: 総合システム設計) (Soma et al., 2014) と呼び、OSD支援のためのツール開発を目標として調査および研究を実施しています。

### 2.6 被災地での産業育成, 人材育成事業

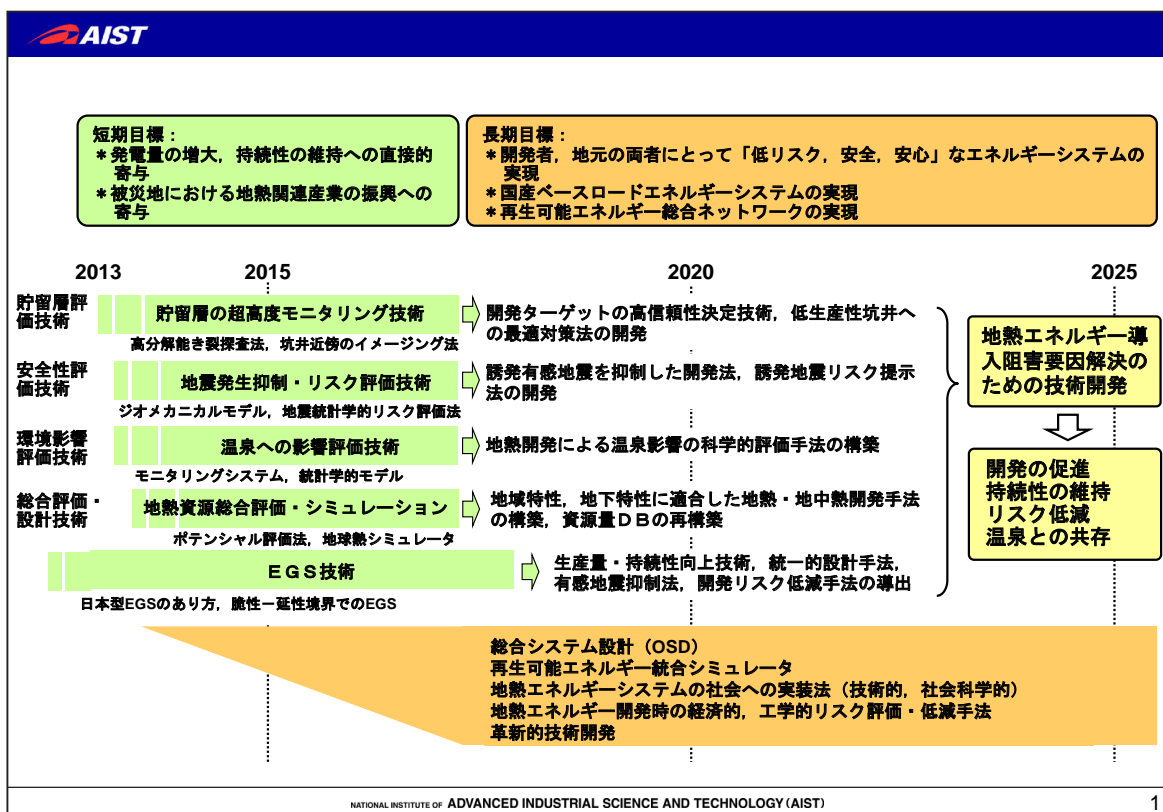
福島再生可能エネルギー研究所では2013年度から被災3県(福島、宮城、岩手)での再生可能エネルギー関連産業の創出を目指した活動を行っています(平成25年度福島再生可能エネルギー研究開発拠点「被災地企業の技術シーズ評価プログラム」、平成26年度福島再生可能エネルギー研究開発拠点「被災地企業のシーズ支援プログラム」)。ここでは、技術シーズを有する民間企業と産総研の間で共同研究契約を締結し、産総研側で技術シーズの性能評価や試作品の製作、試験による実用性評価等を実施しています。地熱チームでは、民間企業が有する貯留層評価手法の評価、坑内計測ツールの試作と性能評価、MEMS弾性波センサシステムの試作と性能評価等を実施し、被災地域における地熱関連産業の活性化とビジネスの創出を目指しています。

また、福島再生可能エネルギー研究所では「人材育成事業」として、大学院学生をリサーチ・アシスタント(RA)として受け入れ、教育的視点に立って研究活動を実施しています。地熱チームでは東北大から3名の大学院学生をRAとして受け入れ、先進的地熱研究に従事してもらっています。

### 3. 研究実施体制

現在、地熱チームには常勤研究員4名(うち1名は兼務)、契約職員3名、RA3名が所属していますが、広範な地熱研究をすべてカバーするために、地圏資源環境研究部門を中心とするつくばの研究者との密な連携の下、研究を実施しています。また、加圧注水による貯留層造成技術に関してLBNL、USGSを代表とする米国国研、ドイツ地球科学総合研究所(GFZ)と連携した研究を実施しています。脆性-延性境界以深でのEGSを目指すJBBPは、東北大学と共同で科学的基礎構築のための研究を実施しています。JBBPでは東北地方で脆性-延性境界以深へ試験井を掘削し、各種の実験を行う予定ですが、このような超高温井の掘削には国際的協力体制が不可欠であると考え、International Continental Scientific Drilling Program(ICDP)の枠組みの下での掘削を実現することを目指しています。





第5図 地熱チームのロードマップ.

#### 4. 今後の展望

東日本大震災以降, 再生可能エネルギーの導入を促進するとともに再生可能エネルギー関連新産業を創出することが急務となっています。地熱チームの研究実施計画を第5図に示しますが, 今後5年間程度の期間は科学的アプローチによる地熱発電の阻害要因の早期克服を通じて発電量の増大と関連産業の創出を目指します。また, これに加え, 社会科学的手法の導入により地熱発電に対する社会受容性構築手法を導出したいと考えています。

この目標を達成するためには, 地質分野の研究者を初めとする内外からの御協力が不可欠ですので, 今後も皆様からの御支援, 御指導を賜りたくお願い申し上げます。

#### 文献

Dempsey, D., Kelkar, S., Lewis, K., Hickman, S., Davatzes, N., Moos, D. and Zemach, E. (2013) Modeling Shear Stimulation of the Desert Peak EGS Well 27-15 Using a Coupled Thermal-Hydrological-Mechanical Simulator. *Proc. 47th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, ARMA*, 13-606.

Kaieda, H., Ito, H., Kiho, K., Suzuki, K., Suenaga, H. and Shin, K. (2005) Review of the Ogachi HDR Project in Japan. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2005*, 1601, 1-7.

Muraoka, H., Asanuma, H., Tsuchiya, N., Ito, T., Mogi, T., Ito, H. and the participants of the ICDP/JBBP Workshop (2014) *The Japan Beyond-Brittle Project, Scientific Drilling*, 17, 51-59.

Saishu, H., Okamoto, A. and Tsuchiya, N. (2014) The significance of silica precipitation on the permeable/impermeable boundary within the Earth's crust. *TERRA NOVA*, 253-259.

Soma, N., Asanuma, H. and Oikawa, Y. (2014) Concept of overall system design (OSD) for both universal use of geothermal energy and increase of social acceptability in Japan. *Proc. GRE2014*. (in-press).

Zang, A., Yoon, J. S., Stephansson, O. and Heidbach, O. (2013) Fatigue hydraulic fracturing by cyclic reservoir treatment enhances permeability and reduces induced seismicity. *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1093/gji/ggt301.

ASANUMA Hiroshi (2014) Introduction of research on geothermal energy at FREA.

(受付: 2014年8月21日)

# 地中熱研究紹介

内田洋平<sup>1)</sup>

## 1. 福島再生可能エネルギー研究所における地中熱研究のポリシー

福島再生可能エネルギー研究所・地中熱チームでは、研究のポリシーとして「地域の地質環境・地下水環境と調和した地中熱のシステム開発」を掲げています。

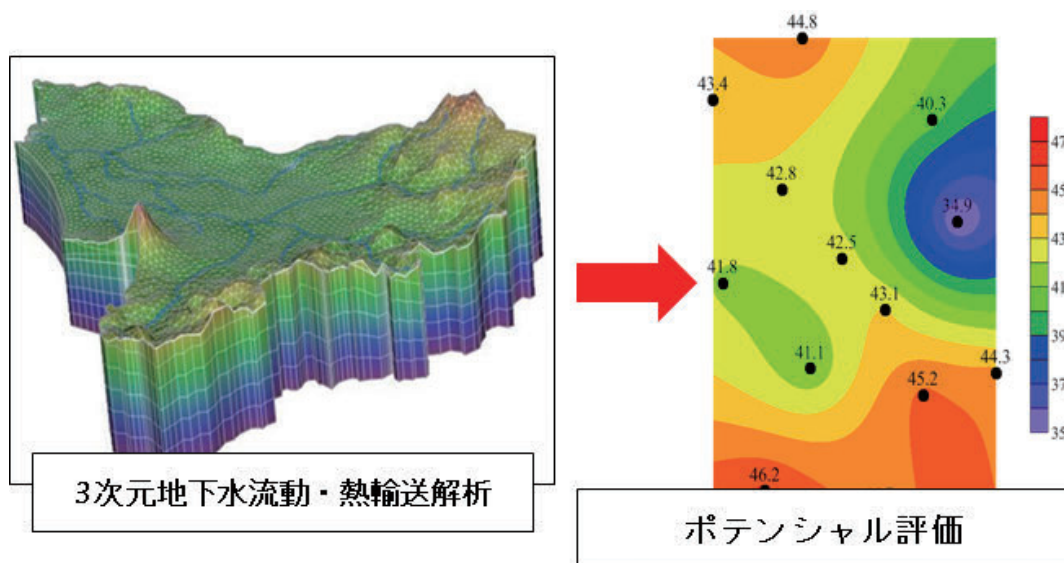
地中熱利用システムは、太陽光や風力、地熱発電とは異なり、発電する技術ではなくエネルギーを賢く使う省エネ技術です。全体の消費電力量を削減することはもちろん、エネルギーの最大需要量を削減することにより、ピークカットや発電設備の最大出力低減にも貢献できるものとされています。この技術は、もともと世界オイルショックを契機として1980年代から欧米諸国で広まった技術です。技術的には新しいものではないものの、日本においては欧米諸国と地質構造が大きく異なること、大都市における地下水の汲み上げ規制などの理由により、その普及が停滞しています。そこで「地中熱ポテンシャル評価」と「地中熱システムの最適化技術開発」を主要な研究テーマとして取り組み、海外以上に効率の良い「地中熱利用システム」をこの福島県から広めていくことを目指しています。

## 2. 実施中の研究

### 2.1 地中熱のポテンシャル評価

地中熱ポテンシャル評価とは、地域に賦存している地中熱エネルギーの潜在能力を明らかにすることです。地中熱ポテンシャルの指標としては、地質構造や熱伝導率、地下水の流速などが挙げられます。

安定大陸に位置する欧米諸国の地質構造は、主に岩盤である場合が多いですが、日本における大都市の地形・地質の多くは堆積平野や堆積盆地であり、欧米諸国と比べて第四紀層が厚く堆積しています。第四紀層とは、約260万年前から現代までにおける、人類の出現や氷河に覆われた時代の地層を指します。地質は砂・礫・泥などで構成されており、軟弱地盤で地下水の流れが活発です。その熱伝導率は、たとえば花崗岩の場合は3.0 W/(m・K)程度ですが、第四紀層の熱伝導率は1.2 W/(m・K)程度で、岩盤に比べて4割から5割程度の値となっており、熱伝導率から見ると地中熱システムには不利な地質条件と言えます。ところが、第四紀層の透水係数は高く、優良な帯水層を形成している場合が多いのです。地下水の流れが活発であれば、熱の移流効果により有効熱伝導率（見かけの熱伝導率）

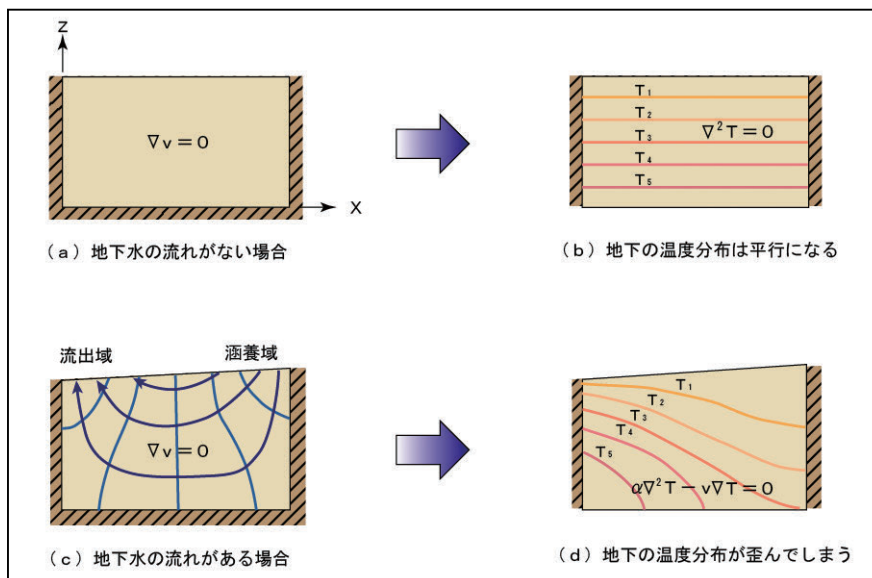


第1図 3次元地下水流動・熱輸送開発モデル（左）と地中熱ポテンシャルマップ（右）。

1) 産総研 再生可能エネルギー研究センター

キーワード：地中熱、水文地質、地下水流動、熱輸送、最適化





第2図 地下水流動と地下温度構造の関係 (Domenico and Palciauskas, 1973) .

が高くなり、地中熱利用に適してきます。つまり、日本で地中熱システムの普及を考える場合、地域の地下水流動を考慮することにより、効率の良いシステム設計が可能になると考えられます。以上の点を踏まえ当研究チームでは、地中熱利用を念頭に置いた地質データベースやポテンシャルマップの研究・開発に取り組んでいます。

現在、地中熱チームでは福島県、宮城県、青森県、山形県、秋田県の代表的な平野や盆地において3次元地下水流動・熱輸送解析モデルを構築し、地中熱ポテンシャル評価を行っています (第1図)。

## 2.2 日本の地下環境を活かした「地中熱システムの最適化技術」の研究

先にも述べましたが、大陸地域の地質は第四紀層が薄く、地下数mで岩盤が分布する地域が多いため、地中熱利用システムの設計については熱の伝導のみを考慮しています。一方、日本の都市域の地質は第四紀層が厚く、地下水が活発に流れているため、地中熱利用に関するポテンシャル評価や環境影響評価には、熱の伝導だけではなく、地下水の流れによる熱の移流効果を考慮する必要があります。

地下の温度は、地表面温度と地殻熱流量だけではなく、様々な要因によって変化します。実際の地下の温度分布は地下水の流れによる熱移流の影響を強く受けており、その分布には大きな偏りがあります。特に浅層部分の地下温度分布は、その地域における流域規模の地下水流動の影響を受けているだけではなく、揚水などの人為的な影響も受けており、複雑であることが予想されます。第2図に地下水流動と地下温度構造の関係を示します。地下水の流れが存在しない状態 (第2図a) の温度分布は、熱伝導のみに支配され一様な温度勾配をもちます (第2図b)。一方、地

下水流動が生ずる場合 (第2図c) の温度分布は、地下水の涵養域と流出域において地下温度分布に熱伝導のみで形成された温度からのずれが生じます (第2図d)。地下水流動の速度が速くなるほどその差異が大きくなり、地下水の流れがないときの温度勾配一定に対して地下水涵養域では下に凸、流出域では上に凸の温度分布が現れ、同一深度の地下温度は涵養域でより低温、流出域でより高温となります。我が国は、地下水資源 (温泉も含む) が豊富です。この豊富な地下水を活用することにより、欧米とは異なる、独自の地中熱利用システムの発展の可能性ががあります。そのためには、地域の地下水流動と地下の温度構造を把握・理解するための研究が重要です。

地中熱ヒートポンプシステムには、地中から熱を取り出すために流体 (水/不凍液) を循環させる方式と、揚水した地下水から熱を取り出す方式があり、それぞれクローズドループ (第3図左)、オープンループ (第3図右) と呼ばれています。オープンループは、汲み上げた地下水の熱を直接利用するため、熱交換のエネルギー損失がクローズドループより少なくシステムとしては効率的ですが、地下水を汲み上げて熱を交換するため、地下水の揚水規制がある地域では、現時点では導入が難しいとされています。オープンループについては、今後、汲み上げた地下水をほぼ完全に地下へ還元できるシステム開発や、自然に湧き出ている湧水の利用などが期待されています。

当研究チームでは、様々な地下水・地質特性に最適化された地中熱利用システムの研究を地元大学や企業と共同で実施しています。

## 2.3 被災地企業との共同研究

福島再生可能エネルギー研究所のミッションの一つとし

て、産業集積と復興への貢献を掲げています。その中で、平成 25 年度「被災地企業の技術シーズ評価プログラム」と平成 26 年度「被災地企業のシーズ支援プログラム」は、東日本大震災の被災 3 県（福島、宮城、岩手）に所在する企業が開発した再生可能エネルギーに関連したシーズに対する技術支援を産総研が経費を負担して実施し、その成果の当該企業への移転を通じて、地域における新産業の創出を支援する事業です。地中熱チームでは、本プログラムの一環として平成 25 年度より「地下水移流効果を有効利用した高効率地中熱交換器の評価、ジオシステム株式会社（岩手県）」と、「自噴井を利用したクローズドループ地中熱ヒートポンプ冷暖房システムの性能評価、日本地下水開発株式会社（福島県）」を実施しています。企業が有する地中熱に関する技術と、地中熱チームが実施している地質・地下水情報に基づく地中熱研究をカップリングさせることにより、これらの技術の早期実用化と普及促進を目指しています。

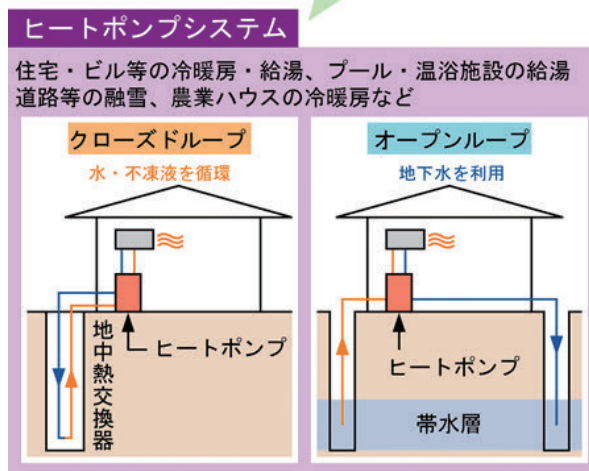
地中熱システムの導入には熱交換井の掘削を伴うため初期導入コストが高く、地中熱利用システム普及の阻害要因の一つとなっています。「地下水移流効果を有効利用した高効率地中熱交換器」（第 4 図）の技術は、地下水流動を積極的に取り入れることができる構造を有する熱交換器であり、新たな電力を導入することなく、熱交換効率の向上が期待されています。地下水の流動が期待される地域において本技術を利用することで、地中熱利用システムの導入コストの低減が可能となり、地中熱利用普及へのブレークスルーにつながると考えられます。地中熱チームでは、本システムの解析モデルを研究開発しており、新しい効率的な熱交換器の早期実用化に繋がりたいと考えています。

同様に、「自噴する井戸を利用した新熱交換方式」（第 5 図）では、地下水が豊富で、かつその流動性が高い地域において、地下水の自噴を積極的に取り入れることができる構造を有することにより特別な動力を使用せずに、熱交換能力を大きく向上することが可能となる技術です。さらに、本システムは、災害時において飲用を含めた各種水源として利用することも可能です。地中熱チームでは、水文地質資料、および現地地下水調査に基づいて、会津地域における本システムの導入適地マップを作成しており、本システムの普及促進を目指しています。

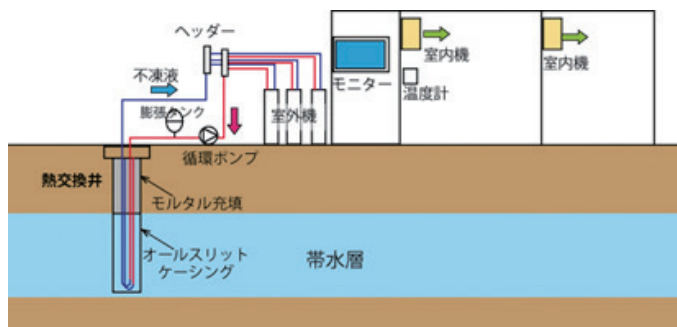
## 2.4 被災地での人材育成事業

産総研では平成 26 年 4 月 1 日より、自立的に年間を通

ヒートポンプの熱源として利用  
温度調節が可能で汎用性が高い



第 3 図 地中熱利用ヒートポンプシステムの種類。

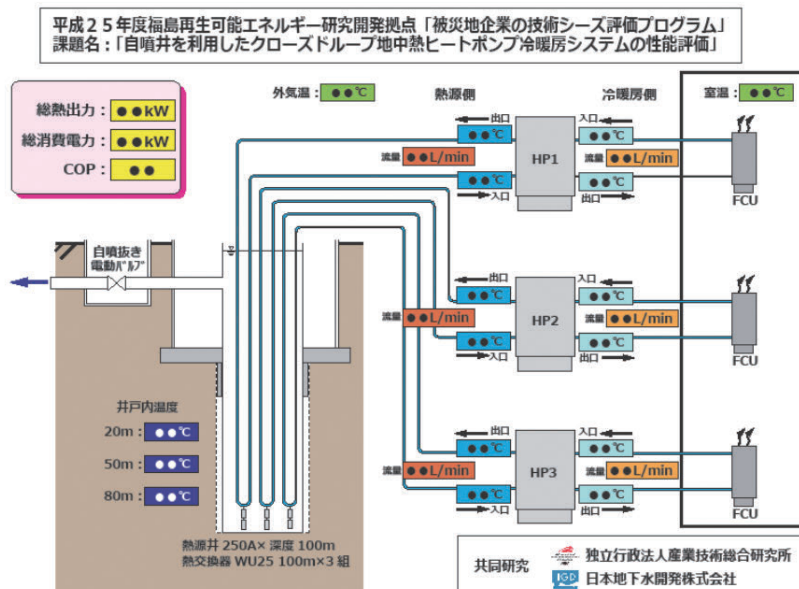


第 4 図 地下水移流効果を有効利用した高効率地中熱交換器の概要。

して産総研の研究開発プロジェクトの業務に従事できる、優れた研究開発能力を持つ大学院生を雇用する新たな制度「産総研リサーチアシスタント (RA) 制度」を開始しました。福島再生可能エネルギー研究所においては、本制度などを活用して、被災地の復興・再生を担うことが期待されている再生可能エネルギー産業で活躍できる人材の育成をミッションの一つとして掲げています。

地中熱チームでは、本年度より福島大学共生システム理工学類と共同研究「会津盆地における第四紀地質構造解析および水理構造解析」を開始しました。この共同研究では、福島県を対象とした地中熱ポテンシャル評価解析業務の一環として、福島県・会津地域における地質構造解析および地下温度構造等の水理地質構造解析を実施し、地中熱ポテンシャル評価の基盤データを構築することを目的としています。その波及効果として、地元の水文地質情報に詳しい福島大学と地中熱ポテンシャル評価の全国展開を目指す地中熱チームがタッグを組むことにより、福島県内の地中熱システム普及が加速されることや、地中熱研究の基礎から





第5図 自噴する井戸を利用した新熱交換方式の概要。

実用までを包含する高度人材の輩出が期待されています。

また、6月より地中熱チームでは福島大学から修士課程の学生1名をリサーチアシスタントとして雇用し、現在、会津地域における水文調査や地下温度構造解析などを担当してもらっています。

### 3. 研究実施体制

地中熱チームには、常勤研究員4名、契約職員2名（うち1名はRA）が所属しておりますが、研究テーマ数や内容が多岐にわたるため、地圏資源環境研究部門や地質情報研究部門との連携を進めています。特に、福島大学との共同研究テーマである「会津盆地における第四紀地質構造解析および水理構造解析」では、地質構造解析や物理探査の研究者に加えて、首都大学の先生にも参加して頂いております。

また、地中熱研究のアジア展開を目指して、CCOP地下水プロジェクトの一環として、タイ・チュラロンコン大学とインドネシア・バンドン工科大学、秋田大学との共同研究をH25年度より開始しています。CCOPのメンバー国では、今後、大きな経済発展が見込まれており、それに伴う消費電力の激増が予測されています。そのような中で、省エネルギー効果の高い地中熱システムが、これらの国々の中で徐々に注目を集め始めています。

### 4. 今後の展望

「地中熱」は他の再生可能エネルギー技術とは大きく異なり、電気を生み出すことはできません。しかし、その高い省エネ効果により、全体の消費電力量を削減することはもちろん、エネルギーの最大需要量を削減することが可能です。したがって、地熱発電や太陽光、風力発電等の自然エネルギーの発電技術と、地中熱システムのような省エネ技術を併用することにより、再生可能エネルギーのベストミックスが実現可能となります。

地中熱チームの中期計画では、福島県を中心とした東北地域における「地中熱のポテンシャル評価」と「地中熱システム最適化技術」の研究開発を実施します。長期計画では、これらの技術開発を日本全国へ展開すると共に、他の再生可能エネルギーとの連携を目指し、日本の再生可能エネルギーのビジョンを支えていきたいと考えています。また、大学や企業との共同研究を通じて、再生可能エネルギー関連新産業の創出に努めていきます。

### 文 献

Domenico, P. A. and Palciauskas, V. V. (1973) Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional groundwater flow. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **84**, 3803-3814.

UCHIDA Youhei (2014) Introduction of research on shallow ground source energy at FREA.

(受付：2014年8月20日)

# 「巨大地震の後に火山噴火」は俗説か？

須藤 茂<sup>1)</sup>

## 1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の後、大きな余震が続きました。3月15日の夜10時半過ぎにも茨城県つくば市では大きな揺れを感じました。慣れたとはいえ恐ろしい揺れでした。筆者はてっきりまた余震かと思いました。しばらくして、テレビ画面上に示された震源は、全く違う場所に示されていました。×印は富士山に付いていました。この時受けた衝撃は忘れられません。この世の終わりが来るような感じでした。地震でやられて、津波でやられて、東京電力の原発事故でやられて、その上富士山が噴火したら、もう日本は持ちこたえられないと思いました。しばらく待ちました。夜遅くなくても富士山が噴火したという報道はありませんでした。次の日もありませんでした。1週間たっても、1ヶ月たっても、1年たってもありませんでした。何だ、これは、と。

## 2. これまでの経緯

何だ、これは、と思った理由は以下の通りです。

地震と火山の噴火の間には何か関係がある、と巷間伝えられていました。火山の噴火活動と地震の関係がよく引用されるのは中村(1971)であり、これは1970年9月に始まった秋田駒ヶ岳の噴火活動が、噴火開始約1ヶ月後に近くで起きた地震を契機に急に衰えたことを、応力の変化から説明したものです。同じころ、横山(1971)は、世界各地の地震と噴火の関係例をまとめ地球物理学的な解釈を加えました。その後、富士山の宝永噴火(1707年)が、巨大地震の49日後に発生したことから、巨大地震と火山噴火の間には関係がある旨の記載が多くなされます。比較的最近の出来事ですから、誰でも知りうる話であり、誰が言いださなければ筆者は不勉強にて知りません。さらにこれに加えて、他の地震と噴火の関係についても多くの論評があります。ここではいちいち引用しませんが、インターネットで検索するとうんざりするくらいの量の情報が得られます。それらの情報の大部分は他人の情報の孫引きなので、間違った火山名が延々と引用されていたりして注意

を要するのですが。

噴火は地震の後だけでなく、前に起きたという例も示されます。火山の下のマグマに対する応力の急激な変化があった時や、変化する直前に噴火するという話です。つまりマグマがぎゅうぎゅう押されて出てきてしまう場合もあれば、地震によりマグマの上昇通路が形成されたり、減圧されてマグマが発泡上昇することもあるということのようです。近年、雪の量が少ないと、それは地球温暖化のせいであると言われ、翌年雪の量が多いと、それも地球温暖化で説明できると言われてしまった時と似た印象を受けるかもしれませんが、ここでは論じません。

2011年3月以前、それまでの富士山の地下での地震活動を研究していた人たちは、深さ10～20kmあたりで低周波地震が頻発したことがあることから、大きなマグマ溜りではないかもしれないけれども、マグマに由来する流体がこの辺の深さにあると考えていました(例えば、鶴川, 2007)。岩石と岩石のぶつかり合いにより起こされる地震と違い、低周波地震は何か柔らかいものが関与して起きるものと解釈されているからです。2011年3月15日に富士山直下で発生した地震はまさにこの深さを震源とするものでした。

富士山は1707年の噴火以降、300年間以上にわたって噴火していませんが、過去何百回、何千回と噴火を繰り返してきました。ですから近い将来必ず噴火をするだろうと考えられていました。これに関する文献はあまりにも多数あり、一般社会ではもうほとんど常識になっていると考えてもよいほどです。

## 3. それでどうした

本稿執筆の時点で(2014年3月4日)、2011年3月以降、富士山も東北地方の火山も全く噴火していません。

## 4. これまでどうだったかの再検討

1707年の富士山宝永噴火の前には大きな地震がありました。2011年の東北地方太平洋沖地震の後には東北地方

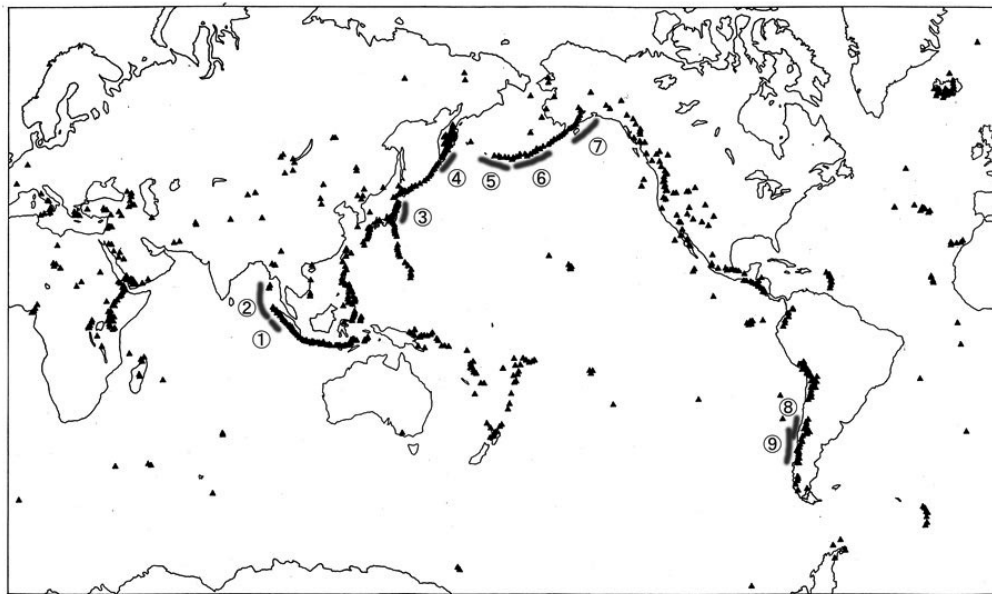
1) 産総研 地質標本館

キーワード：巨大地震、火山噴火、東北地方太平洋沖地震、スマトラ沖地震、アラスカ地震、チリ地震、富士山噴火



第1表 巨大地震一覧.

番号	地震名(または地域名)	年月日	規模(M)	地震断層長さ(km)	火山数	火山の範囲(時計回り)		1950年以降の噴火		地震後3年間の噴火		地震後3日間の噴火	
						始め	終わり	火山数	噴火数	火山数	噴火数	火山数	噴火数
1	スマトラ北部	2005年3月28日	8.6	400	6	Sibayak	Lubukraya	1	2	0	0	0	0
2	2004年スマトラ島北西沖	2004年12月26日	9.1	1350	5	Bur ni Telong	Narcondum	2	19	1	3	0	0
3	2011年東北地方太平洋沖	2011年3月11日	9.0	450	23	燧ヶ岳	八甲田火山群	8	19	0	0	0	0
4	1952年カムチャッカ	1952年11月4日	9.0	600	38	Nemo Peak	Zavaritsky	11	53	1	1	1	1
5	アラスカ, ラット諸島	1965年2月4日	8.7	700	6	Buldir	Semisopchnoi	2	6	0	0	0	0
6	アラスカ, アンドレアノフ諸島	1957年3月9日	8.6	1100	32	Gareloi	Shishaldin	17	132	2	2	1	1
7	1964年アラスカ	1964年3月28日	9.2	700	30	Yantarni	Hayes	8	46	2	6	0	0
8	チリ, マウレ沖	2010年2月27日	8.8	750	37	Tupungatito	Lanin	12	110	3	4	0	0
9	1960年チリ	1960年5月22日	9.5	900	44	Tromen	Maca	10	80	4	5	1	1
合計				6950	221			71	467	13	21	3	3



第1図 巨大地震と火山の位置図. 黒三角は火山の位置を, 灰色の太線は震源断層をそれぞれ示します. 震源断層の位置や大きさは概略です. ①から⑨は, 第1表中の番号と対応します. ⑧と⑨の断層域の一部は, 図ではずらしてありますが, 実際には重なります.

の火山は噴火していません. でも, この2つの事実だけをいくら眺めてみても話は先に進みません. もっと数多くの事例を調べなければなりません. より古い時代の例を調べるのも1つの方法です. 日本では9世紀ごろの地震と噴火の時間関係までわかるようです. 事例の数は少し増えるだけです.

よその国の事例を調べる方法もあります. でも, 日本ほどよく記録が残されていない場合もあります. しかしながら, 最近の数十年間に限れば, 横並びの記録が得られます. ここでは, 1950年以降に起きた巨大地震と火山噴火の関係を調べてみます.

## 5. 結論

「巨大地震後3年以内に必ずと言ってよいくらい火山噴火が起きるそうですが」と心配している人がいたら, 「こ

れまで, どこでも, 3年くらいの間には, 必ずと言ってよいくらい, いくつかの火山が噴火していますから, 特に気にする必要はありませんよ。」と言ってあげます.

「でも, 地震後2, 3日で噴火することもあるのでしょうか」という人がいたら, 「確かにそうですね. でも今まで9地震中3例だけですよ。」と言ってあげます.

## 6. 地震と火山噴火データの整理

ここで取り上げる巨大地震のデータは, 米国地質調査所のホームページ ([http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10\\_largest\\_world.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php) 2014/03/04 確認) から引用しました(第1表). 大地震, 巨大地震や超巨大地震のそれぞれの定義はよくわかりません. ここでは, 地震と噴火の関係を調べるために, 1950年以降に起きたマグニチュード8.6以上の9地震を選択しました. 震源となった断

第2表 広義の火山地域区分.

火山地域区分	火山数	長さ (km)	100km 当り 火山数	総噴 火数	うち 1950年 以降	100km 当り総 噴火数	うち 1950年 以降	1950年以 降3年間平 均噴火数	火山地域の範囲 (時計回りに)	
									始め	終わり
インドネシア西部	77	3880	2.0	872	355	22.5	9.1	17.8	ジャワ島Baluran	アンダマン諸島Narcondum
東北日本	48	880	5.5	767	75	87.2	8.5	3.8	箱根	支笏
千島カムチャッカ	130	1360	9.6	924	297	67.9	21.8	14.9	マツア島Sarychev Peak	Voyampolsky
アリューシャン	41	1600	2.6	355	138	22.2	8.6	6.9	バルディア島Buldir	アマック島Amak
アラスカ	52	1350	3.9	250	100	18.5	7.4	5.0	Frosty	Behm Canal-Rudyard Bay
チリ	126	4250	3.0	610	183	14.4	4.3	9.2	Tacora	Fueguino
合計または平均	474	13320	3.6	3778	1148	28.4	8.6	57.4		

層の広がりについては、余震分布や震源断層モデル計算結果などから様々な案が示されています。どれが正しいのか筆者には判断できないところもありますので、念のため今回採用した範囲がわかるように、震源となった断層の真正面の火山の分布範囲の両端の火山名も合わせて第1表中に示しました。震源断層の位置および火山の位置図(第1図)は、筆者の手書きですので、正確性に欠けることをご容赦ください。

火山の噴火記録については、世界中の噴火記録を取りまとめた Siebert *et al.* (2010) およびその電子情報の最新版にあたる Smithsonian Institution, National Museum of Natural History, Global Volcanism Program のホームページ <http://www.volcano.si.edu/> (2014/03/04 確認) を基に調べました。日本の火山の記録については、我々は多くの情報を持っていますが、ここでは横並びを重視し、この報告の事例をそのまま引用します。中には、噴火というよりは火山地域で起きた何らかの災害をもたらすような他の自然現象も含まれています。日本の火山の例ならすぐに再検討できますが、外国の事例にはよくわからないものも含まれていますので、そのまま引用することにします。噴火等と書くべきかもしれませんが、わずらわしいので、ここでは噴火とだけ記載します。噴火活動が複数年にわたって継続した場合、年が変わるたびに1件と数えました。これとは別に同じ年に複数回の噴火の記載がある場合、そのままの噴火回数を記載しました。地震のデータはすべて日時がわかっていますが、噴火の場合、月だけ、年だけの記載もあります。月日のわかっていない噴火については、前後関係が明らかでない場合は、地震と関係のある噴火の中に入れていません。

地震断層の真正面にある火山のみを狭義の関係火山として第1表中に示しました。実は、その範囲から少しだけ外れたところにある火山が噴火した事例がいくつかあります。ここでは含めていませんので、ほかの文献のデータよりも噴火数は多少少なく計測されているかもしれません。

地震発生の日時と噴火発生の日時の数え方はそれぞれの

文献で異なりますので、両者の細かな関係を知りたい方は注意が必要です。以上の地震と噴火の基本的なデータはいずれも米国発です。

### 7. 影響を受ける火山の分布範囲の採り方

2004年のスマトラ島北部西方沖地震の後、ジャワ島東部の火山が噴火したら、それは地震の影響を受けたからだという話がありました。震源域の端から約2000km離れています。そんな無理な話が、とは思いましたが、そういう人のためにここでは震源となった断層の正面だけでなくそれより広い範囲についても噴火の数を計測する作業だけはしました。それらを広義の火山地域区分として第2表に示しました。したがってこのうち、インドネシア西部、アリューシャン、チリの3地域には、それぞれ2つの巨大地震が含まれていることになります。

第1図ではわかりにくいかもしれませんが、震源となった断層の正面にはふつう火山が連続的に分布しているのに対し、2番のスマトラ島北部西方沖地震や、5番のアラスカ、ラット諸島地震の場合、火山の空白域があります。どうしてそうなっているのかももちろん問題ですが、数を数える時にどう処理するのかも問題です。筆者の解決能力を超える問題ですので、ここでは何も特別な計算処理を加えていません。

第2表を見ると、総噴火数に対する1950年以降の噴火数の比が、他の地域に比べて東北日本で極端に低くなっています。距離当たりの1950年以降の噴火数は異常に少ないことはありませんので、特に不活発になったということではなく噴火の歴史記録量の差によるものと思われます。

### 8. 地震後3年間の噴火

狭義の火山分布範囲内で、巨大地震後3年以内に噴火したのは、9地震中6地震で、13火山、21噴火でした。計測した範囲内の火山のうち、1950年以降の約60年間



第3表 広義の火山地域内の地震後3年間の噴火数とすべての巨大地震との関係。  
太枠で囲った数字はそれぞれの巨大地震に対応する広義の火山地域内の地震後3年間の噴火数。

地震番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
広義の火山地域区分									
インドネシア西部	21	18	8	18	17	12	11	11	12
東北日本	0	0	0	7	2	2	2	0	6
千島カムチャッカ	9	12	7	11	18	13	16	11	18
アリューシャン	5	6	2	7	1	2	1	4	5
アラスカ	5	6	2	8	9	5	7	0	6
チリ	7	7	6	3	5	10	6	6	16
合計	47	49	25	54	52	44	43	32	63

での噴火数は467です。任意の3年間での平均噴火数は約23となります。つまり巨大地震発生後の3年間で特に火山活動が活発になっていたということはありません。

広義の火山分布範囲でも同じことが言えます。第3表に広義の火山分布範囲内の巨大地震発生後3年間の噴火回数を示しました。邪道ですが、対応する地震と噴火だけでなく、よその地域の噴火数も示しました。四角枠で囲ったのが対応する噴火数ですが、それ以外の巨大地震に対しても同様な数の噴火をしていることがわかります。東北地方太平洋沖地震後、東北日本の火山は噴火していませんが、よその国では噴火しています。たとえば悪いですが、海に向こうの国の王女様がくしゃみをしたら、我が国の王子様が風邪をひいた、ということでしょうか。

### 9. 地震後3日以内の噴火

狭義の火山分布範囲内で、巨大地震後3日以内に噴火したのは、9地震中3地震で、3火山、3噴火でした。3年間では、21噴火でした。3年間のうちの3日間は、およそ千に三つの確率です。千に三つが3回は、でき過ぎです。しかもこの3火山はいずれも狭義の火山分布の範囲内にあります。これは偶然ではないと判断してよいでしょう。ただし非常に大きな噴火はなかったようです。

### 10. 終わりに

2013年11月20日、伊豆諸島の西之島のそばで新たに火山島ができているという報道がありました。驚きました。常時観測していないところでは、現代日本の科学技術

をもってしても、島が海面上に出現するまで、誰もこの噴火に気が付かなかったのです。報道関係者はすぐに研究者に今後の見通しについて尋ねました。誰も的確に答えられませんでした。そうです。わかるわけがないのです。研究者は地下のマグマがどこにどれくらいあるのか皆目わかっていないからです。筆者がさらに驚いたのはこの先の話です。報道関係者は次に、将来日本付近で起こるであろう巨大地震との関係も聞いてきました。目の前で起きている火山の噴火の活動予測もできていない研究者に、それと関係があるのかもわからない巨大地震の予測など現状ではできるはずがありません。報道関係者は何も事情を知らないで無邪気に聞いたのでしょうか。それとも研究者がわからないことを知っていて意地悪く確認するために聞いたのでしょうか。

### 文 献

- 中村一明 (1971) I. 序論 1. 地殻歪の指示者としての火山—火山のテクトニクス例—。火山, 16, 63-71.
- Siebert, L., Simkin, T. and Kimberly, P. (2010) Volcanoes of the world. 3rd edition. Smithsonian Institution, Washington D.C. and University of California Press, Berkley, CA, 551p.
- 鶴川元雄(2007)富士山の低周波地震。荒牧重雄・藤井敏嗣・中田節也・宮地直道 編, 富士火山, 山梨県環境科学研究所, 161-172.
- 横山 泉 (1971) 大地震によって誘発された噴火。北海道大学地球物理学研究報告, 25, 129-139.

SUTO Shigeru (2014) A review about the relation between the great earthquake and the volcano eruption.

(受付：2014年3月5日)

# 誕生石の鉱物科学

## — 10月 トルマリン —

奥山康子<sup>1)</sup>

今回は、10月の第2順位の誕生石「トルマリン tourmaline」をご紹介します。トルマリンは日本語で電気石と呼ばれる鉱物の英名で、語源はスリランカという言葉であるシンハリ語の「turмали」とされます。ここでは宝石名としてトルマリン、鉱物名として電気石を使うことにしていきます。

10月の第1順位の誕生石であるオパールが含水シリカという単純な化学組成であったのに対して、電気石の化学組成は極めて多様で、正確にはいくつかの鉱物を包含する鉱物グループに当たります。電気石グループの鉱物の一般式は、 $AX_3Y_6B_3Si_6(O,OH)_{30}(OH,F)$ と表されます(A, X, Yは金属元素)。特徴的なのは、珪酸塩鉱物であるにもかかわらず、ホウ酸基 $BO_3$ が結晶構造の一部をなすことです。こうした化学特性を持つ鉱物を、特に「ホウ珪酸塩鉱物」と呼びます。鉱物の中にはホウ酸基だけが重合して構造をつくる「ホウ酸塩鉱物」という分類群があります。その結晶化学的性質は、マイナス・イオン基とプラス電荷を持つ金属イオンのシンプルな結合を基本とする炭酸塩鉱物などよりも、むしろ珪酸塩鉱物に近いとされます(森本ほか, 1975)。ホウ酸基が結晶構造の一部をなすホウ珪酸塩鉱物は、ホウ酸塩と珪酸塩の橋渡し役のような鉱物であり、電気石はその代表でもあります。

電気石グループの鉱物では、一般式のAを占める元素は長らくNaであると理解されてきましたが、1970年代のマダガスカル産宝石用トルマリンの研究から、Aの半分以上をCaが占める場合があることがわかってきて、化学組成の見直しが進みました。この結果、電気石グループに属する鉱物種数は、近年目立って増えてしまいました。それでも宝石トルマリンとしては、先の一般式でAがNa, XがLiとAl, そしてYがAlである「リチア電気石 elbaite」が圧倒的です。XがMgである苦土電気石にもまれに美しい褐色の物があり、宝石利用されますが、その他の電気石ともども例外的存在です。

リチア電気石は発色を担う遷移元素を含まず、本来は無



第1図 さまざまな色のトルマリンのカットストーン。パキスタン産。画面横幅約10 cm。

色です。リチア電気石の屈折率は極端に高くないのでカットストーンもくっきりした輪郭にならず、また光を七色に分光する分散能も高くないためダイヤモンドのようなファイアは望めません。残念ながら無色のリチア電気石は、宝石としての魅力を備えていません。しかし無色であるという事は、微量の遷移元素が存在すればいかようにも発色する可能性を持つわけで、事実、宝石となるリチア電気石は、第1図のように赤系・緑系・藍色系と実に多様です。まさに、語源であるシンハリ語「turмали」の意味「多様な色」とおりではないでしょうか。

赤・緑・藍色のトルマリンは、それぞれの色にちなむラテン語からルベライト、ベルデライト、インディコライトという宝石名を持ちます。第1図の中央より左側がルベライト、中央からやや右はベルデライト、そして右端の4個ほどがインディコライトにあたります(※電子版でご覧ください)。ルベライトの語源はまた、ルビーの語源と同じでもあります。1個の結晶で微量元素組成が異なるために部分ごとに色が異なることは珍しくなく、たとえば柱状の結晶の一端が緑、もう一端が紅色のものは、タイピン用に細長くカットされ、びっくりするような値段で店頭に並んだりします。また、結晶の中心が赤、周りが緑色という場合は、

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード：宝石、誕生石、鉱物科学、トルマリン、電気石、リチア電気石、ベグマタイト、焦電性





第2図 緑色のリチア電気石。曹長石（手前と右側の透明感のある部分）および鱗雲母（後方の六角板状結晶）と共存。パキスタン産。画面横幅約5 cm。



第3図 群生する鉄電気石の結晶。パキスタン産。画面横幅約10 cm。

輪切りにした平板を「ウォーターメロン（西瓜!）」と称し、ペンダント用などに愛用されています。色の上での別格が、微量の銅を含むリチア電気石「パライバ・トルマリン」で、スカイ・ブルー、水色、緑色を帯びた青色などネオン・カラーと称される鮮やかな色が、他のどの宝石にも見ない特色となっています。現在ほぼ絶産し、宝石としてはトルマリン離れした目の飛び出るような高値がつかます。

リチア電気石もよく見る黒い鉄電気石（※化学組成は上記一般式でA, X, YがそれぞれNa, Fe<sup>2+</sup>, Al）も、主に花崗岩体にもなうペグマタイトに産出します（第2, 3図）。この2つの図中の結晶のように、長く伸びた柱状結晶であることが普通です。三方晶系で、柱状結晶の断面は多くは角の取れた三角形からアンバランスな六角形となります。鉱物に関するWEBサイトの中には、電気石の結晶図を3次元的に眺めることが出来るものがあります（たとえば次のサイト <http://mindat.org/min-4003.html> 2014/09/04 確認）。第2図・第3図の画像と比較するのも面白いでしょう。

リチア電気石を産するペグマタイトはLiを濃集して特にリチウム・ペグマタイトと呼ばれ、他にも鱗雲母 (lepidolite) などLi鉱物を大量に産します。鱗雲母はLi資源とされることがありますが、リチア電気石の資源化はどうか。化学式から想像できるようにあまりLiが多くなさそうだけではなく、電気石一般の性質として耐酸性が強く、化学的に分解することが難しいからです。ちなみに産総研のある茨城県の北部には、全国的に有名なりチウム・ペグマタイトである「妙見山」があります。薄いピンクや緑色のリチア電気石は妙見山ペグマタイトの華で、地質標本館にも展示されています。が、残念ながら不透明で、宝石質とはとても呼べません。

ところで、トルマリンの和名はなぜ電気石なのでしょう？ 結晶の両端を導線でつなぐと豆電球が点灯する…なんてことではありません！ 鉱物学名はその著しい焦電性、つまり高い温度に加熱すると結晶の両端が正・負に帯電することにちなみます。鉱物の中でも電気石は特にその性質が著しく、上手にやると1cm角くらいの紙片をくっつけて持ち上げることが出来るほど帯電します。この性質は、電気石の分子自体が両端で濃集する電荷が異なる（※電気的分極）ことを、マクロ・レベルで表すものです。結晶の物理的特性としては、結晶に圧力を加えることで電荷を帯びる圧電性が良く知られています。電気石のような焦電性を持つ物質は常に圧電性を持ちますが、逆は必ずしもそうではなく、つまり焦電性結晶の方がより限定的な存在なのです。電気石を熱する焦電性の実験は簡単ではありませんが、注意しなければならないのは150～200℃程度の高温に加熱しないと十分に帯電しないことと、電気石結晶は脆く加熱によって破損しやすい点です。なげなしのきれいなリチア電気石を熱して焦電性を確かめようとしたら、途中ではじけ飛んでしまい、おまけにカケラに当たってやけどしちゃったということがないよう、ご注意ください。

足掛け3年にわたって連載してきた「誕生石の鉱物科学」も、これにてしめくりとさせていただきます。長らくのご愛読、ありがとうございました。

## 文 献

森本信男・砂川一郎・都城秋穂（1975）鉱物学。岩波書店、東京、640p.

OKUYAMA Yasuko (2014) Mineralogical science of birthstones — October: Tourmaline —.

（受付：2014年9月4日）

## 新刊紹介

### 世界の砂図鑑：写真でわかる特徴と分類

須藤 定久 著

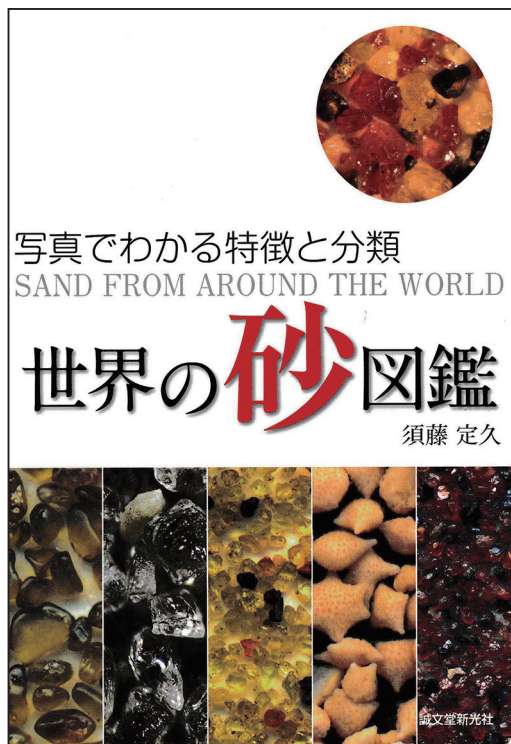
誠文堂新光社  
2014年2月28日(初版)  
サイズ：21 x 15 x 1.3 cm  
カラー版 223 ページ  
ペーパーバック  
ISBN：978-4-416-11436-0  
価格 2600 円+税

著者の須藤定久氏は、工業技術院地質調査所入所以来、砂や骨材についての研究を行ってこられた。2008年の退職後も産総研地圏資源環境研究部門鉱物資源研究グループのテクニカルスタッフとして活躍されている。

須藤氏は、故有田正史氏と一緒に「砂と砂浜の地域誌」シリーズを地質ニュースに全27回連載されていた。当時、地質ニュース編集委員をしていた私は、同シリーズの編集を担当させて頂くことが度々あった。地質ニュースは2011年3月号をもって発行休止となったが、彼らによる連載は2010年10月号(No. 674)まで継続されたと記憶している。

私は碎屑性堆積学もしくは堆積地質学が専門であり、これまで30年間は砂や砂岩を研究対象として取り扱うことが多かった。砂の定義は、1/16～2mmの大きさの粒子群である。一見地味にも見えるが、地質や環境を大きく反映し、地域的な特徴がある。人間社会への係わりもたいへん深く、例えばコンクリートの骨材として砂が無ければ現代社会は成り立たない。また、先日世界遺産に登録された富士山に三保の松原が含まれた経緯をみても、砂浜は日本の景観の一部であると世界中の人達からも見られていることがわかる。

この世界の砂図鑑では、「砂とは何か？」の解説から始まり、日本のみならず世界に存在する多くの砂の中から特徴的なものを300試料取り上げて、美しい砂の写真とその成因および特徴をわかりやすく紹介している文字通りの「砂の図鑑」もしくは「砂の教科書」である。本書は7章



からなり、第1章“砂とは何か？”，第2章“日本の砂”，第3章“世界の砂”，第4章“砂を調べる”，第5章“砂漠の砂、あれこれ”，第6章“役に立つ砂”，第7章“鳴き砂の話”から構成されている。本書中に使われている文章や写真の多くは、前述した地質ニュースの連載記事が元になっているらしく、その後、須藤氏が丁寧に編集しなおされたのであろう。

本書の楽しみ方は人によって様々あると思うが、個人的には、この図鑑を片手に、各地の海浜を散策するのが一番面白いと思う。ところで、2014年3月に横浜で開催された気候変動に関する政府間パネル(IPCC)38回総会の報告に基づいた最新の環境省の予測によると、21世紀末まで現在の地球温暖化が継続すれば、海面が60～63cm上昇し、日本を取り巻く砂浜の85%が海岸浸食によって失われると推定されている。その点において本書は、今後失われる可能性が高い我が国を取り巻く美しい砂や砂浜に対して、我々にその価値を投げかける啓蒙の書とも言えよう。

(産総研 地質情報研究部門 七山 太)



2013 年度第 4 四半期（2014 年 1 月～3 月）および 2013 年度全体の地質相談報告

下川浩一（産総研 地質標本館）

2013 年度第 4 四半期の相談件数は 134 件、回答者が複数の場合の延べ件数は 174 件で 2012 年度同期（以下、前年度；176 件、延べ 218 件）と比べて、件数、延べ件数ともに大幅減となりました。また、2013 年度第 3 四半期（以下、前期；172 件、延べ 207 件）と比べても、件数、延べ件数ともに大幅減となりました。

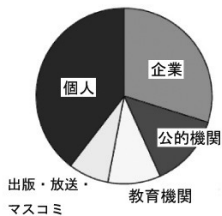
相談者の所属内訳では、前期と同様、個人からの相談がトップで 53 件（40%）、次いで企業 40 件（30%）、公的機関 18 件（13%）、教育機関 13 件（10%）、放送出版マスコミ 10 件（8%）となっています（第 1 図）。前期と比べ個人の相談が 3 件（10%）増加し、公的機関の相談は

11 件（4%）減少しました。

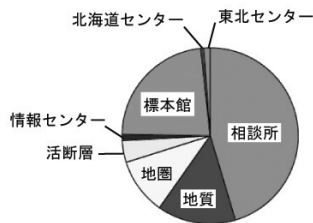
相談対応者の所属については、地質相談所が 79 件（46%）に対応しており、地質相談所に相談があったが専門家の回答が必要なため研究者に対応を依頼したもの、または直接研究者に相談があったものが 50 件（28%）、地質調査情報センターと地質標本館（地質相談所を除く）が合わせて 42 件（24%）、地域センターが 3 件（2%）でした（第 1 図）。

相談者からのアクセス方法については、メール（ファックス・手紙を含む）が最も多く 65 件（49%）、次いで電話が 52 件（39%）、面談が 16 件（12%）となっています（第 2 図）。回答方法では、メールが 57 件（43%）、電話が 48

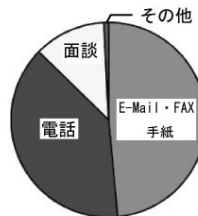
相談者所属（134 件）



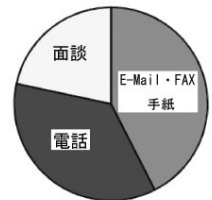
相談対応者所属（延べ 174 件）



アクセス方法



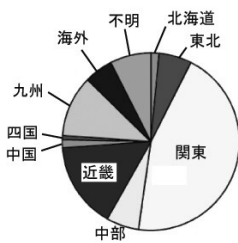
回答方法



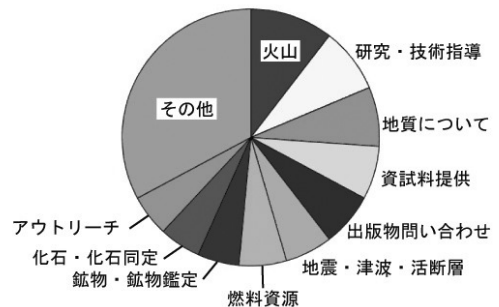
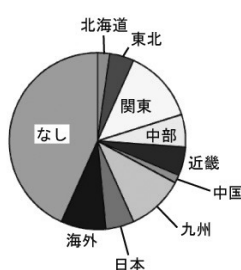
第 1 図 2013 年度第 4 四半期地質相談の相談者所属（左）および相談対応者所属（延べ数、右）。

第 2 図 2013 年度第 4 四半期地質相談のアクセス方法（左）および回答方法（右）。

どこからの相談（地域別）



どこについての相談（地域別）



第 3 図 2013 年度第 4 四半期地質相談の相談者所在地（左）および相談対象地域（右）。

第 4 図 2013 年度第 4 四半期地質相談の内容内訳。

件 (36%), 面談が 29 件 (22%) となっており (第 2 図), 回答方法で面談が増えているのは, 岩石や鉱物鑑定, 化石同定等での回答がほとんど面談によるためです。

相談者の都道府県別内訳については, 東京都の 30 件 (22%) をトップに, 茨城県から 17 件 (13%), 埼玉県から 5 件 (4%) など, 関東地域から 60 件 (45%) の相談がありました (第 3 図)。他の地域では大阪府と兵庫県が同数の 9 件 (7%), 鹿児島県が 5 件 (4%) となっており, 全体では 28 都道府県からアクセスがありました。ある特定の地域についての相談かどうかを調べてみると, 58 件 (43%) が日本各地の地質などについての問い合わせで, 外国についてのものは 11 件 (8%) ありました (第 3 図)。

今期の相談内容については, 火山に関する質問が 14 件 (11%) とトップで (第 4 図), とくに企業や公的機関からの相談が多く, これは 2013 年 11 月に, 西之島近海の海底火山噴火で新島が誕生し現在も活動が続いていることや, 2014 年は桜島の大正大噴火から 100 年目であることが関連していると思われます。そのほか, 研究・技術指導, 地質について, 資料提供, 出版物問い合わせ, 地震・津波・活断層, 燃料資源等, 多様な案件が寄せられました (第

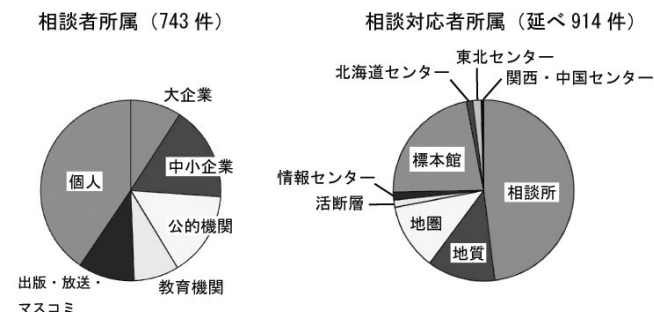
4 図)。企業からは研究・技術指導の問い合わせが最も多く, 個人の相談は, 燃料資源に関するものがトップでした。なお, 地質図に関する相談, または地質図に基づいて回答した相談の件数は 19 件で, 全体の 14% を占めています。

2013 年度全体の相談件数は 743 件, 回答者が複数の場合の延べ件数は 914 件で, 2012 年度 (相談件数 789 件, 延べ件数 988 件) と比べて両者とも大幅に減少しました。

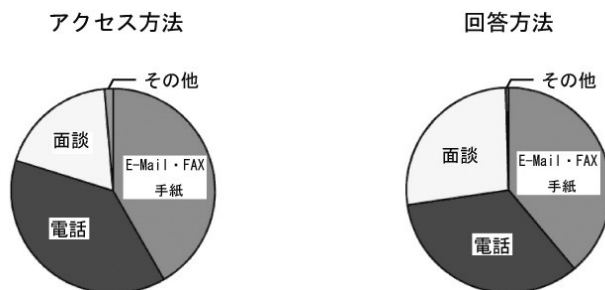
相談者の所属内訳では, 個人の相談が多く 301 件 (41%) で, 次に企業 194 件 (26%; 大企業 68 件 (9%), 中小企業 126 件 (17%)), 公的機関 113 件 (15%) となっています (第 5 図)。

相談対応者の所属については, 地質相談所が 439 件 (48%) に対応しており, 地質相談所に相談があったが専門家の回答が必要なため研究者に対応を依頼したものの, または直接研究者に相談があったものが 231 件 (25%), 地質調査情報センターと地質標本館 (地質相談所を除く) が合わせて 216 件 (23%), 地域センターが 28 件 (3%) でした (第 5 図)。

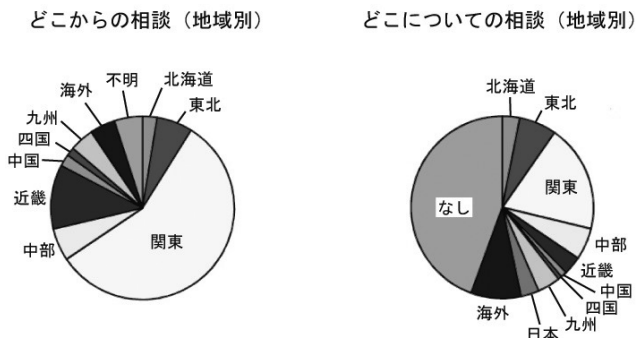
相談者からのアクセス方法については, メールが最も多く 310 件 (42%) で, 次に電話が 283 件 (38%), 面談



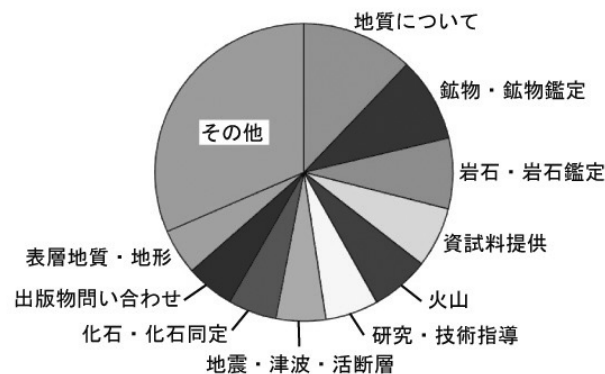
第 5 図 2013 年度地質相談の相談者所属 (左) および相談対応者所属 (延べ数, 右)。



第 6 図 2013 年度地質相談のアクセス方法 (左) および回答方法 (右)。



第 7 図 2013 年度地質相談の相談者所在地 (左) および相談対象地域 (右)。



第 8 図 2013 年度地質相談の内容内訳。



が140件(19%)となっています(第6図)。回答方法では、メールが289件(39%)、電話が251件(34%)、面談が200件(27%)となっており(第6図)、回答方法で面談が増えているのは、岩石や鉱物鑑定、化石同定等での回答がほとんど面談によるためです。

相談者の都道府県別内訳については、東京都の201件(27%)をトップに、茨城県から136件(18%)、千葉県から33件(4%)など、関東地域から421件(57%)の相談がありました(第7図)。他の地域では兵庫県41件(6%)、大阪府31件(4%)、北海道19件(3%)となっており、全体では41都道府県からアクセスがありました。ある特定の地域についての相談かどうかを調べてみると、323件(43%)が日本各地の地質などについての問い合わせで、外国についてのものは66件(9%)ありました(第7図)。

2013年度全体の相談内容については、地質についての質問や、鉱物・鉱物鑑定、岩石・岩石鑑定、資試料提供、火山など、多種の案件が寄せられました(第8図)。地質についての質問は90件(12%)で、地方の地質や地質図の見方等に関する相談が多く寄せられました。また、地質標本館での面談や地質情報展、移動地質標本館などでは、鉱物・鉱物鑑定、岩石・岩石鑑定、および化石・化石同定の相談が多く、この3項目を合わせると164件(22%)でした。さらに、大企業からの相談は研究・技術指導が最も多く、地方公共団体等の公的機関からの相談は、ジオパークと資試料提供に関するものがトップでした。なお、地質図に関する相談、または地質図に基づいて回答した相談の件数は106件で、全体の14%を占めています。

相談件数は、2012年度より大幅に減少しており、未登録の相談も多いのではないかと考えられます。

## 新人紹介 ①



### 最首 花恵 (さいしゅ はなえ) 再生可能エネルギー研究センター (地熱チーム)

再生可能エネルギー研究センターの地熱チーム 任期付研究員(2014年4月入所) 最首花恵と申します。専門は地化学です。

東北大学工学部機械知能・航空工学科、東北大学大学院環境科学研究科において土屋範芳教授に師事し、2014年3月に博士号を取得しました。研究室配属時から、シリカ鉱物析出反応とその地殻環境への影響に興味をもって、研究に取り組んできました。熱水実験・化学平衡計算・フィールド調査など各手法を組み合わせ、シリカ鉱物析出反応メカニズムと反応速度、石英脈やシリカスケールの形成過程、岩石透水性や地震発生に及ぼす地化学反応の影響を明らかにしたいと思っています。産総研の地熱チームにおいては、スケール形成の制御・抑制技術、地化学的な地熱資源量評価手法、地熱発電と温泉の共生システム、の開発と実用化を目指しています。異分野融合研究やア



New Zealand WAITOMOにて。

ウトリーチ活動などにも積極的に取り組む所存です。

宮城県出身(苗字は関東)、郡山市在住、東北の果物と和菓子(特にずんだ)が好きです。最近はずくばのさくら館が別荘になりつつあります。これからどうぞよろしくお願いたします。



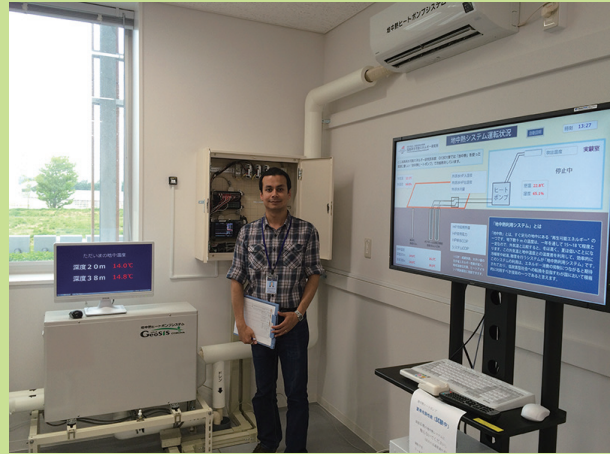
**Gaurav SHRESTHA** (シュレスタ・ガウラブ)

再生可能エネルギー研究センター（地中熱チーム）

2014年4月より再生可能エネルギー研究センター・地中熱チームに任期付職員として着任しました。シュレスタ・ガウラブと申します。ネパールのトリバン大学で修士課程を修了し、2011年3月に横浜国立大学大学院で博士号を取得後、2012年1月まで同大学の都市イノベーション研究院にて産学連携研究員をしていました。その後、2012年4月から2014年3月まで産総研特別研究員としてGSJに所属し、現在に至っております。

大学院では水環境マネジメントに向けた水質の影響要因分析をテーマとして野外調査、地下水循環分析、空間情報技術 (GIS) や数値解析に取り組んでおりました。また、博士課程後期修了後は地中熱利用に向けた地域の地下水・水温の把握に関する調査研究、地域冷暖房を基盤とした地域エネルギーシステムに関する研究にも携わりました。

地中熱チームでは、これまでの研究で培ってきたノウハウを活かして、現地調査と数値シミュレーションに基づいて地中熱利用の広域的なポテンシャル評価に取



り組んでおります。多岐にわたる地質分野については、研究・現地調査等を通じて日々新たなことを勉強させていただいております。今後も、多分野の方々から多くの知識を吸収し、研究者として成長していきたいと思っております。今後ともご指導の程、よろしくお願い申し上げます。



**石橋 琢也** (いしばし たくや)

再生可能エネルギー研究センター（地熱チーム）

再生可能エネルギー研究センター地熱チーム 博士型任期付研究員の石橋琢也です。2014年3月に東北大学大学院環境科学研究科の博士課程を修了し、4月より着任いたしました。学部時代から9年間を宮城で過ごしたため東北地方に非常に愛着があり、福島に配属となったことには何か運命めいたものを感じております。

専門は資源工学です。これまでは、き裂ネットワークにおける地殻流体の流動に関する研究に携わってまいりました。岩石き裂を用いた室内透水実験に基づいて、き裂流動特性のマルチスケールモデリング手法を開発し、さらにその結果を踏まえ、き裂ネットワーク内の優先流路のモデリング手法の開発に取り組んでまいりました。そして、北海道苫小牧の勇払油ガス田を例に、き裂ネットワーク内での三次元的な優先流路構造を明らかにしました。

産総研着任後は、注水にとまなう誘発地震の発生メカニズムや地熱貯留層内外の流体流動に関する研究に



対して、岩石実験と数値シミュレーションの両方の切り口から挑戦していきます。これらの研究を通して、地熱エネルギー利用の拡大に貢献できればと考えております。どうぞよろしくお願いいたします。





**小畑 建太** (おばた けんた) 地質情報研究部門 (情報地質研究グループ)

2013年11月より地質情報研究部門・情報地質研究グループに特別研究員として配属されました小畑建太と申します。専門は衛星リモートセンシングです。2012年3月に愛知県立大学大学院情報科学研究科で学位を取得し、その後約一年半にわたりハワイ大学マノア校でポストドクとしてアメリカの地球観測プロジェクトに従事しておりました。

大学に入学する前から環境問題や地球温暖化に興味を持ち、学部時代から産総研に着任するまでは二酸化炭素の吸収源である植生の衛星リモートセンシングに関する研究を進めてきました。特に、長期の植生モニタリングを行うために必要な、複数の地球観測衛星によるデータの統融合手法を開発してきました。

産総研配属後は衛星リモートセンシングの基礎知識を生かして、経産省の地球観測センサ (ASTER等) によるデータの精度を保つために必要な品質管理 (放射量校正) に関する研究に取り組んでおります。また、これまでの研究背景を生かして植生と密接に関連する地質のリモートセンシングに関する研究も進めたいと考えています。今後ともご指導よろしくお願いたします。



**宇都宮 正志** (うつのみや まさゆき) 地質情報研究部門 (層序構造地質研究グループ)

2014年4月に任期付研究員として地質情報研究部門の層序構造地質研究グループに配属されました。専門は古生物学と層序学で、特に石灰質ナノ化石層序を主な手法とし、新生代の堆積盆の形成史を研究しています。横浜国立大学の学部生時代に、化学合成二枚貝などの貝類化石を用いて古環境復元に取り組んだことがきっかけとなり、古生物と彼らが生きていた過去の地球環境の変遷に興味を持ちました。その後横浜国立大学の博士課程に進学し、2014年3月まで三浦半島の前弧海盆堆積物の年代層序と堆積環境の変遷を明らかにしてきました。

現在は5万分の1地質図幅「上総大原」(房総半島東部)を作成するために地質調査を進めています。この地域は学部生の頃に同期の仲間と調査に行き、ヒルと格闘しながら調査をした苦く懐かしい思い出があります。地質調査所時代より数多くの先輩方が調査してきた関東地域の新境界を担うことに身が引き締まる思いです。若輩者で



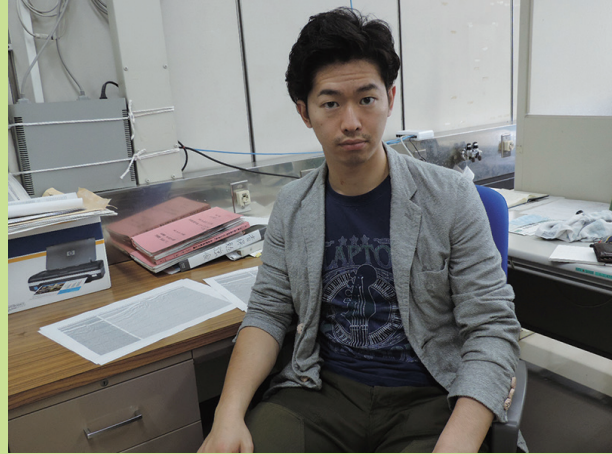
到らぬ部分も多いかと思いますが、所内の様々な分野の研究者の皆さまと研究を行っていきたくと思っていますので、ご指導ご鞭撻のほどお願いいたします。



**古山 精史朗** (ふるやま せいしろう) 地質情報研究部門 (海洋地質研究グループ)

地質情報研究部門海洋地質研究グループの古山精史朗です。2014年3月に九州大学で学位を取得し、4月から特別研究員として産総研に入所しました。専門は古生物学・層序学で、九州大では、エディアカラ動物群の出現やカンブリア爆発といった先カンブリア紀最後期～初期カンブリア紀の動物の進化と古海洋環境との関係性について研究を行ってきました。生物進化の研究では、古生物学・堆積学・地球化学などによる多角的なアプローチが必要となるため、学位取得に当り様々な研究手法を学ぶことができました。

産総研着任後はフィールドを海に移し、反射法地震探査による沿岸域の海洋地質構造解析に取り組んでいます。房総沖を主な調査地域として、第四紀の海水準変動とそれに伴う地下構造・堆積プロセスの解明が目的です。基礎研究の意義をわきまえ、社会に貢献できるような結果を残したいと思います。



これまでの研究とは時間スケール・研究対象が全く異なっているため、戸惑うことや新たに学ぶことも多々ありますが、何事にも積極的に挑戦し研究者としての幅を広げていきたいと思っています。御指導・御鞭撻のほどよろしくお願いします。



**遠藤 俊祐** (えんどう しゅんすけ) 地質情報研究部門 (地殻岩石研究グループ)

2014年4月1日付で地質情報研究部門地殻岩石研究グループの任期付研究員となりました遠藤俊祐と申します。名古屋大学で学位を取得し、産総研には二年間ポスドクとして在籍しておりました。専門は変成岩岩石学・構造地質学で、特に沈み込み帯の物質科学やテクトニクスに関心があります。

博士課程では、エクロジャイトという沈み込み帯の奥深くで形成される大変美しく重い岩石が、地下60~80kmからどうやって上昇してきたのか、という課題に取り組みました。このエクロジャイト、日本では四国赤石山系の急峻な稜線部を構成する岩石です。大きなガーネットの結晶を含む露頭からインスピレーションを受けつつ、山中ツェルト泊で調査するのが楽しみでした。また、稀少な低温タイプのエクロジャイトを求めてグアテマラ調査にも行きました。

今後は、弱変成付加体～変成帯が分布する地域の地質図幅作成を行う予定です。図幅調査で扱う豊富な天



然のデータを使って、沈み込み帯中～深部での変成作用やそれに伴う流体発生過程を解明したいと考えております。今後ともよろしくお願い申し上げます。



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 富島康夫  
丸山 正  
杉原光彦  
中嶋 健  
七山 太  
森尻理恵  
伏島祐一郎  
渡辺真人  
宮内 涉  
デザイン  
レイアウト 菅家亜希子  
10月号  
編集担当 大谷 竜

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3巻 第10号  
平成26年10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 前田印刷株式会社

© 2014 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: Yasuo Tomishima  
Tadashi Maruyama  
Mituhiko Sugihara  
Takeshi Nakajima  
Futoshi Nanayama  
Rie Morijiri  
Yuichiro Fusejima  
Mahito Watanabe  
Wataru Miyauchi  
Design &  
Layout Akiko Kanke  
editorial  
staff Ryu Ohtani

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. 3 No. 10  
Oct. 15, 2014

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

Maeda Printing Co., Ltd

© 2014 Geological Survey of Japan, AIST  
<http://www.gsj.jp>

