

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

4

Vol. 3 No.4

特集：活断層・火山研究部門の発足



読売新聞社機より撮影

特集：活断層・火山研究部門の発足

活断層・火山研究部門の発足	桑原保人	97
活断層評価研究グループの紹介	宮下由香里	98~99
地震テクトニクス研究グループの研究紹介	今西和俊	100~101
南海トラフの巨大地震の短期・中期予測をめざして ー地震地下水研究グループの最近の研究成果とこれからの研究についてー	松本則夫	102~103
海溝型巨大地震の履歴と規模の解明にむけて ー海溝型地震履歴研究グループの取り組みと今後の課題ー	穴倉正展	104~106
地震災害予測研究グループの紹介ー現在の到達点と今後の展望ー	阿部信太郎	107~108
火山活動研究グループ	石塚吉浩	109~110
マグマ活動研究グループ ー火山現象のモデル化に基づく活動推移予測を目指してー	篠原宏志	111~113
長期地質変動研究グループの紹介	塚本 齊	114~116
深部流体研究グループの紹介	風早康平	117~118
地下深部の核種隔離性能評価と長期予測に向けて ー地下環境機能研究グループの紹介ー	伊藤一誠	119~121

誕生石の鉱物科学 — 4 月 ダイヤモンド (2) —	奥山康子	122~123
-----------------------------	------	---------

● ニュースレター

2013 年度第 1 四半期 (4 月~6 月) の地質相談報告	下川浩一	124
2013 年産総研オープンラボ講演会「地質情報のデータバンク化と社会における利活用」開催報告 栗原文夫・中澤都子・岩男弘毅		125~127
2013 年 Geo アクティビティフェスタ優秀賞受賞報告	岩男弘毅	128

表紙説明

西之島火山は 2013 年 11 月 20 日に噴火が確認され、その後溶岩流流出が続いて、大きく成長しています。上空から観察すると流れ出した溶岩流や間欠的に赤熱溶岩片を噴き上げるストロンボリ式噴火が確認できました。2014 年 2 月 26 日読売新聞社機より撮影。(文・撮影；川辺禎久¹⁾ 1) 産総研 地質標本館)

Cover Page

Lava flows and stromboli eruption of the Nishinoshima Volcano. Taken from the YOMIURI SHIMBUN press airplane on February 26, 2014. (Photo and caption by Yoshihisa Kawanabe)

活断層・火山研究部門の発足

桑原保人¹⁾

2014年4月1日より、産総研地質分野の改組により、「活断層・火山研究部門」が発足しました。新しい研究部門の発足にあたり一言ご挨拶申し上げます。

2011年東北地方太平洋沖地震は、多くの尊い命と日本人が永々と積み上げてきた各種の資産を一瞬のうちに無きものにし、さらに原発災害をも引き起こしました。そして、3年経った現在もなおそれらの傷跡は様々な形で残っています。またこの地震によって、数百年に一度と言われる巨大地震や巨大火山噴火などのいわゆる低頻度大規模災害や、原子力利用の安全性への社会の関心は高まり、私たちの生き方そのものについても根本から考え直す必要性を認識させられました。一方で、日本列島は世界的に見ても活断層帯に属し、多くの歴史記録などから、今回と似たような辛い経験を何度も積んできたのだということもわかっていました。また、このような巨大地震や火山噴火などの地学的な現象は、津波堆積物や、地形・地層に残された活断層での地震発生の証拠、火山噴出物など地層の痕跡として残されています。このような痕跡が残った時代や広がり地質学的手法を用いた研究で明らかにすることによって、巨大地震や巨大噴火が過去に繰り返起こっていたことも明らかになっていました。このことから、防災における地質学への期待は大きくなり、中央防災会議の「防災基本計画」の見直しや原発の安全性の見直し、その他の多くの提言等で地質学的重要性が指摘されるようになりました。本来は、防災に係る地質学的重要性が、社会に対して低頻度大規模災害への対応の重要性を認識させるべきものを、逆に、今回の地震によって、図らずも地質学的重要性が認識されることになったとも言えます。

このような社会からの期待に応えるため、産総研地質分野では、地震、火山、長期的な地質変動の研究について、これまで分野の中で分散して研究してきた研究者を一つの部門に統合し、これまで以上に発展させることを目指すこととしました。ここで、長期的な地質変動の研究は、主に放射性廃棄物の地層処分等の安全規制において必要とされ

る数十万年単位の地質変動の評価を対象とするものです。新しい組織は、主に、旧活断層・地震研究センターで地震研究を行ってきたおよそ35名の研究者、地質情報研究部門で火山の研究を行ってきた20名弱の研究者と長期地質変動の研究を行ってきた20名弱の研究者が集まり、10の研究グループでスタートします。本特集号でそれぞれのグループの目指す研究をご覧ください。また、グローバル化する社会の中で、アジアに活動を広げる企業等への災害リスクに関わる情報の提供やアジア各国の防災への貢献を目指し、同地域の地震火山情報の整備を積極的に進めていくことにしています。

震災後の3年間、個人的には、確かな地震の想定を社会に示すことができなかつた無念さ、日本列島全体が大きな変動を受けた中で次に何が起こるか分からない無力感、社会の期待に応えられない情けなさなど様々な思いを抱えつつ、どのようにすれば低頻度大規模災害に対する社会全体のリスクを低減させることができるのかを考えながら研究活動を続けてきました。そして、国土の成り立ちを理解する地質学の研究そのものはもちろん、その成果を社会にわかり易く伝えることの重要性、また、高度に発達した社会の防災や原子力の安全利用は、地質学という狭い分野だけでは解決できない課題であることを再認識しました。科学を深化させるために科学の細分化は必然ではありますが、社会が直面する課題を解決するという観点からはそれぞれ細分化された科学をつなぐ統合が必要です。そのような意味で、新しい部門では、基礎から社会への橋渡しまでを担える体制の整備とそれぞれの場面で活躍できる人材の育成が重要であると考えています。

最後になりましたが、私たちの目標である、地震火山災害の軽減と原子力の安全利用への貢献は、社会を構成するあらゆる人たちの協力があってはじめて成り立ちます。新しい研究部門の活動に対して、皆様のご支援とご協力をお願い申し上げます。

KUWAHARA Yasuto (2014) Launch of a new research institute: Institute of Earthquake and Volcano Geology.

(受付:2014年04月01日)

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード: 活断層・火山研究部門, 地震, 火山, 長期地質変動, 地質学, 防災, 原子力安全利用

活断層評価研究グループの紹介

宮下由香里¹⁾

1. 活断層を理解し、地震を予測する

私たちが暮らす日本列島は、プレート境界の近くに位置するため、数え切れないほど多くの地震を経験してきました。そして、これまでの研究の積み重ねから、活断層に沿って内陸の大地震が繰り返し起こってきたことがわかっています。みなさんは、地震の時にできた崖や、川・構造物などのずれを見たことがありますか？ 地震は活断層がずれ動くことによって発生しますので、地形や地層に何らかの痕跡を残しています。そのような過去の地震の痕跡を調べることによって、次の地震の起こる時期や場所とその規模を推定することができます。

日本列島の陸域と沿岸海域部で、活断層を震源とするマグニチュード7クラスの地震が起こる頻度は、10年に1回程度とされています。しかし、これは明治以降、近代的な地震観測が行われるようになって以来、150年弱の記録に基づいているに過ぎません。活断層が引き起こす地震の繰り返し間隔は、数千年という時間オーダーです。将来起こる地震を予測する、すなわち地震の繰り返しモデルを作るためには、全国の活断層をくまなく調査して事例を集め、地形や地層に残された過去数万年間の地震の痕跡（時期・場所・規模）を、高精度で知ることが必要不可欠なのです。

国は1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）を契機に、全国の活断層調査に着手し、これを推進してきました。活断層評価研究グループは、旧地質調査所地震地質部、産総研活断層研究センター、産総研活断層・地震研究センターと所属を変えてきましたが、一貫して国の活断層調査研究を中軸機関として担い、推進してきました。その間、空中写真判読、地形地質調査、反射法地震探査などの物理探査を組み合わせ、活断層を見つけ出し、ボーリング調査、トレンチ調査（写真1）などによって過去の活動を明らかにしてきました。私たちは日本における活断層調査黎明期からの調査ノウハウを受け継ぎ、国内の活断層において、過去数万年にわたる活動履歴の解明を着実に進めています。



写真1 湯ノ岳断層のトレンチ調査の様子。2011年福島県浜通りの地震で現れた地表地震断層直下を掘削しました。

2. 次々と突きつけられる課題

ここで、過去15年間に国内で起こった主な被害地震を振り返ってみましょう。2000年鳥取県西部地震（M7.3）、2005年福岡県西方沖地震（M7.0）、2008年岩手・宮城内陸地震（M7.2）は、それまで活断層が認定されていなかった場所で発生しました。そして、「これまでの調査で見落としている活断層があるのではないか」という問題を提起しました。2004年新潟県中越地震（M6.8）、2007年能登半島地震（M6.9）、2007年新潟県中越沖地震（M6.8）が発生した場所も、必ずしも明確には活断層が認定されておらず、「マグニチュード7以下の地震にも備える必要があるのではないか、しかし、このような一回り小さい規模の地震に関する理解や研究は不十分なのではないか」という問題を提起しました。また、2007年の2つの地震は、陸域だけではなく、沿岸海域部や陸域活断層の海域延長部の活断層調査が必要であることも示しました。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震は、海溝型巨大地震が内陸

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：活断層，将来予測，地形地質調査，古地震，地震時変位量，断層破砕物質

活断層地震（福島県浜通りの地震（M7.0）など）を誘発するという、これまで知られていなかった新たな現象を見せつけました。

自然現象である地震から次々と突きつけられる新たな課題に対し、私たちは、「どのような研究を行ったらそれを解決することができ、次の地震の予測につなげていけるのか」との観点から、新たな活断層調査・評価手法の開発研究に取り組んでいます。次に、2つの例について、ご紹介します。

3. 新たな活断層評価手法の開発研究

日本列島の主要な活断層帯として、国は110活断層帯を挙げています。これらは、その長さも、地下での形状も、地震を起こす頻度も様々です。特に長大な活断層は、引き起こす地震の規模が大きいと予想されるので、その将来予測はとて重要です。しかし、長大な活断層は、全域が一度に地震を起こすだけではなく、いくつかの領域（セグメント）ごとに地震を起こす場合があることが知られてきました。当グループでは、この課題を解決するため、地震時変位量に着目して一度に地震を起こす領域を推定する手法の開発研究を行っています。地震時変位量とは、1回の地震の際に地表がずれ動いた量のことです。上下方向にずれた場合には崖の高さ、水平方向にずれた場合には食い違い量となります。トルコの北アナトリア断層や糸魚川-静岡構造線活断層系など、国内外の研究に適した活断層について調査を行った結果、地震時変位量がわかれば、どのセグメントが同時に地震を起こしたのかを知る手がかりになるということがわかってきています（Kondo *et al.*, 2010）。糸魚川-静岡構造線活断層系の調査結果は、縦4.5 m、幅2.5 mの「はぎ取り標本」として、産総研地質標本館ロビーに展示されていますので、是非ご覧になって下さい。

活断層が、過去のいつ地震を起こしたかは、活断層と地層の切り合い関係の観察と、地層の年代測定からわかります。例えば、活断層の地下の断面を観察し、「二千年前に堆積した地層は断層に切られているが、その上にある千年前の地層は断層を覆って堆積している」場合には、その断層は二千年前と千年前の間に地震を起こしたことになりま

す。しかし、2000年鳥取県西部地震の震源域など、堆積物（地層）が無い場所では、この方法は使えません。断層があっても、それが過去のいつ地震を起こしたのかわからないと、次にいつ頃地震を起こしそうなのか、また、その断層がそもそも将来も地震を起こす可能性のある「活断層」であるのかどうかを知ることもできません。この課題を解決するため、当グループでは、地層ではなく、岩盤中の断層破碎物質を使った活断層の評価手法開発にも挑戦しています。岩盤中の断層は、地震時に周囲の岩石を破壊し粉碎します。細粒になった岩石や鉱物は、周辺の水やガスと化学反応を起こし、組織と組成を変えていきます。国内の様々な断層について、この変化の様子を詳しく調べることで、断層の活動性と断層破碎物質の鉱物化学組成との相関関係を導き出そうとしています。

4. 今後の展望

これまでご紹介してきたように、活断層調査には時間がかかることが多く、その結果が誤差や不確実性を伴う場合もあります。近年では、都市開発等で調査地が限られてきたり、掘削重機が入ることのできない山間部のデータが必要になってきたりと、調査そのものの困難さも増してきています。当グループでは、困難な条件下にあっても、着実に活断層調査研究を進めていけるよう、日々調査スキルを磨いていきたいと思っております。併せて、新しい研究課題に挑戦し、それらの成果については、学術論文を公表して信頼性を高める努力をしていきます。また、これらの調査研究成果は「活断層データベース」や各種委員会活動、講演・広報等を通じて、迅速かつわかりやすく発信していきます。

文 献

Kondo, H., Özaksoy, V. and Yildirim, C. (2010) Slip history of the 1944 Bolu - Gerede earthquake rupture along the North Anatolian fault system: implications for recurrence behavior of multisegment earthquakes. *Jour. Geophys. Res.* 115, B04316, doi:10.1029/2009JB006413.

MIYASHITA Yukari (2014) Introduction of Active Fault Research Group.

(受付:2014年04月01日)

地震テクトニクス研究グループの研究紹介

今西和俊¹⁾

1. はじめに

将来起こりうる地震の規模予測を行ったり、一定期間内に発生する確率を計算する際、過去に起こった地震の痕跡や活動履歴を丹念に調べ上げていくことが基本になります。しかし、予測精度を高めていくためにはこれだけでは限界があり、地震が発生する場や発生にいたるプロセスを理解しなければなりません。つまり、地下の岩石に加わる力、それに対する地下深部における岩石の変形、断層に沿う小さな破壊の大地震への成長、そうした過程を支配している物理的・化学的メカニズムなどを、ひとつひとつ明らかにしていくことが必要になります。このような課題に取り組むためには、多岐にわたる調査・観測・分析、室内実験、数値シミュレーションなどを有機的に連携させるとともに、得られた結果を総合的に検討していく研究体制が重要です。

活断層・火山研究部門の設立に伴い研究グループの見直しが行われ、断層破碎帯、室内岩石実験、数値シミュレーション、地震観測・解析を専門とするメンバーが集まった新しいグループ(地震テクトニクス研究グループ)が設立されました。本稿では当グループが中心となって行うテーマを2つに絞り、その概要を紹介します。

2. 詳細な「力の地図」をもとにした地震テクトニックマップの作成

地下の岩石に加わっている力の本質はプレートの相対運動に起因しています。例えば東北日本では東西方向に圧縮する力が卓越していますが、これは太平洋プレートが日本列島の下に沈み込むことが一因と考えられています。このようなプレート運動に起因する力は広域応力と呼ばれており、日本列島のような島弧の形成や造山運動などと密接に関係しています。しかし、細かい空間スケールで見ると力の掛かり方は一様ではなく、広域応力からずれている領域もあることがわかっています。どのような地震が発生するのかを予測するにはこのような局所的な力の変化も併せた考察が欠かせませんが、現状では情報が不十分であり、その整備が急務の課題となっています。

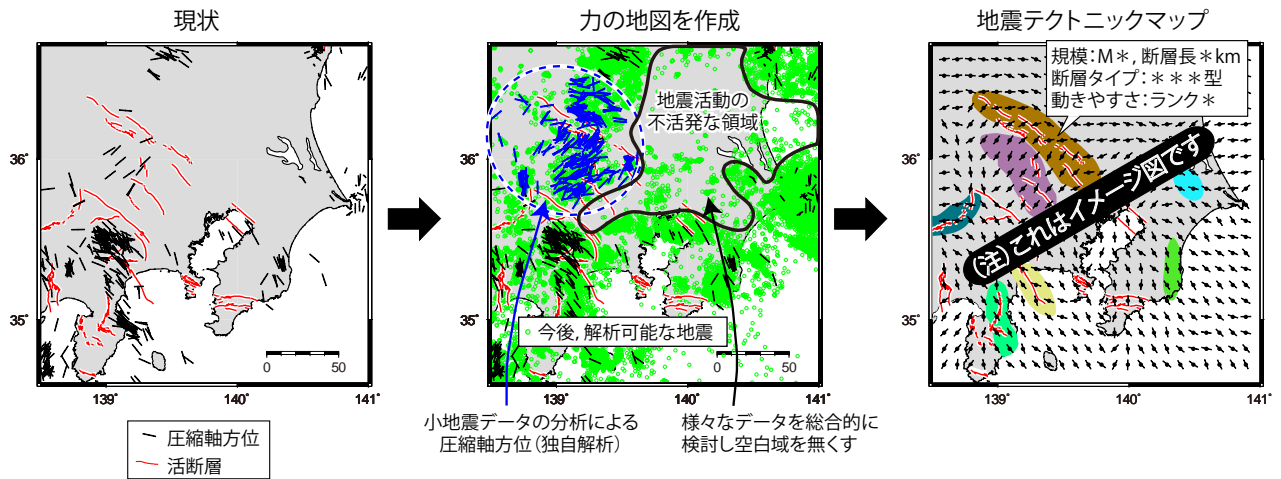
このような背景のもと、私たちは高い空間分解能を有する「力の地図」を作成していくことを計画しています。空間分解能としては最低限10 kmのメッシュサイズを想定しており、これによりマグニチュード6後半の中規模地震であっても最大規模や発生様式の評価に繋がれると考えています。中心となるデータは日常的に発生している小さな地震で、データの分析を行うことで地下にどのような力が掛かっているのかを知ることができます。小さな地震を使う利点は発生個数が多いところにあります。私たちは手法を高度化させることでマグニチュード0クラスの小さな地震まで分析できるようにし、「力の地図」の空間分解能を劇的に上げることに取り組んでいます。一方、地震活動が不活発な地域では地震データを頼りにできませんので、地形・地質情報、地殻変動データ、数値シミュレーション結果などを総合的に検討した上で適切な補間を行い、地図の空白域を可能な限り無くしていくことが重要なポイントになります。こうして推定した「力の地図」は地殻応力場データベース (<https://gbank.gsj.jp/crstress/2014/04/01> 確認) に反映させ、ユーザーが自由に使えるように整備していきます。さらにこの地図をもとに、活断層分布や断層形状などの深部地質情報、中小地震の応力降下量の空間分布、b値、3次元速度構造などの地震学的情報も含めて地震発生場の地域性とそのテクトニックな意味を解釈し、将来発生する地震の最大規模や発生様式を評価するための地図へと発展させていきます(第1図)。私たちはこれを地震テクトニックマップと呼んでいます。まずは関東地域の25 km以浅をケーススタディとして試作を開始し、3年後を目標にその結果を公表したいと考えています。

3. 断層深部変形プロセスの解明

内陸活断層で発生する大地震の震源の深さは10～15 km程度の断層深部に位置します。そこでの温度や圧力などの環境条件は地表とは異なる高温高压状態であり、岩石の変形様式は脆性から塑性的挙動に変わっていく遷移領域となっています。内陸地震の発生にはこの遷移領域にお

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：内陸地震、海溝型地震、応力、断層深部、断層岩、室内実験、数値シミュレーション、脆性-塑性遷移、予測、地震テクトニクス



第1図 当グループが目指している「力の地図」と地震テクトニックマップ。(左) 気象庁一元化震源カタログによる深さ 25 km 以浅の地震の圧縮軸方位分布 (1997/10/01-2013/12/31)。(中)「力の地図」の作成。小地震のデータ分析を基本とし、地震活動が少ない場所は様々なデータを総合的に検討しながら空白域をなくしていく。丸は気象庁一元化震源カタログによるマグニチュード 0 以上、深さ 25 km 以浅の地震活動 (2002/01/01-2013/12/31)。(右) 地震テクトニックマップのイメージ図。



写真1 地表に露出したニュージーランドアルパイン断層の深部(重松紀生氏提供)。地質調査に基づき変形履歴と変形機構、およびそれらを支配する応力との関係等を評価する。

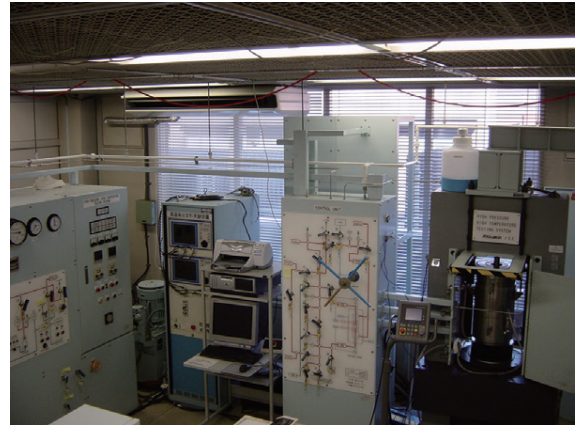


写真2 産総研が所有するガス圧式高温高圧変形試験機。断層深部における温度圧力条件を再現できるよう設計されている。

る変形プロセスが重要な役割を担っているとされており、断層深部で実際に起こっている現象を解明し、その成果を用いることで地震の発生時期予測の精度や確度の向上が期待できます。海溝型地震においても固着域深部における間欠的ゆっくりすべりが発見されるなど、断層深部に目を向けて大地震の発生機構を解明しようとする研究への機運が高まっています。しかしこのためには、断層深部で起こる現象の理解不足と、断層深部の直接観測が技術的に困難という2つの大きな問題があります。

近年急速に整備されてきた地震・地殻変動観測網により、日本列島の地殻変動や地震活動は、高精度かつリアルタイムで捉えることができるようになりました。これらの観測では断層深部についての間接的な情報を得ることはできませんが、直接的な現象を捉えることはできません。一方、かつて断層深部であった領域がその後の地殻変動などで地表に露出している場所は複数あります(写真1)。このような場所の地質調査や断層岩の分析に基づき、断層深部で起こる現象を推定することが可能です。また、推定された現

象を実験室で再現することにより、その力学的な影響、背景にある物理過程等の評価ができます(写真2)。さらに、評価が行われた現象を数値計算に取り込むことにより、実際の地球物理学的観測結果や地質現象の再現性を検討し、断層深部で起こる現象についての検証ができます。この繰り返しにより、断層深部で起こる現象の解明を目指したいと考えています。またこの過程で、地球物理学的観測により得られる情報と組み合わせることにより、断層深部で起こる現象を推定する手法も開発したいと考えています。

4. おわりに

本稿で紹介した課題はいずれも地震の発生時期と規模の予測技術を確認する上で土台となるものです。日々議論を重ねつつ、グループの総合力を活かすことで、これらの課題の解決に取り組んでいきたいと考えています。

謝辞: 第1図では気象庁一元化震源カタログを使用しました。

IMANISHI Kazutoshi (2014) Introduction of Seismotectonics Research Group.

(受付:2014年04月01日)

南海トラフの巨大地震の短期・中期予測をめざして —地震地下水研究グループの 最近の研究成果とこれからの研究について—

松本則夫¹⁾

1. 南海トラフ巨大地震の予測に向けた地下水・地殻ひずみ観測

東海地方から四国の沖合にある駿河・南海トラフでは、マグニチュード8クラスの巨大地震が100年から200年程度の間隔で繰り返し発生しています。

最近の地震研究の進展により、プレート境界にある南海トラフ巨大地震の想定震源域（第1図の固着域および第2図参照）の深部延長部（深さ30～40km：第1図の遷移領域）で、通常の地震よりも低い周波数を持つ「深部低周波微動（以下、微動）」が発見されました（Obara, 2002）。さらに、この微動の震源とほぼ同じ場所で、微動と同期して3～8ヶ月程度に1回の頻度で数日から1週間程度継続する「深部ゆっくりすべり（以下、深部すべり）」が発生していることもわかりました。

いくつかのコンピュータシミュレーションによって、巨大地震の直前に深部すべりが発生し、遷移領域から巨大地震発生域（固着域）に移動することが示されています。また、巨大地震が近づくと、微動と深部すべりの発生頻度が増えることや、すべりの大きさが大きくなることも示されています（例えば、Matsuzawa *et al.*, 2010）。

深部すべりによるひずみなどのデータの変化量は観測のノイズレベルに近いので、上述した地震発生シナリオに基づいて巨大地震の短期予測（数日前の予測）や中期予測（数ヶ月～数年前の予測）を行う際には、深部すべりを迅速かつ高精度に検出することが大きな課題となっています。この課題を克服するべく、微動と深部すべりの位置と規模をできるだけ迅速に正確に推定し、その時間変化を捉えるための観測技術・解析技術の開発を行い、南海トラフ巨大地震の短期・中期予測技術の開発に繋げることが地震地下水研究グループの研究目標です。

2. 最近の研究成果

当研究グループでは、1978年から大規模地震対策特別

措置法に基づき東海地震の想定震源域近くに10地点15本の地下水観測井戸を展開し、観測データを気象庁にリアルタイムで提供しています。さらに、東海地震の判定を行う地震防災対策強化地域判定会（以下、判定会）に説明員として参加することにより、国の地震予知事業を分担しています。

2006年に東南海・南海地震予測のための地下水等総合観測施設の建設を開始し、2014年現在16観測点で地下水・地殻ひずみ、傾斜、地震データを観測しています（第2図）。当研究グループでは、これらのデータを用いて深部すべりや微動を解析する手法を開発し、奈良県南部での深部すべりを初めて検出しました。また、遠地震の表面波によって深部すべりが誘発されたことを発見し、深部すべりが誘発される応力条件を明らかにし（Itaba and Ando, 2011）、世界で初めて深部すべりによる地下水変化を発見しました（Kitagawa and Koizumi, 2013）。また、これらの観測データのグラフ等を公開しています（<https://www.gsj.jp/wellweb/> 2014/03/10 確認）。

2011年より防災科学技術研究所（防災科研）との共同研究によって、産総研の地下水・ひずみ等のデータと防災科研Hi-net観測点の傾斜データとの相互データ交換をリアルタイムで開始しました。気象庁とは以前から同様なデータ相互交換が行われていますので、産総研・防災科研・気象庁データを統合して、今までより迅速で詳細な深部すべりの解析を行うことが可能となりました。深部すべりの解析結果は、毎月行われる地震調査委員会に報告すると共に、判定会と地震予知連絡会に報告しています。

本研究グループでは、南海トラフの巨大地震の予測に資するため、1946年南海地震前後の調査も行いました。地震前後の地殻の上下変動を推定するために、いくつかの機関の水準等のデータを収集し、さらに四国や紀伊半島で目撃証言や文献を収集しました。その結果、1946年南海地震前後の地殻の上下変動を従来より高い信頼性で推定することができました（梅田・板場, 2013）。

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：南海トラフの巨大地震、短期・中期予測、深部ゆっくりすべり、深部低周波微動、地下水、歪、地震発生シナリオ

3. 新研究部門での地震地下水研究グループの研究内容

当研究グループでは、今後も上述の深部すべり・微動を用いた南海トラフ巨大地震の短期・中期予測のシナリオに基づき、同地震の短期・中期予測の研究を継続します。予測精度向上に不可欠な深部すべり・微動のより迅速・詳細な解析のために、安定した観測と観測・解析手法開発の研究を継続します。

南海トラフ巨大地震の前には、上述した2つの地震発生シナリオ通りに進まない可能性もあります。確度の高い巨大地震の短期・中期予測を実現するためには、上述の地震発生シナリオの他に、あらかじめ可能性がある地震発生シナリオを複数用意し、観測データをモニタリングする必要があります。

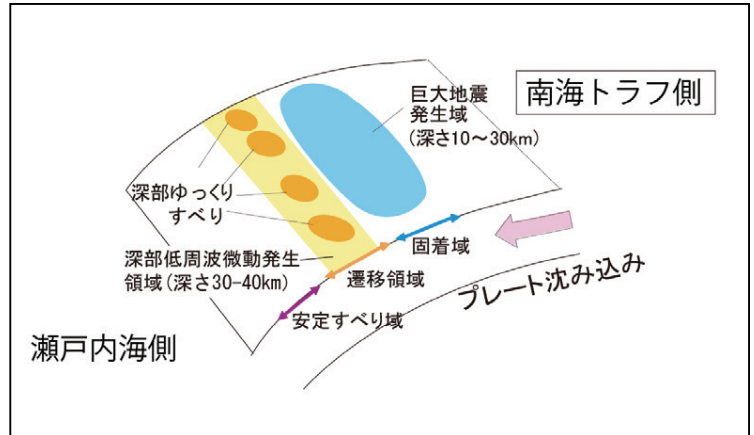
さらに、新たな地震発生シナリオの提案には、過去の地震前後の上下変動、地下水変化、潮位変動などの現象の把握や長期の測地・測量データの解析も重要です。適切な地震発生シナリオを選択するには、巨大地震周辺のプレート間固着の時空間変化の解析結果は必須です。当研究グループでは、地震発生シミュレーションの研究者と協力し、南海トラフ巨大地震周辺域での地下水等総合観測施設の観測データ・解析結果や上記の過去の地震前後のデータ、プレート間固着の解析を行い、その結果を提供することにより、新たな地震発生シナリオの提案と検証に貢献したいと考えています。

当研究グループでは、上記のほか、南海トラフ巨大地震周辺域での地下水等総合観測施設の整備および深部すべり・微動のメカニズム理解のための研究を実施します。

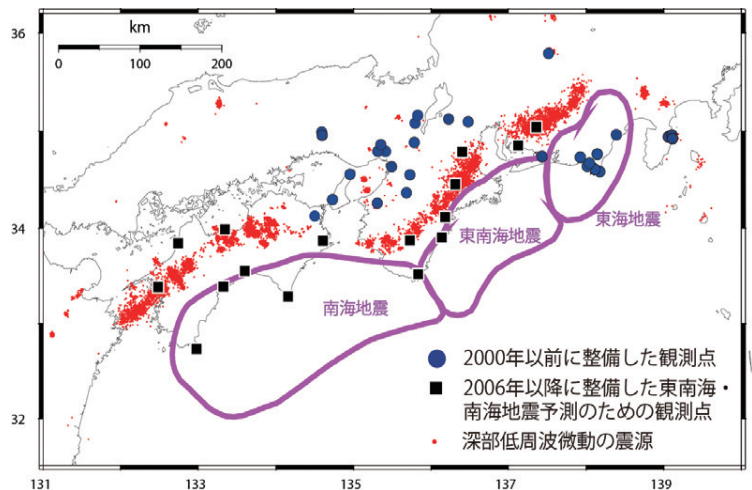
これらの研究によって、深部すべり・微動の詳細なモニタリングや、観測データとシミュレーションによる地震発生シナリオの作成・検証・絞り込みを行い、南海トラフ巨大地震の短期・中期予測を目指します。

文 献

Itaba, S. and Ando, R. (2011) A slow slip event triggered by teleseismic surface waves. *Geophys. Res. Lett.*, **38**, L21306, doi:10.1029/2011GL049593.
 Kitagawa, Y. and Koizumi, N. (2013) Detection



第1図 プレート境界における巨大地震発生域、深部低周波微動発生領域と深部ゆっくりすべり発生域の概念図。



第2図 東海・東南海・南海地震の想定震源域と、産総研が新たに整備した東南海・南海地震予測のための観測点および既存観測点。

of short-term slow slip events along the Nankai Trough via groundwater observations. *Geophys. Res. Lett.*, **40**, doi:10.1002/2013GL058322.

Matsuzawa, T., Hirose, H., Shibasaki, B. and Obara, K. (2010) Modeling short- and long-term slow slip events in the seismic cycles of large subduction earthquakes. *Jour. Geophys. Res.*, **115**, doi:10.1029/2010JB007566.

Obara, K. (2002) Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan. *Science*, **296**, 1679-1681.

梅田康弘・板場智史 (2013) 1946年南海地震前の四国太平洋沿岸の上下変動曲線. 地質調査研究報告, **64**, 201-211.

MATSUMOTO Norio (2014) Toward short- and intermediate-term forecast of the Nankai megathrust earthquake: recent and future research of Tectono-Hydrology Research Group.

(受付:2014年04月01日)

海溝型巨大地震の履歴と規模の解明にむけて —海溝型地震履歴研究グループの取り組みと今後の課題—

穴倉正展¹⁾

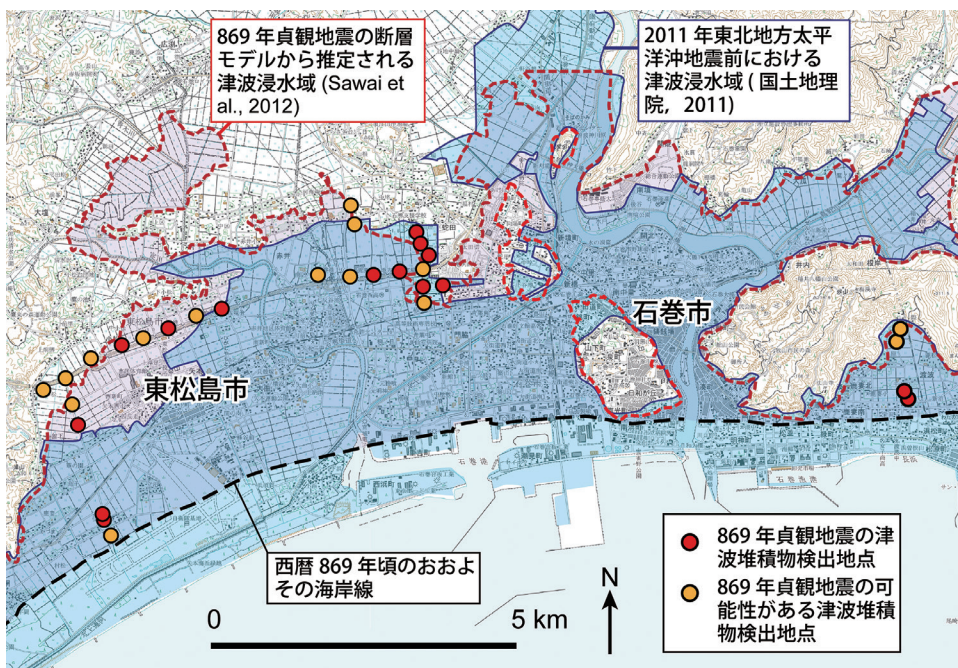
1. はじめに

海溝型地震はまれに巨大化し、大きな津波を発生させることがあります。そのような巨大地震は数百年以上の長い繰り返し間隔を持つため、正確な規模や長期的な発生時期を予測するには、過去にどのような地震や津波が起きていたのかを数千年オーダーで遡って解明する必要があります。そこで海溝型地震履歴研究グループでは、歴史記録や地形・地質に記録された痕跡の調査から、過去の海溝型巨大地震の発生時期や規模を解明し、地球物理学的な検討を通して震源域・波源域を復元する研究を行っています。調査対象はおもに日本海溝、相模トラフ、南海トラフなど、過去に繰り返し巨大地震を発生してきた海溝沿いの沿岸地域で、海外でも現地の研究機関と協力して調査を行うことがあります。ここでは当研究グループの現在のおもな取り組みと今後の課題について紹介いたします。

2. 津波堆積物調査に基づく過去の地震の復元

当研究グループは、その前身の研究チームが発足した2004年から、仙台平野や石巻平野において、西暦869年貞観地震など過去の津波に関する津波堆積物の調査を行い、その分布域から津波浸水規模や断層モデルを推定してきました (Sawai *et al.*, 2012)。この成果は国の地震調査研究推進本部の長期評価に取り入れられ、2011年4月に公表される予定でしたが、その直前に2011年東北地方太平洋沖地震が起きてしまいました。地震後の調査によれば、869年と2011年の地震は類似点が多く、津波浸水規模に関してはおおそ想定可能であったことがわかります (第1図)。

東北の地震には残念ながら間に合いませんでしたが、震災後、津波堆積物をはじめとした過去の巨大地震の痕跡を探る調査・研究の有効性が広く認められるようになりました。



第1図 石巻平野における869年貞観地震と2011年東北地方太平洋沖地震における津波浸水域の比較。国土地理院発行5万分の1地形図「石巻」「松島」を使用。Sawai *et al.* (2012) のmodel 10に基づく。2つの津波浸水域はほぼ同じ範囲をカバーしているが、両者で海岸線の位置が異なっていることや、津波堆積物の分布範囲と実際の津波浸水域は異なることなどに留意する必要がある。

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：海溝型地震、津波、履歴、津波堆積物、歴史記録、断層モデル、日本海溝、相模トラフ、南海トラフ



写真1 和歌山県串本町の名勝橋杭岩周辺に散らばる漂礫群。これらは南海トラフ沿いの過去の巨大地震に伴う津波で運ばれたと考えられる。

た。そこで震災後も引き続き各地で精力的に調査・研究を行っており、下北半島、房総半島や後述する南海トラフ沿いなどを重点的に調査して新たな知見が得られつつあります (Tanigawa *et al.*, 2014 など)。

しかし仙台平野等において2011年の津波堆積物を観察したところ、これまでの研究手法にも様々な課題があることがわかってきました。特に、津波の浸水域が津波堆積物の分布域よりも内陸まで広がっているということが、産総研や各機関の調査によって明確になり (Goto *et al.*, 2011; Sawai *et al.*, 2012; 宍倉ほか, 2012 など)、堆積物の分布域のみでは過去の地震の正確な規模の復元は難しいことがわかりました。この課題の解決方法の1つとして、2011年の津波堆積物で最も内陸における分布地点での津波の浸水深のデータに基づいた津波規模の再検討も試みています (Namegaya and Satake, 2014)。このほか、津波の被害を受けやすいリアス式海岸の陸域では、津波堆積物調査に適した場所が限られているという課題があり、新たな調査手法の検討も行っているところです。

3. 最大クラスの地震・津波の評価

東日本大震災以降、国や自治体による地震・津波の想定が見直されるようになりました。それらは従来の想定よりもはるかに大きく、考え得る最大クラスの地震・津波とされているケースが多く見られます。しかし実際には、過去にそのような規模の地震や津波が起きたという証拠は今の

ところありません。このため今後は、最大クラスの地震や津波が実際に過去にあったのかどうか、また上限規模はどれくらいか、といったことを検証することが重要な課題の1つとなってきました。特に、近い将来の発生が危惧される南海トラフ沿いでは、内閣府 (2012) による想定が社会的にも大きな影響を与えています。当研究グループでは、例えば静岡県沿岸での調査において、過去の津波の浸水距離の評価から、より具体的な過去最大クラスの津波浸水域について解明することを試みています (藤原, 2013)。また和歌山県串本町には、過去の巨大津波によって生じたと考えられる漂礫群が観察されます (写真1) が、これらの位置と質量から漂礫が動く条件を検討し、より具体的な津波の規模の評価を目指しています。なお、南海トラフに関しては文部科学省の「南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト」にも参画し、津波履歴調査を担当して本課題に取り組んでいます。

4. 今後に向けて

津波堆積物等の調査は、地道なフィールドワークを積み重ねることによって信頼性の高い成果を得る必要があるため、時間を要します。一方で研究成果を社会に活かすためには、データの迅速な公開も重要です。当研究グループでは、今後、各地の調査結果に基づく津波浸水履歴の情報発信に努め、地震・津波の防災・減災に貢献していきたいと考えております。

文 献

- 藤原 治 (2013) 地形・地質記録から見た南海トラフの巨大地震・津波 (東海地域の例) . GSJ地質ニュース, 2, 197-200.
- Goto, K., Chagué-Goff, C., Fujino, S., Goff, J., Jaffe, B., Nishimura, Y., Richmond, B., Sugawara, D., Szczuciński, W., Tappin, D. R., Witter, R. C. and Yulianto, E. (2011) New insights of tsunami hazard from the 2011 Tohoku-oki event. *Mar. Geol.*, **290**, 46-50.
- 国土地理院 (2011) 平成23年 (2011年) 東日本大震災 2.5万分1浸水範囲概況図91, 92, 96, 97. 国土地理院技術資料D・1-No. 589.
- 内閣府 (2012) 南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について (第一次報告) . 44p.
- Namegaya, Y. and Satake, K. (2014) Reexamination of the A.D. 869 Jogan earthquake size from tsunami deposit distribution, simulated flow depth, and velocity. *Geoph. Res. Lett.*, **41**, doi:10.1002/2013GL058678.
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Satake, K., Okaumra, Y. and Shishikura, M. (2012) Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geoph. Res. Lett.*, **39**, L21309, doi:10.1029/2012GL053692.
- 穴倉正展・藤原 治・澤井祐紀・行谷佑一・谷川晃一郎 (2012) 2011年東北地方太平洋沖地震による津波堆積物の仙台・石巻平野における分布限界. 活断層・古地震研究報告, no. 12, 45-61.
- Tanigawa, K., Sawai, Y., Shishikura, M., Namegaya, Y. and Matsumoto, D. (2014) Geological evidence for an unusually large tsunami on the Pacific coast of Aomori, Northern Japan. *Jour. Quat. Sci.*, doi: 10.1002/jqs.2690.
-
- SHISHIKURA Masanobu(2014) The actions of Subduction Zone Paleoseismicity Research Group for clarifying history and magnitude of subduction zone great earthquakes and its current issues.
-

(受付:2014年04月01日)

地震災害予測研究グループの紹介

—現在の到達点と今後の展望—

阿部信太郎¹⁾

1. これまでの研究と到達点

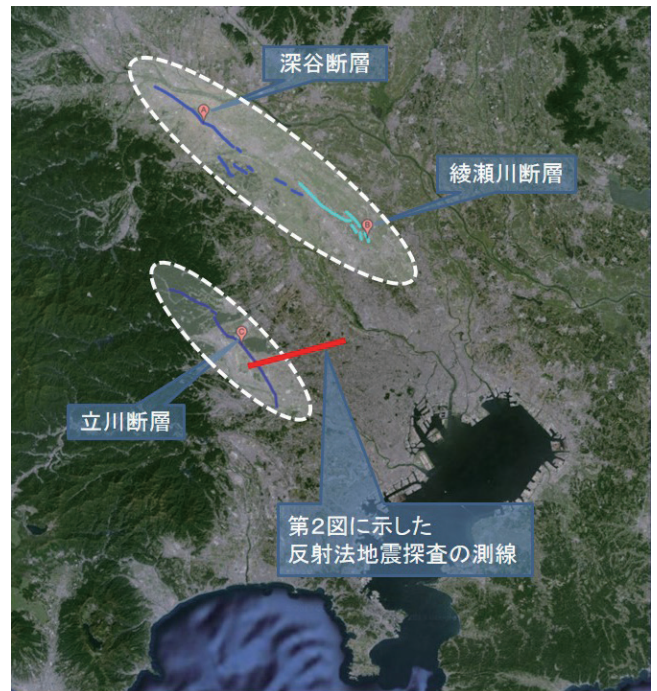
2009年4月、前身の研究組織であった活断層研究センターに引き続き、地震関連のグループが一体となった活断層・地震研究センターが設立されました。

その際、地震災害予測研究チームに与えられた最大のミッションは、活断層周辺における数千年オーダーの地表変形過程を復元し、その結果に基づいて、その断層が次に活動した際の地表変形を予測するためのモデルと解析手法を構築するという科学的には非常にチャレンジングなものであります。

これに対して、地震災害予測研究チームは、一つの研究ユニットに地形・地質から地球物理、土木工学までの多様な専門分野の研究者が集結するという活断層・地震研究センターの特長を最大限活かし、分野融合的な研究展開を推進してきました。

具体的には、地表の活断層から地下深部の震源断層までを一体的にとらえるため、日本列島各地の活断層において、地形および地質構造の変形過程を復元することを試みてきました。その際、地形・地質調査、物理探査の解析結果に基づいて地下の断層形状を地質学的に推定するバランス断面法や工学分野ではスタンダードに用いられている有限要素法を用いた応力変形解析を併用しつつ検討を進めました。

特に、厚い堆積物に覆われた関東平野北部に分布する深谷断層、綾瀬川断層周辺地域においては、地盤変形予測モデルを構築するため、高分解能な反射法地震探査を実施するとともに関東平野全域を対象として既存の深部反射法地震探査データについて他機関が取得したデータも含めて最新のデータ処理法による再解析を実施してきました(第1図)。これによって、従来は不鮮明であった関東平野の形成過程に大きくかわる基盤構造も極めて鮮明に確認されました(第2図)。これは、本研究のみならず首都圏の地震動評価の高度化に大きく貢献すると共に、この地域の既存データが未抽出な重要情報を多数含んでいる可能性が高いことを示唆する



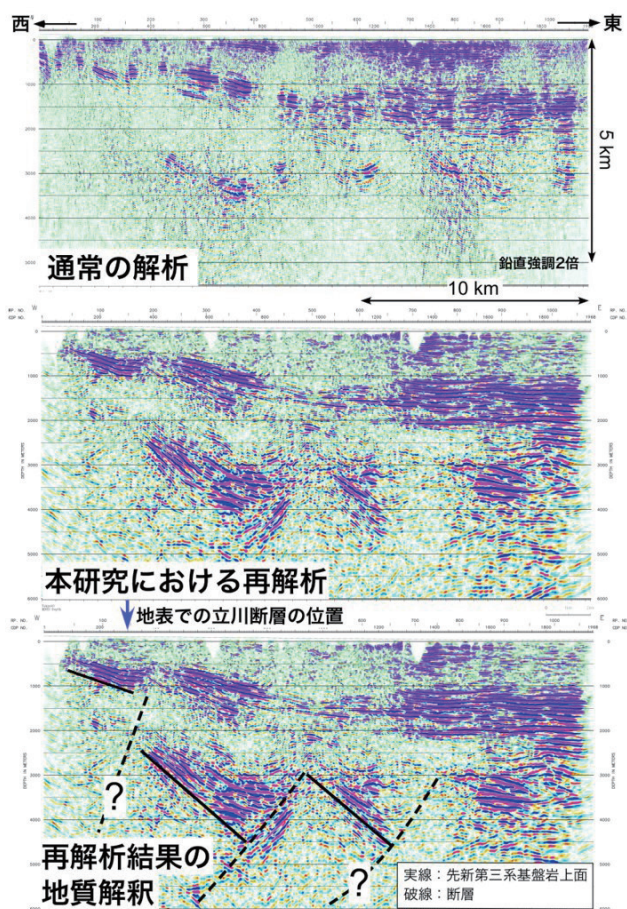
第1図 関東平野に分布する活断層(深谷断層、綾瀬川断層、立川断層)の位置。最新データ処理により再解析を実施した既存深部反射法地震探査記録(第2図)の測線位置。今後、新グループで取り組んでいく予定の3次元深部構造モデルおよび地盤変形予測シミュレーションの検討対象領域。

非常に重要な成果であったと考えています。

また、地表変形を予測するための解析手法については、断層変位に伴う地質構造の幾何学的な変形形状のみを説明しようとする従来の解析手法に加えて、実際の力学的な地盤物性も考慮した応力変形解析手法の適用およびその3次元解析への拡張も検討してきました。さらには従来の解析手法と比較すると格段に解析者の主観性が排除される地表変形の情報のみから地下の断層形状を自動的に推定する解析手法も構築しました。勿論、これらの解析手法は、それぞれに一長一短があり、様々な特徴を有しています。この点を踏まえれば、これまでの研究成果として最も重要な点は、地盤変形予測のために複数の解析手法を用いることが可能となったという点があげられます。すなわち、各手法による解析結果をクロスチェックしながら検討を進めるこ

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：地震災害予測、活断層、震源断層、地表変形、地盤変形、地下構造、反射法地震探査、シミュレーション、深谷断層、綾瀬川断層



第2図 関東平野を東西に横断する測線において東京都が2003年に取得した深部反射法地震探査記録の最新データ処理法による解析結果と現時点の地質構造解釈。測線位置は第1図に示す。関東平野の深部に形成時のリフティングに伴う断層活動によって形成されたハーフグラベン構造が鮮明に確認された。

とにより、予測結果に対する信頼性をより向上させることが可能になったということです。

2. 新ユニットにおける地震災害予測研究グループの研究目標と展望

2014年4月、新ユニット「活断層・火山研究部門」の発足にともない、地震災害予測研究チームは、グループへ

と名称を変えて、新たなスタートをきりました。しかし、基本的な研究スタンスは、これまでと変わるものではありません。すなわち、地震学と地質学を地球物理学的な手法によりイメージングされた地殻構造を媒介として結び付けていくという境界領域を意識した研究姿勢を継続していきます。

今後、当グループは、これまでの研究成果に基づき、大地震時における地震動・地表変形予測の信頼度を向上させるため、浅層から地震発生層に至る活断層の3次元地下構造に基づく地震動・地表変形シミュレーション技術を確立していきます。そして、その技術を首都圏近傍はもとより、日本列島において過去に発生した大地震の震源域に分布する活断層等にも適用していきたいと考えています。まずは、今後3年程度を目途に、関東平野における既存の地下構造探査の結果に対して、深部構造を対象とした再解析を実施します。この結果に基づき地盤変形予測のための各種シミュレーションに拘束条件を与え、関東平野におけるより信頼度の高い3次元断層モデルと3次元深部構造モデルの構築を目指します。その後、それらのモデルに基づき、関東平野に分布する深谷～綾瀬川断層および立川断層等の地震時における地盤変形予測を実施しつつ、さらなる技術課題の探索と高度化をはかっていきたいと思っております(第1図)。

当グループは、現象説明が主たる目的となる理学分野の研究成果を実社会への反映が主たる目的となる工学分野の研究に如何に受け渡していくかを意識することによって常に社会に貢献できる研究グループであることを目指します。実際のところ理学分野と工学分野の融合は、研究者間での自然災害に対する防災認識のギャップもあり、一筋縄で片づけられる課題ではありません。しかし、来るべき首都圏直下の地震や南海、東南海、東海の地震にともなう地震災害を低減するための防災対策を迅速かつ合理的に進めていくためには避けては通れない可及的速やかに克服すべき課題であると考えています。

ABE Shintaro (2014) Introduction of Earthquake Hazard Assessment Group : future prospects and the current situation.

(受付:2014年04月01日)

火山活動研究グループ

石塚吉浩¹⁾

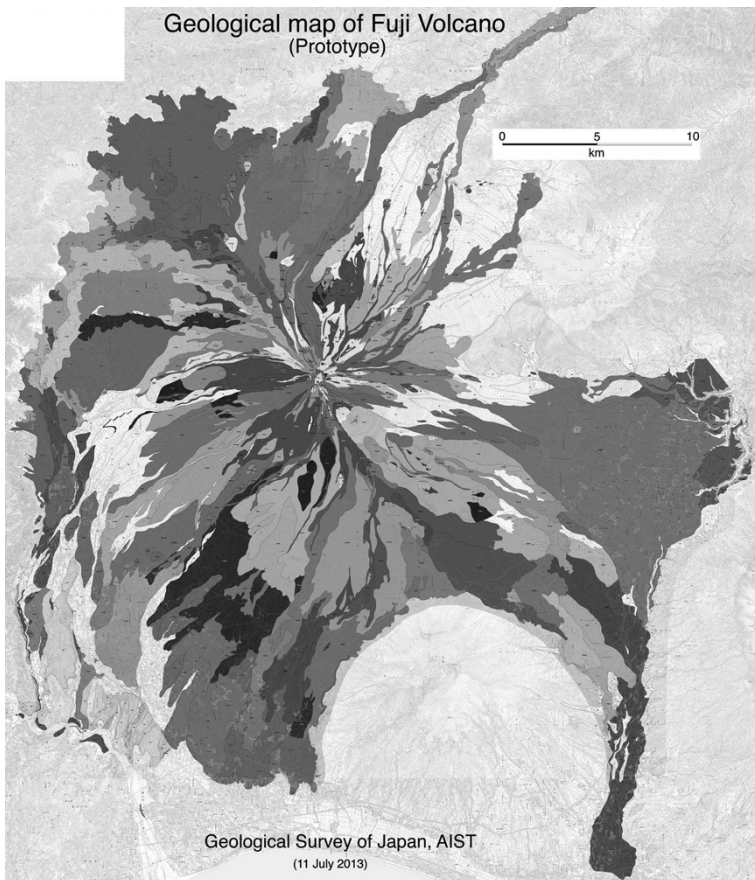
火山活動研究グループでは、主に地質調査に基づいた火山活動の履歴研究を、マグマ活動研究グループと協力しながら実施しています。火山には個性があり、似たような噴火を繰り返すことが多く、ある火山の過去の噴火履歴を明らかにして経験知を集約していくことは、その火山で今後起こりうる噴火の時期や様式、規模などを推察する大きな手がかりになります。このため、活動年代、噴出量、マグマ組成および噴火様式の変遷を明らかにし、それら成果を、1) 火山地域の地質図類、2) 日本の火山データベースとして整備しています。また、より信頼性の高い活動年代を得るために、3) 火山岩の年代測定技術の高度化を進めています。

火山活動の履歴は地層中の堆積物として残されており、それを地質学的手法で追跡し検討していくことによって、

中長期的な活動の変遷を理解することができます。そのため、詳細な現地調査を系統的に行い、いつ、どこで、どのような様式の噴火をして、どの範囲に噴火の影響を及ぼしたのかを表現した火山地域の地質図類を整備しています。火山地域の地質図には、活動的な活火山にターゲットを絞った火山地質図シリーズと、全国の火山を対象とした5万分の1地質図幅シリーズがあります。火山地質図は1981年の桜島火山出版以降、特に活動的である17の活火山を整備し、必要に応じて改訂してきました。2000年以降では、霧島、三宅島、岩手、口永良部島、有珠第2版、樽前、十勝岳、諏訪之瀬島、桜島第2版の整備が行われました。5万分の1地質図幅シリーズでは、活火山に絞れば、2000年以降、弥陀ヶ原、八甲田山、沼沢、開聞岳、池田・山川、西之島、榛名山が整備されています。現在、伊豆半島、八丈島、羅臼岳等で地質図作成のための調査を実施し、九重山、蔵王、富士山ではとりまとめ作業を進めています(第1図)。

これら地質図から得られる知見を、どのように将来の噴火活動推移に活かしていくのか、地質図の作成技術を進化をさせると同時に、利活用の検討を常に考えていきます。

地表地質調査に加え、ボーリング、トレンチや海底調査などの技術を組み合わせた火山活動の履歴解明も進めています。例えば、伊豆大島火山ではボーリング・トレンチ調査により、今までの地表地質調査では見えていなかった噴出物を見出し、より正確な時間軸での噴火史を解明してきました。更に周辺海域で調査を行い、従来見えていなかった海底に山頂から22 km以上に亘って側火口が延びていることを明らかにし、それら噴出物を採取することで、マグマの水平方向への地殻内長距離移動に関する証拠を掴んできました。多くの火山が海に面している我が国海域での火山活動の理解の重要性を考えると、これら海陸を繋いだ調査は、将来の火山地域の地質図類整備に向けた重要な成果です。

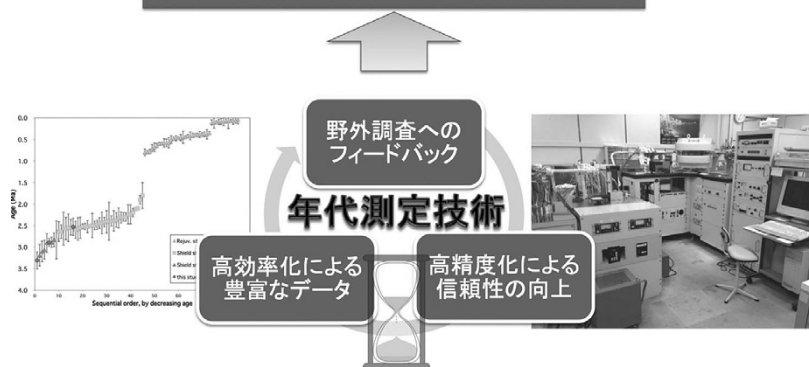


第1図 作成中の富士火山地質図(プロトタイプ版)。津屋(1968)の出版から約45年ぶりの全面改訂となる。

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：火山地質、噴火履歴、地質図、年代測定、データベース

火山活動の時間空間分布・ 発達過程の実態把握



第2図 火山岩に特化した K-Ar 年代測定技術の高度化. 山崎・松本 (2013) に加筆.



第3図 南側上空から見た噴火中の西之島. 2014年2月26日川邊禎久氏撮影.

火山の活動履歴やその発達史の解明には、正確な噴火年代の測定が欠かせません。火山活動研究グループでは、火山岩に特化した K-Ar 年代および Ar/Ar 年代測定の手法開発を行っています。特に従来は測定が困難であった 10 万年前より若い火山岩に適用することが可能な高精度な年代測定システムの開発を進めています。これら年代測定技術の高度化は、信頼性の高い活動年代を得るために不可欠であり、得られた年代値を野外へ素早くフィードバックすることで、正確な地質図作成に大きく貢献しています(第2図)。

得られた地質情報をより簡便に、よりわかりやすく社会へ還元するために、日本列島の火山活動の噴火履歴とその規模や噴火様式を、日本の火山データベースとして整備しています。日本の火山データベースは、日本列島の 110 の活火山と 450 以上の第四紀火山を対象とした現時点の最高精度の火山分布図となる「日本の火山(第3版)」(中野ほか, 2013)に基づき、データをより詳しく編集し公開しています。このデータベースでは、第一に第四紀での火山活動履歴と写真を揃え、更に活火山の場合、より詳し

い情報を掲載した 1 万年噴火イベントデータ集、個別火山のデータ(火山地質図集・詳細火山データ集・火山研究解説集)を作成しています。1 万年噴火イベントデータ集では、暦年代で統一した情報を、これまでに公開された文献から抽出して、統一フォーマットで記述しています。昨年 11 月 20 日に噴火した西之島火山については、噴火以前の現地調査に基づき整備していた地質図から、個別火山のデータを整備していました。東京から 1,000 km も南に離れた無人島であったため実際に調査を行った研究者は少なく、また約 40 年振りの噴火であり情報は限られていたため、この火山に関する基本的なデータはメディアを含め関係者に活用されました。本年 2 月 26 日には上空観察を実施し、依然活発にストロンボリ式噴火を繰り返し、溶岩流出が継続していることが観察されました(第3図)。

火山噴火発生時には、現地で緊急調査を実施し、他機関と協力して火山噴火予知連絡会等に噴火状況を報告することで、迅速な火山活動評価を行う活動も担っています。

文 献

- 中野 俊・西来邦章・宝田晋治・星住英夫・石塚吉浩・伊藤順一・川辺禎久・及川輝樹・古川竜太・下司信夫・石塚 治・山元孝広・岸本清行(2013)日本の火山(第3版). 200 万分の 1 地質編集図, no. 11, 産業技術総合研究所 地質調査総合センター.
- 津屋弘達(1968)富士火山地質図(5 万分の 1), 富士山の地質(英文概略). 地質調査所, 24p.
- 山崎誠子・松本哲一(2013)感度法による K-Ar 年代測定システムの高精度化. 地質調査総合センター研究資料集, no. 573, 15-18.

ISHIZUKA Yoshihiro (2014) Volcanic Activity Research Group.

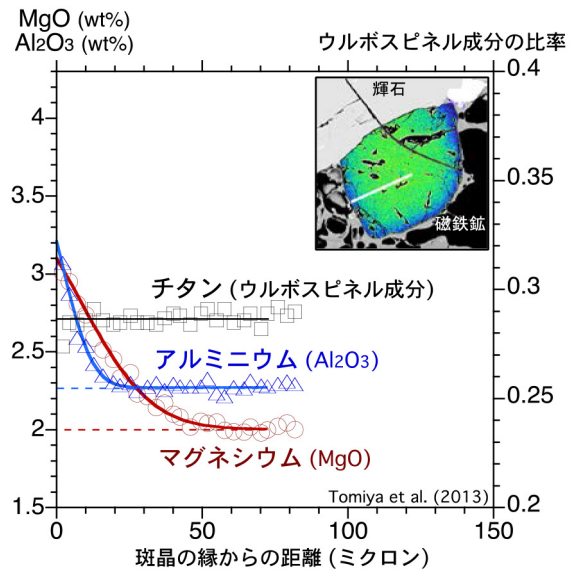
マグマ活動研究グループ —火山現象のモデル化に基づく活動推移予測を目指して—

篠原宏志¹⁾

マグマ活動研究グループでは、噴火発生や活動推移の予測を目指し火山現象のモデル化の研究を、火山活動研究グループと協力しながら実施しています。噴火による災害を軽減するためには、どのような様式の噴火が生じ、それが時間とともにどのように変化するかを予測することが重要です。近年の観測機器の発達・充実により、噴火前兆現象を検知した例は増えてきましたが、噴火の様式や継続時間、そして噴火開始後の噴火様式の変化を予測することは未だ非常に困難です。そのため、より多くの過去の噴火の事例を調べて今後起きうる噴火の様式や推移の特徴を明らかにすること、そしてその噴火様式や推移過程を支配している物理化学過程を明らかにすることが、噴火活動の推移予測を実現するために必要です。火山活動研究グループでは主に地質調査に基づいた過去の噴火事例の研究を実施しており、マグマ活動研究グループでは、火山噴出物の地球化学的・岩石学的分析、火山ガス・電磁気・地殻変動の観測や室内・数値実験など様々な研究手法を用いて火山現象のモデル化の研究を進めることにより、噴火活動推移予測手法の開発を目指しています。得られた観測データやモデルは火山噴火予知連絡会に提供して火山活動評価に生かされるとともに、web上で火山研究解説集等としても公開しています。

火山噴出物の組成や元素分布を分析・解析することにより、マグマの噴火直前の状態や噴火に至る変化を明らかにすることができます。我々は火山岩の全岩・石基・斑晶の化学組成や斑晶の構成を分析・解析することにより、マグマの温度・圧力・含水量・酸素分圧等を推定し、マグマ溜まりの状態の解明を進めています。マグマは多成分の複雑な系であり単純な相平衡図をそのまま適用することができないため、マグマの相平衡数値計算や高温高压反応実験の結果も組み合わせながらマグマの状態の定量化を進めています。我々が保有する内熱ガス圧式の高温高压実験装置では、最大2,000気圧でのマグマの溶融反応実験が可能であり、地殻浅部マグマ溜まりの状態を模擬した実験を行うことができます。本装置には減圧速度制御装置が備えられており、マグマの上昇噴火過程を模擬した実験も行われています。

マグマに含まれる水、二酸化炭素等の揮発性成分は、噴

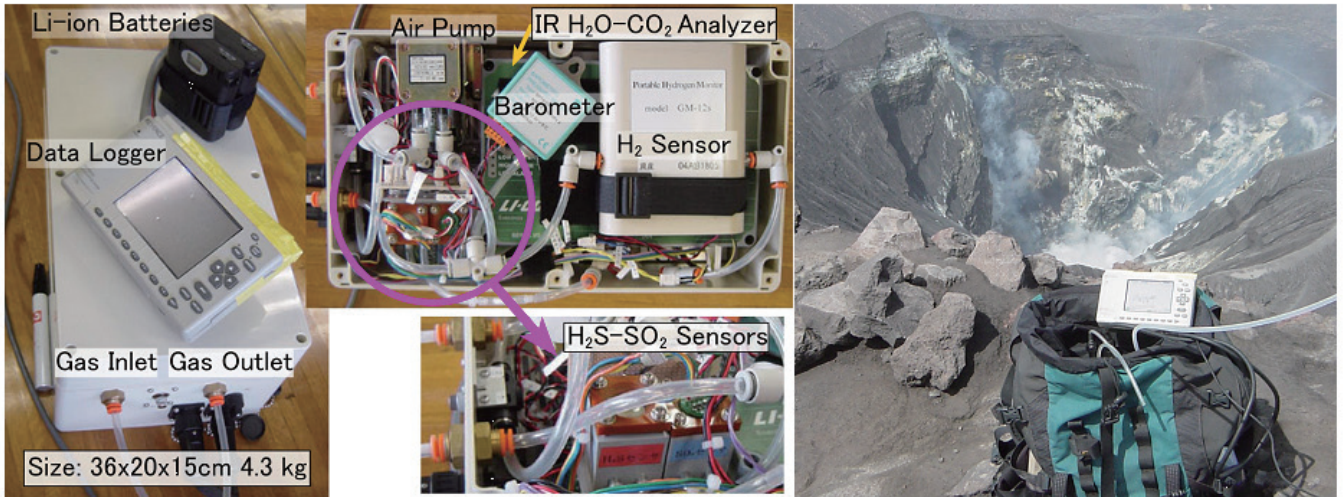


第1図 2011年新燃岳噴出物の磁鉄鉱中の元素分布の例。元素拡散の幅から、0.4～3日前に高温マグマの混合があったと推定される。

火の原動力であるとともにマグマの相平衡を支配する重要な要因であり、噴火の開始の条件やマグマ溜まりでのマグマの分化を理解するためには必要な情報です。しかし揮発性成分は噴火時にマグマから放出されてしまうため、噴火前の揮発性成分の情報を得るためには斑晶に捕獲された微細なメルト包有物の分析を行う必要がありますが、水素や炭素等の軽元素を電子線マイクロプローブで定量することは困難です。我々は二次イオン質量分析計を用いることにより噴火前の揮発性成分濃度の定量化を行い、噴火開始条件の解明を進めています。マグマ溜まりでは異なる組成のマグマが混合することによって、マグマ組成の進化が起きるとともに噴火開始の引き金になることもあります。そのため、斑晶中の元素分布の微細構造の分析を行うことにより、マグマ混合の時期や混合マグマのそれぞれの組成の定量化を進めています。例えば、2011年の霧島火山新燃岳の準プリニー式の噴火では、噴火の1日程度前に高温マグマが混合されたことが、噴出物に含まれる磁鉄鉱斑晶中の元素分布から得られた拡散プロファイルの解析に基づいて推定されました(第1図)。

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：噴火予知、火山活動推移予測、噴火機構、地球化学、岩石学、火山ガス、地球電磁気学、地殻変動、高温高压実験、アナログ実験

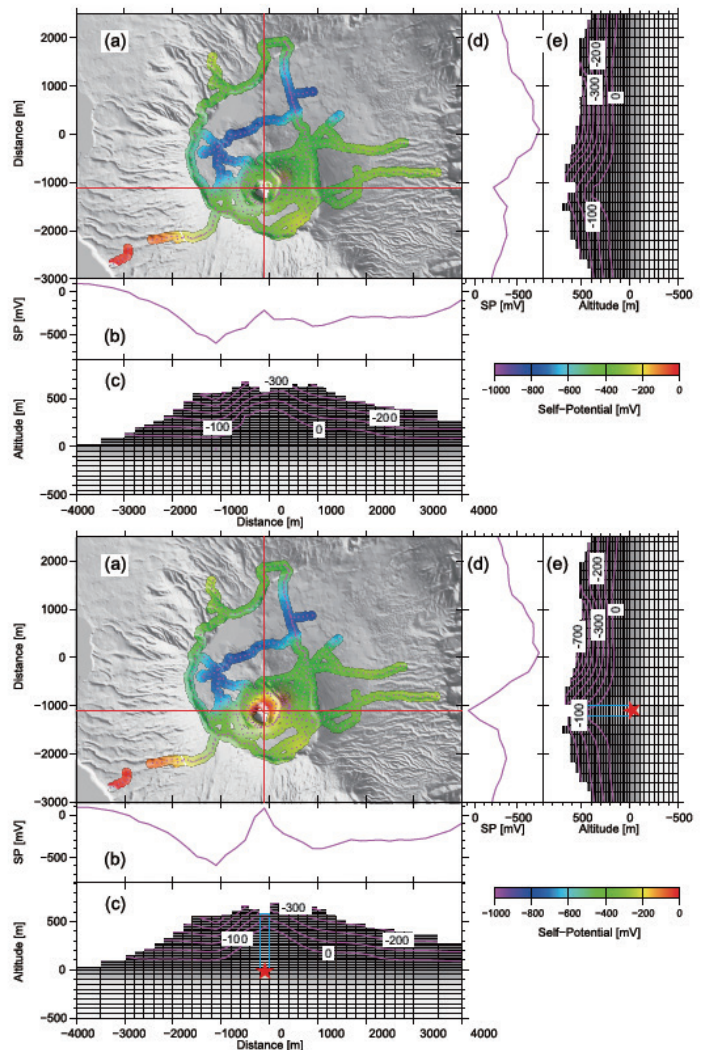


第2図 開発された火山噴煙組成の観測装置 (Multi-GAS). 左: 全体像, 中央上: 内部構成, 中央下: SO₂-H₂S センサー, 右: 諏訪之瀬島火山火口縁での観測風景.

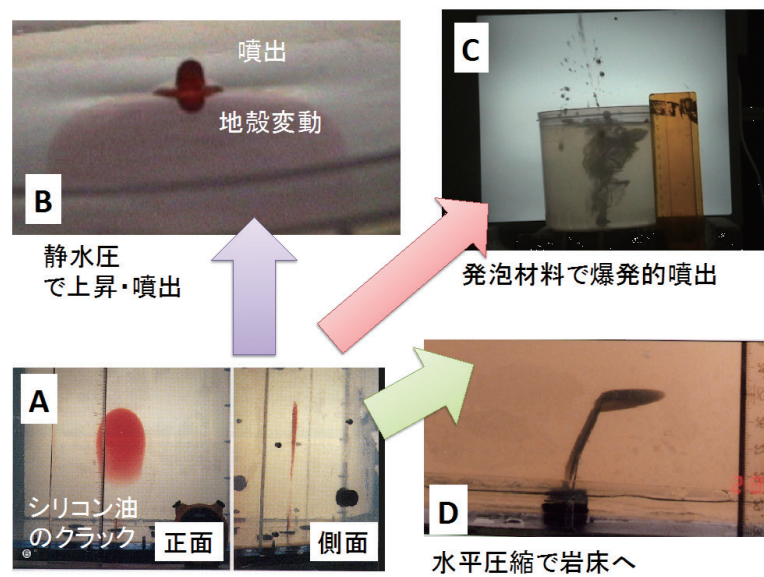
マグマ中に含まれている揮発性成分は、火山ガスとして地表に放出されます。

火山ガスの放出量や組成は、マグマの量や組成そして火山ガスを放出した条件（主に圧力）によって変化します。火山ガスは噴火発生時以外でも放出されているため、火山ガスの観測に基づいて火山活動の変化や噴火前のマグマ供給過程を明らかにすることが可能です。従来、火山ガスの研究は噴気孔からの火山ガスの採取分析を主な手法としていたために、研究対象が小規模な噴気活動に限られていました。我々は火山噴煙組成の観測装置 (Multi-GAS) を開発することにより、大規模な噴煙活動により放出された火山ガスの組成の観測を実現し、火山活動監視や火山ガス供給過程の研究を進めています (第2図)。従来は現地観測が必要であったため噴火等危険な条件下では観測が行うことができませんでしたが、Multi-GASの応用により自動連続観測や無人航空機を用いた観測により噴火を含む様々な状況下での観測手法を開発してきました。これらの火山ガス組成の観測や遠隔観測による火山ガス放出量観測により、噴火により放出された火山ガスの特徴を把握し、噴火発生条件を解明する研究を進めています。

火山体浅部にマグマや火山ガスが供給されると周囲の地下水系に熱やガス成分が放出され熱水系が形成されます。このようにして生ずる地表面での熱異常は噴火の前兆現象として多くの例が観察されていますが、その定量的な評価は十分行われていません。我々は、噴火前兆現象として生ずる熱水系の変動を定量



第3図 伊豆大島における火山ガスの上昇に伴う自然電位変化のシミュレーション結果 (上は初期状態, 下は火山ガス供給開始1年後の状態).



第4図 ゼラチンとシリコンオイルを用いた、マグマ上昇と噴火過程の再現模擬実験。

的に理解するために、地表面温度分布観測、電磁気観測、地殻変動観測や火山ガス観測により熱水系の変動を把握するとともに、それらの結果を用いた数値シミュレーションに基づいて火山活動の変化に伴う熱水系の形成・変動過程の研究を進めています(第3図)。火山体は不均質であるため熱水やガスの流動も局所的に生じます。そのため、現実に即した数値シミュレーションを行うために、比抵抗構造や自然電位分布の探査結果を反映して作成した水理構造モデルに基づいた評価を行っています。例えば、伊豆大島では自然電位の連続観測を実施して、熱水系の変動観測による噴火前兆過程の検知・評価手法の開発を進めています。熱水系の卓越する火山で発生する水蒸気爆発は、規模は小さいながら発生頻度が高い噴火です。我々は熱水系の卓越する火山においても、火口近傍でのGPS観測や干渉SAR時系列解析を実施することにより、熱水系の浅部で生じている変動を把

握するとともに、熱水系シミュレーションによる変動要因の定量化を進めています。

地下でのマグマの挙動を直接観察することはできません。しかし、類似物質を用いて火山現象を模擬した実験を行うことにより、マグマの上昇や噴火発生過程を直接観察して評価することができます。例えば、地下で固結したマグマの痕跡である岩脈の形状や分布を、ゼラチンとシリコンオイルを用いた実内実験により模擬した実験を行うことにより、マグマの上昇過程を規制している要因を解明することができます(第4図)。また、類似物質を用いた模擬実験は、一般の人に火山現象を視覚的に理解して頂くためにも効果的です。そのため、噴火機構の理解のための模擬実験を実施するとともに、それらを成果普及のためにも活用しています。

SHINOHARA Hiroshi (2014) Magmatic Activity Research Group: modeling of volcanic phenomena to predict volcanic activity changes.

(受付: 2014年04月01日)

長期地質変動研究グループの紹介

塚本 斉¹⁾

1. グループの研究目的

長期地質変動研究グループは、高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全規制支援研究をミッションとした深部地質環境研究コアを構成する主要な研究グループの一つです。当グループは、長期的な時間スケールにおける地殻変動や火山活動等の調査・研究を担当しています。

2. グループの研究資源

当グループは、グループ長以下研究職員6名（内1名は併任）とテクニカルスタッフで構成されています。グループ員の専門は、応用地質学、地球化学、断層・応力解析、宇宙線生成核種を用いた侵食速度測定、火山岩岩石学・年代測定、プレート運動の数値解析等多岐にわたっています。

当グループは、グループ員の多様な研究手法を活用することで、過去の地質変動事象の解析を高精度に行い、精緻な履歴データを整備するとともに、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うことで、地質変動事象の将来予測に対する科学的信頼性の向上を目指しています。このような長期的な地質変動の将来予測・評価手法の研究は、原子力規制庁からの委託研究（「地層処分に係る地質評価手法等の整備」）として実施するほか、交付金を活用し、長期地質変動に対して国として基盤的に整備すべき知見の整備や最新の研究動向に対応する調査・研究を実施しています。

3. 地層処分とグループの研究課題

高レベル放射性廃棄物等の最終処分を定めた法律（「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」）は、地層処分事業の立地選定における要件として、「地震、噴火、隆起、侵食その他の自然現象による地層の著しい変動の生ずるおそれが少ないと考えられる」、「最終処分を行おうとする地層が将来にわたって安定」している等の地質学的な条件を挙げています。

当グループは、上述したような長期地質変動事象の調査・評価に対する安全規制に対応した研究開発を行っており（第1図）、独立行政法人日本原子力研究開発機構等の他の研究開発機関の成果を踏まえた上で、規制当局が独自に研究を進めるべき調査・評価手法に関する課題や、基盤情報として規制当局も保持しておくべきデータベース等の整備を行っています。以下に代表的なグループの研究課題を示します。

断層の活動性に関する研究

断層の活動性を評価するための手法開発に向けた各種の研究、例えば、応力場と断層の走向・傾斜等の関係を考慮した断層の再活動性評価手法の検討、地質断層と古応力場に関する事例研究、数値実験による応力と断層の時空間発展に関する検討、断層岩の岩石・鉱物学的検討等を用いた評価手法を開発しています。

侵食速度や侵食メカニズムに関する研究

従来の地質・地形学的手法では直接的に解明することが難しい侵食活動について、宇宙線との相互作用により地表付近の岩石中に生成する「宇宙線生成核種」の蓄積量に基づく侵食速度推定手法の開発を行っています。様々な地形・地質・気候条件における侵食速度の測定に基づき、各種条件において卓越する侵食メカニズムに関する知見を整備し、日本列島各地に適応できる侵食速度測定手法の確立を目指しています。

沿岸域における隆起・侵食量評価に関する研究

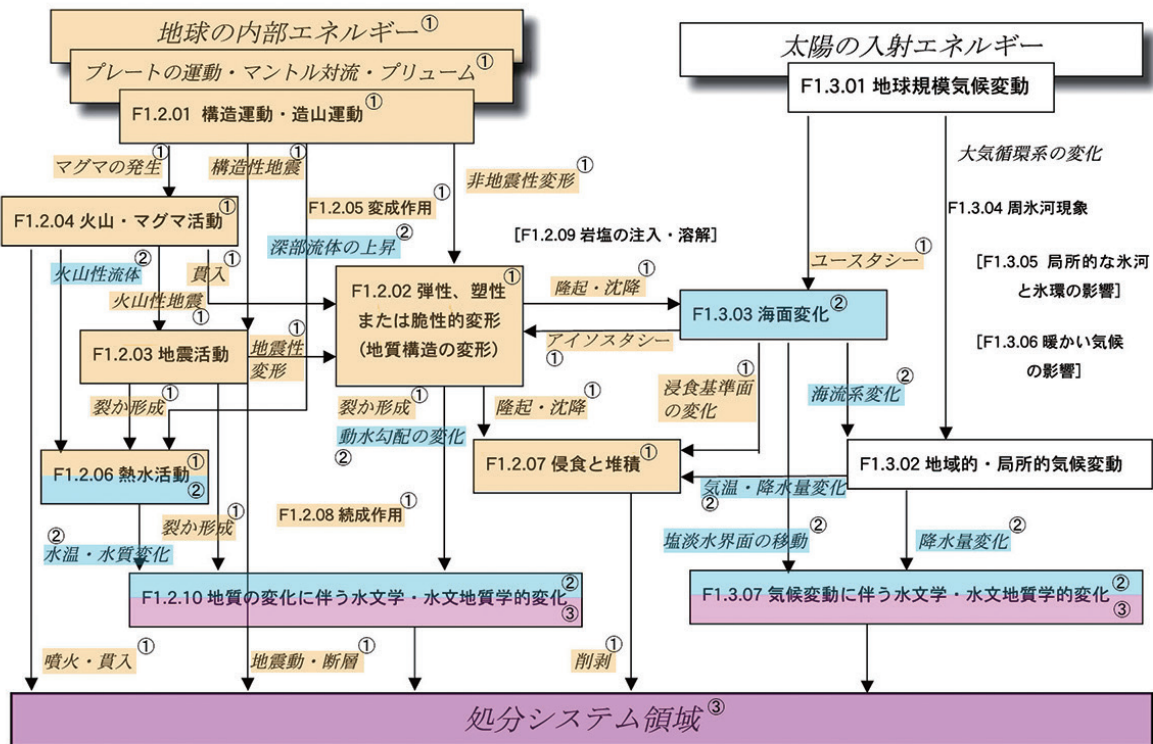
沿岸域における隆起・侵食量の推定精度の向上を図るため、海岸段丘の堆積相と形成年代、沿岸域の岩石強度、数値モデル等の検討を行っています。

マグマ活動の時空間分布に関する研究

第四紀の火山・マグマ活動について、年代測定値が存在しない、または年代値の信頼性が低いものについて、年代測定を行い、マグマ活動の年代と位置に関する知見を整備

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：地層処分、地震・活断層、火山・マグマ活動、侵食・堆積、隆起・沈降、地質年代



第1図 地質および気候関連事象と処分システム領域への影響 (深部地質環境研究センター編, 2007). 深部地質環境研究コアを構成する各研究グループの研究対象分野を色分けと番号で示す. 黄色①: 長期地質変動研究グループ, 青色②: 深部流体研究グループ, 赤色③: 地下環境機能研究グループ.

しています。また、マントルにおけるマグマ発生量を決定づける重要なパラメータである温度・圧力・化学組成・含水量の空間分布に関する知見を、岩石学および同位体地球化学的手法を用いて、整備しています。

日本列島周辺のプレート運動に関する研究

将来に起こりうる地殻変動を予測するため、太平洋プレートに比べて詳細な運動履歴が不明なフィリピン海プレートの運動履歴を数値解析により復元・検討し、過去のプレート運動に基づく将来予測手法の検討を行っています。

4. グループの主な研究成果

断層の再活動性と応力場

地質学で開発された応力逆解法の一つである多重逆解法を地震学へ応用し、地震の発震機構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まこまかく把握することが可能となる応力推定法を開発し (Otsubo *et al.*, 2008), 現在の応力場における断層の再活動性の検証や、断層活動による閉鎖後の地層処分場への影響の評価を行っています。

宇宙線生成核種を用いた侵食速度の定量的把握

岩石中に生成・蓄積する宇宙線生成核種、特に石英粒子中に含まれる¹⁰Beや²⁶Alなどの宇宙線生成核種を用いて、任意の侵食面や山地流域斜面等の長期の侵食速度を定量的に把握し、また各種地形発達段階における侵食プロセスを高精度に推定しています (Shiroya *et al.*, 2010; 城谷, 印刷中)。

第四紀火山岩体・貫入岩体データベース (西来ほか, 2012)

国際地質学連合 (IUGS) による第四紀の定義 (2.588 Ma ~ 現在; 2009) に対応することで、日本火山学会第四紀火山カタログ委員会編 (1999) 「日本の第四紀火山カタログ」などの従来の第四紀火山データベースでは認識されていない“第四紀”に活動した火山岩体および“第四紀”に貫入・固結し、その後の隆起・侵食作用によって地表に露出した貫入岩体を網羅した日本唯一のデータベースです。

5. 今後検討すべき研究課題

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震によ

り各地に生じた地質変動事象（東北地方太平洋沿岸域の沈降、いわき市で生じた正断層活動や温泉水の大量湧出）は、東北日本の地質変動活動に対する従来の考え方の再検討を促す事象であり、当研究グループにおいては、2011年に発生した各種の地質変動関連事象の実態解明を行うと共に、過去の地質変動事象に対する従来よりも高分解能の解析や物理モデルとの連携研究を通して、日本列島における地質変動プロセスの解明や地質変動予測モデルの精緻化を目指した研究を進めていきたいと考えています。

文 献

西来邦章・伊藤順一・上野龍之（2012）第四紀火山岩体・貫入岩体データベース．地質調査総合センター速報，no. 60.

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.

深部地質環境研究センター編（2007）概要調査の調査・評価項目に関する技術資料 —長期変動と地質環境の科学的知見と調査の進め方—. 地質調査総合センター研究資料集，no. 459，産業技術総合研究所地質調査総合センター.

Shiroya, K., Yokoyama, Y. and Matsuzaki, H. (2010) Quantitative determination of long-term erosion rates of weathered granitic soil surfaces in western Abukuma, Japan using cosmogenic ^{10}Be and ^{26}Al depth profile. *Geochem. Jour.*, **44**, no. 6, e23-e27.

城谷和代（印刷中）地質環境の長期安定性評価手法開発にむけた宇宙線生成核種の利用．地形.

TSUKAMOTO Hitoshi (2014) Introduction of the Geodynamics Research Group.

（受付：2014年04月01日）

深部流体研究グループの紹介

風早康平¹⁾

1. グループの研究目的

深部流体研究グループは、高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全規制支援研究をミッションとした深部地質環境研究コアを構成する主要な研究グループの一つです。当グループは、長期的な時間スケールにおける地震・断層活動、火山活動や海面変化が地下水系に与える影響の調査・研究を担当しています。

2. グループの研究資源

当グループは、グループ長以下研究職員8名、特別研究員2名、その他テクニカルスタッフで構成されています。グループ員の専門は、火山学、水文学、水文地質学、地球化学等を基盤とし、各種同位体を用いた地下水や地殻流体の起源、性状や流量等の解析や地下水の年代測定、沈み込み帯における水循環、マグマ性揮発物質の放出解析等多岐にわたっています。当グループは、原子力規制庁からの委託研究（「地層処分に係る地質評価手法等の整備」）を実施するほか、交付金を活用し基盤的に整備すべき深層地下水に関連する知見の整備や最新の研究動向に対応する調査研究を実施しています。

3. グループの研究課題と成果

地層処分においては、まず、長期的に地震、噴火、隆起、侵食その他の自然現象による地層の著しい変動の生ずるおそれが少ないと考えられる地域が選定されることになっていますが、数10万年にわたる期間で数100m以深の深層地下水系の安定性も評価されなければなりません。そのため、当グループでは、1) 地下水流動系は、どのくらい広がり、どこから涵養され、どこで流出し、どのような速度で流れているのかを明らかにする手法開発、2) 断層や火山の活動および長期にわたる海面変化等の長期的変動事象により、どのような影響が地下水系に起こりうるのか、どの程度の影響であるのか、さらに持続時間はどの程度か

等の将来予測に必要な手法開発、そして、3) これらの手法を適用する際に必要な各種地下水データの収集、整理および全国の深層地下水データを収録したデータベース化、などの課題に取り組んでいます。このように当グループは、規制支援研究として最終処分施設建設地選定段階の安全評価等に対応した研究開発を行っています（本号のp. 115の第1図を参照）。以下に具体的な課題と代表的な研究成果を示します。

地下水年代測定に関する研究：深層地下水の流動は非常に遅いのですが、超長期にわたる地下水系の流動やその変化を予測するため、数10万年以上の時間軸に対応した地下水流動予測手法が必要です。そのため、ヘリウム同位体、放射性塩素同位体比を利用した新しい長期年代測定技術の開発と複雑な地下水混合系に関する解析手法の開発と高度化を行っています。成果としては、ヘリウム同位体を用いた長期地下水年代測定技術を新しく開発した Morikawa et al. (2005) があり、地下水年代測定技術発展の根幹となっています。

我が国の深層地下水の実態解明とデータベース化：全国の深層地下水を対象として、その成因や分布状況について把握するため現地調査を実施しています。採取した地下水試料は速やかに分析され、性状や化学・同位体組成を収録した深層地下水データベース（高橋ほか、2011）に登録し、随時更新しています。収録されたデータは、規制当局において必要となる地層処分事業における候補地等の安全規制のための地下水の実態解明に速やかに利用される予定です。

各自然事象による地下水流動系の変化の予測と定量的評価：海面変化、火山活動、地震活動のそれぞれの自然事象に対応した長期的地下水変動に関する予測技術の開発を行っています。

1) 約10万年周期で訪れている海面変化による地下水系の変動予測のため、日本各地の沿岸部の深層地下水について、その塩水と淡水成分を分離し年代評価をする新技術を

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：地層処分、深層地下水、深部流体、自然事象の影響、地下水年代

開発し、その適用性について検討を行っています。

2) 火山・マグマ活動が地下水系に与える影響の評価のため、活火山周辺の地下水系へのマグマ起源ガス種の移流・拡散範囲やその濃度および流量に関する定量評価技術を開発しました (Ohwada *et al.*, 2012)。今後は、カルデラ火山のような大規模システムに関する研究が必要です。

3) 地震・断層活動が地下水系に与える影響・変動に関しては、断層を水みちとして上昇する深部流体の検出とそれによる地層との反応プロセスと水質形成過程の解明に関する研究を行っています。また、平成 23 年いわき内陸地震に伴う温泉の大量湧出事例について、その原因と将来予測に関する検討を行っています。

深部流体・熱水活動の将来予測及び影響範囲と定量的評価:

日本列島は、非火山性の温泉が多数存在し、それらの成因や活動予測が重要なテーマとなっています。有馬温泉水に代表されるマグマ水と似た化学・同位体成分を持つ非火山性の水は、スラブ起源の熱水であることがわかり、日本各地の火山や断層・構造線の近傍で検出されています (風早ほか, 2014)。地層処分¹の安全確保の観点から、このような熱水活動の予測と影響範囲や影響の定量化は非常に重要な課題です。そのため、スラブ起源熱水の検出のための化学・同位体指標の提示やその上昇経路と時間に関する定量化手法について、さらに検討を続けています。また、スラブ起源熱水活動と地震活動との関連性の検討等も今後の重要な研究課題です。

その他の研究課題と活動: 上記以外に、関東平野の地震動特性と広域地下水流動系の解明に関する地質学的総合研究 (地質情報部門重点研究) や地殻流体の発生と移動のダイナミクス (科研費新学術領域) の研究などにも参画してい

ます。福島第一原子力発電所の汚染水問題においては、原発周辺の水文地質構造と地下水流動の検討結果を発表し、学会や各種委員会を通じて積極的に地下水対策について情報提供を行っています。

文 献

風早康平・高橋正明・安原正也・西尾嘉朗・稲村明彦・森川徳敏・佐藤 努・高橋 浩・大沢信二・尾山洋一・大和田道子・塚本 齊・堀口桂香・戸崎裕貴・切田 司 (2014) 西南日本におけるスラブ起源深部流体の分布と特徴. 日本水文科学会誌, **44**, 3-16.

Morikawa, N., Kazahaya, K., Yasuhara, M., Inamura, A., Nagao, K., Sumino, H. and Ohwada, M. (2005) Estimation of groundwater residence time in a geologically active region by coupling ⁴He concentration with helium isotopic ratios. *Geophys. Res. Lett.*, **32**, no. 2, doi:10.1029/2004gl021501.

Ohwada, M., Kazahaya, K., Itoh, J., Morikawa, N., Takahashi, M., Takahashi, H. A., Inamura, A., Yasuhara, M. and Tsukamoto, H. (2012) Passive degassing of magmatic volatiles from Iwate volcano, NE Japan, based on three-dimensional measurement of helium isotopes in groundwater. *Jour. Geophys. Res.*, **117**, B02204, doi:10.1029/2011JB008532.

高橋正明・風早康平・安原正也・塚本 齊・佐藤 努・高橋 浩・森川徳敏・大和田道子・尾山洋一・芝原暁彦・稲村明彦・鈴木秀和・半田宙子・仲間純子・松尾京子・竹内久子・切田 司・大丸 純 (2011) 深層地下水データベース, 地質調査総合センター研究資料集, no. 532.

KAZAHAYA Kohei (2014) Introduction of Crustal Fluid Research Group.

(受付:2014年04月01日)

地下深部の核種隔離性能評価と長期予測に向けて —地下環境機能研究グループの紹介—

伊藤一誠¹⁾

1. グループの研究目的

地下環境機能研究グループは、高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全規制支援研究を実施する深部地質環境研究コアを構成する主要な研究グループの一つという位置づけです。その中で、処分深度の天然バリアとされる岩盤内の核種の移行を支配する地下水流動、地化学特性等の地下環境の評価と、断層・火山活動に伴う地下環境の変動の予測手法の整備を主な目的としています。

2. グループの研究資源

当グループはグループ長以下研究職員5名（内1名出向中）、特別研究員1名、その他テクニカルスタッフで構成されています。グループ員の専門は、水理地質学、岩石力学、地球化学、地下微生物学等多岐にわたり、数値解析、室内実験等のスキルを保有しています。

当グループは、主に原子力規制庁からの委託研究（「地層処分の安全審査に向けた評価手法等の整備」）を主な研究課題としています。また、受託研究を遂行するための基盤的な解析手法や実験手法の整備を運営費交付金で実施しています。

3. 現状の研究と成果事例

地層処分において天然バリアとして望ましい地下の環境は、深度数100mから1,000m程度の処分深度の透水性が低く地下水の流速が十分に遅いこと、次に核種が液相中の溶存物質等の移動し易い状態ではなく、固相に吸着して動きにくい状態で存在するような化学環境であることがあげられます。

地層処分事業における立地選定は、文献調査、概要調査、精密調査という段階で行われます。文献調査では候補地での排除すべき地質変動の履歴と将来の変動可能性の有無の

評価を行います。概要調査ではボーリングや物理探査を用いて岩石の性状による坑道掘削への支障の有無と、活断層、破碎帯と地下水流の地下施設への影響の評価を行います。最後に、精密調査では小規模な地下施設を建設し、岩石の物理的性質と地下水の化学的性質の核種移行への影響を評価して最終処分施設建設地を選定します。

各調査段階における調査・評価手法の開発は、独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下、JAEA）を中心とした基盤研究グループにおいても進められており、規制支援研究ではそれらの研究成果を踏まえた上で、規制独自に研究を進めるべき調査・評価手法、規制当局が保持しておくべき情報の整備等を課題としています。その中で、当グループでは概要調査と精密調査段階での調査・評価手法と、最終的に安全性を評価する安全審査段階を対象とした解析手法の研究を進めています。以下に概要調査と精密調査段階での代表的な研究成果を示します。

3.1 異常間隙水圧形成と地下水流動への影響

地下水の圧力は、一般的には深度に比例して増加する、いわゆる静水圧状態にあると考えられていますが、粘土質の岩石の堆積岩地域では、ボーリング調査で特定の帯水層で静水圧状態から乖離した高い圧力を示すことがしばしば見受けられます。間隙水圧の分布は地下水の流れを決定するため、異常に高い水圧を示す帯水層の存在によって、地下水や同時に移動する核種の流速を増大させる等の影響が考えられます。当グループでは異常間隙水圧形成の一要因と考えられる、地下水の塩分濃度差による化学的浸透圧に着目し、岩石の半透膜性によって発生する異常間隙水圧の評価手法に関する研究を行っています。写真1に当グループで開発した浸透圧評価に用いる実験装置を示します。

詳細は竹田ほか（2013）に示してありますが、実験データを、理論解でフィッティングすることによって、岩石の透水、拡散、化学的浸透特性を同時に評価することが可能となりました。ちなみに、JAEA 幌延深地層研究センター

1) 産総研 活断層・火山研究部門

キーワード：地層処分、隔離性能、連成解析、物質移行、安全評価

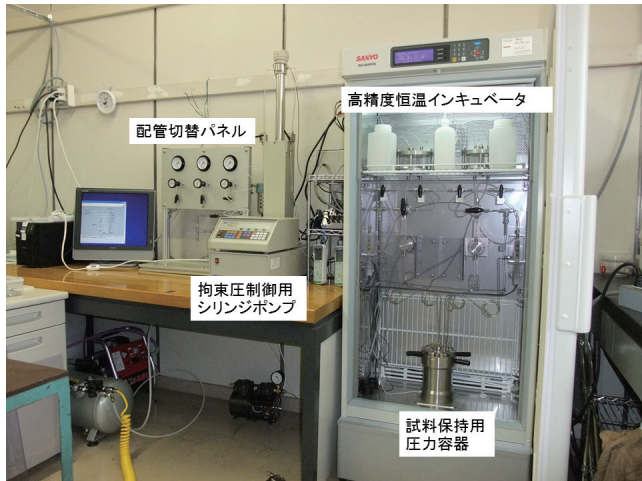
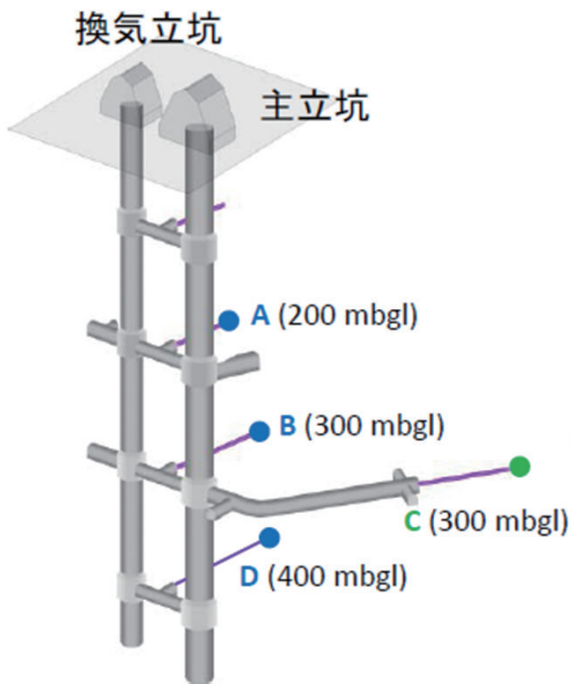


写真1 化学的浸透圧評価室内実験装置。堆積岩試料は圧力容器内に保持されている。



第1図 JAEA 瑞浪超深地層研究所地下実験施設内におけるモニタリング用ボーリング孔の配置。地下200 mから400 mまでの深度4孔でモニタリングを実施。(福田ほか, 2011に追記)

の珪質泥岩においても、原位置条件下で数m相当の異常間隙水圧が発生する可能性が示されました。なお、化学的浸透圧が生じる際の地下水の流向・流速は、水圧から得られる見かけの流速・流向と大きく異なります。これから、核種移行の評価においても化学的浸透圧等の異常間隙水圧の成因を十分に検討する必要があることが示されました。

3.2 地下微生物の影響を考慮した水質変動予測手法

高レベル放射性廃棄物中の核種は地下深部の還元的な水

質の地下水に対する溶解度が低く、かつ岩石に吸着されるため、一般的な地下環境下では化学的な効果による核種移行の遅延が期待されています(核燃料サイクル開発機構, 1999)。しかしながら、処分場建設によって地下水の流動系が変化することによって、本来の化学的環境が擾乱され、核種移行に対する遅延効果に悪影響を及ぼす可能性があります。一方、地下深部の地下水に生息する微生物は、例えば硫酸イオンや硝酸イオンを還元する作用によって、水質変化に対するバッファーとしての機能を持ちます。従って、水質変動への微生物の影響を定量的に評価することによって、処分場建設のような人為的影響、あるいは断層活動や火山活動等の自然事象の影響による水質変動や回復過程、最終的には核種移行の遅延効果への影響をより正確に予測することが可能となります。当グループでは、JAEA 瑞浪超深地層研究所との共同研究により、第1図に示すような地下坑道からのボーリング孔や地表からのボーリング孔を用いた水質および微生物のモニタリングを6年間実施しています。ここでは、特に硫酸還元菌に着目した評価を行いました。地下微生物の硫酸還元速度等の活性は、室内実験では過大評価されることが多いパラメータとなります。原位置モニタリングデータの解析から、硫酸還元菌による同位体分別効果と硫酸還元速度を定量的に評価することが可能となりました。

原位置での評価手法と並行して、処分場掘削から埋め戻し後までの水質変動の予測のために、地下水流動解析と微生物効果を考慮した地化学解析コードの結合による解析手法の構築を実施しています。

4. 今後の研究課題

10万年オーダーの長期における岩盤の核種隔離性能の評価には、期間内に発生し得るイベントに起因する水理環境や化学環境の変動に関する解析手法が不可欠となります。3.で紹介した現状の評価手法の事例に加え、当グループでは、断層活動による周辺岩盤の水理特性変化、断層面の長期的な水理-力学特性の変化等に関する実験や解析モデルの構築を行っています。今後、候補地が定まり、サイトスケールでの予測を行うためには、室内実験スケールの解析手法に対するスケール変換手法の検討と、個々のサイトで想定されるイベントによる解析等、課題は多く残されています。今後は、部門内の専門家による活断層・火山に関する研究成果を活用し、地層処分等のニーズに対して、

定量的なモデルを構築することを重点的な課題として成果を発信していきたいと考えています。

文 献

福田朱理・水野 崇・青才大介・萩原大樹・山本祐平・新宮信也・竹野直人・鈴木庸平・今野祐多・幸塚麻里子 (2011) 産業技術総合研究所と原子力機構の共同研究—地球化学環境変動要因としての地下微生物の影響評価手法の技術開発と高度化—。「平成 23 年度 東濃地

科学センター地層科学研究情報・意見交換会」資料集, JAEA-Review 2011-045, 89-90.

核燃料サイクル開発機構 (1999) わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第 2 次取りまとめ—。分冊 1 わが国の地質環境。JNC TN1400 99-021, 550p.

竹田幹郎・間中光雄・平塚 剛・三好 悟・徳永朋祥・伊藤一誠 (2013) 堆積岩地域における化学的浸透現象の地下水流動への影響。地学雑誌, 122, 192-213.

ITO Kazumasa (2014) Towards the long-term assessment of geological disposal of High Level Radioactive Wastes : introduction of Geological Isolation Research Group.

(受付:2014 年 04 月 01 日)

誕生石の鉱物科学

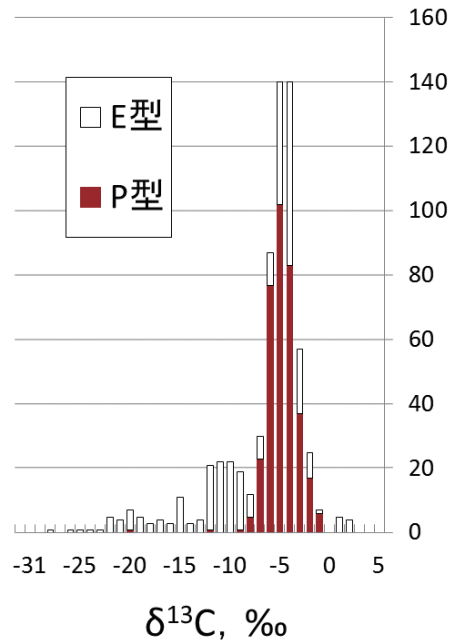
— 4月 ダイヤモンド (2) —

奥山康子¹⁾

4月の誕生石ダイヤモンドは極めて貴重な宝石であるだけでなく、普通は手の届かないマントルから直送される物質として地球科学のうえでも重要です。今回は、マントル鉱物を内部に包有する「高压容器」としてのお話をしました。今回はダイヤモンドの成分である炭素そのものを取り上げましょう。

固体地球の他の成分同様、生命にとってなくてはならない元素である炭素も、太陽系を作った始原的物質に含まれていました。その名残のような「炭素質コンドライト」という隕石だって存在します。集積した炭素の大部分はCO₂として地球創成期の大気に抜け出したと考えられますが、一部はマントルなど地球深部に残っています。玄武岩に伴う火山ガスにCO₂が多量に含まれることや、炭酸塩から成る火成岩であるカーボナタイトが存在することは、マントルがいまだに炭素のリザーバーであることを示しています。マントル内の炭素の地球化学的性質は、流体や生物のかかわる地球表層のプロセスの根源にあり、軽元素（水素、酸素、炭素など）の安定同位体の質量分析を研究手段とする同位体地球化学でも重視されています。

マントルの炭素を知るためには、何を調べればよいか—こう聞かれたら、多分誰もがダイヤモンドを調べればよいと答えるでしょう。言うは易く行うは難しというのはこのことで、分析にあたってはダイヤモンドを完全に燃焼させる必要があるがそれはそう簡単ではない（マッチで火をつけるようなわけにはいかない!）ということと、科学研究の試料としては高価なことがあげられます。それでも、同位体地球化学初期の研究でCraig (1953) は、南アフリカ、キンバリー鉱山産のダイヤモンド6点を分析し、それらが標準物質であるアメリカ、南カロライナ州の白亜紀Peedee層産のベレムナイト化石（※これを原点0と定義：和田・服部, 2007）より1000分の5ほど、重い安定同位体¹³Cに乏しいことを見出しました。その後もダイヤモンドの大産地であるアフリカ南部の試料について研究が積み重なり、同じような結果が得られてきました。分析値はよ



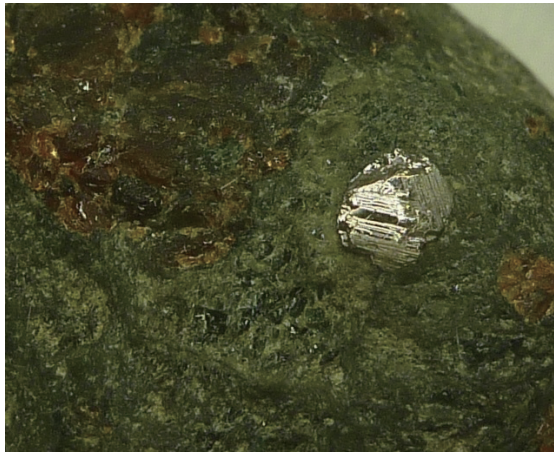
第1図 ダイヤモンドの炭素同位体比頻度分布. Sobolev et al. (1979) に基づき作図. P型・E型の区分については、本文を参照.

く集中し、私たち古い世代は「マントルは炭素同位体的には極めて均質、ダイヤモンドがその証拠」と教わったものでした。現在でもマントル・カーボンの値は、第0近似的には $\delta^{13}\text{C} = -5\%$ 程度とされます（炭素同位体比は質量数12と13の炭素の比率ですが、両者の天然での存在比は約99:1で、種々のプロセスで分別が行われたとしても変化はわずかです。このため同位体比は通常、標準物質での値0からの偏差として千分率（‰）で表し、炭素の場合は「 $\delta^{13}\text{C}$ 」と表記します）。

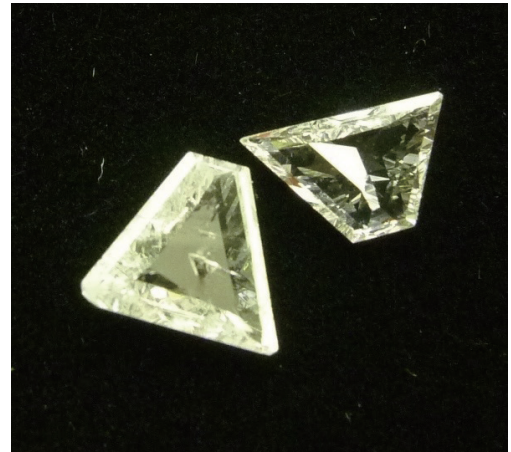
さて、マントルがいろいろな意味で不均質なことは今や常識です。ダイヤモンドの炭素同位体比も、例外ではありません。ダイヤモンドの産地が世界各国に広がるにつれ、測定数が増え、現在では第1図のような分布であるとされています。この図の-5‰を中心に立ち上がる鋭いピークが、古典的な値です。このピークはたしかに圧倒的ですが、全体の変動幅は+3から-30‰と相当に広いということが

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、ダイヤモンド、同位体地球化学、かんらん岩、エクロジャイト



第2図 エクロジャイト捕獲岩中のダイヤモンド結晶 (明色部).
ロシア, Udachnaya 鉱山産. 画面横幅 = 約 1.5 cm.



第3図 「マクレ」と呼ばれる、第2図で三角形に見える面の発達する双晶を利用した、ファンシーカット・ダイヤモンド. 合計 0.48 カラット.

できます. 特に -5‰ 付近に立ち上がる濃色のバーの左側 (同位体的に軽い側) に, 測定値がだらだら分布するのが目を引きます.

同位体的に軽い炭素の起源として真っ先に考えられるのは, 有機物すなわち生物体です. 炭素同位体比にして -10 から -30‰ という値は, 生物体の有機物の炭素同位体比に重なります (和田・服部, 2007).

実は第1図のダイヤモンドでは, 濃色のバーで示す主流派と白抜きのバーで示すその他派で成因をうかがわせる様相が違っているのです. 図で「P型」とする主流派のダイヤモンドは, かんらん岩捕獲岩に伴ったり, 結晶内部にかんらん石や斜方輝石といったかんらん岩を構成する鉱物を包有します. 一方同位体的に軽い「E型」とするダイヤモンドは, エクロジャイト捕獲岩に産したり (第2図), 内部にオンファス輝石や藍晶石などエクロジャイトを構成する鉱物を包有します. いうまでもなくエクロジャイトは, 玄武岩の組成を持つ高压変成岩です.

同位体的に軽いダイヤモンドがエクロジャイトに縁がありそうなことから, 地表からマントルに至るプレート・テクトニクスに沿った炭素循環が思い起こされます. 沈み込む海洋プレートは, 上に載せた堆積物をマントル内に運び込みます. 沈み込み口付近には陸側からもたらされた堆積物もあり, それには生物起源のものが含まれるでしょう. 生物起源の堆積物がプレートと一緒にマントルに沈み込めば, 海洋プレートの玄武岩がエクロジャイトになるように炭素はダイヤモンドに変化するでしょう. そのようなダイヤモンドには, エクロジャイト的な鉱物が包み込まれることもあるでしょう. それらが上昇するキンバレー岩マグマに取り込まれ, E型ダイヤモンドとして認められたのではないのでしょうか?

このようなダイヤモンド成因論は, 専門の世界で真面目に検討されている説の1つです. 積極的に支持する意見もあれば, 別の解釈もあります. 同位体データに基づく議論に限定すると, おもしろいことに, 包有鉱物の酸素および硫黄同位体比のデータは沈み込み起源炭素からのダイヤモンド生成を支持するが, 一方でダイヤモンドにとって最大の不純物である窒素の同位体データはこの見方と調和的ではないようです (Cartigny, 2004). 今後, 地球深部を含めた全地球的炭素循環が解明されていく中で, より詳しく研究が進むことを期待しましょう. ダイヤモンドは本当に謎の多い, 魅惑的な地球物質です (第3図).

最後に, 2013年8月号の記事について訂正を致したいと思います. 記事ではつくば隕石の落下の日を1月6日としましたが, 1月7日の誤りでした. 訂正するとともにお詫びいたします.

文 献

- Cartigny, C. (2004) Stable isotopes and the origin of diamond. *Elements*, **1**, 79–84.
- Craig, H. (1953) The geochemistry of the stable carbon isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **3**, 53–92.
- Sobolev, N. V., Galomov, E. M., Ivanovskaya, I. N. and Yefimova, E. S. (1979) Isotope composition of carbon in diamonds containing crystalline inclusions. *Doklady Akademy Nauk SSSR*, **249**, 1217–1220.
- 和田秀樹・服部陽子 (2007) 同位体地球化学. シュプリンガー・ジャパン, 東京, 383p. (原著: Hoefs, J., 2004, Stable isotope geochemistry, 5th ed.)

OKUYAMA Yasuko (2014) Mineralogical science of birthstones — April: Diamond, part2 —.

(受付: 2014年2月5日)

2013 年度第 1 四半期（4 月～6 月）の地質相談報告

下川浩一（産総研 地質標本館）

2013 年度第 1 四半期の相談件数は 187 件、回答者が複数の場合の延べ件数は 223 件で 2012 年度同期（以下、前年度；197 件、延べ 232 件）と比べて、件数、延べ件数ともにやや減少しました。また、2012 年度第 4 四半期（以下、前期；176 件、延べ 218 件）と比べるとほぼ同数でした。

相談者の所属内訳では、前期と異なり、個人の相談がトップで 61 件（33%）、次いで企業 49 件（26%）、公的機関 40 件（21%）、放送出版マスコミ 26 件（14%）、教育機関 11 件（6%）、となっています（第 1 図）。前年度と比べ個人の相談が 16 件（11%）増加し、企業の相談は 11 件（6%）減少しました。

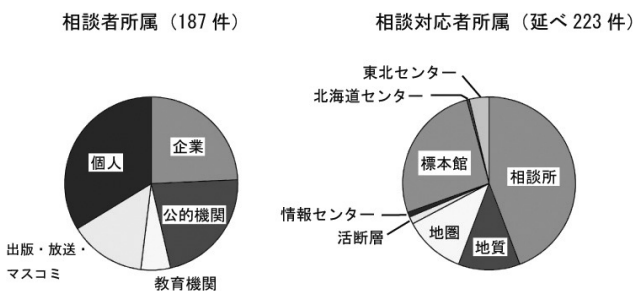
相談対応者の所属については、相談所が 98 件（44%）に対応しており、相談所に相談があったが、専門家の回答が必要なため研究者に対応を依頼したもの、または直接研究者に相談があったものが 55 件（24%）、地質調査情報センターと地質標本館（地質相談所を除く）が 60 件（27%）、地域センターが 9 件（4%）でした（第 1 図）。

相談者からのアクセス方法については、電話が最も多く 81 件（43%）、次いでメール（ファックス・手紙を含む）が 80 件（43%）、面談が 22 件（12%）、その他 4 件（2%）

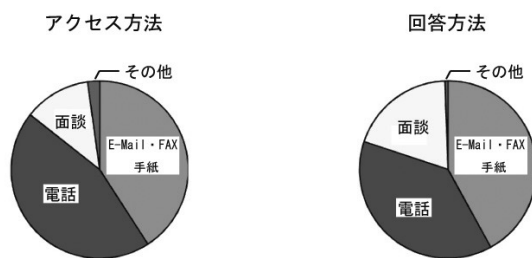
となっています（第 2 図）。

相談者の都道府県別の内訳について、今期は 34 都道府県からアクセスがありました。内訳は、東京都の 53 件（28%）をトップに、茨城県から 24 件（13%）、千葉県から 9 件（5%）、埼玉県から 6 件（3%）など、関東地域から 100 件（53%）の相談がありました（第 3 図）。他の地域では、兵庫県が 11 件（6%）となっています。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、約 3 割（57 件、30%）が日本各地の地質などについての問い合わせで、外国については 19 件（10%）ありました（第 3 図）。

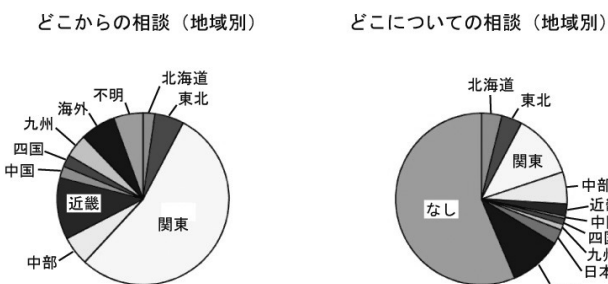
今期の相談内容については、地質に関する質問が 20 件（11%）とトップでしたが、資試料提供、岩石・岩石鑑定など多様な案件が寄せられました（第 4 図）。とくに、資試料提供の相談が、教育機関や公的機関、マスコミ等から多く届きました。これは、博物館や出版社等からの画像使用や標本貸し出しの要望が多かったことが原因と思われます。地方公共団体等の公的機関からの相談は、前期と同じくジオパークに関するものがトップでした。なお、地質図に関する相談、または地質図に基づいて回答した相談の件数は 26 件で、全体の 14% を占めています。



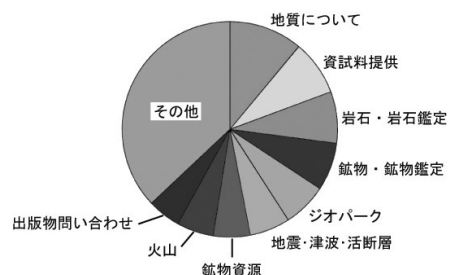
第 1 図 2013 年度第 1 四半期地質相談の相談者所属（左）および相談対応者所属（延べ数、右）。



第 2 図 アクセス方法（左）および回答方法（右）。



第 3 図 相談者所在地（左）および相談対象地域（右）。



第 4 図 地質相談内容内訳。

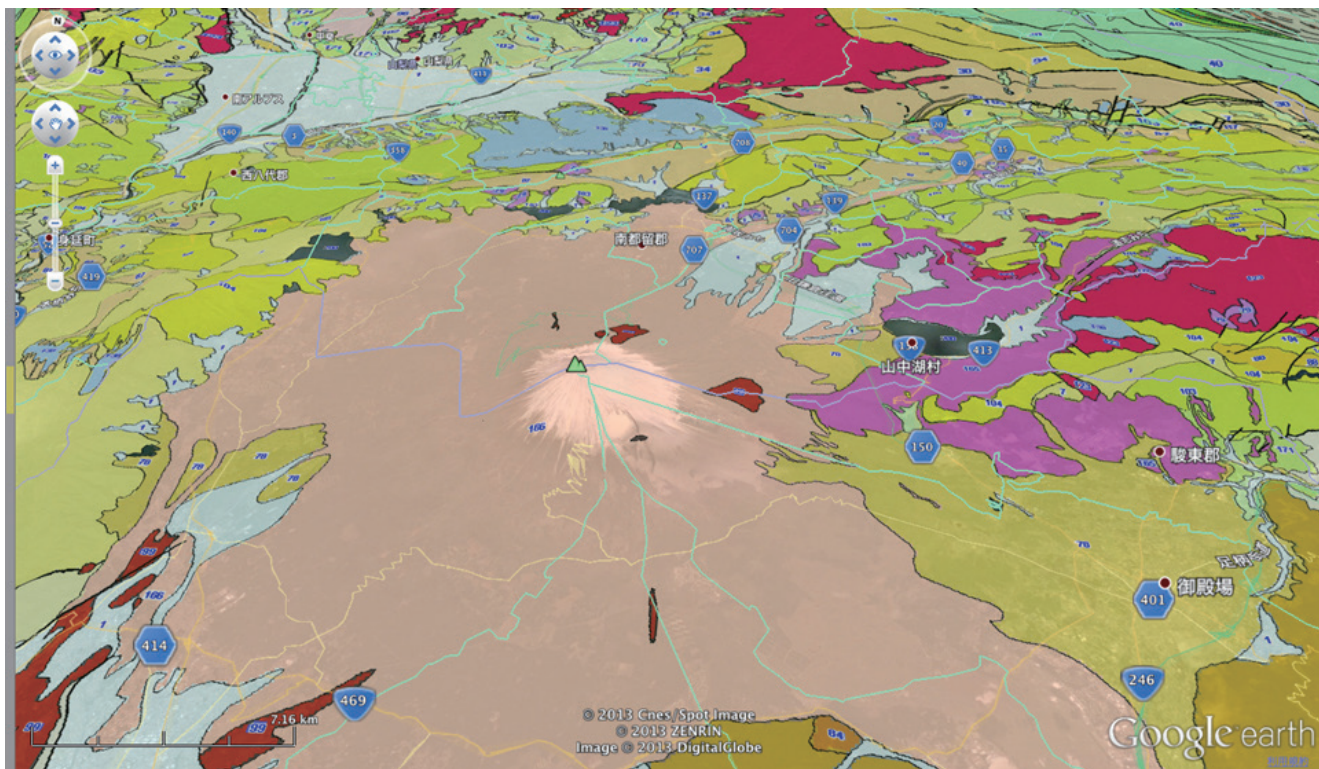
2013 年産総研オープンラボ講演会 「地質情報のデータバンク化と社会における利活用」開催報告

栗原文夫・中澤都子・岩男弘毅（産総研 地質調査情報センター）

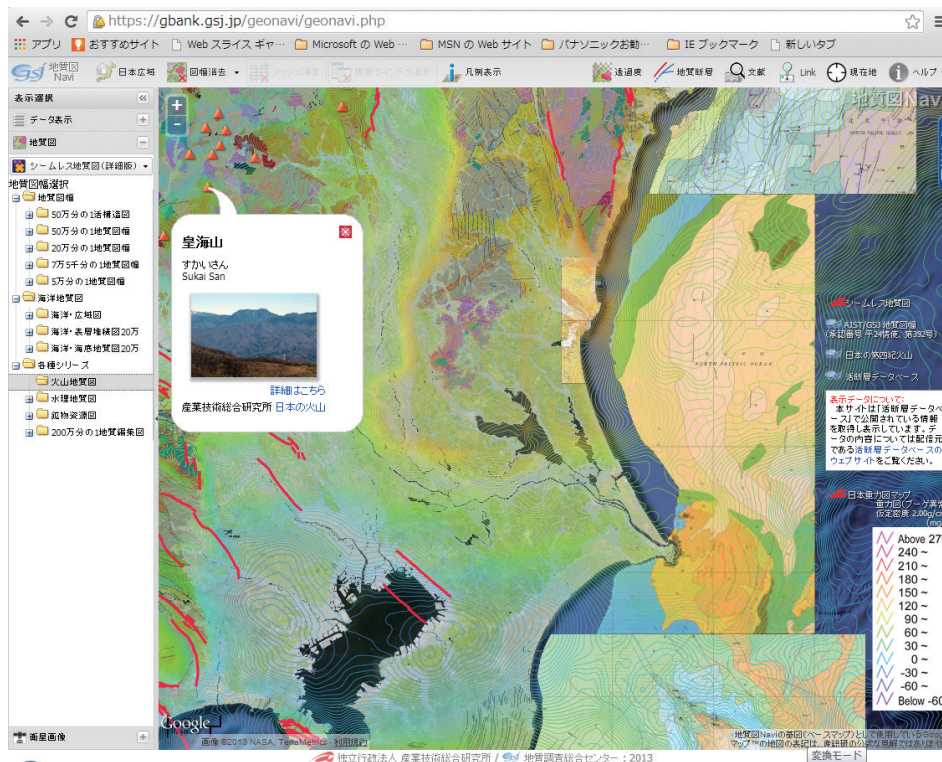
2013年10月31日（木）に産総研オープンラボ期間中、「地質情報のデータバンク化と社会における利活用」に関する講演会が開催されました。冒頭、地質調査情報センターの渡部芳夫センター長より講演会の趣旨説明があり、地質情報の利活用と関連した国内の動向として、内閣官房IT戦略本部による「電子行政オープンデータ戦略」の公表（2012年7月4日）をきっかけに、国の保有するデータを広く二次利用可能にしようとする取り組みが具体化してきていること、地質調査総合センター（以下GSJ）を所管する経済産業省でも「公共データワーキンググループ報告書」、「知的基盤整備特別委員会中間報告」等を公表し、同省のデータをオープンにする取り組みを続けていること等の紹介がありました。こういった流れを受け、GSJにおいても研究成果情報のより一層の普及のために、当日（10月31日）付で新ガイドラインを導入したこと、さらに発信はデータバンクの形でワンストップ化することをオープンラボで来場された企業の方々を中心に広くお知らせすることが、今回の講演会の目的です。

講演ではまず、地質情報研究部門シームレス地質情報研究グループの齋藤 眞グループ長より、地質図とは何か、その作り方、活用事例の紹介がありました。特に、地質図の作り方のところでは、地質図は作成時点の最新の科学的知見に基づいて個々の研究者の解釈によって得られた著作物であることの説明があり、著作権を勘案しつつ地質情報を利用していただくためのガイドラインの整備の必要性が指摘されました。さらに、Google Earthの3次元鳥瞰視に対応したシームレス地質図の紹介なども行われました（第1図）。

続く「産総研地質情報の現在、そして未来」と題した地質調査情報センター地質・衛星情報整備企画室の吉川敏之室長の講演では、日本国内におけるオープンデータ化の流れ、東日本大震災以降の地質情報への関心の高まり、さらに現在整備が進んでいる様々な地質情報とその発信についてのプレゼンが行われました。プレゼンは、シームレス地質情報研究グループの内藤一樹主任研究員による、国内の様々な地質情報を閲覧することのできる高速地質図表



第1図 20万分の1シームレス地質図 Google Earth を用いた3D版.



第2図 地質図Naviを用いた各種地質図類の重ね合わせ表示のデモ画面。

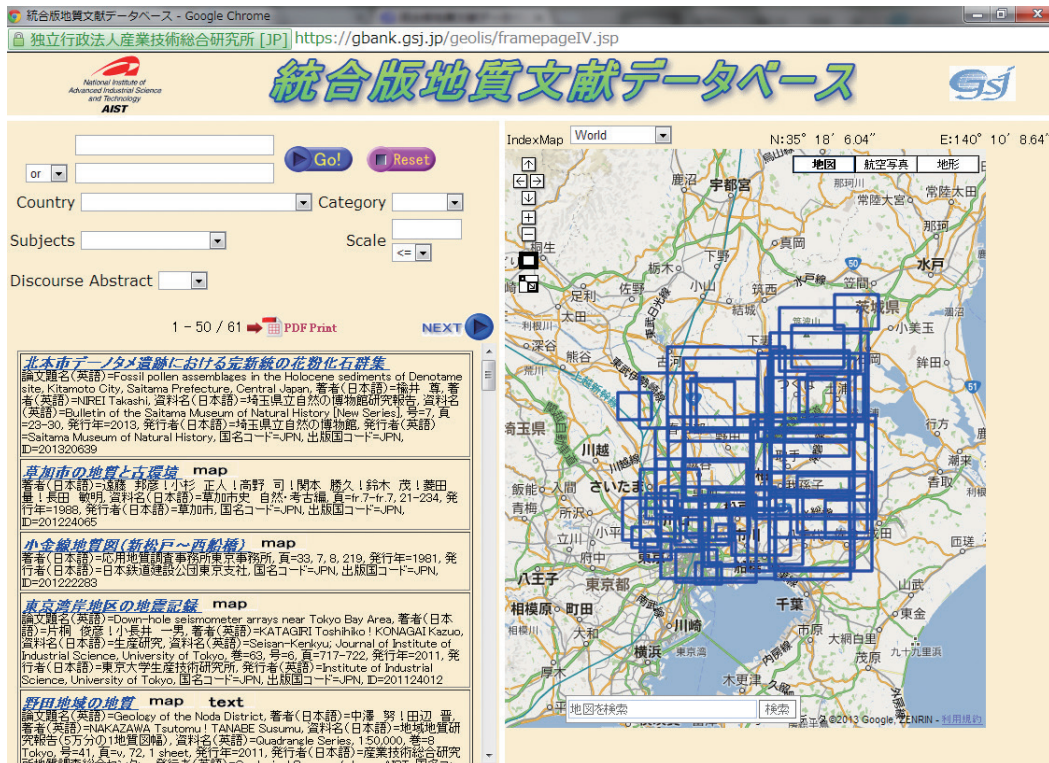
示システム「地質図Navi」を用いたデモを同時に表示しながら進めることで、参加者は地質情報へのアクセスをライブで体験することができました（第2図）。プレゼンではさらに、クリエイティブ・コモンズ・ライセンスに移行した利用ガイドラインへの適合および手続きの“覚書”の改訂、データベースの集約・統合化についての紹介、最後に地質情報発信の将来として、Web発信にともない内容の迅速化・即時対応が可能になること、技術的には、機械判読や国際標準に合わせた整備を行っていくことについての紹介等がありました。また情報の双方向性として、ユーザーニーズを反映し、一般ユーザーへのサポートなどを強化することで、初心者から上級者まで、欲しいデータに辿り着けるようなポータルサイトの公開をめざしていることが説明され、こういった整備により、他機関のデータとも機関を越えた相互利用（マッシュアップ）の発信ができることが参加者にも伝わったかと思われます。

続く講演では2つのトピックがとりあげられました。最初のトピックでは「地質メタデータ集積とワンストップ発信の高度化」と題し、地質調査情報センターの菅原義明総括主幹より、地質図類以外のメタデータベース統合版地質文献データベース（Integrated GEOLIS）と地質標本データベースの紹介がありました。Integrated GEOLISは一般に入手しにくい文献・地図情報を明治期から43万件余り

収集し、キーワードだけでなく地図上からも検索が可能です（第3図）。これらの文献情報は、近く地質図Naviからもアクセスできるようになります。地質標本データベースは1/5万の地質図を調査した際に採取した標本の検索が可能であることがデモを交え紹介されました。

トピック2では「地質災害関連情報の生成と発信」と題し、地質情報研究部門の山本直孝客員研究員（現防災科学技術研究所）より「火山」と「地震」についての事例紹介がありました。GSJでは「火山」と「地震」のどちらについても「静的」な情報と「動的」な情報を配信しており、「火山」の静的（調査結果）としては、活火山だけでなく第四紀火山を網羅的に収録した日本火山データベース、動的（即時情報）としては世界の964火山を登録し、人工衛星画像（ASTER）より観測された全ての衛星画像を公開している火山衛星画像データベースのデモ等がありました。「地震」の静的（調査結果）としては、日本全国の活断層に関する情報を文献から採録した活断層データベース等の紹介があり、動的（即時情報）としては、地震予知研究を目的に観測・解析を行っている「地震に関する地下水観測データベース」や、地震観測記録公開後速やかに広域かつ詳細な地震動マップを推定・図示した地震動マップ即時推定システム（QuiQuake）について紹介がありました。

最後に、地質調査情報センター地質・衛星情報整備企画



第3図 統合版地質文献データベースの地図機能を用いた検索デモ画面。

室の岩男弘毅総括主幹より「2次利用ライセンスとビジネスモデル」と題し、前半で紹介された様々な地質情報をどうビジネスの場で利用していただけるかについてGSJの方針が紹介されました。その目指しているところは測量・調査、地図作製から新しい市場開拓への地図ビジネスとの統合であり、そのための4大ポリシーとして、データ整備、品質保証、ルールの整備、配信環境の整備についての紹介がありました。各項目の具体的な内容は以下の通りです。

- データ整備：紙媒体の地質図をマシンリーダブルかつ標準化しデジタル形式（ラスター化、ベクトル化）で整備。
- 品質保証：著作権としての品質の担保とユーザーに判断や解釈の余地を残さないデータ提供の仕組。
- ルールの整備：クリエイティブ・コモンズ・ライセンス（CCライセンス*）利用による利用規定の明確化。

*基本はCC-BYを採用、ただしGSJ著作物についてはCC-BY-ND（改変禁止）を採用するとともに、一部許諾不要の範囲も拡げた運用を行う。詳細はGSJのHPを参照ください（<https://www.gsj.jp/license/index.html> 2014/3/13 確認）。

- 配信環境の整備：多様なユーザーニーズと技術環境対応（標準化）したワンストップ配信。

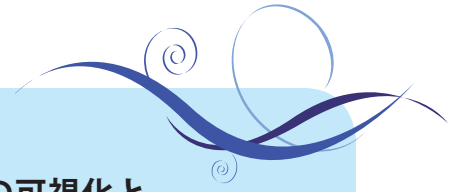
これらの4大ポリシーによった整備を進めることによりユーザーの皆様により新しいビジネスを創出していただきたい旨説明がありました。

当日は昼休み時間からの開始であったにもかかわらず、



第4図 講演会風景。

約50名の方に参加をいただきました（第4図）。質問時間は設定していなかったため、質問・感想はアンケートで受け付けたところ、大変参考になった、もしくは参考になったとのご意見をいただきました。また当日の配布資料を入手したいとのコメントが多数寄せられました。GSJのHPに以下のダウンロードサイトを準備しましたので、当日参加する機会がなかった方もご確認いただければ幸いです（<https://www.gsj.jp/event/index.html> 2014/3/13 確認）。



2013年 Geo アクティビティフェスタ優秀賞受賞報告 地質標本館芝原氏「精密立体地質模型による地形情報・地質情報の可視化と、博物館・ジオパーク等での活用」

岩男弘毅（産総研 地質調査情報センター）

2013年11月14日（木）から16日（土）にかけ、地理空間情報科学の国内最大規模の祭典であるG空間EXPO2013が日本科学未来館において開催されました。主催者報告によると延べ人数17,584名とのことで、国内における地理空間情報科学分野への関心の高さがわかります（<http://www.g-expo.jp/> 2014/01/08 確認）。今回G空間EXPO最終日に参加し、地質標本館の芝原暁彦氏による「精密立体地質模型による地形情報・地質情報の可視化と、博物館・ジオパーク等での活用」がGeoアクティビティフェスタ優秀賞を受賞した場に立ち会う機会がありましたのでこれを報告します。

芝原氏が展示・プレゼンを行ったGeoアクティビティフェスタはG空間EXPO期間内の主要イベントの一つであり、「世の中にある様々な地理空間情報（G空間情報）に関する独創的なアイデア、ユニークな製品、画期的な技術、新たなサービス等について、展示や発表（プレゼン）を行う場を設け、関係者間の交流によりG空間情報の利活用の促進及び拡大に貢献すること」を目的としています。2013年は28件の展示があり、10名の審査委員および来場者の投票結果を踏まえ、審査委員会が最優秀賞1名、優秀賞2名を選出し、芝原氏の「精密立体地質模型による地形情報・地質情報の可視化と、博物館・ジオパーク等での活用」は、見事に優秀賞を受賞しました。展示内容については、既に地質標本館にて試験展示が始まっているとのことですのでそちらをご覧ください。今回は、今話題の3Dのプロットで作成した地形模型上に、こちらも今話題のプロジェクトンマッピング技術を用いて展示するという仕組みです。

審査委員からのコメントをいくつか紹介したいと思います。「実用化が期待できそう」（国土地理院 岡谷隆基氏）。「テレビの映像にしてしまうとこの良さが伝わりにくい、アナログ的なものとデジタルの融合の展示は博物館などでやるとよい」（NHK 尾関憲一氏）。「オープンデータ（ボーリングデータ）のアウトリーチに使えそう」（JIPDEC 坂下哲也氏）。地質標本館展示の新

機軸として今後の発展がますます期待されます。

なお、最優秀賞を含む今回の受賞者の展示内容については以下のURLから参照可能です（<http://www.g-expo.jp/geofes/awards2013.html> 2014/03/13 確認）。



優秀賞を受賞した芝原暁彦氏。



受賞記念講演の様子。

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

杉原光彦

中嶋 健

七山 太

森尻理恵

牧本 博

渡辺真人

宮内 渉

デザイン
レイアウト

菅家亜希子

4月号
編集担当

澤井祐紀

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4号

平成26年4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

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor: Seiichi Toshimitsu

Deputy Chief Editor: Yutaka Kanai

Editors: Yasuo Tomishima

Mituhiko Sugihara

Takeshi Nakajima

Futoshi Nanayama

Rie Morijiri

Hiroshi Makimoto

Mahito Watanabe

Wataru Miyauchi

Design &
Layout

Akiko Kanke

Editorial
staff

Yuki Sawai

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. 4

Apr. 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

