

2015年  
2月号NEWS  
LETTERIEVG ニュースレター  
vol.01 No.6

## 私の活断層研究の履歴（定年までを振り返る）

岡村行信（活断層・火山研究部門 首席研究員）

1993年7月、私は地質調査船「白嶺丸」に乗船し、新潟～秋田沖の海底地質調査を行っていた。調査中の7月12日夜遅くに船長から津波警報が発令されたという知らせを受けた。1993年北海道南西沖地震が発生したのである。すぐに奥尻島の周辺海域に向かい、翌日から震源域の海底地質調査を行った（図1）。その時、実際に津波によってさらわれた家具や座布団などの大量の漂流物を船上から目の当たりにしたことが、地震や津波災害の軽減に貢献したいと強く思うようになったきっかけである。

それまで、日本周辺海域の反射探査を行いながら、海底地質図を作り地質構造発達史を考えてきた。反射断面には数十万年以上の時間をかけて成長してきた断層・褶曲などの地質構造がイメージされる。それらの形成時期、それを形成した応力場やテクトニクスなどを明らかにすることが重要だと考えていた。地震に興味はあったが、地質構造の形成メカニズムを考えるための現象であり、地震災害の軽減までは真剣に考えていなかった。

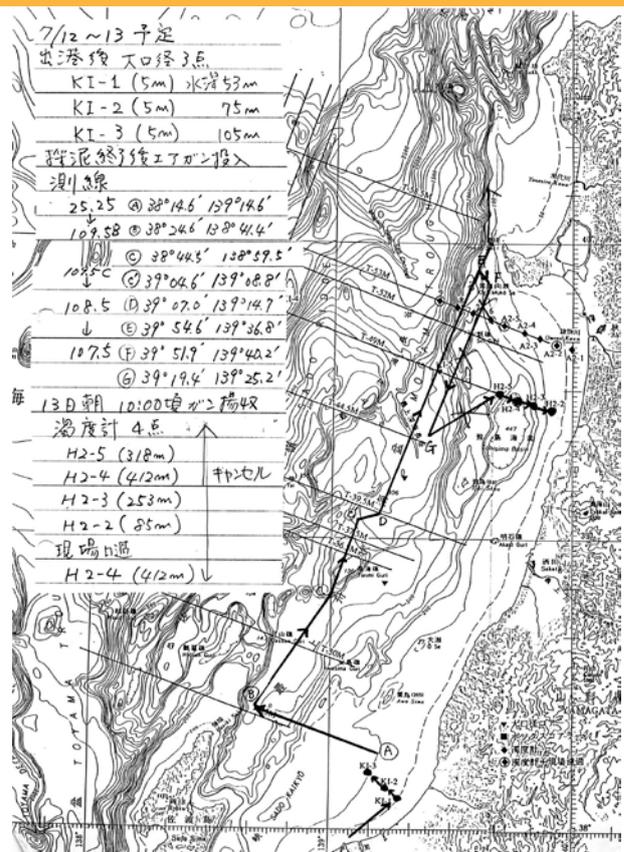


図1 1993年7月12日夜から翌日の白嶺丸調査予定、13日の秋田沖での調査がキャンセルされている。

## Contents

- 01 私の活断層研究の履歴（定年までを振り返る）・・・岡村行信
- 06 海外滞在記 オレゴンから在外研究報告～現地到着編・・・東宮昭彦
- 09 学会報告 陥没カルデラ国際WS参加報告・・・山元孝広
- 10 研究現場紹介 アルパイン断層掘削について・・・重松紀生
- 12 新人研究紹介 摩擦実験から直接求めた破壊エネルギー・・・東郷徹宏

- 15 第23回GSJシンポジウム報告・・・城谷和代
- 16 つくば市立谷田部中学校での出前講座・・・内出崇彦
- 17 外部委員会活動報告2014年12月～2015年1月

しかし、目の前で地震が起こって初めて、それまでの自分の研究は地震の予測や災害軽減にほとんど役に立たないと言うことを痛感した。それ以来、地質構造から過去の地震を解明し、これから起こる地震を予測したいと考えて、いろいろなことを試してきた。何度か壁は越えたと思ったこともあるが、その先にも壁があって、まだまだ未解決の課題が多く残っている。

1993年以降、何をやってきたか思い出し、反省も込めて振り返りたい。尚、文章中に個人名をほとんど挙げなかったが、ここに書いた研究は、私が所属した海洋地質研究グループ、活断層研究センター、活断層・地震研究センターの研究者の協力を得て行ってきたものである。

反射断面には断層や褶曲などの地質構造が観察でき、それらの多くは地震の繰り返しによって形成されてきたはずである。その規模や繰り返し間隔を反射断面から推定できないか考えた。しかし、深海域で得られる反射断面の分解能はせいぜい30mである。デジタル化したデータを処理しても、それほど分解能は向上しない。1回の地震の変位は2~3mなので、どう考えても地震発生履歴はわからない。そこで潜水調査に可能性を見出そうとした。また、断層の長さがわかればスケーリング則で地震規模と1回の地震の滑り量を推定でき、断層の平均変位速度がわかれば、地震発生間隔が推定できるはずであると考えた。この場合、変位速度をどうやって決めるかが課題であった。

陸上で活動履歴を解明するには活断層のトレンチ調査を行う。海底で陸域のようなトレンチ調査は難しいが、潜水船で海底の断層を調べると何かわかるかもしれない。1993年北海道南西沖地震の直後にJAMSTECの「しんかい2000」と「しんかい6500」を用いた潜水調査が数多く実施され、海底で広範囲に地滑りや地殻変動が起こっていることが報告されていた。私も1995年に「しんかい6500」で同地震の震源域を調査する機会を得て、断層直上の斜面で地滑りや地割れが広く形成されているのを観察し、過去の地震が斜面の変状として記録されているはずだと確信した。

この考えを検証するために、日本海東縁の海底活断層を順番に潜水調査することにした(図2)。最初に目を付けたのが、1940年積丹半島沖地震の震

源域である。反射探査の結果から、積丹半島北西沖の忍路海山が震源であると予測し、1998年にその斜面の潜水調査を行った。その結果、地震によって生じたと思われる2層の斜面崩壊堆積物が見つかり、過去2回の地震活動の記録と解釈した。この調査結果に味をしめて、毎年のようにJAMSTECに潜水調査のプロポーザルを書き、多くの人の協力を得つつ、約20箇所です断層の潜水調査を行った。しかし、同じような活動履歴の記録はなかなか見つからない。部分的な露頭や転石は見つかるが、地震イベントをはっきり示すようなものはあまり確認できなかった。地震後に堆積物に覆われてしまったのか、最近地震が起こっていないのかもよく分からない。忍路海山については論文を書いたが、他の断層では過去の地震活動を解明することはできないまま、潜水船を用いた海底活断層の研究をやめてしまった。少なくとも、潜って観察したことは整理して公表しなければいけないと考えている。

深海域にも斜面の変状やタービダイトとして過去の地震活動が記録されていることは間違いない。海底下1~2mの地層を観察し、採取することができれば、海域活断層の評価は大きく向上すると思う。しかし、海底の調査はいろいろ制約が多く、海底活断層の活動履歴を解明するには至らなかった。

一方、断層の変位速度を推定する手法としてバランス断面法に注目した。そのための専用のソフトも導入したがしばらくは使いこなせなかった。数年か



図2 「しんかい6500」の投入。何度乗っても、潜水前は不安な気持ちになる。



かってようやく断層関連褶曲の原理を正確に理解し、地表付近の褶曲構造から地下の断層形状と変位速度を推定することができるようになった。バランス断面法の考え方はシンプルなので甘く見ていたので、かなり遠回りをするようになった。しかし、断層関連褶曲の原理を一旦理解すると、反射断面や地質図から地下の構造が具体的に推定できるようになり、新しい世界が開けたような気持ちになった。バランス断面法は以前から日本にも紹介されていたが、その核心である断層と褶曲の関係については詳しく述べられていなかったように思う。日本海東縁のひずみ集中帯のアイデアもこの研究の過程で思いついた。

2004年中越地震は断層関連褶曲を検証する機会になった(図3)。地質構造から震源断層を推定できることを証明することができた。一方で、2007年中越沖地震では、震源断層と地質構造を関連づけることができなかった。その理由は単純で、活動時

期の異なる複数の断層による褶曲構造が重なっているためである。地質構造が単純な場所では、断層関連褶曲は地下深部の断層形状を推定する有力な手法であることは間違いなく、日本列島にも適用できる場所は多数残されている。また段丘の隆起や傾動も断層関連褶曲の考えを持っていれば、重要な示唆が得られる。にもかかわらず、ほとんどの活断層研究者が断層関連褶曲の基本原則を理解しようとせず、表面的なデータの解釈を行うか、単純な弾性モデルの計算のみで議論していることは残念である。

2007年は、沿岸海域を震源とする能登半島地震と中越沖地震という2つの地震が相次いで発生する特異な年であった。それぞれ震源域の活断層調査が不十分であったため「想定外の地震」とされたが、沿岸海域の活断層や地質情報が欠落していることが認識された。それを解消するため、産総研では交付金による沿岸地質プロジェクトが、文科省で

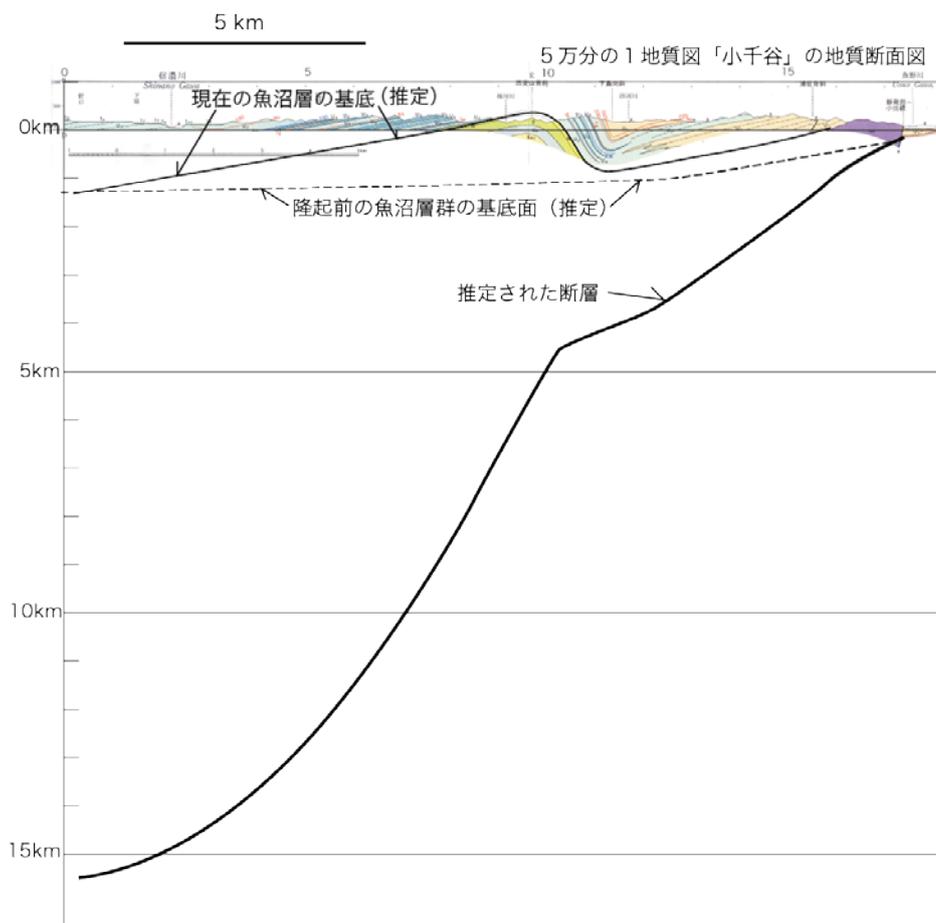


図3 2004年中越地震震源域のバランス断面。5万分の1地質図「小千谷」(柳沢ほか, 1986)の精度の高い地質断面図から作成した断面と、同地震の余震分布が重なった。



も沿岸海域の活断層調査プロジェクトが相次いでスタートすることとなり、その実施にも関わった。その時に重要な役割を果たしたのが、産総研の村上文敏氏が開発されたブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムである。小型漁船に積み込んで、海岸近くまで探査が可能なこの装置を（図4）、村上氏自ら能登半島地震の震源域に持ち込んで、明瞭な活断層のイメージを示し、大きな注目を浴びた。それによってこの装置が沿岸海域の活断層・地質調査に有効であることが広く認識され、上記のプロジェクトだけでなく、原子力発電所周辺海域の調査でも広く使われるようになった。

沿岸海域の活断層調査は開始から7年近く経過し、情報も増えてきた。全ての調査が期待通りの結果を出せるわけではないが、条件が良ければ陸上の活断層調査よりも高い信頼性で断層の位置や活動履歴がわかることもある。沿岸海域では、最終氷期に形成された浸食面或いは堆積面が基準面となるので、履歴がわからない場合でも平均変位速度がわかることが多い。

一方で、海域全体を見ると、活断層に関する情報は不十分である。現在進められている沿岸海域の活断層調査は、陸上の活断層の延長部で行われている場合がほとんどである。海域にしか存在しない活断層も今後調査を進めていく必要があるだろう。さらに、深海域の活断層に関する情報は、大きな変化



図4 能登半島の沿岸海域調査に用いた船。ブーマーを音源とするマルチチャンネルシステムは、この大きさの船にも搭載可能である。

はない。産総研が海底地質図を作成するために行った調査が最も密度が高い。日本海の最大クラスの津波想定が2014年に国交省から公表できたのは、産総研の網羅的な海域反射探査データが使いやすく整理されていたためであると言って過言でない。

日本海以外でも、千島海溝、日本海溝、南海トラフで地質構造と地震との関係を解明するための調査を何度か行ったが、明確な関係は見つけられなかった。むしろ最近の地震観測データは、地震の起こり方が地質構造以上に多様であることを示しているように思える。

活断層に関する情報量は最近20年間で大きく増えた。しかし私の1993年の思いが実現したわけではない。調査技術の限界も明確になってきた。上記の反射探査も地質条件によって質が大きく低下するため、万能ではない。断層の見え方も様々で、判断が分かれることもある。また断層が見えてもその活動年代を正確に決めることは、簡単ではない。陸上の活断層でも同じような課題がある。地質からどこまで地震が解明できるのか、技術的な課題、地質学的な課題をもう一度整理し、周辺の地形・地質の形成史なども取り入れた広い視野から、活断層研究を見直す必要があるだろう。

2004年からは津波堆積物調査にも関わるようになった。千島海溝の500年間隔の巨大津波が解明された後であったが、2004年から開始した仙台平野については最初から調査に同行し（図5）、多くのことを学んだ。最も新鮮であったのが年代精度の高さである。海域の活断層を評価する場合より一桁以上高い精度で堆積を明らかにし、数十年オーダーの地殻変動まで復元できることには本当に驚いた。このようなデータが日本各地で出てくれば、地震や地殻変動の理解が大きく変わらと思う。

仙台平野の津波堆積物の研究は2011年の巨大津波によって大きな注目を浴びることになった。しかしこの研究に関わった者としては、実際の防災に活かすことができなかったことは、本当に悔しい。せめてもの救いは、現地で行った講演や我々の研究成果に関するマスコミ報道を見聞きした人が、地震後の津波危険性を察知して避難して助かったという話を聞いていることである。巨大津波の可能性が広く周知されていれば、助かる命は多くあったと思う。





図5 仙台平野南端に位置する水神沼での津波堆積物調査。水田地帯の中の沼にボートを浮かべて津波堆積物を採取した。2011年の巨大津波は水神沼にも押し寄せ、風景を一変させてしまった。

2010年に終了した産総研の津波堆積物研究は地震調査研究推進本部の評価にも取り入れられ、公表直前であった。福島原発の安全審査でも2009年に巨大津波の危険性を指摘していた。地震がもっと遅ければ、津波に対する意識や対策が少しずつ変わっていったはずである。もちろん、どこまで変えることができたかは分からない。巨大津波を想定することには大きな抵抗もあったと思う。

地震後、津波堆積物が注目を浴び、その研究もたびたびマスコミで取り上げられた。地震前に研究していた専門家もいるが、社会を変えることを目指して研究を進めていたのは産総研だけであろう。研究者の個人的な主張では社会は変わらない。行政も、複数の地震・津波の専門家に意見を聞いて想定を決めている。それらの専門家の多くが津波堆積物研究を重視する必要がある。そのためには、信頼性の高い研究を行って、その内容を査読のしっかりした学術雑誌に公表していることが不可欠である。論文にもならない研究が専門家の間で取り上げられ、社会を変える力を持つことはできない。我々の目的は、マスコミで取り上げられることではなく、真実を明らかにすることである。科学的に信頼できる調査を行い、論理的な思考に基づいて考察を進めることが重要である。

地質学から地震を予測する研究は、私に関心を持ち始めた1993年以降大きく進歩したと思うが、依然として大きな壁がある。一つは時間スケールの違い。もう一つは3次元的な情報の差であろう。地質

学的な時間決定精度は条件が良ければ数十年の誤差に迫れるかもしれないが、一般的には数百年から千年以上であろう。数十年の時間精度で地殻変動が分かれば、測地学的なデータなどと直接比較が可能になるが、そのようなデータはまれである。

空間的な情報に関して言えば、地質情報の多くは平面的である。地下の情報は概念的で、精度が低い。一方地震は地下の現象である。お互いの情報の空白部分を補え合えば、より地震の理解が深まるはずであるが、情報の種類や時間的・空間的スケールの違いが大きすぎるのが現実である。

このような壁を一気に破ることは難しいと思うが、少しずつでも崩れていくことによって、新たな展開が開けてくると思う。そのためには、データの質を上げることが何よりも重要になってくる。時間の精度、空間分解能などを向上させるため、今まで以上に緻密な調査と年代測定など地道な調査・研究の積み上げが必要である。逆に、精度や信頼性の低いデータが増えることは、真実の解明に障害となる可能性がある。新たな調査手法や仮説の提案にチャレンジすることも必要である。そのような研究は目に見える成果を出しにくいかもしれない。成果を求められる若手研究者にとっては、評価面では不利になるかもしれない。しかし、目先の評価だけを気にしては新たな発見はできない。組織としても、地道な精度の高い調査データの積み上げやチャレンジ精神を支援し、評価していく姿勢を明示することが必要であろう。

しかし、最終的には研究者自らが新たな発見を切り開いていくしかない。いろいろ面倒な手続きが増えているが、研究できる条件・機会は与えられているはずである。自由な研究を行うには、障害や挫折がつきものである。それでもあきらめず、評論家になることなく、自分自身で新たなデータや考えを生み出し、周囲の意見に妥協せず、自分の考えを突き詰めて、周囲を説得する努力が必要であろう。

今から思い出しても、いろいろなことに手を出してきたと思う。挫折も数多くあった。能力以上のことをやり過ぎたかもしれない。しかしそのような機会を与えて頂いた、諸先輩と地質調査所及び産業技術総合研究所、また私の研究を支援して頂いた方々、協力して頂いた方々、議論して頂いた方々に本当に感謝している。





ンパスに約 2.4 万人) という大規模校であり, 広大な敷地と多数の学部を持つため, 私はまだとてもその全貌を把握しきれいていません。1868 年開校のキャンパスは, 歴史的建造物が建ち並び, 大木の枝ではリスが駆け回り, 美しい公園の中を歩いているようです (写真 1)。全学生のうちアジア系留学生が約 7% を占め, キャンパス内でよく見かけますが, その大半は中国人 (1400 人以上) で, 日本人は比較的少ない (50 人あまり) です。食堂でたまに日本語が聞こえるとちょっと嬉しい, という感じです。

私が所属している部門は, 地球海洋大気科学部 (College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences; CEOAS) です (写真 2)。ここは世界でも有数の地球科学系部門で, 100 人以上の教員と, 学部生約 600 人・大学院生約 200 人を擁しています。このうち, 私の専門である火山関係のメンバーは, VIPER (Volcanology, Igneous Petrology and Economic geology Research group; 火山学・火成岩岩石学・鉱床学研究

グループ) と呼ばれるグループを作り, 共通のセミナーを開くなど, 連携しながら研究を進めています。

私の受入担当教官は, Shanaka de Silva (シャナカ・デシルヴァ) 教授です (写真 3)。岩石学的分析に基づき火山地下のマグマの動きを解明する研究を行っており, 特にカルデラ火山 (破局噴火) のマグマ供給系の研究において, 世界的第一人者として知られています。また, VIPER には他にも Adam Kent 氏・Frank Tepley 氏といった, 火山岩中の鉱物等の微小領域 (ミクロン・スケール) 化学分析の国際的スペシャリストが居ます。私はこれまで, 鉱物の微小領域化学分析等に基づき, 有珠山 (北海道)・霧島山新燃岳 (九州) などのマグマ供給系を解明する研究を行ってきました。OSU/VIPER は, これまでの研究をより深めるために絶好の環境です。ここでどんな研究を進めていくかについての詳細は, 稿を改めて詳しく述べたいと思います。



写真 2 上: 筆者や de Silva 教授などの居室があるドーズ・ハウス (Dawes House)。下: 地球海洋大気科学部の多くの大学院生の居室があるウィルキンソン・ホール (Wilkinson Hall)。地下には, 岩石切断, 鉱物分離, 試料研磨, などを行なう実験室もある。

### コーバリス～のどかで美しい学園都市

OSU のあるコーバリス市は, オレゴン州最大の都市ポートランド (国際空港もある) から南へ 100km あまり走ったところにあります。ウィラメット・バレー (Willamette Valley) と呼ばれる広大で肥沃な谷の中ほどに位置しています。Corvallis という町の名も, 谷 (vallis) の中心 (cor) ということ



写真 3 Shanaka de Silva 教授 (左) と筆者。

から来ているそうです。ちなみに、発音するときのアクセントは"va"の位置にあり、むしろコヴァーリスのように聞こえます。

周辺は自然が豊かで、農産物に恵まれています。ウィラメット・バレーはワインの世界的産地であるほか、オレゴン州のこの辺り一帯は地ビールが美味しいことでも知られており、私のようなお酒好きには嬉しい環境です。コーバリスの人口は5万人ほどで、OSU関係者でその半分以上を占めると言われています。町はこじんまりしていて、ダウンタウンにも高層建築はありません(写真4)。大学と同様に、歴史的な建物がたくさん残っており、緑豊かでゆったりとした美しい町です。治安もとても良く、日本と同様の感覚で安心して暮らせます。私の娘2人は、米国の学年で現在4th grade(4年生)とKindergarten(幼稚園年長に相当)なのですが、治安と自然環境の良さは嬉しいです。ちなみにこちらのKindergartenは1年間だけで、小学校と一体化しています。"K-5"あるいは"K through 5"と呼ばれています。小さな町のため日本人学校はなく、現地の公立校に通っています。2人の通うフーバー小学校(Hoover Elementary School)は、ELL(English Language Learners)プログラムが充実していて、英語習得のための補講を毎日受けています(ただし日本語ではなく英語で..)。市立小学校8つのうち、フーバーは特にアジア系の生徒が多く(ほとんどは韓国人・中国人)、私の娘以外にあと2人日本人生徒が居ます。

オレゴン州は米国本土の北西部にあって、緯度が北海道と同じくらいですので、冬は寒そうなイメージがありますが、コーバリスの冬は厳しくありません。2014~15年の冬に関しては、つくば市よりも暖かく感じるくらいです。冬場は南の海から湿った風が入るため、気温が下がらない代わりに、毎日のように雨が降ります。降ったり止んだりを繰り返すことが多いので、ほとんどの人は傘を持ち歩

かずに防水の上着で雨をしのいでいます。雪はめったに降らないようで、今冬は2月10日現在まだ降っていません。たまにカナダ方面(北)から冷たく乾いた風が入ると、青空が広がり気温は氷点下になって、真冬の気分が味わえます。

## おわりに

今回は、現地到着後それほど時間も経っておらず、ようやくこちらの環境に慣れてきたところですので、本格的な研究生活については次回以降にお伝えしたいと思います。こちらの研究室の雰囲気、セミナーの様子、分析機器、夏に予定されているフィールド調査、などについてご紹介する予定です。



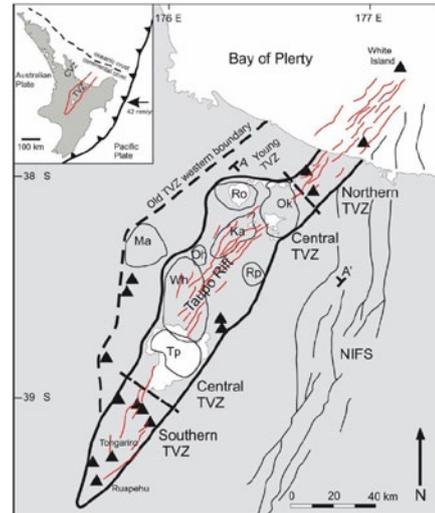
写真4 コーバリスのダウンタウン。上：ランドマークである時計台(実は裁判所)。下：商店街の様子。

## 学会報告 陥没カルデラ国際 WS 参加報告

山元孝広（総括研究主幹）

ニュージーランド，タウポで12月7日～12月11日に開催された5th International Workshop on Collapse Calderasは，IAVCEI（国際火山学及び地球内部化学協会）が設置する委員会（Commission of Collapse Calderas）が主催した研究集会である．当研究部門からは，山元と下司が参加した．本集会は2日間の講演会と3日間の Taupo Volcanic Zone（TVZ）を対象とした野外巡検から構成されていた．TVZは北島の中央部を北東－南西に横切る火山性の地溝帯で，溶岩ドーム群を伴った複数のカルデラと正断層群で構成されている．タウポ湖を有する Taupo caldera は，1.85ka に最新期の Taupo ignimbrite を噴出している．会場となったタウポの町はタウポ湖の北東岸に位置している．

講演は1) カルデラ火山の物理条件，2) マグマプロセス，3) 資源，4) 警戒の4テーマで，1) では地元の TVZ の構造，形成史，カルデラの特徴が主な話題であった．他にはカルデラの再生ドーム形成過程への考察や，鬼界カルデラ形成噴火直前の噴火現象などの報告があった．2) のマグマプロセスでは，北米の新第三紀カルデラ群と深成岩類の関係，始良カルデラ噴火のマグマ成因関係，TVZ のマグマ形成史が報告された．特に Taupo では2.5万年前の Orunari カルデラ噴火と後続の噴出物では，含まれるジルコン結晶の年代分布パターンが全く異なり，Orunari カルデラ噴火後にマグマ供給系の



Taupo Volcanic Zon (TVZ) の位置. Tp は Taupo caldera, 巡検ガイドブックから転載.

更新があったと考えられている．3) ではタウポ火山帯の地熱資源や北米カルデラに伴う熱水活動履歴の解析例が報告された．4) ではタウポ火山帯を事例とした噴火予兆（Unrest）に関する複数の報告が行われた．本集会には原子力規制庁の担当者も参加しており，講演で示されたカルデラ噴火に関する基礎的知見を，規制庁担当者に解説するとともに，地元ニュージーランドやUSA の研究者と今後の研究展開での協力関係の方向性を打ち合わせた．巡検では北の Rotorua から Taupo までの広範囲に広がるカルデラやその噴出物，火山帯内の変形構造を観察し，火山帯全域の特徴把握に努めた．



写真1 会場となったホテル前に広がるタウポ湖



写真2 Taupo ignimbrite と先行する降下火砕堆積物．人物の帽子のツバのあたりが境界．

## 研究現場紹介 アルパイン断層掘削について

重松紀生（地震テクトニクス研究グループ）

### 1. はじめに

国際陸上科学掘削計画（ICDP）の一環として、断層周辺の地質構造形成と地震発生過程の関係を明らかにすることを目的にニュージーランド南島西海岸のアルパイン断層を掘削する DFDP-2 (Alpine Fault, Deep Fault Drilling Project-2) が 2014 年に行われました。残念ながら、掘削中に発生した問題により断層の貫通も、ボーリングコアの取得もできませんでした。活断層・火山研究部門からは重松の他、地震災害予測研究グループの森 宏氏が参加しました。当初予定では地震地下水研究グループの松本則夫氏、地震テクトニクス研究グループの東郷徹宏氏が参加する予定でしたがその後のアルパイン断層の掘削状況から参加を中止する結果となりました。

アルパイン断層はニュージーランド南島西海岸に位置する北東-南東走向南東傾斜の断層で、東側の太平洋プレートと西側のオーストラリアプレートの境界をなしています。中央部における平均変位速度は、右横ずれ成分が 30 m/千年弱、逆断層成分が 10 m/千年弱と大きな値を示します。最新活動は 1717 年に記録があり、平均活動間隔は 330 年で M8 クラスの大地震を発生させています。最新の地震発生から 298 年経過し地震後経過率が 0.9 と高く、近い将来に地震を起こす可能性が高い断層と言えます。地震後経過率とは最新活動（地震発生）時期から評価時点までの経過時間を、平均活動間隔で割った値です。

### 2. アルパイン断層掘削計画（DFDP）

アルパイン断層は地震後経過率が高い点、上盤側の隆起速度が速く地質学的に見て比較的新しい断層深部の情報が得られうる点が特徴的です。DFDP-2 は、深度 1000 m 付近で断層を貫通させ、

さらに深度 1300 m 付近まで掘削することを目指し、ファタロア川で掘削が行われました。

DFDP-2 の掘削は Phase 1, Phase 2A-C, Phase 3 までの工程が考えられていました。Phase 1 は孔を保護する鉄管であるケーシング挿入しながらの第四紀層掘削、Phase 2A は着岩後の 8.5” ビットによるノンコア掘削、Phase 2B はアルパイン断層上盤のコアリング掘削、Phase 2C はアルパイン断層下盤のコアリング掘削、Phase 3 は埋め戻しと観測機器の設置です。Phase 2A と Phase 2B の切り替えは、カッティングスに見られる断層の影響を確認することによります。カッティングスとは掘削時に発生する岩屑のことです。また、断層に近づくと断層の影響を強く受けるようになります。また Phase 2A の最終段階では、孔の崩壊を防ぐため、ケーシングを挿入しその回りをセメントで固めます。

### 3. アルパイン断層の掘削状況

Phase 2A では掘削深度 893.18 m まで掘削しました。しかし Phase 2A の最終段階で、ケーシングの破断により掘削孔をセメントで埋めてしまい、掘削を断念せざるをえない状況になりました。この他にも掘削中には多数の問題が発生しました。

掘削の結果、アルパイン断層上盤側の厚さ 240 m の堆積物の層序が明らかになりました。また各種物理検層の結果も得られ、非火山地帯の 1 km に満たない坑井で孔底温度が 100°C を超えるほど地温勾配が高いことがわかりました。カッティングスは 2 m 間隔で採取し、6 m 間隔で薄片を製作し微細構造観察を行い、掘削孔内での岩相変化が明らかになっています。さらに掘削中は泥水の密度、粘性を連続測定しており、断層上盤の水理特性に制約を与えることが期待されます。

なお、断層周辺の地質構造形成と地震発生過程の関係を明らかにするためには、ボーリングコアと物理検層との対比が不可欠です。現地において、ボーリングコアと物理検層の対比方法について様々な研究者による議論が行われました。残念ながらこの手法によるデータ取得は実現しませんでした。有意義な議論であったと感じています。

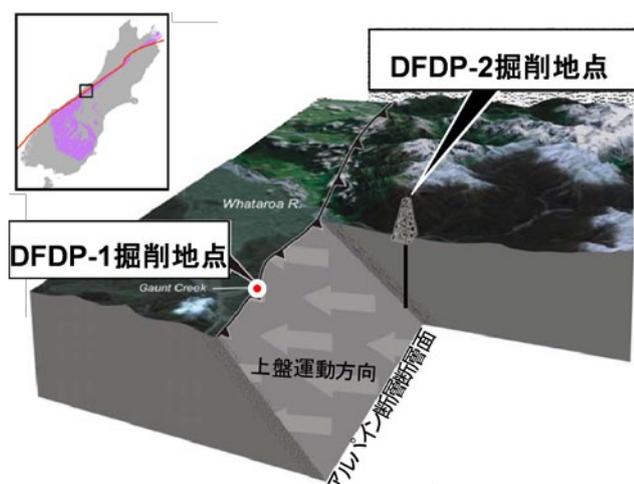


図1 DFDP掘削の模式図。DFDP-1は2011年にゴートン沢で、DFDP-2は2014年にファタロア川で行われた。両者は直線距離で約7 km離れている (Toy et al., 2009を改変)。

#### 4. 今後に向けて

DFDP-2での当初目標は達成できませんでした。しかしアルパイン断層は、掘削研究の対象としての価値が高い断層です。ニュージーランド側研究者は2016年以降に予算を確保し再度掘削をすることを目指しています。ニュージーランド側としてはDFDP-2掘削の技術的課題等を十分検討する必要があるでしょう。日本とニュージーランドの間には二国間交流事業「マイクロからマクロスケールにおけるアルパイン断層の力学特性の評価」も採択されており、将来の掘削再開に向け議論が進むことを期待します。



図2 カッティングス記載風景。手前からGNS ScienceのPhaedra Upton, Macquarie大学のJo Moore, 産総研の重松 (Photo by V. Toy)

## 新人研究紹介 摩擦実験から直接求めた破壊エネルギー量

東郷徹宏（地震テクトニクス研究グループ）

### はじめに

今年度から産総研特別研究員として地震テクトニクス研究グループに配属されました東郷徹宏と申します。私は修士までは広島大学理学研究科の地史学講座ですごし、博士課程からは実験岩石力学の研究室に異動し、室内実験から地震の発生メカニズムの解明や、深層崩壊と呼ばれる巨大地すべりの発生メカニズムの解明に取り組んできました。そこで、今回はこれまでに行っていた研究のうち、断層を模擬した室内実験から求めた破壊エネルギーという研究についてご紹介をさせていただきます。

### 地震時の断層のエネルギー収支について

断層で地震が発生すると、地震時に開放される全ポテンシャルエネルギーは「摩擦発熱」「(地震波としての)放射エネルギー」「破壊エネルギー」の3つに分配されることが知られています。また、放射エネルギーと破壊エネルギーの比率は、Radiation efficiency と呼ばれて、地震波として放出されるエネルギーを決める重要なパラメーターとされています (Kanamori and Rivera, 2006) (図1)

これまでの先行研究では、断層周辺に広がる断層ガウジや断層角礫の粒径分布から、地震の破壊エネルギーの見積りが行われてきました (例えば Ma et al., 2006 など)。しかしながら、天然の断層ガウジのような粘土鉱物を大量に含む物質を用いた粒径解析では、一度の地震の破壊エネルギーの見積りが困難であったり、また測定中に粒子の凝集などの問題が起こるため、正確な破壊エネルギーの見積りは困難でした。

### 石英を用いた高速摩擦実験と破壊エネルギー

そこで、私は石英を用いて地震時の断層運動を模擬した高速摩擦実験を行い、BET法と呼ばれるガ

ス吸着法を用いて石英粒子の表面積を測定することで、破壊エネルギーを直接的に求めました。石英を用いたのは、主要な造岩鉱物であるだけでなく、実験中に鉱物が分解などをおこす心配がないためです。また、単位表面積を生成するのに、どれほどのエネルギーが必要かというパラメータ (表面自由エネルギー) が Brace and Walsh (1962) によっておよそ  $1 \text{ J/m}^2$  と報告されているために、石英を選びました。実験前後での表面積の増加量に表面自由エネルギーをかけることで、実験中に表面積を生成するのに必要なエネルギー、すなわち破壊エネルギーを求めることができます。

実験では垂直応力  $1 \text{ MPa}$  で変位速度  $1 \text{ m}$  毎秒の実験と、垂直応力  $3 \text{ MPa}$  で変位速度  $1.3 \text{ m}$  毎秒の2種類の実験を行いました。また、実験ごとに変位を変えて実験を行いました。実験の結果、実験時に断層面に投入された摩擦仕事量のうち、わずか  $0.02\text{-}0.2\%$  しか破壊エネルギーとして消費されないことが明

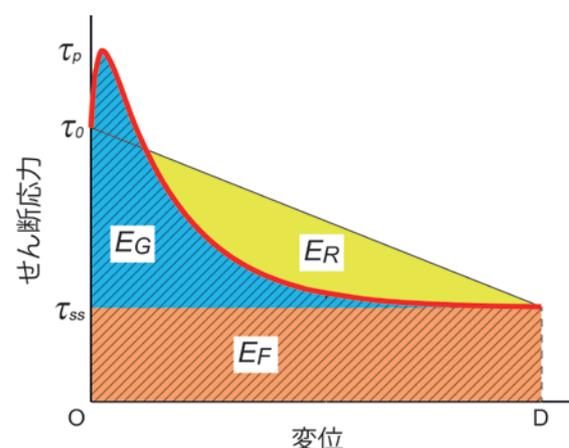


図1 断層が動き始めて、断層面のせん断応力が赤線によって変化する場合、破壊エネルギー (EG)、地震波としての放射エネルギー (ER)、摩擦発熱による熱エネルギー (EF) の3つにエネルギーが分配されて消費される。また斜線で示した部分が、断層面に入力される単位面積当たりの摩擦エネルギーとなる。

らかになりました (図2). このことから, 地震時には単純な粒子の破壊としてのエネルギー消費は無視できるほどに小さい事が明らかになりました (Togo et al. 2012)

### 変位が増加すると減少する表面積

また, 更に実験結果の解析を続けたところ, 非常に奇妙な現象に気が付きました. それは, 断層の変位を増やすにつれ, 石英粒子の表面積量が低下するという現象です (図3). これは, 断層の変位が大きくなるにつれて, 断層岩の破壊も増加するであ

ろう, という直感に反するものです. そこで, 光学顕微鏡を用いて実験後の試料を観察したところ, すべり面が次々と移動をして重複するような構造をもって, 粒子どうしが固結していることが明らかになりました. また, 電子顕微鏡を用いて更に高解像度で試料の観察を行なったところ, 石英粒子どうしが架橋構造を持って結合していることが明らかになりました. これは石英粒子が焼結をしていることを示しており, これによって表面積の低下が起きていることが明らかになりました (図4). これらのことは, 1) 断層面では単純な粒子の破壊

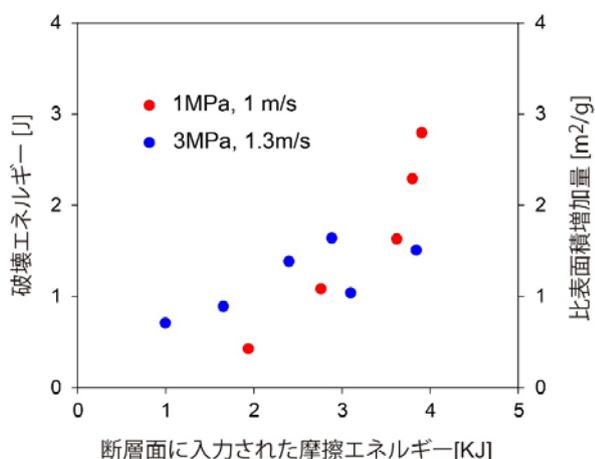


図2 実験条件を変えて2シリーズの実験を行った. 横軸が実験中に断層面に入力された全摩擦エネルギーで, 縦軸が粒子を破壊するのに用いられた破壊エネルギーである.

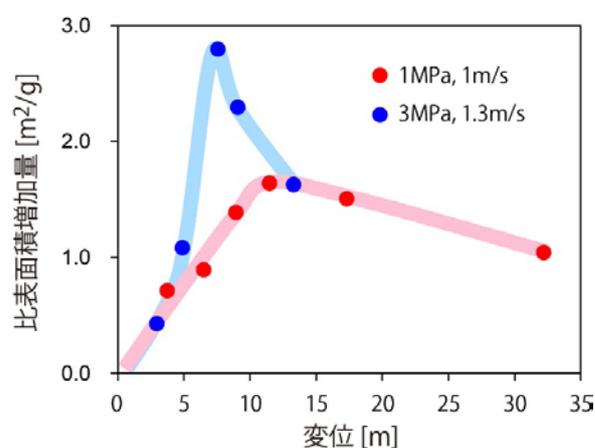


図3 比表面積の増加量を変位に対してプロットした. 比表面積はあるところまでは増加するものの, その後は低下に転じることが明らかになった. また, 垂直応力が高いほど, 短い変位で比表面積がピークに達することが分かる.

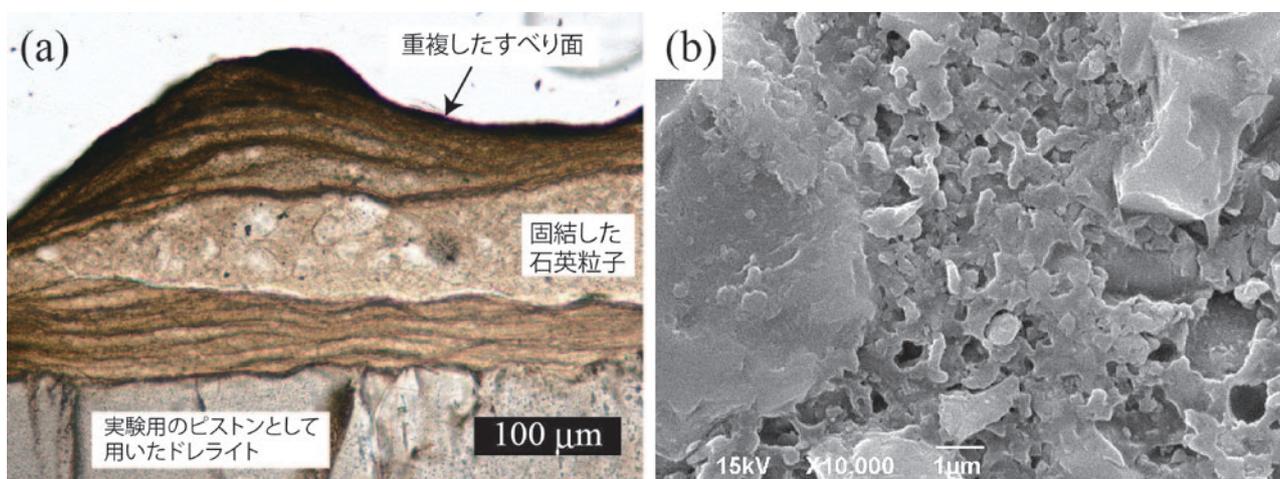


図4 比表面積が低下した試料の顕微鏡写真. (a) 光学顕微鏡での観察像では, 重複したすべり面が形成されている様子がわかる. (b) 走査型電子顕微鏡で観察した試料. サンプル中程に形成された固結した石英粒子には, 焼結に伴う架橋構造が明瞭に残されている.

が起きているだけではないこと、2) すべり面で焼結などが起こり強度を増すことで、すべり面が移動をしていき、断層帯の幅が広がっていく可能性がある事を示しています。このことは、破壊エネルギーが非常に小さいにもかかわらず、変位が大きくなるに連れて、断層帯の幅が成長していくことと関係しているかもしれません (Shimamoto and Togo, 2012)

### おわりに

この研究によって、室内実験によって地震時の破壊エネルギーの直接的な見積りが可能になりました。また、実験を繰り返すうちに、断層面では単純な破壊だけが起きているわけではないことも明らかとなりました。このことは、断層帯の成長に新たな知見をもたらしました。今後は様々な種類の鉱物や、天然の断層ガウジを用いて実験を行い、断層帯の成長の謎に迫っていければと思います。

### 引用文献

- Kanamori, H. and Rivera, L., 2006. Energy Partitioning During an Earthquake, *Earthquakes: Radiated Energy and the Physics of Faulting*, AGU monograph, 170, 3-13
- Ma, K.-F., Tanaka, H., Song, S.-R., Wang, C.-Y., Hung, J.-H., Tsai, Y.-B., Mori, J., Song, Y.-F., Yeh, E.-C., Soh, W., Sone, H., Kou, L.-W., Wu, H.-Y., 2006. Slip zone and energetics of a large earthquake from the Taiwan Chelungpu-fault Drilling Project. *Nature* 444, 473-476.
- Brace, W.F., Walsh, J.B., 1962. Some direct measurements of the surface energy of quartz and orthoclase. *The American Mineralogist* 47, 1111e1122.
- Togo, T., Shimamoto, T., 2012. Energy partition for grain crushing in quartz gouge during subseismic to seismic fault motion: an experimental study, *Journal of Structural Geology* 38, 139-155
- Shimamoto, T., Togo, T. 2012. Earthquakes in the lab. *Science* 338 (6103), 54-55

## シンポジウム 第23回 GSJ シンポジウム報告

城谷和代（長期地質変動研究グループ）

2015年1月16日（金）に、秋葉原ダイビルにて「第23回地質調査総合センターシンポジウム」が開催されました。今回のシンポジウムのテーマは「日本列島の長期的地質変動の予測に向けた取り組みと今後の課題—数十万年の過去を解明し、将来を予測する技術・知見・モデル—」であり、当部門からも長期的地質変動に関連した研究を行っているグループ（主に長期地質変動RG, 深部流体RG）のメンバーによる口頭・ポスター発表がありました。ご来場者は、総勢242名（うち事前登録204名）にのぼり、各省庁をはじめ、公的研究機関、主に土木・建設関係の民間企業、教育関係、マスコミ、一般の方と、多岐にわたる分野の方々にお越しいただきました。

講演では、二つのテーマ（「火山活動」および「地殻変動」）に関する最新の知見について、報告がなされました。招待講演として、吉田武義先生（東北大学名誉教授）と池田安隆先生（東京大学）にお越しいただき、吉田先生には「後期新生代、東北日本

弧の火成活動史」について、池田先生には「超巨大地震と日本列島の造山運動」についてお話ししていただきました。発表後の総合討論では、ご来場いただいた方々からの質問をもとに、「過去の地質変動の解明」および「将来の予測」について、活発な議論が行われました。

筆者による当日の独自調査によると、本シンポジウムの参加のきっかけとして、地質調査総合センターのHPを常日頃チェックしていて、このシンポジウムを知ったため、というご意見や、ある学会のメーリングリストで開催を知って、自身の研究分野ではないが、内容が興味深かったために参加した、というご意見を頂戴し、筆者自身、地質調査総合センターの影響力の大きさを、身をもって感じました。予想を上回る大勢の方々にご参加いただいたことは、本シンポジウムで取り上げたテーマの多方面での需要や関心の高さ故かと感じました。今後も多くの方々のご期待に応えられるよう精進して参りたいと思います。



シンポジウムの当日の様子。佃理事による開会あいさつ。



受付前に展示された活断層・火山部門紹介パネルをご覧になるご来場の方々。（写真提供：深部流体RG／佐藤努氏）

## Report つくば市立谷田部中学校での出前講座



内出崇彦（地震テクトニクス研究グループ）

2015年1月29日に、つくば市立谷田部中学校の総合学習「つくばスタイル科」の一環として出前講座を実施しました。同校の中学校2年生（つくば市では小中一貫教育を掲げているため通算学年で「8年生」と呼ぶ）は地震、竜巻などによる災害とそれらに対する防災・減災について学んでいるとのこと、地震が発生する仕組みや測定のための最新技術についての講義を産総研にご依頼いただきました。当日は、つくば市内の他の研究所の方々も招待されており、総勢8名の講義から好きな2つを事前を選択して聴講するという形式でした。各講師も同じ内容の講義を2回実施しました。

私の講義は、「地震をどうやって観測するのか」「地震を聴いてみよう！」「地震はどうやって起こるのか」「津波はどうやって起こるのか」という4つの話題で構成されていました。

まず初めに、マグカップ程度の大きさの地震計をタブレットPCに接続して、その動作を見てもらい、地震計に親んでももらいました。そして、地震観測網のデータを使って、2011年東北地方太平洋沖地震の揺れを動画と音声で感じてもらいました。地震波が日本全国に広がる様子や地震波の中にある音量の起伏を感じてもらうことを意図していました。関東平野に地震波がたまる様子も動画で見られました。なお、地震データを音声として聞こえるようにする「可聴化」には筑波大学の松原正樹特任助教、ソノロジー研究所特別研究員（作曲）の森本洋太さんにご協力いただいています。手法などの詳細については、別の機会に譲ることとしたいと思います。

地震の発生を語る上ではプレートテクトニクスは欠かせないわけですが、そのプレートの形状を、震源の3次元分布によって見てもらいました。きれいにプレートらしき姿が見て取ることができ、生徒さんたちの反応も良かったです。

2011年東北地方太平洋沖地震の断層破壊の進展の様子も動画で見てもらいました。断層モデルは、手前味噌ながらUchide（GRL, 2013）を利用しました。破壊の詳細というよりは、巨大地震は時間がかかるということを知ってもらいました。巨大地震は巨大な断層を破壊しているはずで、そのためには破壊に長い時間がかかるわけで、その結果、揺れが長くなります。これを逆にたどれば、長い揺れを感じたら、巨大地震の可能性が高いということになります。それによって、津波を警戒しなければならないわけです。

今回の講義は、地震についての知識をつけてもらうだけでなく、キャリア教育としての意味もあったように思います。「今の仕事をしていて良かったと思うときは、どういうときですか」という質問も受けましたが、研究者はどういう人で、どういう経路をたどって現在に至るのか、知る機会になったのではないのでしょうか。私自身も、今回の経験を今後の出前講座や一般公開などのアウトリーチ活動に生かしていきたいと思います。

## 外部委員会等 活動報告 (2014年12月～2015年1月)

10～11月追加分

2014年10月31日

第2回岩手県津波痕跡等調査アドバイザー会議(宍倉出席/岩手県公会堂)

津波痕跡等調査の経過報告と意見交換

2014年11月12日

地震調査委員会(岡村出席/文科省)

10月の地震活動

2014年11月23日

地震調査委員会臨時会(岡村出席/文科省)

長野県北部の地震の評価

2014年11月28日

第205回地震予知連絡会(宍倉, 小泉, 松本(則)出席/国土地理院関東地方測量部)

2014年8～10月の地震活動や地殻変動等の観測結果, 重点検討課題「物理モデルに基づいた地震発生予測研究 その2」

12～1月

2014年12月3日

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会第43回海溝型地震分科会(第二期)(宍倉出席/文科省)

千島海溝・日本海溝の地震活動の長期評価について他

2014年12月5日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第209回長期評価部会(吉岡出席/東京)

2014年12月9日

地震調査委員会(岡村出席/文科省)

11月の地震活動の評価

2014年12月16日

原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討チーム(篠原出席/原子力規制庁)

原子力施設における火山活動のモニタリングに関する検討

2014年12月18日

地震調査研究推進本部活断層分科会(近藤出席/東京)

関東の地域評価等について議論した。

2014年12月22日

第3回千葉県地震被害想定調査検討会(宍倉出席/千葉県自治会館)

(1)被害想定調査の進捗状況(工学的基盤での地震動の計算 他)

(2)液状化の新たな知見と液状化対策(話題提供)

(3)その他

2014年12月22日

地震防災対策強化地域判定会(小泉出席/気象庁)

東海地方周辺の最近の1ヶ月のデータを持ち寄って検討し, 東海地震発生可能性について協議した。

2015年1月9日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第210回長期評価部会(吉岡出席/東京)

2015年1月19日

噴火予知連絡会拡大幹事会(篠原出席/気象庁)

御嶽山の活動評価等の検討

2015年1月20日

地震調査研究推進本部地震調査委員会地震動予測地図高度化ワーキンググループ(吉岡出席/東京)

2015年1月23日

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部  
会第43回海溝型地震分科会（第二期）（宍倉出席  
/ 文科省）

千島海溝・日本海溝の地震活動の長期評価について  
他

2015年1月26日

地震調査研究推進本部活断層分科会（近藤出席 / 東  
京）（近藤出席 / 東京）

関東の地域評価等について議論した。

2015年1月27日

茨城県原子力安全対策委員会（吉岡出席 / 水戸）  
日本原子力研究開発機構 J-PARC 内火災事故の対  
応について

2015年1月28日

地震調査研究推進本部地震調査委員会第211回長  
期評価部会（吉岡出席 / 東京）

## IEVG ニュースレター vol.01 No.6

2015年2月発行

発行・編集 独立行政法人 産業技術総合研究所  
活断層・火山研究部門

編集担当 黒坂朗子

問い合わせ 〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1 中央第7事業所  
Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803

URL <https://unit.aist.go.jp/ievg/index.html>