

2018年

8月号

IEVG ニュースレター

Vol.5 No.3

NEWS LETTER



[研究現場紹介]

沿岸海域における活断層調査

大上隆史（地震災害予測研究グループ）

はじめに

産総研では、陸域の活断層に加えて、海域の活断層についての調査・研究を推進しています。海域に分布している活断層の中でも、沿岸海域の活断層の評価は、人口や社会基盤が集中する沿岸地域における地震災害を予測する上で重要な研究課題です。陸域の活断層調査では、フィールドを歩いたり、細長い溝（トレンチ）を掘ったりして、断層が動いた痕跡を直接観察することができます。一方で、海域の活断層調査では、海底に潜って調査することは現実的ではありません。そのため、私たちは船上から地球物理学的な探査にもとづいて海底面および海底面下の地下構造を明らかにして、活断層にアプローチしています。さらに、船上から海底面下の地質試料を採取する調査も実施しています。本稿では、海域における活断層調査の一部をご紹介します。

音波を利用した海底探査

音波（弾性波）は水中を伝わり、何かに当たると反射される性質があります（図 1a）。この性質は魚群探知機や潜水艦等のソナー・システム、超音波エコー検査にも利用されています。海水面で音波を発生させると、海底面で反射した音波が戻ってきます。海水中を進む音波の速度は約 1,500 m/秒なので、音波を発振してから 0.04 秒後に海底面で反射した音波が戻ってきた場合、その場所の水深は $1,500 \text{ (m/秒)} \times 0.04 \text{ (秒)} \times 0.5 = 30 \text{ m}$ 、と求められます（0.04 秒は音波が海水面と海底面の間を往復した時間であるため、片道分の距離を求めるために 0.5 を掛けます）。

音波は海底面で全て反射されるわけではなく、一部の音波は海底面を通り抜けます（図 1a）。海底面を通り抜けた音波は、海底面下の地層の境界面等で

Contents

- 01 研究現場紹介 沿岸海域における活断層調査 …… 大上隆史
- 05 新人研究紹介 西南日本紀伊半島北西部の微小地震活動 …… 前田純伶
- 08 学会報告 第 23 回放射性炭素国際学会 …… 高橋 浩
- 11 自治体研修報告 平成 30 年度地震・津波・火山に関する自治体職員研修プログラム開催報告 …… 吾妻 崇・穴倉正展・川邊禎久・増田幸治
- 13 海外滞在記 University of Manchester における在外研究報告（4） …… 風早竜之介
- 17 外部委員会活動報告 2018 年 6 月～7 月

反射されると戻ってきます。そこで、海底から戻ってくる音を「録音」したデータを取得すれば、どのくらいの深さに地層の境界面が存在するのか調べることができます（地層によって音波が伝わる速度は変化しますが、海底面から 200 m 程度までの深さの地層では、一般に 1,500~1,540 m/秒で音波が伝わるのが知られているので、水深を求めるのと同じ原理で地層の深度も推定できます）。

音波探査のために、対象とする深度や地質構造の空間スケールに応じて、様々な装置が開発されています。沿岸海域における活断層調査では、海底面下 100 m 程度までの深度を対象として、高い分解能（垂直分解能が 0.1~1.0 m 程度、水平分解能が 5 m 程度以下）で探査を行う必要があります。そのため、音波探査の音源としては高周波（数百 Hz~数 kHz）の音波を発振するブーマーと呼ばれる装置（図 2a）や、さらに高い周波数（~200 kHz）の音波を発振する SES2000 やチャープソナーと呼ばれる装置（図 2b）を使用しています。より深部までの地質構造を探るために、周波数が低い音波を発振するウォーターガンと呼ばれる装置を使用することもありま

す。音波を受振する装置は「ハイドロフォン（水中で利用できるマイクロフォン）」と呼ばれます。複数のハイドロフォンを等間隔にとりつけたケーブル（ストリーマケーブル）を使用すれば、一度の発振で複数地点から反射された音波を収録することができます（図 1b, マルチチャンネル探査と呼ばれる）。沿岸海域の探査で使用するこれらの装置は十分に小型化されています。そのため、これらの装置は漁船等にとりつけることも可能です（図 2c）。

音源装置とハイドロフォンを搭載したストリーマケーブルを船舶で曳航して、等間隔に音波の発振・受振を行ってデータを収録していきます（図 1b, 図 2e）。取得した一次データは、船上においてリアルタイムでチェックします（図 2d）。実際の調査にかかる期間は、天候や海況に左右されますが、全部で 150 km ほどの探査データを取得するのに、船舶への探査装置の取り付け／取り外しを含めて 2 週間くらいです。本稿では触れませんが、探査で取得したデータの解析処理を実施することによって、海底面下の地質構造を復元していきます。

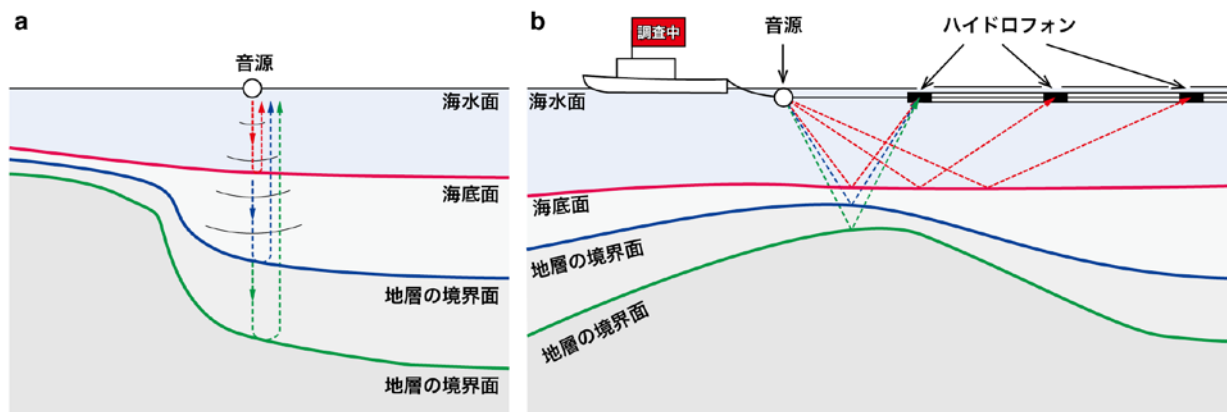


図 1 音波を利用した海底探査の模式図。a. 海水面で発振された音波は、海底面や海底面下の地層境界面で反射されると、海水面まで戻ってきます。音波が戻ってくるまでの時間と音波が進む速度がわかれば、音波が反射した点の深さを求めることができます。b. 実際の調査では、音源装置と受振装置（ハイドロフォン）を船舶で曳航しながら探査を行います。図のように複数のハイドロフォンを搭載したケーブルを使えば、一度の発振で複数地点で反射された音波を受振することができます。

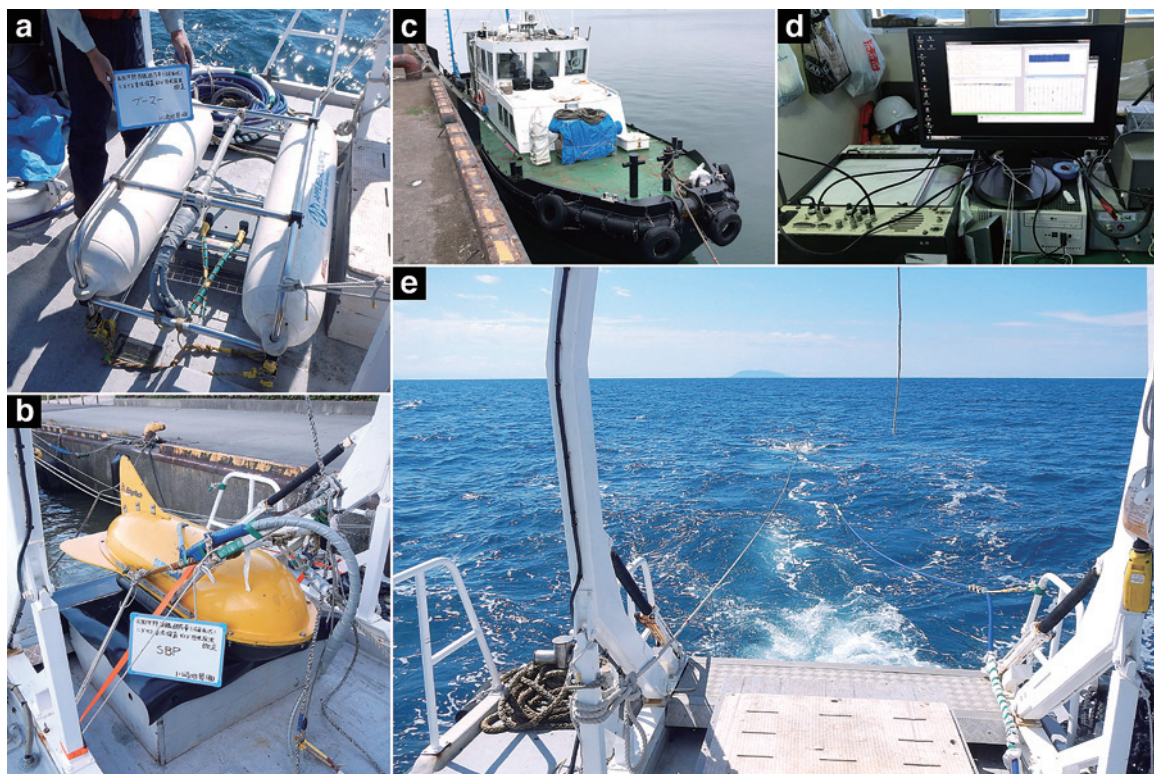


図2 音波探査に使用する機材(a-d)と探査風景(e)。a. 音波探査の音源装置(ブーマー)。b. 音波探査の音源装置(チャープソナー)。c. 音波探査に用いた船舶。d. 音波探査記録をリアルタイムでモニターする装置(船上に設置)。e. 船尾から見た探査風景(新潟沖)。

海底面下の地層採取

活断層評価のためには、断層によって変形を受けた地層が、「いつ」「どんな環境で」形成された地層なのか具体的に知る必要があります。そのためには、陸上におけるボーリング調査のように、海底面下の地層を円柱状に抜き取った「堆積物コア試料」を採取します。水深が浅い沿岸海域では、専用の掘削船を用いる代わりに、海上作業用の台船(図3b)を用いて地層の採取調査を行っています。図3cは堆積物コア試料を最大で約6m採取できるサンプラーです。これを台船からクレーンで海底に下ろして、堆積物コアを採取します(図3a)。場所によりますが、沿岸海域の海底で地層が形成される速度は、平均すると1年間で1~5mmほどです。5mの堆積物コア試料を採取できれば、そこには1,000~5,000年間の出来事が記録されていることが期待できます。もっと長い期間の出来事を記録した地層を採取するために、台船上から海上ボーリング調査を実施して、数10mの堆積物コア試料を掘削する

こともあります。採取した円柱状の堆積物試料(図3d)は、陸上の実験室に持ち帰り、縦半分に裁断して観察や分析をします。堆積物に含まれる火山灰層を分析したり、貝化石等の年代を測定したりすることによって、地層ができた年代を決定できます。

おわりに

ここでご紹介させていただいた調査は、所内外の研究者に加えて、多くの方々のチームプレイで成り立っています。現地調査においては、調査船の操舵や危険が伴う船上での作業を行うために、海洋調査のプロ集団である調査会社の方々のご協力が不可欠です。また、私たちが活断層調査を実施する沿岸海域は、漁業や海上交通の舞台でもあります。そのため、沿岸海域での調査には地元の皆さんにご理解いただき、ご支援・ご協力いただくことが必要です。この場をお借りして、皆様に御礼申し上げます。調査で得られた成果は責任をもって公表し、地震災害の予測・軽減につなげていきます。

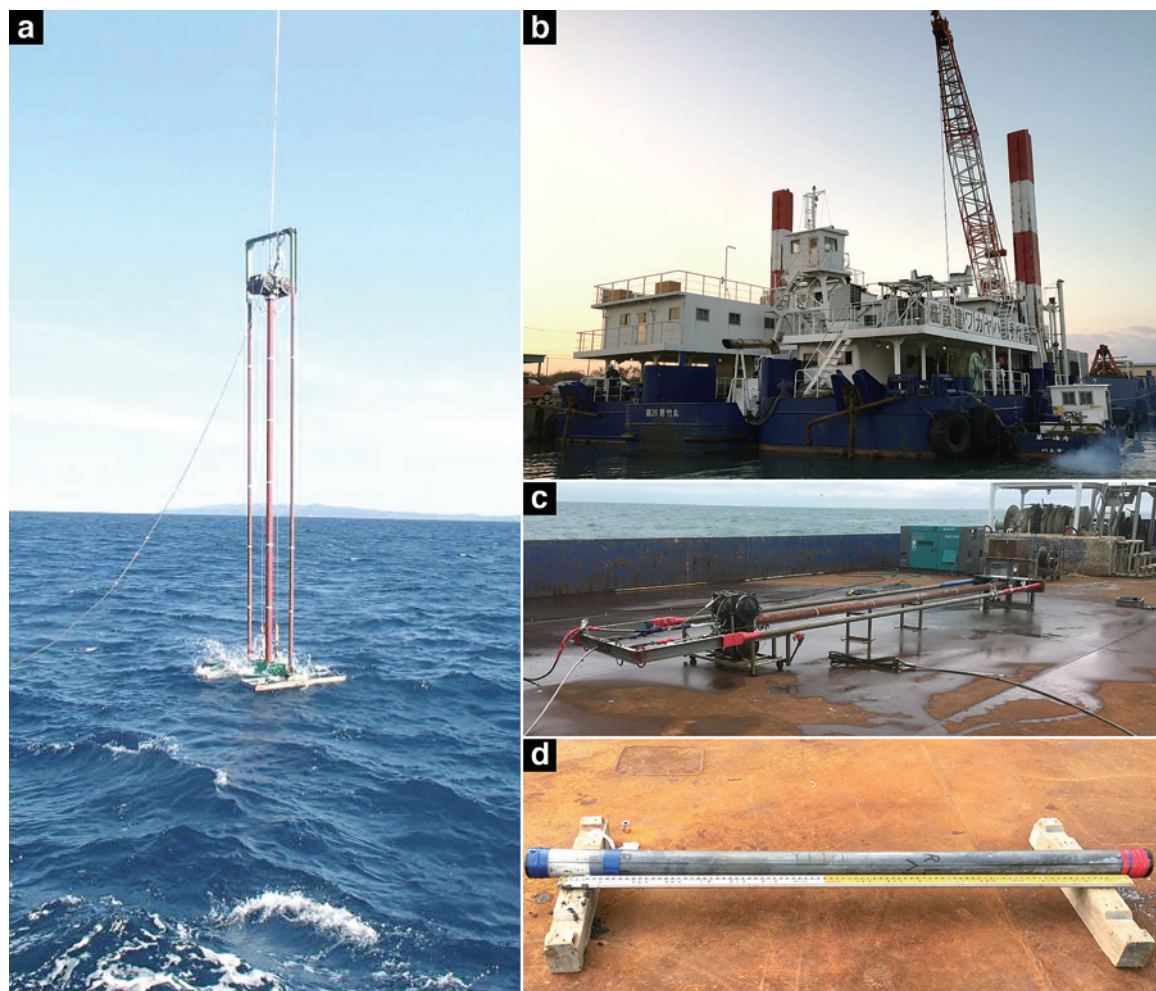


図3 地層採取調査に地用する機材 (a–c) と採取された堆積物コア試料 (d). a. 調査に使用した台船からクレーンでサンプラーを海底に下ろす様子 (北海道勇払沖). b. 調査に使用した海上作業用の台船. c. 最大で6 mまでの堆積物を採取可能なサンプラー (パイプロコアラ-). d. サンプラーから引き出した直後の堆積物コア試料. 赤いテープが海底面側 (上側).

新人研究紹介

西南日本紀伊半島北西部の微小地震活動

前田純伶（地質変動研究グループ）

はじめに

今年の4月から、地質変動研究グループに産総研特別研究員として採用されました前田純伶です。私はこれまで、地質学的な不均質構造が内陸地震発生に与える影響について研究を行ってきました。

産総研に採用されてからは、「断層の連結性」というテーマで研究に取り組んでおります。現時点において、大きな被害をもたらす可能性が低いと考えられる小規模な断層であっても、隣接する他の断層と連結することで、大規模な断層に成長する可能性があります。そのため、断層の連結過程を理解することは、将来的に発生する可能性のある内陸地震の規模を評価するために非常に重要です。私は、この断層の連結過程を地震学的情報と地質学的情報を組み合わせることで明らかにしたいと考えております。現在は、このテーマに関わる知見の整理を行い、断層の連結が起こる条件を理解し、断層の連結の評価手法を確立するための課題の抽出を行っております。

本稿では、現在進めている研究ではなく、これまでに行ってきた研究の中から「西南日本紀伊半島北西部」の研究についてご紹介したいと思います。

内陸地震発生に影響を与える上部地殻内の不均質構造

日本列島はプレート衝突部に位置するため、非常に不均質な構造をしています。そのため、日本列島の地殻浅部において発生する内陸地震は、プレートの沈み込みに起因するような広域の応力場に支配されるだけでなく、岩石の違いや断層、地下のマグマだまり、水の存在等による、比較的狭域な地殻内の構造的な不均質の影響を強く受けていると考えられます。例えば、地下にマグマだまりのような熱源があれば、それによる熱応力は無視できず、また、大地震による断層運動が起これば、その周りの応力場も変化することが予想されます。断層面

にかかる間隙水圧が高ければ断層の強度は低下し、滑りやすくなります。地質断層や岩相境界等も均質な岩体より滑りやすくなっていると考えられます。このような地殻内の構造的な不均質に起因する応力と強度の不均質性と地震発生の関係を明らかにすることができれば、地震の発生しやすい領域や、その領域において発生しやすい地震の断層タイプなどの予測に繋がります。そこで、日本列島の中でも地震活動が活発な「西南日本紀伊半島北西部」を研究対象地域として、微小～小地震の詳細な解析を行い、1) 地質学的不均質構造と地震活動の関係性の検討、2) 局所的な応力場の空間的不均質性の推定を行いました。

西南日本紀伊半島北西部の地質学的不均質構造と地震活動の関係性

近畿地方内陸部では主として丹波山地と紀伊半島北西部で定常地震活動が活発です（図1）。これらの地震活動は地質構造と関係性があることが指摘されていますが（例えば、片尾・安藤、1996）、地質構造と地震活動に関する具体的かつ詳細な研究例はありません。そのため、震源の深さが10 kmよりも浅く、活発な定常地震活動で特徴付けられる紀伊半島北西部の微小地震発生域に着目しました。

紀伊半島北西部における地質学的な不均質構造が地震活動に与える影響を検討するために、1) hypoDD法による震源再決定、2) 微小地震の発震機構解の決定、3) 震源及び発震機構解の分布と地質構造との比較、4) 重力異常に基づく地下構造の推定を行いました。

震源再決定の結果から、微小地震の震源は三波川帯・秩父帯の分布域に対応するように分布しており、特に、三波川変成帯の中の塩基性岩類で主に構成されている御荷鉾帯や点紋帯において、地震活動度が周辺の堆積岩類よりも低いことが明らかにな

りました（図2）．また，防災科学技術研究所が運営する F-net によって推定された本地域の発震機構解（ $M_w \geq 3.2$ ）は，全ての発震機構解が逆断層タイプを示したのに対して（図3a），本研究で新たに

決定された微小地震（ $3 > M \geq 1$ ）を含んだ発震機構解は，逆断層タイプが 60%にとどまり，正断層タイプや横ずれ断層タイプの地震も多数存在していることがわかりました（図3b）．

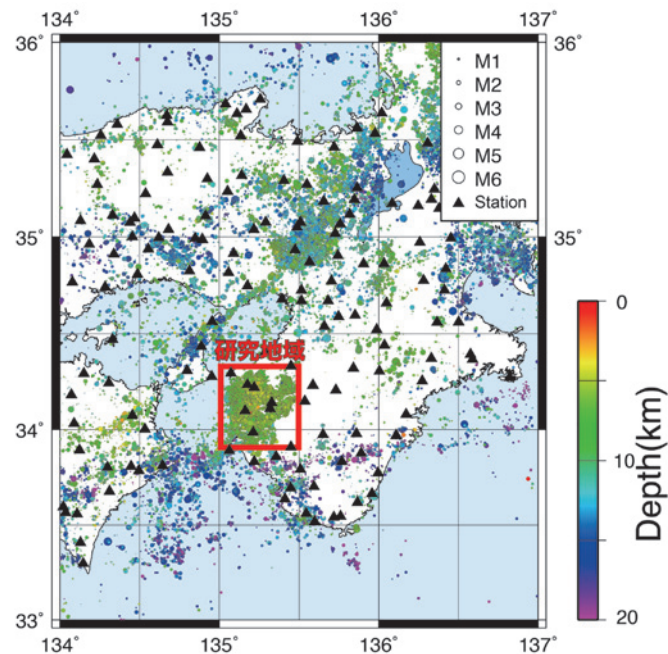


図1 西南日本の浅部内陸地震の分布と調査地域．○は気象庁一元化震源カタログに記載されている2005～2013年の間に20 km以浅で発生した震源の分布を表しています．○の大きさはマグニチュード，色は深度を表しています．▲は本研究で発震機構解を決定するのに使用した観測点を示しています．赤い矩形は研究対象地域の紀伊半島北西部を示しています．

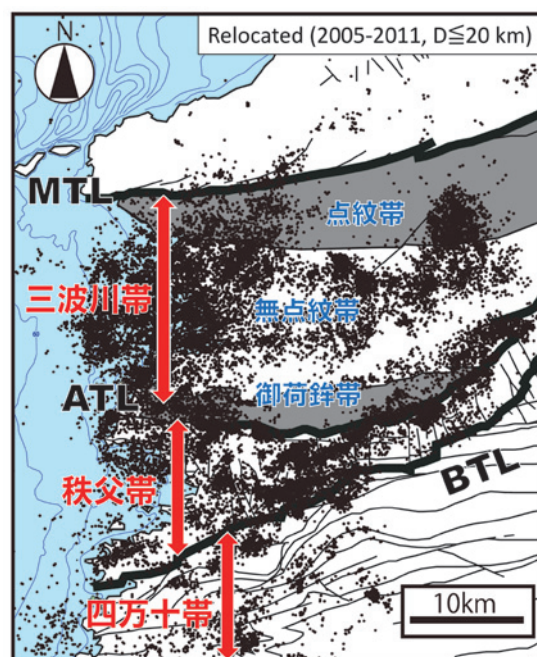


図2 再決定震源の分布．ドットは気象庁一元化震源カタログに記載されている2005～2011年の間に20 km以浅で発生した震源を再決定した分布を表しています．灰色の領域は塩基性岩類の分布を表しています．MTL，ATL，BTLはそれぞれ中央構造線，有田川構造線，仏像構造線を表しています．

局所的な応力場の空間的不均質性の推定

本研究地域は、F-net や Terakawa and Matsu'ura (2010) の結果から、東西圧縮の逆断層場であると考えられていましたが、微小地震の発震機構解を決定した結果、断層タイプに多様性があることがわかりました。これは、局所的に応力場が変化している可能性を示唆しています。そのため、局所的な応力場の不均質性が地震活動に与える影響を検討するために、1) 断層タイプ別に地震発生深度の詳細な検討、2) 発震機構解に基づく応力場の推定を行いました。その結果、本地域の地震の断層タイプや応力場が深さ方向に変化しており、それらは地下に存在する熱流体や弱面の影響を受けている可能性が高いことが判明しました。この熱流体と応力場の深さ変化の詳細については、Maeda et al. (2018) に記述しております。

最後に

紀伊半島北西部の結果から、内陸地震はプレート運動のような広域応力場の影響だけでなく、熱源に

よる熱応力の影響や既存の弱面といった局所的な応力や強度の不均質性の影響を強く受けることがわかりました。本研究結果から、内陸地震発生に至る過程を理解するためには、大規模地震に加えて、発生数が多く、応力・強度の局所的な不均質の影響を受けやすい小規模地震を詳細に解析していくことが重要であると考えます。

引用文献

- 片尾 浩・安藤雅孝 (1996) 兵庫県南部地震前後の地殻活動. 科学, 66, 78-85.
- Maeda, S., T. Matsuzawa, S. Toda, K. Yoshida, and H. Kato (2018) Complex microseismic activity and depth-dependent stress field changes in Wakayama, southwestern Japan. Earth, Planets and Space, 70(1), 21, doi:10.1186/s40623-018-0788-6.
- Terakawa, T., and M. Matsu'ura (2010) The 3-D tectonic stress fields in and around Japan inverted from centroid moment tensor data of seismic events. Tectonics, 29, TC6008, doi:10.1029/2009TC002626.

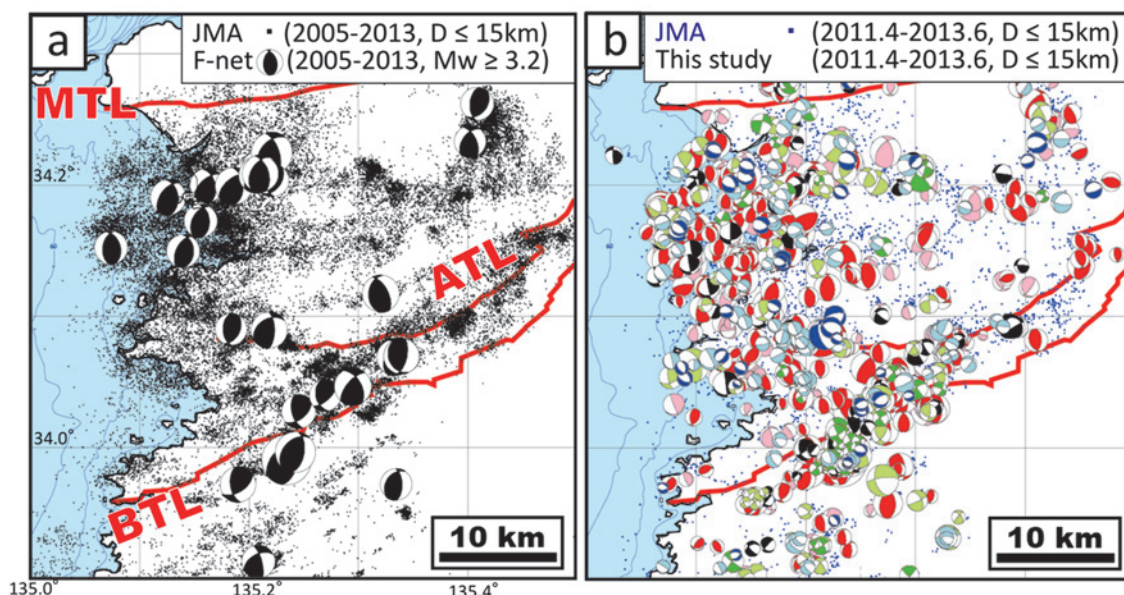


図3 発震機構解の分布. (a) F-net (NIED) による発震機構解 ($M_w \geq 3.2$) と気象庁一元化震源カタログによる震央の分布. 期間は2005～2013年. 和歌山地域では、E-W方向に圧縮軸をもつ逆断層型のイベントが卓越している. (b) Maeda et al. (2018) で決定された発震機構解と気象庁一元化震源カタログによる震央の分布. 期間は2011年4月～2013年6月. 発震機構解の色分けは、Maeda et al. (2018) に従い、赤・桃色が逆断層、青・水色が正断層、緑・黄緑色が横ずれ断層を表しています. MTL, ATL, BTLについては、図2参照.

学会報告 第23回放射性炭素国際学会

高橋 浩（深部流体研究グループ）

ノルウェー・トロンハイムにて2018年6月18日～23日の日程で開催された放射性炭素国際学会（The 23rd International Radiocarbon Conference）に参加しました。ノルウェーと言って思い浮かべることは何でしょうか？白夜（冬ならオーロラ）、サーモン、そして行ったことがある人ならわかる高物価、といったところでしょうか。白夜は初体験でした。一応、午後11時30分くらいに夕焼けがあつて、日は沈むのですが、朝までずっと明るいまです。暗くならず遠くまでよく見えるというのは、旅行者にとってありがたいものでした。さすがに人通りはありませんが、明るいまですから、夕食後にホテルに帰るのも安心できました。（ホテルでは遮光カーテンがあつて、寝るのに支障はありません。）日本でサーモンの寿司が広まったのはノルウェーのキャンペーンの成果だそうですが、現地でもお寿司はよく見ました。スーパーに行くと、SUSHI-SU（寿司酢）、SUSHI-GINGER（ガリ）、SUSHI-RICE（米）等が売っています。もちろん、パックに入った寿司もありますし、寿司レストランもよく見ました。ちなみに、スーパーではビール以外のアルコール類

は売っていません。それも午後8時になると販売が終わります。8時以降に飲みたい人はPUBへ行けて言うことらしいです。PUBでビールを1パイント飲むと1500円～2000円、バーガーも同じくらいで、贅沢をしていないのに出費がかさみました。付加価値税も25%かかりますので、価格表示が、税込と税抜のどちらなのかわからないと買いものもちょっとした恐怖です。

さて、参加した学会は、3年に1度のペースで開催される放射性炭素（ ^{14}C ）に関する国際学会です。過去の学会の参加者の投票で開催地が決まります。今回は、トロンハイム・ボストン・リオデジャネイロ・シドニーの各都市を候補に投票を行った結果、主催者の座を獲得したのは、ノルウェー工科大学（NTNU）となったわけです。

学会ではロゴマークがあることが多いですが、今回のロゴはなんだかかわからない模様でした（写真1）。開会挨拶のときに謎が判明して、バイキングの遺跡から発掘された昔のカレンダーの一部でした。年代測定を主な利用法とする ^{14}C の学会にふさわしいロゴだと感心してしまいました。学会としては



写真1 学会ロゴとデザインの元になったカレンダー（左）。学会の記念品として配布されたロゴ入りの傘をさす学会参加者（右）。会期中は、小雨が降ったり止んだりのすっきりしない天気でした。

小規模なもので、114 件の口頭発表と 234 件のポスター発表がエントリーされました。 ^{14}C は年代測定だけではなく、環境中の物質の動きを考察するためのトレーサーや太陽活動の指標としても用いられ、考古学、地球科学、物理学、医学といった幅広い分野の研究発表がありました。異なる分野の研究者から発せられる予期しない質問に答える必要があり、限られた分野の学会とは違った緊張感があります。

^{14}C に関する学会ですから、 ^{14}C の分析装置、前処理手法といった分析手法、 ^{14}C の年代較正、 ^{14}C をツールとして用いる応用研究といった、 ^{14}C に関連するあらゆる対象の研究発表があります。分野ごとの発表数を見ると、最も多いのは、分析や試料処理の手法開発に関連するもので、全体の 30% を占めていました。次に、水文・海洋関連や考古学関連の応用研究がそれぞれ 15% でした。 ^{14}C の分析に用いる加速器質量分析計は、大型のものからコンパクトなものまでありますが、それぞれで分析するときはどういった違いがあるのか、といった ^{14}C 分析だけを念頭においた研究発表があったり、陽イオンビームを用いた新しい分析技術の開発（高効率で測定が可能とのことです）、ガスイオンソースを用いた分析手法の改良（微量試料に対応が可能となります）等の発表があったりと、装置関連の発表が多くあります。また、分析までの処理時間を短縮するための自動化装置の開発や実験手法に関する発表も目を見ました。これらの発表は、加速器を保有するラボが中心となります。彼らは、ここでの議論を踏まえて、装置開発や手法改良を加速させていきます。加速器を保有しないユーザーの研究者は、先端の分析技術を使うと、どんなことができるのかを見極めることができます。応用研究においても、新しく ^{14}C をツールとして用いるための基礎研究の発表もあり、新しい研究のきっかけになることもあります。

^{14}C の年代較正についてのセッションがあることが、学会の大きな特徴になっています。年代較正は、地球磁場の強弱をはじめとする要因により、 ^{14}C の生成に必要な中性子の供給が変化するため、過去に

おける ^{14}C の濃度が変化して、見かけ上、年代値が変化してしまう問題を解決するために必要なものです。そのために年輪のように年代値をカウントすることができる試料を用いた「較正曲線」が存在します。較正曲線をより正確に、より幅広い年代をカバーするように、世界中の研究者が測定を重ねており、その成果の発表と評価を行うことがこの学会の重要な目的のひとつです。今回は 20 年くらい前に発表された水月湖の年縞堆積物のデータ（現在は校正曲線のデータに組み込まれていない）の再評価の提案がなされました。まだ、議論の途上ですが、今後、データが採用されることがあるかも知れません。また、海洋試料では海洋循環の影響を受けて、測定される年代値が古くなる海洋リザーバー効果が知られています。以前は、全球的に平均をした補正していましたが、近年は、海域ごとのローカルなリザーバー年代を求める研究が進められており、多くの発表がありました。さらには、それが年代を追うごとにどう変化したのかを求める研究発表までありました。年代較正にせよ、リザーバー年代の補正にせよ、正確な年代を知るためには、まだまだ多くの研究が必要になることが実感されました。

学会の開催されたトロンハイムは、ノルウェーでは 2 番目に古い都市で、ノルウェー王国最初の首都がおかれた都市です。ちなみに、トロンハイムの人たちの野望は、発掘等で新たな歴史上の発見があつて、トロンハイムがノルウェーで一番古い都市になることだそうです。街のシンボルであるニードロス大聖堂（写真 2）は、近年まで修復工事がされていました。火災被害の後、宗教改革があり資金が集まらずに工事ができなかったそうです。ガイドの方が教えてくれた話ですと、聖堂が完成してしまうと、聖堂ごとトロンハイムの街がニード川（市内を流れて、トロンハイムフィヨルドそそぐ川）に没してしまうという言い伝えがあつて、石工が最後の石材をはめようとしている像が、屋根の上の方に造られているとのことです（残念ながら、通常は見ることはできません）。聖堂の西正面の壁には、聖人等の像がありますが、近年に修復されたこともあつ

て、多くの像の顔のモデルになった人がわかっているそうです。なかには、彫刻家の奥さんがモデル、という像もあつたりします。聖堂は巡礼地として有名で、巡礼者のための目印となる十字のマークが市内の至る所にあつて、聖堂前にはマイルストーンも設置されています（写真2）。この聖堂には立派なパイプオルガンがあつて、学会の公式プログラムとしてオルガンコンサートが開催されました。

30分ほどでしたが、壮大な聖堂内に響くオルガンの音色を堪能することができました。

次回開催は3年後の2021年で、開催地はエルサレムです。3年もあれば、その間にまとまった成果が多く出ていることと思います。次の学会でも最先端の研究成果に触れることができるでしょう。今から楽しみでなりません。



写真2 ニーダロス大聖堂（左：聖堂西正面、中央下：聖堂前にある巡礼のマイルストーン、右上：パイプオルガンの「パイプ」と西側のステンドグラス、右下：パイプオルガン。）

News



平成 30 年度地震・津波・火山に関する自治体職員 研修プログラム開催報告

吾妻 崇・穴倉正展・川邊禎久・増田幸治

地震・津波・火山に関する研究成果を実際の防災に活かすためには、自治体の防災担当者と研究者との連携が不可欠です。このため、活断層・火山研究部門は、地質調査総合センターのプログラムの一環として、地質情報研究部門や地質情報基盤センター（地質標本館）の協力も得て、自治体の防災担当の職員を受け入れた研修を行っています。この研修は平成 21 年度（2009 年度）から毎年開催されており、地震・津波・火山といった現象そのものに興味をもってもらうことに特色があります。今年度は、7 月 9 日（月）から 12 日（木）にかけて実施し、青森、千葉、静岡、愛知、三重、和歌山、宮崎の 7 県から 9 名の参加がありました。青森県からは今回が初参加でした。また、上記のほかに、和歌山県（南紀熊野）と群馬県（浅間山）からそれぞれ 1 名ずつのジオパーク関係者にご参加頂きました。

今年度の研修プログラムは表 1 に示した通りです。昨年度のアンケートで「自分の担当分野（火山）だけの研修内容でないと参加できない」といった意見があったため、今年度は「火山分野だけ」（研修



写真 1 地質標本館の展示についての説明風景
(2 日目・午前)

表 1 平成 30 年度地震・津波・火山に関する自治体職員研修のプログラム内容。

日程	講義内容
7 月 9 日（月）	・ガイダンス ・日本列島の地質と構造 ・日本の火山と火山活動（その 1，その 2）
7 月 10 日（火）	・地質標本館見学 ・地質図の利活用 ・地震災害と地震防災想定 ・ゆれにまつわるあれこれ ・活断層と古地震調査 ・活断層 DB の紹介とその使い方
7 月 11 日（水）	・自治体による地震・火山防災の取り組みの紹介 ・海岸の地形と地質の発達史 ・歴史資料を読み解いてわかる過去の地震と津波 ・南海トラフ巨大地震の予測と地震に関連する地下水観測データベースの使い方
7 月 12 日（木）	・巡検「南房総における大地震の痕跡を探る」

前半)、「地震分野だけ」(研修後半) および「すべて」(全日程) の3つの参加形態の中から事前に選択できるようにし、共通分野となる地質一般の講義(「地質標本館見学」および「地質図の利活用」)を中間において、どれを選択しても受講できるようにプログラムを編成しました。初日には、日本列島の地質に関する概要と火山に関する講義が行われました。火山に関する講義の「その1」では概説的な内容を、「その2」では個別の火山を取り上げた内容を、それぞれ取り上げました。2日目には午前中に地質情報に関する講義と地質標本館の見学(写真1)、午後に地震・地震動と活断層に関する講義が行われました。今年度は地質標本館の見学の評判が良く、アンケートでも「もっと時間をかけて見学したかった」というコメントを多数頂きました。3日目は午前中に自治体による地震・津波・火山防災の取り組みについて研修生から紹介して頂き(写真2)、午後には海溝型地震と地震地下水に関する講義が行われました。自治体による防災への取り組み状況の紹介については、「研修期間中の早い時期に行なって欲しい」との意見があり、来年度のプログラム編成の際に参考にしたいと思います。最終日の巡検には、自治体研修参加者4名のほかに産総研からの2名の参加者があり、活断層・火山研究部門の研究者2名の案内で、南房総における大地震の痕跡を探る巡検を実施しました(写真3)。天候が若干危ぶまれましたが、気温がそれほど高くならなかったため熱中症の心配などはなく、かえって巡検に適した日だったように思います。

このような研修を継続的に開催することにより、自治体の防災担当者に地質災害に関する知識を深めてもらうとともに、懇談の場も通じて、担当者同士や研究者との連携を強めていくことが重要だと考えています。来年度もこの研修を行いたいと考えています。



写真2 研修風景(3日目・午前)



写真3 房総半島で行われた野外巡検の様子(4日目・館山市見物海岸)

University of Manchester における在外研究報告 (4)

風早竜之介（マグマ活動研究グループ）

1. 序文

2017年11月より、11ヶ月の予定でイギリスのマンチェスター大学 (University of Manchester, 以下UoM) に滞在し、在外研究を行っています。本報告では主に6月のイタリア滞在中に実施した PhD 学生とイタリア火山研究所 (INGV) 滞在時の共同研究内容、特に日本の火山モニタリングにも応用が期待される空の紫外線スペクトルのシミュレーション技術について紹介したいと思います。

2. イタリア・カタニーヤ火山研究所滞在

2.1 概要

2018年6月からお世話になっている Mike BURTON 研究室の PhD 学生 2 名とイタリア・カタニーニに 1 ヶ月ほど渡航しました。イタリア滞在中は

イタリアのカターニャ火山研究所（INGV）にお世話になり、共同で火山ガス観測技術高度化の研究を行いました。イタリアにはヨーロッパで最も活動的な火山の1つであるエトナ火山があり、火山観測研究が盛んです。また、地中海のエオリア諸島に属するストロンボリ島は15分に一度という非常に高い頻度で噴火を繰り返す火山島です。この噴火を見物する火山ツアーはストロンボリ島の観光の目玉となっており、研究者だけでなく一般の人からの関心も高いです。

イタリアでは主に二種類のテーマに分けて共同研究を実施しました。一つ目は産総研のガスセンサー観測装置 (Multi-GAS) を用いたストロンボリ島での噴火発生時の火山ガス組成成分の観測です。2つ目は INGV の火山ガス観測網で観測されている

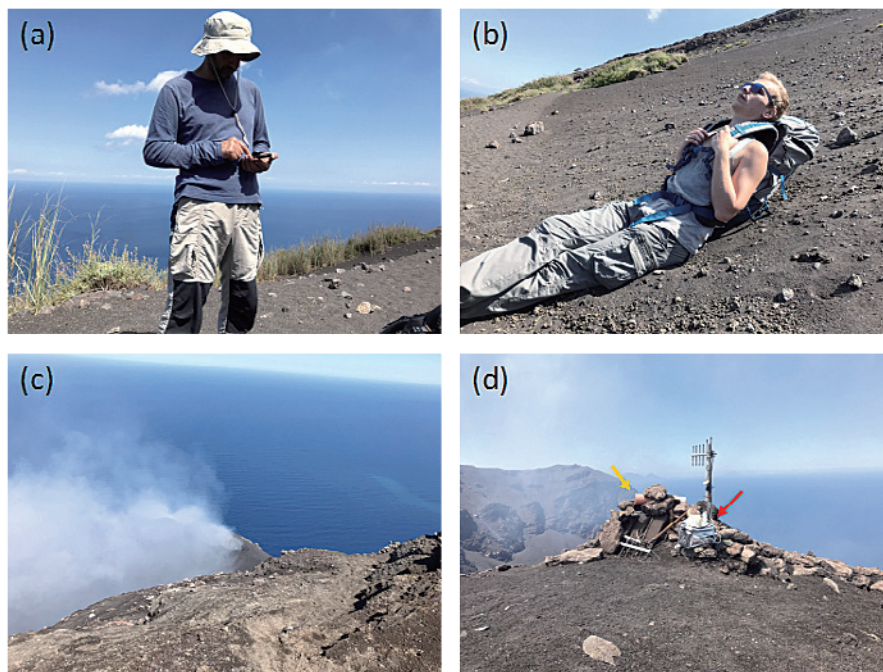


図1 ストロンボリ島での火山ガス組成観測の様子。観測に同行してくださったパレルモ INGV の (a) Marco LIUZZO さんと (b) Guillaume BOUDOIRE さん、(c) ストロンボリ火山の火口から火山噴煙が噴出している所、中央に見える窪地が火口で噴煙は中央から左側に向かって流れている、噴煙が薄青白に見えるのは噴煙中に含まれる SO_2 の影響、(d) パレルモ INGV で設置している火山ガス組成モニタリングシステム(黄色矢印)と産総研の火山ガス組成観測装置(赤矢印)

火山ガス放出量の解析手法の高度化です。こちらは元々私の大学在籍時代の専門分野で、2011年に私が2ヶ月ほどイタリアに滞在していた際に進めていた研究です。現在それを引き継ぐ形でマンチェスター大学の PhD 学生が主体となって共同で研究を進めています。

2.2 ストロンボリ火山での火山ガス観測

今年1月にパレルモ INGV にてお世話になった Marco LIUZZO さんと Guillaume BOUDOIRE さん(本報告 Part 2 参照)と共に、ストロンボリ火山にて Multi-GAS を用いた火山ガス組成観測を行いました(図1)。残念ながら一部のガスセンサーが観測中に故障してしまい良いデータを取ることが出来ませんでしたが、重要な火山ガス成分である水素が十分に定量可能であるということをフィールドにて確かめることが出来ました。その後、マンチェスター大学の PhD 学生の Benjamin ESSE さんと Matthew VARNAM さんと共にストロンボリ島でリモートセンシングを用いた火山ガス放出量観測を行いました(本報告 Part 3 参照)(図2)。こちらは天候にも恵まれ、噴火時に放出される火山ガスと火山灰の挙動を同時に捉えることに成功しました。こちらは Benjamin さんと共同でデータを解析中です。



図2. ストロンボリ火山での SO₂ 放出量観測の様子。画面中央にあるのはマンチェスター大学の観測装置で SO₂ カメラ(黄色矢印)と紫外分光計(赤矢印)。両者とも火山口の噴煙(画面上側)に向けられている。日射による機材温度上昇を防ぐために日除けを用いている。

2.3 カターニャ INGV での火山ガス測定技術開発
イタリア滞在中は火山ガス観測を実施するだけでなく、カターニャ INGV にて紫外線リモートセンシングによる火山ガス観測技術の共同開発を行いました。これはマンチェスター大学の PhD 学生の研究プロジェクトの一環で、研究目的は INGV がエトナ火山、ストロンボリ火山に設置している火山ガス観測装置で得られたデータの解析手法の高度化です。この研究の大元になっているのは私が2011年にイタリアで進めていた装置実験とシミュレーション技術開発ですが、私は PhD 学生のメンター(指導及び助言をする立場)として共同研究を進めました。具体的には SO₂ カメラ(本報告 Part 2, 2.2 節参照)の自動解析を行うための紫外線フィルタ特性の測定(図3)や、装置校正シミュレーション技術の開発を行いました。現在イタリアで得たデータを元に Matthew さんを中心として実用化に向けて研究を進めています。また、紫外線リモートセンシングで必要となる空の光のスペクトルのシミュレーション技術の開発を行いました(Esse et al. in prep.)。これについては次の節で詳しく述べたいと思います。



図3 カターニャ INGV での紫外線フィルタの分光特性測定実験の様子。画面上が Matthew VARNAM さん。中央やや右で三脚を押さえているのがカターニャ INGV でホスト研究者を務めてくださった Giuseppe SALERNO さん。

3. 空の紫外線スペクトルのシミュレーション

火山ガス中に含まれる二酸化硫黄 (SO_2) は紫外線を吸収するため、紫外線リモートセンシングを用いて測定する事が出来ます (図 4)。具体的には背景の空の紫外線スペクトルと火山噴煙 (SO_2) を透過してきた紫外線スペクトルを比べ、紫外線が SO_2 によって吸収された量を測定し、噴煙内の SO_2 の量を定量します。この SO_2 の測定には、噴煙透過光の紫外線スペクトルだけでなく、 SO_2 がない条件で測定した背景の空の紫外線スペクトルが必要です。ですが、 SO_2 は透明のため、天候条件によってはどこに SO_2 、つまり噴煙があるのか解らない場合があります。また、噴煙が流れる場所や方向は風向き等によって刻一刻と変化します。このため、実際の現場ではどの測定データが噴煙と背景の空のスペクトルに対応しているのかをはっきりさせるために、まず噴煙の位置を把握する必要があります。また、紫外線の量は太陽の位置、時間によって変化します。特に朝方や夕方等の紫外線量が少ない時間帯は紫外線量の変化が大きく、観測中に背景の空の紫外線スペクトルも変化してしまつて定量的なデータ取得が難しいという問題があります。

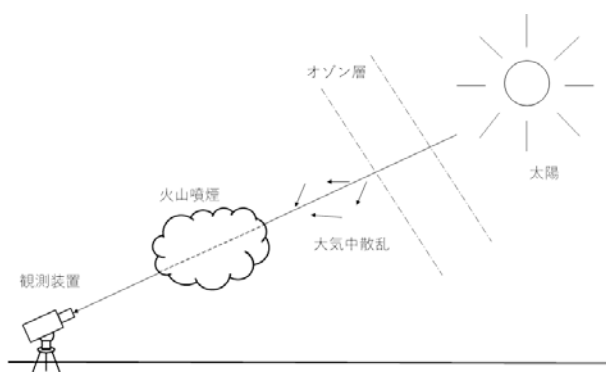


図4 火山噴煙中の SO_2 測定原理. 太陽を光源として降り注ぐ紫外線が火山噴煙を透過し、観測装置に届いている。噴煙透過時（点線部分）に SO_2 によって紫外線が吸収される。この観測スペクトルを解析することによって、 SO_2 による紫外線吸収量を求め、 SO_2 を定量する。観測する紫外線はオゾンによる吸収や大気中散乱の影響を受ける。

これらの問題を解決するために、私たちは噴煙透過光の紫外線スペクトルのデータを元に、空の紫外線スペクトルのシミュレーション技術を開発しました。この研究の大元のアイデアはカターニャINGVによる物で、イタリア火山のモニタリングに既に適用されています (Salerno et al. 2009)。

我々が地上で観測する紫外線の光源は太陽です。紫外線は太陽から発せられた後、オゾン（主にオゾン層）による吸収、大気中の散乱、噴煙中の SO_2 による吸収の影響を受けて観測機に届きます (図 4)。空の紫外線スペクトルは、太陽光のスペクトルが大気中の散乱やオゾンによる吸収の影響を受けて変化したものです。太陽光のスペクトルには観測値を用います (Chance and Kurucz, 2010)。大気中の散乱の影響は数値計算モデル (Rozanov et al., 2005) によって計算が可能です。大気中のオゾン（主にオゾン層）もまた紫外線を吸収する要因ですが、この影響はオゾンの吸収スペクトル (Gorshchev et al., 2014) を用いた解析によって取り除く事が出来ます。大気中の散乱やオゾンの影響の程度は大気の状態や太陽の高さなどによって異なるので、観測した場所・時間での観測スペクトルと比較する必要があります。そのため太陽光スペクトル、大気中の散乱スペクトル、オゾンの吸収スペクトルを、実際の噴煙の観測スペクトルにフィッティングして合成することにより、それぞれの影響の程度を計算し (図 5a,b,c)、観測条件下での空の紫外線スペクトルを求めます (図 5d)。

空の紫外線スペクトルのシミュレーション技術を応用して今年1月のニカラグア、マサヤ火山での SO_2 放出量観測 (本報告 Part 3) データを解析しました。従来産総研で行ってきた空のスペクトルを直接測定する方法とスペクトルシミュレーション法を比較した所、結果は良い一致を示しました (Esse et al., in prep.; 図 6)。また、従来法では噴煙観測前後に背景の空のスペクトルを測定するため、空の紫外線スペクトルの時空間変化によってベースライ

ンがドリフトしてしまい、この影響を手動で補正する必要がありました。ですが、スペクトルシミュレーション法では、それぞれの観測スペクトルに対応する空のスペクトルを随時計算するため、ベースラインが安定しています。これにより、ベースラインドリフトの問題がなくなり、従来の方法では問題があった朝や夕方時間帯や紫外線が弱い環境でも感度が高い定量が可能となります。

この方法のもう一つの利点は、現場での装置校正作業がいらなという点です。現在産総研で用いている方法では、現場で SO_2 が封入された石英ガラス容器 (SO_2 校正セル) を用いて装置の校正を行う必要があります。ですが、この校正には手間や時間が掛かります。また、校正を行うためには SO_2 のない場所へ移動する必要があり、噴煙が目視で確認できない時に正しい校正が出来ているのかどうかを現場で確認するのが難しい場合があります。この新しい解析方法では SO_2 の校正も SO_2 吸収スペクトル (Bogumil et al. 2003) を用いて行うため、現場作業の簡便化に大いに役立つことが期待されます。

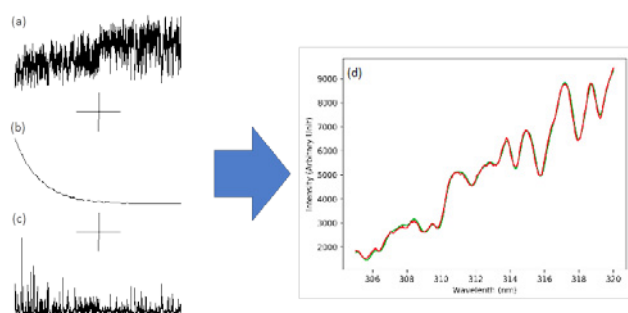


図5 (a) 太陽光のスペクトル、(b) オゾンの吸収スペクトル (c) 大気中散乱 (Ring effect) のスペクトル、(a), (b), (c) の縦軸はスペクトル強度で横軸は波長 (300 nm-350 nm) で、これらのスペクトルをもとに空のスペクトル (d) をシミュレーションする。(d) スペクトルシミュレーション技術によって計算した空のスペクトル。縦軸は光の強度、横軸は光の波長を示す。赤色が実際に観測した空のスペクトルで、緑色がモデル計算で求めた空のスペクトル。

4. 結文

本報告では主にイタリア滞在中に行った研究の一端についてご紹介しました。この在外研究中に共同開発した観測技術は是非日本、特に将来的に気象庁による火山モニタリング等にも応用出来るように尽力したいと考えています。このためには日本国内での技術・研究内容の周知が必要不可欠のため、この内容を詳しくまとめた日本語総説の執筆を計画しています。イタリアからイギリスに帰国した後は、ブリストル大学でセミナー講演をし、世界的に有名な火山学者である Steve SPARKS さんと質疑応答するなどの機会にも恵まれました。9月にはイタリアで開催される火山都市学会に参加し研究発表を行うと共に、イタリア研究グループと改めて予定を調整してイタリア火山での火山ガス組成観測を再挑戦したいと考えています。現在は本稿を書きながら、イギリスのマンチェスター大学と産総研・東大の共同プロジェクトを Mike BURTON 教授と共に企画し、日本学術振興会「英国との国際共同研究プログラム (JRPCs-LEAD with UKRI)」に応募する

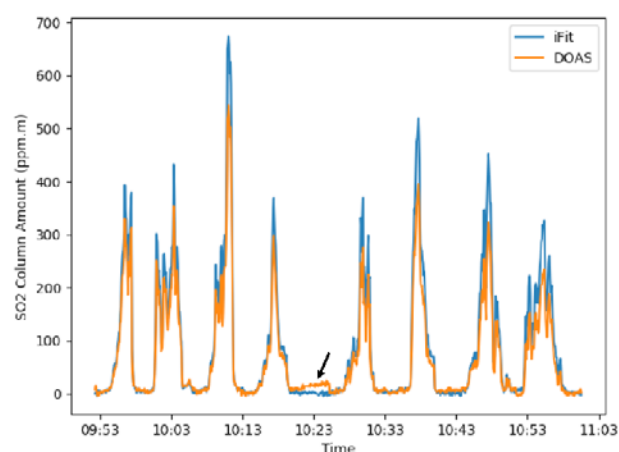


図6 2018年1月、ニカラグア、マサヤ火山の SO_2 観測データ時系列。橙色が従来法による SO_2 量、青色がスペクトル再現による解析法 SO_2 量を示す。両者は誤差範囲でよく一致している。10:23 付近 (黒矢印) にある従来法のベースラインドリフトは、背景の空の紫外線変化によるもの。観測中に手動でベースライン変化を補正している (10:25 付近のベースラインのリセット)。スペクトルシミュレーションによる解析は背景の空の紫外線変化を常に計算するためベースラインドリフトは見られない。

手続きを進めている所です。日本に帰国するのは10月初旬なのであまり時間は残されていませんが、この在外研究を実りあるものにするために今後も尽力していきたいと思っています。

引用文献

Bogumil, K., J. Orphal, T. Homann, S. Voigt, P. Spietz, O.C. Fleischmann, A. Vogel, M. Hartmann, H. Kromminga, H. Bovensmann, J. Frerick and J.P. Burrows (2003), Measurements of molecular absorption spectra with the SCIAMACHY pre-flight model: instrument characterization and reference data for atmospheric remote-sensing in the 230–2380 nm region. *J. Photoch. Photobio. A*, 157 (2–3), 167–184.

Chance, K. & Kurucz, R.L., 2010. An improved high-resolution solar reference spectrum for earth's atmosphere measurements in the ultraviolet,

visible, and near infrared. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 111(9), pp.1289–1295.

Gorshchev, V., Serdyuchenko, A., Weber, M., Chehade, W., and Burrows, J.P. (2014) High spectral resolution ozone absorption cross-sections – Part1: Measurements, data analysis and comparison with previous measurements around 293K, *Atmo. Mes. Tech.*, 7, 609-624.

Rozanov, A. et al., 2005. SCIATRAN 2.0 - A new radiative transfer model for geophysical applications in the 175-2400 nm spectral region. *Advances in Space Research*, 36(5), pp.1015–1019.

Salerno, G.G. M.R. Burton, C. Oppenheimer, T. Caltabiano, V.I. Tsanev, N. Bruno (2009), Novel retrieval of volcanic SO₂ abundance from ultraviolet spectra. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 181(1-2), 141-153, doi: 10.1016/j.jvolgeores.2009.01.009.

外部委員会等 活動報告 (2018年6月～7月)

3月追加分

2018年3月19日

地震調査委員会長期評価部会活断層分科会（岡村、近藤出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価について

5月追加分

2018年5月11日

地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）

4月の地震活動の評価

2018年5月18日

地震調査委員会長期評価部会活断層分科会（岡村、近藤出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価

2018年5月28日

地震調査委員会長期評価部会（岡村、宍倉出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価など

6-7月

2018年6月1日

地震調査委員会長期評価部会海域活断層評価手法分科会（岡村出席 / 文科省）

日本海西部の海域活断層について

2018年6月8日

第3期総合的かつ基本的な施策に関する専門委員会（桑原、岡村出席 / 文科省）

次期基本的施策の議論の進め方について

2018 年 6 月 11 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文科省）

5 月の地震活動の評価など

2018 年 6 月 13 日

地震調査研究推進本部政策委員会総合部会工学及び社会科学分野との連携による成果の社会還元促進検討ワーキンググループ（吉見出席 / 文科省）

第 1 回会合、今後の進め方について議論した。

2018 年 6 月 15 日

地震調査委員会長期評価部会活断層分科会（岡村、近藤出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価

2018 年 6 月 20 日

火山噴火予知連絡会（伊藤、篠原出席 / 気象庁）

2018 年 6 月 25 日

東京都環境影響評価審議会第二部会（宮越出席 / 都庁）

2018 年 6 月 26 日

東京都環境影響評価審議会総会（宮越出席 / 都庁）

2018 年 6 月 29 日

地震調査委員会長期評価部会（岡村出席 / 文部科学省）

海溝型地震及び中日本の活断層の評価について

2018 年 7 月 6 日

南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会・地震防災対策強化地域判定会（松本(則)出席 / 気象庁）

各機関の最近 1 ヶ月の観測データを持ち寄り、南海トラフ沿いの地震に関する地殻活動モニタリングの評価検討を行った。

2018 年 7 月 10 日

地震調査委員会（岡村出席 / 文部科学省）

6 月の地震活動について

2018 年 7 月 18 日

地震調査委員会長期評価部会活断層分科会（岡村、近藤出席 / 文科省）

中日本地域の活断層評価等について

2018 年 7 月 24 日

火山噴火予知連絡会霧島部会（篠原出席 / 鹿児島地方気象台）

2018 年 7 月 27 日

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（近藤出席 / 文科省）

全国地震動予測地図の高度化等について

2018 年 7 月 31 日

富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会（山元、石塚出席 / 静岡県沼津市）

第 1 回富士山ハザードマップ（改定版）検討委員会

IEVG ニュースレター Vol.5 No.3（通巻 27 号）

2018 年 8 月 発行

発行・編集 国立研究開発法人 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

Tel: 029-861-3691 Fax: 029-861-3803

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

