

2022 年
8 月号

NEWS LETTER



IEVG ニュースレター
Vol.9 No.3

[プレス発表]

日本内陸部のストレスマップをオンライン公開

内出崇彦・椎名高裕（地震テクトニクス研究グループ）・今西和俊（副研究部門長）

はじめに

活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループでは、日本列島内陸部にかかるストレスの向きについて、日本列島規模の大局的な傾向から約

20 km 規模（マグニチュード7クラスの断層長に相当）の地域的な特徴まで知ることができるストレスマップを作成しました（図1）。

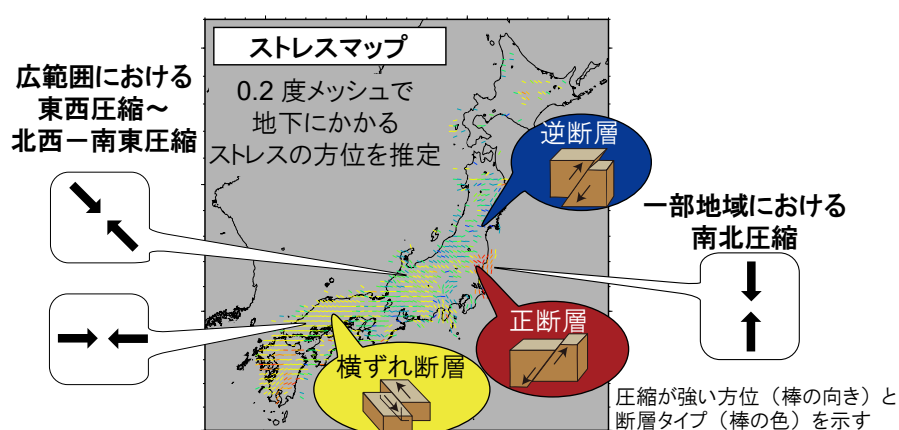


図1 日本内陸部のストレスマップで見るストレス方位の傾向.

Contents

- 01 プレス発表 日本内陸部のストレスマップをオンライン公開 …… 内出崇彦・椎名高裕・今西和俊
- 06 研修報告 2022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 …… 藤原 治・今西和俊・吾妻 崇・
穴倉正展・川邊禎久・深沢佐知子・脇田由美子
- 08 リサーチアシスタントの紹介
- 09 外部委員会活動報告 2022年6月～7月

このストレスマップは、AIを活用した地震波形ビッグデータ処理による21万件余りに及ぶ微小地震の震源メカニズム解の解析に基づいて作成しました。ストレスは地震発生の原動力となることから、このストレスマップは、地表の痕跡が不明瞭で活断層の存在が知られていない場所でも、どのようなタイプの地震が発生し得るかが把握できます。巨大地震による誘発地震の発生可能性の評価にも活用が見込まれます。この成果の詳細は米国の学術誌「Journal of Geophysical Research Solid Earth」に掲載されています(Uchide *et al.* 2022)。このストレスマップは、地殻応力場データベース(<https://gbank.gsj.jp/crstress/>)でもご覧いただけます。ストレスマップと震源メカニズム解の数値データは、GSJ研究資料集(内出ほか, 2022)で公開しています。

なお、本稿は2022年6月に、産業技術総合研究所が行ったプレスリリース(https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220614_2/pr20220614_2.html)に加筆修正したものです。

研究の社会的背景

大地震に対する国・自治体の防災計画は、地震発生と被害の予測に基づいて立てられています。地震発生は、主に、過去に発生した地震の履歴に基づいて、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を統計的手法により予測しています(例えば、宮下, 2014, 宍倉, 2014, 地震調査研究推進本部, 2021)。予測精度の向上のためには、断層の形状や摩擦のほか、地震の原動力であるストレスを組み込んだ物理モデルで評価する必要があります(例えば、桑原, 2009, 今西, 2014)。ストレスを調べる方法の一つに、実際に発生した地震の震源メカニズム解を利用するものがあります。データ解析に多くの時間を要するため、これまでは地域を限定したストレスマップが作られることが多くありました。日本全国のストレスを解析する場合は、地震が少ない地域では精度の高い推定ができないという問題がありました。

研究の経緯

産総研では古地震調査、室内実験、地球物理観

測などを融合させた新しい活断層評価手法の開発に取り組んでいます。その一環として、地震の原動力であるストレス情報の整備を進めてきました。マグニチュード3以下の微小地震がどこでも日常的に比較的多く発生していることから、そのような微小地震を解析することで、地域版ストレスマップを整備してきました。関東地方および中国地方のストレスマップ(今西ほか, 2019, 2021)は地殻応力場データベースおよび地質図 Navi (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)で公開しています。

解析の際に利用するのが、震源メカニズム解です。これは地震を特徴づける指標の一つで、断層面と断層すべりの方向に対応するものです。P波による震動が上方または下方のどちらに動き始めたかを示す「P波初動極性」を多数の地震観測点で調べることで、震源メカニズム解を決定することができます。

このP波初動極性の読み取りに深層学習を利用して、微小地震の震源メカニズム解を大量に求めることができるようになりました(Uchide 2020)。これにより、一気に日本全国のストレスマップを作る道筋がつきました。処理を自動化することで、解析対象の地域を広げたり、地震発生の期間を延ばしたりしてデータが増加しても、容易に解析できるようになりました。なお、地震学における深層学習の活用については、本稿の最後に述べます。

研究の内容

内陸および沿岸海域の下、深さ20 km未満で2003年～2020年に発生した微小地震(マグニチュード0.5～3.0)について、国内に整備されている基盤的地震観測網で記録された400万本余りの地震波形からP波初動極性を深層学習により読み取り、それに基づいて、21万件余りの地震の震源メカニズム解を精度よく求めました。得られた震源メカニズム解を用いてストレスインバージョン解析を行い、緯度・経度共に0.2度(約20 km)刻みの範囲でストレス分布を得ました(図2)。深層学習による自動処理ができるようになったので、従来だと処理できないほど数多くの地震データを利用することが

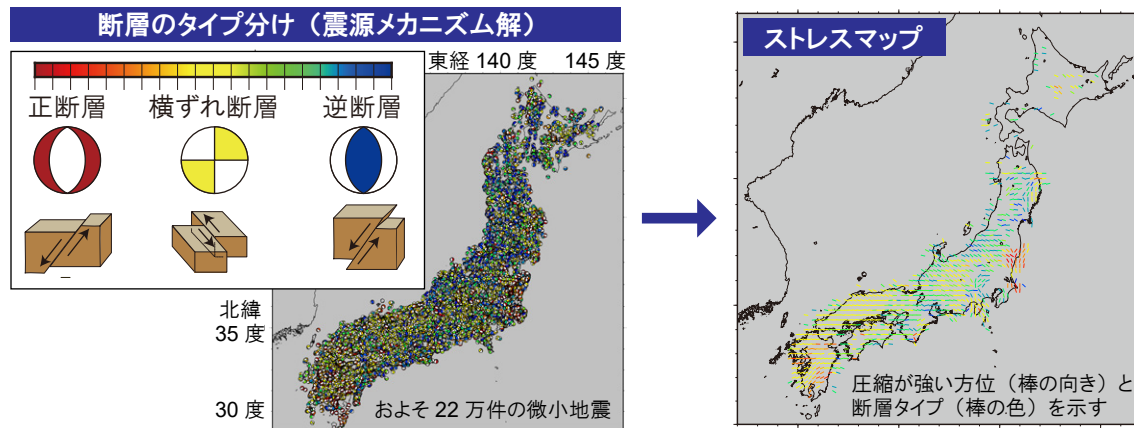


図2 微小地震の断層タイプに基づくストレスマップの作成.

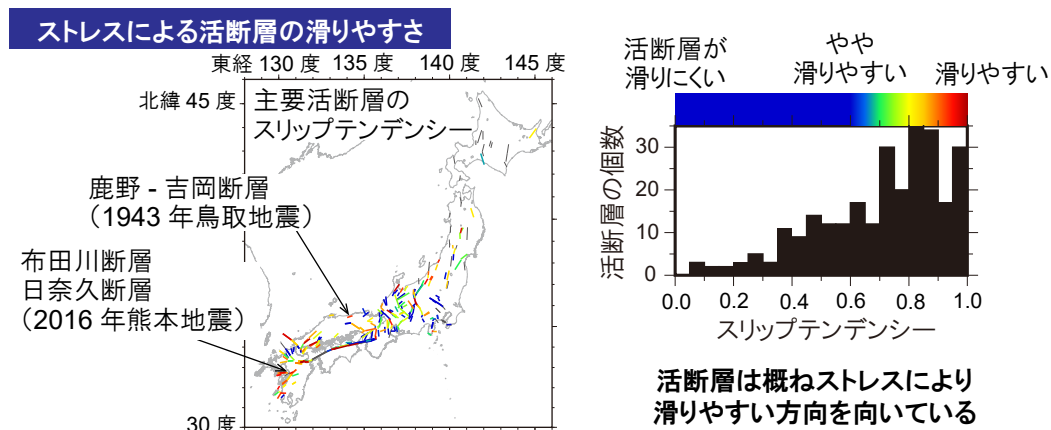


図3 ストレスによる主要活断層帯の滑りやすさ（スリップテンデンス）.

でき、その結果、日本列島を網羅するストレスマップが出来上がりました。

得られたストレスマップにより、滑りやすい断層を類型化することができます。大別すると、中国地方より西側と中部地方の大部分では横ずれ断層型、近畿地方と東北地方の大部分では逆断層型の地震が起りやすいことがわかります。九州地方や関東・東北地方の太平洋側の一部地域では、正断層型の地震が起りやすくなっています。それ以外に、地域によっては局所的に異なるタイプの地震が起きている場合があります。

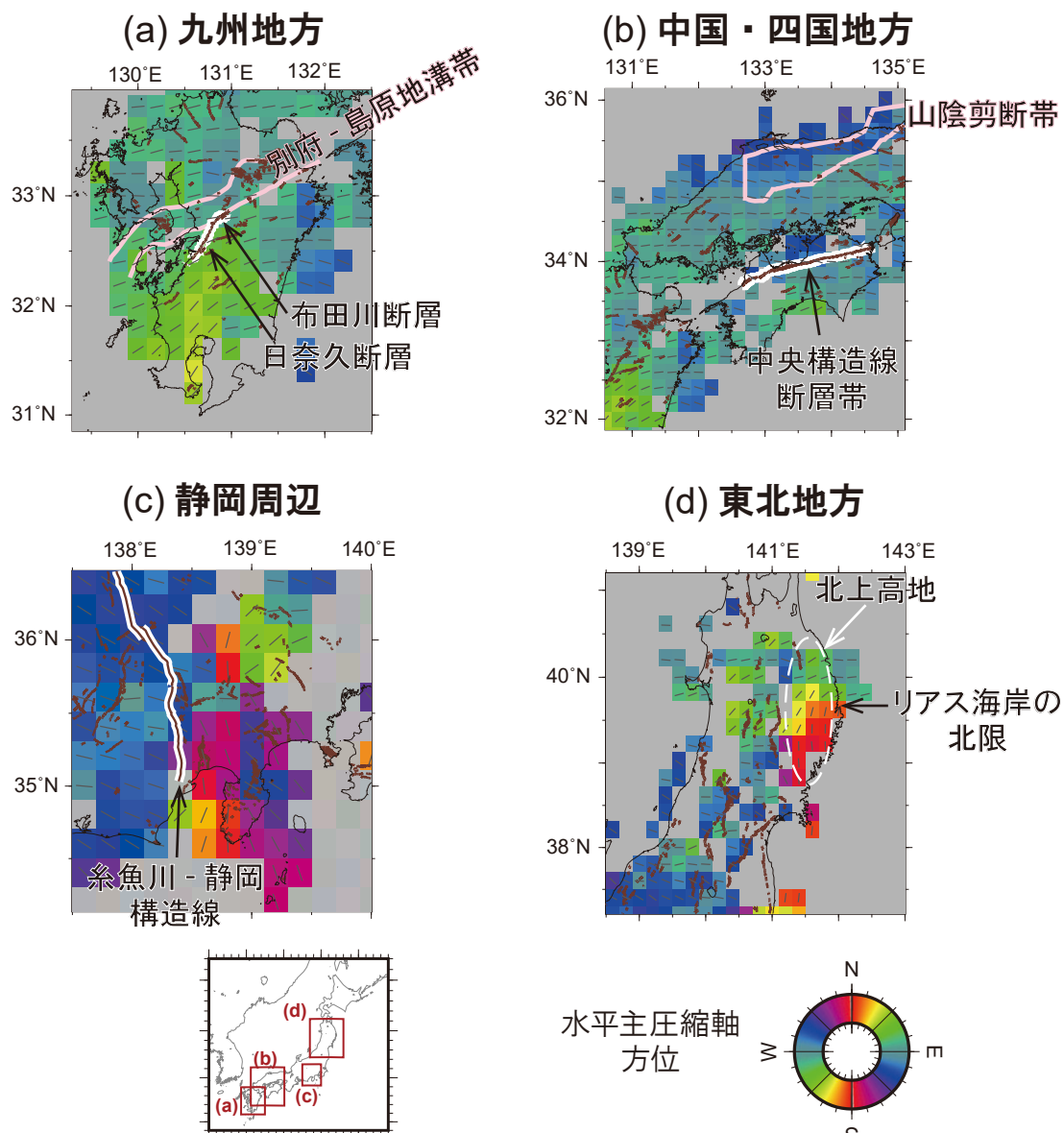
政府の地震調査研究推進本部が基盤的な調査対象として選定している114の主要活断層帯に着目すると、2016年熊本地震を起こした布田川断層と日奈久断層、1943年鳥取地震を起こした鹿野-吉岡

断層など、多くの活断層が現在のストレスで動きやすい方向を向いていることもわかりました（図3）。ここで利用したのが、スリップテンデンスと呼ばれる指標です。これは、ストレスによる断層の滑りやすさを示しています。本研究で計算したスリップテンデンスは、ストレスが断層を滑らせやすい方向を向いているかどうかを示しています。この場合、すぐに地震が起きやすいかどうかという発生時期を示しているわけではないことにご注意ください。

このストレスマップは、地表の痕跡が不明瞭で活断層の存在が知られていない場所でも、どのようなタイプの地震が発生し得るかがわかり、想定地震のモデル化に利用されることが期待されます。また、

1944 年東南海地震，1946 年南海地震，2011 年東北地方太平洋沖地震のような海溝型巨大地震が発生すると，内陸部にも急激にストレスがかかり，震源からやや離れた地域でも地震が誘発されることがあります．その誘発されやすさは，元々かかっていたストレスと急激にかかるストレスの方向がよく一致しているかどうかが大きく関係します．現在，南海トラフや千島海溝沿いの巨大地震の切迫性が高まっていると考えられますが，そのような地震が発生した後の直下型の地震活動を評価する上でも，今回作成したストレスマップは活用できます．

今回得られたストレスマップからは，活断層などの地質境界を挟んで水平主圧縮軸方位（水平方向で最も強く圧縮がかかる方位）が系統的に異なる例が見られました（図 4）．九州では，別府－島原地溝帯を挟んで応力の方位が異なります．ここでは，日奈久断層帯，布田川断層帯で 2016 年熊本地震が発生しています．山陽地方と山陰地方でも応力方位が系統的に異なっています．山陰地方は GNSS の測地観測により，山陰剪断帯の存在が指摘されています（Nishimura and Takada 2017）．四国地方では中央構造線断層帯を境に，静岡では糸魚川－静岡構造



線を境に、それぞれ応力方位が異なります。糸魚川－静岡構造線のすぐ東側は、南から伊豆半島が衝突しており、それと応力方位の特徴との関係が気になるところです。東北地方では、水平主圧縮軸が概ね東西方向を向いているのに対し、北上高地のうち南部だけで南北方向に向いています。北上高地のすぐ東側にある三陸海岸では、南部ではリアス海岸が見られるのに対し、北部では見られないという、こちらも南北で異なった特徴を見せています。こういった、ストレスの特徴と地質や地形の特徴との空間的な対応が見られる理由については、今後検討していきたいと考えています。

今後の予定

地殻応力場データベースやGSJ研究資料集で公開しているストレスマップをいろいろな方にご覧いただき、例えば地質境界での応力方位変化などの課題を見つけ出して、テクトニクスや地震発生場の理解、内陸地震の評価につながる研究を支援するツールとして活用していただきたいと考えています。また、ストレスマップの範囲を海域や20 km以深に拡大し、海溝型地震や首都圏直下のやや深い地震の評価にも活用できるように発展させる予定です。

謝辞

本研究には国立研究開発法人 防災科学技術研究所の高感度地震観測網 (Hi-net) の地震波形データ、気象庁の地震波形データ、一元化処理検測値を利用しました。本研究は、産総研エッジランナーズの支援を受けて実施しました。

参考文献

今西和俊・内出崇彦・大谷真紀子・松下レイケン・中井未里 (2019) 関東地域の地殻内応力マップの作成。地質調査研究報告, 70, 273-298.

今西和俊・内出崇彦・椎名高裕・松下レイケン・中井未里 (2021) 中国地域の地殻内応力マップの作成。地質調査研究報告, 72, 23-40.

今西和俊 (2014), 地震テクトニクス研究グループの研究紹介, GSJ 地質ニュース, Vol. 3, No. 4, pp. 100-101.

地震調査研究推進本部 (2021), 「全国地震動予測地図 2020 年版」の概要, 地震本部ニュース, 2021 年夏号, pp. 2-3.

桑原保人 (2009), 内陸地震の物理モデルと予測, 地質ニュース, No. 663, pp. 14-18.

宮下由香里 (2014), 活断層評価研究グループの紹介, GSJ 地質ニュース, Vol. 3, No. 4, pp. 98-99.

Nishimura, T. & Takada, Y. (2017), San-in shear zone in southwest Japan, revealed by GNSS observations, *Earth Planets Space*, 69, 85, doi:10.1186/s40623-017-0673-8.

宍倉正展 (2014), 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－, GSJ 地質ニュース, Vol. 3, No. 4, pp.104-106.

Uchide, T. (2020), Focal mechanisms of small earthquakes beneath the Japanese islands based on first-motion polarities picked using deep learning, *Geophys. J. Int.*, 223, 1658-1671, doi:10.1093/gji/ggaa401.

内出崇彦・椎名高裕・今西和俊 (2022), 日本全国内陸部の地殻内応力マップと微小地震の発震機構解のデジタルデータ, 地質調査総合センター研究資料集, No. 738. <https://www.gsj.jp/publications/pub/openfile/openfile0738.html>

Uchide, T., Shiina, T. & Imanishi, K. (2022), Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, e2022JB024036, doi:10.1029/2022JB024036.

研修報告

2022 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

藤原 治・今西和俊・吾妻 崇・穴倉正展・川邊禎久・深沢佐知子・脇田由美子

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・火山研究部門では、地質情報研究部門や地質情報基盤センター（地質標本館）の協力を得て、自治体の防災担当の職員を対象とした技術研修を平成 21 年度（2009 年度）から毎年開催してきました。昨年度は、新型コロナウイルス感染症拡大の対策のため、オンライン形式で開催しました。昨年度の参加者・講師の意見を参考に、今年度は現地参加（地質調査総合センター：つくば）とオンライン参加のハイブリッド形式で開催することにしました（写真 1）。

研修の実施期間は 7 月 26 日（火）から 29 日（金）の 4 日間で、最終日には房総半島方面への巡検を行いました。参加者は、埼玉県、千葉県、静岡県、富山県、和歌山県、三重県、浜松市、北九州市の 8 自治体から延べ 10 名でした。現地参加は千葉県と富山県からの 2 名でした。鹿児島市からもオンライン参加が予定されていましたが、開催の前々日の夜に桜島で噴火が発生し、噴火警戒レベルが 3 から 5

に引き上げられ住民避難対策等の業務があることから、参加がキャンセルとなりました。

研修初日には、産総研と国や自治体の火山防災との関わりについての講義に続いて、自治体の防災への取組について千葉県（地震）と富山県（地震・火山）から紹介がありました。2 日目には、午前中に地質図の利活用と火山に関する研究事例の紹介とその成果の活用などに関する講義が行われました。午後には活断層の古地震研究、及び地震動と地震防災に関する講義を行った後、自治体の防災に関する取組について和歌山県から津波対策などの紹介と、総合討論が行われました。3 日目には、午前中に海溝型地震および地震地下水に関する講義が行われ、午後には地質標本館の紹介と活断層や火山に関するデータベースの紹介が行われました。また、講義終了後には現地参加者の方々に地質標本館を見学して頂きました（写真 2）。4 日目には千葉県の房総半島南部で巡検を行い、海溝型地震による海岸隆起



写真 1 現地参加の講義会場の様子。ハイブリッド開催では、現地とオンライン受講者の両方に分かりやすい講義にするのが大変でした。



写真 2 地質標本館における展示物の見学。森田館長が関東平野南部の沖積層（軟弱地盤）の分布を説明中。

で形成された地形（写真3）や津波が到達した記録が残されている寺院を訪れました（写真4）。参加いただいた自治体からは、「地震、津波、火山災害の発生について、地球科学的な見地から知識を得られた」、「先進的な取組を行っている自治体の情報を積極的に収集し、参考としたい」、「巡検で実際の地震・津波の痕跡を見て理解が深まった」などの感想を頂いています。研修後のアンケートの集計を進めており、これをこれからの研究に反映したいと思っています。



写真3 房総半島での巡検の様子（1）

館山市の見物海岸で1703年元禄関東地震と1923年大正関東地震で隆起した海岸の地形を観察中。現在の海岸と比べながら、なぜ隆起したことが読み取れるのか、隆起した時期をどうやって特定するのかなどを解説。

オンラインでの開催は遠方の方でも限られた時間で参加できるというメリットがありますが、通信状態の不具合や発言や質問がしにくいといった問題点もまだあるようです。来年度以降にどのような形態で開催するかについてはこれから検討しますが、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、各自治体の担当者同士や研究者との連携を強めていくことが大事だと考えています。

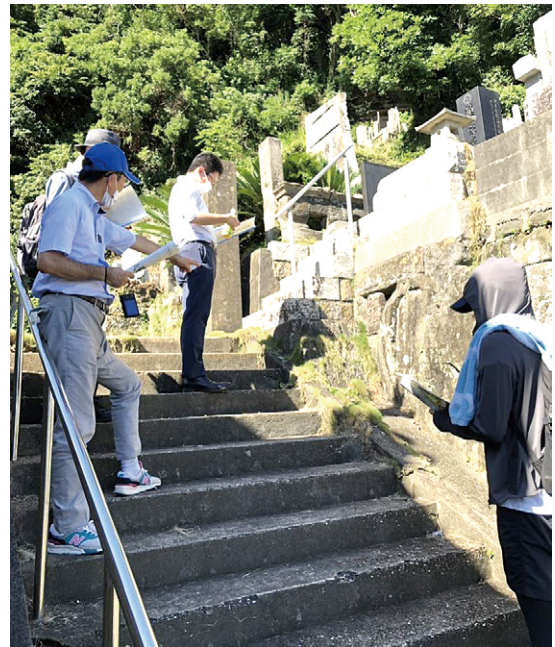


写真4 房総半島での巡検の様子（2）

威徳院（南房総市和田）の石段に残る元禄津波の石碑。1703年の元禄地震による津波は上から5段目の石段まで来た。

リサーチアシスタントの紹介

産総研では、人材育成の一環として、平成 26 年度より「産総研リサーチアシスタント」制度を開始しました。これは優れた研究開発能力を持つ大学院生（博士課程前期および後期）を契約職員として雇用し、産総研の研究者と一緒に国の研究開発プロジェクト等に参画してもらい、大学院生はその研究成果を学位論文に活用できると言うシステムです。大学院生からすると産総研で働きながら学位（修士・博士）を目指すことになります。また、産総研としては、意欲ある大学院生がプロの研究者になることを応援し、併せて研究開発の促進をはかります。活断層・火山研究部門でも毎年複数名のリサーチアシスタントを雇用しています。

リサーチアシスタントには産総研の研究開発に携わることで、研究者としての能力を身に着けるとともに、国の研究開発に貢献する自覚も持っていたきたいと思います。また、指導する研究者には、自分たちが指導者として大学院生とどう向き合うかを考えつつ、共同で研究を進めることが重要と考えています。

「産総研リサーチアシスタント」制度の詳細については、下記の URL をご覧ください。

https://www.aist.go.jp/aist_j/collab/ra/ra_index.html

地質変動研究グループ

遠藤 稜尚 Endou Takahisa

2022 年 4 月より地質変動研究グループでリサーチアシスタント（RA）として勤務している遠藤稜尚です。昨年度から産総研の技術研修生として実験を行うことで、一連の岩石実験の流れを学ぶことができました。現在、日本大学大学院総合基礎科学研究科地球情報数理科学専攻の博士前期課程に在籍しております。

私は地震が発生する際の断層の動きを可視化することに注目し、研究を行ってきました。実際に地下に存在する断層の様子を目視で確認することは

難しく、実験をする上でも地下の応力状態を再現するために鉄製の圧力容器を用いるため、実験試料の様子を直接観察することはできません。そこで、学部の卒業研究では、圧力容器内にカメラを入れることで実験中の試料の様子を撮影し、挙動を可視化することを試みました。デジタル画像相関法という画像解析手法を用いることで、断層がずべる時のひずみ分布が変化していく過程を計測することに成功しました。また、封圧の違いが断層のすべり挙動に与える影響を動画で直接観察することができました。

RA を務める 2 年間では卒業研究で検討した封圧とラフネス（断層表面の凸凹）に加えて、間隙水圧の影響を含めた実験を行っていきたいと考えています。資源採取の際に行われる流体の注入は間隙水圧の上昇に伴う誘発地震を発生させることがあるように、断層面に流体が入り込むことで断層は滑りやすくなるということが知られています。開発中の小型カメラによって間隙水圧の影響による断層の動きを直接観察し可視化計測することで、地震発生メカニズム解明につながると考えます。

RA の制度により、数多くの分野の研究者の方々と共に、産総研の設備を用いて研究させて頂けることに大変感謝しております。RA の 2 年間でより多くの事を吸収し、研究していききたいと思います。どうぞよろしくお願いいたします。

（産総研への出勤日：月曜・火曜）



外部委員会等 活動報告 (2022年6月～7月)

2022 年 6 月 2 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部
会（岡村・穴倉出席 /web 会議）

2022 年 6 月 3 日

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計
画（第 2 次）に関する外部評価委員会（第 2 回）（田
中出席 /web 会議）

2022 年 6 月 6 日

火山噴火予知連絡会あり方検討会（篠原出席 / 気象
庁）

2022 年 6 月 7 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・板場出席 /web 会議）

2022 年 6 月 9 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会（宮下・岡村
出席 /web 会議）

2022 年 6 月 13 日

地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループ第 9
回会合（田中出席 /web 会議）

2022 年 6 月 23 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会強震動評価
部会地下構造モデル検討分科会（吉見出席 /web 会
議）

2022 年 6 月 27 日

火山噴火予知連絡会口永良部部会（篠原出席 /web
会議）

2022 年 6 月 28 日

科学技術・学術審議会 測地学分科会 地震火山観測
研究計画部会（第 46 回）（田中出席 /web 会議）

2022 年 7 月 5 日

火山噴火予知連絡会（伊藤・篠原出席 /web 会議）

2022 年 7 月 7 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・板場出席 /web 会議）

2022 年 7 月 11 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会（宮下・岡村
出席 /web 会議）

2022 年 7 月 26 日

災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計
画（第 2 次）に関する外部評価委員会（第 3 回）（田
中出席 /web 会議）

2022 年 7 月 27 日

地震調査研究推進本部地震調査委員会強震動評価
部会（第 173 回）（吾妻出席 /web 会議）

IEVG ニュースレター Vol.9 No.3（通巻 51 号）

2022 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>