

2019年  
2月号

# NEWS LETTER



IEVG ニュースレター  
Vol.5 No.6

[ 研究現場紹介 ]

## 活断層トレンチ調査

白濱吉起（活断層評価研究グループ）

### はじめに

活断層の調査の大きな目的は、活断層の位置を特定することと、その断層がいつ動いたのを知ることです。いつ動いたのを知るための重要な手法がトレンチ調査です。トレンチ調査では、活断層を横切るように幅5～10m、長さ10～20m、深さ3～6mの溝（トレンチ）を掘削して、人工的に露頭を作り出し、地層や断層の様子を観察します。入念に観察することで、断層がいつ動いたのかが見えてきます。例として概念図で説明しますと、図1の地層Bは断層F1に切られています。地層Aは切られていません。なので、断層F1が動いた（地震を起こした）時期は地層Aが堆積する前で、地層Bが堆積した後ということがわかります。断層は同じところがほぼ一定の周期で何度も動くと考えられて

います。そのため、昔いつ動いたのかがわかれば、将来の予測に役立てられます。

トレンチ調査は、①掘削場所・位置の選定、②トレンチの掘削と整形、③トレンチ壁面の観察と試料採取、④埋戻しという順番で行っていきます。産総

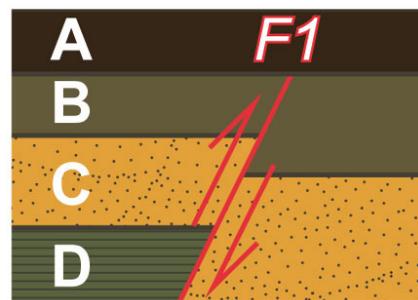


図1 トレンチ壁面の概念図。断層F1はB～D層を切り、A層に覆われる。

### Contents

- 01 研究現場紹介 活断層トレンチ調査 …… 白濱吉起
- 05 シンポジウム 活断層に関する韓国 KIGAM-GSJ の研究協力 …… 宮下 由香里
- 10 プレス発表 沈み込むプレート内の力の状態と水の挙動がスロー地震の発生に影響を与える …… 大坪 誠
- 14 外部委員会活動報告 2018年12月～2019年1月

研では2016年4月に発生した熊本地震の後、布田川断層帯及び日奈久断層帯沿いのいくつかの地点でトレンチ調査を行ってきました。そのうち、阿蘇カルデラの中で行った調査を例にトレンチ調査現場を紹介します。

### ① 掘削場所・位置の選定

トレンチの長さはおおよそ15~20mですので、その範囲まで断層の位置を絞り込む必要があります。まず、空中写真や地形データから、断層の位置を推定します。断層は岩盤に出来た割れ目ですので、地下では面的な広がりを持ちます。そのため、地表での断層の出現位置は線状に分布し、これを断層線と呼びます。繰り返し動いている活断層の場合、断層線に沿って特有の崖や谷地形が形成されるので、地形の特徴を元におおよその断層線が推定できます。その中で幅約100m程度の範囲内まで絞り込める断層線上でトレンチ掘削ができそうな場所を探します。大抵は耕作地や空き地といった広い

作業スペースが確保できる場所を候補地として選定します。候補地を選定しましたら、現地調査を行い、トレンチに適した場所であるのかを調べます。同時に、土地の管理者に使用履歴について情報収集するとともに、可能であればボーリングやトレンチの掘削許可を頂きます。

人工改変によって元の地形が失われているような場合、断層線の絞り込みが難しくなり、必ずしも狭い範囲に断層線が特定できるわけではありません。そのため、調査前には層序ボーリングを行い、地質断面を作成するなどして、断層線の位置を入念に調べる必要があります。ただ、例外的に断層線が明確に特定できる場合があります。大きい地震が起こると地表に地割れ等の形で断層が地表に現れることがあり、これを地表地震断層と呼びます。地表地震断層は地下で地震を起こした断層面につながっていると考えられるため、地表地震断層を横切るようにトレンチを掘削すれば壁面に断層が出てくる可能性が非常に高いです。沢津野トレンチの

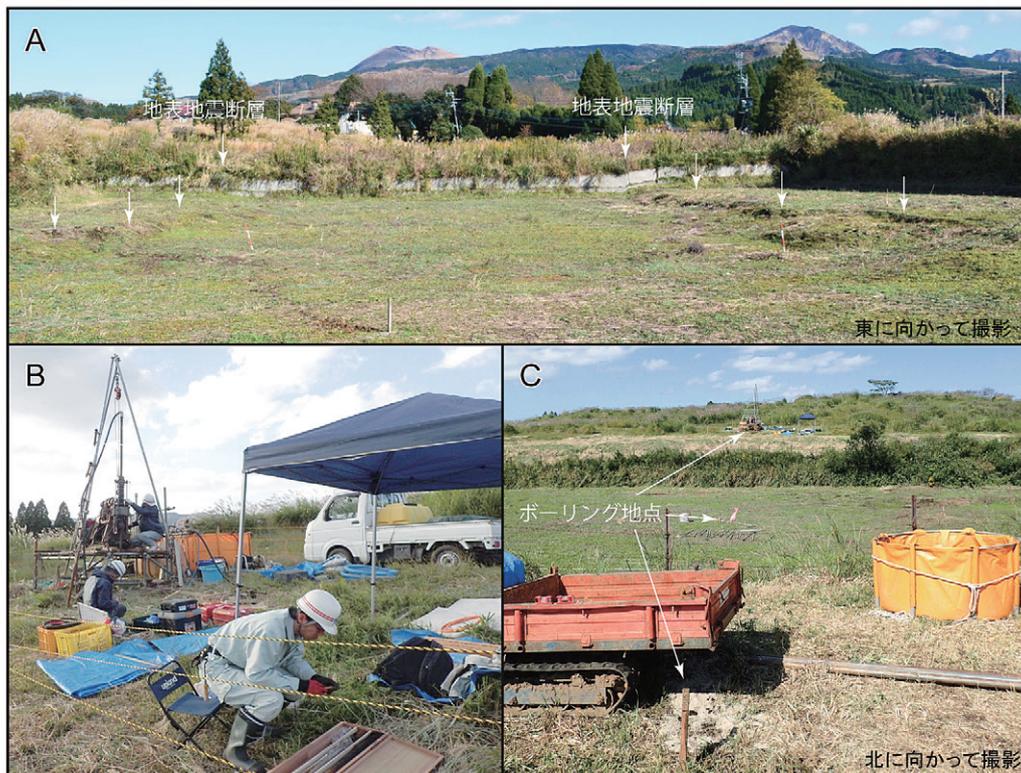


図2 トレンチ掘削位置の地震後の様子 (A) とボーリング調査の様子 (B-C)。 (A) トレンチ掘削前の畑の変状。熊本地震に伴い、畑中央が沈降し、地表地震断層 (白矢印) が出現した。 (B) ボーリング調査の様子。 (C) ボーリング掘削位置。地層の厚さを比較するため、谷をはさむ2地点 (牧場内) と内部の1地点 (畑中央) で掘削を行った。

場合は、熊本地震時に生じた地表地震断層を対象にトレンチ調査を行いました(図2A)。トレンチ調査で重要な点は壁面に断層を捉えることだけではありません。活動履歴を推定するために理想とされるトレンチ調査地点は、おおよそ1万年前以降の堆積物が連続して堆積していた場所です。沢津野トレンチを掘削した地点は断層崖に挟まれた谷の内部に位置しています。地震のたびに中央部が落ち込むことが予想されたので、堆積物が溜まりやすいと考えられました。ボーリング調査により堆積物の状況を調べたところ(図2B, C)、予想通り畑の中央部が大きく落ち込む様子が確認でき、火山灰やローム層が厚く堆積していることが確認できました。

## ② トレンチの掘削と整形

掘削を行う前に、断層の位置や傾斜を予測し、断層がトレンチ壁面の観察しやすい位置に来るように掘削範囲や掘削深度を決めます(図3A)。地層が崩れやすい時には、安全のため壁面の角度を45°まで浅くすることがあります。諸々が決まりましたら、地質調査会社と重機のオペレーターと相談しな

がら慎重に重機で掘削を進めます(図3B)。しかし、掘り始めてみると想定した位置に断層が出ないことが往々にしてあります。その時はトレンチの長さを延長したり、更に深く掘ってもらったりと臨機応変に対応します。また、掘削中に土器や遺跡が出土すると、考古学的な調査が完了するまで工事は中断されます。後戻りできない作業ですので、予想通りに断層が出るのか最も緊張する瞬間でもあります。重機による掘削が完了したら壁面を丁寧に整形します(図3C)。ねじり鎌や鍬やスコップなどの道具を駆使して、全て手作業で壁面を平らにし、清掃します。壁面の整形中に測定の基準点となる木杭や板(丁張)を設置しておき、整形が終わり次第、観察しやすいよう水系を張ります(図3D)。

## ③ 壁面の観察と試料採取

整形後はまず、最も壁面がきれいな状態を撮影し記録しておきます。次に、1/20程度のスケールで壁面のスケッチを作成します(図4A)。スケッチを取りながら地層の分布や断層がどこにどのように伸びているかを観察します。調査後は埋め戻してし

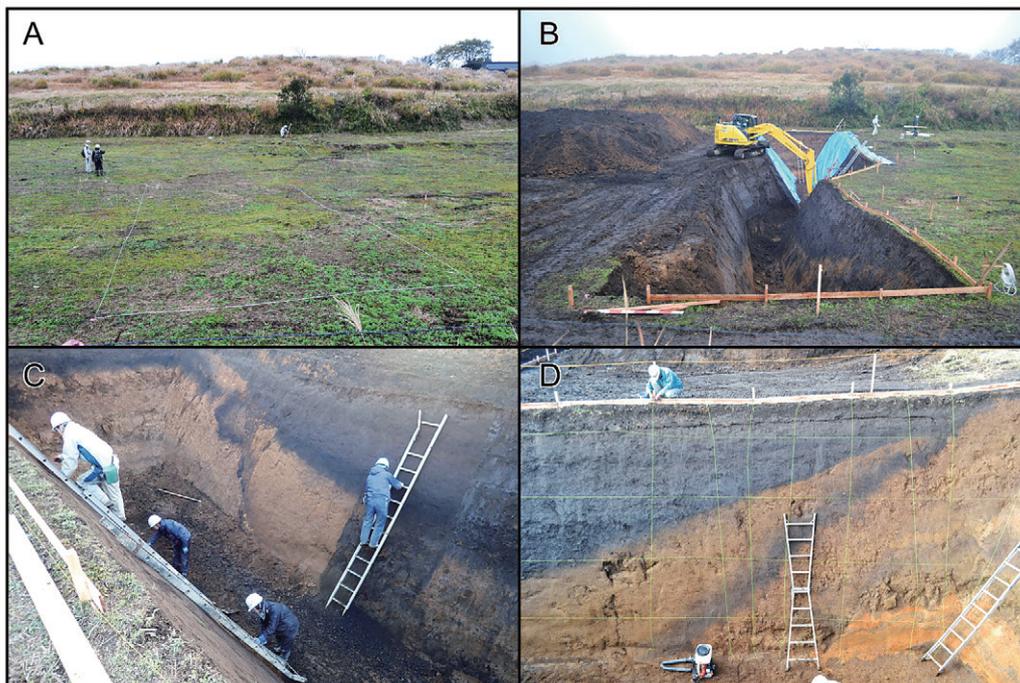


図3 トレンチ掘削と壁面の整形の様子。(A) 紐で掘削範囲を設定。(B) 重機での掘削中の様子。ブルーシートは雨天時の壁面保護のために設置。(C) 壁面の整形。ねじり鎌を使用し、すべて手作業で行う。(D) 水系張りとは丁張の設置。

まうので、観察や記録は一週間以上かけて入念に行います。ある程度観察ができれば、地層の年代を定めるための年代測定試料の採取を行います（図4B）。火山灰分析や放射性炭素年代測定を行うことが多いですが、時には土器片が出土しますので、そのときは専門の機関にお願いして年代推定の一助とします。

#### ④ 埋戻し

埋め戻す前には、アウトリーチ活動の一環として、周辺住民や研究者を対象にした一般公開を行います。沢津野トレンチの場合、熊本地震後ということで特に注目度が高く、テレビ局や新聞社からの取材もありました（図4C）。また、近隣の小中学校からの見学希望に対応することもあります（図4D）。

全ての調査が完了すると埋め戻しです。埋め戻す直前は壁面をきれいに保つ必要がなくなるため、断層周辺を深く掘り下げてもらったり、断層面を掘り出して条線（断層が動いたときに断層面にできる擦り傷）を調べたりといった調査をします。埋め戻した後は元通り使えるように原状回復に努めます。

トレンチ調査の後は、採取した試料の分析や年代測定などを行います。それらの結果は報告書や論文にまとめられ、大抵は数年以内に公表されます。

#### おわりに

我々の調査は、現地住民をはじめ、自治体関係者の方々のご理解とご協力がなければ成り立ちません。また、限られた時間の中で質の高い調査を行うためにも地質調査会社との業務分担が不可欠です。多くの方々に支えられている研究であることを念頭に置き、今後も良い研究成果を得られるよう努力していく所存です。

近年は大きな地震があるとどこの断層がどう動いたのかということが報道されるようになり、活断層に興味を持つ方も増えてきたように感じます。もしお住まいの近所で活断層トレンチが公開されていまして、足元の地層や断層を見られる貴重な機会ですので、是非見学に行ってはいかがでしょうか。

謝辞：一部宮下氏撮影の写真を使用しました。



図4 掘削後の調査やトレンチ見学への対応。(A) スケッチ中の様子。(B) 試料採取の様子。採取予定箇所にピン（白い点）を打ち、順番に採取している。(C) テレビ局からの取材。(D) トレンチ見学の様子。部活動中の中学生からの見学希望に対応。

## シンポジウム 活断層に関する韓国 KIGAM-GSJ の研究協力

宮下由香里（活断層評価研究グループ）

### はじめに

2018年11月27日～30日に、韓国 KIGAM にて、第1回 International Symposium on Earthquake Geology (ISoEG 2018) が開催されました。本シンポジウムは、産総研地質調査総合センター (GSJ) と韓国 Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM) との MOU に基づくもので、GSJ からは宮下、吾妻、丸山、白濱の4名が参加しました。以下に、ここに至るまでの GSJ-KIGAM の研究協力の経緯と、シンポジウムの概要を紹介しします。

### これまでの経緯

韓国では、2016年9月12日に慶州 (Gyeongju) 地震 ( $M_L$  5.8) が発生しました。この地震は、韓国気象庁が1978年に観測を始めて以来最大の地震であり、原発が停止したり、KTX (韓国の新幹線) が緊急停止したり、地震を経験することが少ない韓国の人々を大変驚かせたとのことです。

慶州地震を契機に、韓国では国内の活断層評価プロジェクトが始まりました。GSJはこのプロジェクトへの協力要請を受け、2016年12月にGSJ-KIGAMのMOUの下に、LOI “Research collaboration on active faults and seismic hazards between Korea and Japan” を結び、研究協力を進めることとなりました。

もともと、GSJとKIGAMの交流の歴史は古く、地質図作成プロジェクトでは、毎年のように研究者を相互に派遣してきました。筆者も、2016年7月に地質図プロ

ジェクト関連でKIGAMを訪れました。2016年熊本地震の直後であったため、セミナーでは、山口県での活断層調査研究の他に、急遽、熊本地震の話をしました。当時KIGAMには活断層を専門とする研究者は1名しかおらず、多くの方に「日本は地震が多くて大変ですね」と言われたことを憶えています。翌日以降は、白亜系や地質構造線 (断層帯) を観察する巡検に連れて行っていただきました。慶州も訪れ、Yongsan 断層 (慶州地震を引き起こした断層と考えられています) が作る大地形や、過去に大地震を経験した結果、堅牢な作りになった (耐震設計が施されている) 寺院などを見学しました。この時は、2ヶ月後に慶州地震が起これば、夢にも思いませんでした。

観測史上初の大地震を契機に、KIGAMでは組織改編が次々に行われました。地震直後には「地質図作成グループ員は、全員活断層調査をやるように」とまで言われたそうです。その後、活断層研究に関するGSJとの協力は、以下のように進んでいきます。



写真1 左：KIGAM Pohang Branch 慶州地震研究チーム設立シンポジウムで講演する桑原部門長。右：慶州地震研究チーム設立は、慶州地震後、活断層調査を切実に望む韓国国民の大きな関心事であったため、設立シンポには多くの報道陣が詰めかけていました。当日の様子は、早速ニュースで報道されました。(2017年1月)

- ・ 2017年1月：KIGAM Pohang Branch に慶州地震研究チーム設置（桑原、宮下が出席）（写真1）
- ・ 2017年2月：KIGAM 6名が来日、熊本県日奈久断層帯見学（宮下、白濱が案内）（写真2）
- ・ 2017年9月：慶州にて International Earthquake Cooperation Seminar 開催（吉見、丸山、近藤が発表）
- 2017年11月：浦項（Pohang）地震（ $M_L$  5.4）が発生 ---
- ・ 2018年9月：ソウルにて International Seminar on Earthquake Policy Development 開催（桑原が発表）
- ・ 2018年10月：KIGAM Geology Division に Center for Active Tectonics 設置
- ・ 2018年10月：KIGAM 2名が来日、北海道標津断層帯見学（吾妻、宮下が案内）（写真3）
- ・ 2018年11月：ISoEG 2018 開催（宮下、吾妻、丸山、白濱が発表）



写真2 熊本県日奈久断層帯のトレンチを見学するKIGAM研究者。全員が地質図作成グループメンバーで、活断層は見慣れないものの、構造地質学的、層序学的観察眼はプロです。（2017年2月）



写真3 北海道標津断層帯のトレンチを見学するKIGAM研究者。壁面に現れた断層（写真奥側、皆が観察している足下～正面あたり）の美しさもさることながら、韓国ではあまり見ることの無い火山灰の地層（壁面上部の黒い地層に挟まれる肌色の地層やその下のオレンジ色の地層等）や変動地形に感動されていました。（2018年10月）

## 第1回地震地質に関するGSJ-KIGAM国際シンポジウム

シンポジウムは2018年11月28日（水）に、KIGAM内のセミナー棟で行われました。セミナー棟は食堂に隣接しており、上階はゲストハウスとなっているため、来訪者にとっては便利な場所でした。余談ですが、ゲストハウスはバストイレ付きの広めのビジネスホテル、といった感じで、ベッドにもかかわらずオンドル（韓国に古くから伝わる床暖房）完備でとても快適でした。講演数は10件で、うち4件がGSJ、6件がKIGAM研究者の発表でした（表1）。

韓国では、今世紀に入って以降、活断層研究の経験が少ないため、かつて（主に1995年兵庫県南部地震以前）日本国内で繰り返られていたような質疑が多く見られました。例えば、地震学者からは「トレンチ調査で観察される断層は地表付近だけの現象であって、地下の断層破壊とは関係ないのではないか」という質問が出されました。それに対し、「反射法地震探査で地下まで断層が存在することが確認されており、同じ断層面で断層活動が繰り返し発生している事実がある」といったことが回答されました。また、構造地質学者からは、「活断層を理解するためには、まず、新第三紀の日本海（韓国では東海）拡大に関連した断層発達過程の理解が重要である」との意見や、これらと活断層のジオメトリーとの関係やセグメンテーションの考え方に関する質問が出されました。

活断層やその評価に関する考え方を整理して、異なる研究分野の研究者にも正しく理解してもらうことは、研究を進めていく上でとても重要です。し

表 1 シンポジウムプログラム (下線がGSJメンバー)

10:30	Opening talk: “current trends of active fault study in Korea and strategies for international cooperation	Jin-Hyuck Choi
11:00-11:30	Active fault research and its evaluation system in Japan: A case study for the Hinagu fault zone, Kumamoto Japan	<u>Yukari Miyashita</u>
11:30-11:50	Active faults and trench survey in the Ulsan Fault Zone, Korea	Chung-Ryul Ryoo
11:50-12:10	Geometric assessment of ML5.4 Pohang Earthquake using mainshock and aftershock data	Pom-yong Choi
Lunch		
13:30-14:00	Mapping and analyzing active faults using high resolution topography	<u>Tadashi Maruyama</u>
14:00-14:30	The application of highly dense and sequential radiocarbon dating to trench survey	<u>Yoshiki Shirahama</u>
14:30-14:50	Tracking on active fault zone through drilling work	Hoil Lee
14:50-15:10	100 MHz GPR survey plan for tracing active faults	Gobayasi Takao
Coffee break		
15:30-16:00	Contents and structure of the Active Fault Database of Japan	<u>Takashi Azuma</u>
16:00-16:30	Crustal scale segment geometry of the Yangsan-Ulsan fault system	Jin-Hyuck Choi
16:30	Comprehensive Discussion	
Dinner		

かし、大地震や地表地震断層の出現を目の当たりにした経験がない研究者にそれを求めることは容易ではないと痛感しました。

### 巡検

シンポジウムに引き続き、11月29日(木)～30日(金)に、慶州(Gyeongju)～浦項(Pohang)地域を訪れ、野外観察を行いました。

ストップ1は慶州北部の沖積低地で実施中のボーリングサイトで、周辺の地形とコア観察を行いました(写真4)。沖積層を基盤まで貫く深さ数10mの群列ボーリングと、断層帯を貫く様々な角度での斜めボーリング(最大掘進長70m超)群を掘削しており、熊本日奈久断層帯調査を担当してきた筆者は、「この規模のボーリング調査を熊本で実施することができれば！」と調査規模の大きさに羨ましさを感じました。しかし、コアの回収率が部分的に

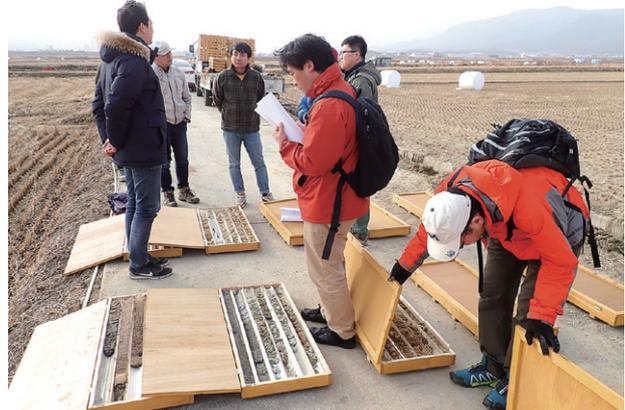


写真4 慶州北部にてボーリングコア観察。道路上でコア箱を展開して観察、そしてアスファルト舗装を貫いてボーリング掘削をしていました。この道路方向(ほぼ東西)がYangsan断層を横断する方向で、広大な沖積低地上で群列ボーリングを実施していました。(2018年11月、以下の写真も同じ)

は 50% 以下と悪く、日本のボーリング掘削技術の高さを有り難く思いました（私達が通常の活断層調査で実施しているボーリングでは、コア回収率はほぼ 100% です）。

ストップ 2 は慶州市街南部の国立公園内で、アクティブテクトニクスチームリーダーの Choi 博士が DEM 解析によって扇状地面上に認定した Yangsan 断層の断層崖を観察しました（写真 5）。扇状地面は新旧 2 面に区分され、高位の面には比高約 5 m の崖地形が認められました（写真 6）。「ここでトレンチ調査を行いたいが、国立公園内なので難しいか



写真 5 慶州国立公園の看板前で、周辺の地形解析結果を説明する Choi 博士。慶州は新羅時代の王都で、世界遺産や多数の遺跡があります。



写真 6 慶州国立公園内の古墳（景哀王陵）付近の断層崖（？）。すぐ横では映画の撮影が行われていました。この風光明媚な場所でトレンチを掘るのは、確かに難しくそうです。

も知れない。他の場所についても、韓国では先祖から受け継いだ土地を掘り起こされるのを嫌うため、地権者さんの承諾を得るのがとても難しい」とのことでした。

ストップ 3 は慶州地震の震央付近で、過去の液状化の痕跡を探すことを目的として掘られたトレンチを観察しました（写真 7）。壁面では、湖沼性もしくは氾濫原堆積物と推定される細粒な堆積物の中に、多数の粘土脈が認められました。これらを周氷河現象に関連した構造や、植物根の混入などの生物擾乱とどのように区別するのかについて、活発な議論が行われました。

ストップ 4 は浦項の海岸沿いの公園ある地質博物館の展望台で、Ulsan 断層の東側（隆起側）の海岸に分布する海成段丘の地形観察を行いました。展望台からは 3 段の海成段丘群を見渡すことができました（写真 8）。これらのうち、最下位の段丘が最終間氷期最盛期（海洋酸素同位体ステージ 5e）に形成された海成段丘と推定されており、これらの隆起が、Ulsan 断層の活動によるものなのか否かが重要な研究テーマです。沖合にも活断層の存在が推定されており、今後、海域の活断層調査も行われるそうです。余談ですが、浦項と言えば東洋最大級の製鉄会社 POSCO の町ですが、日本から見れば、海を挟

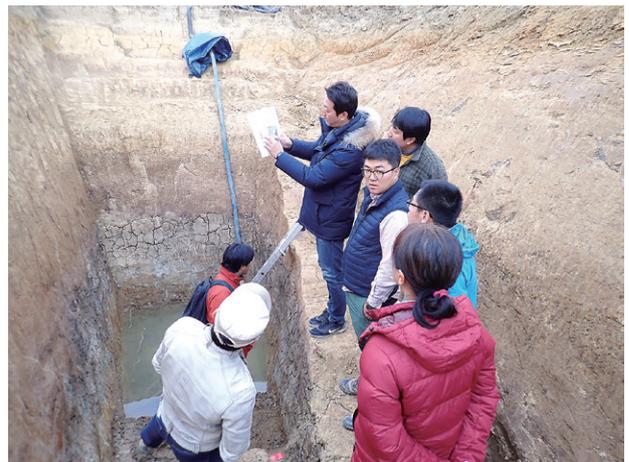


写真 7 慶州地震震央付近で掘削された過去の液状化痕跡を探すためのトレンチ。説明しているのは Lee 博士。

んだあちら側で、海鮮の町でもあります（写真9）。  
巡検後は、Choi 博士が同級生のご実家から取り寄せて下さったというカニを存分にいただきました。

### 今後に向けて

これまで活断層研究が積極的に行われていなかった韓国で、活断層調査と研究が進められることは、同じ分野の研究者として心強く、喜ばしい限りです。新しく設置されたチームのリーダーである Choi 博士は、「兵庫県南部地震発生後の日本や集集地震発生後の台湾をモデルケースとして、韓国における活断層研究を発展させていきたい」と熱く語っていました。現在は、Yangsan 断層と Ulsan 断層の調査と、韓国全土の活断層図の作成が、5年計画で進められているところです。

韓国南東部の地形と地質は、日本の中国地方～北部九州地域と似ています。白亜紀の花崗岩と火山岩類が広く分布し、隆起量が大きくないのと降水による侵食量が大きいので、なだらかな山並みが続いています。活断層の活動性も、日本の中部地方などと比べると低く、はっきりとした変動地形が認定しにくい場所です。

活断層評価研究グループは、全国の活断層の調査と評価の研究を通して、見えにくい活断層の評価手法や、長大な活断層の連動性評価手法の開発を目指しています。私たちの研究成果は、韓国の活断層調査・評価に生かされ、私たち自身も韓国から学ぶことが多いでしょう。今後も KIGAM と GSJ で力を合わせて、評価が困難な活断層の調査方法・評価手法の研究を進めていきたいと思えます。

**謝辞：**本文中に吾妻氏による KIGAM 訪問メモと、丸山氏撮影の写真を使用しました。



写真8 浦項の海岸にある展望台から海成段丘群を背景に記念撮影。左から Kobayashi 博士、宮下、Choi 博士、吾妻、白濱、丸山。



写真9 浦項は鉄とカニの町。

プレス発表

# 沈み込むプレート内の力の状態と水の挙動がスロー地震の発生に影響を与える

大坪 誠 (地質変動研究グループ)

## はじめに

日本列島周辺では複数のプレート（地球の表面を覆う、十数枚の厚さ 30~100 km ほどの岩盤のことで、地殻とマンツルの最上部を合わせたもの）が接合していて、地震災害リスクを検討する上で、南海トラフをはじめとするプレート境界での巨大地震の発生メカニズムを解明することは非常に重要です。特に南海トラフでは駿河湾から日向灘沖にかけてのプレート境界を震源域として、約 100~150 年間隔で巨大地震が繰り返し発生しており（地震調査推進本部, 2013）、今後の地震発生に向けて、早急な減災・防災への対策が求められています。近年、南海トラフでは、「スロー地震」とよばれるゆっくりとした地震が発生しています（図 1）。日本列島直下で発生するスロー地震の発生メカニズムを検討する一環で、活断層・火山研究部門、地質情報研究部門、広島大学および海洋研究開発機構の共同研究の成果として「An inhomogeneous across-slab conduit controlled by intraslab stress heterogeneity in the Nankai subduction zone」というタイトルの論文が、2019 年 1 月 30 日付で Scientific Reports 誌にオンライン版として公開され（Otsubo *et al.*, 2019）、産業技術総合研究所の公式ホームページにもプレスリリースとして「日本列島直下に沈み込むプレート内の水の挙動がスロー地震発生に関係を」を発表しました（[https://www.aist.go.jp/aist\\_j/press\\_release/pr2019/pr20190130/pr20190130.html](https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2019/pr20190130/pr20190130.html)）。今回はその成果について紹介します。

## スロー地震とは？

スロー地震は、普通の地震による断層のすべり（スリップ）よりもはるかに遅い速度で発生するすべり現象のことです（例えば、小原, 2007）。サイレント地震やゆっくり地震とも呼ばれています。数

日から数週間、長くは数か月かけてゆっくり起こります。スロー地震には、低周波地震（低周波微動）、超低周波地震、短期的スロースリップ、長期的スロースリップがあります。本研究でのターゲットは深部低周波微動です（図 1）。こうしたスロー地震はプレート境界に存在する水によって誘発されると考えられています（例えば、小原, 2007）。プレート境界付近に大量の水が存在すると、地下の岩石の破壊に達するまでの摩擦が大きくなり、数多くの微小な亀裂の連鎖的な破壊、つまり、スロー地震を発生させる可能性があります。産総研では高精度で観測が行えるように、中部地方から四国地方にかけて地下水などの総合観測施設を設置し、南海トラフでのスロー地震の観測を行っています（詳しくは、<https://gbank.gsj.jp/wellweb/GSJ/kaisetsu/gaiyou/gaiyou.htm> を参照してください）。しかし、紀伊水道周辺の下ではスロー地震の発生数が少なく（図 1）、その理由はこれまでよく分かっていませんでした。

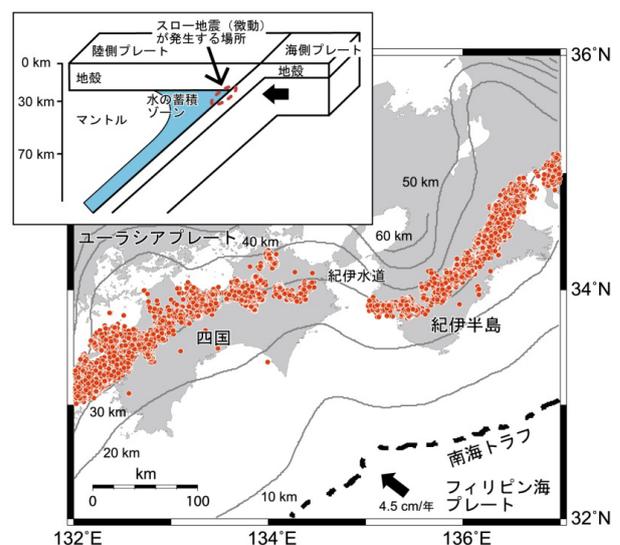


図 1 南海トラフにおけるスロー地震（深部低周波微動、赤丸）の分布（Obara *et al.*, 2010）。紀伊水道周辺の下ではスロー地震の発生数が少ないことが報告されています。



をどの程度通しやすいかを表す指標)が高いと水は流れやすいことがこれまで分かっています。水の浸透率はその場の応力に依存して、岩石中には中間主応力と平行な面に亀裂が生じてそこを水が流れるため、プレート内部に溜まった水は中間主応力の方向へ抜けやすいと考えられています(図3:例えば, Takahashi *et al.*, 2002)。そのため, 図3赤枠の応力状態タイプIでは, 最大主応力と中間主応力がほぼ同じ大きさで, どちらも中間主応力の働きをしますので, 最大主応力と中間主応力と平行な面のどちらにも亀裂が生じ, 水はそれぞれの面に流れます。一方, 図3青枠の応力状態タイプIIでは中間主応力の方向と平行な面に集中して水が流れます。沈み込むフィリピン海プレート内での圧力および密度を踏まえると, 水の流れる方向は沈み込むフィリピン海プレートからユーラシアプレート下のマントルとなります。

### プレート内部での水の通りやすい方向と沈み込むプレートから放出される水の量との関係

岩石中を水が流れる方向が異なると, フィリピン海プレートからユーラシアプレート下のマントルに供給される水の量も異なるため, このマントルに蓄積される水の量に差が生じると考えられます。周囲に比べてフィリピン海プレートからマントル方向へ水が流れやすい応力状態タイプIIの領域(図4の青丸)では, マントル内に周囲より水が多く蓄積されると考えられます(図5)。フィリピン海プレートから供給された水がマントルに多く蓄積されると岩石間の摩擦が減少して滑りやすくなるというモデルでスロー地震の発生を説明できます。一方, 応力状態タイプIの領域(図4の赤丸)では, 最大主応力と中間主応力の大きさが近いいため, 水の流れやすい方向が一方ではなく, マントル内に周囲より水の蓄積が少ない紀伊水道下(図4の赤色点

線)では, スロー地震が発生しづらいと考えられます(図5)。

また, フィリピン海プレートからの水の供給量が多い場所は(図4の青丸), 水に含まれるヘリウム3とヘリウム4の同位体比( $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比)から推定されるフィリピン海プレート起源の深部流体が上昇している場所(Umeda *et al.*, 2007)と一致しています(図4)。ここでの深部流体はフィリピン海プレートからの脱水により生じた熱水のことで, 陸側プレート下のマントル成分を含みながら浅部に上昇しています(例えば, 風早ほか, 2014)。これらのことは, 私たちのスロー地震の発生モデルを支持する結果です。

### おわりに

以上が, 私たちの成果の紹介です。沈み込むプレート内で発生する地震に注目したこと, 地震学と岩石力学を組み合わせたアプローチを採用した

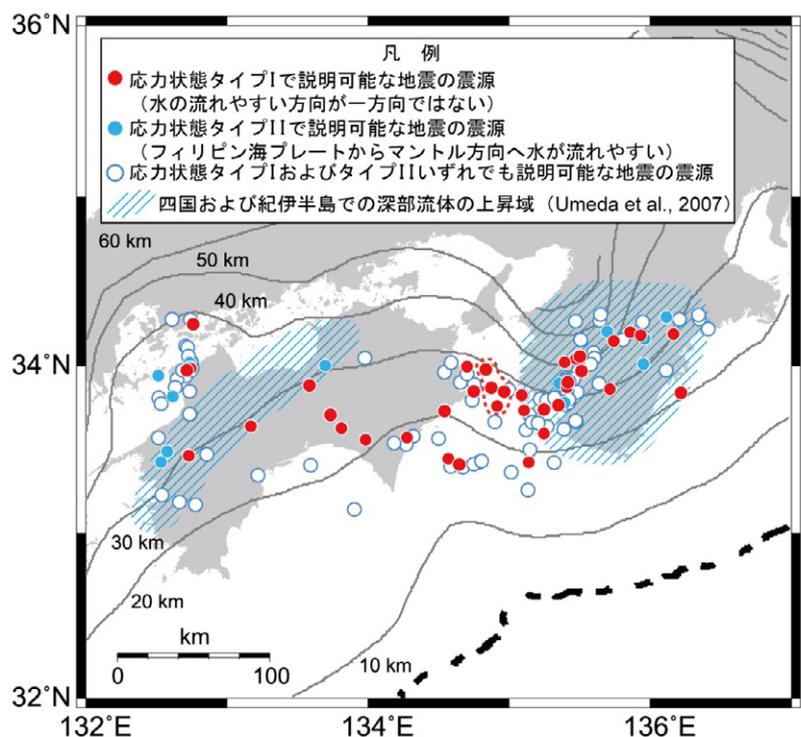


図4 本研究で明らかとなった, 沈み込むフィリピン海プレート内の応力場。四国および紀伊半島での深部流体の上昇域は Umeda *et al.* (2007) の結果を示します。深部流体の上昇域と応力状態タイプIIの領域が重なります。

こと、が今回紹介した研究の特色です。私たちは、今回の研究成果は沈み込むプレート内の水の挙動とスロー地震発生との関係解明に新機軸を与えるものと考えています。

## 参考文献

地震調査推進本部 (2013) 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について。平成 25 年 5 月 24 日公表。

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・北岡豪一・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。日本水文学会誌, 44, 3-16.

小原一成 (2007) スロー地震と水。地学雑誌, 116, 114-132.

Obara, K., Tanaka, S., Maeda, T., Matsuzawa, T. (2010) Depth-dependent activity of non-volcanic tremor in southwest Japan. Geophys. Res. Lett., 37, L13306.

Otsubo, M., Yamaji, A., Kubo, A. (2008) Determination of stresses from heterogeneous focal mechanism data: An adaptation of the multiple inverse method. Tectonophysics, 457, 150-160.

Otsubo, M., Miyakawa, A., Katayama, I., Okazaki, K. (2019) An inhomogeneous across-slab conduit controlled by intraslab stress heterogeneity in the Nankai subduction zone. Scientific Reports, 9, 994. doi:10.1038/s41598-018-38142-w.

Takahashi, M., Li, X., Lin, W., Narita, T., Tomishima, Y. (2002) Permeability measurement techniques for intermediate principal stress direction. J. Japan Soc. Eng. Geol., 43, 43-48.

Umeda, K., McCrank, G. F., Ninomiya, A. (2007) Helium isotopes as geochemical indicators of a serpentinized fore-arc mantle wedge. J. Geophys. Res., 112, B10206.

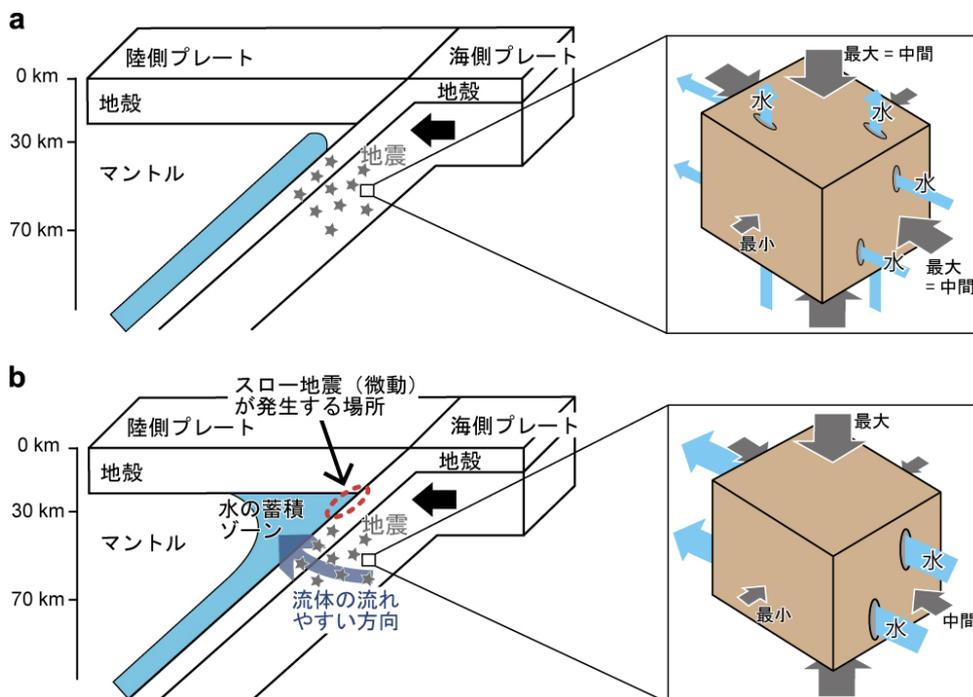


図5 スロー地震が発生する場所での沈み込むプレート内の水の流れやすい方向 (青色矢印) と、地震発生時に岩石にかかる力の向きと岩石中の水の流れやすさの関係。(a) 応力状態タイプ I, (b) 応力状態タイプ II, 灰色矢印の意味は図 3 と同じです。

外部委員会等 活動報告 (2018年12月～2019年1月)

2018年12月3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)

地震の総合的かつ基本的な施策について議論

2018年12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 (則), 板場出席 / 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12月11日

地震調査委員会 (桑原・岡村出席 / 文科省)

11月の地震活動の評価, その他

2018年12月12日

火山噴火予知連絡会拡大幹事会 (篠原出席 / 気象庁)  
火山噴火予知連絡会のあり方に関する検討

2018年12月17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12月19日

火山噴火予知連絡会霧島部会 (篠原出席 / 気象庁)  
霧島山の火山活動の評価検討

2018年12月21日

東京都環境影響評価審議会総会 (宮越出席 / 都庁)

2018年12月22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

2018年12月25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)

地震に関する総合的かつ基本的な施策についての議論

2018年12月25日

地震調査委員会長期評価部会 (岡村出席 / 文科省)  
日本海溝の長期評価, 中日本地域の活断層評価などについて

2019年1月10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), 板場出席 / 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

2019年1月18日

東京都環境影響評価審議会第二部会 (宮越出席 / 都庁)

2019年1月21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)  
近畿地域の活断層評価について

2019年1月25日

地震調査委員会長期評価部会海域活断層調査手法等検討分科会 (岡村出席 / 文科省)  
日本海南西部の海域活断層の評価について

2019年1月30日

地震調査委員会長期評価部会 (岡村・宍倉出席 / 文科省)  
日本海溝の長期評価など

IEVG ニュースレター Vol.5 No.6 (通巻30号)

2019年2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>