(3) 産業技術総合研究所

1. はじめに

国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下, 産総 研という)における地震の調査・研究は、旧地質調査所 時代から実施されてきたものを引き継ぐとともに、最新 の地震科学・地震工学を取り入れながら、その間に幾 度かの組織の改変を行いつつ推進されてきた。2009年 から 2019 年の過去 10 年間を振り返ると、2009 年 4 月 1 日に地震災害の軽減に役立つ情報提供を目指し、将来の 地震活動と被害の予測研究を進めるため, 従来の活断層 研究センターと地質情報研究部門に属した地震関連研究 グループを統合して,活断層・地震研究センター(当時 は独立行政法人)が設立された.その5年後の2014年 4月1日には産総研地質分野の改組により、従来の活断 層・地震研究センターと地質情報研究部門に属する火山 関連研究グループなどが一体となり、活断層・火山研究 部門が発足し、現在に至る、このように、たびたび名称 や組織体制の改変がなされてきたが、産総研の地震予測 研究の特徴は、一貫して地質学的手法に軸足を置き、取 得された内陸および海溝型地震の発生履歴や規模に関 するデータや地下水変化のデータに、地球物理学や地震 工学の研究手法や最新の知見を取り込みながら将来の地 震活動や大地震の際の被害の予測の手法を確立し、高度 化していこうとする立場にある. この間, 国内では 2011 年東北地方太平洋沖地震とそれに誘発された 2011 年福 島県浜通りの地震や2014年長野県北部の地震,2016年 熊本地震をはじめ甚大な被害をもたらした海溝型地震や 内陸地震がたびたび発生した. 産総研ではこうした大地 震が発生すると直ちに緊急現地調査を行い、その結果は 地震予知連絡会でも報告してきた.以下では、過去10 年間における産総研の地震研究のうち, 地震予測に関連 した研究の成果および主な緊急調査について述べる.

(丸山 正)

2. 陸域および沿岸海域の活断層・古地震の研究

本研究では、陸域および沿岸海域に分布する活断層 について、その位置・形状および過去の活動を解明し、 将来の地震発生予測に資するデータを取得してきた.と くに、文部科学省が進める主要活断層帯の長期評価、活 断層の地域評価に関する研究課題を受託・分担して着 実に実施し、評価のために必要なデータ取得した¹⁾.ま た、活断層評価手法の高度化のため、地形表現が不明瞭 な活断層の研究、長大活断層の連動性評価の研究、年 代測定手法の改良と適用性の研究について、高解像度地 形データを用いた地形解析、現地調査、試料の分析等を 継続的に実施した.その結果、地形表現が不明瞭な活断 層評価については、DEM を用いた地形解析・表示手法 を開発した²⁾.長大活断層の連動性評価については、糸 魚川一静岡構造線断層帯を対象として、集中的に地形・ 地質データを取得し、評価手法を開発した³⁾.年代測定 手法の改良と適用性については、宇宙線生成核種を用い た地形・地質年代測定と連続サンプリングに基づく放射 性炭素年代測定の事例研究を実施し、手法の有効性を 確認した⁴⁾.さらに、2011年福島県浜通りの地震、2014 年長野県北部の地震、2016年熊本地震、2016年鳥取県 中部地震等の大地震が発生した際には、緊急現地調査を 実施するとともに、地震調査委員会への資料の提供、ウェ ブでの情報発信を速やかに実施した(7.参照).

以上に述べてきた活断層の調査・研究結果は、活断層 データベースに収録している⁵⁾.活断層データベースは、 2005年に構築されて以来、一貫して、全国の活断層調 査研究結果を網羅的に収集・収録した上で、速やかに公 開している.この過程で、活断層調査研究専門家のみな らず、一般市民が使いやすいように、表示デザインおよ びコンテンツを改修してきた.あわせて、表示機能、脆 弱性に関する改修を進めた.また、同データベースの活 用方法を含む、活断層・地震に関する自治体防災担当者 向けの研修を毎年実施し、データが利活用されるよう工 夫を続けている.

(宮下 由香里)

3. 海溝型地震・津波堆積物の研究

産総研の海溝型地震履歴研究グループは、2004年の 発足以来、津波堆積物や海岸の隆起・沈降痕跡などを 用いて海溝型巨大地震の履歴(発生時期,規模,震源・ 波源モデルなど)を復元し、長期予測に資するための研 究を行ってきた. 10年前の 2009年当時は、グループ発 足時から重点的に実施してきた宮城県南部〜福島県沿 岸での津波堆積物調査の結果をまとめていた段階であっ た⁶⁾. この研究により,同地域における 869 年貞観地震 の津波浸水域を提示し、巨大津波の再来間隔が500~ 800年であることを報告していた⁷⁾. 地震調査研究推進 本部では2010年にその成果を取り入れた長期評価の審 議を行い、2011年春に公表予定であったが、2011年3 月11日に東北地方太平洋地震を迎えてしまった.事前 に成果を社会に周知することはできなかったが、結果的 に869年貞観地震と2011年東北の地震による津波浸水 域はおおよそ重なり、履歴からみた再来間隔もほぼ満期 であったことから、長期予測の妥当性が証明されること になった⁸⁾. 以来, 津波堆積物をはじめとした地質痕跡 や歴史記録による沿岸の古地震・古津波調査が全国的に

様々な機関で行われるようになり,2011年以降の8年 で知見の集積が飛躍的に進んだ.しかし一方で過去の津 波浸水域を正確に復元することの難しさや,地震の規模 や再来間隔の多様性による長期予測の難しさも浮き彫り になってきた⁹⁾.産総研ではこの8年で,千島海溝から 日本海溝,相模トラフ,南海トラフに面する海岸沿いで 津波履歴調査を行うとともに,2011年東北地方太平洋 地震による現世津波堆積物の観察から,古津波堆積物の 認定や津波浸水域の復元に関する手法の検討を進めて きた^{10.11)}.また南海トラフ沿いでは,地域間の履歴の対 比から過去の南海トラフ地震の破壊域のより正確な復元 を目指して調査を進めている.

(宍倉 正展)

4. 地下水等統合観測研究

本研究では、1970年代後半から開始した東海地震の 短期的予知を目的とした地下水・地下ガスの観測研究、 および1995年兵庫県南部地震を契機とした近畿・中部 内陸部における地下水・地殻ひずみの総合的な観測研究 を行ってきた、2006年からは南海トラフ地震の発生予 測精度向上の研究のために、主に紀伊半島から四国地域 において地下水等の総合観測点の整備を開始した.この 観測点は原則として深さ30 m、200 m、600 mの孔井か ら構成され、水位計のほか、地震計、水温計、ボアホー ル型ひずみ計などを設置している.

この10年間で、紀伊半島・四国を中心に4つの総合 観測点を新たに整備し,総計16観測点となった¹²⁾.ま た, 産総研は防災科研および気象庁とのそれぞれの共同 研究に基づき、産総研の地下水・ボアホールひずみデー タと防災科研 Hi-net の傾斜データおよび気象庁のボア ホールひずみデータについてリアルタイムで交換を開 始し、南海トラフの短期的ゆっくりすべり(SSE)の高 精度モニタリングを実施した。2013年11月以降の5年 間で 162 個の SSE イベントの断層モデルを決定した¹³⁾. また, 同総合観測点のボアホールひずみデータや地下水 位・地下水圧データを用いて、短期的 SSE が遠地巨大 地震によって励起される現象¹⁴⁾,遠地地震により励起さ れた地下水位の振動波形の新たな定式化と観測された 地下水位・ボアホールひずみデータとの比較¹⁵⁾,密閉さ れた井戸の地下水圧による短期的 SSE の検出とこれを 用いた同 SSE のモニタリング高度化¹⁶⁾などの研究を実 施した.

1946年南海地震前後の地下水変化・潮位変動のデー タ収集および解析と,1944年東南海地震・1946年南海 地震前後の紀伊半島の上下変動時系列を求めた¹⁷⁾.

地下水・地殻変動観測等による地震の予知・予測研究 に関する台湾・成功大学との共同研究を継続し,共同で ワークショップを毎年開催し¹⁸⁾,日本と台湾における同 分野での研究交流を進めた.

(松本 則夫)

5. 地震災害予測に関する研究

地震の際に災害が発生するプロセスと災害の様相について地質・地形学的知見と地球物理学的データ及び手法を融合した説明性の高い予測・評価を行い,地震防災へ 展開することを目指した研究を実施している.近年発生した大地震に伴う被害を鑑み,地震災害予測の観点からは,1)既存の地下構造モデルの妥当性検証,2)断層近 傍域の地盤変形や地震動の様相の予測,3)観測データの利活用の必要性が強く認識されている.

5.1 強震動の伝播特性に関する研究

強震動の伝搬・増幅特性をより正確に明らかにするた め、大阪、中京、大分、熊本等において、既往データの 再解析に加えて、物理探査・地震観測を実施し、新たな 知見に基づく地盤構造モデルの作成と検証を、他大学・ 機関と共同で行った¹⁹⁾.成果の一部は公開され、国、自 治体、企業へも提供されている.また、これら地盤構造 モデルを用いて内陸地震の地震動予測を行い、公開した. 断層破壊の設定においては、微小地震のメカニズム解等 から推定した応力場の下での動力学的断層破壊を取り込 むなど、技術的改良も行った.

関東平野では、国、自治体、他機関によって取得され てきた反射法地震探査、屈折法地震探査、重力探査等、 数多くの地下構造調査結果が、既存の地下構造モデルや 断層の深部形状を含めて、未だ十分には3次元地下構造 モデルに反映されていない、当所が新たに取得したデー タの解析結果に加えて、それら既存データによる知見を 含めた新たな3次元地下構造モデルを作成中である。

5.2 断層近傍域の地盤変形や地震動の予測

地震時の地盤変形(地表地震断層や地殻変動)の予 測のため,実地調査と数値計算の両面から研究を進めた.

地震時地盤変形については,明瞭な地表地震断層が 出現した 2008 年岩手・宮城内陸地震,2011 年福島県浜 通りの地震,2014 年長野県北部の地震,2016 年熊本地 震において,地表踏査・測量.地上 LiDAR,航空レーザー 計測等の手法を用いて地表地震断層の出現形態や分布 に関する情報を収集した.

数値計算に関しては,深部反射法地震探査でとらえら れる深度 10 km 以浅,実際の地盤物性値および岩盤物 性値を入力できる深度数 km 以浅,表層地盤内の断層発 達過程に関わる深度 100 m 以浅,それぞれのスケール において入力可能な境界条件のもと,解析手法の開発に 取り組んだ.開発した手法をスリップパーティショニン グ現象の現象解明に活用するほか,上町断層を含むいく つかの断層系に適用し,広域応力場・断層面形状・地盤 変形について定量的な評価・考察を行った^{20~22)}.2016 年熊本地震と2014年長野県北部の地震における技術的 検証を通して,断層近傍の変位だけではなく局所的な強 震動の要因分析についても,手法的な信頼度の向上に取 り組んでいる(図1).



図1 糸魚川 - 静岡構造線断層帯(北部・中北部)の断層面 モデル化とその FEM 解析結果の例.

5.3 観測データの利活用

震源の破壊過程のシミュレーションに断層面の走向・ 傾斜角の変化をフレキシブルに取り込むなど計算プログ ラムの高度化を行い,地形・地質情報を取り込んだ動力 学的震源モデルの推定が可能になった.さらに,活断層 調査や歴史地震の研究から得られる過去の地震像による 検証を行いつつ,地震動予測のための地震シナリオ作成 手法の適用を進めている.

上町断層帯や2014年長野県北部の地震を検討対象とし て、地形・地質情報を取り込んだ動力学的震源モデルを 構築することで、手法の信頼性向上と高度化を進めてい る(図2)^{23.24}. これらの地震に関する検討も含めて、地形・ 地質学的情報を活かして過去の地震の震源モデルを推定 することにより、逆に活断層調査等の地形・地質学的情 報を得るための調査が実施されていない地点における破 壊領域の広がり等に関する情報をフィードバックするこ とが可能となりつつある. また、山崎断層帯や2016年熊 本地震を検討対象として、動力学的震源モデルを用いて 地震ハザード評価を高度化することも試みている.



図2 上町断層帯を例とした動力学的震源モデルと、その解析 結果.

(藤原 治)

6. 地震発生メカニズムに関する研究

内陸活断層で発生する大地震の発生予測精度を向上さ せるため、地震観測・データ解析、数値シミュレーション、 室内実験、構造地質学等さまざまな手法を統合して、地震 発生過程を明らかにし、物理モデルに基づいた地震発生予 測モデルの構築・精緻化に関する研究を推進してきた。

将来発生する地震の最大規模や発生様式の予測精度 を高めていくためには、高い空間分解能を持つ応力マッ プの作成が課題である.そのためには可能な限り小さな 地震を活用することが鍵であったため、独自に微小地 震(マグニチュード1以上3未満)の解析手法の開発に 取り組み、発震機構解とマグニチュードを推定する手法 を確立させた.また、3次元アレイによる微弱信号検出 と震源決定法の開発にも成功し、マグニチュード1を下 回る地震の活用も視野に入り始めた.これまで独自に解 析してきた微小地震の発震機構解を気象庁発表のマグ ニチュード3以上の地震の発震機構解を統合し、関東地 域の10 km メッシュの応力マップを纏めた²⁵⁾.これは、 先行研究のおよそ3倍の空間分解能に相当する.その後、 関東地域での経験を踏まえ、中国地域の10 km メッシュ の応力マップを試作した.

地震の発生評価に向けた研究にも取り組み,2018年9 月6日に発生した北海道胆振東部地震(M6.7)の直上 には石狩低地東縁断層帯が存在しており,予察的に作成 した応力マップから,現在の応力場で動きやすい断層に 属していることが判明した.現実的な地下構造(粘弾性 構造)を設定し,今後20年間にわたる地震の影響を定 量的に評価することに成功した²⁶⁾.さらに大規模地震発 生サイクルシミュレーションの実現に向け,粘弾性応答 を高速計算するアルゴリズムの開発にも成功した.

室内実験に関する研究では, 脆性から塑性に至る断層 変形プロセスの室内実験による解明を通じて地震発生の 物理モデルを作ることを目指し, 強度や岩石の物性に関 するデータを測定し, 温度圧力条件等の各種条件との間 の関係式を明らかにした²⁷⁾.

構造地質学に関する研究では、過去の震源域である断 層帯の地質調査に基づき3次元断層内部構造の解明を すすめているところである.

(増田 幸治)

7. 緊急調査

冒頭でも述べたように、過去10年間には、日本国内 およびその近海を震源とし、被害をもたらした海溝型地 震や内陸地震が多数発生した。産総研では、国内で被害 をもたらした規模の大きな地震が発生した際には、緊急 調査体制をとり、海溝型地震では、津波の浸水域、津波 堆積物、地殻変動などについて、内陸地震では、地表変 状の確認などについての系統的な調査を実施した. これ らの結果は、地震発生域の地形・地質学的背景の解説と ともにホームページ上で速やかに公表し²⁸⁾、地震調査委 員会や地震予知連絡会でも報告した. 主な緊急調査の概 要は以下の通りである.

- 2011年東北地方太平洋沖地震:2011年3月11日に三陸 沖南部から茨城県沖にかけての日本海溝沿いを震源と する超巨大海溝型地震(Mw9.0)が発生した.この地 震に伴い広域にわたって生じた津波により,東北地方太 平洋側の沿岸地域では未曾有の被害が生じた. 産総研 では,本震発生の翌日から,海溝型地震履歴研究グルー プ(当時海溝型地震履歴研究研究チーム)が中心となっ て,茨城県高萩市から千葉県一宮町にかけての沿岸部 で津波の高さの計測等を実施した.その後,甚大な津 波被害を受けた地域である仙台・石巻平野を中心に, 青森県や福島県の沿岸も含め,広範囲にわたり津波堆 積物の特徴や分布範囲に関する調査研究を実施し,津 波堆積物の分布限界と実際の津波の浸水域との違いを 明らかにした²⁹⁾.
- 2011 年福島県浜通りの地震:東北地方太平洋沖地震の1ヶ 月後にあたる2011 年4月11日に福島県浜通りを震源と する M7.0の内陸地震が発生した.この地震に伴って既 知の活断層である井戸沢断層と湯ノ岳・藤原断層に沿っ て顕著な正断層型の地震断層が出現した.地震断層の 詳細な分布やすべり方向,変位量などを記録するため, 井戸沢断層に沿って現れた地震断層については4月17 日から数回にわたり,また湯ノ岳・藤原断層については 2011 年4月21日から4月30日の間に現地調査を実施 した.その結果.井戸沢断層,湯ノ岳・藤原断層ともに 約13 kmにわたって地震断層が出現し,最大上下変位 量は井戸沢断層中央部で約2.2 mに達することなどが確 認された.
- 2014 年長野県北部の地震: 2014 年 11 月 22 日に,長野県 北部を震源とした M6.7 の地震が発生した.産総研では, 本震発生翌日の 11 月 23 日から 11 月 25 日までと 12 月 1 日から 12 月 6 日までの 2 回にわたって震源域全体の 踏査を実施し,地表地震断層とその変位量の分布を調 査した.その結果,糸魚川 - 静岡構造線断層帯北部を 構成する神城断層に沿って,地表地震断層が約 9km の 区間で断続的に認められた³⁰⁾.一方,小谷 - 中山断層 と姫川断層に沿っては,地すべりやそれに伴う短縮変形 など地表変状は確認されたが,地表地震断層は認めら れなかった.さらに,2015 年 2 月には,緊急的なトレン チ掘削調査を実施し,2014 年地震を含めて過去 3 回の 活動時期等を明らかにした.その結果,先行する活動は 西暦 1718 年正徳小谷の地震に対比される可能性が高く, 最近 2 回の発生間隔は 300 年と極めて短い可能性等を

指摘した³¹⁾. 産総研では,地表地震断層に関する緊急 調査のほか,斜面変動や温泉湧出に関する緊急調査も 実施した.

- 2016年熊本地震:2016年4月14日21時26分,熊本県 熊本地方を震源とするM6.5の地震が発生し,その約28 時間後の4月16日1時25分にM7.3の地震が発生した. 同県益城群益城町では両地震で震度7を観測した.こ れらの地震に伴い,既往調査で活断層として認定され ていた布田川断層帯布田川区間および日奈久断層帯高 野 - 白旗区間のほか,従来活断層が認定されていなかっ た布田川区間北東延長部の阿蘇カルデラ内などで地震 断層が出現した.産総研では,4月16日から約3週間 にわたって震源域周辺の緊急現地調査を実施し,地震 断層の位置,分布,形状,変位量などを記録した.そ の結果,地震断層は約34knにわたって出現し,最大約 2.2mの右横ずれが地震断層全体の中央部にあたる布田 川区間において生じたことなどが明らかになった³²⁾.
- 2016 年鳥取県中部の地震: 2016 年 10 月 21 日 14 時 07 分 に鳥取県中部において,深さ 11 km を震源とする M6.6 の地震が発生した.震源メカニズム解と余震の分布状 況から,北北西 - 南南東走向の断層面で左横ずれの断 層運動が生じたと考えられた.産総研では,この地震 による地表地震断層の出現の有無と被害状況の確認の ため,2016 年 10 月 26 日と 27 日の 2 日間に緊急現地 調査を実施した.地表地震断層の出現の有無に関して は,余震分布の帯及び国土地理院から公開されている InSAR 画像で地殻変動境界にあたるような地域を横切 る道路やそれらの直上に位置する集落を対象としたが, 地表地震断層の出現は認められなかった.
- 2016 年茨城県北部の地震: 2016 年 12 月 28 日に茨城県北 部を震源とする M6.3 の正断層型の地震が発生し、高萩 市では最大震度6弱を観測した.国土地理院が公表し た干渉 SAR の緊急解析結果を受けて、2017 年1月5日 に地表地震断層に関する現地調査を実施した. その結 果、干渉 SAR によって捕らえられた NW-SE 方向の地 殻変動の不連続線に沿って、約2.5 km 区間の4地点に おいて水平伸張を伴う地表地震断層が出現し、道路や 橋梁などの構造物の破損を確認した。また、それらの地 点における構造物の破損状況から,今回の地震以前に も同様の地表地震断層が出現していたことが推定され た. 同地域では、東北地方太平洋沖地震直後の2011年 3月19日にもM6.1の正断層型の地震が発生しており、 今回の地震に先行して出現した地震断層は2011年3月 19日の地震によるものの可能性が高い.今回の地震お よびそれより前の変位を合わせた水平伸張量として、最 大で 29 cm を計測した.

(丸山 正)

参考文献

- 1) 宮下由香里・杉田匠平・下釜耕太・亀高正男・佐 護浩一, 2016. 福岡県宇美断層におけるボーリング 調査. 活断層・古地震研究報告, 16, 79–98.
- 2) 粟田泰夫,2017. ステレオ等高線地形解析図による 高解像度 DEM の可視化.活断層・古地震研究報告, 17,117–136,
- 近藤久雄,2015. 長大活断層系の連動性評価と課題. 地震予知連絡会会報,94,390-396.
- 4) 白濱吉起・宮下由香里・亀高正男・鈴木悠爾・宮入 陽介・横山祐典,2018.トレンチ調査と放射性炭素 年代高密度測定によって明らかとなった熊本県甲佐 町白旗山出地区における堆積環境の変遷.活断層・ 古地震研究報告,18,125-160.
- 5) 産業技術総合研究所「活断層データベース」. https://gbank.gsj.jp/activefault/(2019年11月13日 閲覧).
- 6) 宍倉正展・藤原 治・澤井祐紀・藤野滋弘・行谷佑一, 2009. 沿岸の地形・地質調査から連動型巨大地震 を予測する. 地質ニュース, 663, 23-28.
- 7) 岡村行信・佐竹健治・宍倉正展・藤原 治・澤井 祐紀・小松原純子・藤野滋弘・行谷佑一・藤井雄士郎・ Than Tin Aung, 2010. 地質調査・津波シミュレー ションにもとづく地震発生履歴に関する研究. 宮城 県沖地震における重点的調査観測平成 17 - 21 年 度統括成果報告書(文部科学省), 186-268, https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/ miyagi_juten/h17_21/h17-21_3_4.pdf
- Sawai, Y., Y. Namegaya, Y. Okamura, K. Satake and M. Shishikura, 2012. Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L21309, doi:10.1029/2012GL053692.
- Shishikura, M., 2014. Recent issues affecting forecast of subduction zone great earthquakes in Japan through paleoseismological study. *Jour. Disas.* Res., 9, 330–338.
- 10) Matsumoto, D., Y. Sawai, K. Tanigawa, O. Fujiwara, Y. Namegaya, M. Shishikura, K. Kagohara and H. Kimura, 2016. Tsunami deposit associated with the 2011 Tohoku - oki tsunami in the Hasunuma site of the Kujukuri coastal plain, Japan. *Island Arc*, 9, 330–338.
- Tanigawa, K, Y. Sawai and Y. Namegaya, 2016. Diatom assemblages within tsunami deposit from the 2011 Tohoku-oki earthquake along the Misawa coast, Aomori Prefecture, northern Japan. *Marine Geology*,

396, 6–15.

- 12)小泉尚嗣,2013.地下水観測による地震予知研究-地下水位変化から地殻変動を推定することによる地 震予測-.シンセシオロジー,6,24-33.
- 13)落 唯史·板場智史·松本則夫·北川有一·木口 努· 木村尚紀·木村武志·松澤孝紀·汐見勝彦,2019. 東海·紀伊半島·四国における短期的スロースリッ プイベント(2018年5月~2018年10月). 地震予 知連絡会会報,101,印刷中.
- 14) Itaba, S. and R. Ando, 2011. A slow slip event triggered by teleseismic surface waves, *Geophys. Res. Lett.*, 38, doi:10.1029/2011gl049593.
- 15) Kitagawa Y., S. Itaba, N. Matsumoto and N. Koizumi, 2011. Frequency characteristics of the response of water pressure in a closed well to volumetric strain in the high - frequency domain. *J. Geophys. Res.*, 116, doi: 10.1029/2010JB007794.
- Kitagawa, Y. and N. Koizumi, 2013. Detection of short-term slow slip events along the Nankai Trough via groundwater observations, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 6079–6083.
- 17) 梅田康弘・板場智史,2018.1944 年東南海地震及 び1946 年南海地震時の海水位変化を利用した紀伊 半島沿岸部における上下変動時系列の推定.地質 調査研究報告,69,81-89.
- 18) Matsumoto, N. and C-L. Shieh eds., 2019. Proceedings of the 18th Japan-Taiwan International Workshop on Hydrological and Geochemical Research for Earthquake Prediction, https://unit.aist.go.jp/ievg/tectonohydr-rg/topics/ workshop/2019/18thProceedings.pdf.
- 19) 林田拓己・吉見雅行・堀川晴央,2014. 中京地域堆 積盆地における表面波群速度の推定-Hi - net 連続 地震観測記録を用いた地震波干渉法に基づく検証 -. 地震,66,127-145.
- 20) 竿本英貴, 2019. FEM による断層変位のスリップ パーティショニング発生条件の探索一逆断層と横ず れ断層の組み合わせ例一. 土木学会論文集A1(構造・ 地震工学), 75(4), I_25–I_35.
- 21) 竿本英貴,2018. 松田式を考慮した FEM による断 層変位評価とその上町断層系への適用. 土木学会 論文集 A1 (構造・地震工学),74 (4), I_59–I_71.
- 22) 竿本英貴,加瀬祐子,森 宏,吉見雅行,堀川晴央, 阿部信太郎,2015. 位相最適化に基づく断層形状 推定手法の開発.土木学会論文集A1(構造・地震 工学),71(4),I_21-I_31.
- 23) Sekiguchi, H. and Y. Kase, 2015. Fault specific,

dynamic rupture scenarios for strong ground motion prediction. Proceedings of 15th World Conference of Earthquake Engineering.

- 24) Sekiguchi, H. and Y. Kase, 2015. Dynamic source modeling under stress distribution derived from geological and geographical data. Proceedings of French Japanese Symposium on Earthquakes and Triggered Hazards.
- 25) 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カマップの作 成.地質調査研究報告,70,273-298.
- 26) Ohtani, M. and K. Imanishi, 2019. Seismic potential around the 2018 Hokkaido Eastern Iburi earthquake assessed considering the viscoelastic relaxation, *Earth, Planets and Space*, 71, doi: 10.1186/s40623-019-1036-4.
- 27) Takahashi, M., S. Uehara, K. Mizoguchi, I. Shimizu, K. Okazaki and K. Masuda, 2011. On the transient response of serpentine (antigorite) gouge to stepwise changes in slip velocity under hightemperature conditions, *J. Geophys. Res.*, 116, B10405, doi:10.1029/2010JB008062.

- 28) 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門「緊急調査」. https://unit.aist.go.jp/ievg/report/index.html (2019年11月13日閲覧).
- 29) 宍倉正展・藤原 治・澤井祐紀・行谷佑一・谷川 晃一朗,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,12,45-61.
- 30)勝部亜矢・近藤久雄・谷口 薫・加瀬祐子,2017.
 2014年長野県北部の地震(Mw6.2)に伴う地表地 震断層の分布と変位量.地質学雑誌,123,1-21.
- 31) Katsube, A., H. Kondo and H. Kurosawa, 2017. Surface rupturing earthquakes repeated in the 300 years along the ISTL active fault system, central Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 44, doi:10.1002/ 2017GL073746.
- 32) Shirahama, Y., M. Yoshimi, Y. Awata, T. Maruyama, T. Azuma, Y. Miyashita, H. Mori, K. Imanishi, N. Takeda, T. Ochi, M. Otsubo, D. Asahina and A. Miyakawa, 2016. Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central *Kyushu, Japan. Earth Planets and Space*, 68:191,

doi: 10.1186/s40623-016-0559-1.