The Headquarters for Earthquake Research Promotion News

想意志部

令和2年11月18日発行(年4回発行) 第13巻 第2号

2020 天火

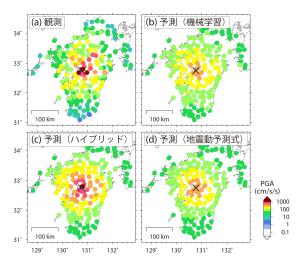


図1 2016年熊本地震本震における地表最大加速度(PGA)の(a)観測、(b)機械学習モデルによる予測、(c)ハイブリッドアプローチによる予測、(d)地震動予測式による予測。暖色ほど地震の揺れが強いことを表す。図中の×は同地震の震央位置を表す。

P2

地震調査研究プロジェクト

「屏風山・恵那山断層帯及び猿投山 断層帯(恵那山-猿投山北断層帯)における 重点的な調査観測」:開始に当たって

国立大学法人東海国立大学機構

P4 地震調査研究プロジェクト

富士川河口断層帯における重点的な調査観測

東京大学地震研究所·東京海洋大学·東海大学 防災科学技術研究所·地震予知総合研究振興会 東京工業大学·静岡大学



地震調査研究プロジェクト

防災対策に資する南海トラフ地震調査研究 プロジェクト(その1)

海洋研究開発機構·防災科学技術研究所·東北大学





地震本部:各種パンフレット https://www.jishin.go.jp/resource/pamphret/ (P8)

調査研究機関の取り組み

機械学習と物理モデルのハイブリッドで より良い地震動予測へ

国立研究開発法人防災科学技術研究所

P10

地震調査研究推進本部 地震本部のパンフレットの紹介

「屏風山 - 恵那山断層帯及び猿投山断層帯(恵那山-猿投山北断層帯) における重点的な調査観測」: 開始に当たって

一 国立大学法人東海国立大学機構 一



概要

「屛風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯(恵那山ー猿投山北断層帯)における重点的な調査観測」(令和2~4年度、代表:国立大学法人東海国立大学機構(名古屋大学・岐阜大学))が開始されました。

本断層帯は恵那山地から知多半島に至る総延長 100kmを超える長大な活断層帯で、周辺には名古屋市 や豊田市などの都市が位置しています。本事業は断層帯 北部(主に恵那山-猿投山北断層帯)について、地震発 生長期評価および強震動予測の精度の高度化のための調 査を実施します。

従前の長期評価において、恵那山-猿投山北断層帯はランク A*、屏風山断層帯はランク A、猿投-高浜断層帯はランク Z などとされていますが、活動履歴や断層構造に関するデータは乏しい状況です。既存の活断層地図にも活断層の認定に相違があり、活断層相互の連続性は明確ではありません。

本研究は1)変動地形調査、2)活動履歴調査、3)地下

構造調査を行い、震源断層シナリオ(とくに活動区間)を再検討します。また 4) 強震動予測を高度化させ、さらに 5) 予測情報の適切な取扱に関する地域社会と協働した検討を行います。以上により、断層分布が複雑で活動区間の想定が容易でない地域における活断層評価手法・強震動予測手法の提案を目指します。

2

ザファーマ1 震源断層シナリオ評価のための 詳細位置形状・変位量調査

●分担:名古屋大学

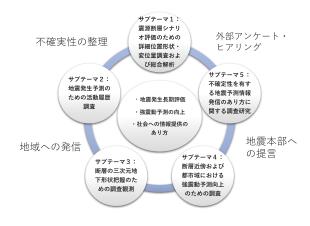
●協力:岡山大学、法政大学、東洋大学、東京大学、広島大学

複雑な分布パターンをもつ恵那山-猿投山北断層帯等がどのような地震を起こすか予測するために、変動地形学的手法および試掘調査・極浅層探査を併用して、活断層線の詳細な位置・形状、変位量等の分布を調べることが重要です。サブテーマ 1 は LiDAR(レーザーレーダ)計測等により詳細な地形標高モデルを作成し、これに取り組みます。

最終的にサブテーマ2と3の成果も考慮して、①想定



図1 対象とする活断層と検討課題



「屏風山・恵那山断層帯及び猿投山断層帯 (恵那山ー猿投山北 断層帯) における重点的な調査観測」研究テーマ関連図

図 2 研究テーマ関連図



される活動区間、②平均変位速度、③強震動予測の際の アスペリティ(断層面の中で強い地震波を出す領域)の 位置、④断層の地下形状等を、信頼度やデータ充足度に も留意して取り纏めることを目指しています。

サブテーマ 2 地震発生予測のための活動履歴調査

●分担:産業技術総合研究所 ●協力:信州大学、富山大学

将来の活動を予測するためには過去の断層活動の繰り返しを明らかにすることが重要です。サブテーマ 2 は、トレンチ掘削調査を複数地点で行い、過去の活動の際の活動区間、およびずれ量などを解明します。知見を他のサブグループと共有することで当該断層の活動像を明らかにしたいと思います。

サブテーマ3
断層の三次元地下形状把握の
ための調査観測

●分担:名古屋大学

断層の地下形状を明らかにすることは、強震動予測のためにも、活動区間や連動の可能性を検討する上でも重要です。サブテーマ3は、複数の断層の接合部付近を対象に物理探査を実施します。また、当該地域における過去数十年間の地震活動は高くないものの、微小地震が頻発した期間もありました。これに注目しての震源メカニズムを再解析して、当該地域の地震活動の把握に努めます。

サブテーマ 4 断層近傍および都市域における 強震動予測向上のための調査

●分担: 防災科学技術研究所

サブテーマ4は、強震動による被害が予測される震源 断層ごく近傍や、周辺の大都市域を対象として、戦略的 イノベーション創造プログラム(SIP)などの成果に基づ いて構築された強震動予測のための広域地盤モデル (浅部・深部統合地盤モデル) に修正を加えます。また、地表断層や地下浅部の震源断層が強震動発生に及ぼす影響も考慮したいと思います。他のサブテーマの成果を詳細に聴き取り、予測の不確実さも考慮し、強震動の平均値だけでなく、予測幅についても提示することを目指したいと思います。

サブテーマ 5

不確定性を有する地震予測情報に関する情報発信のあり方に関する調査研究

●分担:名古屋大学、岐阜大学

●協力:関西大学、東濃地球科学研究所

活断層調査に基づく地震発生可能性の長期評価は、そもそも大きな不確実性をもっており、信頼性、分かり易さ、活用方法等について検討の余地があります。サブテーマ5は、従来の評価の改善点を整理し、ハザード情報のより良い発信のあり方およびハザード情報活用の方向性を見出すことを目指します。地域社会と豊富な連携実績を活かし、地域社会と双方向で取り組みたいと思います。

<u>著者プロ</u>フィ<u>ール</u>

鈴木 康弘 (すずき やすひろ)

名古屋大学減災連携研究センター教授 1961年愛知県岡崎市生まれ。東京大学 理学部卒。同大学院理学系研究科地理学 専攻博士課程修了、博士(理学)。2004 年より名古屋大学教授。専門は活断層・変 動地形学、地理学。日本学術会議連携会員、 地震調査研究推進本部専門委員。



著書に「活断層大地震に備える」(筑摩書店、2001)、「原発と活断層」(岩波書店、2013)、「防災・減災につながるハザードマップの活かし方」(岩波書店、2015)、「レジリエンスと地域創生」(明石書店、2015)、"Disaster Resilient Cities: Concepts and Practical Examples"(Elsevier、2016)、「おだやかで恵み豊かな地球のために一地球人間圏科学入門」(古今書院、2018)"Active Faults and Nuclear Regulation: Background to Requirement Enforcement in Japan" (Springer、2020)など。

富士川河口断層帯における 重点的な調査観測

東京大学地震研究所・東京海洋大学・東海大学・防災科学技術研究所・ 地震予知総合研究振興会・東京工業大学・静岡大学

1

はじめに

富士川河口断層帯は、駿河トラフのフィリピン海プレートと陸側プレート境界の陸上延長部に位置する大規模な活断層です。この断層帯で発生する地震像を明らかにするために、活断層帯の重点的な調査観測として、東京大学・東海大学・防災科学技術研究所・地震予知総合研究振興会・東京工業大学・静岡大学などと研究チームをつくり、平成29年度の後半から令和元年度まで総合的に調査・観測を行いました。

2

プレート境界断層としての 富士川河口断層帯

地震像についての基本的な問題を解明するためには、 この断層帯と東海地震の想定震源域である駿河トラフの プレート境界断層との関係を明らかにする必要がありま

138°30E 138°50E

N00.98

N00.

図 1 富士川河口断層帯周辺の活断層と反射法地震探査測線 赤実線:活断層[中田・今泉編,2002:「活断層詳細デジタルマップ」 による]、青実線:反射法地震探査測線、A は図 3 に対応、黒実線: 反射法・屈折法による地殻構造探査測線(図 2)、黒数字は CDP 番号 に対応、水色四角:発破点。

す。このため身延山地から駿河湾を横断し、伊豆半島西部に至る全長約60kmの区間で、地殻構造探査を実施しました。この探査では、陸上や海底に受振器を設置し、陸上ではボーリング孔での発破、海域でのエアガン発震を行いました(図1)。この結果、地殻深部を通過した地震波が捉えられ、駿河トラフ西側の海底断層は、西方に沈み込む伊豆 - 小笠原弧と陸側のプレート境界断層と直接連続していることが明らかになりました(図2)。この断層面を北方に延長すると、高分解能反射法地震探査によって断層の形状が明らかになった入山瀬断層(図3)に連続します。陸上では計5測線、合計29.6 kmに渡る区間で高分解能反射法地震探査を行い、変動地形学調査と合わせて、断層の位置・形状を明らかにしました。断層はいずれもプレート先端部に見られる低角度の逆断層で、一部は市街地側に伏在しています。

震源断層であるプレート境界の三次元的な構造を明らかにするために、駿河湾において新たに海底地震観測を行い、防災科学技術研究所の陸上の地震観測網のデータ

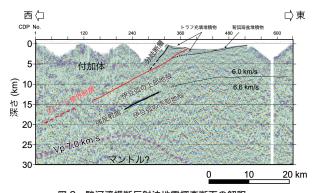


図 2 駿河湾横断反射法地震探査断面の解釈 数字は波線追跡法により求めた P 波速度、紫破線:地震波トモグ ラフィによる P 波速度 7 km/s の等速度線。

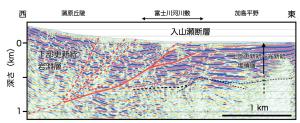


図 3 富士川を横断する高分解能反射法地震探査断面の解釈 赤線:断層、黒破線:推定した地質層準。

と統合して、三次元地震波速度構造を明らかにしました。 この速度構造を用いて再解析を行った過去の微小地震の 発震機構解・繰り返し地震・低周波地震を用いて、震源 断層の三次元形状を明らかにしました。得られた構造は、 地設構造探査の結果と一致し、震源断層モデルを構築す ることができました。

こうした震源断層モデルとともに、強震動を予測するために、微動観測や海底地震観測データもあわせた地震観測データの解析により、表層までも含めた速度構造モデルを作成しました。速度構造モデルと震源断層の矩形モデルを用いて、プレート境界と富士川河口断層帯が連動したシナリオも含め現実的な強震動予測を実施しました(図 4)。さまざまなシナリオが想定されますが、重要なことは強震動計算を可能にするモデルが構築できたという点です。

3

富士川河口断層帯の過去の活動

この断層帯で発生する巨大地震は、どの程度の切迫性があるのでしようか。こうした疑問に答えるためには、富士川河口断層帯で長期間にどの程度のすべりを解消しているかを明らかにする必要があります。高分解能反射法地震探査によって明らかになった断層形状に基づいて、地形・地質データから断層に沿った実すべり速度を求めました。その値は年間約14mm程度となります。剛体プレートに基づく計算では、年間34mmの収束成分が求められており、概ね半分程度の収束成分が富士川河口断層帯で消費されていることになります。南海トラフでのフィリピン海プレートの収束成分が、全てプレート境界断層で消費されると考えると、南海トラフ沿いの地震の半分程度の割合で、富士川河口断層帯まで破壊が及んできた可能性を示唆しています。

富士川河口部で実施した群列ボーリング調査によって、

約700年前以降、富士川河口断層帯が活動した証拠を得ることができました。また、古い空中写真による航測図化や変動地形調査により、由比から蒲原にかけて海岸段丘を区分し、それらの離水年代から歴史時代における隆起イベントを抽出することができました。7世紀後半~8世紀末以前、10~11世紀以降・16世紀後半以前、17世紀半ば以前、19世紀以降に地震に伴う隆起運動があった可能性が高いことが分かりました。

近世の地震史料には二次的な記述も多く、本事業では とくに一次史料の抽出に注力して広域的に調査を行い、 安政地震に伴う詳細な震度分布を明らかにしました。こ うした震度分布は、強震動予測結果との対比により、過 去の地震に伴って震源断層上でどのようなすべりが発生 したかを理解する上で、重要な資料を提供しています。



おわりに

こうした成果は、静岡市で開催した地域研究会を通じて、静岡・山梨県内の防災担当者に共有されました。本 事業は、静岡県をはじめ各地方自治体や静岡県漁連など の支援と協力により実施することができました。以上の 方々に深く感謝いたします。

文責

研究代表 佐藤 比呂志 (さとう ひろし)

東京大学地震研究所地震予知研究センター・教授 専門は構造地質学。

1986 年東北大学大学院理学研究科博士課程退学。 茨城大学理学部助手、東京大学地震研究所助手・同助教授、 2004 年より現職。

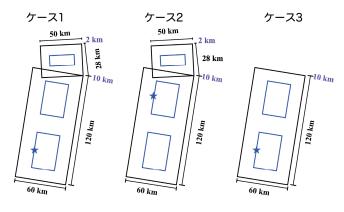


図4 想定地震の震源断層モデル 青い星印は破壊開始点。青線の矩形はアスペリティ領域、 紫色の数字は断層面の上端深さ。

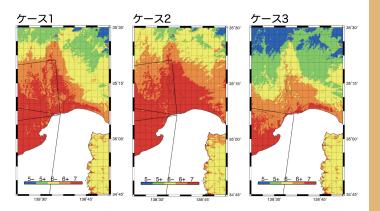


図 5 地表面の計測震度分布図 ケース番号の震源断層モデルは図 4 に対応。

防災対策に資する 南海トラフ地震調査研究プロジェクト (その1) - 海洋研究開発機構・防災科学技術研究所・東北大学 --

1

はじめに プロジェクトの目的

小平 秀-

南海トラフにおいては、過去に発生した巨大地震の多 様性が指摘されるとともに、国難級の巨大地震の発生が 危惧されています。文部科学省科学技術試験研究委託事 業の本プロジェクトでは科学的・定量的なデータに基づ き地震活動・プレート固着状態の現状を把握するととも に、これまでとは異なるゆつくりすべり等が起こった際に その活動と今後の推移に関する情報を迅速かつ精度よく 評価し情報発信する手法の開発を行います。また、発信 された情報を被害軽減に最大活用するため、平時や通常 と異なるゆつくり滑り等に関する情報が発信された場合、 住民・企業等の防災対策のあり方、防災対応を実行する にあたっての仕組みについて研究を実施します。さらに、 自治体等と連携し、本プロジェクトで進めた研究成果が 被害軽減の向上にどのように貢献したか定量的な評価を 行い、防災・減災計画に向けた効果的な研究開発項目を 明らかにします。これらの目標達成に向けて、本プロジェ クトでは「地殻活動情報創成研究」、「地震防災情報創成 研究」、「創成情報発信研究」の三つの研究課題を設定し、 令和2年度より5年間の計画で研究を開始しました。

本稿では、プロジェクト全体概要と「地殻活動情報創成研究」の研究計画を紹介し、次号の地震本部ニュースでは「地震防災情報創成研究」、「創成情報発信研究」の研究計画を紹介します。

2

地殼活動情報創成研究

本研究課題では南海トラフの地震・地殻変動の現状を即時的に把握し情報を発信するため、海陸地震・地殻変動データを最大活用した地震活動・プレート固着すべりモニタリングシステムを構築します。この際、現業機関等での将来活用を視野に入れプロジェクト実施時から気象庁、国土地理院等の機関と連携しシステム開発を進めていきます。さらに、構築したシステムよって得られる地震・地殻変動の現状と推移に関する結果は地震調査委員会や南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会等に随時情報

提供を行っていきます。

以下の章では、本研究課題を実施するために三つのサ ブテーマの計画をまとめます。



サブテーマ 1-(a)

高精度な 3D 構造モデルに基づく 自動震源決定システムの開発

汐見 勝彦

南海トラフ海域では厚い堆積層や沈み込むプレートが存 在するなど地下構造の不均質性が強く、従来の方法では地 震活動状況を適切に把握することが困難でした。サブテー マ 1-(a) では、地球内部、特に海域の地下を三次元的に 詳細にモデル化するとともに、その三次元地下構造モデル を用いた震源決定を自動的に行うためのシステムを構築し ます。地下構造モデルについては、「南海トラフ広域地震防 災研究プロジェクト(平成25年度~令和元年度)」で構築 した P 波速度構造モデル等を基本とし、最新の様々な観測 データや研究成果を取り入れることでモデルをより高精細 化するとともに、S波速度や密度等、様々なパラメタの推 定も行います。海底に設置された地震・津波観測監視シス テム (DONET) 観測点においては、各観測点直下の堆積 層構造を詳細に把握し、震源決定に不可欠な観測点補正 値を求めます。自動震源決定システムでは、これらの地下 構造に関する情報を基に、リアルタイムで収集される基盤 的地震観測網のデータを逐次的に解析することで、詳細な 震源情報を遅滞なく把握することを目指します。さらに、過 去の情報と照らし合わせることで、地震活動状況の変化を 検出する方法の研究開発を進めます。本サブテーマで構築 した構造モデルは、本プロジェクトの基本モデルとしてプロ ジェクト内で共有するとともに、広く公開していきます。

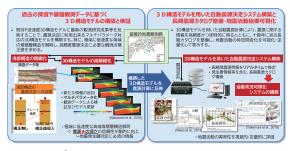


図 1 サブテーマ 1-(a): 高精度な 3D 構造モデルに 基づく自動震源決定システムの開発

4

サブテーマ 1-(b) プレート固着・すべり分布の モニタリングシステムの構築

太田 雄策

プレート間の固着の様子や、地震発生時にそのすべりの 状態を正確に捉えることは、プレート境界の現状把握の上 で極めて重要です。一方、これらの正確な推定と、その利 活用のためには、地下の現実的な構造を反映させる必要 があるとともに、推定された結果が持つ不確かさを把握す る必要があります。サブテーマ 1-(b) では、南海トラフに おけるプレートの固着・すべりの様子を海陸の地殻変動デー タからその推定の不確かさも含めて推定するシステムの開 発を行います。同システムでは三次元不均質粘弾性構造モ デルにもとづいて地殻変動を計算する手法を実現するとと もに、プレート境界だけではなく、海域の分岐断層等も含 めたすべりを表現することを目指します。さらにプレート境 界型の巨大地震発生後、迅速にすべりの様子を推定の不確 かさとともに推定する手法の開発を進めます。これらすべり 推定手法の開発は、電子基準点 (GEONET) を用いて地殻 変動監視を行っている国土地理院と連携しつつ実施します。 さらに南海トラフのプレート境界浅部を対象とした広帯域 海底地震観測を行うことで、断層固着の様子を明らかにし ます。これらの実施項目によって、プレート境界において通 常と異なる固着やすべりが生じた際に、迅速に情報発信す るための技術を獲得します。

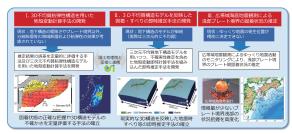


図 2 サブテーマ 1-(b):プレート固着・すべり分布の モニタリングシステムの構築



サブテーマ 1-(c) 3D モデル・履歴情報を用いた 推移予測

堀 高峰

南海トラフにおいて、一定規模以上の地震が想定震源域、あるいはその近傍で発生した場合や、通常と異なるゆっくりすべりが進行した場合に備えて、過去の地震履歴ならびにプレート境界の固着・すべりの現状把握の結果(サブテーマ 1-(b) による)を活用し、プレート境界の固着・すべりの推移予測手法の確立を目指します。そのために、前回の南海トラフ地震以降の地殻変動データと整合する3D 粘弾性構造モデルを構築するとともに、断層構成則と組み合わせることで、与えられた固着・すべりの後の推移を計算する手法を開発します。また、過去の地震履歴についての知見を拡充するため、海域および陸域の地層の

中から過去の地震・津波の痕跡を検出するとともに、歴 史地震について史料調査を実施します。陸域では掘削調 査等から津波浸水や地殻変動の履歴を、海域では海底堆 積物調査から地震・津波の発生履歴を解明し、それらの 年代や拡がりから南海トラフ沿いで特に大きな地殻変動・ 津波を生じた年代・領域についての情報を得ることを目 指します。また、史料解析に基づいて明応以降の歴史地震 における津波波源やその元になる断層すべり分布をより 正確に復元することを目指します。

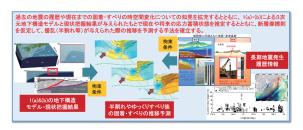


図 3 サブテーマ 1-(c): 3D モデル・履歴情報を 用いた推移予測

以上本研究課題で構築した地下構造モデルや最新の地震活動、プレート固着・すべりに関する知見は「地震防災情報創成研究」で活用されるともに、「創成情報発信研究」では現在得られている科学的データとして一般の方にも分かりやすい形で情報発信を行っていきます。

著者プロフィール

小平 秀一 (こだいら しゅういち)

海洋研究開発機構海域地震火山部門 部門長・上席研究員。専門は海域地球物理学。北海道大学理学研究科地球物理学専攻で博士(理学)を取得。その後、北海道大学理学部を経て海洋研究開発機構(当時の海洋科学技術センター)に着任。2019 年度より現職。海域地球物理観測によりプレート境界での地震、火山など変動現象とそれらに起因するハザードに関する研究を進めている。地震調査研究推進本部地震調査委員会委員他を務める。

沙見 勝彦 (しおみ かつひこ)

防災科学技術研究所地震津波防災研究部門 副部門長。専門は固体地球物理学。東北大学大学院理学研究科にて博士(理学)を取得。国際航業(株)を経て、2002年に防災科学技術研究所に着任。2016年より現職。防災科研 Hinet の整備・運用に携わりつつ、地下構造解明や地震活動把握に関する研究開発に従事。地震調査研究推進本部長期評価部会委員他を務める。

太田 雄策 (おおた ゆうさく)

東北大学大学院理学研究科 准教授。専門は測地学。名古屋大学環境学研究科で博士(理学)を取得。その後、東北大学大学院理学研究科助教を経て 2014年より現職。GNSS等の衛星測位技術を用いたリアルタイム地震規模 推定システムの開発とそれを用いた津波即時予測に関する研究および海陸測地データを用いたプレート境界における地震発生メカニズムの解明に向けた研究を進めている。

堀 高峰 (ほり たかね)

海洋研究開発機構海域地震火山部門 地震津波予測研究開発センター センター長・上席研究員。専門は地震発生予測。京都大学大学院理学研究科で博士(理学)学位取得。日本学術振興会特別研究員を経て海洋研究開発機構(当時の海洋科学技術センター)に着任。2019 年度より現職。地震・津波防災のための沈み込み帯の現状把握・推移予測システムの構築に取り組んでいる。地震調査研究推進本部長期評価部会委員他を務める。

機械学習と物理モデルのハイブリッドでより良い地震動予測へ

一 国立研究開発法人防災科学技術研究所 一



はじめに

近年の AI・機械学習は発展著しく、囲碁や将棋などでの強化学習の成功や自動運転を可能とする物体認識技術の確立など、様々な分野で成果を挙げています。国立研究開発法人防災科学技術研究所(以下、防災科研)では、観測データを用いて地震動や津波の即時予測技術や地震発生可能性の長期評価の高度化に貢献する研究開発を進めており、その一環として地震動データへの機械学習の適用を図っています。ここでは機械学習に基づく地震動指標の予測を試みた研究 Kubo et al. (2020) を紹介します。

2

従来手法: 地震動予測式

地震による揺れを予測する地震動予測は、地震防災分 野における主たる研究課題の一つです。将来の地震災害 に備えるための地震ハザード評価や地震発生直後の緊急 地震速報などで使われている地震動予測技術を高精度化 していくことは、自然災害に対する社会のレジリエンス(特 に防災力・減災力) の向上につながります。Kubo et al. (2020) では、ある規模の地震がある場所で発生した(す る)という情報が与えられたときに、任意の場所での地 震による揺れの強さ(震度や地表最大加速度などの指標 値)を予測する問題を考えています。これまでは地震動予 測式と呼ばれる過去の記録に基づいた経験式によって予 測されてきました。地震動予測式は、地震の揺れに影響す る要素を地球物理学の知見に基づいてモデル化し、地震 動強さの指標と説明変数を結び付けた関数形を仮定した 上で、過去記録を用いた回帰分析を行うことで得られる 方程式のことです。その計算の手軽さから、大量計算が 必要な地震ハザード評価や、迅速な計算が必要となる緊 急地震速報などで活用されています。

地震動予測式はこれまでの学術的知見に基づく物理モデルを方程式の形で表現しているため、発生頻度が少ない事象を予測する場合でも、ある程度の予測性能を発揮すると考えられます。しかし方程式の関数形をあらかじめ仮定しており、この点での柔軟性に乏しいため、データが

仮定した関数形とは異なる傾向を持つていた場合に、その傾向を表現できないということになります。他方で機械学習は様々な要素が複雑に影響しあう事象について、データに基づく予測を精度よく行うことができます。地震動予測への適用の場合、従来は事前に仮定していた方程式の関数形を、データに基づいて導き出すことができる点が大きな利点です。このデータに基づいて関数形を導き出す利点と、これまでは方程式に組み込むことが難しかった情報を新たに柔軟に追加できる利点から、機械学習を用いることによる地震動予測の精度向上が期待されます。



機械学習の適用と 地震動データ特有の困難

Kubo et al. (2020) で作成した予測器では、目的変数を地表最大加速度とし、説明変数には震央と予測地点の間の距離、地震の規模、地震の深さ、予測地点の直下の堆積層の厚さおよび表層付近の地盤の軟弱さの5つのパラメータを用いました。機械学習アルゴリズムには、アンサンブル学習を行うランダムフォレストの派生であるExtremely Randomized Trees を使いました。

データには、防災科研が運用する陸海統合地震津波火山観測網 MOWLAS の一つである強震観測網 K-NET、KiK-net の約 20 年間の地震動記録を用いました。K-NET、KiK-net は強い揺れを振り切れることなく、確実にとらえることを目的とした観測網であり、全国約1,700 ヶ所に展開しています。訓練データとして1997年から2015年までに発生した2,082 地震による計186,310 の地震動記録を用意しました。またテストデータとして2016・2017年に発生した208 地震による計22,323 の地震動記録を別途用意し、性能検証に用いました。

2016 年熊本地震本震における観測と機械学習モデルによる予測の比較を図1 (a, b) に示します。同地震はテストデータに含まれる地震です。この地震の際には1,000gal を越えるもしくはそれに迫る強い揺れが観測されていますが、機械学習による予測ではこの強い揺れを再現できておらず、半分以下の予測値となっており、強い揺れを過小評価していることがわかります。データ全体に

おける観測と予測の比較を図 2 (a) に示します。観測値が 500gal を越える場合、予測値が観測値よりも小さい、つまり強い揺れが過小に評価されるというバイアスが機械学習モデルによる予測にはあることがわかります。

なぜこのようなバイアスが生じてしまったのか。機械学習はデータに基づいて予測・識別を行うため、データに大きな偏りがある場合、機械学習モデルの出力にバイアスが生じる可能性があることが指摘されています。その最たる例が顔認識アルゴリズムをめぐる議論です。大手テック企業の顔認識アルゴリズムの認識性能がジェンダー・肌の色によって異なることが指摘されており、白人男性が多いという訓練データの偏りが原因とみられています。地震動データも大きな偏りを持つ不均衡データであり、震度7のような強い揺れの観測記録は非常に少ない一方で、弱い揺れの観測記録は豊富にあるという特徴を持ちます。このような不均衡なデータを学習したため、強い揺れの過小評価という予測バイアスが引き起こされたのではないかと考えています。

4

機械学習と地震動予測式のハイブリッド

このような地震動データ特有の困難に対応するために、データに合わせて柔軟かつ高精度な予測が可能である機械学習と、物理モデルに基づくことによって発生頻度が少ない事象の予測性能がある程度担保されている地震動予測式を組み合わせたハイブリッド予測アプローチを Kubo et al. (2020) では考えました。具体的には、物理モデルに基づく従来の予測式による予測と観測の残差を学習した機械学習モデルを作成しておき、ハイブリッドアプローチの予測として従来予測式による予測値と機械学習による予測値を足し合わせた値を出力します。

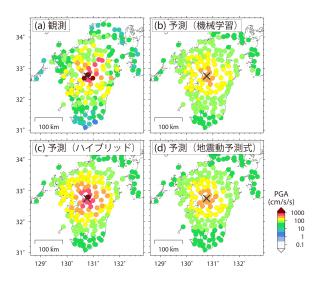


図 1 2016 年熊本地震本震における地表最大加速度 (PGA) の (a) 観測、(b) 機械学習モデルによる予測、(c) ハイブリッドアプローチによる予測、(d) 地震動予測式による予測。暖色ほど地震の揺れが強いことを表す。図中の×は同地震の震央位置を表す。

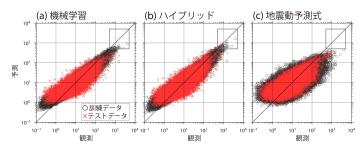


図2 訓練データおよびテストデータにおける観測値と予測値の比較。 (a)は機械学習モデルの結果、(b)はハイブリッドアプローチの 結果、(c)は地震動予測式の結果を示す。

2016年熊本地震本震およびデータ全体における、機械学習・地震動予測式・ハイブリッドアプローチのそれぞれの結果を図1と図2に示します。ここでの地震動予測式は先行研究に則って今回用意した訓練データで作成したものです。比較の結果、ハイブリッド予測アプローチは単一の予測手法に比べて予測性能が良く、強い揺れの過小評価が改善されていることが確認できました。

5

まとめ

今回の成果は、機械学習の導入が地震動予測技術の性能向上につながることを示すとともに、単純に機械学習を適用しただけでは発生頻度が少ない事象を予測する場合に問題が生じ得ることを示唆しています。この問題をこれまで長年にわたり検証されてきた物理モデルと機械学習のハイブリッドによって解決を図るという本研究のアプローチは、他分野でも応用可能なものであり、機械学習の社会導入にあたっての1つのモデルケースとなりうるものと考えます。

引用:

Kubo H., Kunugi T., Suzuki W., Suzuki S., and Aoi S. (2020) Hybrid predictor for ground-motion intensity with machine learning and conventional ground motion prediction equation. Sci. Rep., 10, 11871. https://doi.org/10.1038/s41598-020-68630-x

著者情報

久保 久彦 (くぼ ひさひこ)

国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター 研究員、博士(理学)

2015年に京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻(地球物理学分野)博士後期課程修了、同年に防災科学技術研究所入所。 2019年より現職。強震観測網 K-NET、KiK-net の運用に携わるとともに、地震による強い揺れおよび大地震の断層破壊過程に関する研究や地震動データへの機械学習の適用に取り組む。

地震本部のパンフレットの紹介

地震調査研究推進本部(以下「地震本部」という。) では、地震調査研究の成果が皆様に分かり易く伝わり、 防災行動に役立てていただけるよう、さまざまなパン フレットや子供向けのコンテンツを用意しています。今 回は、そのうちのいくつかをご紹介します。

活断層の地震に備える

平成7年(1995年) 兵庫県南部地震、平成16年(2004年) 新潟県中越地震、平成28年(2016年) 熊本地震など、これまで日本列島の内陸部では大きな被害を伴う地震が発生してきました。このような地震はどのようにして発生するのでしょうか?

日本列島周辺では、複数のプレート(岩盤)がぶつかり合っており、その岩盤の中に大きな力が加わっています。この力が加わって地震を起こす場所を「断層」といい、過去繰り返し地震を起こし、将来も地震を起こす可能性がある断層を「活断層」と呼んでいます。

「活断層の地震に備える」パンフレットは、文部科学省と気象庁が共同で作成し、全国版と地方版(全国を8地域に分割)の2種類を用意しています。全国版では陸域の浅い地震が起きる仕組みや主要活断層の評価を、地方版では更にその地域にある活断層や予想される強い揺れなど、地域の特徴を詳しく解説しています。

地震を正しく恐れる

平成23年(2011年)には、わが国の観測史上最大となる東北地方太平洋沖地震が起こり、地震や津波により甚大な被害が発生しました。世界有数の地震多

発国である日本では、私たちの大切な命、財産を地震 から守るために何ができるのかを考えていくことが重 要です。

「地震を正しく恐れる」パンフレットは、主に中学生・高校生以上をターゲットとし、地震によっておこる現象や被害、最先端の地震研究、減災・防災対策を紹介しています。中学生・高校生の皆さまにとって、将来の進路選択の一助になれば幸いです。

地震本部では、他にも多数のパンフレットを揃えております。皆様もこれらのパンフレットをご覧いただき、いざという時に慌てることがないよう、地震に備えていただければ幸いです。

地震本部:各種パンフレット

https://www.jishin.go.jp/resource/pamphret/





編集・発行

地震調査研究推進本部事務局

(文部科学省研究開発局地震・防災研究課) 東京都千代田区霞が関 3-2-2 地震本部ホームページ https://www.jishin.go.jp



※本誌を無断で転載することを禁じます。

※本誌で掲載した論文等で、意見にわたる部分は、筆者の個人的意見であることをお断りします。

※地震調査研究推進本部が公表した資料の詳細は、地震本部のホームページで見ることができます。