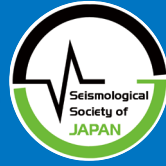


なみふる



2023.8

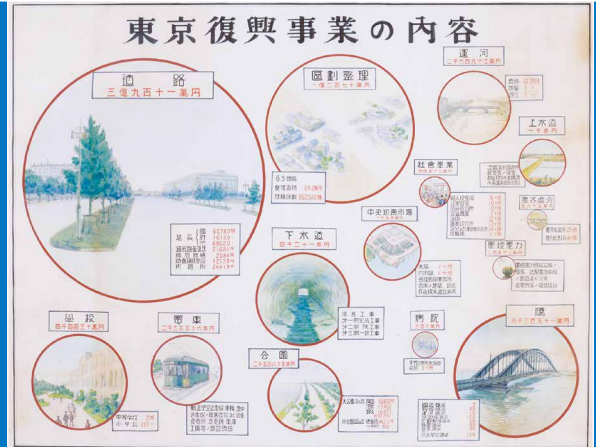
日本地震学会
広報紙

No.

134

Contents

- 2 シリーズ「関東地震から100年」その⑤
帝都復興事業
- 4 2023年2月6日にトルキエ南東部(トルコ)で発生した
カフラマンマラシユ地震について
- 6 人工知能と自然知能の対話・協働による地震研究の新展開
- 8 ● イベント報告 「強震動予測—その基礎と応用」
第21回講習会報告(2022年11月29日開催)
● イベント案内 日本地震学会2023年度秋季大会一般公開セミナー
「関東大震災から100年—過去を学び、将来に備える—」のお知らせ



東京復興事業の内容(東京都復興記念館所蔵資料)。詳しくは2-3ページをご覧ください。▲



主な地震活動

2023年4月～2023年6月

気象庁地震火山部
菅沼一成

2023年4月～2023年6月に震度4以上を観測した地震は22回で、震度5弱以上を観測した地震は7回でした。図の範囲内でマグニチュード(M)5.0以上の地震は43回発生しました。

「震度5弱以上」、「被害を伴ったもの(国内)」、「津波を観測したもの」のいずれかに該当する地震の概要は次のとおりです。

①能登半島沖の地震

(2023/5/5 14:42 深さ12km M6.5、21:58 深さ14km M5.9)

どちらも地殻内で発生した地震です。14時42分のM6.5の地震では、石川県珠洲市で震度6強を観測しました。また、石川県能登で長周期地震動階級3を観測しました。21時58分のM5.9の地震では、石川県珠洲市で震度5強を観測しました。また、石川県能登で長周期地震動階級2を観測しました。これらの地震で死者1人、重傷2人、軽傷46人、住家全壊30棟、半壊169棟、一部破損535棟の

被害がありました(6/7現在、総務省消防庁による)。また、このM6.5の地震により津波(最大10cm(暫定値)、輪島港(港湾局))を観測しました。

石川県能登地方の珠洲市周辺では、2018年頃から地震回数が増加傾向にあり、2020年12月から地震活動が活発になり、2021年7月頃からさらに活発になっています。2020年12月から2023年6月までに震度1以上を観測した地震が449回発生しました(震度6強:1回、震度6弱:1回、震度5強:2回、震度5弱:1回、震度4:13回、震度3:46回、震度2:107回、震度1:278回)。

②千葉県南部の地震

(2023/5/11 04:16 深さ40km M5.2)

フィリピン海プレート内部で発生した地震で、千葉県木更津市で震度5強を観測しました。この地震で軽傷9人、住家一部破損17棟の被害がありました(5/18現在、総務省消防庁による)。

③トカラ列島近海の地震

(2023/5/13 16:10 M5.1)

陸のプレート内で発生した地震で、鹿児島県十島村(中之島)で震度5弱を観測しました。トカラ列島近海(口之島・中之島付近)では、2023年4月1日頃からややまとまった地震活動があり、5月11日以降、地震活動が活発になりました。4月1日から6月30日までに震度1以上を観測した地震が132回(震度5弱:1回、震度4:3回、震度3:6回、震度2:33回、震度1:89回)発生しました。

④新島・神津島近海の地震

(2023/5/22 16:42 深さ11km M5.3)

フィリピン海プレートの地殻内で発生した地震で、東京都利島村で震度5弱を観測しました。新島・神津

島近海では2023年5月22日から地震活動が活発になり、6月30日までに震度1以上を観測した地震が64回(震度5弱:1回、震度4:1回、震度3:4回、震度2:14回、震度1:44回)発生しました。

⑤千葉県東方沖の地震

(2023/5/26 19:03 深さ50km M6.2)

太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生した地震で、茨城県神栖市、千葉県銚子市及び旭市で震度5弱を観測しました。また、茨城県南部及び千葉県北東部で長周期地震動階級2を観測しました。この地震で住家一部破損1棟などの被害がありました(6/5現在、総務省消防庁による)。

⑥苫小牧沖の地震

(2023/6/11 18:54 深さ136km M6.2)

太平洋プレート内部で発生した地震で、北海道千歳市、厚真町及び浦河町で震度5弱を観測しました。この地震で軽傷1人の被害がありました(6/19現在、総務省消防庁による)。

世界の地震

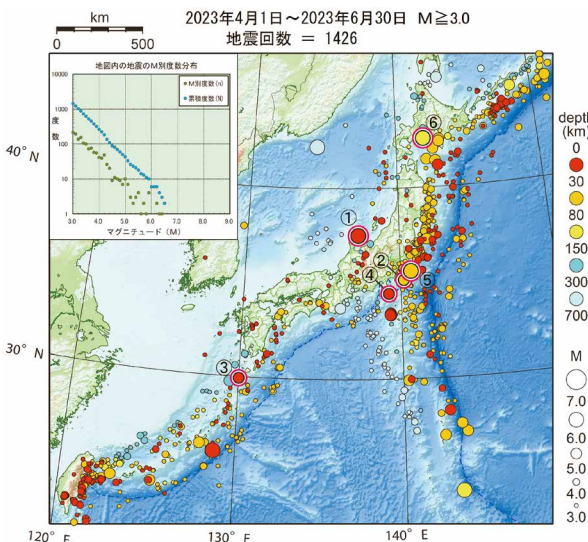
今期間に世界で発生した、主にM7.5以上で深さ100kmより浅い地震、あるいは死者・行方不明者50人以上の被害を伴った地震を以下に記載します^{注1)}(時刻は日本時間、震源要素は米国地質調査所(USGS)、Mwは気象庁によるモーメントマグニチュード)。

●ローヤリティー諸島南東方の地震

(2023/5/19 11:57(日本時間) 深さ18km Mw7.7)

この地震はインド・オーストラリアプレート内部で発生しました。この地震の震源機構(気象庁によるCMT解)は南北方向に張力軸を持つ正断層型でした。この地震により、タンナ島(バヌアツ)のレナケルで0.61mなどの津波が観測されました(アメリカ海洋大気庁(NOAA)による)。

^{注1)} 今号より、世界の地震の欄に記載する地震の基準を変更しました。



シリーズ「関東地震から100年」その⑤



帝都復興事業

名古屋大学減災連携研究センター 武村 雅之

関東大震災の後、耐震・耐火を前提に公共性を重視し、首都としてふさわしい品格のある街づくりを目指した帝都復興事業が進められました。生まれ変わった東京が、ふたたび首都直下地震の脅威に怯えているのはなぜでしょうか。帝都復興事業を振り返るとともに、その後のまちづくりをふまえて考えてみましょう。

未曾有の被害

関東大震災の被害を1995年の阪神・淡路大震災や2011年の東日本大震災と比較し、まとめたものが表1です。死者・行方不明者数は東日本大震災の約5倍、当時の日本の人口は現在の半分程度なので、人口比でみれば約10倍です。一方、経済被害(直接被害)についてみても、被害総額は当時のお金で約55億円(現在の貨幣価値で約30兆円)。GDP(またはGNP)比でなんと36.7%となり、東日本大震災(3.4%)の約10倍となっていたことがわかります。関東大震災はまさに国家存亡の機を招いた未曾有の自然災害であったといえます。

神奈川県下の被害と農村地域の復興

図1は震源断層と震度分布です。神奈川

県全域と千葉県南部が震源断層直上に位置し、東京府(現在の東京都)はそれから外れた位置にあります。被害は、東京府(大半が東京市)が約7割弱、神奈川県が約3割を占める結果となりました。

当時、罹災民への救援・救済は、1899(明治32)年に制定された罹災救助基金法に基づき、郡役所の要請で府県市が積み立てた罹災救助基金を回すことを基本とし、足りない場合は国が補助する体制で行われていました。ところが、あまりの被害の大きさに対応しきれず、大量に寄せられた義援金は救援・救助ならびに公的な復旧にまわす措置が取られました。このため、個人に行きわたることはありませんでした。個人にまわされた唯一のお金は天皇陛下からの御下賜金のみでした。交付額は被災度に応じて表2のようになり、最高額の16円は現在のお金で約8万円です。

一方、国が帝都復興事業としてお金を出したのは、東京市以外では横浜市(現在の横浜市

のごく一部)のみでした。ほとんどが農村地域であった神奈川県の他の地域ではどのようにして復興がすすめられたのでしょうか。特に農民にとって生活の糧となる農地の復旧・復興は大問題でした。もちろん震災で大きな被害を出した村々での住民の結束力は、復旧、復興を進める上で大きな威力を発揮しましたが、それだけでは資金面や技術面でのおずと限界がありました。そのような状況を打破するための一助となったのが、耕地整理法に代表される土地改良に関する一連の制度でした。神奈川県では農務課長の草柳正治が、耕地整理組合設立による震災復興を農民に強く奨励しました。その様子は各地の路傍などに立つ復興記念碑からわかります。調査の結果、一つの耕地整理組合が担当する農地復興の総工費は5万~13万円(約3~7億円)程度で、公的な補助(県補助金、開墾助成、低利融資等)の率は平均で50パーセント程度、組合員(地主)一戸当りの負担額は500円~900円(250~450万円)でした。

震災	関東	阪神・淡路	東日本	
発生年	大正12年 1923年	平成7年 1995年	平成23年 2011年	
地震規模 M	7.9 (8.1)	7.3	9.0	
死者不明(人)	約10万5千	約5千5百	約1万8千	
家屋被災世帯	約70万	約25万	約30万	
経済被害	損害総額	55億円	9兆6千億円	16兆9千億円
	GDP	150億円	510兆円	490兆円
	GDP比	36.7%	1.9%	3.4%
	国家予算	15億円	71兆円	92兆円
予算比	366.7%	13.5%	18.4%	

関東大震災時はGDP(国内総生産)でなくGNP(国民総生産)

死者数には関連死は含まれていない

表1 関東大震災と近年の大震災の比較 [武村(2023)]

交付する被災者の範囲	交付金額	備考
死亡・行方不明者	¥16/人	震災地に居住又は滞在
負傷者	¥4/人	1週間以上医師の治療
住宅全焼、全流失	¥12/世帯	
住宅全潰	¥8/世帯	震災地の世帯に限る
住宅半焼・半潰・半流失	¥4/世帯	

表2 御下賜金の配布額 [武村(2017)]

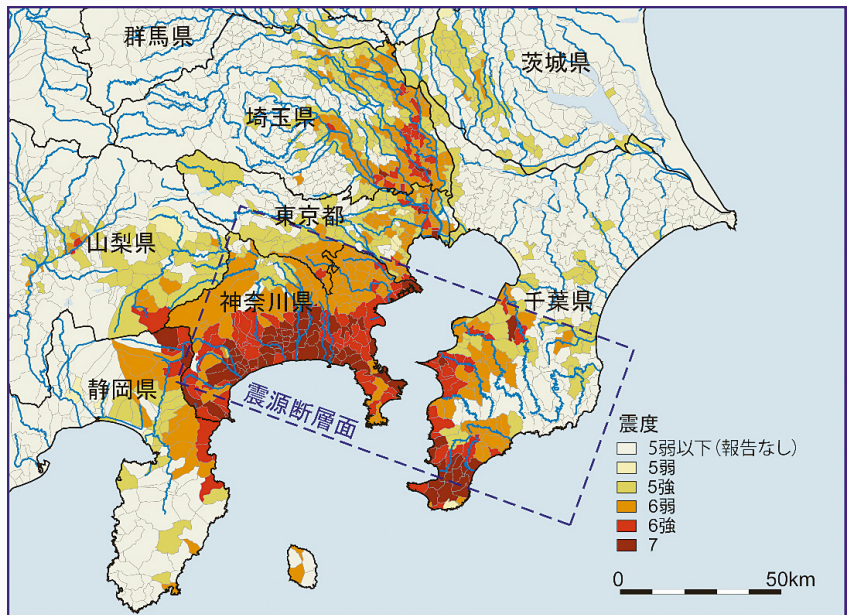


図1 関東地震の震源断層と詳細震度分布 [武村(2023)]

東京市の被害と帝都復興事業

震源域から外れているところで、大きな被害を出したのは実は東京市だけでした。それが被害全体の7割を占めたのですから驚きです。東京市における大火災の原因が地震時に南関東一円で吹いていた毎秒10m近くの南風だとよく指摘されますが、東京市の異常な被害の大きさはこれだけでは説明できません。明治以降、もともと地盤が軟弱な江東地域が工業地域となり人口が急増し、急速に木造密集地域(木造密集市街地)となったことに代表されるように、富国強兵の旗印の下で、道路や公園などの基盤整備を後回しにし、人口集中による木造密集地形成を放置した明治政府の都市政策の誤りが最大の原因だったと私は思います。

二度とこのような過ちを繰り返さない、震災後行なわれたのが帝都復興事業でした。焼け跡に対して、耐震・耐火を前提に公共性を重視し、国民的合意形成の下で、首都としてふさわしい品格のある街づくりを目指すものでした。図2はその内容をまとめたものです。昭和5年までの約6年半の間に、現在の都心8区(千代田、中央、港、新宿、文京、台東、墨田、江東)の多くの地域で、区画整理、幹線道路174本を含む街路の整備、修繕補強の194橋を含め全部で576の橋が架けられました。さらに3大公園(隅田公園、浜町公園、錦糸公園)と52の復興小公園の建設、117の復興小学校の建設なども行われました。これらのほとんどが、のちの第二次世界大戦の空襲にも耐え、戦後復興にも大きく貢献しました。今でも都心8区の主要な道路や橋梁は帝都復興事業によるものが多数使われています。図3は隅田川の橋梁の現状です。いずれもすばらしい橋ばかりで、土木構造物であるにも関わらず「美観」を重視した様子がうかがえます。

第二次世界大戦後の問題

帝都復興事業で生まれ変わったはずの東京が100年後の現在、ふたたび首都直下地震の脅威に怯えているのはなぜでしょうか。

東京市15区は、昭和7年に35区(現在の23区の範囲)に広がりました。東京都が概ね5年ごとに出している「地震に関する地域危険度測定調査結果」を見ると、帝都復興事業が行われた現在の都心8区の多くは地震危険度が低いです。その外側の郊外15区では、戦後にかけてスプロール化(無秩序な市街地の拡大)が進み、道路や公園等の都市基盤

が不十分な危険度が高い木造地域が広がっています。現在では、木造建築物の老朽化も相まって、再び首都直下地震の脅威を高めています。一方で、郊外でも旧井荻村(杉並区)や旧玉川村、旧駒沢町(世田谷区)など危険度が低いところもあります。これらの地域は昭和7年以前から、当時の町村長や地主が、将来の市街地化を予想し、帝都復興事業をお手本として、先行して土地区画整理を始めた地域です。いずれの地域も現在は良好住宅地となり、まわりに比べて住宅地としての価値にも大きな差が生じています。

また、最近では地震危険度が低いとされる都心部でも容積率緩和による超高層ビルの林立

がもたらす地震時の帰宅困難者問題や大量のエレベータの閉じ込め事故の問題、さらには埋め立て地に建設された大量のタワーマンションが、地盤の液状化などによるライフラインの途絶で、地震時には「高層難民」を抱えて孤立する恐れもあります。街は市民の暮らし易さを第一に考えなければなりません。市民が住み易い街にこそ防災も実現するのです。関東大震災100年を機に、首都東京は今こそ帝都復興事業に学ぶべきです。

参考文献

武村雅之「関東大震災がつくった東京―首都直下地震へどう備えるか」、中公選書、2023年、全244頁
武村雅之「復興百年誌―石碑が語る関東大震災」鹿島出版会、2017年、全294頁

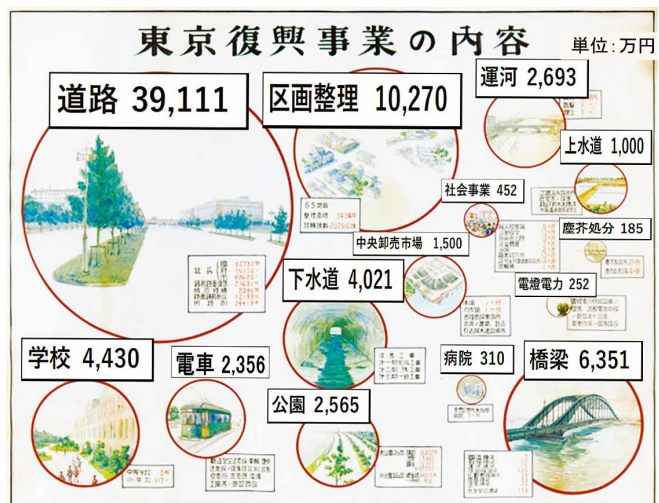


図2 東京における帝都復興事業の内容(東京都復興記念館所蔵資料に加筆)【武村(2023)】



図3 隅田川橋梁の現状。四角で囲った橋は震災復興期にできた橋(震災復興橋梁)、うち白い四角は帝都復興事業によるもの【武村(2023)】。

2023年2月6日にトルキエ南東部（トルコ）で発生したカブラマンマラシュ地震について



香川大学 四国危機管理教育・研究・地域連携推進機構 金田 義行

2023年2月にトルキエ南東部（トルコ）で M7.8と M7.5の地震が相次いで発生しました。東アナトリア断層沿いで発生したこれらの地震により、犠牲者が5万人におよぶ甚大な被害が出ました。なぜこれほどの震災となったのか、現地の防災対策はどのように進められていたのか解説します。

はじめに

トルキエ（以下、トルコと記載）は日本と同様に地震多発国であり、1999年に北アナトリア断層沿いで生じたコジャエリ地震（M7.6）では1万7,000人を超える犠牲者が出ました。北アナトリア断層はトルコ国内北部を東西に横断する大断層で、黒海とエーゲ海を繋ぐマルマラ海を横断しています。このマルマラ海沿岸域にはイスタンブールやブルサなど大都市が存在しています。一方、トルコは歴史的な構造物をはじめ、古くて耐震化が出来ていない構造物など、強い地震動に対して脆弱な構造物が多く存在しています。また、北アナトリア断層沿いで発生している地震の震源は概ね東から西へ移動している傾向があります。1999年のコジャエリ地震はマルマラ海東方の陸域が震源であったことから、次の北アナトリア断層沿いの地震はマルマラ海で発生する可能性が高いと考えられ、震源に近いイスタンブールでは甚大な被害が想定されています。多くのトルコの市民はこの「マルマラ地震」の発生を危惧しており、近年は国としてもその被害軽減対策に取り組んできました。トルコの災害緊急事態対策庁（AFAD）は図1に示すトルコの地震ハザードマップを作成しています。図1では北アナトリア断層と併せて東アナトリア断層沿いの地震リスクも示されていますが、近年では東アナトリア断層沿いで大きな地震は発生していませんでした。

しかし、2023年2月6日にトルコ南東部

の東アナトリア断層で2つの大きい地震（カブラマンマラシュ地震）が発生しました。一つ目の地震（M7.8）は午前4時17分、二つ目の地震（M7.5）は、午後1時24分に起きました。これらの地震では北海道に

相当する広い地域が被災地となり、5万人が犠牲になる未曾有の災害となりました。謹んで犠牲になられた方々のご冥福をお祈りし、被災された皆さんの一刻も早い生活再建と地域の復興を願っています。

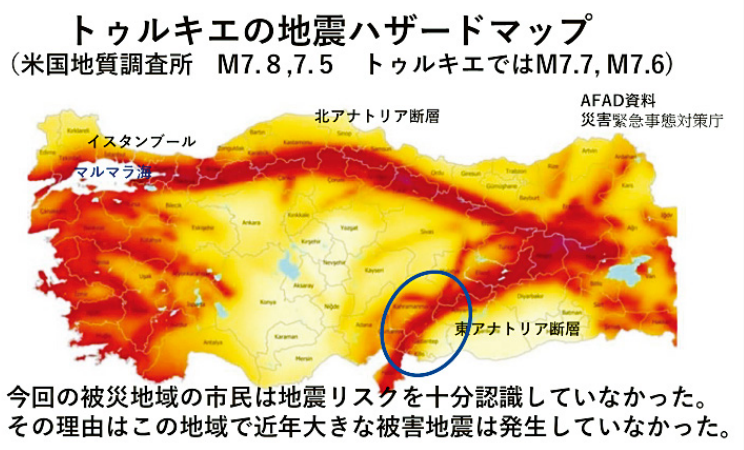


図1 トルコの地震ハザードマップ（AFAD資料より）。濃い赤の地域ほど、地震の強い揺れによる被害のリスクが高いことを示す。青丸は今回の地震が発生した地域。

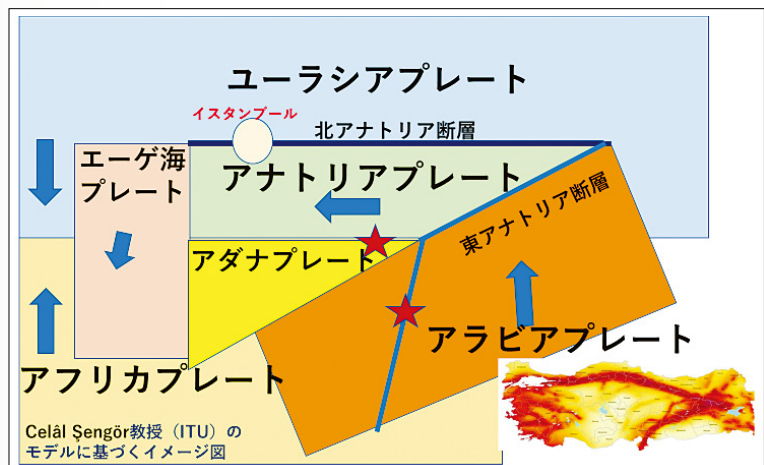


図2 アナトリアプレートとアラビアンプレートならびにアダナプレートの模式図。イスタンブール工科大学 Celâl Şengör 教授のモデルに基づき作成。赤い星印は、今回の地震の震源（地震のすべりが始まった場所）。



図3 地震の被害写真(AFAD資料より)。倒壊した脆弱なビルの両脇には、倒壊を免れたビルがみられる。

なぜ、このような大震災となったのか？

なぜ、この2つの地震がこれほど大きな震災につながったのでしょうか？その要因は次のように考えられます。

(1) 1日の間に2つの大地震が連動発生したことが最大の要因です(図2)。しかも、1つ目の地震では、大きな揺れが2回あったことの影響も大きいと考えられます。(2) 2つの大地震の震源は100km以上離れており、被災地域が広域にわたりました。(3) 被災地域には、軟弱な地盤や谷地形も多く存在しており、地震動の増幅につながりました。(4) 古く脆弱な構造物が多く存在していたことも大きな要因です(図3)。(5) 被災地域ではこれまで長い間、甚大な被害をもたらす地震が起きていませんでした。そのため、地震リスクは指摘されていたものの、市民の地震対策への意識は高くありませんでした。(6) トルコでは、1999年のコジャエリ地震以降、建築物の耐震基準等が強化されてきました。しかし、地震工学技術者が少なく(世界的な傾向)、施工管理や検査システムが不十分だったため、結果として基準に適合しない建築物が多数建設されることになりました。(7) 1つ目の地震の発生時刻が冬の早朝4時であり、迅速な避難が難しい状況でした。(8) 2つ目の地震の震源は1つ目の地震の震源から100km以上離れた地域で起きました。多くの市民は1つ目の地震による被害や救助、救援に注目しており、後続地震への警戒が薄くなっていました。9) 避難

訓練や避難所設営などの事前準備も不足していました。こうした理由が挙げられます。

地震災害軽減に向けて

トルコでは、被災地の復興と被災者の生活再建が喫緊の課題です。さらに、地震災害軽減に向けての課題として、(1)「マルマラ地震」の備えとして、耐震化を推進し、脆弱な構造物を無くして地震に強い街づくりを促進、(2) 緊急地震速報システムの導入、(3) 地震工学技術者の育成促進、(4) 防災教育の推進、(5) 訓練の実施と避難所の指定、などが考えられます。

トルコの防災減災に日本の科学技術も貢献しています。その一つとして、JICA(国際協力機構)-JST(科学技術振興機構)による「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(SATREPS)」の防災課題として、「マルマラ地震」の被害軽減を

目的としたMARTESTプロジェクトが進められています。

このMARTESTプロジェクトは、2023年度から開始された5年間の研究プロジェクトで、主として以下のテーマの研究開発を行っています(図4)。

- ① 耐震化推進研究、地震工学技術者育成
- ② 地震津波減災プラットフォーム研究
- ③ 北アナトリア断層評価のための調査観測研究
- ④ 事業継続計画(BCP)、事前復興ならびに都市災害モデル研究

この研究プロジェクト成果によってトルコの防災・減災に貢献するとともに、日本の防災・減災にも活用したいと考えています。

今回のトルコの大震災では、連動地震リスク、脆弱な構造物リスク、施工時の検査システム欠陥、地震工学技術者不足、地震リスクの認識の重要性、事前復興計画の必要性などの教訓が顕在化しました。

日本においても2016年の熊本地震の前震・本震のように複数の地震が相次いで発生し、連続した強震動で被害が拡大したケースがあります。また、今後危惧される南海トラフ地震の「半割れ」ケースでも、連動地震・強震動リスクが想定されています。このため今後の地震防災の課題として、連動地震・複数の強い地震動への対策が喫緊の課題といえます。1923年の大正関東地震から100年にあたる2023年に発生したトルコの大震災の教訓を、日本、トルコ両国だけでなく、他の地震多発国にも活用することが重要です。

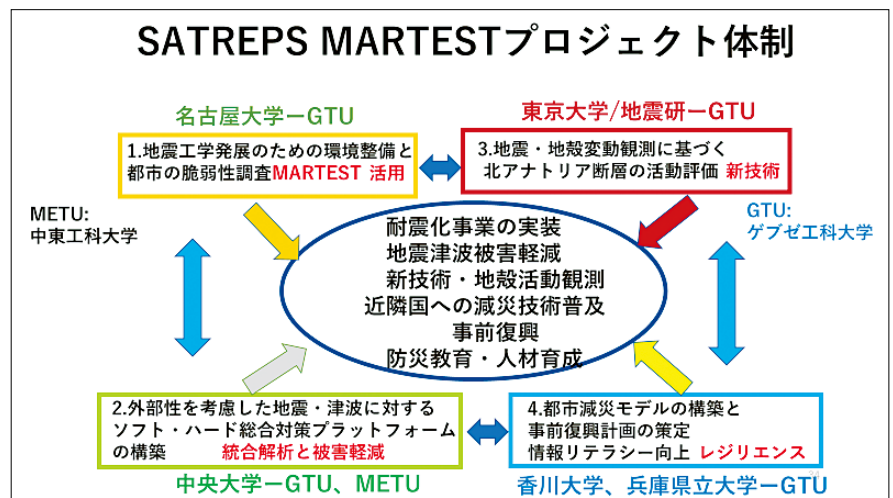


図4 SATREPSのMARTESTプロジェクトの概要。

人工知能と自然知能の対話・協働による地震研究の新展開

Report
3

東京大学地震研究所／東京大学大学院情報理工学系研究科 長尾 大道

人工知能による地震研究が国際的に急速に進められている背景を受け、わが国でも2021年度に文部科学省「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト」(STAR-E プロジェクト)が開始されました。このプロジェクトの一環として、東京大学地震研究所が中核機関となって推進している研究課題「人工知能と自然知能の対話・協働による地震研究の新展開」(SYNTHA-Seis)の中から、約50年前の地震計紙記録からの深層学習による低周波微動検出についてご紹介します。

地震AI研究の加速

21世紀に入って始まった現在の第三次人工知能(AI)ブームは、今や人間社会および生活様式を一変させつつあり、特に囲碁・将棋のように定められたルールの下で明確な目的を達成する場合においては、AIはもはや人間の頭脳をはるかに上回る性能を発揮できるようになっています。地震研究においても2017年頃からAIの導入が国際的に急速に進められており、特にすべての地震研究の第一歩とも言える、地震波形データからP波・S波といった地震波を検出するためのAI技術が多数提案されています(なみふる122号も参照)。その検出能力は経験豊かな地震学者の目を上回ることもしばしばであり、数十年前から日常的に用いられている統計学に基づく地震検出手法が、いずれAIに置き換えられる時代が到来するであろうことを予感させています。わが国では、1995年兵庫県南部地震を契機に整備された二千点以上の地震計からなる地震観測網に加え、近年ではそれをはるかに上回る数の、民間会社が持つ振動計や個人のスマートフォンに内蔵された加速度計を活用した地震研究が検討され始めています。このような「地震超ビッグデータ」から現実的な時間内に情報を余すことなく引き出すために、AIの導入が検討されるようになってきました。そのような背景を受け、2017年度から5年半にわたり実施された科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業CREST「次世代地震計測と最先端ベイズ統計学とによるインテリジェント地震波動解析」(iSeisBayes)を皮切りに、文部科学省「情報科学を活用した地震調査研究プロジェ

クト」(STAR-Eプロジェクト)など、地震学と情報科学の専門家が参画する「情報×地震」の大型プロジェクトが次々に発足しました。

STAR-Eプロジェクトの研究課題の一つとして、東京大学地震研究所は大阪大学大学院基礎工学研究科などの情報科学の専門家との連携による「人工知能と自然知能の対話・協働

による地震研究の新展開」(SYNTHA-Seis)を実施しています¹。現在のAIは素晴らしい結果を出してはくれますが、それに至った思考過程を人間が理解可能となるような形で示すことができません。そのため、より良い結果を得るための検証や、それに基づく手法の更新が困難であることが多く、これまで長期間にわたり「自

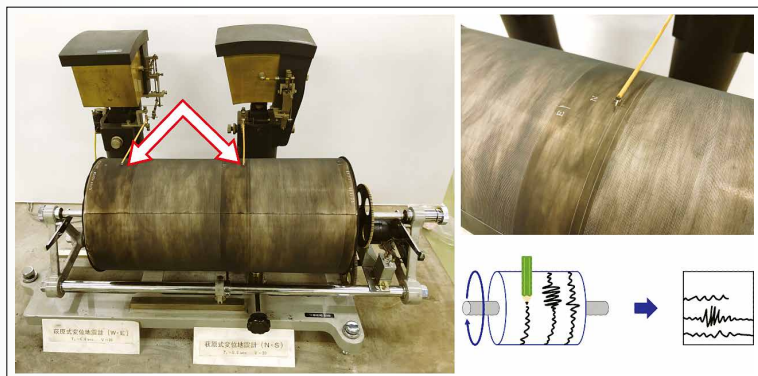


図1 本研究で取り扱ったペン書き方式による機械式地震計よりも、さらに古い時代の煤書き方式による炭原式地震計(東京大学地震研究所蔵)。左の写真の手前の円筒が回転し、巻きつけた記録紙に付着させた煤を右上の写真のように針で掻き取ることで、右下の概念図のように地震波形が記録される。この地震計は水平2方向の動きを2本の針(左の写真中の矢印)で記録している。

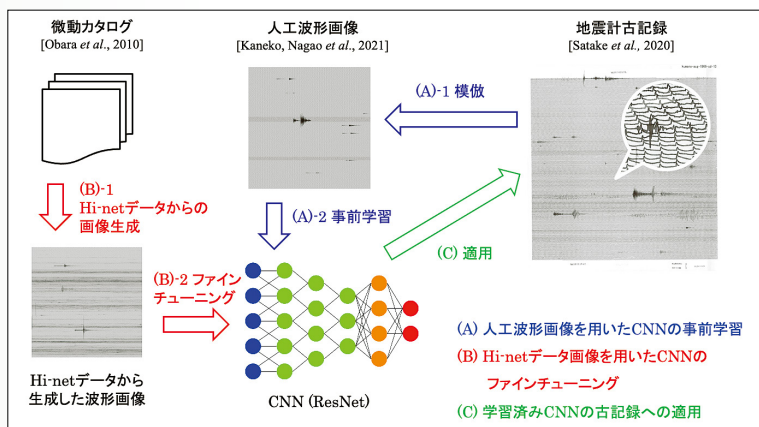


図2 昔の地震計紙記録から低周波微動を検出するためのAI技術の開発²。2段階の学習(A事前学習・Bファインチューニング)を経て構築したCNNを紙記録へ適用(C)する。

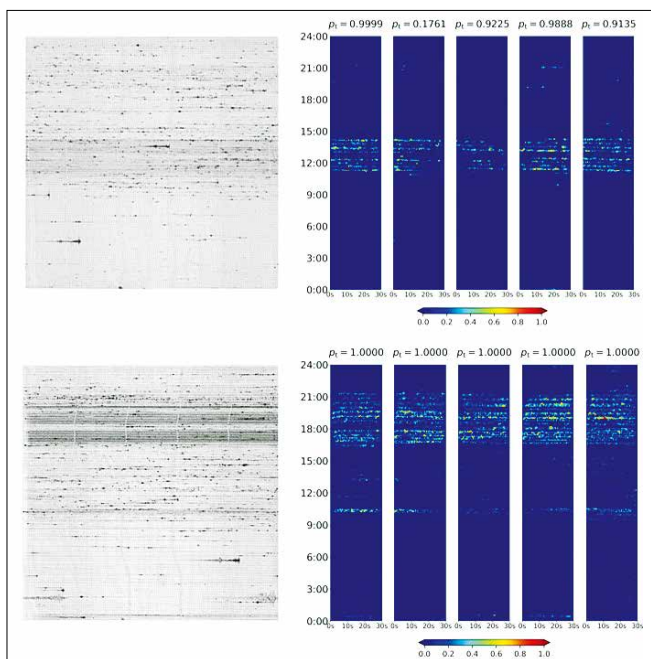


図3 AIによって熊野観測点の地震計紙記録から検出された低周波微動の2つの例³。左は上からそれぞれ1974年9月17日-18日、1974年9月19日-20日の地震波形記録（画像化の際に上下が反転）。右は左の記録それぞれにCNNを適用し、微動を検出した結果。記録を5枚のパネルに分け、それぞれのパネル内における微動の存在可能性の高さを色で表している。色が明るい場所は、左の記録では微動が発生しているように見える（線が太くなったため、黒い帯状に見える）。各パネルの上の数値は、各パネル内に微動が存在する確率。

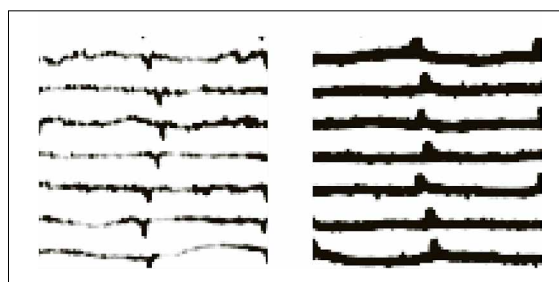


図4 線の太さが異なる例³。ペン先にほこりがたまるなどの理由により、右のように線が太くなってしまった時期があり、CNNはこの時期に常に微動が生じていると誤判定した。それぞれの波形の中央に上下に並んでいるパルスは、波形記録中に時刻を記すための人工的な信号。

したところ、これまでに知られていなかった多数の微動を検出することに成功しました(図3)。本研究で工夫したことの一つとして、Grad-CAMと呼ばれる手法を用いて、紙記録(図3左)のどの部分にCNNが強い反応を示したかを可視化したことが挙げられます(図3右)。これにより、微動の存否確率だけでなく、微動カタログ構築に必要となる微動の発生時刻を同定するための情報も与えることができました。しかしながら、必ずしも検出がうまくいかなかった例もあります。微動検出の成否を「自然知能」によって(人の目で見て)分析したところ、実は紙に波形を描いた際の線の太さに依存するという、紙記録に独特の原因が存在することを突き止めました(図4)³。波形の線が太い特定の時期の記録を、CNNは微動が発生し続けていると誤認してしまったのです。人の目で見れば簡単にわかることですが、それをAIに有効に学習させることは一筋縄ではいきません。他方でAIは我々が気づかない微動の特徴を学習し検出してくれますし、何より大量のデータを一度に扱える素晴らしい処理能力を持っています。AIと自然知能が対話を繰り返し、補い合うことで研究が進んでいきます。今後は、強力な最新式GPU計算機を利用して、より大量の画像データに基づく大規模学習を実施することにより、信頼性の高い微動検出が可能なAI技術を開発していく予定です。

参考文献

- 1 SYNTHA-Seisホームページ: <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/project/SYNTHA-Seis/>
- 2 Kaneko, R., H. Nagao, S. Ito, K. Obara, and H. Tsuruoka, Convolutional neural network to detect deep low-frequency tremors from seismic waveform images, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 12705, pp. 31-43, doi:10.1007/978-3-030-75015-2_4, 2021.
- 3 Kaneko, R., H. Nagao, S. Ito, H. Tsuruoka, and K. Obara, Detection of deep low-frequency tremors from continuous paper records at a station in southwest Japan about 50 years ago based on convolutional neural network, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, Vol. 128, Issue 2, doi:10.1029/2022JB024842, 2023.

然知能」と言うべき人間の頭脳によって蓄積されてきた地震研究のノウハウがAIに取って代わられるまでには、まだ相当の時間を要するものと思われる。SYNTHA-Seisでは、AIと経験豊かな地震研究者の頭脳をうまく調和させた地震AI技術の開発を目指しています。

AIによる昔の地震計紙記録からの低周波微動検出

SYNTHA-Seisで取り組んでいる研究テーマの中から、昔の地震の波形記録に適用可能なAI技術の開発についてご紹介します。地震観測網が全国的に整備されたことにより、21世紀初頭に「スロー地震」という、通常の地震とは異なる現象が発見されました。スロー地震は人間の身体では感じるできない低周波の振動が、時には非常に長時間続くこともあるのが特徴で、2011年に発生した東北地方太平洋沖地震や、100～200年周期で発生している南海トラフ地震のようなプレート境界型大地震と関連していると推測されており、現代の地震学におけるホットな研究テーマとなっています(なるふる120号、131号も参照)。規模が小さなスロー地震は「低周波微動」と呼ばれ、その発生時刻や場所をリスト

化した微動カタログが精力的に作成されていますが、当然ながら地震観測網整備後の約20年分しか存在していません。プレート境界型大地震の発生周期がもっと長いことを考えると、20年以上前の微動カタログを作成することが極めて重要であることは明らかです。

SYNTHA-Seisでは、東京大学地震研究所が約50年前に運営していた和歌山観測所熊野観測点の機械式地震計(図1)によって得られた紙記録から微動を検出するAI技術を開発しました²。紙記録は約1日分の地震波形が金属製の筒に巻かれた1枚の紙にペンで直接記録されており、広げると約150秒の波形が下から上に500本ほど描かれています。本研究の目的は、大量の紙記録の1枚1枚に微動が含まれている確率を計算する畳み込みニューラルネットワーク(CNN)という深層学習モデルを構築することです(図2)。まずは、微動が含まれているかどうかの正解が分かっている画像データをCNNに学習させます。本研究では、実際の紙記録を模した人工波形画像を使って事前学習を行い(図2A)、次に現代の地震観測網のデジタルデータを画像化したデータを使って、正答率が98%以上になるまで学習(ファインチューニング)を続けました(図2B)。

このようにして構築したCNNを熊野観測点の1966～1977年の紙記録に適用(図2C)

「強震動予測－その基礎と応用」 第21回講習会報告(2022年11月29日開催)

北海道大学大学院工学研究院 高井伸雄

日本地震学会強震動委員会では講習会「強震動予測－その基礎と応用」を毎年開催してきました。2021年度は新型コロナウイルス感染症予防の観点から、オンライン形式で開催された本講習会ですが、2022年度は前回のアンケートでオンライン形式を希望する意見も多かったことを踏まえ、ハイブリッド形式(対面会場:東京大学地震研究所1号館2階セミナー室 AB)で2022年11月29日(火)に実施いたしました。今回は「強震動と地下構造」をテーマとし、例年の日本活断層学会と日本地震工学会に加え、物理探査学会にも共催いただき、現地10名、オンライン55名の方にご参加いただきました。

講習会では、まず初めに津田健一講師(清水建設技術研究所)より「地下構造が地震動に与える影響」に関する解説を頂きました。次に川崎慎治講師(地球科学総合研究所)より「深部地盤構造モデルの推定法」に関する解説がなされました。長都夫講師(産業技術総合研究所)からは、「微動を用いた浅部地盤構造モデルの推定法」の解説がなされました。最後に、先名重樹講師(防災科学技術研究所)より「浅部・深部統合地盤構造モデル」と題し、地震調査研究推進本部が構築を推進する浅部・深部統合地盤構造モデルの概要解説がなされました。

受講生へのアンケートでは、いずれの講義に対しても好意的なコメントをいただきました。次年度以降も強震動予測に関わるテーマを設定し、関連する学協会などと連携しながら講習会を企画していく予定ですので、強震動予測に興味をお持ちのみなさまの参加をお待ちしています。最後になりましたが、大変お忙しいなか、講義をお引き受けいただいた講師各位、ご参加いただいた受講生の方々に感謝いたします。

なお、本講習会の過去の配布資料を日本地震学会より頒布しています。購入をご希望の方は日本地震学会事務局までお問い合わせください。また、過去の講習会資料の目次は強震動委員会のwebサイト(<https://www.zisin.jp/kyosindo/kyosin.html>)で公開しております。



講習会現地会場の様子

イベント案内

日本地震学会2023年度秋季大会一般公開セミナー 「関東大震災から100年－過去を学び、 将来に備える－」のお知らせ

2023年は、関東大震災をもたらした前回の関東地震から100年という節目の年にあたります。100年前の関東地震の被害を振り返り、どのような教訓を得たのか、そして「次」の首都直下地震にどう備えるべきかについて、市民の皆様に分かりやすく伝えます。

- 主催：日本地震学会・日本地震工学会
- 日時：2023年11月3日(金・祝) 13:00~16:00
- 場所：はまぎんホール ヴィアマール(横浜市西区みなとみらい3-1-1)
<https://yokohama-viamare.or.jp/viamare.html>

●対象：どなたでも参加いただけます

●参加費：無料

●プログラム：

基調講演：「関東地震と横浜の被害」

東京工業大学 名誉教授 翠川三郎氏

特別講演1：「関東地震の地震像と首都直下地震」

東京大学大学院情報学環・学際情報学府 教授 酒井慎一氏

特別講演2：「地殻変動から探る過去の関東地震と将来の大地震」

気象庁気象研究所 研究官 野田朱美氏

パネルディスカッション：

「切迫する首都直下地震にどう備えるか－産学官の取り組み－」

●申込方法：事前登録制、定員500名

(日本地震学会ウェブサイトより9月頃に申込開始予定)

謝辞

・「主な地震活動」は、国立研究開発法人防災科学技術研究所、北海道大学、弘前大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、高知大学、九州大学、鹿児島大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国土地理院、国立研究開発法人海洋研究開発機構、公益財団法人地震予知総合研究振興会、青森県、東京都、静岡県、神奈川県温泉地学研究所及び気象庁のデータを用いて作成しています。また、2016年熊本地震合同観測グループのオンライン臨時観測点(河原、熊野座)、2022年能登半島における合同地震観測グループによるオンライン臨時観測点(よしが浦温泉、飯田小学校)、米国大学間地震学術連合(IRIS)の観測点(台北、玉峰、寧安橋、玉里、台東)のデータを利用しています。

・「主な地震活動」で使用している地図の作成に当たって、地形データは米国立環境情報センターのETOPO1を使用しています。

広報紙「なるふる」 購読申込のご案内

日本地震学会は広報紙「なるふる」を、3カ月に1回(年間4号)発行しております。「なるふる」の購読をご希望の方は、氏名、住所、電話番号を明記の上、年間購読料を郵便振替で下記振替口座にお振り込み下さい。なお、低解像度の「なるふる」pdfファイル版は日本地震学会ウェブサイトでも無料でご覧になれ、ダウンロードして印刷することもできます。

■年間購読料(送料、税込)

日本地震学会会員 600円

非会員 800円

■振替口座

00120-0-11918 「日本地震学会」

※通信欄に「広報紙希望」とご記入下さい。



日本地震学会広報紙
「なるふる」第134号

2023年8月1日発行
定価150円(税込、送料別)

発行者 公益社団法人 日本地震学会
〒330-0845
埼玉県さいたま市大宮区仲町2-80-1
KS・DiO 205
TEL.048-782-9243
FAX.048-782-9254
(執務日:月~金)
ホームページ
<https://www.zisin.jp/>
E-mail
zisin-koho@tokyo.email.ne.jp

編集者 広報委員会
篠原 雅尚(委員長)
松澤 孝紀(編集長)
桑野 修(副編集長)
土井 一生(副編集長)
生田 領野、石川 有三、入江 さやか、
小泉 尚嗣、小寺 祐貴、佐藤 利典、
白濱 吉起、田所 敬一、田中 聡、
中東 和夫、松島 信一、矢部 康男
印刷 レタープレス(株)

※本紙に掲載された記事等の著作権は日本地震学会に帰属します。