

新たな科学技術を活用した地震調査研究について～データサイエンスを中心として～
(中間とりまとめ)

令和2年9月17日
地震調査研究推進本部政策委員会
新たな科学技術を活用した地震
調査研究に関する専門委員会

1. 背景

平成7年の阪神・淡路大震災を契機に設置された地震調査研究推進本部（以下「本部」という。）では、地震防災対策特別措置法第7条第2項第3号に基づき「地震に関する基盤的調査観測計画」（平成9年8月策定）を定めて、高感度地震観測網（Hi-net）やGNSS連続観測システム（GEONET）など、陸域における観測網の整備が格段に進められ、ゆっくり滑りや深部低周波微動の発見にみられるように、地震現象の理解を深める上で重要な貢献をしてきた。基盤観測網によるデータが次第に蓄積され、流通・公開されることにより、地震現象の理解は着実に進んだ一方で、平成23年3月11日に発生したM9.0の超巨大地震；東北地方太平洋沖地震はまだ多くの課題が残されていたことを示すものとなった。こうした中、令和元年5月に策定された「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）―」（以下「第3期総合基本施策」という。）においては、これまでも衛星データの活用など科学技術の進展に伴い様々な手法の開発に挑戦してきている地震調査研究の分野において、近年のIoT、ビッグデータ、AIを始めとするデータサイエンスといった情報科学分野を含む科学技術の著しい進展も踏まえ、従来の技術による調査研究に加え、新たな科学技術を活用した防災・減災の観点からの更なる社会貢献への期待が示された。

ひるがえって、国外の地震調査研究の動向に目を向けると、米国のファンディング機関であるNational Science Foundationでは、地球科学関連の研究・教育を基に、将来的に必要とされるデータを整備・構築し、地震現象の理解・予測を推進するプログラムとして、情報科学と地球科学の連携を推進するプログラムを実施している。欧州においては地球科学と情報科学の連携に特化したファンディングプログラムはないものの、一般的なファンディングプログラムにおいて採択されている課題の中にはデータサイエンスを活用した地震調査研究に関するものが散見されるなど、情報科学の研究者との協働など情報科学と連携した地震

研究の推進がなされている。また、個別の研究課題に目を移すと、地震信号と非地震信号（ノイズ）の分離に関する研究、室内実験においてこれまで破壊との関係が未解明であったアコースティックエミッションと破壊発生までの時間の相関に関する研究など、機械学習等を用いた多岐にわたる研究が進められており、米国・欧州では、情報科学と連携した地震研究に対するファンディングが進んでいる状況にある。

2. 検討の方向性、考え方

地震本部の第3期総合基本施策においては、新たな科学技術の活用を想定した当面10年間に取り組むべき地震調査研究についての数多く記述がなされており、それらの一部を次のように示すことができる。海域の地震については、「物理モデルに基づく現状把握、地殻変動・地震活動データ等の各種観測データと現実的なモデルに基づいたシミュレーションを活用した（中略）予測手法の高度化が必要である」とし、陸域の地震については、「整備された地震観測網により蓄積された地震活動の分布（中略）、活断層で発生した地震の調査等の情報を統合して評価する手法の開発を進める」とある。また、海域及び陸域に共通したテーマとしては、「統計地震学の手法を用いた大地震後の地震活動の予測に向けた研究及び大地震発生後の揺れの空間分布の予測に向けた研究を行う」としていることに加えて、地震の揺れがもたらす災害の軽減に貢献するため「地震動即時予測の高精度化、迅速化を推進する。特に、同時多点で発生した地震に対する地震動即時予測の精度向上を推進する」こととしている。これらの課題は、現在の地震調査研究上の科学的知見や人的・財政的資源では困難な事柄への挑戦として捉えられるものの、先行する米国・欧州の事例をかんがみれば、情報科学等の新たな科学技術と連携して次のような方向性による研究を進めることによって、当面10年間に取り組むべき地震調査研究に貢献する成果を手にすることができるものとする。

- 地震観測に関してこれまで多様なデータ収集がなされてきており、蓄積されてきたデータをAI等の活用によるデータ処理を行うことにより、人の目では分からない新たな現象の発見などが期待できるとともに、現在の科学的な知見では困難とされている短・中期的な地震予測などにも寄与できると考えられる。
- 観測点配置の最適化、新たな地震観測技術の導入

地震の揺れを観測する強震動観測・高感度観測、地殻変動の観測などを中心とした地震調査研究における観測を実施してきている。一方で、地震のメカニズム、地下における波の挙動など、現時点で未解明な事象も多く存在しているが、今後新たな観測手法が確立されていけば、事象の解明が期待される。例えば、光ケーブル自体をセンサーとするDAS（分布型音響センサー）による線的な地震波の捕捉、光格子時計による精巧な地殻変

動の把握、量子慣性センサーを活用した海底の地殻変動の把握などが考えられる。また、これまで均一に配置し、全国を網羅的に観測してきた従来の地震計について、機械学習、ベイズ最適化、シミュレーション等を活用により最適な地震計配置を実施し、ターゲットとする震源についてはより精細な地震像の分析が実施できるようになるとともに、効率的な地震計の運用に寄与すると考えられる。

- 南海トラフ地震等の評価に向けた地震・地殻変動等の統合的な評価の導入

地震本部地震調査委員会では、大きな地震が発生した際や毎月の地震活動についての現状評価及び長期評価を実施している。これらの評価においては、過去と現在の地震活動、地殻変動等の各分析結果を踏まえ、主として統計学的に総合的な評価を行っている。上述の新たな観測手法により得られるデータを含め、各種観測データを統合し、データ間の関係性などに関する統合的な分析（例えば、超高性能計算（HPC）による3次元物理モデルによる解析）を実施することにより、地震像の解明・評価・予測が高精度になることが考えられる。

- 海域及び内陸の地震における余震予測の空間的評価への進展

地震本部地震調査委員会では、大きな地震が発生した際には臨時に会議を開催し、地震の評価を実施しているとともに、地震後の地震活動の見通しについての情報を提供している。そして、余震確率に基づいた数値的見通しについても情報提供を行っているが、現時点では、時間経過を踏まえた分析はできているものの、空間的な余震発生と、それに伴う揺れの分析については容易ではない状況にある。空間的な分析を可能とするためには機械学習等の情報科学を活用することが考えられる。

3. 取り組むべき課題

これまで蓄積されてきた観測データを活用し、地震調査研究をより一層推進し、地震防災・減災や地震現象の解明に活かすためには、常時観測されている多様な地震計測データを解析して地震に関する情報を抽出する方法を研究開発することが望まれる。このためには、新たな科学技術、とりわけ情報科学等との連携が必須となる。その際、機械学習やデータサイエンスなど情報科学の知識・スキルが必要とされる手法については、情報科学分野の研究者と共に取り組むことにより、効率的かつ効果的に進めることが重要である。

また、蓄積されてきた観測データの分析を円滑に行うためには、当該データに前処理を施していないものや、フォーマットが異なるなど、すぐにデータ分析にかけられる状態でないものもあることから、海外の研究者からの容易なアクセスなどデータ利用の裾野拡大を念頭

に置いて、予めそれらが整理されたデータベースが整備されていることが重要である。

これらの観点を踏まえ、2. で記述した研究を速やかに実行に移すにあたっては次のような具体的な取り組みを実施することが求められる。

- 情報科学など、地震学と異なる分野の研究者と協働を推進するため、協働を促す場としての研究プログラムを構築する
- 各研究種の課題におけるデータ分析に必要な事項（分析作業の円滑な開始を可能にするデータベースの整備、各種計算結果のデータベース化等）は費用対効果も考慮しつつ、横断的に精査のうえ、取り組むこととする。
- 地震観測において、取得データから地震波を抽出（ノイズと信号の分離）することが研究において基礎的な段階であるとともに重要であるため、自動的かつ高精度に分離を実施する
- 過去の大地震時における複数観測データの本震前（前震）及び本震後（余震）の特徴量の抽出を実施することも含め、多様な観測データについて、観測種毎のアノマリー（異常）・特徴量のビッグデータからの抽出を実施する

4. おわりに

本専門委員会においては、これまでの地震調査研究におけるデータ蓄積の状況、第3期総合基本施策、海外の地震調査研究と情報科学等との連携の動向を踏まえつつ、今後の地震調査研究をより一層推進するための新たな科学技術の活用について議論を行ってきたところ、本中間まとめにおいては、今後の検討の方向性として、これまで蓄積した観測データから新たな知見等を抽出することに挑戦することに加え、地震調査委員会の評価、観測手法などを進化させるために情報科学等を活用することを整理した。

したがって、当面、本中間まとめで整理した「取り組むべき課題」を着実に推進することにより、地震調査研究のより一層の推進が必要と考えられる。

最後に、本中間とりまとめは、地震調査研究において情報科学との協働を推挙するものであるが、本委員会における検討は、第3期基本総合施策にあるように、情報科学にとどまるものではなく、「取り組むべき課題」の進展等による新たな知見の集積により、さらなる先進的な観測機器や手法、技術の活用を指向していることを改めて示して本稿を締めくくりたい。

Automation

機械学習により、ノイズと地震波の分離を自動的かつ高精度に実施（いわゆるPicking）

- ◆ 地震カタログの充実
大きな地震しかなかった地震カタログ（場所・規模）に小さな地震にまで範囲を広げることが可能
- ◆ 緊急地震速報の高精度化
地震波（P波）の伝播がより正確に把握できることが可能となれば、震源の位置及び地震規模の推定の精度が高くなり、緊急地震速報の精度が高まる
→**防災に貢献**
- ◆ 強震動データの整備
工学分野での活用のため、地震波と震源・マグニチュード等の情報を紐づけたデータを整備する
→**建築等工学分野に貢献**

Modeling (Simulation)

地震の伝播、複数観測データ種による地震発生・伝播モデルを作成し、シミュレーションを実施

- ◆ 地震伝播モデルの高度化
これまで全国均一に配置・観測してきた観測点について、機械学習による地震伝播モデルの高度化
- ◆ 異観測種データ統合
これまで観測種（地震波、地殻変動 等）毎に分析を行ってきた評価について、統合的に解析を行うことを目的とした統合データセットの整備

① 空間的余震・震度予測アルゴリズムの作成

これまで困難であった本震発生直後の余震の予測を、検知率の時間変化の推定により、本震発生後の迅速な余震予測が可能となる。また、詳細な震源と揺れのカatalogにより、余震の震度分布予測が可能となる。

→**地震調査研究推進本部における余震評価等に貢献**

② 観測点の配置最適化モデルの作成

機械学習による地震伝播モデルの高度化により、地震像を正確に把握するための最適な観測点配置の割り出しが可能となる。

→**観測点数の効率化、光ケーブル、量子等を新たな技術活用した観測の重点化**

③ 異観測データ統合モデルの作成

統合データセットの整備により、統合的な地震の解析が可能となる。

→**地震調査研究推進本部における現状評価、南海トラフ評価検討会に貢献**

Discovery

これらの過程でdiscoveryがある可能性

地震メカニズムの
解明
地震の予測の高度化
(短期予測含む)
防災への貢献

上記取組みの基礎となるデータベースの整備、情報科学と地震学のネットワーク強化