

地震調査研究推進本部政策委員会  
第2回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  
議事要旨

1. 日時 令和2年4月20日(月) 15時00分～16時47分

2. 場所 文部科学省(合同庁舎第7号館東館) 18F1会議室  
東京都千代田区霞が関3-2-2

3. 議題

- (1) 新たな科学技術を活用した地震調査研究について
- (2) その他

4. 配付資料

- 資料 新2-(1) 地震調査研究における情報科学との連携状況に関する海外調査
- 資料 新2-(2) AIによる地震ハザード評価の信頼性向上のための研究
- 参考 新2-(1) 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)―

5. 構成員

(主 査)

北川 源四郎 国立大学法人東京大学数理・情報教育研究センター特任教授

(委 員)

長谷川 昭 国立大学法人東北大学名誉教授

平 田 直 国立研究開発法人防災科学技術研究所首都圏レジリエンス研究センター長

平 原 和 朗 国立大学法人京都大学名誉教授/国立研究開発法人理化学研究所革新知能統合研究センター非常勤研究員

堀 宗 朗 国立研究開発法人海洋研究開発機構付加価値情報創生部門長

三 宅 弘 恵 国立大学法人東京大学地震研究所准教授

(専門家)

高 井・白 川 EYアドバイザー・アンド・コンサルティング株式会社

藤 原 広 行 国立研究開発法人防災科学技術研究所

(事務局)

生 川 浩 史 文部科学省研究開発局長

岡 村 直 子 大臣官房審議官(研究開発局担当)

工 藤 雄 之 研究開発局地震・防災研究課長

齋 藤 憲一郎 研究開発局地震・防災研究課防災科学技術推進室長

青 木 重 樹 研究開発局地震・防災研究課地震調査管理官

水 藤 尚 研究開発局地震・防災研究課地震調査研究企画官

中 出 雅 大 研究開発局地震・防災研究課課長補佐

加藤 尚之 文部科学省科学官  
矢部 康男 文部科学省学術調査官

## 6. 議事概要

### (1) 新たな科学技術を活用した地震調査研究について

○資料 新2-(1)に基づき、地震調査研究における情報科学との連携状況に関する海外調査について、EYアドバイザー・アンド・コンサルティング株式会社より紹介。主な意見は次の通り。

- 【堀委員】** 地震分野のAI研究が、総額幾ら位で推移し地震分野以外の地球科学分野と比較した金額と応募件数等の集計データなどは整理されているか。
- 【EY】** 今回扱ったファンディング事例については、金額は概ね把握している。経年でどの程度変化しているか、他の分野と比較してどの程度のサイズ感なのかは整理していない。今回調査したファンディング事例の額の規模感については、別途送付した成果報告書に記載している。地震以外の地球科学分野を含めた全体の割合は、概ね地震科学がどの位のポジションで、そのうちAIを使ったものがどの位かの概数ならば、今回の調査対象機関から算出はできるかもしれないので検討したい。
- 【平田委員】** インタビューを受けた各研究者の、400万ユーロや200万ユーロといった通年でファンディングされている金額は、AIを使った研究ではなく全ての研究の総額なのか。
- 【EY】** 11ページにERCのファンディングの額の内訳として、F-IMAGE、SEISMAZE、及び、一番下のMONIFaultsに記載している。これらの研究の総額として、ファンディング額が支給されている。
- 【平田委員】** 日本円で換算すれば、数年間で数億円。生命科学や情報科学の予算規模に対し、地球科学、固体地球物理、地震学を限定する必要はない。固体地球物理学がどの位なのか重要であるため、可能であれば整理して欲しい。
- 【平原委員】** 他の分野に加えて、むしろ地球科学の中での地震分野に比較して気象や海洋の機会学習に対する取組を知りたい。可能であれば併せてお願いしたい。
- 【北川主査】** データドリブンのサイエンスでは、データシェアリングが大事。紹介の中で非常に印象に残ったのは、ほぼ全ての方が、日本のデータは特別なフォーマットのため、海外から使いづらいという意見。これについて、事情などを説明いただきたい。
- 【平田委員】** 日本の地震のデータについては、阪神・淡路大震災の後に地震本部が設置され、その後、高感度の地震観測網、Hi-netが構築され、取得したデ

ータは、日本の研究者には問題なく流通している。その時採用した地震波形の原データのデータフォーマットは、日本人が開発したフォーマットであり、アメリカが主導しているフォーマットとは異なる。当初はドキュメントが日本語しかなく、日本語のホームページからダウンロードするには、日本語が読み取れないと使えないことが、海外のヨーロッパやアメリカなどからデータを使用する際の障壁になっていた。但し、フォーマットは完全に定義されているので、それを変換すること自体ほとんど問題はなく、例えばBerozaにおいて日本のデータを多数利用している。防災科研のHi-netのホームページは、最近英語化された。最大の問題点は、言語以上に数十テラバイトの伝送が2週間かかる通信回線の速度であり、非常に速い回線が、ヨーロッパと日本、日本とアメリカの間には無いため、これが最大のネックになっている。人工衛星を使った画像データのグループの持っている通信回線のインフラとは大分違うところがネックになっているが、今後情報科学が進展していく中で解決されていくので、日本のフォーマットが独自だから使いづらいというのは、纏め方として適切ではないと思う。

**【北川主査】** 門外漢から見ればライフサイエンスでは、世界三極とって日本がその1つで、どこに登録しても全部がミラーサイトになっており、共通のセットとして、どこからでも利用できる。そういう状況であれば、海外からも参入して、データの有効利用がされると思う。

**【平田委員】** 全く同感。知人のアメリカ人、ヨーロッパ人も、地震研を訪れる度にどうして日本は独自の仕組みでやっているのかを問われ、様々な理由があってディフェンスしている。アメリカとヨーロッパと日本において完全なミラーサイトがあり、自由に使える環境が作れば良い。文科省の会議なので強調しておきますが、残念ながら日本の地震学は極めてドメスティックに発展してきたため、データを国際的に利用することについては、まだまだ不十分などところがある。このことは第3期の総合基本施策の中に地震学をもう少し国際化する必要があると記載されており、セットとして環境を作り出す必要があると思う。

**【堀委員】** お二人の意見に完全に同意する。視点を変えると、データの有効利用のためのインフラの設計が大事。研究者の超人的な努力で何とか国内のデータ利用の作業を処理している状況のように見受けられる。他分野のようなデータの有効利用を進めるためには、その運用を含め、インフラを設計すべきと思う。

**【長谷川委員】** 阪神・淡路の後、Hi-netを構築しデータを流通させ公開することを前提に、今現在、地震のデータが公開され誰もが使えるような状況になっている。それまでは、データを作った人達だけしか使えない状況から一気に状況が変わった。しかし、外国から見たら使いづらい理由は、平田委員の説明に補足すると、現在の地震の基盤観測網のデータは、Hi-netだけではなく、大学と気象庁の観測網も併せて基盤観測網になっている。

それぞれのデータを全て使うためには、データを作っている側に承諾を得なければならない。この手続が必要なため、外国側から見れば、その作業は非常に分かりづらく、どうして良いのか分からないことから、日本の研究者と共同研究を行う。このことも敷居が高くなっている1つの原因。先程、堀委員が言われたことは全くその通りで、基盤観測網を作った時、第1期の総合基本施策の下に議論して、基盤観測のデータの流通・公開を行った。今回は、もう一段上げ、今隘路になっているところを取り払う努力を第3期の総合基本施策の下で行っていきべきと思う。地震のデータ、GPSのデータは、ある意味流通・公開されており、敷居は高いにしても、誰でも使えるような状況にはなっているが、その他のデータも同時に利用できることが、この地震学にとって非常に重要。例えば、歪計、傾斜計など必ずしも流通・公開されていないデータ全てを含めて議論し、どうしたら良いのかを、この委員会等で検討していくべきではないかと思う。

【北川主査】 統合的利用は非常に大事なこと。先程の報告で印象的なのは、2人の方が、従来のように地震の起こった周りだけのデータを保存するだけではなく、全データが必要と言われた。今後データドリブンで推進していく時に、今まで以上に広範囲のデータを集めていく必要があると思う。文科省の方が理解頂き、そこに資源を投入いただきたいと思う。

【平田委員】 阪神・淡路の後、Hi-netを構築した際に、震源のところだけを保存する、震源以外のところも保存する、この2つの考えがあった。今、非常に重要視している低周波微動や、ゆっくり滑りに関連したデータが震源以外のところで発見されている。防災科研には少なくともデジタル記録として原記録が完全に連続で大量に保存されているが、使いやすい形にはなっていない。オンラインで誰もが自分のワークステーションから簡単にアクセスできる仕組みが出来ると良い。

【北川主査】 次の報告に進みます。

○資料 新2-(2)に基づき、AIによる地震ハザード評価の信頼性向上のための研究について、藤原専門家より紹介。主な意見は次の通り。

【堀委員】 データを使ったプログラムの開発や、そのプログラムを維持するための努力として、どういうことを考えているのか。

【藤原専門家】 とても重要なところで、地震分野のコミュニティはまだ小さく、プログラムを開発して皆で組織的に作って維持しようとするところがまだ弱い。防災科研では地震本部で進めている地震動予測地図のプロジェクトなどで発生する大量の計算を行うため、ある程度チームとして使えるコードなど一式を揃えたが、まだ全然発展させる部分では足りていないのが正直なところ。例えば地下構造のモデルに手を加える部分や、地下構造の三次元震源モデルを全てモジュール化し使用できるようにすることを考えているが、

少しずつ行っているのが正直なところ。

- 【堀委員】** データの維持管理の際、データの品質を維持することが大事。また、シミュレーションというキーワードが出た際には、シミュレーションを実行するプログラムの品質を高めていくかという視点も重要であると思う。データだけではなく、データを使ったシミュレーションのためには、プログラムの充実が大事な課題である。
- 【平田委員】** 全く違う観点から11ページの短周期を含む広帯域地震動、面的評価について、ここで面的な評価ができないのは、離散的に飛び飛びに観測している観測データから間を内挿することが必要であることと、地震動の短周期まで含めるとつまり広帯域化することは、本質的には震源が広帯域であることと、地下構造の不均質性が広帯域であることの両方が観測できていないことが要因である。何かそれを組み合わせて作り出すことは、無いデータを作り出すように見えて、非常に不思議な感じがする。これによって作り出された波形は何に使われるのか。
- 【藤原専門家】** 平田委員のご指摘の通り、無い部分を作るためには、幾つかの情報を失わなければいけない。本当は三次元の詳細な地下構想のモデルと、震源の詳細な破壊過程、全部があって初めてこの無い部分が埋まることになる。ところが、無い中での補完という形になり、そのために予測するところは、1つの決定論的に1個の確実で決定論的に与えられた値を作るというよりは、不確実さを考慮した確率分布の形でこの無い部分のデータを埋めていくことをやらざるを得ないと考える。一方で確率分布風に与える時に関しても、平均値とそのばらつき具合を、可能な限り今あるデータから幅を狭める。そこがとても大切。その技術として様々なシミュレーションとか、AIの技術を使っていきたいと考えている。これは何に使われるかという、地震のハザード評価で、最終的にはリスクを評価するものとして使う。平均値だけではなく、例えば $+1\sigma$ とか、 $2\sigma$ とか、ある程度余裕度を持つとき、ばらつきや不確定性の度合いに応じてどの程度の余裕を持たせれば良いかをある程度定量的に見定める。そのためのデータとして使いたいと考えている。
- 【平田委員】** 言われた内容は理解した。それが賛成かどうかは別としても、どういう趣旨で説明されているかは理解できた。
- 【長谷川委員】** 強震動統一データベースが非常に重要だと思う。これを作成するのにどの位の作業量というか、どの位大変なものであって、今現在、どの位まで出来ているか。
- 【藤原専門家】** 6ページのデータベースは、今現在、具体的に施策を進めている防災科研が直接管理しているK-NETとKiK-netに限った部分。K-NETやKiK-netの波形データの部分については、直接管理データベースにアクセスすることができるので、ある程度手を加えることは可能。一方で、それに対して他の観

測網とか気象庁のデータを紐づけていく作業は、いろいろ大変なところもあり、特に震源モデルの研究的に得られたデータと観測記録を結び付けるには、様々な研究成果があるので、きちんと紐づけを行うには随分作業量がかかりまだ完全には出来ていない。例えば年間数名程度の専属技術者、研究者を張り付けて、複数年にわたり作業を行わなければしっかりとしたデータベースに育たないのではないのか、これに加えて、例えば他の機関、気象庁とか、或いは全く手が付いていない自治体のデータとかも含めてデータベースを作成しようとする、元データの掘り起こしのところから始まる部分もあり、もっと人手のかかる作業を行わなければ完成して行かないという感じがしている。

【長谷川委員】 手間のかかる作業に時間をかけてでも行っていくのか。

【藤原専門家】 やるべきと感じており、せっかく日本で蓄積されたデータを、国内のみならず、国際的にも生かすためには、蓄積したデータを100%使えるデータベースにする必要がある。これまで多額の予算を執行し長年にわたる皆さんの努力が生きてこない。

【長谷川委員】 日本の地震のデータは、強震動のデータも非常に貴重。先程のデータシェアの話は、強震動ではなく観測データの話でしたが、その貴重なデータをいかに有効に活用するかという点では、この強震動のデータも同じ。是非とも進めていただきたい。

【平原委員】 藤原専門家が紹介されたのは、揺れの予測で、最初の分類でいうと、Modelingに当たるものか。

【藤原専門家】 これはModelingだと考える。

【平原委員】 Automationも行っているのか。

【藤原専門家】 強震動のチームは、Automationの部分は、ほとんど今は行っていないが、Hi-netのチームは、Automationの部分も機械学習を使った取組を行っている。

【平原委員】 Discoveryという、かなり難しくなるが、防災科研は地震カタログを蓄積されており、そういうものを活用することを検討されているか。

【藤原専門家】 まだ手を動かして具体的な作業を行うところまでは至っていない。いろいろ構想段階で所内でも幾つかの議論はある、まだその段階。

【平原委員】 多分世界的に見てもまだAutomationとModelingが始まったところぐらい。例えば地震の活動データと、地殻変動データとか、それから地震の予測が本当はターゲットになると思うが、これらはこれからということか。

【藤原専門家】 これからと思う。

【北川主査】 Modelingについて、普通のデータ同化の考えでは、シミュレーションモデルにデータを統合してモデルを改善していくイメージですが、3ページのスライド等を見ると、PBSデータと観測データからモデルを改良して、更に新しいデータを作る感じですが、従来のデータ同化の仕方と違うイメージなのか。

【藤原専門家】 既に山のようなデータがある分野ではない。シミュレーションで新たな解析用のデータを作らないと、さらにその先になかなか進めない。信頼性とかのいろいろな課題があり、新しいデータのシミュレーションを援用しながら作りつつ、AIと結び付けて研究を進めていく、そんなことができないかと考えている。

【北川主査】 一般的な話として深層学習等を使う時の問題の1つは、サイエンス或いは工学的に重要な部分のデータがほとんど無く、いわゆる外挿になるということ。もう1つは、データが非常に少ないために、これまで深層学習が成功してきたのは画像。画像の場合は通常、シフト或いは拡大、回転に不変なデータですが、多分地球科学のデータはそうではなく、そこを克服するためにシミュレーションを使ってデータを増やすことが必要。従来成功していたところと違うところでデータを増やす必要があると感じ、非常にチャレンジングで面白い課題であると個人的に思った。

【三宅委員】 北川主査が言われた、非常にチャレンジングな頻度が少ないデータにどう立ち向かうかは大きな課題と思う。勿論シミュレーションの活用も大いに期待できるが、数学的な視点として、極値統計や、そういった方面のアプローチを混ぜることについて、藤原専門家はどうか考えるのか。

【藤原専門家】 モデルを決定論的に1つの値にするまでには至らないと考えており、今強震動の予測では、対数正規分布とか、非常に簡便な確率分布を使うのが主流。データを沢山増やすことにより、外挿領域の特に重要なところでは、いろいろな物理的な制約から分布形状が、対数正規にはならない可能性があると考えている。そういった部分を深め適切な確率分布は何なのかを併せて、そういったところまで研究が進めば大変興味深いと感じている。

【平田委員】 最初の調査報告の9ページの情報科学の外部研究者Zachary Ross氏について、前回の長尾専門家のグループとCREST研究の一部で招聘して交流があり、彼の機械学習の方法や自動検測の手法を日本のHi-netのデータも含めて解析をすることを防災科研のチームと大学のチームと連携し、先行的に東北大学のグループが進めているが、日本でも新しい現象を発見する方向も重要と思い今進めている。

【三宅委員】 第1回は、諸般の事情で欠席した。事前説明時に、地震のデータと測地のデータを組み合わせることで、より新しい世界が見えてくることを期待し

ている旨を伺い、期待も含めて、これまでの議論を紹介いただきたい。

【工藤課長】 前回、委員の皆様には、複数の観測データを機械学習等を用いて統合することによって新たに見えてくるもの、先程のご報告にもありました地震動データからノイズを自動的にピックアップすることにより、地震データそのものを増やすことなどを新たな科学技術による地震調査研究の手法としてご提示させていただいたところ、複数の委員から今後の取り組みへの期待の言葉を頂いた。本日の議論を拝見し、やはりデータから新しいものを導き出すにあたりやらなければいけないことを認識すると共に、それぞれの研究現場で苦労されていることを実感した。詳細は、議事録が出来た段階で、三宅委員に一読いただきたい。

【堀委員】 E Yの調査報告は非常に貴重なのでヒアリング結果を基に、この調査結果をどのように生かすために何を分析して、その分析をどのように使う予定かを工藤課長に伺いたい。

【工藤課長】 元々この調査計画の1つのアイデアとしては、深層学習、機械学習を用いて地震学が、今、世界的にどうなっているのかについて、他国での状況をまずは把握することを1つの目的とした。今回E Yの調査に関しては、現状把握に基本的にはとどまっているものの、今この場で委員の皆様にご議論いただいている内容は、今後の施策に活かす方策を検討する。E Yの海外の状況がどういう形でどうしてこうなっているのか、それに対して我々はどういうふうなことを取り組んで行くのかを、今後方向性を示させていただければと考えている。

【堀委員】 調査自体はこれで終わりだと推測するが、この調査結果を分析して次の施策等に繋げる際には、是非、他分野との比較という視点を大事にして欲しい。特にデータ科学のような、いろいろな分野に関わっているところとの取組を進める際には、他分野との比較で現状を分析した上で対応する施策を考えるのが自然なように思う。是非分析を検討して欲しい。

【工藤課長】 御指摘ありがとうございます。また相談させていただきたい。

【北川主査】 AIという意味では、中国もかなり進んでいて、地震は結構起こっており、AIは強いというところで、その辺の動きなどの情報があれば伺いたい。

【E Y】 今回、欧州・米国を中心に調査し中国の状況、ファンディングの動向など、研究の動向まで細かく見てはいない。但し、調査した中で中国系の研究者の名前がGoogle Scholar等で挙がっているケースも散見されたので、それなりに研究は少し盛んになってきていると考えている。今、あまり中国系の動向についてファクトとして示せるものはないが、調査した感想として今のようなことがあると思う。

【北川主査】 今後、我が国の取組を検討する上で参考になる意見を伺いたい。



【平原委員】 世界の情勢、日本も多分そうですが、今、AutomationとModelingとDiscoveryと、これの分け方が良いのかは分からないが、少なくともAutomationのところは盛んに行っている。平田委員も言われたように、日本でも読み取りの自動化、地震の波形の区別、スロースリップまで含めて行うことが第一に完成すると思う。その後、Modelingは、多分E Yが言われたのは、ハザードを予測ということで揺れの予測、これも強震の実データが少ないなど問題があり、シミュレーションでどこまでカバーできるかは難しいが、これもある程度見通しはあると思う。全くできていないのが、地震活動とか、地殻変動を用いて地震の発生予測といったもの。これは世界でも多分多くの人々がAIを使って行いたいと思っているが、なかなか進んでいないように思う。そういったところをどうすれば良いのか。今回調査した段階では、何か世界で見えるようなものはなかったでしょうか。Discoveryで、実験室データの予測から、カスケードで微動から地殻変動を予測するのがある。それが予測につながるような、というのが1つと、Coulomb Failure、余震活動とどういった応力変化が対応するのが1つある。

【E Y】 幾つか研究事例をリスト化した上で、今後は、該当するようなものがあるかについて、可能であれば検討したい。

【平田委員】 平原委員の補足ですが、尾形先生のグループが作られたETASというモデルがあり、これはまさにエピデミックで感染モデルです。今のところ、これが一番上手くいっている地震学的な常識。機械学習を使ってETASモデルに代わるようなモデルを作る研究は世界的に行われつつあるが、上手くいっていない。古典的なETASモデルのベイズ的なパラメータフィッティングの方が今のところは良いので、物理的な根拠を持った制約を与えたモデルの方が完全な機械学習よりも良いというのが現状。恐らく将来は、中小の地震については、機械学習を使って将来の地震活動を時空間で予測するモデルができるはず。これは地震学のフィールドというよりは、むしろ情報科学の学会等或いはジャーナルで発表されている。もし今回の調査でそういった文献があれば、整理していただきたい。キーワードとして、地震活動の予測とAIを組み合わせというものは幾つか知っているが、それを組織的に研究する必要があると思っている。

【北川主査】 地震の発生予測は、極めて難しいかと思いますが、一方で、機械学習からいうと、異常発見とか異常検出、それはむしろ得意な方で、将来の可能性はあると思う。この間のAIとか機械学習の発展は、スケールの壁をかなり突破したことで、従来人間の手作業を、機械でフルに調べて行うことができる。そこをうまく活用して行くと、非常に難しい問題でも可能性があると考えている。

【長谷川委員】 紹介されたヨーロッパとアメリカの事例の中の1つの実験室で地震の発生を予測する事例について、地震の前にAEが発生しますが、それを継続してモニタリングしていくと最後に破壊に至る直前でシグナルが出てくるとい

うようなものと理解しますが、自然地震の場合は、連続するAEに相当するような情報のデータが余り出てこない。次から次へと何らかの震源付近からの信号が、地表の地震計等の観測計器に伝わってこないのは、センサーが震源から離れているからと思う。センサーで得られる信号が自然地震の場合には非常に少なく、実験室で行うものと比べどうしても弱くなるという点があると思う。センサーを可能な限り震源に近づけて設置する、或いは、可能な限り多点に設置する、それらに加えて、いかに全てのセンサーから得られる信号を統合するかということが非常に重要なことであり、アプローチの上では非常に有効であると思う。つまり、データが少な過ぎるので、得られるデータの全てを活用するには、地震計の連続記録のデータのみならず、地殻変動のデータ、GPS、InSAR、歪計、傾斜計、圧力計などのデータの全てを活用して、震源域で何が起きているのかを理解し、最終的には予測に結び付けていく。予測が可能かどうかは別にして、そういうプロセスを経ないと、とてもできないと思う。データシェアは非常に重要で、この委員会でも是非、具体的に検討し詰めて行きたいと思う。

【北川主査】 全てのデータを使って情報統合していくことが必要ということは、非常に重要な指摘。

【平田委員】 例えばマシンラーニングやAIとか、地震発生予測で検索すると、すぐに実験室での予測ができるような論文が発見できる。例えば、実験室でAIを見ていると、大きな滑りが発生するような論文はいろいろあり、そういうことは割りと簡単ではないが、具体的にできる。現実の地震活動はまだ難しいが、ETASレベルのモデルを時空間も入れたモデルに改良するのに、マシンラーニングとかは、非常に役に立つと思う。

— 了 —