

地震調査研究推進本部政策委員会  
第3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6月22日(月) 13時00分～14時34分

2. 場所 WEB会議形式での開催

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3-(1)-1 蓄積してきた調査観測の知見のHPC技術等による活用
- 資料 新3-(1)-2 災害軽減へ向けて理学・工学をつなぐ計算科学
- 資料 新3-(2) 新たな科学技術を活用した地震調査研究フローイメージ
- 資料 新3-(3) 新たな科学技術を活用した地震調査研究(中間とりまとめの項目案)
- 参考 新3-(1) 地震調査研究の推進についてー地震に関する観測、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)ー
- 参考 新3-(2) 第1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
- 参考 新3-(3) 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

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推進センター長

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)

堀 高峰 国立研究開発法人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

市村 強 国立大学法人東京大学地震研究所計算地球科学研究センター

(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3-(1)-1に基づき、「蓄積してきた調査観測の知見のHPC技術等による活用」について、堀専門家より紹介。続けて、新3-(1)-2に基づき、「災害軽減へ向けて理学・工学をつなぐ計算科学」について、市村専門家より紹介。主な意見は次の通り。

平田委員：大変興味深く聞かせていただいた。紹介された方向でブレークスルーがあり、地球物理学や地震学にその成果や知見を取り入れ、今後進めて行く地震本部の10年を見据えた計画に大変重要。是非、一緒に実施し努力していただきたい。注意する点は、市村専門家のモデルで非常に自由度が大きいモデルを、自動生成が出来るところが重要な点です。例えば地表、地形、海底地形と精々地盤の深度位までは、空間的に高解能のモデルが出来つつある。一方で、深さ10キロメートル位の地下構造のモデル弾性定数の分布は、現状ではまだ分かっておらず、ボトルネックになっている。勿論、地表で例えばGPS、或いはSARのデータが利用可能になり、地殻変動のデータは空間分解能、時間分解能が圧倒的に良くなり、それを使って、地下の弾性定数の分布や非弾性定数の分布を逆問題で解くためには、まさにこの仕組みが利用出来るのは非常に心強い。しかし、例えば都市の建物の構造とかガスの配置は、人間が造ったもので原理的には、必ずしも詳細なものは無いとしても、設計図がある。地下10キロメートル、20キロメートル、或いはプレートの形状は、堀専門家らが非常に詳細なモデルを作っているが、精々数キロメートルの分解能しかない。物理探査の手法を使えば、海底下の深さ5キロメートル位までは、非常に超高性能の高分解能のデータが、やっと3次的に得られるようになってきた。ハイパフォーマンスコンピューティングのアルゴリズムの開発と、詳細なモデルを作ることを両輪として行っていく。今すぐには出来ないで、少なくとも地形はかなり詳しく、地質学者が知っている情報は全部取り入れるところまでは行っていると思う。一昔前には全く出来そうもないことが、市村専門家が紹介されたやり方で行うとなんとか出来そうな気がして非常に希望を抱いた。是非その点を忘れずに、両方とも行う必要があると思っている。

堀専門家：プレゼンの中でも品質という言葉を使い、市村専門家からもプレート形状が分からない場合、複数のモデルを確定して解析する説明があり、大前提として、地下の構造が本当によく分からない部分がまだまだある。それを考慮した波形解析、それがどの程度、例えば固着すべりの解析に対してどのような誤差が要因になるか、どの程度まで確からしいかを数量化しながら進めることは、大変大事なポイントと思っている。

市村専門家：平田委員の言われるように、モデルをいかに性能の良いものを作り上げていく、駄目なモデルを入れれば駄目な結果が出てくるのは当たり前で、それを作ることは非常に同感。今、順解析が出来るところは、力を入れて作ってきた。最適化とかインバージョン、データ同化を行う仕組みも順次導入しているので観測データに合うようなモデルを作っていく。そして、堀専門家が言われた観測を行ったとしても、やはり決め切れない部分があり曖昧さが残ってくる。その部分は真正面からモンテカルロシミュレーションで出来る位のレベルの順解析のスピードを持つ。その両輪を使い観測データとの融合を進めて行ければと思っている。

平原委員：近いところに居るのでよく知っているが、方向性は非常に良く、物凄いところまで進んでいると思っている。1つの懸念は、地震本部の計画にはトップレベルがあれば良いかも知れないが、地球科学とか色々なところで発展する場合に、例えばAIでは、テンソルフローのコードは誰でも使える、このような視点で今後行くのか。勿論、このままトップレベルを上げて行き、物凄い成果を出すことと、例えば学生が様々なアイデアで遊んでみるようなところまで行くなど、今、地震学や地球科学として基礎を上げるためには、色々な人が使って、色々なアイデアで様々なことができるようなシステムが必要と思うが、いかがか。

堀専門家：1つの観点として、色々なデータ解析を行う意味で、グリーン関数をしっかりリソースをした上で作ったものを提供し活用する。逆解析の方は、大規模な解析ではなく、逆解析手法の開発されたものと、その大規模な計算を行い用意したグリーン関数があり、若い人達が色々なことを行う部分は出来ると思っている。

市村専門家：学生が遊べるかは別として、解析結果を、実は固体地形の分野では有限要素法はフリーでオープンになっているところは幾つかあり、そこまで大きい問題は解けないが、少し遊ぶには何とかなるようなものは既にある。それと同じようなものがあることを前提に、「富岳」で目指しているのは、解析基盤を作って、喫緊の評価の信頼性保証の部分からまず攻めて行くことを考えている。実際、「富岳」のプロジェクトでも、平原委員が言われたように、皆が使えるようにした方が良いところもあり、国の防災のところのみ内閣府防災で使うのではなく、それ以外のところにも使っていただくように、会社の方にも入っていただき、会社で「富岳」の作ったプログラムを使えるようにするとか、そんな動きもしている。競争相手ができる場所は、そこにお任せしつつ、行すべきところを行う。平原委員の言われたことも重要と思うので、その部分についても出来るところまでは行っていきたい。

北川主査：機械学習というか深層学習の比較的発展した理由の1つが、誰でも扱えるような形にしてあると言われている。この点も是非検討いただきたい。

平原委員：最も不確定性が高い震源過程というか、どのように壊れるかを重点的に行うと計算科学としては非常に評価されると思うので、地殻構造の構造推定は重要。もしかしたら、産業界が求めているのは、震源を特定しない断層のように、一体どこまで地震動が大きくなるかに関して、地球科学もしくは物理学で、計算式を使って正しい答えを出すことは非常に重要。防災上も答えが出せこれ以上の強震動は考える必要が無くなれば、物凄く意義があることと思う。是非、検討いただきたい。

平田委員：堀専門家の言われたことは正論。確かに計算科学的に震源断層の最大規模が分かれば、或いはマグニチュードの上限が分かれば良いが、なかなか難しいとおも。しかし、市村専門家が言われた中で重要な点は、これまでは、本当は3次元の問題を2次元問題として計算していたことが沢山ある。これは明らかに計算機の能力不足だからそうしていただけ。それでも2次元問題の解析で理解が深まった。基本的に3次元問題として解析できることは物凄い進歩。また正しい境界条件を入れることも、これまで、正攻法では出来ないので、循環的な境界条件や様々なノウハウや技を使って、近似的に扱ってきた。これも正しい物理と正しい地球物理学の知見をどう入れることが正攻法になって、それを継続的に行う必要がある。堀専門家が言われた亀裂の問題は、やっぱり連続体の力学ではないので、それを越えたところがかかなり難しいが、勿論進展する必要があると思う。科学としてのブレークスルーが必要で、少なくとも地震本部として必要なのは、基本的な地球内部構造である。例えばプレートの形状は大体わかっているが、地下の粘弾性構造は、ほとんど分かっていない。1次元構造の粘弾性構造は、温度分布から、極めて概略的に推定していたものについて、今やっと2.5次元位までは出来ている。これを3次元にして、時間依存の構成則が推定出来るようになることが、地球物理学としては、ブレークスルー。勿論、震源過程というか、破壊についての物理がきちんと出来ることは一方で極めて重要なことである。10年頑張るって出来ることを考えて、全体の半分ぐらいの精力は、10年で出来ることに精力を注いでいただきたいと思っている。

北川主査：計算科学としては非常に進歩し「富岳」が登場して、今後間違いなく益々発展して行く。この専門委員会「新たな科学技術を活用した」ところには、データサイエンスが大事である。個人的には帰納と演繹をより本格的につなぐ第5の方向が大事で、データ科学のところをより積極的に取り入れるような形で考えて行けば、さらに発展する可能性があると思っている。

○資料 新3-(2)に基づき、新たな科学技術を活用した地震調査研究フローイメージについて、事務局から説明。主な意見は次の通り。

平田委員：事務局で作成されたフローのイメージは、大変分かりやすくなっている。大別して自動化とモデリング、シミュレーションとに分けられているが、自動化とモデリングは、ある意味非常に密接に関係しているところがあり、例えば地震波の伝播モデルを高度化することと、緊急地震速報を高度化することは表裏一体で、これはどちらに重点を置くか、どちら側から見るとかの違いしかなく成果としては非常に似ていると思う。多分、異観測種データの統合が、市村専門家や堀専門家が作られている大規模な自由度の非常に大きいモデルを利用することによって、色々な時定数のデータを正しく取り入れることが出来るので、これも地震本部としては、是非実施していく必要がある。右側の①余震の予測は、今の技術をもう少し頑張れば出来そうで、短期的に成果があるものから異なる観測データ統合モデルを作ることは非常に重要で時間の掛かるものまで含めて纏められている。色々な研究のタイムスケールを混ぜたフローイメージになっており、これを具体化すれば良いと思う。

北川主査：中央は具体的な研究、課題のイメージなのか。それぞれの項目は分かるが、矢印の左側とのつながりがどのような関係なのか必ずしもよくわからない。左側

はベーシックな技術ということなのか。

中出補佐：その通り、左側のベーシックな考え方や手法を使って、中央のものを作成する。例えばプロジェクトとして今後進めて行くことが出来た場合に、①、②、③がテーマとなり、実際に研究者が提案して左側のどのような手法を使っていくのかをイメージしている。

北川主査：右側に、ディスカバリー、プレディクション、防災など何か同じように3つ程度を書くように説明書きがあるが。

中出補佐：プレディクションのところは、右側のところに「夢」を入れつつ短期予測を含むことを入れ、ディスカバリーのところは、第1回会議で他分野のものを説明した際に、今まで分かっていなかったようなものが、データの解析によって分かるようになっていく。北川主査からも第4の科学という話をいただき、例えば異観測種データを統合した際に、単なる評価について分かるだけではなく、図らずもジャンプアップして、プレディクションが分かるかもしれないところがあるので、控えめに下段に青印でディスカバリーを整理として書いてある。

北川主査：ディスカバリーは、色々な意味があり、科学的な発見やアノマリーというか、異常の発見などもあると思う。

工藤課長：北川主査の言われた通り、アノマリーやバイプロダクトとか、ジャンプアップ、飛躍があるものについてのイメージをディスカバリーという用語に解釈して書いてある。サイエンスとしてのディスカバリーは、モDESTというか、もう少し手堅い感じ方になるがそうではないので、中出補佐が説明したように、少し控えめに小さく書いてある。

平原委員：今は出来ていないが、ディスカバリーをもう少し強調しても良いのでは。機械学習の面白いところはディスカバリーにあると思う。今、成果は無いが短期予測を含むような、例えば東北地方大地震の10年位前から沢山現れている先行現象データがあるが、これを統合的に理解するためにAIを利用すると出来ると思うので、少し扱いが小さいと思う。アノマリーも含むとか、少し広げて発見のみではなく、色々な異常現象を理解するところと、単に検出するところまで纏めたディスカバリーという形で広げて、もう少し重点を置いても良いと思うがいかがか。

工藤課長：書き方は工夫するが言われたように、特に機械学習。予想もし得ないような、ある種ブラックボックスから生まれてくるものもあり、元々このプログラムを考えた時に設定の中には当然入っている。但し、このフローの中では少し目立たない書き方になっており、この後、基本方針というか、項目案を示す中には、明示的にアノマリーに取り組んでいく第一歩としつつ、と入れてあり、当然そこは意識している。この表・フローの図のうち、どのように書いていくかを、相談させていただきたい。

堀委員：オートメーション、モデリング、一体化している観測データ等で、3つの具体

的な形で大変良く纏まったフローイメージで感心した。下段の上記取り組みの基礎となるデータベースの整備のところ、地震調査できちんと成果の出るところは行いつつ、20%程度は新規なディスカバリーに繋がることも必要で、そのための具体的な方策は、情報科学と地震学のネットワーク強化と思う。これをどこまで具体的に出すかが、この新たな科学技術を活用した地震調査研究の重要なところ。是非この点は、ネットワーク強化の具体例が出ると良い。堀専門家と市村専門家は、この10年間で計算科学という新たな科学を活用してブレイクスルーを行った。計算科学の次は情報科学になると思うが、他分野の方に、地震調査研究の中に主体的に入ってもらい、特に研究構想立案の時点から入ってもらい仕組みを作ることが重要と思うがいかがか。

長谷川委員：堀委員の意見に大賛成。図の下にある、基礎となるデータベースの整備と、情報科学と地震学のネットワーク強化がベースになっていると思うが、今回の纏めの中では、このベースが非常に重要な視点で書いてあると非常にありがたい。中央の①空間的、②観測点配置、③異種観測データに対しての質問として、典型的な例としての位置付けと理解したが、よろしいか。實際上、第3期総合基本施策で行うことは5項目あるが、その他例えばプレート境界におけるすべりの推移予測、或いは内陸地震の長期予測など書いてはないが、新しい計算科学でそれらについても大きな発展が期待できると思うが、第3期総合基本施策を10年間で行っていきところが少し困難になってくると思う。そういう意味で、この中央の①、②、③は典型的な例であって、今のようなことも含む理解でよろしいか。

中出補佐：言われた通り代表的なもので、今考えられる例を書いてある。基本施策のところ、情報科学をもちろん使っていくところ、これまでのモデルで行っていくところ、他にも色々あると思うが、これには典型的、一般的なものとして、これまでの議論の中でもよく出てきたものを書いてある。

工藤課長：補足として、この3点が典型的なこれまでの議論から推論され、今後行っていくのに良い例を示し、長谷川委員が言われた、第3期計画において他にも行っていくことを書いてある。3点を行っていく中で、幾つかこのフローの中に書き切れていないことがあり、次のステップとして、内陸予測や地下構造モデルの精緻化を行っていくことは、技術的に出来上がってくる過程の中において、また次のステップが見えてくると期待を込め、先行出来ればという意味で3点を示した。

長谷川委員：理解した。

三宅委員：このフローイメージに機械学習という言葉が沢山あるが、そこをAIとしなかった理由はあるのか。また、①について余震に限っており本震には触れていない理由はあるのか。

中出補佐：前者は、機械学習とあえて書いているのは、ディスカバリーのところ、様々なある意味解釈ができるから。サイエンティフィックな発見やアノマリーの発見など、AIの言葉を使うと少し議論が分散してしまうことを意識し機械学習とし、特にピッキングについては、ある程度分かりやすさを意識して書いてある。後者

は、平田委員の言われたとおり、余震については比較的出来る可能性があるのではないか、本震はイメージとしては右側、すぐには出来ないところもありながらも、大きなゴールとしてはあるだろうと短期予測含むとして、こちら本震などもイメージしながら、少しチャレンジなものとして書いてある。

三宅委員：結構、安全寄りの書き方で平原委員が言われたようにディスカバリーに寄るのであれば、もう少しチャレンジングな言葉を使っても良いかと思う。

平田委員：これはフローのイメージなので、恐らくこの次に、報告書の目次とかの議論になり、最後にこれをプロジェクト化して統合するプロセスがあると思うが、その中には、第3期基本計画の中のどれを行うかを明確にプロポーザルに書く必要がある。この中で基礎となるデータベースの整備については、どのようなデータベースを使って研究をするのか、どのようにデータベースを整備したか、或いは情報科学と地震学のネットワークを強化するには、具体的にその研究組織の中に情報科学と地震学が適切に役割分担して1つのプロポーザルの中に当該研究者が入っているかを、ある種の今後の条件にきちんと加えて、単にネットワークの強化をうたい文句ではなく、具体的な研究組織の中にネットワークができていることを求める方向が必要と思う。

北川主査：大事な指摘。左側にオートメーションとモデリング（シミュレーション）とあり、非常に重要な点ですが、ある意味オートメーションとモデリングは、少し階層が違う概念であり、そこが少し気になる点で、その結果として恐らく伝播モデルの高度化がどちらにも入ると思われ、キーワードとしているのか。

中出補佐：このオートメーション、モデリング、そしてディスカバリーというカテゴリに特にこだわっているわけではなく、①、②、③について、長谷川委員からティピカルとの指摘について、何が出来るのかをイメージしながら、具体的な手法を考えた方が良いと思っている。北川主査が言われたとおり、それぞれ系図が若干違っていて、機械学習によって集めたものによってモデリングが出来るところもあるので、あくまでもこれはイメージということで、今後、中間とりまとめに向けたペーパーでどのような書きぶりが良いかは、相談させていただきたい。

北川主査：それでは、次の中間とりまとめの項目案とも密接に関連しているので、事務局から、説明いただきたい。

○資料 新3-(3)に基づき、新たな科学技術を活用した地震調査研究（中間とりまとめの項目案）について、事務局から説明。主な意見は次の通り。

堀委員：取り組むべき課題、情報科学分野と地震学分野の研究者が協働することは、良い。なお、地震学の研究者が情報科学の分野で地震学をバックグラウンドにした研究プロポーザルを出して、情報科学の分野で採択されることも推奨するべきと思う。堀専門家と市村専門家の研究成果は計算科学でも評価されており、異分野でしっかりもまれることは重要。その前提で情報科学と地震分野の研究者が協働する場を全て地震学で持つ必要はない。むしろ情報科学の分野に対し、地震学の研究者が

地震学のバックグラウンドを持って研究プロポーザルを提案し、情報科学の分野での研究を行うことを考えても良い。内向きのみではなく、情報科学の分野にも打って出ることと考えて欲しい。

北川主査：大事な点ですが、この取り組むべき課題の1番目について、協働することが重要ということ自体は当たり前なので、問題はそれを実現して何かを定着させていくような方策が大事なので、もう一步踏み込んでいただきたい。地震に限らず色々な分野に情報科学の技術を定着させるにはどうしたら良いかを、日本学術会議でも議論している時に、重要な科学技術の分野、例えば主要な研究組織にデータ解析部門を設置することが大事である旨の提言があったので、その辺も考慮いただきたい。

北川主査：今日は項目案について、議論よりもブレインストーミング的に、このようなことも入れておいたら良いのではなどを指摘いただきたいが、他にありませんか。

平田委員：余震のことが非常にクリアに書いてあり、私、研究者個人としては結構ですが、地震本部・地震調査委員会としては、第1級に重要なのは、プレート境界の巨大地震の長期予測。これは第3期総合基本施策の中でも明示的に書かれており20年来のテーマで、堀専門家と市村専門家の話もそこが非常に強調されている。取り組むべき課題の最後に、過去の大地震における本震前と本震後の特徴量の抽出とあるが、もっと明示的にプレート境界の固着状態の推移予測を統計モデルではなく観測データと物理モデルによって補足するようなことを、かなり明示的にセンス良く書いた方が、第1級の問題なので良いと思う。そのためには、従来の地球物理の知見では不十分で情報科学との連携が必要であると思う。これは例なので全部は書けないが、一番重要なものは、やっぱり書いておいた方が良いと思うので、事務局で検討して欲しい。

北川主査：2. 検討の方向性、考え方の情報科学技術が地震の評価に与える影響のところについて、今日は項目案で、いきなり例が書いてあるため。かなり気になる。まとめ方はともかく、先程出ていたオートメーション、モデリング、シミュレーション、ディスカバリーのところで情報科学技術との協働が必要であることを言って、その後に例を書くのが良いのではないか。

平田委員：要するに今までは地球物理学の計算能力が、まだ2次元解析までしか出来なかったが、本当の3次元解析出来ることについて、市村専門家が強調されたことをここに書くことは、やっぱり必要なことと思う、是非検討して欲しい。

三宅委員：市村専門家が紹介された、デジタルツインの説明に3つ目の取り組むべき課題として、データ整備が重要と既書いてあり、具体例として、観測データベースと計算データベースに裏打ちされたアルゴリズムの作成といったニュアンスを入れていただきたい。

北川主査：ありがとうございます。そういう意味では、言わずもがなですが、データ

解析技術やモデリングなど、そこも当然必要と思う。

長谷川委員：取り組むべき課題で似たようなのが、先程のフローチャートの下段に書いてあ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は、3. 取り組むべき課題のところ挙げてある。データ整備を行うことが重要についても、今現在どのような課題があり、それはどのように解決したら良いか少し具体的に書き込み、何とかこの点を解決するという視点で、方向性を報告書の中に盛り込んでいただきたい。

北川主査：ありがとうございます。協働する観点から人材育成が良いでしょうか。

中出補佐：結論としては、非常に重要とっており、人材育成も挙げていきたいと思っている。海外のヒアリング時にも業者から言及があったが、やはり若い研究者の方が情報への意味親和性が高いところがあり、そういった人材をしっかり育てていくのも重要とっている。書きぶりなどを相談させていただきたい。

平田委員：データ整備を行うことは、地震本部で常々必要と言っており、この時のデータが、今までは観測データのことが念頭にあった。これだけ大きな計算をすることは、実は解析に用いるモデルと、計算した結果もデータになる。例えば日本列島規模の大規模な3次元の有限要素法モデルは、ある意味解析モデルで、それを整備することが必要で、解析の結果もデータとしてきちんと整備することも文章の中に是非入れていただきたい。どのように書いたら良いかは、市村専門家が多分一番よく知っているので、教わると良いと思う。

北川主査：大変大事な指摘で、データサイエンスの方も、データベースと言ったときに、単に生のデータのみではなく、それを解析した結果も蓄積し全体として知識を発展させていくようなイメージを考えており、今の指摘は大変重要と思う。

平原委員：データについて、最近出たSLRのレビュー論文で地震活動の活動データを使って予測する話があった。そのときに、テーブルドデータという言葉とアンストラクチャードデータという言葉が出てきて、アンストラクチャードデータは地震波形そのもので、連続データに対応する。現状では、地震活動データは、発震時、緯度経度、深さ、マグニチュードというカタログデータすなわちテーブルドデータである。それに対して、今成功を収めているのは、地震波形といったアンストラクチャードデータである。この地震波形データを何秒でサンプリングするかの問題はあるが、データがある程度処理されたデータと本当の生のデータがあって、本当の生のデータを、機械学習でダイレクトに取り入れて活動予測に繋げて行くのが次のターゲットと思う。多分、活動予測にはまだ使われていないと思う。

— 了 —