

シリーズ「新・強震動地震学基礎講座」

(第25回) 強震動研究の今後

強震動委員会 浅野公之 (京都大学防災研究所)

1. はじめに

日本地震学会強震動委員会 (以下、強震動委員会) では、日本地震学会ニュースレターにおける連載企画として、「新・強震動地震学基礎講座」を2017年1月発行の第NL69巻第5号 (以下、NL69-5などと記す) からの約2年間で、計24回にわたり掲載してきた。強震動委員会は1995年兵庫県南部地震以降に矢継ぎ早に行われた日本地震学会の組織改革の1つとして、1996年に学会内に設置された。爾来、竹中博士前委員長の巻頭言でも述べられているように、強震動委員会の重要な活動の1つとして、地震学会内外への最新の強震動研究の普及啓発を位置づけている。そして、一連の「新・強震動地震学基礎講座」は、どちらかといえば、研究者や実務に携わる者、大学院生など地震学会会員を対象として書かれている。

地震学には様々な細分化された専門分野があり、個々の会員は自分自身の学問的興味や与えられた役割に応じて、フィールドワーク、実験、データ解析や基礎的及び応用的研究に取り組んでいる。広い視野を持って研究することは、どのような研究にとっても重要なことであるが、なかなか自分の専門分野の外にまで幅広くアンテナを張ることは、「言うは易く行うは難し」であることは、筆者も含め多くの会員が心当たりのあるところではないだろうか。日本地震学会秋季大会や日本地球惑星科学連合大会では、「強震動・地震災害」や「地盤震動・地盤構造」のセッションで、強震動研究に関する最新の研究成果が発表、討議されている。しかし、大会では複数のセッションが同時並行で開催されるため、なかなか、自分の専門分野外のセッションに足を運ぶことができないことも多いと思われる。また、時には、セッションで飛び交っているアイデアやローカルな専門用語、議論の前提が理解できないこともあるであろう。

同じことは強震動を専門とする研究者がほかのセッションに参加したときにもいえることと思う。しかし、強震動研究の範疇としているところは、日常生活や社会とも関わりの深い部分も多く、強震動研究を主たる専門とはしない会員も、日頃、学校、職場や地域で強震動に関する質問を受ける機会や講義・講演をする機会も多いだろうということは想像に難くない。現在の強震動地震学でターゲットとしている研究対象やその解析方法などを項目別に概説している「新・強震動地震学基礎講座」が、そのような会員

の皆様の一助となれば幸いである。

以下に、これまでに連載された記事の題目を一覧としてまとめた。バックナンバーは日本地震学会ニュースレターオンライン版 (<http://www.zisin.jp/publications/news.html>) 及び強震動委員会のWEBサイト (<http://www.zisin.jp/kyosindo/kyosin.html>) に掲載されているので、見逃している場合や、もう1度読み直したい場合は、アクセスしてみてほしい。また、内容について意見や疑問、質問のある場合は、最寄りの強震動委員会委員もしくは学会事務局までお知らせいただきたい。

- 2017年1月号 (NL69-5)
(巻頭言) シリーズ「新・強震動地震学基礎講座」について (竹中博士)
- (第1回) 強震動地震学とは? (岩田知孝)
- 2017年3月号 (NL69-6)
(第2回) 震度に関するいろいろ (横井俊明)
- 2017年5月号 (NL70-1)
(第3回) 強震観測 (青井真)
- (第4回) 応答スペクトル (松崎伸一)
- 2017年7月号 (NL70-2)
(第5回) 地震波の内部減衰と散乱減衰 (中原恒)
- (第6回) 表層地質が地震動に与える影響に関する研究 (津田健一)
- 2017年9月号 (NL70-3)
(第7回) 地盤構造の推定法 (川崎慎治)
- (第8回) 強震動予測手法の概要 (香川敬生)
- 2017年11月号 (NL70-4)
(第9回) 地震動の地盤増幅特性の面的な推定 (松岡昌志)
- (第10回) 地盤の非線形応答: 等価線形解析法とその改良法 (大堀道広)
- 2018年1月号 (NL70-5)
(第11回) 長周期地震動 (畑山健)
- (第12回) 経験的/統計的グリーン関数法 (芝良昭)
- 2018年3月号 (NL70-6)
(第13回) 地震動予測式 (司宏俊)
- (第14回) 強震動予測と震源モデル (三宅弘恵)
- (第15回) 震源近傍の強震動~指向性パルスとフリングステップ~ (久田嘉章)

- 2018年5月号(NL71-1)
 (第16回) 内陸地殻内地震の規模予測の高度化へ向けて
 (隈元崇)
 (第17回) 地震動シミュレーション (古村孝志)
 2018年7月号(NL71-2)
 (第18回) 強震動予測と速度・減衰構造モデル(山中浩明)
 (第19回) 微動の活用 (長郁夫)
 2018年9月号(NL71-3)
 (第20回) 地震ハザード解析から確率論的地震動予測地図
 へ (盛川仁)
 (第21回) 地震動即時予測 (干場充之)
 2018年11月号(NL71-4)
 (第22回) 地震動予測地図 (松島信一)
 2019年1月号(NL71-5)
 (第23回) 強震動予測レシピ (三宅弘恵・松島信一)
 (第24回) 耐震設計 (高井伸雄)
 2019年3月号(NL71-6)
 (第25回) 強震動研究の今後 (浅野公之)

2. 強震動研究の今後

1995年兵庫県南部地震以降の約20年間の強震動研究を振り返ると、研究コミュニティ全体を象徴する大きな成果は、地震動予測地図の公表及びその基礎となる強震動予測レシピといえるであろう。地震調査研究推進本部(以下、地震本部)から公表されている地震動予測地図は、2002年5月公表の「確率論的地震動予測地図の試作版(地域限定)」に始まり、2005年からは「全国を概観した地震動予測地図」、2009年からは「全国地震動予測地図」として、ほぼ毎年改訂版が公表されている^{注1}。このように聞くと、既に確立された技術かのように錯覚する読者もいるかもしれないが、決してそんなことはない。これまでも、毎年の地図改訂は、単に、年次進行による確率値の更新だけではなく、最新の調査成果を反映した震源断層モデルや地下構造モデルそのものの改訂に加え、新たな観測事実や関連研究の進展を踏まえ、強震動予測レシピや地震動予測地図作成手法自体も少しずつ改良されてきている。そして、そこには、これまでの大会や論文で発表された数多の地震学の研究成果が反映されている。

地震現象とくに被害をもたらすような大地震の発生は稀な自然現象であるため、これまで多くの地震で、過去の経験とは異なる地震動が観測され、その解明と新たな課題の克服のための研究が行われてきた。例えば、ごく近年の事

^{注1)} 過去の版も含め、地震本部のWEBサイトで解説書とともにすべて公開されている。

https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/

例に限っても、2011年東北地方太平洋沖地震では、震源から700km以上離れた大阪平野で長時間長周期地震動により超高層建物において被害が生じたこと、海溝軸寄りの大すべり域とやや深部の強震動生成域の関係、当時の緊急地震速報手法の抱えていた問題点など、次の南海トラフ地震や北海道500年間隔地震等への備えにも関わる、重要な研究課題が取り組まれてきた。2016年熊本地震では震源断層近傍の強震動をいかに予測するか、それをどのように地震動予測手法として確立するか、現在でも、秋季大会等で多数の研究発表がなされている。

このほかにも、国内外で顕著な地震が発生すれば、地震の震源過程や地震動シミュレーション、被害地域の詳細地盤構造調査などの研究成果が数多く発表される。これらは、強震動研究者が研究業績を増やすために、ルーチン的に行っている行為では決してない。先にも述べたように、我々は地震現象のごく一部を知っているに過ぎず、地震の物理や現実の地盤構造を反映した、より合理的な強震動予測を行うためには、実際に起きた地震、そして観測された地震動記録と謙虚に向き合い、そこから新たな知見を得ることが、まず何よりも大事であり、このことはこれまでも、そしてこれからも変わることはない。

もちろん、震源や地下構造に関する個別の解析手法や探査技術、シミュレーション手法などを高度化し、時空間の解像度を高める努力も平行して進めていく必要がある。特に、短周期帯域の地震動生成にも関わる小スケールの構造については、震源過程、地下構造ともにまだまだ未解明の部分も多い。機械学習やAIなどデータサイエンス分野で開発されてきた新たな研究手法を臆することなく取り入れていくことも必要であろう。震源断層の動的破壊過程や地球内部の地震波散乱・減衰など、現実の地球での現象を説明する物理に関わる理論的研究の進展も待たれる。しかし、いくら解析手法を高度化しても、地球を相手にしている限り、不確かさを伴う推定値しか得られないことも事実である。自然界に本質的に内在するばらつき(揺らぎ)も含め、不確かさをもつ確率的な情報をどのように取り扱い、それを強震動予測や地震動予測地図としてどのように落とし込み、より使い勝手のよいものを作るか、という視点も今後の強震動研究における主要なトピックの1つとなる。

そして、そのような大地震による地震動やその他の特異な地震動を逃さすことのないよう、継続的な強震観測が、微小地震観測や測地観測とともに社会共通の基盤インフラとして根本的に不可欠であることは言うまでもない。現在、関係機関の尽力により、基盤的な地震観測網が海域にも展開されはじめ(DONET, S-net)、日本は世界にも類を見ない地震観測網を有している。これまでは、震源から遠く離れた陸域での観測記録から眺めていた海域の地震につい

ても、海底観測網の記録を用いた震源特性や地震波速度・減衰構造、地震動即時予測等の研究が大きく進展することが期待される。

継続的な強震観測や研究の進展により、震源の不均質構造、震源特性の地域性やその他の地学的要因への依存性、自然現象が本質的にもつばらつき等に関する知識が蓄積していけば、対象地域の地震発生環境や各種のパラメータの不確実性を反映した震源モデルを設定し、よりリアリティのある強震動予測が行えるようになるかもしれない。また、そのためには強震記録の解析から得られた震源モデルやパラメータだけを眺めていてもダメで、地震活動、地殻構造（地震波速度・減衰、比抵抗など）、活断層、歴史地震、テクトニクス、破壊力学に関わる数値実験などの関連する成果を持ち寄って、真の地震像に一步步でも近づいていかなければ、強震動研究の進歩はない。標準的なレシピにしたがって、平均的な震源モデルを設定しておけばよい、という時代はいずれ終わるであろう。また、特性化震源モデルを超える、新たな震源モデル化手法の試みも既にいろいろと行われつつあるが、そのような研究もさらに進展が期待される。

地下構造モデル（ここでは特に地盤モデル）は社会全体の共有財産であるという意識を持ち、地震学コミュニティ全体で地下構造モデルを育てていく（コミュニティモデル）ことが、地震研究を加速し、高度化するために必要である。日本においても地下構造調査情報を一元的に集約し、コミュニティモデルとして供する仕組みが求められる。現状は、地震本部の活動により J-SHIS (Japan Seismic Hazard Information System) (防災科学技術研究所) や JIVSM (Japan Integrated Velocity Structure Model) (地震本部, 2012) がコミュニティモデルのようなものとして位置づけられ、地震研究や地震動予測に用いられているが、個々の研究者の研究成果をどのように将来のモデル更新に反映するのか、その道筋は必ずしも明確ではない。

最後に、地震ハザード評価の将来について述べる。現行の全国地震動予測地図は年1回、1月1日時点の確率値情報として、改訂される。2011年東北地方太平洋沖地震で我々が経験したように、ひとたび巨大地震が発生すれば、日本全体の地震活動が大きく変化し、巨大地震前とは異なる様相になる。また、内陸の大地震でも地震活動の推移及びどの程度の強い揺れが今後生じる可能性があるかということに、社会の関心は高い。時々刻々と変化する地震活動を適切にモデル化し、準リアルタイムに地震動予測地図や地震ハザード評価に反映させる手法の開発が望まれる。つまり、天気予報の季節予報に対応するような地震動予測の実現が、次のステップの1つといえよう。いま学会内外で議論されている、いわゆる「半割れ」現象に適切に対応す

る手段の一つとしても、そのような手法を次の南海トラフ地震までに実現する必要があるのではないだろうか。

今後の地震動予測、ひいては、強震動研究が健全に発展するか否かは、強震動研究コミュニティの枠に囚われず、広く、地震学全体の成果を受け入れることができるかどうかにかかっている。そして強震動及びそれによる被害を研究のモチベーションとはしていない多くの地震学研究者も、もしかしたら強震動研究の役に立つかもしれない、と思われる成果が得られたときは、強震動研究は別世界と思わず、積極的に売り込んで欲しい。これにより、学会全体の健全なコミュニケーションが促進され、日本の地震学全体、そして地震防災のレベルアップに繋がることを願ってやまない。そのためには、強震動委員会自体も日本地震学会の委員会としてどうあるべきか、委員構成も含め自己改革していくことが必要であろう。それとともに、「地震の揺れの謎解き」である強震動研究に学問的魅力を感じ、この世界に参入する研究者や大学院生が増えることも願っている。

3. 強震動についてさらに学びたい方へ

地震学全般については、国内外でいくつか著名な教科書があり、いまこれを読んでいる読者も何冊か手元に持っているものと思う。しかし、強震動に関する基礎知識を詳らかに解説した体系的な教科書は不足していた。2006年に一般向け解説書「地震の揺れを科学する」(東京大学出版会)が出版されているが、この書には数式は一切登場しないため、これを片手にプログラミングや解析をするという使い方はできない。最近、いくつか、日本語で読める強震動に関する教科書や解説書が出版されているので、以下に紹介する。ここでは、良書であっても、既に絶版で新たに入手できないものは除いているのでご了解いただきたい。本連載企画を読んで、さらに深く学びたいと感じた読者は、そのような書物をぜひ手に取ってみてはどうだろうか。

- ・ 額綱一「地震動の物理学」(近代科学社)
- ・ 翠川三郎「強震動 観測記録とその特性」(朝倉書店)
- ・ 日本建築学会「地盤震動と強震動予測—基本から学ぶための重要項目—」(日本建築学会)

また、強震動委員会では、「強震動予測—その基礎と応用—」と題した講習会を、2001年度より毎年1回開催している。講習内容は担当委員が毎年工夫を凝らしているもので、ご関心のある方は、受講されることをお勧めする。

4. おわりに

平成最後のニュースレター (NL71-6号) をもって、「新・強震動地震学基礎講座」はひとまず完結となる。これまでの連載は、平成時代の強震動研究がどう歩んできた

のか、そして今後の課題について、総まとめといってもよい充実した内容であった。新しい時代の強震動研究がどのように進んでいくのか、傍観するだけではなく、世代や専門分野を超えた多くの会員の皆様の積極的なコミットを期待している。

参考文献

防災科学技術研究所 J-SHIS 地震ハザードステーション,
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
地震調査研究推進本部, 2012, 「長周期地震動予測地図」
2012年試作版 データダウンロード, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki_dat/ (2019年2月4日閲覧).