

# シリーズ「新・強震動地震学基礎講座」

## (巻頭言) シリーズ「新・強震動地震学基礎講座」について

日本地震学会 強震動委員会委員長 竹中博士 (岡山大学)

強震動地震学の世界へようこそ。ニュースレター前号(2016年11月10日発行)の学会記事のページで予告されたように今号からシリーズ「新・強震動地震学基礎講座」の連載を開始します。私たち強震動委員会の重要な活動のひとつに地震学会内外への最新の強震動研究の普及啓発がありますが、この連載は特に地震学会会員への普及啓発を目的にしたものです。強震動委員会での新連載を企画したきっかけ(のひとつ)についてここで簡単にご紹介します。

強震動委員会は1996年の発足以来定期的に会合(委員会)を開いてきましたが、第100回委員会を記念して今年の3月4日に「第100回強震動委員会拡大委員会」を開催しました。そこでは、委員以外の方々にもご参加いただき、強震動委員会が目指す方向について参加者の自由討論が行われました。その中で、委員外の方から、強震動委員会の活動が学会員によく知られていない実情があるとのことご意見があり、残念ながら私たち委員もこのご指摘にうなずくところがありました。強震動委員会では、毎年、強震動講習会の開催、強震動研究会の開催、日本地球惑星科学連合大会のセッション提案、強震動委員会ホームページの運営などの活動をしております。このような活動は継続性が重要で、今後も続けていくべきと考えておりますが、学会員(さらには社会)に対して新たなアウトリーチ的活動も実施すべきではないかという機運がその後委員会内で盛り上がり、今回の連載企画を一気に押し進めることとなりました。

強震動委員会では1990年代後半から2000年代初めにかけてニュースレターに同様な連載「強震動地震学基礎講座」(1997年3月~1998年10月、全9講)、「強震観測の最新情報」(1998年1月~2002年3月、全23回)をしています。これらの解説記事は日本地震学会のホームページ(<http://www.zisin.jp>)の「出版物・資料」の「資料」のページ、または強震動委員会のホームページ(<http://www.mmjp.or.jp/kyosindo/kyosin.html>)で現在も読むことができます。ただ、記事が執筆されてから随分と時が経ち、内容が古くなってしまった部分も少なからずあります。強震動地震学は、実際の地震に学ぶことが多く、大きな地震の度に進化してきました。旧連載以降に発生した主だった地震だけでも2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震、2007年能登半島地震、2007年

新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震などがあります。この巻頭言の執筆直前のつい最近も2016年10月21日に鳥取県中部で、11月22日に福島県沖で被害地震が起こったばかりです。今回の新シリーズは、旧連載の古くなった部分の更新だけでなく、旧連載以降に新たに現れたテーマや新規導入された技術(例えば、地震動即時予測など)についての解説も積極的に行っていく予定です。今回を含めて旧連載の9回以上の連載で取り扱う予定のテーマは下記の通りです。今号には、この巻頭言に引き続いて、岩田知孝委員による記事「強震動地震学とは?」が掲載されています。

最後になりましたが、この企画のニュースレターへの連載を快くお認めいただき、編集作業をしてくださる学会情報誌編集委員会(委員長 河合研志)並びに、強震動委員会内でこの企画のとりまとめをされている干場充之幹事と岩田知孝委員、さらに原稿執筆される方々にお礼申し上げます。

それでは、皆さん、最新の強震動地震学の世界をお楽しみください!

記

予定している題目(案)

- ・強震動地震学とは?
- ・強震観測
- ・震度のいろいろ
- ・応答スペクトル
- ・長周期地震動
- ・表層地質・表層地盤による強震動の増幅(含:地震基盤, 工学的基盤の話)
- ・散乱と減衰の話(地殻, 表層地盤)
- ・地盤増幅の面的な推定
- ・地盤構造の推定法
- ・地盤の非線形応答
- ・強震動予測手法の概要
- ・地震動予測式
- ・経験的・統計的グリーン関数
- ・強震動予測と震源モデル
- ・断層近傍の強震動

- ・ 強震動予測と活断層評価
- ・ 強震動予測と速度・減衰構造モデル
- ・ 波動場の計算（数値シミュレーション）
- ・ 微動の活用
- ・ 地震動予測地図
- ・ 地震危険度解析（地震ハザード解析）と確率的予測（期待値評価）
- ・ 耐震設計
- ・ 地震動即時予測
- ・ 強震動研究の今後
- ・ （その他）

## （第1回）強震動地震学とは？

強震動委員会 岩田知孝（京都大学防災研究所）

「地震」は、地下に蓄えられたひずみが岩石の破壊で一挙に解放され、弾性波（地震波）を生ずること。また、それによって地盤が振動する現象。と記載されている（#1）。研究者は、2つの意味を区別するため、前者を「地震」とよび、後者を「地震動」と使い分けている。「強震動」は「強い」+「地震動」を意味していて、具体的には、構造物などに被害が生じるほどの強い揺れ、と考えることができる。

地震学の教科書にある表現定理によって、「地震動」は、地下の断層運動と、断層から観測点へ至る地震波の伝播特性（あるいはグリーン関数）を使って記述することができるので、非常に限定的な書き方をすれば、強震動地震学とは、地震学の基本定理のひとつである表現定理に基づいた研究を行っているということができる。

表現定理を模式的に書くと、以下のように書ける。

$$\text{地震動} = \text{震源特性} * \text{地震波伝播特性} \quad (1) \quad (\#2)$$

被害を起こすような観測地震動（強震動）が得られた場合には、(1)式左辺が与えられたわけだから、このデータを用いて、右辺の震源特性や地震波伝播特性の解明を行うことができる。例えば、強震記録を用いた震源過程の推定といった研究は、右辺のうち、地震波伝播特性は既往の地下（地震波）速度構造モデル（#3）を用いて算定し、また、震源断層面は、CMT解、余震分布や地表地震断層の情報を参考に与え、震源断層面上での時空間分布を求める、といったことを行っている。また、近傍のサイトで、強く揺れた地点とそうでもない地点の2記録が得られた場合は、(1)にあてはめると、近傍の2地点に対しての震源特性の差は小さいと考えることができるので、地震波伝播特性、特に各地点の近傍の差（地震波サイト特性（#4）の差）によって引き起こされている、というように考えることで、揺れの違いの原因を考えることができる。このように、得られた観測事実（左辺）からは、震源特性や地震波伝播特性を解明する研究を行うことができる。

1995年兵庫県南部地震後に整備された、防災科学技術

研究所のK-NET、KiK-netを初めとして各機関において強震観測網が構築・拡充され、現在日本には数千の強震観測点がある。兵庫県南部地震以前には、被害地震が起きた時に被害地域での強震記録がほとんど得られなかったことから、地震被害と強震動の関係を十分に議論することができなかつたが、強震観測点密度が高まったことにより、大被害に直結する強震動特性を分析することのできる強震記録が多く得られるようになるとともに、多様な特性をもつ強震記録が得られるようになってきている。

右辺の各項についての研究、特に、地震波伝播特性に関する研究は、以下のように考えることができる。地震基盤面より下の構造については、地殻や沈み込むプレートといった大規模構造についての地震学の研究成果を利用することができる。また、（#3）で記載しているように、強震動（地震動）特性には、地震基盤面より浅い部分の地下速度構造が影響するので、信頼度の高い地盤構造の推定はとても重要な研究課題となる。そもそも強震動特性を知りたい地域は人口密集地域なので、様々な種類の社会活動によって微動の震動レベルが高いため、その微動を用いた地下速度構造の推定といった研究が、その手法開発も含め、広く行われている。また、人工地震探査やボーリング調査、重力調査といった各種地球物理学的手法による地下構造の調査に従って、地下構造モデルの構築に資する情報を得ることができる。これらの情報を内挿、外挿することによって、地震基盤面以浅の速度構造モデルが作成されている。こういった研究は、各地域で関係研究者が取り組んでいるほか、地震調査研究推進本部の地震動予測地図作成を通じて、全国規模のJ-SHISの地盤モデル（#5）や全国一次地下構造モデル（#6）が参照できる。本稿の最初に述べた、既往の地下速度構造モデルというのがそれらにあたる。

上述の地下速度構造モデル構築の際にも、実地震記録を活用してそのモデルの検証といったことは行われている。震源特性があまり複雑でないと考えられる、中小規模地震を対象として、地下速度構造モデルを与えて地震波形を計算し、観測波形と比較をしてどのくらい再現できているか、

といったことを見る、モデルの検証研究があげられる。

ここまでは(1)式の左辺を与えて右辺を知る、つまり地下の中がどうなっているかを調べる研究について述べてきた。生じた強震動の理由を解明する研究、ということができる。そういった知見が積み重なっていき、また関係研究成果を活かして(1)式右辺の中身について判ってくると、(1)式を右から左に見る研究を進めることができる。地震波伝播特性を与えることができるとした場合、震源特性を与える、つまり、震源断層を想定して、地震波形を計算することに対応する。つまりこれが「強震動予測」ということになる。強震動予測の確からしさの検証は、起きた地震の評価によって検討するしかないので、右辺のパラメータを与えたときに、左辺の予測値が観測値をどう再現しているか、ということで確認することができる。

このように(1)式を左から右に、また右から左に、と考えることによって、右辺の各項目の中身をより深く理解することや、その要素を物理探査手法に基づいて直接推定する、また、それらの知見を踏まえて将来発生する地震の信頼度の高い強震動予測を行う、といったことを繰り返すこと、強震動生成の本質を理解して行くことを強震動地震学では行っている。ここまでは、対象としている地震波の周期についての記載はしてこなかったが、強震動が地震被害と直結していることから、現在のところは概ね10秒から0.1秒程度の周期範囲を対象としている。この周期範囲は、一般構造物はもとより、超高層ビルや長大橋、石油タンクといったいわゆる長周期構造物や、精密な機器などの短周期振動によって被害が起きる可能性があるものによって規定される。ここでは詳しくは述べていないが、地震学の現在の知見では、1秒を境として、それより長周期側は確定論的な取り扱いができていないもの、それより短周期側は、地下構造、及び震源項ともに確定論的な取り扱いができるほどのモデル化ができていないわけではなく、統計論的な取り扱いを行っている。この「1秒の壁」をすこしずつ短周期側に寄せていく研究も、強震動地震学の重要な研究テーマのひとつと言える。

強震動地震学は、地震学で得られている知見にもとづいた応用問題に取り組んでいると位置づけられる。地震波発生之源である震源断層と密接に関係する活断層研究者との連携は不可欠である。また、地盤構造を知るためには各種物理探査手法の活用や連携も必要とされる。加えて、地震被害との関係を議論するには、地盤と建物の相互作用も含めた入力地震動研究、また強震時の液状化も含む地盤の非線形挙動といった、建築、土木、地盤工学の研究とも密接に関係しており、こういった境界領域の研究も一層推進し、地震被害の軽減、減災社会の実現に向けた研究を行っていく必要がある。

本稿の途中で書いたが、日本は世界で類を見ない密度の強震観測網を持っていると言える。それは同時に有数の地震大国であり、強震が起きる頻度が高いからだ。強震観測は可能な限りは同じ地点で継続的に揺れを計ることができるようしておくことが望ましい。それは観測場所が変わると、サイト特性の違いで揺れ方が変わるためだ。強震記録に基づいた研究を継続し、地震災害を減らす研究を進めるためにも、各機関の観測網の継続的な維持に期待したい。

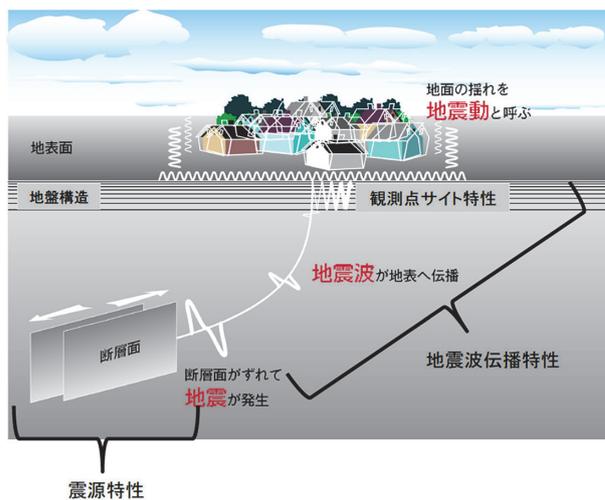


図 震源特性、地震波伝播特性の概念図（「地震・地震波・地震動」（福島・2001）に加筆）

#### 補足説明

- (#1) 国語辞典（集英社）「第1版」より
- (#2) 各項の定義が正確でないので、詳しくしても仕方ないのだが、それぞれが時間関数だとすると、\*はconvolution（たたみ込み積分）という線形オペレーションを表している。各項が周波数領域とみれば、単なるかけ算になる。
- (#3) 地震波伝播に関係する地下構造のパラメータは、P波速度、S波速度、密度、及び地震波減衰構造（Q値）であるが、それらを総称して地震波速度構造、もしくは更に単純に、速度構造と記載する場合がある。
- (#4) 地震波速度構造の変化が大きいくほど、地震波振幅の変化が大きくなる。自然地震で振幅が大きいS波の速度に着目すると、強震動地震学が主として対象となる地殻以浅の構造において、地震基盤面より深い部分でのS波の速度変化は10~20%程度であるのに対して、地震基盤面以浅は、地震基盤のS波速度を3km/sくらいとすれば、地表近くでは柔らかい地盤では0.1km/sと何十倍も違う。この効果による地震波振幅の増大や、地表の存在による表面波の生成伝播といった地震動を複雑にする要素は、観測点近傍の影響が大きい。従って、(1)

式の「地震波伝播特性」を概念的には、「(震源—観測点  
間距離に依存する)地震波伝播特性」と「観測点サイト  
特性」に分けて考えると分かり易い場合もある。地震基  
盤面以浅を地盤構造と呼ぶこともある。

(#5) <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>

(#6) [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12\\_choshuki/  
dat/](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/12_choshuki/dat/)