

強震動予測レシピは地震災害の軽減に役立つのか 2008年岩手・宮城内陸地震に学ぶ

入倉孝次郎 いりくら こうじろう
(愛知工業大学)

1. はじめに

日本の地震防災の調査研究の在り方は1995年阪神・淡路大震災以後大転換を迫られた。それまでは理学研究者が中心となった地震予知研究と工学研究者による地震防災の研究が全く無関係に行われていた。地震予知研究は地震の前兆現象だけを取り扱うのではなく、地震が起こる前の準備過程から地震時の断層破壊過程に至る地震サイクルの研究を発展させてきた。しかしながら、地震予知研究計画にはそれらの研究成果を地震災害の軽減に生かす視点が欠けていた。この大震災を契機に、地震防災対策を推進するため地震防災対策特別措置法が制定され、地震に関する調査研究と防災対策を一元的に推進するための地震調査研究推進本部が設置された。同本部の主導でGPS、高感度・広帯域地震計など観測網の整備、活断層調査などからなる基盤的調査観測計画が策定され、強震動観測も基盤的調査観測の1つとして位置づけられた。基盤的調査観測により得られるデータ解析に基づき、地震発生の可能性の長期評価、震源断層の破壊による強震動の評価、などの研究が行われた。

2005年3月には、阪神・淡路大震災後10年間の研究成果のまとめとして、「全国を概観する地震動予測地図」(地震調査委員会, 2005)⁽¹⁾が作成され、その後、新たな調査データおよび地震の有無による発生確率の更新に基づき、毎年更新された「地震動予測地図」発表されるようになった。この「地図」は、ある一定の期間内に、ある地域が強い地震動に見舞われる可能性を確率等を用いて示す「確率論的地震動予測地図」と、ある特定の地震が発生したとき、ある地域がどの程度の揺れに見舞われるかを示す「震源断層を特定した地震動予測地図」の2つのタイプの地図で構成される。

「確率論的地震動予測地図」に関して、今後30年以内に震度6弱以上の揺れを生じる確率の高いのは東海から紀伊半島、四国にかけての地域や東北地方東部から北海道南東部にかけての地域など海溝型地震の発生域に近接した地域に限られ、内陸活断層の地震の影響が相対的に小さくなってしまふ。さらに、阪神・淡路大震災以後に起こった、2000年鳥取県西部地震(Mw 6.7、Mj 7.3)、2004年中越地震(Mw 6.6、Mj 6.8)、2007年能登半島地震(Mw 6.7、Mj 6.9)、2007年中越沖地震(Mw 6.6、Mj 6.8)、2008年岩手・宮城内陸地震(Mw 6.9、Mj 7.2)など内陸の活断層に起因する地震は事前には必ずしも明確には認定されてなかった活断層に起こっており、揺れの発生確率が実感とかけ離れている、というような問題がある。

「震源断層を特定した地震動予測地図」は、地震発生確率の高いと想定される海溝型地震や活断層地震が起こった時に揺れが大きいのはどこかを示すもので、地震の前に構造物の耐震対策を進めたり、地震発生を想定した情報網やライフラインの確保、避難対策などを策定を行う上で、不可欠なものである。

ここでは、2008年6月14日岩手宮城内陸地震（Mj7.2）を例として、「レシピ」に基づく強震動予測の有効性について議論する。

2. 強震動予測のための“レシピ”の構築

地震が起こったとき、震源となった断層がどのように動き、そこから大きな地面の揺れ、強震動、がどのように生じるかがわかってきたのは、比較的最近のことである。揺れを引き起こす断層の動きは地中の現象なので、地表の断層の観察だけでは正確に知ることはできない。断層の動きを知る最も有効な情報は地震の震源の近傍で得られる強震動記録である。米国カルフォルニアでは、地震を引き起こす活断層が比較的わかりやすいこともあって、1970年代の後半から活断層の近傍で高密度強震動観測が行われ、1979年のインペリアル・バレー地震をはじめとして続々と断層近傍の強震動観測が得られ、1980年代以降強震動記録を用いて波形インバージョンという手法で断層のすべり分布を推定する研究が盛んにおこなわれるようになった⁽²⁾。日本でもやや遅れて同様の研究が行われたが、強震動観測網が貧弱で震源近傍での記録が得られなかったため、精度のよい結果は得られなかった。1995年兵庫県南部地震のとき日本で初めて震源断層の近傍で強震動記録が得られ、ようやく断層すべりの詳細が精度良く推定された⁽³⁾。

この地震を契機に日本でも強震動観測網が整備され、その後は、地震が起これば震源近傍でも強震動記録が得られるようになった。大きな地震が起きると直ちに強震動記録を用いて波形インバージョンにより断層すべりが求められるようになった。その結果、被害を引き起こす強震動の生成には、震源断層面内の不均質なすべり分布、とくに強い揺れを生成するアスペリティ（断層面内で通常は強く固着しているが、地震時に大きくずれて強い地震波を出す領域）の存在が重要な役割を果たしていることが明らかになった。また、波形インバージョンで推定された断層の全面積やアスペリティの面積などの断層パラメータは、地震規模を表す物理量（地震モーメント）を介して、一定のスケール則で相互に関係していることが明らかになった。われわれはこれらのスケール則にもとづいて、強震動予測のための震源断層をモデル化する手続きをレシピとしてまとめた⁽⁴⁾。特定の活断層に発生する地震を想定したとき、このレシピを用いると誰でも同じ答えが得られるという利点がある。このレシピの有効性は、内陸の活断層に起こった1995年兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震などにおける地震動シミュレーションと観測記録の比較により検証されている⁽⁵⁾。

3. “レシピ”の有効性の検証 - 2008年岩手・宮城沖地震に学ぶ-

2008年岩手・宮城内陸地震は、地震直後に行われた緊急地震観測で決められた精度の高い余震分布から、地震発生に関わった断層は西に傾斜した断層であることがわかっている。しかしながら、地震前には活断層の存在が確認されていない地域に起こった。地震後の調査で震源断層の延長の地表付近で活断層変位地形が断続的に見つかり、これらの地形に沿って地震時に地表変状が生じたことが確認されている⁽⁶⁾。地表地震断層は、余震域の東縁で南北約20 kmにわたり断続的に連なっていることが確認された⁽⁷⁾。地震前に撮影された航空写真の判読で活断層と認定された地形はこれらの地表変形にほぼ一致する。そこではトレンチ調査も行われ、繰り返し地震が起こっていたことが明らかになった⁽⁸⁾。

近地の強震記録を用いて推定された震源破壊過程から、大きなアスペリティが破壊開始点の南側の浅い場所にあったことがわかった^{(9),(10)}。活断層と認定された区間はそのアスペリティの地表地域にほぼ対応する。経験的グリーン関数法を用いて合成された強震動と観測記録の比較から最適化された震源モデルは、破壊開始点の南側の大きなアスペリティに加えて、北側にも小さなアスペリティをもつ(図1)。

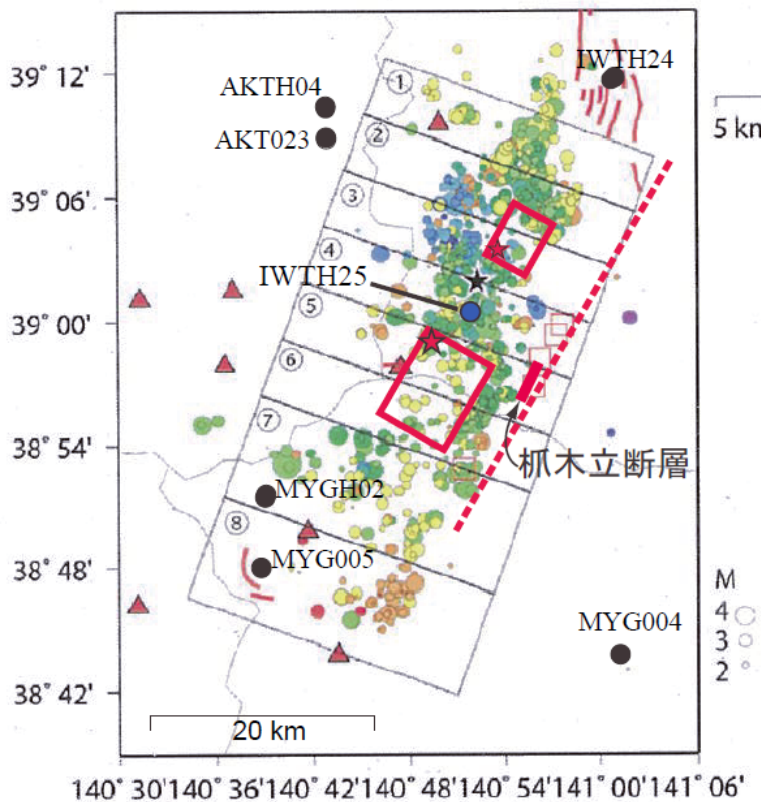


図1. 2008年岩手・宮城地震の強震動生成域(2つの赤四角)と余震分布。
赤点線は震源断層の地表延長部。東北大学理学研究科資料(2008)に加筆。

合成された強震動は観測記録によく一致している（図 2）。経験的グリーン関数法は、小地震記録を用いて大地震の震源モデルを推定する方法である。大地震の震源域付近で発生した小地震の地震動は大地震と同じ伝播経路・地盤特性をもつので、震源モデルとしてアスペリティの位置や大きさが適切に設定されれば大地震の合成波形が精度良く評価される。ここで得られた最適震源モデルは、余震域から断層長さ約 40 km、幅 20 km の震源断層を想定して、地震動予測レシピにもとづいて推定されるアスペリティの面積、応力降下量とほぼ一致する⁽¹¹⁾。

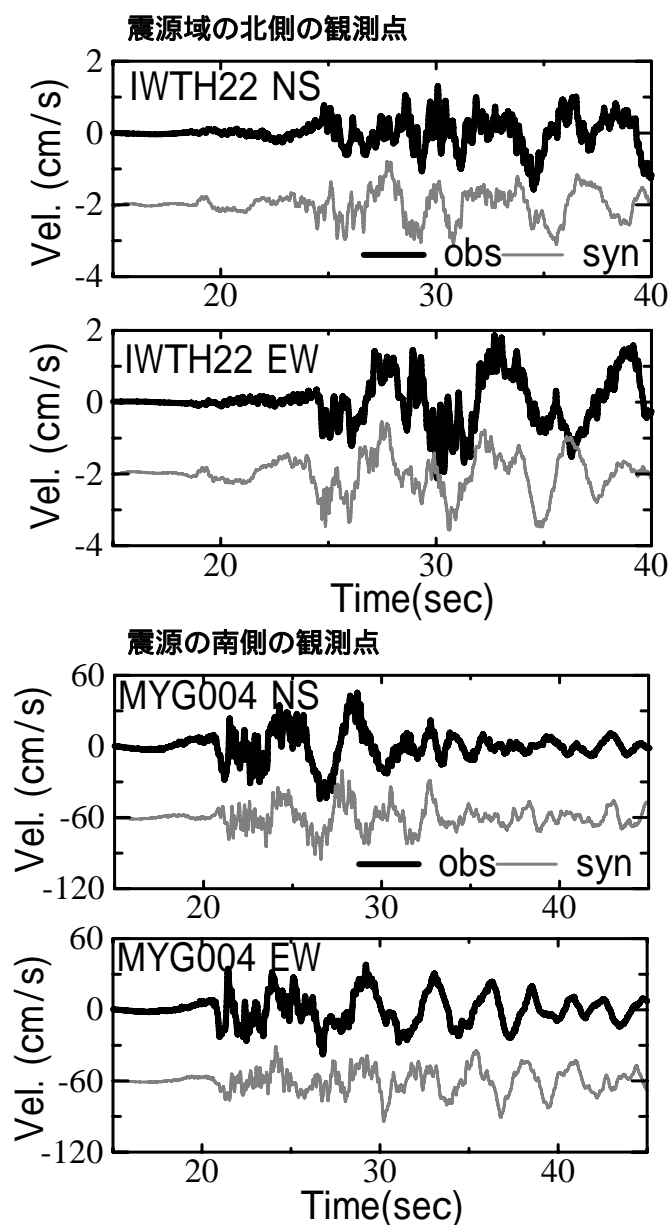


図 2 . 合成波形（細線）と観測波形（太線）の比較．上 2 つは震源域の北に位置する管区点（WITH22）の地震動。下 2 つは震源域の南に位置する(MYG 004)の地震動。

これらの事実は、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査などの調査で活断層を確認し、それを基に震源断層のパラメータの評価を行うことができれば、信頼性の高い強震動予測が可能なことを示している。しかしながら、岩手・宮城内陸地震で露わになったように、この地震を引き起こした活断層は地震前には特定されていなかったこと、地震後の調査で変動地形学的に活断層の存在は明らかになったが地表で確認されたが活断層の長さは実際に地震を引き起こした震源断層に比べて短い、などの解明すべき多くの問題が残されている。地表で認定される活断層が地震時の震源断層の長さよりも短い場合があることはこれまでも知られていた。地表ではその一部しか見えない活断層の地中での3次元形状を推定するために、重力異常、温度分布、高密度地震観測による地下構造のイメージングなどと組み合わせた新たな活断層調査法の開発が期待されている。

(5) おわりに

強震動予測を真に減災に生かすことができるかどうかは予測の精度に依存する。阪神・淡路大震災のときの木造家屋や中低層鉄筋コンクリート建造物の破壊は震源断層内のアスペリティからの強い衝撃的揺れに関係していることがわかってきた。アスペリティの位置が事前に特定できるようになれば効果的な強震動予測が可能となる。基盤的調査観測の整備とともにプレート境界のゆっくりすべりがGPS観測により測定され、それと同期して低周波微動の生成が高感度観測で捕らえられ、さらにこのようなゆっくりすべりはアスペリティの周辺に発生すること、などがわかってきた。これらの基盤的調査観測の成果は強震動予測研究の重要な情報となる。一方で強震動予測は耐震工学や都市防災の研究者と連携した共同研究により地震防災への有効活用が可能となる。

参考文献

- (1) 地震調査委員会(2005):「全国を概観した地震動予測地図」報告書」121頁 (CD-ROM), 文部科学省。
- (2) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton.: Bull. Seism. Soc. Am., **73**, 1553(1983)
- (3) Sekiguchi et al.: Bull. Seism. Soc. Am., **90**, 974(2000)
- (4) 入倉孝次郎・三宅弘恵: 地学雑誌, **110**(6), 849(2001)
- (5) 入倉孝次郎: 京都大学防災研究所年報, **46**(A), 25 (2004).
- (6) 鈴木康弘・他: 活断層学会 2008 秋季学術大会予稿集, S03(2008)
- (7) 遠田晋次・他: 活断層学会 2008 秋季学術大会予稿集, S04(2008).
- (8) 鈴木康弘・他: 地震調査委員会(2008.12.8)資料(2008).
- (9) 鈴木 亘・他: 防災科学研究所ホームページ(2008).
- (10) 堀川晴央: 産業技術総合研究所 活断層研究センターホームページ(2008)
- (11) 入倉孝次郎・倉橋 奨: 活断層学会 2008 秋季学術大会予稿集, S02(2008).