

特集 活断層とは何か

“揺れ”を予測する ——活断層情報を地震防災に活かす

入倉孝次郎 いりくら こうじろう (愛知工業大学)

阪神・淡路大震災の教訓の1つとして、地震災害の軽減対策を推進するために、地震時の揺れ、すなわち地震動の予測の重要性が認識されるようになった。そのために信頼性の高い活断層情報が不可欠であることがわかってきた。阪神・淡路大震災以後も、2000年鳥取県西部地震 (M_w 6.7, M_j 7.3), 2004年中越地震 (M_w 6.6, M_j 6.8), 2007年能登半島地震 (M_w 6.7, M_j 6.9), 2007年中越沖地震 (M_w 6.6, M_j 6.8), 2008年岩手・宮城内陸地震 (M_w 6.9, M_j 7.2) など内陸の活断層に起因する地震が次々に起こっている。これらの地震では事前には必ずしも明確には活断層の存在が認定されていなかった。

しかしながら、2008年岩手・宮城内陸地震では、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⁽¹⁾。中越沖地震のケースでは、電力会社による事前調査資料で明瞭な活断層があるのに見逃されていたことが指摘されている⁽²⁾。能登半島地震を引き起こしたと考えられる活断層も事前の調査で認定できる資料が存在しながら⁽³⁾、近傍の原子力発電所の耐震設計で適切なサイズの地震を設定されなかった。

1995年兵庫県南部地震を契機に始まった活断層研究者と地震動研究者の共同研究の成果として、活断層がどこにあるかがわかれば、その断層が動いたときに生じる地震動の予測が可能になってきた⁽⁴⁾。また、被害地での強震動記録の解析により、それに耐えられる構造物の設計についての研究も大きく進展した。一方で、兵庫県南部地震以後起

こった地震を考えると、事前に活断層を認定することは必ずしも容易ではなかったことがわかってきた。ここでは、地震災害の軽減対策の策定に必要な揺れの予測のために、どのような活断層情報が必要かを整理し、地震動研究者から見た活断層研究への期待と要望について述べる。

活断層情報にもとづく“揺れ”の予測

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、すなわち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。米国カリフォルニアでは、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行われるようになった⁽⁵⁾。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よく推定された⁽⁶⁾。

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。大きな地震が起これ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、一定のスケールリング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リング則にもとづいて、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⁽⁷⁾。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⁽⁸⁾。

活断層研究への期待:

2008年岩手・宮城内陸地震に学ぶ

2008年岩手・宮城内陸地震は、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と考えられる。この余震域の東縁で南北約20 kmにわたり断続的に連なる地表地震断層が確認された⁽⁹⁾。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⁽¹⁰⁾。

震源に近い地点で観測された強震動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(たとえば、文献(11)(12))。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。合成された強震動は観測記録によく一

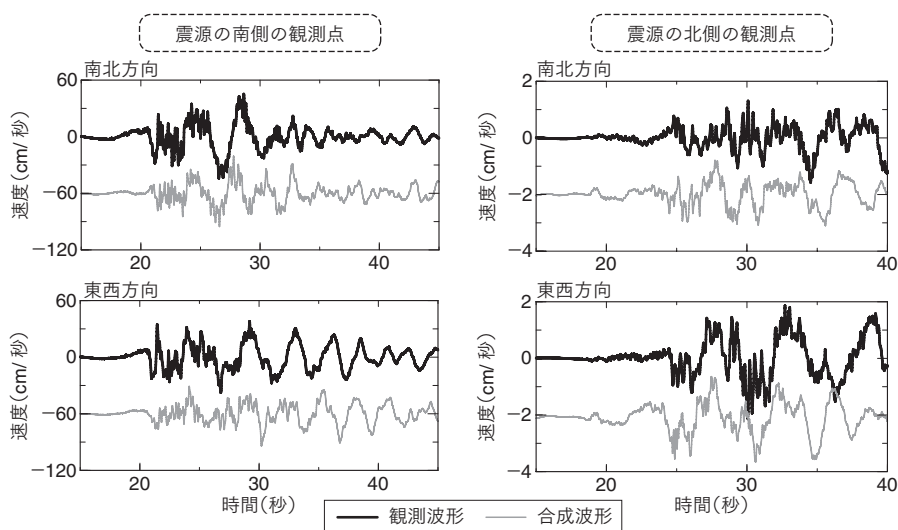


図1——合成波形(細線)と観測波形(太線)の比較。南側の観測点はMYG004、北側の観測点はIWTH22。合成波形は比較のためにずらして表示している。両観測点とも合成波形は観測波形とよく一致していることがわかる。波形が一致するには振幅のみならず位相も合致する必要があるので、波形比較がモデルの正しさを判断する最も厳しい条件である。

致している(図1)。経験的グリーン関数法は、観測された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記録は大地震と同じ伝播経路・表層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よく評価される。ここで得られた最適モデルは、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(地震前後の応力の差)とほぼ一致する⁽¹³⁾。

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、それをもと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次元的形状を推定

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。

活断層情報は、地震調査推進本部の「地震動予測地図」、中央防災会議の「首都直下地震の被害想定」、原子力安全委員会による「原子力施設の耐震安全性評価」などに広く活用されている。活断層研究の発展が日本における地震災害軽減のための「切り札」になると考える。

文献

- (1) 鈴木康弘・他: 活断層学会2008秋季学術大会予稿集, S03(2008)
- (2) 鈴木康弘・他: 科学, **78**, 97(2008)
- (3) 片川秀基・他: 地学雑誌, **114**(5), 791(2005)
- (4) 入倉孝次郎: 月刊地球, 号外37, 213(2002)
- (5) S. H. Hartzell & T. H. Heaton: Bull. Seism. Soc. Am., **73**, 1553(1983)
- (6) Sekiguchi et al.: Bull. Seism. Soc. Am., **90**, 974(2000)
- (7) 入倉孝次郎・三宅弘恵: 地学雑誌, **110**(6), 849(2001)
- (8) 入倉孝次郎: 京都大学防災研究所年報, **46**, A, 25(2004)
- (9) 遠田晋次・他: 活断層学会2008秋季学術大会予稿集, S04(2008)
- (10) 鈴木康弘・他: 地震調査委員会(2008.12.8)資料(2008)
- (11) 鈴木亘・他: 防災科学研究所ホームページ(2008)
- (12) 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)
- (13) 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)