

極値統計解析に基づく余震による揺れの予測

「迅速さ」と「正確さ」を両立する新たな手法開発を目指して

余震の揺れが直接の被害をもたらすことは少ない。しかし、小さい揺れでも繰り返し長期間続くと、避難生活や復旧活動に支障をきたす。従来法よりも迅速かつ正確に余震活動を予測するため、地震計記録の極値統計解析から揺れの強さや発生回数を予測する、新しい手法の開発に取り組んでいる。

従来の余震活動予測法

大地震の後には必ずと言って良いほど余震が起こります。ほとんどの余震は最初の大地震より規模が小さく、揺れが直接の被害に結び付くケースは多くありません。しかし、小さい揺れでもあまりに頻繁に長期間続くと、避難生活を送る方の心身に大きな負担をもたらす、復旧活動に悪影響を及ぼすことが懸念されます。また、最初の大地震よりもさらに大きな地震が起こることもあります（その場合、最初の大地震は「前震」と呼ばれます）。「何日後までに」「どこで」「どれくらいの揺れが」「何パーセントの確率で起こるか」の情報を、大地震後できるだけ早くかつ正

確に伝えることが、余震活動予測の目標です。

現在の地震学のレベルでは、天気予報のように物理的な根拠に基づいてこれらの予測を行うことはできません。そのため、従来法では地震活動が従う2つの経験則に基づいて予測が行われます。その1つは、「マグニチュードが大きい地震ほど数が少ない」という法則です。もう1つは、「大地震からの経過時間が長くなるほど、地震の数が少なくなる」という法則です。この2つの法則を、地震の発生時刻、発生位置（震源）、マグニチュードが記された「地震カタログ」にあてはめることで、将来の余震の規模や数を経験的に予測するこ

とができます。

従来法の問題点

しかし実際には、大地震直後の地震活動が活発な時間帯における地震カタログの品質は、地震活動が活発でない通常時よりもかなり悪くなります。図aは、2008年岩手・宮城内陸地震の直後に記録された地震波形と、同じ観測点での通常時の地震波形です。通常時の地震波形にはP波とS波が明瞭に見られます。これらの到達時刻を読み取ることで、地震の発生時刻と震源を特定することができます。震源が分かれば、震源から地震観測点までの距離と観測された揺れの大きさから、マグニチュー



地震津波火山ネットワークセンター 特別研究員

澤崎 郁

さわざき・かおる

博士（理学） 専門分野：地震学、固体地球物理学

2010年東北大学大学院理学研究科地球物理学専攻博士後期課程修了

日本学術振興会特別研究員（PD）を経て、2013年4月に防災科学技術研究所入所。

現在は、大地震直後の余震活動の早期予測、地下構造変化のモニタリング、洪水等に伴う非地震性の振動検出等に関する研究に従事。

兼務：地震津波防災研究部門

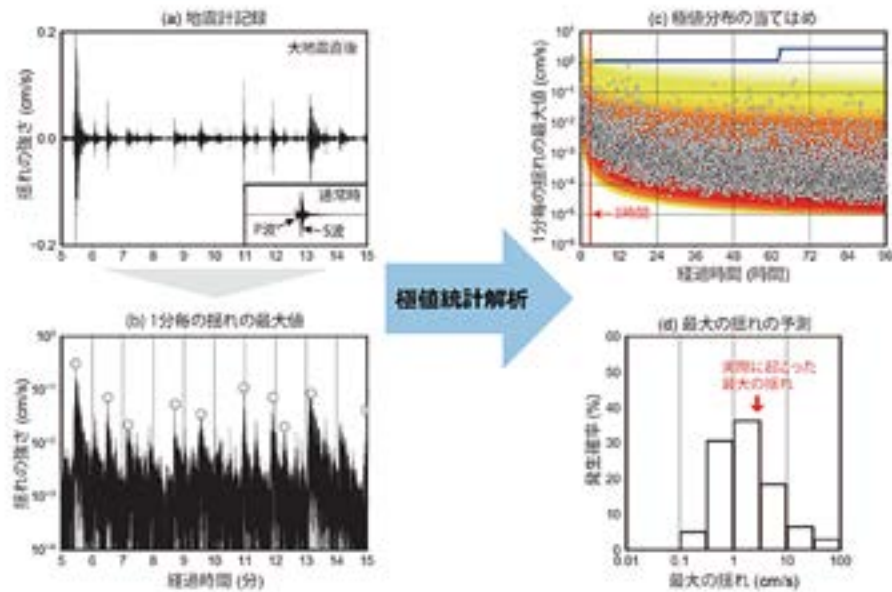


図 極値統計解析に基づく揺れ予測の流れ。(a)大地震直後の地震計記録。図中右下に同じ時間スケールでの通常時の地震波形を示す。(b)(a)の地震計記録について、1分毎の最大値に白丸をつけたもの。(c)極値統計解析に基づく極値分布の当てはめ。白丸は1分毎の揺れの最大値。青線は実際に起こった最大の揺れの推移。(d)3時間後時点で予測した4日後までの最大の揺れの確率分布と、実際に起こった最大の揺れ(赤矢印)。

ドが推定できます。

ところが、大地震の直後には非常に多くの地震が起こるため、地震計ではそれらの地震波が重なり合って記録されます。地震波が重なり合う記録からは、どの揺れがどの地震のP波、S波かを識別することが非常に難しく、到達時刻を読み取れない、あるいは間違えて読み取ってしまうことが頻繁に起こります。これが大地震直後に地震カタログの品質が落ちる主な原因です。

正確な地震カタログが整備されるまでには、通常、大地震から数日～数週間以上の時間がかかります。しかし、発災後72時間が救助の要とされている中、正確な予測に数日以上かかる従来の方法では、真に必要な余震予測情報を提供することができません。

極値統計解析を用いた新手法

以上の問題を解決するため、私は、

地震カタログを使う従来の方法ではなく、地震カタログを作るための元となる、地震計記録そのものを予測に用いる方法を考えました。

図bのように、地震計記録を一定の時間間隔ごとに区切り、その中の揺れの最大値を計算します(図bの白丸)。それを経過時間順に並べると、最初は大きな揺れが頻繁に起こりますが、時間が経つごとに大きな揺れが起こる回数が減ります(図c)。この時間間隔ごとの最大値は「極値分布」と呼ばれる分布に従います。極値分布を使うと、将来の任意の時点で任意の強さの揺れを起こす確率を計算できます。この極値分布を扱う解析法を「極値統計解析」と呼びます。

図dの棒グラフは、岩手・宮城内陸地震の3時間後時点で得られた地震計記録(図c赤線の左側)に極値分布をあてはめて、96時間後(図c全体)までに起こる最大の揺れがどの範囲

で生じる確率が高いかを推定したものです。ここでは、最大の揺れが1～3cm/sの範囲で生じる確率が最も高いと予測されました。実際に96時間後までに起こった最大の揺れの大きさは2.8cm/s(赤矢印)となり、予測幅の範囲内でした。この結果は、地震発生後数時間以内に新手法が適用できることを示しています。

他にも、新手法の従来法にはない実用上の様々なメリットとして、マグニチュードではなく揺れの強さを予測できる、普段の何倍の地震活動が起こっているかを示すことができる、などが挙げられます。一方で、余震活動の推移が先に述べた2つの法則から外れる場合には適用できないという課題もあります。今後は多くの事例を調査し、この手法の適用範囲を見出し、改良を重ね、実用に足るシステムの構築につなげていきたいと考えています。