

12-7 第 231 回地震予知連絡会重点検討課題「地震動・津波即時予測技術の高度化  
 -東北地方太平洋沖地震から 10 年でどこまで進展したか-」の概要  
**Improvements of earthquake and tsunami early warnings: Ten years after the  
 2011 Tohoku earthquake**

干場 充之 (気象庁気象研究所)

HOSHIBA Mitsuyuki (Meteorological Res. Inst., JMA)

2011 年の東北地方太平洋沖地震(以下, 東北地震; M9.0)では, 緊急地震速報は東北地方に対して強く揺れ始める 15 秒以上前に警報を発し, 想定していた機能を発揮した。ただし, 関東地方に対しては, 震度を過小予測した。数百 km に及ぶ震源域を適切に評価できなかったためである。また, 活発な余震活動のため, 複数同時に起こった余震を適切に分離出来ずに過大な警報を出すことが起こった。一方, 津波については, 当初推定された M7.9 に基づき, 地震後 3 分で警報第 1 報目を発したが, 予想される津波の高さは過小だった。

これらの経験を踏まえて, 気象庁では緊急地震速報と津波警報・注意報の高度が進められてきた。また, 研究の分野でも, GNSS による地震像の即時把握や, 地震動や津波の即時予測の高度化の研究が行われてきた。これらの現状を振り返るとともに, 地震動や津波の即時予測をさらに迅速に精度良くするには今後, どのような技術が必要か。特に, 発生頻度が少なものの大きな被害をもたらす巨大地震にも有効な即時予測を行うためには何が有効か, についての議論を行った。

### 1. 気象庁の緊急地震速報と津波警報・注意報の高度化

気象庁地震火山部地震火山技術・調査課の桑山辰夫氏から, 東北地震以降の気象庁での取組について紹介があった。報緊急地震速報に関して, 東北地震では, すべての地域で S 波の到達前に発表していること, 一方で, 広い震源域のため, 関東地方では震度を過小予測していること, また, 余震活動が活発だったため, 複数同時発生による過大予測となる警報が相次いだことが報告された。同時多発への対応として, 震源決定に振幅のデータも用いる IPF 法が 2016 年に, 広い震源域への対策として, 揺れから揺れを予測する手法の 2 つである PLUM 法が 2018 年に, さらには, 海底地震計 (S-net) のデータの活用が 2019 年に始まったことが紹介された。津波警報・注意報に関して, 東北地震では, M の飽和による過小評価, 国内地震計の振り切れ, 海底水圧計の活用手法の未確立の課題があったことが報告された。その後, 津波警報・注意報の情報の伝え方として, 巨大地震の可能性がある場合には「巨大」という言葉を使うなど定性表現での発表, 振り切れの対策として広帯域強震計の活用, (遠地地震に対しては) リアルタイム津波シミュレーションの導入がなされたこと, また, S-net 等の海底津波計の整備により, 沖合での津波の観測データから津波を予測する手法の 1 つである tFISH が, 2019 年に導入されたこと, が紹介された。

### 2. リアルタイム GNSS 解析による地震像の即時把握

国土地理院測地観測センターの村松弘規氏および東北大学大学院理学研究科の太田雄策氏から, リアルタイム GNSS を用いた地震像の即時把握の研究として, 巨大地震後数分での断層推定を目指した電子基準点リアルタイム解析システム (REGARD) の紹介があった。矩形断層モデルとすべり分布モデルの 2 通りがあり, 数分後には断層推定が終了する。例として, 2016 年の熊本地震 (M7.3)

では Mw6.96, 2021 年 3 月の宮城県沖の地震 (M6.9) では Mw6.92 が数分後に得られているなど、(大規模な地殻変動が発生するような巨大地震をターゲットとしているが) M7 程度の地震でも、大きな地殻変動を捕捉できれば地震規模を数分で推定可能とのこのことである。そして、誤検出の要因の分析や、精密単独測位の検討がなされているとの説明があった。現 REGARD では、初期値への依存性が高いが、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) を用いることで、初期依存性が小さくなり、より柔軟にモデルが作成可能であること、また、推定の不確実性を確率分布として表現が可能になる。さらには、3次元構造モデルを使う研究が進んでいる、とのことである。

### 3. 地震動即時予測の研究：最近 10 年の進展から

気象研究所の干場から、国内外の最近 10 年間の地震動即時予測に関する研究の進展についての紹介を行った。地震動即時予測は世界中で研究されており、このうち行政の一環として、一般住民を対象に警報を出すことは、(東北地震以前から始めていたメキシコと日本に加えて) 台湾と米国西海岸等で始まったことを紹介し、地震動即時予測における 3つの考え方(地震波伝播の予測、P波からS波の予測、破壊の予測)のそれぞれについて、研究の進展についてレビューを行った。地震波伝播の予測の予測では、2000年代では、単発地震を点震源仮定に基づき、震源位置とMを迅速に決定する研究が多かったが、2010年代になると、(震源とMにかかわらず)揺れから揺れを予測するという考え方も増えて来たことを紹介した。観測面では、スマホを強震計代わりに使うことで稠密な観測網を仮想的に作ることや、また、(相対性理論の)重力波を用いてP波よりも早く地震発生を検知する研究の紹介を行った。

### 4. 津波即時予測の進展

北海道大学理学研究院地震火山研究観測センターの谷岡勇市郎氏から、最近 10 年間の津波即時予測に関する研究の進展についての紹介があった。S-net等の海底津波計の整備により、津波の観測から津波を予測する研究が進化したとのことである。即時的に津波波源を推定する方法(tFISH)、データベースから抽出する方法の紹介に続き、特に、データ同化手法による津波伝播の計算とAIを利用した即時予測の説明があった。データ同化手法を、実際の津波に適用した事例や、グリーン関数法と組み合わせて予測のための計算を簡略化する工夫、即時浸水予測への応用の紹介があった。また、震源域上では海底の上昇とともに海面も上昇するので、水圧計では津波の高さを表しきれないことに対する対応策の説明があった。Neural network AIを利用し、海底津波計の観測波形から即時予測を行っている例が紹介された。事前に10,000通りを学習させておくことで、0.04秒という計算時間で予測が可能とのことである。

### 5. 総合討論

総合討論で行われた主な議論は以下の通りである。

REGARDでは現在、すべり分布モデルは海溝型地震に対して行っているが、この技術を使って内陸地震のすべり分布モデルを求めることは(熊本地震程度の規模であれば)可能とのことである。これにより、被害の即時把握につながる可能性がある。

津波即時予測でAIの活用の話があったが、地震動即時予測でも活用することで計算が高速化できるのでは、との意見があった。実際にそのような研究は行われていること、一方で、小さな地震でい

くら学習させても大きな地震の時に正確に予測できるかは保証できないという意見があること、非線形が入ってくると難しいかもしれない、との説明があった。また、シミュレーション波形を使って学習させるということも考えられる、との意見があった。

データ同化手法としては、最適内挿法が使われているが、精度を高めるために、カルマンフィルターを使うことは考えられるのでは、との意見があった。現状では、計算時間がかかること、最適内挿法はグリーン関数と組み合わせられるので高速化のメリットがある、との意見があった。

観測データにノイズが入った時の処理についても重要であるとの意見があった。そういう場合の研究も進んでいることが紹介された。

揺れから揺れを予測する方法で、深い地震等に対する見通しの質問があった。深い地震では、一斉に揺れがやってくることになるので、容易ではないとの説明があった。

データ転送に 1 秒パケットを使っているが、即時性を高めるためもう少し細分化など改良していく必要がある、との意見が出された。

(干場 充之)  
HOSHIBA Mitsuyuki