

強震動即時予測にむけて — 小アレイ計測震度計の効用 —

神定 健二 (高見沢サイバネティックス)

現行の気象庁緊急地震速報(EEW)の手法は地震波検知後に震央・規模(M)を推定して距離減衰・表層地盤増幅度から各地の震度を予測しているため、過大な推計誤差や発表時間に遅れが生じている。現用の自治体計測震度計のリアルタイム震度の活用(神定、2011 神定、2012)で、その迅速・高精度化が図れることが提唱されている。近年では、実時間地震動予測(揺れの現状を正確に把握し、時間発展的に未来を予測する)手法、つまり、震源・マグニチュードを使わず、リアルタイム波動場のデータ同化と輻射伝播理論により正確な震度予測を行うことが提案されている(干場、2012、Hoshiba, 2013、干場、2014)。最近、リアルタイム逐次震度(功刀、2008)から震度予測をする PLUM 法(小寺ほか、2014)により EEW の誤報や失敗報の低減が図られている(中村、2014)。

震度速報は震度の実況であり予測情報は含まれていない。一方、推定震度分布図は観測データから表層地盤増幅係数を用いて1km四方で震度計の無い地点の震度も推計されたものである。地震波の観測波形(w)は震源(w)×経路(w)×サイト(w)で表わされる。ここで、最初に検知された観測点あるいは数点の観測点の地表最大加速度(PGA)と表層地盤増幅度(ARV)を用いて工学基盤での振幅(震度フィルタ 0.5~10Hz を通過した最大振幅に、距離減衰と表層地盤増幅度を適用した震度推定を試みた。具体的には、J-SHIS (Japan-Seismological Hazard Information Systems)の地震ハザードステーションで公表されている(csv&シエープファイル)表層地盤増幅度(250mメッシュ)データを用い、2004年新潟中越地震に適用すると、気象庁推計震度とは詳細は異なるが震度の拡がりほぼ推定できる。1点のPGA検知で、地震発生後瞬時に震度推計が可能あることを示している。

被害を生ずる地震波エネルギーはS波以降に集中する。入射P波から揺れの最大を推定するために、これまで、 τ や P_d を用いた手法(Wu and Kanamori,2005)、P波入射3秒間の積分値から最大加速度を指定する手法(神定、2008)、入射P波速度振幅積算値(CAV)から揺れの最大値を予測する手法(Alcick、2009)、P波入射3秒の最大変位振幅(P_d)等を用いる方法(Shimona et.al,2012)、P波震動波形からS波最大動の波形を即時予測する方法(入倉・倉橋、2012)が提唱されている。だが、これらの手法は震源距離が長い場合には、2011 東北地方太平洋沖地震のような巨大地震にさえも適用できないことが指摘されている(Hoshiba, 2011)。しかしながら、被害地震の表(気象庁)にある震源・断層に近いところ(~20km)の観測点では入射P波1秒間の最大振幅とPGAには $\approx 1:10$ の相関があり、また理論的にもP・S波の速度(α/β)の3乗の比($\alpha=6.5\text{km/s}$ 、 $\beta=3.0\text{km/s}$ で ≈ 10)からも、P波から最大地動推定が可能なが示され、P波からPGA推定を行えばさらにその猶予時間が増す。

現行のEEWは情報発信側で各地の揺れ情報を処理しているが、上述の、工学基盤での計測震度算出周波数帯域(0.5~10Hz)のPGAやP波から予測されたPGAを発信し、受信端末側で工学基盤での距離減衰と表層地盤増幅特性からリアルタイム震度予測を行う”リモート・オンサイト法“を用いれば、直下型地震に対しても迅速・高精度な揺れの推定と猶予時間の推定さえも可能となる。エリアメールによるEEW(菅野、2012)や「三段階震度計」(香川、2011,2012)の受信情報として加えればその精度は飛躍的に向上するであろう。

必ず勝つジャンケン(石川・奥研究室・東大)というのが Youtube 映像トピックスに流れている。100%ロボットが勝つ理由は、人間の手が約0.3~0.4秒で出すグー・チョキ・パーを High speed camera で解析し、0.02秒でロボットが後だししていることにある。つまり、ICT技術により早期検知し即時処理をしている。強震動即時予測に即してみれば地震発生後2.5~6.5km/secで伝播する表面波やP波をその伝播速度に匹敵する密度の観測網で每秒捉え通信(30万km/s)網で事象発生をその到達前に伝達することである。

日本をはじめアメリカ、トルコ、イタリア等で緊急地震速報が運用されているが、その情報発表は最も速いケースで地震波検知後8~9秒後が実情であり、それは各観測網の観測点間隔とデータ処理時間によって定義される死角域による(Kuyuk et.al.,2013)。

高密度(3kmメッシュ)の観測網で、直下・深発・海溝型地震、具体的には2004年新潟県中越地震、2005年千葉県中部地震および2011年東北沖太平洋地震について、強震動伝播の様子を見ると、震央距離・深さ・規模等によってその多様性を概観できる。その要因はそれぞれの震源時間関数・走時・距離減衰・サイト特性等によるものである。

全国規模での高密度観測網の実現は望ましいが、実現は困難である。そこで、現用の計測震度観測点のアレイ化を提案する。3~5点のアレイ(3km間隔)観測データから観測点角(Back azimuth)、見かけ速度(Appearance velocity or Slowness)および面的(平均的な)揺れが分かり、人工的ノイズや落雷ノイズの排除が可能となる。

上記アレイ解析データは即時(秒)で強震動の規模と伝播を予測し、震央距離、震源お深さ、規模(M)をも同時に推測できる。直下型(深発を含む)地震については現存自治体計測震度計のリアルタイムデータのアレイ処理により強震動予測の高精度・迅速化が図れる。

強震動予測は早期検知(Early Detection)と即時処理(Quick Procedure)が必須条件である。工学基盤での強震動の每秒更新データを発信し(Onsite Threshold Warning)、受信側で距離と表層地盤増幅係数から揺れの強さと猶予時間を知る”リモート・オンサイト法“の採用を提案する。将来的には高密度加速度計ネットワークの実現とICT技術による強震動予測を「ひとりひとりに最適なデータ」として「リアルタイムで」提供できるシステム構築の実現が望まれる。次期の自治体震度計の更新ではリアルタイム化とアレイ化を提案する。