

Is Mw so useful for earthquake early warning? : from viewpoint of real-time prediction of ground motion

*Mitsuyuki Hoshihara¹

1. Meteorological Research Institute, JMA

はじめに：

地震動即時警報の分野で、我々は、“揺れから揺れを直接予測する”という考え方に則り、現時点の波動場を推定し、そこから未来の波動場を予測する手法（波動場推定法）の構築を進めている。一方で、いったん震源位置とモーメントマグニチュード（Mw）、さらにはスリップ量分布を迅速に推定し、地震動予測式（GMPE）により揺れの大きさを予測する考え方（震源情報推定法）を進めている研究も多くある。後者の考えでは、Mwやスリップ量分布をいかに正確に、また、迅速に推定するかがカギとなるので、それらを追求する研究が多いものの、揺れの予測の正確性や迅速性の観点まで進めて議論しているものは多くない。

そこで、地震動の即時予測の観点から、地震動即時警報でのMwやスリップ量分布の有効性について考察する。

周波数の違い：

（超高層ビルなどの特殊な建築物を除けば）被害に関係する地震動の周波数は、数秒から数Hz、つまり、およそ1Hz付近であることが知られており、地震動即時警報でも、この帯域の地震動の即時予測が求められる。一方、Mwは永久変位、あるいは、かなりの低周波から求められることが多い。Mwが同じ地震であれば、震源からの輻射量は、低周波側では同じと思われるものの、1 Hz付近の高周波側では、ストレスドロップの違いなどにより異なることも多い。よって、Mwを正確に求めたとしても、必ずしも、1 Hzの波の輻射量を正確に推定したことはない。

輻射域の違い：

2011年の東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）では、多くの研究者が日本海溝付近に大きなスリップ量が分布する震源像を求めている。これらは、低周波側の解析により求められたものであり、高周波の解析による震源像はかなり異なっている（Kurahashi and Irikura, 2011; Asano and Iwata, 2012, など）。彼らは、4～5個の強震動生成域（SMGA）から高周波が輻射したと推定している。これらのSMGAは、大きなスリップの場所とは異なり陸域にかなり近い（図1）。同様に、低周波と高周波の生成域の違いは、2004年Sumatra地震（Mw9.2）や2010年Maule地震（Mw8.8）でも報告されている（Lay et al., 2012）。このことは、正確にスリップ量分布を求めても、かならずしも、1 Hzの波の輻射の分布を推定したことはないことを示唆している。

タイミングの違い：

最近の報告（Minson et al. (2018), 干場 (2016) など）では、破壊の進展に伴うMwの時間発展をリアルタイムで推定できたとしても、震源域付近では、GMPEを介した予測は強震動の出現の後になる（つまり、警報が間に合わない）ことを指摘している。Mwの時間発展は単調増加すること、また、GMPEを介した揺れの強さの予測もMwの増加とともに時間的に単調増加することにより、揺れの強さの予測が最も大きくなるのは、破壊の終了時点になる。一方、強い揺れが輻射するのは、当然、破壊の終了よりも前である。同様に、破壊の途中の時刻 t_c の時点でMwの時間発展をリアルタイムで推定できたとしても、Mwが最大となるのは t_c の時

点であって、強い揺れが輻射していた時間は t_c よりも前である。強い揺れが輻射する時間は M_w が最大になる時間（つまり、 t_c ）よりも前であることにより、警報が間に合わないことが生じる。

さいごに：

一般に、波動現象の予測は、波源（域）と輻射量が分かれば行うことができる。これを地震動現象に当てはめると、震源（域）と”マグニチュード”が分かれば未来を予測することができる、となる。では、このマグニチュードとして、 M_w が最も適切なのであろうか。地震動即時警報で求められているのは、1 Hz付近の揺れであって、 M_w に対応する周波数ではない。この周波数の違いにより、輻射量や輻射域、輻射のタイミングが異なることが生じうる。地震動即時警報にとって、かなり低周波から推定される M_w やスリップ量は、強い揺れを予想するための直接的な証拠ではなく、間接的なものと位置づけられるだろう。

謝辞：K-net, KiK-net, 気象庁観測点の波形を使用した。

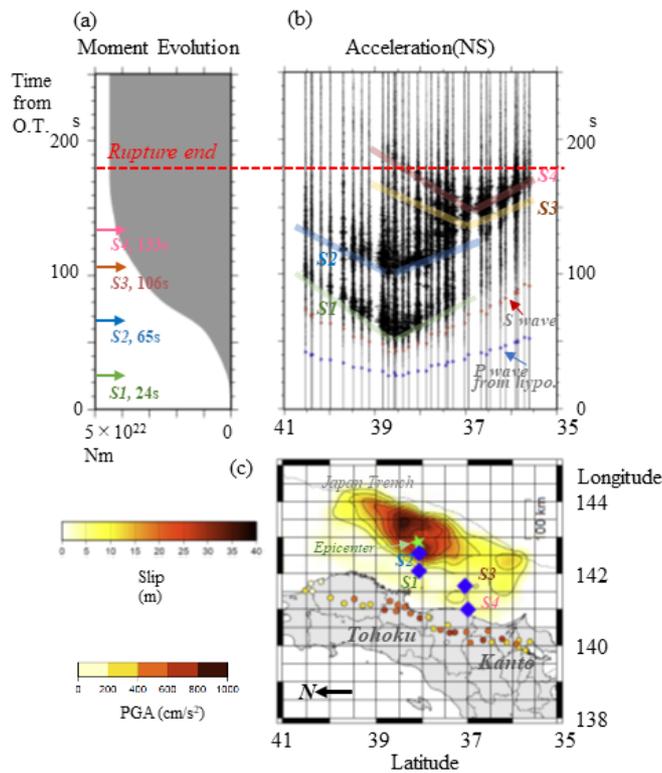


図1. (a) 2011年東北地方太平洋沖地震の地震モーメントの時間発展 (JMA, 2012) と強震動が生成した時間 (Asano and Iwata, 2012). (b) 図1cの地点で観測された加速度 (NS成分). (c) スリップ量分布 (JMA, 2012) と4つのSMGA (青ダイヤモンド, Asano and Iwata, 2012). 小さな丸は、図1bで用いた観測点を示す。