

Mw は地震動即時警報に有効か？ 地震動予測の観点から

干場充之（気象研究所）

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 (M_w)、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 (PGA や PGV) 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、 M_w 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 M_w 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、 M_w 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。 M_w 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、 M_w 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にはならない。

輻射域の違い： 2011 年の東北地方太平洋沖地震 ($M_w9.0$) 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 ($M_w9.2$) や 2010 年 Maule 地震 ($M_w8.8$) 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にはなら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 M_w 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ことを指摘している (つまり、警報が間に合わず後予測となっている)。 M_w 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 M_w 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 M_w の時間発展をリアルタイムで推定できたとしても、 M_w 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。強い揺れが放射する時間は 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。GMPE は、多くの場合、過去の多くの地震（つまり、破壊が終了した地震）の M_w と、PGA や PGV の関係を統計的に表したものであり、破壊の途中で適用することは想定されていない（つまり、破壊の途中では統計的な関係が必ずしも成り立っていない）。

さいごに：一般に、波動現象の予測は、波源（域）と放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、放射量や放射域、放射のタイミングが異なることが生じる。さらに、多くの GMPE では破壊の途中の M_w を適用することは想定されていない。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。

謝辞：K-net, KiK-net, 気象庁観測点の波形を使用した。

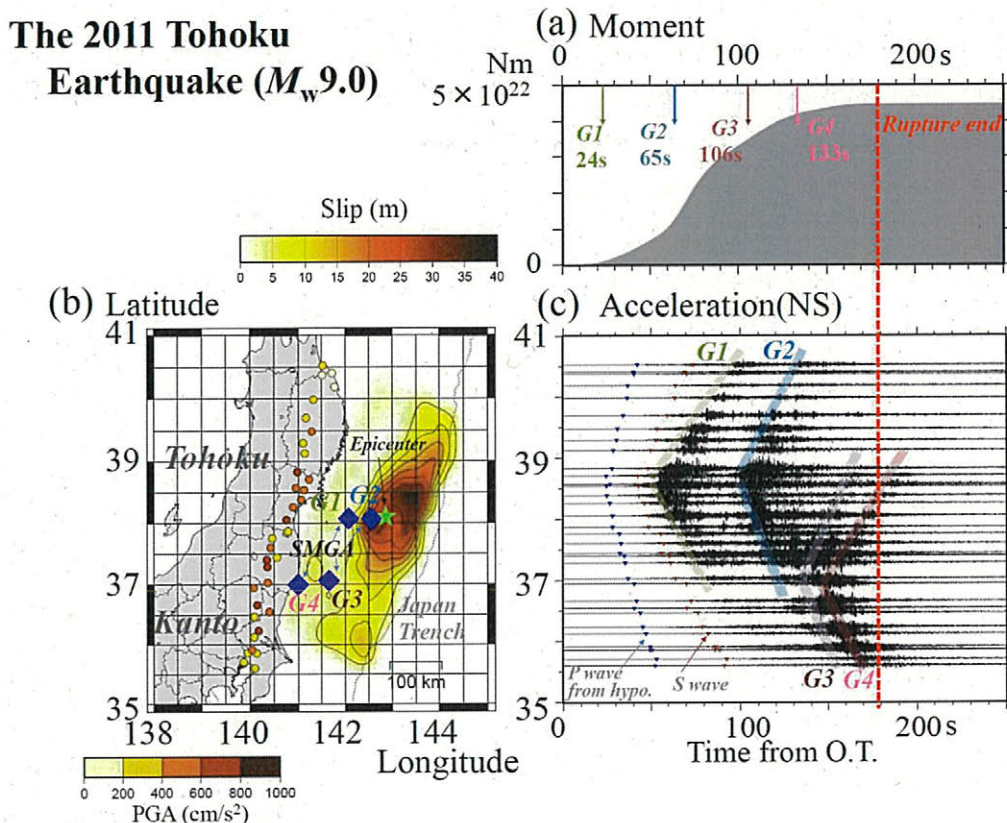


図 1. (a) 2011 年東北地方太平洋沖地震の地震モーメントの時間発展 (JMA, 2012) と強震動が生成した時間 (Asano and Iwata, 2012). (b) スリップ量分布 (JMA, 2012) と 4 つの SMGA (青ダイヤモンド, Asano and Iwata, 2012). 小さな丸は、図 1c で用いる観測点を示す. (c) 図 1b の地点で観測された加速度 (NS) 成分 (After Asano and Iwata, 2012; JMA, 2012).