

# モーメントMを求めているのは遅い：震源域近傍の地震動即時予測

干場充之（気象研）

## 1. はじめに：

地震動即時予測の分野では、いったん震源位置とモーメントマグニチュード、 $M_w$ 、を推定し、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)が多いが、一方、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。予測のタイミングについて、「震源情報推定法は波動場推定法に比べて早い」という意見を聞くことが多いが、はたして $M_w$ を介する震源情報推定法は早いのだろうか？ 2016年熊本地震(4/16;  $M_w$ 7.0)や2011年東北地方太平洋沖地震(東北地震,  $M_w$ 9.0)を例に、震源域近傍での地震動即時予測を検討し、即時予測の早さを考察する。

なお、この発表では、震源域近傍とは、震源距離(あるいは、断層最短距離)が、断層の長さと同程度あるいはそれ以下の場所を指すものとする。ここは、ちょうど強い揺れが観測されることが多い場所でもある。

## 2. 最大加速度(PGA)の出現時間：

震源域近傍では、どんなに観測点密度を増やしても、 $M_w$ を推定しているのはS波に間に合わないところがある(例えば、Minson et al., 2016)。観測点が密にある状況では、震源位置は即座に推定できるものの、 $M_w$ が確定するのは破壊が終了する時点であり、また、通常、破壊伝播速度はS波速度より遅いためである。つまり、S波が通り過ぎた後に破壊が近くまでやってきて強い揺れをもたらすことが生じる。また、Minson et al.は、震源域近傍で強い揺れが現れるのは、破壊が終了する(つまり、 $M_w$ が確定する)時点よりも前であることが多いことを示している。

2016年の熊本地震(4/16;  $M_w$ 7.0)では、自治体震度観測網、K-NET、KiK-net、JMA観測網により、震源域近傍でかなり密な加速度波形が得られた。これらの3成分記録から、PGAが出現した時間を求めた(図1)。この地震では多くの震源過程解析の研究があり、破壊は比較的小さく始まり数秒後に大きくなり全体の継続時間は20秒程度である、との結果を得ているものが多い。気象庁(2017)による震源過程解析でも継続時間は18秒程度であり、その結果も図1に示す。

震源に比較的近い観測点では、震源時から7秒程度でPGAが現れてる。伝播に時間がかかることを考えると、破壊の早い段階で輻射された波によるものと思われる。破壊が終了したと推定される20秒までの時点で、震央距離50kmまでの場所では既にPGAが出現している。つまり、 $M_w$ を(最速で求めたとしても)確定できた時点では、強い揺れに間に合っていないことになる。

図1で、震源から南西に位置する観測点に注目すると、(他の方向よりも)比較的早い段階で

PGAが現れている。これらのPGAは、破壊全体ではなく、震源から南西に向かった破壊(の一部)によって生じたものと推定される。

また、東北地震では、複数の強震動生成域(SMGA)によって強震動がもたらされたことが知られており、例えば、Asano and Iwata (2012)では、4つのSMGAを推定しており、特に4つ目のSMGA(福島・茨城県境沖)は、震源時から133秒後と求めている。宮城県とそれ以北では1番目と2番目のSMGA(宮城県沖)によって強震動がもたらされており、その出現時間は、この133秒よりもずいぶん早い。

### 3. 議論とまとめ:

熊本地震や東北地震の例にあるように、震源域近傍のPGAは、断層の破壊全体からではなく、破壊の一部からの寄与により決定される。そして、全体の破壊が終了する前に現れることも多い。 $M_w$ は破壊全体を表す情報(個々の部分の累積値)であるので、一部の部分を表すにはあまり適さない。さらに、 $M_w$ は破壊が終了した時点で確定する量であり、時間の概念に乏しい(例えば、破壊継続時間が3秒なのか10秒なのか)。このように、震源域近傍の地震動即時予測では、複雑な破壊過程を $M_w$ という1つ量だけでは捉えきれない(もし、1つの量で行うとしても、 $M_w$ やモーメントではなく、モーメントレートの最大値を考えるほうが、より合理的だと思われる)。

震源情報推定法の多くは、震源位置と $M_w$ を「原因」と捉え、GMPEで揺れの大きさという「結果」を予測するという考え方であるが、震源域近傍では、 $M_w$ という「原因」より、強い揺れという「結果」の方が早く生じてしまう。“正確な $M_w$ を求める”という考え方では、震源域近傍での地震動即時予測に間に合わせることは難しい。

謝辞: 自治体震度計網, NIED K-NET, KiK-net, JMA観測網の波形を使用した。

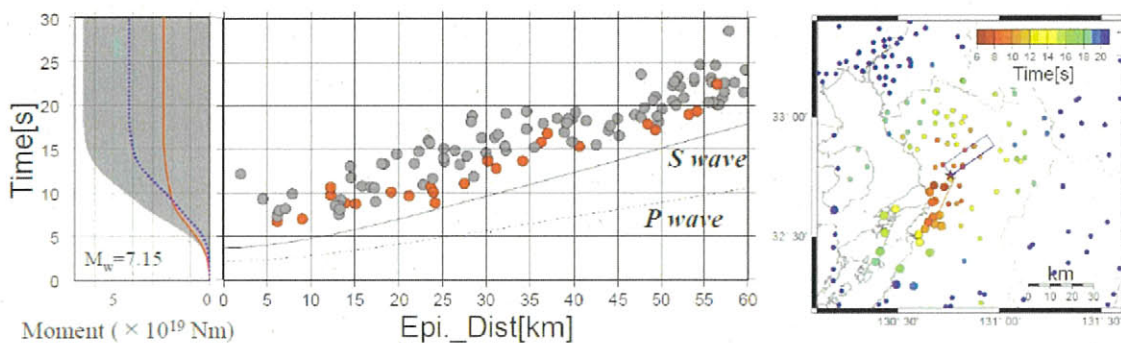


図 1: (左) 熊本地震でのモーメントの成長 (気象庁, 2017 による)。赤線は南西側, 青線は北東側のセグメント。(中) PGA の出現時間。横軸は震央距離 (km)。赤点は震源から見て南西側の観測点。(右) PGA の出現時間の分布。大きなシンボルは、中図で赤色とした南西側の観測点。