

## M7.3 熊本地震に伴う誘発地震：地震動即時予測の観点から

干場充之・小木曾仁（気象研究所）

### 1. はじめに：

一連の熊本地震で2016年4月16日にM7.3が発生し、大分県湯布院付近を強震動が通過した直後に、M6クラスの地震（以後、誘発地震と呼ぶ）が発生したことが指摘されている（たとえば、地震調査委員会「平成28年熊本地震の評価」）。湯布院付近では、M7.3の地震だけでは震度4程度の揺れだったものが、この誘発地震により震度6弱が観測されている。

地震動即時予測の研究分野では、特に2011年の東北地震以降、巨大地震の広い震源域の課題と、ほぼ同時に発生する複数の地震の課題、への対応が注目されてきている。これらの課題に対処するため、我々は、（震源やMを介さずに）“揺れから揺れを直接予測する”という考え方のもと、「揺れの数値予報」の構築を目指してきた（Hoshiya and Aoki, 2015）。一方、現在、世界各地で研究されている地震動即時予測の手法では、依然、震源とMを即時に推定する、という戦略のもと、震源位置を求めた後、上下動変位振幅からMを求めている場合が多い。

今回、誘発地震に伴う課題が新たに見えてきた。「変位振幅からMを求める」手法と「揺れの数値予報」による予測を比較しながら報告する。

### 2. 「変位振幅からMを求める」手法で見えてきた課題：

世界の多くの地震動即時予測の手法では、0.075Hz (13.3s)のハイパスフィルターを通した上下動変位振幅(Pd)から、Pd-Mの経験式に基づきMを推定している。P波着震の数秒間（通常、2~4秒間）の最大振幅からPdを求めている場合が多い。

図1には、誘発地震の震源に近い2観測点（K-NET湯布院 OIT009, 大分県震度計由布市湯布院町川上(94048)）での、上下動加速度と上下動変位（0.075Hzのフィルター適用後）である。加速度での大振幅が出現する数秒前に、変位振幅の最大値が見られる。この大きな変位振幅はM7.3の地震によるものである。この大きな変位に乱され、誘発地震による変位振幅の大きさははっきりとはわからない。実際、変位波形だけを見ても、誘発地震が発生していたことを認識すること自体がかなり難しい。

加速度で見ても、M7.3による震動が終わっていない段階で誘発地震が発生しており、誘発地震のP波を自動検測することは容易でない。仮に、自動検測に成功し震源位置を即時推定することが出来たととしても、Mが推定できない状況である。

### 3. 「揺れの数値予報」による予測：

「揺れの数値予報」は、データ同化手法を用いて揺れの実況値を正確に把握し、その後に波動伝播の物理（波動伝播のシミュレーション）により未来を予測する、という考え方である。図2は揺れ指標として、気象庁震度を用いた例である。図2では、震源時（O.T.）から40秒後に湯布院付近での強い揺れを把握したことに応じて、その強い揺れが伝播していくことを予測している。なお、この図では、地盤の増幅特性として、Ogiso et al.(2016)の結果を用いて補正している。

ここで、最近、「揺れの数値予報」に新たに工夫を加えた点を2点記しておく。1点目は、距離減衰関係の補正である。通常、経験的に求められる距離減衰式は、2次元空間を仮定した減衰よりも強く、3次元を仮定した場合よりも弱い場合が多い（たとえば、現在、気象庁が緊急地震速報で用いている震度予測

の距離減衰は、距離の-1.72乗であり、2次元減衰の-1乗よりも強く、3次元減衰の-2乗よりも弱い。この距離減衰特性を再現するため新たなパラメータを導入し、2次元減衰よりも強く3次元減衰よりも弱い距離減衰特性を仮想的に導入した。もう1点は、データ同化を対数で行うことである。従来、線型で行っていたが、振幅が急変する所で“補正しすぎる”場合があった。一方で、地震波振幅の誤差は通常、相対比（たとえば、「シミュレーションは実測の倍半分で合っている」など）で述べられることが多い。そこで、振幅の対数を取り、データ同化を行うことを行っている。

#### 4. 議論：

地震動即時予測で目指すのは揺れの即時予測であり、わが国では、揺れを表す指標として気象庁震度を用いることが多い。気象庁震度は、加速度波形から周期1秒付近に重みをもつフィルターを介して推定され、周期10秒以上や0.1秒以下の周期成分はほとんど影響しない。よって、周期10秒やそれ以上の長周期成分は震度の即時予測ではノイズとなる。周期13秒までの変位を見ているのでは、このノイズを見ていることになる。予測したい揺れの周期に注目することが重要であり、震度を予測したい場合は、震度に応じた周期（1秒付近）に注目することが大切である。

謝辞：防災科研 K-NET, KiK-net, JMA 震度計観測網, および大分県震度計観測網の波形データを使用した。

文献：Hoshiya, M. and S. Aoki (2015), BSSA, 105, 1324-1338, doi:10.1785/012014028.

Ogiso, M., S. Aoki and M. Hoshiya (2016), Earth, Planets and Space, 68, doi:10.1186/e40623-016-0467-4.

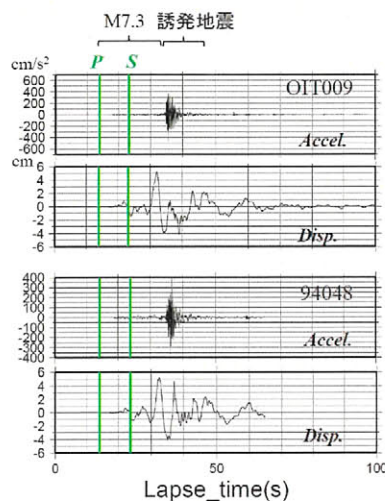


図1：OIT009と94048での上下動加速度と変位（0.075Hzのフィルター適用後）。P、Sは、M7.3の地震によるP波とS波の着震時。観測点94048の記録は65秒まで。

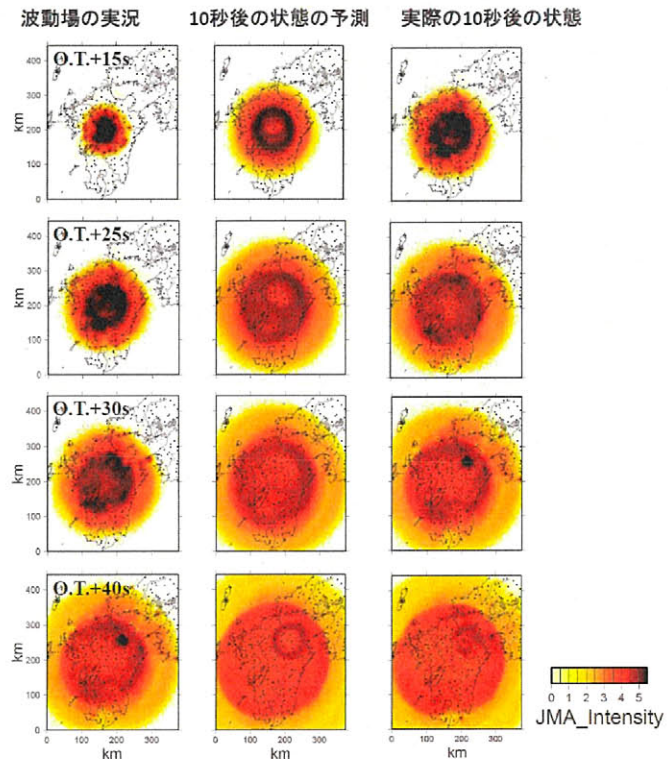


図2：震源時から15秒、25秒、35秒および40秒の時点での、波動場の実況、10秒後の予測、実際の10秒後の状態。誘発地震は35秒の直後に発生している。