

# 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の地震像と 巨大地震の早期規模推定に向けた取り組み

○吉田康宏、勝間田明男、青木重樹(地震火山研究部)

## 1. はじめに

2011年3月11日14時46分に三陸沖で起きた東北地方太平洋沖地震は、日本周辺で起きた地震では観測史上最大の地震で、主に津波により東日本の太平洋側に大きな被害をもたらした。気象庁は地震の発生約3分後には津波警報第1報を発表した。しかし気象庁マグニチュード( $M_{JMA}$ )が7.9と小さく推定されたため、津波の予測高が岩手、福島で3m、宮城で6mと実際に到達した津波より過小評価となり、大きな課題を残した。気象研究所ではこの課題を解決するため、巨大地震の規模を早期に推定する手法の開発に着手した。本講演ではそれらの取り組みを紹介すると共に、東北地方太平洋沖地震がどのような地震であったかを明らかにする解析も行ったので、その結果についても述べる。

## 2. 東北地方太平洋沖地震のすべり量分布

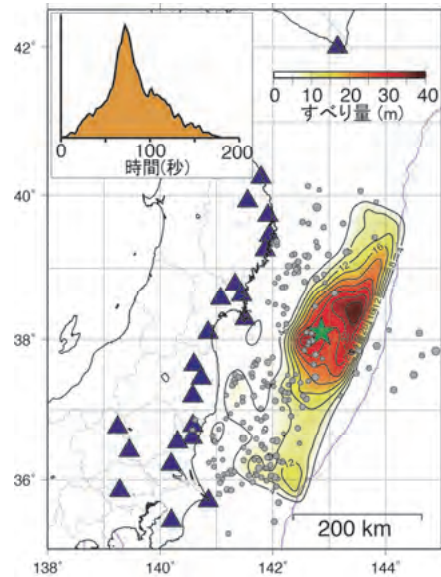
巨大地震の早期規模推定手法の話に入る前に、東北地方太平洋沖地震がどのような特徴をもつ地震であったかを述べる。これは地震の特徴を抽出することが、規模推定手法を開発する上で重要と考えるからである。

1995年の兵庫県南部地震を契機として、強震動まで振り切れずに記録することができる地震計(強震計)が日本全国に約1,000点展開された。これら地震計の記録を用いて断層面上でのすべり量の時間空間分布を求めた結果を第1図に示す(Yoshida *et al.*, 2011)。解析の結果わかったことは大きくまとめると以下の3点である。

- (1)地震の規模をより正確に表すモーメントマグニチュード( $M_{\mu}$ )は9.0となり、日本周辺で起きた地震の中では観測史上最大の巨大地震であった。
- (2)破壊が起きた断層面の大きさは海溝に沿って約450km、それに直交する方向に約200kmであった。また、破壊の継続時間は約2分半であった。
- (3)断層面上で一番大きく動いた地域は宮城県沖の海溝に近い領域で最大38mすべった。この領域は津波を大きく励起した場所とほぼ一致している。

(1)の $M_{\mu}$ 9.0という結果は最初に気象庁が発表した $M_{JMA}$ 7.9と比べてかなり差がある。 $M_{JMA}$ は主に6秒より短い周期の波を用いて決定する。一方地震の破壊継続時間は約2分半と6秒

より長い周期を沢山含んでいる。このため $M_{JMA}$ はこの地震のエネルギーを過小評価しており、 $M_{\mu}$ との乖離が大きくなった。



第1図: 東北地方太平洋沖地震の断層面上のすべり量分布。4m毎にコンターを引いてある。本震の震源(破壊開始点)を星印、余震を灰色の丸で示す。解析に用いた地震計の場所を三角で表す。左上の図はすべり量の時間推移を示す。

## 3. 巨大地震の早期規模推定手法

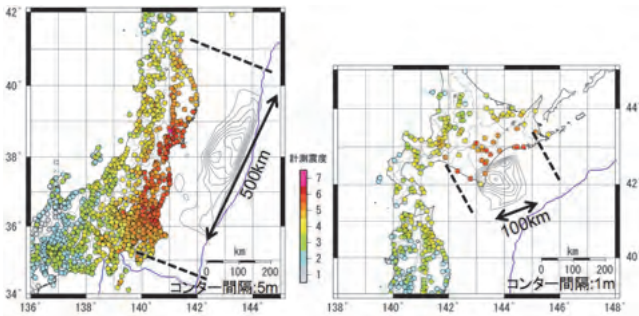
東北地方太平洋沖地震の特徴は、「我々が普段見ている記録では捉えきれないほど空間・時間分布が大きな地震であった」ということである。マグニチュードが過小評価されるという問題を解決するためには、その大きな空間・時間分布を早期に捉える方法を開発することが必要である。そこで我々は、幾つかの手法を調査し、その有効性を検証してきた。現在以下に挙げる手法について実用化に向けた研究を行っている。

- (1)強震域(震度6弱以上の地域と定義)の広がりから規模を推定。
- (2)P波の振幅より規模を推定。
- (3)様々な周期帯域の記録を比較しながら規模を推定。
- (4)強震動の継続時間より規模を推定。

以下に(1)~(4)の手法についてその概略を説明する。

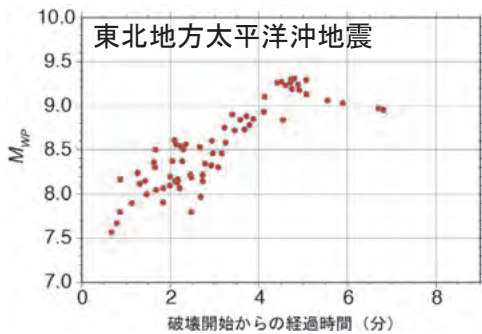
- (1) 2003年十勝沖地震( $M_{\mu}$ 8.3)と今回の地震の震度分布を比較すると(第2図)、両者は明らかに強震域の大きさが異なる。

っている。また、すべり量分布との比較からわかるように、強震域は断層面の大きさに比例していることがわかる。そこで強震域の広がりから震源域の広がりや地震規模を推定する式を提案した。



第2図：2011年東北地方太平洋沖地震(左)と2003年十勝沖地震(右)の震度分布とすべり量分布(コンター)の関係。

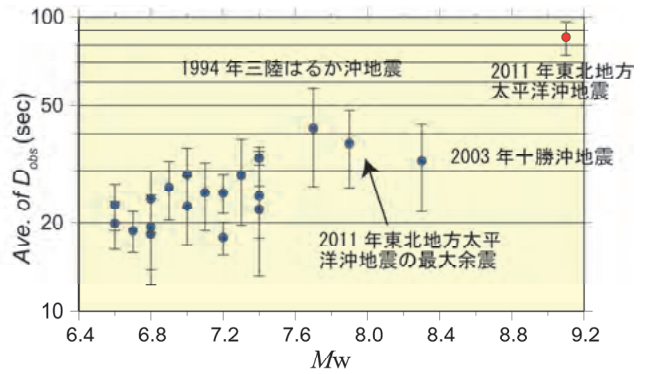
(2)P波の変位振幅の面積は地震の規模に比例することが知られている。この面積を基に計算したマグニチュードを $M_{WP}$ と呼ぶ。破壊の継続時間が長い巨大地震では3分以内に最終的な地震規模を推定することは困難である。そこで、最初から地震の最終的な規模推定を目指すという考え方を改めP波到着から、2分間あるいはS波到着までの期間のうち短いほうを選び、その間の記録で各観測点の $M_{WP}$ を求めた(第3図)。この図から各時間において地震の規模が今以上に大きくなるか、これ以上大きくならないかを判断していくことができるようになる。



第3図：各観測点のP波変位振幅の面積から計算された $M_{WP}$ 。横軸に規模が推定されるまでに要した発震時からの時間を示す。

(3) 1つの周期帯だけでなく、幾つかの周期帯域の記録を比較することにより、地震でどの周期の波が強く励起されたかがわかる。巨大地震では長い周期の励起が大きいので、長周期を含む記録の振幅から規模を推定することができる。  
 (4)大きな地震ほど破壊の継続時間は長く、それに伴い強震動の継続時間も長い。この関係を利用して、大地震の継続時間と地震規模( $M_W$ )の関係を見た(第4図)。正確な $M_W$ を

求めるのはばらつきが大きいため困難であるが、M9クラスの巨大地震であるか否かを判断する際に有効である。



第4図：強震動の平均継続時間( $D_{obs}$ )と $M_W$ の関係。平均値を丸、観測点毎のばらつきの大きさをエラーバーで示す。

#### 4. まとめ

以上述べてきたように複数の巨大地震の規模推定手法を開発・検証した。各々の手法は迅速性を第一としているため、その手法単独で正確なマグニチュードを推定するのは困難であるが、いずれも巨大地震であるか否かの判断材料として有効である。また、複数の手法で規模推定を行うと、クロスチェックができ、規模の過小評価を防ぐために役立つ。今回検証を行った手法は地震発生からほぼ5分以内での規模の評価を目標としている。それより後は沖合の水圧計、GPS波浪計など沖合津波計のデータが得られると予想されるので、津波高の推定はこれらのデータにバトンタッチすることとなる。本研究の手法は沖合津波計への橋渡しをするまでに使われるものとして、十分な精度を持っていると考えられる。

#### 謝辞

本解析において(独)防災科学技術研究所の地震観測網の記録(F-net、K-NET、KiK-net)を使わせて頂いた。

#### 参考文献

(1) Yoshida, Y., H. Ueno, D. Muto, and S. Aoki, 2011: Source process of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku earthquake with the combination of teleseismic and strong motion data, *Earth Planets Space*, **63**, 565-569.

※本研究は、重点研究「海溝沿い巨大地震の地震像の即時的把握に関する研究(平成22~26年度)」(研究代表者: 横田崇、研究分担者: 勝間田明男、吉田康宏、青木重樹、上野寛、弘瀬冬樹、小林昭夫、木村一洋、林元直樹、平田賢治、対馬浩晃、上野寛(地震火山研究部)、大竹和生、碓井勇二、足達晋平、武藤大介、岩切一宏、相澤幸治(本庁地震火山部)、山崎明、吉川澄夫(地磁気観測所))として行われた。