

## 島崎邦彦氏の日本地球惑星科学連合 2016 年大会 (2016/05/25) での発表「過小な日本海『最大クラス』津波断層モデルとその原因」へのコメント

### はじめに

島崎先生の発表は<sup>1)</sup>、大変重要な問題提起を含んでいると思いますが、問題とされている入倉・三宅(2001)<sup>2)</sup>のスケーリング則が高角断層で過小評価になるという主張は、「科学的事実」と「行政的判断のあり方」が区別されずに、議論されており、大変残念に思っております。ここでは、入倉・三宅(2001)<sup>2)</sup>のスケーリング則を用いると、強震動評価が過小評価になるという島崎先生の主張に絞って、問題点を指摘させていただきます。

入倉・三宅(2001)<sup>2)</sup>のスケーリング則は科学論文として査読付きの雑誌(地学雑誌)掲載されたものであり、そこで導かれた経験的關係式は、強震動データの解析で確認されたものです。その経験的關係式が、最近のデータでも成り立つことは、2015年の日本地震工学会論文集の宮腰・入倉・釜江の論文<sup>3)</sup>(査読付き論文)でも検証されています。そのほか、関連論文として、日本地震学会「地震」の田島・他(2013)<sup>4)</sup>や国際誌(PAGEOGH)に掲載された Murotani et al. (2015)論文でも、その有効性が検証されています。

### 2016年熊本地震(M 7.3)の震源モデルへの適用性

島崎先生は、日本地球惑星科学連合大会の講演中に入倉・三宅式が2016年熊本地震で成り立っていないといわれましたが、入倉・三宅(2001)論文は強震動記録や遠地記録など seismic data (地震学的データ)に基づいて導かれたものであるのに対し、熊本地震について島崎先生は国土地理院の測地データによる均質震源モデル<sup>6)</sup>と比較されています。熊本地震については、入倉・三宅(2001)論文で用いた強震動記録による波形インバージョン解析が多くの著者によりなされ、すでに発表されています(例えば、浅野, 2016<sup>7)</sup>; 瀨瀬・他, 2016<sup>8)</sup>; 久保・他, 2016<sup>9)</sup>)。島崎先生が、それらの強震動データの波形インバージョン解析結果を全く無視されているのは、きわめて不自然に思います。熊本地震については、今後のより精緻な解析が必要な段階ですが、強震動記録を用いた解析結果(断層長さ 40-56km、断層幅 16-20km)を整理すれば、一定のばらつき(例えば  $1\sigma$ )の範囲で、スケーリング則に合致している、と考えています。

しかしながら、島崎先生が発表で指摘されたように測地データから求めた均質な震源断層は過小評価となってしまう、という問題はあります。国土地理院による測地データを用いた解析は、震源断層で一様な静的変形を仮定して、破壊

域面積と平均変形量を推定したものです。それに対して、波形インバージョン解析は、強震動データを用いて震源断層におけるすべり分布を一様と仮定することなく逆問題として不均質なすべり分布を推定するものです。強震動の生成は、震源断層におけるすべりの不均質性によることが多くの研究者により明らかにされ、国際的にもコンセンサスが得られた考えです。強震動データによる震源断層が大きく決まるのは、実際の動的な断層すべりは震源断層内で決して一様ではなく、不均質なすべり分布となるため、全体の破壊域は測地データの均質すべりを仮定したモデルに比べて顕著に大きく決まることになるためと考えられます。したがって、強震動データの解析で決まる断層長さは、地下に存在する震源断層の実際の長さを表していると考えられます。

2016年熊本地震については、国土地理院は、前述の方法とは別に、SAR(だいち2号)およびGNSSで観測された測地データを用いて、布田川断層帯および日奈久断層帯に震源断層面を設定してインバージョン解析によりすべり分布の推定も行っています<sup>10)</sup>。結果として推定された断層すべりは不均質な分布を示し、布田川断層帯および日奈久断層帯の震源断層を合わせると断層面積は約60 x 20 km<sup>2</sup> (これは解析用に設定された破壊域面積、実際のすべり域はこれよりやや小さいと考えられる) に及んでいます。この事実は、強震動データでも測地データでも、断層面上の不均質なすべりを考慮すれば、ほぼ同じ解が得られることを示すものです。

もう1つの問題として、宮腰・他(2015)<sup>3)</sup>でも指摘されていますが、地表で観測できる地表断層のずれの長さ(Lsurf)と震源インバージョンから決まる震源断層の長さ(Lsub)は、必ずしも一致しない場合(例えば、1995年兵庫県南部地震)があり、それらを一致させるために活断層調査をどうするか、という問題は、重要です。

今回の熊本地震を例としても、事前に認定されていた活断層の長さ、地震後の認定された地表地震断層の長さ、地震後に累積地形の情報などの追加情報で活断層と認定できる長さ、さらに震源インバージョンからの震源断層長さ等が必ずしも一致していないという問題は残されています。また、断層幅についても、事前にどのように推定するかについて、経験的関係の検討が必要です。入倉・三宅式は、横ずれ断層地震と逆断層地震を区別しないで、破壊域面積と地震モーメントの経験的関係を求めたものです。断層の幅が地震発生層の厚さに関係するというのは、多くの地震学の研究者による「微小地震や大地震の直後の余震は地震発生層内で発生する」という観測事実に基づいたものです。

これらのことから、入倉・三宅(2001)<sup>2)</sup>式あるいは Murotani et al. (2015)<sup>5)</sup>式は、将来の地震の規模や必要な断層パラメータを推定する上で、基礎となる式ではありますが、それですべてのパラメータが決められるわけではなく、個別の活断層を想定して強震動を予測するために、技術的にどのようにしたらいいか、別途の検討が必要と考えます。

実際、2016年熊本地震の地表地震断層の調査で、地表にずれの現れた長さは産総技術総合研究研により約34 kmとされていますが、強震動記録のインバージョンから推定される震源断層の長さは40-56 kmとなっています。このような食い違いは以前からも、問題になっており、活断層の調査手法として、地表の変動地形だけでなく、反射法探査や重力探査など地球物理学的手法も取り入れるなど検討する必要があると考えます。

#### 地震データがほとんどない過去の地震による検証

そのほか、島崎先生は日本地球惑星科学連合2016年大会の講演の中で、「測量によって地震時の静的変形が観測されている1927年北丹後地震、1930年北伊豆地震、1943年鳥取地震について、既存の断層面積の推定値(Kanamori, 1973<sup>11)</sup>; Abe, 1978<sup>12)</sup>)から、入倉・三宅式を用いて平均的なずれの量を求め、これから推定される変形が実測値と調和的かどうかを検討されました。その結果、入倉・三宅式では「実測値の1/4以下の変形しか説明できないことがわかった。」とされています。島崎先生は、変形の実測値を比較されたと書かれていますが、Abe(1978)やKanamori(1973)の論文を確認すると、それらは一様なすべりの断層モデルを設定し、地表の変形量を計算し、地表の変形量の実測データ(測地データ)と比較して、断層面の変形を推定したものです。このことは、測地データからの均質モデルのすべり量と強震動記録からのインバージョンによる不均質すべり分布が一致していない、というこれまでの解析結果に対応している可能性があり、先に述べた熊本地震でも国土地理院の均質震源モデル(測地データ)と強震動から求めた震源モデルの食い違いと同じ理由があると考えられます。

一方で、入倉・三宅式は、破壊域面積と地震モーメントの関係を与えるものですから、いかに信頼性ある断層面積を推定できるかが予測問題として極めて重要な課題です。そのための調査データの収集が必要不可欠と考えます。

おわりに

上記のように、科学的論文としての入倉・三宅(2001)の内容が、正しくない、とする結論は、いかにも性急すぎる判断と思います。入倉・三宅式を強震動予測など防災目的に用いるとき「行政的にどのような注意が必要か」は、あきらかに別の話です。強震動データを用いた熊本地震の解析結果と入倉・三宅式との比較など、詳細な分析を抜きにして、入倉・三宅(2001)を使うと過小評価になると断罪することは、あまりに偏った考え方と思います。

強震動の計算においては、多くの研究者が不均質な震源モデルを使用し、過去の地震の記録を再現できることを、一つ一つ検証を重ねてきました。提案しているスケーリング則は、これらの検証を経たものです(例えば、地震調査委員会・強震動評価部会, 2008<sup>13)</sup>; Morikawa et al., 2011<sup>14)</sup>。

入倉・三宅式を強震動予測や津波予測に使う場合に、過小評価にならないためにどうすれば良いかに関しては、島崎先生の主張をすべて否定しようとは思っていません。しかし、入倉・三宅(2001)のような科学論文に対しては、科学的に正しい方法で議論すべきと考えます。

入倉孝次郎

#### 参考文献

- 1) 島崎 (2016): 過小な日本海「最大クラス」津波断層モデルとその原因, 日本地球惑星科学連合 2016 年大会 2016 年 5 月 22 日—26 日, [HDS19-12], <https://confit.atlas.jp/guide/event-img/jpgu2016/HDS19-12/public/pdf?type=in>.
- 2) 入倉・三宅 (2001): シナリオ地震の強震動予測、地学雑誌, 110, 849-875.
- 3) 宮腰・入倉・釜江 (2015): 強震動記録を用いた震源インバージョンに基づく国内の内陸地殻内地震の震源パラメータのスケーリング則の再検討, 日本地震工学会論文集, 15-7, 141-156.
- 4) 田島・松元・司・入倉 (2013): 内陸地殻内および沈み込みプレート境界で発生する巨大地震の震源パラメータに関するスケーリング則の比較研究、地震2, 66, 2013, 31-45.
- 5) Murotani, S., S. Matsushima, T. Azuma, K. Irikura, and S. Kitagawa (2015): Scaling relations of source parameters of earthquakes occurring on inland crustal mega-fault systems, Pure Appl. Geophys., 172, 1371-1381.
- 6) 国土地理院(2016): 平成 28 年熊本地震の震源断層モデル (暫定) <http://www.gsi.go.jp/common/000140781.pdf>,

- 7) 浅野(2016): 「平成 28 年 (2016 年) 熊本地震」の地震活動のうち本震 (MJMA7.3) の震源過程 (改訂版) ,  
[http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/k-asano/pdf/20160416KumamotoEQ\\_v20160513.pdf](http://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/k-asano/pdf/20160416KumamotoEQ_v20160513.pdf)
- 8) 瀬藤・小林・三宅 (2016): 4 月 16 日地震の震源断層と震源インバージョン (暫定) ,  
<http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/2016kumamoto/index.html>.
- 9) 久保・鈴木・青井・関口 (2016): 近地強震記録を用いた平成 28 年 (2016 年) 熊本地震 (4 月 16 日 1 時 25 分、M7.3) の震源インバージョン解析 (2016/5/12 改訂版)  
[http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Kumamoto\\_20160416/inversion/](http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/Kumamoto_20160416/inversion/)
- 10) 国土地理院 (2016): 平成 28 年熊本地震の滑り分布モデル (暫定) ,  
<http://cais.gsi.go.jp/YOCHIREN/activity/211/image211/211.pdf>
- 11) Kanamori, H. (1973): Mode of strain release associated with major earthquakes in Japan, Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1, 213-239.
- 12) Abe, K. (1978): Dislocations, source dimensions and stress associated with earthquakes in the Izu Peninsula, Japan. J. Phys. Earth, 253-274.
- 13) 地震調査委員会強震動評価部会(2008): 2005 年福岡県西方沖の地震の観測記録に基づく強震動評価手法の検証について,  
<http://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20080411fukuoka.pdf>
- 14) Morikawa, N., S. Senna, Y. Hayakawa, and H. Fujiwara (2011): Shaking Maps for Scenario Earthquakes by Applying the Upgraded Version of the Strong Ground Motion Prediction Method “Recipe”, Pure Appl. Geophys., 168-3, 645-657.