

震度マグニチュードによる震度予測の高精度化

#堀内茂木((株)ホームサイズモメータ)・岡田由佳・三津橋歩(株)ミサワホーム総合研究所)・青木亮(株)ミサワホーム)・梶川 久光(明治大学理工学部)

1. はじめに 緊急地震速報の震度予測では、気象庁マグニチュードに司・翠川(1999)による距離減衰式を適用して行われている。気象庁マグニチュードは変位の最大振幅で定義されているが、例えば、卓越周波数が3Hz の地震と、1Hz の地震では、変位振幅が同じでも、加速度は9倍変ることから、変位から加速度を推定すると誤差が生ずる場合がある。山本・他(2007)は、震度を推定するための新しい震源パラメータとして“震度マグニチュード”を提案している。本報告では、震度マグニチュードの有効性について再検討した。

2. 震度マグニチュードの計算方法 震度マグニチュードとは、観測された震度を最もよく説明するマグニチュードのことで、観測された震度を用いて定義されている。緊急地震速報では、司・翠川(1999)による距離減衰式を用いることになっており、この減衰式は全ての緊急地震速報利用者の端末装置に組み込まれている。そこで、ここでは、距離減衰式として、司・翠川(1999)を用い、気象庁マグニチュードの変わりに、震度マグニチュードを代入して、震度を推定するようにした。また、震度マグニチュードは、観測震度を満足するマグニチュードを観測点毎に求め、それを平均して求めた。平均値の計算では、震源距離の二乗に反比例するよう重みを付けて、行うようにした。上述のように、距離減衰式に司・翠川式を用いているため、震度マグニチュードに変えても、緊急地震速報の各ユーザーは、各自の端末ソフトを変更する必要はない。なお、震度マグニチュードの決定方法の詳細は、前回の報告書(平成28年4月—6月)に示されている。

3. 結果

図1に解析に用いた地震の震央分布を示す。解析には、K-NETで収録された波形データをコピーして用いた。解析に用いた期間と、マグニチュードは、

(1) 2011年3月～2012年2月

マグニチュード3以上の地震

(2) 2012年2月～2016年8月

マグニチュード5以上の地震

である。

解析に用いた地震数は、629個で、この中には、マグニチュード5以上の地震421個が含まれている。解析に用いた波形データは、12,669個である。K-NETの波形データファイルに書き込まれて震源パラメータは、気象庁の暫定震源であることから、震源パラメータは、気象庁震源リストを防災科学技術研究所からコピーし、用いるようにした。

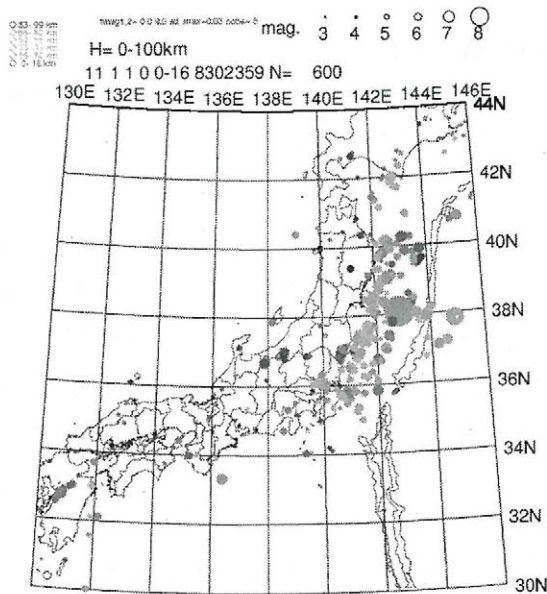


図1. 解析に用いた100km以浅の地震の震央分布。解析では、100km以深の地震や、この領域に含まれない地震、計29個も含まれている。

図2. に震度マグニチュードと気象庁マグニチュードとの関係を示す。震度マグニチュード(Mi)と、気象庁マグニチュード(Mjma)との関係式を線形式で置き、その関係式を求めた。求められた関係式は、

$$Mi = 0.69 Mjma + 2.01 \quad (1)$$

であり、図2の直線で示されている。

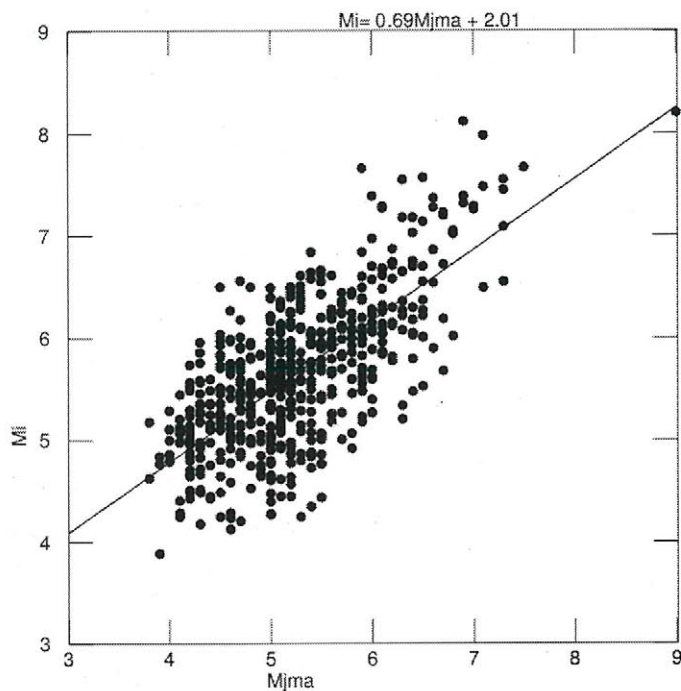


図2. 震度マグニチュード(縦軸)と、気象庁マグニチュード(横軸)との関係

図3に、気象庁マグニチュードを用いた場合の予測震度(縦軸)と観測震度(横軸)との関係を示す。予測震度の計算は、気象庁で最終決定されたマグニチュードを用いて行った。赤丸は、東日本大震災のデータであるが、予測震度は観測震度に比べ、大幅に小さくなっている。

図4は、東日本大震災の震度分布である。多くの地域で、震度6—7が観測されているが、図3に示すように、予測震度は、5.1以下になっている。東日本大震災のモーメントマグニチュードは9.0であるが、気象庁マグニチュードは、7.9であった。気象庁マグニチュードは、周期5秒の変位振幅から定義されているため、マグニチュード8程度より大きい地震が発生しても、いわゆる、マグニチュード飽和の問題で、計算されるマグニチュードは、8前後より大きくならない。巨大地震の正確な規模推定には、周期無限大のモーメントマグニチュードを用いる必要がある。東日本大震災発生時の緊急地震速報は、大幅に過小評価になっていると指摘されているが、現在の緊急地震速報システムでは、気象庁マグニチュードを用いているため、巨大地震が発生した場合に、マグニチュードの飽和の問題で、正確な震度の予測を行うことは難しい。

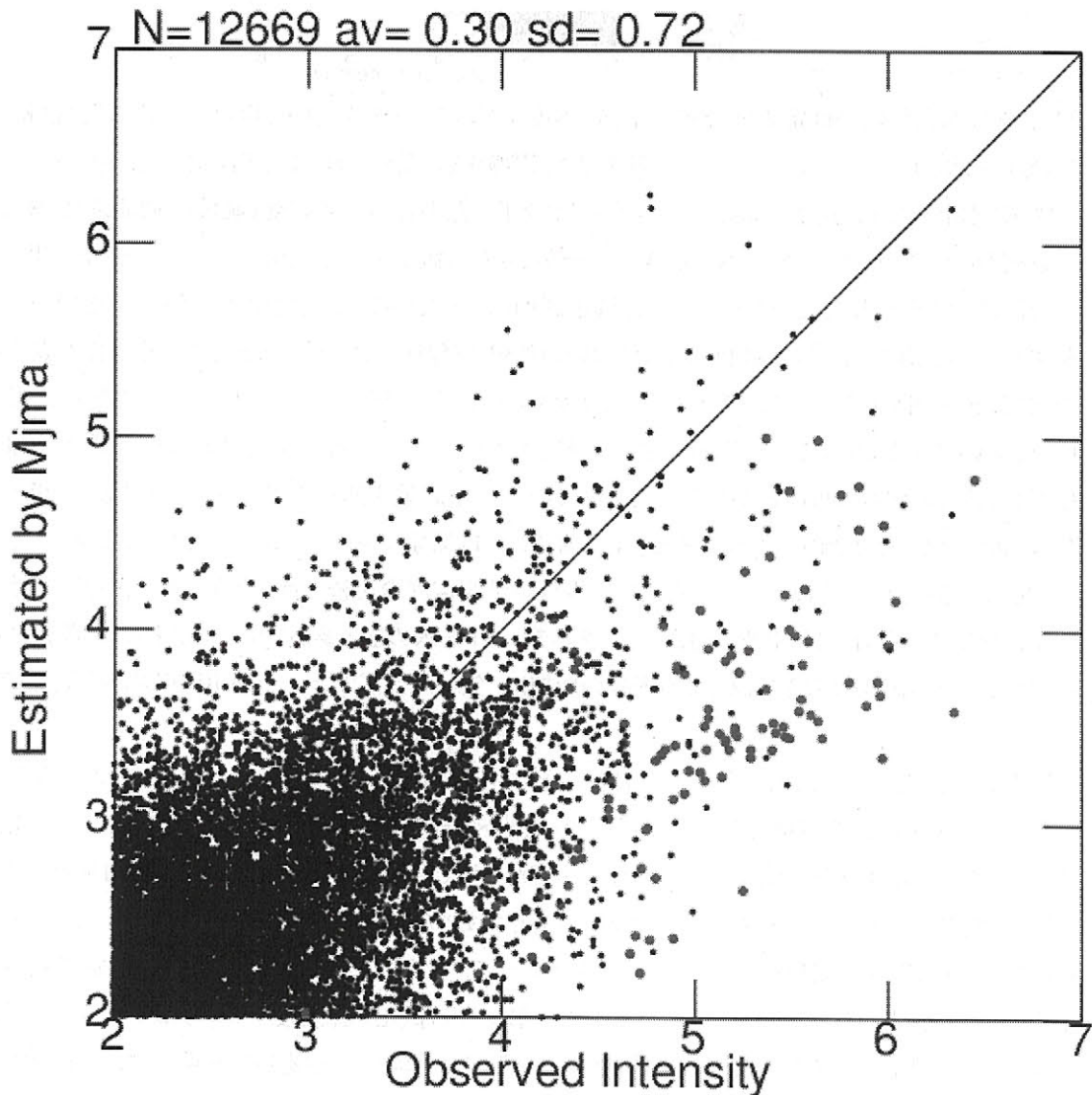


図3. 気象庁マグニチュードを用いた場合の司・翠川(1999)式から計算される予測震度(縦軸)と観測震度(横軸)との関係。震度予測では、気象庁で最終決定されたマグニチュードを用いた。赤丸は、東日本大震災のデータ。

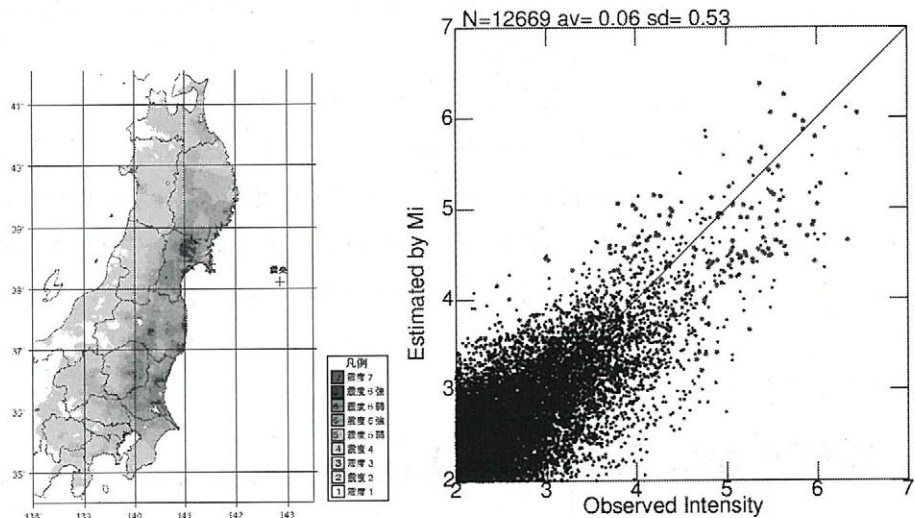


図4. 東日本大震災の推定震度分布 (気象庁による)。

図5. 震度マグニチュードを用いた場合の予測震度(縦軸)と観測震度(横軸)との関係。赤丸は、東日本大震災のデータ。

図5に本解析で求められた震度マグニチュードを用いた場合の予測震度(縦軸)と観測震度(横軸)との関係を示す。赤丸は、東日本大震災のデータである。図3に示す、気象庁マグニチュードを用いる場合には、東日本大震災の震度予測は、過小評価になっているが、震度マグニチュードを用いて予測すると、巨大地震でも過小評価にはならない。図3の気象庁マグニチュードを用いる場合の震度の予測誤差の標準誤差は、0.72 であるが、震度マグニチュードを用いる場合には、0.53 であり、前者に比べ、大幅に小さくなっている。この結果は、震度マグニチュードを用いることにより、緊急地震速報の精度が大幅に高くなる可能性があることを示している。緊急地震速報の場合には、P波部分のリアルタイム震度を求め、予測する必要がある。本報告では、1) 気象庁マグニチュードと、2) 震度マグニチュードを用いる場合の、全波形データを用いた場合の予測震度の比較を行ったが、本手法を緊急地震速報に適用する場合には、P波部分から、マグニチュードを求める必要があり、このことによる誤差に伴い、震度予測の誤差は大きくなる。この誤差の増加は、気象庁マグニチュードを用いる場合も同様である。

図6は、気象庁による、2015 年5月31日、小笠原諸島西方沖地震(Mw=8.5, H=682km)の震度分布である。この地震は、関東地方から遠く離れた、深さ 682kmの深発地震であるが、規模が大きい地震であったため、関東地方でも、震度5弱の揺れが観測された。緊急地震速報(警報)では、150km 以深の深発地震については、正確な震度の予測 が困難であるとの理由で、震度の予測を行っていない。原因は、司・翠川式に気象庁マグニチュードを代入すると、深発地震場合には、大きな推定誤差が生ずるからである。図7は、気象庁マグニチュードを用いた場合(左)と、震度マグニチュード(右)を用いた場合の、観測震度と予測震度との関係である。気象庁マグニチュードを用いる場合には、予測震度は、観測震度に比べ、大幅に大きくなっている。図は、震度マグニチュードを用いると、このように遠方

で発生した深発地震でも、ほぼ正しい震度予測が行えることを示している。



図6. 2015年5月31日、小笠原諸島西方沖地震(Mw=8.5, H=682km)の震度分布(気象庁発表)。

司・翠川式に気象庁マグニチュードを適用する場合には、震度4以下の地震には対応できないことが指摘されている。図3に示した気象庁マグニチュードを用いる場合の震度予測と観測震度との比較から明らかなように、予測震度は、系統的に小さくなっている。図の上端の数字で示されているよう、平均的に0.30小さくなっている。一方、震度マグニチュードを用いる場合には、0.06と小さい。平均値が0.0にならない理由は、震度マグニチュードの平均値の計算で、震源距離の二乗に反比例するように重みを設定しているためである。

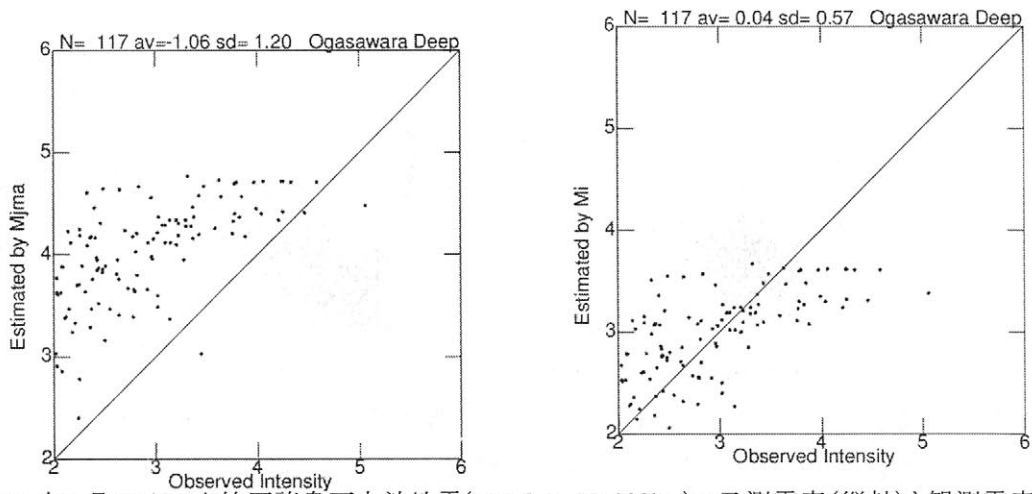


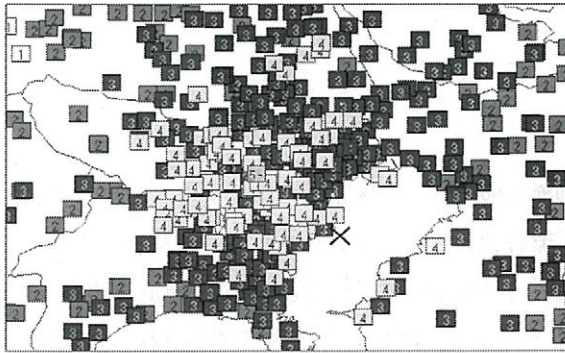
図7. 2015年5月31日、小笠原諸島西方沖地震(Mw=8.5, H=682km)の予測震度(縦軸)と観測震度(横軸)との関係。左:気象庁マグニチュード、右:震度マグニチュード。緊急地震速報では、150kmより深い地震の予測は困難であると指摘されている。震度マグニチュードを用いると遠く離れた地震の震度予測も可能である。

4. 震度予測における、地盤増幅度メッシュデータ利用の効果

図8に、2015年9月12日、深さ57kmに発生した、マグニチュード5.2の地震の震度分布を示す。この地震は、深さ57kmの地震であることから、関東地方では、震源距離の違いは、大きくないが、観測された震度は、震度2から、震度5弱まで分布している。防災科学技術研究所による250mの地盤増幅度のメッシュデータに基づいて、地盤増幅度による震度補正を計算したが、観測された震度は、震度2から5弱まで分布しており、地盤増幅度の250メッシュデータを用いて、震度の違いを説明することは困

難であった。

図9は、地盤増幅度の250メッシュデータを用いて、地盤震度による震度予測の補正を行った場合(左)と、行わない場合(右)の予測震度と観測震度との関係である。地盤増幅度を用いる場合の震度の予測誤差の標準誤差は、0.53、用いない場合のそれは、0.50である。この結果は、地盤増幅度データを用いても震度の予測精度の精度向上は見込めないことを示している。



各観測点の震度分布図(震央近傍を拡大)

図8. 東京湾の地震(2015年9月12日、M=5.2、深さ=57km)の震度分布。

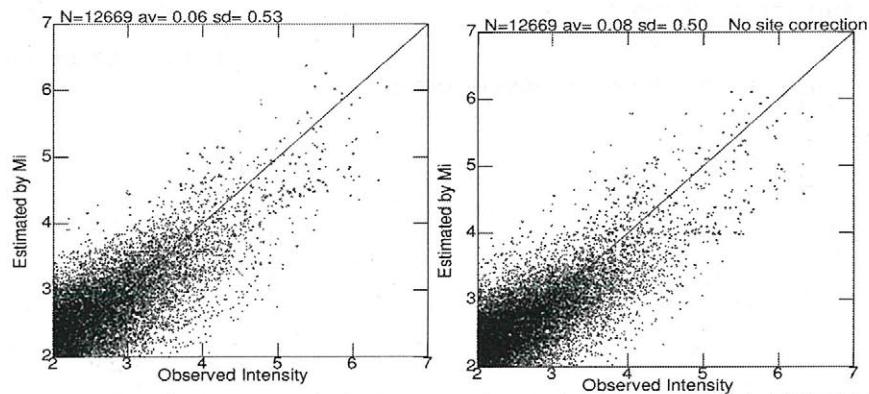


図9. 250メッシュ地盤増幅度を用いる場合(左)と、用いない場合(右)の予測震度と観測震度との関係。地盤増幅度を用いる場合の震度の予測誤差の標準誤差は、0.53、用いない場合のそれは、0.50であり、地盤増幅度データを用いても震度の予測精度の精度向上は見込めない。

5. 結論

- 震度予測に、司・翠川(1999)の距離減衰式を用いた震度マグニチュードを導入することにより、
 - 震度の予測精度が、大幅に向上(標準誤差 0.72-0.53)する。
 - 巨大地震発生時にも、過小評価しない。
 - 深発地震や遠地地震、小さい地震の震度予測にも適用可能になる。
 - 緊急地震速報のユーザーの端末システムの変更は不要である。
- 地盤増幅特性のデータは、震度予測の精度向上に貢献しない。