

二段階回帰による計測震度から SI 値への換算式

千葉大学 大学院工学研究科 正会員 丸山 喜久, 山崎 文雄

1. はじめに 東京ガス(株)のリアルタイム地震防災システム SUPREME¹⁾では, 都市ガス供給エリア内に約4,000箇所配備した SI センサーによる地震動モニタリングを実施し, 観測された SI 値をもとに地震直後の緊急対応体制が確立される. 各 SI センサーと本社との通信手段には, (株)NTTドコモの packet 通信網が採用されているが, 首都圏に直下型地震が発生した場合, 通信の輻輳によって一部の地震計の観測値が把握できないことも懸念される.

気象庁では, 震度計で観測された震度をもとに, 震度を面的に表現した「推計震度分布図」²⁾を, 平成16年3月1日より提供開始している. (財)気象業務支援センター経由で, オンライン提供される推計震度分布図では, 全1kmメッシュについて小数点第1位までの計測震度が記述されている. そこで, 本研究では, 輻輳時における SI センサーのバックアップとして推計震度分布図を利用するために, 計測震度から SI 値の換算式を構築する.

2. 地震データと回帰方法 これまで, SI 値などから計測震度を推定する式は, 童・山崎³⁾や Karim and Yamazaki⁴⁾が提案している. まず, 回帰分析における説明変数と被説明変数が入れ替わった場合に回帰式がどの程度の違いを生じるかを把握する. そこで, Karim and Yamazaki⁴⁾が使用している非液化化地点で観測された地震記録(13地震, 879記録)を用いて, 計測震度から SI 値を推定する式を構築する. 関数形は式(1)のように定める. I は計測震度, $d_0 \sim d_2$ は回帰係数, M_w はモーメントマグニチュードを表す.

$$\log_{10} SI = d_0 + d_1 M_w + d_2 I \quad (1)$$

本研究では, Karim and Yamazaki⁴⁾と同様に, 地震ごとに地震動指標値の関係にばらつきがあること, かつ地震ごとに記録地点数に差があることに注目し, これらの影響を取り除くために二段階の回帰を取り入れることにした. M_w をあえて独立変数として回帰式に取り入れたのは, この二段階回帰⁵⁾を行うためである.

まず, 地震ごとに I と $\log_{10} SI$ の回帰直線を求め, その傾きを d_2^j , 切片(オフセット)を c_j とする. 図1に, M_w と傾き, オフセットの関係を示す. 傾きは概ね 0.5 程度の値を各地震で示している(平均値 0.497). オフセットは M_w に依存し, M_w とともに大きくなる傾向にある(平均値 -1.15). 次に, 傾き d_2^j は全ての地震で等しいと仮定し, 式(2)で表される二乗誤差を最小化するように傾き d_2 を算出する(第一段階).

$$\sum \varepsilon_j^2 = \sum (\log_{10} SI_i - d_2 I_i - \sum \delta_j c_j)^2 \quad (2)$$

ここで, j は地震番号, i は地震記録(総数 879)を表し, δ_j は j 番目の地震のときに 1, その他は 0 の値を示す. 今回のデータセットでは, $d_2 = 0.501$ が得られた. さらに, 第二段階として, オフセットを地震マグニチュードで単回帰する. 今回のデータセットで第二段階の回帰分析を行うと, $d_0 = -1.66$, $d_1 = 0.074$ と得られる.

図2に, Karim and Yamazaki⁴⁾による SI 値から計測震度を推定する回帰式と本研究で構築した計測震度から SI 値を推定する回帰式を, $M_w = 7.0$ を代入して比較する. 回帰式の説明変数と被説明変数を入れ替えるとわ

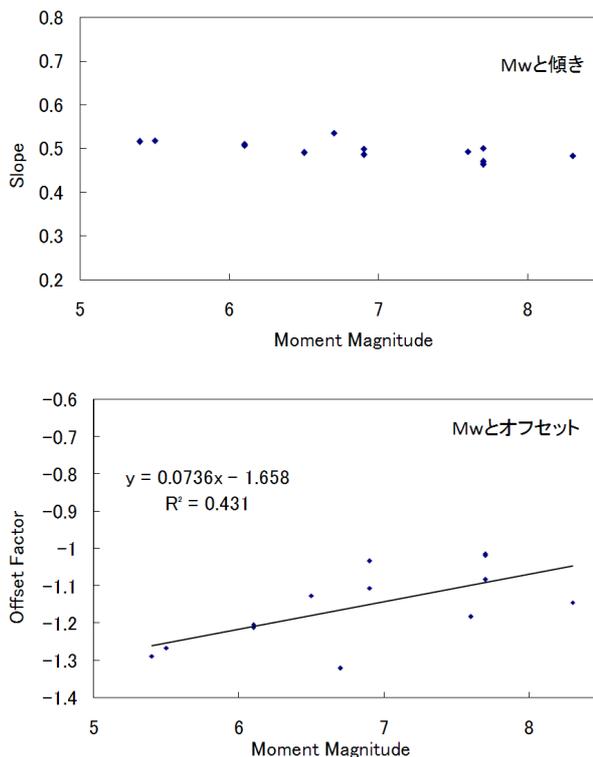


図1 地震ごとの回帰分析の結果

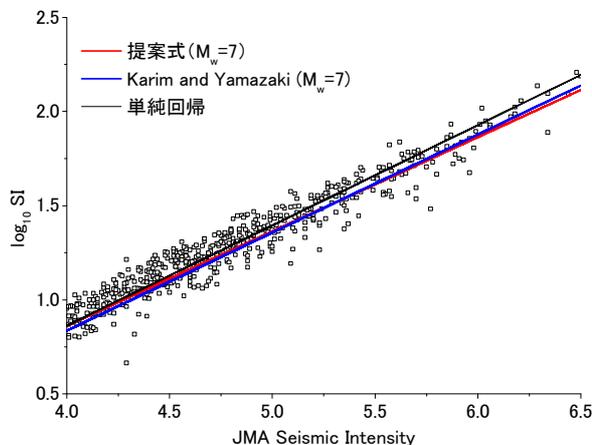


図2 回帰式の比較

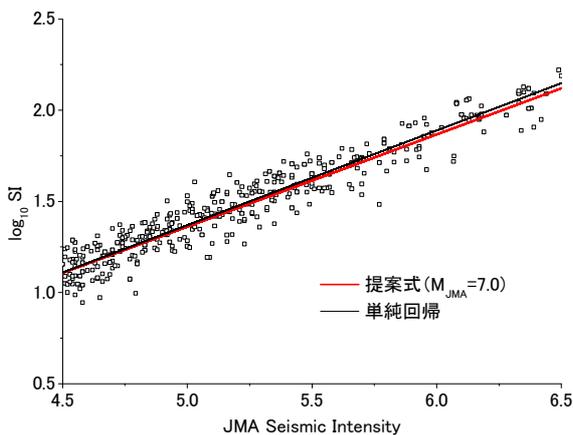


図3 気象庁マグニチュードを用いた SI 値推定式

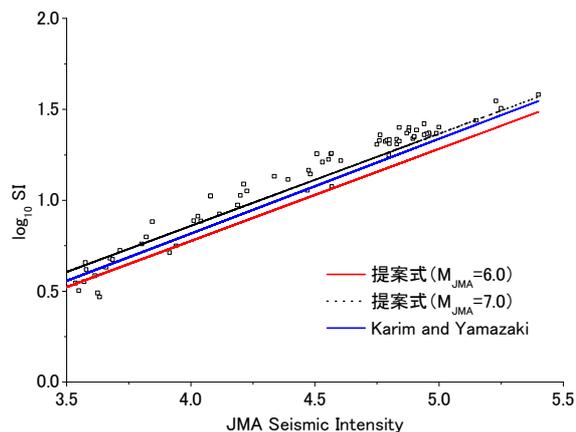


図4 千葉県北西部地震の推定精度

ずかに異なる関係式が得られることが分かる。また、計測震度が大きい範囲で単純回帰によって得られた関係式が、他の関係式と比べて過大な SI 値を与えることが確認される。

3. 近年の地震データの追加 Karim and Yamazaki⁴⁾の用いている地震動データは、1987年千葉県東方沖地震から1999年台湾集集地震までの13地震である。また、前章の関係式は M_w に関する回帰式であるので、気象庁が発表する面的震度分布との連動を考えれば、気象庁マグニチュード (M_{JMA}) を説明変数とする関係式の方が望ましいと思われる。そこで、2003年十勝沖地震、2004年新潟県中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟県中越沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震の観測記録を検討に加えて二段階回帰分析を行った。なお、前章で使用した地震のうち、海外の3地震は気象庁マグニチュードが不明のため本検討からは除外する。前章と同様の二段階回帰を行うと、式(3)のような回帰式が得られる(図3)。単純回帰によって得られた関係式と式(3)はほぼ同等の予測値を与えている。両者を比較すると、計測震度が5.5以上のときにわずかに二段階回帰によって得られた式(3)の方が小さな予測値を示している。

$$\log_{10} SI = -1.75 + 0.083M_{JMA} + 0.507I \tag{3}$$

二段階回帰分析に使用しなかった2005年千葉県北西部地震 ($M_{JMA}=6.0$, $M_w=5.8$) を対象に提案式の推定精度を検証する。図4には、Karim and Yamazaki⁴⁾の関係式も併せて示す。両式とも推定式の傾きは実データの関係性を精度よく再現できているものと考えられるが、全体的には SI 値を過小評価している。式(3)で $M_{JMA}=7.0$ として SI 値を予測すると、実データと比較的当てはまりがよいように思われる。

千葉県北西部地震においては、震源距離100km未満の地点で司・翠川⁶⁾の距離減衰式と比べて大きな PGV が観測されており、震央に近い東京湾岸などで広く、中周期帯の地震動が発達していたと考えられている⁷⁾。このような中周期帯の卓越現象に関しては、千葉県北西部地震に特有なものかどうか、今後複数の中小地震で検討する必要がある。

4. まとめ 計測震度から SI 値を予測する関係式を二段階回帰分析により構築した。今回の結果と先行研究の結果を比較して、回帰式の説明変数と被説明変数を入れ替えるとわずかに異なる関係式が得られることが確認された。さらに、気象庁マグニチュードを説明変数とする関係式を二段階回帰分析により構築した。回帰分析に用いていない2005年千葉県北西部地震を対象に推定精度を検証したところ、わずかに常用対数軸で概して0.1程度過小評価(約0.8倍)であったが、この現象が千葉県北西部地震に固有のものであるのかどうかについては今後検討を要する。

参考文献

- 1) Shimizu, Y., Yamazaki, F., Yasuda, S., Towhata, I., Suzuki, T., Isoyama, R., Ishida, E., Suetomi, I., Koganemaru, K. and Nakayama, W.: Development of Real-Time Safety Control System for Urban Gas Supply Network, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 132, No. 2, pp. 237-249, 2006.
- 2) 気象庁：推計震度分布図, <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/suikei/>
- 3) 童華南, 山崎文雄：地震動強さ指標と新しい気象庁震度との対応関係：生産研究, 48, 11, pp. 547-550, 1996.
- 4) Karim, K. R. and Yamazaki, F.: Correlation of the JMA Instrumental Seismic Intensity with Strong Motion Parameters, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 31, No. 5, pp. 1191-1212, 2002.
- 5) Joyner W. B. and Boore D. M.: Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records including records from the 1979 Imperial Valley, California Earthquake, Bull. of the Seism. Soc. Am., 71(6), pp. 2011-2038, 1981.
- 6) 司宏俊, 翠川三郎：断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文集, No. 523, pp. 63-70, 1999.
- 7) 東京大学地震研究所強震動グループ：2005年千葉県北西部の地震 ―震源メカニズム・強震動―, <http://taro.eri.u-tokyo.ac.jp/saigai/chiba/>