

3. P波初動を用いた震度予測方法の開発と緊急地震速報への応用

林龍男・正木和明・倉橋奨・入倉孝次郎

1. はじめに

緊急地震速報は、「被害を起こす主要動が到達する前にその到達時間と震度を提供するもの」であり、地震被害の軽減に対して非常に大きく期待されている。一方で、近地で発生した地震には間に合わないことや、巨大地震では震度が過小評価される可能性があるなどの適用限界も知られている。それに加えて、各地点における推定震度の誤差もこの速報の問題点の一つである。現在では、震度±1程度の誤差が生じることが知られている。緊急地震速報を機械制御などに適用する場合、推定震度の誤差によるさまざまな損害が発生することが考えられるため、精度の良い震度推定も重要な要素である。

そこで、本研究では、震度推定の精度の改善と、迅速かつ正確な震度予測をすることを目的として、P波初動から直接震度を推定する手法を提案する。

2. 現在の予測震度算出方法

現在、気象庁が使用している予測震度算出方法¹⁾のフローチャートを示す(図1)。この方法は、大きく分けて2つの流れを持つ。1つ目は地震の規模と震源距離に対する工学基盤上($V_s=600\text{m/s}$)での揺れの大きさの推定、2つ目は対象地点の微地形区分によるその地点固有の揺れの大きさの推定である。これらの推定には、多くの経験的な関係式で構成されているため、それぞれの経験式の誤差が蓄積することで、観測震度との誤差が生じると考えられる。愛知県内で観測された地震記録における観測震度と気象庁方式で推定した推定震度では、震度1~2程度大きく推定されていることがわかる(図2)。

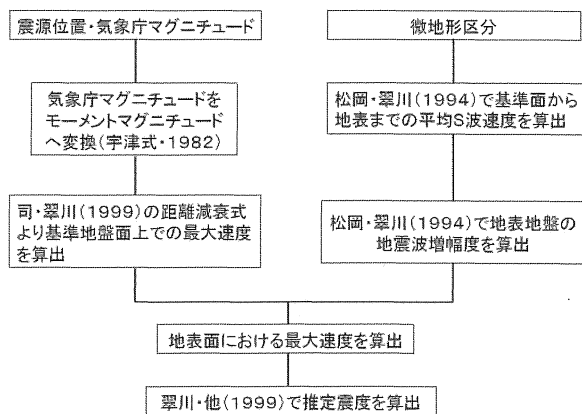


図1 気象庁による予測震度推定方法

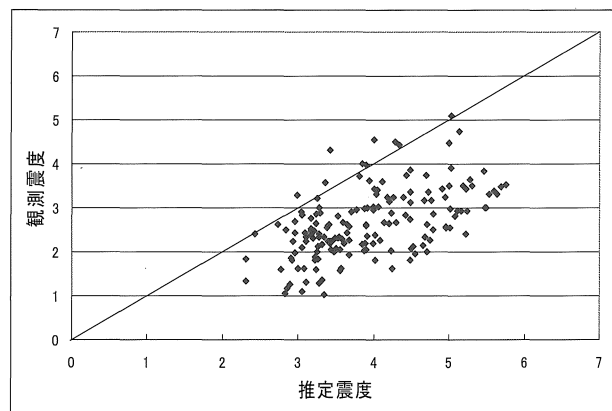


図2 観測震度と予測震度の比較

3. 解析手順

本研究では、P波初動から直接震度を評価する方法を提案する。以下に、解析手順を示す。

- ① P波数秒間の上下動の地震波形の最大加速度と震度の関係を導きだす。他地点への適用するためには以下の操作を行う。
- ② B-Δ法を適用し、マグニチュードおよび震央距離を推定する。
- ③ 震央距離とP波初動の最大加速度相当値の関係を導きだす。
- ④ P波初動の加速度相当値から震度を導きだす。

なお本研究では、K-net、kik-netの観測点で得られた地震動を使用した。ただし、地震動には、地域による特

性の違いが考えられるため、愛知県内の観測点で観測されたデータのみを使用した。また、今回は被害が起る大きな地震を対象とするため、マグニチュード 5 以上のものを対象とした。

4. 研究結果

4.1 震度の推定

観測震度は、水平 2 成分（南北方向、東西方向）、上下動成分の 3 成分の地震動を用いて算出される。よって、観測震度の大きさは、一般的に最大振幅が示される S 波の水平動の大きさと関係性があると考えられる。しかし、本研究で用いる P 波と震度の大きさの関係性については、良くわかっていない。そこで、P 波上下動の最大加速度と震度の関係性の検討を行った。図 3 にその関係性を示す。

計測震度と P 波上下動の最大加速度には、比例の関係性があることが示された。P 波上下動の最大加速度が約 10gal の場合、対象地点では、震度 3 相当が得られることを示している。このことは、P 波上下動の最大加速度により直接震度相当値を求めることが可能であることを示唆している。

しかし、P 波上下動の最大加速度は、地震の破壊過程や伝播経路による減衰の影響により、P 波到達後どの程度の時間において最大になるかの判断は難しい。そこで、P 波検知後何秒で安定した震度との関係性が表れるかを検討した。図 4 には、1 秒間隔で 10 秒までの P 波を用いた

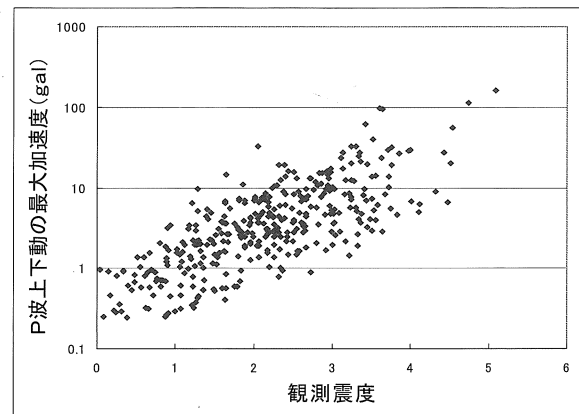


図 3 P 波上下動の最大加速度と観測震度の比較

計算結果を示している。その結果、P 波初動 1 秒（青菱形）、2 秒（赤四角）では、ばらつきが大きいものの、P 波初動 3 秒（黄三角）以上の記録を用いれば、比較的安定した関係性が得ることがわかる。

さらに、震央距離、震源深さに対する P 波上下動 3 秒間の最大加速度と震度の関係を検討した結果、震央距離が 200km 以上、震源深さが 30km 以浅で発生した地震に対しては、この関係性が成立していないことがわかった。これは、震源距離が遠く、浅いところで発生した地震動は、対象地点には水平に伝播してくると思われる。よって、今後本研究では、それらのデータは除いて解析することとした。これらのデータを用いて得られた P 波 3 秒間の上下動最大加速度と震度の関係は、次式で示される。

$$I = 1.541 \cdot \log P_{3 \max} + 1.258 \quad (P_{3 \max} > 0) \quad (1)$$

$P_{3 \max}$: P 波初動 3 秒間の最大加速度 (gal)

I : 推定震度

この関係式を用いて推定した震度と実際に観測された震度を比較すると（図 5）、従来の方法で推定された震度に比べ、本研究の方法ではかなり改善されている。

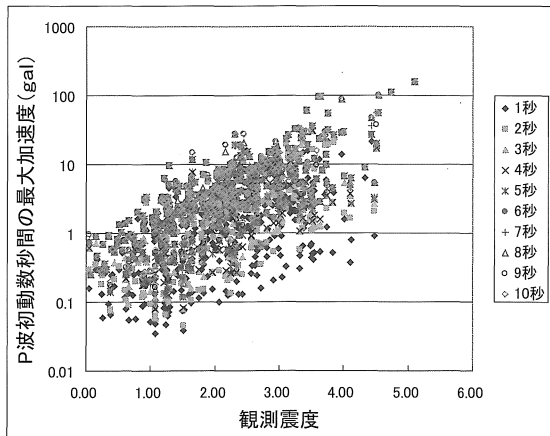


図4 P波初動数秒間の最大加速度と観測震度との関係

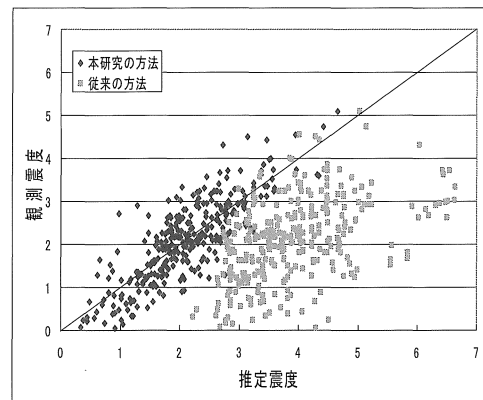


図5 本研究の手法と従来の手法による推定震度と観測震度の比較

5. 他点への適用

4.1 で示した方法は、リアルタイム観測記録による震度推定方法であった。しかし、実際には、リアルタイム観測点が存在する地点はかなり限られており、さらに、観測点のない地点における震度推定も必要である。そこで、本研究では、リアルタイム観測点におけるP波記録から、B-Δ法²⁾により震央距離とマグニチュードを推定し、対象地点とリアルタイム観測点における距離補正することで、他点における推定震度を計算する方法を提案する。以下にその手法を示す。

5.1 震央距離推定の改善方法の検討

B-Δ法²⁾は、P波上下動の振幅の包絡形状を利用して、マグニチュードと震央距離を推定方法である。しかし、本研究で対象とした愛知県内で観測された地震のみを対象として震央距離に関する予備解析を行ったところ、推定された震央距離は、若干過大評価されることが明らかになった。これは、地震動伝播する地盤構造の違いであり、地域特性の影響であると考えられる。そこで、本研究で用いた地震に対応した関係式を作成し適応させることとした。以下に本研究での推定式(式2))を示す。

$$\log B = -2.86 \log \Delta + 5.91 \quad \dots 2)$$

Δ：震央距離 (km)

B：B-Δ法で求められる係数B

5.2 マグニチュードの推定方法の改善

B-Δ法のマグニチュードの推定方法は、提案されているものの確立されるまでには至っていない。実際に、B-Δ法によりマグニチュードを推定すると、全く異なるマグニチュードが推定されることが示された。そこで、マグニチュードに関しても地域特性を考慮して、本研究で用いた地震のみにより関係式を作成した。以下に、本研究で求めた推定式(式3))を示す。

$$M = 0.940 \log A_{\max} - 1.20 \log B + 5.331 \quad \dots 3)$$

A_{\max} ：P波初動3秒間の最大加速度 (gal)

M：マグニチュード

5.3 他点への推定

以上の検討結果を用いて、リアルタイム観測点から距離補正をして推定される対象地点のP波上下動3秒の最大加速度は、以下の式(式4))で示される。この式は、リアルタイム観測点で観測されたP波上下動3秒間の最大加速度記録から、マグニチュードと震央距離を、本手法で推定しなおしたB-Δ法により推定することで、任意の地点のP波上下動3秒の最大加速度相当値を算出する。この値を、式1)に代入することで、任意の地点の震度を推定することができる。

この式を用いた推定された震度と観測された震度の比較を行った(図6)。その結果、従来の方法と比べると、推定震度の差は大きく改善され、精度よく震度が推定されていることが示された。よって、今手法を用いることで、従来の方法よりも精度よく震度を予測することが可能である。

$$\dots \log P_{3 \max} = 1.42M - 2.561 \log \Delta - 2.334 \quad 4)$$

$P_{3 \max}$: P波初動3秒間相当値の最大加速度 (gal)

Δ : 震央距離 (km)

M : マグニチュード

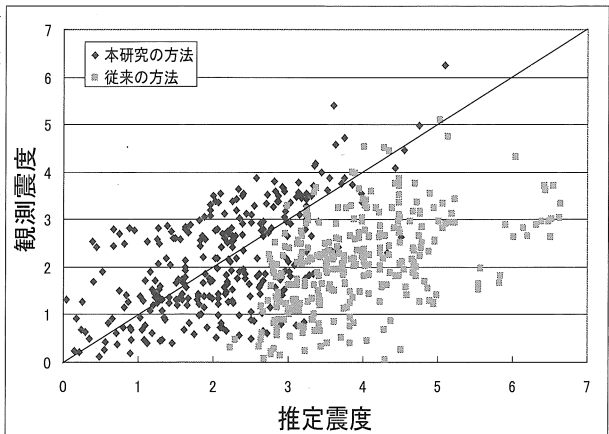


図6 本手法による方法と従来の方法による推定震度と観測震度の比較

6. まとめ

1. 本研究ではP波初動から直接震度を推定する方法を提案した。その結果従来のものより誤差が小さく推定することが可能である。よって、本手法の適用することで、より迅速に精度良く震度を提供することが可能である。
2. B-Δ法により震央距離とマグニチュードを推定する場合には地域特性を考慮することにより誤差を小さくできる。少なくともこの地域では地域特性を考慮すべきである。
3. 最大加速度と震央距離とマグニチュードの関係から他地点の震度を予測する方法を提案した。このことにより、リアルタイム観測記録から直接、地震計のない地点でも震度を予測することが可能となる。しかしその精度は、従来の方法より精度は良いが実用化するためには精度が低い。よって、さらに検討する必要がある。

謝辞 本報告書には、防災科学技術研究所のk-net、kik-netの観測データを使用させていただきました。

参考文献

- 1) 気象庁地震火山部：緊急地震速報の概要や処理手法に関する技術的参考資料
- 2) 束田進也, 小高俊一, 芦谷公稔, 大竹和生, 野坂大輔：P波エンベロープ形状を用いた早期地震諸元推定法, 地震第2輯, 56(4), pp.351-361, 2004.