

PLUM 法の適用距離：その効果・課題と警報シミュレーションの紹介

気象庁地震津波監視課 齋藤 潤・林元直樹・足達晋平・森本雅彦・本多誠一郎

1. 概要

全国に展開している多機能型地震計および計測震度計から1秒ごとのリアルタイム震度データを受信し、中枢処理で統合、PLUM 法予測が行われる。今回は気象庁が PLUM 法で適用する 30km という距離についての所見、また 30kmPLUM 法を適用したハイブリッド結果を、熊本地震および南海トラフシミュレーションを通じて見ていく。

2. PLUM 法予測における適用距離 R について

PLUM 法は適用距離 R 内の観測における最大の地震動の観測をもとに予測点における地震動を予測するものである。この適用距離を長くすると、実際の地震波到達までに稼げる猶予時間は長くとることができるが、その分過大評価する可能性が増大する。一方で任意の地点に対し猶予時間を確保するためには、この距離を観測網間隔以下にすることができない。現在気象庁が PLUM 法で活用予定の観測点間隔は 20~30km 間隔となっており、この精度と猶予時間を両立する 30km という値で PLUM 法が運用開始となる。

PLUM 法では、ソースが半径 R 以内に存在しない、系外から入射する減衰のない波を仮定して予測を行う。この仮定は、震源から遠方ではよく成

り立つが、震源近傍、特に震源が浅く M が比較的小さい内陸地震では距離減衰がより急峻となることもあり、予測誤差が大きくなる。ここで図 1 は、司・翠川[1999]による距離減衰式に沿った震度分布を仮定したときの 30kmPLUM 法適用による予測誤差を見たものである。震源近傍ではその予測誤差は大きく、またその特徴は M が小さく震源が浅いほど顕著であることが見て取れる。

3. 内陸地震における PLUM 法の利点

内陸地震に対し、PLUM 法は前述の通り震源近傍で予測精度が低いという課題を抱えているが、迅速性や可用性といった観点において利点がある。

従来法に比べ PLUM 法は観測点に対する要件が低い。これは、現在の従来法が P 波を確実に検出できる前提で構築されているために観測環境に高い S/N を要するのに対し、PLUM 法は（リアルタイム）震度を観測できる程度の S/N でよいためである。これにより新たに全国の震度計を活用でき、これまでよりも密な観測網を構築することが可能である。この恩恵は内陸地震での迅速性に現れる。

特に内陸地震において、警報発表の間に合わない領域「ブラインドゾーン」の広さがかねてより指摘されている。平成 28 年（2016 年）熊本地震においても、震源付近およそ 30km の範囲では警報発表が主要動に間に合わなかった。情報発表を迅速化するためには、その分より震源近くで早期に大きな振幅を捉えなければならず、稠密な観測網が必要となる。例えば山田ほか[2014]は気象庁の多機能型地震計観測網と Hi-net を統合するというアプローチによる精度および速度の向上を提案しており、前回の研究集会においても 2016 年（平成 28 年）熊本地震に適用すれば 2-3 秒の迅速化の可能性があるとその効果を示されているとこ

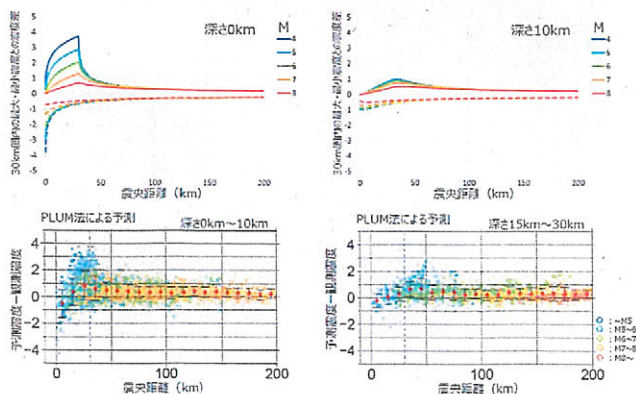


図 1 理論的な距離減衰(上)および実観測例(下)に対する 30kmPLUM 法の予測誤差

るである。

また、現在の従来法では STA/LTA 等の相対レベル値の超過によって検測や震源決定処理が駆動するが、レベル法や PLUM 法では加速度やリアルタイム震度の絶対レベル閾値超過によって処理が駆動する。相対レベル監視では地震連発中など発生・非発生がうまく識別できない場合が存在するのに対し、絶対レベル監視は正しい観測の続く限り対象がマスクされないという利点がある。

現地観測点から送信されてくるリアルタイム震度データの伝送および処理遅延時間を 0.7 秒と見積りハイブリッドシミュレーションを行うと、2016年04月16日 M7.3の地震に対し従来法よりも 2.3 秒の迅速化、ブラインドゾーンは面積比で 71%まで縮小できる可能性がある。その他、2016年04月に PLUM 法によって警報基準となる地震は 12 事例、うち 6 事例については PLUM 法により 1 秒以上警報が迅速化するという結果となった。このうち、例えば 04月14日 22:07 M5.8の例では、直前に発生した M3.7、M4.6の地震によって震源近傍でトリガが立たなかったために従来法の情報発表は OT+26 秒となってしまったが、PLUM 法では震源近傍の高震度域での観測から、警報を OT+7.4 秒で発表できる。

4. 南海トラフハイブリッドシミュレーション

内閣府想定南海トラフ巨大地震に対し、どのような情報発表を行うのかを見るため、擬似的なリアルタイム震度の時系列を作成しハイブリッドシミュレーションを行う。この擬似リアルタイム震度は以下のような方法で作成した。

- 破壊開始点から一定 2.7km/s で破壊進展、SMGA からの地震動が主要な最大震度を生成するとし、各 SMGA の Mw を元に司・翠川 [1999] の最大速度距離減衰式で各地点の PGV を推定。このときの断層長 x は球面で考慮する (ただし SMGA の広がり考慮し、宇津 [1984] の断層長スケージングの 1/2)

$$x = 0.25 \times 10^{0.5M_w - 1.85}$$

- 各地点に $(V_p, V_s) = (7.0, 4.0)$ [km] で到達、P 波部分は PGV に対し $\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^3$ の一定振幅、S 波部分は S 波理論到達時から破壊継続時間の経験式 (宇津 [1984]) の 1/2 の期間ホールド、それ以降のコーダエンベロープは SMGA 破壊からの経過時間 t に対し、次式で減衰させる。(佐藤 [1986] 干場 [2001] など、 $h = 0.0025$)

$$A_c(t) \propto \frac{1}{t} e^{-h \cdot V_s t}$$

- すべての SMGA からの速度振幅値を自乗和平方根で重ね合わせ、最大速度振幅時系列を算出し、翠川ほか [1999] の式により震度換算する

また、ハイブリッド対象とする震源からの予測について、震源は破壊開始地点に決定し、90 秒程で M8.5 頭打ちとなる一定の M 推移を仮定した。なお警報の発表はこれまで通り「警報を発表していない地域で 5 弱を予測した」場合に「予測震度 4 以上の予報区に発表」としている。

いずれのケースにおいても猶予時間をある程度確保できていたが、警報の続報のきっかけとなる「警報を発表していない地域で 5 弱を予測した」予報区など、警報更新の境界では周辺の予報区と比べ 5 弱発現までの猶予時間が短い。

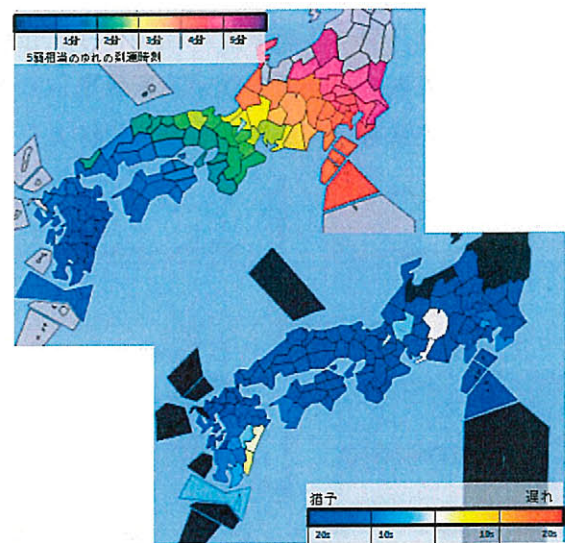


図2 擬似リアルタイム震度による5弱発現タイミング(上)およびハイブリッド警報シミュレーションによる5弱発現までの警報猶予時間(下)(南海トラフ:日向灘からの破壊進展を想定)