

# P 波を用いた PLUM 法

小寺 祐貴 (気象庁気象研究所)

## 1. はじめに

巨大地震や同時多発地震に対して精度の良い緊急地震速報を提供するため、震源を求めずに揺れから揺れを予測する手法が提案されている。PLUM 法 (Kodera et al., 2016; 2018) はそのような手法のひとつであり、予測地点の半径 30km 内で観測された揺れの最大値を取ることで予測を行う。現行の PLUM 法は P 波の情報を陽に用いておらず、大きな揺れを予測するためには、S 波が 30 km 以内に到達するのを待つ必要がある。そのため、PLUM 法に P 波の情報を取り入れる仕組みを導入すれば、PLUM 法の迅速性は向上するだろう。本研究では、P 波から S 波をオンサイトで予測する手法を開発し、それを PLUM 法に組み込むことで、P 波を用いた PLUM 法の実現を目指す。

P 波を用いた予測自体は、緊急地震速報の最も基本的なやり方であり、数多くの先行研究がある (例えば、 $\tau_p^{\max}$  及び  $\tau_c$  (Nakamura, 1988; Allen & Kanamori, 2003; Kanamori, 2005),  $P_d$  (Zollo et al., 2006; Wurman et al., 2007; Lancieri & Zollo, 2008), P 相 M 式 (明田川・他, 2010), expanding P-wave time window (Collombelli et al., 2012; 2014) など)。しかしながら、提案されている手法の多くは、最初の数秒間だけの P 波や、長くても初期破壊の S 波の直前までの P 波のみに注目しており、限られた時間窓内での解析にとどまっている。一方で、2011 年東北地方太平洋沖地震 (以下「東北地震」) が発生した際には、初期破壊の S 波を上回る強さの P 波が強震動生成域 (SMGA; Miyake et al., 2003) から放出されており (Kurahashi & Irikura, 2013)、震源域に近い観測点においては、これらの P 波は破壊開始点からの S 波の到達時刻の後に現れている。SMGA から放出された P 波は断層破壊が進展している情報を直接伝えるものであり、巨大地震時の強震動をよりロバストに予測することに役立つであろう。本研究では、初期破壊の P 波のみならず、S 波初動の後に現れる P 波も活用可能な手法を提案する。

## 2. リアルタイム P 波検出器

P 波のリアルタイム検出は、パーティクルモーションの極性解析で行う。0.5 から 10Hz の加速度波形に対して、4 秒窓で主成分分析を行い、P-filter (例えば、Ross & Ben-Zion, 2014) を計算する。P-filter は rectilinearity と鉛直入射角の cosine の掛け算であり、パーティクルモーションが線状でかつ鉛直のとき、最大値の 1 を取る。P-filter の値がある閾値を越えた場合、P 波が入射していると判定する。本研究では、KiK-net 地中点を解析に用いる。加速度波形は、あらかじめ Ogiso et al. (2016) の方法で観測点増幅率が補正されているものとする (基準観測点は IBRH19 地中点)。

## 3. P 波検出器を用いたオンサイト予測

上記の P 波検出器を用いて、対応する S 波のオンサイト予測を行う。P-filter の値 ( $p$ ) が、ある閾値 ( $p_{th}$ ) 以上となった場合、対応する S 波のリアルタイム震度 (功刀・他,

2013) の予測値 ( $I_{r\_pred}$ ) を次のように計算する:  $I_{r\_pred} = I_{r\_obs}[UD] + \Delta I_{r_{PS}}$ .  $I_{r\_obs}[UD]$  は上下動加速度のみから計算したリアルタイム震度であり, これが P 波の引き起こしたリアルタイム震度であると想定する.  $\Delta I_{r_{PS}}$  は P 波と S 波の震度差である. 本研究では,  $p_{th}$  を 0.4 に,  $\Delta I_{r_{PS}}$  を 1.0 に設定する ( $\Delta I_{r_{PS}}$  は, Yamamoto et al. (2008) の結果を参考に決定). 東北地震時の観測点 MYGH04 に対し, オンサイト予測を適用した事例を図 1 に示す. 1 番目と 2 番目の SMGA による強震動が精度良く予測できている.

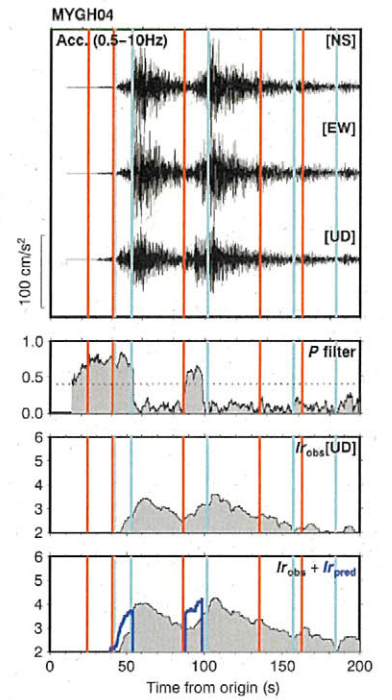


図 1 : 東北地震時の観測点 MYGH04 に対してオンサイト予測を適用した例. 上から, 加速度, P-filter, 上下動のみからの観測震度, 観測震度と予測震度 (青線) の比較. 赤およびシヤンの垂線は, 破壊開始点または SMGA の理論 P 波および S 波走時を表す. SMGA は Asano & Iwata (2012) による. (Kodera, 2018 より引用.)

#### 4. オンサイト予測と組み合わせた PLUM 法

上記オンサイト予測を PLUM 法と組み合わせることで, PLUM 法の予測に P 波の情報を取り入れる. オリジナルの PLUM 法では, 次式で予測震度 ( $I_{r\_pred}$ ) を計算する:  $I_{r\_pred} = \max\{I_{r\_obs}^{(1)}, I_{r\_obs}^{(2)}, \dots, I_{r\_obs}^{(n)}\}$ .  $I_{r\_obs}^{(i)}$  ( $i = 1, \dots, n$ ) は半径 30 km の観測リアルタイム震度である. オンサイト予測を取り入れた PLUM 法では, ある観測点  $i$  でオンサイト予測が実施され, なおかつその予測値が現在の観測値  $I_{r\_obs}^{(i)}$  よりも大きい場合, 観測値  $I_{r\_obs}^{(i)}$  の代わりにオンサイトの予測値を用い, PLUM 法の予測計算を実施する. オリジナルとオンサイト予測を取り入れた PLUM 法を東北地震に適用し, 予測精度と猶予時間を比較した結果を図 2 に示す. オンサイト予測を取り入れた PLUM 法では, 観測震度の大きな地点に対して, 予測精度は大きく変わらないものの, 猶予時間が数秒増加していることが分かる.

謝辞: 本研究では, 防災科学技術研究所の KiK-net の波形記録を使用しました.

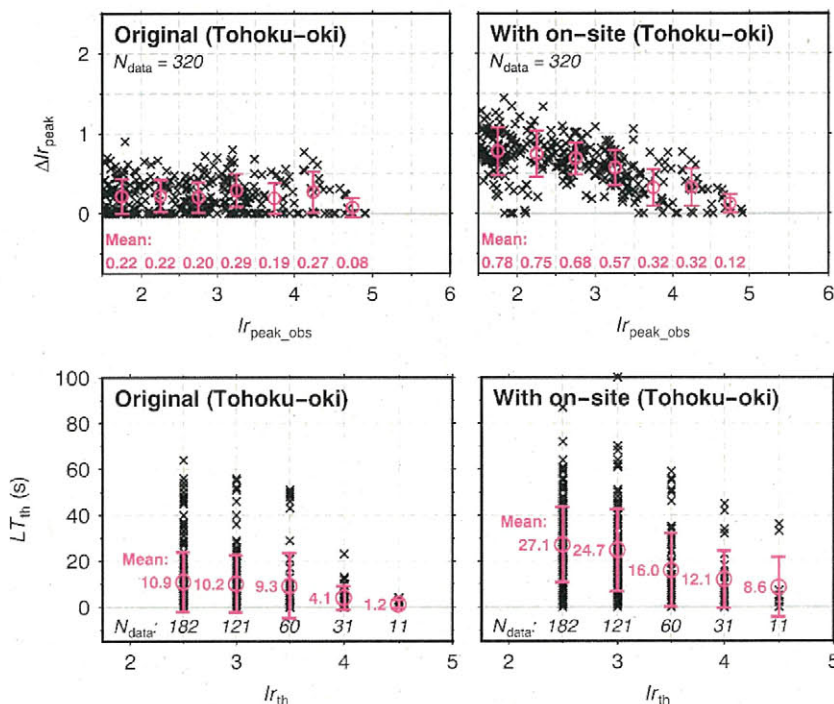


図 2 : 東北地震に対する, オリジナルの PLUM 法 (左側) とオンサイト予測を取り入れた PLUM 法 (右側) の予測精度 (上側) および猶予時間 (下側). KiK-net 地中点のデータを観測値として, KiK-net 地中点の予測を行っている. 予測精度 ( $\Delta I_{r\_pred}$ ) は, 各地点の最大観測震度と最大予測震度の差分.  $I_{r\_peak\_obs}$  は, 各地点の最大観測震度. 猶予時間 ( $LT_{th}$ ) は, 観測値と予測値がそれぞれある閾値 ( $I_{r_{th}}$ ) に達した時刻の差分. (Kodera, 2018 より引用.)