

地震波リアルタイムモニタリングによる大地震発生後の余震活動等の即時予測の試み

溜瀧功史（気象研究所）

1 はじめに

大規模な地震発生後、迅速にその活動の推移を把握し、余震やさらに規模の大きな地震が発生するリスクを定量的に評価することは、災害応急対応等を講じるうえで極めて重要である。しかしながら、大規模地震発生直後には地動レベルが上昇し、通常よりも小さな余震を検出できないといった課題（カタログ欠損）や、地震発生直後の短期間では震源データが少なく、余震活動予測に必要なパラメータが十分な精度で推定できないといった課題がある。そのため、余震等のリスクを定量的に評価するためには、十分な時間の経過（例えば、1週間）を待つ必要がある【地震本部（2016）】。

一方、近年では地震発生直後のカタログ欠損を考慮した余震確率の推定手法【Omi et al. (2015)】など、統計学の観点から余震確率評価を迅速に行う試みが提案されている。また、震源カタログを用いずに、地震波形そのものから余震活動を予測する試みもある【Lippiello et al. (2016)】。震度や地震波形を用いた場合、カタログ欠損や、Mから震度を予測する地震動予測式の不確実性の影響も受けない利点がある。

そこで本発表では、Omi et al. (2015) や Lippiello et al. (2016) を参考に、震源カタログ、震度データ、および連続波形から数時間から数日スケールの地震活動予測評価手法について検討を行ったので途中経過を報告する（図1）。

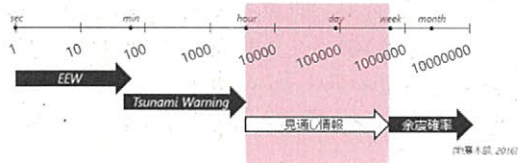


図1 本発表のターゲットと概念図

2 適用事例

適用事例は、2016年10月21日に発生した鳥取県中部の地震（M6.6, 最大震度6弱）とした（図2）。

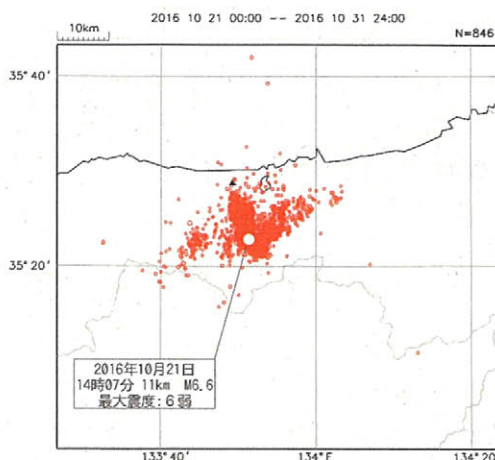


図2 震央分布図

3 手法

地震の活動状況を把握、予測する手法として、ETAS モデル【Ogata (1988), (1)式】が広く利用されている。

$$\lambda(t|H_t) = \mu + \sum_{t_i < t} \kappa(m_i|K, \alpha) h(t_i|c, p) \quad (1)$$

ここで、 $\theta = (\mu, K, \alpha, c, p)$ はパラメータである。通常、これらのパラメータは震源カタログから最尤値 $\hat{\theta}$ を推定するが、地震数が不十分な場合には一意に求まらない。Omi et al. (2015) は、ベイズ推定を用いてこれらのパラメータの事後確率 $p(\theta|H_t)$ を求め、そのばらつきをもとに将来を予測する手法を提案した。今回は、近年公開されたbayesianETAS【Ross (2016)】を用いて、これらのパラメータの事後確率を推定した。

3.1 震源カタログ

一元化震源を使用して、ETAS パラメータの推定を行った（図3）。まず試みに、5日間の学習データを用いてETAS パラメータを推定し、その後5日間（5~10日）の地震発生予測を行った。その結果、概ね過大予測傾向であるものの、99%の信頼区間の範囲で、ある程度シミュレートが可能であることが確認できた。同様に、学習期間を1日、12時間と短くし、その後の1日、12時間の地震発生についてそれぞれ行った結果も同様であった。

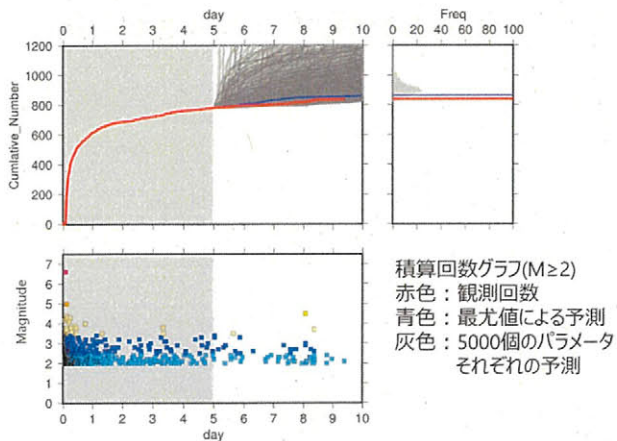


図3 ETASモデルによる5日予測（震源カタログ）

3.2 震度データ

震源カタログを利用する場合、カタログ欠損を考慮する必要があるほか、震源の推移を予測できた場合でも、ある地点の震度を予測するためには震源から震度を予測する地震動予測式の不確か性の影響を受けることが考えられる。そこで、最も原始的な手法として、ある地点における震度の観測値（ここでは計測震度）を入力として、震源カタログと同様にETASモデルでパラメータの推定し、地震発生予測を試みた。この場合、震度を用いたb値が0.5程度と非常に小さく推定されたために、大きな震度を観測する確率が上昇し、前震確率を過大に見積もる可能性があることが分かった。b値を通常地震活動と同等の1程度に固定して同様の解析を行うとそのような傾向は回避できるが、妥当性については今後検討する必要がある（図4）。

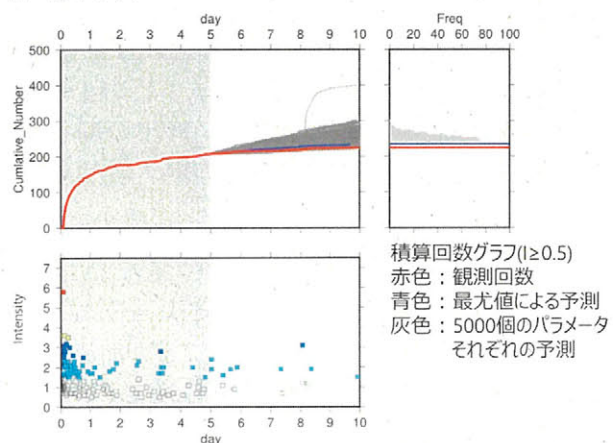


図4 ETASモデルによる5日予測（震度データ、b値を1.0に固定した場合）

3.3 連続波形

震度データでも、大まかな傾向を予測できる可能性はあるものの、震度はその定義から、最大で

も1分間に1つの値しか観測することはできない。そこで、最後に連続波形から将来を予測することを考える。ここではPLUM法 [Kodera et al. (2018)] と同様に、リアルタイム震度 [功刀・他 (2008, 2013)] を入力値として利用することを考える（図5）。Lippiello et al. (2016) と同様の手順による解析と確認を今後進めることとしたい。

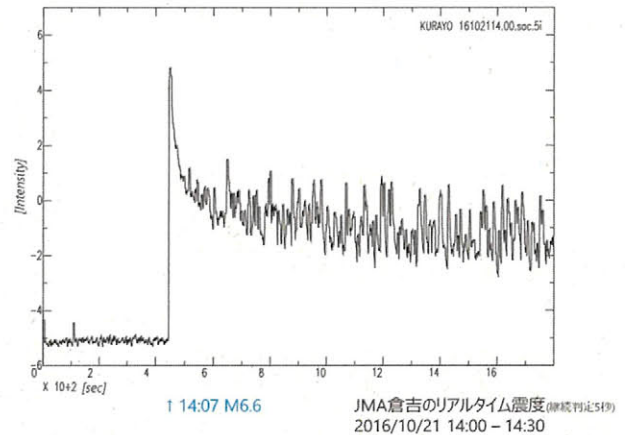


図5 倉吉観測点のリアルタイム震度

4 まとめと今後

今回は、震源カタログ、震度データ、および連続波形から数時間～数日スケールの地震活動予測についてそれぞれ試みを行い、その結果の一例を示した。今後は、それぞれのアプローチの課題と長所を整理し、時間スケールや目的に応じた予測手法の確立を進めたい。

参考文献

功刀・他 (2008), 地震 2, 60, 243–242.
 功刀・他 (2013), 地震 2, 65, 223–230.
 地震本部 (2016), 「大地震後の地震活動の見通しに関する情報のあり方」報告書.
 Kodera et al. (2018), Bull. Seismol. Soc. Am., accepted.
 Lippiello et al. (2016), Geophys. Res. Lett., 43, 6252–6258.
 Ogata (1988), J. Am. Stat. Assoc., 83 (401), 9–27.
 Omi et al. (2015), J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 2561–2578.
 Ross (2016), <http://www.gordonjross.co.uk/bayesianetas.pdf>