

## 11-2 ETAS モデルによる余震の確率予測

### Probability aftershock forecasting by the ETAS model

東京大学生産技術研究所

統計数理研究所

Institute of Industrial Science, University of Tokyo

The Institute of Statistical Mathematics

現在、余震の確率は調査委員会の報告書<sup>1)</sup>「余震の確率評価手法について」に基づいて計算され気象庁で予報業務が行われている。しかし、報告書で課題とされていた幾つかの手法が改善できる可能性がある。

本震直後の不完全かつ不均質なデータに対応した余震の検出率の時間変動を考慮して、大森・宇津の余震減衰則や Gutenberg-Richter 則のパラメータを推定する統計手法を開発してきた<sup>2)</sup>。この方法により、余震が特に多く起こる本震後一日目の余震活動を、本震後数時間程度から、リアルタイムで良く予測できる事を示した<sup>3, 4)</sup>。

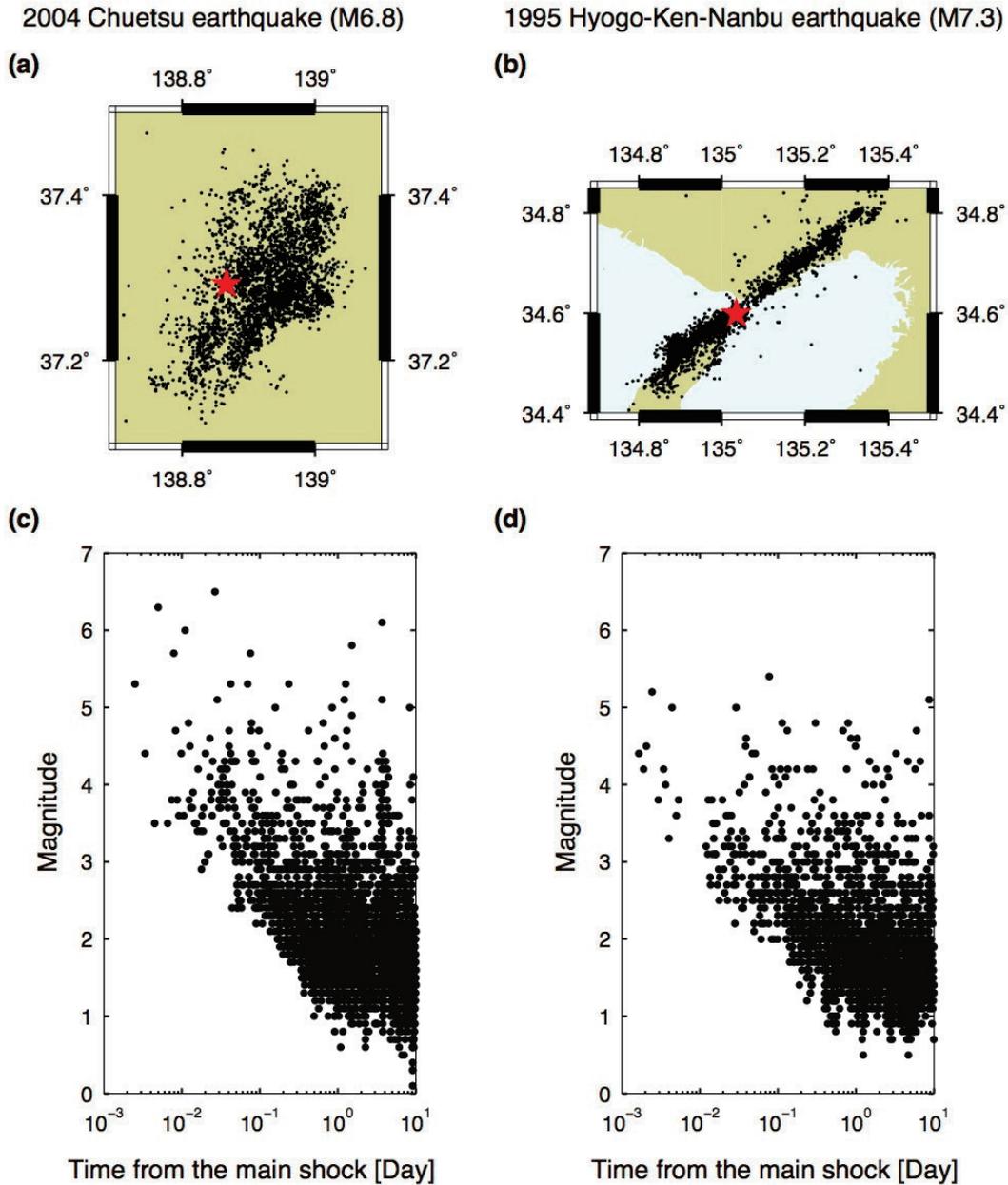
しかしながら、余震活動は一般に二次余震等を含むため、大森・宇津減衰則は時間経過するにしたがって余震活動をよく記述できない場合が出てくる。そこで、様々なタイプの余震活動が顕著化する前の不完全な初期の余震データを有効に使うて Epidemic Type Aftershock Sequence (ETAS) モデルのパラメータを推定し、早期に余震活動を予測する方法を開発した<sup>5)</sup>。

ここでは気象庁カタログを用いて、二次余震活動の顕著な 2003 年新潟県中越地震 (M6.8) の余震系列及び、顕著な二次余震を含まない 1995 年兵庫県南部地震 (M7.3) の余震系列を典型的な例として解析した。本震後一日間で推定された ETAS モデルがその後の余震活動に適応することを確認した。特に中越地震の場合に大きな余震後の二次余震活動を良く予測する事を示す。

(近江崇宏, 尾形良彦, 平田祥人, 合原一幸)

文献 :

- 1) 地震調査委員会 (1998) <http://www.jishin.go.jp/main/yoshin2/yoshin2.htm>
- 2) Ogata, Y., and K. Katsura (2006), *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L10305.
- 3) 東大生産研・統数研 (2013) 第 200 回 地震予知連絡会議
- 4) Omi, T., Y. Ogata, Y. Hirata and K. Aihara (2013), *Scientific Reports*, **3**, 2218.
- 5) Omi, T., Y. Ogata, Y. Hirata and K. Aihara (2014), *Geophys. Res. Lett.* **41**, 850-857.

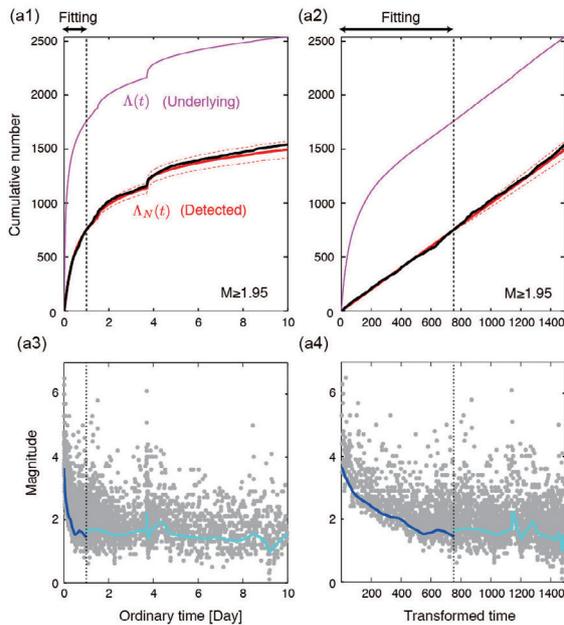


第 1 図 2004 年新潟県中越地震 (M6.8) と 1995 年兵庫県南部地震 (M7.3) の余震系列の空間分布及び M-T 図. 但し時間は本震からの経過日の対数スケール.

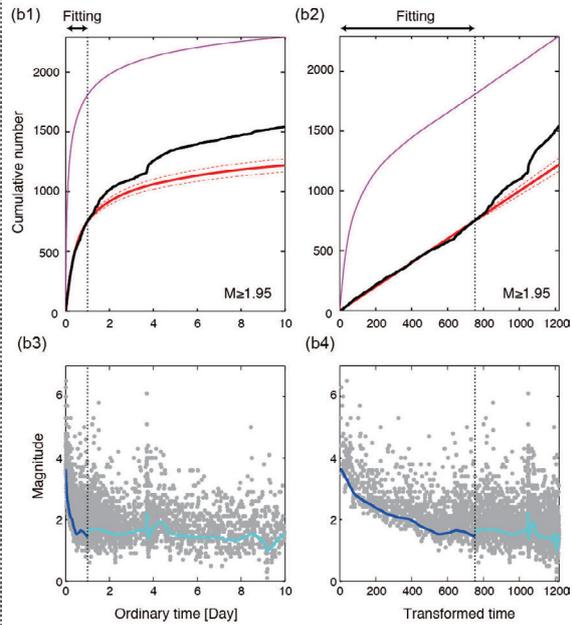
Fig.1 The epicenter distributions, and the M-T plot of aftershock sequences, where the horizontal axes show elapsed time (day) from the main shock in logarithmic scale. [Left panels] the 2004 Chuetsu earthquake of M6.8. [Right panels] the 1995 Hyogo-Ken-Nanbu (Kobe) earthquake of M.7.3. Reprinted from the reference 5.

Chuetsu sequence

(a) ETAS model



(b) O-U formula

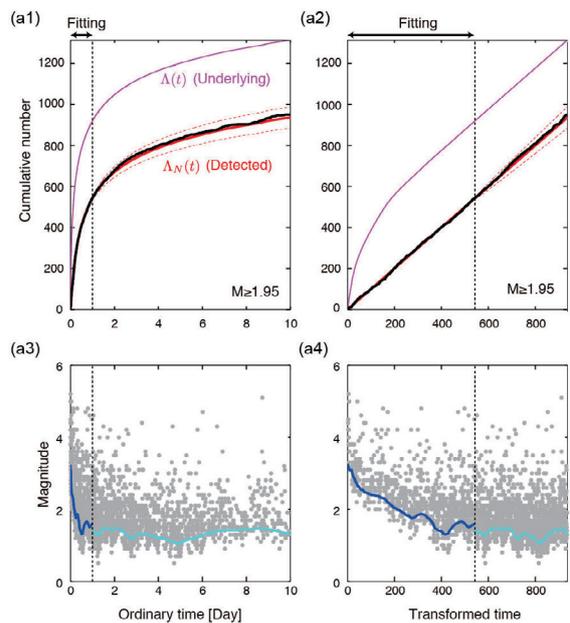


第 2 図 (a) ETAS モデル及び (b) 大森・宇津則による中越地震の余震系列の解析. 最初の一日間のデータからパラメータを推定し, その後 9 日間における予測モデルの実際のデータへの適合性を調べた. (a) および (b) それぞれの上図は余震の累積発生回数を理論と観測値で比較したものである. 下図の M-T プロットに上書されている明暗の青曲線は, 状態空間法で推定した検出率が 50% であるマグニチュード値の時間変化. (a) および (b) それぞれの左側図は通常時間で右側図はモデルによる理論予測数の変換時間を用いてプロットしている. ETAS モデルを用いた場合には, 大きな余震後の顕著な二次余震をよく予測できている.

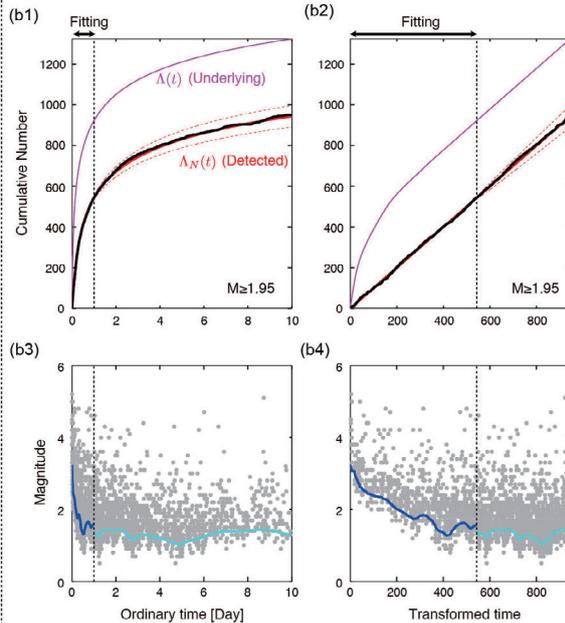
Fig.2 Prospective residual curves are plotted for the 2004 Chuetsu earthquake of M6.8 by (a) the ETAS model and (b) the Omori-Utsu formula. [Top panels] The cumulative number of aftershocks is plotted against (1) the ordinary time and (2) the transformed time by the respective models. In each figure the magenta and red curve represents the theoretical cumulative number of the underlying aftershocks and detected aftershocks, respectively. The black curves represent the actually observed cumulative number. [Bottom panels] M-T plots of aftershocks, and the blue and cyan curves show the estimates of  $\mu(t)$  (magnitude of 50% detected aftershocks at the elapsed time  $t$ ) for the estimation period and the future period, respectively, against (3) the ordinary time and (4) the transformed time. Reprinted from the reference 5.

Kobe sequence

(a) ETAS model



(b) O-U formula



第3図 兵庫県南部地震の余震系列の解析. 表現は第2図と同じ. この場合には, 顕著な二次余震は見られなかったため, ETAS モデルも大森-宇津則も同様な結果を示している.

Fig.3 Prospective residual curves are plotted for the 1995 Kobe earthquake of M7.3 by the estimated ETAS model. The representation is the same as in Figure 2. Reprinted from the reference 5.