4-5 首都圏直下の三次元地震活動の時空間統計モデルと詳細予測 High resolution space-time model forecasting 3D seismicity beneath Kanto Region

統計数理研究所 東京大学地震研究所 The Institute of Statistical Mathematics Earthquake Research Institute, University of Tokyo

関東地方直下 100km 深までの地震活動を解析・予測するために, CSEP 日本で予測を試行し結果を 検証中の 2 次元階層的時空間 ETAS (HIST- ETAS) モデル¹⁾を拡張し, さらに東北沖地震の影響を 考慮した, 経度 x 緯度 y 深さ z および時刻 t における地震活動度に関する 3 次元空間の HIST-ETAS モデル

$$\begin{split} \lambda(t, x, y, z \mid H_{i}) &= \mu(x, y, z) + \sum_{\{j: t_{j} < t\}} \frac{K_{0}(\overline{x}_{j}, \overline{y}_{j}, \overline{z}_{j}) e^{\alpha(\overline{x}_{j}, \overline{y}_{j}, \overline{z}_{j})(M_{j} - M_{c})}}{(t - t_{j} + c)^{p(\overline{x}_{j}, \overline{y}_{j}, \overline{z}_{j})}} f_{j}(x - \overline{x}_{j}, y - \overline{y}_{j}, z - \overline{z}_{j}; M_{j} - M_{c}) + \\ &+ \frac{K_{M9}(x, y, z)I(t > t_{M9})}{(t - t_{M9} + c_{M9})^{p_{M9}}} \end{split}$$

を作成した.ただし

$$f_{j}(x, y, z; M) = \frac{1}{e^{3\alpha_{0}M}} \left[\frac{(x, y, z) S_{j}^{-1}(x, y, z)^{t}}{e^{2\alpha_{0}M}} + d \right]^{-q}$$

である.ここで $(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)$ と S_j は大地震 j 直後1時間以内に検測した全ての余震空間群の震源の 重心と分散共分散行列で,赤池情報量基準 AIC を使って有意なら求め,さもなければ通常の震源で 等方的(単位行列)である.さらに,上式のように,地域性の変化が著しく大きい係数は位置座標 に依存する様に局所線形デロネ関数¹⁾で表す.これらに平滑化の制約を付け,それらの重みの調節 を赤池ベイズ情報量規準(ABIC)の最小化によって決め,逆問題として局所線形デロネ関数の最適 解を得る.技術的な詳細は文献1の二次元の HIST-ETAS の場合と同様である.

関東直下では三つのプレートが重なりあって局所線形デロネ関数の空間分布は詳細に非一様であ り、これらの三次元解を見るのは容易でないので、本報告では、等深の平面やプレートの上面²⁾と 交差する2次元画像として示す.

常時地震活動度 $\mu(x, y, z)$ は長期予測に,余震生産性 $K_0(x, y, z)$ は短期予測にとって重要な位置 情報になる.特に $K_{M9}(x, y, z)$ は東北沖超巨大地震からの影響の強度の関東直下に於ける地域的な違 いを定量化したものである.これは常時活動度 $\mu(x, y, z)$ と空間的に高い相関を示しているが,大 きな違いは概ね東から西にかけて強い減少するトレンドになっている.他のパラメータ像も示した.

1926 ~ 2016 年で気象庁データ(M≧4)をあてはめた本モデルを使って,一例として,2018 年 6 月時点に予測し,その後半年に起きた M≧3 の地震を示す.この研究は「首都圏レジエレンスプロ ジェクト」の一環として行われた. (尾形良彦,桂康一,鶴岡弘,平田直) 文献

1) Ogata, Y. (2011). Earth, Planets and Space, 63 (3), 217-229, doi:10.5047/eps.2010.09.001.

2) Hashimoto, C., Fukui, K. and M. Matsu'ura (2004), Pure and Applied Geophysics, 161, 2053–2067.



- 第1図 震源データとプレート.(上図) TSEIS による表示で 1923 年から 2011 年にかけての M≥4.0 の地震で、20 km毎の深さで色づけされている.等高線は PHS プレートと PAC プレートの 上面の深さ 10 km ごとに表示している²⁾. (下図) PAC(淡青色) および PHS(淡ピン ク)の上面と一元化地震カタログのM≥2 地震群(青点)の西方からの透視図.
- Fig. 1 Hypocenters and plate configurations. Upper panels: The earthquake epicenters of $M \ge 4.0$ by TSEIS during 1923-201; the colors change every 20 km depths down to 100km, and contours²) show every 10 km depth of upper surface of PHS plate and PAC plate. Lower panel: Perspective view of the upper surface of PAC (light blue) and PHS (light pink) seen from the west together with $M \ge 2$ earthquakes from the unified JMA catalog.



- 第2図 背景地震活動率μ値の断面画像.カラー表の単位は μ=0.0634 event / day/ deg³, ただ し1 deg = 111.11 km. 画像内の黒細の等高線の間隔は対数スケールで約3倍間隔 である. プレート面の白い等深線は10 km間隔である.小さな円と点は1923 年か ら2011 年にかけての M≥4.0 の地震で,各平面やプレート面の近隣の地震を示し ている;すなわち,10km 深と20km 深の平面に対して,それぞれ深さ0~15km と15~30km の範囲,各プレートの上面から上方5km から下方10km までの深さの 範囲に含まれた地震.
- Fig. 2 Sectional images of the background seismicity rate μ -values. The unit of log-scale color table corresponds to the value $\overline{\mu} = 0.0634$ event / day/ deg³, where 1 deg = 111.11 km. Thin black contour line interval is 1.0 in natural logarithm; namely, about three times span. White contours on the plate surfaces indicate depths for every 10km spans. The small circles, or dots, show a range of neighboring earthquakes in from each surface, which are plotted to indicate a relative estimation accuracy of estimated image. Specifically, those are within 0-15km and 15~30km for the 10km and 20km plane, respectively; and also within the depth range of -5 km~10km from depth of each plate surface.



- 第3図 誘発生産性 K_0 値の断面図. カラー表の単位は $\overline{K}_0 = 9.62 \times 10^{\text{s}}$ event/day/deg³ である. 図 の他のフォーマットは,図2と同じである.
- Fig. 3 Sectional images of the self-triggering productivity parameter K_0 -values. The unit of log-scale color tables corresponds to the reference value $\overline{K}_0 = 9.62 \times 10^{-8}$ event/day/deg³. The other format of the figure is the same as that of Fig. 2.



- 第4図 K_{M9}値の断面画像.カラー表の単位は K_{M9} = 57.1 event/day/deg³である.白丸が東北 沖地震から1ヶ月間以内に発生した地震である.図の他の形式は第2図のものと 同じである.
- Fig. 4 Sectional images of K_{M9} -value. The unit of log-scale color tables corresponds to the reference value $\overline{K}_{M9} = 57.1$ event/day/deg³. The other format of the figure is the same as that of Fig. 2 except that white circles are earthquakes that took during one month after the M9 event.



- 第5図 地震発生強度(発生率)のスナップショット.カラーテーブルの単位1は0.036 event/day/deg³に対応します.黒い細い線の輪郭間隔は対数目盛で1.0です.こ れらは,深さ10kmと20kmの平面,およびPACとPHSの上面です.日付のパ ネルは,2009.11.01,2012.05.01,および2018.06.30の日付のスナップショットで す.
- Fig. 5 Snapshots of occurrence intensities, where the unit of log-scale color tables correspond to the reference value $\hat{\lambda} \approx 0.036$ event/day/deg³. The black thin line contour interval is 1.0 in logarithmic scale. These are plane at 10 km and 20 km depth, and the upper surfaces of PAC and PHS. Panels at the date of are snapshots at the date of 2009.11.01, 2012.05.01 and 2018.06.30.



第6図 2018年6月30日の日付における予測発生強度のスナップショット、およびパネル内のプラス記号は、2018年11月までの各表面からの深さ範囲内で後に発生した M≥3.0 地震である.

Fig. 6 Snapshots of predicted occurrence intensities at the date of 2018.06.30, and the plus signs in the panels are $M \ge 3.0$ earthquakes that occurred later within the depth ranges from each surfaceuntil November 2018.