

第222回

地震予知連絡会資料

2019年2月22日

統計数理研究所

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

$$\lambda(t, x, y, z | H_t) = \mu(x, y, z) + \sum_{\{j: t_j < t\}} \frac{K_0(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j) e^{\alpha(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)(M_j - M_c)}}{(t - t_j + c)^{p(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)}} f_j(x - \bar{x}_j, y - \bar{y}_j, z - \bar{z}_j; M_j - M_c) + \frac{K_{M_9}(x, y, z) I(t > t_{M_9})}{(t - t_{M_9} + c_{M_9})^{p_{M_9}}}$$

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 時間以内に検出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的線形デロネ関数¹⁾ で表す。これらを平滑化の制約を付け、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、その上で逆問題として最適解を得る。技術的詳細は文献 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って地震活動の空間分布は非均質であるが、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。そして $K_{M_9}(x, y, z)$ は東北沖地震からの影響強度の関東直下に於ける地域的な違いを定量化する。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 次元画像を示す。宇津カタログを前駆データとして、1926~2016 年で気象庁データ ($M \geq 4$) をあてはめた本モデルを使って、2018 年 6 月に予測し、その後半年に起きた結果を示す。

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. and M. Matsu'ura (2006) , *Pure and Applied Geophysics*, **163** (9), 1803–1817.

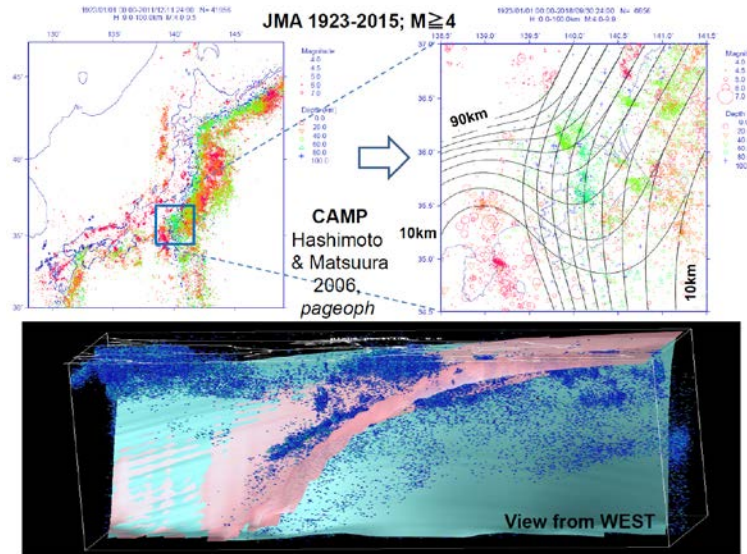


Fig. 1. Hypocenter data and plate configurations. The earthquake epicenters of $M \geq 4.0$ during 1923-201; the colors change every 20 km depths down to 100km, and contours show every 10 km depth of upper surface of PHS plate and PAC plate. (c) Perspective view of $M \geq 2$ from the unified JMA catalog with the upper surface of PAC (light blue) and PHS (light pink).

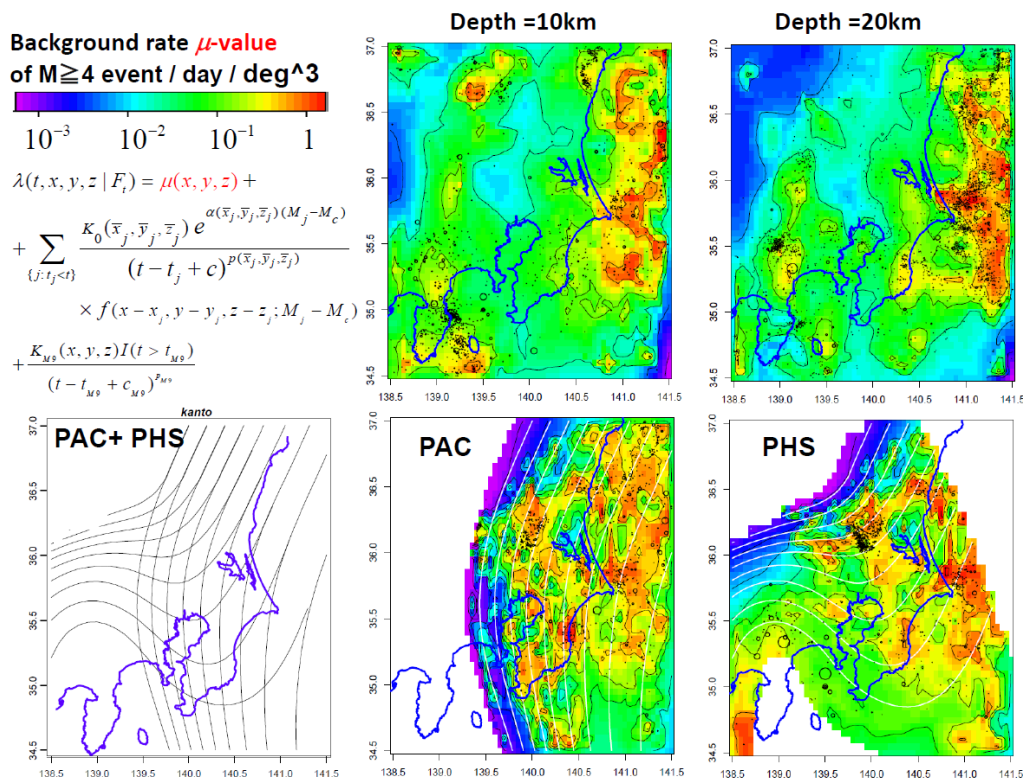


Figure 2. Sectional images of the background seismicity rate μ -values. The unit of log-scale color tables correspond to the reference value $\bar{\mu} = 0.0634$ event / day / deg³, where 1 deg = 111.11 km. Black contour line intervals are 1.0 in logarithmic scale. The white contours indicate the depths of plate surfaces. The small circles and dots show the neighboring earthquakes in from each surface, plotted to indicate a relative estimation accuracy; specifically, those are within 0-20km in 10km plane (left), and also within the depth range from 5km above and 10km below from the upper surface of each plate (middle and right).

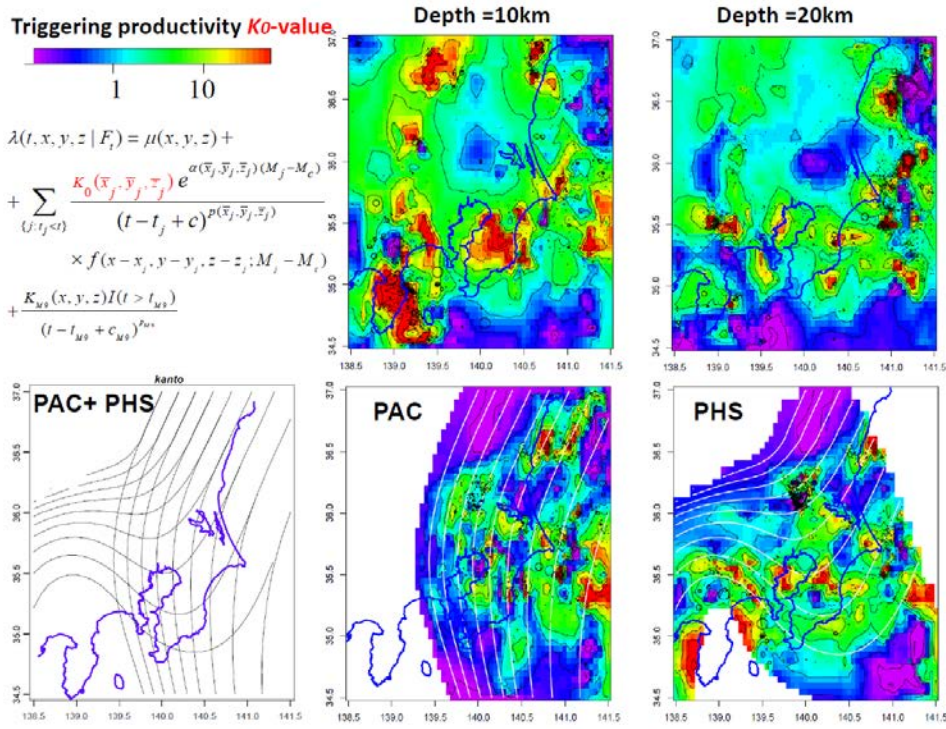


Fig. 3. Sectional images of the self-triggering productivity parameter K_0 -values. The unit of log-scale color tables corresponds to the reference value $\bar{K}_0 = 9.62 \times 10^{-8}$ event/day/deg³. Black contour line intervals are 1.0 in logarithmic scale. The other format of the figure is the same as that of Fig. 2.

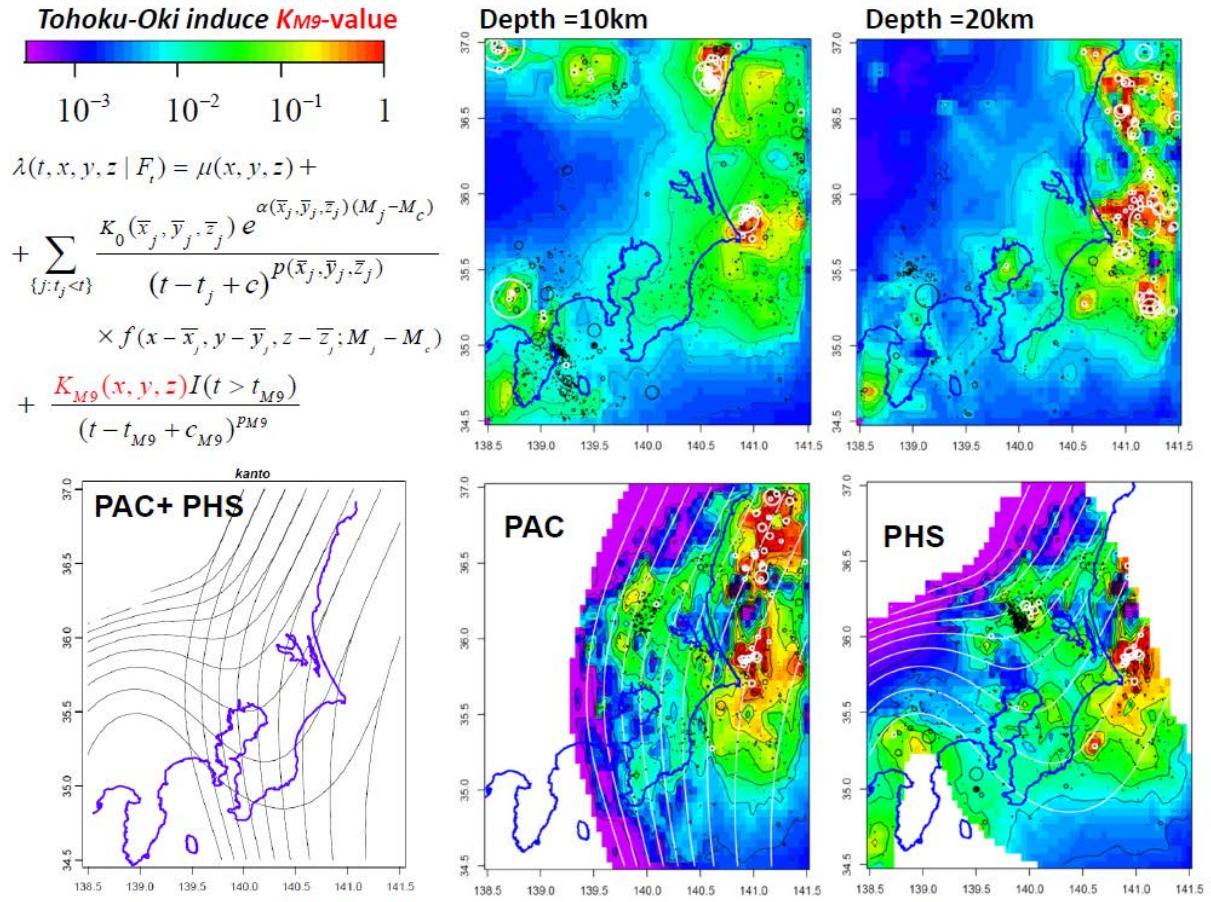


Fig. 4. Sectional images of K_{M9} -value. The unit of log-scale color tables correspond to the reference value $\bar{K}_{M9} = 57.1 \text{ event/day/deg}^3$. Black contour line intervals are 1.0 in logarithmic scale. The other format of the figure is the same as that of Fig. 2 except that white circles are earthquakes that took during one month after the M9 event.

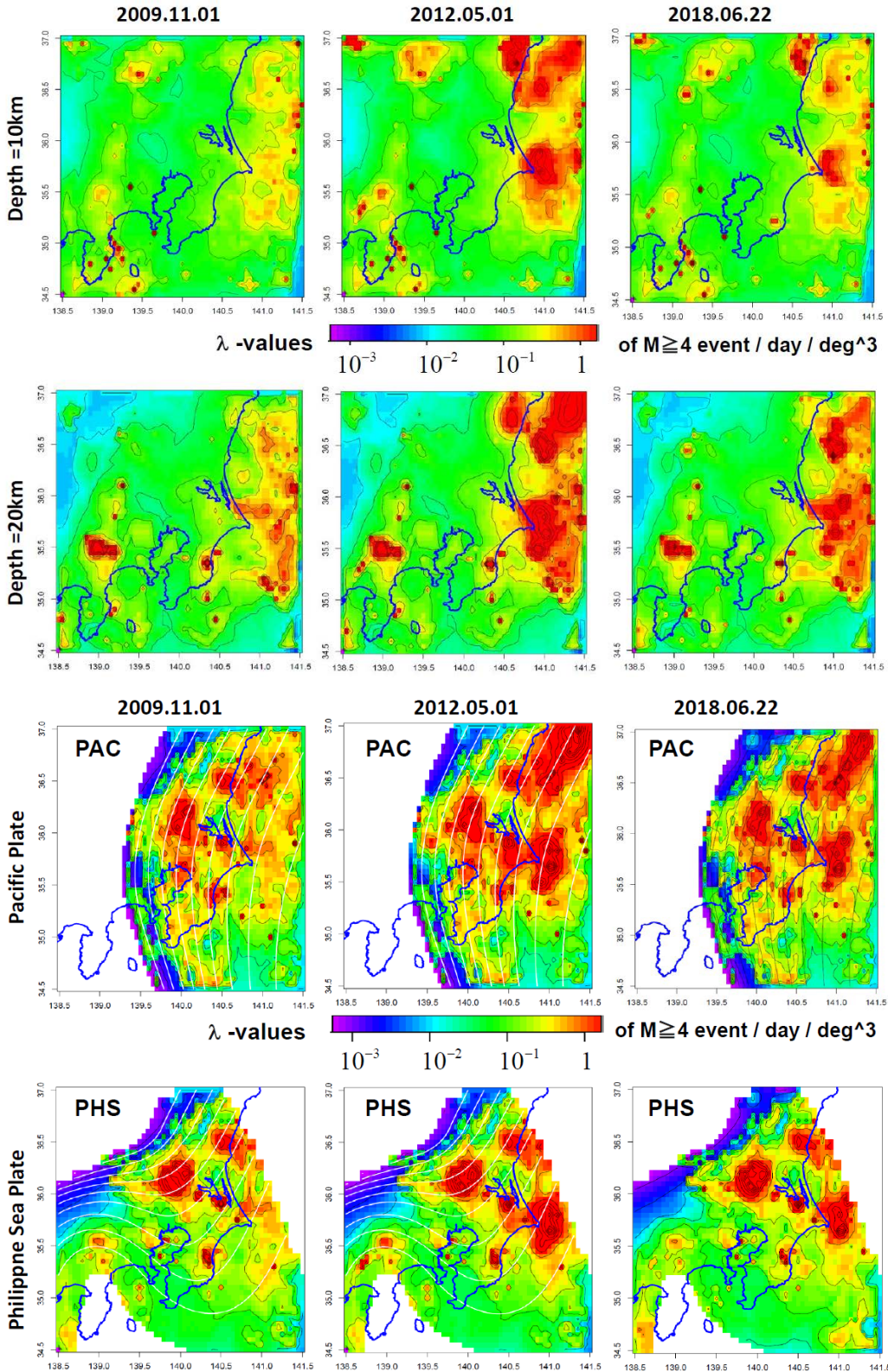
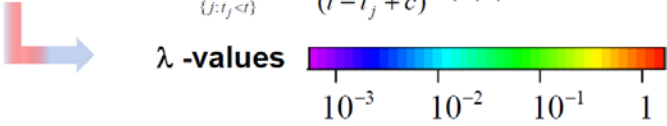


Fig. 5. Snapshots of occurrence intensities, where the unit of log-scale color tables correspond to the reference value $\hat{\lambda} \approx 0.036$ event/day/deg³. The black thin line contour interval is 1.0 in logarithmic scale. These are plane at 10 km and 20 km depth, and the upper surfaces of PAC and PHS. Panels at the date of are snapshots at the date of 2009.11.01, 2012.05.01 and 2018.06.30.

$$\lambda(t, x, y, z | F_t) = \mu(x, y, z) + \sum_{\{j: t_j < t\}} \frac{K_0(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j) e^{\alpha(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)(M_j - M_c)}}{(t - t_j + c)^{p(\bar{x}_j, \bar{y}_j, \bar{z}_j)}} f(x - x_j, y - y_j, z - z_j; M_j - M_c) + \frac{K_{M_0}(x, y, z) I(t > t_{M_0})}{(t - t_{M_0} + c_{M_0})^{r_{M_0}}}$$


 λ -values of $M \geq 4$ event / day / deg³

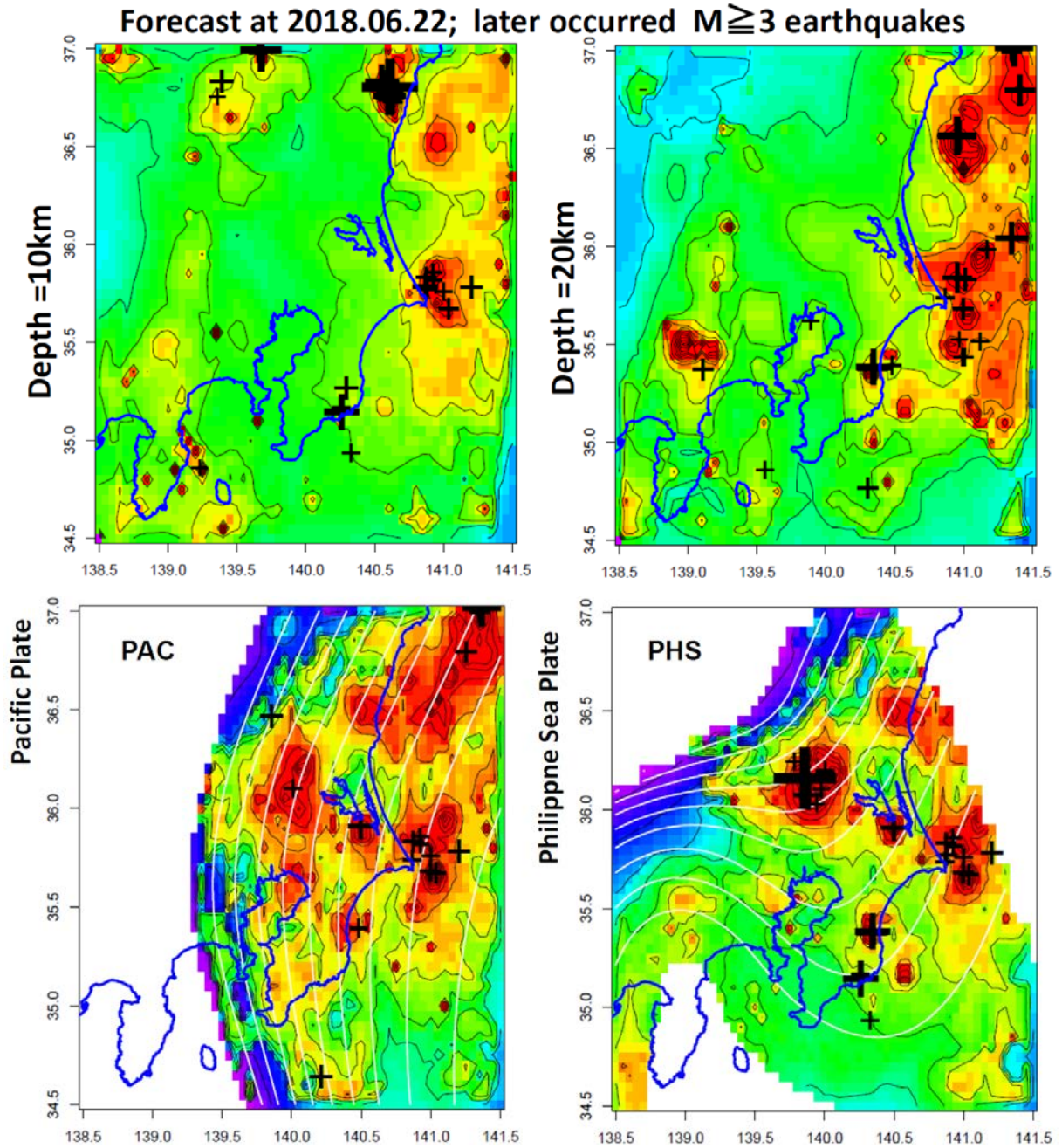


Fig. 6. Snapshots of occurrence intensities, that is the same one as snapshots at the date of 2018.06.30 in Fig.5, except the plus signs in the panels are $M \geq 3.0$ earthquakes that occurred later until November 2018 within the depth ranges as indicated in Fig. 3 caption.