

バレニー諸島周辺での地震活動度の時間変化

姫野 哲人¹、金尾 政紀²、尾形良彦³

¹新領域融合研究センター

²国立極地研究所

³統計数理研究所

The time variation of seismicity around the Balleny Island

Tetsuto Himeno¹, Masaki Kanao² and Yoshihiko Ogata³

¹Transdisciplinary Research Integration Center

²National Institute of Polar Research

³Institute of Statistical Mathematics

The earthquake occurred off the North Coast of the Antarctic continent near the Balleny Islands on 25 March 1998, was the largest intra-plate earthquake ever recorded in the Antarctic Plate. From the spatial distribution and the time variations in seismicity, we see the time variation of seismicity around the Balleny aftershock region, in particular, drastically changed before and after the main shock. But the detection rate changed in these days, too. So, we feel that the seismicity drastically changed. Therefore, we check the time variation of the detection rate and seismicity before and after the Balleny earthquake by statistical method.

1998年3月25日にバレニー諸島付近で発生した地震(バレニー地震)は、この地域で起こった地震の中では最大級である。この地震直後からこの地域での地震活動は活発化している様子が震源分布などから見てとれる (Kanao et al., 2006)。だが、このころに地震のマグニチュードに関する検知率が大幅に変化しており、地震数の増加が検知率の変化によるものか、地震活動度の変化によるものかを議論する必要がある。そこで、本研究では、検知率の時間変化を統計手法を用いることによって調べ、その結果をもとに地震活動度の変化についても議論する。

地震のマグニチュードに関する頻度分布は、データが十分にあれば、一般に Gutenberg-Richter 則に従うと考えられる。これは、統計的にはマグニチュードに関する頻度分布が指数分布に従うということに対応する。しかし実際には、マグニチュードが小さいほど地震の検知率が下がるために、全体的には指数分布とはならない。そこで、マグニチュード M に関する検知率を表す関数として、正規分布の分布関数

$$\text{erf}\{M | m, \sigma\} = \int_{-\infty}^M \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\} dx$$

によって定義する。この関数はマグニチュードが m のときに検知率が 50% となり、 M が大きくなればほぼ 100%、小さくなればほぼ 0% になる関数である。指数関数と上記の関数を組み合わせ、検知率関数を

$$\exp(-\beta M) \text{erf}\{M | m, \sigma\} / \left[\int_{-\infty}^{\infty} \exp(-\beta M) \text{erf}\{M | m, \sigma\} dM \right]$$

として定義する。この関数の概形は Figure1 のようになり(図のパラメータは、 $\beta = 1.0$, $m = 4.0$, $\sigma^2 = 0.3$ であり、 y 軸に関して対数スケールで表示してある)、実際のマグニチュードの頻度分布によく似た形となっている。次に、今考えているケースでは、検知率が時間とともに変化するケースなので、3つのパラメータがすべて時間変化することを仮定する。この時間変化に関しては、 β と σ に関しては対数をとったものに対し、 m に関しては m 自身に対し 3次 B-spline 関数(2階微分まで連続な3次多項式)を当てはめることを考える。つまり、 K 個の B-spline 基底関数 $F_k(t)$ を使い、

$$\ln \beta(t) = \sum a_k F_k(t), m(t) = \sum b_k F_k(t), \ln \sigma(t) = \sum c_k F_k(t)$$

として表すことを考える。また、罰則項として、1階微分と2階微分の二乗の積分を使い、罰則付き対数尤度の最大化によって、 a_k, b_k, c_k を決定し、時間変化するパラメータを推定する(Ogata and Katsura, 1993)。

上記の手法をバレニー地震震源(62.88°S, 149.71°E)を含む領域(144°-156°E, 60°-65°S)で、1980年から2007年まで分析した結果が Figure2 である。この図の中段の $m(t)$ を見ると、バレニー地震が発生したころに減少しているのが分かる。これは、地震発生前はこの地域ではマグニチュード4あたりまでしか観測できていなかったものが、地震発生後にはマグニチュード3.5あたりまで観測できているということが分かる。このため、マグニチュード3.5までを表示した震源分布では、地震が劇的に増えているように見えるが、これは観測可能な地震が増えたためであって、バレニー地震が影響しているかどうかは分からない。そこで、この検知率の変化の影響が出ない範囲を

考えると、検知率関数の 95%点である $m(t)+1.96\sigma(t)$ よりも大きいマグニチュード 4.5 以上の地震を調べれば、対象期間を通してほとんど検知率の変化はないと考えられる。

4.5 以上のマグニチュードデータを使い、バレー地震を境に地震活動度の変化があったかどうかに関しては、ETAS モデルを使い解析を行った。ETAS モデルとは、強度関数と呼ばれる単位時間当たりの地震発生頻度をその地域での定常的な発生頻度(background seismicity)と余震による発生頻度の二つの組み合わせで表すモデルである。余震に関しては、余震活動の経験則から余震発生頻度は、地震発生からの経過時間に対し、逆べきに従って減衰するという大森・宇津公式と呼ばれるものがあり、これに加え、余震の発生数はマグニチュードの大きさに対し指数的に増大するという経験則を取り入れることで、時刻 t での地震発生頻度(強度関数)を

$$\mu + \sum_{t_j < t} e^{\alpha(M_j - M_c)} \frac{K}{(t - t_j + c)^p}$$

として表したモデルである。ここで、 (t_j, M_j) は過去の地震発生時刻とそのマグニチュードを表していて、 M_c は扱う地震のマグニチュードの下限を表す(本発表では $M_c = 4.5$)。また、 μ, α, K, c, p はパラメータである。ここで、 μ がバレー地震前後で変化したかどうかで、地震活動度が変化したかどうかを確認できるので、赤池情報量規準(AIC)を用い分析を行った。また、発表当日は、ETAS モデルのパラメータを空間依存するものに拡張した時空間 ETAS モデルを用いた解析についても紹介する。

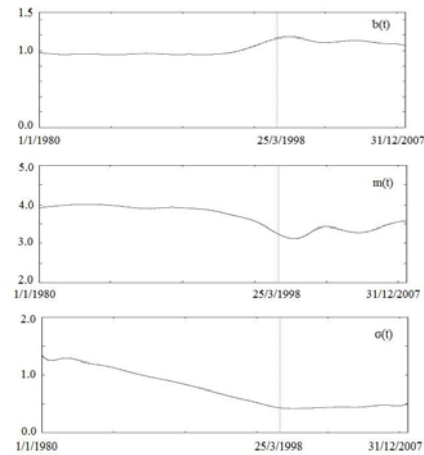
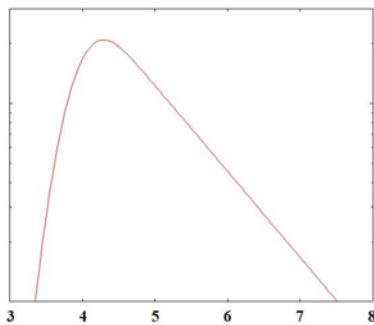


Figure 1. The shape of the detection rate function. Figure 2. The time variations of parameters for detection rate.

References

Kanao, M., Nogi, Y. And Tsuboi, S., Spacial distribution and time variation in seismicity around the Antarctic Plate-indian Ocean region, Polar Geosci., 19, 202-223 , 2006.
 Ogata, Y. and Katsura, K., Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogues, Geophys. J. Int., 113, 727-738, 1993.