

参 考 文 献

- Buland, R. and Gilbert, F.G. (1978). Improved resolution of complex eigenfrequencies in analytically continued seismic spectra, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, **52**, 457.
- Ishiguro, M., Akaike, H., Ooe, M. and Nakai, S. (1983). A Bayesian approach to the analysis of earth tides, in *Proc. 9th Int. Smp. on Earth Tides*, (ed. Kuo, J.), 283-292.
- Ishiguro, M., Sato, T., Tamura, Y. and Ooe, M. (1984). Tidal Analysis—an introduction to BAYTAP —, *Proc. Inst. Statist. Mathematics*, Tokyo, Vol. **32**, No. **1**, 72-85.
- Jeffreys, H. (1978). On imperfection of elasticity in the Earth's interior, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, **55**, 273-281.
- Lambeck, K. (1977). Tidal dissipation in the oceans: astronomical, geophysical and oceanographic consequences, *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A287*, 545-594.
- Ooe, M. and Tamura, Y. (1984). Fine structure of tidal admittance and the fluid core resonance effect in the ocean tide around Japan, *Manuscripta Geodetica*, **10**, 37-49.
- Sailar, R.V. and Dziewonski, A. (1978). Measurements and interpretation of normal mode attenuation, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, **53**, 559-582.
- Sato, T. (1984). Nearly diurnal free core resonance measured by extensometers, Proc. Symp. on Relativistic Framework and New Techniques in Astrometry and Geodesy, (ed. Aoki, S.), 547-561.
- Smith, M.L. and Dahlen, F.A. (1981). The period and Q of the Chandler Wobble, *Geophys. J.R. astr. Soc.*, **64**, 223-281.
- Zschau, J. (1978). Tidal friction in solid earth: loading tides versus body tides, in *Tidal Friction and the Earth's Rotation*, pp. 62-94, (ed. Brosche, P. and Sunderman, J.), Springer-Verlag, Berlin.

討 論

赤池弘次による Comment: 自己相関係数によるバイアスの問題は exact maximum likelihood をとる事によって解決できると考えられる。

地震の時空間分布の意味

京都大学防災研究所 尾 池 和 夫

1. は じ め に

地震は、地下の岩盤に突然破壊が発生する現象である。岩盤中に破壊が起るためには、十分な応力が作用するとともに岩盤が適度の強度を持っていることが必要である。応力が働いていても、岩が強すぎると破壊せず、岩が弱すぎるとずるずると流れてしまう。

地震がどこに起ったかを見ることによって、応力場の様子と地下構造を知ることができる。地震がいつ起ったかを見て、応力場の変化と岩石の強度の変化を考えることができる。

地震の時空間分布のモデルを、地球物理学の知識を十分とり入れながら提出することができるれば、地域的な特性のちがいなども定量的に論じることができるであろう。

2. 地震の規模

地震の一つ一つを時空間上の点と考えて統計モデルを論ずることができる。しかし、その場合に忘れてはならないことがいくつかある。

まず第一に、地震とひと口に言っても、大規模なものから極微小地震まで、きわめて広いダイナミックレンジを持つデータを相手にしなければならない。地震の規模はマグニチュード (M) で表わされるが、 $M8$ クラスの地震は数 100 km にわたって被害をもたらすことがあり、 M が 3 以下の地震は、直上にいる人も感じないほど小さい。地震を点で表わすときには、点の重みを無視することはできない。第 i 番目の地震は、

$$M_i(x_i, y_i, z_i, t_i)$$

と表わされる。

第二に、地震の震源は本質的に面であり、上式で表わされる点は、破壊面における破壊の出発点を表わしているということが大切なことである。 $M > 7$ の地震になると 10 km から数 100 km にわたって破壊され、大規模なものでは、地表にその破壊面が出現する。その破壊面全体にわたって応力降下が発生するから、それは余震や周辺の地震に当然影響を及ぼす。特に大規模な地震のデータをもとに議論を進めるとき、破壊面の中心が破壊の出発点であるとは限らないということを忘れてはならない。

3. データの精度

地震学者の仕事の中で、地震を観測して精度の高いデータを蓄積することは重要な仕事の一つである。震源の時空間における位置を精確に決めるためにも、観測に使う経費と労力が大きい。古いデータから地震の空間分布を論じた結果は、最新のデータによって否定される場合も起りうる。

鳥取微小地震観測所は、ほぼ 20 年の連続観測によるデータを持っている。観測網の中では 1 km、周辺でも 5 km 以下の誤差で震源の分布を見ることができる。狭い範囲内では、震源相互間の相対位置は、100 m 以下の誤差で見ることにもできる。 $M5$ クラスの地震の余震が、本震の破壊面を忠実に表わす分布を示すような例があり、余震現象のモデルなどを論ずるためのいいデータとなるであろう。

4. 微小地震の震央分布

マグニチュードの小さい地震だけを選んで震央分布図を作ると、図 1 のように、観測網の中に、しかも活断層に沿って分布する。 $M \geq 4$ の分布図を作ると、地震は広く一様に分布するように見える (図 2)。これはデータの均質性に関する性質でもあり、 $M4$ クラスの小地震が比較的一様に発生するという性質をも示している。もっと規模の大きい地震は、ほとんど活断層に沿って起る。

5. 地震の引き金

トリガー作用を調べることは、地震現象の解明のため大切なことであるが、困難な問題であ

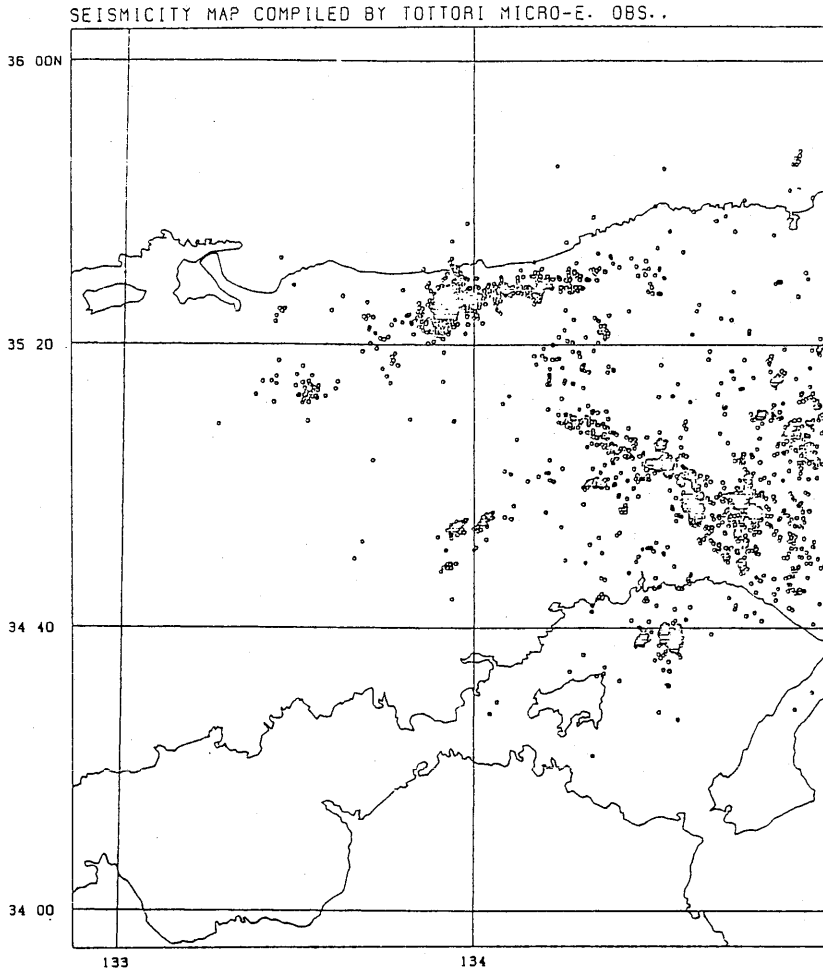


図1. $M \leq 1$ の地震の震央分布

る。

応力を増大させることによるトリガーとしては、プレート運動の加速、地殻ブロックの相対運動による力の伝達などが考えられる。

岩盤の破壊強度を下げるトリガーとして、地下水の作用が大きな役割を演ずるであろう。

前者の現象を調べるため、隣接地域の地震の時系列の間の関係を見る場合がある。この場合、何らかの意味の相関が見られるとしても、その物理的意味が、地下構造やテクトニクスから十分理解できることが重要である。

地下水は破壊強度を下げる役割をするが、たとえば、活断層を横切る川の水は破碎帯の中へ飲み込まれていく。このような場所では、地震発生に、降雨に対応する季節性が見られる。

短周期の変化としては、地球潮汐による地震発生の引き金作用が知られている。図3はその例を示す。

トリガーが作用しても応力が低ければ地震は発生しない。従って、このような現象の解析は困難であるが、地震の短期的予知にとっても重要な課題である。

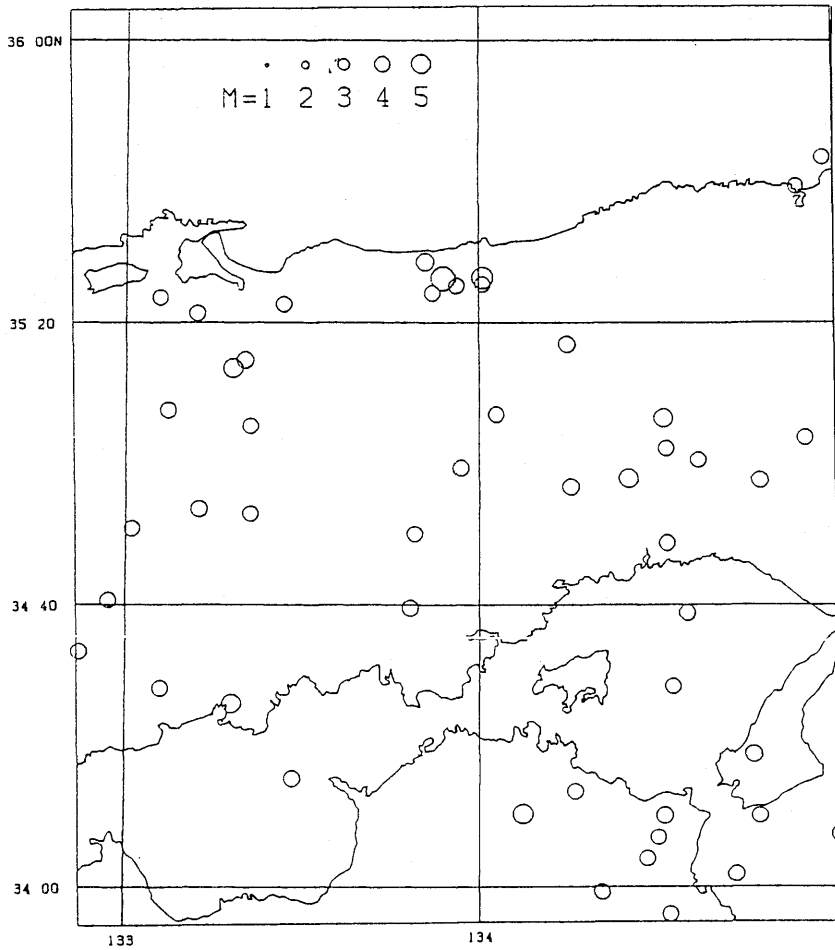


図2. $M \geq 4$ の地震の震央分布

6. 中規模地震前後の微小地震分布

M5~6 程度の中地震が発生したとき、その本震の地域では、数 100 日前から地震活動が静かになる。このような現象を地震の空白域と呼び、大規模な地震については空白域の形成が地震予知の一つの重要なデータとなる。

また、本震の直後から、余震が続くとともに、余震域より外側へ向って地震活動が誘発される現象が見られる。地震活動の拡大あるいは移動現象のメカニズムを知るために、このような事例の収集と解析が今後の重要なテーマであろう。

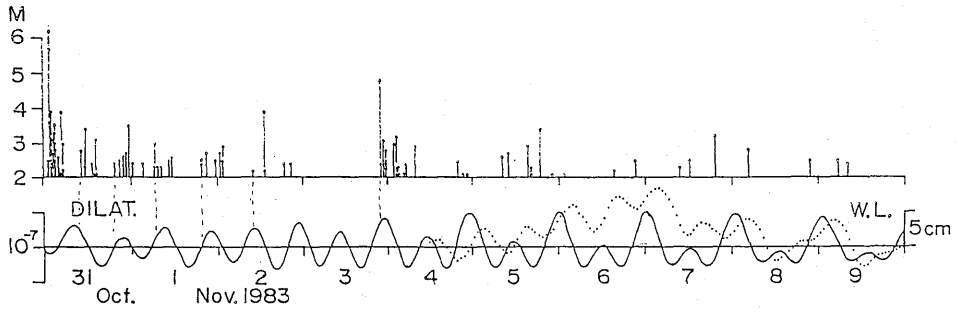


図3. 鳥取県中部の地震の余震と地球潮汐による dilatation. 地殻が膨張したとき、余震活動が活発化する(本震後数日間)。同様の現象は、1943年の鳥取大地震の余震にも見られる。

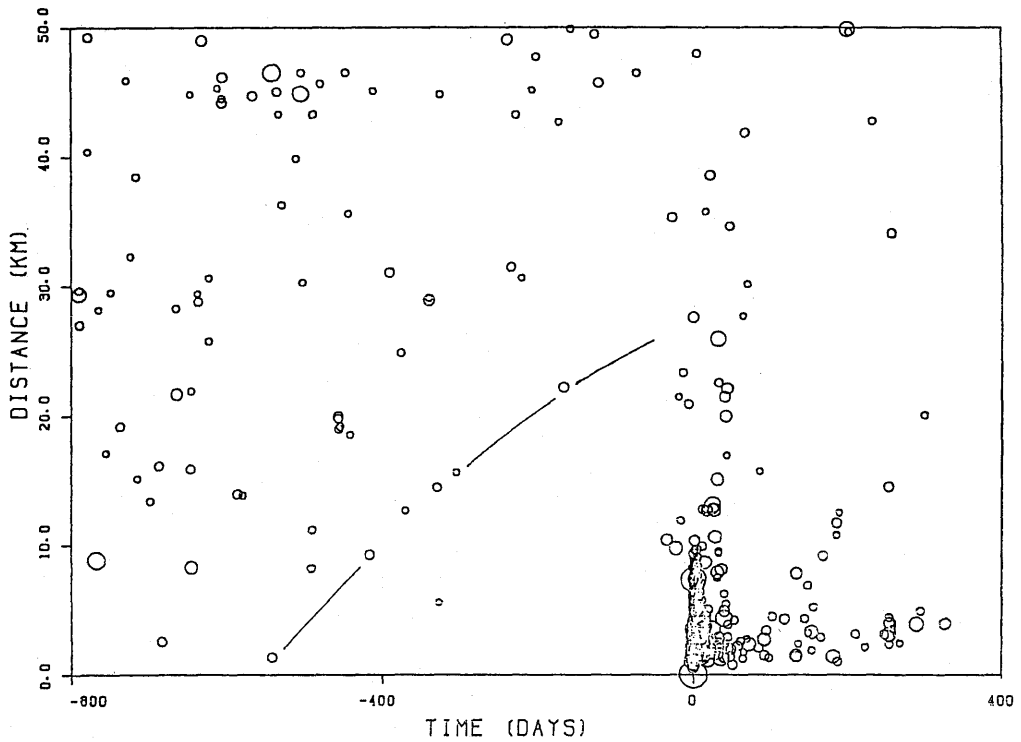


図4. 鳥取県中部の地震 (M=6.2) 前後の周辺の微小地震活動の変化。縦軸は本震からの距離。