

活断層間の相互作用と地震の誘発

福岡県西方沖地震の影響を考慮した福岡市直下型地震の発生確率評価

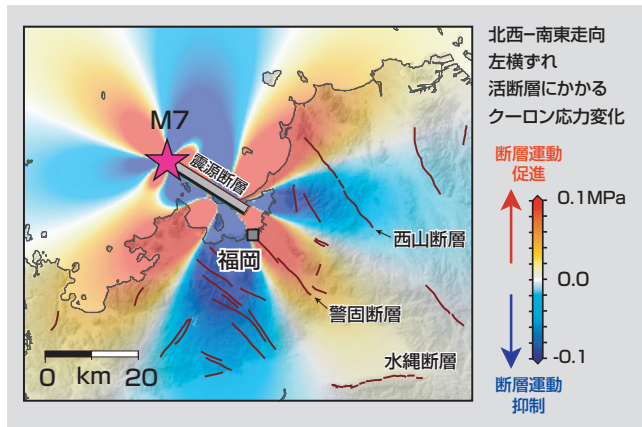
大地震は震源となった断層沿いの剪断応力を解放する。一方で、解放された応力は周辺に分散・伝播し、隣接する断層に負荷を与える。これにより余震が発生・拡大し、新たな大地震を誘発する場合もある。「双子地震」といわれる2つのスマトラ沖巨大地震もこのような応力誘発作用による。これは直下型地震を発生する活断層間にもあてはまる。3月20日に発生したマグニチュード7の福岡県西方沖地震は、福岡市直下に分布する警固断層に0.1 - 0.5 MPaの応力を新たに加えた。我々が開発した地震発生確率算定法を用いると、警固断層から想定されるマグニチュード7の地震の30年発生確率は、地震前の1%未満から最大7%にまで上昇する。

We develop a new method of probabilistic estimate for a large earthquake originated from an active fault, incorporating stress transfer from an adjacent earthquake. We applied the method to the Kego fault that is an active fault just beneath the city of Fukuoka. The earthquake probability for the next 30 years on the Kego fault is now raised to about 7 % due to stress transferred from the March 20, 2005 Fukuoka-ken-seiho-oki, Japan, earthquake.

余震と応力誘発作用

地震学の教科書には、「余震」とは本震を引き起こした断層面（震源断層という）上のずれ残りを解消するための地震」と定義されている。しかし、余震は震源断層の外でも発生する。地震規模にもよるが、数十km、百km以上も離れた地域で本震後に地震活動が活発化することもある。これらは「広義の余震」といわれ、本震にともなう周辺地殻の応力変化によって誘発された地震とわかってきた。

本年3月28日に発生した M 8.7 スマトラ沖地震は誘発地震の典型である。気象庁は、当初この地震を昨年12月26日に発生した M 9.3 地震の最大余震とした。しかし、地震波解析の結果、震源断層は M 9.3 地震の南隣に位置する別な断層が原因とわかった。いわゆる「双子地震」であり、両地震の発生時間差3ヶ月は偶発的なものではない。日本では南海トラフ沿いの1944年 M7.9 東南海地震、1946年 M 8.0 南海地震も双子地震である。前回の地震、1854年12月23日 M8.4 安政東南海地震、1854年12月24日 M8.4 安政南海地震も同様で、時間差はわずか32時間であった。このような地震誘発現象は、いわゆる内陸直下型地震を引き起こす活断層にもあてはまり、世界各地で事例が報告されている。



大地震による周辺断層への応力変化

1つの断層運動が地殻を介して周囲の断層に影響する。このような巨視的な状況を推定するにはコンピュータ上での模擬の数値計算が適している。計算は、地表を自由表面とした半無限弾性体を用い、地震波の解析から求められた震源断層の位置や形状、すべり分布をもとに行う。その際、評価する断層がその近傍の大地震によってどのように動き易く（難しく）なるかを表す指標として「クーロン応力変化」を用いる。クーロン応力とは、断層面にかかる剪断応力（断層をずらそうとする圧力）と、法線応力（断層面を押さえつけようとする圧力）に静摩擦係数を掛けた値の総和である。剪断応力、法線応力（断層から離れる方向に正）が増加すればクーロン応力が増加し、断層運動が促進もしくは誘発される。逆にクーロン応力が減少すれば断層運動が抑制される。

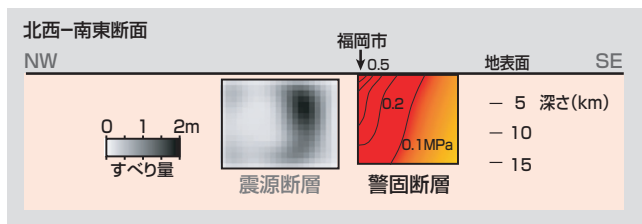


図1 福岡県西方沖地震によって変化するクーロン破壊応力
暖色系地域で地震が発生しやすくなり、寒色系地域で地震発生が抑制される。
上：周辺地殻内に震源断層と同様の横ずれ断層を想定し、地域ごとに変化量を可視化。
下：福岡市直下に分布する警固断層上での応力変化量。最大0.5MPa増加。

産総研では、この手法を用いて大規模地震直後の広域余震の発生予測を試験的に行っている。福岡県西方沖地震もその1つである（図1）。福岡県西方沖地震では、震源断層

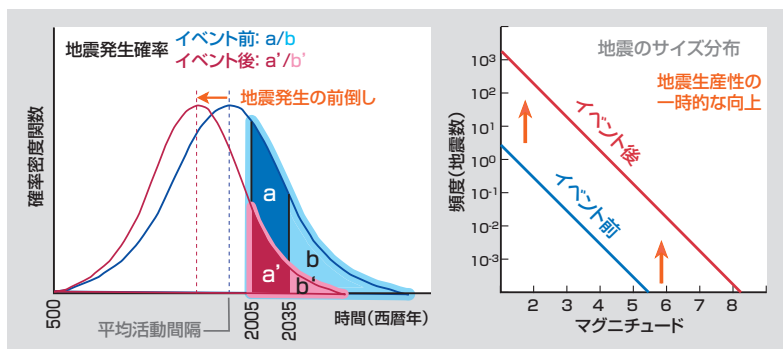


図2 震源近傍の活断層の地震発生確率に与える2つの効果

左：長期変化。単純に次の地震発生が早まったとする。
右：短期変化。地震のサイズ分布一定(傾き一定)のもとで、地震発生率の一時的急上昇により大地震も起こりやすくなる。

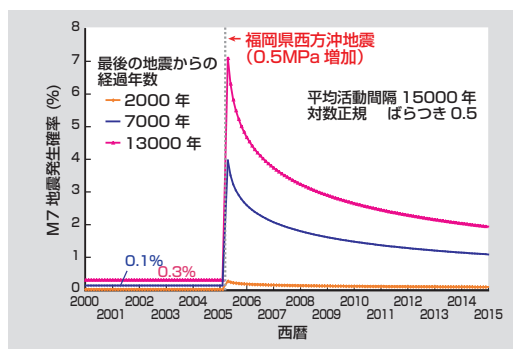


図3 今後30年間のM7地震発生確率(警固断層から想定) 平均活動間隔を1500年とし、最新活動時期からの経過年数2000年、7000年、13000年の3パターンで計算した。断層北西端に0.5MPaの応力増加を想定。

の末端延長と震源の西南西、東北東の地域で横ずれ断層運動を促進する応力が加わった。寒色系の地域では逆に地震発生が抑えられる。今後余震は暖色系の地域で発生しやすくなる。図からは福岡市も応力増加域に入っていることが読み取れる。特に、福岡市直下に分布する活断層、警固断層には最大約0.5MPaもの負荷が加わったことが予想される。これは、すなわち、警固断層が地震前よりも動きやすくなったことを意味するものだ。

活断層への応力負荷を定量的に評価

一般に、活断層による地震ポテンシャルは、一定期間内の発生確率値として示される。その際、地質調査・史料地震調査に基づき、1) 平均の活動間隔、2) 活動間隔のばらつき、3) 最後の地震からの経過時間、の3要素を確率密度関数に当てはめて算定する。活動間隔が短いほど、また最後の地震からの経過年が長いほど、確率値は高くなる。

この確率算定過程に近傍の地震からの応力変化を取り入れる。定量的に評価するために、次の2つの効果を考慮する(図2)。

- 長期効果：地震発生前倒し・先延ばし
- 短期効果：一時的に地震発生率が急増・急減することによる影響

警固断層の場合、M7級の地震を1~2万年間隔で発生してきたと推定されている。つまり剪断応力約3~5MPaを1~2万年かけて蓄積する。このことから、今回の地震によって警固断層に加わった0.5MPaの応力は、通常の約1000年に相当する。すなわち、次の大地震発生が1000年以上前倒しされることになるのだ。この効果を確率密度関数の平均値の変化に取り入れた(図2左)。

一方、微小地震まで含めた地震発生率は応力変化量と非線形的な関係にあり、大気圧の数分の一の変化でも地震発生数に顕著な増減がみられる。図1の暖色系の地域では、地震発生頻度が地震前の数十倍~数百倍まで一時的に上昇する。地震の大きさ分布一定(Mが1桁小さいと地震数は一般に10倍)を考慮すると、小さな地震が発生しやすくな

ればなるほど大地震も発生しやすくなる(図2右)。これが短期効果で、余震の減衰と同じく時間とともに減少する。

上記の2つの効果を取り入れると、警固断層の30年地震確率は西方沖地震によって最大7%まで上昇する(図3)。降水確率などと比較すると(30%を超えると傘を携帯する人が増える)、かなり低い値に思われるが、この数値は、糸魚川-静岡構造線など、発生確率の最も高い活断層リストに肩を並べるものだ。ちなみに、兵庫県南部地震を引き起こした際の野島断層の確率は当時8%であった。ただし、警固断層が最後に活動した時期はまだ精度良く明らかにしておらず、今後さらなる調査が必要である。

地震予知予測への展開

地震が全く気まぐれな現象であれば地震予知・予測は不可能である。確かに、福岡県西方沖地震のように前触れ無く発生する地震は現時点では予知は不可能であろう。しかし、ここで述べた広域余震活動、双子地震、誘発地震は、過去の地震履歴と断層間相互作用の産物である。このタイプの地震こそ、確率予測の高精度化だけではなく、決定論的地震予知の最初の手がかりになるものと期待する。

関連情報

- S. Toda, R. Stein, P. Reasenberg, & J. Dieterich : J. Geophys. Res., 103, 24543-24566 (1998)
- T. Parsons, S. Toda, R. Stein, A. Barka & J. Dieterich : Science, 288, 661-665 (2000)
- S. Toda, R. Stein, & T. Sagiya : Nature, 419, 58-61 (2002)
- 遠田晋次：産業技術総合研究所シリーズ「地震と活断層」, 45-61 (2004)
- 堀川晴央：http://staff.aist.go.jp/h.horikawa/2005Fukuoka/source.html (2005)
- 地震調査研究推進本部：http://www.jishin.go.jp/main/ (2005)

● 問い合わせ先

独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層研究センター
遠田 晋次・堀川 晴央
E-mail: s-toda@aist.go.jp
〒305-8567
茨城県つくば市東1-1-1 中央第7