

群発地震はなぜ起きる？ 応力変動がカギ

群発地震発生メカニズムを説明、Nature 誌に発表

地震活動は、本震-余震型と群発地震型の二つのタイプに分けられる。普通、大きな被害をもたらす地震では最大規模の本震の後に本震よりも規模の小さな地震（余震）が多数発生する。一方、群発地震では、最大規模の地震と同程度の規模の地震が複数発生することがあり、地震発生数が余震活動のように急激に減少せず、だらだらと活動が継続する。

2000年伊豆諸島北部で発生した伊豆諸島群発地震は、世界最大規模の群発地震となった。我々は、この時の地震・測地データを基に、群発地震の発生には地殻の継続的な変形、応力増加が深くかかわっていることをつきとめ、証明した。



●ネイチャー 2002年9月5日号表紙
(ネイチャー・ジャパン提供)

応力変動によって生じる群発地震

群発地震はこれまで、他の地震活動とは異なった「何か特別な地震活動」とされてきた。その発生原因には、マグマや地下水などの直接的な影響（断層への浸透など）や特殊な地殻不均質などの説が有力とされてきた。以下で紹介する2000年伊豆諸島群発地震では、マグマは地殻変動を押し進める原因にはなっているものの、地震活動自体は地殻変動にかかわる応力変動によって生じていたことが明らかになった。つまり、地震一つ一つの仕組みは通常地震と同じであるが、短時間で異常に高い応力が加わり続けた結果、地震発生数が急増して群発地震となるわけである。この研究成果は、ネイチャー2002年9月5日号に掲載された（国土地理院鷲谷威博士、米国地質調査所 Ross Stein 博士と共著）。

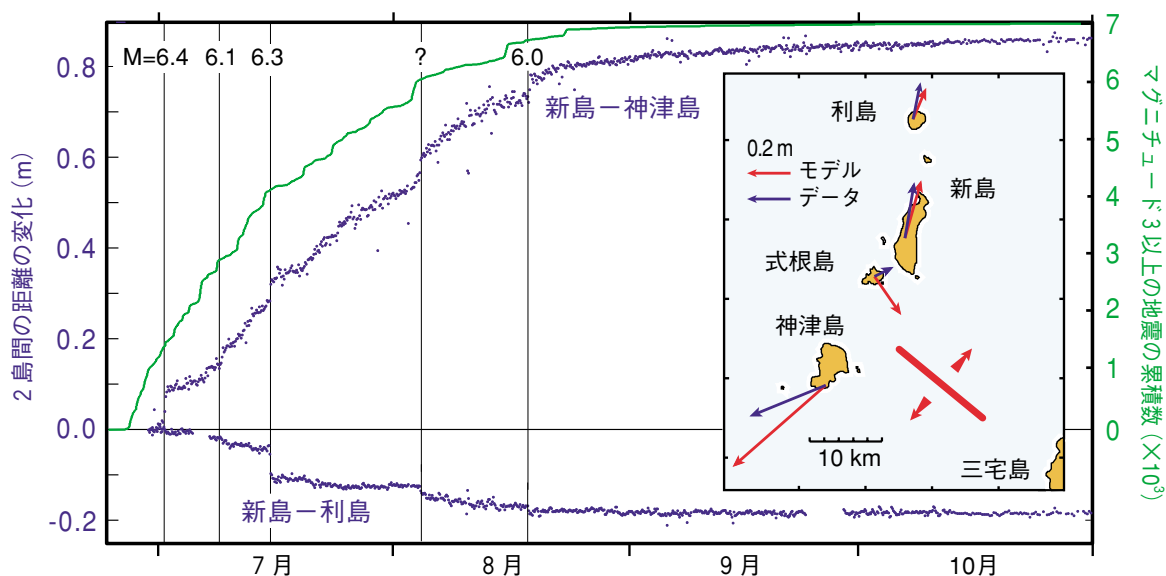
2000年伊豆諸島群発地震の解析から

2000年6月から8月にかけて伊豆諸島北部で発生し

た群発地震活動は、マグニチュード3以上の地震7000個、マグニチュード6以上の地震5個を含む観測史上世界最大規模（陸域およびその周辺）となった。この地震活動は活動の規模もさることながら、国土地理院のGPS連続観測や気象庁・東京大学による地震活動の詳細な観測データが得られたことで注目を集めた。これによって、地表の伸び・縮みと地震活動の関係がほぼリアルタイムにモニターされた（図1）。

島を動かす群発地震 —マグマの成長モデルで実験観測—

GPS観測の結果、群発地震活動期の6月26日から8月23日の約2ヶ月間、新島と神津島の距離は約80cm以上離れ、逆に新島・利島間は20cmほど近づいたことが計測された。変動の時系列的特徴として、マグニチュード6以上の地震によって数cmほど急に変動することはあるものの、2ヶ月でそれぞれ2島間の距離が徐々に変化していることがわかる。このような地殻変動を説明するために、我々は、三宅島北西沖に長さ



●図1 GPS連続観測で明らかになった群発地震活動中の2島間の距離の変化

15km、幅5kmの垂直板状のマグマを仮定し、2ヶ月間継続的に成長するモデル（以下、ダイクモデル）を考えた（図1グラフ中）。ダイクは最終的に20mも開口した。その後、このダイクモデルによって周辺地殻の横ずれ断層（地震の多くが横ずれ型）にかかる応力速度の増減を計算した。その結果、応力速度が通常よりも増加する地域と減少する地域に分かれた（図2下の暖色系と寒色系）。応力速度増加地域では、ダイク近傍の三宅島北西沖では応力速度が10Mpa（メガパスカル）/年以上、ダイクから離れた新島でも数MPa/年と見積もられた。活動前数年のGPS観測結果から、通常の応力速度は0.01MPa/年と推定されているので、応力速度の変化率は、三宅島北西沖で1000倍以上、新島周辺で数100倍程度となり、通常よりも高い応力が継続的に加わっていたことになる。一方、観測された地震のほとんどが応力速度増加域で発生していた（図2下）。また、通常の地震活動とその発生率を比較した結果、地震発生率変化は上記の応力速度変化に比例することがわかった。これは岩石摩擦実験から導かれた単純な法則と整合する。単純な法則とはいえ証明されたのは今回初めてであり、地震発生予測へ適用可能であることを示唆するものである。また、今回の群発地震活動では、

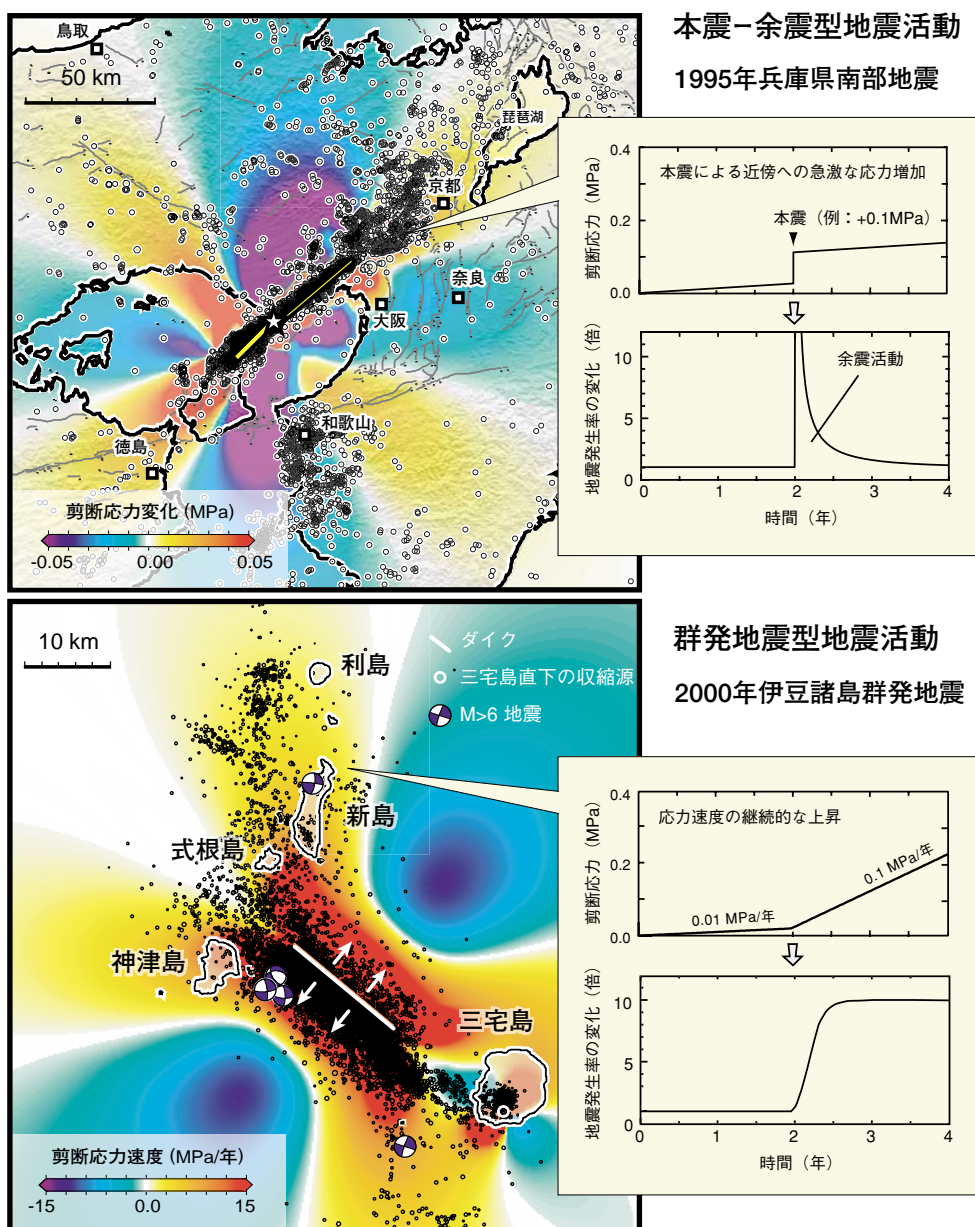
1. 活動域が時間とともに拡大すること。
2. マグニチュード6以上の地震の余震活動が極端に短いこと。

が同時に観測されたが、これらの結果も実験室での断層摩擦法則を証明するものである。

応力変動と地震活動

以上の伊豆諸島群発地震の研究にみられるように、コンピュータ数値解析によって以前よりも手軽に地殻応力の変化を計算できるようになってきた（絶対応力値の計測・推定は依然困難）。地震活動のクラスタリングのもう一つの代表が、本震・余震活動であるが、これも同様の解析で説明できる。

これまで大地震の余震活動といえば、震源（断層）近傍で発生する地震のみ注目されてきたが、最近の研究では震源から離れた地域の地震活動にも本震によって変化がみられることがわかってきた。本震前後の震源遠方の地震活動の変化は地域によって異なり、地震活動が活発化する地域と、逆に減少する地域が観測されている。伊豆諸島の場合はダイク貫入による変形であったが、ここでは震源断層による周辺地殻への静的応力変化の計算で説明できる。例えば、図2上は1995年に発生した兵庫県南部地震による周辺地殻に潜在する横ずれ断層への応力変化の計算例である。その後1.5年間の地震（広義の余震）も同時にプロットしている。例外もあるが、応力増加域では地震が多く見られ、減少域ではあまり見られない傾向がある。特に注目すべきは、応力変化量がごくわずか（大気圧以下）でも、地震活動は著しく変化する点である。地殻は微妙なところでバランスを保っているのであろう（臨界状態に近いとも言える）。世界各地の他の大地震についても同様の研究が進められ、本震による応力の急激な増減と地震活動とに相関があることが明らかになってきた。



● 図2 応力変動スタイルの違いによって生じる二つの地震活動のタイプ（本震-余震型と群発地震型）

地震予知への希望

以上のことから、応力変動のスタイルによって連鎖的地震活動は、大きく次の二つに分かれる（図2）。

1. **本震-余震型**：応力増加が一瞬に（急激に）生じると地震活動の一時的なバースト現象、すなわち余震活動が発生し、時間とともに減衰する。
2. **群発地震型**：一瞬に応力が加わるのではなく応力速度が増加し、一定期間継続する場合で、地震活動がその変化量に比例して増加する。

今後、このような応力変動と地震活動への応答特性を逆に利用して、余震活動や群発地震など、連鎖的な地震活動の確率論的予測に応用することが可能である。

余震活動予測への試みは実際に始まっている。

地震予知・予測は今日の地球科学にはまだまだ困難な課題である。ただし、地震はでたらめに起こるものではなく、むしろ地殻を通じて相互に影響を及ぼしながら発生していることがわかりつつある。だからこそ、地震予知への希望が残されていると思っている。

● 問い合わせ

〒305-8567

茨城県つくば市東 1-1-1 中央第7

独立行政法人 産業技術総合研究所 活断層研究センター

断層活動モデル研究チーム 遠田 晋次

E-mail s-toda@aist.go.jp