

2001年箱根群発地震活動に伴った地殻変動による神奈川県西部地震への影響

原田昌武*・棚田俊收*・行竹洋平*

Influence on the occurrence of the Western Kanagawa earthquake brought about by crustal movement that accompanying the Hakone earthquake swarm activity in 2001

by

Masatake HARADA, Toshikazu TANADA and Yohei YUKUTAKE

Abstract

□We investigate influence of the pressure sources on the occurrence of the supposed disastrous earthquake in western Kanagawa Prefecture where rate of contraction in the NW–SE direction due to the subduction of the Philippine Sea plate was reduced at the times of the swarm activities. We consider six types of disastrous earthquakes for the supposed Western Kanagawa Earthquake: One is an interplate earthquake, the second is an intraslab earthquake as proposed by Ishibashi (1988), and the other is a shallow earthquake or active faults in the crust. The influence of the inflation of Hakone volcano on these model earthquakes is evaluated by calculating distribution of static stress change caused by the pressure sources on each of the supposed fault planes.

1. はじめに

箱根火山ではこれまでたびたび群発地震活動が発生している。その中でも、2001（平成13）年6月から発生した群発地震活動は、温泉地学研究所による1989年のテレメータ地震観測開始以来最大の活動で、同年10月頃まで継続した。この時の群発地震活動では、震源決定できなかったものも含めれば15,000以上の地震が発生している（棚田ほか、2002）。一方、国土地理院によるGPS観測のデータを用いた解析では、同時期に箱根駒ヶ岳付近を中心とする面積歪の膨張域が検出された（例えば、Harada et al., 2008）。神奈川県西部地域は定常的には圧縮場となっているため、群発地震に伴った膨張歪は、同地域で想定されているマグニチュード（M）7クラスの地震、いわゆる“神奈川県西部地震”に何らかの影響を及ぼすと考えられる（原田・岩國, 2008）。

火山活動と内陸地震の連動については、これまでにもいくつか指摘されている。たとえば、村上（2009）は2008年岩手・宮城内陸地震（2008/6/14 Mj7.2）と栗駒火山の活動に関連して、栗駒山南東麓のGPS観測点が2004年頃から隆起をしていたことに注目し、それが火山性の膨張によるものと仮定すれば、それによる応力変化は断層面の破壊開始点において破壊を促進する影響があったことを指摘している。また、Nishimura et al.（2001）は、1998年5月頃から発生した岩手山の火

山性の膨張がその後に発生した岩手県内陸北部の地震（1998/9/3 Mj6.1）を促進した可能性があることを示した。これらの事例では、火山性の膨張源が周辺の断層面の破壊を促進させたと考えられる。

箱根火山と神奈川県西部地震の関係についても、神奈川県西部地震は発生していないものの、地学的なバックグラウンドが上述の例と似ているところがある。したがって、箱根群発地震活動に伴った地殻変動によって神奈川県西部地震の発生がどのような影響を受けたか評価することは重要である。そこで本研究では、2001年箱根群発地震活動が神奈川県西部地震の震源として想定されている断層面にどのような影響を与えたと考えられるかについて論じる。

2. クーロン破壊応力変化とその計算条件

規模の大きな地震・火山活動が発生すると、その周辺では顕著な応力変化が生じる。この応力変化は、周辺の仮想的な断層面に対し法線応力と剪断応力の変化をもたらす。法線応力の増加は断層面の摩擦抵抗を増加させるため、断層運動を抑制する効果があり、剪断応力の増加は断層運動を促進する効果がある。つまり、これら2つの応力変化の仕方によって断層面の破壊が促進されるか、抑制されるかが評価できる。この両者の応力変化が断層面に及ぼす影響を総合的に判断し、断層面上の破壊

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586

表 1 代田ほか (2009) による 2001 年箱根群発地震活動の圧力源モデルのパラメータ。

Table 1 Parameters of the pressure source accompanying the Hakone earthquake swarm activity in 2001 (Daita et al., 2009).

開口断層

Longitude [deg.]	Latitude [deg.]	Depth [km]	Length [km]	Width [km]	Strike [deg.]	Dip [deg.]	Rake [deg.]	Slip [m]	Open [m]
139.028850	35.246630	0.2	0.8	1.7	285	86	0	0	0.113
139.023027	35.222875	0.0	0.7	1.5	130	70	0	0	0.487

球状圧力源

Longitude [deg.]	Latitude [deg.]	Depth [km]	Volume ($\times 10^6$)[m ³]
139.031706	35.214626	7.0	7.1

表 2 岡田 (1993) による神奈川県西部地震の想定断層モデル (一部変更している)。

Table 2 Different fault parameters of supposed Western Kanagawa Earthquake. These models were compiled by Okada (1993).

Model A - D correspond to the model in Fig. 1.

MODEL	Longitude [deg.]	Latitude [deg.]	Depth [km]	Length [km]	Width [km]	Strike [deg.]	Dip [deg.]	Rake [deg.]
A	139.2500	35.2860	3.0	20	20	325	45	160
B	139.2100	35.1200	5.0	20	20	275	25	135
C1	139.2000	35.0500	1.5	25	10	0	90	0
C2	139.1409	35.2588	3.0	20	12	170	80	65
C3	139.0872	35.1937	10.0	30	15	350	90	0
D	139.2161	35.2591	17.2	20	20	210	50	70

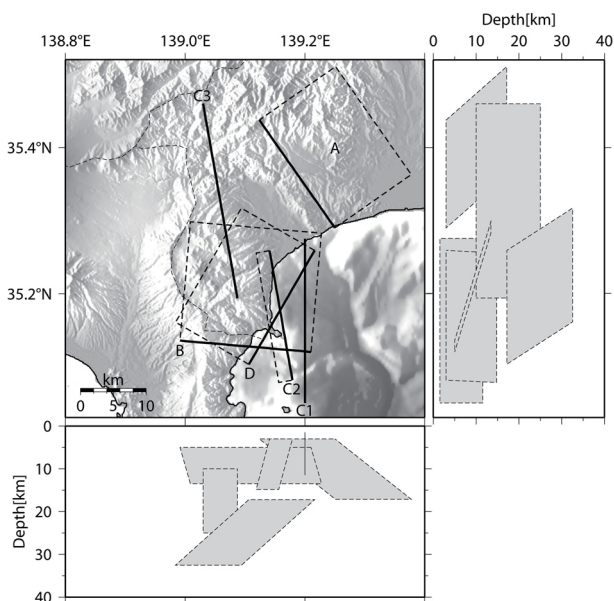


図 1 岡田 (1993) による神奈川県西部地震の想定断層モデルの形状 (一部変更している)。A から D は表 2 の想定断層モデルに対応する。

Fig. 1 Strikes and dips of different faults supposed for the Western Kanagawa Earthquake. Details of faults parameters are listed in Table 2.

の起こりやすさを評価する指標としてクーロン破壊応力変化 (CFS) がある。一般に、剪断応力や法線応力の絶対値の測定は困難なため、このような評価には地震・火

山活動によって生じる応力変化量 (以下 ΔCFS と略す) を計算することとなる。 ΔCFS は、次式で表わされる。

$$\Delta CFS = \Delta \tau - \mu \Delta \sigma_n$$

ここで τ は剪断応力、 σ_n は法線応力、 μ は摩擦係数を表わす。 ΔCFS が正の値であれば断層面の破壊が促進される応力変化に相当し、負の値の場合は抑制される応力変化があることを示す。本研究では摩擦係数 0.4、剛性率 30GPa、ポアソン比 0.25 と仮定して ΔCFS の計算を行った。 ΔCFS の計算には、国土地理院による「地殻

活動観測データ総合解析システム」を使用した。

ΔCFS の計算にあたっては、周辺に影響を及ぼす地震や火山活動についてのソースモデルと、周辺のどのような断層面に対して影響を与えるかを評価するための仮想的な断層モデルに関するパラメータが必要となる。ソースモデルについては、2001年箱根群発地震活動に伴った地殻変動を説明するモデルを使用した。この時の地殻変動に対しては、温泉地学研究所による傾斜計データと国土地理院のGPSデータに基づいて、箱根駒ヶ岳直下の深さ7km付近の球状膨張源と箱根駒ヶ岳の北側及び南側の浅部に開口断層（2つのダイク）からなるモデルが提案されている（代田ほか、2009）。この圧力源モデルのパラメータを表1に示す。我々はこのソースモデルを用い、仮想的な断層面としては岡田（1993）によってまとめられている神奈川県西部地震についての6つの想定断層モデルを想定して、これらに対する応力変化量を計算した。想定した断層モデルを図1に、また、断層パラメータを表2に示す。想定断層モデルについては岡田（1993）の分類に従って、断層モデルA（国府津・松田断層モデル）、断層モデルB（新プレート上面モデル）、断層モデルC1（東翼部・中央部モデル）、断層モデルC2（西相模湾断裂モデル）、断層モデルC3（道志-小田原構造線モデル）、断層モデルD（プレート内破壊モデル）を表わす。ただし、モデルC2については、岡田（1993）で北部と南部では深さの違う2枚の断層面を想定しているが、本研究では1枚の断層面として取り扱った。

3. 神奈川県西部地震の想定断層面に対する応力変化

2001年箱根群発地震活動による断層モデルAからDの各断層パラメータにおける応力変化量を図2から図7に示す。これらの図の(1)は応力変化が比較的大きい特定の深さにおける応力変化量を、(2)は想定断層モデル面上の応力変化量を表わす。

モデルAの断層パラメータ（図2）による深さ5kmにおける応力変化量は、群発地震のソースモデルの東側が負の領域であり、また、その西側と北側、南側で正の領域となっている。しかし、国府津・松田断層近傍ではほとんど応力変化はなく、群発地震による影響は極微小であることが分かる。これは国府津・松田断層の断層面上の応力変化量を見ても明らかである。

モデルBの断層パラメータ（図3）による深さ9kmにおける応力変化量は、群発地震のソースモデルの西側以外の領域は正になっている。想定断層面の西端は球状膨張源の直下を通っており、そのため断層面上には顕著

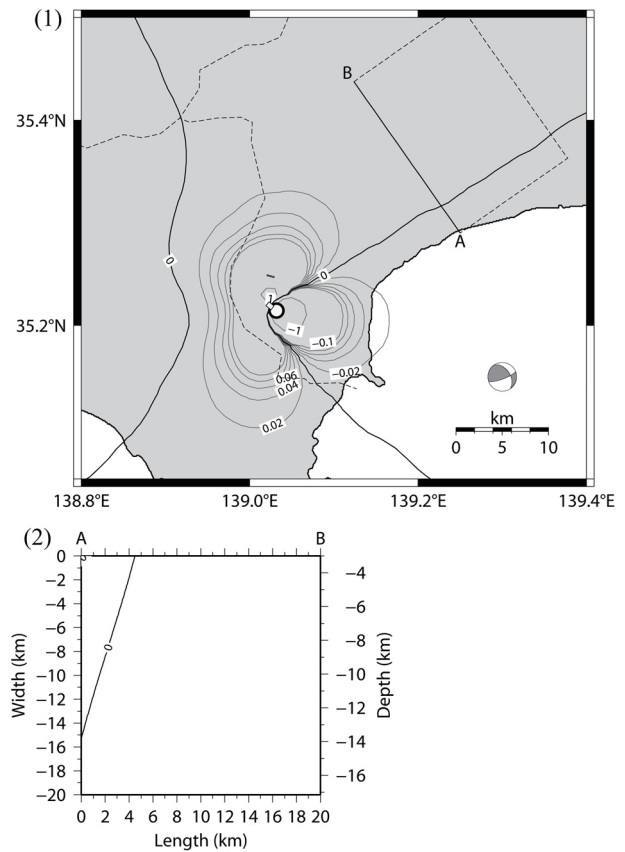


図2 2001年箱根群発地震活動によるモデルAの断層パラメータにおける応力変化量。数値の単位はMPa。(1)深さ5kmにおける応力変化量、(2)想定断層面上の応力変化量を表わす。

Fig. 2 Static stress change (MPa) on the fault plane of model A (Table 2) produced by the pressure source of the Hakone event in 2001 (Table 1). Stress change is evaluated by ΔCFF . We assumed rigidity 30 GPa and coefficient of friction 0.4. Inlet mechanism diagram shows fault motion. (a) Stress change on horizontal planes at various depths. (b) Stress change on the fault model plane of the supposed Western Kanagawa Earthquake.

な応力変化がある。特に断層面の西側から中央部にかけての深さ6-10km付近で0.1MPa程度の正の領域が存在していて、2001年の時と同様に更に規模の大きな変動があった場合には、破壊開始点となる可能性も考えられる。

モデルC1の断層パラメータ（図4）による深さ4kmにおける応力変化量は、群発地震のソースモデルの北東-南西方向に負の領域が存在し、北西-南東方向には正の領域になっている。想定断層面上の応力変化量は0.02MPa以下で、ほとんど影響がないと考えられる。

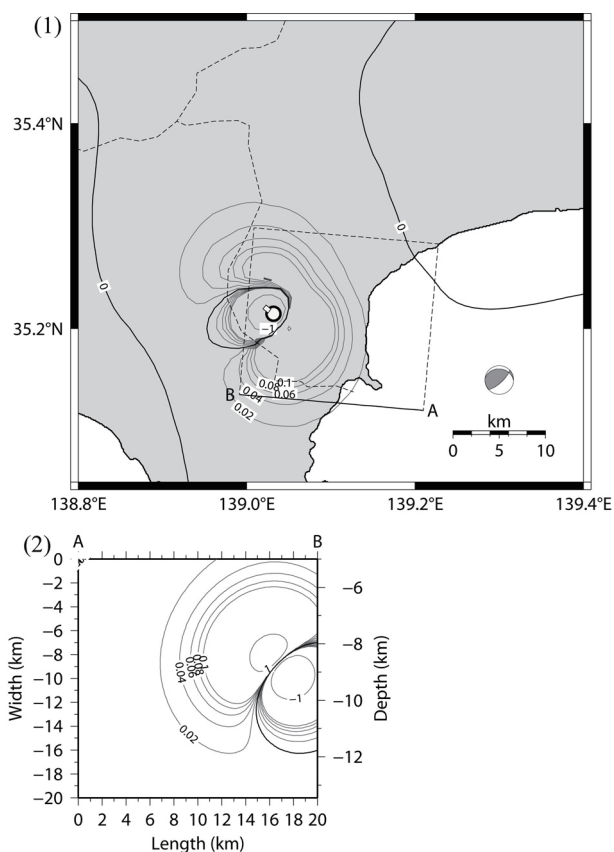


図3 2001年箱根群発地震活動によるモデルBの断層パラメータにおける応力変化量。数値の単位はMPa。(1) 深さ9kmにおける応力変化量、(2) 想定断層面上の応力変化量を表わす。

Fig. 3 Same as Fig. 2 except for the static stress change (MPa) on the fault plane of model B.

モデルC2の断層パラメータ(図5)による深さ5kmにおける応力変化量は、群発地震のソースモデルの南東側に負の領域が存在し、その他の足柄平野付近までの領域は正である。想定断層面上では断層面北側の浅部で最大0.025MPa程度の応力増加が見られる。この応力増加は断層面の破壊を促進することを意味する。しかし、この応力変化量は地球潮汐によるものに比べて大きいものの、M7クラスの地震の一般的な応力降下量の1%未満であると考えられる。

モデルC3の断層パラメータはモデルC1と傾斜角、滑り角が同じであるため、応力変化量はほぼ同様のパターンを示している(図6)。モデルC1に比べてモデルC3の深さ12kmにおける応力変化量自体は小さいが、これは群発地震のソースモデル(約7km)からの距離がより遠いためであると考えられる。想定断層面はソース近傍にあるため、断層面上の応力変化は浅部で0.1MPa程度あるが負の領域、すなわち断層面の破壊を抑制する

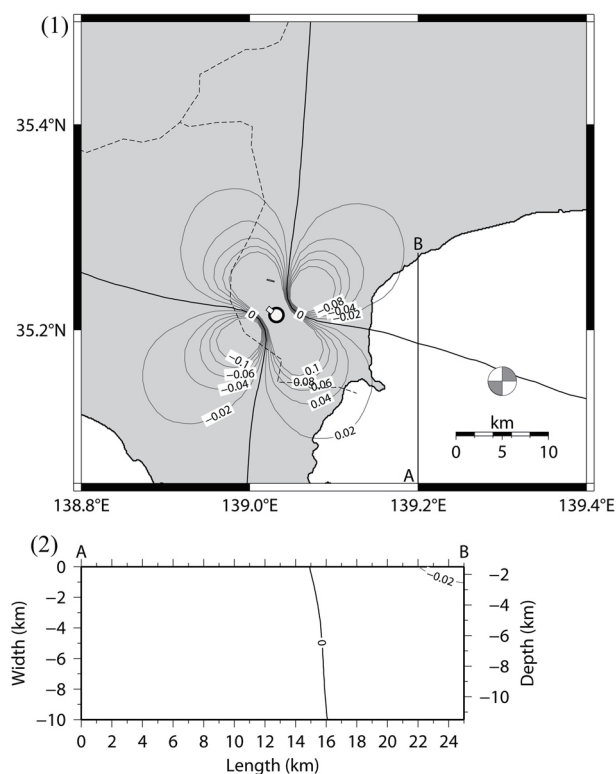


図4 2001年箱根群発地震活動によるモデルC1の断層パラメータにおける応力変化量。数値の単位はMPa。(1) 深さ4kmにおける応力変化量、(2) 想定断層面上の応力変化量を表わす。

Fig. 4 Same as Fig. 2 except for the static stress change (MPa) on the fault plane of model C1.

領域が支配的である。

モデルDの断層パラメータ(図7)による深さ20km、および、想定断層面における応力変化量は、群発地震のソースモデルよりかなり深いため、ほとんど影響を受けないことが分かる。

4. まとめ

箱根火山の活動と神奈川県西部地震の関係を調査するため、2001年箱根群発地震活動の際の地殻変動を用いて神奈川県西部地震の想定断層面がどのような影響を受けた可能性があるか、 ΔCFS を用いて評価した。その結果、断層モデルB(新プレート上面モデル)や断層モデルC2(西相模湾断裂モデル)の浅部において応力変化量が増加し、断層面上の破壊が若干促進されたことがわかった。岩手山の火山性の膨張とその後発生した岩手県内陸北部地震の事例では、火山性の膨張により地震の破壊開始点において0.33MPaの応力増加があったことが示されている(Nishimura et al., 2001)。本研究では断層モデルB面上での応力増加量は0.1MPa以上の応力

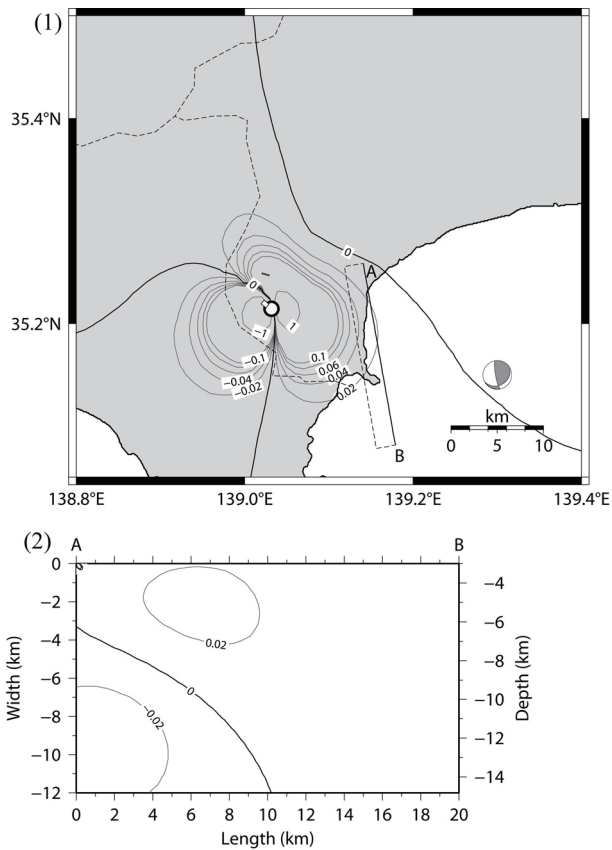


図5 2001年箱根群発地震活動によるモデルC2の断層パラメータにおける応力変化量。数値の単位はMPa。(1) 深さ5kmにおける応力変化量、(2) 想定断層面上の応力変化量を表わす。

Fig. 5 Same as Fig. 2 except for the static stress change (MPa) on the fault plane of model C2.

増加の領域が認められ、箱根火山の膨張がこの断層面に与えた影響は岩手山の場合に比べて小さかったと推定される。しかし、断層モデルBにおける応力増加の領域が破壊の開始点となる可能性も考えられる。

Nishimura et al. (2001) も指摘しているように、 Δ CFSによる応力変化量の計算は、大規模な地震・火山活動によって引き起こされる周辺での地震活動の指標となり得る。したがって、神奈川県西部地震のような将来発生する可能性のある地震断層に対して試算しておくことは、災害のアセスメントに貢献すると考えられる。そうした試算を実際の災害の軽減に結び付けるためには箱根火山における圧力源モデルの高精度化や周辺の断層面の形状など地殻構造のさらなる解明が必要である。

謝辞

本研究では、 Δ CFSの計算に国土地理院によって開発された「地殻活動観測データ総合解析システム」(鷲谷

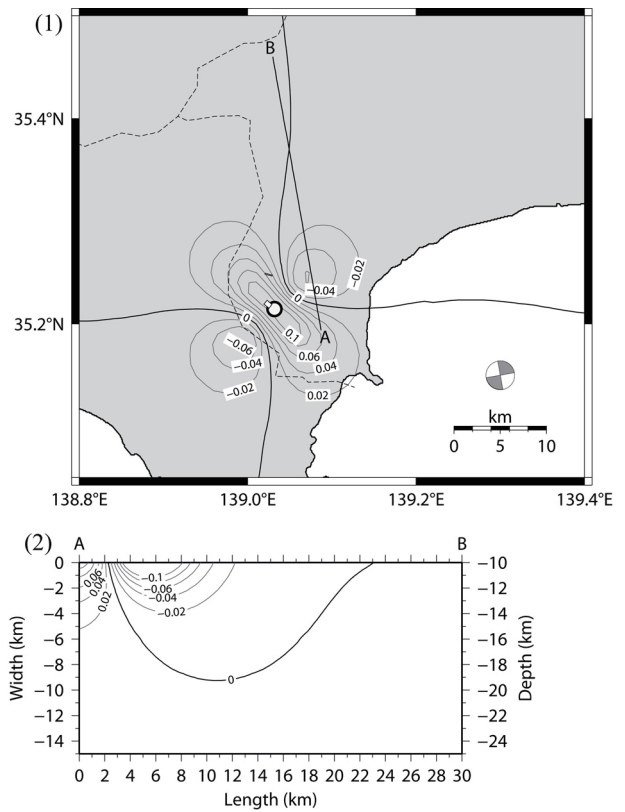


図6 2001年箱根群発地震活動によるモデルC3の断層パラメータにおける応力変化量。数値の単位はMPa。(1) 深さ12kmにおける応力変化量、(2) 想定断層面上の応力変化量を表わす。

Fig. 6 Same as Fig. 2 except for the static stress change (MPa) on the fault plane of model C3.

ほか, 2003) を使用しました。ここに記して感謝します。

参考文献

代田寧・棚田俊收・反保俊哉・伊東博・原田昌武・萬年一剛 (2009) 2001年箱根群発地震活動に伴う傾斜変動と圧力源の時間変化, 火山, 54, 223-234.

原田昌武・岩國真紀子 (2008) GEONET データから推定した神奈川県周辺地域の歪場の特徴、温地研報告, 40, 29-34.

Harada M., M. Iwakuni, and T. Tanada (2008) Characteristics of Crustal Strain in the Western Kanagawa Prefecture, Japan, International Symposium on GPS/GNSS 2008 Proceedings, 69-77.

村上亮 (2009)、2008年岩手宮城内陸地震前に発生していた地殻変動とその意義、日本測地学会第110回講演会要旨集、141-142.

Nishimura, T., S. Fujiwara, M. Murakami, M. Tobita, H.

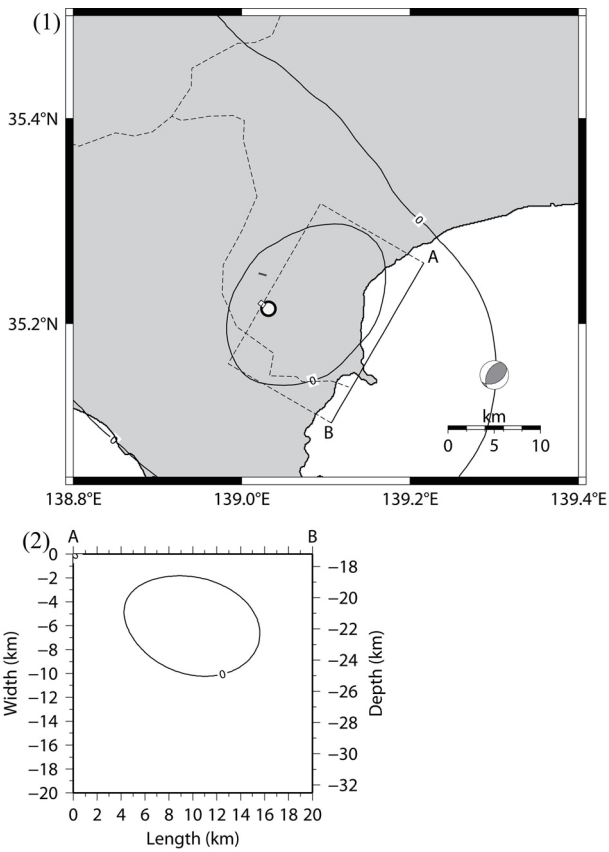


図7 2001年箱根群発地震活動によるモデルDの断層パラメータにおける応力変化量。数値の単位はMPa。(1)深さ20kmにおける応力変化量、(2)想定断層面上の応力変化量を表わす。

Fig. 7 Same as Fig. 2 except for the static stress change (MPa) on the fault plane of model D.

Nakagawa, T. Sagiya, and T. Tada (2001) The M6.1 Earthquake triggered by volcanic inflation of Iwate volcano, northern Japan, observed by satellite radar interferometry, *Geophys. Res. Lett.*, 28, 635-638.

岡田義光 (1993) 「神奈川県西部地震」の諸モデルと期待される地殻変動, *地学雑誌*, 102, 445-456.

鷺谷威・西村卓也・村上亮・今給黎哲郎・赤坂望 (2003) 地殻活動観測データ総合解析システムの開発, *国土地理院時報*, 101, 33-43.

棚田俊收・代田寧・伊東博・袴田和夫 (2002) 2001年(平成13)年箱根火山の群発地震活動について、*温地研観測だより*, 52, 1-4.