

7-5 2004年新潟県中越地震の余震分布

Aftershock distribution of the 2004 Niigata-Chuetsu earthquake

京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

九州大学大学院理学研究院 地震火山観測研究センター

Institute of Seismology and Volcanology, Faculty of Sciences, Kyushu University

1. はじめに

京都大学防災研究所地震予知研究センターと九州大学地震火山観測研究センターは、合同で、2004年新潟県中越地震の余震域直上に臨時の地震観測網を設置し、余震活動の推移をオンラインリアルタイムで捉えるとともに、精細な余震分布から、新潟県中越地震の発生過程の推定を試みた。

2. 余震分布

震源域直上、黒四角印で示した3箇所に衛星テレメーター方式のオンライン臨時観測点を設置した(第1図)。丸印は既設定常観測点であり、観測点コードの頭文字は担当機関を示している(H=防災科研 Hi-net, J=気象庁, E=東大地震研)。

上記の臨時観測点のデータおよび気象庁による一元化震源の読み取り値を用いて、JHD法により震源パラメータおよび1次元速度構造と観測点補正値を決定した。第2図に、震源誤差が1km未満という精度の良い余震分布を示した。主要な7地震を大きな白丸で示す。ただし、②10/23 18:03、③10/23 18:11についての深さの誤差は、それぞれ1.05 kmおよび2.96 kmである。大局的な傾向として、余震域中央部で余震分布の下限が深く、南北両端へ向かって浅くなっていることが分かる。

第3図に、幅4 kmの領域毎の余震の深さ分布を示す。AA', BB'断面において、大局的に西下がりの余震分布が見られる。⑦11/08 11:15、②10/23 18:03の震源は、余震分布の最浅部付近に位置している。その南側CC', DD', EE'断面でも、同様の位置に、西下がりの余震分布が見られ、本震①の震源は、分布の最下部付近に位置する。これらの断面では、最大余震④の震源を含む西下がりの余震分布も明瞭であり、最大余震の震源は本震同様に余震分布の最下部付近に位置する。一方、DD'断面で明瞭であるが、最大余震の分布にほぼ直交する分布が見られ、⑤10/27 10:40の震源はその分布の最下部付近に位置する。FF', GG'断面では、余震分布は団子状になっているが、③10/23 18:11の震源付近から、東下がりの余震分布が見える。

これらの余震分布のデータから、M6クラスの主要な地震の断層面を第4図に示すように推定した。EE'以北で見える、本震の断層面に対応する西下がりの余震分布は、FF'以南では、東下がりに見える。EE'とFF'の間付近に、柏崎-銚子線と呼ばれる鉛直な地質構造境界があることが知られており¹⁾、断層面の傾斜方向の変化は、この構造線の存在と関係しているかも知れない。推定された断層面と震源位置(破壊開始位置)から推定した、大局的な破壊伝播の方向を白矢印で示した。⑦については、断層面は表示されていないが、②と同じ面であると見なした。破壊伝播は、本震の断層の両端部では浅い方から深い方へ、中央部では、深い方から浅い方へ進んでいるように見える。

本震発生直後からの余震分布の時間的推移を第5図に示した。臨時観測点は、10/27の午後から観測開始したので、それまでの震源は定常観測点の読み取り値のみから決定されている。しかし、臨時観測点設置後のデータにより観測点補正値や速度構造が精度良く決定されていると考えられるので、過去に遡って震源精度の改善が実現されていると考えられる。本震発生直後は、様々な理由により、震

源が決定された地震は実際よりかなり少ないと考えられる。

主要な余震（黒星印）に対して、それまで発生した本震および M6 クラスの余震（灰色星印で示した）による応力変化を第 6 図に示した。主要な地震の断層面は、余震分布および F-net の CMT 解を下に決定された。今回の解析では、面上で一様なすべり分布を仮定している。したがって、本解析で評価できるのは、断層面外の応力集中の度合いであり、断層面内については、ほとんど情報を持たない。また、断層面上のすべり量分布が一様なすべり分布で近似できないほど不均質な場合には、断層面外の ΔCFF 値といえども誤差が大きいと考えられる。最大余震以外は、 ΔCFF がプラスの場所に震源がある。断層面の拡がり、 ΔCFF の増加量が 0.5MPa 以内の範囲に限られているように見える。

第 7 図に、本震から⑥ 10/27 11:15 の余震までの 5 つの M6 クラスの地震による ΔCFF 値を示した。ターゲットとする北東－南西走向の余震の断層面が西下がりか東下がりかによって、上下 2 通りの分布が得られた。黄色から赤色で示した領域が、すべりがより起こりやすくなっている領域である。5 つの断層面の延長において、M6 クラスの断層面を含むことができる広い範囲で、 ΔCFF 値が 0.5MPa より大きくなっているのは、⑥の余震の両端部、特に南側のみであることが分かる。

余震域とその周辺の広域の 3 次元地震波速度構造を第 8 図に示す。このトモグラフィーでは、JHD 法で求めた観測点補正を施した観測走時を用いた。左側が P 波、右側が S 波である。余震域の西側で速度が遅く、東側で早い傾向が見られる。また、余震域は、周辺に比べてやや速度が速い傾向も見られ、その南側の速度が遅い領域との境が、柏崎－銚子線に対応しているように見える。

DD トモグラフィー²⁾による、余震域周辺の 3 次元地震波速度構造を第 9a, 9b 図に示す。a が平面図、b が断面図である。第 8 図と傾向は一致しているが、断面図を見ると、高速度域で余震が起きていることが分かる。

3. 考察

M6 クラスの余震の推定断層面とその破壊伝播方向、および余震の深さ分布から、新潟県中越地震の発生過程、特に M6 クラスの余震が頻発した理由を推定してみる。

本震直後に南側で起こった M6 クラス③は、本震と逆の東下がりの断層面が推定されている。この断層面と本震の断層面の間に柏崎－銚子線が存在すると推定されることから、本震の破壊過程においては、柏崎－銚子線がバリエーとなった可能性が考えられる。柏崎－銚子線は、日本海が開いたとき、日本列島の折れ曲がりに伴って形成されたと考えられているが、それ以外にも平行な断層が存在する可能性も考えられる（富山大竹内章私信）。余震が頻発した理由として、本震の断層に平行な複数の断層が活動したことが挙げられているが、同時に、断層の走向方向に存在する不均質（柏崎－銚子線など）がバリエーとなって、本震のスムーズな破壊の進展が妨げられた可能性も考えられる。

余震域の両端部②および③は、破壊開始点が浅く、破壊が浅い方から深部へ伝播したと考えられる。これから、余震域の両端部で本震発生前に十分に応力蓄積が行われていない可能性が示唆される。一方、余震域中央部では、破壊が深部から始まり、浅部へ伝播している。しかも、最大余震の震源付近は、 ΔCFF 値が負の領域となっている。これは、余震域中央部の直下の下部地殻のみに低粘性領域、weak zone が存在することによって説明可能である。Weak zone には多数の断層帯が分布すると考えられているので³⁾、直上の上部地殻にも多数の断層が存在し、そのため平行な断層上で多数の余震が発生しているのかもしれない（飯尾能久）。

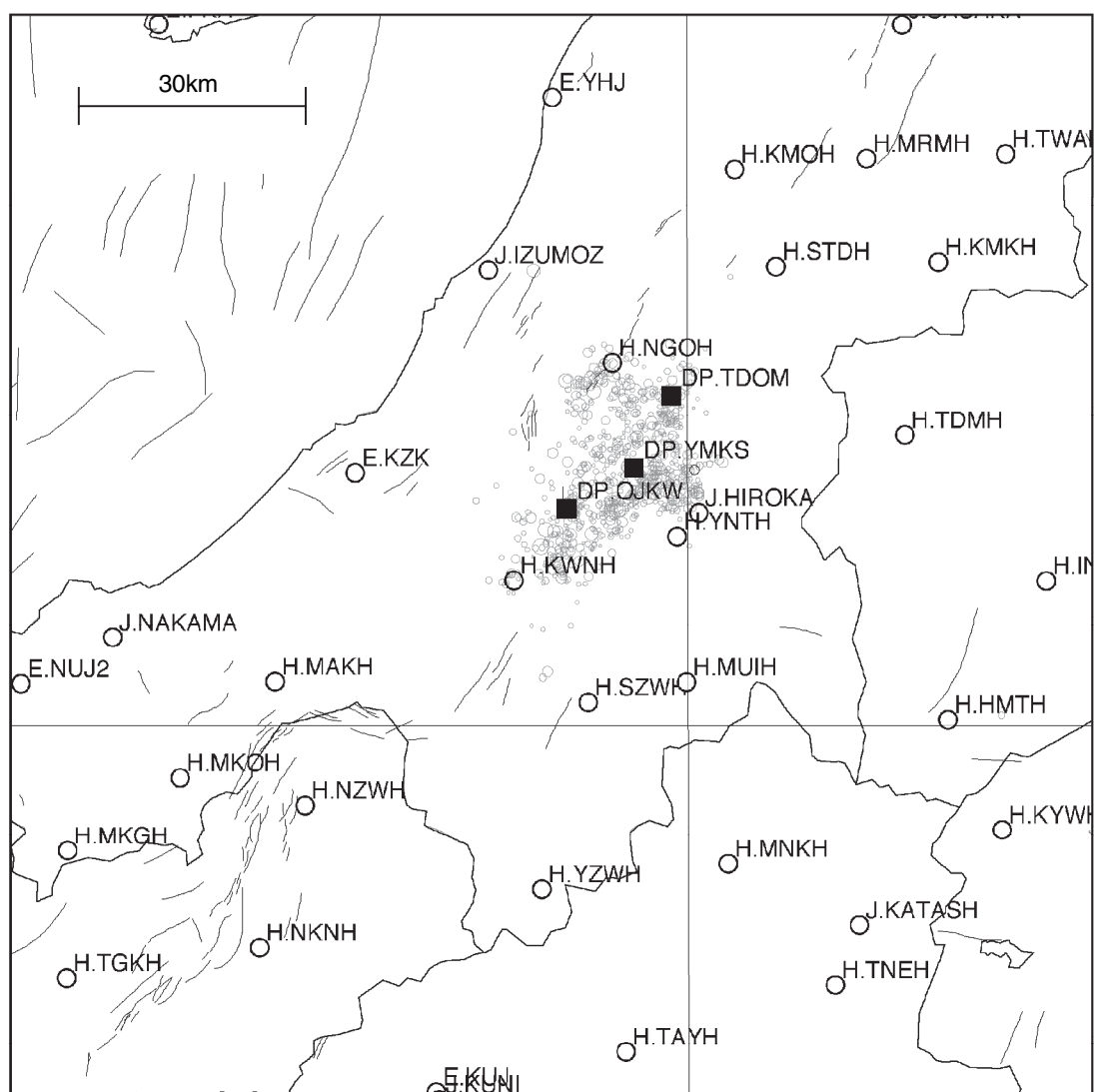
参 考 文 献

- 1) 山下 昇, 柏崎－銚子線の提唱, 島弧と海洋, 東海大学出版会, 179-191, 1970.
- 2) Zhang, H., and C. H. Thurber, Double-Difference Tomography: The method and its application to the Hayward

fault, California, Bull. Seismol.

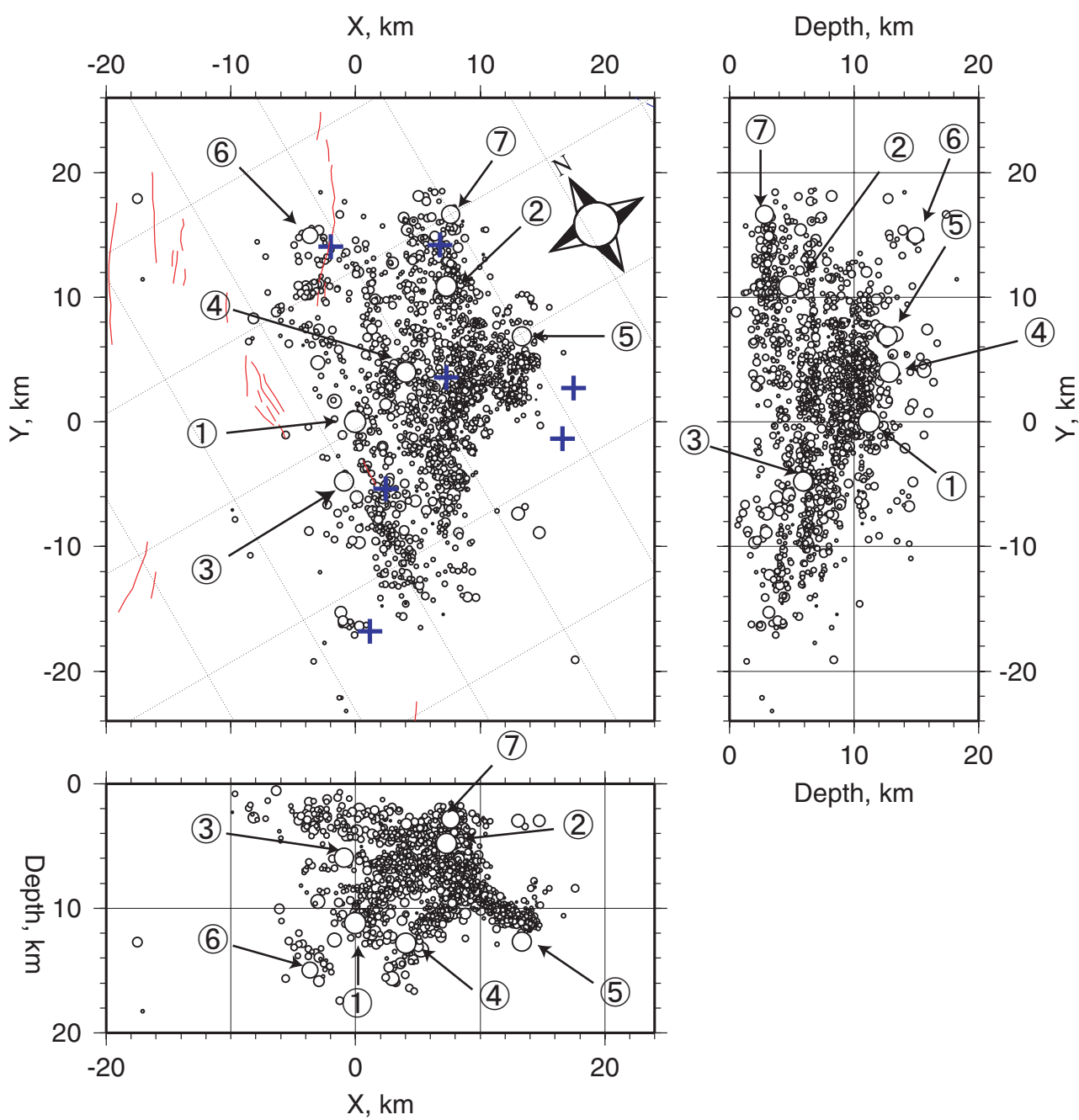
Soc. Am., 93, 1875-1889, 2003.

- 3) Iio, T., T. Sagiya, Y. Kobayashi, Origin of the concentrated deformation zone in the Japanese Islands and stress accumulation process of intraplate earthquakes, EPS, 56, 831-842, 2004.



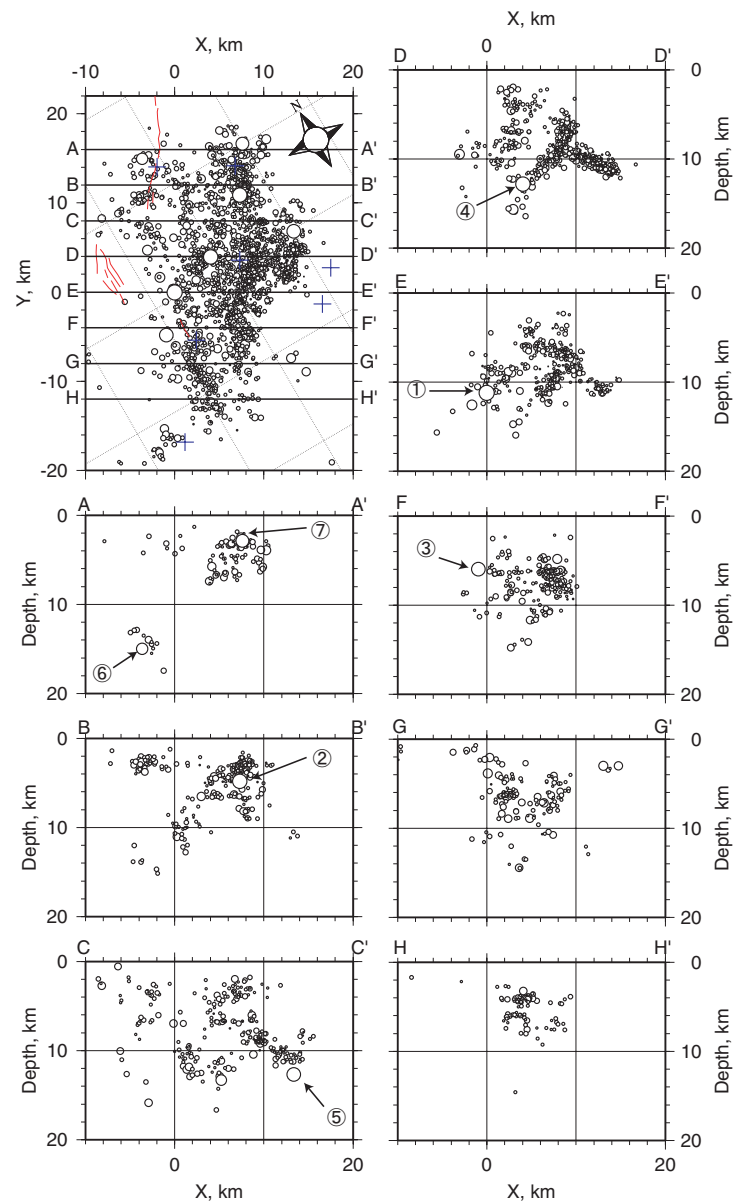
第 1 図 臨時観測点の位置.

Fig.1 Locations of temporal observation stations.

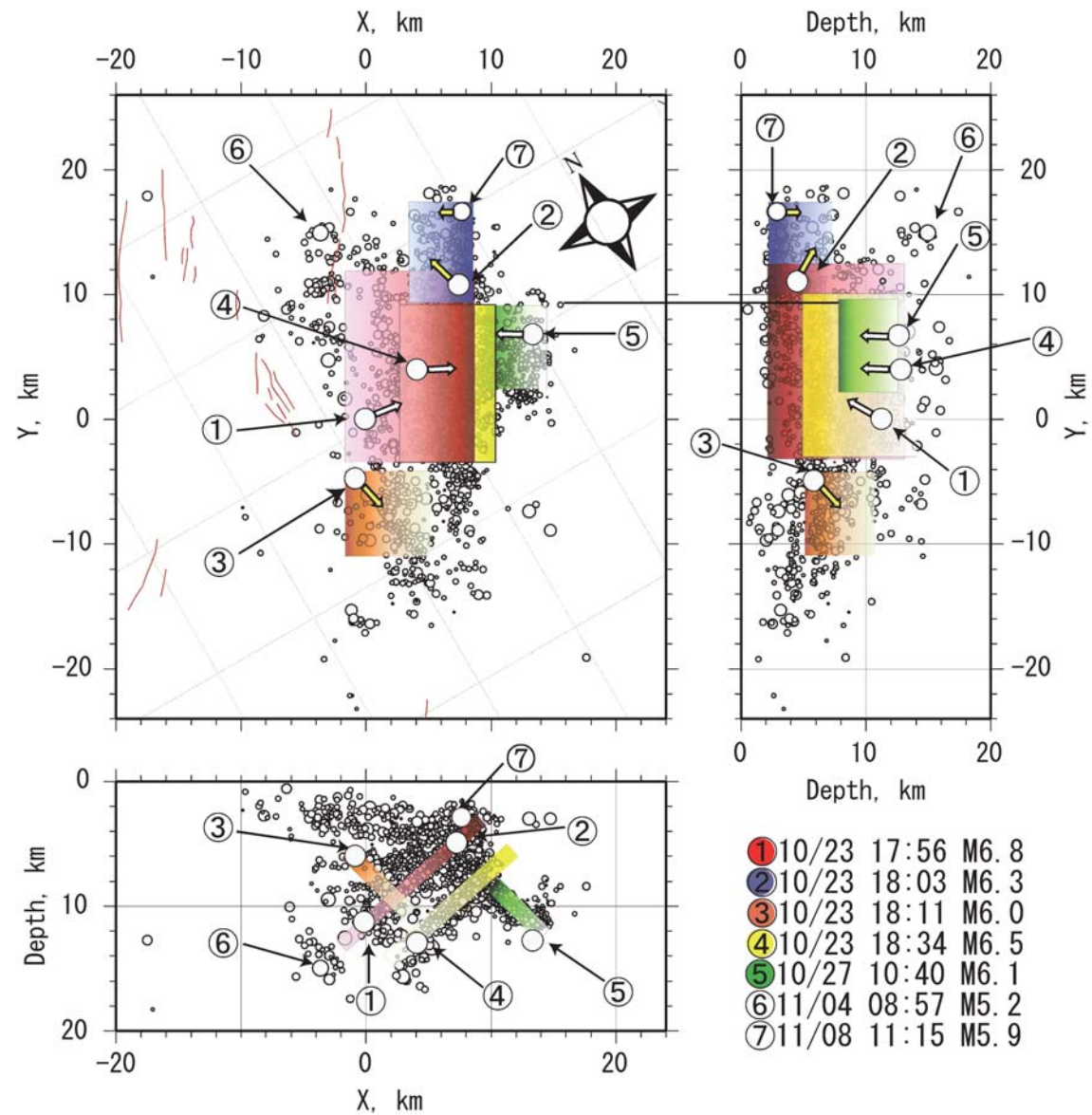


第 2 図 再決定余震分布図.

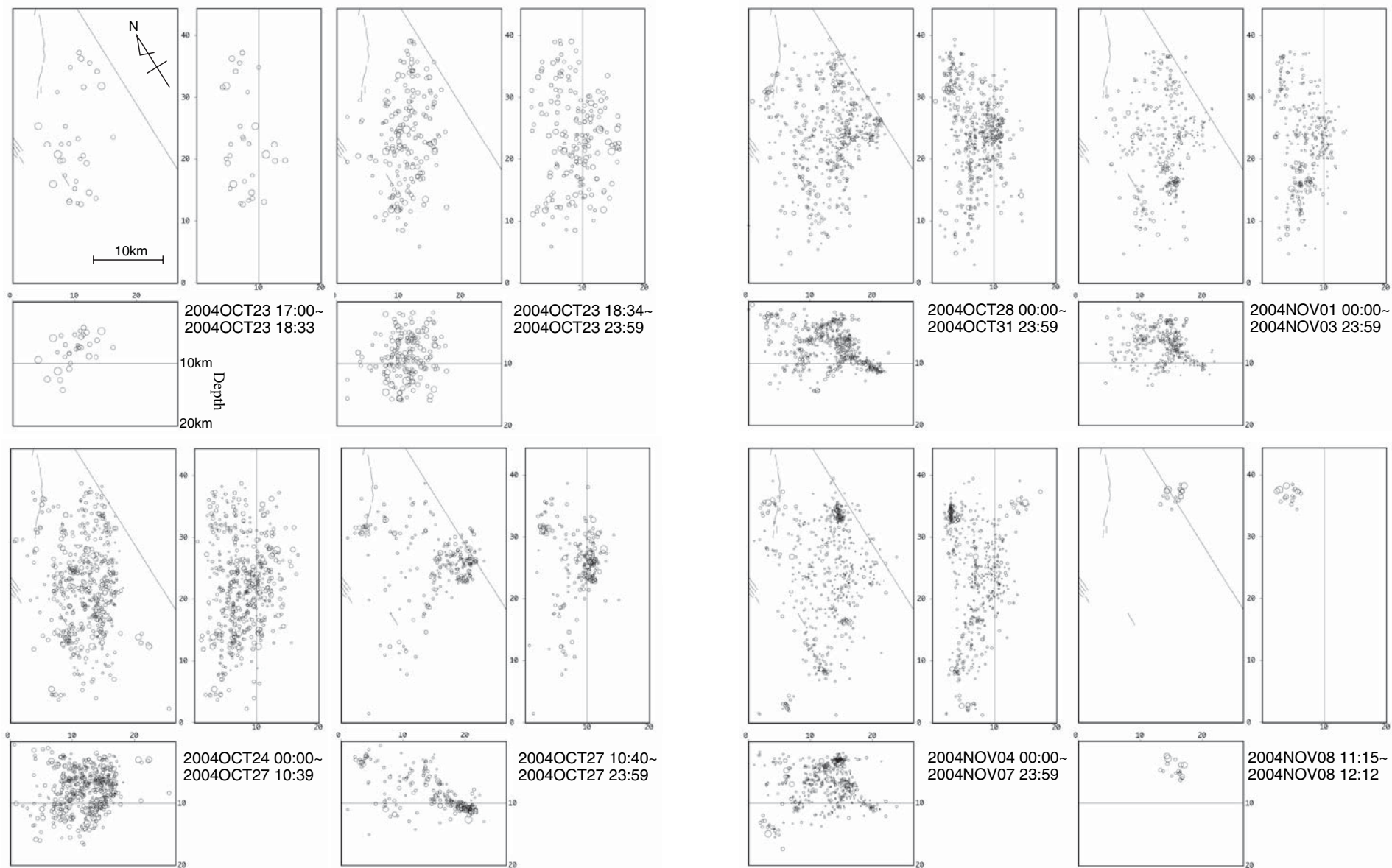
Fig.2 Hypocentral distribution of aftershocks relocated by the JHD method.



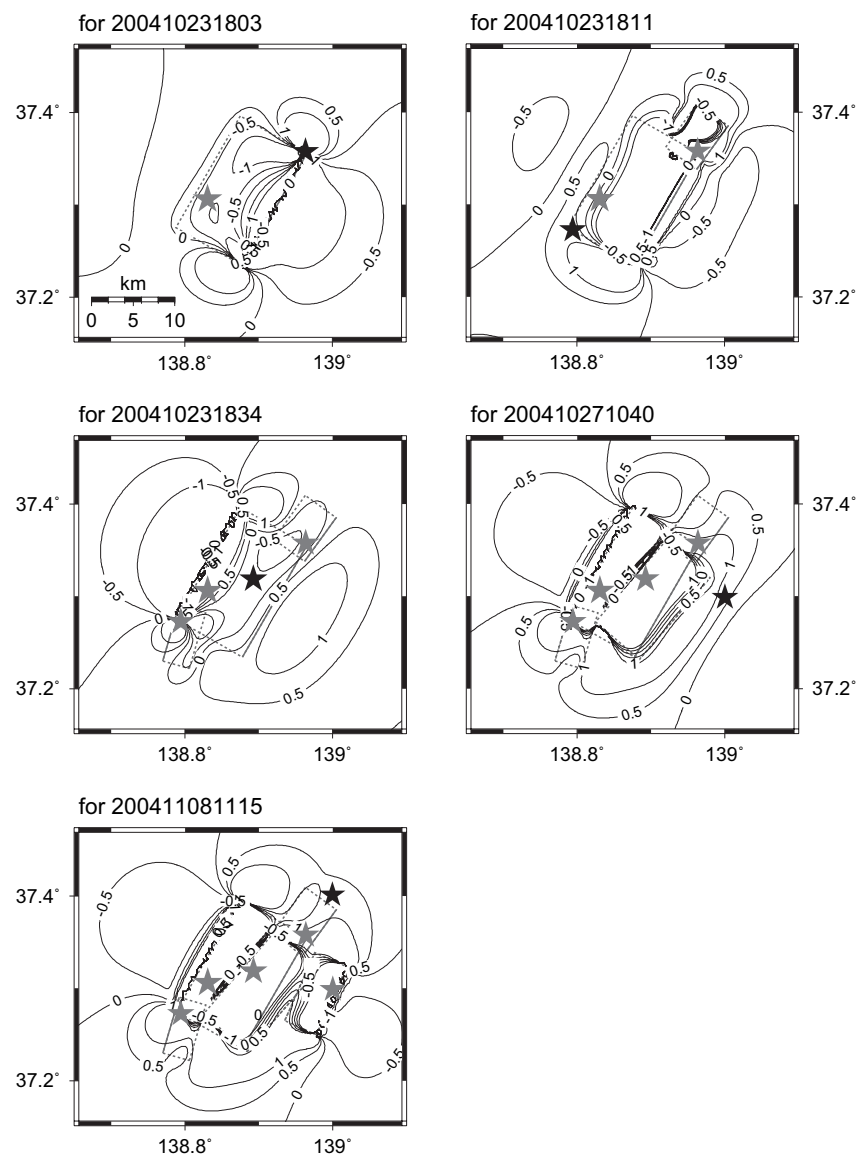
第3図 余震の深さ分布図.
Fig.3 Depth distribution of aftershocks.



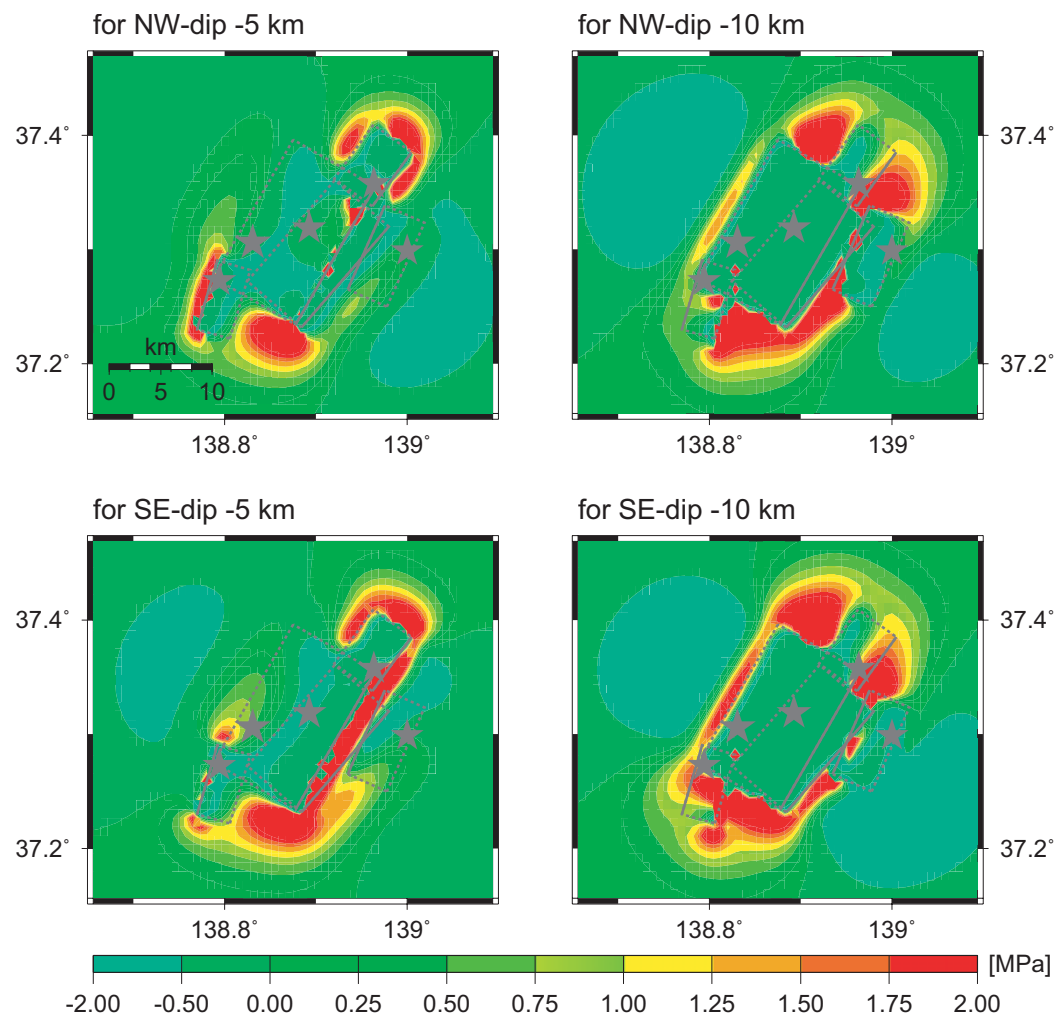
第4図 M6クラスの主要な地震の断層面の推定.
Fig.4 Estimate of the fault planes of large aftershocks ($M>6.0$).



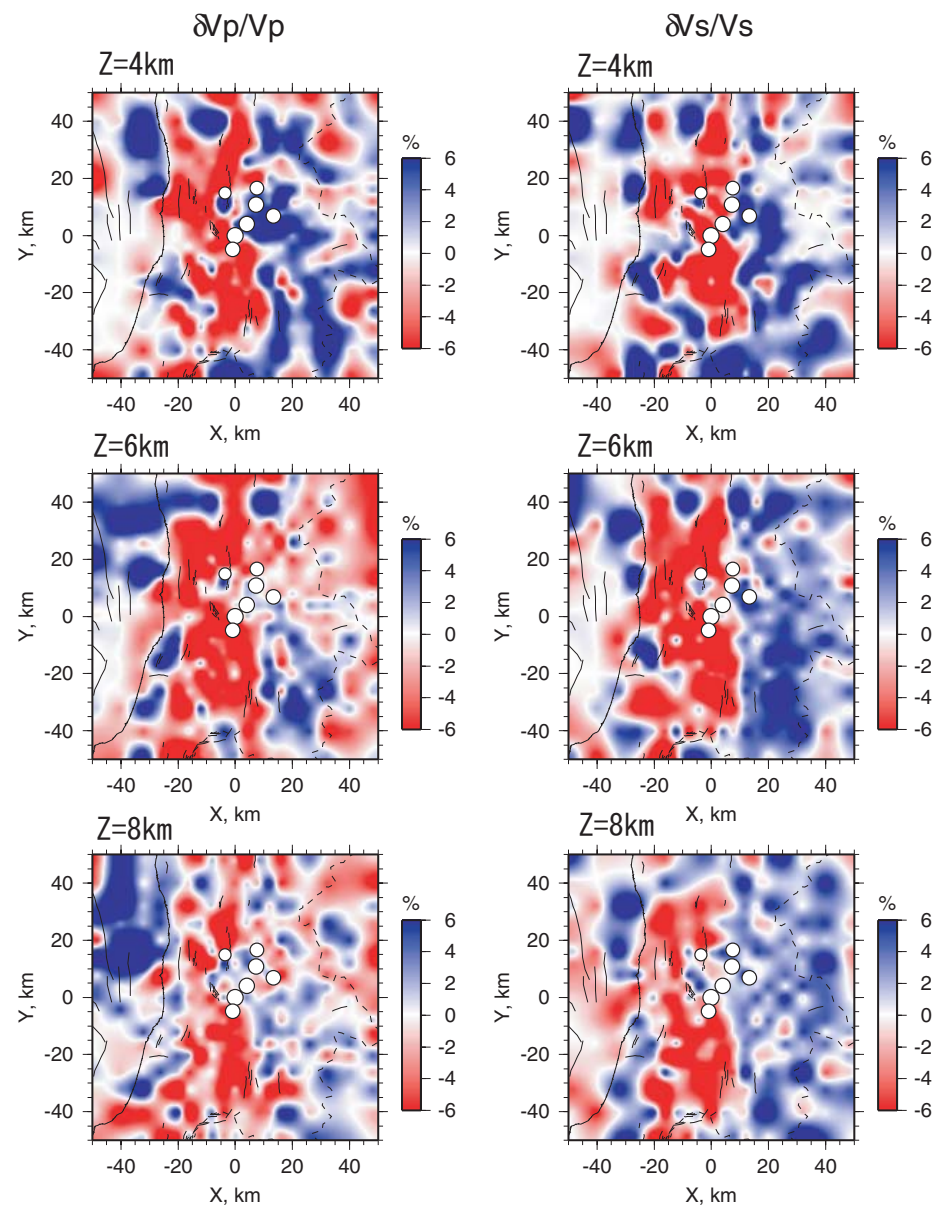
第 5 図 本震発生直後からの余震分布の時間的推移.
Fig.5 Temporal change in aftershock distribution just after the occurrence of the main shock.



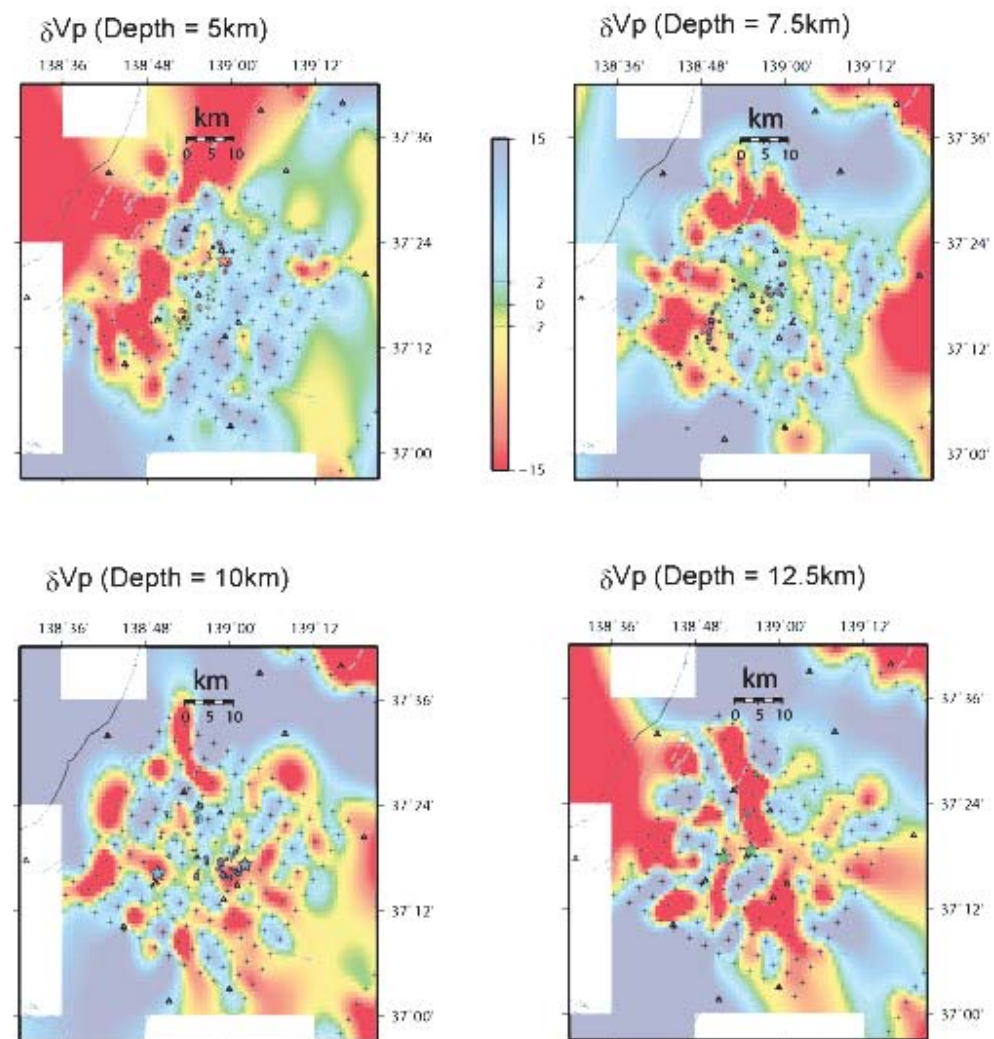
第6図 主要な余震に対する Δ CFF 値。
Fig.6 Δ CFF values (MPa) for major aftershocks.



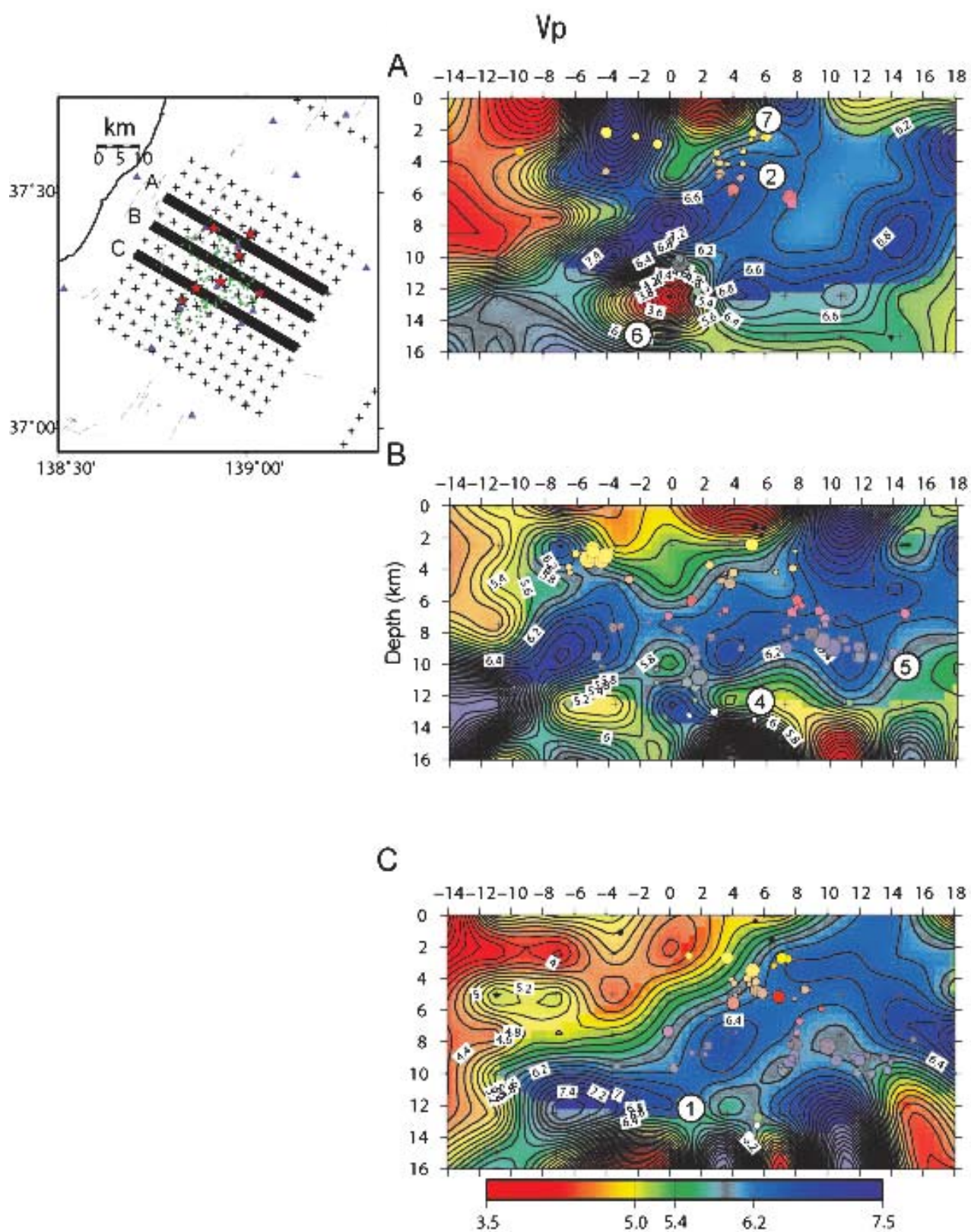
第7図 5つのM6クラスの地震による Δ CFF 値。
Fig.7 Δ CFF values (MPa) calculated by slips of five large earthquakes ($M>6.0$).



第 8 図 3 次元地震波速度構造.
Fig.8 Three dimensional velocity structure.



第 9a 図 DD トモグラフィーによる 3 次元地震波速度構造 (平面図).
Fig.9a horizontal sections of three dimensional velocity structure by the DD tomography method.



第9b図 DD トモグラフィーによる3次元地震波速度構造 (断面図)。

Fig.9b Vertical sections of three dimensional velocity structure by the DD tomography method.