

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

飛騨山脈における地殻流体の動きの解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ．ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

地殻における局所的な非弾性変形が、周辺に応力集中を発生させ、地震活動を引き起こすと考えられている。局所的な非弾性変形には地殻流体が関与している可能性が高いと推定される。本研究は、水やマグマなど地殻流体と地震活動の関係を明らかにすることを目指す。飛騨山脈では、立山と白山の間の跡津川断層、御嶽山麓の長野県西部地震など、火山と地震活動に密接な地理的關係があるように見え、火山活動に関連した地殻流体が地震活動を引き起こしている可能性がある。跡津川断層では、断層周辺の浅い地震活動と、地殻流体の動きを反映していると考えられる飛騨山脈深部の地震活動の関連を明らかにし、併せてマグマ供給系の解明も目指す。これにより、断層の両端部の非弾性変形と断層への応力集中過程の關係の理解が進むと期待される。長野県西部地域では、精細な地震波速度構造と地震活動との關係を明らかにし、地震波速度構造等の時間変化から地殻流体の動きの解明を目指す。さらに、地殻流体の流動形態に時間変化が生じれば、地表面における自然電位異常の変化が期待されることから、地表における地電位差連続観測網による流体流動のモニタリングを試みる。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

[平成 21 年度]

跡津川断層と飛騨山脈に位置する立山火山周辺においては、既往研究で行われた地震観測との継続性を保ちながら、通年の観測を目指す。同じく飛騨山脈の焼岳火山周辺においては山体近傍での新たな臨時地震観測点の選定を行う。跡津川断層西端の白山火山周辺での臨時地震観測の可能性の検討を行う。長野県西部地域では、高サンプリング高密度の稠密地震観測を継続するとともに、既存データの解析を進める。長年蓄積されているデータを同一のアルゴリズムで再処理・再読み取りして、均質なデータセットを作成する。これらのデータを用いて、低速度異常域を精細にマッピングするとともに、その周辺の応力場の不均質性を、応力インバージョンや波形解析から推定する。実施済みの電磁

気探査データ(広帯域 MT、AMT、ネットワーク MT など)の収集・コンパイルをし、比較的浅部(5km 深程度まで)の 3 次元比抵抗イメージングを行う。

[平成 22 年度]

立山周辺での臨時地震観測の継続と、焼岳周辺での通年観測の開始。双方における短周期イベント、低周波イベントの詳細な震源分布や発震機構の解析。前年の検討結果に基づく白山周辺での地震観測。長野県西部地域では、高サンプリング高密度の稠密地震観測を継続するとともに、既存データの解析・処理を進める。低速度異常と周辺の応力場の空間的な不均質性を、より高分解能でマッピングするとともに、それらの時間変化の検出を試みる。浅部比抵抗構造・地震波速度構造を参照し、電位差モニタリングに最適な電位差観測点を選定・設置し、観測を開始する。

[平成 23 年度]

立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析を行う。長野県西部地域では、地震波速度構造や応力場の時間変化の検出を行うとともに、電位差観測網データを長基線電場データとして利用し、深部(10 数 km 深まで)の比抵抗イメージの高度化を行う。

[平成 24 年度]

立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析を行う。長野県西部地域では、地震波速度構造や応力場の時間変化の検出を継続するとともに、電位差モニタリングを継続し、電位異常の有無を確認するとともに、ソースの推定・発生メカニズムについてのモデル化を行う。

[平成 25 年度]

立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析、及び、これらと、跡津川断層の地殻活動の関係の検討を行う。長野県西部地域では、地震波速度・比抵抗の統合モデリングにより、地殻流体の動きの解明を行う。

(7) 計画期間中(平成 21 年度～25 年度)の成果の概要：

東北地方太平洋沖地震直後から飛騨山脈では活発な群発地震活動が発生し、その後も地震活動度が高い状態が続いているため、ここに重点をおいて観測研究を継続した。飛騨山脈においては、その後も散発的な群発地震活動が続き、2013 年には、4 月から 10 月にかけて穂高岳付近で最大 M3.9(京大暫定 M4.2)の地震を含む活動が発生し、焼岳の火山活動との連動の観点からもその活動を注視した。飛騨山脈で暫定値ながら $M > 4$ を超える地震が発生したのは、2011 年 3 月以来のことであった。微小地震観測研究における震源決定処理等の作業の重要性は言うまでもないが、昨今の熟練した検測者の退職に伴い、これらの作業の効率化は喫緊の課題となっている。本年度は、これらの地震活動を解析する手法として、Matched Filter Method(MFM)を導入し、稼動試験を行った。

その結果、本手法は、本地域のような、震源域がコンパクトにまとまっている群発地震の処理には有効であることが判明した。解析地域は図 1 の枠で囲んだ地域である。図 2 は、2013 年 4 月から 10 月末までの穂高岳周辺の群発地震活動を MFM により解析した震源分布、図 3 は同期間の気象庁カタログによる震源分布であり、前者は 3 倍弱の地震を震源決定できていることがわかる。図 4 は同期間の気象庁による有感地震の初動極性による発震機構解であるが、これは当地域の広域応力場に調和的である。なお、この群発地震活動の前後、焼岳の火山活動に関係すると思われる地震活動等は認められなかった。

長野県西部地域においては、10kHz サンプリングの地震観測データを活用して、地震活動の時空間変化や、地震波速度構造と応力場との関係などを調べ、地殻流体の地震活動に対する役割の解明を進めてきた。その結果、地震活動は、S 波速度が速いところで活発な傾向があるが、 V_p/V_s 比との相関がより良く、 V_p/V_s 比の小さなところで活発であることが分かった。長野県西部地域では、竹田・他(1999)によりクラックのない岩石本体の速度が求められており、岩石の種類によらずほぼ一定であることが分かっている。本研究で推定された速度はいずれも推定された岩石本体の速度より小さいため、クラックとその中の流体の有無で解釈可能である。 V_p/V_s の大きな領域では、薄いクラックを満たした水の

効果により、非地震・非弾性変形が進行して、地震が起こりにくいものと推定された。その周辺では応力集中が発生すると予想されるが、応力逆解析により、 V_p/V_s 比が大きい領域の近傍で、主応力軸が傾いているという結果が得られた。その周囲では最大圧縮応力はほぼ水平、最小圧縮応力軸はほぼ鉛直であるので、この主応力軸の傾きは推定誤差によるものではないと推定されるが、残念ながら、これまでの解析ではその違いは 95% の信頼区間を越えて有意ではない。

1995 年から約 15 年間の地震活動の詳細な解析により、2002 年以降、深さ 2km 以浅の活動が顕著に低下していることが明らかになった。数 km という浅部でも地震活動が活発であることが長野県西部地域の大きな特徴なので、今年度は、その原因を推定するために、地震波速度構造の時間変化との対応を調べた。以前は、時間変化を考慮した 4 次元インバージョンを行ったが、今回は、期間を分割して解析を行った。図 5 に、断層走行に平行な断面における、1995-1997、1998-1999、2002-2005 年の 3 つの期間における速度構造を示す。3 つめの期間は地震活動が変化した時期に対応している。図の中央付近の深さ 2-3km に、浅部で活発な特徴的な地震群が見られるが、 V_p/V_s の小さな領域とよく対応している。1995-1997、1998-1999 の両方の期間においてほぼ同様の速度構造が推定されており、得られた結果の信頼性が示唆される。2002-2005 年の結果を見ると、上記の活発な領域では活動が顕著に低下しているが、そこでの速度構造は、依然として、 V_p/V_s が非常に小さい特徴がみられる。一方、その右側（東側）では、新たな地震活動が起こっているが、その上方を中心に、これまで見られなかった V_p の高速度の領域（図 5 の A）が推定されている。そこでは V_p/V_s がやや大きいため、その領域に新たに流体が流れ込んだ可能性がある。新たに地震活動が起こった領域では、 V_p/V_s がやや小さめであり、これまで得られた傾向と調和的である。図 6 に直交する断面における結果を示す。2002-2005 年においては、 $Y=8$ 付近とともに、 $Y=5$ 、 $Z=4$ 付近にも局所的に V_p が高速度で V_p/V_s が大きな領域（図 6 の B）が推定されている。その上部、 $Z=2 \sim 3$ 付近には低速度のパッチが顕著となっているが、以前の断面においては、左（南方）から伸びている低速度域が、さらに広がったように見える。この部分では、図 7 に示すように、顕著な前震のマイグレーションを伴った 1999 年 4 月 5 日 M3.8 の地震が発生しており、流体の移動が示唆されていたが、 V_p/V_s が小さめであることと合わせると、その震源域から周辺に向かって流体が流れ出したという解釈が可能である。2002-2005 年においては、地震の震源分布がそれ以前に比べて顕著に変わっており、解析結果の違いは、震源分布の違いによる可能性があるかもしれない。しかしながら、震源分布の違いにもかかわらず、図 5 の中央付近の V_p/V_s が小さな領域は、3 つの期間で安定して求められている。また、図 6 の 2002-2005 年における $Y=6$ 、 $Z=4$ 付近の V_p が高速度で V_p/V_s が大きな領域では、地震活動が顕著に低下しており、地震活動との対応がよい。このように、全くの artifact とも思えないため、今後、より信頼性の高い手法により検証することが重要である。

上記のように、長野県西部地域においては、薄いクラックを満たした水の効果により、非地震・非弾性変形が進行して、地震が起こりにくい領域がある一方、その周辺は応力集中が発生している可能性が指摘された。また、地殻流体の移動を示唆する地震波速度構造の時間変化の可能性も示唆された。

（ 8 ）平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Doi, I., S. Noda, Y. Iio, S. Horiuchi, S. Sekiguchi Relationship between hypocentral distributions and V_p/V_s ratio structures inferred from dense seismic array data: a case study of the 1984 western Nagano Prefecture earthquake, central Japan Geophys. J. Int. 2013 195: 1323-1336, 2013.

京都大学防災研究所附属地震予知研究センター上宝観測所、2014、飛騨山脈穂高岳付近の 2013 年の地震活動について、地震予知連絡会会報、第 91 巻、印刷中。

（ 9 ）実施機関の参加者氏名または部署等名：

飯尾能久，大見士朗，吉村令慧，大志万直人，西上欽也（京都大学防災研究所）

他機関との共同研究の有無：有

笠谷貴史（JAMSTEC），久保篤規（高知大学），松本 聡（九州大学），桑原保人（産総研），堀 貞喜

関口渉次 (防災科研)

(10) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学防災研究所

電話：0774-38-3348

e-mail：

URL：

(11) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：飯尾能久

所属：京都大学防災研究所 地震予知研究センター

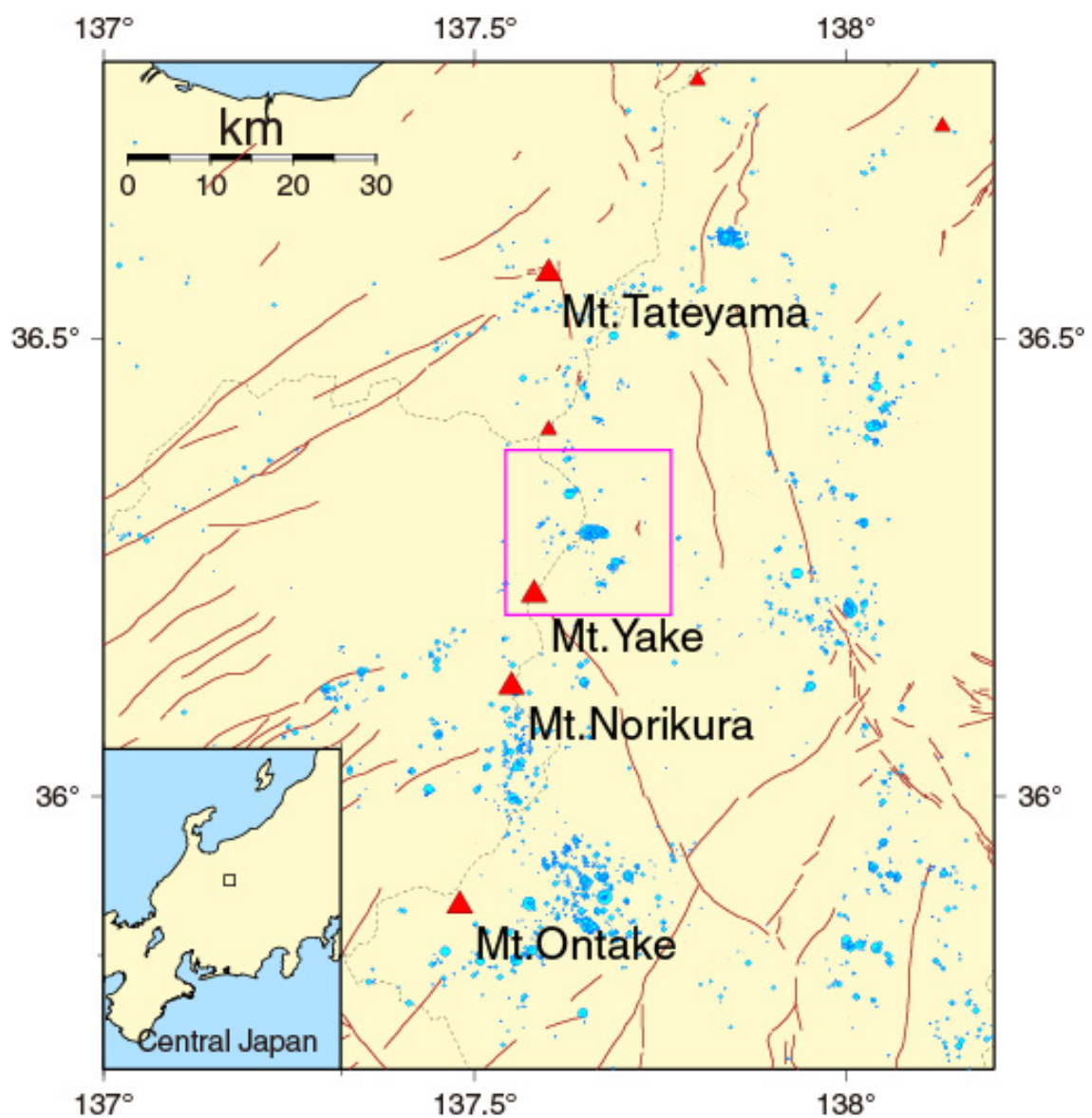


図1 飛騨山脈地域における解析地域

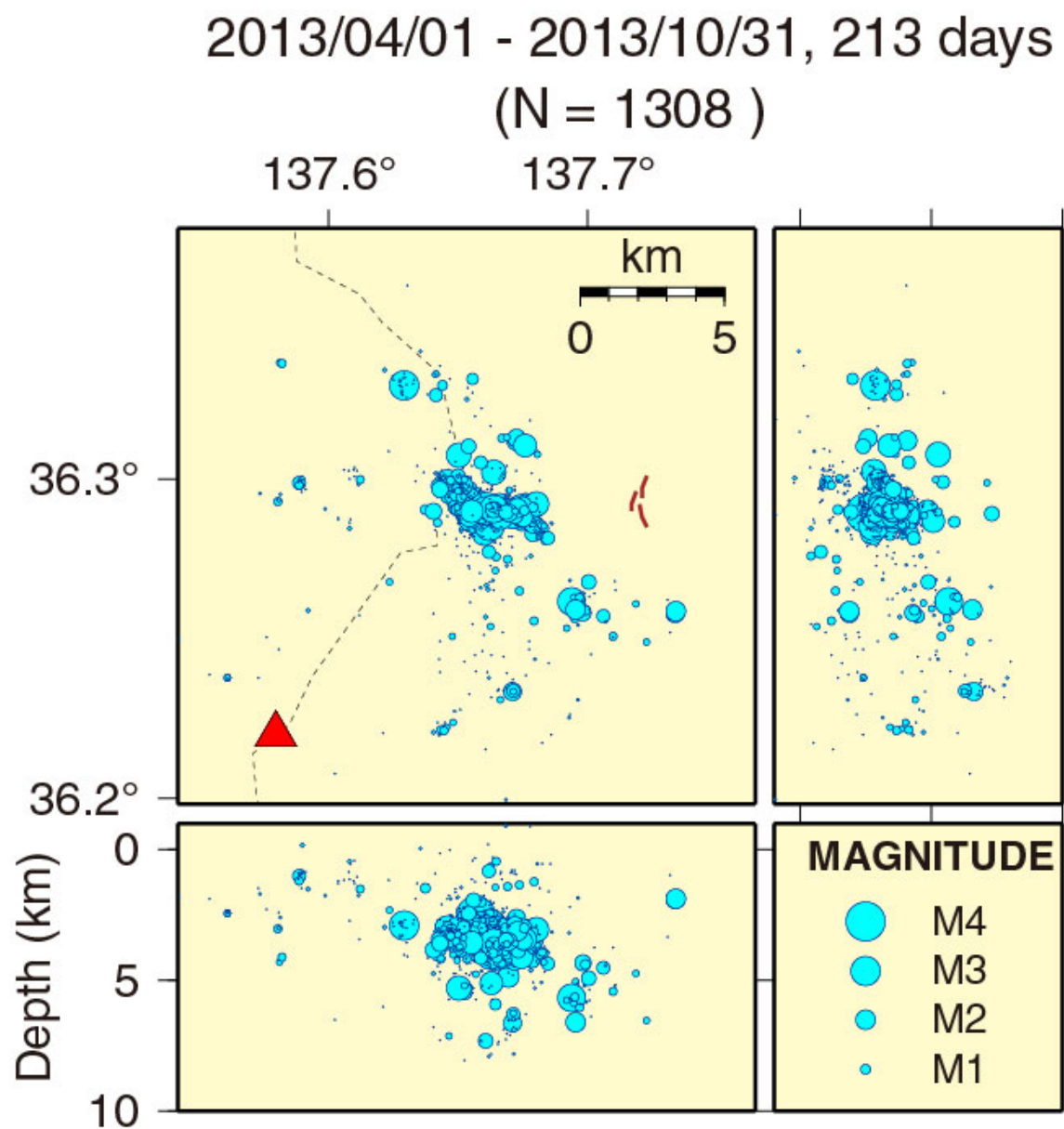


図2 MFMにより解析した2013年4月から10月末までの穂高岳周辺の震源分布

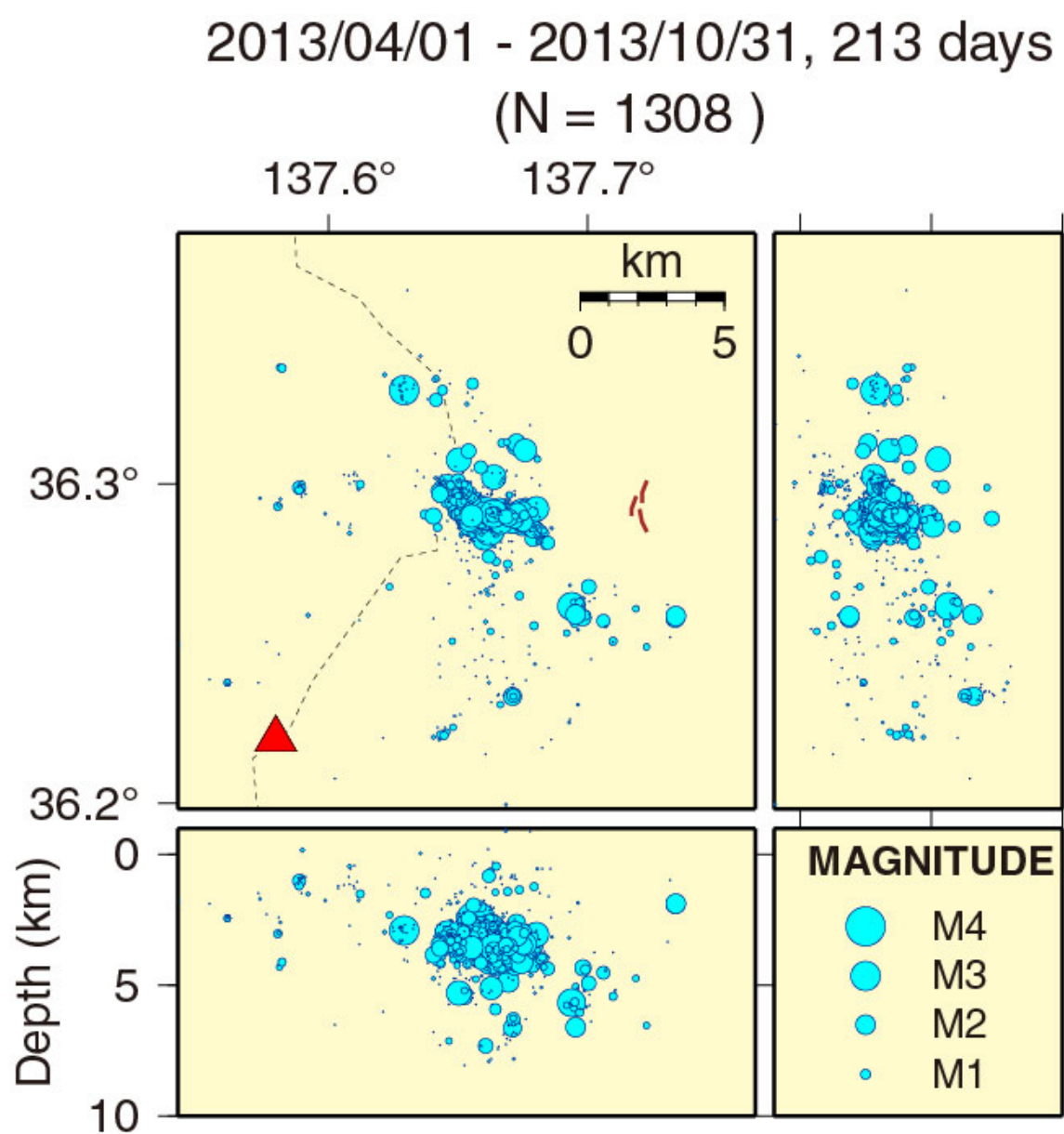


図3 2013年4月から10月末までの気象庁カタログによる震源分布

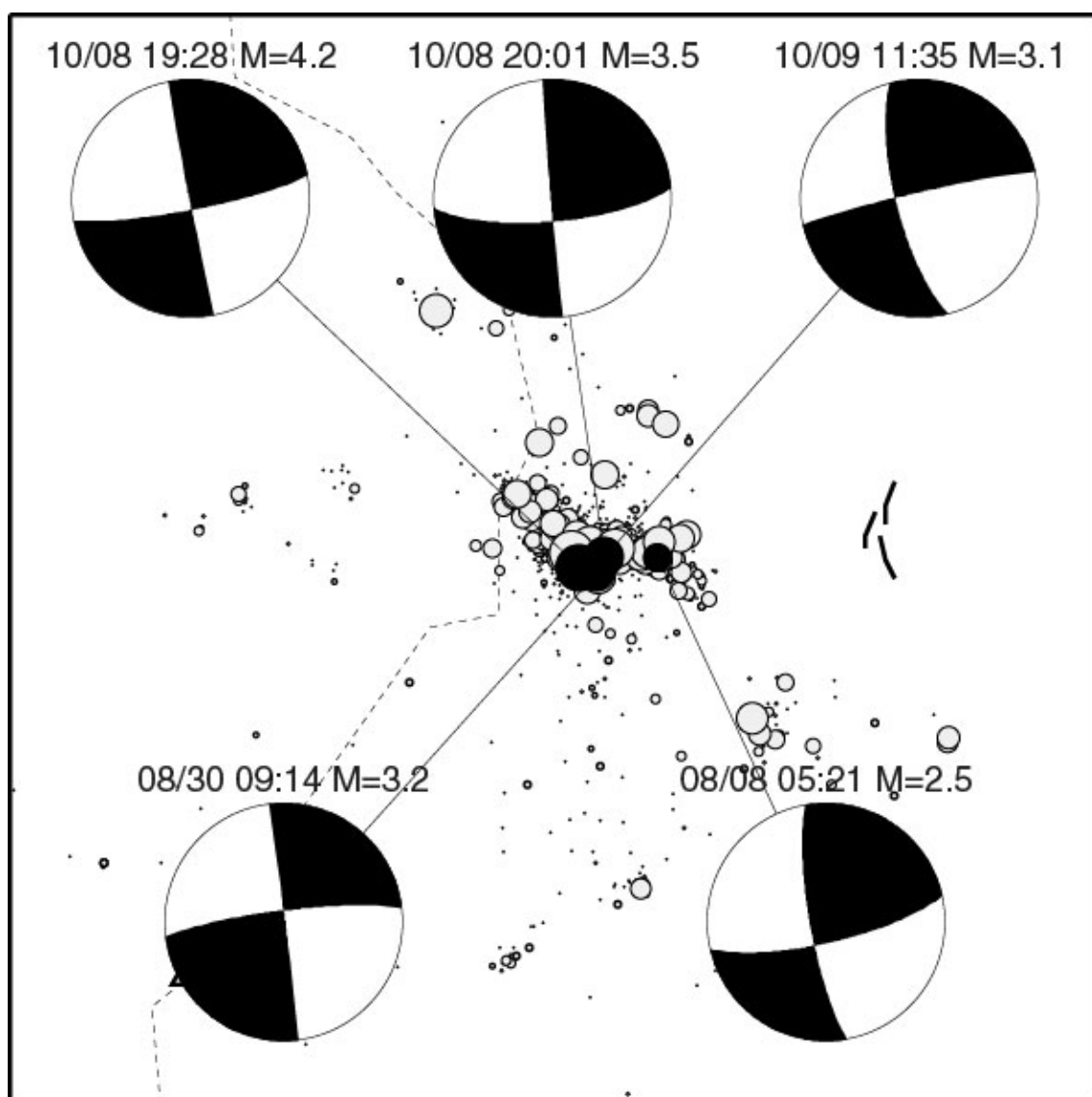


図4 2013年4月から10月末までの気象庁による有感地震の初動極性による発震機構解

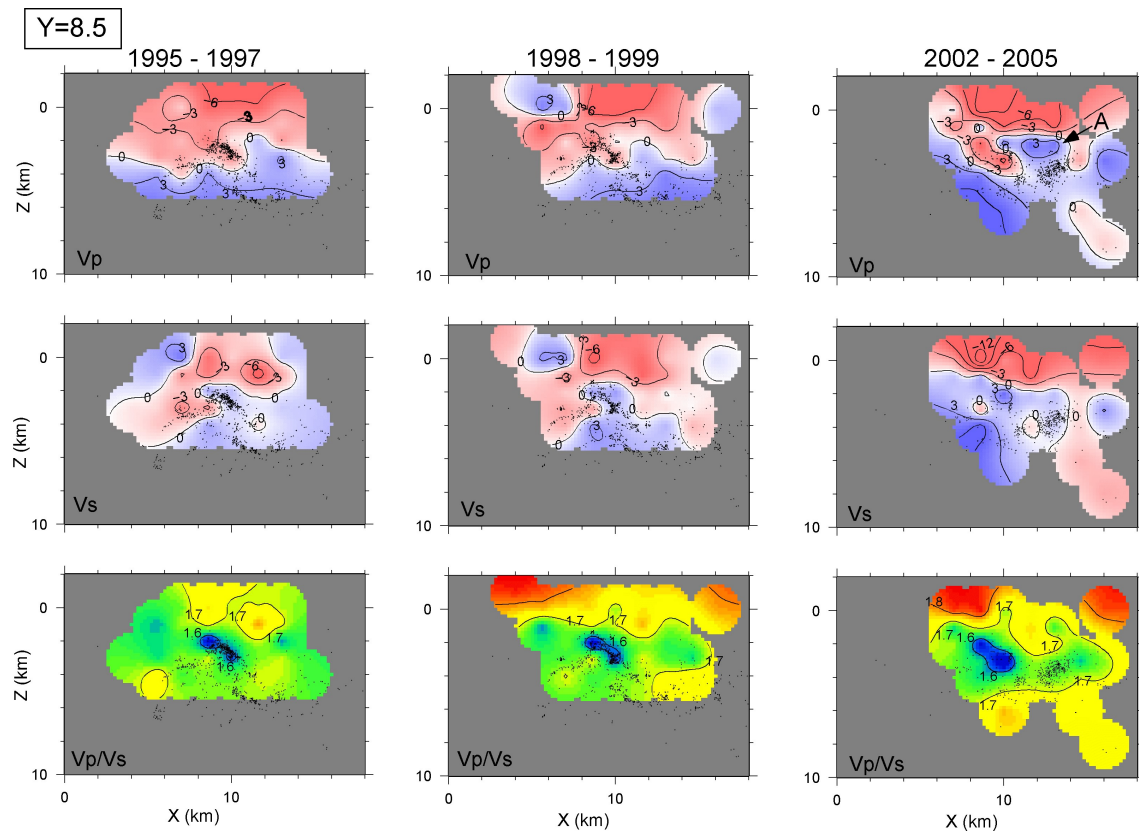


図5 長野県西部地域における、断層走行に平行な鉛直断面 ($Y=8.5$) での、1995-1997, 1998-1999, 2002-2005 年の3つの期間の3次元速度構造。X軸の走向は $N70^{\circ}E$ 。

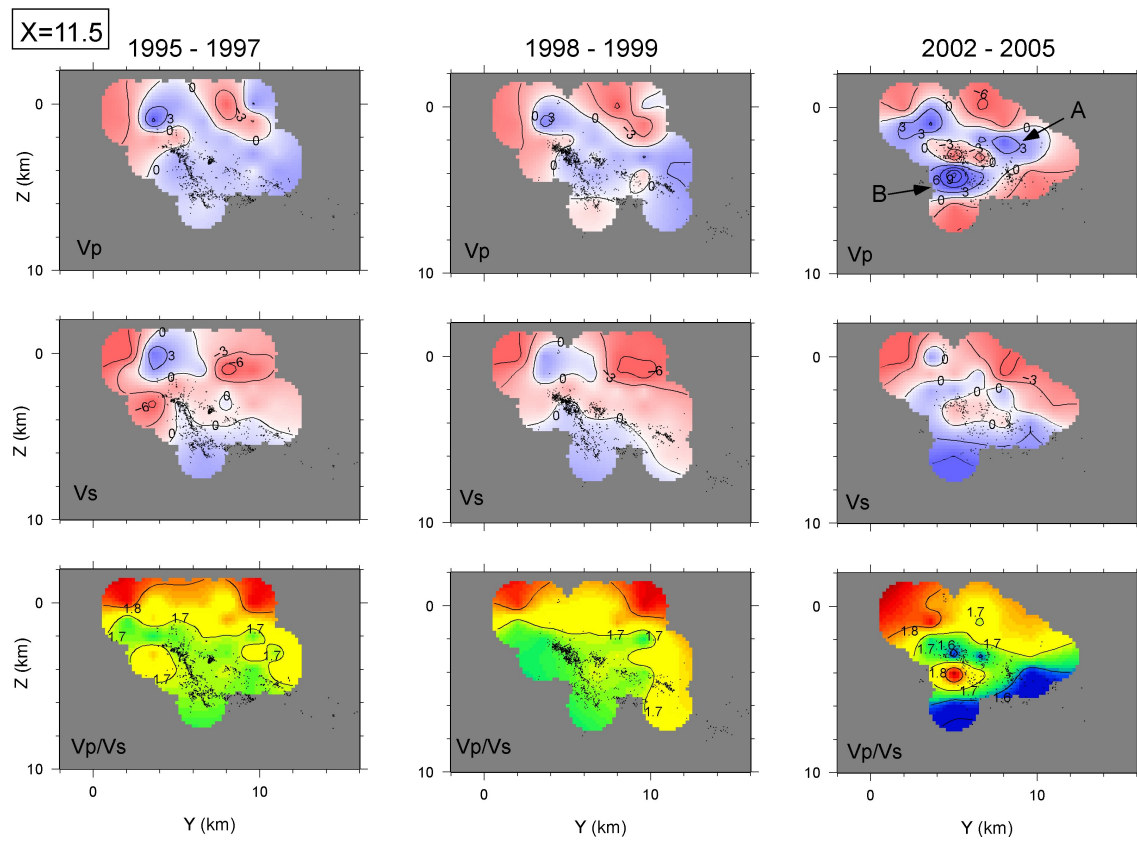


図6 長野県西部地域における、断層に直交する断面 (X=11.5) での、1995-1997, 1998-1999, 2002-2005 年の3つの期間の3次元速度構造。Y軸の走向は N20 °W。

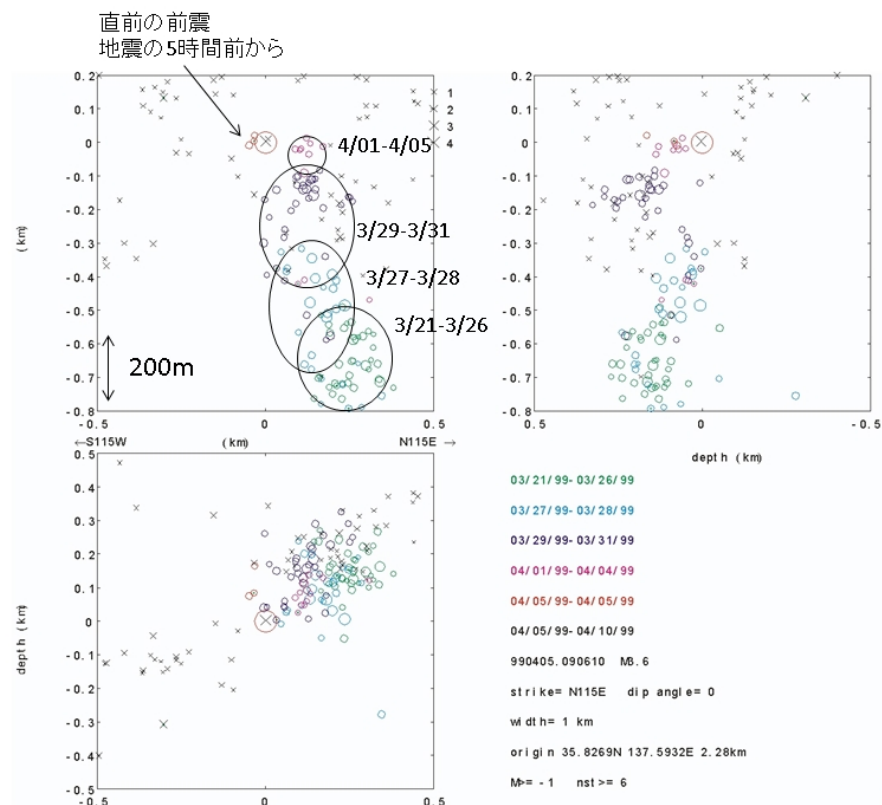


図7 1999年4月5日 M3.8の地震の前震・余震分布．地震前の約2週間の間に，顕著な前震のマイグレーションが発生した