

3. 3. 3 断層帯周辺における自然地震観測 (稠密アレー観測による微小地震のメカニズム、応力解析)

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺における自然地震観測（稠密アレー観測による微小地震のメカニズム、応力解析）

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人 産業技術総合研究所	副センター長	桑原保人
独立行政法人 産業技術総合研究所	研究員	今西和俊
独立行政法人 産業技術総合研究所	研究員	長 郁夫

(c) 業務の目的

糸魚川－静岡構造線断層帯（以下、「本断層帯」）で発生する地震について、マグニチュード0程度までの極微小地震までを含めたメカニズム解を決定し、当該地域の応力場を明らかにする。

(d) 5 カ年の年次実施計画

1) 平成 17 年度：

甲府盆地西縁部の反射法探査域で稠密地震観測を実施し、マグニチュード0程度までの地震のメカニズム解を決定した。

2) 平成 18 年度：

諏訪盆地周辺部での反射法探査域で稠密地震観測を実施し、マグニチュード0程度までの地震のメカニズム解を決定した。メカニズム解から断層帯に作用する主応力方位の空間変化を求めた。

3) 平成 19 年度：

18 年度に引き続き諏訪盆地周辺で稠密地震観測実施すると同時に、これまでの観測データを総合的に解析し、メカニズム解決定と本断層帯の諏訪湖以南の領域の応力場を解明した。

4) 平成 20 年度：

本断層帯北部（白馬～松本）で稠密地震観測を実施し、マグニチュード0程度までの地震のメカニズム解を決定した。メカニズム解から本断層帯に作用する主応力方位の空間変化を求めた。

5) 平成 21 年度：

本断層帯の北部・中部（白馬～松本・松本～諏訪湖周辺）で稠密地震観測を行うとともに、前年度までのデータの統一的な処理・まとめを行う。本断層帯全域に作用する主応力方位分布図を作成する。

(e) 平成 20 年度業務目的

平成18年度から開始した諏訪湖および松本周辺における臨時観測を継続し、データの蓄積を行う。また、松本以北から白馬村周辺における臨時観測を新たに開始する。定常観測点の隙間を埋めるように、全部で8ヶ所に地震計を設置する。これまでと同様に、振幅値を用いたメカニズム解推定法により、当該地域で発生しているM0程度の極微小地震まで含めたメカニズム解の推定を行う。

(2) 平成 20 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 18 年 8 月から開始した諏訪湖および松本市周辺における臨時観測（7 カ所）は平成 20 年度も継続して行い、良質なデータの蓄積を行った。また、平成 20 年度では、松本以北から白馬村周辺の本断層帯北部域 8 ケ所において新たに臨時観測を開始した。P 波初動に加えて振幅値も利用することで、本断層帯北部域のメカニズム解を決定した。まだデータの蓄積が不十分なため、決定できたのは 4 つに過ぎないが、北部域北端部（神城断層に相当）まで純粋な横ずれタイプの微小地震が起こっていることが明らかになった。

(b) 業務の成果

1) 臨時地震観測

平成 18 年度に開始した諏訪湖および松本周辺における 7 カ所の臨時観測は平成 20 年度も継続して行い、データの蓄積を行った。また、平成 20 年 8 月初旬からは、松本以北から白馬村周辺の 8 カ所においても臨時観測を開始した（図 1）。これらの観測点に固有周波数 1Hz (Lennartz electronic GmbH 社製 LE-3Dlite) または 2Hz (Mark Products 社製 L22E) の 3 成分地震計を設置し、地震計の出力は白山工業社製 LS7000 または計測技研社製 HKS-9500 を用いてサンプリング周波数 200Hz で連続収録している。電源についてはバッテリーを使用し、ソーラーパネルを併用した（図 2）。波形記録の一例を図 3 に示す（08/8/24）。気象庁マグニチュード (M_j) が 0.6 の極微小地震であるが、臨時地震観測により近距離で S/N が良好な記録を多数取得できていることがわかる。

2) 震源決定

臨時観測点の設置時期と配置を考慮し、北緯 35.9 度から 36.4 度以南の領域では 2007 年 10 月～2009 年 8 月に、北緯 36.4 度から 36.8 度以南では 2009 年 8 月に発生した気象庁マグニチュード 0 以上の地震（161 イベント）を解析した。解析した地震の震央分布とマグニチュードの頻度分布を図 4 に示す。ほとんどが M 1 以下の極微小地震である。

震源決定に際しては、本断層帯の東西では地震波速度構造が大きく異なることが知られているため（例えば、Takeda et al., 2004）、地域ごとに適切な速度構造を適用した。まず、一様な速度構造のもとで Hirata and Matsus'ura (1987) による hypomh を用いて震源決定を行い、観測点毎に走時残差を決定した。この走時残差の分布や

Takeda et al. (2004) および Panayotopoulos et al. (2008) の地殻構造モデルを参考し、本断層帯東部の観測点とそれ以外の観測点で浅部の速度値が異なる 2 つの P 波速度構造モデルを仮定した（図 5 a）。速度構造の値は、Sakai (2004) が本断層帯北部の震源決定で使用したものを利用した。図 5 b に観測点毎にどちらの速度構造モデルを適用したかを示す。次に、この 2 つの速度構造モデルを適用し震源決定を行い、この結果から計算される観測点補正値を導入して、再度震源決定を行うという操作を 3 回繰り返して最終の震源とした。最終的な走時残差の RMS は、P 波は 0.25 秒から 0.11 秒へ、S 波は 0.42 秒から 0.19 秒へ減少した。最終的な震源を気象庁震源カタログと比較して、図 6 に示す。震源は数 km ほど浅くなる傾向が見られる。なお、30km ほどに決まっているのは低周波地震である。

3) メカニズム解決定

今年度は、前年度までに推定されていなかった北緯 36.4 度以北の地震のメカニズム解について決定を行った。解析手法はこれまでと同様、P 波初動に加えて振幅値も利用した（今西・他, 2006）。現在のところ、P 波初動極性の読み取りが 10 点以上ある地震 4 個についてメカニズム解を決定した（図 7）。図 7 ではメカニズム解のタイプを視覚的に判断しやすくするために Flohlich (1992) の三角ダイアグラムを使い、逆断層成分、正断層成分、横ずれ成分のそれぞれの比率に応じて色分けを行っている。Flohlich (1992) の定義に従うと、横ずれが 3 個でその他が 1 個である。その他に分類された地震は三角ダイアグラムを見ると、正断層成分を多く持っている。

前年度までに推定したメカニズム解も合わせて図 8 に、P 軸および T 軸分布を図 9 に示す。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 18 年 8 月から開始した諏訪湖および松本市周辺における臨時観測を継続して行うとともに、平成 20 年 8 月から、松本市北部から白馬町周辺において新たに臨時観測を開始した。本断層帯北部域で発生した地震 4 個について、メカニズム解を決定することができた。本断層帯北部域は断層形態や変位センスから逆断層が卓越する領域とされているが、北部域北端部（神城断層に相当）まで純粋な横ずれタイプの微小地震が発生していることが明らかになった。今後は蓄積されたデータをさらに解析し、応力テンソルインバージョンにより定量的に応力場を推定する必要がある。

(d) 引用文献

- 1) Flohlich, C.: Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanism, *Phys. Earth Planet. Interiors*, 75, 193–198, 1992.
- 2) Hirata, N. and Matsu'ura, W.: Maximum-likelihood estimation of hypocenter with origin time eliminated using nonlinear inversion technique, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 50–61, 1987.
- 3) 今西和俊・長 郁夫・桑原保人・平田 直・Yannis Panayotopoulos: 糸魚川-静岡構造線活断層系中・南部域における微小地震の発震機構解. 活断層・古地震研究報告,

- 6, 55-70, 2006.
- 4) Panayotopoulos, Y., Hirata, N., Sato, H., Iwasaki, T., Kato, A., Imanishi, K., Kuwahara, Y. and Cho, I.: P- and S- wave velocity structure in and around the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line (ISTL) fault system revealed by dense seismic array observations, *Eos Trans. AGU*, 89(53), Fall Meet. Suppl., Abstract T13B-1937, 2008.
 - 5) Sakai, S.: Seismicity of the northern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, *Earth Planets Space*, 56, 1279-1283, 2004.
 - 6) Takeda, T., Sato, H., Iwasaki, T., Matsuta, N., Sakai, S., Iidaka, T. and Kato, A: Crustal structure in the northern Fossa Magna region, central Japan, modeled from refraction/wide-angle reflection data, *Earth Planets Space*, 56, 1293-1299, 2004.

(3) 平成 21 年度業務計画案

諏訪湖から白馬村周辺における臨時観測（15ヶ所）を継続して、観測点の 11月末から 12月上旬に撤収を行う。この臨時観測により北部域においても大量のメカニズム解が得られることになり、糸魚川-静岡構造線全域にわたる応力場の特徴を明らかにする。

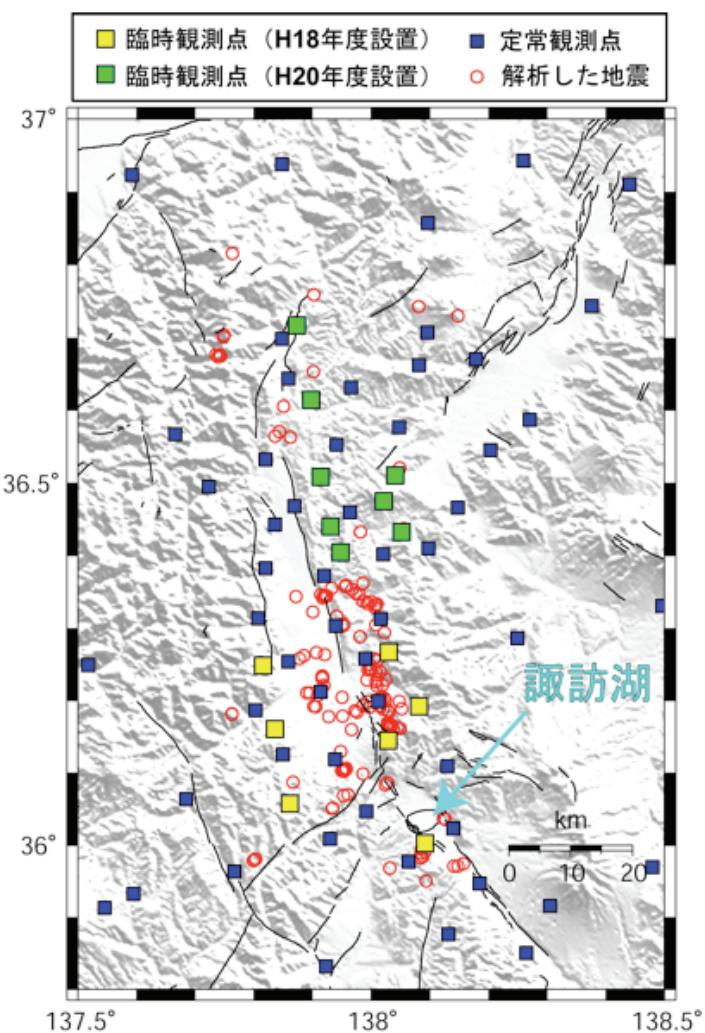


図 1 臨時地震観測点および定常地震観測点分布。今年度解析した地震を赤丸で示す。



図 2 臨時観測風景。地震計は岩盤の上に固定した。

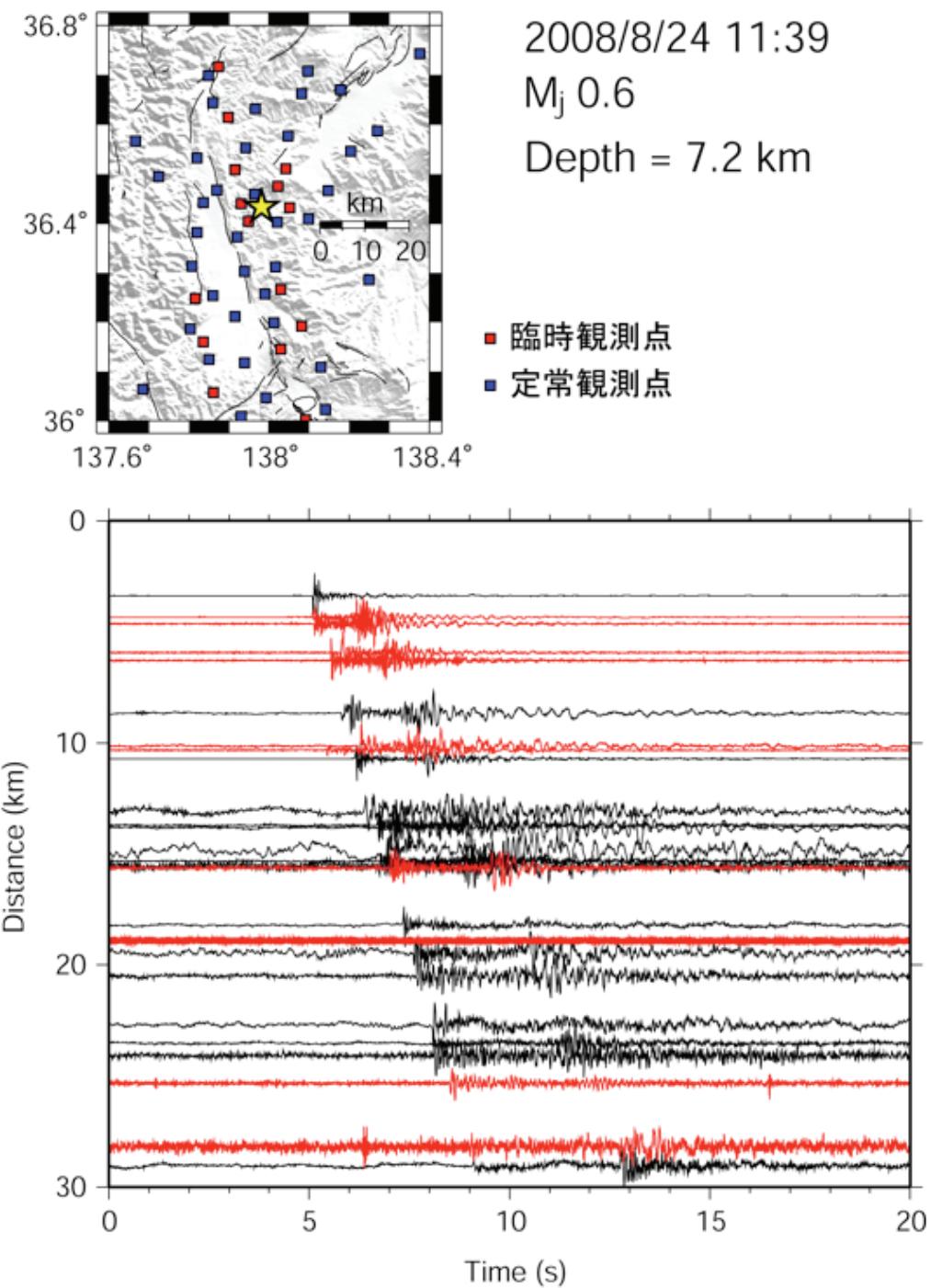


図3 観測波形の1例。上下動成分を示す。赤色の線は臨時観測点の波形を、黒色の線は定常観測点の波形を示す。

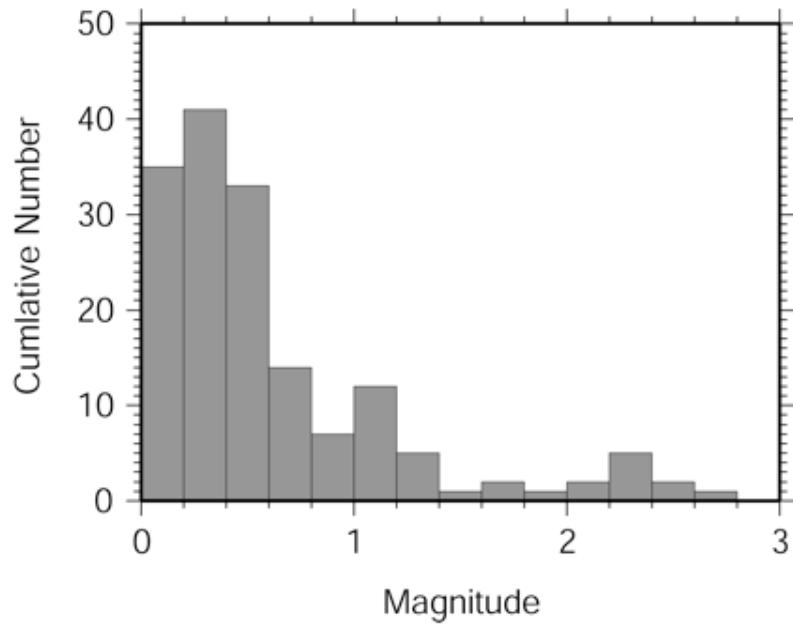


図4 解析イベントの個数とマグニチュード分布。ほとんどがM1以下の極微小地震である。なお、M0以下の地震は解析対象から外した。

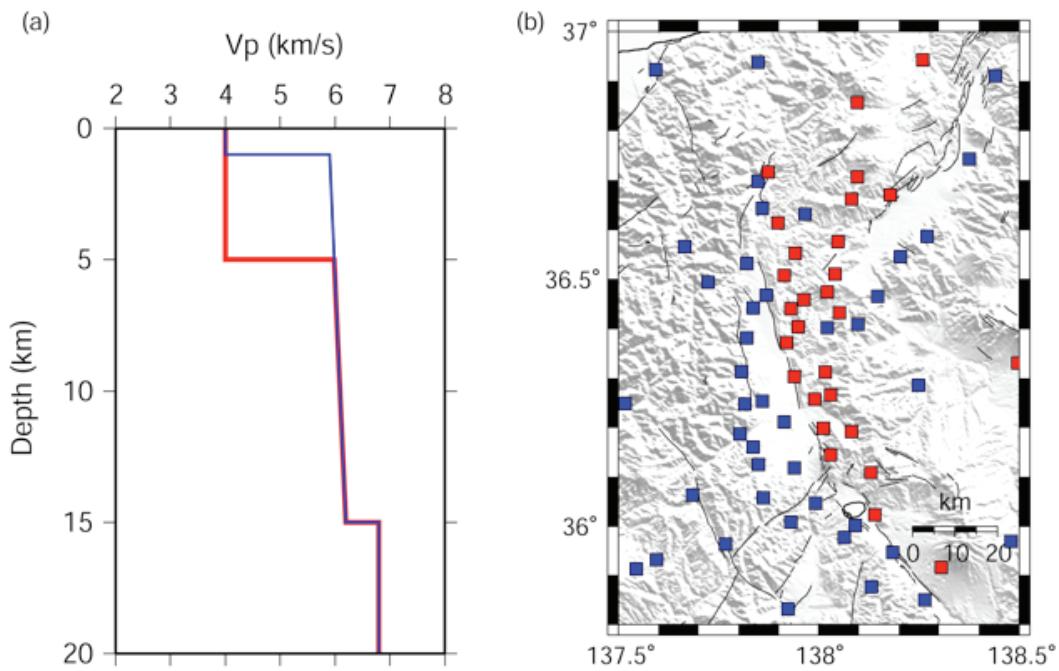


図5 (a) 震源決定に用いた2つのP波速度構造モデル。S波速度構造はP波速度の $1/\sqrt{3}$ と仮定した。赤および青の線で示される速度構造モデルは、(b)の赤および青色の四角で示される観測点での走時計算に使用した。

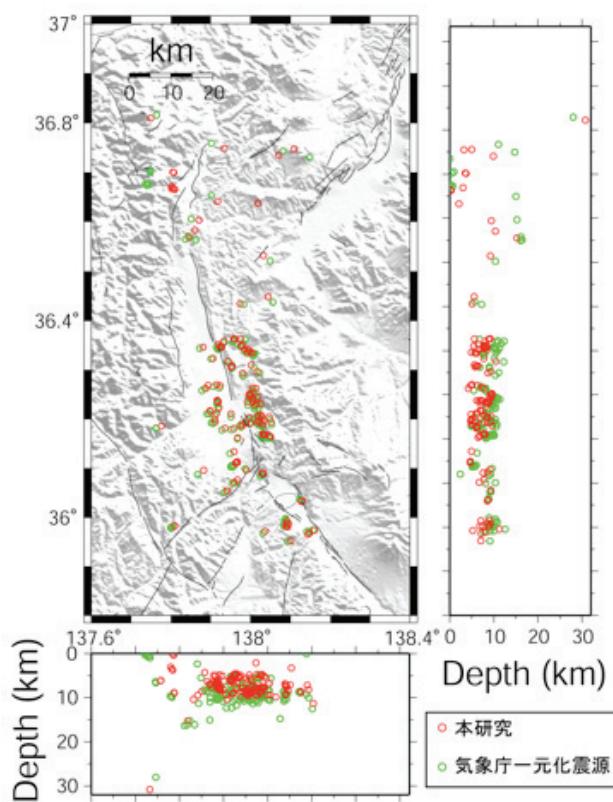


図 6 本研究により決定された震源（赤丸）と気象庁震源カタログ（緑丸）の比較。下図と右図は、東西断面図と南北断面図である。

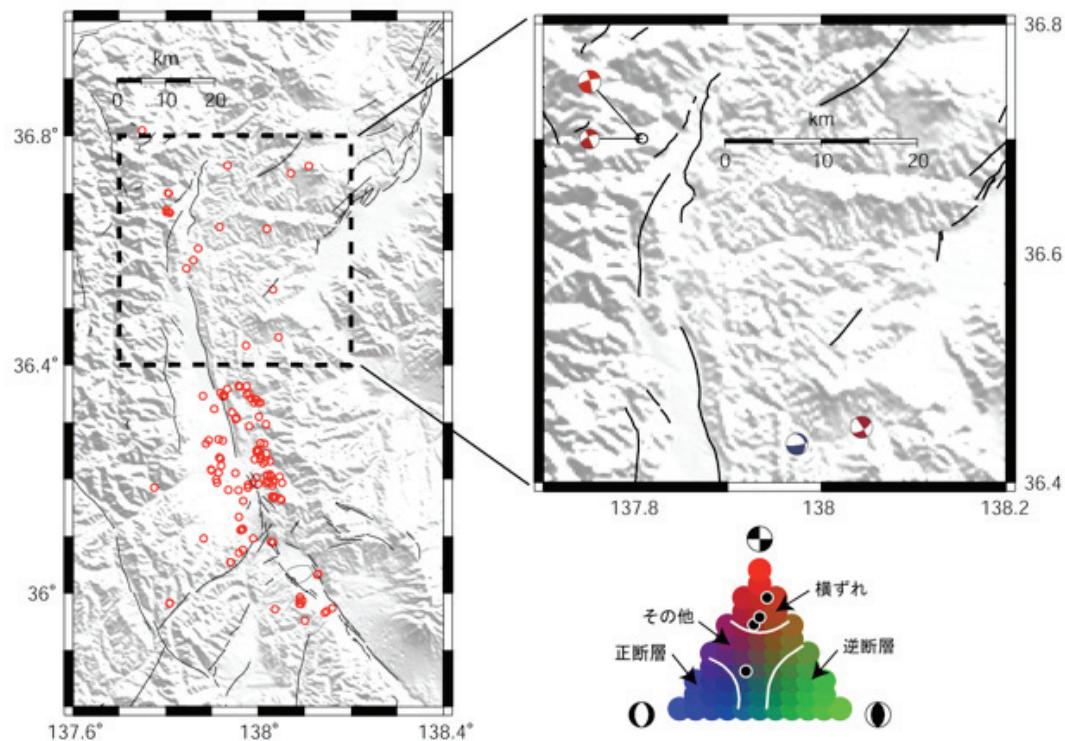


図 7 糸魚川-静岡構造線北部域で推定されたメカニズム解。左図の点線枠内で発生した地震のうち、P 波初動の読み取り個数が 10 個以上ある地震についてのみ解析を行った。メカニズム解は逆断層、正断層、横ずれ成分の比率に応じて色分けを行っている。

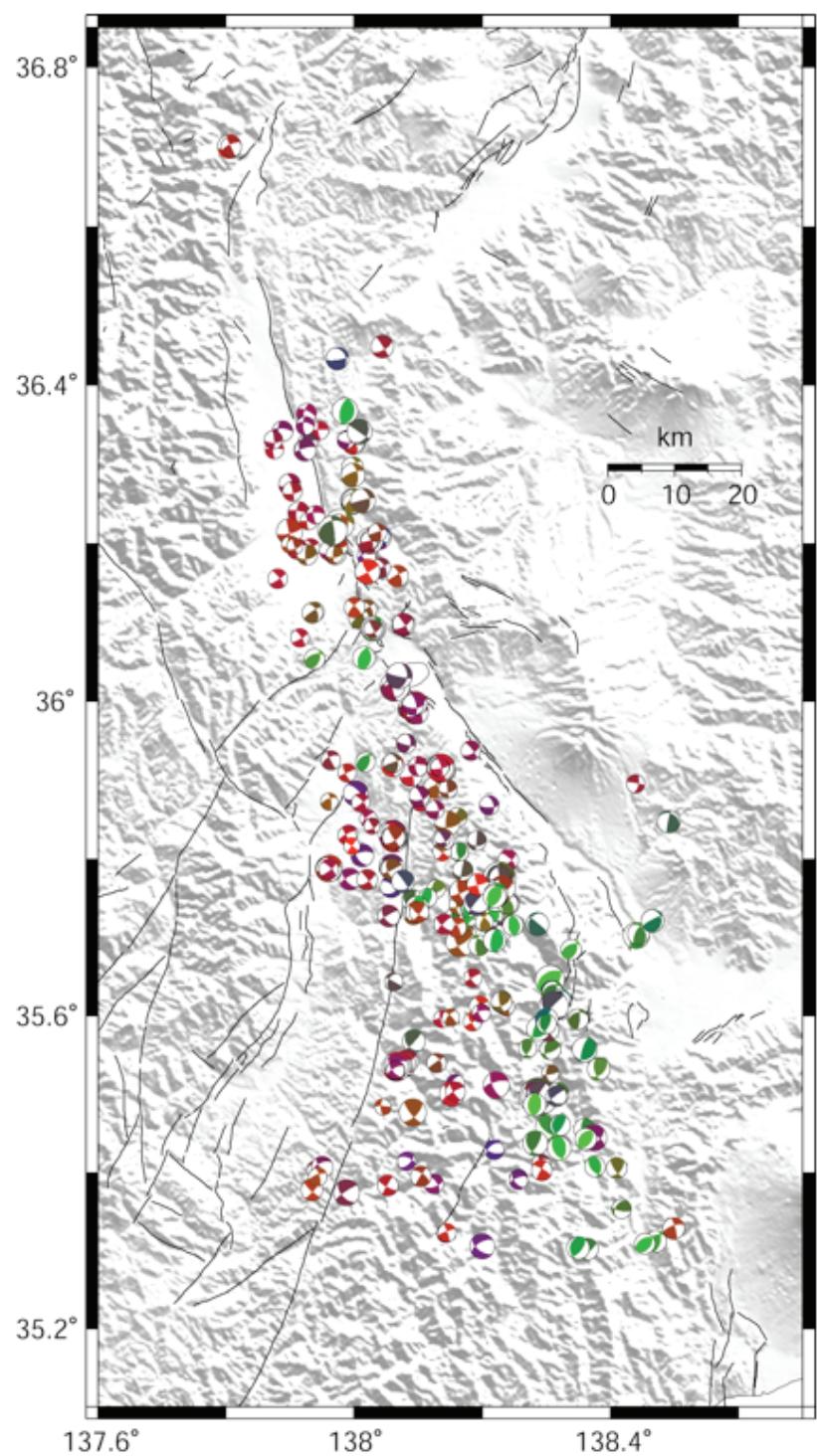


図 8 本業務により推定された全てのメカニズム解。メカニズム解の表示は図 7 と同じである。

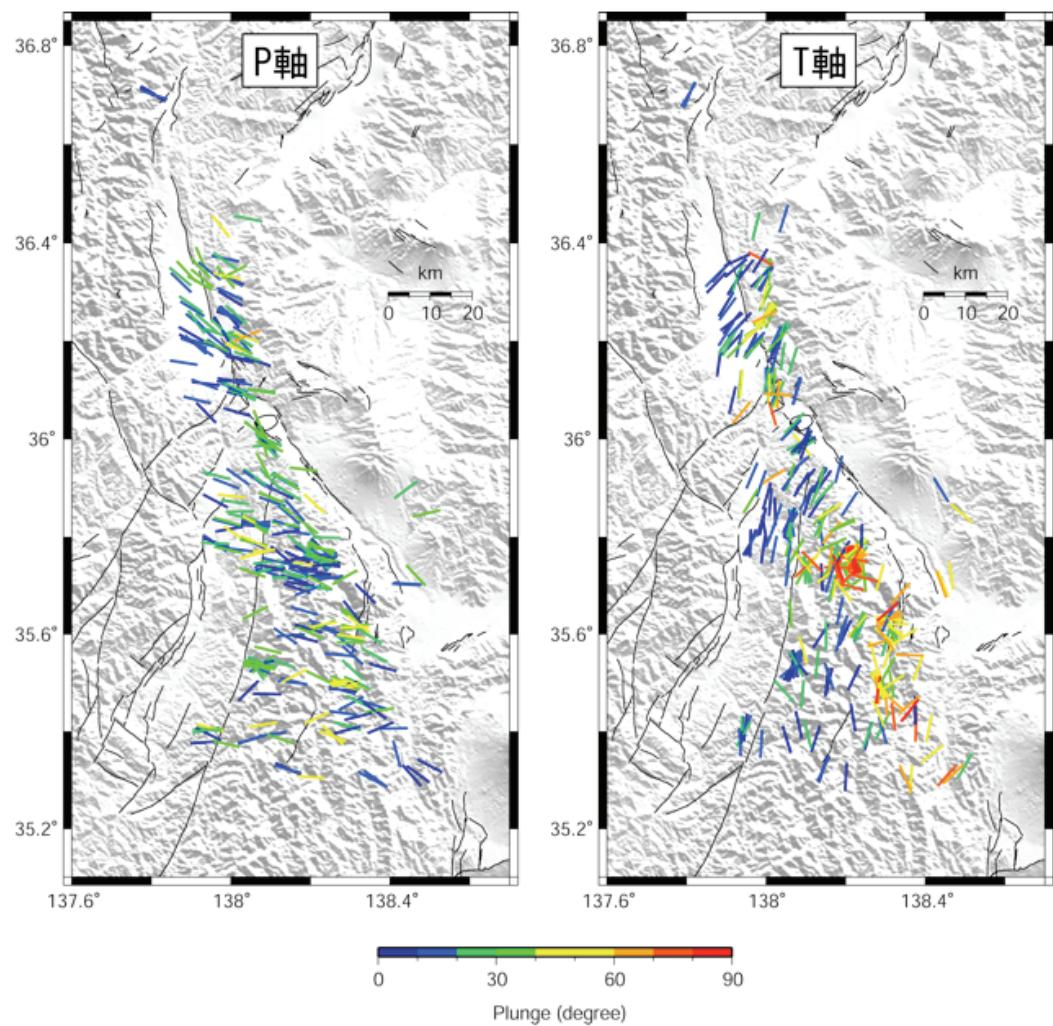


図9 P軸およびT軸方位分布。Plunge角に応じて線の色を変えている。