

### 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地質情報研究部門	副研究部門長	桑原 保人
	研究員	今西 和俊
	研究員	長 郁夫

(c) 業務の目的

糸魚川-静岡構造線 (以下、糸静線と呼ぶ) 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 (過去年度は、実施業務の要約)

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糸静線の諏訪湖以南の領域の応力場を解明した。

4) 平成20年度:

断層帯北部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する。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る。

5) 平成21年度:

断層帯の北部・中部で稠密地震観測を行うと同時に、前年度までのデータの統一的な処理・まとめを行う。糸静線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19年度業務目的

平成 18 年 8 月に設置した諏訪湖以北から松本市周辺での臨時観測点を継続して維持し、データの蓄積を行う。平成 18 年度と同様な手法により、諏訪湖以北から松本市周辺で発生しているマグニチュード 0 程度の極微小地震までメカニズム解を決定する。これまでの観測データを総合的に解析し、糸静線の諏訪湖以南の領域の応力場の解明を目指す。

## (2) 平成 19 年度の成果

### (a) 業務の要約

平成 18 年度までに推定した諏訪湖以南の領域における多数のメカニズム解を用いて応力テンソルインバージョンを実施した。西側は横ずれの応力場、東側は逆断層の応力場であり、その間に挟まれた領域では横ずれと逆断層の応力場が共存している場になっていた。応力比 ( $\phi : (S_2 - S_3) / (S_1 - S_3)$ ,  $S_1$ : 最大主応力,  $S_2$ : 中間主応力,  $S_3$ : 最小主応力) は西側と東側で大きく異なり、前者が後者に比べて顕著に大きかった。また、最大主応力方位は広域応力場に調和的な西北西－東南東であり、空間的に大きな変化は見られなかった。

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は平成 19 年度も継続して行い、良質なデータの蓄積を行った。P 波初動に加えて振幅値も利用することで、マグニチュード 0 の極微小地震まで含めたメカニズム解を 83 個推定できた。得られた解のほとんどは、横ずれ型もしくは横ずれ成分を多く持った解であった。解析領域は、変位センスや断層形態から逆断層区間とされていた北部セグメントを含んでいる。少なくとも北部セグメントの南部域は、現在の応力場としては横ずれであることが本業務によって明らかになった。

### (b) 業務の成果

#### 1) 応力テンソルインバージョンによる諏訪湖以南の領域の応力場推定

平成 18 年度に決定した糸静線南部域の多数のメカニズム解を用い、応力テンソルインバージョンを実施した。震源分布やメカニズム解の特徴から解析領域を図 1 に示す 6 つの領域に分割した。次に、それぞれの領域に対して Michael (1984) の手法を使い、最大 ( $S_1$ )、中間 ( $S_2$ )、最小主応力 ( $S_3$ ) の方位と応力比  $\phi = (S_2 - S_3) / (S_1 - S_3)$  の空間分布の推定を試みた。結果を図 2 に示す。領域 1、2、3 は横ずれの応力場、領域 5 は逆断層の応力場、領域 4、6 は  $S_2$  と  $S_3$  軸がオーバーラップしており、逆断層と横ずれが共存した場になっていることがわかる。応力比  $\phi$  を見ると、調査領域の西側 (領域 2、3) は大きく、東側 (領域 4、5、6) は小さい傾向がうかがえる。最大主応力はどの領域もほぼ水平面内にあり、その方位は領域 1 と 6 を除き、広域応力場に調和的な西北西～東南東に向いており、空間的に大きな変化は見られない。領域 1 と 6 については、使用しているメカニズム解の個数が少ないこともあり、現段階では有意な違いといえるのか判断が難しい。今後、データの蓄積により再検討を行う予定である。

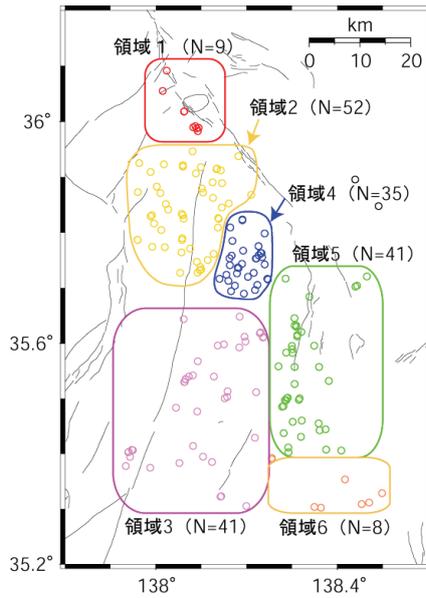


図1 応力テンソルインバージョン解析における領域分け。

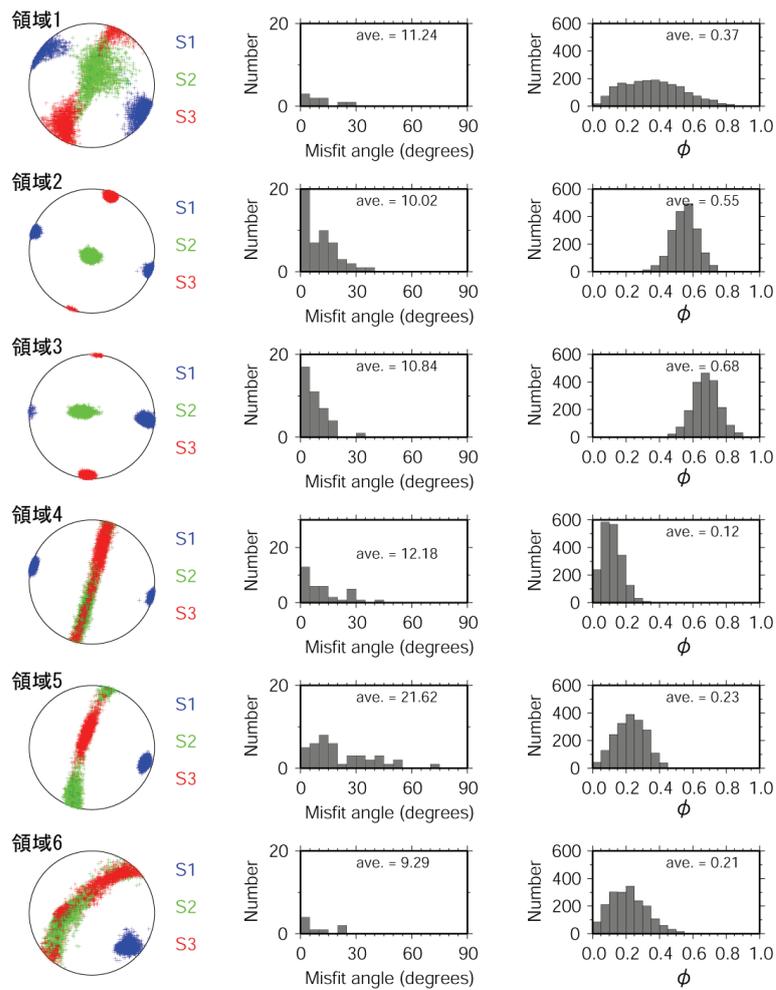


図2 各領域における応力テンソルインバージョン結果。

2) 諏訪湖以北から松本市周辺における微小地震のメカニズム解推定

平成 18 年 8 月から開始した諏訪湖以北から松本市周辺での臨時観測データの解析を開始した。現在のところ、平成 18 年 8 月 21 日～平成 19 年 10 月 30 日に発生した気象庁マグニチュード 0 以上の 186 イベントの処理を終えた。観測点分布と解析に使用した震源分布を図 3a に示す。図 3b には解析イベントの個数とマグニチュード分布を示す。ほとんどがマグニチュード 1 以下の極微小地震であり、P 波初動のみでは一意に解を決定することが困難である。そこで、メカニズム解の推定はこれまでと同様、P 波初動に加えて振幅値も利用した（今西ほか，2006）。

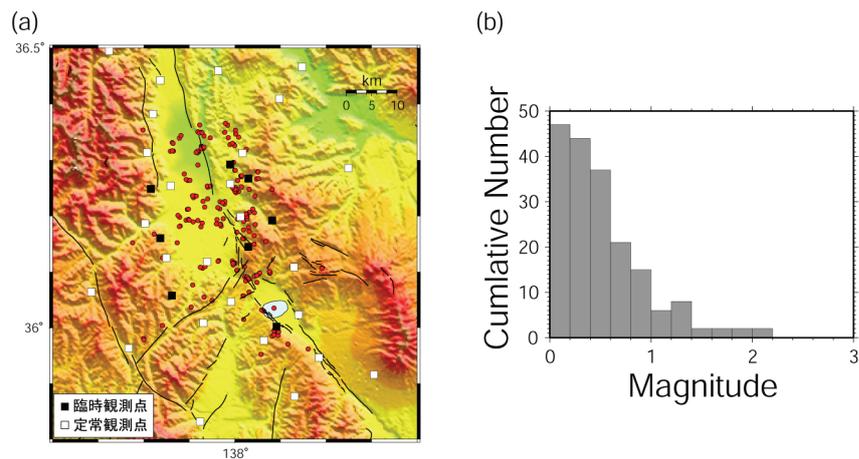


図 3 (a) 観測点分布（四角）と解析に使用した震源分布（赤丸）。臨時観測点を■で示す。(b) 解析イベントの個数とマグニチュード分布。

図 4 に推定されたメカニズム解を示す。全部で 83 個の解を安定して求めることができた。本研究の解析期間と同じ期間内で気象庁により決定された P 波初動解は 1 つもなかった。図 4 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 37

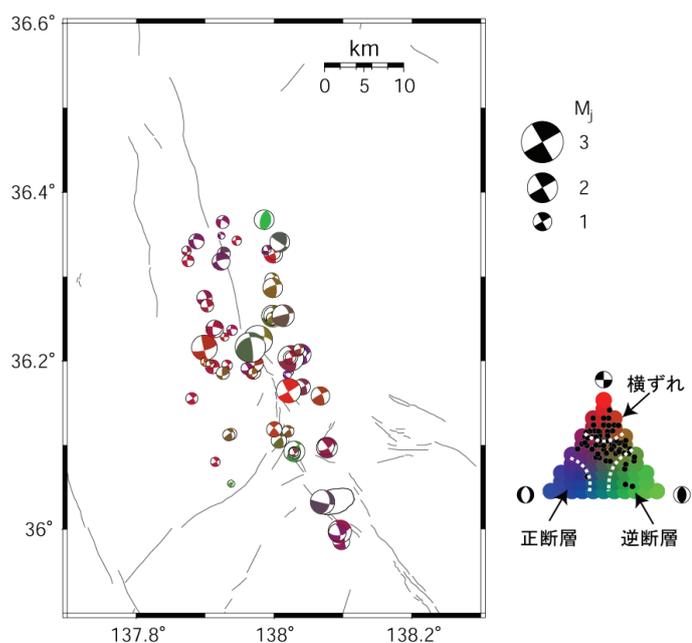


図 4 推定されたメカニズム解。逆断層、正断層、横ずれ成分の比率に応じて色分けを行っている。

個、逆断層が7個、正断層が1個、その他が38個である。その他に分類された地震も、三角ダイアグラムを見ると、横ずれ成分を多く持つことがわかる。このように、対象としている領域は、横ずれの卓越した応力場になっていることが明らかになった。

糸静活断層帯は変位センスや断層形態から、松本以北の南北走向・東傾斜の逆断層区間(北部)、松本～小淵沢間の北西～南東走向・左横ずれが卓越する区間(中部)、および小淵沢以南の南北走向・西傾斜の逆断層区間(南部)の3つのセグメントに区分されている(例えば、奥村ほか, 1998)。北部セグメントには松本盆地東縁断層が、中部セグメントには牛伏寺断層が存在している。図5に、前年度までに推定してきたメカニズム解と図4のメカニズム解を合わせてプロットする。推定された微小地震のメカニズム解と各セグメントにおける断層形態や変位センスを比較すると、北部セグメントの南部域(松本盆地東縁断層の南部に相当)を除いて、調和的であることがわかる。松本盆地東縁断層の南部域で発生している微小地震のメカニズム解は横ずれ型が卓越しており、従来の解釈と食い違う。

近藤・他(2006)は空中写真の地形判読と現地調査により、松本盆地東縁断層は高瀬川と犀川の合流点を境界として、その北部は従来どおり逆断層運動が卓越しているが、その南部では横ずれ変位様式を持つことを示した。彼らによるセグメント境界の位置を図5に示す。本研究の結果は彼らの結論と調和的であり興味深い。今後はさらに北部のメカニズム解を決定していくとともに、他の観測データを含めて総合的に検討していく必要がある。

図6にP軸の方位分布を示す。ここではplunge角に応じて線の色を変えて表示している。P軸はほとんどが水平面内であり、調査領域全域にわたって圧縮応力がほぼ水平に作用していることがわかる。P軸方位と活断層の走向のなす角度を見ると、逆断層区間の南部セグメント

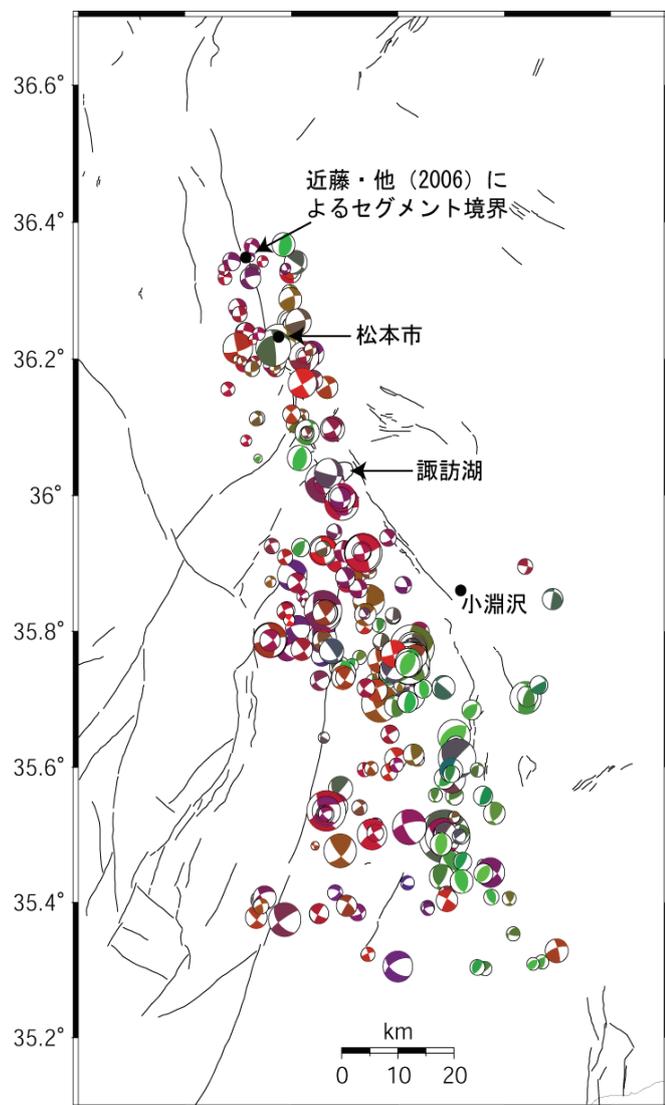


図5 本業務により推定された全てのメカニズム解。メカニズム解の表示は図4と同じである。

ではほぼ直向、横ずれ区間の中部セグメントでは約  $40^\circ$  であり、断層がすべり易い方向に応力が作用していることが伺える。北部セグメントの南部域は中部セグメントとほぼ同じ角度で断層の走向に作用している。近藤ほか (2006) が指摘しているように、この断層部分が横ずれ変位様式を持つ場合、現在の P 軸方位は断層がすべり易い方向に応力が働いていることになる。

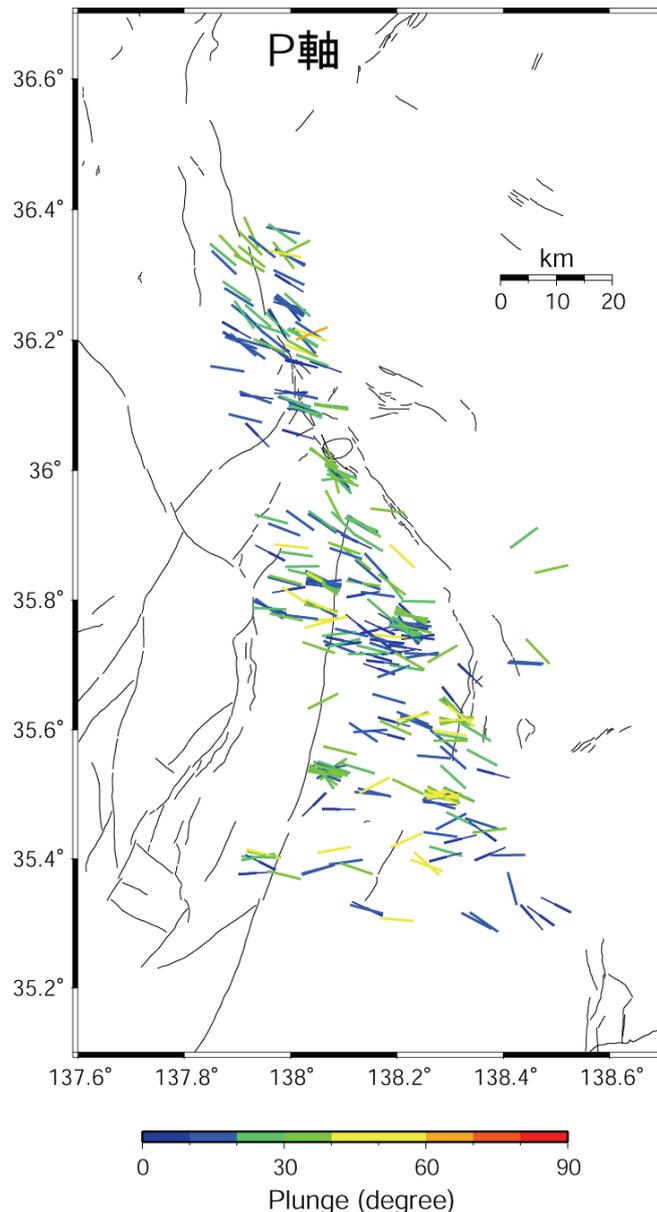


図6 P軸方位分布。Plunge角に応じて線の色を変えている。

(c) 結論ならびに今後の課題

平成 18 年度までに推定した諏訪湖以南の領域における多数のメカニズム解を用いて応力テンソルインバージョンを適用し、応力場を推定した。最大主応力方位は広域応力場に調和的な西北西-東南東で大きな空間変化は見られなかったが、応力場と応力比には大きな空間変化が見られた。

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い、データの蓄積を行った。当該地域におけるメカニズム解推定に着手し、現在のところ、マグニチュード 0 の極微小地震まで含めたメカニズム解を 83 個推定した。得られた解のほとんどは横ずれ型もしくは横ずれ成分を多く持った解であった。解析領域は、変位センスや断層形態から逆断層区間とされていた北部セグメントを含んでいるが、少なくとも北部セグメントの南部域は、現在の応力場としては横ずれであることが本業務によって明らかになった。

これまでの解析により、臨時観測と振幅値を用いたメカニズム解推定法により、極微小地震から詳細な応力場の推定が可能であることが示された。今後は北部セグメントにおける臨時観測を新たに開始し、糸静線全体に渡る応力場を議論するためのデータセットを蓄積していく必要がある。

#### (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) 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.
- 3) 近藤・遠田・奥村・高田、糸魚川－静岡構造線活断層系・松本盆地東縁断層南部に沿う左横ずれ変位地形、*地学雑誌*, 115, No. 2, 208-220, 2006.
- 4) Michael, A. J., Determination of stress from slip data: faults and folds, *J. Geophys. Res.*, **89**, 11, 517-11, 526, 1984.
- 5) 奥村晃史・井村隆介・今泉俊文・東郷正美・澤 祥・水野清秀・苅谷愛彦・斉藤英二、糸魚川－静岡構造線活断層系北部の最近の断層活動－神城断層・松本盆地東縁断層トレンチ発掘調査－、*地震*, 50, 35-51, 1998.

### (3) 平成 20 年度業務計画案

平成 18 年度に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て行う。この臨時観測によるデータ蓄積により、大量のメカニズム解が得られることになるため、応力テンソルインバージョンにより定量的な応力場の推定を行う。

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予定である。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マグニチュード 0 程度の極微小地震まで含めたメカニズム解の推定に着手する。