3.3.1 断層帯周辺における自然地震観測(長期機動観測)

(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(長期機動観測)

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
独立行政法人防災科学技術研究所	総括主任研究員	小原 一成
独立行政法人防災科学技術研究所	任期付研究員	武田 哲也
独立行政法人防災科学技術研究所	任期付研究員	浅野 陽一
独立行政法人防災科学技術研究所	契約研究員(研究員型)	行竹 洋平
独立行政法人防災科学技術研究所	主任研究員	汐見 勝彦
独立行政法人防災科学技術研究所	任期付研究員	松原 誠
独立行政法人防災科学技術研究所	任期付研究員	関根 秀太郎
独立行政法人防災科学技術研究所	総括主任研究員	堀 貞喜

(c) 業務の目的

パイロット的な重点的調査観測で整備した5観測点のデータ転送の形態を高感度地震観測網 (Hi-net) に準拠させることによって、データ転送コストの削減とデータ処理の利便性向上を図る。また、地震観測点を毎年度3点ずつ新設し、震源決定精度の向上を図る。

(d) 5ヵ年の年次実施計画 (過去年度は、実施業務の要約)

1) 平成 17 年度:

パイロット的な重点的調査観測による5 観測点を気象庁から防災科学技術研究所に移管した。また、計器深度が $50\,\mathrm{m}$ の長期機動観測点を3 点新設した。さらに、これらの観測点からのデータと高感度地震観測網($\mathrm{Hi-net}$)のデータとの併合処理を行えるよう、データ処理システムを整備した。

2) 平成 18 年度:

計器深度が 50 m の観測点を 3 点新設するとともに、前年度までに整備した観測点の維持管理を行った。また、蓄積されたデータからやや広域の地震波速度構造を推定し、断層帯に沿った構造の地域性を明らかにした。

3) 平成 19 年度:

計器深度が 50 m の観測点を 3 点新設するとともに、前年度までに整備した観測点の維持管理を行った。また、蓄積されたデータを用いた高精度震源決定と応力逆解析を行った。

4) 平成 20 年度:

計器深度が約20~50 m程度の観測点を4点新設するとともに、前年度までに整備した観測点の維持管理を行う。

5) 平成 21 年度:

計器深度が約20~50 m程度の観測点を4点新設するとともに、前年度までに整備した観測点の維持管理を行う。

(e) 平成 19 年度業務目的

市街地などの存在によって既存の観測点が少ない地域であった松本盆地周辺に3観測点を新設し、既設観測点が疎であったこの地域の観測点間隔を約10 kmとすることによって、この地域の断層帯周辺で発生する浅発微小地震の震源決定精度の向上を図る。また、前年度までに整備した観測点の維持管理を行うとともに、データの蓄積や公開を行うことによって研究基盤を提供する。さらに、より高精度の震源決定や応力逆解析によって、断層帯に沿ったやや広域の地震活動とそれらを取り巻く起震応力場の特徴を明らかにする。

(2) 平成19年度の成果

(a) 業務の要約

1) 断層帯周辺域における観測網の整備と運用

計器深度が 50mの孔井地震観測点を松本盆地周辺の 3 箇所(松本市大字和田[観測点名:松本和田]、安曇野市豊科田沢[同:安曇野豊科]、および安曇野市明科七貴[同:安曇野明科])の 3 箇所に新設し、高感度地震観測網 Hi-net に準じたデータ流通を行い、それらのデータと高感度地震観測網 Hi-net や大学・気象庁の観測点のデータとの効率的な併合処理を行った。また、前年度までに整備した観測点の維持管理を行うとともに、それらの観測点のデータ蓄積と公開を行った。

2) 断層帯周辺域における高精度震源決定および応力逆解析

蓄積されつつあるデータを用いた高精度震源決定を行った。その結果、断層帯周辺の地震活動についての全体像を掴むことができた。具体的には、断層帯北部では断層帯の東側に地震活動が集中し、南部では断層帯の西側に地震活動が集中する。このような地震活動の分布は、断層帯に沿った断層形状の地域性を反映している可能性がある。また、より詳細に見ると、断層帯に沿って幅広く分布する地震活動域の中に面状分布をなす小規模な震源クラスターが分布する。このような面状分布は微小な断層面に沿って発生する多数の地震によって構成されているものと考えられるが、そのような分布をなす震源クラスターの中には、地表に見られる活断層とは対応しないものが多い。特に、神城断層の深部では、東傾斜と考えられているその断層形状とは異なる傾斜方向を持つような、面状の震源クラスターが検出された。このような地震活動の詳細は、本研究によって初めて明らかになったものであり、地震間(大地震が発生してから次の大地震が発生するまでの間のこと)における活断層の振る舞いと周辺の地震活動を理解する上で重要な知見が得られた。

また、震源と発震機構解をデータとして、多重逆解法による応力解析を実施した。 その結果、断層帯に沿った起震応力場に地域性がみられることが明らかとなった。 断層帯に沿った最大主圧縮軸の向きは、断層帯北部と南部では東南東-西北西方向で あるのに対して、断層帯中部では南東-北西方向である。また、南部では応力比Rが 小さいという特徴もわかった。このような応力場の情報は、断層運動とその駆動力 を理解するためだけでなく、大地震時の断層の振る舞いやそれに伴う強震動の予測 にも重要である。例えば、推定された応力場からは、神城断層では左横ずれ成分を 伴った逆断層すべりが期待されることがわかった。

(b) 業務の成果

1) 断層帯周辺域における観測網の整備と運用

上述のとおり、平成19年度業務においては3観測点を新設するとともに、前年度までに整備した観測点の維持管理を行った。5ヵ年計画の3年目にあたる本年度は、松本盆地周辺に観測点を設置した。この地域は、堆積層が厚い盆地であることに加えて、その盆地に市街地が広がっていることによってノイズレベルが高い。このような場所は観測点立地としては敬遠されるのが一般的であるため、糸魚川一静岡構造線断層帯に沿った地域でありながらも、既存観測点の密度はそれほど高く無かった。しかしながら、断層帯に沿って発生する浅発地震の震源、とりわけその深さを精度良く決めるには、より高い密度で観測点を配置することが決定的に重要である。そのため、本年度業務では、断層帯に比較的近い松本市大字和田[観測点名:松本和田]、安曇野市豊科田沢[同:安曇野豊科]、および安曇野市明科七貴[同:安曇野明科])に観測点を設置した(図1)。

これらの新設観測点では、人工ノイズの影響を可能な限り避けるために $50\,\mathrm{m}$ 級観測井を掘削し、その孔底に固有周波数 $1\,\mathrm{Hz}$ の高感度速度計を設置した。地震計からのアナログ電気信号は地上装置にて A/D 変換され、前述のデータ転送システムによって防災科学技術研究所の受信部に送られる。地上装置に採用した機種は、前年度までのものと同機種である。この機種は、分解能 $24\,\mathrm{bit}$ 、サンプリング周波数 $1\,\mathrm{kHz}$ で A/D 変換した信号のデシメーション処理によって、 $100\,\mathrm{Hz}$ サンプリング下で $27\,\mathrm{bit}$ の高分解能を得ることが可能であるだけでなく、この処理をワークステーションではなく、FPGA(集積回路の一種)によって行うため、装置全体の小型化と省電力化が図られている。

この小型化によって地上装置は、従来の高感度地震観測網(Hi-net)のような観測小屋ではなく、引き込み電柱に取り付けられた筐体箱内に設置され、観測施設全体としても従来と比べて少ない占有面積での設置が可能である。このような省スペース型の観測施設を採用しているために、住宅地に位置しながらも比較的高い自由度で観測点用地を選定することができた。この3観測点を松本盆地周辺に新設したことによって、この地域の観測点間隔は約15kmからほぼ10km以内と向上し、断層帯に沿って発生する浅発微小地震の震源を従来よりも高い精度で決定することが可能になった。

本年度、および前年度までに整備された観測点(表 1)のデータは、防災科学技術研究所に集められた後に高感度地震観測網(Hi-net)のデータなどと共に効率的に併合処理され、気象庁や大学を始めとする各機関に転送される。また、防災科学技術研究所の地震波形処理システムによって、これらのデータに対する地震の検出と震源決定などの解析処理が速やかに行われている。こうした解析結果、たとえば震源決定の結果は、WEB上で広く公開されるとともに、地震調査委員会や地震防災

対策強化地域判定会を始めとする各種委員会資料にも利用されている。

また、観測データの蓄積も進みつつあり、そのデータは、断層帯周辺で発生する 地震の震源分布微細構造やその起震応力場についての解析にも活用された(詳細は、 次節を参照)。本業務は、このような解析ための良質な基礎データの生産にも大きく 貢献することができた。

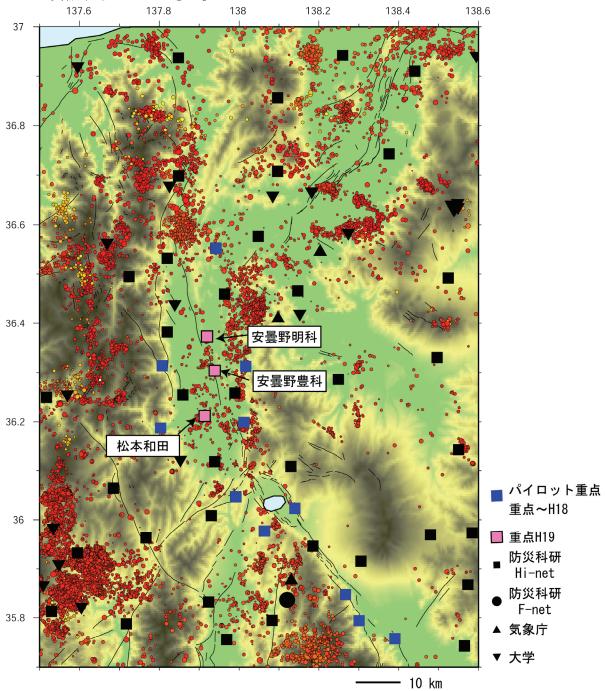


図1 本業務によって整備された観測点の分布

本業務による19年度の整備観測点を桃色四角印で、それ以前の整備観測点を青四角印でそれぞれ示す。それ以外の既設観測点を黒いシンボルで表す。また、2001年2月から2008年2月の期間に発生した浅発地震の震央(防災科研Hi-net手動検測震源)を赤丸印で併せて示す。

表1 本業務によって整備された観測点 (緯度および経度は世界測地系による)

観測点名	読み	観測点コード	緯度(度)	経度(度)	センサ ー標高 (m)	備考
松本赤怒田	まつもとあかぬた	N. MANH	36. 3127	138. 0167	800	14年度設置(旧 長野 四賀)、17年度移管
松本中山	まつもと なかやま	N. MNYH	36. 1987	138. 0122	830	14 年度設置(旧 松本 中山)、17 年度移管
安曇野穂高牧	あずみの ほたかま き	N. AHMH	36. 3137	137. 8072	982	15 年度設置(旧 長野穂高)、17 年度移管
信州新信級	しんしゅ うしんの ぶしな	N. SNBH	36. 5533	137. 9415	705	16 年度設置(旧 信州 新町)、17 年度移管
松本安曇	まつもと あずみ	N. MAZH	36. 1868	137.8030	760	16 年度設置(旧 長野安曇)、17 年度移管
諏訪四賀	すわしが	N. SSGH	36. 0233	138. 1400	811	17年度設置
諏訪後山	すわうし ろやま	N. SUYH	35. 9772	138.0636	965	17年度設置
辰野小野	たつのお	N. TONH	36. 0467	137. 9917	889	17年度設置
北杜白州南	ほくとは くしゅう みなみ	N. HQSH	35. 7974	138. 2982	724	18 年度設置
北杜白州北	ほくとは くしゅう きた	N. HQNH	35. 8501	138. 2644	1103	18 年度設置
韮崎円野	にらさき まるの	N. NRSH	35. 7604	138. 3874	534	18 年度設置
松本和田	まつもとわだ	N. MWDH	36. 2118	137. 9140	562	19 年度設置
安曇野豊科	あずみの とよしな	N. ATYH	36. 3036	137. 9390	493	19 年度設置
安曇野明科	あずみの あかしな	N. AAKH	36. 3726	137. 9203	483	19 年度設置

2) 断層帯周辺域における高精度震源決定および応力逆解析

a) 背景

断層帯周辺で発生する微小地震活動の詳細な震源分布を推定することは、断層と現在の地震活動との関係を理解する上で重要である。そこで本研究では、断層帯周辺域の詳細な震源分布を推定するため、波形の相互相関データを取り入れた高精度相対震源決定を行った。また、断層帯周辺域を支配する起震応力場を推定するために、多重逆解法による応力逆解析を行った。

b) データおよび手法

本研究では、平成 14 (2002) 年 1 月~平成 19 (2007) 年 5 月の期間に断層帯 周辺域で発生した 9600 個の震源について震源再決定を行った。観測点は、防災 科学技術研究所高感度地震観測網 (Hi-net)、気象庁、東京大学地震研究所、名 古屋大学の定常観測点のうち震央距離が 120 km 以内のものを使用した。震源決 定法は、Double Difference 法 (Waldhauser and Ellsworth, 2000) を用いた。 この手法はP波およびS波の到達時刻の検測値データのみならず、波形相関解析 による位相差から得られる精度の高いデータをも使用することができるため、相 対位置としては高精度の震源決定が可能である。ここでは、P波およびS波につ いて、Hi-net 手動検測値データによる 82 万ペアおよび 87 万ペアの位相差データ をそれぞれ用いるとともに、以下の波形相関解析による高精度な位相差データを も用いた。波形相関解析においては先ず、通過帯域3~20 Hz のバンドパスフィ ルターによって処理した記録波形の中からP波およびS波部分を含む 0.75 秒間 を切り出し、同一観測点で観測された複数の地震同士の組み合わせ(以下、イベ ントペア)についラグ相関を評価した。この相互相関係数を最大にするようなラ グに基づいて、位相差データを得ることが可能である。本研究では、相関係数が 0.8 以上となるようなイベントペアについて、その位相差データを震源再決定に 使用した。そのようなイベントペアは、P波については 56 万ペア、S波につい ては51万ペアであった。また、震源再決定に必要となる初期震源は、武田(2007) による3次元速度構造によって予め決定したものを用いた。

一方、一般的な起震応力場の解析では発震機構解がデータとして必要であるため、ここでは先ず、P波初動極性とP波および SH 波の振幅値をデータとして発震機構解の推定を行った。より具体的には、Ide et al. (2003)に従ってデータをより良く説明するような発震機構解や地震モーメントを推定した後に、Imanishi et al. (2004)による振幅補正値を導入した発震機構解の再決定を行った。このような解析を、P波極性が 10 点以上あるイベントについて行った。その結果、断層帯周辺で発生するマグニチュードが 1.2~3.5 の地震 307 個について、その発震機構解を決定することができた。

次に、このようにして決定された発震機構解を説明するような応力場(主応力軸方向、および応力比 $R=\sigma 2-\sigma 3/\sigma 1-\sigma 3$)を、Otsubo et al. (submitted)によって改良された多重逆解法(Yamaji, 2000; Otsubo and Yamaji, 2006)によっ

て推定した。この手法では先ず、複数の発震機構解データの中からその一部を抜き出して応力逆解析(Angelier, 1984)を行い、その操作をすべての組み合わせに対して繰り返すことによって複数の応力解を得る。その後に、その複数の応力解の分布を k-means クラスタリング法(Otsubo et al., 2006)によって解析することによって、客観的に有意な応力解を検出することができる。そのため、ある解析対象領域が空間的に一様な応力場の下にあることを仮定せずに解析を行い、その領域を支配する複数の応力解を検出することが可能である。以上で述べたような解析を、諏訪湖より北側と南側の2つの領域に分けて行った。

c) 震源分布

再決定された断層帯周辺域における震源分布を図2に示す。諏訪湖より北側では、主として断層帯よりも東側で地震活動が活発であるが、南側では断層帯の西側で地震活動が活発である(図2(a))。

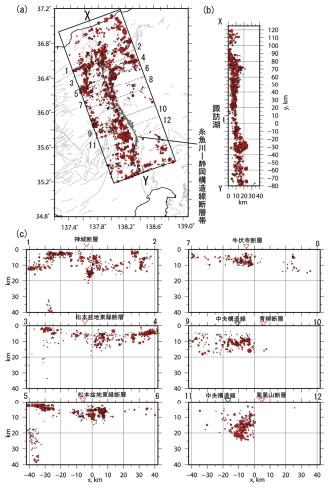


図2 波形相関データを用いて再決定された震源の分布

(a) 震央分布、(b) X-Y 断面における震源の深さ分布、および (c) X-Y に直交するそれぞれの断面における震源の深さ分布をそれぞれ示す。赤色丸印は震源を表す。(a) 図中の太実線および細実線は、糸魚川ー静岡構造線断層帯を構成する断層の地表トレースおよびそれ以外の活断層をそれぞれ表す。また、(c) 図中に地表における断層の位置を三角印で示す。

断層帯の走向方向に沿った深さ断面図(図 2 (b))で見ると、地震発生層の厚さは諏訪湖周辺で最も薄くなり、断層帯北部の神城断層周辺および断層帯南部では厚くなる傾向がある。また、地震発生層の上限については、諏訪湖より北側と比較して南側では深くなる傾向がみられる。このような、地震発生層の分布の地域性は、断層帯に沿った地下の温度構造を反映している可能性がある。

一方でより詳細にみると、断層帯に沿って発生する地震の活動度は空間的に一様ではなく、局所的に活発な地震活動が震源クラスターを形成している。たとえば、北部の神城断層を含む断面(図 2 (c) $1\sim2$ 断面)では断層下の深さ $13\sim17$ km 付近にクラスターが存在し、松本盆地東縁断層を含む断面($3\sim4$ 、 $5\sim6$ 断面)では断層東側の深さ $5\sim15$ km の範囲に地震活動が集中していることが分かる。また、牛伏寺断層下($7\sim8$ 断面)では、断層の真下に地震活動が存在する。一方、断層帯南部域では($9\sim10$ 、 $11\sim12$ 断面)、地震活動が活発な領域が西傾斜と考えられている断層の深部延長上に位置している。以下では、これらのクラスターについてのより詳細な震源分布について述べる。

まず、神城断層周辺の深さ 13~17 km における震源分布を発震機構解とともに 図 3 に示す。震央分布図(図 3 (a)) からはこの領域の地震活動はほぼ南北に分布

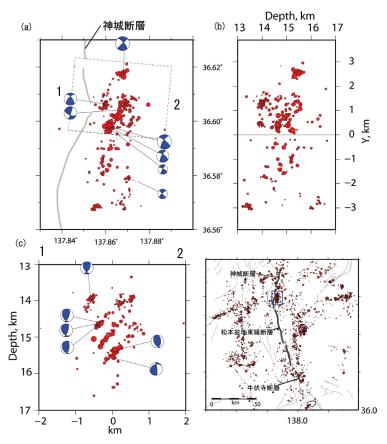


図3 神城断層南端部域深さ13~17 km における震源分布

(a) 震央分布、(b) 南北鉛直断面における震源の深さ分布、および (c) 図(a) 中に示す線分 $1 \sim 2$ に沿った鉛直断面における震源の深さ分布をそれぞれ示す。図(a) および(c) には主な地震の発震機構解を紙面下側半球への等積投影で併せて示す。なお、右下の領域図中の青色矩形領域は、図(a) 中の図示領域を表す。

しているが、 $1\sim 2$ 断面における深さ分布((c))を見ると多数の地震が西に傾斜する $3\sim 4$ 枚の面に沿って発生していることがわかる。このような面状分布は、微小な断層面に沿って発生する多数の地震によって構成されているものと考えられるが、上述の面状の震源分布は、東傾斜と考えられている神城断層とは一致しない。このことから、これらの地震活動は神城断層に沿って発生したものではないと考えられる。

次に、牛伏寺断層周辺の震源クラスターについても特徴を述べる。この領域では牛伏寺断層地表のトレース下に断層走向とほぼ一致するような震源の並びが見られる(図4(a))。このクラスターで発生する地震の発震機構解は北西~南東圧縮の横ずれ断層型であり、それらの地震の分布は発震機構解の節面とも調和的である。これらのことから、このクラスターはほぼ鉛直な小断層に沿って発生する横ずれ断層型の地震によって構成されていると考えられ、その小断層は牛伏寺断層と関連している可能性がある。

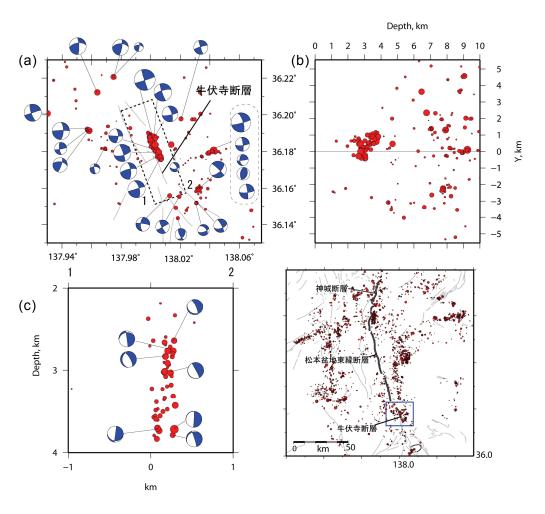


図4 牛伏寺断層周辺における震源分布

(a) 震央分布、(b) 南北鉛直断面における震源の深さ分布、および (c) 図(a) 中に示す線分 $1 \sim 2$ に沿った鉛直断面における震源の深さ分布をそれぞれ示す。他は図 3 に同じ。

最後に、断層帯南部における震源分布(図 5)について述べる。この地域では、断層帯の西側の深さ 5~25 km の範囲に震源が分布しており(図 5 (b) (c))、大局的には震源がまばらに分布しているが、一部の領域ではクラスターをなす震源分布も見られる(図 5 (a) 矩形領域)。図 5 (a) 中の矩形領域内で発生した地震について、 $1 \sim 2$ 断面における深さ分布を図 6 に示す。図からは、西方向に傾斜する面上に震源が分布していることがわかり、その面は発震機構解の節面とも調和的である。震源分布や発震機構解にみられるこのような特徴は、西傾斜の小断層の存在を示唆しており、その位置はやはり西傾斜と考えられている断層帯の深部延長と概ね一致する。しかしながら、このクラスター以外にも地震活動が広く見られることから、断層帯との直接の関連についてはより詳細な検討が必要であろう。

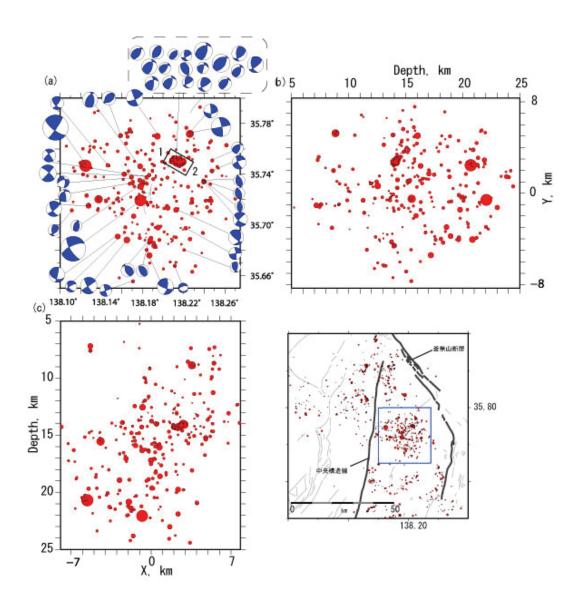


図5 断層帯南部域における震源分布

(a) 震央分布、(b) 南北鉛直断面、および (c) 東西鉛直断面における震源の深さ分布をそれぞれ示す。他は図3および4に同じ。

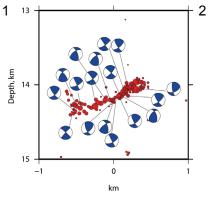


図6 1~2鉛直断面における震源の深さ分布

図 5 (a) 中の黒色矩形領域内で発生した地震について、 $1 \sim 2$ 鉛直断面における震源の深さ分布を示す。シンボルについては図 3 から 5 に同じ。

d) 発震機構解と起震応力場

本研究において決定された発震機構解のP軸方位角の空間分布を図7に示す。ここでは、Flohlich(1992)の定義に従って発震機構解を分類し、色分けして示す。図中に挿入されているローズダイヤグラムは発震機構解のP軸方位の頻度分布を表しており、解析対象領域全域でみると西北西~東南東方向のP軸を持つ地震が多いことが分かる。より詳細に地域性を見ると、神城断層南端部域では東西方向のP軸を持つ横ずれ型および中間型の地震が多く発生しているのに対して、松本盆地西縁断層帯の東側および牛伏寺断層周辺では北西~南東方向のP軸を持つ横ずれ断層型の地震が卓越している。また、断層帯南部では北西~南東から東西方向のP軸を持つ逆断層型の地震が多く発生していることも分かる。一方、中央構造線周辺では、西北西~東南東方向のP軸を持つ横ずれ断層型の地震が発生している。このように、断層帯周辺で発生する地震の発震機構解には地域性が見られることが分かった。

次に、多重逆解法による応力逆解析の結果を示す(図8)。諏訪湖より北側と南側の2つの領域に分けた解析の結果、諏訪湖より北側の領域では2つの応力場;最大主応力(以下、 σ 1)軸が N120 $^{\circ}$ E 方向で応力比(以下、R) =0.5 の解(応力 A)、および σ 1 軸が東西方向で R=0.4 (応力 B)が検出された。それに対して、南側の領域では3つの応力場; σ 1 軸が東西方向で R=0.1(応力 C)、 σ 1 軸が N112 $^{\circ}$ E 方向で R=0.3 (応力 D)、および σ 1 軸が N120 $^{\circ}$ E 方向で R=0.6 (応力 E)、が検出された。このようにして検出された応力解がそれぞれの発震機構解をどの程度説明するのかを評価するために、それぞれの発震機構解の節面においてそれぞれの応力解から期待される最大剪断すべり方向と観測されたすべり方向とを比較した。この際に、ある一つの地震について、ある一つの応力解がそのすべり方向を良く説明するものの、他の応力解ではすべり方向が上手く説明できないような場合には、その地震の震源近傍の応力場は"すべり方向を良く説明する応力解"であると考えることが出来る。この考えに基づいて、一つの応力解でのみすべり方向を良く説明できるような地震の震央位置に対応する最適な応力解の σ 1 軸の方向とRを図示し(図9)、応力場の地域性の検出を試みた。その結果、断層帯

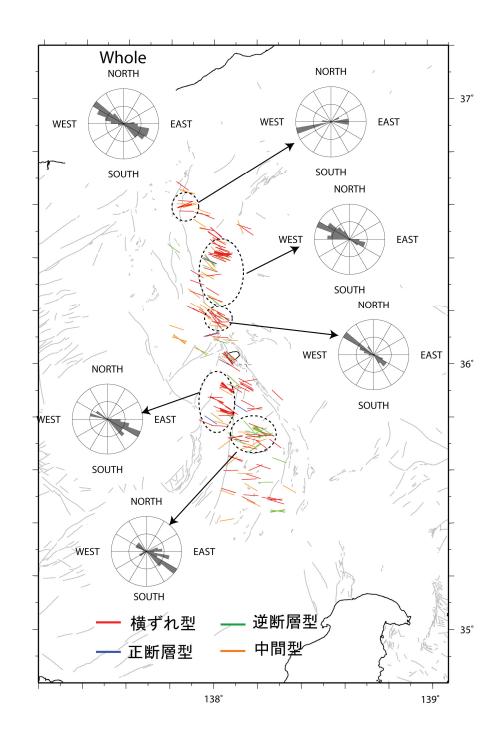


図7 断層帯周辺域における P 軸方位の分布

発震機構解のP軸方位を震央位置に棒印で示す。棒印の色は発震機構解のタイプ (Flohlich (1992))を表し、赤色は横ずれ断層型、緑色は逆断層型、および橙色は中間型をそれぞれ表す。ただし、正断層型の発震機構解については、B軸方位を青色棒印で示す。また、楕円で示す5領域および全領域について、P軸方位の10度毎の頻度分布をそれぞれの領域についての最大頻度で規格化して、ローズダイヤグラムに示す。

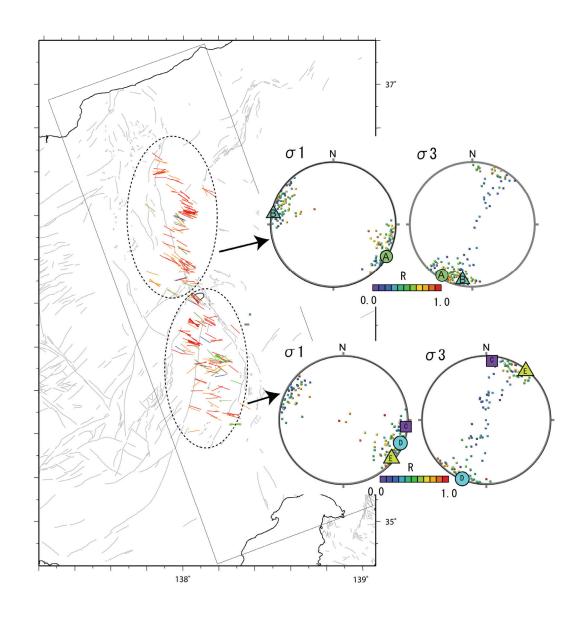


図8 多重逆解法により推定された応力場

諏訪湖以北および以南で発生した地震についての解析結果を、上および下のパネルにそれぞれ示す。ステレオネット上のシンボルの位置は σ 1 軸および σ 3 軸方向を、色は応力比Rをそれぞれ表す。それぞれの領域について、全データの中からその一部を抜き出しての応力逆解析を繰り返し行った結果を小丸印で示す。また、それらの分布についてのk-means クラスタリング解析(Otsubo et al., 2006)によって推定された有意な応力解を大きなシンボルで示す。大きなシンボル中の文字は、本文中の応力AからEにそれぞれ対応する。諏訪湖以北および以南の領域区分を図7と同様の図中(左のパネル)に楕円で併せて示す。

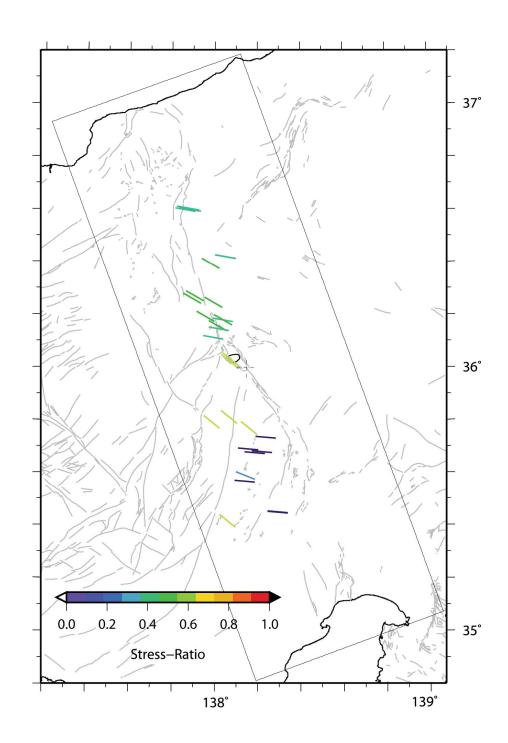


図9 応力場の地域性

ただ一つの応力解によってその発震機構解が説明されうる地震について、その応力解の σ 1軸の方位を棒印で震央位置に示す。カラースケールは応力比Rを表す。

北部の神城断層周辺では東西圧縮の応力Aが作用し、松本盆地東縁断層や断層帯中部の牛伏寺断層周辺では応力AとBが混在することが分かった。一方、断層帯南部では、応力Cが卓越していることも分かった。応力Cは応力比Rが低く、逆断層型が卓越する発震機構解の分布とも調和的である。また、中央構造線周辺では、より応力比が高い応力解Eが卓越しており、この地域が横ずれ断層の卓越する応力場であることを示唆している。このような応力場の情報は、断層運動とその駆動力についての理解のみならず、大地震時の断層の振る舞いやそれに伴う強震動の予測にも有用であろう。例えば、ある応力場が断層面上に及ぼす最大剪断応力の方向が地震時の断層すべりの方向であると仮定した上で、神城断層について地震調査研究推進本部地震調査委員会(1997)を参考にその走向をN3°E、傾斜角を40°~70°とモデル化すると、推定された応力場(応力A)から期待される断層運動は、左横ずれ成分を含む逆断層となることが分かった。

e) まとめ

本研究によって断層帯周辺域の地震活動の全体像が明らかとなった。断層帯の北部では断層帯の東側に地震活動が集中し、一方南部では西側に地震活動が集中する。このような地震活動の分布は、断層帯が諏訪湖を境に北側と南側で断層形状が大きく異なることを反映しているのかもしれない。想定される断層面と調和的な地震活動が見られた領域は、牛伏寺断層周辺あるいは断層帯南部の一部のクラスターのみであり、それ以外の領域では、想定される断層面形状と一致するような震源分布はみられなかった。この結果は、大地震が発生してから次の大地震が発生するまでの間(地震間)には、その起震断層では地震は殆ど発生せずに固着し、その周辺に分布する小断層に沿って微小地震が発生するといった、地震間における地震活動の性質を反映しているのかもしれない。また、応力逆解析によって推定された応力場からは、神城断層で左横ずれ成分を含む逆断層すべりが期待されることがわかった。推定された応力場からは、断層帯の断層形状に対して北部および南部では逆断層のすべりが、中部では横ずれ断層のすべりが期待される。この傾向は、想定される断層すべり方向と概ね一致する。

謝辞:発震機構解の決定には、東京大学の井出哲博士から提供していただいたプログラムを使用させて頂きました。産業技術総合研究所の今西和俊博士には発震機構解決定に関するアドバイスを頂きました。また、産業技術総合研究所の大坪誠博士には、多重逆解法のプログラムを提供して頂き、応力解析に関するアドバイスを頂きました。記して感謝いたします。

(e) 引用文献

- 1) Angelier, J., Tectonic analysis of fault slip data sets, J. Geophys. Res., 89, 5835-5848, 1984.
- 2) Flohlich, C., Triangle diagrams: ternary graphs to display similarity and diversity of earthquake focal mechanisms, Phys. Earth Planet. Interiors, 75,

- 193-198, 1992.
- 3) Ide, S., G. C. Beroza, S. G. Prejean, and W. L. Ellsworth, Apparent break in earthquake scaling due to path and site effects on deep borehole recordings, J. Geophys. Res., 108(B5), 2271, doi:10.1029/2001JB001617, 2003.
- 4) Imanishi, K., Y. Kuwahara, T. Takeda, and Y. Haryu, The seismicity, fault structures, and stress field in the seismic gap adjacent to the 2004 Mid-Niigata earthquake inferred from seismological observations, Earth Planets Space, 58, 831-841, 2006.
- 5) Otsubo, M., A. Yamaji, and A. Kubo, Determination of stresses from heterogeneous focal mechanism data: an adaptation of the multiple inverse method, Tectonophysics, submitted, 2008.
- 6) 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会:糸魚川-静岡構造線活断層系の調査結果と評価について、地震調査委員会報告集-1995 年7月~1996 年 12 月、pp. 501-510、1997.
- 7) 武田哲也、糸魚川-静岡構造線断層帯における重点的な調査観測、平成 18 年度成果報告書、pp. 32-45、2007.
- 8) Waldhauser, F. and W. L. Ellsworth, A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, Bull. Seismol. Soc. Am., 90, 1352-1368, 2000.
- 9) Yamaji, A., The multiple inverse method: a new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. J. Struct. Geol., 22, 441-452, 2000.

(3) 平成20年度業務計画案

計器深度を約 20~50 m 程度とする 4 観測点を長野県大町市周辺に新設して、この地域に分布する震源クラスターについて、更なる震源決定精度の向上を図る。震源クラスターの直上での地震観測は、そのようなクラスター周辺の速度構造を詳細に推定するためにも重要である。また、これまでに整備した観測点の維持管理に努めるとともに、データの蓄積および公開を実施する。

また、現在蓄積されているデータを用いて地殻内の不均質構造を推定し、前年度までに 得られた結果との比較から、断層セグメント境界の性状の把握に努める。