

3. 7 GPS 観測による詳細地殻変動分布の解明

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 GPS 観測による詳細地殻変動分布の解明

(b) 担当者

所属	役 職	氏 名
国土地理院 地理地殻活動研究センター	主任研究官	西村 卓也
	主任研究官	矢来 博司
	研究官	水藤 尚
国立大学法人 名古屋大学大学院環境学研究科	教授	鷺谷 威

(c) 業務の目的

糸魚川－静岡構造線断層帯（以下糸静線）の周辺において GPS の稠密なキャンペーン観測を繰り返し実施し、周囲の GPS 連続観測点のデータと合わせて解析することにより当該地域における地殻変動の詳細な分布を明らかにし、断層帯周辺における応力蓄積過程を検討するための基礎データを提供する。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画（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で設置した 27 ヶ所のキャンペーン観測点において GPS 観測を実施し、周囲の連続観測点とともに解析を行って、糸静線北部・中部の詳細地殻変動を明らかにした。

2) 平成 18 年度：

糸静線中部（諏訪湖周辺）に 7 ヶ所の観測点を新設し、既存の糸静線北・中部の観測点 23 ヶ所を合わせた 30 ヶ所において GPS 観測を実施した。

3) 平成 19 年度：

パイロット的な重点的調査観測と平成 18 年度に設置した観測点の中から、観測条件の良好な 27 ヶ所において GPS キャンペーン観測を実施した。

4) 平成 20 年度：

パイロット的な重点的調査観測と平成 18 年度に設置した観測点の中から、28 ヶ所において GPS キャンペーン観測を実施し、糸静線中部（諏訪湖周辺）における詳細地殻変動を明らかにする。

5) 平成 21 年度：

パイロット的な重点的調査観測と本重点的調査観測で設置した全ての観測点において GPS キャンペーン観測を実施し、糸静線中部と北部を合わせた観測調査地域全体の詳細地殻変動分布の解明とそのモデル化を行う。

(e) 平成 19 年度業務目的

平成 18 年度に設置した 7 ヶ所の観測点および、それ以前から観測していた糸静線北部・中部の観測点から 23 ヶ所の合計 30 ヶ所において GPS キャンペーン観測を実施する。得られた観測データは、周囲の GPS 連続観測点のデータ、平成 16 年度以前のパイロット的な重点的調査観測で得られたデータおよび平成 17 年度の観測データと合わせて解析し、当該地域における地殻変動の詳細な分布を明らかにする。

6) 平成 19 年度の成果

(a) 業務の要約

平成 18 年度に糸静線中部の諏訪湖周辺に設置した GPS キャンペーン観測点を 7 ヶ所および既存の観測点、合計 30 ヶ所で GPS キャンペーン観測を実施した。このデータを周囲の GPS 連続観測点のデータとともに解析し、正確な座標値を求め、2002 年以降の日座標値に基づいて各観測点の地殻変動速度を求めた。得られた地殻変動は、平成 18 年度までの結果と同様の傾向を示しており、観測データの増加に伴って信頼度が向上した。また、平成 18 年度に追加した観測点により、南側で詳細な地殻変動の情報が得られつつある。2007 年に北陸地方で発生した 2 つの大地震は糸静線周辺にも有意な影響を与えていると考えられ、今後の解析では注意する必要がある。

(b) 業務の実施方法

観測を行った地域は、長野市、上田市、富士見町、箕輪町、塩尻市、松本市、白馬村を結んだ範囲である。観測点は、平成 14 年度に、GPS の稠密キャンペーン観測用として最短 5 km 程度の間隔で 28 ヶ所に設置されていたが、これらに加えて、平成 18 年度に、糸静線の中部付近に 7 ヶ所の観測点の新設されている。観測点は、いずれも安定した構造物に金属製のボルトを埋設したものである。平成 19 年 11 月 14 日から 29 日にかけて、上記観測点のうち 30 ヶ所において埋設されたボルトに GPS アンテナを設置し、GPS 観測を行った。観測点を 2 つのグループに分け、各グループについて 1 週間ずつの観測を行っている

データ解析は GPS 精密解析ソフトウェアとして広く利用されている Bernese GPS Software version 5.0 を使用した。解析に際しては IGS (International GNSS Service) により決定された GPS 衛星の精密軌道および地球回転パラメータを用い、各観測点の座標値は ITRF2005 座標系における値として計算した。この目的のため、IGS 追跡局である DAEJ (テジョン)、MIZU (水沢)、TNML (新竹)、USUD (臼田)、WUHN (武漢) のデータを解析に含め、これらの IGS 観測点に対して求められている座標値を基準として糸静線周辺の観測点の座標値を計算している。座標値解析により、各観測点の精密な日座標値が得られ、6 年間にわたる日座標値から、各観測点の平均的な変位速度を求めた。また、推定された変位速度を用いて、糸静線中・北部地域における歪み速度分布の計算を実施した。

(c) 業務の成果

得られた座標値変化の例を図 1 に示す。図 1 の座標値変化は、IGS の USUD 観測点に対する変化に換算している。キャンペーン観測点、連続観測点とも、日座標値の再現性は水平方向で 2 ～ 3 mm、上下方向で 10 ～ 20 mm 程度となっており、6 年間の観測により年間 1 ～

2 mm 程度の地殻変動を議論するのに十分な精度が得られている。なお、2002 年から 2003 年にかけて、国土地理院の GPS 連続観測点 (GEONET) でアンテナ交換が行われたため、それに伴うステップ状の変化が座標値に表れている。また、2004 年 9 月の紀伊半島南東沖地震、2004 年 10 月の新潟県中越地震の観測地域に対する影響は 2 mm 程度以下と考えられ、地殻変動速度の推定に対する影響は無視できる。2007 年 3 月の能登半島地震、2007 年 7 月の新潟県中越沖地震について、提案されている断層モデル (国土地理院, 2007, 2008) を用いて各観測点で期待される地殻変動を計算したところ、観測網の北東端および北西端付近において、最大 1 cm 程度の変位が生じ、観測網の中央部付近でも 5 mm 程度の変位があると予想される (図 2)。図 2 から、糸静線の周辺では、震源における節面との関係から 2007 年能登半島地震の影響の方が出やすい。図 3 に示す地殻変動速度の推定結果は、約 5 年間にわたる観測結果を使って求めているため、2007 年の地震時地殻変動の影響はそれほど顕著ではないが、次年度以降の解析では 2006 年と 2007 年の観測の間にステップ状の変化がある仮定して速度推定を行う必要がある。

図 3 は、日座標値変化を直線近似することにより得られた地殻変動速度の分布を示したものである。この場合も USUD を基準として計算を行っている。GEONET 観測点については、アンテナ交換の影響があるため 2003 年以降のデータを用いて、その他の観測点については 2002 年以降のデータを用いて速度推定を行った。図 3 の結果は、概ね平成 18 年度までに得られていた結果と同じであるが、観測期間が長くなったことに伴い、着実に精度向上の跡が認められる。また、平成 19 年度に設置した観測点についても、わずか 2 回の観測ながら、周囲の観測点と整合的な地殻変動が概ね推定されていることが分かる。

図 3 に見られる地殻変動の特徴は、ほぼ昨年までに報告した通りである。主な特徴を以下に挙げる。(1) 北部では長野盆地西縁断層より西側で東西方向の短縮変形が顕著である。(2) 中央隆起帯では変形が小さく、その西縁が変形フロントになっている。(3) 明科付近を境として、北側では西北西－東南東方向の短縮が卓越するのに対し、南側では糸静線に対する左横ずれの変形が見られる。

以上のような地殻変動の特徴は、図 4 の白馬－長野、大町－上田および松本周辺の地殻変動速度プロファイルからも読み取ることができる。一番北の白馬－長野方向の地殻変動速度プロファイル (図 4 (a)) では、糸静線および長野盆地西縁断層のところで、 $N105^{\circ} E$ 方向の速度が不連続に変化しており、両者に挟まれた部分では顕著な変形が見られない。このことは、広域的な短縮変形が東西 2 つの断層帯のごく近傍で集中的に賄われていることを示しており、断層面が固着せずにクリープ運動している可能性が考えられる。大町－上田方向 (図 4 (b)) では、糸静線の周辺の幅 30 km 程度の中で短縮が解消されている。また、糸静線の西側の北アルプスに位置する観測点 3 点で系統的に隆起の傾向が見られる。これまでの 6 年におよぶ観測結果から考えて、北アルプスでは 2 ～ 5 mm/年程度の隆起が生じている可能性が高い。ただし、隆起が生じている範囲は東西方向の幅にして高々 30 km 程度であり、比較的狭い範囲に集中している。一方、大町－上田方向の糸静線より東側では、R004 (生坂村上宇留賀) で $3.1 \pm 0.8 \text{ mm/yr}$ の隆起が検出されている。ただし、隣接する観測点は必ずしも隆起しておらず、短波長の分布を持つ上下変動を反映している可能性がある。糸静線中部の松本付近では、昨年までの結果では 100 km 近い幅に一樣な剪断変形が見えると報告していたが、今年の結果を見る限り、断層周辺にやや剪断変形の集中が見

られ、全体としては逆正接関数 ($\arctan$) で表されるような地殻変動分布に見える。その際の断層を挟んだ両側のブロックの平均変位速度は 5 mm/年程度である。こうした断層の振る舞いや変形様式が断層の走向方向に大きく変化することは糸静線の重要な特徴である。

図 5 および図 6 には、Sagiya et al. (2000) の方法を用いて計算した糸静線中部・北部周辺の地殻歪み速度の分布を、歪み速度の主軸 + 面積歪み速度 (図 5) および最大剪断歪み速度および最大剪断方向 (図 6) で表示した。平成 18 年度の報告書では、同様の図を相関距離 20 km として計算していたが、ここでは、地殻変動の分布をより詳細に見るため、相関距離 15 km で計算した結果を示した。短縮変形が本当に集中している領域の幅が高々 30 km 程度と狭いこと、明科付近より北側で短縮変形が特に顕著になること、松本市周辺では糸静線沿いに剪断歪みの集中帯が存在することなど数多くの興味深い特徴が見て取れる。

(d) 結論ならびに今後の課題

糸静線の中部・北部地域において GPS キャンペーン観測を実施し、周囲の GPS 連続観測点のデータとともに解析し詳細な地殻変動分布を求めた。平成 18 年度に設置した観測点により、詳細な地殻変動の情報が南側に広がりつつある。推定された地殻変動分布は、糸静線に沿って顕著に変化する地殻変動パターンを明瞭に示している。また、北アルプスの観測点が隆起している可能性の高いことが分かってきた。なお、2007 年に発生した能登半島地震および中越沖地震は、本研究地域内においても有意な変動を伴った可能性があり、今後の地殻変動解析においては十分注意した扱いが必要である。

観測を継続してデータの精度を向上するとともに、数値モデル計算等を通じて地殻変動のメカニズムを解明し、そうした糸静線における応力蓄積過程を明らかにしていくことが今後の課題である。

(e) 引用文献

- 1) Sagiya, T., S. Miyazaki, and T. Tada, Continuous GPS Array and Present-day Crustal Deformation of Japan, PAGEOPH, 157, 2303-2322, 2000.
- 2) 国土地理院, 平成 19 年(2007 年)能登半島地震に伴う地殻変動について, <http://cais.gsi.go.jp/HENDOU/index27.html>, 2007.
- 3) 国土地理院, 「平成 19 年(2007 年)新潟県中越沖地震」の震源断層モデルを更新, <http://cais.gsi.go.jp/Research/topics/topic080111/index.html>, 2008.

7) 平成 20 年度業務計画案

平成 20 年度は、平成 19 年度と同様、糸静線中部・北部地域の約 30 ヶ所において GPS キャンペーン観測を実施する。従来と同様に、観測点を 2 つのグループに分け、各グループについて 1 週間程度行うが、平成 19 年度に測定しなかった観測点を優先的に観測する。

また、従来と同様に周囲の連続観測点のデータおよび IGS 観測点のデータを交えて行い、各観測点の ITRF2005 座標系における座標値を求め、適当な基準点を設けて地殻変動の議論を行う。

さらに平成 20 年度は、これまでの観測から明らかとなってきた糸静線周辺の地殻

変動について、断層の応力蓄積過程と関連して解釈を進めるためのモデル計算に着手する予定である。

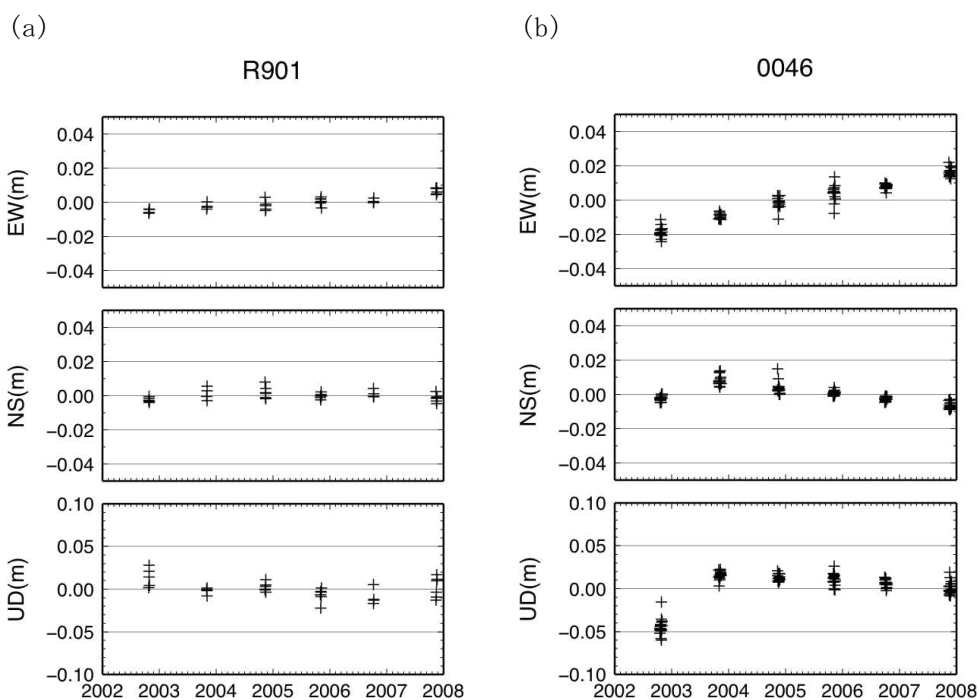


図1 キャンペーン観測による日座標値。

(a) 02R901 (キャンペーン観測点)。(b) 940046 (連続観測点、アンテナ交換あり)。

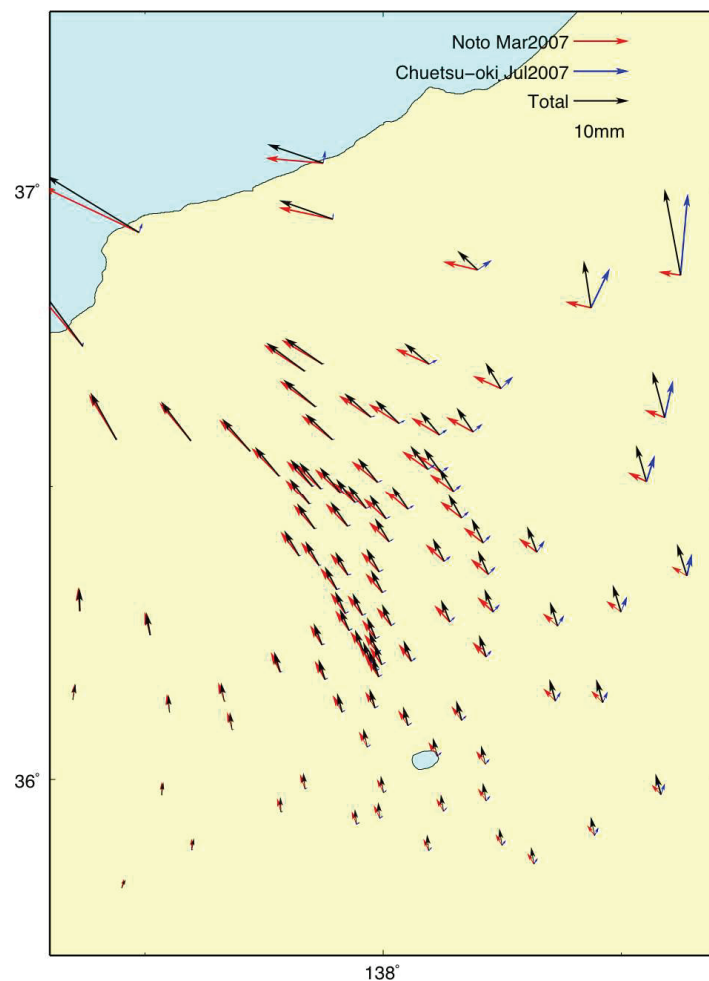


図2 2007年能登半島地震(赤)および2007年新潟県中越沖地震(青)による地殻変動のGPS観測点における予測値の分布。黒い矢印は2つの地震の影響を合算したもの。

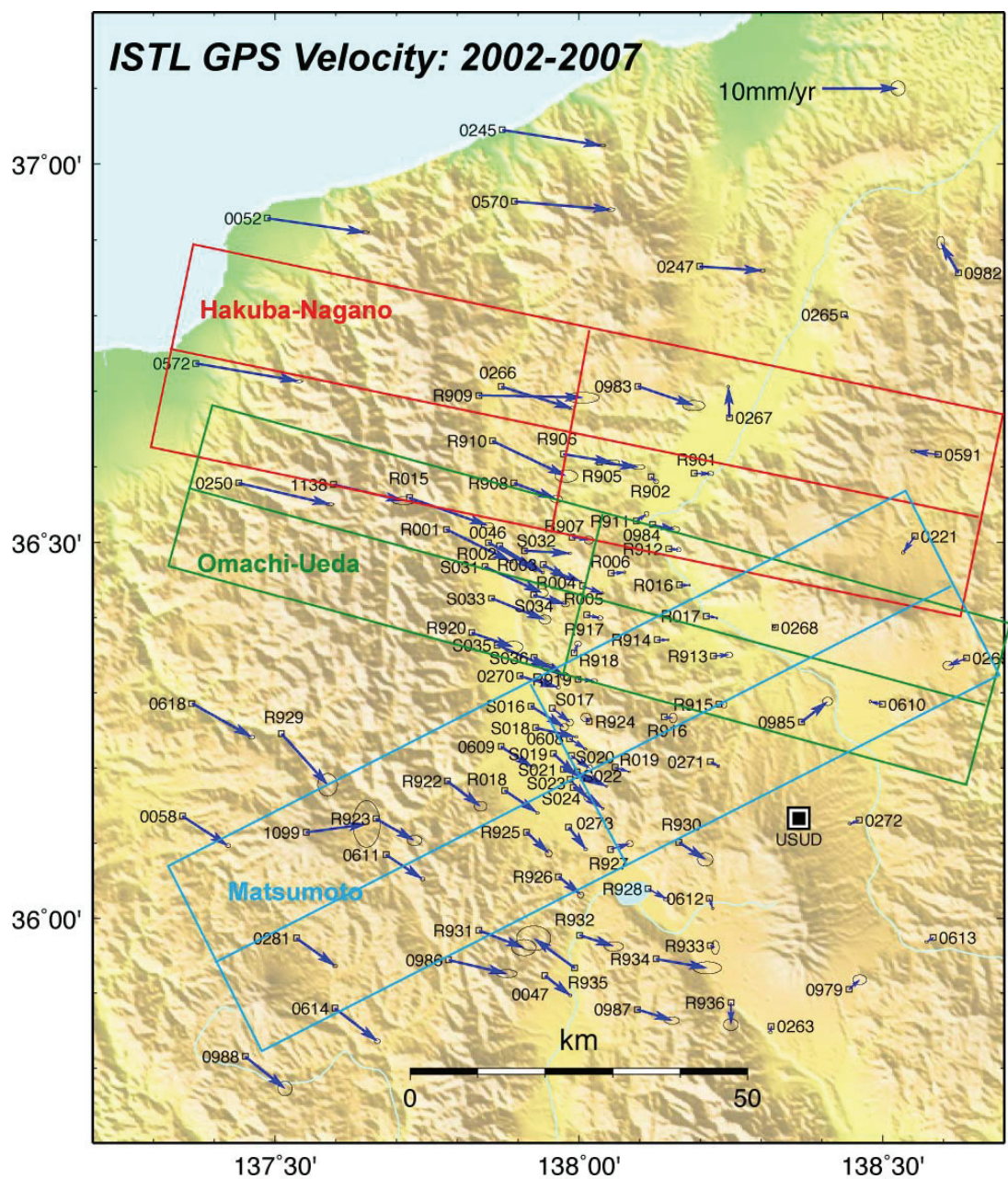
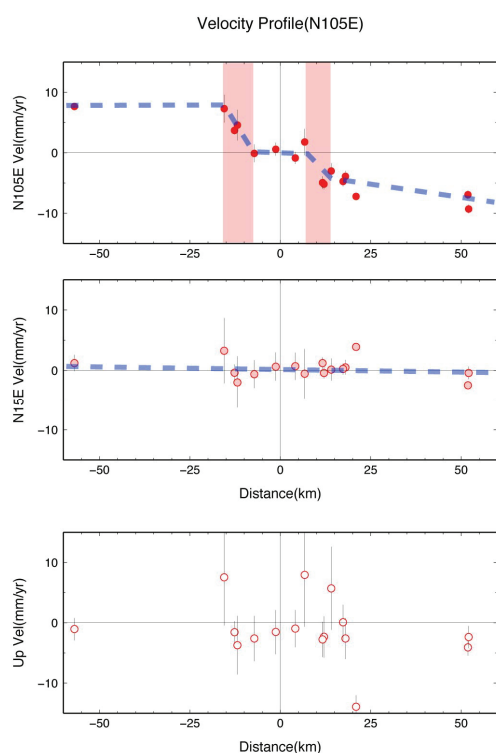
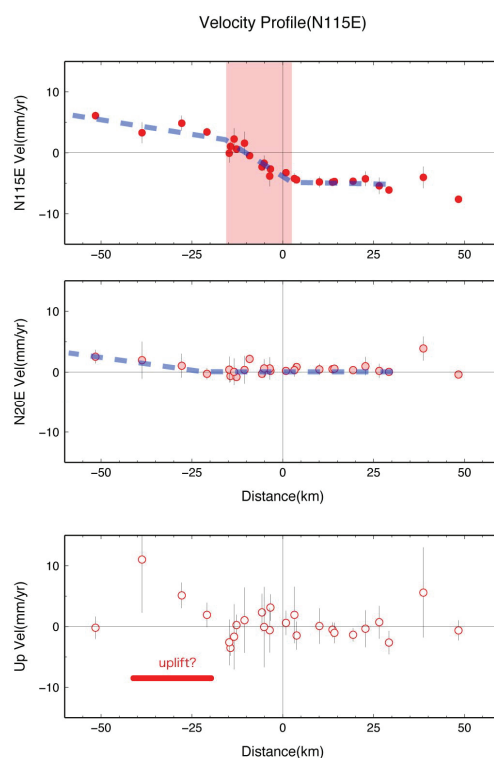


図3 糸魚川－静岡構造線断層帯周辺の水平地殻変動速度分布。
速度ベクトルの固定点は USUD（臼田）。矩形領域は、図4～6に示す地殻変動速度
プロファイルの範囲を示す。

(a)



(b)



(c)

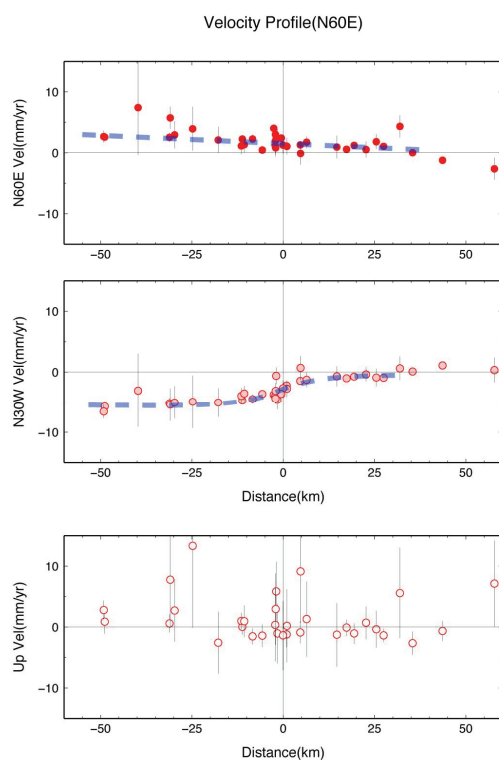


図4 図2の3つの矩形領域におけるGPS地殻変動速度のプロファイル。(a)白馬ー長野方向、(b)大町ー上田方向、(c)松本周辺。影をつけた範囲は変形集中帯である。また、大まかな変動の傾向を青の破線で示した。

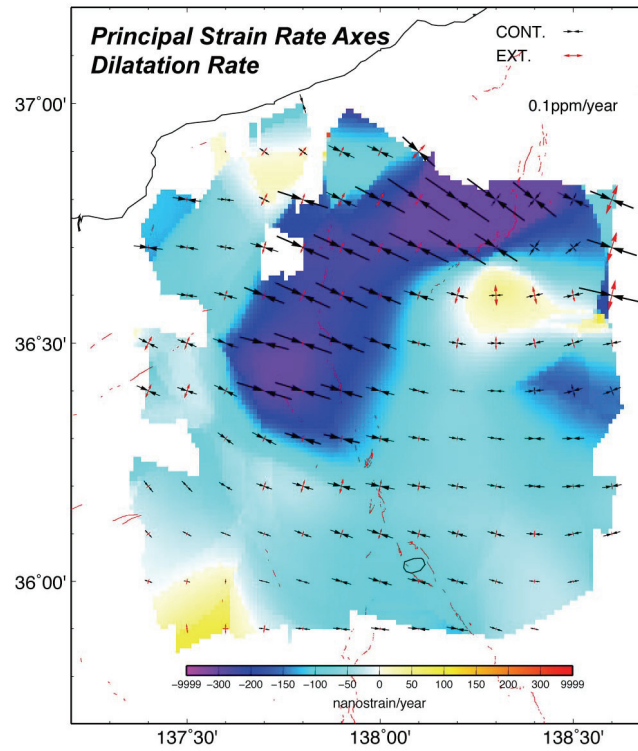


図5 糸魚川－静岡構造線中部・北部における面積歪み速度および歪み速度の主軸。

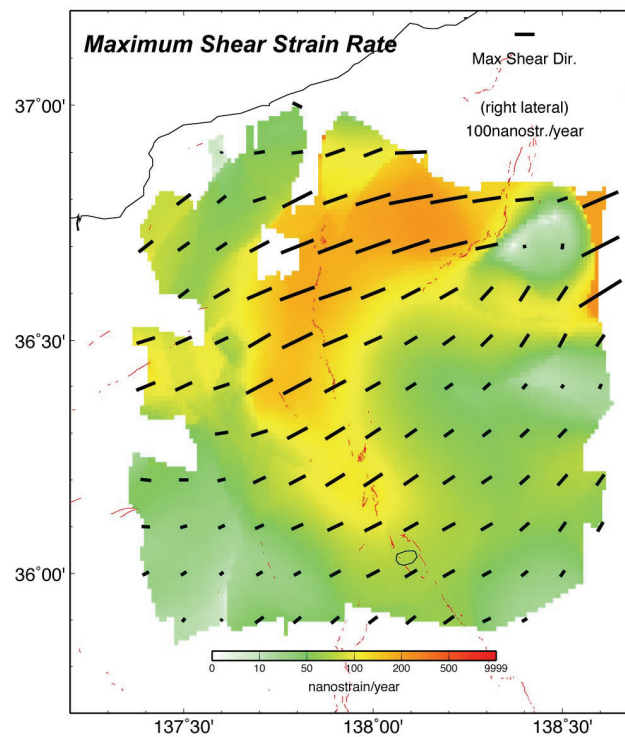


図6 糸魚川－静岡構造線中部・北部における最大剪断歪み速度の分布。