

3. 6 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 地殻変動研究室	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	助教授	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：

パイロット的重点観測で設置した 27 箇所のキャンペーン観測点において GPS 観測を実施し、周辺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 箇所の観測点を新設し、既存の糸静線北・中部の観測点 23 箇所を合わせた 30 箇所において 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 箇所において GPS キャンペーン観測を実施する。

4) 平成 20 年度：

パイロット的な重点的調査観測と平成 18 年度の設置した観測点の中から、28 箇所において 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 18 年度業務目的

糸静線中部の諏訪湖周辺に 7 箇所の観測点を新設するとともに、既存の糸静線北部・中部の観測点から 23 箇所を選定し、合計 30 箇所において 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。

(2) 平成 18 年度の成果

(a) 業務の要約

糸静線中部の諏訪湖周辺に GPS キャンペーン観測点を 7 箇所新設した。この新設観測点および既存の観測点、合計 30 箇所で 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た。さらに、2002 年以降のデータについて統一的な手法で再解析し、得られた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、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おり、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り、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。また、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といった特徴がある。地殻変動パターンは昨年度までの結果と整合的なものであるが、従来は議論ができなかった上下成分についても、地殻変動を捉えつつあると考えられる。

(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 箇所に設置されていたが、これらに加えて、平成 18 年度には、糸静線の中部付近に 7 箇所の観測点を新設した。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 18 年 9 月 27 日から 10 月 12 日にかけて、上記観測点のうち 30 箇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おり、観測点の一覧を表 1 に示す。

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。平成 17 年度までは旧バージョンである version 4.2 を使用していたため、今回の解析にあたっては、平成 14 年度以来の全観測データについて、同一の手法で再解析を実施した。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)、PETP (ペトロパブロフスク)、SHAO (上海)、TNML (新竹)、TSKB (つくば)、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、5 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

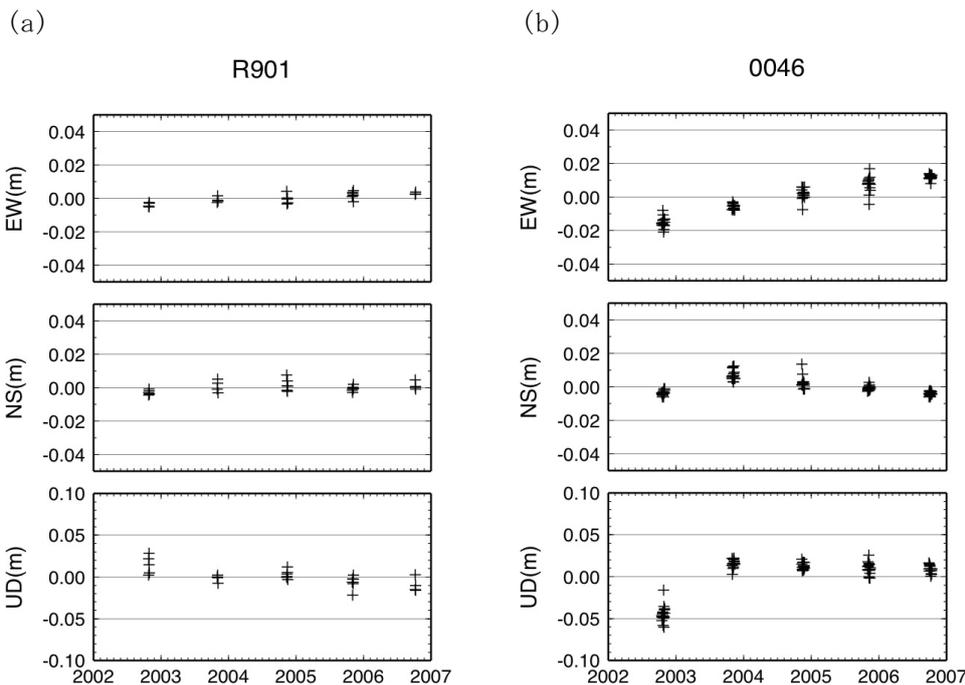


図1 キャンペーン観測による日座標値
 (a) 02R901 (キャンペーン観測点)。 (b) 940046 (連続観測点、アンテナ交換あり)

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

GPS キャンペーン観測によって得られたデータを周囲の GPS 連続観測点のデータと合わせて処理し、1日毎の座標値を計算した。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2~3mm、上下方向で10~20mm程度となっており、5年間の観測により年間1~2mm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。この結果は、昨年まで行っていた解析と比較しても顕著な違いは見られない。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)では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。

平成18年度には、糸静線中部に7箇所のキャンペーン観測点を新設して観測を行った。これらの観測点のデータも一緒に解析を行ったが、現時点においては、地殻変動を議論することはできず、今後のデータの蓄積に期待する。

図2は、図1に例示されている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17年度までに得られていた結果と整合的であるが、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。そうした傾向は、年間2~3mm程度のわずかな地殻変動速度が隣接する観測点間で互いに整合的になっていることから読み取ることがで

きる。この観測期間中には、2004年9月の紀伊半島南東沖地震や2004年10月の新潟県中越地震が発生しているが、糸静線中北部の観測地域に対する影響は2mm程度以下で、地殻変動速度の推定に対する影響は無視できることが平成17年度の結果から明らかになっている。

図2に見られる地殻変動の特徴は、既に昨年度の報告書でも指摘した通りであり、(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

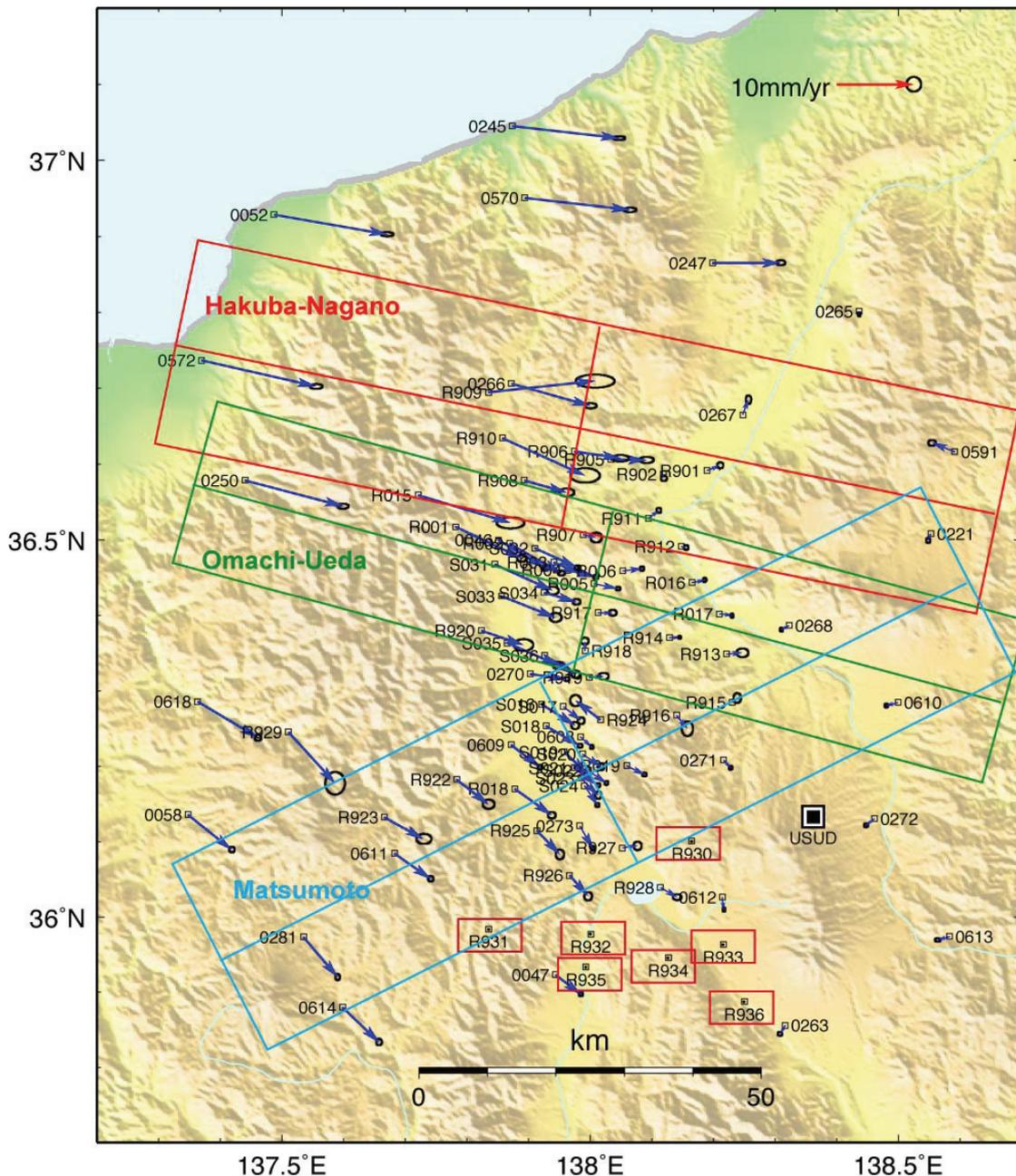


図2 糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の水平地殻変動速度分布
速度ベクトルの固定点はUSUD(白田)。矩形領域は、図3~5に示す地殻変動速度プロファイルの範囲を示す。

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3～5に示した、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3)では、糸静線(ISTL)および長野盆地西縁断層(WNBF)のところで、N105° 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も考えられる。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特徴である。大町－上田方向のプロファイル(図4)では、糸静線の周辺の幅30km程度の中で左横ずれを伴う逆断層成分が解消されるようになり、さらに南の糸静線中部松本付近のプロファイル(図5)では横ずれ成分が主体となり、変形は100km近い広い領域に及ぶ。

こうした地殻変形の不均質性は、断層面の性質とともに周囲の媒質の違いを反映しているものと考えられる。いわゆる中央隆起帯の北西側は、日本海拡大時に海底で堆積した地層が、その後に大きな短縮変形を受けている場所である。GPSによる地殻変動は、こうした地質学的な時間スケールの変形運動が、現在も継続していることを強く示唆している。

一方、長野盆地西縁断層や糸静線北部の神城断層では、現在断層が固着して弾性エネルギーを蓄積しているようには見えないが、これらの断層では1847年善光寺地震、1714年

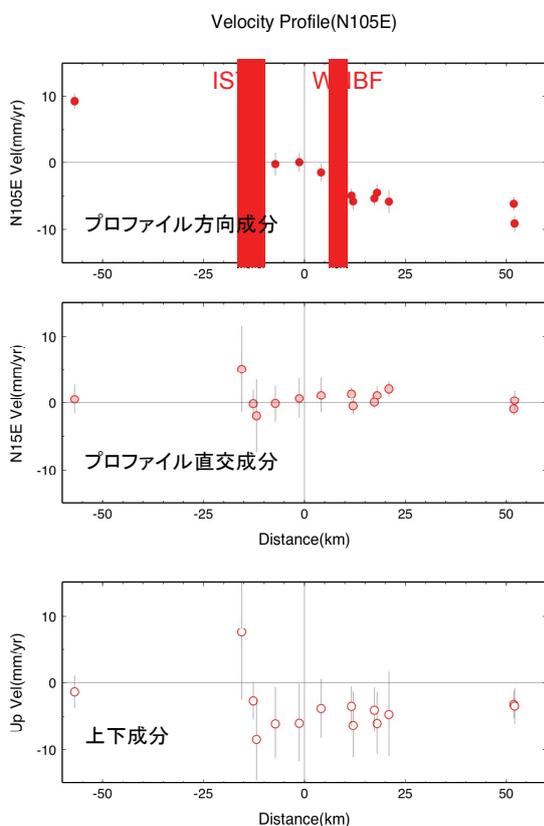


図3 白馬－長野方向の地殻変動速度プロファイル

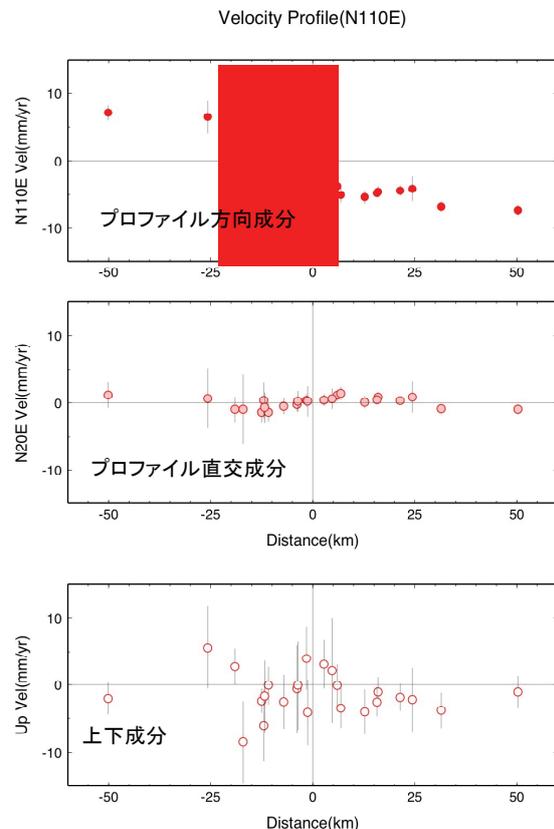


図4 大町－上田方向の地殻変動速度プロファイル

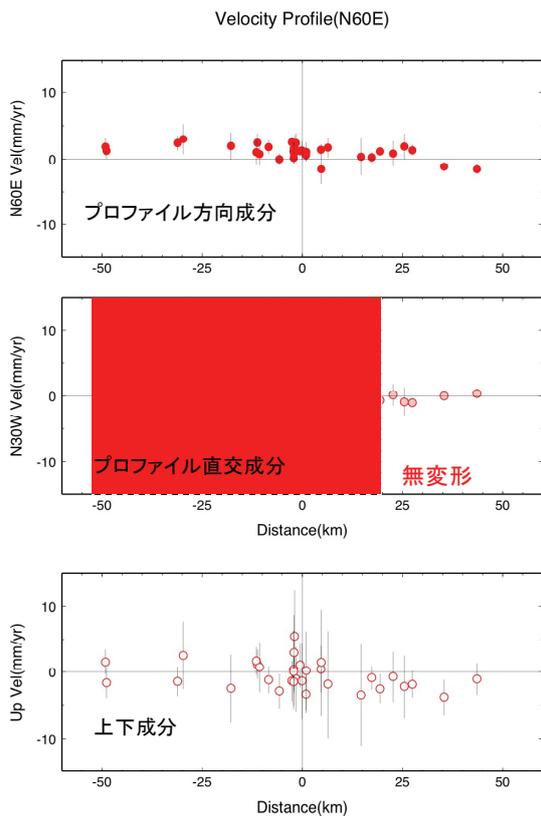


図5 松本周辺の地殻変動速度プロフィール

断層運動が期待されるので、それとはセンスが逆になっている。R004 と R005 は上田ー大町方向で顕著な短縮変形が見られる地域の観測点であり、連続観測点であることから信頼性は比較的高い。短縮変形が生じている全体ではなく、限られた範囲で隆起が見られることは、この地域の地質構造に見られる褶曲変形を作るような短縮変形が現在も継続していることを示唆する。地質構造との詳細な比較については、今後さらに詳細に議論を進めていく。R927 は、糸静線沿いで地形的な高まりが見られる塩尻峠に近い場所であり、断層のステップや変形様式の変化に応じて局所的な隆起が生じている可能性もある。R929 は糸静線とは直接関係のない岐阜県側の観測点である。この観測点と同じ建物では、大学グループが 2005 年から GPS 連続観測を実施しており、そちらとの比較が待たれる。

図6および図7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6)および最大剪断歪み速度および最大剪断方向(図7)で表している。この結果は、既に上で述べてきた内容が確認されるが、特に面積歪み速度や最大剪断歪み速度の分布において、変形集中域の東の縁が長野盆地西縁断層に一致すること、糸静線沿いの変形が中部と北部とで大きく異なることなどが明瞭に見て取れる。

(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

小谷地震など被害地震が発生しており、決して非地震性の変形のみが起きている訳ではない。これらの断層における応力蓄積メカニズムについては、今後さらに詳細な観測や変形のモデル化を通して検討する必要がある。

図3～5の地殻変動速度プロフィールでは水平成分に加えて上下成分も表示している。上下成分はばらつきも大きく不確定要素が大きいですが、いくつかの観測点で顕著な隆起が検出されている。白田に対して年3ミリを越える隆起が得られたのは、以下の6点である：R004(生坂村上宇留賀、 4.0 ± 1.6 mm/年)、R005(筑北村竹場、 3.1 ± 1.2 mm/年)、R015(大町市扇沢、 5.6 ± 2.1 mm/年)、R909(白馬ジャンプ台、 7.6 ± 3.4 mm/年)、R927(岡谷市上ノ原、 5.5 ± 2.3 mm/年)、R929(高山市栴尾、 4.4 ± 1.8 mm/年)。このうち、R015、R909、R929では北アルプスの隆起との関係が考えられる。R909は神城断層の近傍であるが、ここでは東上がりの逆

Principal Strain Rate Axes

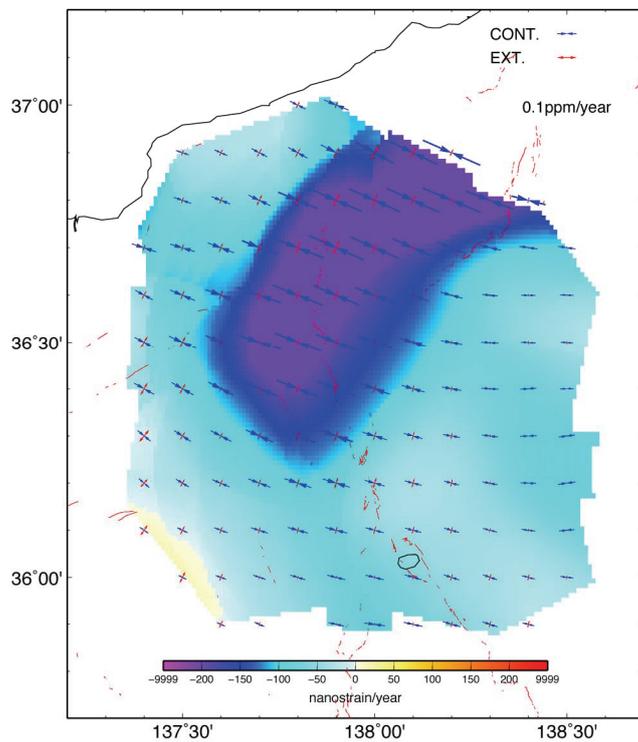


図6 糸静線中部・北部における面積歪み速度および歪み速度の主軸

Maximum Shear Strain Rate

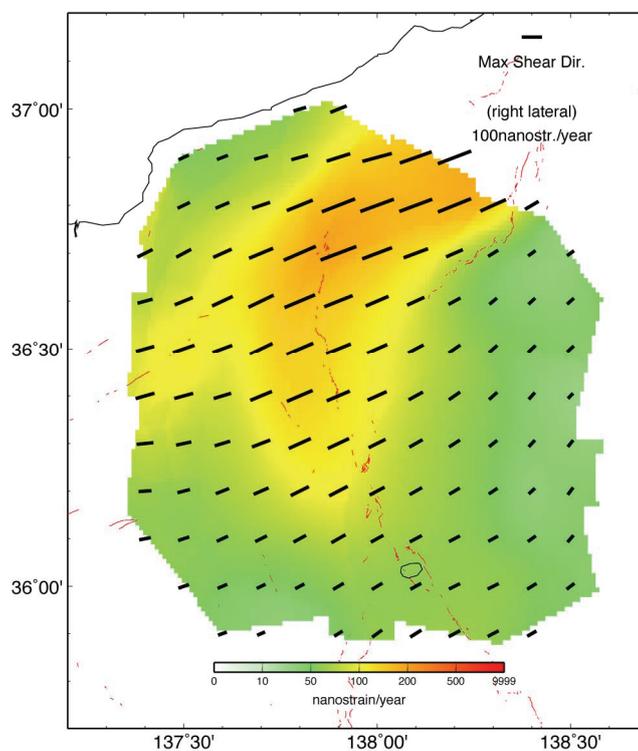


図7 糸静線中部・北部における最大剪断歪み速度の分布

のデータとともに解析した。糸静線中部では7箇所を観測点を新設し、今後の解析において参照すべき正確な座標値を求めた。2002年以降のデータについて統一的な手法による再解析を実施し、得られた日座標値に基づいて各観測点の地殻変動速度が求められた。得られた地殻変動の分布は、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、従来の結果では、有意な地殻変動が見られていたのは水平成分のみであったが、今回の再解析により、上下成分についても地殻変動が検出されている可能性がある。

特に上下成分については、いまだ観測精度が不十分であるため、本プロジェクトの期間にわたって観測を継続し、精度向上に努めることが必要である。また、糸静線中部に設置した観測点についても、観測を継続して地殻変動の検出を行うことが必要である。さらに、これまでに得られた地殻変動パターンは十分信頼に足るものと考えられるので、こうした不均質な変形が生じるメカニズムについて、変形の数値モデル化を通じて検討していくことが必要である。

(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.

(3) 平成19年度業務計画案

平成19年度は、平成18年度と同様に、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。観測は従来と同様に、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。

また、GPSデータの解析についても、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19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。

表1 平成18年度に観測を実施したキャンペーン観測点の一覧
ゴシック体は新設観測点を示す。

観測点 ID	X(m)	Y(m)	Z(m)	設置場所
02R901	-3821748.454	3418336.073	3781359.725	長野市立博物館
02R902	-3817853.894	3423353.351	3780980.795	茶臼山自然史館
02R904	-3812736.573	3430443.049	3779644.259	信州新町化石博物館
02R905	-3811751.760	3428115.579	3782722.597	中条中学校
02R906	-3807745.137	3431620.502	3783696.989	小川中学校
02R907	-3814196.636	3435732.659	3774050.168	長野市大岡支所
02R908	-3805024.175	3438928.837	3780576.430	美麻小中学校
02R909	-3795773.005	3437566.690	3790788.211	白馬ジャンプ競技場
02R910	-3800054.429	3438704.194	3785419.320	白馬クロスカントリー競技場
02R911	-3819209.164	3427466.799	3775747.635	治田小学校
02R912	-3824218.162	3425559.447	3772401.206	戸倉上山田中学校
02R914	-3829128.721	3432251.585	3761712.305	青木村役場
02R917	-3820617.767	3438575.562	3764733.533	本城小学校
02R918	-3821813.289	3442200.227	3760190.966	会田小学校
02R919	-3823982.841	3443335.756	3757081.456	四賀化石館
02R920	-3810441.454	3452242.465	3762617.536	有明高原寮
02R922	-3817640.528	3463607.129	3745046.467	安曇小中学校
02R923	-3813221.178	3473875.215	3740838.766	大野川小中学校
02R924	-3828011.145	3444719.511	3752240.385	レイクサイド美鈴
02R925	-3828768.173	3457940.500	3738945.067	洗馬小学校
02R926	-3834928.681	3457051.682	3733667.750	両小野中学校
02R927	-3838342.184	3449718.742	3736948.477	上の原小学校
02R928	-3844542.652	3447830.809	3732195.537	諏訪市役所
06R930	-3845135.751	3442212.195	3738244.698	台東区立少年自然の家
06R931	-3830506.350	3468949.189	3727315.679	塩尻市榑川支所
06R932	-3840714.121	3458073.943	3726610.248	辰野東小学校
06R933	-3854522.361	3444381.700	3725506.724	原村保健センター
06R934	-3850121.247	3451275.347	3724070.778	信州高遠青少年自然の家
06R935	-3842339.400	3460504.272	3722669.654	箕輪東小学校
06R936	-3860122.010	3445292.311	3718597.919	落合小学校