

### 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
国土地理院 地理地殻活動研究センター	主任研究官	矢来 博司
国立大学法人 名古屋大学大学院環境学研究科	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、「本断層帯」）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 ヵ年の年次実施計画

1) 平成 17 年度：

パイロット的重点観測で設置した 27 ヶ所のキャンペーン観測点において GPS 観測を実施し、周辺の連続観測点とともに解析を行って、本断層帯北部・中部の詳細地殻変動を明らかにした。

2) 平成 18 年度：

本断層帯中部（諏訪湖周辺）に 7 ヶ所の観測点を新設し、既存の本断層帯北・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：

パイロット的重点観測と平成 18 年度に設置した観測点の中から、観測条件の良好な 30 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：

パイロット的重点観測と平成 18 年度の設置した観測点の中から、29 ヶ所において GPS キャンペーン観測を実施し、本断層帯中部（諏訪湖周辺）における詳細地殻変動を明らかにした。

5) 平成 21 年度：

パイロット的重点観測と本重点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、本断層帯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 20 年度業務目的

平成 18 年度に設置した 7ヶ所の観測点（霧ヶ峰学園は工事中のため観測実施せず）および、それ以前から観測していた本断層帯北部・中部の観測点から 23ヶ所の合計 29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重点観測で得られたデータおよび平成 17～19 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 20 年度の成果

### (a) 業務の要約

平成 18 年度に本断層帯中部の諏訪湖周辺に設置した GPS キャンペーン観測点を 6ヶ所および既存の観測点、合計 29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 19 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ついても、3 回のキャンペーン観測により、信頼性の高い地殻変動の情報が得られた。

### (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、本断層帯の中部付近に 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 20 年 9 月 30 日から 10 月 17 日にかけて、上記観測点のうち 29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 (白田)、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本断層帯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、7 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、本断層帯中・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 10～20mm 程度となっており、7 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。昨年度、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ていたが、図 1 の 2 点 (R901 は長野市、0046 は大町市) において、速度推定に大きな影響を及ぼすような地震時変動は生じていないように見える。しかし、以下の速度推定においては 2006 年と 2007 年の観測の間にステップ変化が生じたものとして、計算を行っている。

図 2 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 2 の結果は、概ね平成 19 年度までの結果と同じであるが、特に諏訪湖周辺において、平成 18 年度に設置された観測点で 3 回の観測を経たことによる精度の向上が認められ、周囲の変動と整合的な地殻変動パターンが見えるようになった。

図 2 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 (松本～諏訪) では本断層帯に対する左横ずれの変形が見られる。

白馬～長野方向の速度プロファイルについては、図 4 に示すような深部すべりのモデルによって水平方向の短縮変形をほぼ再現することが可能である。しかし、このモデルでは同時に顕著な隆起が期待されるが、実際の観測値にはこのような隆起は認められないので、このモデルでは不十分である。この地域の変形については、次年度も考察を進める必要がある。

一方、松本から諏訪湖にかけての地域は、昨年度報告したように、本断層帯を中心とする逆正接関数型の速度分布が得られている。固着している弾性層の厚さを 15km、断層を挟んだブロックの相対運動速度を 7～8 mm/yr とすれば、図 3 の速度プロファイルに紫色の破線で示した通り、断層に平行な速度成分の変化をほぼ再現可能である。この結果は、松本から諏訪湖にかけての本断層帯が基本的に横ずれ断層であること、また、本断層帯の断層はほぼ垂直であること (深部延長が傾斜していれば、変形の中心が断層線からずれる) を意味している。これは、現時点においては、本重点的調査観測の構造探査から得られた結果とは一致しない見解である。

平成 20 年度は、GPS の観測結果を含む様々な情報に基づいて、本断層帯北部で将来発生する可能性のある地震の震源モデルについて検討を行った。検討にあたっては、地殻構造探査 (地震波、MT)、地震活動、応力分布、地殻変動等の様々なデータを考慮した。

微小地震の応力テンソルインバージョン解析や CMT データインバージョンの結果は、松本から大町にかけての本断層帯周辺の応力場が、横ずれ型のタイプであることを示している。また、牛伏寺断層の北側の延長上には線状の地震活動が見られている。この地震活動を仮に一連の断層として考えた場合、上記の応力場は、この断層に左横ずれを生じるのに適している。地殻変動から見られる最大圧縮軸も応力場と一致している。これらのことから、従来本断層帯の下盤内の活動と考えられてきた、この地震配列こそが将来大地震の震源断層となる可能性がある（図 5）。構造探査により検出された低角で東に傾き下がる面は、地質構造境界としては明瞭であるが、そこに応力蓄積しているという直接的な証拠は無い。本断層帯北部において見られる顕著な短縮変形は、未だ十分にモデル化されていないものの、深部の断層クリープ等によって、応力を蓄積せずに変形のみが進行している可能性を示しており、構造探査で見られる断層面も地震時に副次的な断層として、または非地震時に準静的にずれを起こす可能性が考えられる。このモデルについては、現時点では不十分な点も多いが、様々なデータを考慮して今後も検討していきたいと考えている。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

本断層帯の中部・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った。推定された地殻変動分布は、本断層帯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。本断層帯北部の短縮変形は、断層の深部すべりを仮定したモデルでは、上下変化を再現することができないため、他の可能性について検討する必要がある。一方、松本から諏訪湖にかけての地殻変動パターンは、垂直横ずれ断層の典型的なパターンとして理解可能である。

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するとともに、本断層帯北部に関して提案した新たな震源モデルについても、未だ仮説の段階を出ないことから、今後さらに検討を進めていくことが今後の課題である。

#### (e) 引用文献

なし

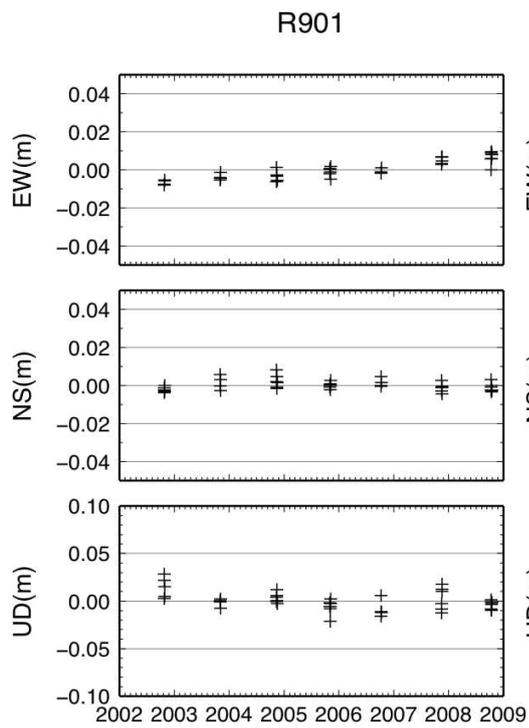
### (3) 平成 21 年度業務計画案

平成 21 年度は、平成 20 年度と同様、本断層帯の中部・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。

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 21 年度は、これまでの観測結果をまとめ、本重点的調査観測の他の観測結果も参考にしながら、この地域の変形・応力蓄積過程に関するモデル構築を進める。

(a)



(b)

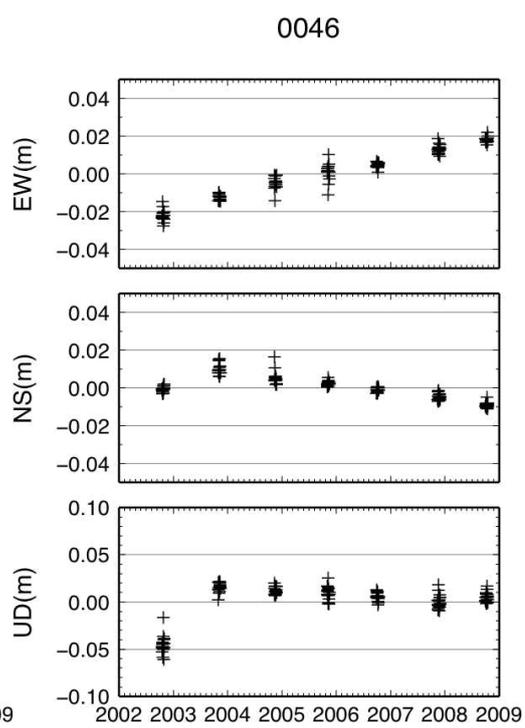


図1 キャンペーン観測による日座標値

(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)

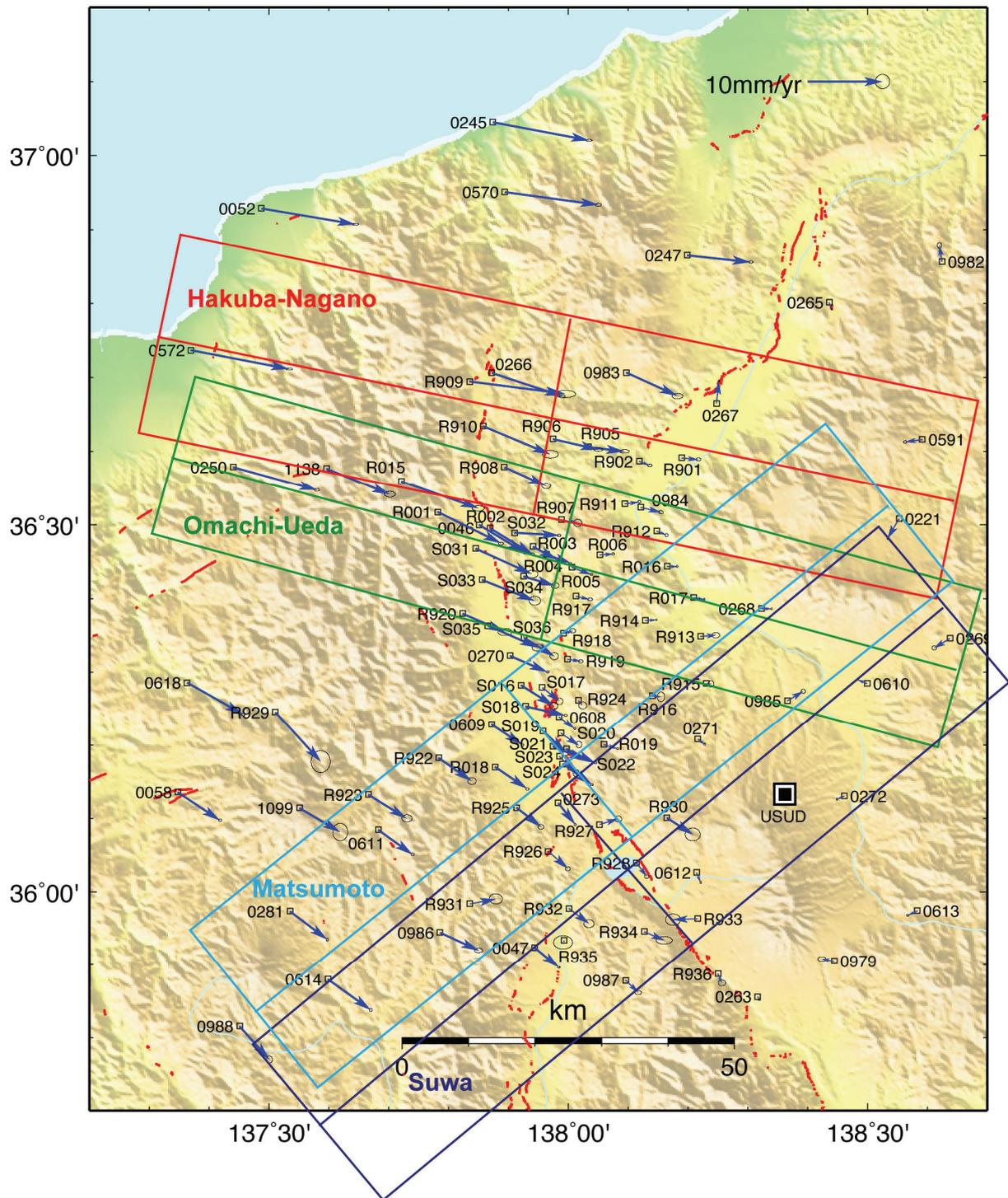


図2 糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の水平地殻変動速度分布 (2002~2008年の観測による)  
 速度ベクトルの固定点は USUD (臼田)。矩形領域は、図3に示す地殻変動速度プロファイルの範囲を示す。

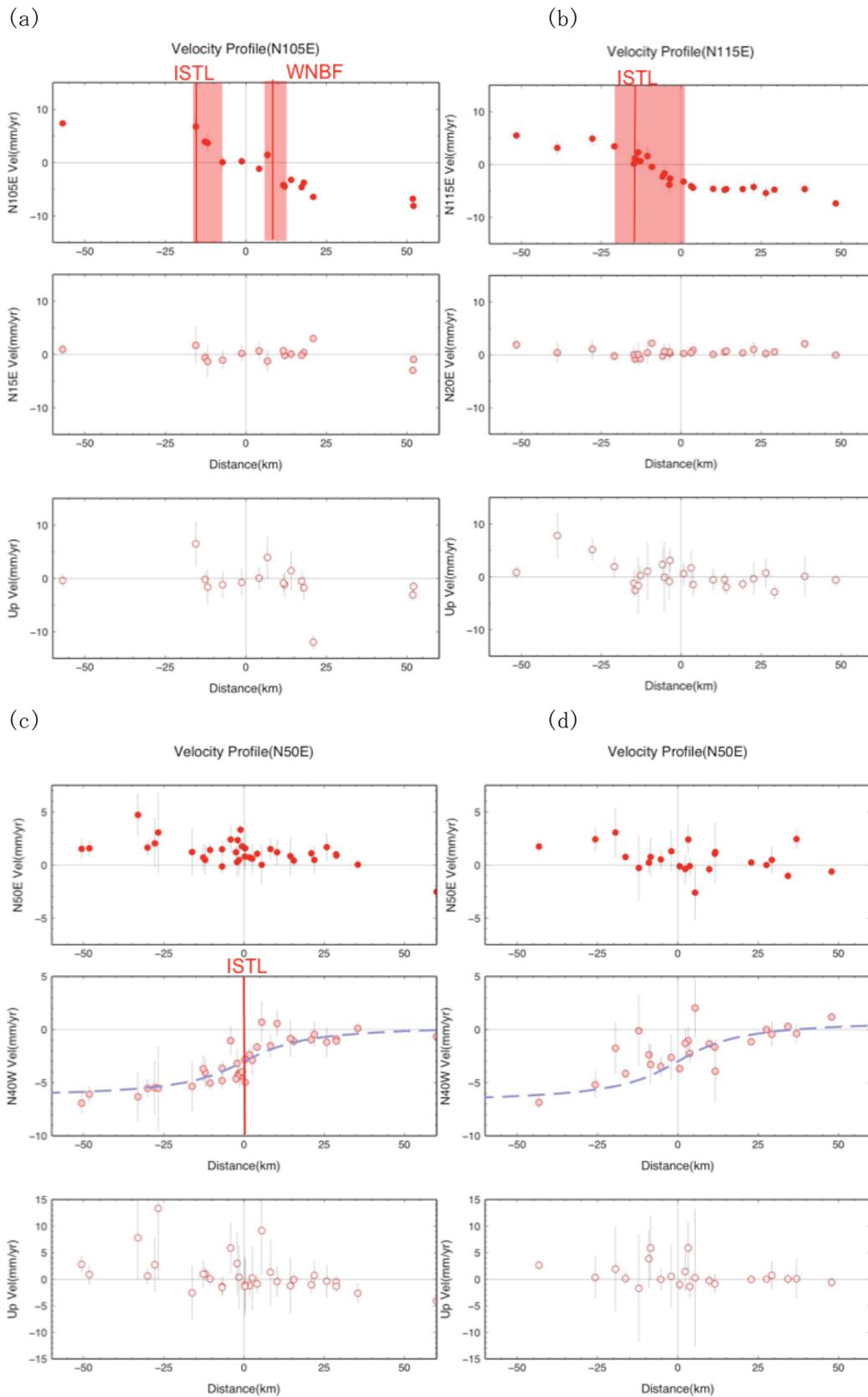


図3 図2の3つの矩形領域におけるGPS地殻変動速度のプロファイル  
 (a)白馬-長野方向、(b)大町-上田方向、(c)松本周辺、(d)諏訪湖周辺。影をつけた範囲は変形集中帯である。

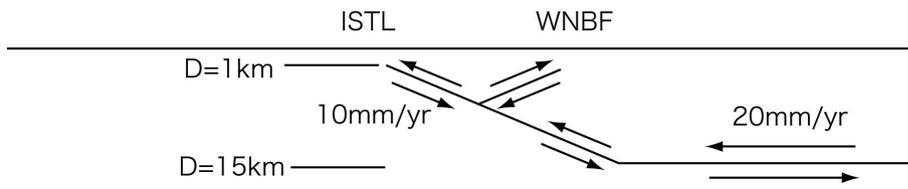
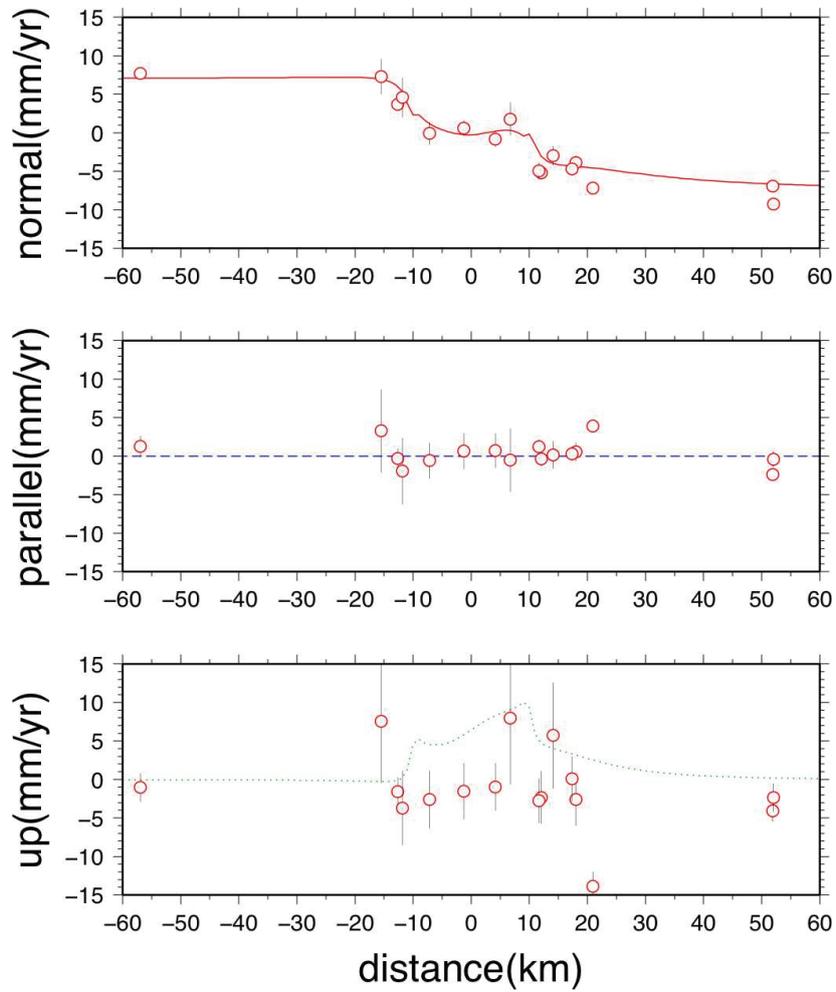


図 4 (a) 白马～長野方向の速度プロファイルに対する深部すべりモデル



(b) 深部すべりモデルによる地殻変動の計算値

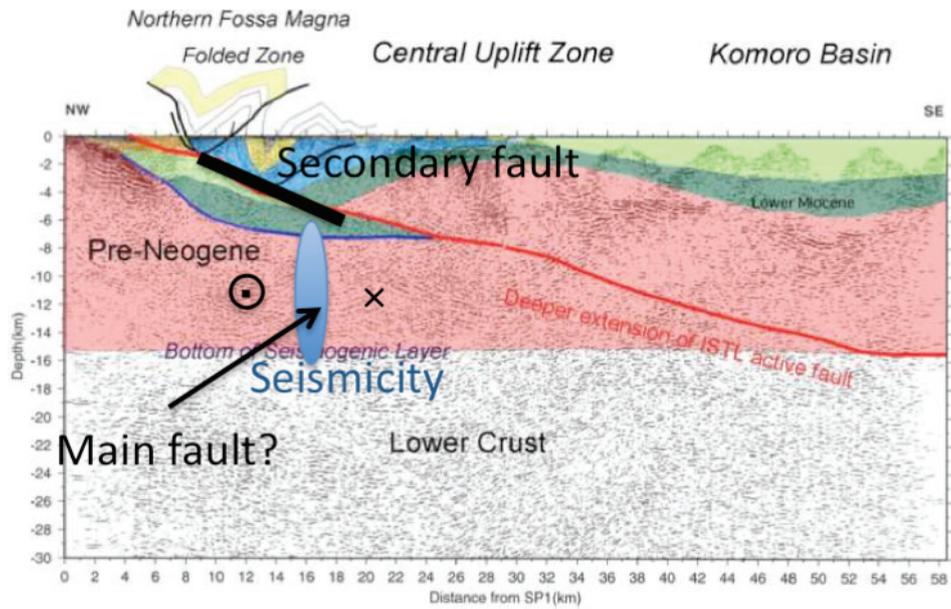


図5 (a) 糸魚川-静岡構造線断層帯北部の震源断層モデル (仮説) 大町~上田方向の構造断面図に示した。

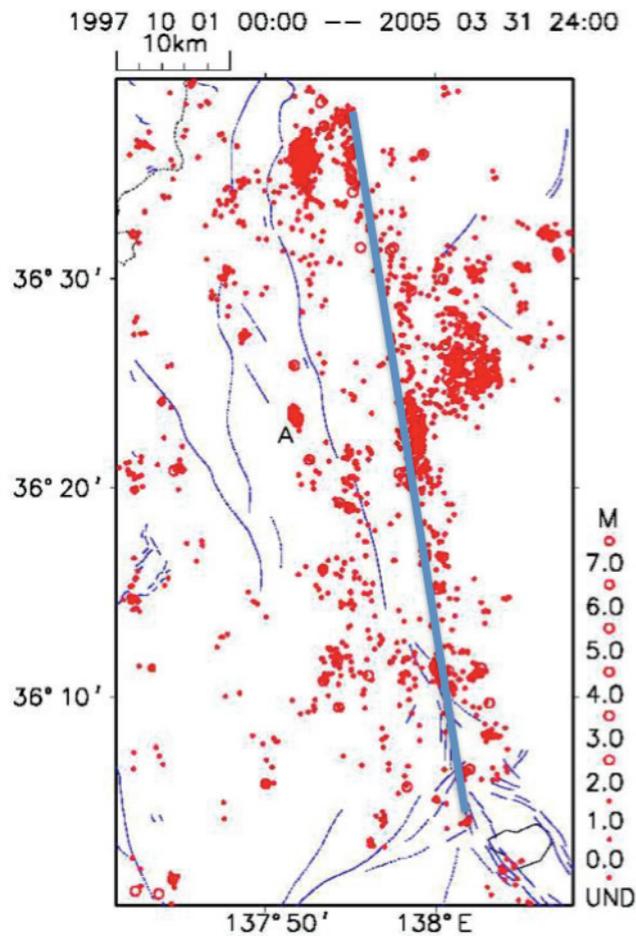


図5 (b) 糸魚川-静岡構造線断層帯北部の地震活動 青線が線状の地震配列を示す。