

# 糸魚川－静岡構造線断層帯における重点的調査観測（第3年次）

実施期間 平成17年度～平成21年度

地理地殻活動研究センター

地殻変動研究室 西村 卓也 水藤 尚

宇宙測地研究室 矢来 博司

## 1. はじめに

糸魚川－静岡構造線断層帯は、日本列島を東西に分ける地質構造境界である糸魚川－静岡構造線にほぼ沿う形で位置しており、特にその中部地域では、千年あたり8～9mという日本列島でも最大級の平均変位速度が推定されている。こうしたデータからは、地震規模がマグニチュード8級になるものと予想されるが、そうした地震は過去1000年以上発生した形跡がないため、近い将来に大地震が発生する可能性が高いと評価されている。

平成17年8月に地震調査研究推進本部により策定された「今後の重点的調査観測計画について」では、重点的調査観測の目標、具体的な調査観測の手法、重点的調査観測の候補となる地震、及び基盤的調査観測としての活断層の追加調査・補完調査の候補と優先順位について記述されている。この中で、当面取り組むべき重点的調査観測の対象の一つとして糸魚川－静岡構造線断層帯が提示されている。この糸魚川－静岡構造線断層帯では、平成14～16年度にパイロット的な調査観測が実施されていたが、上記計画に基づき、平成17年度より本格的に重点的調査観測が推進されることとなった。

## 2. 研究概要

国土地理院では、本重点的調査観測の中で地殻変動観測に関する部分を担当し、以下の2項目の研究を実施する。

### 1) GPS観測による詳細地殻変動分布の解明

断層帯周辺においてGPSの稠密なキャンペーン観測を繰り返して実施し、周囲のGPS連続観測点のデータとあ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する。なお、本項目については、名古屋大学環境学研究所と共同で行なっている。

### 2) 干渉SARによる断層帯周辺の地殻変動検出

GPSによる地殻変動観測を空間的に補間し、糸魚川－静岡構造線断層帯周辺の地殻変動の面的分布を明らかにするため、SAR干渉解析を行う。得られた地殻変動から断層帯周辺の詳細な状況を把握する。

## 3. 平成19年度実施内容

### 1) GPS観測による詳細地殻変動分布の解明

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、最短5km程度の間隔で安定した構造物にGPSアンテナ固定用の金属製ボルトを埋設したものであり、平成14年度に、糸静線中北部の28ヶ所、平成18年度に、糸静線中部の7ヶ所に設置したものである。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GPS観測を行った。

GPSデータ解析には、Bernese GPS Software version 5.0を使用した。解析に際してはIGS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。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。

## 2) 干渉 SAR による断層帯周辺の地殻変動検出

ENVISAT および ALOS (だいち) の SAR データを用いて SAR 干渉解析を行い、糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の地殻変動の面的把握を試みた。

ENVISAT の SAR センサは波長 5.6cm (C-band) のマイクロ波を利用している。C-band の SAR では、市街地などでは干渉が得られるが、植生に覆われている山岳部などでは干渉が得られ難いことが知られている。しかし、地殻変動の検出感度が高いことから、変動量が小さな地殻変動現象の検出には適している。そこで、今年度は糸静線南部を対象とした ENVISAT データによる SAR 干渉解析を実施し、断層帯近傍の地殻変動の把握をおこなった。

一方、ENVISAT ではこの地域の大部分を占める山岳部での変動を把握することができないため、山岳部を含めた地域全体の地殻変動を面的に把握するためには、C-band よりも干渉性の高い SAR を用いる必要がある。2006 年 1 月に打ち上げられた ALOS (だいち) が搭載する PALSAR は波長の長い (23.6cm) L-band のマイクロ波を用いている。L-band の SAR は植生を透過することから干渉性が高く、山岳地域などでも干渉が得られることが多い。そこで、「だいち」PALSAR データを用いた干渉解析を行い、山岳部における地殻変動把握の可能性について検討した。

## 4. 得られた成果

### 1) GPS 観測による詳細地殻変動分布の解明

図-1 は GPS キャンペーン観測点及び GEONET 観測点の精密な日座標値を元に、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。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。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、国土地理院の断層モデルを用いて各観測点で期待される地殻変動を計算すると、観測網の北東端および北西端付近において、最大 1 cm 程度の変位が生じると予想される。よって、これらの地震の影響は無視できないと考えられるが、地震以降の観測が 2007 年だけのためその影響の補正は 2008 年の観測結果を得てから行うことにした。

図-1 に見られる地殻変動の特徴は、以下の 3 点にまとめることができる。(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。

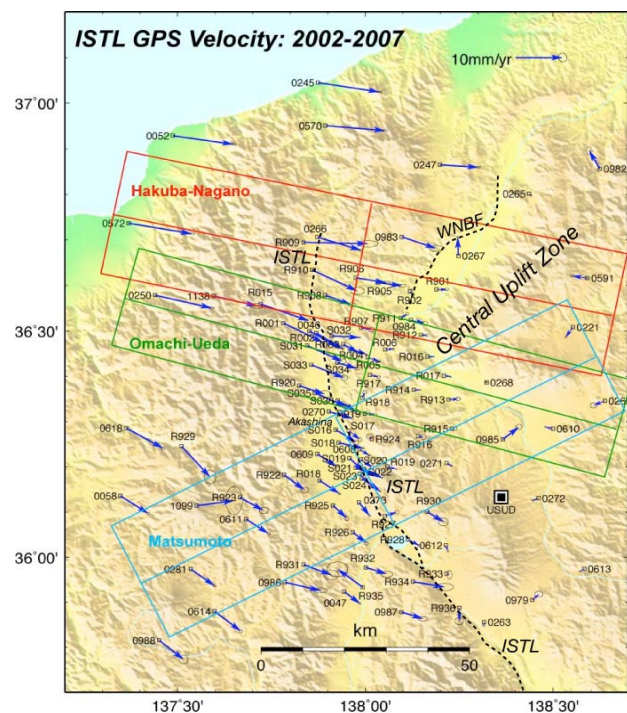
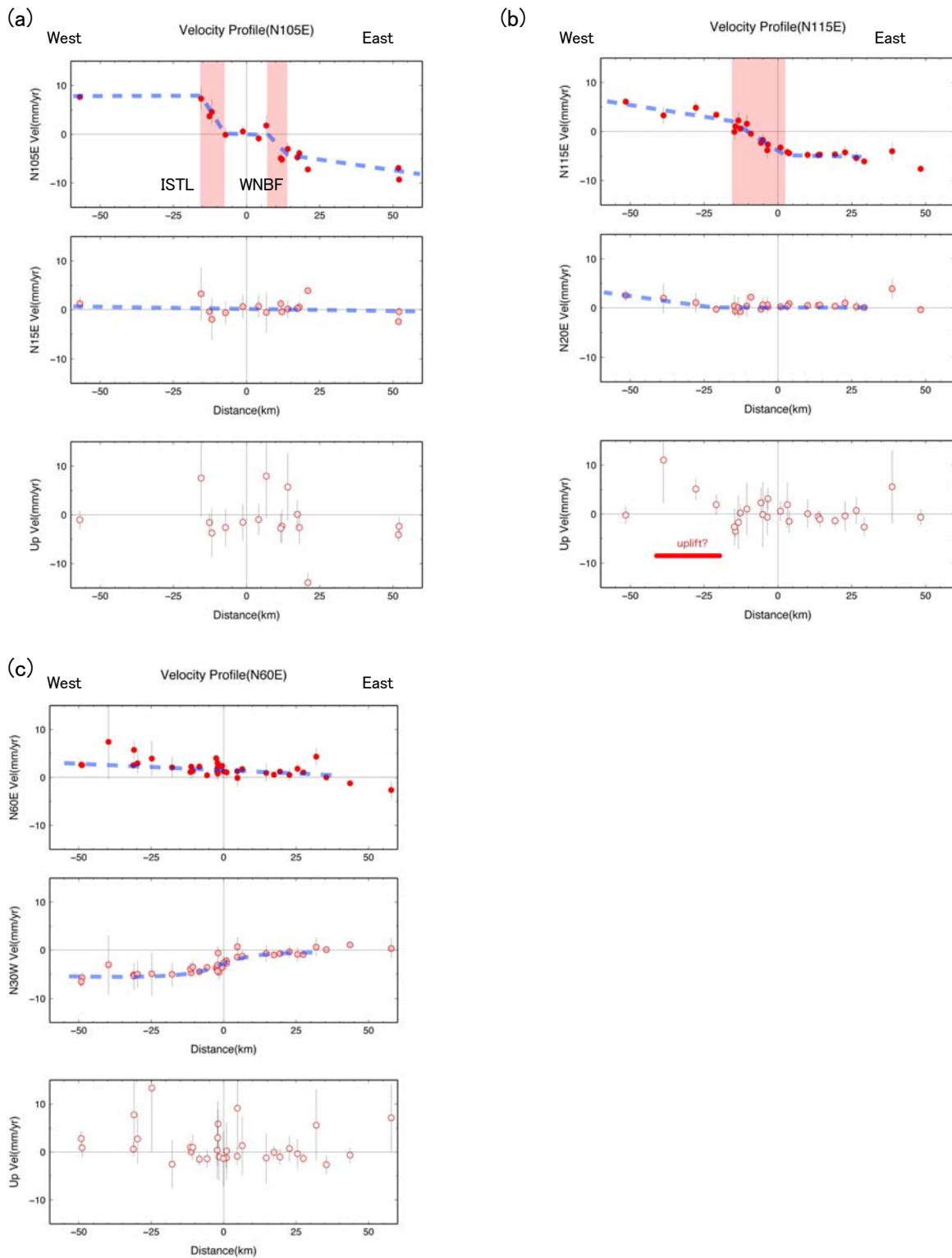


図-1 2002-2007 年における糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の水平地殻変動速度分布。稠密キャンペーン観測によって得られた全データを用い、USUD (臼田) 固定のベクトルを示した。矩形領域は図-2 に示す速度プロファイルの表示領域である。ISTL は、糸魚川-静岡構造線断層帯、WNBF は、長野盆地西縁断層を表す。



図ー2 GPS観測で得られた地殻変動速度プロファイル。(a)白馬ー長野方向，(b)大町ー上田方向，(c)松本周辺，変形集中域を薄赤色，大まかな変動の傾向を破線で示した。

以上のような地殻変動の特徴は，白馬ー長野，大町ー上田および松本周辺の地殻変動速度プロファイル（図ー2）からも読み取ることができる。一番北の白馬ー長野方向の地殻変動速度プロファイル（図ー2 a）では，糸静線（ISTL）および長野盆地西縁断層（WNBF）の付近で  $N105^{\circ} E$  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



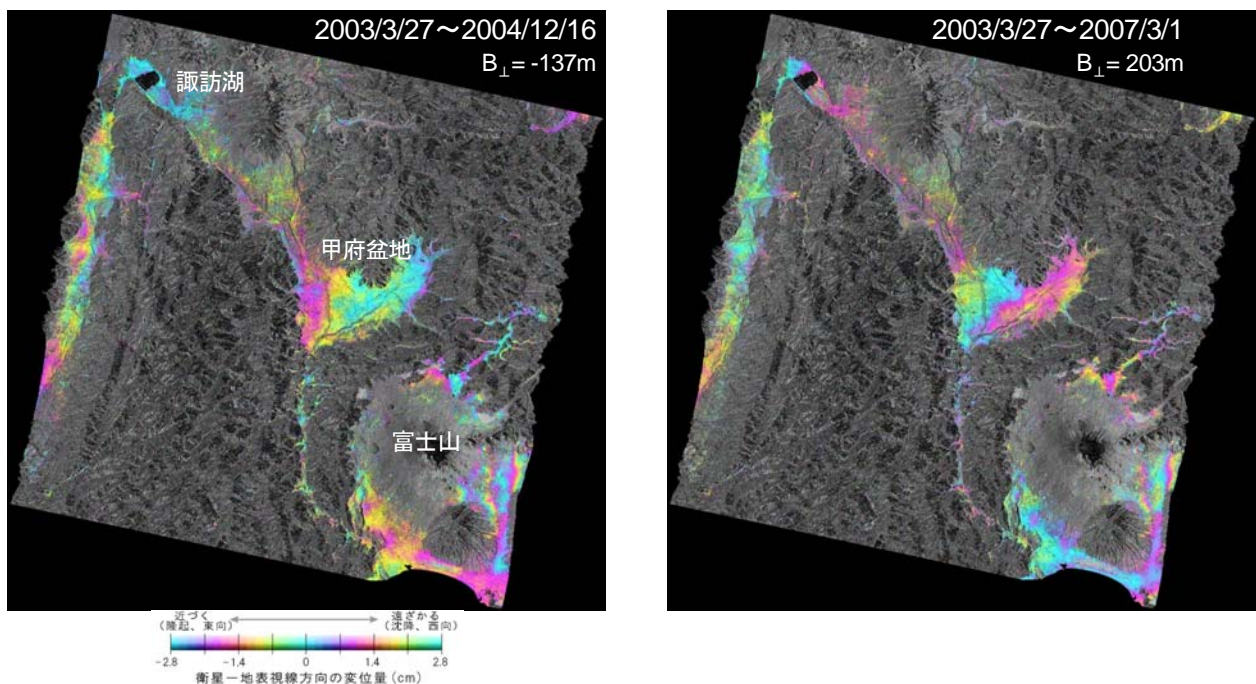
で集中的に賄われていることを示しており、断層面が固着せずにクリープ運動している可能性がある。大町ー上田方向のプロファイル（図ー2b）では、糸静線の周辺の幅 30km 程度の中で左横ずれを伴う逆断層成分が解消されており、糸静線の西側の北アルプスに位置する観測点 3 点で系統的に隆起の傾向が見られる。これまでの 6 年におよぶ観測結果から考えて、北アルプスでは 2 – 5 mm/年程度の隆起が生じている可能性が高い。さらに南の糸静線中部松本付近のプロファイル（図ー2c）では、昨年まで 100km 近い幅に一樣な剪断変形が見えると報告していたが、今年の結果を見る限り、断層周辺にやや剪断変形の集中が見られ、全体としては垂直な横ずれ断層の浅部が固着して深部が定常すべりしている場合の理論的な地殻変動分布に似たパターンとなっている。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。

本重点観測は、平成 21 年度まで継続される予定である。年 1 回の観測を継続して地殻変動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、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。

## 2) 干渉 SAR による断層帯周辺の地殻変動検出

糸静線南部を対象として、ENVISAT の SAR データを用いて干渉解析を行った結果の例を図ー3に示す。解析には Track031, Frame2889, 観測モード IS2 のシーンを用いた。地形縞の除去に既存のデジタル標高モデル (DEM) を用いる 2パス法 (Massonnet et al., 1993) を適用し、既存の DEM として国土地理院の 50mメッシュ DEM を用いた。干渉性の低い C-band で可能な限り干渉領域を広く得るため、軌道間距離が短く、かつ観測間隔が比較的短いペアを選び、2003 年 3 月から 2007 年 3 月までの 6 ペアを解析した。Delft 大学が公開している精密軌道情報を利用して軌道縞、地形縞のシミュレーションを行い、差分干渉画像を得た。

図ー3からわかるように、諏訪湖周辺や甲府盆地では良好な干渉が得られている。山岳部ではほとんど干渉していないが、山間部の平坦地などでは干渉が得られている。得られた位相変化量から変動量を算出したところ、諏訪湖の西岸を基準にして、甲府盆地中央部付近では衛星から遠ざかる方向（西向き or 沈降）へ約 0.7cm/



図ー3 ENVISAT データの解析で得られた糸魚川ー静岡構造線南部の干渉画像の例。諏訪湖周辺や甲府盆地など地形的に平坦な領域で干渉が得られている。

Path:409

2007/7/18~9/2

2007/9/2~10/18

Path:408

2007/7/1~8/16

2007/8/16~10/1

2007/10/1~11/16

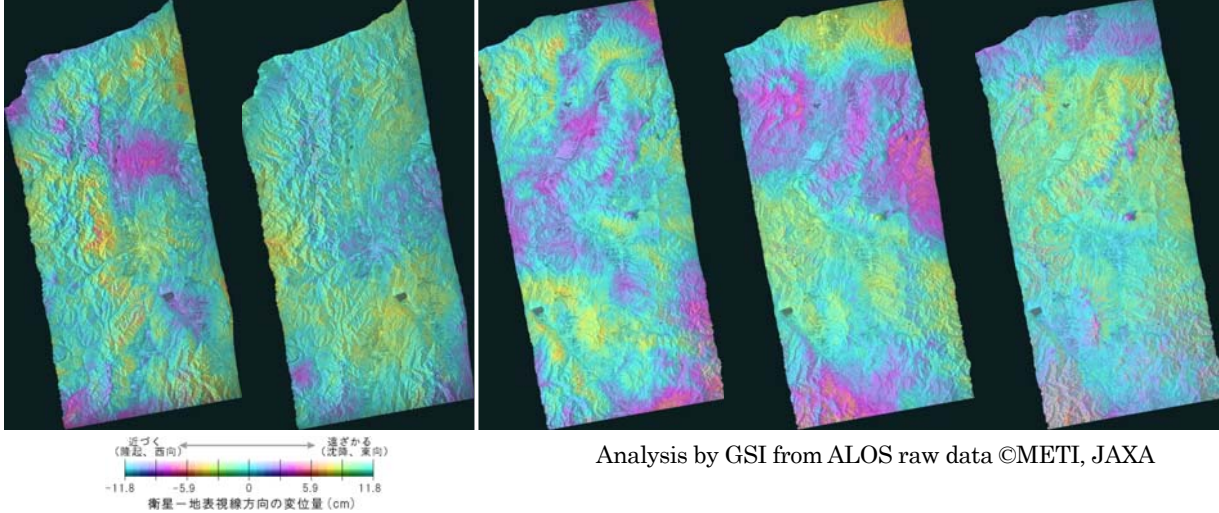


図-4 「だいち」PALSARデータの解析により得られた干渉画像。いずれも1回帰周期(46日)のペアを解析したもの。いずれのペアでもほぼ全域で干渉が得られている。

年の速度で変動しているという結果が得られた。GEONETで捉えられている変動と比較すると、変動の向きは調和的であるが、速度はやや大きい。今回の解析ではDelft大学による精密軌道を用いているが、依然として軌道情報の誤差の影響も残っていると考えられるため、今後さらに解析を進めることにより、GEONETと整合する結果が得られる可能性もある。

次に、この地域の山岳部における干渉性を調査するために行った「だいち」PALSARデータを用いた干渉解析の結果を図-4に示す。解析にはAscending軌道(北行軌道)のPath408, Frame710~720, 及びPath409のデータを用いた。解析ソフトウェアとして国土地理院で開発されたGSISARを用い、2パス法により差分干渉画像を得た。図-4からわかるように、ほぼシーン全体にわたって干渉が得られた。従って、「だいち」PALSARデータを用いることにより山岳部における変動の把握が可能であるといえる。

今回得られた干渉画像(図-4)には位相変化が見られるが、ペアごとに位相変化領域が異なり、分布に一貫性がない。そのため、これらのほとんどが地殻変動ではなく大気中水蒸気による位相遅延ノイズであると考えられる。これらの位相変化の大きさは変動量に換算して数cmにもなる。検出しようとする地殻変動の大きさが1~2cm/年であることから、変動を抽出するためにはスタッキング処理等によって気象ノイズの低減を図る必要がある。

## 5. まとめ

GPS観測による詳細地殻変動分布の解明では、キャンペーン観測により、糸魚川-静岡構造線断層帯周辺の2002~2007年の6年間の変動量が得られた。これまで一部の測線沿いを除くと低い空間分解能でしか見えていなかった北部糸静線周辺の地殻変動の様子が明らかになりつつある。断層帯を横切る速度プロファイル等から、地域によって断層帯近傍での変形様式が大きく異なることが明らかとなってきた。このように、稠密なGPSのキャンペーン観測は断層帯周辺の地殻変動の詳細分布を明らかにするために有効な手段であると言える。

干渉SARによる構造線断層帯周辺の地殻変動検出では、ENVISATデータのSAR干渉解析により、諏訪湖周辺、甲府盆地や山間部の平坦地で干渉が得られ、糸静線南部の断層帯近傍の微小な地殻変動を面的に明らかにできる可能性が示された。また、「だいち」PALSARデータの干渉解析により、山岳部を含めたほぼシーン全体にわたって干渉が得られた。従って、「だいち」PALSARデータを用いることにより山岳部における変動の把握が可能で

あるといえる。ただし、得られる干渉画像には検出しようとする地殻変動の大きさと同程度の大気中水蒸気による位相遅延ノイズが含まれることから、変動を抽出するためにはスタッキング処理等によって気象ノイズの低減を図る必要がある。