

### 3. 7 干渉 SAR による構造線断層帯周辺の地殻変動検出

#### (1) 業務の内容

(a) 業務題目 干渉 SAR による構造線断層帯周辺の地殻変動検出

(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<br>地殻変動研究室 | 主任研究官 | 矢来博司 |

(c) 業務の目的

GPS による地殻変動観測を空間的に補完し、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、干渉 SAR 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。

変動量が小さいと予想されるため、干渉 SAR による微小な地殻変動の検出技術の向上を目指し、活断層周辺域の地殻変動観測手法の確立に資する。

(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：

欧州宇宙機関（ESA）の衛星である ENVISAT の SAR データを用いて干渉 SAR 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。

2) 平成 18 年度：

ENVISAT により新たに観測されたデータを用いて、17 年度に購入したデータとあわせ干渉 SAR 解析を行った。また、干渉性に優れる L-band の SAR を搭載する ALOS 「だいち」の SAR データを用いて干渉 SAR 解析を試行し、山岳部での干渉性を確認した。

3) 平成 19 年度：

ENVISAT、ALOS の SAR データの干渉 SAR 解析を継続して実施する。

4) 平成 20 年度：

ENVISAT、ALOS の SAR データの干渉 SAR 解析を継続して実施する。

5) 平成 21 年度：

ENVISAT と ALOS の SAR データによる干渉 SAR 解析の結果を統合し、糸魚川－静岡構造線断層帯周辺の地殻変動を面的に明らかにする。

(e) 平成 18 年度業務目的

ENVISAT および ALOS 「だいち」の SAR データを用いて干渉 SAR 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る。

ENVISAT の SAR センサは波長 5.6cm (C-band) のマイクロ波を利用しており、波長が短いために干渉性が低く、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、地殻変動に対する感度が高いことから、変動量が小さいと予想される地殻変動現象の検出には適している。そこで、平成 17 年度に引き続き ENVISAT データを用いた干渉 SAR 解析を実施し、糸魚川－静岡構造線断層帯周辺での地殻変動の検出を図る。

ALOS「だいち」が平成 18 年 1 月に打ち上げられた。この「だいち」に搭載された SAR センサ「PALSAR」は波長 23.6cm (L-band) のマイクロ波を用いており、C-band のマイクロ波を用いる ENVISAT に比べ山岳部での干渉性が高いと期待される。そこで「だいち」のデータを用いて解析を行い、北アルプスなどの山岳部での干渉性を確認する。

## (2) 平成 18 年度の成果

### (a) 業務の要約

ENVISAT の SAR データを用いて干渉 SAR 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。解析の結果、山岳部では干渉が得られなかったものの、長野盆地や松本盆地などで良好な干渉が得られ、山間部に点在する谷間の平坦部などでも干渉が得られることがわかった。

多くのペアが大気中の水蒸気による位相遅延の影響を受けていることから、複数の干渉画像のスタッキングを行い、地殻変動速度分布を得た。得られた地殻変動速度分布には、(1) 断層帯の北部では長野盆地西縁断層と糸魚川－静岡構造線断層帯近傍に変形が集中している、(2) 大町付近では、変動速度が断層帯周辺の約 30km の幅で緩やかに変化している、などの特徴が見られ、これらは GPS 観測の結果と調和的である。

また、定常運用が開始された「だいち」のデータを用いた干渉解析を試みた。山岳部での干渉性が高いと期待された「だいち」であったが、今回用いた 2 時期の軌道間距離の衛星視線方向垂直成分が約 2.1km と非常に長かったため、山岳部での干渉性は良好ではなかった。ただし、全体的な干渉性は ENVISAT よりも優れており、他の地域での基線長が短いペアではほぼ全面的に干渉が得られていることから、軌道条件が良ければ本地域の山岳部の地殻変動を明らかにできると考えられる。

### (b) 業務の成果

#### (b-1) ENVISAT データの干渉 SAR 解析

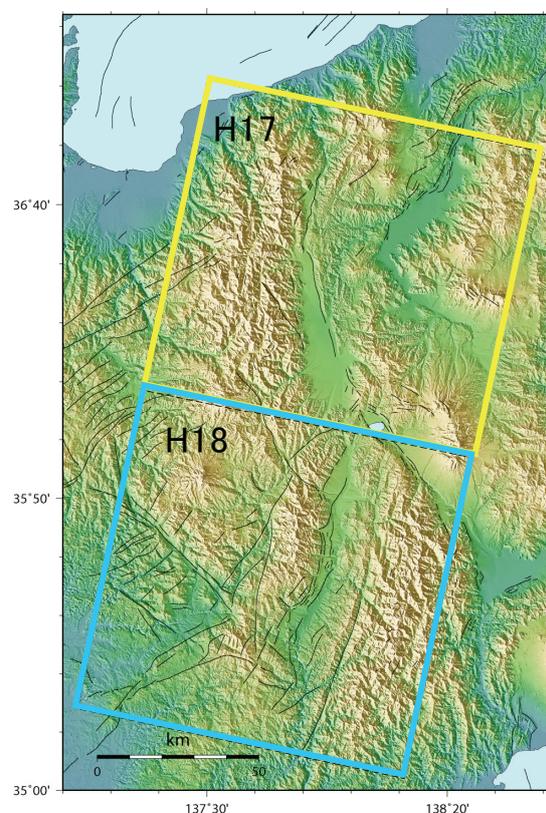


図 1 解析に用いた ENVISAT/SAR データの観測範囲。平成 18 年度は昨年度の南側のシーンを合わせて解析を行った。

ENVISAT の SAR データを用いて干渉 SAR 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解明を試みた。解析には牛伏寺断層、松本盆地東縁断層周辺をカバーする Track303、Frame2871－2889、観測モード IS2 のシーンを用いた（図 1）。平成 17 年度に解析した Frame 2871 と、南側のシーン Frame2889 を接続し、解析を行った。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。軌道縞、地形縞のシミュレーションには DORIS 軌道情報を利用し、これらを初期干渉画像から除去して差分干渉 SAR 画像を得た。

ENVISAT は波長 5.6cm の C-band のマイクロ波を用いている。C-band の SAR は用いている波長が短いため干渉性が低く、特に山岳部などで干渉を得られないことが多いが、地殻変動の検出感度が高いという利点がある。そこで、C-band でも可能な限り干渉性を高めるため、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 4 月から 2005 年 10 月までの 18 ペアを解析した。解析結果の例を図 2 に示す。松本盆地や長野盆地で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。

ペアによっては大気中の水蒸気による位相遅延の影響を大きく受けているが、大気中の水蒸気分布は観測ごとに異なり、時間的にランダムであると考えられることから、異なる時期のペアを足し合わせる（スタッキング）ことにより、水蒸気による位相遅延の影響を低減させることができる（Fujiwara et al, 1998）。ただし、干渉画像の位相情報は $-2\pi \sim +2\pi$ に折りたたまれているため、平均変位速度を求めるためのスタッキングの前に、折りたたまれた位相を絶対位相に戻す処理（アンラッピング）が必要である。位相アンラッピング済みの北部のシーンをスタッキングして得られた糸魚川－静岡構造線断層帯北部の臼田に対する相対変動速度分布を図 3 に示す。

干渉 SAR 解析で得られた変動速度分布から、糸魚川－静岡構造線断層帯を横切る白馬－長野（Profile 1）、大町－上田（Profile 2）、松本周辺（Profile 3）での変動

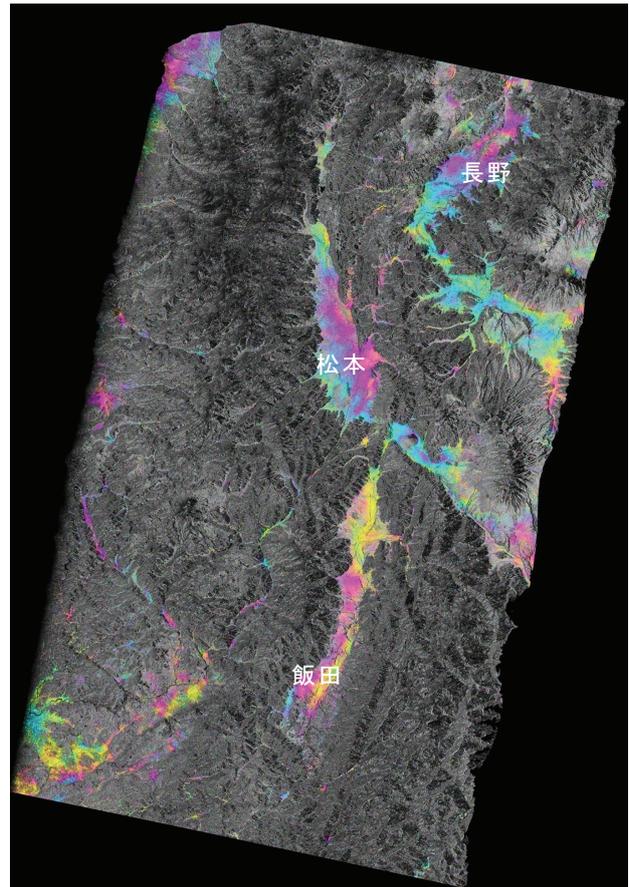


図 2 南北のシーンを接続して解析し、得られた干渉 SAR 画像（観測期間 2003/04/15～2005/09/06、Bperp= 9 m）。松本盆地や長野盆地などの平坦地で干渉が得られている。

速度プロファイルを作成した（図 4）。干渉 SAR 解析による変動速度場には次のような特徴が見られる。(1)断層帯の北部では長野盆地西縁断層と糸魚川－静岡構造線近傍に変形が集中しており、(2)大町付近では変動量が断層帯周辺の約 30km の幅で緩やかに変化している。これらの特徴は重点的調査観測で行っている GPS キャンペーン観測の結果と調和的である。なお、Profile 1 に見られる長野盆地西縁断層と糸魚川近傍での変形集中箇所では、幅 5km 以下の領域で 3mm/年に達する変形が見られる。

干渉 SAR 解析で得られた変動速度場と GPS 観測で得られた変動速度の比較を行った（図 4）。比較にあたって、GPS 観測で得られた変動速度を衛星視線方向の変位に

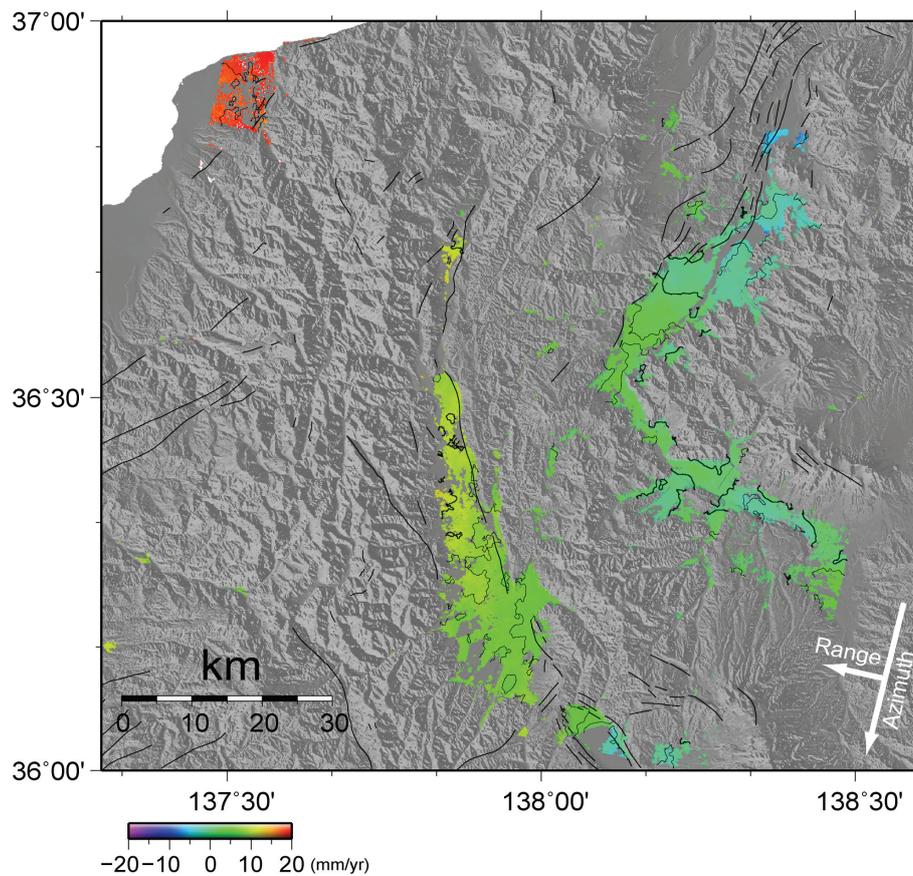


図 3 干渉 SAR 画像のスタッキングにより得られた糸魚川－静岡構造線北部の変動速度分布(臼田に対する相対変動速度)。Azimuth は衛星の飛行方向、Range は衛星視線方向。衛星に近づく向きの変動を+、衛星から遠ざかる方向の変動を-としている。コンター間隔は 2mm/yr。

変換したが、GPS キャンペーン観測で得られた変動速度については上下変動の観測精度が低いため、上下変動を 0 と仮定した。なお、比較に用いた GPS による変動速度の期間は、GPS キャンペーン観測が 2002 年 10 月 1 日～2005 年 12 月 31 日、GPS 連続観測が 2003 年 1 月 1 日～2005 年 12 月 31 日である。

全体的なパターンで見ると、干渉 SAR 解析で得られた速度場と GPS 観測による速度場は整合しているといえる。ただし、松本周辺のプロファイル (Profile 3) では、GPS では衛星視線方向の変動速度がほとんど一定であるのに対し、干渉 SAR では断層

帯周辺で衛星に近づく向きの変動が見られる。この乖離の原因については現在のところ不明である。

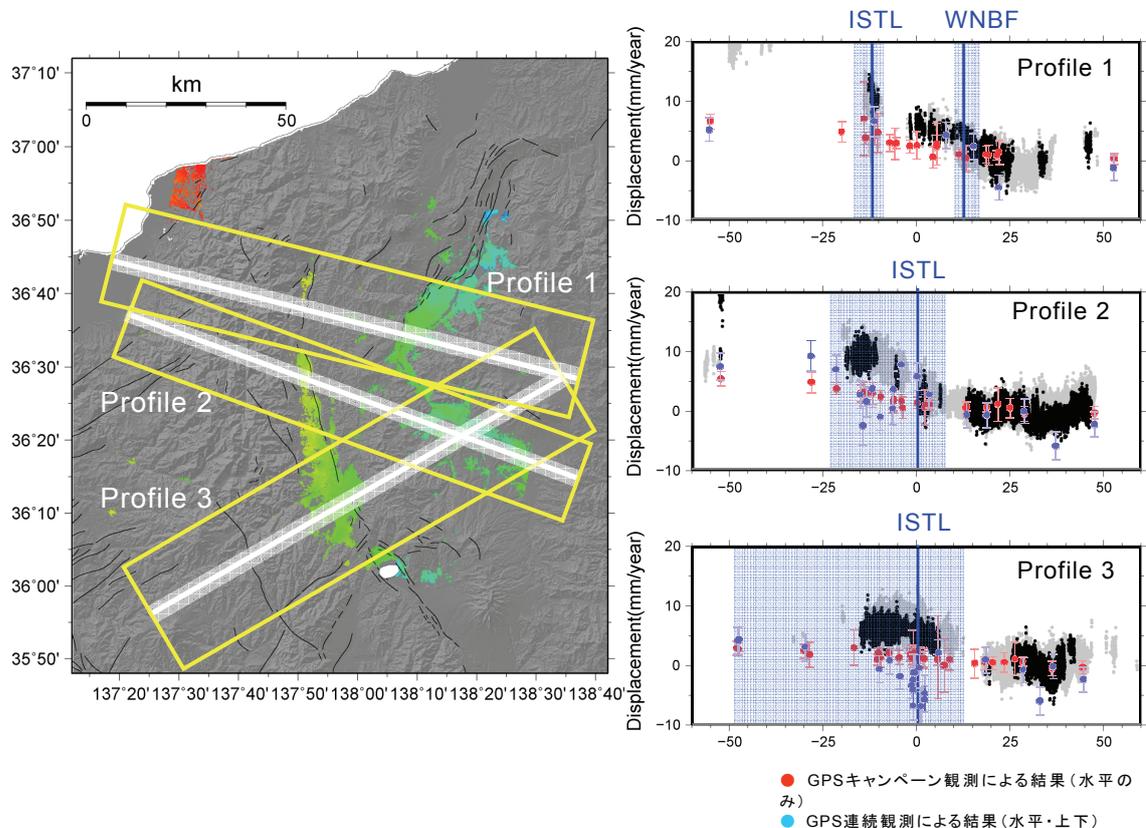


図4 干渉 SAR 解析で得られた変動速度のプロファイルと、GPS 観測で得られた変動速度の比較。(Profile 1) 白馬ー長野方向、(Profile 2) 大町ー上田方向、(Profile 3) 松本周辺。図3と同じく臼田に対する相対変動速度である。プロファイルの黒点は1km幅(図中白帯)、灰色は5km幅(図中灰色帯)で取り出した変動速度分布を示す。比較に用いたGPS観測点については黄色枠内の観測点を抽出した。青はGPS連続観測、赤はキャンペーン観測によって得られた変動速度をSARの衛星視線方向に投影した速度を示す。ただし、キャンペーン観測点については上下変動速度を0と仮定して求めている。

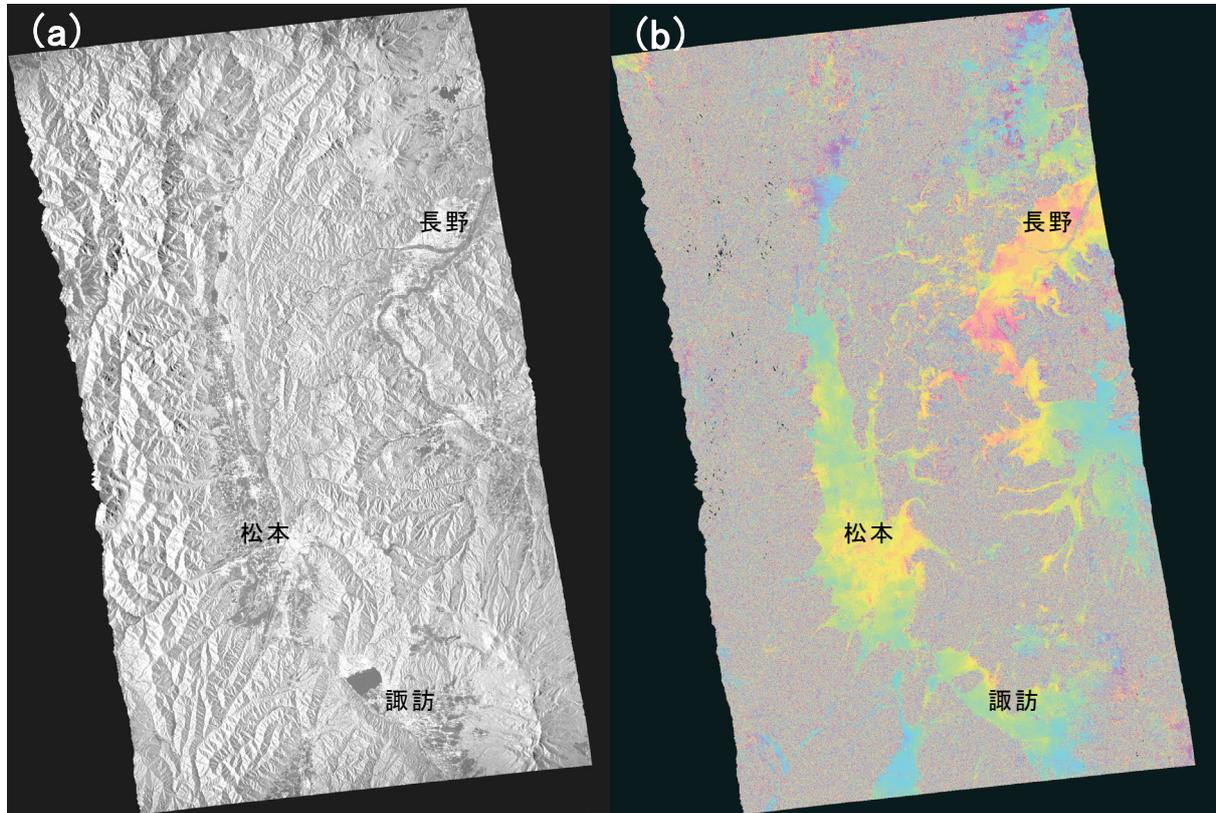
#### (b-2) ALOS (だいち) データの干渉 SAR 解析

ENVISAT は C-band のマイクロ波を用いるため、山岳部などで干渉が得られず、変動を得ることができない。それに対し、2006 年1月に打ち上げられた「だいち」は波長の長い (23.6cm) L-band のマイクロ波を用いていることから干渉性が高く、山岳地域など植生に覆われている地域でも干渉が得られることが多い。

解析対象地域の大部分を占める山岳部での地殻変動を明らかにするためには、干渉性の高い衛星を用いる必要がある。そこで、「だいち」PALSAR データを用いた干渉 SAR 解析を行い、山岳部での干渉性を確認した (図5)。

図5では、平野部では良好な干渉が得られているものの、山岳部ではほとんど干渉が得られていない。今回解析したペアでは2時期の軌道間距離の衛星視線方向垂直成分が約2.1kmと長く、そのために山岳部での干渉性が劣化したと考えられる。な

お、他地域の結果ではあるものの、基線長が短いペアの解析では山岳部を含めほぼ全域で干渉することが確認できている。軌道のコントロールについては、現時点では改善されていることから、今後、データの蓄積と共に基線長の短いペアでの解析が可能となることが期待される。



Analysis by GSI from ALOS raw data ©METI,

図5 「だいち」PALSARデータの解析により得られた強度画像(a)と干渉画像(b)。2007年6月4日と7月20日のペアを干渉処理した。2時期の軌道間距離の衛星視線方向垂直成分が約2.1kmと非常に長いため、平野部では干渉が得られたが、山岳部での干渉性が低下している。

#### (d) 結論ならびに今後の課題

ENVISATデータの干渉SAR解析により、長野盆地、松本盆地や山間部の平坦地で干渉が得られ、断層帯周辺の微小な地殻変動を面的に明らかにすることができた。得られた地殻変動場は、GPSキャンペーン観測の結果と調和的である。今回解析したペアの中にはGPS観測が実施されていない場所で干渉が得られているペアも存在し、干渉度が高いペアだけを用いてスタッキングを行えばGPS観測を空間的に補完できる地殻変動データを得ることができると考えられる。今後も継続的にENVISATデータの解析を進めていく予定である。

ただ、ENVISATの干渉SAR解析では山岳地域で干渉が得られず、解析範囲の多くを占める山岳地域の地殻変動を明らかにすることができない。そこで、ENVISATよりも干渉性の高いL-bandのマイクロ波を用いる「だいち」のデータを干渉解析し、研究対象地域での地

殻変動検出性の確認を行った。残念ながら、今回解析したペアでは2時期の軌道間距離の衛星視線方向垂直成分が約 2.1km と非常に長かったため、期待された山岳部での干渉度は良好ではなかった。ただし、「だいち」の軌道は、現在は高精度にコントロールされており、今後は軌道間距離が短いペアでの干渉解析が可能になると考えられる。次年度以降、蓄積データも増えることから、基線長が短いペアを用いた解析を行っていく予定である。

(e) 引用文献

- 1) Fujiwara, S., P. A. Rosen, M. Tobita and M. Murakami (1998): Crustal deformation measurements using repeat-pass JERS 1 synthetic aperture radar interferometry near the Izu Peninsula, Japan, *J. Geophys. Res.*, 103, 2411-2426.
- 2) Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Feigl and T. Rabautte (1993): The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, *Nature*, 364, 138-142.

**(3) 平成 19 年度業務計画案**

ENVISAT の SAR データを用いた干渉解析を継続して実施する。また、干渉性を向上させるための手法について検討する。

定常運用が開始された「だいち」の PALSAR データを用いて干渉解析を実施する。山岳部での「だいち」の可干渉性は ENVISAT と比較して優れていることから、北アルプスなど研究対象地域の山岳部での干渉性を確認する。