## 3.8 干渉 SAR による糸魚川 – 静岡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 による糸魚川-静岡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*	主任研究官*	矢来 博司
	研究官	小林 知勝

\*H21 年度は、国土地理院測地観測センター地震調査官

(c) 業務の目的

GPS による地殻変動観測を空間的に補完し、糸魚川ー静岡構造線断層帯(以下、「本断層帯」)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。

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ヵ年の年次実施計画

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 SAR 干渉解析を 行い、本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 SAR 干渉解析を行った。また、干渉性に優れる L-band の SAR を搭載する陸域観 測技術衛星「だいち」(ALOS) の PALSAR データを用いて SAR 干渉解析を試行し、山 岳部での干渉性を確認した。

3) 平成 19 年度:

ENVISAT、「だいち」の SAR データの SAR 干渉解析を継続して実施した。

4) 平成 20 年度:

「だいち」の SAR データの SAR 干渉解析を継続して実施した。また、ENVISAT と 同様に C-band のマイクロ波を用いる ERS-1、ERS-2 の SAR データを用いた SAR 干渉 解析を実施した。

5) 平成 21 年度:

「だいち」の SAR データによる干渉解析を継続して行った。本研究期間内に得ら れた SAR 干渉解析結果と本重点観測で行われた GPS 観測結果を統合・比較し、SAR による本断層帯周辺の面的地殻変動検出の有効性の検討を行った。

(2) 平成 17~21 年度の成果

(a) 業務の要約

SAR 干渉解析により本断層帯周辺の地殻変動の面的分布の獲得を目指す。予想される変 動量は年数 mm 程度であるため、本研究では、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、活断層周辺域の微小地殻変動観測手法の有効性について検証した。本研究 では、干渉解析にそれぞれ特性の異なる C-band (波長 5.6cm) および L-band (波長 23.6cm) 波長帯のマイクロ波で観測された SAR データを用いた。データ量の豊富な C-band に関して は、スタッキング処理により S/N 比を向上させ微小な変動検出を試みた。解析の結果得ら れた本断層帯周辺の面的地殻変動速度分布から、(1)本断層帯北部(神城断層付近)およ び長野盆地西縁断層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、(3) 牛伏寺断層付近には変形の集中は特に見 られない、(4)白馬付近で変形の集中が見られる、などの特徴が得られた。これらの結果 は GPS 観測の結果と調和的であり、断層帯近傍の微小な地殻変動を面的に検出できる可能 性が示唆された。なお、牛伏寺断層付近では SAR データによる変形の集中は認められない が、左横ずれから期待される南北方向の変動には SAR 観測による感度がないことによる可 能性がある。一方、L-band データに関しては、山間部における優れた干渉性を確認できた ものの、データ数が少ないためスタッキングなどの処理が困難であり、有意な変動検出に は至らなかった。

(b) 業務の実施方法

干渉解析には、それぞれ特性の異なる C-band および L-band 波長帯のマイクロ波によっ て観測された SAR データを用いた。C-band と L-band のマイクロ波を比較した場合、L-band 帯のマイクロ波は、植生を透過して主に地表で反射されることから、干渉性に優れている ことが知られている。また、観測間隔が長いデータを用いても、時間的な干渉性の劣化が 小さいことも特徴として挙げられる。それに対して短波長帯の C-band は、植生に覆われて いる地域では干渉性を得ることが難しい。したがって、本断層帯のように植生の濃い山岳 地帯に囲まれた領域をターゲットにした干渉解析には、L-band の SAR データ解析が有効で ある。しかしながら、C-band の SAR は、用いている波長が短いことから、長波長帯の L-band よりも変動の検出感度が高いという利点があるため、変位量が小さいと予想される地殻変 動の検出には適している。また、L-band 帯で観測可能な SAR 衛星は、ふよう1号「JERS-1」(運用期間:1992~1998年)とだいち「ALOS」(運用期間:2006年~)に限られ、本研 究期間内にデータの一部欠如があるなど、解析データが豊富に取得できない問題点がある。 それゆえ、両バンド帯のデータを使用することとした。

C-band に関しては、欧州宇宙機関(ESA: European Space Agency)の ENVISAT、ERS-1、 ERS-2 衛星によって撮像された SAR データを使用した。一方、L-band データは、2006 年に 宇宙航空研究開発機構(JAXA: Japan Aerospace eXploration Agency)により打ち上げら れた衛星「だいち」(ALOS)のデータを用いた。解析に利用したデータは、本断層帯周辺を カバーするように、ENVISAT では Track303 の Frame2871-2889、Track031 の Frame2889、ERS では Track031 の Frame2871 の観測データを使用した(図1)。一般に、軌道間距離が短い ほど、また観測間隔が短いほど干渉性が高くなる。そのため、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解析を行った。 最終的に、ENVISATでは2003年3月から2007年3月までの24ペアを、ERSデータでは1992 年6月から1999年10月までの30ペアを解析した。一方、「だいち」が本断層帯を撮像す る軌道には、Ascending(北行)軌道のPath408、409のFrame710-720およびDescending (南行)軌道のPath61、Frame2880-2890がある。2006年の打ち上げ以降、上記軌道では 計42回の撮像が行われた。本研究では、そのうち、地殻変動検出のために適した垂直軌道 間距離が短いデータペア(今回は1km以内とした)を適宜抽出して解析した。



図4 解析に用いた衛星の各軌道の撮影範囲(白枠)。左:「だいち」(ALOS)。右:ENVISAT, ERS。

干渉解析には、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)を適用し差分干渉画像を得た。解析ソフトウェアは、L-band
 データでは国土地理院で開発されたGSISAR(藤原・飛田, 1999;飛田・他, 1999;藤原・
 他, 1999;飛田, 2003)を、C-bandデータではガンマ・リモートセンシング社のGamma

(Wegmüller and Werner, 1997)を用いた。地形縞をシミュレートするための既存のDEMと してL-bandデータの解析では国土地理院の50mメッシュDEM、C-bandデータではSRTM3-DEM を用いている。また、C-bandデータに関しては、軌道縞のシミュレーションにDORIS軌道情 報を利用した。

干渉解析後、SAR データによって得られた本断層帯周辺の位相変化が、GPS による地殻 変動観測を空間的に補完し得るかを検証するために、本重点観測における「GPS 観測によ る詳細地殻変動分布の解明」によって得られた地殻変動量との比較を試みる。本研究では、 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、S/N 比を向上させ微小地 殻変動の獲得を試みる。後述するように、「だいち」データの解析成果から、この地域は大 気中水蒸気起因の位相遅延によるノイズが顕著に含まれる傾向にあることから、この方法 は、時間的にランダムに重畳されていると考えられる水蒸気による位相遅延の影響を低減 させる効果も期待される(Fujiwara et al., 1998)。その際、干渉画像の位相情報は-2π ~+2πに折りたたまれているため、折りたたまれた位相を絶対位相量に戻す処理(アンラ ッピング)を施した後、位相アンラッピング済みのデータを用いて平均変位速度を求める ためのスタッキング処理を行った。SAR 干渉解析では、衛星と地表間の1成分の変位量し か抽出できないため、GPS 観測によって得られた3成分の変動を衛星視線方向に変換し比 較を行った。ただし 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。

- (c) 業務の成果
  - 1) C-band データ(ENVISAT、ERS-1、ERS-2)の SAR 干渉解析結果 図 2 は、C-band データにより得られた差分干渉 SAR 画像の例である。図 2 (a)は ENVISAT データによる本断層帯北部・中部、(b)は同じく ENVISAT による本断層帯 南部、(c)は ERS データによる本断層帯南部の干渉画像である。色の1周期が衛星視 線方向の2.8cmの変動量差に相当する。図 2 (a)を見ると、長野盆地や松本盆地~諏 訪湖周辺などでは良好な干渉が得られており、山間部に点在する谷間の平坦部など の一部でも干渉が得られている。それに対し、山岳部ではほとんど干渉していない。 図 2 (b) (c)における南部の干渉結果を見ても、甲府盆地などの平坦部では干渉して いるものの山岳部では干渉していないことがわかる。

この結果から、大部分が植生の濃い山間地域である本断層帯周辺においては、 C-bandデータによって GPS 観測網を完全に空間的に補完して変動分布を獲得するこ とは困難であることが分かった。しかしながら、平坦地においては、ENVISAT、ERS の豊富なデータ蓄積量や C-band 特有の変動の検出感度の高さという利点から面的 に変位分布が獲得できる可能性が残されている。本研究では、図2に示すような干 渉解析を数多く行い、それら干渉画像をスタッキング処理することにより地殻変動 の検出を試みた。詳しい解析結果は、GPS 観測との比較も含めて3)にて説明する。

2) L-band データ(だいち)の SAR 干渉解析結果

図3と図4に「だいち」によるL-bandデータを用いた干渉解析結果の事例を示す。 解析の結果、ほぼシーン全体にわたって干渉が得られた。観測期間が2年を超える ペアでは山間部において干渉性の低い領域が現れることもあるが、垂直基線長距離 が2kmを超えるような軌道が大きく乖離したペアや積雪期のデータを除けば、どの ペアでも良好な干渉画像が得られることが分かった。前述のように、波長の短い C-bandデータでは、いかに軌道間距離が短くかつ観測期間が短くても一部の平坦部 を除きほとんど干渉しない。L-bandデータが、本研究対象地域の大部分を占める山 岳部における地殻変動検出にとって、非常に適性の高いデータであることがわかる。



図2 (a) ENVISAT データの解析で得られた本断層帯北部〜中部の SAR 干渉画像例(観測 期間 2003/04/15~2005/09/06、Bperp= 9m)。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。(b) ENVISAT データの解析で得られた本断層帯南部の干渉画 像の例(2003/03/27~2004/12/16、Bperp=-137m)。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。(c) ERS-1 データの解析で得られた本断 層帯南部の干渉画像の例(1992/7/13~1993/5/24、Bperp= 13m)。諏訪湖周辺や甲 府盆地など平坦な領域で干渉が得られている。いずれの図も、色の1周期が2.8cm の衛星視線方向の変動に相当する。

## Ascending







Analysis by GSI from ALOS raw data of METI, JAXA

図に見られるように、干渉画像には少なからず位相変化が認識できる。しかしな がら、これらのほとんどが地殻変動ではなく、大気中の水蒸気を原因とする位相遅 延による見かけ上の変化であると考えられる。大気中水蒸気の分布が地形と相関を 持ち、しばしば標高に相関した見かけ上の位相変化が現れることが知られている (Fujiwara et al., 1998; 藤原・他, 1999)。図4(c)(青点)は、2007年9月2 日~2009年10月23日のペアによる干渉データを用いて、位相変化(縦軸)を標高 (横軸)の関数としてプロットしたものである。位相変化量のばらつきは大きいも のの、標高と位相変化にはほぼ線形の関係が見て取れる。今回解析したペアには、 このような標高相関が含まれるケースが非常に多いことがわかった。本研究の担当 者は、これまで様々な地域で SAR 干渉解析を行ってきたが、その経験からも地形相 関の強い位相変化が含まれやすい地域であると言える。

標高相関の位相を軽減するために、藤原・他(1999)で提案される手法の適用を 試みた。すなわち、標高と相関のある位相を、最小二乗法で標高の一次関数として 求めて(図4(c)緑線)、原干渉データ(図4(c)青点)から差し引いた(図4(c)赤 点)。図4(b)は、補正後の干渉画像である。図からも明らかなように、標高に相関 した位相変化が大部分軽減されたことがわかる。しかしながら、依然2~3 cm 程度 の残差があり、それらが本断層帯の北部にかかって、実際の地殻変動とノイズとの 分離を困難なものとしている。地震時などの数十 cm レベルの変動検出には、有効に 機能するノイズ軽減法と考えられるが、年数 mm の変位量をターゲットにするには S/N 比が依然として低く、有意な地殻変動検出には至らないと考えられる。



[2007/09/02 - 2009/10/23]

図4 標高に相関する位相変化量の補正。(a)補正前の干渉図。(b)補正後の干渉 図。(c)標高と位相変化量の関係。

このような標高相関補正法のほかに、スタッキング処理も標高相関ノイズの軽減 に有効であることが知られている(Fujiwara et al., 1998)。大気中の水蒸気分布 は、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多数足し 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 処理が有効な場合がある。しかしながら、スタッキング処理は独立したペアが多数 なければその効果はほとんど見込まれない。本研究で対象とする地殻変動は、年数 mm 程度の非常に微小な変位量である。このことを考慮に入れて、地殻変動検出のた めに適した、非積雪期に撮像された垂直軌道間距離が1km以内でかつ観測期間が1 年以上のペアを解析条件としてデータを選定したところ、条件に適うペアは全て Path409 からのデータが対象となり、2007/07/18~2009/09/07、2007/07/18~ 2009/10/23、2007/09/02~2009/10/23 の3ペアのみであった。今回のケースでは、 独立したペアは2つしか存在せず、残念ながらスタック処理の効果はほとんど期待 できない。

本研究期間内において、「だいち」が対象領域を撮像した期間はわずか2年足らず であった。また、「だいち」衛星は運用時間の経過とともに軌道間の距離が徐々に広 がっていき、干渉処理に適した垂直軌道間距離の短いペアが少ないという問題にも 直面した。「だいち」の打ち上げが、当初の予定より遅れ本研究開始後の2006年1 月24日となったため、当初計画では想定することの出来なかった幾つかの問題が発 生し、「だいち」による本断層帯周辺の地殻変動検出は困難なものとなった。しかし ながら、本研究により、L-bandを用いた山間部の干渉処理による地殻変動検出の有 効性や対象領域における水蒸気起因のノイズ軽減の必要性を明瞭に示すことが出来 たことは、C-band データでは得ることの出来ない知見であった。

なお、副次的な成果ではあるが、山間部において高い干渉性が得られたことによ り、地すべりなどの山岳部での局所的な地表面変動が本研究において検出された(図 5)。このことは、L-band の SAR 干渉解析が地表状態の監視に役立つことを意味す る。GPS などの地殻変動観測では地すべりなどの擾乱を受けていないことが望まし いが、GPS 単独では地殻変動とそれ以外の局所的な変動を分離することは困難な場 合が多い。山岳部でも干渉性の高い L-band の SAR データにより GPS 観測点周辺の地 表状態の監視が可能となり、GPS データの信頼性を担保する役割も果たすことが期 待される。なお、本重点観測での「GPS 観測による詳細地殻変動分布の解明」で実 施されている GPS キャンペーンの観測点周辺で局所的な変動が検出されていないか を調査したところ、今回の解析期間では、繰り返し GPS 観測点は地すべり等の影響 を受けていないことが分かった。



図5 検出された地すべり変位の例(白枠線 内)。この例では変位は既知の地すべり 地形内で発生している。なお、赤男山 東斜面の地すべり変位は複数のペアに おいて検出されており、変位が継続し ていることを示している。



3) C-band データの干渉 SAR 解析結果と GPS 解析結果の比較

本節では、データ量の豊富な C-band データの SAR 干渉画像をスタッキングして処 理することにより S/N 比の高い地殻変動分布を獲得し、それらと「GPS 観測による 詳細地殻変動分布の解明」によって獲得された地殻変動量との比較を試みる。図6 (a)は、本断層帯北部・中部の干渉画像においてスタッキング処理を施したものであ る。2003 年4月から 2005 年 10 月までの ENVISAT データ9ペアのうち、大きな水蒸 気起因ノイズが含まれたペアを除いた4ペア(2003 年4月15日~2005 年9月6日、 2003 年 10 月 7 日~2004 年 11 月 30 日、2004 年 11 月 30 日~2005 年 4 月 19 日、2003 年 6 月 24 日~2005 年 8 月 2 日) をスタッキングして得られた変位分布図である (本 断層帯北部の臼田固定)。変動場からは、(1) 長野盆地よりも南部では中央隆起帯の 西側に変形が集中している、(2) 牛伏寺断層付近には変形の集中は特に見られない、

(3) 白馬付近で変形の集中が見られる、ことが認識できる。さらに詳細に変動分布 を調べるために、本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)での変動速度プロファイルを作成し、干渉 SAR 解析で得 られた変動速度場と本研究期間において GPS 観測で獲得された変動速度(赤点)の 比較をした。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 10~2005 年 11 月、GPS 連続観測が 2003 年 1 月~2005 年 12 月である。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。すなわち、(1)本断層帯北部(神城断層付近)および長野盆 地西縁断層近傍に変形が集中している、(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。なお、Profile1に見られる長野盆地西縁断層 と本断層帯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。ただし、松本周辺のプロファイル(Profile 3)では、GPS で見られてい た牛伏寺断層の左横ずれを示唆する南北方向の変動は衛星視線方向と直交するため 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6(b)は、本断層帯南部の干渉画像において同様にスタッキング処理を施したも のである。ERS データの解析結果のうち、1992年7月から1995年7月までの期間の 7ペアについて、アンラッピングを行い衛星視線方向の変動量に換算したものをス タッキングし、年平均変動量を求めたものである。諏訪湖周辺を基準とすると、諏 訪湖よりも北西側では衛星に近づく向きへの変動(東方向 and/or 隆起)、南側では 衛星から遠ざかる向きの変動(西方向 and/or 沈降)が得られた。このような変位パ ターンは、ENVISAT 衛星を用いた干渉画像(図2(b))からも読み取れる。南部地域 においては GPS キャンペーン観測が展開されていないことから詳細な比較は出来な いが、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、 速度はやや大きくなっている。



図6 SAR 干渉画像のスタッキングにより得られた本断層帯周辺の変動速度分布。 (a)本断層帯北部 (臼田に対する相対変動速度)。(b)本断層帯南部。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。



図7 SAR 干渉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-長野方向、(Profile 2) 大町-上田方向、 (Profile 3) 松本周辺。図6(a) 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。な お、ISTL は本断層帯、WNBF は長野盆地西縁断層帯の位置を表す。

(d) 結論ならびに今後の課題

C-band および L-band の SAR データを用いた干渉解析を行い、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。得られた結果は、以下のようにまとめられる。

1) C-band データ (ENVISAT, ERS-1、ERS-2)の SAR データを用いて干渉 SAR 解析を行い、 本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、松本盆地、諏訪湖周辺、甲府盆地および山間部の平坦地でなどで 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。

複数の干渉画像のスタッキングを行うことで、大気中の水蒸気による位相遅延の影響を

軽減し、S/N 比を向上させることで、本断層帯周辺の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)本断層帯北部(神城断層付近)および長野盆地西縁断層近傍に 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、(3)牛伏寺断層付近には変形の集中は特に見られない、(4)白馬付近で変 形の集中が見られる、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った。 なお、牛伏寺断層付近では SAR データによる変形の集中は認められないが、左横ずれから 期待される南北方向の変動には SAR 観測による感度がないことによる可能性がある。一方、 本断層帯南部では、諏訪湖周辺を基準とすると、諏訪湖よりも北西側では衛星に近づく向 きへの変動(東方向 and/or 隆起)、南側では衛星から遠ざかる向きの変動(西方向 and/or 沈降)が得られた。このように7年以上にわたる長期間の C-band データをスタッキング処 理して S/N 比を向上させることで、本断層帯近傍の微小な地殻変動を面的に明らかにでき る可能性が示唆された。

2)「だいち」データの SAR 干渉解析では、山岳部を含めたほぼシーン全体にわたって 干渉が得られることがわかった。C-band データでは諏訪湖周辺、甲府盆地や山間部の平坦 地域のみしか干渉しなかったことを考慮すると、本研究対象地域の大部分を占める山岳部 周辺における地殻変動検出には L-band データが非常に適性の高いデータであることを示 している。しかしながら、地形に相関した数 cm レベルに達する見かけ上の位相変化の影響 が含まれ易い地域であることも分かった。これらの水蒸気起因のノイズを軽減するために も、複数の干渉画像をスタッキングすることで S/N 比を高めることが、微小地殻変動を検 出する上で有効と考えられる。しかしながら、「だいち」による当該地域の撮像開始から2 年足らずであり、また衛星軌道間距離が大きいため干渉解析に適したデータペアが極めて 少ないことから、現段階ではスタッキング処理解析の有効性が見込めない。今後「だいち」 による撮像が継続して実施されることにより、SAR データの蓄積が進み、当該地域の微小 地殻変動を面的に把握できるものと期待される。

以上、長期間の観測データの蓄積、かつ垂直軌道間距離が数百mの条件を満たした SAR データを多数使用して、より精度を上げることができれば、年数mmの速度で進行するよう な微小地殻変動も、検出が可能となるものと期待される。L-bandの SAR データが山間部に おける干渉解析に適しているが、現段階ではデータ数の制約などから C-band データである ENVISAT、ERS-1、ERS-2 衛星の SAR データが本目的において有用である。ただし、GPS との 定量的な整合性に関しては、議論の余地があり、微小地殻変動を面的に把握して GPS 観測 の空間的補間情報を得るには、さらなる研究が必要とされよう。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期待される。

謝辞:「だいち」のデータは、国土地理院とJAXAの「陸域観測技術衛星を用いた地理 空間情報の整備及び高度利用に関する協定書」に基づき、国土地理院がJAXAから購入した ものである。データの著作権はMETI、JAXAにある。

- (e) 引用文献
- Fujiwara, S., P. A. Rosen, M. Tobita and M. MurakamiCrustal deformation measurements using repeat-pass JERS 1 synthetic aperture radar interferometry near the Izu Peninsula, Japan, J. Geophys. Res., 103, 2411-2426, 1998.
- 2)藤原 智,飛田幹男,地殻変動検出のための干渉SAR画像作成技術,日本測地学会誌,第45巻,283-295,1999.
- 3)藤原 智・飛田幹男・村上 亮・中川弘之・Paul A. Rosen, 干渉 SAR における地表 変動検出精度向上のための基線値推定法と大気-標高補正,測地学会誌,45,315 -325,1999.
- Massonnet, D., M. Rossi, C. Carmona, F. Adragna, G. Peltzer, K. Feigl and T. Rabaute, The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry, Nature, 364, 138-142, 1993.
- 5) 飛田幹男,藤原 智,村上 亮,中川弘之, P. A. Rosen, 干渉SARのための高精度 画像マッチング,日本測地学会誌,第45巻,297-314,1999.
- 6) 飛田幹男, 合成開口レーダー干渉法の高度化と地殻変動解析への応用, 測地学会誌,
  49, 1-23, 2003.
- Wegmüller, U., and C. L. Werner, Gamma SAR processor and interferometry software, in Proceedings of the 3rd ERS Symposium, Eur. Space Agency Spec. Publ., ESA SP-414, 1686-1692, 1997.