

# 岩手山周辺の JERS-1 差分干渉 SAR による地殻変動の検出\*

## Ground Deformation Activities Detected by Differential Interferometric SAR Using JERS-1/SAR around Iwate Volcano

宇宙開発事業団地球観測研究センター  
名古屋大学理学部

Earth Observation Research Center (EORC), National Space Development Agency of Japan (NASDA)  
School of Science, Nagoya University

岩手山周辺の地殻活動及び本年9月3日16時58分に岩手県雫石町付近で発生したM6.1(北緯39度48分, 東経140度55分)の地震に伴って生じたと考えられる地殻変動を, 地球資源衛星1号(ふよう1号)に搭載されている合成開口レーダー(SAR; Synthetic Aperture Radar)の観測データを差分干渉法(D-InSAR: Differential Interferometric SAR)を用いて解析し検出した。なおこの衛星は, 計画された運用機関の3倍以上の約6年半にわたって運用されてきたが, 平成10年11月12日をもって運用停止となった。

以下のすべての差分干渉図では, SAR画像の倒れ込み(フォアショートニングの効果)を補正した後に地図投影されている。第1図は, 98年3/17から4/30の間の差分干渉図である( $B_p = 760\text{m}$ ,  $dh/dphi = 70\text{m}$ )。この期間には顕著な地殻変動は見られない。なお, 図中のカラーバーは, +の方向が衛星の視線方向に近づくことを示す。第2図は98年4/30から7/27の間の差分干渉図である( $B_p = 860\text{m}$ ,  $dh/dphi = 61\text{m}$ )。岩手山, 秋田駒ヶ岳, 八幡平に及ぶ広域な変動(最大視線距離変動約10cm)が生じていた。第3図は97年11月5日から98年9月9日の間の差分干渉図である( $B_p = 370\text{m}$ ,  $dh/dphi = 143\text{m}$ )。

この2画像は軌道間距離も短く画像全体に渡ってコヒーレンス(相関)がよい。岩手山を1つの頂点とした1辺約20kmの三角形領域で最大約10cmの視線距離変動(衛星に近づく: 隆起のセンス)と, 雫石付近の断層を境に西側が最大約40cm程の(衛星に近づく)視線距離変動が重なっているのが見られる。ただし, 岩手山山頂付近については, 急峻な地形の影響に関してさらに検討が必要と考えられる。第4図は, 第3図から第2図の変動を差し引いたものである(4パス差分干渉法)。9/3の地震に伴う地殻変動のみが抽出されている。断層を挟んだ東側には顕著な視線距離変動は見られないようである。また岩手山周辺では視線距離が若干遠ざかるセンスに見られる。

次に, 4/30-7/29に見られた広域変動を詳しく見てみよう。第5図は4月30日から6月13日までの差分干渉図( $B_p = 130\text{m}$ ,  $dh/dphi = 406\text{m}$ )で, 第6図は6月13日から7月27日までの差分干渉図( $B_p = 1440\text{m}$ ,  $dh/dphi = 37\text{m}$ )である。いずれの期間にも広域変動が認められるが, 明瞭な地殻変動の抽出にはさらなる検討が必要と考えられる。対応のために第7図にSAR振幅画像を, 第8図にカラー標高図を示した。また図中には黒丸で国土地理院のGPS連続観測点を記した。

以上の結果は, まだ定量的な精度には改善の余地が残されているが, 第2図で明らかのように, 98年5月初めからM6.1の地震発生の前までに, かなり広範囲の変動(衛星の視線方向に地表が近づく: 隆起もしくは東方移動)があったことを暗示している。

(注) 差分合成開口レーダー干渉法についての概略

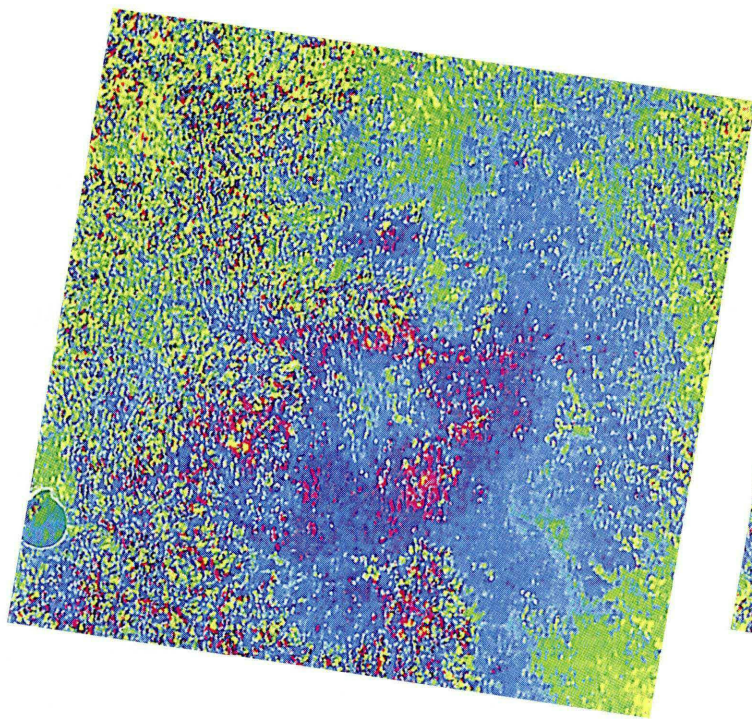
合成開口レーダーとは, 移動しながらマイクロ波パルスを地面に向けて斜めから発射し続け, 各地点からそれぞれ異なるドップラー変調した反射波(の時系列)を受信し続ける。Range, Azimuth方向に広がった信号を1点に圧縮することで画像が再生される。Rg方向9m, Az方向5mの地上分解能で(各地点からの)後方散乱強度と位相の情報が得られる。

\* Received 14 Dec., 1998

干渉 SAR とはわずかに異なる位置から観測した 2 枚の SAR 画像間の同一地点を厳密に重ね合わせて、その地点から衛星位置 1 (Master), 衛星位置 2 (Slave) までの視線距離 (位相) を差し引きすることである。得られる interferogram には大きく分けて軌道縞 (地球表面の曲率に沿った位相変化) や地形縞 (地表面の凹凸による位相変化) さらに実際に地表面が (視線方向に) 移動することによる位相変化や水蒸気などによる様々なノイズ源が含まれる。簡単な幾何学から、軌道縞の変化率は  $\lambda R / (2 B_p \cos \theta)$  ( $\lambda$  はマイクロ波の波長: JERS-1 の場合約 23.5cm,  $R$  は衛星までの距離: 約 700km,  $B_p$  は軌道間距離の垂直成分,  $\theta$  はマイクロ波の入射角: 約 40度) で、地形縞の変化率 ( $dh/d\phi$ : 位相が  $2\pi$  変わることに対応した標高の差) は  $\lambda R \sin \theta / (2 B_p)$  で表される。従って、衛星の位置ベクトルと地球楕円体が与えられれば軌道縞を計算することができ、また (SAR 画像に厳密に重ね合わせられる形にした) 数値地形図 (国土地理院発行 50m メッシュ地形図) を用いて、軌道間距離  $B_p$  に従いながら地形縞を予めシミュレーションしておくことが可能である。

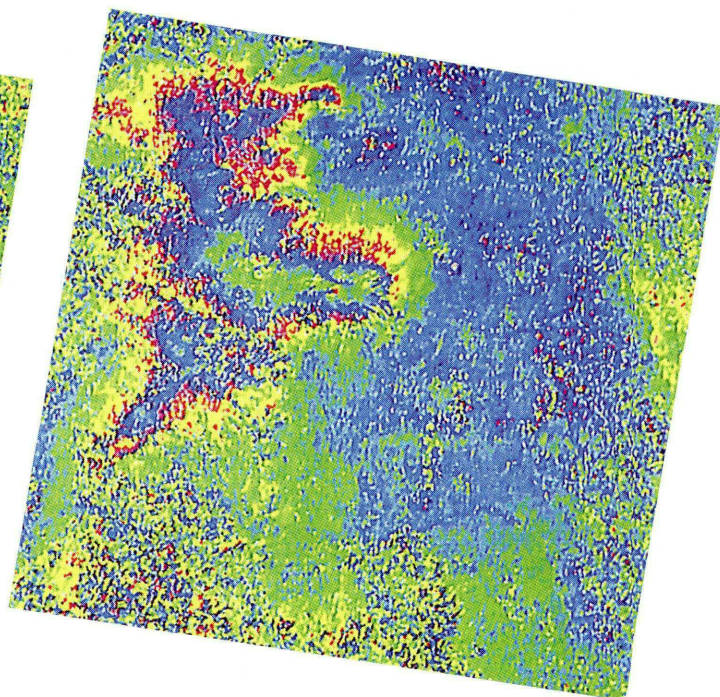
それらを元の interferogram から差し引けば地表面の変動に伴う位相情報を抽出することができる。これを差部干渉 SAR と呼んでいる。最終的な差分干渉図は、位相情報の連続性を保つためピクセルを平均化するのが普通で以下に示す図では地上分解能は約 50m 程度である。今回紹介した図はすべて Descending 軌道からのもので、地殻変動の視線方向 (東から約 9 度南の水平線から約 50 度の方向) 成分が面的に計測されたものである。地殻変動の南北成分を  $U_n$  (北向き +), 東西成分を  $U_e$  (東向きを +), 上下成分を  $U_u$  (上向きを +) とすれば視線方向成分  $U_s$  は、 $U_s = 0.6 U_e - 0.1 U_n + 0.8 U_u$  (衛星に近づく方向を +) となる。地殻変動による位相変化率はマイクロ波の波長だけで決まるので、往復を考慮して  $\lambda / 2 = 11.8\text{cm}$  の視線距離変動が差分位相変化  $2\pi$  に相当する。これをカラーバーで表している。例えば、緑  $\rightarrow$  黄  $\rightarrow$  赤の方向は衛星に近づく変動を意味している。また、ここに示したすべての差分干渉図では、SAR 画像の倒れ込み (フォアショートの効果) を補正した後に地図投影されている。





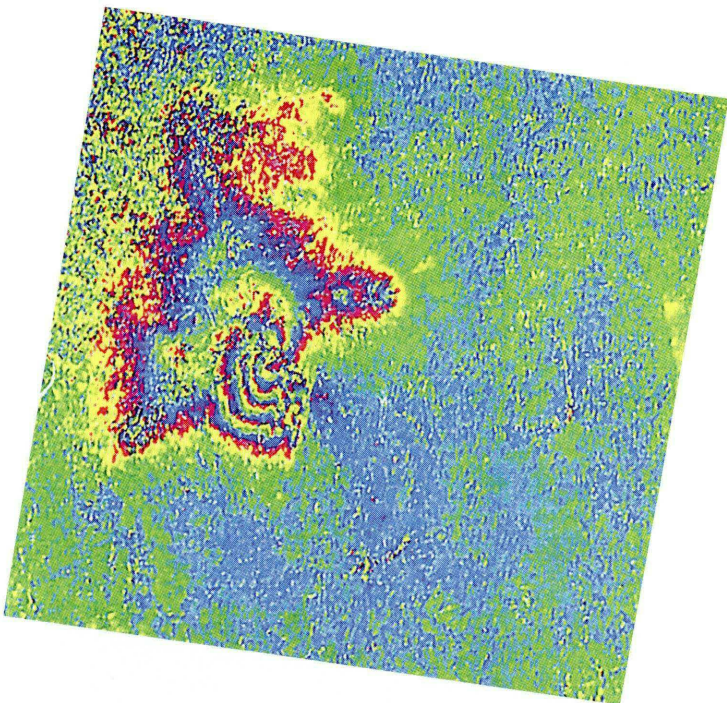
第1図 98年3月17日から4月30日間の差分干渉図 (Bp = 76m、dh/dphi = 70m)。

Fig. 1 Differential Interferogram for the period of 98/3/17 and 98/4/30 (Bp = 760m、dh/dphi = 70m).



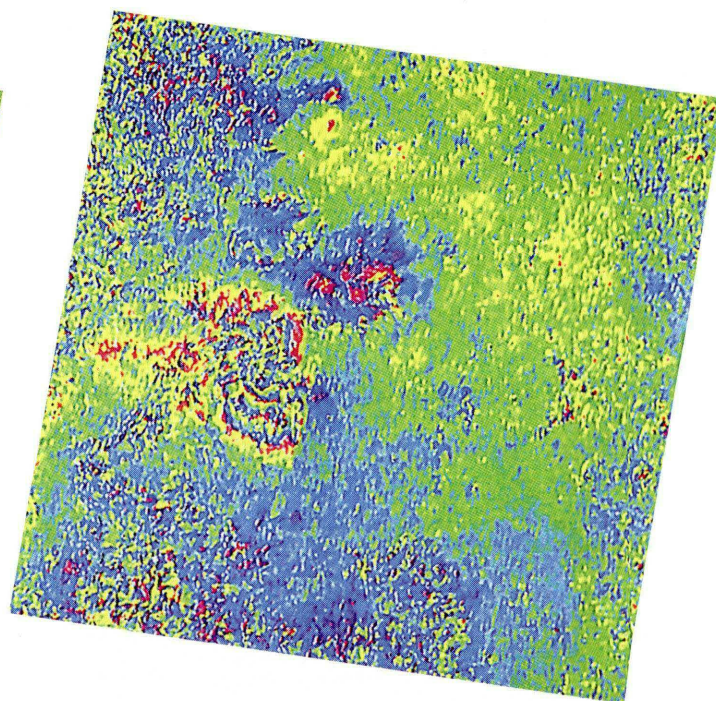
第2図 98年4月30日から7月27日間の差分干渉図 (Bp = 860m、dh/dphi = 61m)。

Fig. 2 Differential Interferogram for the period of 98/4/30 and 98/7/27 (Bp = 860m、dh/dphi = 70m).



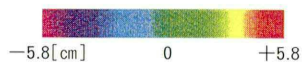
第3図 97年11月5日から98年9月9日間の差分干渉図 (Bp = 370m、dh/dphi = 143m)。

Fig. 3 Differential Interferogram for the period of 97/11/5 and 98/9/9 (Bp = 860m、dh/dphi = 70m).

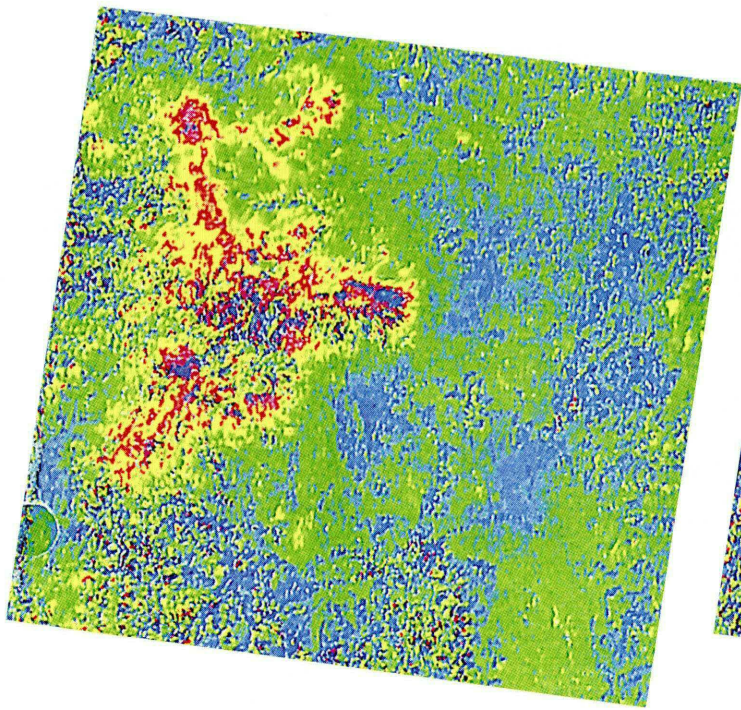


第4図 第3図から第2図の変動を差し引いたものである (4パス差分干渉法)。

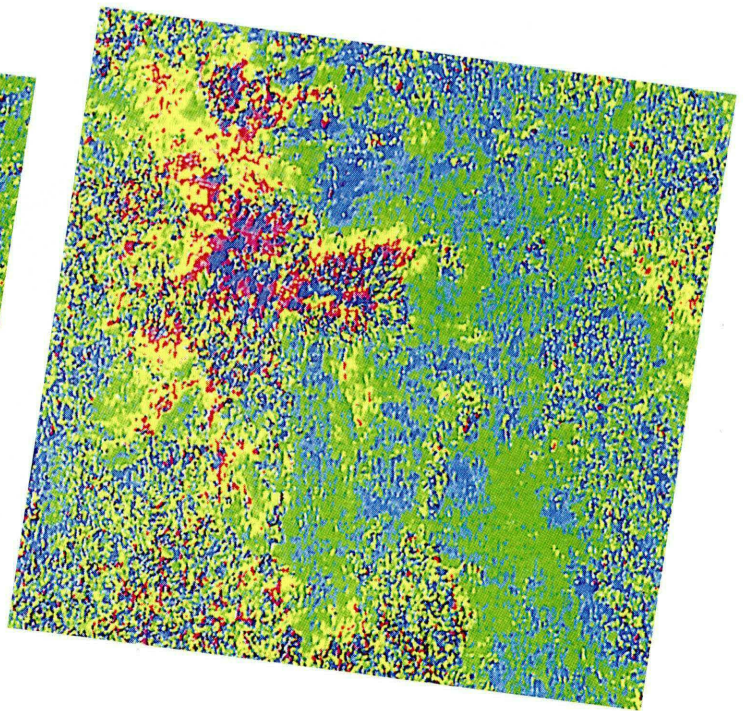
Fig. 4 Deformations estimated from phase difference between data in Figs 2 and 3. (The four path Differential Interferometric Method).



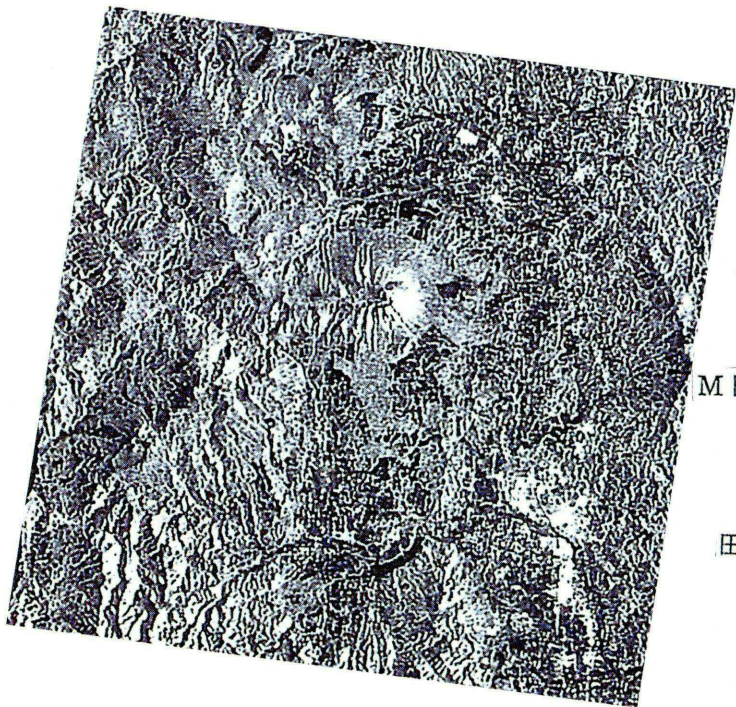




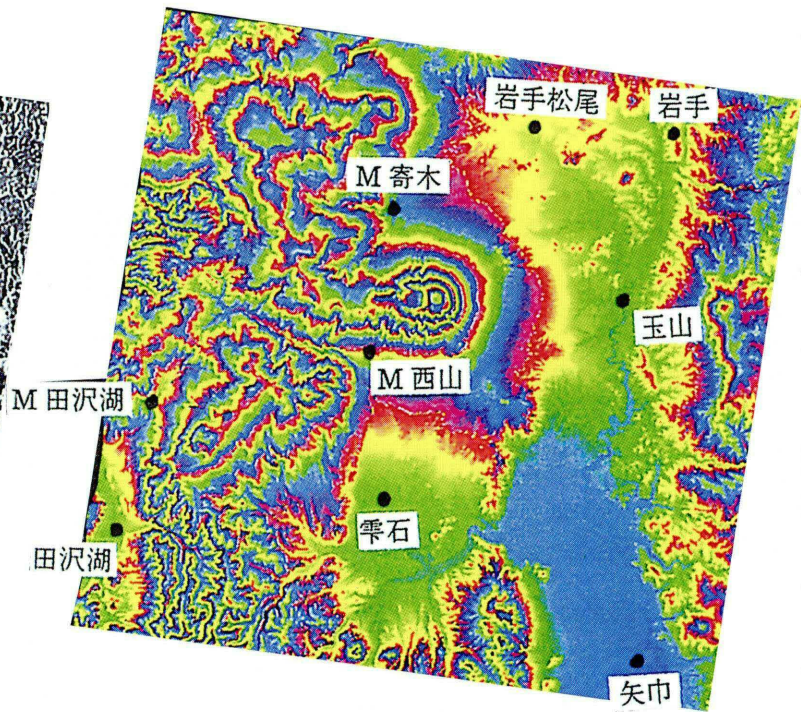
第5図 4月30日から6月13日までの差分干渉図 (Bp = 130m、dh/dphi = 406m)。  
 Fig. 5 Differential Interferogram for the period of 98/4/30 and 98/6/13 (Bp = 130m、dh/dphi = 406m).



第6図 6月13日から7月27日までの差分干渉図 (Bp = 1440m、dh/dphi = 37m)。  
 Fig. 6 Differential Interferogram for the period of 98/6/13 and 98/7/27 (Bp = 1440m、dh/dphi = 37m).



第7図 SAR 振幅画像 (後方散乱強度画像)  
 Fig. 7 Power image of SAR (Intensity image of back scattering).



第8図 カラー標高図。また、黒丸でGPS連続観測点 (国土地理院) を示す。  
 Fig. 8 Topographic map by color contour. Black dots are continuous GPS stations (GSI).

