



# 東京大学 地震研究所 ニュースレター

2007年1月

## 目次

### 第845回地震研究所談話会

- ・ 話題一覧 p. 1
- ・ 今月のピックアップ： JERS SARによる伊豆大島火山の地殻変動と数値地図の同時推定およびALOS SARによる検証 p. 2

人工衛星などに搭載した合成開口レーダー（SAR）で取得した2時期の画像から、地表の地殻変動を精密に求める技術が干渉 SAR（InSAR）ですが、最近、新しい PS-InSAR と呼ばれる方式が開発されています。

### 第845回地震研究所談話会（2006年12月22日）

#### 話題一覧

★は以下に詳しい内容を掲載しています。

1. スタグナントスラブを「診る」ための海底地震・電磁気長期観測：第1期観測の速報  
塩原 肇・馬場聖至・志藤あずさ・川勝 均・金沢敏彦・歌田久司、  
後藤忠徳・杉岡裕子・笠谷貴史・伊藤亜妃・Adam Claudia（海洋研究開発機構）、  
一北岳夫（テラテクニカ）
2. タングステン同位体トレーサーを用いたコアーマントル相互作用の検証  
中井俊一・賞雅朝子・Ali Arshad・Sahoo YuVin、羽生 毅（海洋研究開発機構）
3. 東海スロースリップイベントに対応する地磁気全磁力の変化について  
山崎健一・上嶋誠・小河勉・小山茂
4. GEONET4次元電離層トモグラフィーによる地震起源の電離層擾乱伝播の時空間構造：2003十勝沖地震の場合  
綿田辰吾、大林政行（海洋開発機構）、小沢慎三郎（国土地理院）
- ★ 5. JERS SARによる伊豆大島火山の地殻変動と数値地図の同時推定  
およびALOS SARによる検証  
古屋正人

# JERS SAR による伊豆大島火山の地殻変動と数値地図の同時推定 および ALOS SAR による検証

古屋正人 (東京大学地震研究所)

長いタイトルになっていますが、今日は、最近の InSAR (干渉合成開口レーダ) 技術はどういう状況にあるかをお話します。

## 標準的な InSAR とは

まず、標準的な InSAR とはどのようなものかを簡単にレビューします。InSAR とは、同一地域の SAR 画像を複数持ってきて、一方の複素数データと他方の複素数データの位相の違いを見ることです。もう少し直感的な説明をすると、ヤングの二重スリットの実験のようなことをやっています (図 1 右)。ヤングの実験の 2 本のスリットが InSAR では衛星の軌道に相当し、「基線長」と呼びます。ヤングの実験では、スリットの向こう側に濃淡の干渉縞ができます。同じように、InSAR によって最初に得られる干渉画像も縞々となります (図 1 左)。これを「軌道縞」と称しています。

では、InSAR の位相と基線長の関係がどうなっているか。図 2 左は衛星の軌道を断面で切ったものです。位相は視線方向距離の差  $\delta R$  によるもので、 $B_{\parallel}$  とある基線の終点方向の投影はデータそのものですが、最初に得られる干渉画像では縞々がいっぱい見えます。干渉縞の位相を  $R$  で微分すると、縞の  $R$  方向への混み具合が分かり、基線直交方向の  $B_{\perp}$  に比例することが分かります。要するに、 $B_{\perp}$  が長いほど縞が密になります。

衛星が完全に平行に飛んでいて、地面が完全にフラットだったら、きれいな縞模様が出ます。しかし、実際には地面がでこぼこしているので、ゆがんだ縞が出てきます。この地形による縞を「地形縞」と称します。干渉縞から軌道縞を取り除いたものから数値標高モデル (DEM: Digital Elevation Model) の元になります。そして、二つの衛星が通る間に地殻変動が起きると、干渉縞に地殻変動の影響が出ます。したがって、

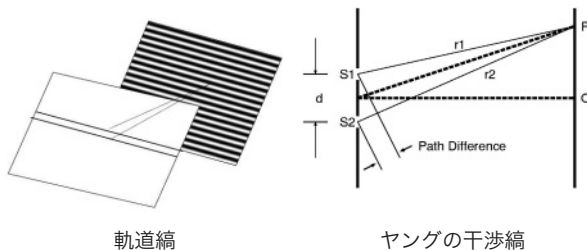


図 1: InSAR とは

干渉縞から軌道縞と地形縞を取り除けば、地殻変動の図ができる。これが InSAR による地殻変動検出の原理です。

## PS-InSAR の登場

ここまでの標準的な InSAR ですが、今日の話のメインは PS-InSAR です。2000 年に PS-InSAR という技術が登場しました。イタリアのミラノ工科大学の人たちが最初にやり出した手法です。

PS-InSAR は何が新しいか。標準的な InSAR と同じように空間パターンで画像が出るだけではなく、各ピクセルごとの時系列の変化が得られます、というのが PS-InSAR の売りの一つです。この論文が出て以来、世界中の測量会社や大学などで、いろいろな人がこの手法を取り入れるようになりました。

PS-InSAR の第一の特徴は、標準的な InSAR と違い、画像のすべてのピクセルを用いないということです。PS-InSAR の PS とは Permanent Scatterer の略で、恒久散乱体のことです。砂地などではなく、ビルのような反射の位相が非常に安定なターゲットである恒久散乱体を含むピクセル候補の値だけを使います。通常の InSAR ではものすごいデータ量になりますが、これによりデータ量をかなり減らすことができます。

20 枚以上の画像を一気に使って一種の重ね合わせをすることも、PS-InSAR の特徴です。それらを位相モデルに当てはめ、DEM の補正量や変形量などを同時に推定します。また、通常ならば捨てられるデータも

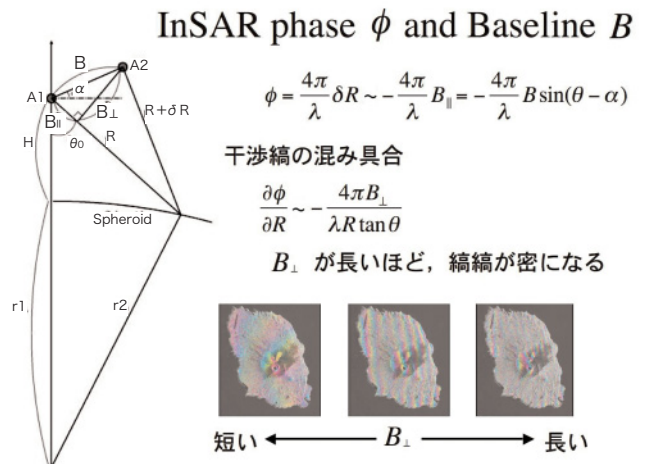


図 2: InSAR で得られる位相と基線長(軌道間距離)の関係

活用されます。そして、先ほども言いましたが、時系列情報の推定が可能であるという特徴があります。

## PS-InSAR による 伊豆大島火山の地殻変動の解析

JERS-1 (地球資源衛星「ふよう1号」) の1992～1998年のデータを使い、伊豆大島の地殻変動を調べました。地形縞の推定には、国土地理院の50mメッシュのDEMを使いました。1992～1998年のデータはたくさんあり、その中から初期推定に使う26枚の画像を選びました。

まず、各画像の中でのポイントターゲット、PS候補を選択します。図3左でグレーのピクセルの値は使っていません。次に、候補点におけるデータ値、DEM値だけを取り出します。そして、候補点の値だけを使って干渉画像を作ります。

ここまでは標準的なInSARとほとんど同じです。しかし、こうしてできた干渉画像をよく見ていただくと、縞々がまだ残っています(図4)。地殻変動や大気の影響は干渉画像に出ますが、本当にいい位相が求まると、こういう変な縦縞は残りません。これは軌道の誤差が原因なので、軌道を再推定します。

位相モデルに組み込み、軌道を再推定した後の干渉画像が図5です。カルデラ周辺に地殻変動らしきものが見えています。しかし、実はこのすべてが地殻変動ではないということ、これから説明します。

位相モデルとは、図6に示したようなものです。InSAR画像の束を位相モデルの式に放り込んでしまう。要するに、 $j = 1 \sim 26$ までの26枚の干渉画像を一つの式に当てはめます。基線長の視線方向垂直成分( $B_{\perp}$ )と $\delta t$ という二つの軸は既知です。 $dh$ は、最初に仮定していたDEMからのずれです。DEMへの補正と、実際に起きた地殻変動、それ以外のものをどさっと持ってきて位相モデルに当てはめ、DEMへの補正量 $dh$ と変位速度 $v$ を推定する。これが、PS-InSARのポイントです。地殻変動と言いましたが、これは線形な地殻変動であると仮定します。 $residual$ は大気の影響か、線形な地殻変動からはずれる非線形的な変動

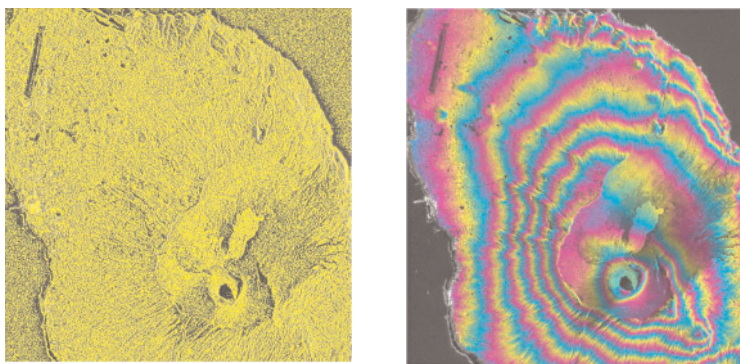


図3：PS候補(左)とPS候補点での標高(右)

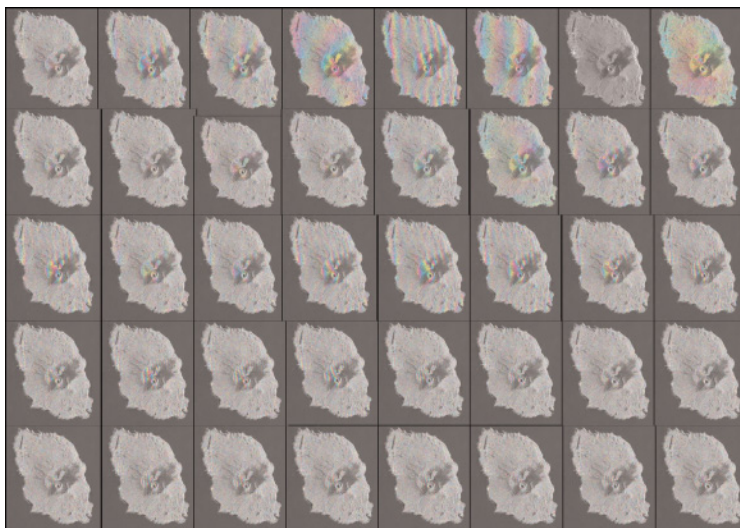


図4：初期干渉画像

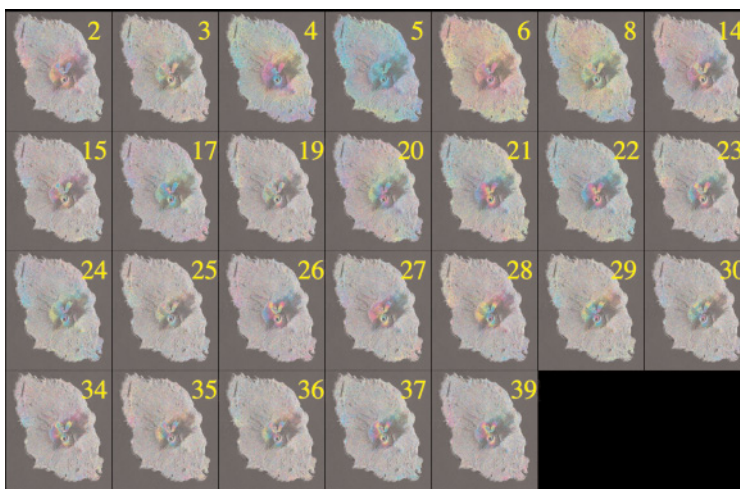


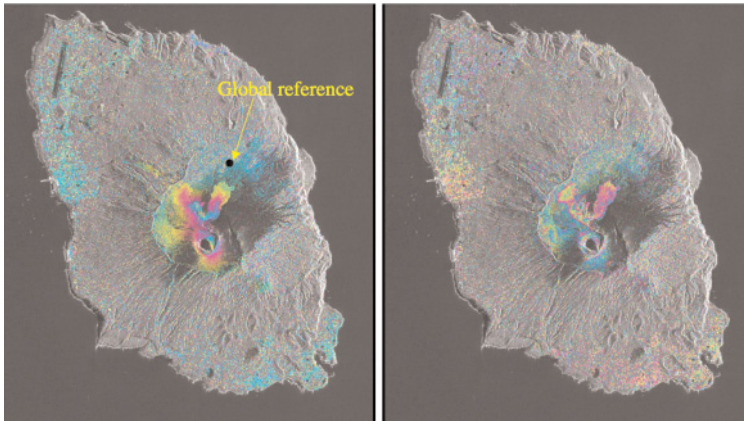
図5：初期推定で用いられた軌道再推定後の干渉画像

$$\phi_{diff}^j = \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_{\perp}^j (dh)}{R \sin \alpha} + \frac{4\pi}{\lambda} \delta t^j v + residual_j \quad (j = 1 \dots N)$$

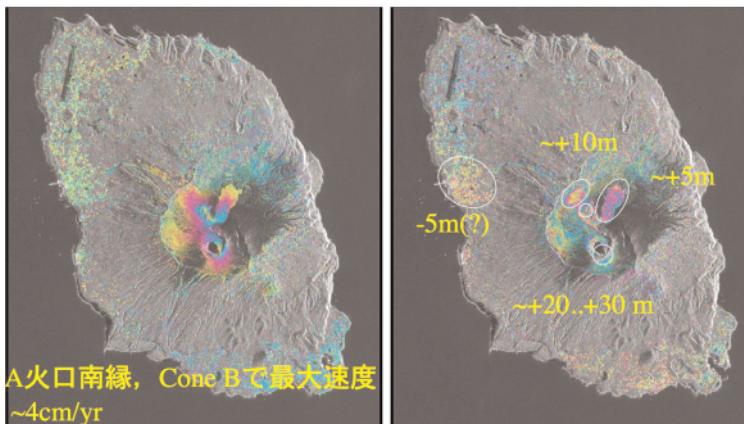
図6：位相モデル

だと仮定して、後で分離します。residual の RMS が非常に大きいターゲットは、どんどん捨てていきます。

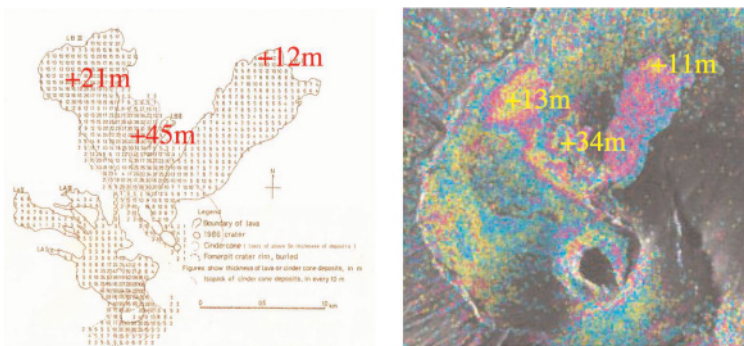
このようにして、26 枚のデータに基づく初期推定値を出します。図 7 左が地殻変動場、右が DEM への補正量です。変形量と DEM への補正量が同時に求まるという点が、PS-InSAR の特徴です。地殻変動では、カルデラの周辺が沈降していることが見て取れます。



変形速度 (一定速度仮定) DEM への補正量  
図 7 : 初期推定値 (26 枚のデータに基づく)



変形速度 DEM への補正量  
図 8 : 最終推定値



長岡 (1988, 火山) : 1981 分解能 50m 1992-1998 の平均 分解能 ~ 10m

図 9 : 1987 年の測定データとの比較

DEM への補正量についてもきれいに求まりました。この補正量については、答えを言ってしまいますと、1986 年の三原山噴火の影響そのものを表現しています。というのは、国土地理院の 50m メッシュの DEM では、伊豆大島は 1977 年の測定のデータのままだっていたからです。

ともかく、地殻変動の場と DEM への補正量について初期推定値を求め、さらに最初のモデルに戻ることを繰り返し、初期推定値の DEM への補正、変形をモデルとして考慮します。このようにすると、差分干渉画像が出てきます。それぞれの干渉画像では、はっきりした地殻変動、カルデラの沈降は見られなくなってきます。モデルとして考慮したので、見えなくなって当然なのです。こういったことを何度か繰り返して、補正量を決めていきます。

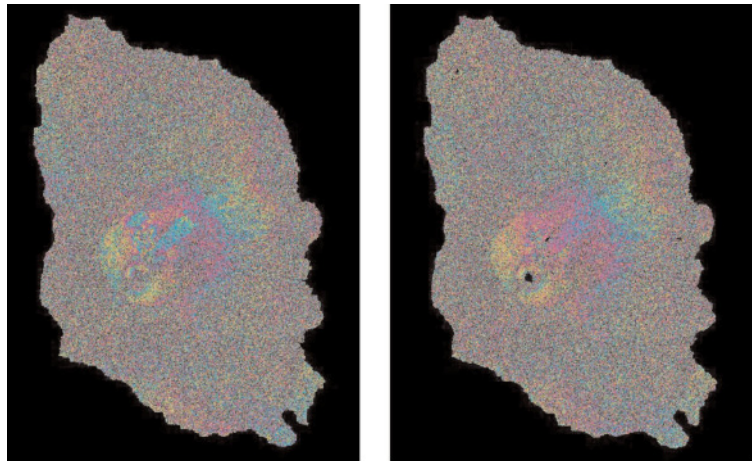
そうして求めたのが、最終的な推定値となります。図 8 左が地殻変動です。火口南縁の Cone B と呼ばれる地点では、裏砂漠北部の固定点に対して最大年 4cm の衛星視線方向の変動があります。図 8 右が DEM への補正值です。最も大きなところは 30m 以上の補正が必要であることが分かりました。

国土地理院の長岡正利さんが、1988 年の『火山』の特集号に、1981 年と 1987 年の地形変化についての論文を掲載しています。1986 年の噴火による噴出量を測定して求めたものです。細かいところは省きますが、Cone B ではプラス 45m となっています。今回、私が PS-InSAR で推定した値は 1992 年から 1998 年の平均なので、1995 年段階で見た噴出物の厚さとも言うことができます。それを見ると、一番高いところでも 34m くらいです。10m くらい低くなっています。ほかの場所でも、低くも求まります。分布の形はもちろん同じですが、厚さは 1987 年と比べて 1995 年の方が噴出物の堆積が薄くなっているように見えます。原因は分かりませんが、おそらくは、収縮しているものを見ているのだと思います。

### ALOS の SAR による検証

今日のタイトルに「ALOS SAR による検証」とありますが、検証の図はこの 1 枚です (図 10)。ALOS (陸域観測技術衛星「だいち」) は 2006 年 1 月に打ち上げられた

JAXA の衛星で、SAR を積んでいます。2006年7月27日から9月11日のデータを使って求めた差分干渉画像です。図10左に変な縞模様が見えます。これは46日間のデータなので、これが地殻変動だとすると恐ろしいことです。これは実は、1986年噴火による地形変化を考慮していないDEMを使っているためです。今回新たに推定したDEMを使ってやり直すと、変な縞模様はきれいさっぱりなくなり、地殻変動が何もないという意味で、もっともらしい変動が見れます(図10右)。推定したDEMが正しいと検証したことになります。



オリジナル DEM による

今回推定した DEM による

図10：ALOS SARによる伊豆大島の地殻変動解析

## まとめ

今回、PS-InSARの手法で変位速度場とDEMへの補正を同時推定しました。従来のDEMは1986年の噴火の影響が考慮されていないため、火口南縁では10～30mの補正が必要であることが分かりました。ALOSの例で見たように、長い基線長のデータでInSARとして地殻変動を検証する場合には、細かくて精度のいいDEMが必要です。今回求めたDEMへの補正量は、これからも有用になると思っています。

今回得られた結果は、1988年に発表された大島の噴出分布とおおむね一致しています。しかし、火口南縁のConeの最高地点は、10m以上低く求まりました。そのままデータを信じると、1986年の噴火から衛星データを取得するまでの10年程度の間10m程度沈降したことになります。しかし、1988年に発表された噴出物分布には5m程度かそれ以上の誤差はあるらしいです。

PS-InSARの特徴として、時系列が求まる点を挙げましたが、今回はほとんど説明しませんでした。残差干渉画像のresidualの中から大気の影響と非線形な地殻変動を分離するための詳細な検討もしています。今回解析したJERS-1の観測は1998年で終わっていますが、ERSなどほかの衛星のSARデータも付加していく必要があると思っています。ひいてはGPSや地震などとの比較・融合・モデリングをしていきたいと考えています。

## 質疑応答

— PS-InSARでは建物のような物があるといい、というのは分かります。伊豆大島でも建物がある北西地域は使えるかもしれませんが、山の上はどうなのでしょう。そこは自然そのものですよ。どこを恒久散乱体とするのでしょうか。

**古屋：**岩がごろごろしているような所では、PS-InSARは使えます。

— 私たちは今、アジアのある地域の観測をしようとしているのですが、地面の条件がまったく分からないときに、PS-InSARを適用できますか。

**古屋：**どういう土地被覆かを事前にだいたい分かっていたほうがよいでしょう。標準的なInSARをまずやってみるべきだと思います。

— ALOSのPS-InSAR解析で、新たに推定したDEMを用いると地殻変動は消えたとのことですが、残っているものはないのでしょうか。

**古屋：**少しありますが、それは軌道のエラーの影響だと思われ。長周期のトレンドのように見えていません。

— 島が傾いているわけではない？

**古屋：**そういうことではおそくないと思います。

— 北西外輪から測角で10年くらい追跡しています。Corn Bが10m沈降したというデータと合うかどうか、比較できます。

**古屋：**10mの沈降というと、6階建てのビルが3階建てになるようなものです。しかも、画像を見ると、ある程度の形を保ったまま沈んでいるようです。

— 収縮はしていますよ。10mか5mかは分かりませんが、数mオーダーで。

東京大学地震研究所ニュースレター

発行：東京大学地震研究所広報委員会

〒113-0032 東京都文京区弥生 1-1-1

電話・FAX 03-5841-5643

電子メール [outreach@eri.u-tokyo.ac.jp](mailto:outreach@eri.u-tokyo.ac.jp)

ホームページ <http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/>

著作権所有：東京大学地震研究所 2007

Copyright 2007 Earthquake Research Institute,  
University of Tokyo, All rights reserved