JERS-1およびENVISATのSAR干渉法を 用いた白頭山に関する地殻変動の検出

Detection of crustal deformation around Baitoushan volcano using JERS-1 and ENVISAT SAR interferometry

> 小澤 拓 (防災科学技術研究所) 谷口 宏充 (東北大学東北アジア研究センター) Taku Ozawa (NIED) Hiromitsu Taniguchi (Tohoku Univ.)

平成18年度 東京大学地震研究所共同利用(研究集会)「新世代の干渉SAR」(2006/10/5-6)

自頭山 (Baitoushan, Changbaishan, Peakutu-san)



1413.1597.1668.1702年に噴火(文献)

(町田・新井. 2003 after 町田. 1990) 10世紀に大規模な噴火 日本でも降灰!

火山灰層厚

臨時地震観測により得られた震源分布



2002年から地震活動の活発化

・マグマの上昇?

・火山活動のメカニズムを知りたい

Application of ENVISAT/InSAR

ENVISAT衛星



打ち上げ機関: ヨーロッパ宇宙機関(ESA) 運用期間: 2002/3/1~(運用中) 搭載SAR: C-band(波長5.6cm) HH, VV偏波



観測モード: IS2.VV偏波 視線方向: (-0.366,0.078,-0.927) (東西,北南,上下)

使用DEM: SRTM 3-arcsecond

Observation date and baseline(B_{PERP})



Interfergrams

2004/10/15 - 2005/11/4



2004/8/26 - 2005/11/14



2004/5/28 - 2004/10/15



2004/11/19 - 2005/9/30



(-2.8cm)-2π

0

 $+2\pi(+2.8cm)$

Estimation of noise level





仮定:

・ノイズの大きさは画像内で一様

・白頭山周辺(局所域)以外は無変動場 (無変動場ならば位相差0) ・地形縞・地形相関縞・軌道縞補正の不完全さ
・水蒸気分布の地域性

Application of Mogi's model



標高補正付き茂木モデル のインバージョン解析

水平位置: 図(a)の赤丸 深さ: 海面下2200m 体積変化量: 1.5x10⁶m³



Wu et al., 2004

Summary for application of ENVISAT/InSAR

ENVISATのSAR干渉法により、白頭山の山体が膨張するセンスの地殻変動が検出された。

・master, slaveそれぞれと別のデータから作成した干渉画像に同じ形の 干渉縞パターンは見られない。

- ・異なるデータペアで観測期間が重なる干渉ペアには、同じ形の 干渉縞パターンが見られる(ように見える).
- ・残差標準偏差の3倍のシグナル.
- ・検出された地殻変動から推定された圧力源の位置は地震活動活発化域 とおおよそ同じ.

気象/イズでなく地表変形

地震活動活発化は、マグマの上昇による可能性が高い (ALOS/PALSARによる地殻変動モニタリングの必要性)

Applicatoin of JERS-1/InSAR

JERS-1衛星



打ち上げ機関: 宇宙開発事業団 (NASDA(現JAXA)) 運用期間: 1992/2/11~1998/10/12 搭載SAR: L-band(波長23.5cm) HH偏波のみ





視線方向:

East scene (**東西**:-0.63, 北南:0.11, 上下:-0.77) West scene(**東西**:-0.59, 北南:0.10, 上下:-0.80)

使用DEM: SRTM 3-arcsecond

Observation date and baseline(B_{PERP})

East scene (Path: 088, Row: 230, RSP: 079)

1992/9/24 1993/6/15 1994/8/29 1995/8/16 1996/8/2 1996/10/29 1997/10/16 1998/4/10 1998/5/24 1998/8/20



West scene (Path: 089, Row: 230, RSP: 080)



Interferograms (East scene)



1993/6/15 - 1996/8/2



1996/10/29 - 1998/5/24





Interferograms (West scene)

1992/9/24 - 1994/8/30



1993/6/16 - 1996/10/30



1994/8/30 - 1998/7/8



1996/8/3 - 1998/5/25









 $+2\pi(+11.75cm)$

Stacking of interferograms

気象/イズは時間的にランダム

気象等の/イズの標準偏差を σ_i とすると、スタッキング後の気象/イズの標準偏差は

root-sum-squre: $\sqrt{(\Sigma \sigma_i^2)}$

地殻変動を経年的な変化と考える

地殻変動速度を ρ,干渉ペアの観測間隔を t_iとすると、スタッキング後の画像の地 殻変動シグナルは

 $\Sigma(\rho \times t_i)$

SNEL: $\Sigma(\rho \times t_i) / \sqrt{(\Sigma \sigma_i^2)}$

観測間隔の長い干渉ペアを多く用いてスタッキングを行うと、SN比が高くなる

Crustal deformation by stacking

East scene

West scene



白頭山の北東が衛星に近づき、南西が遠ざかるパターン

干渉画像スタッキング2



入射角が異なる干渉ペアを用いたスタッキング

地殻変動速度: $(v_x v_y v_z)$ LOS1: $(u_{x1} u_{y1} u_{z1})$, Δ_{day} : t_1 LOS2: $(u_{x2} u_{y2} u_{z2})$, Δ_{day} : t_2 視線方向成分1: $t_{1i} \times (u_{x1} \times v_x + u_{y1} \times v_y + u_{z1} \times v_z)$ 視線方向成分2: $t_{2i} \times (u_{x2} \times v_x + u_{y2} \times v_y + u_{z2} \times v_z)$ スタッキング後の視線方向成分: $(\sum_{i=1}^{n} (t_{1i} \times u_{x1}) + \sum_{i=1}^{n} (t_{2i} \times u_{x2})) \times v_x$ $+ (\sum_{i=1}^{n} (t_{1i} \times u_{y1}) + \sum_{i=1}^{n} (t_{2i} \times u_{y2})) \times v_y$ $+ (\sum_{i=1}^{n} (t_{1i} \times u_{z1}) + \sum_{i=1}^{n} (t_{2i} \times u_{z2})) \times v_z$

視線方向が

 $(\Sigma(t_1 \times u_{xl}) + \Sigma(t_2 \times u_{x2}) \quad \Sigma(t_1 \times u_{yl} + \Sigma t_2 \times u_{y2}) \quad \Sigma(t_1 \times u_{zl}) + \Sigma(t_2 \times u_{z2}))$ であるSAR画像から得られた地殻変動に等しい.

本解析の場合: (東西:-0.6208. 北南:0.1084. 上下:-0.7764)

Estimation of noise level



仮定

・/イズの大きさは画像内で一様 ・白頭山周辺(局所域)以外は無変動場

完全に有意とは言えないが、可能性は十分に考えられる

Crustal deformation model (preliminary)





北西-南東方向に走 向を持つ正断層のず れによって、 おおよそ 説明可能

Geomophology around Baitoushan

噴火口の分布



周辺の断層の走向は北西-南東方向

(谷口, private communication)

SAR干渉法から推定された走向は地形学的な構造と調和的

Summary for applicatin of JERS-1/InSAR

JERS-1のSAR干渉法を用いて、1992年から1998年までの白頭山周辺地殻変動を調査した。

・1ペアの干渉画像からは有意な変動パターンは見られない(ノイズが大きい)

・干渉画像スタッキングを試みたところ、 白頭山周辺特有の干渉縞パターン が見られた

・いくつかの仮定の下で得られた地殻変動の/イズレベルの評価を行った。 白頭山周辺で得られたパターンが実際の地殻変動を示している可能性は 十分に考えられる。

・得られた位相差パターンが実際の地殻変動を示すと仮定すると、それは北西一南東方向に走向を持つ断層の正断層タイプのずれでおおよそ説明可能、 その走向は白頭山周辺で地形学的に見られる構造の方向と一致、

ALOS/PALSARに期待