

干渉SARによる九州中部の地殻変動のモニタリング計画
- 火山変動及び地盤沈下の計測 -

Monitoring of Crustal Movements in the Middle Kyushu
Using Interferometric SAR ;
Measurements of Volcanic Deformations and Ground
Subsidence

小林茂樹

九州東海大学・工学部・宇宙地球情報工学科
(2005年度からリモートセンシング学科に名称変更)

Shigeki Kobayashi

Department of Space and Earth Information Technology,

School of Engineering, Kyushu Tokai University

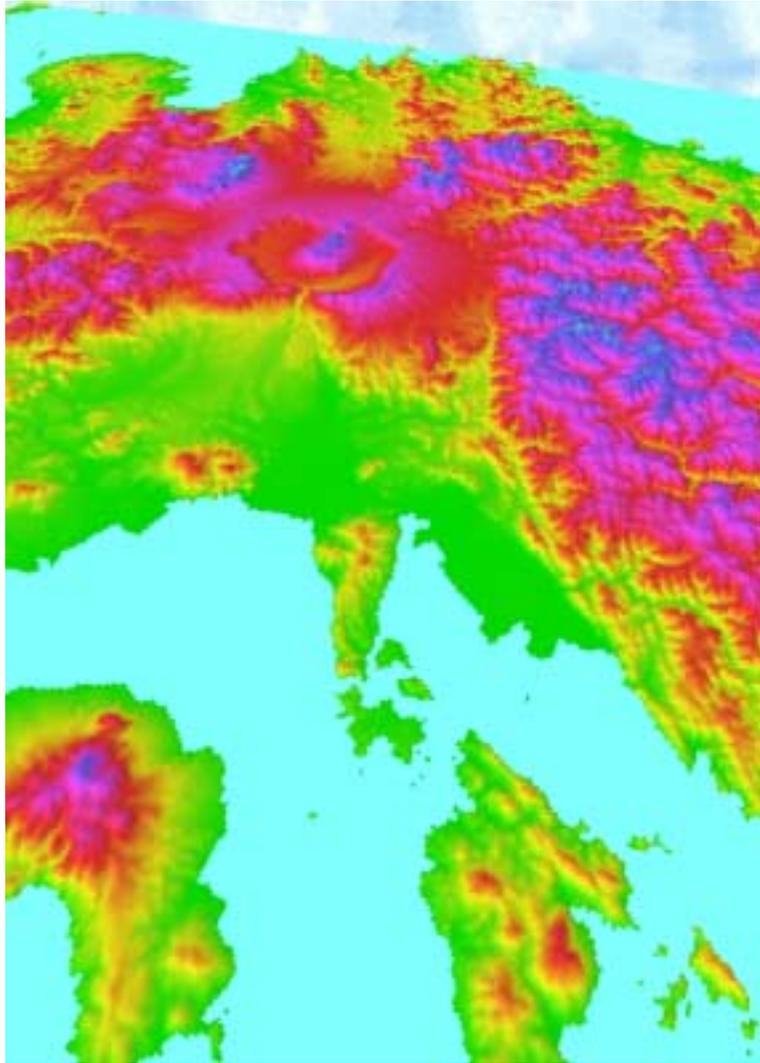
E-mail:shigeki@ktmail.ktokai-u.ac.jp

はじめに

九州中北部には、別府湾からくじゅう・阿蘇を通り島原半島中央に至る、延長約200km、幅20～30kmの「別府 - 島原地溝」が存在し、その中で多くの火山の活動が見られる。例えば、くじゅう連山・星生山は1995年10月に水蒸気噴火を起し、光波測距（EDM）やGPS観測（京都大学など）によって現在まで火口を挟む基線の有意な縮みが観測され続けている。JERS-1干渉SARによっても顕著な変動が検出されている（矢来他2000、小林2003など）。阿蘇山・中岳火口では、マグマが地表近くまで上がってくるほどの活発な活動を示した1993年1月のストロンボリ式噴火、94年から95年にかけての小噴火以降、活発な噴火は見られないものの、2000年11月以降、火口壁での赤熱現象が観測され続け、現在も地震や孤立型微動の活動が活発な状態にある。そして2003年7月と2004年1月には、湯溜まりからの大規模な土砂噴出とそれに伴う降灰が確認（熊本大など）され、近い将来の噴火活動が懸念されている。

一方で、これらの活火山周辺域の地殻変動の地上観測は、アクセスの困難な領域も多く、必ずしも十分ではない。現在運用中のSAR衛星（RADARSAT, ENVISAT）に関しては、Cバンドの干渉性が劣るであろうことと、データがかなり高額であることがネックになり、計画的な観測は続けられてこなかった。このままでは、極端な話、何かイベントが起きてから、過去にたまたま（別の目的で）観測されたSARデータを探し出して解析を試みるという“運任せ”になってしまうだろう。そのことは、場合によっては干渉SARの問題点を露呈するだけで、「役に立たない」という誤解を与える恐れさえある。特に、阿蘇中岳の活動については、近い将来の噴火活動への対策が社会的にも求められており、ALOS衛星打ち上げ前からの計画的な衛星観測が重要であると考えている。

本研究は、運用中のCバンド衛星を使って九州中部の活動的な火山を計画的にモニタリングしようとするものである。くじゅう、阿蘇、そして熊本平野の地盤沈下について、一連の変動の履歴を知るためにもJERS-1やRADARSATデータの解析を行うと同時に、ENVISATの新規観測を実施している。その概要とデータ解析の現状について報告する。



九州中北部の活火山

—天草上空から阿蘇を望む—

別府—島原地溝 と 境界断層

1990年11月～95年 雲仙普賢岳の噴火

1995年10月～ くじゅう連山・星生山の噴火

1993,94-95～03,04 阿蘇中岳の活動

1997年3,5月 鹿児島県北西部地震

日奈久断層周辺の群発地震

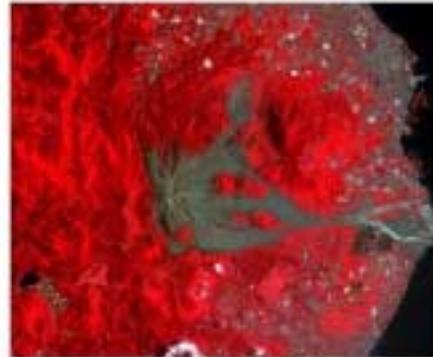
(熊本県内では地殻浅部の地震が多い)

(国土地理院250mメッシュDEMより作成)

LANDSAT衛星がとらえた
雲仙・普賢岳の噴火に伴う変化



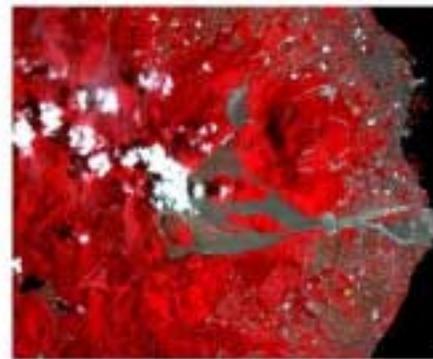
(a)1987年5月31日



(d)1995年6月6日



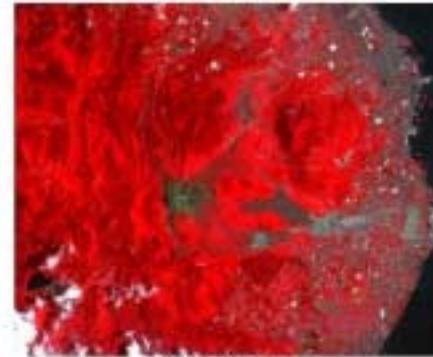
(b)1991年8月14日



(e)1996年8月11日



(c)1994年7月21日



(f)2000年7月5日

RGB=432

データ処理:九州東海大学

光学センサ衛星がとらえた 雲仙普賢岳の噴火活動

ここでは植物の分布域が赤くなるように表示してある(フォールスカラー表示)。
LANDSAT衛星のバンド4は植物からの反射をとらえる。

普賢岳の噴火活動

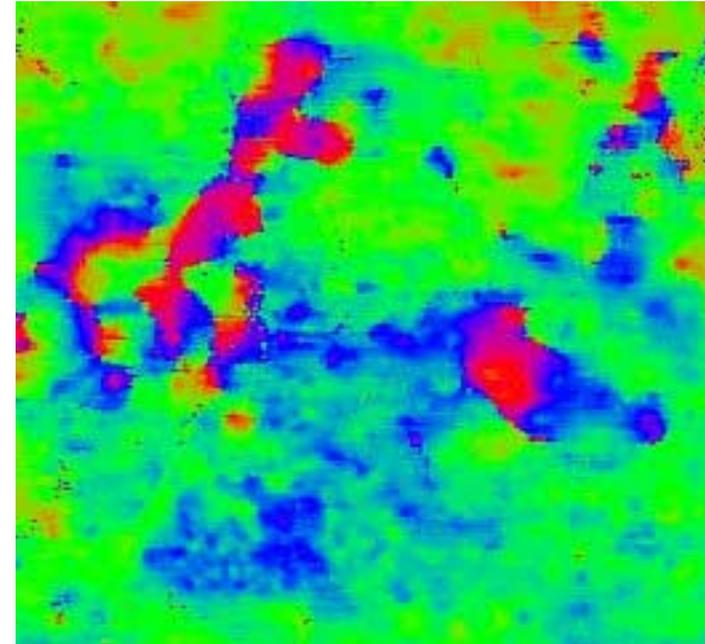
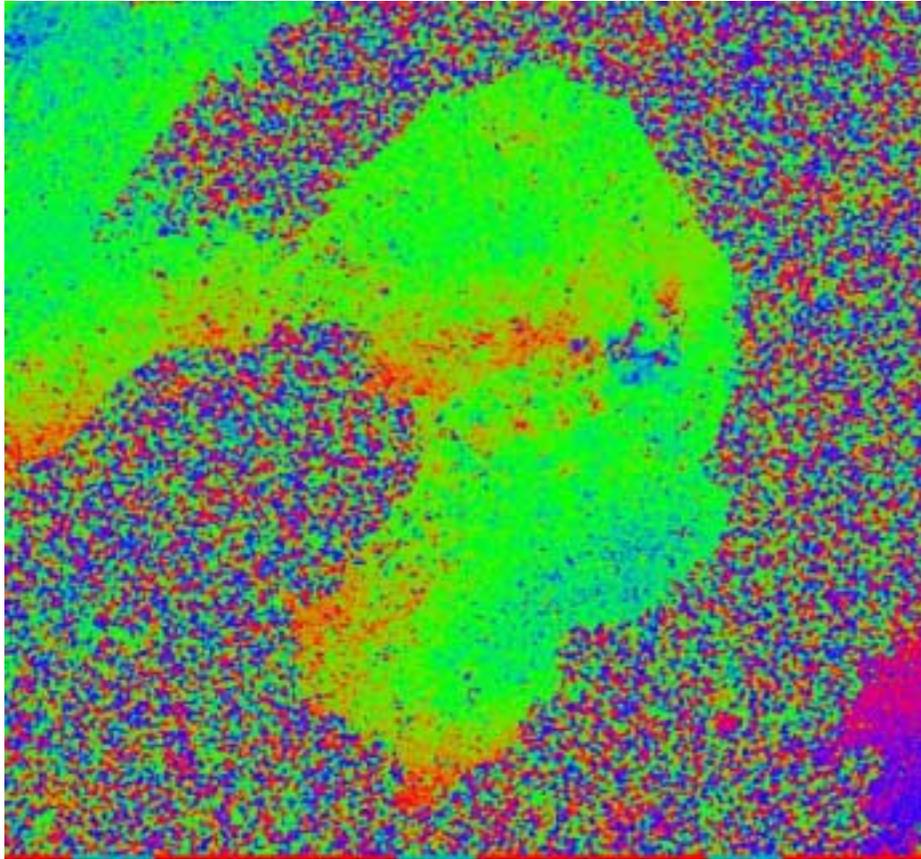
1990年11月:水蒸気噴火

91年5月:最初の溶岩ドームが出現し火砕流が発生(92年に最も活動)

93年:土石流も発生(93年に最大)

95年2月:最後の火砕流

雲仙普賢岳周辺の変動 (JERS-1 1993/7/22-1993/12/01)

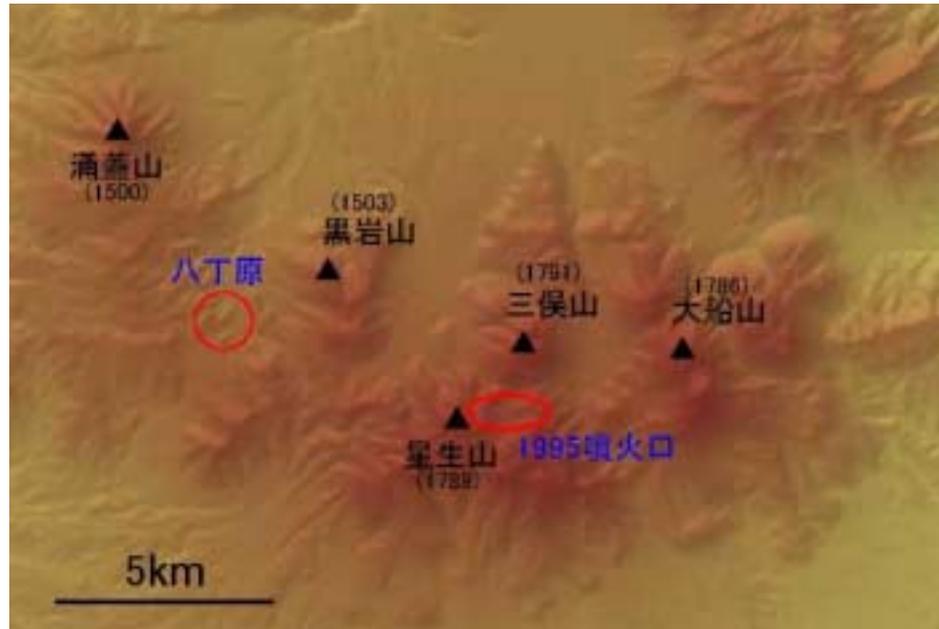


-6cm Near

+6cm Far

マグマの搾り出しに伴う
火口周辺の収縮変動と
厚く堆積した火砕流の圧密

くじゅう連山・星生山の活動



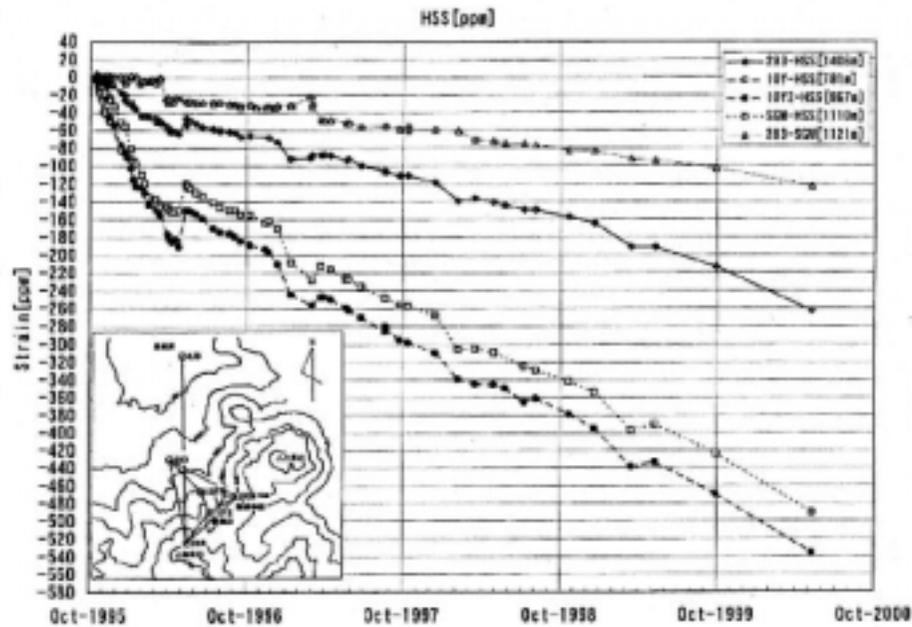
- ・1995年10月11日、星生山の北東側斜面で水蒸気噴火
- ・東西方向約300mの噴火口列
- ・95年12月20日頃の火山灰中に新鮮な火山ガラス(マグマ関与の可能性)(中田他1996)



Fumarolic activity at Kuju Volcano
(Photo by Makoto Nakaboh)

1995年10月17日 中坊氏撮影

EDMによる縮みの観測(京都大学)



1995年10月～2000年10月まで(京都大学)

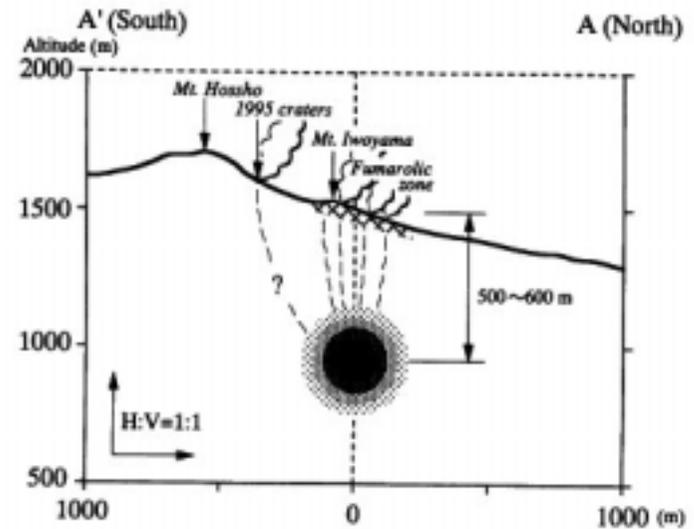
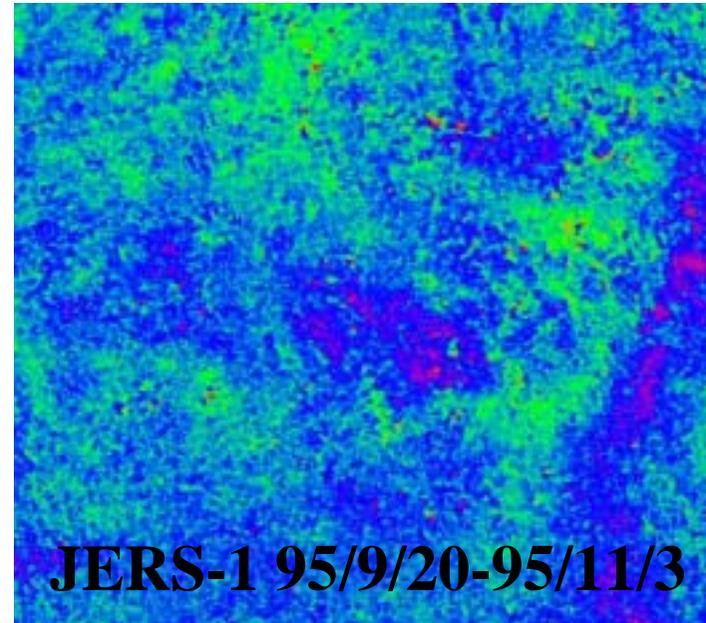
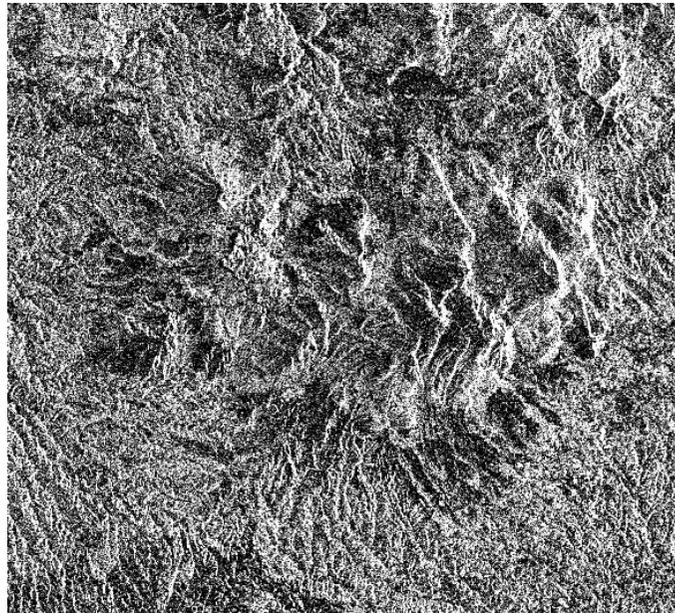


Fig. 6. Schematic diagram showing the relation between the fumarolic zone, newly opened craters and deflation center on a north south section. Location of section A-A' is shown in Fig. 1.

(齋藤他、2003)

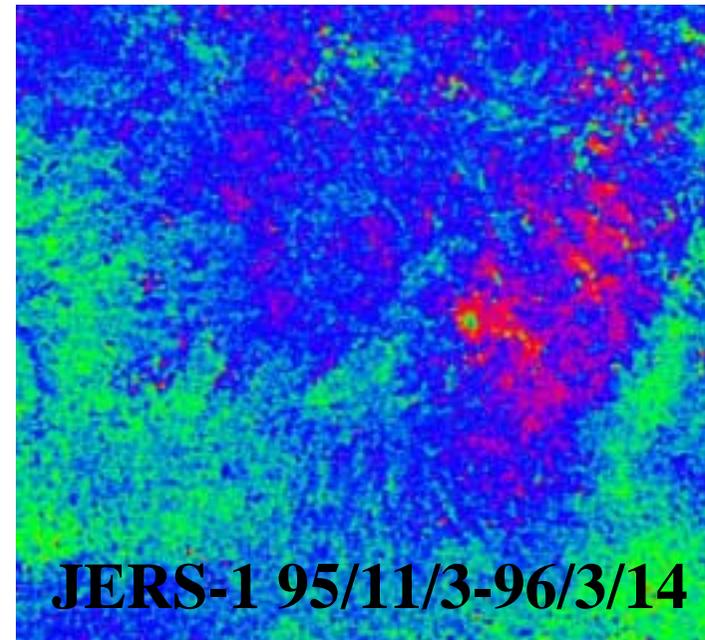
- ・GPS,EDMから推定される収縮源は、硫黄山噴気地帯(星生山の北約500m)の地下500-600m
- ・体積減少率は一定
- ・西北西に140mの移動(95年10月～2001年11月)
- ・水蒸気の放出と熱水対流系上部の収縮による地殻収縮の可能性(齋藤他、2003)

くじゅう連山・星生山の変動 (JERS-1 干渉SAR)



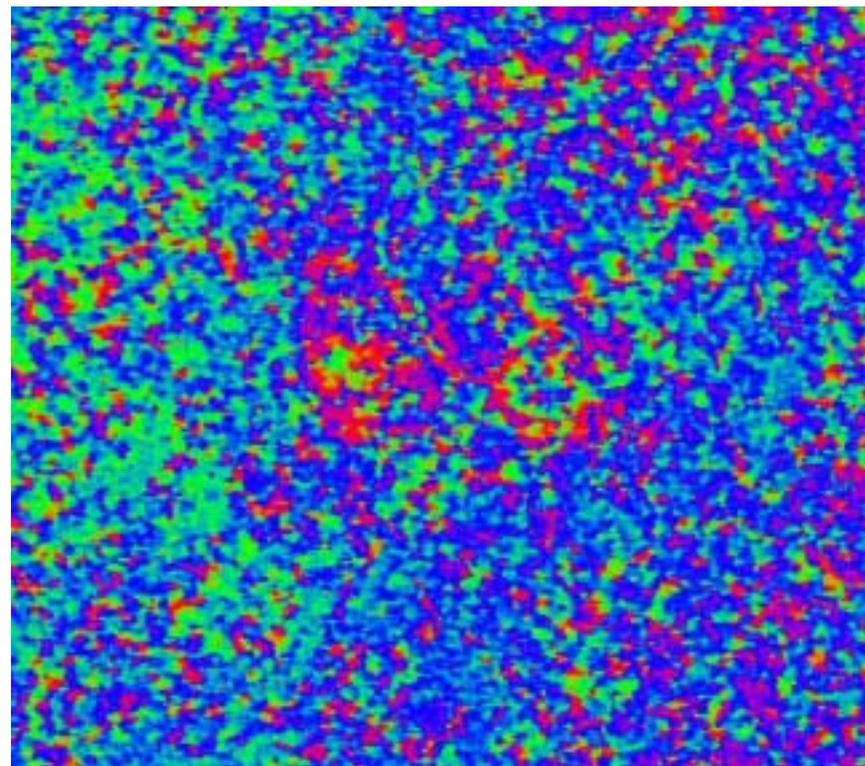
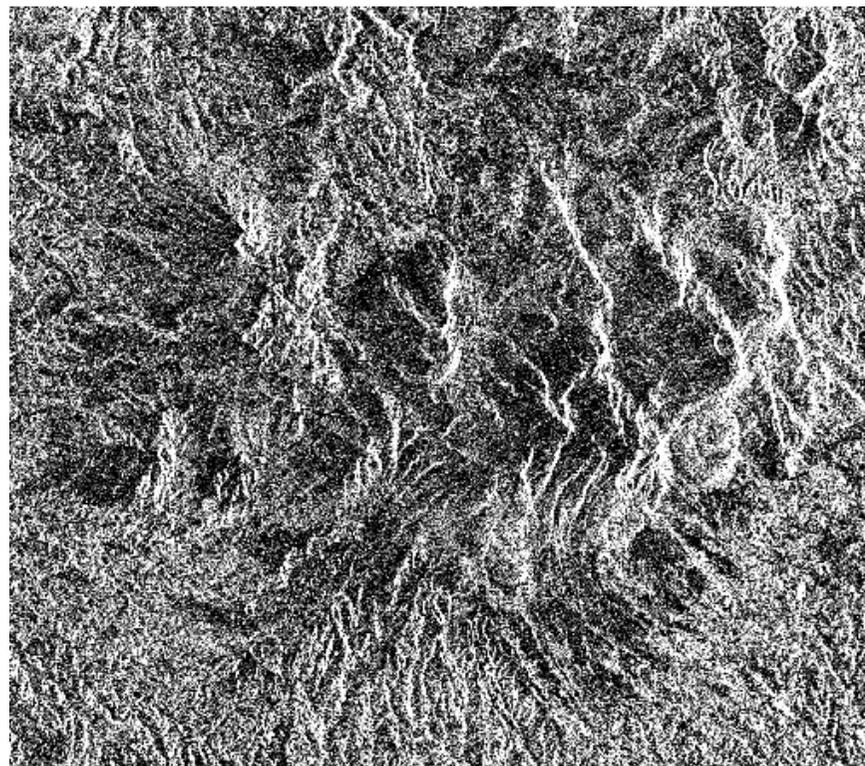
JERS-1 95/9/20-95/11/3

0.3年で星生山+約10cm
(視線距離変動量)



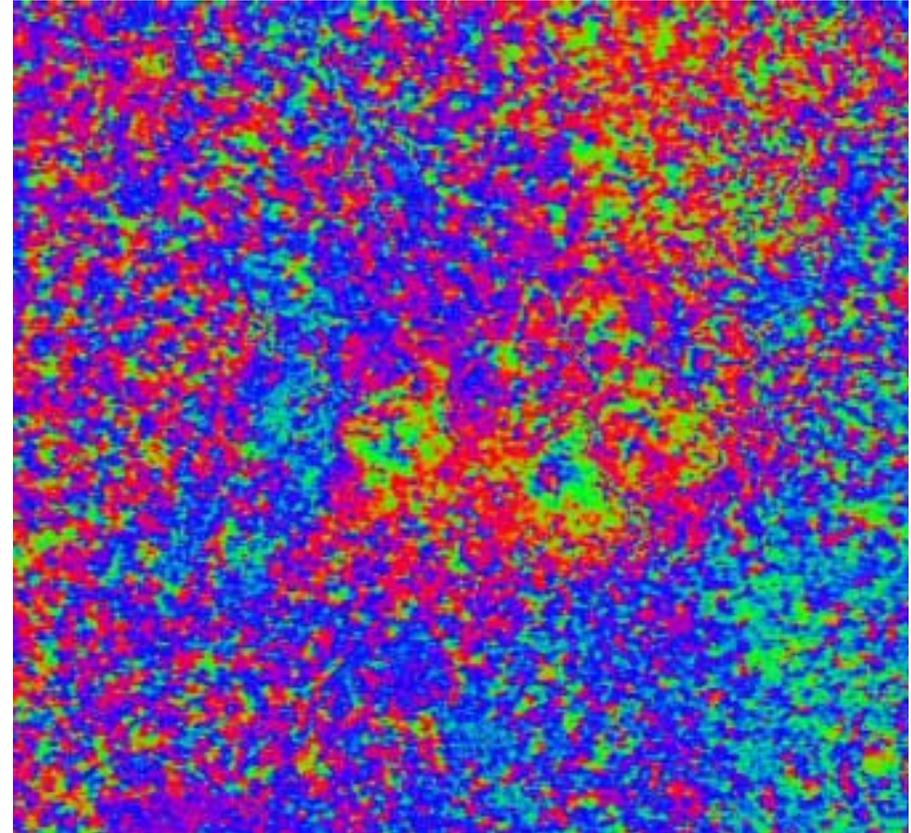
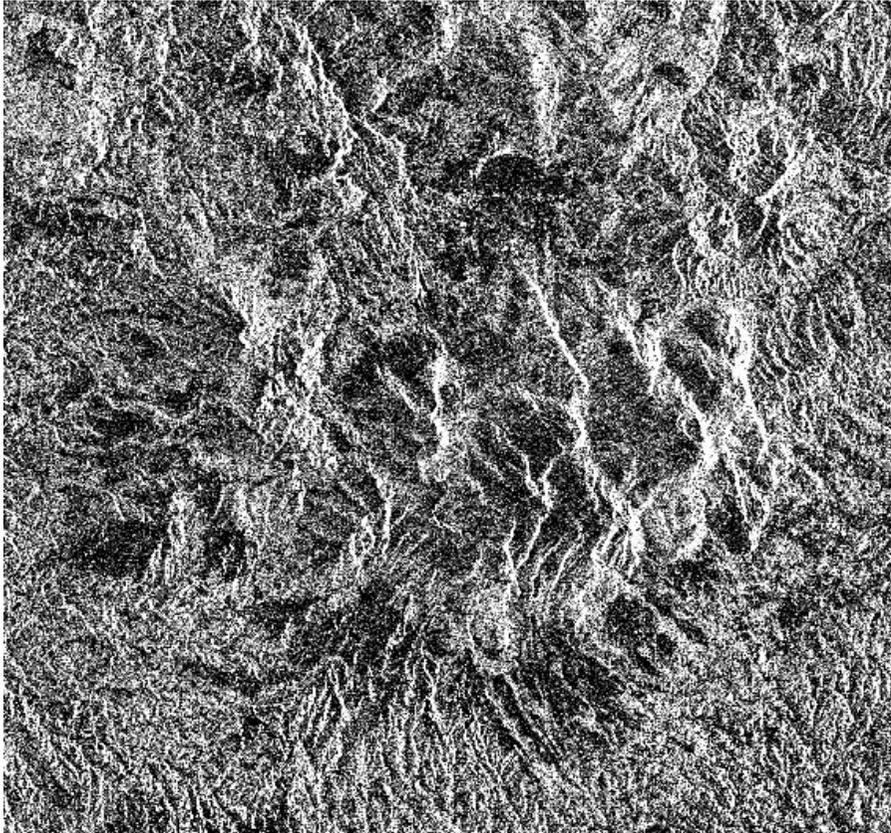
JERS-1 95/11/3-96/3/14

JERS-1 93/9/2-97/1/16(くじゅう連山周辺拡大図)



視線距離の伸び
星生山+約15cm
八丁原+約7cm

JERS-1 96/4/27-98/9/24



2.4年で星生山+18cm
八丁原+8cm

JERS-1 (1992年2月～1998年10月) 干渉SARによる結果

(1) くじゅう連山周辺

A: 星生山噴火地点周辺の変動:

噴火前 (93年10月 - 95年9月) : 顕著な変動は見られない、
噴火開始の直前直後 (95年9月 - 11月) : 顕著な変動は見えにくい
直前に膨張?、直後に収縮でキャンセル?

噴火開始後始めの4ヶ月 (95年11月 - 96年3月) :

視線距離変動量は + 2.7 cm/月

96年3月 - 96年9月 : 変動量 + 1.3 cm/月

96年4月 - 98年9月 : 変動量 + 0.63cm/月

(視線距離変動1cm/月は体積変化率約 $1 \times 10^3 \text{m}^3/\text{月}$ に相当、
収縮源の深さは700～800m)

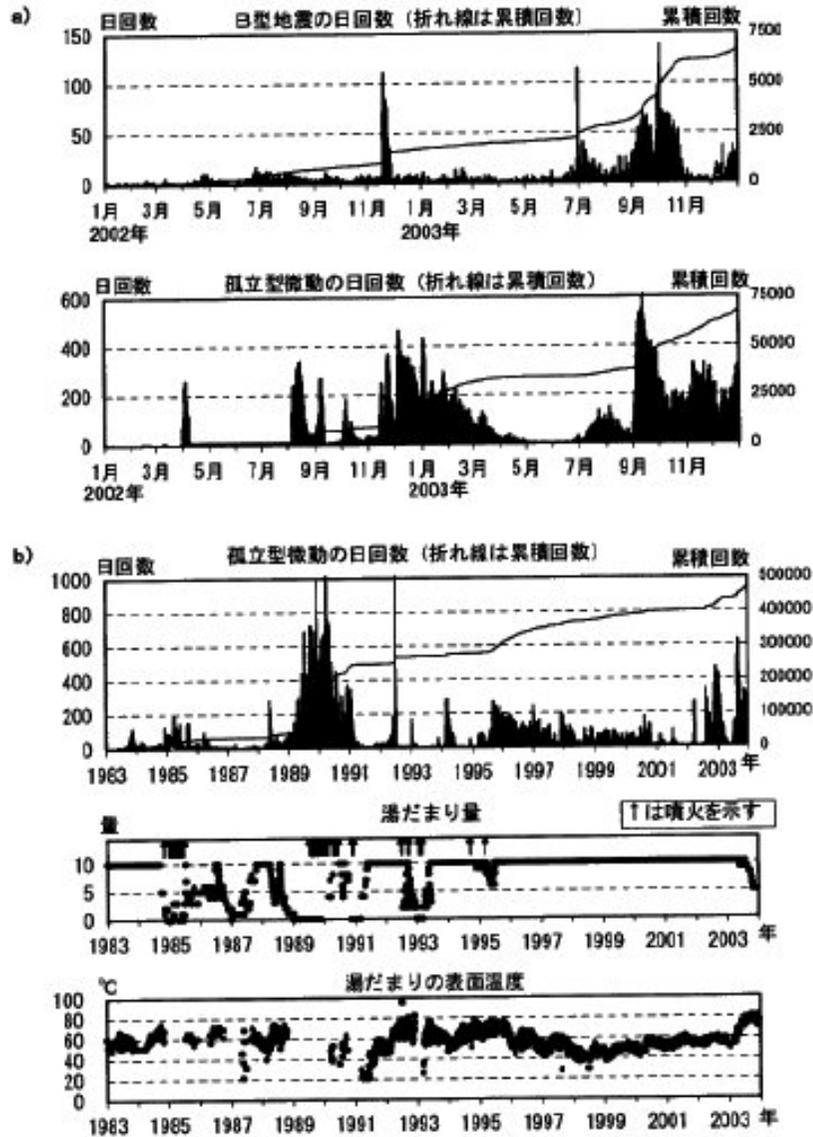
このような地殻の収縮変動の中心域は、噴火口群直下ではなく、その北側約400m地点にある硫黄山の噴気地帯に位置する。また、変動の中心域は、西北西にわずかに移動していったようにも見える (これは、(齋藤ほか2003) によるGPS観測結果とも調和的である)。

B: 星生山西北西約5km地点の局所的な変動:

95年10月の噴火以前にも以後にも断続的に確認でき、その変動量はの期間に + 3cm、 の期間に + 12cm程度であった (いつも + 伸び)。

阿蘇山の活動

- ・1993年1月ストロンボリ式噴火
- ・1995年3月小噴火
- ・中央火口丘の南西側(草千里・地獄・湯之谷)に広域的な沈降領域(京都大学の水準測量:1989-1998年)
- ・1998年以降、中岳第一火口の南側火口壁で赤熱現象 ・噴湯現象の発生
- ・地震、孤立型微動の活発化
- ・2003年7月10日に湯溜まりから土砂噴出(94年9月29日以来の降灰)噴出量130トン(渡辺他2003) ・湯溜まりの減少続く
- ・2004年1月14日 大規模な土砂噴出



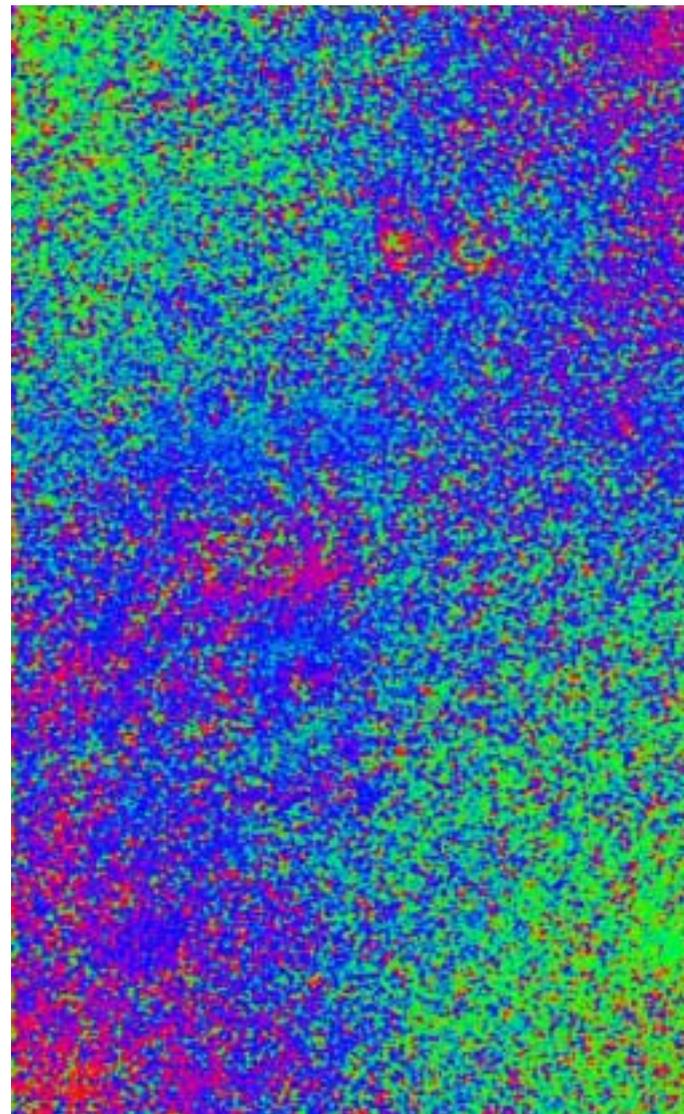
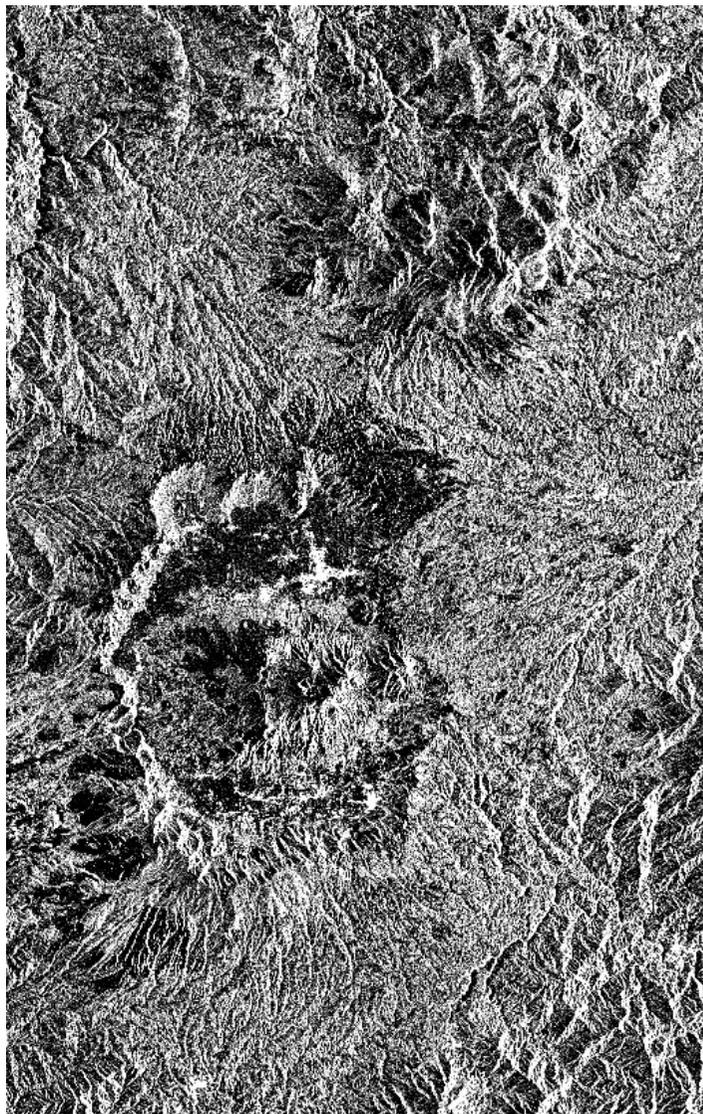
気象庁(2004)

2001年8月中坊氏撮影 ⇒



Redhot at Nakadake crater (Photo by Masoto Nakafoto)

阿蘇山JERS-1 93/9/2-97/1/16



-5.8cm
Near

0

+5.8cm
Far

(2)阿蘇山周辺

- ・93年1月の噴火に伴う編著な変動は認められない
 - ・93年9月-97年1月：阿蘇谷・平野部の地盤沈下？
⇒ 河川の護岸工事に伴う影響？)
 - ・噴火準備期間に継続的で、広範な山体変動は認めにくい
(地殻変動が火口周辺に局在？)
- ⇒ 地震、電磁気、重力変動などのほかの手法にも注目すべき。

問題点

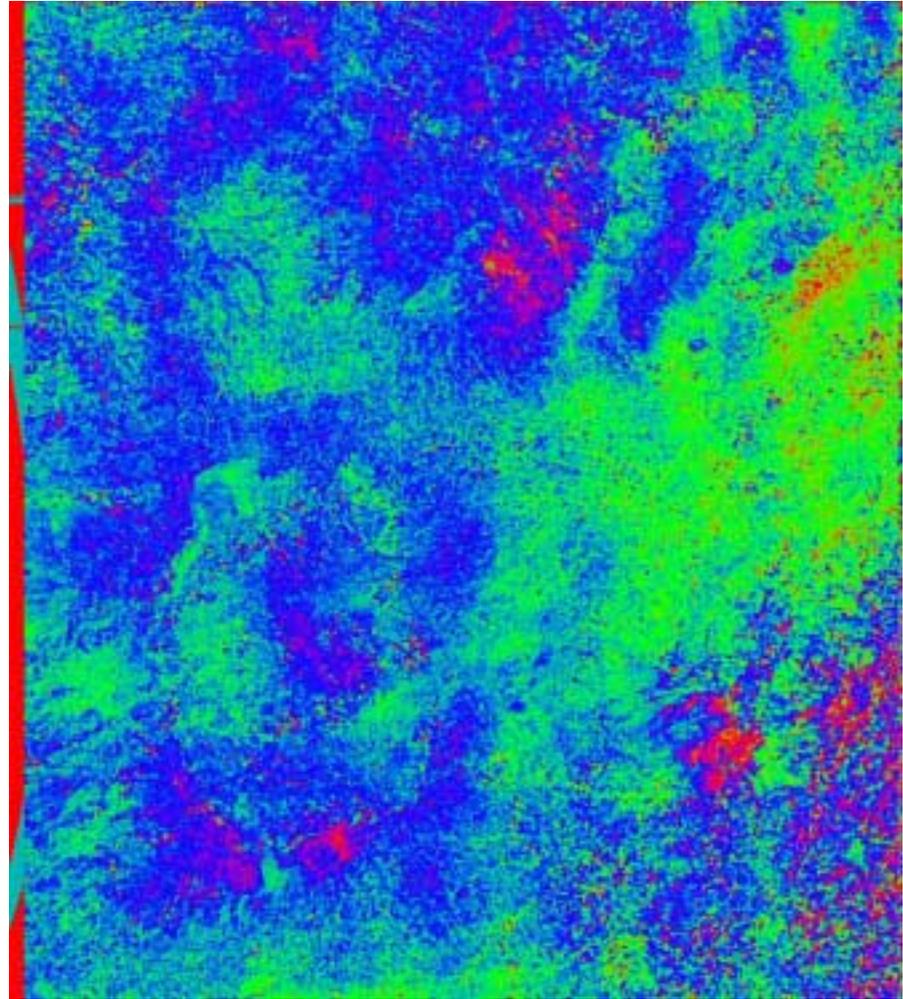
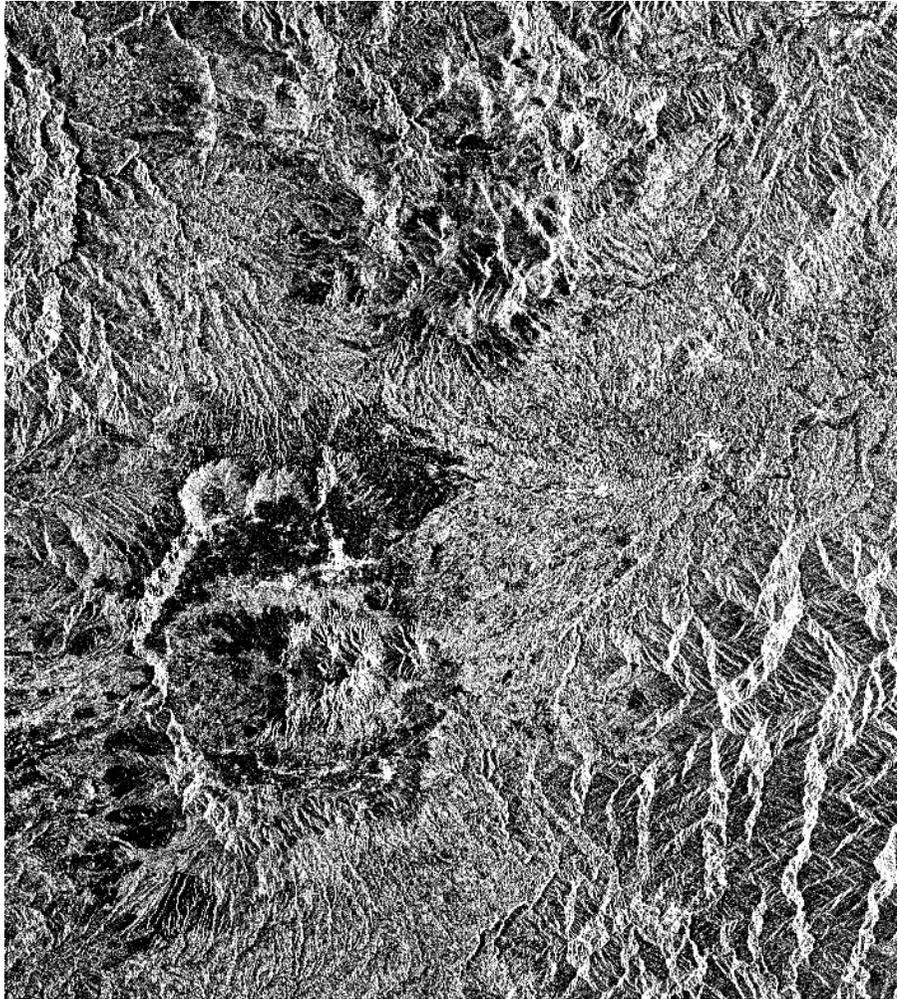
阿蘇山周辺は、多雨・濃霧地帯

外輪山のカルデラ壁の比高(数100m)⇒特異な気象現象

気象データのチェックが必要、

地形を考慮した気象のシミュレーションも

大気遅延の影響 JERS-1 95/11/3 -96/3/14



山岳波の原因は95/11/3にある

ALOS打ち上げまでに進める課題

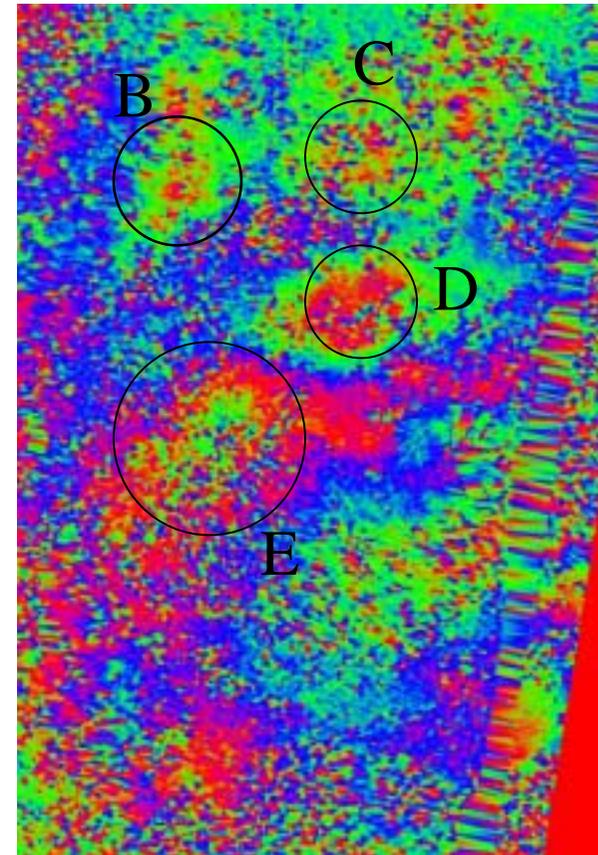
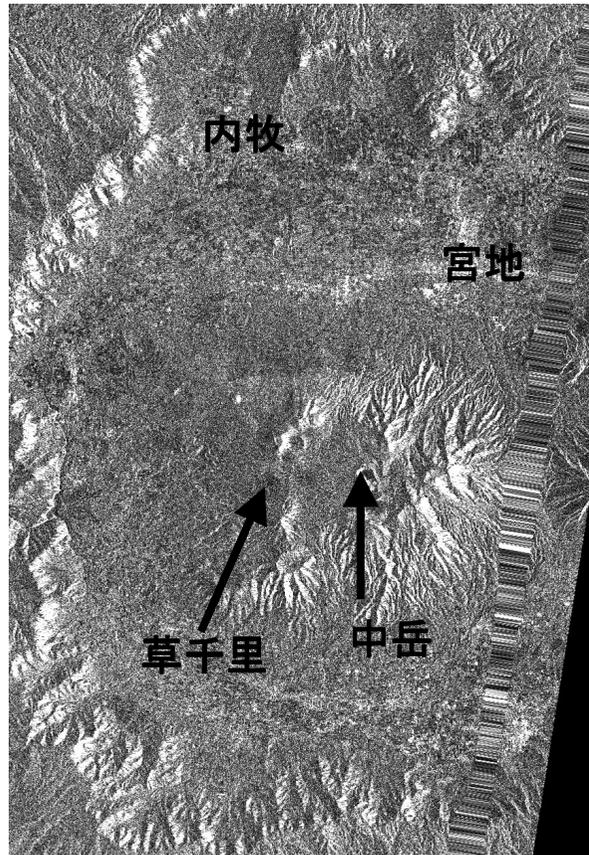
防災に役立つInSAR:阿蘇中岳の近い将来の噴火への対策

CバンドHH偏波の干渉SAR

- ① RADARSAT(2002年3~5月、阿蘇・熊本平野の新規観測)
HH 偏波 FINE F2Fモード 入射角41度

※地盤沈下の検出には有利なCバンド

- ② ENVISAT
(2004年5月以降、くじゅう、阿蘇、熊本平野の新規観測)
HH 偏波 Image Mode IS4 入射角33度



-1.4

0

1.4 cm

- ・阿蘇谷・平野内: 水田地帯(B,C)の僅かな地盤隆起
 - ・山麓(扇状地)・火砕流堆積地(D)の隆起
 - ・草千里西域(E)の広域的な隆起
- ※DとEの対は大気の影響である可能性も？

RADARSATによる阿蘇山周辺の観測結果

- ・2002年3-5月(野焼き⇒芽吹きによる植生変化の激しい時期)に連続4回新規観測(回帰周期24日)

- ・Cバンド干渉SARの実用性を評価した。

- ①軌道制御: Bperpのばらつき 170~840m

- ②干渉性: HH偏波に限る(VVは干渉しにくい)

3/16-4/9ペアでは、細かく複雑な位相パターン

⇒野焼き直後の植生変化or水蒸気の影響

- ③地表面変動の検出 (5/3-5/27ペア)

- ・熊本平野・市街地に僅かな地盤隆起

- ・阿蘇谷・平野(2ヶ所)に僅かな地盤隆起

⇒稲作のために、河川水をくみ上げて水田に流すために地盤が膨張?

- ・中央火口丘北側山麓・火砕流堆積地に隆起

⇒春先の地下水位上昇との関連?

- ・草千里西域の広域沈降

⇒水蒸気の影響も考えられる