

次世代安心・安全ICTフォーラム
気象・火山・環境観測検討会



火山観測における航空機SAR

2014年10月24日



情報通信研究機構 電磁波計測研究所
浦塚清峰

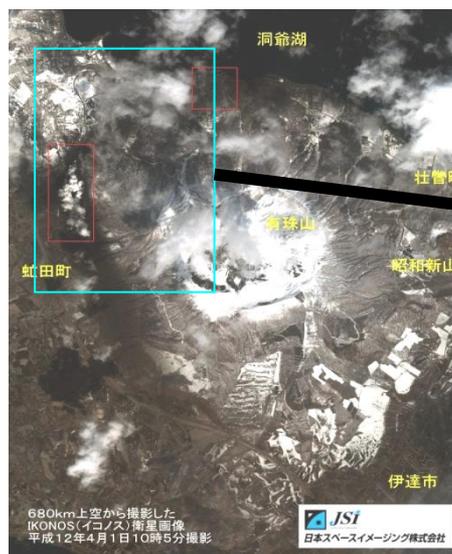
合成開口レーダ (SAR)による地表面観測

SARの特徴

- 一見航空写真
- 高高度からも高分解能
- 広域の観測幅
- 全天候
 - 雲・雨・噴煙を透過
- 夜でも昼でも
- 直下でなく斜め横を観測

NICT開発の航空機SAR(Pi-SAR: 1998-2005) (Pi-SAR2: 2008-)

- 分解能 : 1.5m → 30cm
- 立体視:
 - インターフェロメトリ 2m以下の高さ精度
- 偏波を使った詳細な識別:
 - ポラリメトリ
- 広い観測幅 5~10km



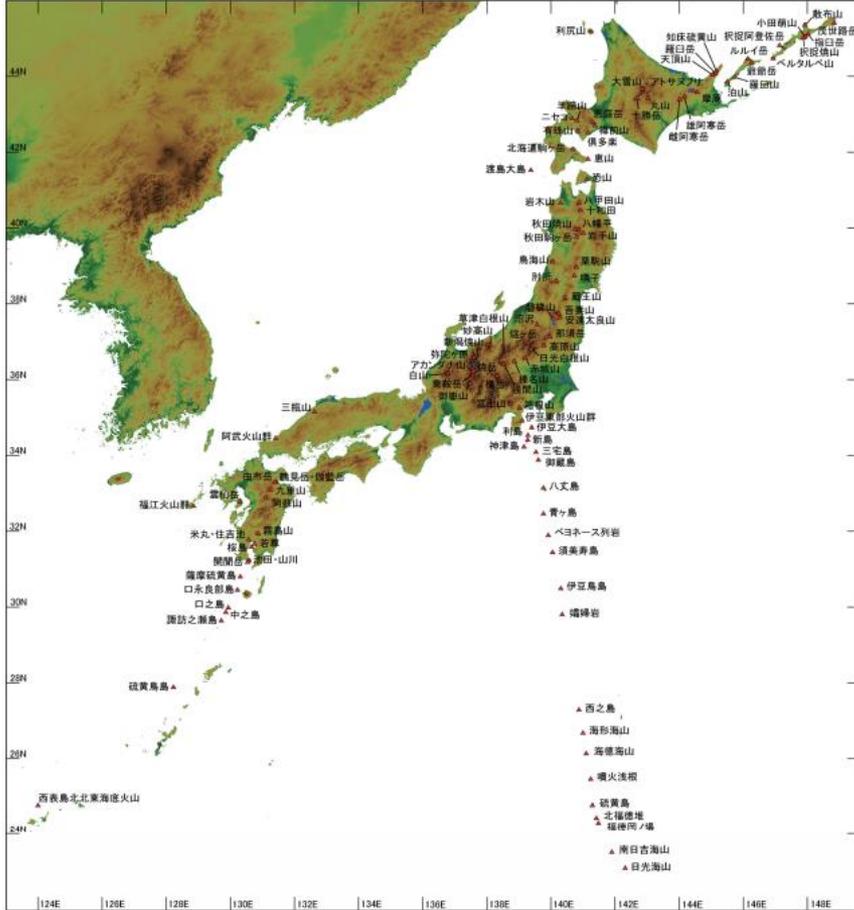
光学センサによる噴火活動中の有珠山



Pi-SARによる噴火活動中の有珠山

日本国内の近年の火山噴火災害

活火山分布図



日本の活火山(1万年前以内に噴火記録のある110火山)
(気象庁編:日本活火山総覧第4版より)

- 1976年8月 草津白根山(火山ガス:死者3名)
- 1977年8月 北海道有珠山(泥流:死者2名)
- 1979年9月 阿蘇山(爆発:死者3名)
- 10月 御嶽山(2万年ぶり噴火)
- 1983年10月 三宅島(溶岩:全島民避難)
- 1986年11月 伊豆大島(噴火:全島民避難)
- 11月 桜島(噴火:負傷8名)
- 1990年11月~93年 雲仙普賢岳(火砕流:死者不明44名)
- 1995年2月 焼岳(水蒸気爆発:死者4名)
- 1997年7月 八甲田山(火山ガス:死者3名)
- 9月 安達太良山(火山ガス:死者4名)
- 11月 阿蘇山(火山ガス:死者4名)
- 2000年3月~翌9月 北海道有珠山(噴火:住民避難)
- 6月~ 三宅島(噴火:全島民避難)
- 2004年8月~11月 浅間山(降灰)
- 2007年1月 御嶽山(水蒸気噴火)
- 2011年1月 霧島山新燃岳(住民一時避難)
- 2013年8月 桜島(噴火, 降灰)
- 11月 西之島(噴火)
- 2014年9月 御嶽山(爆発:死者56名不明7名)

青字: Pi-SARによる緊急観測
赤字: Pi-SAR2による緊急観測

Pi-SARによる火山噴火観測(2000年)

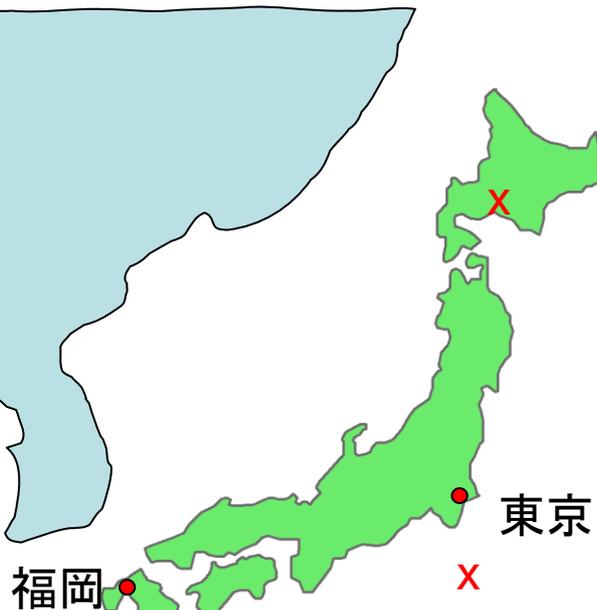
北海道有珠山

- 2000年3月31日に26年ぶりに活動開始
- 2つの火口群が日に日に拡大
- 火口群付近に40mを越える隆起
- 約3ヶ月で収束
- Pi-SAR観測(4/6,4/12,5/30,8/2)



三宅島

- 2000年6月30日から活動はじまる
- 7月8日に頂上からの大噴火とともに大陥没
- 数度の噴火を繰り返す
- 10月以降は主に火山ガスの噴出
- Pi-SAR観測(7/6,8/2,8/30,11/12,3/1,3/19)



福岡

東京

Pi-SARによる有珠山の観測(2000年)

Apr. 6, 2000



Apr. 12, 2000



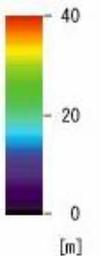
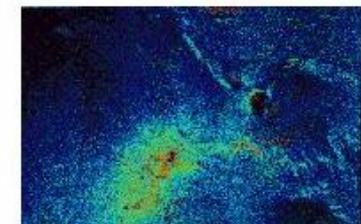
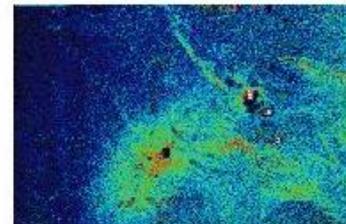
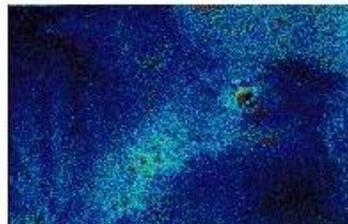
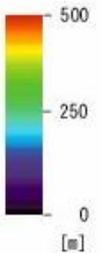
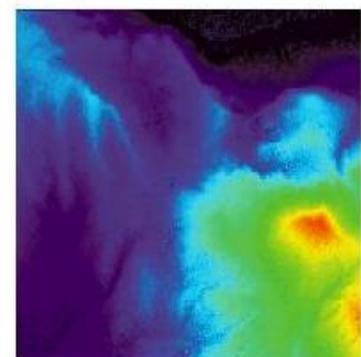
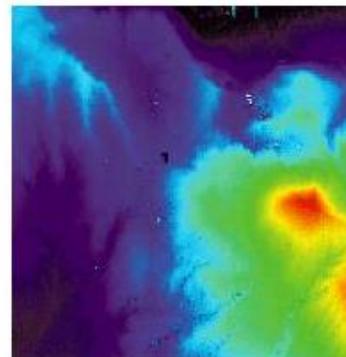
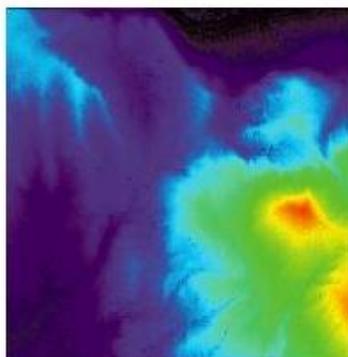
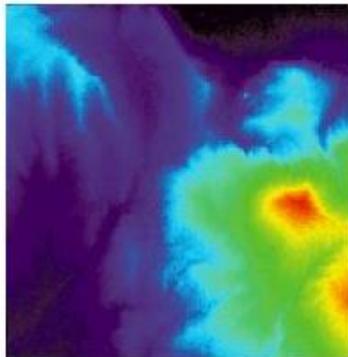
May 30, 2000



Aug. 2, 2000

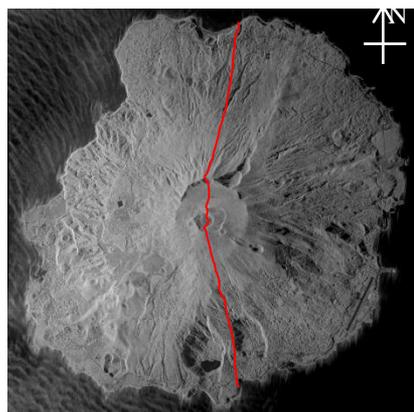


Azimuth
Range

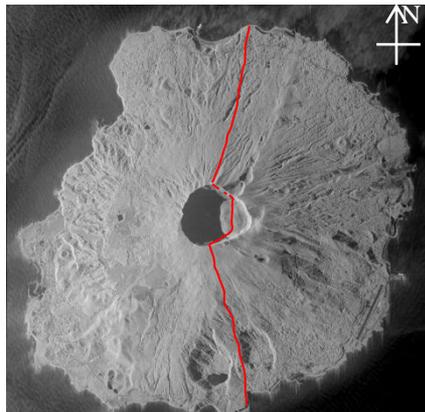


火山災害にSARの有効性が大きいことをはじめて実証
数10mの地殻変動を面的にとらえる
ただし観測準備に1週間、処理に3日

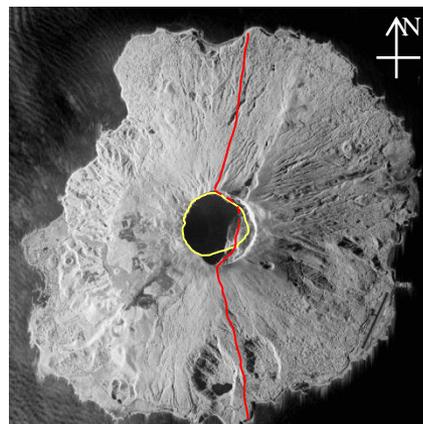
Pi-SARによる三宅島の観測(2000年)



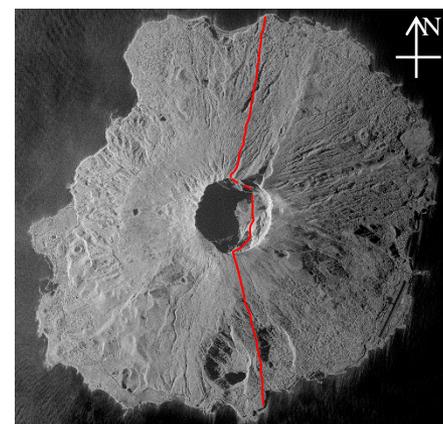
2000年7月6日



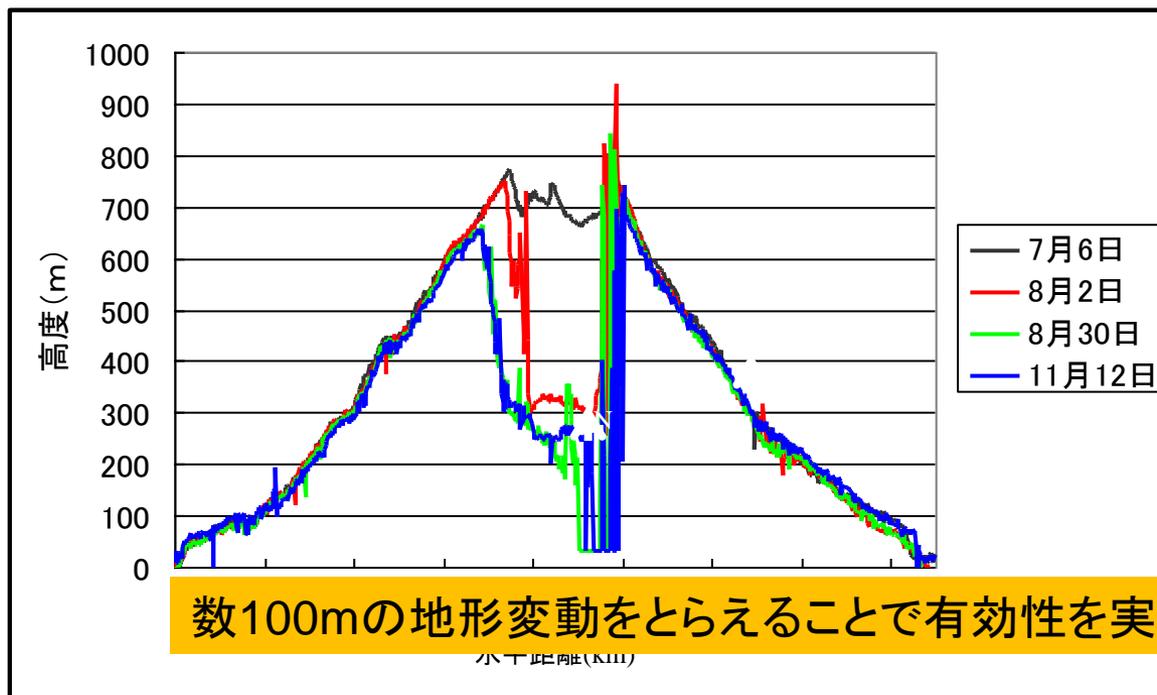
2000年8月2日



2000年8月30日

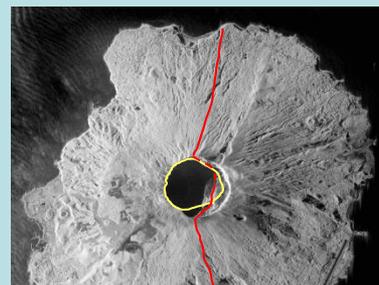


2000年11月12日

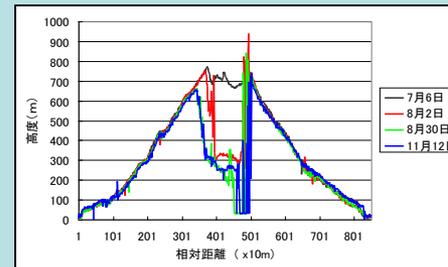


NICTが開発した航空機映像レーダ (Pi-SAR)

- 1.5mの識別能力
- 2つのアンテナで立体視することができる (インターフェロトリー)、高さ計測精度2m
- 電波の振動の向きを使った詳細な分析可能 (ポーラリトリー)、識別能力の向上
- 一度に10km以上の幅での観測 (通常の航空写真は2km程度)



2000年三宅島火山噴火



三宅島断面の変化

- 火山災害: 逐次の観測が、続いての災害予測に有効
- 地震災害: 災害後の状況把握に有効



- 前兆現象や災害復興のためにはより高い精度(50cm以下)が必要
- データの迅速な提供が必要



2004年新潟県中越地震

高精度航空機SARの開発 (Pi-SAR2)



- 30cmの識別能力 (世界最高性能)
- 2つのアンテナで立体視することができる
- 電波の振動の向きを使った詳細な分析可能
- 一度に5km~10kmの幅での観測

2010年度に完成

機上の高速処理装置 (画像化)
ICT技術を融合して高速伝送



Pi-SARからPi-SAR2へ：高分解能化



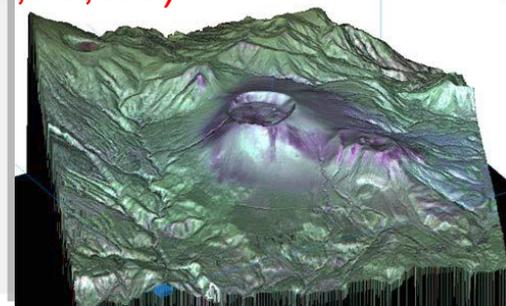
	Pi-SAR	Pi-SAR2
Center Frequency	9.55 GHz	9.55 GHz / 9.65 GHz
Bandwidth	100 MHz	500 MHz / 300 MHz / 150 MHz
Slant range resolution	1.5 m	0.3 m / 0.5 m / 1.0 m
Azimuth resolution	1.5 m (4looks)	0.3 m (1look) / 0.6 m (2looks)
Swath width (ground range)	> 10 km	> 10 ~5 km
Noise Equivalent σ^0	< -33 dB	< -23 dB / -27 dB / -30 dB
Data rate	32 MB/s x 2ch.	200 MB/s x 3ch.
Data recorder	D1 tape recorder x 2ch.	3.5 in. HD array (500GB x 8) x 3ch.
Radome position	fore part of body	base of wings
Antenna Azimuth movement	-	Sliding spotlight (optional mode)

SARにより計測可能な地表面変動スケール

		数cm	数10cm	数m	数10m
推定 ・ 計測 手法	形状判読		← Pi-SAR2 →	← Pi-SAR →	
	画像マッチングによる変位量推定			← Pi-SAR →	
				← ALOS2 →	← TeraSAR-X →
	干渉SARによるDEMの比較			← Pi-SAR →	← Pi-SAR2 →
差分干渉SARによる変位量推定	← ALOS2 →				
	← TeraSAR →				

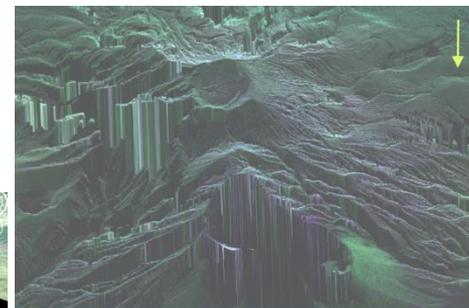
霧島新燃岳(2011.2-3)

- 2014年1月19日からマグマ水蒸気噴火
- 噴石および火山灰により周辺地域に被害
- Pi-SAR2観測(2/22,23,26,3/8)



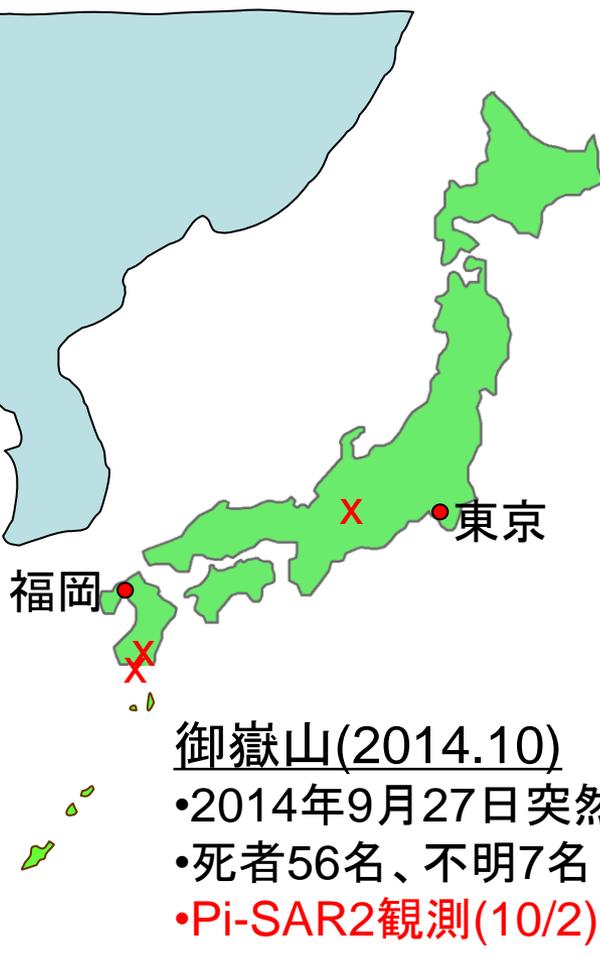
桜島(2013.8)

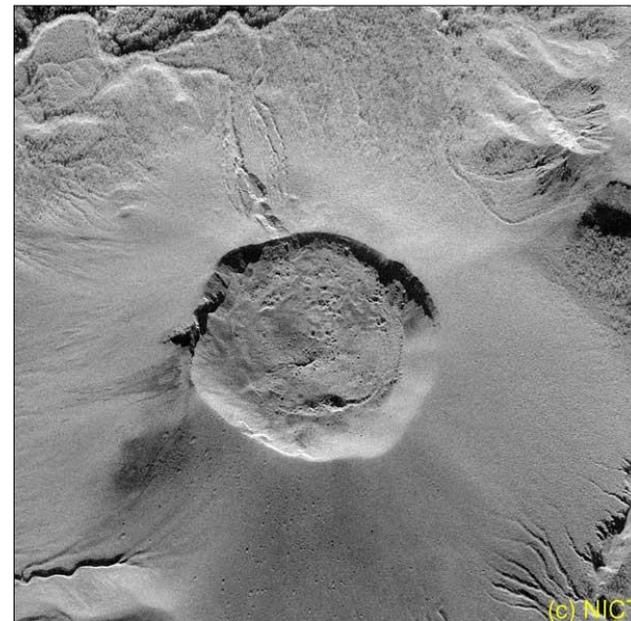
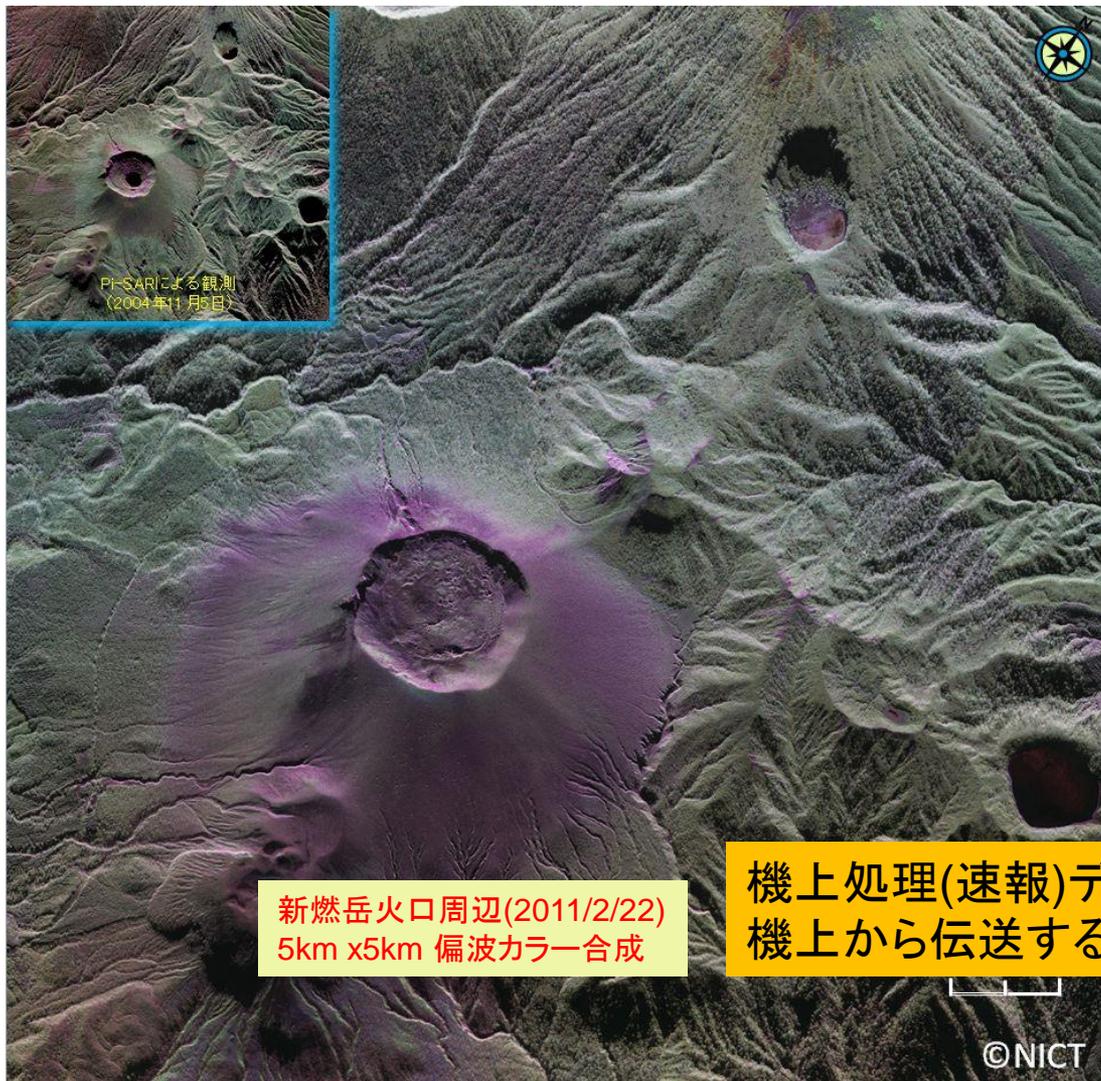
- 2013年8月18日から昭和火口で爆発的噴
- 5000mを超える高さの噴煙による火山灰被害
- Pi-SAR2観測(8/20)



御嶽山(2014.10)

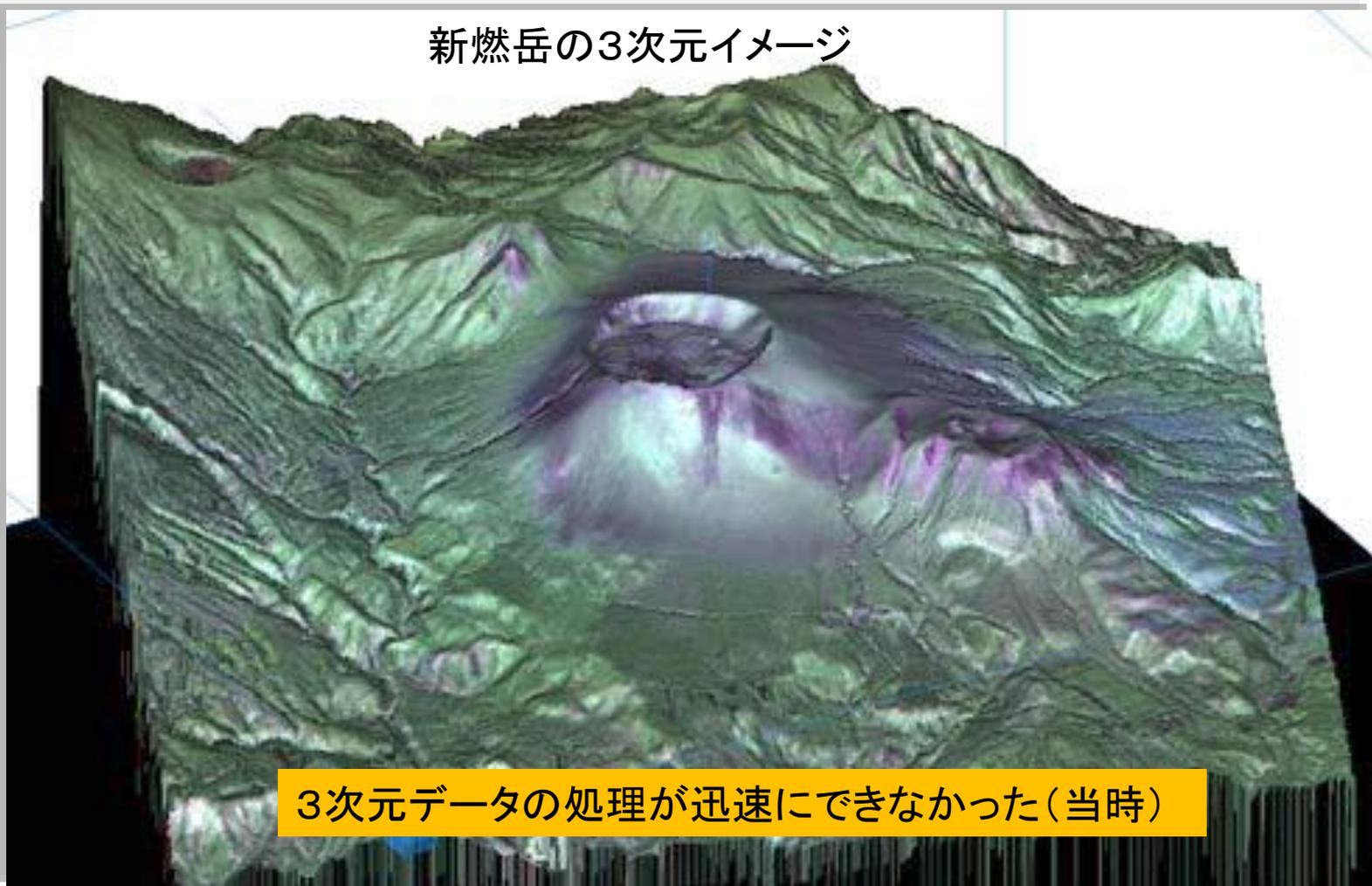
- 2014年9月27日突然の水蒸気噴火
- 死者56名、不明7名
- Pi-SAR2観測(10/2)





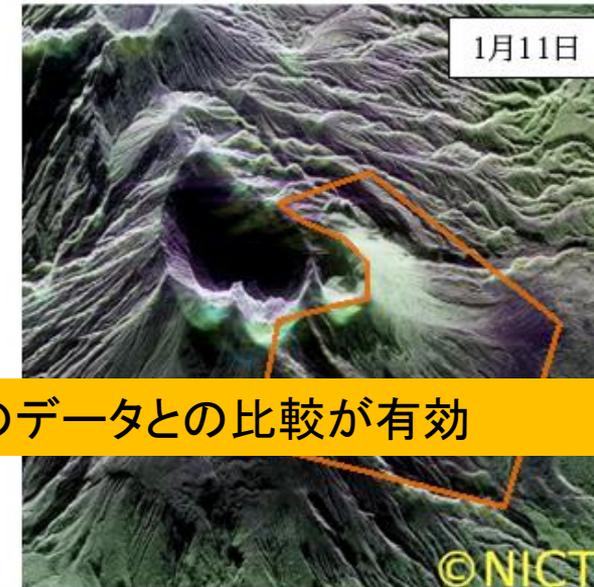
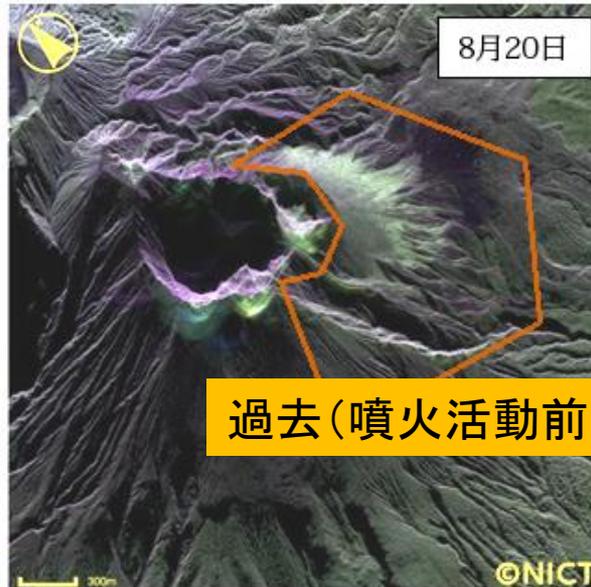
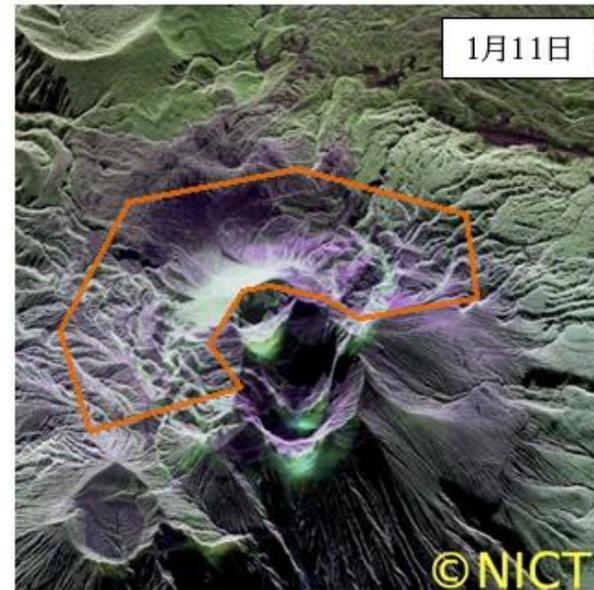
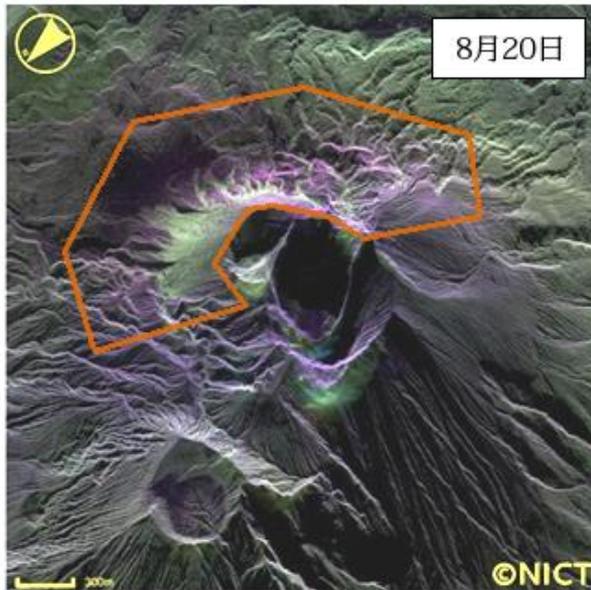
新燃岳火口周辺(2011/2/22)
2kmx2km 速報版

新燃岳の3次元イメージ

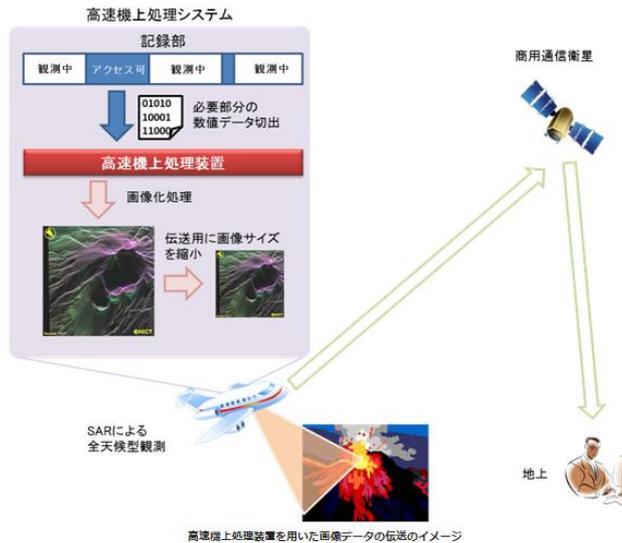
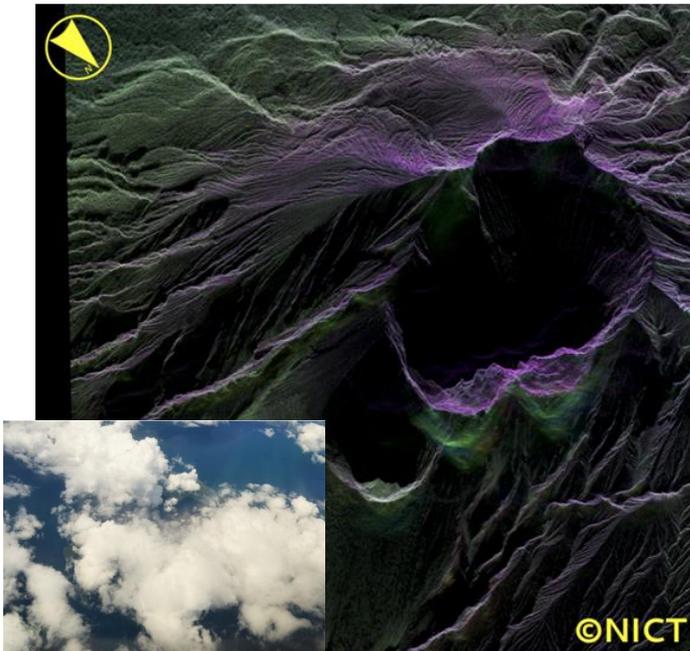


3次元データの処理が迅速にできなかった(当時)

桜島におけるPi-SAR2観測(2013.8.20)



過去(噴火活動前)のデータとの比較が有効



11:17 離陸

.....

13:14 機上処理開始

13:16 データ切り出し

13:17 画像再生処理

13:22 伝送終了

.....

15:00頃 関係機関へ
配布

.....

15:40 着陸

観測から伝送までの実績例(2013.9.20:コース10/ 画像サイズ:2km×2km)



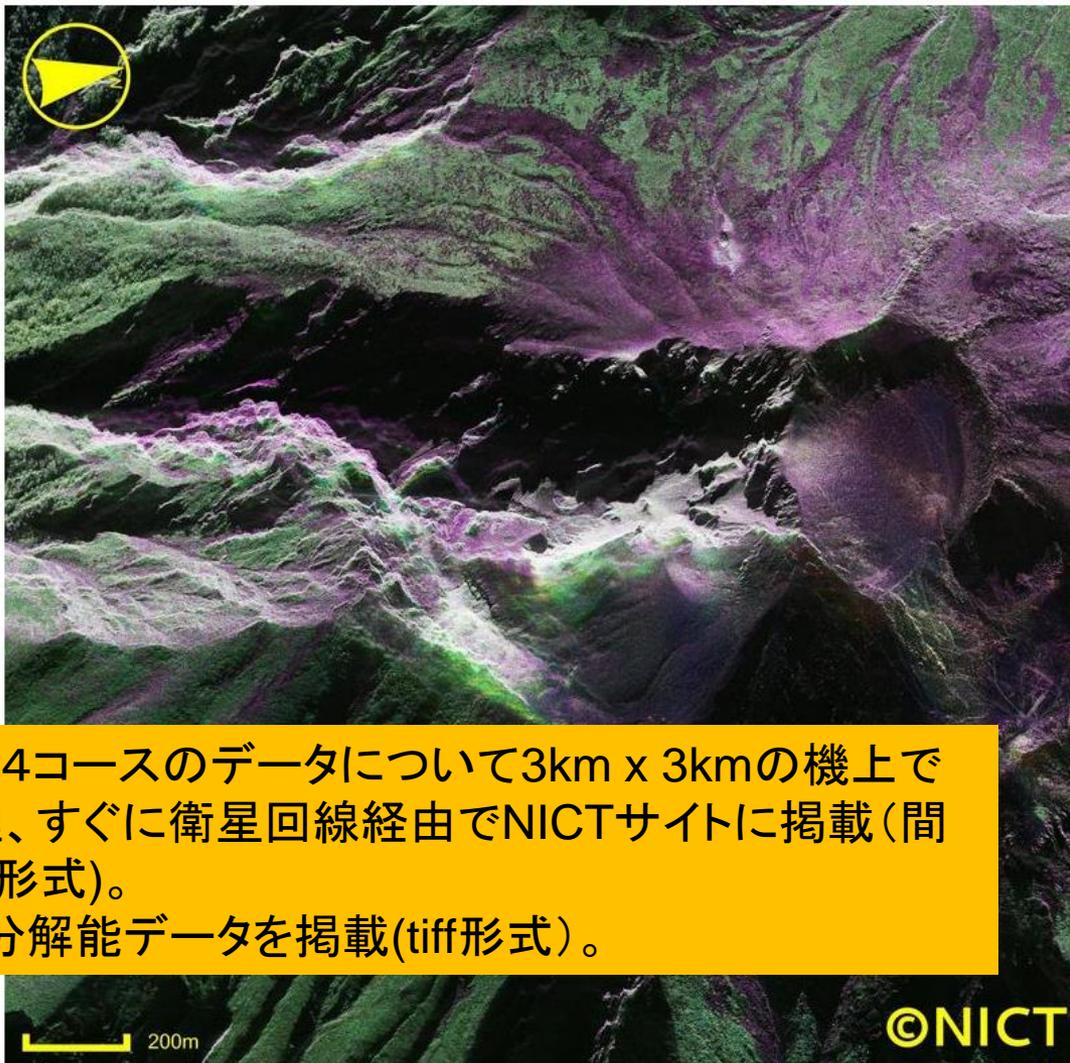
インマルサット航空機局
利用の伝送(320kpbs)



機上処理データの制約が少ない(カラー,2km四方以上)
機上から伝送することも実証!

Pi-SAR2による御嶽山の観測(機上処理)

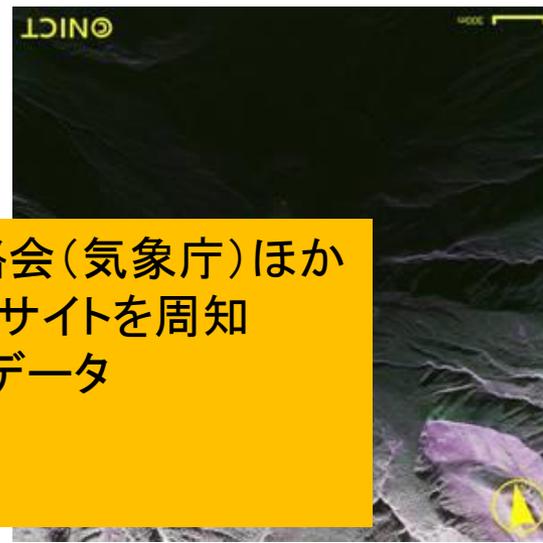
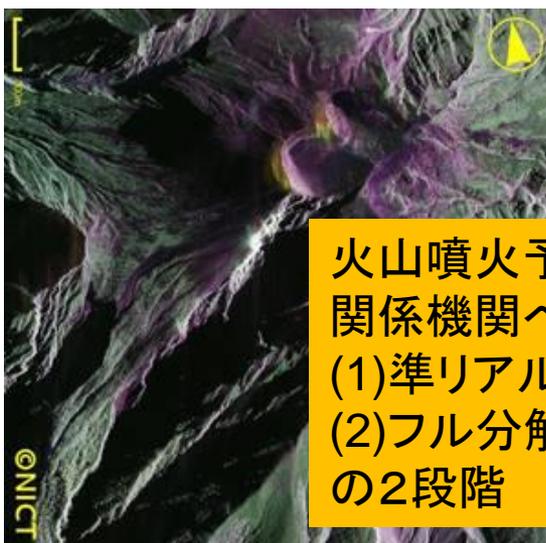
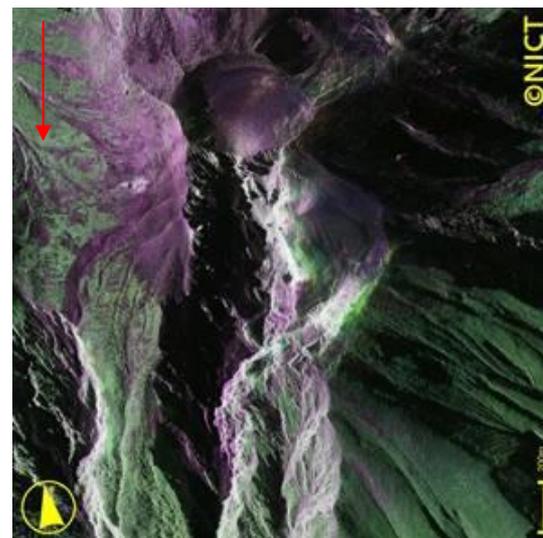
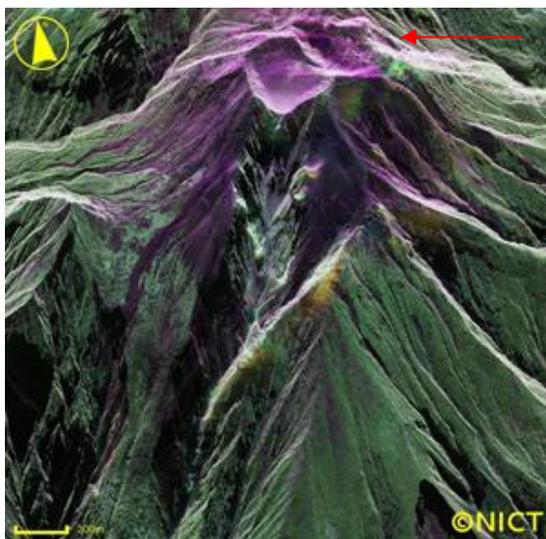
NICT Pi-SAR2	
Scene Name	Pos1B
OBS Date (GPS time)	2014/10/02
OBS Time (GPS time)	03:43:07
OBS No.	2014100201
Sensor	NICT-SAR
Polarization Red	RX2-HHm
Polarization Green	RX1-HVm
Polarization Blue	RX1-VVm
Rg Resolution[m]	0.4
Az Resolution[m]	0.3
Range [km]	Rg 2.0 Az 2.0
Early Near (Lat,Long)	+035.53:58.69 +137.28:05.53
Early Far (Lat,Long)	+035.53:47.30 +137.29:24.05
Late Near (Lat,Long)	+035.52:54.81 +137.27:51.52
Late Far (Lat,Long)	+035.52:43.42
Inc.Angle Near[deg]	
Inc.Angle Center[deg]	
Inc.Angle Far[deg]	
Altitude[m]	
Flight Speed[m/s]	
Flight Direction[deg]	
Scene Direction[deg]	280.1
KMZ Download (1.14 MBytes) Click here	



9コースのうち4コースのデータについて3km x 3kmの機上で偏波画像処理、すぐに衛星回線経由でNICTサイトに掲載(間引き圧縮jpeg形式)。
着陸後、フル分解能データを掲載(tiff形式)。

©NICT

© National Institute of Information and Communications Technology



火山噴火予知連絡会(気象庁)ほか
関係機関へデータサイトを周知
(1)準リアルタイムデータ
(2)フル分解能
の2段階

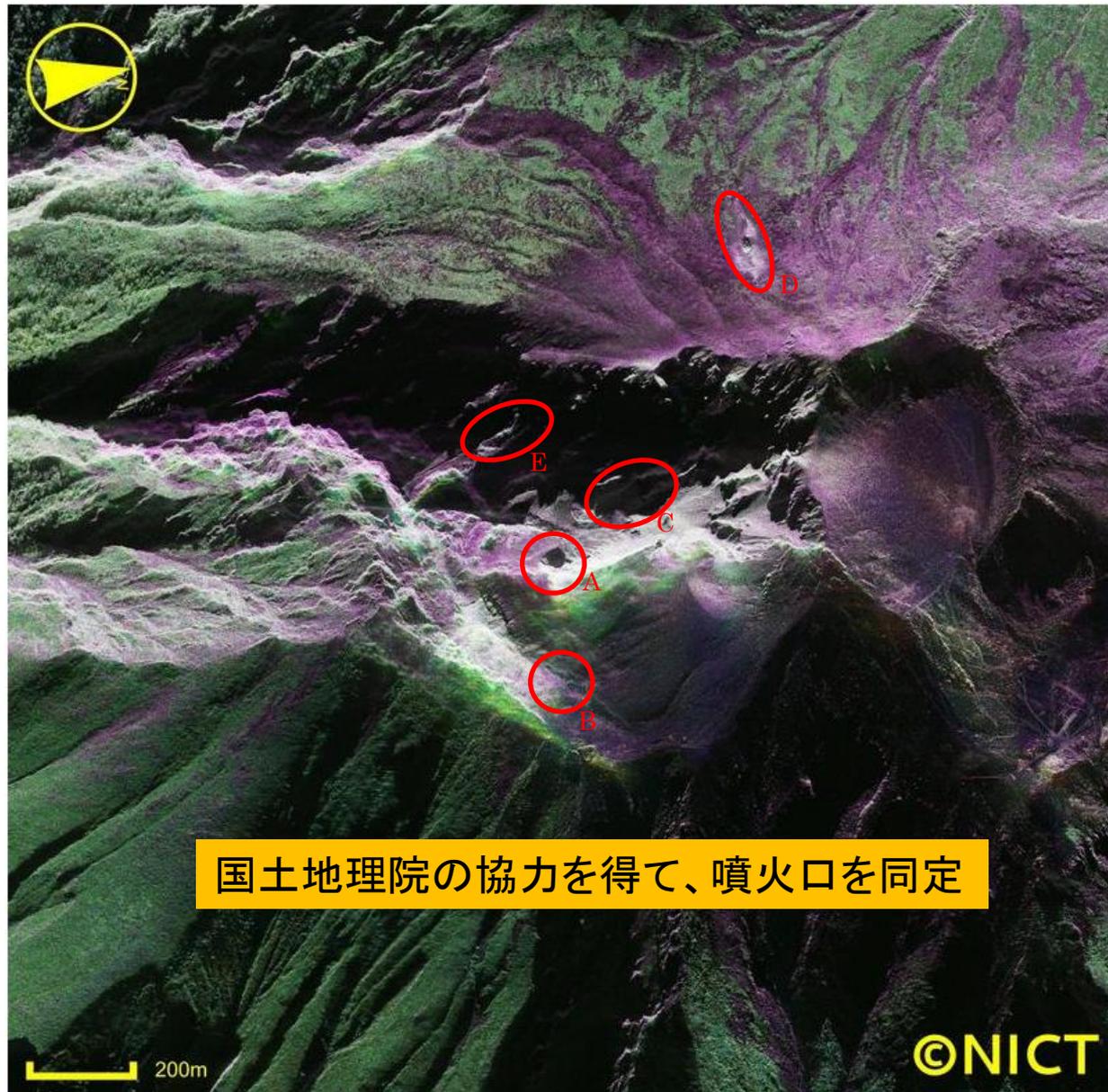
Pi-SAR2による御嶽山の観測(KMZ)



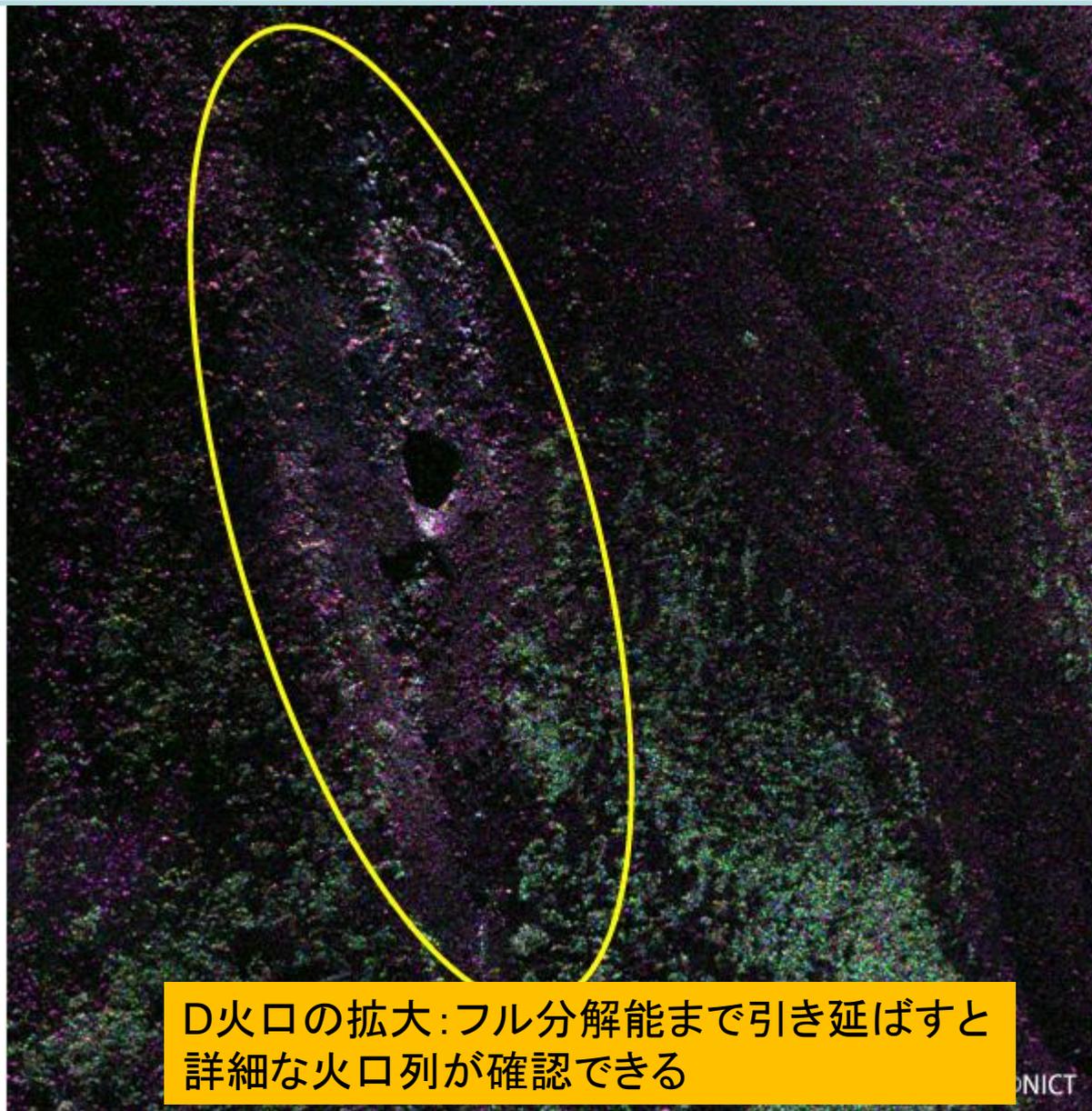
データにはKMZファイルと同梱
Google Earthがあれば容易に
オーバーレイ、3次元化

Image © 2014 DigitalGlobe
© 2014 Cnes/Spot Image

Google earth



国土地理院の協力を得て、噴火口を同定



➤ 御嶽山の緊急観測

URL: <http://www2.nict.go.jp/aeri/rrs/pisar2-ontake/index.html>

- ✓ 有珠山(Pi-SAR)から経験と課題解決を進めてきた
- ✓ 観測からデータ提供までのシナリオどおり
- ✓ 高次処理(高さ変化抽出等)も機上でできないか
- ✓ 判読・解析の手法(SARだけではわからない)

➤ 国内火山の観測(活動前データの収集)

- ✓ Pi-SAR初号機を含め20/110の火山はデータあり
- ✓ データの充実が必要

➤ 実運用に向けて

- ✓ (他の災害も含め)迅速な観測には、Pi-SAR2
技術を普及させること