

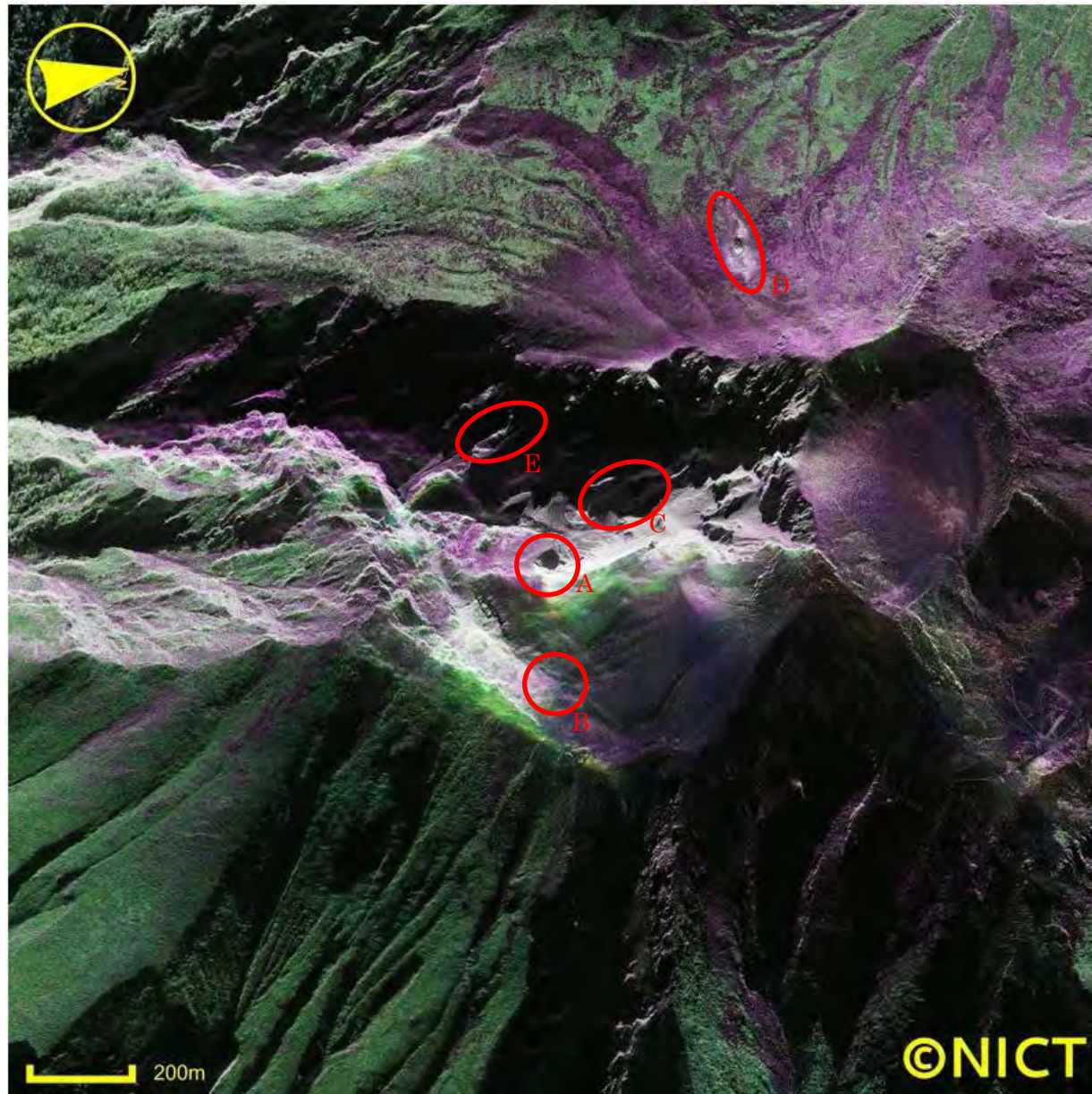
山の防災システムセミナー
e-とぴあ・かがわ(高松市)
2015/2/27

雲の上から災害を捉える … 航空機搭載合成開口レーダ



独立行政法人 情報通信研究機構
電磁波計測研究所
浦塚清峰





日本国内の近年の火山噴火災害

活火山分布図

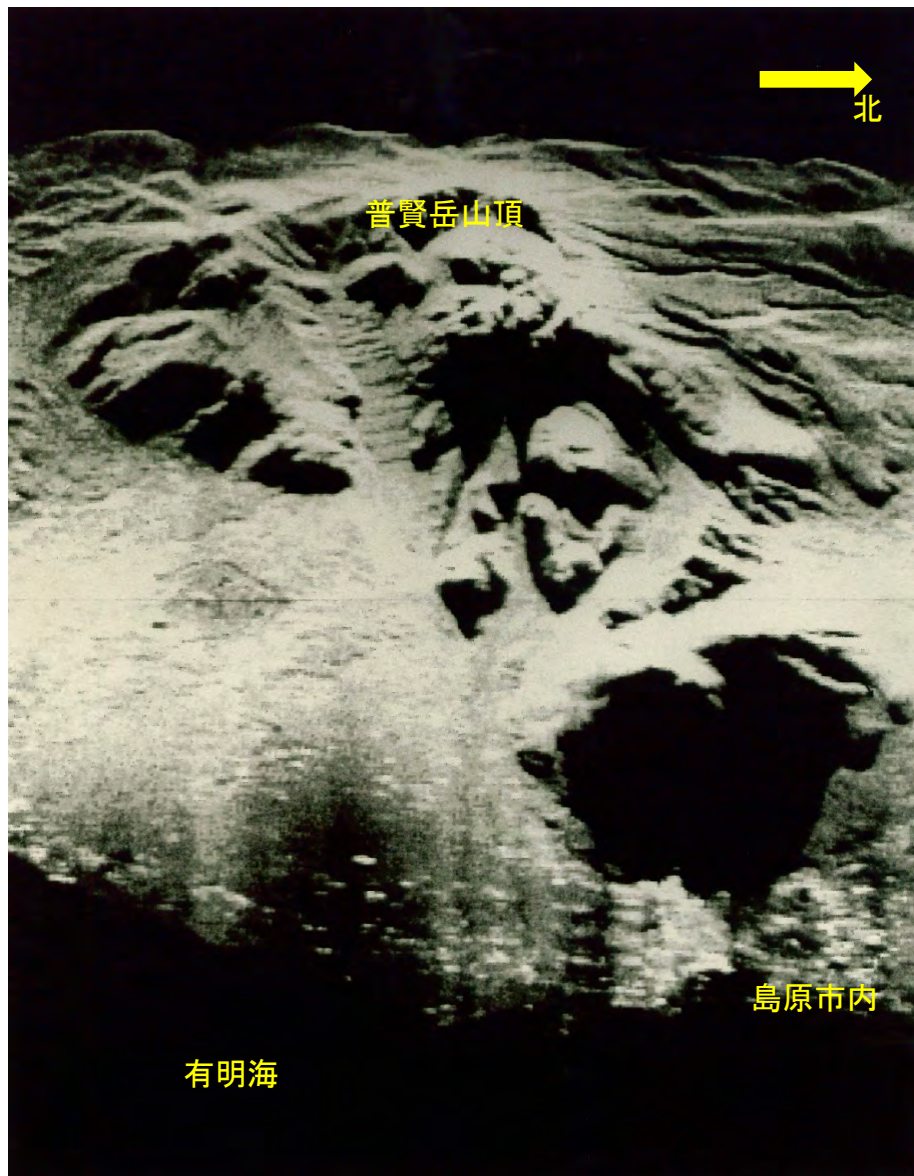


日本の活火山(1万年前以内に噴火記録のある110火山)
(気象庁編:日本活火山総覧第4版より)

- 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

雲仙普賢岳の噴火観測(SLAR-2)



NICTが開発した航空機搭載映像レーダ

	R-SLAR (SLAR-1)	SLAR-2	Pi-SAR	PiSAR2
開発・運用	1984-1986	1987-1994	1993-2006	2006-現在
分解能	高度2000mのとき約30m		1.5m(高度によらず)	30cm(高度によらず)
観測幅	約20km以上		10km以上	7km以上
方式	実開口レーダ		合成開口レーダ(SAR)	
プラットフォーム	双発プロペラ機 Fairchild Swearingen Merlin-IV-A		双発ジェット機 Gulfstream-II	
最大観測高度	約5000m		約13,000m	
付加機能		H偏波追加	ポラリメトリ インターフェロメトリ	
災害観測		1991雲仙普賢岳	2000有珠山・三宅島 2004新潟県中越地震	2011東日本大震災 霧島新燃岳 紀伊半島豪雨 2014 御嶽山

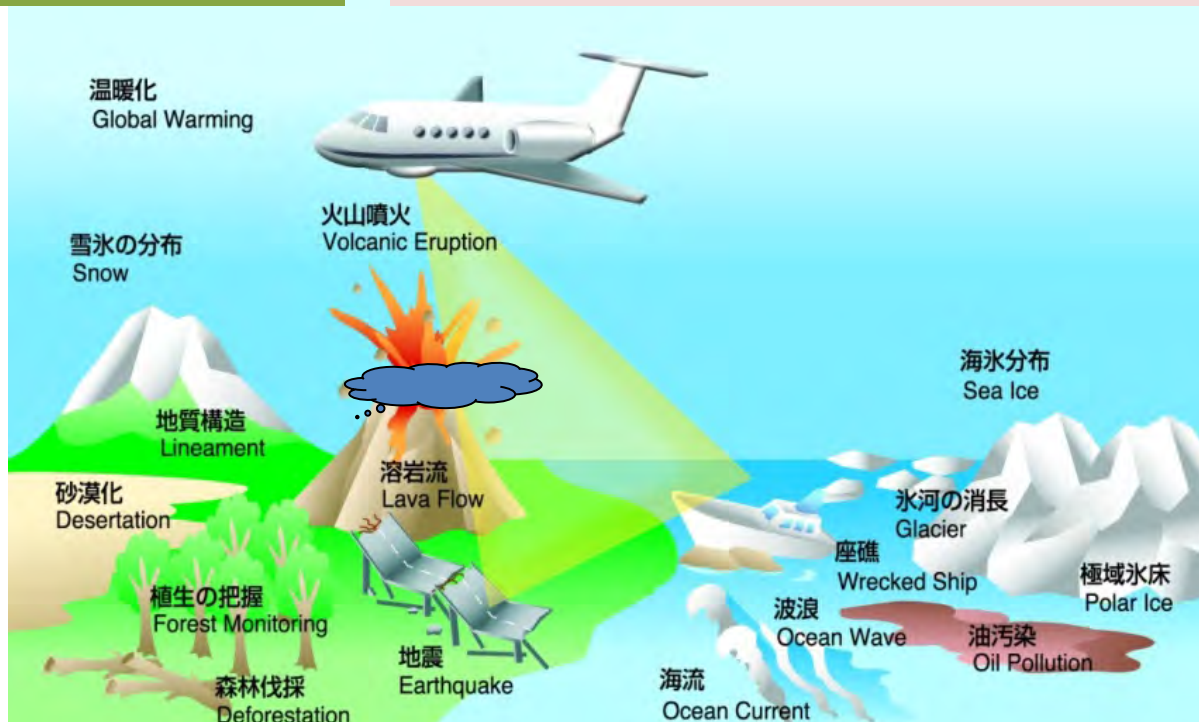


SARの特徴

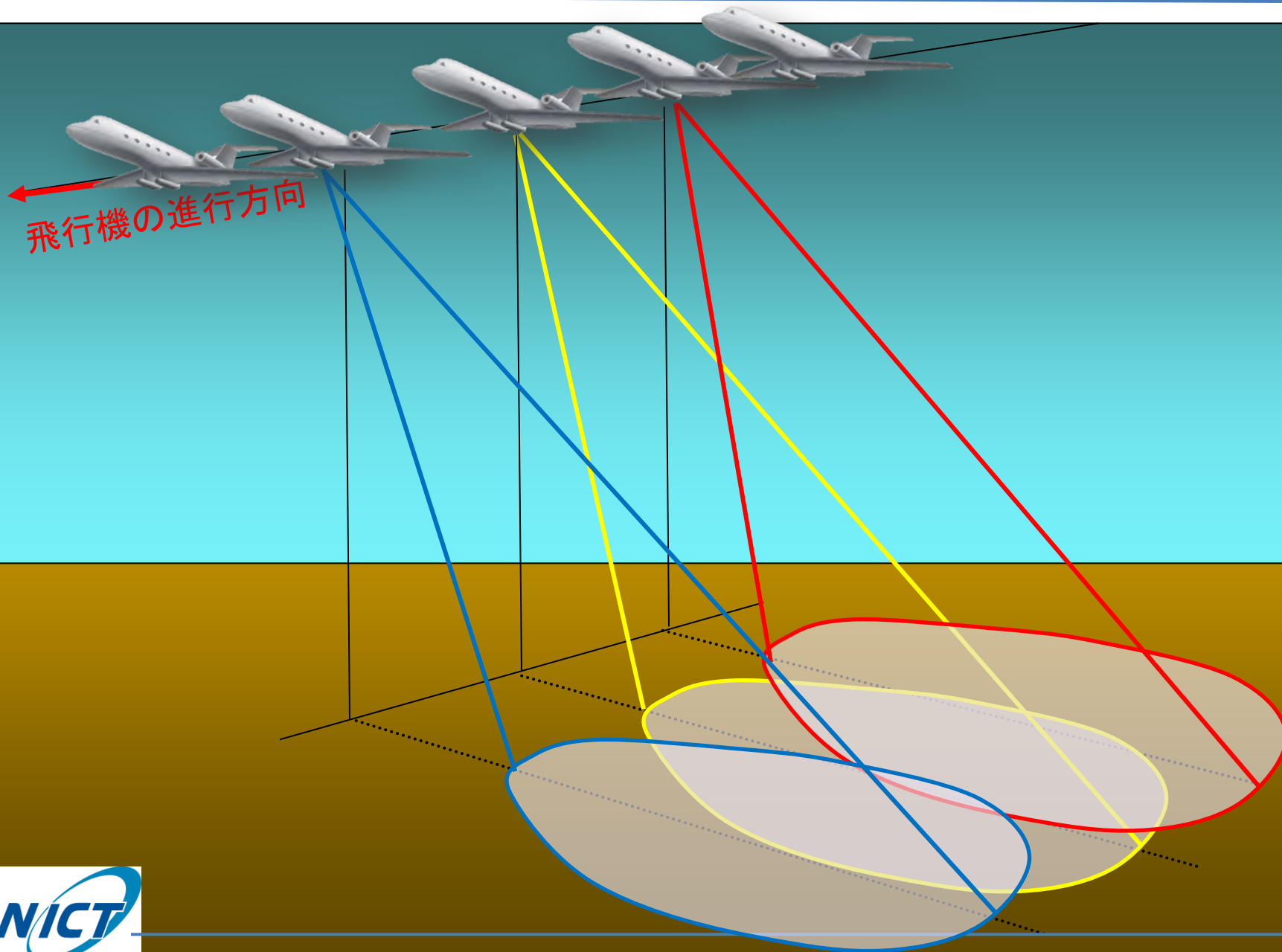
- 一見航空写真
- 高高度からも高分解能
- 広域の観測幅
- 全天候
雲・雨・噴煙を透過
- 夜でも昼でも
- 直下でなく斜め横を観測

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

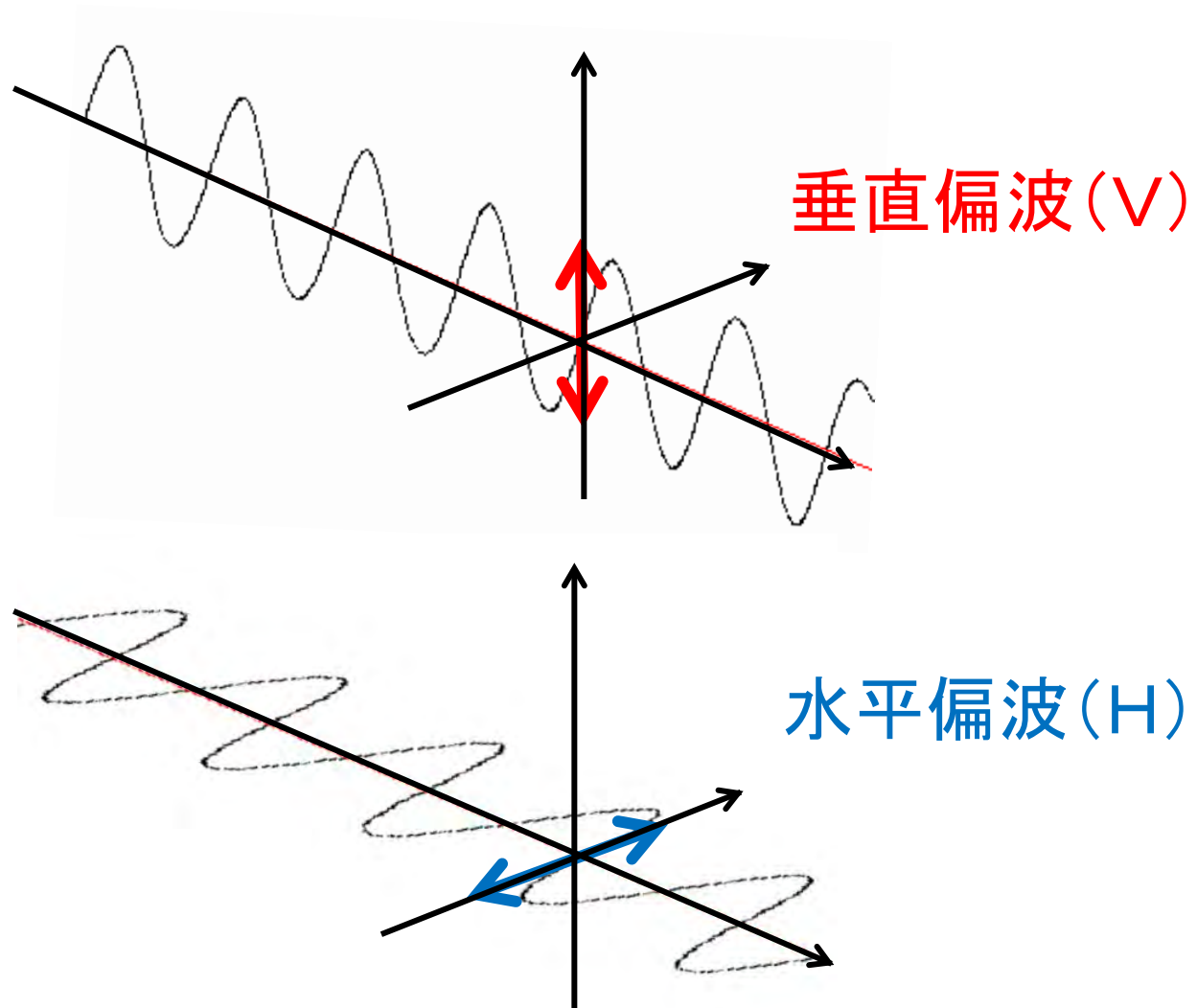
- 分解能 : 1.5m → 30cm
- 立体視:
インターフェロメトリ 2m以下の高さ精度
- 偏波を使った詳細な識別:
ポラリメトリ
- 広い観測幅 5~10km



高分解能の仕組み：合成開口(Synthetic Aperture)

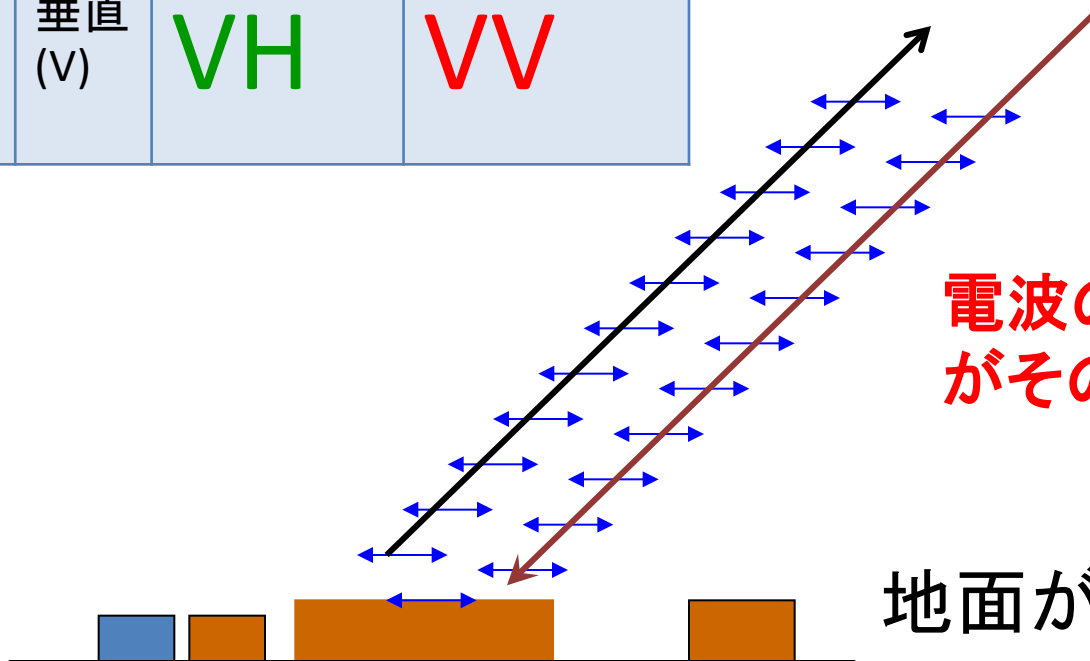


偏波とは



ポラリメトリ(偏波を用いた詳細画像)

		送信波の偏波	
受信波の偏波成分		水平(H)	垂直(V)
	水平(H)	HH	HV
	垂直(V)	VH	VV

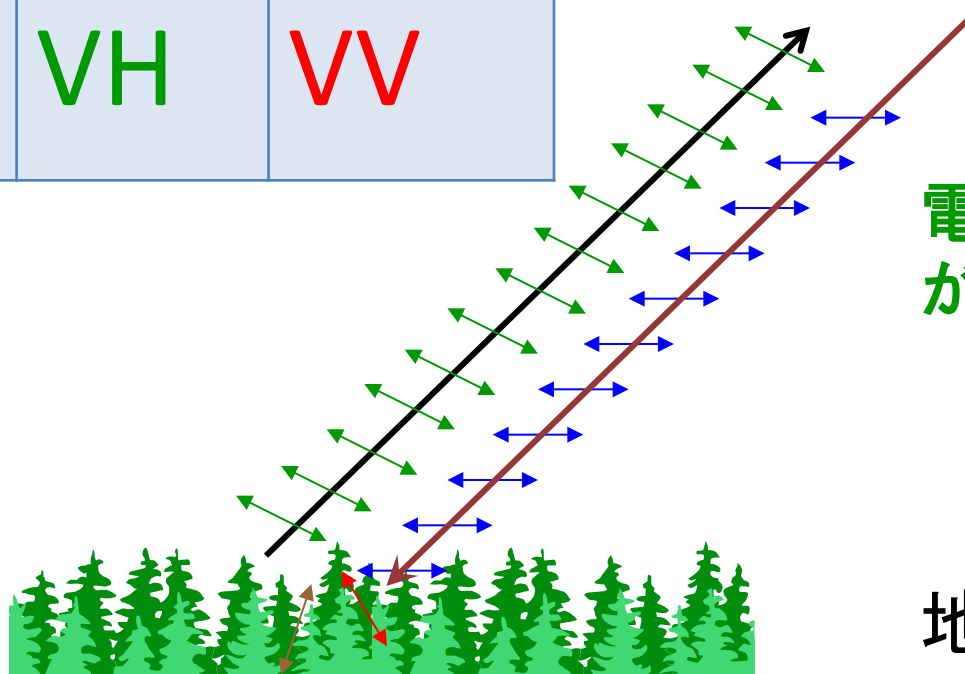


電波の持つ向き(偏波)
がそのまま散乱(HH, VV)

地面が単純な形

ポラリメトリ(偏波を用いた詳細画像)

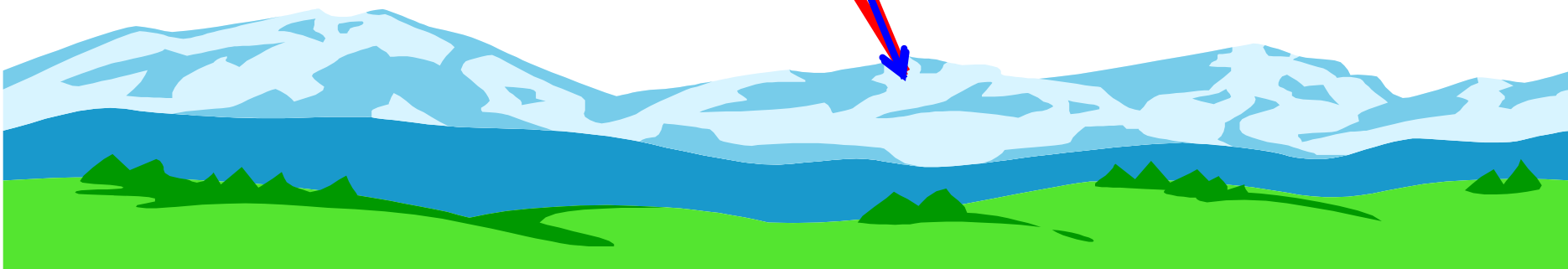
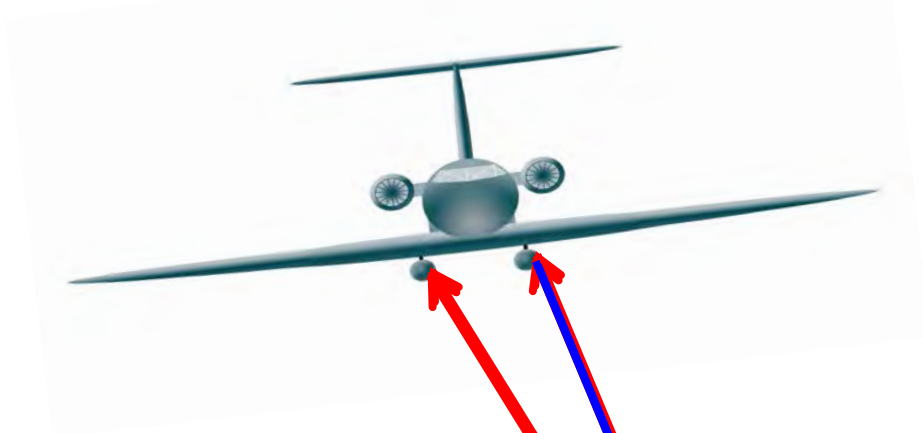
		送信波の偏波	
受信波の偏波成分		水平(H)	垂直(V)
	水平(H)	HH	HV
	垂直(V)	VH	VV



電波の持つ向き(偏波)が変化(HV/VH)

地面が複雑な形

2つのアンテナのデータから地形図を作成する



地球観測への航空機SARの応用性

	高分解能	インターフェロメトリ	ポラリメトリ	その他
地殻変動 (ゆっくりとした)	-	-	-	植生・積雪被覆により長波長が有効
地震前後の変動	地上事物(形状)	隆起/沈降	地上事物 土砂崩壊	植生・積雪被覆の影響
火山	火口内外の詳細な形状	隆起/沈降 火山灰堆積量	火山灰堆積領域	
森林・植生	樹種・密接度	樹高	樹種・密接度	多波長が有効
土壌	テクスチャー	-	含水率	
積雪	雪崩危険性?	積雪深	含水量?	含水量の影響
雪渓・氷河・氷床	流動速度	氷域消長	内部構造	
海洋	波浪スペクトル	波高 海流(アロングトラック)	-	
海水	密接度 氷盤形状・寸法	-	海水分類 (氷厚)	広域性、全天候性

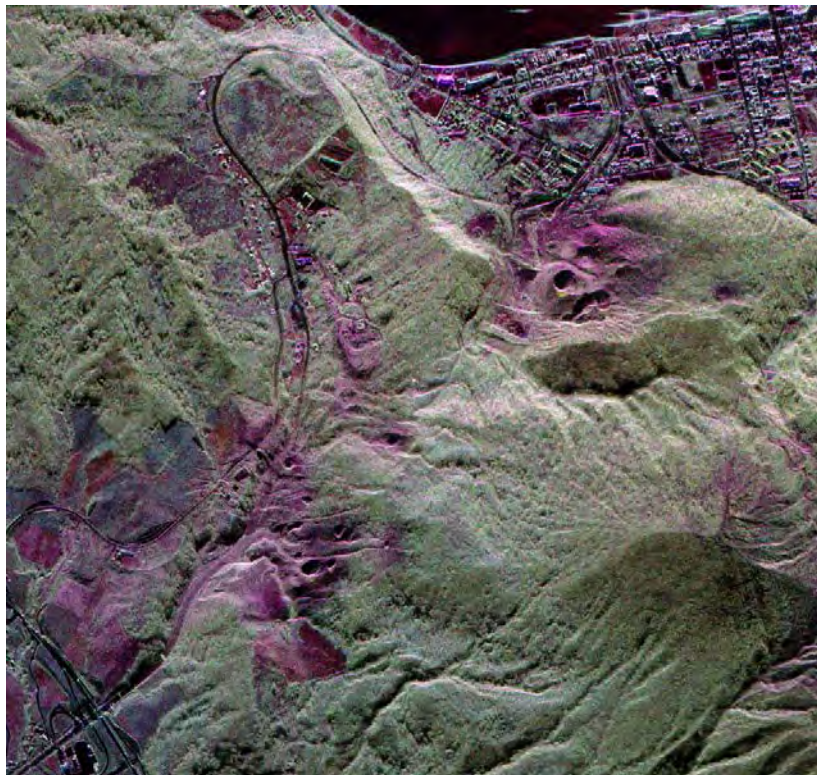
2000年有珠山噴火



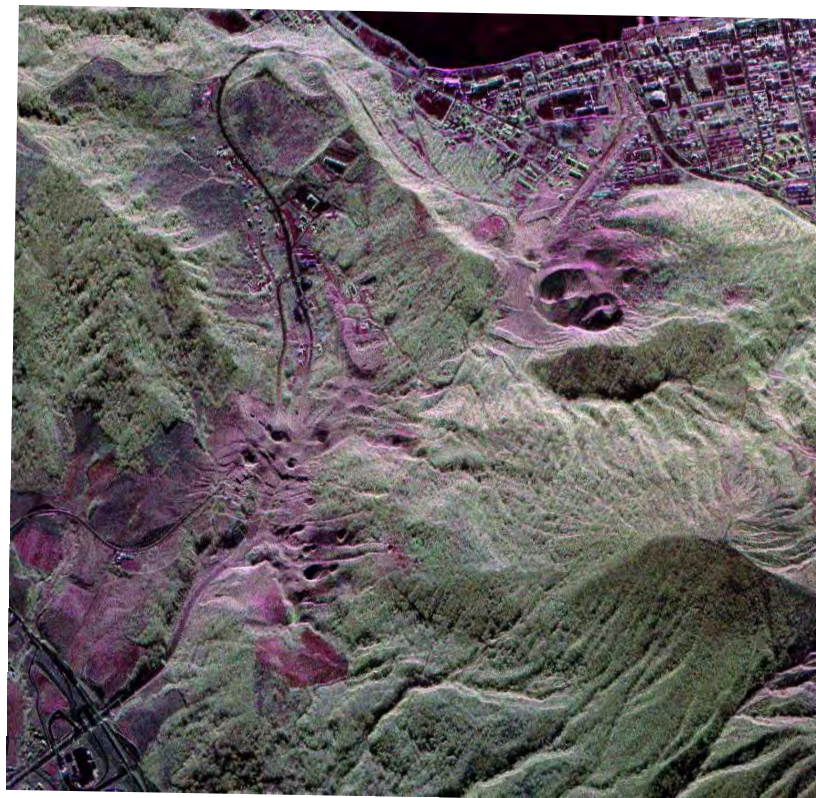
2000年有珠山噴火の状況



火口の形、大きさ、火山灰の広がり



2000年
4月6日

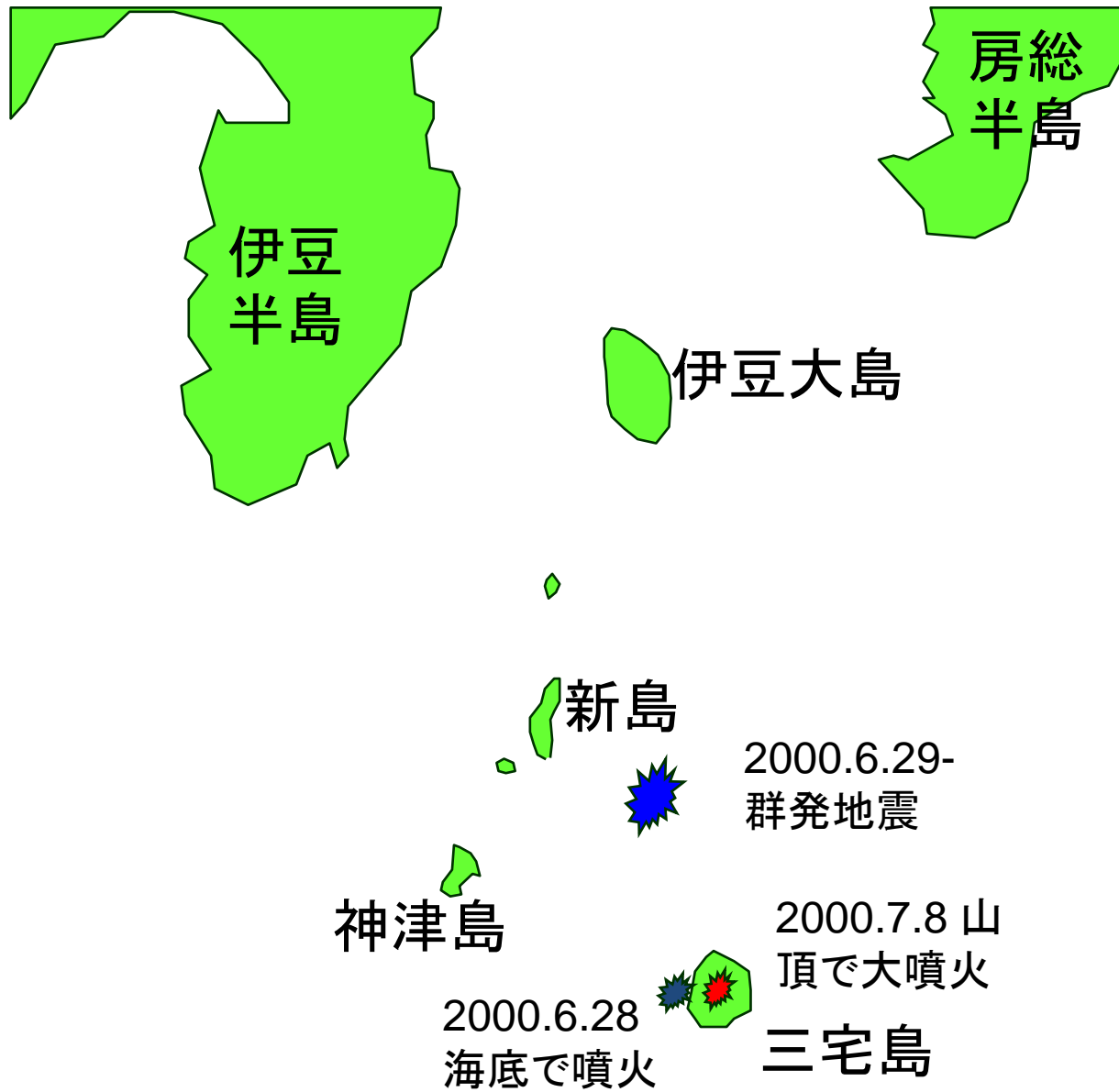


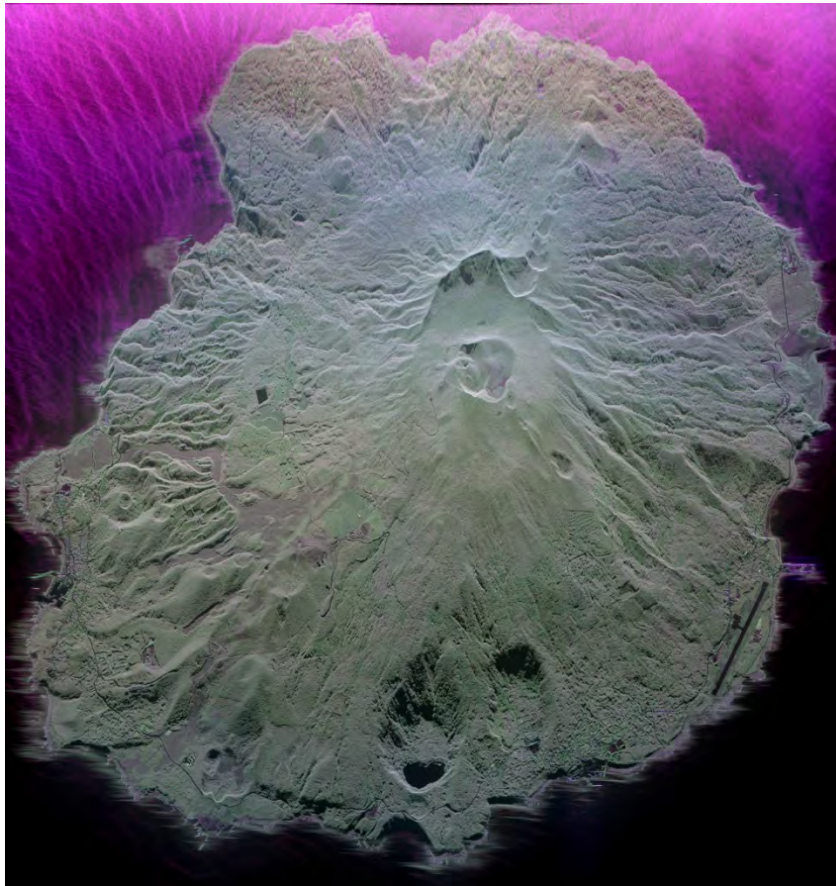
2000年
4月12日

三宅島(2000年)

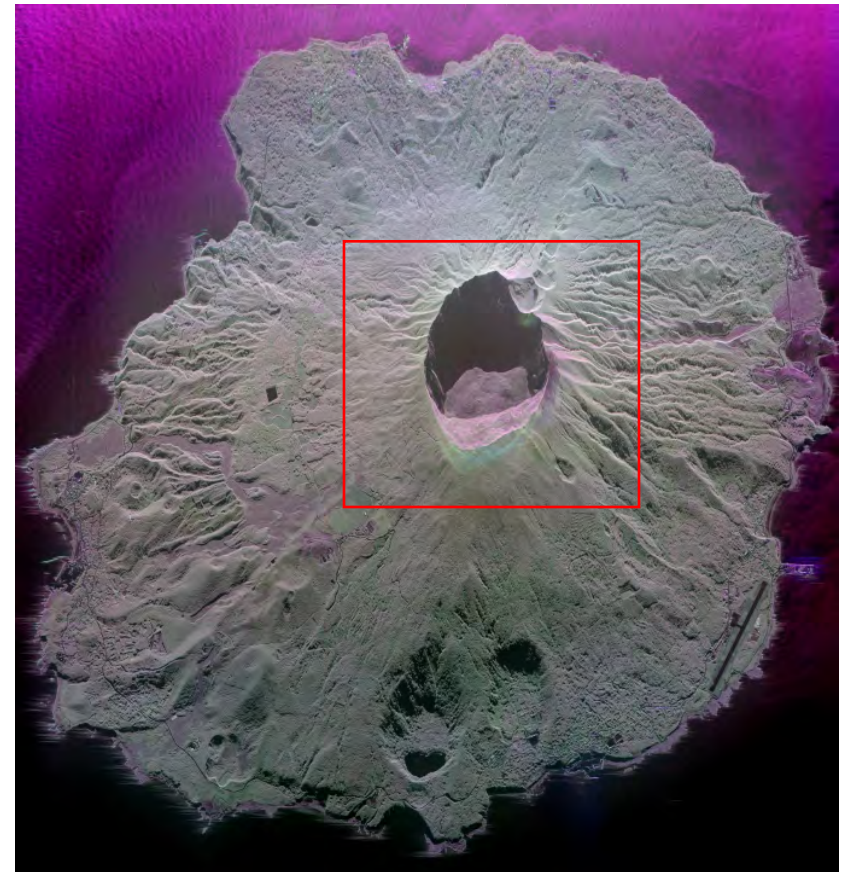


三宅島(2000年)

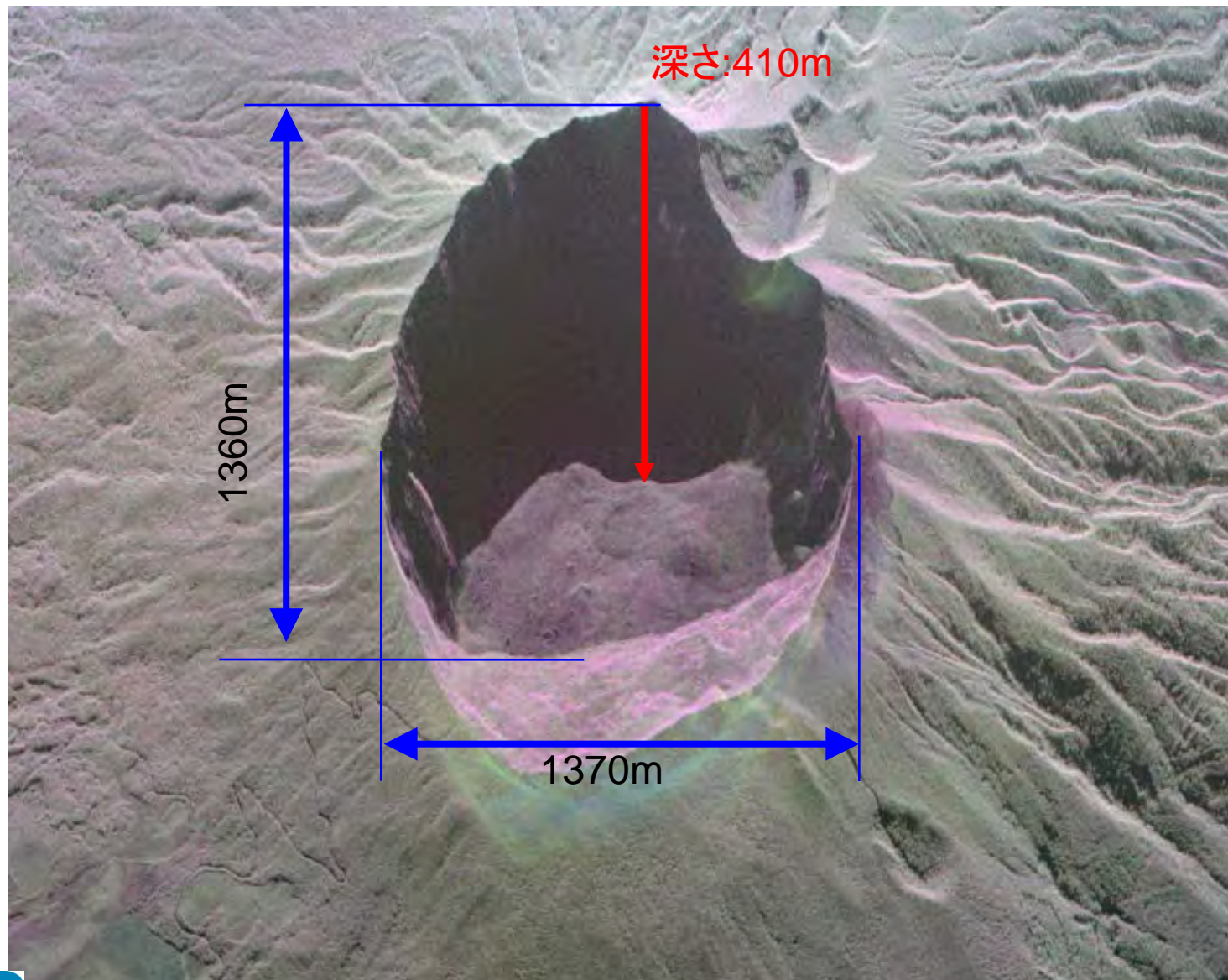




7月6日



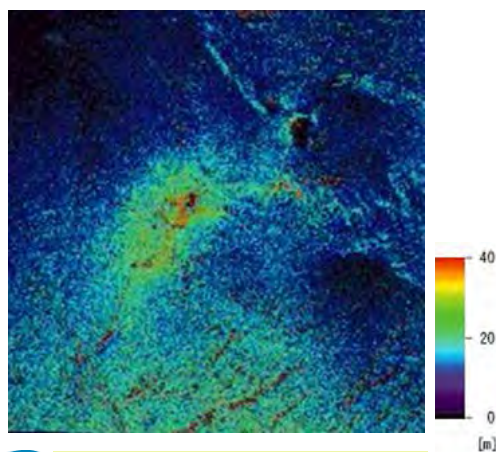
8月2日



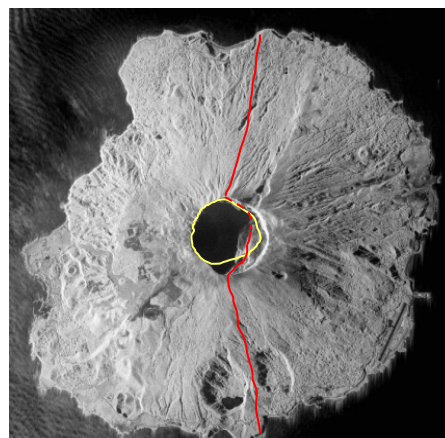
NICTが開発した航空機映像レーダ (Pi-SAR)

- 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 (ポラリメトリー)、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)

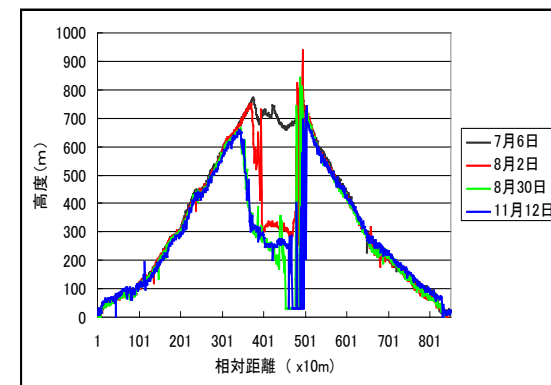
- 航空機SARでの火山観測は世界でも初めて
- 噴火から時間経過を追いながらの観測が、続いている災害予測に有効
- 衛星で追いかけてきれない大規模な隆起・沈降を定量的に計測
- 社会的にもSARが認知されるきっかけとなった
- × 観測までの時間、処理にかかる時間が数日単位



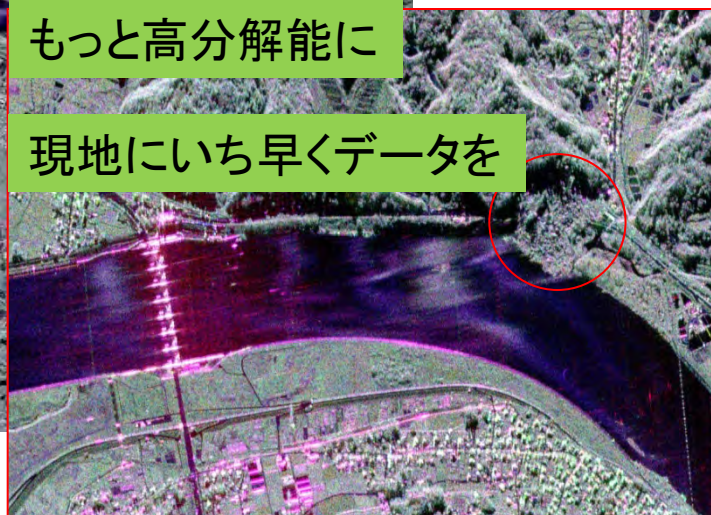
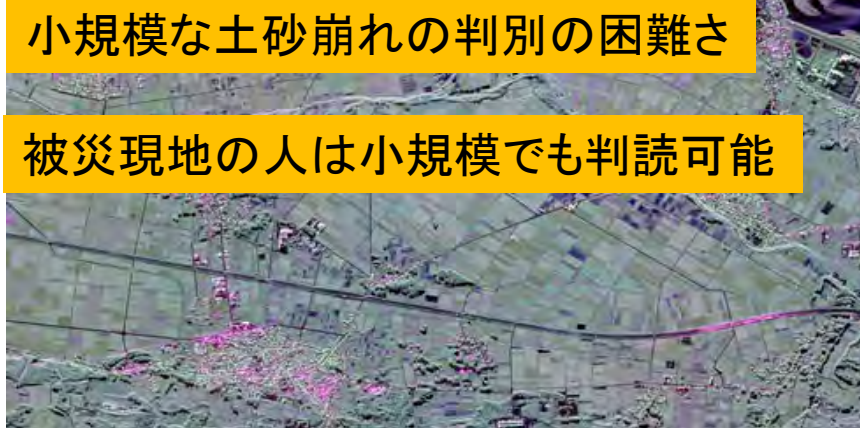
2000年有珠山の隆起



2000年三宅島火山噴火



三宅島断面の変化



小規模な土砂崩れの判別の困難さ

被災現地の人には小規模でも判読可能

もっと高分解能に

現地にいち早くデータを

- 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: 被災直後の状況・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

高精度航空機SARの開発(Pi-SAR2)

2006-2008

- 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



機上の高速処理装置(画像化) ICT技術を融合して高速伝送

2008-2010

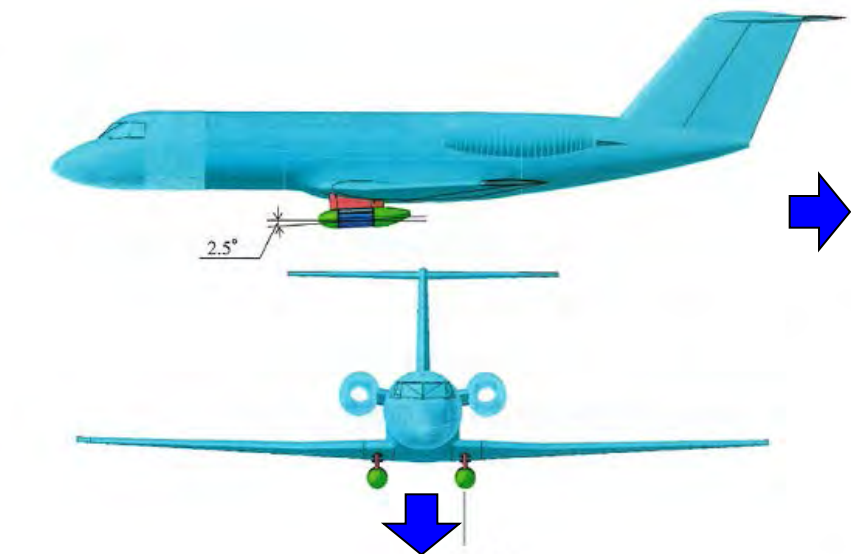


NICTが開発した航空機搭載映像レーダ

	R-SLAR (SLAR-1)	SLAR-2	Pi-SAR	PiSAR2
開発・運用	1984-1986	1987-1994	1993-2006	2006-現在
分解能	高度2000mのとき約30m		1.5m(高度によらず)	30cm(高度によらず)
観測幅	約20km以上		10km以上	7km以上
方式	実開口レーダ			合成開口レーダ
プラットフォーム	双発プロペラ機 Fairchild Swearingen Merlin-IV-A			双発ジェット機 Gulfstream-II
最大観測高度	約5000m			約13,000m
付加機能		H偏波追加		ポラリメトリ インターフェロメトリ
災害観測		1991雲仙普賢岳	2000有珠山・三宅島 2004新潟県中越地震	2011東日本大震災 霧島新燃岳 紀伊半島豪雨 2014 御嶽山



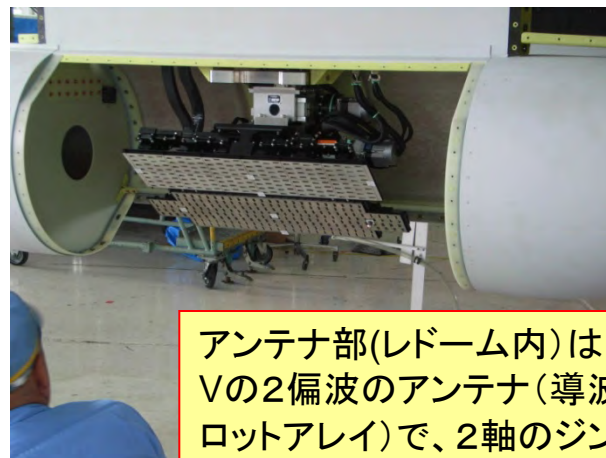
航空機搭載合成開口レーダ (Pi-SAR2)



機内の装置:2つのラック(Pi-SARは3個)。
機内左列に配置し、L(右列使用)も同時搭載可能としている。




機外のアンテナ部:干渉機能のための2つのアンテナ(2.6m間隔 (Pi-SAR: 2.3 m)により、高精度の高度計測を目指す。

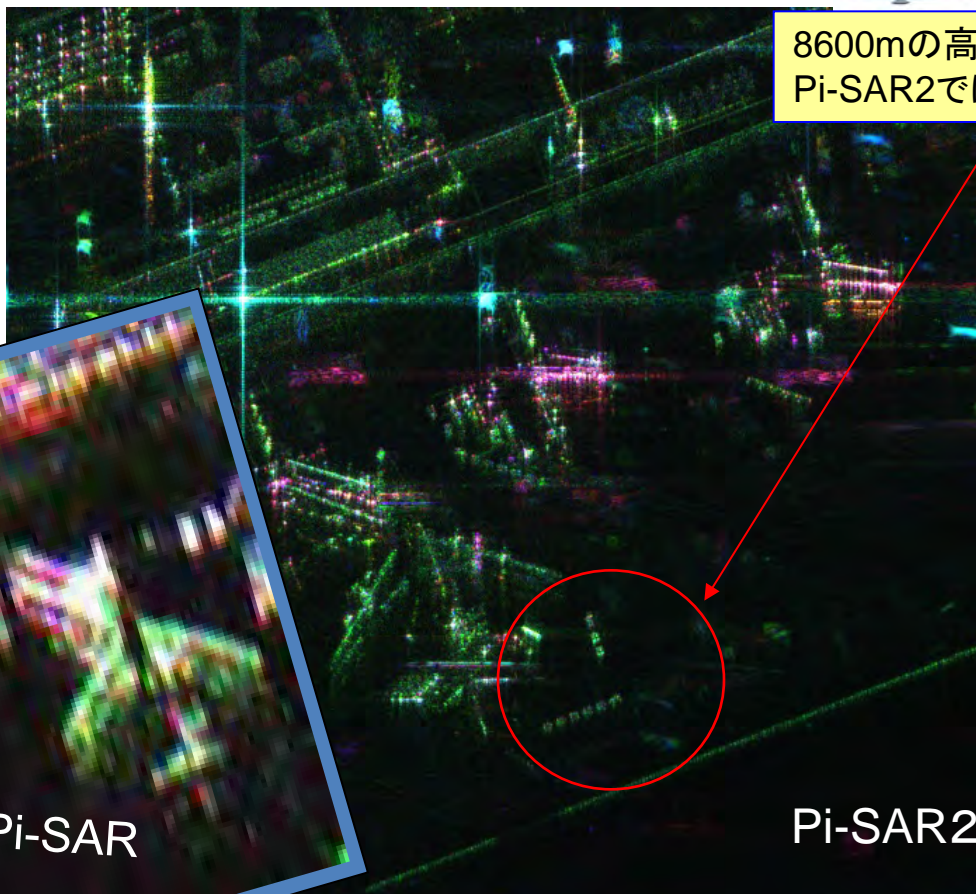


アンテナ部(レドーム内)は、HとVの2偏波のアンテナ(導波管スロットアレイ)で、2軸のジンバルにより、入射角の変更、偏流補正、スポットライト観測が可能

Pi-SAR2観測例: 中部国際空港 (2008.9)

- ・画像サイズ:250m x 250m
- ・分解能:0.3 m (Az) 0.40~0.39 m (Rg)

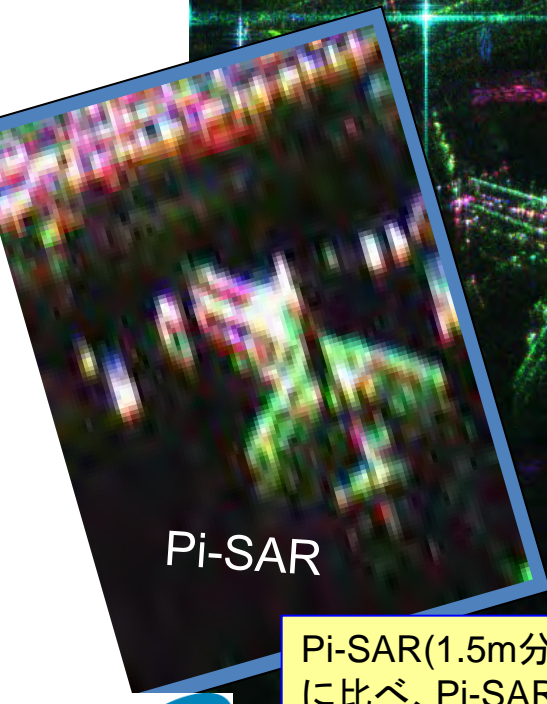
← 飛行方向 



8600mの高度からは光学写真では不明な車両もPi-SAR2では、形状も含め明瞭に把握できる



当日の航空写真



Pi-SAR

Pi-SAR2

Pi-SAR(1.5m分解能)で観測した航空機(関西空港)(左図)に比べ、Pi-SAR2では、航空機の形状、エンジン等がより詳細に把握できる



観測されている車両(参考写真)



SARの生データ: 400MB/s以上のデータ発生レート, 10GB (5kmx5km)

航空機からの直接伝送は困難

数時間

地上で処理

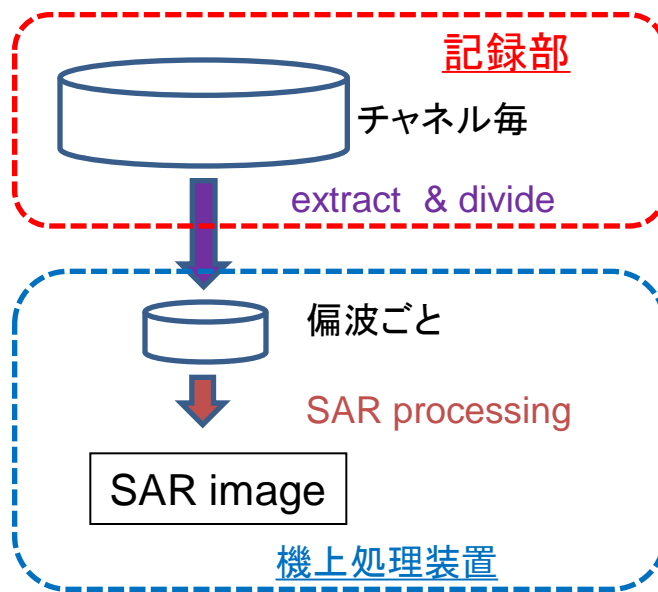
航空機が着陸後の処理

機上で処理

画像圧縮し(1MB)航空機から伝送

約15分

- データの圧縮が目的
生データの圧縮は困難。画像化してJPEG圧縮するため処理を行う
- クイックルックではなくフルスペック処理を機上で行う



Machine	DELL Precision T7400
CPU	Intel Xeon X5260(3.33GHz, 1333MHzFSB, 6MB L2 cash)
OS	Red Hat Enterprise Linux 5
Memory	12Gbyte
Disk	SATA HDD(7200 回転)

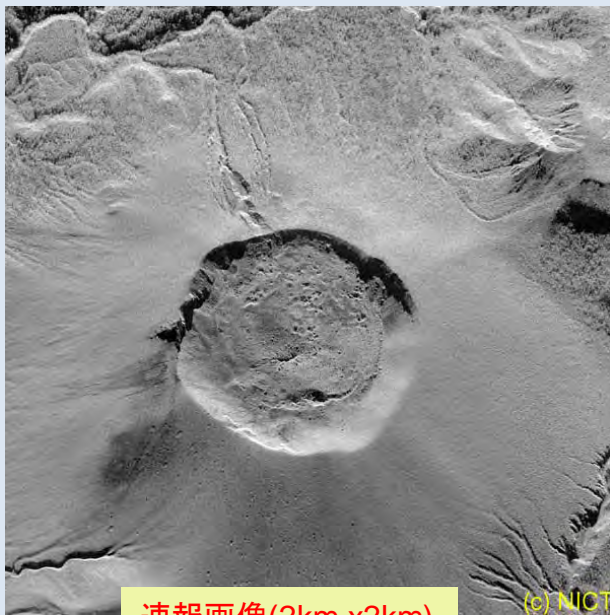
1 km x 1 km の領域を約5分
2 km x 2 km の領域を約15分

飛行パスの間隔が約15分

霧島・新燃岳の噴火災害

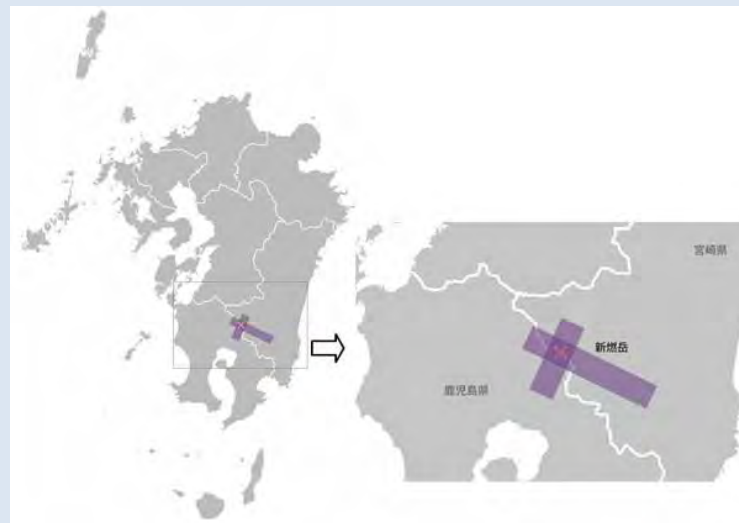
- 2011年1月26日から噴火活動を開始
- 3月末(未収束)までに数回の噴火を繰り返す
- 堆積した火山灰による土石流・泥流被害の発生が懸念

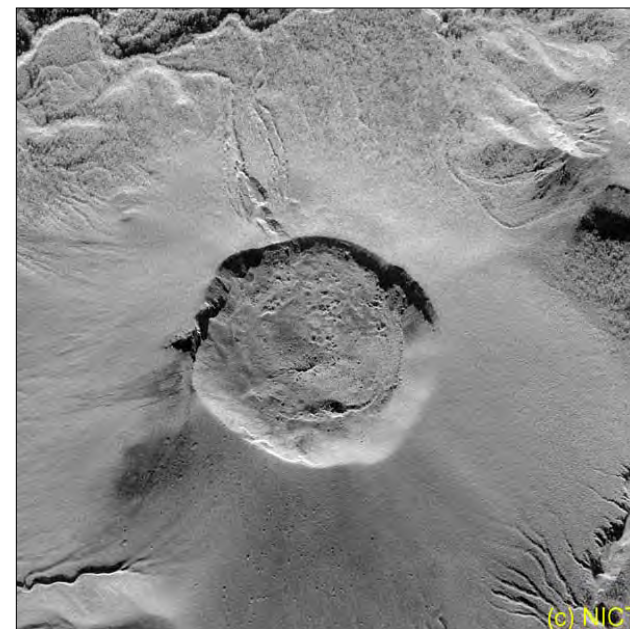
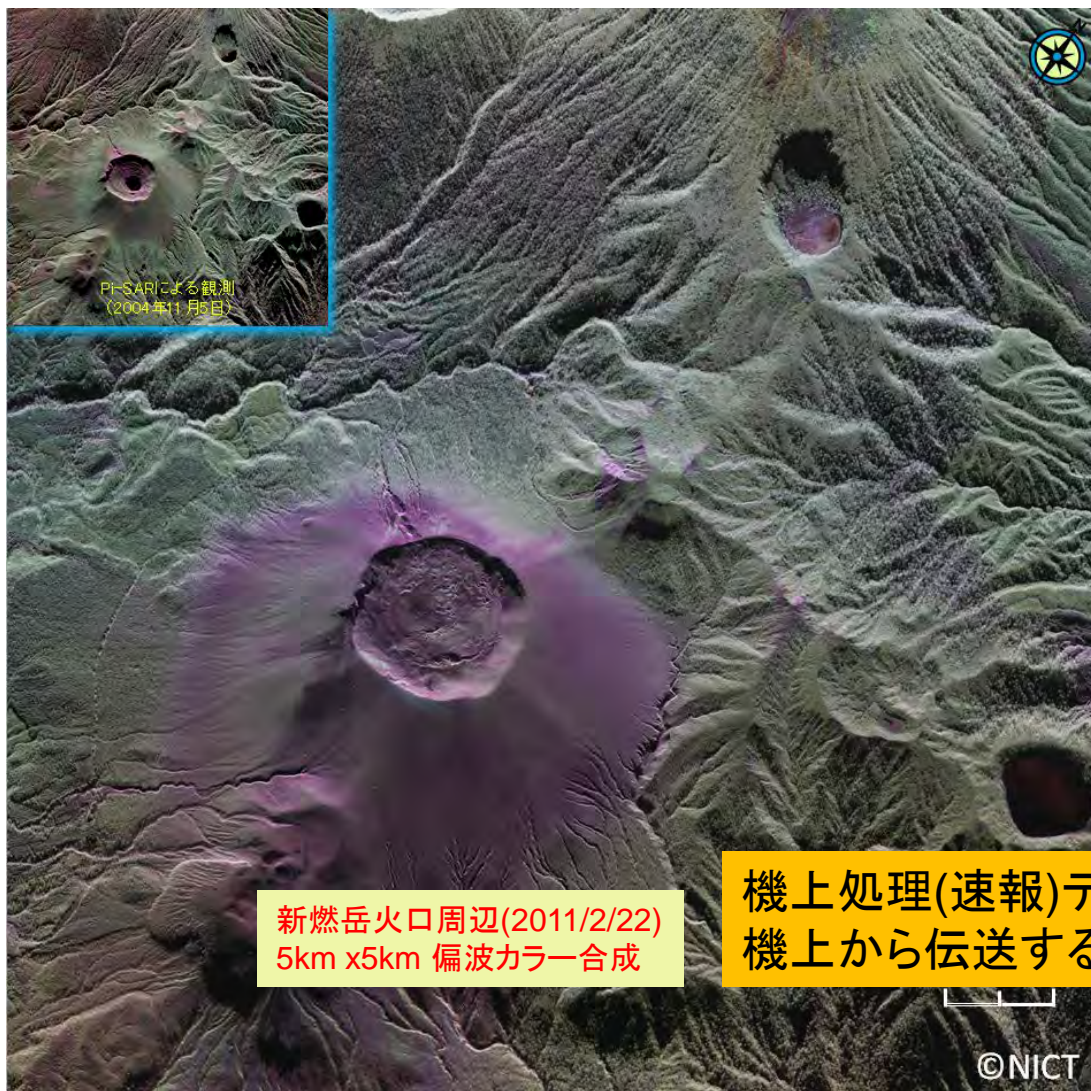
- 2011/2/22, 2/26, 3/9, 10/6に観測
- 観測後、画像は直ちにデータを関係機関に送付
- 高さデータを強く要望される(高次処理:すぐには対応困難)



速報画像(2km x2km)

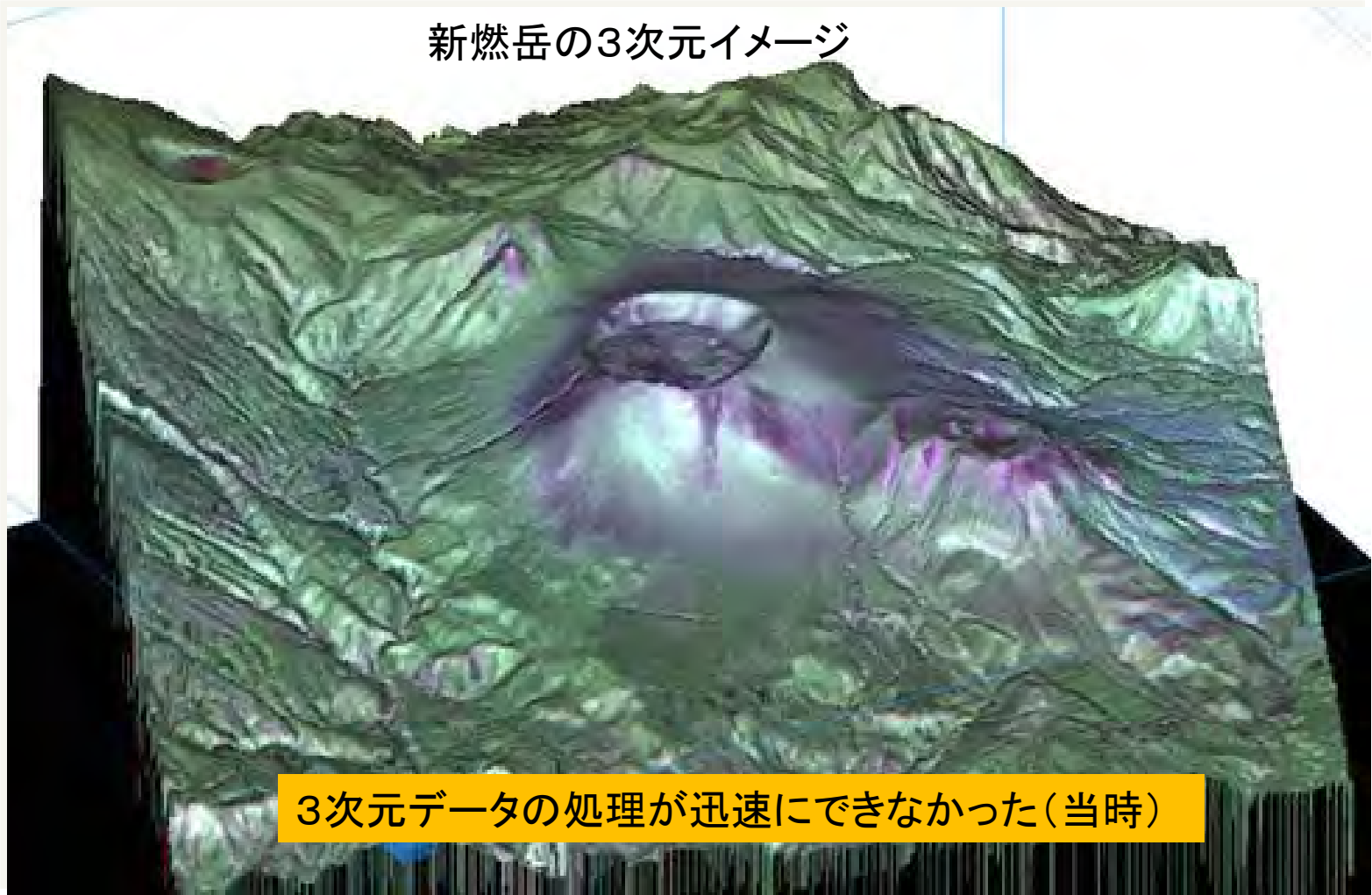
(c) NICT





新燃岳火口周辺(2011/2/22)
2kmx2km 速報版

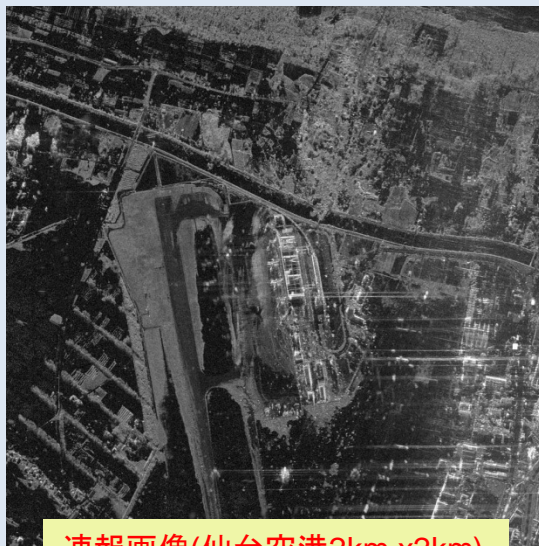
新燃岳の3次元イメージ



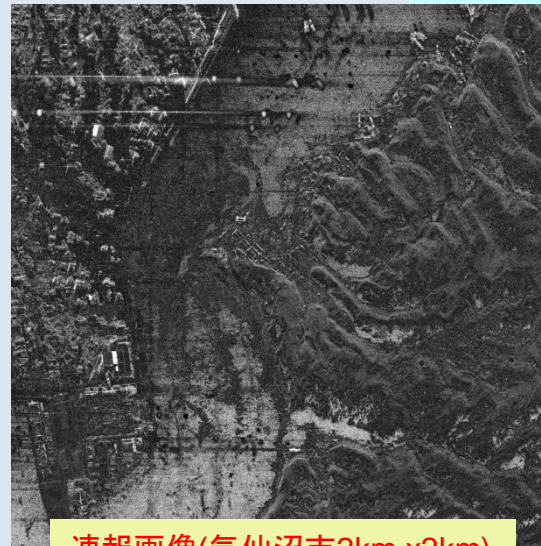
東北地方太平洋沖地震災害(東日本大震災)

- 2011年3月11日14:46
- M9.0の大地震に加え 10m以上の大津波による甚大な災害
- 死者・行方不明者2万人以上
- 復旧作業も困難な状況

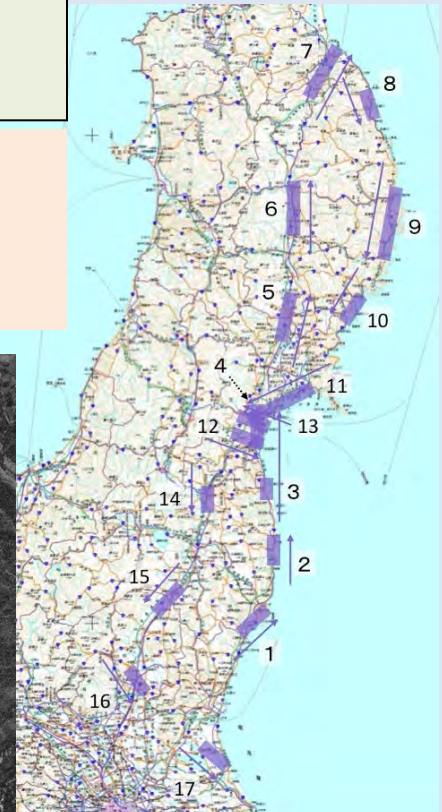
- 翌朝(3/12)7:00-11:00に観測
- 観測後、画像は直ちにデータを公開 (3/12)14:00
- 1日後に偏波画像(カラー化)をWebで公開
- 3/18に追加・再観測



速報画像(仙台空港2km x2km)



速報画像(気仙沼市2km x2km)





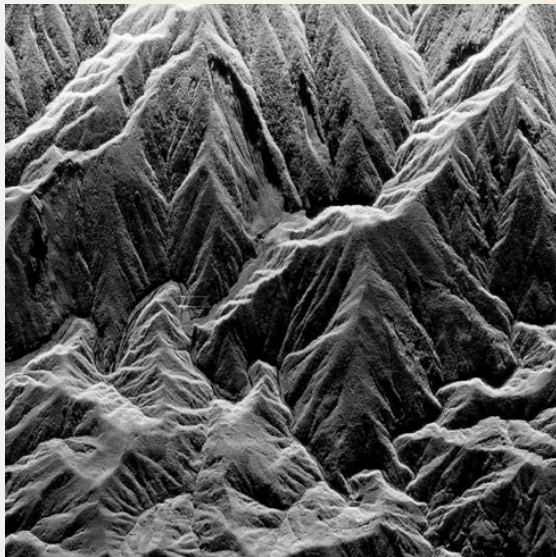
仙台空港周辺のポラリメトリ画像

平成23年台風第12号による豪雨災害

- 2011年9月3日10:00頃 高知県東部に上陸
- 9月1日から接近に伴う豪雨が紀伊半島を中心に発生
- 奈良県・和歌山県だけで死者・行方不明者80人
- 土砂崩壊(深層崩壊)による多数(17)の土砂ダムの発生(悪天候が続き10月になっても全容がつかめず)

● 10/6にPi-SAR2観測

● 観測後、画像は直ちにデータを関係機関に送付

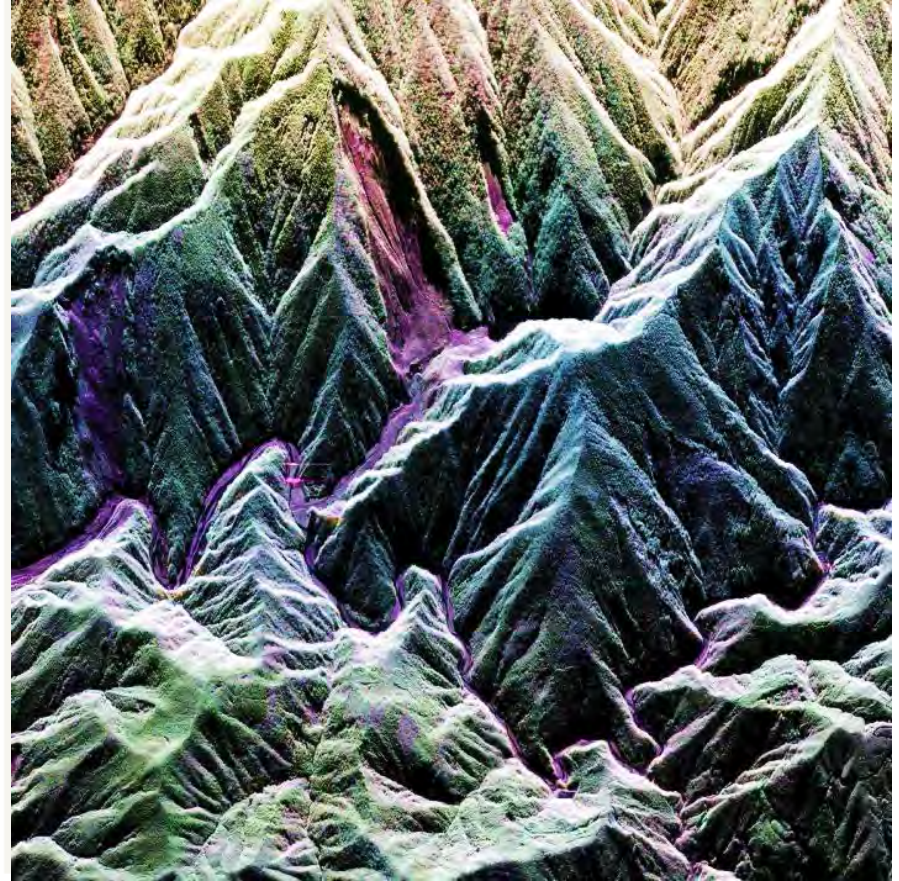


速報画像(2km x2km)

災害観測時に機上で見ていたイメージ
単偏波(VV)画像

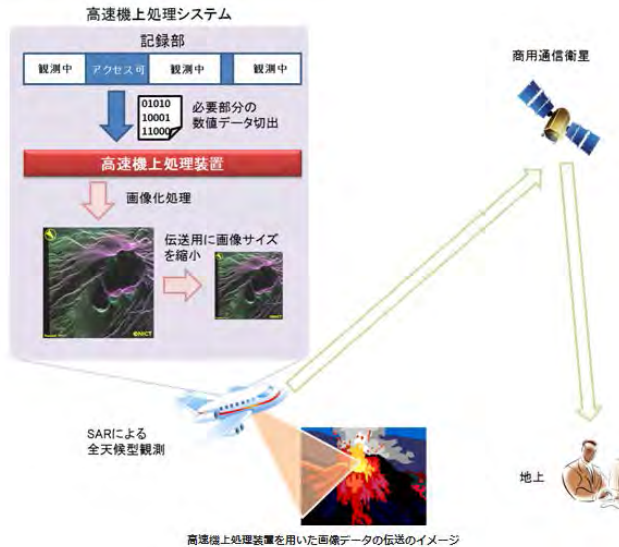
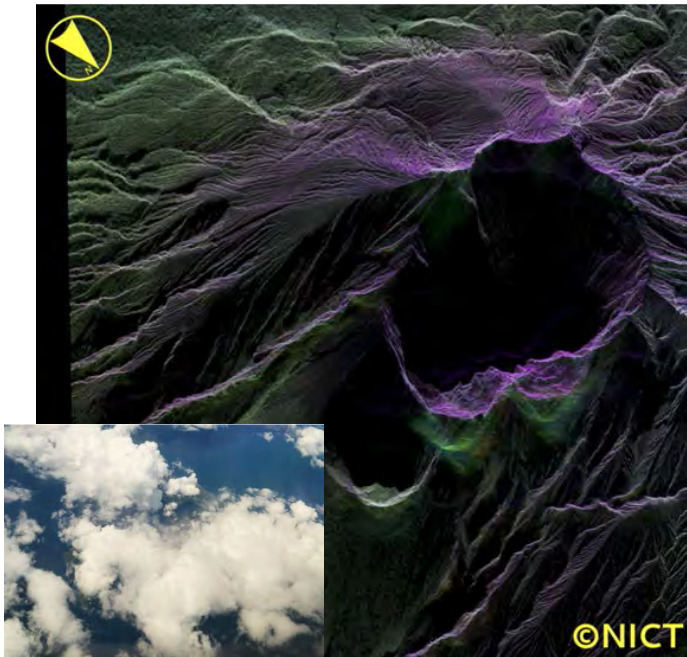


3偏波カラー合成画像



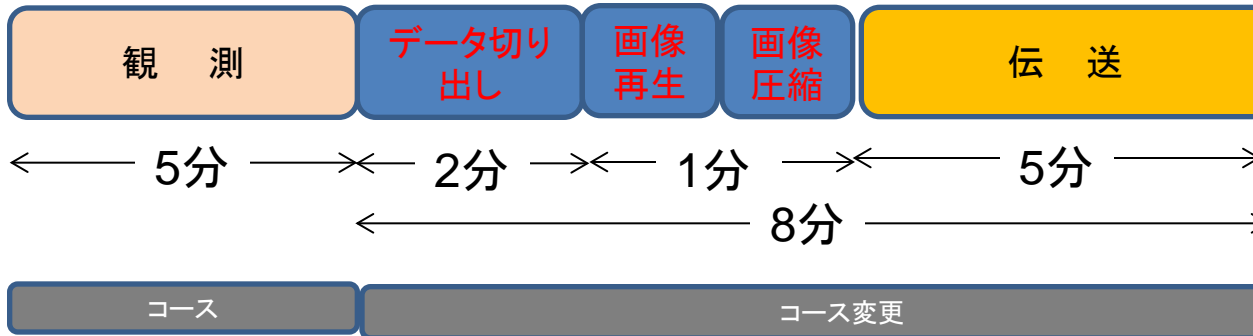
→機上でもカラー化した画像が必要

→機上処理装置改良により3偏波2km x2km を5分で



- 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)



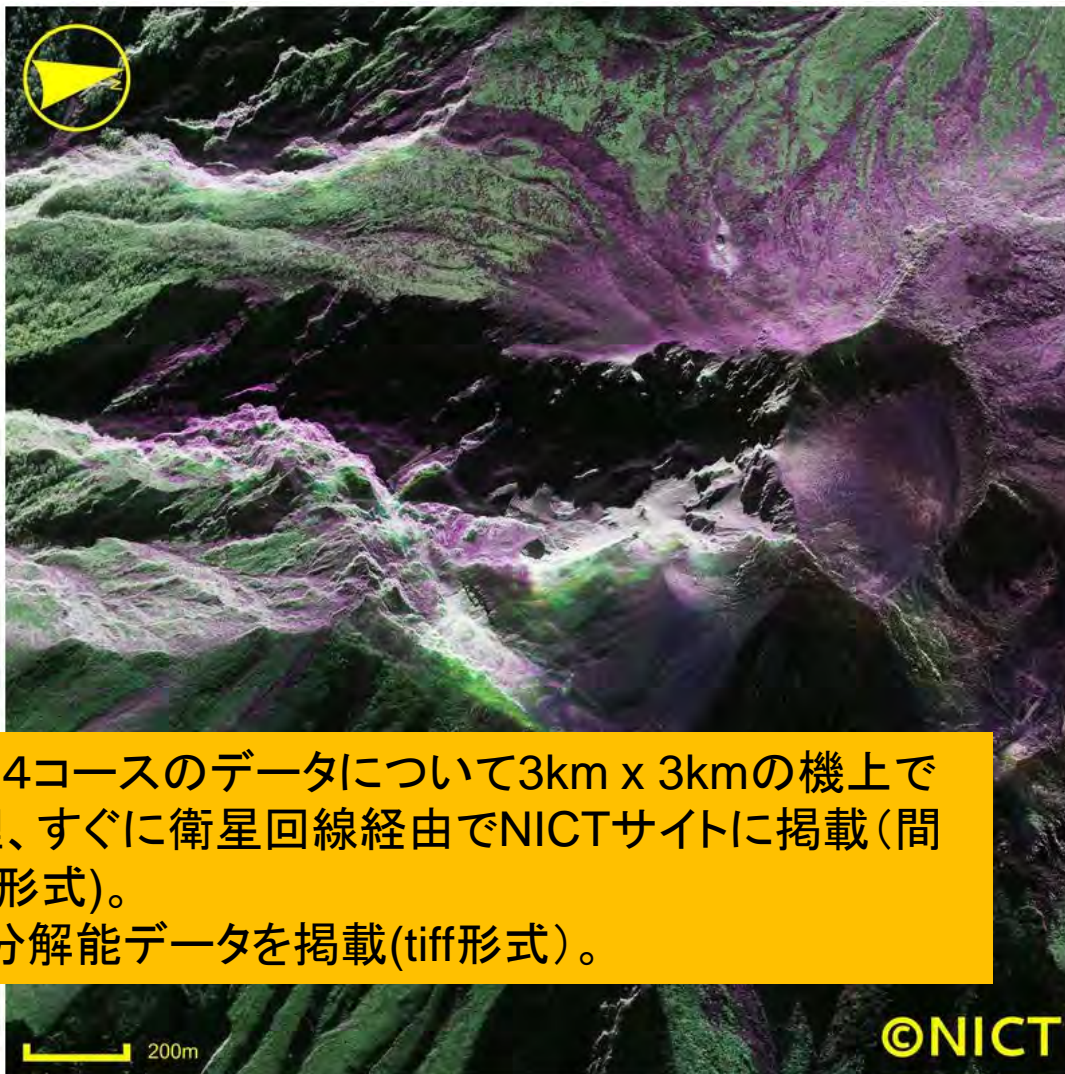
インマルサット航空機局
利用の伝送(320kpbs)



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!

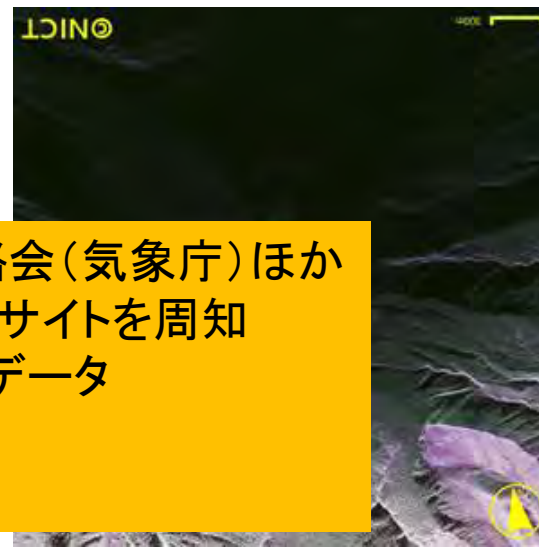
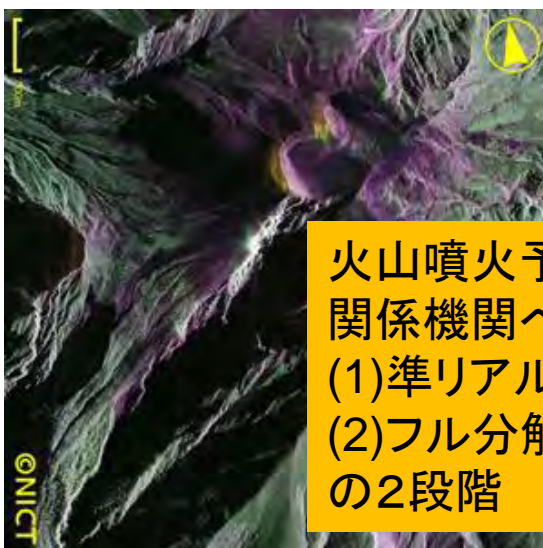
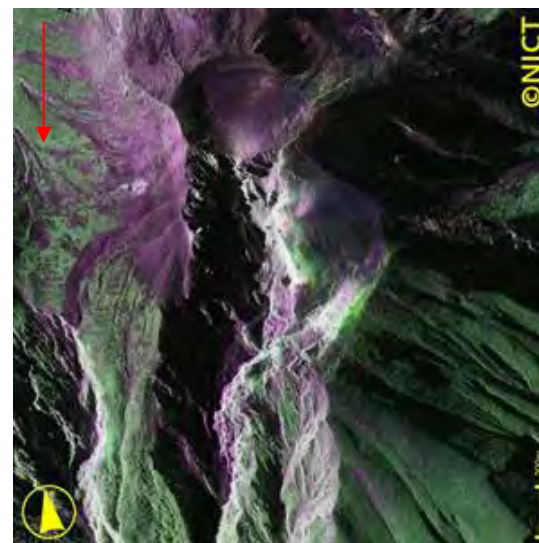
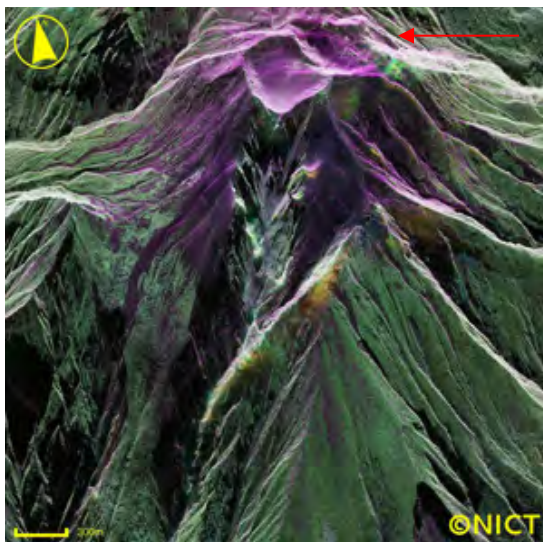
Pi-SAR2による御嶽山の観測(機上処理)

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	

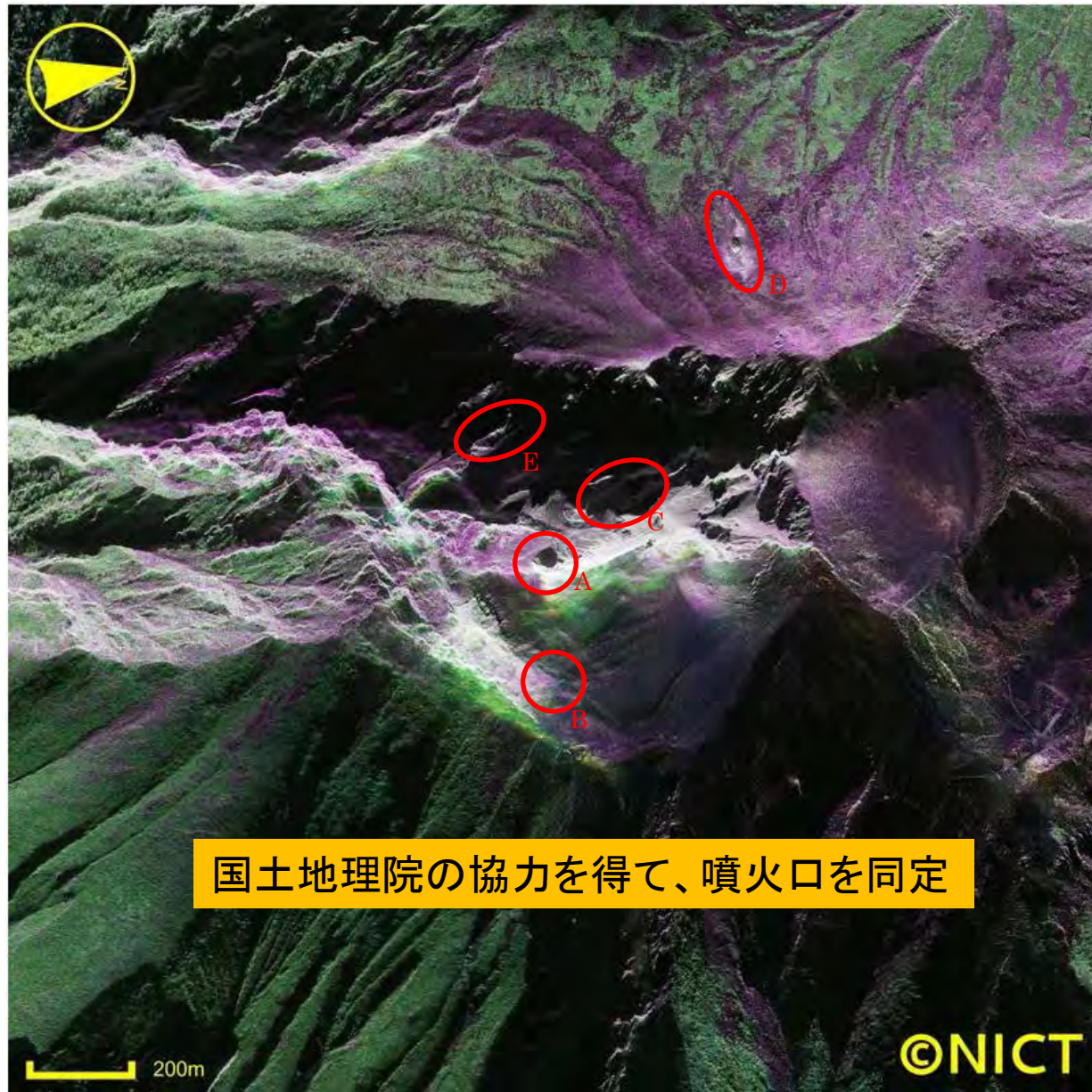


9コースのうち4コースのデータについて3km x 3kmの機上で偏波画像処理、すぐに衛星回線経由でNICTサイトに掲載(間引き圧縮jpeg形式)。
着陸後、フル分解能データを掲載(tiff形式)。

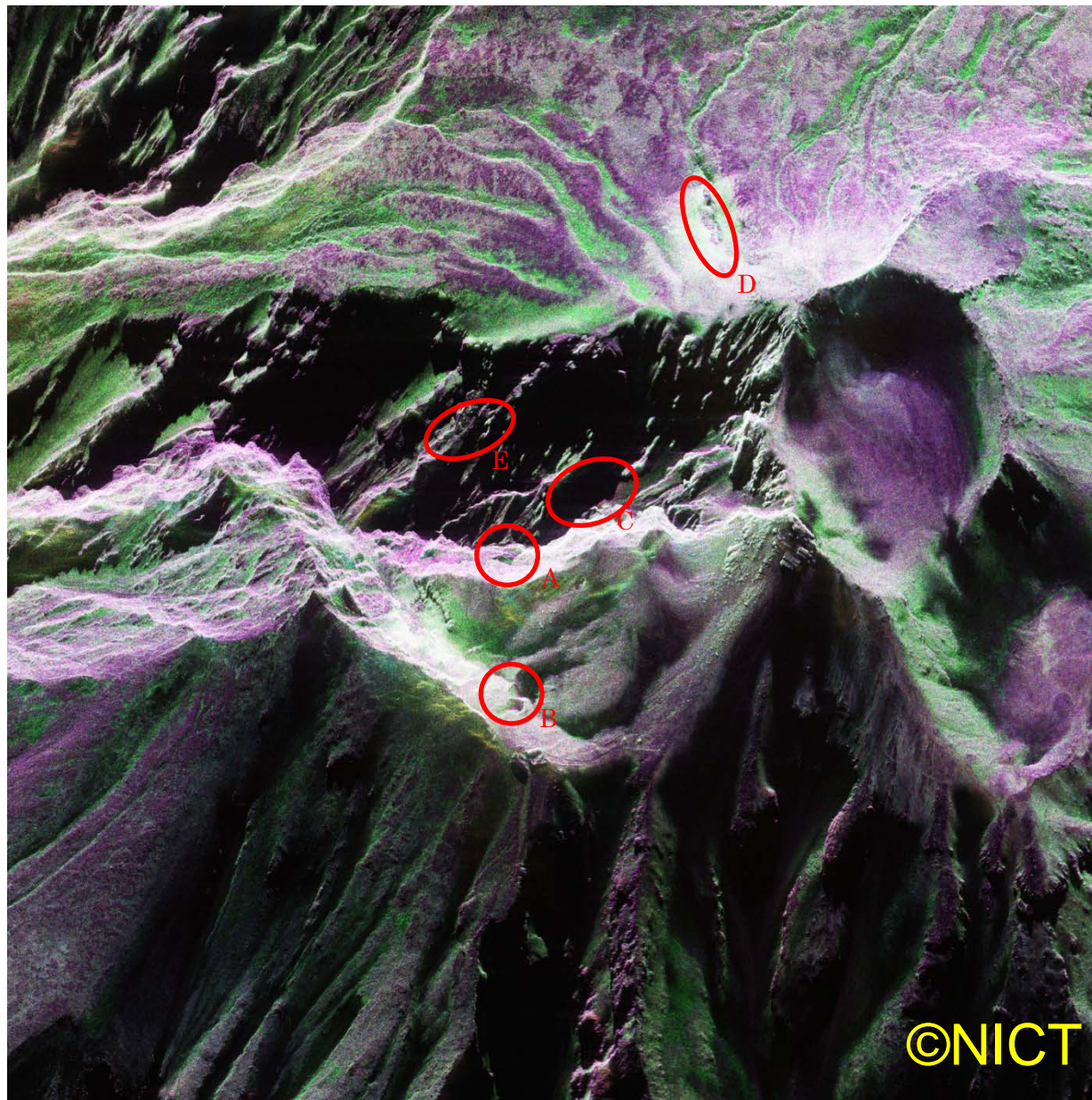
© National Institute of Information and Communications Technology



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



国土地理院の協力を得て、噴火口を同定



- 災害の迅速な把握を目指す航空機SAR
 - 天候・日射にかかわらず詳細な地表面画像を提供
 - 航空機により迅速でフレキシブルな観測が可能
 - 高い高度(8000m以上)からも高品質な(30cm分解能) 画像
 - 一度に5km以上の幅で観測が可能
 - 機上での処理によるデータ提供の迅速化

→東日本大震災時には最速24時間以内の観測・公開を実現

- 東日本大震災・新燃岳・土砂崩壊等の災害事象から学んだこと
 - 迅速な高さインターフェロメトリデータ+地図上に投影の提供が必須
 - より高速な地上処理の能力
 - 直感的に判読可能なカラー画像が有効
 - 機上でも迅速なポラリメトリ処理が必要
 - 大量のデータをどうやって提供するか
 - リアルタイムの伝送
 - 必要な領域のデータを取り出す(検索・オンデマンド処理)

➤ 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