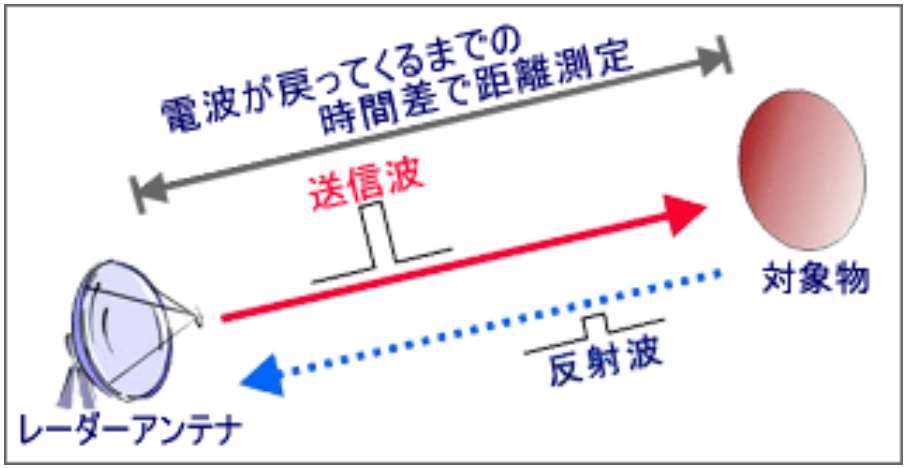
オープンハウス2015講演会
2015年10月22日

自然災害に対する強靭な社会の実現に貢献するレーダセンシング技術

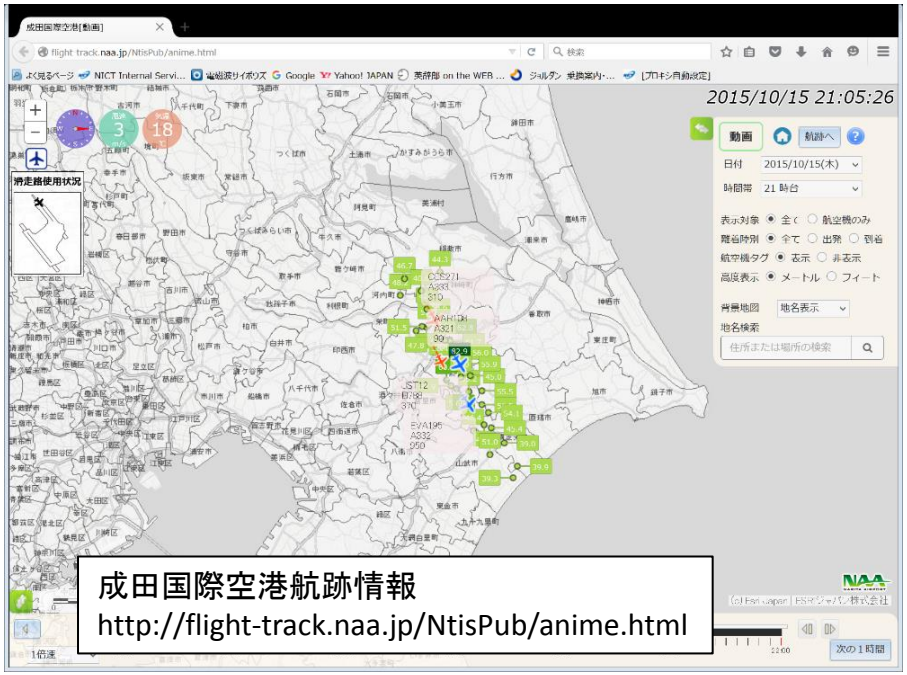
情報通信研究機構
電磁波計測研究所
センシングシステム研究室
久保田実

レーダとは



出典：国土地理院Webサイト「干渉SARのしくみ」

出典：ウィキペディア「レーダー」

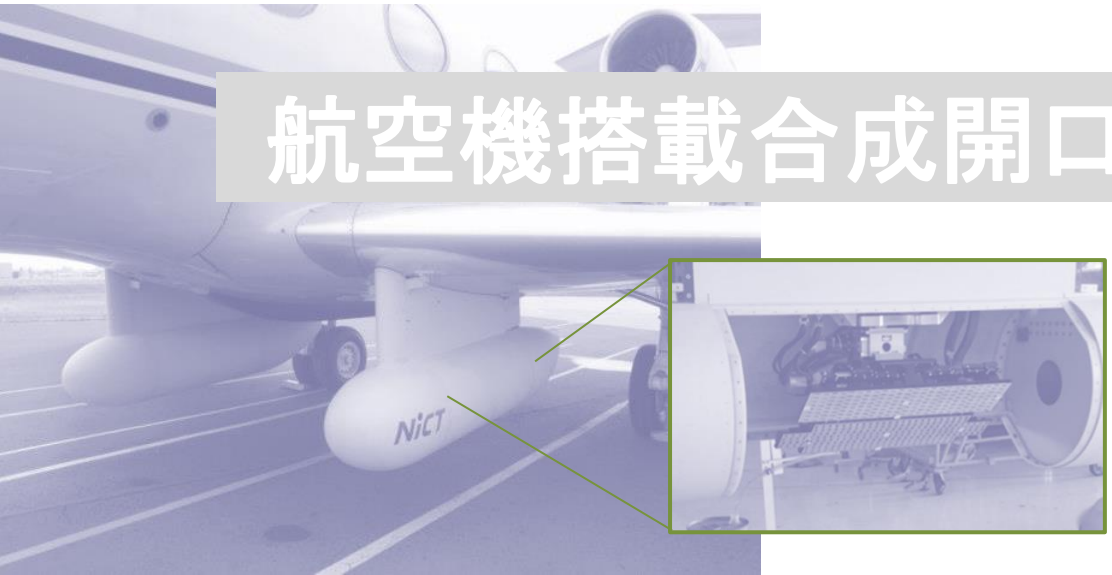


出典：フォルクスワーゲンWebサイト「フロントアシスト」

フェーズドアレイ気象レーダ（PAWR）

自然災害に対する予測力と対応力の向上

航空機搭載合成開口レーダ（Pi-SAR2）



豪雨の卵を素早く3次元で観測したい

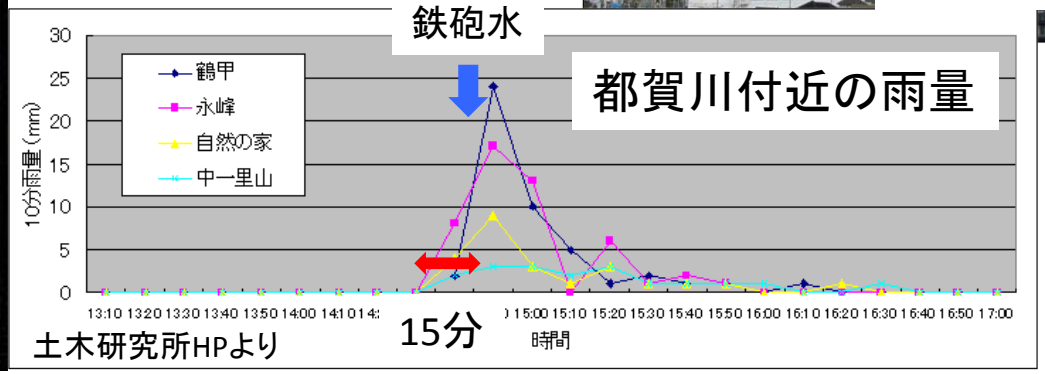
- ゲリラ豪雨や竜巻などの突発的な気象現象による被害が大きな社会問題に。
- これらの気象現象の早期探知や予測は気象研究の重要課題。
- これらの気象現象を引き起こす積乱雲の成長を、できるだけ素早く、詳しく観測する必要がある。
  - 高速に1分以下の時間で素早く観測できれば、
  - 雨の立体構造を3次元で観測できれば、

→ ゲリラ豪雨や竜巻の早期探知や警報

都賀川水難事故（平成20年）

越谷市付近で発生した竜巻（平成25年）

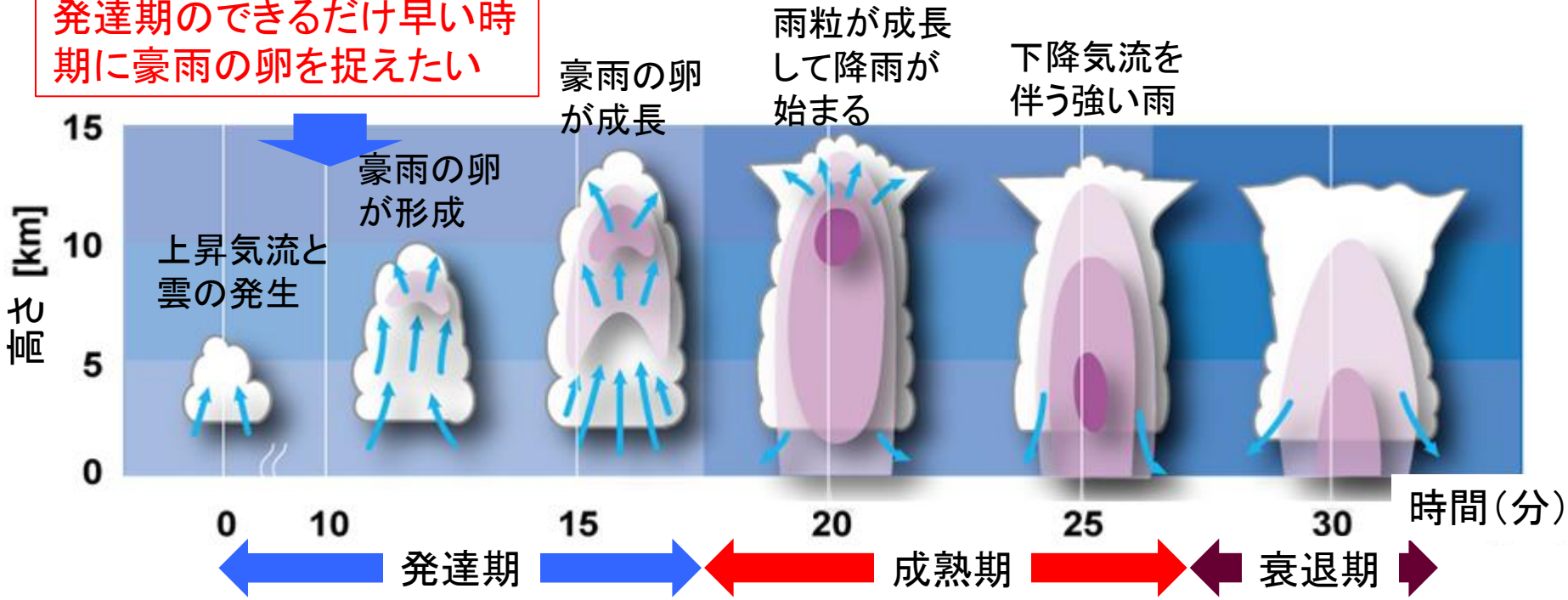
気象庁資料



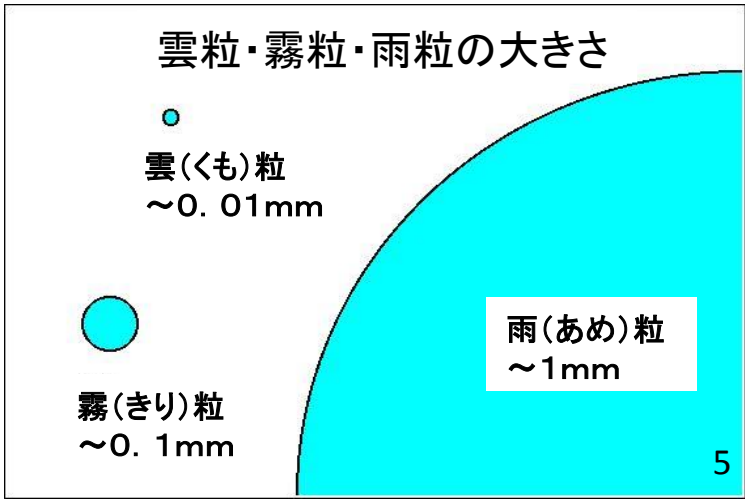
土木研究所HPより

積乱雲の発達と雨粒の成長

発達期のできるだけ早い時期に豪雨の卵を捉えたい

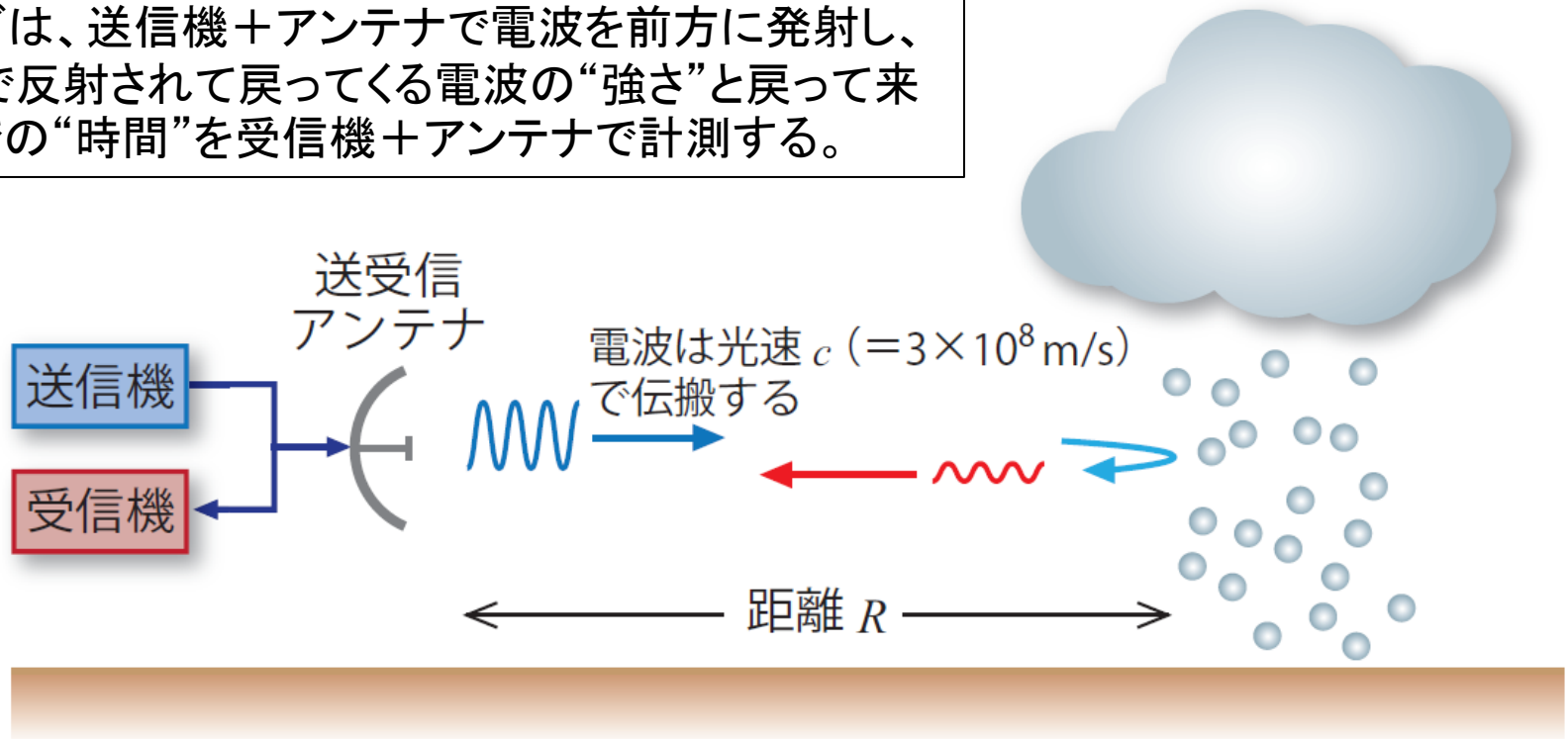


- 典型的な積乱雲の一生は30分程度。
- 地上で雨が降り出す10分前には、上空で成長した雨粒がレーダで観測される。
（雨滴の落下速度は10分間で4～5km）
- 気象庁なども、全国をカバーするレーダを用いて雨の観測をしているが・・。
- 実際は、複数の積乱雲が合体して強くなったり、いくつもの積乱雲が立て続けに発生したりと、発達の様子は様々。



レーダを使った雨粒の観測

レーダは、送信機＋アンテナで電波を前方に発射し、前方で反射されて戻ってくる電波の“強さ”と戻って来るまでの“時間”を受信機＋アンテナで計測する。



送信してから受信するまでの時間を T とする.

$$T=\frac{2R}{c} \rightarrow \boxed{R=\frac{cT}{2}}$$

雨は、一か所だけにあるわけではない。
広い範囲の3次元の強度分布を知ることが必要。

図 1　レーダの原理を示す模式図

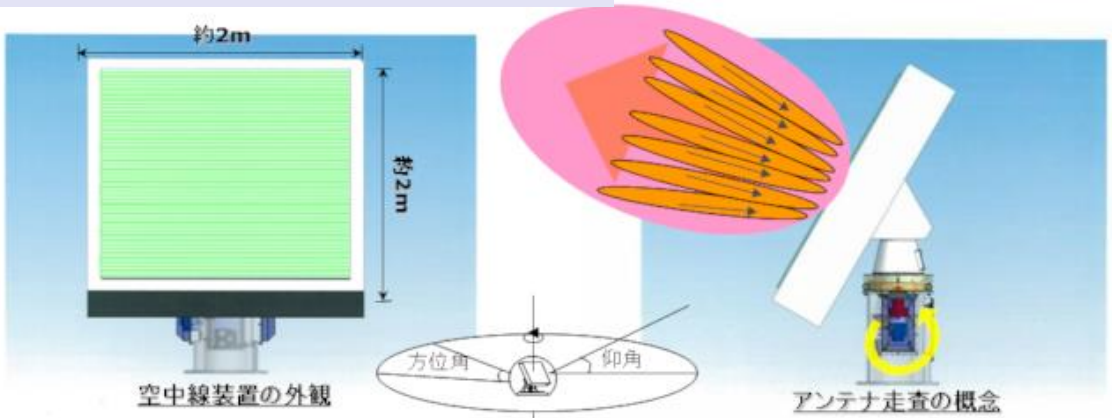
【出典：牛尾知雄、レーダのしくみ、通信ソサイエティマガジン、No.16、2011】

素早く観測するための技術

NICTは大阪大学、東芝と協力し、30秒間で半径60km、高さ10kmの範囲の雨雲を高速で3次元観測できるフェーズドアレイ気象レーダを開発

フェーズドアレイ気象レーダ外観
（NICT未来ICT研究所：神戸）

電波の波長は9GHz帯（Xバンド）



フェーズドアレイ気象レーダ実証フィールド

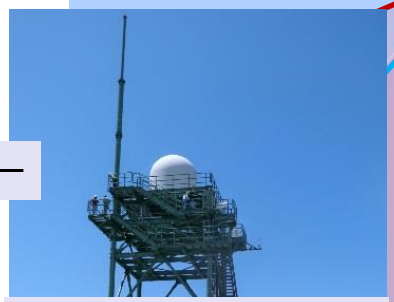
大阪・神戸に2基のフェーズドアレイ気象レーダを設置し実証実験進行中
〇観測領域の広域化　〇2台のレーダによる複合観測（正確な雨量推定、風速場の推定）

フェーズドアレイ気象レーダ実証フィールド（沖縄）

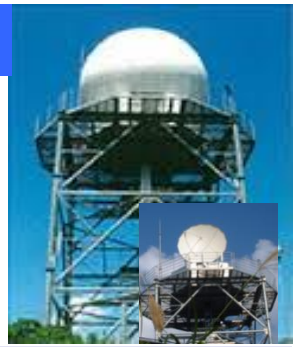
NICT沖縄電磁波技術センターに神戸と同様のフェーズドアレイ気象レーダを整備し、高機能の二重偏波レーダ（COBRA)を用いた性能評価・琉球大学と連携した地上検証

ドップラーライダー

マイクロ波放射計



フェーズドアレイ気象レーダ

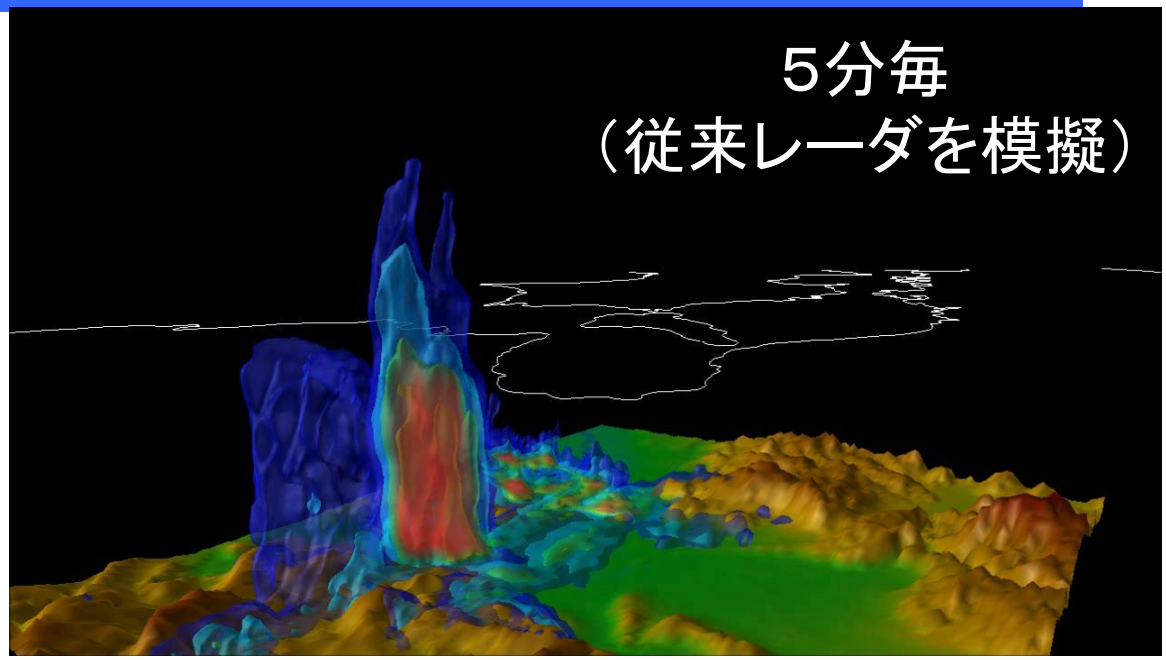


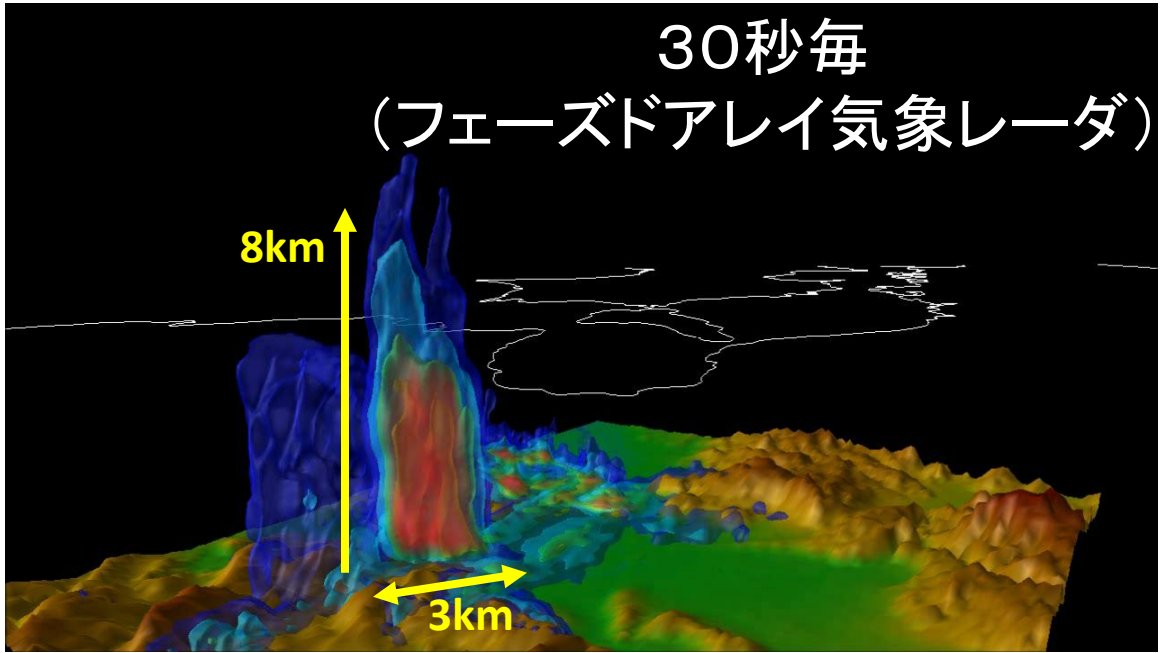
パラボラ（従来型）アンテナを用いた二重偏波レーダ

PAWRで捉えた豪雨の立体構造

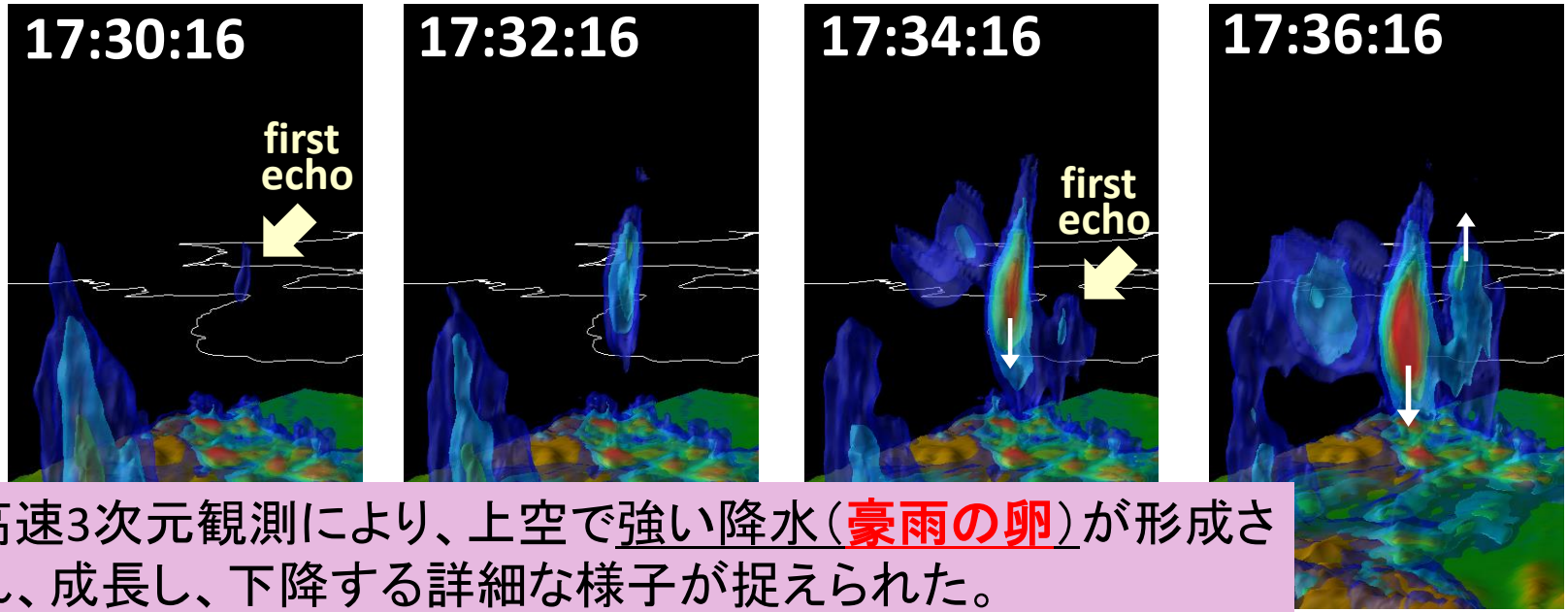
フェーズドアレイ気象レーダと従来の気象レーダとの観測スピードの比較

事例：平成24年07月26日
17:20:16～18:10:46
（300倍速で再生）
場所：けいはんな付近を北東方向から眺めた降雨の3次元構造
カラー：雨の強さを表し、赤い色の部分で強い雨が降っている。

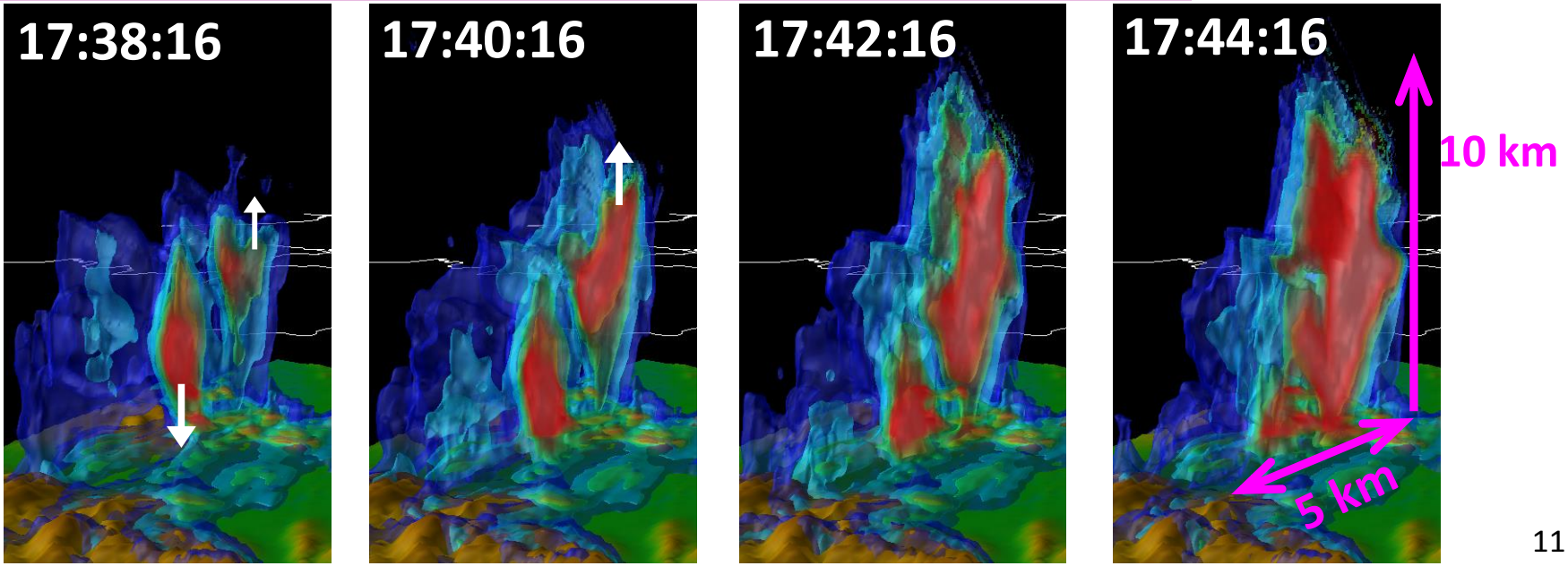




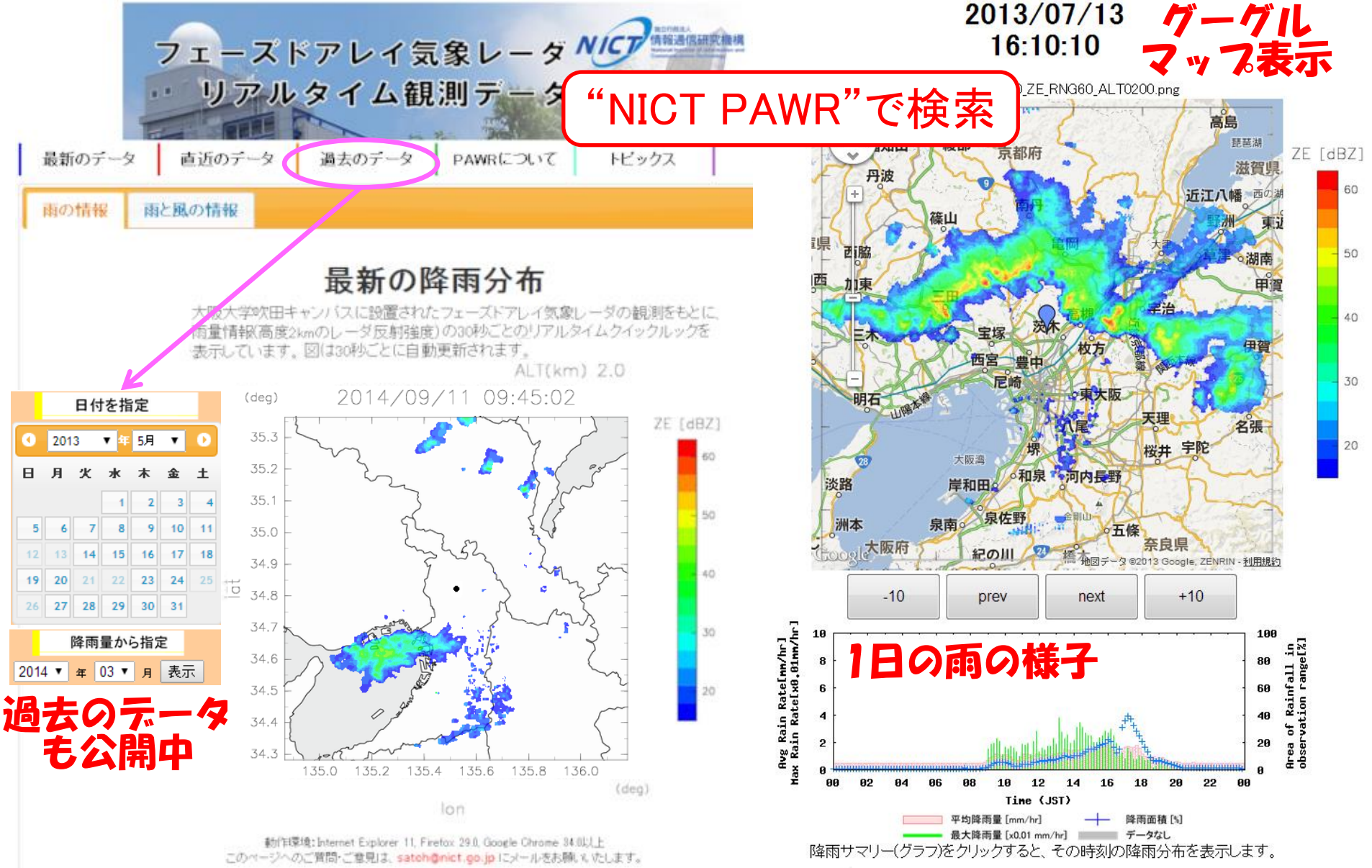
豪雨の卵の形成・成長・落下



- 高速3次元観測により、上空で強い降水（**豪雨の卵**）が形成され、成長し、下降する詳細な様子が捉えられた。



最新の観測データ http://pawr.nict.go.jp/



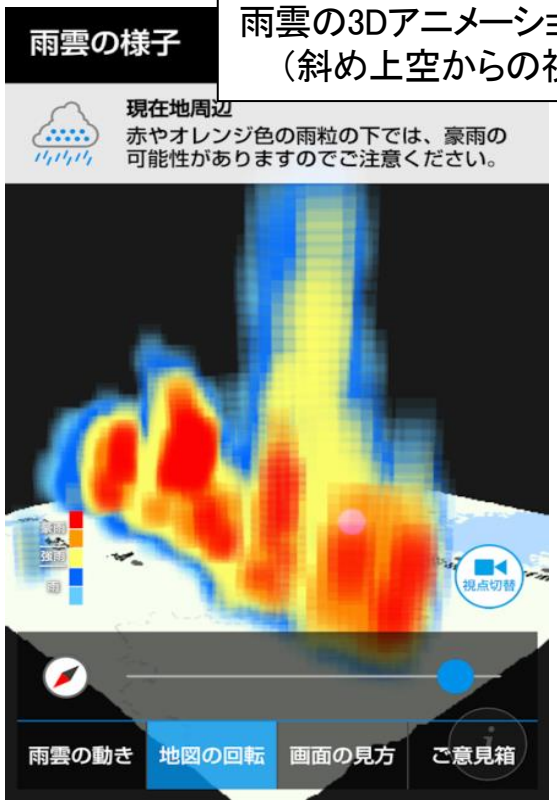
スマホアプリでの配信実験も今週スタート

アプリ

『3D雨雲ウォッチ～フェーズドアレイレーダ～』
豪雨の危険性を、いち速くスマホのプッシュ通知でお知らせ。

NICTと(株)エムティーアイの共同研究により開発

雨雲の3Dアニメーション表示
（斜め上空からの視点）



プッシュ通知画面

実証実験期間：2015年7月21日（火）～2015年10月30日（金）
対象地域：大阪府吹田市を中心とする80 km×80 km地域
（大阪府、兵庫県、京都府、奈良県、それぞれの該当地域）
対象端末：Android　4.4以上推奨（WebGL非対応端末一部あり）
iOS 8以上推奨、
課金額：無料
アクセス方法：Google Play、App Storeで『3D雨雲ウォッチ』で検索
又はhttp://pawr.life-ranger.jp にアクセス

PAWRまとめ

- 従来の気象観測では捉えきれなかったゲリラ豪雨や竜巻などを引き起こす積乱雲の急速な発達を、高速に3次元で観測するために、フェーズドアレイ気象レーダが開発されました。

- 関西地域と沖縄に、フェーズドアレイ気象レーダを中心とする気象観測のスーパーサイトが構築され、気象災害の予測技術の高度化を目指した共同研究が始まっています。

フェーズドアレイ気象レーダ（PAWR）

自然災害に対する予
測力と対応力の向上

航空機搭載合成開口レーダ（Pi-SAR2）

Pi-SARとは

Polarimetric and Interferometric Airborne Synthetic Aperture Radar

偏波を使える、立体視もできる、飛行機に載せた、合成開口レーダ

(1)電波のストロボで航空写真を撮ります。

広い視野(10kmの観測幅)内を、細かいところまで(30cmの分解能)撮影できます。

世界最高性能の映像レーダ

(2)どんな条件でも観測OK

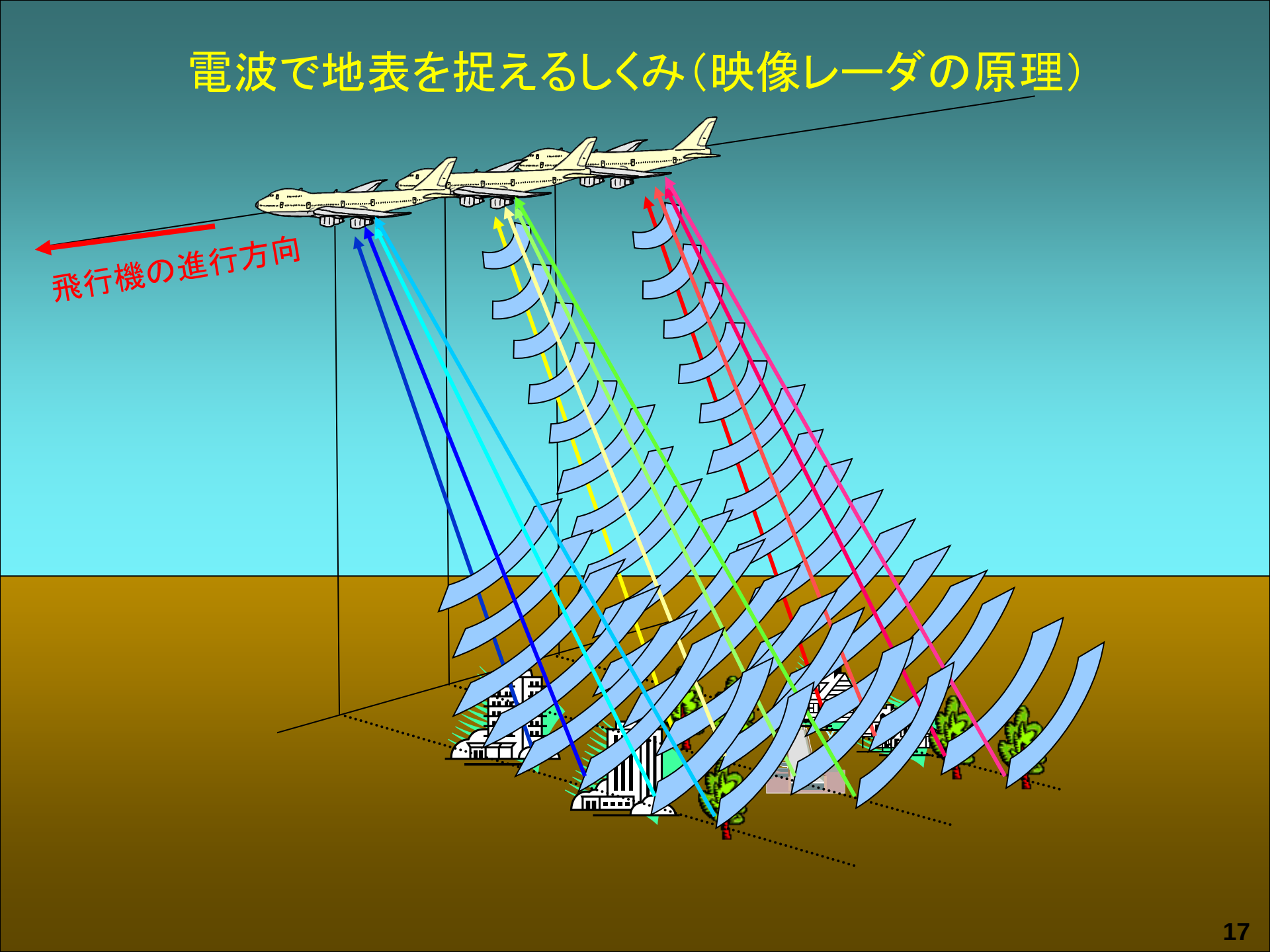
雲や煙を透過する電波だから、昼でも夜でも、雲や火山の噴煙があっても観測できます。

ここが航空写真に比べて有利

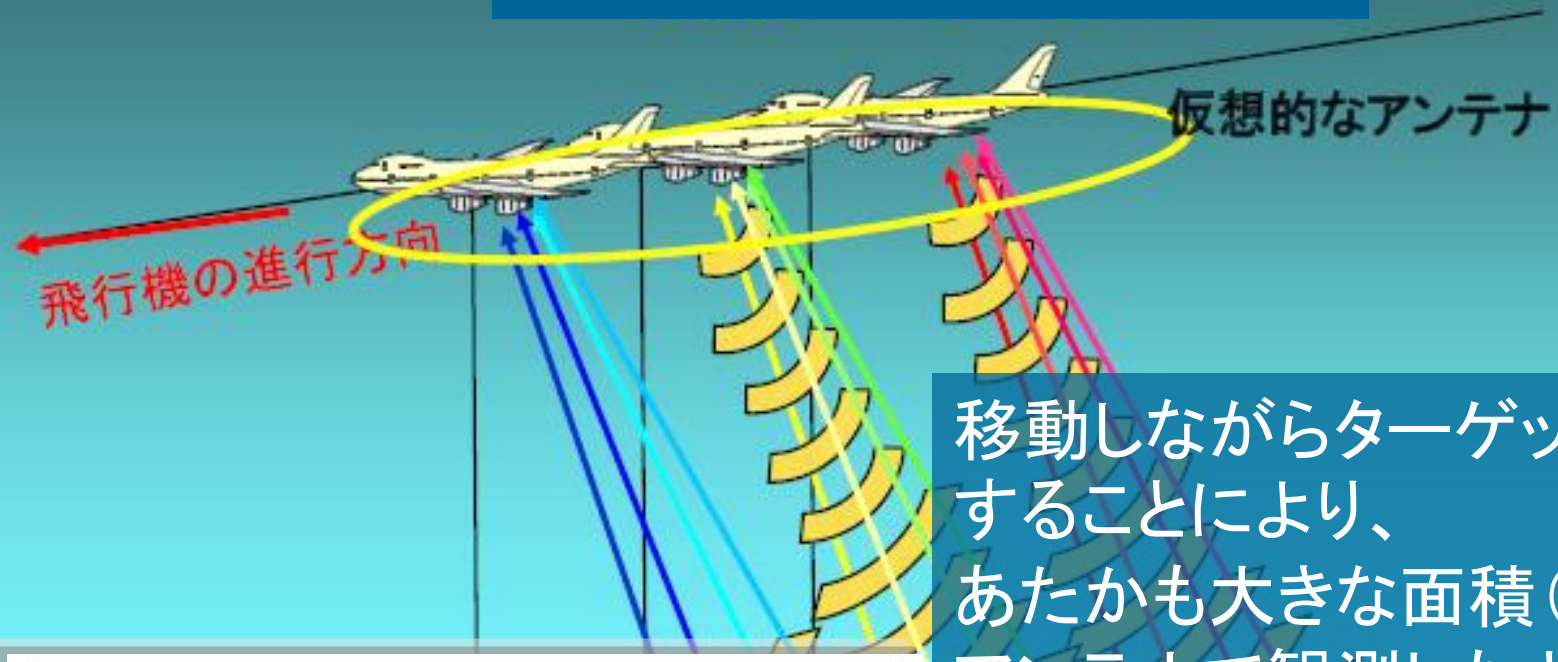
(3) 安全に観測できます

約10kmの高高度を飛びながら、ななめ横を観測します。

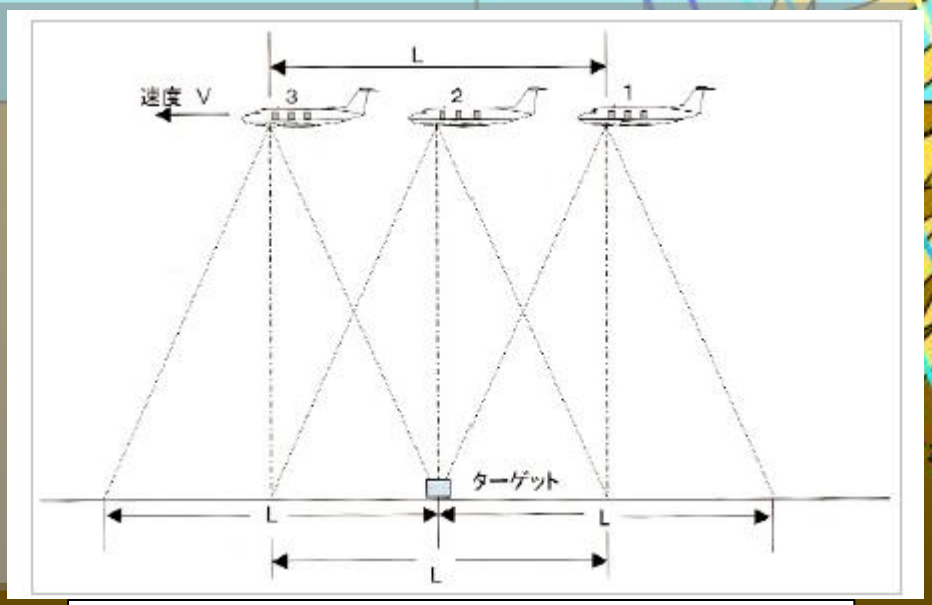
電波で地表を捉えるしくみ（映像レーダの原理）



合成開口レーダのしくみ



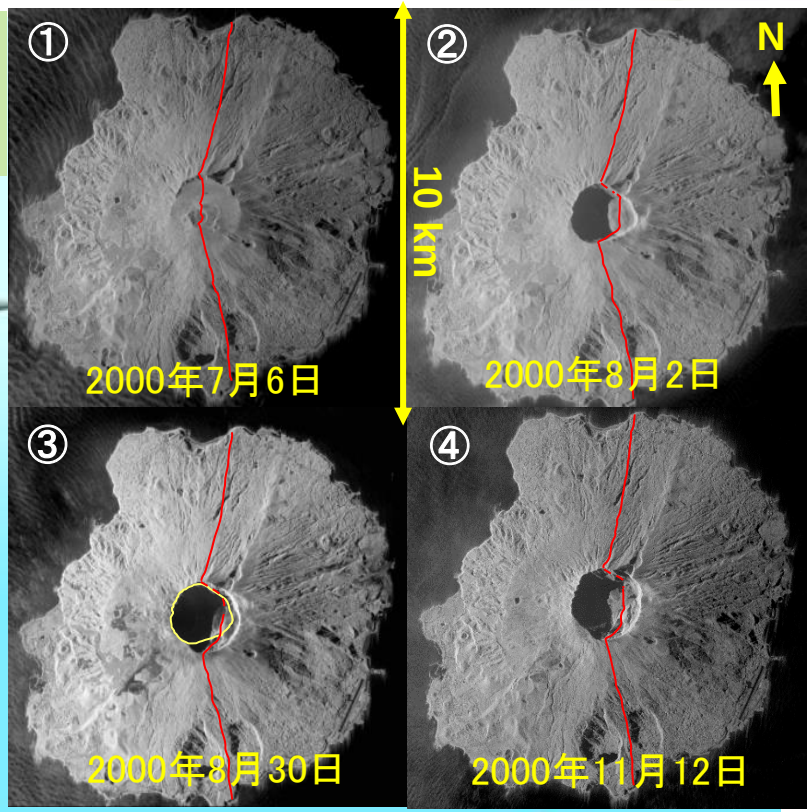
移動しながらターゲットを観測することにより、
あたかも大きな面積（開口）のアンテナで観測したような、高い分解能を得る技術。

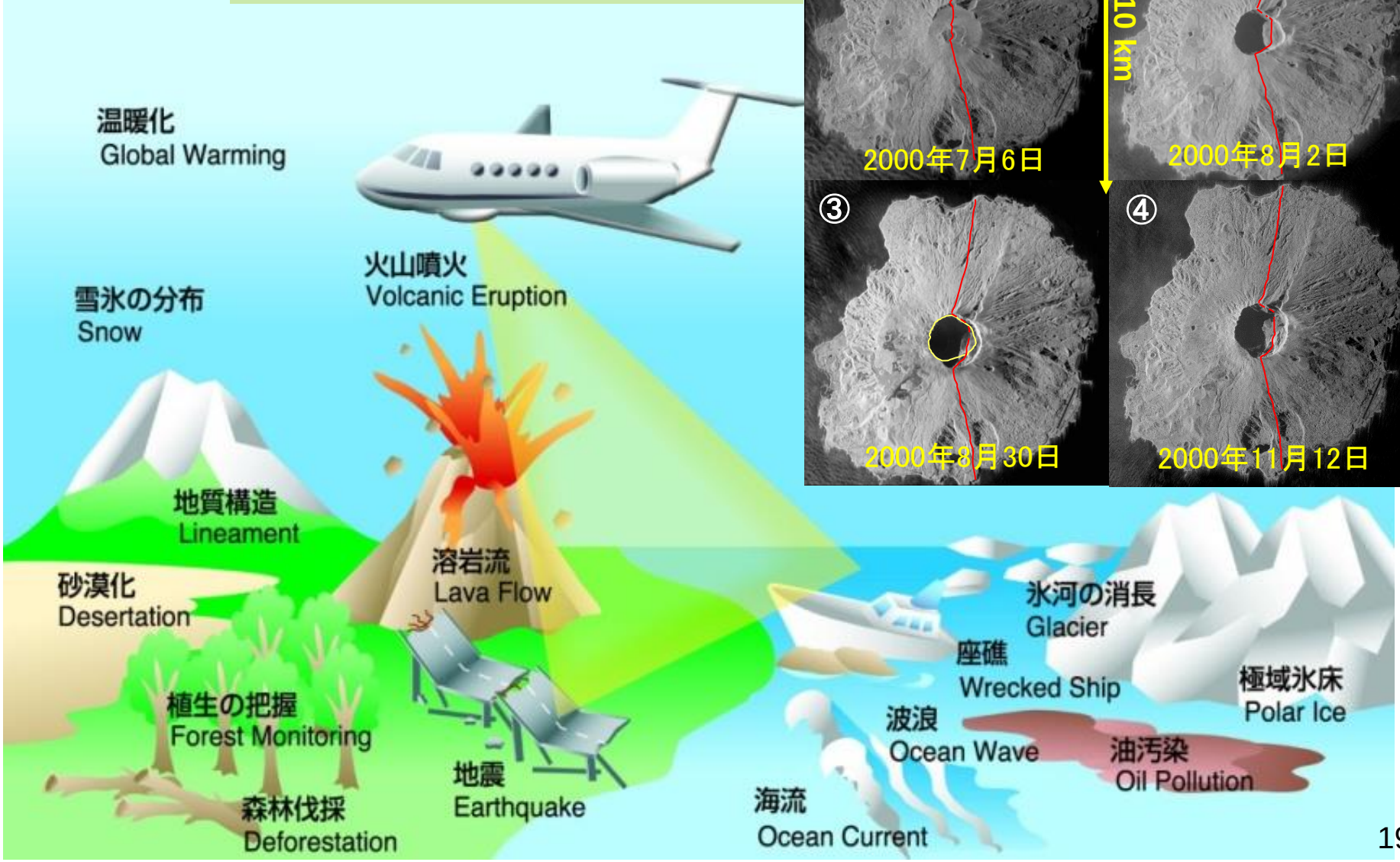


梅原　他、通信総合研究所季報、Vol.48 No.2、2002

Pi-SARの活用分野

2000年（平成12年）の三宅島噴火の際の、火口の深さと形状の変化の様子（Pi-SAR初号機による観測）





Pi-SARのオプション機能

Polarimetric and Interferometric Airborne Synthetic Aperture Radar
偏波を使える、立体視もできる、飛行機に載っけた、合成開口レーダ

(4)高さの地図(地形図)が作れる

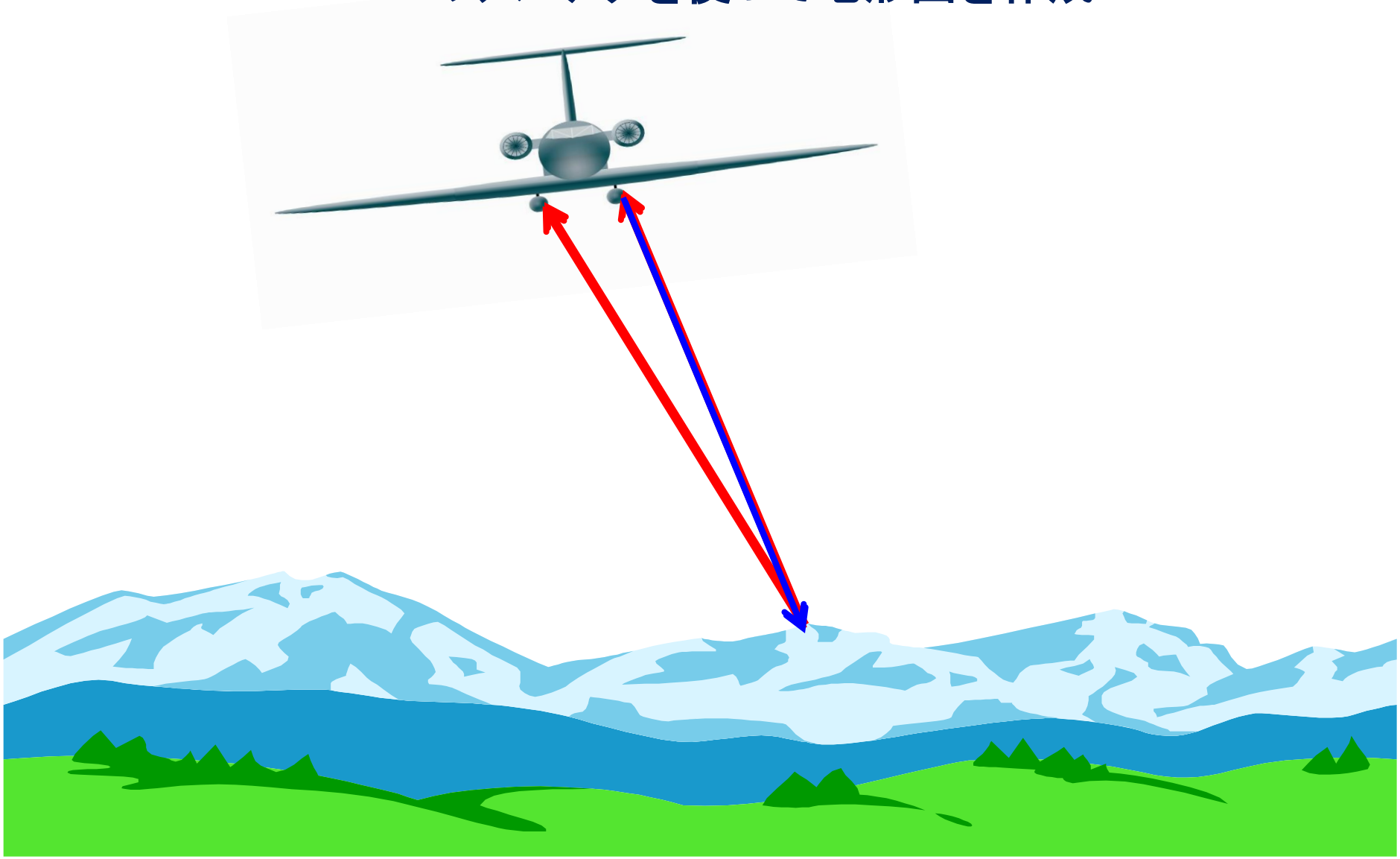
干渉を用いた立体視(インターフェロメトリ技術)。
高さの計測精度は2m。

(5)30cmより細かいものを見る手立て

電波の震動方向を調べると、地表のザラザラ感が分かる。(ポラリメトリ技術)
これにより自然物と人工物の区別などが可能に。
この技術を使った疑似カラー合成をしています。

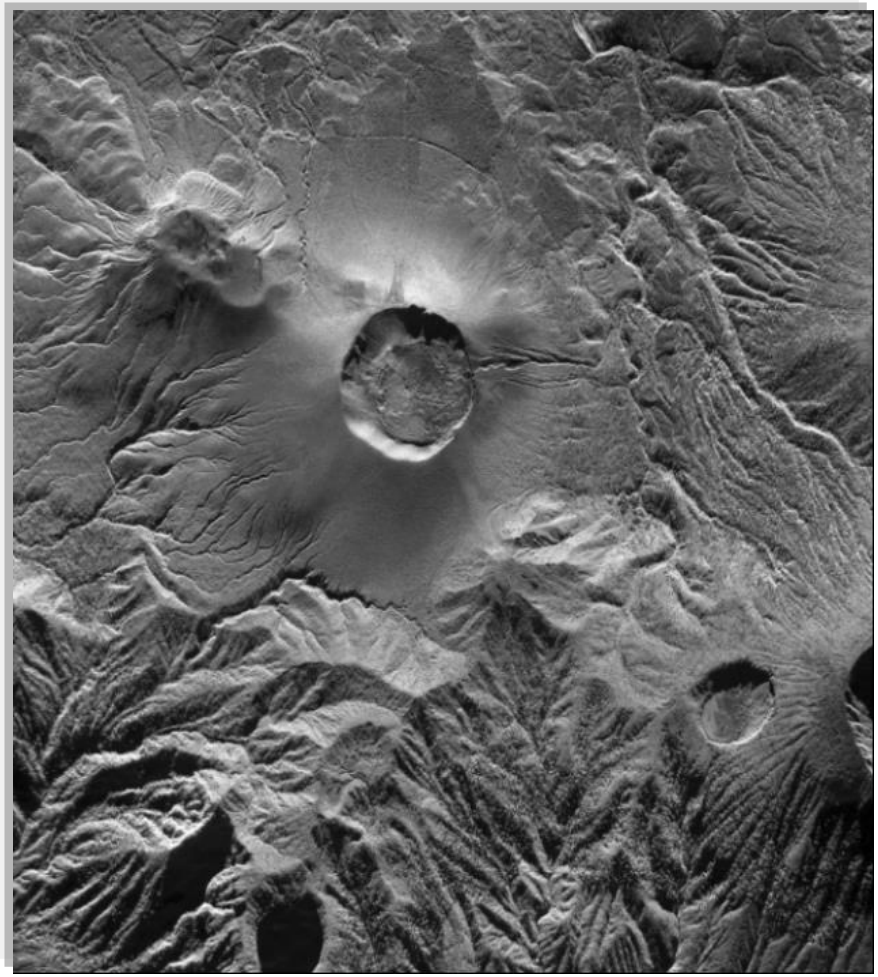
干渉を用いた立体視（インターフェロメトリ技術）

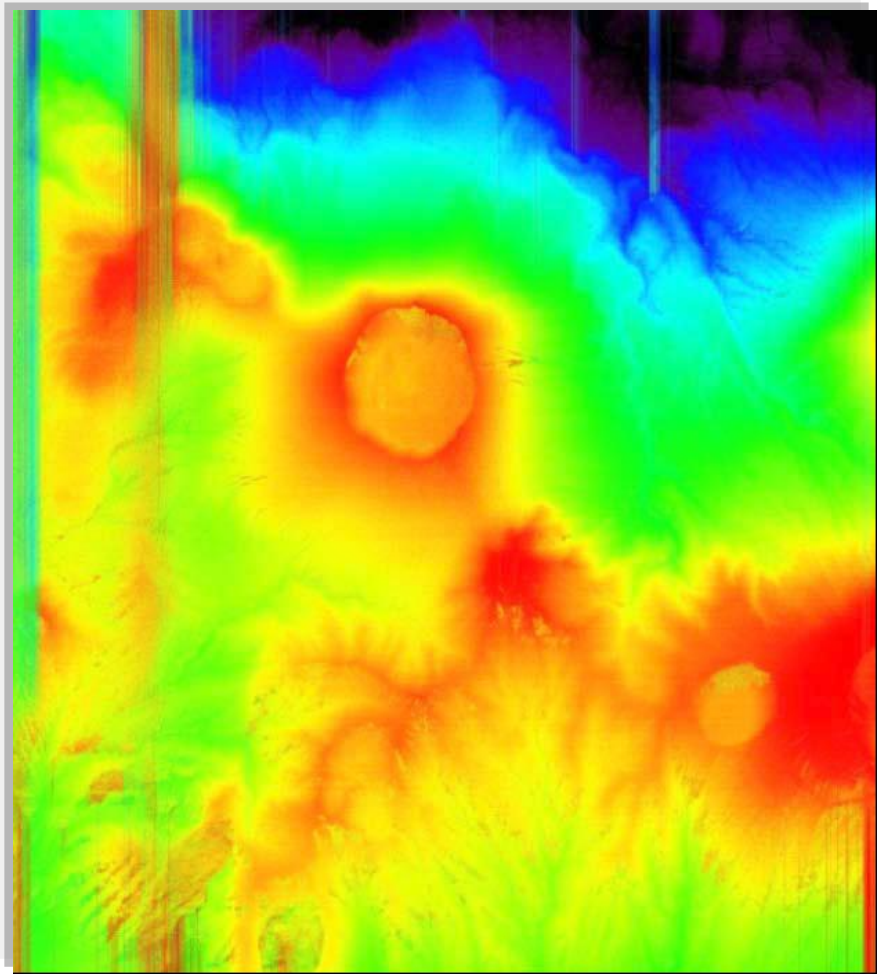
2つのアンテナを使って地形図を作成



インターフェロメトリ技術によって作成した地形図

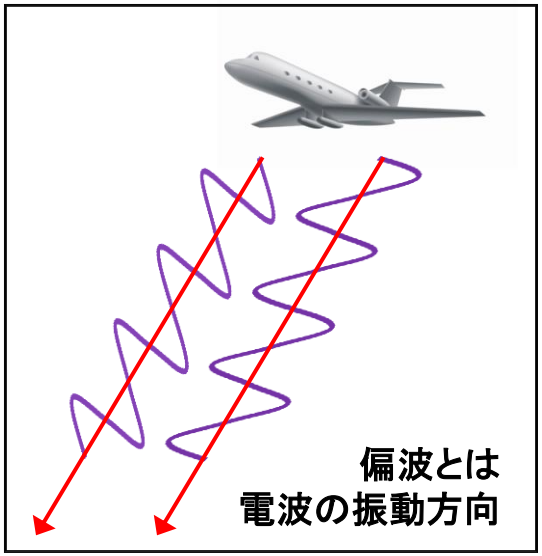
霧島・新燃岳火山噴火の状況把握（2011年）

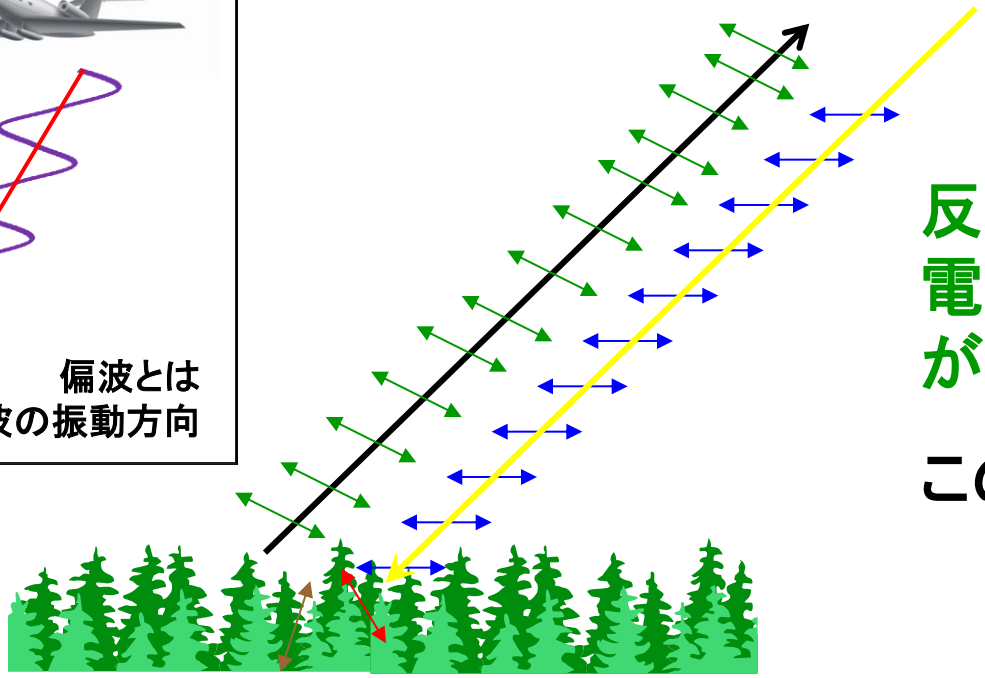




電波の震動方向によって、地表のザラザラ感が分かる技術（ポラリメトリ技術）

地面が複雑な形をしていると



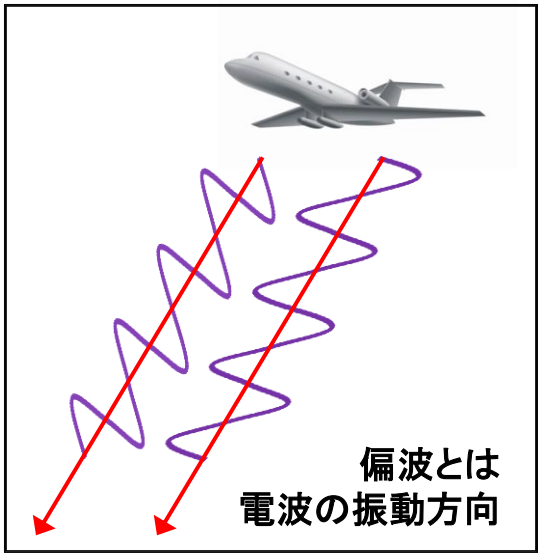


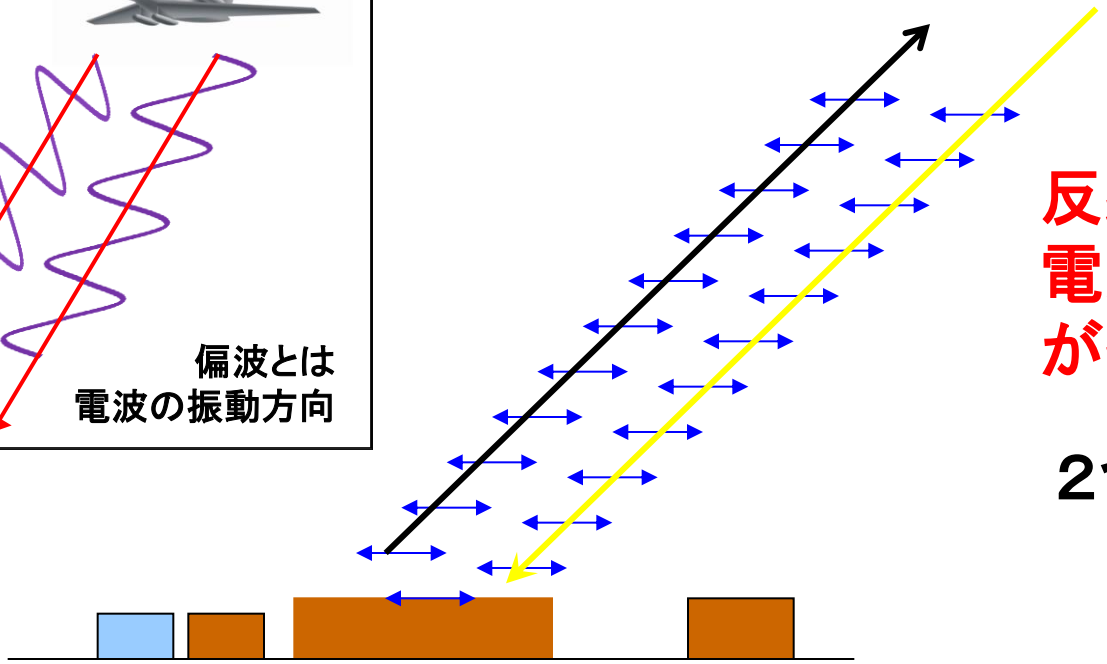
反射の際に
電波の震動方向(偏波）
が変化します

このときに緑

電波の震動方向によって、地表のザラザラ感が分かる技術（ポラリメトリ技術）

地面が単純な形をしていると



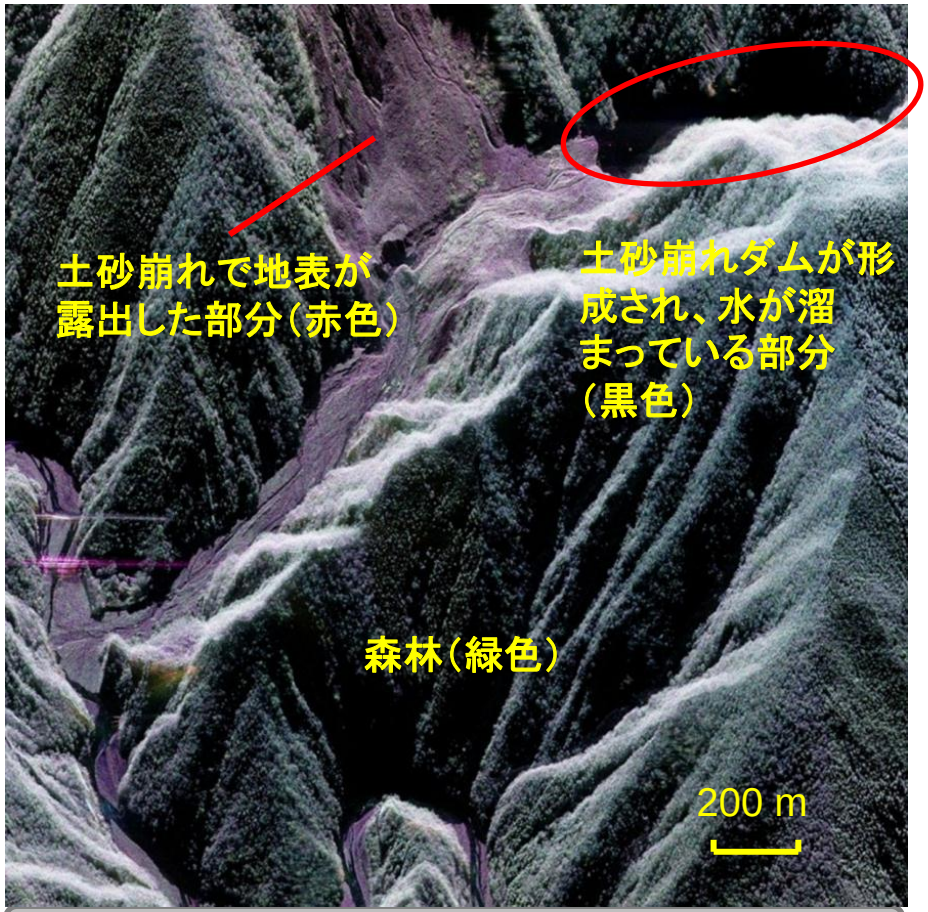


反射の際に
電波の震動方向(偏波）
がそのままになります

２つの向きに赤と青

ポラリメトリ技術によるカラー合成と状況判読

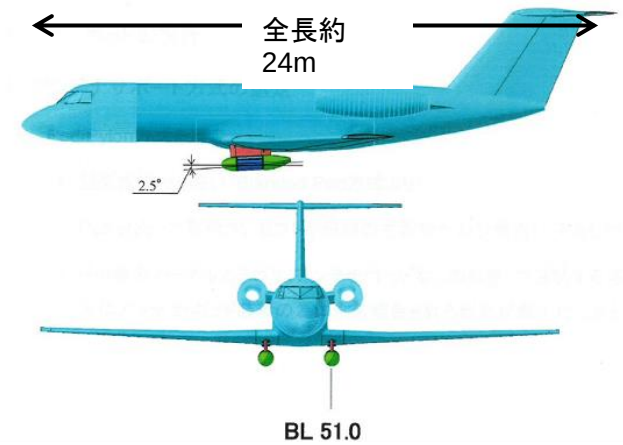
Pi-SAR2による紀伊半島豪雨被害（平成23年9月）の観測



レーダー画像は平成23年10月7日に取得

- 偏波（ポラリメトリ）の機能を使ったカラー合成により、地表面の様子が分かる。
- 左図は、この機能によりがけ崩れを判別した例。森林は緑色に、がけ崩れで地表が露出したり土砂で埋まった部分が赤く表示されている。
- この他にも、人工物と自然物の判別、洪水・津波等で冠水した場所の判別、火山灰の降灰範囲の判別などが可能。

Pi-SAR2の装置概観



民間会社（ダイヤモンドエアーサービス）のジェット機の機体を改造して使用

航空機上部に取り付けられた衛星通信用のアンテナドーム

機内には、2つのラックに電波の送受信装置、高速データ処理装置などが収められている。操作員は2名搭乗。

航空機下部に2つのアンテナレドームを装着。2つの目で立体視をする。

アンテナレドーム内には、水平、垂直の2偏波のアンテナが収められている。

Pi-SARの研究開発の歴史

波長に直すと3.14cm(=π)

NICTのPi-SAR研究開発の歴史

1980年頃　国内で初めてSARのデジタル信号処理技術を確立。
（米国SEASAT衛星のSARデータを画像化）

1989年頃　Xバンド実開口レーダを開発（初めての映像レーダ）

1998年頃　Pi-SAR(1号機)が完成。

2000年　　三宅島噴火。Pi-SARで観測。

2010年　　Pi-SAR2が完成。

NICTのPi-SARのライバル

JAXA（LバンドSAR）、ドイツ（航空機SAR）、米国など

東日本大震災の被災状況調査

震災翌日(3/12)の観測画像

仙台空港　周辺

500m

Googleマップとの比較

観測画像で黒く映っている部分は水を被っているところ

9. 岩手県上

以後、Pi-SAR2を災害状況把握にいかに有効に活用するか、を念頭に置き、

◆データ処理・データ公開の高速化

◆SARデータからの情報抽出技術の高度化

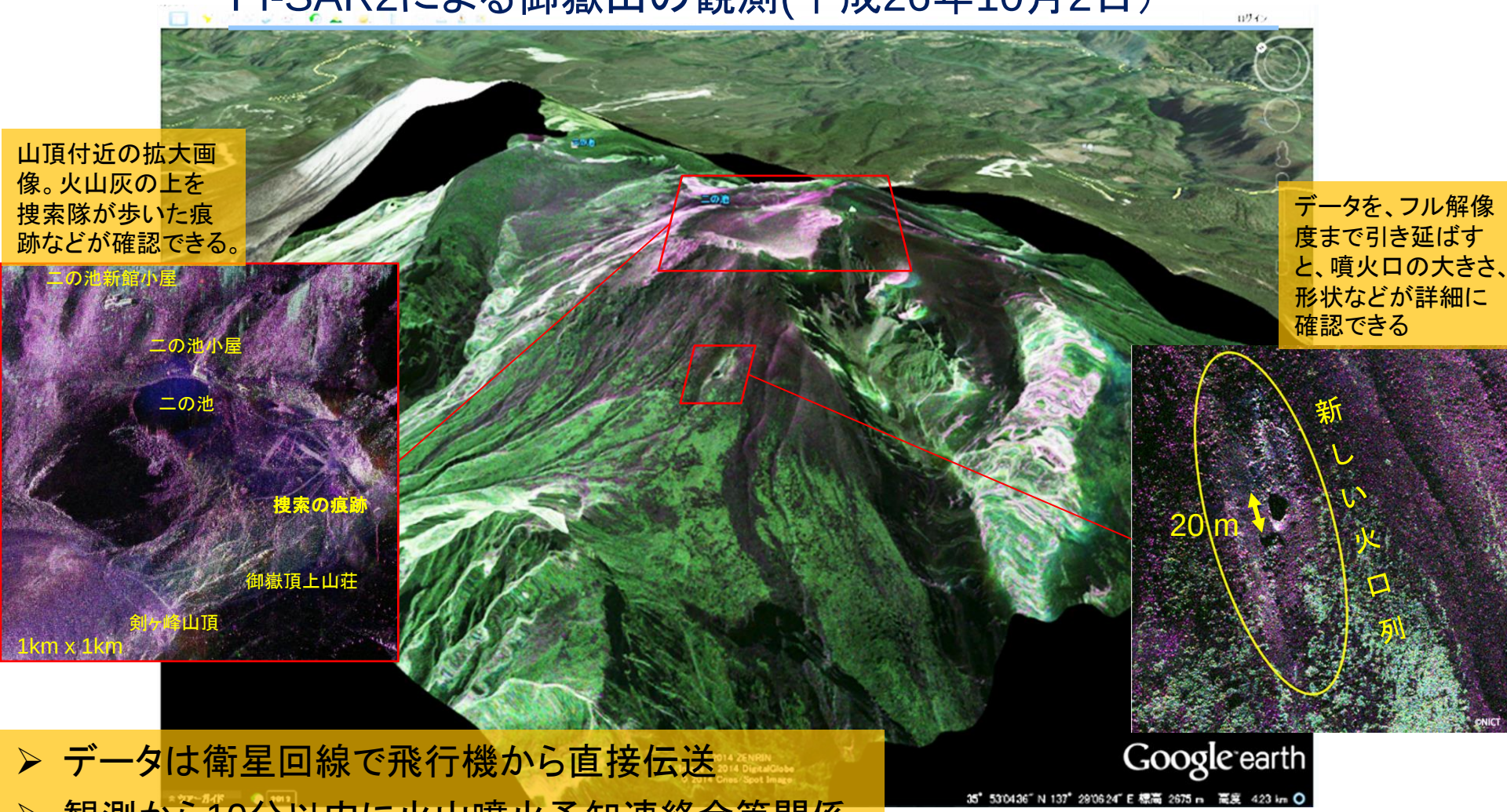
の研究開発を重点的に実施。

防災機関との連携も模索。

高い分解能により、地上の尋常ではない様子は分かる。しかし、迅速な対応のためには、データ処理・伝送の高速化や、建物や道路の被害等を自動判別する情報抽出手法の開発が必要

Pi-SAR2による火山監視

Pi-SAR2による御嶽山の観測(平成26年10月2日）



- データは衛星回線で飛行機から直接伝送
- 観測から10分以内に火山噴火予知連絡会等関係機関にデータ提供
- Google earthに貼り付けた立体視データも提供

都市域情報の抽出技術の開発

合成開口レーダ(SAR)の観測画像からユーザが指定する高度以上の
垂直構造の位置と高度を自動抽出するアルゴリズムを開発中です。

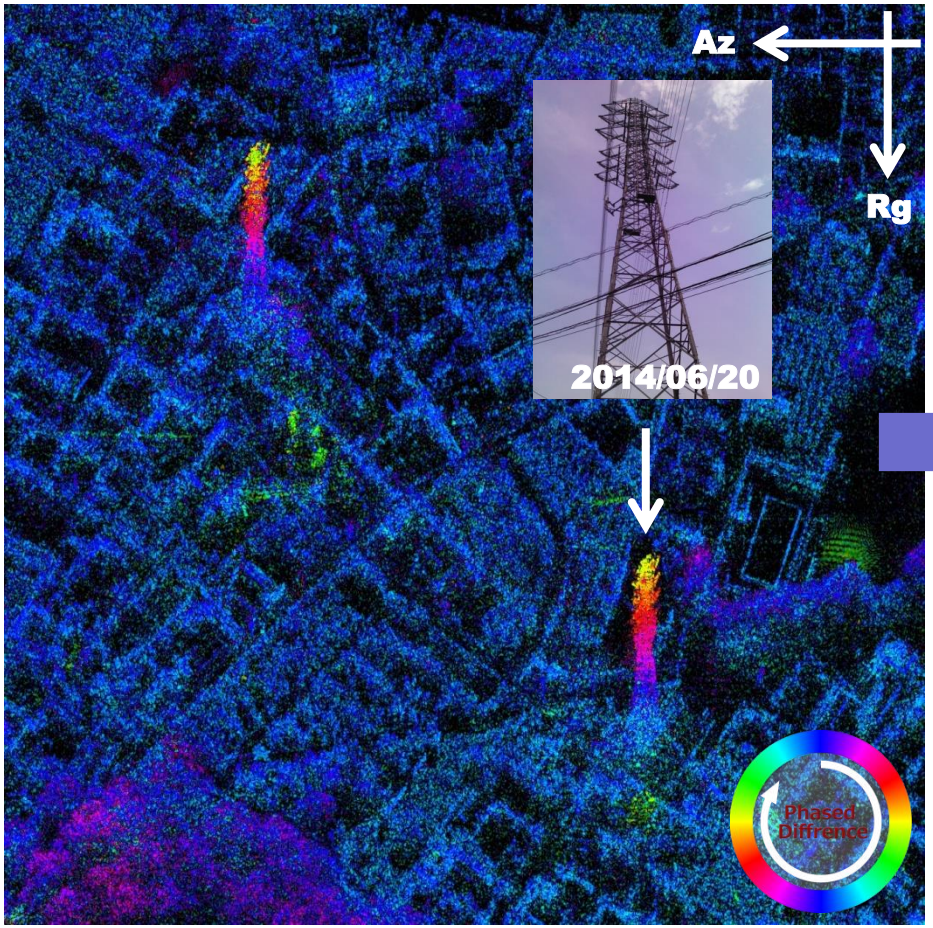


図1a. インターフェログラム (HV, 20130826/パス15)

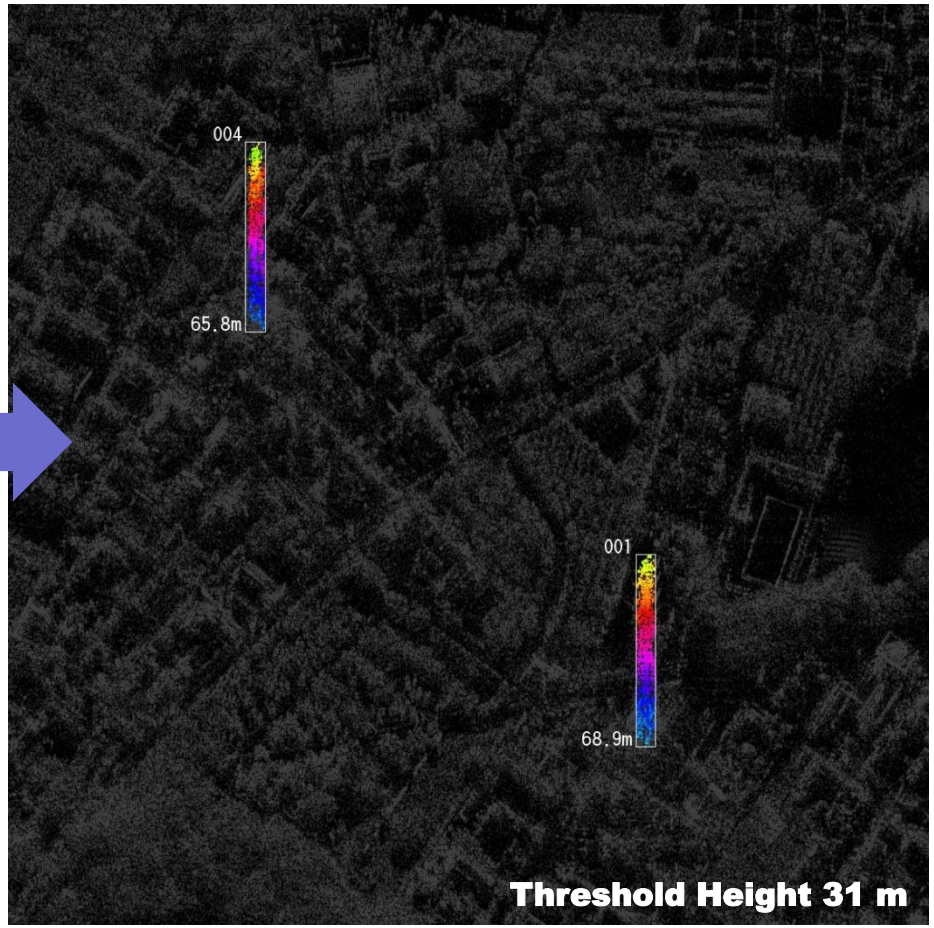


図1b. 垂直構造自動抽出結果

Pi-SARのデータ公開システム

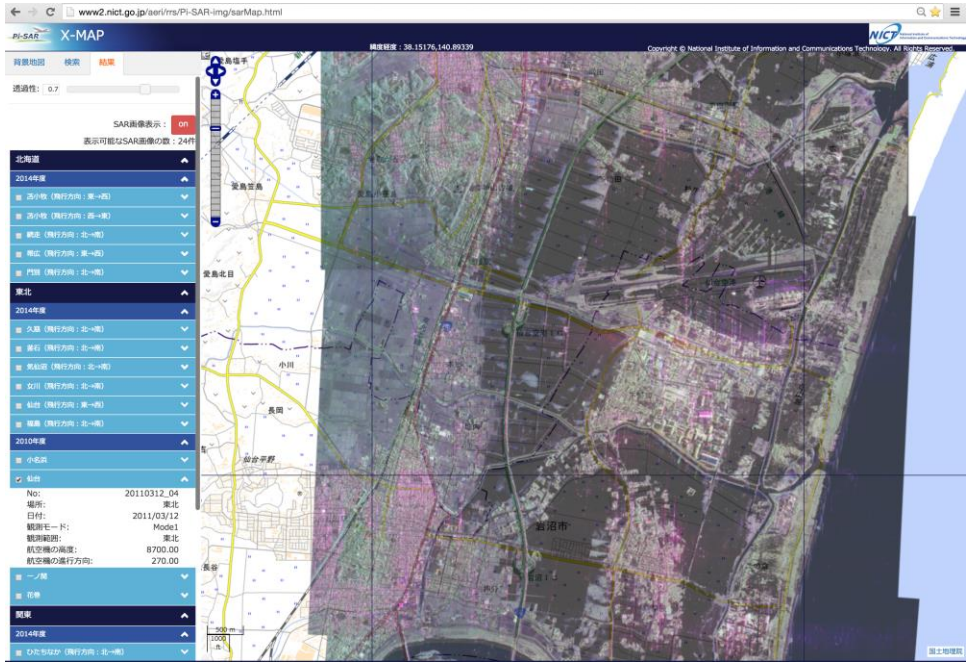
SARとWebGIS融合技術によるデータ公開システム構築

【概要】SARデータを解析して得られる情報とWebGIS（Web上で構築された地理情報システム）との融合を進め、災害時における被災者及び防災実務者に被災状況の総合的な情報提供を行う。

【進捗状況】

- WebGIS上にフル分解能の擬似カラー合成画像をマッピングして表示するシステム（X-MAP）を完成させ、10月1日より運用開始予定。
- WebGIS上にSARデータを解析して得られる情報（例えば、DSM）を順次追加していく予定。
- X-MAPで表示するSARプロダクトの生成の高速化の検討（次期中長期計画）。
- WebGIS上に防災情報（例えば、通行止め等の情報やSNSから抽出した防災に関係する情報）の追加に関して検討（次期中長期計画）。

X-MAPの表示画面



「NICT　X-MAP」 で検索

http://www2.nict.go.jp/aeri/rrs/Pi-SAR-img/sarMap.html

おわりに

- NICTで開発に携わってきた2種類のレーダについて紹介しました。
  - ✓ 豪雨や竜巻の卵を素早く捉えるフェーズドアレイ気象レーダ
  - ✓ 電波で地表の様子を撮像する航空機搭載合成開口レーダ

- 私たちは、これらの世界有数の性能を持つレーダを世の中に役立てるための研究開発を、他の研究機関や自治体等とも連携して、進めています。
  - ✓ 気象災害の予測技術の高度化（予測力の向上）
  - ✓ 火山監視や迅速な災害状況把握（対応力の向上）

- 観測データは、研究者や一般の方向けにも、インターネットでオープンにされています。また、豪雨の危険をお知らせするスマホアプリの実証実験なども開始しています。