

豪雨の3次元構造を捉える フェーズドアレイ気象レーダー

佐藤晋介 (NICT)

ワイヤレス・テクノロジー・パーク (WTP) 2014

安心・安全を守るワイヤレス技術

2014年5月29日@東京ビッグサイト

目次

1. はじめに

- 次世代気象レーダーの開発
- 雨ができるしくみ

2. ゲリラ豪雨の3次元構造

- 30秒と5分の違い

3. 次々と発生する積乱雲による豪雨

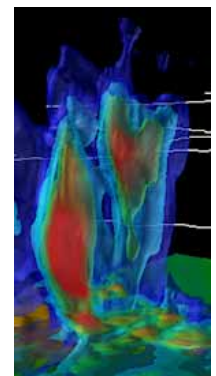
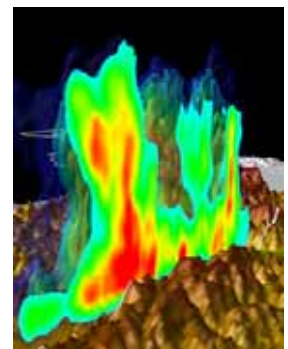
- 2012年8月14日の宇治豪雨の事例ほか

4. 観測データのリアルタイム処理・公開

- サイエンスクラウドによるデータ利用システム

5. 今後の展望

- 2台目、3台目のフェーズドアレイ気象レーダー



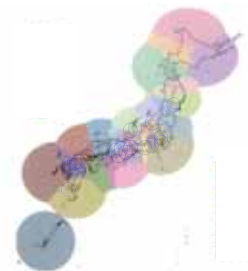
- 近年、局地的大雨(ゲリラ豪雨)や竜巻による突発的・局所的気象災害が社会問題となっている。
- 都市域ではXバンドMPレーダが整備され地上付近の降雨分布を1分間隔で観測。
- 大雨の前兆現象や発達過程の調査研究、直前予測には3次元観測が重要であるが、従来のパラボラアンテナによるレーダでは、3次元観測に5分以上の時間を要する。



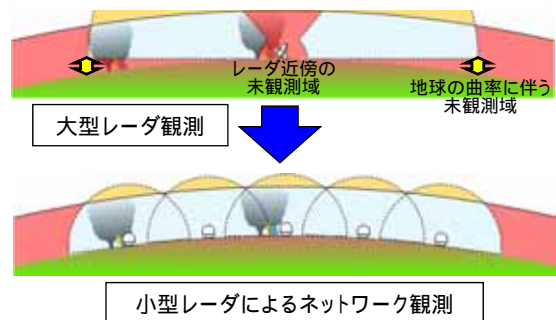
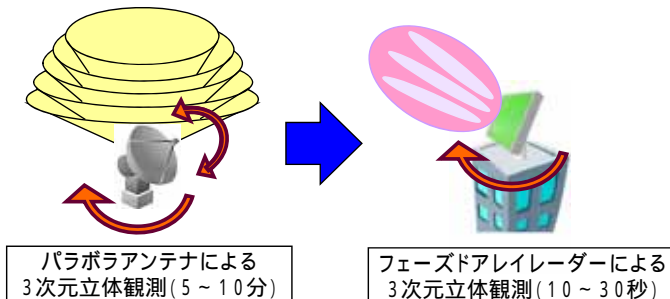
都賀川の鉄砲水(2008/7/28)



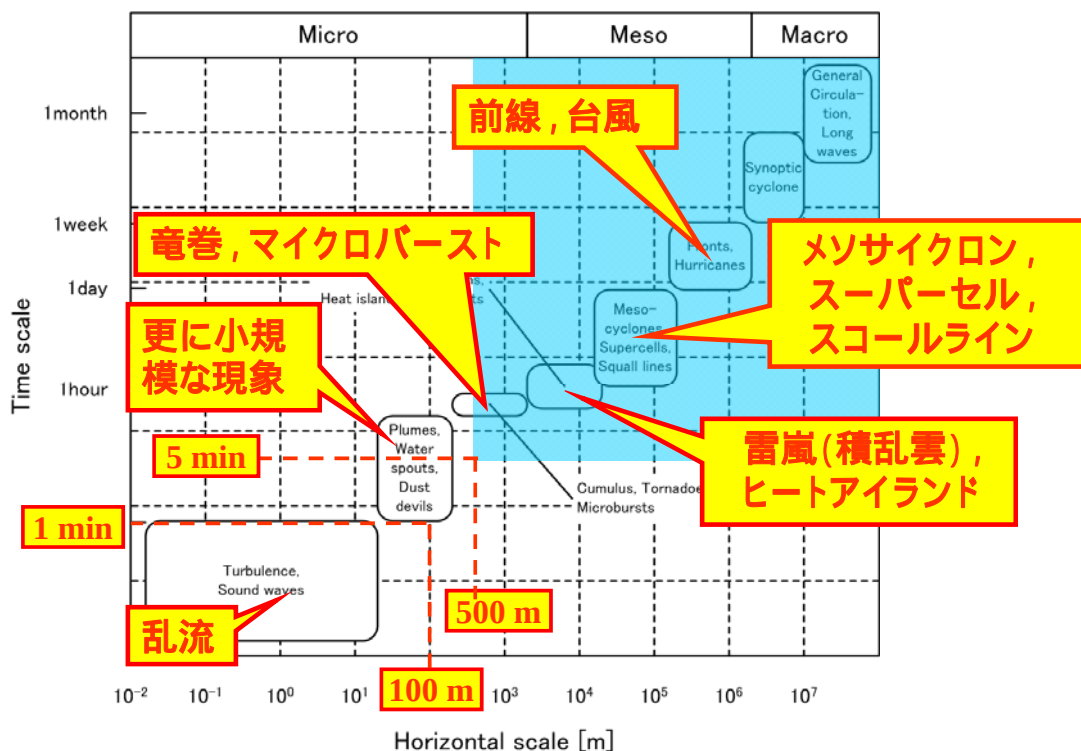
つくば市竜巻(2012/5/6)



国交省Cバンドレーダ雨量計観測網とXバンドMPレーダの配備状況(○印)。



3



4

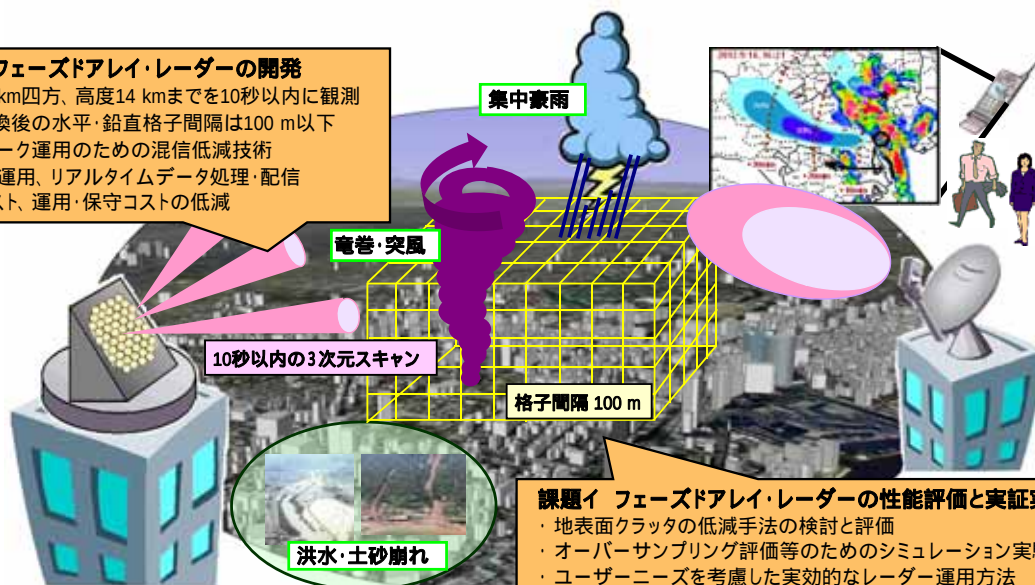
「次世代ドップラーレーダ技術の研究開発」

突発的、局所的気象災害の予測や災害対策のため、その原因となる集中豪雨、竜巻突風等を10秒以内に100 m以下の分解能で立体的に観測可能な次世代ドップラーレーダの研究開発を行う。

課題A フェーズドアレイ・レーダーの開発

- ・ 水平30 km四方、高度14 kmまでを10秒以内に観測
- ・ 座標変換後の水平・鉛直格子間隔は100 m以下
- ・ ネットワーク運用のための混信低減技術
- ・ リモート運用、リアルタイムデータ処理・配信
- ・ 製造コスト、運用・保守コストの低減

産学官連携
プロジェクト
NICT
委託研究
↓
東芝・
大阪大
が受託



課題B フェーズドアレイ・レーダーの性能評価と実証実験

- ・ 地表面クラッタの低減手法の検討と評価
- ・ オーバーサンプリング評価等のためのシミュレーション実験
- ・ ユーザーニーズを考慮した実効的なレーダー運用方法
- ・ 実証実験、実用化を目指した運用試験

開発スケジュール

2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)
・ 概念設計(システム検討) ・ 素子部分試作	・ 予備設計(主に空中線部) ・ 送受信モジュール試作 ・ 性能評価シミュレーション	・ 基本設計(主に信号処理部) ・ 空中線部の製作 ・ クラッタ除去技術の開発	・ 詳細設計(解析処理部) ・ 信号処理部の製作 ・ 観測運用技術の開発	・ 実証実験・評価 ・ データ解析処理部の開発

5

大阪大学に設置されたフェーズドアレイレーダ



アンテナ部



クレーンで吊り上げ
設置中のレドーム



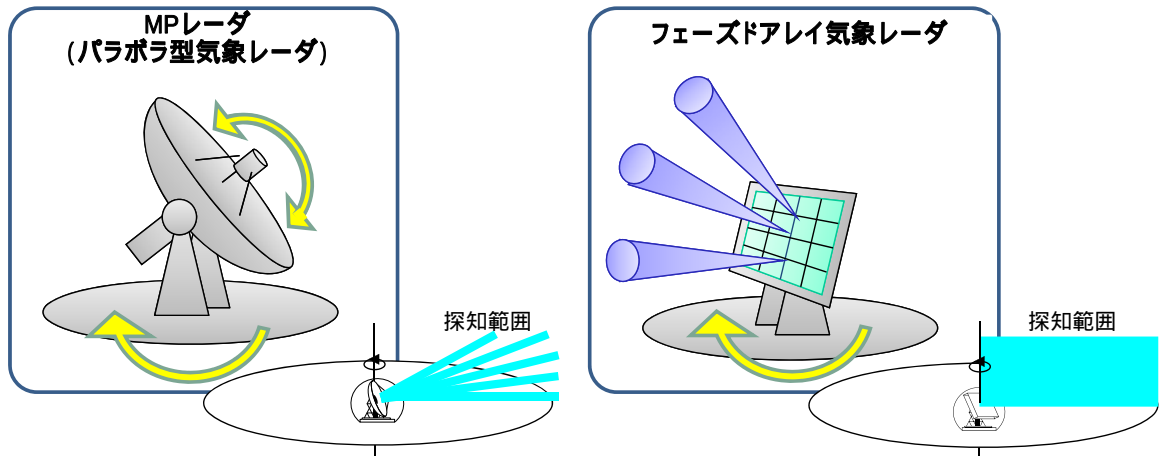
左:レーダ処理装置
(データ処理・監視制御・表示)

右:レーダ制御装置
(駆動制御・分電盤)



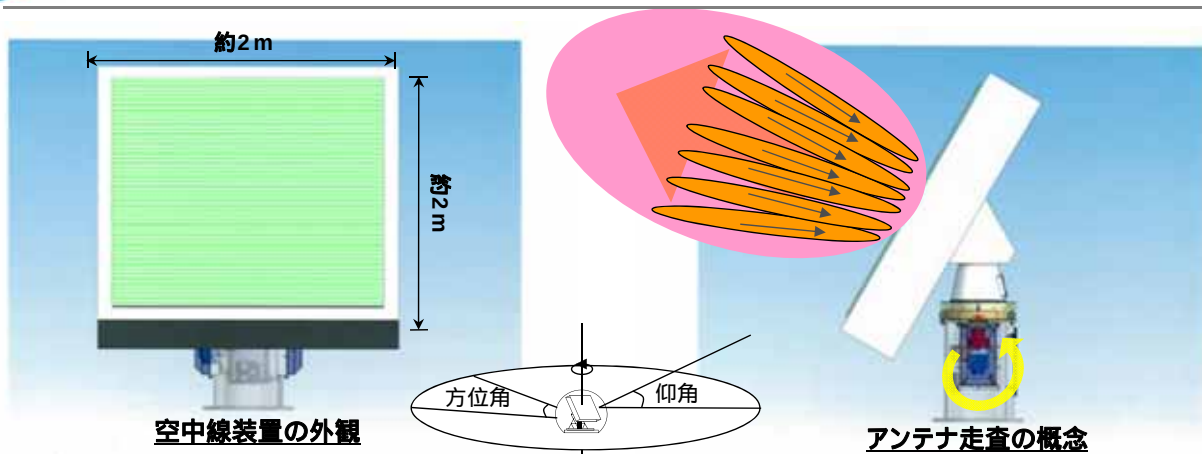
大阪大学吹田キャンパス(E3棟屋上)に
設置されたフェーズドアレイ気象レーダ

6



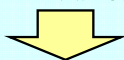
MPレーダ (パラボラ型気象レーダ)		フェーズドアレイ気象レーダ
仰角 : 機械走査 方位角 : 機械走査	走査方法	仰角 : 電子走査 方位角 : 機械走査
3次元スキャン (約15仰角) / 5分程度 (地上は1分周期で観測)	観測空間 / 観測時間	3次元スキャン (約100仰角) / 10秒 ~ 30秒程度
60 km	観測範囲	60 km
反射強度 (降雨強度)、 ドップラー速度、速度幅、 偏波パラメータ (Zdr, Kdp, ρ _{hv} など)	観測パラメータ	反射強度 (降雨強度)、 ドップラー速度、速度幅

7



<コストパフォーマンスの実現>

- ・一般的にはフェーズドアレイは高価
- ・1次元アレイ (仰角の電子走査) と DBF (Digital Beam Forming) の組み合わせにより、10 ~ 30秒の3次元観測を実現



- ・高価だったフェーズドアレイでパラボラアンテナ型気象レーダと同程度の価格帯を狙う

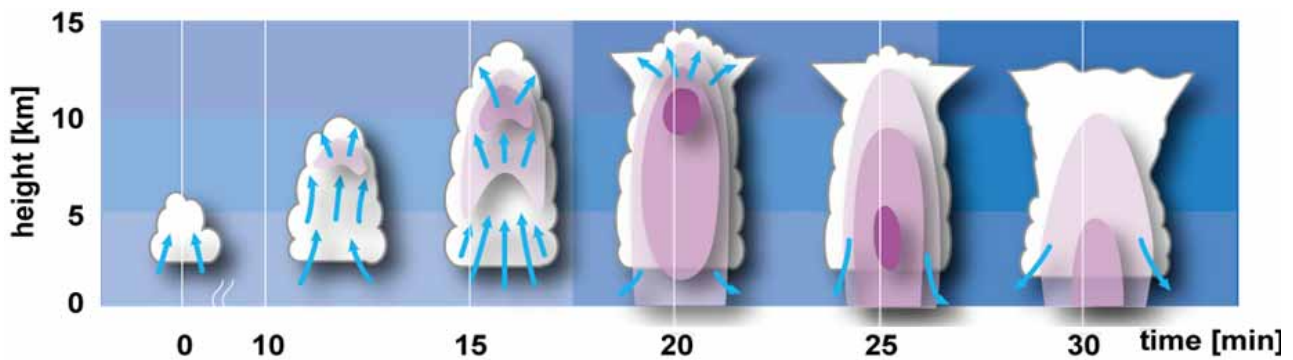
<1次元アレイ / DBF技術を用いたアンテナ走査>

- ・仰角方向は1次元のアクティブフェーズドアレイアンテナを採用し、電子走査にて観測。
 - ・送信波は仰角方向に幅の広いファンビームを形成
 - ・受信時は仰角方向に複数の細いビームをデジタル処理 (DBF) で同時形成
- ・方位角方向はスロットアンテナにより機械的にビームを形成し、機械回転させて観測。

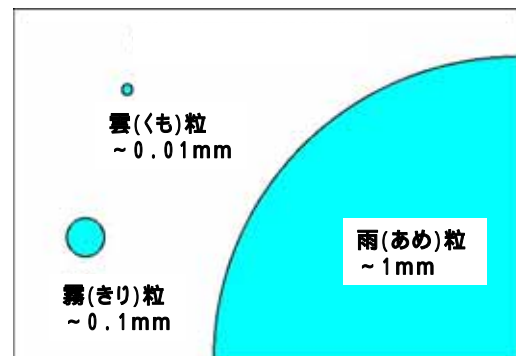


- ・1回転のみで三次元ボリュームの観測が可能。

「積乱雲の発達」と「雨の成長」

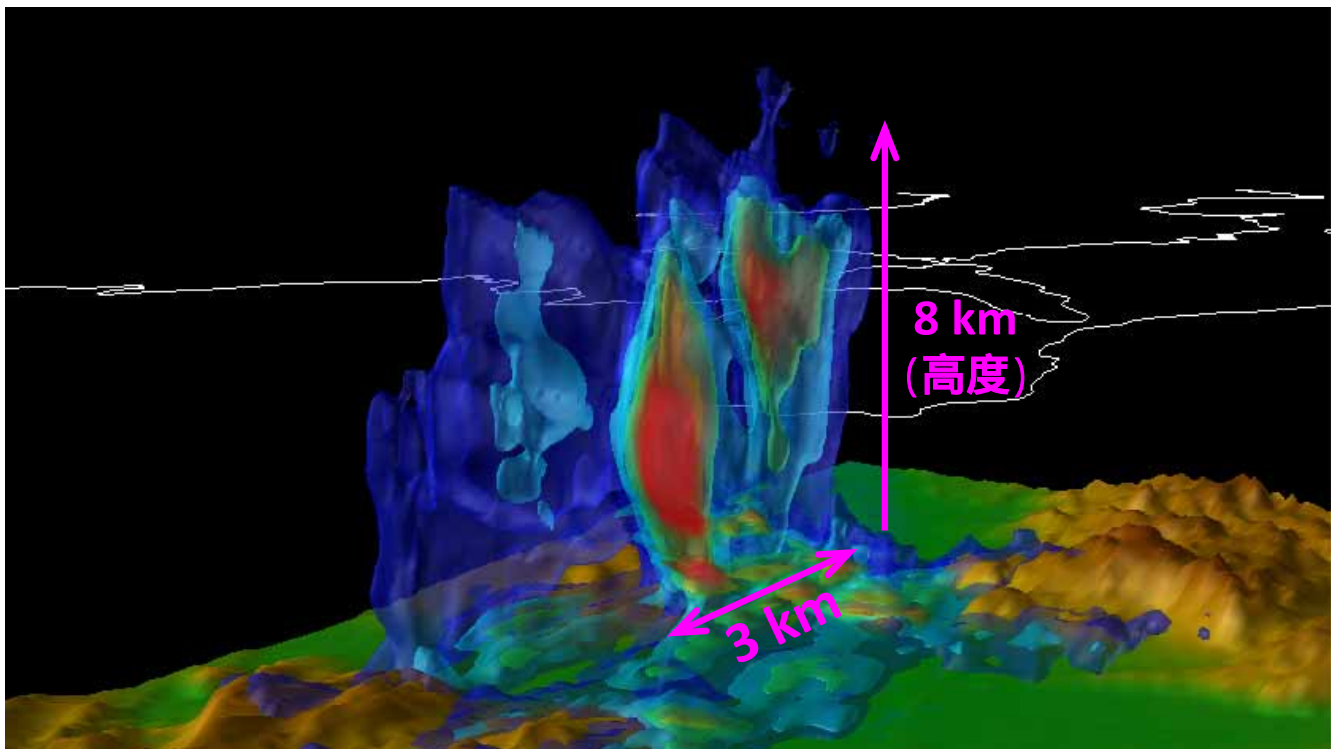


- 雲粒が成長して雨となり地上に降ってくる
- 0 (~ 5 km程度)より上空では雪やあられ
- 一つの積乱雲の一生は30分程度
- 成長した雨粒がレーダで観測される
- 雨滴は10分間で4 ~ 5 km落下



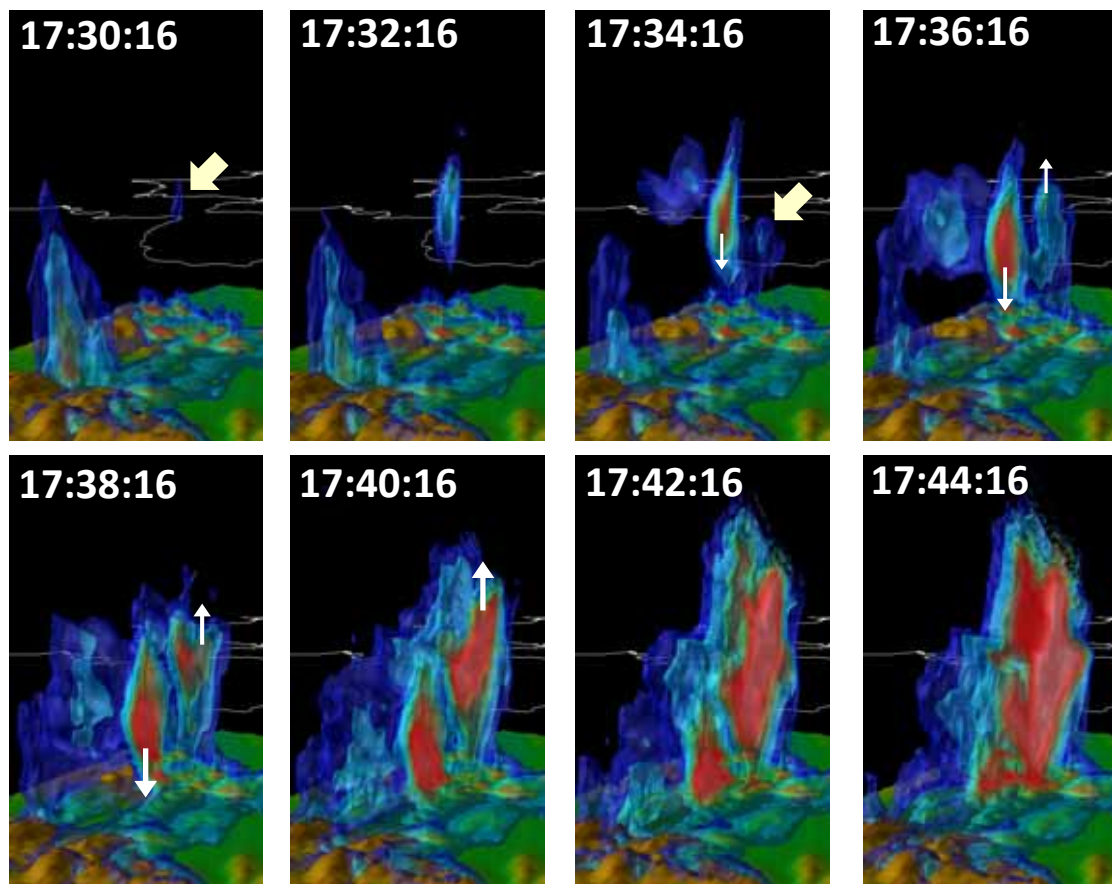
9

孤立積乱雲による局地的大雨

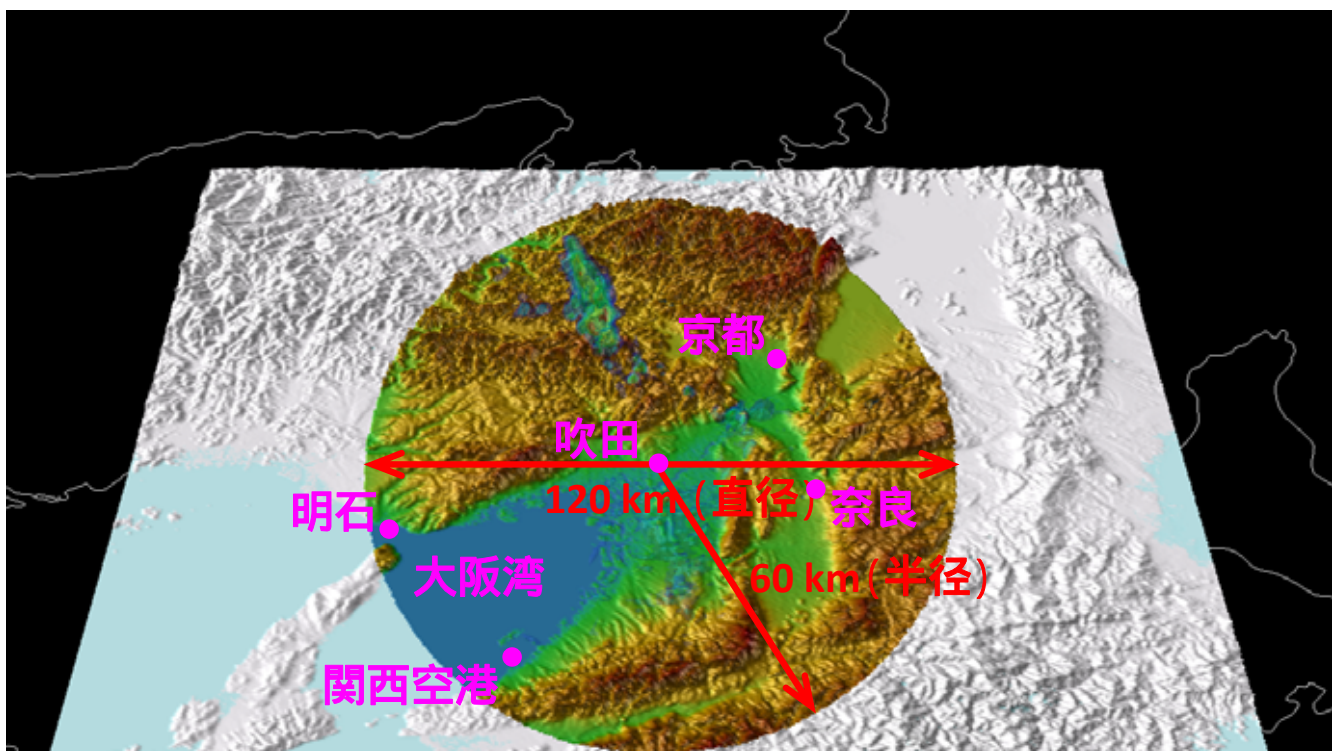


2012年07月26日,17:38:16の3次元降水分布. けいはんな(精華町)付近の降雨の3次元構造を北東方向から眺める (格子間隔 100m).
17:20:16 ~ 18:10:46の動画 (30秒間隔 / 5分間隔).

10

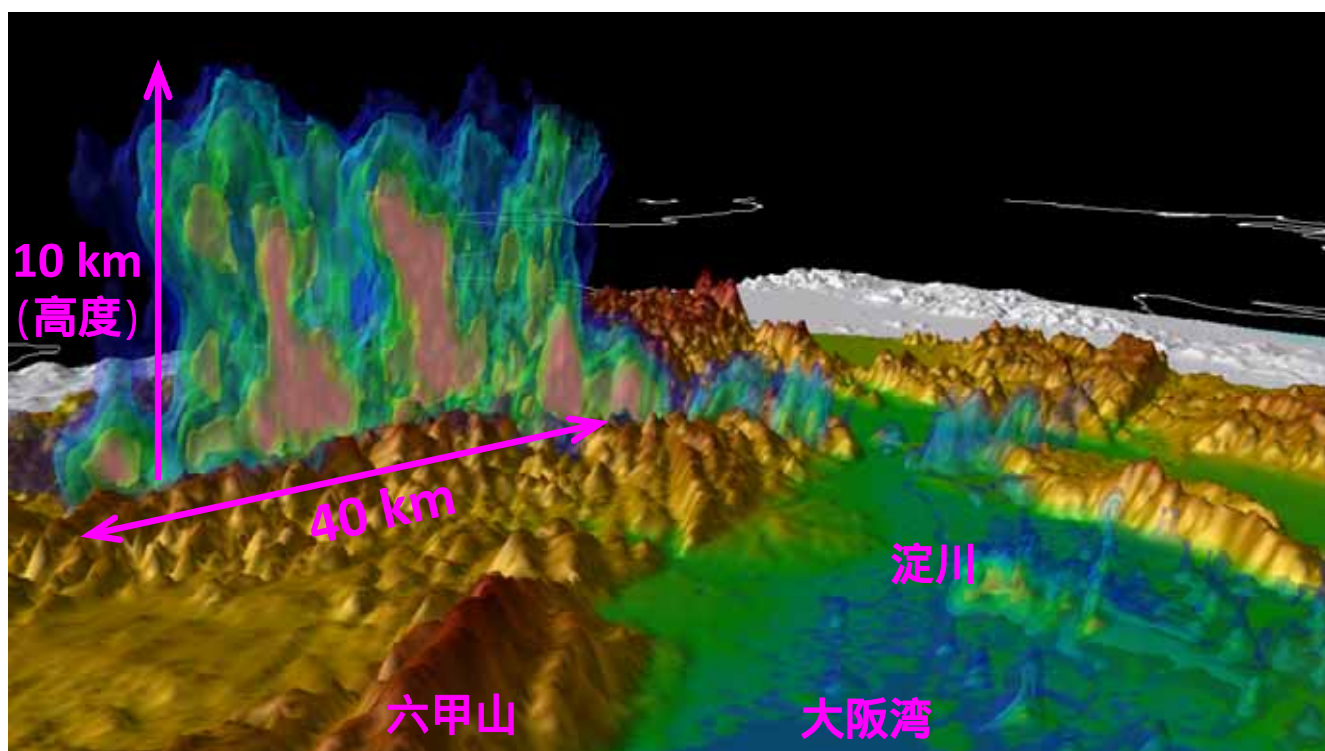


11



AVS / Expressによる3次元可視化のいくつかの解析例。
 カラー部分はフェーズドアレイ気象レーダの観測範囲を示す
 (地形図はSRTM - DEM)。

12



2012年07月22日の北摂山系における局地的大雨(京都府園部アメダスで2 時間雨量 72.5 mm)の3次元構造(反射強度)を南西から見た鳥瞰図. 18:00:20 ~ 20:00:50 のアニメーション(時間分解能は30秒).

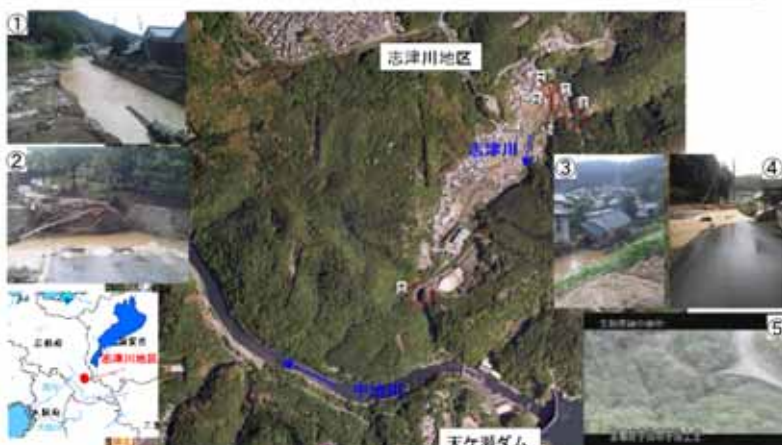
10フレーム / 秒 → 300倍速 13



宇治豪雨 (2012年8月13日 ~ 14日)

【京都府宇治市 志津川地区】

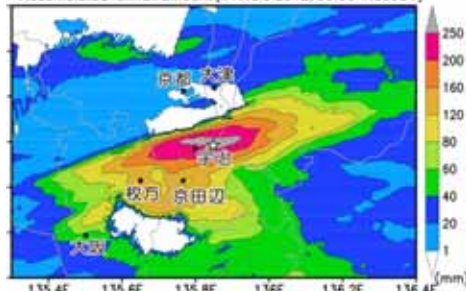
- ・京都府が管理する宇治川の支川志津川で土砂崩れ、家屋流出等を確認。
- ・住宅が流されたことにより2名行方不明との情報。
- ・整備局職員による現地調査を実施し、ヘリ調査と合わせて調査結果を京都府に提供。

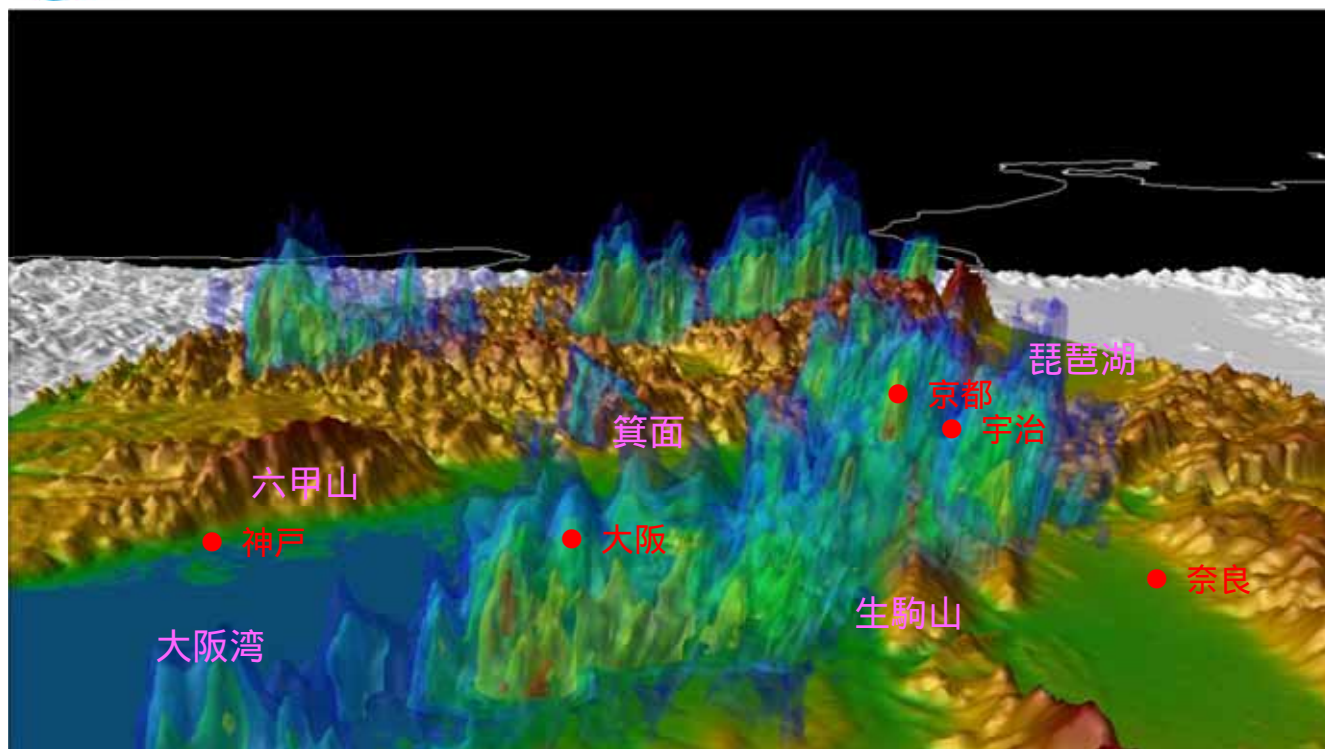


独立行政法人 防災科学技術研究所
観測・予測研究領域
水・土砂防災研究ユニット

2012年8月14日0時から8時の積算雨量

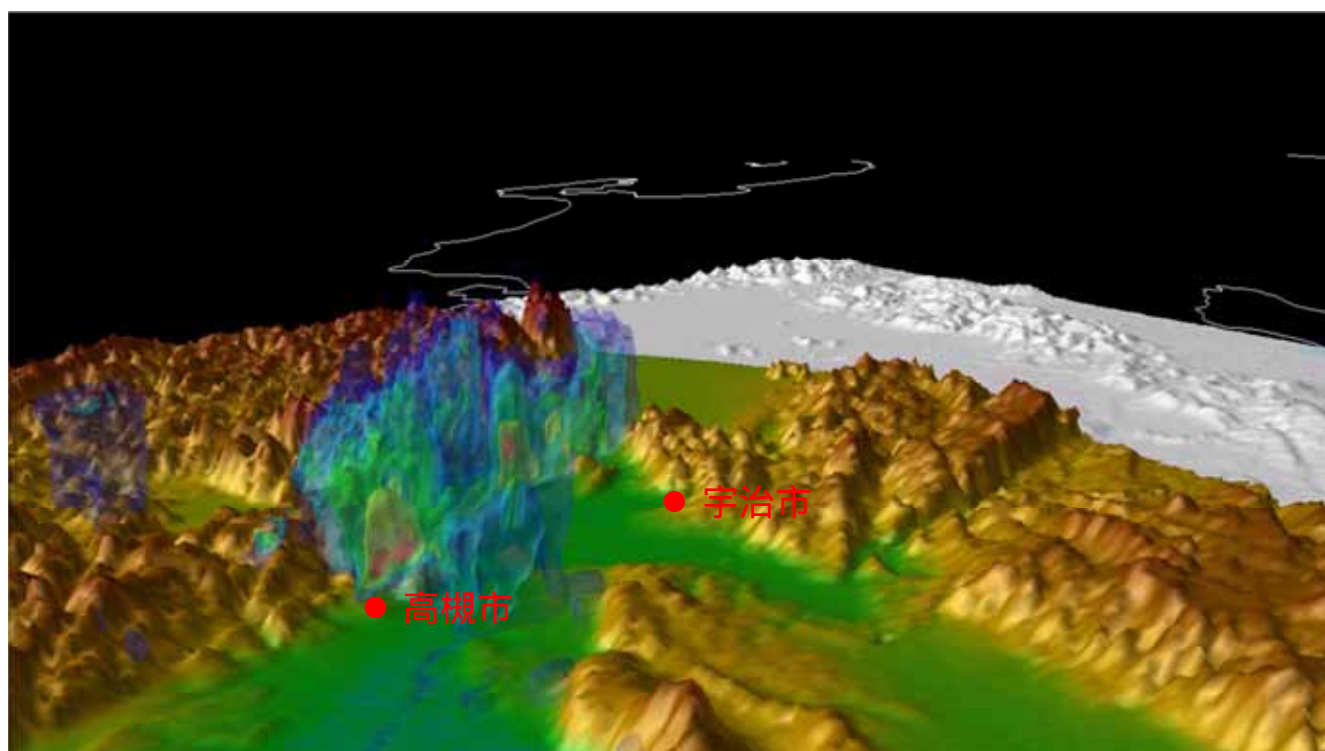
Accumulated rainfall amount [14 AUG 2012, 00:00-7:59JST]





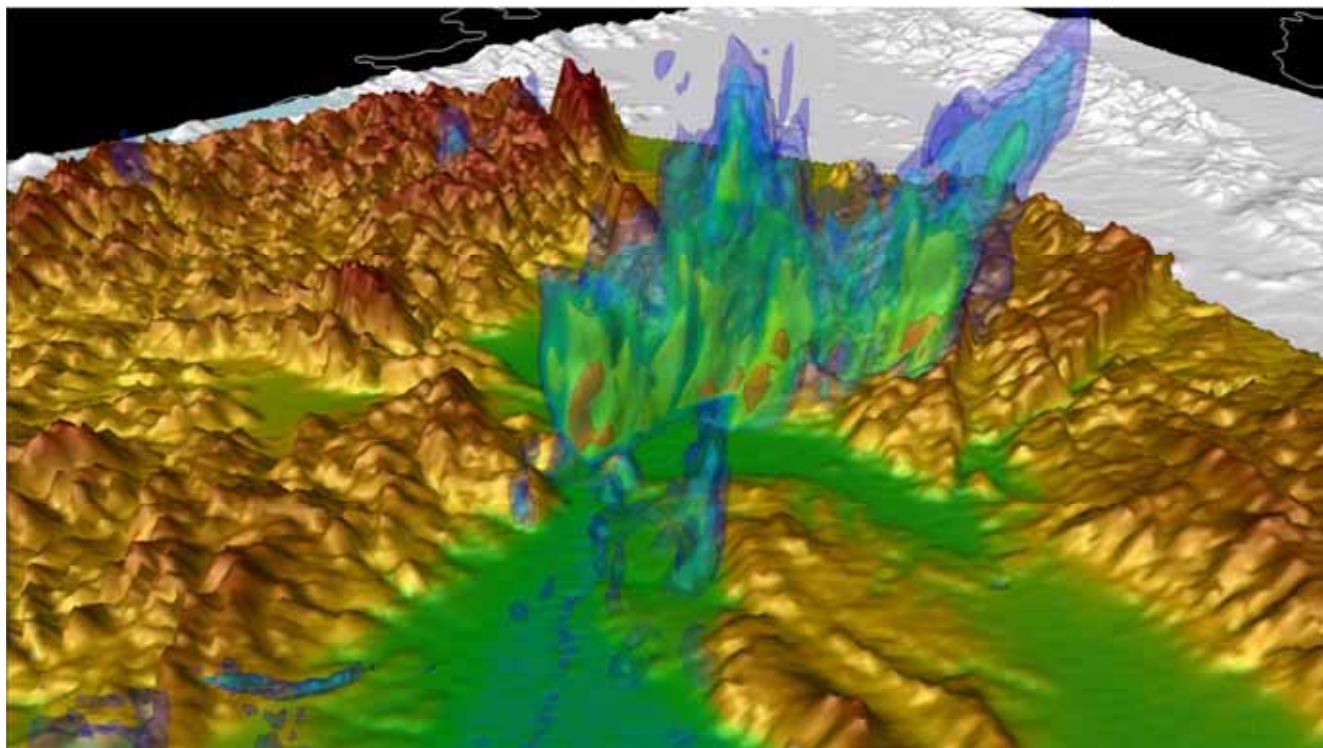
2012年08月13日夜8時から翌日朝8時までの12時間の3次元降雨分布を大阪の南上空から眺める(観測範囲半径60km, 格子間隔 250m).
地形(SRTM-DEM)は高さ方向に約2倍拡大.

20fps → 600倍速 15



2012年08月14日深夜03時15分から04時15分までの3次元降雨分布.
ほぼ決まった場所で次々と新しい降雨エコーが発生している.

10fps → 300倍速 16



京都の大雨 (2013/7/13)

朝日新聞 2013年7月14日 朝刊 33ページ 大阪本社



大雨となり、屋根の下へ逃げる男性＝13日午後、京都市右京区、伊藤進之介撮影

大雨となり、屋根の下へ逃げる男性＝13日午後、京都市右京区、伊藤進之介撮影

近畿地方で13日午後、大
気の状態が不安定になり、
京都市などで集中的に激し
い雨が降った。14日も近畿
北部や中部などで、昼から
夕方にかけて雨や雷雨も予
想される。

京都で大雨 5800軒が停電

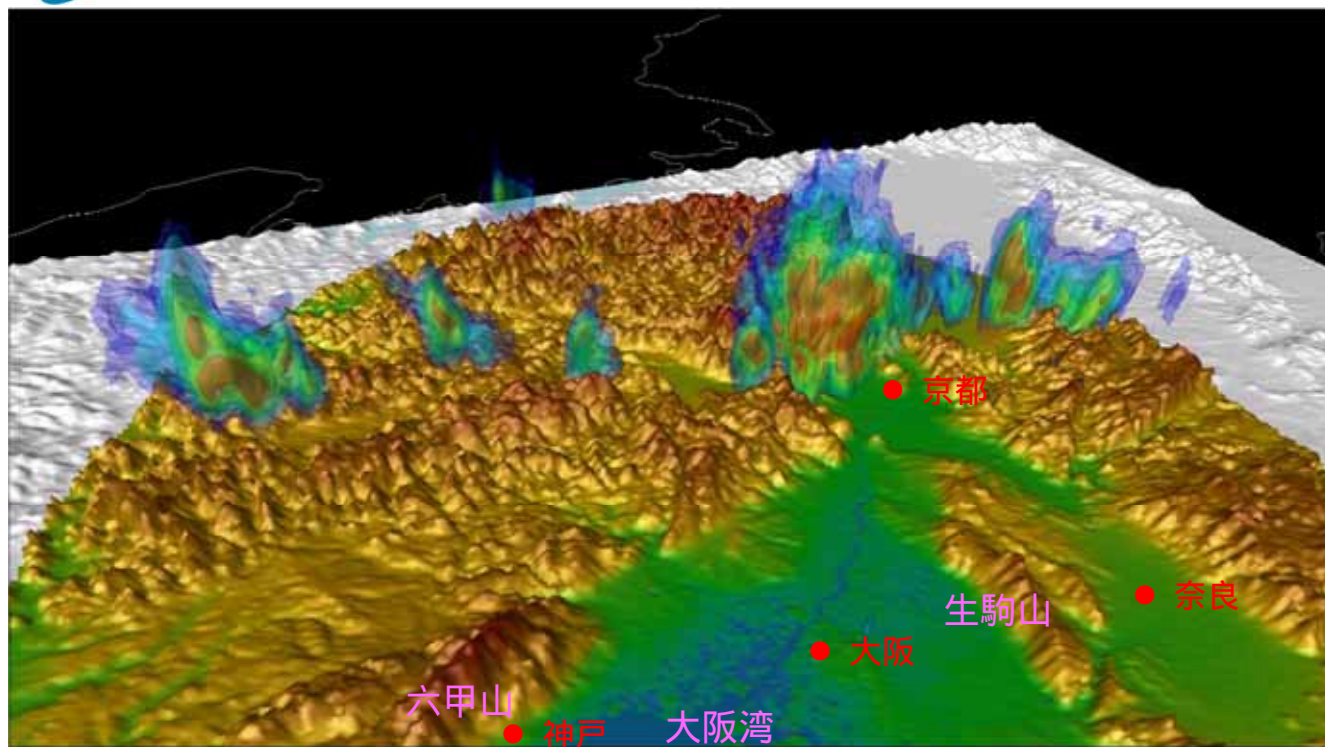
京都府によると、城陽市
で1時間の雨量が68ミリの達
した。宇治市では1棟が床
上浸水し、同市と城陽市で
計22棟が床下浸水。3市2
町1村で計5802軒が停
電した。京都市では落雷の
影響で、JR山陰線のダイ
ヤが乱れた。13日午後2時
ごろ、同市の嵯峨嵐山駅の
信号機が故障。嵯峨嵐山―
亀岡間で運転が見合わせさ
れ上下25本が運休した。

京都府災害警戒本部
7月13日21時40分現在

7月13日の大雨の被害状況等

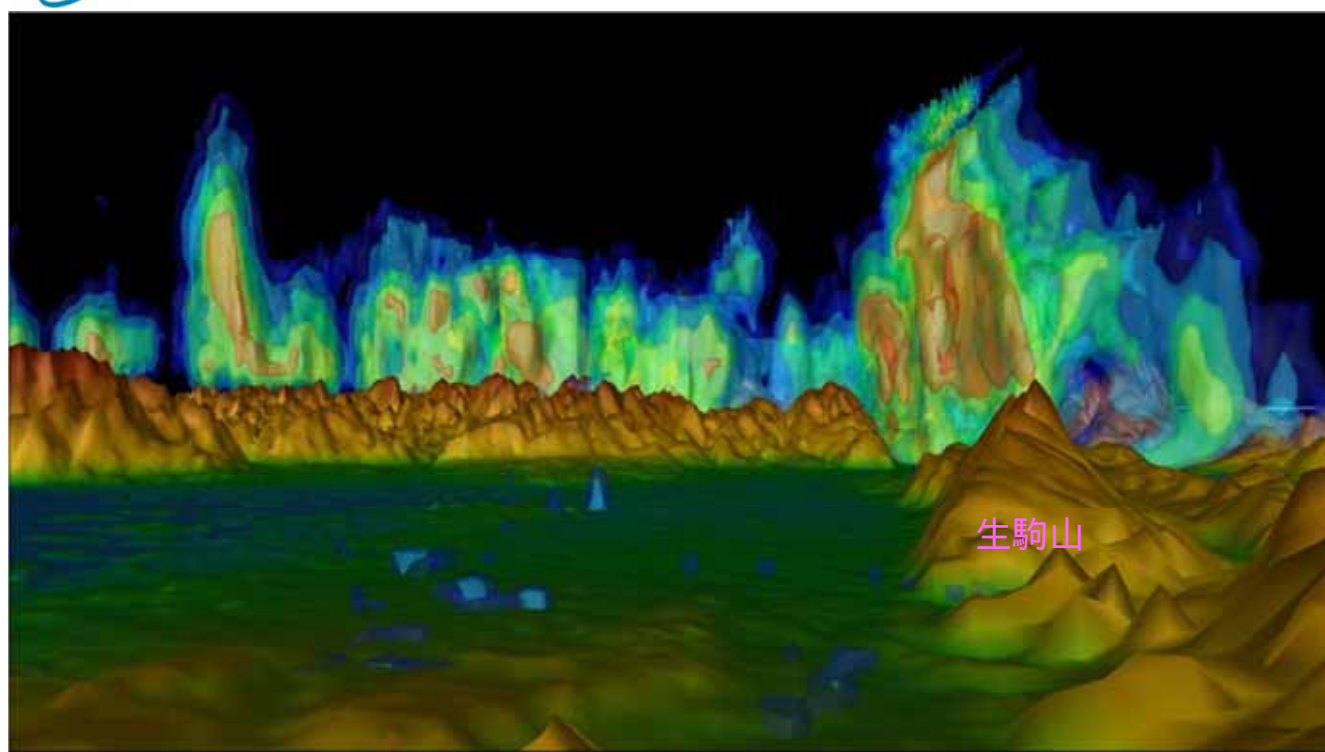
人的被害	なし
住家被害	床上浸水 宇治市 1軒 床下浸水 宇治市 4軒 城陽市 18軒

時間雨量測定箇所	時間雨量
寺田 (城陽)	6.8 mm
京田辺 (気) (京田辺市)	5.4 mm
田辺 (京田辺市)	5.0 mm
荒木 (宇治田原町)	4.5 mm
八幡 (八幡市)	3.9 mm
宇治 (宇治市)	3.5 mm
佐古 (久御山町)	3.1 mm
宮村 (宇治田原町)	2.6 mm
松田橋 (大山崎町)	2.3 mm
西笠取 (宇治市)	2.0 mm



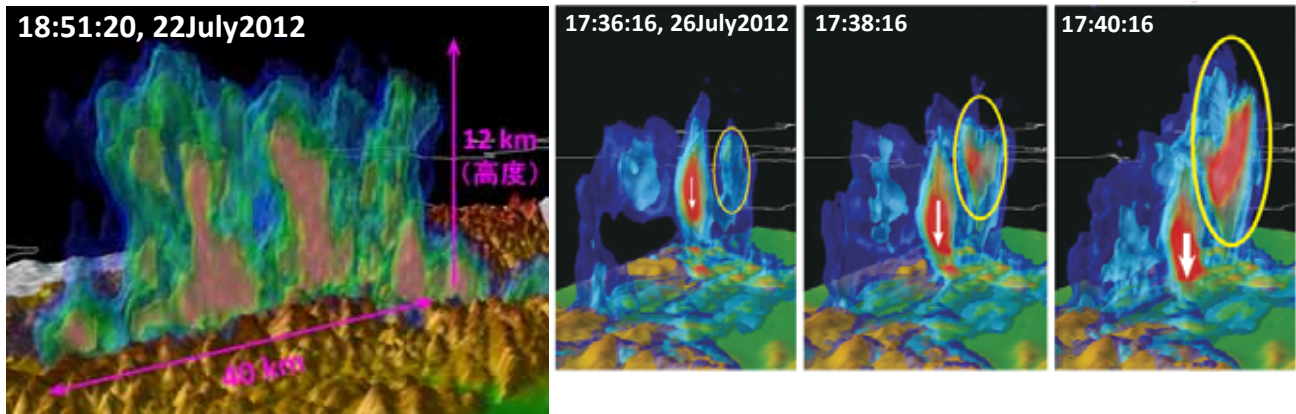
2013年07月13日14時から16時20分までの30秒毎の3次元降雨分布を大阪湾上空から眺める(観測範囲半径60km, 格子間隔 250m)。

10fps → 300倍速 19



2013年07月13日15時20分から16時20分までの30秒毎の3次元降雨分布を大阪平野南部から眺める. 地形(SRTM-DEM)の高さはエコーの高さに対して約2倍拡大している.

10fps → 300倍速 20



● 3次元可視化(反射強度)のリアルタイム処理

通常は30秒毎に得られる3次元データの座標変換に約10分(1-CPU_core)、一定方向の3次元レンダリング(AVS/Express)は数秒程度。

NICTサイエンスクラウドによるヘテロ並列処理技術(180コア使用)により最短1分以内(33+23+4秒)の実時間処理は可能となった(by 村田健史)。

● 3次元データの利活用<今後の検討課題>

反射強度・ドップラ速度の鉛直断面表示(任意地点・移動方向のRHI)、エコー頂高度、鉛直積算雨水量(VIL)、降水コア識別とトラッキング

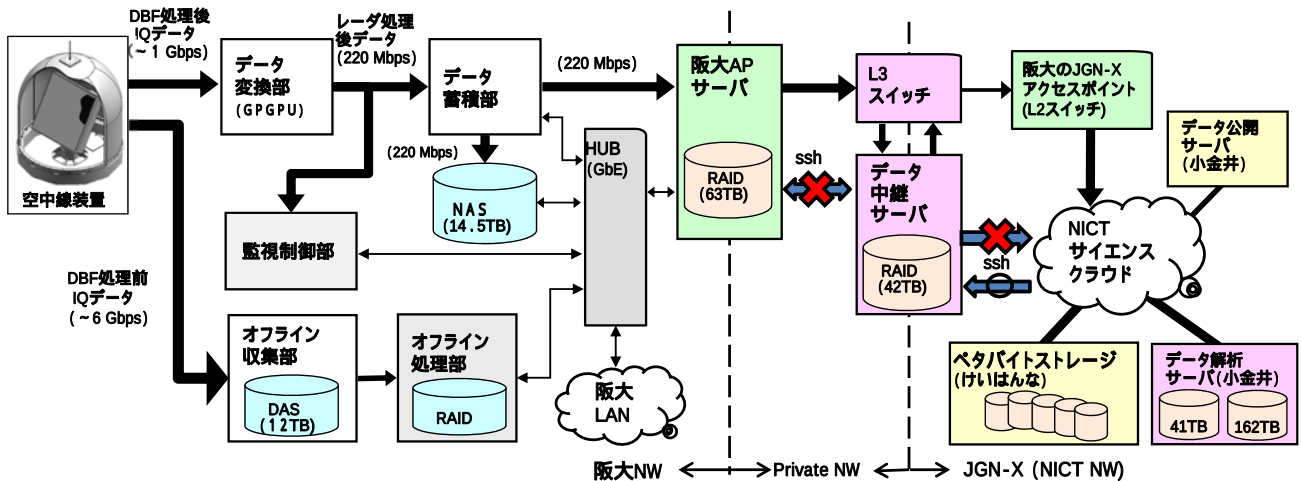
21



		収録データ種別
1	レベル 1	受信電力 (Pr-MTI)
2		受信電力 (Pr-NOR)
3		ドップラー速度 (Vr-MTI)
4		ドップラー速度 (Vr-NOR)
5		速度幅 (W-MTI)
6		速度幅 (W-NOR)
7		SN判定値 (SN-MTI)
8		SN判定値 (SN-NOR)
9	レベル 2	受信電力 (Pr)
10		反射強度 (Ze)
11		ドップラー速度 (Vr)
12		速度幅 (W)
13		降雨強度 (R)

詳細観測 (10 sec.)	300 range × 320 sector (AZ) × 111 angle (EL) × 2 byte = 20.3 MB / file 13 file 合計サイズ(ヘッダー含む): 275 MB / 10sec 220 Mbps
通常観測 (30sec.)	600 range × 300 sector (AZ) × 110 angle (EL) × 2 byte = 37.8 MB / file 13 file 合計サイズ(ヘッダー含む): 493 MB / 30sec (~1GB/分) 131 Mbps

22



●リアルタイム処理

実利用には必須、現場計算機でQL画像を作成、
現状は観測終了後1分後にWeb画面更新

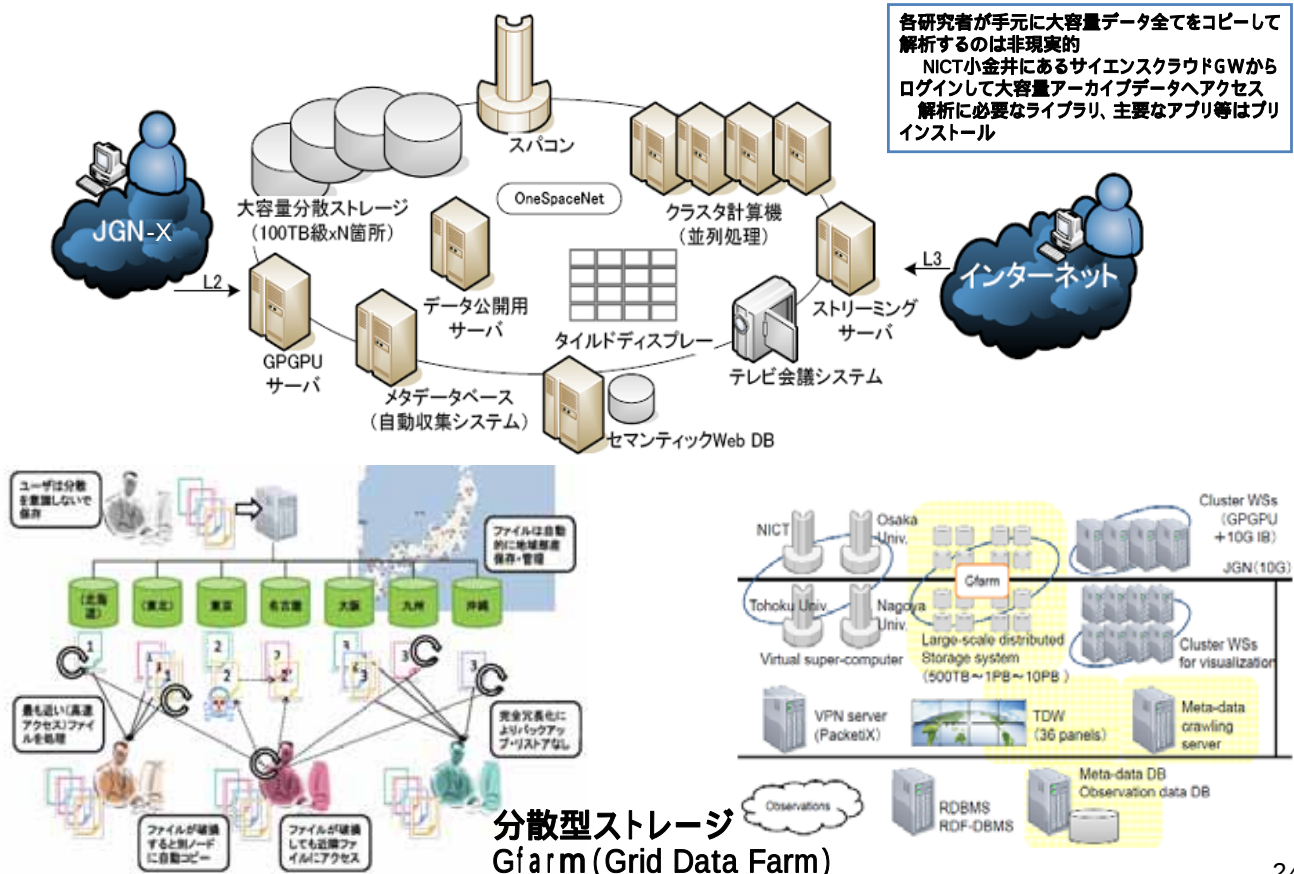
●過去データの利用

研究目的や防災強化には非常に重要、
Webページから過去データに容易にアクセス

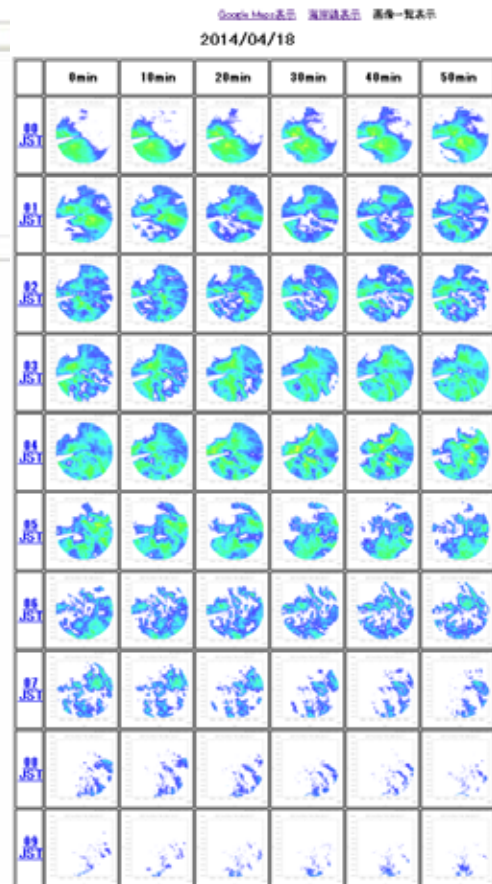
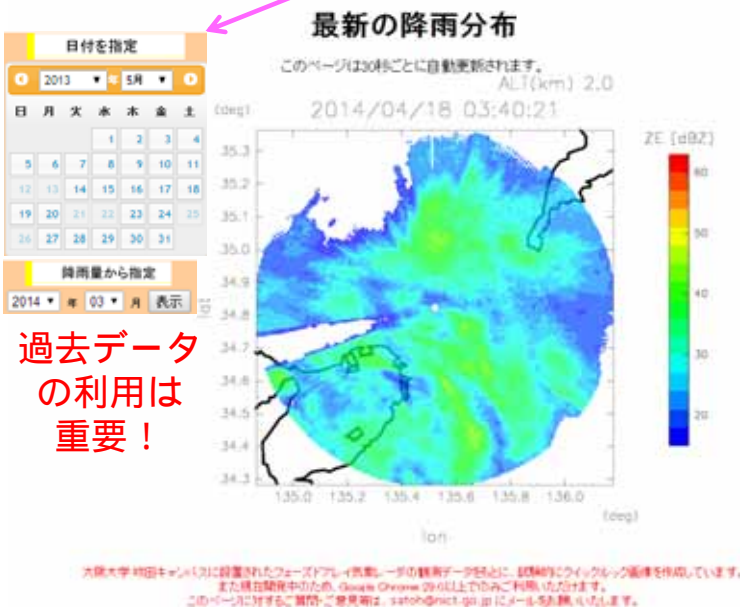
●ビッグデータ

データ容量 ~ 1.4 TB/日程度、原則24時間運用、
NICTサイエンスクラウド(PBストレージ@けいはんな)
無降雨時のデータはZe、Vrを残して削除

23

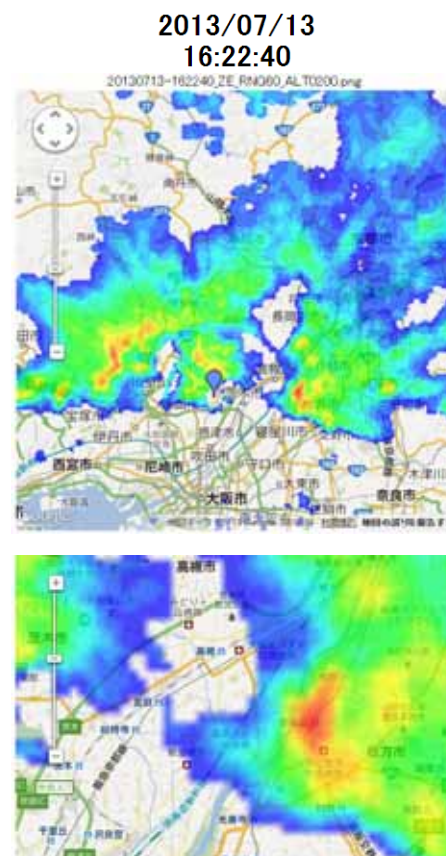
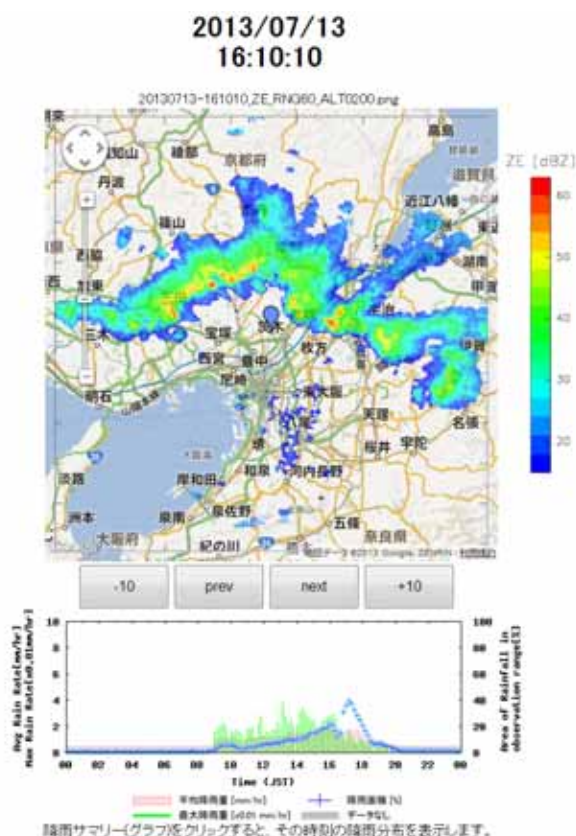


24

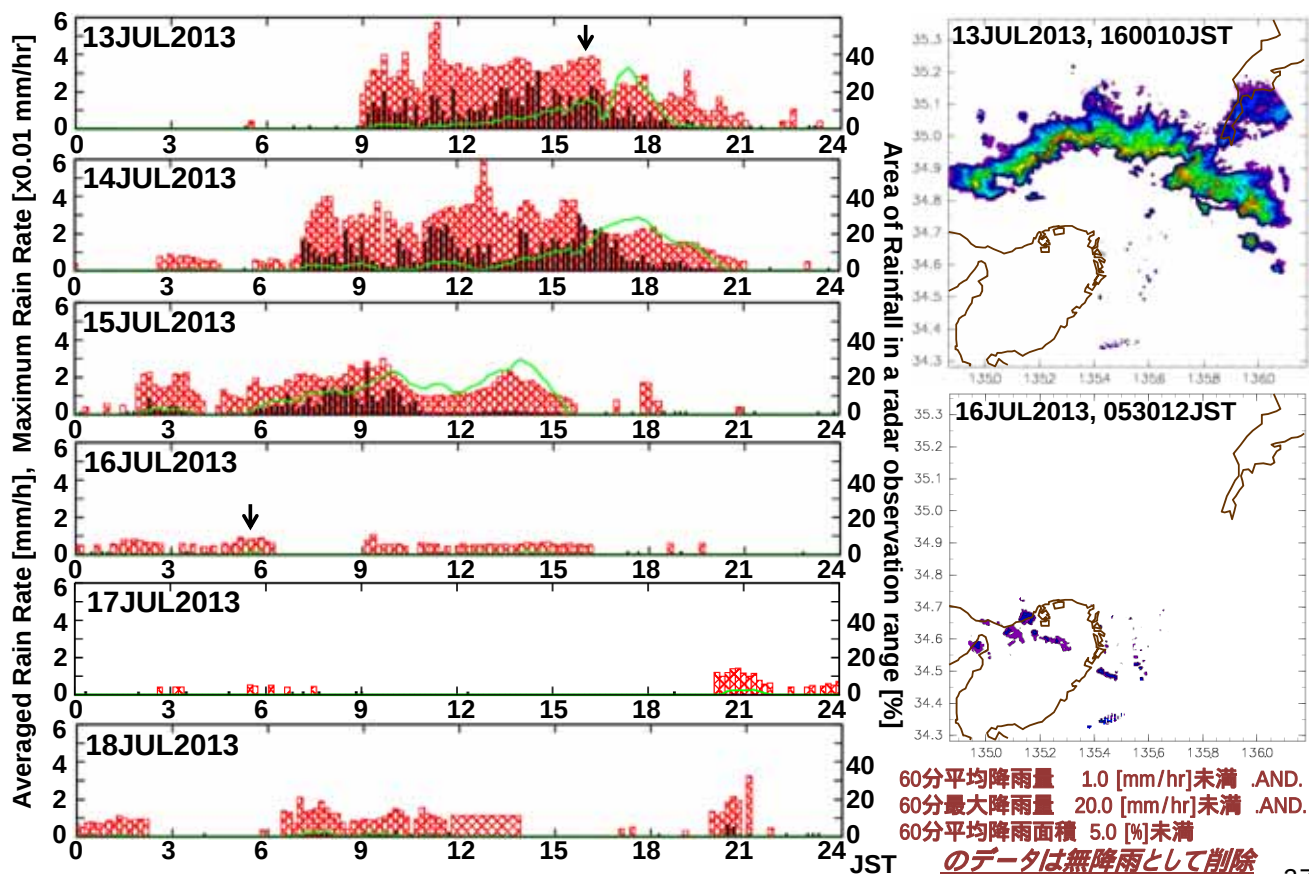


25

NICT QL画像のグーグルマップス表示



26



突発的局所的気象災害の早期検出と予測のためには、

降雨発生前の環境場・降雨域周辺の観測データ
風速場、水蒸気、エアロゾル

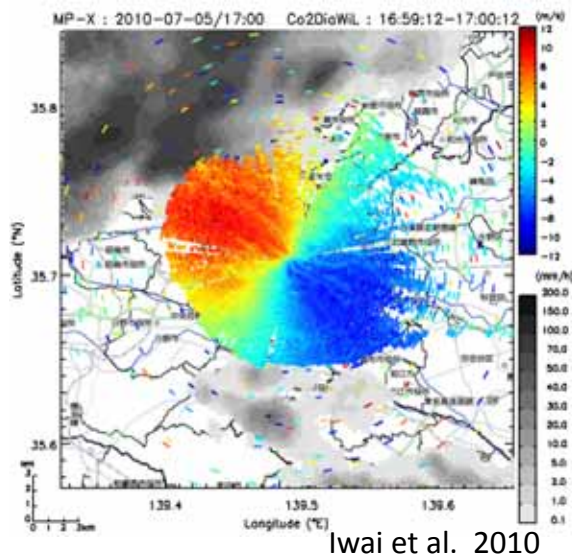
高時間・空間分解能のネットワーク降雨観測
降雨減衰補正、デュアルドップラー観測



レーダ・ドップラーライダー等の融合観測
によるゲリラ豪雨の前兆現象の検知

PANDA: Phased Array weather radar and Doppler Lidar Network fusion Data system

@NICT未来ICT研究所
(神戸市西区岩岡町)
@NICT沖縄電磁波技術
センター(恩納村)



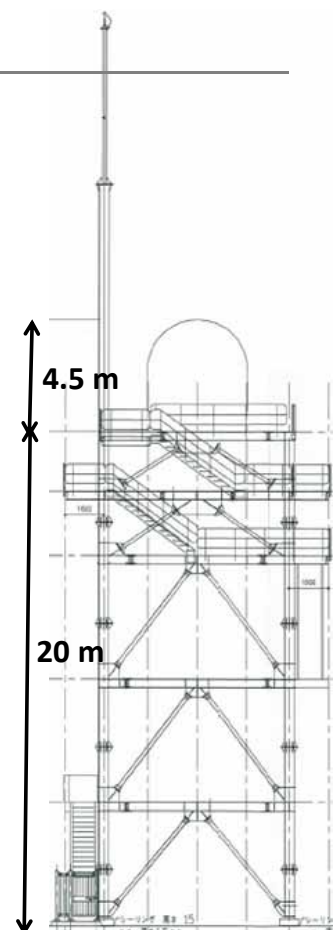
ドップラーライダー: 降水発生前の場、および
周辺の非降水域の風速場が観測が可能



29

Okinawa

Kobe



30



ドップラーライダー



マイクロ波放射計



スカイラジオメータ



超音波風速計
温湿度計



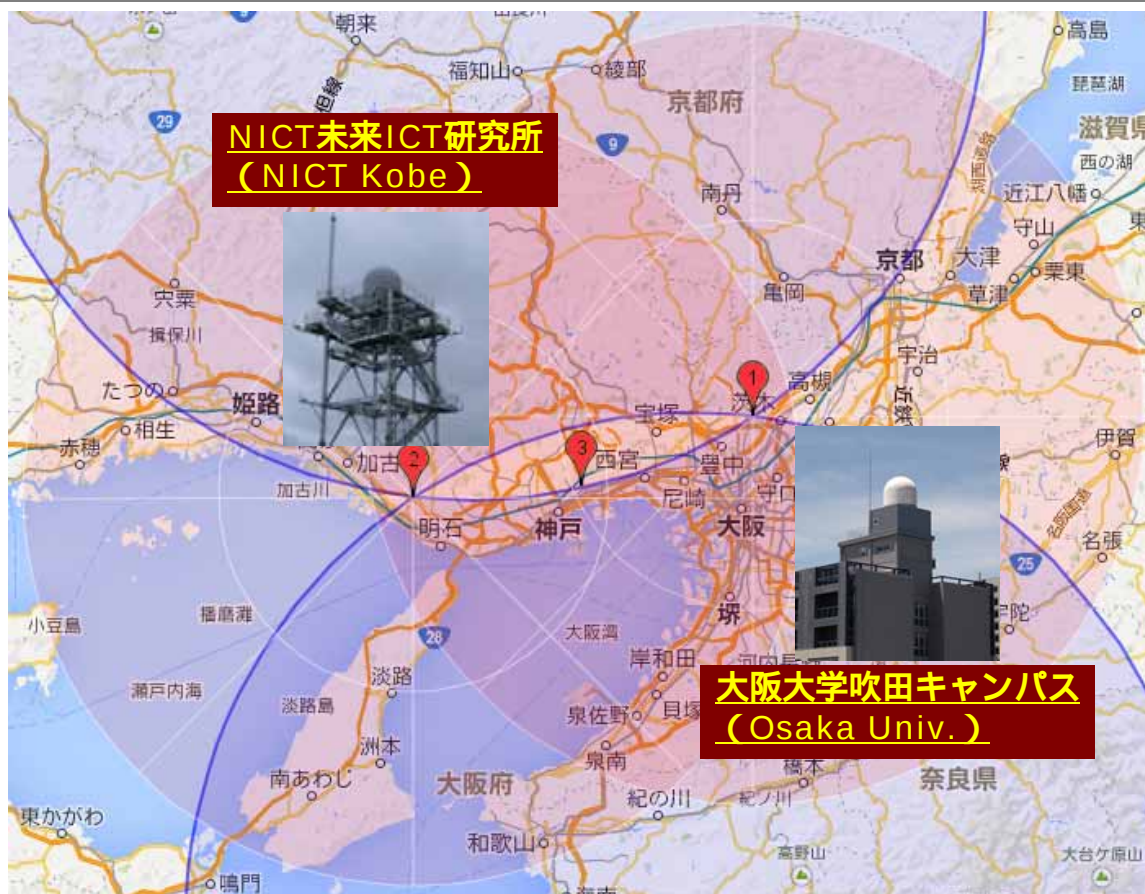
雲監視カメラ



全天カメラ



← 遠隔監視、融合データシステム
(4K-REGZA, 432TB-RAID)
@ NICT 小金井本部





フェーズドアレイ気象レーダの応用分野



- フェーズドアレイ気象レーダによる高速3次元観測でゲリラ豪雨のタマゴを10分前に探知。
- 宇治豪雨(2012年8月14日)、京都大雨(2013年7月13日)の降雨強度3次元可視化アニメーションを紹介。災害の予測・軽減につながる3次元データの利用方法は今後の検討課題。
- 30秒毎観測のQL画像をリアルタイムで作成してWebで公開中。観測終了後1分以内に公開。
- 過去データの利用を容易にするために、降雨サマリーや日毎QL画像一覧表示を作成。マウスクリックで任意の時間を選択し、グーグルマップスによる拡大表示や連続表示(30秒 / 5分)を実現。

- 突発的・局所的気象災害の早期検出と予測のためには降雨発生前 / 降雨周辺部の風速場や水蒸気場などの環境場情報が重要 気象レーダ・ドップラーライダー融合システム(PANDA)を開発@神戸・沖縄
- 2台のフェーズドアレイレーダによるデュアルドップラー観測や降雨減衰補正は 災害対策現場に有用な情報を提供できると期待される。 <PANDA神戸>
- 台風や竜巻などの顕著現象が多発する沖縄では、Cバンド偏波気象レーダ(COBRA)との同時観測により新しい発見的研究が期待される。 <PANDA沖縄>
- PANDAは5月末までに本格的な観測運用を開始し、<http://panda.nict.go.jp/> で早期公開を目指す。(阪大PAWRデータは <http://pawr.nict.go.jp/> で公開中)