

フェーズドアレイ気象レーダ で捉えた豪雨の3次元構造

佐藤晋介 (情報通信研究機構)、

兵庫ニューメディア推進協議会 調査研究

自治体と広域メディア等が協業した住民への情報発信の仕組みづくり

2014年12月18日 @ 読売テレビ放送株式会社8階会議室

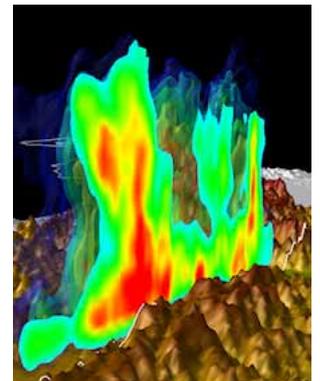
目次

1. はじめに

- フェーズドアレイ気象レーダの開発
- 従来型レーダとの比較

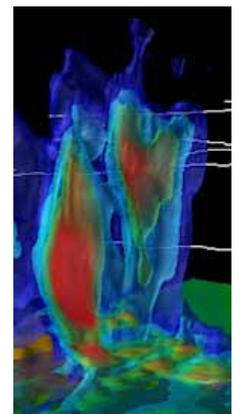
2. ゲリラ豪雨の3次元構造

- 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
- 2013年7月13日の梅雨前線による京都大雨
- 2014年8月17日の丹波市豪雨



4. 突発的豪雨の早期観測を目指した 新しい観測システム (PANDA)

- 2台のフェーズドアレイ気象レーダによる同時観測

5. 観測データのリアルタイム処理・公開

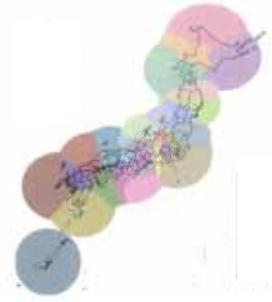
- 近年、局地的大雨(ゲリラ豪雨)や竜巻による突発的・局所的気象災害が社会問題となっている。
- 都市域ではXバンドMPレーダが整備され地上付近の降雨分布を1分間隔で観測。
- 大雨の前兆現象や発達過程の調査研究、直前予測には3次元観測が重要であるが、従来のパラボラアンテナによるレーダでは、3次元観測に5分以上の時間を要する。



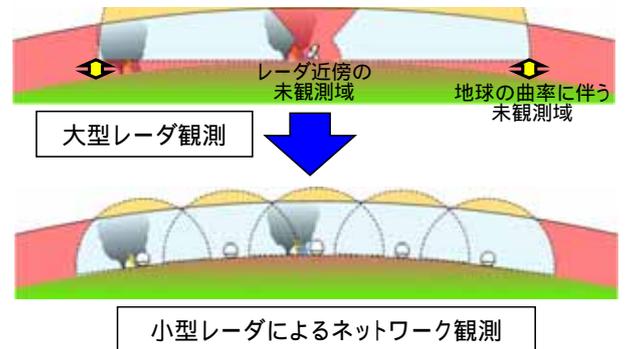
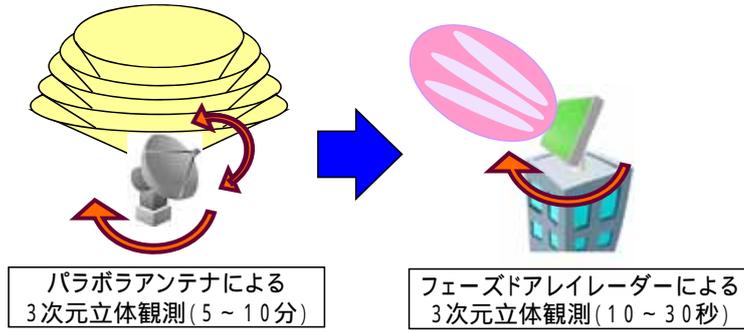
都賀川の鉄砲水(2008/7/28)



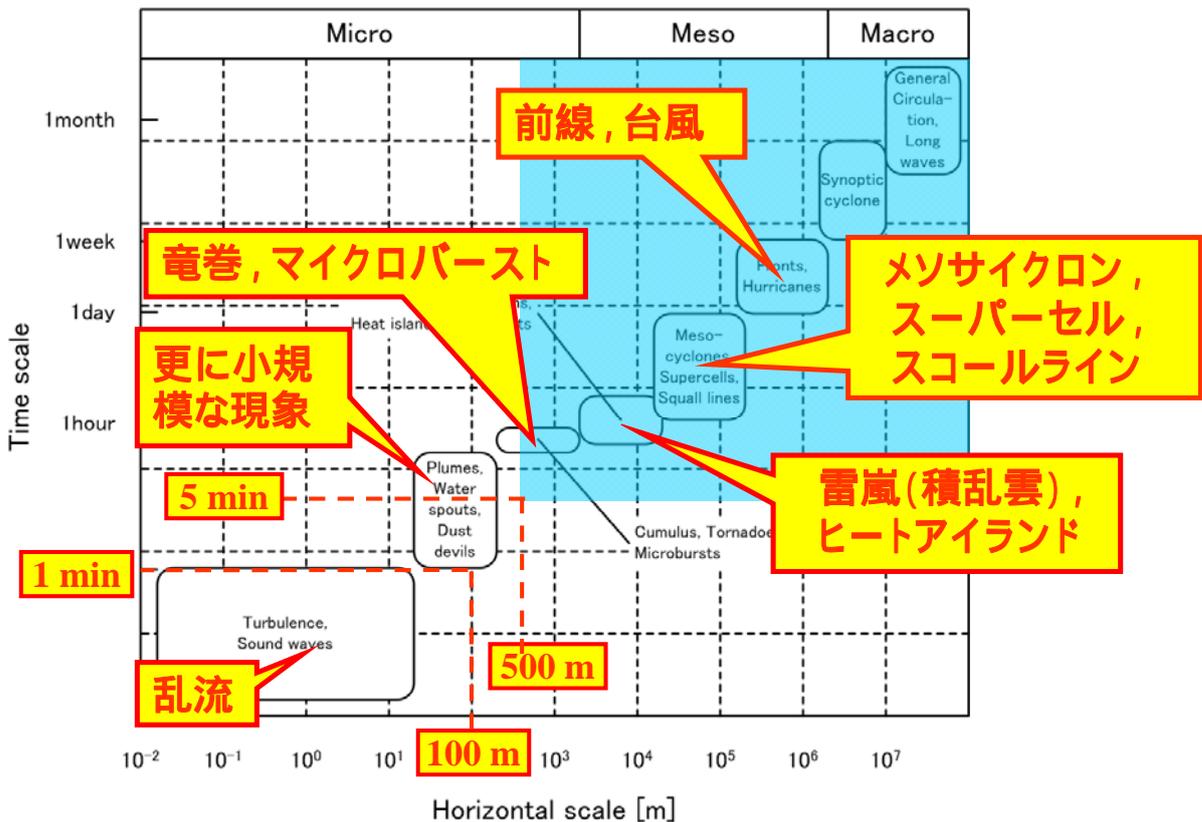
つくば市竜巻(2012/5/6)



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).



気象における時間・空間スケール



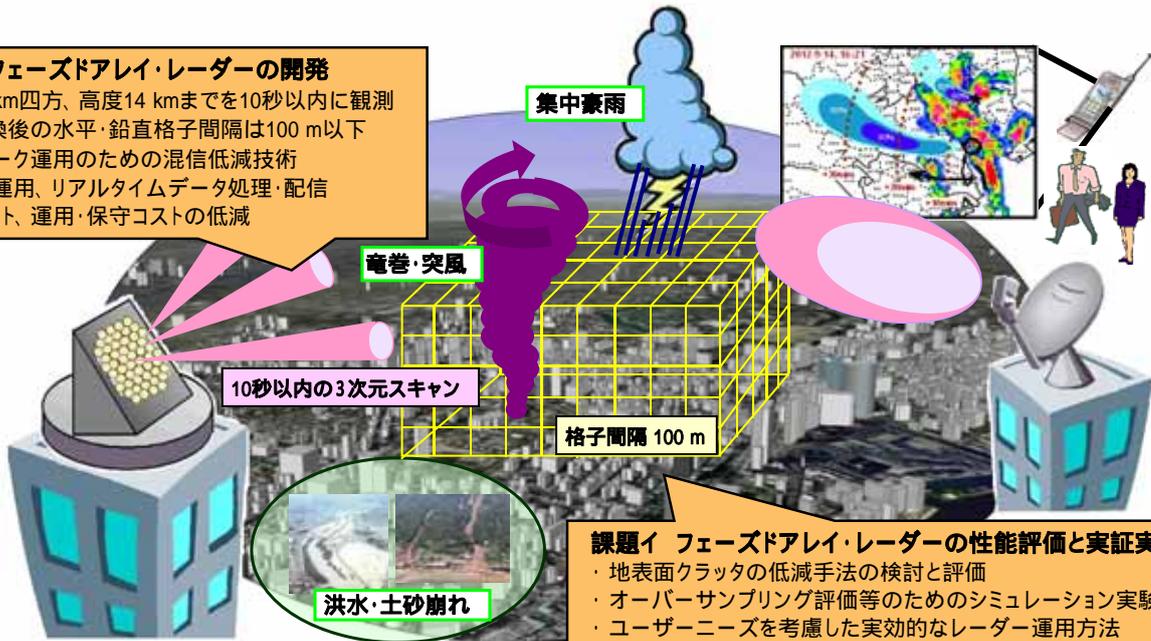
「次世代ドップラーレーダ技術の研究開発」

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。

課題ア 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



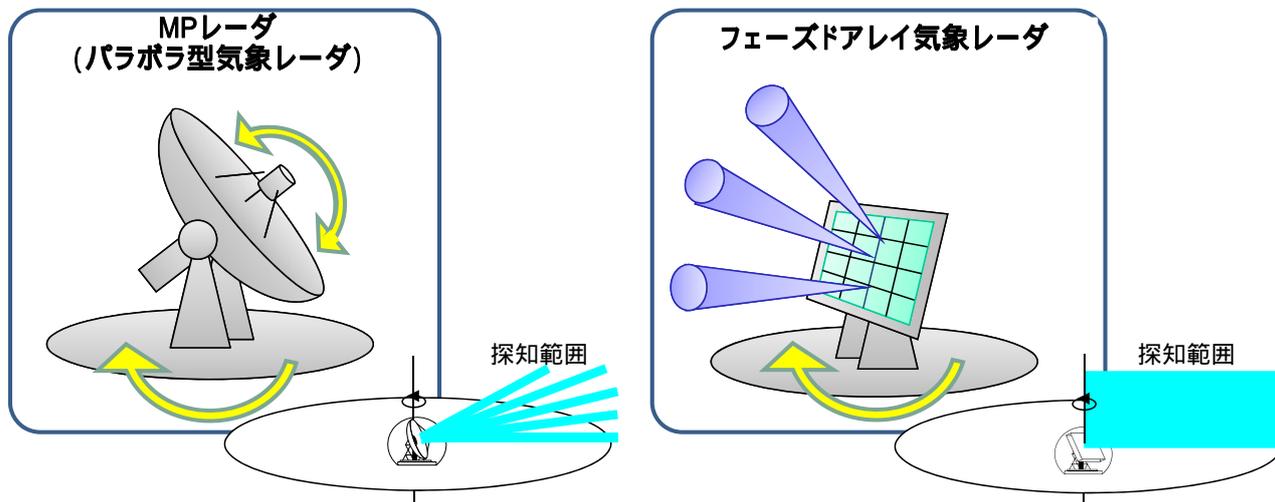
課題イ フェーズドアレイ・レーダーの性能評価と実証実験

- ・ 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

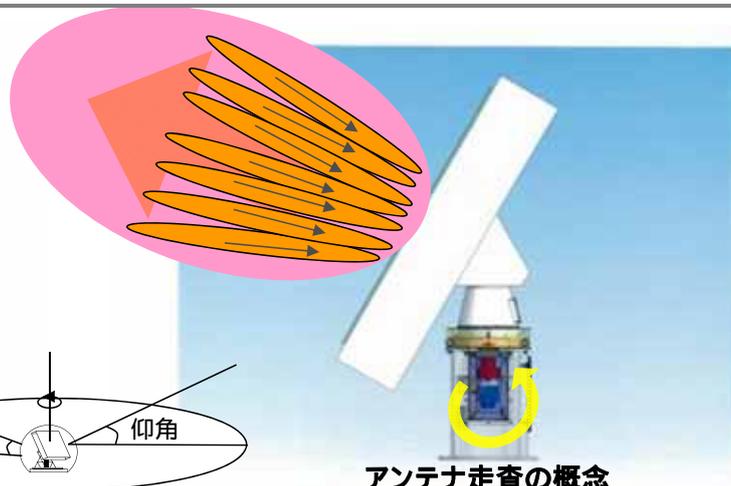
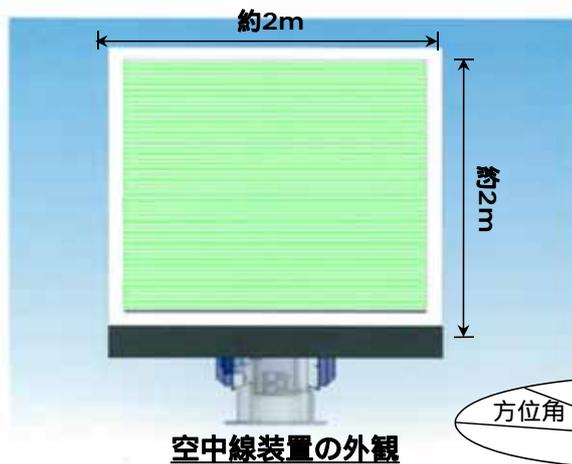
2008 (H20)	2009 (H21)	2010 (H22)	2011 (H23)	2012 (H24)
<ul style="list-style-type: none"> ・ 概念設計(システム検討) ・ 素子部分試作 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 予備設計(主に空中線部) ・ 送受信モジュール試作 ・ 性能評価シミュレーション 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基本設計(主に信号処理部) ・ 空中線部の製作 ・ クラッタ除去技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実証実験・評価 ・ データ解析処理部の開発

MPLレーダとフェーズドアレイレーダの比較



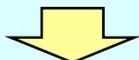
MPLレーダ (パラボラ型気象レーダ)		フェーズドアレイ気象レーダ
仰角 : 機械走査 方位角: 機械走査	走査方法	仰角 : 電子走査 方位角: 機械走査
3次元スキャン(約15仰角) / 5分程度(地上は1分周期で観測)	観測空間 / 観測時間	3次元スキャン(約100仰角) / 10秒~30秒程度
60 km	観測範囲	60 km
反射強度(降雨強度)、 ドップラー速度、速度幅、 偏波パラメータ (Zdr, Kdp, hv など)	観測パラメータ	反射強度(降雨強度)、 ドップラー速度、速度幅

1次元フェーズドアレイとDBFの概念



<コストパフォーマンスの実現>

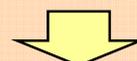
- ・一般的にはフェーズドアレイは高価
- ・1次元アレイ(仰角の電子走査)とDBF(Digital Beam Forming)の組み合わせにより、10~30秒の3次元観測を実現



- ・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か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。

7

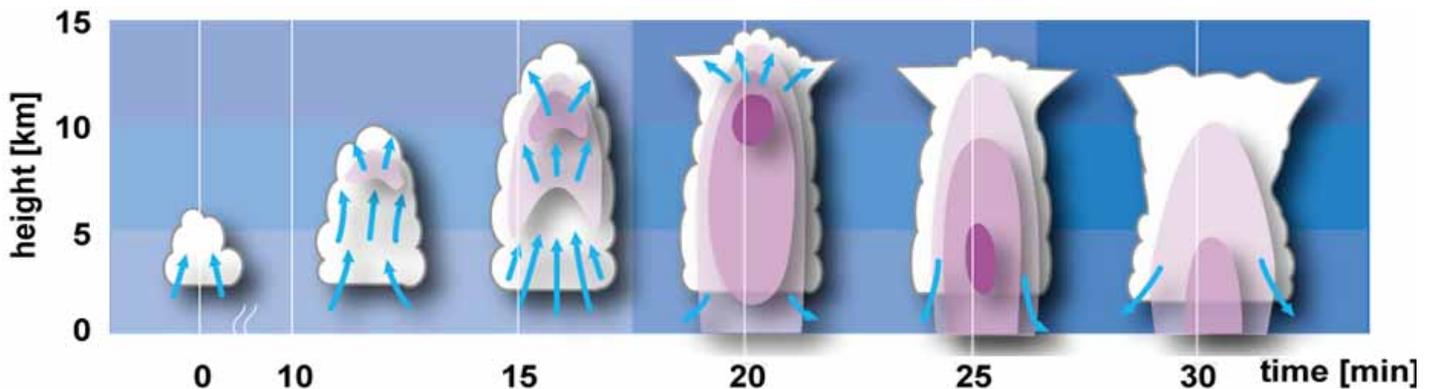
大阪大学に設置されたフェーズドアレイレーダ



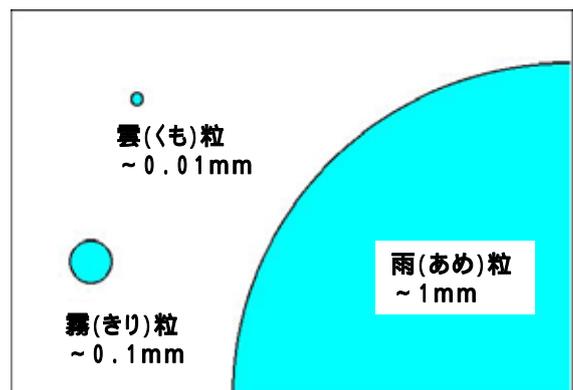
8

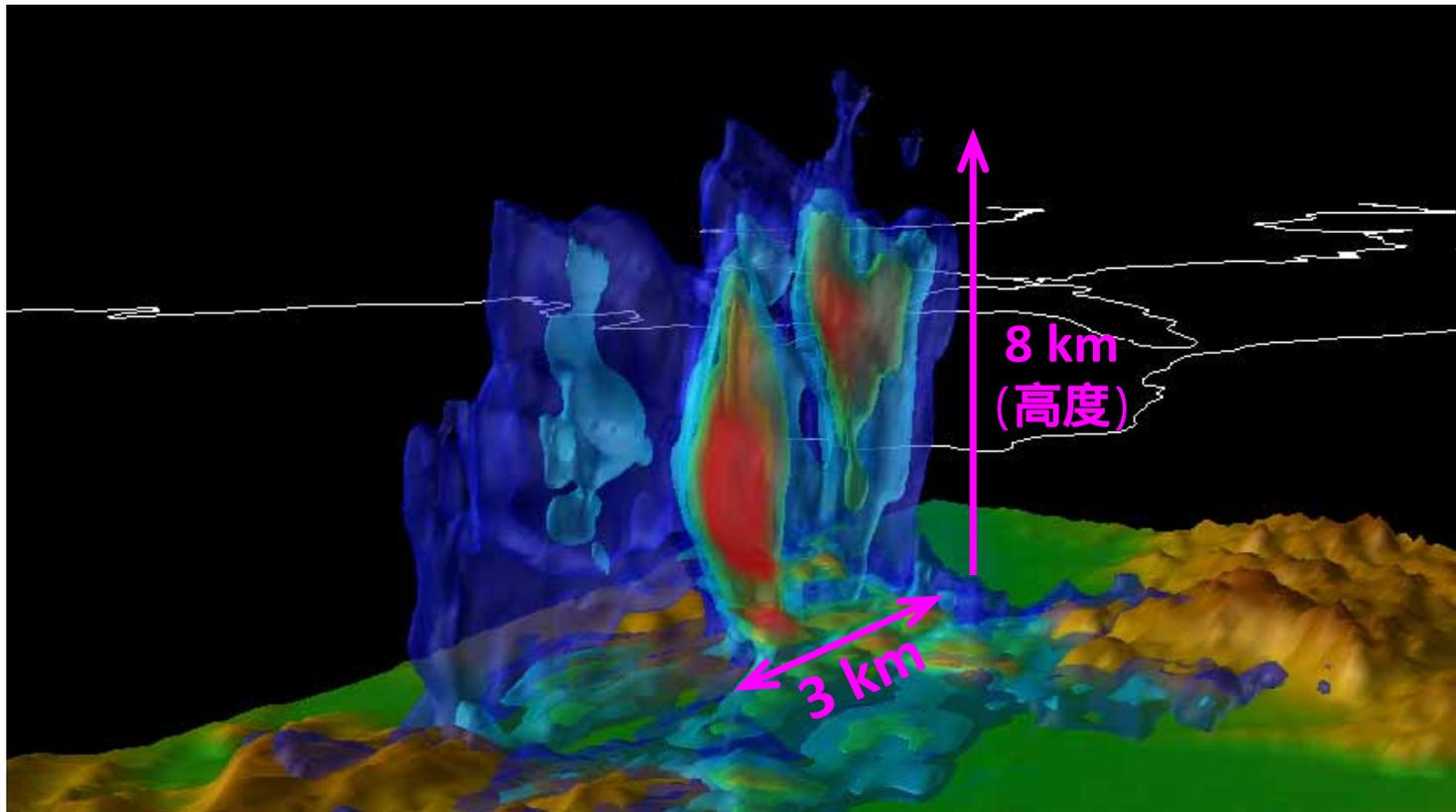


「積乱雲の発達」と「雨の成長」

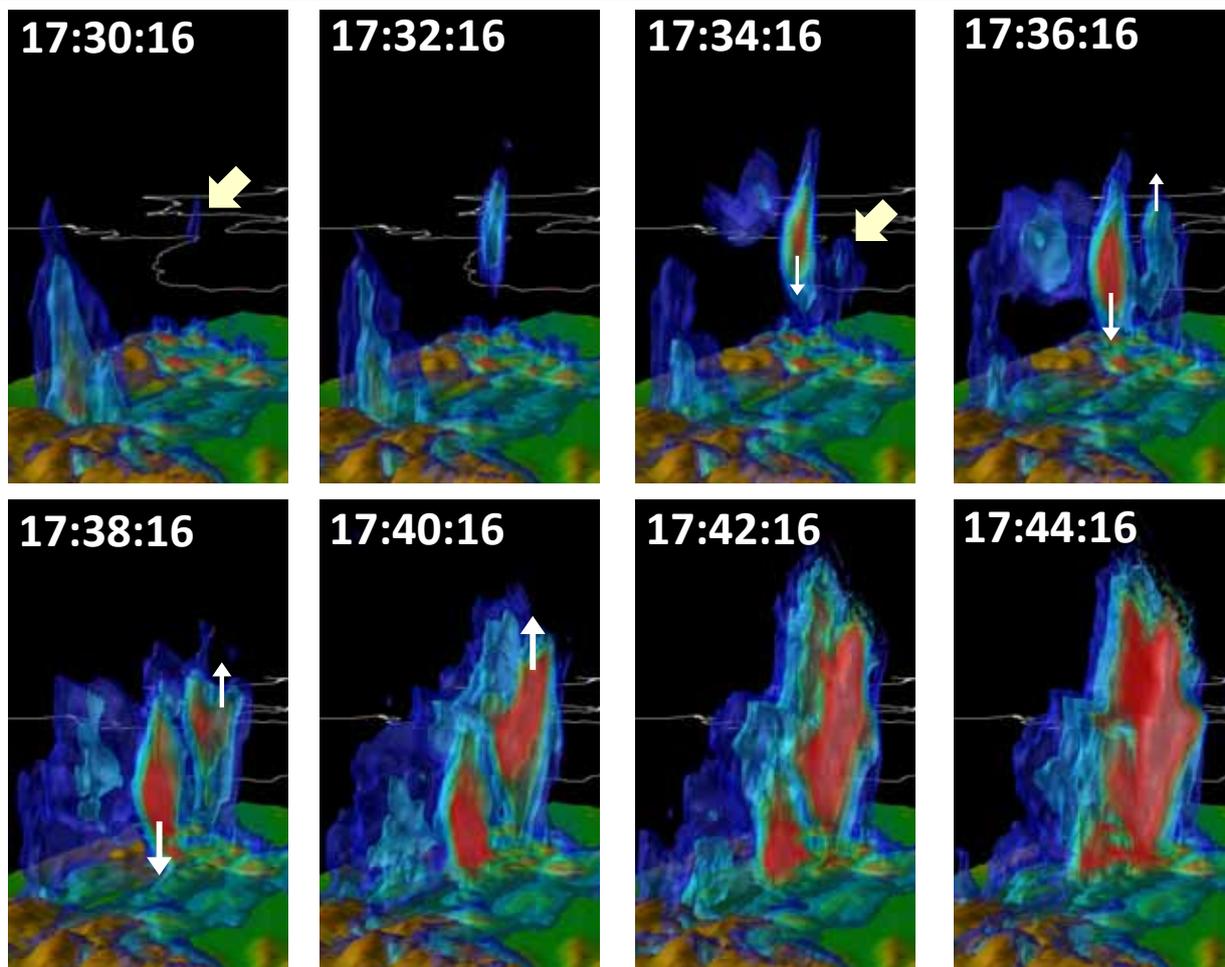


- 雲粒が成長して雨となり地上に降ってくる
- 0 (~ 5 km程度)より上空では雪やあられ
- 一つの積乱雲の一生は30分程度
- 成長した雨粒がレーダで観測される
- 雨滴は10分間で4 ~ 5 km落下



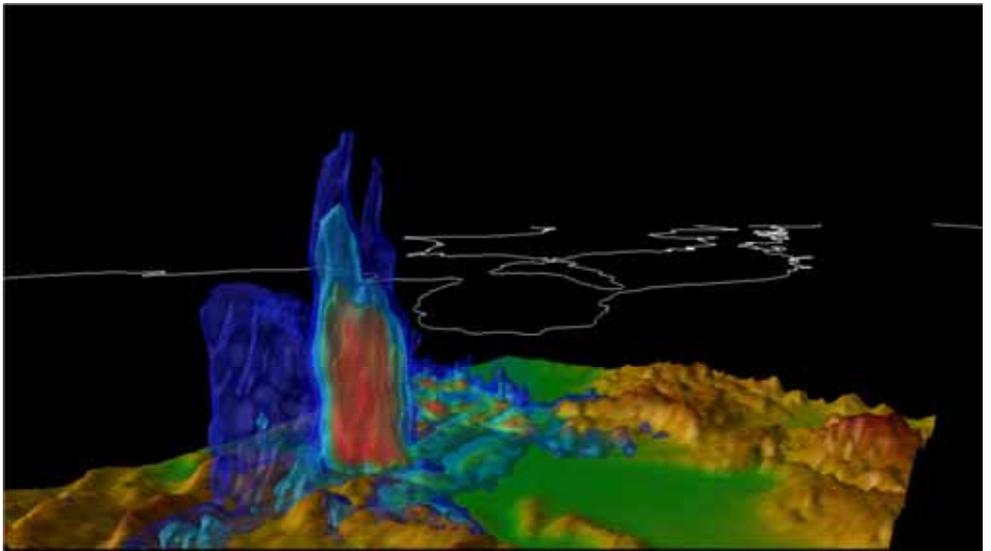


2012年07月26日,17:38:16の3次元降水分布. けいはんな(精華町)付近の降雨の3次元構造を北東方向から眺める(格子間隔 100m). 17:20:16 ~ 18:10:46の動画(30秒間隔 / 5分間隔).

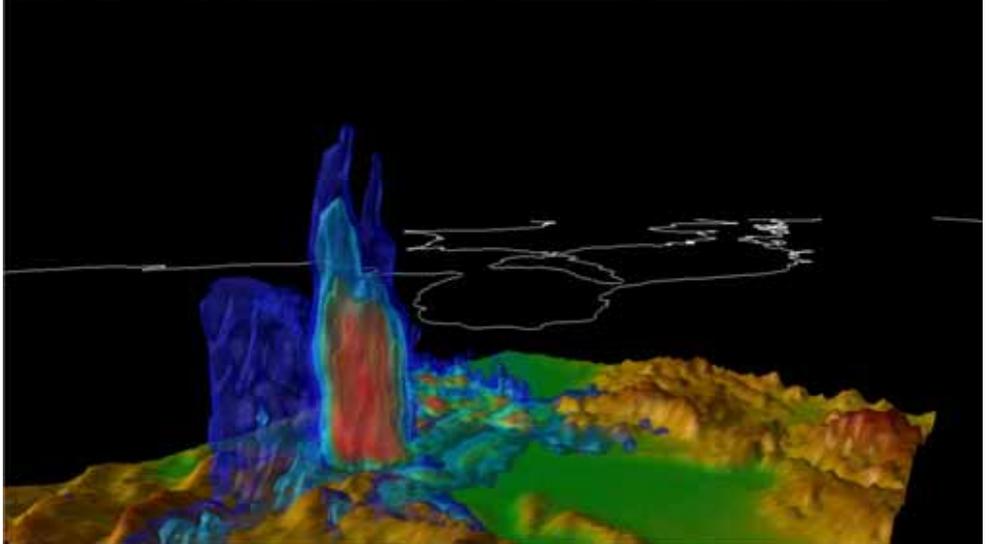


2012年07月26日
17:20:16 ~ 18:10:46

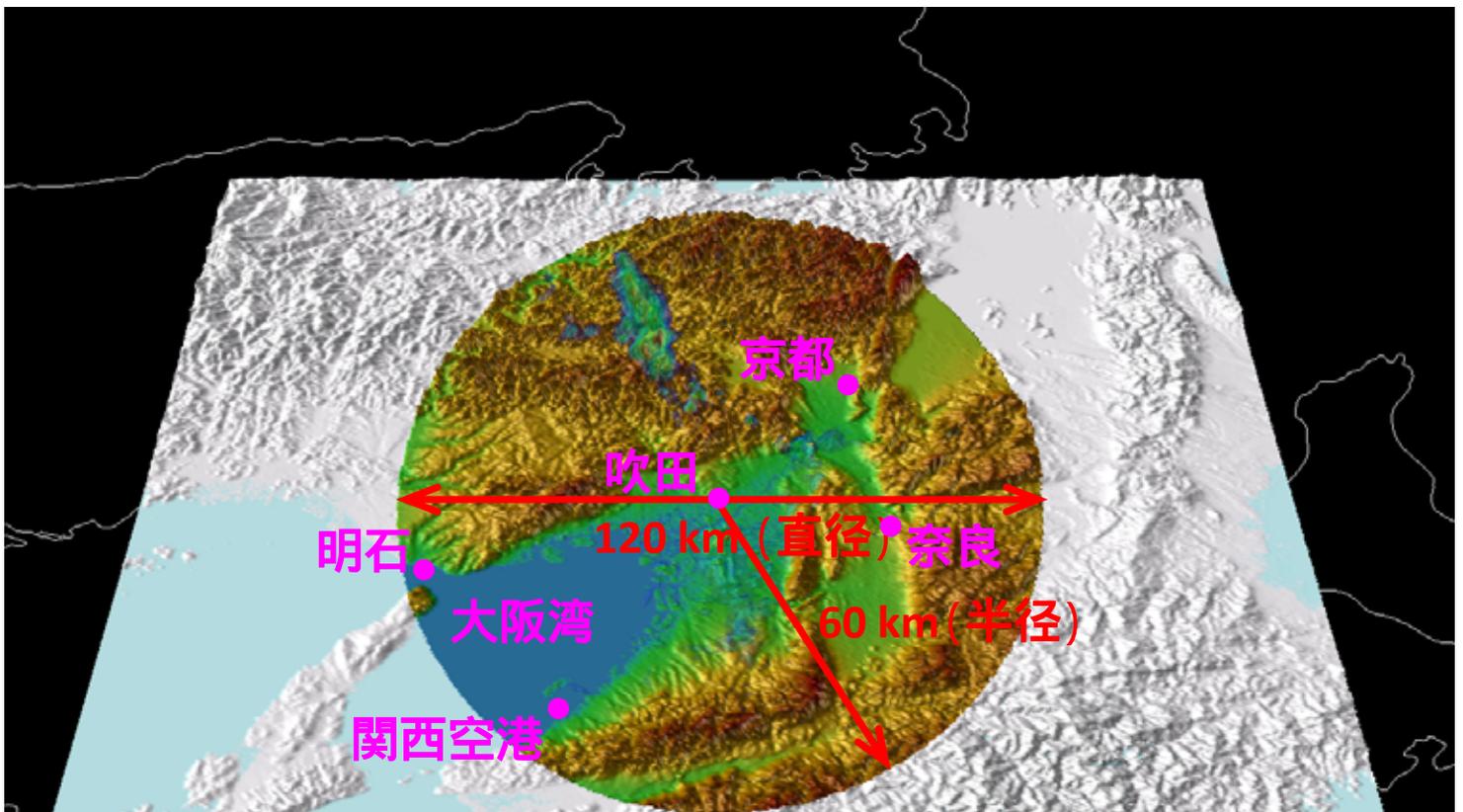
5分毎
(従来レーダを模擬)



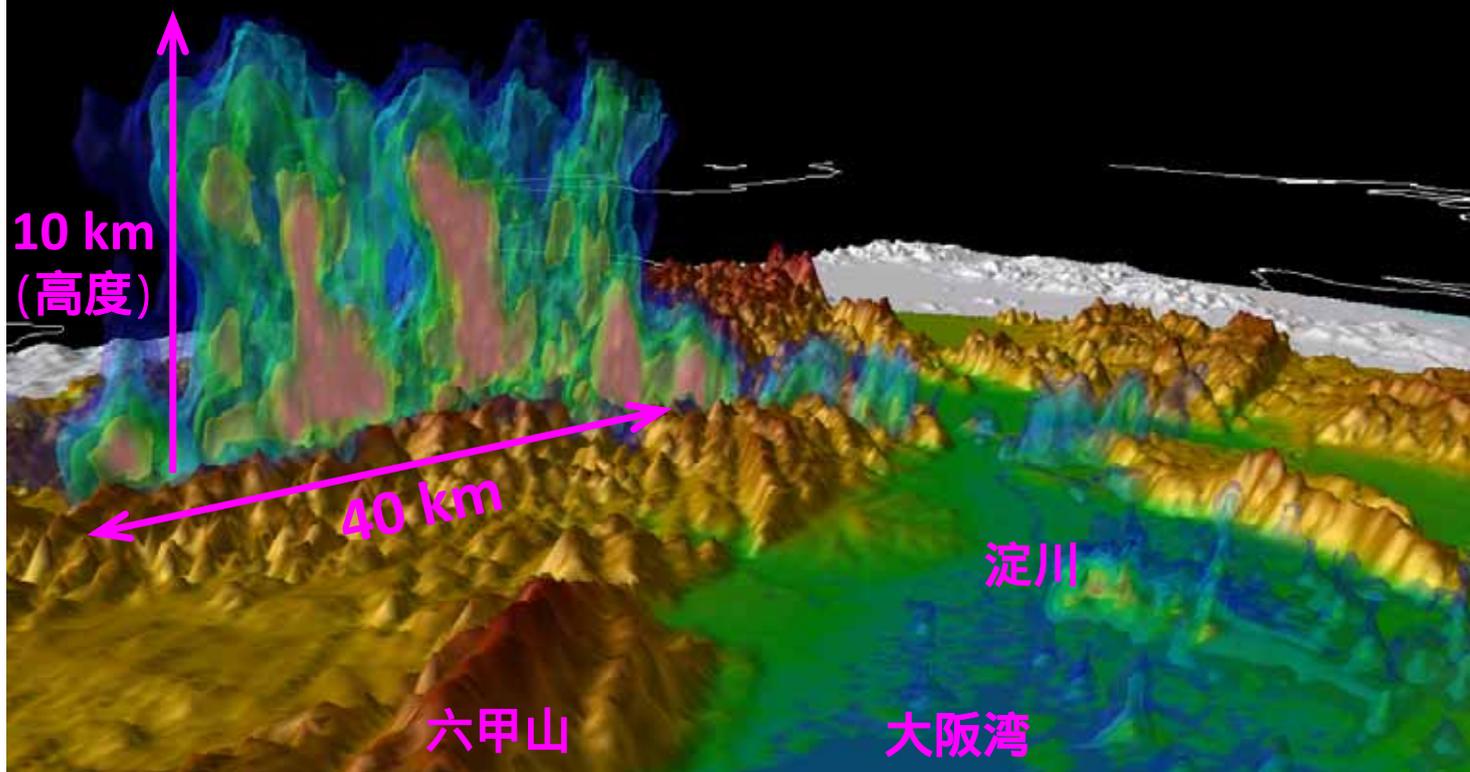
30秒毎



京都府京田辺市の局地的大雨
の3次元構造を北東方向から
眺める (格子間隔 100m) .



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) .



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72.5mm)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).

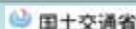
10フレーム/秒 → 300倍速 15



宇治豪雨 (2012年8月13日 ~ 14日)

【京都府宇治市 志津川地区】

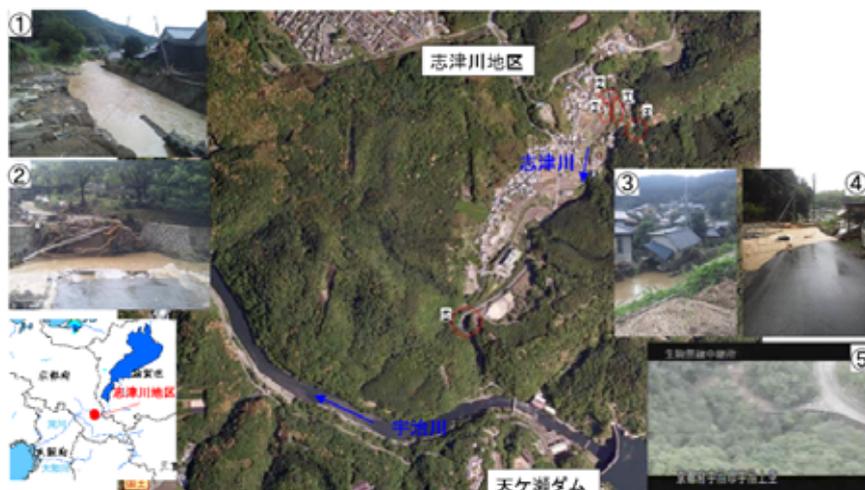
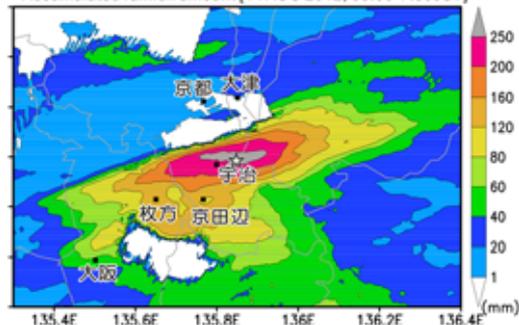
- ・京都府が管理する宇治川の支川志津川で土砂崩れ、家屋流出等を確認。
- ・住宅が流されたことにより2名行方不明との情報。
- ・整備局職員による現地調査を実施し、ヘリ調査と合わせて調査結果を京都府に提供。

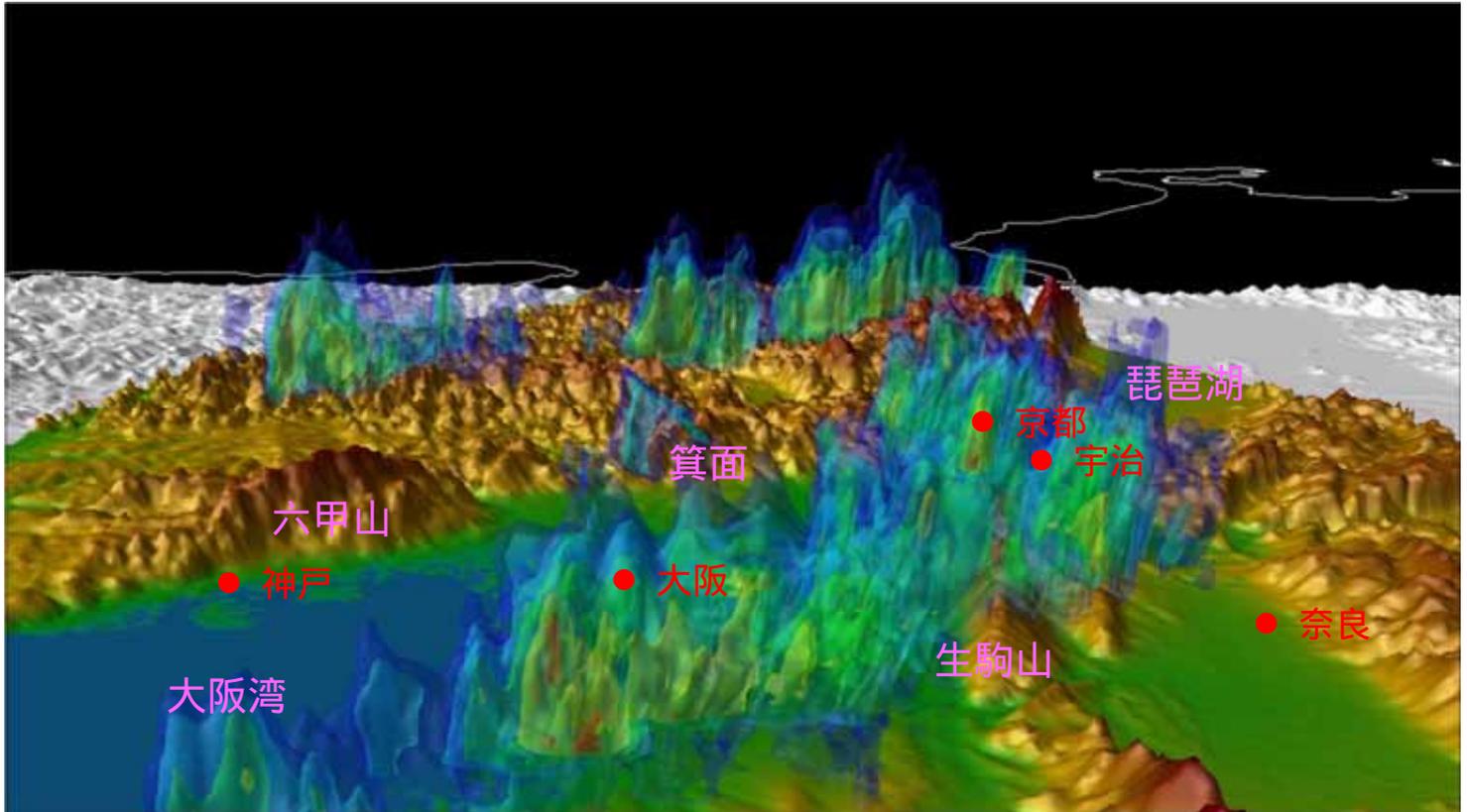


独立行政法人 防災科学技術研究所
観測・予測研究領域
水・土砂防災研究ユニット

2012年8月14日0時から8時の積算雨量

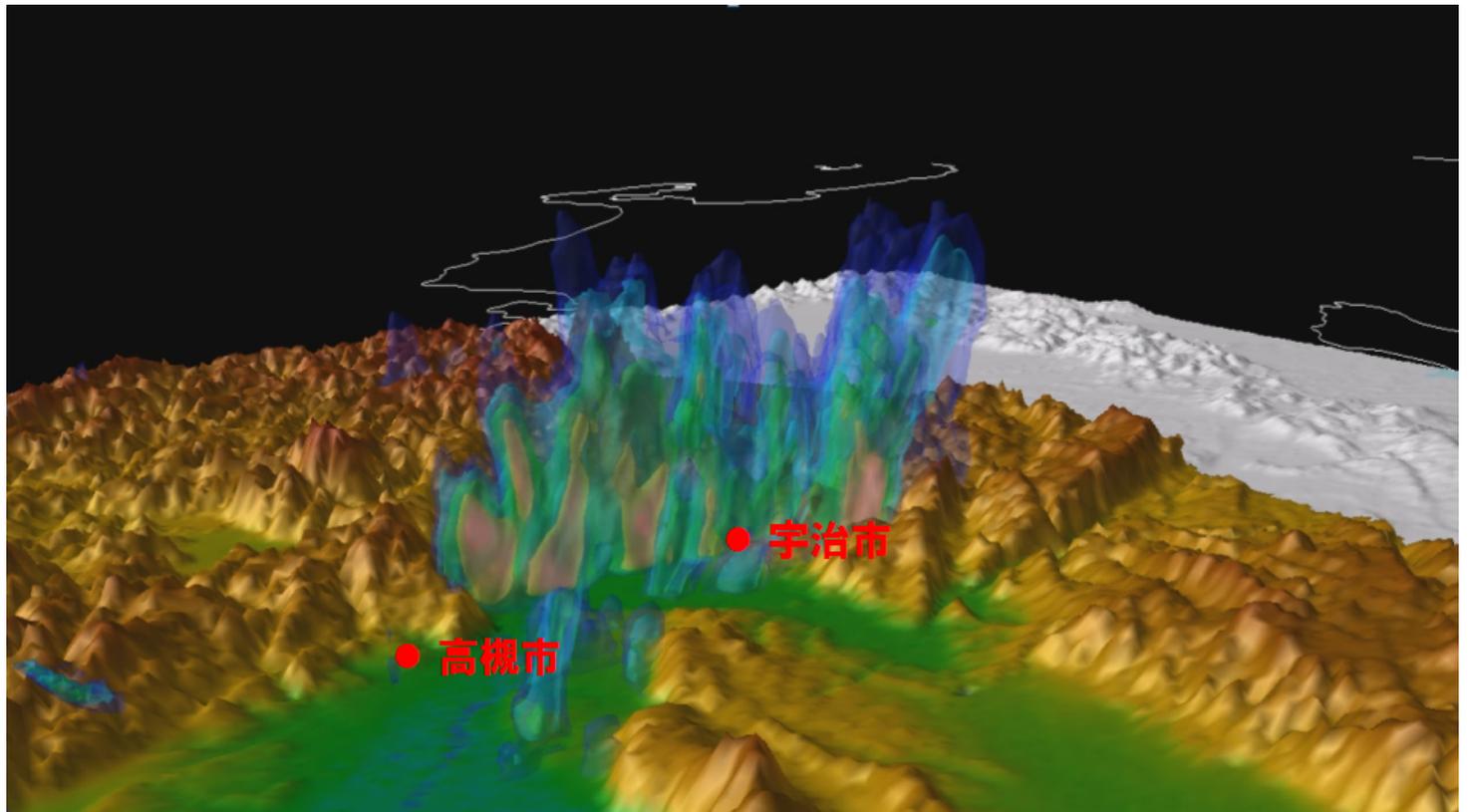
Accumulated rainfall amount [14 AUG 2012, 00:00-7:59JST]





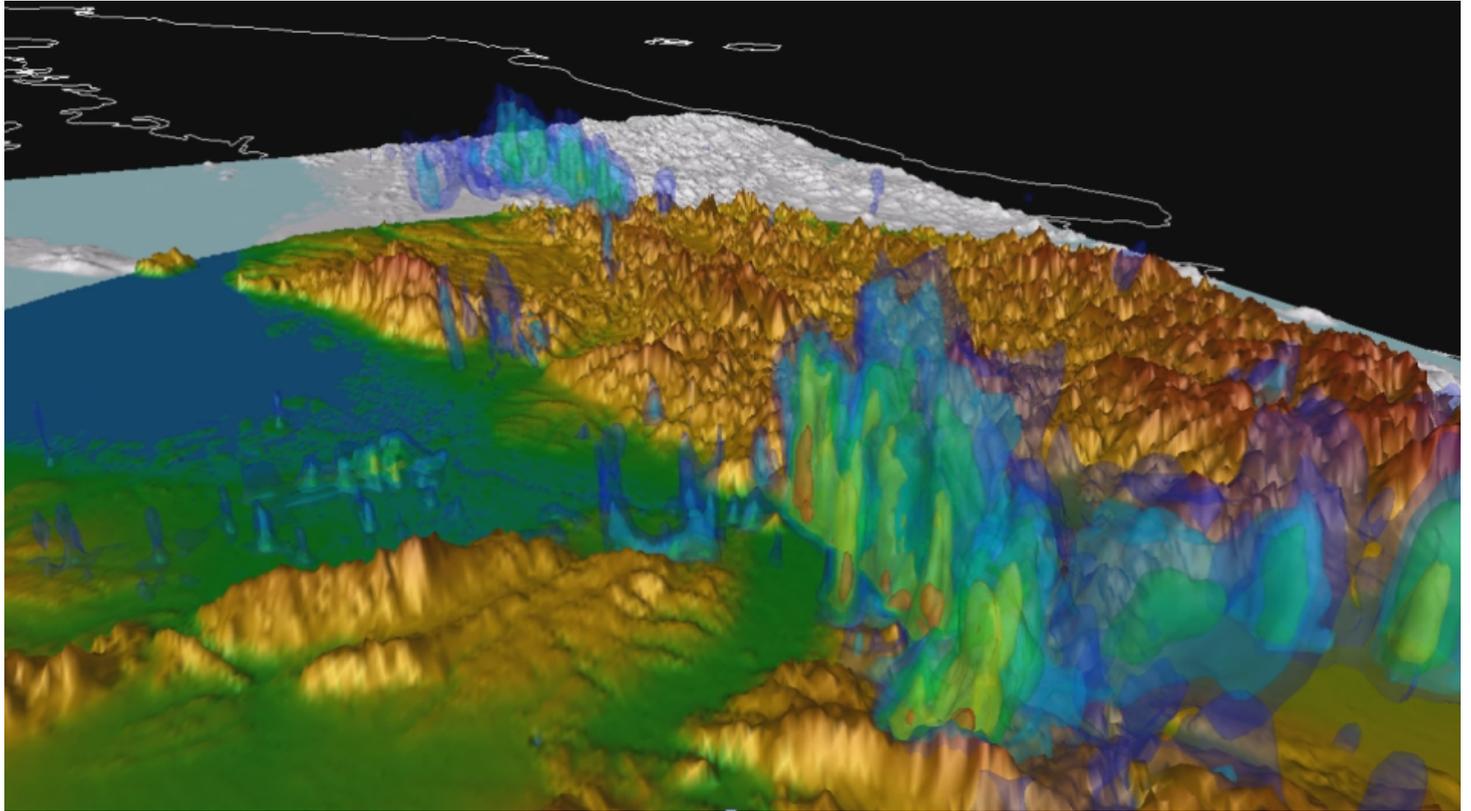
2012年08月13日夜8時から翌日朝8時までの12時間の3次元降雨分布を大阪の南上空から眺める(観測範囲半径60km, 格子間隔 250m).
地形(SRTM-DEM)は高さ方向に約2倍拡大.

20fps → 600倍速 17



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 18



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

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。

京都府によると、城陽市で1時間の雨量が68ミに達した。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られ上下25本が運休した。

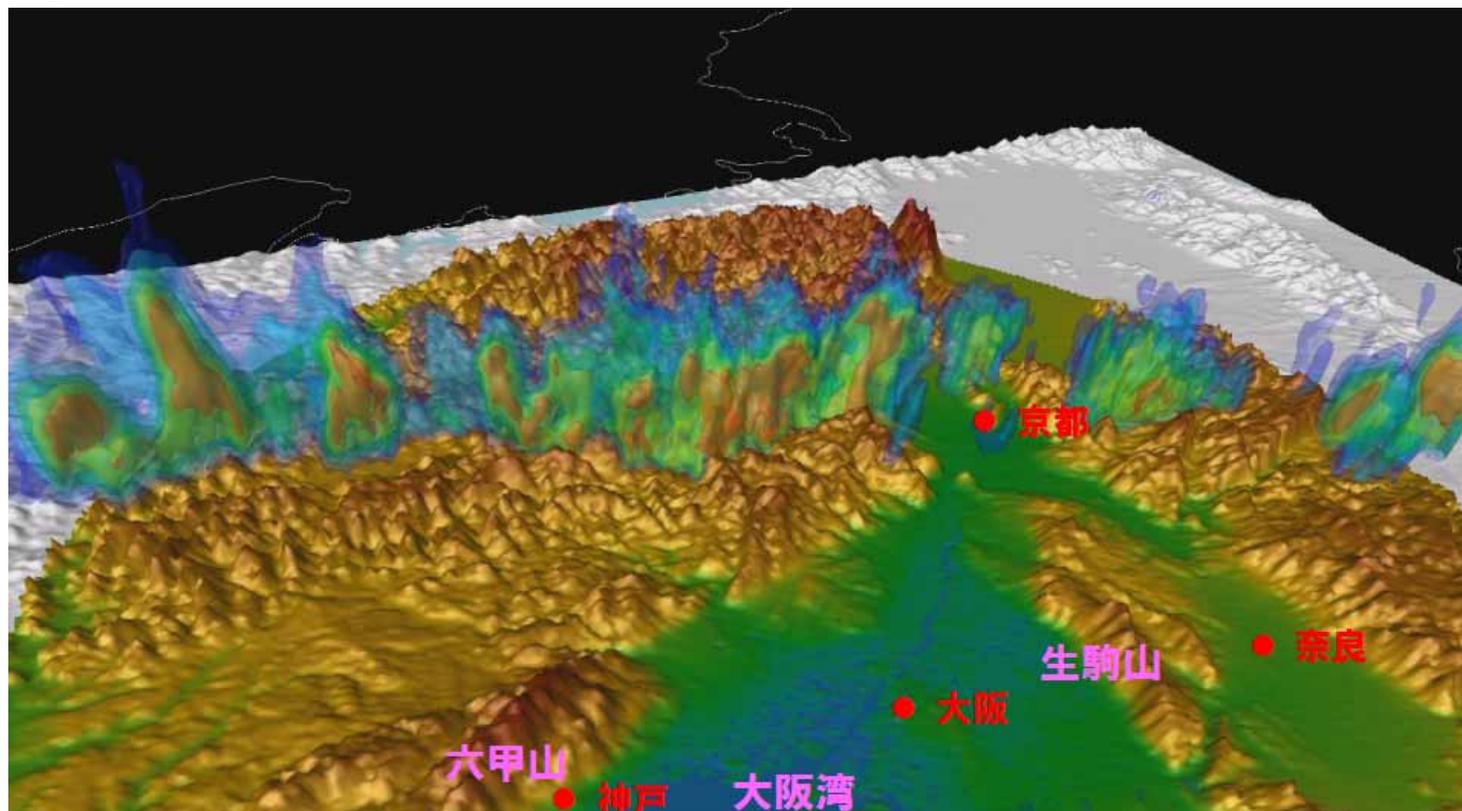
京都で大雨 5800軒が停電

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

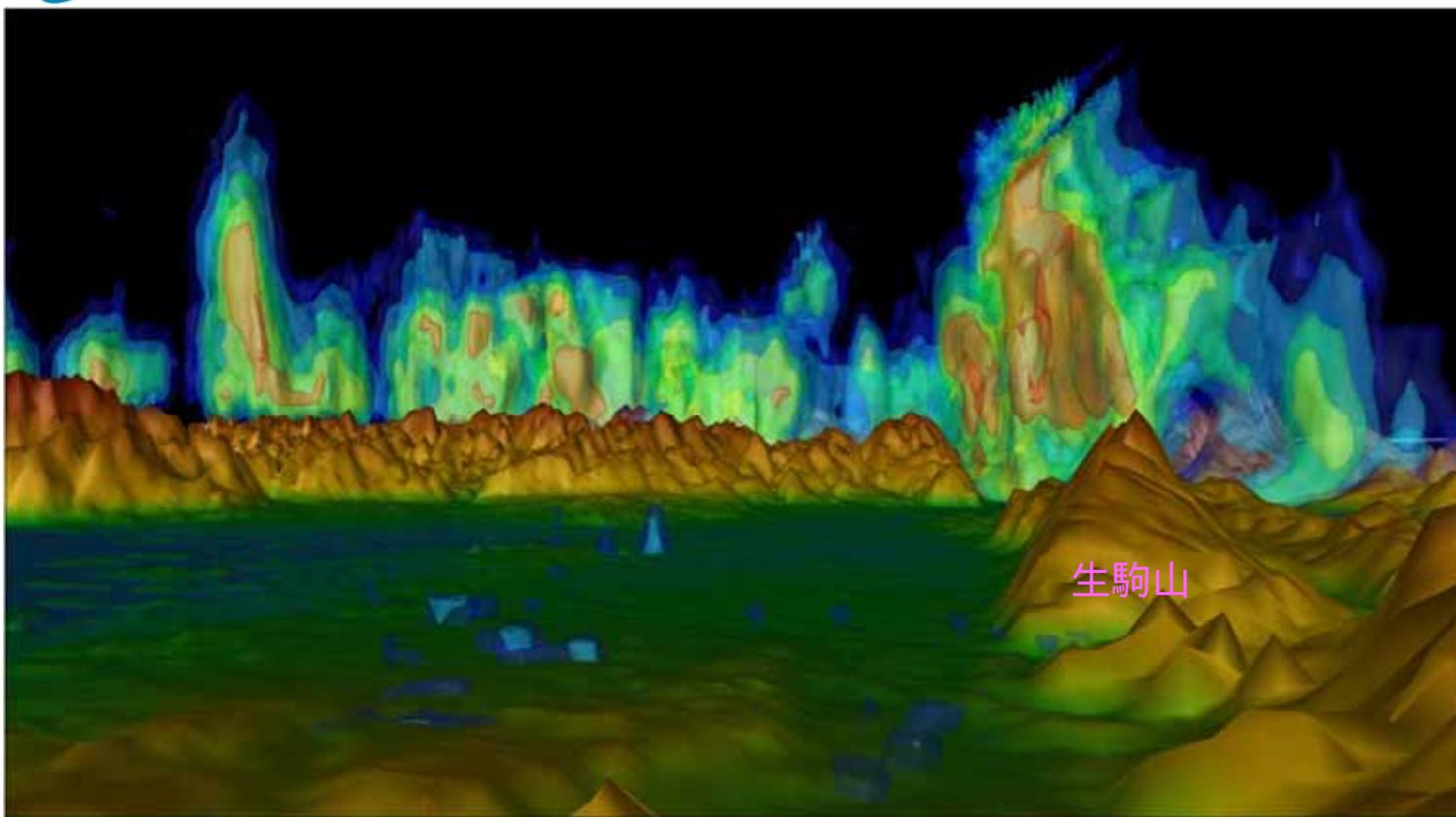
人的被害	なし		
住家被害	床上浸水	宇治市	1軒
	床下浸水	宇治市	4軒
		城陽市	18軒

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 21



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 22

気象庁発表「前線による大雨 平成26年8月15日～8月20日(速報)」より抜粋

8月15日から20日にかけて、本州付近に停滞した前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込んだ影響で西日本の広い範囲で大気の状態が非常に不安定となり局地的に雷を伴って非常に激しい雨が降った。15日から18日までに観測された**最大48時間降水量**が、**京都府福知山市福知山で341.0ミリ**、<中略>、**兵庫県丹波市柏原で278.5ミリ**となり、それぞれ**観測史上1位**の値を更新した。また、19日から20日にかけては、広島県広島市三入において最大1時間降水量が101.0ミリ、最大3時間降水量が217.5ミリ、最大24時間降水量が257.0ミリとなり、いずれも観測史上1位の値を更新した。

この大雨により、土砂災害、浸水害、河川の氾濫等が発生し、15日から18日にかけては石川県、京都府及び兵庫県で合わせて死者4名となった。19日から20日にかけては、広島県広島市で発生した土砂災害により、死者34名、行方不明31名の人的被害となった。また、京都府や兵庫県、岐阜県、広島県を中心に住家被害や農業被害が生じた。



丹波市市島町徳尾(17日5:26)

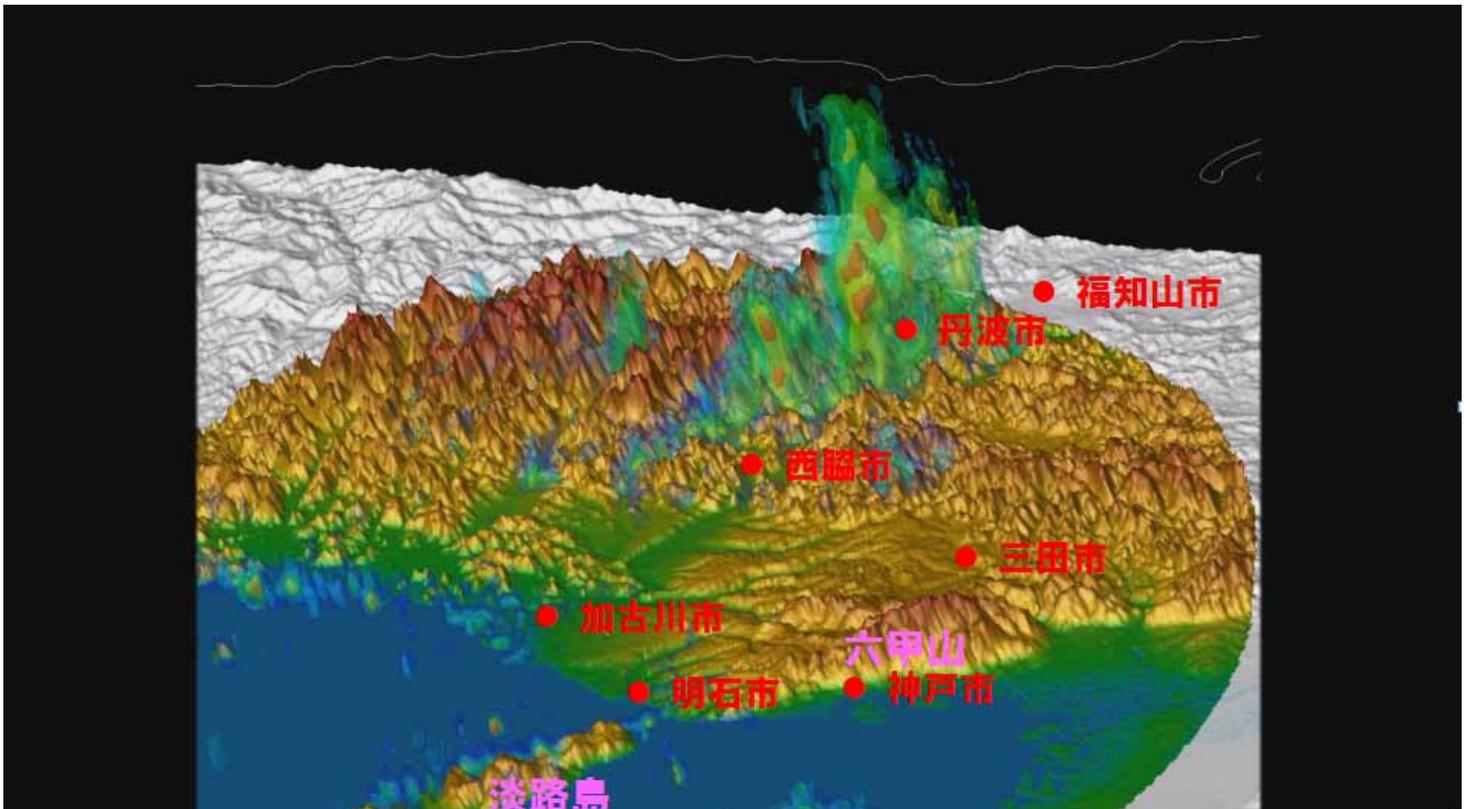


由良川の氾濫で福知山市内が冠水

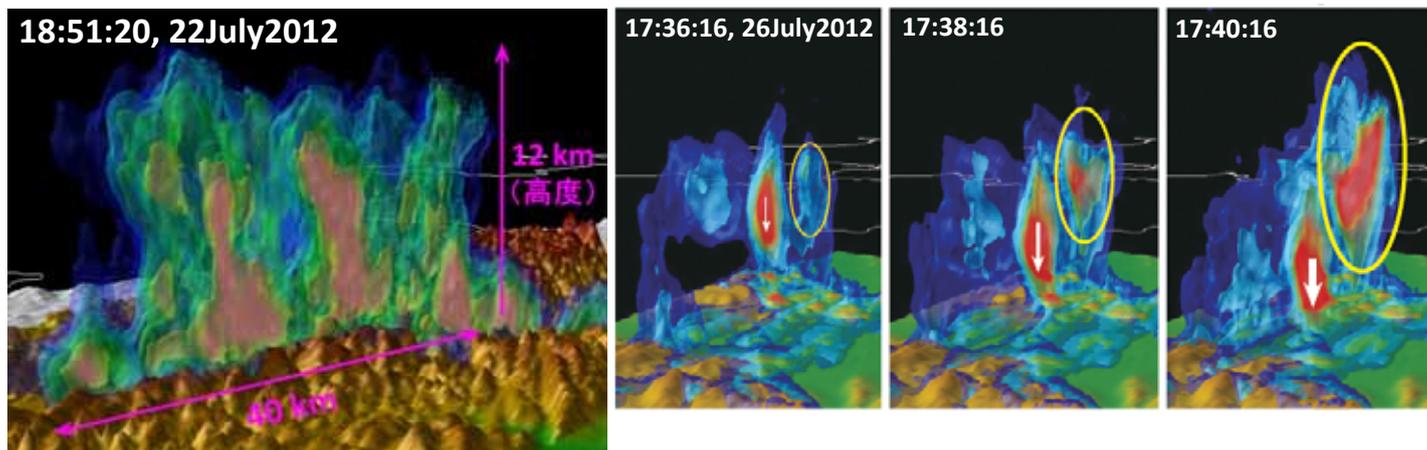


JR福知山線復旧作業(18日)

丹波市豪雨 (2014/8/16, 21:00 ~ 8/17, 05:00)



NICT未来ICT研究所(神戸市岩岡町)設置のフェーズドアレイ気象レーダで観測された2014年08月16日夜9時から翌日朝5時までの8時間の3次元降雨分布(観測範囲半径60km, 格子間隔250m) . 10fps → 300倍速 24



● 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、鉛直積算雨量(VIL)、降水コア識別とトラッキング

25

突発的豪雨の早期検知のための 新しい観測システム

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



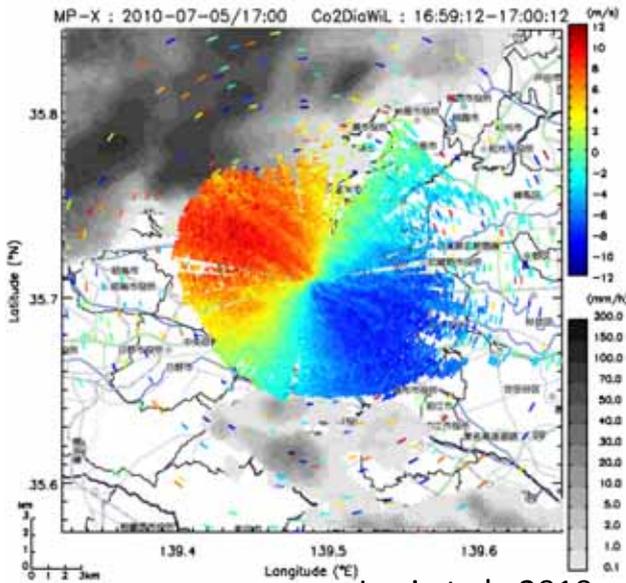
レーダ・ドップラーライダー等の融合観測
によるゲリラ豪雨の前兆現象の検知

26

フェーズドアレイ気象レーダ・ ドップラーライダー融合システム

**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)



Iwai et al. 2010

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



NICT神戸

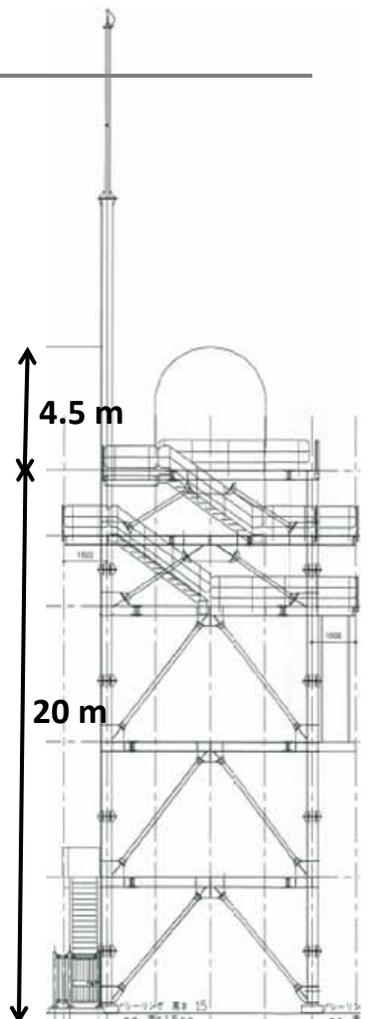


NICT沖縄

PANDA 鉄塔・レドーム

Okinawa

Kobe





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



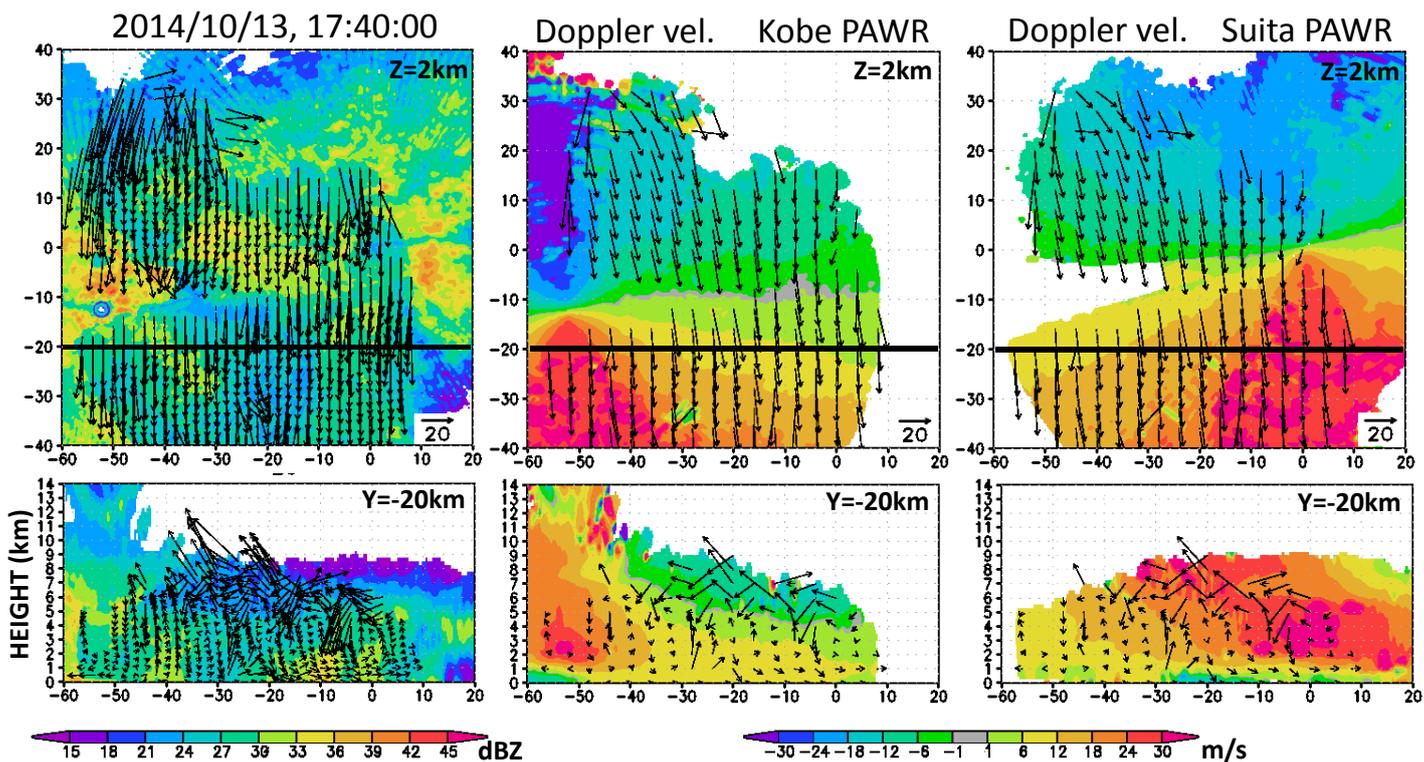
遠隔監視、融合データシステム
(4K-REGZA, 432TB-RAID)
@NICT小金井本部

大阪・神戸 P A W R 観測範囲

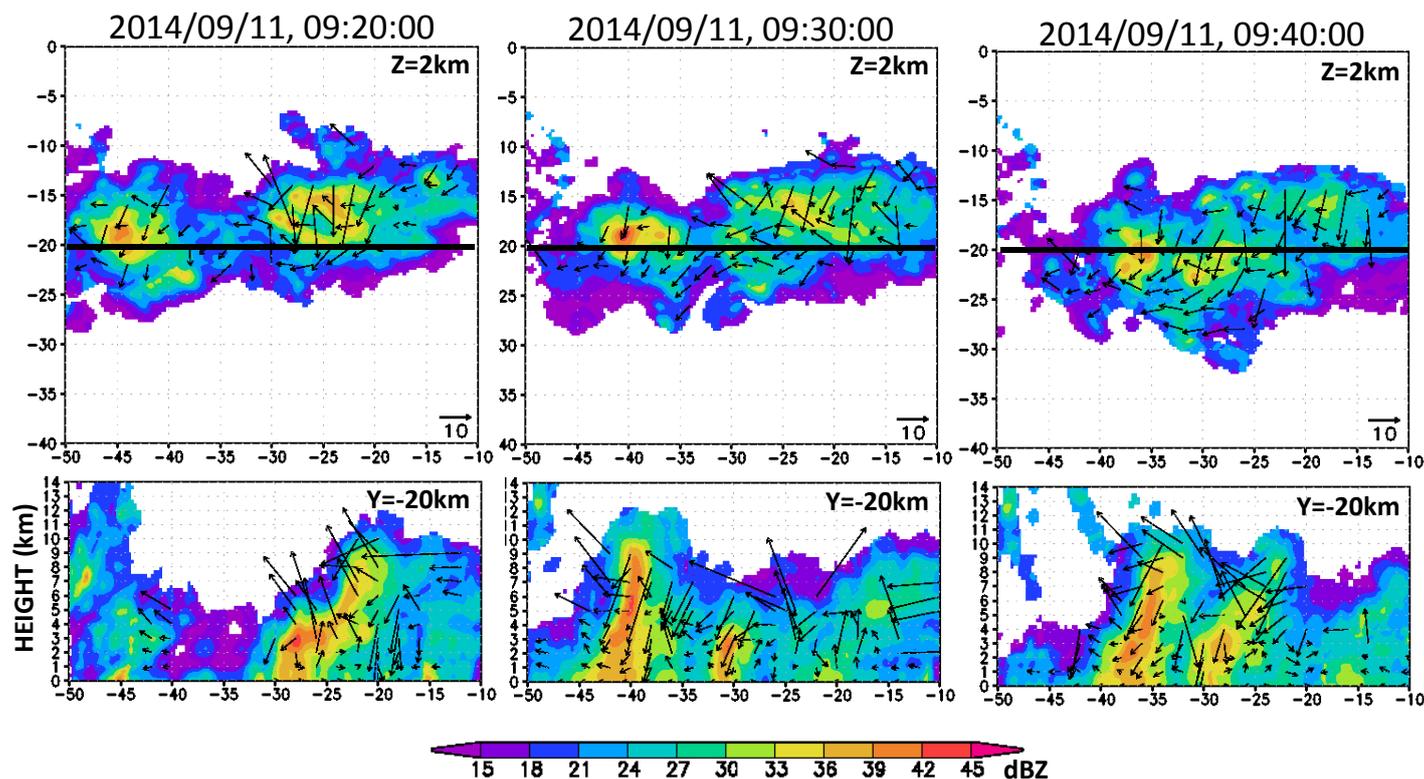


**NICT未来ICT研究所
(NICT Kobe)**

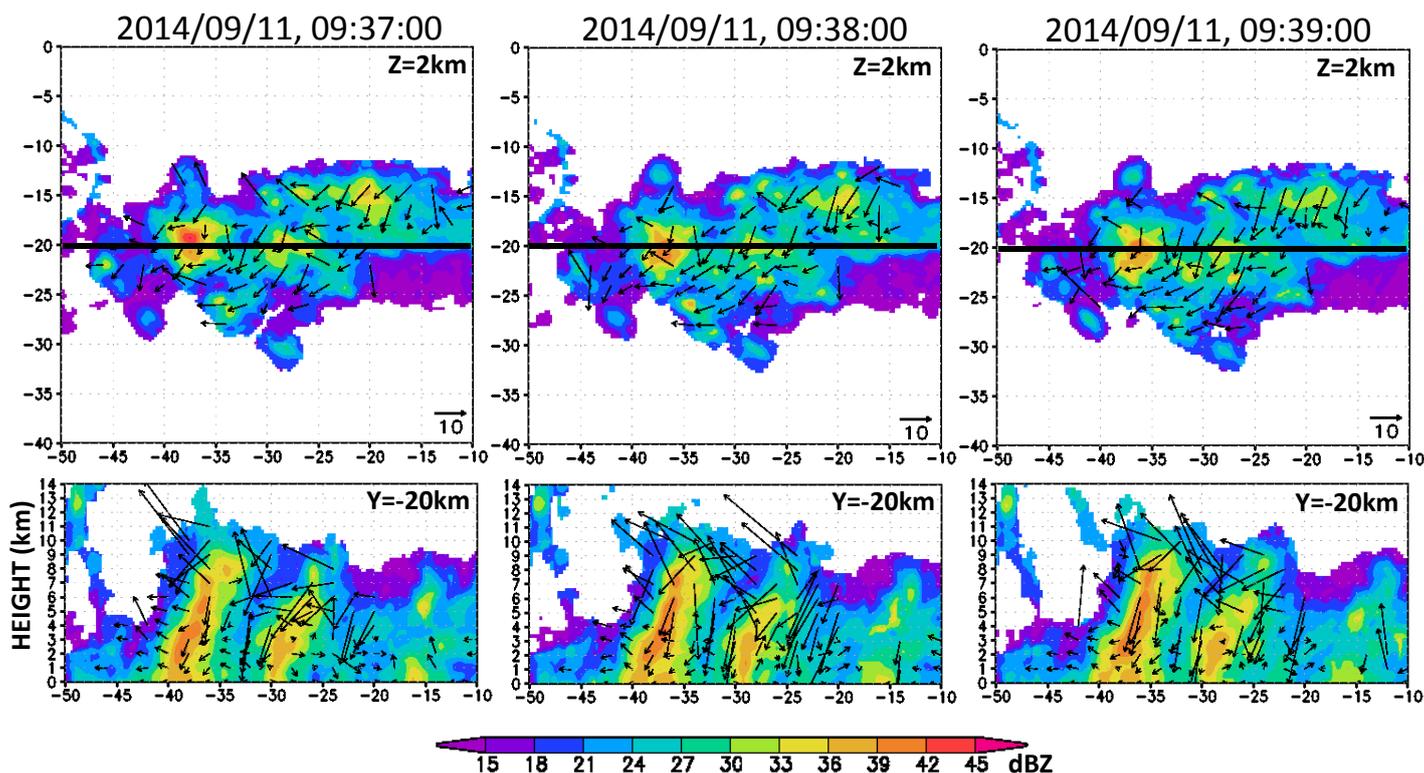
**大阪大学吹田キャンパス
(Osaka Univ.)**



算出した3次元風速ベクトルは暫定値です

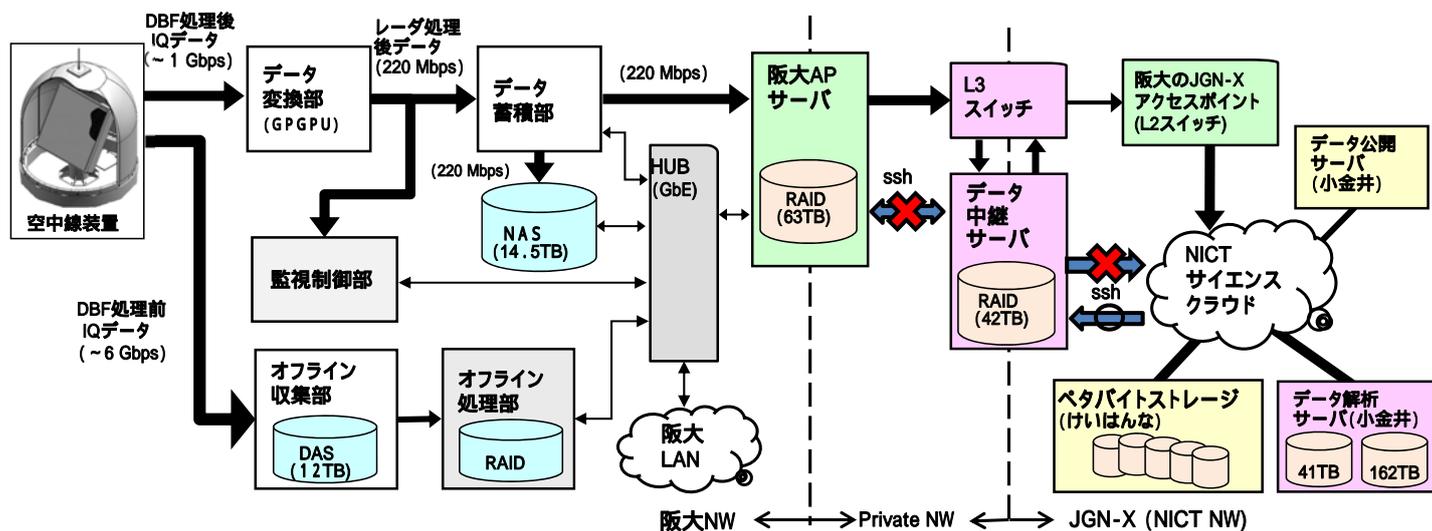


算出した3次元風速ベクトルは暫定値です



算出した3次元風速ベクトルは暫定値です

観測データ処理・利用システム



●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

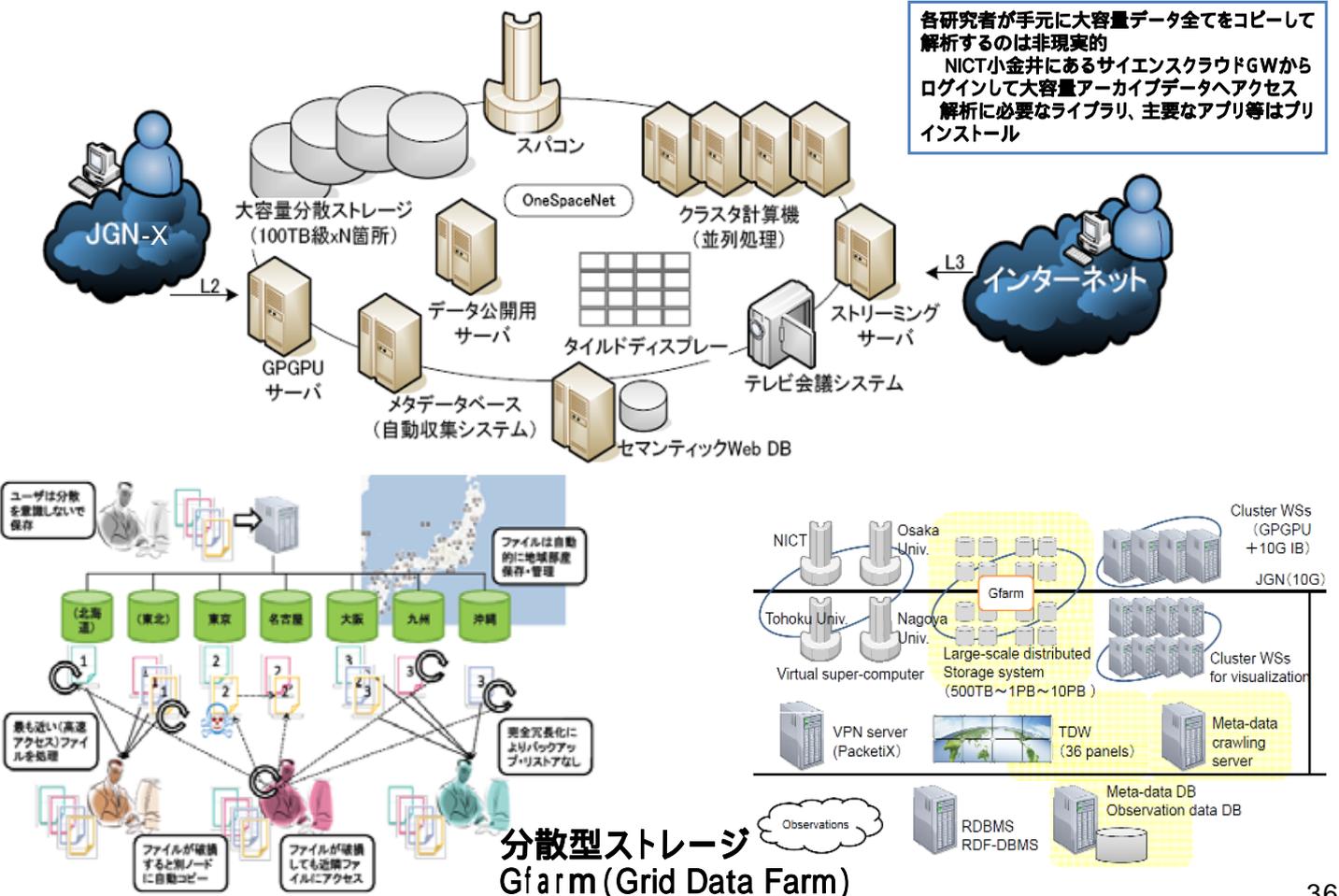
データ容量 ~ 1.4 TB/日程度、原則24時間運用、NICTサイエンスクラウド (PBストレージ@けいはんな) 無降雨時のデータはZe、Vrを残して削除



		収録データ種別
レベル 1	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)
レベル 2	9	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

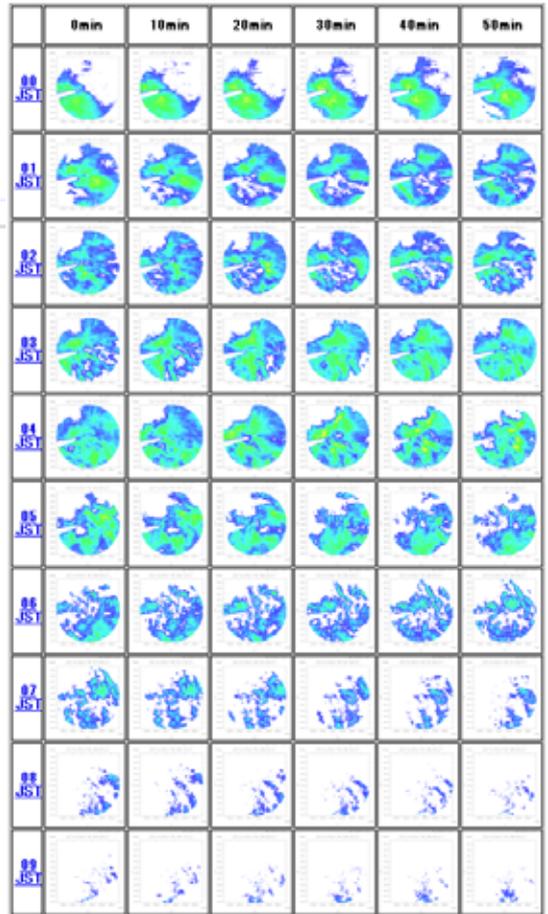
NICTサイエンスクラウド



Google 画像表示 画像一覧表示
2014/04/18

フェースドアレイ気象レーダ NICT 情報通信研究機構
リアルタイム観測データ 大阪大学 OSAKA UNIVERSITY

トップページ | 直近のデータ | **過去のデータ** | PAWRIについて | トピックス | リンク



最新の降雨分布

このページは30秒ごとに自動更新されます。
ALT(km) 2.0

2014/12/01 08:30:02

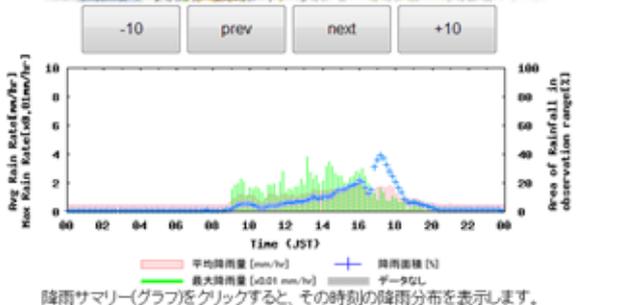
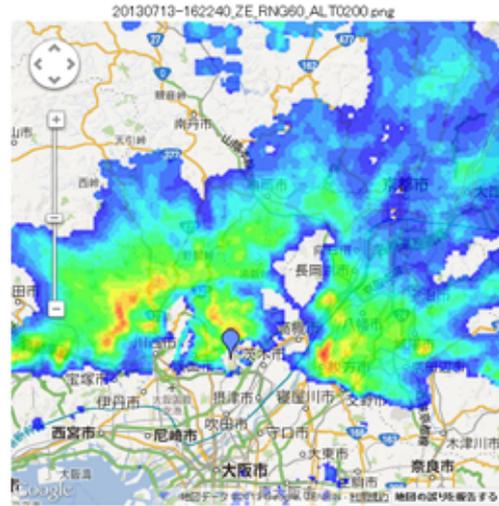
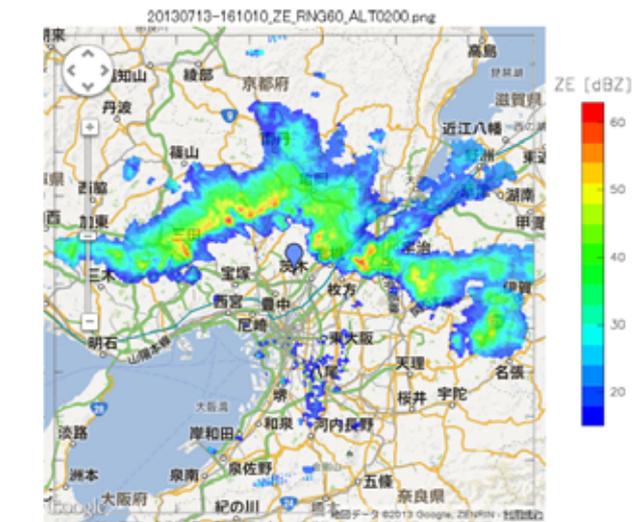
過去データの
利用は
重要!

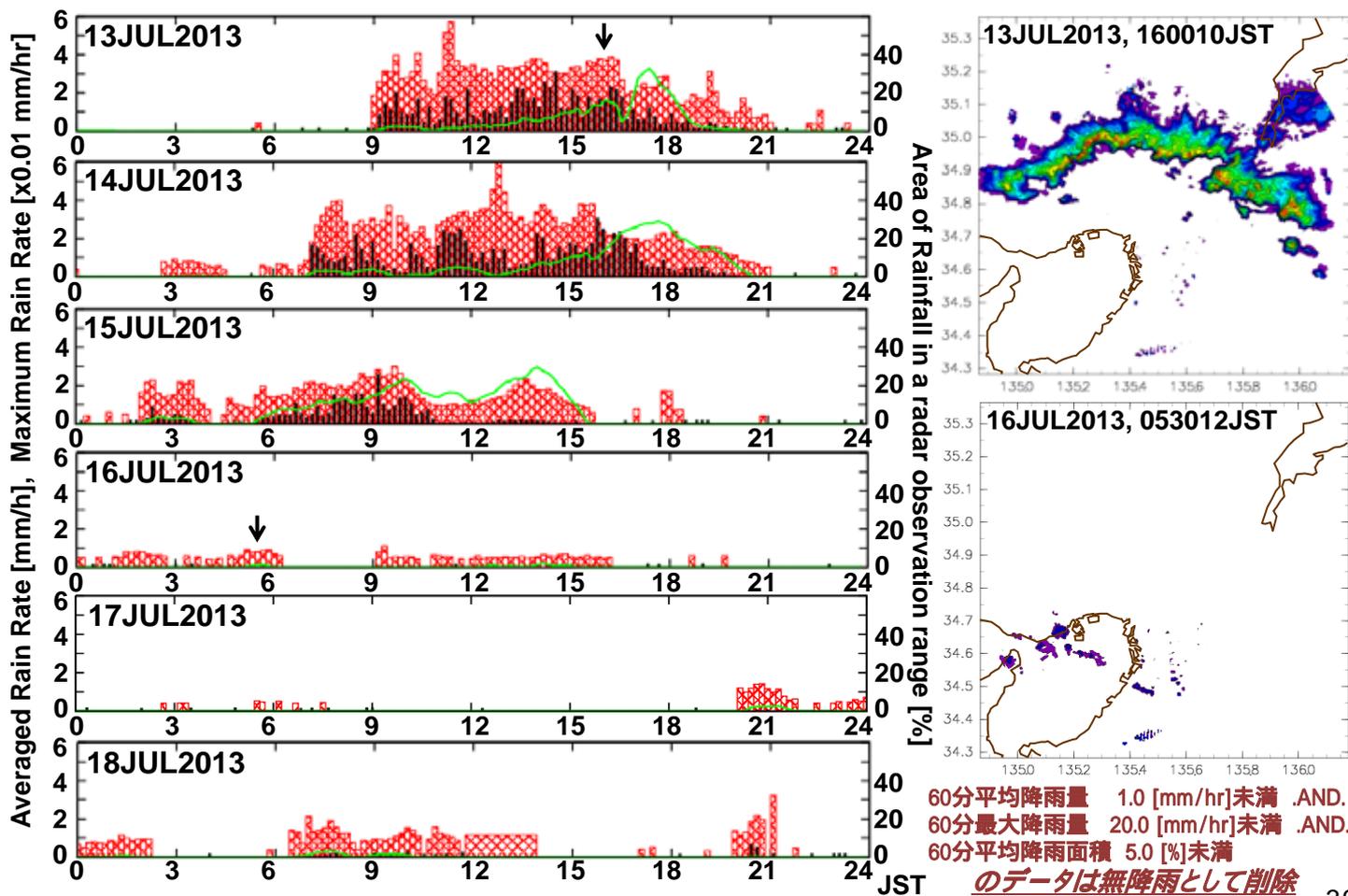
大阪大学吹田キャンパスに設置されたフェースドアレイ気象レーダの観測データをもとに、試験的にクリックック画像を作成しています。
また現在開発中のため、Google Chrome 29.0以上でのみご利用いただけます。
このページに対するご質問・ご意見等は、satoh@nict.go.jp にメールをお送りいたします。

NICT QL画像のグーグルマップス表示

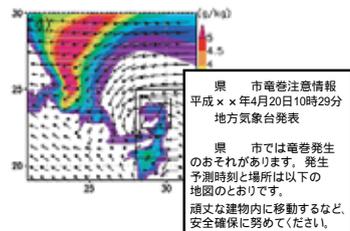
2013/07/13
16:10:10

2013/07/13
16:22:40





フェーズドアレイ気象レーダの応用分野



数値予報モデルへのデータ同化、
きめ細かな電巻注意情報
【気象庁】



洪水予測、土砂災害予測
【国土交通省・地方整備局】



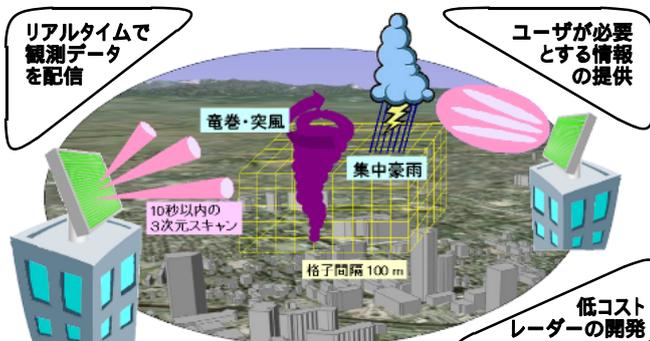
ダム放流(洪水調整)
【ダム管理事務所】



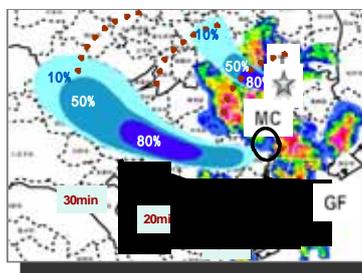
航空管制【航空局】



突発的・局所的現象の解明
【研究機関・大学】



住民避難勧告【市町村】

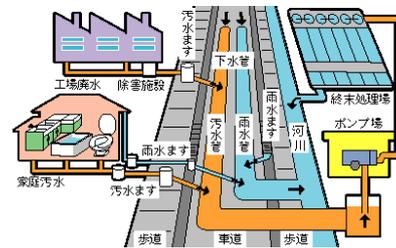


一般市民への情報提供
【民間気象会社】

次世代ドップラーレーダ技術の研究開発
【総務省・NICT】



列車安全運行【鉄道会社】



下水道ポンプ制御【市町村】

- 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地上で降り始める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)、丹波市豪雨(2014年8月17日)の降雨強度3次元可視化アニメーションを紹介.
- 突発的豪雨の早期検出と予測のためにフェーズドアレイ気象レーダ・ドップラーライダー融合システム(PANDA)を開発@神戸・沖縄に設置.
- 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例を紹介.

- NICTサイエンスクラウド上で開発したデータシステムにより、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.
- 災害の予測・軽減につなげるための3次元可視化データや3次元風速データ(dual-Doppler)の利用については今後の検討課題.