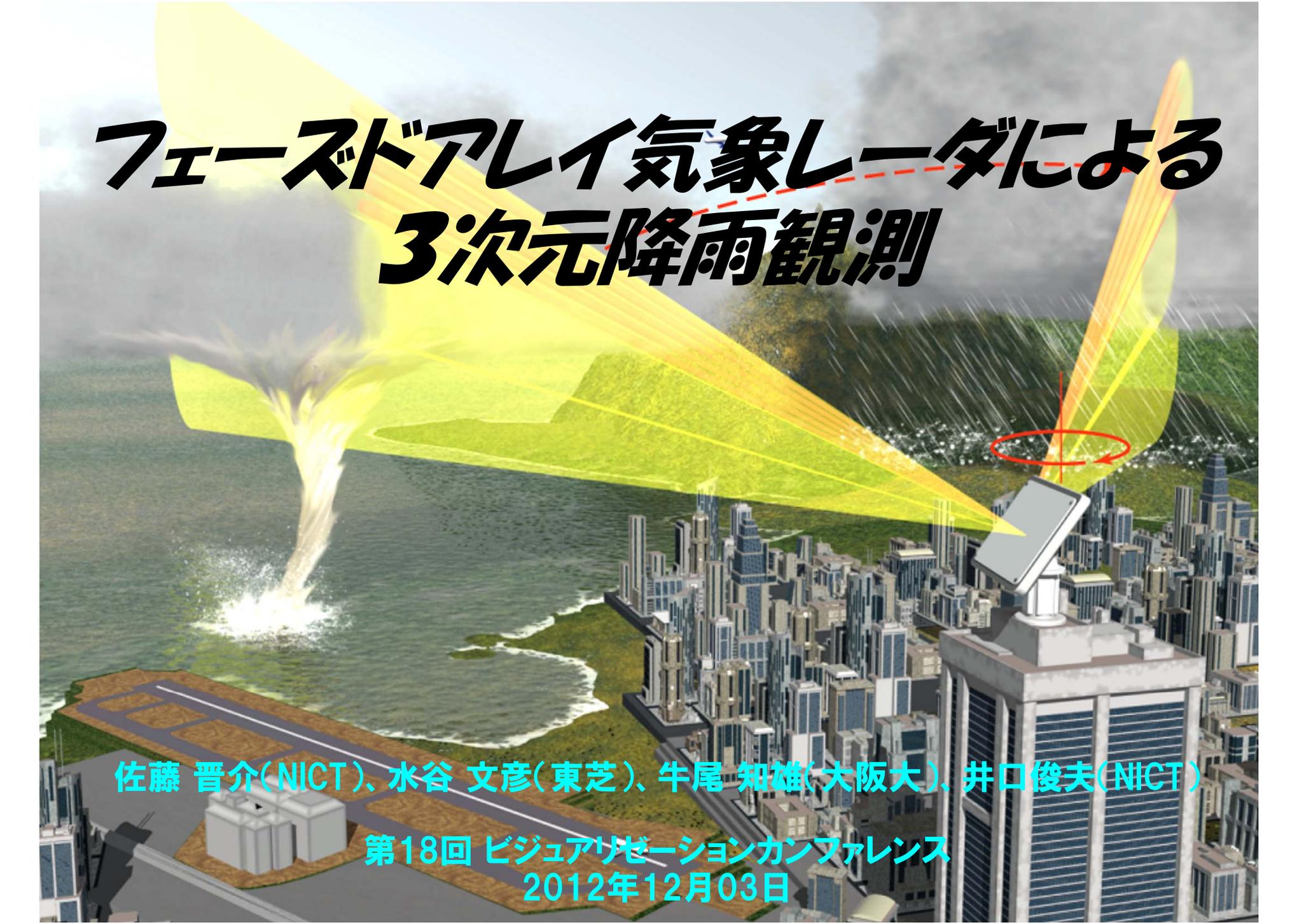


# フェースドアレイ気象レーダによる 3次元降雨観測



佐藤 晋介(NICT)、水谷 文彦(東芝)、牛尾 知雄(大阪大)、井口俊夫(NICT)

第18回 ビジュアルセッションカンファレンス  
2012年12月03日

# 目次

## 1. 社会的背景と気象レーダの課題

- 3次元レーダ観測の重要性

## 2. フェーズドアレイ気象レーダの開発

- 産学官連携による開発体制
- システム概要、従来のレーダとの比較、観測範囲

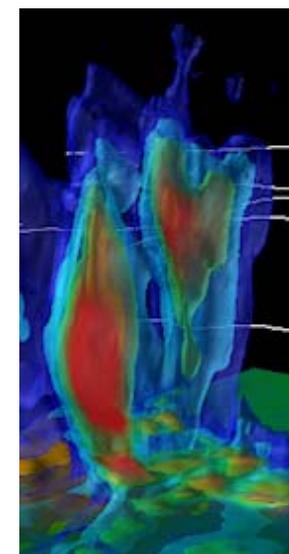
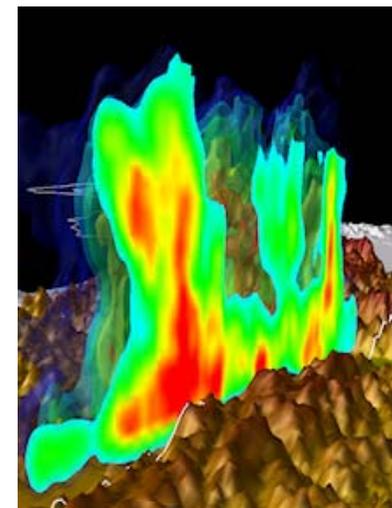
## 3. 局地的大雨の3次元可視化

- 30秒毎に観測されたレーダエコーのAVSによる3次元表示

## 4. 大規模データの解析処理・アーカイブ

- クラウドによるデータ利用システム

## 5. まとめ・今後の課題



# 社会的背景と気象レーダの課題

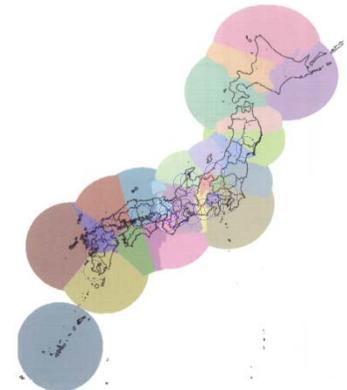
- ・ 近年頻発している局地的大雨(ゲリラ豪雨)や竜巻による突発的・局所的気象災害が社会問題となっている。
- ・ 大型のCバンド気象レーダ観測網に加えて、都市域の雨をより細かく観測できる小型のXバンドMPLレーダが整備されてきた。
- ・ 従来のパラボラアンテナによるレーダは、地上付近の降雨観測に1分程度、3次元降水観測には5分以上の時間を要する。  
⇒より短時間で詳細な3次元観測が期待。



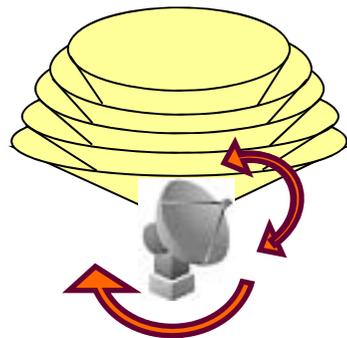
都賀川の鉄砲水(2008/7/28)



つくば市竜巻(2012/5/6)



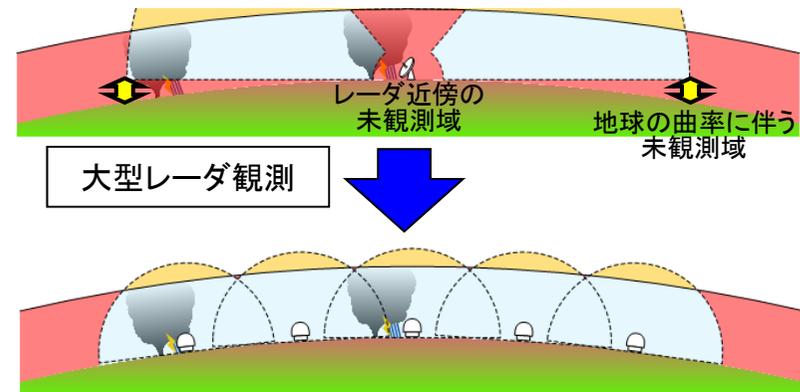
国交省Cバンドレーダ雨量計観測網とXバンドMPLレーダの配備状況(○印)。



パラボラアンテナによる3次元立体観測(5~10分)



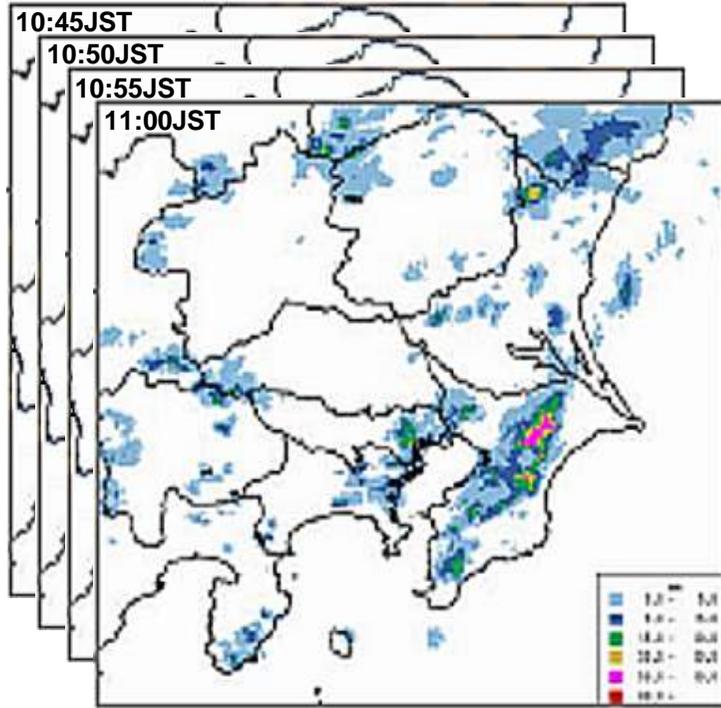
フェーズドアレイレーダによる3次元立体観測(10~30秒)



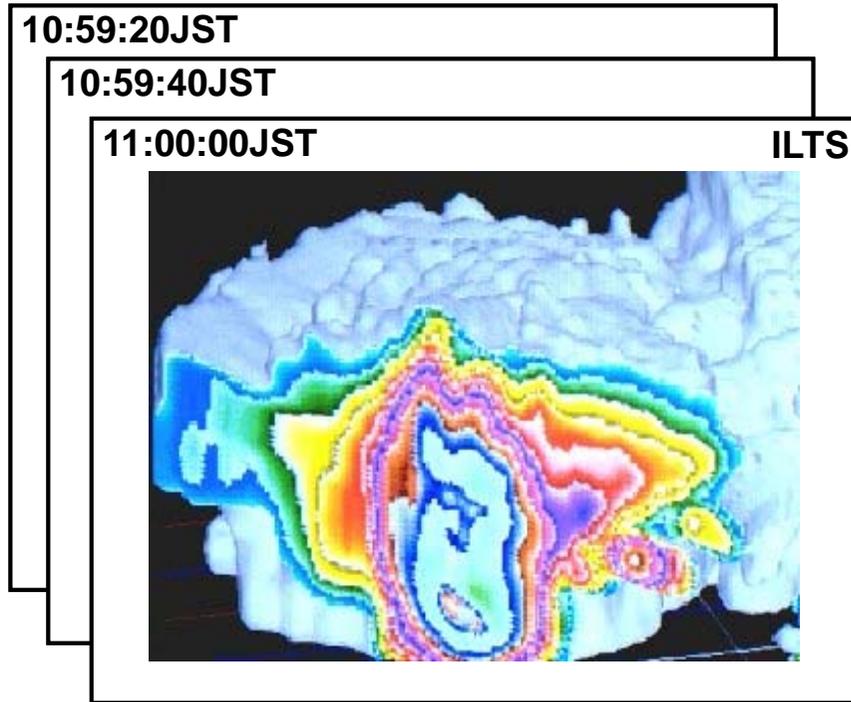
大型レーダ観測

小型レーダによるネットワーク観測

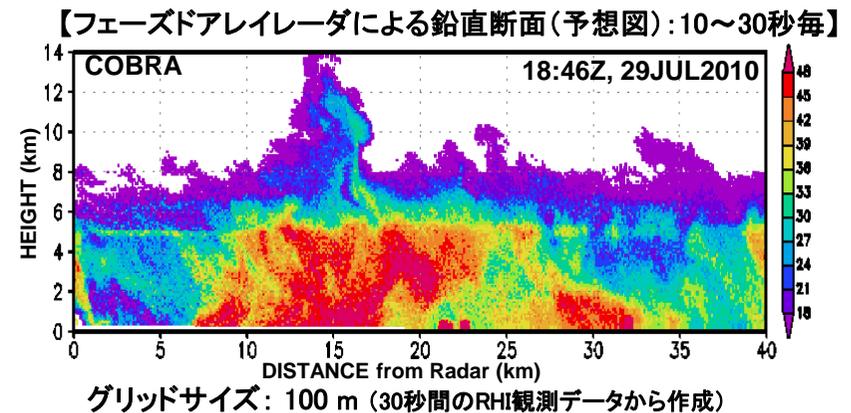
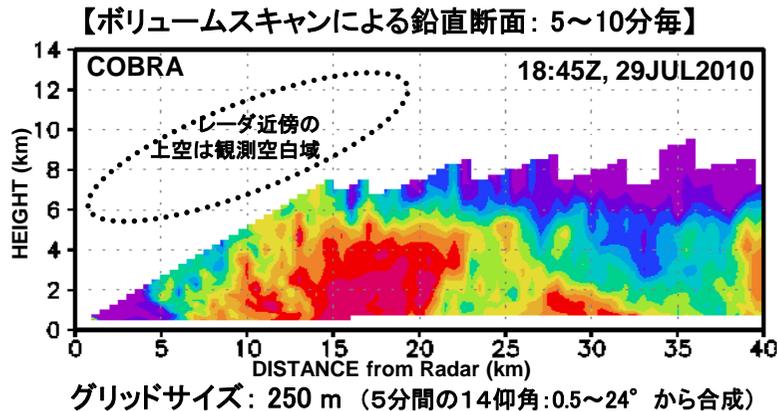
# 3次元観測データの重要性



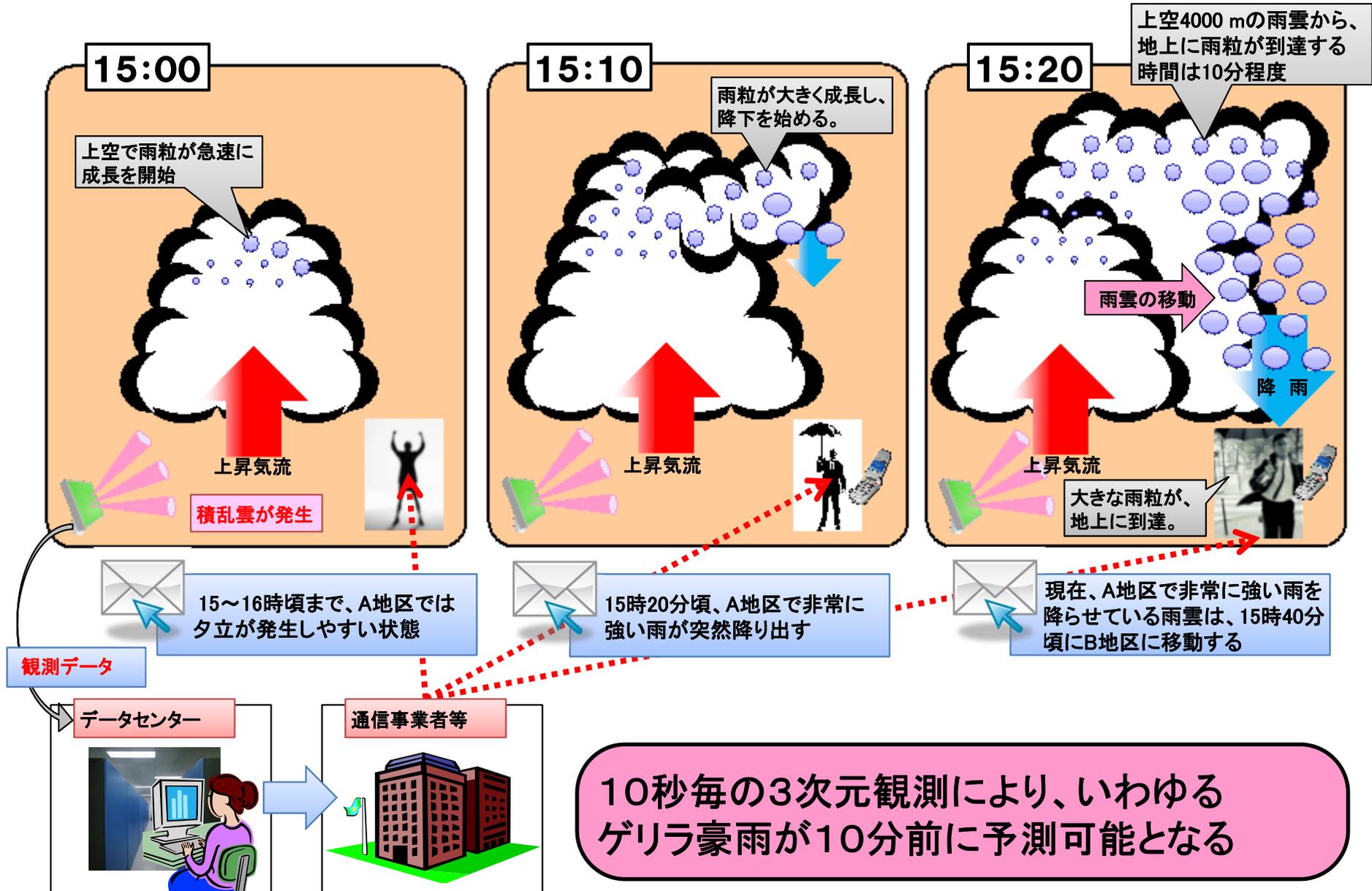
【現状】1~5分毎の水平分布による降雨  
短時間予測 → 急激な発達は予測困難



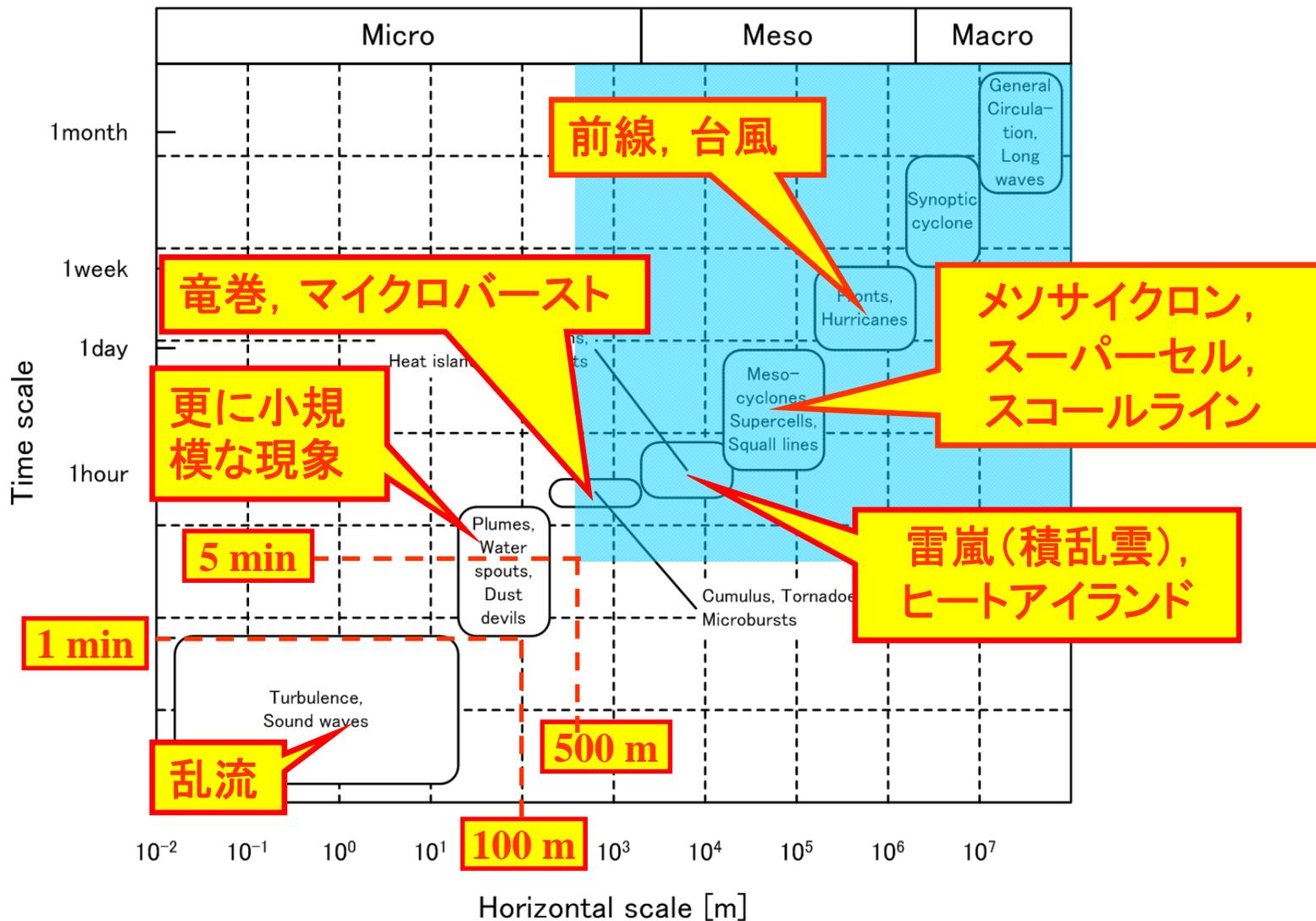
【将来】10~30秒毎の詳細な3次元観測データ  
⇒ 雨滴の発生・成長・落下による予測が可能



# 雨粒の落下・成長による局地的大雨の予測



# 気象における時間・空間スケール



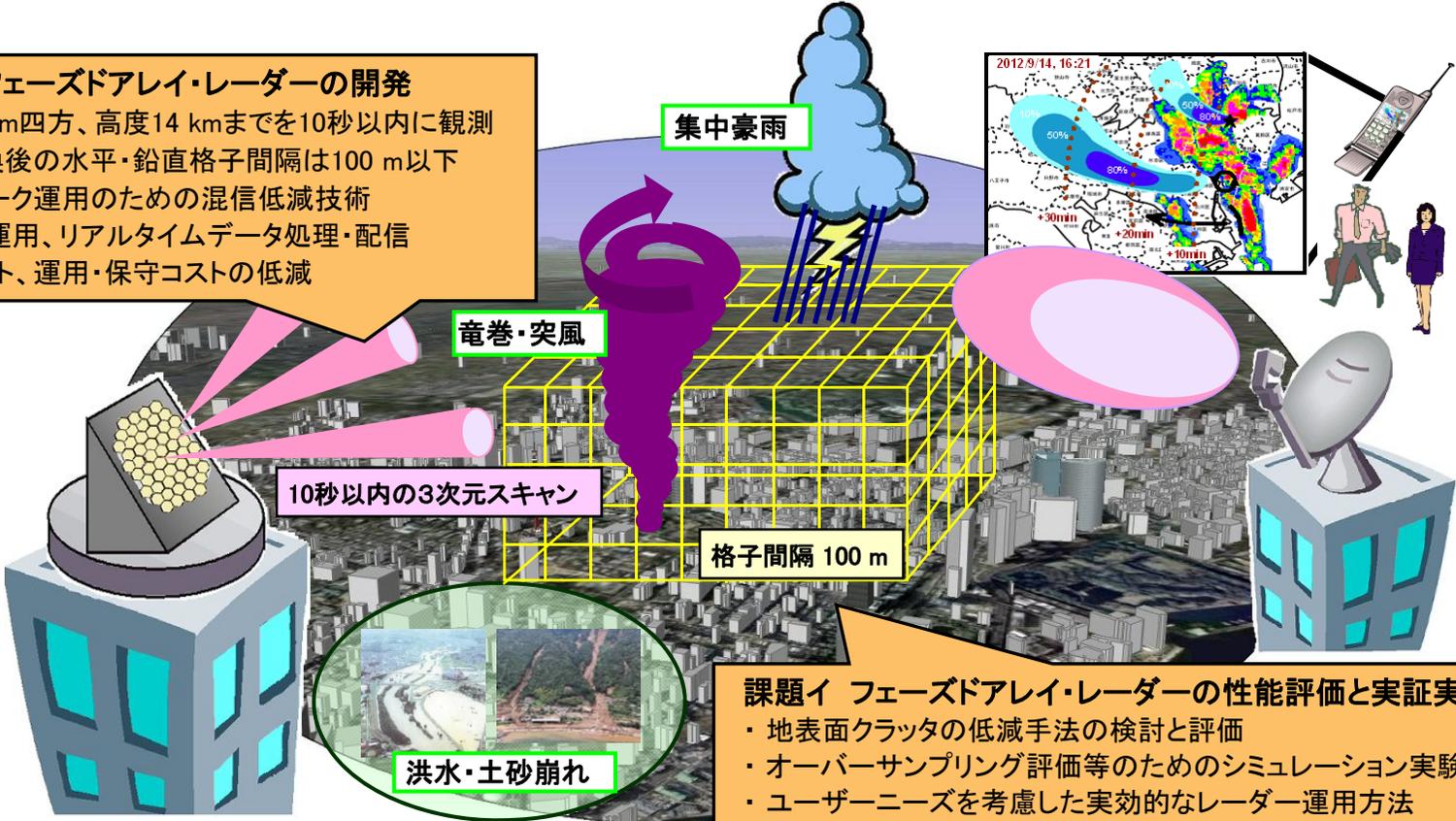
# 「次世代ドップラーレーダ技術の研究開発」



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

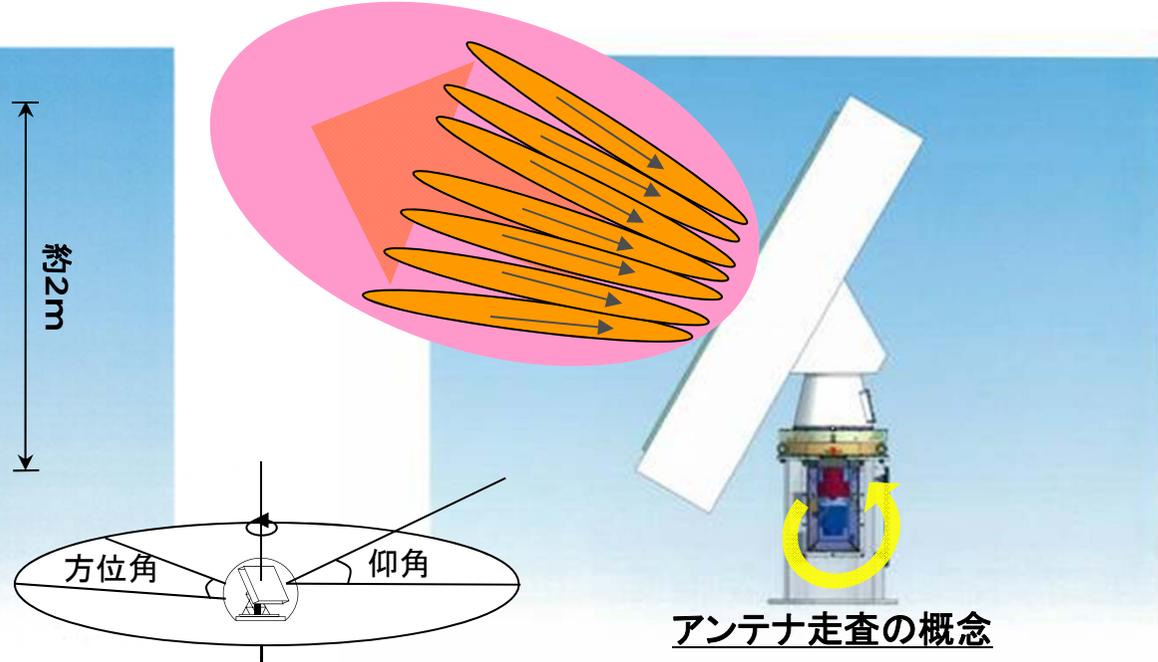
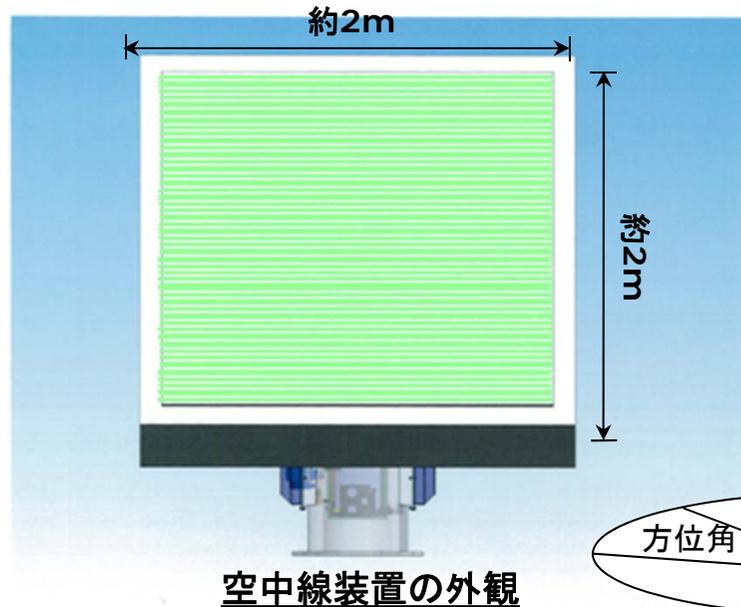


- 課題イ フェーズドアレイ・レーダーの性能評価と実証実験**
- ・ 地表面クラッタの低減手法の検討と評価
  - ・ オーバーサンプリング評価等のためのシミュレーション実験
  - ・ ユーザーニーズを考慮した実効的なレーダー運用方法
  - ・ 実証実験、実用化を目指した運用試験

## 開発スケジュール

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

# 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>

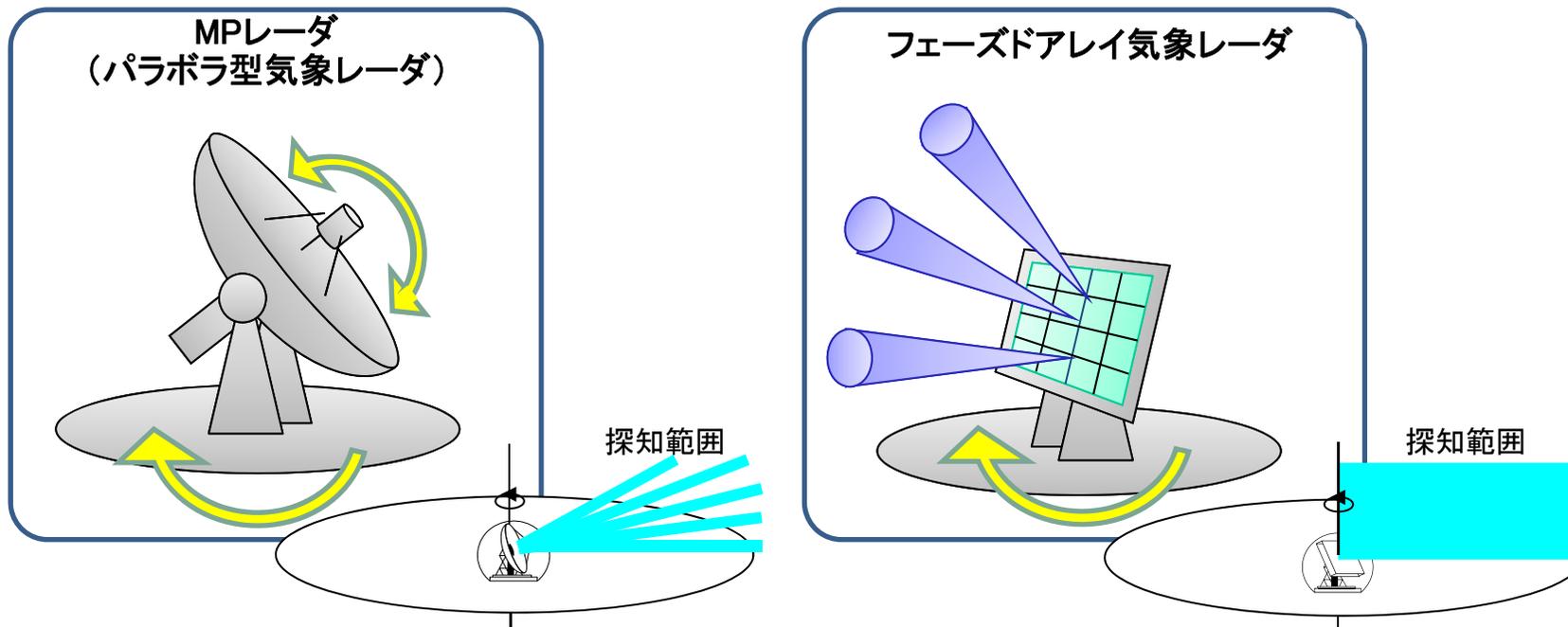
- ・一般的にはフェーズドアレイは高価
- ・1次元アレイ(仰角の電子走査)とDBF(Digital Beam Forming)の組み合わせにより、10~30秒の3次元観測を実現

- ↓
- ・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。

# 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 : <b>電子走査</b> 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 <b>100仰角</b> ) ／ <b>10秒～30秒程度</b>
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 <sub>hv</sub> 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

# 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

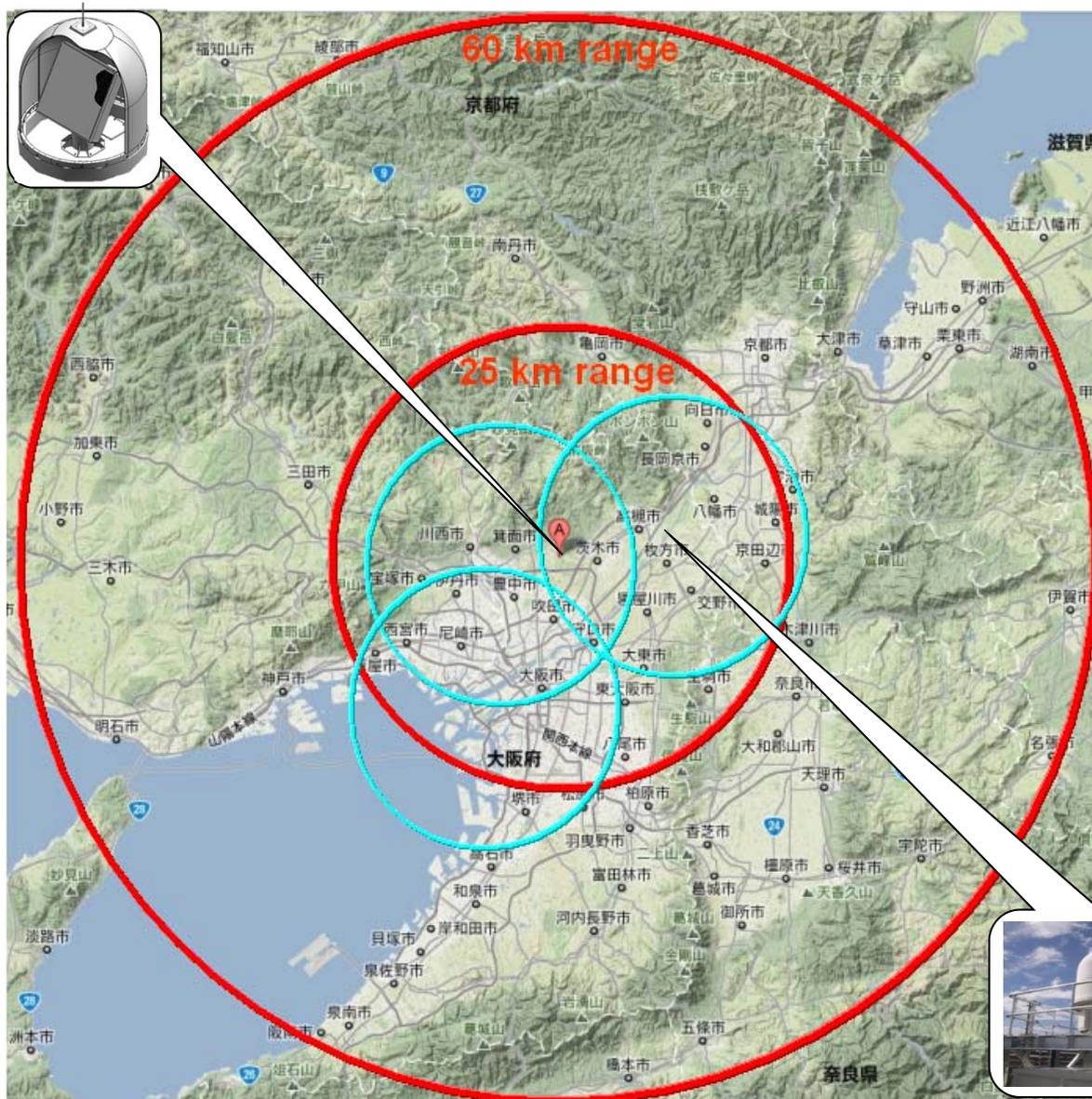


左:レーダ処理装置  
(データ処理・監視制御・表示)

右:レーダ制御装置  
(駆動制御・分電盤)

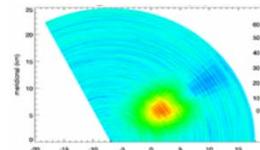


大阪大学吹田キャンパス(E3棟屋上)に  
設置されたフェーズドアレイ気象レーダ



## 観測方法・信号処理手法等の検討・評価

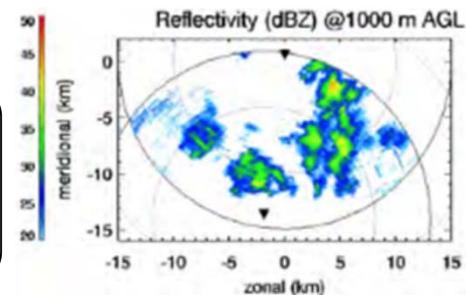
- フェーズドアレイレーダの観測手法の検討および設置に向けた準備を実施
- 地形等による不要エコーを除去するための信号処理手法の検討と評価
- 正確な降雨量を算出するための、降雨減衰補正手法の開発



確率的降雨減衰補正結果

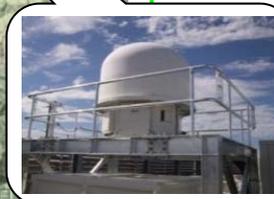
## 検証用レーダによる予備観測

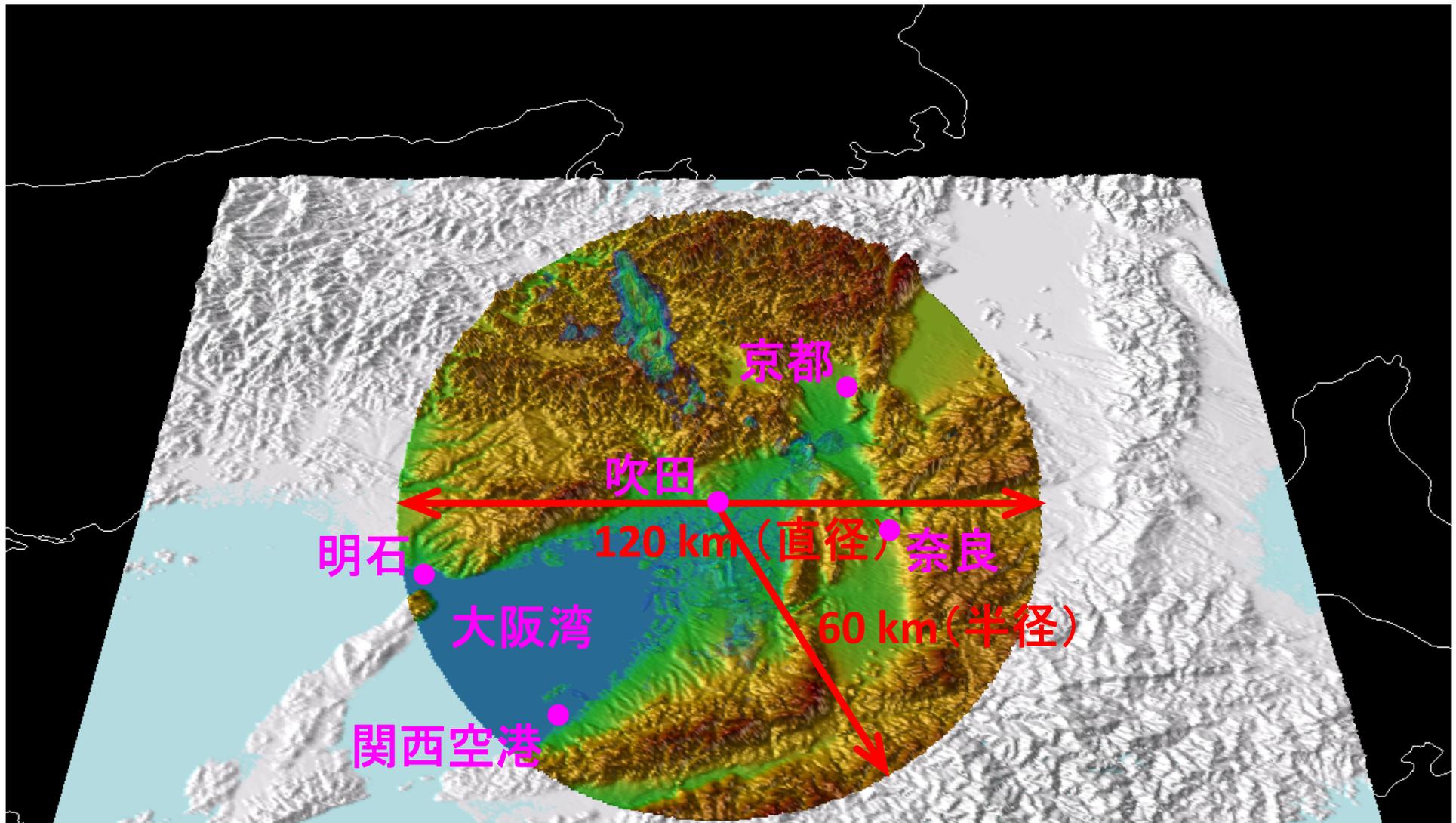
- 検証用Ku帯広帯域レーダを、「大阪大学豊中キャンパス」、「渚水みらいセンター（枚方市）」、「住友電工大阪製作所（此花区島屋）」の3ヶ所に設置し、予備観測を実施。



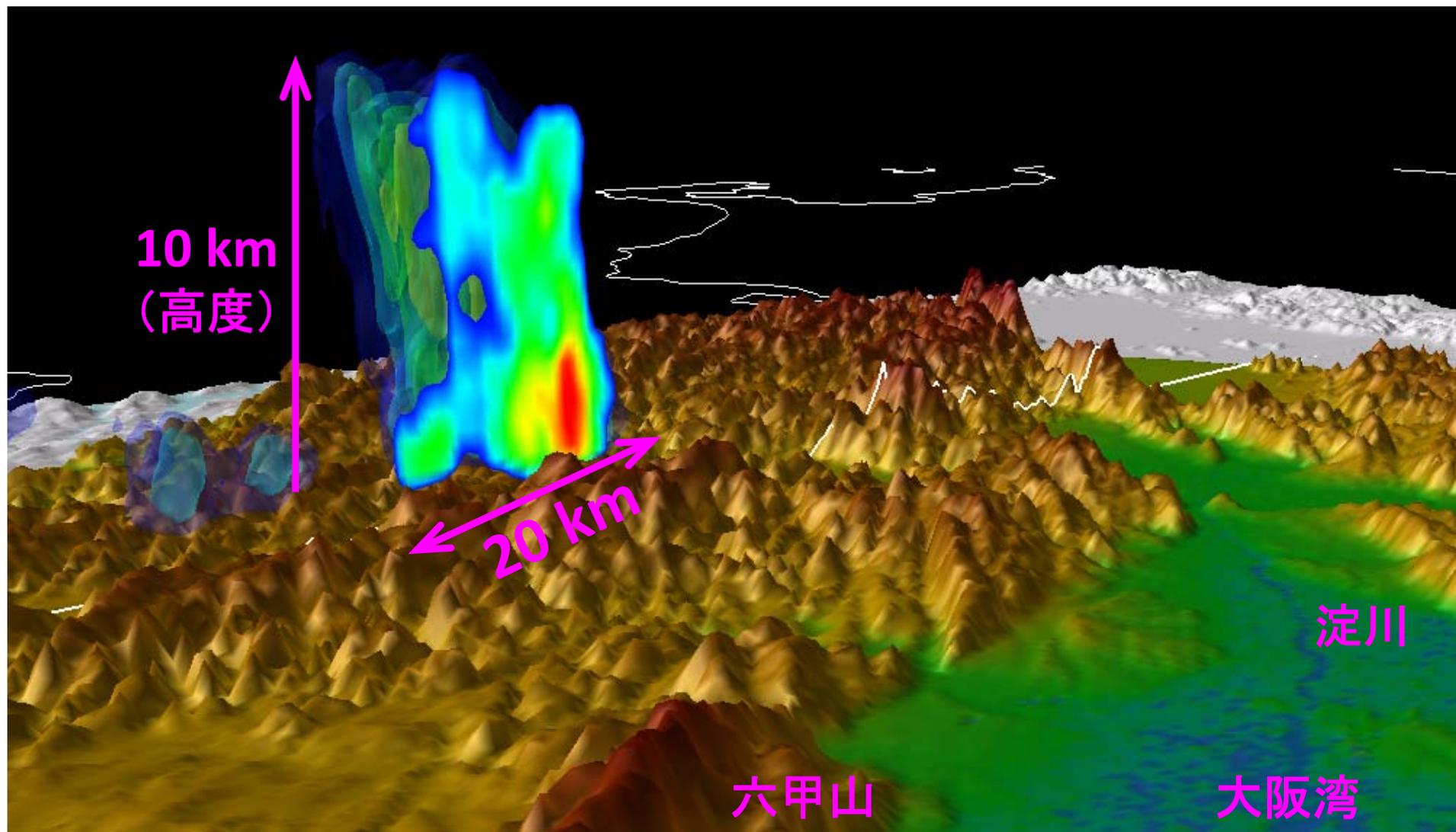
2代の検証用レーダによる観測結果の合成

- フェーズドアレイレーダは、H24年5月18日に大阪大学吹田キャンパスに設置（詳細観測範囲として、淀川水系、大阪北部一帯をカバー）

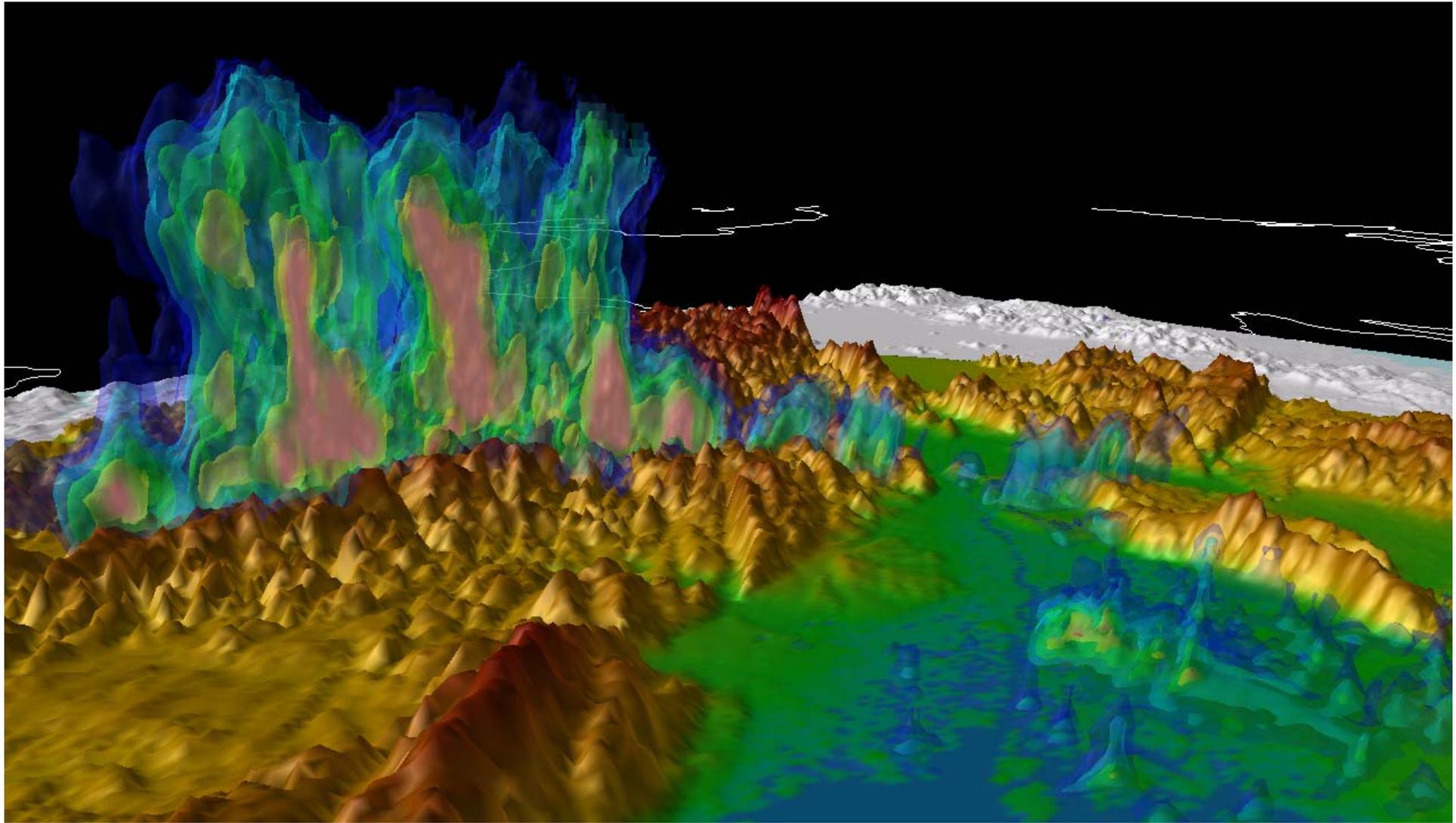




フェーズドアレイ気象レーダの観測範囲  
地形図はSRTM-DEM

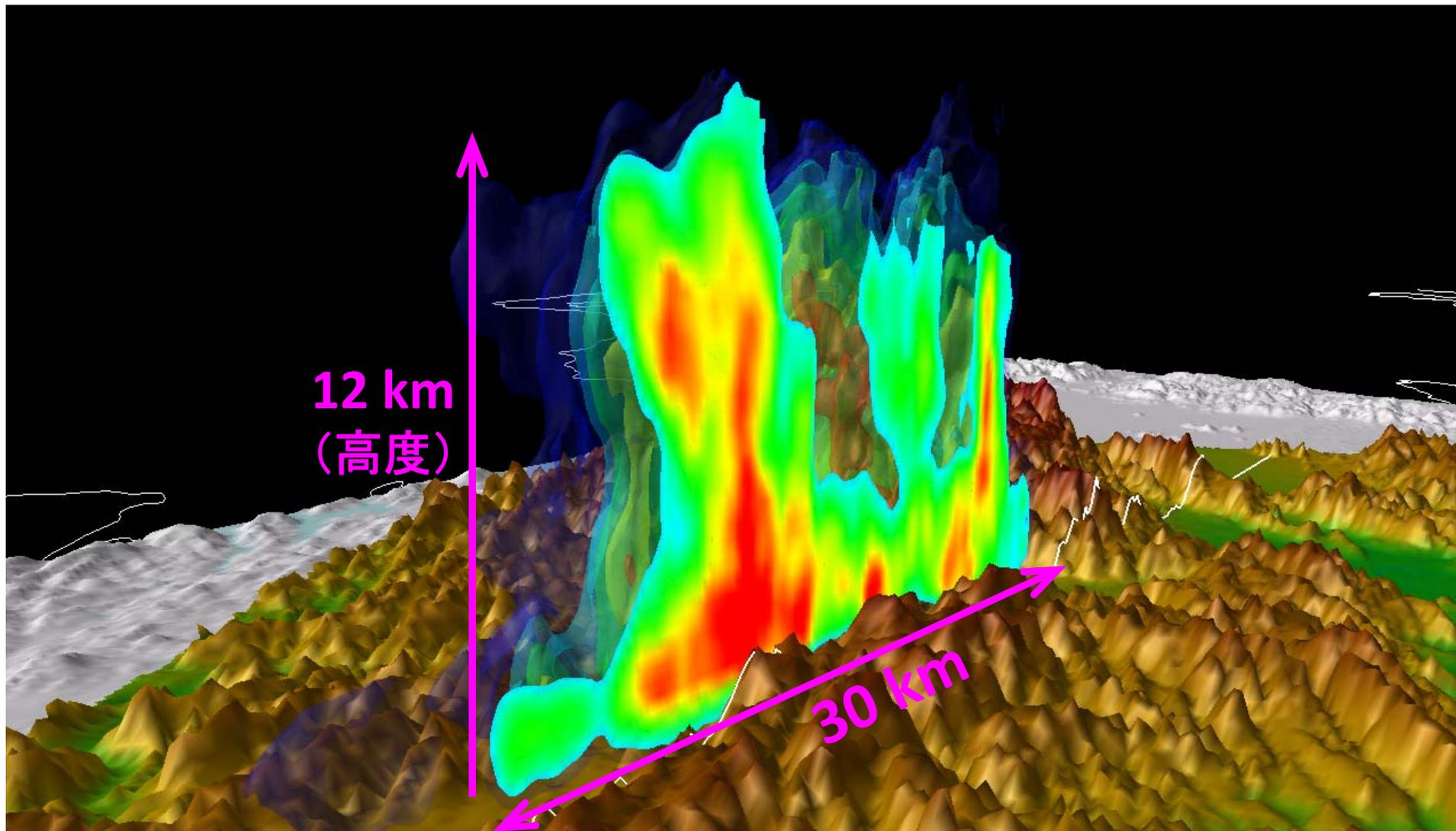


2012年07月22日、18:00:20  
北摂山系における豪雨の3次元構造を南西  
から見た鳥瞰図(東西鉛直断面のスライス)

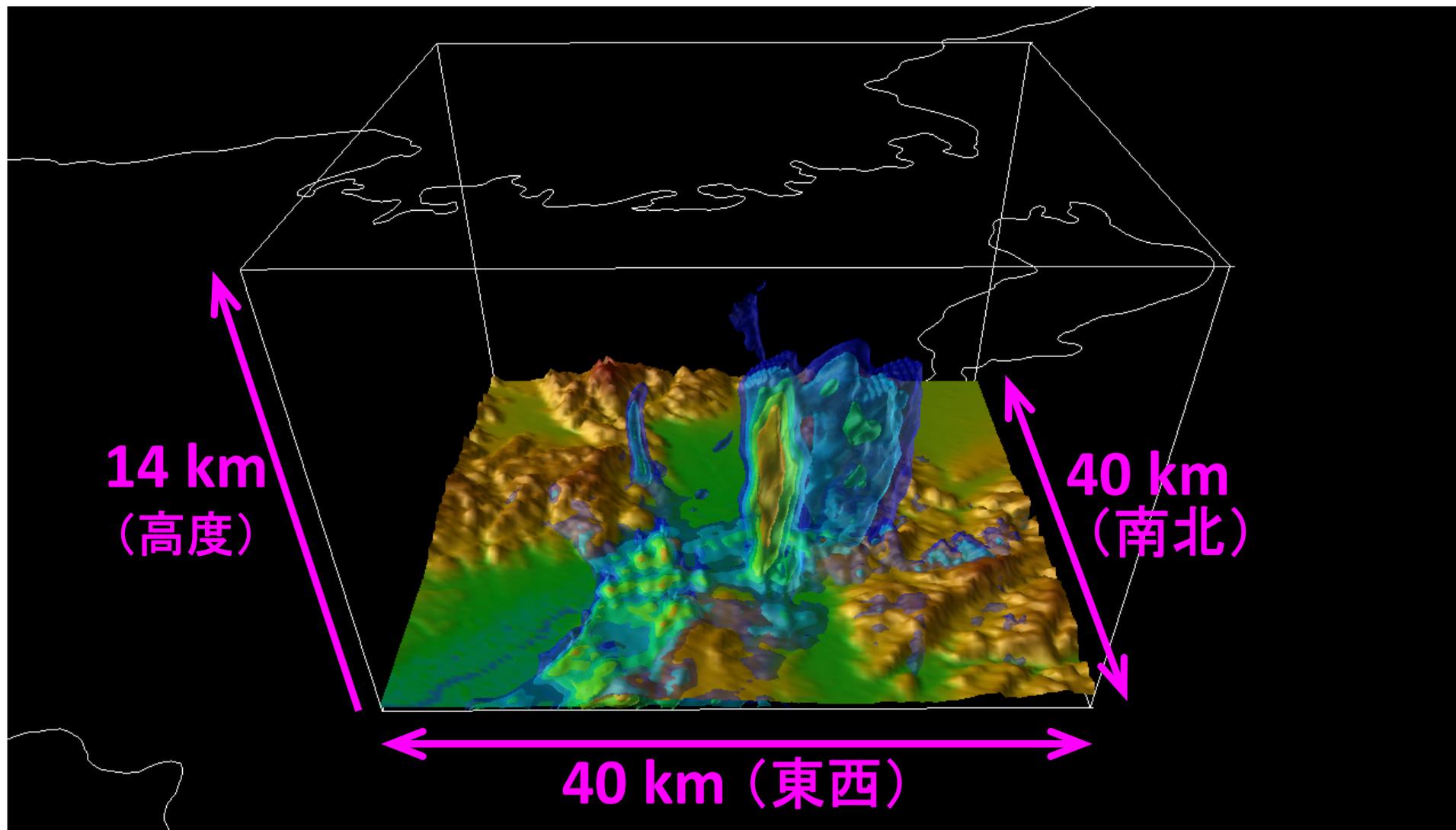


**2012年07月22日、18:00:20～20:00:50  
のアニメーション(時間分解能は30秒)**

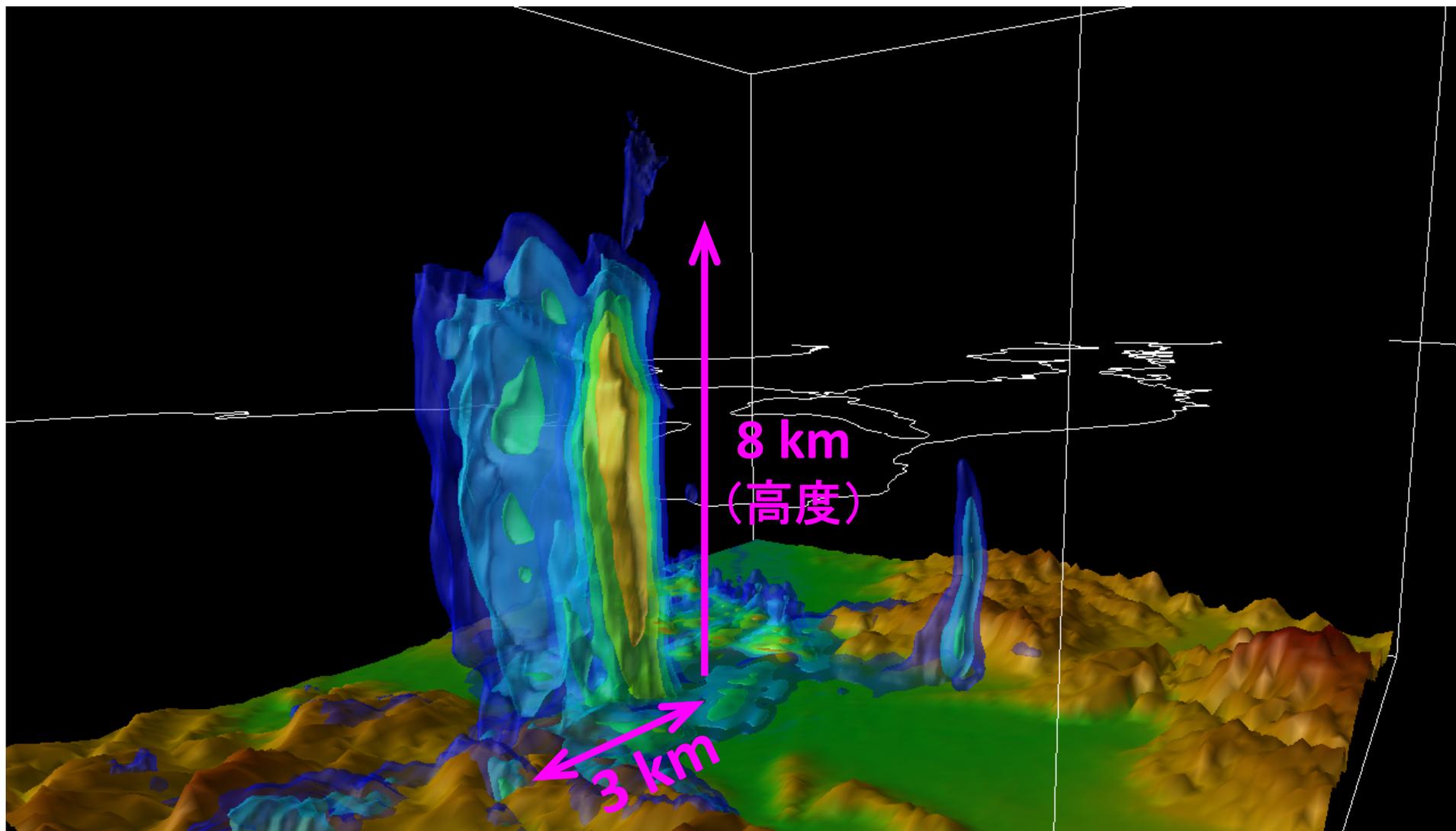
15フレーム/秒 → 450倍速 14



2012年07月22日、18:51:20の観測事例  
(東西鉛直断面のスライス)

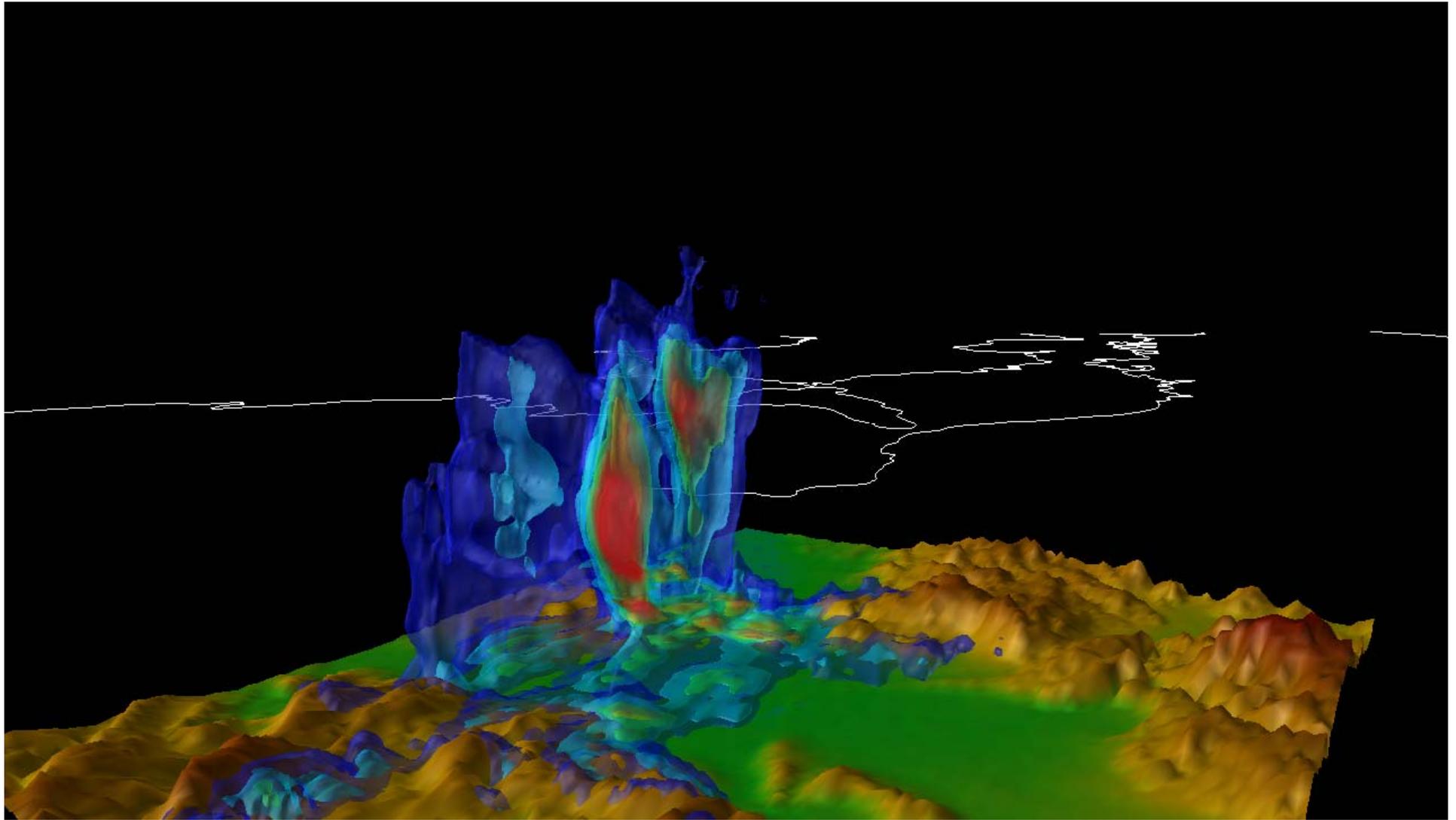


2012年07月26日,17:00~の観測事例  
(空間分解能:  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 100\text{m}$ )

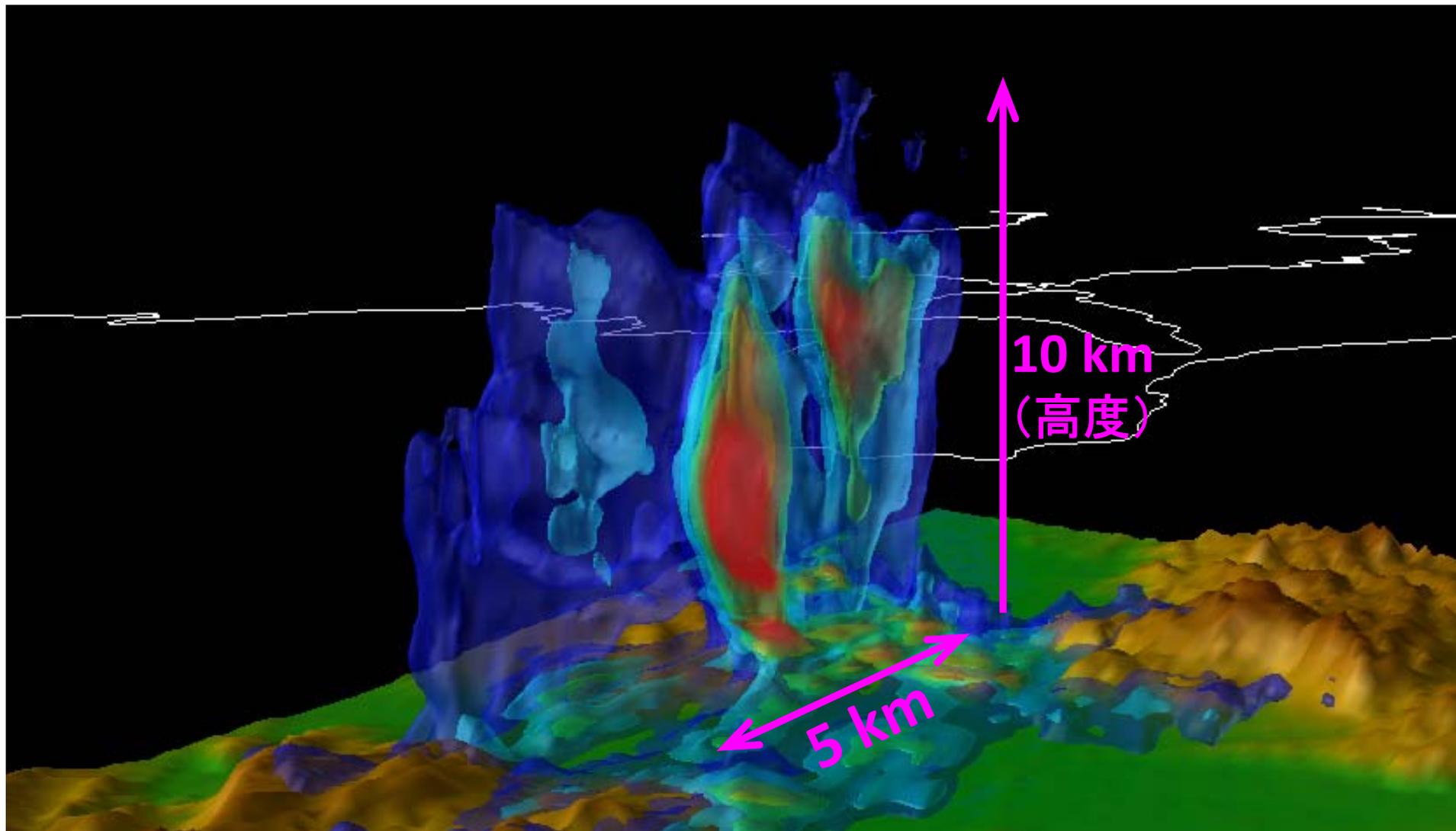


2012年07月26日,17:00:16

けいはんな(精華町)付近の局地的大雨の  
3次元構造を北東(京都付近)から眺める



**2012年07月26日、17:00:16～19:00:46  
のアニメーション(時間分解能は30秒)**



**2012年07月26日,17:38:16の3次元降水分布**  
高度3～6 kmにゲリラ豪雨の卵 (first echo) が現れて  
成長する様子が見られる。エコー頂高度は7～8 km程度

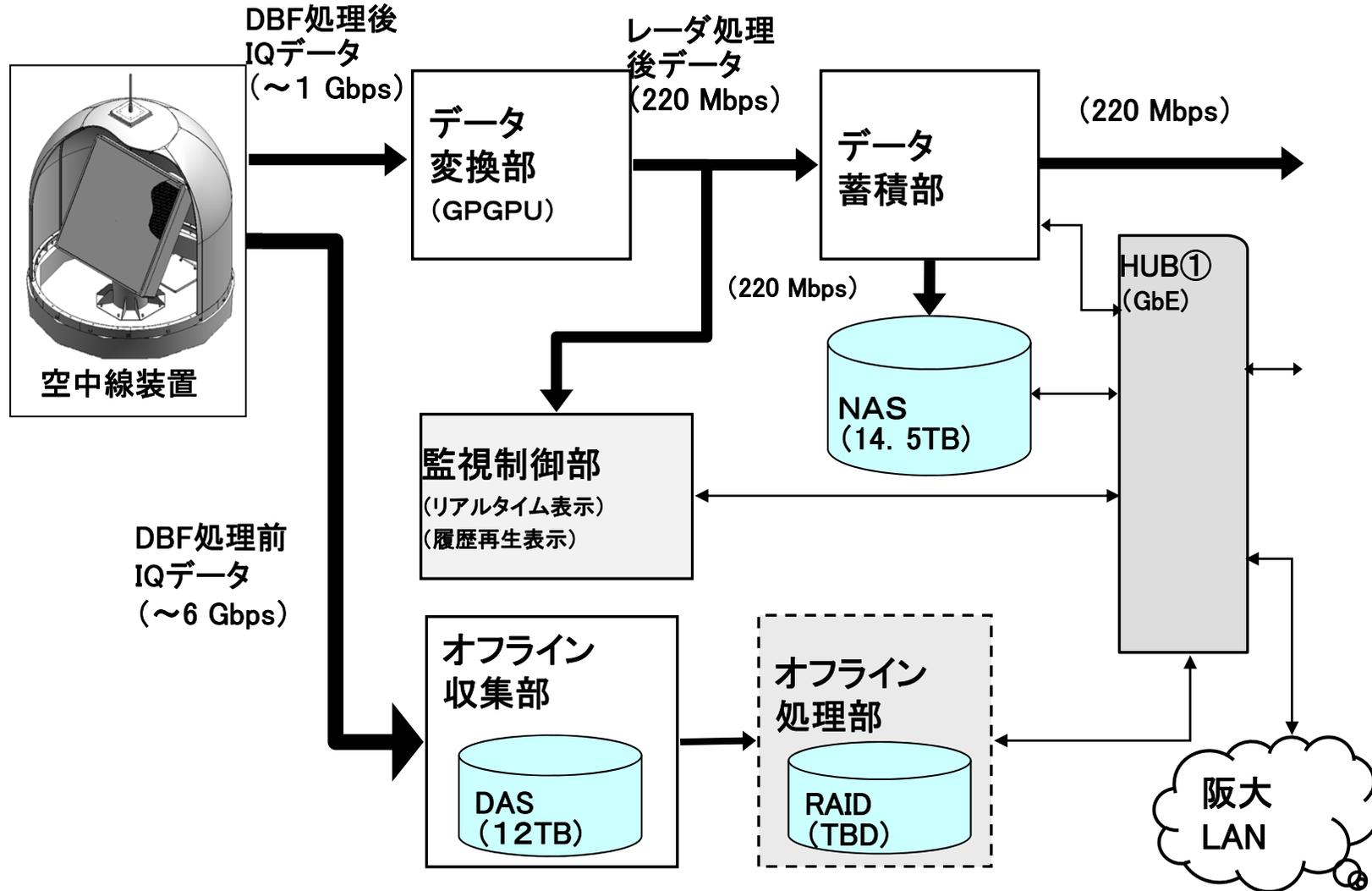
# 観測データ種別と運用モードの例

	工学データ (L1)	物理データ (L2)	直交座標データ(L3)
1	受信電力 (Pr-MTI)	受信電力 (Pr)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・反射強度 (Ze)</li> <li>・ドップラー速度 (Vr)</li> <li>・降雨強度 (R) など</li> </ul> ⇒ netCDF ファイル
2	受信電力 (Pr-NOR)	反射強度 (Ze)	
3	ドップラー速度 (Vr-MTI)	ドップラー速度 (Vr)	
4	ドップラー速度 (Vr-NOR)	速度幅 (W)	
5	速度幅 (W-MTI)	降雨強度 (R)	(その他)
6	速度幅 (W-NOR)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・オフライン処理用 IQデータ (L0)</li> <li>・Web公開用 クイックルックデータ(QL)</li> </ul>
7	SN判定値 (SN-MTI)		
8	SN判定値 (SN-NOR)		

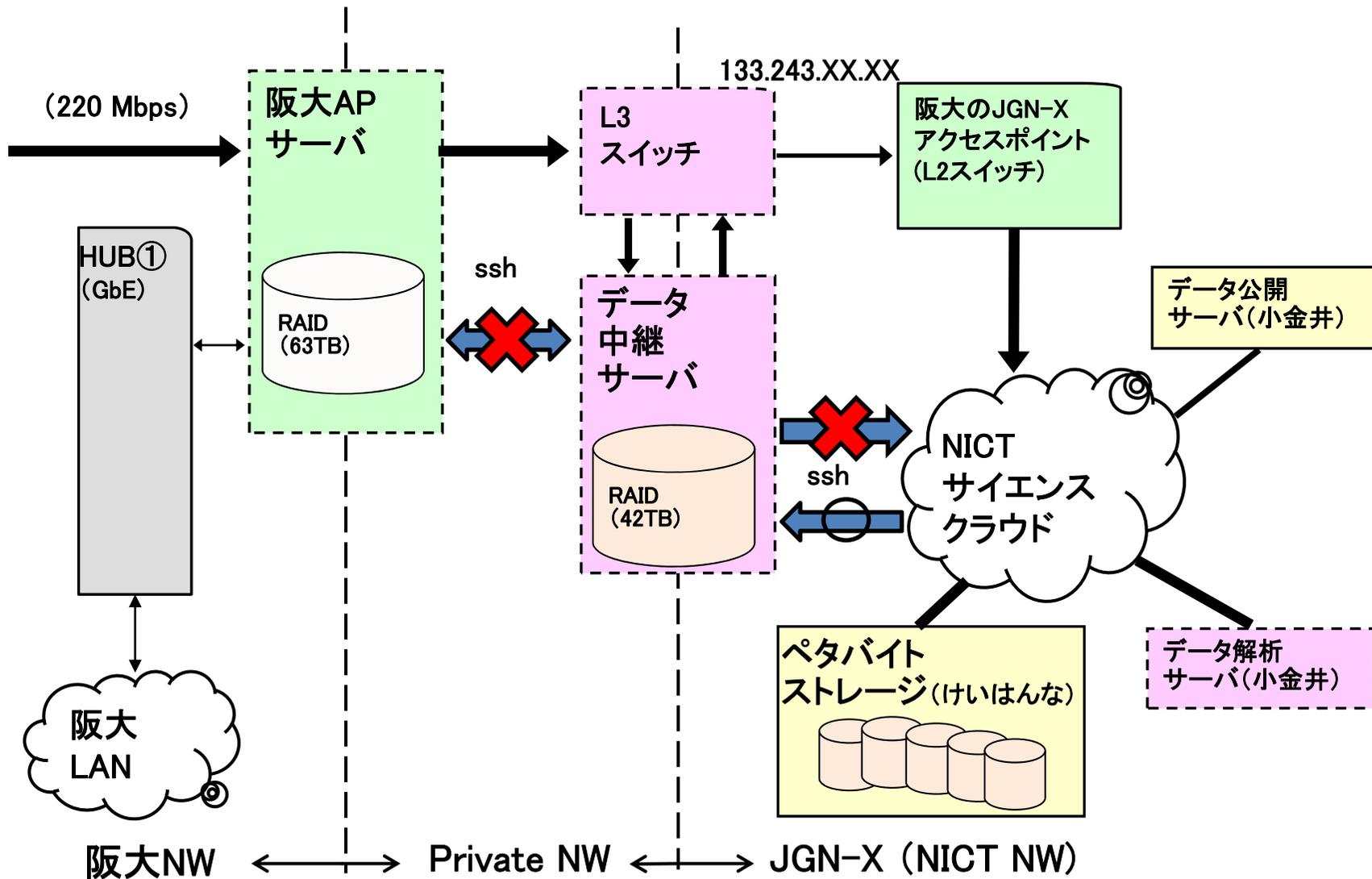
<b>AUTO.1 (10 sec.)</b>	<b>300 range × 320 sector (AZ) × 111 angle (EL) × 2 byte = 20.3 MB / file 13 file 合計サイズ(ヘッダー含む): 275 MB / 10sec ⇒ 220 Mbps</b>
<b>AUTO.5 (30sec.)</b>	<b>600 range × 300 sector (AZ) × 110 angle (EL) × 2 byte = 37.8 MB / file 13 file 合計サイズ(ヘッダー含む): 493 MB / 30sec ⇒ 131 Mbps</b>

※ GPGPUを用いたデータ変換部で同時に生成される上記の13種類のデータ(L1, L2)は極座標系で2 byteバイナリーで保存される。この13ファイルは、10秒運用モードの例では最大データレート220Mbpsで転送され、30秒運用モードでは131Mbpsとなる。もし10秒モードで24時間連続運用するとデータ容量は2.3TB/日となり、L3データを含めると更に大きくなるが、実際には無降雨時の運用の一時停止やデータ圧縮により、トータルのデータサイズはその数分の一以下と見込んでいる。

# データ“処理”システム (東芝)

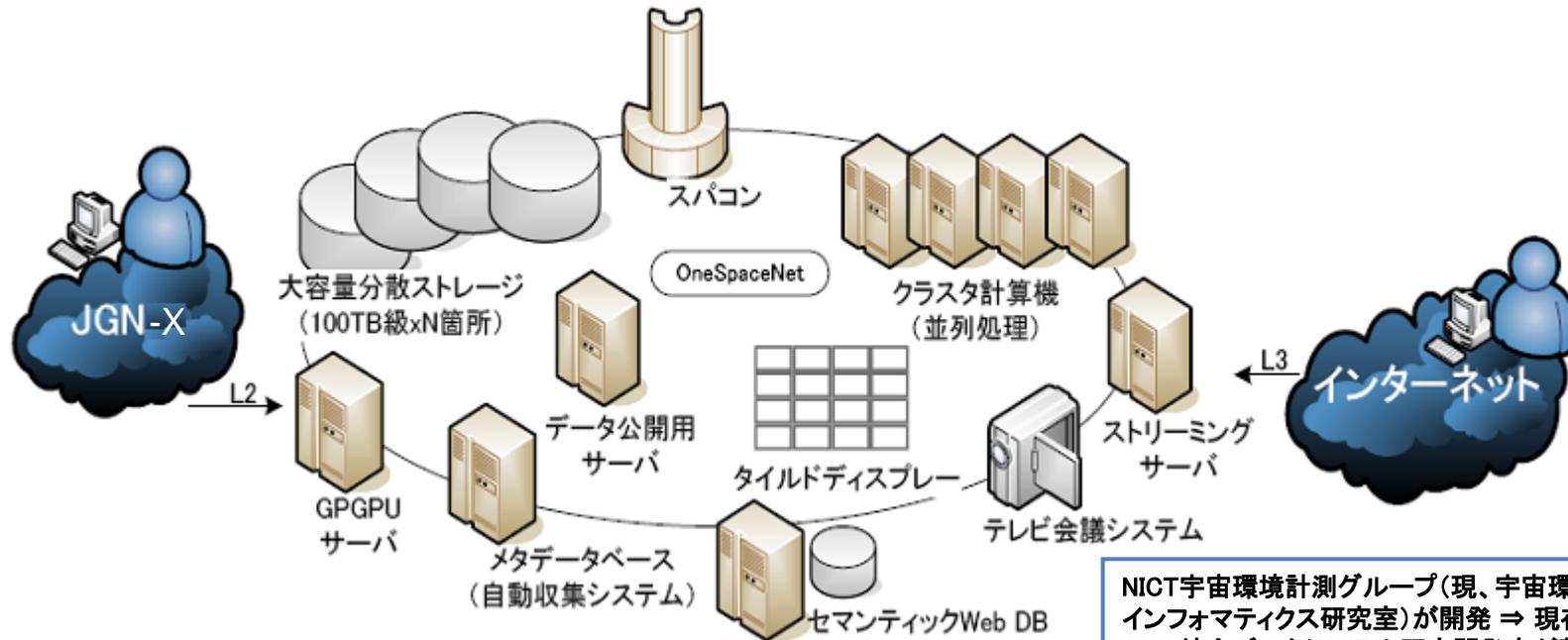


データシステム系統図 (太矢印は4~10Gbps、細矢印は1 Gbpsケーブル)

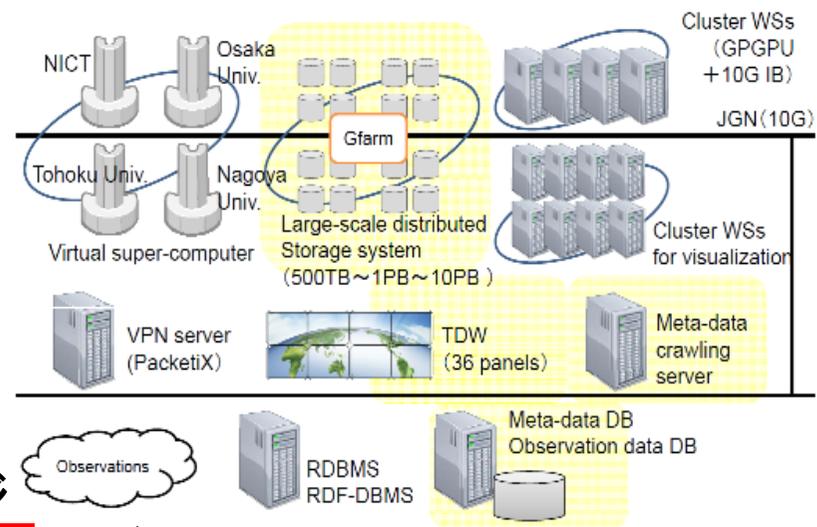
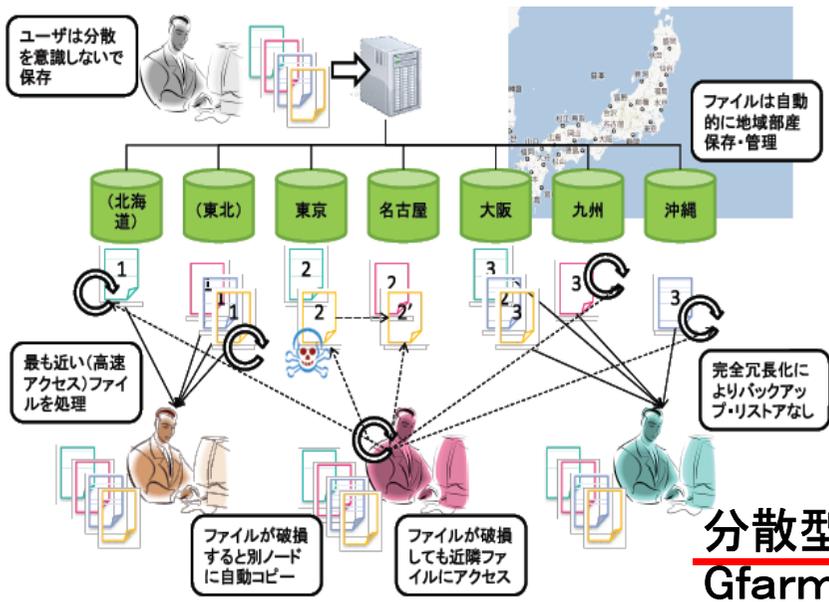


データシステム系統図 (太矢印は4~10Gbps、細矢印は1Gbpsケーブル)

# NICTサイエンスクラウド

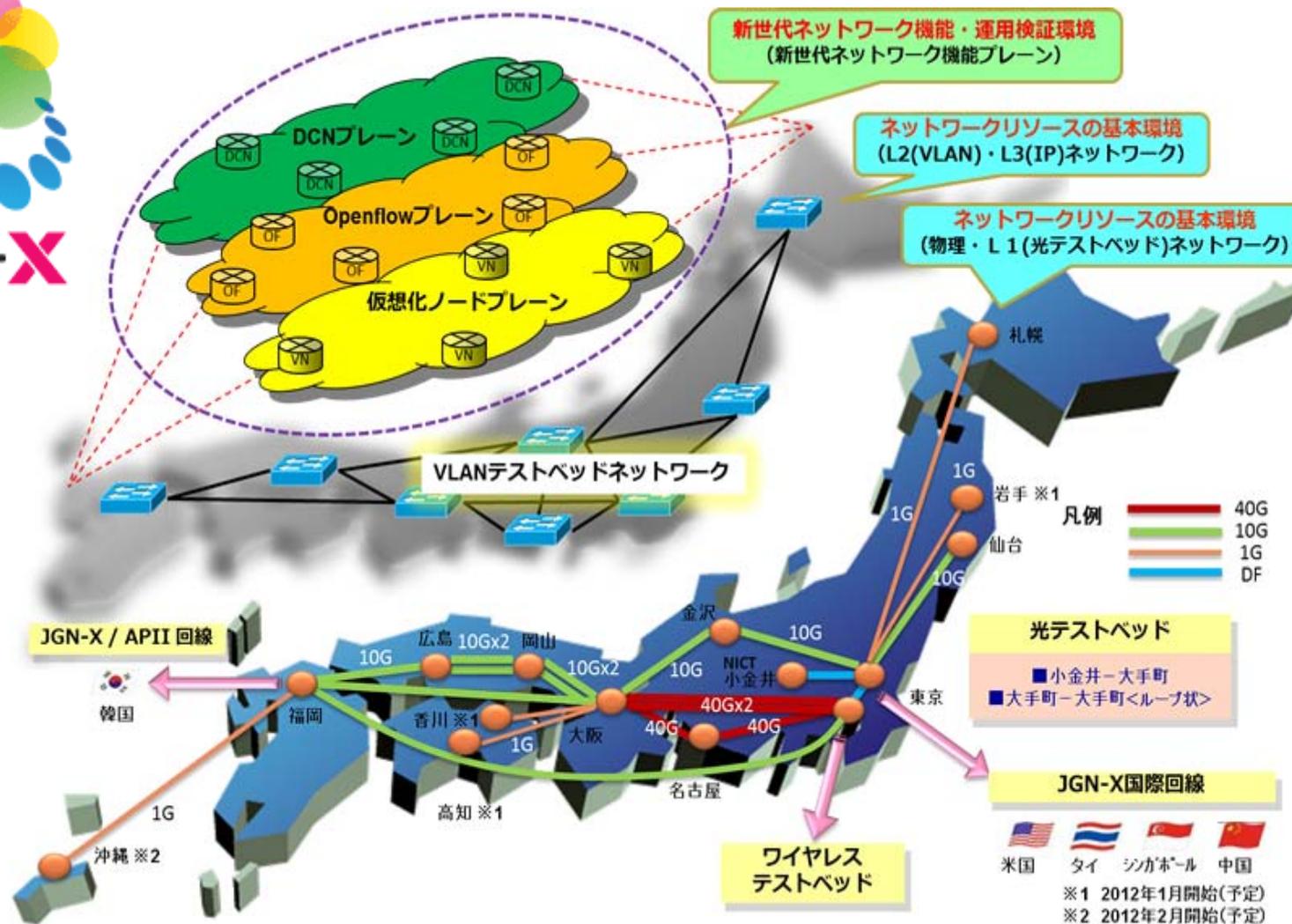


NICT宇宙環境計測グループ(現、宇宙環境インフォマティクス研究室)が開発 ⇒ 現在は、NICT統合データシステム研究開発室が整備



## 分散型ストレージ Gfarm (Grid Data Farm)

# JGN-X (New Generation Network Testbed)

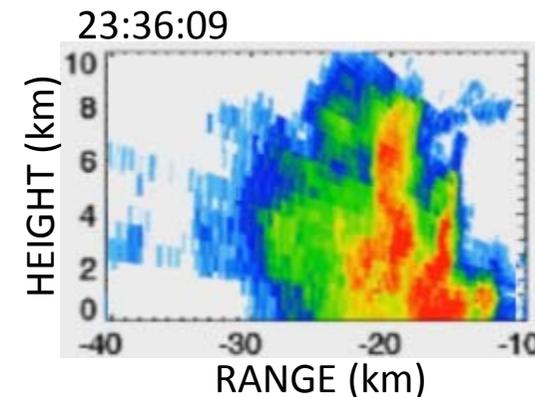
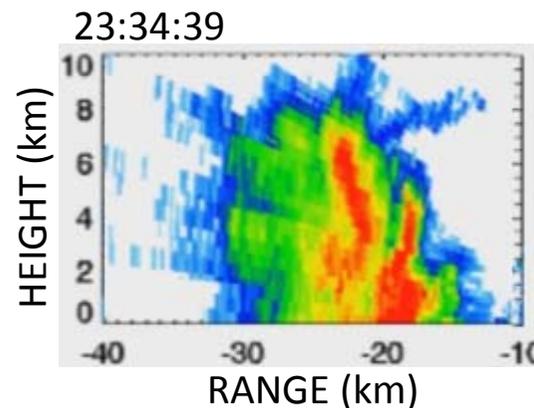
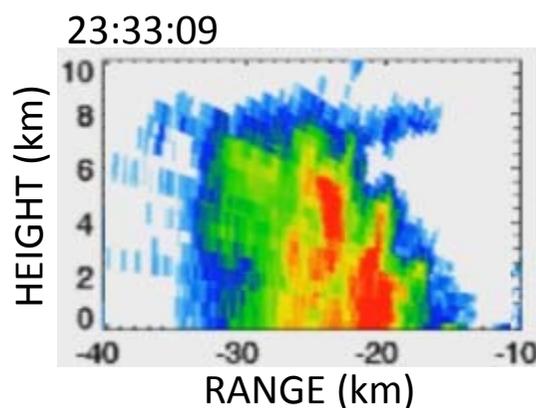


JGN (H11~) ⇒ JGN2 (H16~) ⇒ JGN2 plus (H20~) ⇒ JGN-X (H23~)

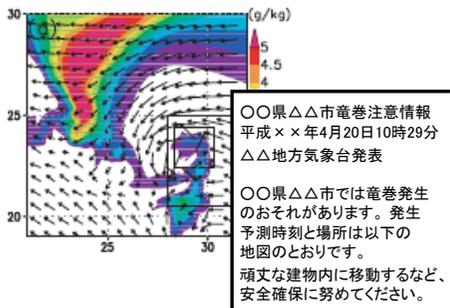
# リアルタイムデータ処理とデータ利用方針



- QL画像(降雨強度のみ)を阪大に設置するデータ中継サーバでリアルタイムに作成。
- 3次元直交座標に変換したレベル3データ(netCDF)は、サイエンスクラウド内のデータ解析サーバで作成。
- 外部研究ユーザはサイエンスクラウドにログインして、観測データを利用してもらう。



# フェースドアレイレーダの応用分野



数値予報モデルへのデータ同化、  
きめ細かな竜巻注意情報  
【気象庁】



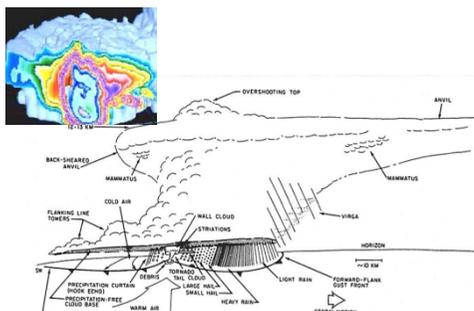
洪水予測、土砂災害予測  
【河川局】



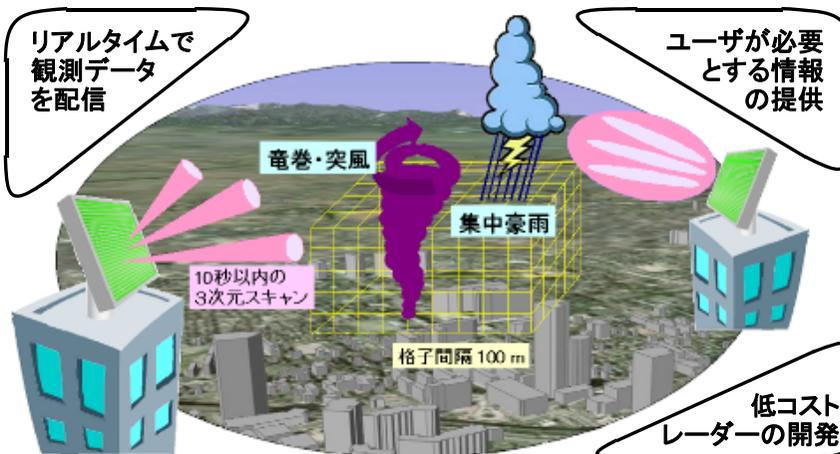
ダム放流(洪水調整)  
【ダム管理事務所】



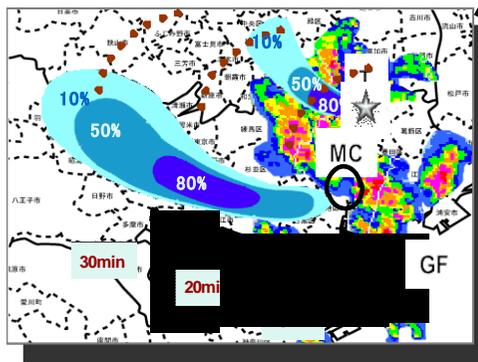
航空管制【航空局】



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】

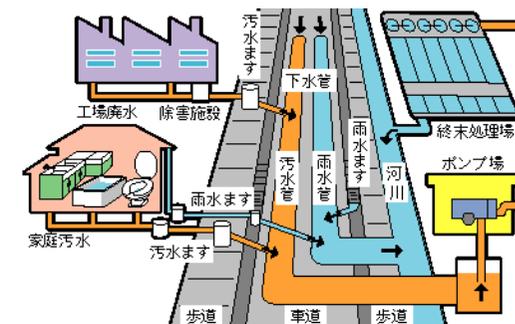


一般市民への情報提供  
【民間気象会社】

次世代ドップラーレーダー技術の研究開発  
【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】

# まとめ・今後の課題

- 10～30秒間で3次元空間を隙間なく観測できるフェーズドアレイ気象レーダを開発し、大阪大学吹田キャンパスで試験観測を開始。
- 積乱雲にともなう局地的大雨の3次元可視化コンテンツを試作。
- 大規模データをリアルタイムで解析処理しアーカイブするため、NICTサイエンス・クラウドを利用したデータ利用システムの開発を開始。
- 早期実用化・普及を目指して高時間分解能の3次元観測データの有効な利用方法を検討中。