

観測・予測技術開発の進展

(独)防災科学技術研究所

真木雅之

第2回竜巻等突風対策検討会 (2012.6.5, 内閣府)

発表内容

- 気象レーダのタイプ
 - 在来型, ドップラー, MPLレーダ
 - 各国の現業用レーダ
- 研究用レーダの開発状況
 - 科学技術戦略推進費「極端気象に強い都市創り」
X-NET, Kuバンド高速スキャン, CバンドMPLレーダ
 - フェーズドアレイレーダ
- 竜巻・突風などの予測技術
 - 気象庁の竜巻発生確度ナウキャスト
 - MPLレーダ情報の利用
- まとめ

レーダの定義

Radar: Radio detection and ranging

電波を使って、ある物体を検知し距離を測る機器

気象レーダの種類（地上レーダ）

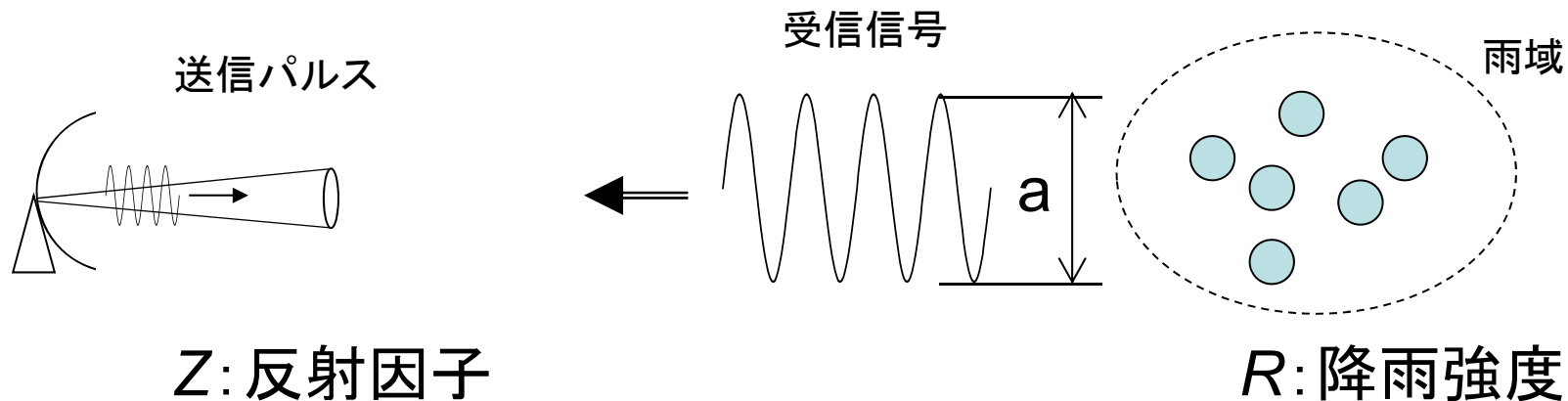
- 在来型レーダ
- ドップラーレーダ
- MPレーダ（二重偏波レーダ）

在来型レーダ

受信信号の強さから雨の強さと位置を測るレーダ

降雨強度に応じて受信信号の強さが変化

雨滴: 球状を仮定



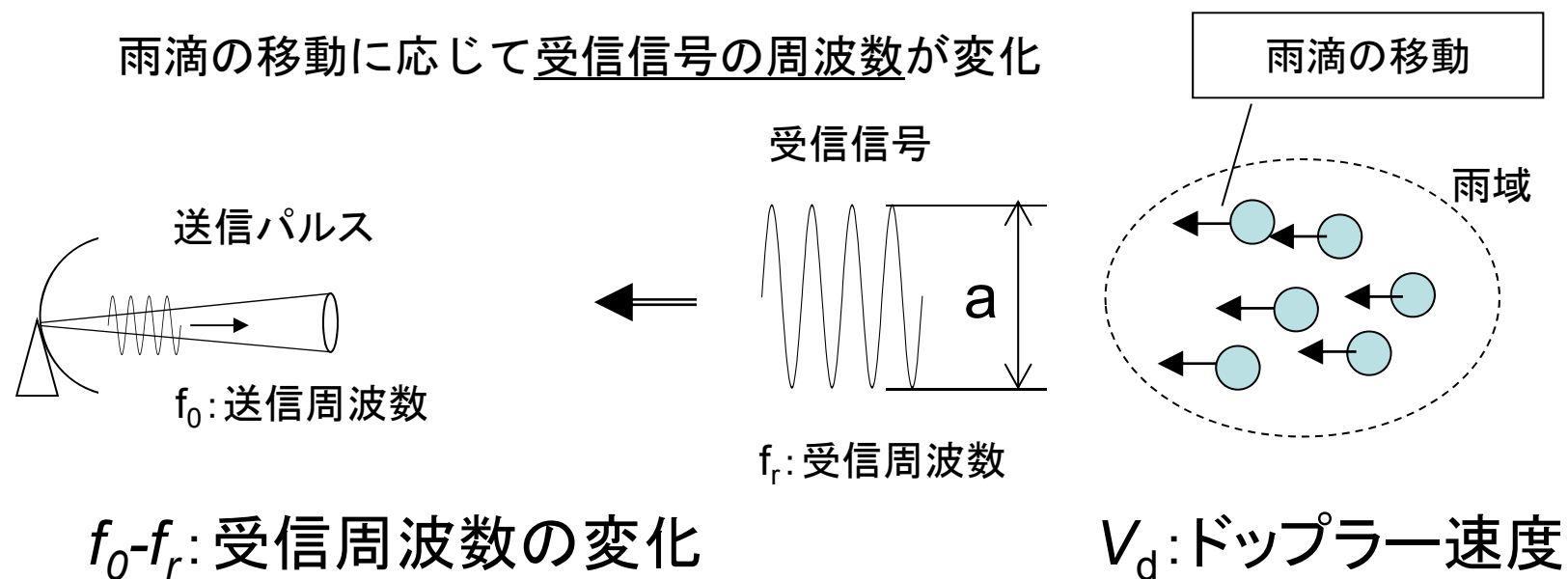
Z-R 関係式 (古典的な降雨強度の推定式)

$$Z = \alpha R^\beta \quad (\text{層状性の雨: } \alpha = 200, \beta = 1.6, \text{ 対流性の雨: } \alpha = 300, \beta = 1.4)$$

在来型レーダによる降雨の測定

ドップラーレーダ

受信周波数の変化から動径方向の風を測るレーダ

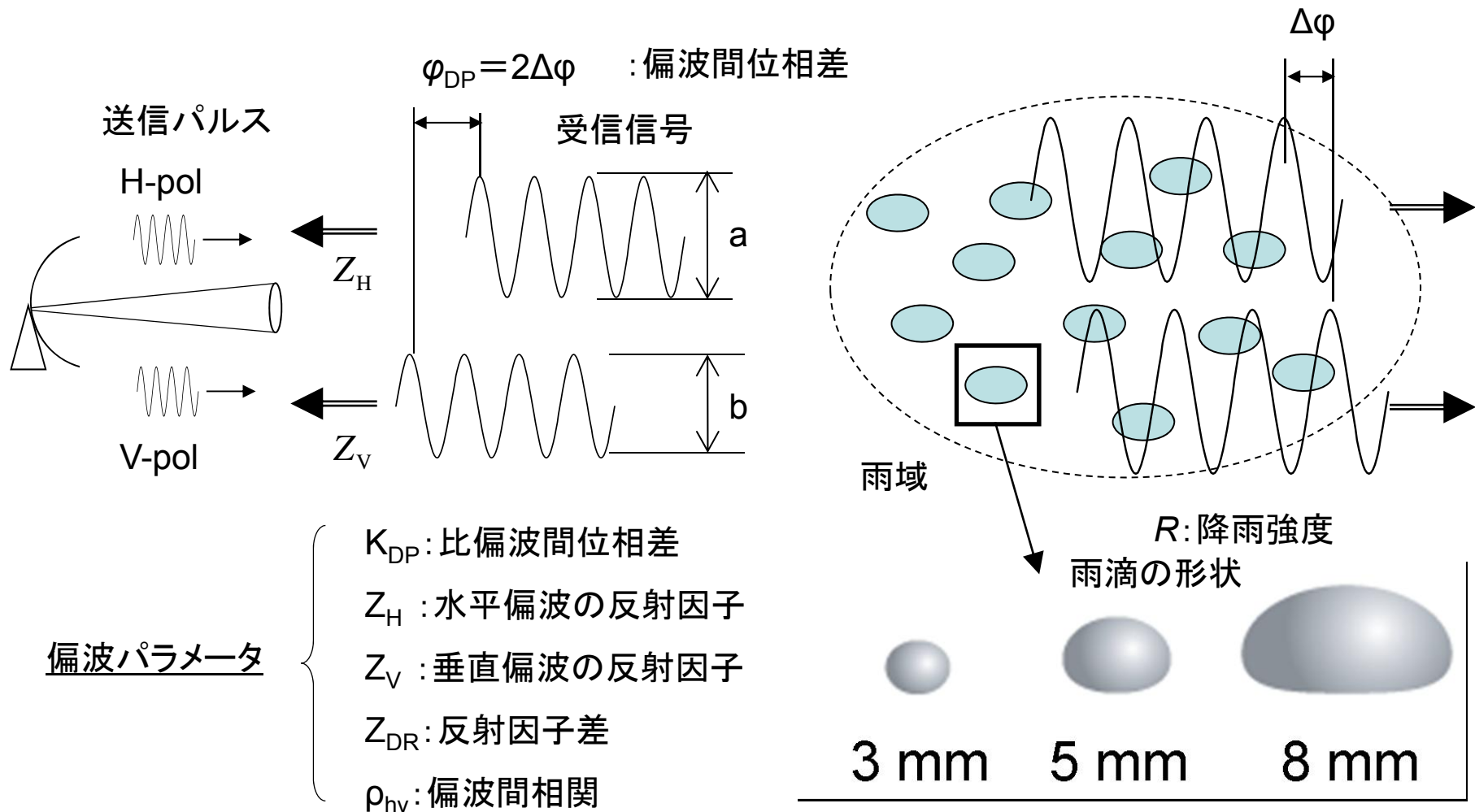


ドップラー速度
$$V_d = \frac{c \cdot (f_0 - f_r)}{2f_0}$$

ドップラーレーダによる動径風の測定

マルチパラメータレーダ (MPLレーダ)

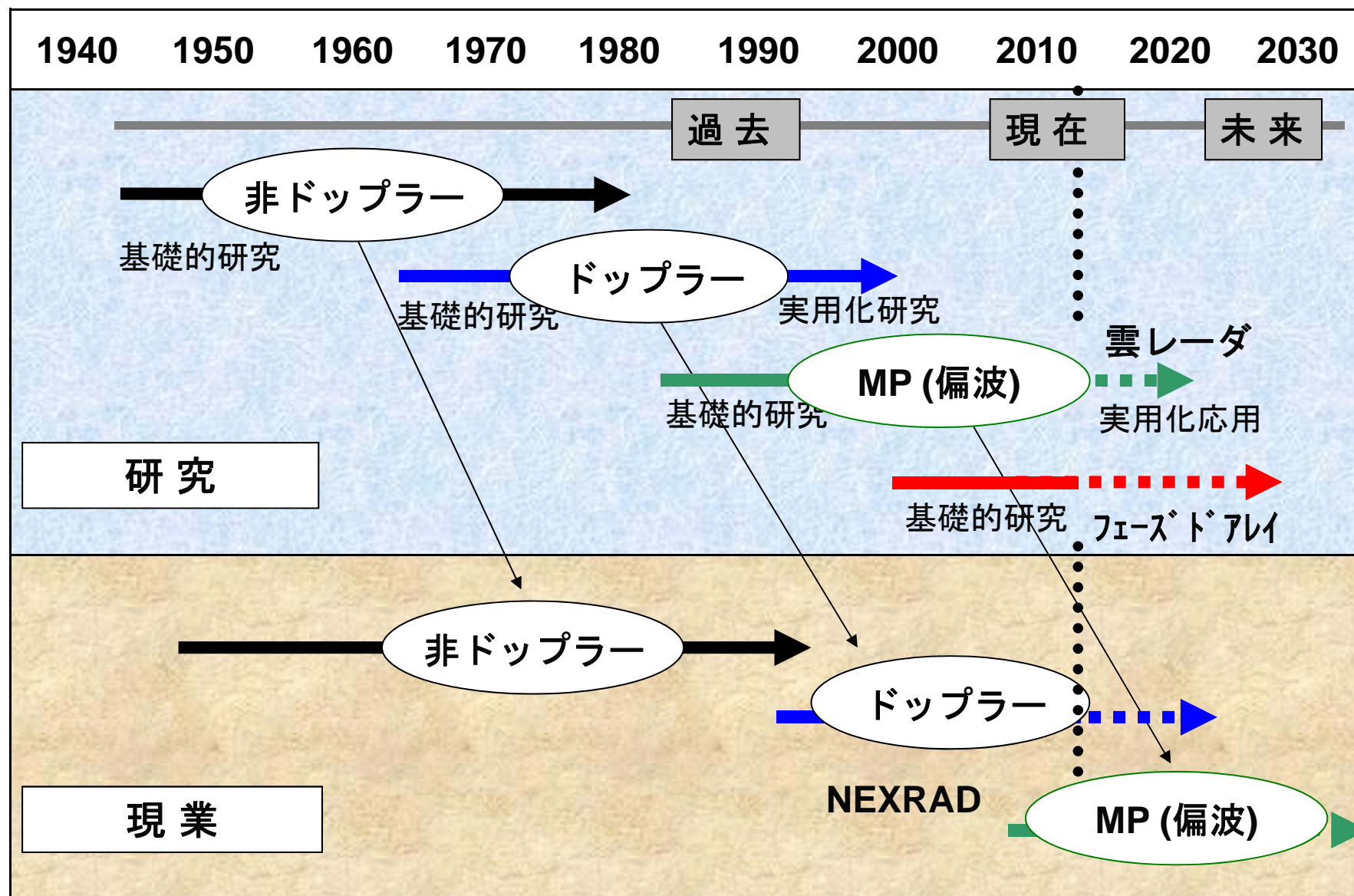
様々な偏波パラメータから降水に関する詳細な情報を測るレーダ



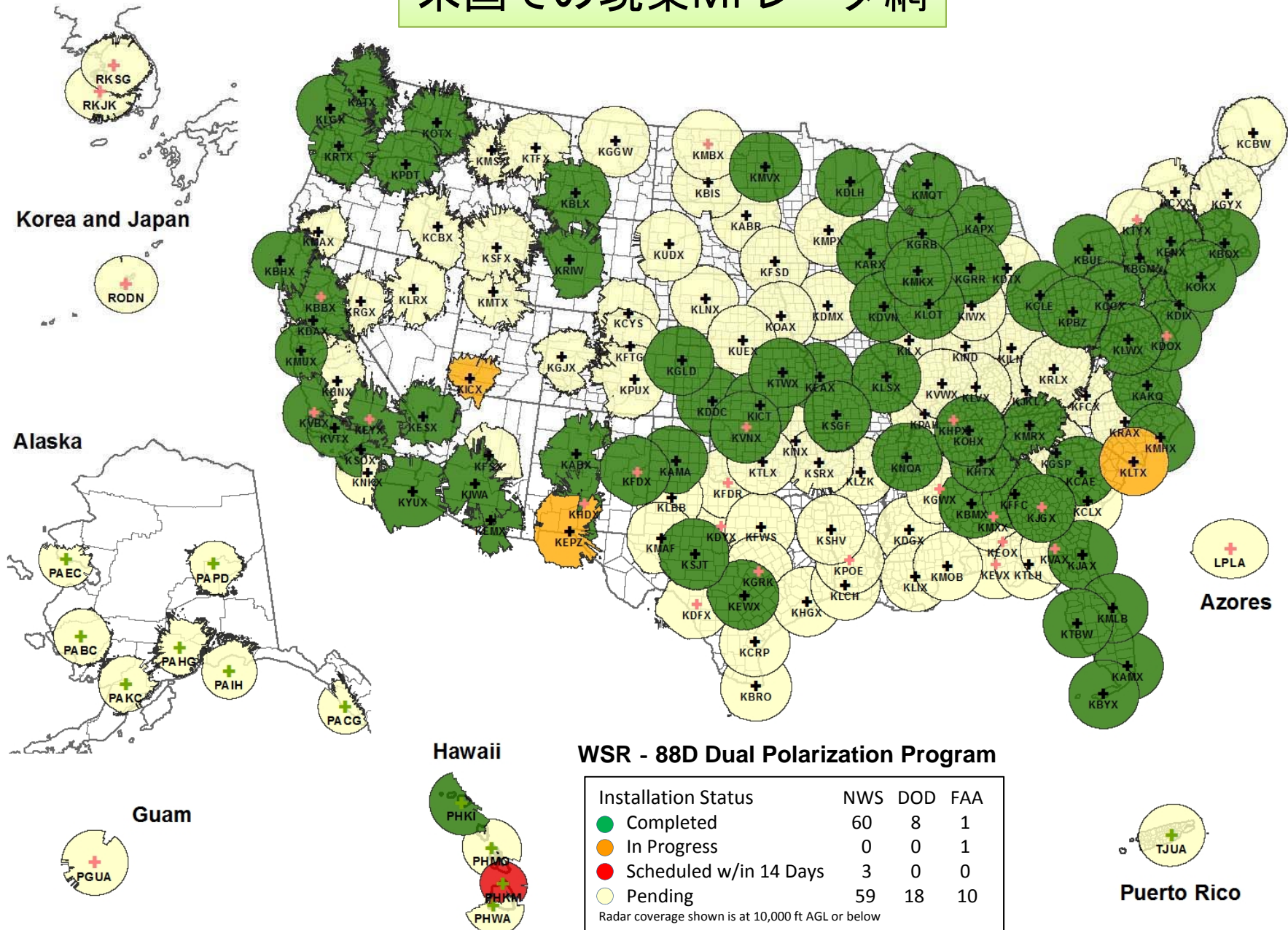
レーダのタイプと得られる情報

得られる情報		レーダのタイプ		
		在来型	ドップラー	MPLレーダ
降水の強さと分布	雨	○	○	◎
	雪	○	○	○
風の強さと分布	1台	×	○	○
	複数	×	◎	◎
降水パラメータ	種類・形	×	×	◎
	大きさ	×	×	◎

気象レーダの変遷



米国での現業MPLレーダ網



(NOAAレーダオペレーションセンターホームページより)

(V14.1 As of 2012 - 05 - 30)

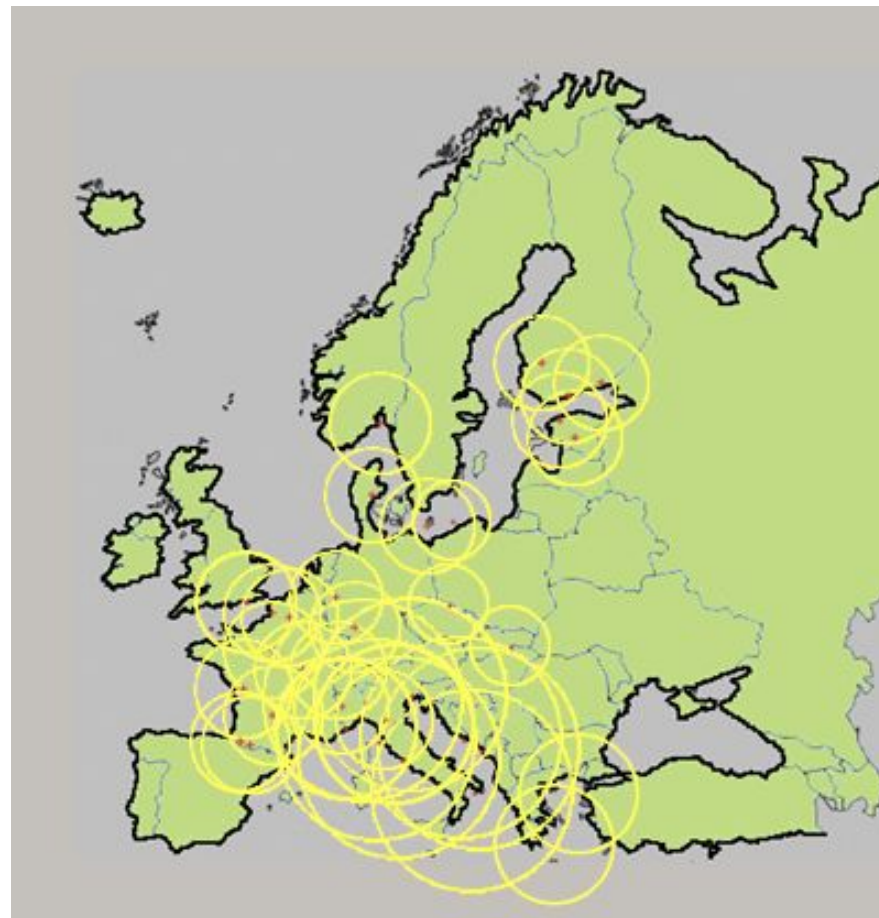
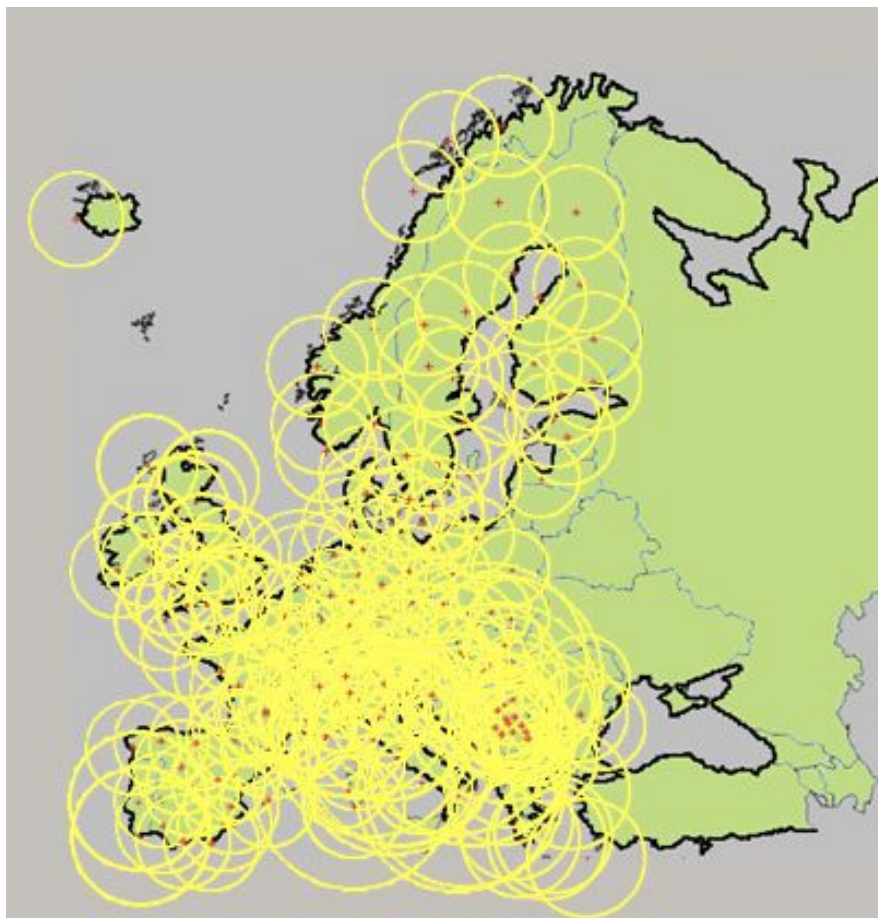
欧州での現業MPLレーダ網

OPEAR (1999年～2012年)

(欧州で実施中の各国の現業気象レーダ情報を共有するためのプログラム)

全レーダ (197台, 内38台がMPレーダ)

MPレーダ (Cバンド36台, Sバンド2台)

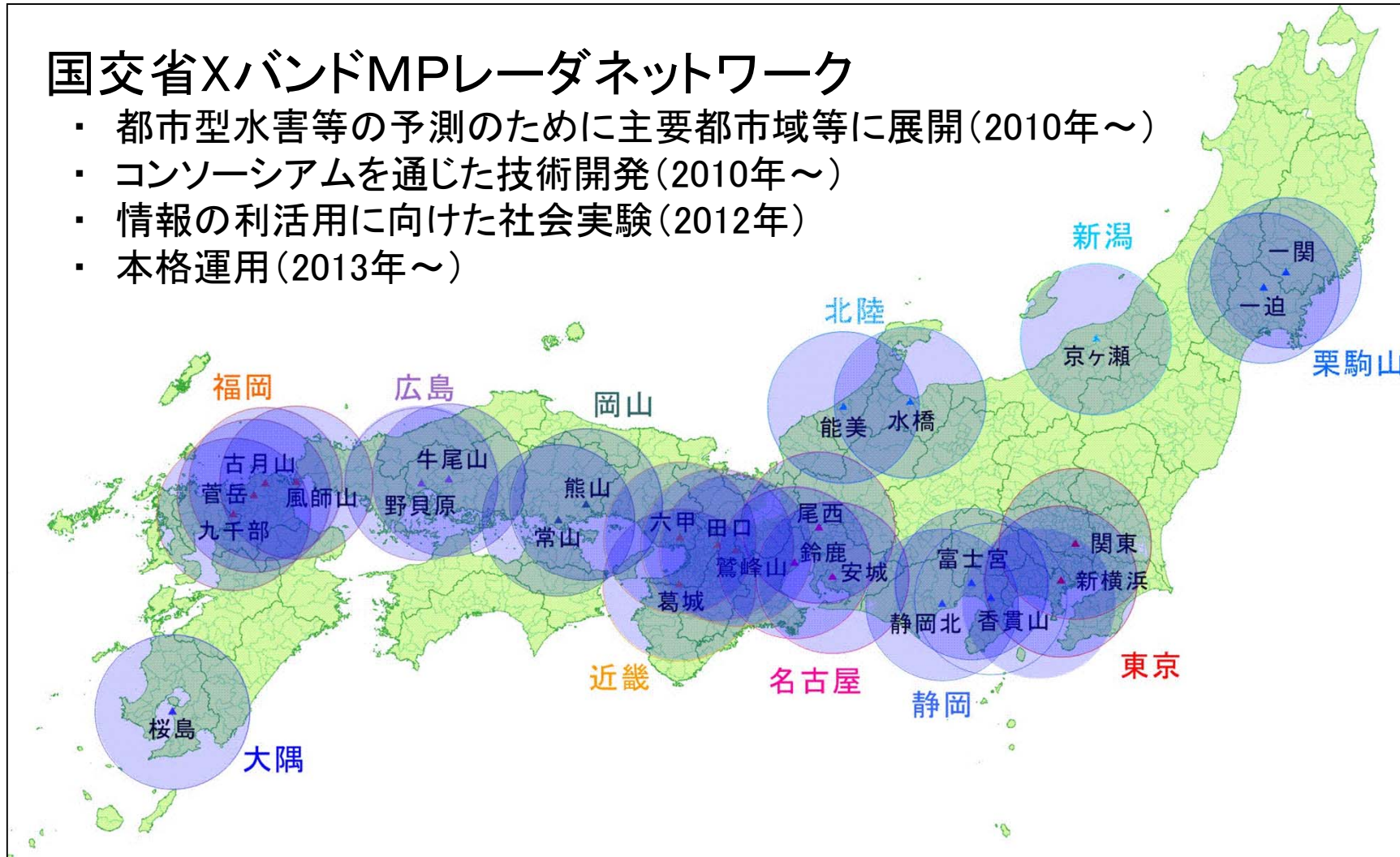


OPERAホームページ (<http://www.knmi.nl/opera/>) より

日本での現業MPLレーダ網

国交省XバンドMPLレーダネットワーク

- ・ 都市型水害等の予測のために主要都市域等に展開(2010年～)
- ・ コンソーシアムを通じた技術開発(2010年～)
- ・ 情報の利活用に向けた社会実験(2012年)
- ・ 本格運用(2013年～)

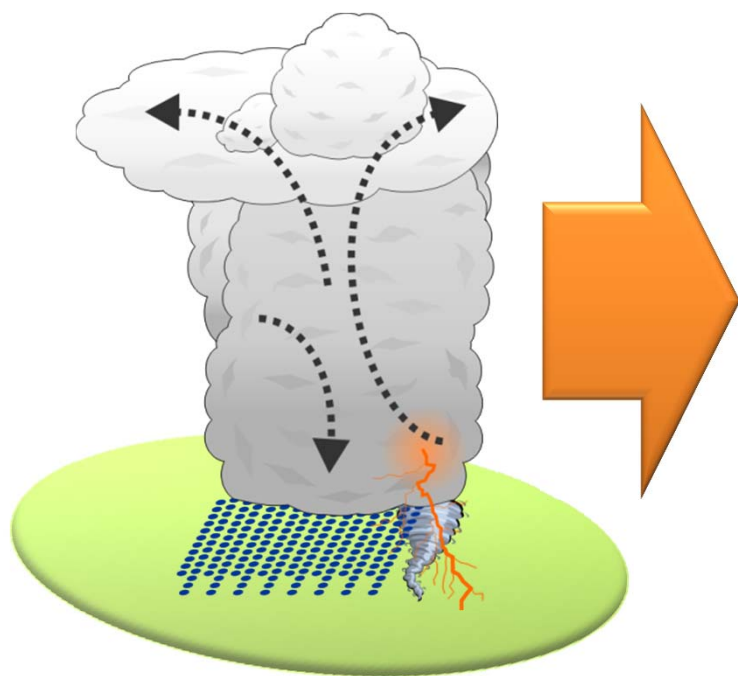


研究用レーダの開発状況

局所的に急激に発達する積乱雲を捉えるために

1. 極端気象に強い都市創りプロジェクト
様々な機器を用いた積乱雲の稠密観測
2. 速く観測
Kuバンドレーダ, フェーズドアレイレーダ
3. 早く観測
雲レーダ, ドップラーライダー, MTSAT
4. ネットワークで観測

極端気象は 発達した積乱雲によって引き起こされる



ゲリラ豪雨

08/07/28: 都賀川
08/08/05: 雑司が谷
10/07/05: 板橋区他



竜巻

90/12/11: 茂原市
06/09/17: 延岡市
06/11/07: 佐呂間町
12/05/06: つくば市他



降雹

00/05/24: 茨城・千葉
06/07/15: 都内
12/05/06: 茨城・埼玉



落雷

96/08/13: 高槻市
05/07/07: 藤沢市
10/06/30: 埼玉県
12/05/06: 釧路市他

科学技術戦略推進費「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」(2010～2014年)

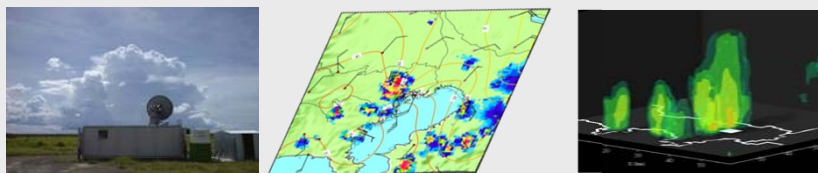
隘路①：現状の技術では予測が困難

課題1：稠密観測による極端気象のメカニズム解明

【理学的研究】

40名を越える気象学研究者による現象解明

- (1) 新たな観測技術の開発・実用化
- (2) 極端気象の観測解明
- (3) 統計的解析



科学技術戦略推進費「気候変動に対応した新たな社会の創出に向けた社会システムの改革プログラム」

ゲリラ豪雨, 雷, 竜巻などの突風をもたらす**積乱雲**の発生メカニズムを解明し監視技術, 直前予測技術を開発し, 社会実験を通じて社会への定着をはかる。

参加研究機関: 防災科研(課題代表機関)
気象研, 国総研, 情報通信研究機構,
気象協会, 東洋大, 東芝, 北大など
社会実験: 東京消防庁, 江戸川区, 横浜市,
藤沢市, JR東日本, JR東海, 大林組など

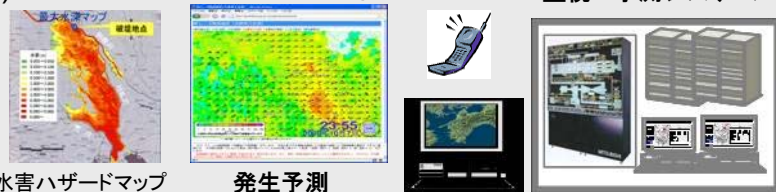
隘路②：情報の精度, 伝達の的確さ

課題2：極端気象の早期検知・予測システムの開発

【工学的研究】

エンドユーザとの双方向のやりとりを通じた開発

- (1) 極端気象の発生予測手法の開発
- (2) **極端気象の早期検知・予測システム**の開発と運用
- (3) 極端気象のデータベース構築



隘路③：プロジェクト終了後の継続性

課題3：極端気象に強い都市創り社会実験

【社会学的研究】

社会実験を通じたシステムの定着

- (1) 4つの分野での社会実験
① 救助活動 ② 危機管理 ③ 社会基盤 ④ 生活・教育
- (2) 解析と問題点の抽出, 提言



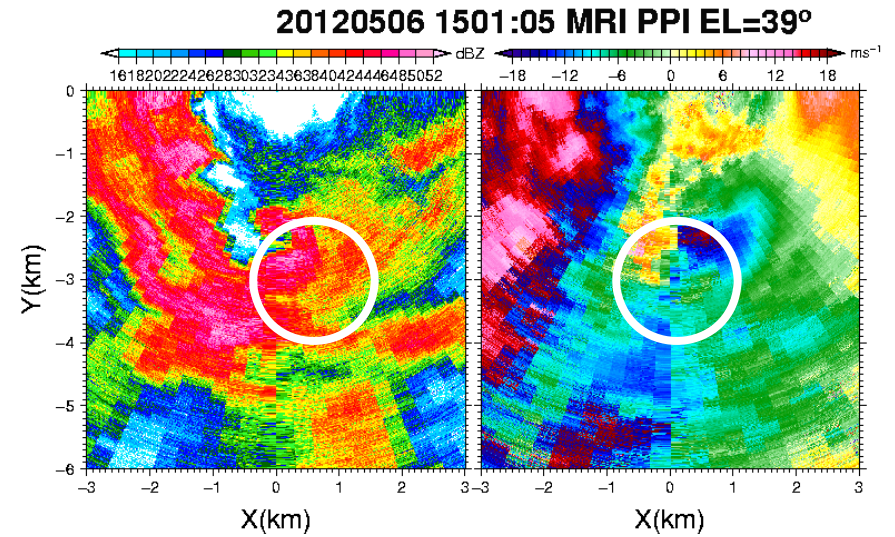
速く

Kuバンドレーダによる降水コアの検出

気象研究所

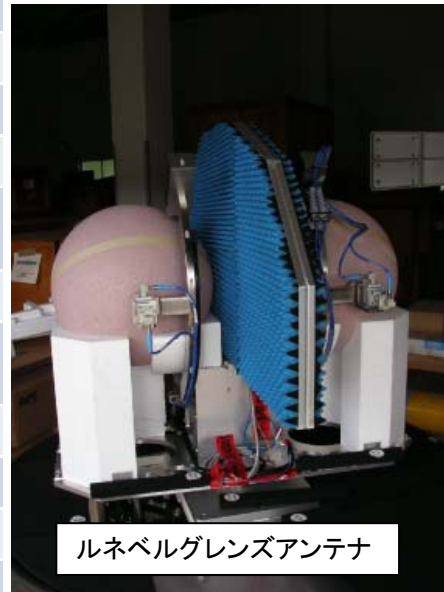


成蹊大学(東京都武蔵野市)における観測環境

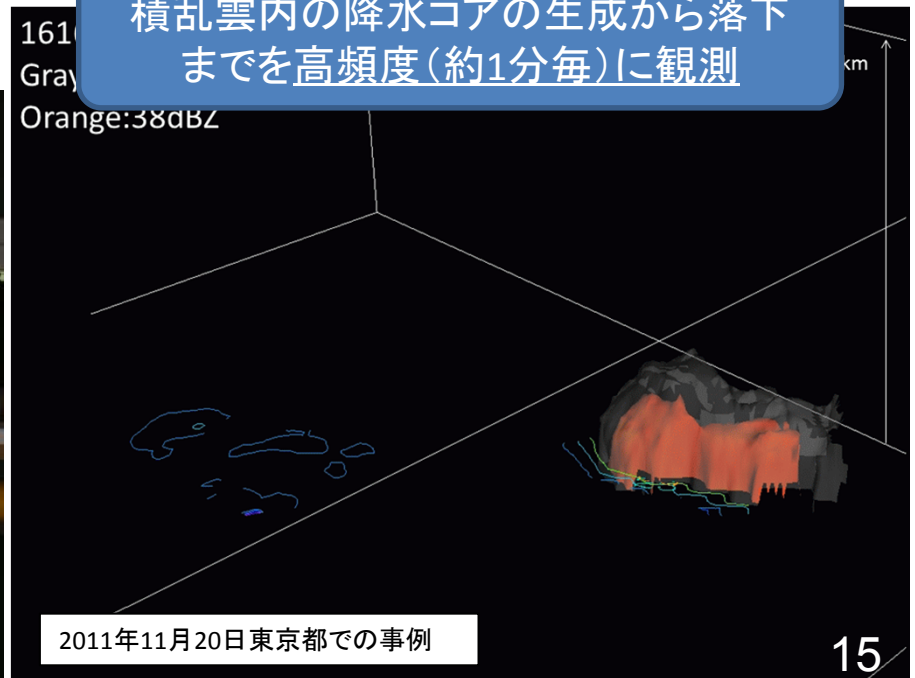


積乱雲内の降水コアの生成から落下までを高頻度(約1分毎)に観測

項目	諸元
周波数	15.75GHz
占有周波数幅	80MHz (最大)
変調方式	周波数変調
パルス幅	1~300 μ sec
パルス繰り返し周期	最大5000Hz
送信電力	10W (二重偏波)
空中線形式	ルネベルグレンズ×2 (送信・受信)
距離分解能	2.38m (可変)
方位分解能	3°
ビーム幅	3°
水平回転速度	最大40rpm



ルネベルグレンズアンテナ



2011年11月20日東京都での事例

速く

(総務省NICT委託研究)

TOSHIBA
Leading Innovation >>>

大阪大学 NICT

フェーズドアレイドップラーレーダの開発

大阪大学と東芝は共同で、突発的局地現象の迅速・的確な観測のために、1次元アレイ技術、デジタルビームフォーミング技術を組み合わせることで、電子走査型のXバンドフェーズドアレイ・ドップラー気象レーダを開発した。レーダーサイトを中心に距離15kmから60km程度までを3次元で、空間分解能(最小100m)、時間分解能(最短10秒, 1分以下)程度で観測する。

仰角0~90°を観測するために、送信波は広いビームを送信

竜巻等を直接観測可能な
高速かつ高空間分解能

受信時にDBF処理により36仰角程度のマルチビームを形成

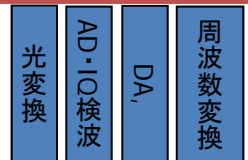
2m四方程度の1次元アレイアンテナによりアンテナビーム幅1°程度の観測

空中線が方位方向に360°回転することによる、全方位観測

レーダー処理

送受信素子
スロットアンテナ

送受信部



47TB程度の保存装置にて7日以上
の観測データ保存

2012年5月
大阪大学建屋屋上に設置
6月から評価観測を実施予定

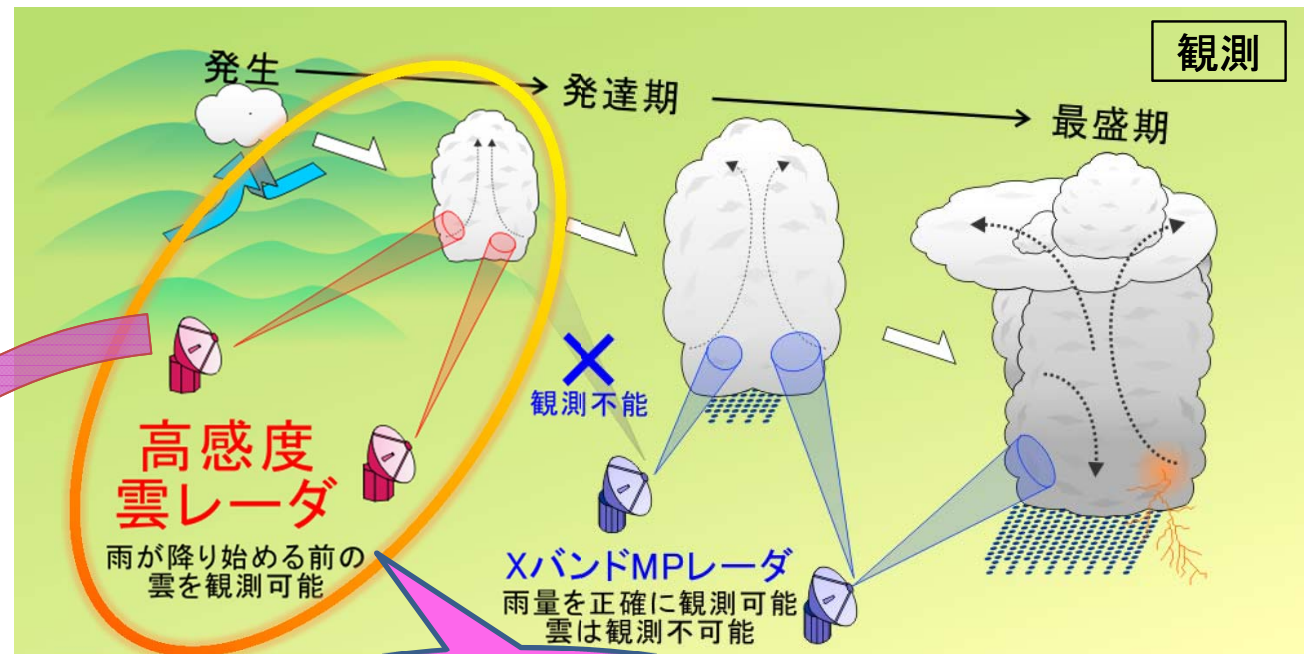


早く

高感度雲レーダとデータ同化による 極端気象を引き起こす発達した積乱雲の早期予測技術開発

- 竜巻や「ゲリラ豪雨」などの極端気象は、発達した積乱雲によって引き起こされる。
- XバンドMPLレーダによる降雨量の監視技術は開発済みだが、降雨開始後の情報しか得られない。竜巻や「ゲリラ豪雨」などの極端気象災害の軽減・防止には、高感度雲レーダによる積乱雲の発生初期段階の検知と、そのデータ同化による早期予測技術の開発が必要。

	MPLレーダ	雲レーダ
周波数	9 GHz帯 (Xバンド)	35 GHz帯 (Kaバンド)
観測対象	雨粒	雲粒
感度	△	◎
偏波観測	雨量推定 雹の検出	氷晶検出
気流観測	○	○
空間分解能	○	◎
観測範囲	半径80 km	半径30 km



観測データの
数値予測モデルへの
同化

数値予測モデル

降雨開始前に積乱雲の発達を予測

予測情報

- 雨量は—
- 渦は—
- 雹は—

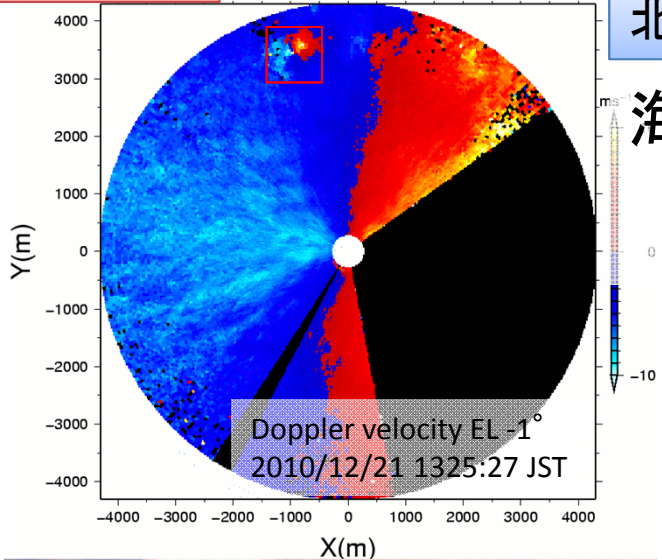
実証実験

- 水防態勢発令支援
- 避難判断支援
- 土木・建築工事の安全管理支援
- 交通機関の安全運行管理支援

早く

ドップラーライダーを用いた観測

北海道大学



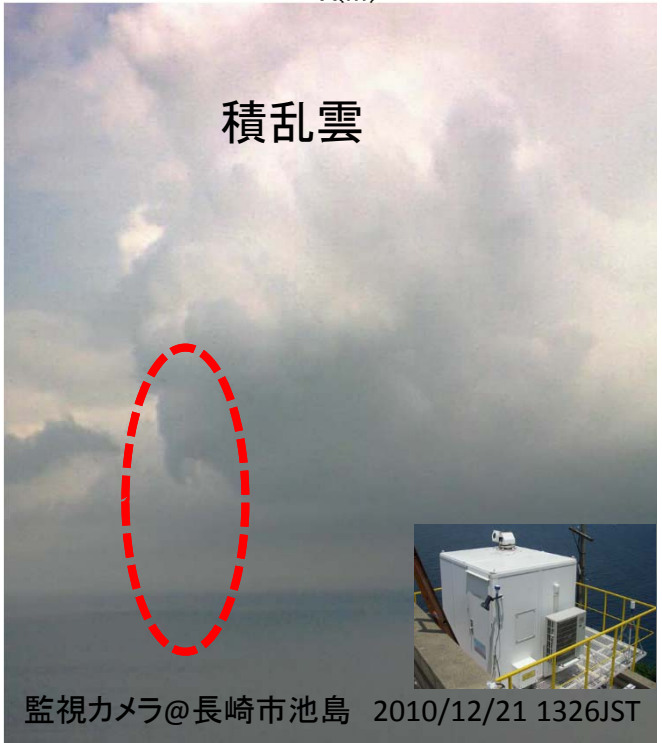
海面付近の鉛直渦・周囲の気流の観測に成功

PPI仰角-1° の観測高度範囲: 海面~75m ASL

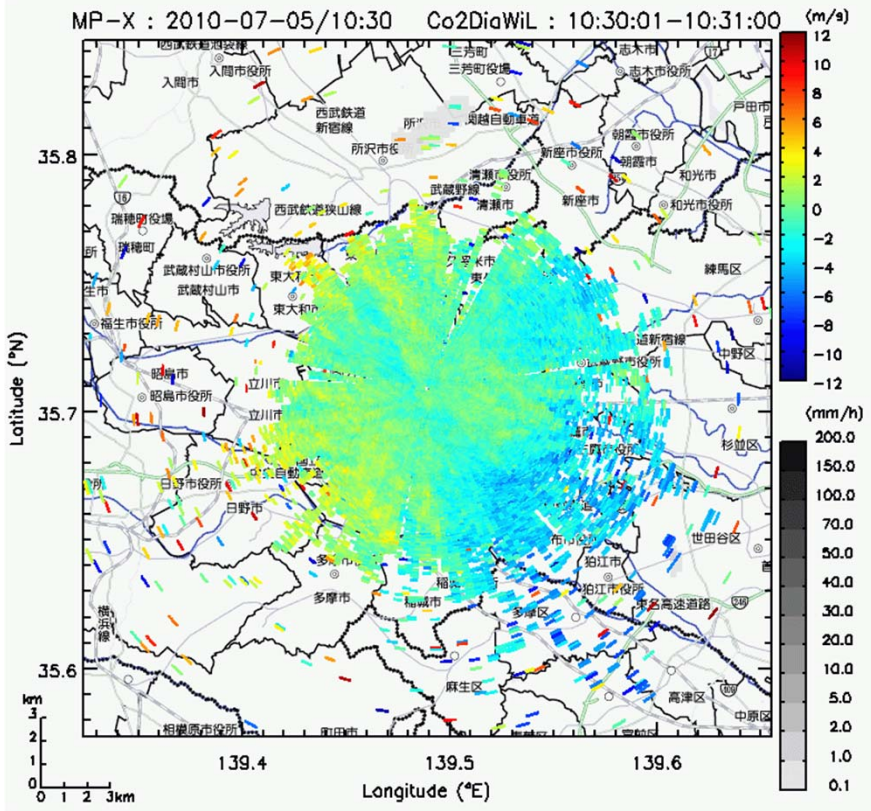
分解能: 視線50m, 方位角4.5-60m

無降雨時の大気の気流の観測

仰角4度、1rpmPPIスキャン、方位角分解能約2度、レンジ分解能約76mで視線方向風速を算出



積乱雲



NICT

X-NET & 研究・現業レーダ

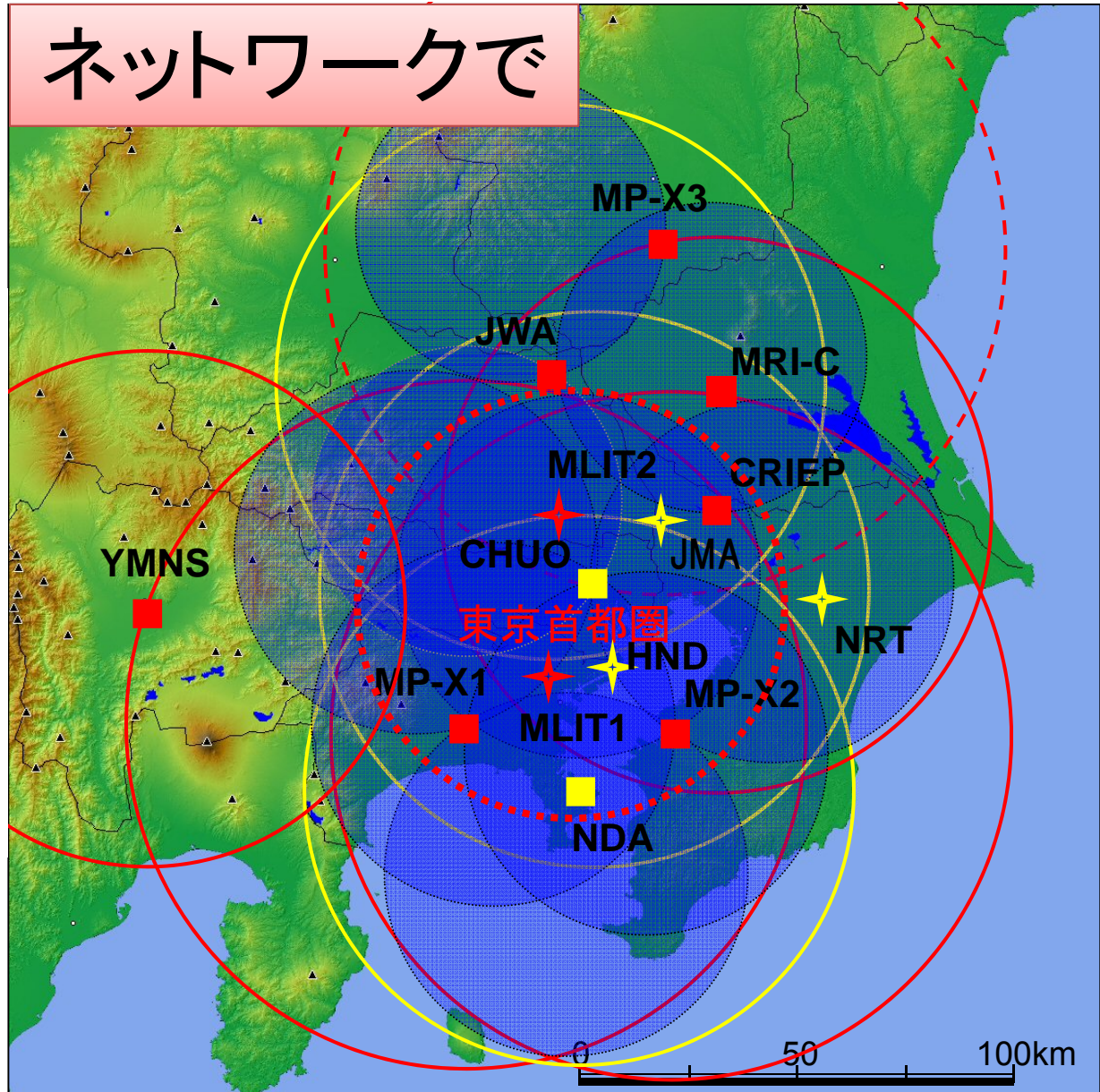


X-NETは関東地方の複数の研究所と大学が共同で進めているXバンド(3cm波長)の気象レーダネットワークで、極端気象の監視と予測手法の確立を目指しています。

X-NETを構成する研究レーダ
MP-X1～MP-X3 (防災科研)
CHUO-U (中央大)
NDA (防衛大学校)
JWA (日本気象協会)
CRIEP (電力中央研究所)
YMNS (山梨大)

- 研究MPレーダ
- ★ 現業MPレーダ
- 研究ドップラーレーダ
- ★ 現業ドップラーレーダ

ネットワークで



X-NETによる強風監視(科学技術戦略推進費)

防災科研

X-NETグループ



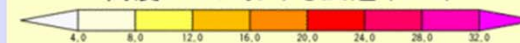
次世代気象災害監視 レーダネットワーク

近年発生した大都市における豪雨は、地下空間・通信・交通などの高度に発達した都市機能・経済活動に大きな影響を与え、大都市の持つ新たな弱点が明らかになりました。また、豪雨をもたらす積乱雲は、竜巻・ダウンバーストなどの強風・突風災害を引き起こすことも多く、それらを監視・予測するシステムが必要とされています。

防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部ではXバンド(波長3 cm)マルチパラメータレーダー(MPLレーダー)とよばれる高性能気象レーダーを導入し、高精度な降雨強度推定手法を開発しました。さらに、他機関との協力により「次世代気象災害監視レーダネットワーク(X-NET)」を構築し、豪雨・強風・突風の監視とそれらの予測に関する研究を行っています。

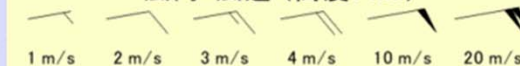
- 降雨強度の推定に用いたレーダ
- 風向・風速の推定に用いたレーダ
- ▲ 防災科学技術研究所(つくば)

高度1 kmにおける風速 (m/s)



風向・風速は降水のあるところしか観測できません。そのため、図示されていない領域にも強風がある場合があります。

風向・風速 (高度1 km)



13:00
2012年5月10日

この地図の作成にあたっては、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図25000(行政界・海岸線)を使用したものである。(承認番号 平20業使 第253号)

提案：国土交通省のXバンドMPLレーダネットワークを用いた 強風・突風の監視システムの開発研究

【問題点】

竜巻などの突風は局所的にかつ急速に発生し消滅するため

- ・通常の気象観測網では検出が困難
- ・予測も困難（竜巻注意情報の的中率5-10%、補足率20-30%、気象庁による）
- ・メカニズムがよくわかっていない



【目的と目標】

竜巻などの突風による被害を最小限にとどめるため、国土交通省XバンドMPLレーダネットワークデータを用いた強風・突風等をリアルタイムで検出する手法を開発する。

【研究内容】

2013年度に本運用を開始する国土交通省XバンドMPLレーダネットワークの（利活用をはかる。このために

- ①強風・突風等のリアルタイム検出手法の開発研究
- ②国土交通省XバンドMPLレーダネットワーク強風・突風等のデータベースの整備

【期待される成果】

全国の主要都市域のデュアルドップラー観測範囲を対象として

- ・高度1kmの1分毎、250m間隔の風向・風速情報
- ・突風等のメカニズムの解明
- ・気象学、風工学コミュニティ等での有効活用

【研究体制】案

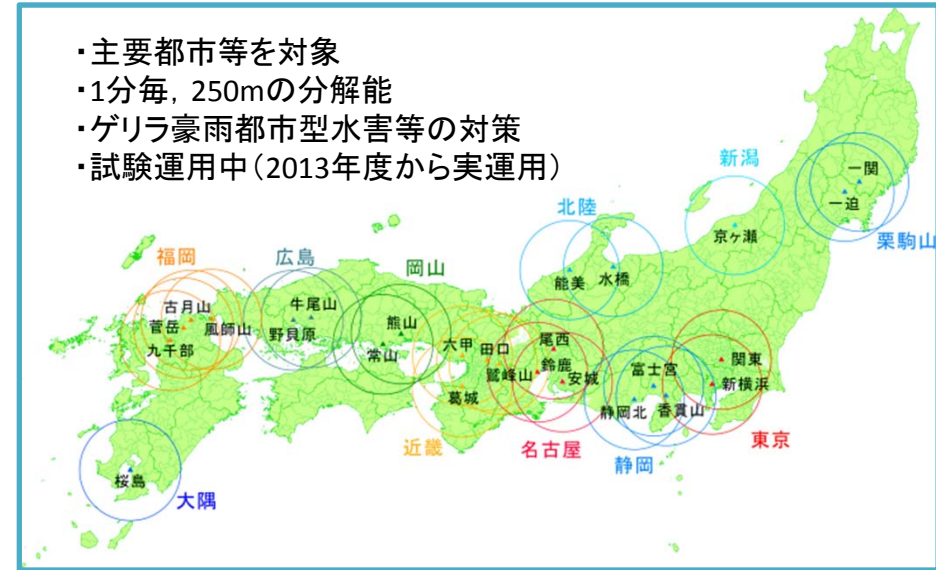
X-NET研究グループ

防災科研

中央大学、防衛大学校、山梨大学、
電力中央研究所、日本気象協会

国交省XバンドMPLレーダネットワーク

- ・主要都市等を対象
- ・1分毎、250mの分解能
- ・ゲリラ豪雨都市型水害等の対策
- ・試験運用中（2013年度から実運用）



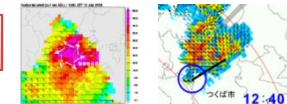
観測データ

MPLレーダ解析室(2010～, 防災科研, つくば)

- ・国土交通省XバンドMPLレーダを リアルタイムで処理
- ・データベース化



強風・突風情報



国土技術政策総合研究所

気象研究所

大学

竜巻等突風の予測技術

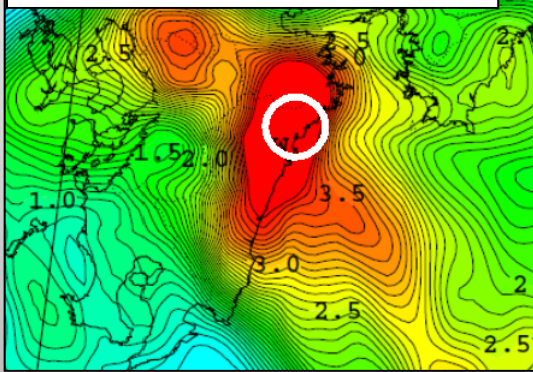
- ◆ 竜巻は水平水ケールが数十メートル～数百メートルで平均寿命が10分程度であるため、竜巻そのものを予測することは現時点では不可能。
- ◆ レーダ観測から竜巻の親雲の検出、数値モデルにより積乱雲が発達する環境場を予測することで竜巻発生確度を推定する。
- ◆ MPLレーダ観測から得られる偏波パラメータを使って竜巻を検出できることがわかってきた。

気象庁の竜巻発生確度ナウキャスト

数値予報モデル

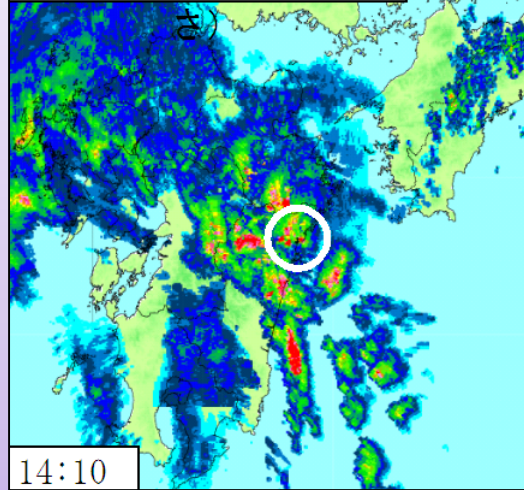
突風ポテンシャル指数

積乱雲が発生しやすい環境
鉛直方向に風向風速の変化



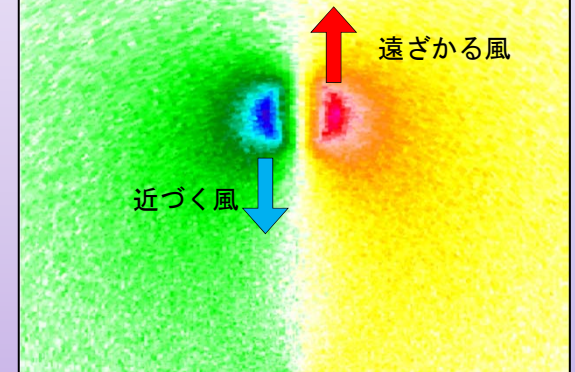
ドップラーレーダ観測

レーダー（雨雲の強さ）

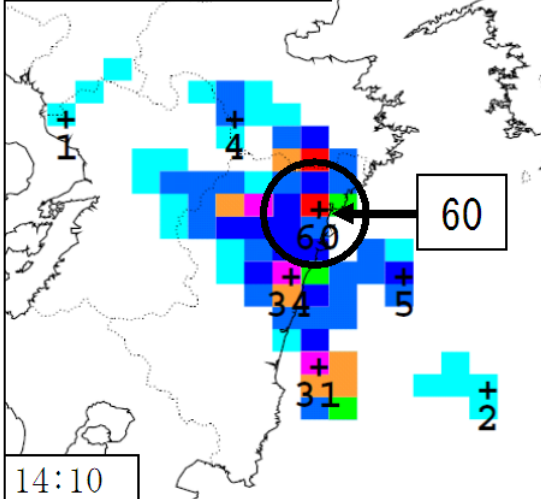


親雲の検出

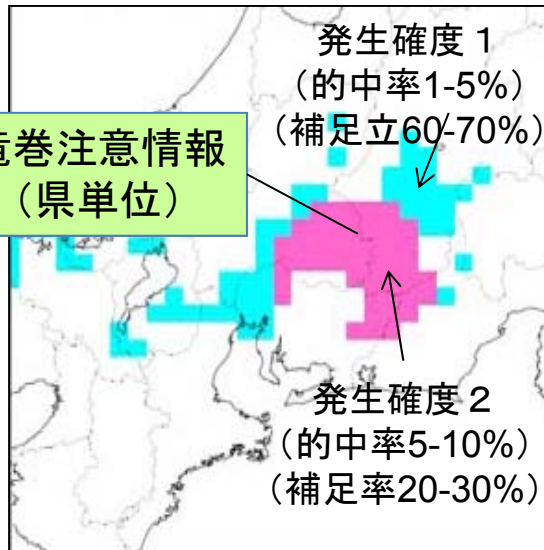
メソサイクロンの抽出



突風危険指数



竜巻注意情報 (県単位)



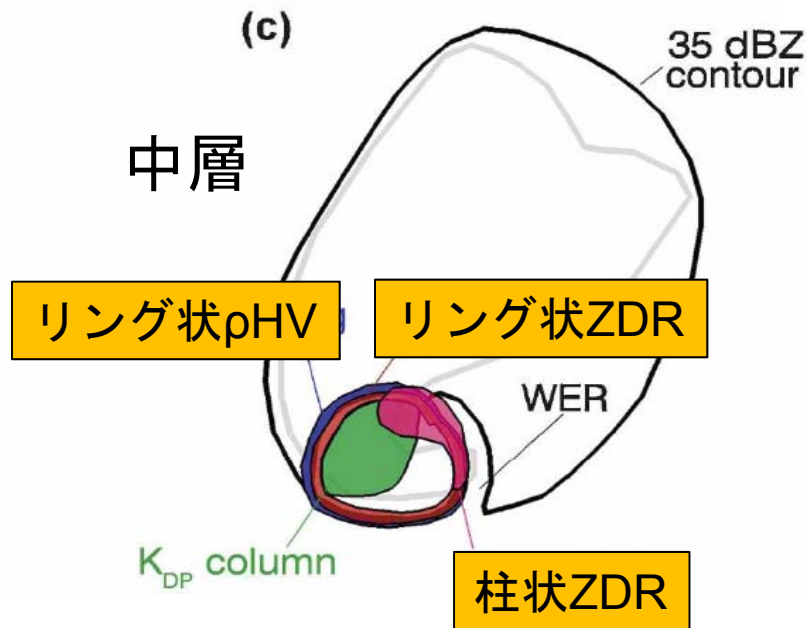
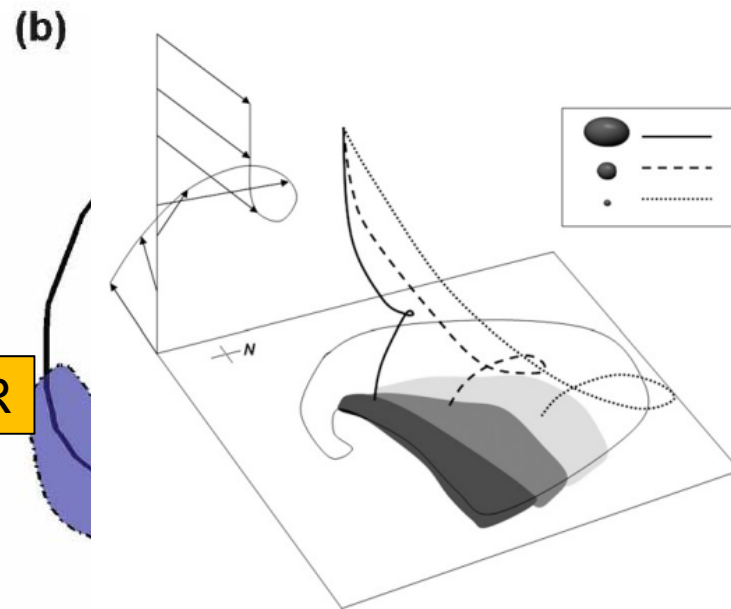
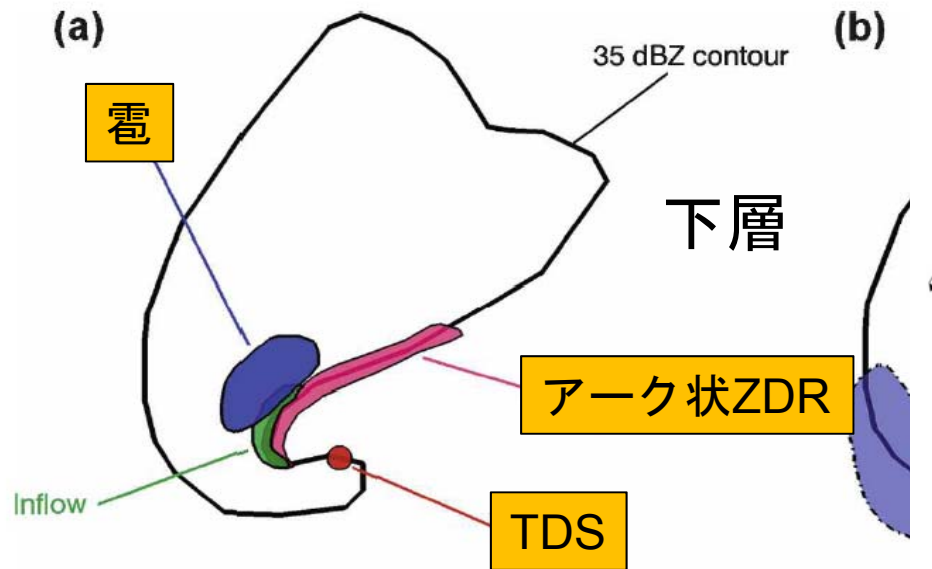
竜巻発生確度ナウキャスト

1時間先までの予報
10分間隔
10km格子

問題点：
低い的中率，高い見逃し率
予測の更新間隔

(気象庁ホームページを参考に作成) 23

MPLレーダ情報を利用した竜巻検知



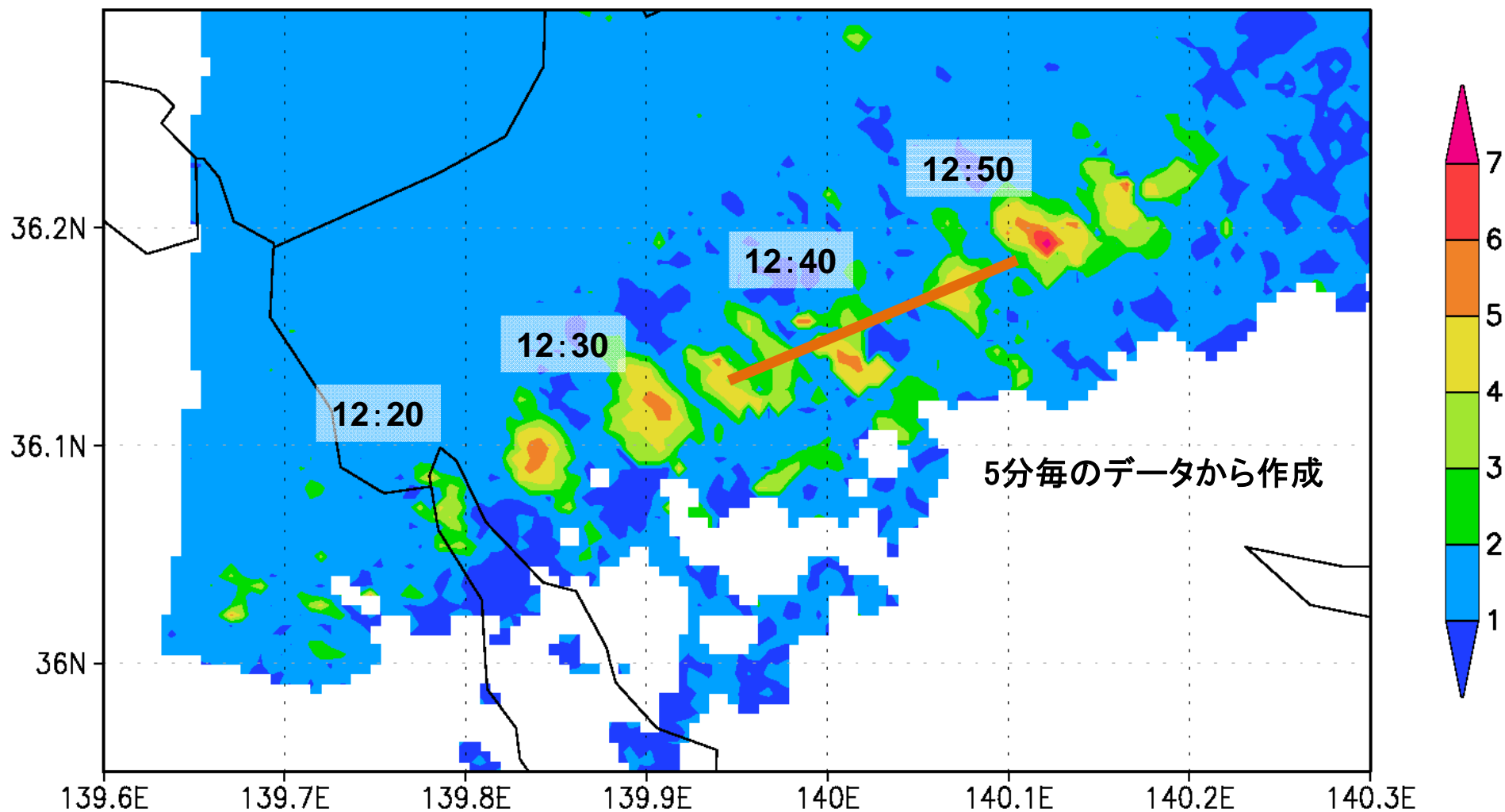
Kumjian and Ryzhkov (2008)

- 融解層よりも上にまで伸びる柱状のZDRの大きい領域。
- 雨滴や融けた雹。
- 強い上昇流を反映。

2012年5月6日の竜巻の事例

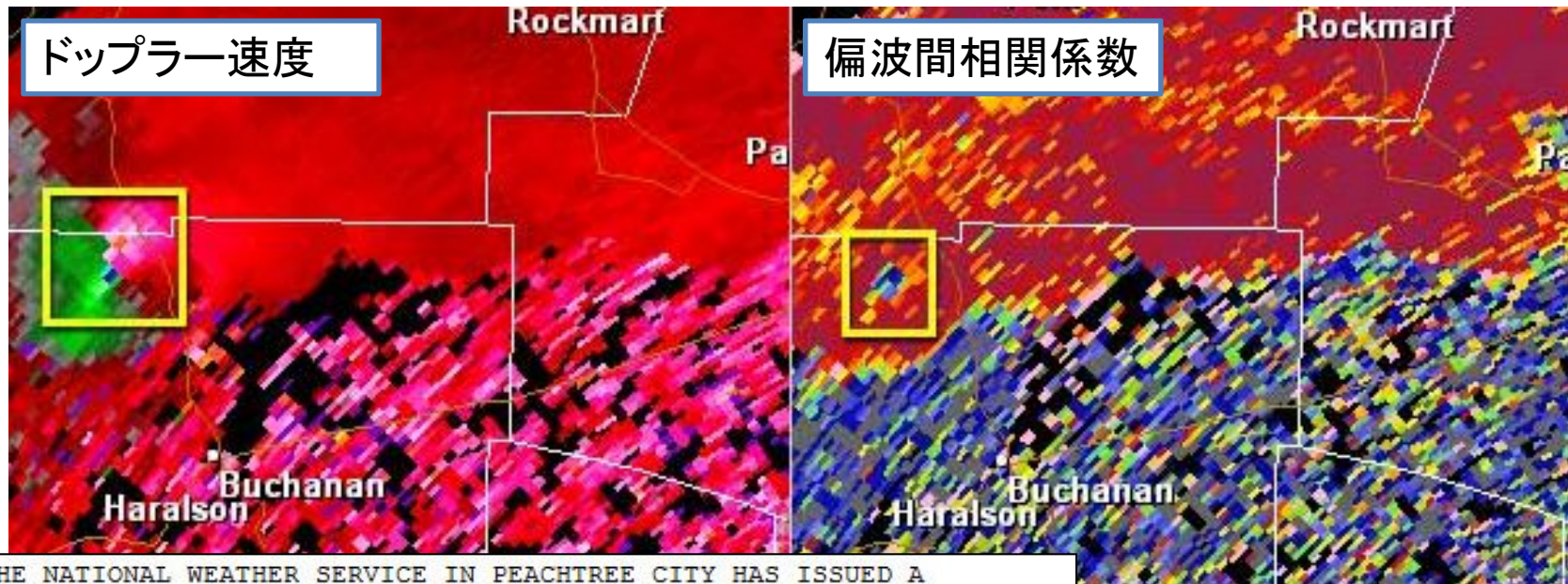
防災科研

Max ZDR from 12:05 to 13:00 JST at 5000 m



竜巻の発生した前後30分くらいで強い上昇流があったことを示唆する

米国立天気サービスによるトルネード警報の例



THE NATIONAL WEATHER SERVICE IN PEACHTREE CITY HAS ISSUED A

- * TORNADO WARNING FOR...
 - SOUTHEASTERN CHEROKEE COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA
 - NORTHEASTERN COBB COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA
 - EXTREME NORTHWESTERN DEKALB COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA
 - SOUTHWESTERN FORSYTH COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA
 - NORTHEASTERN FULTON COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA
 - NORTHERN GWINNETT COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA
 - EXTREME SOUTHWESTERN HALL COUNTY IN NORTH CENTRAL GEORGIA

* UNTIL 1000 PM EST

* AT 905 PM EST...A DEBRIS SIGNATURE INDICATED BY DOPPLER RADAR
 CONFIRMED A TORNADO NEAR MARIETTA...MOVING EAST AT 45 MPH.

Tornado warning issued by the National Weather Service - Peachtree City, Ga.
 on Mar. 2, 2012. Note the highlighted text.

Courtesy: NWS-Peachtree City, Ga.

coefficient" (right) in northern
 tornado is boxed in both images.

is courtesy: NWS-Peachtree City, Ga.

→ TDSによりトルネードが
 発生したと判断



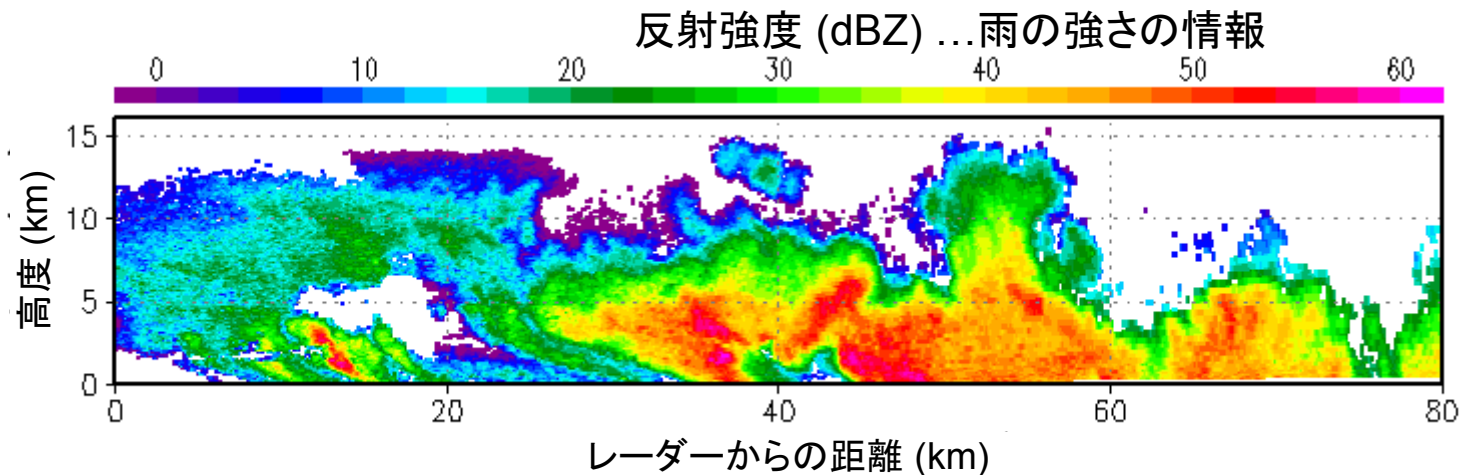
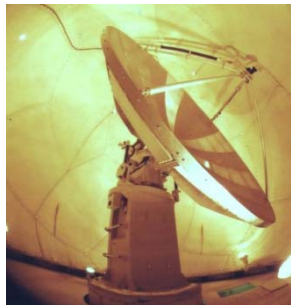
気象研究所Cバンド固体素子二重偏波ドップラーレーダー



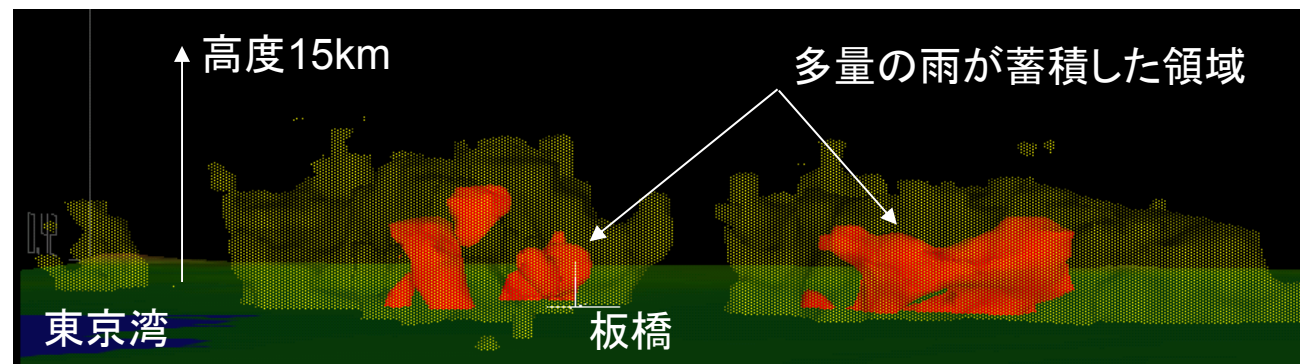
以下の研究開発に供している研究用レーダーである。

気象研究所

- 次世代の気象庁レーダーを見据えた観測基盤技術の開発(狭帯域、二重偏波)
- 気象レーダーの観測技術の高精度化に関する研究(ノイズ、データ欠落の低減など)
- 突風等のシビア現象の監視・直前予測技術に関する研究(メソサイクロン検出など)
- 都市域の局地的大雨の実態解明 ← 科学技術戦略推進費「極端気象」



2011年8月26日、東京に局地的大雨をもたらした積乱雲の鉛直断面(右上)、および3次元構造(右下)



まとめ

— 竜巻など突風のレーダ監視・予測技術 —

監視技術：最先端のレーダによる研究

- ◆ 速く観測：Kuバンドレーダ，フェーズドアレイレーダ
- ◆ 早く観測：雲レーダ，ドップラーライダ
- ◆ ネットワーク：X-NET，国交省X-MPLレーダネットワーク

予測技術：ドップラーレーダからMPLレーダへ

- ◆ 偏波パラメータ情報による竜巻検知
- ◆ 親雲（メソサイクロン）の検出精度向上
- ◆ データ同化手法による親雲の予報精度の向上

(参考資料)

1. 「気候変動に伴う極端気象に強い都市創り」パンフレット
2. 同プロジェクト参加者名簿