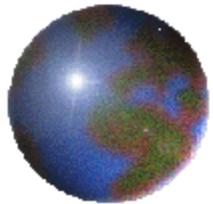


NICTオープンハウス
2013年11月28日



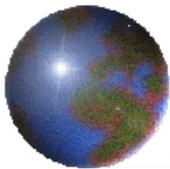
最新の気象用レーダ技術

～ゲリラ豪雨や竜巻の立体構造をわずか10秒で観測可能に～

牛尾知雄

大阪大学大学院工学研究科

電気電子情報工学専攻



豪雨被害(神戸都賀川事故, 2008年7月28日)



10数分後



蜀流 逃げる子のむ

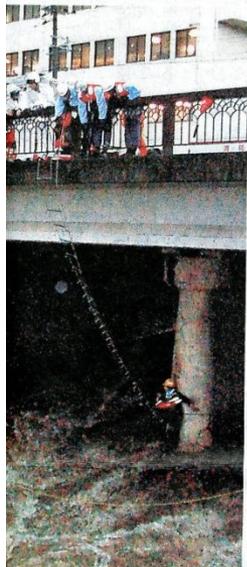
神戸4人死亡

「れおが流された」 泣きじゃくる女児ら

蜀流が、夏休みの川遊びを楽しみ児童らを次々のみ込んだ。28日に4人が死亡した神戸市灘区の都賀川の増水では、コンクリート固めた「都市型河川」の怖さが浮き彫りになった。局地的大雨、落雷、突風。大荒れの天候は近畿各地に深い爪痕を残した。



返事して 子どもらが流された都賀川の現場付近で、不明になっている人の名前を叫ぶ人々たち=28日午後4時19分、神戸市灘区、小玉重隆撮影



午後1時過ぎ、日差しが照りつけ、都賀川の遊歩道では、家族連れなど数組がパーベニューを楽しんでいた。水深は2メートルの向い、すねあたりだった。近くの「ニ甲学童保育所(さんべりくら)」の子供たちはカニを探したり、水の中を歩いたりしてはしゃいでいた。小学生18人と高校生1人の計19人を、女性指導員2人とボランティアの男子大学生1人が引率していた。この川辺がいつもの遊び場だった。

午後5時半ごろ、小雨が降り出した。子どもたちは雨宿りをしようと、藤原橋の下に集まった。大玉と子ども3人は、川下へ歩いており、別行動だった。橋の下に

「水を飲んで苦しかったやろなあ。亡くなった祭壇、希世さん10と河合玲緒さん(10)が通った甲小学校の藤野英(校長)は声を詰まらせた。「泉谷君は給食の食器の



「守りきれず

が、後に「高」と叫んだ。高と低学年の子が、大半がスロープに着が突然、押しが一人が流れてはいじりかたに子ども雨脚が一気に強くなり、橋の下を強風が吹き抜けた。水位はまだ、ひさびさり下った。「みんな川から上がろう。危険を感じた指導員が大声で呼び掛け、橋のすぐ北側にあるスパーマーケットに避難するよう促した。子どもは川の西岸の遊歩道を北に向かって走った。雨が激しく、目を閉じて、前を走るとも

都賀川橋南詰立灘区民ホール(6)が異変に



竜巻被害

吉佐地区空中写真（斜め写真）



サロマでのF3竜巻
(2006年11月7日)

平成18年11月8日撮影

(株) シン技術コンサル



The Tanger Outlet Mall in Stroud, Okla., was virtually wiped out by a tornado on May 3. Much of the Stroud city budget came from sales tax revenue generated by the mall.

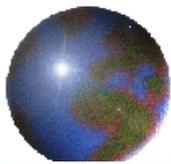
Oklahomaでの竜巻被害の一例
(地元の新聞紙より)



宮崎延岡での列車脱線事故
(2006年9月17日)



庄内平野での竜巻による列車
脱線事故
(2005年12月)



つくば竜巻被害(2012年5月6日)

平成24年5月6日(日)

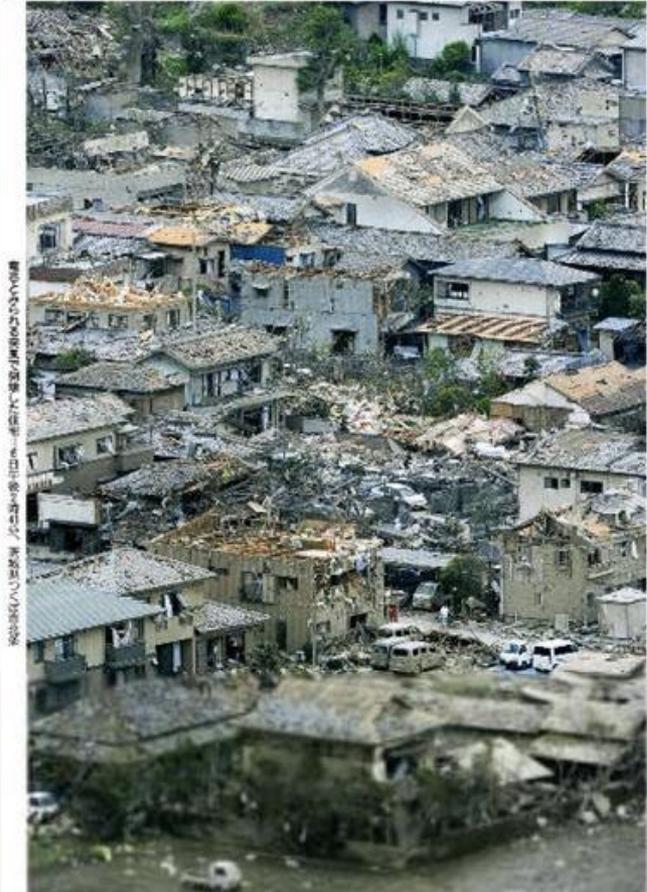
新聞 産経

号外

編集局(サンケイ)
THE SANKEI SHIMBUN
発行所 東京都港区新橋4丁目2番地
〒105-8341 電話 03-3541-3111 FAX 03-3541-3112



竜巻か40人超死傷

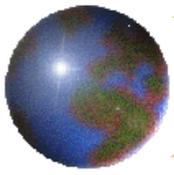


茨城のつくば市で発生した竜巻。写真：共同通信社

【つくば市】つくば市で発生した竜巻による被害が深刻化している。茨城県消防本部によると、死者は40人以上、負傷者は30人以上と推定されている。また、つくば市では、約10人がけがをしながら逃げた。また、つくば市では、約10人がけがをしながら逃げた。また、つくば市では、約10人がけがをしながら逃げた。

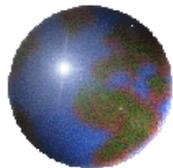
茨城・栃木で倒壊・損壊300棟





BEFORE (TOP) AND AFTER オクラホマ竜巻被害2013年5月20日





埼玉, 千葉の竜巻被害(2013年9月2日)





**豪雨や竜巻などの親は積乱雲
(Thunderstorm)**

レーダリモートセンシング

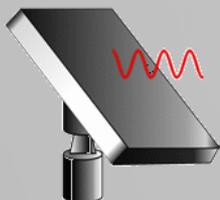
こうした現象を観測し、現状把握に大きな威力を発揮するのが、レーダを代表格とする電波リモートセンシング技術

RADAR=**RA**dio **D**etection **A**nd

Ranging

「電波を使って目的物を探し、その距離を測る」もの

レーダ観測イメージ図



レーダの原理

レーダが
電磁波を照射

- 送信アンテナから電磁波を照射する。

散乱体(雨粒)が
電磁波を反射・散乱

- 送信アンテナから照射された電磁波が、物体に当たることで反射・散乱する。

散乱された
電磁波を観測

- 反射・散乱された電磁波を受信アンテナでキャッチすることにより、その到来方向・距離を測定する。



背景

- 近年, 日本では突風や局所的な豪雨等による被害が増加傾向にある。

- Cバンド気象レーダのドップラー化

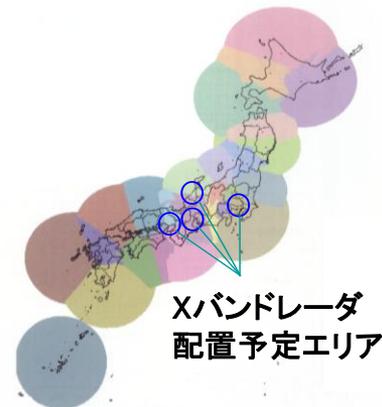
- Xバンド偏波ドップラーレーダの配備



神戸都賀川事故(2008年7月28日)



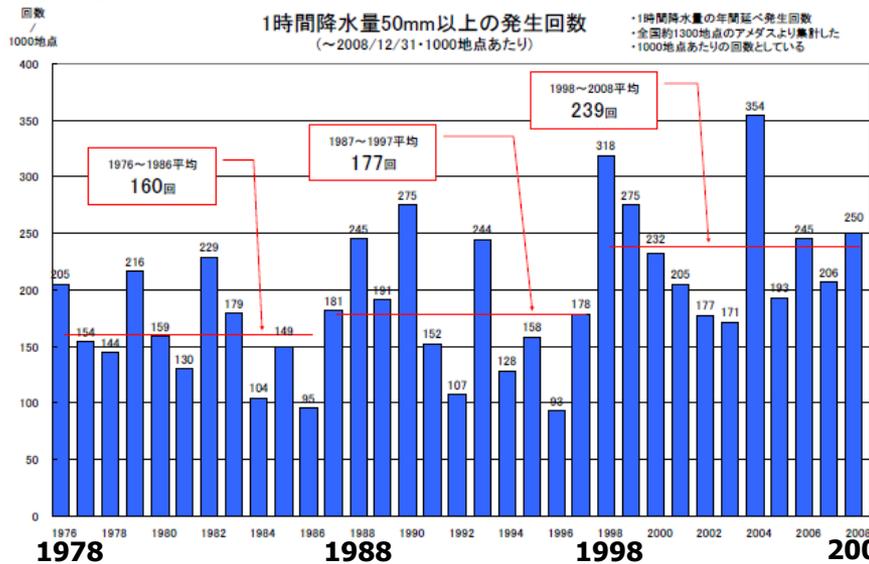
東京雑司ヶ谷での幹線工事事故(2008年8月5日)

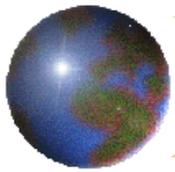


サロマでのF3竜巻(2006年11月7日)



宮崎延岡での列車脱線事故(2006年9月17日)

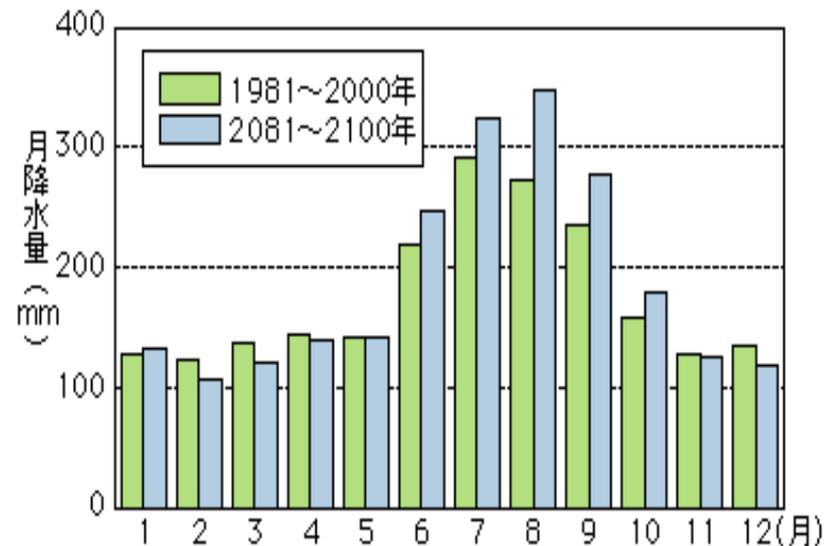




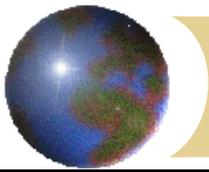
地球温暖化と大雨の関係について

- ❖ 我が国における観測結果の分析によると、過去100年において、自然災害につながる可能性のある、日降水量100mm以上や200mm以上の降水が発生する日数は増加傾向にあります。
- ❖ さらに、21世紀末頃を想定した気象庁の地域気候モデルによる地球温暖化予測実験では、「日降水量100mm以上などの大雨の発生数が日本の多くの地域で増加する」とともに、「6月から9月に現在よりも降水量が増加する」という予測結果が出ていることから、集中豪雨や台風が多発する夏期の防災が大きな課題となってくると考えられます。

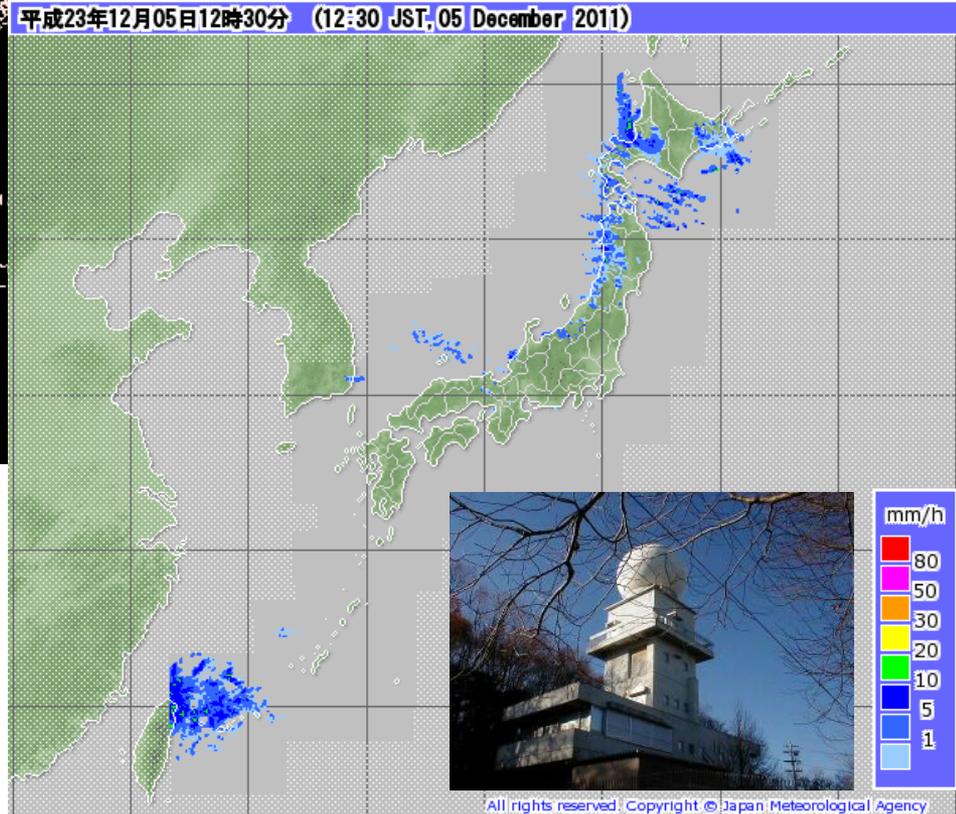
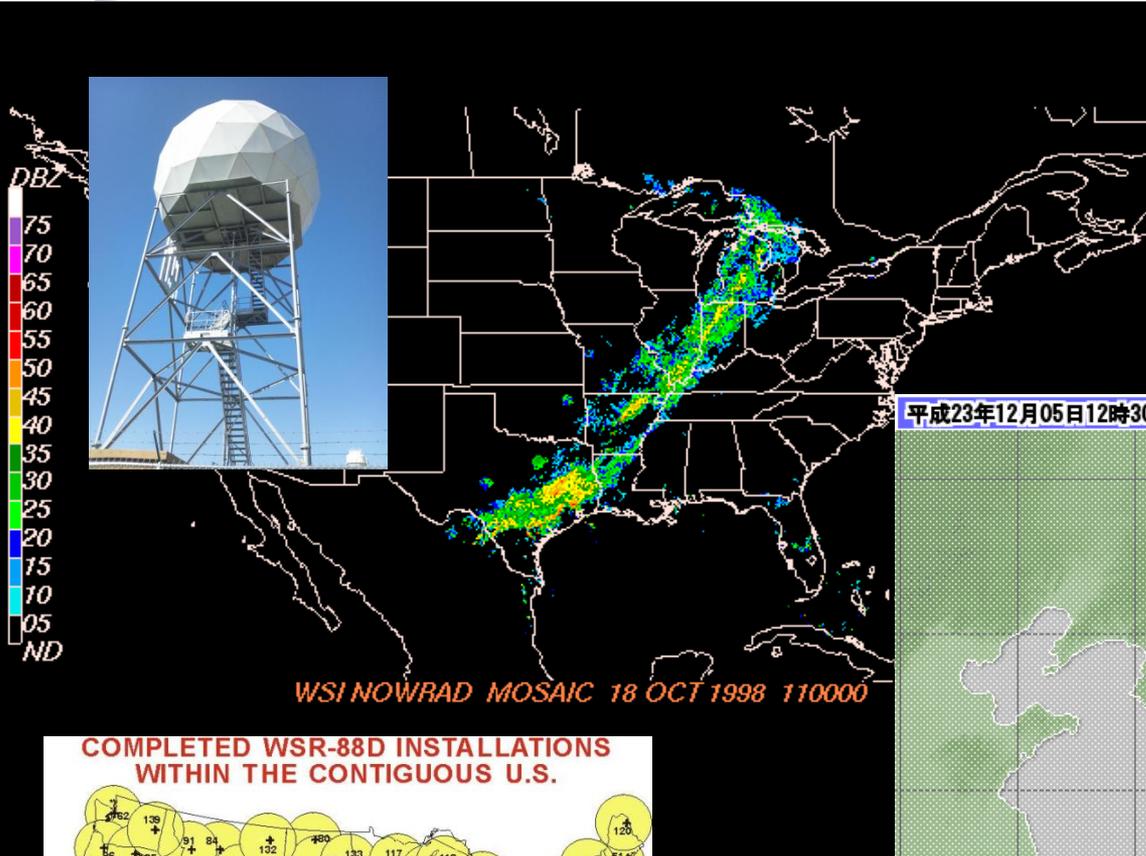
日本の陸上における月降水量の将来(2081~2100年の平均)と過去の再現結果(1981~2000年の平均)

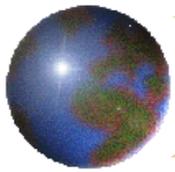


資料) 気象庁「異常気象レポート2005」



Nationwide Radar Network at S or C band



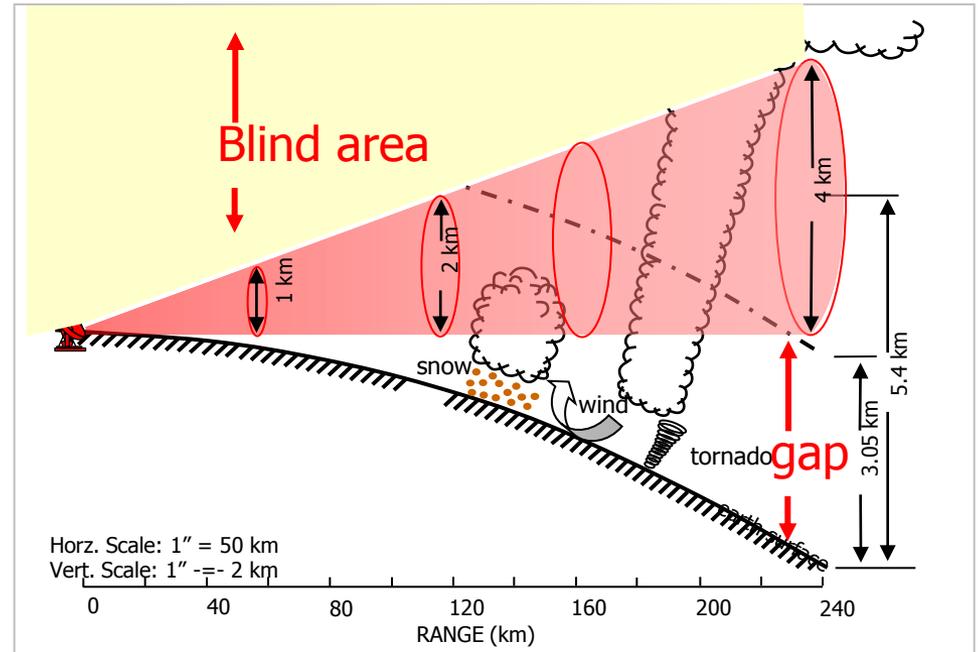


Sensing Gapについて

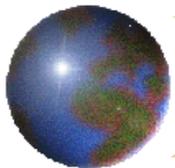
- 地球の曲率による、遠距離における未観測域の存在



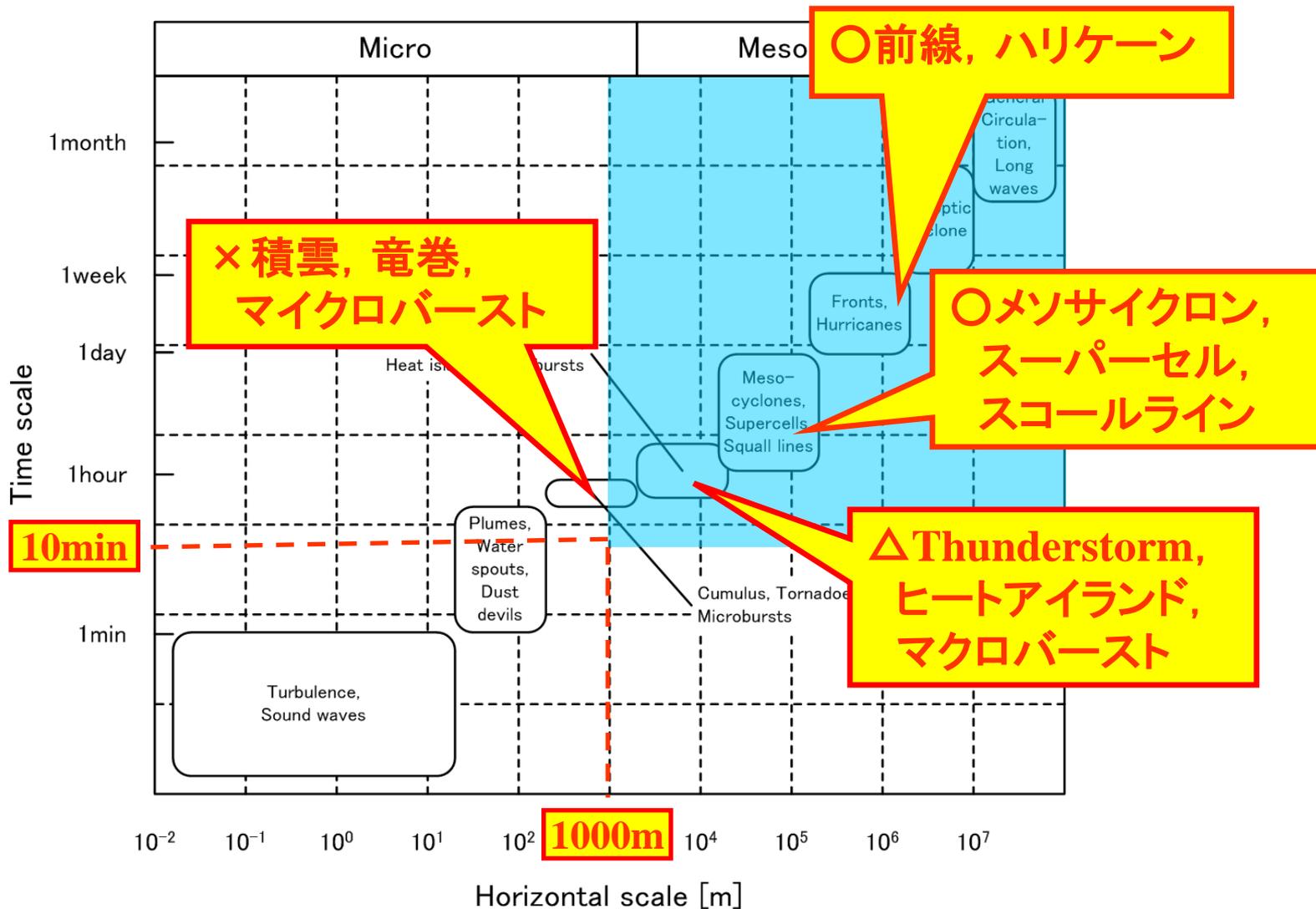
未観測領域

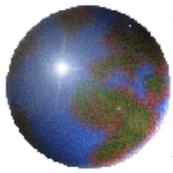


“There is insufficient knowledge about what is actually happening (or is likely to happen) at the Earth’s surface where people live.” [NRC 1998]



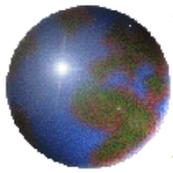
大型レーダの分解性能





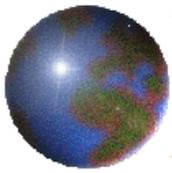
Thunderstorm images in 10 minutes





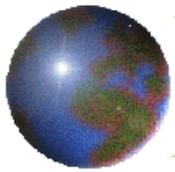
Thunderstorm images in 5 minutes





Thunderstorm images in every 1 minute





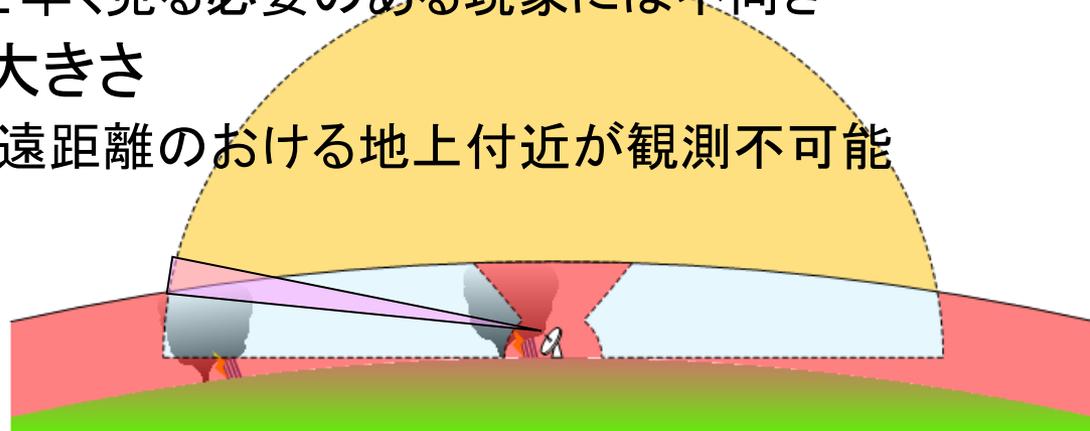
大型レーダの利点と欠点

大型レーダの利点

- ❑ 広い範囲を補償
- ❑ 低い仰角でのサーベイ観測

大型レーダの欠点

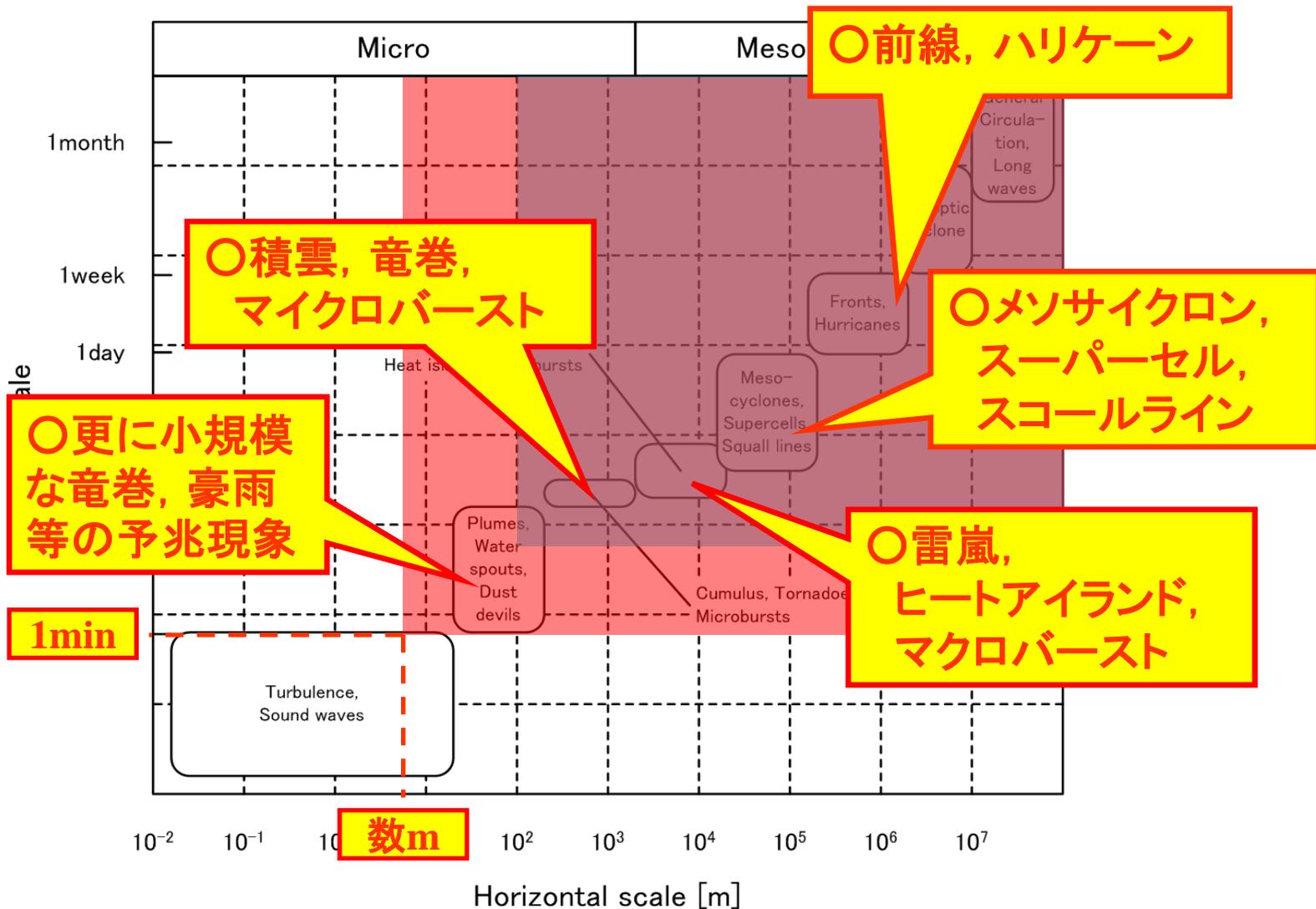
- ❑ 遠距離におけるビームの拡がりに伴う分解能劣化
 - 3次元構造の詳細な把握が×
- ❑ 大型アンテナに伴う高速スキャンニングの難しさ
 - 竜巻や集中豪雨など早く見る必要のある現象には不向き
- ❑ 観測不可能領域の大きさ
 - レーダ近くの頭上や遠距離における地上付近が観測不可能

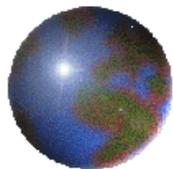


大型レーダの運用概念図



求められる分解性能



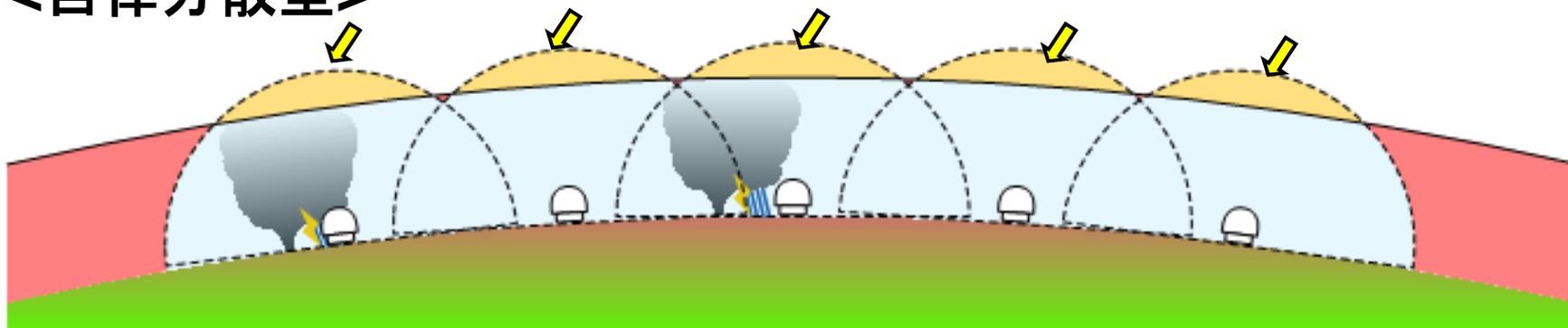


自律分散型アプローチ

短距離型の高速高分解能レーダの多数配置

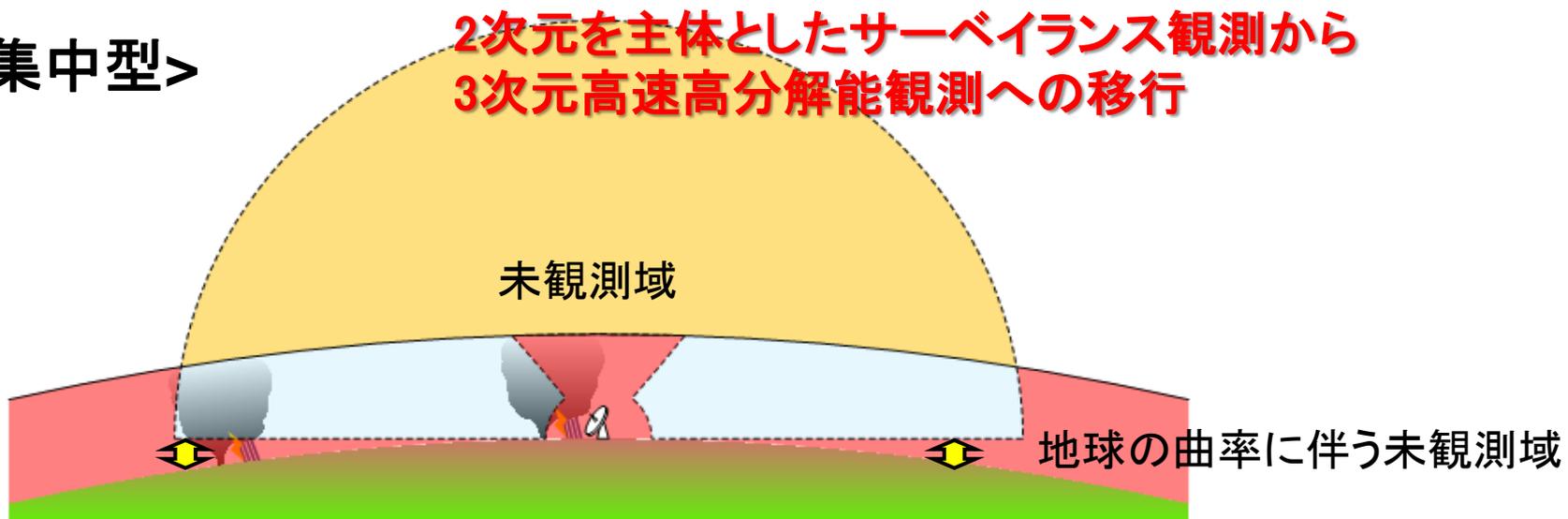
このネットワーク内に散在するレーダ群を仮想的な超高精度大型レーダとみなして、様々な規模の処理や運用を行う自律分散型レーダグリッドの構築

<自律分散型>



<単体集中型>

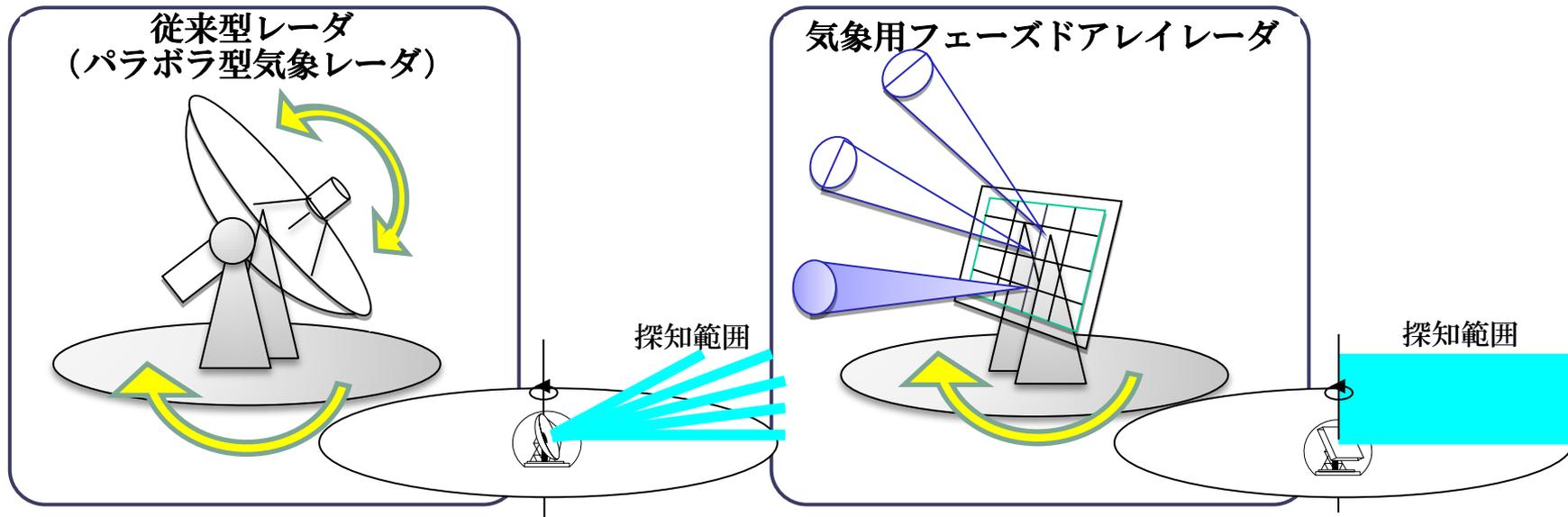
2次元を主体としたサーベイランス観測から
3次元高速高分解能観測への移行



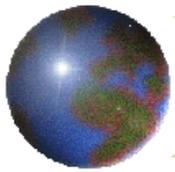
Development of the Phased Array Radar System



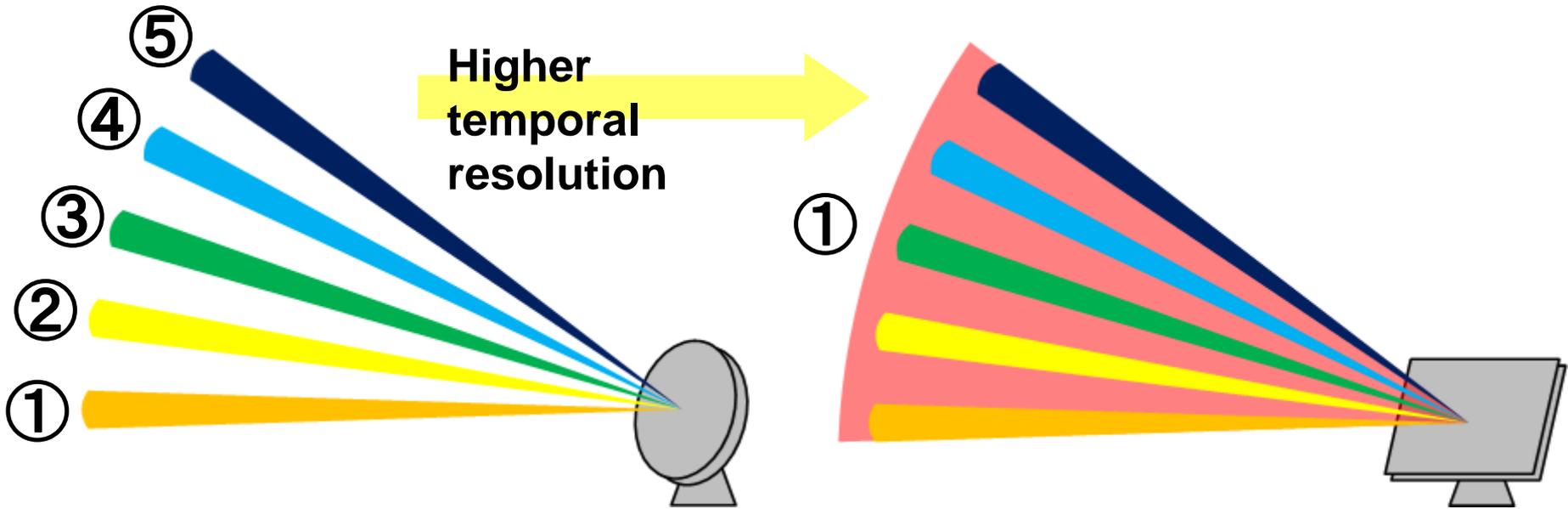
従来型レーダと気象用フェーズドアレイレーダの比較



Cバンドレーダ	XバンドMPLレーダ	Ku帯広帯域レーダ		気象フェーズドアレイレーダ
	仰角 : 機械走査 方位角 : 機械走査		走査方法	仰角 : 電子走査 (Beam Former法) 方位角 : 機械走査
約5~10分	約1~2分	約1分	時間分解能	10秒-30秒
約1km	約250m	約5m	空間分解能	100m
半径約250km	半径約80km	半径約20km	観測範囲	半径最大60 km
反射強度 (降雨強度)、 ドップラー速度(一部)	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)	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 (試験運用中)	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



Observation Strategy



- **Conventional radar**

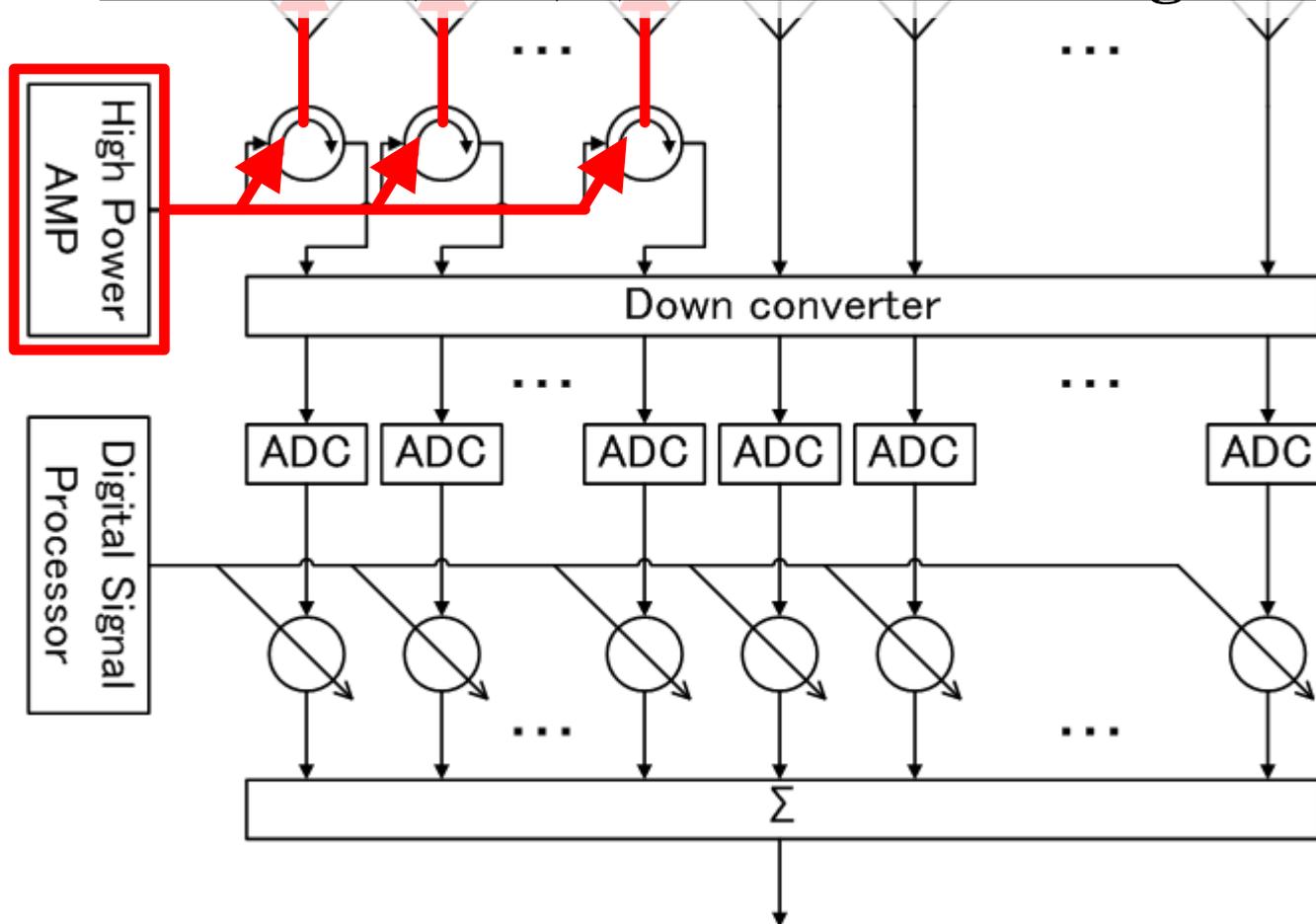
- observes **each elevation separately**
- by 2-way sharp beams (transmission and reception)

- **PAWR**

- observes **several elevations simultaneously**
- by transmitting fan beam and digital beam forming

Flow –Transmission

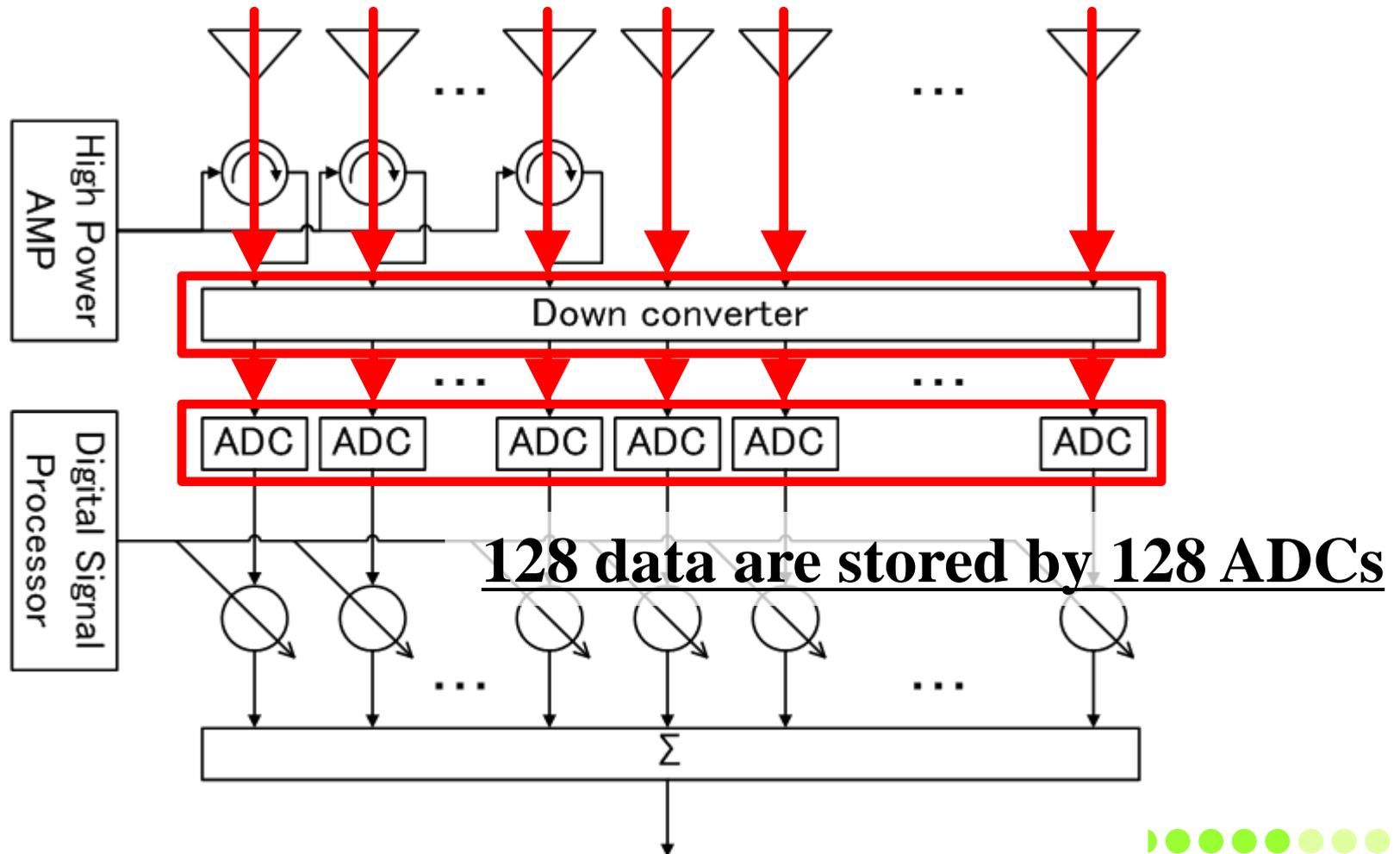
Fan beam is transmitted by feeding power into 20 elements (max) (with about 20 deg beam width)



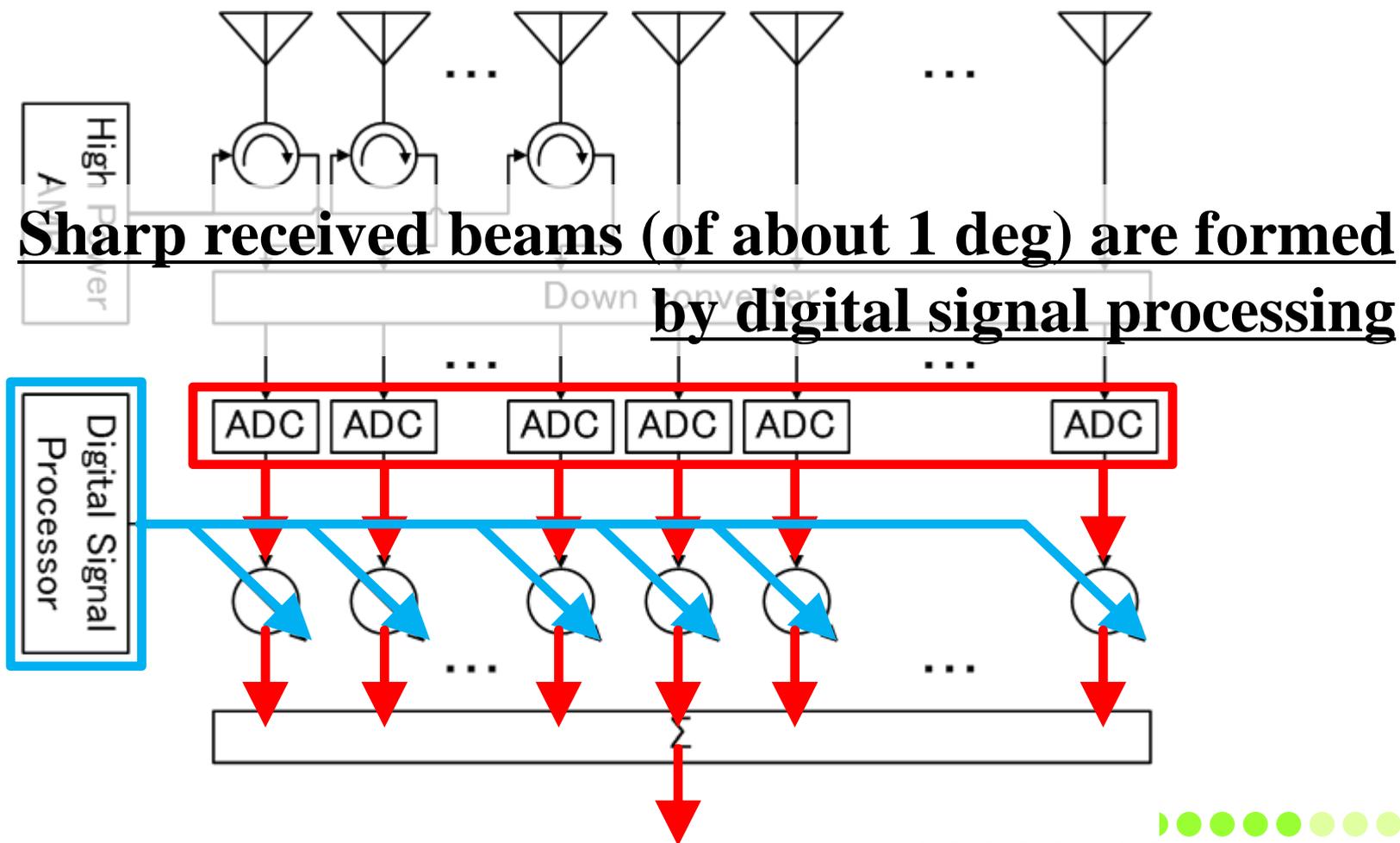
Flow – Reception



Scattered signals are received by all 128 antennas



Flow –Signal Processing



アンテナ外観・各機器



スロットアンテナ
(アンテナ素子)



フェーズドアレイアンテナ



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)



大阪大学に設置された
フェーズドアレイレーダ
(地上13階相当)

製作したアンテナ

2.1m



2.2m

A/D I/Q Unit



16ch A/D & I/Q This system uses 8 units

DBF Unit



This system uses DBF technique
to calculate beam form from 128 I/Q data

レドーム吊り上げ



梯子は後では入らない！人は木蓋を取ると出入り可



プレスリリース@2012.8.31



報道機関向け説明会の様子

TVニュース: NHK

フジテレビなど

新聞:

日経(全国)

読売(大阪)

毎日(大阪)

産経(大阪)など

ゲリラ豪雨 竜巻 素早く予測

新型レーダー 阪大など開発

●気象レーダーの比較

従来のレーダー

狭い電波

十数回回転

●今回の新型レーダー

広い電波

1回転のみ

気象レーダーは、雨粒に電波を放射し、雨雲の位置の追跡に使っていた。従来のレーダーは、狭い領域に届く電波を使う上に、アンテナを動かさなくても電波を発する角度を瞬時に変えられるため、この技術を気象観測に応用。約2.5四方のアンテナを10〜30秒で1回転させるだけで、半径15〜60キロ、高度14キロまでの範囲を100キロ以上に細かく計測できるようになった。大阪大工学部研究科(大阪府吹田市)の研究棟屋上に設置し、6月から試験観測を続けている。ゲリラ豪雨

雨雲を最短10秒で精度よく立体的に観測できる新型の気象レーダーを、大阪大、情報通信研究機構、東芝が共同で開発し、31日に発表した。上空にできた雨粒をキャッチし、地上に降る10分ほど前に情報を出すことも可能で、ゲリラ豪雨や竜巻など、短時間で発達する気象現象のピンポイント予測に役立つと期待される。

従来のレーダーは、狭い領域しか届かない電波を使い、パラボラアンテナの角度を上下に変えるのが十数回も回転して観測する。このため、雨雲を立体的にとらえるのに時間がかかり、早くても1分は要していた。牛尾知雄・大阪大准教授からは、米軍がミサイルなどの追跡に使う10センチメートルのアンテナを10〜30秒で1回転させるだけで、半径15〜60キロ、高度14キロまでの範囲を100キロ以上に細かく計測できるようになった。大阪大工学部研究科(大阪府吹田市)の研究棟屋上に設置し、6月から試験観測を続けている。ゲリラ豪雨

をもちます。従来のレーダーは、狭い領域しか届かない電波を使い、パラボラアンテナの角度を上下に変えるのが十数回も回転して観測する。このため、雨雲を立体的にとらえるのに時間がかかり、早くても1分は要していた。牛尾知雄・大阪大准教授からは、米軍がミサイルなどの追跡に使う10センチメートルのアンテナを10〜30秒で1回転させるだけで、半径15〜60キロ、高度14キロまでの範囲を100キロ以上に細かく計測できるようになった。大阪大工学部研究科(大阪府吹田市)の研究棟屋上に設置し、6月から試験観測を続けている。ゲリラ豪雨

編集手帳

はしゃいだがあとのさじょうがある。ドン五輪のあの場の場がまぶしい。後ろ姿に、そんな

いる。◆パレオボーのメタルに。東洋の魔女のメタルに。重層挙げのメタルに。

わか事成語 探せポケ

新聞も、スマホも。読売プレミアムニュースの特典が満載。yemiprs.jp

読売新聞大阪版 2012.9.1 (1面掲載)

高速高分解能な広帯域レーダの開発

広帯域レーダの開発

- 突風や竜巻等時間空間的に小さくかつ、甚大な被害をもたらす災害気象現象に対しては、**高速な走査**かつ10m以下の分解能を有する高速高分解能レーダが必要。
- 従来のレーダより高い周波数(Ku帯)を用い、ブロードバンド化(広帯域化)によって、**高い分解能**(10 m以下)を実現。
- 小さなアンテナを用いた高速化(3次元像を得るのに1分)観測に特化したレーダ

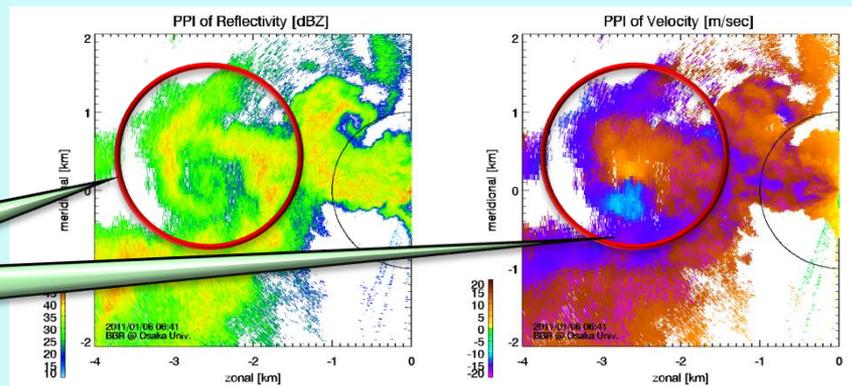
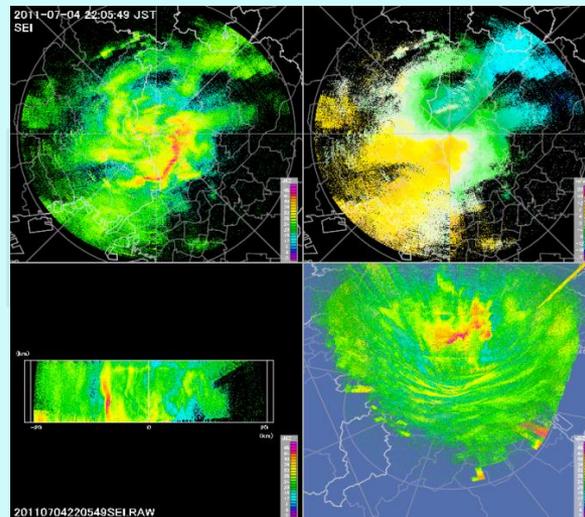


- ネットワーク化によって、より広範囲に、より精度良く、そしてより詳細に気象現象を観測することが可能。

突風竜巻に伴う渦状構造の
高分解能な直接観測結果の一例。
(左:反射強度, 右:ドップラー速度)
2011年1月6日 山形県庄内空港

広帯域レーダによる観測

- 山形県庄内空港で広帯域レーダによる竜巻・突風観測を実施。
- 冬季のシビアな気象現象を観測し、乱気流データを取得。
- 突風等に伴う特徴的な信号を検出。



高速高分解能レーダ観測ネットワーク

今後、これらのレーダを
動員して、集中観測を実施予定。

大阪大学
豊中キャンパス
2重偏波広帯域
ドップラーレーダ1



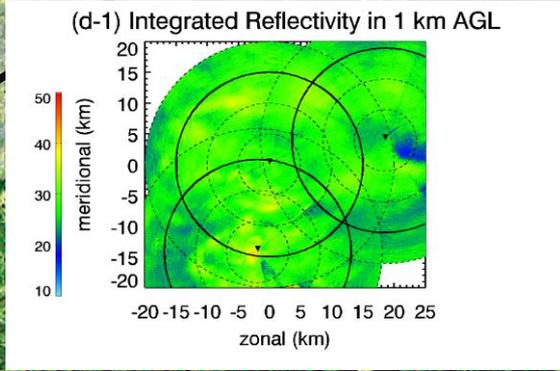
枚方渚水みらい
センター
広帯域
ドップラーレーダ3

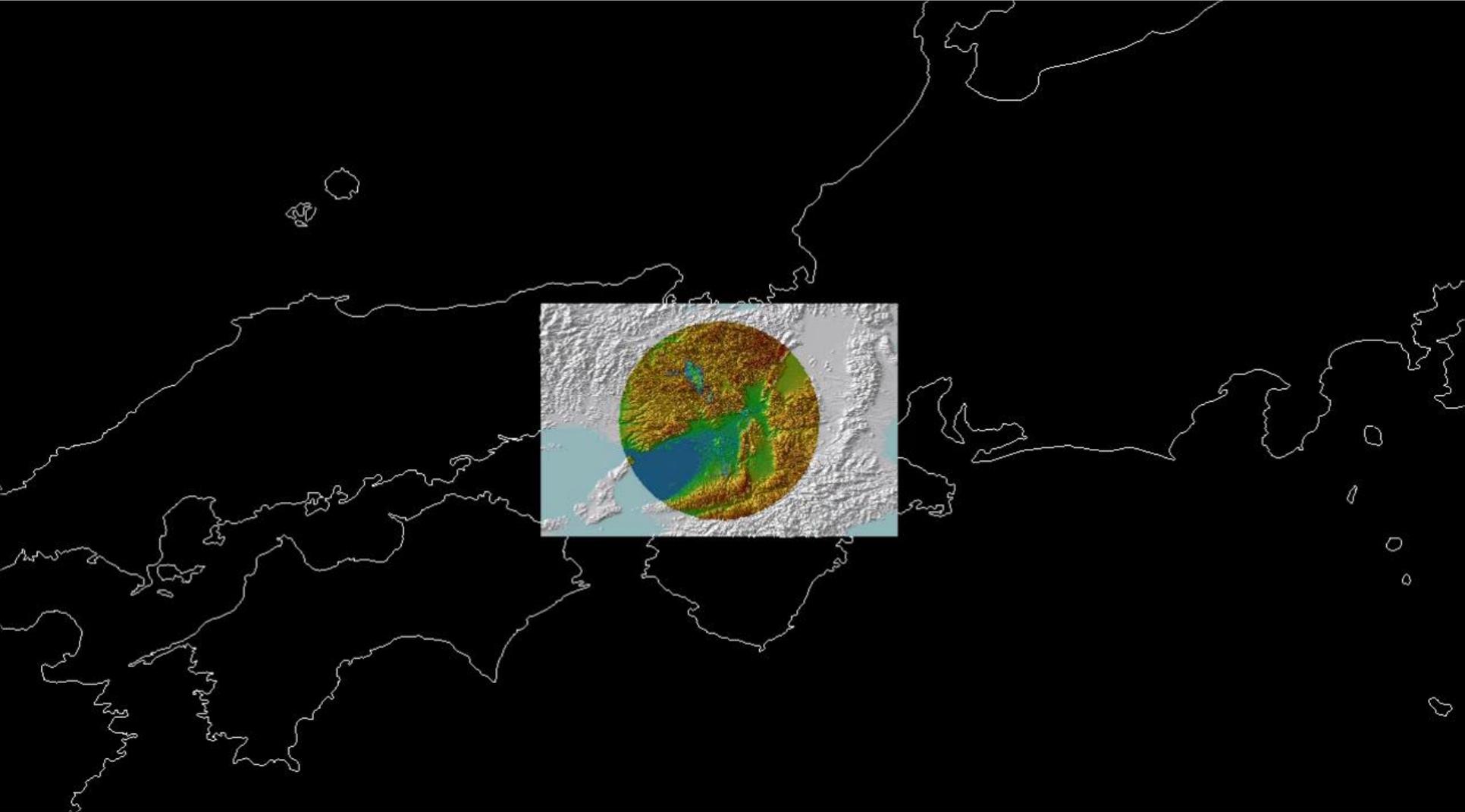
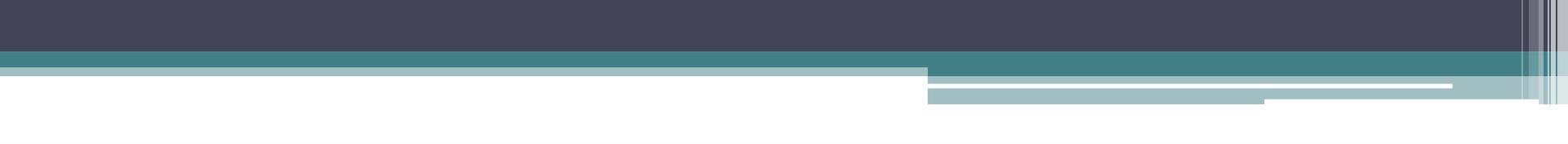


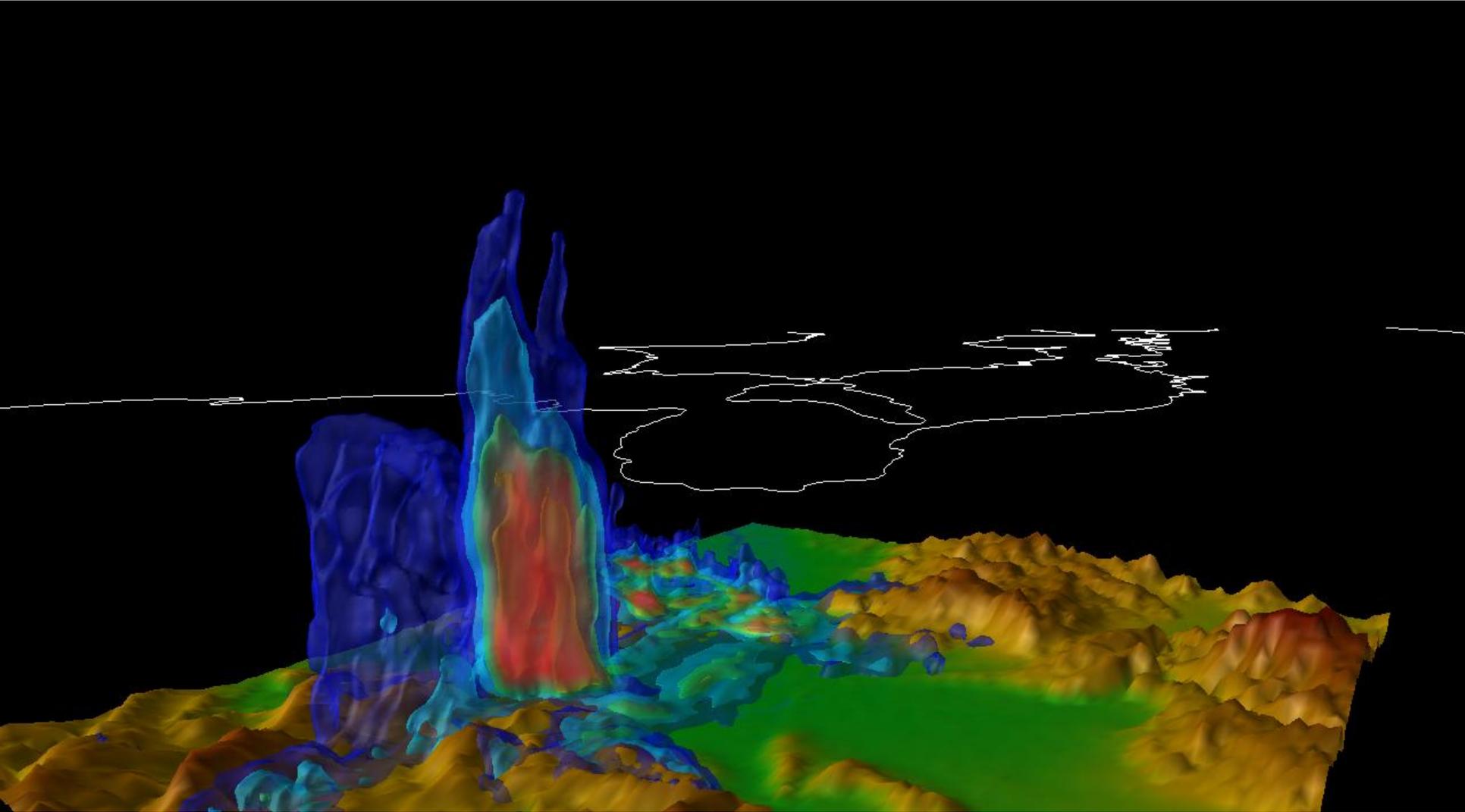
住友電工
大阪工場
広帯域
ドップラーレーダ2



大阪大学
吹田キャンパス
フェーズドアレイ
ドップラーレーダ



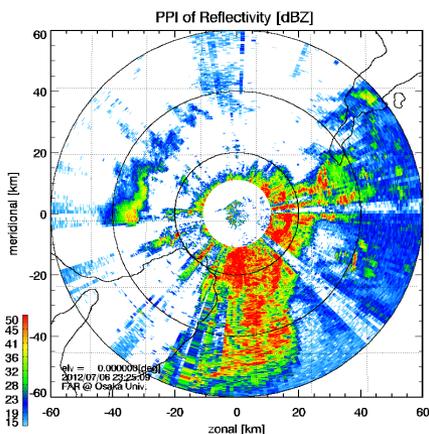




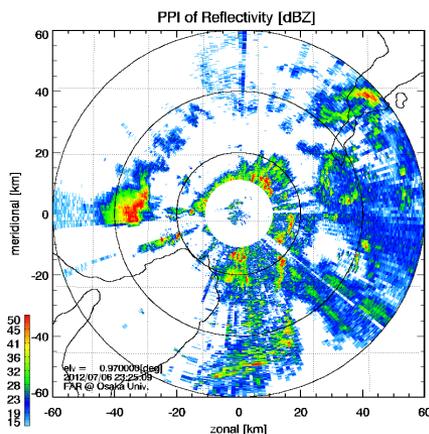
初期観測結果 各仰角ごとの変化

モード5 2012年7月6日 23時25分9秒 PPI(Plan Position Indicator)

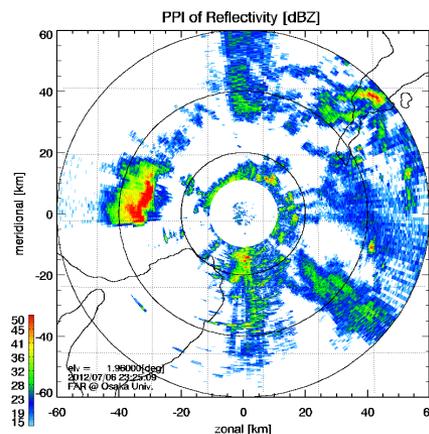
仰角 0.00°



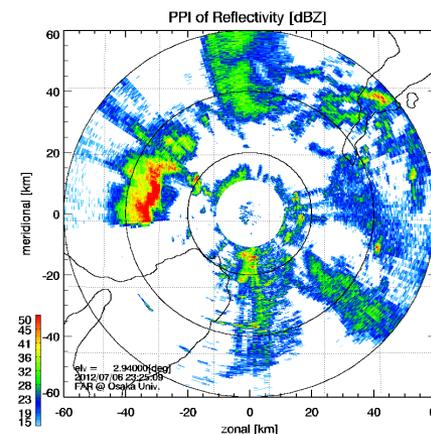
仰角 0.97°



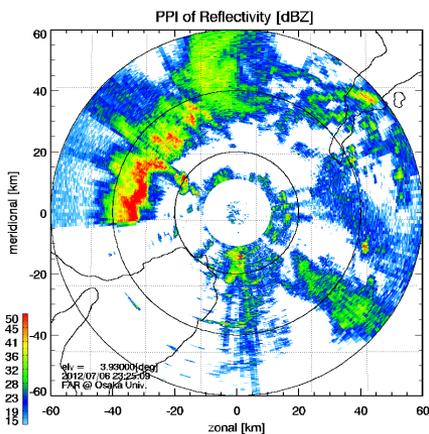
仰角 1.97°



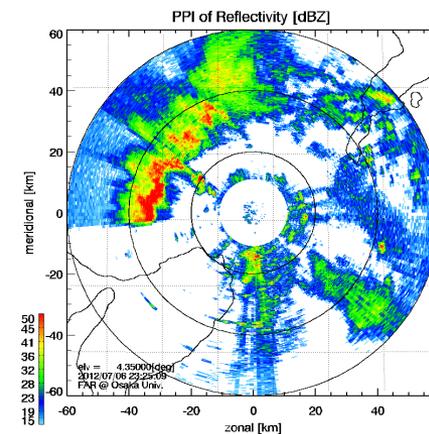
仰角 2.94°



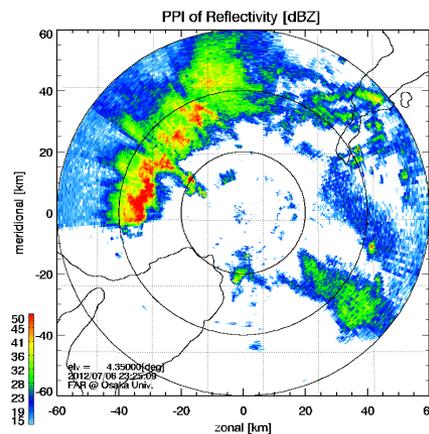
仰角 3.93°



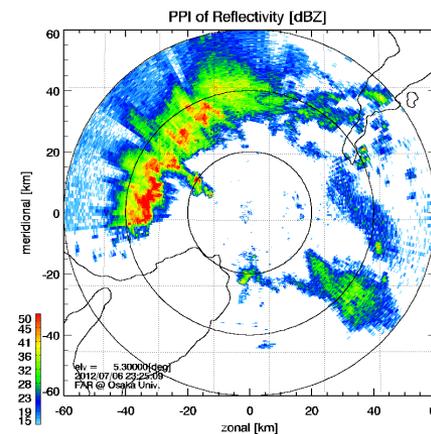
仰角 4.35°



仰角 4.35°



仰角 5.30°



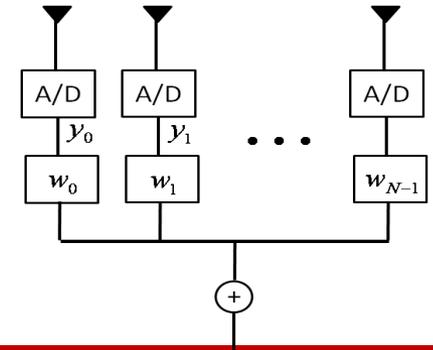
ファンビームによる干渉波

メインビームを
所望波に向ける際に
サイドローブ発生

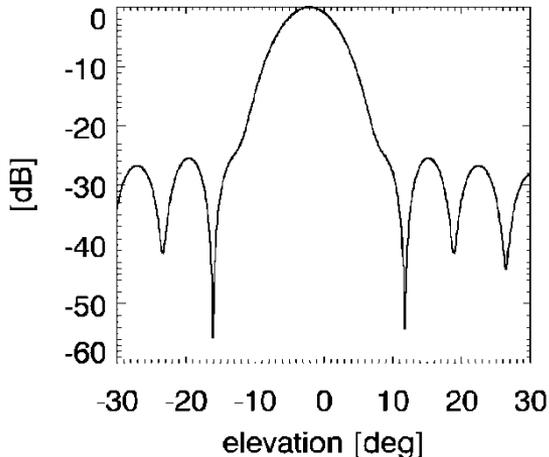


災害をもたらす気
象現象の多くは
地表付近で発生

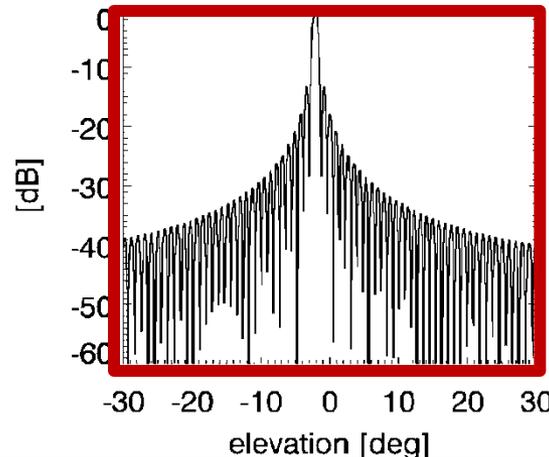
サイドローブ低減化を目的として
本レーダに有効なアダプティブアレイアンテナ技術を開発
各素子に与える重み係数 w を計算して
入射波に応じた受信ビームパターンを形成する



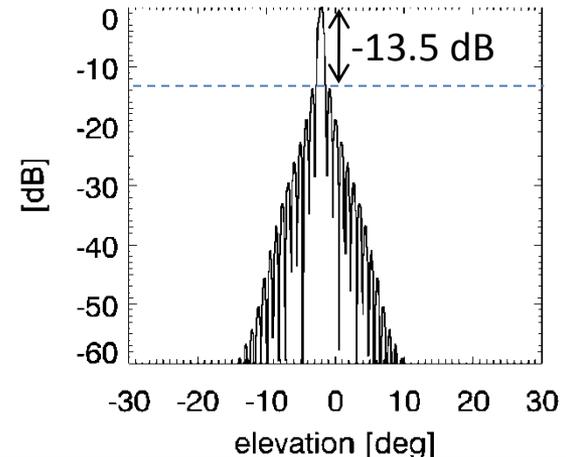
送信ビームパターン



受信ビームパターン(一様分布)



送信 × 受信



MMSE法 (最小自乗平均誤差法)

観測範囲 (0~180[deg]) を $M (=1800)$ 分割して、
区分された仰角 θ_l から入射する到来波の電圧を
 $x(\theta_l)$ ($l = 1, 2, \dots, M$) と定義

$x(\theta)$ と出力値 $\mathbf{w}^H \mathbf{y}$ の自乗平均誤差 J を
最小化する重み係数を求める

$$J = E[|x(\theta) - \mathbf{w}^H \mathbf{y}|^2] \Rightarrow \min$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{w} = E[|x(\theta)|^2] (\mathbf{S} \mathbf{P} \mathbf{S}^H + \sigma^2 \mathbf{I})^{-1} \mathbf{a}(\theta)$$

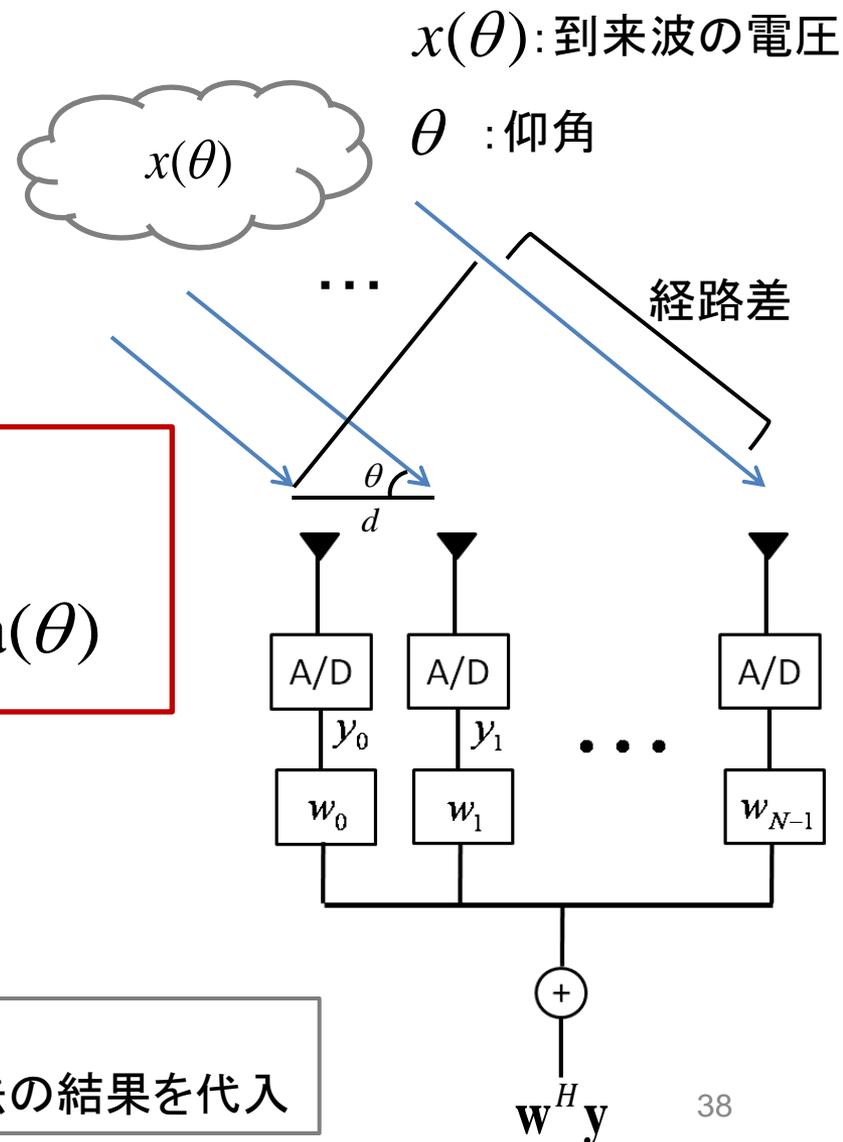
$$\mathbf{x} = [x(\theta_1) \quad x(\theta_2) \quad \dots \quad x(\theta_M)]^T$$

$$\mathbf{S} = [\mathbf{a}(\theta_1) \quad \mathbf{a}(\theta_2) \quad \dots \quad \mathbf{a}(\theta_M)]^T$$

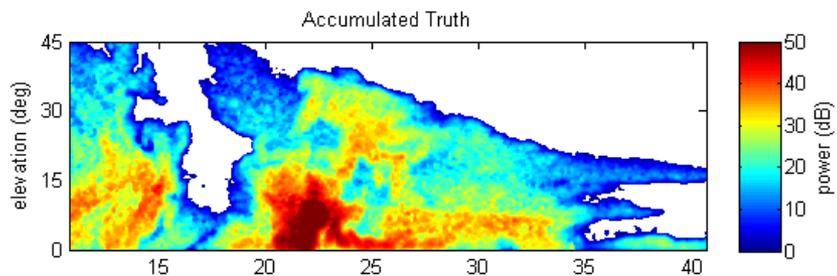
$$\mathbf{P} = E[\mathbf{x}^H \mathbf{x}]$$

σ^2 : 雑音電力

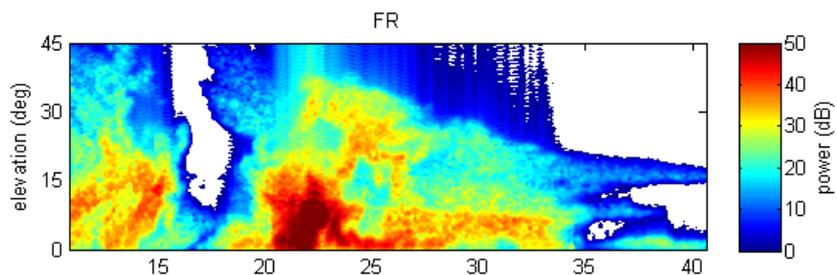
ただし $x(\theta)$ は未知の情報
 $x(\theta)$ にはビームフォーミングの結果を代入



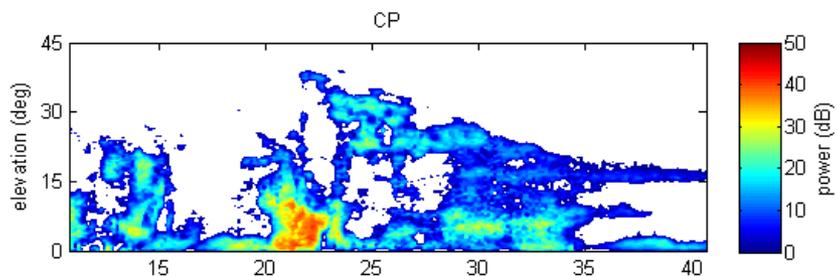
降雨エコーによる評価



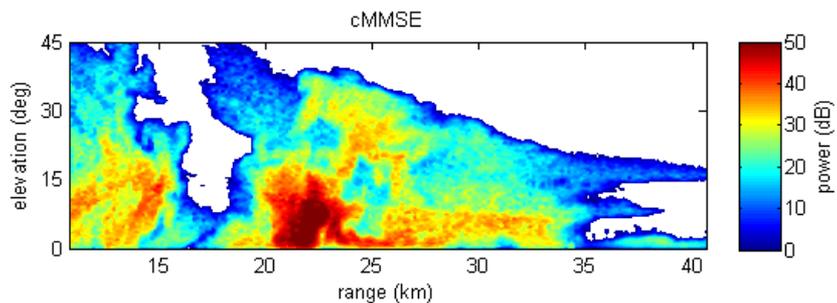
Truth



Beam former



Capon



cMMSE



コロラド州立大
CHILL National Radar Facility
の実測データを利用

MMSE Beam Forming

$$J_m = \min_{\mathbf{w}_{MMSEm}} \left[E \left[\left| x_{m,l} - \mathbf{w}_{MMSEm}^H \mathbf{y}_l \right|^2 \right] \right]$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{w}_{MMSEm} = E[|x(\theta_m)|^2] (\mathbf{S} \mathbf{R}_x \mathbf{S}^H + \mathbf{R}_v)^{-1} \mathbf{s}(\theta_m)$$

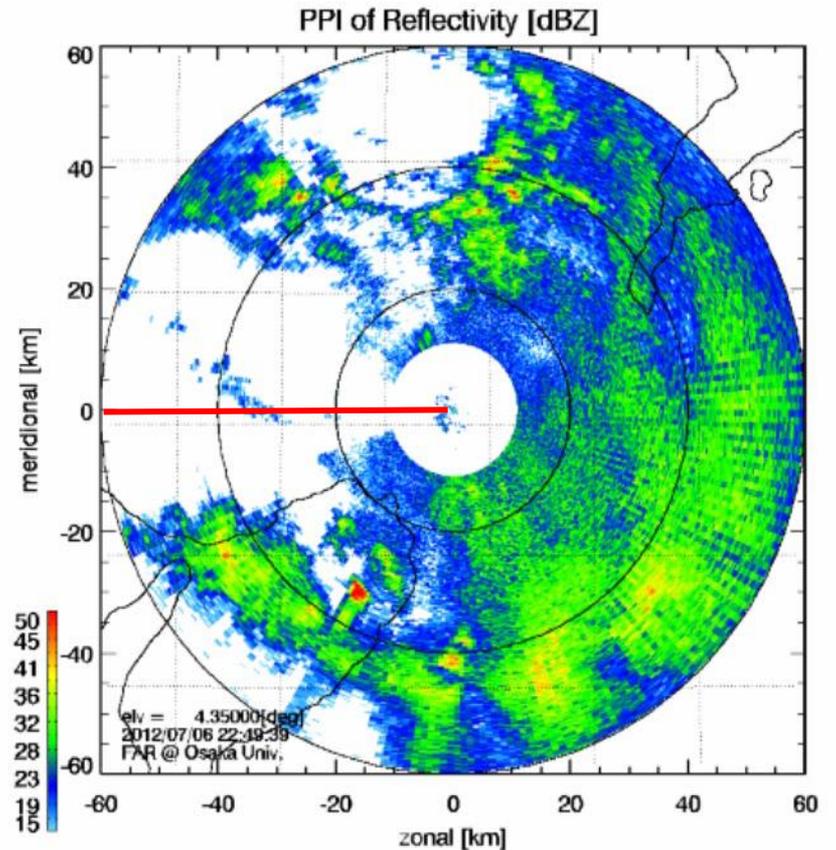
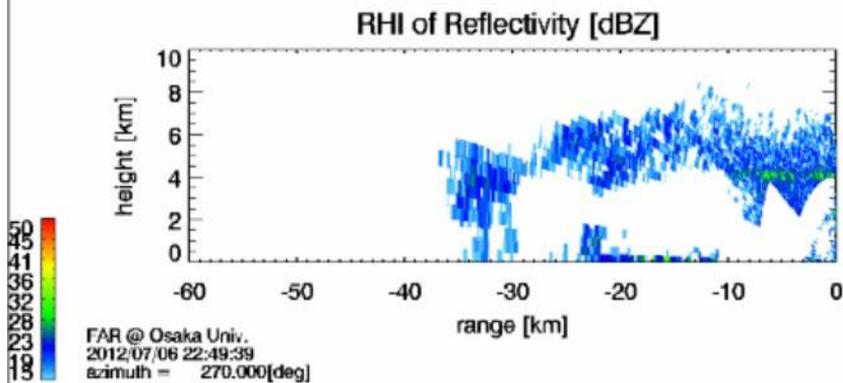
Yoshikawa, E., et al, MMSE Beam Forming on Fast-Scanning Phased Array Weather Radar, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, in press

時間進展(30秒毎)

2012年7月6日22時49分39秒～23時59分39秒

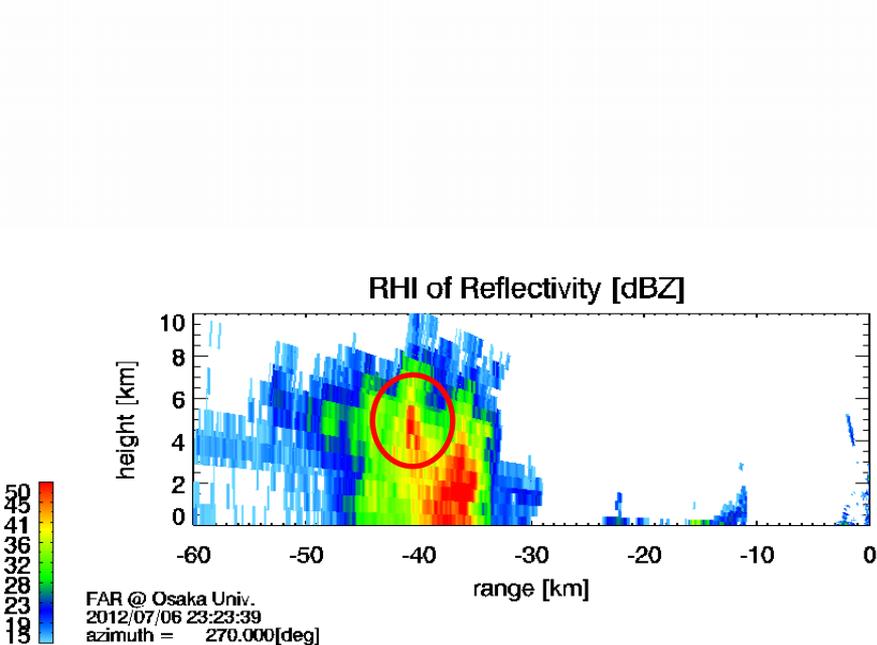
右図の赤い線に沿ったRHI

仰角4.35度におけるPPI

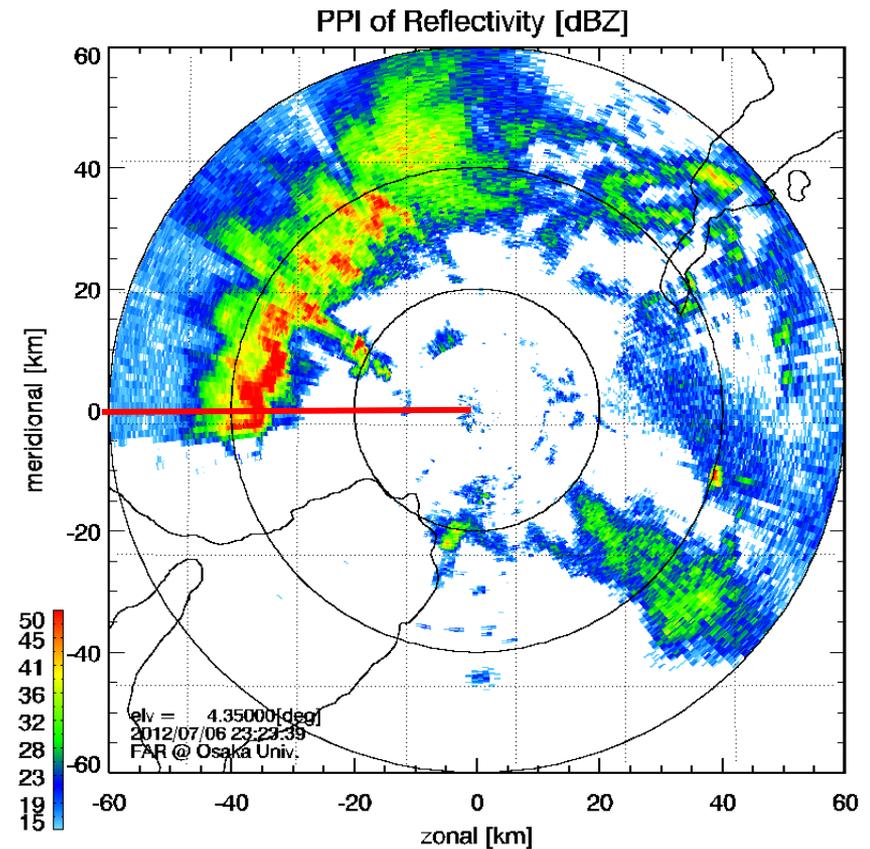


時間進展

2012年7月6日 23:23:39の観測結果



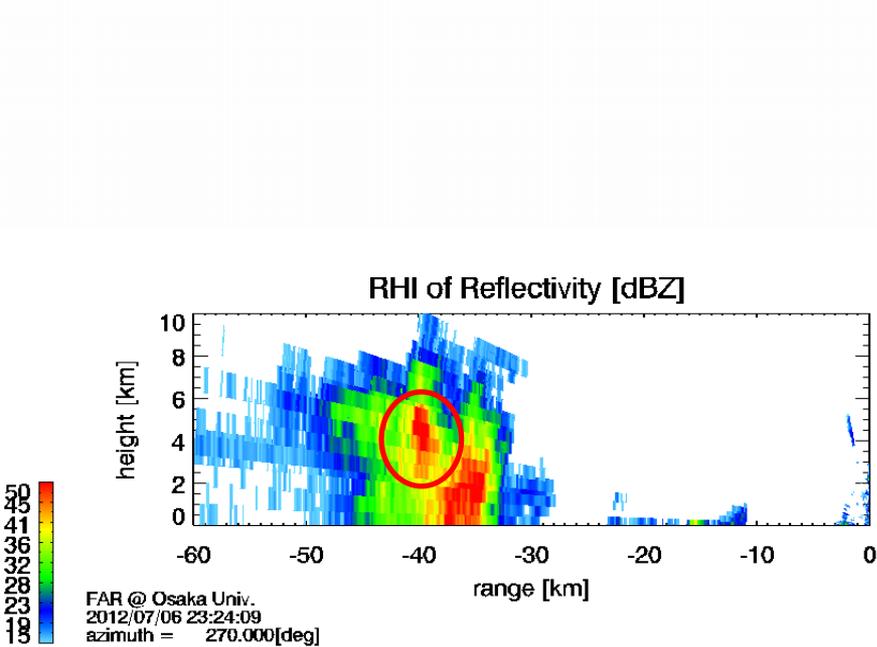
右図の赤い線に沿ったRHI



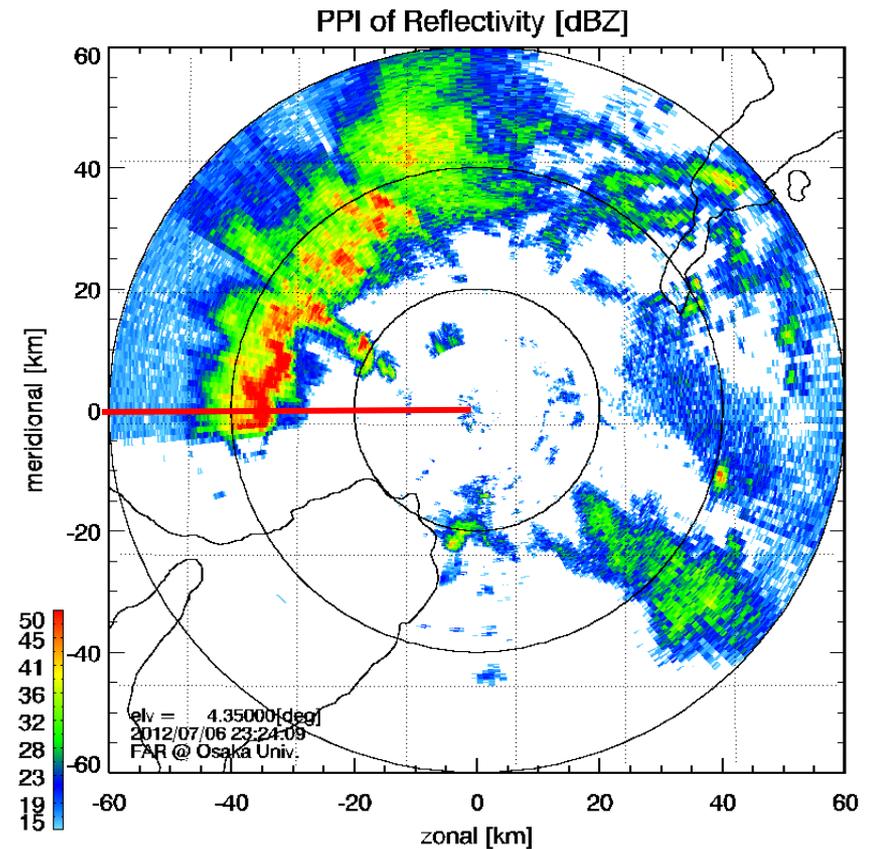
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:24:09の観測結果



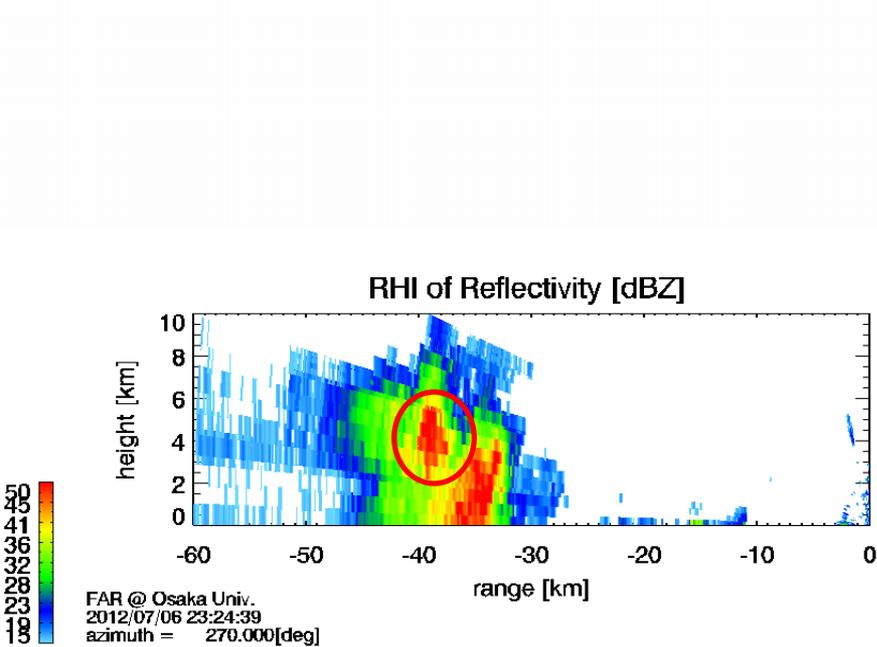
右図の赤い線に沿ったRHI



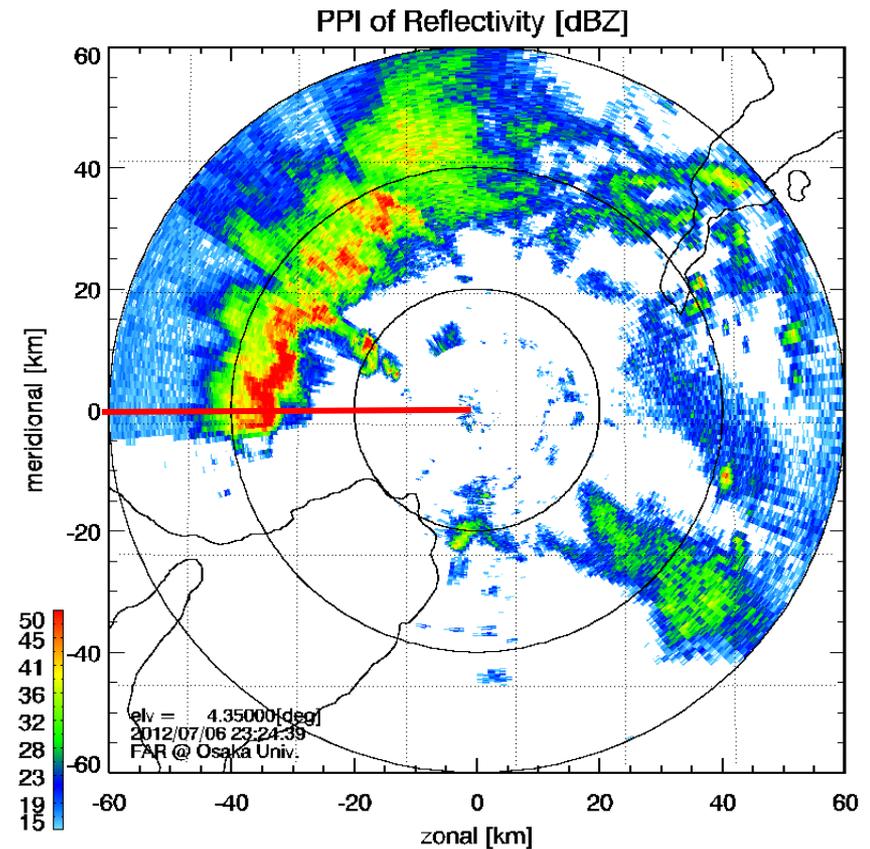
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:24:39の観測結果



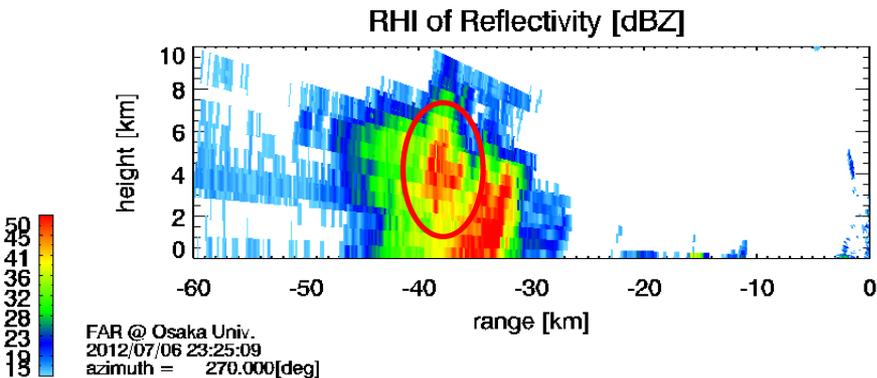
右図の赤い線に沿ったRHI



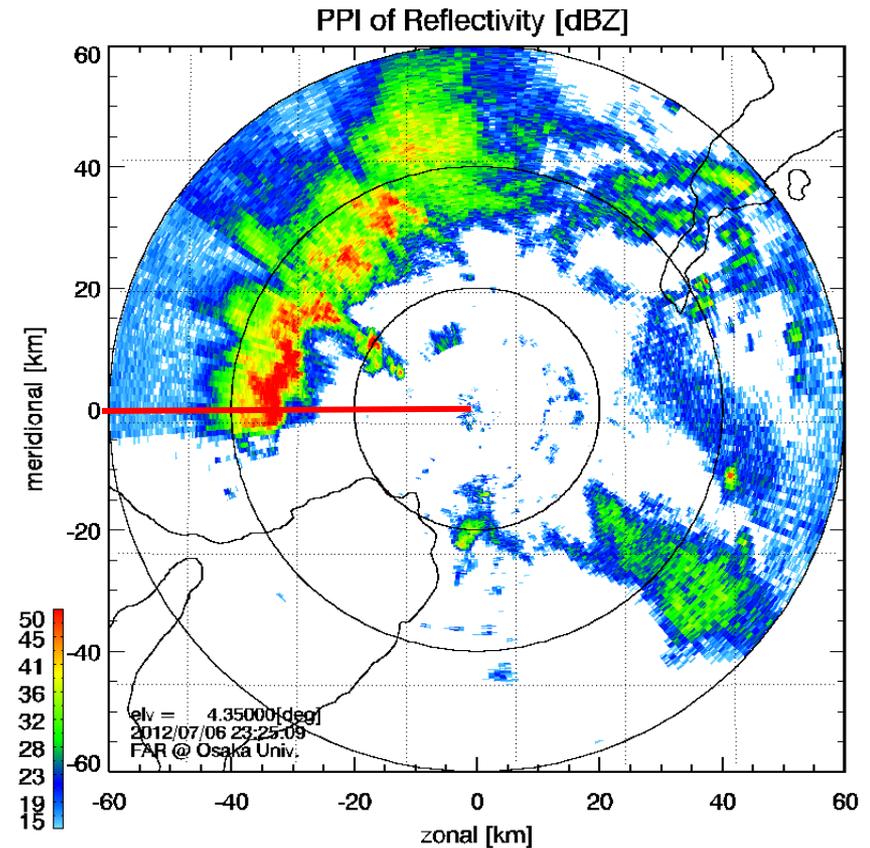
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:25:09の観測結果



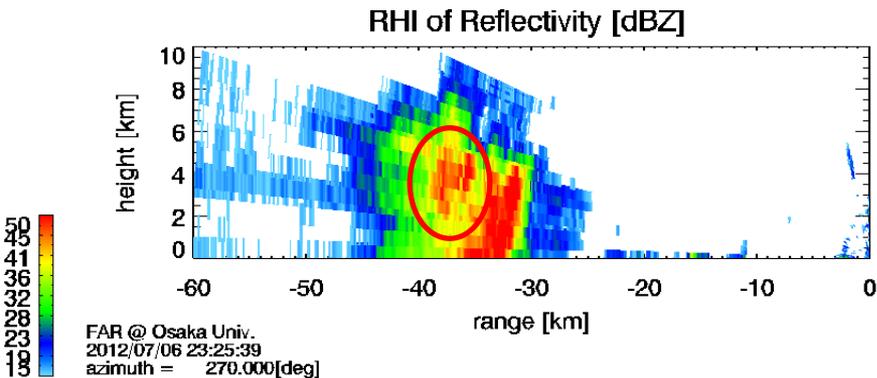
右図の赤い線に沿ったRHI



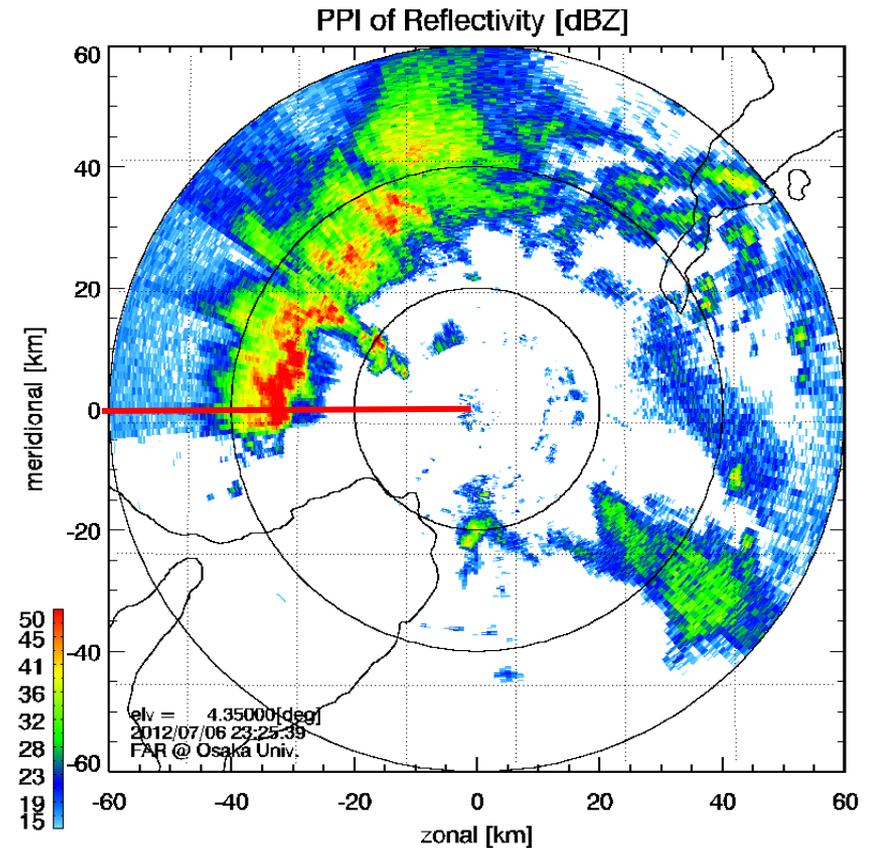
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:25:39の観測結果



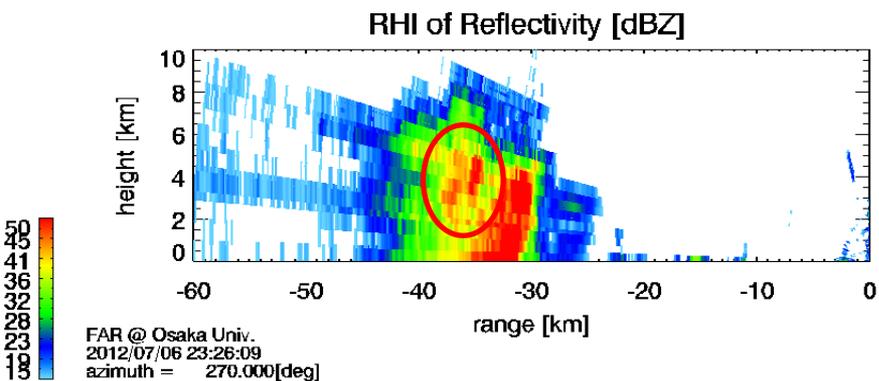
右図の赤い線に沿ったRHI



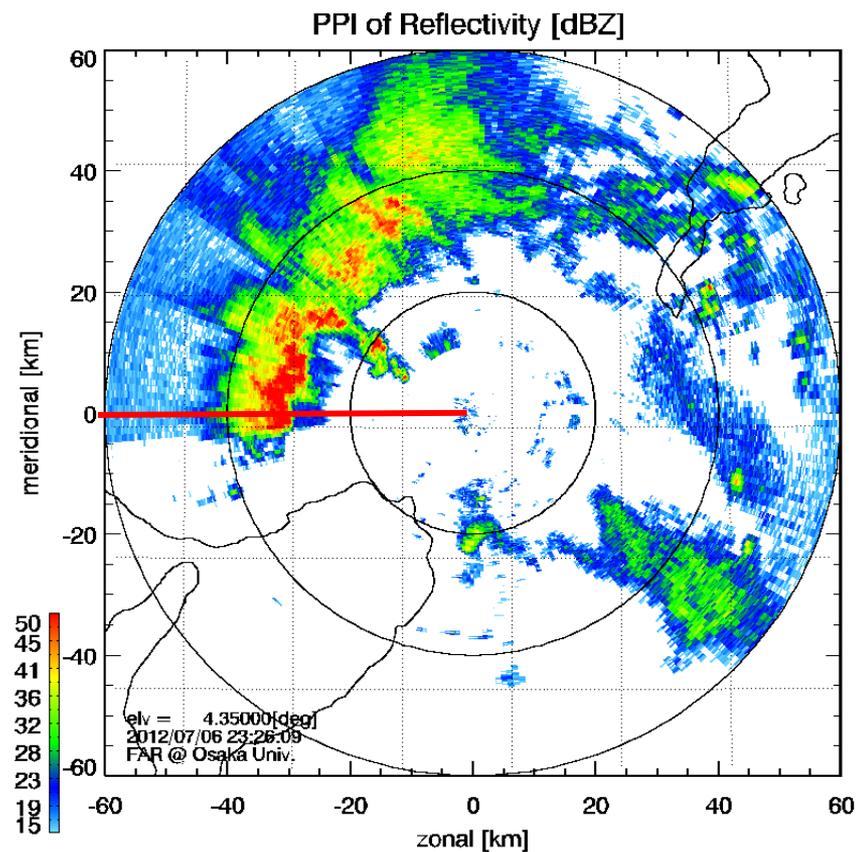
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:26:09の観測結果



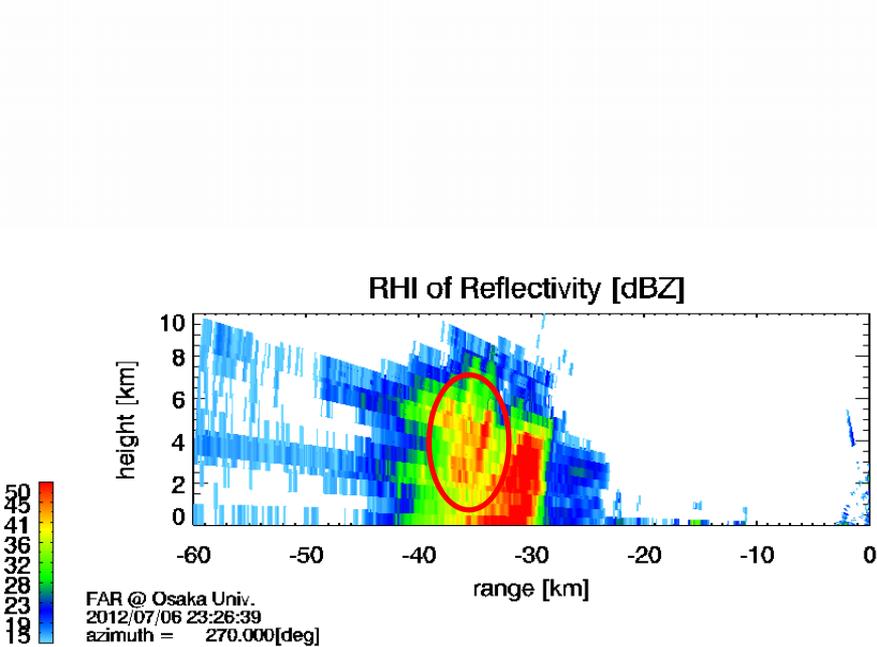
右図の赤い線に沿ったRHI



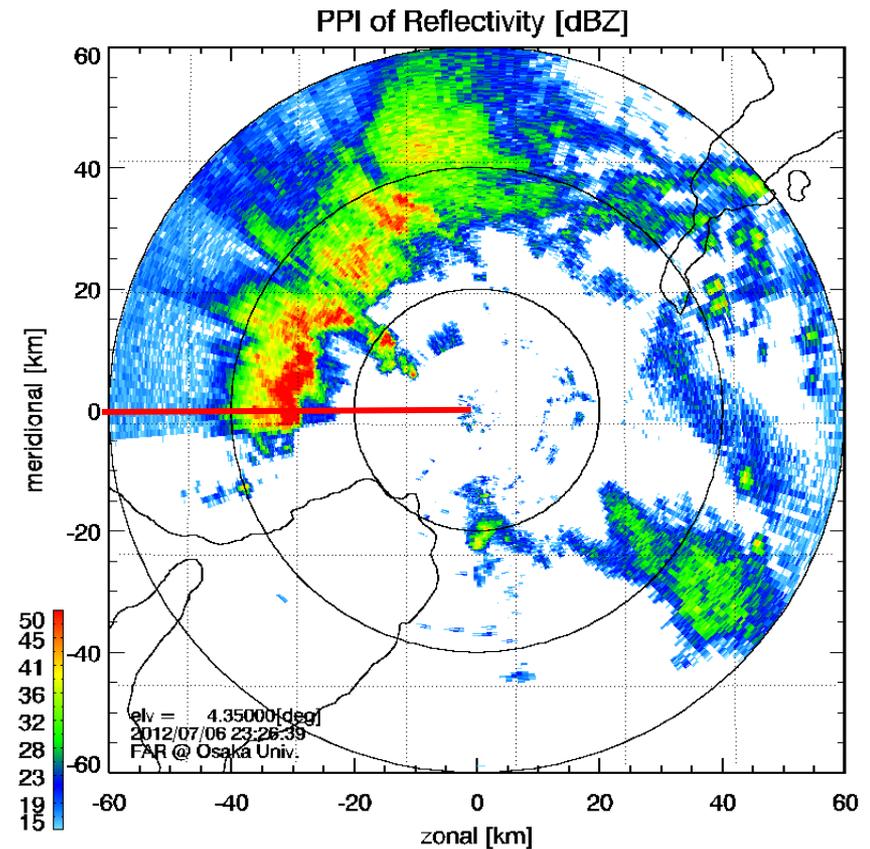
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:26:39の観測結果



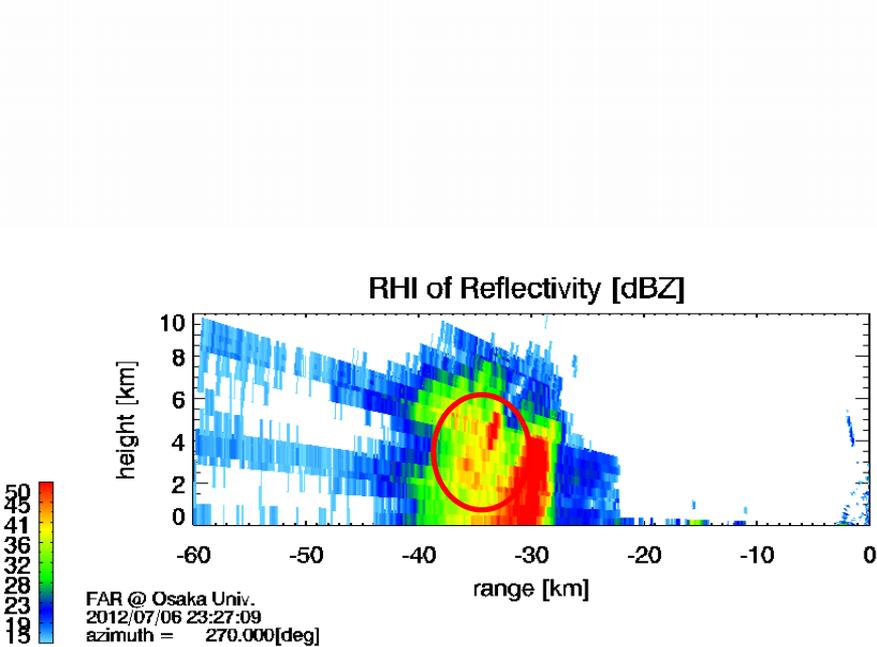
右図の赤い線に沿ったRHI



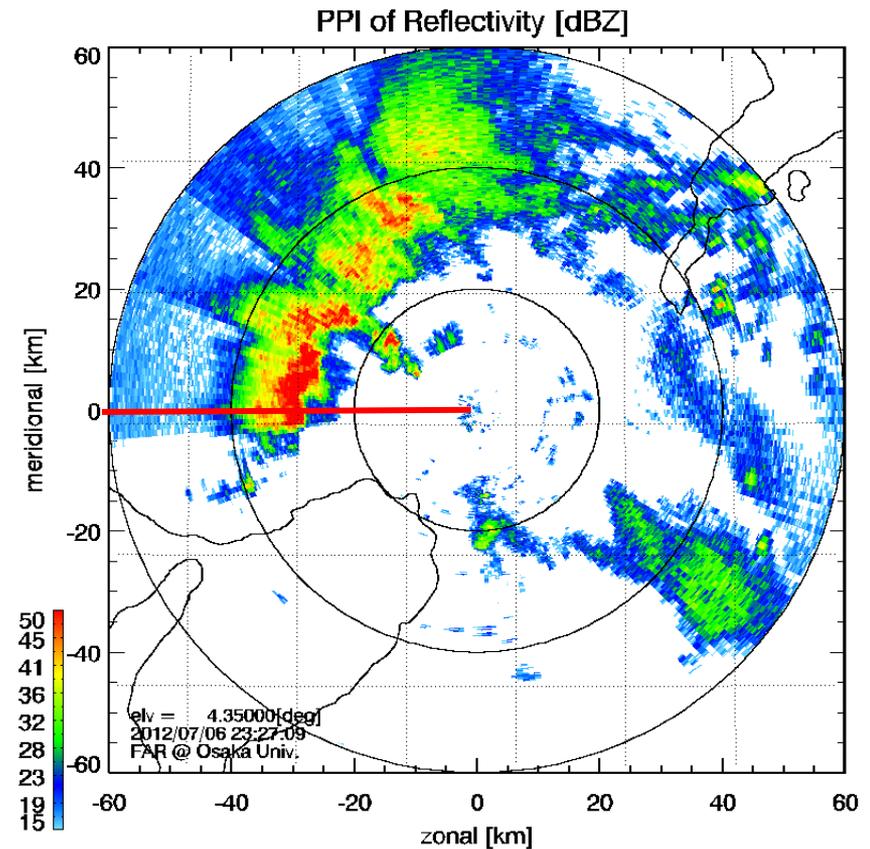
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:27:09の観測結果



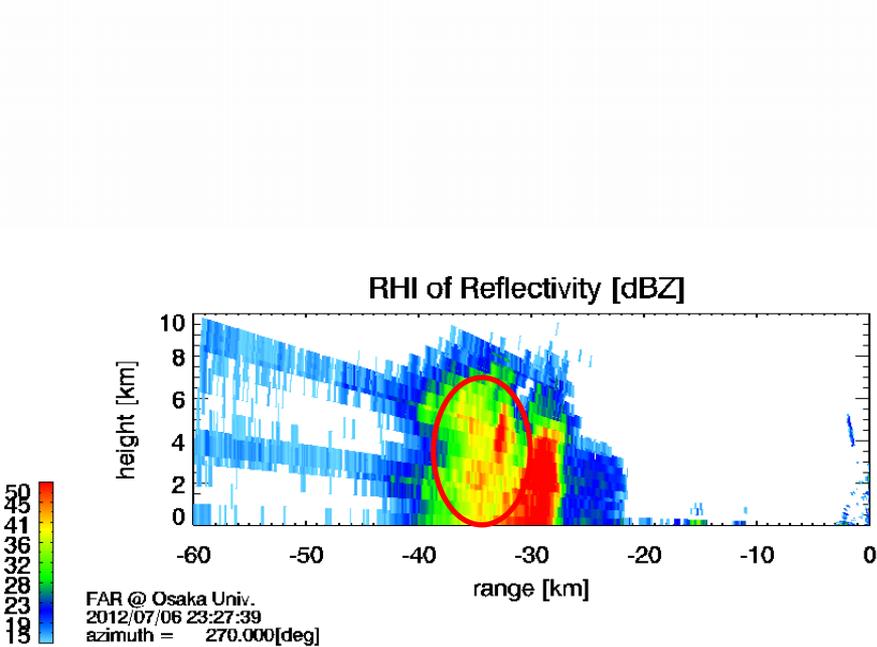
右図の赤い線に沿ったRHI



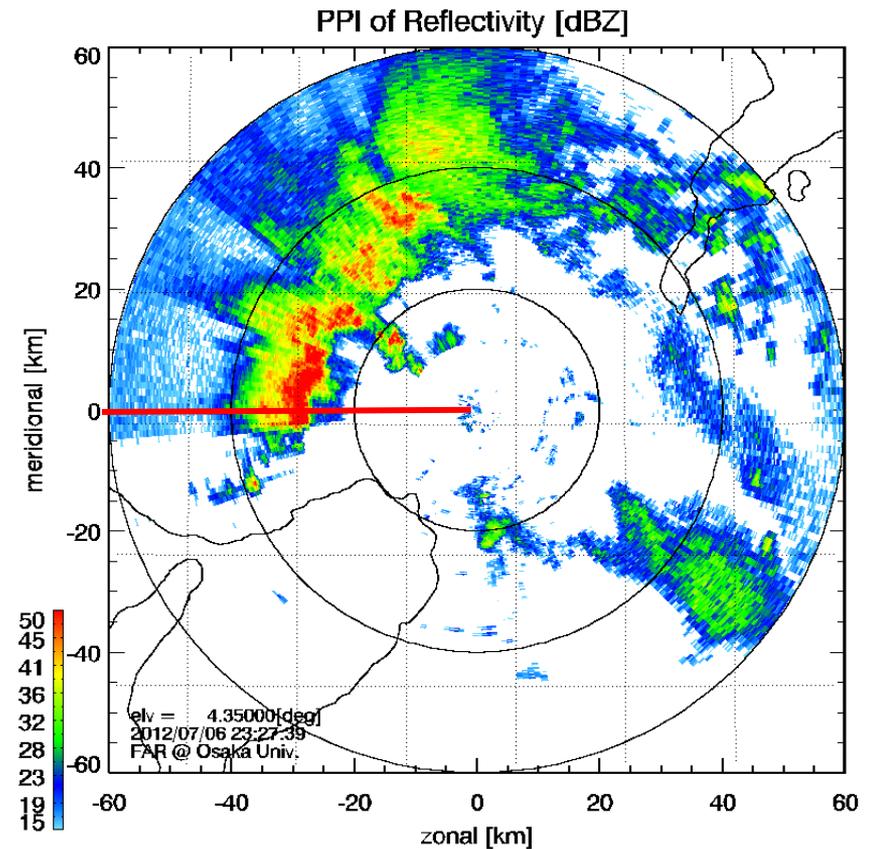
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:27:39の観測結果



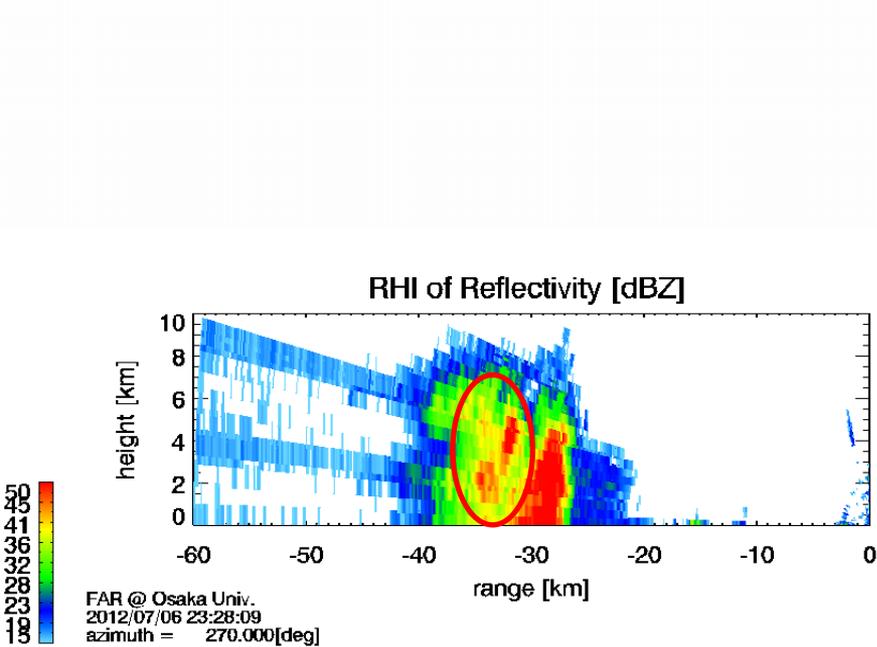
右図の赤い線に沿ったRHI



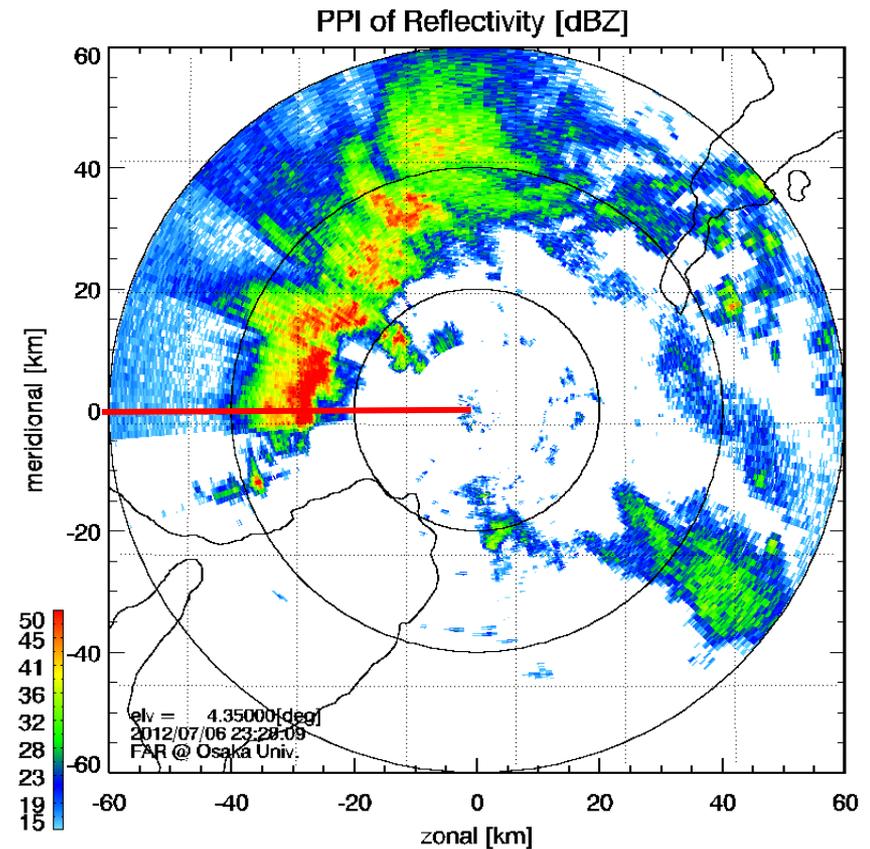
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:28:09の観測結果



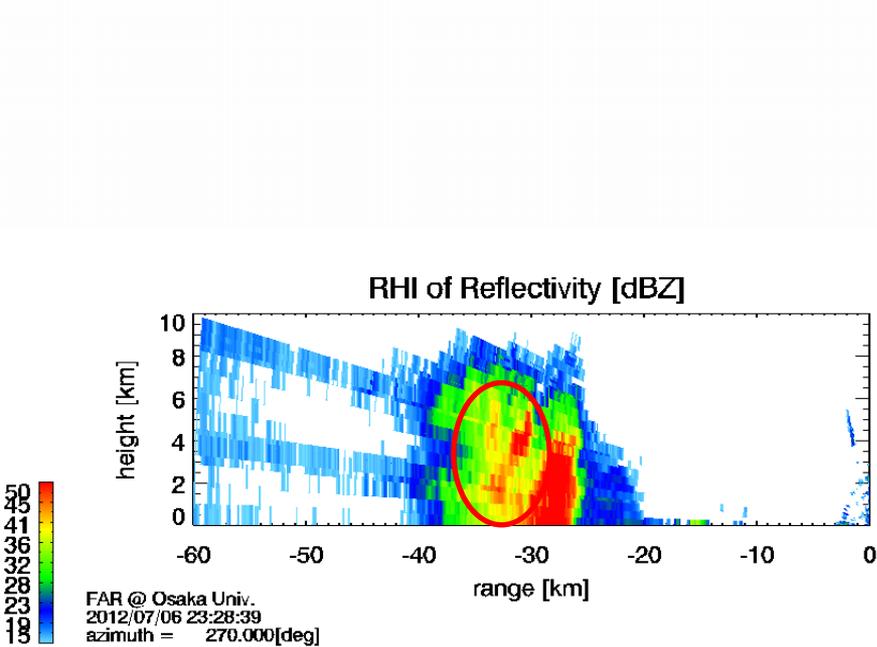
右図の赤い線に沿ったRHI



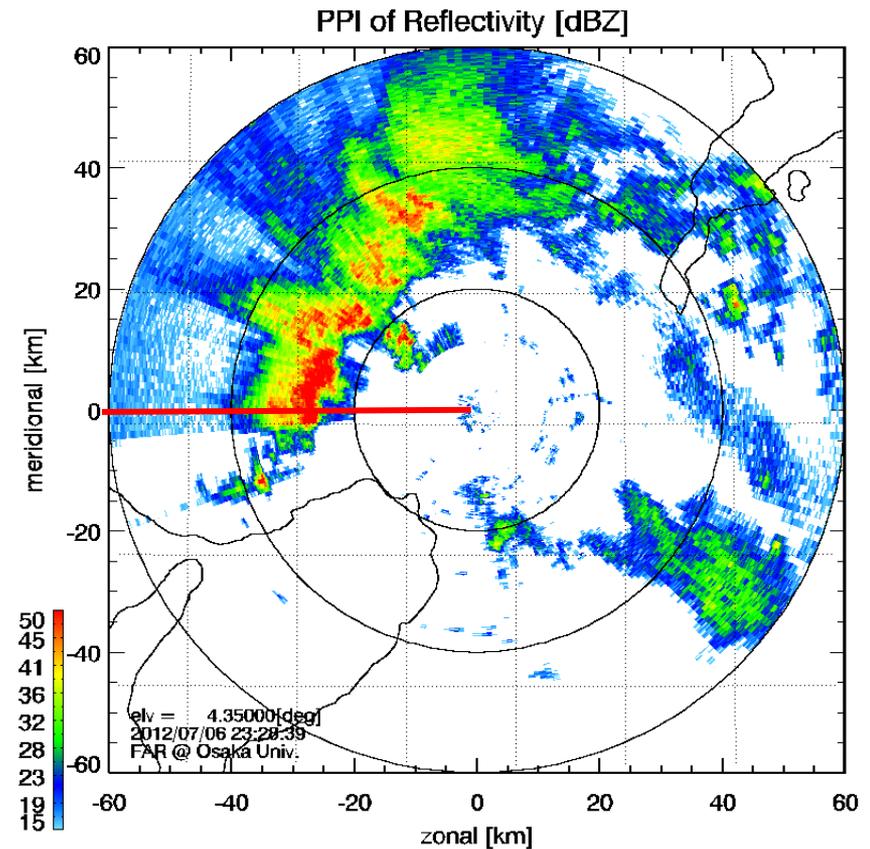
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:28:39の観測結果



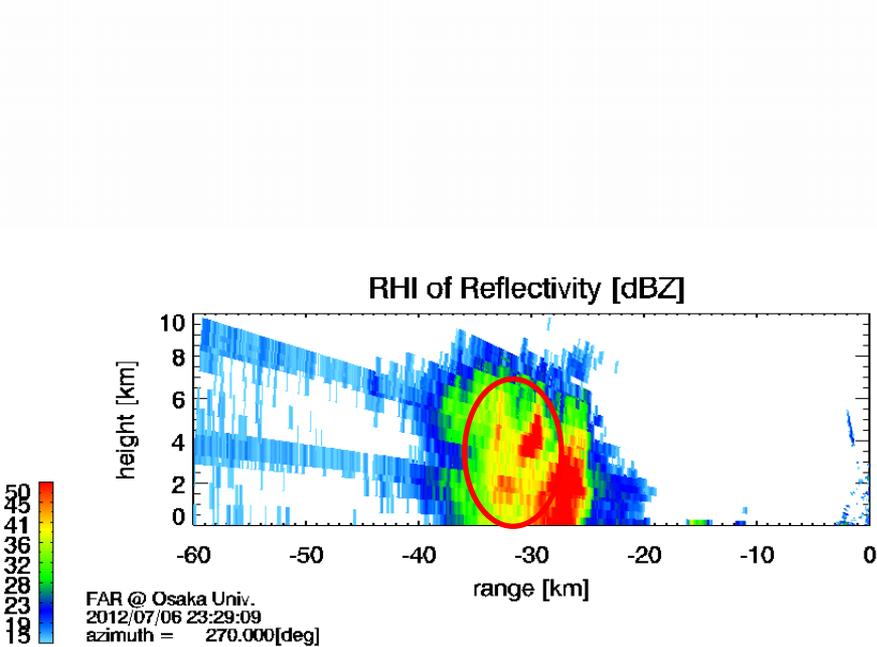
右図の赤い線に沿ったRHI



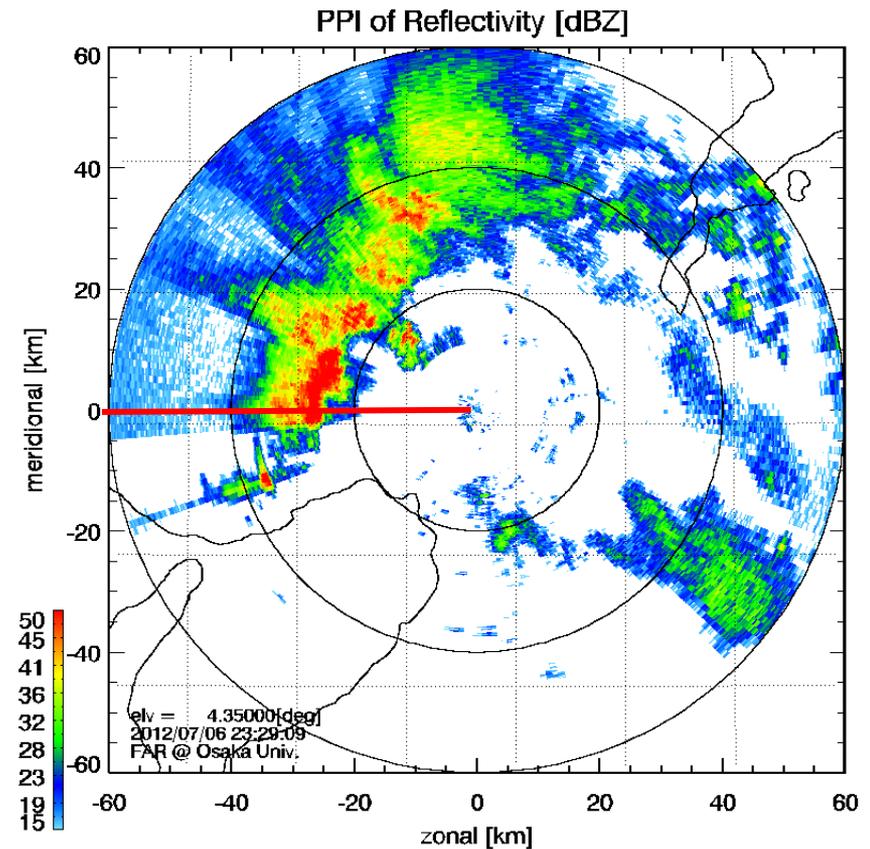
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:29:09の観測結果



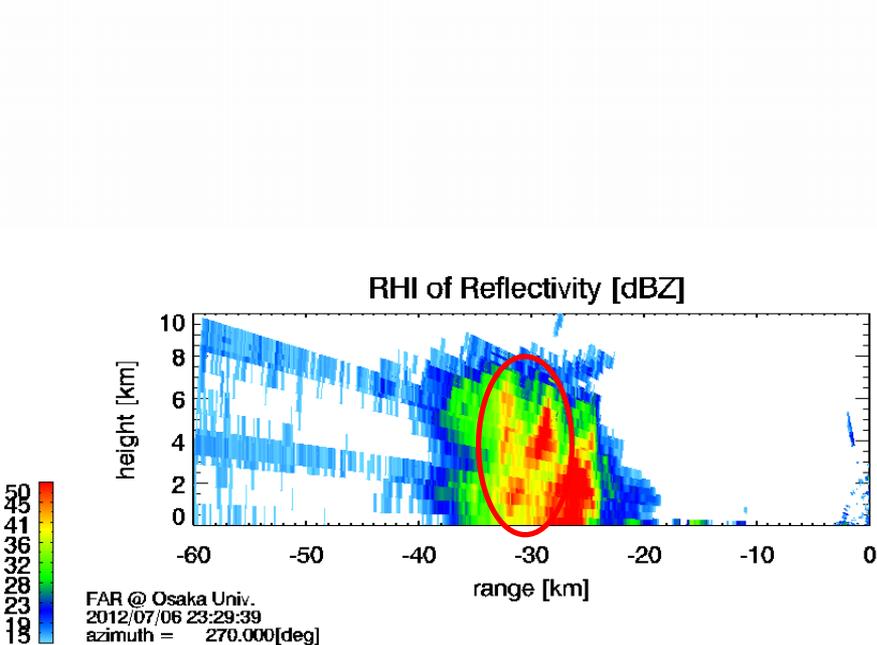
右図の赤い線に沿ったRHI



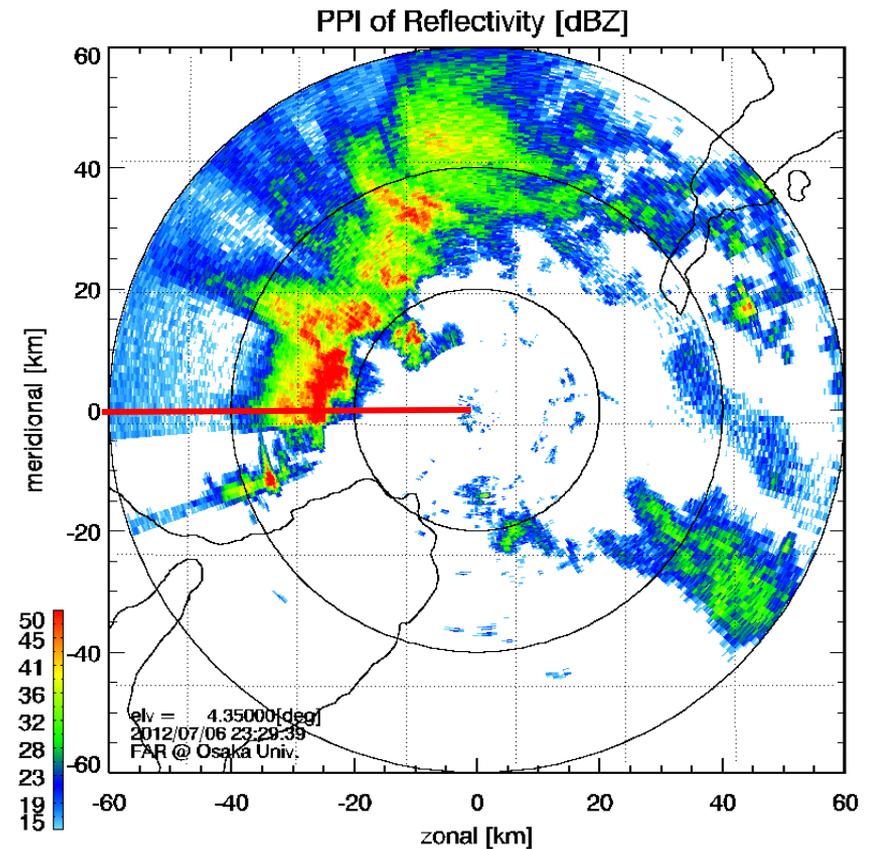
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:29:39の観測結果



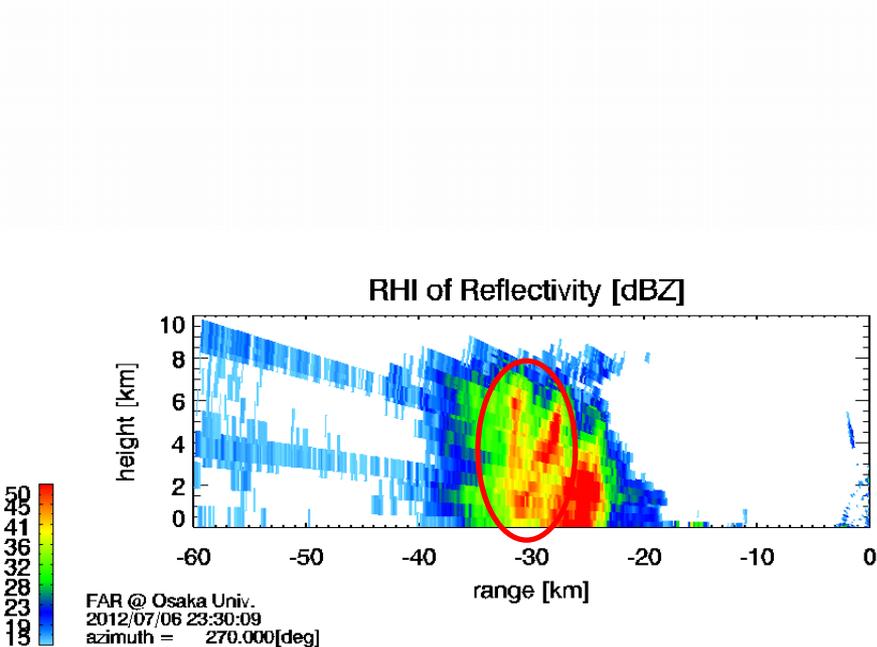
右図の赤い線に沿ったRHI



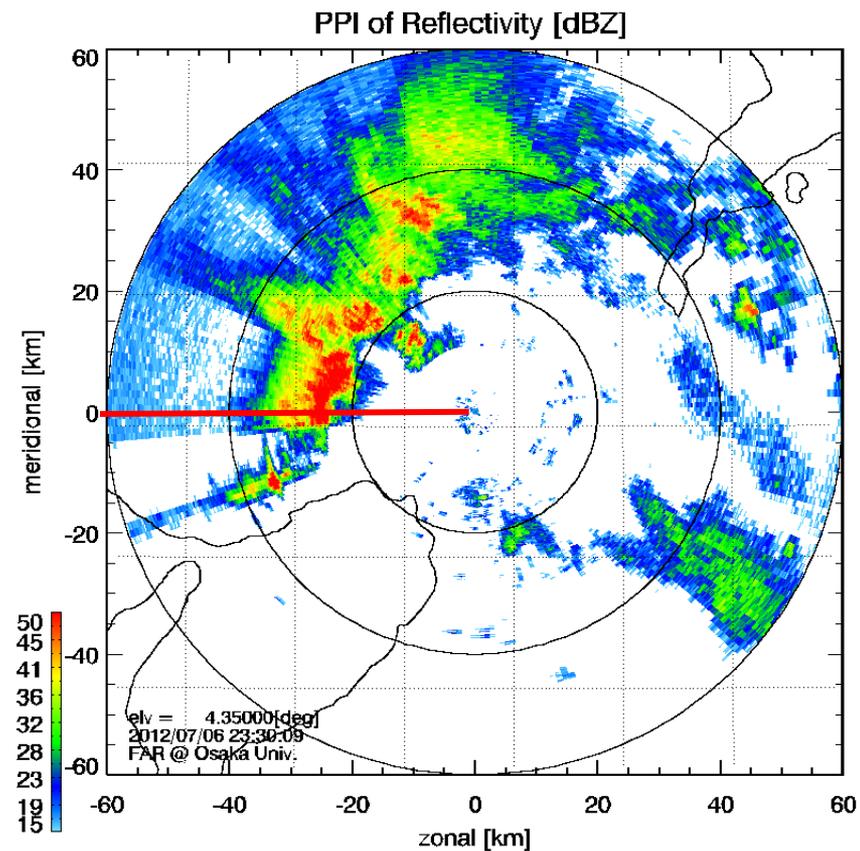
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:30:09の観測結果



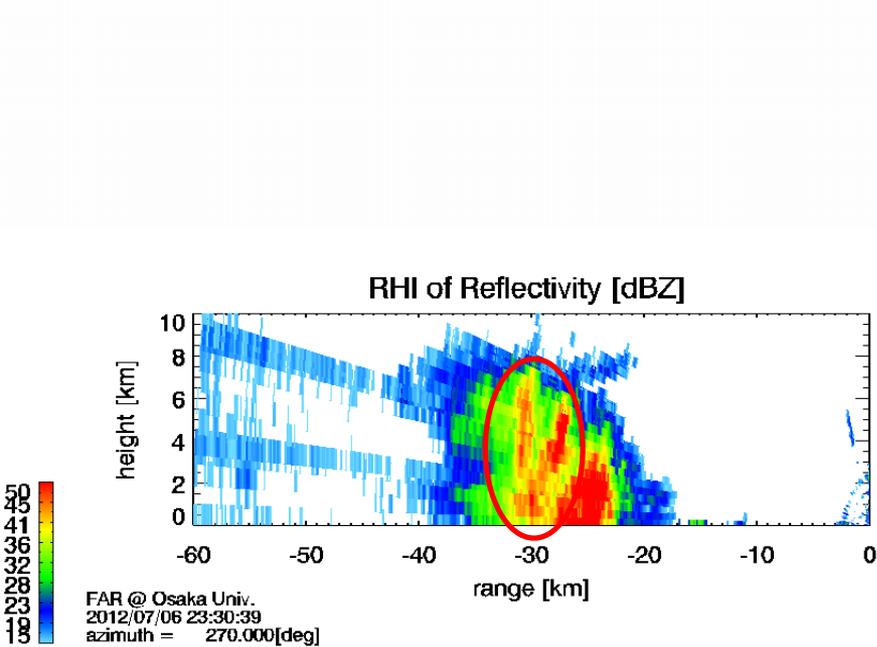
右図の赤い線に沿ったRHI



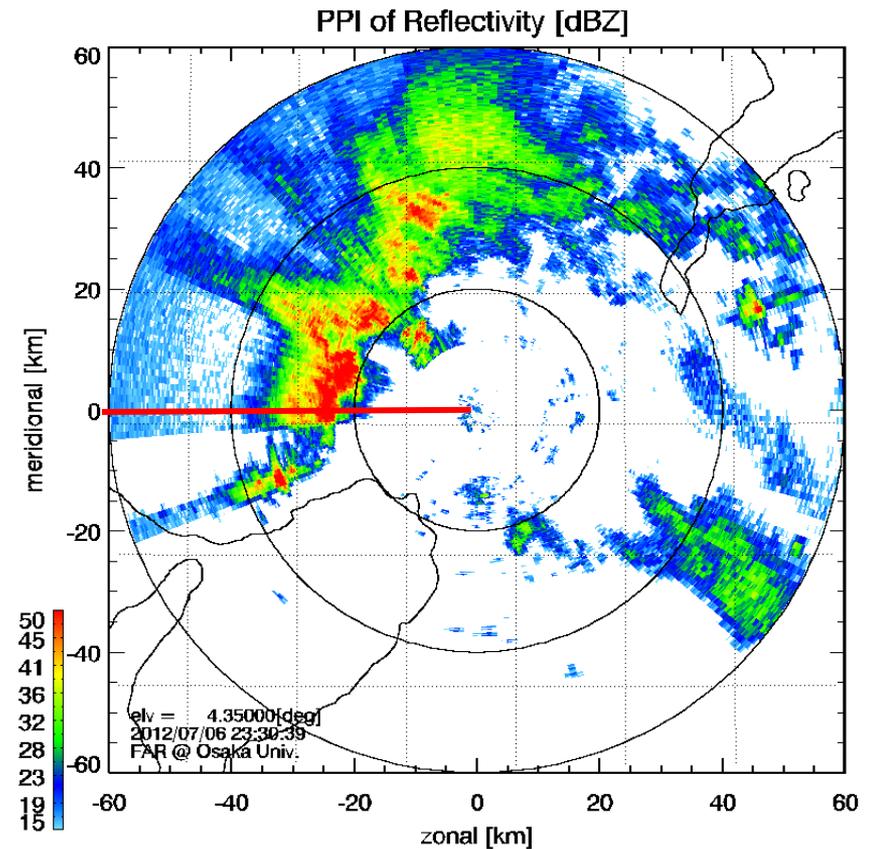
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:30:39の観測結果



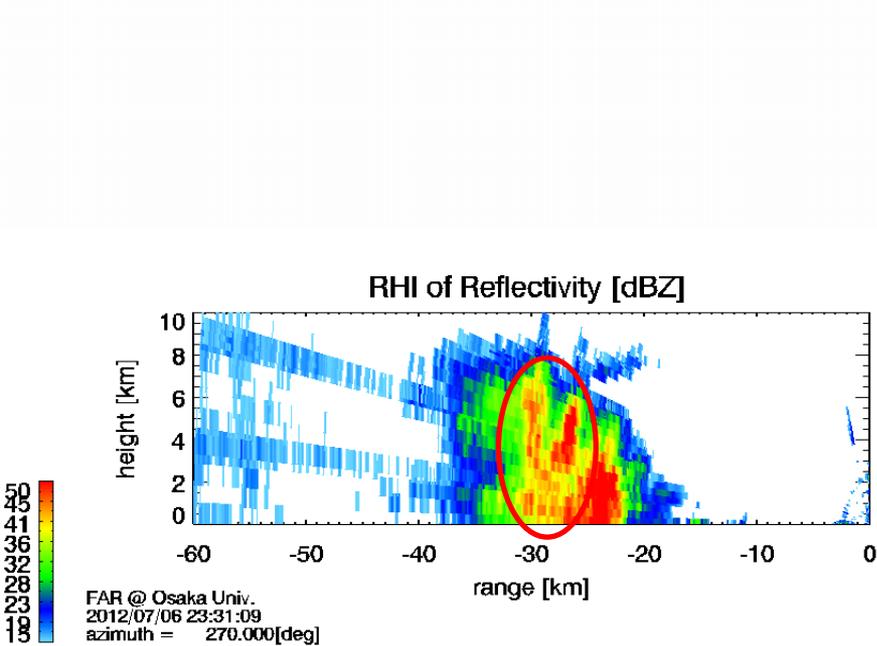
右図の赤い線に沿ったRHI



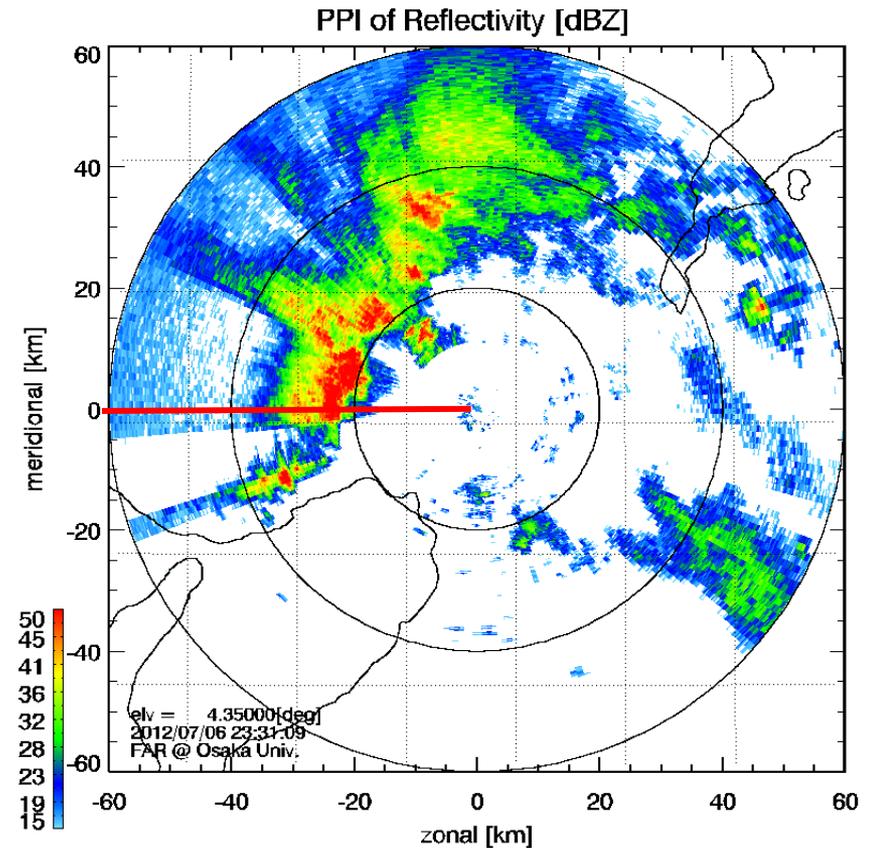
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:31:09の観測結果



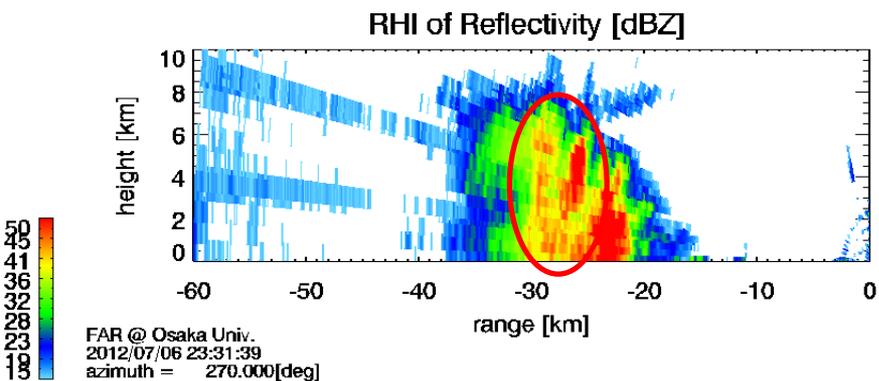
右図の赤い線に沿ったRHI



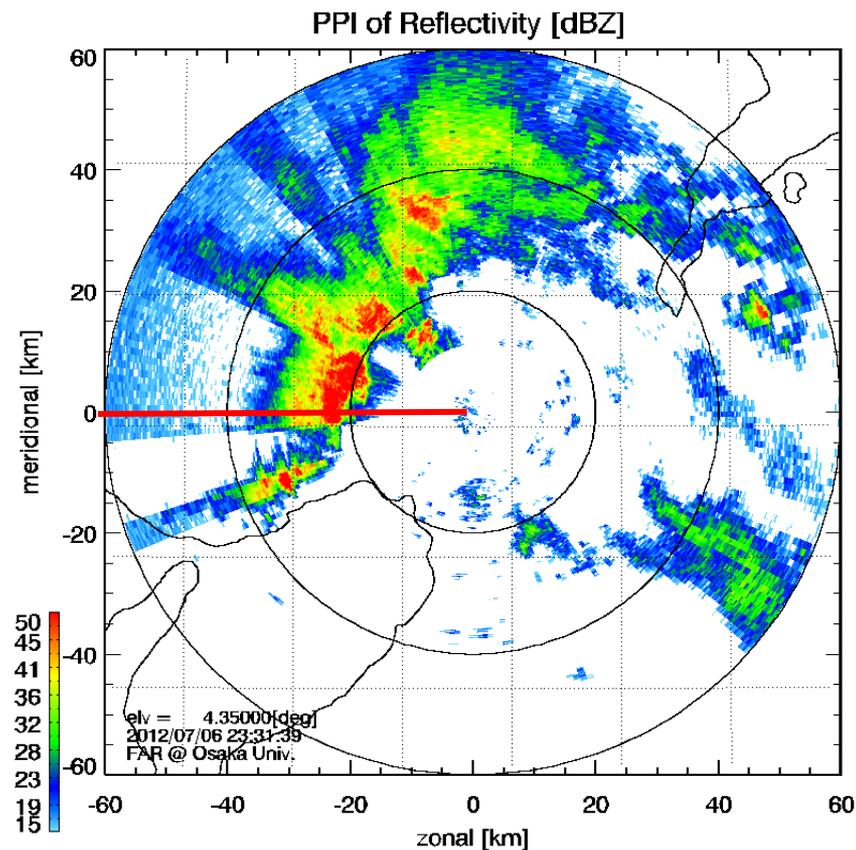
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:31:39の観測結果



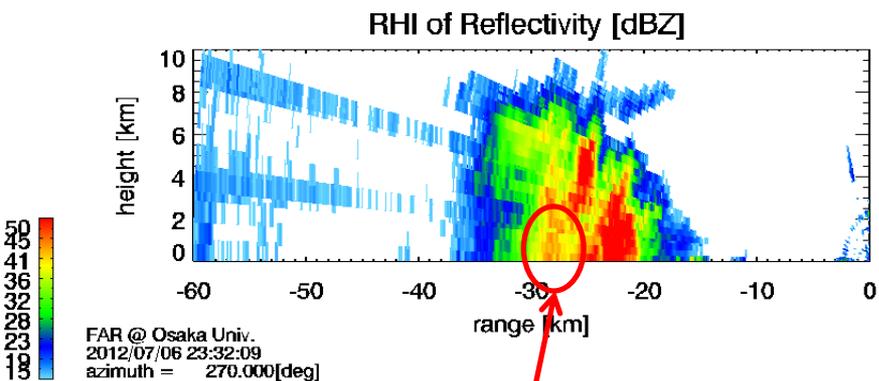
右図の赤い線に沿ったRHI



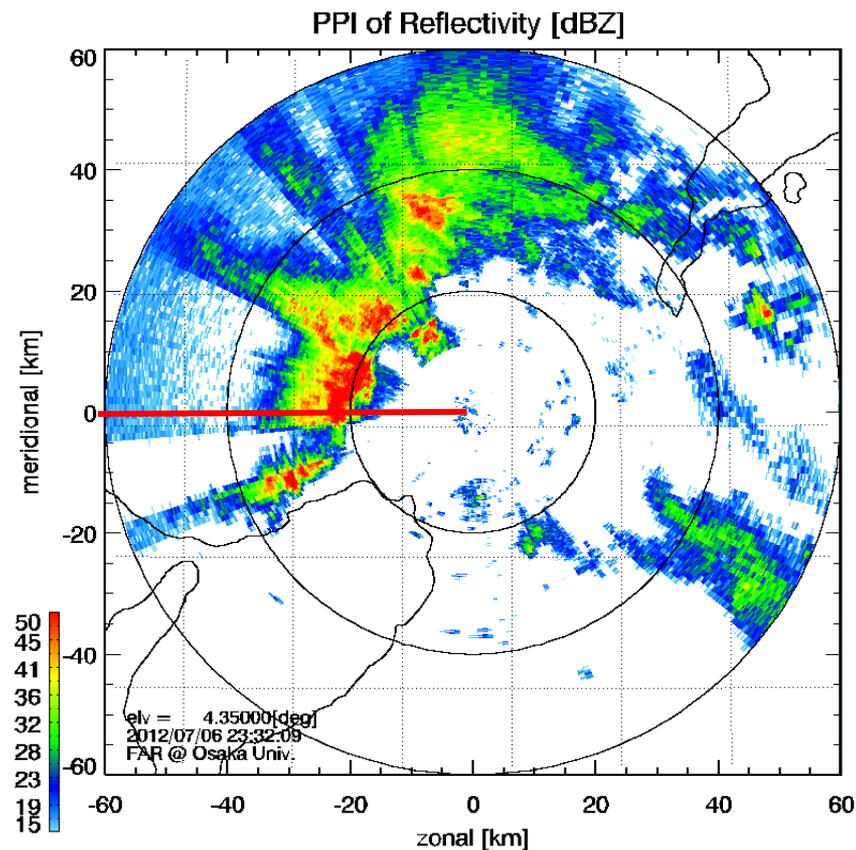
仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:32:09の観測結果



地表付近に強い降雨分布



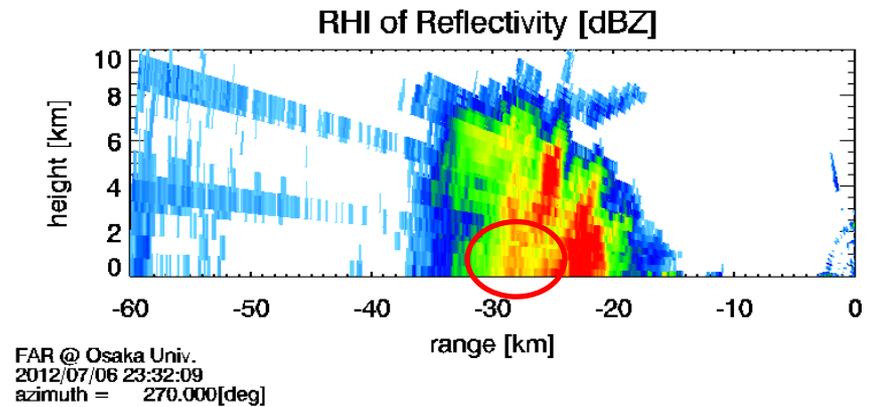
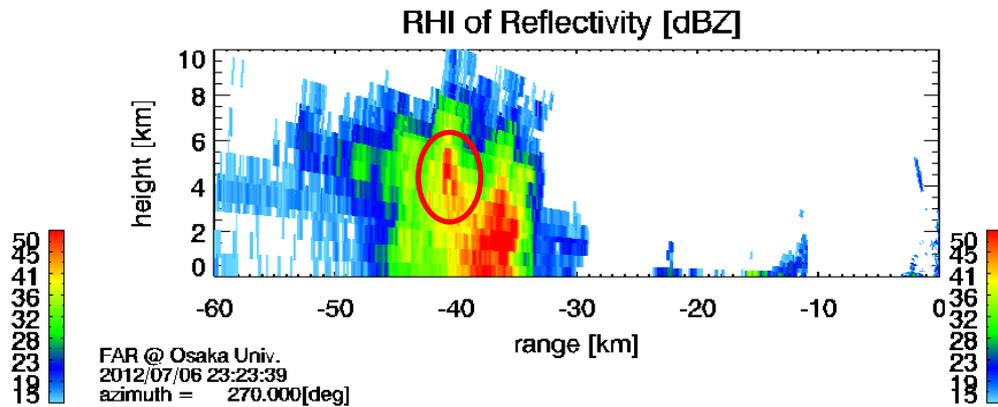
右図の赤い線に沿ったRHI

仰角4.35度におけるPPI

時間進展

2012年7月6日 23:23:39
コア発生

2012年7月6日 23:32:09
地上到達

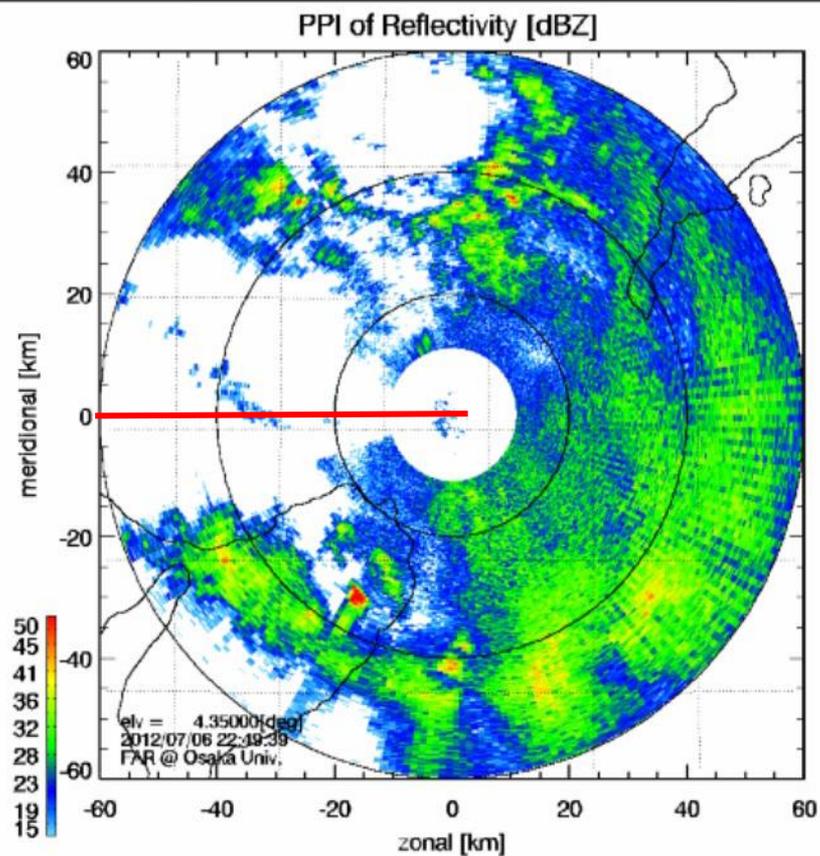
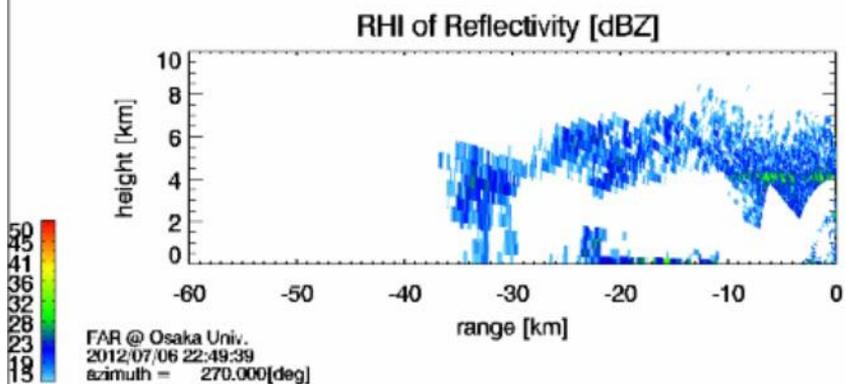


8分30秒間

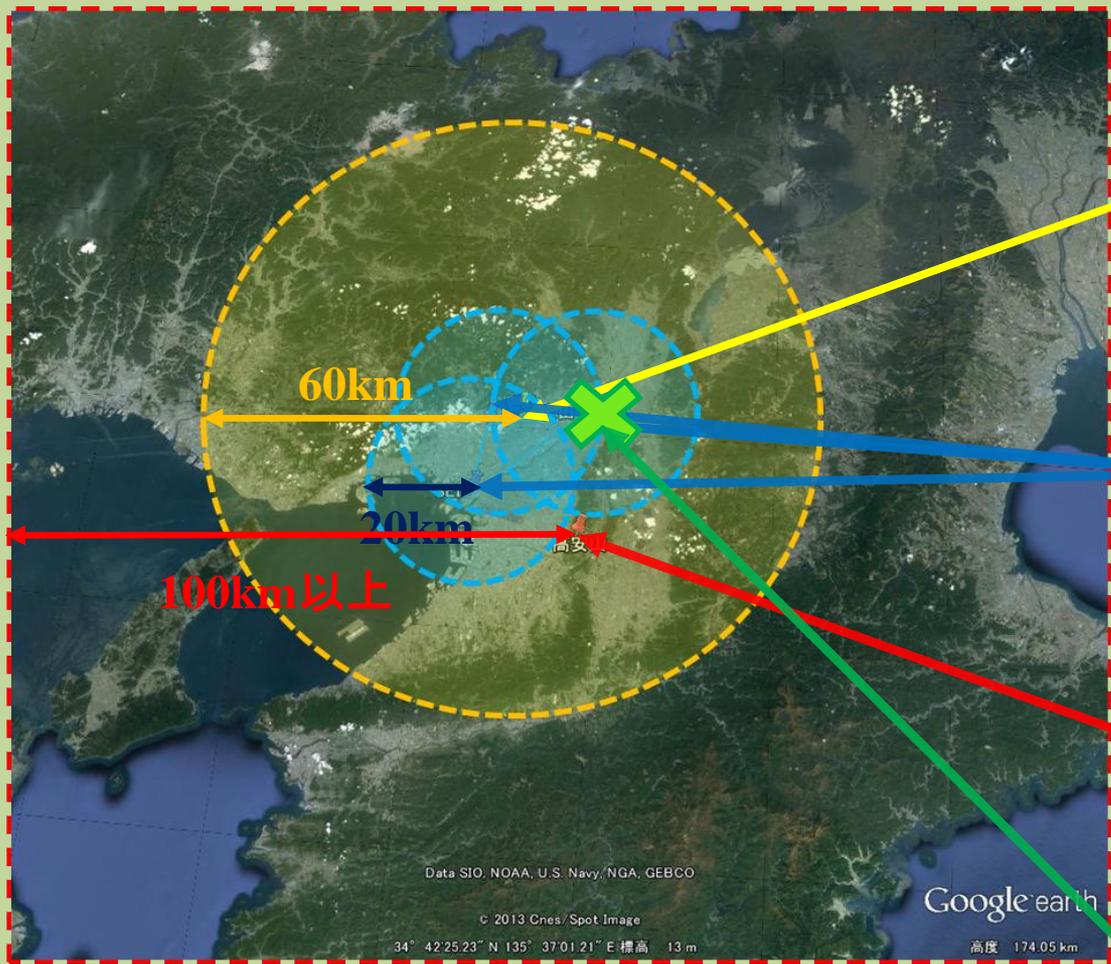
時間進展(5分毎) 2012年7月6日22時49分39秒～23時59分39秒

右図の赤い線に沿ったRHI

仰角4.35度におけるPPI



観測概要



観測範囲



PAR



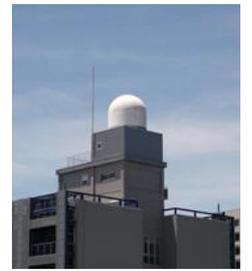
BBR



C-band Radar
(全域)

PAR

@大阪府吹田市
大阪大学
吹田キャンパスE-3



BBR-network

@ 渚水みらいセンター
豊中キャンパス
住友電工大阪営業所



C-band Radar

@大阪府八尾市
高安山
気象レーダ観測所



Disdrometer

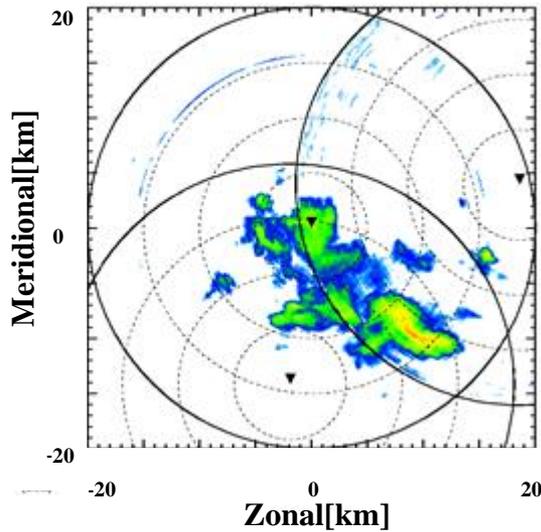
@渚水みらい
センター



結果 (PAR・BBR・C-band 動画比較)

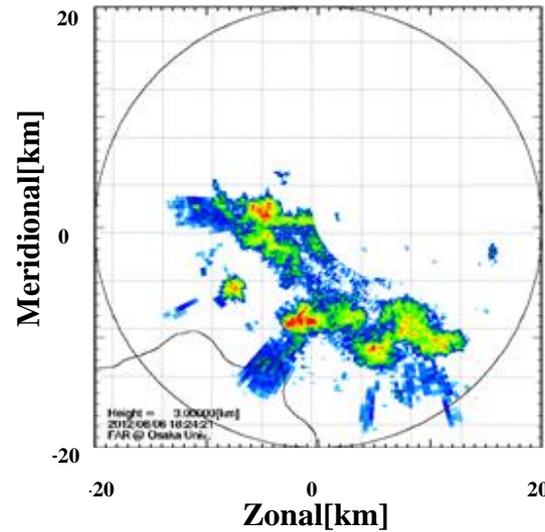
Date:2012 8/6 18:00 ~18:50

BBR-network(1分毎)



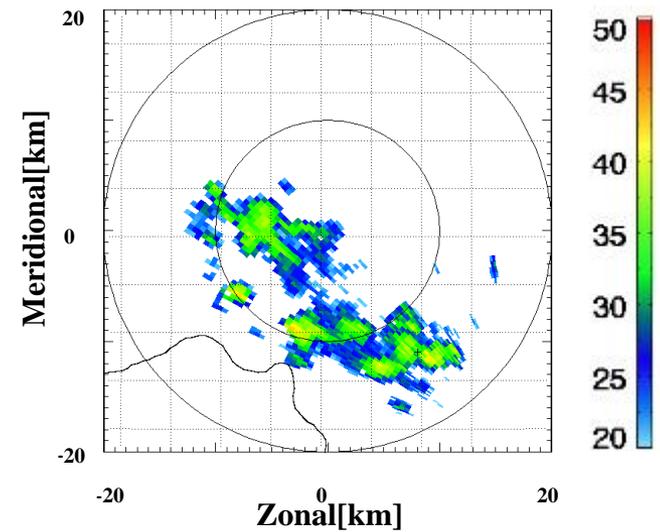
CAPPI 高度3km

PAR(30秒毎)



CAPPI 高度3km

C-band Radar(10分毎)



PPI 仰角0.7°

・PARの中央部は当時調整中
→現在は改善されている

	相関係数	分散
PAR・BBR	0.904	4.01dB

→Cバンドレーダとの比較は次項

検証手法

PARと他レーダの補正データの比較位置の決定

各レーダは、
使用している周波数帯が違うため波長が異なる

PAR観測データ

他レーダ観測データ

ポイント

により

Rayleigh散乱
波長が粒径よりも十分大きいとき

Mie散乱
波長が粒径に対して小さいとき

方位角方向:1.2°
仰角方向:0.9°

散乱方法

Cバンドレーダ

5.60cm

→Rayleigh散乱

フェーズドアレイレーダ

3.18cm

→Mie散乱

Other Radar

1.90cm

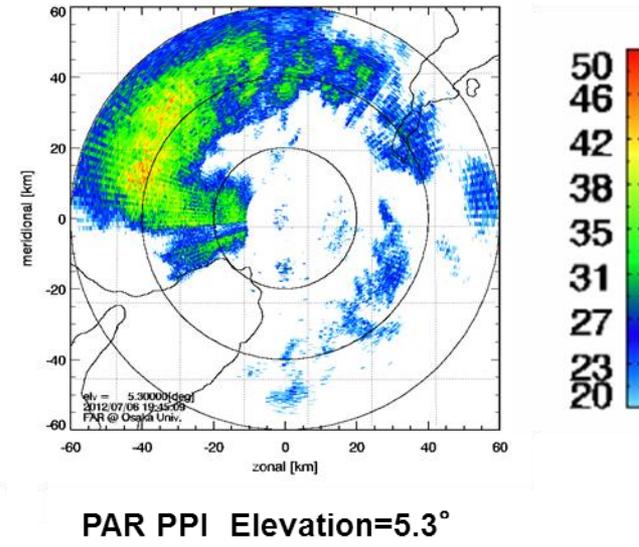
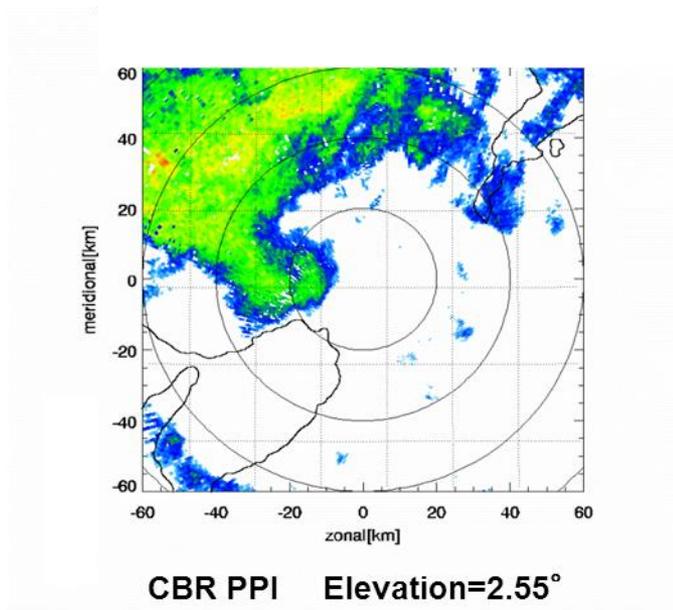
→Mie散乱

PAR

- ・比較するレーダのそれぞれのポイントに対してフェーズドアレイレーダのポイントが一つ対応するように比較ポイントを決定
- ・ポイントは比較するレーダのメッシュに対して最もその中心に近いものを選定
- ・時間的にも一番近い観測時間のデータを選定

結果(PARの距離ごとのCバンドレーダとの比較)

Date:2012 7/6 19:50



北西部のPARの距離ごとの相関係数と標準偏差

距離[km]	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60
相関係数	0.902	0.901	0.779	0.645	0.601
標準偏差[dB]	3.75	4.10	3.35	5.29	3.79

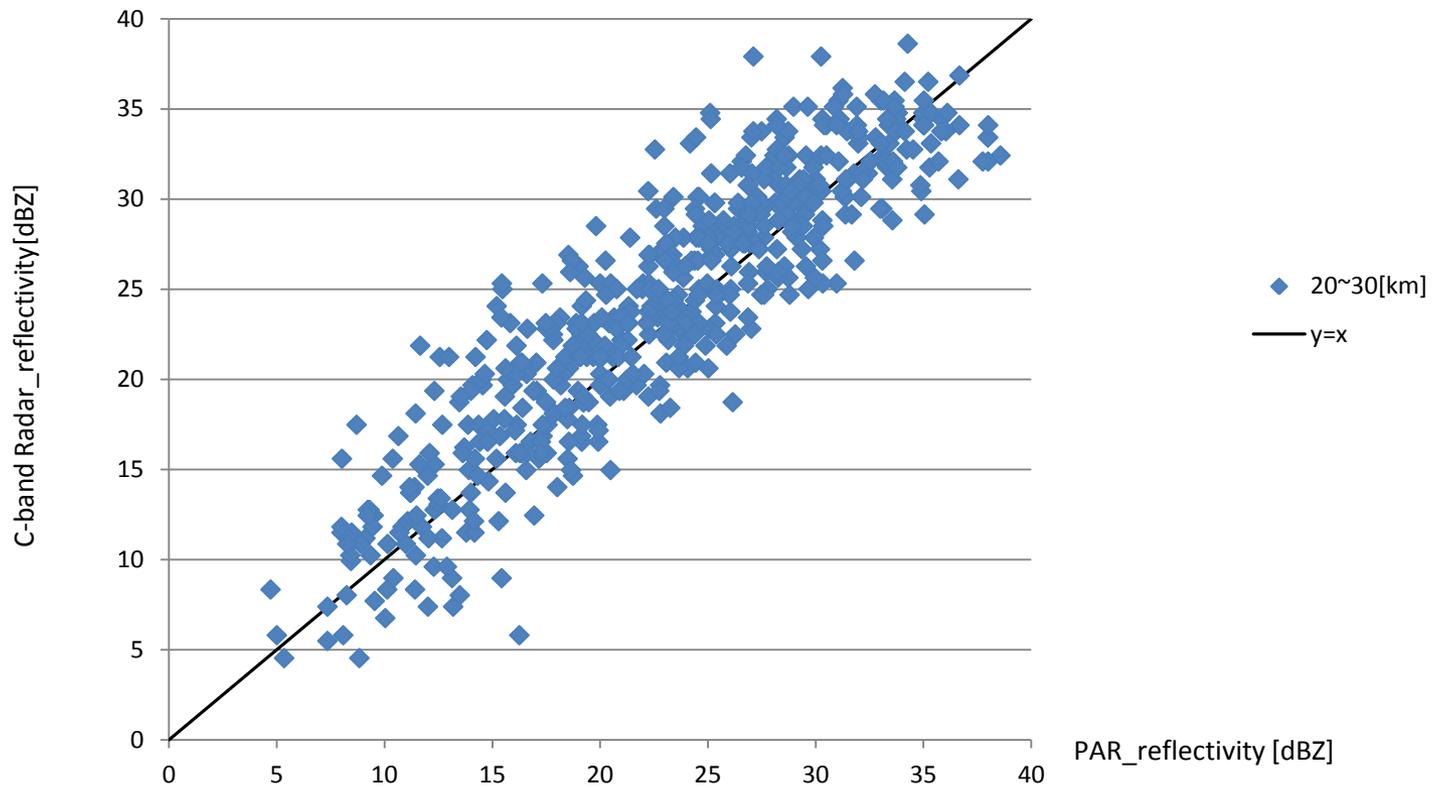
PARからの距離が遠くなるほど
相関係数の値が低くなる



・PARのビーム幅が広がることによる
観測精度の悪化
・PARの降雨減衰の影響

Date:2012 7/6 UTC 10:45

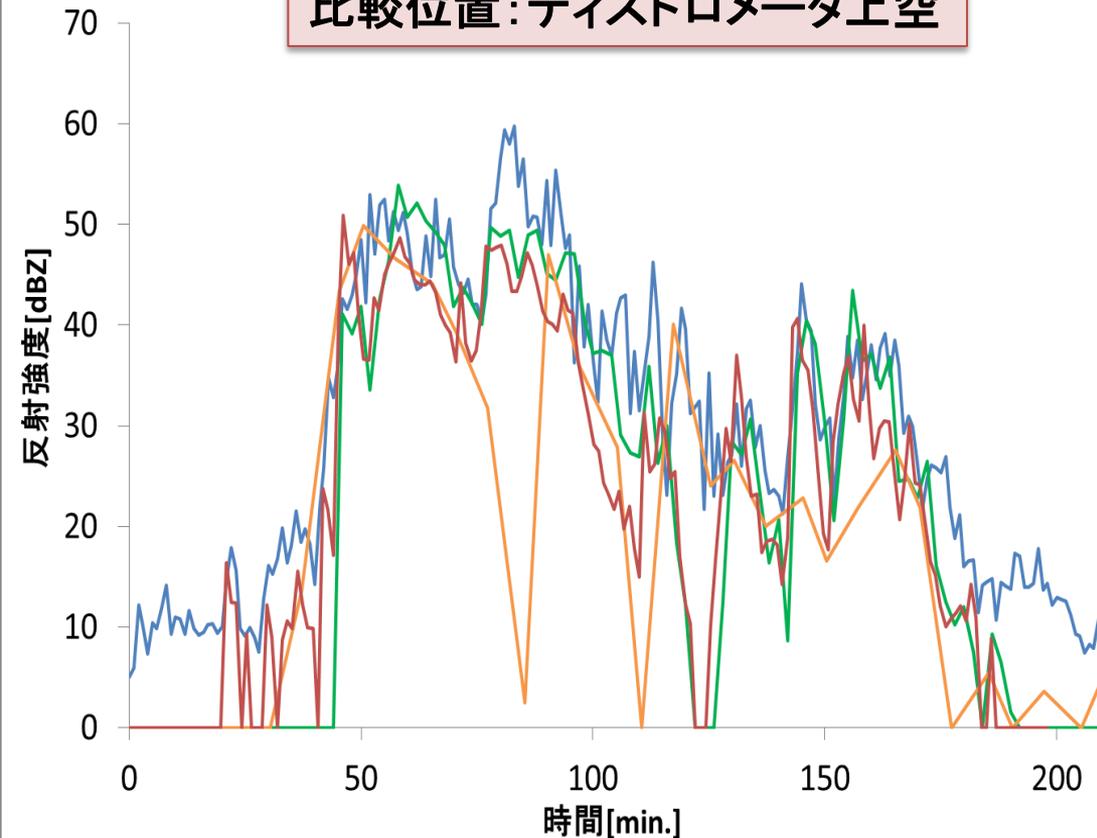
PAR_ref vs CBR_ref



結果(PARと他レーダ・ディストロメータとの時間進展比較)

Date:2012 7/22 15:50~19:10

比較位置:ディストロメータ上空



青線: PAR(1km上空)

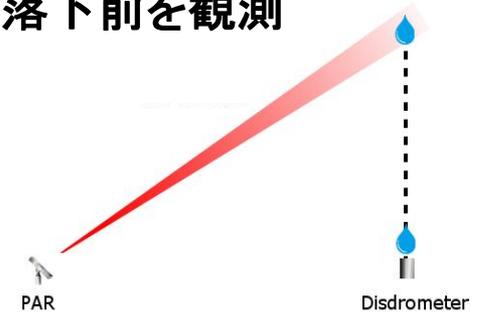
赤線: BBR(地上)

緑線: ディストロメータ(地上)

橙線: Cバンドレーダ(1km上空)

・PAR・Cバンドレーダは、
落下前約1km上空を観測

落下前を観測

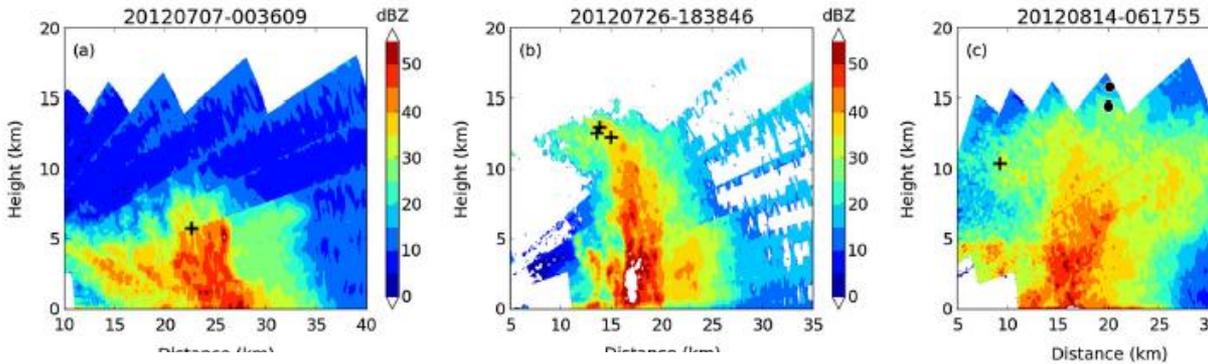


・PARとディストロメータとの相関係数0.604, **標準偏差10dB**

(・1km上空においてBBRとPARの挙動は概ね一致)

→1km上空を観測しているため、降水イベントが変化していると考えられる

NBE is a perfect proxy for monitoring severe thunderstorm



Eos RESEARCH SPOTLIGHT

Understanding the structure of subtropical plates

Seismic studies are helping scientists learn more about the structure of subducting oceanic plates. Using an air gun array and 16 ocean bottom seismometers spaced along a 500-kilometer profile, Pagar et al. conducted a seismic refraction and reflection survey at the Kuril trench in the northwestern Pacific margin, where part of the Pacific plate is subducting beneath the Okhotsk plate. They estimated the water content of the subducting plate by measuring the velocity of seismic waves. The ratio of seismic wave velocities (V_p/V_s) is an indicator of the lithology, porosity, and presence of fluid in the plate. Their findings showed that the water content in the plate increased toward the trench, along with greater bending and fracturing, suggesting that water enters the plate through the fractures. The authors conclude that the bending and fracturing of the plate as it subducts play an important role in the water cycle in subduction zones. *(Geophysical Research Letters, doi:10.1029/2012GL054340, 2013) —EB*

Is there a link between Arctic amplification and midlatitude weather?

As the Earth's climate warms, the Arctic has been warming more rapidly than the rest of the globe. Some previous studies have suggested that this Arctic amplification of warming is causing an increase in extreme weather events in the mid-latitudes. They proposed that this occurs because Arctic warming induces changes in atmospheric circulation, including changes in atmospheric planetary waves that separate longitudinal sectors to identify possible impacts of Arctic amplification over regions such as Europe or Asia. They found that from 1979 to 2011, statistically significant changes in either measure were observed during only two seasons, and the two measures showed different changes. For instance, in numbers the authors found increases in meridional amplitude over Europe but none decreases in zonal amplitude. They concluded that any possible connection between Arctic amplification and

Low density of Earth's core due to oxygen and silicon impurities

During accretion and differentiation of the Earth, chemical interactions in a silicate magma ocean and liquid iron outer core drove silicon and oxygen impurities into what would be the liquid iron core. Contrasting with previous research, which suggested that silicon and oxygen would appear in very low concentrations (less than 1% by weight) in the liquid iron. Thus, et al. found that at the base of a magma ocean 2000 kilometers deep, these light elements could simultaneously reach concentrations as high as 1% oxygen and 0.5% silicon by weight. Such impurity levels, which are much higher than the concentrations in the iron, would lower the density of the outer core, accounting for the low value of 10^7 kg/m³ identified in previous research. Above 2000 km, however, they found that the presence of oxygen in the iron, with the concentrations of both silicon and oxygen increasing, decreases the density of the outer core. At the present-day core-mantle boundary, high temperatures would drive

High within towering thunderclouds, distinct forms of unusual lightning known as "narrow bipolar pulses" discharge, narrow bipolar events (NBEs) can be either negative or positive discharges. These events are known for their high-powered, short duration electric discharges that produce strong emissions of very high frequency radio waves. This research has found that since NBEs take place at relatively high altitudes, it is possible to detect them remotely using satellites. To be able to see the detection of narrow bipolar events by satellite requires

Negative narrow bipolar lightning needs critical cloud height

High within towering thunderclouds, distinct forms of unusual lightning known as "narrow bipolar pulses" discharge, narrow bipolar events (NBEs) can be either negative or positive discharges. These events are known for their high-powered, short duration electric discharges that produce strong emissions of very high frequency radio waves. This research has found that since NBEs take place at relatively high altitudes, it is possible to detect them remotely using satellites. To be able to see the detection of narrow bipolar events by satellite requires

Guiding future research on terrestrial ecosystem disturbance

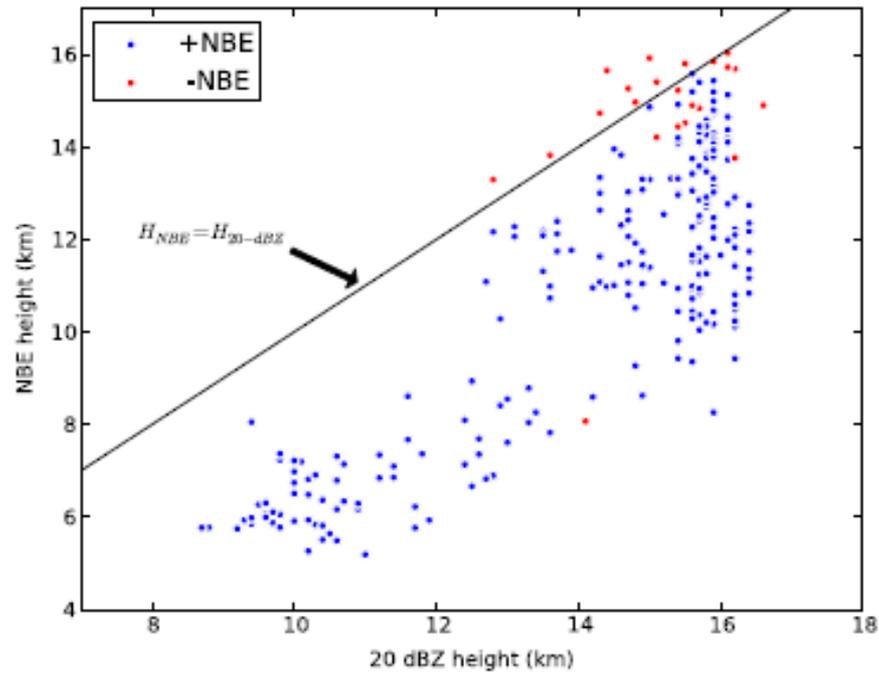
With North American ecosystems responsible for drawing down large amounts of carbon from the atmosphere each year, the transient balance of the terrestrial carbon budget can be upset for decades by disturbances such as storms, disease outbreaks, insect infestations, and logging. Research cataloging the effects of such disturbances on regional carbon cycling tends to be sporadic or of limited scope. Most research has focused on forests but is less extensive for other important ecosystems such as grasslands or permafrost. With climate change set to alter disturbance patterns—and to turn the balance of the carbon budget—a more thorough understanding of the disturbance on terrestrial ecosystems is needed. To drive this effort, Escobar et al. provides an overview of an attempt to more than 100 scientists to synthesize existing research, and they have identified steps that can be taken to direct the future course of research in this field. Drawing on research conducted under the banner of the North American Carbon Program and the Carbon Project, the authors identified needs in ecosystem data surfaces over the next 2 decades. They found that across North America 22.8 million hectares of land were disturbed to some extent, in particular by a widespread combination of land fires in western North America and tree harvesting. The authors emphasize that to understand the full impact of a disturbance on the carbon cycle, scientists must consider the direct effects, such as tree mortality and emissions of carbon during fires, as well as the indirect effects, such as changes in the local climate or in abiotic ecosystem properties. To start, the authors suggest that an integrated database that includes all disturbance types should be developed, using a combination of information from satellite remote sensing systems and from disturbance-specific databases that currently exist. *(Journal of Geophysical Research-Biosciences, doi:10.1002/jgrb.20022, 2013) —CS*

Artic sea ice thickness and volume declining

The record low extent of Arctic sea ice area in September 2012 made headlines. Studies using satellite have suggested that ice volume has also been declining. A new study by Lane et al. confirms this with observational data. The authors used satellite observations from the European Space Agency CryoSat-2 mission to estimate Arctic sea ice thickness and volume for the falls and winters of 2005–2011 and 2012–2012. By comparing their new data with satellite data from NASA ICESat satellite, they found that the average ice volume declined by 621 cubic kilometers in fall and 1493 cubic kilometers in winter between the period from 2003 to 2008 and the 2010–2012 period. The average volume of ice loss over both the fall and winter periods was found to be about 100 cubic kilometers per year, equivalent to a 0.02-meter per year decrease in thickness. *(Geophysical Research Letters, doi:10.1002/grl.12015, 2013) —EB*

Citizen science finds spring could come a month early in the United States

From a national collaboration among citizen scientists, educational institutions, environmental organizations, state and federal agencies, Jung et al. developed the first country-wide assessment of springtime tree budding based on in-the-field measurements. Their phenological assessment tool measured the timing of bud burst for five tree species, which they used to build a model of species-specific budding across the continental United States. Using their tree budding model to forecast of future climate change, the authors found that by the end of the century, tree budding across the United States will occur more than 1 month earlier in some places.



Wu, T. et al., Spatial relationship between lightning narrow bipolar events and parent thunderstorms as revealed by phased array radar, *Geophys. Res. Lett.*, **VOL. 40**, 618–623, doi:10.1002/grl.50112, 2013

今後の方向性

今後の計画

- 一機関一台のレーダ
- 一家に一台のレーダ
- 一人一台のレーダ

フェーズドアレイ
レーダ



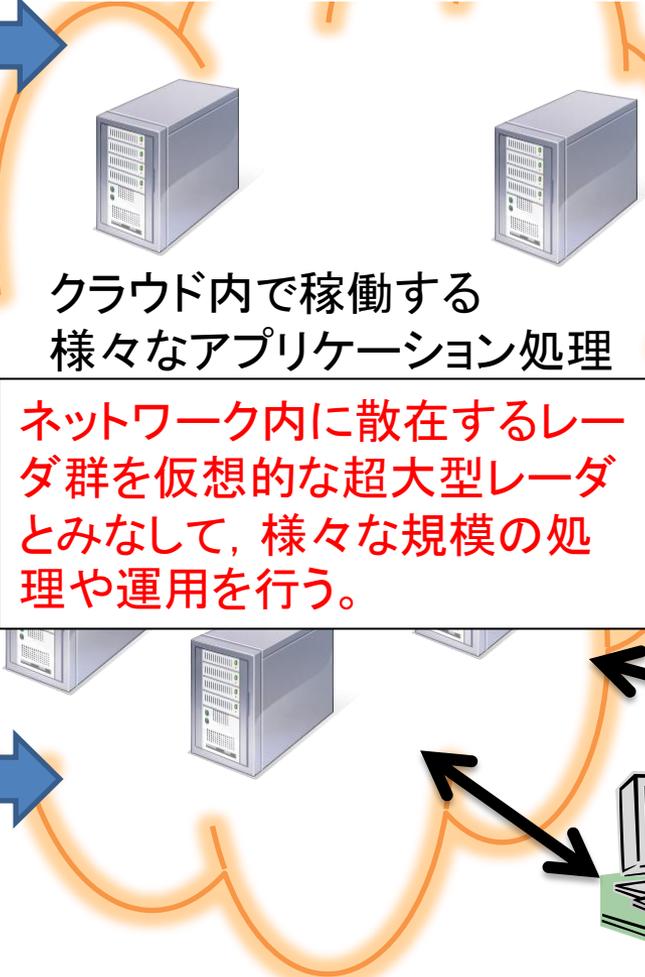
広帯域レーダ
× 3



様々な
測器



コンピュータクラウド



クラウド内で稼働する
様々なアプリケーション処理

ネットワーク内に散在するレー
ダ群を仮想的な超大型レーダ
とみなして、様々な規模の処
理や運用を行う。

自治体



基礎研究



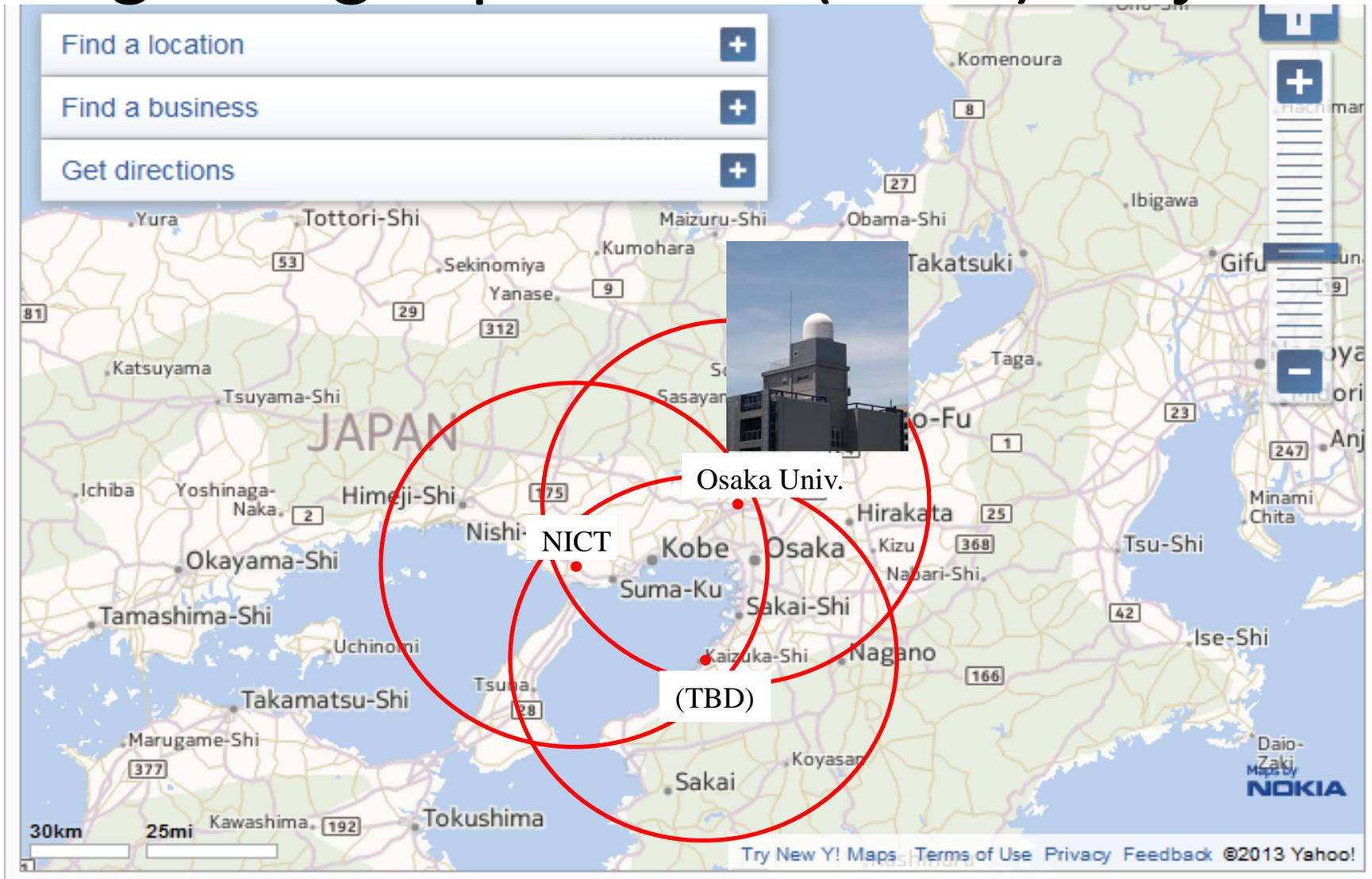
研究機関



個人ユーザ

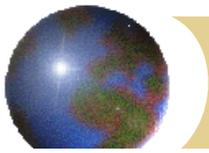


Osaka Phased Array Radar and Lightning Experiment (OPAL) Project

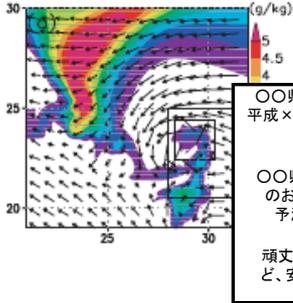


ネットワーク化のメリット

- 分解能上でのメリット
 - 複数台での交互観測による時間分解能向上
 - 複数台でのデータの重ね合わせによる空間分解能向上
- データ品質上でのメリット
 - 降雨減衰の複数台による補正
- データ情報量上でのメリット
 - 3次元風向数速場の導出と気象モデルへの入力



Application field of phased array radar



〇〇県△△市竜巻注意情報
平成××年4月20日10時29分
△△地方気象台発表

〇〇県△△市では竜巻発生
のおそれがあります。発生
予測時刻と場所は以下の
地図のとおりです。
頑丈な建物内に移動するな
ど、安全確保に努めてくださ
い。

Forecast of flash flood and control of water supply

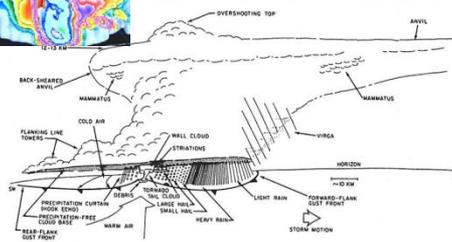
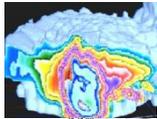


ダム放流(洪水調整)
【ダム管理事務所】

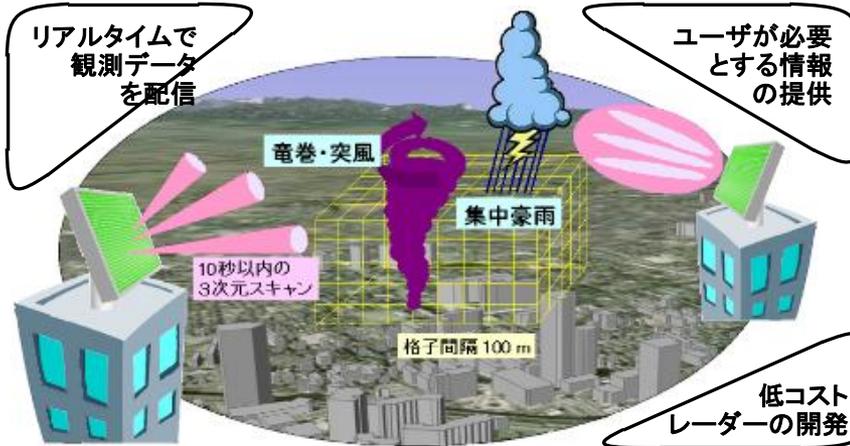


航空管制【航空局】
Aviation control

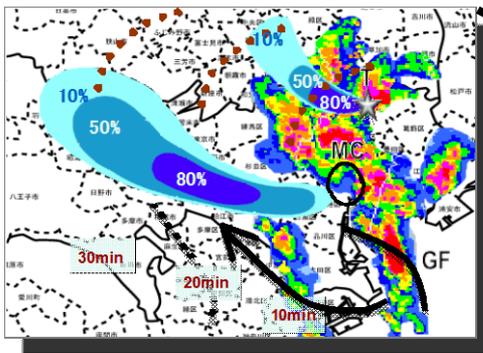
Forecasting and assimilation of weather



Scientific Research



住民避難勧告【市町村】
Evacuation call [municipality]

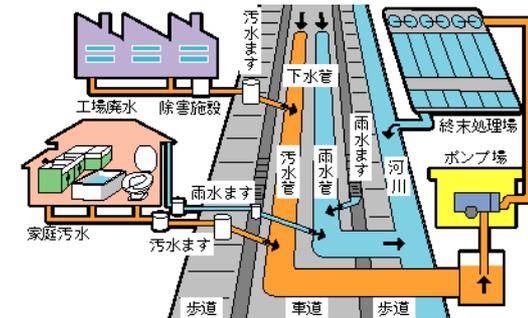


一般市民への情報提供
【民間気象会社】

次世代ドップラーレーダー技術の研究開発



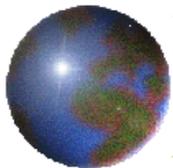
列車安全運行【鉄道会社】
Train operating



下水道ポンプ制御【市町村】
Sewerage pump [municipality]

世界初のフェーズドアレイレーダネットワークの実現と実験的検討

- 複数台によるネットワーク実験
- 実験を通じたネットワーク観測の有効性検討
- 全国への展開
 - 日本全土に展開した場合, 百数十台規模
- 世界への展開
 - 先進的な情報通信技術を駆使した新たな社会基盤システムの輸出
 - 新たな産業の創出と莫大な経済効果



まとめ

- ✦ Xバンドフェーズドアレイドップラーレーダの開発について紹介した。
- ✦ 今後の計画について概観した。

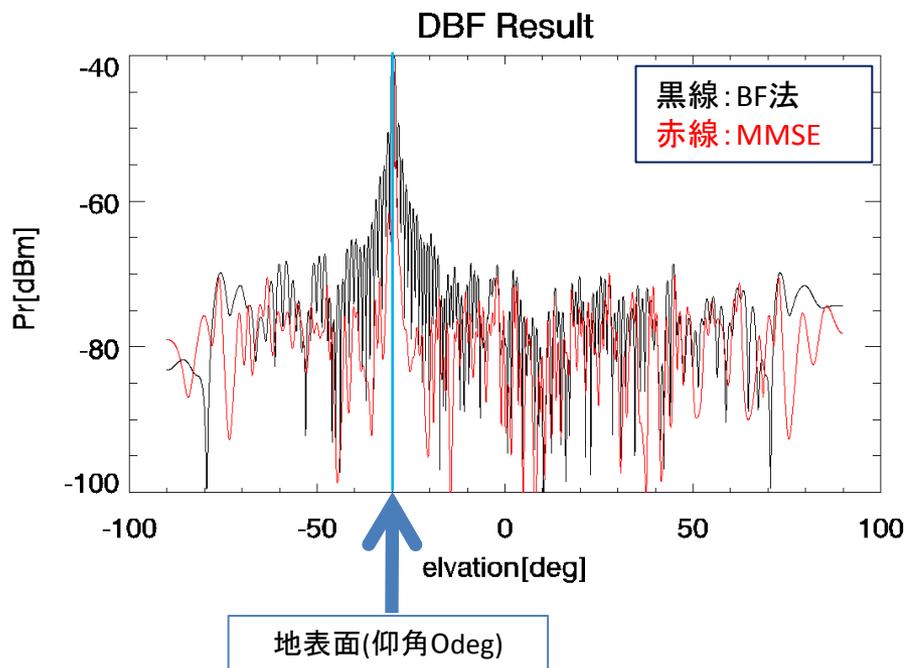
実観測データにおけるMMSEの適用 結果

最低仰角(0deg~4deg)に向けて照射されるファンビームの受信信号にMMSEを適応

晴天時

方位:313deg(吹田キャンパス北西部の地形エコー)

距離:1.4km



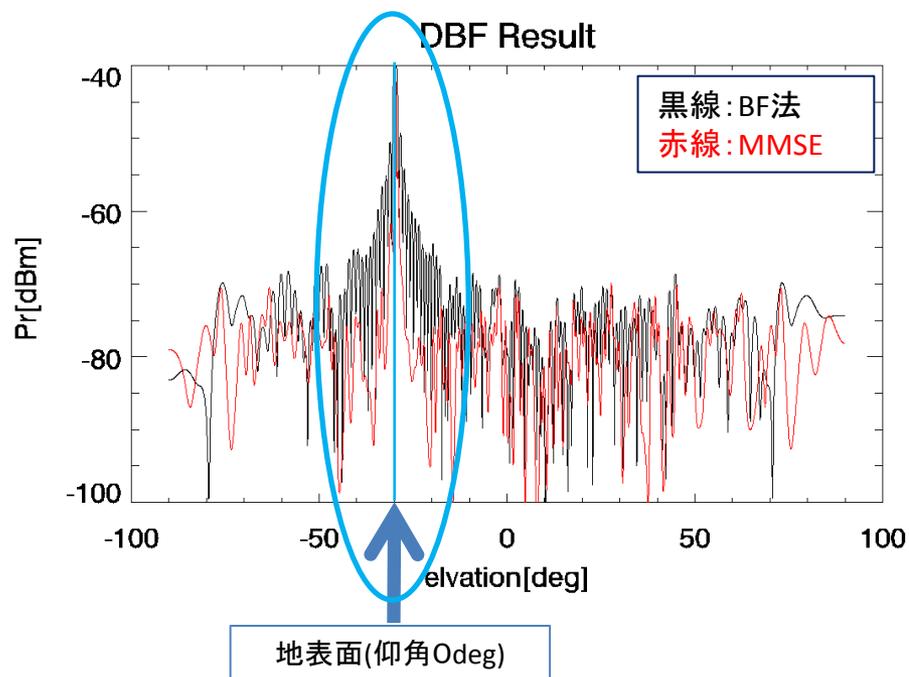
実観測データにおけるMMSEの適用 結果

最低仰角(0deg~4deg)に向けて照射されるファンビームの受信信号にMMSEを適応

晴天時

方位:313deg(吹田キャンパス北西部の地形エコー)

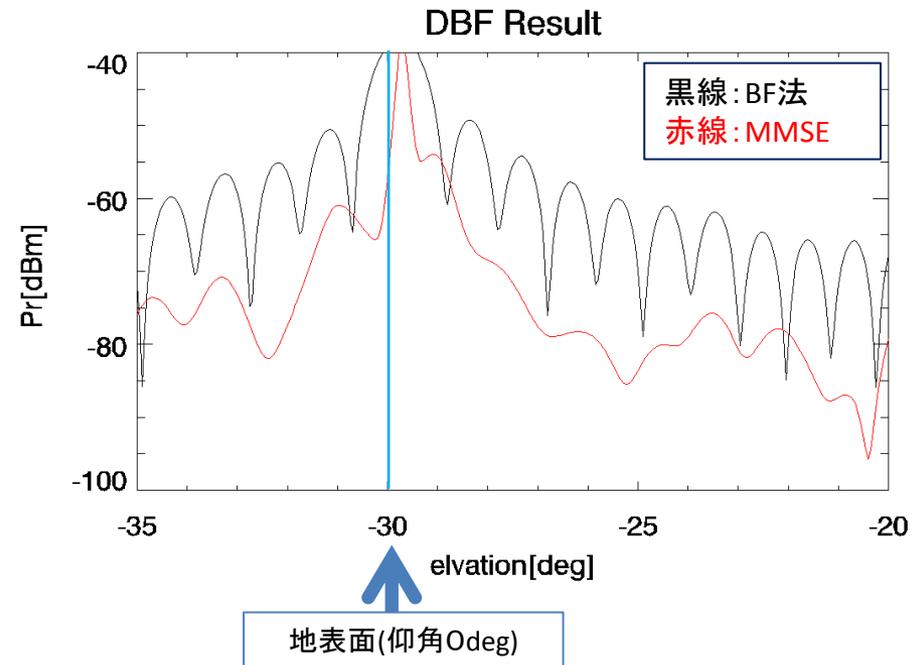
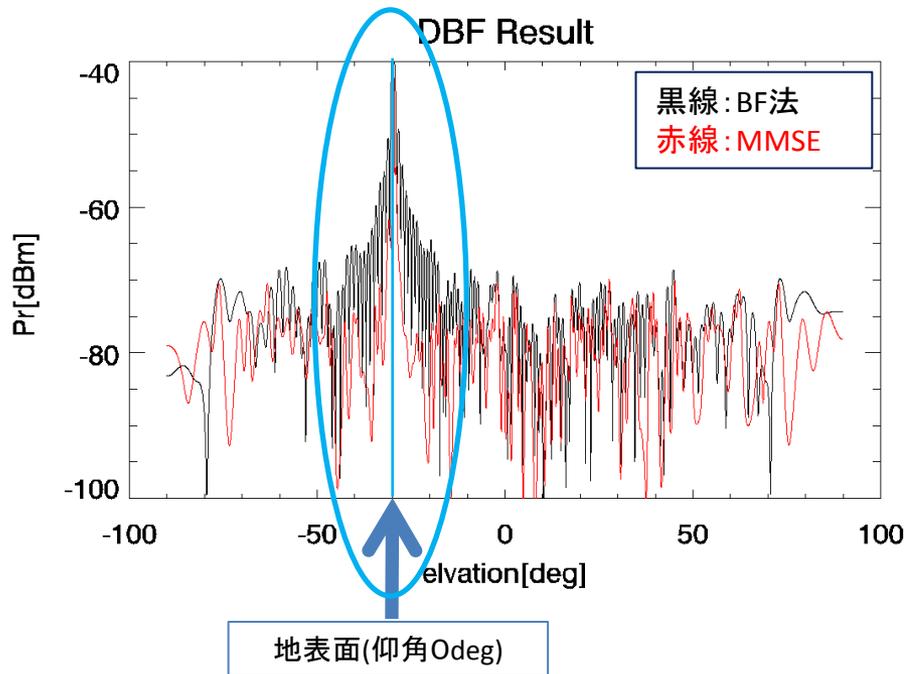
距離:1.4km



実観測データにおけるMMSEの適用 結果

最低仰角(0deg~4deg)に向けて照射されるファンビームの受信信号にMMSEを適応

晴天時
方位:313deg(吹田キャンパス北西部の地形エコー)
距離:1.4km



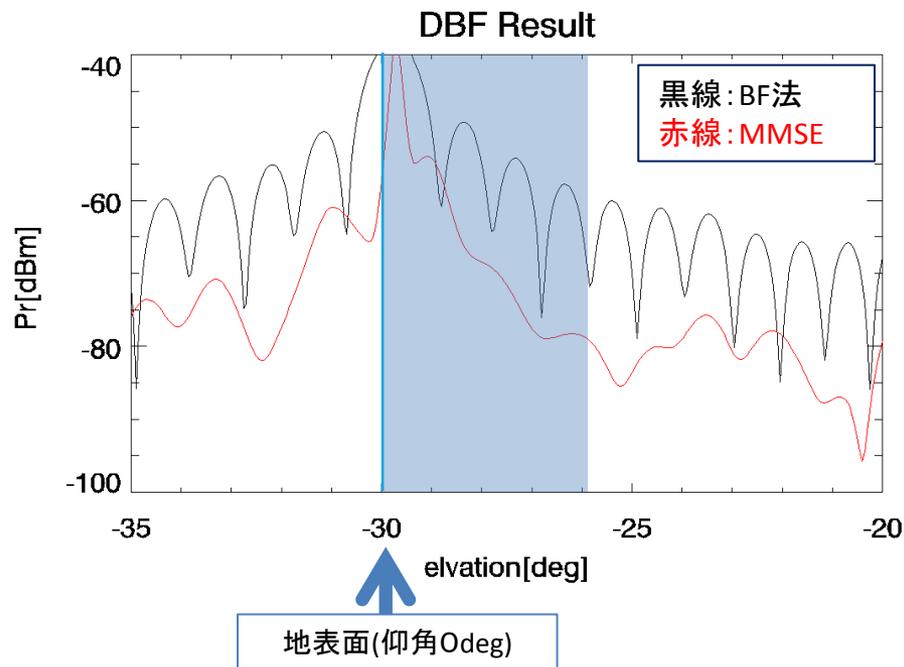
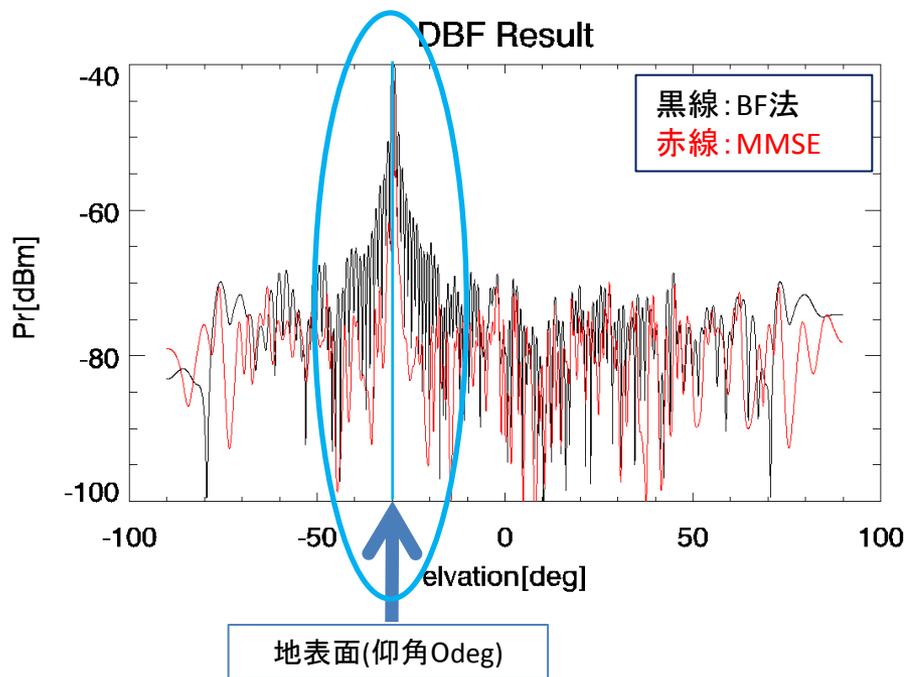
実観測データにおけるMMSEの適用 結果

最低仰角(0deg~4deg)に向けて照射されるファンビームの受信信号にMMSEを適応

晴天時

方位:313deg(吹田キャンパス北西部の地形エコー)

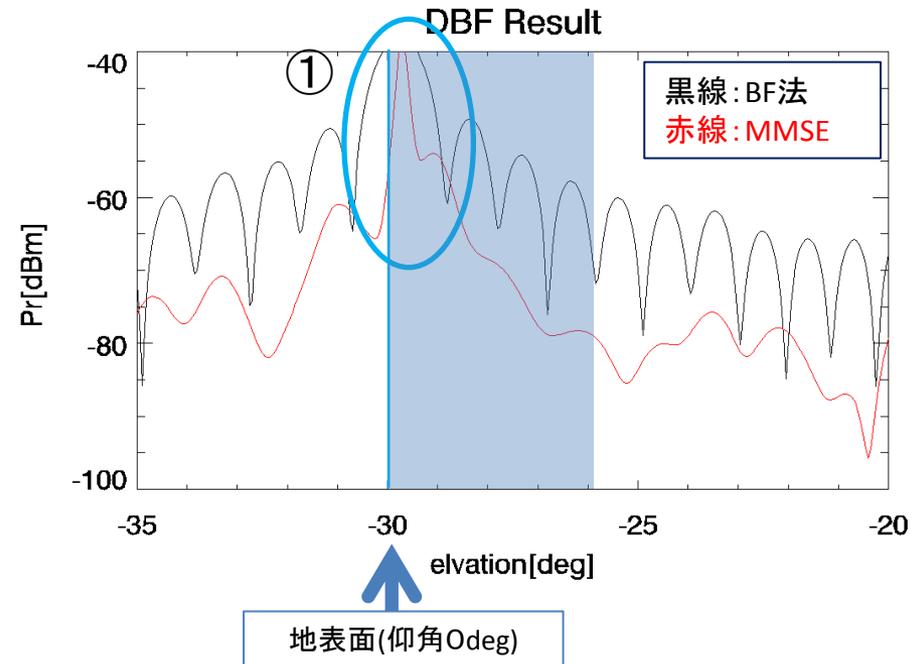
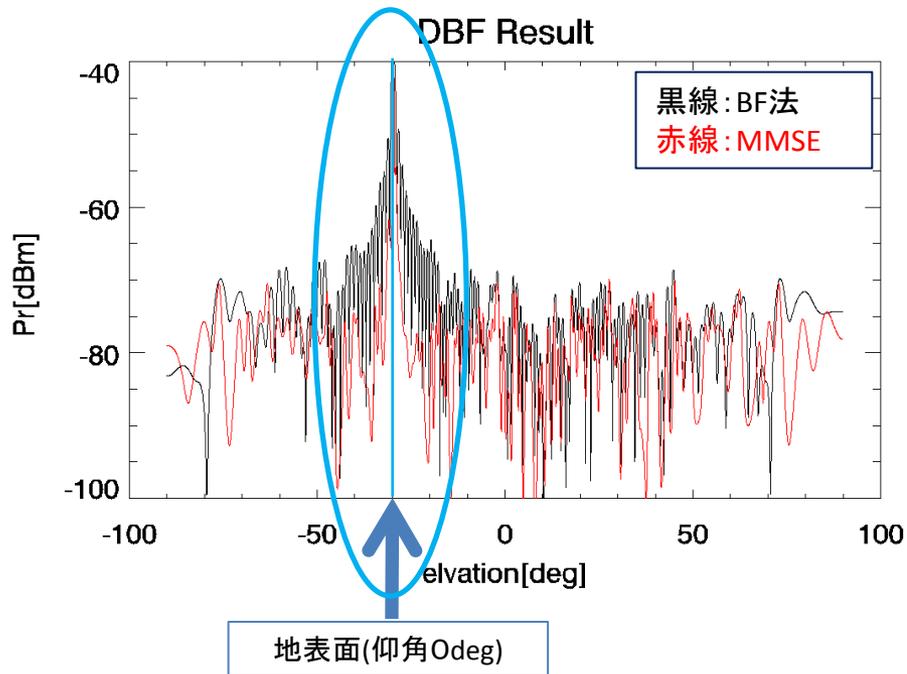
距離:1.4km



実観測データにおけるMMSEの適用 結果

最低仰角(0deg~4deg)に向けて照射されるファンビームの受信信号にMMSEを適応

晴天時
方位:313deg(吹田キャンパス北西部の地形エコー)
距離:1.4km



MMSEによる効果

① サイドローブによる影響低減

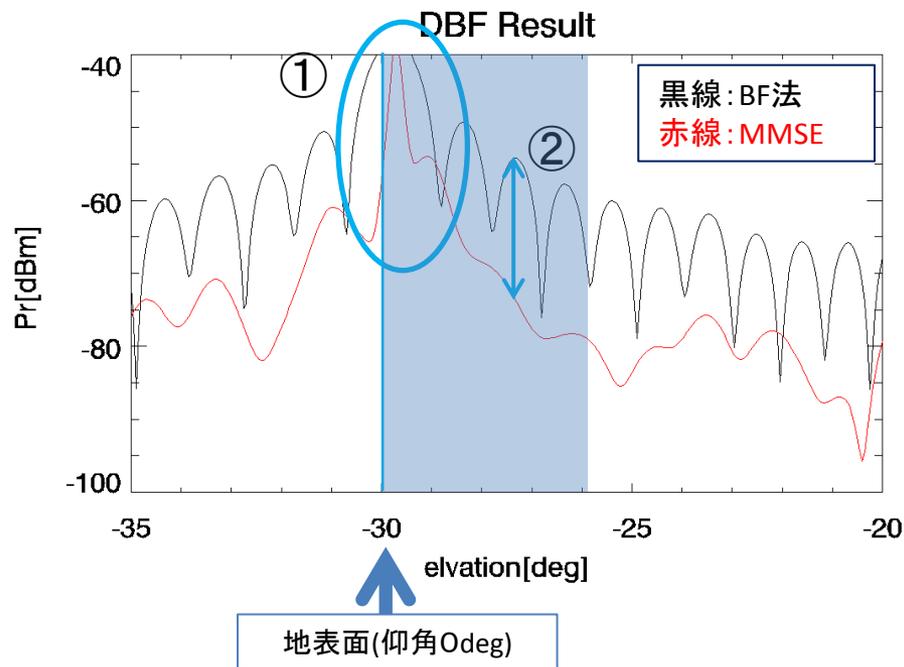
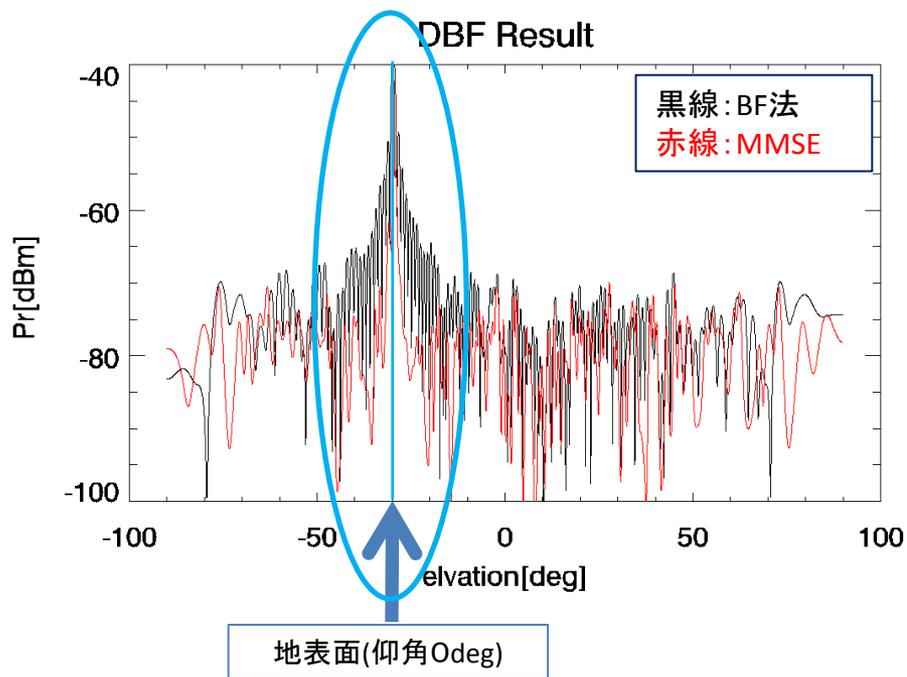
実観測データにおけるMMSEの適用 結果

最低仰角(0deg~4deg)に向けて照射されるファンビームの受信信号にMMSEを適応

晴天時

方位:313deg(吹田キャンパス北西部の地形エコー)

距離:1.4km



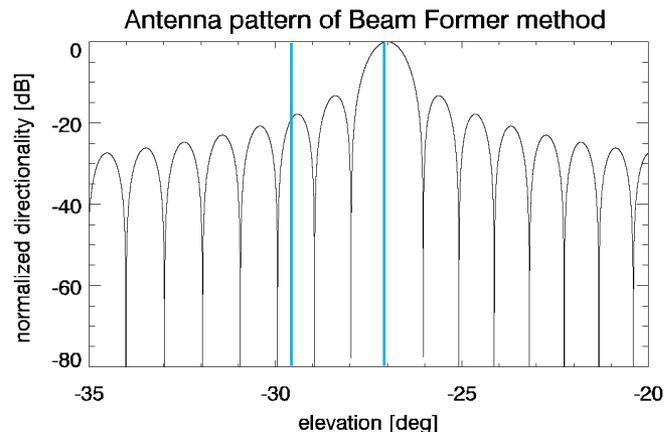
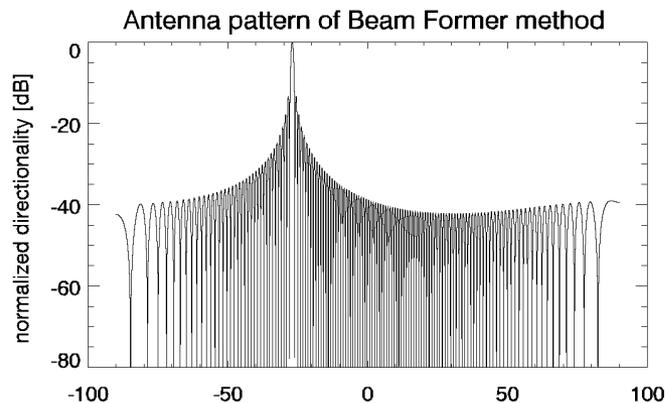
MMSEによる効果

- ① サイドローブによる影響低減
- ② クラッタの影響を約20dBm低減

実観測データにおけるMMSEの適用結果

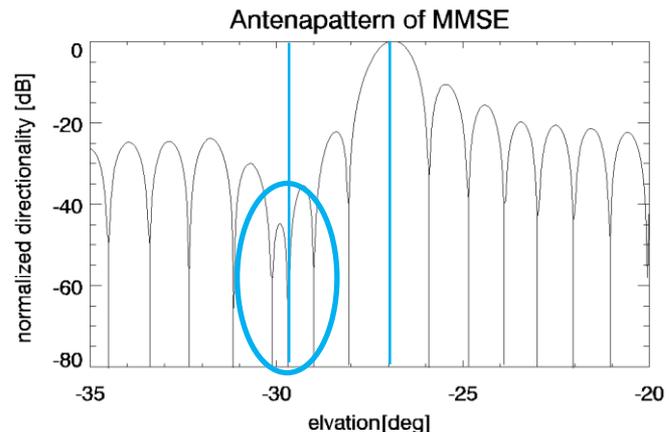
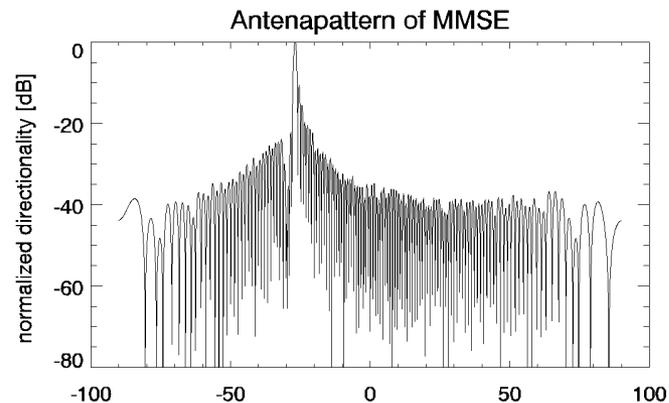
-27deg(仰角3deg)方向におけるアンテナパターン

BF法



- ・全仰角に対し、**一様かつ一意**
- ・サイドローブレベル高い

MMSE



- ・参照方向にメインローブを向けると同時に
干渉波方向に**ヌル点**を向ける