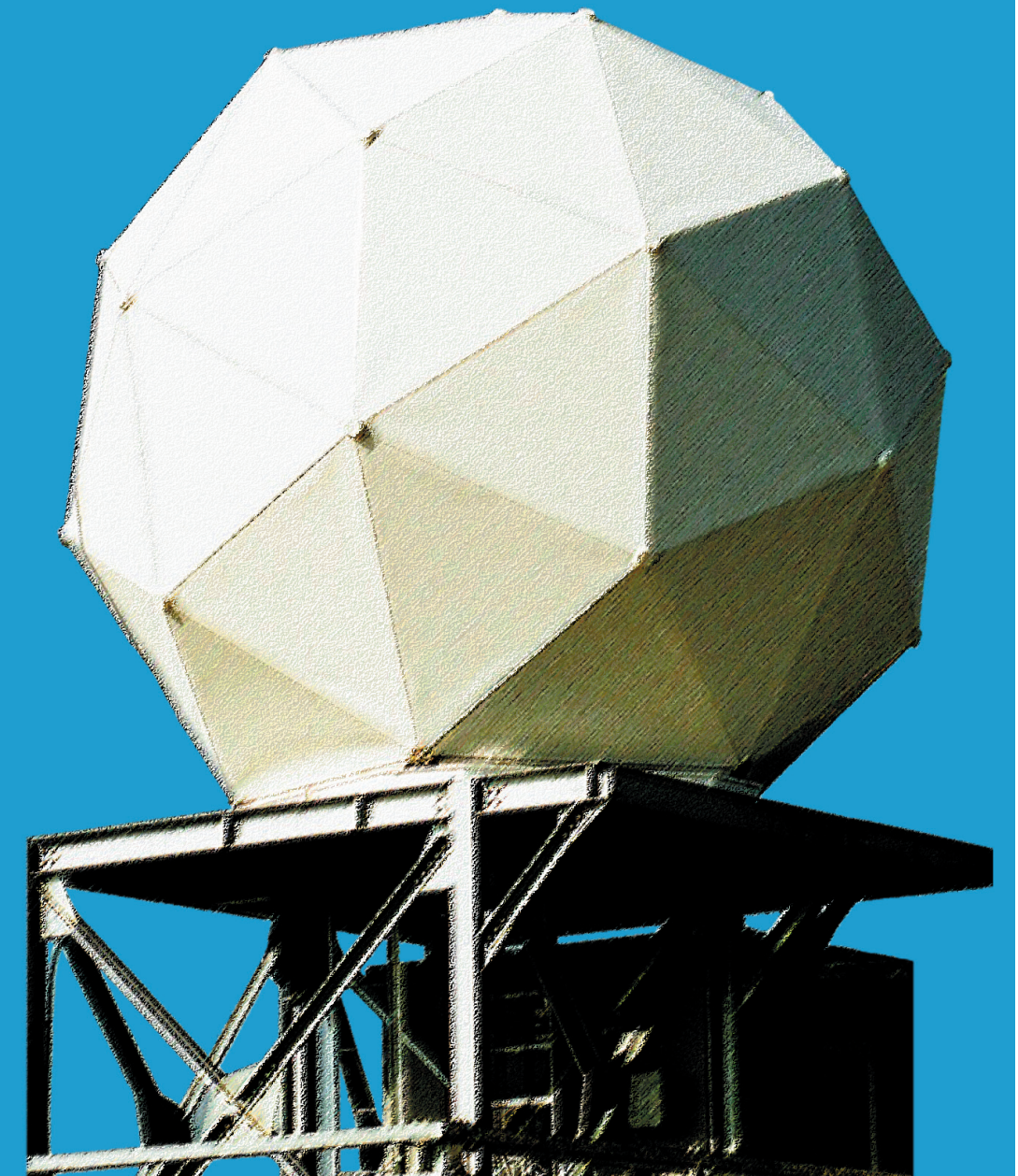
Xバンドマルチパラメータレーダによる降雨観測

MARCH 2005



NIED
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

はじめに

防災科学技術研究所では，豪雨による土砂災害の発生を予測するための研究を2000年からおこなっています。2003年にはXバンドマルチパラメータレーダ（MP-Xと呼びます）を神奈川県海老名市に設置して、降雨の連続観測を開始しました。観測から得られるデータは土砂災害だけではなく、雨や風が関係して発生する自然災害を軽減することにも役立てられます。この観測を通じて、次のようなことを目指しています。

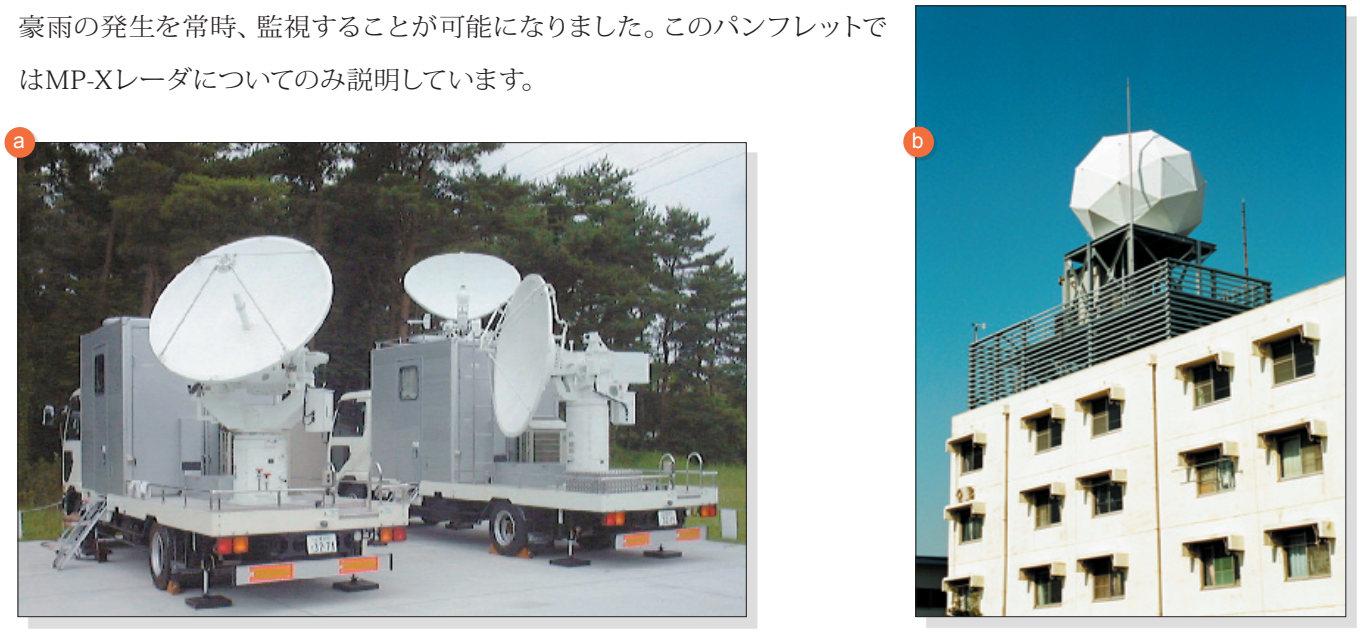
1. 高精度・高分解能の雨量分布の推定手法の確立
2. 表層崩壊危険域予測や都市域の洪水予測のための降雨量データの作成
3. 雨水量の３次元分布情報を用いた超短時間降雨予測モデルの開発
4. 降水の微物理過程の理解
5. web上での降雨情報のリアルタイム公開

このリーフレットは降雨観測の概要と観測の初期の結果について説明したもので、内容は次のとおりです。

- マルチパラメータレーダとは?
- レーダのタイプ
- マルチパラメータレーダによる降雨量推定の原理
- マルチパラメータレーダの観測パラメータ
- レーダ観測の概要
- 特別に用意した雨量計ネットワーク
- 新しい手法：R-K_{DP}関係
- 降雨減衰の影響を受けないR-K_{DP}法
- 500mメッシュの降雨情報
- 地上の雨量計による検証
- 付録 - 防災科学技術研究所での気象レーダを用いた研究

マルチパラメータレーダとは?

マルチパラメータレーダシステム（MPレーダシステム）は雲ー降水過程を研究するために1996-1997年の技術調査、基本設計、詳細設計を経て2000年に完成しました。MPレーダシステムは、雲を観測するための2波長高感度レーダ（MP-Ka/Wレーダ）と降水を観測するための3cm波長偏波レーダ（MP-Xレーダ）から構成されています。MP-Xレーダは当初、機動的な観測をおこなうために4トン車に搭載されていましたが、雨の連続観測をおこなうために、2003年に神奈川県海老名市の4階建ての建物の屋上に固定されました。これにより、首都圏における豪雨の発生を常時、監視することが可能になりました。このパンフレットではMP-Xレーダについてのみ説明しています。



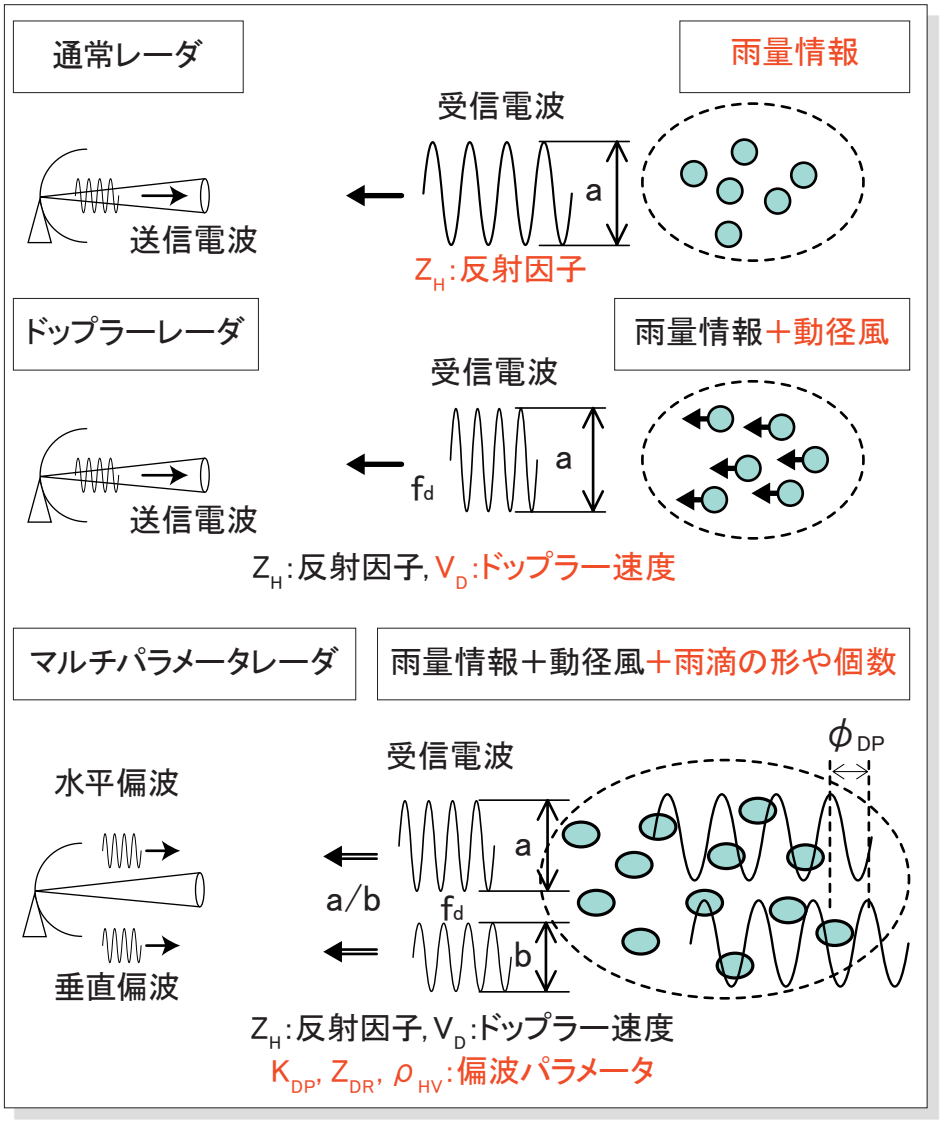
1 (a)防災科学技術研究所のマルチパラメータレーダシステム(2000年、つくば)。(b)移設されたMP-X(2003年、神奈川県海老名市)。左: MP-Ka/W, 右: MP-X.

Table 1 マルチパラメータレーダMP-Xの主な仕様

周波数	9.375 GHz
アンテナタイプ	パラボラ, 直径2.1 m
スキャン範囲（速度）: AZ	360°（≤ 36 deg/s）
EL	−2 ～ +92°（≤ 18 deg/s）
アンテナ利得	41.6 dB
ビーム幅	1.3 deg
送信管	マグネトロン
尖頭出力	50 kW
パルス幅	0.5 μs
パルス繰り返し周波数	≤ 1,800 Hz
偏波	H, V
ドップラー処理	PPP, FFT
雑音指数	2.3 dB
観測範囲	80 km
観測パラメータ	Z_H, V_D, W, Z_{DR}, ρ_{hv}, Φ_{DP}, K_{DP}

レーダのタイプ

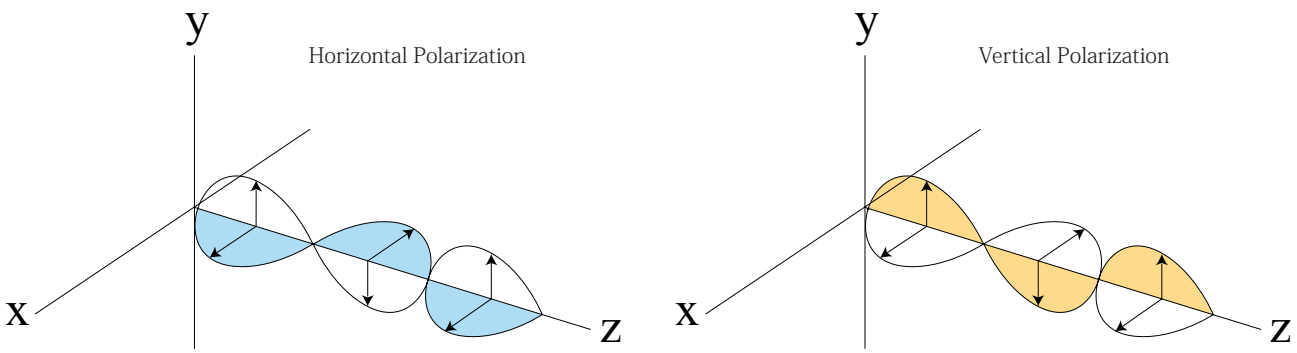
レーダ(radar)はradio detection and rangingの頭文字をとったもので、電波を使ってある物体を検知し距離を測る機器のことです。利用する電波の種類や得られる情報によって分類することができます。気象庁などで使われている通常レーダは雨に当たって帰ってくる電波の振幅情報（反射因子と呼びます）だけを測定し、これにより雨の強さを推定します。空港レーダなどで使われているドップラーレーダは、振幅情報に加えて周波数情報（ドップラー周波数）を測定し、雨粒のレーダに対しての動径速度（ドップラー速度）を求めることができます。通常レーダやドップラーレーダが発射する電波は一種類であるのに対して、マルチパラメータレーダは水平と垂直の偏波面を持った２種類の電波を発射します。雨から帰ってくる信号からは様々なパラメータが得られます。偏波パラメータは雨の形や粒径分布と密接な関係があるために、マルチパラメータレーダを用いると精度の良い降雨量を推定することができ、また、雨と雪の区別などが可能になります。



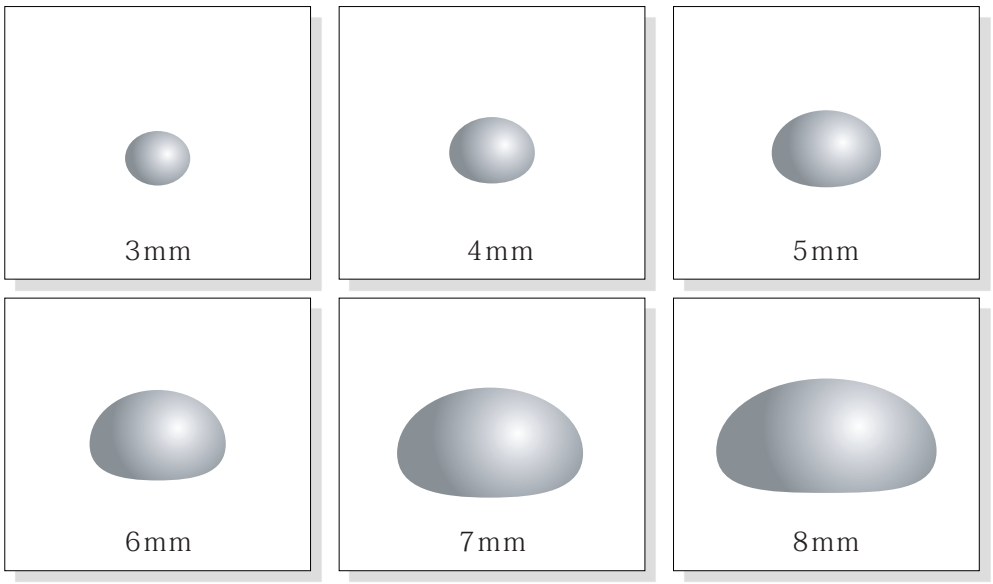
2 レーダのタイプと得られる情報。

マルチパラメータレーダによる降雨量推定の原理

従来の気象レーダは一つの偏波を使うのに対して、マルチパラメータレーダでは水平と垂直の二種類の偏波の電波を使います（図3a）。マルチパラメータレーダによる降雨強度の推定の原理は、雨が強くなると、雨滴の形状が球形から扁平な形になる（図3b）という事実に基づいています。



3a 水平偏波と垂直偏波



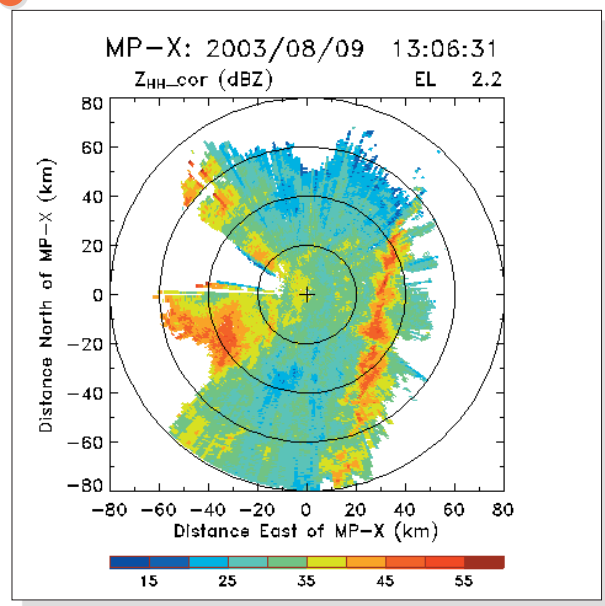
3b 雨滴の形状の変化

降雨強度の推定に利用される重要なレーダパラメータ

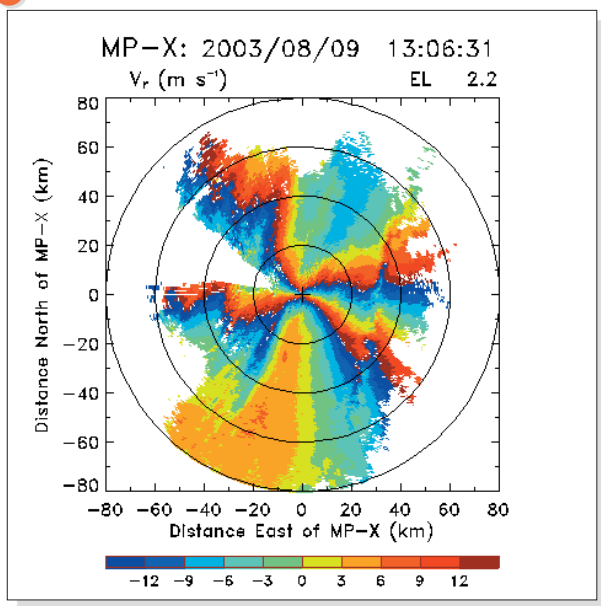
- 反射因子Z_H：雨から反射して帰ってくる電波の強さで、従来の気象レーダが観測できるパラメータです。降雨強度はあらかじめ決めていたR-Z_H関係式から計算されます。
- 反射因子差Z_{DR}：水平偏波の反射因子Z_Hと垂直偏波の反射因子Z_Vの比で定義されます。MPレーダが測定できる重要な偏波パラメータの一つで、雨滴の粒径分布に関する情報を得ることができます。
- 比偏波間位相差K_{DP}：水平偏波と垂直偏波の単位距離あたりの位相速度の差で定義されます。MPレーダが測定できる偏波パラメータの一つで、正確な降雨強度を求めることができます。

マルチパラメータレーダの観測パラメータ

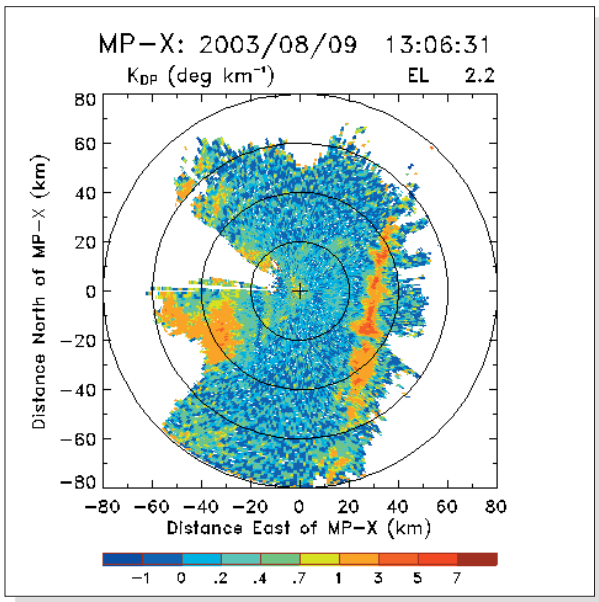
a 反射因子Z_H



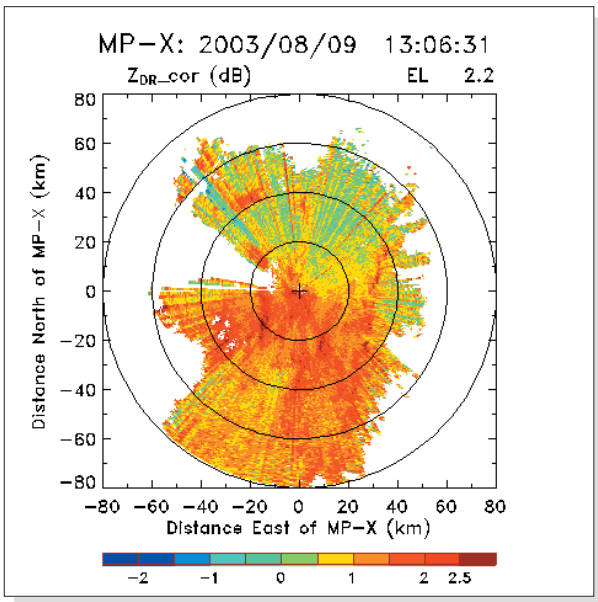
b ドップラー速度V_D



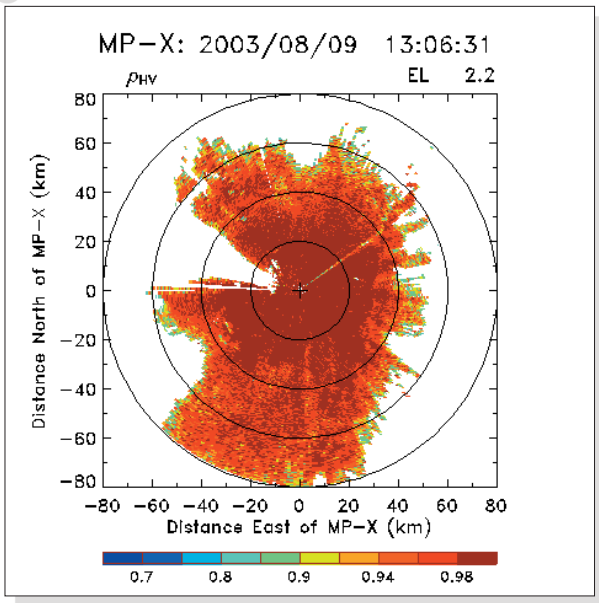
c 比偏波間位相差K_{DP}



d 反射因子差Z_{DR}



e 偏波間相関係数ρ_{HV}

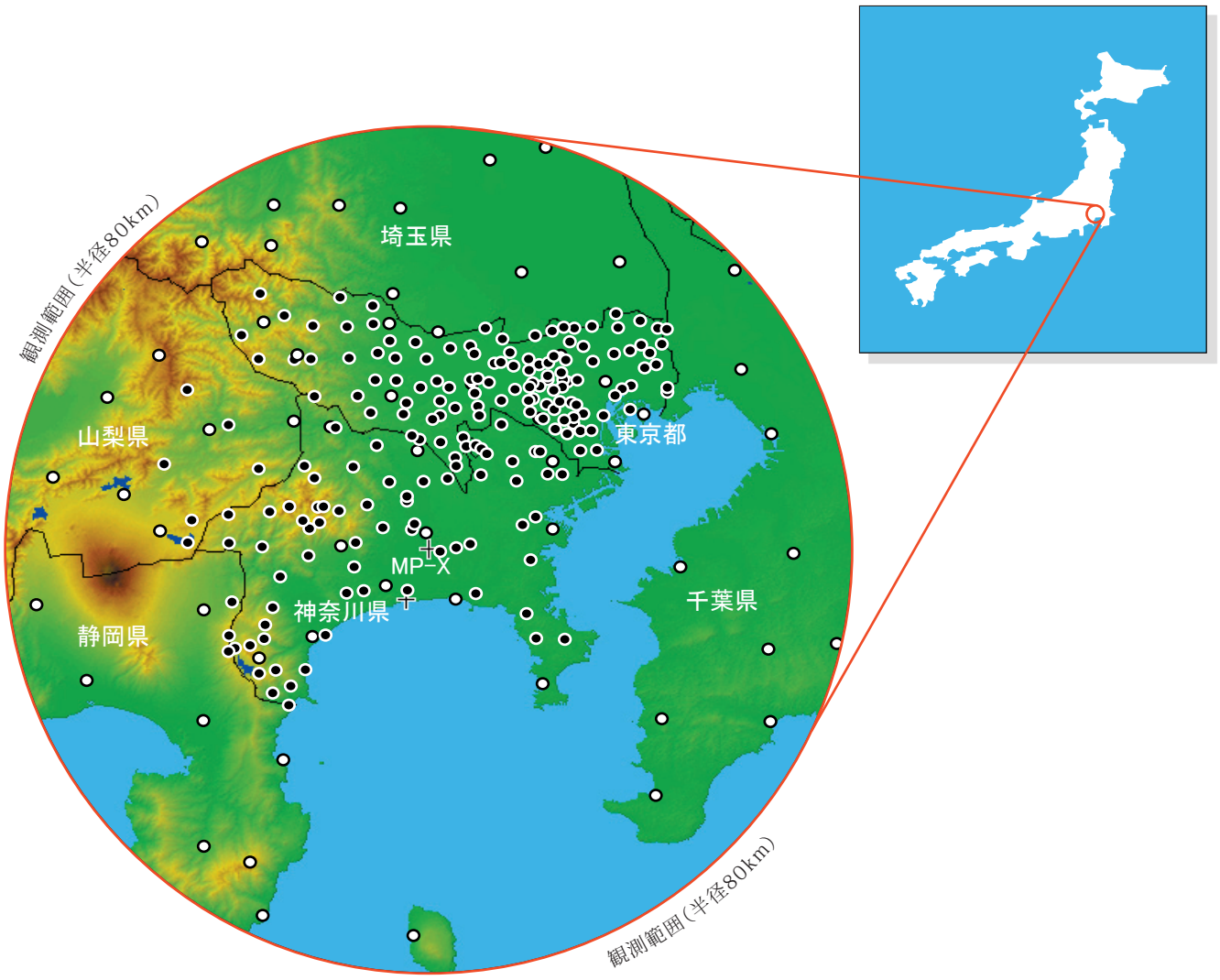


4 2003年8月9日に観測された台風10号に伴う降雨の例。マルチパラメータレーダ観測から雨雲についての様々な情報を得ることができます。

レーダ観測の概要

降雨の連続観測をおこなうために、MP-Xは2003年6月に神奈川県海老名市に移設されました。半径80kmのレーダ観測範囲には富士山や箱根、丹沢といった山岳地域と東京や横浜などの大都市がある平坦地形を含んでおり、同時に二つの異なるタイプの地形上の降雨分布を調べることができます。レーダ観測範囲には降雨量推定アルゴリズムの検証に利用できる既存の雨量計ネットワークが二つあります。一つは気象庁のアメダス雨量計ネットワークで、平均およそ17kmの間隔で設置された雨量計から10分毎の雨量データが得られます。もう一つは神奈川県や東京都が展開している雨量計ネットワークで、平均およそ5kmの間隔で設置された雨量計から10分毎の雨量データが得られます。

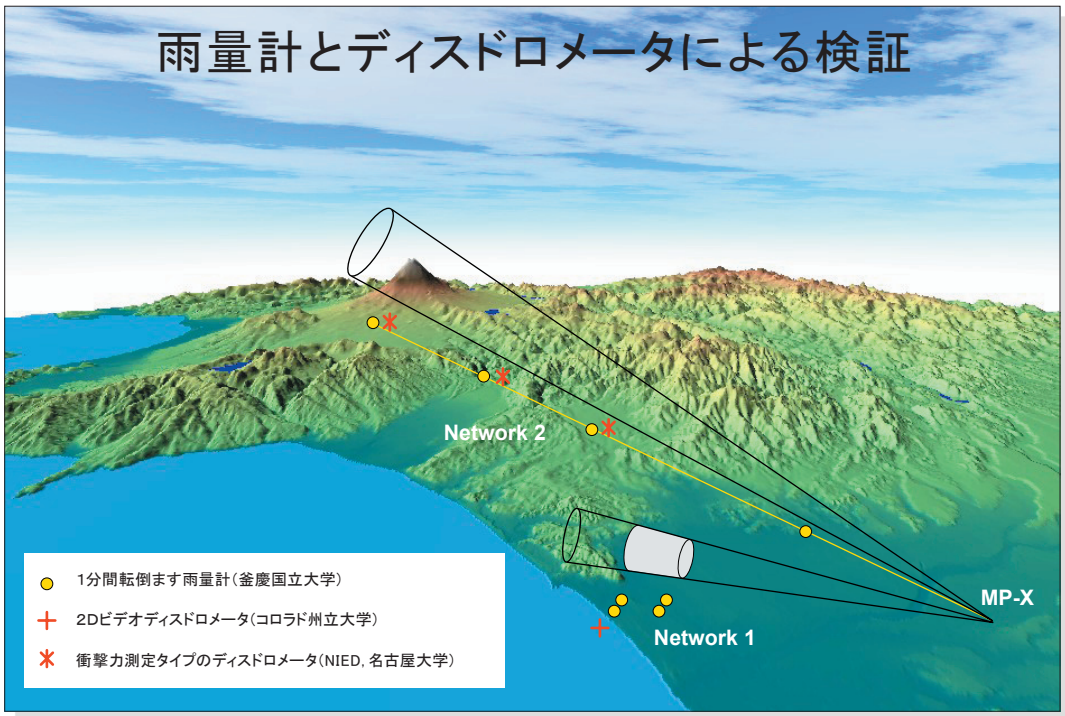
5 神奈川県海老名市に設置されたマルチパラメータレーダMP-X(2003年6月)。



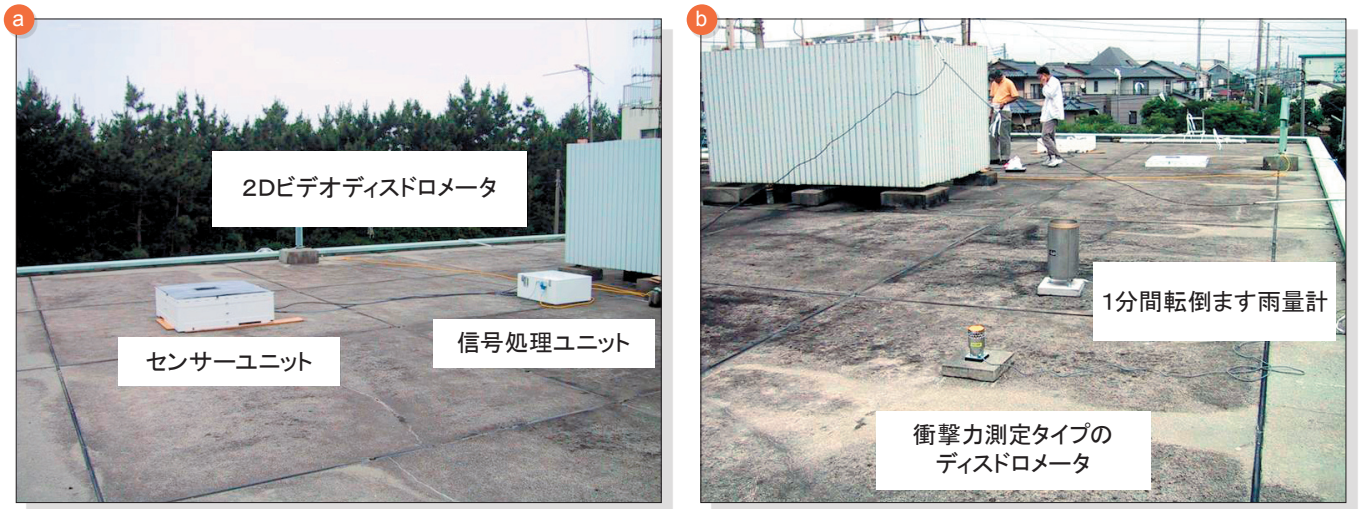
6 MP-Xの位置と観測範囲。●は神奈川県と東京都の地上雨量計ネットワーク、○は気象庁のアメダス雨量観測点。

特別に用意した雨量計ネットワーク

2003年の観測では、既存の雨量計ネットワークに加えて、国内外の大学と共同で特別な測器を設けました。韓国の釜慶国立大学は二通りのネットワークを用意しました。一つはレーダから約10km離れた地点に約300m間隔で設置された4台の転倒ます雨量計から成るNetwork1（図7）で、レーダが測定する空間に相当する雨の強さを求めることができます。もう一つはレーダから山岳地域の直線上に設置された4台の雨量計から成るNetwork2で、山岳域の降雨量の推定精度を確かめるために設けられました。これらの雨量計の分解能は0.1mmでサンプリング間隔は1分です。この他に、雨滴の粒径分布を測定できる特殊な機器（衝撃力測定タイプディスドロメータ）3台が設置されました。また、雨滴の形状も測定できる2Dビデオディスドロメータが米国コロラド州立大学により設置されました。



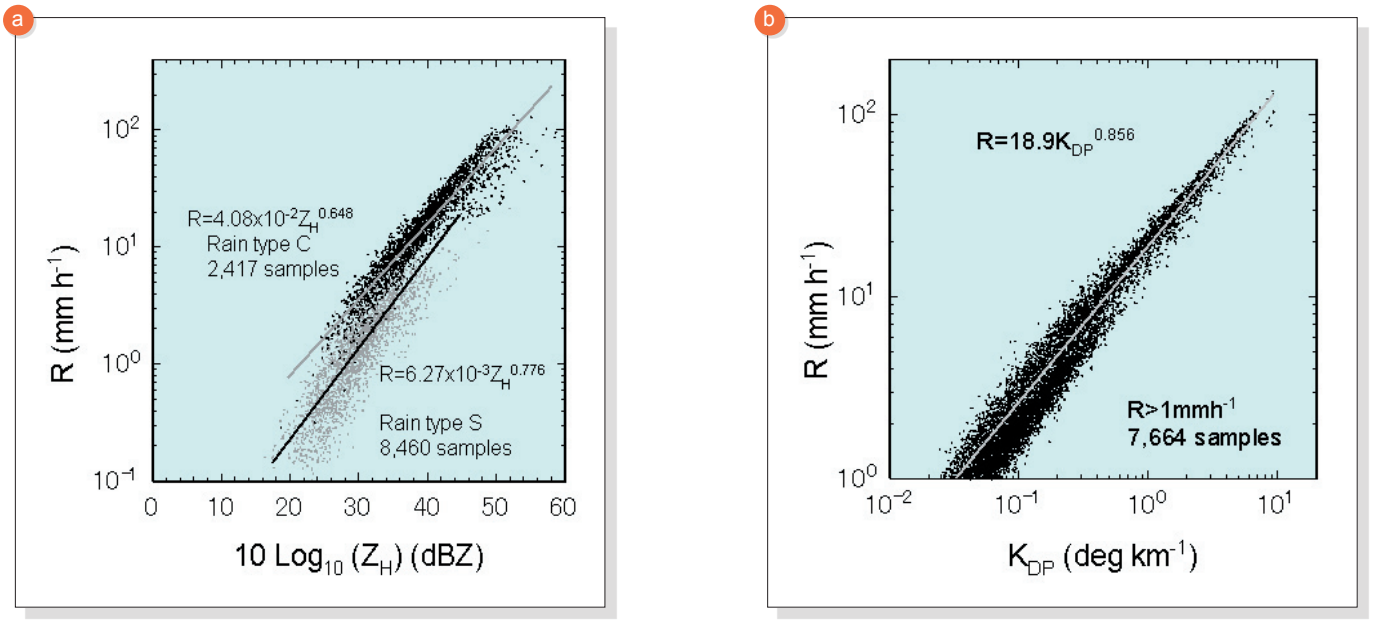
7 特別に用意された雨量計とディスドロメータのネットワーク（2003年）。



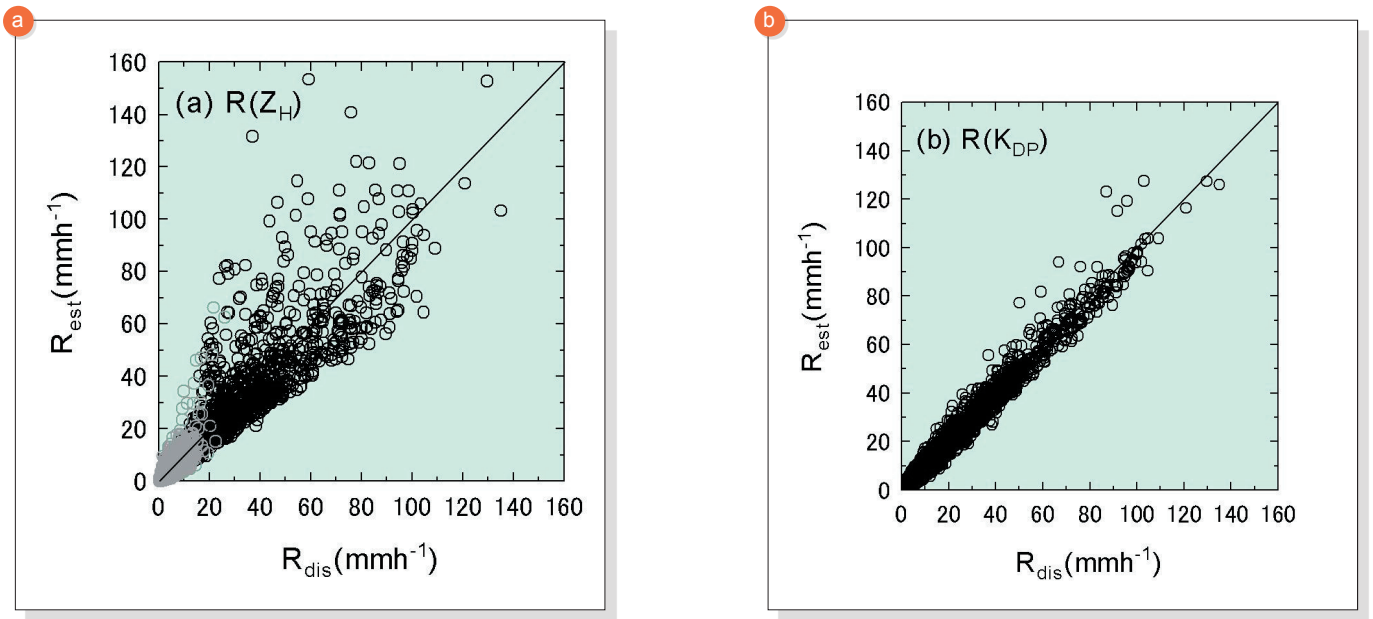
8 (a) 防災科学技術研究所平塚実験場（神奈川県平塚市）の屋上に設置された2Dビデオディスドロメータ。(b)同場所に設置された1分間転倒ます雨量計と衝撃力測定タイプのディスドロメータ。

新しい手法：R-K_{DP}関係

これまでの気象レーダでは反射因子Z_Hから降雨強度を推定する方法（いわゆるR-Z_H法）が一般的に用いられています。この方法は雨滴の粒径分布の変動に敏感であるために、推定降雨強度には大きな誤差が生じることが知られています。これに対して、比偏波間位相差を用いたR-K_{DP}関係式は雨滴の粒径分布の変動にさほど敏感ではないという特徴があります。シミュレーションではZ-R法は推定誤差が100%以上になる場合もあるのに対してR-K_{DP}法では30%以下であることがわかりました。



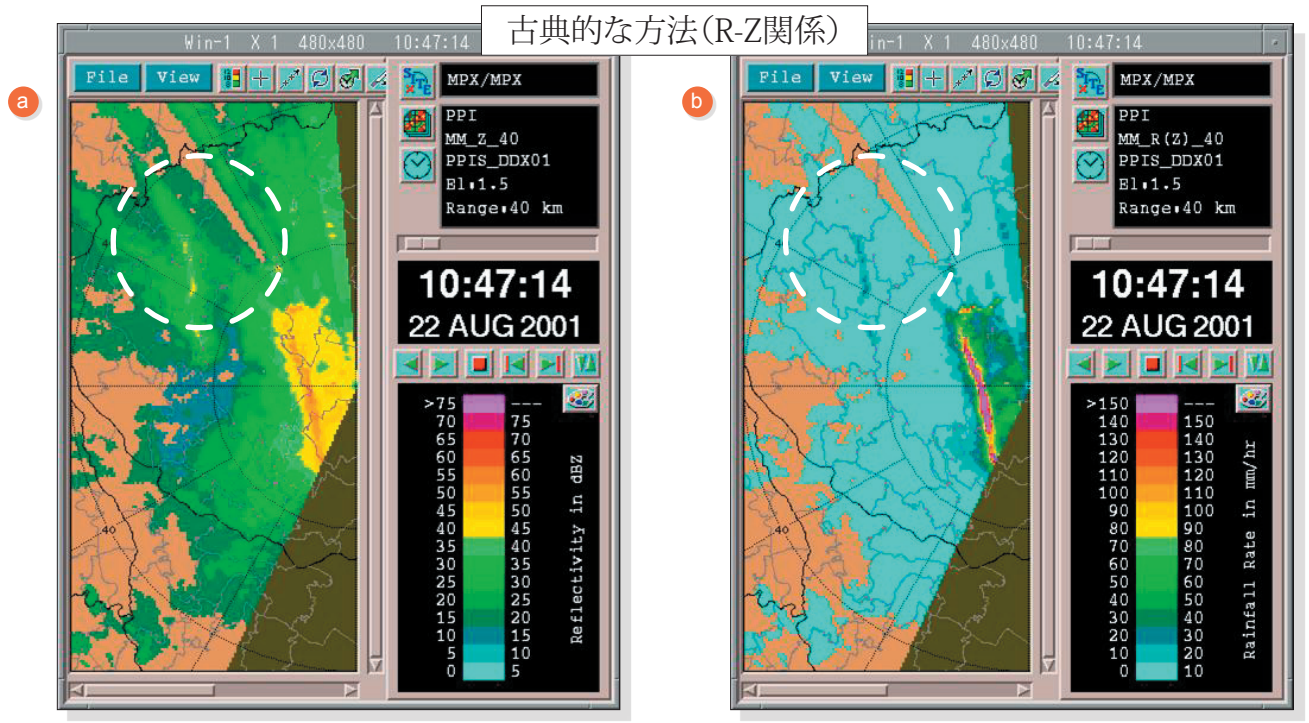
9 (a) 実測された雨滴粒径分布からシミュレーションにより求めたR-Z_H関係。(b)実測された雨滴粒径分布からシミュレーションにより求めたR-K_{DP}関係。



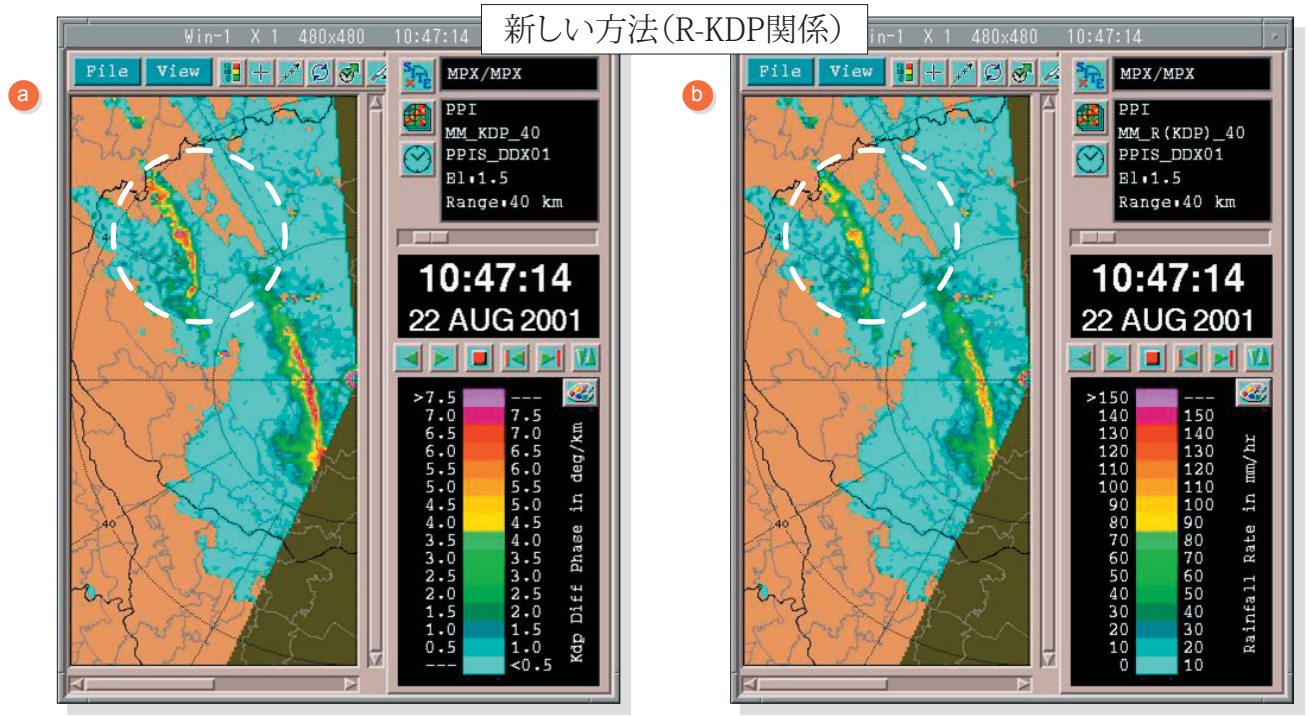
10 (a) R-Z_H関係から求めた降雨強度（縦軸）と実際の降雨強度（横軸）との比較。各点のばらつきはこの手法が雨滴の粒径分布の変動に敏感であることを示しています。(b)R-K_{DP}法から求めた降雨強度と実際の降雨強度との比較。古典的な手法に比べてばらつきが小さくなっています。

降雨減衰の影響を受けないR-K_{DP}法

第2次世界大戦後、レーダが降雨観測に用いられ始めた当初、小型でコストの低いXバンドのレーダは水文学での利用に大きな期待が寄せられました。しかし、波長が短いために降雨減衰の影響を大きく受け、定量的な測定には向かないことがわかってくるとその期待は急速に小さくなりました。マルチパラメータレーダは反射因子ではなくK_{DP}という位相情報を利用するために、降雨減衰の影響を受けません。これにより、従来、困難とされていた定量的な降雨量推定が可能になりました。



11 (a) 台風11号に伴う降雨のレーダ反射因子。 (b) レーダ反射因子から求めた降雨強度の分布。レーダ近くにある強い線状の降雨による減衰のために破線の円の部分の強い降雨が検出できません。

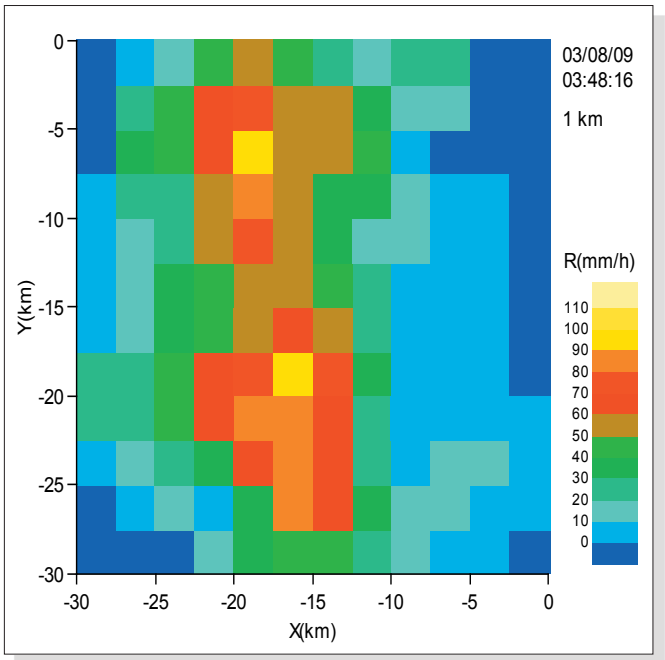


12 (a) 台風11号に伴う降雨の比偏波間位相差K_{DP}。 (b) K_{DP}から求めた降雨強度の分布。図11では検出できなかった強い降雨域が検出できています。

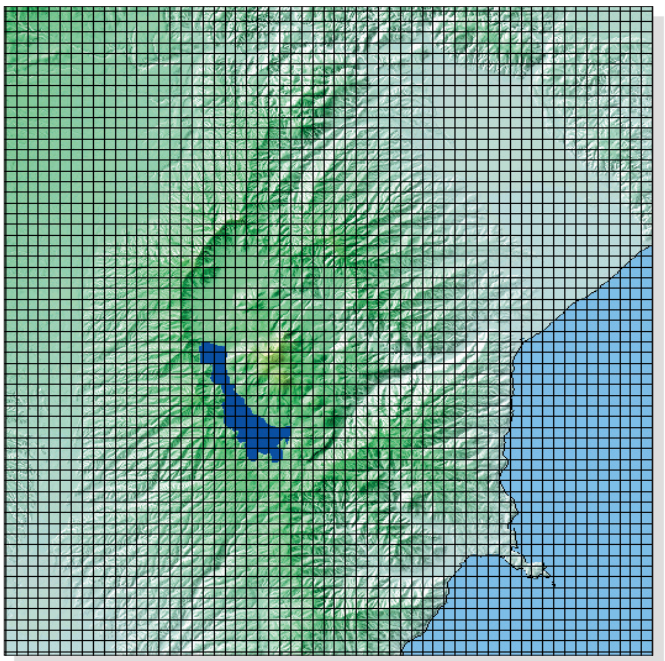
500mメッシュの降雨情報

現在、気象庁が提供しているレーダアメダス解析雨量の空間分解能は2.5kmです。これに対して、MPレーダ観測から得られる降雨情報の空間分解能は500mです。図13と図14に2.5kmと500mの空間分解能の違いを示しました。2.5kmの空間分解能に比べて、500m分解能ではより詳細な降雨分布を知ることができます。都市型水害、表層崩壊などの災害を予測するためには、できるだけ細かな降雨情報が必要です。

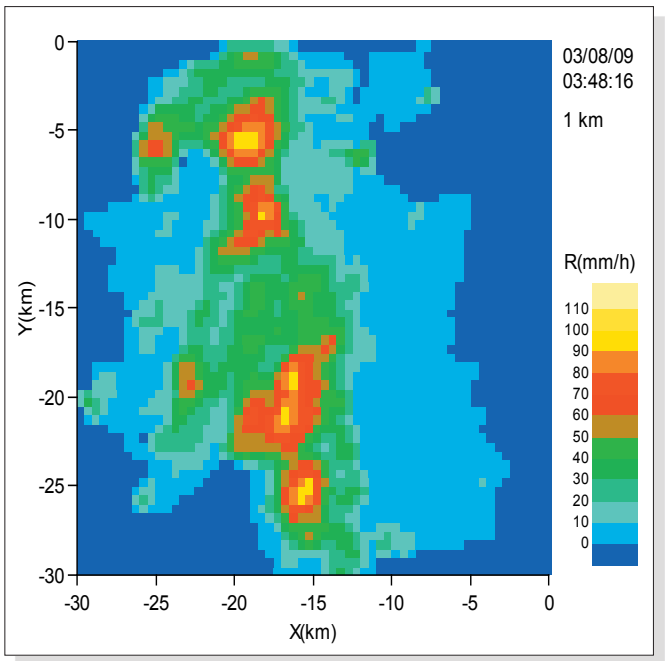
13a 箱根地域の地形と2.5kmメッシュ。



13b 2.5kmメッシュの降雨分布。

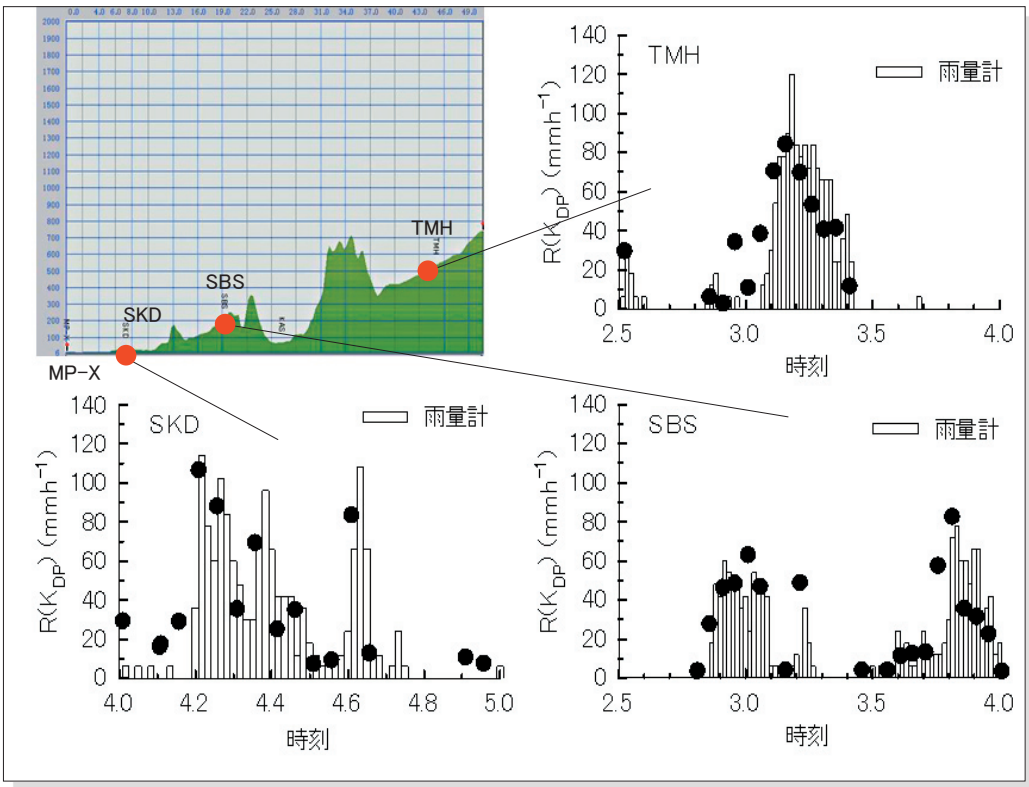


14a 箱根地域の地形と500mメッシュ。

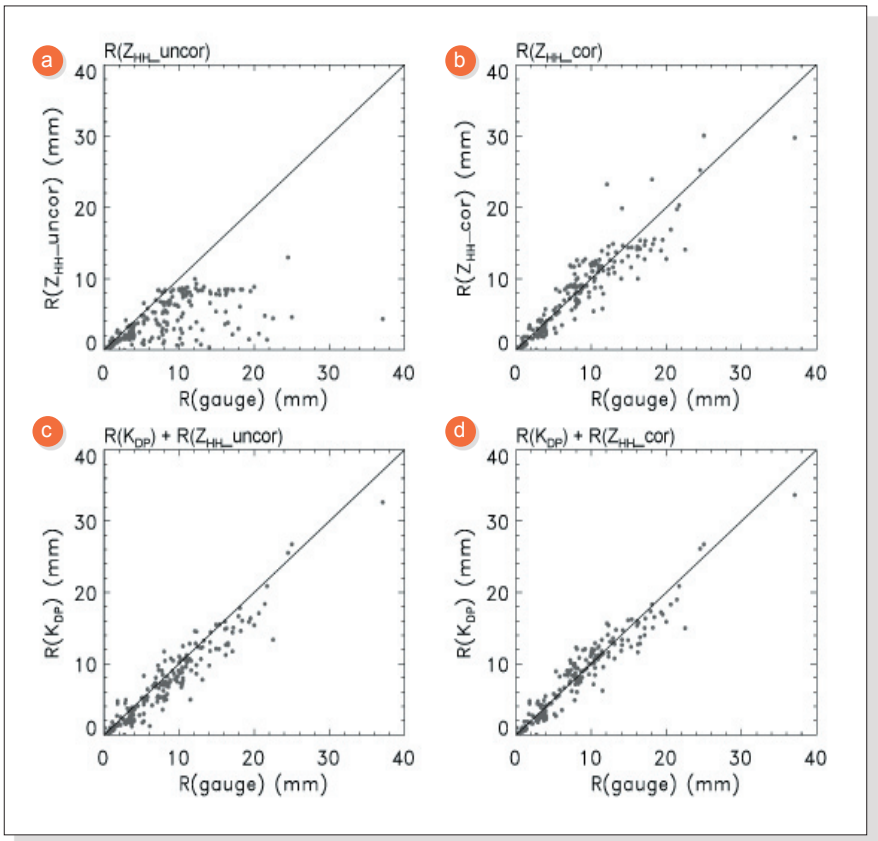


14b 500mメッシュの降雨分布。

地上の雨量計による検証



15 降雨強度推定式$R(K_{DP})$の検証結果。レーダから西の方向の直線上に配置された雨量計との比較。両者は非常によく合っています。

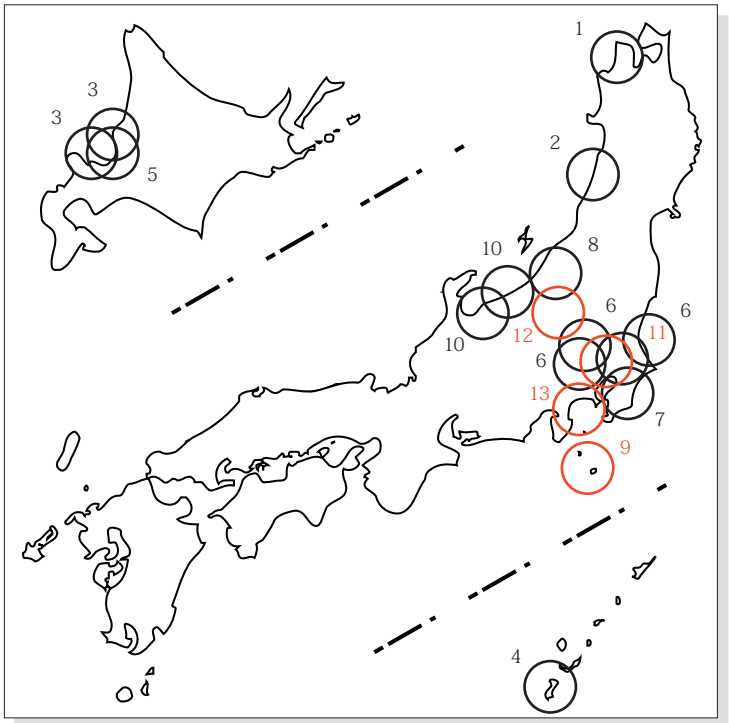


16 4種類の降雨量推定方法から求められた1時間積算降雨量の検証結果。(a)降雨減衰の補正をしていない$R(Z_H)$法、(b)降雨減衰の補正後の$R(Z_H)$法、(c)補正前の$R(Z_H)+R(K_{DP})$法、(d)補正後の$R(Z_H)+R(K_{DP})$法。

付録 - 防災科学技術研究所での気象レーダを用いた研究

災害災害をもたらす大気現象の多くは空間的なひろがりが数百ｍから数百ｋｍで寿命が数十分から2日程度のメソスケール大気現象です。我が国で毎年のように発生し、多くの尊い人命や貴重な財産を奪っている集中豪雨、豪雪、雷や竜巻などがメソスケール大気現象の典型的な例です。メソスケールの大気現象は、多様な形態、地域特性を持ち、スケールが小さくゲリラ的に発生する場合があります。気象レーダはこのようなメソスケール大気現象を監視するのに有効な手段です。ドップラー機能を持ったレーダを用いれば、従来の反射強度の情報に加えて風の分布に関する情報が得られます。ドップラー偏波機能を持ったマルチパラメータレーダを用いればZ-R関係によらない降雨量の推定、降水粒子の種類に関する情報などが得られます。

世界的に見れば気象レーダが本格的に登場したのは今から50年余り前です。第2次世界大戦後に戦時中に使用されていた軍事レーダの民間への払い下げがきっかけとなりました。防災科学技術研究所に最初の気象レーダが導入されたのは1969年です。研究所の設立が1963年であることを考えれば早くから気象レーダを導入して研究をおこなってきたと言えます。防災科学技術研究所での気象レーダを用いた研究の歴史を見てみると、非ドップラーレーダ、ドップラーレーダ、マルチパラメータレーダという時代に大きく分けることができます。ここでは、防災科学技術研究所が行なってきた主な観測を写真で簡単に紹介します。



A1 1989年以降におこなった主なレーダ観測の場所と内容。

1： 吹雪観測（津軽平野, 1989～1992）
2： 降雪雲観測（酒田, 1989～1992）
3： 吹雪観測（石狩平野, 1994～1996）
4： 台風観測（宮古島, 1993）
5： 降雨観測／DUETTO（石狩平野, 1994）
6： つくば域降雨観測（関東平野, 1993～1996）
7： 成田空港レーダ検証実験（関東平野, 1995）
JATMEX（オーストラリアダーウィン, 1999～2000）
8： 降雪観測（長岡, 2000）
9： 三宅島噴煙観測（式根島, 2000）
10： 降雪雲観測（新潟, 2001）
11： DDX01／デュアルドップラー（関東平野, 2001）
12： SZW01／人工降雪実験（新潟, 2001）
13： MMX03／降雨観測（神奈川県, 2003～）
（黒字：XDOP and/or XPOL, 赤字:MPレーダ）

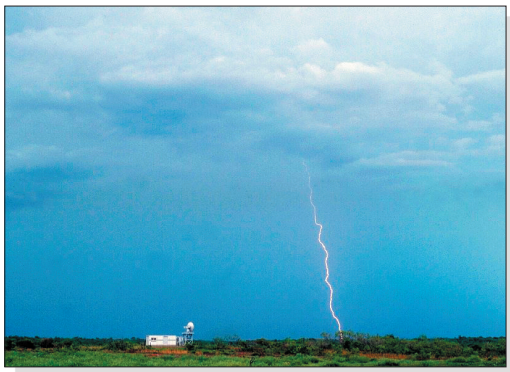
付録(観測風景)

A2 初代レーダ(1969年)。

A3 吹雪の研究(X-DOP、1988年、青森県津軽平野)。

A4 吹雪の研究(X-POL、1994年、北海道小樽)。

A5 三宅島雄山の噴煙観測(MP-X、2000年10月-11月, 東京都式根島)。



A6 帯のスコールラインの観測(X-DOP(左図)とX-POL(右図)、1998-1999年、オーストラリアダーウィン)。

A7 雲-降水過程と風の観測(2001年8月-10月、茨城県霞ケ浦湖畔)。

A8 人工降雪実験(MP-XとMP-Ka/W、2001年12月, 新潟県塩沢町)。

オーストラリアダーウィンで観測された熱帯スコールライン

独立行政法人　防災科学技術研究所
http://www.bosai.go.jp
〒305-0006　茨城県つくば市天王台3-1
Telephone / Facsimile: 029-863-7760

March 2005

design by graficom
info@fancygraphics.com
http://www.fancygraphics.com