

気象災害の防止に向けた 気象レーダーの活用



中北 英一
Eiichi Nakakita

京大大学 防災研究所 副所長・教授
[専門分野] 水文気象工学

はじめに

気象レーダーは、上空に浮かぶ雨粒などの降水粒子を感知してその量や種類を推測するのに用いられ、広域大雨～局地的豪雨の探知に大いに活用されます。また、それらの移動速度を感知して風速をはかり、豪雨の餌となる水蒸気の流入経路や竜巻の探知に利用されます。これらの情報は、河川の出水、内水氾濫・都市浸水、土石流・斜面崩壊、橋りょうや車両・船舶・航空機への強風などの実時間でリスク把握や予測を通して、ダム貯水池の実時間運用を含めた河川の管理(電力ダムも含む)、排水ポンプの実時間運用を含む雨水排除、自治体による避難勧告・指示の発令や住民自らの避難の開始、鉄道・道

近年、気象レーダーによる降雨や風の観測技術は飛躍的に進歩しましたし、まだまだ向上しています。すなわち、時間的、空間的によりきめ細かで、格段に精度の高い観測情報が実時間で得られるようになりました。鉄道の安全運行に気象レーダーの観測情報をより高度に実用化してゆけるステージにあります。ここでは、その進歩の概要、ならびにゲリラ豪雨の早期探知と予測への利用例を紹介し、気象レーダーのさらなる活用の礎になればと思っています。

路や航空機・船舶の安全運行管理に活用されるポテンシャルを有しています。

雨を測るレーダー

図1は国土交通省の赤城山レーダ雨量計によって観測された1998年8月27日に生じた那須豪雨の3次元構造を示したものです¹⁾。梅雨時に典型的な積乱雲による豪雨が線状に並んだ状況が観測されています。図中に示しますように、気象レーダーとはアンテナから発射する電波が降水粒子にあたって反射してくる電波を同じアンテナで受信して、受信電波の強弱で降水強度を測るレーダーです。どこから返ってきた反射電波かは、アンテナの向きと発射した電波がアンテナに返ってくるま

によってもたらされますので、この立体観測はモニタリングという意味でも予測という意味でも重要です。

風を測るレーダー(ドップラーレーダー)

集中豪雨のメカニズムや予測を行う上で、水蒸気を運ぶ風の観測(風速観測)が重要です。もちろん竜巻の探知にも風速観測は極めて重要です。この風速を測るレーダーを特にドップラーレーダーとよびます。発射した電波と反射した電波の波長の違い(周波数の違い)からドップラー効果を利用して、レーダーの電波を発射した方向(レーダービーム方向)の風速成分(ドップラー風速とよばれます)を測定することができます。2台のドップラーレーダーで観測すると風速の2成分を、3台では3次元成分を測定することが原理的に可能です。

1台の観測でも、3次元空間内の局所的な区分領域毎に風速が一様であるとか、位置の1次元で近似できると仮定すれば、広い範囲でのおおよその2次元的な風速分布が得られます。また、同じく1台による観測でも、風の

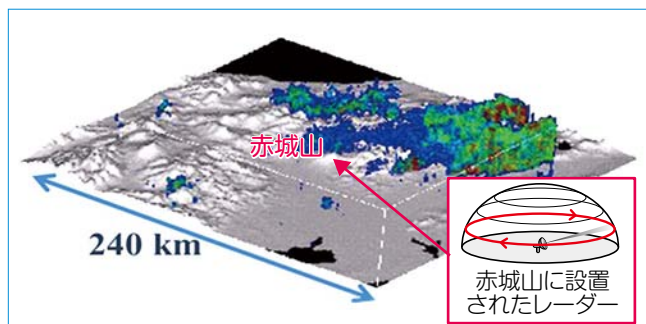


図1 気象レーダーによる集中豪雨の立体構造の観測事例¹⁾
(国交省赤城山レーダ雨量計による那須豪雨観測事例)

高さ方向の変化や渦をおおよそ推測することができます。

雨粒の形や大きさを測る偏波レーダー (MPレーダー)

偏波レーダー (MPレーダー) とよばれる気象レーダーは、2種類以上の偏波面 (電界がプラス・マイナスに振動する面) を使って観測できます (☞参照)。通常の偏波レーダーは、水平偏波・垂直偏波を使って雨粒やその他の降水粒子の偏平度を測ります。この偏平度から雨粒の大きさや降水粒子の種類を推測することができるのです。雨粒の大きさは、レーダー受信電力値から降雨強度に変換するときに必要な情報で、そのために降雨強度の推定精度が格段に向上します。また、降水粒子の種類を判別した情報は、たとえば雨雪判別情報が鉄道の運行管理に利用できるばかりか、大気モデルやその中の雲物理過程モデルとの結合手法を開発して豪雨の予測精度も向上させることができます。

国土交通省によるXRAINの導入

国土交通省では、より高精度な降雨量観測を目的にレーダ雨量計のMP化を進めています。このことにより、気象レーダーによる降雨量情報の精度が大幅に高くなり、定量的な入力情報と

☞ MPレーダー

偏波レーダーのように受信電力値以外の電波情報を探知できるレーダーをマルチパラメーターレーダー (MPレーダー) とよびます。

☞ Xバンド, Cバンド

日本の大型気象レーダーでは5cm (Cバンド) の波長を持つ電波が用いられています。120km程度の半径を観測範囲とします。60km半径という狭域を観測する小型レーダーでは3cm (Xバンド) の波長を持つ電波が用いられています。

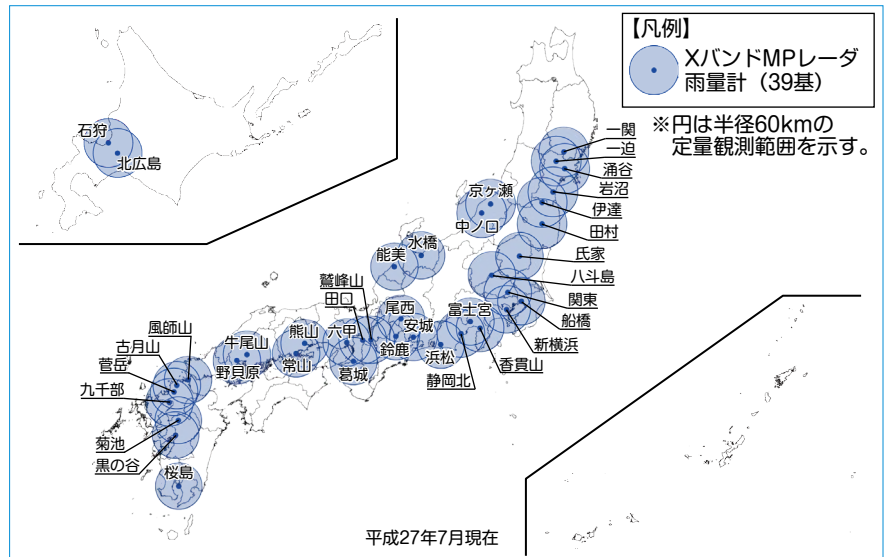
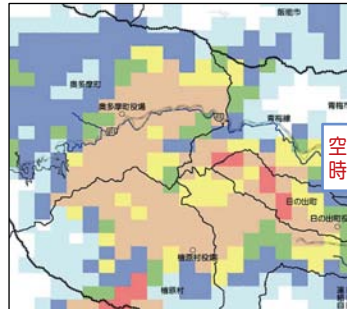


図2 XRAINの配置図

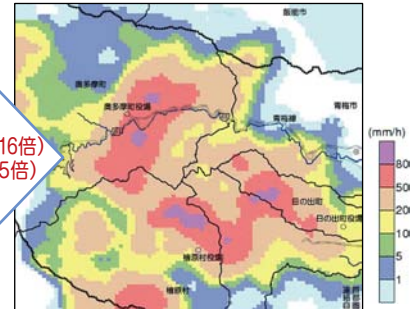
在来型非偏波Cバンドレーダー雨量

空間分解能: 1km,
更新間隔: 5分,
配信までの遅れ時間: 5~6分,
地上雨量による補正: あり



XバンドMPレーダー雨量

空間分解能: 250m,
更新間隔: 1分,
配信までの遅れ時間: 1分,
地上雨量による補正: なし



空間分解能 (16倍)
時間分解能 (5倍)

図3 XRAINによる降雨観測のアドバンテージ

して洪水流出計算や氾濫計算に用いる時代に突入しています。

ここでは、2008年の神戸市、東京都でのゲリラ豪雨災害を機に、都市の豪雨災害の軽減を目指して全国の政令都市をカバーするように国土交通省が2010年度から導入を開始した小型 (Xバンド) のMPレーダーによる3次元観測網 (XRAIN) を紹介します (☞参照)。図2に示しますように、九州~北海道に至る主に政令指定都市をカバーする39機のXバンド最新型偏波ドップラーレーダーによる3次元観測網 (XRAIN) が実現し、きめ細かな時間・空間分解能 (1分間隔・250m分解能) で精度の高いリアルタイム降雨分布情報が、観測から1分程度で配信されるようになっています²⁾ (図3)。このた

め、気象学、水文学を超えたさまざまな分野での利用手法の開発が急激に進んでいます。XRAINは、よりピンポイントでより正確な降雨量を観測するとともに、立体観測により早期にゲリラ豪雨を探知し、およそ1分以下というより短時間での情報提供ができるという最新性も持ちます。加えて、ドップラー機能によって風速や高度も観測することで、降雨予測精度のさらなる向上を目指しています。

ゲリラ豪雨の早期探知と危険性予測

2008年の7月末、8月初めに続いて生じた神戸の都賀川や東京の雑司ヶ谷の幹線下水道管での災害はゲリラ豪雨によってもたらされた鉄砲水による

ものです。都賀川の場合、憩いの場で
の笑顔が一瞬にて失われる災害で、降
り始めてから7分後に出水が生じた災
害です。

筆者らは³⁾は、1982年以來立体観
測を継続していた国土交通省深山レー
ダ雨量計(Cバンドレーダー)の3次元
画像を解析して、都賀川での鉄砲水の
原因となった局地的豪雨、その豪雨を
もたらした積乱雲が急激に発生・発達
するごく初期の段階に、上空でのみ最
初に存在するレーダーエコー(初期エ
コーあるいはファーストエコー)がや
はり確認できることを明らかにしまし
た。それが都賀川出水時の30分前
には出現していることから、避難にと
つて極めて重要な、ゲリラ豪雨による鉄
砲水からの早期避難に欠かせない情報
であり、このファーストエコーの早期
探知を実現・実用化すべきとの提案を
行い、そのファーストエコーを、防災
的観点から「ゲリラ豪雨のタマゴ」と
命名しました。

図4は、国土交通省深山レーダ雨量
計によって7分半ごとに観測された
2008年の都賀川ゲリラ豪雨を3次元
的に示したものです。積乱雲の発生直
後、上空の高度5~7kmでのみ降水粒
子が形成し始めている段階(ゲリラ豪
雨のタマゴ)からの状況を立体観測レ
ーダーでは捉えることができることを
示しています²⁾。これは、ゲリラ豪雨
の早期探知や大気モデルを用いた降雨
予測にも重要情報となります。

一方、前述のように国土交通省は、
2010年から順次、XRAINを配備し、
3次元ドップラー観測を標準としたゲ
リラ豪雨災害への観測体制を強化しま
した。筆者ら⁴⁾はXRAINで観測され
た多数の事例を用いて、積乱雲が強化
される際には、地上強雨をもたらされ
るより前に「ゲリラ豪雨のタマゴ」が
上空で出現すること、ドップラー風速

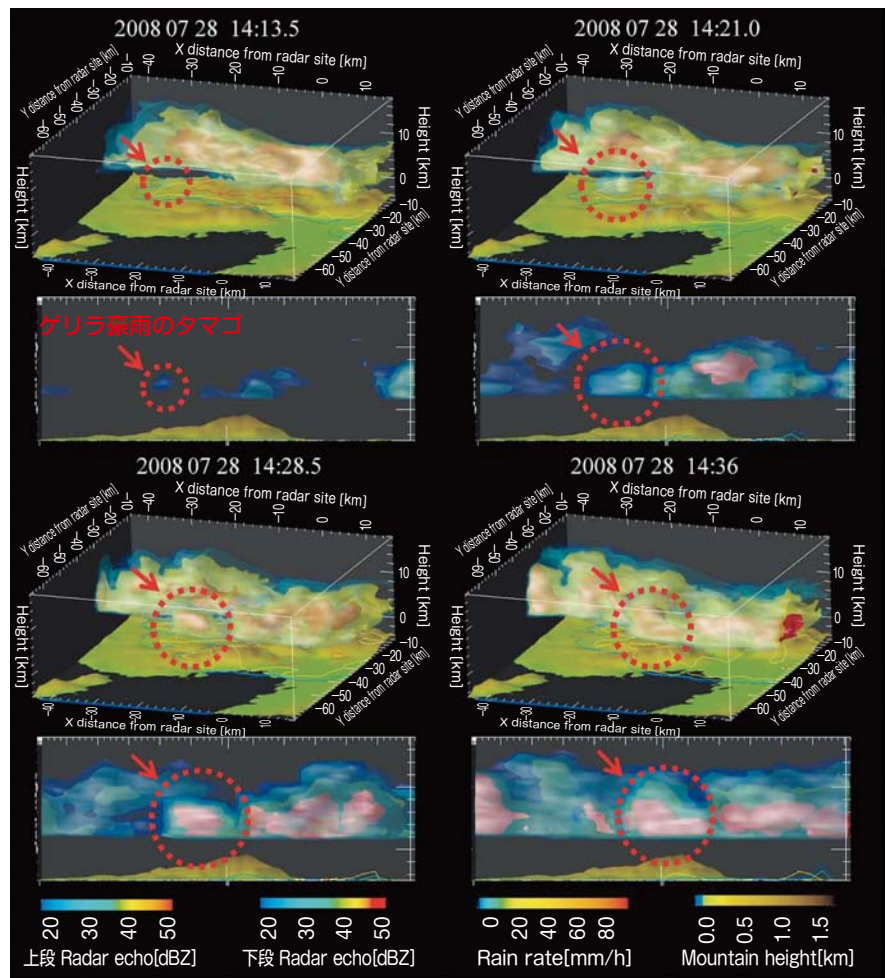


図4 都賀川豪雨時の深山レーダー立体観測画像
時刻毎に上段は南東か北西方向を見たもの、下段は南から北方向を見たもの³⁾

により推測される渦度がほぼ確実に
ファーストエコーの段階から確認され
ることを、明らかにしました。加えて、
タマゴの早期探知手法と追跡手法、並
びに危険性予測手法を統合したゲリラ
豪雨予報システムのプロトタイプを構
築しました⁵⁾。

平行して、国土交通省は筆者らと
共同して、XRAINの実用化直後から、
XRAINを用いたゲリラ豪雨の早期探
知・危険性予測の実用化を目指した取
り組みを進め、大阪・神戸・京都を
含む近畿地域において、豪雨警戒ラン
クを3段階で判定する手法を開発し、
Web表示するシステムを構築しまし
た(図5)⁶⁾。現在いくつかの地方自治
体や気象庁を対象に試験運用を継続し
ており、2016年度からより多くの自
治体に情報が提供される予定です。

雨域追跡による降雨予測

XRAINによる1分間隔で250m空間
分解での豪雨の観測により、一つ一つ
の積乱雲の存在とその消長をきめ細か
く捉えられるようになったため、レー
ダー画像を用いた雨域追跡による降雨
予測の精度が、一つの積乱雲の寿命で
ある30分~1時間先までの予測であら
ば、従来に比べて大きく向上することが
見込まれています^{7),8)}。図6は、一つ
一つの降雨セルを追跡することにより
行われた、20分先の降雨予測事例を示
します⁷⁾。雨域毎に過去の移動を算出
しそのまま将来も移動させることによ
り、将来の位置を良好に予測するとと
もに、初期時刻における雨域の面積お
よび雨域内の平均降雨強度の直近変
化率を外挿することにより各セルの発
達・衰弱をも良好に予測していること
がわかります。



図5 国交省により自治体・気象庁に試験配信されている局地的豪雨探知システムによるゲリラ豪雨の危険度リアルタイム表示事例⁶⁾

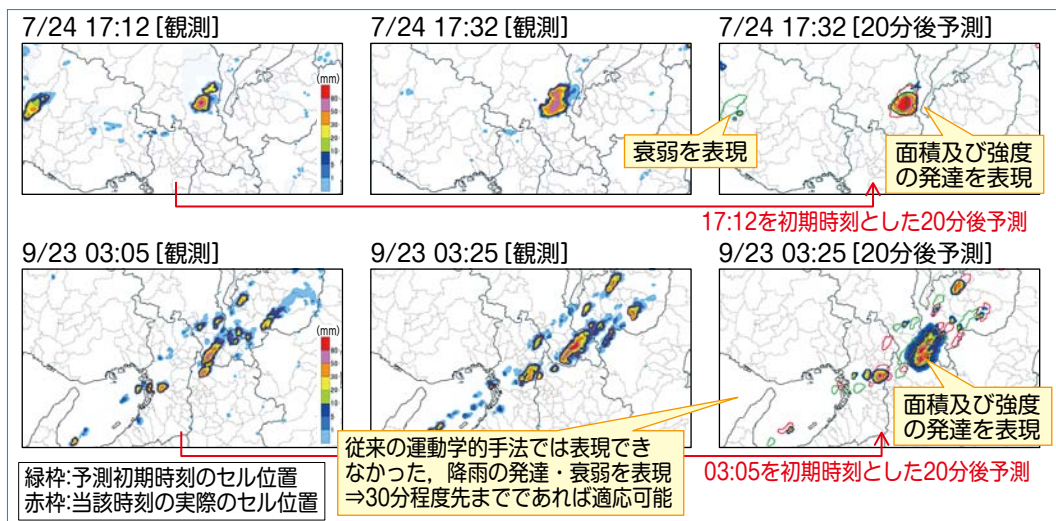


図6 XRAINによる降雨観測情報を用いたセル追跡法による降雨予測⁷⁾

おわりに

気象レーダーにより時間的・空間的によりきめ細かであり高精度に降雨や風の観測が可能となってきました。このきめ細かさの向上はまだ進展しています。ここではゲリラ豪雨の早期探知や予測を例示しましたが、「はじめに」でも述べましたように、突風や竜巻の監視にも利用できる潜在能力を高く持っています。鉄道の安全運行にますます活用されるいろいろな技術が生まれることを期待したいと思います。

RRR

文献

- 1) 中北・矢神・池淵：1998那須集中豪雨の生起・伝播特性，水工学論文集，第44巻，pp.109-114，2000
- 2) 五道・内藤・土屋：Kdp-R関係式の適用範囲拡張によるXバンドMPレーダの観測精度の向上，土木学会論文集，B1(水工学)，Vol.70，No.4，pp.505-510，2014
- 3) 中北・山邊・山口：ゲリラ豪雨の早期探知に関する研究，水工学論文集，第54巻，pp.343-348，2010
- 4) 中北・西脇・山邊・山口：ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究，土木学会論文集，B1(水工学)，Vol.69，No.4，pp.325-330，2013
- 5) 中北・西脇・山口：ゲリラ豪雨の早期探知・予報システムの開発，河川技術論文集，Vol.20，pp.355-360，2014
- 6) 片山・山路・中村・森田・中北：局地的豪雨探知システムの開発，河川技術論文集，Vol.21，pp.401-406，2015
- 7) 増田・中北：Xバンド偏波レーダを用いた降水セルのライフステージ判別手法の開発，土木学会論文集，B1(水工学)，Vol.70，No.4，pp.493-498，2014
- 8) 高田・田中・池淵・中北：局地的な大雨の予測精度向上を目指した降水ナウキャスト手法の開発，土木学会論文集，B1(水工学)，Vol.69，No.4，pp.349-354，2013