

報告書概要

技術研究開発課題名	XバンドMPレーダ等の観測情報の活用に関する技術研究開発
技術研究開発テーマ名	MPレーダデータによる定量的降雨量推定とユーザの立場からの避難支援システム開発に関する研究
研究代表者	
氏名	所属・役職
藤原 直樹	(株)建設技術研究所 東京本社水システム部 部長
共同研究者	
氏名	所属・役職
矢神 卓也	(株)建設技術研究所 東京本社水システム部 主幹
荒木 千博	(株)建設技術研究所 東京本社水システム部 次長
森山 智	(株)建設技術研究所 東京本社水システム部 主幹
米勢 嘉智	(株)建設技術研究所 東京本社水システム部 主幹
端戸 尚毅	(株)建設技術研究所 中部支社河川部 主任
和田 将一	(株)東芝 社会システム社 電波システム技術部 参事
水野 智洋	(株)東芝 社会システム社 電波システム技術部 主事
村野 隆	(株)東芝 社会システム社 電波通信技術部 主務
半田 浩規	(株)東芝 社会システム社 電波通信技術部 主事
<p>背景・課題</p> <p>近年、我が国においては、気候変動の影響や都市部のヒートアイランド現象の影響によるものと想定される、局地的豪雨（いわゆるゲリラ豪雨）の発生頻度の増加が認められている。この突発的に発生した局地的豪雨が、下水道、地下室、河川内等に一気に流れ込み浸水することで、それらの利用者が逃げ遅れ、溺れてしまう事故が後を絶たない。</p> <p>よりきめ細かな雨量情報の提供を目的として、平成23年度よりXバンドMP(Multi Parameter)レーダを全国に配備し（平成24年3月現在、全国で26基設置済み）、現在試験運用を実施している。XバンドMPレーダは、従来のCバンドレーダと比較して、高時空間分解能で、かつ精度の高い雨量情報が得られることが想定されており、水害防止の強力なツールとなることが期待されている。</p> <p>XバンドMPレーダにより高精度な雨量情報が得られるが、水害を防止するための有効な利活用方法が十分に確立されていない。</p>	
<p>技術研究開発の目的</p> <p>本研究は、河川管理者、自治体、地下街管理者等の様々なユーザの立場からのニーズの整理・分析を行い、XバンドMPレーダを活用した避難支援システムのあり方を提案したものである。</p>	

技術研究開発の内容・成果

1. MPレーダデータによる定量的降雨量推定方法の検討

現在用いられている配信雨量データは、強い降雨強度の雨域においてメッシュ間の降雨強度の差が小さくなる特徴がある。これは、言い換えれば、空間分解能が粗いという問題となる。

この問題に対応し、高精度、高空間分解能の降雨量推定を実現するため、配信雨量データを考慮した降雨量推定手法（以下、ハイブリッド法と呼ぶ）を開発（図-1）、その評価結果について記載する。

降雨強度の推定方法は主に2種類あり、比偏波間位相差 KDP による降雨強度推定法（以下、KDP 法と呼ぶ）と従来法として用いられているレーダ反射因子 Z_h を用いた降雨強度推定法（以下、B-法と呼ぶ）がある。

KDP 法は、降雨強度が強い場合において推定精度は高いが、空間分解能が劣る。一方、B-法は、空間分解能は良好だが、強い降雨強度の雨域を推定しにくい。

本研究では、高精度と高空間分解能を両立する降水量推定手法を以下の視点により研究した。

- ・ 降雨量推定精度が高い比偏波間位相差 KDP による方法、距離分解能の高いレーダ反射因子 Z_h による方法など、一長一短のある複数の観測パラメータの長所を引き出した複合的な降水量推定手法の研究を実施した
- ・ ハイブリッド法により、KDP法の雨量値を概ね維持しながら、 Z_h 法の空間的なメリハリが表現されていることを確認した

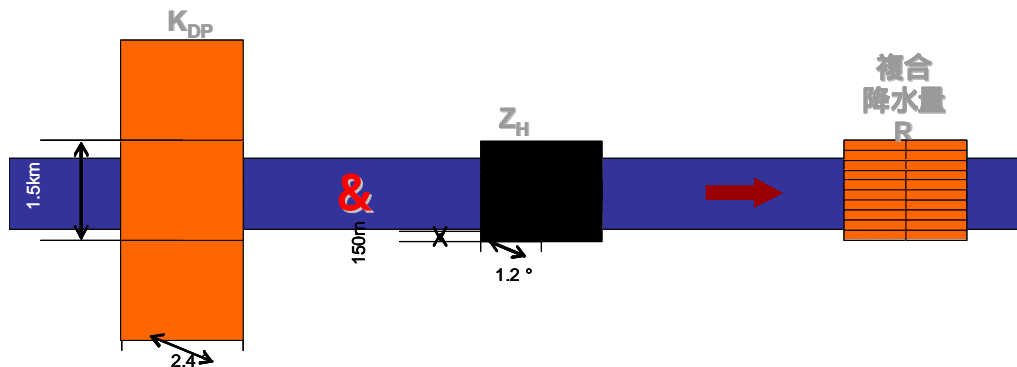
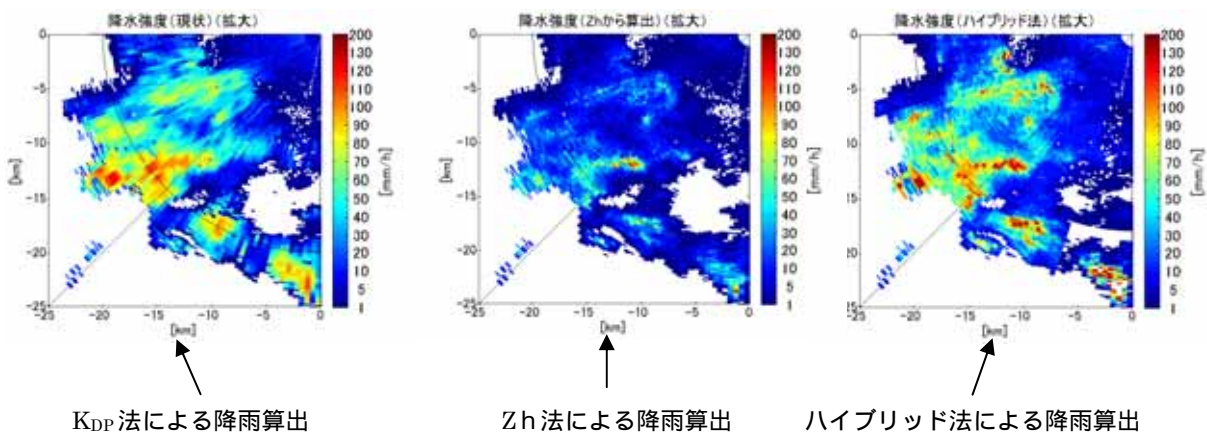


図-1 KDPの雨量精度と Z_h の距離分解能の組み合わせ（ハイブリッド法）イメージ



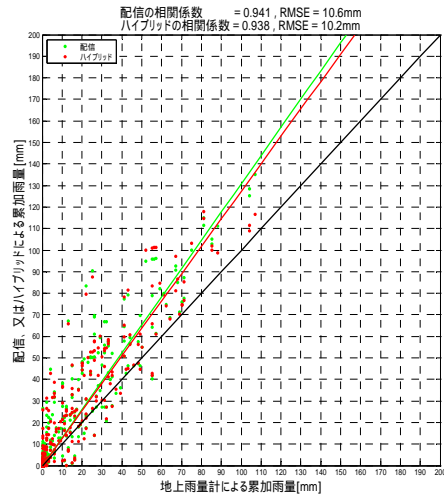
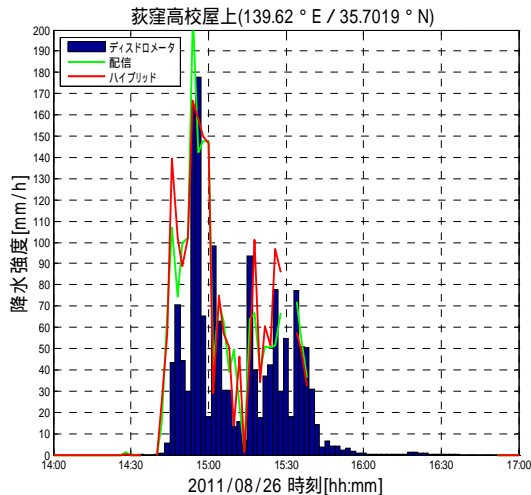


図-2 従来法とハイブリッド法による雨量比較（上図：平面分布，下図：地上雨量との比較）

- ・ 実降雨による評価から、ハイブリッド法の導入により、配信データとほぼ同等の精度であることが確認できた。
- ・ 画像比較やディストロメータとのハイトグラフから、配信されているデータに比べてハイブリッド法で算出されたデータは高分解能であることが確認できた。

2. ユーザニーズの把握

表-1 河川管理者向け防災情報における現状の課題

管理者間に共通の課題
1. 30 分後の正確な水位予測情報が欲しい。
【背景】
・ 堰・ゲート操作等を現地で行う必要がある。
・ 雨の予測があってないため、水位予測ができない（洪水予報指定河川にしたいくてもできない。）
・ 今は実績ベースで判断している。
ニーズから必要となる Xバンド雨量の性能
1. ある河川地点における 30 分後の水位予測を行うための Xバンド実測・予測雨量精度検証を実施
ニーズから必要となる避難支援システムの方向性
1. 精度の高い水位予測，浸水予測の提供が必要

表-2 河川利用者向け防災情報における現状の課題

管理者間に共通の課題
1. 最低でも 10 分前に水位が上昇するかを周知の必要
【背景】
・ ぎりぎり退避可能な時間を想定
・ 警報が出ていなくても、水位上昇の可能性
・ ただし、維持管理費が高いものは普及しない
ニーズから必要となる Xバンド雨量の性能
1. ある河川地点における 10 分後の水位予測を行うための Xバンド実測・予測雨量の精度を検討
ニーズから必要となる避難支援システムの方向性
1. 精度は低くても外れないシステムが必要
2. 安価なシステムが必要

表-3 地下街管理者向け防災情報における現状の課題

管理者間に共通の課題
1. 20 分後にここが浸水するかどうかを知りたい
【背景】
・ 止水版の設置におよそ 15 分かかる。
・ 情報は TV，インターネット等で入手しているが十分でない。防災情報 FAXも県，都より送られてくるが配信が遅くて役に立たない。
・ 地下鉄駅の場合，配置人数が少なく，20 分でも遅い可能性。
ニーズから必要となる Xバンド雨量の性能
1. 外水の場合，河川管理者のニーズと同等の精度が求められ，さらに当該地点の浸水予測が必要
2. 内水の場合，精度の高い予測雨量が必要
ニーズから必要となる避難支援システムの方向性
1. 多少演算時間がかかっても，精度の高い水位予測，浸水予測を提供することが必要



図-1 主体別行動別の課題整理の概要

レーダによる雨量情報を防災上、有効に活かしていくためには、その情報が危険度判定の情報として各ユーザが認識する必要がある。例えば、河川利用者の立場であれば、降雨により水位がどの程度上昇するかが重要であり、雨の情報のみでは、危険かどうかの判断ができない。

そこで、防災担当者（河川管理者、地下街管理者、下水道管理者、道路管理者、自治体防災担当者等13団体）にヒアリングを実施し、主要関係機関や被災地区を対象に、簡易的なアンケート調査等を行い、各ユーザの立場からの防災上必要となる情報の整理・分析を行うことで、各ユーザの持つ課題・ニーズ等を確認し、防災情報の適切な発令や迅速な伝達手法のあり方に資するよう、ユーザサイドの視点から、何時、誰が、どんな情報を、どんな手段で発信するのが最適かを整理し、とりまとめた。

その結果、表-1～表-3に例示するように、ユーザごとに必要となる情報は異なり、ただ単にレーダ雨量情報を画一的に配信するだけではなく、それらをユーザのニーズに合わせて加工した上で、適切なタイミングで情報提供することが重要であることがわかった。

3. 情報提供する上での課題の整理

ヒアリング等から必要となる情報については整理できたが、一方で現場では、避難を要するような豪雨の情報が末端の避難対象者までに届かないことで、避難が遅れ、被害が発生した事例¹⁾も多い。

そこで必要な防災情報を提供していく上での課題を、ヒアリング結果、既往文献²⁾より次の手法により整理を試みた。本研究では、牛山³⁾が整理した、豪雨災害時の課題抽出方法を参考に、ゲリラ豪雨時における情報伝達における課題を整理した。

図-1に示すように

表-4 情報およびその伝達における現状の課題整理

No.	課題	主体	行動
1	ゲリラ豪雨発生情報が遅い	(1)	(A)
2	精度の高い水位予測情報を得ることができない	(1)	(B)
3	都や気象庁のデータ配信にタイムラグがある	(1)	(D)
4	ゲリラ豪雨だと体制が間に合わない	(2),(3)	(A)
5	雨の状況だけだとどれほど危険なのか認識できない	(2),(3),(4)	(B)
6	粗い予測情報だとどこに注意すればいいか判断できない	(2)	(C)
7	確実に流域住民にくまなく注意を伝達する手段が確保できない	(2)	(D)
8	大雨によりここ（地下街等）が浸水するのかわからない	(3)	(B)

組織(個人も含む)によって分類される4つの「主体」と、各「主体」による「行動」にわけて、情報伝達のネック箇所について抽出した。

表-4 に示すように、情報伝達における課題を図-1 で示した各「主体」のさまざまな「行動」の場面にわけて整理し、防災情報の質やその伝達にネックがあることを明らかにした。すなわち X バンド MP レーダを導入した場合でも、個々の情報伝達過程のネックを解消することで初めて高精度な情報の有効利用が可能となることがわかった。

4. 避難支援システムの構築

近年インターネットや、携帯電話の普及により、簡易な登録により、降雨情報を素早く入手する環境が整いつつあり、メール配信等によるアラートシステムを提供している事業者⁴⁾や自治体⁵⁾も多い。しかしながら多くの事業者は、以下に示すように必ずしも各ユーザが欲しい情報を個別のニーズに合わせて配信している訳ではない。

- ・ アメダスの情報を利用したポイント雨量の配信
- ・ 注意報警報情報の配信
- ・ 特定の地点への雨雲接近を知らせるアラート配信

このため、X バンド MP レーダの導入をきっかけとして、先に整理したユーザニーズも踏まえ、よりきめ細かい雨量情報を提供することで、各ユーザの防災行動の、即時性、的確性を向上させる必要がある。

前章で整理された課題から求められる避難支援システムの要求機能を検討し、以下の項目を提案した。

- ・ 各ユーザに一齐に防災情報が配信可能なこと
- ・ 広域～詳細範囲の雨量画像の閲覧できること
- ・ 地点上流域や、地下街上空など特定領域の情報を配信できること
- ・ ユーザに応じた任意の配信基準が設定できること
- ・ 水位の予測情報が提供できること

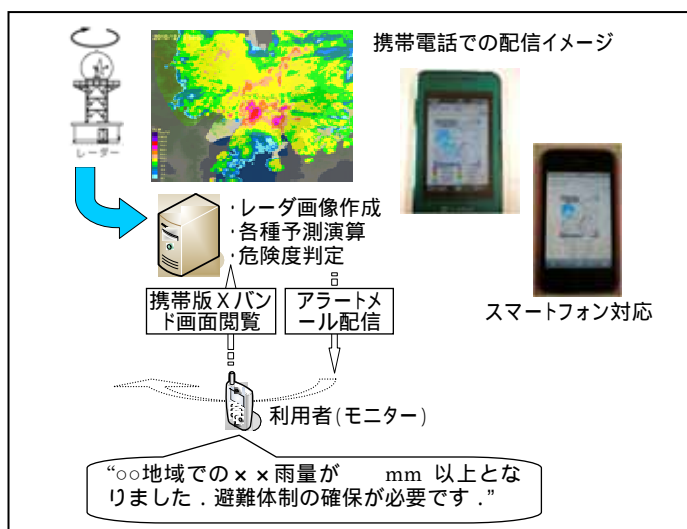


図-2 携帯電話を用いた危険情報配信システム概要

これらを踏まえ、本研究では避難支援システムとして、ユーザに応じた適切な情報提供が可能となる携帯電話向けのアラートメール配信を軸とした、危険情報配信システムを構築した(図-2)。

アラートメールは、実況雨量や河川予測水位がある基準値を超えた場合に配信されるシステムとした。また河川予測水位に関しては、今後のシステム普及も考慮して、CommonMP により分布型洪水予測システムを構築した。

5. アラートシステムによる実証実験の実施

構築した避難支援システムを平成 23 年度の出水期に防災担当者等に利用してもらった実証実験を実施し、配信内容、配信タイミングの妥当性等についての意見を収集し分析することにより、避難支援における X バンド MP レーダの有効な活用方法を明らかにした。

(1) 実験の概要

アラートメール配信に関する実証実験の内容は以下の通りである。

- 対象エリア：関東地域 配信期間：H23.6 月～
- 配信対象者：国交省，自治体，地下街管理者含め約 50 名
- 配信内容：常時配信情報 = X バンド実況・累加雨量，履歴動画
アラートメール情報 = 実況雨量や河川水位が閾値（配信者毎に 2 つ設定）を超え，危険な状態となると想定される場合に，アラートメールを配信
- 意見収集内容：提供内容のわかりやすさ・操作性，配信を要望する情報項目・内容，アラートメール発信の有効性，発信条件・タイミングの妥当性 等

なお本研究では，本アラートシステムの有効性を判断する材料として，気象庁発表の大雨注意報基準として多くの地域で採用されている 30mm/h もアラート配信基準の一つとして各ユーザに採用してもらった。

表-5 30mm/h アラートメール配信日時

配信日時		アラート配信地域	降雨要因	大雨注意報のタイミング
7月30日	4:30	鶴見川流域	前線	注意報よりも前にアラート配信
	18:52	帷子川流域		
8月3日	13:26	鶴見川流域	暖湿気流	
	14:02	帷子川流域		
	18:54	中央区		
	18:54	八重洲地下街		
8月7日	14:46	鶴見川流域	雷雨	注意報よりも前にアラート配信
8月19日	10:54	中央区	前線	
	10:44	千代田区		
	11:00	八重洲地下街		
	10:46	鶴見川流域		
	11:12	帷子川流域		
8月26日	15:10	中央区	前線	
	14:52	千代田区		
	15:22	八重洲地下街		
	10:46	鶴見川流域		
	16:40	帷子川流域		
9月6日	20:34 20:48	中央区 八重洲地下街	雷雨	注意報よりも前にアラート配信
9月20日	16:35	千葉中央	台風	注意報よりも前にアラート配信
9月21日	0:00 ~ 1:50	中央区, 千代田区, 八重洲地下街, 鶴見川流域, 帷子川流域	台風	
	9:42	千葉中央		
9月22日	14:02	鶴見川流域	台風	
	14:02	帷子川流域		
10月7日	0:52	千葉東葛飾	雷雨	注意報よりも前にアラート配信
10月22日	4:06	千葉君津	暖湿気流	
11月20日	17:23	千葉東葛飾	低気圧	注意報よりも前にアラート配信

(2)実証実験結果

a) 気象注意報発令タイミングとの比較による評価

気象注意報（大雨注意報）が発令された日時と、アラートメール配信とのタイミングについて考察を行った。

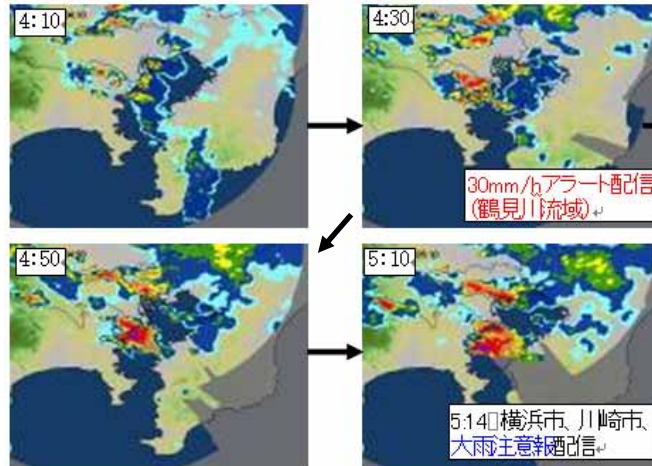


図-3 7月30日における鶴見川流域の降雨状況と情報配信タイミングの比較



図-4 日別携帯雨量画像閲覧数

30mm/hのアラートが配信された全事例と大雨注意報の発令との関係を整理(表-5, 図-3)したところ, 全 16 事例のうち 6 事例において大雨注意報よりも前にアラートが配信されていた。大雨注意報の発令基準は市町村ごとに異なっているが, 都市部では概ね 1 時間雨量 30mm が基準となっており, 気象注意報よりも事前に注意報レベルの雨量が発生していることを周知することができる可能性を示すことができた。また注意報よりも前にアラートメールが配信された事例は, 局所的降雨事例の場合が多かった。

b) 携帯レーダ雨量画像アクセス数による評価

携帯電話からの X バンド MP レーダの雨量画像のページへのアクセス数の解析を図-4 に整理した。

降雨時にアクセス数が増加している傾向にあるが, 特に 8 月 7 日のゲリラ豪雨が発生日のアクセス数が多くなっている。これは, アラートメールによって, 初めて豪雨が発生していることを認識したために, 携帯電話により降雨状況を確認した人が多かったことが推察される。

一方, 9 月 21 日の台風時の降雨の場合, アラートメール自体は頻繁に配信されていたが, あらかじめ大雨が想定されており, あえて, 携帯電話で降雨状況を把握する必要がなかったために, アクセス数が相対的に低くなっているものと考えられる。

(3) ユーザアンケート

実証実験終了後に参加者にアンケートおよびヒアリングを実施した。その結果、今後も X バンド MP レーダのアラートメール配信の要望が強いことがわかり、これまでに得られなかった情報として、ユーザが本システムの有効性を強く感じていることが示された(図-5)。また追加で提供して欲しい項目として、「予測雨量」のニーズが非常に高いことがわかった。

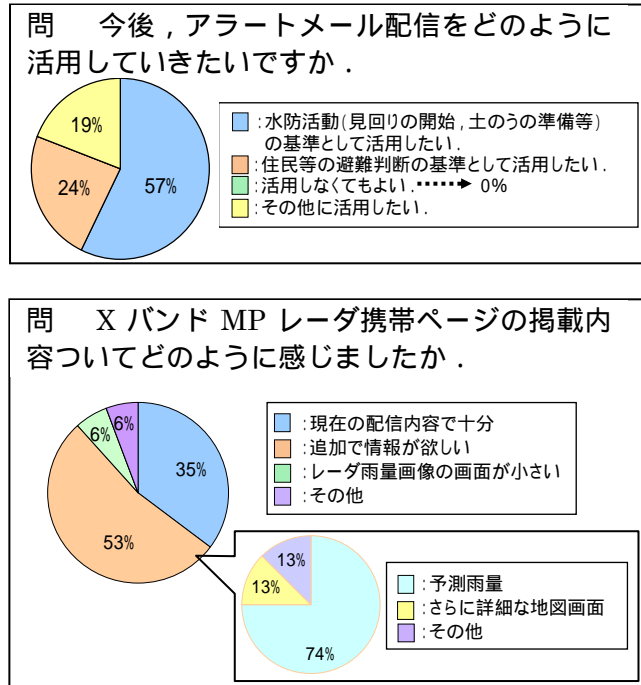


図-5 アンケート結果抜粋

その他、アラート配信に対するヒアリング結果を以下に一部抜粋して整理した。

- ・ 1分毎に情報が更新されるのは良い。気象庁の大雨注意報よりもはやく情報が得られて役だった。
- ・ 「被害が出るか否か」の判断に直結するためには、精度の高い実況雨量、予測雨量が不可欠。地上雨量についても併記されていると良い。
- ・ レーダ雨量表示方法に工夫が必要(見慣れている雨量分布図に比べ、大きな値となっているように感じる)。
- ・ 短時間予測雨量の精度が高くなっても、すぐにはそれを踏まえた体制を取ることが困難(特に日曜、休日の対応ができない)。
- ・ 水位予測は外れが多かった。

6. X バンド MP レーダの精度上の課題と解決案

X バンド MP レーダの有効性は確認されたものの、一方で、X バンド MP レーダはその波長が短く、降雨による減衰が大きいことから、その先の降雨状況を適切に捉えることができない場合がある。そのためアラート配信の精度の低下が懸念されることがわかった(図-6)。そこで、本研究では C バンドレーダ雨量を有効に利用し、豪雨の見逃しが少ないシステムについて検討を実施した。

課題は、X バンド MP レーダで捉えられない雨域を C バンドレーダ雨量で補うことであるが、既往研究では C バンドレーダと X バンド MP レーダの合成手法は確立されていない。そのため、X バンド MP レーダで初めて導入された KDP 法による雨量観測値に着目した合成手法を検討した。KDP 法は、MP(Multi Parameter)情報を利用し、強い雨を精度よく算定することができる手法で、従来の X バンドレーダや、C バンドレーダでは適用できない手法である。

検討の結果、KDP 算定雨量範囲のみ X バンド MP レーダを使用し、その他の範囲は C バンドレーダを適用することでシームレスな雨量データが得られることを明らかにした。今後は、この仕組みをアラートシステムに反映させていく必要がある。

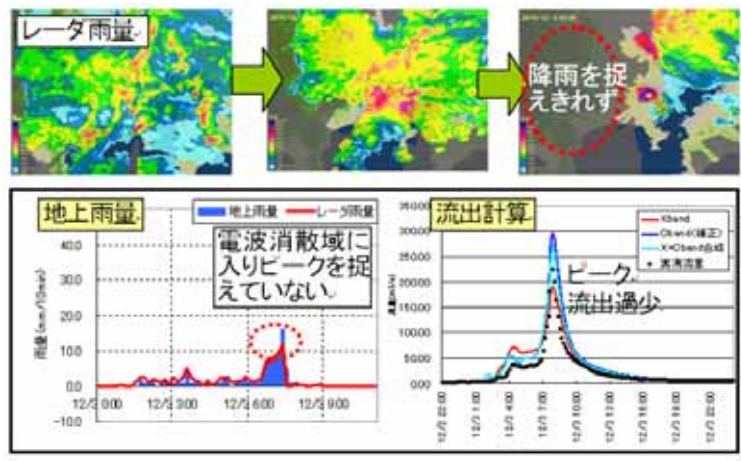


図-6 電波消散による雨量・水位の精度低下(H22.12 降雨事例)

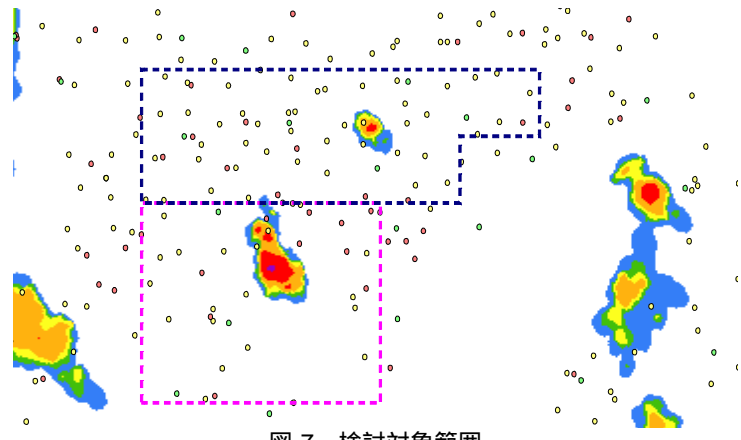


図-7 検討対象範囲

7. 降雨の時空間分布の検証

ここでは、XバンドMPレーダで捉えられる雨量規模と地上雨量観測密度との関係を考察し、どのような降雨の場合にXバンドMPレーダを利用することが優位であるか統計的に検証した。

(1) 検討方法

アラート発生時の雨量分布、その強雨域の大きさを整理し、豪雨が地上雨量計では捉えられない可能性について整理した。

東京都付近と神奈川県付近で2エリア(図-7)に分けて、それぞれエリア1を地上観測所が密なエリア、エリア2を地上観測所が疎なエリアとして設定した。それぞれのエリアの観測所密度は、エリア1(15.5km²/箇所)のほうがエリア2(27 km²/箇所)に対して観測所密度がほぼ倍となっている。

次に、本年度に30mmアラートメールが配信された降雨(表-5)を対象に、各エリア内における10分雨量のXバンドメッシュ雨量最大値と地上雨量最大値を抽出、すなわち、同時刻での地上で観測された雨量の最大値とレーダメッシュ雨量で観測された最大値を比較した。

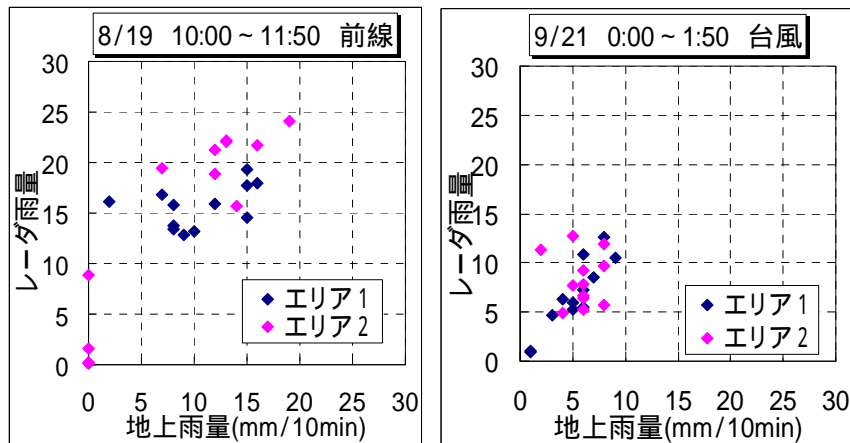


図-8 エリア内最大雨量プロット

(2) 検討結果

対象降雨期間内のレーダ雨量 10 分雨量エリア内最大値と、地上 10 分雨量エリア内最大値をすべて散布図にプロットしたものが図-8 となる。

9 月 21 日降雨(台風性降雨)の場合は、地上雨量最大値とレーダ雨量最大値の差は小さくなく、エリア 1, エリア 2 による違いはあまりない。すなわち、台風性降雨のように全面的に降雨が観測されている場合は、地上雨量で観測されない領域で特に強い降雨が観測されるわけではない。また地上雨量値とレーダ雨量値が近いことは、同時に、レーダ雨量精度の信頼性も示している。

一方、8 月 19 日の降雨(局地性降雨)においては、地上雨量最大値に対して、レーダ雨量最大値のほうが大きい傾向にある。これは、降雨が局所的であるため、地上雨量で捉えられない強雨域をレーダでは捉えていることを示している。特に観測所密度が疎なエリア 2 では、地上雨量最大値に対して、レーダ雨量最大値は約 1.5 倍程度となっており、局所的な豪雨をレーダ雨量で捉えることの重要性を示唆している。

以上から、X バンド MP レーダの利用により、地上雨量では観測されない局所的な雨量を把握することが、非常に重要であると言える。

8. 結論

本研究では、X バンド MP レーダの積極的活用にあ資するため、防災担当者等のヒアリングを実施し、まず現状での防災情報活用上の課題を明らかにすると共に、整理された課題から今後必要となる避難支援システムの機能を提案した。その要求機能を実装した避難支援システムを構築し、実際の現場に適用する実証実験を行い、実証実験から得られた運用上の課題を整理し、X バンド MP レーダを利用した避難支援システムの有効性を明らかにした。さらに、避難支援システムの確実性向上のために、X バンド MP レーダの精度向上方法について提案を行った。また、局所的豪雨の特性から、X バンド MP レーダを利用することの有効性を明らかにした。

今後、さらに多くの現場に適用することで、より実践的な避難支援システムを提案していく必要があるが、これまでの分析で明らかになった事項を以下に示す。

- ・ 1分単位で判断される瞬時のアラートメールの活用により、特にゲリラ豪雨において、XバンドMPレーダの有用性を、実証実験を通じて証明した。
- ・ 中小河川流域などの特定領域を対象としたアラートシステムを活用することで、場所を特定した的確な災害発生可能性を周知できることを明らかにした。
- ・ 今後の水防災に役立つ X バンド MP レーダを利用した実運用可能な避難支援システムを構築した。

今後の課題・展望

本研究で提案した C バンドとレーダと組み合わせたシステムや、他の研究者の成果（高精度な降雨予測，水位予測等）を取り込んだ実証実験ができなかったため，それらの成果を取り込んだ活用が望まれる．

- ・ ただし，現状では気象業務法の制約により，洪水予測，浸水予測に関しては，民間企業は出せないため，まずは自治体等の内部システムとしての活用を広げていく．
- ・ 実況雨量データのための配信でも，避難支援システムとしてさまざまな展開が期待できるため，実況雨量データによるシステム開発の普及が望まれる．