

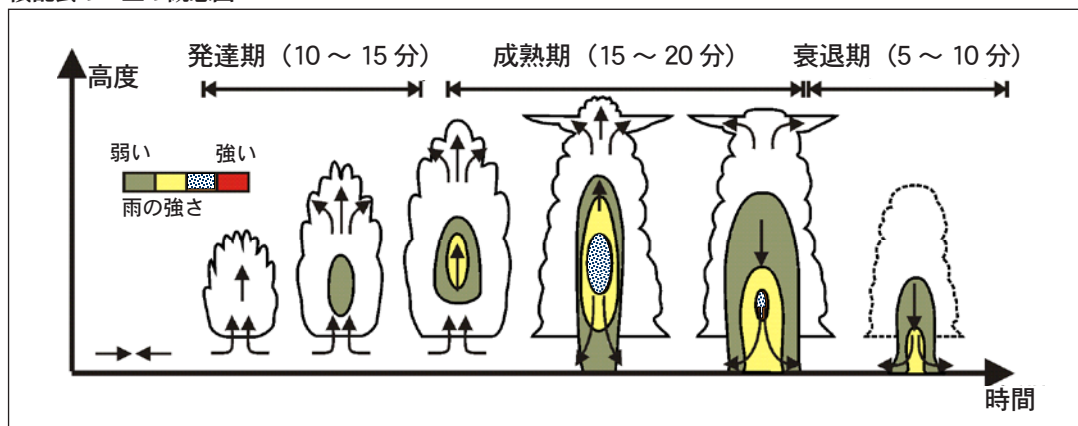
局地的な降雨観測・予測技術の動向

近年、我が国では、局地的に短時間に発生する激しい降雨が多くなっており、このような降雨による災害が発生している。局地的な豪雨は積乱雲によりもたらされるが、積乱雲は生成から降水にいたるまでが非常に短時間である。降雨の観測に有効な手段としてリモートセンシングの一つであるレーダーがある。現在、日本全土を広域的に観測しているレーダーとして、降水状況を監視する気象庁の気象レーダーと、河川や道路の管理を目的とした国土交通省のレーダ雨量計が運用されている。

また、近年研究開発されているレーダーには、マルチパラメーターレーダーや、フェーズドアレイレーダーがあり、前者のレーダーは正確な降雨量の観測により、また後者のレーダーはすばやい観測ができることにより、急速に発達する積乱雲の降雨観測に有効と考えられている。

気象現象は本来は物理法則に基づいて説明できるものであり、これを利用したものが数値予報であり天気予報の根幹を成す。しかし、実際の気象現象には多くの要因が作用するため、地球規模の気象現象の中のごく小さな局地的豪雨など範囲を絞っての予測は難しい。数値予報モデルの高度化は予報精度の向上につながるが、それだけでなく、より再現性の高い数値予報モデルを構築するために、実現象を忠実に数値予報モデルに反映することが必要である。そのためには降雨等のメカニズムの解明が重要である。今後、高精度の観測機器の整備とそれを用いた緻密な観測とデータの蓄積、それらに基づいて物理法則の表現を高精度に表した数値予報技術の研究開発の推進が必要である。

積乱雲の一生の概念図



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて一部修正

局地的な降雨観測・予測技術の動向

白石 栄一
社会基盤ユニット

1 はじめに

国連の IPCC（気候変動に関する政府間パネル）では、2007 年に第 4 次評価報告書を発表し、全ての大陸およびほとんどの海洋における観測結果から地球の気候システムの温暖化には疑う余地が無いことを報告している。温暖化の原因は人為起源の温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が高いとし、現在の気候変化の緩和政策および関係する持続可能な開発を継続した場合、世界の温室効果ガス排出量は今後数十年間増加し続け、その結果一層の温暖化の原因となり 21 世紀中に多くの気候変化を引き起こすこととなり、その規模は 20 世紀に観測されたものより大きくなる可能性が高く、たとえ全ての温室効果ガス濃度が安定化したとしても数世紀にわたって人為起源の温暖化や海面上昇が続くとしている。

この地球温暖化による気候変化により大雨の頻度が大いに増加したと報告されている¹⁾。我が国では統計期間が 30 年と短いために地球温暖化の影響とは言い切れないものの、1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨の発生回数は増加傾向にある。このような降雨は降り始めてから短時間に豪雨となるため、流出の早い都市河川や流域面積が小さく河川延長の短い河川では、洪水到達時間が短いことから急激な増水が生じ、大きな被害をもたらすことがある。2008 年に発生した兵庫県神戸市都賀川の急激な増水による水害や東京都豊島区下水道管内の急激な増水による水害などは顕著な例である。局地的な豪雨が発生した場合、下水施設の処理能力を超えた雨水が洪水となり、地下鉄や地下街などの地下空間が浸水し被害をもたらす。

このような地下施設に対する浸水被害の危険性は増している。この種の被害に対する警鐘を訴えるべく、大規模水害を対象としているが、2009 年 1 月 23 日中央防災会議は、埼玉県・東京都を流れる荒川が 200 年に一度の発生確率の洪水を起こし、東京都内で荒川右岸部の堤防が決壊した場合には、都心部の地下鉄路線の多くが浸水するケースがありえると発表した²⁾。

大雨をもたらす気象要因としては、台風や低気圧・梅雨前線・秋雨前線等多くの要因があるが、本稿では特に夏季に前線に伴い発生する積乱雲がもたらす局地的な大雨に関する観測と予測技術について述べる。なお、積乱雲は雷を伴うことが多いが雷害については科学技術動向誌 2007 年 4 月号「安全安心な社会構築に忘れてはならない雷害リスク対策」を参照されたい。

2 近年の降雨の特徴

世界的な降雨の変化は、気象庁気象研究所「地球温暖化の基礎知識」によると、過去約 50 年の観測データが存在する世界の陸域の多くで、大雨日（日降水量の年間上位 5%）の降水量の、年間総降水量に占める割合が増加する傾向にあり、

特に近年明瞭である。総降水量が減少している地域においても大雨頻度が増加する気象現象傾向にあるとされている³⁾。

日本国内の降雨の特徴について目を移してみると、日本でも局地的な豪雨が多発する傾向にある。

図表 1 はアメダス観測による 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生件数を表したものである。アメダスの観測地点数は 1976 年当初は約 1100 地点であったが、1979 年には約 1300 地点に増えた。図表 1 では、年による地点数の違いの影響

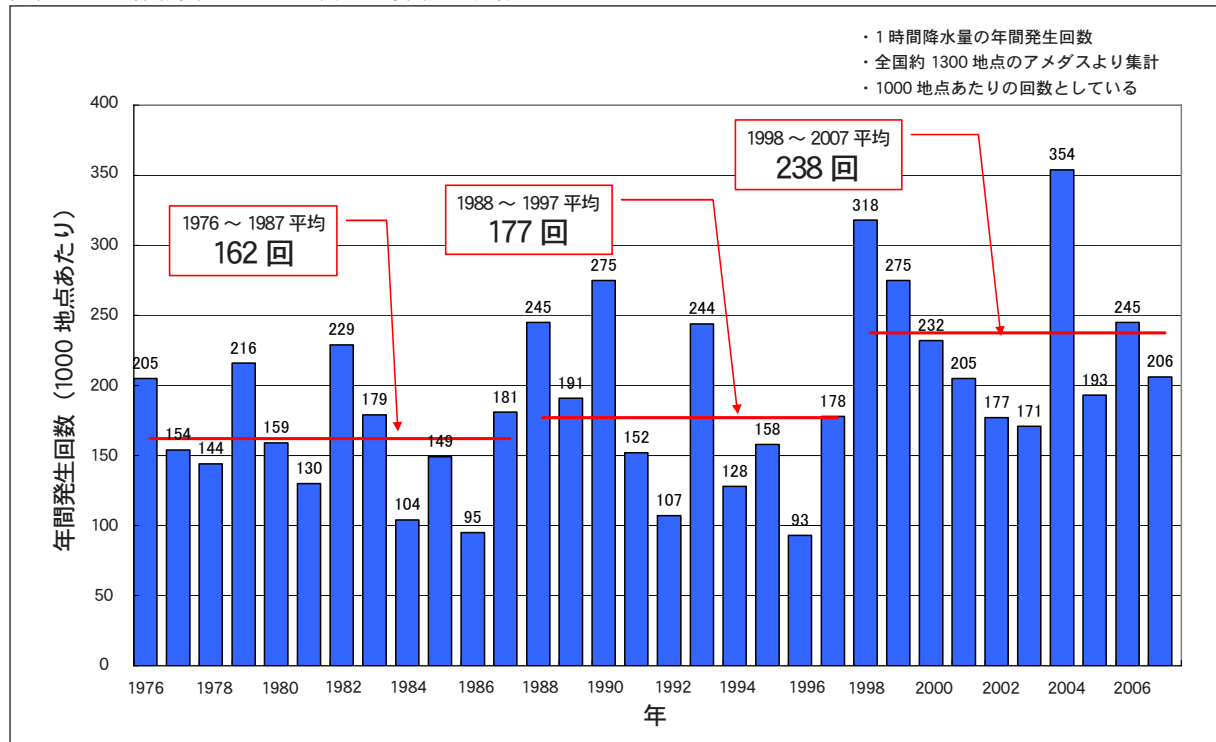
を排除するため、年ごとの発生件数を 1000 地点あたりの回数に換算している。最近 10 年(1998～2007 年)を 30 年前(1976～1987 年)と比較すると、豪雨の頻度は約 1.5 倍に増

えている。気象庁の雨の強さと降り方の区分では、時間雨量 50mm は非常に激しい雨で、都市部では地下室や地下街に雨水が流れ込む場合があり多くの災害が発生する恐れ

がある雨とされている。

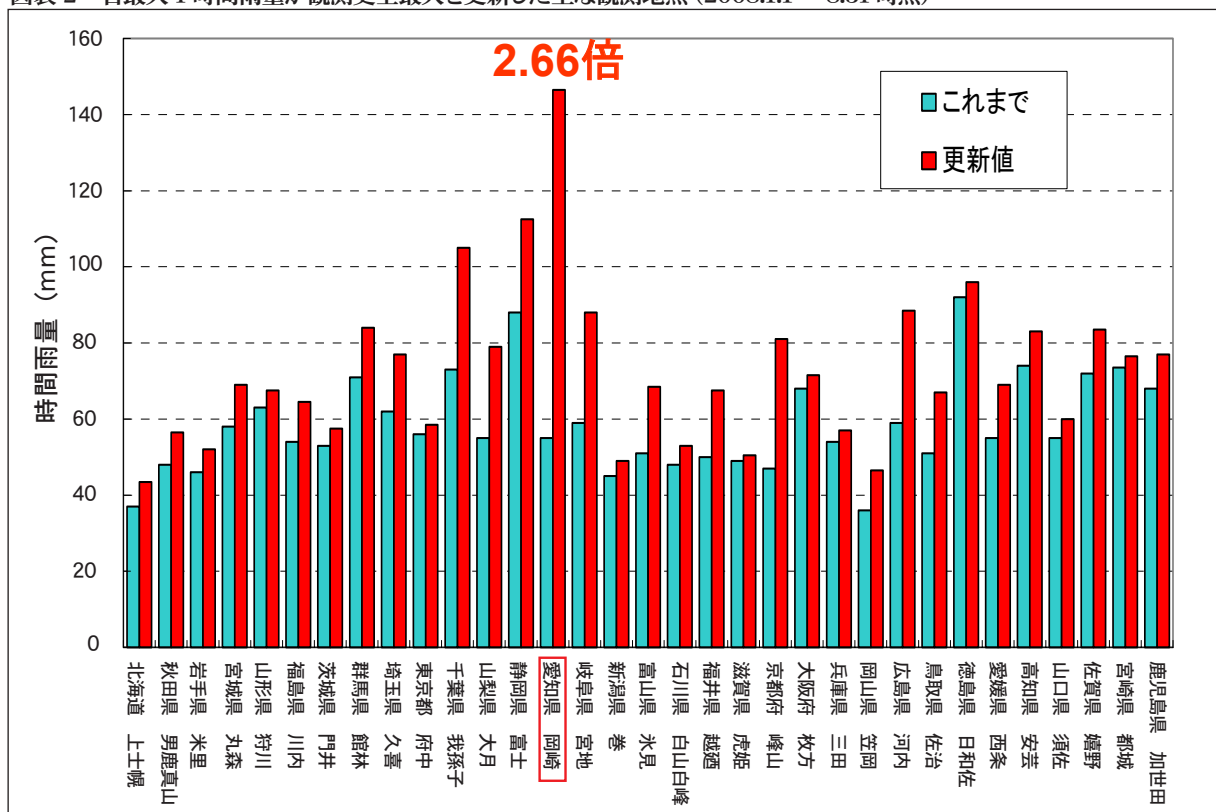
図表 2 は、2008 年 1 月 1 日から 8 月 31 日の間で、日最大 1 時間雨量が観測史上最大を更新した主な観測地点である。これを見ると全国

図表 1 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数 (1000 地点あたり)



出典：参考文献⁴⁾

図表 2 日最大 1 時間雨量が観測史上最大を更新した主な観測地点 (2008.1.1～8.31 時点)

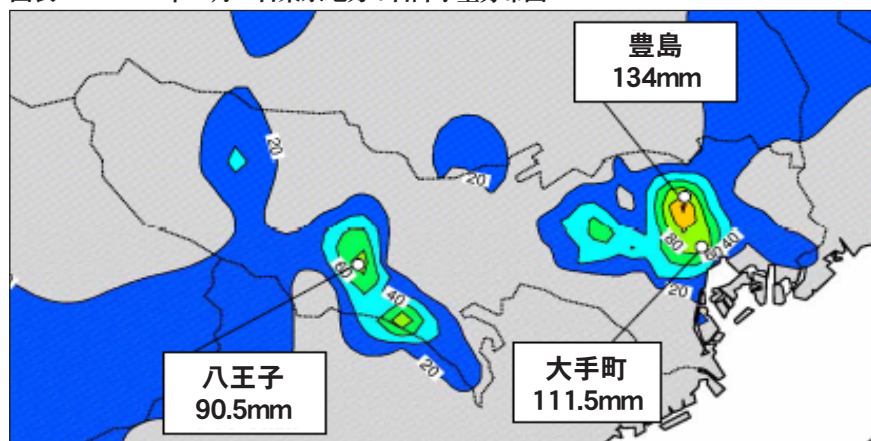


出典：参考文献⁵⁾

各地で豪雨が発生している。例えば、2008年8月5日の昼前から、東京都内では局地的に雷を伴った非常に激しい雨が降り、大雨となった。豊島区では、下水道工事の作業員が流され5名の方が亡くなるという被害が発生した。このときの気象状況は次の通りであった。5日の関東地方には、前線が停滞し、南から湿った空気が流れ込んで、大気の状態が非常に不安定になっていた。このため、関東地方の各地で積乱雲が発生した。東京23区西部で昼前に発生した積乱雲は、範囲を広げ発達しながら北西へ移動したが、その後も南から次々と積乱雲が北上し、東京23区西部や多摩南部を中心に非常に激しい雨が降り、図表3のように局地的な豪雨となった⁶⁾。積乱雲は、地上で空気が熱せられたり、前線付近など上空に寒気が存在する場合に発生しやすい。この降雨は、前述の気象状況にもあるとおり、前線で発生した積乱雲によりもたらされたものである。図表4に、8月5日午後0時の気象衛星画像を示す。

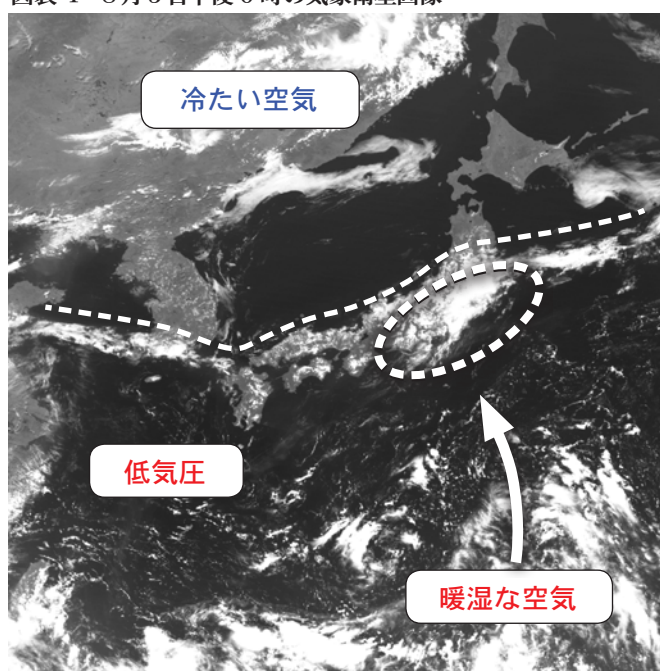
2008年7月末から9月初めにかけて各地で局地的な大雨が観測されたことについて、気象庁は次のように発表した。例年はシベリア上空を吹く偏西風が日本列島側に大きく蛇行し上空に寒気をもたらし、東海上から下層に暖かく湿った気流(暖湿流)が本州付近に流れ込んだ影響で大気の状態が不安定になり、発達した積乱雲によって局地的に短時間に非常に激しい雨が観測された日があった。偏西風の蛇行の原因として、春に東シベリアの気温が高くと、その夏に東アジアで偏西風が

図表3 2008年8月5日東京地方の日降水量分布図



出典：参考文献⁶⁾

図表4 8月5日午後0時の気象衛星画像



出典：参考文献⁷⁾

蛇行しやすいとの研究結果があり、その影響が現れた可能性がある⁸⁾。

図表5は2008年の局地的な豪雨による主な被害をまとめたものである。7月28日には、兵庫県都賀川流域に非常に強い降雨が発生し、都賀川の10分間に1.34mという急激な水位上昇により、学童

保育の児童を含む5名が流された。積乱雲によりもたれられる降雨は、降り始めてから短時間に豪雨となるため、流出の早い都市河川や流域面積が小さく河川延長の短い河川では洪水到達時間が短いことから、急激な増水が大きな被害をもたらす。

図表5 2008年主要な局地的豪雨による主な被害状況

年月日	人的被害				住家被害					崖くずれ
	死者	行方不明者	負傷者		全壊	半壊	一部破損	床上浸水	床下浸水	
			重症	軽症						
7月28日	6		1	12	6	16	61	536	2464	
8月5日	5							54	153	
8月末	3			3	5	1	18	1678	8071	178

参考文献⁹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

3 豪雨をもたらす積乱雲

3-1

積乱雲の発達過程

豪雨をもたらす積乱雲の発達過程について、図表 6 に概念図を示す。

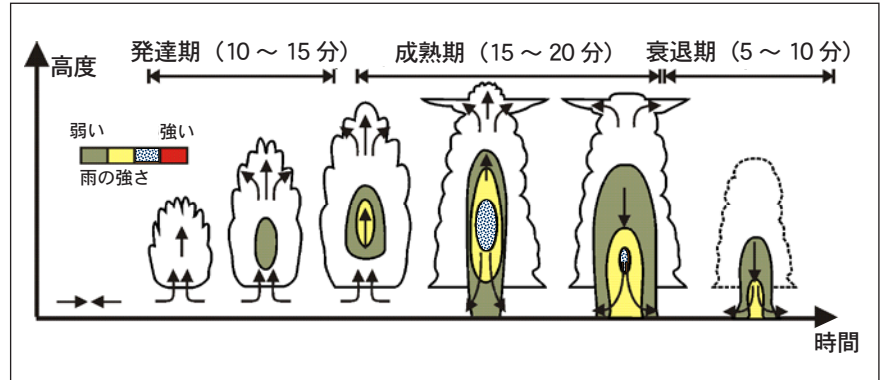
図表 6 中の雲(積乱雲)の中の色の濃い部分が降雨をもたらす降水セルと呼ばれる部分である。発達期は上昇気流により雨粒が発生しても降水は起こらない。成熟期になると雨粒が大きくなり落下を始め、抵抗力によりまわりの空気もひきずりおろし下降気流となり、やがて減衰期を迎え降水セルは消滅する。特徴的なことは積乱雲が生成を始めてから降水が始まるまでの時間が非常に短時間であることである。

3-2

マルチセル型

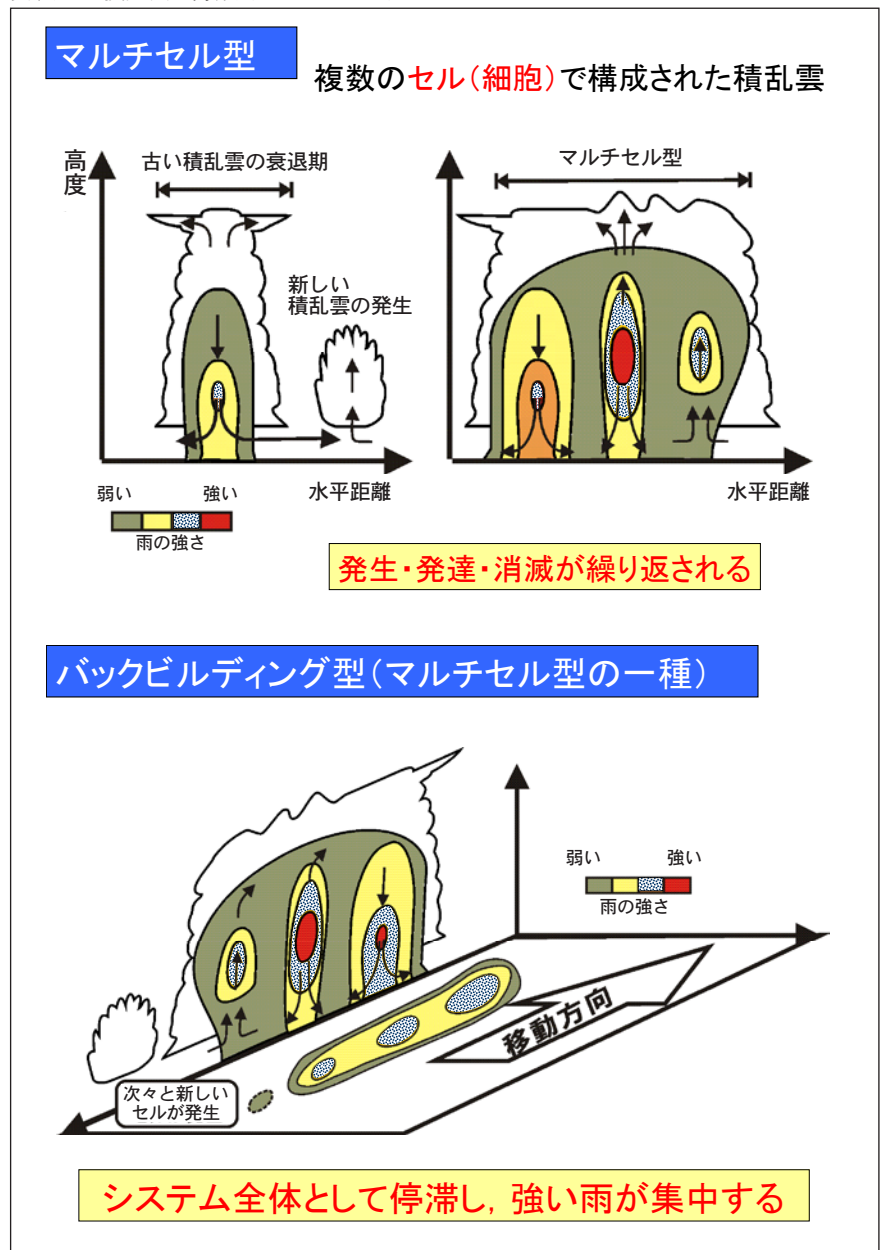
複数の降水セルで構成された積乱雲をマルチセル型と呼ぶ。マルチセル型のうち、複数の降水セルが規則正しく並び、順番に発達、成熟、消滅を数時間に渡り繰り返すものを「組織化されたマルチセル型」と呼んでいる。さらに組織化されたマルチセル型のうち、降水セルが移動方向の後端に次々と作られるものを特に「バックビルディング型」と呼んでおりこれが日本で集中豪雨時によく見られる積乱雲のパターンである。

図表 6 積乱雲の一生の概念図



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて一部修正

図表 7 積乱雲の分類(マルチセル型)



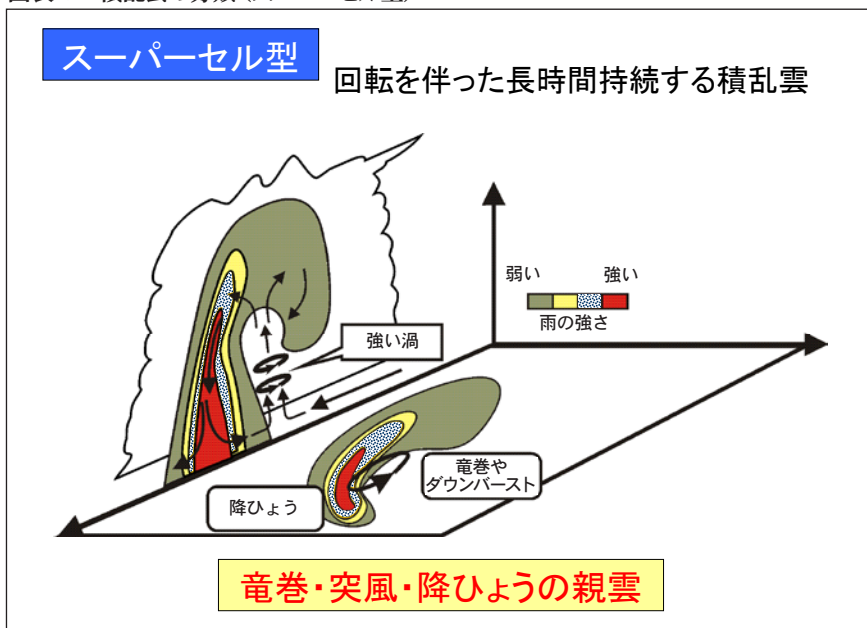
参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて一部修正

3-3

スーパーセル型

回転を伴った長時間持続する積乱雲をスーパーセル型と呼ぶ。竜巻・突風・降雹の親雲となるものであり、激しい気象現象を発生させる。単一の降水セルからなるが、大きさはマルチセルと同等である。

図表 8 積乱雲の分類（スーパーセル型）



参考文献⁷⁾を基に科学技術動向研究センターにて一部修正

4 降雨の観測

局地的な豪雨をもたらすメカニズムなどについては、これまで見てきたように解明が進んでいるが、現状では直前予測することはなかなか難しく、現象の実態をより精度良く把握することが必要であり、そのため、局地的豪雨やその周辺の、あるいは関連する現象を的確に把握する「観測」が必要で、その技術開発が進められている。

し、電波の往復する時間から距離を測定し、受信電力から雨量強度を測定している。なお、降雨による電波の散乱と吸収により電波は弱くなる。これを降雨減衰と言います。周波数によりその度合いは異なり、周波数が高いほどその減衰度合いは大きくなる。また、雨滴から反射して返ってくる電波の強

度は、単位体積中のそれぞれの雨滴粒径の6乗の総和に比例しており、これをレーダー反射因子(単位: mm^6/m^3)と言う。

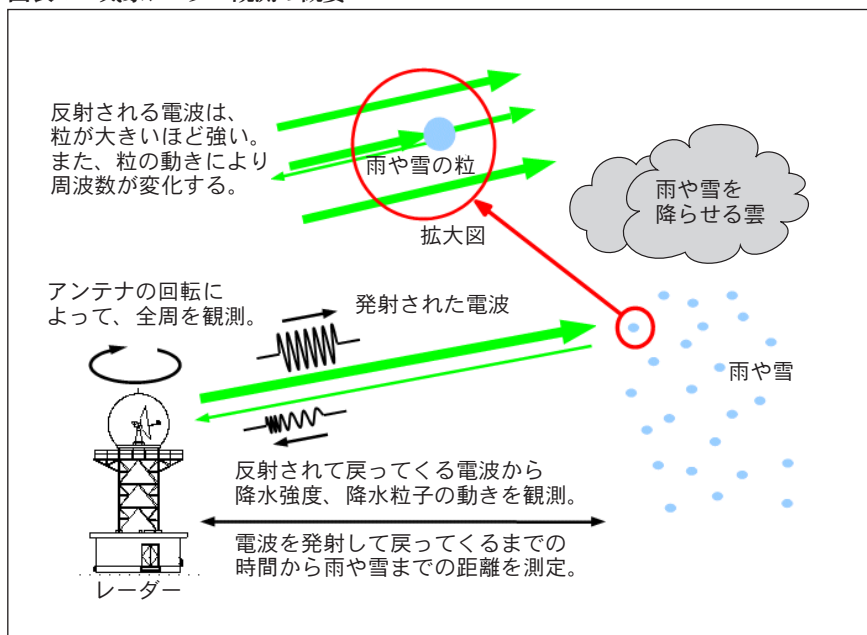
レーダーの送信電波としては、数 MHz から 100GHz に至る広い範囲の周波数が用いられている。電波伝播およびレーダー動作の基本原理は周波数によらず同じであ

4-1

レーダーによる降雨観測

降雨を観測する最も有効な手段としてレーダーがある。レーダー(radar)は Radio Detection And Ranging の略称であり、電波による探知と距離の測定を行う装置である。レーダーによる降雨の観測は、一般的には回転するアンテナから指向性を持ったパルス状の電波を発射し、雨滴に当たり散乱して返ってくる電波(レーダーエコー)を再び同じアンテナで受信

図表 9 気象レーダー観測の概要



出典：参考文献¹⁰⁾

図表 10 気象レーダーの周波数帯

代表周波数	代表的な波長	周波数帯	最大観測距離	バンド	特 徴
2.8GHz	10.7cm	2.7 ～ 3.0GHz	200km 程度以上	S	降水による電波の減衰が少ない。主に広域の降水観測に用いられる。観測範囲は 800km も可能。
5.3GHz	5.7cm	5.25 ～ 5.35GHz	200km 程度	C	降水観測に利用。2.8GHz 帯レーダーに次いで降水による電波の減衰が少ない。
5.6GHz	5.4cm	5.60 ～ 5.65GHz	同上		
9.5GHz	3.2cm	9.3 ～ 9.7GHz	60km 程度	X	降雨・降雪観測に利用。強雨時には電波の減衰が目立ってくるため広域観測には不向き。装置構成が比較的小規模で安価。
13.8GHz	2.2cm	13.8GHz	衛星搭載	Ku	
35GHz	0.86cm	34.5 ～ 35.5GHz	30km 程度	Ka	降水による電波の減衰が大きいため降雨観測には不向き。粒径が小さい雲や霧の観測に威力を発揮する。
95GHz	0.32cm	94.5 ～ 95.5GHz	10km 程度	W	

参考文献¹¹⁾を基に科学技術動向研究センターにて作成

るが、レーダー構成および観測対象物は、周波数によって大きく変わる。基本的には、遠距離の大きな標的には長い波長すなわち低い周波数が適しており、近距離の微小な標的の検出には短い波長、すなわち高い周波数が適している¹¹⁾。図表 10 に降水観測用の気象レーダーに使われる周波数帯とその特徴を示す。

(1) 2.8GHz 帯レーダー (S バンドレーダー)

この周波数帯は降水による電波の減衰が少なく観測距離も長い。降水量が多く、海洋が多いなどにより地形的に多数のレーダーが設置できない、比較的低緯度の地域(熱帯域)で多用されている¹¹⁾。我が国では、かつて富士山レーダーで海上の台風の観測のためにこの周波数帯が用いられ、その観測範囲は 800km に及んでいた。現在は、気象衛星により台風等の広域観測を行っているため、この周波数帯での気象観測は行っていない。

(2) 5.3GHz 帯レーダー (C バンドレーダー)

2.8GHz 帯気象レーダーの次に降雨減衰が少なく、中緯度帯の各国や欧州で多く使われている¹¹⁾。我が国では気象庁の「気象レーダー」や「レーダ雨量計」と呼ばれる国土交通省河川局・道路局が設置する

レーダーに用いられている。

気象庁は降水状況を監視するため、日本全国に 20 基のレーダーを配置している。エコー強度を観測し降水観測を行う標準気象レーダーが 9 基であり、残りの 11 基はドップラーレーダーの機能を備えている。2008 年度にはさらに 5 基のドップラー化に着手した。ドップラーレーダーでは、電波のドップラー効果を利用して降水粒子の移動速度を求めることにより、降水域内のきめ細かな風の三次元分布を捉えることができる。観測された情報は竜巻注意情報の発表にも利用され、数値予報モデルなどにも利用されている。降水観測範囲は半径 400km、観測間隔は 10 分間隔であり、平面的分解能は 1km メッシュである。レーダー雨量観測値の補正は地上雨量計のデータにより行っている。なお、2009 年 7 月からは観測間隔を 5 分間とする予定である。

レーダ雨量計は国土交通省が河川や道路の管理を目的として全国に 26 基を設置している。観測範囲は半径 200km から 300km、半径 120 キロまでの範囲では定量的雨量観測が可能である。降雨強度は 1mm/h から 250mm/h までの観測が可能。レーダー雨量観測値の補正は地上雨量計のデータにより行っている。観測間隔は 5 分間隔であり平面分解能は 1km メッシュ

である¹²⁾。

レーダ雨量計から得られた情報は、国土交通省が保有する防災情報とともに、「国土交通省防災情報提供センター」¹³⁾(運営主体：気象庁)のホームページで見ることが出来、気象レーダーで得られた情報はその他多くの気象情報とともに、気象庁のホームページを通じて公開している。また、レーダ雨量計の観測データは気象庁の気象レーダーの観測データとともに「解析雨量」¹⁴⁾として降水短時間予報や降水ナウキャストの予測処理に利用されている。

(3) 9.5GHz 帯レーダー (X バンドレーダー)

この周波数帯のレーダーは強雨時には電波の減衰が目立ってくるため、広域の降水観測には不向きである。しかし、装置構成が比較的小規模なため、気象観測以外に船舶レーダーなどで多く使用されている。ほかの周波数帯に比べると安価で構成できることから、研究用途での運用例も多い¹¹⁾。また、東京都・埼玉県・横浜市・川崎市・大阪市・神戸市の都市部の自治体において集中豪雨時等の場合に、的確な下水道施設管理や早期防災体制を確立するため、レーダーによる降雨観測を実施している。特に、都市部の自治体が独自に降雨観測を行うのは、都市型水害に対

処するため、きめ細かな降雨情報を必要としているためである。これらの情報は、各自治体のホームページなどを通して住民向けの防災情報としても公開されている。

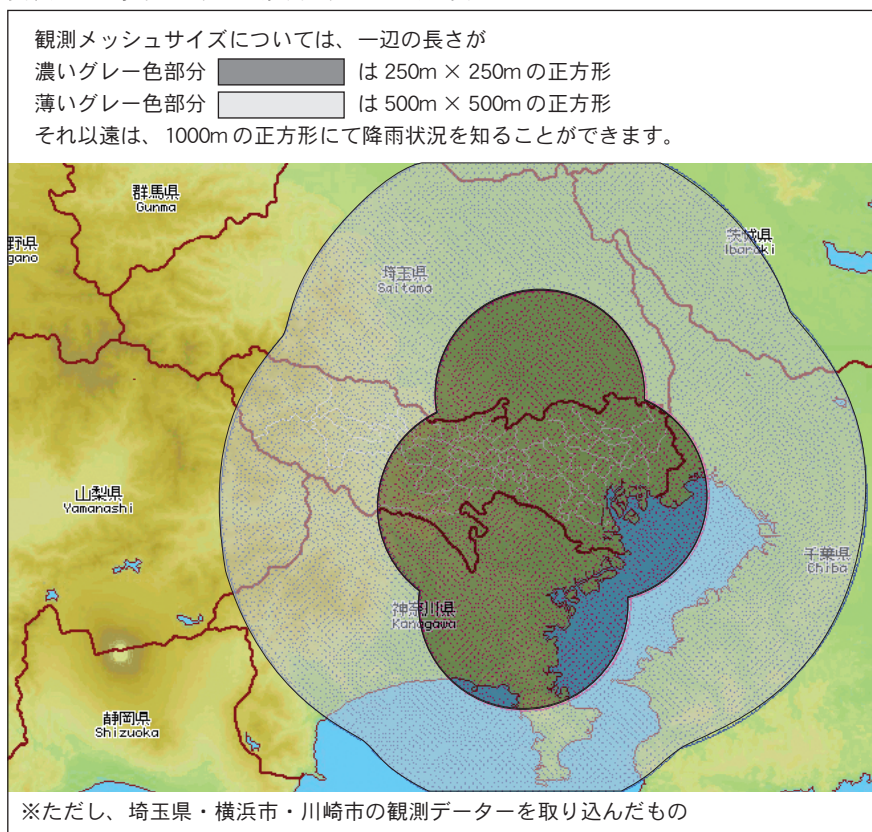
次に東京都の東京アメッシュを一例として示す¹⁵⁾。これは、東京都下水道局がポンプ所や水再生センターなどの下水道施設の管理のため、1988年度より導入しているものである。現システムは、2001年度に更新したもので、2基のレーダー基地と、レーダー観測値補正のための86台の地上雨量計、端末局で構成されている。2007年度より、東京都・埼玉県・横浜市・川崎市は、各自治体の降雨情報を相互利用し表示範囲の広域化と精度の向上を図っている。図表11の観測範囲図に示すように観測メッシュは中心から250mメッシュ、500mメッシュとなっておりきめ細かく雨量情報を取得している。この降雨情報は、東京都下水道局のホームページで公開されている。

(4) 35/95GHz 帯レーダー (Ka
バンド・Wバンドレーダー)

この周波数帯は降水による電波の減衰がさらに大きいため、降雨観測には適していないが、粒径の小さい雲や霧の観測に威力を発揮する¹¹⁾。

3章で述べたような積乱雲がもたらす降雨は雲が出来始めてから短時間で激しい降雨が始まる。そのため、雲を捉えることのできるこの帯域のレーダーでの監視が威力を示す。しかし、このレーダーは観測半径が30km程度と小さいため、実運用を考えた場合レーダー設置数が多くなるという課題がある。(独)防災科学技術研究所では2000年にこのレーダーを完成させ、積乱雲などの雲発達過程や人工降雪の研究を行っている¹⁶⁾。

図表 11 東京アメッシュ観測メッシュサイズ図



出典：参考文献¹⁵⁾

4-2

新たな方式のレーダー観測

5.3GHz 帯の電波を用いた気象レーダーやレーダ雨量計、あるいは、9.5GHz 帯の電波を用いた自治体の下水道施設管理用途のレーダーは降雨観測方式という意味では同じであり、雨滴にあたり散乱して返ってくる電波の振幅情報（反射因子）から降雨強度を観測する方式である。この方式は基本的に精度確保のため地上雨量計との相関をとる必要があり、10 ～ 15 分程度を要する。積乱雲がもたらす降雨は 10 ～ 15 分という短時間に豪雨となることから検出時間の短縮が求められるが、その解決策としてマルチパラメーターレーダーが研究開発されている。

従来の気象レーダーは1種類の電波を発射し、雨に当たって帰ってくる電波の振幅情報を測定し、降雨強度を推定している。これに

対してマルチパラメーターレーダーは電波を発射し雨に当たって返ってくる２種類の電波の振幅情報の差や位相情報を測定することにより降雨に関する数種類のパラメーターを一度に取得できる観測方式である。水平と垂直の２種類の偏波を使用する方法、 45° 直線偏波を送信して水平と垂直の偏波を同時受信する方法、あるいは波長の異なる２種類の電波を用いる２波長レーダーがある。

一例として、(独)防災科学技術研究所が2000年に開発した水平と垂直の偏波を用いた二重偏波方式のマルチパラメーターレーダーを紹介する¹⁶⁾。図表12のように降雨が強くなると雨粒も大きくなり、落下時の空気抵抗により形状が円形から扁平になる。形状の変化は、水平と垂直の偏波では散乱特性が異なることから、レーダー反射因子や位相に差が生じることになる。反射因子の差から反射因子差 Z_{DR} が求められ、また、位相差から比偏波間位相差 K_{DP} が求められる。

これらより、雨滴の粒径分布に関する詳しい情報が得られ、降雨強度をより精度良く推定することができる。反射因子差 Z_{DR} は水平と垂直の偏波の強度差から求めるため降雨減衰の影響を受けるが、比偏波間位相差 K_{DP} は位相差から求めるため電波が降雨減衰することの影響を受けることがない。

図表 13 は従来レーダーによる反射因子(Z_H)から求めた雨量強度($R-Z_H$ 法という)とマルチパラメーターレーダーによる K_{DP} から求めた雨量強度($R-K_{DP}$ 法という)の地上雨量計との比較である。 $R-Z_H$ 法はレーダー反射因子に多数の降雨事例から求めた雨滴の粒径分布の定数をかけて降雨強度を求める。このため雨滴の粒径分布の変動に影響を受ける度合いが大きく、推定雨量強度には大きな誤差を生じやすい。それに対して、位相差から直接雨滴の情報を得る比偏波間位相差 K_{DP} を用いた $R-K_{DP}$ 法は雨滴の粒径分布にさほど影響されないという特徴がある。

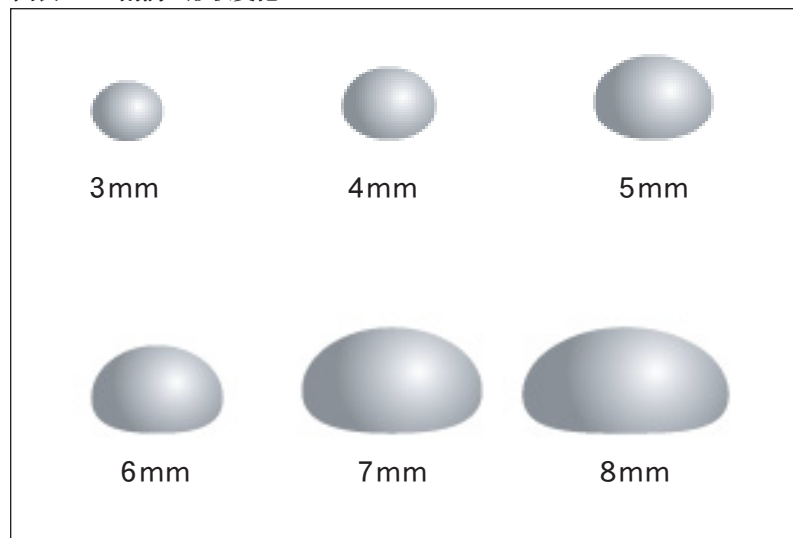
(a) のグラフは縦軸に $R-Z_H$ 法から求めた降雨強度と横軸に地上雨量計の降雨強度をとり比較したものである。各点のばらつきは、雨

滴の粒径分布の変動に影響を受ける度合いが大きいことをあらわしている。一方、(b) のグラフも同様に縦軸に $R-K_{DP}$ 法から求めた降雨強度と横軸に地上雨量計の降雨強度の比較であるが、(a) のグラフに比べて各点のばらつきが小さく、雨滴の粒径分布にさほど影響されないという特徴を表しており、レーダーから求めた雨量強度と地上雨量計の相関が良くとれている。マルチパラメーターレーダーは、レーダー観測から得られたパラメーターを用いて推定された雨量強度

をそのまま取り扱うことができるため、短時間に局地的に降る急激な降雨を正確に把握し対処することができる。

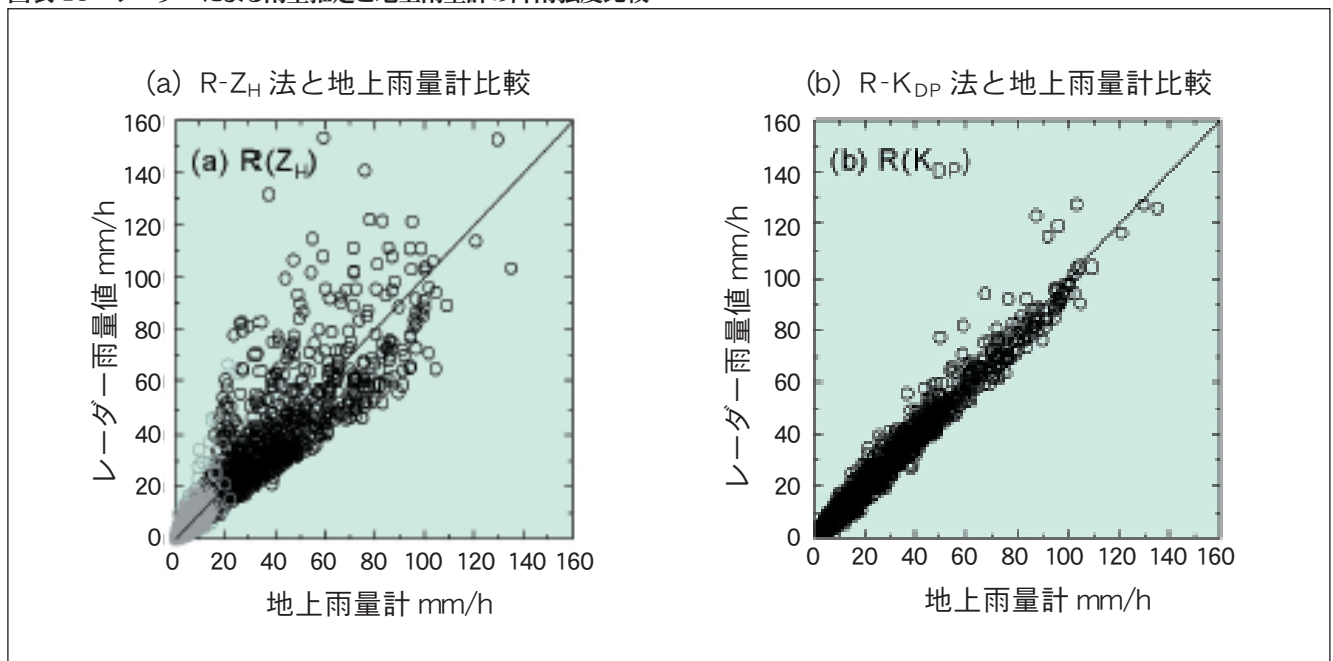
(独)防災科学技術研究所のマルチパラメーターレーダーは X バンドの周波数帯を用いている。従来の X バンド帯レーダーは降雨により電波が減衰してしまうため、強雨時の観測には不向きであったが、このレーダーは強雨時にも用いることができる。このマルチパラメーターレーダーの、観測範囲は 80km、平面分解能は 500m メッ

図表 12 雨滴の形状変化



出典：参考文献¹⁶⁾

図表 13 レーダーによる雨量推定と地上雨量計の降雨強度比較



出典：参考文献¹⁶⁾

シュ、観測間隔は5分間隔である。

一方、Cバンドの気象レーダーやレーダ雨量計を二重偏波化することも、短時間に発達する降雨の観測には有効な方策である。(独)情報通信研究機構では、2002年にCバンドによる偏波レーダー「沖縄偏波降雨レーダー(COBRA)」を開発し、観測と研究を続けている¹⁷⁾。レーダ雨量計は、九州地区のレーダー3基が、1994年から順次二重偏波化され、Z_{DR}方式による観測がされているが、その後の(独)防災科学技術研究所や(独)情報通信研究機構の二重偏波レーダーの開発等による技術の進展により、情報量が増え、精度向上も得られた。2008年度における、最初に二重偏波化されたレーダーの老朽化

による機器更新の際には、従来のZ_{DR}方式にK_{DP}方式を加えたレーダーを採用し、2011年度の実運用開始に向け2009年度より検証運用を開始する予定である。

また、従来の気象レーダーには、パラボラアンテナを機械的に回転させ、電波の発射角度を段階的変化させて立体的に観測しているため、観測には5～10分の時間を要するという時間の問題がある。突発的で局所的な大気現象の観測を行うため、高時間分解能の気象レーダーの開発が必要である。時間問題を解決するためには、電子的にビーム走査を行うフェーズドアレイ方式が有効である。この方式は、アンテナを固定したままで瞬時にビーム方向を切り替えるた

め、短時間での観測が可能となる。(独)情報通信研究機構は産学官連携体制によって、30km四方の範囲を空間分解能100m以下で10秒以内に立体的に観測することのできるフェーズドアレイ・レーダーを、2008年度より5カ年で開発する計画である¹⁸⁾。

なお、国土交通省ではCバンドのレーダ雨量計による観測網と合わせて、局地的な大雨や集中豪雨が起った場合に大きな被害が想定される三大都市圏等に、Xバンドマルチパラメーターレーダーを整備し、2010年から豪雨の実況監視を強化し、河川管理に活用するとしている^{19), 20)}。

5 降雨予測

気象庁では「降水短時間予報」と「降水ナウキャスト」の名称で、短時間の降水予測を行っている。降水短時間予報は、解析雨量から求めた雨域の移動速度に、地形による雨雲の発達や衰弱等を考慮した予測雨量と数値予報による予測雨量を組み合わせ、6時間先までの各1時間雨量を1kmメッシュで予測するものである。

降水ナウキャストはより迅速な情報として10分間隔で発表され、1時間先までの各10分間雨量を予報するものであり、降水短時間予報では捕らえられないような10～15分程度で短時間に発達する積乱雲による降水の監視に利用される。地形の効果や雲の発生・発達の効果は省略し、それによって観測から3分以内の発表を実現している²¹⁾。

降水短時間予報も降水ナウキャストも、現在の降水を元に今後の短時間の予報を行うものである。理想的には、降雨が発生する前に

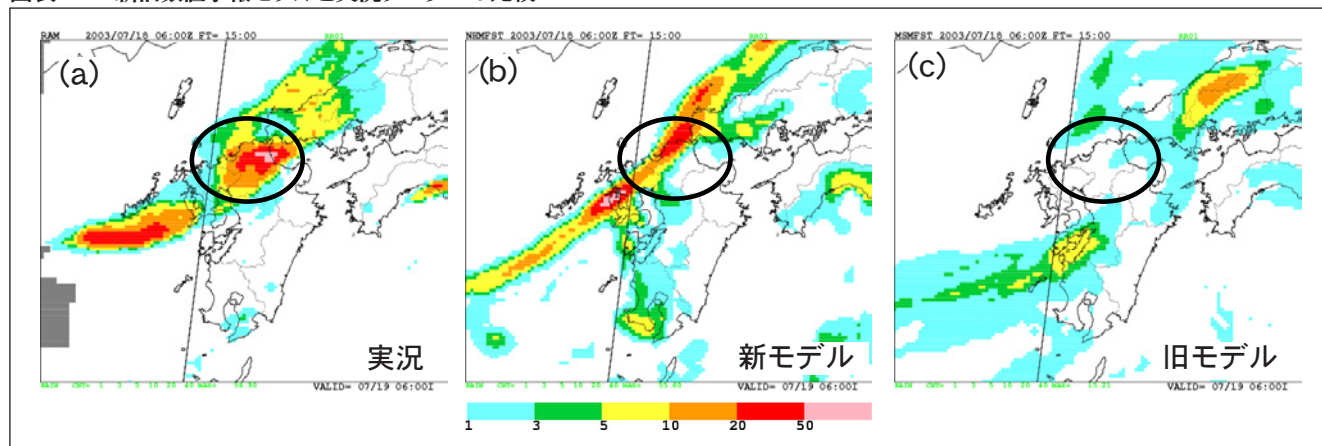
予報することが求められるが、現在は積乱雲の発生・発達・降水現象のメカニズムが完全には解明されていない。物理的に気象変化を予測していく数値予報技術では、県程度の広い範囲での発生可能性を予測することはできるが、いつ、どこでというような範囲を絞った予測は、現状では難しい。このため気象庁気象研究所では豪雨や豪雪、台風などのメソ現象の発現機構の解明と予測技術を高度化する研究を続けている。

近年の予測技術の高度化の例として、2006年3月にスーパーコンピュータの更新に伴う演算能力の向上とそれに伴い数値予報モデルの格子間隔を10kmから5kmに改良を行ったときの成果を示す。2003年7月19日5時ごろ福岡県太宰府市では、1時間に100mmを超える豪雨が観測された。図表14は、そのときの新旧数値予報モデルと実況データの比較図である。(a)は7月19日午前6時まで

の前1時間降水量の実況図(レーダー・アメダス解析雨量による)である。また、(b)と(c)の図はそれぞれ、7月18日午後3時を初期値とする19日午前6時の15時間予報を格子間隔5kmの新モデルと格子間隔10kmの旧モデルを示している。格子間隔10kmの旧モデルでは予測できなかった豪雨を、格子間隔5kmの新モデルでは予測することができ、実況に近づいており、精度の向上が見られる。この予測技術の高度化では、水平解像度を10kmから5kmに向上させるモデルの高度化とともに、大気の鉛直方向の運動の取り扱いと降水過程の精密化も図っている²²⁾。

このように数値予報モデルの高度化が、予報精度の向上をもたらす。数値予報モデルは大気を3次元的に格子状に分割し、格子の接点(格子点)に大気の状態を表す気圧・気温・風・水分量などのデータを与え、将来の大気の状態を予測する数値予報を行うための計算に

図表 14 新旧数値予報モデルと実況データとの比較



参考文献²²⁾を基に科学技術動向研究センターにて一部修正

用いるプログラムである。より再現性の高い数値予報モデルを構築するためには、まず、実現象を忠実に数値予報モデルに反映することが必要であり、そのためには降雨等のメカニズムの解明が必要である。

気象研究所では、局地的豪雨等が発生したとき、数値予報モデルを用い再現計算を行い、再現性の良い数値予報モデルを数値解析することによりメカニズムを解明し、数値予報モデルを高度化しようとする研究が行われている。また、数値予報を行うために、格子点に予報を開始する時点での気圧・気温・風・水分量などのデータを与える際には、直近の予報値と空間的・時間的に不均一な観測デー

タとを用いて、それぞれの誤差の大きさを考慮し、格子点データとして物理的整合性を持った最適な解析値を求める。このように、予測値と観測データの整合性を取り、数値予報モデルに取り込む技術が「データ同化」である。予報を開始する時点の状態(初期値)の正確さによって、数値予報モデルの予測の正確さが左右されるため、データ同化技術の高度化の研究も重要である。

数値予報モデルは、概ね格子間隔の5倍以上の気象現象を表すことができる。格子間隔を小さくすればより多くのことが表現できるようになる。しかし、気象現象の物理過程をそれぞれの格子間隔に見合う表現方法としなければ、格

子間隔を小さくしただけでは予報精度の向上にはつながらない。また、格子間隔を小さくすることは格子点数が増えるため、計算量も膨大となる。現在、気象庁が使用している数値予報モデルは格子点間隔5kmである。積乱雲は数kmから10km程度の大きさであるため、5km格子では十分に表現できない。気象庁では2011年にスーパーコンピュータを更新する計画があり、それにあわせて2012年を目途に、格子間隔を2kmとする局地数値予報モデルの運用開始を目指している²³⁾。観測機器の高度化、数値予報モデルの高度化と相まって、今後局地的降雨現象が予測できる可能性は高まっている。

6 おわりに

地球温暖化により、大雨の発生は増えることが懸念される。内閣府をはじめ降雨災害に係る防災対策を所掌する行政機関や研究機関は連携して、降雨観測技術を高度化し防災対策を強化していくことが求められる。

本来、気象現象は物理法則に基づき説明できるものである。これを利用したものが数値予報であり天気予報の根幹を成すものである。

しかし、実際の気象現象には多くの要因が作用するため、大きな大気現象の中のごく小さな局地的豪雨は、実現象を数値予報で再現できていない。これに対応するためには、高精度の観測機器の整備とそれを用いた緻密な観測とデータの蓄積、それらに基づいて物理法則の表現を高精度に表わすことのできる技術の研究開発の推進が必要である。

謝辞

本稿を執筆するにあたり、気象庁総務部 企画課 横山博技術開発調整官、後藤進調査官、予報部予報課 郷田治稔課長補佐、業務課 細見卓也係長、観測部観測課 水野量課長補佐、気象研究所 気象衛星・観測システム研究部 石原正仁部長、予報研究部 中村誠臣第一研究室長、企画室 西宮隆仁課長補佐、(独)防災科学技術研究所 水・

土砂防災研究部 三隅良平主任研究員、(独)情報通信研究機構 電磁波計測研究センター 環境情報センシング・ネットワークグループ 佐藤晋介主任研究員には貴重なご意

見、ご助言ならびに資料を提供いただきました。国土交通省 九州地方整備局 河川管理課 鶴木和博課長補佐、東京都下水道局 施設管理部 施設管理課 大橋秀郎係長には

貴重な資料と情報をご提供いただきました。ここに関係の皆様께 厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) IPCC 第4次評価報告書、統合報告書、政策決定者向け要約、文部科学省・経済産業省・気象庁・環境省(2007) : <http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/interim-j.pdf>
- 2) 荒川堤防決壊時における地下鉄等の浸水被害想定公表について、内閣府記者発表 2009年1月23日 : http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/090123/090123_kisya.pdf
- 3) 地球温暖化の基礎知識、気象庁気象研究所、2008年 : <http://www.mri-jma.go.jp/Dep/cl/cl4/ondanka/text/ondan.pdf>
- 4) 気候変動監視レポート 2007、気象庁 2008年3月 : http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/2007/pdf/CCMR2007_all.pdf
- 5) 中小河川における局地的豪雨対策 WG (第1回)資料、国土交通省、2008年9月24日
- 6) 平成20年8月5日の大雨に関する東京都気象速報、東京管区气象台、2008年8月6日
- 7) (独)防災科学技術研究所資料
- 8) 「平成20年8月末豪雨」等をもたらした大気の流れについて、気象庁報道発表資料、2008年9月12日
- 9) 災害情報詳報、総務省消防庁
- 10) 気象レーダー観測の概要について、気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/radar/kaisetsu.html>
- 11) 深尾昌一郎、浜津享助「気象と大気のリモートセンシング」京都大学学術出版会 2005年
- 12) 実務技術者のためのレーダ雨量計講座、(財)河川情報センター : <http://www.river.or.jp/reda/index.html>
- 13) 国土交通省、防災情報提供センター : <http://www.bosaijoho.go.jp/>
- 14) 解析雨量、気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kurashi/kaiseki.html>
- 15) 東京アメッシュ、東京都HP : <http://tokyo-ame.jwa.or.jp/>
- 16) Xバンドマルチパラメーターレーダーによる降雨観測、(独)防災科学技術研究所HP : http://www.bosai.go.jp/kiban/radar/pdf_file.htm
- 17) 中川勝広、花戸弘、佐藤晋介、井口俊夫、沖縄偏波レーダー (COBRA) の開発、通信総合研究所季報、Vol.48、No.2、2002年6月号 : <http://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihoun-journal/kihounvol48-2.htm>
- 18) (独)情報通信研究機構「次世代ドップラーレーダー技術の研究開発」 : http://www2.nict.go.jp/q/q265/s802/info/20080523koubo/theme_b003_koubo.pdf
- 19) 中小河川における局地的豪雨対策 WG (第3回)資料、国土交通省、2008年12月1日
- 20) 「ゲリラ豪雨見逃すな」、朝日新聞、2009年1月7日
- 21) 気象ガイドブック 2007、気象庁、2007年3月31日
- 22) 防災気象情報用に新しい数値予報モデルを導入します、気象庁、報道発表資料 2004年7月22日 : <http://www.jma.go.jp/jma/press/0407/22a/suchimodel.pdf>
- 23) 「ゲリラ豪雨つかめ、気象庁、12年目途に予報モデル」、アサヒ・コム、2008年8月15日 : <http://www.asahi.com/eeco/TKY200808150217.html>

執筆者プロフィール



白石 栄一

社会基盤ユニット

科学技術動向研究センター 上席研究官

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

国土交通省にて河川部門の調査・設計・管理などに従事。科学技術動向研究センターでは、社会基盤分野を担当。