

水工学シリーズ 10-A-4

都市水害対策における気象情報

一般財団法人日本気象協会 営業部 部長代理

櫻井 康博

土木学会
水工学委員会・海岸工学委員会

2010年8月

都市水害対策における気象情報

Weather Information for Countermeasures against Urban Water Damage

櫻井 康博

Yasuhiro SAKURAI

1. はじめに

近年、地球温暖化など規模の大きな気候変動に伴い、より日常生活に身近な集中豪雨など局地的豪雨の増加の可能性が指摘されている（文部科学省、気象庁ほか 2009）。しかしながら、個々の特定の都市のみの観測値を抽出した場合、必ずしも記録破りの大雨が統計学的な有意性を持って増加していないケースもあるのが実態である。これは、極端な現象であればあるほど、そのイベントの出現頻度は稀であることから、単純に個々の地点のみのデータを解析しただけでは、極端現象の変化傾向は見いだせないことを物語っている。このような問題の解決方法と、日本国内における近年の大雨の出現頻度の傾向について 2 章で述べる。

局地豪雨に伴う都市水害を減少させるためには、ハード対策もさることながら、豪雨を正確に把握し事前避難や止水版設置などの対策をとることが重要である。3 章では、一般的な気象予測技術について解説した後、都市水害をもたらすような局地豪雨の予測について、近年、技術革新がめざましい「データ同化手法」に焦点をあて、降雨の予測技術について紹介する。

なお、いかに正確な情報であっても、最終的な情報の受け手である住民へ確実に伝えられない限り、情報は有効に機能しない。リアルタイムの気象情報は、特に戦後、テレビの普及とともに様々な中継が試みられ、茶の間にも届けられるようになった。また近年は、防災行政無線の他、インターネットや携帯電話に代表される新しいメディアを活用した様々なルートによる情報伝達もなされている。その一方、多くの住民はテレビを情報入手の「拠り所」としている。しかしながらテレビの特性上、一度に流せる情報量は限界があることから、より「きめの細かな」情報をいかに伝えるかが課題となっている。このためテレビやラジオのような既存メディアと携帯やワンセグ・インターネットといった新しいメディア双方の特性を活かした「クロスメディア」の考え方に関心が集まっている。4 章ではこのような現状を踏まえたうえで、情報伝達の「あり方」における課題を整理する。

2. 近年の豪雨の特長

(1) 大雨の変化傾向 ～過去の観測結果と将来像について～

大気現象の中でも災害をもたらすような大雨は、他の自然現象と比較して発生頻度も高く影響を及ぼす地域も広いことから、気象のみならず土木をはじめとする多くの分野の関係者が大雨の変動度に対する関心を示している。こうした社会的背景の中、気象庁は 1974 年に異常気象レポートを刊行、以降、国内外の異常気象に関する科学的知見をまとめてきたが、特に数十年に一度程度の発生頻度である極端な大雨は、データ蓄積が十分でないこともあって、増強程度については様々な説が論じられていた。その後、データ蓄積が進んだ後、Iwashima ら (1993) は、日本国内 55 カ所の 100 年間の日降水量の年最大値のデータをノンパラメトリック手法による解析を試み、過去 100 年において、日降水量の年最大値の記録更新頻度は高まりつつあることを示した。この結果は、当時の IPCC の第二次評価報告書にも引用されている。海外でも、過去の観測データに関して様々な解析が試みられ、例えば Karl(1995)らは 20 世紀の世界各地の気象記録を解析、

一定以上の大雨頻度が増えている可能性を明らかにした。

その後、気象庁や国土交通省など日本の公的機関も、国内観測地点の過去の雨量データを解析し、大雨の変化傾向を調査しレポート等で公表している。図 2.1 および表 2.1 は、その一例である。これより、日本国内の日降水量 100mm 以上および 200mm 以上の日数は、過去 100 年の間に統計学的に有意性をもって増加していることがわかる。

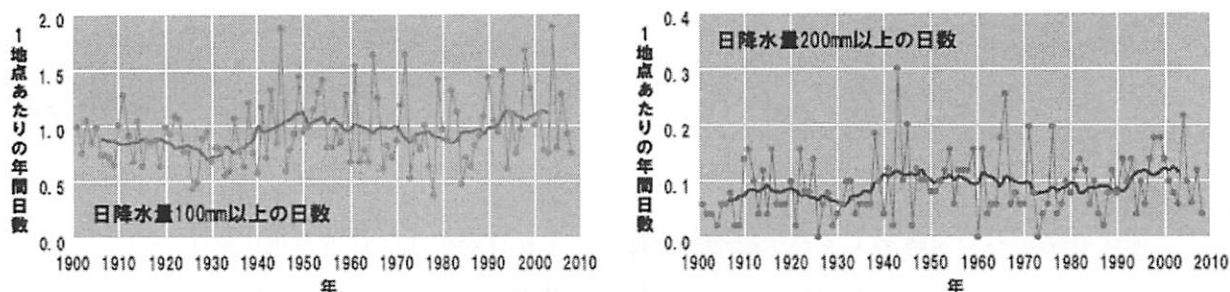


図 2.1 日降水量 100mm 以上（左）と日降水量 200mm 以上の年間日数の経年変化
国内 51 地点の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数。細線は年々の値、太線は 11 年移動平均値（気象庁，2009）

表 2.1 日本における日降水量 100mm 以上及び 200mm 以上の年間日数の長期変化傾向（気象庁，2009）

日降水量 100mm 以上の日数		
変化傾向 +0.02 日/10 年（有意）	1901～1930年の平均日数	0.84日
	1979～2008年の平均日数	1.03日
日降水量 200mm 以上の日数		
変化傾向 +0.004 日/10 年（有意）	1901～1930年の平均日数	0.07日
	1979～2008年の平均日数	0.10日

※ 国内 51 地点の出現日数から求めた 1 地点あたりの年間日数による。統計期間は 1901～2008 年の 108 年間。変化傾向は一次回帰式から求めた 10 年間あたりの日数の変化（傾き）、変化傾向は 100mm, 200mm 以上ともに 5%未満の危険率で有意である。また統計期間の最初の 30 年間と最近の 30 年間の平均日数を合わせて示す。

では、このような大雨の増加の要因が地球温暖化であるというのは本当であろうか。

大気中の温暖化ガスが増加すると、地表面に対する放射が増加し、上空の大気は冷却化する。一方で地表面は温暖化ガスによる放射で暖められ気温は高くなる。この温度差は、地表面から大気への鉛直熱輸送が行われることにより釣り合う。この鉛直熱輸送は、顕熱よりも潜熱輸送が顕著（すなわち地表面からの蒸発が活発化し、地表面の熱が奪われる。その後、上昇した水蒸気は上空で冷やされ凝結する際、凝結熱が解放され上空の空気を暖める）となる。温暖化が進むと、このような対流が強化され集中豪雨のような激しい降雨が増加すると考えられている（鬼頭，2005）。

こうしたメカニズムによる大雨の増加が実際に起こりえるものなのかどうかについては、世界各国でシミュレーションモデルの出力値を解析することによって検証が進められている。すなわち、大気の組成が現状と同じ場合と年々温室効果ガスが増加した場合について、それぞれ 100 年分の計算を実施し、100 年後と現在の気候の違いについて様々な検証がなされている。

図 2.2 は、地域気候モデルによる日本の夏期の日降水量の 100mm 以上の日数が、今後 100 年間にどのように変化するかを示したものである¹。この結果、今後とも温暖化ガスの増加が継続した場合、21 世紀中頃には急速に大雨の発生頻度が高まることが明らかとなっている。

¹ 使用したモデルは水平解像度約 100km の全球気候モデル(MIROC)、シナリオは A1B（経済発展を重視しつつもエネルギーバランスを重視した社会：温室効果ガス排出量は中程度）を適用

また、より水平度の細かい地域気候モデル (RCM20) による日本の大雨の変化傾向²⁾についても解析が行われ、日降水量が 100mm 以上となる日数は、南九州や伊豆半島、房総半島南部を除く全域で増加する結果となっている。

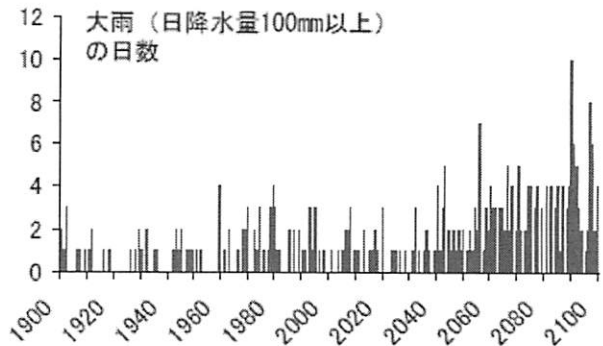


図 2.2 夏期の豪雨（日降水量 100mm 以上）日数の変化（東京大学他，2007）

（２）神戸周辺域における大雨の変化傾向

実際、日本国内ではどこでも大雨の発生頻度は増加しているのであろうか。

一例として神戸を取り上げる。図 2.3 は日降水量の年最大値の、また図 2.4 は時間降水量の年最大値の変化傾向を示したものである。これより、少なくとも神戸においては、日降水量・時間降水量とも近年の増強傾向は認められず、むしろ減少傾向にあることがわかる。特に、1967 年の昭和 42 年豪雨以降、日降水量が 200mm を超過した年はなく、この 40 年間は目立った雨に関する災害は発生していない。実際、神戸地区における大雨災害も 1938 年から 1967 年の 30 年間に集中している（表 2.2 参照）。

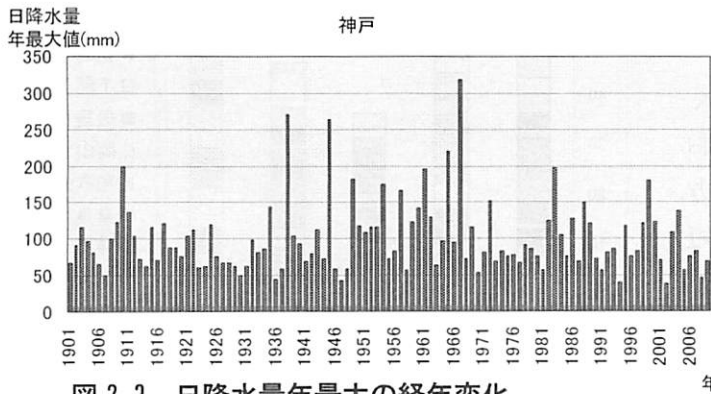


図 2.3 日降水量年最大の経年変化（神戸海洋気象台）

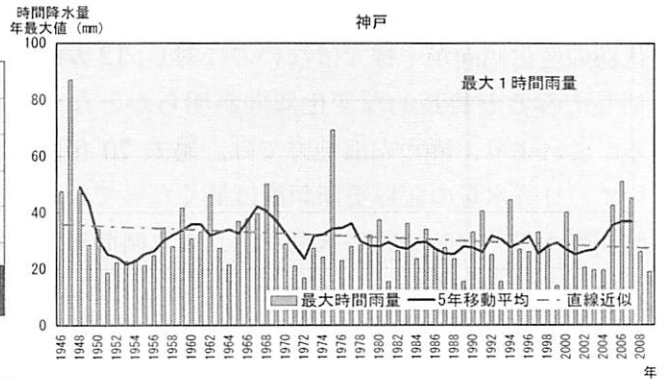


図 2.4 時間降水量年最大値の経年変化（神戸海洋気象台）

表 2.2 神戸の主な大雨災害（降雨記録は神戸海洋気象台の値）

日 時	降雨記録	主な被害
1938 年 7 月 3 日～5 日	3 日 0 時～5 日 24 時：461.5mm 7 月 5 日日降水量：270.4mm	阪神大水害。六甲山系を中心に大規模な土砂崩壊や河川洪水多数発生。死者 671 名，行方不明 24 名。
1945 年 10 月 8 日～11 日	8 日 0 時 10～24 時：355.6mm 9 日日雨量：262.8mm	阿久根台風。兵庫県下全域で洪水被害大。神戸市内でも橋梁被害 61 カ所，河川決壊破損 87 カ所。
1961 年 6 月 24 日～27 日	23 日 9 時～1 日 9 時：512.7mm 26 日日降水量：195.2mm	梅雨前線に伴う集中豪雨。堤防決壊や多くの土砂災害発生。死者 28 名行方不明 3 名。
1965 年 9 月 13 日～17 日	13 日 0 時～17 日 24 時：418.6mm 14 日日降水量：219.4mm	停滞した秋雨前線が台風の影響を受けて活発化。家屋全半壊 176 戸，床上浸水 102 戸。
1967 年 7 月 7 日～9 日	7 日 0 時～9 日 24 時：371.7mm 9 日日降水量 319.4mm	昭和 42 年 7 月豪雨。梅雨前線に熱低の湿った空気が流れ込み活発化。河川氾濫，土砂害多数。死者 90 名行方不明 8 名。

²⁾ シナリオは A2(地域主義が高い：温室効果ガス排出は最も高水準)を適用。

前章では、日本国内の大雨は、過去 100 年で増加傾向にあることを示したが、神戸についての矛盾は何を意味するのか。実際に神戸のみ、降雨特性が異なると考えるべきか。

数十年に 1 度発生するような大雨などの非常に極端な現象は、その発生頻度が稀であればあるほど、個々の地点での出現特性はバラバラとなる傾向がある。このような現象の変化傾向を明らかにするためには、データサンプルを増やすことが必要である。このためには、気候特性が比較的類似している地点の観測値を一括処理し、データサンプルを増やしたうえで解析するとよい。図 2.5 は、神戸と比較的降雨特性が類似している瀬戸内海地方 12 観測地点のデータを解析したものである。いずれも「日雨量」「1 時間雨量」「10 分間雨量」について 1940 年～2009 年の 70 年間のデータを収集、この 70 年間のうち上位 20 位までの記録がどの時代に現れたかを年代別に示したものである。いずれのグラフも、個々の地点毎のみでみた場合は年代別の変化傾向が一樣ではないのに対し、12 カ所を一括してみると特長的な変化傾向が明らかとなる。これより、瀬戸内海地方では、過去 70 年間において、日降水量の記録更新頻度は低くなっている一方、時間降水量や 10 分間降水量など、より時間単位の短い降雨の記録更新頻度は高まっていることがわかる。なお、特に気候変動について地球温暖化との関連を議論する際には、気候変動は数十年規模の現象であることから、できる限り長期間の観測データを注意深く監視することが必要ある。特定の観測地点における 30 年程度の観測値のみでは大雨の変動特性を明らかにすることはできない。

(3) ヒートアイランドと豪雨

都市域における集中豪雨に関しては、ヒートアイランド現象の影響についても関心が高まっている。

ヒートアイランド現象とは、都市化の進行とともに人工蓄熱が集積し、熱帯夜が増加して寝苦しい夜が増えるといった環境面における話題が多い。これに加えて近年は、単なる昇温現象だけでなく、ヒートアイランド進行に伴い、熱対流が盛んとなり局地的な集中豪雨の発生頻度が高まるのではないかと、といった観点から観測結果を解析したり、数値シミュレーションによる検証が行われつつある。

例えば藤部 (2003) は、23 年間の関東地方のアメダス 1 時間観測値について、「日最高気温 28℃以上」「午

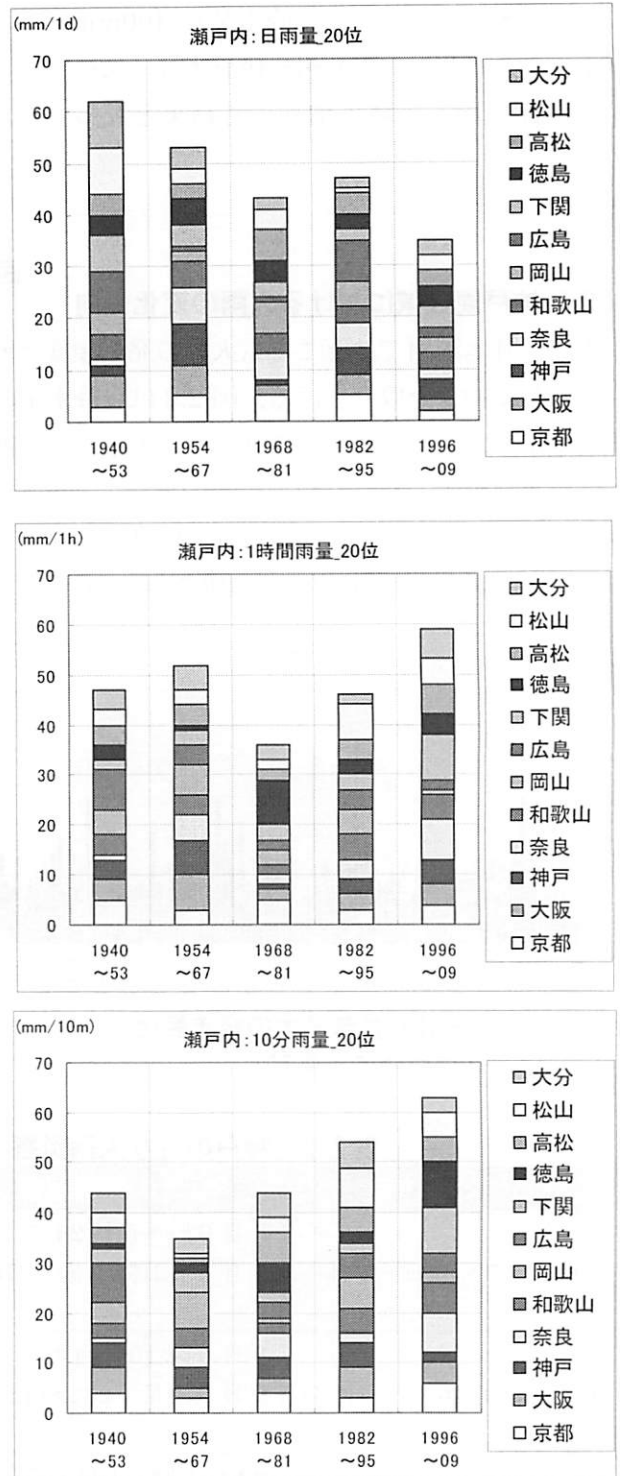


図 2.5 日雨量・時間雨量・10分雨量の70年間の上位20位の各年代における出現頻度 (瀬戸内海に面する12気象観測所)

前中に降水がほとんどなく、午後降水が観測された」239日を解析、都市ヒートアイランドによる風系による変化が東京都市域における降水の発生を増加させている可能性について指摘している。

図 2.6 は、個々の日の降水量分布をパターン分類し、東京都心を中心とする降水分布がみられる場合の風系の特長を示したものである。これより、東京を中心とする地上風の収束が東京の強雨を引き起こしやすい状況を作り出しているのではないかと藤部は考察している。

また神田ら（2000）は、4次元同化手法・4重ネストグリッド手法を活用し、東京の環状八号線上空に現れる通称“環八雲”の生成メカニズムについて解析している。結果、人工排熱量と都市領域を調節した数値実験により、人工排熱量の増加や都市領域の拡大といった都市化の進行が積雲の雲量を増加させることを示した。

なお、実際に都市部においてヒートアイランドが原因と考えられる強雨がどの程度増えたかについての定量的な評価は、首都圏などある程度広域の範囲についての解析はあるものの（例えば佐藤ら，2000：図 2.7 参照）データの観測期間の問題³などもあり、まだ明確になっていない。また佐藤らは、東京同様に都市化が進行している名古屋、大阪、福岡でも同様の解析を試みているが、それぞれの都市では8月の強雨に明瞭な変化傾向はみられなかったと報告している。

ただし、図 2.8 に示したように、全国のアメダス地点における1時間降水量 50mm 以上の発生日数は、過去 30 年間で増加する傾向があり、この原因は地球温暖化だけではなく、都市部におけるヒートアイランドも一因ではないかとも考えられている。特に都市域の集中豪雨は内水氾濫など都市特有の災害に直結することから、降雨の変化傾向について監視を強めていく必要がある。

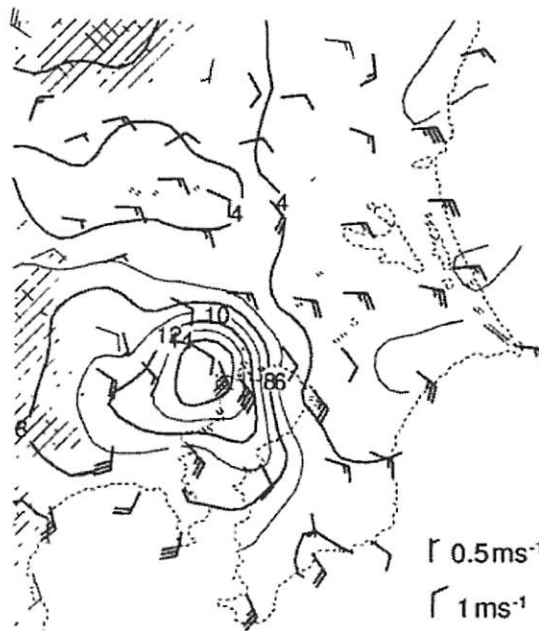


図 2.6 東京都心を中心とする降水分布。12～24 時の降水量分布を 6 つに分類したものの一つ。風は 14 時。

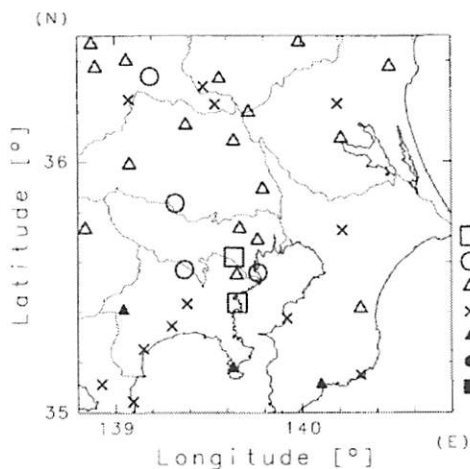


図 2.7 8 月における毎時 10mm を超える強い降水の割合の経年変化。1976 年から 1986 年までの平均と 1987 年から 1997 年までの平均との差を計算。

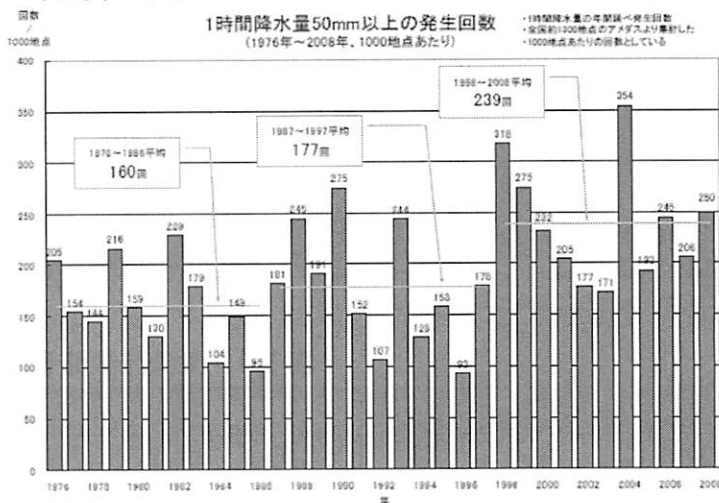


図 2.8 アメダス地点で1時間降水量が 50mm 以上となった年間の回数 (1000 地点) あたりの回数に換算 (気象庁, 2009)

³ 都市部における強雨の変化傾向を明らかにするためには、アメダスだけでなく自治体の雨量観測値など、より密度の細かい観測網の整備が必要となるが、こうしたデータの蓄積は十分ではなく、気候学的解析を困難なものにしている。

3. 予測技術

(1) 数値予報モデル

大気現象は物理現象そのものである。よって、観測値を初期値とし、基本方程式（プリミティブ方程式）⁴を解くことにより将来の大気の状態を予想することができる。この計算手法は、大気をモデル化して行われるものであることから「数値予報モデル」と呼ばれている。数値予報モデルの概念を図 3.1 に示す。この構想の既に 20 世紀初頭から存在した。実際にイギリスのリチャードソンは 1920 年に 6 時間先の予報を 1 ヶ月かけて手計算した後、「6 万 4 千人が一つのホールに集まり、一人の指揮者の基で一斉に計算を実施」すれば、実運用に耐える予報が可能であることを提言している。この逸話は数値予報の原点とされ、現在でも「リチャードソンの夢」として語られている。

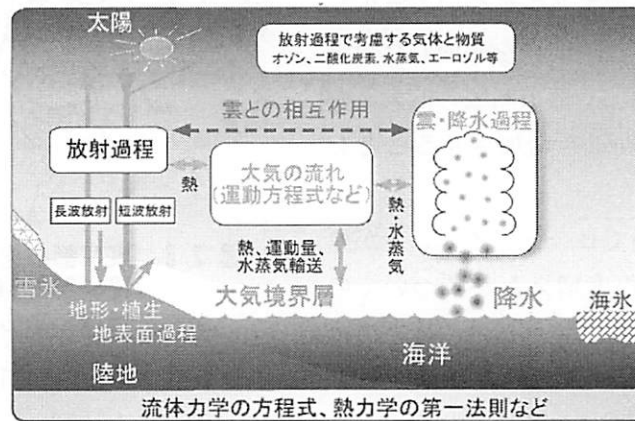


図 3.1 数値予報の概念（気象庁HPより）

この数値予報による天気予報が実運用されるのは、第二次大戦後の電子計算機の出現による。数値予報の歴史は電子計算機の歴史と言い換えることができるほど、電子計算機の高性能化と不可欠な関係にある。実際、気象庁も 1959 年に数値予報による天気予報を開始、以降、国内でも最先端の電子計算機を活用し、日々の天気予報を実施している。表 3.1 に、現在の気象庁の数値予報モデルの概要を示す。また、MSM や GSM によって求められる天気予報の予報精度の年々変化を図 3.2 に示す。

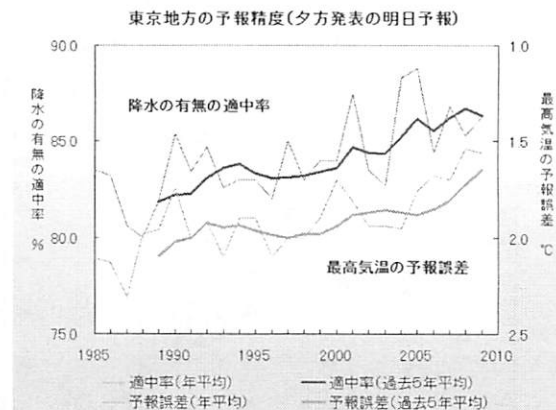


図 3.2 天気予報の予報精度の変遷(東京)

表 3.1 気象庁数値予報モデル概要

モデル名	格子サイズ	発表頻度	初期値(日本時間)	予報延長時間	予測雨量
MSM (メソモデル)	5 km	3 時間毎 (1 日 8 回)	6, 12, 18, 24 時	1 5 時間	毎時 1 時間雨量
			3, 9, 15, 21 時	3 3 時間	
GSM (全球モデル)	20 km	6 時間毎 (1 日 4 回)	3, 9, 15 時	8 4 時間	3 時間間隔 3 時間雨量
			2 1 時	2 1 6 時間	

⁴ 水平方向の運動方程式（ナビエーストークスの方程式）、鉛直方向の方程式、連続の式（質量保存則）、熱力学方程式（熱エネルギー保存の法則）、連続の式（水蒸気保存の法則）、気体の状態方程式の 6 式からなる

(2) 運動学的手法による予測モデル

目先数時間先までの予報は、予測時間が短いことから、できる限り計算時間を短くしない限り予測の有効性を発揮することができない。また、集中豪雨などの局地的な現象は、そのメカニズムが十分解明されていなかったこともあって「数値予報モデル」による予測が困難とされてきた。このため、これまで目先数時間先までの予測は降水状況の動きを外挿することによって雨量予測を行っている。この手法は一般的に「運動学的手法」と呼ばれている。運動学的手法による降雨予測は、1976年頃から気象庁の立平らが中心となって開発し、1988年4月1日より、東京・大阪・福岡管区気象台管内で配信が開始された。また、都市型水害の場合、短時間に発達する降雨の予測が重要となることから、2004年6月1日からは、よりきめの細かい降水ナウキャスト情報も発表されている。表3.2に降水短時間予報および降水ナウキャスト情報の概要を示す。

表 3.2 気象庁降水短時間予報及び降水ナウキャストの概要

項目	情報内容	更新頻度	メッシュサイズ
降水短時間予報	6時間先までの1時間毎の1時間雨量	30分毎	1 km
降水ナウキャスト	1時間先までの10分毎の10分間雨量	10分毎	

運動学的手法による予測の原理を図3.3に示す。レーダ観測値は、地形特性の影響を受けることによりエコー強度そのものが雨の強さを反映するとは限らない。このためレーダ観測値を地上雨量観測値で補正し、面的な雨量分布図⁵を求める。この雨量分布図を複数枚比較し、各メッシュの雨雲の移動方向を分析し、雨雲はその移動方向に進むものと仮定して予測を行う。なお、雨雲は一般に山にぶつかると上昇し発達するが、山から下降する場合は衰弱する。また、地形的に奥が狭くなる漏斗上の地形に沿って雨雲が流れ込むと収束が生じ雨雲は発達する。実際の予測では、このような地形効果を組み込んだ予測が行われている。

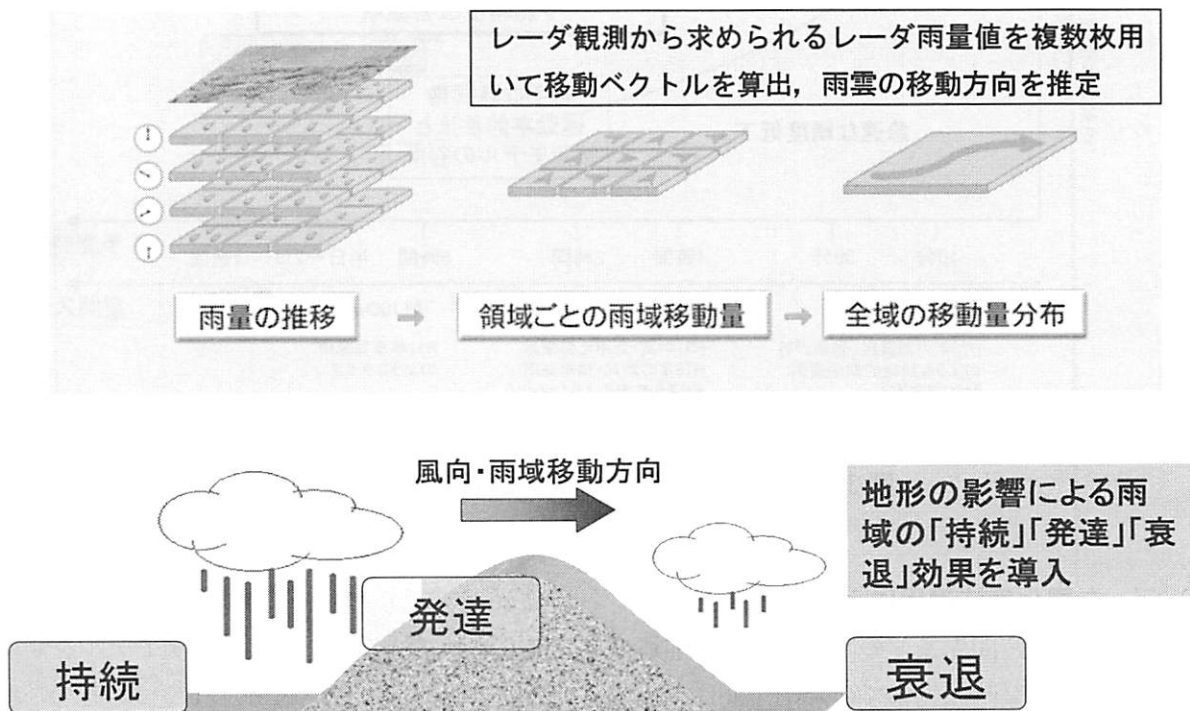


図 3.3 運動学的手法による降雨予測

⁵ 気象庁では解析雨量、国土交通省河川局ではレーダ雨量と称している。解析雨量は、かつては「レーダアメダス合成値」と呼ばれていたが、解析に用いられる実況雨量値がアメダスに加え、河川局所管のテレメータ雨量値なども用いられるようになったため、現在は「解析雨量」と呼んでいる。

(3) 時空間スケールからみた降雨予測の課題

前章で述べた運動学的手法による予測は、あくまでも雨雲が一定速度で移動することを前提としている。このため、突然発生する雨雲や、雨雲が急激に発達する場合の予測精度は低くなる。条件にもより異なるが、気象庁の降水短時間予報の場合、1時間先の降雨の相関係数は0.7~0.8程度である一方、2時間後予測からは急激に精度が低下し、3時間先の相関係数は0.4から0.5となる。

一方、数値予報モデルの精度も、面的な降雨を予測するうえではかなりの精度向上が図られているものの(図3.2参照)、ピンポイントにおける降雨の予測精度はまだ低く、1~2時間先までの相関係数は良い場合でも0.4~0.5程度である。

図3.4は、降雨の空間スケールと現状モデル予測精度の関係を示したものである。豪雨災害対策を進めるうえでは避難活動において少しでも長くリードタイムを得ることが望ましい。よって今後は、運動学的手法の予測精度が急激に低下し、また数値予報モデルの精度も高くない、2~6時間先までの降雨の精度向上が大きな課題となっている。

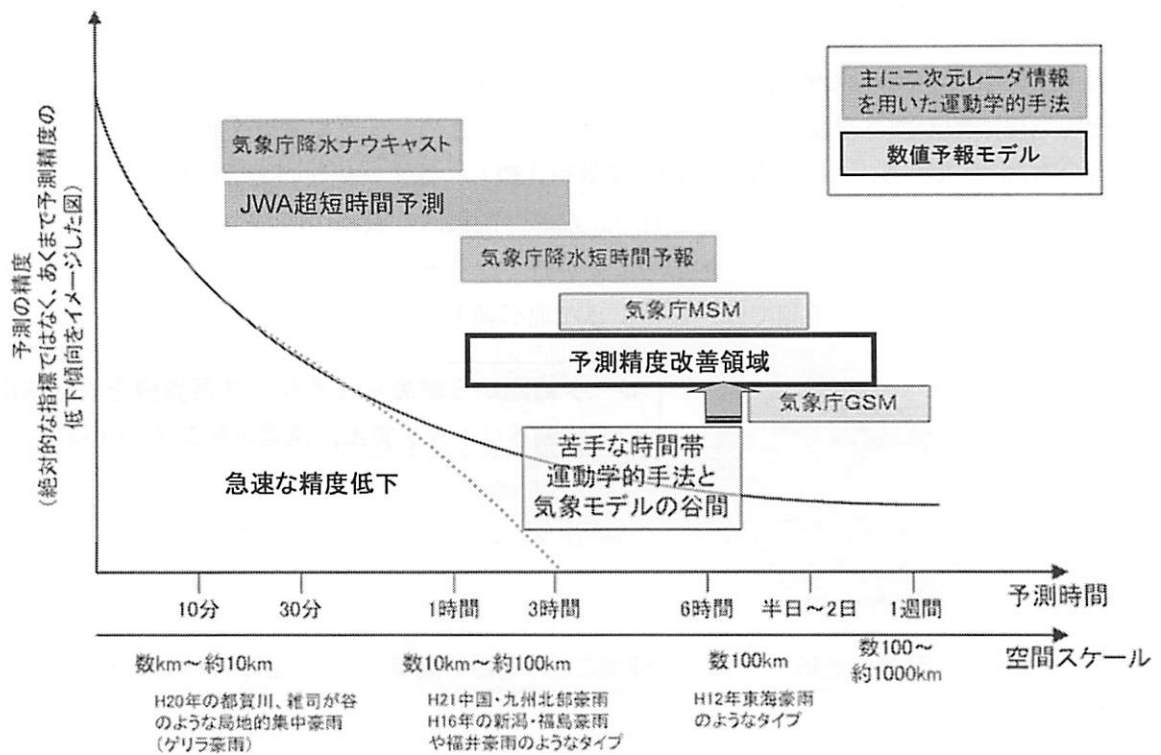


図 3.4 降雨の空間スケールと現状モデルの予測精度

(4) データ同化手法適用による数値予測

これまで目先数時間先までの降雨予測は、前述のとおり「運動学的手法」による予測モデルを活用していたが、近年、1~2時間先までの降雨予測についても「数値予報モデル」が適用されつつある。これは、計算機資源の発達により「きめの細かな地形」を組み込んだ計算が短時間で実現できるようになったことに加え、「データ同化手法」の発展が大きな一因となっている。

「数値予報モデル」では、モデル格子点上の観測値データを初期値として計算を開始する。ところが、実

際はモデル格子点と比較して気象観測地点数は少なく⁶、観測値のみを用いてモデル格子点の初期値データを作成することは難しい。そこで、実際には、直近の予測モデルの計算値と実際の観測値を組み合わせ、計算初期値のモデル格子点の初期値を作成している。この手法が「データ同化手法」といわれるものである。

局地豪雨の予測を数値計算で行うためには、特に、時空間的に細かな水蒸気や風向風速⁷の観測値の入手が不可欠である。これまでのデータ同化は、3時間毎もしくは6時間毎に世界中で同時に観測される地上観測所における観測値を用いてきたが、近年、リモートセンシングによる観測の高度化や通信ネットワーク網の大容量化により、より密度が細かくリアルタイムに近い観測データの収集が可能になった。

以下、局地豪雨の数値計算で用いられつつある「GPS可降水量」ならびに「ドップラーレーダによる観測値」を組み込んだデータ同化手法について述べる。

(5) GPS可降水量

主として測地に用いられるGPS衛星からの電波は、電波が通過する大気中の水蒸気量が多いほど遅延する(図3.5)。この遅延の程度を、複数のGPS衛星によって正確に測定することにより大気中の水蒸気量を把握することができる⁸。この、一定領域における大気中の水蒸気量が全て凝結し水となった場合の総量が“可降水量”である。

現在、国内では国土交通省国土地理院によってGEONET(GPS Earth Observation Network)網が整備されており、各地に約1200ヶ所の観測点が展開されている(図3.6)。GEONETデータを解析することにより、緻密な可降水量の分布を得ることができる。

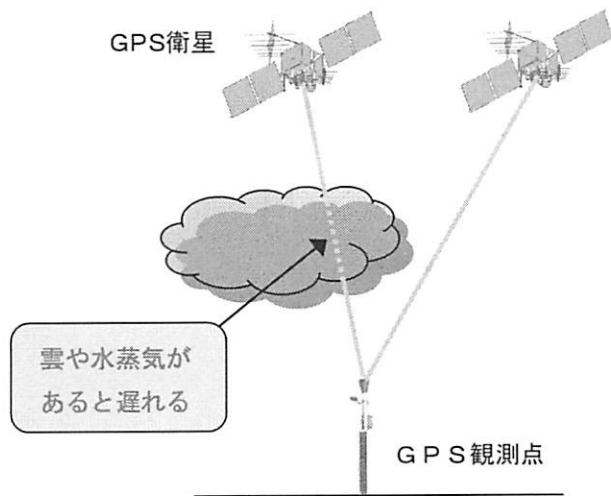


図 3.5 GPS電波大気遅延と水蒸気量

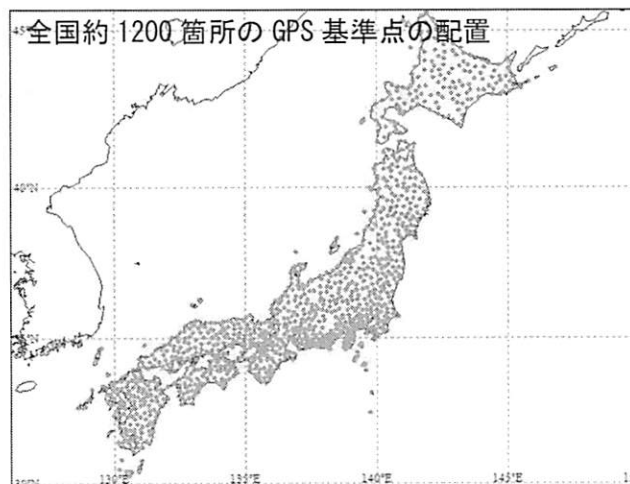


図 3.6 GEONET観測点配置図

図3.7は、2008年に発生した岡崎豪雨時のGPS可降水量の観測値を示したものである。2008年8月下旬は、日本付近に停滞した前線に南からの暖かく湿った空気が流れ込み、九州から関東の各地において局地的豪雨が観測された。特に岡崎では、8月29日午前1時～2時の間に、時間雨量146.5mmの豪雨を記録、午前2時10分には全市で避難勧告が発令された。

GPS可降水量の観測時間は、豪雨が観測される直前の8月29日午前1時である。関東や愛知県で可降

⁶ 数値計算で必要となる「気温」「気圧」「風向風速」「湿度」など全ての観測を行っている観測所は、観測密度の高い日本でも200地点に満たない。加えて、海上の観測密度は、地上に比べて非常に「まばら」である。

⁷ 局地豪雨は水蒸気の収束により発達する。このため風向風速の観測値は重要なファクターとなる。

⁸ ラジオゾンデによる高層観測によって求められた可降水量とGPSによって求められた可降水量の値が一致することが確認されている。

水量が高まっていること、特に愛知県では8月28日24時から1時までの1時間におけるGPS可降水量の変動度が大きいことがわかる。同様な現象は、同年神戸市で7月28日に発生した都賀川災害でも観測されている(図3.8)。このようなGPS可降水量を気象予報モデルに組み込むことによる降水量の予測精度改善を図る試みが、気象庁のほか、一般財団法人日本気象協会でも実施されている。

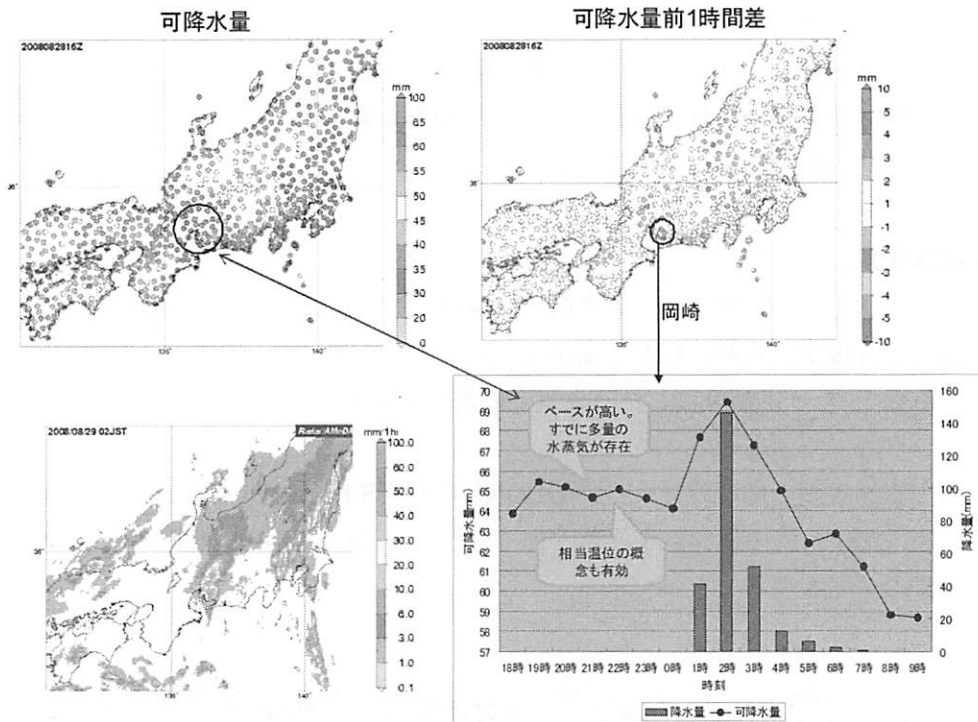


図 3.7 2008年8月29日岡崎豪雨時におけるGPS可降水量の分布

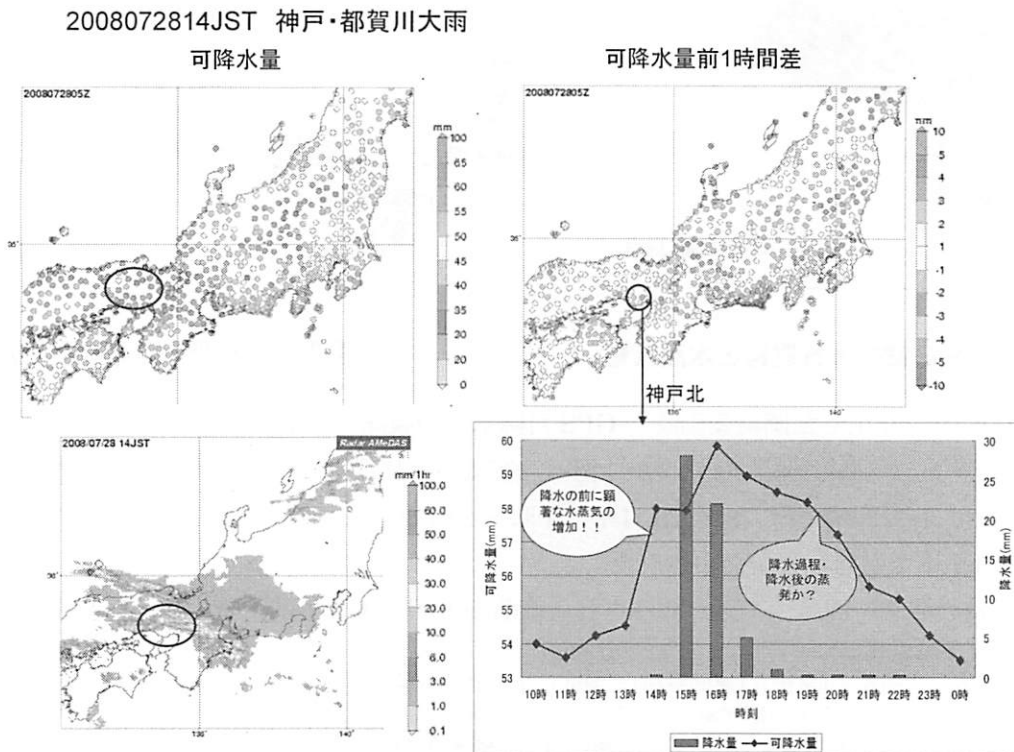


図 3.8 2008年7月28日神戸都賀川災害時におけるGPS可降水量の分布

(6) ドップラーレーダによる観測値

気象レーダは、降水粒子から散乱される電波の強さ（反射強度）を測定し、降水粒子が大きいほど、また降水粒子が多いほど反射強度が大きくなる特性を活かして、降雨分布を測定する。この時、各降水粒子からの電波のドップラー効果⁹を同時に測定することにより、上空の風向風速を算出することが可能となる。このような風の3次元分布を測定できるレーダがドップラーレーダである。ドップラーレーダは、ボリュームスキャン¹⁰を行うため、3次元の降雨分布を把握することが可能である（図 3.9）。

気象庁や国土交通省河川局では、順次、既存のレーダのドップラー化を進めている。平成 22 年 4 月現在ドップラー化された気象庁のレーダは、図 3.10 のとおりである。また、別途、国土交通省河川局では、大都市圏を中心に、より決めの細かな観測が可能な X バンドによるドップラーレーダの設置を進めている。

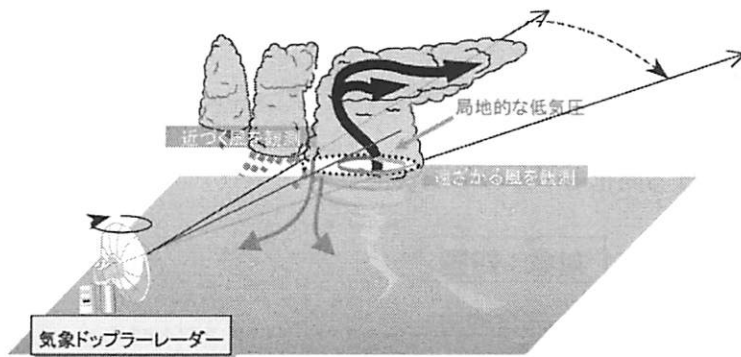


図 3.9 ドップラーレーダの概要(気象庁 HP より)

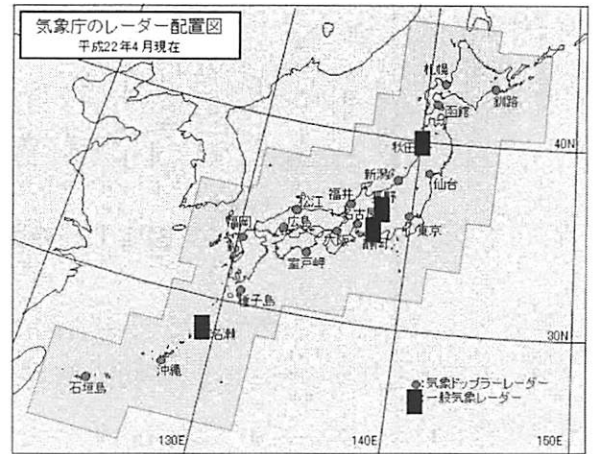


図 3.10 気象庁レーダ配置図

(7) データ同化による精度改善

GPS 可降水量より求められる大気中の水蒸気量及びドップラーレーダから得られる 3 次元の降雨分布とドップラー速度から、水蒸気の収束や発散を計算することが可能となる。この水蒸気の発散や収束を数値モデルに組み込むことにより、運動学的手法では予測が困難であった突発的に発生する雨雲や急速に発達する雨雲の予測が可能になりつつある。

表 3.1 に、気象協会で計算しているデータ同化数値モデル SYNFO5・3D¹¹の概要を示す。この SYNFO5・3D により、従来の数値予測モデルの精度がどの程度改善されるのかについて、以下、四国中部の流域における予測事例について記す。

表 3.3 気象協会データ同化数値予報モデル概要

モデル名	格子サイズ	発表頻度	初期値（日本時間）	予報延長時間	予測雨量
SYNFOS-3D (2.5km)	2.5 km	毎正時 (1日24回)	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12, 13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24 時	6 時間	毎時 1 時 時間雨量
SYNFOS-3D (5km)	5 km	3 時間毎 (1日8回)	0,3,6,12,15,18,24 時 9,21 時	33 時間 51 時間	

⁹ 移動する物体から発せられる周波数が、移動速度により変化する効果

¹⁰ レーダの観測仰角を少しずつ変化させ、3次元の立体的な反射強度を観測すること

¹¹ 米国大気研究センター(NCAR)、米国環境予測センター(NCEP)、米国海洋大気庁(NOAA/FSL)、米国空軍気象局(AFWA)などが中心となって開発した WRF(Weather Research and Forecasting mode)をベースとした独自モデル

図 3.11(左)は、2009 年台風 9 号が接近した際の 8 月 9 日における予測を示したものである。棒グラフは観測雨量値、MSM は気象庁モデル、WRF はデータ同化モデルである。これより、予測時間によるバラツキはあるものの、概ね各時間帯においてデータ同化モデルは少なくとも 5 時間先までは実況雨量に追従した予測をしていることがわかる。図 3.11(右)は 2009 年 7 月 21 日における予測事例である。この時は梅雨前線が本州付近に停滞、西日本各地で豪雨が観測されている。この事例では、データ同化モデルは大幅な過大予測、すなわち「空振り」傾向の予測を続ける結果となった。

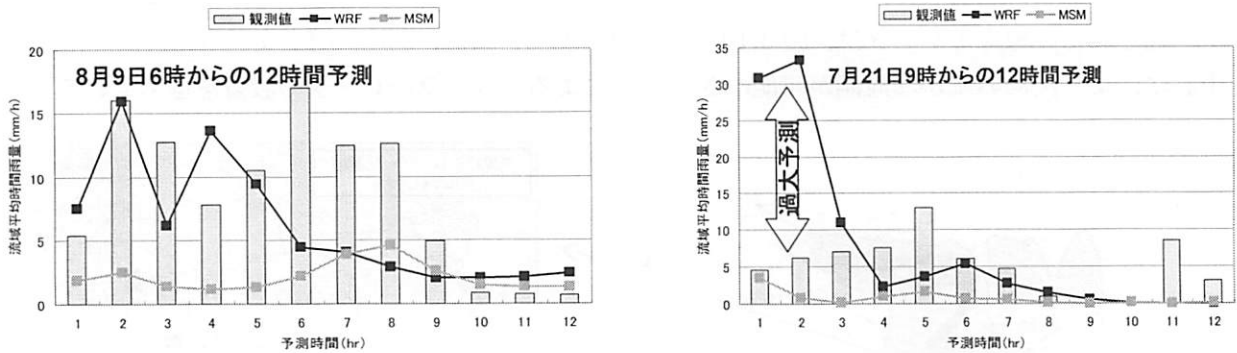


図 3.11 四国における同化モデルの予測状況

それでは、個々のケースではなく、総合的にみてデータ同化を行うことにより、予測精度はどの程度改善されるのか。

図 3.12 は、2008 年～2009 年のうち、12 時間積算雨量上位 100 事例における精度評価を示したものである。棒グラフは回帰係数を、折れ線グラフは相関係数を示す。これより、8 時間先までであればデータ同化による予測精度改善の効果があることがわかる。

図 3.13 は、1 時間先および 3 時間先予測の散布図を示したものである。これより 1 時間先、3 時間先共に MSM は過小予測であったのに対し、データ同化を行うことにより、3 時間先予測までであれば、回帰係数は 1 に近く、多くのケースでより実況に近い予測が可能になったことがわかる。

なお、データ同化モデルは、3 時間先予測までであれば相関係数は 0.6 近くを保っている。一般に運動学的手法による 3 時間先の相関係数は、0.5 程度であることから、運動学手法の精度が急激に落ちる予測時間帯について、データ同化モデルが代替手段として利用できるものと考えられる。

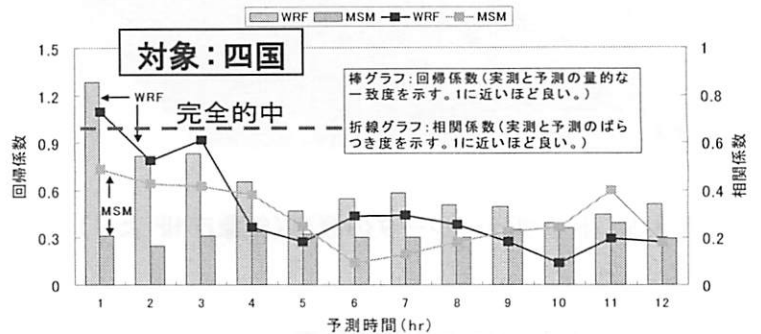


図 3.12 同化モデルの予測精度 (2008～2009 年の 100 事例)

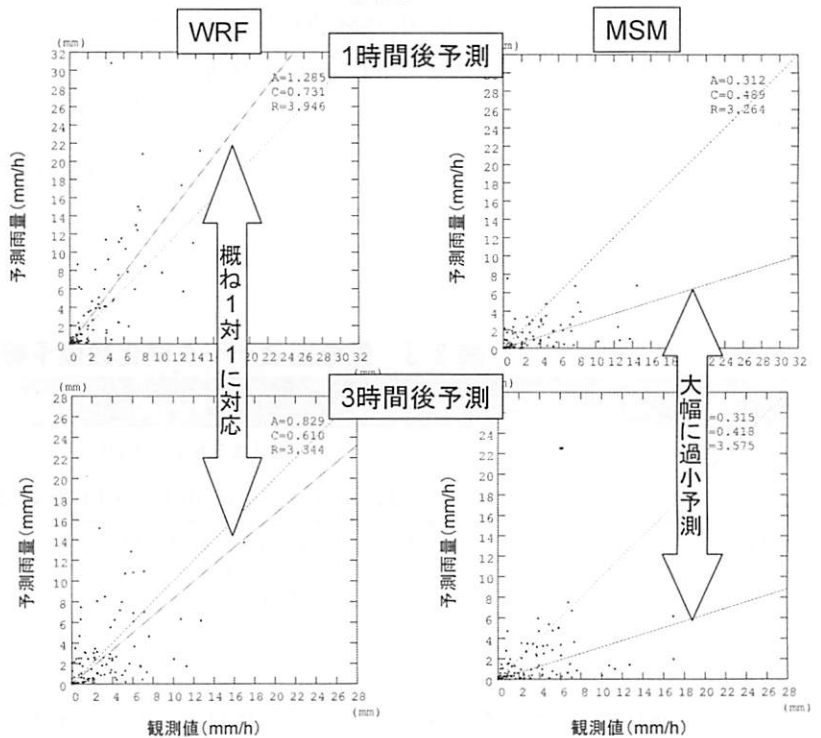


図 3.13 1 時間先予測及び 3 時間先予測の散布図 (2008～2009 年の 100 事例)

4. 情報伝達について

(1) 情報入手ルート

避難勧告などの災害上重要な情報が発表された際、一般住民はどのような手段での情報入手が望ましいと考えているのか。図 4.1 は内閣府による調査結果である。これより、「広報車」による情報伝達が望ましいと考えている住民は 50% である一方、既存メディアであるテレビによる情報伝達が望ましいという回答は 70% を超過しており、依然としてテレビが情報入手において非常に重要なルートであることがわかる。

また、都市における局地的な豪雨に伴う災害は、降雨現象のライフサイクルが短い局地的豪雨が要員であることも多く、避難勧告が「後追い（降雨のピーク以降に発表）」にならざるを得ないケースもある。このようなケースにおいては、まずは少しでも判断のためのリードタイムを確保するため、まずは大雨警報・洪水警報の発表状況を知ることが重要であろう。同様の内閣府による住民を対象とした世論調査でも、避難の際に参考とする情報は何かとの問いに対し、75% の住民は「天気予報や注意報・警報等の気象情報」と回答しており、避難行動に際し、気象情報は重要な判断材料になっているものと推察される（図 4.2）。

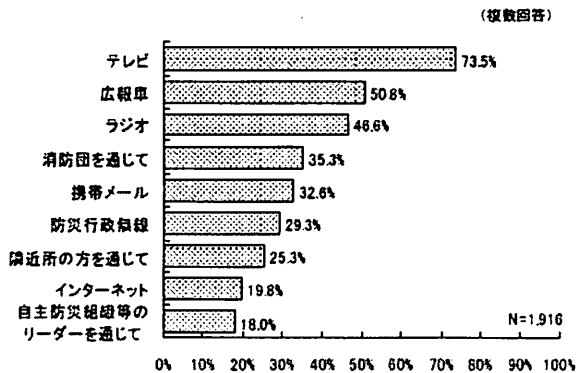


図 4.1 望ましい避難勧告等の伝達手段(上位9項目)
内閣府政府広報室「避難に関する特別世論調査」2010年1月より

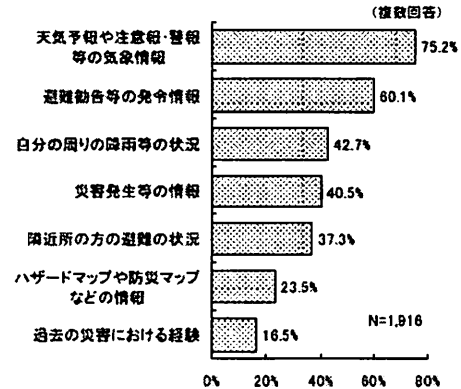


図 4.2 避難の際に参考とする情報(上位7項目)
内閣府政府広報室「避難に関する特別世論調査」2010年1月より

図 4.2 は牛山 (2010) による goo リサーチを利用したアンケート結果である。大雨警報の情報入手先はテレビとする回答が圧倒的に多く、goo リサーチ登録者のような比較的インターネット親和性が高いと考えられる利用者であっても、まだまだテレビに情報入手を依存せざるを得ない実態が明らかとなっている。

また、牛山 (2010) は同様の goo リサーチにより、避難判断を行ううえで重要な情報である雨量情報や水位情報について、一般サイトと比較的して非常に豊富なデータを提供している「防災情報提供センター」ならびに「川の災情報」の利用実態についても調査している。結果、回答者のうち 60% 以上はサイトの存在を知らないことが明らかとなった。この傾向は 2004 年、2007 年の調査時点とほとんど変化していない。また、これらのサイトの存在を知らせたうえで今後の利用意向を尋ねたところ、半数以上は PC による利用の可能性があると回答した一方、携帯電話を介した利用可能性は、水位情報で 3 割強、雨量情報では 3 割に満たない結果となった。今後、スマートフォンの普及次第では携帯電話による情報収集の可能性が高まる可能性はあるものの、防災情報提供にあたり、「携帯電話による情報利活用はそれほど高くない」ことにも留意する必要がある。

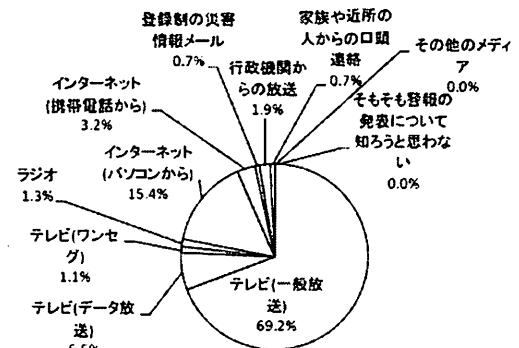


図 4.3 警報を入手する情報源(もっとも利用するメディア)
静岡大学防災総合センター牛山研究室「大雨による災害と防災情報に関するアンケート」2010年4月より

(2) テレビによる情報伝達

多くの一般住民が災害情報入手の「よりどころ」としているテレビ放送は、どの程度、詳細な情報を提供することができるのであろうか。

各放送局は、放送法第6条第2項(図4.4参照)に基づき、避難勧告等、災害上重要な情報が発表された場合、テロップ(文字情報)で速報している。特にNHKは気象業務法第15条(図4.5参照)により報道すべき警報が明確に定められていることから、速報のみならず通常の気象情報番組においても「わかりやすく」警報情報が伝わるよう工夫している。

(災害の場合の放送)

第6条の2 放送事業者は、国内放送を行うに当たり、暴風、豪雨、洪水、地震、大規模な火事その他による災害が発生し、又は発生するおそれがある場合には、その発生を予防し、又はその被害を軽減するために役立つ放送をするようにしなければならない。

図4.4 放送法第6条

気象業務法第15条

気象庁は、第13条第1項、第14条第1項又は前条第1項から第3項までの規定により、気象、地象、津波、高潮、波浪及び洪水の警報をしたときは、政令の定めるところにより、直ちにその警報事項を警察庁、国土交通省、海上保安庁、都道府県、東日本電信電話株式会社、西日本電信電話株式会社又は日本放送協会の機関に通知しなければならない。地震動の警報以外の警報をした場合において、警戒の必要がなくなったときも同様とする。

- 2 前項の通知を受けた警察庁、都道府県、東日本電信電話株式会社及び西日本電信電話株式会社の機関は、直ちにその通知された事項を関係市町村長に通知するように努めなければならない。
- 3 前項の通知を受けた市町村長は、直ちにその通知された事項を公衆及び所在の官公署に周知させるように努めなければならない。
- 4 第1項の通知を受けた国土交通省の機関は、直ちにその通知された事項を航行中の航空機に周知させるように努めなければならない。
- 5 第1項の通知を受けた海上保安庁の機関は、直ちにその通知された事項を航海中及び入港中の船舶に周知させるように努めなければならない。
- 6 第1項の通知を受けた日本放送協会の機関は、直ちにその通知された事項の放送をしなければならない。

図4.5 気象業務法第15条

その一方で、より「きめが細かく」なる情報をどこまで報道するかについては、特にローカル番組でも複数の都府県の放送を行っている首都圏や関西圏では課題となっている。情報が細くなる一例として、2010年5月27日より開始された注意報警報発表単位の市町村化における対応状況について記す。図4.6の左側は、注意報警報の市町村単位発表化に対応したものの、右側は従前の画面である。図の上部にある文字情報タイトル版の場合、市町村毎の発表対応では、台風など広範囲

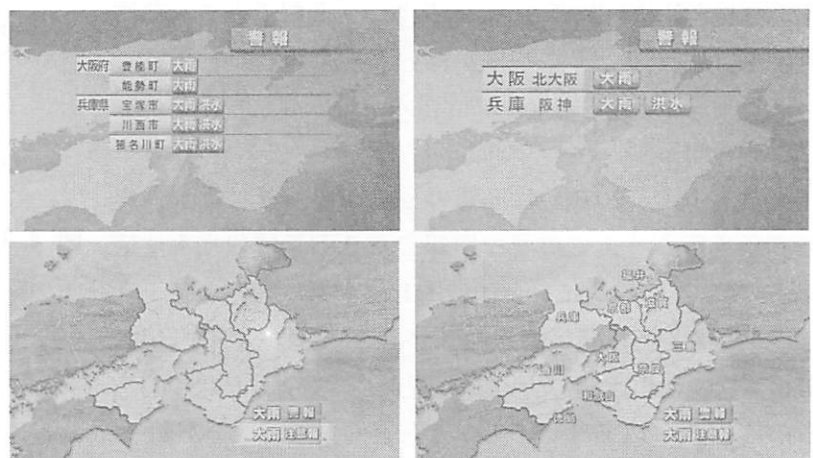


図4.6 テレビにおける警報発表画面例

にわたる警報が発表された場合、多くの自治体名が羅列されることとなり煩雑となる他、位置関係がわかりにくく一目でどの地域が「危ない」のかが理解しづらい。一方、右側の地図情報では、発表エリアの位置関係は一目で理解できるものの、多種類の警報が発表された場合は複数画面が必要となり、放送時間が限られ

た気象情報番組で全てを伝えることが困難になりやすいといった課題がある。表 4.1 に、警報注意報放送画面表示のメリットとデメリットを示す。

表 4.1 警報注意報放送画面表示のメリットとデメリット

パターン	メリット	デメリット
文字一覧	画面が少ない	位置がわかりにくい
地図表示	空間的な発表状況把握が容易	大雨・洪水・波浪・高潮等複数画面が必要

なお、テレビにおける詳細な情報表示は、視聴者の選択により様々な情報閲覧が可能な地上デジタルテレビのデータ放送の活用が試みられている(図 4.7)。このようにデータ放送は、単なる気象情報や水位などの観測情報のみならず避難情報の表示も可能となることから、情報伝達基盤としての潜在能力は高いと考えられる。既に複数の自治体でデータ放送に対応すべく、自県のテレメータ観測情報を TVCML 形式によって放送局に配信する準備を進めている。ただし先の牛山の調査によれば、まだ情報入手先をデータ放送としている利用者は少ないことにも留意が必要である(図 4.3)。

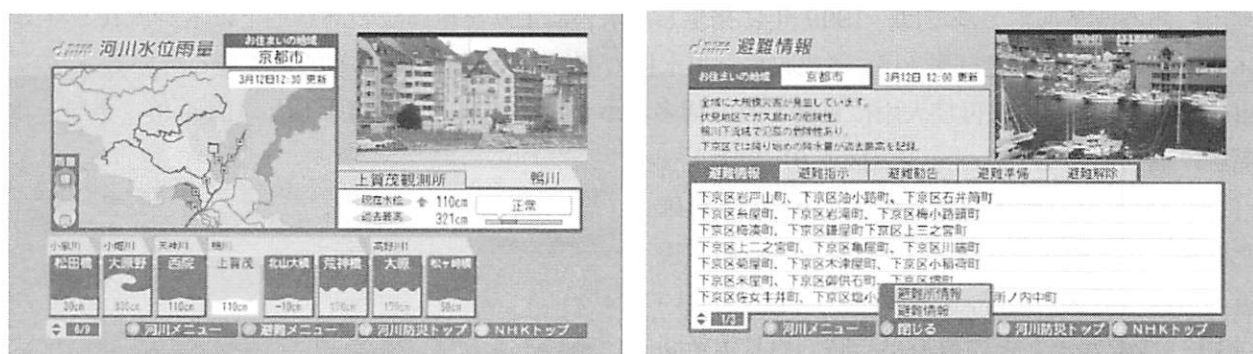


図 4.7 データ放送による災害情報表示イメージ
総務省「地域の安心・安全情報基盤に関する研究会 報告書」2008 年 4 月より

(3) クロスメディアによる情報伝達

災害情報伝達手段は、テレビ、ラジオ、防災行政無線、携帯電話、インターネット、広報車、隣人など多様である。ただ、これらの手段は表 4.2 に示したように、それぞれメリットデメリット含んだ特性があり、災害伝達手段として画一化できるものではない。こうした状況下、近年は、放送だけでなく通信を含む“クロスメディア”による情報伝達の重要性が指摘されている。

表 4.2 災害情報手段の特性

特 性	災害情報伝達手段	
操作性	容易	テレビ(一般放送), CATV, 一般ラジオ, コミュニティ FM, 防災行政無線, 広報車, 隣人(口頭)
	複雑	テレビ(データ放送), パソコン, 携帯
詳細情報表現	簡易	テレビ(データ放送), CATV, コミュニティ FM, パソコン, 携帯, 隣人(口頭)
	困難	テレビ(一般放送), 一般ラジオ, 防災行政無線, 広報車
特定地域限定の情報発信	簡易	CATV, コミュニティ FM, 防災行政無線, 広報車, 隣人(口頭)
	困難	テレビ(一般放送), テレビ(データ放送), 一般ラジオ, パソコン, 携帯
電力インフラ	依存	テレビ(一般放送), テレビ(データ放送), CATV, パソコン
	ほぼ不要	一般ラジオ(電池残存期間), コミュニティ FM(電池残存期間), 携帯(電池残存期間), 広報車, 防災行政無線(無停電電源稼働期間), 隣人(口頭)

こうしたクロスメディア利活用を推進すべく、総務省では「安心・安全公共コモンズ」を提唱している。これは、入力する災害情報のフォーマットを統一化し、出力先の様々なメディア（地デジ、インターネット、携帯電話など）に対しスムーズに情報を伝達、可能な限り迅速に住民へ情報提供しようというものである。ただし、安心・安全コモンズはあくまでも ICT 利用を前提としていることから、現状、多くの住民が利用しているテレビやラジオなど既存メディアとの融合をいかに進めるかが課題となる。

(4) 企業における能動的な情報利用

都市域では企業が集中していることから、住民だけでなく、企業における災害対策も重要事項となる。近年、企業防衛の観点から BCP の重要性が指摘されているが、実際、気象災害に対する対応策を定めている企業は少ないものと考えられる。以下、都市水害において市が提供するホームページの水位情報を監視し、浸水被害を軽減させた事例について記す。

福岡市にある博多都ホテルでは、1999 年に発生した水害により発電施設のある地下に水が流れこみ 3 週間の休業を余儀なくされた経験から、情報収集と止水板の準備と設置訓練を日常的に実施している。その後、2003 年 7 月 19 日福岡市は再び大雨に見舞われ、博多都ホテル周辺域は広く冠水した (図 4.8)。当日、ホテル関係者は福岡市のホームページ (図 4.9) をチェックし、付近の御笠川の水位が急上昇していることを確認した直後に止水板設置を開始した。止水版設置直後に付近の道路は冠水したが、止水版が水の進入を食い止め、損失も少なかったとの報道が当時の西日本新聞の記事に掲載されている。

このような事例はまだ非常に限られているものの、非常に豊富になった各種ホームページの活用事例として参考になるケースであると考えられる。



図 4.8 冠水した JR 博多駅付近 (2003 年 7 月 19 日当時の国際航業株式会社ホームページより) 被害を食止めたホテルを○印で示す。左下が氾濫した御笠川。地下鉄は約 1 万 t の冠水があり、23 時間運休した。

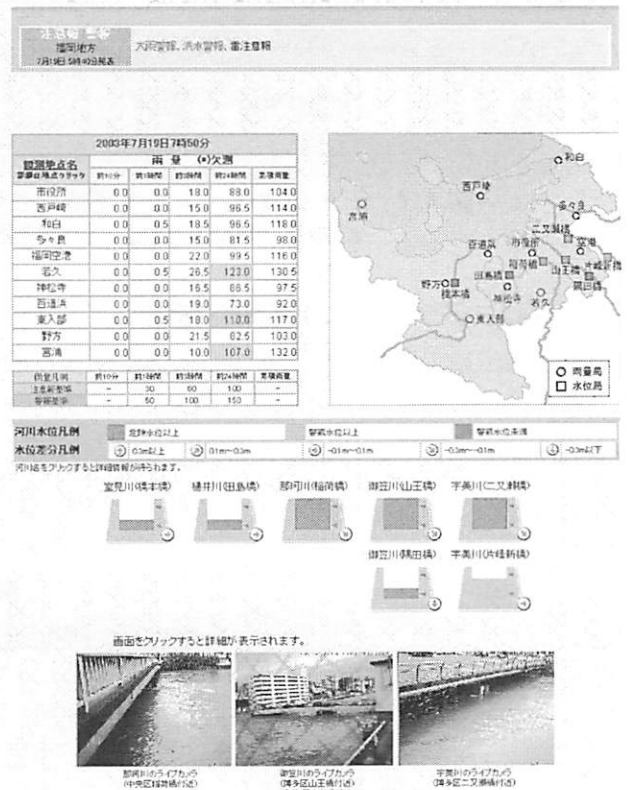


図 4.9 2003 年 7 月 19 日 8 時頃の福岡市のホームページ (情報内容はその後、拡充・刷新されている)

(5) 新たなコミュニケーションツール Twitter¹²の可能性

これまで述べてきた情報は、基本的に国や自治体が発信し住民は情報を受け取る一方通行の形態を原則としている。これに対し、住民間の「くちコミ」情報を積極的に活用しようという動きも現れつつある。特に2010年に入ってからは、Twitterによる双方向コミュニケーションの潜在力が注目されている。Twitterの日本国内の利用者数は図4.10に示す。2009年秋以降、急速な伸びを示しており、既にSNSの代表格であるmixiの利用者数に肉薄している。

現在、新聞社や放送局をはじめとする多くのメディアは、自らが発信者となるべくアカウントを取得し情報提供を行っている。また、2010年5月からは、総務省消防庁も認証済みのアカウントを取得、「災害情報タイムライン」を開始し、同庁が把握している被害情報や防災情報を配信している。また、一般の利用者（フォロワー）から寄せられた情報の中に、地元消防が把握していないような災害情報が寄せられた場合は、事実関係を確認するとしている。

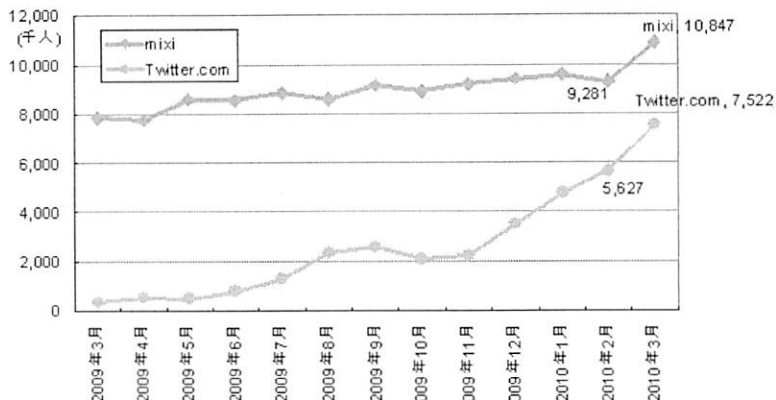


図 4.10 Twitter と mixi の利用者数の変化 (ネットレイティングス株式会社)

同庁は、「災害情報タイムライン」を通じて防災意識を高めるほか、災害発生時は、正確な情報を発信し、その情報をフォロワーが自ら発信 (tweet) し、正しい情報が「自発的に」広まることに期待しているものと思われる。

また、各 Twitter 利用者が発信する大雨など気象に関する情報を幅広く地図上に表示する試みもなされている。図 4.11 に、tenki.jp¹³の「みんなの気持ち」のコーナーにおいて表示される事例を示す。

一般に災害専用のツールは、利用頻度が低いことから、「いざ」という際、十分に使いこなすことができないケースがあるといわれている。Twitter そのものは災害時だけではなく、むしろ日常的に利用されるものであることから、ツール利用としての“しきい”は低い。このため、結果的に、災害発生時における潜在的な活用可能性は高いと考えられる。



図 4.11 tenki.jp「みんなの気持ち」ページ 地図上のマークにマウスあわせると tweet が表示される

その一方で、各個人から発信される情報の信頼性は担保されるものではなく、発信された情報を信じるか信じないかは、情報の受け手の判断に委ねられる点に留意する必要がある。いわばインターネット上で展開されるホテルやレストランの「くちコミ」と同様であり、多くの投稿数が寄せられる中から代表的 (=中間

¹² 利用者が tweet と呼ばれる 140 文字以内の短文を発信することができる簡易投稿サイト。発信者に対し、「フォロー」すると、自分のタイムライン (投稿が時系列順に表示される画面) に「フォロー」した発信者の tweet が表示される。

¹³ 一般財団法人日本気象協会が運営する天気総合ポータルサイト。 <http://tenki.jp>。「みんなの気持ち」サイトの URL は、 <http://tenki.jp/feeling/>。

的) な意見がどのようなものであるか判断する, といった対応をとることが求められる。現状, 大都市圏における Twitter の投稿数は非常に多いため, 気象状況や災害情報の判断も比較的容易になると考えられることから, 今後, Twitter を活用した災害情報共有も進む可能性がある。一方で, 地方都市などまだ Twitter 利用者が少ない地域においては, 少ない情報の中から信頼性の高い情報をいかに抽出するかが課題となるであろう。

5. 終わりに

2009 年 8 月の兵庫県佐用災害以降, 大雨時の避難のあり方にあらためて関心が高まっている。特に雨量強度が強まった以降は, 指定された避難場所に避難するよりも堅牢な建物の 2 階以上に逃れた方がよい, といった見解も出されつつある。特に大都市圏はマンションをはじめ一定の高さであれば水害から逃れることができる場所が多く存在することから, より正確な情報を提供することにより人的被害を軽減させることが可能であろう。

また, 都市圏の多くの自治体は, 気象情報のほか, 独自の雨量情報や水位情報をインターネットで積極的に公開している。こうした情報を日常的に活用できれば, 福岡の事例のように大雨による経済的損失を軽減させることもできる。この種の情報が Twitter などにより自発的に“交流”する仕組みを作る(もしくは後押しをする)ことにも着目すべきである。

今後, 地球温暖化のみならずヒートアイランドにより, 都市域の局地的な大雨頻度は高まる可能性もあることから, 様々なメディアを活用し, 住民・自治体・企業が, それぞれの立場で「どのように」情報を利活用するかを考え行動することが, 都市水害の軽減につながるものと考えられる。

参考文献

- 1) 文部科学省, 気象庁, 環境省, 2009: 温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」, 65pp
- 2) Iwashima, T & Yamamoto, R. (1993): A statistical analysis of the extreme, events :Long-term trend of heavy daily precipitation J.Meteor.Soc. Japan. 71, 637-640
- 3) Karl, T.R., R.W. Knight & N. Plummer (1995): Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century, Nature, 377, 217-221
- 4) 鬼頭昭雄, 2005: 温暖化で大雨は増えるのか, 科学, 75, 1155-1158
- 5) 気象庁, 2005: 地球温暖化予測情報第6巻
- 6) 東京大学他, 2007: 人・自然・地球共生プロジェクト平成18年度報告書
- 7) 山元龍三郎, 1999: 温暖化とメソスケールの気象—台風・集中豪雨の激化は, 科学, 69, 627-630
- 8) 藤部文昭, 2004: ヒートアイランドが降水に及ぼす影響—夏の対流性降水を中心に—, 天気, 51, 109-115
- 9) 藤部文昭, 世古 弘, 小司禎教 2003: 関東平野における夏季高温日午後の降水分布と地上風系との関係, 天気, 50, 777-786
- 10) 神田 学, 井上裕史, 鶴野伊津志, 2000: “環八雲”の数値シミュレーション, 天気, 47, 83-96
- 11) 佐藤尚毅, 高橋正明, 2000: 首都圏における夏季の降水特性の経年変化, 天気, 47, 643-647
- 12) 立平良三, 1978: 降水の予測, 天気, 25, 505-516
- 13) 三好建正, 2010: データ同化への誘い, 天気, 57, 208-211
- 14) 田中 創, 守屋 岳, 岩淵哲也, 日下博幸, 2010: WRF-3DVAR を用いたリアルタイム GPS 可降水量の同化実験, 天気, 57, 213-228
- 15) 内閣府, 2010: 大雨災害における避難のあり方検討会 報告書, 47pp
- 16) 静岡大学防災総合センター牛山研究室, 2010: 大雨による災害と防災情報に関するアンケート 報告書, 15pp
- 17) 総務省, 2008: 地域の安心・安全情報基盤に関する研究会 報告書, 42pp
- 18) 日本災害情報学会, 2008: 第二次「デジタル放送研究会」研究報告(要旨) 災害情報における放送と通信の連携, 17pp
- 19) 泉 正彦, 原田恒夫, 2004: 福岡での河川氾濫と防災機種情報の利活用, 日本災害情報学会予稿集
- 20) ネットレイティングス株式会社, 2010: Nielsen Online 最新のニュースリリース HTML 版,
http://www.netratings.co.jp/New_news/News04272010.htm