

□集中豪雨のメカニズムと予測技術の 現状、防災気象情報の利用について

気象庁予報部予報課 調査官 立原 秀一

1. はじめに

平成16年7月の集中豪雨により、新潟県や福井県では河川が氾濫するなどの大きな災害が発生しました。この豪雨災害にとどまらず、日本は梅雨前線や台風の影響で毎年のように集中豪雨に見舞われ、土砂災害や浸水、河川の氾濫などの災害が発生しています。

「集中豪雨」とは、比較的狭い範囲に大量の雨が降る現象を指しています。夕立の時

のような激しい雨が、何時間も続くことが特徴です。本稿では「集中豪雨」が起こる背景や特徴を解説すると共に、豪雨の予測技術の現状や防災気象情報の効果的な利用方法について述べることにします。

2. 近年の集中豪雨災害

第1表は、平成10年以降に大きな災害をもたらした主な豪雨事例です。豪雨災害は

第1表 平成10年以降の主な豪雨事例

年 月	災害名・要因	概 要
平成10年8月	新潟豪雨	新潟市で日雨量265mm。従来の日雨量記録の1.6倍。
平成10年8月	那須豪雨	栃木県那須町で日雨量607mm、従来記録の3倍。
平成10年9月	高知豪雨	高知市で日雨量628mm、従来記録の1.2倍。
平成11年6月	梅雨前線・低気圧	福岡市地下室で死亡事故、広島県で土砂災害多発。
平成11年8月	熱帯低気圧	神奈川県玄倉川で遭難。埼玉県大滝村で日雨量440mm、従来記録の1.6倍。
平成12年9月	東海豪雨	名古屋市の新川破堤。床上浸水2万余棟。名古屋市で日雨量428mm。
平成13年9月	台風第16号	南西諸島に停滞。久米島で総雨量967.5mm、年平均降水量の約半分。
平成14年7月	台風第6号	長良川増水。岐阜県根尾村で日雨量495mm、従来記録の1.4倍。
平成15年7月	梅雨前線・低気圧	福岡市で河川氾濫、熊本県水俣市で土石流被害。
平成15年8月	台風第10号	北海道日高で河川氾濫。平取町で日雨量358mm、従来記録の1.7倍。
平成16年7月	新潟・福島豪雨	新潟県で河川氾濫。栃尾市で日雨量421mm、従来記録の2.5倍。
平成16年7月	福井豪雨	福井県で河川氾濫。美山町で日雨量283mm、従来記録の2.2倍。
平成16年7-8月	台風第10号	徳島県や奈良県で総雨量1,000mmを超える記録的な大雨。

毎年のように発生しており、しかもその地域は全国に広がっていることがわかります。また、従来の日雨量の記録を大きく上回る雨も各地で観測されています。

近年は都市化の進展など社会環境の変化に伴って災害の様相が次第に変わってきており、土砂災害や中小河川の氾濫、浸水が目立つようになってきました。平成11年6月の豪雨で、広島県では広島市・呉市で土砂災害のため24人の死者が出ました。土砂災害による犠牲者が多かった背景には、急激に進んだ宅地化があるとみられています。また、同じ日に福岡県では、福岡市を流れる御笠川の氾濫によって浸水したビルの地階で1人が水死した他、多くのビルや地下施設が浸水し、市民生活に大きな影響が出ました。都市には人口や資産が集中しています。ひとたび都市部で災害が起これば、その被害は甚大なものになることが改めて認識されています。

3. 集中豪雨のメカニズム

集中豪雨は、台風の接近時などのほか、日本付近に前線がのびる梅雨期などに多く発生します。集中豪雨が発生している地域には、多くの場合、湿った空気が流れ込んでいます。この流入域は舌のような形となることから、「湿舌」と呼ばれています。

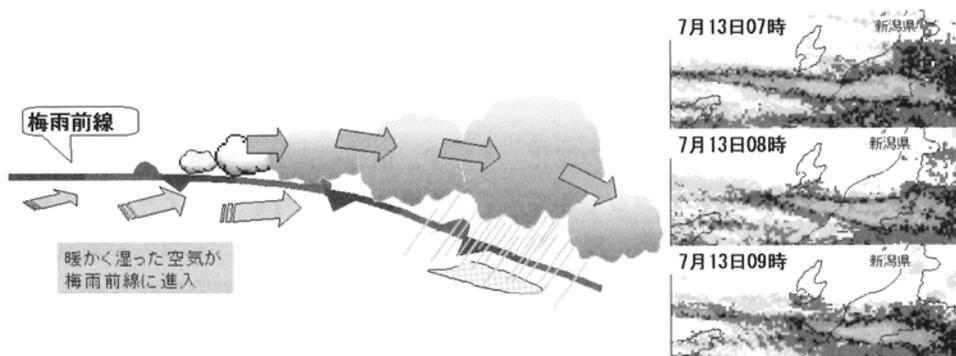
この湿った空気は、南シナ海や太平洋西部の熱帯域などからもたらされます。海面からの蒸発によって大気中に水蒸気が供給され、それが南シナ海のモンスーンや太平洋高気圧の周辺を吹く風、あるいは台風に伴う大気の流れによって日本付近に運ばれ、

大雨の源となります。

梅雨前線を挟んで南側と北側では水蒸気量に明瞭な差があります。南側は水蒸気量が多く、北側は少ない分布をしています。前線の南側には湿舌が認められることも多々あります。このようなところへ、低気圧の発生や接近、上空への寒気の流入など、大気の状態を不安定化させる要因が加わると、前線付近での対流活動が活発になります。

集中豪雨の多くは、発達した積乱雲が集まって列状となり、同じような地域に次々に流れ込むことによって発生しています(第1図)。通常、1つの孤立した積乱雲の寿命は数十分程度ですが、積乱雲が列を形成すると、全体の雲の集団としては数時間以上にわたって持続することがあります。

ここで注目すべきことの1つは、積乱雲の列が自分自身の力で雲列を維持している場合があるという点です。最近の調査によれば、豪雨をもたらす積乱雲列の内部構造は、雲列に向かう高温多湿な空気の流れや上空の乾燥・寒冷な空気の流れ、積乱雲の中で作られる雨滴や氷粒の動態、地表に吹き出す冷気などが複雑に作用したものとなっています。そして、雲列を構成する個々の積乱雲は、強い雨を降らせる一方で、お互いに影響を及ぼし合い、新たな積乱雲の発生や発達に密接に関係していることが指摘されています。つまり、積乱雲列の周辺からエネルギーと水蒸気の供給が持続するならば、一度形成された積乱雲の雲列は、内部の相互作用によって、大雨を降らせながら長時間同じような位置に維持されているということです。この状況は、一般には「発達した雨雲が停滞している」などと表現されますが、



第1図 梅雨前線による集中豪雨の概念図（左図）と、2004年7月13日の新潟付近のレーダー・アメダス解析雨量（右図）

積乱雲が列状になって次々と同じ地域に流入します。各々の積乱雲はお互いに影響を及ぼしながら発生、発達、消滅を繰り返します。2004年7月の新潟の例（右図）では、筋状になった強雨域が数時間にわたって新潟県に流入している様子が見えます。なお、レーダー・アメダス解析雨量については後述します。

実際には列状の雨雲の中で、積乱雲が次々に発生・発達・消滅を繰り返しているのです。

このような状況に加えて、山岳による気流の上昇や、別の積乱雲列の合流・併合などの要因が重なると、より激しい現象に結びつくことになります。平成16年7月に新潟県や福島県、福井県で発生した集中豪雨も、まさにこのような背景の下に発生したとみられています。

集中豪雨の発生するしくみについては、未だに十分には解明されていません。しかし、近年の観測技術の進歩や多様な研究により、少しずつその特徴が明らかにされつつあります。

4. 集中豪雨の観測および予測技術の現状

集中豪雨による被害を最小限にするため、気象庁は最新の技術を駆使して気象現象の

監視と予測を行っています。ここではその技術について紹介します。

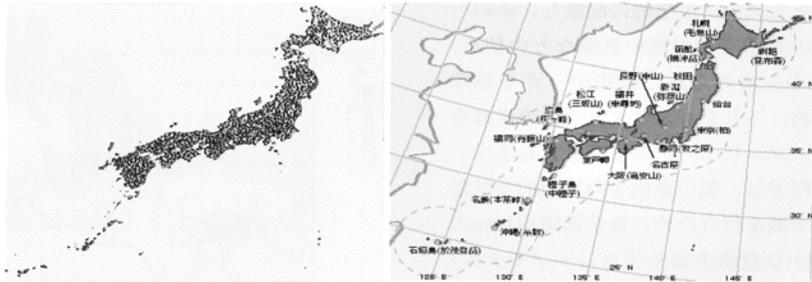
4-1. 観測技術

4-1-1. アメダス（第2図）

アメダスは、全国各地において気温、風向風速、雨量等を10分間隔で観測し、その観測データを気象庁に自動的に収集するシステムです。雨量については全国約1,300地点で観測しています。

4-1-2. 気象レーダー（第2図）

気象庁では、全国20か所に気象レーダーを配置し、10分間隔で雨の状況を観測しています。レーダーは、観測地点からどの程度離れた位置にどの程度の強さの雨が降っているかを測定しています。20台のレーダーの観測結果を合成して、日本の陸域と近海における広い地域の雨などの分布を把握することができます。



第2図 アメダスの雨量観測地点（左図）と気象レーダーの配置地点（右図）

4-1-3. レーダー・アメダス解析雨量

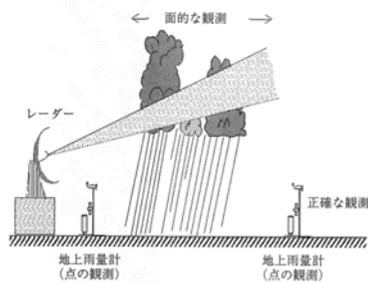
気象レーダーは、雨の面的な分布を把握することに大きな威力を発揮しますが、レーダーが捕らえるのは数km上空の雨や雨雲です。一方、アメダスなどの地上雨量計は、その地点の雨量を観測しますが、局地的な豪雨の場合には捕らえられないことがあります。気象庁は、漏れなく雨をキャッチするレーダーと、地点ごとに雨量を観測する雨量計の両方の長所を組み合わせ、全国を2.5km四方に区切った約5万個のメッシュごとに30分間隔で雨量を算出する「レーダー・アメダス解析雨量」を開発し、運用しています。これにより、山間部等、雨量計の無い地域でも、精度の高い雨量監視が可能な

ほか、雨量計の間をすり抜けるような局地的な豪雨も漏れなく把握し、精密な雨量を算出しています。

4-2. 予測技術

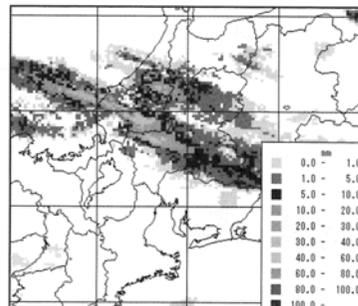
4-2-1. 数値予報—メソモデル

数値予報は、大気の力学や熱力学などの物理法則に基づいて、風や気温などの時間変化を数値計算して、将来の大気の状態を予測するものです。数値予報を行う手順は、水平方向や鉛直方向に規則正しく並んだ格子を大気中に仮想的に配置し、その一つ一つの格子点での風や気温などの値を、世界中から集められた観測データを処理して求め、これをもとに大気状態の推移をスーパ



第3図 気象レーダーと雨量計の観測の概念図

気象レーダーは上空の雨の状況を広い範囲で観測します。一方雨量計はその地点の雨量を観測します。



第4図 レーダー・アメダス解析雨量図の出力事例

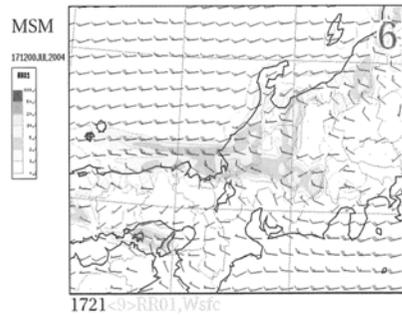
平成16年7月18日6時の例。福井県を中心に豪雨となっていることがわかります。

ーコンピュータで予測計算します。

気象庁では、集中豪雨等の局地的な気象現象の予測を行うため、格子間隔約10kmのきめ細かな数値予報モデル(メソモデル)を、1日4回(18時間先まで予測)運用しています(第5図)。

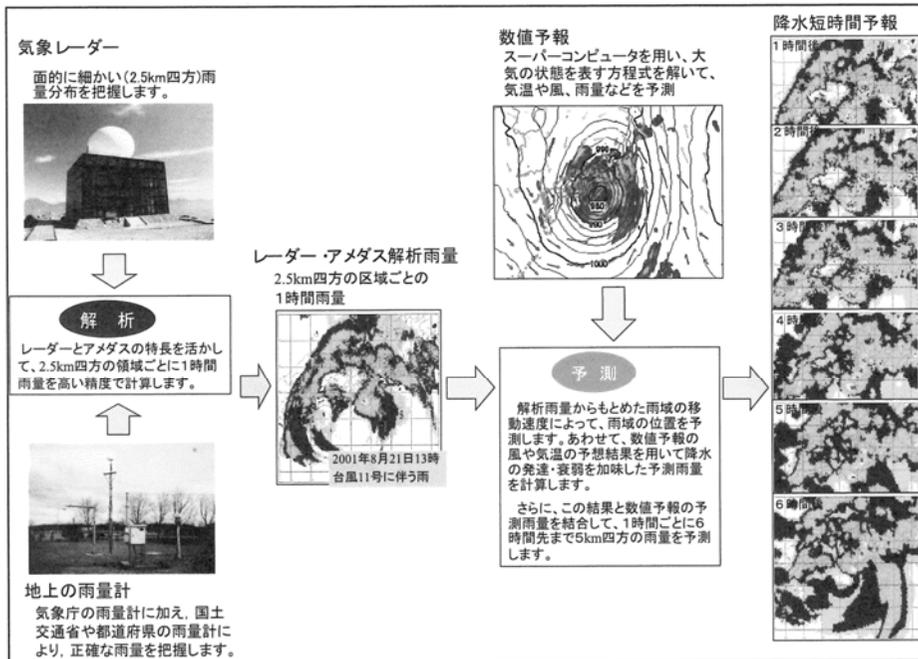
4-2-2. 降水短時間予報(第6図)

降水短時間予報は、レーダー・アメダス解析雨量を初期値とし、日本全国を5km四方の区域に区切り、各々の区域を対象として6時間先までの雨量を予想します。



第5図 数値予報(メソモデル)による降水予測

平成16年7月17日21時のデータをもとに、9時間後の7月18日6時の雨と風の状況を予測した結果。福井県や岐阜県を中心に局地的な大雨になることを予想しています。



第6図 レーダー・アメダス解析雨量と降水短時間予報の概念図

5km四方領域ごとに6時間先までの1時間雨量予測を30分ごとに発表しています。

4-2-3. 降水ナウキャスト(第7図)

近年注目されている都市型水害では、激しい雨が降り出してから30分以内に中小河川の増水や浸水などの被害が起こる危険があります。このような災害に対しては、最新の実況把握に基づき、短い時間間隔で雨量を予測する必要があります。しかし、降水短時間予報は30分に1回の発表なので、雷雨のような急速に発達する現象の予測には限界があります。この弱点を補うために開発されたのが「降水ナウキャスト」です。降水ナウキャストは10分ごとに出力するため、短時間の集中豪雨の予測に適した資料です。

降水ナウキャストの仕組みは、降水短時間予報で得られた移動ベクトル(雨域の移動方向と速さ)を使用して、気象レーダー観測から求められる初期の降水強度分布を移動させ、10分ごとに1km四方領域ごとの10

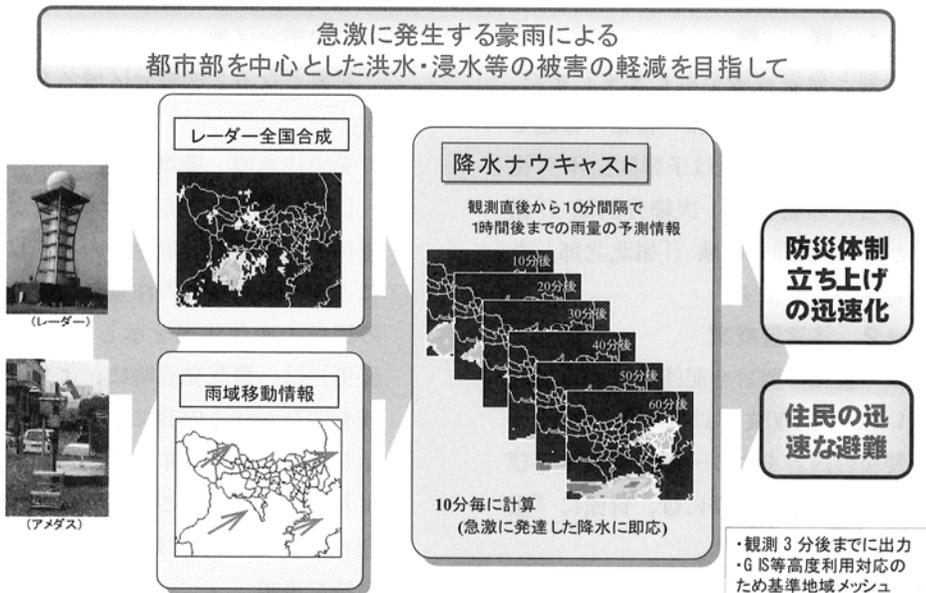
分間雨量を1時間先まで求めるもので、観測後3分以内に出力します。

5. 気象庁の防災気象情報

気象庁では、第4章で紹介した観測技術や予測技術に基づき、防災機関等が適切な防災活動に対応できるよう、警報や注意報等の防災気象情報を発表しています。また、これらに関係行政機関や都道府県等の防災関係機関に迅速に伝達するとともに、報道機関の協力を得て住民へも伝えています。

5-1. 注意報・警報(第8図)

災害が発生するおそれがある場合に、予想される災害の大きさや種類に応じて発表します。平成16年3月現在、全国を362の細分区域に分け、それぞれの区域を対象と



第7図 降水ナウキャストの概念図

平成16年 7月18日08時42分 福井地方気象台発表 嶺北」大雨, 洪水警報」雷注意報」 嶺南」大雨, 雷, 洪水注意報」 ((重要変更! 嶺北では土砂災害に嚴重に警戒してください。特に福井市, 清水町, 朝日町, 松岡町, 鯖江市, 美山町, 池田町, 大野市では過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっています。浸水害にも警戒して下さい。))		標題 注意警戒文
① 嶺北北部 [重要変更]大雨警報 [継続]洪水警報 雷注意報 ② 特記事項 土砂災害警戒 浸水警戒 ③ 雨 18日夕方まで 1時間最大雨量 80ミリ ④ 24時間最大雨量 300ミリ 付加事項 氾濫 突風 ひょう ⑤	嶺北南部 [重要変更]大雨警報 [継続]洪水警報 雷注意報 特記事項 土砂災害警戒 浸水警戒 雨 18日夕方まで 1時間最大雨量 80ミリ 24時間最大雨量 300ミリ 付加事項 氾濫 突風 ひょう 奥越 [重要変更]大雨警報 [継続]洪水警報 雷注意報 特記事項 土砂災害警戒 浸水警戒 雨 18日夕方まで 1時間最大雨量 80ミリ 24時間最大雨量 300ミリ 付加事項 氾濫 突風 ひょう (以下同様に嶺南東部, 嶺南西部のブロックが続くが, この例では省略)	内容 

第8図 注意報・警報の発表例

平成16年7月18日8時42分、福井地方気象台発表の警報。

して注意・警戒を呼びかけます。

5-1-1. 標題

発表時刻と発表官署を示します。また、地域ごとに該当する注意報・警報の標題を列挙します。対象地域名は予報区全体(「福井県」など)の場合や1次細分区域(「嶺北」など)、2次細分区域(「嶺北北部」など)の場合があります。

5-1-2. 注意警戒文

注意報・警報の要旨を記述します。最も訴えたい事項を100文字以内で簡潔に述べます。警報の内容をより一層の警戒を呼びかける内容に変更した際には、冒頭に「重要変更1」を付加します。

5-1-3. 内容

2次細分区域ごとに、気象現象に伴う具体

的な予想を簡潔に記します。

① 2次細分区域

対象となる2次細分区域名を示します。

② 発表注意報・警報の状況

[重要変更]・[発表]・[警報から注意報]・[継続]・[解除]のキーワードにより、前回発表の注意報・警報からの標題の変化状況を示します。[重要変更]は、警報発表時に、より一層警戒を呼びかける内容に変更したことを示します。平成16年3月から、大雨により土砂災害の起こる可能性が極めて高くなったとき*に用いています。

③ 特記事項

土砂災害、浸水への警戒を特に呼びかける場合、「土砂災害警戒」などと記

述します。また、注意報から警報に切り替える可能性が高い場合には、「〇〇までに△△警報に切り替える可能性がある」などと警報の予告を行います。

④ 気象要素と具体的な予想

現象の発現時間帯やピーク、量の予想について、「雨」「風」などの要素ごとに記述します。

⑤ 付加事項

現象に付随して起こる警戒すべき現象を示します。

5-2. 気象情報

台風や低気圧、大雨などに関する現在の状況や今後の推移を述べます。対象とする地域や状況に応じて各種の情報を発表します。特に警報の発表時には、随時に発表する気象情報が警報を補完する役割を担っており、警戒を要する事項や現象の推移などを克明に示します。なお気象情報では、状況により図を用いることがあります。

5-2-1. 全般気象情報

低気圧や前線などによって日本国内の広い範囲に影響が出る可能性が高い場合や、既に現象が発生しているときに、現状と今後の概括的な見通しについて発表します。

また、規模は小さいながら非常に激しい現象により顕著な災害が予想されるときにも発表します。

5-2-2. 地方気象情報

全国を11の地域に分け、それぞれの地域を担当する気象台が必要と判断したとき、その地域における気象現象や今後の見通しについて発表します。

5-2-3. 府県気象情報(第9図)

各都道府県にある気象台などが、担当する地域における詳細な気象状況や今後の見通しを発表します。

① 標題: 標題には現象名を付加し、一連の番号を付けて扱います。発表時刻は防災関係機関の執務時間や、テレビやラジオのニュース時間も考慮しています。

② 見出し: 情報の要旨を簡潔に記述します。最も伝えたいことを手短かに述べます。

③ 本文: 小見出しをつけるなど、見やすく簡潔に記述します。特に激しい現象が発生している地域を中心に、観測データや今後の予想、警戒すべき事項について総合的に述べます。

【図形式気象情報】(第10図)

気象情報は、図形式で発表する場合があります。図を用いることで、現象の発生している地域や程度が視覚的に理解できます。添付した図の着目点についてコメントするとともに、最も重要な警戒事項についても簡潔に記述します。

5-2-4. 記録的短時間大雨情報(第11図)

数年に一度程度しか現れないような雨が発生したときには、重大な災害に結びつくおそれがあることから、記録的短時間大雨情報を発表します。事実を速やかに伝達するため、簡潔に「いつ」「どこで」「どの程度」のみ示します。

大雨に関する福井県気象情報 第8号

平成16年7月18日09時30分 福井地方気象台発表

(見出し)
 嶺北では、引き続き18日昼前かけ、猛烈な雨が降るでしょう。又、過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっています。土砂災害、河川の増水、低地の浸水に引き続き厳重な警戒が必要です。

(本文)
 [要因]
 梅雨前線は北陸地方をゆっくりと南下中で、県内に発達した雨雲がかかっています。このため福井県では嶺北中心に、引き続き18日昼前かけ、大雨となるでしょう。

[雨の実況]
 18日09時までの1時間にレーダーアメダス解析雨量では福井市付近で約70ミリ、朝日町付近で約70ミリの雨を観測しました。

降り始めから18日09時までの各地の24時間降水量は、三国77ミリ、越前82ミリ、福井193ミリ、美山271ミリ、勝山138ミリ、大野90ミリ、和泉村九頭竜96ミリ、武生市春日野51ミリ、池田町板垣159、今庄39ミリとなっています。

[雨の量的予想]
 降り始めから18日夜遅くまでの降水量は、嶺北の多い所で300ミリに達する見込みです。嶺北では、18日昼前にかけて1時間80ミリの非常に激しい雨の降る所があるでしょう。

[防災事項]
 土砂災害、堤防の決壊、河川の増水、低地の浸水、落雷、突風などに警戒して下さい。

[特記事項]
 現在、嶺北に大雨・洪水警報を発表しています。今後、気象台の発表する警報、注意報、情報に十分留意して下さい。

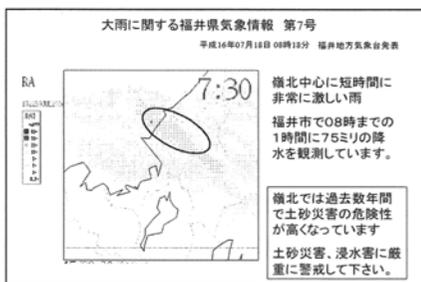
[情報の発表予定]
 次の福井県気象情報は18日昼過ぎに発表する予定です。=

① 標題

② 見出し

③ 本文

第9図 府県気象情報（文章形式）の例
 平成16年7月18日9時30分、福井地方気象台発表。



第10図 府県気象情報（図形式）の例
 平成16年7月18日8時18分、福井地方気象台発表。

福井県記録的短時間大雨情報 第2号

平成16年7月18日6時10分 福井地方気象台発表

6時福井県で記録的短時間大雨
 美山で88ミリ
 福井市付近で約80ミリ

第11図 記録的短時間大雨情報の例
 平成16年7月18日6時10分、福井地方気象台発表。

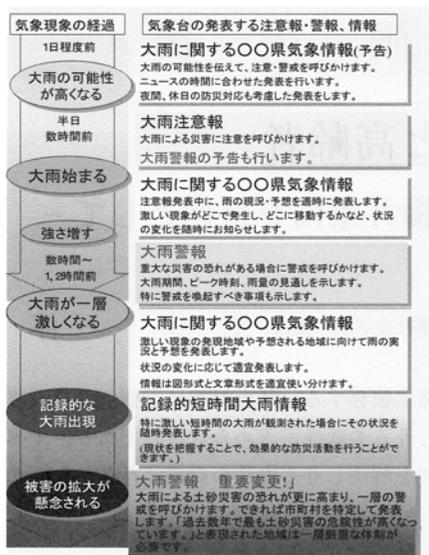
去の気象災害なども考慮しながら、常に気象現象の推移を監視しています。その上で、気象現象の程度と経過に応じて、警報など一連の防災気象情報を発表します。

5-3. 気象現象の経過に応じた注意報・警報、気象情報の発表（第12図）

気象庁では最新の観測技術や予測手段を駆使し、さらには地域の気象特性や地形、過

6. まとめ

大雨の可能性は、1日程度前にはある程度



第12図 気象現象の経過と注意報・警報、気象情報の発表

大雨を例に、防災気象情報の発表の流れを示します。

予想することが可能ですが、集中豪雨など特に激しい現象を数日前の段階で予測することは、残念ながら現状では困難です。

過去の記録に並ぶような豪雨が予測できるのは数時間前になってからです。

気象庁は平成16年9月から、積乱雲の中での水滴や氷などの動態を計算に取り入れたモデルの運用を開始しました。このモデルでは豪雨の発生する地域や強さ、発生の

タイミングなどを、これまで以上の精度で予測できることが実験で確認されており、より確度の高い集中豪雨の予測が可能となります。また、平成17年度中に、レーダー・アメダス解析雨量のメッシュを1km四方領域へと緻密化するほか、平成18年3月にはメソモデルの格子間隔を10kmから5kmへと小さくし、大雨の予測精度をさらに向上させる計画です。さらに、豪雨等の原因となる積乱雲について詳細に把握できる気象ドップラーレーダーを順次導入して、観測体制を強化していく計画です。

これら技術基盤の整備とともに、防災気象情報のあり方や提供手段についても、消防庁をはじめとする各防災関係機関や研究機関、情報メディアなどと協力してより一層の改善を進めていく予定です。

気象庁は、今後も気象災害に対する防災対策に役立つよう、そして被害の軽減に寄与できるよう、適切な資料の提供と的確な防災気象情報の発表に努めていきます。

*消防科学と情報、2000春60号に「土砂災害の軽減に向けた『土壌雨量指数』の開発」と題して、土砂災害の予測に関する内容が掲載されています。こちらもご参照ください。