

1052：4011：407（市町村注警報；ナウキャスト；アンサンブル予報）

## 1. 豪雨等予測の現状と取り組み

永 田 雅\*

### 1. はじめに

今回のシンポジウムのテーマである災害を引き起こすシビアな大気現象のスケールは幅が広い。台風や発達した温帯低気圧（～1000km，～1日）と個々の積乱雲（～10km，～10分）では約2桁（100倍）の違いがある。例えば、台風や温帯低気圧は相対的に規模が大きく、各種の観測ネットワークと数値解析・予報モデルの網で捉えることができ、数値予報が有効である（永田 2009）のに対して、個々の積乱雲は規模が小さ

いため、全国展開の現業観測システムで詳細を捉えることができるのは、擾乱のいわば「影絵」に相当するレーダーエコー等に基づく雨量分布図などに限られ、最新の現業メソ数値予報でもまだ予測の対象になっていない。このように、対象とする現象や擾乱のスケールによって監視や予測の状況が大きく異なることから、その技術、あるいは、技術に基づく防災情報の有効性などを議論する際には、対象のスケールを明らかにすることが必須であり、一律に論じることは適当ではない。

この点に注意しながら、ここでは、まず始めに近年の自然災害の傾向を概観し、気象情報の提供による防

\* 気象庁予報部業務課（現 気象庁観測部）。

© 2012 日本気象学会

災の観点で、重点を置くべき対象について考える。続いて、技術開発の現状を説明し、最後に、技術と業務の改善に向けた取り組みについて紹介する。

## 2. 最近の自然災害（気象災害）の傾向

ここでは人的被害のみ取り上げる。内閣府の防災白書の統計によれば、顕著な地震・津波災害によるものを別にすると、自然災害による死者・行方不明者の数は、戦後一貫して減少してきている。1959年の伊勢湾台風以後は、死者・行方不明者数が1,000人を超える気象災害は発生していないし、気象災害の原因の中で大きな割合を占める台風による死者・行方不明者数が100人を超える例は1979年の台風第20号を最後にそれ以降は発生していない。このような気象災害に伴う人的被害の着実な減少には、継続して取り組まれてきたハードとソフトの両面の対策が大きく貢献していることは疑いが無い。ただし、ここで一つ注意すべき点は、いわゆる「昭和の三大台風」（室戸台風、枕崎台風、伊勢湾台風）に匹敵する勢力の台風が、1961年の第二室戸台風以降のほぼ50年間、日本本土に上陸していないという幸運に恵まれたことである。

「昭和の三大台風」や広域に記録的な大雨をもたらすカスリーン台風のような、広域に甚大な災害をもたらす、平均では数十年に1度以下の頻度でしか発生しないイベントを「特異イベント」と呼ぶことにすると、そのような特異イベントに伴う災害では、広域避難など特別な対策が必要になる可能性が高い。このような特異イベントに伴う災害と、最近もしばしば発生して広域避難など特別な対策を必要としない規模と程度の自然災害は、分けて考える方が整理しやすいと考えられる。ここでは、「特異イベント」が発生しなかった最近10年間（1999年～2008年）の自然災害の特徴を、内閣府の防災白書（平成12年～21年版；内閣府2000－2009）（消防庁資料に基づく）、警察庁の警察白書（平成12年～21年版；警察庁2000－2009）で調べてみた。それによると、10年間の自然災害による死者・行方不明者数の内訳は

- ・風水害625人
- ・雪害433人
- ・地震災害114人
- ・その他24人（以上、防災白書による）
- ・落雷30人（警察白書による）

となっていて、気象災害の中では風水害と雪害による死者・行方不明者数が多い。風水害の内訳としては、

牛山（2010）による2004年～2008年の5年間についての調査によれば、土砂災害と浸水を含む洪水害（以下では、合わせて「大雨災害」と呼ぶ）の占める割合が大きい。もう一つ注目されるのは、雪害による死者・行方不明者数が多く、この10年間のうちの6年は気象災害の中で最大の割合を占めていることである。

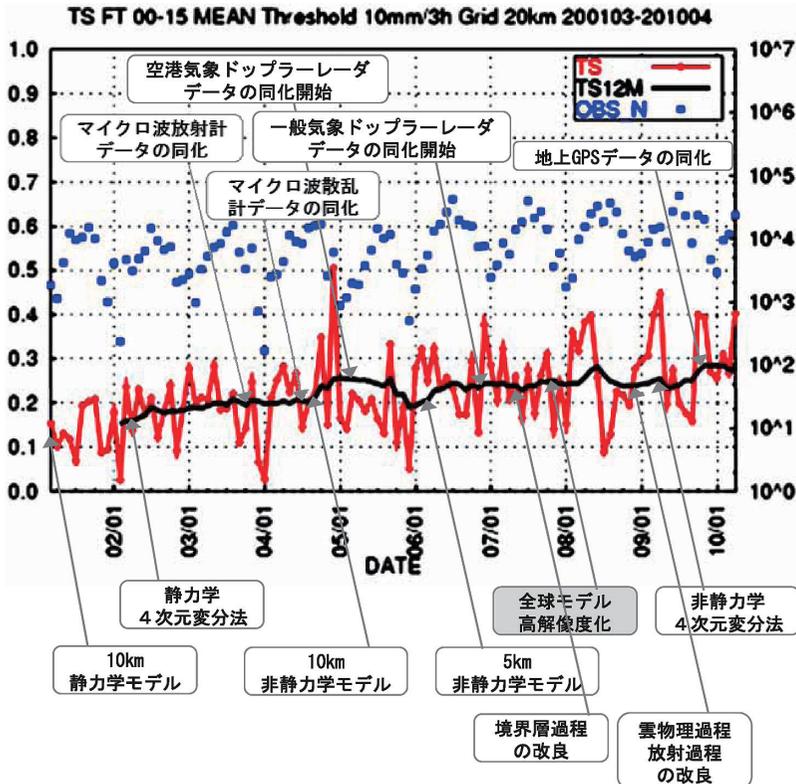
以上をまとめると、気象災害における人的被害を大きく減らすためには、毎年のように発生する様々な種類の大気災害と、雪害、それに数十年に1度しか起こらない「特異イベント」（非常に勢力の大きな台風や広域に記録的な大雨をもたらす台風など）に備えることが必要かつ効果的と考えられる。

## 3. 観測と予測等の技術の現状

昨年（2009年）は日本の気象業務と防災対策に重要な変革をもたらした伊勢湾台風による災害と、今や気象予測技術の中核を担う数値予報の現業運用開始から、いずれも50周年という記念の年だった。当時（1960年前後）は、地上気象観測とゾンデによる高層気象観測が主で、静止気象衛星もなく、数値予報は384km格子の北半球1層モデルによる1日1回の予報だった。その後、観測では、レーダー観測網やアメダス観測網の展開に続いて、静止気象衛星の観測が始まり、最近では、ウィンドプロファイラ、ドップラーレーダー、地上GPS（国土地理院電子基準点等）なども加わった。また、数値予報については、20km格子60層の全球モデルを1日4回、5km格子50層のメソモデルを1日8回運用するまで発展している。モデルそのものの改良開発と並ぶ特に重要な発展は、数値予報の初期値解析に4次元変分法を用いることによって、モデルの予報変数でない観測データや定時以外に観測されたデータもそのまま初期値解析に利用可能となったことである。これにより、極軌道衛星の観測データを含めて飛躍的に利用データの種類と量が増え、計算機の性能の著しい向上、高度な解析技術の採用と相まって解析精度と予測精度を高めるのに貢献した。

メソモデルによる予測技術の発展の経過は、2006年までの分について、斉藤・牧原（2007）に簡潔にまとめられている。その後の改善事項は以下の通りである。

- ・2007年5月 予報時間の延長（1日8回のうち4回の予報を33時間まで）と合わせて、物理過程（境界層過程等）の改良



第1図 気象庁メソ数値予報モデル (MSM) による降水量予測精度の経年変化 (2001年3月～2010年4月)。10mm/3hを閾値とする観測と予測の「あり」「無し」の組み合わせで構成される4分割表から「(観測)無し」「(予測)無し」の事例を除いて計算した的中率 (スレツスコア: TSと略記) について、予報時間0-15hの平均値を計算したものを示す。「TS」(赤実線)が毎月の平均値, 「TS12M」(黒実線)が前12カ月の移動平均を表す。「OBS N」(青点)は閾値以上の観測有りの事例数(右縦軸の対数目盛)を表す。予報モデル等の主要な改善事項を、実施時期を示す箇所に付記してある。

- ・2008年12月 物理過程 (雲物理過程, 放射過程) の改良
- ・2009年4月 非静力学メソ4次元変分法の導入
- ・2009年10月 地上GPS (国土地理院電子基準点等) データの同化
- ・2006年12月～ (一般) ドップラーレーダー動径風データの同化 (現在, 20カ所中12カ所)

これらの改善と、側面境界値を提供する全球数値予報の精度向上によって、メソモデルによる降水量の予測精度は着実に向上を続けている (第1図)。

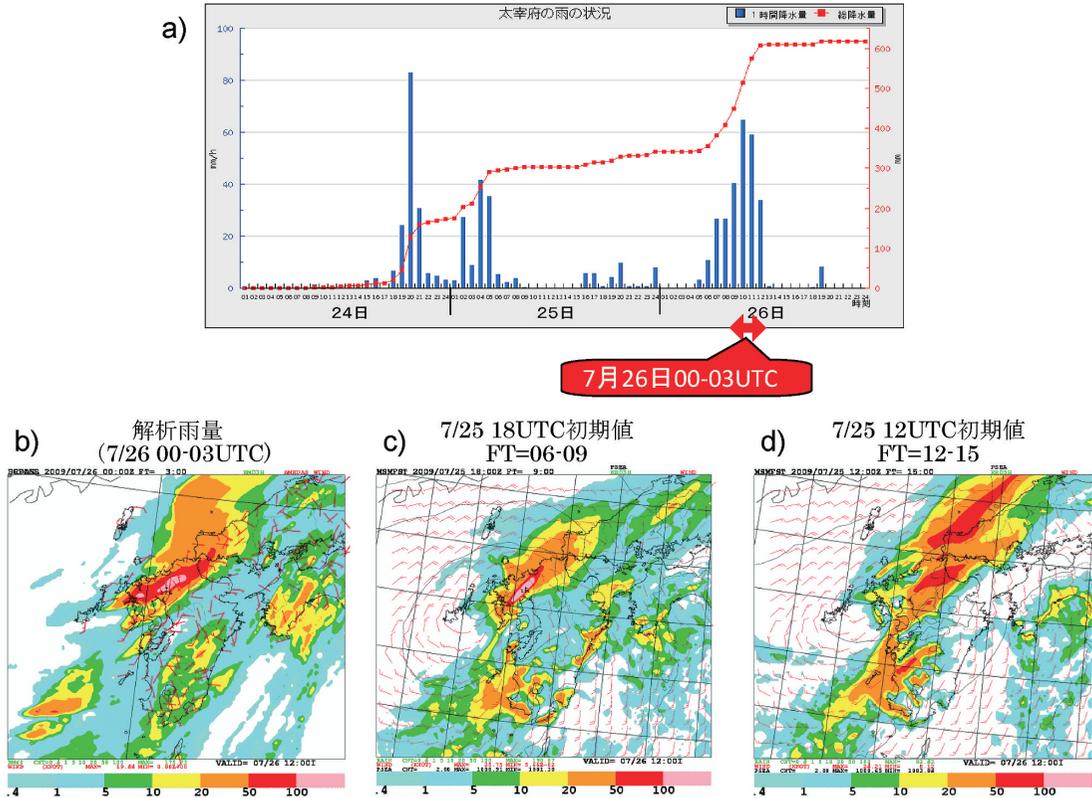
強い雨については、稀な現象で事例数が少ないため、信頼度の高い統計検証結果を得ることは容易ではない。ここでは、事例を示すに止める。第2図は、

「2009年7月中国・九州北部豪雨」の期間の7月26日午前の福岡県等の大雨について、5km格子のメソ数値予報モデルによる降水量の予測の状況を示したものである。全体としての降水地域の分布や最も降水強度が大きい場所等はかなりうまく予測できているが、降水地域の詳細や強い降水帯の走向などは必ずしも解析と一致していない。この例のように、梅雨期のメソβスケールの対流降水系による強い雨については、九州北部程度の広さの領域のどこかで発生するかもしれないという可能性は示せるが、早い段階で地域やタイミングを絞り込むことは困難なことが多い。

降水量の実況監視や、運動学的手法 (時間的外挿) を基本とする降水短時間予報の技術開発については、斉藤・牧原 (2007) がまとめているが、この分野については同じ期間に以下のような改善が行われた。

- ・2008年3月 解析雨量に国土交通省の全26レーダ雨量計データの利用を開始
- ・2008年5月 降水短時間予報の初期値に国土交通省の全26レーダ雨量計データの利用を開始
- ・2008年9月 降水短時間予報の強雨移動予測および地形性降水に関する技術改良
- ・2009年7月 降水短時間予報の地形性降水に関する技術改良
- ・2009年7月 レーダー観測の5分間隔化

また、これらの技術の業務への応用分野として、雨量を入力情報として、雨量そのものよりも災害との関係がより明瞭な各種の指数が開発され、2008年5月からは、土壌雨量指数 (岡田 2002) と流域雨量指数 (田中ほか 2008) が、それぞれ大雨警報 (土砂災害)、

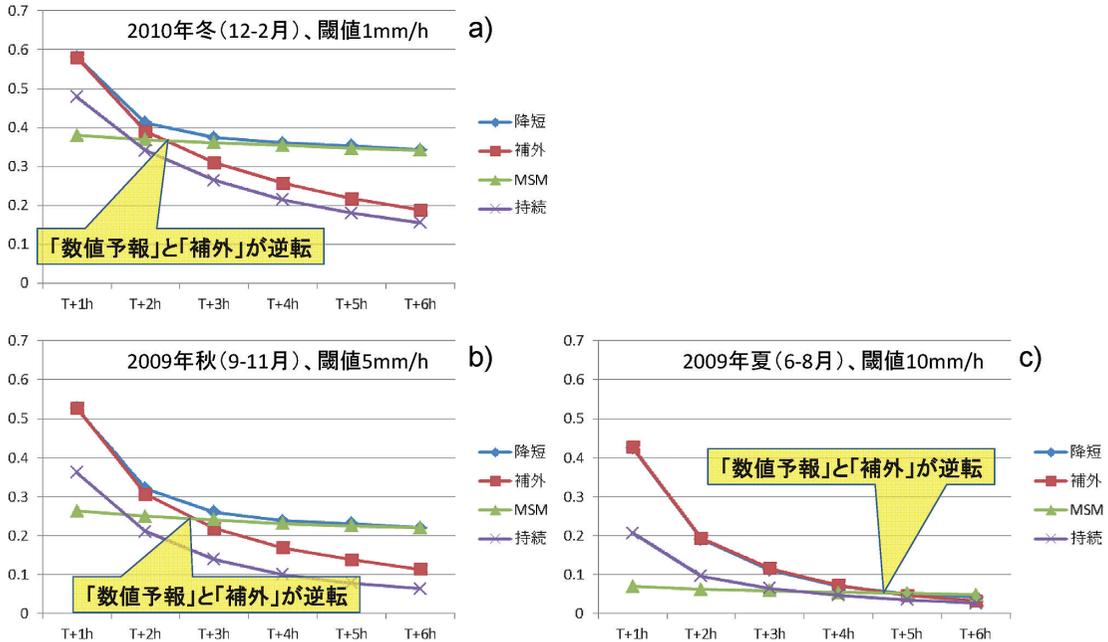


第2図 「2009年7月中国・九州北部豪雨」の期間の福岡県等の大雨についての、5 km 格子のメソ数値予報モデル (MSM) による降水量の予測。a) 福岡県太宰府市のアメダス観測点での1 h 降水量の時系列 (7月24～26日) (青の棒グラフ、スケールは左縦軸 mm/h) と日本時間24日00時からの積算降水量 (赤の折れ線グラフ、スケールは右縦軸 mm)。b) 7月26日00-03UTCの3時間の解析雨量 (単位 mm/3 h, 以下同様)、c) 7月25日18UTCを初期値とする06-09h 予測、及び、d) 7月25日12UTCを初期値とする12-15h 予測。

洪水警報の基準に採用されている。現在、降水量に関する資料は1 km 格子で、それをを用いて計算される土壌雨量指数と流域雨量指数は5 km 格子で作成されている。

降水量の予測精度の特性は、力学的手法 (数値予報) と運動学的手法で大きく異なる。数値予報は、大気の流れを可能な範囲で正確に表現する手法であり、予測精度が時間とともに低下する割合が運動学的手法に比べてはるかに緩やかである。しかし、解像度を始めとする様々な制約があって、各種の観測データとの整合とモデルの物理とのバランスを取りながら、初期時刻における降水強度の解析値を100%再現する初期値を用意することは困難であるため、予測の立ち上がりの時間帯では運動学的手法による降水短時間予報に比べて精度が劣るのがふつうである。対照的に、運動

学的手法による降水短時間予報は最新の降水量の推定値をそのまま初期値として用いることができるため、予測の立ち上がりの時間帯の精度は高い。しかし、基本的な手法が降水域の時間的外挿 (補外) であって大気の流れを表現しておらず、擾乱のライフサイクルや新たな発生を予測することは原理的に困難なため、精度は予報時間とともに急激に低下する。現在、これら2つの手法による降水量の予測精度 (20km 格子平均値のスレトスコア) が逆転するのは、概ね、夏期 (閾値10mm/h) で予報時間4～5時間、冬期 (閾値1 mm/h) で予報時間2～3時間である (第3図)。実際に現業運用している降水短時間予報では、このような性質を考慮して、前半部分が主に運動学的手法による予測、後半部分が主に力学的手法による予測となるような重み付き平均を用い、その重みを直近の疑似



第3図 メソ数値予報 (MSM) と運動学的手法 (補外), 持続予報 (持続), 及び, 降水短時間予報 (降短) による降水量予測精度 (スレットスコア) の比較. 予報時間 6h までの 1h ごとの値. a) 2010年冬 (前年12月-2月, 閾値 1mm/h), b) 2009年秋 (9月-11月, 閾値 5mm/h), c) 2009年夏 (6月-8月, 閾値10mm/h) について, それぞれ3ヵ月平均値.

予測の精度に応じて決める方法 (国次 2002) を採用している.

#### 4. 課題への取り組み

##### 4.1 技術の改善

災害を引き起こすシビアな現象のうち, 比較的スケールが大きいものに関しては, 全球数値モデルによる予測の精度が高く, その改善を進めることが基本となる. 気象庁では2012年3月にスーパーコンピュータシステムの更新によって大幅な計算能力の向上を実施する予定である. この新計算機上で全球モデルの鉛直解像度を高め, 各種物理過程の精密化を図るとともに, 多チャンネル赤外探査計など各種の衛星観測データ等の同化を進めて, 全般的な予測精度の改善を図るほか, 週間予報と台風予報用のアンサンブル予報用全球モデルの水平・鉛直解像度も高めて予測精度の改善を図り, 数日先の暴風雨 (雪) 等のシビアな現象の発現確率や予測の信頼度に関する情報の改善を目指している. 加えて, 台風アンサンブル予報のメンバー数を増やして台風進路予報の誤差や信頼度に関する情報の改善を目指している.

一方, 相対的にスケールが小さいシビアな現象については, 新計算機上でメソ数値予報モデルの鉛直解像度を高めるとともに衛星やレーダー等の観測データの高度利用等により1日程度先までの予測精度の改善を目指すほか, 2 km 格子の (高分解能) 局地モデルを毎時間運用することにより, 飛行場予報の改善と合わせて, これまで時間外挿主体の運動学的予測に依存していた予報時間 2~4 時間の時間帯の降水量等の短時間予測への数値予報の寄与を増やすことを狙っている. 合わせて, 降水量の実況監視や運動学的予測の分野についても精度向上の効果が認められた技術の改良をさらに進める予定である. また, 別のアプローチとして, 過去のシビア現象 (豪雨) についての系統的な調査 (事例解析と統計) の成果を整理し, それに基づいて様々な観測データと予測資料を用いて環境場と擾乱の客観的な診断を行い, その結果を擾乱 (メソ降水系) の盛衰傾向や持続時間, 移動速度等のパラメータを通じて豪雨の予測に反映させる手法の検討を行う予定である.

このほか, メソスケールにおいてもアンサンブル予報の技術が次第に確立されつつあることから, 今後は

業務での活用法の検討と連携しながら、実用化に向けた仕様の策定と試験・評価などの技術開発を進める必要がある。このために次期のスーパーコンピュータシステム上でメソアンサンプル予報の試験的な運用を予定している。

## 4.2 業務の改善

最近の防災気象情報の改善の主な取り組みは以下の通りである。

### 4.2.1 2004年の台風や梅雨期の豪雨による風水害の頻発を受けての改善

2004年の台風や梅雨期の豪雨による多数の風水害の発生を受けて、内閣府中央防災会議による有識者検討会（中央防災会議 2005）や国土交通省の政策レビュー（国土交通省 2005）が行われ、気象台等が発表する防災情報と、避難指示等の自治体の防災活動の間のリンクが十分に機能していないという問題点や関連する様々な課題の指摘が行われた。このうち、中央防災会議による有識者検討会の報告では、

- ・避難指示等の改善（意味の明確化、判断・伝達マニュアルの作成、要援護者の支援）
  - ・避難勧告等の判断基準に適合した基準による警報等の発表
  - ・予測技術の開発による情報の精度向上
- など、また、国土交通省政策レビューでは、
- ・防災活動の各段階に適合した防災気象情報の発表
  - ・市町村長の避難指示等の判断や住民の避難行動を一層支援するよう警報の内容・基準の見直し
  - ・関係機関との協力による土砂災害、洪水に関する警報等の高度化
  - ・市町村等の行政単位を対象とする警報等の発表
- などの提言が行われた。これを受けて、気象庁の具体的な施策として、

- ①災害との対応関係が良い新たな指標の導入  
土砂災害（土壌雨量指数）、洪水災害（流域雨量指数）、（浸水災害（実効浸水雨量）：現在開発中）
- ②発表基準の見直し
- ③発表区域の細分化（市町村単位）  
全国で375の現在の二次細分区域 → 全国の1,777の市区町村（一部はそれを分割した区域）  
等を推進することとして、これまで作業を進めてきた。その結果、①と②はすでに実現し、③についても、間もなく2010年5月27日に実現する予定である。  
①と②によって、より災害との対応が良い基準で警報

等が発表される。また、③によって、自治体や住民にとってわかりやすい市町村名を用いることで防災対応に結びつきやすくなると期待されるほか、これまで以上に地域と時間帯を絞り込んで警報等を発表することが可能になり、個々の市町村から見て空振りが減少する効果が期待されている。

### 4.2.2 2008年夏の局地的大雨による災害の頻発を受けての改善

2008年夏、局地的で短時間の大雨により人命が失われる災害や事故が複数発生したことを受けて、注意報・警報に至らないレベルの現象でも場所と状況によっては危険があるとの認識が広まり、交通政策審議会気象分科会では対応が検討された。その報告書の中で、以下の提言が行われている。

- ①知識の普及啓発（身近な危険が認識できるように）
- ②気象情報の入手手段（必要なときに必要な情報が得られる環境）の整備
- ③監視・予測技術と気象情報の改善

現在、各地の気象台で①に関する様々な取り組みを行っているほか、②について民間気象事業者や情報通信事業者の協力を得て整備を目指している。また、③については4.1節で述べた取り組みを行っている。

### 4.2.3 2005年～2006年の竜巻等による突風災害の頻発を受けての改善

2005年～2006年に頻発した竜巻等による突風災害を受けて、気象庁において、数値予報に基づく大気場の診断とドップラーレーダー観測による実況監視を組み合わせた竜巻発生確度の予測技術の開発を行い、有識者を含む「突風等短時間予測情報利活用検討会」で突風に警戒を呼びかける情報についての検討を行った。その結果、そのような気象情報の提供の必要性和同時に、通常の天気予報等とはかなり性質が異なる情報であることから、十分な普及・啓発を進める必要がある旨の提言が行われた。ここで、性質が異なるとは、具体的には、これらの予測情報（竜巻注意情報、ナウキャスト）（瀧下 2009；瀧下・笠原 2010）は、局所的に見て極めて稀にしか発生しない現象の発生確度の高まりを表現しているため、平常時に比べれば発生確度が格段に大きくなっている状況を表現しているものの、なお、適中率や現象の捕捉率が通常の天気予報の降水の有無の予報等に比べてかなり低いという特徴を持っているということである。

この提言を踏まえ、都府県単位の竜巻注意情報が2008年3月から提供されており、さらに、竜巻等によ

る突風の発生確度の分布を10km格子で1時間先まで10分刻みで示す情報（竜巻発生確度ナウキャスト）の提供も、間もなく2010年5月27日に開始の予定である。なお、雷について、雷注意報が出ている状況下で落雷の可能性のある領域と雷の活動状況を1km格子の分布図で示す情報（雷ナウキャスト）の提供も、同時に開始する予定である。

### 4.3 その他の課題への対応状況

#### 4.3.1 台風情報の改善

前述の、2004年の風水害の頻発を受けた国土交通省の政策レビューでは、ほかに、台風情報の改善についても提言があり、それに応える改善として、

- ・台風が日本に上陸、または、通過する場合の3時間刻みの進路予報（2007年4月）
- ・台風になる前の熱帯低気圧や台風から変わった温帯低気圧についての情報の充実（2007年4月）
- ・台風アンサンブル予報に基づく予報期間の延長（台風進路予報の3日から5日への延長）（2009年4月）等を実現した。さらに、
- ・台風周辺の風（最大瞬間風速）の詳細な分布情報（2011年予定）

についても実用化（防災機関等への提供）に向けて技術開発を進めており、今年度（2010年度）、試験と評価を実施する。

#### 4.3.2 広域大雨災害に備えるための気象技術

1947年9月のカスリーン台風に伴う大雨時の利根川の破堤による大規模な洪水のような広域水害への対応を検討するため、2006年、内閣府中央防災会議に「大規模水害に関する専門調査会」が設けられ、2006年8月から計20回の会合で検討が行われて、2010年4月に「大規模水害対策に関する専門調査会報告 首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策は～」（中央防災会議 2010）が取りまとめられた。この中では、気象情報等の利活用による防災対応について、「堤防決壊に至る前から、台風の進路、雨量や河川水位等の情報により被害発生の予測が可能である。そのため、堤防決壊の予測に関連する情報の収集と分析に基づき事前の避難行動を的確に行うことにより、効果的に被害軽減を図ることが可能である。」と述べられている。これを支える技術の一つとして、通常の台風予報に加えて、アンサンブル予報に基づく広域の大雨の確率的な予測情報の利用が考えられている。決定論的な予測では、早い段階では深刻な広域の大雨が必ずしも予測で

きとは限らないが、現実には起こりうる範囲に予測が適切にバラつくよう調整されたアンサンブル予報では、比較的早い段階から深刻な広域の大雨の可能性の有無が示され、可能性の大きさに応じて適切な事前準備や避難などの対応を取ることが可能と考えられている。4.1節で述べたアンサンブル予報の改良はこれに貢献するものと期待されている。

### 参考文献

- 中央防災会議，2005：集中豪雨時等における情報伝達及び高齢者等の避難支援に関する検討報告，避難勧告等の判断・伝達マニュアル作成ガイドライン，災害時要援護者の避難支援ガイドライン。各9pp.，58pp.，72pp.，[http://www.bousai.go.jp/gouu\\_kentou/index.html](http://www.bousai.go.jp/gouu_kentou/index.html)（2012.5.8閲覧）。
- 中央防災会議，2010：大規模水害対策に関する専門調査会報告 首都圏水没～被害軽減のために取るべき対策とは～。131pp.，[http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/100402/100402\\_shiryo\\_2.pdf](http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/suigai/100402/100402_shiryo_2.pdf)（2012.5.8閲覧）。
- 警察庁，2000－2009：平成12年－21年版警察白書。<http://www.npa.go.jp/hakusyo/index.htm>（2012.5.8閲覧）。
- 国土交通省，2005：台風・豪雨等に関する気象情報の充実－災害による被害軽減に向けて－。64pp.，<http://www.mlit.go.jp/hyouka/pdf/review/16/kishoujouhou.pdf>（2012.5.8閲覧）。
- 国次雅司，2002：気象庁における降水量の解析と短時間予報。第6回水資源に関するシンポジウム論文集，651－656。
- 永田 雅，2009：台風観測と予報についての最近の話題。予防時報，(238)，38-43。
- 内閣府，2000－2009：平成12年－21年版防災白書。<http://www.bousai.go.jp/hakusho/hakusho.html>（2012.5.8閲覧）。
- 岡田憲治，2002：土壌雨量指数。測候時報，69，67-10。
- 斉藤和雄，牧原康隆，2007：降水現象の予報高度化の技術。天気，54，622-631。
- 瀧下洋一，2009：突風に関する防災気象情報の改善。天気，56，167-175。
- 瀧下洋一，笠原真吾，2010：竜巻発生確度・雷ナウキャストの技術。平成21年度予報技術研修テキスト，気象庁予報部，106-135。
- 田中信行，太田琢磨，牧原康隆，2008：流域雨量指数による洪水警報・注意報の改善。測候時報，75，35-69。
- 牛山素行，2010：近年の豪雨災害－イメージと実態－。地質と調査，2010(2)，12-15。