

第2回天気予報研究会の報告

「第2回天気予報研究会」は2005年2月18日に気象庁で開催された。延べおよそ100名の出席があり、前回に比して気象予報士を中心に民間の方々の参加が多かった。

ウィンドプロファイラーやドップラーレーダなど新しい観測手段を活用した解析、予報作業への利用、或いはそれらの観測データを同化した数値シミュレーションなど、多様な話題が議論された。またパッシブ方式のマイクロ波による気温、水蒸気測定など最新の観測結果の報告もあった。

総合報告及び講演を頂いた方々にお礼申し上げます。

なお天気予報研究連絡会のホームページ (<http://members.jcom.home.ne.jp/tenkiyoho/>) にも関連記事がある。

天気予報研究連絡会運営委員会

木俣昌久 (気象庁観測部)

高野 功 (気象庁予報部)

立平良三 ((財) 気象業務支援センター)

登内道彦 ((財) 気象業務支援センター)

富沢 勝 ((財) 日本気象協会)

古川武彦 (気象コンパス)

山岸米二郎 ((財) 気象業務支援センター)

吉野勝美 (全日本空輸株式会社)

1. 沿岸前線と低層ウィンドシアア

原 基 (気象庁予報部予報課)

現所属: 航空交通気象センター準備室)

2003年5月31日12時32分、東京国際空港に着陸態勢中の飛行機が2000 ft (1 ft = 0.3048 m) 未満の低高度で強いウィンドシアア (19 kt/172 ft) に遭遇し、機体を安全に保つ限界速度を超える可能性があったため着陸をやり直した (「着陸復行」という)。

当日12時の地上天気図では、四国付近に前線を伴った低気圧があって、地上の温暖前線は三宅島付近に延

びていた。また、アメダスによると、09時頃には羽田から駿河湾にかけて、海上からの南寄りの暖気と陸上の冷氣層との間に局地前線 (沿岸前線) が形成されていた。この前線は13時頃まで空港付近にほぼ停滞し、その後北上した。

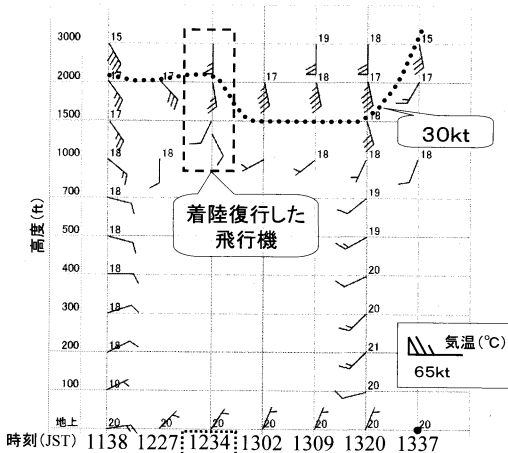
東京国際空港の空港気象ドップラーレーダーでは、12時34分、進入経路上にあたる空港から南南東14 kmの高度700 ft 付近にウィンドシアア (南南東の風で風速差28 kt 減) が観測されており、空港に接近中であった。

着陸復行前後の空港上空の風・気温の状態を第1図に示す。これらのデータは、東京国際空港に離着陸する飛行機が自動的に観測したものである。地上付近は弱い北東風、高度1500~2000 ft 付近までは弱い南西風、それより上層は南寄りの強風と3層構造になっており、沿岸前線の概念モデルにほぼ近い立体構造であった。特徴的なのは、風速差が大きい高度面 (図中の破線) が1時間以内に1500~2000 ft の間を変動していることである。当時の温暖前線面は、09時の館野の高層観測や熊谷・勝浦のウィンドプロファイラーのデータも合わせて見ると高度5000 ft 付近で、高度1500~2000 ft は沿岸前線面であったと考えられる。

31日09時初期値の数値予報 (MSM) では、12時前後に神奈川県を中心に強い雨を計算していて、地上の風系と合わせると実況に近い場所に局地前線の発生を予想している。また、その前線の南側の高度1000~2000 ft 付近には強い鉛直シアアも予測していた。

本事例のような沿岸前線によるウィンドシアアの観測例 (報告) は少なくないが、時間変化も含めた詳細な立体構造は不明な点も多い。今後は今回紹介したような新しい観測データによる緻密な事例解析の蓄積を行ったうえで、沿岸前線の定量的概念モデルを構築し、予測手法の確立へと結び付けたい。

今回機長は出発前に総観規模の地上天気図から着陸中に温暖前線面を通過することは予想したものの、空港近くの低高度で強いウィンドシアアに遭遇することまではわからなかったという。このことから、ウィン



第1図 東京国際空港における航空機の観測データ（破線は30 ktの等風速線）。

ドシアアをもたらず気象現象（沿岸前線等）の知識を普及させるとともに、短時間で高度が変動するウィンドシアアに対して、離着陸中の飛行機に効果的に気象情報を伝達する手段の検討を行っていく必要があると考える。

2. 首都圏に発現する激しいメソ擾乱の1パターン

吉野勝美（全日本空輸）

関東平野に立地する羽田と成田の2つの拠点空港は、首都機能として重要な役割を負っており、これらの空港における離着陸に影響を及ぼす激しい気象現象（雷雨、強風、顕著な低層ウィンドシア等）の予想は極めて重要である。

両空港で気象現象に起因した離着陸の停止や異常運航等の被害、また近傍で発生した集中豪雨や建造物への被害等の事例から、激しい気象現象が発現する気象パターンとして、これまであまり統一的に解析されていない「温帯低気圧・前線が房総半島陸上を進行するパターン」を提言する。主な事例は、①1990年12月11日（茂原の竜巻）、②1993年2月17日（沿岸前線に起因する低層ウィンドシア）、③1999年10月27日（激しい雷雨等に起因する長時間におよぶ離着陸の停止、佐原の集中豪雨）、④2003年1月27日（成田の低層ウィンドシア）、⑤2003年10月13日（鹿島港のクレーン倒壊）等であり、寒候期でありながら severe な現象が発生した点が特徴的である。これらの事例に共通するのは、温帯前線が房総半島の陸上まで北上し、低気圧がその前線を東進している点である。

③と④の事例には、活発な対流域（レーダー観測による強い降水域）の分布に明瞭な類似性が見られる。これは、房総半島の陸上を北東から南西に走向する前線に対応した強い帯状のレーダーエコーと、それとほぼ直交するように低気圧の後方直近を北（寒気側）に延びる強い帯状のレーダーエコーの発現であり、後者のレーダーエコー域でも激しい雷雨や突風を伴った低層ウィンドシアが発生している。

さらに事例④の解析結果によると、寒気側で南北に走向するレーダーエコーが通過する際、成田において顕著な気圧変動（成田で約2.3 hPaの急上昇）と西よりの突風（最大瞬間風速29 kt）が観測されたが、地上気温がほとんど変化していない点が興味深い。また成田のドップラーレーダーが観測したドップラー速度の場合（NW-SE方向の断面）から、寒気層の頂部が約200 mから約800 mに変動する寒気層の波動と推定される現象が捉えられており、この点も興味深い。この寒気層の層厚の変動は地上気圧の変動量にほぼ一致する。同様な地上風や気圧の変動は、上流側の千葉や羽田等の地上観測にも現れており、羽田のドップラーレーダーも寒気層の波動と推定されるドップラー速度場を観測している。

この寒気の波動は、低気圧が関東平野に接近する際に、下層で北～北東の風が卓越して寒気が関東平野西部に吹き寄せられ、低気圧が東京湾を過ぎた付近で気圧傾度が逆転して低気圧後方直近で寒気層が厚みを帯び、その変異が重力波となって東に伝播したものと考察される。この重力波が不安定な大気状態の条件下で、前線とは別に寒気側に南北に走向する活発な対流域を生成し東進したものと推定される。なお、大気状態から求めた重力波の波動速度は、約13 m/sであり、2地点間の地上観測（気圧変動）から求めたそれは約19 m/sであった。

首都圏における激しい気象現象として、これまでよく知られている暖候期の熱雷や寒冷前線の南下に伴って発生する激しい熱界雷の他に、温帯低気圧・前線が陸上（房総半島）を進行するパターンにも注目し、低気圧進路も含めたメソ大気構造の予想精度を上げることが航空機運航の面からも肝要といえる。

3. マイクロ波放射計プロファイルデータを用いた
短時間空港気象予報

Dr. Randolph Ware (Radiometrics Co.)

代理発表：門倉克矩

(Radiometrics 社東京連絡事務所)

このマイクロ波放射計は電波を発信しないので、空港ばかりでなく、市街地のビルの上であるとか、あらゆる場所で使用可能である。1日2回のラジオゾンデのデータに比べ、ウィンドプロファイラーによる上空の風の連続的なデータが数値予報精度を大きく向上させたように、マイクロ波放射計による連続的な上空の温度、水蒸気のプロファイルデータも数値予報精度を向上できることが証明されている。

従来、降水があると、レドームの面にできる水膜の影響でデータが不正確になったが、Radiometrics社はレドームに特殊なコーティングをほどこすことにより、水膜ができにくくするとともに、雨の影響を少なくする解析ソフトウェアにより、降水がある時でも精度がよいデータがとれるように改善した。

4. ウィンドプロファイラが捉えた台風第16号の構造変化

山下順也 (気象庁観測部観測課)

現所属 横浜地方気象台)

局地的気象観測システム(WINDAS)を構成する各地のウィンドプロファイラーが捉えた、台風第16号(T0416, CHABA)の通過に伴う、上空の風の場の変化について報告した(本誌52巻539~547ページ参照)。

5. 衛星赤外データを用いた台風の時空間変動解析

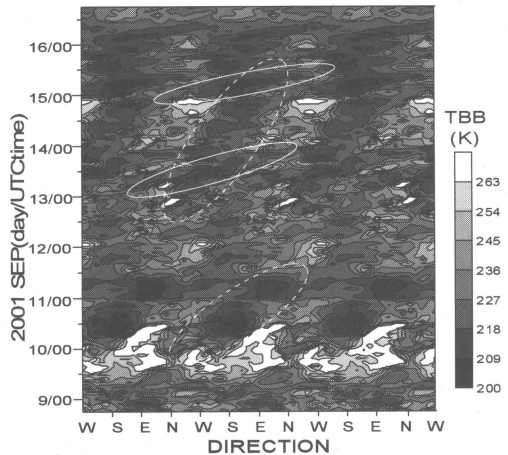
味崎利光*・板野稔久**・遠峰菊郎**

(*航空自衛隊気象業務隊, **防衛大学地球海洋)

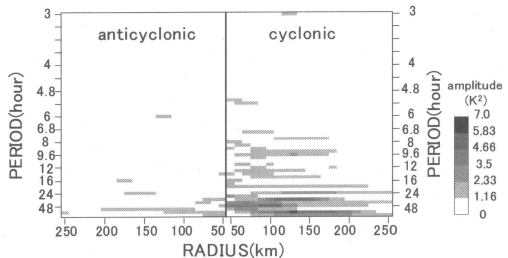
台風内における積乱雲域の固有の動態を明らかにするため、GMS-5赤外のデータ(IR1)を用い、スペクトル解析等の客観的な手法による調査を行ったので紹介する。

第2図は、T0116の中心から半径120kmを切り抜き、その断面を時系列に並べたものである。この図から、低気圧性に高速度で移動する高周波バンド(実線で囲まれる領域)とそれらの発生・消滅の繰り返しによって形成される低気圧性に低速度で移動する低周波バンド(破線で囲まれる領域)からなる階層構造が見られ、これら2つの波の位相が一致する場所で積乱雲が発達している様子が見て取れる。

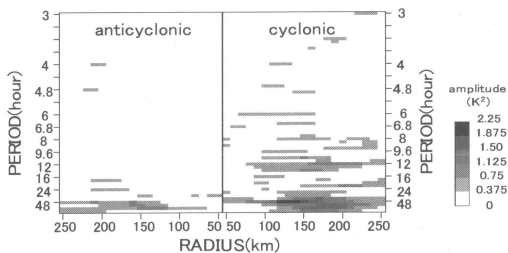
次に第2図の波動の卓越波数や卓越周期を詳しく調べるため時空間スペクトル解析を行った。第3図及び第4図は半径50~250kmにおける、卓越する波数1と波数2のパワースペクトルを示す。この解析により、第2図で見られる波は、1や2などの低波数で周期が10時間程度と数日程度の低気圧性回転の波の重ね合わせ



第2図 T0116号(IR1)の半径120kmの接線断面時間変化。西から反時計方向3回転分を示している。



第3図 T0116号(IR1)の半径50~250kmにおける波数1の時空間パワースペクトル図。



第4図 T0116号(IR1)の半径50~250kmにおける波数2の時空間パワースペクトル図。

せであることが客観的かつ定量的に示された。

6. 雲解析と3次元変分法を用いたモデルの初期値化

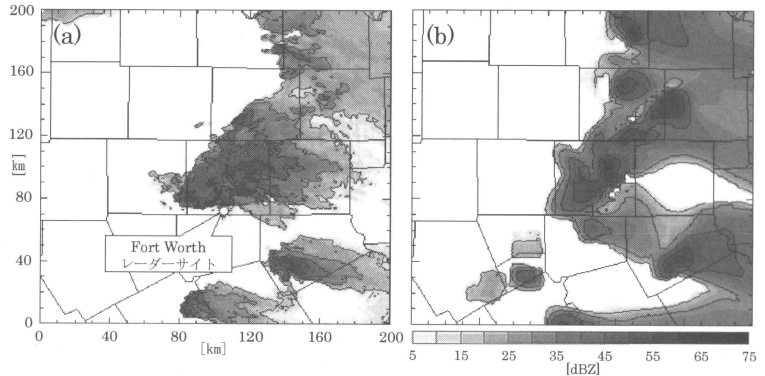
石川宜広 (気象庁予報部 数値予報課)

高解像度の非静力学数値予報モデルにおいて、雲に関する降水量や雲内の比湿、温度といった情報を正確に初期値に取り込むことは、メソスケールの現象を精度良く予測するためには重要である。現在、米国気象局予報システム研究所 (FSL) やオクラホマ大学ストーム解析予測センター (CAPS) では、自らが所有する非静力学数値モデルの初期値の作成にドップラーレーダーや静止衛星データなどを使った雲物理量の推定 (以下、雲解析と呼ぶ) を行っている。豊富なドップラーレーダーを持つ米国では、将来の現業解析システムとして、雲解析を取り入れた3次元変分法の実用化を進めている。講演では演者が2年間の米国滞在中に行ったドップラーレーダーによる雲解析の同化実験について紹介した。

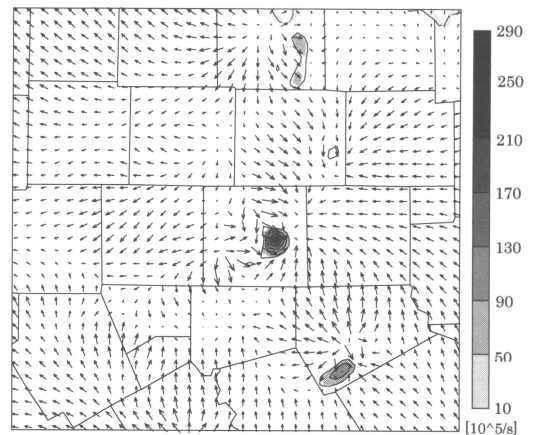
雲解析では定時航空気象実況の雲情報、静止衛星イメージャの赤外・可視及び、レーダー反射強度の観測データを組み合わせて3次元の雲と降水場の解析を行い、雲被覆率、雲種別、雲水と雲氷の混合比、雨、雪と雹の混合比、雲内の比湿や温度などの雲の詳細な情報が得られる。これらの情報を初期値に取りこむことで、非静力学数値モデルの雲物理過程でのスピナップに効果を発揮する。

講演で取り上げた同化実験の事例は2000年3月29日00:45UTC頃にテキサス州 Fort Worth で発生したF2級 (最大風速51 m/s~70 m/s) の竜巻を伴ったスーパーセル雷雨に関するものである。実験ではこの雷雨が発達する前段階でドップラーレーダーの反射強度と動径風データを使って初期値の作成 (雲解析と3次元変分法) を行い、数値モデルの予報のインパクトを調査した。実験に使用した非静力学数値予報モデルは、CAPS 所有の ARPS (Advanced Regional Prediction System) で水平解像度は3 km である。

レーダー反射強度と動径風データを用いた初期値の作成によって、雲の位置や構造が精度良く初期値に反



第5図 (a) Fort Worth レーダーが観測した仰角1.45°の反射強度 [dBZ], 観測時刻は2003年3月29日00時45分 (UTC). (b) 同時刻における反射強度の予報 (初期値時刻を2003年3月28日23時 (UTC) とする1時間45分予報, 予報領域は (a) と同じ).



凡例 L : 風速 10 [m/s]

第6図 地上の風と過度の予報 (第5図bと同じ初期値時刻の1時間45分予報, 予報領域も同じ).

映され、ストームの発生・発達が正確に予想された (第5図)。また、観測された竜巻の発生時間と位置で予報のスーパーセルの下層過度が著しく増加した (第6図)。

7. 1999年7月21日の練馬豪雨をもたらした降水系の同化実験

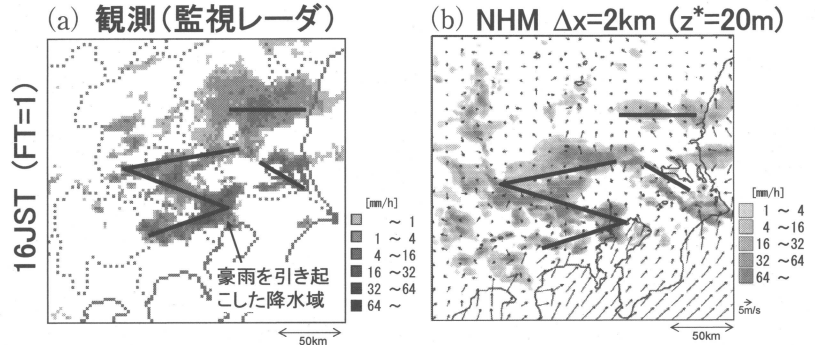
瀬古 弘 (気象研究所予報研究部)

夏季、関東平野で発生・発達した雷雨は、しばしば、短時間強雨などの激しい現象を引き起こす。一般に、雷雨は下層の暖湿気流の収束によって発生・発達することから、下層収束や水蒸気量の情報を持つ観測

データを数値予報モデルの初期値に反映させることができれば、雷雨の予報精度を向上させることが期待できる。本報告では、1999年7月21日に発生した通称「練馬豪雨」について、下層収束と水蒸気量の情報を持つデータに、ドップラーレーダの動径風と国土地理院のGPS全国連続観測網から得た可降水量や視線水蒸気量を採用し、これらのデータの豪雨に対するインパクトを調べた結果を紹介した。

まず、気象庁メソスケールモデル(MSM)の4次元同化システム(石川, 2002)を用いた場合、ゾンデなどの通常の観測データのみを同化させた解析値からMSMで時間積分すると、関東山地に小さな降水域が発生するだけで、豪雨の降水系は再現できなかった。動径風と可降水量を通常の気象データと一緒に同化させると、下層の湿った気流の収束が関東平野に再現され、観測された位置に遅れることなく降水系を発生させることができた。また、水蒸気量の3次元分布の情報をもつ視線水蒸気量を同化させると、水蒸気の鉛直分布がより尤もらしく再現することができた。これらから、豪雨の降水系を発生・発達させる下層の湿った気流の収束の情報を含む動径風やGPS水蒸気量が、豪雨の再現に有効であることがわかった(Seko *et al.*, 2004)。

次に、MSMで再現した降水系の降水強度は観測されたものに比べて弱いため、対流を陽に表現できる気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を数値予報モデルに採用し、降水強度の再現を試みた。動径風と可降水量をJMA-NHMの3次元同化システムであるJNoVA0(三好, 2003)に適用し、さらにJMA-NHMで表現されている降水域内の湿度と上昇流の関係を使って上昇流域を湿らせると、降水系は観測と同程度に強く発達し、降水域も似た分布になった。しかし、実際には上昇流が弱まっている減衰期の対流も発達してしまった。そこで、観測した反射強度から求めた雨水量や雪水量を導入し、降水域内の下降流の湿度も先述と同じ関係に従うように変えて、対流の発達段階を考慮するようになった。すると、降水強度や降水分布が



第7図 (a) 気象庁の監視レーダで観測した練馬豪雨に伴う降水域の降水強度と、(b) 格子間隔2kmの気象庁非静力学モデルを用いて再現した降水強度分布。非静力学モデルの初期値は、動径風などを同化し、さらに対流スケールの水蒸気分布などを導入した解析値を内挿して作成した。図中の実線は、発達した降水域の位置を比較するために示す。

より現実になくなり、時間積分を始めて5時間後の20時まで、観測と似た時間変化を再現することができた。これらの結果から、本報告の事例では、対流スケールの水蒸気分布や対流の発達段階の情報を持つ雨水量などを導入すると、豪雨の細かな降水分布や降水強度まで再現できることがわかった(第7図)。

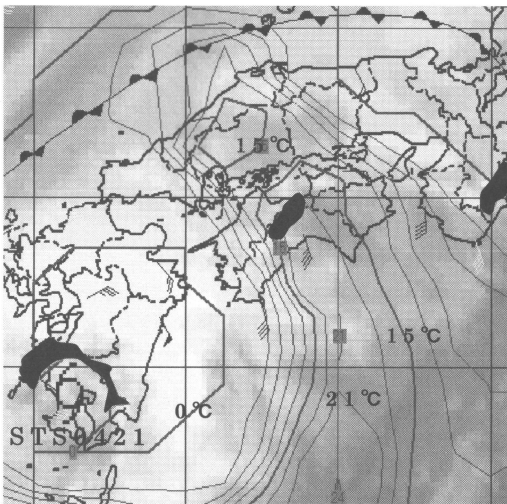
参考文献

- 石川宜広, 2002: メソ4次元変分法, 数値予報課報告別冊, (48), 37-47.
 三好建正, 2003: 3次元変分法(JNoVA0)の開発, 数値予報課報告別冊, (49), 148-155.
 Seko, H., T. Kawabata, T. Tsuyuki, H. Nakamura, K. Koizumi and T. Iwabuchi, 2004: Impacts of GPS-derived water vapor and radial wind measured by Doppler Radar on numerical prediction of precipitation, J. Meteor. Soc. Japan, 82, 473-489.

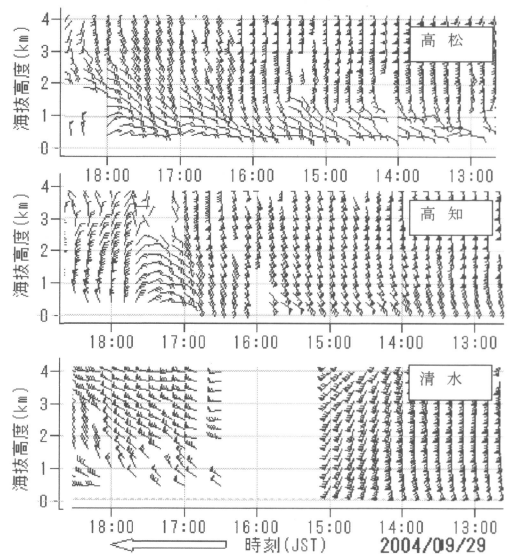
8. 注警報発表作業におけるプロファイラーなど観測資料の活用

八尾 孝(気象大学校, 現東京管区気象台)
 2004年9月29日に台風第21号の通過に伴って発生した愛媛県の大雨を例に、ウィンドプロファイラーなど観測資料を注警報発表作業にどのように生かしていくべきか考察した。この大雨は台風に先行して発生した第1のピークと、台風通過時に発生した第2のピークがあった。解析の結果、第1のピークを発生させた要因の1つは、四国南海上から北上した下層シアアであることが明らかになった。下層シアアの北側では東よりの風が、南側では南よりの風が吹き暖湿気の流入が顕

著であった。第1の強雨ピークをもたらした2つめの要因は台風の外側を取り巻くように南海上から四国に流入した上層の乾燥域で、これが下層の暖湿気移流とあいまって対流不安定を助長したと考えられる(第8図)。この上層の乾燥域の監視には衛星水蒸気画像、下層シアアの監視にはウィンドプロファイラーが有効であった。第9図を見ると29日夕方に清水, 高知, 高松から順に台風の通過が捉えられているが、注目されるのは台風が通過する直前まで清水, 高知では強い南よりの風が吹いているのに対して、高松の下層は弱い東風が吹いていて、下層シアアが高松-高知・清水間に停滞していたことがわかる。このシアアが台風本体の強い雨雲をさらに発達させ、第2の強雨のピークをもたらしたものと推定される。数値予報モデルは大雨をもたらした要因である台風, 下層シアア, 上層の乾燥域については時間的, 空間的に若干のずれはあったものの、ある程度は予想できていた。しかし雨量については実況で大雨警報基準を大きく上回ったのに対して、最大降水量ガイダンスでは注意報基準をわずかに



第8図 愛媛県における第1の強雨ピーク時(2004.09.29.00 UTC)の衛星水蒸気画像(黒く見える領域は上層が乾燥していることを示す)。記号は地上の台風, 前線の位置, 等値線, 数字は500 hPaのT-TdのRSM客観解析値(3°C毎), 黒く塗りつぶした領域はレーダーエコー強度32 mm/h以上の領域, 矢羽はウィンドプロファイラーの海拔600 m付近の風を示す(清水, 高知は南~南南東風, 高松は東風で高松-高知・清水間に下層シアアがあることが分かる)。



第9図 ウィンドプロファイラーで観測された水平風(短い矢羽は5 kt, 長い矢羽は10 kt, ペナントは50 kt(1 ktは約0.5 m/s)). 29日夕方, 西にある清水, 高知, 高松の順に台風の通過が捉えられている。台風通過まで清水, 高知では強い南よりの風が吹いているのに対して, 高松の下層は弱い東よりの風が吹いていて, 高松-清水・高知間に下層シアアが停滞していたことがわかる。

上回る程度しか予想できていなかった。したがって適切な注警報の発表のためにはあらかじめ数値予報資料から大雨をもたらす要因を読み取り, 着目点を絞って各種観測資料を解析し, 大雨につながる兆候を見逃さずに監視することが大切である。

9. 災害予防段階の意思決定と情報

富山芳幸(株式会社・ウェザーニューズ)

避難勧告が発災後になることが少なくない。

避難勧告は市町村長によってなされる。市町村の側からいうなら、避難勧告のような重大な意思決定を行うには確実性の高い情報が必要だということになる。大雨警報には、誘因である大雨に関する不確実性のほかに、それが個々の市町村の洪水や土砂災害となって発現するまでの原因連鎖にかかわる不確実性がある。たとえば、2004年7月新潟豪雨の際に新潟県中之島町が洪水災害に対して避難勧告をするためには、刈谷田川が中之島町で氾濫する、という具体的な判断が前提になる。この判断を災害の認知と呼ぶことにする。

第1表 災害認知情報の例.

| 災害事例 | 防災情報 | 所管 |
|------|---------------|----------------|
| 地震 | 緊急地震速報 | 気象庁 |
| 津波 | 津波警報 | 気象庁 |
| 洪水 | 指定河川洪水予報 | 気象庁・ 国土交通省 |
| 洪水 | 水防警報 | 国土交通省・ 都道府県 |
| 土砂災害 | 土砂災害警戒情報 (予定) | 気象庁・ 都道府県 |

事前の災害認知が可能な場合がある。大河川の洪水や地震発生後の津波については、時間の長短はあっても事前の認知が可能である。これらの場合、災害の誘因はすでに発生しているわけである。すでに発生した誘因に基づいて災害の発生を予測する情報がある。その例を第1表に挙げた。これらの情報の不確実性は、

誘因の予測からはじめる場合に比べると格段に小さい。そこで、このような情報を防災情報の中で特に災害認知情報と呼んで区別する。

避難勧告の意思決定を災害認知情報に結びつけることを提案する。そのためには、災害認知情報を市町村ごとのアラームとして伝達するような、伝達確認を伴う情報伝達の仕組みが必要になる。市町村の側では、これを確実に意思決定に結びつけるための仕組み作りが課題となる。地域防災計画の問題である。避難勧告の運用基準はそれぞれの市町村地域防災計画に定められているが、その実態はさまざまで、中には津波警報さえ運用基準に明記されていない場合がある。

上に挙げた災害認知情報はすべて公的機関から発表されているか発表が予定されているものである。その活用のために、情報伝達主体の側と市町村の側の双方で手立てが講じられるべきである。

日本気象学会および関連学会行事予定

| 行事名 | 開催年月日 | 主催団体等 | 場所 | 備考 |
|--|---------------------------------|---|---|---|
| 気象技術講習会「気象学の基礎」課程 | 2005年8月9日から10月11日までの毎週火曜日(全10回) | (共催)日本気象学会、気象業務支援センター | 気象業務支援センター4F会議室(東京都千代田区神田錦町3-17東ネビル) | 「天気」52巻6号 http://www.soc.nii.ac.jp/msj/ |
| 日本流体力学学会2005 | 2005年9月5日～7日 | (主催)日本流体力学学会 (協賛)日本気象学会 | 工学院大学新宿校舎(東京都新宿区西新宿1-24-2) | |
| ナウキャストと短時間予報に関する世界天気研究計画(WWRP)国際シンポジウム | 2005年9月5日～9日 | フランス気象局 | フランス気象局(ツールーズ) | 「天気」52巻第1号 http://www.jmeteo.fr/cic/wsn05/ |
| 人間-生活環境系国際会議 International Conference on Human-Environment System (ICHES'05) | 2005年9月12日～15日 | (共催)人間-生活環境系学会、日本気象学会、睡眠環境学会、韓国人間生活環境学会 | 文化女子大学(東京都渋谷区代々木) | 「天気」52巻第1号 http://jhesis-jp.com/iches05/ |
| 第24回レーザ・センシング・シンポジウム | 2005年9月21, 22日 | (主催)レーザ・レーダ研究会(協賛)日本気象学会 | 鴨川グランドホテル(千葉県鴨川市広場820) | |
| JSPS International Series: Workshop on High Resolution Atmospheric Simulation and Cooperative Output Data Analysis | 2005年9月21, 22日 | (主催)(独)海洋研究開発機構 | 独立行政法人海洋研究開発機構横浜研究所(神奈川県横浜市金沢区昭和町3173-25) | 「天気」52巻第6号 http://www.es.jamstec.go.jp/esc/research/AtmOcn/hires2005/ |