

## 局地的な大雨の予測に向けた環境場の把握と各種観測・予報システムによる監視

中鉢幸悦（気象大学校）

### 1 はじめに

夏の大雷雨は、低気圧や台風などに伴った総観規模の大雨と異なって、晴天時に局地的に短時間で発生するため、最も予想困難な現象となっています。現在の数値予報では、自由モード擾乱と呼ばれる大気の状態が不安定で発生する雷雨の予報は苦手で、さらにモデルの解像度の理由からスケールの小さな雷雨や雷雨が作る局地的な下層冷気塊の予報はできません。また、モデルが表現する降水は、主に地形による強制上昇や大規模場の収束に限られています。

しかし、現象の小さい降水系が予想されていなくても、降水系をとりまく環境場の予測はできます。大気の安定度や湿りの分布、下層の風系（シアラインや収束線、発散）等です。また、対象地域と周辺に予想されている降水の分布や雨量は、モデルの予測限界を考慮して利用すれば、時間的、面的、量的に幅をもたせたシナリオを立てることに繋がります。

さらに、少しでも早めの対応に結びつけるためには、地域特有の大雷雨パターンを十分知っておくことが必要です。

予報担当者には、気象現象を常に立体的な構造として捉え、その構造の理解に立って次の発達や衰弱のステージをイメージできる能力が求められます。地域の雷雨パターンに関する気象の知見があれば、実況監視する着目点がおのずと決められてきます。上番中は常に適切な観測システムによる資料から着目点を踏まえた気象の変化を的確に捉え、数値予報やガイダンス、降水短時間予報の信頼性、予測のずれを見極めなければなりません。もし、その予測に変化があれば、客観的に気象のシナリオを修正する必要があります。

この演習では、2008 年 8 月 5 日に東京地方に発生した雷雨事例を時系列的に追跡し、総観場

の特徴、雷雲発生発達期、雷雲最盛期、雷雨衰弱期について予報対象域を東京地方に限定し、各項の着目点について述べます。

なお、追跡する時間は、5 日 9 時現在からとし、各時間で入手可能な観測、予報資料を利用します。

### 2 事例検討

#### (1) 2008 年 8 月 5 日に東京で発生した雷雨の概要

8 月 5 日は、前線が東日本に停滞し、広範囲で大気の状態が不安定となって関東地方の各都県で雷を伴った激しい雨が降った。この短時間の大雷雨で山梨、東京、神奈川、千葉各都県では、浸水害や土砂災害が発生し、特に東京豊島区では下水道工事をしていた作業員が急な増水により流され、5 名が死亡する事故が発生した。

#### (2) 総観場の特徴

##### 天気図

4 日 21 時の 500hPa 天気図（図-1）によると、上空の寒気の進入は北日本中心で、東日本への上空寒気の影響は小さく、太平洋高気圧が東日本から西日本にかけて張り出し、広く覆っていた。一方、関東地方の南海上には UCL(上層寒冷低気圧)が停滞していた。

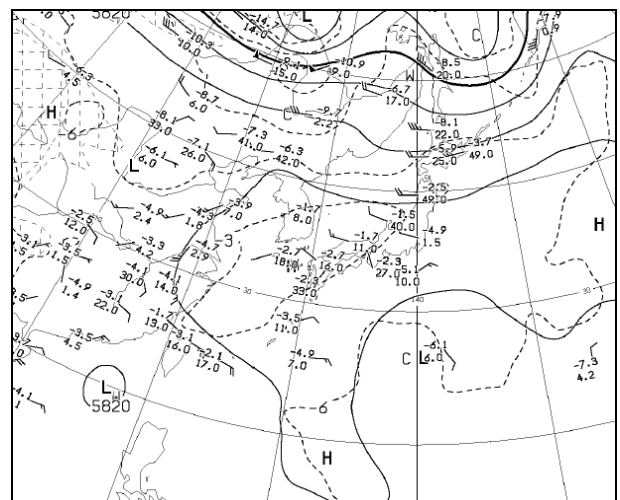


図-1 500hPa 天気図（8 月 4 日 21 時）

850hPa 予想図 (図-2) では、前線に対応する相当温位線の集中帯および前線性シアーが北日

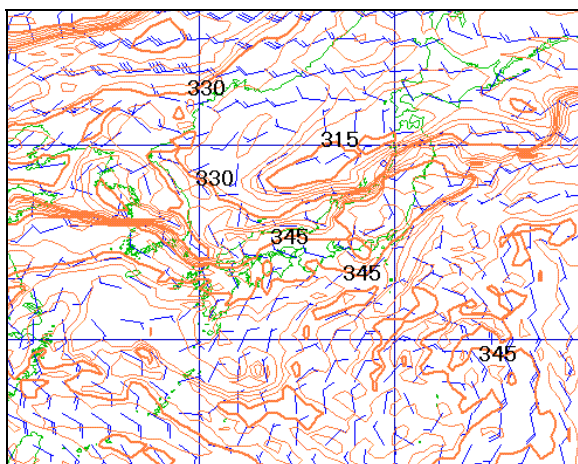


図-2 850hPa 相当温位と風(kt) 8月5日9時の予想 MSM8月5日6時初期値 FT3

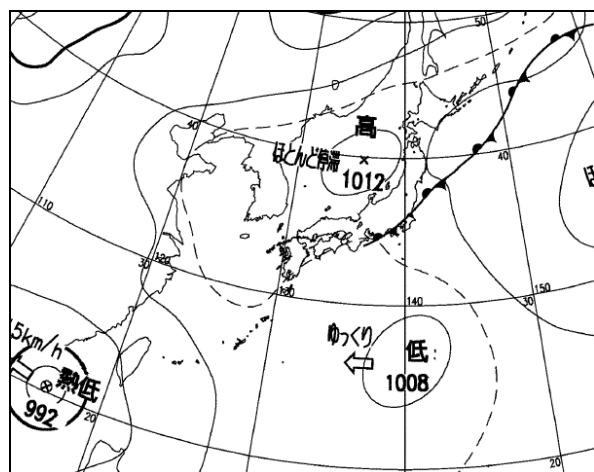


図-3 地上天気図 (8月5日6時)

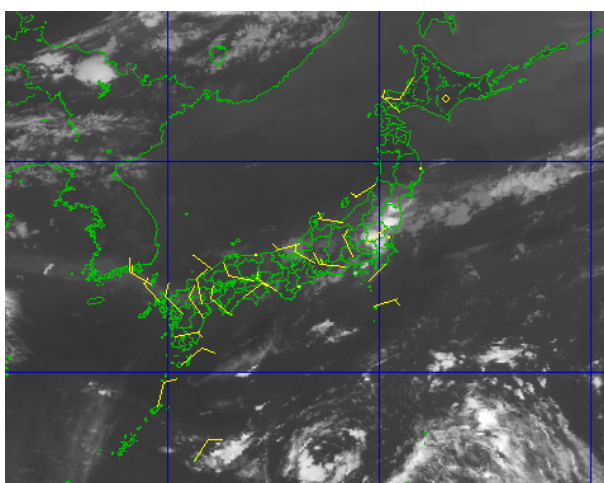


図-4 衛星赤外画像とウィンドプロファイラによる1500m上空の風(kt)(8月5日9時) 本の東海上から東日本にのび、関東付近では、海

上から南東風が前線に向かって流入している。また内陸には345K以上の高相当温位域が広がっている。

5日6時の地上天気図(図-3)によると、前線が北海道の東海上から関東を経て東海地方にのびている。

#### 衛星画像

5日9時の赤外画像(図-4)では、前線に伴う雲バンドが北日本の東海上から東日本にのび、前線近傍にあたる東北南部から関東北部で活発な対流雲が発生している。

#### 高層観測資料

4日21時の館野のエマグラム(図-5)を見ると、500hPaより下層では、気温と露点温度の差が2以下でほぼ湿っており、相当温位は、下層から500hPa付近にかけて減じている。また、大気の安定度を示す各指数は K-index 39.6、CAPE 1205J/kg、SSI -2.3 で、潜在不安定でかつ対流不安定な場であることを示している。さらに対流雲の潜在的発達高度を示す LNB (level of neutral buoyancy) は161hPaで、対流雲が発生すればかなりの高度まで上昇することを示している。

#### 総観場の特徴のまとめ

東日本から西日本にかけては、前線が停滞し、下層では南海上のUCLに対応した低気圧性循環と太平洋高気圧がつくる南東風が前線に向かっ

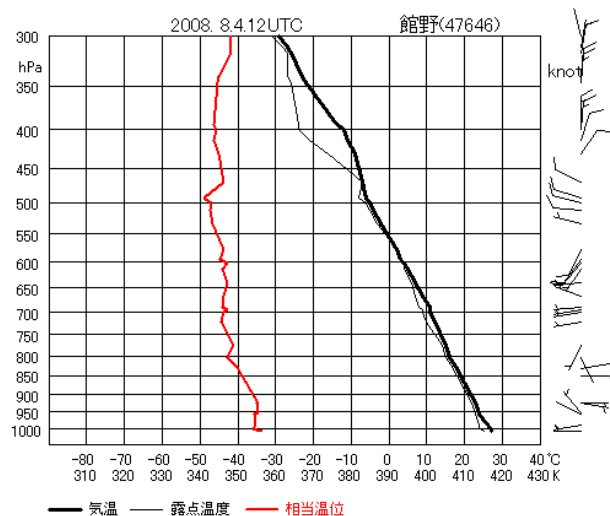


図-5 館野 エマグラム (8月4日21時)

て吹き込んでいます。東日本と西日本の内陸には高相当温位域が広がっており、各指数が示す鉛直方向の大気の状態は、非常に不安定となっている。

一般に、大雨となる条件は、

- a 下層高相当温位空気塊の進入
- b 水蒸気を継続して供給させる総観場の維持（太平洋高気圧、台風、前線、寒冷渦、上層寒冷低気圧：UCL）
- c 対流雲を発達させる下層収束、中層の乾燥空気、上層寒気（不安定場の維持）の存在
- d 強制的に上昇をうながす、または降水域を停滞させるための地形、下層冷氣塊の存在

が挙げられる。

こうした条件と照らし合わせると、いくつかの点が該当し、東日本の広範囲で雷雲が発達し、大雨となる可能性が大きいといえる。

したがって、5日中から夜にかけては、まず関東地方スケールでみた環境場の把握、シアラインや収束線近傍での対流セルの早期検出、発生後は対流雲の発達、周辺の風系、気温場の変化、さらにそれらを包括する関東地方スケールでみた環境場の変化を捉えることが、各観測システムによる実況監視や数値予報の利用上の大きなポイントとなる。

以下では、各発達段階のポイントや観測システム等の利用上の留意点を示す。

### (3) 大雨の盛衰を見極めるポイント

#### ステージ1（対流雲発生前）5日9時現在

5日9時現在で得られる最大降水量ガイダンス（5日6時初期値）の東京周辺の5日24時までの1時間降水量の最大は、東京23区で13ミリ、千葉県で26ミリを予想し、短時間の大雨を予想していない。このガイダンスの算出根拠となる5日6時初期値のMSM（図-6）を見ると、東京とその周辺に降水が予想されているものの、雨量は3時間で20ミリ以下となっている。

しかし、対流雲が発生発達するための要因のひとつとなる前線に伴う下層の収束やシアーは関東南部に予想されており、大規模場の収束に伴う降水がある程度予想されていれば、大雨となるシナリオを組み立てることができる。関東南部の夏

季の大雨のパターンには、こうした前線の停滞とこれを挟んで鹿島灘からの北東風、東京湾からの南風が収束した場合に大雨となった事例がいくつかも報告されており、また上層寒気を伴う場合には、大雨の可能性がさらに高まるとされている。

アメダス局地解析による風系は、前日から千葉県北部から東京にかけてシアラインが形成さ

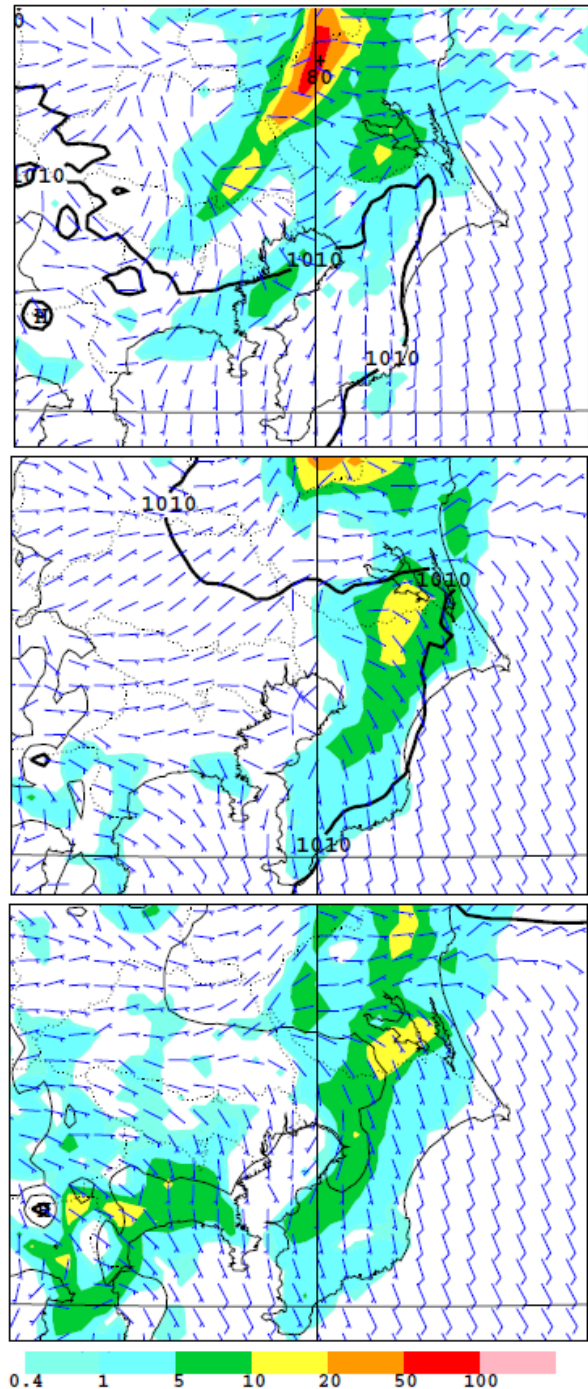


図-6 MSM（8月5日6時初期値 FT3、6、9）（地上気圧、3時間降水量、風(kt)）

れており、5日9時では地上の前線の南下に伴って、鹿島灘からの北東風と東京湾からの南風による収束が次第に強まってきている（図省略）。さらに、収束線付近の温度傾度も明瞭になってきた。こうした環境場は数値予報(図-7)どおり推移していると見て取れる。なお、対流雲は、東京都周辺で発生、消滅を繰り返しており、まだ組織化は見られない。

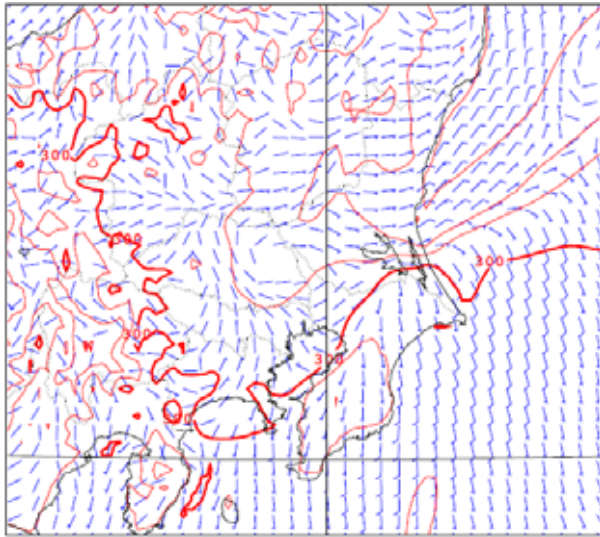


図-7 MSM (8月5日6時初期値 FT3)  
(1000hPa, 温位, 風(kt))

**ステージ2 (対流雲発達期) 5日11時現在**

東京 23 区と千葉県にかけて対流雲が急発達してきた。11 時の解析雨量 (図-8) では 1 時間に 50 ミリ前後の非常に激しい雨となっている (円内)。一方千葉県のその他の地域でも、線状降水域として組織化してきている。

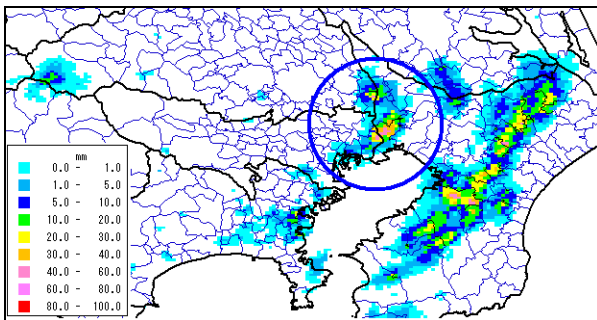


図-8 解析雨量 5日11時

11 時初期値の降水短時間予報によると、千葉県との県境にかかる対流雲は、FT4 までほぼ同じ強さで停滞する予想となっている。この段階では今後発生し、急発達する新宿区付近の対流雲は予測

できていない。なお、FT3 以降は、雨量分布が不連続となる不自然さが見られる。降水短時間予報の前半は、実況の推移を捉えて予想する実況補外が中心だが、後半になるほど MSM の予想降水域の占める割合が大きくなることを考慮して利用する必要がある。また、対流雲が突然発生し、急発達している場合は、実況補外も困難である。こうした降水強度の変化を予測に反映できない弱点を補うために降水ナウキャストがある。降水ナウキャストは、常に最新の 10 分ごとの初期値で 1 時間先まで予想するもので、短時間の予想では比較的高い精度で予測することができる。しかし、この予測もまた予報時間内で新たに発生する雨

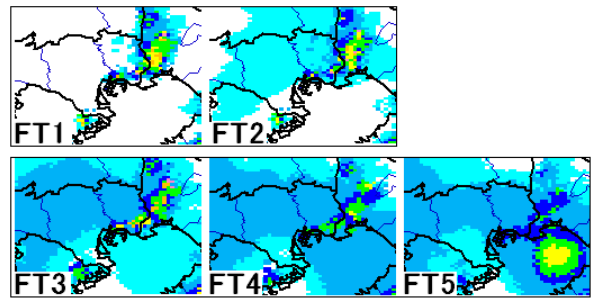


図-9 降水短時間予報 5日11時00分初期値  
12時~16時の予想 (FT1~5)。凡例は図-8  
と同じ

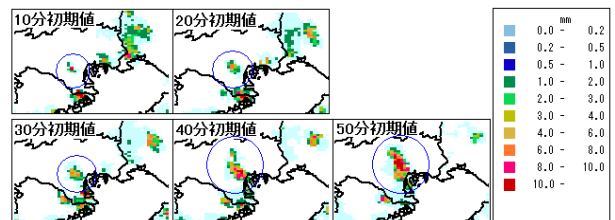


図-10 降水ナウキャスト  
11時10分から50分まで、10分毎の初期値による  
12時00分の10分間予想降水量

域は予測できないので、常に最新の予想を利用することが必要となる。

図-10 の降水ナウキャストは、11 時 10 分から 50 分まで、10 分毎の初期値から計算された 12 時 00 分の 10 分間予想降水量である。円で示した新宿区周辺の対流雲の急激な変化に応じて初期値毎に予測を変えていることが分かる。こうした降水短時間予報や降水ナウキャストから、東京都付近で短時間の大雨の可能性が急速に高まっていることが分かる。

### ステージ3 (対流雲最盛期) 5日 15時現在

東京都内の対流雲は、15時でさらに発達しており、解析雨量では1時間に60ミリを超える非常に激しい雨となっている(図省略)

12時、15時の関東南部の局地天気図を解析してみる。12時と15時の1hPaごとの気圧場の解

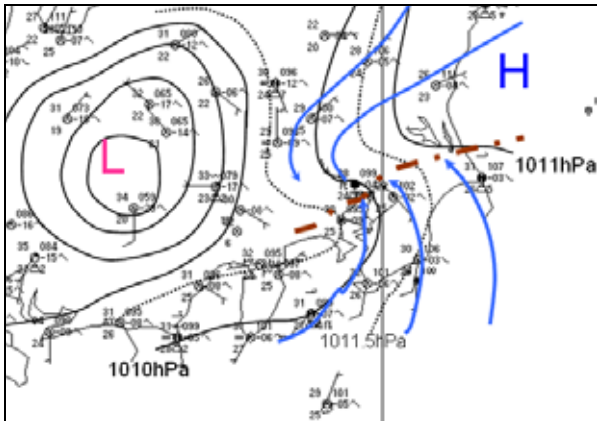


図-11 局地天気図 5日 12時  
細い実線:等圧線(1hPaごと, 点線は0.5hPa) 茶色の一点鎖線:シアーライン  
太い実線:流線

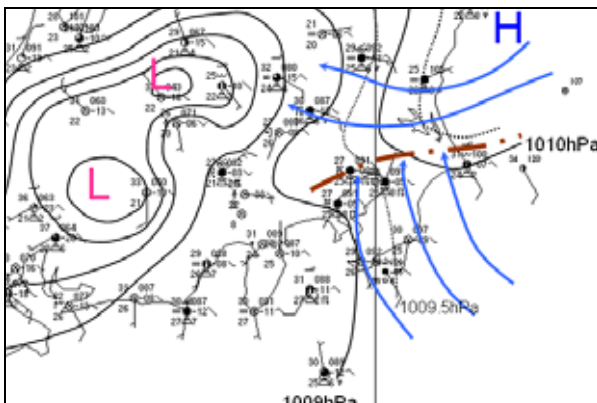


図-12 局地天気図 5日 15時  
ただし、図-11に同じ

析では、甲信地方には熱的低気圧が発生し、時間とともに深まっている。15時には日射と南よりの風により、各県の山岳部でも活発な対流雲が発生してきた。

また、高気圧が茨城県の東海上から西に張り出し、気圧の尾根が埼玉県側に延びている。12時の茨城県側の北東風は、15時には東よりの風が変わって内陸に進入している。関東の南海上からは、南よりの風が吹きつけ、北側の東よりの風との間に明瞭なシアーラインを形成し、一部で収束して

いる。図は省略するが、水戸のウィンドプロファイラによると、水戸付近では、東よりの風は厚さ約500m程度でその上空では南よりの風が卓越しており、関東南部からの南風(勝浦のウィンドプロファイラで確認できる)がシアーラインを境に東よりの風の上に乗っていることが分かる。

次に、気温の高度補正を行ったアメダスで関東南部の温度場解析をして見る。12時で東京と千葉県境付近にあった温度傾度の大きい領域は西進し、15時現在では、東京都多摩西部と神奈川県を結ぶ線まで移動し、その東側では、東よりの風が強まっている。アメダスとレーダーの10分値動画で、周辺のエコーの動きと対比させてみると、東京付近のエコーのみが異なった動きをしてい

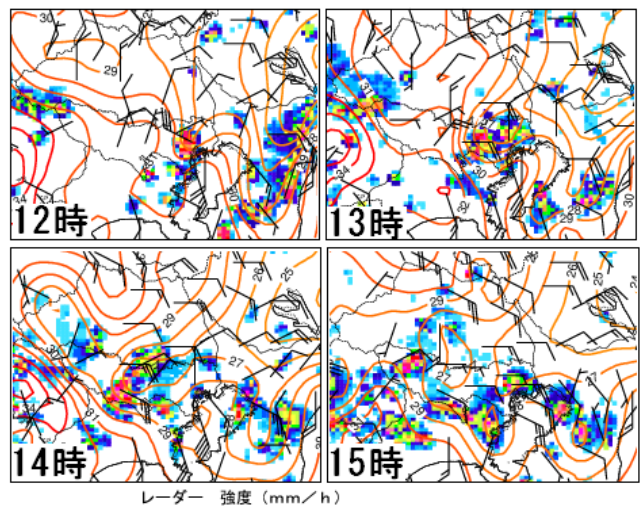


図-13 各時間のレーダーエコーとアメダス気温  
(等値線:1 毎、気温高度補正済み0.6 /100m),  
風(m/s)

るのが確認できる。熊谷のウィンドプロファイラで上空3000m付近を見ると弱い西風になっていることから、この風に流されることなく、収束線、温度傾度の大きい領域が対流雲の発生位置に関連して移動していることが分かる。また、シアー北側の低温域が拡大してシアー近傍で温度の水平傾度が強まっており、冷気のドームが、対流雲の発達とともに、次第に成長していることが推定される。この低温域は、12時過ぎのアメダス10分値データを解析するとレーダーエコー付近で周囲よりも2~3度低く、鹿島灘からの東よりの冷気だけではなく、雲低下に降水粒子の蒸発や降水

によって形成される冷気の効果に加わっていることが推定できる。

温度傾度が大きいほど、不連続面の傾斜は大きくなり、南から進入して滑昇する空気塊はより上昇を強めることが推測される。南よりの風が強まれば、さらに上昇流は強まる。シアラインと水平の温度傾度、そこに吹き込む暖湿気が続く限り、対流雲の発生が維持されることが予想される。さらに、対流雲の南側（風上側）に別の組織的な対流雲が発生していない（供給元の暖湿気の進入をつぶさない）ことも対流雲を維持する要素の一つである。

#### ステージ4（対流雲衰弱期）5日23時現在

熊谷のウィンドプロファイラ（図省略）では、15時頃から1000mより下層で次第に南よりの風が卓越し、18時には2000m付近まで南よりに変わり、下層の鉛直方向のシアが解消してきた。図-14は9時と21時の800m上空のウィンドプロファイラの平面図を比較したものであるが、関東南部で南よりの風が卓越し、総観場の関東付近の前線が日中より北側にシフトしているのが分かる。一方、アメダス平面図でも東京付近のシアラインが埼玉県側に北上し、東京付近の温度傾度も小さくなり、23時には東京付近の強エコーも一旦解消した。

強エコーの発生域は、前線の北上とともに地形的に強制上昇が起きやすい山岳方面に移っている。さらに夜間に入り、鉛直方向の気温の差が小さくなって、衛星画像からは、広範囲での対流雲の衰弱傾向が分かり、関東南部のピークは過ぎたと見て取れる。

しかし、21時の館野の高層資料（図省略）による大気の安定度は、依然不安定な状態が続いている。また、前線は東京の北側に残っており、南からの暖湿気の輸送は夜に入っても持続している。

今後は、南から進入する対流雲、北側の降水に伴う寒気の滞留とこれに伴う前線の南下の可能性を含め、引き続き、対流雲の発生、発達に監視が必要である。

### 3 まとめ

表-1 にこれまで述べた大雨の盛衰を見極める

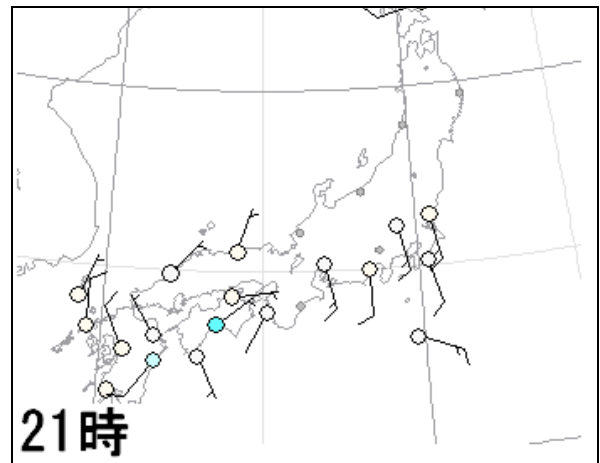
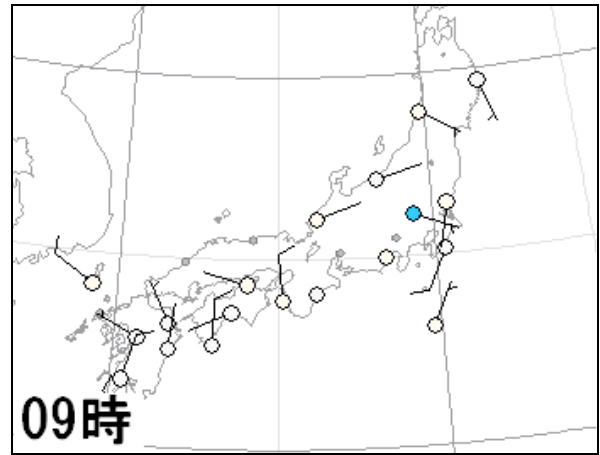


図-14 ウィンドプロファイラ 800m上空の風(kt) 5日9時(上)と21時(下)の比較

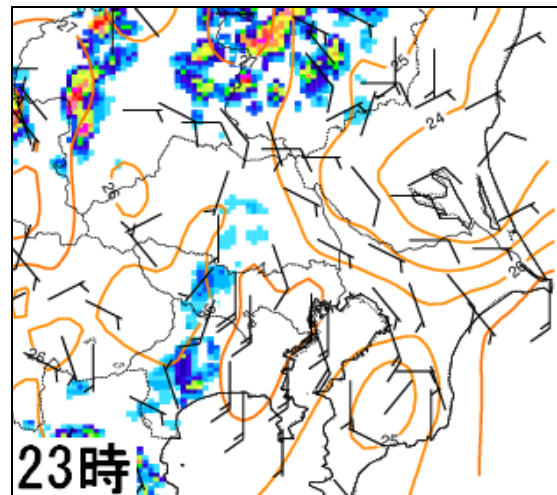


図-15 23時のレーダーエコーとアメダス気温, 風 (m/s) 凡例等は図-13と同じ

ポイントと解析等に有効な観測・予報システム、数値予報等についてまとめた。

メソ対流系(複数個の積乱雲が接近して群をなし、メソスケール程度の水平規模に発達して降水を伴う大気現象を呼ぶ)の発生や発達を予測するためには、

ステージ	着目点	観測・予報システム、数値予報等
発生前 (環境場の把握)	ポテンシャルの把握と今後約 12 時間の大気の状態の変化、これに伴う対流雲の発生、発達の可能性、衰弱をイメージし、シナリオを作成する	衛星、レーダー、ウィンドプロファイラ、毎時大気解析、エマグラム、各種天気図、GSM、MSM、ガイダンス
発生前 (実況監視と予測)	シアーライン、収束線、前線付近の移流、輸送、風系、さらにこれらを含む環境場の風系等の監視、レーダーによる対流雲の早期検出	衛星、レーダー、ウィンドプロファイラ、毎時大気解析、局地天気図(アメダス、地上気象観測)、MSM、ガイダンス
発達、最盛期 (実況監視と予測)	対流雲を取り巻く環境(気圧場、温度場、風系)、対流雲の分布状況、メソ対流系がつくる下層冷気塊あるいはメソ高気圧の検出	衛星、レーダー、降水短時間予報、降水ナウキャスト、ウィンドプロファイラ、毎時大気解析、局地天気図(アメダス、地上気象観測)、MSM、ガイダンス
衰弱期 (実況監視と予測)	対流雲を取り巻く環境(気圧場、温度場、風系)の変化、対流雲の発達、分布状況、メソ対流系がつくる下層冷気塊の解消	衛星、レーダー、降水短時間予報、降水ナウキャスト、ウィンドプロファイラ、毎時大気解析、局地天気図(アメダス、地上気象観測)、MSM、ガイダンス

表-1 大雨の盛衰を見極めるためのポイントと観測・予報システム、数値予報等

\* 本文では触れていないが、毎時大気解析も各ステージの環境場等を把握するうえで有効である。

まず、発生前からの大気の状態を把握し、気象の状況に応じた短時間の大雨等の現象の推移をイメージし、シナリオを作成しておく必要がある。そのためにも、あらかじめ地域特性や大雨パターンを知っておくことが重要である。

対流雲発生前は、レーダー等による対流雲の早期検出は欠かせないが、同時にメソ対流系の発生や発達を励起させる要因となる、前線、地上のシアーライン、収束線、熱的低気圧の形成などをアメダスや地上気象観測による局地解析、ウィンドプロファイラで監視し、常に数値予報やガイダンスと比較検討する必要がある。

対流雲が発達して、冷気塊が形成され、メソ高気圧が形成された場合には、その先端部分で新たな対流雲が発生したり、メソ対流系となって継続したりすることが予想される。数値予報が強雨を予想していない場合は、こうした下層の冷気塊は表現されない。寒気層の強さやメソ高気圧の規模を毎時に監視することも重要である。さらにこうしたメソ対流系を維持させるよりスケールの大きな環境場に注目しておく必要がある。

したがって終息の判断も同様に、対流雲を含む、より大きなスケールの環境場の変化に目を向ける。例えば、下層の暖湿気の移流や輸送の変化、上、中層のトラフの通過による風系の変化、下層寒気の移流等が挙げられる。

目先の対流雲の発達、衰弱を単に追跡するだけではなく、気象学的背景を踏まえ対流雲の盛衰をイメージすれば、実況監視上のポイントや利用する観測システムがおのずと決められてくる。また、こうした環境場は数値予報でも十分表現できるので、常に新しい初期値のモデルを実況と比較して利用することが、適切な大雨の終息の判断にも繋がる。