

2.6 和歌山県における大雨発生の必要条件の抽出・妥当性の確認と十分条件の抽出

和歌山地方気象台

要 旨

大雨発生の必要条件について、500m 高度面の相当温位と水蒸気フラックスおよび、DLFC(500m 高度面から自由対流高度までの距離)や EL(平衡高度)の統計的な調査を行った。大雨事例に対して、これから得られたしきい値をアンド条件により面的に表現してみた結果、大雨の発生領域と概ね一致しており、この手法は大雨発生領域の面的絞込みに有効であることがわかった。

1. はじめに

大雨発生の必要条件について、メソ解析から抽出したデータにより、500m 高度面を基準とした相当温位、水蒸気フラックスなどの下層水蒸気量、EL、DLFC などの不安定に関する要素について統計的に整理した。さらに、その結果を、タイプの異なるいくつかの大雨事例について面的に表示し、実況との比較を試みた。

2. 降水量とメソ解析の GPV データ

2.1 調査方法

和歌山県は南北に長いので、一次細分区の北部と南部に分けて降水量とメソ解析の GPV データの関係を調査した。調査対象時期は6～8月で、調査期間は2006年から2012年までの7年間である。

降水量は解析雨量を使用し、北部と南部の最大値を抽出した。GPV データはメソ解析を使用し、相当温位や水蒸気フラックスなどは、下層の水蒸気の流入に影響を及ぼすと考えられるため、海上ポイント(第1図の赤丸)を、また、EL や DLFC など不安定をあらわす要素は、大気の成層状態によって計算できない領域が生じるため、陸上の複数ポイント(第1図の黒丸)を取得した。

解析雨量と GPV データの対応方法は、メソ解析による GPV が3時間単位となるため、解析雨量は GPV の時刻から3時間先の最大値をとり、さらに時間の取り方による誤差を小さくするため、解析雨量による前3時間積算降水量(以後、R3)と対応させることとした。また、台風による降水については今回の統計からは除外した。

2.2 500m 面の相当温位と水蒸気フラックス

下層水蒸気量と降水量の関係をみるために、500m 面の相当温位、水蒸気フラックス、R3 の関係を散布図に示した。第2図は北部、第3図は南部の散布図で、バブルの直径は R3 と比例し、青色のバブルは10～99mm、赤色は100mm 以上を示している(以後の散布図においてバブルの表示方法は同じ)。北部(第2図)では相当温位が345K 以上で100mm 以上の大雨が発生しているが、水蒸気フラックスは小さい値でも大雨が発生している。一方、南部(第3図)では相当温位が340K 以上で大雨が発生し、水蒸気フラックスは概ね $80\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上で大雨となっている。

また、水蒸気フラックスは方向を持つ量であるため、水蒸気フラックスを方向別に分けて散布図で表現してみた(第4図、第5図)。この図は原点からバブルまでの距離が水蒸気フラックス量となり、原点からバブルの方向は風向と一致する。北部(第4図)では南西～南方向に大雨が集中しているが、南部(第5図)は西～南西と南東～東の2方向に分かれており、和歌山県の大雨パターンである南西風系と南東風系に対応した分布となっている。これらの散布図から、水蒸気フラックスがやや小さい部分(概ね $100\sim 200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の間)に大きな赤いバブル(R3 の大きな事例)が分布し、一見、水蒸気フラックスと R3 には比例した関係がないように見える。

ここで、水蒸気フラックスの大きさと R3 の関係を箱ひげ図に示す(第6図, 第7図)。この図は一定間隔で区切った水蒸気フラックスに対応する事例数を R3 の大きい順に 1/4 ごと分け(四分位数)、中央値から上下 25% の事例を箱で表し、最大値と最小値をひげ(線)で表している。最大値は概ね $100 \sim 200 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ がピークとなっているが、中央値は水蒸気フラックスに比例して大きくなり、北部南部ともに $400 \sim 500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ の事例の半分が約 75mm 以上、南部では $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の事例の半分が約 100mm を超える大雨となっている。水蒸気フラックスが非常に大きくなれば、大雨となる確度が高いことを示唆している。

2.3 不安定

大雨は大気の状態が不安定となることで発生しやすい。もちろん下層の水蒸気量も不安定に寄与する要素のひとつであるが、さらに上空の寒気や大気の成層状態などについて大雨との関係をみていきたい。

2.3.1 高度間の気温差

高度間の気温差が大きくなると大気の状態は不安定となりやすい。700hPa と 500m 面、および 500hPa と 850hPa の気温差と R3 の関係を散布図で表した(第8図, 第9図)。北部南部とも 700hPa と 500m 面の気温差は概ね -10°C 以下、500hPa と 850hPa は概ね -20°C 以下で大雨が発生している。

2.3.2 対流不安定と条件付不安定

相当温位(θ_e)が高度とともに低下する成層は、下層が高温で水蒸気量が多く、上層は低温で乾燥していることを示しており、このような状態を対流不安定ともいう。対流不安定による現象は、大規模な気層の持ち上げによって、飽和した下層と乾燥した上層の気温の断熱減率の違いから、絶対不安定な成層が発生し、非常に激しい対流が発生することを指す。しかし、下層から上層にかけて一定の気層を同時に持ち上げる機構が無ければ、現象の発生頻度はそれほど高くないと思われる。ただ、対流不安定は飽和相当温位(θ_{e*})が高度とともに低下する条件付不安定の状態にもなりやすいため、不安定の一般的な条件とも考えられる。

500m 面とそれより上層の 700hPa および 500hPa の相当温位の差を示す(第10図, 第11図)。ほとんどの事例では上層の相当温位は下層の相当温位より低く、対流不安定な状態となっている。

また、条件付不安定の状態にある場合、下層の空気塊を断熱的に上昇させて、自由対流高度(LFC)に達すると、浮力で平衡高度(EL)まで自ら上昇する。ここで 500m 面の空気塊について考え、そこから LFC までの距離を DLFC、平衡高度を EL とし、DLFC と EL の散布図を示す(第12図, 第13図)。多少のばらつきはあるが、概ね DLFC は 350m 以下、EL は 8000m 以上の部分に大雨が集中している。

条件付不安定の現象を発生させるトリガーは、対流不安定のような大規模な気層の持ち上げ機構ではなく、空気塊を強制上昇させる局地的な機構があればよく、発生頻度は比較的高いと思われる。

2.4 大雨発生の必要条件と十分条件の考察

統計的な大雨条件を第1表に示す。また、温位エマグラムによる大雨発生条件を第14図に示す。ここで、A の空気塊が断熱的に移動するパーセル法によって不安定を考える。大気は θ_e や θ_{e*} が高度とともに低下する対流不安定および条件付不安定となっており、500m 面は θ_e が 340K 以上、さらに $80 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上の水蒸気フラックスがあり、一定以上の水蒸気が補給される状態を想定する。

θ_e は保存量なので、温位エマグラム上の空気塊の上昇と下降は縦の線で表現できる。空気塊 A を持ち上げて θ_{e*} 線と交わる B が LFC で、そこから上空は浮力が重力より大きくなって自ら上昇し、再び θ_{e*} 線と交わる C に達すると、それらが釣り合う平衡高度(EL)となり上昇力がなくなる。

A から B までの空気塊の移動には外力が必要となるため、DLFC は発達するまでのハードルの高さに相当する。また、EL は発達の度合い、相当温位や水蒸気フラックスは不安定や降水となる水蒸気を表しており、それぞれ同

時に一定のしきい値を超えることが、大雨発生の対流システムに必要な条件だと考えられる。

大雨発生のトリガーとなる十分条件は、空気塊を A から B まで上昇させるための機構や外力が考えられ、収束による上昇、斜面や冷氣層への乗り上げなど、様々な状況が想定される。数値モデル上で A から B までの上昇に相当する要素としては、925hPa の鉛直 P 速度が考えられる。外力による上昇かどうか曖昧な点はあるが、複雑な持ち上げ機構を考えなくてすむため、モデル上では十分条件として扱うこととしたい。また、対流活動を継続させるには、持ち上げ機構上層の風上側には θ_e や θ_{e*} の低い大気があり、対流により安定化した上層大気を常に不安定な状態に更新させることが必要である。この場合、持ち上げ機構が移動せず下層水蒸気の補給が続けば、その上層風の風下側では局地的な大雨になりやすいと考えられる。

3. 必要条件の面的表現

第 2 項の統計的な調査により、概ね大雨発生の要素と条件が整理できた。しかし、調査の対象領域は数箇所の GPV ポイントにすぎない。診断的予測グループの気象データ計算機では、観測データや数値予測データを面的に表示でき、さらに複数の要素間の論理演算も可能である。この機能を利用し、メソスケールモデル (MSM) について、大雨発生の必要条件を満たす領域と実況の降水域の比較を試みたい。ただし、予測時間は現業作業や予測精度を考えて、イニシャルから 6~8 時間先とする。

大雨事例は、500m 水蒸気フラックス (第 4 図、第 5 図) から異なるタイプの 3 事例を選択した。

3.1 弱い南東風系 (2011 年 8 月 1 日)

R1 は 7 月 31 日の 23 時に 85mm, R3 は 8 月 1 日 05 時に 179mm を記録した (2.5km 格子相当)。強雨域は 7 月 31 日夜から 8 月 1 日朝にかけて南東の沿岸を中心に定着し、24 時間解析雨量は多いところで 300mm 以上の大雨となった (第 16 図)。

1 日 03 時の地上天気図 (第 15 図左) では東海上に低気圧があり、それを回り込むように 500m 水蒸気フラックス (第 15 図右) は東から $150\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 程度の流量があった。ここで、不安定な領域を考える。第 17 図は 8 月 1 日 03 時の MSM の予想で、A は 500m 高度の水蒸気フラックスが $100\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を、B は EL が 8000m を超え、C は DLFC が 300m 未満の領域である。しきい値は 100 単位とし、水蒸気フラックスと DLFC は、第 1 表よりやや厳しい条件とした。さらに、LFC まで強制的に上昇させる要素として、500m 高度面よりやや高い 925hPa の鉛直 P 速度の上昇域 (-50hPa/h 未満) を D に示した。

第 17 図で示した不安定な領域を絞り込むため、各要素のしきい値より大きなアンド条件 ($\wedge$) を満たす領域を第 18 図に示す。左図 ($A\wedge B\wedge C$) は、500m の各水蒸気や不安定要素のしきい値を越えた領域で、紀伊半島の南東側に広がっている。さらに、鉛直 P 速度の D を加えた右図 ($A\wedge B\wedge C\wedge D$) の領域は南東斜面沿岸部に絞られて、第 16 図の大雨発生領域とほぼ一致している。

一方、上空では北からの乾燥域が南下している。第 19 図は MSM による 8 月 1 日 03 時の上空の湿度予想である。乾燥域が 600hPa では中国地方、500hPa では近畿地方、400hPa では東海地方にあり、上空に行くに従って西から東に傾いた乾燥した層が予想されている。この層に北から乾いた空気が入るとともに、下層南東からの水蒸気フラックスが南東斜面で持ち上げられる状態が続いたため、非常に不安定な状態が継続したと考えられる。

3.2 弱い南西風系 (2012 年 7 月 20 日)

R1 は 7 月 20 日の 10 時に 100mm, R3 は 7 月 20 日の 12 時に 178mm を記録した (2.5km 格子相当)。08 時頃から南部の南西側沿岸部で発生したエコーが急速に発達した (第 21 図)。

地上天気図では日本の南海上に高気圧があり (第 20 図左)、その外側を回る暖湿気が南西から入っている。500m

の水蒸気フラックス(第20図右)は南西から約 $200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の流量があった。

不安定な領域を第3.1項と同様に絞ってみた。第22図は最も降水が強まった7月20日10時予想の不安定な領域である。各不安定要素のしきい値は第3.1項と同様である。EL, DLFC, 水蒸気フラックスのアンド条件(左図)は大阪湾付近と紀伊半島中部に分布している。さらに、鉛直P速度のアンド条件(右図)をとると、概ね第21図の降雨域と一致している。

衛星水蒸気画像(第23図左)では西から暗域がゆっくり南下し、近畿地方では暗域と明域の緩やかな境界となっている。また、355K温位面の渦位は日本海に予測され(第23図右)、500hPaの乾燥域(第24-1図)と概ね一致している。

しかし、それより300hPaの乾燥域が先行して入っており、その前面でエコーが発達している。300hPaの風と湿度の時系列予想図(第24-2図)をみると、西方の乾燥域から東方の湿潤域に向けて北西風が吹き、和歌山県上層に乾燥大気の移流が予想されている。強雨域はこの北西風に沿って発生しており、この事例も上空の乾燥域が対流の発生や維持に寄与していたと思われる。

また、渦位との対応はあまりよくなかったが、20日午後には、この渦位の南下に伴って岡山県や兵庫県の山地を中心に大雨となっている(図略)。

3.3 強い南西風系 (2011年6月11日)

R1は6月11日の04時に65mm, R3は05時30分に132mmを記録した(2.5km格子相当)。

地上天気図(第25図左)では梅雨前線が西日本に停滞し、前線上の低気圧が瀬戸内付近を東に進んでいる。水蒸気フラックス(第25図右)は非常に大きく、沿岸部では $400\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上であった。解析雨量(第26図)では、11日03時頃から降水域は和歌山県の内陸に広く分布しはじめ、11日04時頃には内陸部で東西にのびる強雨域が形成されている。10日21時イニシャルのMSMによる必要条件の領域(第27図)で、02時(左上図)と04時(右上図)を比較すると、大雨発生前の02時では必要条件(A $\wedge$ B $\wedge$ C)を満たした領域は無いが、大雨となった04時では概ね和歌山県全域で必要条件を満たしている。また、前の2事例と同様に925hPaの鉛直P速度が -50hPa/h のアンド条件(左下図)を追加すると、やや領域が絞られたが、前2事例ほどではないため、さらに -100hPa/h のアンド条件(右下図)とすると、ほぼ強雨域と対応した領域に絞ることができた。

メソ解析データの温位エマグラム(第28図)で11日00時と雨の強まった03時を比較すると、03時には850hPa以下の南西風が強まるとともに θ_e が約7K高くなり、対流不安定な状態に移行している。さらに、メソ解析データによる950hPaの風と925hPaの鉛直P速度の平面図(第29図)では、梅雨前線上の低気圧の東進に伴い、瀬戸内側からの西風と太平洋側からの南西風の収束によって(03時赤い点線)、紀伊水道から和歌山県中部にかけて -100hPa/h 以下の上昇流が発生している。

この事例は、上空に乾燥域は入らないが、下層水蒸気の移流により不安定な状態となり、さらに下層収束による強い上昇流が発生したため大雨になったと考えられる。

4. 水蒸気フラックスの大小による比較

第2.2項でみたとおり、短時間強雨は水蒸気フラックスの大小と関係なく発生し、水蒸気フラックスが比較的小さい事例でも多く発生している。同じような大気の成層状態で、水蒸気フラックスが大きい事例と比較的小さい事例を選び、大雨の特徴について比較してみたい。

事例は一樣な南西風系とし(第30図)、水蒸気フラックスが $300\sim 400\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上を事例a(2012年7月12日0時)、 $150\sim 200\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ を事例b(2012年8月10日23時)とする(第31図)。メソ解析データから取得した温位エ

マグラム(第 32 図)では、両事例とも鉛直シアは小さく、成層状態は概ね類似している。また、500m 面の θ_e もほとんど同じ(356~358K)である。ただ、風速が異なっていることが(事例 a は約 16m/s, 事例 b は約 7m/s)、両事例の水蒸気フラックスの差になったと考えられる。

4.1 事例 a(大きいフラックス)の実況と解析

不安定を示す領域(第 33 図左)は広範囲に表現されており、1 時間解析雨量(第 34 図左)も同じような分布となっているが、降水量は 20~30mm 程度にとどまっている。レーダー画像(第 35 上図)では、エコーの様な分布はなく、紀伊半島南西沖で発生したエコー(点線)が北東に進み、和歌山県を発達しながら通過したことで、降水域が広がったとみられる。和歌山県の南西斜面は傾斜が比較的緩くて長い地形となっており、等温位線は地形に沿って滑らかに変化している(第 36 図左)。南西海上からの対流雲は等温位線に沿って上昇し、発達しながら移動したと考えられる。

4.2 事例 b(小さいフラックス)の実況と解析

不安定を示す領域(第 33 図右)は沿岸部付近に表現され、ほぼ同じ領域で 1 時間 80mm の猛烈な雨となった(第 34 図右)。レーダー画像(第 35 図下)は、沿岸部に強いエコーが定着しているが、細かくみると、海上で発生した複数の小さなエコー(点線)が沿岸部に移動して急速に発達している。温位の断面図(第 36 図右)は下層の陸上と海上の温位差が大きく、等温位線の傾きが沿岸部で急となっている。海上で発生した小規模な対流雲が不安定な領域に入り、沿岸付近の低温位層に乗り上げて、さらに対流を活発化させたと思われる。また、風が弱くエコーの移動速度が小さいため、沿岸部の狭い範囲での大雨となったと考えられる。

4.3 考察

いずれも海上で発生したエコーが沿岸部に進んで発達するが、事例 a はそのまま内陸部に進み、事例 b は沿岸部で進行がほぼ止まったため、降水量や降水域に大きな違いが見られた。特に事例 b では沿岸部で温位勾配が大きいことが、局地的豪雨の原因のひとつと考えられる(第 36 図右)。内陸側下層の温位は両事例とも同様に低いが、事例 b は風が弱く、海面温度も高かったため(約 28℃)、海面に近い大気の温位が高くなり、内陸側との温位差が大きくなったと考えられる。一方、事例 a は風が強く、海面温度も低かったため(約 25℃)、温位勾配が比較的緩やかだったと思われる(第 37 図)。

ただ、短時間の豪雨にはならなかった事例 a は、その後も内陸部の広い領域で 20~30mm 程度の降水が続き、24 時間積算解析雨量(第 38 図左)では 200mm 以上の降水域が広く分布したため、指定河川はん濫警戒情報の発表に至っている。

5. まとめ

大雨発生の必要条件として統計的な調査を行った結果、DLFC、EL、水蒸気フラックスなどが一定のしきい値を超えた条件で発生していることがわかった。それらの条件を診断的予測グループの気象データ計算機によりアンド条件で表示すると、実際に強雨域とよくあった結果が得られ、この手法は面的な絞込み手法として有効だと考えられる。

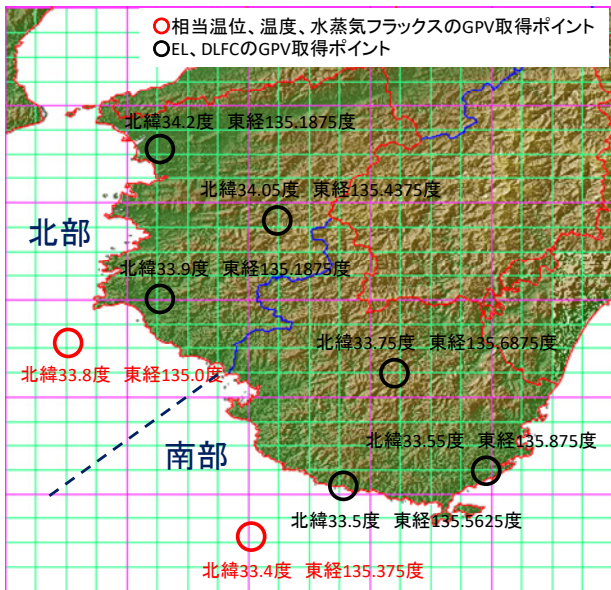
今回の手法は、FRR やガイダンス以外に、モデルの要素から大雨が予想できることを示しており、大雨パターンごとに主要因となる要素が抽出できれば、モデル予測をさらに有効に活用することができるとと思われる。

参考文献

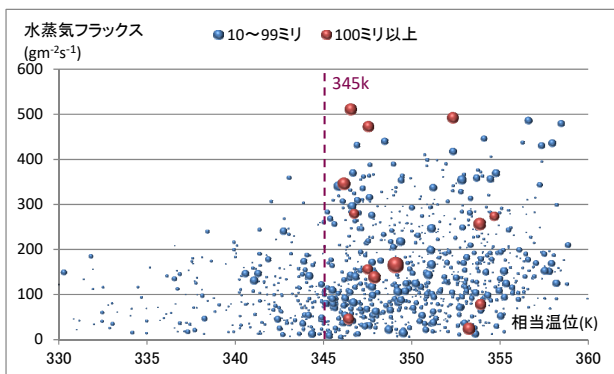
小倉義光, 1997: メソ気象の基礎理論. 東京大学出版会, 123pp.

第1表: 県内でR3が100mm以上となる必要条件

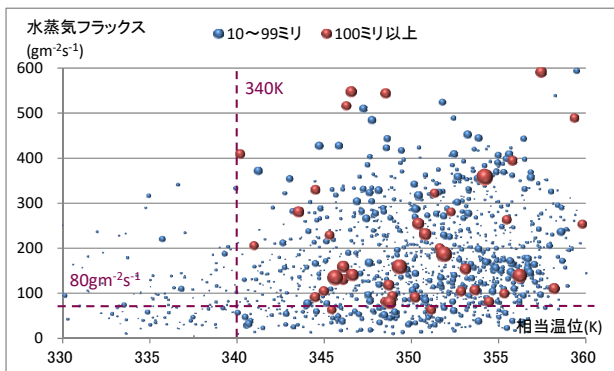
大雨発生の必要条件	北部(R3 $\geq$ 100ミリ)	南部(R3 $\geq$ 100ミリ)
500m面相当温位	345K以上	340K以上
500m面水蒸気フラックス	—	80gm ⁻² s ⁻¹ 以上
500m面風向	南西～南	西～南西、南東～東
気温差(500hPa-850hPa)	-20℃以下	
気温差(700hPa-500m面)	-10℃以下	
相当温位差(500hPa-500m面)	0K以下(対流不安定)	
相当温位差(700hPa-500m面)	0K以下(対流不安定)	
500m面DLFC	350m以下	
500m面EL	8000m以上	



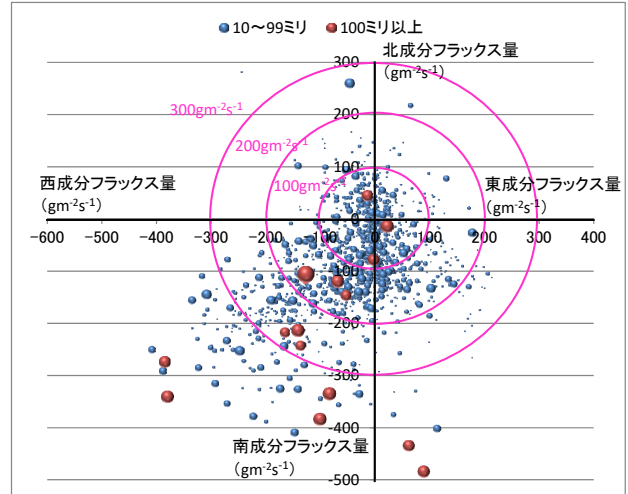
第1図: GPV データ取得ポイント(地図データ ASTER GDEMは経済産業省およびNASA に帰属)。



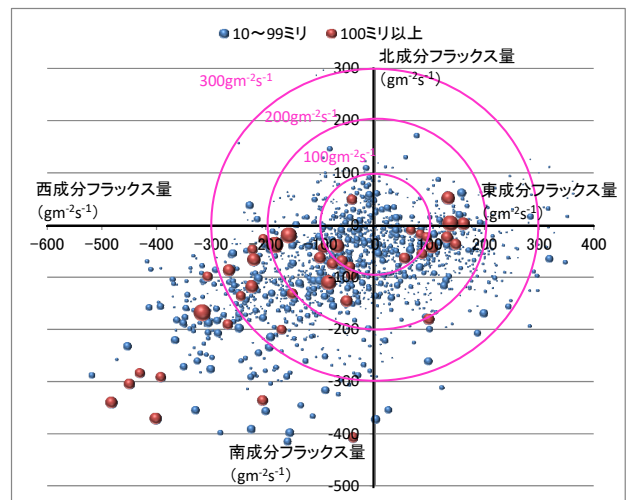
第2図: 北部の500m水蒸気フラックス(縦)と相当温位(横)およびR3 のバブル散布図。



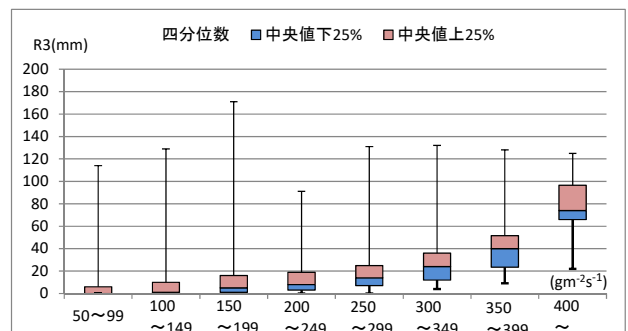
第3図: 南部の500m水蒸気フラックス(縦)と相当温位(横)およびR3 のバブル散布図。



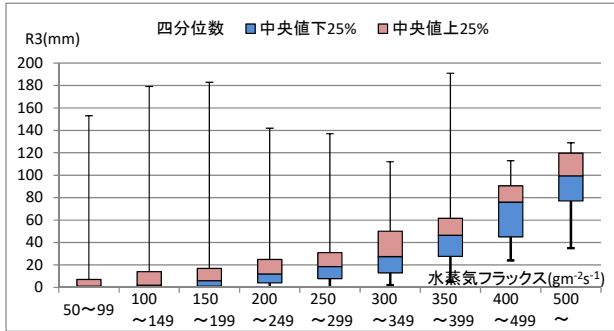
第4図: 北部の500m水蒸気フラックスの方向成分と R3 散布図(原点からバブルの距離は水蒸気フラックス量, 向きは風向)。



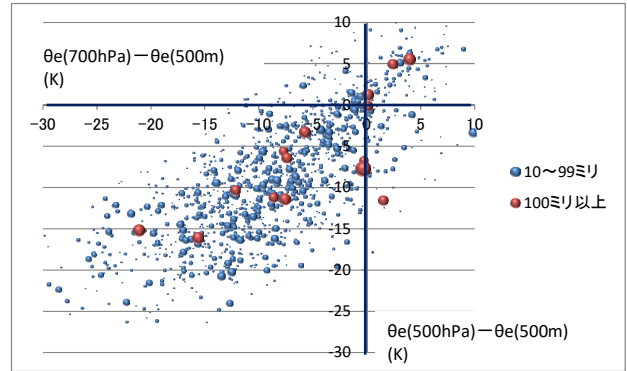
第5図: 南部の500m水蒸気フラックスの方向成分と R3 散布図(原点からバブルの距離は水蒸気フラックス量, 向きは風向)。



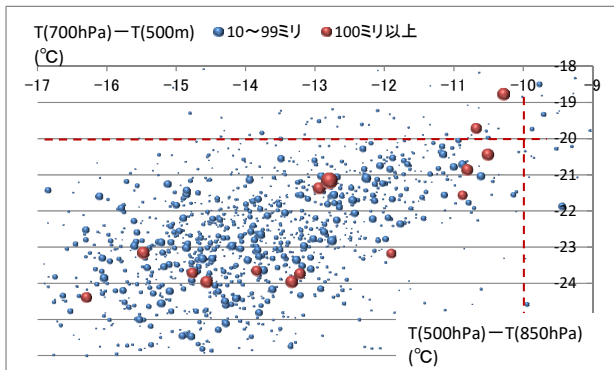
第6図: 北部の500m水蒸気フラックス(縦)とR3の箱ひげ図(箱は四分位数の中央値から上下25%, ひげは最大最小値)。



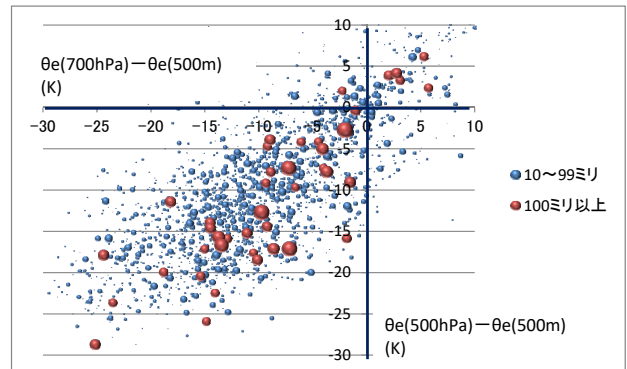
第7図: 南部の500m水蒸気フラックス(縦)とR3の箱ひげ図(箱は四分位数の中央値から上下25%, ひげは最大最小値).



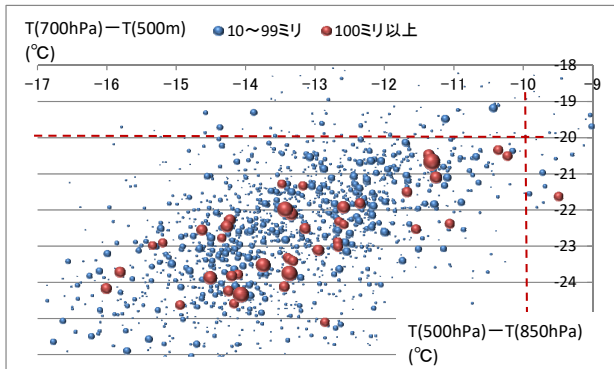
第10図: 北部の上空の相当温位差とR3のバブル散布図. 横軸 $\theta_e(700\text{hPa}) - \theta_e(500\text{m})$, 縦軸 $\theta_e(500\text{hPa}) - \theta_e(500\text{m})$.



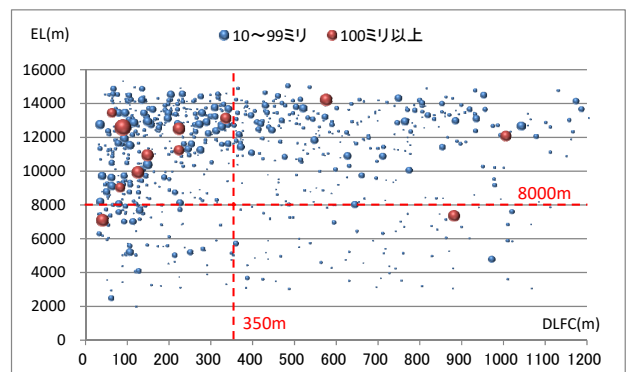
第8図: 北部の上空の気温差とR3のバブル散布図. 横軸 $T(700\text{hPa}) - T(500\text{m})$, 縦軸 $T(500\text{hPa}) - T(850\text{hPa})$.



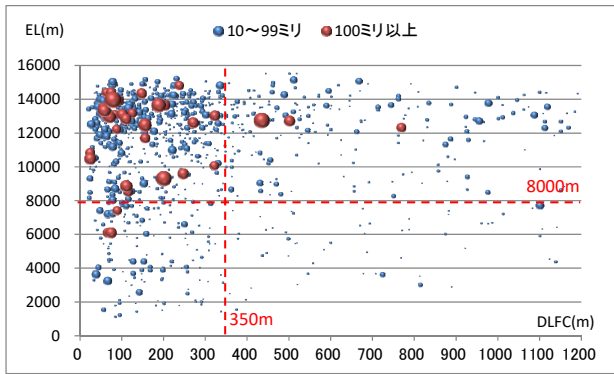
第11図: 南部の上空の相当温位差とR3のバブル散布図. 横軸 $\theta_e(700\text{hPa}) - \theta_e(500\text{m})$, 縦軸 $\theta_e(500\text{hPa}) - \theta_e(500\text{m})$.



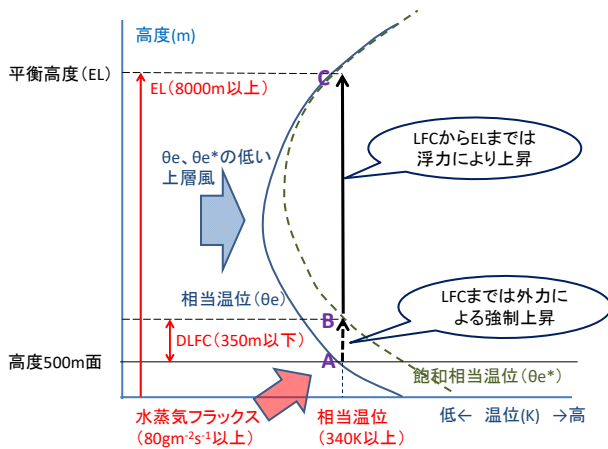
第9図: 南部の上空の気温差とR3のバブル散布図. 横軸 $T(700\text{hPa}) - T(500\text{m})$, 縦軸 $T(500\text{hPa}) - T(850\text{hPa})$.



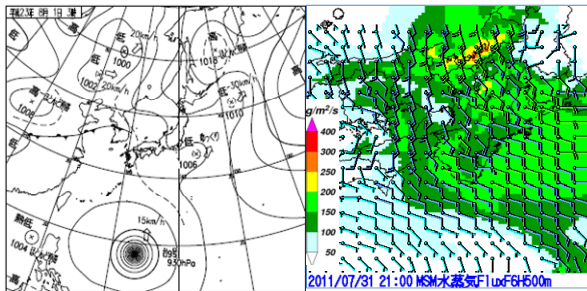
第12図: 北部のDLFC(横)とEL(縦)およびR3のバブル散布図.



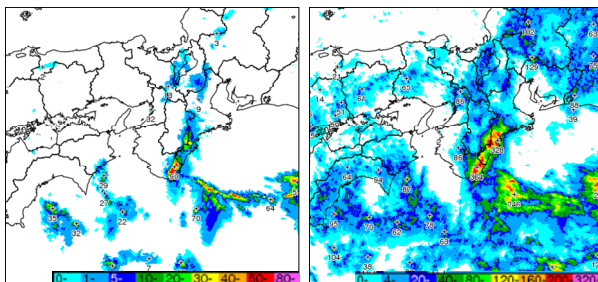
第13図: 南部のDLFC(横)とEL(縦)およびR3のバブル散布図.



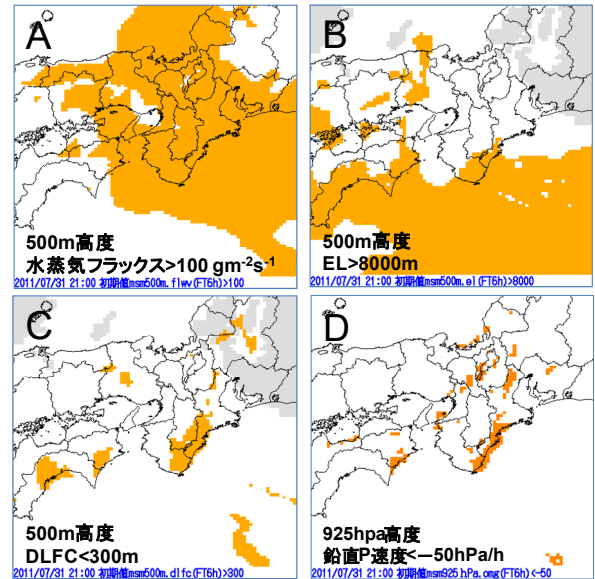
第14図: 温位エマグラムによる大雨発生モード図.



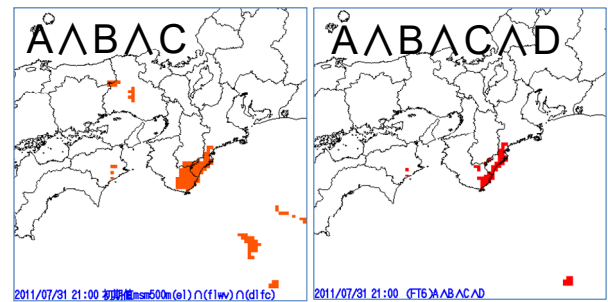
第15図: (左)2011年8月1日03時地上天気図, (右)500m水蒸気フラックスと風(MSM: 7月31日21時イニシャルのFT6予想).



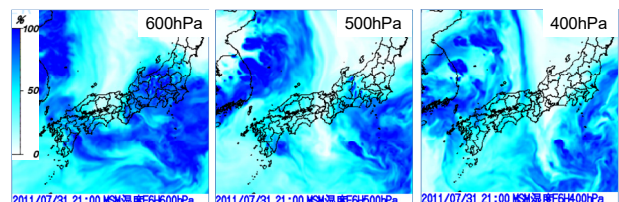
第16図: (左)8月1日03時の1時間解析雨量, (右)8月1日12時の24時間解析雨量.



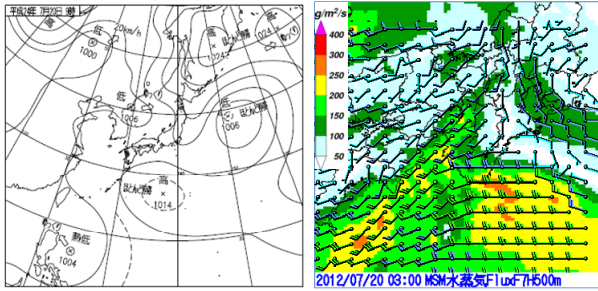
第17図: 2011年7月31日21時イニシャルのMSMによるFT=6(8月1日03時)の予想. A:500m高度の水蒸気フラックス $>100\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ の領域, B:500m高度のEL(平衡高度) $>8000\text{m}$ の領域, C:500m高度のDLFC(LFCまでの距離) $<300\text{m}$ の領域, D:925hPa高度の鉛直P速度 $<-50\text{hPa/h}$ の領域.



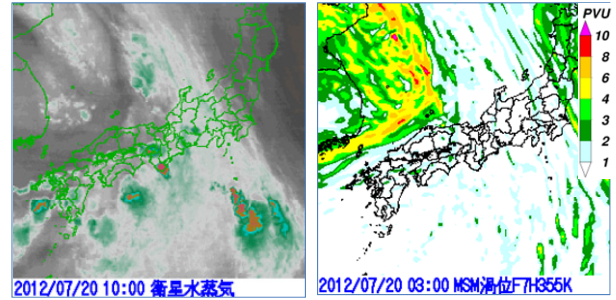
第18図: 第17図ABCDのAND条件. (左)第17図A,B,CのAND条件が満たされた領域, (右)第17図A,B,C,DのAND条件が満たされた領域.



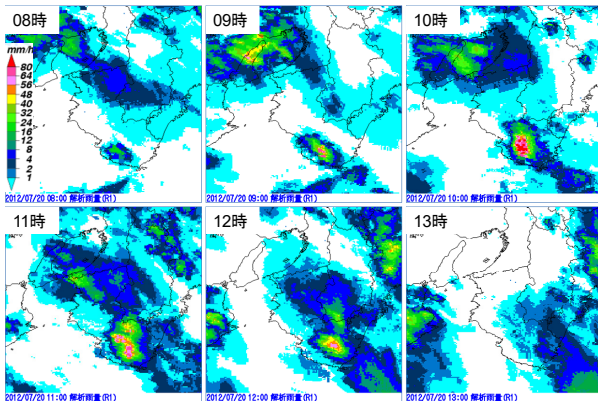
第19図: MSM7月31日21時イニシャルのFT=6の湿度予想. (左)600hPa, (中)500hPa, (右)400hPa.



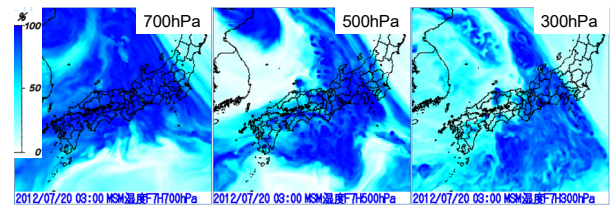
第20図: (左)2012年7月20日09時地上天気図, (右)500m水蒸気フラックスと風(MSM: 7月20日03時イニシャルのFT=7 予想).



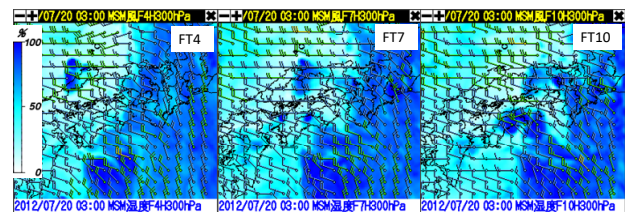
第23図: (左)2012年7月20日10時の衛星水蒸気画像, (右)355K温位面の渦位(MSMの20日03時イニシャルFT=7).



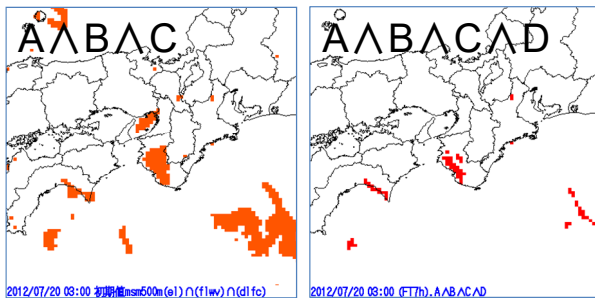
第21図: 2012年7月20日08時~13時の1時間解析雨量.



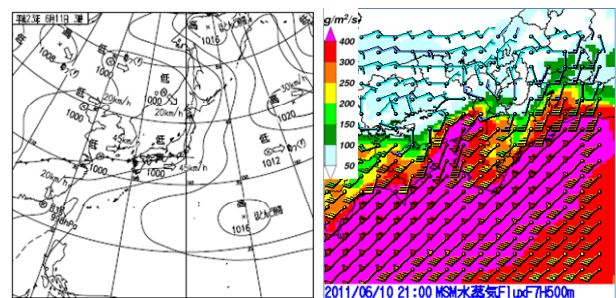
第24-1図: MSMの20日03時イニシャルのFT=7の湿度予想. (左)700hPa, (中)500hPa, (右)300hPa.



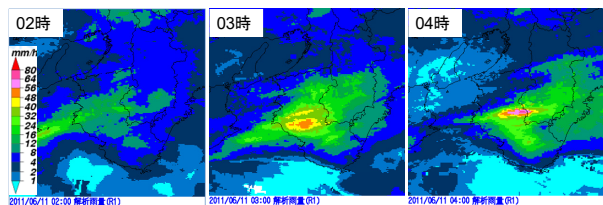
第24-2図: MSMの20日03時イニシャルの300hPa風, 湿度の時系列予想図(左: FT=4, 中: FT=7, 右: FT=10).



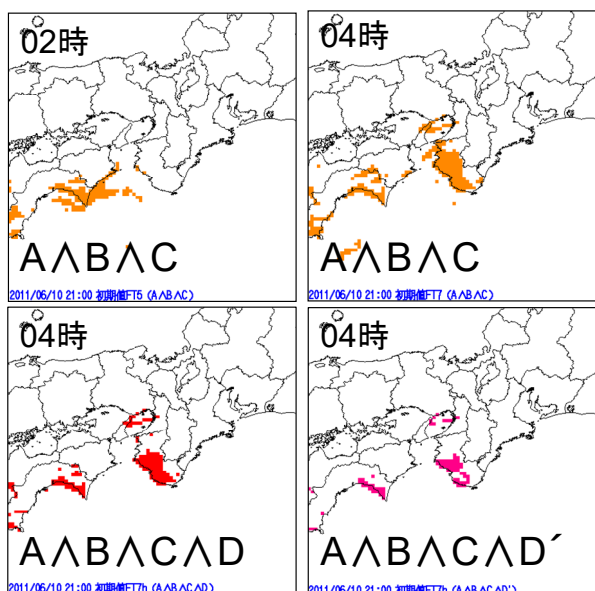
第22図: 2012年7月20日03時イニシャルのMSMによるFT=7(7月20日10時)のAND条件. (左)A, B, Cが満たされた領域($A \wedge B \wedge C$), (右)A, B, C, Dが満たされた領域($A \wedge B \wedge C \wedge D$). A, B, C, Dのしきい値は第17図と同じ.



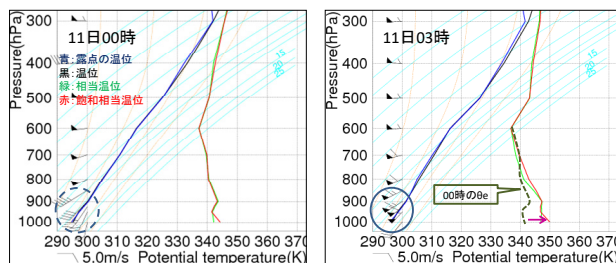
第25図: (左)2011年6月11日03時地上天気図, (右)500m水蒸気フラックスと風(MSM: 6月10日21時イニシャルのFT=7 予想).



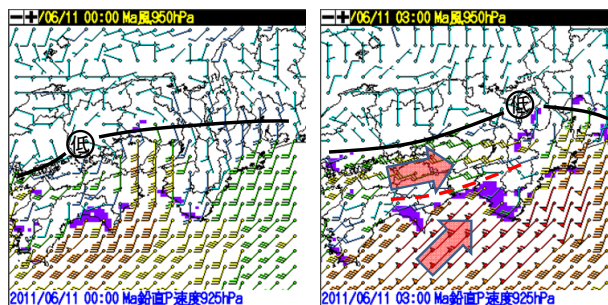
第26図: 2011年6月11日02時~04時の解析雨量。



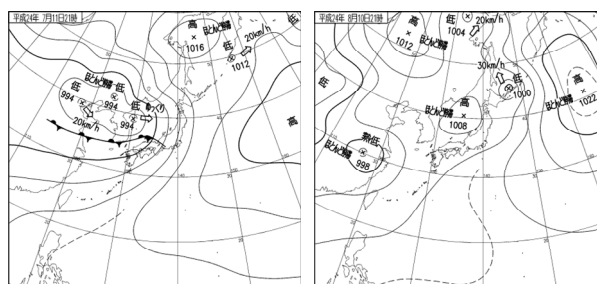
第27図: 2011年6月10日21時イニシャルのMSMによるA, B, C, D, D'のアンド条件を満たす領域。(左上)02時(A $\wedge$ B $\wedge$ C), (右上)04時(A $\wedge$ B $\wedge$ C), (左下)04時(A $\wedge$ B $\wedge$ C $\wedge$ D), (右下)04時(A $\wedge$ B $\wedge$ C $\wedge$ D')。A:500m高度の水蒸気フラックス $>100\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, B:500m高度のEL(平衡高度) $>8000\text{m}$, C:500m高度のDLFC(LFCまでの距離) $<300\text{m}$, D:925hPa高度の鉛直P速度 $<-50\text{hPa/h}$, D':925hPa高度の鉛直P速度 $<-100\text{hPa/h}$ 。



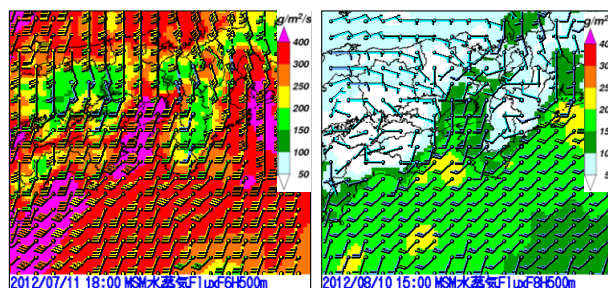
第28図: メソ解析による温位エマグラム。(左)11日00時, (右)11日03時。



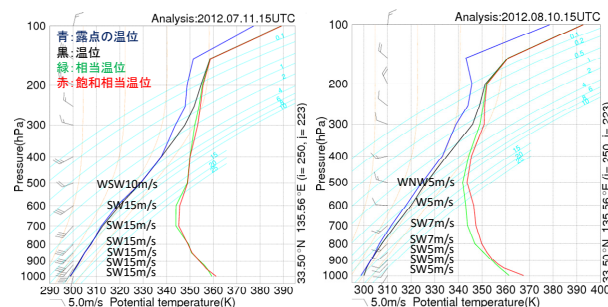
第29図: メソ解析による950hPaの風と925hPaの鉛直P速度(紫色は -100hPa/h 以下)の平面図。(左)11日00時, (右)11日03時。



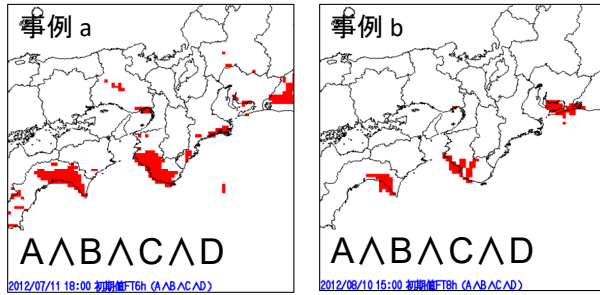
第30図: 地上天気図。(左)事例a 2012年7月11日21時, (右)事例b 2012年8月10日21時。



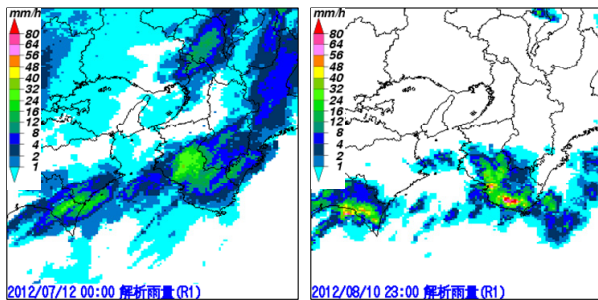
第31図: MSMによる500m水蒸気フラックスと風。(左)事例a 2012年7月11日18時イニシャルのFT=6, (右)事例b 2012年8月10日15時イニシャルのFT=8。



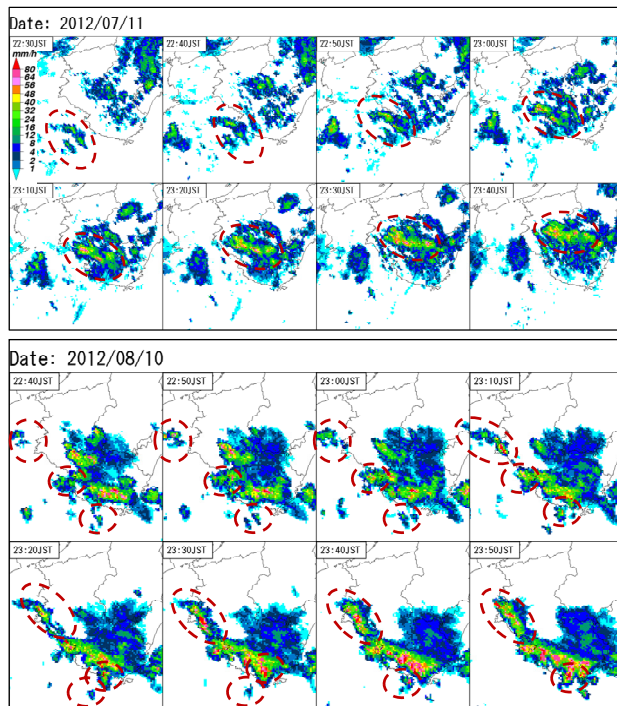
第32図: メソ解析による温位エマグラム。(左)事例a 2012年7月12日00時, (右)事例b 2012年8月11日00時。



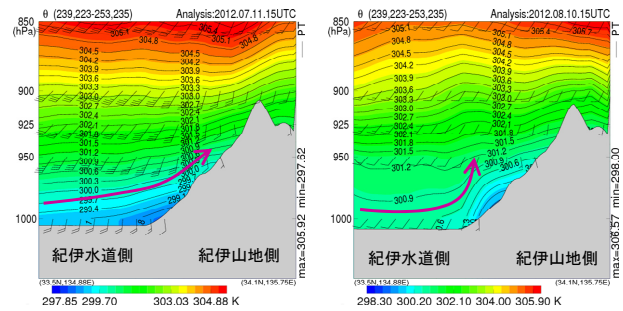
第 33 図: MSM による A, B, C, D のアンド条件を満たす領域。(左) 事例 a 2012 年 7 月 11 日 18 時イニシャルの FT=6, (右) 事例 b 2012 年 8 月 10 日 15 時イニシャルの FT=8. A: 500m 高度の水蒸気フラックス $> 100\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, B: 500m 高度の EL (平衡高度) $> 8000\text{m}$, C: 500m 高度の DLFC (LFC までの距離) $< 300\text{m}$, D: 925hPa 高度の鉛直 P 速度 $< -50\text{hPa/h}$.



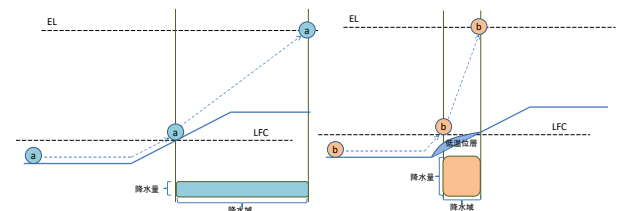
第 34 図: 1 時間解析雨量。(左) 事例 a 2012 年 7 月 12 日 00 時, (右) 事例 b 2012 年 8 月 10 日 23 時.



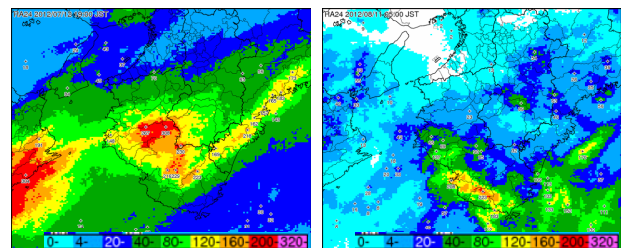
第 35 図: レーダー画像(10 分間隔)。(上) 事例 a 2012 年 7 月 11 日 22h30m~23h40m, (下) 事例 b 2012 年 8 月 10 日 22h40m~23h50m.



第 36 図: メソ解析による温位の断面図。(左) 事例 a 2012 年 7 月 12 日 00 時, (右) 事例 b 2012 年 8 月 11 日 00 時.



第 37 図: (左) 事例 a の模式図, (右) 事例 b の模式図.



第 38 図: 24 時間積算解析雨量。(左) 事例 a 2012 年 7 月 12 日 19 時, (右) 事例 b 2012 年 8 月 11 日 05 時.