

## 2.8 岡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

岡山地方気象台

### 要 旨

大雨となった事例と大雨とならなかった事例の解析を行い、それらを比較することで、大雨が発生するための十分条件(降水が組織化するための条件)を4つ抽出した。また、大雨が発生するための必要条件について、メソ客観解析データを用いた統計解析を行うことで、5つの要素で有効な閾値を求めた。さらに、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を用いた解析により、これらの十分条件が妥当であることを確認した。

### 1. はじめに

岡山県では、大雨が発生する頻度は他の地域と比較して少ないが(津口・加藤 2014)、まったく発生しないわけではない。平成23～24年度の地方共同研究では、梅雨期に発生する大雨事例を対象として、JRA-25・JCDASやメソ客観解析のデータを用いて環境場の特徴についての統計解析を行った。その結果、岡山県では水蒸気フラックスよりも相当温位の方が大雨との対応が良いとの結果が得られた(河野ほか 2013)。しかし、環境場の要素としては限られたものしか調べられておらず、大雨が発生するための十分条件も調べられてはいない。そこで本研究では、大雨となった事例と大雨とならなかった事例とを比較することで、大雨が発生するための十分条件を見出す。また、大雨が発生するための必要条件を、メソ客観解析データを用いた統計解析を行うことで調べる。さらに、気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を用いた解析により、十分条件と必要条件の妥当性について確認する。

### 2. 十分条件の検討

大雨となった事例として2009年7月19日、大雨にならなかった事例として2013年8月24日のそれぞれの事例解析を行い、環境場の比較を行った。ここで、本調査における大雨の定義は、解析雨量で3時間降水量80mm以上、かつ1時間降水量50mm以上とする。

#### 2.1 2009年7月19日の事例解析

##### 2.1.1 地上天気図と降雨状況、水蒸気画像(第1図～第3図)

地上天気図では、2009年7月19日から20日にかけて西日本付近に前線が解析されていた。3時間降水量50mm以上の降水域が島根県東部から岡山県北部に広がり、岡山県では断続的に雨が降り、19日18時から20日00時までの期間で解析雨量の最大値では1時間55mm、3時間87mmの大雨となった。水蒸気画像では19日18時に日本海に線状の暗域がみられ、21時にかけて南下していた。また、この暗域の南側にある雲域は発達していた。

##### 2.1.2 レーダー及びアメダス(第4図)

地上の前線に対応して強い雨雲があり、その前線を挟んで、南側では南西風となっており気温が高くなっている。また、北側では北風となっており気温が低くなっていることから、温度傾度が大きく、また、西北西から東南東の走行で明瞭な水平シアがあることから、前線活動が活発であると考えられる。

##### 2.1.3 メソ解析値による500m高度データ(第5図)

500m高度のdLFC(自由対流高度までの距離)、EL(平衡高度)、CONV(収束・発散)、水蒸気Flux(フラックス)と強雨域との対応を調査した。

降水域が県内に入る前にあたる19日18時には、dLFCが500m以下でELが10km以上の領域が、島根県沖から

鳥取県にかけて東西に分布している。また、ほぼ同じ領域で CONV が正(収束域)となっており、dLFC と EL よりもシャープな線状の分布をしている。21 時には、上記の dLFC・EL・CONV の領域が南下しており、東側の一部が岡山県にかかっている。19 日 18 時と 21 時では、注目している dLFC・EL・CONV の領域は、線状の強雨域の位置とよく一致しているように見える。しかし、20 日 00 時には、それらの位置関係は必ずしも良くない。水蒸気 Flux は、19 日 18 時から 20 日 00 時にかけて、九州北部から島根県にかけての日本海側で  $250 \text{ g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 以上と大きくなっており、山陰沖の強雨域との対応は良い。一方で、広島県から岡山県にかけての内陸部での水蒸気 Flux は周囲と比較して値が小さくなっており、強雨域との対応は良くないように見える。広島県と岡山県の瀬戸内海側には周囲よりも水蒸気 Flux が大きい領域( $200\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 以上)があり、こちらが内陸部の強雨域とよく対応しているように見える。

#### 2.1.4 メソ解析値による 600hPa の水平風と相対湿度(RH)及び鉛直断面, 925hPa の水平風と相当温位(EPT)及び鉛直断面(第6図)

2009 年 7 月 19 日 21 時では、600hPa の RH の平面図を見ると、降水域の北側の日本海から山陰沖までの風上に乾燥域が広がっている。鉛直断面図で見ると、600hPa より上空では乾燥している。

925hPa の水平風では、中国地方に南西風と北西風の風の収束が見られ、その収束域で強い雨雲が発生していた。925hPa の EPT の平面図では九州の西海上から中国地方にかけて、高相当温位の気塊が流入している。EPT の鉛直断面図では低 EPT 域の前面で高 EPT 域が 500hPa まで上昇していることから、低 EPT の上に高 EPT が乗り上げて、強い上昇流が発生していたと思われる。

### 2.2 2013 年 8 月 24 日の事例解析

#### 2.2.1 地上天気図と降雨状況, 水蒸気画像(第7図～第9図)

地上天気図では、2013 年 8 月 24 日から 25 日にかけて前線が西日本付近に停滞していた。3 時間 40mm 以上の降水域が島根県中部から岡山県南部に広がり、24 日 06 時から 24 日 12 時までの期間で島根県中部では解析雨量 3 時間 240mm の大雨となったが、岡山県では最大値で 1 時間 39mm, 3 時間で 48mm となり、大雨とはならなかった。水蒸気画像では、日本海に広く暗域はあるが南下せず、発達した雲は九州北部から山口県にかけて広がるが、岡山県までは広がらずに南下した。

#### 2.2.2 レーダー及びアメダス(第10図)

2009 年 7 月 19 日の事例(第4図)と比較すると、強い雨雲付近では、風も弱く、水平風のシアーも見られない。また、温度傾度も小さく、前線としては不明瞭であることがわかる。

#### 2.2.3 メソ解析値による 500m 高度データ(解析値)(第11図)

dLFC は 300m 以下の領域が広島県付近から瀬戸内海にかけての強雨域に対応している箇所もあるが、鳥取県付近にも低い領域があり、強雨域との対応は不明瞭である。同様に、EL も 14km 以上の高い領域が瀬戸内海と鳥取県付近にあるが、強雨域との対応は不明瞭である。また、CONV は強雨域に対応する正域が島根県と山口県では見られるが、岡山県にはあまり見られない。水蒸気 Flux は、24 日 06 時から 09 時にかけては九州北の海上で  $200\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 程度と比較的大きい値となっているが、岡山県付近では  $150\text{g}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$ 以下と小さくなっている。

#### 2.2.4 メソ解析値による 600hPa の水平風と RH 及び鉛直断面, 925hPa の水平風と EPT 及び鉛直断面(第12図)

2013 年 8 月 24 日 09 時では、600hPa の RH の平面図で日本海には乾燥域が広がっているが南下せず、湿域が西日本付近に広がった状態が続いていた。鉛直断面を見てみると、下層は比較的乾燥しているが上層まで湿っている。925hPa の水平風では、対馬海峡付近では収束が見られるが、中国地方では北西風が吹き収束域は見られない。EPT 平面図では、九州の西海上から中国地方まで相当温位の高い領域が広がっている。

## 2.3 環境場の比較の結果

二つの事例の環境場の比較を行い、大雨が発生するための十分条件として考えられる要素を抽出した。

- ・地上では前線を挟んで温度傾度が大きくなっていること。また、水平風のシアが西北西から東南東の走行であり、明瞭であること。
- ・県内に入る前から強雨域で500m高度のdLFC, EL, CONVが線状となっていること。
- ・降水域の風上側の中層(600hPa付近)に乾燥域が流入していること。
- ・925hPaで中国地方に風の収束域があり、九州の西海上から中国地方にかけて高相当温位の気塊が継続して流入していること。

## 3. 必要条件の抽出

### 3.1 調査期間とデータ

2006～2013年の6～8月の解析雨量及びメソ解析値データを利用した。

### 3.2 抽出方法と検討方法

9時の地上天気図で西日本付近に前線が解析されている121事例のうち、解析雨量で3時間降水量80mm以上、かつ1時間降水量50mm以上を大雨と定義して事例を選び出した。そして、岡山県付近のデータを用いて、大雨発生の直前のメソ客観解析データから統計解析により大雨発生の「必要条件」の閾値を決めた。

### 3.3 閾値の検討(第1表)

大雨の定義から12事例を選び出したが、その内の4事例は県外で強まっていた雨雲が衰弱しながら県内に達した事例であった。これら4事例を含めると閾値がかなり低くなってしまふことから、対象からは除外して、8事例で閾値を決めた。このことから、ここで求める必要条件は、正確には『岡山県内で大雨が発生するのに必要な条件』ではなく、『岡山県内で雨雲が発達して大雨になるのに必要な条件』となることに注意が必要である。

#### 3.3.1 500m高度データ(第13図, 第14図)

dLFC, EL, CONVについて、閾値を検討した。大雨の領域と対応が良かったため、8事例の中でdLFC(m)は最高値、EL(m)は最低値を閾値とした。CONVは、降水量との散布図を作成したが傾向が見出せず、閾値を決めることはできなかった。

#### 3.3.2 925hPa面データ(第15図)

第4.3項で述べるとおり、岡山県の大雨には1～2km高度(900hPa付近)の気流が関係していると考えられることから、925hPaのEPTについて閾値を検討し、大雨事例の中での最低値を閾値とした。

#### 3.3.3 不安定指数及び可降水量(第16図～第19図)

環境場が不安定であることが大雨発生の必要条件と考え、CAPE(対流有効位置エネルギー)、SREH(鉛直シアを表す指数)、SSI(ショワルターの安定指数)、及び降水量と関係が深いと考えられる可降水量に着目した。統計期間としてはデータが存在する2008年からの調査となるため、大雨事例は6事例となった。今後、事例数を増やして再度検討する必要がある。

SSIについては、極端な1事例を除けば(この事例を含めると、空振りが多くなりすぎてしまう)、5事例について数値が近いことから最高値を閾値とした。CAPE, SREHは傾向が見出せず、閾値を決めることはできなかった。可降水量については、降水量と比較すると非大雨事例も多いが、最低値を閾値とした。

### 3.4 必要条件のまとめ(第2表)

調査の結果、岡山県で集中豪雨・大雨が発生するための必要条件として得られたものを第2表にまとめた。事

例数がかなり少なかったため、適当な閾値を決定できなかった要素もあったが、500m 高度の dLFC と EL, 925hPa の EPT, SSI と可降水量についての閾値を求めた。今後はさらに事例数を増やすなどして、閾値を適正化するとともに、閾値が決定できなかった要素の閾値を決定することが必要である。

#### 4. 気象庁非静力学モデル(JMA-NHM)を使用した数値実験

大雨をもたらした降水帯周辺の成層状態と降水帯の形成に影響する気流構造をより詳細に調べるために、2012年7月6日の大雨事例について JMA-NHM を使用して数値実験を行った。

初期時刻を6日21時として気象庁メソ解析と全球モデルから初期値・境界値を作成し、水平格子間隔5kmで格子数140×140、鉛直50層でFT=9まで計算した。また、JMA-NHMの結果を元に、流跡線解析を行うことで気流の構造を調査した。

##### 4.1 実験結果と実況比較(第20図)

2012年7月7日02時の計算結果と実況データを比較した。実験結果は解析雨量に比べ降水帯がやや北よりに表現されているものの、降水帯の北側の北西風と南側の南西風が作る下層の水平収束は概ね表現できていた。

##### 4.2 実験結果による解析(第21図)

降水帯に向かって、800hPa以上の上空の日本海側から低EPTと乾燥域の流入・落ち込み(下降流)が顕著に見られる。南からの下層の高EPTの流入と中層への低EPTの流入により、大気の成層状態がより不安定になり、対流が強化されていると考えられる。

##### 4.3 後方流跡線解析(第22図)

降水帯に流入する気塊の流入経路を調べるために、7日02時における降水帯付近の高度6km(赤)と高度3km(黒)にトレーサーを置き、後方流跡線解析を行うことで降水帯付近の気流の構造を調べた。

第21図(d)に見られるように、3km(700hPa付近)では日本海には相当温位の低い気塊があり、これがやや下降しながら降水帯に流れ込んでいる。6km(500~400hPa)では、1~2km(900hPa付近)の下層からの気流が西から中国山地を越えて入ってきており、降水帯付近で急上昇して高度3kmの気流に乗り上げるようにして6kmまで発達・上昇しているように見える。このことから、大雨の発生要因である下層の暖湿気の流入について、925hPaの相当温位に着目することは適当であると考えられる。後方流跡線解析の結果と第21図(a)の相当温位の鉛直断面図から、高度6kmの気塊の起源は高度1~2kmの下層の暖湿気、高度3kmの気塊の起源はほぼ同じ高度の中層の乾燥気塊であったと考えられる。

##### 4.4 再現実験のまとめ

JMA-NHMによる再現実験の結果を用いた解析から、2012年7月6日の事例については、下層の暖湿気が西から中国山地を越えて入ってきていたこと、中層への乾燥気塊の流入による対流不安定の強化(大気の成層状態の不安定化)、下層の南西風と北西風の水平風シヤーにより下層収束域が形成されたことが、大雨をもたらした降水帯が形成・強化された要因であることを確認できた。これら3点については、第2.3項で述べた4つの十分条件の内の3つにほぼ一致している。しかし、残り1つの十分条件である「県内に入る前から強雨域で500m高度のdLFC, EL, CONVが線状となっていること」については十分に確認することができなかった。また、必要条件についての確認も十分に行えなかった。

#### 5. 考察と全体のまとめ

大雨となった事例と大雨とならなかった事例の解析を行い、それらを比較することで、大雨が発生するための

十分条件(降水が組織化するための条件)と考えられる特徴を4つ抽出した(第2項)。また、これらの条件を見出したのは別の事例のJMA-NHMによる解析から、4つのうちの3つの十分条件(下層の水平風シアの存在、中層の乾燥空気の流入、下層の暖湿気の流入)の妥当性がほぼ確認できた(第4項)。たった3事例の解析から十分条件を求めることにはかなりの無理があるが、これらの十分条件は他の大雨事例(たとえば、河野ほか 2013)でも見られる特徴であり、それほど特別なものではないように思われる。今後、事例数を増やすとともに、十分条件についても統計的な解析が必要であると考えられる。

一方、本研究において、大雨発生の必要条件については5つの要素についての閾値を求めることができた。これらの精度を高めるためには、さらにサンプルを増やす必要があると考えられる。適当な閾値を決めることができなかった要素(CONV, CAPE, SREH)については、大雨発生と対応づける時間や要素の代表値を取る地点に問題があったのかもしれない。今後の課題である。

### 参考文献

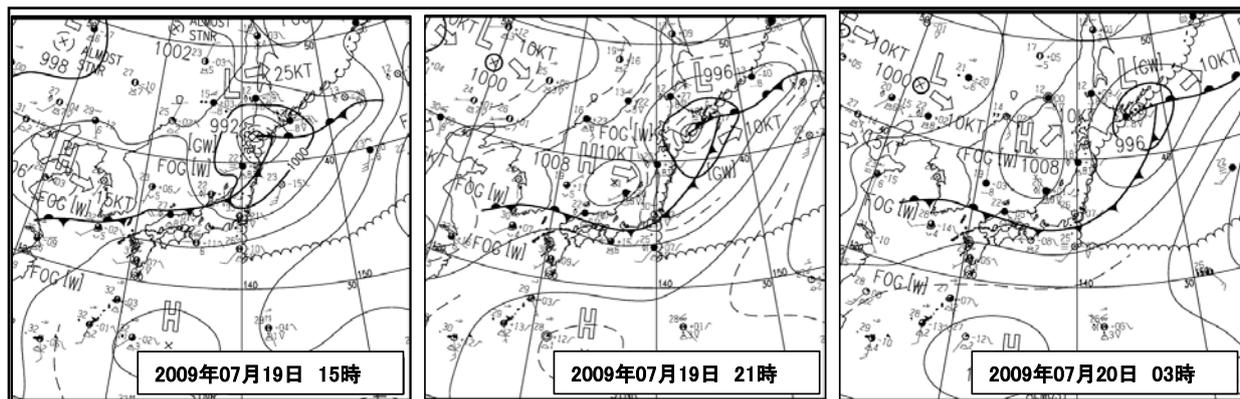
- 河野誠, 小林祥悟, 末永和貴, 北井英吉, 岡垣和憲, 2013: メソ客観解析データを用いた梅雨期の大雨発生条件について. 平成25年度大阪管区気象研究会誌(岡山県).
- 津口裕茂, 加藤輝之, 2014: 集中豪雨事例の客観的な抽出とその特性・特徴に関する統計解析. 天気, **61**, 455-469.

第1表: 事例対象日

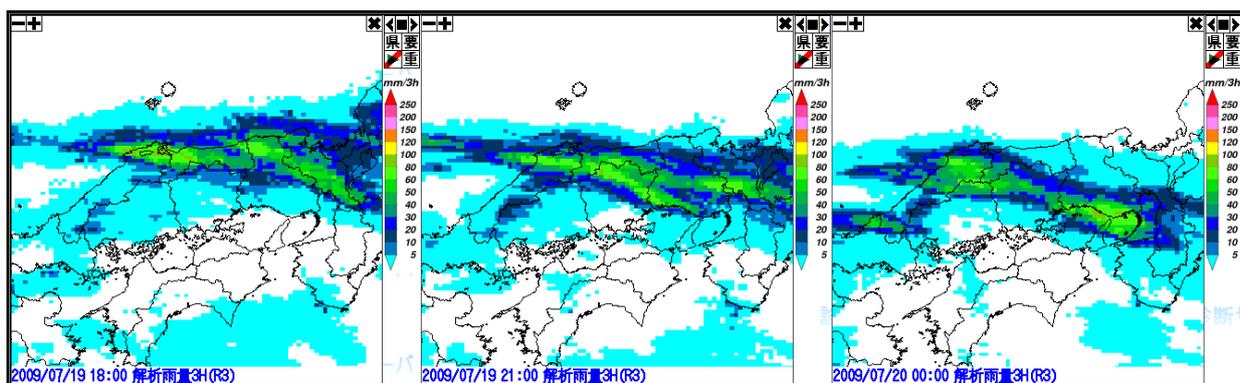
事例日	総観場(前線の位置)	降水量mm	
		3時間	1時間
20060726	山陰付近停滞	95	80
20070822	日本海から南下	110	61
20080727	日本海付近に停滞	82	55
20080728	日本海付近に停滞	130	85
20090720	西日本付近に停滞	87	55
20110825	山陰沖付近に停滞	138	61
20110826	山陰沖付近に停滞	91	76
20120707	西日本付近に停滞	120	60

第2表: 必要条件の閾値

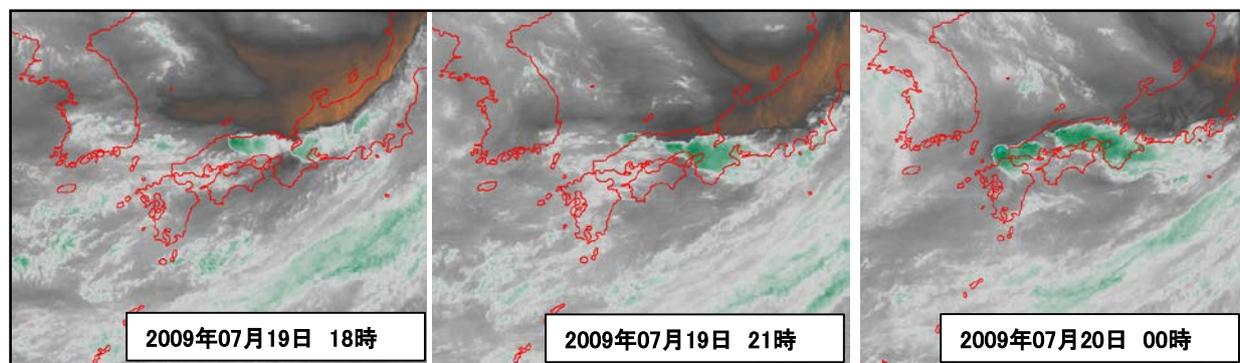
高度	要素	閾値
500m	dLFC: 自由対流高度までの距離(上限)	300m
500m	EL: 平衡高度(下限)	12,000m
925hPa	EPT: 相当温位(下限)	351K
	SSI500hPa-850hPa(上限)	-2.3°C
	可降水量(下限)	60mm



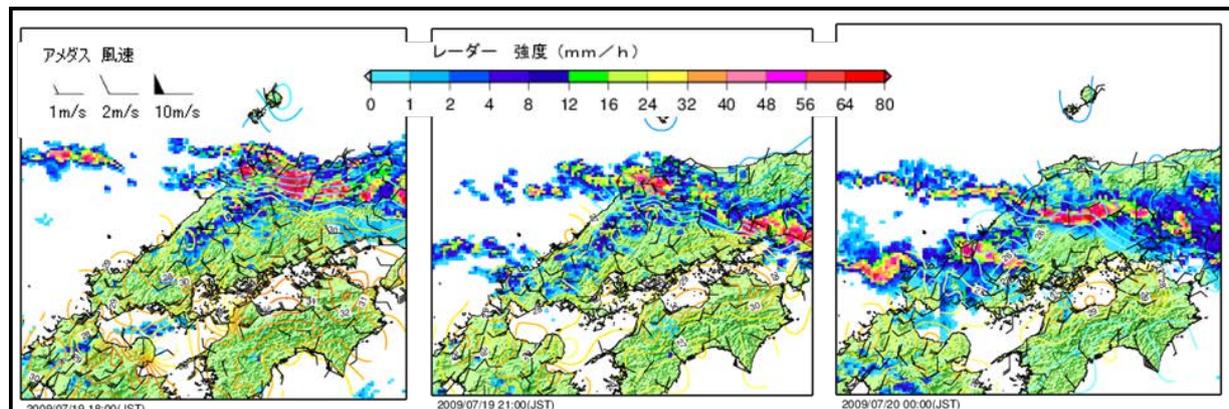
第1図：地上天気図(2009年07月19日15時～20日03時)。



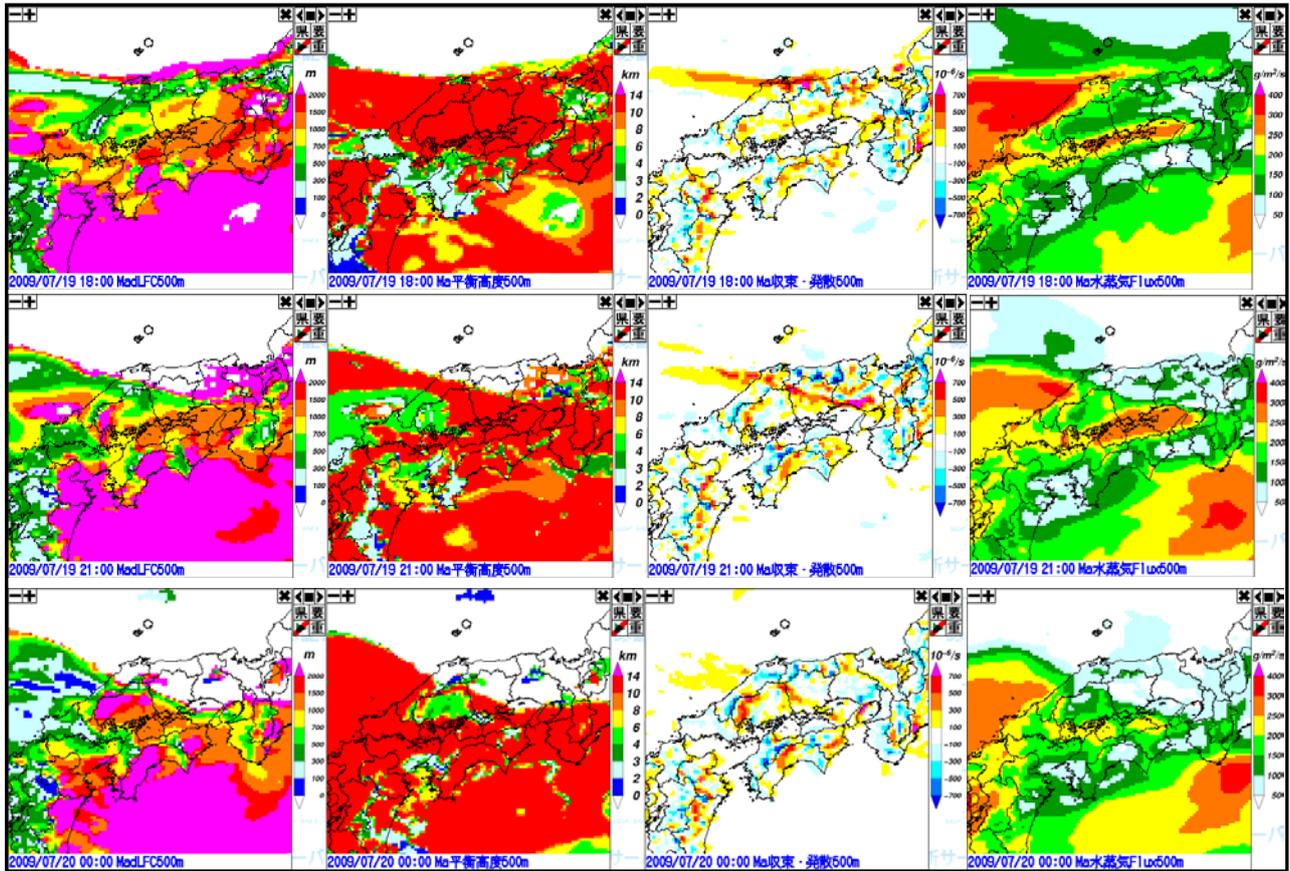
第2図：解析雨量3時間積算(2009年07月19日18時～20日00時)。



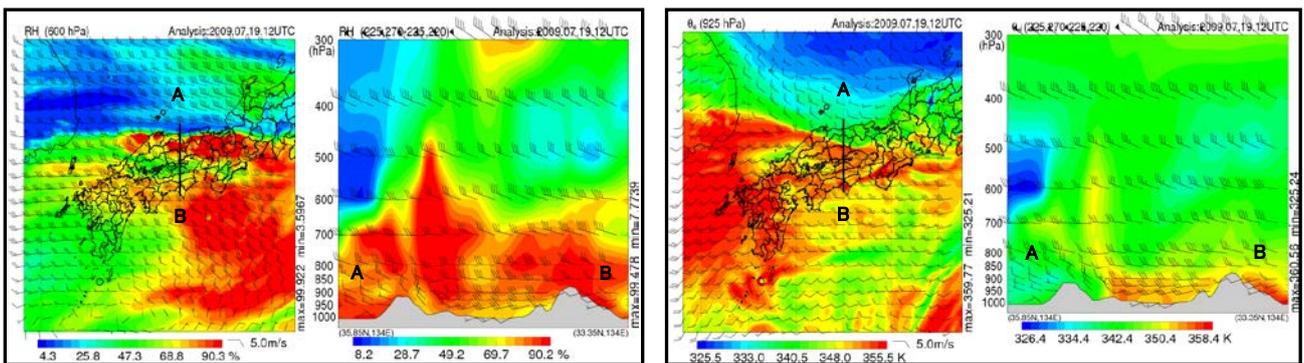
第3図：衛星水蒸気画像(2009年07月19日18時～20日00時)。「茶色→黒→白→緑」の順に輝度温度が低くなる。



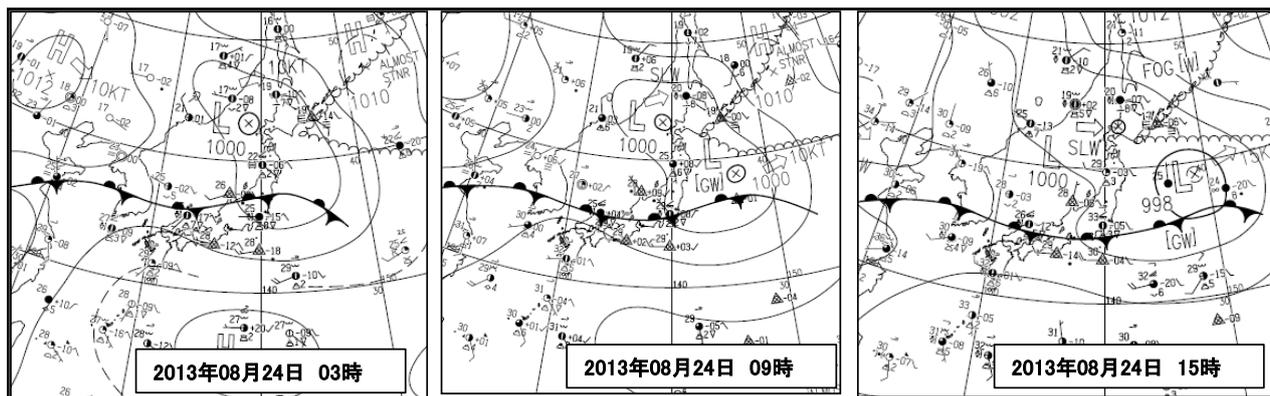
第4図：全国合成レーダーとアメダス(風(矢羽根), 高度補正した気温(実線))(2009年07月19日18時～20日00時)。



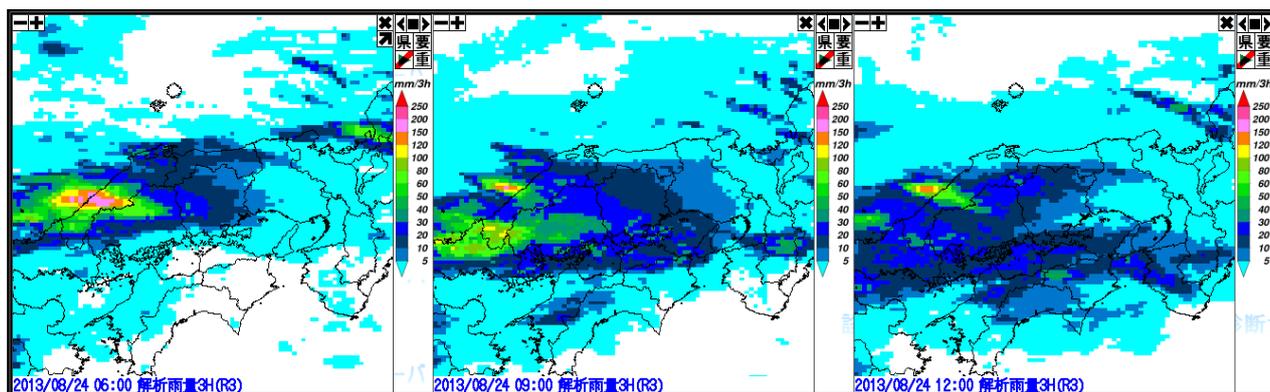
第5図：メソ解析による500m高度dLFC(自由対流高度までの距離)，EL(平衡高度)，CONV(収束・発散)，水蒸気Flux(フラックス)。  
2009年07月19日18時～20日00時。



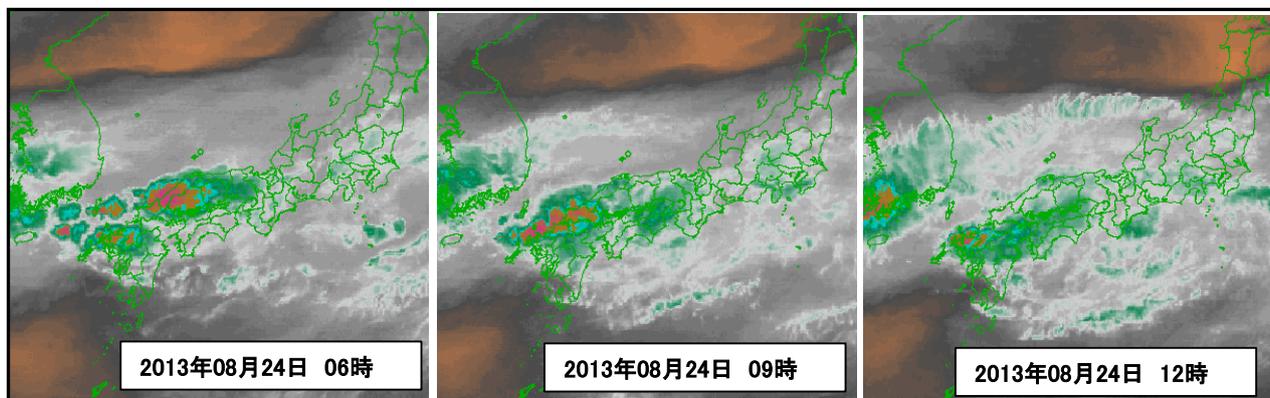
第6図：メソ解析による(左図)600hPaRH(相対湿度)平面図と断面図，(右図)925hPaEPT(相当温位)平面図と断面図。2009年07月19日21時解析値。



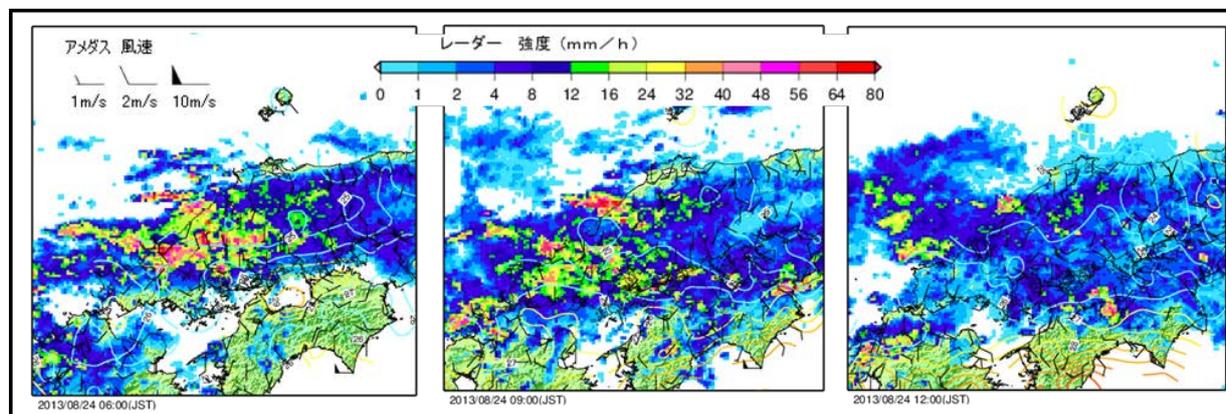
第7図: 地上天気図(2013年08月24日03時~15時).



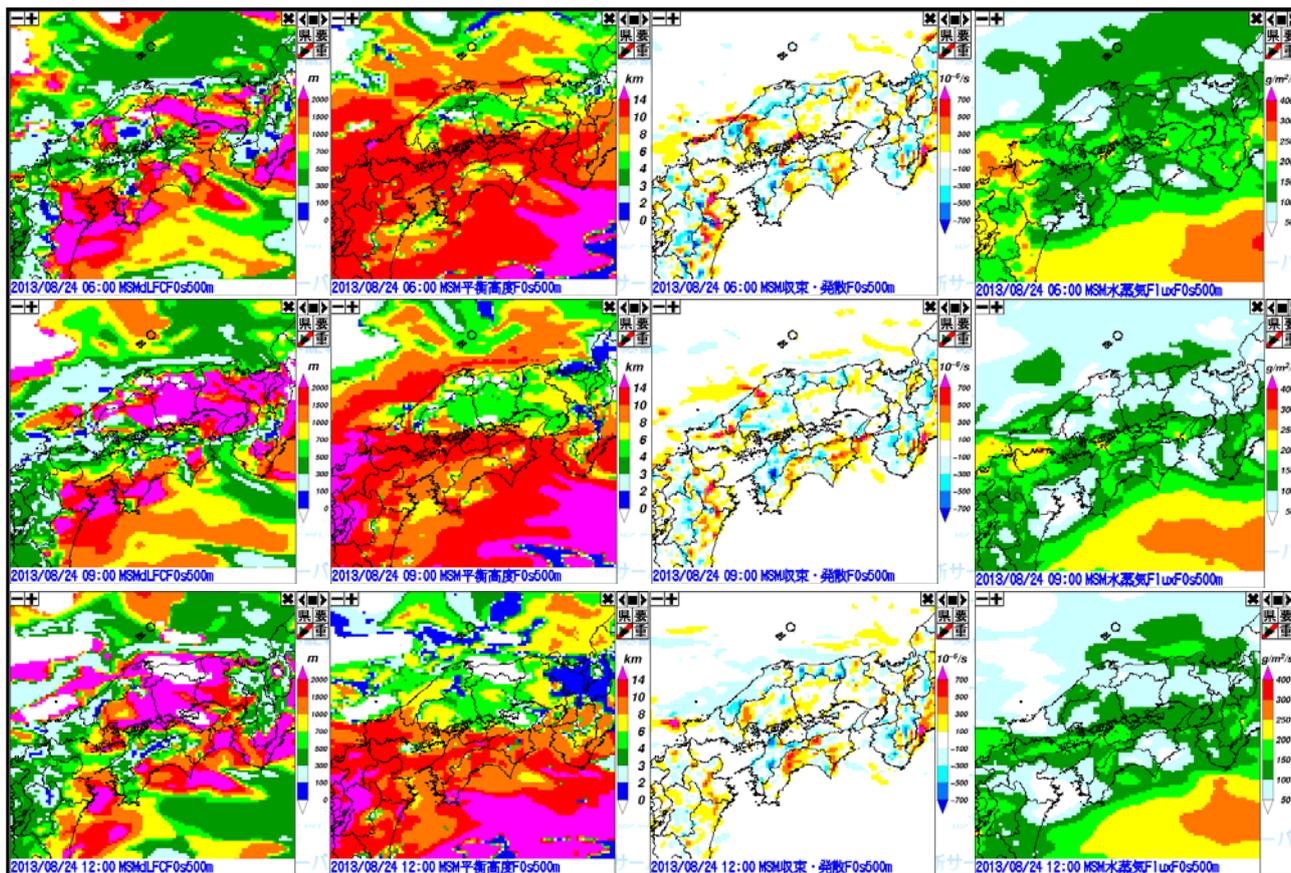
第8図: 解析雨量3時間積算(2013年08月24日06時~12時).



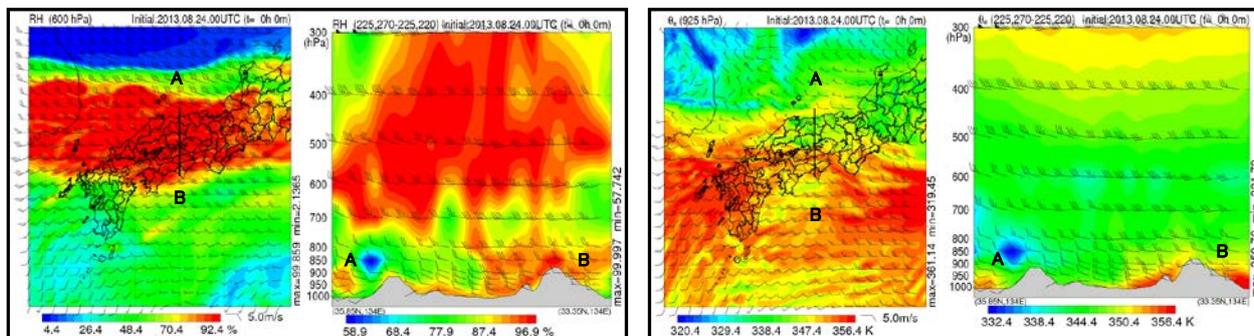
第9図: 衛星水蒸気画像(2013年08月24日06時~12時). 「茶色→黒→白→緑」の順に輝度温度が低くなる.



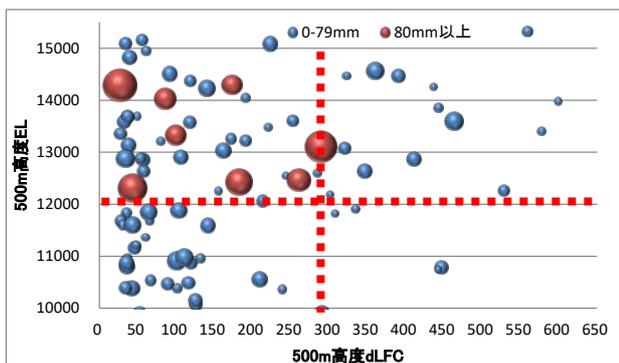
第10図: 全国合成レーダーとアメダス(風(矢羽根), 高度補正した気温(実線))(2013年08月24日06時~12時).



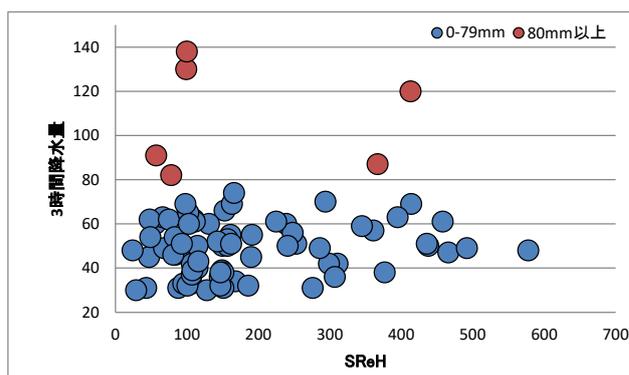
第 11 図: メソ解析による 500m 高度 dLFC (自由対流高度までの距離), EL (平衡高度), CONV (収束・発散), 水蒸気 Flux (フラックス). 2013 年 08 月 24 日 06 時~12 時.



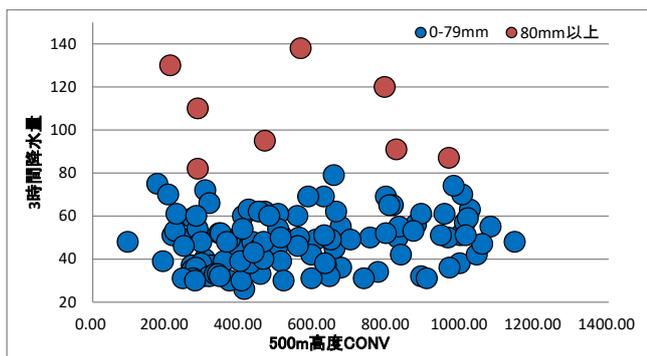
第 12 図: メソ解析による (左図) 600hPaRH (相対湿度) 平面図と断面図, (右図) 925hPaEPT (相当温位) 平面図と断面図. 2013 年 08 月 24 日 09 時解析値.



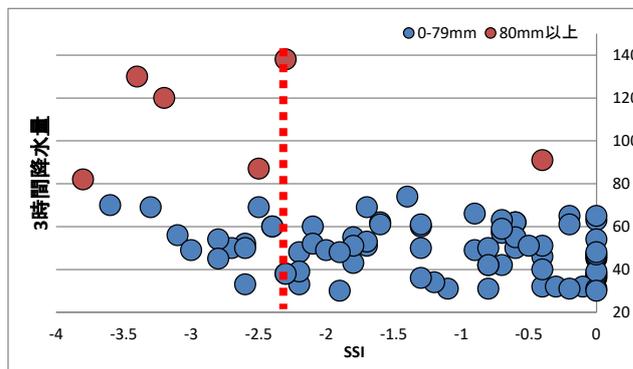
第 13 図: 500m 高度の EL (縦) と dLFC (横). バブルの大きさは 3 時間降水量を示す. 赤点線は閾値を示す.



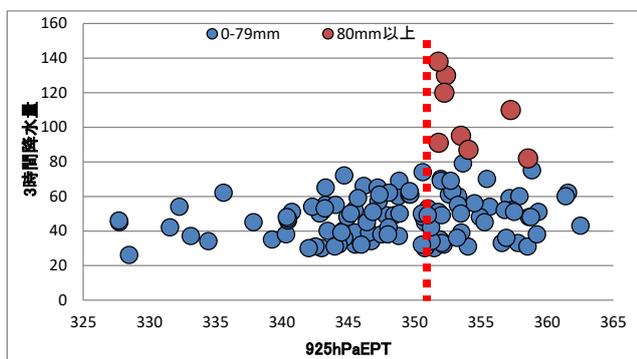
第 17 図: 3 時間降水量 (縦) と SReH (横).



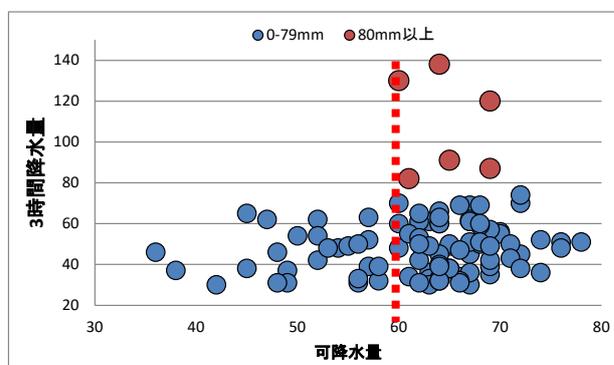
第 14 図: 3 時間降水量 (縦) と 500m 高度 CONV (横).



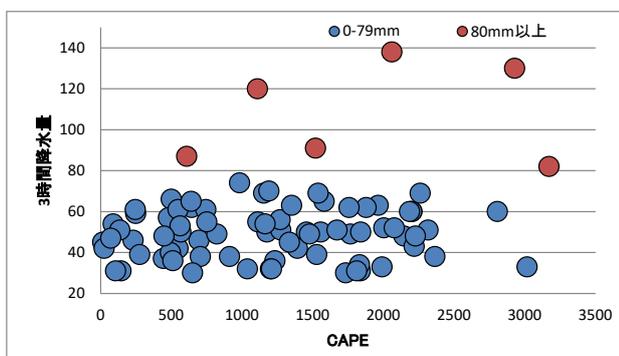
第 18 図: 3 時間降水量 (縦) と SSI (横). 赤点線は閾値を示す.



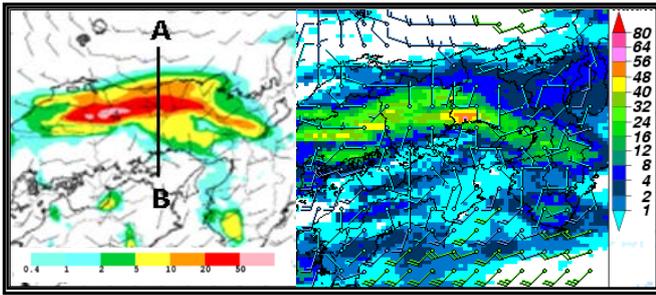
第 15 図: 3 時間降水量 (縦) と 925hPaEPT (横). 赤点線は閾値を示す.



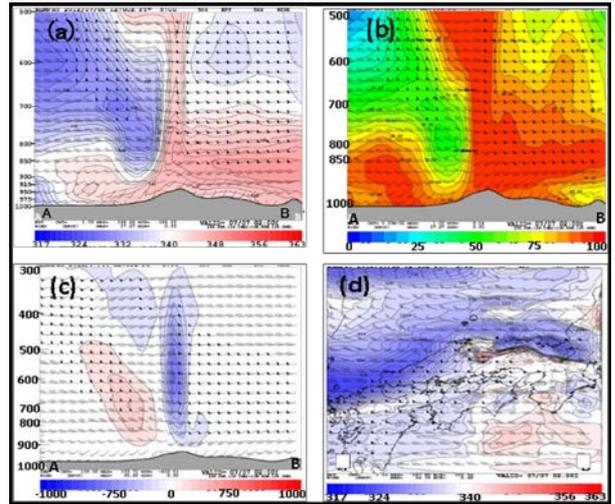
第 19 図: 3 時間降水量 (縦) と 可降水量 (横). 赤点線は閾値を示す.



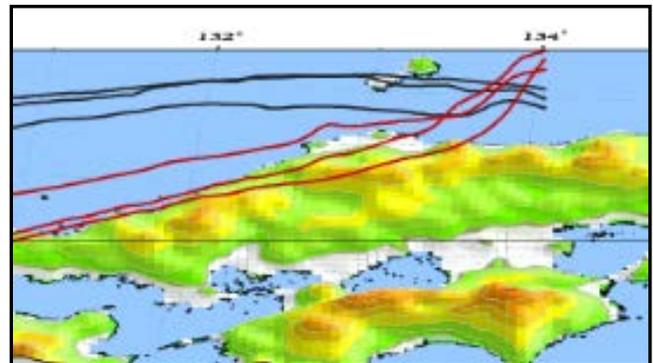
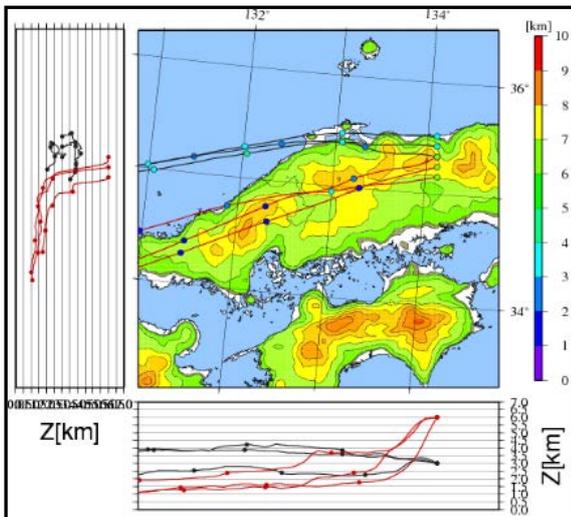
第 16 図: 3 時間降水量 (縦) と CAPE (横).



第20図: JMA-NHMによる実験結果と実況との比較。(左図)2012年07月07日02時のモデル1時間降水量・風向風速。(右図)2012年07月07日02時の解析雨量1時間降水量と毎時風解析。



第21図: JMA-NHMによる実験結果による解析。(a)EPT(相当温位), (b)RH(相対湿度), (c)OMG(鉛直 P 速度), (d)700hPaEPT(相当温位)。(a)~(c)は、第20図の左図の線分A-Bに沿った鉛直断面。



第22図: 後方流跡線解析。2012年07月07日02時~06日22時まで60分毎にプロット。上空3kmに配置したパーセルは黒線, 上空6kmに配置したパーセルは赤線で示す。(左図)平面図, (右図)立体図(描画領域の方位角190度, 描画領域の仰角20度)。