2.14 高知県東部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

高知地方気象台

要 旨

高知県東部において，2006 年から 2013 年の各 7～9 月に大雨が発生した事例と非発生の事例を抽出し，メソ解析値データを用いて統計解析を行った.その結果,風向別に大雨が発生するための 500m 面高度データ(相当温位,水蒸気フラックス，風速)や 500hPa の気温などの「必要条件」にあたる値を定量化した．さらに，地上・高層天気図を解析することで，500hPa のトラフや寒気(寒冷渦，滞留寒気など)，台風・熱帯低気圧，地上前線などが存在するという「十分条件」を見出した．また，事例解析によっても「必要条件」，「十分条件」が揃った場合に大雨が発生していることが確認できた.

1. はじめに

東西に長い高知県は，過去の知見として下層風向(850hPa 面)によって，大雨となる場所が決まることが知られている．本研究においては，地形が比較的単純で，下層風系を南西と南東に分けやすい高知県東部の大雨について解析を行うこととし，「必要条件」と「十分条件」を求めた.

2. 調査期間と利用したデータ

調査期間は 2006 年から 2013 年の各 7～9 月に設定し，高知県東部の解析雨量を用いた．1 時間降水量(以下，R1)50mm 以上を観測したものを大雨，20mm≦R1<50mm を観測したものを非大雨とする．そのうち一過性の現象と区別するため，50mm≦R1 の現象が発生しており，解析雨量でまとまった降水分布があるものを「大雨」(47 事例)と定義し，局地的な降水を「大雨一過性」(12 事例)とする．非大雨についても同様の条件で「非大雨」(21 事例)，「非大雨一過性」(170 事例)と定義する.

データは，気象庁メソ解析値データ(以下，メソ解析)の 500hPa の気温(℃)，500m 面高度(以下，500m 面)の相当温位(K)，水蒸気フラックス($g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)，風向・風速(m/s)を用いている．風向については第 1 図の領域内(北緯 33～33.5 度，東経 134～135 度)の平均値を使っている．それ以外の物理量はポテンシャルの最大を考慮して，領域内の最大値(500hPa の気温については最小値)を使用している．ここで定義した領域が高知県東部の東側エリアに広いのは，地形の影響によらず下層風を捉えるために範囲を海上に広げたためである.

3. 調査方法

本調査では，①500m 面の風向・風速，②500m 面の相当温位と水蒸気フラックス，③500m 面の相当温位と 500hPa の気温の 3 つの要素間の関係について調査を行った.

4. 調査結果

4.1 500m 面の風向・風速

第 1 項で述べたように，高知県東部の大雨は下層風向が重要である．このため，まず 500m 面の風向・風速(m/s)の関係を調べる(第 2 図).

南東風系の場合，東成分が強まると徳島県境の山の影響を受け，暖湿気塊が流入できなくなる．南西風系の場

合は，西成分が大きくなると，九州地方の影響を受けやすくなり，南からの暖湿気塊が直接流入しにくくなり，大雨が起きにくくなる．このため，「大雨」となる風向は100～230度の範囲に集中したと考えられる．

風速については，約10～20m/sに集まっている．25m/sの値もあるが，これらの多くが台風である．これをさらに詳しく調べるために，風向別に調査した．方位90～180度の領域を「南東系」として暖色系，180～270度の領域を「南西系」として寒色系で示すことにする．北成分を持つその他の領域は「その他」として緑で示す．

4.2 500m面の相当温位と水蒸気フラックス

500m面の相当温位と水蒸気フラックスの関係を示したものを第3図に示す．ここで，水蒸気フラックスと風速の関係は第4図に示したように比例関係がある．水蒸気フラックスが500g･m^{-2}･s^{-1}を超える領域は風速でいうと約25m/s以上に相当し，これらの多くが四国付近(高知県からおよそ300km以内)に台風が存在している場合である．水蒸気フラックスが500g･m^{-2}･s^{-1}以下の領域を見ても，第3図からでは大雨と非大雨の区別をすることはできない．

北成分を持つものは水蒸気フラックスが200g･m^{-2}･s^{-1}以下に集中しており，「大雨」が発生したものはない．相当温位が最低でも325K以上あるため，その場に存在する水蒸気だけで一過性の大雨になることはあっても，新たに下層暖湿気が流入しない限り「大雨」につながることは少ないと見える．「南東系」と「南西系」の場合は，風向別に示しても大雨と非大雨の閾値を引くことは困難である．そこで，「大雨」が集中している範囲を特定していくことにする．

第5図は第3図の「大雨」と「大雨一過性」の場合を抜き出した関係になる．一過性の事例が少ないが，概ね「大雨」が起きたときの閾値としては，「南東系」では相当温位349K以上，水蒸気フラックス180g･m^{-2}･s^{-1}以上に集中している．一方，「南西系」の場合は相当温位351K以上，水蒸気フラックス200g･m^{-2}･s^{-1}以上の領域に集中している．

一過性の現象を除き，「大雨」と「非大雨」の現象が起きたときを第6図に示す．「南西系」は水蒸気フラックスが300g･m^{-2}･s^{-1}以上の領域からは「非大雨」が目立つ．風速との対応をみると，約15m/s以上に相当している(第4図)．風速が大きいと大雨を降らせるポテンシャルを持っていても，積乱雲の移動が速いために50mm≦R1まで降らなかったのだと思われる．「南東系」は水蒸気フラックスが300g･m^{-2}･s^{-1}を超えるものはほとんど台風の影響である．

よって，「大雨」現象が起きる場合は，水蒸気フラックスが180g･m^{-2}･s^{-1}以上(風速ではおおよそ10m/s以上)が維持されるときであると考えられる．

4.3 500m面の相当温位と500hPaの気温

次に500m面の相当温位と500hPaの気温の関係について第7図に示す．前項で水蒸気フラックスが500g･m^{-2}･s^{-1}以上の領域であったものは黒色で示している．

「南東系」の場合，相当温位と500hPaの気温には正の相関が見られる．相当温位が低い場合でも，上空の寒気の流入が強い場合は「大雨」になることがわかる．しかし，500hPaの気温が-8℃以下と十分に寒気が流入しているにも関わらず，「大雨一過性」となっている事例がある．この事例については次項の事例解析中で要因を説明する．

一方，「南西系」の場合は相当温位と500hPaの気温の間で相関関係が見受けられない．-5℃付近に「大雨」が起きているものが集中しているが，同時に「非大雨」現象も同じ温度に集中している．そのため，「南西系」の場合は，少なくとも上空の寒気は入り込んでいるが，大雨と非大雨の現象を見分けることは困難である．

5. 事例解析

前項では，大雨・非大雨を統計的に考察し，「大雨」の集中している値を定めた．しかし，「大雨」とほとんど同じ値にも関わらず大雨まで至らなかった事例や，閾値として定めた値を十分に満たしているのに一過性になった

事例がある．この項では，「南西系」，「南東系」についての事例解析を行うことで要因を探っていきたいと考える．

「南西系」では，「大雨」と「非大雨」の比較を，「南東系」では，「大雨」と「大雨一過性」を比較し違いを探った．

5.1 「南西系」

梅雨末期にあたる 7 月中旬の「非大雨」事例(2007 年 7 月 11 日 02 時 JST)と「大雨」事例(2012 年 7 月 12 日 06 時 JST)を用いて，その差を比較した．

地上天気図では，低気圧の中心が日本海にあり，梅雨時期にみられる前線ののび方に違いはあるものの，東西にのびて同じような気圧配置になっており，四国付近は南西からの暖気移流場となっている(第 8 図，第 11 図)．また，500hPa の天気図では，「非大雨」事例の方がトラフは深く，こちらの方が一見大雨事例にみえる．寒気には大きな違いはなく，共に上空は西南西場である(第 9 図，第 12 図)．「非大雨」事例では，15 時に四国沖まで前線は南下したが，「大雨」事例は，南下することなく日本海に停滞していた．

レーダーエコー図(第 10 図，第 13 図)を見ると，発達の度合いに違いが見られる．両事例とも紀伊水道での南風が強いことは同じであるが，室戸岬の風，兵庫県のアメダス家島(図中の赤丸)の風に違いが見られ，「大雨」では「非大雨」よりも南成分の強い風が吹いていることが示唆される．

第 1 表では，水蒸気フラックス，相当温位，風速は設定した範囲内の最大値，気温は最低値を用いた．その中で，相当温位はほとんど同じ値だが，水蒸気フラックスは $100g \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 以上の差がある．それと同時に，風速においても 4m/s 以上，アメダス室戸岬でも 7m/s の強さの違いがある．

風時系列図(第 14 図：表に示した年月日時を 0 時間として，前後 12 時間のデータを示したもの．第 17 図の気温時系列，第 24 図の風時系列，第 25 図の気温時系列も同じ)を見ると，風速のピークは「大雨」では発現時刻から 3 時間後に出ているのに比べ，「非大雨」は発現時刻 3 時間前に出ている．風向についても，「非大雨」は発現時刻以後，南西から西南西に変化しているが，「大雨」は「非大雨」に比べてより真南に近く，ピーク時には南南西となっている．水蒸気フラックスを比較しても，「非大雨」では四国地方の沖合に風向シアーが存在し，暖湿気塊が直接陸地にかかっていないが(第 15 図)，「大雨」では陸地まで南西風が卓越している(第 16 図)．「非大雨」のように西成分が大きくなると，九州地方の影響を受けた西よりの風と南西風との風向シアーが発生しやすい．

500hPa 気温時系列図(第 17 図)では，「非大雨」事例は-4～-5℃が継続しているが，「大雨」事例は-4℃から次第に暖化する傾向となっている．以上の結果から，500hPa の寒気や 500m 面の相当温位が同じでも，下層風の強さ，向きにより大雨になる場合とならない場合があることがわかった．

5.2 「南東系」

次に，南東系のときの事例について解析を行う．いずれも上空寒気(寒冷渦)が存在する「大雨一過性」事例(2010 年 8 月 8 日)と「大雨」事例(2012 年 9 月 14 日)を比較する．

「大雨一過性」事例では，台風が先島諸島付近，高気圧が日本の東にあり，四国地方はその高気圧縁辺の流れが流入しやすい場となっている(第 18 図)．500hPa では，北陸地方付近に中心を持つ寒冷渦があり，高知県東部は-6℃の寒気に覆われている(第 19 図)．17 時ごろから室戸付近でやや降水がまとまりだし，21 時までの 1 時間で，北川村で 57mm の解析雨量を解析したが，その後持続しなかった．レーダーエコー図では，「大雨」に比べると範囲が小さいのが確認できる(第 20 図，第 23 図)．総雨量は，解析雨量で 130mm 程度だった．

一方，「大雨」事例では，日本海中部から対馬海峡を経て台湾にかけて秋雨前線がのびている(第 21 図)．日本のはるか東には太平洋高気圧があり，四国付近はこの高気圧をまわり，前線に向かう南東風系となっている．500hPa では，東海沖に中心を持つ上層寒冷渦があり，高知県東部付近まで，-6℃以下の寒気に覆われている(第 22 図)．

レーダーエコー図では東部全体に強いエコーが掛かっている(第23図)．このような状況は，14日から15日にかけて続き，14日13時から15日5時までの総雨量は，アメダス佐喜浜で457.0㎜，アメダス田野で204.5㎜，アメダス安芸で172.5㎜等であった．

第2表を見ると，相当温位はほとんど変わらないが，500hPaの気温では「大雨一過性」の方が低く，水蒸気フラックスでは風速の違いにより「大雨」のほうが大きい．1時間雨量の差は50㎜近くあり，総雨量は4倍近い差がある．この違いを探るために，この前後の状況を調べた．

風時系列図(第24図)の「大雨」では，3時間前から風速が強まり最大雨量を記録した15時頃に約16m/sとなり，その後も10m/s程度が持続している．風向は発現時の9時間前から南西から南東へ変化し，その後，南東が持続している．「大雨一過性」では，8～10m/sが持続し，風向は東から東南東が持続している．

500hPaの気温時系列図(第25図)を見ると，両者は対照的で，「大雨」では寒気移流が持続しているのに比べ，「大雨一過性」では継続的に昇温している．以上のことから，「大雨」は南東風が持続していることに加え，500hPaにおいても寒気移流が持続したことにより，長時間の大雨をもたらした．

一方，「大雨一過性」は500hPaの気温では「大雨」よりも低かった．相当温位は354Kと高く，風速も10m/sと暖湿気流としては十分なものである．しかし，現象が発生した東部の山間部は，北東風～東風の場合，下層の流れは徳島県境の山に遮られる．このため，寒気移流時には下層は北東風～東風であったため，十分な暖湿気塊を補給することができなかった．その後，南東に変化したときにはすでに500hPaの気温は暖化傾向であったために，大雨が持続しなかったと思われる．

6. 「必要条件」と「十分条件」

6.1 「必要条件」

事例解析で行った2012年9月14日の「大雨」事例から抽出した値は，500m面の風速が10～15m/sの南東風，相当温位約351K，500m面から自由対流高度までの高さが300m，平衡高度は約13kmであった．いずれも背の高い積乱雲へと発達しやすい成層状態であった．

第4項の結果から，各物理量の「必要条件」を求めた．その結果，「大雨」現象が起きる閾値は，「南東系」の場合，相当温位349K以上，水蒸気フラックス180g･m^{-2}･s^{-1}以上，風向・風速は東～南で約10m/s以上，500hPaの気温-5℃以下と求めることができた．一方，「南西系」の場合は，相当温位351K以上，水蒸気フラックス200g･m^{-2}･s^{-1}以上，風向･風速は南から南西まで約10m/s以上であった．500hPaの気温については少なくとも寒気移流はあるものの，閾値を求めることはできなかった(第3表)．

6.2 「十分条件」

事例解析から，大雨が発生したときに見られる特徴としては，500hPa高層天気図では渤海から朝鮮半島付近におけるトラフの存在(南西系)や寒冷渦等の接近による寒気移流場になっている(南東系)，地上天気図では太平洋高気圧の縁辺および台風や熱帯低気圧が存在しているなどが確認できた．また，「南西系」の場合は明瞭なシアーや前線が存在し，その暖域側に位置することもわかった．以上が「十分条件」として考えられる．

7. まとめ

統計解析によって大雨が発生するための「必要条件」を求めるとともに，下層暖湿や上層寒気の値を定量化することができた．本解析では，「大雨」と「非大雨」に加えて，「大雨」と区別して「一過性の大雨」のカテゴリーを導入し，「大雨」，「一過性の大雨」，「非大雨」をそれぞれ比較することで，「大雨」の条件をより明瞭化する

ことができた.「南西系」の場合は，西成分が大きくなると，九州地方の影響を受けやすくなり，沿岸に風向シアーが形成されるようになる．このため南からの暖湿流が山の影響を受け，流入できなくなる(第3表).「南東系」の場合，東成分が強まると徳島県境の湿気塊が直接流入しにくくなり，大雨が起きない場合がある．したがって，風向・風速の条件は風向100～230度，風速10m/sとした．500m面の相当温位は，十分な水蒸気があることが条件であり，およそ350K以上となった．水蒸気フラックスは，どの事例を見ても十分な水蒸気量が解析されていることから，ほぼ風速に比例しており，閾値は180～200g･m^{-2}･s^{-1}にとった．500hPaの気温については，「南東系」では上空に寒気があり，移流していることが重要であり，-5℃以下とした．ただし，台風時は寒気に関係なく水蒸気フラックスの大きさに依存するため，この閾値は用いない.「南西系」についてはトラフ前面での現象が多く，そこでは暖気が卓越している．このため，寒気の閾値としては算出しなかった.

事例解析で示したように，データをピーク時のみ見るのではなく，時系列を見ることが重要である．時系列を考慮したラグ相関などの統計解析を行えば，より定量的な結果が得られるであろう.

今回の調査では，比較的地形が単純で平野や土佐湾の影響を受けにくい高知県東部のみに焦点を絞って行った．今後，高知県の中部や西部における大雨事例についても調査を行うことが課題となる．しかし，特に中部は四国山地，高知平野，土佐湾などがあり，東部よりは地形の影響が複雑になる．そのため，風向別に分けるのも東部ほど単純ではない．西部は南東系主体となるが，中部・東部ほど事例数がない．同様に調査を行っても，統計的なばらつきが大きくなることが予想される．その中から大雨になる事象を見分けるためには，他の物理量も加えてより総合的に判断する必要があるだろう.

第 1 表: 「非大雨」と「大雨」の各値(南西系)

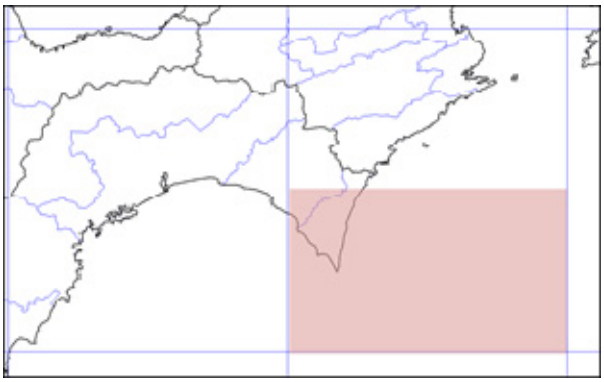
	非大雨	大雨
年/月/日	2007/7/11 01JST	2012/7/12 06JST
500m面 FLWV(g・m−2・s−1)	345	454
500m面 EPT(K)	355	356
500m面 風速(m・s−1)	20	24
500hPa 気温(℃)	−3.8	−3.8
解析雨量最大値(mm)	34	80
室戸岬の風速(m・s−1)	14(西)	21(南西)

第 2 表: 「大雨一過性」と「大雨」の各値(南東系)

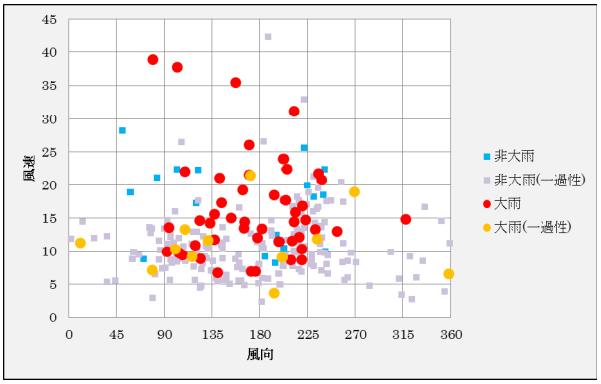
	一過性大雨	大雨
年/月/日	2010/8/8 21JST	2012/9/14 15JST
500m面 FLWV(g・m−2・s−1)	196	247
500m面 EPT(K)	354	353
500m面 風速(m・s−1)	10.3	15.6
500hPa 気温(℃)	−8.4	−7.8
解析雨量最大値(mm)	57	105
室戸岬の風速(m・s−1)	6(東)	6.7(南東)

第 3 表: 大雨の「必要条件」と「十分条件」

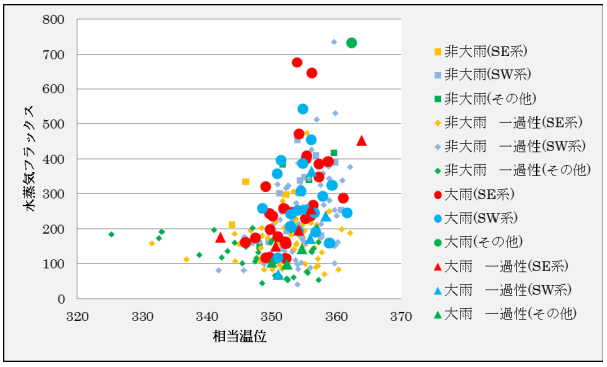
「必要条件」	値	「十分条件」
・500m面の相当温位(EPT)		(大雨が発生したときに見られた特徴的な総観場)
南東系	349K以上	・500hPaで渤海から朝鮮半島付近のトラフの存在
南西系	351K以上	・台風や熱帯低気圧の存在
・500m面の水蒸気フラックス(FLWV)		・上空の寒気移流場
南東系	180g・m−2・s−1以上	
南西系	200g・m−2・s−1以上	(南西系のみ利用)
・500hPaの気温(T)		・明瞭な前線あるいはシアが存在し、その暖域に面すること
南東系	−5℃以下(台風を除き、寒気移流場のとき)	
南西系	閾値が取れない	これらの条件は、全て当てはまるわけではなく、
・500m面の風向・風速		最低1つはあることが条件となる
南東系	100～180(南～東) 風速10m/s以上	
南西系	180～230(南～南西) 風速10m/s以上	



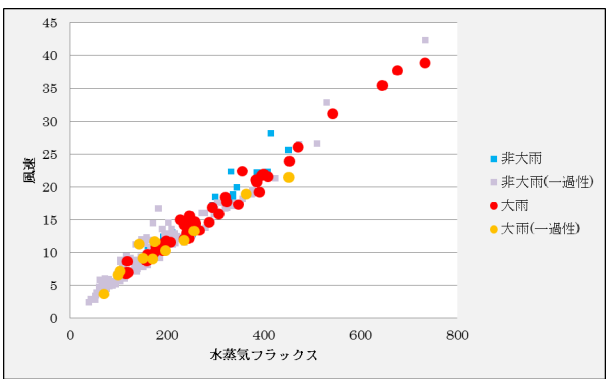
第 1 図: メソ解析値データの取得領域.



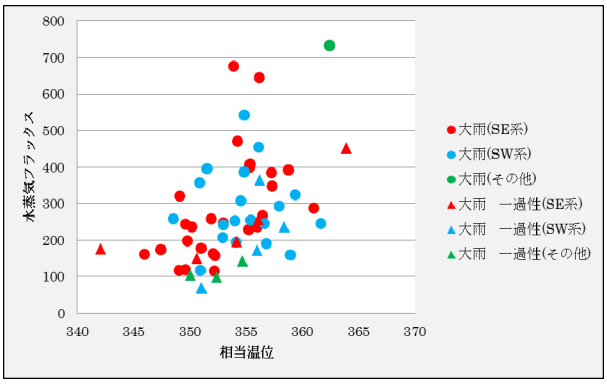
第 2 図: 500m 面の風向(横)・風速(縦)の関係図.



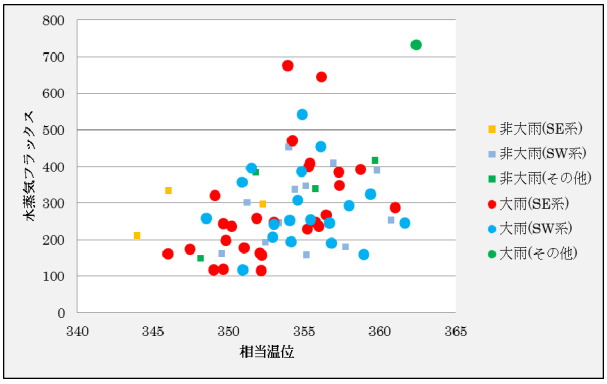
第 3 図: 風向別にみた 500m 面相当温位(横)と水蒸気フラックス(縦)の関係図.



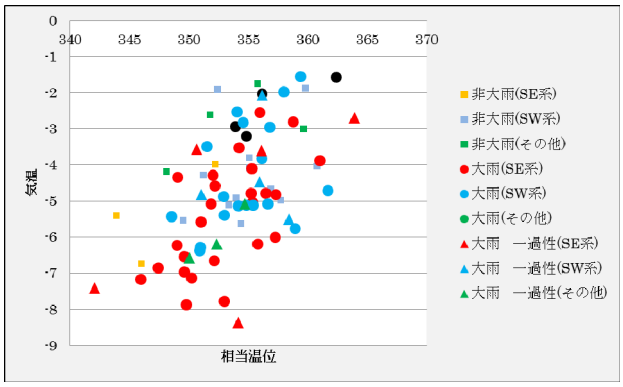
第 4 図: 500m 面水蒸気フラックス(横)と風速(縦)の関係図.



第 5 図: 第 3 図の「大雨」と「大雨一過性」を抽出した図.

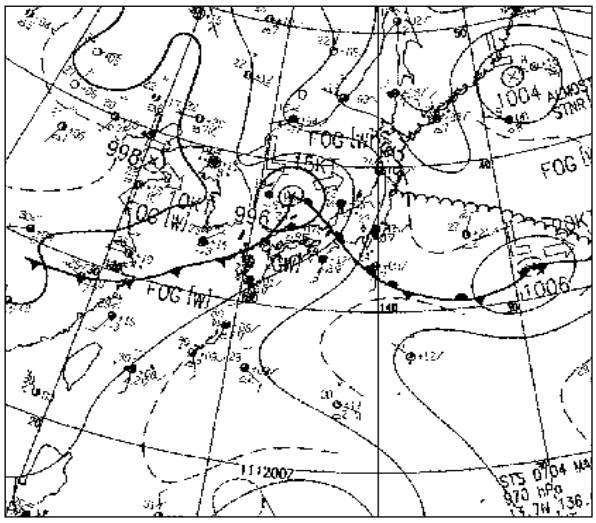


第 6 図: 第 3 図の「大雨」と「非大雨」を抽出した図.

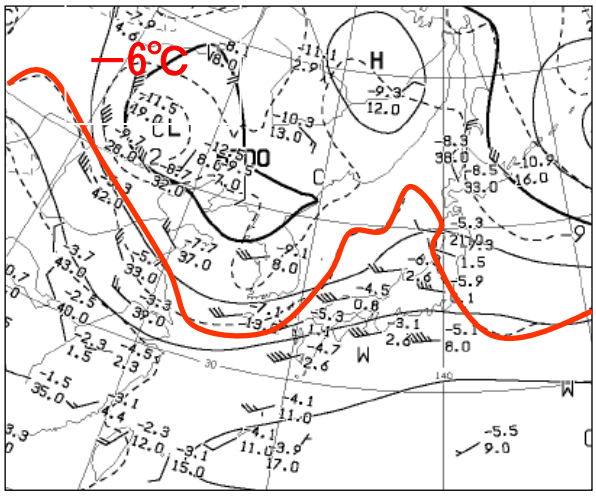


第 7 図: 500m 面相当温位(横)と 500hPa の気温(縦)の関係図.

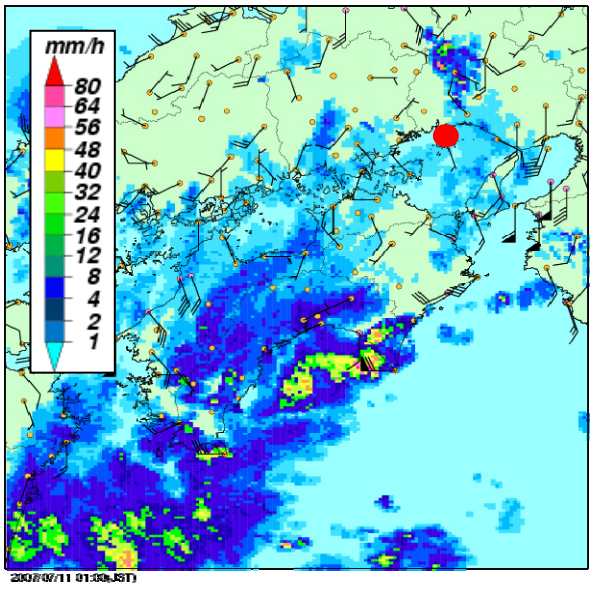
「非大雨」事例（南西系）



第 8 図: 地上天気図(2007. 7. 10. 21JST).

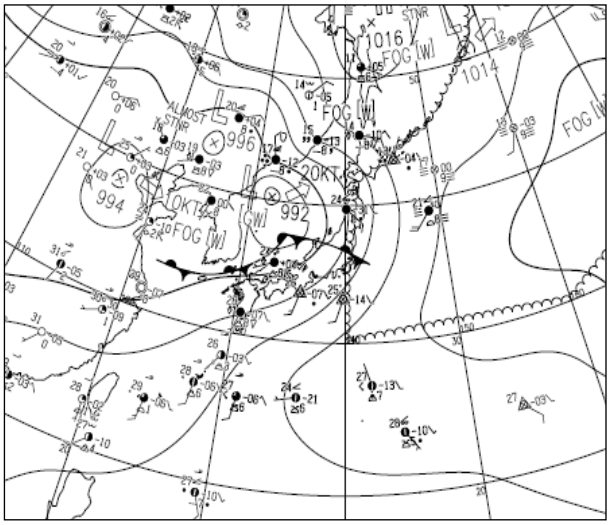


第 9 図: 500hPa 天気図(2007. 7. 10. 21JST).

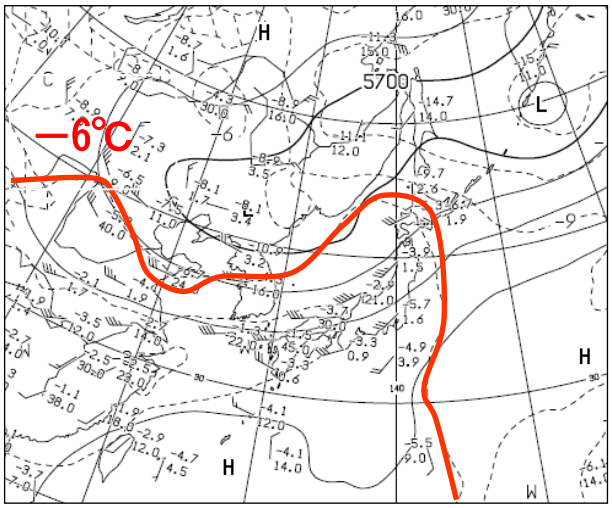


第 10 図: レーダーエコー図(2007. 7. 11. 01JST).

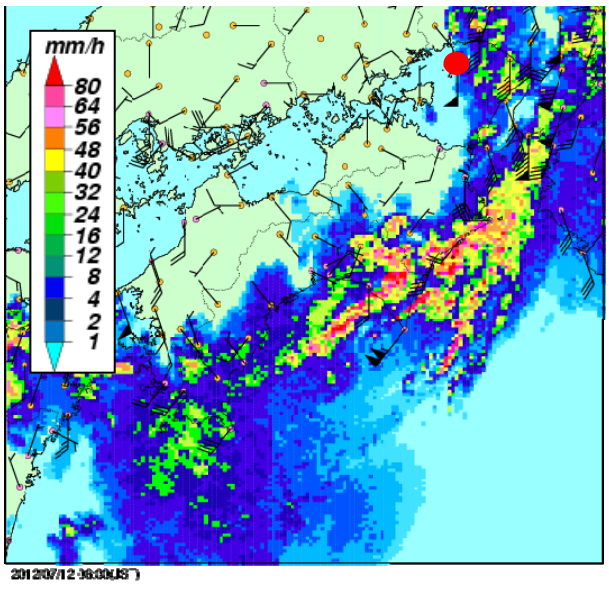
「大雨」事例（南西系）



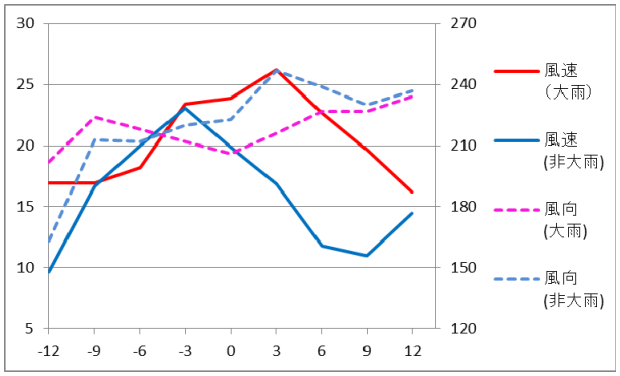
第 11 図: 地上天気図(2012. 7. 12. 03JST).



第 12 図: 500hPa 天気図(2012. 7. 12. 09JST).

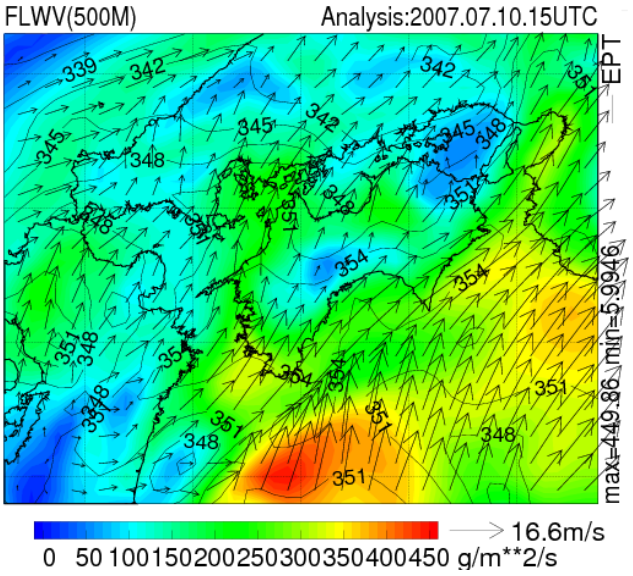


第 13 図: レーダーエコー図(2012. 7. 12. 06JST).

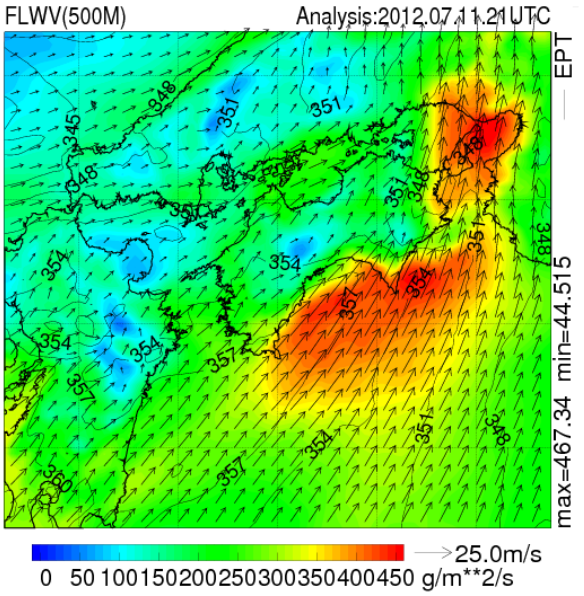


第 14 図: 500m 面の風の時系列図(南西系).

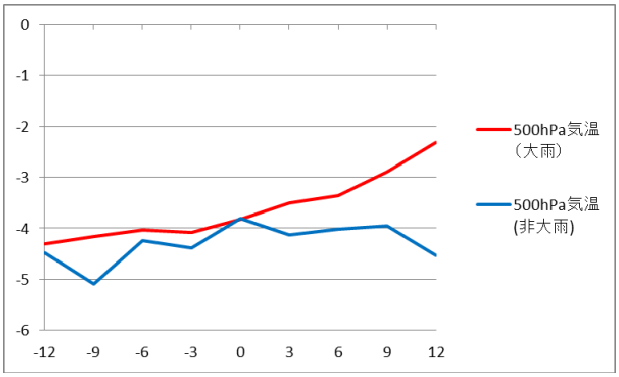
横軸は第 1 表に示した年/月/日を 0 とした時間, 左縦軸は風速(m/s), 右縦軸は風向(度).



第 15 図: メソ解析による水蒸気フラックス(2007. 7. 10. 24JST).



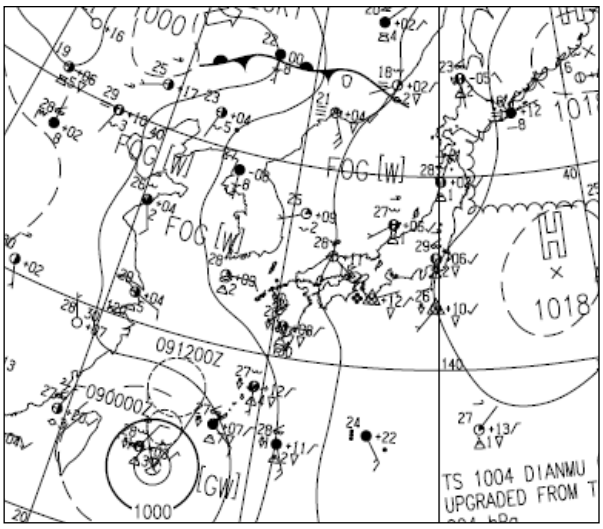
第 16 図: メソ解析による水蒸気フラックス(2012. 7. 12. 06JST).



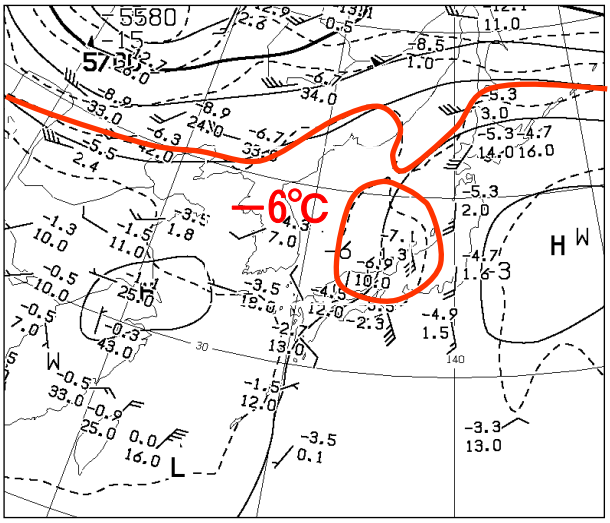
第 17 図: 500hPa 面の気温の時系列図(南西系).

横軸は第 1 表に示した年/月/日を 0 とした時間, 縦軸は気温(℃).

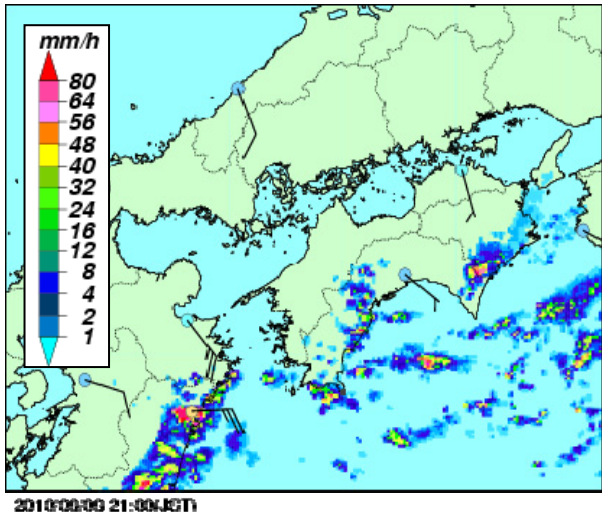
「大雨一過性」事例（南東系）



第 18 図：地上天気図(2010. 8. 8. 21JST)．

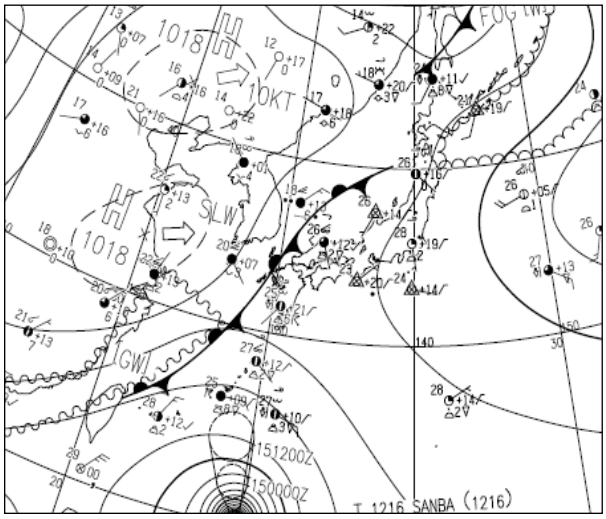


第 19 図：500hPa 天気図(2010. 8. 8. 21JST)．

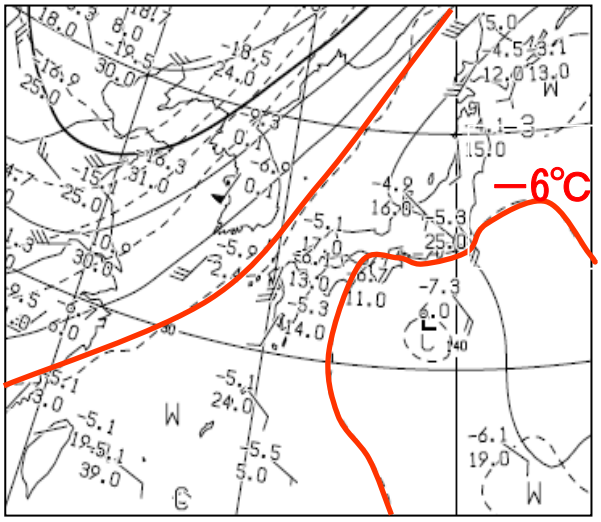


第 20 図：レーダーエコー図(2010. 8. 8. 21JST)．

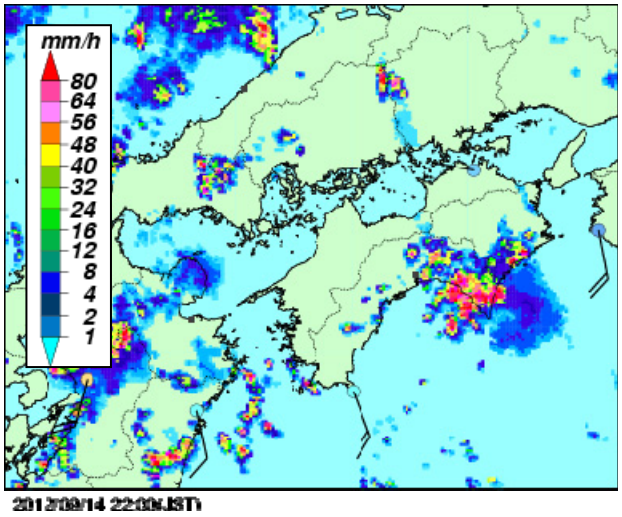
「大雨」事例（南東系）



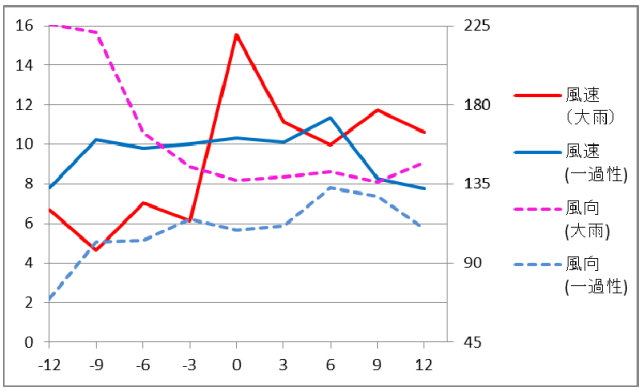
第 21 図：地上天気図(2012. 9. 14. 21JST)．



第 22 図：500hPa 天気図(2012. 9. 14. 21JST)．

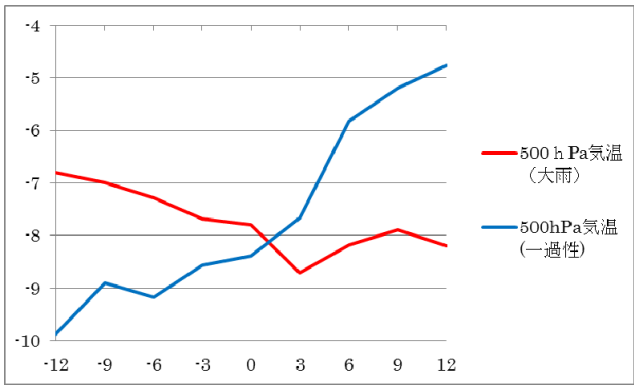


第 23 図：レーダーエコー図(2012. 9. 14. 22JST)．



第 24 図: 500m 面の風の時系列データ(南東系).

横軸は第 2 表に示した年/月/日を 0 とした時間, 左縦軸は風速(m/s), 右縦軸は風向(度).



第 25 図: 500hPa 面の気温の時系列図(南東系).

横軸は第 2 表に示した年/月/日を 0 とした時間, 縦軸は気温(℃).