

2.7 広島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

広島地方気象台

要 旨

統計解析により大雨発生の必要条件を2つ見出し、その妥当性を確認した。また、総観場や強雨域の走向が類似している2つの大雨発生事例を比較検討することで十分条件を抽出した。それらの結果、①豊後水道を経由する下層暖湿気が南寄りの風によって周防灘に流入していること、②山口県側に先行降水による相対的な下層冷気が存在していること、③①と②の間で水平風シアアが形成されること、④③によって線状降水帯が発生し、維持されることの4点が、2つの事例で共通していることがわかった。

1. はじめに

広島県では、豊後水道(第1図参照)を通して瀬戸内海から下層の暖湿気が流入することで、広島市付近において大雨が発生することがある。2014年8月20日の広島市での大雨は、その典型とも言える。これまで、いくつかの事例解析(たとえば、栗原ほか2009)によって発生メカニズムが調べられているが、統計的な解析は行われておらず、複数の事例の共通点はわかっていない。

本研究では、7~8月に瀬戸内海から流入する暖湿気の影響で、広島県で3時間積算解析雨量(以下、「R3」とする)が100mm以上の大雨となる必要条件を、メソ解析値のGPV(以下、「メソ解析値」とする)を統計解析することにより求めた。また、独立資料により必要条件の妥当性の確認も行った。

さらに、総観場や線状降水帯の走向が類似していた2009年7月24~25日と2014年8月19~20日の2つの大雨事例の気象庁非静力学モデル(以下、JMA-NHMとする)による再現実験の結果から、考えられる十分条件を抽出した。

2. 大雨発生の必要条件の抽出

2.1 調査方法

2006~2013年の7~8月の期間で、かつ、500m高度面の山口県周防大島(第1図参照)の風向が80~270度であった熱雷と台風を除く降水事例を235事例抽出した。さらに、明らかに瀬戸内海から暖湿気が流入している(メソ解析値による500m高度面の相当温位と水蒸気フラックス量から主観的に判断)事例で、R3が50mm以上であった90事例にしぼって統計解析を行った。周防大島上の気象要素(大雨発生時刻の直前のメソ解析値)を用いて、R3が100mm以上となる必要条件を求めた。

本解析では、周防大島上の気象要素を代表値として大雨発生の必要条件を求めたが、瀬戸内海から流入した暖湿気により広島県で大雨となる事例には山口県で発生したエコーが移動したものもあり、周防大島上の気象要素が必ずしも代表値にならない場合もあると考えられる。そこで、700hPaの湿度のデータは広島市付近のもの、500m高度の相当温位、水蒸気フラックス、比湿のデータは周防灘の東半分から伊予灘に領域を広げたものについても調査を行った。SSI(500-850hPa)は、周防大島上のデータを用いた。

2.2 R3が100mm以上の大雨となる必要条件

統計解析の結果、広島県でR3が100mm以上の大雨となる必要条件は、広島市付近の上空の700hPaの湿度が75%以上で、かつ、周防大島付近の上空のSSI(500-850hPa)が0.5°C以下であることが分かった(第2図参照)。独立資

料である2014年8月19～20日の大雨事例で確認したところ、求めた必要条件を満たしていた。その他の要素については、R3が100mm以上となる場合とそうでない場合で明確な差は見られなかった。

3. 大雨発生の十分条件の抽出

大雨発生の十分条件を抽出するために、総観場や形成された線状降水帯の走向が類似していた2009年7月24～25日(以下、「2009年事例」とする)と2014年8月19～20日(以下、「2014年事例」とする)の大雨事例の解析を行った。

第3図には、2つの事例の地上天気図と大雨ピーク時のR3の平面図を示している。2つの事例とも、日本海上に前線が解析されており、中国地方はその暖域内にあっている。日本の南東海上の高気圧の縁辺流により、中国地方には高相当温位の暖湿気が流入していた。300hPa(図略)では、南海上に-33℃以下の寒気をもつ寒冷渦があった。形成された線状降水帯は西南西から東北東の走向で、広島県南西部を中心に大雨となった。

JMA-NHMを用いて、これら2つの事例の再現実験を行った。再現実験の結果から線状降水帯を形成したシステムを検討して、両事例に共通してみられる特徴を広島県における大雨発生の十分条件の候補と考える。両事例ともに、親モデルの設定が格子間隔5km、計算領域250×250×50格子、積雲対流パラメタリゼーションなし、子モデルの設定が格子間隔2km、計算領域250×250×50格子、積雲対流パラメタリゼーションなしという条件は同じである。2009年事例の初期時刻は、親モデル、子モデルともに2009年7月24日21時(以下、時刻は「JST」表示とする)、2014年事例では、親モデル、子モデルともに2014年8月19日18時である。

3.1 2009年事例

3.1.1 線状降水帯の発達・維持の過程

7月24日夜から25日未明にかけて、周防灘で発生・発達した線状降水帯が広島県南西部にかかって大雨となった。そこで、この線状降水帯を構成する降水セルがどのような要因で発達し、それを維持していったのかを調査した。

第4図に、2009年7月24日18時と21時のR3の平面図と同時刻のメソ解析値による地上気温、地上風の平面図を示す。24日は、低気圧周辺にある対馬海峡から九州の北西海上にあった降水域が東南東進して、24日夕方には山口県にかかり始めた。この東南東進した降水域により、山口県西部から九州北東部にかけて相対的な冷気が形成された(第4図下段の図を参照)。

第5図と第6図の上段には、7月24日21時から23時30分までの30分間隔のモデル面高度第5層(194m)の温位と風、及び10分間降水量を示している。初期時刻の21時00分には、大分県国東半島付近から北東方向に西風と南風とのシアアがのびている。シアアの西側では、既に相対的な冷気に覆われている。これは、山口県西部から九州北東部にかけての相対的な冷気に相当すると思われる。

21時30分に国東半島の北東海上から北東方向にのびる下層風シアア付近に線状降水帯が形成され始め、その後発達して、それを維持しながら広島湾へ向かっている。このシアア近傍では、豊後水道経由の南よりの風で流入した暖湿気と山口県側からの西よりの風で流入した相対的な冷気により、温位傾度はさらに大きくなり、この温位傾度の大きい状態が維持されている。

第5図と第6図の中段は鉛直流の断面図を示しているが、7月24日22時以降は高度7km以上にいたる上昇流が維持されている。温位の断面図(第5図と第6図の下段)を見ると、西から流入した相対的な冷気が南から流入している暖湿気を持ち上げていることがわかる。

3.1.2 後方流跡線解析

広島湾に線状降水帯を形成した気塊は、どこから流入してきたものなのかを後方流跡線解析を用いて調査した。7月25日01時から10分ごとに24日21時10分まで時間を遡った。

第7図上段から、7月25日01時の広島湾の線状降水帯のモデル面高度第5層(194m)にあるトレーサーは、豊後水道の四国に沿ったところの約200m以下の高度を起源とするものと、山口県付近の高度1.0~1.5kmを起源とするものがある。山口県付近を起源とするトレーサーは、広島湾付近で下降している。一方、第7図下段から、7月25日01時の広島湾の線状降水帯のモデル面高度第19層(3,148m)にあるトレーサーは、豊後水道の四国側の500m以下の高度を起源とするものと大分県南部の高度1~2kmを起源とするものがある。前者は広島湾で急速に上昇している。このことから、広島湾で急速に上昇していった空気塊の起源は、豊後水道の四国よりの高度約500m以下の暖湿気であることが分かる。

3.2 2014年事例

3.2.1 線状降水帯の発達・維持の過程

8月19日夜から翌20日明け方にかけて形成された線状降水帯は、19日20時から23時にかけて強まり(以下、第1ステージ)、その後、一旦は衰弱して翌20日01時から04時にかけて再び線状化して強まった(以下、第2ステージ)。ここでは、19日22時~翌20日02時の4時間を中心に調査した。まず、10分毎のモデルの降水域(以下、「FRR域」とする)と下層シアアの動きを時系列的に追跡した。

【19日22時~20日0時20分】

19日22時10分に発生したFRR域①(第8図)は北東に進み、23時50分には周防灘から山口県に進む。このFRR域①の移動とともに周防灘の風向は西よりに変わっている。このFRR域①を第一世代とする。

【20日0時30分~1時20分】

20日0時30分には、第1世代からの北西風と豊後水道からの南風の収束した付近に次のFRR域②が発生した(第9図)。このFRR域②を第2世代とする。20日1時00分には、第2世代のFRR域②は北東へ進み、FRR域からは発散して北西の風が吹き出し、広島湾西部には第3世代のFRR域③が発生している。

また、第9図の1時10分と1時20分の周防大島付近の降水域を見ると、風上側に新たな降水域が形成されており(赤い矢印の部分)、バックビルディング型の線状降水帯が再現されている。

【20日1時20分~】

第10図は、20日1時20分の700hPaに相当するモデル面高度第19層(3148m)の風と上昇流である。山口県柳井市付近から広島湾方向に向けて複数の上昇流域が並んでいた。上昇流700hPa付近の風向に沿って南西から北東方向に並び、第9図の強雨域の走向と一致している。

3.2.2 下層収束の形成過程

19日23時~20日2時にかけてのモデル面高度第3層(60m)で、下層収束線の形成過程を調査した。国東半島の豊後水道側の風向はほぼ南だった。周防灘側の風向は、19日23時~20日0時頃までは南よりで、20日0時~2時にかけては、西よりへと変化していた(第8図、第9図参照)。周防灘側の風向が西風へ変化した時間帯以降、豊後水道側からの南風と国東半島の北を回る西風の合流する国東半島から山口県柳井市付近を結ぶ海上で、収束線が形成された(第11図の0時30分のもの(左)参照)。

第11図の0時30分のもの(左)をみると、第1世代付近の下層発散からの北西風は300K以下の相対的冷氣となっていて、豊後水道を北上した305K以上の暖気を持ち上げて、第2世代のFRR域を形成している。

第11図の1時20分のもの(右)を見ると、第2世代から流出した相対的冷氣が暖気を持ち上げて第3世代のFRR域を形成している。その後、このFRR域は広島湾まで北東方向へ移動し、4時ごろまで停滞していた。周防灘付

近の相対的な冷気が豊後水道を北上していた暖気を持ち上げる構造で、これを繰り返すことによって、世代交代しながら線状のFRR域を維持していた。このことから、第3世代のFRR域は、バックビルディング型形成による線状降水帯の特徴を有していたように見える。

3.3 感度実験

2009年、2014年の両事例について、周防灘付近の下層収束の形成を確認するために、国東半島周辺や中国地方の地形を編集する3~4種類の感度実験をそれぞれの事例において実施した。

2009年事例において実施した4種類の感度実験は、①「九州の北半分を一律に標高1mとしたケース」、②「山口県の瀬戸内沿岸部を一律に標高500mとしたケース(第12図右)」、③「国東半島の陸地を海にしたケース」、④「国東半島周辺を一律に標高500mとしたケース」である。①から④の感度実験の結果、地形を編集していない事例と比較して、線状降水帯の形成に大きな変化は見られなかった(第13図)。

2014年事例においても、地形的要因で線状化が強化されているのか調べるために、3種類の地形感度実験を行った。はじめに、広島市内付近の地形を編集し、①「広島平野を一律に標高300mとしたケース」、②「広島平野西側の山を一律標高500mとしたケース」とに分けて感度実験を行った。①、②の結果は、線状降水帯の形成に大きな変化は見られなかった(図略)。次に、③「国東半島付近を一律に標高500mとしたケース(第12図右)」の感度実験を行った。このケースの場合、標準実験(第14図左)で見られた広島市から山口県岩国市へのびる線状降水帯の南西端が消滅した(第14図右図の赤の楕円で囲まれた領域)。

上記の結果から、線状降水帯の形成に国東半島付近の地形が与える影響は、相対的に、2009年事例では小さく、2014年事例では大きいことがわかる。

3.4 十分条件についての考察

2009年事例で、解析結果から線状降水帯が形成される過程を以下のように考えた(第15図参照)。山口県にあった別の対流性降水からの冷気が西風によって東へ流される。周防灘では、東進してきた冷気により、豊後水道を北上した暖湿気が持ち上げられるシステムが維持され、周防灘で発生した線状降水帯が発達、維持された。

2014年事例で、解析結果から線状降水帯が形成される過程を以下のように考えた(第16図参照)。国東半島から北東側にのびる下層収束の存在が、線状降水帯発生のトリガーになる。この収束をきっかけに降水セルはまとも始まり始めて、その降水セルから放出された相対的な冷気が広がり、別の収束を形成して、次世代の降水セルを発生させる。このように世代交代しながら、線状降水帯が維持された。

2014年の③「国東半島付近を一律に標高500mとしたケース(第12図右)」の感度実験では、広島市から山口県岩国市へのびる線状降水帯の南西端が消滅した(第14図の右図の赤の楕円で囲まれた領域)が、この理由は、周防灘からの西風が吹かず豊後水道を経由した南風との下層収束線が形成されなくなったためと考えられる。

2009年事例では、総観規模である日本海の前線の暖域内にあたる山口県から九州北東部では、降水域によって地上付近が冷やされており、山口県側に先行して下層冷気が存在していた。一方、2014年事例では、まず、周防灘で下層収束により降水域が発生し、この降水域は北東進し、山口県南東部にかかってきた。この降水域により、山口県南東部の地上付近の下層は冷やされて、下層冷氣塊が形成された。この事例では、下層冷氣塊は、2009年事例のように先行する降水域から形成されたものではなく、後から形成されている。このことから、広島県で大雨となるには、近くに冷氣塊が存在していること必要であると考えられる。また、2009年事例では、国東半島付近の下層収束が無くても冷氣塊が発生できるため、国東半島付近の地形の影響はほとんどなかったと考えられる。

事例解析をした2つの事例の共通点は、山口県側からの相対的な冷気が豊後水道を北上する下層暖気を持ち上げることで、線状降水帯を発達、維持させていることである。この共通点が大雨発生の十分条件と考えられる。

相違点は、相対的冷気の発生源が異なることと、豊後水道から北上する下層暖湿気の東西の広がりや鉛直方向の高さが異なっていること(第17図)があげられる。これらのことは、線状降水帯の形成場所に影響を与えるかもしれない。

解析を行った2つの事例において、JMA-NHMでも豪雨を十分には予測できていなかった。周防灘や豊後水道の風の変化及び風速の影響、持ち上がる暖気の最低高度の違いによる差、九州の地形編集のエリアを絞ってみるなどして、今後の調査が必要と考えられる。

4. まとめ

統計解析により、広島県でR3が100mm以上の大雨となる2つの必要条件は以下の通りである。

- ①広島市付近の上空の700hPaの湿度が75%以上
- ②周防大島付近の上空のSSI(500-850hPa)が0.5度以下

また、2つの事例解析から考えられる十分条件は以下の通りである。

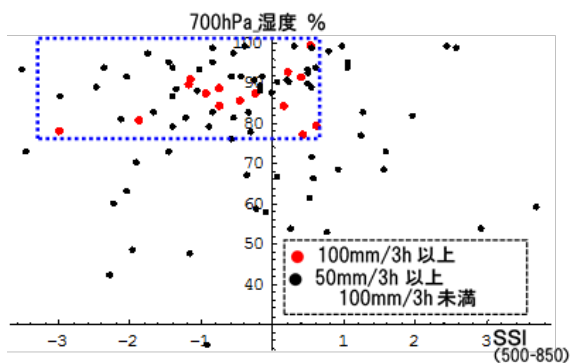
- ①豊後水道を経由する下層暖湿気が南寄りの風によって周防灘に流入していること
- ②山口県側に先行降水による相対的な下層冷気が存在していること
- ③①が②に乗り上げること
- ④③により、線状降水帯が発生・発達し、維持されること

参考文献

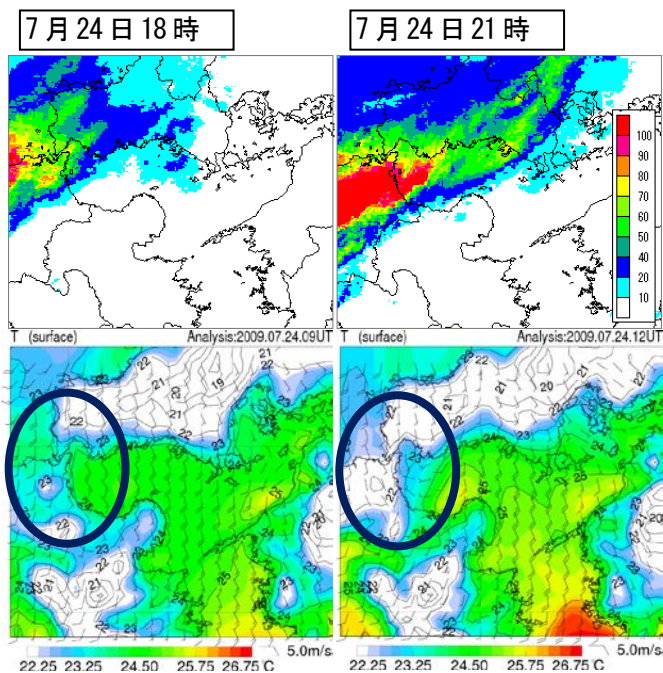
- 栗原佳代子, 金森恒雄, 瀬古弘, 2009: 2003年7月18日の広島県で発生した線状降水帯 —気象庁非静力学モデルで解析した気流構造と地形や中層乾燥気塊の効果—. 天気, 56, 613-626.
- 小倉義光. 1997: メソ気象の基礎理論. 東京大学出版会, 123pp.
- 大谷ほか, 2014: 集中豪雨・大雨発生の必要条件の妥当性の確認と十分条件の抽出. 平成25-26年度地方共同研究関連.
- 吉崎正憲・加藤輝之, 2007: 豪雨・豪雪の気象学. 朝倉書店, 92-115pp.



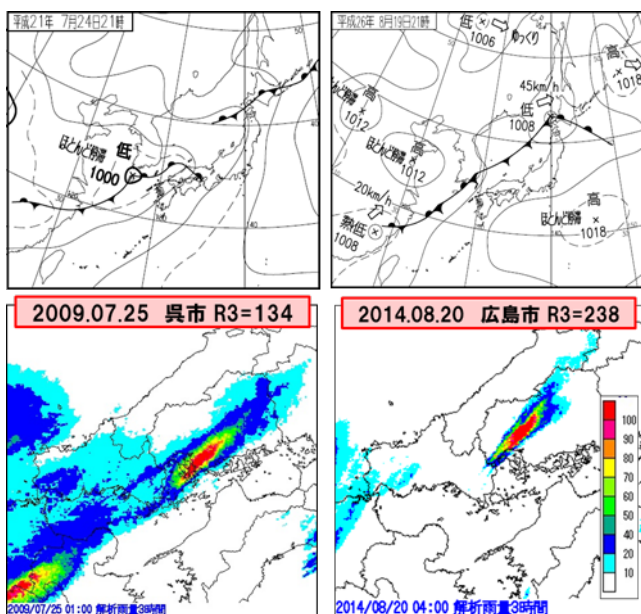
第1図：広島県西南部と広島県の南西方向周辺の地図。



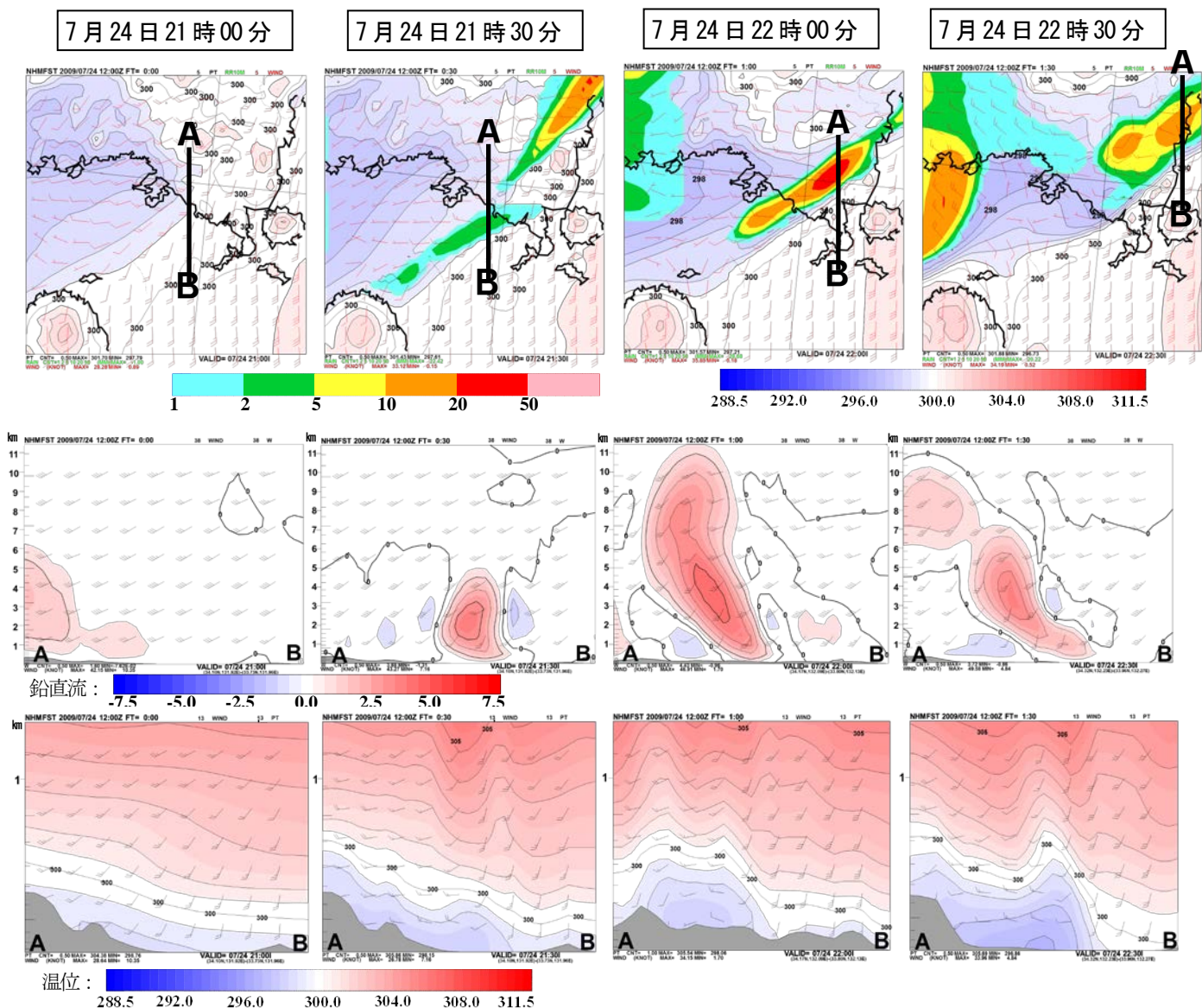
第2図：広島県でR3が50mm以上の大雨となった全90事例の700hPaの湿度(縦軸)とSSI(500-850hPa)(横軸)の散布図。



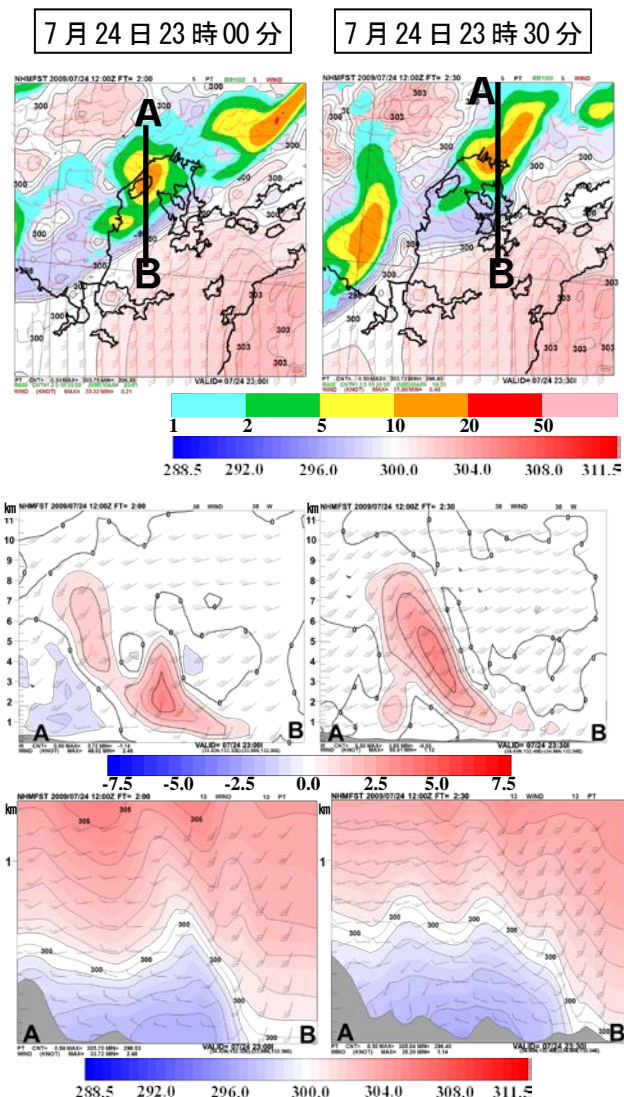
第4図：上段：R3の平面図，下段：メソ解析値による地上気温と地上風の平面図。青色の楕円は冷気的位置を示す。左側は2009年7月24日18時，右側は2009年7月24日21時。



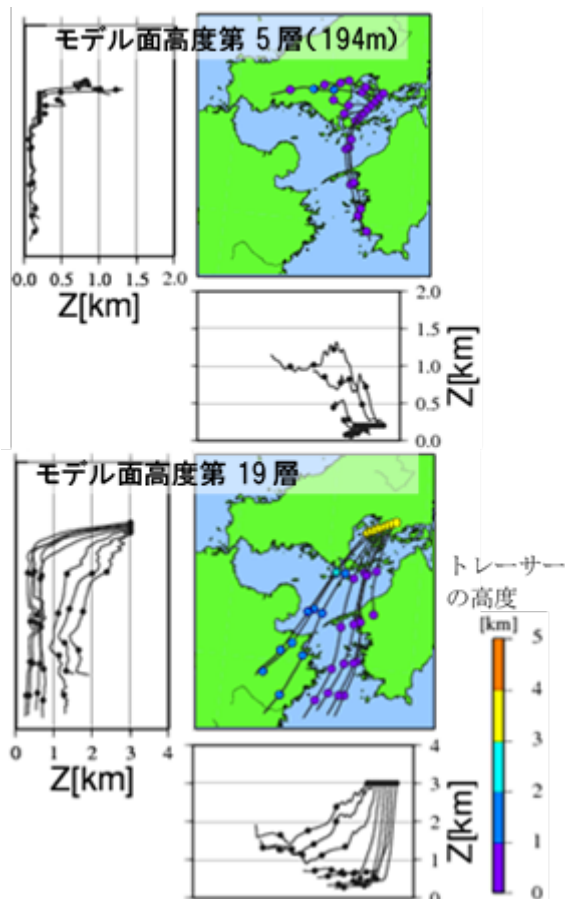
第3図：上段：地上天気図，下段：ピーク時のR3の平面図。左側は2009年7月24～25日，右側は2014年8月19～20日の大雨発生事例の図を示している。



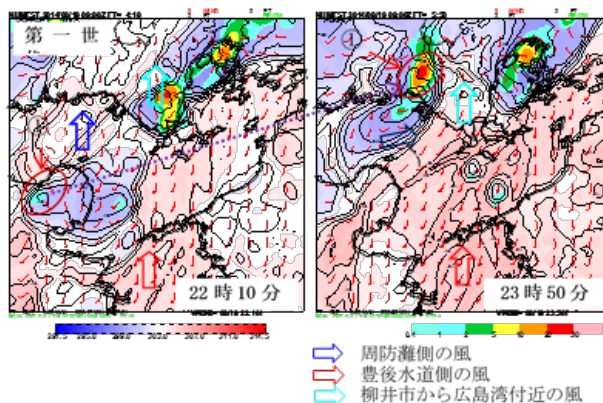
第5図: 上段: モデル面高度第5層(194m)の温位と風及び10分間降水量。中段: 上段のA-B断面の高度約11.5kmまでの鉛直流と水平風。下段: 上段のA-B断面の高度約1.4kmまでの温位と水平風。左端から右端の列まで、それぞれ7月24日21時00分から30分ごとに22時30分まで。



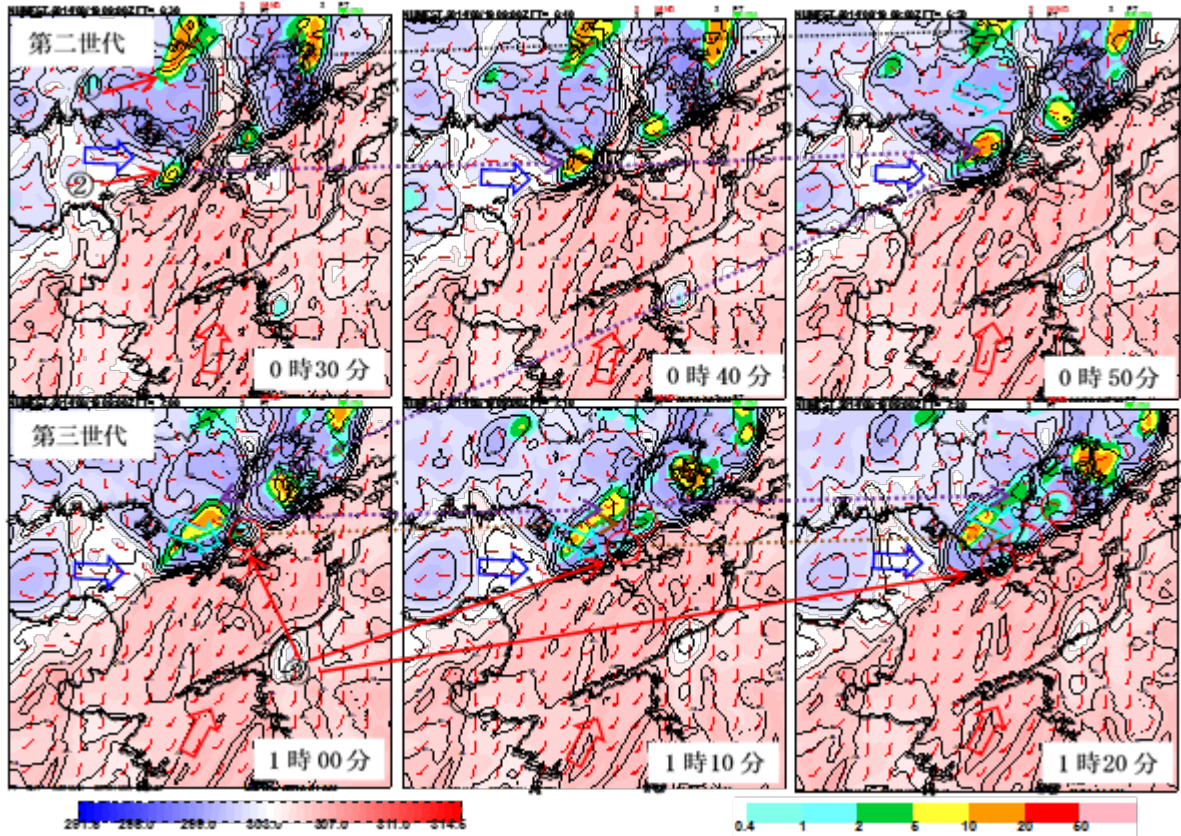
第6図：上段：モデル面高度第5層(194m)の温位と風及び10分間降水量。中段：上段のA-B断面の高度約11.5kmまでの鉛直流と水平風。下段：上段のA-B断面の高度約1.4kmまでの温位と水平風。左側は7月24日23時00分、右側は7月24日23時30分。



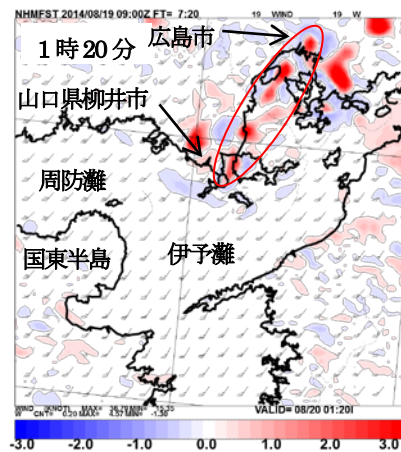
第7図：広島湾付近の収束域の後方流跡線解析。上段：モデル面高度第5層(194m)の収束域の極大域に、下段：モデル面高度第19層(3148m)の鉛直P速度の負の極大域にそれぞれトレーサーを設置し、2009年7月25日01時から前日24日21時10分まで10分ごとに時間を遡らせる後方流跡線解析を実施した。



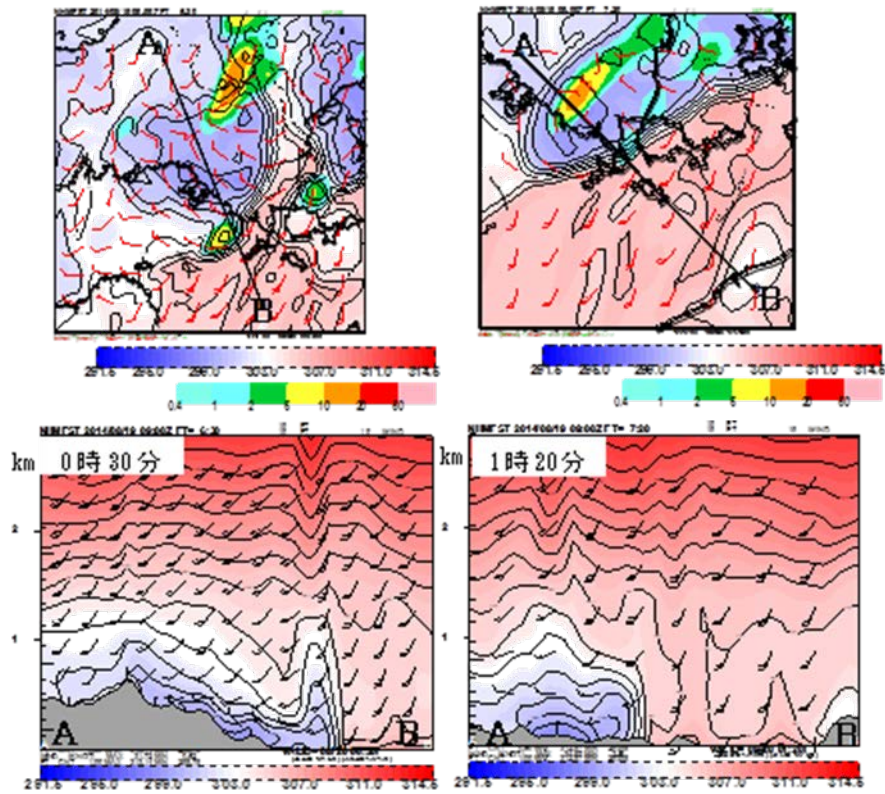
第8図：FRR域①の動き。10分間降水量と60m面の温位(青-赤のシェードと等値線)と風。左側は22時10分、右側は23時50分。



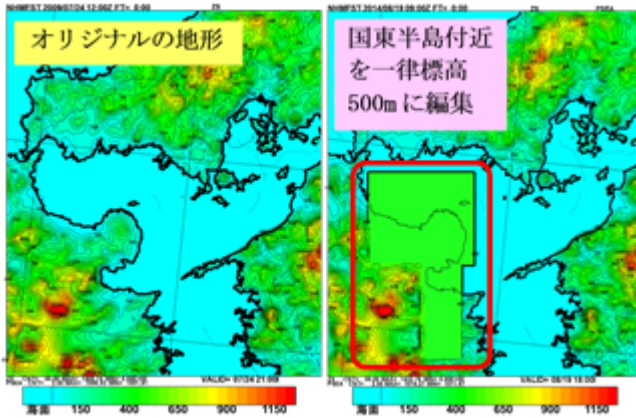
第9図：FRR域①②③の動き。10分間降水量、60m面の温位(青-赤のシェードと等値線)と風(8月20日0時30分～1時20分)。赤色矢印は暖気、青色矢印は冷気の流入を表す。赤丸と紫色・茶色の点線は、着目している対流セルとその移動を表す。



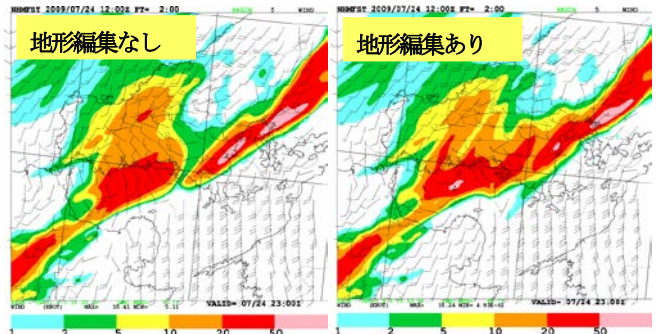
第10図：モデル面高度第19層(3148m)の水平風と鉛直流。



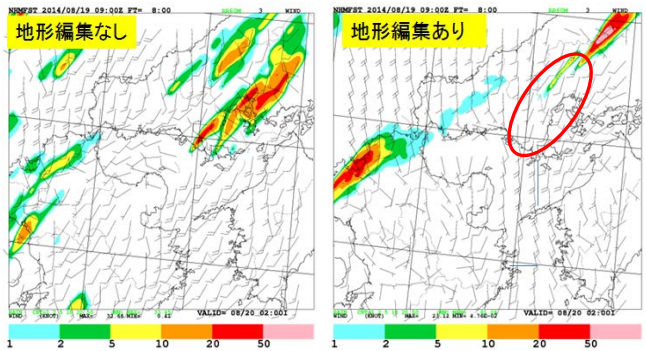
第11図: 上段: 高度60m面の温位, 風, 10分間降水量, 下段: A-B断面の高度2.5kmまでの温位と風. 左側は0時30分. 右側は1時20分.



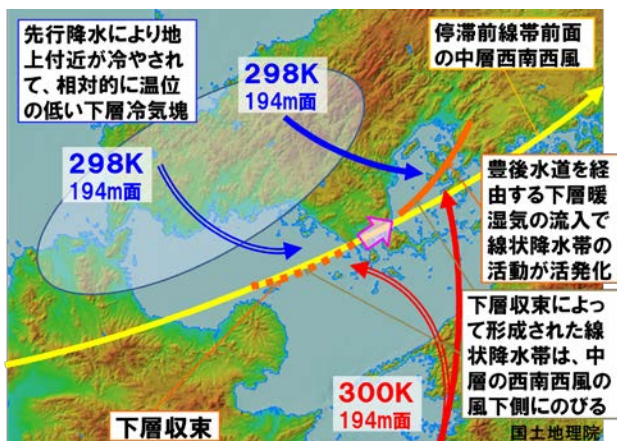
第 12 図：周防灘周辺の地形。左側は標準地形(地形編集をしていないオリジナルの地形)、右側は国東半島付近に編集した地形(赤の四角の部分)。



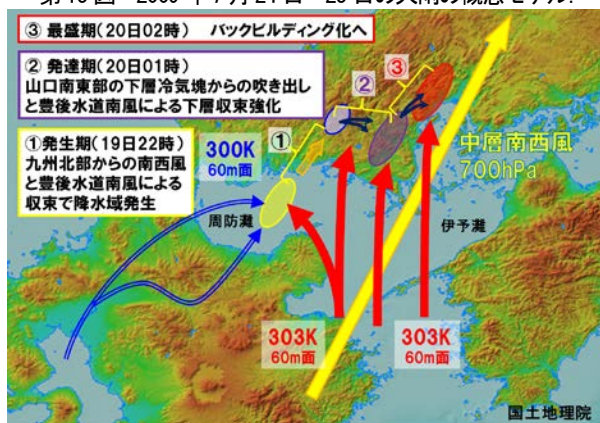
第 13 図：初期値(2009年7月24日21時00分)の感度実験での7月24日23時00分のモデル面高度第5層(194m)、風、60分間降水量。左側は標準実験(地形編集をしていない)、右側は国東半島付近を一律に標高500mに編集。



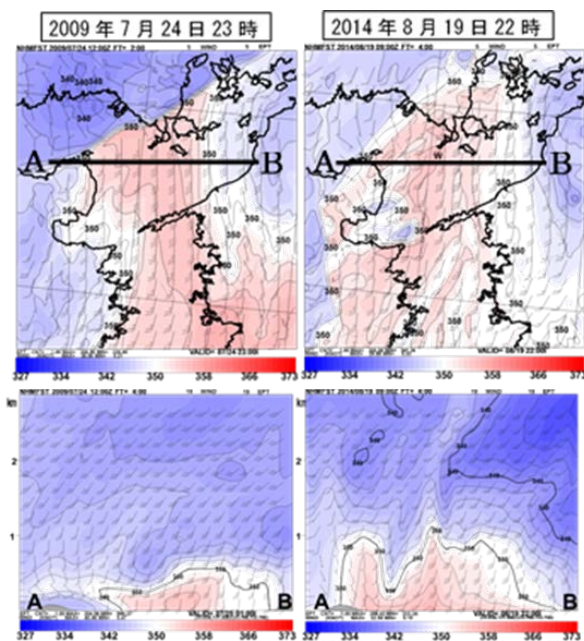
第 14 図：初期値(2014年8月19日18時00分)の感度実験での8月20日02時00分のモデル面高度第3層(60m)、風、60分間降水量。左側は標準実験(地形編集をしていない)、右側は国東半島付近を一律に標高500mに編集。



第15図 2009年7月24日～25日の大雨の概念モデル。



第16図: 2014年8月19～20日の大雨の概念モデル。



第17図: 上段: モデル面高度第5層(194m)の相当温位と風, 下段: A-B断面の高度2.5kmまでの相当温位と水平風。左側は2009年7月24日23時, 右側は2014年8月19日23時。