

2010年7月12日の愛媛県地方の大雨について

～松山における大雨と降水域の形成に関する考察を中心に～

はじめ

一 広 志 (日本気象予報士会四国支部)

1. はじめに

本稿は、2010年の7月12日に発生した愛媛県地方、とりわけ松山の大雨について、その成因と大雨をもたらした降水系の動きを明らかにすることを目的とする。

2. 総観場と愛媛県地方の降水の概況

図-1は7月12日9:00(JST)の地上天気図である。北海道南部に低気圧があり、それから前線系が日本列島に沿うように南西方向に延び、九州北部から東シナ海を経て華中に及んでいる。高層天気図(AUPQ78, AUPQ35)によると、日本列島は850hPa面、700hPa面、500hPa面ともに西～南西寄りの強風軸となっている。気温と露点温度との差で表わされる湿数について各等圧面ごとに着目すると、850hPa面においては列島の広い範囲が3℃以下の湿域となっている。700hPa面では北海道を除き5℃以上である。500hPaでは日本海側では20℃を上回っているが太平洋側では3℃以下である。これより、日本上空の気象中層で水蒸気傾度が大きくなっていることがわかる。

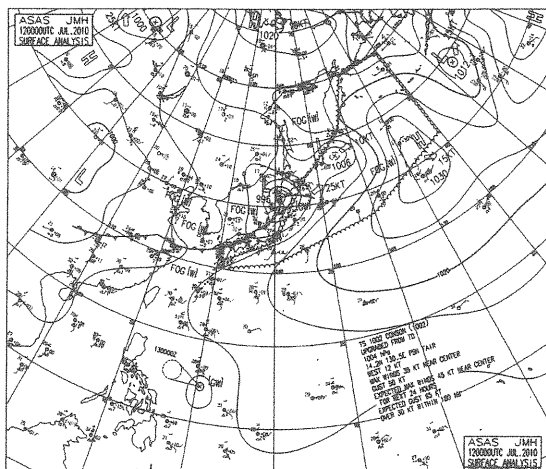


図-1 地上天気図 (2010年7月12日9時)

同時刻の鹿児島～松江間の大気の鉛直断面を図-2に示す。両地点ともに大気中層にあたる600hPa面で相当温位が最小になっており、低相当温位気塊の南下が認められる。これにより、下層から中層にかけて対流不安定となっている。

図-3は7月12日の愛媛県地方における日降水量である。松山は158.5mmであり、県内観測地点で最大となっている。日降水量100mm以上の多雨域は南予北部の長浜から東予地方の西条、成就社にかけて東西方向に形成されている。東予西部の大三島と南予南部の宇和島、近永、御荘は少雨域で50mm/日未満である。

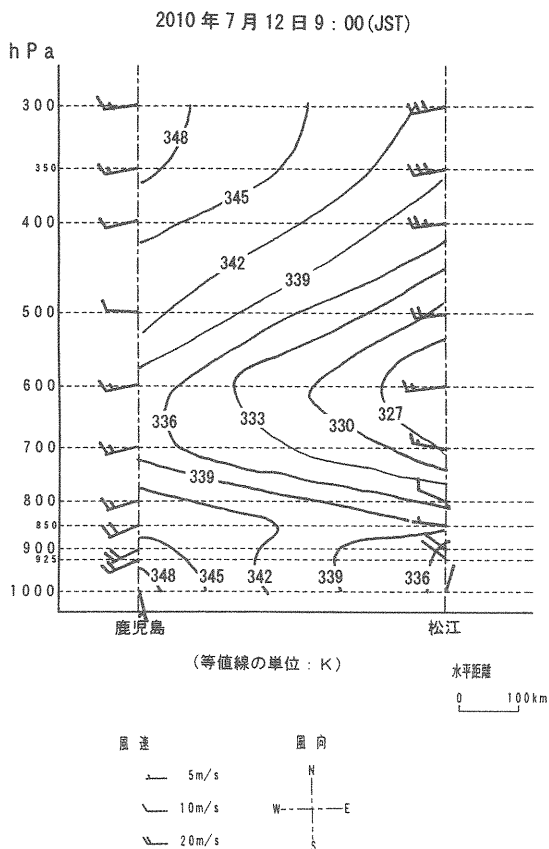
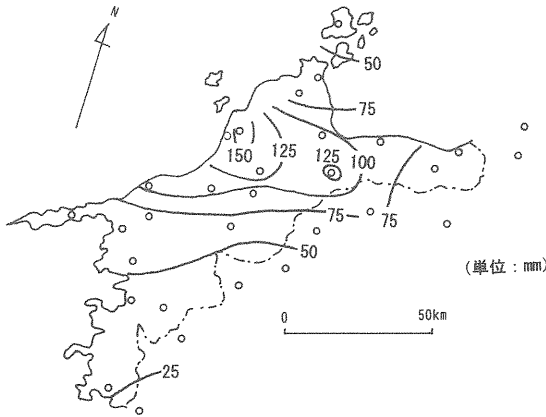


図-2 相当温位と風の鉛直断面図

2010年7月12日0:00～24:00



○・・・気象官署（地方気象台・測候所）およびAMeDAS（地域気象観測所・地域雨量観測所）
 ※ 獅子越峠のデータは欠測があるため除外した

図-3 愛媛県地方における降水量

松山における降水は、6時前から10時過ぎにかけてと18時前後との2つのピークが認められる。本稿では、降水量の多い前者を考察の対象とする。

3. 考 察

(1) レーダー合成図による降水域の把握

まず、四国地方全域とその周辺地域を概観できるメソ α スケール（10²kmオーダーの空間的広がり）での降水系の形成状況と動きを把握するため、レーダー合成図の時系列変化に着目した。これを図-4に示す。強雨域は、松山での降水イベント前の5時には北陸地方から近畿北部、中国地方を経て防予諸島付近の伊予灘、周防灘にかけてライン状に形成されている。地上天気図との照合により、これは北海道南部の低気圧から南西に延びる前線系であることがわかる。伊予灘、周防灘の強雨域はその後南下しており、松山をはじめとする愛媛県内各地に大雨をもたらした降水系であることがわかる。この降水系は動きが遅く、6時から9時頃にかけて伊予灘から愛媛県中予にかけて停滞している。

(2) 松山における降水の成因

松山における5時50分から8時50分までの3時間降水量は103mmに達し、観測史上最大を記録した。以下、松山における大雨の成因について、気温、地上相当温位の分布状況、地上風、気圧の各々の変動の観点から考察を進める。

松山における降水イベントは、気温の低下とともに

始まっている。松山周辺における気温の推移を図-5に示す。降水開始前までは29℃台で推移していた気温は、5時40分から同50分までの10分間に4.0℃、6時40分までの1時間に5.8℃低下し、その後は降水イベント中を通して24℃弱のほぼ一定した値を示している。降水イベント前の高温な大気の相対湿度は60%弱で、絶対湿度は17g/m³強である。降水時の低温な気塊は相対湿度が約90%、絶対湿度はおよそ19g/m³である。松山、広島、清水（高知県）の地上相当温位の推移と松山の降水との対応を図-6に示す。低温な気塊は多湿であるため、降水イベント中の地上相当温位の低下は3K以内にとどまっている。松山での降水のピークである7時の四国とその周辺地域における地上相当温位の分布状況に着目すると（図-7）、松山がこれの極小域となっている。四国西部における傾度がやや大きいのが、図-8で示す1999年6月25日や2006年6月22日などの大雨の事例で認められるような顕著な前線帯ではない。当事例においては地上相当温位の変化量と降水量との間に有意な相関関係は認められない。

松山とその周辺における南風成分の推移と松山での降水との対応を図-9に示す。地上風に着目すると、降水前は南風が継続しており、最大瞬間風速は10m/sを超えている。この南風成分は5時40分頃から急激に減少して同50分には負の値に転じ、6時過ぎには北西の風のピークとなっている。この北西の風も最大瞬間風速は10m/sを超えている。6時前後の呉（広島県）におけるこの値の推移を見ると、松山での北西寄りの風のピーク時頃まで正の値となっている。これより、降水イベント開始直後においては呉～松山間に南北方向の地上風の急変域があることがわかる。3時から12時までの松山における南風成分と10分間降水量との相関関係について考察すると、 $r = -0.703$ の強い負の相関関係が認められる。この関係は西風成分との間におけるもの（ $r = 0.437$ ）よりも強く、北寄りの風の流入が降水の生成に寄与していることが察される。

松山とその周辺における海面気圧の推移と松山での降水との対応を図-10に示す。気圧は、4時半頃までは広島、呉、松山の値はほぼ同じ程度で推移している。その後広島、呉の値が上昇し、松山は同程度の値を維持することによって低圧部となっている。松山は5時20分頃まで1005hPa強で推移し、6時10分までの50分で3.4hPa上昇している。降水は、気圧の上昇にほぼ対応し、それにわずかに遅れる形で始まっている。5時の西日

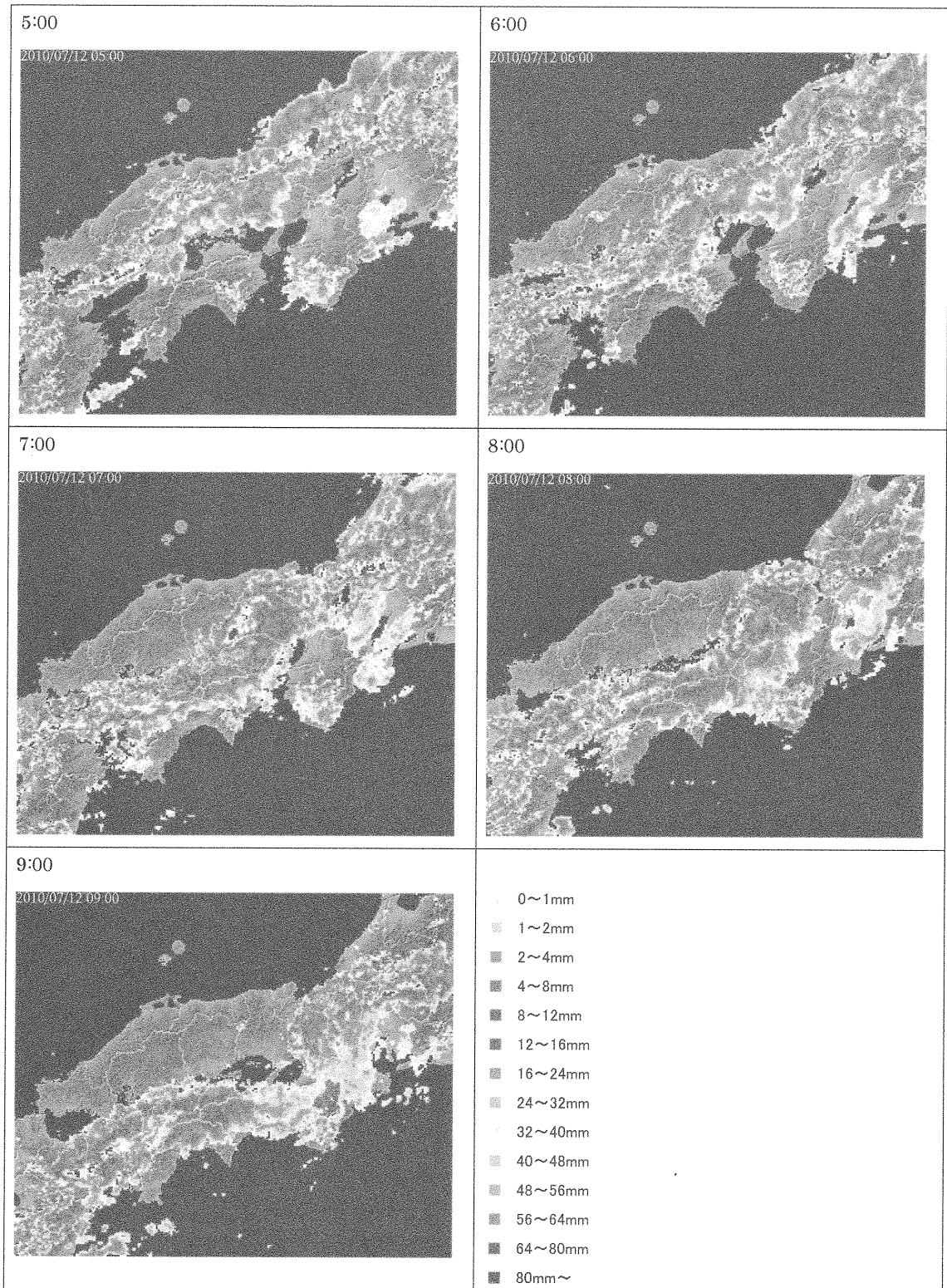
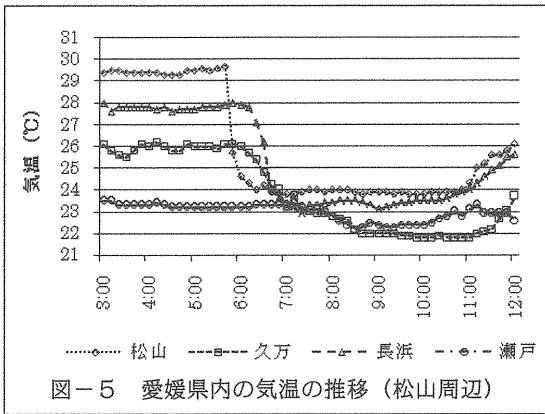


図-4 レーダー合成図 (財団法人日本気象協会 穂積寿是氏提供)



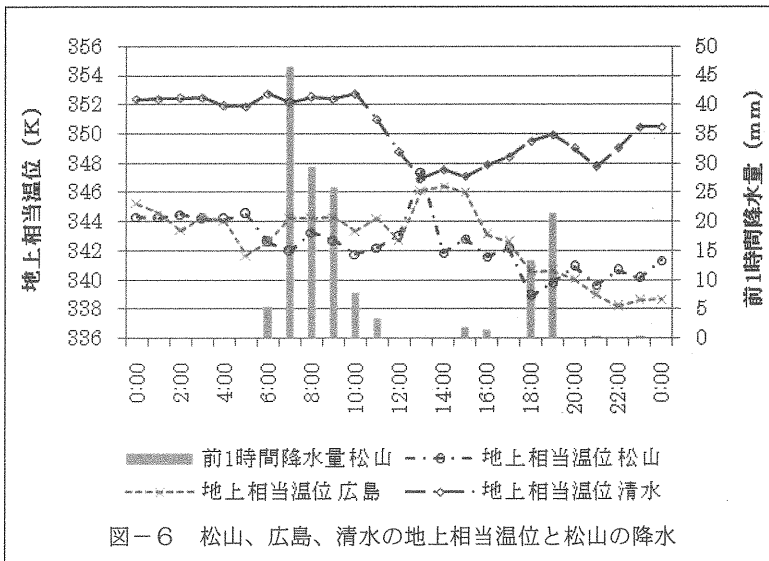
本の気圧分布に着目すると(図-11)、中国地方中部から瀬戸内地方にかけて低圧部が形成されており、四国南西岸と紀伊半島南部は極大域になっている。松山を含む四国西部では気圧の南北傾度が大きくなっており、この時間に松山で観測された南風は等圧線にほぼ直交する方向であったことがわかる。その後、瀬戸内地方の気圧は上昇し、気圧傾度は緩やかになっている。松山、宇和島、広島、呉の4地点の気圧の推移を見ると、松山での降水イベント中の6時過ぎから9時過ぎにかけて松山の値が最も高くなっている。松山での降水イベント開始直後の呉～松山間の地上風向の南北方向の急変域は、風向の変化が発散であることから気圧の極大域と対応しているものと考えられ、松山での北西寄りの風は気圧傾度力によるものであることが推定される。

松山の降水は、南風成分の減少、気温の低下、気圧

の上昇がほぼ一致して出現することによってもたらされたことがわかる。これは、積乱雲(降水セル)の発達過程の下降流強化時に相当すると考えられる。活発な降水イベントは3時間以上にわたって継続しており、寒冷な気塊の進行(南下)速度が遅い中、積乱雲列から成る降水システムの消長がその方向に繰り返されていたことが推察される。降水イベント前の松山が低圧部となっていた時間帯には、上昇気流が生じて降水セルが生成されていたものと考えられる。松山における降水イベントの生成過程は、次のように説明できる。南風が継続する中、周辺地域の気圧の上昇によって低圧部となり、上昇気流が発生し、積乱雲群が発生した。発達した積乱雲は水や氷の粒子の落下により下降気流をもたらし、気温の低下と気圧の上昇を発生させた。気温の低下は前線傾度を拡大し、寒冷前線型の降水を活性化させる作用を果たしたものと考えられる。

(3) 降水系の移動と気温、地上風

降水系の移動について明らかにするため、愛媛県地方における6時から12時までの毎正時における前1時間降水量の分布状況を調べた。降水は高縄半島北部、越智島嶼部から始まっている。7時には松山で46.5mm/hの前1時間降水量を記録している。8時から9時にかけては伊予灘沿岸から東予地方の西条、新居浜にかけての地域が強雨域となっている。強雨域はその後衰弱しながら南下し、12時の最大値は御荘の13.5mm/hとなっている。



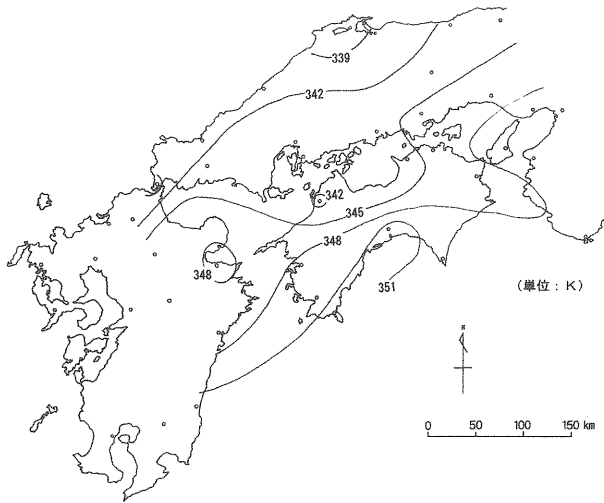


図-7 地上相当温位（7月12日7時）

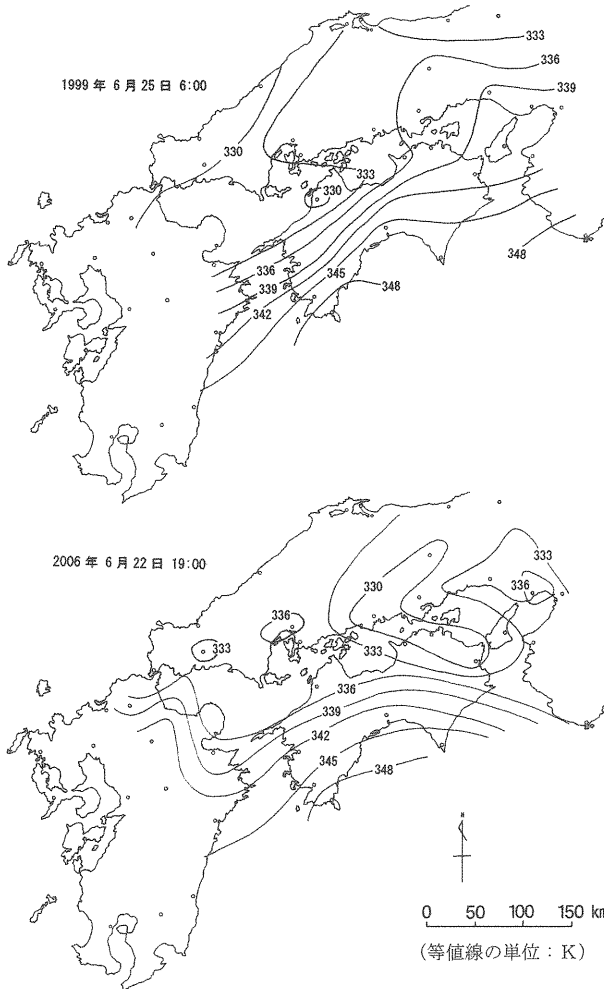
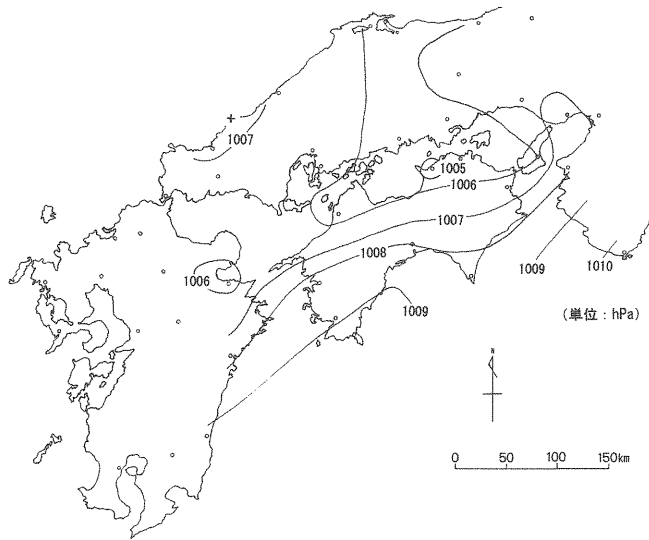
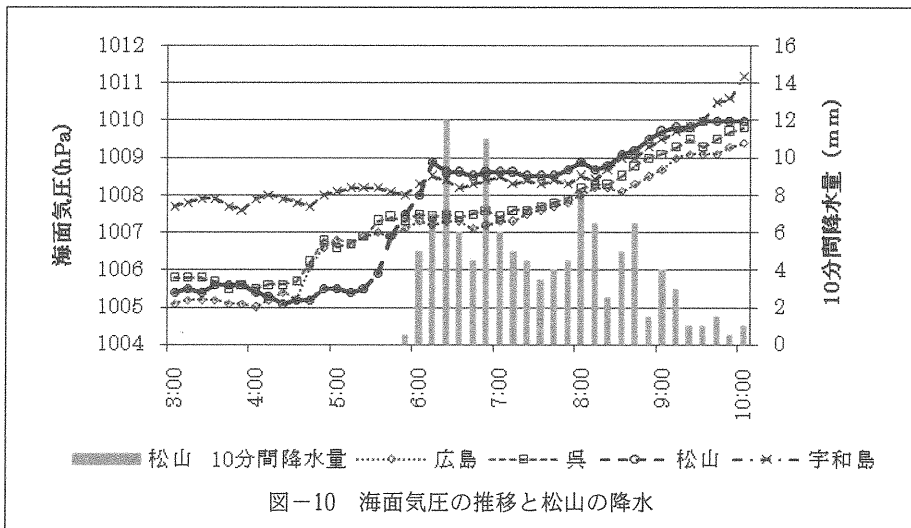
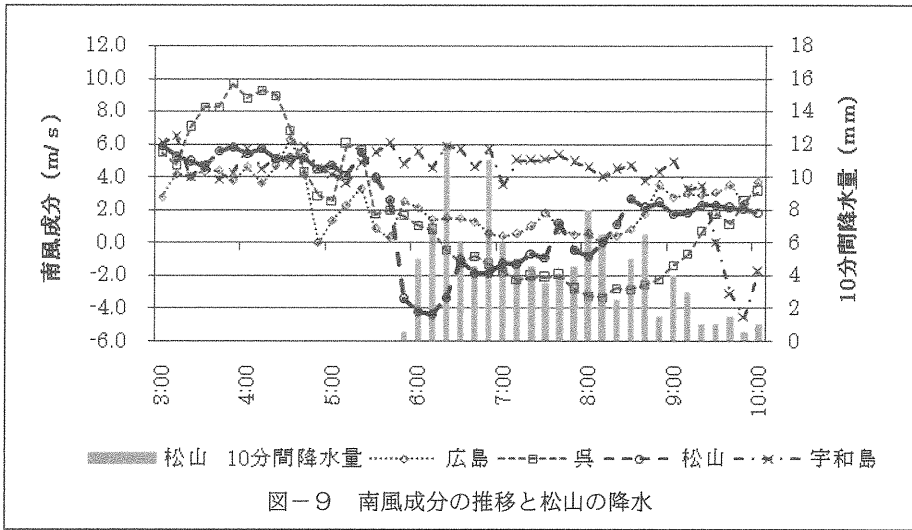
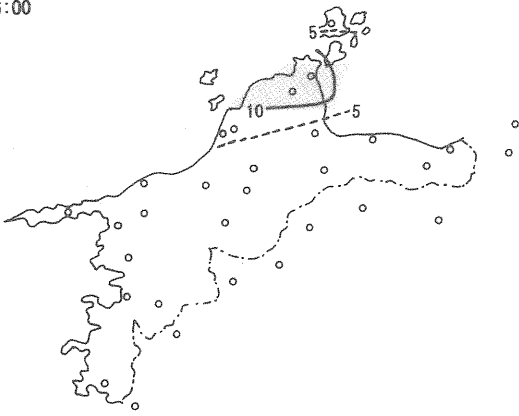


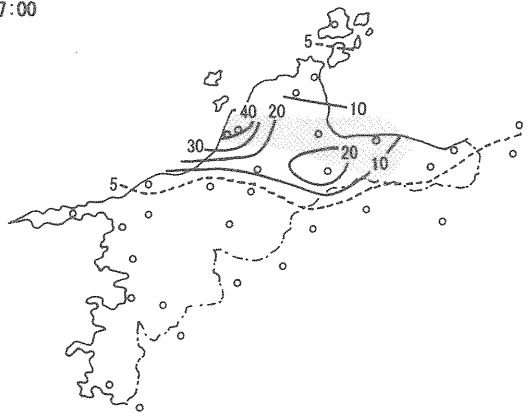
図-8 四国地方に顕著な前線が形成されていた事例の地上相当温位分布



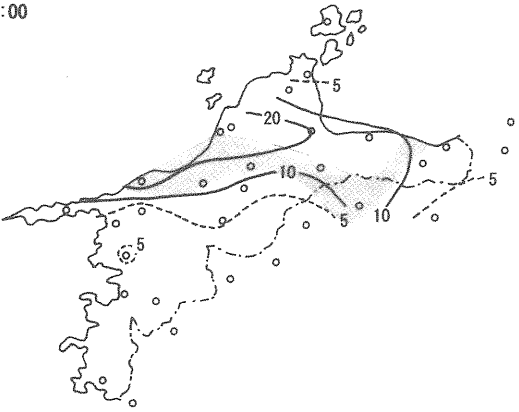
6:00



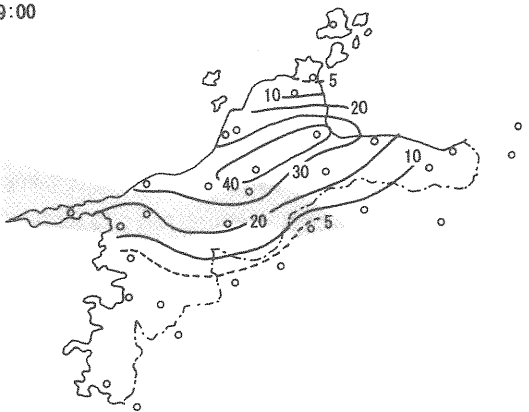
7:00



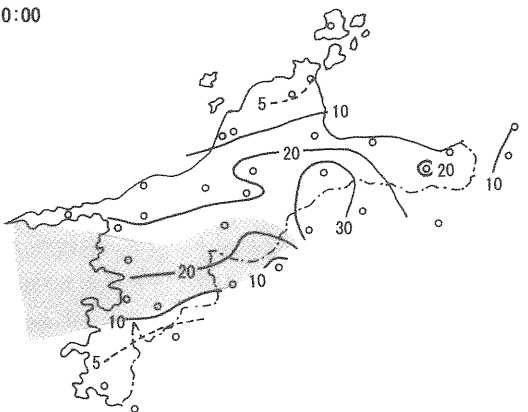
8:00



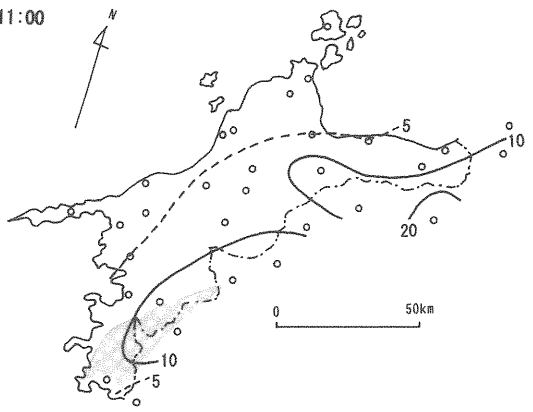
9:00



10:00



11:00



実線および破線：標記時刻における1時間降水量 (mm)

網かけ域：南風成分の最小値の発現と定義した前線の標記時刻までの1時間における移動 (南下) 域

図-12 愛媛県地方における1時間降水量の分布と前線の移動域との対応

降水は、気温の低下と風向の急変によってもたらされている。気温の低下は、まず5時前に大三島で発生しており、その発現域はほぼ北から南へと移動している。伊予灘沿岸から東予地方にかけては7時過ぎまでにはこの現象が発生している。南予地方での発現は先述の地域に比較すると緩やかであり、宇和で9時頃、宇和島と近永では10時前、御荘では10時過ぎに生じている。風向は、南寄りの風が北西ないし北寄りに変化している。東予地方では5時過ぎから6時過ぎにかけて、伊予灘沿岸および中予では6時頃から7時過ぎにかけて発生している。南予における発現状況は気温の変化と同様に前述の地域よりも緩やかであり、発生時刻は気温低下とほぼ同じであると見られる。降水域の形成と前線との対応について考察するため、1時間降水量の分布と南風成分の最小値の発現時と定義した地上の前線の当該1時間における移動域との位置関係を調べた。これを図-12に示す。7時までは降水のピーク域と前線の移動域はほぼ一致しているが、愛媛県域での降水のピークと見られる9時においては強雨軸は前線移動域よりも北側に位置しており、降水域の移動速度は南風成分の減少のピーク域のそれよりも遅かったことがわかる。降水イベントは地上の前線の寒気側で活発であった。移動域の南北方向の幅で表わされるこの前線の移動速度は15~20km/hであり、筆者が解析した2003年6月に南予地方で発生した短時間強雨の例における約40km/hの半分以下である。降水域や前線の移動速度が遅いことは、レーダー合成図の降水域の時系列変化とも一致する。愛媛県および高知県西部において、南風成分の最小値の出現は11時頃には終了していることに併せ、5mm/10分を超える降水は正午前に御荘で観測された後は14時過ぎになって大正（高知県）で観測されているのみであることから、愛媛県地方に大雨をもたらした前線は正午前に愛媛県の南端付近で消滅したものと見られる。

愛媛県内各観測点の3時から12時までの時間帯における南風成分と10分間降水量との相関係数の分布を調べた。その結果を図-13に示す。大三島と新居浜の2地点のみが正相関であり、伊予灘沿岸から南予の宇和海沿岸にかけて $r < -0.6$ の強い負相関の領域が形成されている。宇和海沿岸部も松山と同様に北寄りの風の流入が降水の生成に寄与していることがわかる。

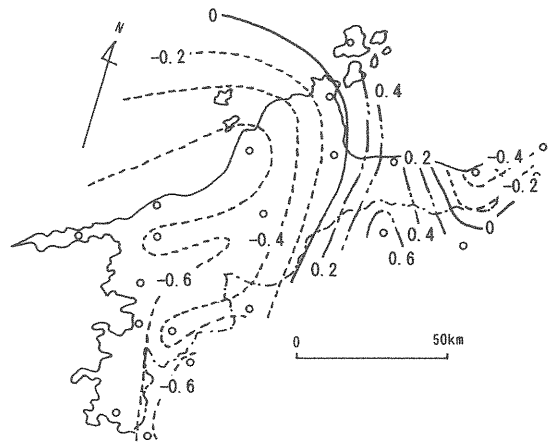


図-13 10分間降水量と南風成分との相関係数の分布

4. 地形と降水量との関係

当事例において卓越した北寄りの風は、四国脊梁山地によって強制上昇の作用を受けるため、それが降水量に影響を及ぼしていることが考えられる。地形が降水に及ぼす影響を把握するために、以下の考察を試みた。卓越風の風下側となる観測点の南方向における脊梁山地を構成する分水嶺の海拔高度を国土地理院発行の1:50000地形図より読み取り、2点間の水平距離Dと高度差Hを求める。 $\tan^{-1}(H/D)$ で観測点と考察の対象となる尾根とが高さ方向になす角 θ が求められる。この値を地形の急峻度と定義し、降水イベント中の積算降水量との関係について調べた。地形のデータを得るにあたり、先行性河川である肱川の流域に代表されるように観測地点から河川流域を分ける分水嶺に至るまでの間にその分水嶺よりも標高の高い地点がある場合は、直近の海拔高度の極大地点における値を採った。降水イベント中にデータの欠測がある獅子越峠と、観測地点の南側が海面上となる大三島、瀬戸、御荘の各観測点は考察の対象から外した。考察対象観測地点における地形データを表-1に示す。地形の急峻度は松山南吉田（松山空港）で最も小さく、松山地方気象台でも 2° 強にとどまっており、両地点共に直近の分水嶺より10km以上離れている。これより、松山における南方向の地形の急峻度は県内の他地域と比較すると小さく、降水量は地形による増幅を受けていないと考えられる。地形の急峻度と降水イベント中である3時から12時までの9時間の積算降水量との関係を図-14に示す。積算降水量は、松山、松山南吉田、上林、成就社の4地点で100mmを上回っている。地形の急峻度と積算

表-1 考察の対象とした観測点とそこから南方向の分水嶺（標高最大地点）とが高さ方向になす角 θ の算出

観測点	南方向の分水嶺（標高最大地点）までの水平距離D (km)	観測点の標高(m) {h1}	考察対象となる分水嶺の標高(m) {h2}	2点間の高度差H(m) {h2-h1}	2点が高さ方向になす角 θ (°) { $\tan^{-1}(H/D)$ }
四国中央	12.85	75	1360	1285	5.711
富郷	9.00	310	1400	1090	6.906
新居浜	13.90	6	1840	1834	7.516
西条	17.50	4	1600	1596	5.211
成就社	2.95	1280	1600	320	6.191
今治	19.10	2	920	918	2.752
玉川	12.45	67	1200	1133	5.200
松山	16.70	32	700	668	2.291
松山南吉田	14.50	4	490	486	1.920
上林	2.05	460	1220	760	20.341
久万	18.45	511	1320	809	2.511
中山	3.50	163	600	437	7.117
長浜	8.15	4	700	696	4.881
大洲	7.50	20	520	500	3.814
八幡浜	2.95	8	340	332	6.421
宇和	3.35	200	420	220	3.757
宇和島	8.20	2	310	308	2.151
近永	11.50	129	800	671	3.339

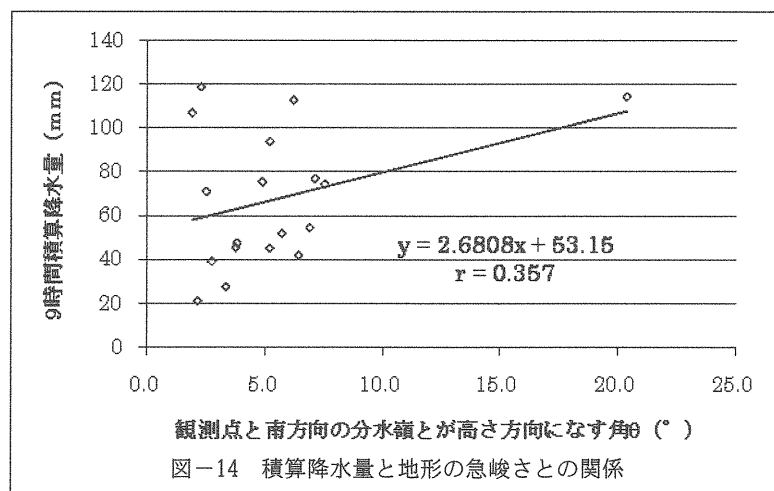
※ 観測点から分水嶺（標高最大地点）までの距離および標高は国土地理院発行1:50000地形図より読み取った。

降水量との間には正の相関関係が認められるが、5%水準のt検定の結果は有意でない。また、急峻度が特に大きい上林で松山と同程度の降水量が記録されていることが全体の相関関係を顕在化させている。松山の2地点を地形による降水の増幅がない多降水の特異点としてデータ群から除外して、改めて相関係数を求めると $r=0.633$ となり、松山以外の各地点においては地形の急峻度と降水量との間に5%水準で有意な正の相関関係がある。以上に基づき、地形による降水量の増

幅が認められると考えられる地域は、石鎚山周辺および重信川流域と仁淀川流域とを分ける皿ヶ嶺(1270.5m)を主峰とする分水界の北麓の範囲であると推定される。

5. 他の大雨事例との比較

近年15年間の梅雨期における松山での10の大雨発生事例の気象特性について概観すると、単位時間当たりの降水量は当該時間の西風成分が強まるとともに、また、同じく地上の相当温位が低下する割合が大きいほ



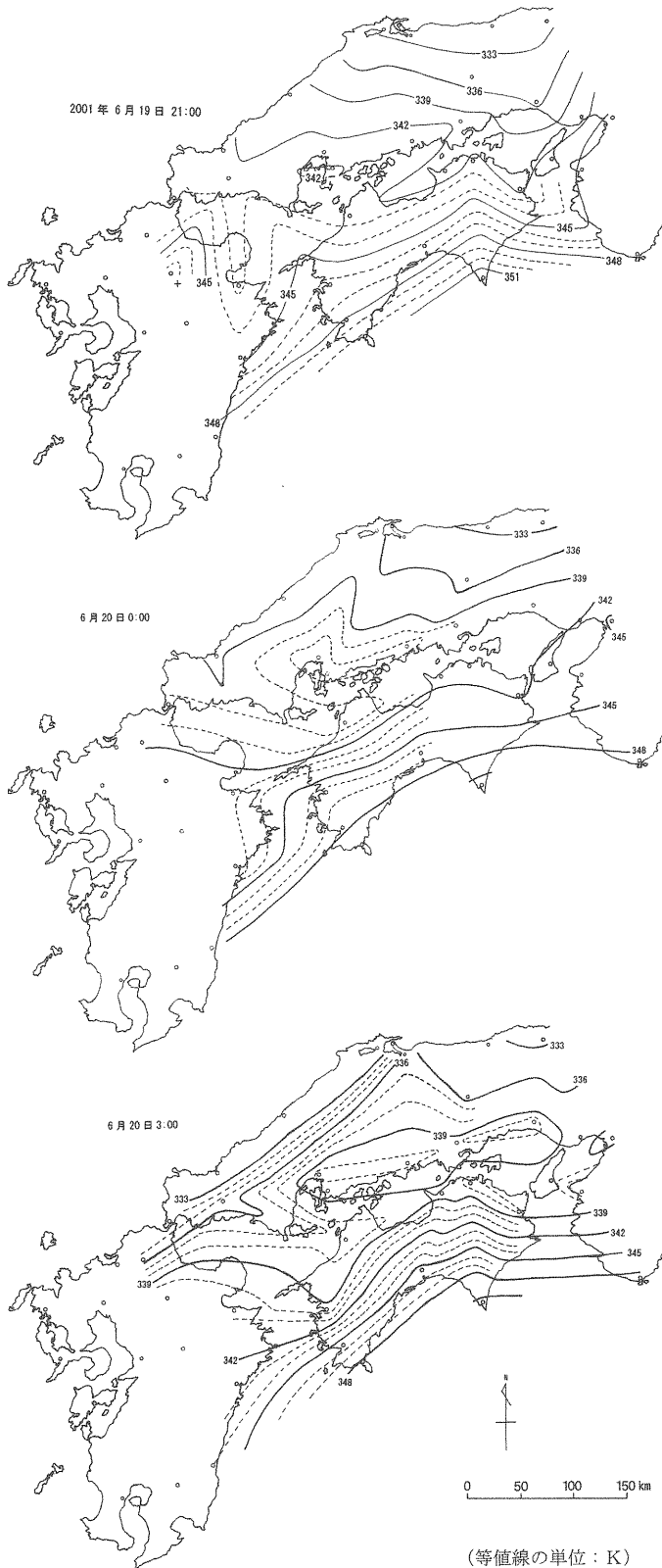


図-15 2001年6月19日～20日にかけての地上相当温位の時系列変化

ど、すなわち低温・低湿な気塊の流入が強くなるにつれて増す傾向が認められる。当事例は、低温気塊の流入が降水の生成に寄与した典型的な例として位置づけられる。他の多くの事例とは異なる特徴としては、降水量と南風成分との間に認められる負の相関関係が西風成分との間における正の相関関係よりも強いことが挙げられる。

松山において記録的な大雨がもたらされた類似事例として、2001年6月19日～20日のものを採り挙げ、降水の発生機構について当事例との比較を試みる。6月19日6時から20日6時までの24時間降水量は262.5mmに達し、観測史上最大の値となっている。大雨のピークは19日の21時から20日の3時にかけての時間帯である。気温は強い降水が持続する前の19日の13時から15時にかけての低下量が大きく、その後は日界前と2時頃に1℃/h程度の割合で低下しており、大雨のピーク時における変動は比較的小さい。このため、降水をもたらす気塊の性質を判断する指標には地上相当温位を用いる。四国とその周辺における地上相当温位の分布の時系列変化を図-15に示す。この事例では、降水の原因がほぼ日界前を境にして高相当温位気塊の流入から低相当温位気塊の流入へと変化している。伊予灘・周防灘方面への四国南西部からの暖湿気塊の流入は23時まで続けている。21時の鹿児島～米子間の相当温位の鉛直分布に着目すると、850hPa面において342Kの暖湿気塊の北進が認められる(図-16)。20日0時には松山周辺には山口県方面から340K以下の気塊が流入する一方、豊後水道には345K以上の暖湿気塊が滞留し、南予地方北部で前線傾度が大きくなっている。周防灘・伊予灘から松山周辺にかけての低相当温位気塊の流入はその後さらに顕著となり、3時には339Kの気塊が宇和島付近にまで南下している。松山における地上相当温位の時系列変化を見ると、19日の21時から日界にかけては344K前後で推移しているが、その後低下し、20日3時にはおよそ338Kとなっている。同じく気圧のそれに着目すると、最大の降雨強度と西風成分を記録した20日2時に最低値を記録しており、気圧の低下によって降水が増強された可能性が示唆される。2時から3時にかけて、南予地方の北部から中予地方の山間部にわたる広い範囲で30mmを超える雨量が観測されている。この短時間強雨は南風成分の減少と西風成分の増加で表わされる風向の急変を伴っており、標記の範囲でほぼ同時に発生している。松山における地上相当温位と

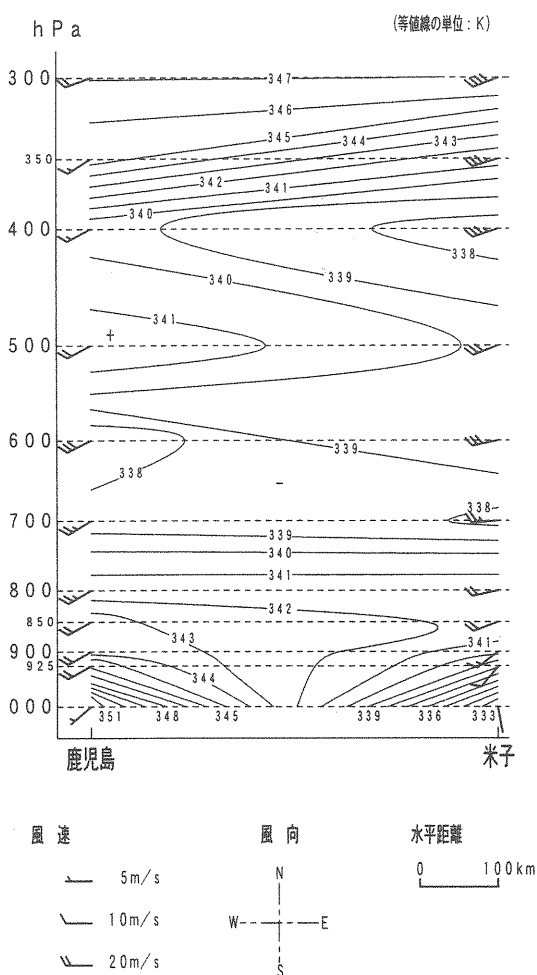


図-16 2001年6月19日21時の相当温位と風の鉛直断面

降水量の推移を図-17に示す。1時間降水量の最大値は低相当温位気塊の流入時である20日の2時に観測されているが、暖湿気塊が流入していた19日の21時～23時にかけての時間帯も1時間降水量は10mmを超えており、22時までの1時間には34.5mmを記録している。以上のように、2010年7月の事例では寒気の流入のみによって大雨が生じているが、2001年6月の事例では暖湿気塊の流入と低相当温位気塊の流入の双方によって大雨がもたらされていることが特徴として挙げられる。

6. まとめ

松山に大雨をもたらした降水系は、気温の低下と南から北西寄りへの地上風向の急変を伴っており、寒冷前線の特徴を示している。松山での活発な降水イベントは3時間以上にわたって継続しており、積乱雲列

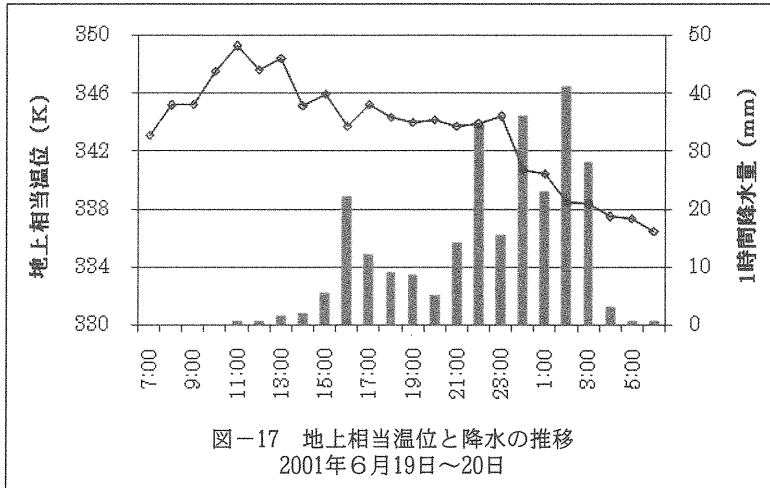


図-17 地上相当温位と降水の推移
2001年6月19日～20日

から成る降水システムの消長が寒冷な気塊の進行方向に繰り返されていたことが推察される。

この降水系は北から南へ移動し、伊予灘沿岸から南予の宇和海沿岸にかけての地域では北寄りの風の流入が降水の生成に寄与している。

松山における降水は、地形による増幅作用は受けていないものと考えられる。卓越風の風下にあたる観測点の南方向の地形の急峻度と降水量との関係より、地形による降水量の増幅が認められると考えられる地域は、石鎚山周辺および皿ヶ嶺連山の北麓部であると推定される。

本稿は、日本気象学会関西支部2010年度第2回例会(2010年12月 松山市)にて発表した内容を加筆・修正したものである。研究の遂行にあたり、本学名誉教授の深石一夫先生、京都産業大学名誉教授の藤井健先生から懇切にご指導いただきました。また、東京大学名誉教授の木村龍治先生、日本気象予報士会の東修造先生には有意義なご助言をいただきました。心よりお礼申し上げます。

この小論を平成23年3月に退官される藤目節夫先生に捧げます。

参考文献

大森孝治(1994)：愛媛県における大雨の降雨パターン。気象庁研究時報46巻別冊 平成6年度管区気象研究会誌選集 162～163

加藤輝之 (2009)：梅雨前線帯と集中豪雨。日本気象学会関西支部第31回夏季大学テキスト 15～26

北畠尚子 (2008)：下層のdryline的前線と上空の前線の結合としての中国大陸上の梅雨前線。天気 vol47 No 8 13～23

一 広志(2002)：2001年6月19日から6月20日にかけての愛媛県地方の大雨について ～松山における大雨の成因に関する考察を中心に～。愛媛の地理 第16号 64～78

一 広志(2004)：2003年6月28日に発生した愛媛県南予地方の短時間強雨について。愛媛の地理第17号 64～74

一 広志(2006)：平成16年台風第21号の接近・通過時に愛媛県東予地方で発生した大雨について。愛媛の地理 第18号 39～52

深石一夫 (1992)：愛媛の気候。愛媛県文化振興財団 158～160 224～236

松村哲、恵美須彦一、別所康太郎 (1991)：寒冷前線前方の暖域内で発生する局地豪雨について。気象庁研究時報43巻別冊 平成3年度管区気象研究会誌選集 164～165