

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

はじめ

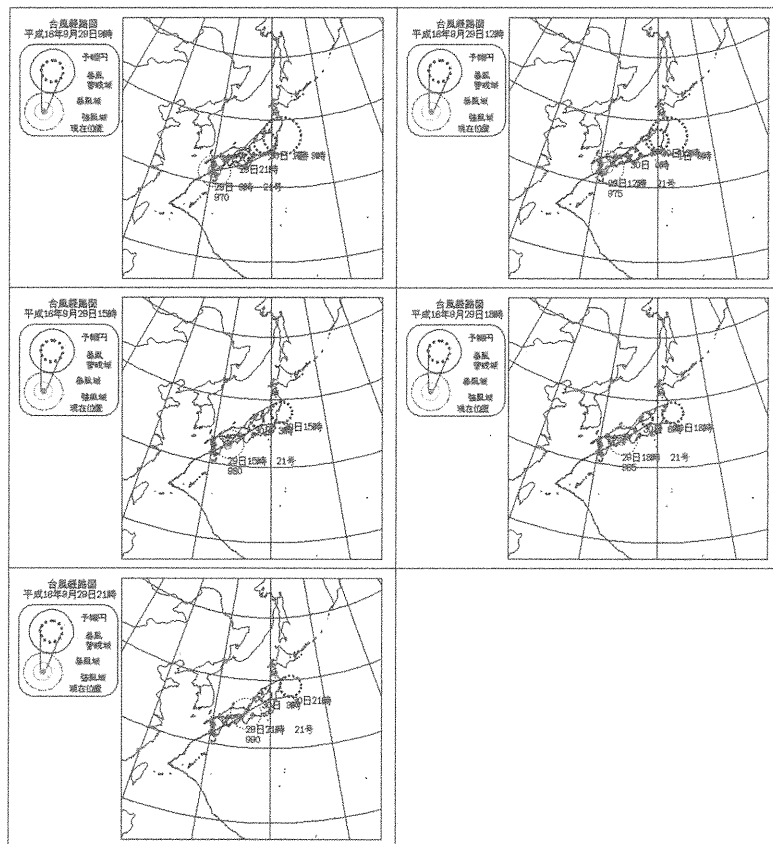
— 広 志 (日本気象予報士会四国支部)

I. はじめに

II. 総観場の概況

2004年、愛媛県地方は台風の相次ぐ接近・上陸によって各地で風水害や土砂災害が多発し、人的被害も発生した。これらのうち、9月29日の午後に四国南岸を東北東に進んだ台風第21号（以下T0421と称する）による東予地方の大雨の事例を採り挙げ、降水の特性と成因を擾乱の構造の視点から解明することを試みる。

T0421の経路を図-1に示す。T0421は26日に沖縄本島と宮古島との間を通過し、27日に東シナ海でほとんど停滞した後、進路を北東に転向し、29日8時30分頃暴風域を伴って鹿児島県串木野市付近に上陸した。その後九州南部を横断して15時頃に高知県宿毛市付近に再上陸し、四国の南岸部を東北東に進んだ。20時30分頃大阪市付近に達した後、北陸、東北地方を経て30日正午頃に三陸沖で温帯低気圧になった。



防災・危機管理情報（高松県） 台風の情報 http://bousai.pref.shimane.jp/yoho/_taifu.html より引用

図-1 T0421の経路と勢力・規模の推移

台風の接近・通過時の愛媛県とその周辺の気象官署における海面気圧の推移を図-2に示す。宇和島では台風が宿毛市付近に上陸した15時に、松山では16時に最低値を記録している。宇和島と宿毛においては台風が接近していた11時から15時にかけての気圧の降下が他観測点に比べて急激であることに注目される。

図-3は29日9時と同15時における鹿児島～米子間の相当温位と風の鉛直断面である。9時では大気の成層はほぼ中立であり、台風の中心から北へ離れるにつれて相当温位が低くなっている。各等圧面における風向は、鹿児島では下層が南南西で上層が西南西であり、米子では下層が南東寄りであり700hPa面以上では南南西となっており、両観測点ともに高度を増すに従い緩やかに順転している。15時では鹿児島の700hPa面に北西風によって、また米子の900～925hPa面に北寄りの風によって327K以下の低相当温位気塊が流入し、大気下層に不安定な領域が形成されている。風向の鉛直構造については、鹿児島では各等圧面ともに北西から西寄りであるが、米子では850hPa面以下は北寄り、800hPa面は東寄り、700hPa面以上では南寄り～南西寄りとなっており、850hPa面から700hPa面の間に高度とともに順転するシアが形成されている。

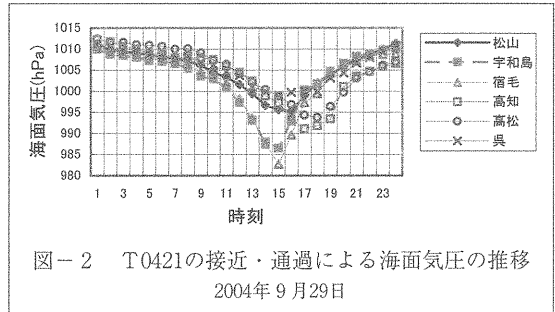


図-2 T0421の接近・通過による海面気圧の推移
2004年9月29日

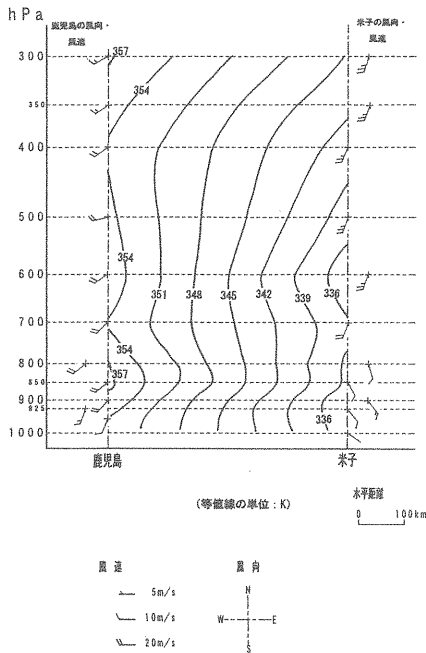
Ⅲ. 東予地方における大雨の特性と成因

9月29日における愛媛県地方の降水分布を図-4に示す。東予地方の24時間降水量は大三島、今治、玉川を除く各観測点で200mmを超えており、四国中央市の富郷では378mm、石鎚山成就社で345mm、新居浜で299mmに達している。

東予地方における降水は、以下に示す3回の極大が認められる。

- ① 7時から9時にかけての新居浜、富郷、三島におけるピーク
- ② 正午頃の成就社、丹原（石鎚山麓）におけるピーク

2004年9月29日 09:00 (JST)



2004年9月29日 15:00 (JST)

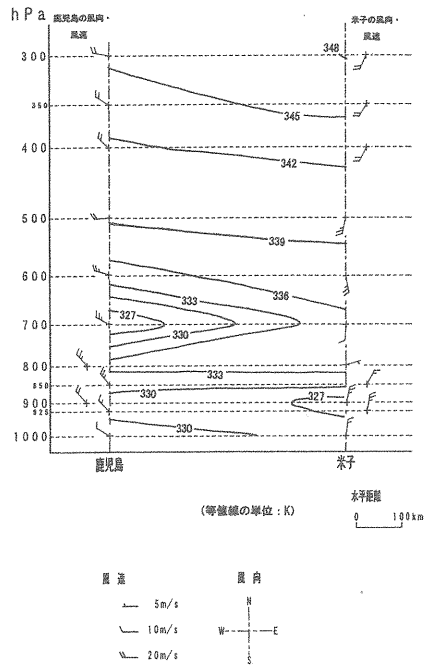


図-3 鹿児島～米子間の相当温位と風の鉛直断面

- ③ 15時頃から19時前にかけての東予地方のほぼ全域におけるピーク

以下、上記の各事例について降水の特性と成因についての考察を進める。

①は台風が鹿児島県に上陸する前後の時間帯である。8時から9時にかけての1時間降水量の分布を図-5に示す。強雨域は道前平野より東に形成されており、法皇山地と四国脊梁山地との谷間に位置する富郷ではこの1時間に58mmの雨量を観測している。台風的位置による四国地方の気圧場の風は南～南東方向となる。この時間帯における高知の南風成分は正の値を示しているが、瀬戸内海北岸の福山では北東～東北東の風が持続することによって負となっている(図-6)。8時における四国周辺の地上相当温位分布を図-7に示す。四国地方南西部の太平洋沿岸における値は354Kを超えているが、中国地方から336K以下の低相当温位気塊が先述した負の南風成分によって香川県西部から燧灘北部に流入している。このように暖湿さの程度が異なる気塊が衝突することによって地上相当温位傾度が大き

くなっている領域に強雨域が形成されていることがわかる。

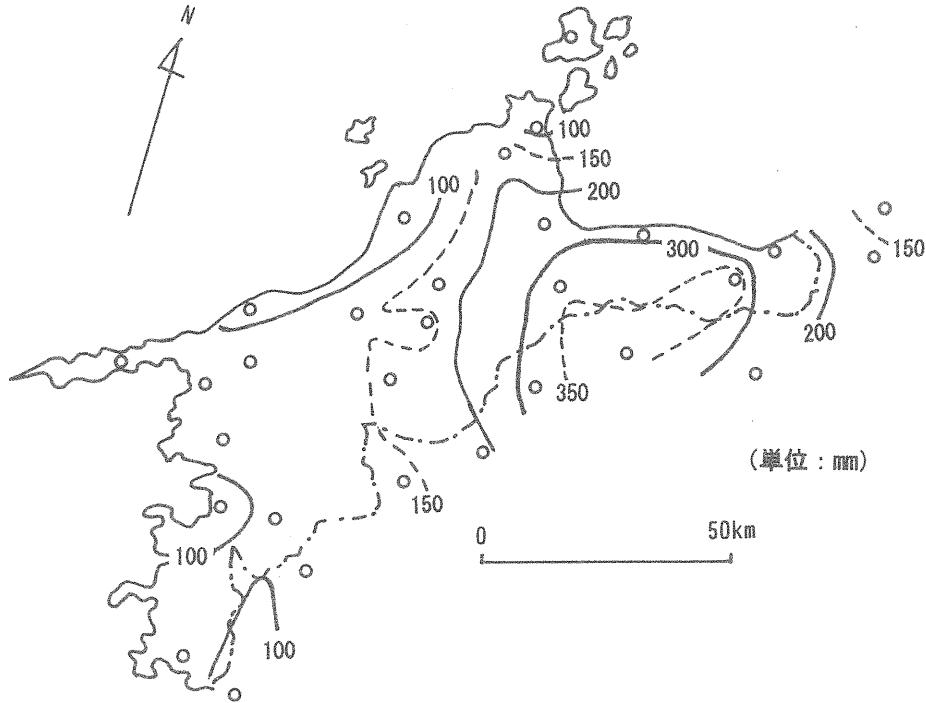
②における台風的位置は宮崎県北部である。11時から12時にかけての降水分布を図-8に示す。この時間帯における降雨強度は成就社で50mm、丹原で33mmであり、石鎚山をほぼ取り囲む形で強雨域が形成されている。この地域での12時における地上相当温位分布(図-9)では短時間強雨をもたらすような急変帯は認められない。石鎚山周辺のAMeDAS観測点における地上風に着目し、東西方向が松山・新居浜($d_x=46.6$ km)、南北方向が今治・禰原($d_y=76.1$ km)の4観測点で石鎚山を取り囲む領域を設定し、この領域における地上風の収束・発散の推移について調べた。収束・発散は次式にて算出した。

$$\text{収束・発散} = \frac{U_1 - U_2}{d_x} + \frac{V_1 - V_2}{d_y} \quad (\text{S}^{-1})$$

ここに、

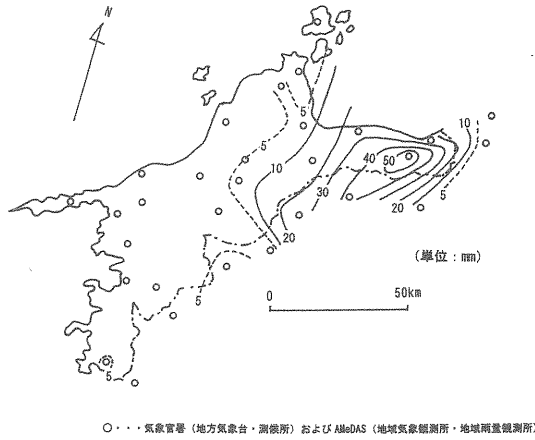
U1：東側の観測点における風の西風成分

U2：西側の観測点における風の西風成分

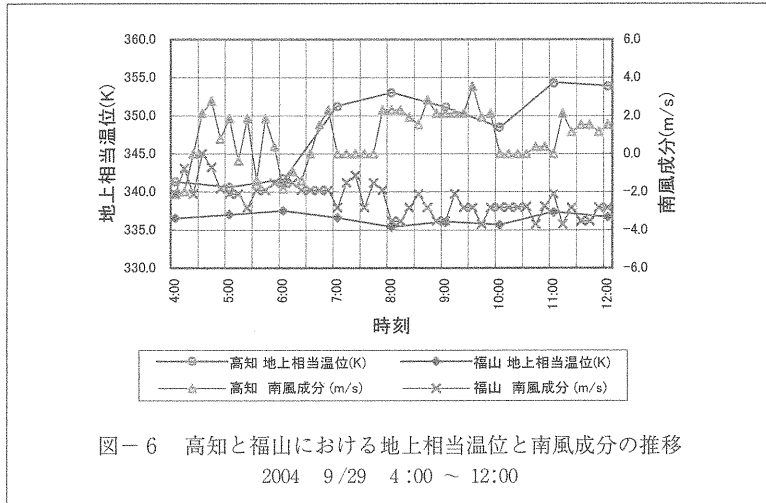


○・・・気象官署(地方気象台・測候所)およびAMeDAS(地域気象観測所・地域雨量観測所)

図-4 気象官署およびAMeDASによる愛媛県地方の降水量
9月29日 0:00～24:00



図一五 気象官署および AMeDAS による愛媛県地方の降水量
9月29日 8:00 ~ 9:00



図一六 高知と福山における地上相当温度と南風成分の推移
2004 9/29 4:00 ~ 12:00

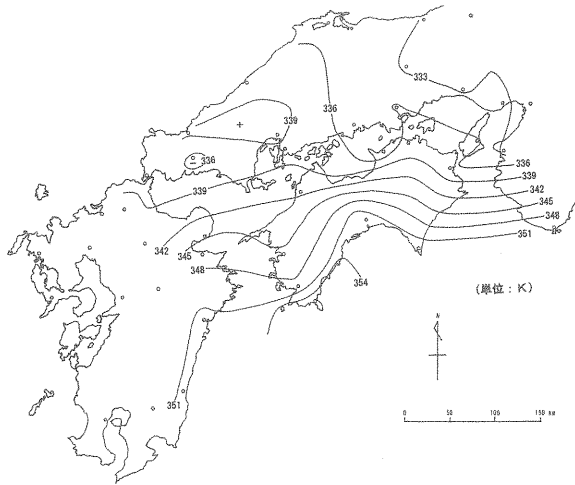
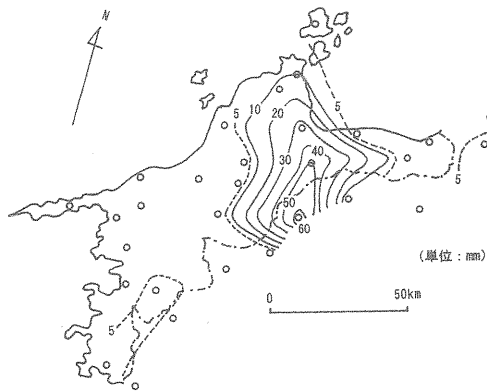


図-7 9月29日午前8時における四国周辺の地上相当温位分布



○・・・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）

図-8 気象官署および AMeDAS による愛媛県地方の降水量
9月29日 11:00 ~ 12:00

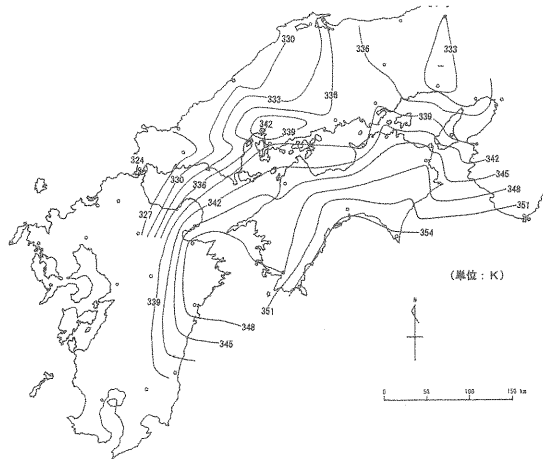


図-9 9月29日正午における四国周辺の地上相当温位分布

- d x : 上記2点間の東西距離
- V 1 : 北側の観測点における風の南風成分
- V 2 : 南側の観測点における風の南風成分
- d y : 上記2点間の南北距離

この式によって得られた値が正の場合は発散、負の場合は収束となる。その結果を図-10に示す。東西方向・南北方向ともに6時頃より12時過ぎまで収束が持続しており、強雨が本格化する11時過ぎには東西方向・南北方向の収束量の合計値が極大に達している。この領域における東西方向・南北方向双方の収束の持続は、石鎚山系に向かって地上風が吹き走り続けたことを意味しており、降水の成因は地上風が石鎚山系の地形による強制上昇の作用を受ける方向に収束を続けたことによるものと考えられる。

9時から12時にかけて、下関（山口県）における地上相当温位は南風成分の減少とともに急激に低下しており（図-11）、台風中心の北側から北西側にかけて低相当温位気塊が流入したことを示している。これによって、中国地方西部から周防灘を経て九州にかけて地上相当温位の急変帯が形成されている。

③は台風が宿毛市付近に上陸し、四国の南岸部を東北東に進んで紀伊水道に達するまでの間に生じており、

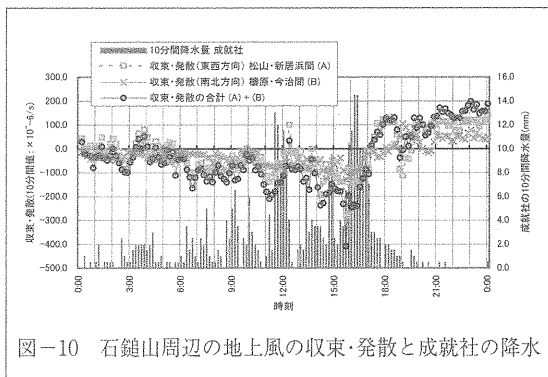


図-10 石鎚山周辺の地上風の収束・発散と成就社の降水

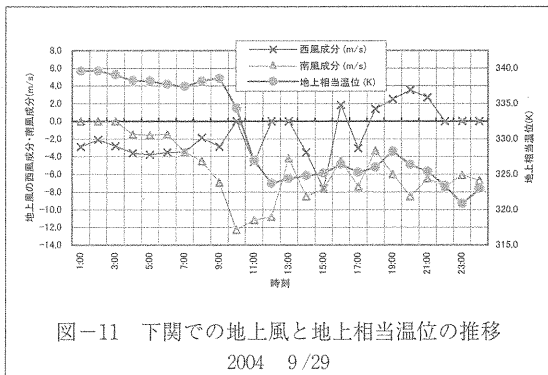


図-11 下関での地上風と地上相当温位の推移
2004 9/29

三者の中で最も多い降水量を記録している。地上風と降水量の推移について、新居浜の事例を図-12に、今治の事例を図-13にそれぞれ挙げる。新居浜では17:40~17:50および17:50~18:00の各10分間にそれぞれ20.5mm、17:30~18:30の1時間に83.5mmの降水量を記録している。

この時間帯の降水の特徴として、降雨強度の最大時付近に南風成分の減少と西風成分の増加で表される地上風の急変が認められ、2~3℃/30min程度の割合で気温が低下していることが挙げられる。東予地方の各観測点における気温の推移は図-14の通りである。

15時から18時にかけての1時間降水量分布を図-15に、また同時間帯における毎正時の四国とその周辺の

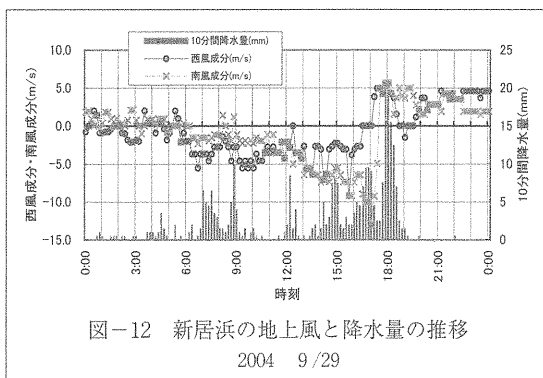


図-12 新居浜の地上風と降水量の推移
2004 9/29

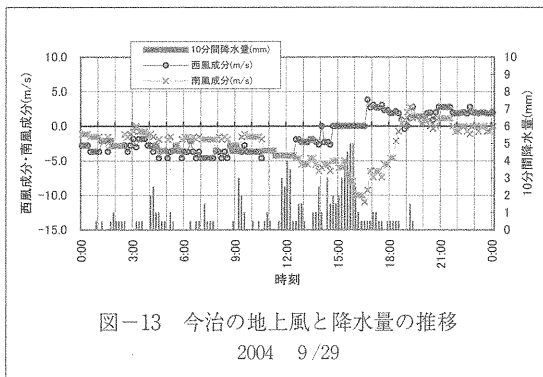


図-13 今治の地上風と降水量の推移
2004 9/29

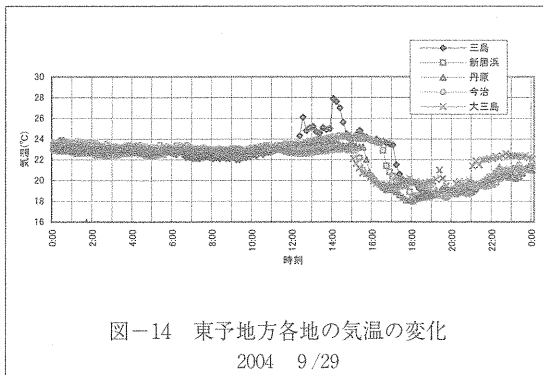
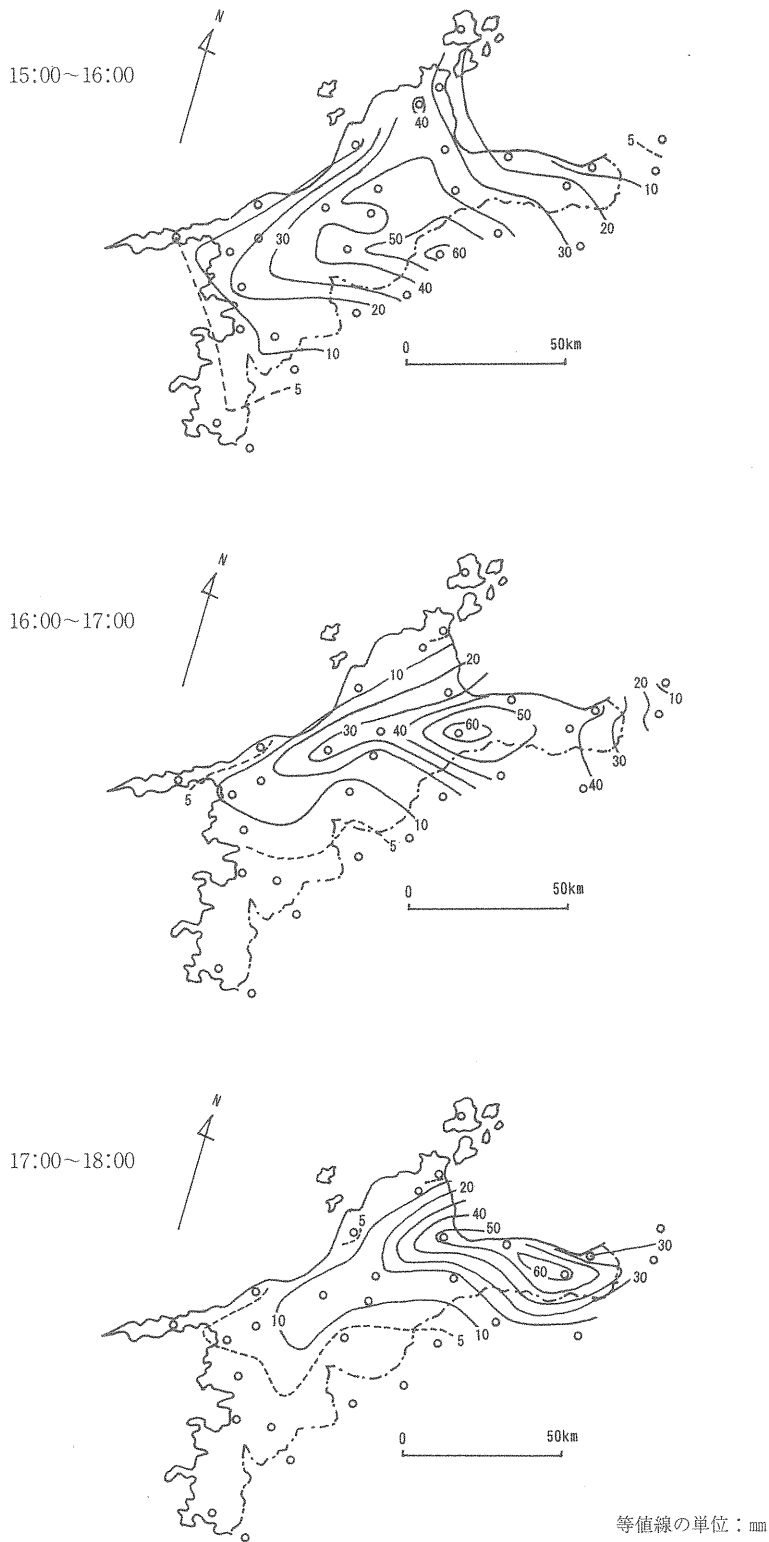


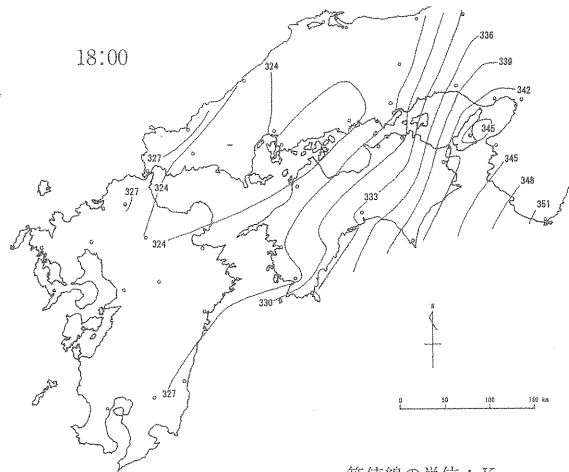
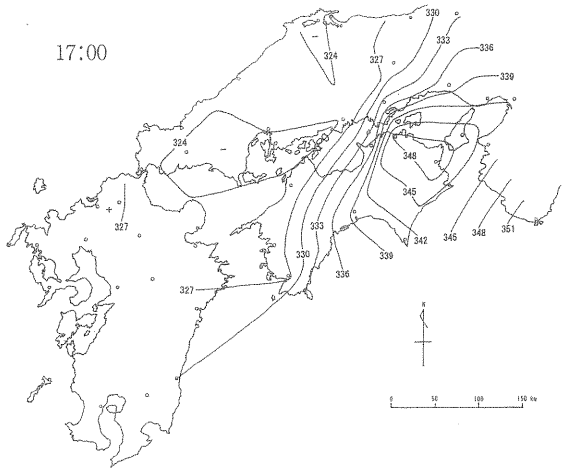
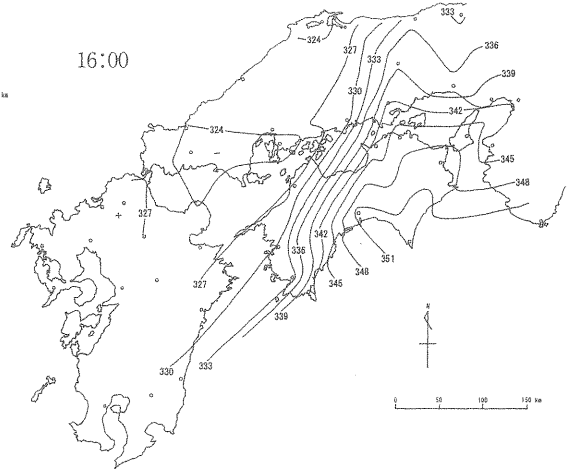
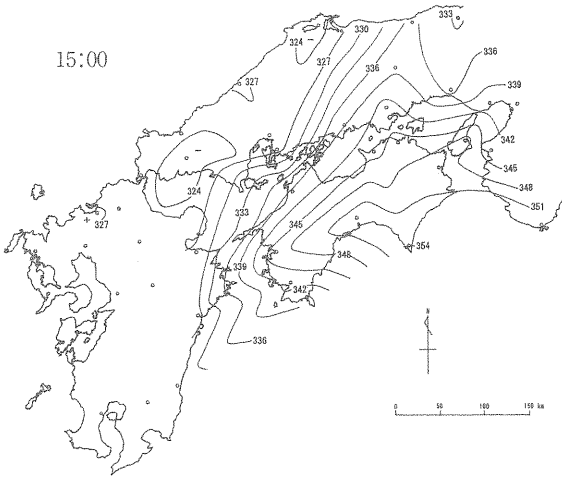
図-14 東予地方各地の気温の変化
2004 9/29

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



○・・・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）

図-15 時間降水量の推移 9月29日 15:00 ~ 18:00



等値線の単位：K

図-16 四国周辺の地上相当温位の推移 9月29日 15:00 ~ 18:00

地上相当温位分布を図-16にそれぞれ示す。地上相当温位分布とその時間的变化に着目すると、極大域は台風中心の東側にあり、急傾度の領域が中心を経てほぼ北東から南西の方向に延び、強雨域を伴ない台風とともに東進している。この地上相当温位の急変帯は、正午において中国地方西部から九州にかけて形成されていたものが移動してきたものである。地上風の急変は、この領域の通過後、等相当温位線にはほぼ直交する方向に生じており、台風中心の北西側にある相当温位の低い気塊が流入したことを示している。

以上より、解析された相当温位の急変帯は寒冷前線の性質を持っており、降水のピークは低相当温位気塊の流入によって発生したことがわかる。

AMeDAS 観測地点それぞれの降水ピーク時における10分間降水量、1時間降水量の値を比較すると、山間部や東部における値は北西部や島嶼部の2～3倍に及んでおり、相当温位の急変帯の通過に伴う北西寄りの風の風下側に位置する四国脊梁山地による強制上昇作用に起因する増幅が示唆される。地形による降水量の増幅効果を定量的に把握するために、以下の考察を行なった。

まず、東予地方の各 AMeDAS 観測点における14時から19時までの積算降水量を目的変数とし、各観測点から法皇山地・赤石山系を含む四国脊梁山地の尾根までの南東方向の水平距離を説明変数として両者の相関関係を調べた(表-1)。その結果は図-17の通りで、二者の間には強い負の相関関係が認められ、脊梁山地の尾根からの距離による標記5時間の積算降水量の通減率はおよそ29mm/10kmである。

次に、観測点を取り巻く地形の急峻さの程度を定量化して表現し、それと降水との関連について検討した。各観測点から南東方向の脊梁山地の尾根までの水平距離Dと、この2点間の標高差Hより、 $\tan^{-1}(H/D)$ 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(表-2)。 θ は脊梁山地の尾根を基準とした各観測点の風下方向における地形変化の急峻度を表すものと考えられる。この値と標記5時間の積算降水量との関係は図-18の通りで両者の間には正の相関が認められ、地形の変化が急峻な観測点で降水量が多くなる傾向があるが、前述の脊梁山地の尾根までの南東方向の水平距離を説明変数として用いた場合よりも相関関係は弱く、5%水準のt検定の結果も有意でない。これは、主として成就社の観測点とそこから

の南東方向の尾根との標高差が小さいことに起因している。

以上より、この降水現象は四国脊梁山地の尾根を中心とするメソβスケール(10³kmの規模の空間的広がり)での地形の影響を受けていると考えられる。

IV. 類似事例との比較考察

経路および降水分布が類似している事例として、平成11年台風第16号(T9916)と平成16年台風第23号(T0423)が挙げられる。以下、各々の降水の特性と成因について考察を進める。

(1) T9916の事例

T9916は平成11年9月14日の15時頃、九州南方から北上してきた熱帯低気圧が宮崎県都井岬付近で発達して台風となったものである。その後東北東に進み、15日2時頃に宇和島市付近に上陸し、四国脊梁山地付近を東進して同日の午前中に近畿地方に達した。9月14日正午～同15日正午までの24時間降水量は成就社で313mmに及んでいる。降水のピークは15日の3時～8時頃で、成就社における5時から6時までの1時間降水量は127mmを記録している。また、6時から7時までに新居浜で63mmの雨量が観測されている。

新居浜における地上風と降水量の推移を図-19に示す。T0421の事例と同じく、降水のピーク時に南風成分の減少と西風成分の増加で表される地上風の急変と気温の低下を伴っている(図-20)。

15日6時における地上相当温位分布に着目すると、松山が極小域となっており、台風中心の東側にあたる淡路島の洲本で最大値を示している(図-21)。東予地方における地上相当温位傾度はT0421の事例と比較すると緩やかであるが、降水のピークとはほぼ一致している地上風の急変は低相当温位気塊が等相当温位線を横切る方向に発生しており、短時間強雨発生メカニズムはT0421の③のケースと同じであると言える。

地形の影響による降水量の増幅効果について、前章と同じ手法および説明変数としての地形因子を用いて検討した。目的変数である降水量は強雨のピーク時を中心とした15日の3時～8時までの5時間積算値を用いた(表-3)。結果は図-22、図-23の通りで、T0421の事例と同様の傾向を示している。

表一 東予地方の各A M e D A S観測点における脊梁山地の尾根までの南東方向の距離と積算降水量

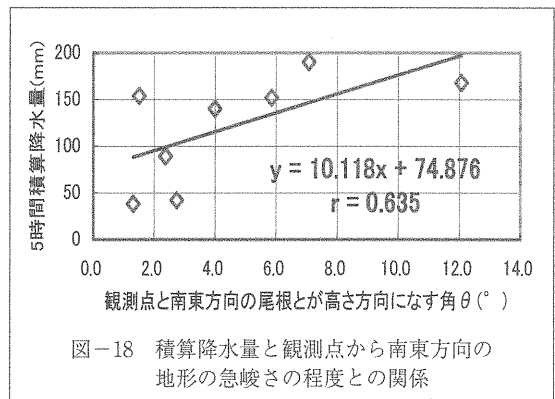
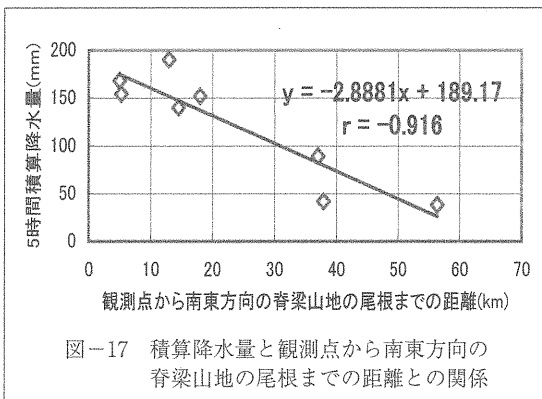
観測点	脊梁山地の尾根までの南東方向の水平距離 (km)	14:00 ~ 19:00までの5時間積算降水量 (mm)
三島	14.5	140
富郷	5.0	168
新居浜	13.0	190
丹原	18.0	152
成就社	5.3	154
今治	37.9	42
玉川	37.0	89
大三島	56.4	38

※ 観測点から尾根までの距離は国土地理院発行1:50000地形図より読み取った。

表二 観測点とそこから南東方向の脊梁山地の尾根とが高さ方向になす角θの算出

観測点	脊梁山地の尾根までの南東方向の水平距離 D (km)	観測点の標高 (m) {h1}	考察対象となる脊梁山地の尾根の標高 (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)}
三島	14.5	27	1040	1013	3.996
富郷	5.0	310	1380	1070	12.079
新居浜	13.0	6	1620	1614	7.077
丹原	18.0	13	1860	1847	5.859
成就社	5.3	1280	1420	140	1.513
今治	37.9	2	1820	1818	2.746
玉川	37.0	67	1600	1533	2.373
大三島	56.4	2	1300	1298	1.318

※ 観測点から尾根までの距離および尾根の標高は国土地理院発行1:50000地形図より読み取った。



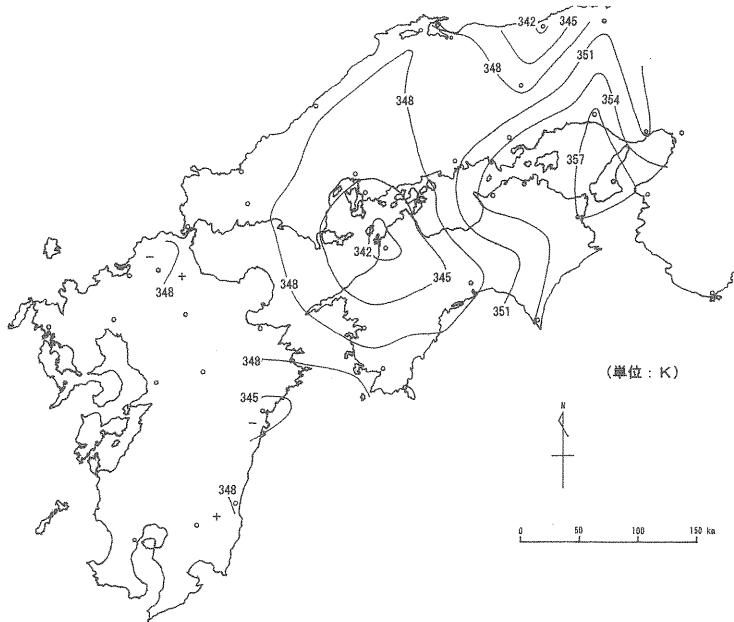
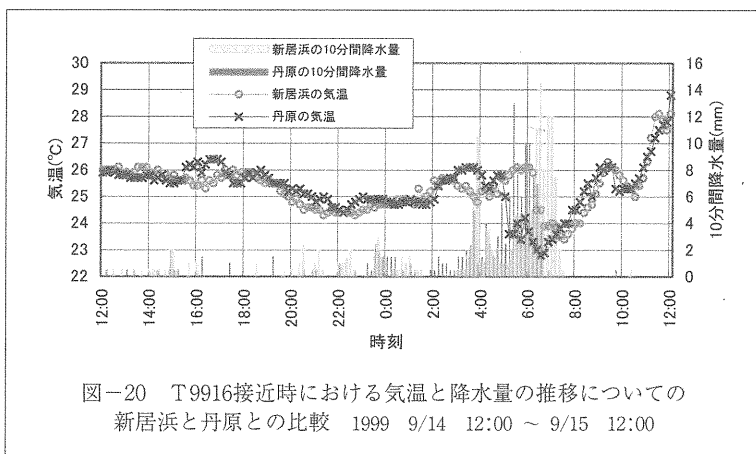
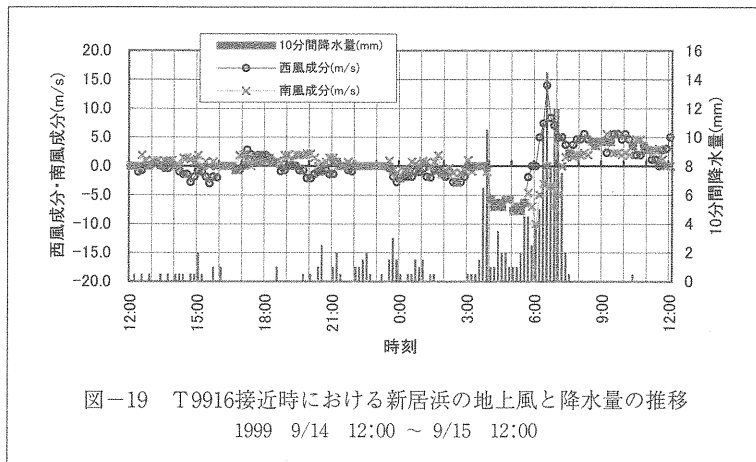


図-21 1999年9月15日 午前6時における四国周辺の地上相当温度分布

表-3 T9916による積算降水量

観測点	3:00 ~ 8:00までの 5時間積算降水量(mm)
三島	欠測
富郷	184
新居浜	122
丹原	105
成就社	192
今治	71
玉川	133
大三島	49

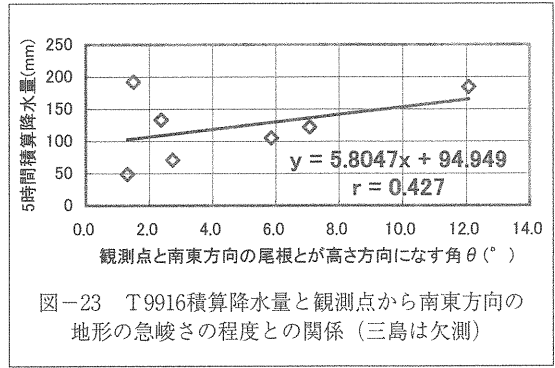


図-23 T9916積算降水量と観測点から南東方向の地形の急峻さの程度との関係（三島は欠測）

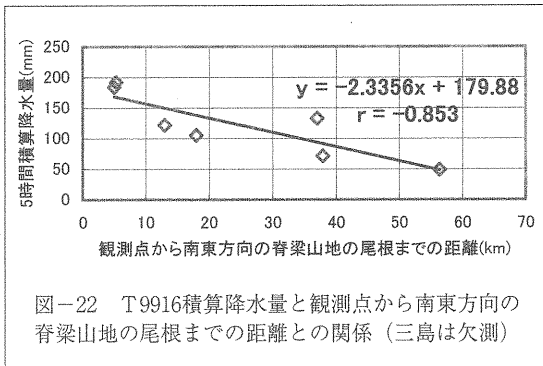


図-22 T9916積算降水量と観測点から南東方向の脊梁山地の尾根までの距離との関係（三島は欠測）

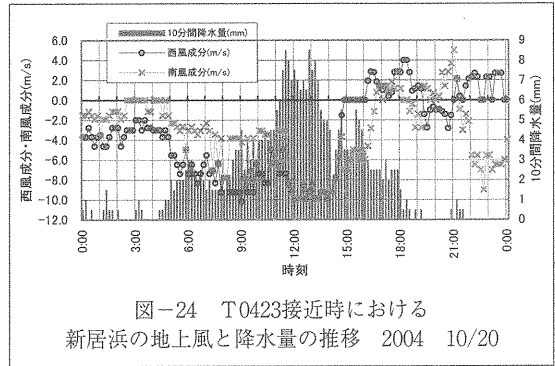


図-24 T0423接近時における新居浜の地上風と降水量の推移 2004 10/20

(2) T0423の事例

T0423は、10月19日に沖縄近海を北東に進み、同20日13時頃に高知県土佐清水市付近に上陸した。その後、四国の太平洋岸に沿って東北東に進み、18時前に大阪府に再上陸した。

10月20日の日降水量は富郷で441mmに達し、新居浜、成就社でも300mmを超えている。新居浜における地上風と降水量の推移を図-24に示す。10分間降水量のピーク値はT0421のおよそ半分であるが、降水が長時間にわたって持続することによって総雨量はT0421によるものよりも多くなっている。降水が持続している間はほぼ北東寄りの風が卓越している。この地域における北東寄りの風は石鎚山を主峰とする四国脊梁山地による強制上昇の作用を受ける。

地上相当温位分布の推移を図-25に示す。強雨が継続していた9時と12時では、紀伊水道から四国を経て日向灘にかけて南北方向の傾度が大きくなっており、本州南岸から四国にかけて停滞前線が形成されている。

東予地方はこの領域の低相当温位側にあたり、暖湿気塊は四国南岸より流入している。強雨のピークを過ぎた15時には、四国地方の中部から西部にかけての地上相当温位傾度が緩やかになり、急変帯は四国東部から近畿地方に移動し、潮岬付近が暖湿気塊流入の中心となっている。東予地方の降水は、四国南岸部における暖湿気塊の供給とともに弱まっている。

この事例における東予地方の降水の成因は、台風によって停滞前線に向かって暖湿気塊が供給されるとともに、これに向かって中国地方～瀬戸内海の低相当温位気塊が北東寄りの風を伴って流入し続けたために、前線の活動が活発化したことである。

V. まとめ

T0421の接近・通過による東予地方の降水には3回の極大が認められ、それぞれ成因が異なっている。

・1回目の極大は、台風が九州南部に上陸する前後にあたる7時から9時にかけて、新居浜、富郷、三島で

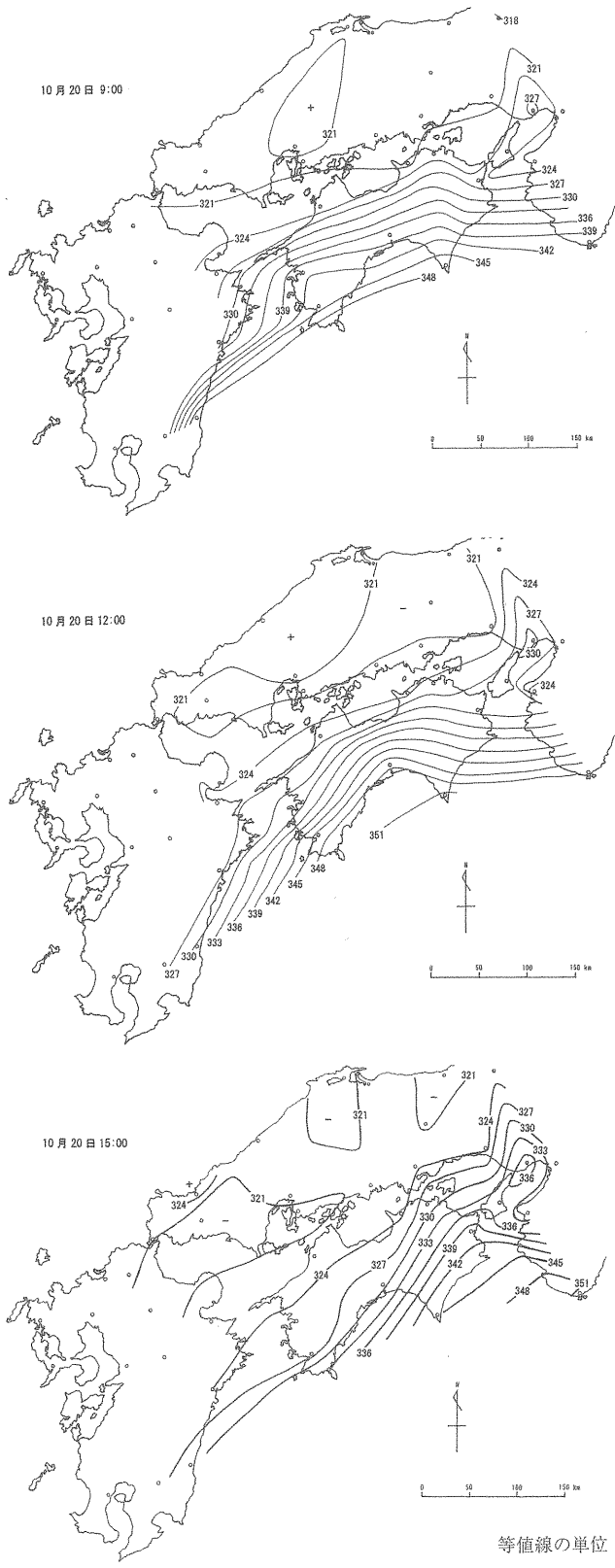


図-25 T0423の接近・通過時における四国周辺の地上相当温位の推移

発生した。降水の成因は四国南岸から流入する暖湿気塊に中国地方からの相当温位の低い気塊が衝突したことによる。

・ 2 回目の極大は、正午頃に石鎚山周辺で発生した。これの成因は、石鎚山系に向かって地上風の収束が続き、地形による強制上昇の作用を受けたことであると考えられる。

・ 3 回目の極大は、15時頃から19時前にかけて、台風を中心の北～北西側に低相当温位気塊が流入することによって形成された地上相当温位の急変帯が通過したことで東予地方のほぼ全域で発生した。この相当温位の急変帯は寒冷前線の性質を持っており、短時間強雨とともに風向の急変と気温の低下をもたらした。脊梁山地の尾根に近く、そこに至るまでの地形（標高）の変化が大きい観測点で降水量が多くなる傾向が認められる。これと同じメカニズムによって大雨をもたらされた事例として、T9916によるものが挙げられる。

本稿は2005年度日本地理学会秋季学術大会（於 茨城大学）にて発表した内容を大幅に加筆・修正したものである。学会発表時において本学名誉教授の深石一夫先生、帝京大学の谷治正孝先生、お茶の水女子大学の田宮兵衛先生からは貴重なご助言をいただきました。また、研究の遂行にあたっては日本気象予報士会四国支部の光藤高明氏、濱田和雄氏から貴重なデータ類を提供していただくとともに終始懇切なご意見・ご助言をいただきました。

以上の各位に心より感謝申し上げます。

参 考 文 献

- 愛媛大学自然災害学術調査団 (2005) 2004年愛媛県下における自然災害学術調査報告書 pp1-20
- 一 広志 (2004 a) 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 pp64-74
- 一 広志 (2004 b) T0416接近時とT0418接近時における愛媛県地方の降水について 中国・四国の農業気象第17号 pp72-75
- 一 広志 (2005) T0421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 日本地理学会発表要旨集No.68 pp72

濱田和雄 (1999) 台風に関する防災 (1999年9月14～15日に愛媛県宇和島市付近に上陸した台風16号)

気象予報士会四国支部勉強会資料 p5

藤井 健 (2003) 近年に京都を襲った台風による風と降雨の特性 (統報) 京都産業大学総合学術研究所報創刊号 pp123-134