

1971年7月18日、兵庫県西播地区の集中豪雨について*

枝 川 尚 資**

要 旨

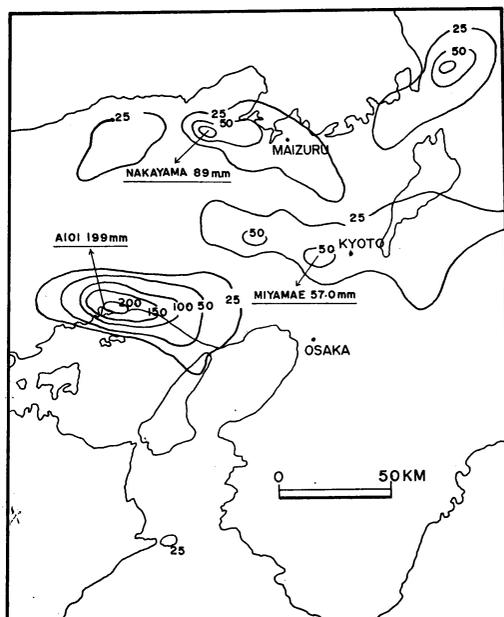
1971年7月18日に西播地区に発生した集中豪雨について降水の特徴を述べ、総観スケールからメソスケールの解析、さらに、レーダ解析をもとに集中豪雨に関する若干の考察を行った。

1. はじめに

1971年7月18日、相生を中心とした狭い地域に 100 mm/day を越す集中豪雨が発生し、山腹崩壊によってバスが転落したり、旅館が流失するなどの災害が起こされた。第1図にみるようにこの度の集中豪雨は 25 mm/day 以上の降水域の広さは東西 90 km、南北 40 km 程度、200mm/day 以上の降水域となるとわずかに 10 km × 5 km にすぎず、豪雨域が非常に狭いということできわめて珍しい例であった。

ある限られた範囲内に発生する集中豪雨については従来より色々な角度から調査研究がなされている。集中豪雨のさいの高層天気図をみると特徴的なパターンが出現することが多い。そこでそのようなパターンと集中豪雨の関係についての研究が数多く見出される。たとえば Newton は下層ジェットと集中豪雨の関係について論じ、豪雨域は下層ジェットに沿って分布すると述べている。しかしそのようなパターンに対応して降水が広範囲に一樣に集中していない。中島、後町らは多くの解析例をもとに特定の地域に豪雨域が分布することから地形の収束効果を指摘した。たとえば梅雨末期、集中豪雨の起こりやすい地域として知られている神戸や呉付近はそれぞれ豊後水道、紀伊水道の奥にあたり、しかも、それら水道が奥に行くに従って狭くなる漏斗状の地形をしていることから、そこを通る南西気流が収束してそのために停滞性の豪雨域が形成されるとした。

これに対し松本らは集中豪雨雪のさいの降水域の水平スケールが 50~100 km であることから集中豪雨雪を中規模現象と規定し、それに伴って中規模の高低気圧が交互に波状に配列されていること、そしてそれは安定層の



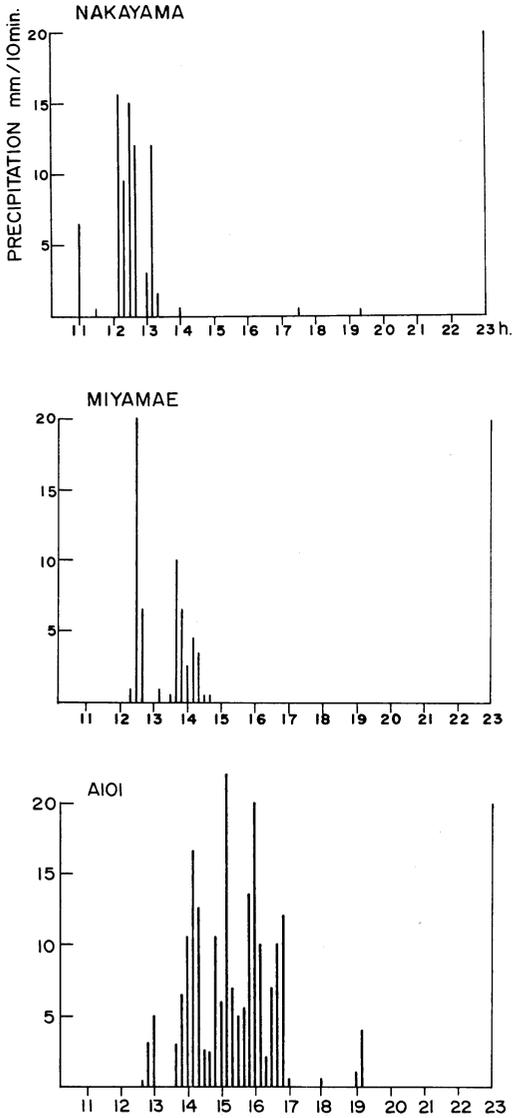
第1図 1971年7月18日9時から19日9時までの日降水量分布図

重力波に起因することを示した。これらのメソ擾乱の波長は 100~200 km、移動速度は 50~100 km/hour でメソ低気圧の中心から4分の1波長ほど後方に 10^{-4} sec^{-1} 程度の強い収束場があり、そこが降水域と一致し、集中豪雨はこのようなくつつかのメソ擾乱が波状に通過することによって起こると述べている。また42.7豪雨の解析からメソ擾乱に伴う移動性の降水域の他に停滞性の降水域のあったことも示した。これは地形の影響にもとづくものであろうとしながらも、移動性の降水域同様3~4時間周期の脈動現象を示していることからやはりメソ擾乱の影響を考慮すべきであると述べている。

以上の研究の他に立平らは多くのレーダ解析にもとづ

* On the Heavy Rainfall in Saiban District, Hyogo Prefecture on 18th June 1971.

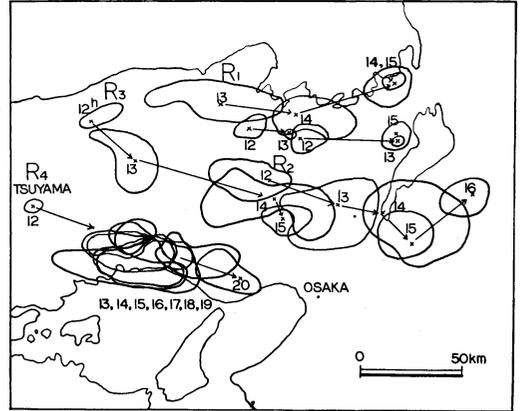
** H. Edagawa 京大防災研究所
—1973年2月15日受理—



第2図 中山, 宮前, 相生の7月18日10時から23時までの10分間降水量の時間経過

いて, 強い線状又は帯状エコーが停滞したり, 二つの帯状エコーが重畳したりすることによって集中豪雨は起こるとした. 帯状エコーはその風上端で発生, 700 mb 付近の風に流されて移動し, 風下端で消滅するエコーセルによって形成されていること, エコーセルの発生源は寒冷前線のすぐ寒気側か小低気圧付近であり, これらはいずれも対流圏中層の負 ω 域でかつ安定度が悪いなどの総観条件を具備していることなども述べている.

以上に概観したように集中豪雨は色々な角度から調べ



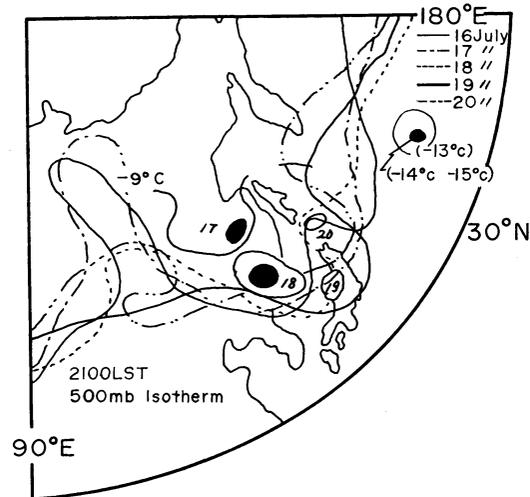
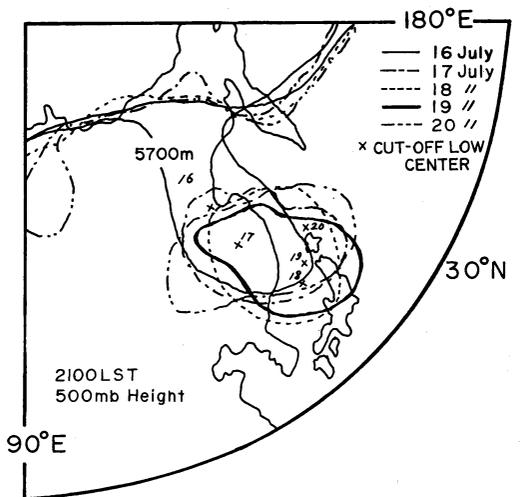
第3図 7月18日12時から20時までの10 mm/hourの等降水量線の時間変化

られている. しかし, これらの研究は特に特定地域への降水の集中性に関し, 必ずしも一致した見解を持っていない. そこで本研究では相生周辺の集中豪雨について総観場の特徴, メソ解析およびレーダ解析から詳細な調査を実施し, 停滞性の降水域に関する若干の考察を行った.

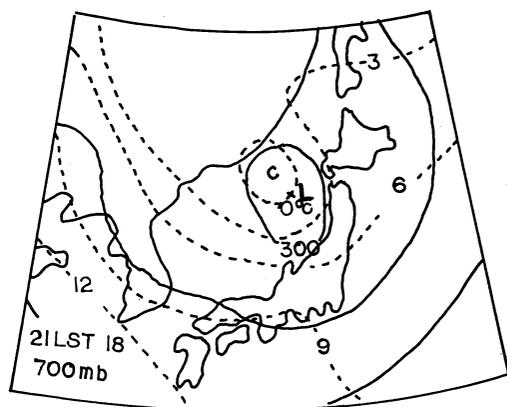
2. 降水の特徴

第1図は7月18日9時から19日9時までの近畿地方の日降水量分布を示した図である. 25 mm/day 以上の降水域は5ヶ所あるが, 西播地区のみが100 mm/dayを越し, 網干では217 mm/dayに達している. 網干から南南西へわずか15 km離れた家島では日降水量8 mmというように降水の著しい場所的集中性を示している.

第2図は第1図において50 mm/day以上の地点のうち中山, 宮前, 相生の10分間降水量の時間経過を示した図である. これからまず3地点とも2~3時間程度の短かい時間に降水が集中していること, 降水はほぼ1時間周期の顕著なピークをもったいくつかの降水群に分けられることがわかる. とくに相生ではこれらの降水群は12時から20時までに6個あり, 他の2地点が15時以後の降水群を持たないのに比べて特徴的である. このような特徴は第3図にも認められる. 第3図は10 mm/hourの等降水量線の時間変化から強雨域の移動の概略を示した図である. 中山宮前を通過するR₁, R₂, R₃の強雨域は兵庫県北部で発生し大体東南東に移動して16時には近畿地方から消滅し, それ以後の強雨域は出現していない. これに対しR₄は12時に津山付近で発生して東南東へ移動, 13時から18時まで相生付近に停滞し, その後



第4図 上は7月16日から21日21時の500mb面における5700mの等高線の変化，下は同じく500mb面の -9°C の等温線の変化および -13°C 以下の寒冷域の移動



第5図 7月18日21時の700mb天気図

間にわたって強雨域が停滞していたということである。

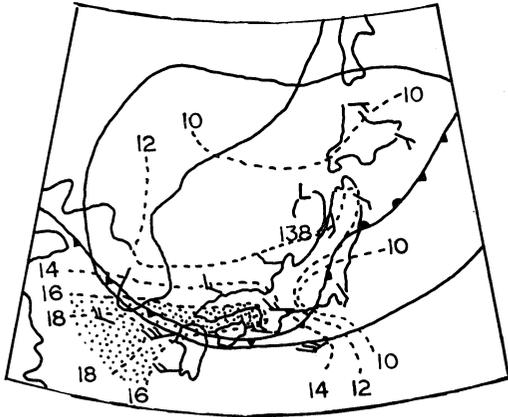
3. 高層解析からみた総観場の特徴

従来より総観場の解析から集中豪雨をもたらすいくつかの総観条件が指摘されそれらは豪雨予知の目安として用いられている。今回の集中豪雨は上層寒冷渦の西日本への接近に伴って起こった対流不安定の解消によるものである。第4図にこの上層寒冷渦の変化の状況を示す。第4図の上は7月16日～20日21時の500mb面における5700mの等高線の変化を示したもので、下は同じく500mb面の -9°C の等温線の変化と -13°C 以下の寒冷域の移動を示した図である。15日頃まで日本付近の上層は東西にのびる高圧帯におおわれ典型的な夏型のパターンであったが、第4図上に示されるようにバイカル湖付近にリッジが発達し、それに伴い沿海州から日本にかけてトラフが発達、いわゆるブロッキング型を示しはじめた。17日には沿海州からのトラフは完全に切離され、上層寒冷低気圧となって18日から19日にかけて日本海に達し、その後は北東方面へ後退している。集中豪雨が発生したのは寒冷低気圧が西日本へもっとも接近したと考えられる18日で、その発生域は寒冷低気圧の中心から南方へ約500kmのところである。

第5図は18日21時の700mb天気図、第6図は850mbの天気図でいづれも大気下層の状況を示すものである。第6図の点線は等露点温度線を表わし 16°C 以上の部分は網目を施しているがこれに注目すると東支那海方面から瀬戸内海方面へ下層ジェットに伴う湿舌がのびているのがわかる。すなわち寒冷渦が日本海に入り、その南側を流れる寒帯ジェット気流が日本の上空に達するとともに、大気下層下は湿舌が入り込んでいたことを示している。この結果、近畿、中国地方は対流不安定の状態で

神戸に移動、そして21時には消滅している。

第2図および第3図を比較してさらに次の点が指摘できる。すなわち毎時降水量の分布から今回の集中豪雨も相生付近という特定の地域に数時間強雨域が停滞したことによって起こったものであること、10分間降水量の時間経過からこれらの強雨域はいくつかの降水群によって構成され、しかも後で述べるようにこれらの降水群は東南東へ移動するエコーセルによってもたらされたものであり、エコーセルの発生域が姫路と津山の間の地域、消滅域が神戸付近に限定されていたために見かけ上、数時



第6図 7月18日21時の850mb天気図

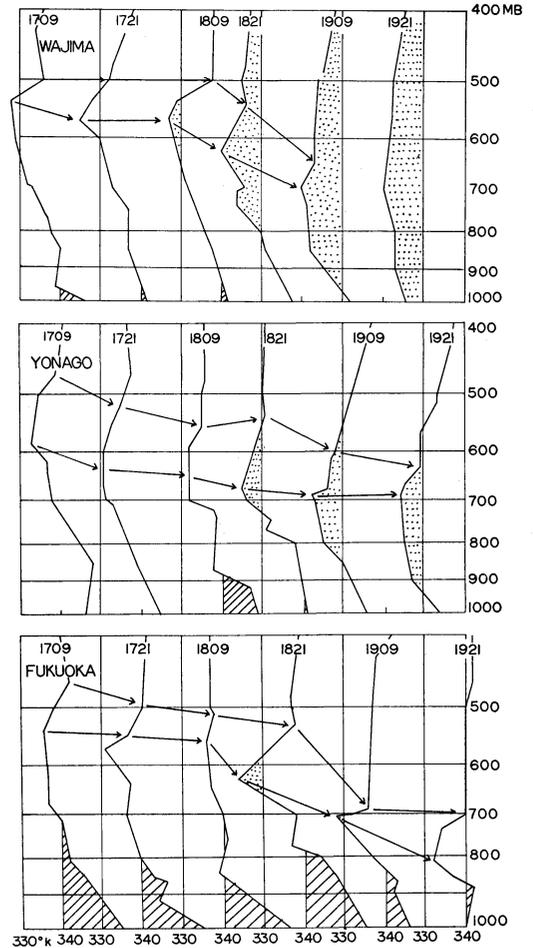
あったことがわかる。

第7図には上に述べた安定度の変化を詳しく調べるために輪島，米子，福岡の17日9時から19日21時までの相当温位の鉛直分布を時間毎にしめした。わかりやすいように相当温位が 330°K より低い部分に網目を施こしてあり，また， 340°K 以上の部分は斜線を施こしてある。2本の太線ではさまれた部分は安定層の存在とそれが時間とともに次第に下降しつつある状態を示している。この図から寒冷渦の西日本への接近に伴い相当温位の低い部分の出現することがわかるが，この傾向は寒冷渦にもっとも近い輪島においてとくに顕著です。すでに17日9時には $500\sim 700\text{mb}$ 層にあらわれている。米子，福岡ではこれより遅れ18日21時になって $600\sim 700\text{mb}$ 層に認められる。一方，米子，福岡の下層では 340°K 以上の相当温位の高い部分が現われている。これは第6図で述べた下層の湿舌の侵入に対応するものである。福岡では17日9時～18日21時まであまり変化がないが，米子ではこの部分は18日9時がもっとも顕著に現われている。

以上，うえに述べたことから西日本一帯は18日は大気の状態がもっとも不安定であったこと，およびそのような不安定化をひき起こす総観条件が寒冷渦と湿舌であったことがわかる。しかし集中豪雨は不安定域に一樣に発生したわけではなく西播地区のみに限定されており総観場の状態だけからその発生を説明することはできない。以下においてメソスケールの特徴を述べそれと集中豪雨の関係について考察する。

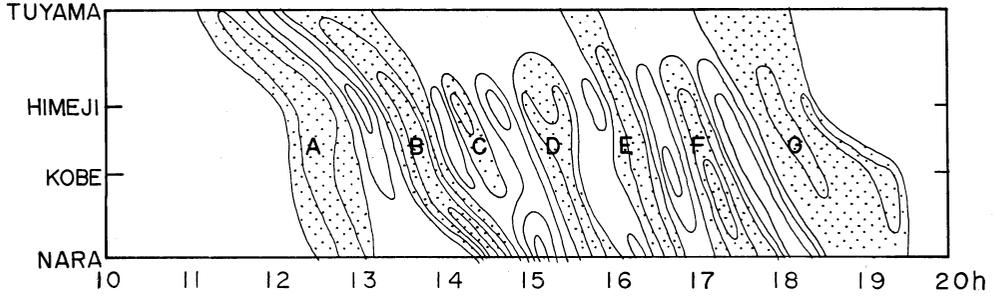
4. 気圧場にみられるメソ擾乱の移動と降水

第2節で相生の10分間降水量の時間経過から1時間程度の周期の降水のあったことを指摘したが，各地の気圧

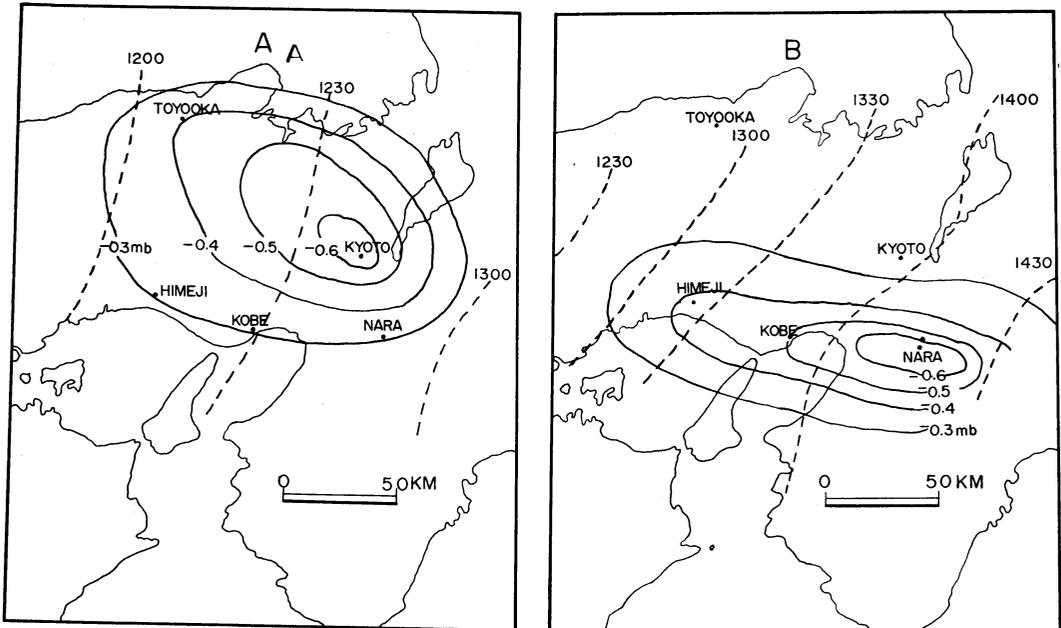


第7図 輪島，米子，福岡における7月17日9時から19日21時までの相当温位の垂直分布

自記紙を調べてみると，1時間ないし2時間周期の変動が認められる。第8図は強雨域の移動方向に一致させてほぼ西から東へ津山，姫路，神戸，奈良の気圧を10分毎に読み取り1時間移動平均からの偏差をとって作成した時間断面図である。等値線は 0.2mb 毎で負偏差域には網目をかけてある。図から大体1時間周期で振幅が $0.2\sim 0.6\text{mb}$ ，そして西から東へ約 $80\sim 160\text{km/hour}$ の速度で移動する7つの擾乱を認めることができる。津山より西方の松江，米子ではこのような擾乱は認められないので擾乱の発生域は津山と姫路の間の地域であると考えられる。先にのべたように松本らは集中豪雨雪のさい気圧場にあらわれる波長 $100\sim 200\text{km}$ ，移動速度 $50\sim 100\text{km/hour}$ の擾乱をメソ擾乱と定義し，集中豪雨に果す



第8図 津山から奈良に至る地点の気圧偏差の時間断面



第9図 メソトラフAおよびBの気圧偏差極小起時の等時線および偏差値の等値線

役割の重要性を指適している。第8図の擾乱も、その周期、振幅、移動速度からメソ擾乱の一種と考えてよいであろう。ただ松本らの解析例に比べて移動速度が大きいという違いがある。

第8図中アルファベットを付したメソトラフA～Gのうちもっとも大きい偏差値を示したBと最初のメソトラフであるAの気圧偏差極小起時の等時線および偏差値の等値線を描くと第9図のようになる。この図からAの移動方向はWNWからESEにかけて、移動速度は約100 km/hourで負偏差値のもっとも大きいのは豊岡から京都へかけての帯状の地域で最大負偏差値は京都の-0.6 mbである。これに対してBの移動方向はNWからSEにかけて、移動速度はAより遅く約80 km/

hour、負偏差の大きいところはAのそれよりも南に移動し姫路から奈良にかけての帯状域で負偏差値の最大は奈良の-0.7 mbである。

第10図はメソトラフA、Bと降水との関係調べるために12～15時までの1mm/10minの等降水量線の時間変化を20分毎に示した図である。この図と第9図を比較するとまず第1に負偏差極小起時線に沿って一様に降水があるのではなく、降水域は近畿地方の日本海沿岸、津山と京都を結ぶ線上、そして瀬戸内海沿岸の三つの地域にセル状に分布していること、第2に前2者の地域ではほぼメソトラフの移動方向に沿って降水域が移動しておりその結果12～15時の間に全体として帯状の降水域が形成されていることがわかる。これに対して後者の地域で

は降水域は12時~13時まではメソトラフの移動方向に沿って動いているが13時以降は相生付近に停滞している。

つぎにメソトラフ A, B の各々について負偏差のもっとも大きい地域と降水との関係を調べてみよう。まずメソトラフ A について, 豊岡から京都へかけての带状域では他の地域より降水量は大きく, 負偏差の大きい地域と10分間降水量の大きい地域とは一致している。これに対してメソトラフ B ではこのような対応関係は明確ではない。相生では10分間降水量は 16.5 mm (14時~14時10分) で他の地点より多いが, 同じ負偏差最大域に属する奈良ではわずかに 4 mm (15時~15時10分) で他の地点よりも少ない。

相生周辺に停滞した降水域が1時間程度の周期で変動していたことはすでに述べたが, 雨量観測点の密度, 時刻のずれなどのために10分間降水量から降水域の発生, 移動, 消滅を正確に把握することは困難である。そこで次節においてレーダエコーの解析からそれを詳しく検討する。

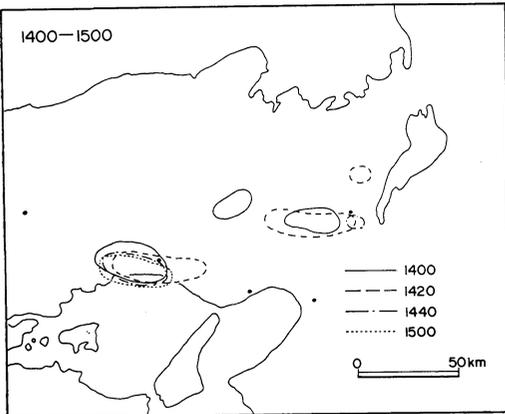
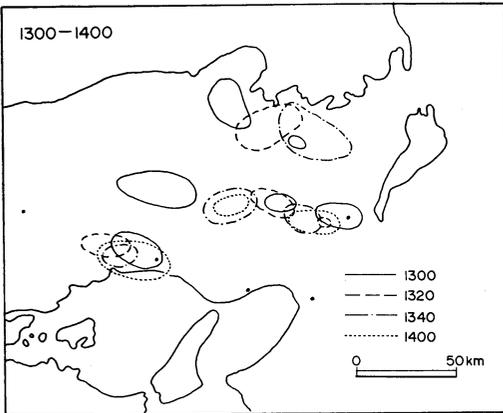
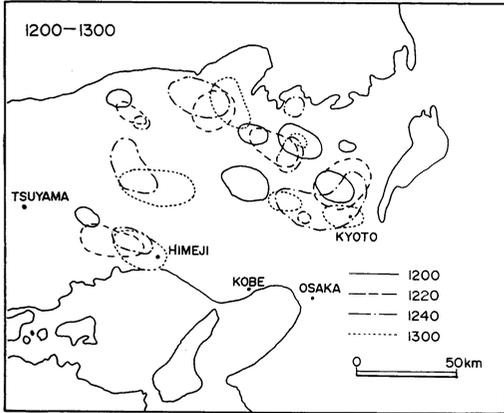
5. レーダ解析の結果

第11図は大阪高山レーダの PPI 写真から作成し, だいたい10分毎に示した並エコーの時間経過を示したものである。津山と神戸の間にはほぼ WNW-ESE の方向にのびた団塊状のエコーが停滞している様子がよく示されている。この図と第3図の毎時降水量分布図とはよく対応しているが, エコーパターンの方が瀬戸内海へ伸びているのが多少ちがっている。これは雨量観測点が海上にないために生じたちがいであろう。図において網目を施した部分は強エコーである。また+印は相生地点を表わしている。この強エコーと第2図の相生の10分間降水量とを比較してみると15時58分, 16時8分をのぞき強エコーと10分間降水量のピークとの間には明確な対応関係がみられ, 強エコーの通過ないし接近によって降水のピークがもたらされたことがわかる。

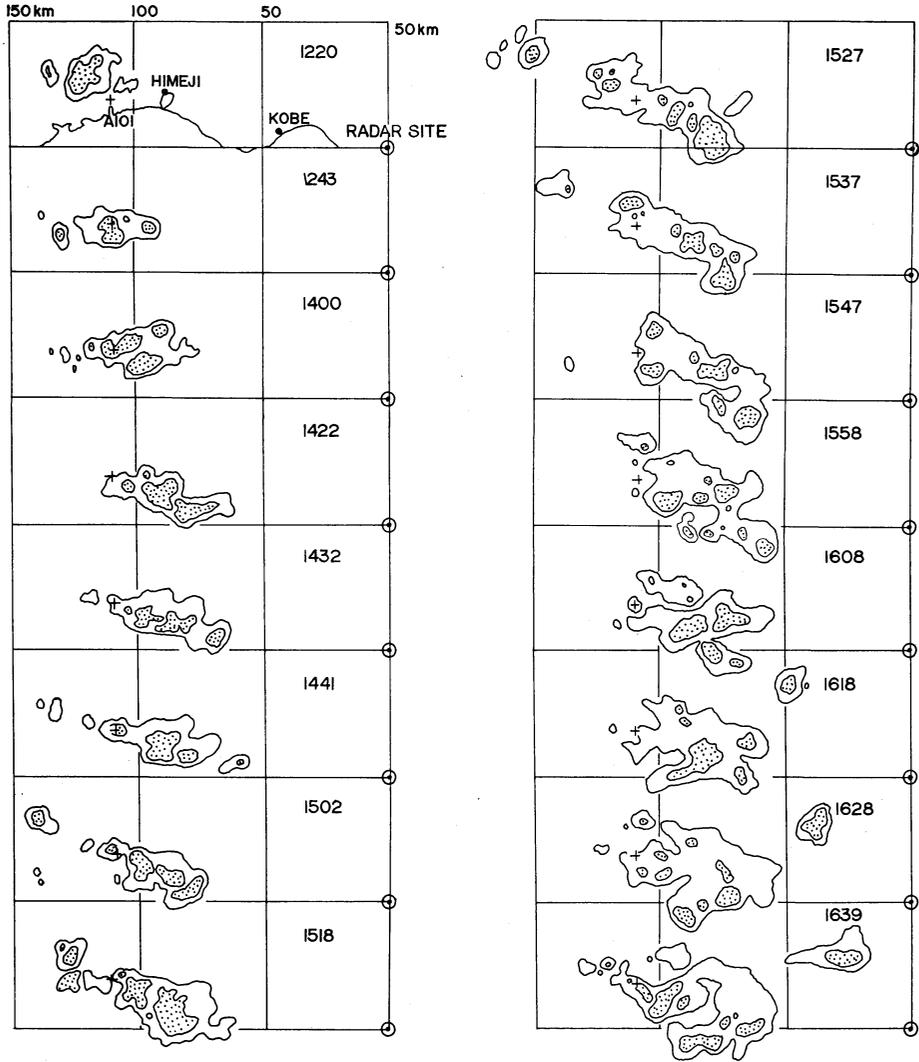
第12図はエコーセルのうち20分以上追跡可能なものについて移動の様子をわかりやすくするためにその軌跡を合成したものである。この図からエコーセルの大部分は津山一網干間の地域で発生, 海岸部を通過し, 淡路島北西部の海岸近くで消滅していること, 発生域と消滅域が限定されているので上のべたようにエコーパターンとしてはだいたい津山一神戸間に団塊状に停滞していることがわかる。

つぎにこれらエコーセルの移動速度について調べてみると 40 km/hour~70 km/hour, 平均 60 km/hour で移動方向は WNW~ESE にかけてである。これは米子の 700 mb の風にはほぼ一致しているが, 第8図で述べた気

「天気」 20. 8.



第10図 7月18日12時から15時までの1mm/10minの等降水量線の時間変化



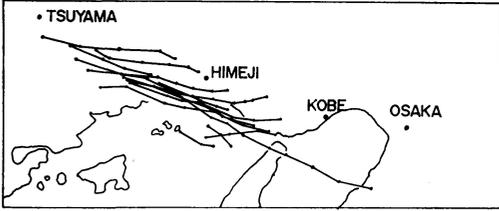
第11図 大阪高高山レーダエコーのスケッチ

圧場のメソ擾乱の移動速度よりもかなり小さい。従って第8図および第12図の結果からメソ擾乱の発生域とエコーセルの発生域とは一致しているので、気圧場のメソ擾乱が東方へ進行するにつれて降水域の方は遅れてゆくことがわかる。

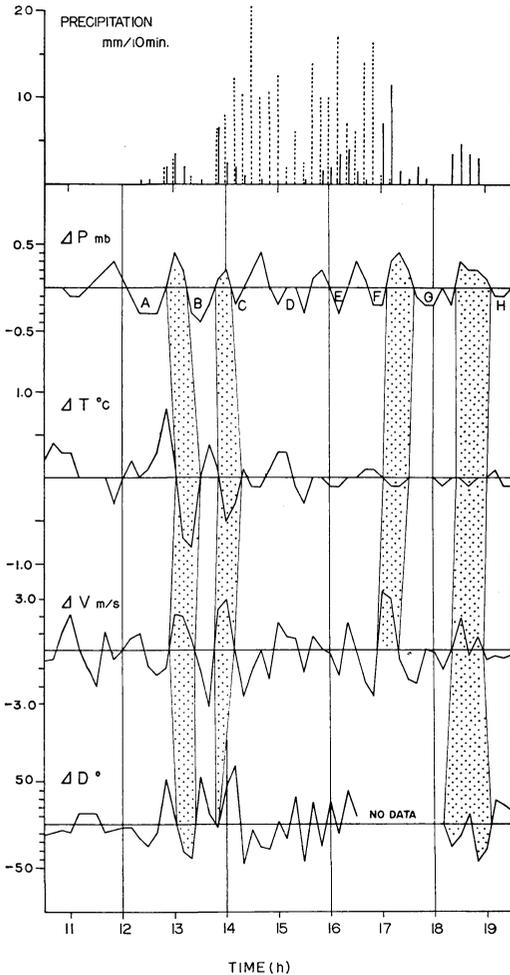
6. メリ擾乱に伴う他の気象要素の変動

気圧場にあらわれるメソ擾乱の通過に伴い気温、風速などにも顕著な変動の認められることがこれまで数多く報告されている。第13図は姫路の10分間降水量、気圧、気温、風向風速の10分間毎の時間経過を示したものである。メソ擾乱の影響が抽出できるように降水量をのぞき

1時間移動平均からの偏差値を示してある。図中のA~Gは第8図のメソトラフである。10分間降水量のところには参考として姫路の西南西10km地点の網干の10分間降水量を点線で示してある。図中網目を施したように全体的にみてメソリッジと10分間降水量は非常によく対応していること、降水に伴い気温低下、風速増大、風向の反時計まわりの変化が規則的に対応していることがわかる。しかし、細かくみるとメソトラフC、Dの後に続くメソリッジには顕著な降水もなく、気温低下、風速増大、風向の反時計まわりという規則性も認められない。ここで網干および第2図の相生の10分間降水量の時



第12図 第11図のエコーセルの軌跡を合成したもの



第13図 姫路における10分間降水量および気圧偏差(ΔP), 気温偏差(ΔT), 風速偏差(ΔV), 風向偏差(ΔD)の時間経過

間経過をみるとメソトラフCおよびDの後に続くメソリッジの時に降水量のピークはもっとも顕著で20mm/10min以上に達している。この事実はある地域に異常に降水が集中するとその近傍の水蒸気源が1時的に枯

渇しそのために降水域はその地域を通過した後は弱まってしまうのではないかと考えられる。

7. 結論

以上、高層天気図にもとづく総観スケールから地上気象要素をもとにしたメソスケールに至るまでの解析を行った。これらの解析結果から7月18日に西日本のどこかに集中豪雨が発生し得るための条件がそろっていたことは理解できる。しかしなぜ西播地区という特定の地域に豪雨が集中したかは十分に説明できない。メソ擾乱の存在がその理由の1つとして考えられるが、第4節で述べたようにメソ擾乱は必ずしも降水を伴っていないし、もし降水を伴うとしてもその場合にはメソ擾乱の移動方向に沿って帯状の降水域となるであろう。ただし、メソ擾乱の発生域と降水域とは一致しているためメソ擾乱は降水をもたらすきっかけとなり得ること、そして相生、網干の10分間降水量にメソ擾乱の周期に一致した変動が認められることから降水量の変動に影響を与えることの2つの役割をもっていたことは指摘できる。

特定地域へ降水を集中させる要因として上にのべたメソ擾乱のほかに地形の影響が考えられる。今回の場合は瀬戸内海の存在は無視できないであろう。というのはこの年の春は低温であったので瀬戸内海の水温が低く、一方、集中豪雨以前は西日本は晴天が続いており瀬戸内海沿岸は海岸線に沿って地表温度の海陸のコントラストが強かったと考えられ、これが対流雲の発生、発達に影響を与えたものと推測できるからである。しかしそれでも集中豪雨発生地点が相生付近という地点を指定することは困難である。

謝辞

この研究を遂行するにあたって有益な助言と御激励をいただいた、京都大学防災研究所教授中島暢太郎氏、同助教授後町幸雄氏に感謝の意を表す。また資料を御提供下さった大阪管区气象台および管内气象台、測候所の方々に深く謝意を表す。尚本研究は文部省科学研究費特定研究「昭和46.7.18豪雨による西播地区山崩れ災害」(代表田中茂)の1部を使用した。

文献

- 1) 中島暢太郎・後町幸雄：昭和42年7月豪雨の特性について、京都大学防災研究所年報、第11号B、昭43。
- 2) Nakajima, C. and Y. Gocho, 1968 : On the heavy rainfall in the Kinki District (Western Japan), Bulletin of the Disaster Prevention Reserch Institute, Kyoto University, Volume

17, March.

- 3) 安田清美, 1970: 昭和41年10月12日愛知県渥美半島付近に発生した集中豪雨に関する解析, 第1部: 総観場の特徴と中規模気圧じょう乱, 天気, 17巻, 181~187, 第2部: レーダによる中規模構造, 天気, 17巻, 281~289.
- 4) Matsumoto, S and Y. Tsuneoka, 1969: Some characteristic features of the heavy rainfalls

observed over the western Japan on July 9, 1967, Part 1: Mesoscale structure and short period pulsation, Jour. Met. Soc. Japan, Ser. II vol. 47, No. 4, Part 2: Displacement and life cycle of mesoscale rainfall cells, Jour. Met. Soc. Japan, Ser. II vol. 47, No. 4.

- 5) 小平信彦, 立平良三 1972.: 気象研究ノート第112号, 気象レーダ特集号.

第17期第10回常任理事会議事録

日時 昭和48年6月4日(月) 14h~16h

場所 気象庁海洋気象部会議室

出席者 磯野, 小平, 中山, 二宮, 河村, 窪田, 北川, 大井, 丸山, 駒林, 川村, 伊藤各常任理事

列席者 中村庶務委員

報告

〔庶務〕 東北支部から補充選挙による新役員の報告があった。常任理事に渡辺偉夫, 地方理事に相良大作, 江田三雄の各会員が当選した。

〔天気〕 天気の内容についてアンケートをする。

〔講演企画〕 予稿集の頒布価を650円にしたことについて了承

〔南極〕 1. 気象庁主要機関, 気象学講座のある大学, 関連主要大学, 関連学会の代表者あて「第17次南極研究観測への気象部門の参加について」という協力要請文を理事長名で発送した。

2. 秋季大会に「南極の気象」のセッションをもうけ, 研究発表を募集することにし, この分野の観測, 研究の経験のある者に案内状を送付した。

議題

1. 日朝科学技術交流委員会からの要請について 代表団の訪日に際して日本気象学会との交流を促進するための提案に対して, その主旨には賛成し承諾する。予算については別に考慮する。担当理事は, 北川理事とする。

2. 第3回構造物の耐風性に関するシンポジウムについて,

今回は, 当学会が当番学会なので組織委員会を早急に発足させる必要がある。委員候補者として次の各会員を適当と認め全理事に書面審査を依頼することになった。

高橋浩一郎, 伊藤昭三, 窪田正八, 塩谷正雄
相馬清二, 竹内清秀, 花房竜男, 光田 寧

3. 借成会学術奨励金候補者について

ほかに申請がないときは, 岸保勘三郎 会員外5名の「関東地方の海陸風と大気汚染物質の輸送について」を推薦する。

4. 定款および細則の一部改正に伴う措置について

文部大臣の認可があり次第天気に掲載する。そのとき前納金払込み用の振替用紙を綴り込み, 納入を要請する。翌年度繰越金に対する税については, 庶務理事が税務当局につき調査する。

5. 学会奨励金受領候補者選考委員について

次の各会員を適当と認め各理事に書面審査を依頼することになった。

北川信一郎 担当理事
田中 豊頭 雲物理
竹内 清秀 微気象, 応用気象
立平 良三 レーダ
宮沢 清治 総観気象, 力学

承認事項

通常会員白木正規ほか6名および賛助会員明星電気株式会社ほか2社の入会を承認