

豪 雨 の 研 究 (III)

——近畿中部の集中豪雨について——

枝 川 尚 資

STUDIES ON HEAVY RAINFALL (III)

——On the Heavy Rainfall in the Central Kinki District——

By Hisashi EDAGAWA

Synopsis

For a case study of the mechanism of heavy rainfall, we analysed the heavy rainfall on 25 th June, 1969. In the cross-section and the time-section of this disturbance, we found a distinct low level jet stream combined with the frontal system. The main rainfall occurred over the area where the surface warm front and the low level jet stream were crossed each other. This area corresponded also the center of the surface convergence. We discussed moreover about the smaller scale disturbances superposing over the main disturbance.

1. ま え が き

第1, 2報では豪雨の統計的な問題が取り扱われた。本報では集中豪雨のメカニズムを解明するための第1段階として1969年6月25日近畿中部の集中豪雨について詳しい解析を行なった。近畿地方の集中豪雨についてはこれまで中島, 後町らによって研究されている。それによると, 紀伊水道から琵琶湖に至る地域は湿舌が入りやすく, 南西から北東にのびる細長い地域に集中豪雨が起ることが指摘されている。本報では前半において前線面とそれに付随した下層ジェットを, 後半において集中豪雨域の移動, 変形と温暖前線の移動および地上風の収束場との関係について調べ, 下層ジェットの集中豪雨にはたす役割について若干の議論を試みた。

2. 降雨の状況と高層解析の結果

2.1 降 雨 の 状 況

Fig. 3 850 mb の天気図にも示されるように本邦南岸に停滞していた梅雨前線に低気圧が発生, それが日本海上を北東進するにつれて梅雨前線も北上し活発な活動が続けて, 九州, 四国および近畿地方に大雨をもたらした。近畿地方の雨は25日朝から降りはじめ26日昼まで続いた。

Fig. 1 に6月25日9時から26日9時までの日雨量分布図を示す。この分布図は気象官署, 区内観測所の記録の他, 建設省近畿地方建設局管内約90カ所の雨量観測所の自記記録から作成したものである。淡路島から神戸, 京都をへて, 琵琶湖西部の山地に至る細長い地域と, 紀伊半島南部の二つの地域で日雨量が100 mm をこえている。本報では前者の降雨域の存在する地域を近畿中部と名づける。

Fig. 2 に日雨量が200 mm をこえた琵琶湖西部の途中, 六甲山北の名塩, 淡路島の洲本, 近畿中部の降雨域に隣接する和歌山および近畿南部の色川, 潮岬の計6地点の25日9時から26日9時までの毎時雨量の時間経過を示す, この図から近畿中部の途中, 名塩, 洲本では18時から23時の間に降雨が集中したことが

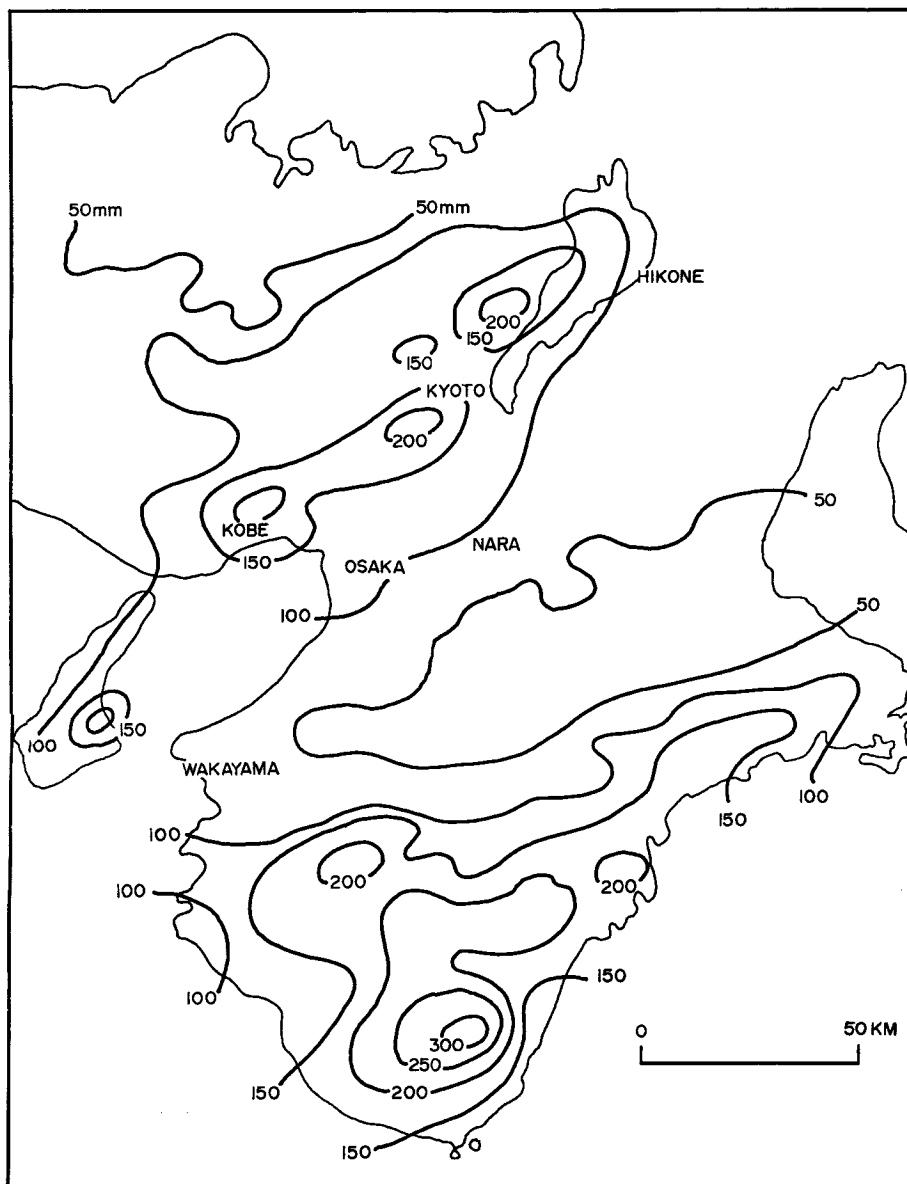


Fig. 1 Daily amount of the precipitation on 25 th June 1969 in the Kinki District.

わかる。色川では 20 時前後と 3 時前後の二回に集中している。図中各地点の×印は温暖前線通過のだいたいの時刻を表わしている。どの地点も温暖前線通過時の毎時雨量は、前線通過前後 1 時間のそれよりも多く温暖前線の通過によってもたらされたものと考えられる。それ以外の降雨は他の原因、たとえば中規模擾乱等によるものであろう。近畿中部に温暖前線が通過するのは 25 日 18 時～23 時であるが、この頃下層ジェットも近畿中部を通過しており、これらが重なって 18 時～23 時に集中豪雨が発生したと考えられる。

Fig. 3 は近畿中部に降雨の集中した 25 日 21 時の 850 mb 天気図である。日本海に低気圧があり、それ

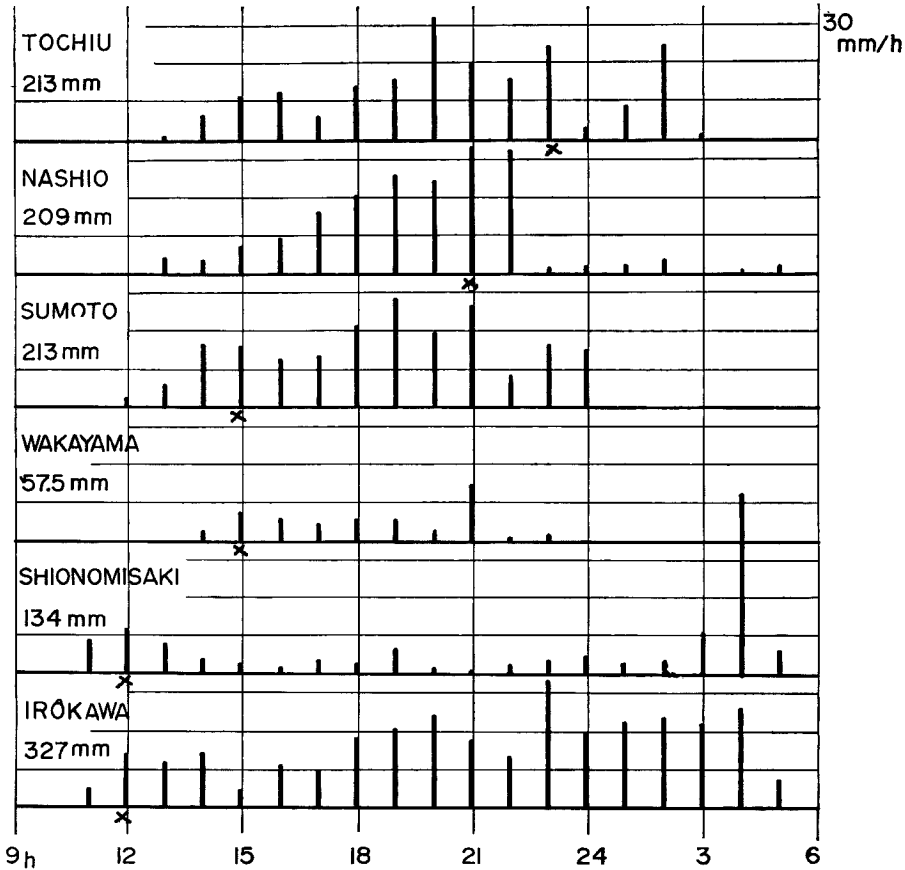


Fig. 2 The time sequence of the hourly precipitation.

からのびる温暖前線は、日本海側では秋田にまで達している。寒冷前線は21時にはまだ九州上空にあり、この場合の集中豪雨には直接寄与していない。図中の点線は等露点温度線を表わす。梅雨末期集中豪雨の他の解析例にもみられるように湿舌があり、近畿地方に達している。その部分は露点温度が 15°C 以上である。一方、潮岬の風は南西の方向で 35 m/s に達し、近畿地方には強い下層ジェットが吹いている。湿舌と強い下層ジェットによって南から水蒸気が供給されて、対流活動の維持ないし活発化が行なわれていたものと思われる。

2.2 断面解析

温暖前線の立体構造を調べるために Fig. 3 の温暖前線にほぼ直角な軸に沿って札幌 (SP), 秋田 (AK), 輪島 (WJ), 浜松 (HM), 潮岬 (SN) の断面図を作成した。Fig. 4 (a) (b) にその結果を示す。Fig. 4 (a) は25日9時, Fig. 4 (b) は25日21時のものである。21時

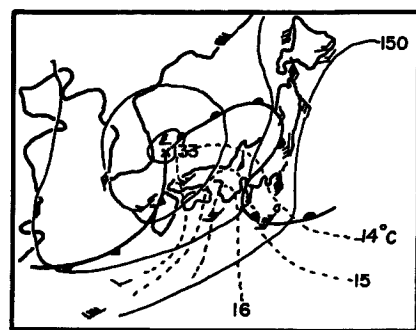


Fig. 3 The weather chart of 850 mb at 21 h, 25 June 1969.

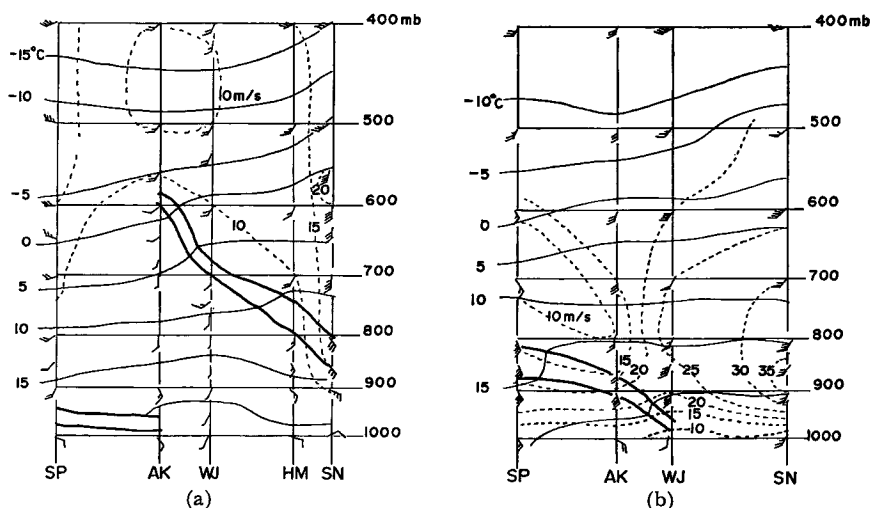


Fig. 4 The cross-section.

の浜松は欠測である。図中の太い二本線にはさまれた部分は前面、細線は等温線、点線は等風速線を表わす。図には書き入れなかったが Fig. 4 (b) の暖域内のうち輪島の地上から 400 mb 上空を結ぶ線から南は湿度が 80% 以上であり、他方、秋田上空 800 mb~500 mb は湿度が 30% 以下で輪島と秋田の間は湿度のギャップが著しい。25 日 9 時秋田上空 600 mb から潮岬上空 850 mb にかけて存在していた前線面は北上し 25 日 21 時には札幌上空 850 mb から輪島上空 950 mb を結ぶ線上に移動している。近畿中部に豪雨が発生しているとき、秋田上空の暖域内には風と先にのべた湿度の顕著な不連続が存在していること、潮岬上空付近に風向が南西、風速が 30 m/s を越す下層ジェットが吹送していることが指摘できる。地上の温暖前線の解析は 3.1 で行なうが 25 日 21 時頃、温暖前線は舞鶴と大阪を結ぶ線上にある。Fig. 4 (a) の場合の暖域内の湿度 80% を越す湿润領域と下層ジェットの存在および地上の温暖前線の位置から 21 時頃、近畿中部では

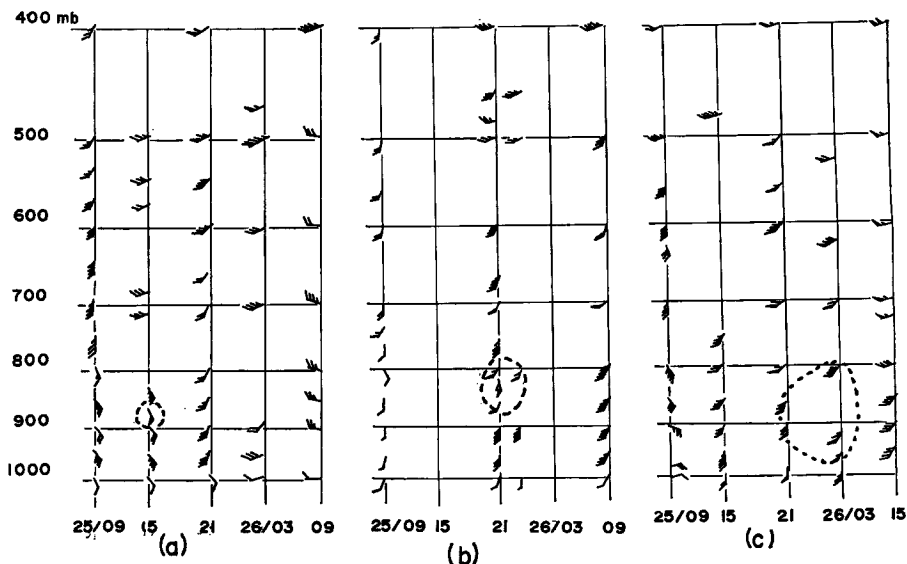


Fig. 5 The sequence of the wind aloft.

対流活動が活発であったことが推察できる。

2.3 高層風の解析

前節において25日21時頃、近畿上空に下層ジェットが存在したことを確認した。この節では二、三の高層観測点の結果にもとづいて下層ジェットの移動についてのべる。

Fig. 5 は25日9時から26日9時までの6時間毎の高層風観測の結果で (a) は米子, (b) は輪島, (c) は潮岬の例である。輪島の25日15時と26日3時は欠測である。しかし、26日0時に観測が行なわれている。図中点線で囲まれた強風域は下層ジェットを表わす。米子では25日15時頃、輪島では25日21時~24時頃、潮岬では26日3時頃下層ジェットが通過している。このことから15時頃米子にあった下層ジェットは低気圧および温暖前線の移動に伴って東進し、21時頃近畿中部と輪島を結ぶ線上を通過して26日3時頃潮岬に到達しており、近畿中部は18時から24時まで下層ジェットの強い影響下にあったことが推察される。

3. 豪雨域の分布と地上風の収束域の分布

3.1 温暖前線の動きと豪雨域の移動

Fig. 6 は大阪管区気象台発行の局地天気図から作成した25日15時から24時までの3時間毎の温暖前線の位置である。日本海上の低気圧の北東進に伴い温暖前線は東西方向から南北方向の走向をもつようになる。前節のでべた下層ジェットは低気圧の中心から若干離れた暖域にあって、この温暖前線にほぼ直角な方向で寒冷域にむかって吹いている。

次に気象官署、区内観測所、建設省近畿地方建設局雨量観測所および防災研究所雨量観測点の自記記録から近畿中部に降雨が集中した18時~23時をはさむ16時~24時の毎時雨量の分布図を Fig. 7 に示す。これらの図では10 mm/hour 以上の降雨域を豪雨域とし豪雨域のみが示されている。又、等雨量線は10 mm/hour 毎にひいてある。これらの図には気象官署の気象要素の自記紙から判読した毎時の温暖前線の位置が書き込まれている。豪雨分布図をみると16時~17時には温暖前線に沿って姫路、洲本間に一つ、その他福知山、六甲山北、京都南西部の計4カ所に豪雨域が存在している。17時~18時には豪雨域は拡大して7時の温暖前線にほぼ沿っているが、近畿中部では北東にのびている。18時~19時、19時~20時には豪雨域は淡路島から神戸をへて琵琶湖西部山地に至る地形の走向にほぼ一致した分布をしている。この分布域は、次の20時~21時には全体が北上する。温暖前線のすぐ東では30 mm/hour をこす豪雨が二つ出現する。21時

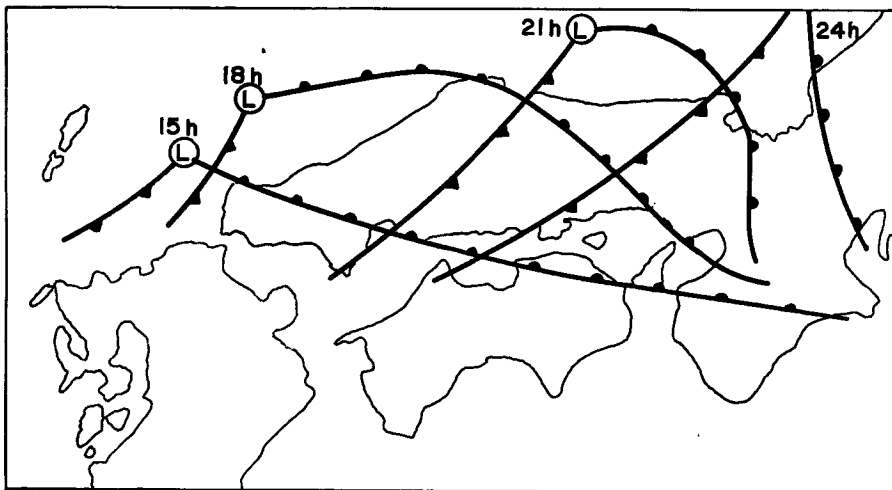


Fig. 6 The movement of the low and the warm front.

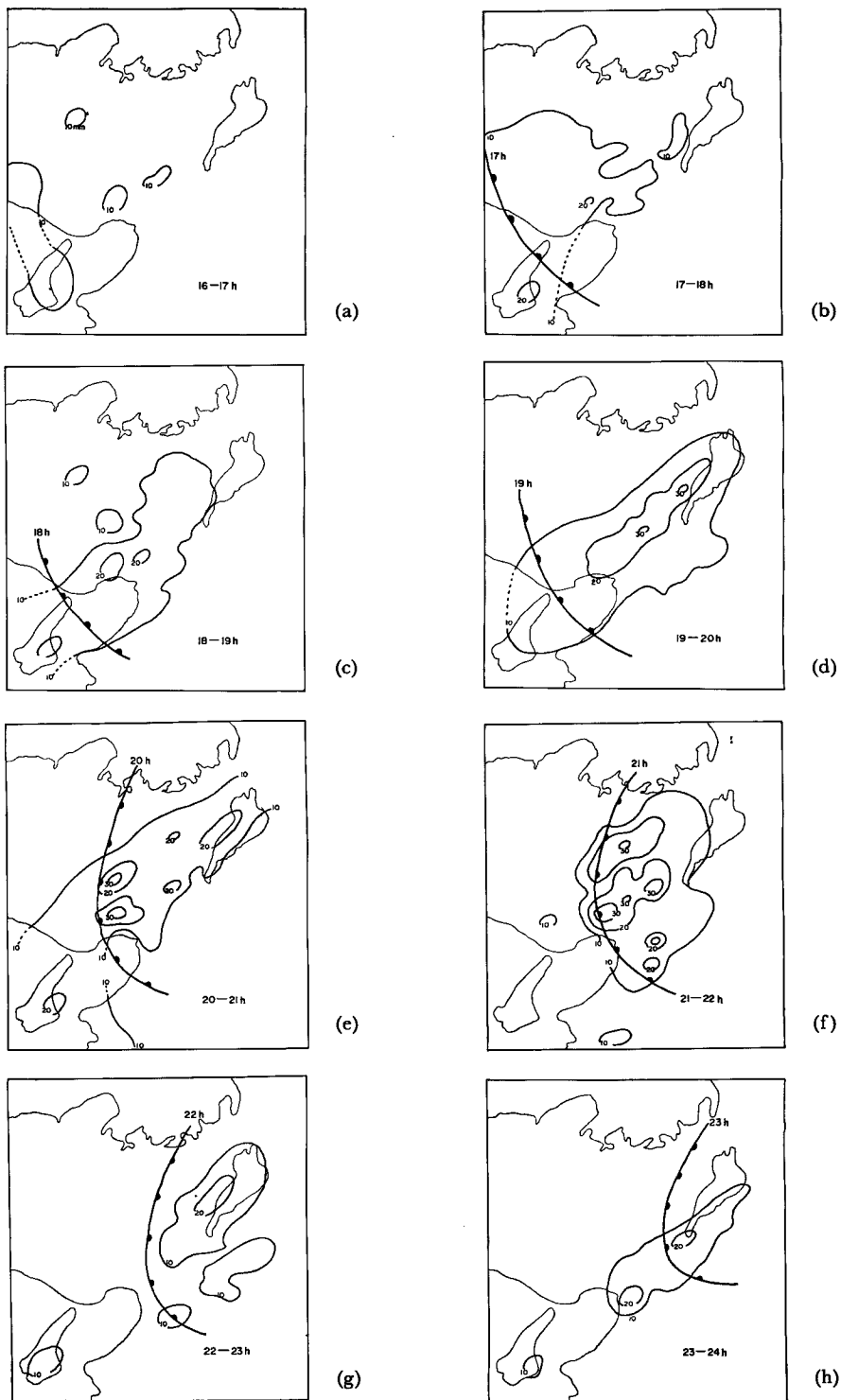


Fig. 7 The distribution of the heavy rainfall area.

～22 時には豪雨域全体が丸みを帯びるが、近畿中部から北東へのびる傾向は依然として存在している。22 時～23 時には温暖前線の移動に伴ない豪雨域全体が北東に移動する。23 時～24 時には豪雨域は非常に細長くなり、温暖前線にほぼ直角な軸に沿って分布する。**Fig. 7** の豪雨域の時間変化をまとめると、次の二つの特徴が指摘できる。まず第 1 に豪雨域は全体として淡路島から琵琶湖へ向けて北東に移動しているが、これは温暖前線の移動にほぼ一致している。第 2 に豪雨域の走向は温暖前線に沿うておらず、むしろそれに直角でありこれは **2.3** で調べた下層ジェットの風向に一致している。以上の二つの特徴から今回の集中豪雨の分布域のパターンは温暖前線の動きと下層ジェットの方法、強さおよび移動方向によって決定されている。

3.2 地上風の収束場

一般に集中豪雨が発生しているとき大気の下層では著しい気流の収束があり、メソスケールの対流活動に対しては $10^{-4}/\text{sec}$ の収束量が対応することが、浅井、松本らによって指摘されている。そこで本報では上記豪雨域と収束場の対応を調べるために **Fig. 8** にある計 17 個の三角領域について収束量を計算した。各三角領域の面積は下表に示すが大きさ一定していない。しかしどれも 1000 km^2 前後でメソスケールの解析を行なうには適した大きさをもっている。なおこれらの三角領域は中国地方と近畿地方の 15 の気象官署から形成した。

三角領域	面積 (km^2)	三角領域	面積 (km^2)
1	950	11	950
2	1010	12	1000
3	860	13	900
4	550	14	1100
5	870	15	1500
6	1050	16	750
7	1100	17	850
8	1500	18	900
9	950		
10	800		

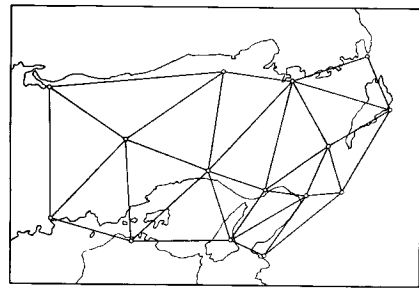
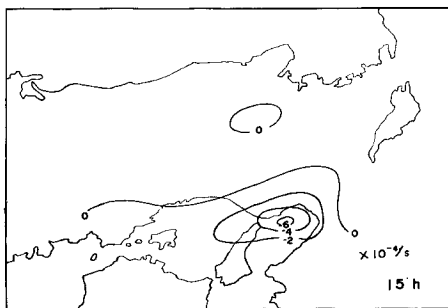
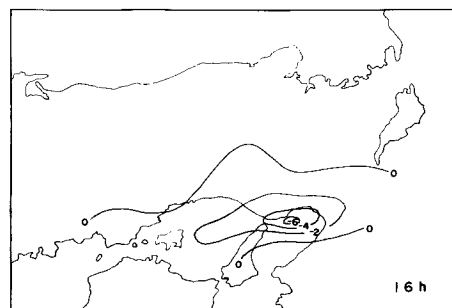


Fig. 8 The triangle area used for the computation of the surface divergence.

収束の計算は風の日記紙を用いて 1 時間毎に前 10 分間の平均風速と平均風向を求めて行なった。その結果から発散収束を求めたものを **Fig. 9** に示す。**Fig. 7** の豪雨分布図と比較するために、収束の計算は 15 時から 24 時の結果を示した。**Fig. 9** より 15 時は瀬戸内海東部と大阪湾周辺および福知山周辺が収束域となっている。特に大阪湾内の収束量は大きく $-6 \times 10^{-4}/\text{sec}$ に達する部分もある。16 時、17 時には収束域は瀬戸内海から中国山地まで拡大している。18 時以後は大阪湾から琵琶湖へのびる収束域が顕著に現われるようになる。この収束域と豪雨分布とは比較的一致している。収束の中心は 21 時まで大阪湾上にあるが 22 時



(a)



(b)

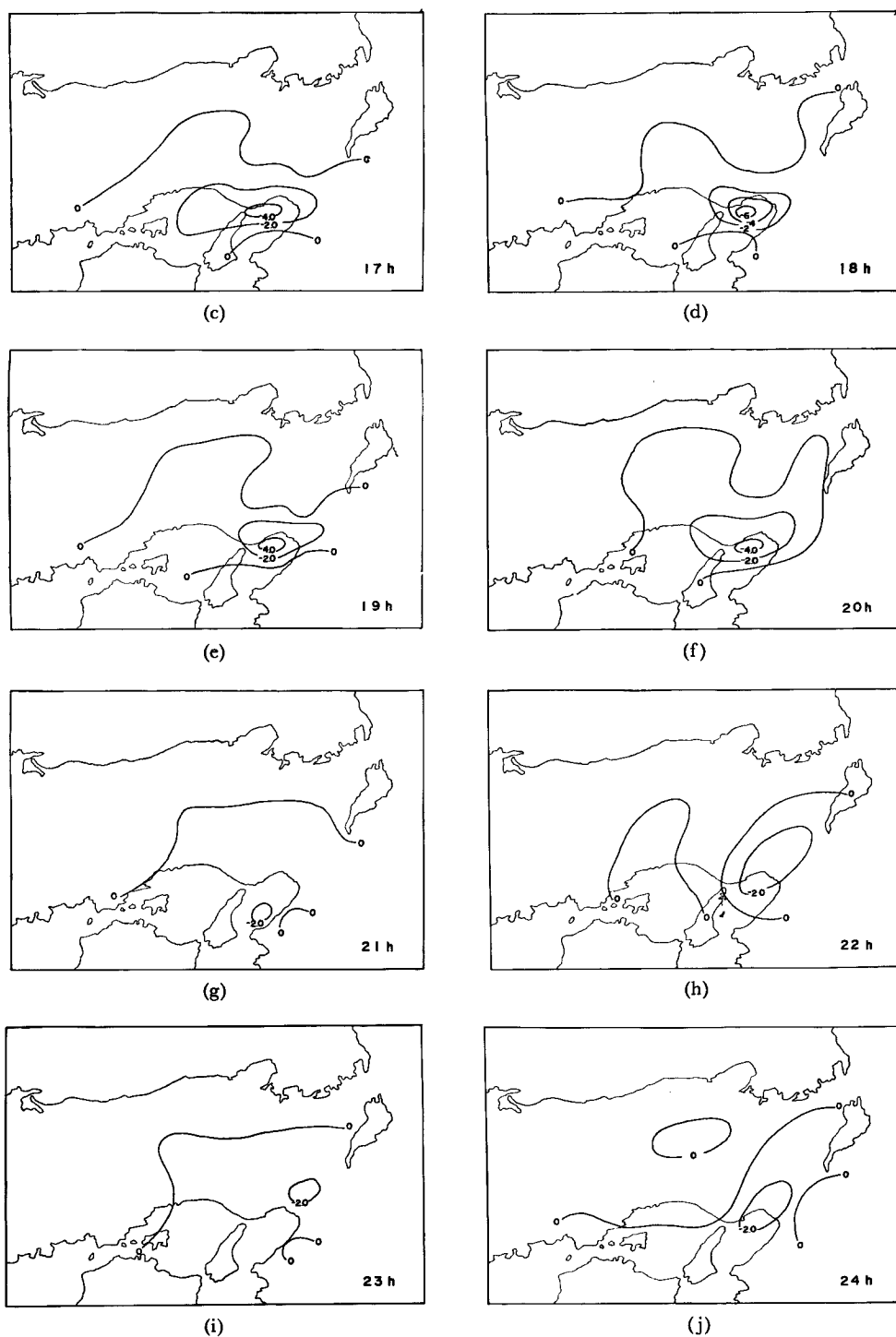
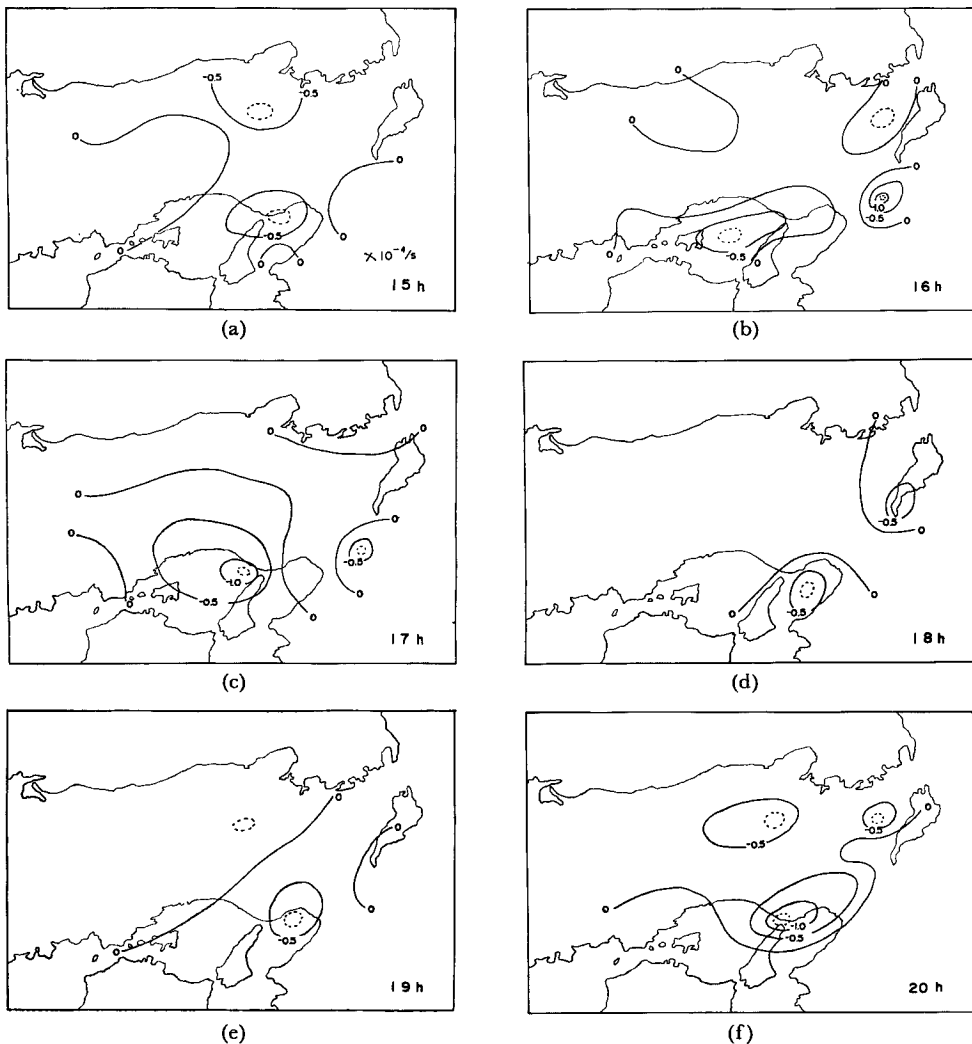


Fig. 9 The convergence field.

以後は北東へ移動して、神戸と京都の間に位置するようになる。以上の特徴をまとめると、第1に瀬戸内海およびその沿岸そして大阪湾から琵琶湖に至る地域が収束域となっており、特に後者の場合 Fig. 7 の豪雨分布と一致する。第2に大阪湾から琵琶湖に至る地域の方が、瀬戸内沿岸よりも収束量は大きい。特に大阪湾は著しく大きい。収束量における両地域のちがいは、両地域の雨量分布にも明確にあらわれている。近畿中部の日雨量が 100 mm 以上であるのに対して、瀬戸内海沿岸地域は 100 mm 以下である。近畿中部において収束量が大きいのは、第1に紀伊水道から大阪湾をへて琵琶湖に至る地域が南に対して開口したロート状の地形をしており、南からの風に対して収束を起こしやすいこと、第2にそのような地形のところに南西の風向をもつ下層ジェットを伴って温暖前線が接近・通過したことによって説明される。

3.3 中規模擾乱の移動

Fig. 9 の収束の計算には三点実測風による算出法を採用したが、この方法では風が地形の影響を著しくうけることが考えられる。そこでこれをのぞくために、5時間移動平均からの偏差をとった。その結果を Fig. 10 に示す。松本らは北陸豪雪や1967年7月豪雨の解析から集中豪雨雪は波長 100~200 km 周期3時



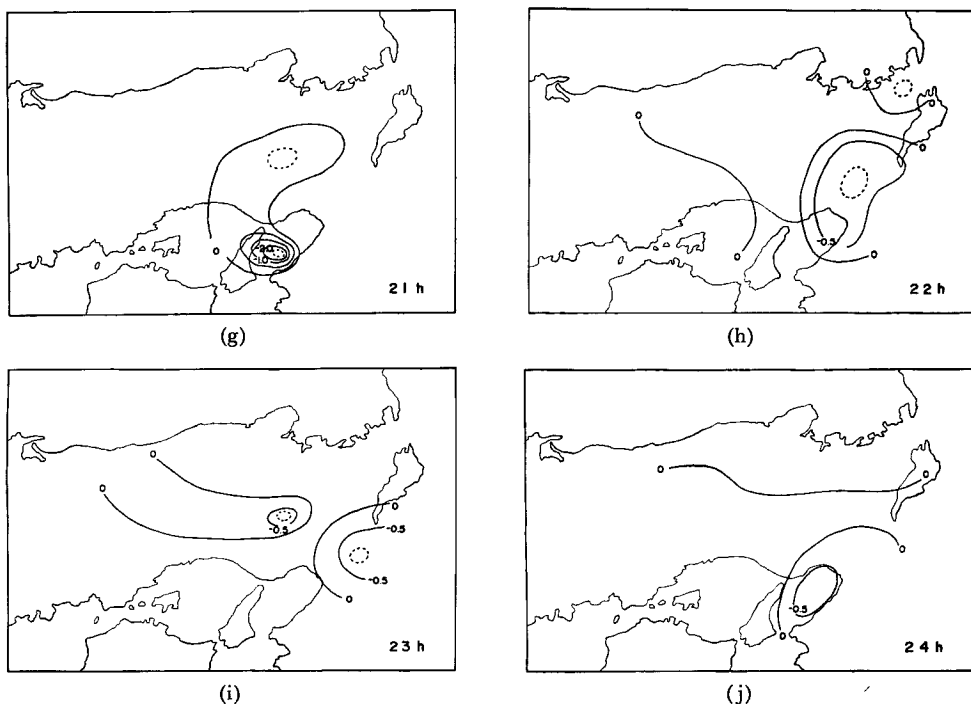


Fig. 10 The deviation field.

間ぐらいの中規模擾乱がシノプティックな低気圧擾乱に重なって生じるとしている。そして、この擾乱をとり出すためには 2.5 時間の移動平均からの偏差を求めている。本報ではむしろ 5 時間位の移動平均からの偏差をとった方が収束域の移動を比較的容易につかめるようである。

Fig. 10 には Fig. 9 同様 15 時から 24 時までの 1 時間毎の結果が示されている。点線で囲んだ領域は負偏差の一番大きいところ、すなわち収束域の中心と考えられる。これらの図から、第 1 に収束域瀬戸内海東部と中国山地の二つの地域に出現し、東ないし北東へ移動すること、第 2 に収束域と Fig. 7 の豪雨域とはだいたい一致していることの二点が指摘できる。Fig. 10 の収束域のうち比較的追跡の可能なものを抽出して、その移動のようを示すと Fig. 11 のようになる。出現順にアルファベットを付している。中国山地

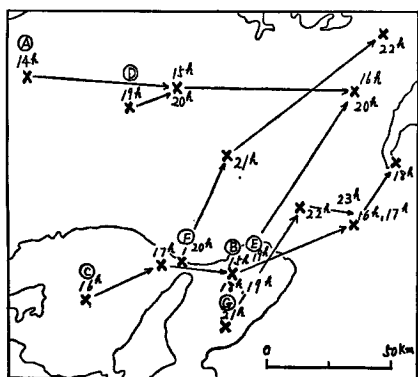


Fig. 11 The traced convergence centers.

沿いに東へ移動するもの A, D と瀬戸内海東部から北東へ移動琵琶湖方面へ至るものと大別できるが、後者の方が多い。松本らによれば中規模擾乱は 500 mb の西風に流されて東へ移動するという。しかし Fig. 11 の大部分の収束域は北東へ移動しており 500 mb の風向よりかむしろ下層ジェットの風向に一致している。又、収束域は 5 時間の移動平均からの偏差によって求められたものであると考え合わせると、この収束域がはたして中規模擾乱に相当するものであるかどうかは、もう少し検討する必要がある。Fig. 11 よりいちおう収束域の波長、移動速度を求めてみると波長 50~200 km 移動速度 30km/hr である。

4. 結 語

古典的な低気圧モデルによると温暖前線に沿っては幅広い並雨域があり、寒冷前線に沿っては狭い強風域があるとされていた。しかし近年になって、古典的モデルでは無降水のはずであった暖域に不安定域が存在し、集中豪雨は主としてこの不安定域に起ることが知られるようになった。この不安定域は、又下層ジェットとも密接に結びついている。中島、後町による過去数年間の集中豪雨の解析から、近畿中部は地形的にもこの下層ジェットを収束強化する要因を備えていることが指摘されている。そしていくつかの解析例から、この集中豪雨が数回波状的に起こり、最後の強い雨が寒冷前線通過に伴って起ることを示した。今回解析した近畿中部の1965年6月25日の集中豪雨は温暖前線との関連が強く、寒冷前線通過時には雨はほとんど止んでいた。集中豪雨域は温暖前線に沿うて分布せず、むしろそれに直交する下層ジェット気流に沿うて細長く分布している。この走向は、地形的にも収束しやすい南西から北東の向きである。更にいうならば、集中豪雨域は下層ジェットと地表の温暖前線の交点付近であり、その交点の移動と共に豪雨域も移動しているのである。

一方、この豪雨域は地上風の収束ともよく一致している。しかし、地上風の収束場の5時間移動平均からの偏差値の分布図をみると上述の豪雨域（温暖前線と下層ジェットの交点）の移動よりは2～3倍速い速度でもう少し規模の小さい擾乱域が移動しているのがわかる。これらは松本らの指摘している中規模擾乱に相当するものかどうかははっきりしなかったが、一応低気圧進行方向に移動するものと、下層ジェットに沿うて移動するものの二つに分類できる。

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頂いた、中島暢太郎教授に感謝の意を表する。また資料を御提供下さった大阪管区气象台はじめ、管内气象台、測候所、および建設省近畿地建淀川統合管理事務所、いろいろ討論下さった後町助教授、田中助手、製図を手伝って下さった多河技官、京都大学大学院生井上治郎氏に深く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 気象庁：北陸豪雪調査報告，気象庁技術報告，第66号，昭43.
- 2) 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43.3，pp. 41-42.
- 3) Matsumoto, S. and Y. Tsuneoka: Some Characteristic Features of the Heavy Rainfalls Observed over the Western Japan on July 9, 1967, Part 2: Displacement and Life Cycle of Mesoscale Rainfall Cells, Jour. Met. Soc. Japan, Ser. II, Vol. 47, No. 4, 1969.