

豪雨の時空間分布に関する研究 (2)

— 広域・毎時雨量資料に基づく相関構造の解析 —

友杉 邦雄・辻 安治

A STUDY ON TIME AND SPACE DISTRIBUTION OF HEAVY RAINFALLS (2)—Analyses of Correlative Structures Based on Great-Sphere Data of Hourly Rainfall—

By *Kunio TOMOSUGI and Yasuharu TSUJI*

Synopsis

Considering need of grasping time and space distribution of heavy rainfall from as wide field of view as possible, heavy rainfalls of the four mutually noticeable cases, which were relatively wide and long in duration, were selected, and data files for a digital computer of their hourly rainfall records at observation points that were widely distributed in almost whole land of Japan for almost whole duration of them, were composed and analyzed synthetically by a mesh method in the preceding study.

In this study, mainly taking problems of filling missing data and ability of statistical forecasting of short term rainfalls into consideration, and focusing on correlative structures of rainfall distribution, analyses and/or examinations of the following items were tried for the data files mentioned above: (1) Auto-correlation coefficients of hourly rainfall series averaged in area of different sizes and of moving average series of hourly rainfall at point, (2) Cross-correlation coefficients of hourly rainfall series at points, (3) Cross-correlation coefficients of hourly rainfall series averaged in blocks formed by the mesh division of $30' \times 30'$, and time lags which give the maximum correlation coefficient, (4) Same as (3) for moving average series.

Some interesting results were obtained through these approach, although they are almost qualitative because of insufficient density and non-uniform distribution of observation points.

1. ま え が き

豪雨の時空間分布に関する解析研究は、豪雨の実態の把握、予測の可能性の検討、あるいは治水計画や防災対策の立案に関わる基本的知識・情報の獲得といった意味で重要であり、従来から数多くなされている。しかし、これらのほとんどは諸々の事情により解析対象の地域範囲及び降雨期間長がかなり限定されたものであり、視野の狭い把握・解釈になりがちである。そこで筆者らは、いわゆる豪雨をもっと広域的・全体的に、また従来と異なる視点から解析研究し直すことの必要性を認識し、その手始めとして、比較的広域かつ長期にわたるそれぞれ特徴のある豪雨を4ケース選び、観測点密度は不十分なから、ほぼ全国ネットの地点の、当該豪雨に関わるほぼ全降雨期間の、毎時雨量記録を大型電子計算機用にファイル化し、解析の方法論や豪雨の諸特性の定量的把握・表現法の模索を兼ねて、メッシュ法に基づいて、マップ表示による雨量分布の経時追跡の可能性、数種の豪雨特性量の経時変化、雨域の規模と最大地点雨量の関係、及び降雨最盛期の雨量の空間分布特性の解析・検討を試み、いくつかの興味ある知見を得ている¹⁾。

本研究は基本的に上記の研究の延長であり、今回は、殊に短時間雨量の統計的予測の可能性の検討、ある

いは欠測ないし未入手記録の補完問題に関連して、豪雨の時空間分布の相関構造に注目し、前回と内容的に同じデータ・ファイルを利用して、その特性を種々の視点と方法で解析し、4ケースの豪雨について比較・検討を試みた。その概要は以下の通りである。

まず、2では対象とする4ケースの豪雨の一般的特徴ならびにデータ・ファイルの内容について略述し、3では、空間平均毎時雨量系列の自己相関解析を行うことによって、平均化する空間スケールの効果と周期特性について検討すると共に、時間的に移動平均した地点毎時雨量系列の場合についても若干触れる。4では、4.1において、まず、地点雨量系列の時差を考慮しない相互相関係数の空間分布について、広域的・全体的に見た場合と比較的狭い範囲で見た場合について検討し、ついで比較的近地点間で、時差を考慮した場合について検討することによって、補完問題について言及する。また、4.2では、筆者らによって前回行われた¹⁾ものよりも大きな(約15倍)新たなメッシュ分割法によってできるブロック内の平均毎時雨量系列の相互相関係数の空間分布について、まず、時差を考慮しない場合を、ついで、時差を考慮した場合の最大の相関係数及びそれを与える時差の分布をマップ表示し、雨域の移動状況の把握あるいは予測の可能性について考察する。最後に、5で、本研究で得られた結果をまとめ、今後の課題等を述べて、あとがきとしている。

2. 対象豪雨と資料の構成概要

前述のように、本研究では前回の研究の際に構成した4ケースの豪雨の毎時雨量記録に関するデータ・ファイルの内容的にほぼそのまま用いるわけであり、対象豪雨の概要や毎時雨量資料の収集・整理及びデータ・ファイルの構成の方針については前報²⁾に述べられているため、ここでは、重複はするが最少限必要な点と、前報で記述不足であった点について述べることにする。

2.1 対象豪雨

- (1) 昭和34年9月伊勢湾台風豪雨；典型的な超大型の台風性豪雨³⁾で、これを Case 1 とする。
- (2) 昭和36年6月梅雨前線豪雨；梅雨前線による長期型豪雨⁴⁾で、これを Case 2 とする。
- (3) 昭和42年7月豪雨；いわゆる集中豪雨の典型的なもの1つで⁵⁾、これを Case 3 とする。
- (4) 昭和51年9月豪雨；停滞した台風(17号)と前線の合作用によるもの⁶⁾で、これを Case 4 とする。

2.2 毎時雨量資料の原典

前記の Case 1~3 については、気象庁発行の「大雨予想資料」、Case 4 については、その生じた前年度(1975年度)より開始された、AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) の資料 (MT)。

2.3 データ・ファイルの構成

(1) ファイル化された期間と地点数

各ケースの毎時雨量記録がファイル化された期間、期間長 (hr.) 及び観測地点数は **Table 1** に示す通りである。Case 4 のみ日界は午前0時である。また、地点数については、北海道と沖縄県の地点を除外したものであるが、Case 4 の場合、資料原典がMTであるという性質上容易にファイルに追加でき、括弧内に示した919地点というのは沖縄県を含めた場合である。4.1(1) a の解析の場合、Case 4 に限り沖縄県を含める。

(2) データ・ファイルの内容と形式

京都大学大型計算機センターに登録した上記データ・ファイルの内容と形式について、1つのデータ・セット(1つの豪雨ケースに対応)のものを示したのが **Table 2** である。以下にこの内容 (Contents) について、若干補足説明を行う。まず先頭記録 (Head Record) であるが、これはある豪雨ケースの生じた年(西暦)、**Table 1** に示した対象期間の始めの月、日、及び終りの日、そして総日数である。総日数は Case 1 のみ4日で、他はすべて7日である。つぎに続く記録は、1つの観測点に関するもので、**Table 1** に示した地点数ぶんの記録が同じ形式で続いていることを意味する。まず、地点番号 (informal) というのは、磁気テープに入力されたときの順番の通し番号である。地点番号 (formal, JMA) は、気象庁で付けられた観測点番号で、すべて5ケタの整数値となっているが、AMeDAS では異なった番号の付け方をしている点に注意しな

Table 1. The filed period and numbers of observation points with regard to the four cases of heavy rainfalls for the big digital computer.

	period of time	length (hours)	No. of points
Case 1	1959. 9. 23. 9:00—9. 27. 9:00	96	713
Case 2	1961. 6. 24. 9:00—7. 1. 9:00	168	466
Case 3	1967. 7. 5. 9:00—7. 12. 9:00	168	460
Case 4	1976. 9. 8. 0:00—9. 15. 0:00	168	908 (919)

Table 2. Contents and format of the data set for each rain case registered in the computer system.

DCB parameter: RECFM=FB, BLKSIZE=2560, LRECL=256		
	Contents	Format
Head Record	the year (A.D.)	I 4
	the month	I 2
	the day of start	I 2
	the day of end	I 2
	duration (days)	I 2
Following Record (repeated)	point No. (informal)	I 5
	point No. (formal, JMA)	I 5
	block No. (i, j)	
	i (EW direction)	I 3
	j (NS direction)	I 3
	latitude	
	degrees	F 5. 1
	minutes	F 5. 1
	longitude	
	degrees	F 5. 1
	minutes	F 5. 1
name of point (JMA)	A 40	
hourly rainfalls (mm)	168 I 4 or 96 I 4	

ればならない。つきに、ブロック番号 (i, j) というのは 前報で行ったメッシュ分割 (経度 1° を 10 等分, 緯度 1° を 6 等分, 即ち $6' \times 10'$) によってできるブロックの位置のブロック単位の座標を番号としているもので、原点は東経 129° 北緯 31° であり、当該地点がどのブロックに含まれているかを示している。つきに来るのは観測地点の位置を示す緯度と経度であるが、これらは度の位と分の位を別々に表示している。つぎの地点名 (JMA) は文字型定数で記録されており、Case 1~3 はローマ字 (英字) であるが、Case 4 はカナ文字で記録されている。そして最後に、その地点の毎時雨量が期間長分 (Case 1 のみ 96 時間, 他は 168 時間)、起時の順に並ぶわけであるが、雨量の最小単位は、四捨五入により 1 mm となっている。また欠測の場合は -999 という数値が記録されている。

本研究では、以上に述べたデータ・ファイルに基づき、主として、グラフィック・ディスプレイ装置のついた TSS 端末機を用いて、種々の解析計算を行ったわけである。

3. 空間平均毎時雨量系列の自己相関特性の検討

一般に、地点毎時雨量系列の自己相関関数は、同じ豪雨ケースでも地点により様々な様相を呈すると考え

られ、各タイムラグごとに相関係数の確率分布を調べて見ることも興味あるが、ここでは、空間的に平均化された毎時雨量系列の自己相関関数を考え、平均化される空間スケールによって、それがどのようなかという点に興味の対象を絞り、概括的ではあるが、検討した結果について述べる。なお、タイムラグを τ (hr.) としたときの自己相関関数 $r(\tau)$ は次式によって評価した。

$$r(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x(i) - \bar{x}_1)(x(i+\tau) - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x(i) - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x(i+\tau) - \bar{x}_2)^2}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 $x(i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) は、地点毎時雨量系列またはそれらのある面積内の地点に関して単純平均した面積平均毎時雨量系列であり、 \bar{x}_1, \bar{x}_2 はその系列の平均値で、

$$\left. \begin{aligned} \bar{x}_1 &= \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} x(i) \\ \bar{x}_2 &= \frac{1}{n-\tau} \sum_{i=1}^{n-\tau} x(i+\tau) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots(2)$$

である。系列長 n は **Table 1** に示したように、欠測等のない場合、Case 1 で 96、Case 2~4 では 168 であるが、欠測等が多く、 $n-\tau \leq 24$ となる場合 (Case 3 のみ) は、計算を打ち切った。

さて、最小の空間スケールとして、当然、点を選ぶが、その地点として、ここでは大阪地点 (大阪管区気象台) を選び、そこを中心とした半径 30km、及び 60km の円内 (**Fig. 1** 参照) の地点のそれぞれの単純平均毎時雨量系列、さらに、あまり実際的ではないが、総体的にみた降雨勢力の変動という意味で、ファイル

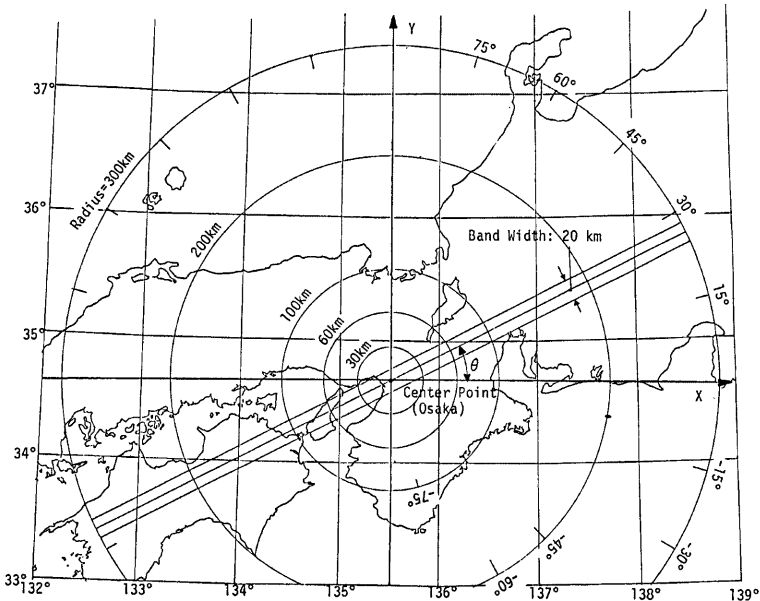


Fig. 1. Definitions of X-Y coordinate and rotating band on the map of area with center point, Osaka.

化された全地点の単純平均毎時雨量系列、の計4種の空間スケールの毎時雨量系列をとりあげ、それぞれ各ケースについて調べることにした。なお、大阪地点と各地点間の距離 $D(\text{km})$ の計算は、 X 方向（東西方向）成分、 Y 方向（南北方向）成分の距離をそれぞれ次の近似式に基づいて求め、(5) 式によった。

$$X = 111.3 \cdot (\theta - \theta_0) \cdot \cos \varphi_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Y = 110.8 \cdot (\varphi - \varphi_0) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 θ, φ はそれぞれ各地点の位置の経度、緯度であり、添字 0 のついたものはこの場合、大阪地点のものを表わす。

$$D = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad \dots\dots\dots (5)$$

まず、Fig. 2 (a)~(b) に、上述の毎時雨量系列がどのようなものであるかを、各豪雨ケースの概況の理解の補助を兼ねて示す。各ケース共、一番上が大阪地点（地点番号 No. 47772、ただし Case 4 のみ AMeDAS 独自のもので、No. 62076）のもの、2 段目は半径 30km 内にある地点のものの単純平均（地点数は同図中に示してあるように、Case 1 は 5、Case 2、3 は 6、Case 4 は 12）、3 段目は半径 60km 内の同様のもの（地点数は Case 1、3 は 33、Case 2 は 28、Case 4 は 42）、一番下が、半径 10000km と記してあるが、要するに全地点のものの単純平均（地点数は Table 1 にも示した通り）である。なお、Case 2、3 で時間軸が太い線で示されている区間は、円内のすべての地点で欠測扱いとなっている場合で、とくに Case 3 でそのような場合が多い。

さて、これらの図から平均化する空間スケールが大きくなるにつれて、ハイトグラフが滑らかになることがわかるが、殊に Case 4 の全地点平均のものは、地点数が多く、かつ無降雨の場合も欠測扱いになっていないためあってか、極めてなだらかになっている。Fig. 3 (a)~(b) はこれらの毎時雨量系列の自己相関係数を 1 時間単位で、タイムラグ 48hr. まで（ただし、Case 3 は全地点平均のもの以外は 11hr. まで）計算したものを示している。各ケース共、上段の図が大阪地点（実線）と半径 30km 内の平均のもの（点線）、下段の図は半径 60km 内の平均のもの（実線）と全地点平均のもの（点線）である。これらの図からつぎのようことがわかる。

まず、全般的にみえることは、どのケースも平均化する空間スケールが大きくなるほど、自己相関関数が滑らかになり、かつタイムラグがゼロの近傍で、その増加に伴う相関係数値の低下の割合が小さくなるということである。このことは前図のハイトグラフからも当然予想される結果であるが、後者の点は、換言すれば時系列の持続性が大きくなることを意味している。つぎに、この持続性と、周期性に注目して、各ケース間の比較をしてみよう。

まず、大阪地点のものについてみる。持続性については、相関係数がはじめて 0.5 以下になるタイムラグを目安にすると、Case 3 が一番大きくて 2 hr. で、他はいずれも 1 hr. 程度であるが、はじめてゼロになるタイムラグを目安にすると、逆に Case 3 が一番小さく 4 hr., Case 4 が一番大きく 8 hr. 程度となっている。また、短時間の周期性については、明確ではないが Case 1, 3, 4 では 2 hr., Case 2 では 4 hr. 程度の周期の存在を暗示する山が見うけられる。より長時間のものについては、山はあっても相関係数の値自体がかなり小さいので何もいえない。

つぎに、半径 30km 内平均のものについてみると、持続性は、0.5 を目安にした場合、いずれのケースもほぼ同程度、ゼロを目安とした場合、Case 4 が一番大きく 10hr., 他は 6~7 hr. となっている。周期性については、Case 1, 3, 4 に 2~4 hr. の短時間の周期成分が存在するように見え、Case 1, 2 に 1 日程度の周期成分があるように見うけられる。

半径 60km 内平均のものについて、持続性の点から見ると、Case 1 のものが特徴的である。即ち、タイムラグが 1~2 hr. のところで、他のケースと比して相関係数の減り方が遅くなっている。これは台風性降雨の特性でその移動速度と関連があるのではないかと考えられる。なお、周期性については、Case 1, 2 に 1

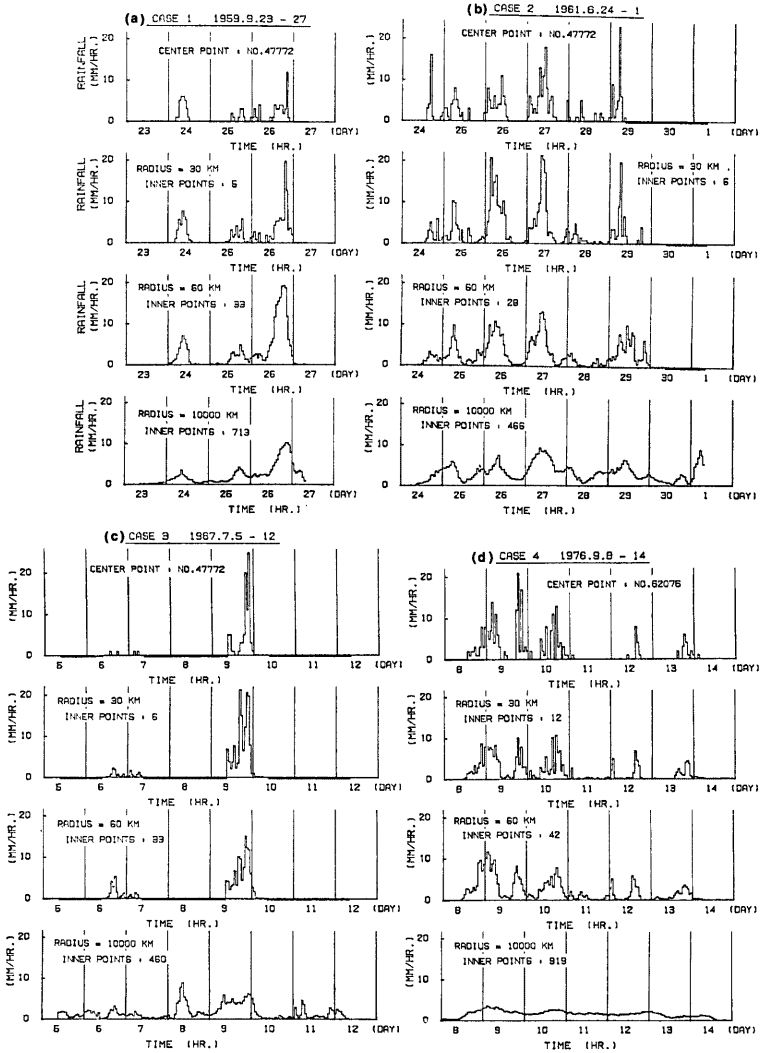


Fig. 2. Hyetographs of hourly rainfalls simply averaged in the circles of radius, 0, 30, 60, and 10000 (km), setting Osaka as the center point (see Fig. 1) for each rain case.

日程度の周期成分があるように見え興味深い、Case 4 では1日半以上の周期成分らしきものが見られ、これらはあまり普遍性はないと考えられよう。

最後に、全地点平均のものはあまり実際の意味はないが、総体的にみた降雨勢力の変動特性という観点からみると、殊に Case 1 の1日程度の周期成分、Case 4 の持続性の大きさが目立っており、興味深い。

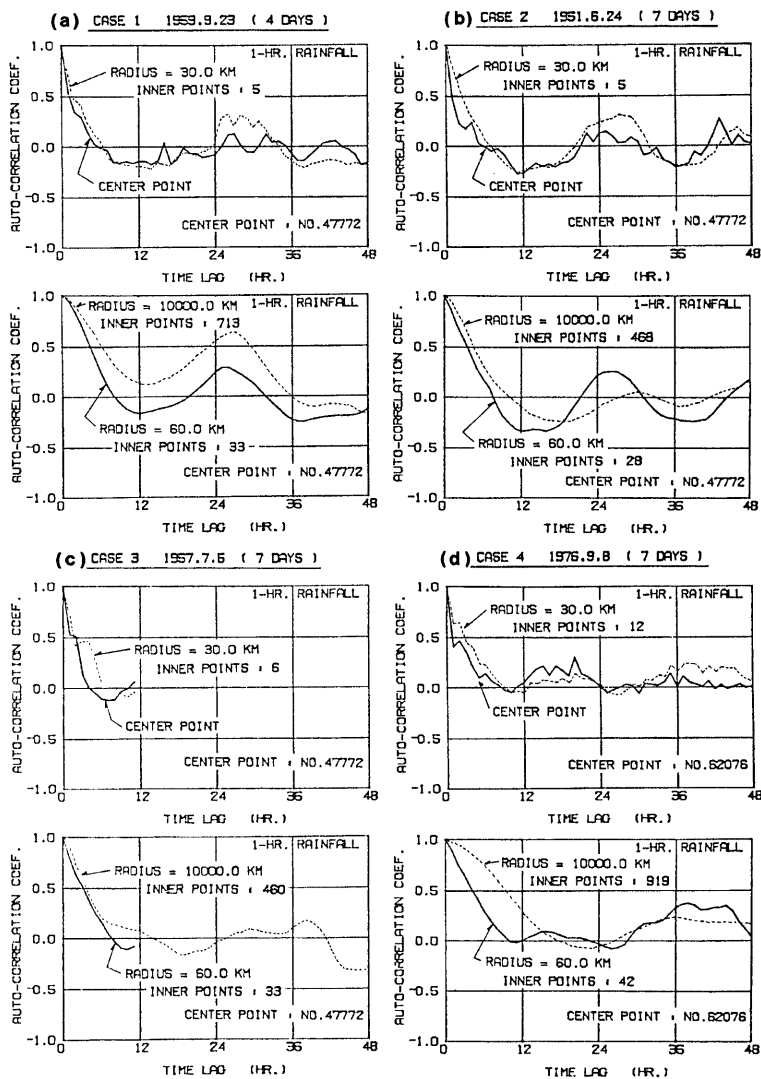


Fig. 3. Auto-correlation coefficients of the hourly rainfall series shown in Fig. 2.

以上、ここでは平均化する空間スケールが雨量の時系列特性に及ぼす効果と周期特性について若干検討したが、地点毎時雨量系列を時間的に移動平均した系列について、平均化する時間スケールの効果についても若干検討し、両者の効果はよく似ているという結果を得ている（図は紙面の都合で割愛）。その理由は雨域の移動速度からある程度説明づけられるようである。

4. 毎時雨量系列の相互相関構造の検討

ここでは、まず 4.1 で地点毎時雨量の相互相関係数について時差を考慮しないで、全国的な視野及び比較的狭い視野から見た空間分布特性と共に、比較的近地点間の若干のものについて、時差を考慮した場合を検討し、補完問題との関連について言及する。ついで 4.2 では、前回行ったもの¹⁾とはサイズと対象範囲において異なるが、メッシュ分割によってできるブロック内平均毎時雨量系列あるいはその移動平均系列の相互相関係数について、時差を考慮しない場合とする場合の空間分布を検討し、雨域の移動状況の把握、短時間雨量の統計的予測の可能性について吟味する。なお、相互相関係数(関数)の計算は次式によった。

$$r_{ki}(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_k(i) - \bar{x}_k)(x_l(i+\tau) - \bar{x}_l)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_k(i) - \bar{x}_k)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-\tau} (x_l(i+\tau) - \bar{x}_l)^2}} \quad (\text{for } \tau \geq 0)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n+\tau} (x_k(i-\tau) - \bar{x}_k)(x_l(i) - \bar{x}_l)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n+\tau} (x_k(i-\tau) - \bar{x}_k)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n+\tau} (x_l(i) - \bar{x}_l)^2}} \quad (\text{for } \tau < 0)$$

.....(6)

ここに、 $x_k(i)$, $x_l(i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) はそれぞれ地点 k , 地点 l の毎時雨量系列, 又はブロック k , ブロック l のブロック内平均毎時雨量系列であり、 \bar{x}_k , \bar{x}_l はそれぞれを、(2) 式と同様 $n-|\tau|(\text{hr.})$ について平均したものである。又、この場合も、 $n-|\tau| > 24$ となる場合のみ計算を行った。

4.1 地点毎時雨量系列の相互相関係数

(1) 地点間の距離との関係 ($\tau=0$)

ここでは、大阪地点を固定点とし、大阪地点の毎時雨量系列に対する他の地点の時差 $\tau=0$ のそれとの相関係数が、大阪地点と他の地点の空間的位置関係(距離, 方角)によってどのようになるかを、つぎのような視点と方法で検討する。

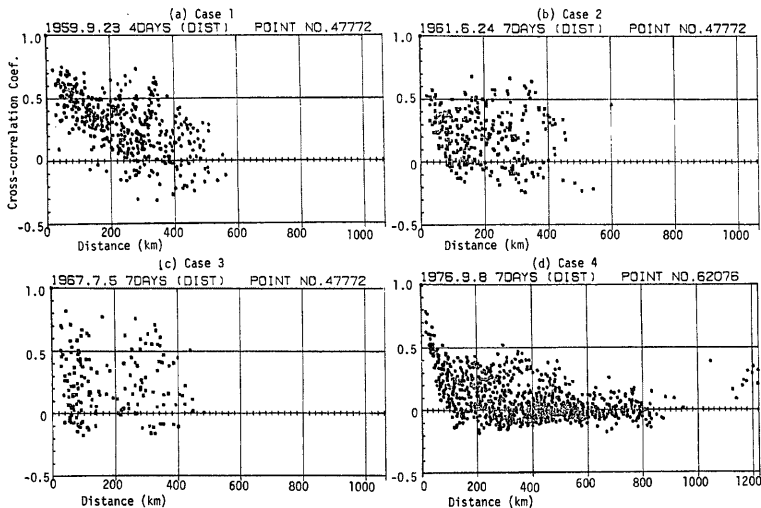


Fig. 4. Scattering relationships between D (km), distance from a fixed point to any point, and r , cross-correlation coefficient of hourly rainfall series of their points for time lag $\tau=0$. Osaka was selected as the fixed point.

まず、広域的かつ概観的な視点から、全地点を対象として、大阪地点に対する方角を無視した直線距離との関係を調べ、ついで、それらの概略の方角を知るため、その直線距離ベクトルを東西方向と南北方向の距離成分に分解して調べる。

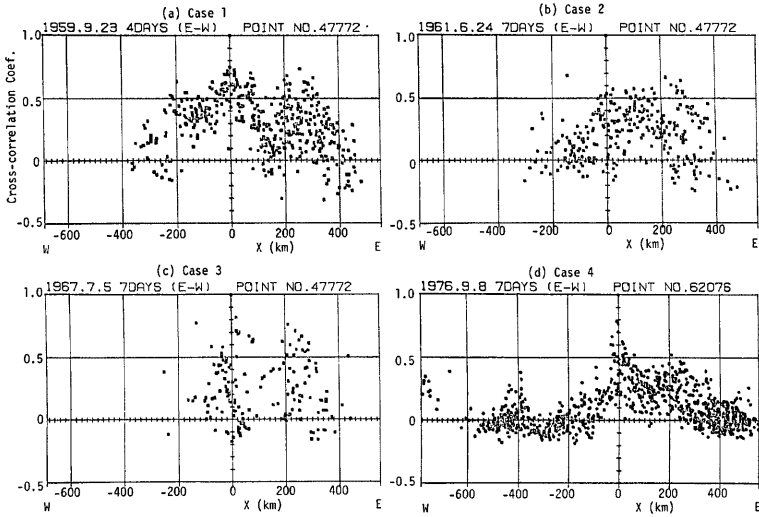


Fig. 5. Similar relationships with Fig. 4, but D is replaced by X (km), EW directional component of distance vector from the fixed point to any point.

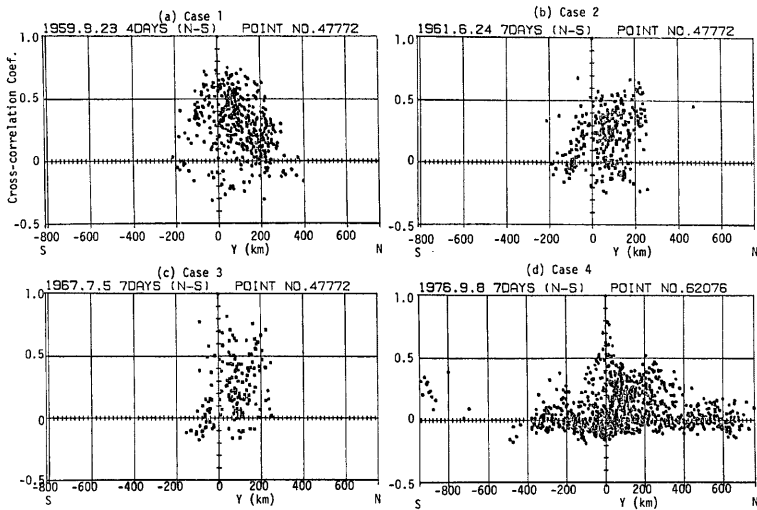


Fig. 6. Similar relationships to Fig. 5, but X is replaced by Y (km), NS directional component.

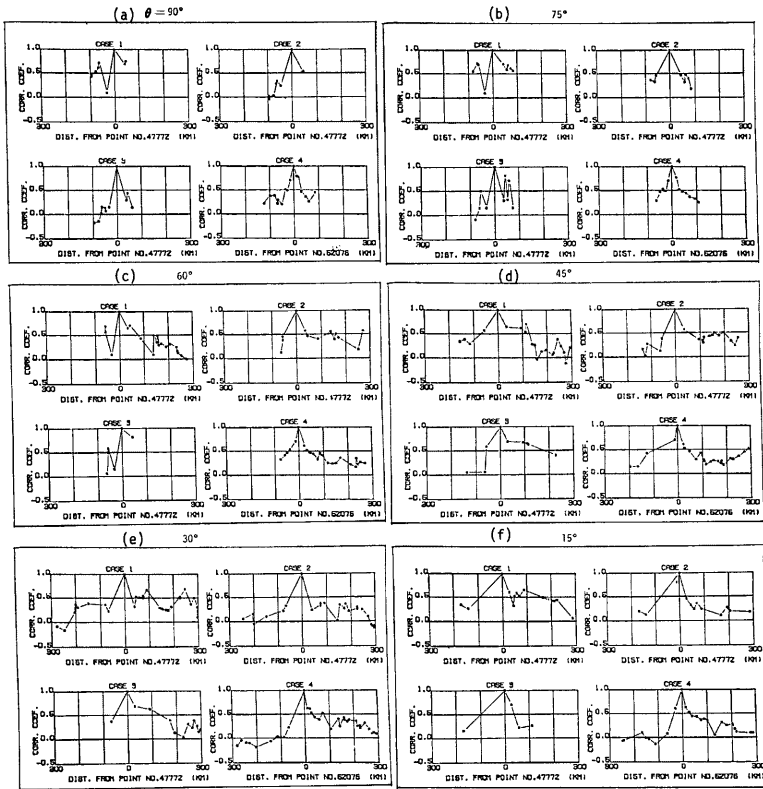


Fig. 7. Relationships between distance from the fixed point Osaka to any point in the rotating band shown in Fig. 1 and cross-correlation coefficient of hourly rainfall series of their points for time lag $\tau=0$. θ is rotating angle from X -axis.

つぎに対象範囲を狭め、方も明確にした距離との関係を検討するため、前掲の Fig. 1 に示すような大阪地点を中心とする (X, Y) 座標系を考え、同図に示すような半径 300km、幅 20km のバンド内の地点のみを対象として、 X 軸からの回転角 θ (反時計回りを正) を種々変えて調べる。

a. 広域的に見た場合

i) 直線距離との関係

Fig. 4 (a)~(d) は各ケースについて、大阪地点の毎時雨量系列と他のすべての地点の時差 0 のそれとの相互相関係数 r と、(5) 式で求めた大阪地点との直線距離 D (km) の関係をプロットしたものである。いずれのケースも 200km 程度までは、平均的にみて距離と共に減少する傾向を示しているが、その減少の割合は Case 1 が他と比して緩やかなことがわかる。これは台風性豪雨の特性と考えられる。また、いずれのケースも上限の包絡線に、300km 程度のところに山ができては興味深い点があるが、その理由は不明である。ただ、台風性豪雨の場合は、外側降雨帯と呼ばれるものが存在し、距離的にもほぼ一致する⁸⁾ので、それが対応しているとも考えられる。いずれにしても、分散がかなり大きい。

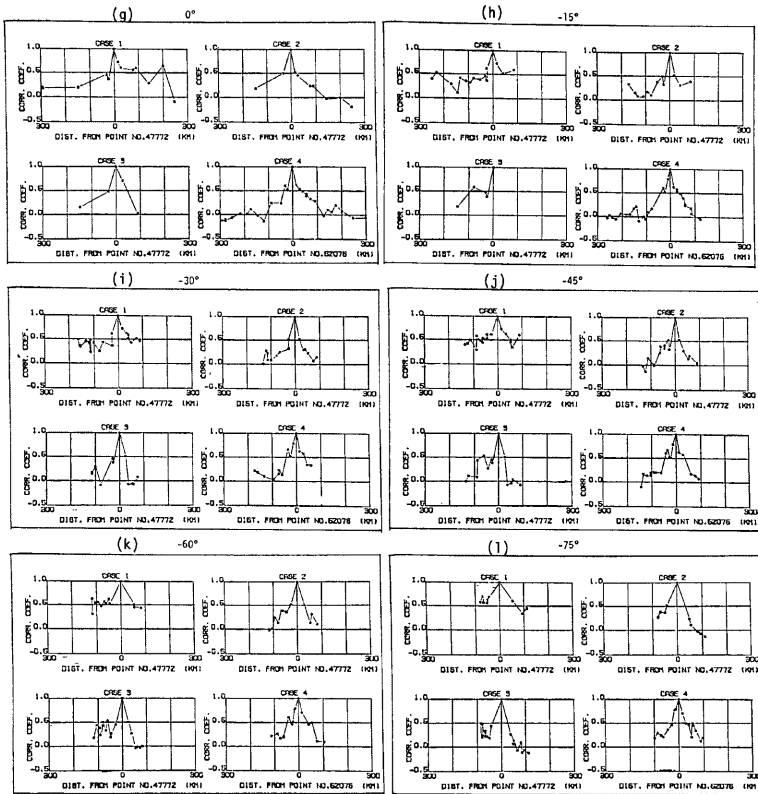


Fig. 7. (continued)

ii) 東西及び南北方向の距離成分との関係

前図では方位が不明なので、先ほどの上限の包絡線の山がどのあたりのものかわからない。そこで前図を東西方向の距離成分 X ((3) 式), 及び南北方向の距離成分 Y ((4) 式) に分解してみた。Fig. 5 (a)~(d), Fig. 6 (a)~(d) は、それぞれ、 r と X (km), r と Y (km) の関係を、各ケースごとにプロットしたものである。前者は東方向が正、後者は北方向が正である。

まず、Fig. 5 の東西方向成分との関係を見ると前記の包絡線の山は大阪より東方にあることがわかる。同様に、Fig. 6 からは、大阪より北と判定される。すなわち、大阪よりほぼ北東方 300km あたりとなり、そこは中部山岳地帯に相当する。このあたりと大阪地点の相関が比較的高い理由は前述のように不明である。なお、Fig. 5 (d) の Case 4 の場合は、西方 400km あたりにも同様な山があり、これも台風17号の外側降雨帯の1つに相当するものかもしれない。とにかく、これらの図から、たとえば Case 1 は東西両方向の比較的大い範囲にわたって相関が比較的高いということなどが読みとれよう。

b. 半径 300km, 幅 20km のバンド内の場合

一般に雨域は帯状となっていることから、相互相関にもその帯に対応するようなある種の指向性が存在することが考えられる。そこで、前述のように、大阪を中心とする半径 300km, 幅 20km のバンド (Fig. 1

参照)を、回転角 θ を 90° から 15° きざみに時計回りにとって、 -75° まで回転させて、各バンド内の地点と大阪地点(中心点)との r と、 θ 方向の距離成分 $D_\theta(\text{km})$ との関係(大阪以東を右方向の軸に、 $\theta=90^\circ$ のときは北を右方向の軸にする)を、それぞれ回転角度別に各ケースごとにプロットしてみた。その結果が Fig. 7 (a)~(l) である。面積が小さいため地点数はかなり少なく、またどのバンドにも現われない地点、逆にの値の近いバンド間では、両方に現われる地点もあるが、これによってある程度方向による相関係数の変化の相違、すなわち指向性を見ることができる。

まず、全体的な特徴としては、今まで見てきたように、各バンド内でも距離に近いほど相関が高いという傾向がある。しかし、方向によって距離に伴う相関係数値の低下の割合には差があるようである。これらの中で、バンド内の各地点の相関係数値が全体的に高い場合には、その方向での降雨パターンが似かよったものであることになる。Case 1 の場合には、 $\theta = -45^\circ, -60^\circ$ (Fig. 7 (j), (k)) で相関係数値が全体的に高くなっているが、この方向は、台風の進路に対して直角方向より、時計回り方向に $30^\circ \sim 45^\circ$ 程度の方向である。一方、Case 2, 3 では $+45^\circ$ の方向、しかも大阪地点より北東側で比較の相関係数値が高い。これらの方向は、前回試みたメッシュ法による雨域のマップ表示によって見られた帯状雨域の方向とよく一致している。

(2) 比較的近地点間で時差を考慮した場合

まず、1 地点は先と同様、大阪地点をとり、もう 1 地点を各ケースについて十分データが存在するという意味で京都地点(地方気象台、地点番号47759 (Case 1~3), 61286 (Case 4))を選んだ場合を示す。両地点間の距離は約 42km である。Fig. 8 (a)~(d) は $\tau = -48 \sim 48 \text{ hr.}$ について(6)式により計算したもので、同じで京都地点を k 、大阪地点を l にとっている。従って、マイナス側にピークがあれば、大阪の方が、たとえば先に降り始めたといった関係にある。Case 1 は伊勢湾台風時のものであるが、 $\tau=0$ で相関係数が最大になっている。同台風の上陸後の速度は $70 \sim 80 \text{ km/hr.}$ で²⁾、大阪から京都に至るのに 30 分程度であるから、

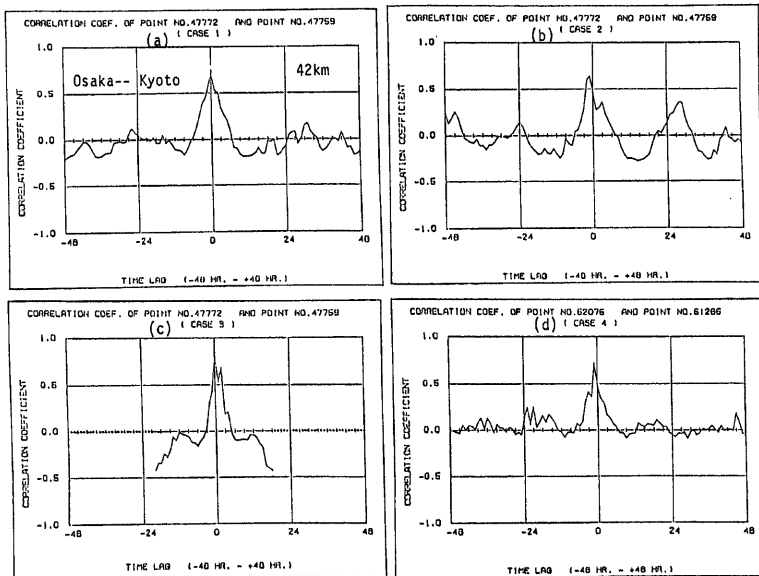


Fig. 8. Cross-correlation coefficients between hourly rainfall series of point Osaka and those of point Kyoto, for time lag $\tau = -48 \sim +48$ (hr.).

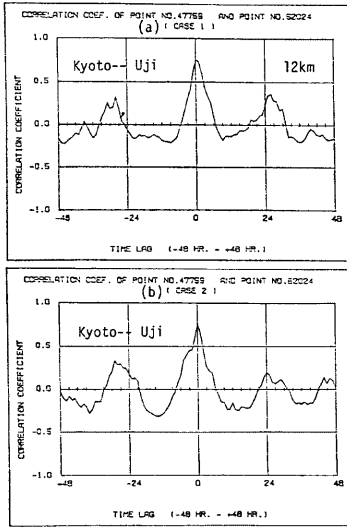


Fig. 9. As in Fig. 8, between Kyoto and Uji for Case 1 and 2.

時差はほとんどないのであろう。Case 2, 4 は最大値が $\tau = -1$ hr. の所にある。これは大阪の降雨が京都より約 1 hr. 全体的に早かったことを示している。このように、比較的近地点間でも、前線による降雨の場合には、台風の場合と異り明らかに時差が認められ、前線性の方が雨域がより狭い範囲に集中し易く、移動速度も比較的遅いということがこの例からもうかがえる。

つぎに、さらに距離が近い場合の例として、Case 1, 2 では京都-宇治間 (距離約 12km) について (Fig. 9(a), (b)), また Case 4 では大阪-伊丹間 (約 13km), 大阪-生駒山間 (約 17km) 及び大阪-堺間 (約 13km) について (Fig. 10 (a)~(c)) 同様の計算を行った。まず、各ケースに共通しているのは、相関係数が最大となるのが $\tau = 0$ のときであり、距離が近いほど時差が小さくなることを示しているが、これは当然のことであろう。また、ほとんどのケースで、相関係数の最大値が大坂-京都間の場合より大きい、Case 4 では、大阪-生駒山間では 0.63, 大阪-堺間では 0.70 とそれぞれ、大阪-京都間の場合 (0.72) より小さくなっており、殊に生駒山の場合はかなり小さくなっている。これは、生駒山が他の地点と異り山地部の観測点であるという地形的な影響も考えられる。

(3) 補完問題との関連について

以上のように、ここでは、大阪を中心として広域的・概観的に、また比較的小区域の方角別のバンド内で、距離による時差 0 の相関係数の低下の様子について、また比較的近地点間の相互相関関数の若干例について検討してみただけであるが、ここに示した結果だけを見ても、一般に、こうした時空間相関構造の複雑性、多様性がうかがえ、また 10 数 km 程度の近地点間でも最大の相関係数がせいぜい 0.7 程度であることから、欠測地点の毎時雨量の内挿、殊に外挿問題の難しさが再認識される。ただし、この問題については、さらに特定の小区ごとに、気象・地形条件等を考慮した詳細な検討をする余地が残されている。

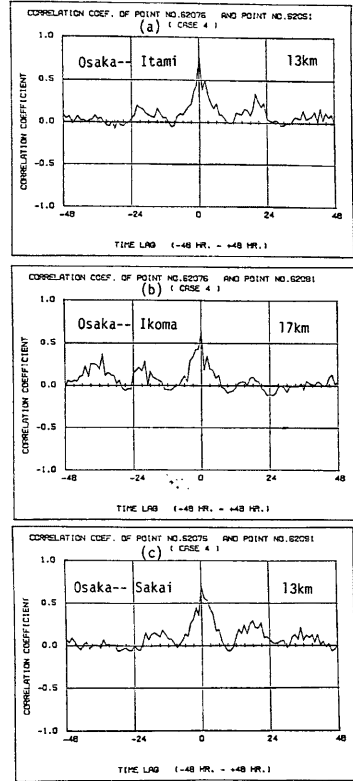


Fig. 10. As in Fig. 8, Itami, Ikoma and Sakai against Osaka for Case 4.

4.2 メッシュ分割によるブロック内平均雨量系列の相互相関係数

(1) 対象範囲とメッシュ分割の方法

広域的な雨域の経時追跡の可能性を検討するために、既に述べたように前報では北海道と沖縄県を除くほぼ全国を対象として $6' \times 10'$ のメッシュを用いたが、ここでは、対象範囲を北緯 $32^\circ \sim 38^\circ$ 、東経 $132^\circ \sim 140^\circ$

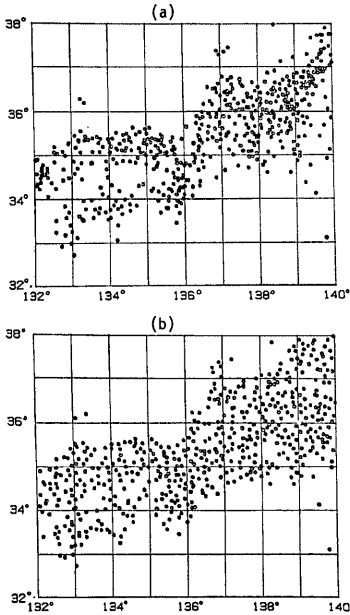


Fig. 11. Range selected for the mesh analysis, and distributions of the filed observation points in the area. (a) is for Case 1, 2 and 3 (data taken from Oame Yoso Shiryo), and (b) is for Case 4 (data taken from AMeDAS).

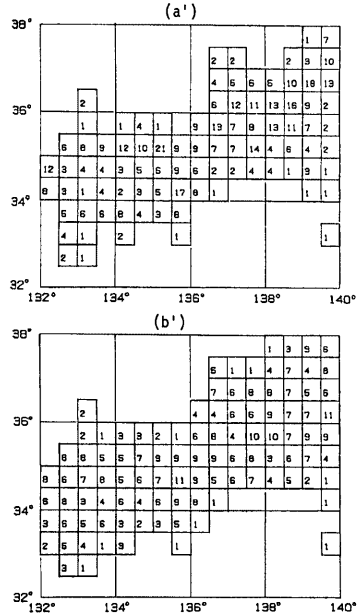


Fig. 12. Unit blocks formed by the mesh division of $30' \times 30'$, and numbers of observation points included in each block. (a') and (b') correspond to (a) and (b) in Fig. 11, respectively.

内に絞り、またメッシュ分割の方法はやはり緯度・経度線によるが、 $30' \times 30'$ とした。これによってできる単位ブロックの平均的な大きさは、東西約 $45\text{km} \times$ 南北約 55km ($\approx 2500\text{km}^2$) で、前報の場合の15倍である。このようにしたのはブロックの数を減らして計算時間を短縮するとともに観測点を含まない無効ブロックをなるべくなくそうとするためである。また九州や東北地方を除いたのは、これらの地域では欠測が多いことと、各豪雨ケースの主な降雨の移動範囲が上記の範囲にほぼ収まるからである。

Fig. 11 (a), (b) に上記の対象範囲の観測点の分布状況の大雨予想資料 (Case 1~3) と AMeDAS (Case 4) の

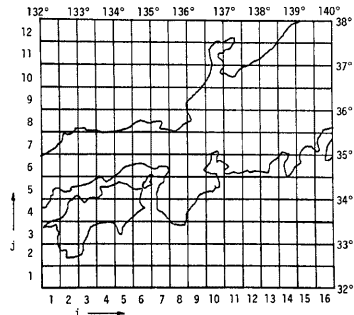


Fig. 13. Definition of block number (i, j) .

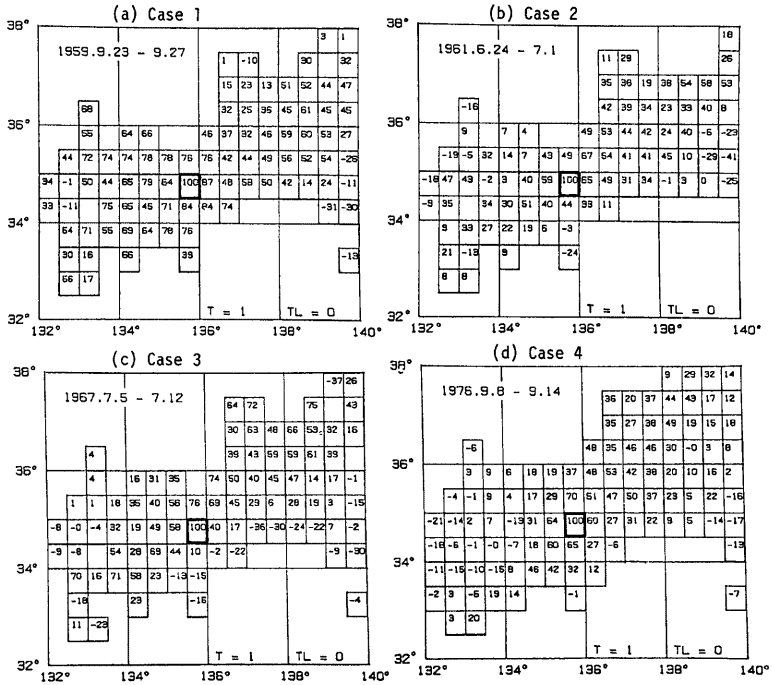


Fig. 14. Distribution maps of r_B (centupled), cross-correlation coefficient between hourly rainfall series averaged in a fixed block and those in any block for time lag $\tau=0$. The fixed blocks are commonly number (8, 6) (including Osaka) shown by bold frame.

場合を示す。後者の方が一様な分布をしているとはいえ、山岳地帯はやはりまばらとなっている。また Fig. 12 (a'), (b') に、上記のメッシュ分割によってできる有効ブロック内の地点数を前図の (a), (b) に対応させて示す。(a') の大雨予想資料の場合は 1~21 とブロックによって地点数にかなりの差があるが、(b') の AMeDAS の場合は、最大 11 地点で比較的均等になっている。これらの各ブロックを識別するブロック番号のつけ方は、Fig. 13 に示すようなブロック単位の座標 (i, j) (i : 西から東へ、 j : 南から北へ) によることとした。また、ブロック内の地点毎時雨量を各々単純平均したものをブロック内平均毎時雨量系列とし、それをあらかじめファイル化して以後の計算に供した。

(2) 時差ゼロの場合の相関係数の分布

ここでは、ある 1 つのブロックを定め、そのブロック内の地点の単純平均毎時雨量系列と他のすべてのブロックの時差ゼロのそれとの相互相関係数を求め、その分布をマップ表示した例を示し、後述の時差を考慮する場合との比較、あるいは 4.1 で示した地点間の場合との比較のため等に供する。なお、上記の定められたブロックのことを、以後、比較の基準という意味で基準ブロックと称することにする。

さて、Fig. 14 (a)~(d) は、基準ブロックを (8, 6) (大阪付近の地域に相当) に定め、上述のような相互相関係数 r_B の分布のマップ表示を各ケースについて示したものである。ただし、各ブロック内には r_B の 100 倍の値が記されている。このうち、太枠のものが基準ブロック (8, 6) で、その r_B は $\tau=0$ の自己相関係数であるから、当然 1.00 (図では 100) となる。この図で、 r_B が 0.70 以上のブロックの個数と位置に注

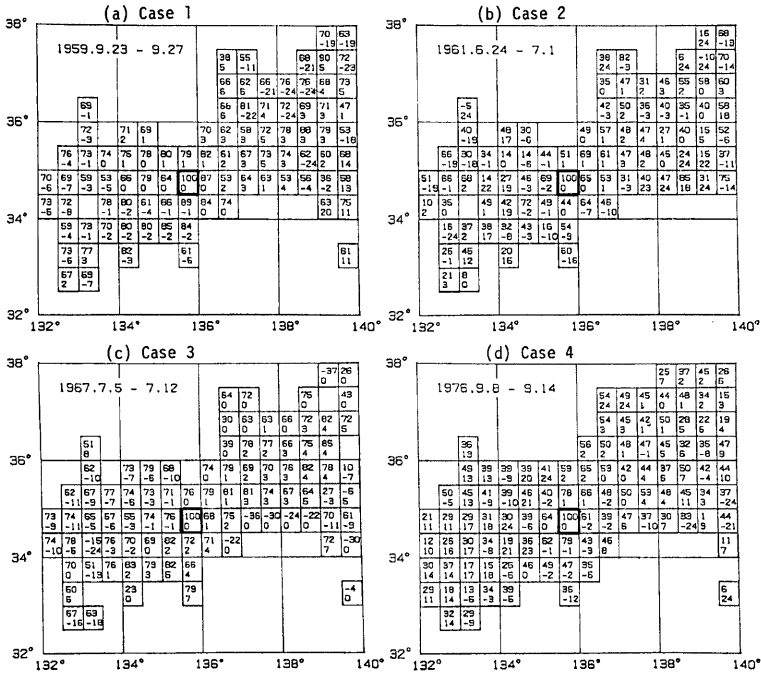


Fig. 15. Distribution maps of couples of r_{Bmax} (centupled), the maximum r_B for time lag $\tau = -24 \sim +24$ (hr.) in each block, and the time lag τ^* (hr.) which gives it. The fixed blocks are the same as Fig. 14.

目すると、各ケースの特徴が把握できる。まず、Case 1 ではそのようなブロックは16個もあり、また東西方向に長く連らなっている。Case 2 では基準ブロック以外に0.70以上のブロックは全くない。Case 3 では5個あるが、基準ブロックの近傍（北側）に3個で、他は新潟県と四国西部といったかけ離れた位置にある。Case 4 では、基準ブロックの北隣りにわずかに1個あるだけである。即ち、この図からも台風性降雨が広い範囲にわたって比較的同様な降り方をすることがわかる。また、地点間のものに比して相関係数が全般に大きくなっているが、これは3で検討したように空間平均をとったことによる効果と考えられる。

(3) 時差を考慮した場合の最大相関係数とそれを与える時差の分布

ここでは、雨域の移動が把握できるように、時差 $\tau = -24$ hr. から $+24$ hr. の範囲で、基準ブロックの毎時雨量系列と各ブロックのそれとの相互相関係数を計算し、その最大値 r_{Bmax} とそれを与える時差 τ^* (hr.) の対の分布を先と同様にマップ表示してみた若干の例を示し、検討する。

まず、Fig. 15 (a)~(d) は、前図と比較のため基準ブロックを、同じく(8, 6)に定めた例である。各ブロック内に示した数値は上側が r_{Bmax} の100倍、下側がそれを与える時差 τ^* (hr.) である。この図を各ケースごとに見ていくと、まず、(a) の Case 1 では、 r_{Bmax} が0.70以上のブロックは47個もあり、0.80以上のものでも15個ある。最大の r_{Bmax} は0.90で、そのブロックは(15, 11) (新潟県)、その τ^* は5hr. となっている。このように r_{Bmax} が比較的大きなブロックについて、その τ^* の分布をみると、中にはいくつか例外があるが、台風が北東進して行くにつれて、東西方向に広がった雨域が移動して行く状況の概略がわかる。

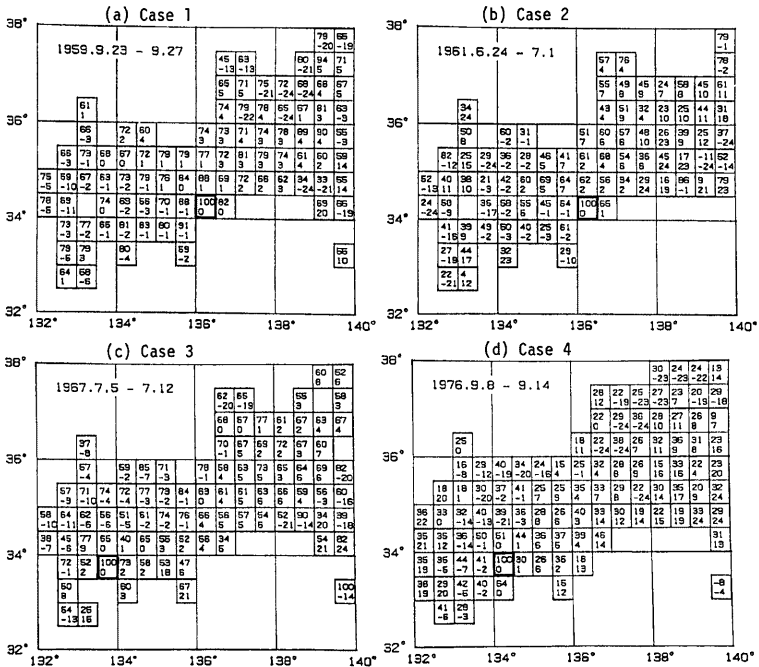


Fig. 16. As in Fig. 15. The fixed block was selected as one where the maximum rainfall amount was recorded for each case of rain.

つぎに Case 2 についてみると、 r_{Bmax} が 0.70 以上のブロックは 5 個あるが、いずれも基準ブロックからかけ離れたものであり、この場合、雨域の移動状況は判然としない。Case 3 の場合は、 r_{Bmax} が 0.70 以上のブロックは 45 個、0.80 以上のもも 8 個と、意外に多い。この Case 3 は西方から東方へ順次移動してきた集中豪雨であるが、 τ^* の分布をみてもその様子をほぼ反映している。最後に、Case 4 の場合は、 r_{Bmax} が 0.70 以上のブロックはわずかに 2 個であるが、それらは基準ブロックの北及び南隣りとなっており、かつ τ^* は南のもの $-1hr$ 、北のものが $+1hr$ となっていることから、南から北へ雨域が移動したと判定される。

以上は、基準ブロックを各ケース共 (8, 6) とした場合であったが、つぎに、基準ブロックを各ケースで総雨量が最大となったブロックに定めた場合の同様な図を Fig. 16 (a)~(d) に示す。まず、(a) の Case 1 は基準ブロックを (9, 5) (Fig. 13 参照) とした場合である。 r_{Bmax} が 0.70 以上のブロックは 49 個、そのうち 0.80 以上が 15 個、0.90 以上が 3 個で、前図の場合とよく似ている。また、最大はやはりブロック (15, 11) の 0.94 で τ^* は 5hr. となっており、このことは、(8, 6) と (9, 5) の r_{Bmax} が 0.84, $\tau^* = 0$ であることから当然かもしれない。(b) の Case 2 の場合も総雨量最大のブロックは (9, 5) で、これを基準としたが、この場合、 r_{Bmax} が 0.70 以上のブロックは 5 個、そのうちの最大はブロック (2, 7) の 0.82 ($\tau^* = -12hr$) となっている。(8, 6) を基準としたときと同様、これらの高い相関を示すブロックは基準ブロックのかなり遠方であり、雨域の移動は判然としないが、基準ブロックの近傍のブロックの τ^* のみに注目すると、西南から北東への移動があるようにみえる。つぎに、Case 3 は (4, 4) を基準ブロックとした場合である。 r_{Bmax} が 0.70 以上のブロックは 22 個、そのうち 0.80 以上は 6 個、最大は (16, 3) (八丈島) の 1.00

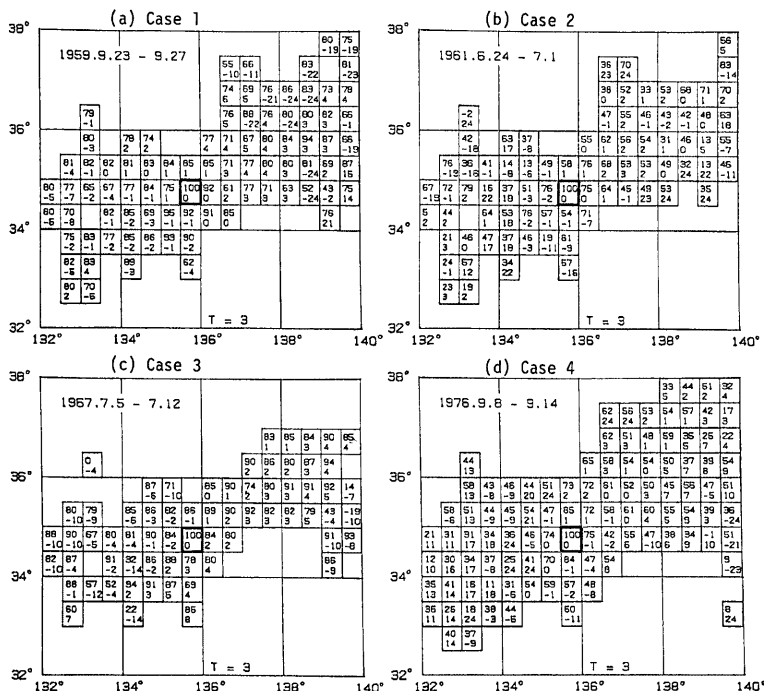


Fig. 17. As in Fig. 15. The rainfall series of blocks are 3-hour-moving-average of the series in the case of Fig. 14.

($\tau^* = -14$ hr.)となっており, 0.80以上の高相関のブロックはいずれも基準ブロックからかなり遠方にある。また基準ブロックの近傍のブロックの τ^* をみても移動方向を把握することはむずかしく, 基準ブロック(8, 6)とした前図の場合と異なる。最後に, (d)のCase 4は(5, 4)を基準ブロックとした場合であるが, 最大の r_{Bmax} でも南降りのブロック(5, 3)の0.64($\tau^* = 0$ hr.)であり, また雨域の移動も判然としにくい。これは, ブロック(5, 4)(四国東南部)の付近が, もともと地形性降雨の多いところであることと関係していると思われる。

以上に示した例から, 雨域の移動状況の把握, 短時間雨量の統計的予測の可能性について, 各ケース間の比較をしてみるとつぎのようなことがいえる。まず, やはり台風によるCase 1の場合が最も広範囲にわたって雨域の移動状況の把握が可能で, それは台風の移動状況とよく対応している。即ち, 台風性降雨の場合には, 台風の動きに注目すればある程度雨域の予測ができ, 実際, 台風の位置とある地域の雨量を統計的に関連づけ, それによる降水量予測が現に行われ, ある程度の成果を得ている⁷⁾。一方, 前線による降雨(Case 4は台風17号が関係しているが, 特性は前線によるものと考えてよい⁸⁾)は, 複雑であり, 今回の解析でも, 非常に狭い範囲でしか雨域の移動状況が把握できなかった。また基準ブロックの位置によってもその範囲や移動状況が様々である。このことは, 前線による豪雨の局地性の高さを示すものであり, 予測の困難さを物語るものである。ただ, 基準ブロックの近傍の狭い範囲内では雨域の移動方向や速度はある程度把握できる場合もある。なお, Case 1以外は, 相関係数の値そのものが全般に小さいという問題が残るが, 地点間の相

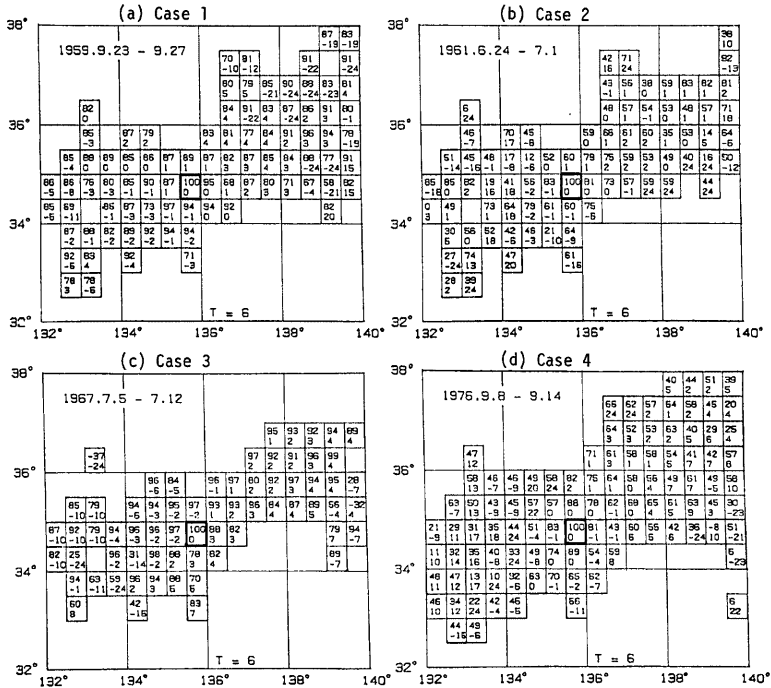


Fig. 18. As in Fig. 17 for 6-hour-moving-average.

関よりブロック間の相関が高いことから、相関の高さを統計的予測の精度の尺度とするなら、空間平均雨量系列の方が精度が高いことになる。そういう意味では、前線による降雨量の統計的予測の可能性は皆無とはいえない。また、3で触れたように、時間的平均を考えるならばさらに相関が高くなると予想される。そこで次に、ブロック内平均毎時雨量系列を、さらに時間的に移動平均をとった系列について、同様の検討を行ってみたい。

(4) 移動平均系列の場合の検討

ここでは、移動平均を施さない場合との比較の意味で、基準ブロックを Fig. 15 と同様 (8, 6) と定めた場合について、各ブロック内平均毎時雨量系列を3時間および6時間移動平均した系列の場合の結果を同様の図で示し、検討する。

Fig. 17 (a)~(d) は3時間移動平均の場合である。まず、全体的に相関係数がかなり大きくなっているのがわかる。特に Case 1 と3 では r_{Bmax} が0.90以上のブロックがかなり有り、ほとんどのブロックが0.80以上である。Case 2 は、相関係数自体はあまり大きくないが、移動平均しなかった場合0.70以上のブロックが基準ブロックの近傍になかったのが、この場合には数個みられる。Case 4 でも全般に相関が高くなっており、0.80以上のブロックが基準ブロックの南及び北隣りにあることがわかる。これらの図で、*に注目してみると、Fig. 15 の場合と比べて若干異なるところもあるが全体的にはほとんど同じパターンとなっている。ただ Case 4 の場合のみ、*の等しいブロックが、より明確に北東から南西方向に延びる細い帯状に連なり、しかも南東側から北東側に向かってその値が増加しているのが読みとれるようになっている。

次に、6時間移動平均の場合を Fig. 18 (a)~(d) に示す。これを見ると、やはり全体的に相関係数がさらに大きくなっているが、増加の割合の大きいブロックは3時間移動平均によって大きくなったブロックとほとんど一致している。またそれは τ^* によって雨域の移動が比較的確に認められるようなブロックとも一致している。即ち、基準ブロックとの関連において雨域の変化が明確な地域においては、移動平均の時間スケールを長くとることによって相関係数は増大するが、それ以外の地域ではそれほど増大しないことがわかる。このことは、移動平均をとることによって基準ブロックの降雨パターンと同様なパターンの地域、即ち一連の雨域がより明確に識別できることを意味する。

以上の例により、移動平均をとる時間スケールを長くすればするほど相関係数は大きくなり、したがって予測精度が向上するであろうことがわかったが、実際に基準ブロックにおける移動平均雨量を、雨域の移動を見越して、相関の高い他のブロックの移動平均雨量系列から予測しようとする場合、予測のリードタイム（負の値をとる τ^* の絶対値と考えてよい）が移動平均時間より大きくなければ実際的な価値がほとんどない。こうした観点から、再び Fig. 17 と Fig. 18 をみても、3時間程度以下の移動平均が限度のようである。

5. あとがき

以上、本研究では、豪雨の時空間分布に関して、その諸特性をできるだけ広域的・全体的に、また従来とは異なる視点から解析・把握しようとする筆者らの研究の延長として、補完問題や短時間雨量の統計的予測の可能性の検討を念頭において、豪雨の時空間分布の相関構造に注目し、特徴的な4ケースの豪雨を対象として、既存のデータ・ファイルに基づき、種々の視点と方法による解析・検討を、各豪雨ケース間の比較をしつつ行った。主な結果を列挙すると以下のようである。

- (1) 空間的に平均化された時間雨量系列は、その平均化スケールが大きいほど滑らかになり、その自己相関関数も滑らかかつ持続性の高いものとなる。これは1地点の毎時雨量系列について時間的に移動平均をとった場合とよく似ている。
- (2) 大阪を中心として地点間相互相関係数を広域的に時差ゼロで見た場合、距離が小さいほど大きいという傾向が見られるが分散はかなり大きい。また、大阪より200~300kmの遠方で、上限の包絡線に山が存在する。
- (3) 大阪を中心として半径300km、幅20kmのバンドを回転させて時差ゼロで見た場合、距離とともに相関係数が小さくなる傾向はあるが、全体的に他と比して相関の高い方向があり、それは雨域帯の方向とほぼ一致する。
- (4) 10数km程度の近地点間でも、最大の相関係数は0.7程度であるので、欠測地点の毎時雨量の内挿、殊に外挿には慎重を要する。
- (5) 30'×30'のメッシュ分割によってできる各ブロック内の地点の単純平均毎時雨量系列をそのブロックの雨量系列として、基準ブロックのそれと他のすべてのブロックのそれとの相互相関係数を時差ゼロで求め、マップ表示すると、(2)で述べたことを平面的に把握でき、しかも相関係数の値は全般に大きくなる。これは空間平均をとったことによる効果と考えられる。
- (6) 上記の手法で、時差を-24hr. から+24hr. まで考慮し、各ブロックの最大の相関係数値とそれを与える時差を対にしてマップ表示すると、雨域の移動状況の把握がある程度可能となる。
- (7) 上記の雨域の移動は、典型的な台風性豪雨 (Case 1) の場合、最も広範囲かつ明確に認められるが、他のケースの場合は狭い範囲で、また不明確なことが多い。
- (8) 空間平均をとることにより相関係数は大きくなったが、さらに時間的に移動平均をとった系列間の相関係数は、平均化する時間スケールが大きいほど大きくなる。また、それによって雨域の空間的広がりがより明確となるが、予測の実際の価値の点からは、3時間程度以下の移動平均が限度と考えられる。

(9) 統計的予測という観点からは相関が高い方がよく、また時差も大きい方がよい。この意味で、Case 1 のように典型的な台風性豪雨は予測の可能性が最も高いといえる。また、他のケースのように前線性豪雨でも時空間平均をとることにより相関をある程度高くできるので統計的予測の可能性は皆無とはいえないが、平均化する時空間スケールと関連して実用面でかなり限定されよう。

今回は以上のような結果を得たが、たった4ケースの豪雨についての、しかもデータ密度も不十分な解析であるので、今後、他のケースの豪雨を加え、またデータの補充によるより詳細な解析により、その普遍性の確認はもとより、地形・気象条件との対応づけによる理論的考察が必要なことは、前報の結果同様である。なお、今回は短時間雨量の統計的予測の可能性ということを念頭において、雨量系列のみのしかも単相関係数だけを取扱ったが、予測手法の確立という観点から、他の気象因子をも加えた重相関分析も必要であり、AMeDASより得られる地上気象因子を用いて筆者の1人により試みられた⁹⁾が、いろいろ問題が多く未だ実用の域に達していない。

最後に、本研究は昭和56年度文部省科学研究費補助金、自然災害研究(2)「豪雨災害の確率的予測と制御に関する研究」の一環として行ったものであり、解析計算は主として京都大学大型計算機センターに依った。ここに記して、それぞれ感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 友杉邦雄・後町幸雄・辻安治：豪雨の時空間分布に関する研究——メッシュ法による広域・毎時雨量資料の解析——，京都大学防災研究所年報，第24号B-2，1981，pp. 91-107.
- 2) 気象庁編：伊勢湾台風調査報告，気象庁技術報告，第7号，1961.
- 3) 大阪管区気象台編：大阪管区異常気象報告，第9巻，第2号，1962，pp. 25-110.
- 4) 文部省科学研究費特定研究（災害科学）研究班：昭和42年7月豪雨による災害の総合的実態的研究，関西地区班の研究報告，1968.
- 5) 文部省科学研究費特別研究（自然災害）研究班：昭和51年9月台風17号による災害の調査研究総合報告書，研究代表者中島暢太郎，1977.
- 6) 倉嶋厚：1981年における各種豪雨特性，昭和56年度自然災害科学総合研究班河川分科会シンポジウム講演論文集，1982.
- 7) 望月邦夫：淀川の治水計画とそのシステム工学的研究，京都大学学位論文，1970.
- 8) 辻安治：豪雨の時空間分布特性と予測に関する統計的研究，京都大学修士論文，1982.