

降水量の空間相関構造

SPATIAL CORRELATION STRUCTURE OF PRECIPITATION

葛葉泰久¹・友杉邦雄²・岸井徳雄³

Yasuhisa KUZUHA, Kunio TOMOSUGI and Tokuo KISHII

¹正会員 博士(工学) 防災科学技術研究所 主任研究員(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

²正会員 博士(工学) 京都大学防災研究所 助教授(〒611-0011 宇治市五ヶ庄)

³フェロー 博士(工学) 防災科学技術研究所 総括主任研究員(〒305-0006 つくば市天王台3-1)

Although both temporal and spatial scales of heavy rainfall and flood disasters are different from drought's, it is same for these disasters that spatial distribution of precipitation is more useful than point precipitation that is observed at each observation point. This means that clarifying the special correlation structure of precipitation is required regardless of the scales for investigating these disasters. The authors obtained results as follows; 1) correlation coefficient of precipitation during more than one day increases when a period of accumulation increases; 2) starting point from which cumulative precipitation is calculated often affects strongly to the correlation. Moreover, results for the cumulative precipitation whose time scale is less than 24 hours are as follows; 3) the correlation weakens if a criterion of heavy rainfall increases; 4) when the duration is relatively long and the criterion is large, there is a possibility that heavy rainfall or flood disaster occur due not only to the precipitation depth itself, but also to the strong correlation.

Key Words: scale issues, precipitation, drought, heavy rainfall, flood, correlation, conditional probability

1. 序論

わが国で生起する災害のうち、水文学・水資源工学に深くかわるものとして、洪水、豪雨、渇水災害が挙げられる。洪水災害、豪雨災害はその境界が若干曖昧ではあるが、ある地域に比較的短時間に降水が集中する場合に生起し、比較的小さな時空間スケールで現象を捉える必要がある。それに対し、渇水災害は、水の供給が少なくなり、水需給バランスが崩れるために起こる災害である¹⁾が、比較的大きな時空間スケールで現象を扱う必要がある。しかし、いずれにしても、点データとしての降水量データを面的に扱い、ある地域内の‘面降水量’の特徴をつかむことが必要なのは同じである。著者らは、今までに、都道府県等を単位とした少雨の空間分布特性を調べる²⁾とともに、DAD解析手法を用いて、‘(地)点降水量’の、面的拡がりについて調べてきた³⁾が、それに加え、‘面降水量’という観点から、‘点降水量’の空間相関構造について調べることも重要と考える。同一流域内で24時間降水量など、比較的時空間スケールの小さな積

算降水量の相関が高ければ、その流域では、多地点で同時に大きな降水があることになり、豪雨・洪水災害の起こる危険度が高い。また、都府県・地方等、それより広い領域内で、月降水量など、比較的時空間スケールの大きな積算降水量の相関が高ければ、そこでは少雨が同時に生起し、渇水災害が起こりやすくなるからである。以上の動機により、本論文では、降水量の空間相関構造について論ずる。ここで、若干異なる手法を用いるものの、少雨と豪雨の両方を解析対象とする。

2. データ

使用したデータは、気象庁提供のAMeDASデータ(媒体はCD-ROM)25年分(1976年~2000年)である。次章で詳述するように、解析方法により、日降水量データ、もしくは時間降水量データを使用した、いずれのデータも、有効なデータが1個以上、すなわち前者においては1日以上、後者においては1時間以上ある観測点数は、全部で1595であった。なお、本研究の目的は、「降水量」

の空間相関構造を調べることであり、降雪と降雨を区別していない。

おもに少雨を念頭においた、相関係数を用いた解析(3. (1) 参照)を行う際には、日降水量データから求めた、積算時間 t (t の単位は、日、旬、月、年) に対応する積算降水量時系列データを用いた。 t の値により、降水量の時系列データの作成方法が多少異なる。すなわち、

(a) $t=1$ (日) の場合、時系列データは、(1地点につき；以下同様) 単純に25年分、9132個の要素からなる。

(b) $t=2$ (日) の場合、まず年ごとに、183個のデータを作り、それを25年分並べた。

(c) $t=5$ (日) の場合、概念的には‘半旬’をイメージしてはいるが、単純に、各年において、頭から5日分ごとの日降水量を積算した。

(d) $t=1$ (旬) の場合、‘旬’の概念に従い、各月3個の積算降水量を計算した。

(e) $t=1$ (月) の場合、‘月’の概念に従い、各年12個の積算降水量を計算した。

(f) $t=3, 6$ (月)、1 (年) の場合、(e) で求めた月降水量を積算した。4. で述べるように、‘年’、‘3ヶ月’、‘6ヶ月’の起点をどこにするかで、統計的性質が大きく変わる。そこで、それぞれ、12種類の‘3ヶ月降水量’、‘6ヶ月降水量’、‘年降水量’を計算した。

(g) $t=2, 3$ (年) の場合、(f) で求めた、1月を起点とした年降水量を、2つ、あるいは3つ積算して求めた。ただし、(a) ~ (f) と異なり、例えば2年降水量の場合、‘1976年を起点とする2年降水量’、‘1977年を起点とする2年降水量’…… というように、年降水量データをオーバーラップさせて用いた。

欠測値のある場合の扱いは以下のようにした。すなわち、上記の (a) ~ (e) については、期間内実日数の90%以上の日に有効な(以下、欠測でない場合をこう称す)日降水量の観測値がある場合のみ、積算値を求め、それ以下の場合欠測、すなわち積算値がないとした。(f)、(g) については、期間内のすべての‘月’に(e) で求めた月降水量がある場合のみ、積算値を計算した。

つぎに、豪雨を念頭においた、条件付確率による解析(3. (2) 参照)に用いた積算降水量について述べる。 t として、1, 3, 6, 12, 24 (時間) をとり、上述の時間降水量データを用いてそれらを求めた。 $t=1$ (時間) の場合、時系列データは、単純に25年分、219168個の要素からなる。その他の t については、上述 (g) と同じく、起点を1時間ずつずらして積算した。よって、1地点について、 t 時間積算降水量の時系列は、219168- $t+1$ 個のデータから構成される。また、欠測について、期間内の1時間データが一つでも欠測値の場合は、その期間の t 時間積算降水量は欠測であるとした。

最後に、AMeDAS観測点の位置データについて述べる。すべてのAMeDAS観測点は、「CD-ROM中の位置座標データが更新された場合において、最も新しい位置情報

が示す位置に、観測開始時から設置されていた」と仮定した。2つの解析において、双方とも、AMeDAS観測点間の直線距離が必要になる。AMeDAS位置情報の緯経度を、一旦 UTM座標系⁴⁾に変換し、2点間の直線距離を求めた。

3. 解析方法

序論で述べたように、本論文では、少雨と豪雨の両方を念頭に、降水量の相関構造を調べるが、その際、二つの解析方法を用いる。一つ目は相関係数を用いた解析であり、もう一つは条件付確率を用いた解析である。以下、それぞれについて詳述する。

(1) 相関係数を用いた解析

少雨の空間構造を調べることを念頭に、日降水量以上のタイムスケールのデータを用いて、2地点間の降水量の関係が線形関係にあると仮定した場合の相関係数を求める。例えば年降水量を用いた場合、地点 i, j の年降水量 x_i, x_j の間に $x_j = ax_i + b$ (a, b は定数) なる関係があると仮定し、最大25個(1976年~2000年の25年分)のデータをもって、回帰計算を行い、両者の相関係数 r_{ij} を求める。地点 i, j の距離を変数 l で表すと、相関係数は、2地点間の距離 l の関数として、 $r(l)$ と書けるが、その $r(l)$ の挙動を調べる。また、 x_i のタイムスケールを変えた場合、すなわち、降水量積算時間 t を、1 (日) ~ 3 (年) まで変化させた場合、 $r(l)$ の挙動がいかなる変化をするかについても調べる。ここで行う解析は、葛葉ら⁵⁾で行ったものと同じ方法によるものであるが、文献⁵⁾では、‘地上気象観測の観測点’と‘地域気象観測 (AMeDAS)の観測点’の相関を調べ、個々の地上気象観測の地域代表性について調べることに重点をおいたのに対し、ここでは、スケール問題的視点から、時空間スケールと相関関係について、より一般的な挙動を調べようとするものである。

(2) 条件付確率を用いた解析

豪雨の時空間分布構造を明らかにすることを目的に、1~24時間のタイムスケールの積算降水量に関し、2地点間の積算降水量がどの程度相関を持っているかを調べる。いま、豪雨発生を条件を、‘ t 時間降水量が d (mm) 以上である場合’であると仮定する。地点 i で豪雨が生じたとき、同時期に、 i から l (km) 離れた地点 j でも豪雨が発生している確率は、 $p(i \cap j) = p(j|i)p(i)$ であるが、この、条件付確率 $p(j|i)$ (以降、 $p(l)$ とする) と l の関係をもって、前節の相関係数による検討と同様、降水量の空間相関構造を調べる。また、そこにおいて、豪雨の条件、 t および d が、相関構造にいかなる影響を与えるかについて、検討を行う。

4. 2地点の降水量データの相関

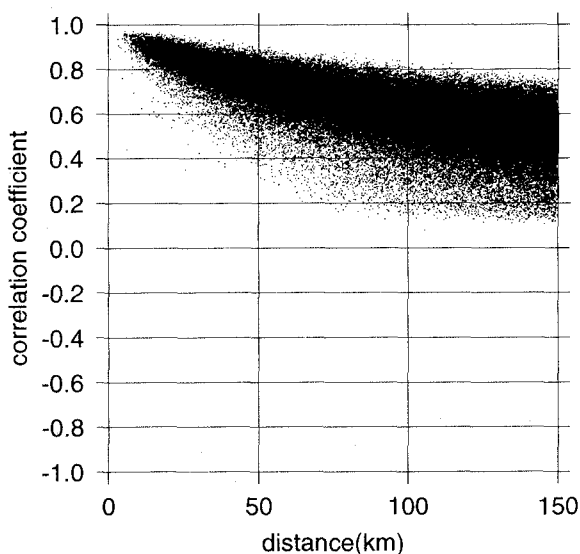


図-1 2地点の距離 l と相関係数 $r(l)$ の関係. $t=1(\text{day})$

(1) 2地点間の距離と降水量の相関

少雨の空間構造を明らかにするため、日以上のタイムスケールで、3. (1) のような手順により、相関係数 $r(l)$ と2地点の距離 l (km) の関係を求めるが、計算資源の節約のため、また、本論文では、あまり距離の離れた2地点間の相関を論ずることを目的としないため、ここでは、 $l \leq 150(\text{km})$ の場合のみを解析対象とする。また、2地点の降水量の相関を求めるに際し、2つの観測地点で同時に有効な年降水量があるデータの組の数、すなわち、回帰計算に用いられるデータの組数がある程度以上ないと、回帰計算の結果に信頼性がないことになる。そこで、本論文では、2つの観測地点の降水量が互いに有効であるデータの組数が、5年分に相当するデータ数以上ある場合のみ、解析対象とする。すなわち、例えば、降水量積算時間 t が1 (日) の場合は、 365×5 個、 $t = 3$ (月) の場合は、 4×5 個が、必要な有効なデータ組数である。ここで、'5年' という基準を設けたのは、以下の理由による。すなわち、年降水量の経時変化を見た場合 (例えば国土庁⁶⁾ など)、中長期的には降水量が減少する傾向にあるが、短期的には多雨-少雨が、2,3年ごとに、繰り返されている。このいわゆる短期的気候変動の1周期がデータ群に含まれるようにするためには、5年程度のデータが必要と考えた。ただし、 t が1 (年) 以上の場合には、2つの観測地点の降水量が互いに有効であるデータの組数が10個以上の場合を解析対象とした。

以上のような手順で求めた相関係数 $r(l)$ と2地点の距離 l (km) の関係を示したのが図-1である。この図は、降水量積算時間 t が1 (日) の場合のものである。距離が大きくなるに従い、(a) 平均的な挙動として、2地点間の降水量の相関が指数関数的に減少すること、(b) 相関係数の値自体のばらつきが大きくなることがわかる。以下では、時間スケール、すなわち降水量積算時間が変わった場合

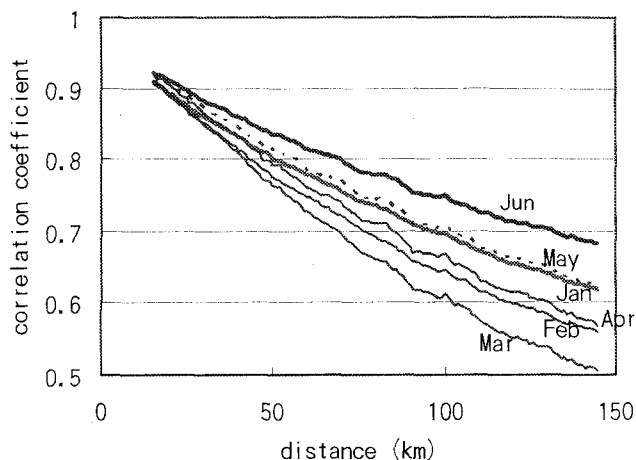


図-2 2地点の距離 l と $f(l)$ の関係. $t=6(\text{month})$

に、(a) の挙動がどう変化するかを調べることにする。

ここで、時間スケールに対する、'平均的な相関構造' の変化を定量的に見るため、次のような操作を行う。すなわち、

- 1) 距離 l に対し、 $f(l) = E[r(x)]$; $l-5 \leq x \leq l+5$, $15 \leq l \leq 145$ とする。距離に関しては、いずれも単位はkmである。
- 2) 2章で説明したような様々な降水量積算時間に対する $f(l)$ を比較する。

(2) 起点とする月の相関構造への影響

ここでは、タイムスケールが降水量の相関構造に与える影響を考察する前に、3, 6ヶ月・年降水量を求める際の'起点とする月'の影響について調べる。

図-2は、6ヶ月降水量を対象とし、 $f(l)$ の変化を描いた図である。図中、'Jan' と表示したのは、1月を起点とする場合を表す。'Feb', 'Mar' 等、同様である。ここに、例えば1月を起点とする場合、6ヶ月降水量として用いた降水量には、1-6月降水量と、7-12月降水量の2種類の降水量が、同等な扱いで含まれることに注意されたい。6月を起点とする場合に相関が最も高く、以下、5月、1月、4月、2月、3月を起点とする場合の順に相関が低くなっている。そして、 $f(145)$ に関しては、最大のものと最小のものの差が、0.2近くになっている。この差はいかなる理由で生じるものであろうか。そこで、例えば1-6月降水量と7-12月降水量を別に扱うなど、1年を2つの6ヶ月に分割した場合、違う月を起点とする6ヶ月降水量を別々に扱い、同様の検討を行った。その結果、紙数の都合で図-2と同様の図は省略するが、 $f(145)$ を比較すると、4, 5, 6月を起点とする場合 ($f(145)$ は0.59)、3, 8, 7月を起点とする場合に相関が高く (同様に、0.58, 0.57, 0.56)、10, 11, 12, 9, 1, 2月を起点とする場合に相関が低い (同様に、0.43, 0.48, 0.48, 0.50, 0.50, 0.53) ことがわかる。ここに、日本の多くの地方で降水量が大きくなる、6,7月の梅雨期、9月の秋雨期を含む6ヶ月降水量に関する相関が高く、それらを全く含まない場合に相関が低い。この理由が、それら多雨期の降水の空間分布特性によるものなのか、また、単に、

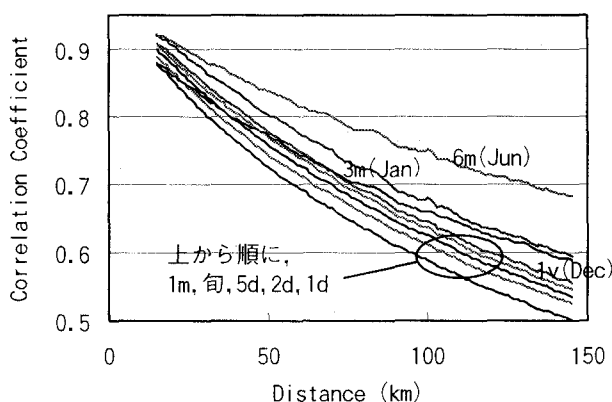


図-3 2地点の距離 l と $f(l)$ の関係. t は, 1(day)~1(y)

多雨期ゆえに相関が高くなるのか、そのあたりの統計的メカニズムについては、地方別、降水の種別に考察して明らかにする必要がある、それについては今後の検討課題とする。

例えば6月を起点とした6ヶ月降水量 ($f(145)$ は0.59), 12月を起点としたそれ (同様に0.48) と比較して、それらを同時に扱ったデータの $f(l)$ (図-2の 'Jun' で示した曲線) が大きいことについては、以下の仮説をもって説明したい。すなわち、日本の多くの地方では、6-11月降水量が年降水量の60%を越える (葛葉ら⁷⁾ 参照; ただしそこでは流量に関して考察がなされている) が、このように、6月を起点とした場合と12月を起点とした場合の2つのデータ群を同時に扱う場合 (すなわち図-2), 個々のデータ群の相関がそれほど高くなくても、2つの、その分布位置が異なるデータ群を結ぶ直線により、2つのデータ群をあわせて扱った場合の相関が高くなることもある。その傾向が、図-2中の 'Jun' で、極めて顕著になる。

3ヶ月降水量においても、6ヶ月降水量と同じく、起点とする月によって、相関が大きく異なる (ただし、6ヶ月降水量の図-2のように、例えば1, 4, 7, 10月を起点とする3ヶ月降水量を '同時に' 扱った場合には起点の影響はほとんどない)。これら、3ヶ月降水量、6ヶ月降水量は、1年を季節変化の周期と考えるなら、その一部分を取り出して算定した降水量であり、上記のような、起点とする月の影響が大きく出るのは自然なことと考えられるが、年降水量についても、その起点とする月により、相関の度合いが異なる。ここでも $f(145)$ で比較すると、相関が高いのは、高いものから順に、12月、4月、1月、3月、2月を起点とする場合 (以上、すべて $f(145)$ は0.59程度) であり、低いものは、9, 7, 8 を起点とする場合 (0.52, 0.53, 0.53) である。夏季、秋季の雨季を起点とする、すなわち、雨季中のある月に積算期間の起点があると、つまり積算期間をそこで分断すると、相関が低くなることがわかる。

(3) 時間スケールと相関構造

前節で得られた知見をもとに、時間スケールと相関の関係を調べてみる。図-3は、 $t = 1$ (日) ~1 (年) を対象

に、 $f(l)$ の変化を描いた図である。ここで、 $t = 3, 6$ (月), 1 (年) の場合は、(2)で求めた $f(l)$ のうち、その値がもっとも大きいものを選んでいく。図中、'6m (Jun)' などと表示したのは、'6月を起点とした6ヶ月降水量' という意味であるが、ここでは、6月を起点とする場合、12月を起点とする場合の両方を、その要素として含んでいる。3ヶ月降水量も同様である。これは、他の積算降水量が、ただ単純に、前から t ずつ積算したものであり、例えば1ヶ月降水量は、特定の月だけを選んでいくのではなく、すべての月に対する1ヶ月降水量を要素として含んでいることに倣ったものである。この図から、以下のことがわかる。すなわち、

- (a) t が1 (年) 以下の場合、積算期間が大きくなるほど、相関係数が大きくなる。これは、時間スケールが小さい、例えば $t = 1$ (日) の場合、近隣の点でも、気象現象の空間スケールにより、降水がある点とない点があるのに対し、時間スケールが大きくなると、個々の気象現象の総和としての、降水量の多少が対象となり、近隣の点では、気候的な傾向は似通ったものになることが多いためである。
- (b) ただし、(a) で述べたような現象の時空間スケールの関係より、'起点をどこにとるか' が大きく影響する場合がある。 $t = 6$ ヶ月の場合にその傾向が顕著である。
- (c) 複雑さを防ぐため、図中には示していないが、 $t = 2, 3$ (年) に対する $f(l)$ は、 $t = 1$ (年), 1 (月) に対する $f(l)$ の中間に位置し、 $t = 1$ (年) のものと類似の傾向を示している。これから、図中の、 $t = 1$ (年) に対する $f(l)$ が、(2年, 3年...など) 年単位で降水量を積算する場合の、いわゆる上限としての相関構造を表していると考ええる。

5. 条件付確率による豪雨の相関

本章で対象とするのは豪雨であり、その相関を調べる目的の一つは、'災害' という観点から、近隣の地点で同時に豪雨が生起する危険な状態の起こりやすさを調べることである。よって、本章では、同一流域をほぼカバーできる程度の範囲内の相関構造を調べることとし、 $l \leq 60(\text{km})$ を、解析対象とする。また、前述のように、降水量として、24時間以下のタイムスケールのデータを用いる。

図-4 は、3. (2) で述べたような手順で求めた条件付確率、 $p(l)$ と、2地点間の距離 l の関係を示した図のうち、いくつかをピックアップしたものである。豪雨の条件、' t (時間) に $d(\text{mm})$ 以上' のうち、 t は、1, 3, 6, 12, 24 の5とおりとし、 d は t ごとに、いくつか条件を変え、 $p(l)$ を計算した。具体的には、 d は、 $t = 1$ のときに、8~28, $t = 3$ で、12~38, $t = 6$ で、15~51, $t = 12$ で、17~117, $t = 24$ で、14~234 とした。図中に示していない同様の図

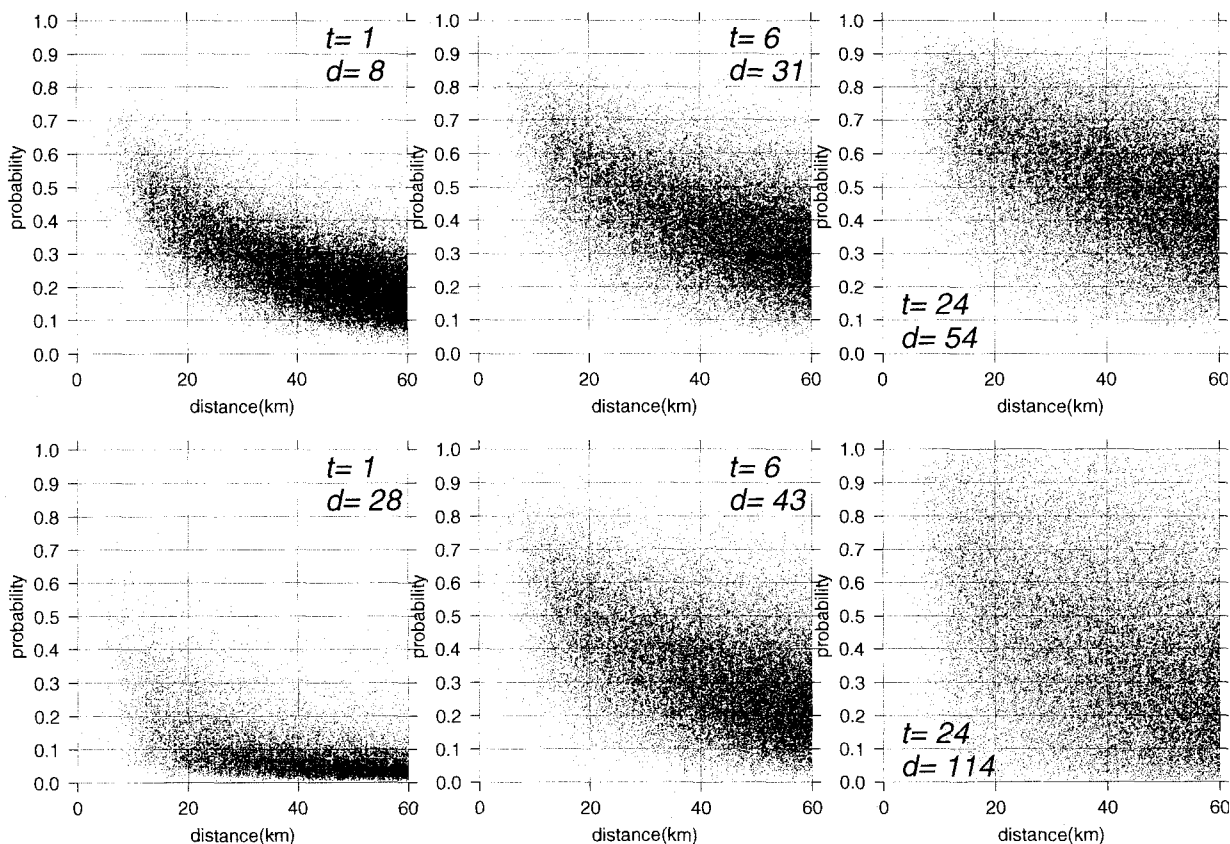


図4 豪雨が2地点で発生する相関の強さを条件付確率 $p(l)$ で表し、それを距離 l に対してプロットした図。図中の t は、降水量の積算時間 (hour), d は、豪雨の基準となる降水量(mm)

も含め、これらの図から、以下のことがわかる。

- 同じ t に対し、 d を大きくすると、プロットしたデータのうち、データがかたまっている部分が、下に移動する。すなわち、平均的な挙動として、距離 l にかかわらず、条件付確率が小さくなる。つまり、ある地点で豪雨が発生した場合、近隣の地点でそれと同程度以上の豪雨が発生する確率は、豪雨の基準が大きくなるほど小さくなる。
- 平均的な挙動としては、(a) のような傾向があるが、 d が大きくなると、ばらつきが大きくなるので、(上方向へのばらつきのため) ‘距離 l が大きいにもかかわらず確率 $p(l)$ が比較的大きい場合’が出てくる。この傾向は t が大きい場合に顕著である。これは、ある地点での豪雨の基準を大きくした場合、豪雨の原因が、雨域の比較的広いものになり、ある程度距離の離れた地点でも、同時に豪雨が発生しやすくなるためである。 t が大きい場合にその傾向が顕著なのは、移流により、時間差をもって豪雨が発生する場合も含み得るからである。

ここで、(a) の平均的な挙動を見るために、4章と同じ方法で $f(l)$ を定義し、その変化傾向を見る。また、(a)、(b) 双方にかかわるばらつきを見るため、次の方法で、二乗誤差 (sum of squared errors) SSE , 分散 s^2 を求める⁸⁾。

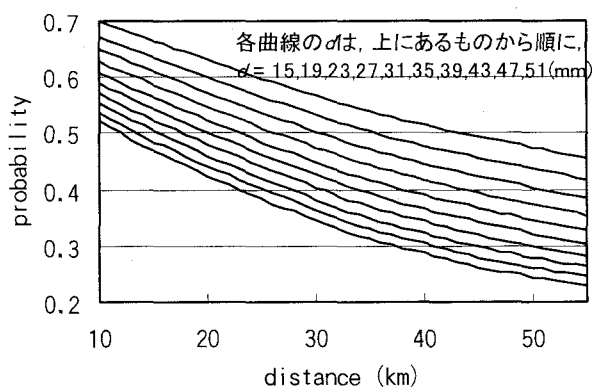


図-5 2地点の距離 l と $f(l)$ の関係。 t は1(hour)で、豪雨の基準 d を変えた場合の影響を表している。

すなわち、 $SSE = \sum (p(l) - f(l))^2$, $s^2 = SSE / DFE$ である。ここに、 DFE はデータの自由度である。また、本章では、 $l \leq 60(\text{km})$ とすることを先に述べたが、 $f(l)$ はその定義方法により、 $10 \leq l \leq 55$ で、 l が整数の場合にのみ計算する。すなわち、離散的に定義された $f(l)$ により、 SSE を計算することになる。

上記の手順で求めた $f(l)$ のうち、 $t = 6$ の場合のものだけを、図-5に示す。 d の増加に従って $p(l)$ の平均的な挙動をあらわす $f(l)$ が小さくなる様子がわかる。他の t に関する図も、同じような傾向を示している。また、図-6

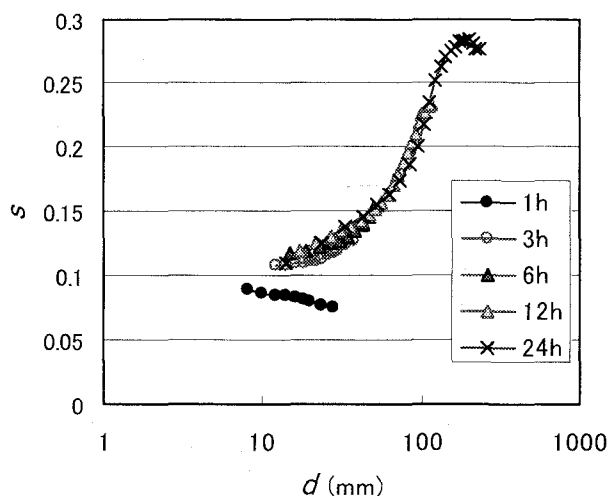


図-6 豪雨の基準 d と、 $p(l)$ の $f(l)$ からのばらつきの度合いを表すパラメータ s の関係。凡例中に表示したのは降水量継続時間 t 。

は、 s の変化を表した図であるが、一般的に、 d が大きくなるに従い、ばらつきが大きくなっている。 $t=24$ で、 d が大きいとき、また、特に $t=1$ のときに、 d が増加するに従い、 s が減少するが、これらは、 $p(l)$ が $1 \geq p(l) \geq 0$ で定義されるためである。すなわち、(a) d の増加にともない、 $f(l)$ は下方に移動する。(b) それにより、下方にばらついて広がるとしても、 $p(l)=0$ が下限となって、それ以上広がれない。

‘豪雨・洪水災害’という観点から、近隣の観測点で、特に同じ流域内の観測点で $p(l)$ が大きいことは、同時期に豪雨が発生することを意味し、非常に危険である。図-4の、 $t=24$ に関する図、また、ここには示していない、 $t=12$ に関する図を見れば、豪雨の基準 d が大きくなると、2地点間の距離が比較的大きい場合でも、 $p(l)$ が大きいケースが増えてくるのがよくわかる。それは、図-6 中の、 d の増加に対する、ばらつきの増加にも現われている。

総降水量の大きな降水は、地点降水量という観点から、それ自体の値が大きいことが、豪雨・洪水災害につながることは明らかである。しかし、ここまで見てきたように、(特に降水量積算時間が大きい場合に) 地点降水量が大きいこと故、近隣の地点との‘豪雨の相関’が非常に大きくなる場合が多々あり、豪雨の空間相関構造という観点からも、それは非常に危険であると言える。

なお、本研究で用いた解析手法では、豪雨の同時生起性と豪雪のそれを一括して扱っている。豪雨・洪水災害の解析のために、4. で述べた「降水の種別化の必要性」とともに、今後の課題として、本章で用いた手法における「降雪の分離」を加える必要があると考える。

6. 結論

AMeDASデータのうち、日降水量、時間降水量を使用

し、2地点間の距離と降水量の相関構造を調べた。降水量積算時間 t が1(日)~3(年)の場合、2地点間の積算降水量に線形な関係があると仮定して相関係数を求め、その関係を調べたが、一般的には t が大きくなるほど、‘平均的に見て’、相関が高くなることがわかった。ただし、6ヶ月降水量、3ヶ月降水量などは、積算降水量を求める際の、‘起点’の影響が大きく、注意が必要である。

また、 t が24(時間)より小さい場合に、ある地点で豪雨が発生した場合に、近隣の地点でも同程度の豪雨が発生する確率をもって、相関を評価した。ある t に対して、豪雨の基準、 d (mm) を大きくすると、‘平均的な形状としての’ 確率は小さくなることがわかったが、同時にばらつきも大きくなり、 t が大きい場合には、そのばらつき故、相関が非常に高くなる(条件付確率が0.9を越える)ケースが増える。地点降水量としての総降水量が大きい場合に、それ自身、危険であることは言うまでもないが、‘相関が高いケースが増える’こと故、流域内で同時に大きな総降水量を示す地点が増える可能性が高く、そういう観点からも危険であることがわかった。

本論文では、2地点間の距離だけを用いて降水量の空間相関構造を調べたが、今後の課題として、‘距離’だけではなく、高度、地形等の地形学的条件などを考慮した検討、また降水を種別化した検討が必要と考える。

謝辞：本論文は、防災科学技術研究所のプロジェクト研究「全球水文過程における災害予測に関する研究」と、京都大学防災研究所水資源研究センターの「異常少雨の特性と予測」の成果の一部をまとめたものである。両研究関係者の方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 池淵周一: 水資源工学, pp.94-96, 森北出版, 2001.
- 2) 葛葉泰久, 友杉邦雄, 岸井徳雄, 早野美智子: 少雨の空間分布に関する研究, 水文・水資源学会誌, **14**, pp.142-150, 2001.
- 3) 葛葉泰久, 友杉邦雄, 岸井徳雄, 早野美智子: DAD解析による少雨の時空間分布特性, 水工学論文集, **45**, pp.181-186, 2001.
- 4) 国土交通省国土地理院: 数値地図ユーザーズガイド第2版補訂版, 日本地図センター, pp.49-51, 1999.
- 5) 葛葉泰久, 友杉邦雄, 岸井徳雄: 降水量データの代表性, 水文・水資源学会誌, **14**, pp.461-471, 2001.
- 6) 国土庁長官官房水資源部: ‘96水資源便覧, p.5, 山海堂, 1996.
- 7) 葛葉泰久, 友杉邦雄, 岸井徳雄, 早野美智子: 水文レ짐による河川流域区分, 水文・水資源学会誌, **14**, pp.131-141, 2001.
- 8) Visual Numerics: IMSL Stat/Library, Volume 1, pp.73-74, Visual Numerics, 1994.

(2001. 10. 1受付)