

論文 関東平野における大雨の空間スケール —鉄道と気象庁の降水量データを用いた統計解析—

鈴木 博人*・高橋 日出男**

Spatial Scale of Heavy Precipitation in Kanto Plain: Statistical Analysis Based on Precipitation Data of Railway Observational Stations and Meteorological Stations

Hiroto SUZUKI* and Hideo TAKAHASHI**

Abstract

Detection of the spatial scale of heavy precipitation is important for the prevention of disasters. This study analyzed the spatial scale of heavy precipitation based on observed data at the railway observational stations and the meteorological stations in Kanto Plain. The results can be summarized as follows:

The simultaneous occurrence area of precipitation becomes smaller when the criterion of precipitation and/or the distance increases. Heavy precipitation exceeding 30 mm (130 mm) during 1-hour (24-hour) occurs simultaneously within the distance of about 4 km (>30 km) at the probability of 0.5. The spatial scale of heavy precipitation is larger in case of typhoon rather than front, low, and thunderstorm. The simultaneous occurrence area of precipitation seems to have southwest-northeast oriented long axis. Moreover, the spatial scale of heavy precipitation is larger in southeastern part rather than in northwestern part of Kanto Plain.

キーワード：大雨，空間スケール，同時生起率，メソγスケール

Key words：heavy precipitation, spatial scale, simultaneous occurrence probability, meso-γ-scale

1. はじめに

降雨の空間的な広がり，特に大雨の空間的な広がりを解明することは，降雨災害の防止にとって

重要である。大雨の空間スケールを統計的に把握することにより，大雨が同時に発生する範囲，つまり大雨による災害が同時に発生する恐れのある

* 東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センター防災研究所
Disaster Prevention Research Laboratory, Research and Development Center, East Japan Railway Company

** 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科
Graduate School of Urban Environmental Sciences,
Tokyo Metropolitan University

本論文に対する討論は平成21年2月末日まで受け付ける。

範囲を明らかにすることができれば、その利用価値は高いと考えられる。また、大雨の空間スケールを知ることは、水資源の観点からは流域の降水量のより正確な把握、気象学・気候学においては大雨の特性や機構の解明などに対して重要である。

鉄道や道路では、降雨災害を防止するために、地上雨量計の観測値に基づいて列車運転規制や交通規制が行われている（地盤工学会，2006など）。鉄道や道路における降雨災害は主に沿線や沿道で発生する斜面災害であり、これらの斜面災害を発生させる大雨は一般的に発達した積乱雲によってもたらされる。そのため、雨量計の観測値から斜面災害の発生をよりの確に予測するためには、個々の積乱雲に対応するメソスケールを含めた大雨の空間スケールを明らかにし、それに基づいて雨量計を配置する必要がある。また、大雨の空間スケールを知ることは、沿線などで同時に降雨災害が発生する恐れのある区間や、同時に列車運転規制が発令される区間などを把握するためにも重要である。そこで、本研究では主要な鉄道線路が数多く存在する関東平野を対象に、大雨の空間スケールに関する気候学的な特徴を把握しつつ、メソスケールを含めた大雨の空間スケールを明らかにするための分析を行った。なお、対象とする関東平野は標高の低い平野が広がることから、大雨に与える地形の影響が小さいと考えられる。

大雨の空間分布特性に関しては、河川の流域災害の防止の観点から比較的広い範囲を対象にした研究が数多く行われている。例えば、宝ら(1999)はDAD (Depth-Area-Duration) 解析、井良沢・田口(1996)は2地点の降水量の相関係数を用いて大雨の空間分布特性を分析している。また、葛葉ら(2002)はある地点で大雨が生起したときに他の地点でも同時に大雨が生起している条件付確率(大雨の同時生起率)を気象庁の降水量データを用いて2地点間の距離が概ね10km以上の場合について解析している。

より小さい空間スケールを対象に、雨量計の観測値に基づいて降雨の空間分布特性を調べた事例として、仙台管区気象台調査課(1974)は、ほぼ同一地点とみなされる一辺15mの正三角形内で

も、ひと雨の降水量は $\pm 6\%$ のばらつきがあり、3km四方の広さでは $\pm 14\%$ のばらつきがあるとしている。佐溝ら(1995)は、4地点の降水量の観測から、1時間降水量の相関は2地点間の距離が5km以内では高いが、5km以上では著しく低下するとしている。また、谷岡ら(1997)は台風や雷雨に伴う大雨の時空間特性について事例解析を行っている。ただし、これらの研究は、短期間の観測データに基づく事例解析が中心である。そのため、雨量計で観測される降水量の空間スケールに関する理解を深めるためには、より長い期間における多数地点の降水量データを用いて大雨の空間スケールを統計的に調べる必要がある。

なお、関東平野における大雨に関する研究として、例えば澤田・高橋(2002)などは、関東平野における雷雨の発現や移動に関する地域的な特徴を解析している。また、都市ヒートアイランドに関連して、藤部ら(2002)などは都市部の雷雨と風系との関係を調べている。このように、関東平野における雷雨の発現や移動、及び雷雨と都市気候との関連などに関する研究は数多く行われているが、大雨の空間スケールに関する気候学的特徴は十分に把握されていないのが現状である。

そこで、本研究では気象庁の地域気象観測システム(Automated Meteorological Data Acquisition System, 以下、アメダスとする)と東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR東日本とする)の降水量データを併用して、関東平野におけるメソスケールを含めた大雨の空間スケールの統計解析を、葛葉ら(2002)が採用した大雨の同時生起率を用いて行った。

2. 資料と解析方法

2.1 使用した降水量データ

本研究では、JR東日本の雨量計(以下、JR雨量計とする)で観測された降水量(以下、JR降水量とする)とアメダスの雨量計(以下、JMA雨量計とする)で観測された降水量(以下、JMA降水量とする)を用いる。解析に用いた観測地点は、図1に示す関東地方の標高150m以下に位置する170地点である。このうち、JR雨量計が110地点、

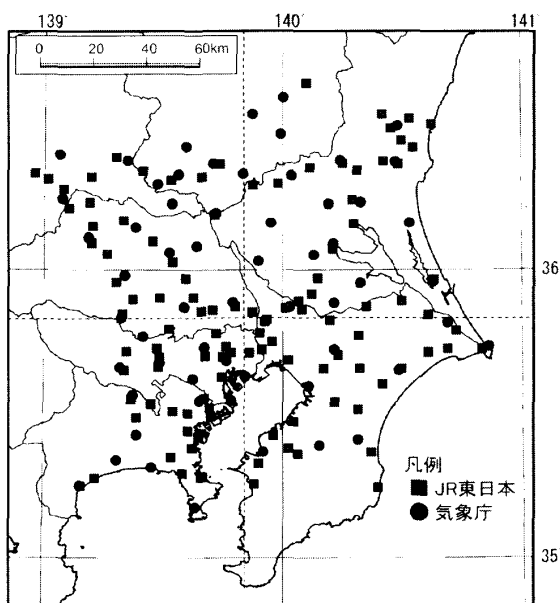


図1 解析に用いた雨量計の位置。点線は東西及び南北地域の境界を表す。

JMA雨量計が60地点である。解析には、降雨災害が一般的に強い雨や大雨によって発生することから、それぞれの雨量指標として用いられることの多い1時間降水量と24時間降水量を取り上げた。また、解析対象期間は1991年から2005年の暖候期(5月から10月)とした。

2.1.1 JR 降水量

JR 東日本では、降雨による鉄道災害を防止するために、鉄道沿線に雨量計を約10 km 間隔で設置して降水量の観測を行っており、1991年から1 mm 単位の降水量データを5分ごとに保存している(加藤, 1989)。なお、雨量計は転倒ます型雨量計で、転倒ますは0.5 mm である。

JR 降水量については、1時間降水量に対して以下の品質チェックを行った。JR 降水量と近隣3地点のJMA 降水量とを比較して、JMA 降水量で1時間降水量1 mm 以上が連続しているにもかかわらず、同期間のJR 降水量で0 mm が連続している場合は欠測扱いにした。ただし、JMA 降水量において半日程度に1時間降水量が1 mm から2 mm の弱い雨が間欠的に現れる場合には、JR 降水量が連続して0 mm であっても欠測としない。これは、欠測の判断が困難なことから必要以

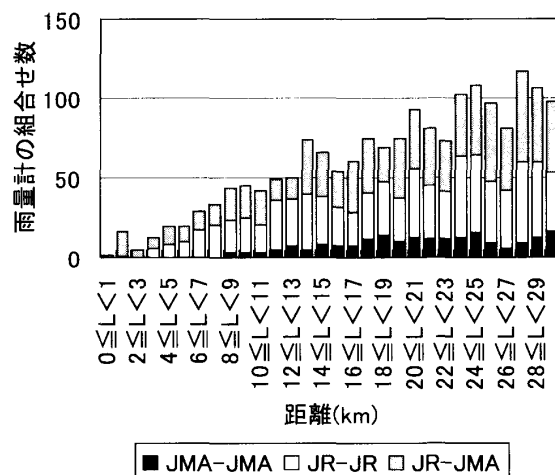


図2 JR 東日本 (JR) とアメダス (JMA) の雨量計を用いた1 km ごとの2地点の組合せ数。

上のデータを欠測扱いにすることで解析結果に恣意的な影響を及ぼす可能性があると考えたためである。なお、JR 降水量では降雨がない場合や弱い雨しか観測されなかった場合などには降水量データを保存していない場合がある。1991年から2005年の15年間の暖候期において、JR 降水量の欠測、観測の未実施、及びデータの未保存の期間を合わせた割合は、1時間降水量でみると最大の地点で31.0%、最小の地点で4.3%であり、平均で13.7%である。

2.1.2 JMA 降水量

JMA 降水量は、アメダス観測年報(アメダス再統計値 CD-ROM)の1991年から2005年の正時における1時間降水量を用いた。JMA 降水量は、1991年から2005年の15年間に於いて、10年以上の観測期間がある60地点の降水量データを用いた。また、この期間において降水量の統計が切断されている地点は別地点とした。JMA 降水量の1991年から2005年の暖候期における欠測と観測の未実施の期間を合わせた割合は、1時間降水量でみると最大の地点で6.7%、最小の地点で0.0%であり、平均で0.3%である。なお、1994年から2005年については、アメダス10分値(アメダス10分値データ CD-ROM)を用いて、正時以外の1時間降水量についても解析を行った。

2.2 雨量計の位置と2地点の距離・方位

JR 東日本の雨量計設置地点の緯度経度は、地理情報システムを用いて秒単位で読み取った。JMA 雨量計の位置については、地域気象観測所一覧表（地域気象観測所一覧表 FD）を用いた。なお、地域気象観測所一覧表に掲載された緯度経度は、分の小数点第一位までである。そのため、JMA 雨量計の緯度経度は最大で0.05分、距離に換算すると最大で経度方向は約75m、緯度方向で約90mの誤差が含まれる。

2地点間の距離と互いの方位は、国土地理院（2007）の計算式により求めた。これは、2地点の緯度と経度を平面直角座標（19座標系）に変換した上で、2地点の距離と方位角を求める方法である。

本研究で解析の対象とする範囲は、2地点間の距離が30kmまでとした。これは、メソスケールを含めた大雨の空間スケールを明らかにするためには、30km程度までの範囲を概観した上で、葛葉ら（2002）では十分に言及されていない10km程度以下の空間スケールについて詳細に分析する必要があると考えたためである。

解析に用いた170地点の雨量計の中で、2地点間の距離が30km以下の組合せは1795組ある。このうち、JMA 雨量計同士の組合せは196組、JR 雨量計同士の組合せは793組、JR 雨量計と JMA 雨量計の組合せは806組である。

図2は距離1kmごとの雨量計の組合せ数を示したもので、2地点間の距離が大きいくほど組合せ数が多くなる。これによると、JMA 雨量計同士の組合せは8km以下には存在しないが、JR 雨量計同士の組合せや、JR 雨量計と JMA 雨量計の組合せは2地点の距離が小さい組合せが多数存在する。このように、メソスケールを含めた大雨の空間スケールの統計解析は、気象庁の降水量データだけでは難しく、複数の観測網の降水量データを用いることで可能になる。

なお、2地点の雨量計を組合せる場合、両地点でともに降水量データが得られる割合は、最小で59.9%、最大で100.0%、平均で86.4%である。

2.3 降雨の同時生起率

本研究では、葛葉ら（2002）が用いた大雨の同

時生起率を用いて大雨の空間スケールの分析を行った。大雨の同時生起率は、降水量の基準値を定めたときに、ある地点で観測された降水量がその基準値以上の場合に、他の地点で観測された降水量が同時にその基準値以上であった比率である。大雨の同時生起率 $P_{i,j}(X)$ は、地点 i と地点 j の降水量を R_i と R_j 、降水量の基準値を X とし、 N を括弧内の条件を満たす事例の回数としたときに次式で表現される。

$$P_{i,j}(X) = \frac{N(R_i \geq X \cap R_j \geq X)}{N(R_i \geq X)} \quad \cdots \text{式1}$$

大雨の同時生起率は、地点 i において降水量の基準値 X を超過した回数 ($N(R_i \geq X)$) が少ないと、特定の大雨事例の影響を反映してしまう可能性がある。そこで、本研究では地点 i において降水量基準値 X を超過した大雨事例が3回以上の場合に同時生起率を求めることにした。なお、本研究で用いる JR 降水量と JMA 降水量は1mm単位であることから、大雨の同時生起率は観測された1mm単位の降水量を用いて算出した。

2.4 大雨の定義と要因の分類及び地域区分

1時間降水量については、降水量の基準値として5, 10, 20, 30, 40mmを取り上げた。また、関東平野の多くの地域における大雨注意報の発表基準値である30mm以上の場合を大雨とみなした。24時間降水量については、30, 70, 100, 130, 200mmを基準値として取り上げ、東京都区部などにおける大雨注意報の発表基準値である130mm以上の場合を大雨とみなした。

大雨の空間スケールと大雨をもたらした気象擾乱との関係を分析するにあたり、天気図と衛星写真から、大雨をもたらした気象擾乱を台風（熱帯低気圧を含む）、停滞前線、低気圧、雷雨の4つに区分した。ただし、梅雨季や秋雨季などには、停滞前線上をメソ低気圧が東進する場合や、停滞前線と台風が日本近傍に存在する場合に大雨がもたらされることがある。梅雨前線上のメソ低気圧は、傾圧不安定性によって発達する温帯低気圧とは構造が異なっており、活発な梅雨前線はむしろメソ

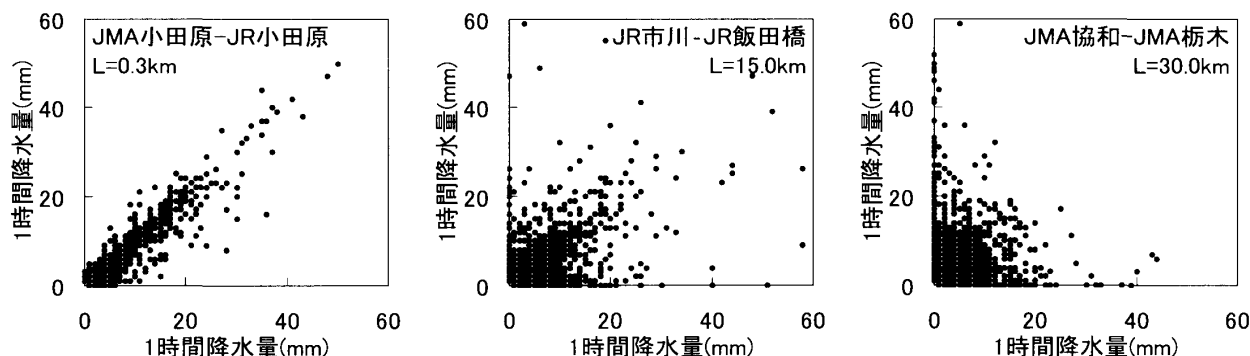


図3 2地点間の正時における1時間降水量の関係。図中の観測地点名は、左側が縦軸の地点、右側が横軸の地点で、JR東日本の観測地点は地点名(駅名)の前にJR、アメダスはJMAを付けて記してある。また、図中のLは2地点間の距離を表す。

低気圧の連なりとして認識できる(二宮, 1981)。そのため、停滞前線上にメソ低気圧を伴う場合の大雨は停滞前線に区分した。停滞前線と台風が存在する場合には、衛星画像によって台風本体のスパイラル状の雲群を判別し、それによる大雨を台風、そうでない場合を停滞前線に区分した。

また、関東平野における大雨の空間スケールの地域性を解析するにあたり、関東平野を北東、北西、南東、南西の4地域に分割した(図1)。その際に、雨量計の設置地点数がそれぞれの地域でほぼ均等になるように、南北を北緯35度50分、東西を139度50分で分割した。

3. 1時間降水量の同時生起率

3.1 正時データを用いた解析

図3は、2地点の正時における1時間降水量の関係を散布図によって示したものであり、2地点間の距離が0, 15, 30kmに最も近い組合せを例示した。図3に示していない2地点の組合せを含めて、2地点間の距離が大きいくほど点の分布は1対1の直線から外れるようになり、1時間降水量の差異が大きくなる。

図4は、2地点間の距離と1時間降水量の同時生起率との関係を示したもので、1時間降水量の基準値が5, 20, 30mmの場合を例示した。また、図5及び図6は、2地点間の距離による1時間降水量の同時生起率の変化を示したもので、2地点間の距離が、ある距離 ± 0.5 kmの1kmの範囲に含まれる組合せについて、同時生起率の平均値及び標準偏差を

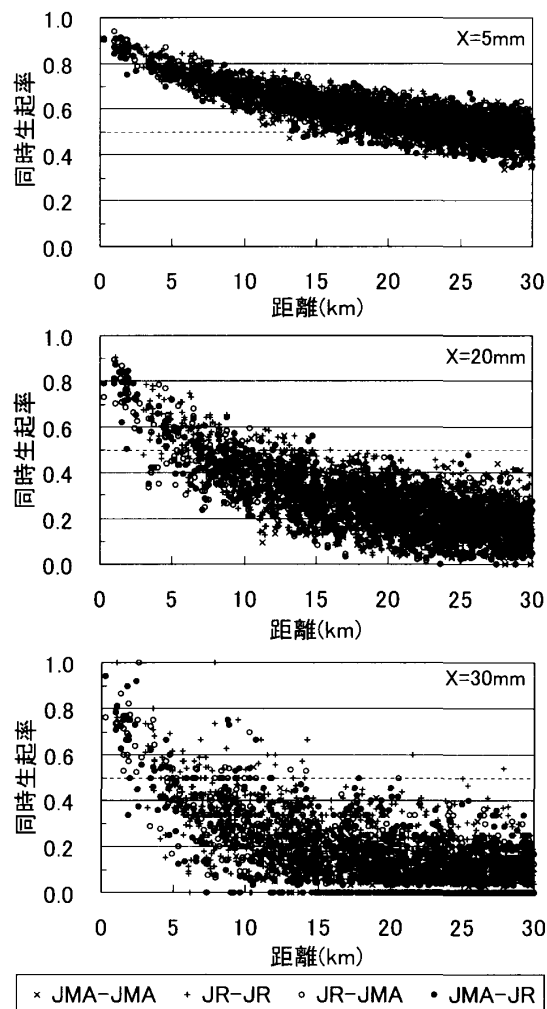


図4 2地点間の距離と1時間降水量(正時)に関する同時生起率との関係。降水量データのデータソースの組合せ別に示してあり、凡例の右側は式1の地点i、左側は地点jに相当する。また、図中のXは降水量の基準値を表す。

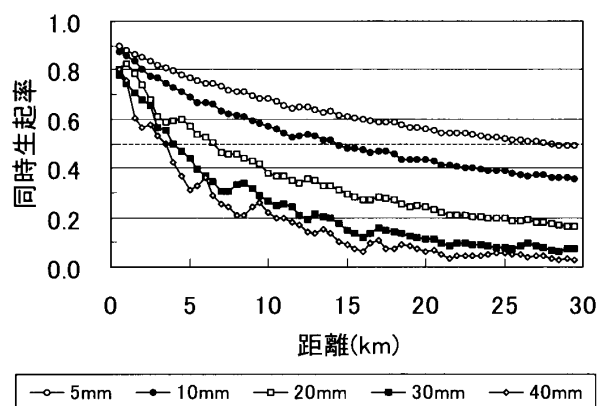


図5 距離ごとに求めた1時間降水量の同時生起率の平均値。2地点間の距離が、ある距離 ± 0.5 kmの1kmの範囲に含まれる組合せについて0.5kmずつずらしながら平均値を求めた。なお、凡例は1時間降水量の基準値。

0.5kmごとに求めたものである。なお、図4では2地点の組合せに用いた降水量のデータソースによって異なる記号で示している。図示は省略するが、データソースの組合せ別の標準偏差を図6と同様に1km間で求めると、データソースの組合せによる標準偏差の差異はほとんどなく、データソースによる系統的な差はみられない。

図4及び図5によれば、1時間降水量の同時生起率の一般的な傾向として、その平均値は1時間降水量の基準値が同じであれば2地点間の距離が大きいほど小さくなる。また、同時生起率の平均値は、2地点間の距離が同じであれば、基準値が大きいほど小さくなる。

図5によれば、1時間降水量の基準値を5mmとすると、同時生起率の平均値は2地点間の距離が1kmの場合に0.9程度である。同時生起率の平均値は、2地点間の距離の増大に伴って徐々に低下し、30km程度で0.5以下になる。ここで、同時生起率が0.5とは、ある地点で1時間降水量が5mm以上の降雨が観測されたときに、他の地点でも同等以上の降雨が同時に観測される比率が5割であることを意味する。そこで、同時生起率が0.5となる2地点間の距離を大雨の空間スケールの代表値と考えることにする。

1時間降水量の基準値を大雨とみなす30mmとすると、同時生起率の平均値は2地点間の距離が

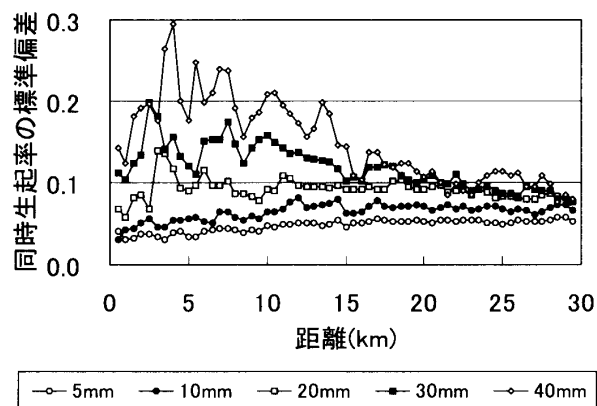


図6 距離ごとに求めた1時間降水量の同時生起率の標準偏差。2地点間の距離が、ある距離 ± 0.5 kmの1kmの範囲に含まれる組合せについて0.5kmずつずらしながら標準偏差を求めた。なお、凡例は1時間降水量の基準値。

1kmの場合でも0.8程度である。同時生起率の平均値は、2地点間の距離の増大に伴って急激に低下し、4km程度を超えると0.5以下になる。このことから、ある地点で1時間降水量が30mm以上の大雨が観測された場合に、同等以上の大雨が同時に観測される比率が高い範囲は狭く、1時間降水量の大雨の局地性は高いと考えられる。

図4によれば、2地点間の距離が同程度であっても1時間降水量の同時生起率には差異が認められる。同時生起率の標準偏差を1km間ごとに示した図6によると、基準値が5mmや10mmのように小さい場合、同時生起率の標準偏差は2地点間の距離が30kmまでの範囲で距離の増大に伴って漸増する。これに対して、30mmや40mmのように基準値が大きくなると、標準偏差は2地点間の距離が数kmの場合に増加し、そこから距離の増大に伴って減少する。2地点間の距離が大きい場合に標準偏差が減少する理由として、同時生起率の下限値が0に制限されることがあげられる。また、距離が小さい場合に標準偏差が増加する理由として、図4や図5にみられるように数kmの距離のところで同時生起率が急激に低下するため、標準偏差を求める1kmの範囲でもその影響が含まれている可能性がある。その一方で、標準偏差が大きくなる距離は、同時に大雨域に含まれやすい場合とそうでない場合が混在する距離と考えるこ

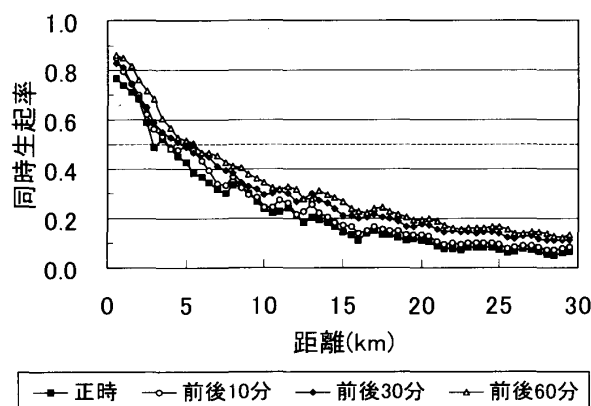


図7 図5と同様。ただし、1時間降水量の基準値30mmで、正時を挟んだ時間差を許容して求めた最大1時間降水量を使用。

とができ、その付近に大雨域の境界となりやすい距離を想定できる。この距離を図6から特定することは難しいが、基準値を大雨とみなす30mmとした場合に、比較的大きい極大となる2.5km、4km、及び7kmを含む範囲がそれに該当すると考えられる。したがって、図5から同時生起率0.5として得られた4kmは、その範囲のほぼ中央にあたることから、同時に大雨が出現する範囲の代表値として概ね妥当な値と判断できる。

3.2 10分値を用いた解析

1時間降水量に関する大雨域は、大雨をもたらす積乱雲群の移動に伴って位置や範囲を変える。そのため、大雨域の移動方向に位置する地点では、時間差をもって大雨が発生することになる。列車運転規制などの実用上においては、このような大雨域の移動も考慮する必要があることから、ここでは時間差を許容した1時間降水量に関する大雨の同時生起率について議論する。すなわち、JMA降水量としてアメダス10分値データを用いて、1時間降水量の①正時、②正時を挟んで前後10分、③正時を挟んで前後30分、④正時を挟んで前後60分の間におけるそれぞれの最大値から同時生起率を算出した。

図7は、1時間降水量の基準値を大雨とみなす30mmとした場合について、上記の①から④による同時生起率を図5と同様に1km間の平均値で示したものである。正時を挟んで前後10分、30

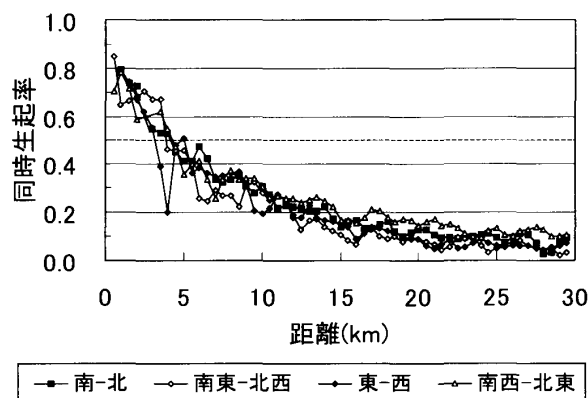


図8 図5と同様。ただし、1時間降水量の基準値30mmで、2地点の方位別に集計。

分、60分の時間差を許容した場合でも、同時生起率の平均値が同程度の値を示す距離は、時間差を許容しない場合に比べてそれぞれ0.5kmから1km程度、1km程度、1kmから2km程度の増加にとどまる。すなわち、同時刻における同時生起率は、2地点間の距離が4km程度を超えると0.5以下になり、正時を挟んで前後10分、30分、60分の時間差を許容するとそれぞれ4.5、5、6km程度を超えると0.5以下になる。このことから、ある地点で1時間降水量が30mm以上の大雨が観測された場合に、同等以上の大雨が観測される比率が0.5以上の範囲は、前後1時間の時間差を許容した場合でも6km程度と考えられる。

なお、正時の場合の同時生起率の平均値について、10分値を用いた解析は1994年から2005年、正時データを用いた解析は1991年から2005年の降水量データを使用していることから、両者の解析結果は若干異なっている。

3.3 方位性の解析

以上の解析では、2地点の位置関係を距離によってのみ捉え、1時間降水量に関する大雨域の等方的な空間スケールを考えてきた。しかし、大雨域が等方的である保証はない。そこで、1時間降水量に関する大雨の空間スケールについて、一方の地点から他方の地点をみた場合の方向(方位)による違い(異方性)を調べた。ここでは、2地点を結んだ線分の方向によって、2地点の組合せ

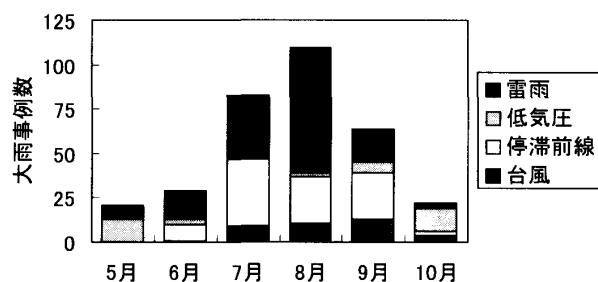


図9 1991年から2005年において1時間降水量30mm以上の大雨が1地点以上で観測された場合の気象擾乱別・月別事例数。

を南－北，南東－北西，東－西，南西－北東の4方向に区分し，それぞれについて1時間降水量に関する大雨の同時生起率を比較した。

図8は，1時間降水量の基準値を大雨とみなす30mmとした場合について，2地点の方位別の同時生起率を図5と同様に1km間の平均値で示したものである。同時生起率の平均値は，2地点間の距離が4kmから5km以下の場合には，2地点の方位による差異は明確ではない。しかし，2地点間の距離が5km程度以上になると，同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲は，南西－北東方向が南東－北西方向に比べて広い傾向が認められる。このことから，関東平野では1時間降水量の大雨域の広がりには南西－北東方向が南東－北西方向に比べて大きいと考えられる。このような大雨の空間スケールの異方性には，大雨域の構造(形状)や移動方向が関係している可能性が考えられる。

ただし，大雨の空間スケールの異方性は，2地点間の距離が5km程度以下では明瞭ではない。そのため，1時間降水量による大雨が同時に観測される比率が高い範囲の議論には，特に影響を与えないと考えられる。

3.4 気象擾乱別の解析

1時間降水量に関する大雨の空間スケールと大雨をもたらした気象擾乱との関係を調べるために，気象擾乱別に大雨の同時生起率を求めた。

図9は，解析に用いた雨量計170地点のうち，1地点以上で1時間降水量30mm以上の大雨が観測された回数を気象擾乱別に示したものであ

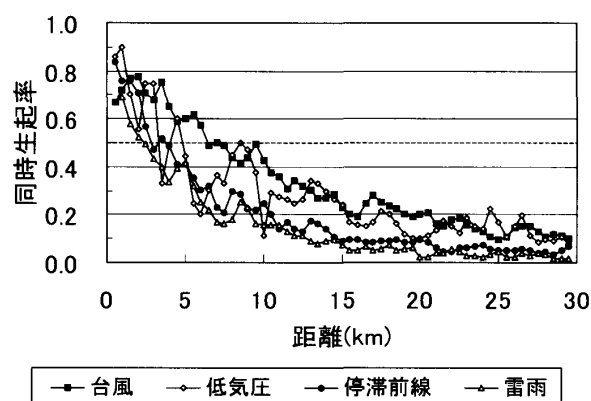


図10 図5と同様。ただし，1時間降水量の基準値30mmで，大雨の原因別に集計。

る。関東平野では，1時間降水量に関する大雨は停滞前線と雷雨による事例が多く，台風や低気圧による事例は少ない。また，1時間降水量に関する大雨は台風と停滞前線による場合が7月から9月，雷雨による場合が7月と8月，低気圧による場合が5月と10月に多い。

図10は，1時間降水量の基準値を大雨とみなす30mmにした場合について，気象擾乱別の同時生起率を図5と同様に1km間の平均値で示したものである。同時生起率の平均値は，2地点間の距離が1kmの場合には気象擾乱による差異がほとんどなく0.8程度である。2地点間の距離が増大すると，雷雨による大雨は同時生起率の平均値が急激に低下するのに対して，台風による大雨は比較的緩やかに低下する。雷雨による大雨の同時生起率の平均値は，2地点間の距離が2km程度を超えると0.5以下になる。このことから，雷雨による大雨は同時に観測される範囲が非常に狭く，局地性がきわめて高い。また，台風による大雨の同時生起率の平均値は7km程度を超えると0.5以下になる。このように，同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲は，台風による大雨が雷雨による大雨に比べて2倍から3倍程度広い傾向にある。低気圧や停滞前線による大雨については，同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲として台風と雷雨による大雨の中間に位置付けられる。

同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲が気象擾乱によって異なるのは，大雨をもたらす積乱雲群の水平スケールに関係していると考えられ

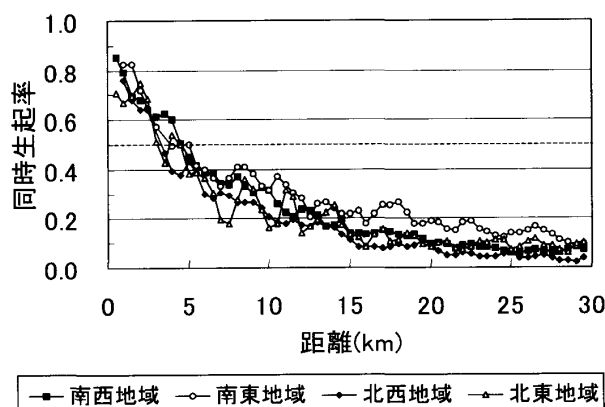


図11 図5と同様。ただし、1時間降水量の基準値30mmで、関東平野の地域別に集計。

る。つまり、台風による大雨は広域に組織化された積乱雲群によってもたらされる場合が多いため、大雨が同時に生起する範囲が広いと考えられる。一方、雷雨による大雨は少数の積乱雲によってもたらされる場合が多いことから大雨が同時に発生する範囲が狭く、低気圧や停滞前線による大雨は両者の中間に該当すると考えられる。

3.5 地域性の解析

次に、関東平野における1時間降水量に関する大雨の空間スケールの地域性を調べるために、関東平野を図1に示した4つの地域に区分し、地域別に大雨の同時生起率を算出した。

図11は、1時間降水量の基準値を大雨とみなす30mmとした場合について、関東平野の地域別の同時生起率を図5と同様に1km間の平均値によって示したものである。同時生起率の平均値は、2地点間の距離が5km程度以下の場合には地域による差異が明確ではない。しかし、2地点間の距離が5km程度以上になると、同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲は、南東地域が他の地域に比べて広く、一方で北西地域が狭い傾向にある。すなわち、大雨域の空間スケールは関東平野の北西地域で小さく、南東地域で大きい。

大雨の空間スケールにこのような地域性が生じる原因を考察するために、1時間降水量が30mm以上の大雨事例について、地域別に気象擾乱別の構成比を図12に示した。なお、この構成比は降水量

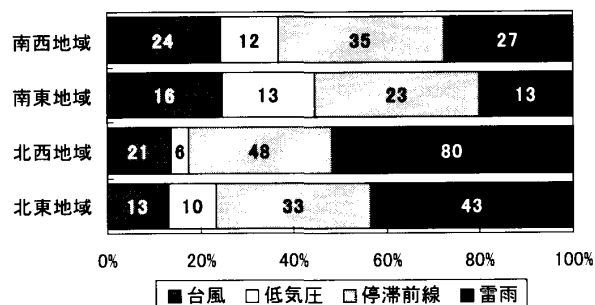


図12 1991年から2005年について地域別に集計した1時間降水量30mm以上の大雨事例の気象擾乱別割合。なお、図中の数字は大雨事例数を表す。

データの欠測率が2%以下の58地点を用いて、地域別に1地点以上で大雨が観測された回数を集計して算出した。関東平野では、雷雨による大雨事例の割合は、北部が南部に比べて高い傾向にあり、特に北西地域で高い。雷雨による大雨は、図10に示したように他の気象擾乱による大雨に比べて空間スケールが小さい。そのため、空間スケールの小さい雷雨による大雨の割合が高い北西地域は、その割合が低い南東地域に比べて、1時間降水量の大雨の空間スケールが小さいと考えられる。

4. 24時間降水量の同時生起率

4.1 正時データを用いた解析

図13は、図3と同じ2地点の組合せについて、正時ごとの24時間降水量の関係を散布図で示したものである。1時間降水量と同様に、2地点間の距離が大きいほど2地点間の24時間降水量の差異は増大するが、その程度は1時間降水量に比べると小さい。なお、図13には2地点間の距離が大きい場合ほど右上がりの点の連なりが明瞭に認められるようになる。この点の連なりは、ひと雨期間中における2地点の24時間降水量の時間推移を表しており、降雨事例ごとに雨の降り方が異なることを示している。

図14は、図4と同様に2地点間の距離と24時間降水量の同時生起率との関係を示したもので、基準値が30mmと130mmの場合について例示した。図15及び図16は、図5及び図6と同様に24時間降水量の同時生起率の平均値及び標準偏差を1km間

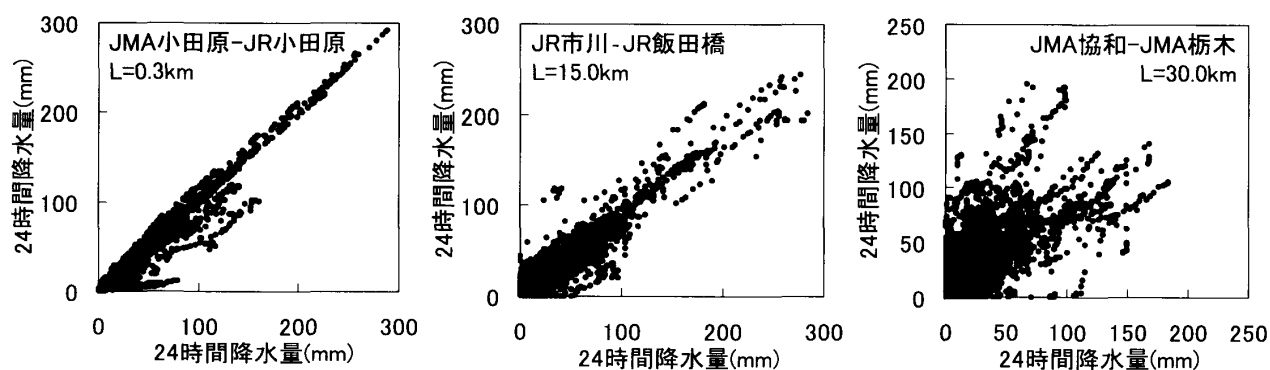


図13 図3と同様。ただし、24時間降水量（正時）の場合。

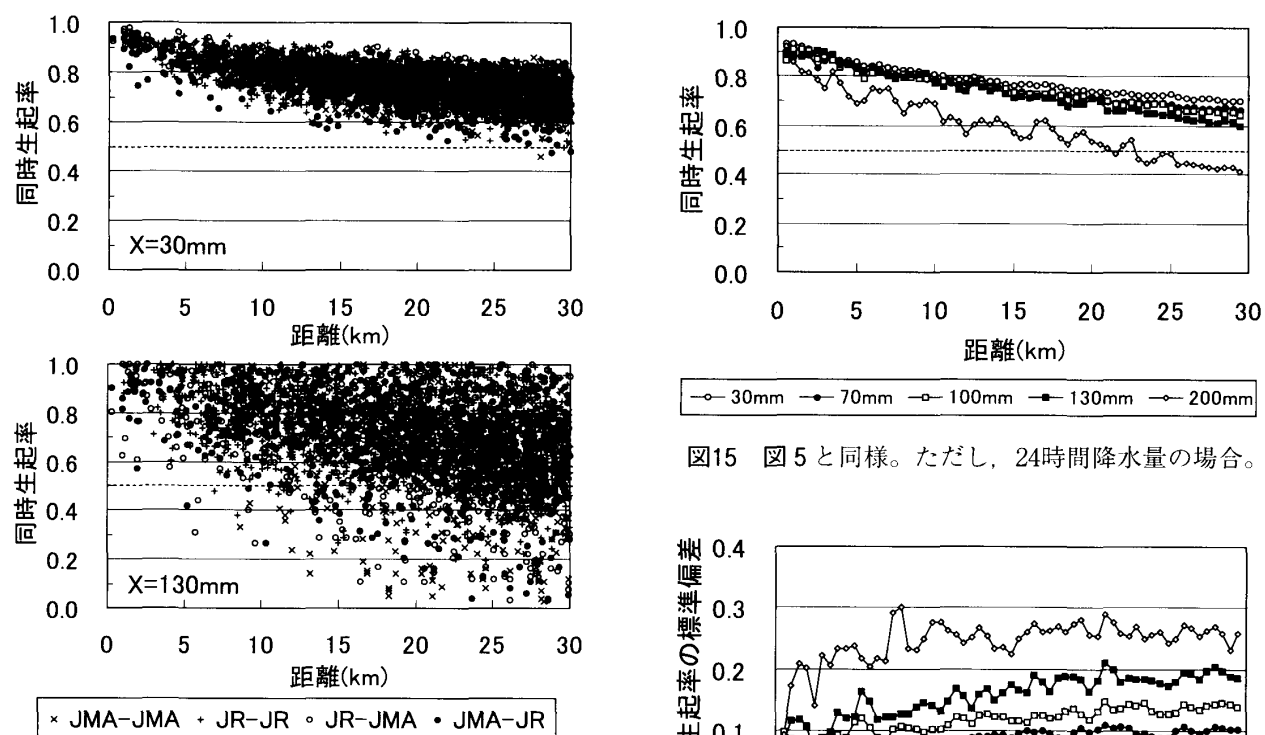


図14 図4と同様。ただし、24時間降水量（正時）の場合。

の平均値で示したものである。なお、図14では、2地点の組合せに用いたデータソースごとに異なる記号で示しているが、1時間降水量と同様にデータソースによる系統的な差はみられない。

図14及び図15によれば、24時間降水量の同時生起率は、1時間降水量の場合と同様に、24時間降水量の基準値が同じであれば2地点間の距離が大きいほど小さくなる。また、同時生起率の平均値は、2地点間の距離が同じであれば基準値が大きいほど小さくなるが、基準値が130mm以下の場

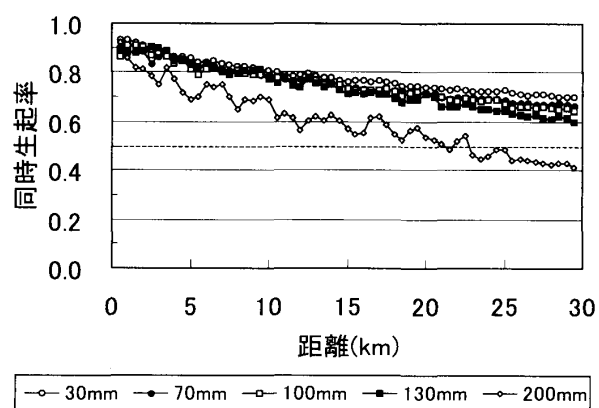


図15 図5と同様。ただし、24時間降水量の場合。

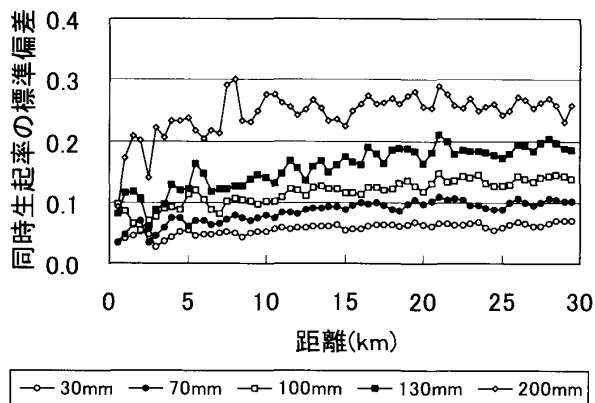


図16 図6と同様。ただし、24時間降水量の場合。

合には差異がほとんどない。

図15によれば、24時間降水量の基準値が大雨とみなす130mm以下であると、同時生起率の平均値は2地点間の距離が1kmの場合に0.9程度である。同時生起率の平均値は、2地点間の距離の増大に伴って徐々に低下するが、30kmの場合で

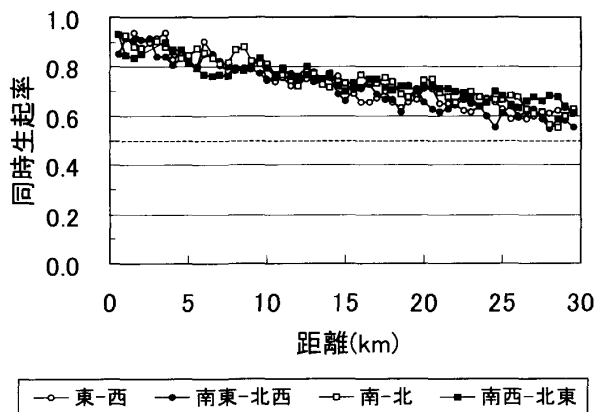


図17 図5と同様。ただし、24時間降水量の基準値130mmで、2地点の方位別に集計。

も0.5以上である。また、2地点間の距離が10kmのとき、同時生起率の平均値は0.8程度である。このことから、ある地点で24時間降水量が130mm以上の大雨が観測された場合に、同等以上の大雨が同時に観測される比率の高い範囲は広いと考えられる。このように、ともに東京都区部における大雨注意報の発表基準値であるが、24時間降水量の大雨が同時に生起する可能性の高い範囲は、1時間降水量の大雨に比べて大きいことになる。

図14及び図16によると、同時生起率の標準偏差は、2地点間の距離が大きいほど、また24時間降水量の基準値が大きいほど大きくなる。図14によれば、基準値が130mmのように大きい場合には、2地点間の距離が大きくても同時生起率が1に近い場合がある。すなわち、24時間降水量においては、基準値が大きい場合であっても広範囲で同時に大雨になる場合がある。

4.2 方位性の解析

図17は、24時間降水量の基準値を大雨とみなす130mmとした場合について、2地点の方位別に同時生起率を図5と同様に1km間の平均値で示したものである。これによると、同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲は、2地点間の距離が10km程度以上になると、南西-北東方向が南東-北西方向に比べて広い傾向にある。このように、関東平野では1時間降水量と同様に24時間降

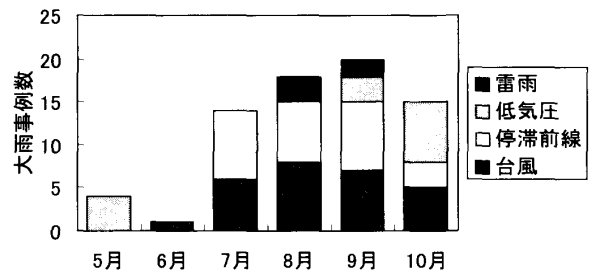


図18 図9と同様。ただし、24時間降水量130mm以上の大雨の場合。

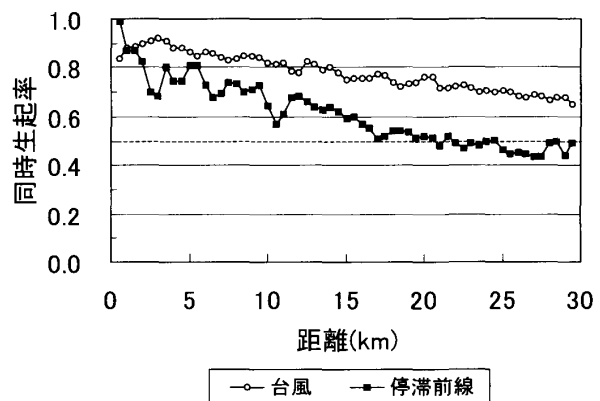


図19 図5と同様。ただし、24時間降水量の基準値130mmで、台風と停滞前線について集計。

水量についても大雨域の広がり方は南西-北東方向が南東-北西方向に比べて大きいと考えられる。

4.3 気象擾乱別の解析

図18は、図9と同様に解析に用いた雨量計170地点のうち1地点以上で24時間降水量130mm以上の大雨が観測された回数を気象擾乱別に示したものである。関東平野では、24時間降水量に関する大雨は台風と停滞前線による事例が多く、低気圧や雷雨による事例は少ない。また、台風による大雨は7月から10月に多く、停滞前線の場合は7月から9月に多い。

図19は、24時間降水量の基準値を大雨とみなす130mmとした場合について、大雨事例の多い台風と停滞前線の場合の同時生起率を図5と同様に1km間の平均値で示したものである。これによると、台風による大雨は2地点間の距離が30kmの場合でも同時生起率の平均値が0.5以上である

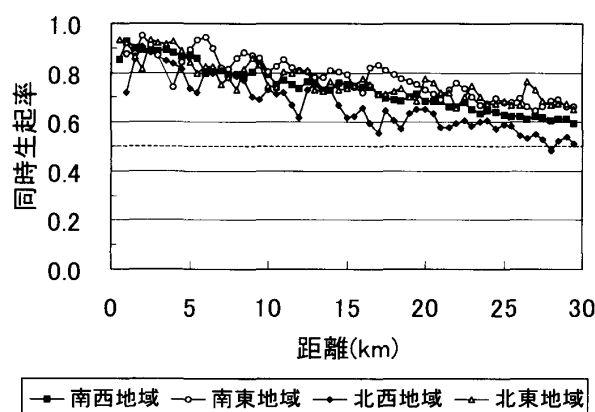


図20 図5と同様。ただし、24時間降水量の基準値130mmで、地域別に集計。

のに対して、停滞前線による大雨は20km程度を超えると0.5以下になる。このように、24時間降水量の大雨の空間スケールは1時間降水量と同様に、台風による場合が停滞前線に比べて大きい。

4.4 地域性の解析

図20は、24時間降水量の基準値を大雨とみなす130mmとした場合について、関東平野の地域別に同時生起率を図5と同様に1km間の平均値で示したものである。これによると、同時生起率の平均値が同程度の値を示す範囲は、2地点間の距離が5km程度以上になると、北西地域が南東地域などに比べて小さい傾向にある。このように、関東平野では1時間降水量と同様に24時間降水量についても大雨域の広がりには北西地域で小さいと考えられる。

図18に示したように、24時間降水量の大雨の空間スケールは、台風による場合が停滞前線による場合に比べて大きい。ところが、24時間降水量の大雨事例を気象擾乱別に集計した図21によれば、台風による大雨事例の構成比は、北西地域が南東地域などに比べて高い傾向にある。つまり、北西地域は南東地域などに比べて、空間スケールが大きいはずの台風による大雨の割合が大きい、実際には大雨の空間スケールが小さい。標高の低い平野が広がる関東平野では、一般的に大雨に与える地形の影響が小さいと考えられるが、北西地域では関東平野周囲の山地などによる影響を受けて

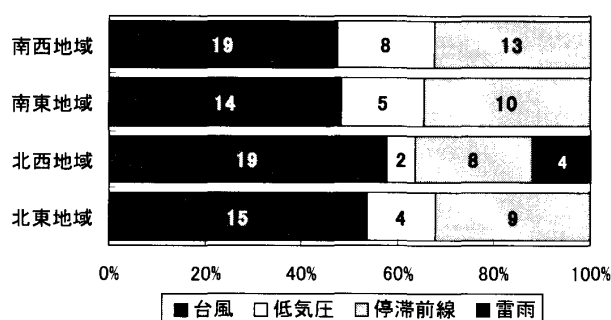


図21 図12と同様。ただし、24時間降水量が130mm以上の大雨事例の場合。

いることが考えられる。

5. まとめ

本研究では、JR東日本とアメダスの降水量データを併用して、関東平野における大雨の空間的な特徴を把握しつつ、雨量計で観測される大雨の空間スケールを明らかにすることを試みた。1時間降水量と24時間降水量の同時生起率を用いた解析により、以下の結果が得られた。

① 1時間降水量及び24時間降水量の同時生起率は、2地点間の距離が大きいほど、また降水量の基準値が大きいほど小さくなる。ただし、2地点間の距離や基準値の増大に伴う同時生起率の低下は、1時間降水量が急激であるのに対して、24時間降水量では緩やかである。

② 1時間降水量の基準値を大雨とみなす30mmとすると、同時生起率の平均値は2地点間の距離が1kmの場合でも0.8程度である。また、同時生起率の平均値は、2地点間の距離が4km程度を超えると0.5以下になる。すなわち、ある地点で1時間降水量が30mm以上の大雨が観測された場合に、同等以上の大雨が同時に観測される範囲の代表値は4km程度と考えられる。また、正時を挟んで10分、30分、60分の時間差を許容した同時生起率は、それぞれ4.5, 5, 6kmを超えると0.5以下になる。以上のことから、前後1時間の時間差を許容した場合でも、ある地点で1時間降水量30mm以上の大雨が観測された場合に、同等以上の大雨が観測される範囲の代表値は6km程度と考えられる。

③ 24時間降水量の基準値を大雨とみなす130mmとすると、同時生起率の平均値は2地点間の距離が1kmの場合に0.9程度である。また、同時生起率の平均値は2地点間の距離の増大に伴って徐々に低下するが、30kmの場合でも0.5以上である。1時間降水量30mm及び24時間降水量130mmは、いずれも東京都区部における大雨注意報の発表基準値であるが、これらの基準値以上の大雨が同時に観測される範囲は24時間降水量の方が広いことになる。

④ 気象擾乱別にみた1時間降水量の大雨の空間スケールは台風、低気圧、停滞前線、雷雨の順で小さくなる。雷雨による大雨は、2地点間の距離が2km程度を超えると同時生起率の平均値が0.5以下になり、局地性がきわめて高いと考えられる。一方、台風による大雨は7km程度を超えると0.5以下になる。また、24時間降水量に関する大雨の空間スケールは、台風による場合が停滞前線の場合に比べて大きい。

⑤ 関東平野では、1時間降水量及び24時間降水量による大雨の空間スケールは、南西-北東方向が南東-北西方向に比べて大きい。また、大雨の空間スケールの地域性として、南東地域で大きく北西地域で小さい傾向がある。

謝 辞

本研究では、鉄道と気象庁の降水量データを利用しました。それぞれの機関において観測とデータの保存・整理に従事された方々に深く感謝申し上げます。また、貴重なご意見を頂きました査読者3名と担当編集委員の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 藤部文昭・瀬古 弘・小司禎教：関東平野における夏季高温日午後の降水分布と地上風系との関係，天気，Vol. 50, No. 10, pp. 777-786, 2003.
- 井良沢道也，田口陸男：降雨特性を考慮したテレメータ配置計画の検討，砂防学会誌，Vol. 49, pp. 22-27, 1996.
- 地盤工学会：豪雨時における斜面崩壊のメカニズム及び危険度予測，地盤工学 実務シリーズ23，

丸善，184p., 2006.

加藤 光：防災情報システムの導入，Japan Railway Engineers' Association, Vol. 32, No. 11, pp. 18853-18856, 1989.

国土地理院：測量計算，<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/main.html>, 2007年6月15日.

葛葉泰久・友杉邦雄・岸井徳雄：降水量の空間相関構造，水工学論文集，Vol. 46, pp. 127-132, 2002.

二宮洸三：雨とメソシステム，東京堂出版，242p., 1981.

佐溝昌彦・和田昭夫・紙田 茂・村石 尚・杉山友康：鉄道防災情報システムと雨量計配置に関する一考察，土木学会第48回年次講演会講演集 IV, pp. 340-341, 1995.

澤田康徳・高橋日出男：夏季の関東地方におけるメソβスケール降水域の発現と移動，地理学評論，Vol. 75, No. 8, pp. 509-528, 2002.

仙台管区気象台調査課：降雨特別調査観測について，研究時報，No. 26, pp. 16-17, 1974.

宝 馨・今本博健・林 泰一・中北英一・市川 温・橋野典平・中村幸雄：1998年那珂川流域における豪雨・洪水災害について，京都大学防災研究所年報，Vol. 42, No. B-2, pp. 235-253, 1999.

谷岡 康・福岡捷二・伊藤繁之・小山幸也・傳 雲飛：都市中小河川流域規模を対象とした短時間雨量の特性，土木学会論文集，No. 579/II-41, pp. 29-45, 1997.

(投稿受理：平成19年7月2日)

訂正稿受理：平成20年1月21日)