

# 経年変化の検証を意図した降雨の空間的集中度の定量化

## QUANTITATIVE PROPERTY OF SPACE DISTRIBUTION OF RAINFALL FOR TREND ANALYSIS

鈴木正人

Masato SUZUKI

正会員 工博 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2)

In recent years, global climate fluctuation is regarded as questionable. A typical example is global warming. It is expected that these warming changes the hydrologic environment in the city. Therefore, in this study, quantitative property of spatial distribution of rainfall is represented as the shape of hourly regional rainfall data of a Rader AMeDAS. It is understood that the local rain of Tokyo is more heavy than the rain of Gifu, Nagoya, and Osaka. And trend analysis is carried out for the variance of the regional rain fall at Tokyo area using AMeDAS data. But, it is not showed obviously that the variance of the regional rainfall is changed every year.

**Key Words:** local heavy rain, spatial distribution of rain fall, climate fluctuation

### 1. はじめに

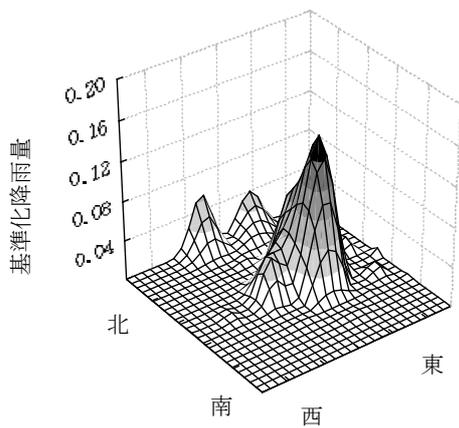
平成 17 年 9 月 4 日の夕方から 5 日未明にかけて、東京都杉並区下井草で 4 日 21 時 50 分までの 1 時間に 112mm、練馬区の石神井で 4 日 22 時 30 分までの 1 時間に 107mm といったように東京都では局地的に 1 時間雨量 100mm を越える降雨が観測され<sup>1)</sup>、それに伴い、都内で床上浸水 796 戸、床下浸水 869 戸の被害を受けた。このように、夏季の都心部における局地的な豪雨は、以前から注目を集めており、1999 年・2003 年の博多駅前、1999 年の東京など 100mm/h に近い豪雨が降り地下街に浸水するなど都市特有の被害も起きている。

一方、1980 年代の終わり頃より地球規模の温暖化が問題視されるようになった。また、都市域においては“ヒートアイランド”なる現象の存在も指摘されている<sup>2)</sup>。確かに、過去 100 数十年の気温の経年変化を調べると、明確な上昇傾向がみられる。最も単純な解析方法として東京の 1876~2000 年の年平均気温について、気温を目的変数、西暦を説明変数とした回帰直線により線形トレンドを求めると 100 年あたり 2.37°C の上昇であることが分かる。また、岐阜の日平均気温の年平均値については 1883~2000 年で 100 年あたり 1.48 度の上昇となる。

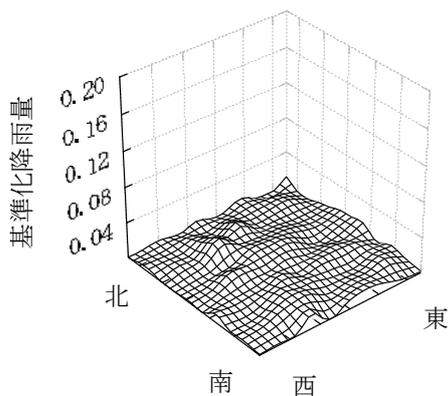
これら温暖化は、ただ単に気温の上昇にとどまらず、熱をエネルギー源としている地球上の水の循環（水循環）にも影響を及ぼしている可能性がある。特に都市に

おける豪雨は、気温の上昇と関連している可能性が指摘されており、気象分野の研究者により研究がなされている<sup>3)</sup>。それらの研究をみると現象論的には気温が降水に及ぼす影響は定性的解釈にとどまっているようである。また、統計的に、8 月における毎時 10mm を超える降水の割合の経年変化を調べた結果、東京都心部では激しい降雨が増加しているが首都圏以外の名古屋、大阪、福岡などでは、はっきりした変化がみられないとの報告<sup>4)</sup>もある。どうやら、「気温が高くなると雨が激しくなる」というほど単純ではなさそうだ。また、河川計画・管理の面からも降雨の時空間特性について研究がなされている。吉野ら<sup>5)</sup>は、降雨の時空間的な相関関係を調べ、降雨原因別の平均的な雨域の大きさを推定すると共に DAD 解析との比較検討を行なった。また、谷岡ら<sup>6)</sup>は密に観測された地上雨量観測所網のデータを用い雨域の移動や消長、面積的な広がりについて検討を行なった。これら研究は、台風、雷雨といった降雨原因別に降雨をいくつか取り上げ、詳細な検討を行なったものである。特定の降雨を対象とせずに、全国のアメダス日降水量データ 24 年間分を対象とした DAD 解析も行なわれている<sup>7)</sup>が、これは少雨を対象としたものである。

以上を踏まえ、本研究は近年狭い範囲に集中して降る雨が増加しているかを統計的に検証することを最終的な目的とし、降雨が空間的に集中して降る程度を、一つの雨域に注目して①雨域の広さ、②基準化した降雨の空間



図—1 集中している降雨 (東京 97. 8. 26. 1)



図—2 集中していない雨 (岐阜 98. 7. 24. 6)

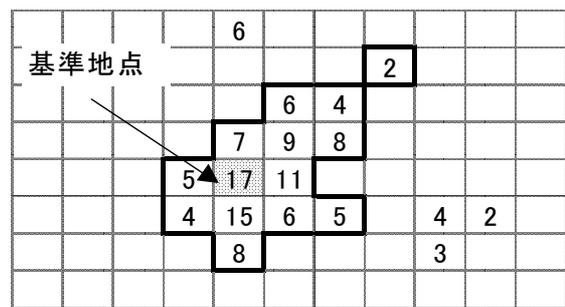
分布の雨心回りの二次モーメント，によって定量化する手法を提案したものである．いずれの手法も直接的に雨域を対象とし，降雨量の多少によらず空間分布形状のみによって決まる点特徴的である．また，東京，岐阜を主な対象とした適用計算を行ない手法の有効性を示している．経年変化の検証を念頭においているので，適用にあたっては特徴的な豪雨を抜き出すのではなく，全数調査的な立場で対象期間における全ての降雨を対象とし，得られた結果から降雨特性を見出すことを試みる．

## 2. 対象データ

対象データとして望まれる条件として，以下があげられる．

- ① 時間降水量が観測されていること
- ② 観測期間が長いこと
- ③ 数多くの地点で観測されていること
- ④ 観測密度 (メッシュ) が細かいこと

これら条件をほぼ満たすものとして，本研究ではアメダス観測値<sup>8)</sup>およびレーダーアメダス解析雨量<sup>9)</sup>を用いた．レーダーアメダス解析雨量は気象庁の保有する気象レーダーとアメダスデータを用いて緯度  $0.05^\circ$ ，経度  $0.0625^\circ$  間隔 (約 5km メッシュ) で解析された 1 時間降水量で



図—3 雨域の数え方

ある．しかし，データ期間が 1995 年以降しか無く経年変化を調べるには十分とは言えない．一方，アメダス観測値 (以下アメダス雨量) は 1976 年以降と長いデータ期間があるが，平均観測密度が約 17km メッシュ相当とレーダー解析雨量に比べて粗く，空間分布を調べるには心もとない．そこで，レーダーアメダス解析雨量を用い降雨の空間分布を定量化し，地域間の降雨特性の比較を行なう．また，アメダス雨量により経年変化の検証を試みる．なお，レーダーアメダス解析雨量は 2001 年以降は約 2.5km メッシュで降雨量が解析されるようになったが，本研究では 5km メッシュで解析された 2000 年までのデータを用いた．

## 3. 降雨の空間分布の定量化手法

降雨の空間分布において狭い範囲に集中して降る程度を数値として表現することを試みる．図—1，2 はそれぞれ東京と岐阜における気象官署を中心とする 50km 四方の範囲の降雨を基準化し図化したものであるが，図—1 に示すような集中して降る雨と，図—2 に示すような集中していない雨の差を数値で表現する．

### (1) レーダーアメダス解析雨量を用いる場合

#### a) 雨域の広さ<sup>10)</sup>

雨域の広さが空間的な集中度の一つの目安になろう．狭い範囲に降る雨は，広い範囲に降る雨に比べて集中して降っている可能性が高い．しかし，雨域の広さは時間分布で言えば降雨の継続時間に相当し，継続時間が同じでも雨の降り方に差があるように雨域の広さはひとつの目安に過ぎない．本研究における雨域の数え方を図—3 に示す．「上下左右の 8 メッシュで降雨が観測されていれば雨域が続いているとする」とのルールにしたがって雨域を求める．基準地点 (気象官署，アメダス観測点などを対象) で降雨が観測されている場合，先のルールに従い基準地点から順に雨域を広げていく．図—3 の場合，基準地点で 17mm の降雨が観測されており，雨域を順次広げていくと，太線で囲んだ 14 メッシュが雨域となる．なお，図—1 の降雨の場合メッシュ数は 49 となる．

#### b) 空間的なばらつきの程度<sup>11)</sup>

50km 四方，など対象範囲を設定し，対象範囲内の降

雨を基準化したものを対象に、基準地点周りの二次モーメントに相当する次式で降雨の空間的な集中度を表す。

$$v_s = \sum_i r_i \cdot l_i^2, r_i = \frac{R_i}{R}, R = \sum_i R_i \quad (1)$$

ここで、 $R_i$ は観測点*i*における時間降雨量(mm),  $r_i$ は対象範囲内の観測(または解析)降雨量の和で基準化された降雨量(無次元),  $l_i$ は基準地点から観測点*i*までの距離(km)である。 $v_s$ (km<sup>2</sup>)は基準地点回りの空間的な二次モーメントに相当する。基準地点は対象範囲内の雨の重心位置(雨心)とした。図一1の降雨の場合  $v_s$ は103km<sup>2</sup>, 図一2の降雨の場合は395km<sup>2</sup>となり、空間的に集中している図一1の方が  $v_s$ は小さくなる。このように対象範囲を等しくすれば異なる地域間で降雨が集中して降る程度の比較ができる。

なお  $v_s$ は空間的に集中していない(ばらついている)降雨ほど値が大きくなることから、以下では”空間的ばらつき度”と呼ぶ。また、図一1, 2いずれも範囲を50km四方としているが、どの程度の範囲にすれば一つの雨域をとらえられるかについては後ほど適用計算の章で検証を試みる。

## (2) アメダス観測値を用いる場合

アメダス観測値を用いる場合も(1)式を用いて空間的な集中の程度を定量化する。当然ではあるが、アメダス観測点の配置は地域ごとに異なるので、アメダス観測値から求めた空間的ばらつき度の地域間の比較検討は意味をなさない。

## 4. 適用計算

### (1) 使用するデータ

レーダーアメダス解析雨量を用いる場合は、1995~2000年の毎時の降雨量が対象になる。年間全てを対象とすると、一地域あたり24時間×365日×6年=52608ケースを取り扱うことになる。初めに年間を対象に大まかな傾向を概観し、集中した降雨が多いと思われる8月の降雨について詳細に検討する。なお、降水量データを用いており降雪と降雨の区別はしていないので降雪期においては必ずしも”降雨の”空間分布を定量化していることにはならない。

### (2) 年間を対象とした場合

東京、大阪、名古屋の3大都市に加え岐阜を対象に計算を行なった。解析対象範囲はそれぞれAMeDAS東京、大阪、名古屋、岐阜を中心とする50km四方の解析雨量(5kmメッシュ)である。各地域の対象範囲における降水率(対象範囲内で降水が観測された割合)、対象範囲内の最大降水量、対象範囲の解析降水量の和((1)式のR)、空間的ばらつき度の月別平均値を表一1~4に示す。

表一1によると東京、大阪、名古屋は冬季に降水率が小さく夏季に降水率が大きいという典型的な太平洋側の降水パターンとなっている。それに対し岐阜は12月、1月の冬季における降水率が他の都市に比べて大きくなっている。表一2の最大降水量の月別平均値では全体的には岐阜が大きく東京はそれほど大きくない。月別ではいずれの地域も8月の値が最も大きくなっており、激しい雨が8月に多いことを推察させる。表一3の対象範囲内解析降水量の和では、7、9月に比べ8月は値が小さく

表一1 各地域の月別降水率(%)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
岐阜	29.3	24.4	22.9	22.0	26.0	32.9	36.4	32.8	35.6	18.2	20.0	21.0	26.8
東京	14.6	16.6	23.3	26.4	25.9	32.9	29.7	25.8	30.9	20.3	18.4	10.1	22.9
大阪	19.3	16.8	22.8	21.4	23.0	30.2	29.7	24.8	28.6	18.7	14.0	12.7	21.8
名古屋	16.2	14.6	19.2	19.6	23.1	31.4	30.1	25.4	33.1	16.9	14.3	10.0	21.2

表一2 各地域の最大降水量の月別平均値(mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
岐阜	3.1	2.7	4.2	4.8	7.0	6.0	11.1	11.2	10.7	5.5	4.3	2.7	6.7
東京	2.5	2.4	3.3	4.1	5.4	3.7	7.5	9.4	6.7	4.1	3.6	2.8	5.0
大阪	4.0	3.7	5.1	3.9	6.2	6.9	8.7	10.7	7.8	5.9	5.3	2.8	6.3
名古屋	2.6	2.5	4.1	4.9	5.7	5.3	9.0	10.1	9.3	5.3	4.3	2.8	6.2

表一3 各地域の範囲内解析降水量の和の月別平均値(mm)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
岐阜	53.6	46.8	124.9	135.6	177.1	136.0	161.8	108.9	177.1	132.4	107.2	42.5	121.1
東京	54.5	40.2	79.2	89.3	101.7	81.7	145.2	91.6	131.9	88.7	75.2	43.1	92.5
大阪	46.9	47.5	79.3	82.1	145.0	141.5	132.6	102.0	130.1	126.1	117.9	53.8	106.1
名古屋	59.7	54.7	118.8	136.2	150.8	123.3	151.0	97.6	167.6	129.8	120.1	60.2	122.8

表一4 各地域の空間的ばらつき度の月別平均(km<sup>2</sup>)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
岐阜	183.1	199.2	275.2	286.3	280.7	260.7	228.8	169.7	239.2	254.1	232.3	176.6	230.9
東京	182.2	155.1	217.7	236.9	197.1	215.8	220.9	140.7	195.9	208.3	209.3	164.3	199.2
大阪	181.8	201.1	232.7	254.2	275.0	261.1	220.3	161.0	223.2	258.2	247.0	198.2	227.3
名古屋	196.6	201.9	288.7	303.3	293.1	256.0	239.1	169.7	232.5	269.0	260.9	215.3	244.5

表一5 8月の最大降水量の度数分布と各階級ごとのばらつき度の平均

最大降水量 (mm)	岐阜		東京		大阪		名古屋	
	頻度	ばらつき度平均	頻度	ばらつき度平均	頻度	ばらつき度平均	頻度	ばらつき度平均
1~10	911	134.5	837	119.3	742	126.7	775	146.0
11~20	295	227.8	157	192.1	201	217.5	188	224.4
21~30	148	222.1	70	200.5	77	230.9	78	214.9
31~40	50	219.6	34	214.3	34	243.2	43	222.6
41~50	33	277.5	23	191.5	19	271.5	31	219.5
51~60	17	198.0	15	237.3	21	274.1	13	233.1
61~70	4	220.0	5	113.4	8	250.5	3	213.8
71~80	0	0.0	7	192.1	2	291.3	1	21.0
81~90	3	229.8	1	143.6	2	213.9	2	152.3
91~100	0	0.0	1	459.5	0	0.0	0	0.0
101~110	1	439.3	0	0.0	3	296.3	0	0.0
111~120	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

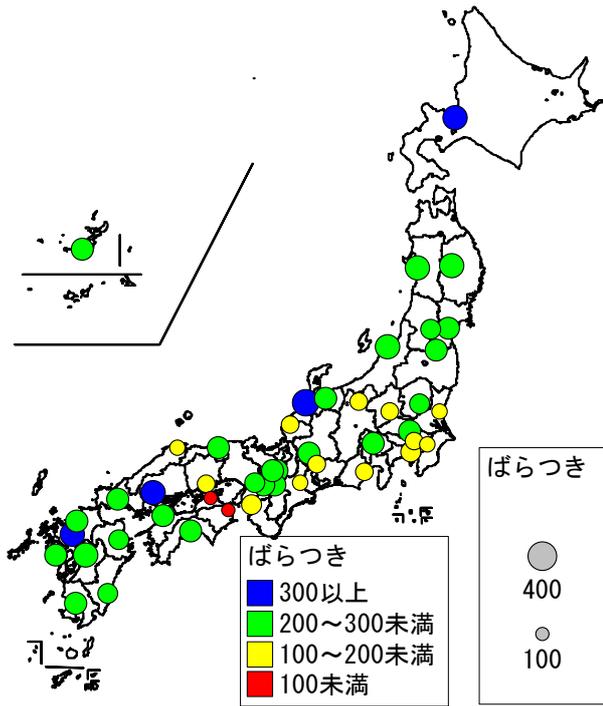
なっている。8月は最大降水量が大きいのに反し範囲内解析降水量が少ないので狭い範囲に降雨が集中していると言えるのではないか。それを裏付けるかのように、表一4の空間的ばらつき度の月別平均値をみるといずれの地域も8月のばらつき度は小さくなっており、空間的に集中する雨は8月に多いことが示唆されている。地域別の比較では東京の値が他の3地域に比べて小さくなっている。大阪と名古屋は岐阜と比べて特にばらつき度に差は見られない。以上より、①年間を通してみると8月の降雨が狭い範囲に集中して降る傾向が強いこと、②東京は大阪、名古屋、岐阜に比べて空間的に集中して降る雨が多いこと、が示唆された。この結果を踏まえ、以後は8月の降水を対象とした解析を行なう。

(3) 最大降水量と空間的ばらつき度との関係

表一5に8月の対象範囲内の最大降水量の度数分布と各階級ごとの空間的ばらつき度の平均を示す。例えば岐阜の場合、1995~2000年の8月の毎正時の空間分布(計4464パターン。ただし無降雨時含む)において、範囲内の最大降水量が61~70mmであったのが4ケースあり、4ケースの空間的ばらつき度の平均が220km<sup>2</sup>であることを表している。時間降水量60mmを超える激しい雨は、岐阜で8、東京が14、大阪が15、名古屋6ケースであり、東京と大阪で多く発生している。また、60mmを超える場合の平均を比較すると、61~70mm、71~80mmの階級において東京のばらつき度平均が小さくなっている。このことより、空間的に集中した激しい雨が東京では多いことが示された。

(4) 全国の県庁所在地への適用結果

適用例として1995~2000年の8月の毎正時の降水量について時間雨量61mm以上の降雨の空間的ばらつき度の平均を各都道府県の県庁所在地における県庁所在地名と同じ名前のAMeDAS観測点を中心とする50km四方を対象として求めて図化したのが図一5である(青森は61mm以上の降雨無し)。特に集中度の平均が小さかったのは、水戸、松江、徳島、高松、であった。ただし、松江、徳島、

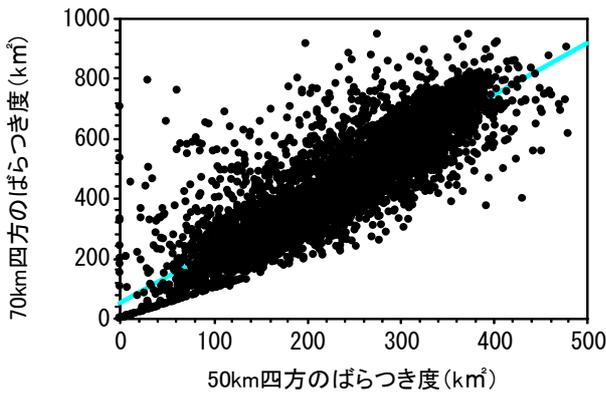


図一5 県庁所在地における8月61mm以上のばらつき度の平均

高松については61mm以上の降雨の発生件数そのものが少なかった。61mm以上の降雨の発生件数が多く、なおかつ、ばらつき度の平均も小さい地域は関東北部などである。しかし、地域ごとの降雨特性を見るには、より詳細に検討する必要がある。

(5) 対象範囲の広さが解析結果に与える影響

ここまでの計算では、対象範囲をAMeDAS観測点を中心とする50km四方としてきた。ただし、この50kmという値にはさしたる根拠は無く便宜的に決めたに過ぎない。そこで、対象範囲の大きさが降水の空間的ばらつき度を与える影響について検討を加えておく。対象範囲を小さくしすぎると雨域を捉えきれずにはみ出してしまう。一方、対象範囲を大きくしすぎると複数の雨域を対象に計算してしまうことになり一つの雨域のばらつき度を正しく求めることが出来ない。そこで、対象範囲を



図—6 50kmと70km四方のばらつき度の関係

表—6 各範囲でのばらつき度の相関係数(岐阜)

範囲 (km)	範囲 (km)							
	10	30	50	70	90	150	200	250
10	1							
30	0.59	1						
50	0.47	0.77	1					
70	0.41	0.65	0.88	1				
90	0.37	0.56	0.75	0.90	1			
150	0.28	0.42	0.53	0.63	0.74	1		
200	0.22	0.35	0.42	0.51	0.59	0.86	1	
250	0.20	0.30	0.36	0.42	0.48	0.7	0.89	1

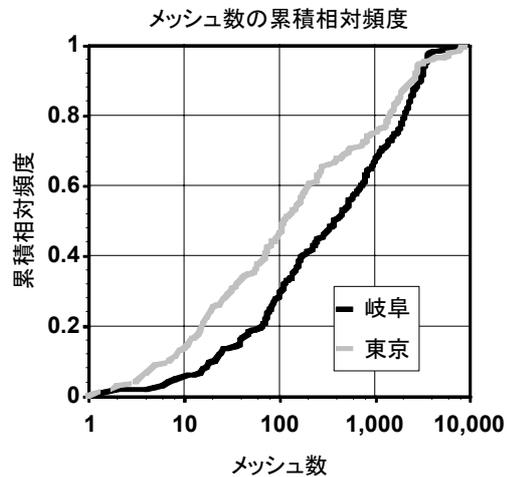
10, 30, 50, 70, 90, 150, 200, 250km 四方の計8パターン設定し、各範囲におけるばらつき度を計算し相関関係を調べた。対象は岐阜で全期間を対象とした。例として、50km 四方と 70km 四方でばらつき度を求めて両者を散布図で表したものを図—6 に示す。両者はよく対応しており相関係数も 0.88 となった。同程度に雨域を捉えていると判断してよいであろう、つぎに、各範囲で求めた集中度間の相関係数を表—6 に示す。50km 四方についてみると 30, 70, 90km 四方のいずれとも相関係数が高く、50km 四方のばらつき度を用いれば比較的代表性が高い値になると考えている。

### (6) 雨域の広さに関する試算

1995~2000年の8月において AMeDAS 名古屋、大阪、東京、岐阜で降雨があった場合に3. (1) で述べた方法により雨域の広さ(実際にはレーダーアメダス解析雨量のメッシュの数)を求めた。各地域別に求めた雨域の広さに関する基礎統計量を表—7 に示す。一つのメッシュは 5km×5km に相当する。表によると、まずどの地域についてもレンジ、標準偏差のいずれも大きく、どの地域でもばらつきが大きいことが分かる。例えば太平洋側の地域で雨が降っているような場合は雨域が途切れることなく広い範囲に及ぶこともある。場合によっては、岐阜と東京が同一の雨域でつながることもある。したがって、当初は求められた雨域を対象として空間的ばらつき度の計算を行なおうとしていたが、雨域が広すぎるデータ(空間的ばらつき度が桁違いに大きくなる)が全体を引っ張ることになってしまい、地域性が不明確になってしまっ

表—7 雨域の面積に関する基礎統計量

	名古屋	大阪	東京	岐阜
平均	1025	974	789	1008
中央値	372	468	112	377
標準偏差	1405	1124	1489	1316
最小	1	1	1	1
最大	8089	4164	8792	8104
標本数	188	118	213	238



図—7 雨域(メッシュ数)の累積相対頻度の比較

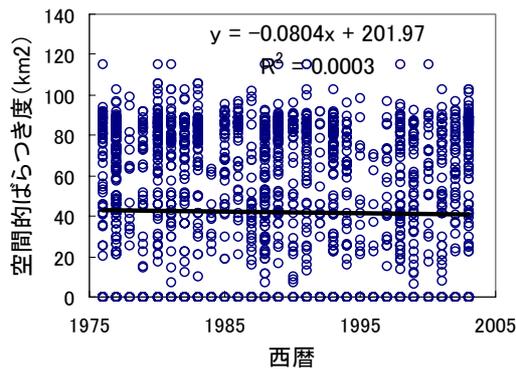
たので、ここではその結果は示していない。地域別にみると平均で東京が最も小さく、狭い範囲での降雨が多いことを示している。また、中央値が112でほぼ半数の降雨が10×10メッシュ(すなわち50km四方)の広さ以下の雨域であることがわかる。

以上の様に雨域の広さは変動幅が大きく、また極端に大きな値に引っ張られてしまい、平均値のみで比較することはふさわしくない。そこで、雨域の広さ(メッシュ数)を対数目盛りにして累積度数表現したのが図—7である。図によれば雨域の面積が100メッシュ以下の狭い範囲に集中する降雨は岐阜では全体の30%程度であるのに対し、東京では約50%であることが分かる。なお、ここには載せていないが、大阪、名古屋の累積度数については岐阜とほぼ重なる形となり、雨域の広さについても東京のみが狭いという結果になった。

### 5. 経年変化の試算

ここまでは、レーダーアメダス解析雨量を対象としていたのでデータ期間が短く経年変化の検証を行なうことが出来なかった。そこで、1976年からデータが存在するアメダス観測値を用いて空間的ばらつき度を計算することで経年変化の検証を試みる。

AMeDAS 東京を中心とする50km四方の範囲には、練馬、世田谷、新木場、羽田のアメダス観測点がある。これら5地点の時間降水量データを用い、空間的ばらつき度を計算した。対象とした降雨は1976~2003年の8月の毎正時の降水量で、上記5地点のうち1点でも降雨が観測さ



図—8 アメダス観測値による空間的ばらつき度の経年変化（東京）

れた場合を対象とした。計 2025 ケースが対象となった。空間的集中度の経年変化を図—8 に示す。この図を見る限り、増加あるいは減少といった経年変化は認められない。ばらつき度を目的変数、西暦を説明変数とした回帰分析を行なったところ、傾きは $-0.0804$ と減少傾向になったものの、得られたモデルの決定係数は $0.0003$ と小さく減少傾向は明確とはいえない。このような結果になったのは、東京の雨の降り方は変化していないからか、アメダス観測値による空間的な集中の程度の表現が適切に行なわれていないから、であろうが現状では判別できない。

## 6. まとめ

本報告で提案した手法によりレーダーアメダス解析雨量を用いた場合には、降雨の空間分布の集中の程度が定量的に表現可能と思われる。「最近はおかしな天気が多い」というように、近年の気象現象の“異常性”を感覚的に語ることは容易である。しかし、それがどの程度“異常”なのかを客観的に検証するには気象現象の定量的表現が必要である。“雨の降り方が激しい”という曖昧な表現を客観的に定量的に表す手法として、本報告は有用であると思われる。

なお、アメダス観測値を用いた場合、経年変化については明確な結果が得られなかった。経年変化が無いのか、アメダス観測値による集中度の表現が不十分なのかは、はっきりとしないが、レーダーアメダス解析雨量による空間的ばらつき度とアメダス観測値によるばらつき度の対応関係を検討することで解決すると思われる。

**謝辞：**計算、データ整理等において前岐阜工業高等専門学校専攻科学生山元一弘君の助力を得た。ここに記し謝意を表す。また、本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(C) 課題番号 16560456）の補助を得て行なわれた。

## 付録

本論では降雨の空間的ばらつき度のみの記述であったが、ハイトグラフを対象に次式で時間的な二次モーメントを求めることで時間的な集中の程度の定量化が可能になる<sup>12)</sup>。

$$v_r = \sum_t t^2 r_t - \bar{t}^2, \quad \bar{t} = \sum_t t r_t, \quad ,$$

$$r_t = R_t / R, \quad R = \sum_t R_t$$

ここで、

$t$ : 時刻,  $R_t$ : 時刻  $t$  における降水量,  $R$ : 総降水量,  
 $r_t$ : 基準化した降雨,  $v_r$ : 時間的な二次モーメント  
 であり、 $v_r$  が小さいほど降雨が集中していることを意味する。例えば、継続時間が 1 時間の降雨の場合、 $v_r$  は 0 となる。

## 参考文献

- 1) 気象庁ホームページ：平成 17 年 9 月 4 日から 5 日までの関東地方の豪雨について、[http://www.data.kishou.go.jp/bosai/report/new/jyun\\_sokuji20050904.pdf](http://www.data.kishou.go.jp/bosai/report/new/jyun_sokuji20050904.pdf)
- 2) 例えば、斎藤武雄：ヒートアイランド、講談社、1997。
- 3) 例えば、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の関係、*天気*, 50, pp. 3-12, 2003。
- 4) 佐藤尚毅・高橋正明：首都圏における夏季の降水特性の経年変化、*天気*, 47, pp. 643-648, 2000。
- 5) 吉野文雄・水野雅光・井川貴史：レーダー雨量計から見た降雨の時空間特性について、*土木学会第 32 回水理講演会論文集*, pp. 1-6, 1988。
- 6) 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。
- 7) 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に関する研究、*土木学会水工学論文集*, 第 45 巻, pp. 181-186, 2001。
- 8) 気象庁編：アメダス観測年報 CD-ROM1976~2000 年, (財) 気象業務支援センター。
- 9) 気象庁編：レーダーアメダス解析雨量 1995~2000 年版, (財) 気象業務支援センター。
- 10) 鈴木正人・山元一弘：岐阜地方と東京都心部における降雨の空間分布特性の比較平成 15 年度土木学会中部支部研究発表会概要集, 2004。
- 11) 鈴木正人・寒川典昭：経年変化の検証を目的とした降雨の空間的集中度の定量化の研究, 平成 14 年度土木学会中部支部研究発表会概要集, 2003。
- 12) 鈴木正人・寒川典昭：岐阜地方における降雨の時間的集中度の経年変化, *土木学会第 47 回年次学術講演会第 II 部門 CD-ROM*, 2002。

(2005. 9. 30 受付)