東京と大阪の長期時間降水量データを用いた 降雨の時間分布特性の経年変化の検証

TREND ANALYSIS OF TEMPORAL DISTRIBUTION OF HOURLY PRECIPITATION
BASED ON LONG TERM DATA AT TOKYO AND OSAKA

鈴木正人¹・鈴木航²・杉原由基³

Masato SUZUKI, Wataru SUZUKI and Yoshiki SUGIHARA

¹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)

²学生会員 岐阜工業高等専門学校専攻科 建設工学専攻学生 (同上)

³非会員 岐阜工業高等専門学校専攻科 建設工学専攻学生 (同上)

Recently, heavy hourly precipitation has been observed in Japan. It seems that intensification of heavy precipitation is related to urbanization, heat island phenomenon and global warming. But to clarify the change of hyetograph patterns, it is necessary to take a statistical test about time series of temporal and spatial distribution. In this paper, trend analysis of temporal distribution of hourly precipitation is carried out by Mann-Kendall test. The temporal concentration degree of precipitation is quantified by a gradient of ID (Intensity-Duration) curve. By applying to the hourly precipitation dataset from 1890 to 2012 at Tokyo and 1891 to 2012 at Osaka, it was showed that the temporal concentration degree is increased in August at Tokyo. Furthermore, it was proved that the long term data is useful for trend analysis of temporal distribution of precipitation.

Key Words : trend, hourly precipitation, long-term data, temporal distribution, ID analysis

1. はじめに

2013年の夏には多くの地点で大雨が観測された。1時間雨量では山口（山口市，7月28日）で143mm，須佐（萩市，7月28日）で138.5mm，鹿角（鹿角市，8月9日）で108.5mmなど多くの地点で観測史上1位を更新した。これら豪雨の原因を地球温暖化と結びつけて報道されることも少なくないが，降水量そのものはもちろんのこと，雨の降り方が経年的に変化してきているかを統計的に検証することは，これからの河川計画を考えるうえで重要な情報を与えることになると思われる。

温暖化に代表される気候変動が現在までの降雨にどのような形で現れているか（または現れていないか），そして，将来の降雨にどのような形で現れるかについて検証する取り組みが気象分野，土木分野で行われている。

Fujibe et al.¹⁾は日本の51地点の1901年から2004年という長期の日降水量データを用い日降水量100mm以上の日数の経年変化を求め，さらに2009年までデータ期間を延長

し再解析を行い²⁾，“日降水量100mm以上や200mm以上の日数は年々の変動が大きく1940-1950年に極大，1980年頃に極小を持つ長期変動を示しているが，全期間で通算すれば100mm以上の日数は21%/100年の割合で増加する線形トレンドが5%有意で認められる”ことを示しているが，時間的に集中した降雨の発生状況の経年変化を調べるためには，時間降水量を検討対象にすることが望ましい。

アメダス観測値は日本全体に観測点が分布しており，データ期間長は30数年と長くは無いものの空間的に密な資料を入手することができる。アメダス観測点1000点あたりに換算した1975年から2012年までの1時間降水量50mm以上の発生回数の経年変化および80mm以上の発生回数の経年変化は，信頼度水準95%（有意水準5%）で増加の線形トレンドが認められる³⁾との報告がある。この報告では同時に，統計期間が短く変化傾向を確実に捉えるには今後のデータの蓄積が必要なこと，現時点では増加傾向が地球温暖化の影響によるものかどうかは明らかではないことも指摘している。Kanae et al.⁴⁾はアメダス観測値が得られる以前の東京の時間雨量データを気象

庁に保管されているマイクロフィルムから入手することで1890年から1999年までの年最大時間降水量および50mm/h以上の発生回数の経年変化を調べ、1940年代に大きな時間降水量が発生し、その頻度も大きいことを示している。この結果はアメダスに代表される1970年代以降のデータのみを用いて経年変化を結論付けてしまうことは早計であることを示唆している。和田ら⁵⁾は1975年以前についてはKanae et al.⁴⁾と同じデータを用い、最大時間降水量のみでは表現できない、ひと雨のハイトグラフの形状の表現を意図し「ピーク雨量÷降り始めからピーク雨量発生までの時間」の指標を導入し1890～2008年の経年変化を求めた。これら時間降水量データを用いた長期の経年変化の検証の意義は大きい、比較対象として東京以外の観測点での適用が望まれる。将来の降雨がどのように変化するか、についてはGCM出力値を用いた報告が数多くなされている。降雨量のみではなく、降雨の時空間分布特性の変化という視点から、岡田ら⁶⁾はGCM出力を対象としたDAD解析を行いDAD関係が将来に向けてどのように変化するかを考察し、将来の降雨強度の増加、従来のDAD関係を損なうような極端現象の発生を示唆している。

降雨特性の経年変化を検証するためには長い期間のデータを対象とし、複数地点での比較が望ましいことは先に述べたとおりだが、近年、気象庁により過去の降水量データのチェックとデジタル化およびホームページでの公開が進められており⁷⁾利用が可能になってきている。そこで本研究は、東京の1890年から2012年、大阪の1891年から2012年のそれぞれ120年間以上の6,7,8,9月の時間降水量データを用い、降雨の時間分布特性の経年変化を検証したものである。時間分布特性の表現は、ひと雨を抽出しその時間的な集中の程度を定量化する方法と、1年および10年単位で降雨の継続時間と降雨量との関係であるDD式を求めそのパラメータにより表現する方法を用いる。経年変化については統計的有意性検定を行い変化の有無を検証する。

2. 対象データ

(1) 対象地点と期間

気象庁ホームページで公開されているデータ⁸⁾を用いる。データ収集に取りかかった2012年10月の時点で長い期間に渡るデータが収集可能な地点として東京地点（現在の大手町）と大阪地点（現在の大手前）の2箇所を選択した。データ期間は東京が1890～2012年の123年間、大阪が1891～2012年の122年間である。2012年10月の時点で例えば名古屋地点は1916年以降のデータしか公開されておらず、しかも1961年から1975年までのデータが掲載されていなかったため対象とはしなかった（本稿執筆時の2013年9月に再度確認したところ名古屋は1891年以降のデータが全て公開されている）。公開されている

データの内、梅雨、大気的不安定、台風を主な原因とする降雨を念頭に置き全データ期間から6,7,8,9月の時間降水量を入手した。欠測は東京が177時間で全360,144時間(=24時間×122日×123年間)中0.049%、大阪は欠測が無かった。東京の欠測については特に考慮をせず、降水量が観測されなかったこととして扱う。なお、降水量には降雨以外のものも含まれているが、対象としている6～9月は降水量は降雨量を表すと判断し、本稿においてはこれ以降、降水と降雨を同じ意味で用いることとする。

(2) データの継続性

長い期間のデータを対象とする場合、データの性質の継続性が問題になることは藤部²⁾も指摘している。具体的には観測点の移動、および観測方法の変更が問題になる。まず観測点の移動⁹⁾だが、東京は1890年以降1923年、1964年の2回観測点が移動している。また、大阪は1891年以降1910年、1933年、1968年の3回観測点が移動している。これら観測点の移動のうち最も移動距離が長かったのが大阪の1933年（西方向に9,184m）である。移動距離をどこまで許容するか判断は難しいが、本研究ではデータ期間を長く取ることを優先し、解析においては観測点の移動は特に考慮せず、降雨特性の経年変化を考察する際に観測点の移動を念頭に置くに留める。

つぎに観測機器の変更について述べる。1960年代以前は貯水型雨量計が用いられており測定単位0.1mmでデータが提供されている。1960年代以降は転倒ます型雨量計が用いられており、測定単位0.5mmでデータが提供されている。東京では1964年、大阪では1967年に観測機器が変更された。全期間を通し、精度未満（1960年代以前は0.1mm未満、1960年代以降は0.5mm未満）の降水が観測された場合には「0.0」と表記されている。また、降水が全く観測されなかった場合は「-」と表記されている。全期間を一括して取り扱うためには、貯水型雨量計の測定単位を転倒ます型雨量計の測定単位0.5mmに換算する必要がある。その方法として、貯水型雨量計の測定値で0.5mmに満たないものは次の時間へと繰り越す方法^{4),5)}がある。この方法は、転倒ます内に残っている0.5mm未満の降水は蒸発しないと仮定している。藤部²⁾はこれとは逆に、日付が変わると同時に転倒ます内の雨量は完全に蒸発するという仮定で換算をし両者の比較・検討を行い、強い降水に対しては両者の差は無視できることを示している。本研究では既往の研究^{4),5)}にならい貯水型雨量計の測定値で0.5mm未満は次の時間に繰り越す方法を採用するが無降水「-」と測定単位未満の降水「0.0」の区別を考慮して換算する。つまり、貯水型雨量計で0.5mm未満のものは次の時間に繰り越すが、繰り越した際に「-」ではなく「0.0」に換算し「0.0」を降雨の継続時間に含めることとする。換算例を表-1に示す。換算した場合も両者の継続時間は一致することが分かる。これらひと雨で繰り越すことのできなかった0.1mmは次の降雨時に加算する。

表-1 測定単位0.1mmから0.5mmへの換算例

時刻	貯水型雨量	換算雨量	繰り越し
1	—	—	0
2	—	—	0
3	0.1	0.0	0.1
4	0.3	0.0	0.4
5	0.9	1.0	0.3
6	3.4	3.5	0.2
7	0.4	0.5	0.1※
8	0.0	0.0	0
9	—	—	0
継続時間	6	6	
総降水量	5.1	5.0	

※次回降雨時に加算

3. ID関係による降雨の時間的集中度の定量化

ひと雨のハイトグラフの時間分布特性に着目し、短時間に雨が集中する程度、すなわち降雨の時間的集中度を定量化し評価する。和田ら⁵⁾はひと雨のピーク雨量 P と継続時間 D の比である P/D および、ひと雨のなかでピーク雨量に達するまでの時間を D とおいた新 P/D の指標を用いてひと雨のハイトグラフの形状を定量化している。たとえピーク雨量が等しくても継続時間が短いほど P/D が大きくなり、ピーク雨量だけを指標として用いるよりも確に降雨の時間分布特性を表現できる。しかし、 P/D だけでは時間的な集中度を表現しきれない場合がある。図-1にピーク雨量すなわち最大時間降雨量、継続時間、総降雨量は等しいが形状が異なる2つの降雨の例を示す。実際の観測値ではなく、手法の説明のために模擬的に作成したものである。降雨①の方が降雨②に比べて尖った形状になっている。本研究では、このように、ピークがごく短時間に集中し、ハイトグラフが尖った形状の降雨特性を、時間的に集中していると表現する。降雨①と②は最大時間降雨量と継続時間が共に等しいので P/D では両者の差は表現できない。

降雨の時間的集中度をID解析の結果を利用して表現する方法は松田ら¹⁰⁾により提案されている。ID解析は、降雨強度(Intensity)と時間(Duration)の関係を意味している。本研究は、松田ら¹⁰⁾にならい、 i :降雨強度、 t :継続時間の関係として広く知られているSherman式¹¹⁾

$$i = \frac{a}{t^c} \quad (1)$$

で表される関係をあえてDD関係とは区別し、ID関係(またID曲線)と呼び、ひと雨のハイトグラフを対象に用いる。

また、Sherman式の両辺に継続時間 t をかけて、継続時間 t における降雨量 R と継続時間 t の関係を表した次式をDD関係(またはDD曲線)と呼び、ひと雨に限らず1年、10年など一定期間の降雨を対象に各期間で観測された降雨量の最大値を表現するのに用いる。

$$i \cdot t = R = a \cdot t^{1-c} = a \cdot t^n \quad (2)$$

(2)式は例えば宝ら¹²⁾、木口ら¹³⁾が用いている。自明では

図-1 降雨例

図-2 降雨例のID曲線

あるが、(1)式における i は t が大きくなるにつれて減少し、(2)式における R は t が大きくなるにつれて増加する。

松田ら¹⁰⁾は(1)式を両対数グラフ上にプロットし c を下限時間 1 と上限時間 T との2点から求めたものを C と表現し降水の時間集中度と定義している。 C は降雨が単位時間に集中する場合に 1 、 T 時間内に一様に分布する場合に 0 となり降雨量には全く依存しない指標である。

本研究では、ID関係を図化したID曲線の傾きで降雨の時間的集中の程度を表現する。図-1に示した降雨①、②のID関係を図-2に示す。降雨①の方がID曲線の傾きが急になる。ID関係は一般には直線にはならないが、本研究では継続時間1時間の降雨強度と継続時間3時間の降雨強度の差を2時間(=3時間 - 1時間)で除したものを「ID傾き」と定義し用いる。表式化すれば次式となる。

$$\text{ID傾き} = (I_1 - I_3) / 2 \quad (3)$$

ここで、 I_1 :継続時間1時間の最大降雨強度、 I_3 :継続時間3時間の最大降雨強度、である。図-2降雨①のID傾きは 10 mm/h^2 、降雨②のID傾きは 5 mm/h^2 と降雨①のID傾きの方が大きくなる。継続時間1時間と3時間の差としたのは、対流性降雨に代表されるせいぜい継続時間が数時間の雨の時間分布の違いを表現することを意図し、やや便宜的に決めたものであるが、時間差を幾つにしたら適切かは検討の余地がある。

松田ら¹⁰⁾の定義している時間集中度 C が降雨量に依存しないのに対し、ID傾きは単位を持ち降雨量に依存する。例えばハイトグラフの継続時間を固定して降雨強度を引き伸ばした場合には、引き伸ばし率に応じてID傾きも大きくなる。また、例えば同じ降雨強度で3時間降り続けば I_1 と I_3 が同じ値となりID傾きは 0 となる。一方、継続時間が1時間の降雨の場合には、 $I_3 = I_1/3$ となるので、(3)

表-2 東京と大阪の降雨特性値

	月	6		7		8		9		6~9	
	項目	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
東京	対象とするひと雨の数	937		852		941		1075		3805	
	継続時間 (h)	16	81	12	73	9	78	14	83	13	83
	総降雨量 (mm)	21.8	427.0	19.4	219.0	19.9	283.5	24.2	402.0	21.5	427.0
	最大時間降雨量 (mm/h)	5.8	38.0	6.7	88.5	8.0	69.5	7.0	68.5	6.9	88.5
	P/D (mm/h ²)	0.7	19.0	1.0	29.5	1.4	16.3	0.9	18.2	1.0	29.5
大阪	ID傾き (mm/h ²)	1.1	12.4	1.5	20.3	1.9	20.0	1.4	20.6	1.5	20.6
	対象とするひと雨の数	1048		996		770		1032		3846	
	継続時間 (h)	14	66	10	82	7	54	11	75	11	82
	総降雨量 (mm)	22.4	292.5	19.2	293.0	15.8	195.5	19.7	220.5	19.5	293.0
	最大時間降雨量 (mm/h)	6.7	50.5	7.5	59.5	7.6	73.0	7.1	64.5	7.2	73.0
	P/D (mm/h ²)	0.8	14.0	1.3	29.8	1.9	52.5	1.2	22.5	1.2	52.5
	ID傾き (mm/h ²)	1.4	12.5	1.8	18.9	1.9	22.1	1.6	14.9	1.7	22.1

式よりID傾き= $I_t/3$ となり、少なくとも I_t 、すなわちハイエトグラフ中の最大1時間降水量はID傾きの3倍はあることになる。すなわち、ID傾きが小さくても降雨量が少ない事を意味しないが、ID傾きが大きければ、少なくともID傾きの3倍の降雨量が降っていることになる。

表-3 降雨特性間の相関 (東京)

	継続時間	総降雨量	最大時間降雨量	P/D	ID傾き
継続時間	1.000				
総降雨量	0.663	1.000			
最大時間降雨量	0.214	0.696	1.000		
P/D	-0.306	0.081	0.549	1.000	
ID傾き	0.030	0.457	0.927	0.669	1.000

4. 東京と大阪の降雨特性の比較と経年変化

(1) ひと雨の抽出

2章で述べた方法で東京と大阪の6,7,8,9月の毎時降水量を測定単位を0.5mmに統一したものを対象に、ひと雨を抜き出した。ひと雨は「降水が観測され始めてから観測されなくなるまで」と定義した。データ上では無降雨「ー」から0.0mm以上の降雨が観測され始め、再び無降雨「ー」となるまでがひと雨となる。その結果、東京では6,420個、大阪では6,163個が抽出された。

また、これらの「ひと雨」には降水量が少ないものも含まれている。微弱な降雨をその他の降雨と一括して取り扱うと、降雨特性値の平均値や経年変化がこれら微弱な降雨に引っ張られて強い雨の降雨特性が不明確になると判断し、閾値を設けて微弱な雨を対象から除外することにした。閾値を幾つにしたらよいかについては客観的な基準が無い。そこで、経年変化の検証の観点から閾値を決定する。経年変化を検証する際に、対象データが非毎年値だと欠損値としての扱いが必要になる。また、結果の解釈においても欠損値があるものと無いものを等価に扱うことはできない。つまり対象データは毎年値であることが望ましい。東京と大阪の各年・各月における最大時間降雨量を求めたところ、大阪の1922年8月および、大阪の2000年8月におけるものが1.5mmであり最大時間降雨量としては最小値であった。閾値を1.5mmより大きく設定するとこれら2か月は全ての降雨が閾値未満となり降雨イベントが存在せず非毎年値となってしまうことより、閾値を1.5mmとする。東京では6,420個中2,615個が、大阪は6,163個中2,317個の最大時間降雨量が1.5mm未満であり、全降雨の40%にもおよぶことがわかった。これ以降は最大時間降雨量が1.5mm以上のひと雨のみを対象とする。

(2) 降雨特性値の月別・地域別比較

東京および大阪における月別の降雨特性値の平均値と最大値を表-2に示す。東京の結果より6月は継続時間が長いという梅雨性降雨の特徴が表れている。8月は継続時間が短く、最大時間降雨量、P/D、ID傾きがともに大きく短い時間に集中して降る対流性降雨の特徴が表れている。9月は総降雨量が多くまとまった雨が降る台風性降雨の特徴が表れている。大阪の場合も東京と同様に、6月の継続時間の長さ、8月の最大時間降雨量、P/D、ID傾きの大きさが特徴づけられるが、総降雨量については9月が最大だった東京に比べ、大阪は6月が最大となっている。降雨特性値の値そのものは東京と大阪で大きな違いはみられない。

(3) 降雨特性値間の相関関係

東京の降雨3,805ケースの降雨特性値間の相関係数を表-3に示す。P/DとID傾きとの相関係数は0.669と大きいID傾きと最大時間降雨量との相関係数0.927ほどでは無い。またP/Dと総降雨量は相関関係がみられないのに対し、ID傾きと総降雨量はある程度の相関関係がみられる。なお、月別にも降雨特性値間の相関係数を求めたが月による差異はみられなかった。

(4) 降雨特性値の経年変化

降雨特性値の経年変化にはMann-Kendall検定を用いる。Mann-Kendall検定は水文時系列の傾向解析にも適用^{14),15)}されており、データの期間が短いと傾向変動を検出できないとの指摘¹⁶⁾もあるが、線形トレンドを求めt検定を行う手法に比べて、母集団に正規分布を仮定しなくてもよく、外れた値の影響を受けにくい点を評価した。

東京のID傾きの8月の平均値の経年変化を図-3に示す。検定の結果4.2%有意で増加傾向が認められた、このような検定を①各ひと雨毎の特性値を年単位で平均した時系

図-3 ID傾きの経年変化（東京，8月，平均）

図-4 データ開始年とMann-Kendall有意確率（東京，8月，平均）

列（表-4で「平均」と表現），②毎年最大時間降雨量を含むひと雨の降雨特性値の時系列（表-4で「最大」と表現）に対し行い有意確率をまとめた結果を表-4に示す。表中でPは最大時間降雨量を表す。また，有意確率の前の矢印は降雨特性値が増加傾向（ $\nearrow$ ），減少傾向（ $\searrow$ ）のいずれかを表す。5%有意が認められるのは，東京8月のP/Dの平均およびID傾きの平均の増加傾向，東京の8月の最大の継続時間の減少傾向の3つのみであり8月の降雨が時間的に集中して降る傾向にあることを示唆している。東京の8月の最大時間降雨量の平均は増加傾向であるが有意確率は10.7%でありその経年変化はP/D，ID傾きほどには明確ではない。この結果は，最大時間降雨量そのものが増加傾向である可能性はあるが，それよりも時間分布特性，すなわち雨の降り方の変化の方がより顕著であることを示唆している。大阪は9月の継続時間の平均，最大時間降雨量の平均の有意確率が5%に近く増加傾向の可能性がある。また，東京，大阪いずれも「平均」の方が「最大」よりも有意確率が小さく経年変化が明確であることより，経年変化は量の大きな強い雨のみに表れている訳ではないことを示唆している。

(5) 長い期間のデータを用いる意味

本研究では120年間という長い期間の時間降水量データを用いてMann-Kendall検定によりトレンドの検定を行ったが，地点によっては長期のデータが得られない場合も考えられる。そこで，データ期間長を変化させて検定を行うことで，長い期間のデータを用いる意味を確認する。図-3に示した東京8月のID傾き平均の時系列を元にデータ期間の終わりを2012年に固定し，データ開始年を1890～2000年まで変化させた時系列データを作成する。

表-4 降雨特性の経年変化の増減と有意確率(%)

	月	6		7		8		9	
		平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
東京	継続時間	$\nearrow$ 59.2	$\searrow$ 33.5	$\nearrow$ 90.1	$\searrow$ 80.5	$\searrow$ 57.1	$\searrow$ 2.5	$\searrow$ 69.9	$\searrow$ 8.9
	総降雨量	$\nearrow$ 86.3	$\nearrow$ 63.8	$\nearrow$ 41.2	$\nearrow$ 25.1	$\nearrow$ 35.3	$\nearrow$ 64.8	$\nearrow$ 93.2	$\nearrow$ 48.0
	P	$\nearrow$ 94.2	$\searrow$ 59.8	$\nearrow$ 18.6	$\nearrow$ 53.3	$\nearrow$ 10.7	$\nearrow$ 65.4	$\nearrow$ 9.9	$\nearrow$ 63.8
	P/D	$\searrow$ 67.6	$\nearrow$ 64.5	$\nearrow$ 27.0	$\nearrow$ 53.0	$\nearrow$ 2.7	$\nearrow$ 7.82	$\nearrow$ 51.6	$\nearrow$ 23.9
	ID傾き	$\searrow$ 78.5	$\searrow$ 92.2	$\nearrow$ 16.2	$\nearrow$ 51.6	$\nearrow$ 4.2	$\nearrow$ 26.8	$\nearrow$ 22.2	$\nearrow$ 67.6
大阪	継続時間	$\nearrow$ 10.8	$\searrow$ 16.3	$\nearrow$ 3.9	$\nearrow$ 52.5	$\nearrow$ 82.7	$\searrow$ 37.2	$\nearrow$ 5.4	$\nearrow$ 47.5
	総降雨量	$\searrow$ 68.2	$\searrow$ 23.3	$\nearrow$ 29.7	$\nearrow$ 9.3	$\searrow$ 62.8	$\searrow$ 24.4	$\searrow$ 97.4	$\nearrow$ 24.9
	P	$\searrow$ 57.6	$\searrow$ 20.6	$\nearrow$ 20.3	$\nearrow$ 61.2	$\nearrow$ 20.0	$\searrow$ 99.5	$\nearrow$ 5.6	$\nearrow$ 31.0
	P/D	$\searrow$ 29.7	$\nearrow$ 63.7	$\searrow$ 12.2	$\searrow$ 59.7	$\nearrow$ 41.2	$\nearrow$ 88.6	$\searrow$ 88.2	$\searrow$ 56.1
	ID傾き	$\searrow$ 60.3	$\searrow$ 72.8	$\nearrow$ 54.6	$\searrow$ 72.5	$\nearrow$ 9.2	$\nearrow$ 26.0	$\nearrow$ 10.0	$\nearrow$ 73.5

図-5 全期間を対象としたDD関係（東京）

各時系列データに対し，Mann-Kendall検定を行い得られた統計量Zを図-4に示す。統計量Zの正負は時系列データの増加傾向，減少傾向に対応し，Zの絶対値が2.58以上の場合には経年変化が1%有意，1.96以上の場合には5%有意であることを意味する。データ開始年を1980年以前にするとZは全ての場合で正でありID傾きの増加傾向を表している。データ開始年を1970,1971年，1955～1958年，1890年，1891年とすると経年変化は5%有意となる。1970年付近,1955年付近を開始年とすると有意となるのは，これら開始年付近のID傾きの値が小さくなっているからである。逆にデータ開始年を1940年付近とした場合にはZが小さくなっているがこれは1940年代後半から50年付近にID傾きが大きい年が存在するためである。データ期間長により有意確率は変化するので，利用できる限り長期のデータを用いることが望ましい。

5. DD関係の経年変化

これまで，ひと雨ごとのID関係を求めその経年変化を検証してきたが，ひと雨に限らず，継続時間(Duration)と継続時間ごとの最大雨量(Depth)との関係，すなわちDD関係を求めてその経年変化を確認する。

まず，月別のDD関係を把握するため，東京の123年間のデータを対象に，6月，8月のDD関係を図-5に示す。1,2,4,8,16,32,64時間雨量の最大値をプロットしてある。またプロット点を(2)式で表したDD式も併記してある。(2)式の a は1時間雨量の最大値に相当し n は継続時間が長くなるに伴い雨量が増大する割合に相当する。このように a と n とで降雨特性が表現できる。8月は6月と比べて a

表-5 DD式パラメータの経年変化の増減と有意確率(%)

		東京		大阪	
		1年毎	10年毎	1年毎	10年毎
6月	<i>n</i>	↘32.4	↘4.0	↗15.1	100.0
	<i>a</i>	↘94.2	↗58.3	↘17.2	↘49.3
7月	<i>n</i>	↘30.7	↘17.0	↘97.0	↘68.1
	<i>a</i>	↗38.3	↗49.3	↗26.9	100.0
8月	<i>n</i>	↘26.2	↗41.1	↘44.0	↗21.7
	<i>a</i>	↗51.3	↘89.1	↘50.0	↘5.5
9月	<i>n</i>	↘16.0	↘68.1	↘4.6	↘58.3
	<i>a</i>	↗40.5	↗49.3	↗14.1	↗7.5
年最大値	<i>n</i>	↘15.1	↗78.4	↗15.1	↗49.3
	<i>a</i>	↗8.5	↗68.1	↘17.2	↗68.1

が大きく*n*が小さい。これは8月が6月と比べて短い時間の降雨量が多く、継続時間の長い雨量は少ないことを表している。

つぎに、東京と大阪の6,7,8,9月のDD関係の経年変化を検証する。各月ごとに1年単位および10年単位でDD関係を定式化し(2)式の*a*, *n*を求めた。毎年および毎10年の*a*, *n*を時系列とみなしMann-Kendall検定により経年変化を検証した。表-4と同様に経年変化の増減とMann-Kendall検定の有意確率を表-5に示す。東京では1年単位での経年変化において、すべての月で*n*は減少傾向でありいずれの月においても雨の降り方が短い時間に集中するようになってきている可能性はうかがえるが、統計的に有意とは言えない。大阪の場合は1年単位でみた場合に9月の*n*の減少傾向が5%有意であり、*a*の有意確率も14.1%とその増加傾向をうかがわせる。これは表-3で示した9月の最大時間降雨量の平均が5.6%で増加傾向であったことと対応する可能性がある。

6. おわりに

本研究では雨の降り方が変化してきているかを検証することを目的に、降雨が時間的に集中している程度を、ひと雨のハイトグラフを対象にしたID関係の傾きで定量化する手法を提案し、東京の123年間、大阪の122年間の時間降水量データを対象に適用した。月別で比較した結果、8月は他の月に比べてID傾きの平均値が大きく、対流性降雨を原因とした降雨が多いという8月の降雨特性を表現することが出来た。これら降雨特性値の経年変化をMann-Kendall検定により検証した結果、東京の8月は、最大時間降水量そのものの経年変化は有意ではないものの、最大時間降水量÷継続時間、およびID関係の傾きが5%有意で増加傾向となり、東京の8月の降雨は時間的に集中する傾向にあることが示された。大阪の8月はID関係の傾きは増加傾向ではあるが有意確率は9.2%で東京に比べると経年変化は明確ではないことが示された。また、データ期間長を変化させてMann-Kendall検定を行いその有意確率を求めることで、トレンドの検定に長期データを用いることの意義を確認した。

さらに各年ごと、および10年間ごとにDD式を求めそのパラメータの経年変化を検証した。東京の6月および大

阪の9月のパラメータの経年変化が5%有意となった、この経年変化はいずれも継続時間の長い雨量の減少傾向を意味するものであった。

今後、適用地点を増やし地点間比較を進めていきたい。

参考文献

- 1) Fujibe, F., Yamazaki, N. and Kobayashi, K.: Long-term changes of heavy precipitation and dry weather in Japan (1901-2004), *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.84, No. 6, pp.1033-1046, 2006
- 2) 藤部文昭：日本の気候の長期変動と都市化-2010年度日本気象学会賞受賞記念講演-, 天気58.1, pp.5-16, 2011
- 3) 気象庁：アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化について, <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/info/heavyraintrend.html>, 2013.9
- 4) Kanae, S., Oki, T. and Kashida, A.: Changes in Hourly Heavy Precipitation at Tokyo from 1890 to 1999, *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol.82, No.1, pp.241-247, 2004
- 5) 和田卓也・山田朋人：東京における120年時間降水量データを用いたひと雨降雨形態の日変化の検討, 土木学会水工学論文集, 第55巻, pp.481-486, 2011
- 6) 岡田翔太・鈴木善春・喜田智也：GCM出力に基づいた日本域における降雨イベントの将来変化に関する研究, 土木学会論文集B1 (水工学) Vol.69, No.4, I, 373-378, 2013
- 7) 戸川裕樹・渡邊進・阪田正明：東京と名古屋における過去の毎時降水量データのデジタル化とそれに基づく強雨の経年変化, 天気, 55.8, pp.27-29, 2008
- 8) 気象庁：気象統計情報, <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>, 2013.9
- 9) 気象庁：気象庁年報CD-ROM2005, 気象業務支援センター
- 10) 松田誠祐・足立真吾：降水の時間集中度に基づく結合確率分布の実用性について, 自然災害科学 JJSNDS, 24-3, pp.279-286, 2005
- 11) 例えば, 近森秀高・永井昭博・久保誉洋：レーダー・アメダス解析雨量を利用したDAD 解析, 農業農村工学会全国大会講演要旨集 pp.224-225, 2010
- 12) 宝馨・端野典平・中尾忠彦：DAD解析におけるレーダー雨量と非線形最適化手法の適用, 土木学会論文集No.691/II-57, pp.1-11, 2001
- 13) 木口雅司・沖大幹：世界・日本における雨量極値記録, 水文・水資源学会誌, Vol.23, No.3, pp.231-247, 2010
- 14) 徐宗学・竹内邦良・石平博：日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究, 土木学会水工学論文集, 第46巻, pp.121-126, 2002
- 15) 小林健一郎・宝馨・中北英一：全球気候モデル出力を用いた日本域の100年確率日降水量の将来予測, 土木学会水工学論文集, 第54巻, pp.223-228, 2010
- 16) 西岡昌秋・宝馨：Mann-Kendall 検定による水文時系列の傾向変動, 水文・水資源学会誌, Vol. 17, No. 4, pp. 343-353, 2004

(2013.9.30受付)