

降水量にみられる長期的変動について

角 屋 睦・小池 達 男

PERIODIC VARIATIONS IN AMOUNTS OF PRECIPITATION IN JAPAN

By *Mutsumi KADOYA and Tatsuo KOIKE*

Synopsis

The outlines of periodic variations, in this paper, in the time series of annual sum and annual maximum of daily amounts of precipitation at 19 gauging stations in Japan were described from a view-point of engineering. It was found that the variations of $T \geq 10$ and $T \geq 19$ in years, which were separated from these series by the helps of periodogram analysis and overlapping moving average have the following characteristics:

For the annual sum : (1) The trends of periodic variations of $T \geq 19$ are similar to one another, generally, and of $T=45 \sim 60$ are remarkable except Hokkaido. (2) Considering the trends of variations of $10 \leq T \leq 18$, the several regions, in which the trends are similar, are classified in Japan.

For the annual maximum: (1) The variations of $T \geq 19$ seem to be no-significant in the sense of statistics and negligible in the sense of engineering in most of locations. (2) The trends of the variations of $10 \leq T \leq 18$ are not always similar even in a region.

It was concluded from the above results that the long-periodic variations in the hydrologic amounts of short duration are almost negligible from a view-point of engineering and seem to be much stochastic, although the ones for long duration have similar trends to one another in a region and or generally. The detailed method of application of these results to water works were suspended in this paper, because the several problems to be discussed have been remained unsolved.

1. は じ め に

水文諸量の時系列に周期的成分とくに長期的変動成分がどの程度含まれ、かつこれがどの程度卓越しているかということは、諸般の水工計画上重要な問題であろう。もっともこうした長期的変動の問題については、これまでもかなりの人によって、主として気候学的観点より、扱われてきている¹⁾。

最近速水・大内²⁾は、台湾産紅桧の年輪成長率に6年、10年、20年および100年各前後の周期の卓越すること、およびこれを種々の気候要素と関連づけ、北陸豪雪の消長をも見事に説明している。また長尾³⁾はびわ湖流入量に57年周期が存在することを示し、その他にも年流量に18年前後の周期の卓越する例の報告⁴⁾もある。このことは年間ないしかなりの期間の平均化された水文諸量には、かなり意味のある長期的変動の存在する可能性を示すもので、とくに利水面では考えさせられる何物かを示唆している。

治水的要素をもつ面では、日光杉その他の水文諸量にみられる長期的変動を考慮の上、利根川年最大ピーク流量が99年、33年および $11/k$, ($k=1,2,\dots,6$) 年の決定論的変動として表現できるとした伊藤⁵⁾の研究、東

北地方の洪水に37年, 31年, 24年の周期を認めて, これに3~4年, 6~7年および12年の変動をあてはめた福田⁶⁾の研究もある。一方田島⁷⁾は会津地方の年降水量と年最大日降水量の変動の様相の異なること, 上山⁸⁾は利根川のような大流域河川の洪水はともかくとして, 中小河川では局所的わい曲度が強くなることを指摘し, 高瀬⁹⁾も周期的変動を無視できる水文諸量の多いことを示している。

以上の結果は, かなりの期間の平均的性格をもつ水文諸量には, 物理的に意味のある長期的変動がみられるとしても, 河川洪水量など短時間性格をもつ水文諸量ほどこれらがあまり反映せず, むしろ確率的性格の強くなることを予想させる。

近年の木工計画では, それが利水・治水の別, 規模の大小の別なく, 確率水文量の概念が広く利用されているが, 水文諸量の系列に長期的変動が存在するものとすれば, その卓越度および木工の種別, 規模の大小に応じた, より合理的な計画が考えられるはずである。本研究はこうした観点より出発したものであるが, ここではその第1報として, わが国各地の降水量にみられる長期的変動を全般的に概観しようとしたものである。

2. 資料と解析の方針

解析に使用した年降水量の資料は, 1950年以前は農業技術協会編本邦累年気候表, 1951~1955年は気象庁編雨量報告, 1956~1962年は気象月報によった。その後入手した1950年以前の雨量報告や各地気象台編の累年報のたぐいの資料を比較すると, 大差のあるものは少ないが各者各様の値がでている。数字の信頼性や統一資料を使用しなかったことに問題を残すようであるが, 資料蒐集当時にはその選択性が許されなかった。また年最大日降水量については, 各地気象台編の資料のあるものはこれを, その他の大部分は雨量報告によった。また採択した地点は, 各地方ごとに大略2箇所であつて記録の長いもの19点とした。

資料はすべて正規確率紙, 対数確率紙によって正規性を簡単に検定し, ほぼ正規化したものを原資料とした。

長期変動の検討には種々の接近方法が考えられるが, ここではまず18年以下のペリオドグラムを求め, これにもとづき適当に移動平均を重複して, $T \leq 9$, $T \geq 10$, $T \geq 19$ 年の変動を抜き出し, 概観することとした。ペリオドグラムないし移動平均によるこの種の方法にはいろいろな問題もあるが, 連続スペクトルに対してはともかく, 不連続スペクトルらしいものの検出には非常に有用であり, これにもとづく移動平均の結果も良好である。また長短各種の波が存在する時系列に対しては, 移動平均によるスペクトルの縮小割合さえ考慮しておけば, 両者の分離ないし長期的変動の有意性の検定を十分な精度で行なうことができる。

なお本研究ではコレログラム解析も行なっているが, 本報告ではとりあえず前述の方法による概観結果のみ述べる。

3. 年降水量の変動

Table 1 はペリオドグラムを参照して, スペクトルの分散分析的な検定を行なった結果を総括したものである。不連続スペクトルとしての検定であるため, 同表有意欄の数字は決定論的成分としての有意な周期(太字は非常に有意な周期)を示し, その他の欄は有意水準に達しないが見かけ上一応強い周期を示している。これからは十分見られないが, 全般に2~4年の波が多く, スペクトル分析を行なえば, 恐らく3~4年のスペクトルが非常に強く出てくるように推察された。

次にペリオドグラムを参照して適当な移動平均を行ない, $T \geq 10$, $T \geq 19$ 年以上の長期変動を図示すると Fig. 1, のようである。同図よりみられるように, $T \geq 10$ 年の変動は地域的な特性が存在するようで, 変動の有意性を別にすれば, 東北, 中部~近畿など, かなりの纏まった地域内では全般に山, 谷が一致し, 東北, 関東, 北陸では11年前後, 東海以南では17年前後の変動が顕著である。

また $T \geq 19$ 年の変動では

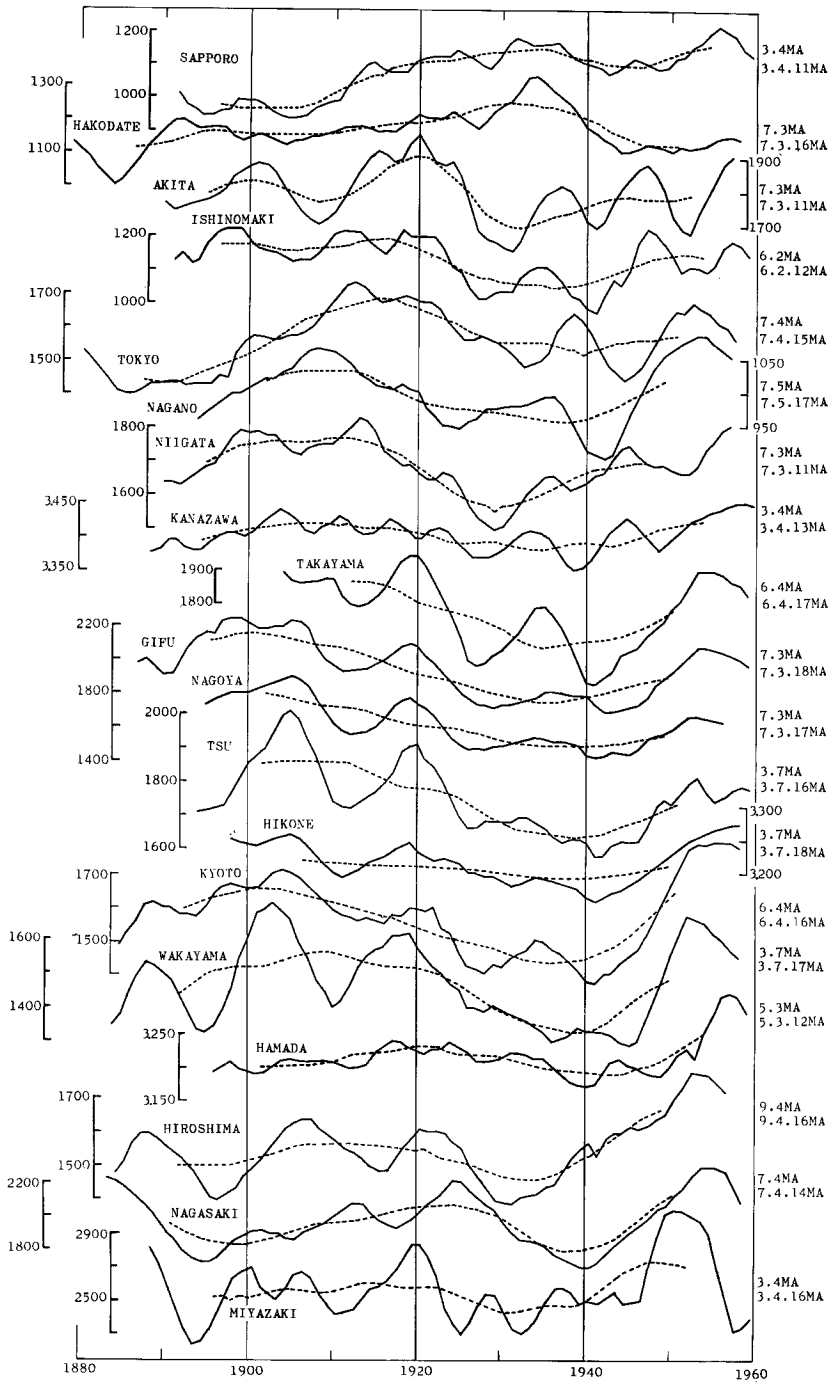


Fig. 1. $T \geq 10$ (full line) and $T \geq 19$ (dotted line) years variation in annual sum of daily amount of precipitation.
 Ordinate ; amount of precipitation, R (mm/year) or $\log R$. Abscissa ; year.
 7.3 MA ; Overlapping moving average of 7 and 3 years.

Table 1. Periods of significant variation in annual sum of daily amount of precipitation.

Sphere of period		$T \leq 9$ (years)		$10 \leq T \leq 18$ (years)		$T \geq 19$ (years)		$\frac{S_1^2}{S_0^2}$
Location	Sample size	Significant variation	Other variation	Significant variation	Other variation	Significant variation	Other variation	
Sapporo	74	3	2.67			45~50	80~100	0.90
Hakodate	88	7.5			16	60~80	20	0.90
Akita	77	3.67 7		11		20~25	45~50	0.53
Ishinomaki	75	2.2 2.4 3	5.3 6.5	12			35~40	0.55
Tokyo	87	2.25 4.3	3.3		10	40~45		0.71
Nagano	74	2.2	2.67 5 7		11			0.87
Niigata	77	3.2 7	2 2.8 4.25 6	11		40~50		0.54
Kanazawa	77	4	2.57 3 3.5					0.92
Takayama	63	6	2.2 4.25		17			0.83
Gifu	80	2.25 3.5 3.75 6.5	8		18	55~60		0.55
Nagoya	70	3.5 7		17		60~65		0.58
Tsu	73	2.57 3 3.5 4.33 6.5			16	55~60		0.43
Hikone	69	3	2.5 5 7					0.91
Kyoto	82	2.58	3.5			60~70		0.84
Wakayama	83	2.2 2.57	3.25 3.75			55~65		0.54
Hamada	70	2.43 5.33	3.25 6.5	13 17			35~40	0.74
Hiroshima	84	3.75 4.25 9	6.5	17			40~50	0.68
Nagasaki	84	3.75 4.25			14		30~40	0.81
Miyazaki	77	2.14 2.67 3.33 3.67		11 16				0.48

Note: S_0^2 ; Variance of original data. S_1^2 ; S_0^2 - (Variance of significant periodic variation).

	山	谷	周 期
北 海 道	1930年前後		80 年 前 後
秋 田	1 9 2 0 年	1 9 3 0 年	{ 20 ~ 25 年 45 年 前 後
↓	↓	↓	
石巻・東京	1 9 1 6 年	1 9 3 6 年	45 年 前 後
↓	↓	↓	
新 潟	1 9 1 0 年	1 9 3 0 年	45 年 前 後
東海・近畿	1900~1910年	1940年前後	60 年 前 後
↓	↓	↓	
中国・九州	1920年前後	1900年後後 1940年前後	40 年 前 後

となっている。そして北海道を除くと、全国的に非常によく似た傾向を示しており、記録年数が短いからあまり大きなことはいえないが、天文学的ないし大気候学的観点よりすれば、この程度のずれならば、恐らくほとんど同じ傾向をもっているといえるのではなかろうか。すなわち全般的には、わが国全体が一つの気候区を形成して大きな長期的変動の波に乗り、それが地方ごとに、さらに地域、地点ごとに、小気候区ないし局所的気候特性をもつものといえることができるであろう。

それにしても北海道の年降水量には他の地方のそれとは異なった傾向がみられる。常識的には、北海道で

Table 2. Percentage of two months sum for annual sum of daily amount of precipitation.

Location	Summer		Winter		Month of Largest Amount
Sapporo	Aug. & Sep.	23%	Dec. & Jan.	19%	Sep.
Niigata	"	16	"	24	Dec.
Nagasaki	June & July	29	"	8	June or July

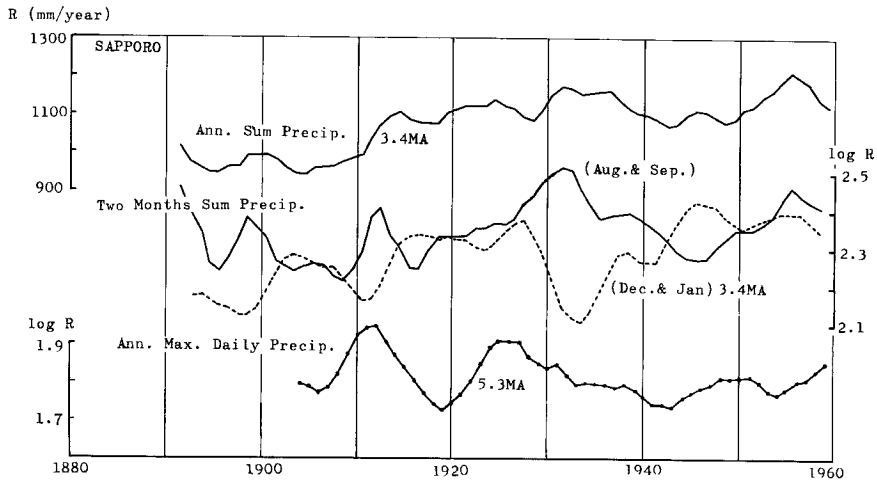


Fig. 2. $T \geq 10$ years variations in annual sum, two months sum and annual maximum of daily amounts of precipitation at Sapporo.
3.4 MA ; Overlapping moving average of 3 and 4 years.

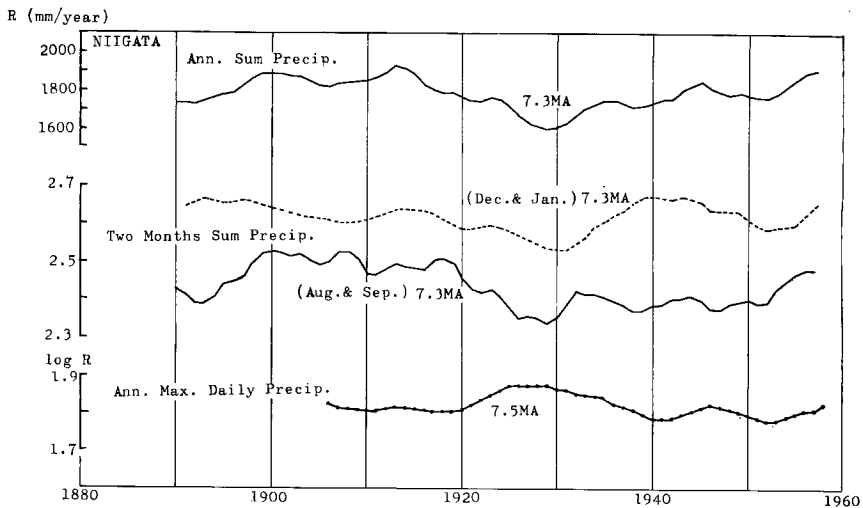


Fig. 3. $T \geq 10$ years variation in annual sum, two months sum and annual maximum of daily amount of precipitation at Niigata.
7.3 MA ; overlapping moving average of 7 and 3 years.

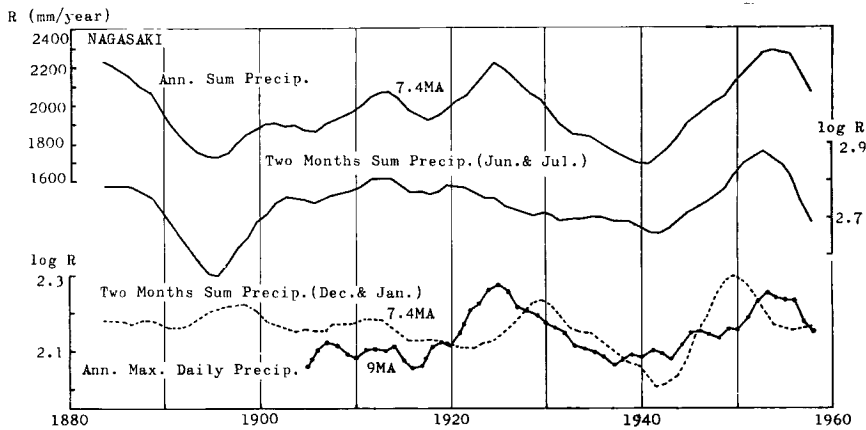


Fig. 4. $T \geq 10$ years variation in annual sum, two months sum and annual maximum of daily amount of precipitation at Nagasaki.
7.4 MA ; Overlapping moving average of 7 and 4 years.

Table 3. Periods of significant variation in annual maximum of daily amount of precipitation.

Sphere of period		$T \leq 9$ (years)		$10 \leq T \leq 18$ (years)		$T \geq 19$ (years)		$\frac{S_1^2}{S_0^2}$
Location	Sample size	Significant variation	Other variation	Significant variation	Other variation	Significant variation	Other variation	
Sapporo	62				13 17		30	1.00
Hakodate	62	3	5.3	16	13		20~40	0.76
Akita	77		9		18			0.88
Ishinomaki	75		3.5				25,50	1.00
Tokyō	62	3.5 6.5 9	4.5				50~60	0.67
Nagano	62	4	2.5	10 13 18				0.63
Niigata	62	5.3 7					20~40	0.77
Kanazawa	62	2.8 5			11		20,40	0.65
Takayama	62	3.6 6	8				20~25	0.80
Gifu	62	7					40~50	0.68
Nagoya	73	6 7 9					30	0.72
Tsu	62	3	4 6 7 8	11 14			50~60	0.63
Hikone	62	3 4.5 7		15			40	0.56
Kyōto	82	3.5 8	6 9				20,60	0.84
Wakayama	62	2.3 3.5		10 13 17				0.48
Hamada	62	4 5.5 7.5		12		19		0.57
Hiroshima	62		7.5	14	10		20~25	0.90
Nagasaki	62	9		11	14	26		0.64
Miyazaki	62		2.8 5.3		17		60	1.00

Note : S_0^2 ; Variance of original data. S_1^2 ; S_0^2 -(Variance of significant periodic variation.)

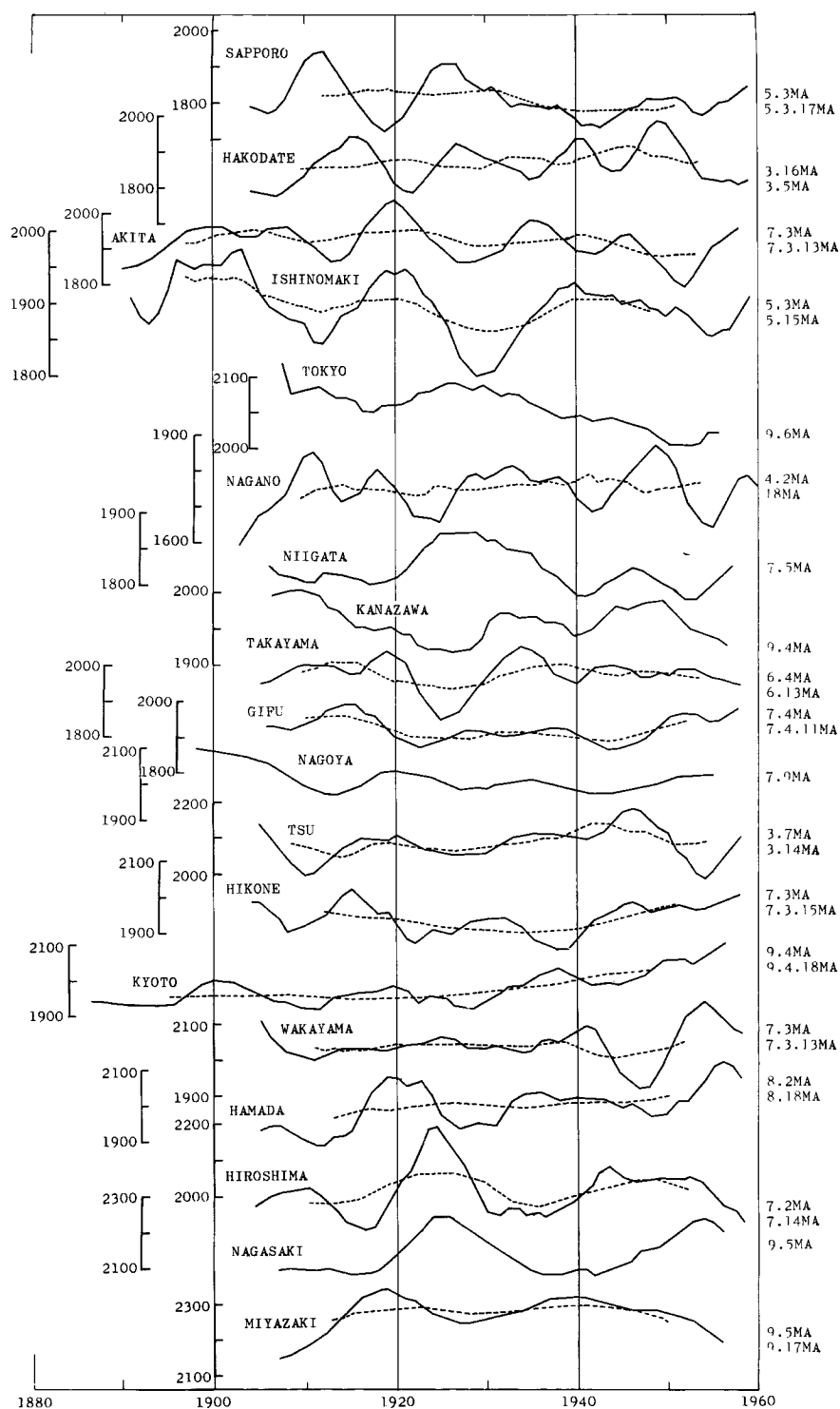


Fig. 5. $T \geq 10$ (full line) and $T \geq 19$ (dotted line) years variation in annual sum of daily amount of precipitation.
 Ordinate ; $\log R$ (mm/day) $\times 10^3$. Abscissa ; years.
 7.3 MA ; Overlapping moving average of 7 and 3 years,

は冬期の降水量が年降水量に大きな比重を占め、他の地方では夏期降水量が支配的なのと対しよ的なためと考えられるが、実際には **Table 2** に示すように、北海道では9月の降水量が大きいようである。そこで札幌の年降水量と8, 9月および12, 1月の2ヶ月降水量、冬期降水量が支配的な新潟のそれと、夏期しかも6, 7月雨量が支配的な長崎のそれらをそれぞれ年降水量の移動平均と同じ移動平均を行なって比較したのが **Fig. 2~4** である。同図では参考のため年最大日降水量の移動平均結果をも付示してある。

さて **Fig. 2~4** よりすれば、新潟では年降水量とこれに大きな比重を占める冬期降水量がよく対応し、かつ夏期降水量もかなり似ている。長崎でも年降水量とこれに支配的な夏期降水量の傾向がよく対応している。これらに対し、札幌では夏期降水量のそれとかなり類似しているようにみえるが、夏期降水量とほぼ同程度の量となる冬期降水量の変動は必ずしも夏期のそれと一致せず、むしろ逆の相関すらみうけられる。季節的降水量にみられる長期的変動が季節によって異なるかどうか、異なるとしてもその理由はよくわからないが、とにかく北海道の年降水量の長期的変動が本州、九州のそれらと異なることの理由はこうしたところにありそうである。

4. 年最大日降水量の変動

Table 3 は **Table 1** と同じことを年最大日降水量について行なった結果を総括したものである。この場合も2~4年のスペクトルが非常に強いようであるが、決定論的変動らしいものは年降水量のそれに比べて少なくなり、とくに $T \geq 19$ 年の変動では、浜田の19年、長崎の26年前後が非常に有意となる他は、有意な変動の存在しないことが注目される。また有意でないものを含めても、年最大日降水量にみられる長期的変動の周期は年降水量のそれにあまり一致していない。

このことは $T \geq 10$ 年の変動のみを残すような移動平均を行なった結果の **Fig. 5** よりも十分うかがえる。すなわち年最大日降水量には、長期的変動として一部に $10 \leq T \leq 18$ 年程度の変動の存在するものもあるが、それ以上の長期変動はあまり問題にならないようである。

地方別にみた場合は、やや類似した変動もみられるが、全般に年降水量ほど類似せず、確率的性格が多分に強くなっているように考えられる。

5. 水工計画上の問題

上述のような概観だけではただちに水工計画上の問題を論議できないが、**Table 1, 3** にみられるように有意な変動を除いた残差系列の分散 S_1^2 が原系列の分散 S_0^2 の値に比べて0.5前後まで小さくなっているものがあることに一応注目される。もっともこのような水文量時系列に決定論的変動成分の存在を仮定して、その残差系列の分散を考えることには問題が残るが、これまでのような長期的変動を考慮しないやり方よりは、さらに精度のよい確率評価のできる可能性を一応示すものと考えることができよう。

利水面、とくに近年増大してきている水需要の長期供給計画を考えるような場合には、その計画内容と規模によっては、当然こうした年降水量系列などにみられる長期的変動が考慮されるべきであろう。また治水水面でも、ピーク流出量の到達時間に関する近年の研究成果^{10,11)}を考慮してピーク流出量を支配する短時間降水量の時間を推定し、当該時間雨量の系列について詳細な検討を行なうことにより、さらに合理的な計画を考えることもできる。

短時間性格をもつ水文量の方が、平均的性格をもつ水文量よりも確率的要素を多分に含むであろうというわれわれの当初の予想は、一応前述のような検討結果よりも裏付けられそうであるが、**Table 3** よりみられるように、年最大日降水量に、なお約半数の地点では $9 \leq T \leq 18$ 年の強い変動が存在している事実は、さらに今後検討を要する問題を残しているようである。こうした問題をも含めて、目下コレログラム解析、スペクトル解析の立場より、長期的変動の問題を検討しつつある。そしてこれが成果の水工計画への応用についてさらに研究を進めるつもりである。大方の諸賢の御批判・教示を願えれば幸いである。

なお本研究は，昭和39年度文部省科学研究費「河川計画と流況に関する水文統計学的研究」による研究の一部であることを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) たとえば多田文男他編：気候学，古今書院（1962），荒川秀俊：気候変動論，地人書館（1961），土屋巖：気候の変動，恒星社，（1962）
- 2) 速水頌一郎，大内正夫：北太平洋亜熱帯高気圧の変動と北陸の豪雪，京大防災研年報 7（1964） pp. 241～253.
- 3) 長尾正志：びわ湖流入量の経年変化について，京大防災研年報 7（1964） pp. 254～264.
- 4) 山本三男：中国地方における水力発電よりみた河川流況の研究，京都大学（学位論文）（1960）
- 5) 伊藤剛：計画洪水流量の合理的決定法，土木研究所報告 100-6（1958）
- 6) 福田喜代志：東北地方大雨の統計的調査，アイオン台風報告第一輯，仙台管区気象台（1948）ただし 7）による。
- 7) 田島節夫：気候変動と会津地方の河川の氾濫の傾向について，洪水予報研究論文集，経済安定本部資源調査会事務局
- 8) 上山惟康：洪水の週期変動について，土木学会誌 37-11（1952） pp. 1～6.
- 9) 高瀬信忠：時系列論から見たわが国水文諸量の性格について，土木学会論文集 43（1957） pp. 38～42.
- 10) 石原藤次郎，高棹琢馬：単位図法とその適用に関する基礎的研究，土木学会論文集 60別冊（3-3）（1959）
- 11) 石原安雄：最大洪水流量に及ぼす地形効果について，土木学会年次講演会概要， pp. 101～102（1961）.