

報 文

UDC 627.511:551.583.13

洪水の週期変動について*

准員 上山 惟 康**

ON THE PERIODIC CHANGES OF FLOOD SEQUENCE

(JSCE Nov. 1952)

Koreyasu Ueyama, C. E. Assoc. Member.

Synopsis As one of the fundamental studies on the long range forecasting of river discharge, the author discusses in details the periodic changes of annual flood discharges in the TONE-River at Kurihashi and the YODO-River at Hirakata from many different angles.

要旨 本文は河川流量の長期予報に関する基礎的研究の一部として、利根川栗橋地先及び淀川枚方地先における年最大洪水流量を標本にえらび、それらの週期的変動を種種の観点から詳細に論じたものである。

1. まえがき

水位とか流量は時時刻刻と変動し、各河川ごとにそれぞれ独自の性格を示すものである。こうした変動のうちで短時日のものを除くと、特徴的なものとして季節的変動と永年変化とが考えられる。これらは現象的には歪められて一見不規則にみえる原系列のうちから、ほぼ規則的な、すなわち複合調和波的な週期変動として検出されるわけである。したがって河川流量 $Q(t)$ は、

$$Q(t) = Q_0(t) + Q'(t) \dots\dots\dots (1)$$

と分解して取扱うことが許されるであろう。ここに、 $Q_0(t)$ は規則的な変動を示し、 $Q'(t)$ は $Q_0(t)$ からの偏倚を意味するものとする。そこで流量を予想するためには、 $Q_0(t)$ と $Q'(t)$ との性格を追求する必要がある。

本文はこうした研究の第1報として、まず $Q_0(t)$ について、その変化の模様を洪水系列の考えに基づいて諸種の観点から詳細に論じたものである。

2. 洪水の週期性について

流出に影響する要素としては種種のものが考えられるが、大別して気象の要素と地表の流出条件とに分けられる。前者は今のところ物理的なものであるのに対

し、後者は物理化学的なもの以外に、河相、林相などのごとく人為的に変動せしめ得るものを含んでいる。洪水系列の解析に当つては、人為的なものを取除くべきであるが、実際にはなかなか困難であるから、今のところ一括して分析されており、従つて得られた結果に若干本質的でない要素が混入するのはさげがたいわけである。

さて、気候の週期的変化に関する研究は、1890年 Brückner がカスピ海の水位記録に 34~36年の週期を認め、その原因をたずねた結果、年平均気温と降水量とに平均 35年の週期を検出したのが最初であるといつても過言でない¹⁾。その後彼自身や A. B. McDowell, W. J. Lockeyer, E. Richter, Hann, R. David などによつて、諸種の現象について確かめられたほか、本邦では平野²⁾、淵本³⁾ 両氏が年輪について、また田口氏⁴⁾ が飢饉記録について確かめている。しかし Brückner 週期の原因は明瞭でなく、太陽黒点の変化と関係があるといわれている程度である。一方、太陽黒点には厳密ではないが 11年週期があり、降水量及び気温は太陽黒点数とそれぞれ正、負の相関があつて、赤道地方において特に顕著なことが実証されている。しかしこの原因についても充分な説明はまだ行われていないようである。

河川における週期変動については、Brückner がヴォルガ河の水位に Brückner 週期を見出したほか、W. B. Schostakowitsch⁵⁾ がドナウ河洪水 (1170~1828) に 11.5, 23, 33.3年、ライン河洪水 (1275~1883) に 33年、ボーデン湖水位に 11年、ミシシッピー河

* 昭. 26. 10. 13 関西工学連合講演会にて講演

** 京都大学助手, 工学部土木工学教室

洪水に 11, 33~35 年などを検出した。本邦においては、藤原氏⁶⁾が諏訪湖の凍結日調査によつて 11, 3.7, 6~7年, 速水氏⁷⁾が揚子江水位について 11年, Brückner 週期などを検出されたのが有名である。

以上検出された週期がほとんど 11 年の倍数であることは、地球物理的諸現象が太陽黒点と密接な関係をもつことを物語るものであり、これはかかる現象が太陽エネルギーに依存している以上当然の帰結であろう。しかしながら、このような効果は一般に緯度が高くなるにつれて減少するといわれており、高緯度地方においては気象的な歪曲の度合の大きいことを示している。一方週期性の認められる上記地方はほとんど大陸内であることを考えると、効果が現われるには気象が著しく変化しないことが必要のようである。かつまた、対象とする河川も大河川ばかりであることからみても、相当な流域面積を持つことが必要のようである。これは局地的な場合に比して、広大流域における方が一時的な不規則性がより平滑化されるためと思われる。

以上のことから判断するに、本邦においては上の必要条件はいずれも充分満足しがたいことがわかるのであつて、河川流量においても太陽活動の変化を期待することは無謀のように思われる。ただ年輪などにおい

ては、気象の変化が徐々に反映されるため、一時的な歪曲が平滑化され、平均的な意味で週期が認められるものと思われる。

以下利根川、淀川などにおける実際の洪水系列について吟味を行うわけであるが、その前に洪水の季節的な発生状態とか、原因別の分類などを行つて予備的な概念をうる必要がある。諸種の特性はすべて χ^2 -検定によつて照査されたが、ここでは詳細な説明は省略し、利根川の年最大洪水流量に関し得られた結論を要約しよう。

- a) 洪水の警戒期は 7 月下旬から 10 月上旬に至る約 80 日間とみてよい。
- b) 年最大洪水流量は、低気圧その他の原因よりも、台風による豪雨によつてもたらされる場合が多く、流量も後の方が一般に大きい。特に 8000 m³/sec 以上のごとき大洪水はすべて台風が原因である。
- c) 回数並びに量的にみて、9 月が最も危険であり、洪水警戒期といふことができる。
- d) 洪水警戒期は 210 日、220 日前後の約 20 日間である。

(a) 利根川の年最大洪水流量の分析 利根川栗橋地先における明治 5 年より昭和 25 年に至る年最大洪水系列を示すと図-1 のようである。視察によりその

図-1 利根川栗橋における年最大洪水系列とその 3, 10, 20 年移動平均
Annual flood sequence in the TONE-River at Kurihashi and its 3-, 10-, 20-years moving averages.

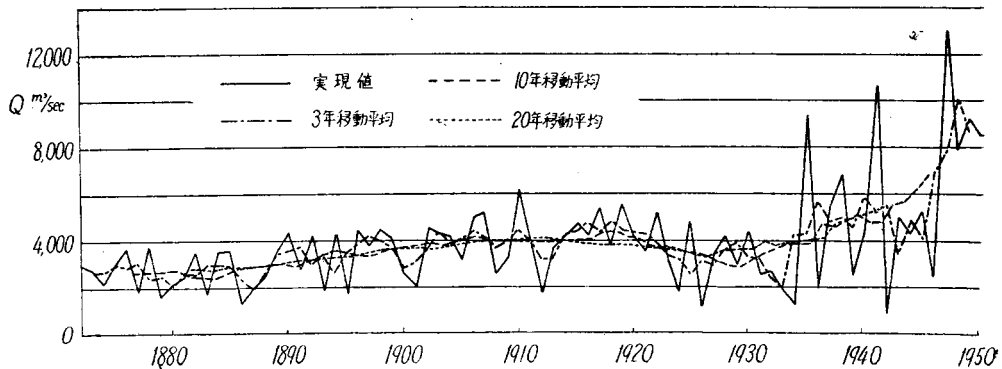
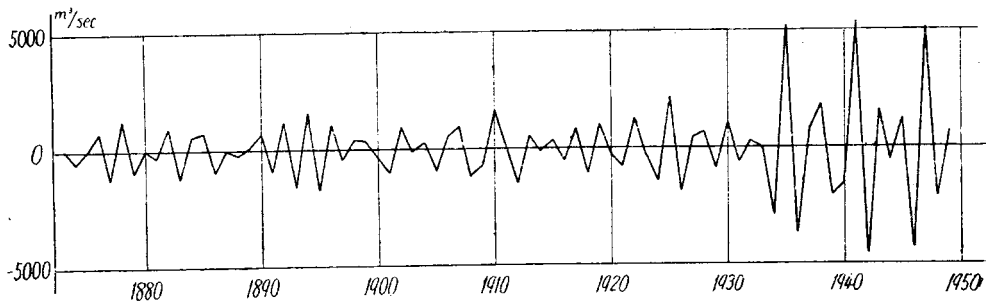


図-2 原系列から分離された 3 年週期の波
Fluctuation during the period of 3-years separated from the original sequence.

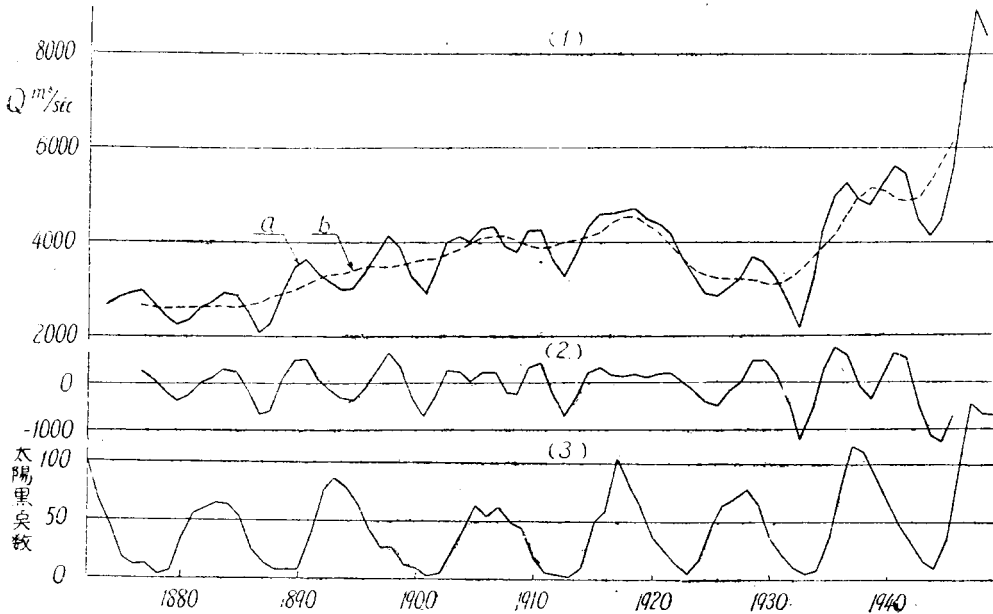


変動週期をしらべると、週期 2 年の波が大多数を占め、その中に 3, 4, 5 年の波が混在していることがわかる。そこでこれらの変動を平均して消去するために、3 年の移動平均を行つた結果は図-1 に鎖線で示す通りである。図-2 は原洪水系列から分離された週期 3 年の波であるが、短い週期をもつた波がかなり不規則に生じていることがうかがわれる。

さて 3 年の移動平均によつて平滑化された系列を詳細に吟味すると、かなり不明瞭ではあるが、約 11 年週期の波が識別される。そこでさらにはつきりさせるために 2 年の移動平均を行つたのが、図-3 (1) の実

線 a である。ところが実線 a には明治 33 年までに 7 年週期の波が認められるので、さらに 7 年の移動平均を行い、破線 b を得た。この実線と破線との差が図-3 (2) であつて、約 7 年週期の波を表わし、特に明治 10~33 年において規則的なものがみられるが、同時に明治 17, 28, 39, 大正 6, 昭和 3, 13, 23 年を出した約 11 年週期の波が認められる*。こうした変化に対応する宇宙変化としては、前述のごとく太陽黒点数の変化が考えられるので、Wolf の値^①を示したのが図-3 (3) である。これらの変動 (2), (3) を比べると、両者の波動は酷似しており、特に peak は明治

図-3 (1) 3 年の移動平均で得られた系列の 2 年の移動平均 a とその 7 年移動平均 b; (2) 曲線 a から分離された約 7 年週期の波; (3) Wolf の太陽黒点数の系列
(1) 2-years moving average "a" of the sequence obtained by 3-years moving average of the original one, and its 7-years moving average "b"; (2) Fluctuation during the period of about 7-years, separated from curve a; (3) Wolf's sunspot numbers sequence.



28 年を除くとよく一致している。著者はさきに本邦河川では太陽黒点数の変化がほとんど反映されないと述べたが、上記のごとく両者の間かなりの一致をみた事実は、驚異に値することである。もちろん、洪水系列には雑多な変動原因があるので、平滑化した曲線に凹凸のあるのは、けだしやむを得ないであろう。

次に原系列の 10 年移動平均は、図-1 に破線で示すごとく微動を続けるが、11 年以上の週期は認められず、ただ 40~50 年程度の存在がうかがわれるに過ぎない。

そこで 2, 4, 5, 10 年の波を完全に消すとともに、3, 6, 7, 8, 9, 11, 12 年などの波をも近似的に消去す

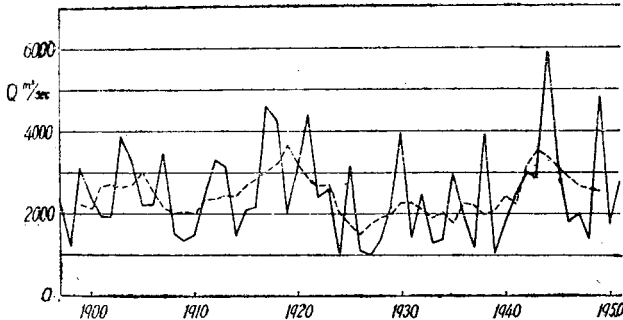
るために、20 年の移動平均を行つたのが図-1 の点線であるが、10 年の移動平均に比べると変化は至つて緩慢である。しかし 20 年の移動平均では、明治 15 年と昭和元年附近に谷があり、大正元年附近に山があることがわかり、昭和 25 年附近もほとんど山に近いようである。これらの週期は約 44 年であつて、予想のごとく 11 年の倍数である。統計期間が短いので断定するまでには至らないが、かりに利根川流量に 44 年週期の永年変化があるとすれば、昭和元年より 22 年

* 7 年移動平均の代りに 11 年移動平均を行えば、11 年週期の波はさらに明瞭になるが、図-3(2) と余り変らない。

目の昭和 23 年は山に相当する。事実曲線も昭和 20 年頃から山に近いようであるし、また太陽黒点数の週期との対応関係からしても、利根川の大洪水期は最近ようやく峠を越したものと考えてよいようである。

(b) 淀川の年最大洪水流量の分析 淀川枚方地先における明治 30~昭和 26 年の 55 年間の年最大洪水流量系列について分析した。原系列は図-4 のごとくであるが、視察により 4, 5 年の週期が多くみられるので、これを消去して変化の趨勢をみるため 5 年の移動平均を行った。これは図-4 の破線で示され、明治 38, 大正 8, 昭和 6, 18 年に山が現われ、その間

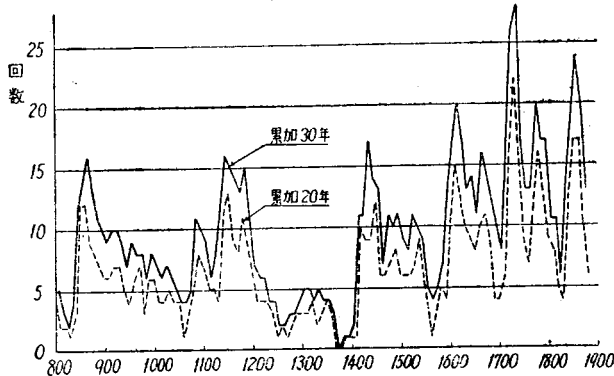
図-4 淀川枚方における年最大洪水系列とその 5 年移動平均 Annual flood sequence in the YODO-River at Hirakata and its 5-years moving average.



隔はそれぞれ 14, 12, 12 年, 平均 12.7 年であるが、この波は不規則で振幅も小さいし、太陽黒点とも対応しない。そこで 4, 5, 10 年などの週期を消去し、さらに長週期的の変動をみるために 20 年の移動平均を行ったが曲線はほとんど水平に平滑化され、本統計期間においては意味のある週期を見出すことができなかつた。

(c) 加茂川の洪水発生に関する歴史的考察 本邦において最も豊富な資料を有する利根川、淀川について考察したが、統計年数が短かすぎるので今少し歴史的に考察するため、日本気象資料総覧⁹⁾にもとづき

図-5 加茂川出水の頻度 Frequency of flood in the KAMO-River



796~1887 年(延暦 9~明治 20 年)の 1091 年間について加茂川に出水をみたと思われるのを拾いだしてみると 320 回を数える。加茂川をえらんだのは京都が古くより文化が発達していた関係上他の河川よりは記録が豊富であつたからであるが、もちろん定量的なもの不明であるし、単に発生回数のみであるから、信頼性に乏しいことは云うまでもない。

こまかい点について吟味することは危険であるので、大局的に頻度を観察するため、期間を 10 年ごとに分割しその中心の年に前後合わせて 20 年及び 30 年間の洪水の発生回数を plot したものを図-5 に示す。

これによると 860, 1150, 1435, 1615, 1725, 1855 年附近に明瞭な山が現われ、その間隔はそれぞれ約 290, 280, 180, 110, 130 年となつている。いま 1435~1725 年までを 1 つの波と考えれば週期は 290 年となり、前 2 者の週期と一致する。1400 年頃から回数が増しているのは、時代が新しくなるにつれて次第に記録数が増したためであろうが、これらについては年輪その他による裏付が必要である。ただ本資料のみの結論としては一応京都においては約 300 年位の週期で洪水が頻発するとみてよいの

ではなからうか。

なおこのほか、わが国最古の水位記録を有すると云われる肱川¹⁰⁾について分析を試みたが、記録が無数に中断されているため目的を達することができなかつた

(d) 総括 以上ごく少数ではあるが、洪水の週期性について考察を進めた。はじめの予想では、本邦河川には太陽黒点の変化は反映されまいとしたが、事実淀川では何等の対応関係がみられないのに反し、利根川においてはかなりの関係が見出された。わが国の代表的な大川についてこのような相違

が起つた原因は、まず第 1 に降雨量に大差がない以上、流出条件の差違に求められるべきであろう。淀川では琵琶湖の流域が全流域の半分以上を占めているのに、洪水流量に及ぼす琵琶湖の影響はほとんど無視しうる程度であるから、枚方における実効流域面積は約 3000 km² ということになり、著しい歪曲が起つていることになる。この事実が枚方における洪水流量の週期性の検出を不可能ならしめた大きい原因であろうが、一方琵琶湖の水位はその小変動が平滑化されている以上、太陽黒点の変化がよく反映されていると予想されるので、鳥居川量水標の水位記録を調査中

であるが、未だ結論を得るに至っていない。

次に、洪水の原因は太平洋側の河川ではそのほとんどが台風帰因するものであることは前述の通りである。台風によつて豪雨もたらされる場合は、赤道気団の流入とともに、高温多湿な小笠原高気圧が本邦上を蔽うていることが必要とされている。この2気団はいずれも太陽黒点の変化をよく反映していることが確かめられているので、太陽黒点数と利根川における台風帰因する洪水流量との関係を調べたが、相関関係は得られなかつた。このことは局地的な歪曲がいかにか大きいかを示すものであるが、今後台風の発生回数、強度、その他赤道地方における各気象要素と太陽活動との対応関係を精査することによつて、全国的規模においてはもちろん、地方的にも洪水の危険を予測し得るであろう。

3. 週期性を考えた場合の洪水頻度

従来行われてきた洪水頻度の計算では、ある統計期間について各年最大流量を1個ずつ抽出し、これらの標本分布から母集団の分布を推定するか、または標本の大いさの順序によつて直接推定を行う順序統計学な

どが用いられ、ともに標本を時間 t に無関係に一括処理してきた。しかし水位や流量などは上述のごとく週期的変動を含むから、純偶発事象としての取扱いは不適當であり、解析に當つて週期性の有無、振幅などを慎重に考慮する必要がある。例えば利根川について従来の方法で3年及び4年の確率洪水を求めると、それぞれ4420, 5700 m^3/sec となつて、**図-6**の水平な鎖線として表わされる。したがつて起らない時は連続10数年も起らず、起るときは相次いで起ることになり、**図-6**について具体的に4420, 5700 m^3/sec を超過する確率*を求めるとそれぞれ 10^{-11} , 10^{-21} 以下となつて、はなはだまれな事象に相当し、やり方は明らかに現実的でない。そこでまず考えられることは、(1)式における平均値 $Q_0(t)$ のまわりの散らばり $Q'(t)$ を標本とし、これについて頻度計算を行う方法である。この場合は、確率流量は平均値 $Q_0(t)$ と一定の差を保ちつつ平行に変化する波動系列となり、変動週期は $Q_0(t)$ のそれに等しいことになる。

もし $Q'(t)$ の分散に長期傾向がある場合は、上の方法ではなお不充分である。利根川について分散の長期

図-6 週期性を考えた場合の洪水頻度 (利根川栗橋地先)

Flood frequency in the TONE-River when the periodicity was considered.

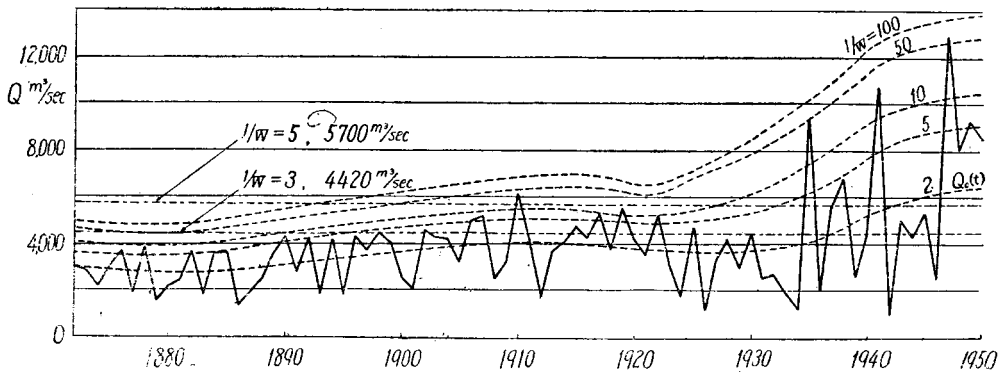
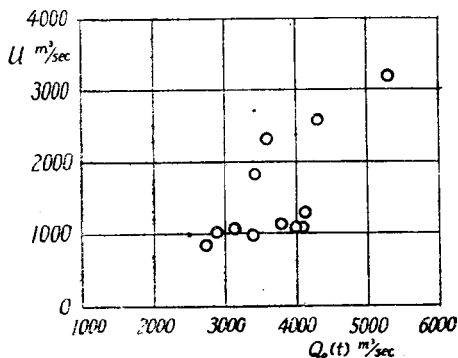


図-7 $Q_0(t)$ と u との関係
Relation between $Q_0(t)$ and u



傾向の有無を調べるために、5年ずつずらして各10ケ年の記録より分散 s^2 を求め、それを各区間の中点にplotすると、 s^2 は昭和9年附近から急に大きくなつていくことがわかり、これらの相違の有意性は視察によつても明らかである。このように系列が定常でない時には、分割せる各区間の分散を用いて確率を求め、これを平滑化することによつて得られる移動平均的な確率を計算すべきであると思われる。利根川の場合、明治5年以降5年ずつずらして各20ケ年の記録から確率紙をもつて $Q'(t)$ の分布を照査してみると、

* ある事象の超過確率を W としたとき、その事象が $(n-1)$ 年起らず、 n 年目に始めて超過する確率 $p=(1-W)^{n-1}W$ の意味である。

ほぼ直線的な関係にあるので、正規分布とみなし、不偏分散 u を計算して各超過確率に対応する流量を求め、しかる後各分割区間の中央における $Q_0(t)$ を加えて現実の確率流量を出したのが、図-6 に示す曲線状の破線である。また $Q_0(t)$ と u との関係を示すと、図-7 のごとくほぼ直線的な関係がみられるから、平均値の大きい山では確率流量も大きく、逆に谷では小さいことが云えるようである。

以上 $Q'(t)$ について頻度計算を適用すべきことを述べたが、理論的には $Q'(t)$ は確率的依存関係を有する部分と純偶発的な部分とに分けられるので、厳密には後者について適用すべきであるが、実用上は $Q'(t)$ に適用して不都合は生じないであろう。

なお淀川では前述のごとく平均値曲線がほとんど水平で、分散の値も区間で大差がないから、原系列そのものにただちに確率計算をしても大過ないようである。

以上のことから考えると、洪水頻度は従来のごとく一義的に定め難く、時代とともに変化する性質をもつことがわかる。これはまた統計年数と変動週期との相対的な関係によつて変化するとも云えよう。従つて統計年数と変動週期、さらには推定洪水年の大きさをにらみ合わせて、慎重に決定されねばならないわけである。

4. むすび

本文は洪水の週期変動について各方面から検討を加えた。洪水の発生期などに関する定性的研究は、各河川の洪水の性格を明らかにする上から有効であるから、今後広く行われるべきであろう。週期性については、適用範囲がせまく断定的なことは云えないが、2, 3 の大河川を除いては太陽活動との対応関係などは見出せず、さらに複雑な変動をするようである。そして小河川ほど局所的な歪曲の度合が大きくなり、偶発的な様相を呈するであろう。今後気象学的な研究と相まつ

て、各地方別に共通な変動週期の検出へと発展されるべきである。なお週期性を考えた場合の頻度計算は、直接にはダム仮締切の計画排水量の決定におけるごとき小洪水の頻度決定に、間接には河川の計画洪水流量の決定などに、大いに役立つものと思われる。

終りに資料をよせられた関東地建調査課及び淀川工事事務所、終始格別の御指導を賜つた石原、速水両教授、ならびに調査計算を手伝つていただいた八木賢二、小林料両君に対し、謝意を表する。なお本文は文部省試験研究費による研究“洪水対策”の成果の一部である。

参 考 文 献

- 1) 福井英一郎：気候学，昭. 14, p. 392
- 2) 平野烈介：樹令 250 余年の杉の巨木に現れたるブリュックナー週期，気象集誌，大.9, p. 276
- 3) 淵本金哉：屋久杉の年輪，天気と気候，第4巻，昭. 12, p. 211
- 4) 田口克敏：大飢饉と太陽黒点，気象集誌，大.14 p. 128
- 5) W. Schostakowitsch: Periodische Schwankungen der Naturerscheinungen und Sonnenflecken, Meteorologische Zeitschrift, Bd. 45, 1924.
- 6) 藤原映平：諏訪湖結氷期日の遅延の解析，気象集誌，昭. 11.
- 7) S. Hayami: Variations in stage of the Yangtze river at Hankow and some climatic changes in central China inferred from them, I and II, Journal of Shanghai Sci. Inst., 1938 and 1940.
- 8) 理科年表，昭. 25.
- 9) 中央気象台編：日本気象資料綜覧，昭.18.
- 10) 山本広一：260 年の洪水記録，河川，昭.26. (昭. 27. 6. 11)

論文集第14号正誤表

Errata of "Difference Method for Partial Differential Equations, Part I," by B. Tanimoto, C.E. Member, reported on the Transaction, JSCE, No. 14, pp. 14-17, are as follows:

ERRATA

Article	Page	For	Read	Remarks
1	14	$\Sigma \Sigma \dots$	$\Sigma \Sigma \{ \dots \}$	Eq. (1)
3	16	$-(r-1s)$	$-(r-1s)$	Eq. (5)