

# 渡川具同地点流量の時系列特性

近 森 邦 英

(農学部 利水工学研究室)

## The characteristics of the time series of the discharge at Gudo on the Watari river

Kunihide CHIKAMORI

Laboratory of Water-Utilization Engineering, Faculty of Agriculture

**Abstract :** Spectral analysis was applied to the time series of daily discharge of 18 years at Gudo on the watari river.

The spectral density distribution for the daily discharges of 15 years is statistically significant. The two straight lines, which have a discontinuous part near 0.1 cycle/day, of  $-5/3 \sim -7/3$  inclination fit the part of the distribution of the shorter period than a month. The shorter the data length becomes, the larger the differences among the results for each periods become. With the longer unit length of the data, the amplitude of the correlogram grows, and finally when it is a month  $|\rho|_{max}$  attains to the nearly equal value to 0.4. And, as the unit length of the data becomes shorter, the randomness of them increase through the frequencies larger than 0.1 cycle/day.

### ま え が き

水文量のあらゆる変動は、大きくは地球全体、小さくはその地域に放射される太陽エネルギーの変化に起因する。したがって、本報文で対象とする河川流量の変動も、その原因を探ってゆけば太陽輻射エネルギーの変動に到達するはずであり、将来水文量の予測を完全にするためにはその伝達過程とともにまず解明されるべき問題である。本報文ではこの予測問題解決の一手法の研究例として、また水利計画のためのシミュレーションの準備段階として渡川具同地点流量の時系列解析を行った。

### I. 研究の目的と方法

渡川は現在わが国では珍しい未開発の大河川であり、幹線流路延長 184.9 km, 全流域面積 2,267 km<sup>2</sup>, 具同測水所の流域面積 1,807.6 km<sup>2</sup>, 計画洪水量は河口で 14,000 m<sup>3</sup>/sec である。

渡川のこの未利用水資源に着目して最近大規模な開発計画が国・高知県によってたてられ、流域の一部を有する愛媛県もその水利用を希望している。本研究は下流部具同地点における昭和27年から昭和44年までの18年間の日流量をデータとして用い、9種類の単位期間(1日, 2日, 3日, 4日, 5日, 7日, 10日, 15日, および1ヶ月間)と10種類の資料長(3年, 5年, 6年, 9年, 10年, 14年, 15年, 16年, 17年, および18年間)を適宜組み合わせ、その時系列特性をスペクトル解析により求め、水利計画・流量シミュレーションの基礎資料にしようとするものである。

ある時系列の中にどのような波がどの程度含まれているかを解明するためには、一般にスペクトル解析が使われる。スペクトル解析は時系列データ  $x(t)$  について①式のように定義した自己相関関数  $R(\tau)$  のフーリエ変換②式として定義されるスペクトル密度  $S(f)$  の特性を解析するものである。

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau)dt \quad \text{..... ①}$$

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} 2R(\tau)e^{-i2\pi f\tau} d\tau \quad \text{..... ②}$$

本報文では自己相関係数を時間間隔について描いたコレログラム、およびパワースペクトル密度分布について検討する。

## II. 河川流量の時系列表示

河川流量は降水流出問題として考えれば、降水を入力とするのに対しその出力と考えることができる。そして、降水には1ケ年の明確な周期が認められる<sup>1)</sup>ので、河川流量にも1ケ年周期が存在することは当然推定できる。単位期間が一ケ年の場合は雨量<sup>2)</sup>からの類推により正規ランダム変動であることが推定される。本報文では単位期間を1日~1ヶ月にわたって適宜採用したが、この場合その時系列は③式の形で表わされる。

$$Q(t) = k\bar{Q}(t) + \xi(t) \quad \text{..... ③}$$

$Q(t)$  : 時刻  $t$  の流量

$\bar{Q}(t)$  : 平均流量

$\xi(t)$  : ランダム変動成分

$k$  : 係数, 一般に 1.0

ただし、③式は最も単純化された表現である。 $\bar{Q}(t)$ は一般に三角関数の和として表現でき、最も大きなエネルギーをもつ一年周期の波の他に太陽活動に基く長周期波、あるいは流域特性や降雨特性に基く短周期波などが含まれる。この場合次式のように表わすことができる。

$$Q(t) = \bar{Q} + \sum_{i=1}^m A_i \sin(\omega_i t + \theta_i) + \xi(t) \quad \text{..... ④}$$

$\bar{Q}$  :  $Q(t)$  の一定期間内平均値

$A_i$  :  $i$  番目正弦波の重み係数

$\omega_i$  : " 角振動数

$\theta_i$  : " 位相角

また、一般に単位期間が短くなるに従ってマルコフ性が重要になってくるが、単純マルコフ過程を仮定すると次の回帰式が得られる。ただし、⑤式からわかるようにマルコフ性を考える場合は離散型でなければならない。

$$Q_j = \beta_j + \gamma_j Q_{j-1} + \epsilon_j \quad \text{..... ⑤}$$

$\beta_j, \gamma_j$  : 回帰係数

$\epsilon_j$  : 平均値ゼロの誤差項

コレログラムによれば、時間間隔による系列相関係数の変化によって時系列中に含まれる波の検出が可能であり、また、スペクトル解析によれば④式右辺第2項三角関数の係列  $A_i$  のパワーが各周波数にどのように分布しているか、すなわち各周波数の波に対するエネルギー分布を求めることができる。

III. 具同流量の時系列解析

1. 流量コレログラム

図-1～図-3に資料長と単位期間長とをパラメータとしたコレログラムと、Andersonの方法で求めた95%および99%信頼限界(C.L.)を示す。

図-1-aは18年間(6,575日)の日流量のコレログラムの一部である。図-1-b～fにそれぞれ17, 16, 15, および14年間の日流量データを使用した場合を示す。なお、図-1-dは昭和28～42年の15年間をとったが、昭和27～41年の15年間をとった場合もほとんど一致した。これら4個のコレログラムはごく僅かの相違しかない。図-1-fは10年間の日流量データを用いたものであるが、前5者に較べて凸凹が多少激しくなっている。図-1-g-1と2に昭和27～35年と昭和36～44年の2個の9年間における日流量データのコレログラムを示す。両者は $\tau=10$ 日以後、細部の形状においてかなり大きな相違を示している。図-2-h-1～3に昭和27～32年, 昭和33～38年, および昭和39～44年の3個の6年間の日流量コレログラムを示す。期間により大きく異なり、特に昭和27～32年において $\tau=75$ 付近に異常な極大値があることに気付く。図-2-i-1～3に昭和27～31年, 昭和32～36年, および昭和37～41年の3個の5年間の計算値を示す。この場合も6年間の場合

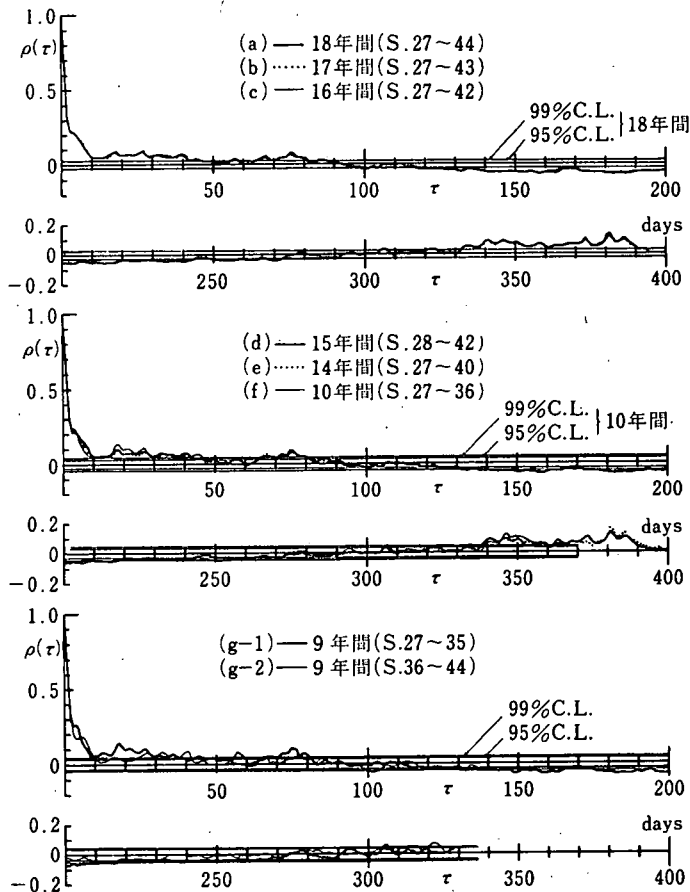


図-1 渡川具同日流量コレログラム (1)

と同様なことが言える。最後に図-2-j-1~6に昭和27~44年の18年間を3年間ずつ6個に分割した場合のコレログラムを示す。期間毎に大きな差のあることがわかる。

図-3-aに単位期間が2日間と3日間の場合、図-3-bには4日間と5日間、図-3-cには7日間と10日間、図-3-dには15日間と1ヶ月間の場合のコレログラムを示す。単位期間が長くなるにつれて1ケ年周期が次第に明瞭になることがわかる。

表-1に各データの諸パラメータを示す。

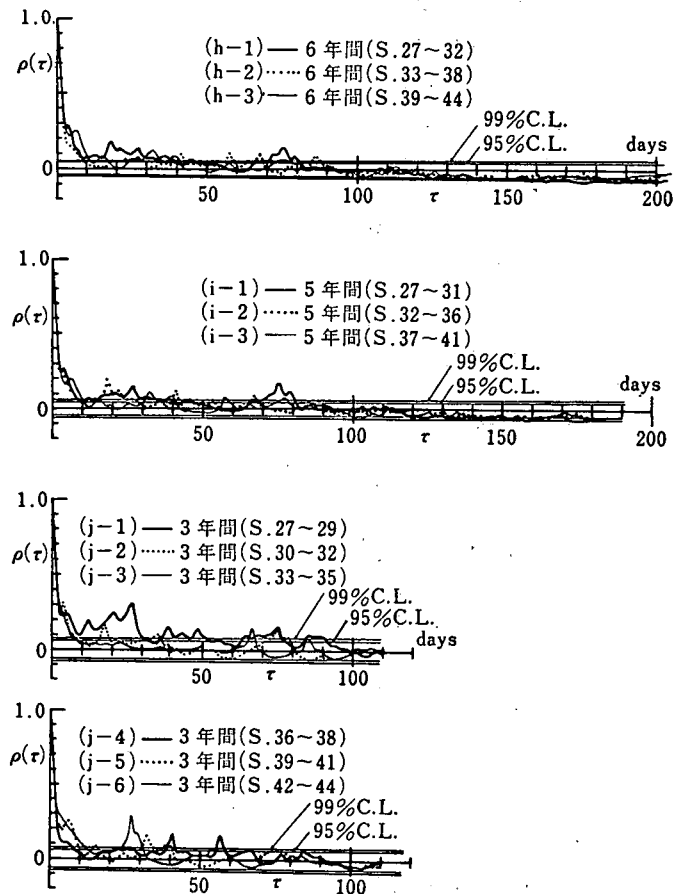


図2 渡川具同日流量コレログラム (2)

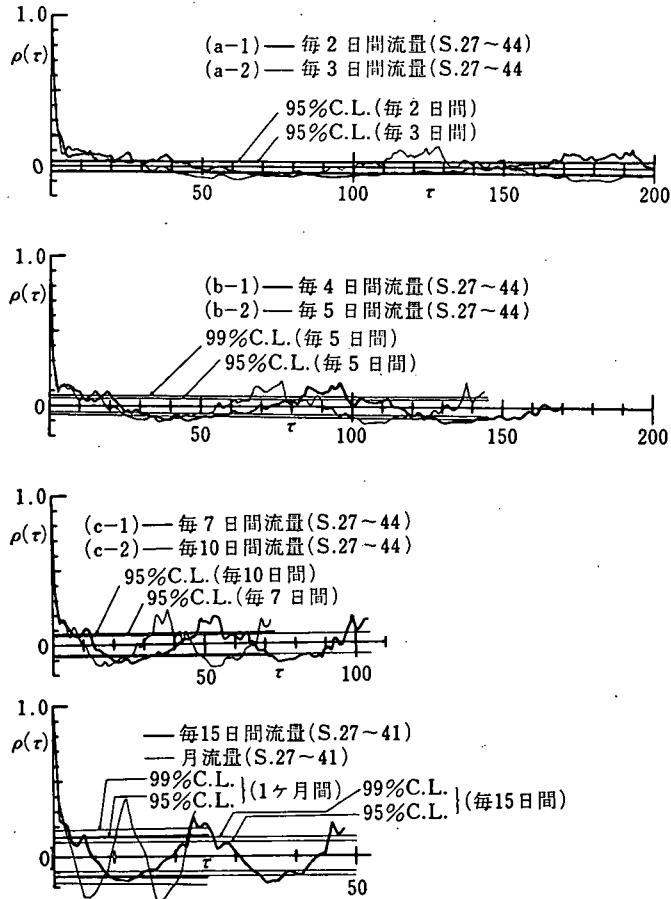


図3 渡川単位期間長別流量コレログラム

表一 期間長・単位期間長別平均値および標準偏差

期 間	単位日数 N	平 均	平均/N	$\sigma$	$\sigma/\sqrt{N}$
		$\text{m}^3/\text{sec}$	$\text{m}^3/\text{sec}$	$\text{m}^3/\text{s}$	$\text{m}^3/\text{sec}$
18年間(S. 27~44)	1 日	115.0	—	267.8	—
17 " (S. 27~43)	"	117.8	—	272.7	—
16 " (S. 27~42)	"	119.6	—	274.9	—
15 " (S. 27~41)	"	122.3	—	282.2	—
15 " (S. 28~42)	"	115.3	—	275.2	—
14 " (S. 27~40)	"	119.3	—	275.9	—
10 " (S. 27~36)	"	125.0	—	273.9	—
9 " (S. 27~35)	"	121.7	—	267.4	—
9 " (S. 36~44)	"	108.4	—	268.1	—
6 " (S. 27~32)	"	129.8	—	291.2	—
6 " (S. 33~38)	"	115.2	—	252.6	—
6 " (S. 39~44)	"	100.2	—	257.2	—
5 " (S. 27~31)	"	126.2	—	285.7	—
5 " (S. 32~36)	"	123.8	—	261.5	—
5 " (S. 37~41)	"	117.1	—	298.0	—

期 間	単位日数 N	平 均	平均/N	$\sigma$	$\sigma/\sqrt{N}$
3 " (S. 27~29)	1 日	123.4	—	250.7	—
3 " (S. 30~32)	"	136.2	—	326.7	—
3 " (S. 33~35)	"	105.9	—	210.9	—
3 " (S. 36~38)	"	124.4	—	288.1	—
3 " (S. 39~41)	"	122.2	—	317.4	—
3 " (S. 42~44)	"	78.7	—	175.1	—
18 " (S. 27~44)	2	230.13	115.0	491.6	347.6
"	3	345.24	115.1	670.5	387.1
"	4	460.38	"	822.1	411.1
"	5	575.24	115.0	989.2	442.4
"	7	805.55	115.1	1241.8	469.4
"	10	1151.24	"	1627.4	514.6
"	15	1726.86	"	2284.1	589.8
"	1 ヵ月	3504.34	(116.8)	1641.7	299.7

2. 流量スペクトル

図-4-a に18年間の日流量スペクトルを示す。同様に17, 16, 15 (2個), 14, 10, 9 (2個), 6 (3個), 5 (3個), 3 (6個) の各年間のスペクトルを図-4-b~図-9-u に示す。また、コログラムに対応させて単位期間長を変えた場合のスペクトルを図-10に示す。

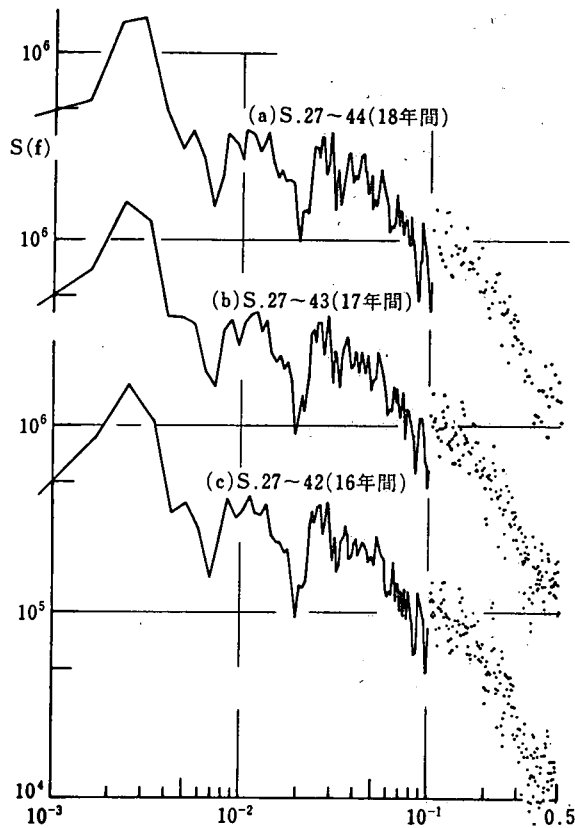


図4 渡川具同日流量スペクトル (1)

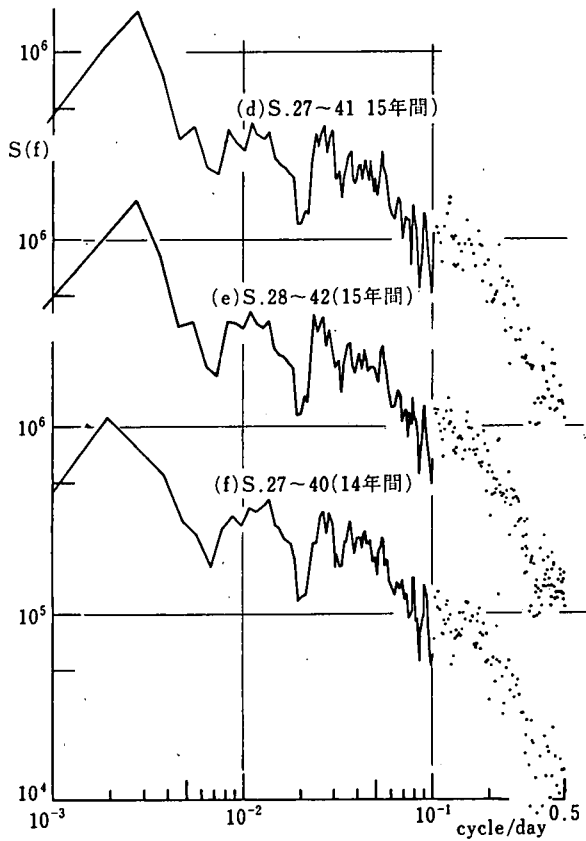


図5 渡川具同日流量スペクトル (2)

9年間より長い資料のスペクトルには一ケ年周期が明瞭に現われている。6年間より短い資料のスペクトルでは一ケ年以上の周期について計算しなかったが、スペクトルの形から見て一ケ年周期の存在が明らかである。18年間の資料のスペクトルを基準にすると、日流量には一ケ年の弱い周期以外は存在しないと言える。しかし、図-8-nの昭和32~36年の5ケ年間のスペクトルには約3週間の周期の存在が明瞭に現われ、図-9-tの昭和39~41年の3ケ年のスペクトルからは8日間程度の周期が読み取れる。しかし、これらの周期は他のスペクトルにはほとんど見られないので、その計算期間内でたまたま、3週間および8日間の間隔において大流量が発生したことの存在を示すに過ぎない。18~9年間のスペクトル8個はほぼ類似の形をなし、一ケ年周期を示すピークの後には0.03~0.04 cycle/day付近までほぼ一様なスペクトル密度を示している。それ以降0.1 cycle/day付近までは両対数紙上でほぼ $-5/3$ のこう配を示し、0.1 cycle/day付近に不連続部が存在し、0.1~0.5 cycle/dayの区間では約 $-5/3$ ~ $-7/3$ のこう配を示している。これと類似の傾向は図-11に示す永瀬ダム(物部川, 流域面積295.2 km<sup>2</sup>)、および柳瀬ダム(銅山川, 流域面積170.0 km<sup>2</sup>)のスペクトルにも現われている。このことは等方性乱流場における速度スペクトルの inertial subrange内における $-5/3$ 乗則と比較して興味深い。また、いずれも0.1 cycle/dayにスペクトルの不連続部が存在するようであるが、その理由はよく分らない。

単位期間長を変えた場合は図-10に示すように一ケ年の周期を示すピークが顕著に現われ、以後周期一ヶ月程度まではいずれのスペクトルもほぼ水平で白色雑音の性格を示している。そして、約

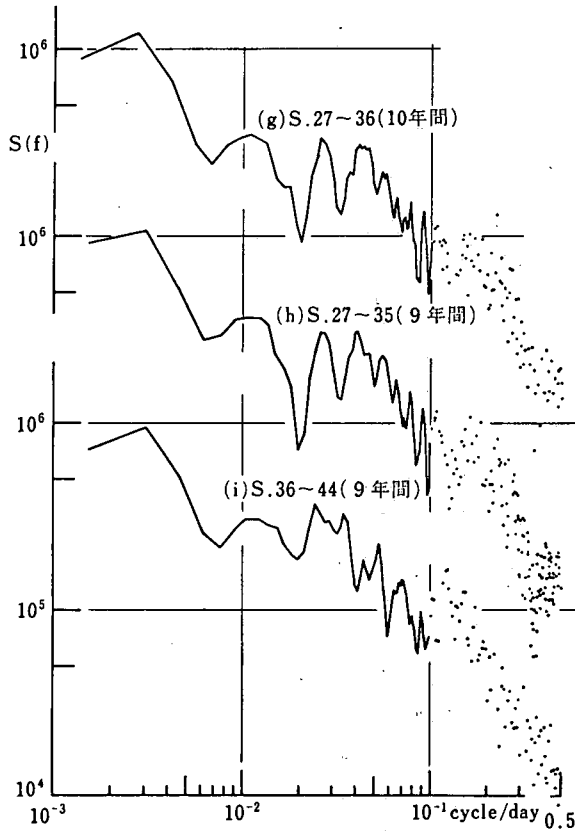


図6 渡川具同日流量スペクトル (3)

一ヶ月の周期以降は両対数紙上ではほぼ直線をなし、赤色雑音あるいは自己回帰過程の特性を示している。この直線のこう配は単位期間2日間の場合の約1.0から、単位期間が長くなるにつれて次第に急になっている。このことは単位期間長が短くなるにつれて系列相関係数が小さくなりランダム性が強くなることを示している。日単位の場合のこの部分のこう配は先に述べたように $-5/3 \sim -7/3$ 程度であるので、2日間あるいは3日間単位では短周期部分のランダム性が日単位の場合に較べてかえって僅かながら強くなるようである。

### 3. 時期別日流量時系列特性

本節ではいわゆる三寒四温の生じ易い時期として11月16日から翌年3月15日までをとり、残りの期間と比較した。図-12-a および b に両期間の代表的なコログラム各4例、図-13-a および b に代表的なスペクトル各4例を示す。両図より一期間だけをとれば周期性があるように見えるものもあるが、偶然に大流量が発生したに過ぎず、一般に自己回帰過程あるいは赤色雑音であることを示している。また、18年間の平均値も併記したが、両期間ともに同じような赤色雑音の特性を示しており、春～秋の期間に僅かながら7日前後の周期が見られるだけである。

以上のように本節のような期間の分け方では、日流量に目立った周期性は見られない。これには、三寒四温の時期における降水量自体が少いことも影響しているであろう。データとして気温・気圧・湿度などを用いれば7日前後の周期が現れる可能性がある。また、期間長を変えれば周期性が見出せるかも知れない。



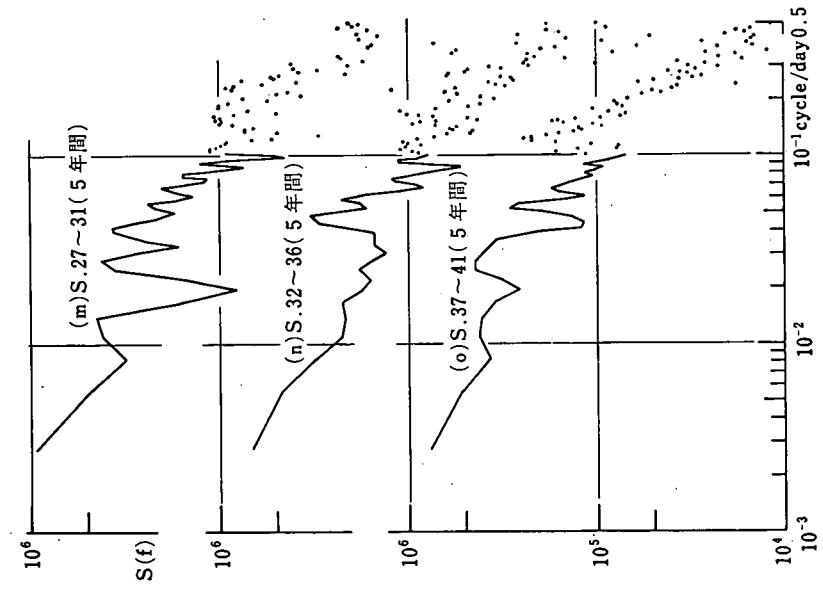


図7 渡川具同日流量スペクトル (4)

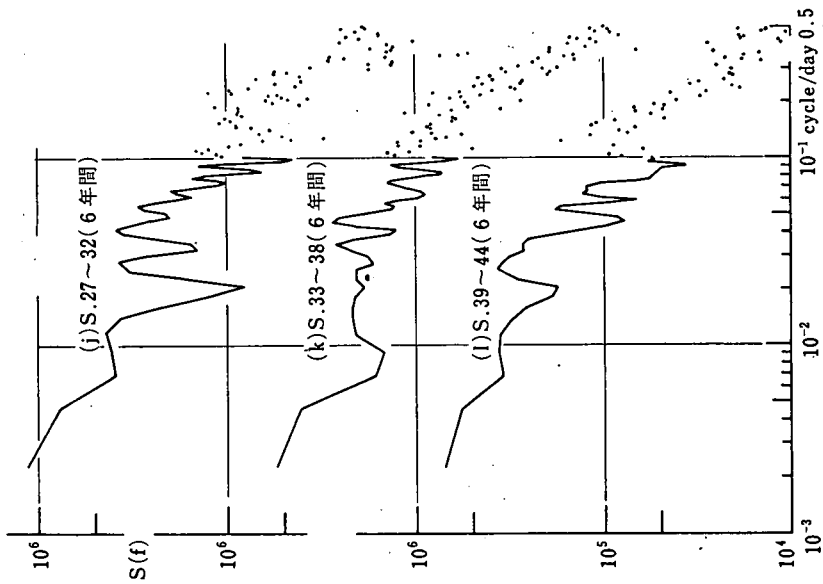


図8 渡川具同日流量スペクトル (5)

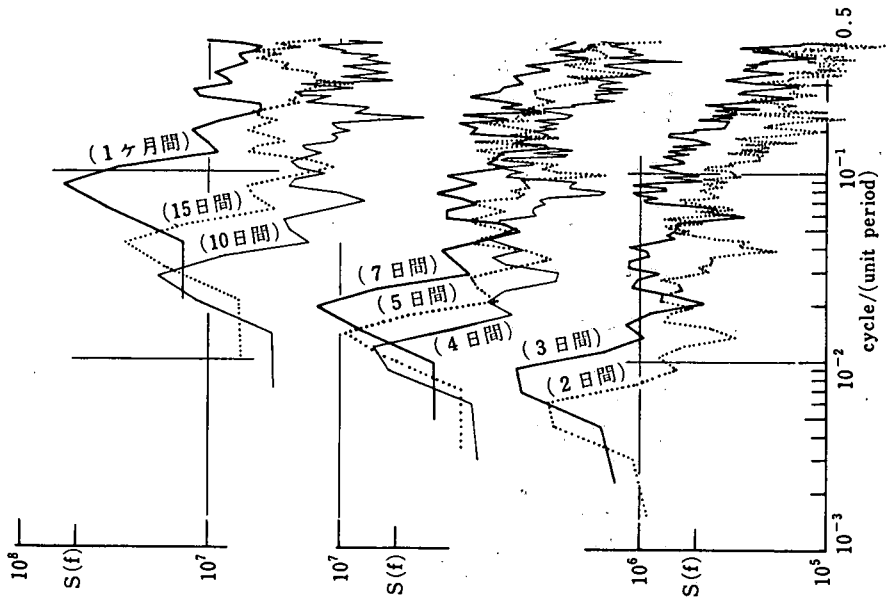


図10 渡川県同単位期間長別流量スペクトル

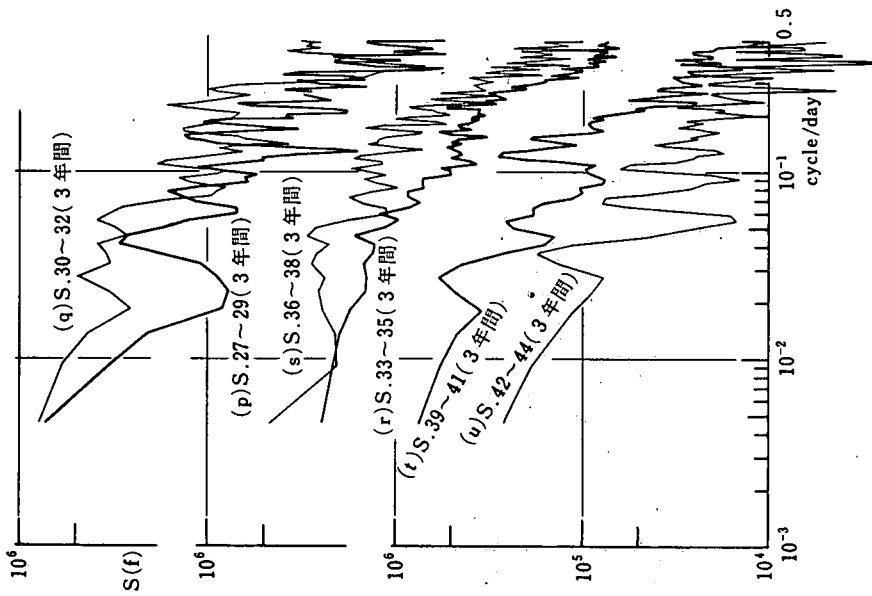


図9 渡川県同日流量スペクトル (6)

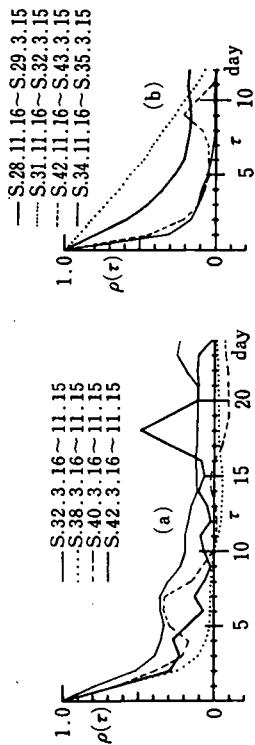


図12 時期別コレログラム

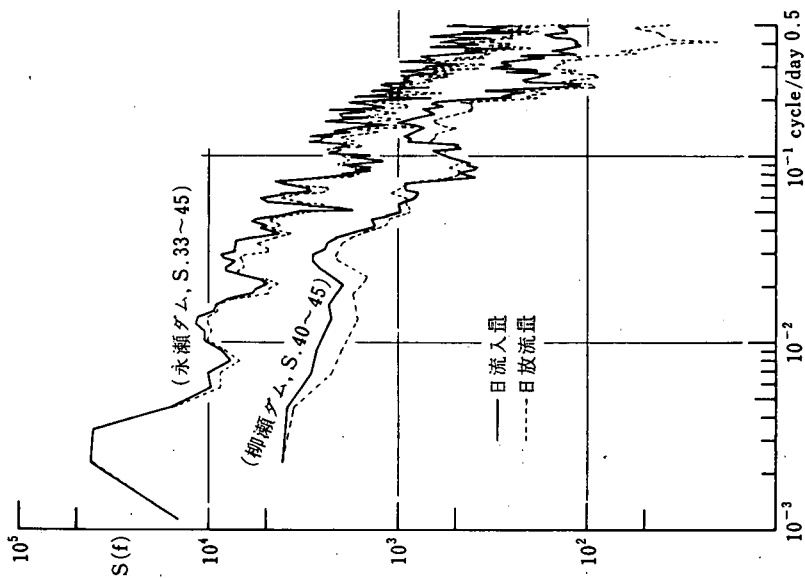


図11 永瀬ダム・柳瀬ダムの日流入量・日放流量スペクトル

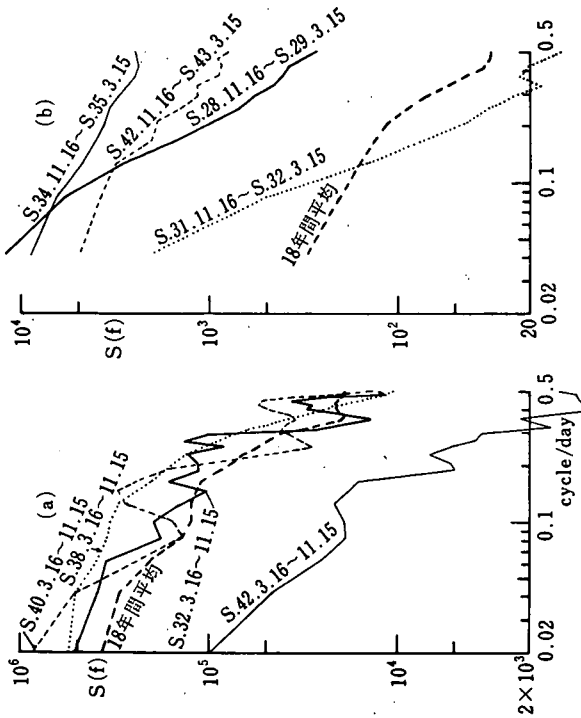


図13 時期別スペクトル

## IV. 考 察

日流量を対象とした場合は、18年間の資料によるものを真のコレログラムあるいはスペクトルと仮定すれば、14年間の資料によるものまではよく一致しているが、10年間の資料による場合は相違がやや目立ち、9年間以下になると資料区間毎の相違が著るしくなっている。また、多雨期間（昭和30～32年、 $\mu=136.2 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{day}$ 、 $\sigma=326.7 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{day}$ 、少雨期間（昭和42年～44年、 $\mu=78.7 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{day}$ 、 $\sigma=175.1 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{day}$ ）、およびその中間の期間（昭和33～35年、 $\mu=105.9 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{day}$ 、 $\sigma=210.9 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{day}$ ）のコレログラムとスペクトルをそれぞれ比較すると、大きな差があることに気付く。これと同様のことは日野<sup>3)</sup>によっても指摘されており、これらのことから日流量の時系列特性を調べるためには少くとも15年間程度の資料が必要であることがわかる。Adamowsky<sup>4)</sup>は45年間の日流量資料を用い、周期成分を除いた後の確率成分について計算し、15年間のデータを用いれば95%信頼限界で統計的に十分安定したスペクトル密度が得られると報告している。また、0.1 cycle/day 付近の日流量スペクトルに不連続部が存在するようであるが理由はよく分らない。

単位期間を1日から1ヶ月間まで次第に増加してゆくと、コレログラム・スペクトル両方とも次第に1ヶ年周期が明瞭になってゆく。スペクトルにおいては、約1ヶ月の周期より短い周期の波のもつエネルギーは両対数紙上で直線的に減少し、そのこう配も次第に緩になっており、単位期間が短くなるにつれてランダム性が增大することを示している。

一年間を3月16日～11月15日および11月16日～3月15日の2期間に分けてそれらの日流量の時系列特性を調べたが、特に有意な周期性は見出せなかった。パワーは前者が後者と比較して100倍程度大きい。期間あるいは対象とする量（気温・気圧・湿度 etc.）を変えれば周期性が見出せるかも知れない。

## あ と が き

渡川具同地点の18年間の日流量資料を用いてその時系列特性を種々の観点から検討した。もっと長期間のデータがあれば精度が上げられるであろうが、一応統計的に15年間で十分であるという基準が得られた。今後、日流量スペクトルの特性（不連続部の存在など）について理論的裏付けを進めたい。

本報文中の計算には京都大学大型計算機センター および高知大学計算センターを利用した。また、経費の一部は文部省科学研究費によった。記して感謝する。

なお、未文ながら、資料を提供して下さった建設省中村工事事務所に謝意を表す。

## 引 用 文 献

- 1) 近森邦英：高知市の雨量時系列に関する研究，高知大学学術研究報告 第20巻 自然科学 第9号，1971
- 2) 近森邦英：高知市雨量の分布形について，高知大学学術研究報告 第22巻 自然科学 第19号，1973
- 3) 日野幹雄：降雨一流出の相関関数・スペクトルおよびコヒーレンス，流出機構モデルの総合化に関する研究，吉川秀夫編，1970. 3
- 4) Spectral density of a river flow time series, J. of Hydrology, Vol. XIV, no. 1.

(昭和49年9月30日受理)