

② 雨量と流量と IV

球磨川神瀬の月流量推定について

菅原正巳

丸山文行

§ 1 目的および結果の概要

1.1 この研究の主なる目的は、球磨川神瀬の月平均流量を流域諸地点の月雨量、および上流の月平均流量から推定することにある。

1.2 雨量から流量を推定するには、先に那賀川小浜の月流量推定に用いた方式を適用した。球磨川については資料が不十分であつたりしたため、那賀川の場合ほどよい結果は得られなかつた。

1.3 球磨川については、上流の流量資料が與えられているので、これを用いて神瀬の流量を推定することができる。これは雨量からの推定よりも少々よい結果を與えた。

1.4 雨量による推定と、上流の流量による推定とは、1:2の重みをつけて平均して得られた推定流量は甚だよい推定を與えた。すなわち実測月流量の対数と、推定月流量の対数との相関係数は0.95になつた。この相関係数の値は那賀川で得られたものに匹敵するばかりでなく、推定誤差の大ききの点から言えば、那賀川の推定よりも優れたものである。流量の測定精度を考へ合せると、この推定は満足すべきものと言つてよからうと思ふ。

1.5 月雨量と月流量の関連性を調べる目的で、支流川辺川につき、仁田尾・五木の雨量と、栗鶴・四浦の流量との関係も調べられた。

1.6 神頼推定流量の正しさを検討する目的で、推定流量の季節的変動が調べられ、宮崎県の諸河川と比較された。

1.7 比較検討のため、全国の代表的河川の月流量の変動が計算され、また同一河川の上流と下流の月流量の間の相関々係が調べられた。これらは本研究の附録となっている。

§ 2. 資料について

2.1 興えられた資料を見易く表にしたものが第1図である。雨量資料において点線で表わしたのは欠測のある部分である。資料は一見かなり豊富であるように見えながら、不幸にして利用価値の点から見ると雑点が多かった。

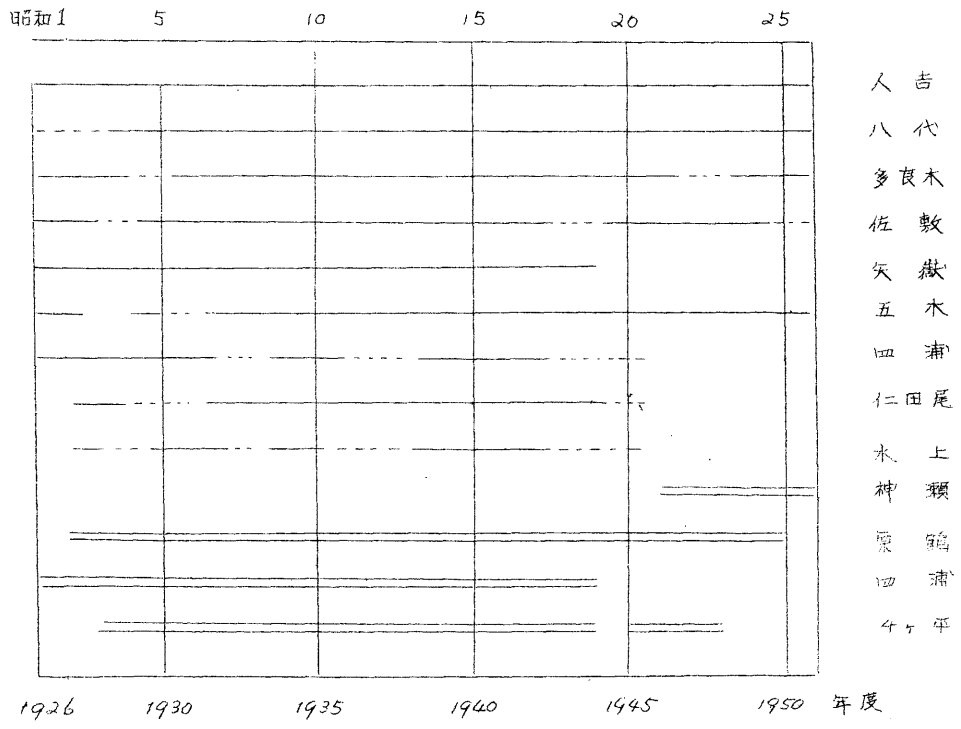
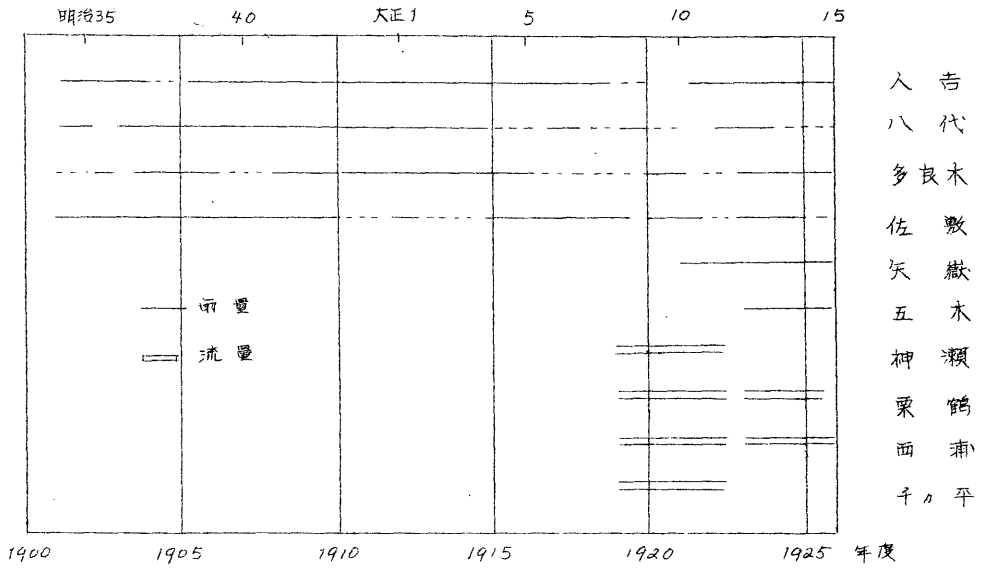
2.2 推定流量を求めたい神頼については、流量は大正8年1月より大正11年8月までと、昭和21年1月より昭和25年12月まで興えられている。

しかるに、不幸にして両期間ともに、雨量資料が豊富でない。

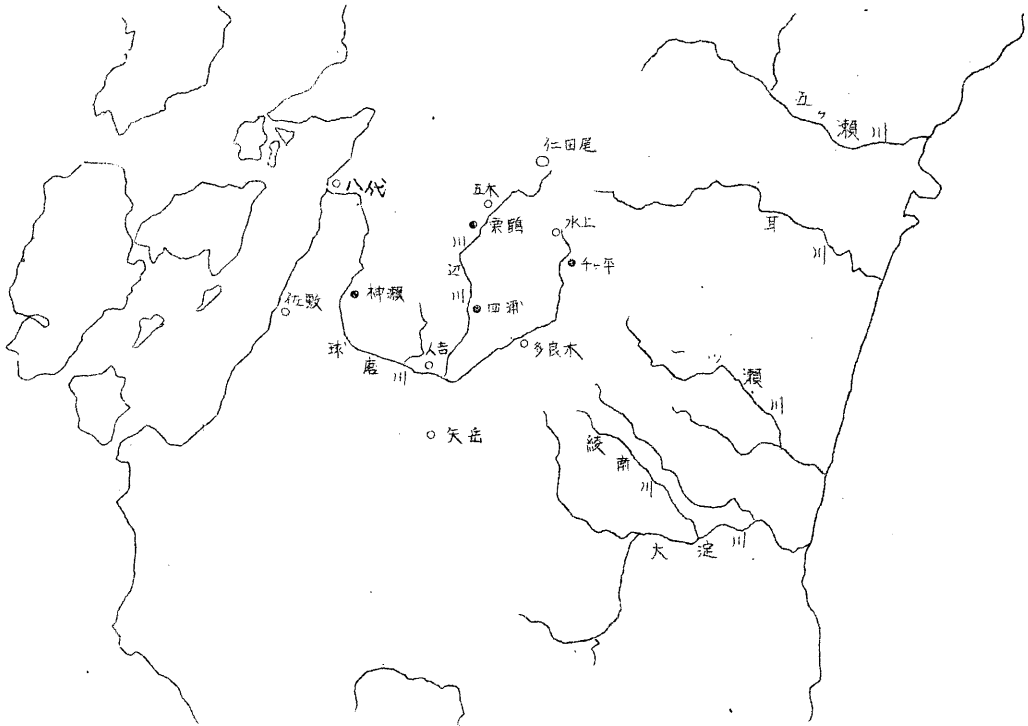
特に大正8年から大正11年までの期間については、雨量の欠測が甚だ多い。従つて雨量と流量との関連が甚だつき難いのである。また第2図を参照すれば明らかなように、神頼流量の興えられている期間に対する雨量資料のうち、八代、佐敷は神頼に対しては流域外の地点である。

従つて昭和2年より昭和19年に至る、豊富な雨量資料も十分には活用できないのである。

第1圖 雨量 流量資料



第 2 図



2.3 栗鶴、神瀬の流量については7年8ヵ月分の資料があるから、両者の関係を考えることができる。

2.4 栗鶴、四浦の流量と流域雨量との関係については昭和2年より昭和19年までの資料により、研究できる。千ヶ平流量についても同様である。

§ 3. 人吉の雨量より神瀬流量を推定すること。

3.1 この方式は結局成功しなかつたものであるが、以後の研究において参考になる点もあると思うので、ここに記録する。

3.2 昭和21年から25年までの月雨量記録をグラフに

插いてみると、人吉、多良木、五木、八代、佐敷、いずれも割合に似た値をとり、地点差による変動が少かった。特に人吉は、各地点のおよそ平均的な雨量であつた。

那賀川における研究では、流域の4地点または3地点の雨量から小浜の流量を推定したのであるが、流域の中央に近い坂州一地点の雨量だけからでも、かなりよい精度の推定が得られることがわかつた。

球磨川流域内において、略々中央に位し、しかも雨量観測年度の多い人吉を用いれば、神瀬の流量を推定することができると思つてみた。

3.3 人吉月雨量に対して、那賀川について行ったと同様の計算を試みる。すなわち、人吉月雨量(昭和21年~25年)の系列を $\{x_n\}$ とし、種々の繰り入れ率 r を用いて

$$Z_n = (1-r) \sum_{i=0}^{\infty} r^i x_{n-i}$$

を作る。 $\log Z_n$ と $\log y_n$ (y_n は神瀬月流量) との相関係数は次の通りである。

繰り入れ率	20%	25%	30%	35%	40%
相関係数	0.8731	0.8757	0.8740	0.8672	0.8582

繰り入れ率25%のときに相関係数は最大となる。 $r=0.25$ は、指数函数の半減期に直すと15日である。

球磨川の流量推定において、那賀川より雑点と思われることの一つは、冬に雪の降る影響である。すなわち、ある年度においては、11月、12月の降水量に比して流量が少く、それが翌年の3月頃に持ち越されている。そうでない年もある。この雪の影響を計算に入れるためには、冬期の温度資料が必要であるが

入手出来なかつた。

そこで、21年～25年の資料から冬期12月、1月、2月、3月の資料を除いた部分につき、 $\log Z_n$ と $\log y_n$ との相関係数を求めた。

繰り入れ率	25%	30%	35%
相関係数	0.9016	0.8992	0.8939

冬を除くと相関は大分よくなる。

3.4 雨量から推定した推定値のグラフと、実測流量のグラフを比べると、ある月は推定が過大に出て、翌月は過小に出ていることがよくある。これは雨量から流量への時間的遅れの影響によるものと思われる。すなわちある月の末に降った雨量が翌月の流量に現われるからである。繰り入れ計算はこの影響を平均的に消すような作用を持つが、個々の場合については、誤差の現われるのは致し方がない。かかる影響を消すには、流量および推定流量について1月と2月の合計、2月と3月の合計、3月と4月の合計、-----と2ヵ月ずつの移動和を作り、実測と推定との差異を見るとよい。実測流量と推定流量の移動和の対数について、相関係数をとつたものは次の通りで、前より更に相関はよくなる。

繰り入れ率	25%	30%	35%
相関係数	0.9138	0.9080	0.9010

3.5 推定流量と実測流量とを見比べると5月、6月頃に推定が過大に出る傾向が見える。これは利根川について、日雨量から日流量を推定する計算でも見られることで、農業用水などに水を取られる影響ではないかと考えた。そこで Z_n と y_n と

の相関図を眺め、視察により、5月より8月までの4ヶ月は $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水が蒸散で消えると仮定した。この仮定のもとで実流量、推定流量の対数の間の相関係数は次のようになる。

繰り入れ率	25%	30%	35%
相関係数	0.9023	0.9007	0.8931

相関係数は前より遙かによくなる。冬期を除いたものについて同様に相関係数を求めると次のようになる。

繰り入れ率	25%	30%	35%
相関係数	0.9261	0.9205	0.9119

更に2ヶ月ずつの移動和について相関係数を求めると、結果は次の通りである。

繰り入れ率	25%	30%	35%
相関係数	0.9388	0.9331	0.9254

これらの相関係数が相当大きくなったことは、かなり満足すべき結果と思われる。冬期を除いた2ヶ月ずつの移動和をとるならば、推定流量と実流量の相関係数は実に 0.9600 に及びるのである。

3.6 しかるに、ここで得られた推定式を、大正8年から11年の期間について適用すると、推定と実測の差異は相当に大きいのである。具合の悪い点を次に列挙してみよう。

a) 大正8年から大正11年までについては、この推定式は合わない。

b) 大正8年～11年において、 Z_n と Y_n の相関図を見ると、5月、6月において実測流量が過小に出ている。

c) 昭和21年～25年においては、月雨量は各地点とも似た値をとり、地点による変動が小さかつたのに対し、大正8年～11年においては月雨量の地異による変動がかなり大きい。

d) この方式で明治34年以來の流量を推定すると、5月の流量が異常に小さく出る。5月にあまり降雨のない年に、 $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水を蒸散させると、5月の流量は殆どなくなってしまうことがある。

このように雑臭の多くなった理由は、1) $50 \text{ m}^3/\text{sec}$ の水が蒸散するとしたのは過大見積りであったこと、2) 昭和21年～25年はいずれも降雨の多い年であったため、かかる年度でよく合う推定式であつても、他の年度、特に渇水年には適用できないであろうこと、3) 人吉のみの雨量を用いたこと、等によるものと思われる。

3.7 これを要するに、資料があまり多くなく、それがしかも豊水年ばかりであるとき、工夫をこらして相関係数を大にしても、その推定式はあまり信頼できないことになるであろう。昭和21年～25年に地点による変動が少かつたのに、大正8年～11年で多いことや、夏期の流量が一方では小さく、他方では小さくないことなど、種々疑問は多いけれども、このような場合は、あまり精巧な方式を用いず、およその性質を知ろうとするのが、大過ない方法ということになるであろう。

§ 4 各地点の雨量より神瀬の流量を推定すること。

4.1 大正8年～大正11年において、地点による月雨量の変動が大きいこと、および欠測が多くて、1カ所の雨量に信頼で

きないことにより、各地点の月雨量の平均と神瀬の流量との関係を求めることにした。

那賀川の研究においては、幾何平均を用いたが、数値的にはそう大きな差異がないので、今回は算術平均を用いることにする。

また、大正8年～11年には五木の雨量記録がないので、それに対応させるため、昭和21年～25年も一応五木の雨量を用いないことにした。

念のため、五木の雨量も加えて平均したものについても計算したが、結果は殆ど変らなかつた。

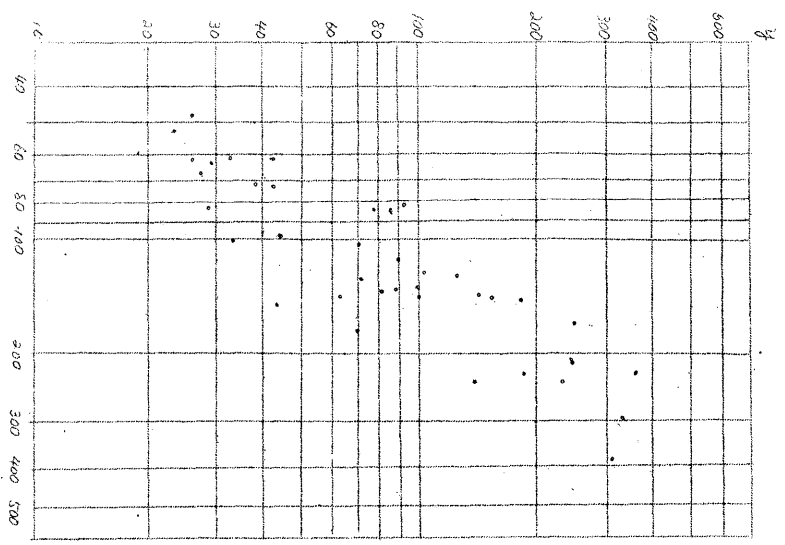
4.2 計算の仕方は前と同様である。各地点の月雨量の平均値の系列を $\{x_n\}$ とし、これに繰り入れ計算をした結果を、 $\{z_n\}$ とする。

z_n と神瀬の月流量 y_n との相関関係を、両対数方眼紙の上にプロットしたものが第3図である。これを見ると、大正8年～11年のものと、昭和21年～25年のものに、差異があるように思われる。この二つの期間は20年間距っているのであるから、川の様子や流域の様子、気象条件等にも変動があつたことと思われる。

また、流量測定技術の上にも進歩があつたであらう。

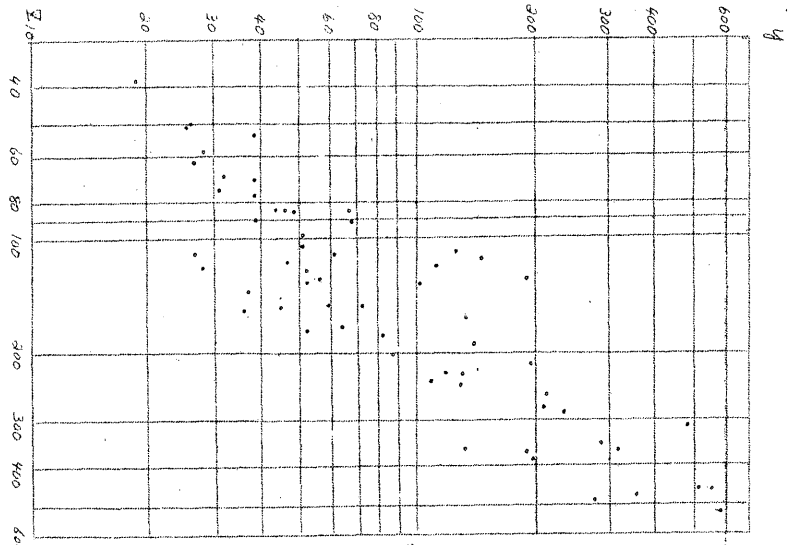
しかし、大正8年～11年の期間と、昭和21年～25年の期間を区別して、別の推定式を作つたところで、今度は雨量記録から、流量を推定する場合、いつまでを大正の推定式で推定し、いつからを昭和の推定式で推定してよいかわからない。

このような場合は、精度を上げることは一応断念して、大正期間と昭和期間とを平均化したような推定式を作る以外に方法がなからうと思われる。



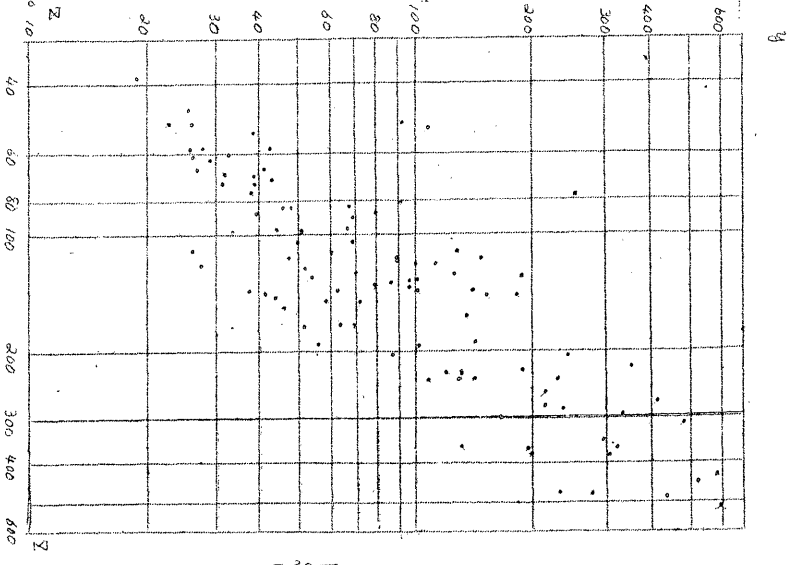
大正8.3 ~ 11.7

$n = 41$



昭和21 ~ 25

$n = 59$



大正8.3 ~ 11.9
昭和21 ~ 25

$n = 100$

第 3 区

4.3 $\log Z_n$ と $\log Y_n$ との間にはかなりよい直線的相関がみられる。相関係数を求めた結果は次の通りである。

大正期間と書いたのは大正8年3月～大正11年8月までの資料によるもの（大正8年1月，2月はあまりに点がとび離れるので，一応資料から省いた。一般に

観測所が開始した直後，廃止する直前，及び欠測の多い時期には，理解でき難い数字がよく現われる），昭和期間と書いたものは昭和21年1月より25年12月までの資料によるものである。

繰り入れ率	両期間合計	大正期間	昭和期間
25%	0.8709	0.8926	0.8732
30%	0.8706	0.8935	0.8713

昭和期間だけについていえば，先に入吉雨量から神瀬流量を推定したのと，殆んど同じ結果である。

これはこの期間に入吉雨量が各地点の平均的雨量を表わしていたことから，当然期待できる。

4.4 雪融けによる影響のない部分だけを調べれば，どのくらい相関係数がよくなるかを計算した結果を次に掲げる。

これは12月，1月，2月，3月を除いた資料から計算したものである。

繰り入れ率	両期間合併	大正期間	昭和期間
25%	0.8835	0.8837	0.8843
30%	0.8810	0.8825	0.8850

昭和期間では冬を除いたために相関がよくなるのに，大正期間

では逆に相関が悪くなるのである。

全体としては、冬を除いた方がやゝ相関がよくなるに過ぎない。

これについては、豊水期の流量測定に対する信頼性が少いことによるものとも考えられるけれども、あまりはつきりと判定はできない。

4.5 大正期間については、特に5、6月の流量が雨量に比して小さくなつてもいないので、§3. で行なつたような蒸散による補正を行わないことにした。

4.6 要するに、種々疑問の点は存するが、このような資料を基礎にした場合、あまり仮定を多くして精巧な方法を用いることはかえつて危険であるから、雨量に繰り入れ計算をしたものを Z_n とし、流量を y_n としたとき、 $\log Z_n$ と $\log y_n$ との間に直線的回帰関係があるとし、 Z_n から y_n を推定することにする。

相関係数が最大なのは繰り入れ率25%のときである。

$\log Z_n$ から $\log y_n$ を求める一次式を最小二乗法から定めると次のようになる。

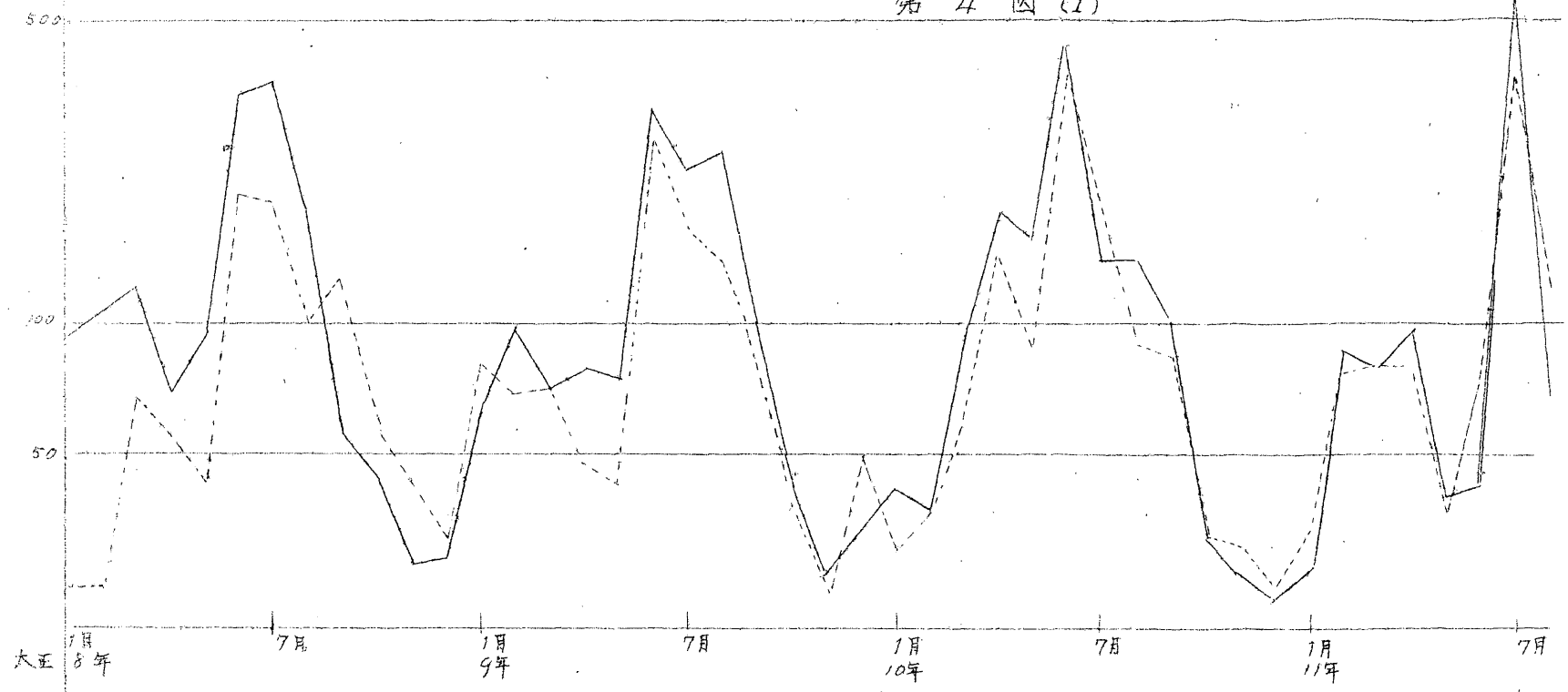
$$\log y = 1.2512 \log Z - 0.7689$$

4.7 上の推定式を用いて計算した推定流量と実測流量との関係をグラフで示したものが第4図である。

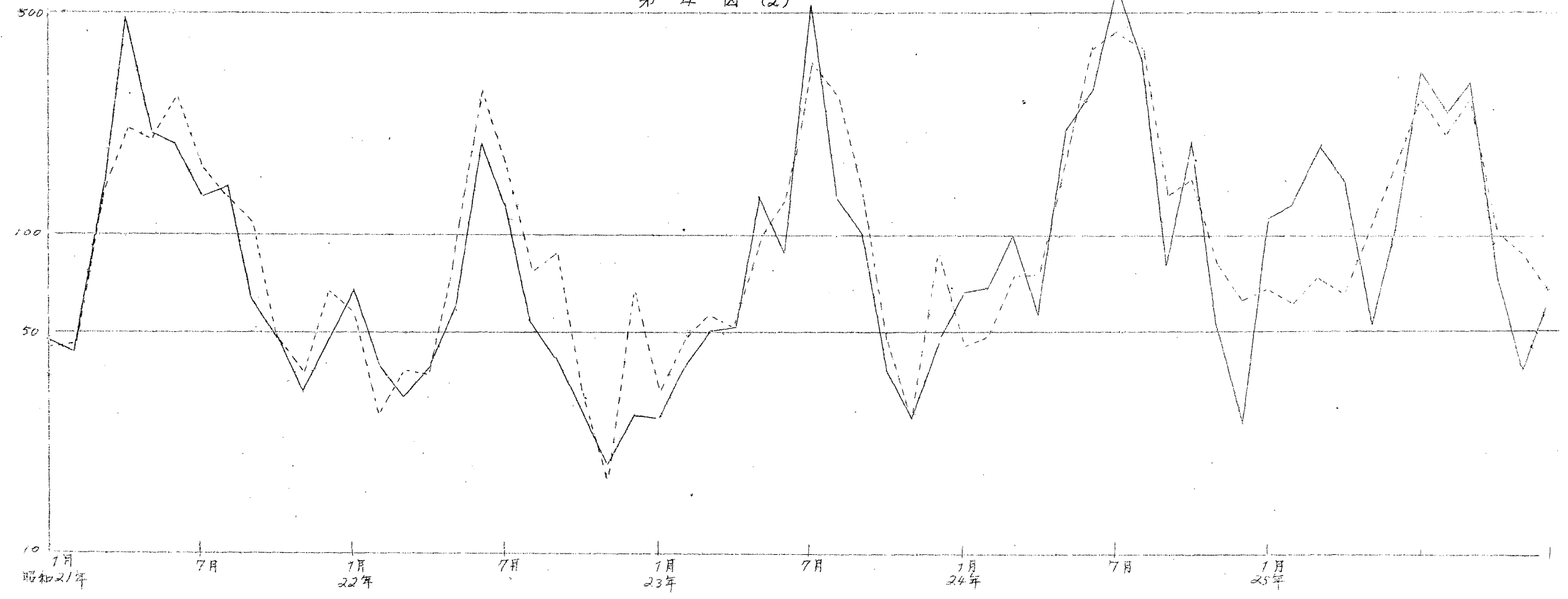
4.8 §3. で述べたように、月末の雨が翌月の流量になるために生ずる誤差がある。これは2ヵ月ずつの移動和を作ることにより、かなりその影響が消える。実測流量と推定流量の2ヵ月ずつの移動和について、その対数の相関係数を計算すると次の通りになる。

期 間	大正8年~11年 昭和21年~25年	大正8年~11年	昭和21年~25年
相 関 係 数	0.9129	0.9457	0.9128

第 4 図 (1)



第 4 図 (2)



相関はかなりよくなっている。

4.9 今迄の計算では、大正期間と昭和期間の釣合いを保つために、昭和期間において五木の雨量を用いなかった。

念のため五木の雨量を用いて昭和21年～25年の流量を推定することとする。

この場合、五木の雨量を加えて、そのまま平均する訳にはいかない。五木の雨量は人吉その他の地点に比べて平均的に多いからである。

人吉と五木の年間雨量を比較すると、五木では人吉のおよそ、1.23倍（これは人吉年雨量と五木年雨量の比の幾何平均をとつたもの）の雨が降っている。

そこで五木の月雨量を1.23で割り、これと他の地点の月雨量との平均をとつた。

この平均雨量を用いて計算した Z_n について、実測流量との相関関係を調べると、相関係数 0.8730 が得られた。すなわち五木の雨量を考慮しても、相関はよくなるらない。

昭和21年より25年までについては、人吉だけの雨量を用いたものも、平均雨量を用いたものも（五木を除いても、除かなくても）、相関係数は殆んど同じである。これは各地点の雨量が似かよつた値を示すことから、当然のことである。

4.10 雨量 x_n より流量 y_n を推定する式：

$$\log y_n = 1.2512 \log Z_n - 0.7689,$$

$$Z_n = 0.75 \sum_{i=0}^{\infty} (0.25)^i x_{n-i}$$

について少し考察する。

降雨が涵養され、そのまま全部指数函数的に流出するならば、上に計算された Z_n はそのまま y_n となるべきである。

もちろん Z_n は $m.m$ 単位で、 y_n は m^3/sec 単位で表わされて

いるから、換算は必要である。神頼に対する流域面積は、1,630 km²であるから、大の月の流量を mm 単位に換算するには、

$$\frac{24 \times 60 \times 60 \times 31 \times 10^9}{1,630 \times 10^{12}} = 1.643$$

を掛ければよい。すなわち 1.643 y が Z に等しいはずである。

しかるに最小二乗法で決定された Z と y との関係は、書き直すと

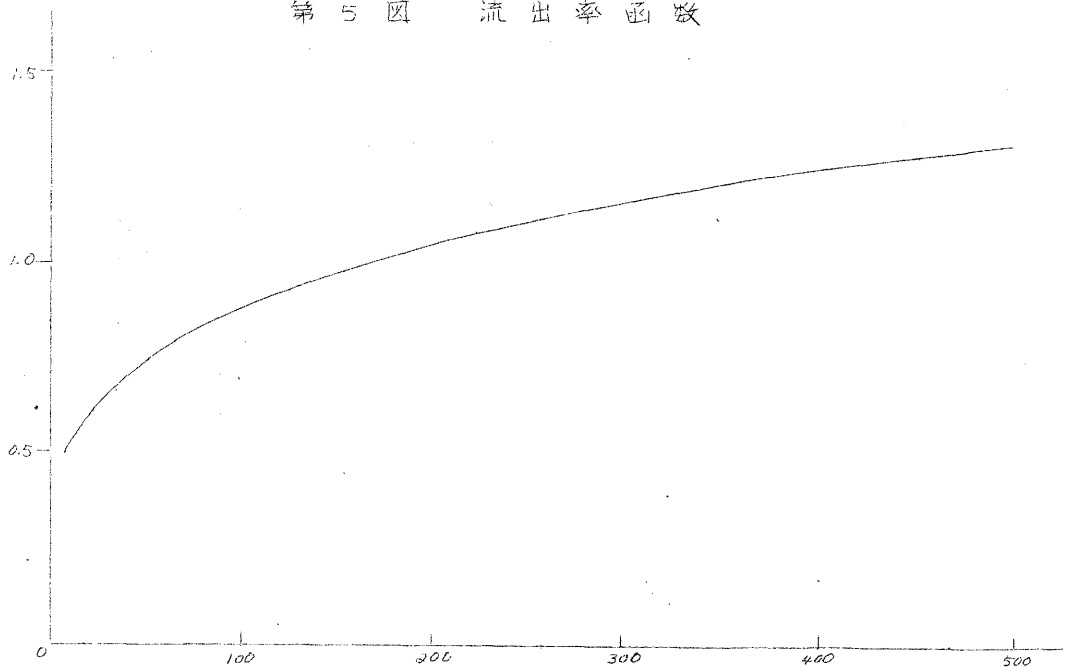
$$y = 0.1763 Z^{1.2512}$$

となる。こゝで y を mm 単位に換算し、それを Z で割ったものを w と置けば

$$w = 0.280 Z^{0.2512} \doteq 0.280 \sqrt[4]{Z}$$

となる。この w は降った雨が全部流出すると仮定した場合の流量（それが Z である）で、実際の流量を割ったもので、いわば流

第 5 図 流出率函数



出率ともいうべきものである。

上の w と Z との関係を図に示したものが第5図である。 w が Z とともに増すのは、当然と思われるが、 Z が大になると w が1より大になるのは流出率の意味から不思議に思われる。

しかしこれは山地には平地より多く雨が降ることから理解できる。即ち Z は平地の雨量から計算したものであるから、 Z に流域面積をかけたものに何割かの割増しをしたものが総雨量となる筈なのである。

w はいわば見かけの流出率であり、雨量から流量を求める場合の補正の函数ともいうべきものである。

更に注意すべきは、流量観測点の位置により、洪水流量を過大に算出する傾向のある所があるとすると、その影響も上の流出率函数の中に入ってしまうことである。従つて多くの河川について雨量と流量との関係を調べ、この流出率函数を求めて比較することは、実測流量のカリブレーションの意味からも必要であると思う。

§ 5. 神瀬流量の推定と、推定流量による日流量の変動について。

5.1 前節で得られた推定方式により、流域諸地点の雨量から神瀬の流量を求めることにする。

この際問題となるのは矢倉、五木、四浦、仁田尾、水上の各地の雨量資料をどのように利用するかということである。

5.2 地点による雨量の変動は甚だ不規則であるが、各地点の雨量の間にはおよそ比例関係がある。

そこで各地点の雨量が人吉の雨量のおよそ何倍であるかを、昭和2年以降の年雨量記録を用いて調べた。すなわち、各年度に

つき、各地点の雨量と人吉の雨量との比を求め、その幾何平均を求めたものは次の通りである。

矢嶽	1.50	五木	1.23	四浦	1.16
仁田尾	1.50	水上	1.48		

同様の計算を試みると八代は0.88、佐敷0.95、多良木1.02と出るのであるが、§5の計算では八代、佐敷等の雨量に補正を加えずに平均してしまつたので、今回はこのまゝ補正せずに用いることにした。

さらに町寧にするならば、年雨量よりも月雨量を用いて、各地点の雨量と人吉の雨量との相関関係を求め、山地の雨量を人吉の雨量に換算して置くべきであろうか、そこまでは手を盡さなかつた。

もともと、神瀬流量のある期間に山地の雨量記録が欠けてるのであるから、こゝで町寧な作業を行つても、流量推定の精度はそう向上しないであろう。

5.3 山間部各地点の雨量は、上に得られた倍率で割つて平地雨量に換算し、流域全地点の平地換算雨量の平均をとる。

その平均雨量から神瀬の流量を推定した。

第1表の大正7年以前の推定流量はこの方法で求めたものである。(大正8年以降のものは栗鶴の流量記録も利用してある。)

5.4 かくして得られた神瀬の推定流量を見ると、思ったより神瀬の流量が小さく出ている気がする。例えば大正6年、7年の冬の流量などは余りに小さいが、雨量資料は第2表の通りである。

我々の推定式がかかる異常渇水年に適用できるかどうかの疑問はあるが、このように降水量が少なければ、神瀬の流量が $10\text{ m}^3/\text{sec}$ を割ることもあり得よう。大正6年の人吉の年間雨量は実に 763 mm 、八代で 908 mm 、佐敷で 904 mm に過ぎない。

(第1表) 神瀬推定流量 (括弧内は実測値)

新谷川上流

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
昭和34年	48	38	66	92	62	347	455	128	50	56	32	27
35	16	15	43	126	211	208	196	147	148	106	61	45
36	49	32	80	127	151	85	260	76	42	66	44	30
37	17	12	61	102	75	274	163	27	24	55	44	26
38	43	46	107	110	166	328	386	512	211	96	51	43
39	30	56	48	40	177	274	129	104	146	102	46	40
40	38	30	52	66	56	166	226	59	90	86	57	22
41	24	15	33	142	90	187	225	136	106	54	21	43
42	59	61	89	74	44	220	326	179	162	112	74	43
43	105	55	100	92	75	253	138	54	157	95	56	20
44	36	25	86	89	141	285	183	74	101	88	38	46
45	45	50	68	97	45	148	499	157	127	95	59	49
大正												
2	28	21	19	128	117	237	70	56	77	34	31	52
3	37	52	102	80	225	329	85	69	52	90	55	38
4	21	57	68	223	101	468	197	73	103	95	48	27
5	21	33	34	82	97	305	304	118	105	66	38	18
6	8	11	17	12	10	107	80	87	96	51	26	8
7	9	4	44	68	51	148	188	188	75	73	71	33
8	83 (92)	86 (106)	99 (122)	71 (69)	66 (92)	175 (330)	190 (356)	131 (179)	73 (56)	38 (44)	32 (28)	36 (29)
9	72 (63)	87 (99)	75 (70)	73 (78)	68 (75)	205 (306)	161 (228)	153 (247)	95 (97)	40 (42)	33 (26)	66 (33)
10	43 (42)	57 (36)	92 (90)	137 (181)	109 (153)	394 (437)	143 (137)	121 (139)	72 (100)	34 (32)	34 (26)	26 (23)
11	34 (27)	93 (86)	86 (79)	92 (97)	45 (40)	66 (43)	465 (604)	94 (69)	105	50	38	17
12	35	41	86	168	126	313	660	189	204	160	127	48
13	35	51	45	93	153	145	153	265	92	64	42	40
14	36	36	40	36	93	120	147	72	139	55	54	61
15	50	50	82	57	69	122	339	65	205	53	35	55

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
昭和2年	38	45	118	133	63	141	85	272	161	82	44	43
3	83	78	63	66	60	337	276	217	133	49	72	64
4	32	30	51	57	79	130	476	75	65	40	38	54
5	45	47	161	152	135	140	124	209	64	37	37	28
6	87	112	82	93	91	76	421	128	59	51	37	50
7	32	40	45	66	117	119	258	209	86	44	39	47
8	41	34	72	115	85	103	111	171	78	69	54	35
9	31	34	78	90	68	63	55	35	93	69	45	35
10	31	49	55	88	63	458	362	130	186	83	39	48
11	25	32	52	215	119	115	505	195	80	34	27	20
12	33	65	101	82	95	119	151	98	174	104	60	39
13	44	54	73	65	197	242	200	87	63	130	36	34
14	38	37	96	70	57	158	92	82	56	54	40	28
15	21	70	63	79	34	97	195	213	307	69	37	49
16	53	58	67	158	103	95	339	166	100	143	47	53
17	44	54	67	75	65	346	127	136	102	48	22	20
18	17	24	34	69	150	233	248	125	227	53	51	32
19	25	36	34	70	164	104	124	92	148	42	75	44
20	21	23	52	50	47	168	295	257	299	188	52	55
21	42 (46)	43 (43)	122 (128)	175 (494)	167 (209)	183 (191)	192 (129)	154 (42)	73 (63)	37 (47)	30 (32)	63 (46)
22	79 (88)	42 (38)	46 (31)	50 (38)	85 (59)	213 (194)	145 (118)	52 (51)	49 (40)	21 (28)	12 (17)	34 (28)
23	33 (26)	46 (38)	65 (50)	43 (50)	88 (131)	83 (85)	473 (522)	168 (130)	113 (101)	38 (37)	26 (26)	74 (44)
24	70 (65)	67 (68)	108 (100)	62 (55)	180 (207)	316 (280)	633 (608)	394 (360)	77 (79)	163 (194)	51 (53)	50 (26)
25	68 (113)	62 (127)	74 (187)	65 (144)	107 (51)	180 (108)	266 (323)	208 (237)	261 (297)	101 (73)	88 (37)	66 (60)

第 2 表

	人吉	八代	多良木	佐敷	平均		人吉	八代	多良木	佐敷	平均
5年11月	27	35	88	77	57	6年5月	12	14	46	18	23
12月	12	23	41	30	27						
6年1月	4	11		24	13	6年11月	60	5	38	43	37
2月	5	7	47	56	29	12月	3	12	14	4	8
3月	11	42	81	51	46	7年1月				23	23
4月	7	7	24	66	26	2月	5	7	15	35	16

5.5 得られた推定流量の信頼度を確かめるために、推定流量を用いて、球磨川の月流量の変動を調べ、これを九州の他の河川と比較してみることにした。

河川の流量が月ごにどのように変化するかを知るため、それぞれ月を定め、例えば2月の月平均流量が年度によりどのように変動するかを調べてみる。

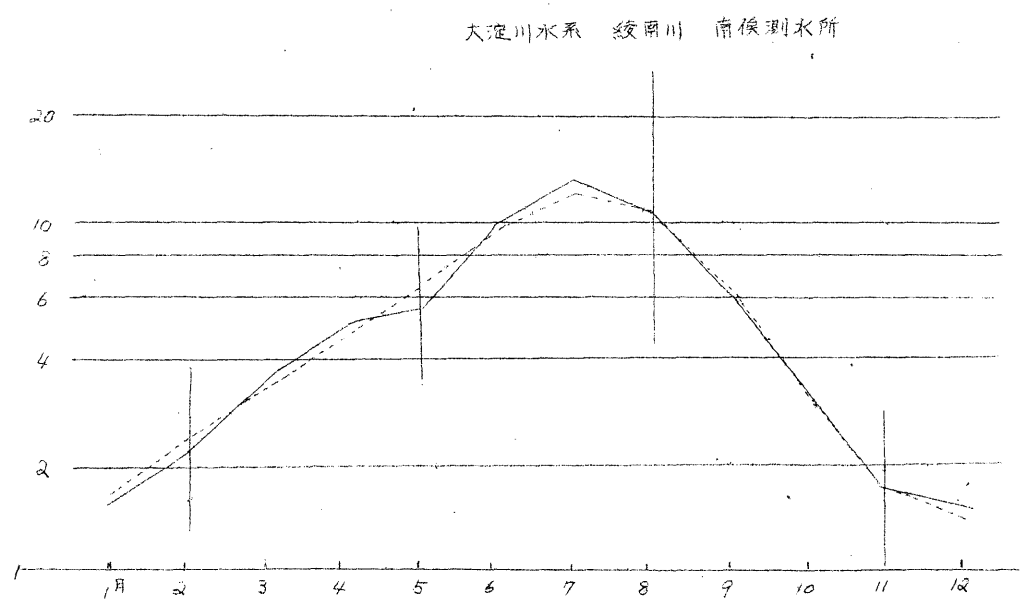
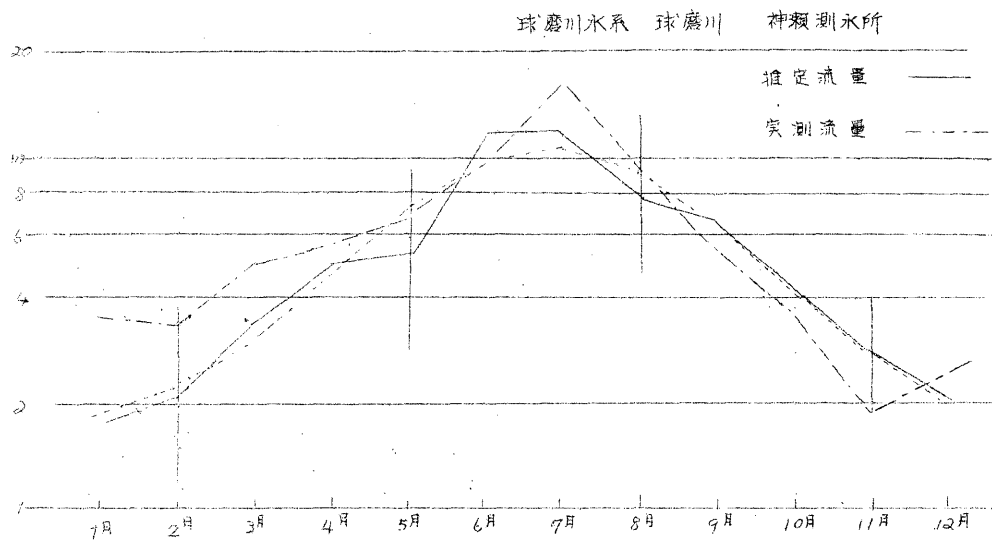
このとき分布のヒストグラムは流量の大きい方に長く裾を引き、非常に非対称な分布が得られる。

しかるに月流量の対数をとると分布のグラフはかなり対称に近づく。

そこで月流量の対数をとって、その分布を調べることとする。

5.6. 神瀬の推定流量の自然対数を取り、月別にその平均と標準偏差を求め、これを耳川、一ツ瀬川、綾南川(大淀川水

第 6 図



		100 km ² 当り月流量の自然対数の平均 (m) と標準偏差 (σ)														
河川名	測水所	流域面積	年数	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
球磨川	神	1,630	45	m	0.57	0.73	1.24	1.60	1.67	2.46	2.48	2.06	1.90	1.45	1.03	0.73
				σ	0.53	0.58	0.44	0.53	0.60	0.48	0.52	0.55	0.48	0.41	0.37	0.41
耳川	岩屋堂	374	17	m	0.95	1.17	1.65	2.01	2.00	2.25	2.67	2.55	2.07	1.69	1.08	0.91
				σ	0.23	0.33	0.31	0.39	0.37	0.48	0.51	0.62	0.51	0.46	0.28	0.24
一瀬川	黒原	403	19	m	0.56	0.98	1.60	1.95	1.81	2.45	2.68	2.86	2.14	1.34	0.63	0.46
				σ	0.50	0.54	0.63	0.57	0.42	0.57	0.77	0.69	0.83	0.54	0.33	0.33
綾南川	南俣	123(3) 133(23)	26	m	0.45	0.79	1.27	1.60	1.72	2.27	2.54	2.35	1.82	1.15	0.54	0.41
				σ	0.51	0.56	0.65	0.57	0.51	0.57	0.69	0.86	0.79	0.88	0.53	0.37

第 3 表

系)について計算したものと比較したのが、次の表(第3表)および第6図である。ただし比較に便利なように、流量は 100 km^2 当りに換算した。

第6図の点線は月流量の季節変化をフーリエ級数に展開し、その第2項までをとって近似したものである。また図の縦線は、平均値の上下に σ だけの幅をつけたもので、もしも分布が正規型ならば、平均値 m の両側に σ の幅をつけた中に、全体の約 $\frac{2}{3}$ が、 2σ の幅をつけた中に全体の約95%が、 3σ の幅をつけた中に殆んど全部が含まれることが期待されるのである。

第6図を見ると、神瀬の推定流量を用いて計算した月流量の変動の様子が、宮崎縣の諸河川と甚だよく似ていることがわかる。

これは我々の得た神瀬の推定流量がかなり信頼できるという一つの証據になると思う。

5.7 流量の変動の様子が第6図のグラフのようになる河川には、他に熊野川、那賀川、渡川等がある。

これらは8、9月頭に1つの極大を持ち、季節による変動も、また年度による変動も大きい河川である。

5.8 第6図の球磨川について描かれた鎖線は、昭和21年～25年の実測流量についてその村数の平均をとつたものである。5年間の平均値が $\frac{\sigma}{\sqrt{5}} \doteq 0.45\sigma$ なる標準偏差を持つことを考慮に入れるならば、5年間の平均と45年間の平均とが、第6図に示すような差を示すことは、珍らしくないのである。

§ 6. 栗鶴流量から神瀬流量を推定すること。

6.1 栗鶴流量と神瀬流量との関係は、大正8年1月より17年8月までと、昭和21年1月より昭和24年12月までの合計7年8月間について調べることができる。

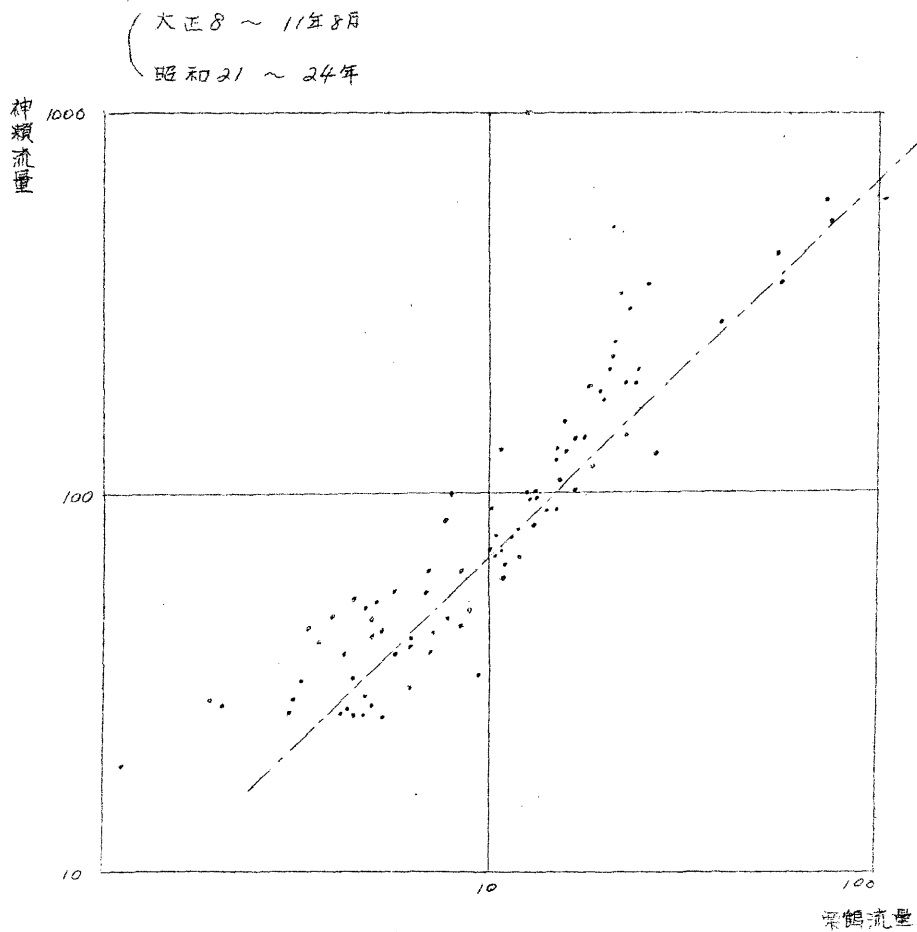
6.2 栗鶴流量と神瀬流量を両対数方眼紙にプロットすると、第7図に示すようにかなりよい相関が見られる。

神瀬の月流量を y_1 、栗鶴の月流量を y_2 とすると、 $\log y_1$ と $\log y_2$ の間の相関係数は 0.9304 である。

栗鶴流量から神瀬流量を推定する一次式を最小二乗法で求めると

$$\log y_1 = 0.956 \log y_2 + 0.934$$

である。必要な誤ではないか、神瀬流量から栗鶴流量を推定す



る式は

$$\log y_2 = 0.905 \log y_1 - 0.720$$

である。

もしも栗鷲と神瀬の流量の比が流域面積比に等しいならば、点は第7図の鎖線の上に乗るはずであるが、点がその上側に多いのは、流域面積比よりも神瀬流量が大きいことを示している。

6.3 4ヶ平流量についても同様の計算をすべきであるが、時々流域面積の変更があつたらしく、資料に不十分の点があつたので利用しなかつた。

§ 7. 神瀬流量の推定

7.1 神瀬の推定流量としては、雨量によるものと、栗鷲流量によるものの二種類が得られた。そこでこの両者を組合わせて、神瀬の流量を推定することにする。

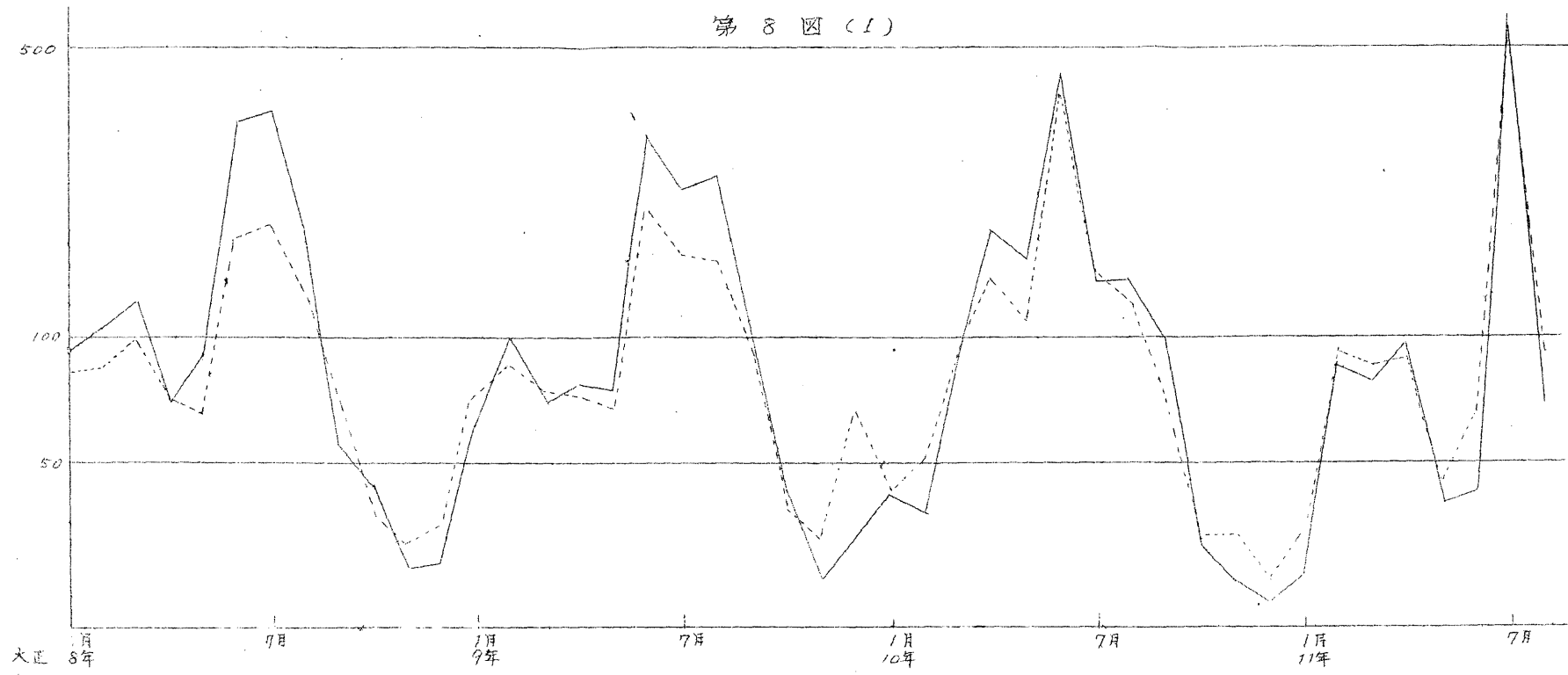
7.2 神瀬の流量を y とし、雨量からの推定値を η_1 、栗鷲からの推定値を η_2 とする。

($\log y - \log \eta_1$) の標準偏差は 0.1808, ($\log y - \log \eta_2$) の標準偏差は 0.1347 に等しい。この標準偏差の平方の比は 1.8:1 である。この比はおよそ 2:1 であるから、栗鷲からの推定値に2倍の重さをつけ、 $\eta = \frac{\eta_1 + 2\eta_2}{3}$ により神瀬の流量を推定することにした。

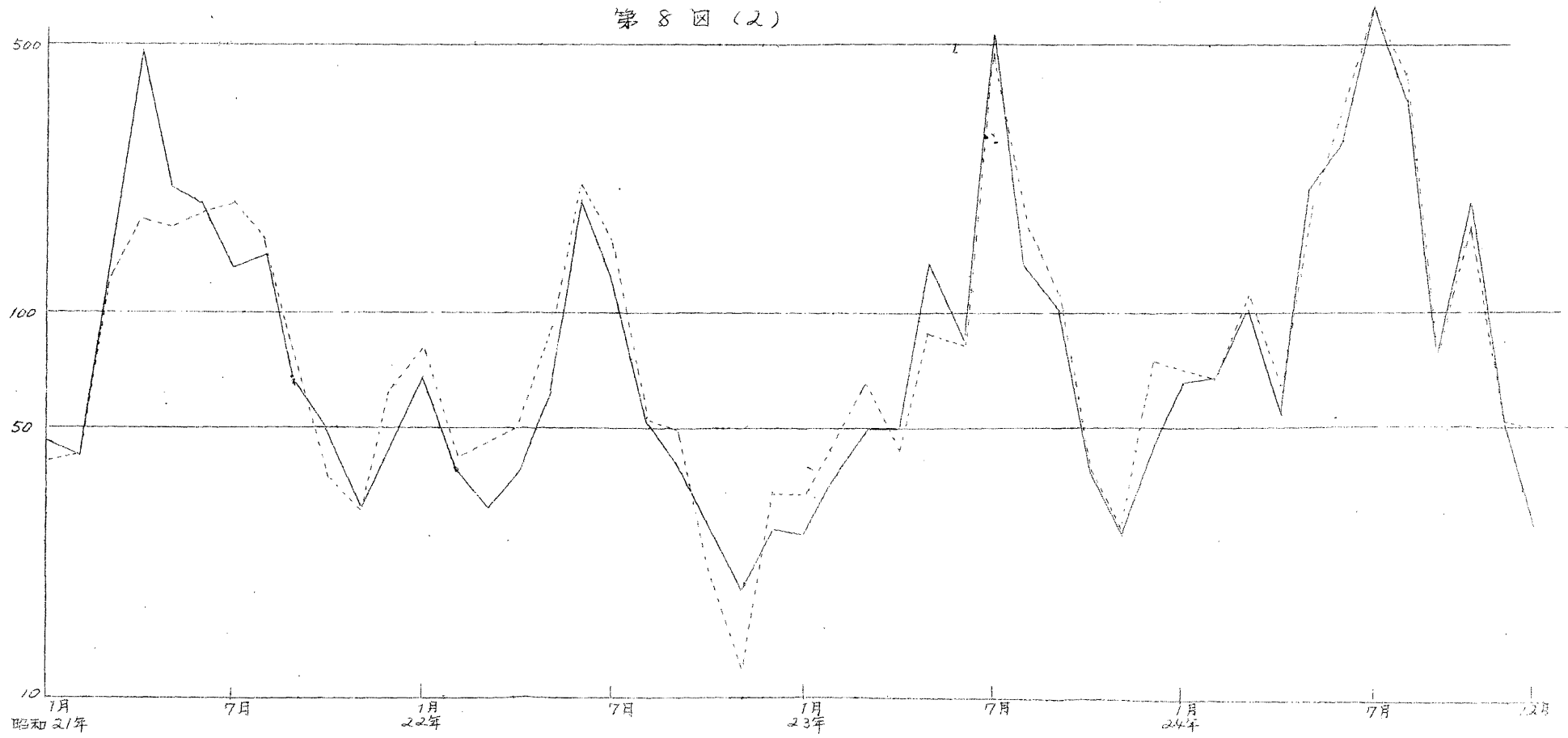
7.3 第1表は栗鷲流量が既知の年度に対しては上の方法によつて推定した流量を記したもので、栗鷲流量のない時は四浦流量から栗鷲流量を推定し、これを用いた。

両者の流量がともに欠けている年度については、雨量より推定したものが記してある。

第 8 图 (1)



第 8 图 (2)



7.4 第8図は推定流量を実測と比較したもので、これを第4図と見比べることにより、この推定の方がはるかによいことがよくわかるであろう。

7.5 雨量、栗鴿流量の両方を用いて推定した流量と、実測流量とにつき、その対数を取り、その相関係数を求めると次のようになる。

	大正8年1月 ～ 11年8月	昭和21年1月 ～ 24年12月	両期間合併
相関係数	0.9630	0.9560	0.9502

7.6 上に得られた相関係数0.9502なる値は十分満足すべきものと思われる。

雨量による推定と、栗鴿流量による推定との誤差が互に独立であれば、その平均による推定と実測との相関は更に大きく、0.97程度になることが期待される。

しかし昭和21年4月の流量の如きは、雨量から考えても、栗鴿流量から考えても、4ヵ月平流量から考えても、このように大きく出る理由が理解できないものであつて、このようなものもあるから、相関係数が0.95までになれば、流量測定の誤差の範囲にかなり近づいているものと考えられる。

§ 8. 栗鴿流量と四浦流量との関係について。

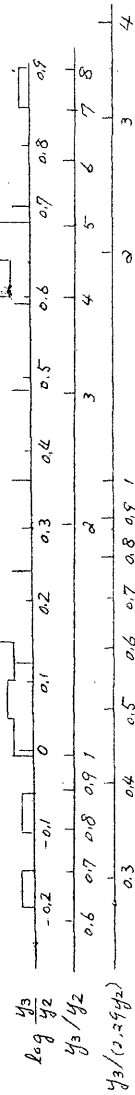
8.1 栗鴿流量は大正14年11月から大正15年12月までの14ヵ月、資料の欠けている所がある。

この節の目的は、この期間の栗鴿流量を四浦流量から推定することである。

8.2 まず考えられることは、両地点の流量の間に、およそ比例関係があるだろうということ、およびその比例定数はおよ

その流域面積比になるであろうということである。これを確かめるために、次の計算を行なう。

第 9 図



8.3 栗鶴の月流量を y_2 、四浦の月流量を y_3 とし、
 $\log \frac{y_3}{y_2} = \log y_3 - \log y_2$ の分布を調べる。このヒストグラムが第 9 図である。分布はおよそ左右対称で、正規型とみても

よい。その平均値は 0.360 , 標準偏差は 0.1182 である。

0.360 の真数は 2.29 であるから、上の結果は、四浦の流量は栗駒流量のおよそ 2.29 倍ということを示す。

8.4 四浦の流域面積は 501 km^2 , 栗駒の流域面積は 242 km^2 であるから、流域面積比は 2.07 である。すなわち栗駒は四浦より上流であるが、 100 km^2 当りの流量は四浦より 10% ほど少いことになる。これはやゝ常識に反するが、資料からはそのように出て来る。

8.5 $(\log y_3 - \log y_2)$ の標準偏差は 0.118 である。この真数は 1.312 である。つまり、栗駒流量に 2.29 を掛け、これと四浦流量とを比較するとき、両者に 30% 程度の違いのあることはかなり多いのである。標準偏差の 3 倍は 0.348 で、この真数は 2.23 であるから、一方が他方の 2 倍以上になることは殆んどない。これは第9図のヒストグラムの示す所とよく合っている。

8.6 $(\log y_3 - \log y_2)$ の平均値 0.360 、標準偏差 0.118 は、標本数 282 から得られたものである。従つて統計的に言えばこの平均値はかなり信頼できる。すなわち真の平均値が、 $0.360 \pm 3 \times \frac{0.118}{\sqrt{282}}$ の区間の外へ出ることは殆んどないと期待してよい。この区間は $(0.339, 0.381)$ である。

流域面積比 2.07 の対数は 0.316 であるから、両地点の流量の比は、流域面積比と明らかに異なるということになる。

上の結論は統計的に出したものであるが、 100 km^2 当り流量を比べると、栗駒より四浦が 10% ほど多いということが正しいかどうか疑問の点もある。流量測定 of 誤差がかなり大きいと見られるからである。

8.7 栗駒、四浦の流量の関係を更に調べるため、両対数方眼紙に点を打つて、両者の相関関係を調べたのが第10図である

栗鶴流量の対数 $\log y_2$ と、四浦流量の対数 $\log y_3$ との相関係数は 0.9411 である。

最小二乗法により定めた、四浦流量より栗鶴流量を推定する式は

$$\log y_2 = 0.8533 \log y_3 - 0.1593$$

同じく、栗鶴流量より四浦流量を推定する式は、

$$\log y_3 = 1.0203 \log y_2 + 0.3427$$

である。

上の式を用いるときの誤差の標準偏差は、0.1068、下の式を用いるときは 0.1178 である。すなわち、これらの式を用いて推定した方が比例定数をかけて推定したときよりも誤差は幾分少ないのである。最小二乗法の意味から言つて、これは当然である。

8.8 第10図の相関図を見るとわかるように、流量が大になる程、四浦の方が栗鶴より流量が大きくなる傾向がある。

一般に河川の流量は下流に行くほど平均化されるのが普通で、上流ほど豊満の差が甚しく、下流に行くに従つて一様に近づかずであると思われるのに、栗鶴と四浦を比べると、栗鶴の方がかえつて流量曲線に凸凹が少いのである。

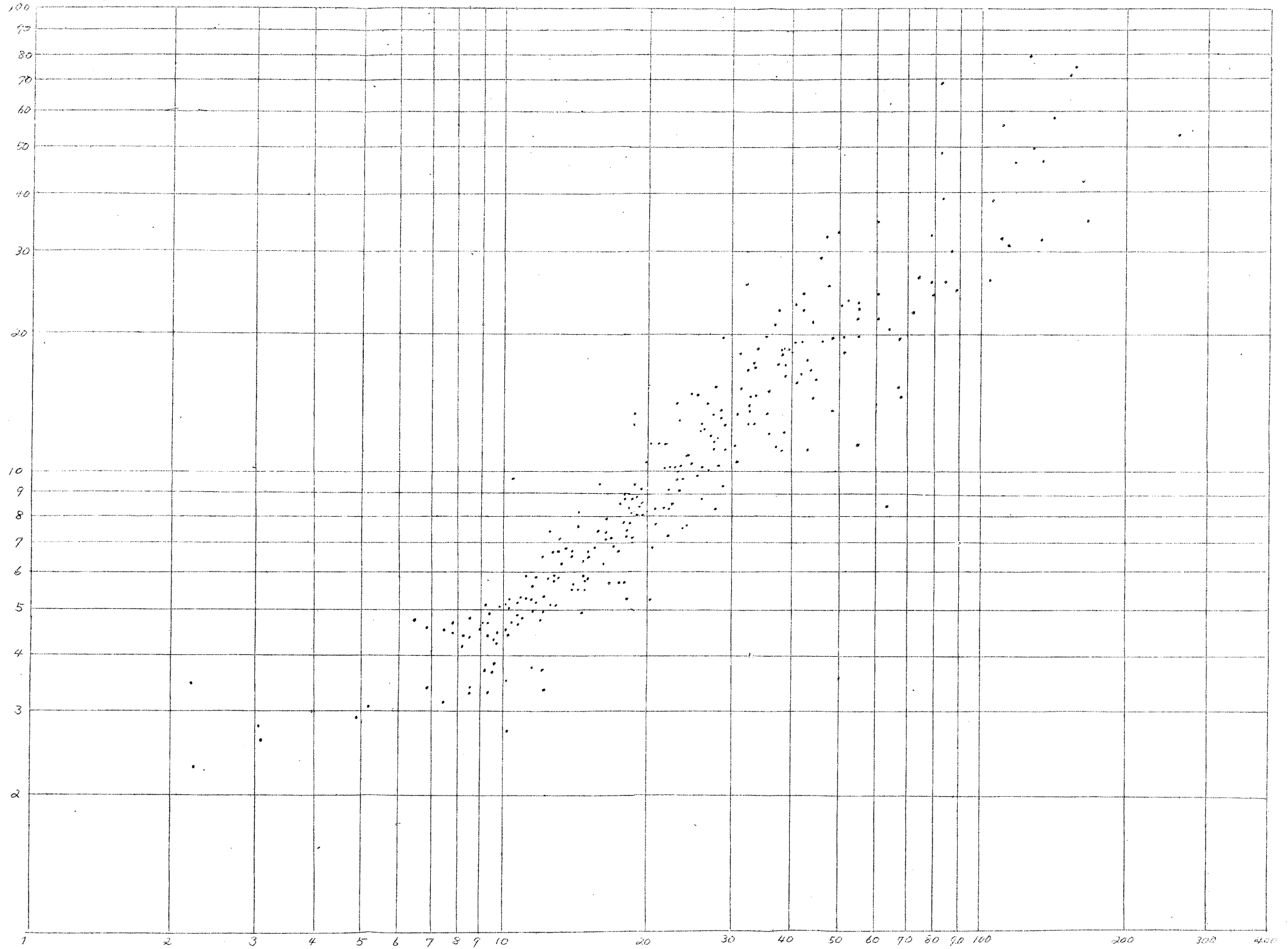
これはやゝ常識に反することである。ある測水所では滞水等の関係があつて、水位が上がるほどには流量が増さないということがあれば、水位から計算した流量は豊水時には過大に見積ることになる訳で、四浦の方が栗鶴より豊満の差が大きいというのは、流量測定に関する規則的な誤差によるものかも知れない。

100 km² 当たり流量に換算したとき、四浦の方が栗鶴より流量が多いというのも、このような原因によるものかも知れない。

8.9 上流の流量から下流の流量を出す場合、幾分の時間的

泉鶴流量

第 10 図



折込四十(中)

四三三

遅れがある訳である。この関係も雨量と流量との関係に幾分似ているであろうと思われる。そこで上流の流量に対して、ある繰り入れ率で繰り入れ計算をすれば下流の流量が出るであろうと想像される。

しかるに栗駒流量を10%の繰り入れ率で繰り入れ計算して四浦流量と比べると、相関係数は0.9345となり、かえつて悪くなるのである。繰り入れ計算は、曲線を平均化し、凸凹を減らす作用があるのだから、相関が悪くなったのは、当然であろう。しかし、これについては、実測資料に幾分疑問を残したい。

8.10 第4表は四浦流量より栗駒流量を推定したものである。比較のため、流域面積比を用いたもの、比測係数2.29を用いたもの、推定式 $\log y_2 = 0.853 \log y_3 - 0.159$ を用いたものを併記する。

第 4 表

	流域面積比 四浦 $\times \frac{1}{2.07}$	四浦 $\times \frac{1}{2.29}$	最小二乗法により
大正14年11月	6.7	6.1	6.5
12月	8.6	7.8	8.1
大正15年1月	8.3	7.4	7.8
2月	7.4	6.7	7.1
3月	12.8	11.5	11.3
4月	7.5	6.8	7.2
5月	7.4	6.7	7.1
6月	14.5	13.1	12.7
7月	85.8	77.5	57.5
8月	8.5	7.6	8.0
9月	46.9	42.4	34.4
10月	6.8	6.2	6.6
11月	4.0	3.6	4.2
12月	7.5	6.8	7.2

§ 9. 流量推定の誤差および流量測定の誤差について

9.1 前節までで、神瀬および栗鷲の流量を推定するという我々の目的は一応達したのであるが、推定値の誤差について考えてみたい。

9.2 推定流量を η 、実測流量を y とするとき、 $\log y$ と $\log \eta$ との間の相関係数を大きくすることが、我々の目当てであった。 $\log y$ と $\log \eta$ との間の相関係数を r 、 $\log y$ の標準偏差を σ とすれば、 $\log \eta$ により $\log y$ を推定したときの標準偏差は $\sigma\sqrt{1-r^2}$ である。

y は実測流量であるが、それは真の流量に対してある程度の誤差を持つであろう。従つて $\log \eta$ により $\log y$ を推定するときの誤差は、推定の誤差（これは雨量の地域変動によるものが大きな部分を占めるであろう）と、測定の誤差とを合成したものである。これがそれぞれどの程度のものであるかを考えるために二三の考察を行いたい。

9.3 我々は先に流域各地点の雨量の平均から神瀬の流量を推定し、相関係数 0.5709 を得た。このときの推定の誤差の標準偏差は 0.151 である。

我々は先に那賀川において、 $r=0.35$ で繰り入れ計算を行つたとき、相関係数 0.9231 を得たのであつた。

これは今回の神瀬で得られた結果よりよく見えるが、那賀川でかかるよい結果が得られたのは、那賀川では豊満が甚だしく、流量の分散度が大であつたことによるのである。推定の標準誤差について見ると、那賀川の結果は 0.161 となつて、神瀬の場合とそう変わらないのである。

那賀川については、更に工夫の結果、相関係数を 0.9524 にまで上げることに成功したが、その場合、推定の標準誤差は 0.137 である。那賀川の冬口と小浜の月流量の対数の間の相関係数が

0.9496 であることを考え合わせると、こゝに得られた 0.9524 なる相関係数は好運による所も多いと思われる。

神瀬流量の推定については、栗鶴の流量も利用した結果、相関係数 0.9502 なる結果を得たが、これによる推定の標準誤差は 0.115 である。

9.4 上に得られた誤差は、流量の常用対数についての誤差で、相対誤差に当たるものである。

例えば神瀬流量を雨量から推定する場合の標準誤差 0.151 は、 $\log 1.52 \div 0.151$ 、 $\log 0.66 \div -0.181$ だから、+50% 乃至 -30% 程度の相対誤差はかなり起り得ることを示している。

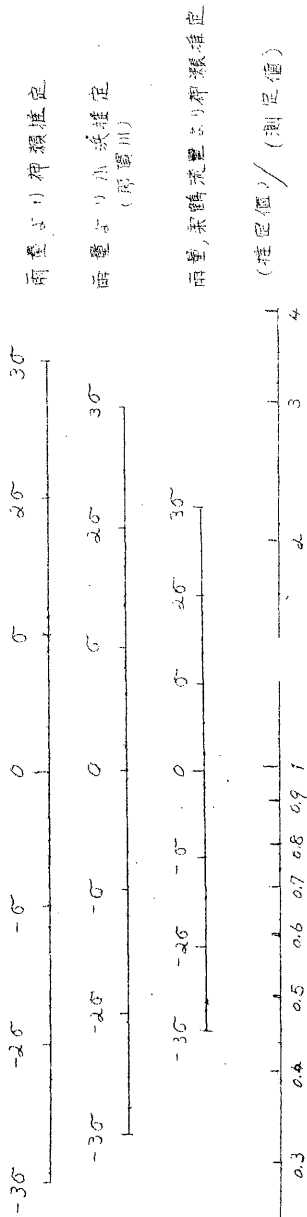
那賀川の場合の好運によるかとも思われる相関係数 0.9524 のときの標準誤差 0.137 も、相対誤差に直すと +37% 乃至 -27% の誤差はかなり起り得ることを示す。

神瀬推定の最終結果（栗鶴流量と雨量とを利用して得られた相関係数 0.9502）も、相対誤差に直すと +30% 乃至 -23% の誤差がかなり起り得ることを示している。

以上は標準誤差を考えているのであって、標準誤差の3倍程度の誤差までは、たまに起ることを覚悟しなければならぬ。そうすると推定が実測の2倍乃至 $\frac{1}{2}$ に出ることも覚悟しなければならぬし、事実そのようなことも起っているのである。（第11回参照）

9.5 推定が実測に比し2倍乃至 $\frac{1}{2}$ 程度の値をとることもあるという、推定の精度が甚だ悪いように思われるが、このように推定の精度が悪い一半の原因は流量実測の精度に起因すると思われる。例えば栗鶴、四浦の月流量を比較してみると、四浦の流域面積は栗鶴の約2倍であるに拘らず、四浦の月流量が栗鶴より小さいことが28例中2例あり、四浦の月流量が栗鶴の4倍より大きいことが8例ある。

第 11 図



これにより実測流量が真の値の2倍乃至 $\frac{1}{2}$ 程度の値を示すこともあり得ると考えられる。

9.6 流量測定値の精度に関する考察をするため、同一河川のなるべく近い二地点を選び、実測月流量値を比較した。下の表はその結果の一部を示す。

表中、月流量比とあるのは、下流の月流量を上流の月流量で割り、その幾何平均をとつたものである。

その次の欄にある、(月流量比/面積比)というのは、一方の地点から流域面積比で他方の地点の流量を計算した場合、どの程度の誤差が出るかを示したものである。この比が1より大きいのは、 100 km^2 当たり換算したとき、下流の方が流量が大である場合である。

相関係数という欄は、二地点の流量の対数の間の相関係数である。これらは相関係数の大きい例を選んだのであるが、庄川の木谷と鳩ヶ谷の間の相関係数 0.9874 などは甚だよい相関を示している。

その次の標準誤差という欄は、最小二乗法により定めた一次式を用いて上流の流量から下流の流量を推定した場合

第 5 表

水系名	河川名	測水所 流域面積	流域 面積比	流量比	流量比 面積比	相関係数	標準誤差	標準偏差 の比	調査期間	資料数
利根川	吾妻川	箱島(1260)白井(1360)	1.079	1.000	0.927	0.9675	0.048	0.832	13~15 <small>年</small>	34
北上川	後,石川	鮎沢(682)北成島(948)	1.390	1.298	0.934	0.9553	0.065	1.002	13~18	72
北上川	和夏川	無地内(445)赤石(686)	1.546	1.609	1.041	0.9755	0.070	0.940	16~19年 研	42
一ッ瀬川	一ッ瀬川	村所(313)黒瀬(403)	1.892	1.690	0.893	0.9774	0.095	1.062	13~18	72
五ッ瀬川	五ッ瀬川	吐瀬(322)永崎(533)	1.655	1.346	0.813	0.9658	0.057	1.045	13~15	36
志川	庄川	木谷(512)鶴ヶ谷(585)	1.143	1.789	1.040	0.9874	0.043	1.045	15~18	48
庄川	庄川	鶴ヶ谷(585)赤白川(712)	1.219	1.473	1.208	0.9511	0.091	1.089	13~18	72
球磨川	川辺川	黒崎(642)四浦(504)	2.070	2.291	1.107	0.9411	0.118	1.103	大8~昭18 (除.大15)	282

合の誤差の標準偏差である。標準誤差の最小は庄川の木谷と鳩ヶ谷で、 0.043 である。 0.043 の真数は約 1.105 であるから、約 10% の誤差である。標準偏差の3倍を超える誤差が殆んどないことを考えるならば、 30% 程度以上の相対誤差は殆んどないことになる。しかし附録2を見ればわかるように、このように相関がよいのは、むしろ例外であるらしい。

9.7 近接した二地点の流量測定値の間の相関係数が大であることは、必ずしも流量測定値の正しさを保証しないことに注意したい。近接した二地点では、種々の状況が似ているため、同様の誤差を生じやすいからである。

しかし相関係数が大であることは、ある意味で測定値の信頼度を高める。すなわち、この測定値が正しくないとしても、適当な補正により補正し得ることを示しているからである。

9.8 流量測定にある程度の補正を要するであろうということは、第5表からも察せられる。例えば庄川の鳩ヶ谷と小白川を比べると、小白川の方が 100 km^2 当たり換算して 20% 程流量が大きく出ている。このように小白川の流量が大きく出るのは、流量が大きいときに、小白川は鳩ヶ谷に比べて流量が大きく出る傾向があるからである。

第5表の標準偏差の比の欄の 1.089 はこの傾向を示すものである。すなわち両地点の流量がおよそ比例するならば、各地点の流量の標準偏差の比は 1 であるが、下流の方が豊満の差が甚だしく、流量曲線の凹凸が大であると、標準偏差の比は 1 より大となるのである。鳩ヶ谷と小白川の流量の間のこの関係は、実際の流量の間の関係というよりも、水位から流量に換算するとき生ずる、規則的な誤差に起因するものではあるまいか。

これと同様の疑問は、吾妻川の箱島と白井の関係、球磨川の粟鶴と四浦との関係においても生ずる。

§ 10. 五木, 仁田尾の雨量と, 栗鷯, 四浦の流量との関係
について

10. 1 我々は先に那賀川について流域の雨量から小浜の流量を推定することを考え, その方法を用いて神頼の流量推定も行つたのであるが, この方法がどの程度に信頼できるかを確かめるために, 川辺川について計算を試みることにする。

我々の目的は五木, 仁田尾の月雨量より, 栗鷯または四浦の流量を推定することである。

用いた資料は昭和2年より18年まで, 204か月間のものである。

10. 2 我々は栗鷯と四浦の流量の測定誤差を相殺する目的で, 両者の幾何平均をとり, これを流量にとることにした。栗鷯と四浦の流量の間には, およそ2.29倍という比例関係があるから, 両者の幾何平均を $\sqrt{2.29}$ で割ればおよそ栗鷯流量に, $\sqrt{2.29}$ を掛ければおよそ四浦流量になる訳である。

10. 3 雨量についても, 仁田尾と五木の幾何平均をとつた方がよいのであるが, 計算の手間を省くために算術平均で代用した。

10. 4 月雨量の系列 $\{x_n\}$ に繰り入れ計算をしてできた系列を $\{z_n\}$ とし, 月流量の系列を $\{y_n\}$ とする。

z_n と y_n とを両対数方眼紙にプロットすると, かなりよい相関関係が見られる。この場合, 流量として四浦流量を用いたものと, 栗鷯, 四浦の幾何平均を用いたものとを比べると, 後者の方が相関はよく斥つていることが見られる。これは測定誤差が相殺されるためである。

10. 5 平均雨量, 平均流量を用いて $\log y_n$ と $\log z_n$ との相関係数を計算すると次の通りである。

繰り入れ率	15%	20%	25%	30%	35%
相関係数	0.9045	0.9114	0.9079	0.9027	0.8877

繰り入れ率 20% のときに相関係数が最大である。この場合雨量から流量を推定するならば、推定の標準誤差は 0.136 になる。

これは +37%、-27% の相対誤差に相当する。この誤差の大きさは那賀川で得られたものと同じである。

20% の繰り入れ率は、指数函数の半減期に直すと 13 日になる。この半減期は利根川の日雨量と日流量の関係で見出されたものと一致する。那賀川の小浜が四浦とほぼ同じ流域面積を持ちながら、半減期が 20 日であるのは注目すべきである。

10.6 那賀川の場合には、流量の代りに基底流量を引き去った $y-3$ を用い、 $\log Z$ と $\log(y-3)$ の相関をとる相関係数が大きくなった。川辺川についても $\log Z$ と $\log y$ の相関図を見ていると、回帰線が曲つているようにみえる。

視察により $(y-2)$ と Z との相関をとると相関がよくなるようにみえた。

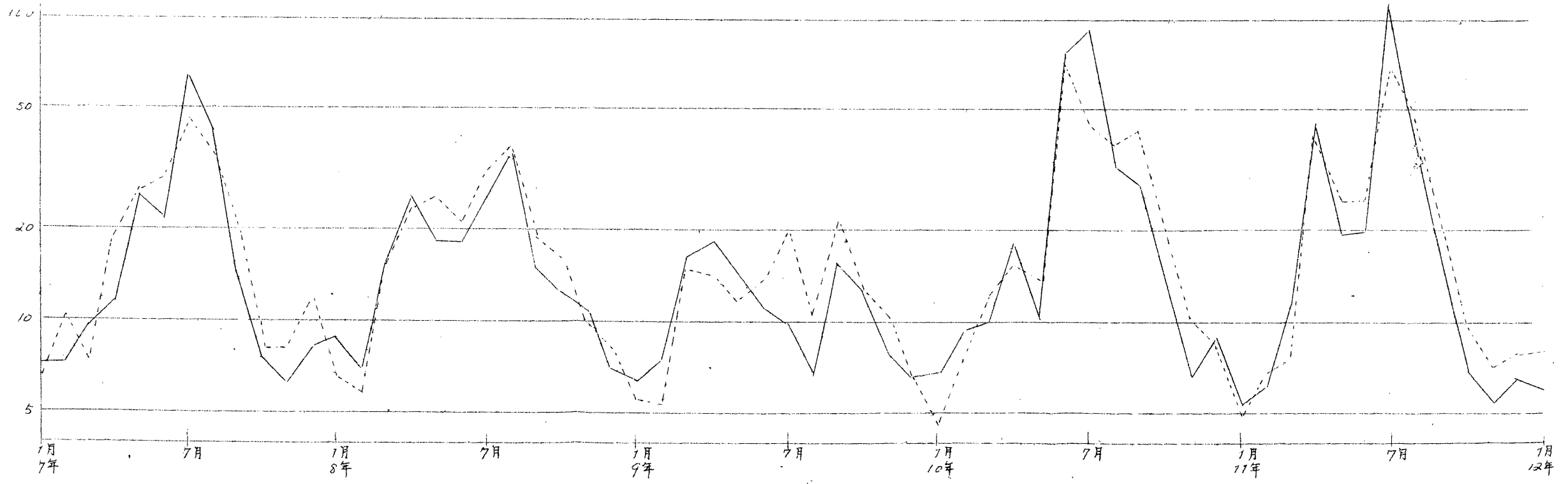
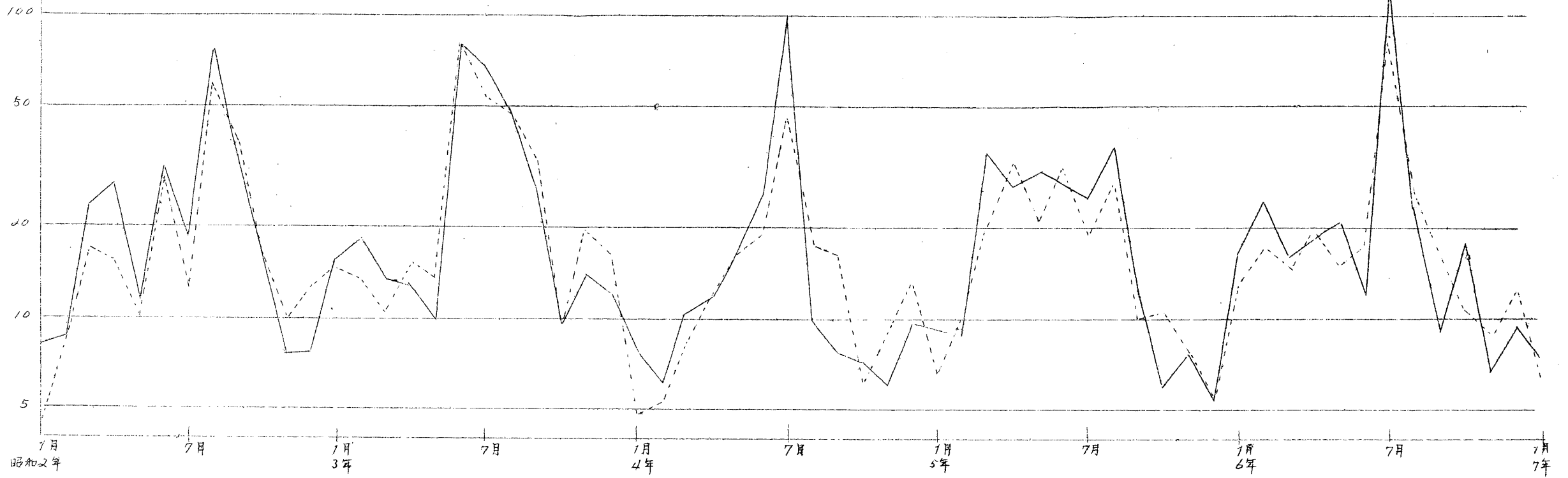
そこで $\log Z$ と $\log(y-2)$ との間の相関係数を計算してみたが、期待に反して相関係数は大きくならなかった。

繰り入れ率	35%	30%	25%
相関係数	0.8700	0.8830	0.8863

20% の場合が計算してないのは、手落ちであるが、35%~25% で相関が悪くなっているのに、20% ではよくなるという見込みはないのである。(実は那賀川で 35% の時が最もよかつたので 35% 中心の計算を初めに行ったので、このような片手落ちの結果になつた。しかし 20% の場合を揃えるまでに手間をかける必要もあるまい)

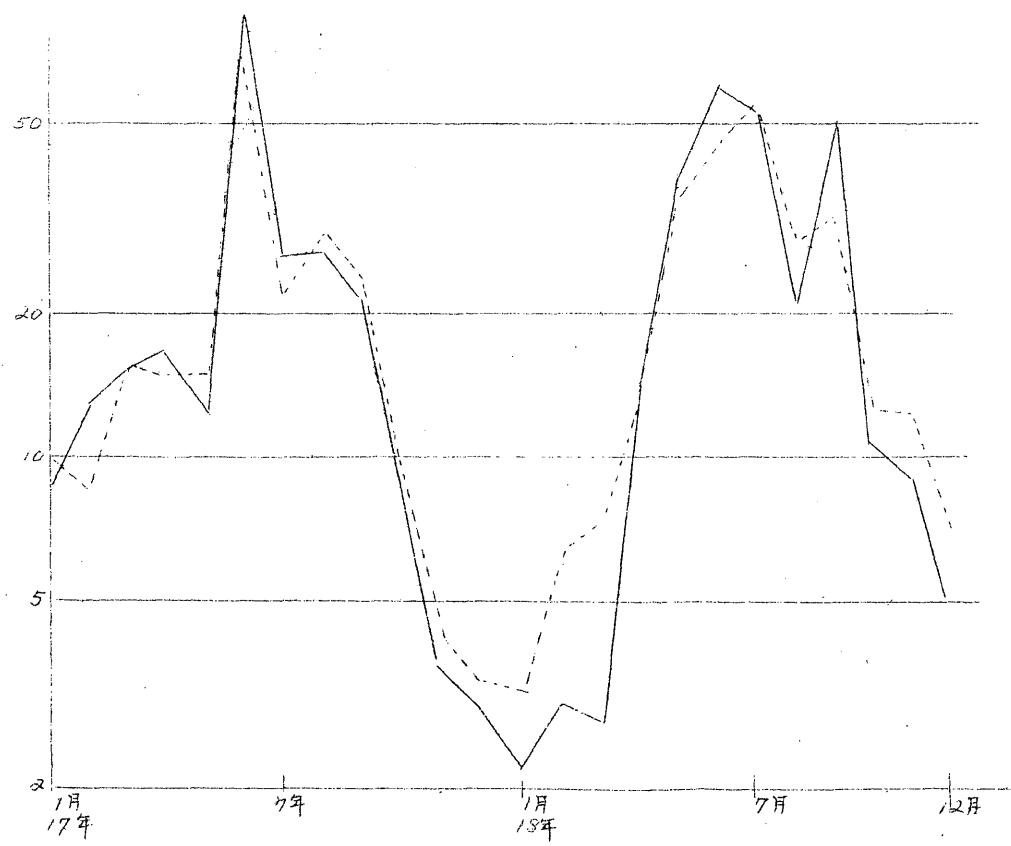
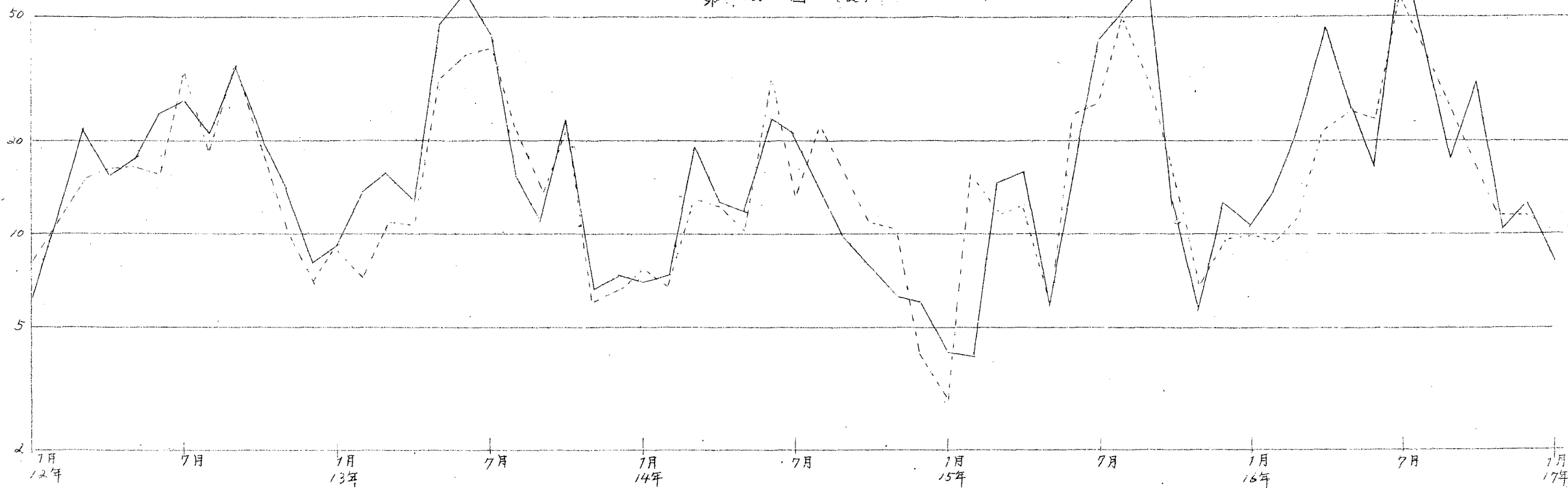
折込
外B(因没中二入比)

第 12 図 (1)



日
出
時

第 四 圖 (2)



10.7 那賀川の場合には、ある程度以上の水が涵養されると飽和に達し、残りは全部流出すると考えて更により結果が得られた。

我々も35%の繰り込み率で、160mmで飽和という仮定により、少し相関係数が上がることを認めた。ただの35%の繰り込み計算の場合は相関係数は0.8877で、160mmで飽和させると相関係数は0.9020になるのである。

従つて20%の繰り入れ率でこの計算をすれば、もう少しよい相関係数が得られるであろう。しかしこのような細かい技巧が、どこまで実際に正しいか疑問であるし、相関係数を少し上げても、実質的にはそう大きな得にもならないのである。

10.8 第12図は栗鶴、四浦の流量の幾何平均と、それを五木、仁田尾の雨量から推定したものを示すグラフである。

§ 11. お す び

11.1 最後に二三の希望や感想をつけ加えたい。

1) 日雨量から日流量を推定する場合、精度をさらによくすることは多分望みが少ないと思われる。もう少し精密な結果を得るには旬間雨量と旬間流量、または半旬雨量と半旬流量との関係を考える必要かあろう。

日雨量と日流量の関係になると、これは手間がかかりすぎて、実用には稍不適であろう。

2) 流量統計の揃っている所でも、雨量と流量との関係を調べて置くことは無駄でない。現在の流量資料の精度から考えると、豊水期の水までを完全利用するような計画を立てる場合には、雨量との関係を調べて、流量資料の信頼性を確かめる必要があるように思われる。

3) 流量測定の中には、豐水量を過大に測つたり、または過小に測つたりする傾向を持つものがあるように思われる。

従つて2年間とか3年間とかに涉つて町寧に雨量と流量とを測り直せば、その資料を用いて過去の資料の訂正を行うことができるであらう。

雨量と流量、上流と下流の流量等の間の相関はかなり高いのであるから、どこかで絶対測定が行われれば、それを基準にして、他の測定値を修正することかできて、過去の資料の価値が増大するのである。

11. 又 この研究を行うに当たつて、種々の便宜を與えられた、建設技術研究所長内海清澄先生、電源開発調査会の高橋三郎氏に感謝したい。

また、計算、製表に多大の努力をされた、渡辺一郎君、吉田礼子君、勝山よし子君に感謝したい。

附録1 全国主要河川月平均流量に関する一つの統計

1. つぎに掲げる表とグラフとは、全国の主要河川の流量特性を知るために試みた一つの統計の結果である。
2. 資料として用いたのは、日本発送電株式会社土木部計画課より出されたかり版の「全国主要河川月平均流量表」（昭和25年11月1日）である。
3. 周知のように、我國の河川は季節による豊枯の差が甚だしく、またある月を定め、年度によるその月の流量の変動を調べると、これも大きい。従つて分布を示すヒストグラムはかなり偏つたものとなり、流量の大きい方に長く裾を引く。つまり、時々非常に大きな流量が現われるのである。
4. かくる偏つた分布は取り扱い難いので、変数を変換して、正規分布に近い形にすることがよく行われる。

このとき、好んで用いられるのが対数函数であつて、月平均流量についても、対数をとると分布曲線はかなり裾の引き方が減つて来る。月平均流量の分布が対数正規型であることを主張できる根拠はあまりないが、これである程度の近似ができることは事實のようである。

5. そこで、全国の主要河川について、月平均流量を流域面積、 100 km^2 当りに換算し、その自然対数をとつたものについて、月別に平均値 m と標準偏差 σ を計算したものが、以下に掲げる表である。

6. かくて計算された月別の平均値 m が、季節的にどのように変化するかを見るため、これをフーリエ級数に展開し、その第2項までとったものも表にのせてある。

7. 図はこの表の結果を図示したものである。実線は平均値 m の季節変動を、点線はフーリエの第2項まで展開した結果をそれぞれ示している。

この点線を見ると細かい凹凸が減つて、地域別の河川の特徴がよく現われて来るように感じられる。

8. フーリエ展開を第2項までにとつめたのは、 σ が大きいことを考え合わせて、この程度の近似で十分と考えたからである。

第2項までの展開にとつめたのでは、北陸の河川の8月の過水や、南海の河川の5月の過水が現われて来ないが、このようにある月だけが凹むのに対しでは、フーリエの第3項まで展開しても近似はあまりよくなるないのである。

9. 河川の流量を貯水池によつて平均化するならば、まずフーリエ展開の高周波の部分が調節作用により消え、次第に低周波の部分に及び、この点からも、フーリエ展開には意味があろう。(ただし、この場合は流量の対数をフーリエ展開したのだから、この議論はそのまゝでは成立しない。)

10. 図の2月、5月、8月、11月について、平均値の上下につけた線分は、区間 $(m-\sigma, m+\sigma)$ を表わすものである。

また図は見易いように対数目盛を打つて置いた。従つて、この目盛で m をよむと、流量の幾何平均が得られることに特に注意したい。

もし流量が、真にジアラ分布であるならば、流量の平均は、 $e^{m+\frac{\sigma^2}{2}}$ 、標準偏差は $e^{m+\frac{\sigma^2}{2}} \sqrt{e^{\sigma^2}-1}$ となるのである。

100km² 当り 月平均流量の自然対

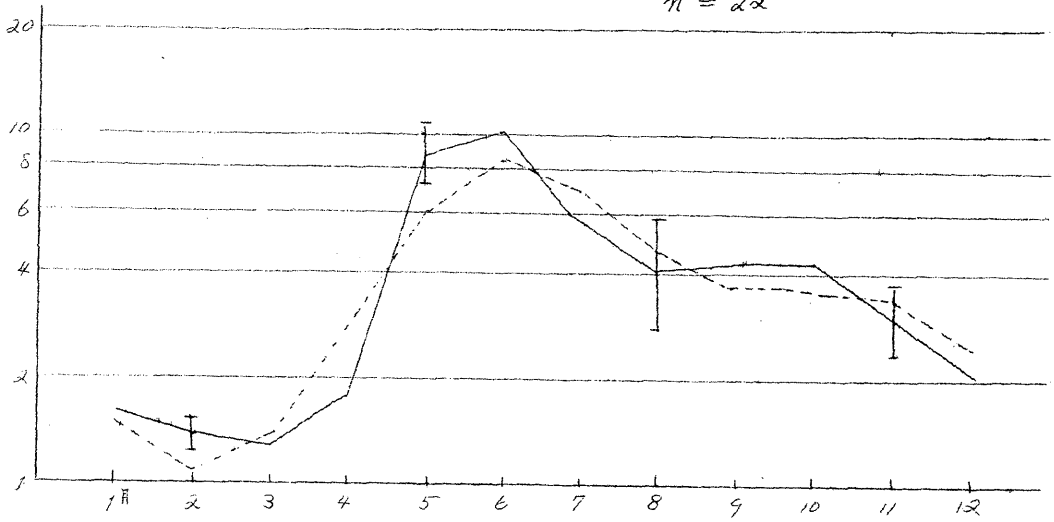
Table with columns: 水系名, 河川名, 測水所, 流域面積, 観測年数, 1月, 2月, 3月, 4月, 5月, 6月. Rows 1-26.

数の平均(m)と標準偏差(σ)

Table with columns: 7月, 8月, 9月, 10月, 11月, 12月, 月平均流量の自然対数の年週期を表わす7-12月展開. Rows 1-26.

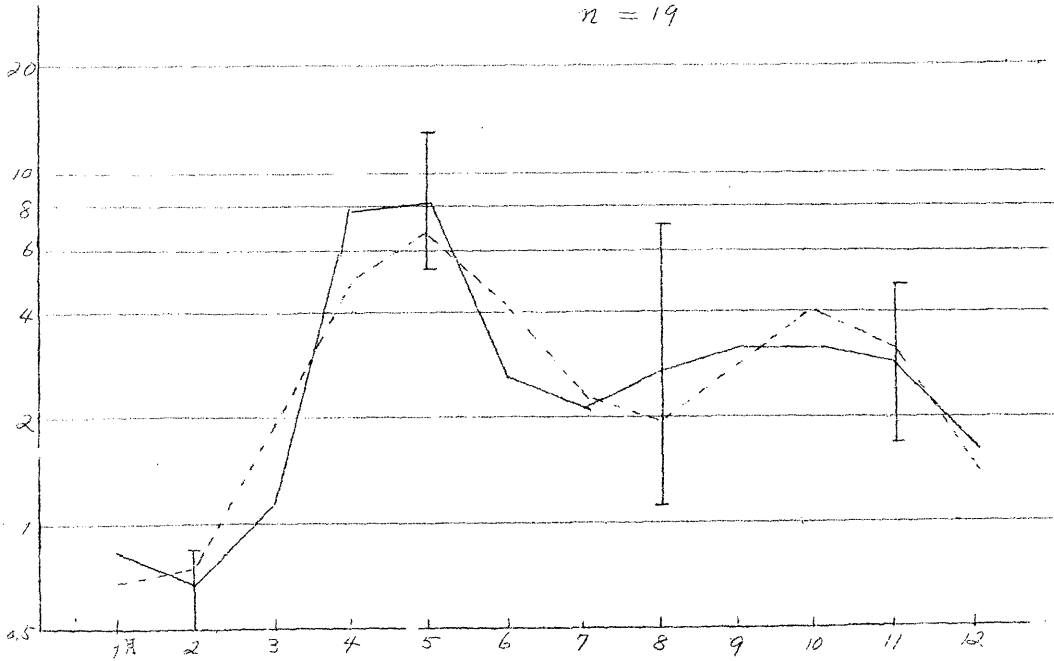
(1) 石狩川水系 石狩川双雲別測水所

$n = 22$



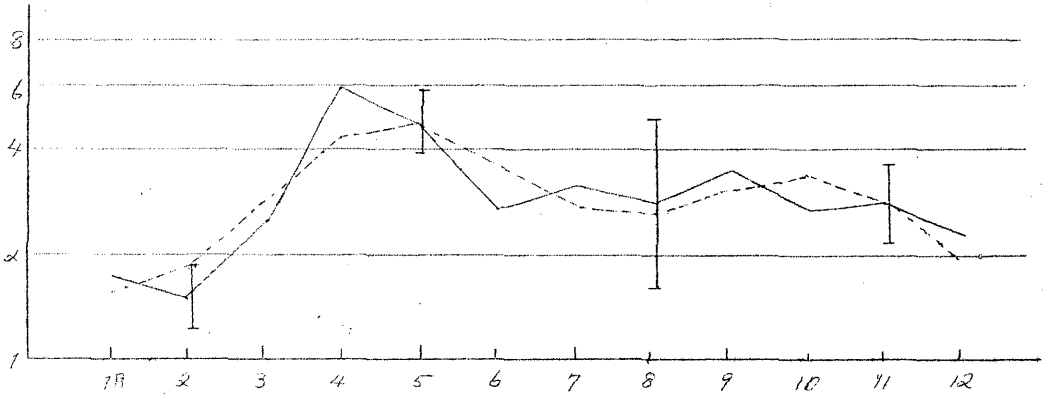
(2) 石狩川水系 夕張川沼澤測水所

$n = 19$



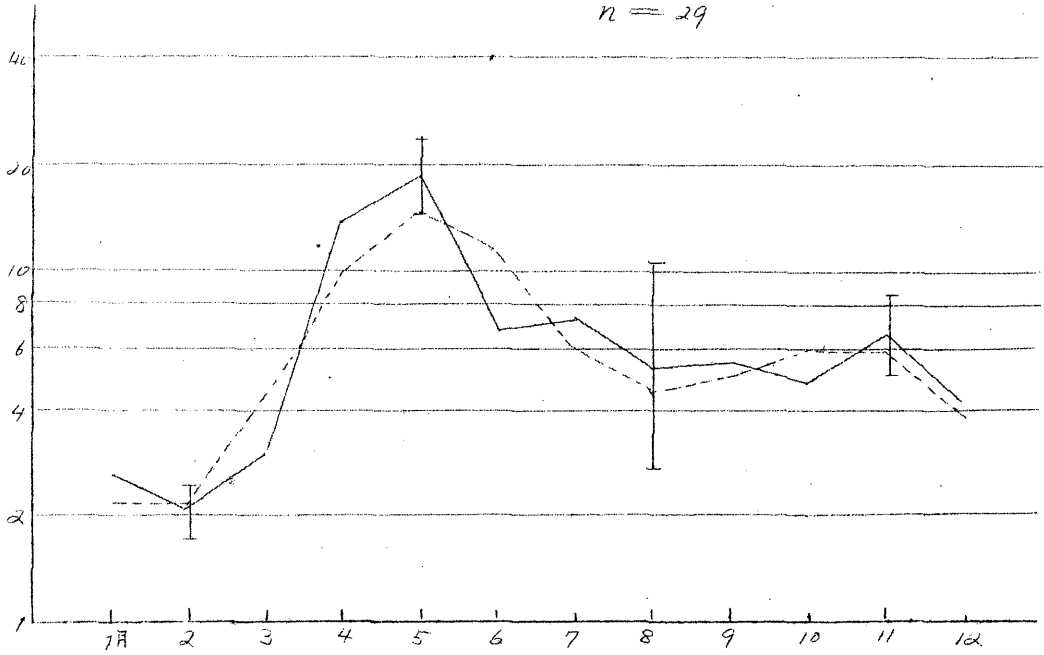
(3) 北上川水系 北上川 川前測水所

$n = 26$



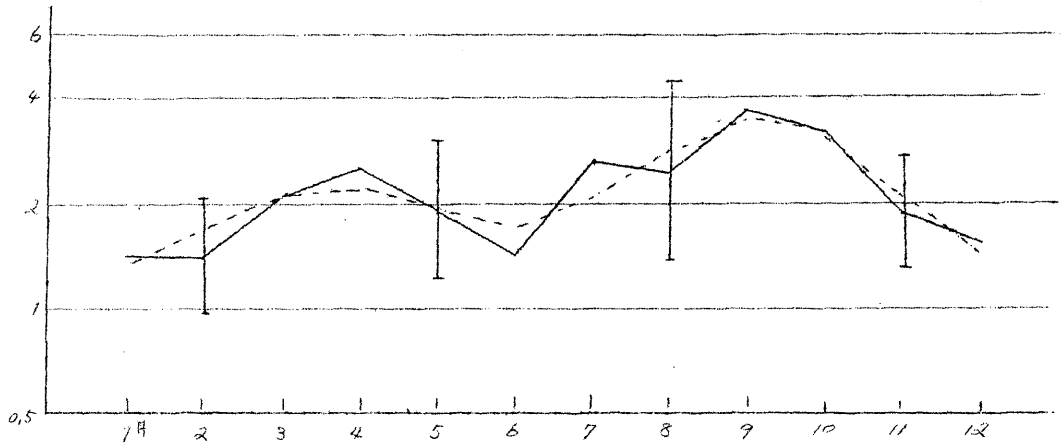
(4) 雄物川水系 玉川 田沢測水所

$n = 29$



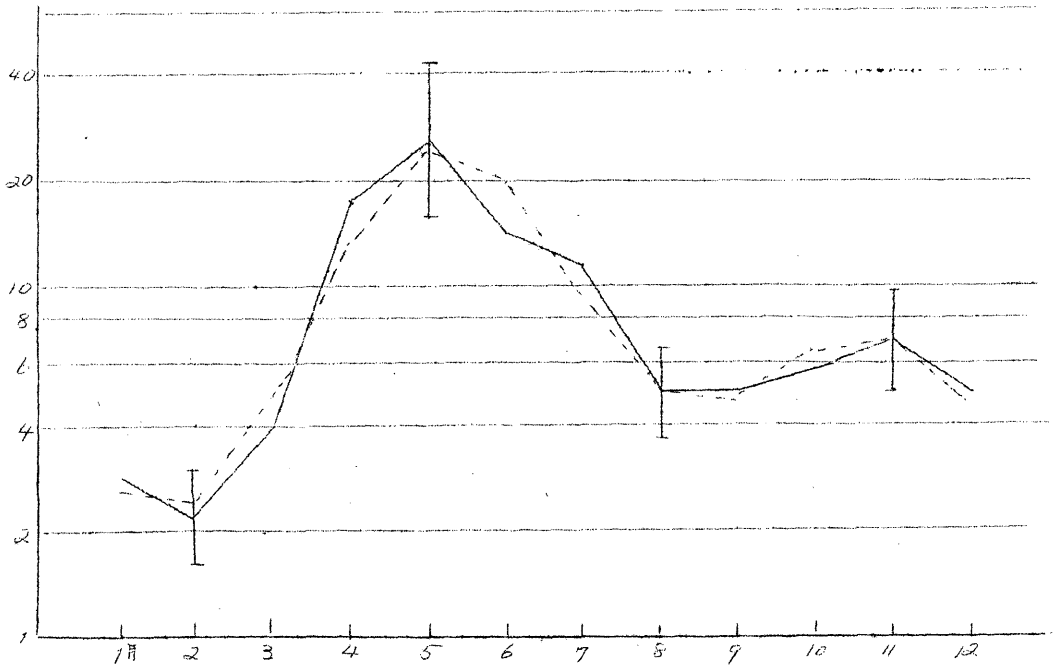
(5) 阿武隈川水系 阿武隈川 供中割水所

$n = 26$



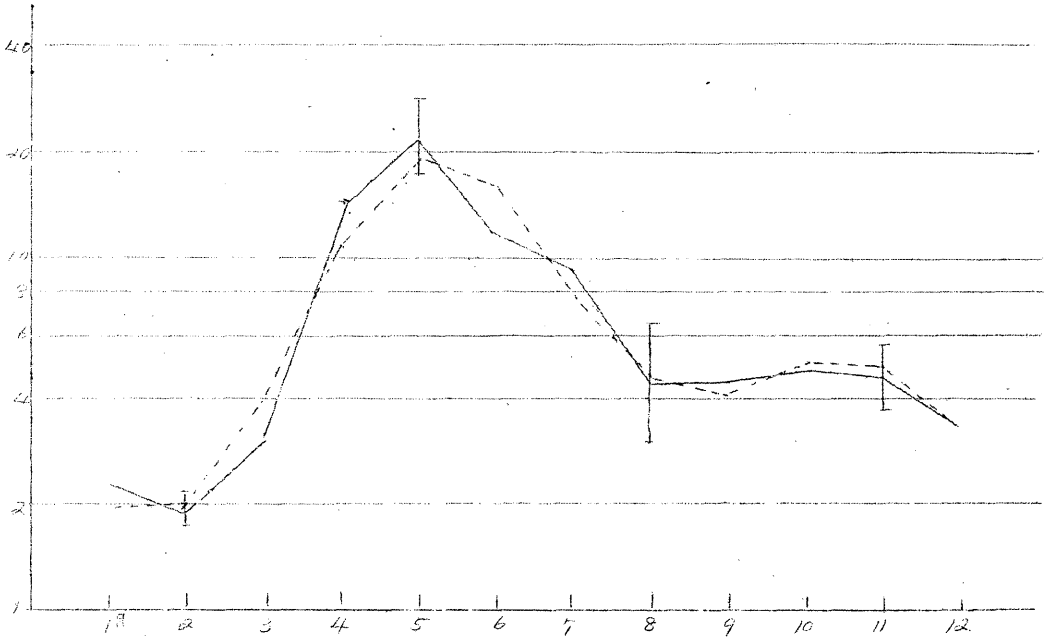
(6) 阿賀野川水系 只見川 田子倉測水所

$n = 19$



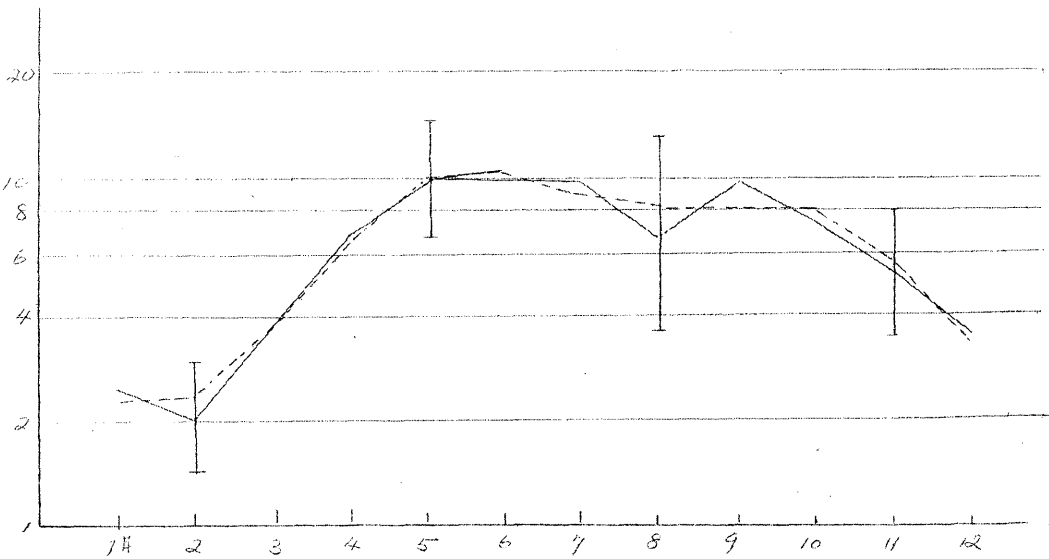
(7) 利根川水系 利根川 幸知測水所

$n = 23$

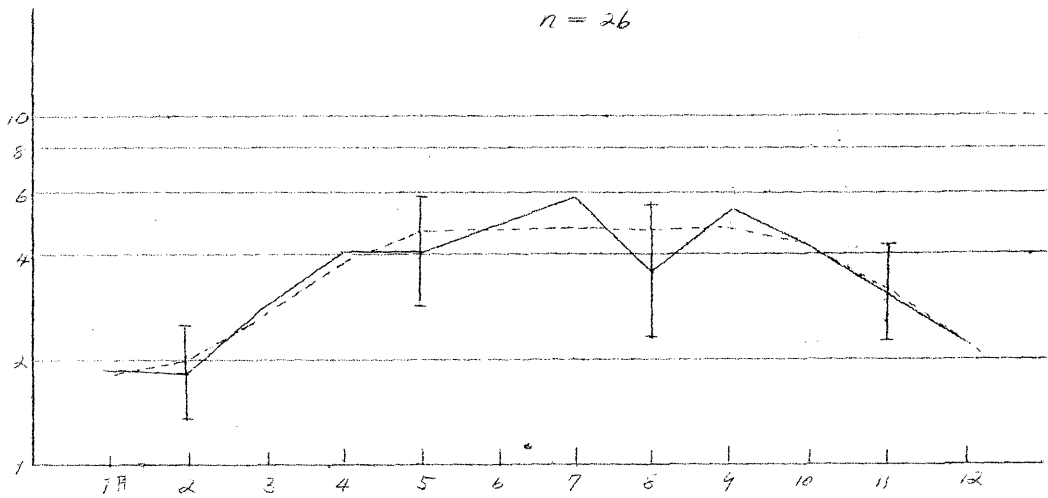


(8) 大井川水系 大井川 井川測水所

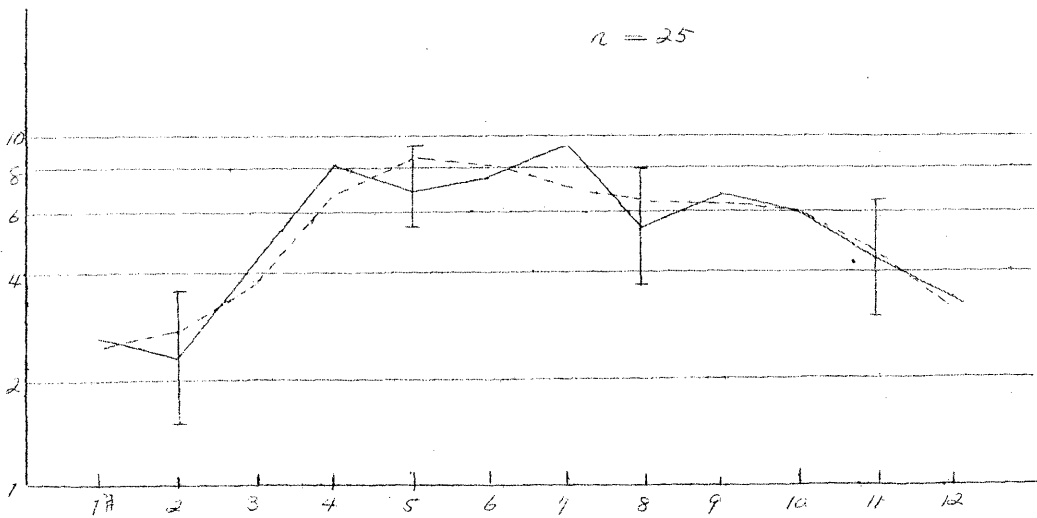
$n = 18$



(9) 天龍川水系 天龍川 佐久間測水所

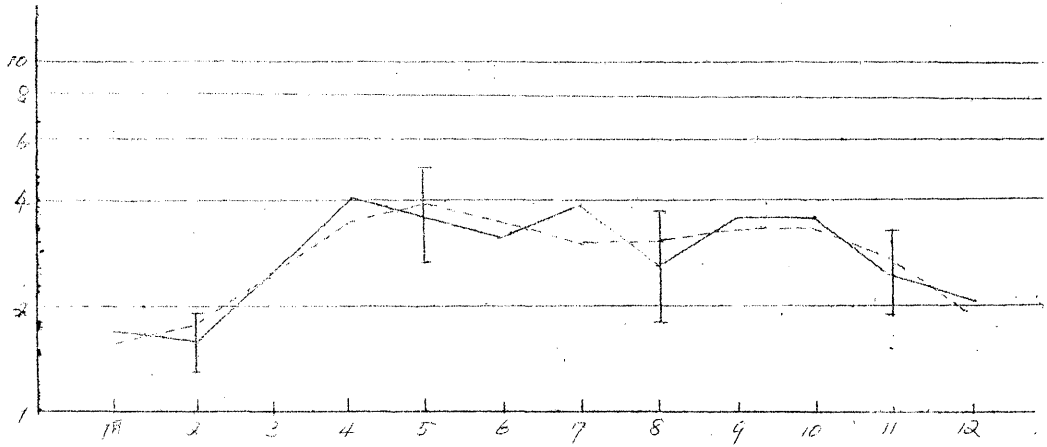


(10) 木曾川水系 木曾川 握測水所



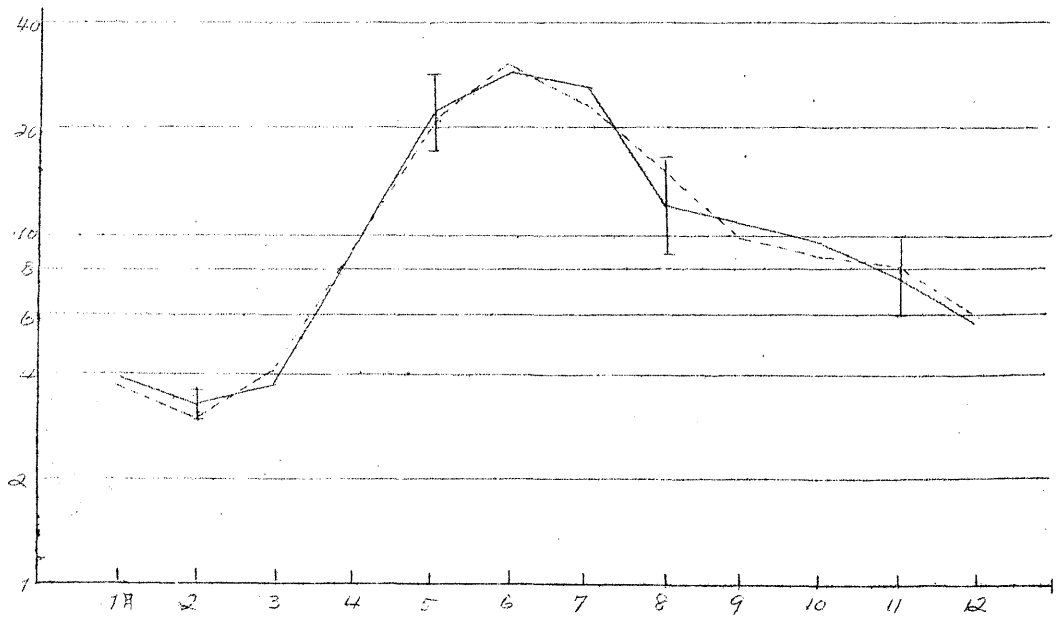
(11) 信濃川水系 千曲川 照岡測水所

$n = 30$



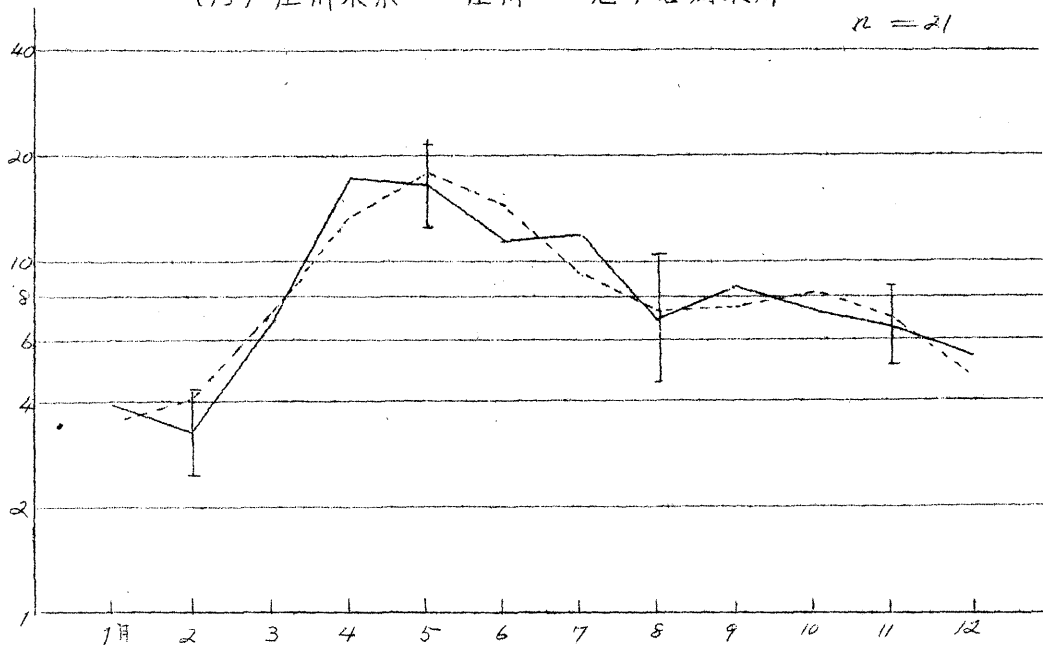
(12) 黒部川水系 黒部川 榊手測水所

$n = 24$



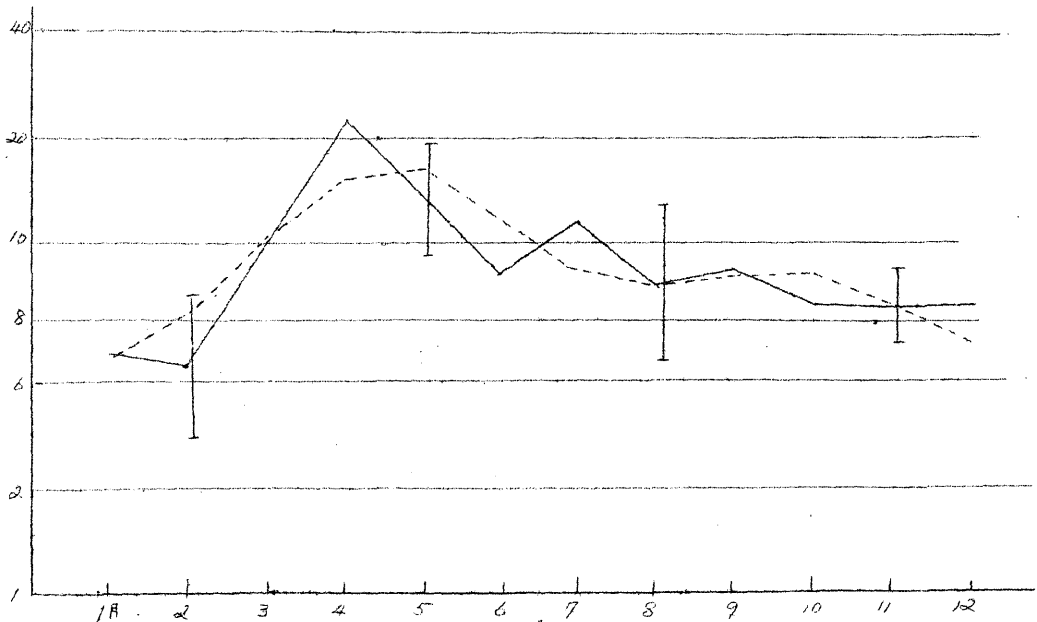
(13) 庄川水系 庄川 鳩ヶ谷測水所

$n = 21$



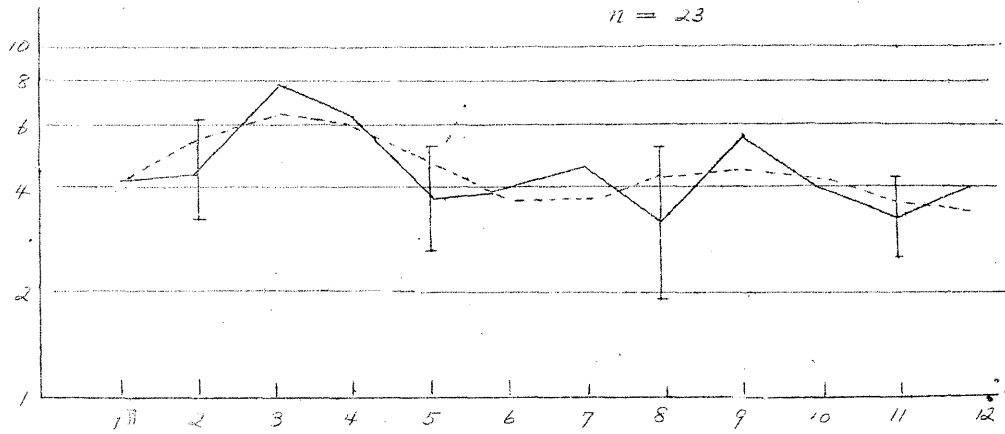
(14) 九頭龍川水系 九頭龍川 柿ヶ島測水所

$n = 25$



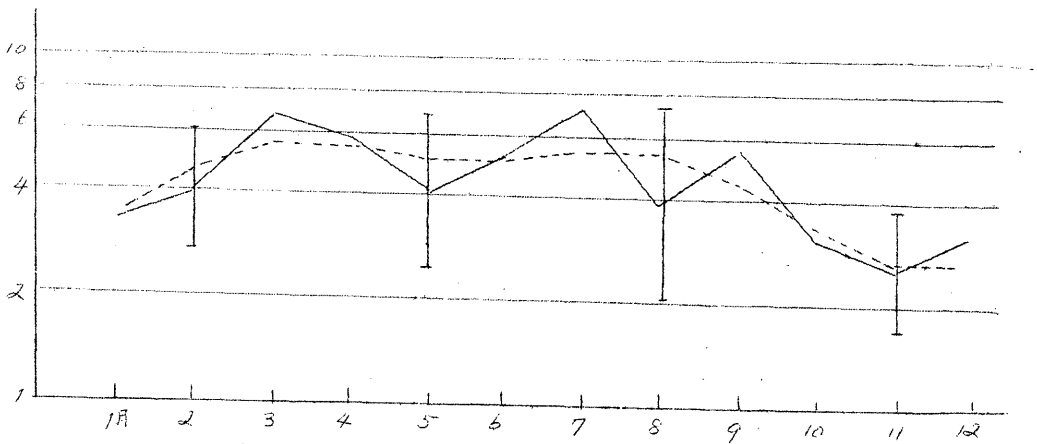
(15) 旭川水系 旭川 紫牧原測水所

$n = 23$



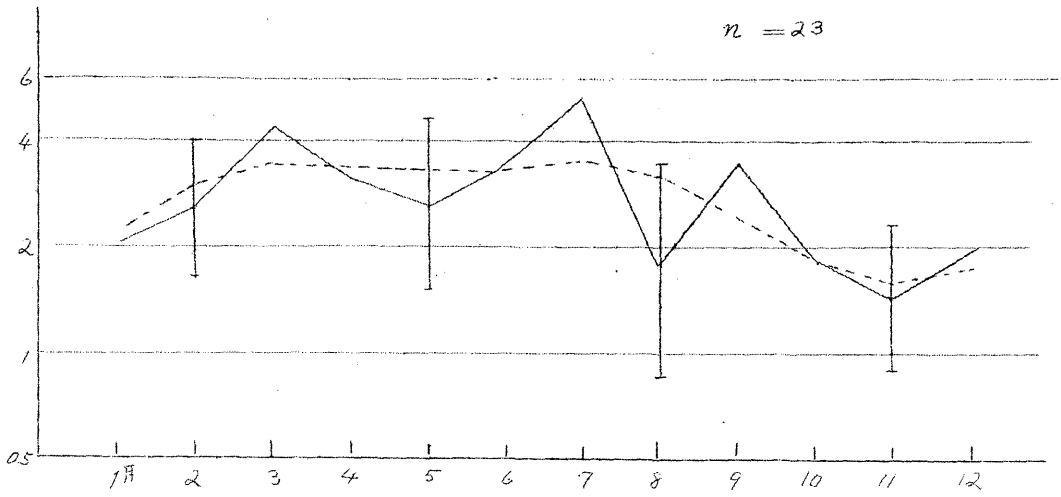
(16) 太田川水系 太田川 大野測水所

$n = 21$



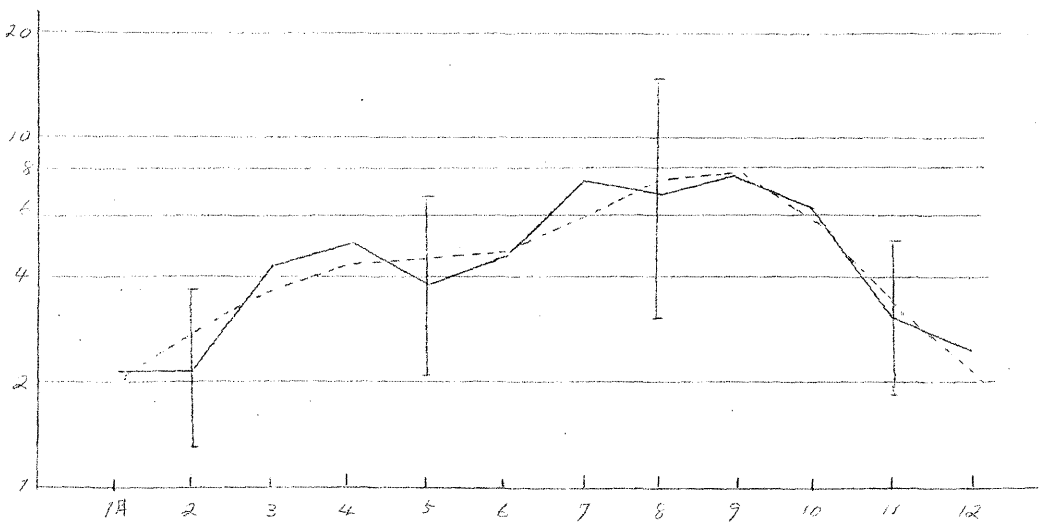
(17) 江川水系 江川 熊見川測水所

$n = 23$

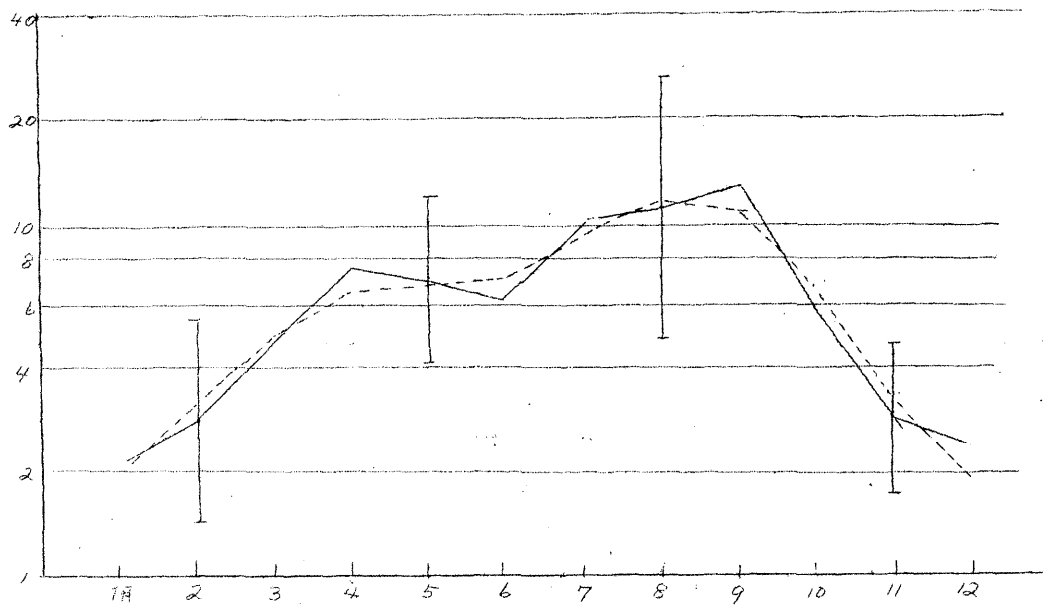


(18) 熊野川水系 十津川 風屋川測水所

$n = 26$

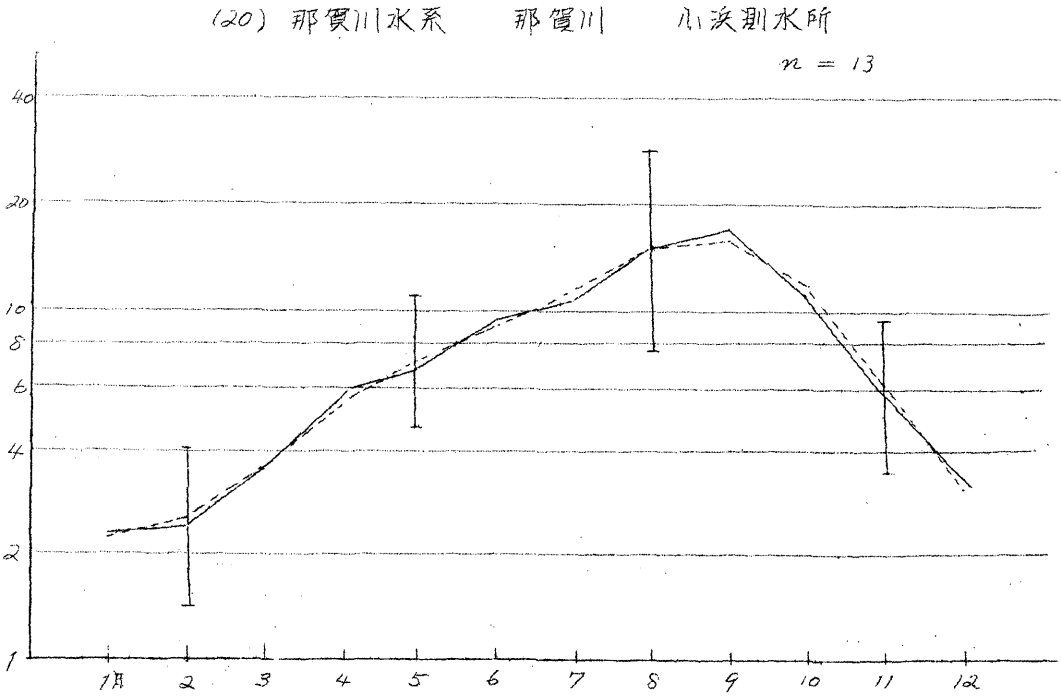


附録I、附圖



$n = 20$

(19) 吉野川水系 吉野川 脇, 山別水所

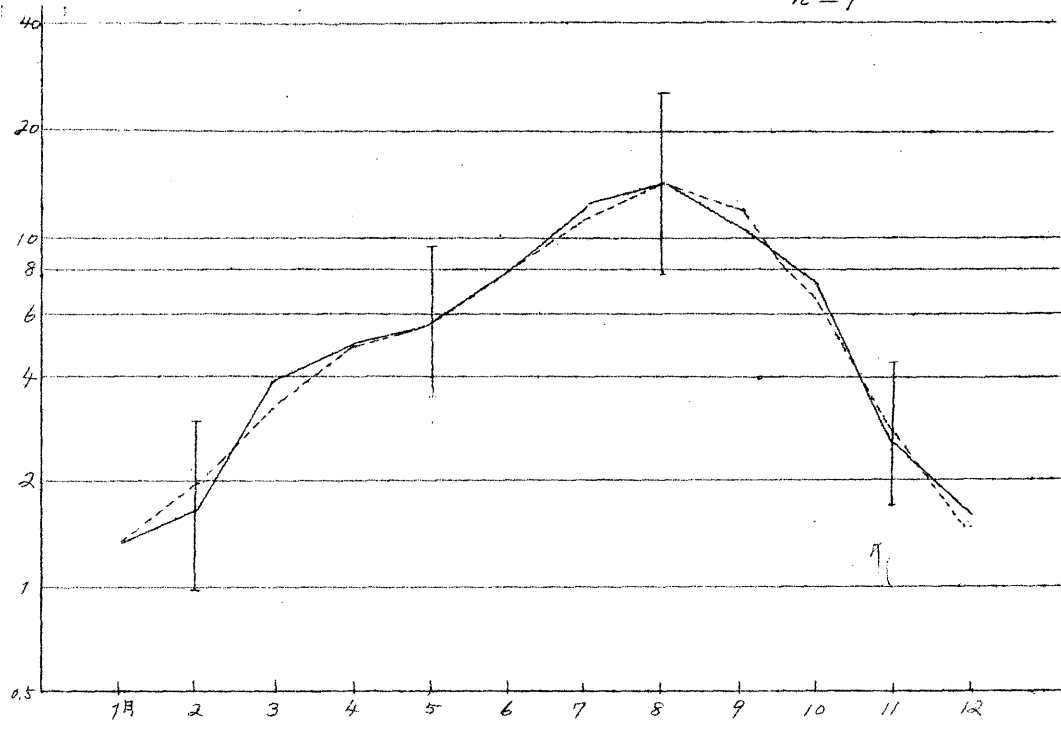


$n = 13$

(20) 那賀川水系 那賀川 小浜別水所

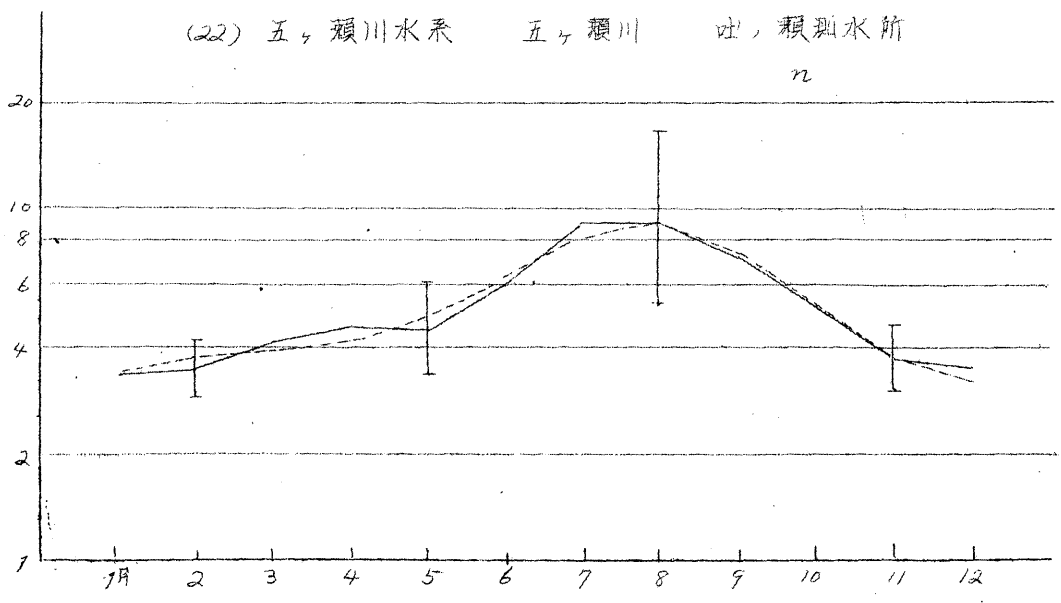
(21) 渡川水系 渡川 秋丸測水所

$n=9$



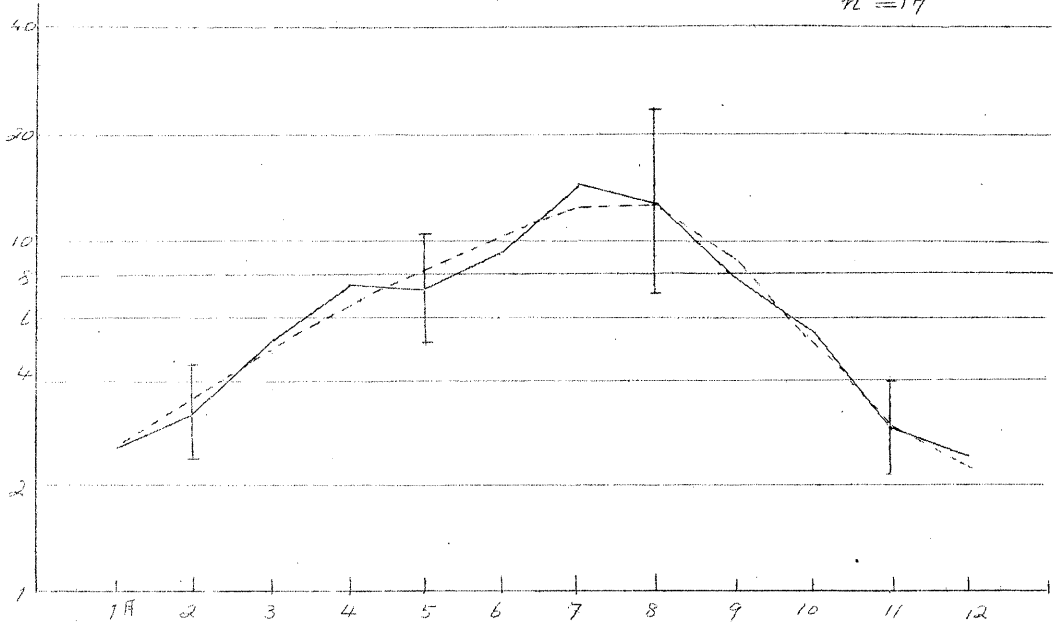
(22) 五ヶ瀬川水系 五ヶ瀬川 吐, 瀬測水所

n



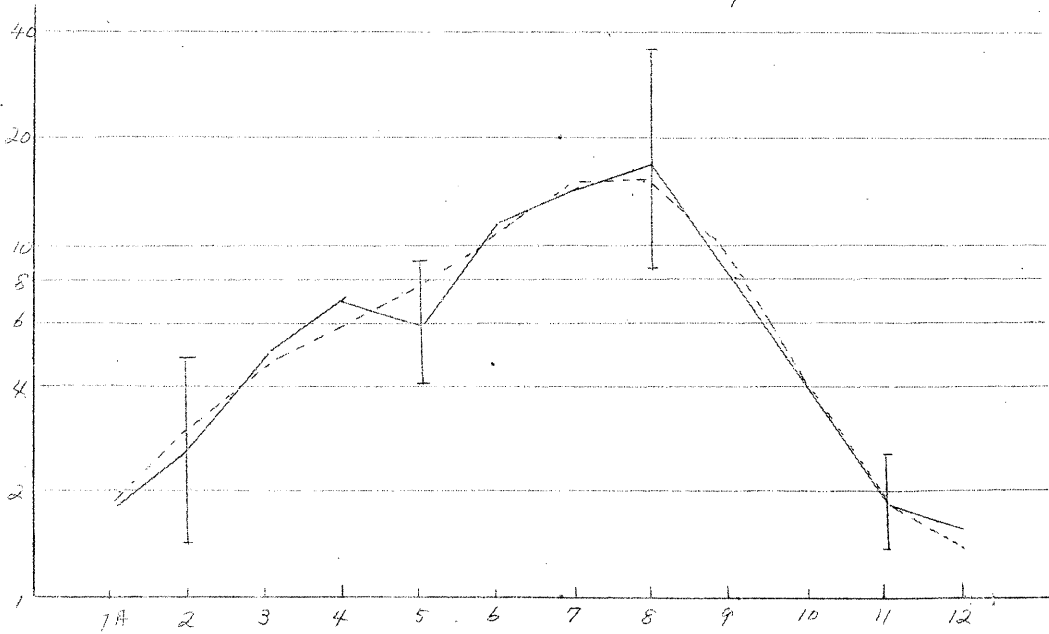
(23) 耳川水系 耳川 岩屋堂測水所

$n = 17$



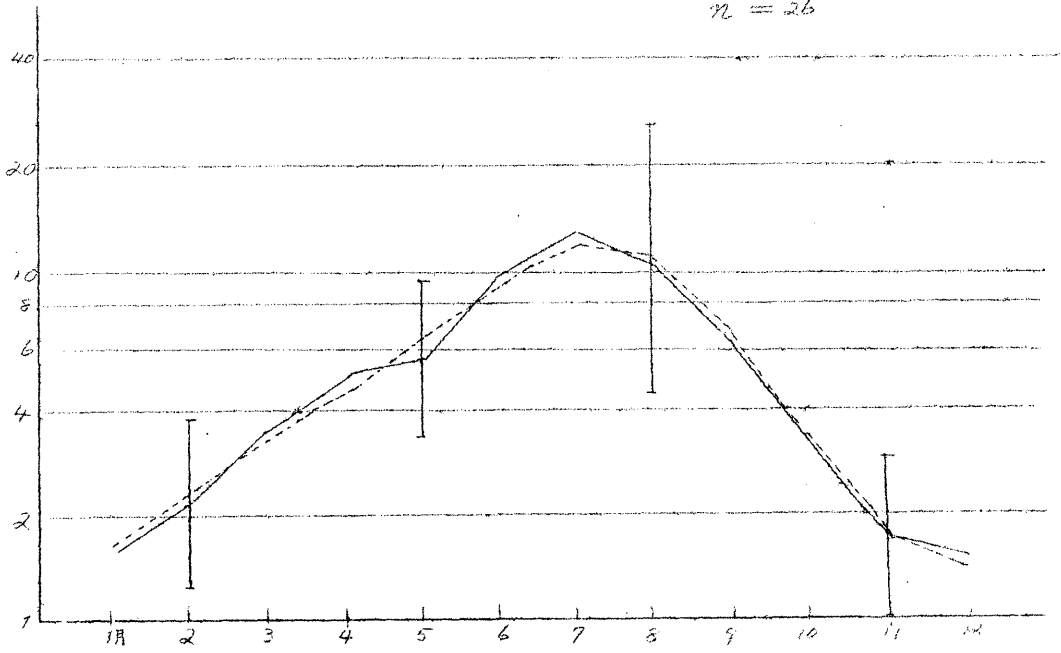
(24) 一ッ瀬川水系 一ッ瀬川 黒原測水所

$n = 19$



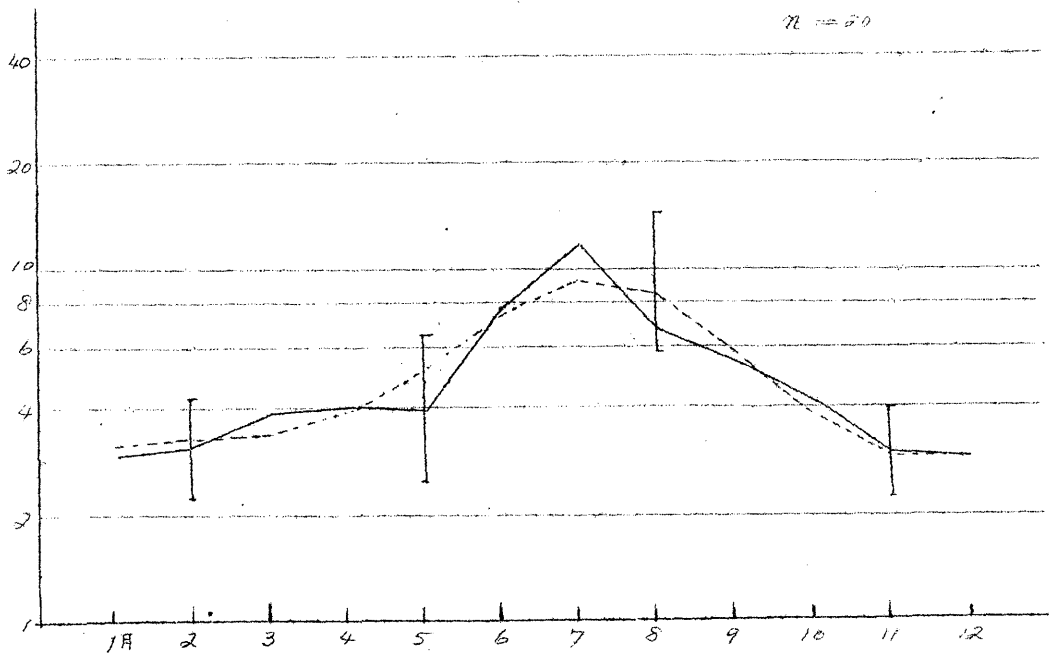
(25) 大淀川水系 綾南川 南候測水所

$n = 26$



(26) 築後川水系 筑後川 袋野測水所

$n = 50$



附録2 河川の上流と下流の流量の間の相関について

1. つぎに掲げる表とグラフとは、河川の上流と下流の流量の間の相関関係を調べ、併せて流量測定の精度を知るために行つた一つの統計である。
2. 資料として用いたのは第3回流量要覧(資源庁電力局)である。
3. 流量要覧で、同一河川に又か所以上の測水所のあるものを探す。上流にある測水所の月流量を y_1 、下流のを y_2 とする。月流量の常用対数を取り、 $\log y_1$ と $\log y_2$ との間の関係を調べたのが表に出て居る結果である。

$\log y_1$ 、 $\log y_2$ の平均をそれぞれ m_1 、 m_2 、標準偏差を σ_1 、 σ_2 とし、相関係数を r とする。

以下表につき説明する。

a) 流域面積比というのは下流測水所の流域面積を上流のそれと割つたもので、いわばこれが二測水所間の距離を表わすものである。例えば、二地点間の直線距離は小さくても、その間に大きな支流が流れ込んでいれば、二測水所の距離は大きいのである。

b) 月流量比というのは、 $m_2 - m_1$ の真数をとつたものである。これは下流の月流量を上流の月流量で割つた値の幾何平均をとつたものと言つてもよい。比例定数を掛けることによって、上流の流量から下流の流量を出す場合には、この数を用いるべきである。

c) (月流量比/流域面積比)と言うのは、流域面積比により流量の換算を行ったとき、どの程度の過大または過小見積もりになるかを示すものである。しかしながら、この値が1に比し、あまりに距っているのに対しては、むしろ測定精度について疑問の念が起る。またこの値が1より大きいのは、流域100 km²当たりの流量が下流の方が大きいことを示すものである。

d) 「標準偏差の比」というのは、 σ_2/σ_1 の値、すなわち、下流の月流量の分散の標準偏差を上流のそれで割つたものである。

例えばある測水所では豊水量を過大に出す傾向があるとするとき、その測水所の月流量の分散は大となる。この値が1から距っているものは、何かこのような理由によるものではあるまいか。

湯水量や平水量が信頼できるとするならば、分散が過大(小)に出るのは、豊水量を過大(小)に出す傾向があるからで、豊水量を過大(小)に出す傾向があれば、平均流量も過大(小)に出ることになるであろう。

e) 相関係数というのは、 $\log y_1$ と $\log y_2$ との相関係数である。二三の例外を除けば、全般的に言って、相関は甚だよいと言ってよい。しかし、相関がよいことは必ずしも、流量測定精度のよいことを示さない。一方の測水所で規則的に豊水量を過大(小)に出すならば、やはり相関はよい誤りであるし、接近した二つの測水所が似た環境にあるため、双方ともに同様の誤差を持つならば、やはり相関はよくなるからである。しかし相関係数が大であることは、ある意味で、その信頼性を保証するものであつて、適当な補正を施すことによって、正しい値を示す可能性を示すものである。

f) 標準誤差は、上流の月流量を、下流の月流量を、

$$\log \eta_x = r \frac{\sigma_2}{\sigma_1} (\log y_1 - m_1) + m_2$$

により推定したときの、推定誤差の標準偏差 $\sigma_2 \sqrt{1-r^2}$ を示している。

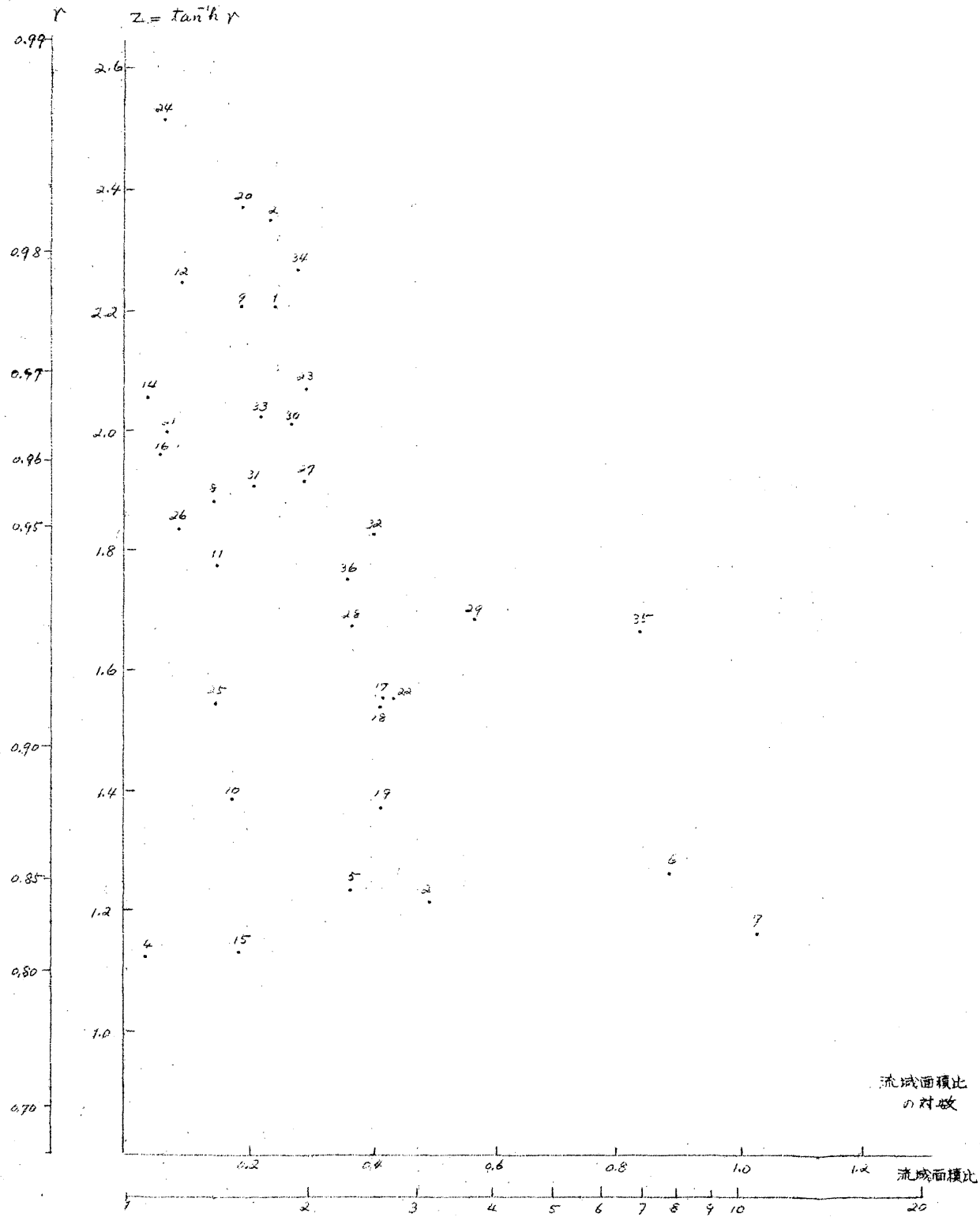
4. 第1図は流域面積比と相関係数との関係を図示したものである。グラフに描く都合上、横軸に流域面積比の対数をとった。

これは先にも述べたように、二測水所の距たりを示すものと考えてよからう。標本相関係数の変動を考慮に入れるため、縦軸には $\tanh^{-1} r = Z$ をとった。標本数 n のとき Z の標準偏差は約 $\frac{1}{\sqrt{n-3}}$ であり、 n は70前後のものが多いから、 Z の標準偏差をおよそ0.13程度と考えて、第1図を見て載きたい。

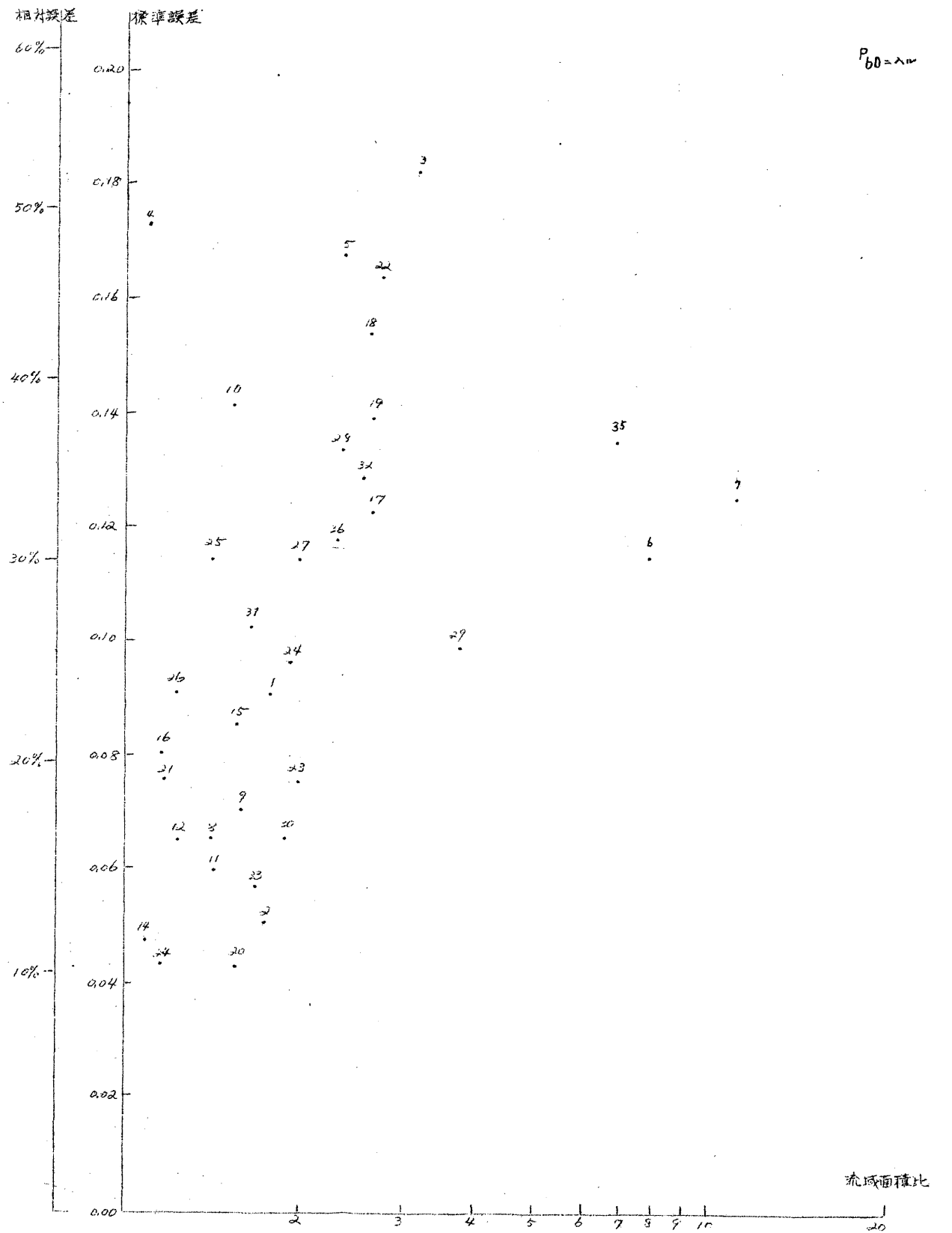
このグラフは雨量の地域による変動、および流量測定の影響について、ある程度の知識を興えるであろう。

5. 第2図は流域面積比と標準誤差との関係を示すものである。これにより、流量測定の際の誤差の大きさを、我々はおよそ想像することかできる。この標準誤差は流量の対数に対するものであるから、流量に換算した場合の相対誤差のスケールも図示して置いた。これを見ると、流量測定の誤差は最もよい場合で10%程度であるらしい。しかも標準誤差の3倍までの誤差が起こることを覚悟するならば、30%程度の測定誤差があることになるのである。

水系名	河川名	測水所 上流	下流	流域面積 km ²	期間	標本数	流域面積比	月流量比	流域面積比	標準偏差の比	相関係数	標準偏差
1	鴫川	石部	二ノ下	507	昭和14~18年	60	1.748	1.823	1.043	0.986	0.976	0.091
2	石狩川	小部	島の下	1560	13~19	34	1.707	1.606	0.941	0.857	0.982	0.051
3	"	大野	沼沢	606	14~18	60	3.108	1.965	0.632	0.723	0.839	0.182
4	馬淵川	金田	駒木	1370	13~17	60	1.070	0.812	0.759	1.028	0.812	0.193
5	小本川	湖の上	大川	213	13~18	72	2.315	1.721	0.743	0.943	0.846	0.167
6	北上川	小出	鱒沢	657	13~18	72	7.689	5.075	0.660	1.106	0.854	0.114
7	"	小出	北成島	948	13~18	72	10.688	6.578	0.615	1.106	0.823	0.125
8	"	鱒沢	北成島	948	13~18	72	1.390	1.298	0.934	1.002	0.955	0.065
9	"	無知内	赤沼	688	16~19年	42	1.546	1.610	1.041	0.939	0.976	0.090
10	木戸川	下川内	木戸	240	13~18	72	1.5	1.966	1.197	1.171	0.883	0.141
11	米代川	鉢子	大湯	162	13~17	60	1.409	1.590	1.128	1.017	0.945	0.060
12	"	湯空	深瀬	191	13~15	36	1.232	1.261	1.024	0.830	0.975	0.065
13	利根川	長野原	租高	1260	19~22	48	2.751	2.193	0.797	2.007	0.547	0.229
14	"	租高	白井	1360	13~15	34	1.079	1.	0.927	0.833	0.968	0.049
15	相模川	晒美	巨川渡	293	13.14.16	36	1.534	1.730	1.128	0.935	0.870	0.085
16	天龍川	長沼	佐大内	4190	13~18	72	1.148	1.151	1.003	1.066	0.961	0.080
17	"	平野	黒河内	297	13~17	60	2.605	1.748	0.671	0.812	0.915	0.122
18	阿賀野川	銀山	田子倉	712	15~18	48	2.580	3.270	1.267	1.3	0.913	0.154
19	信濃川	上高地	前川渡	375	13~18	72	2.594	2.503	0.965	0.884	0.879	0.139
20	矢作川	釜井	阿瀬	769	13~18	72	1.538	1.433	0.932	1.040	0.983	0.043
21	木曾川	下呂	瀬戸	1060	13~18.21	84	1.165	1.520	1.305	1.011	0.964	0.075
22	"	西村	東村	413	13~15	36	2.682	1.351	0.504	1.433	0.915	0.163
23	黒部川	榑平	牛平	613	13~18	72	1.958	2.268	1.158	0.907	0.969	0.075
24	庄川	木谷	樽ヶ谷	585	15~18	48	1.143	1.189	1.040	1.042	0.987	0.043
25	"	木谷	小川	713	15~18	48	1.393	1.696	1.218	1.085	0.914	0.114
26	日高川	樽ヶ谷	小川	713	13~18	72	1.219	1.492	1.208	1.089	0.951	0.091
27	吉野川	安井	師子	439	13~18.22	84	1.960	1.801	0.919	1.147	0.958	0.114
28	吉野川	寺尾	東阿田	585	13~17	60	2.312	1.270	0.549	0.949	0.933	0.134
29	由良川	荒倉	角	585	13~18	72	3.679	2.586	0.703	0.926	0.934	0.099
30	吉井川	奥津	久田下原	218	13~17	60	1.847	1.670	0.904	1.004	0.965	0.065
31	太田川	香草	大野	1100	14~18	60	1.615	1.328	0.522	1.279	0.957	0.102
32	那賀川	香草	小553	14~18.22	72	2.514	2.552	1.015	0.998	0.950	0.129	
33	丸瀬川	吐瀬	水崎下	533	13~15	36	1.655	1.346	0.813	1.160	0.966	0.056
34	一ツ瀬川	町所	黒原	403	13~18	72	1.892	1.689	0.893	1.061	0.977	0.096
35	球磨川	栄崎	神瀬	1630	大正11~14 昭和1~4	92	6.736	7.956	1.181	1.028	0.930	0.135
36	"	栄崎	川瀬	521	大正15 (徳大正15)	282	2.290	2.390	1.009	1.101	0.941	0.118



第 1 図



第 2 図