九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

山地河川の流量解析

熊谷, 才蔵
九州大学農学部

https://doi.org/10.15017/21181

出版情報：九州大學農學部學藝雜誌. 12 (4), pp.363-374, 1952-09. 九州大學農學部
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

山地河川の流量解析

熊谷才藏

Flow analysis of mountain streams

Saizo Kumagai

1. 緒言

河川の流量変動を指示する尺度としてこれ迄提案されたものに

（1） 変異係数 (coefficient of variation)

（2） 河況係数 (coefficent of river regime)

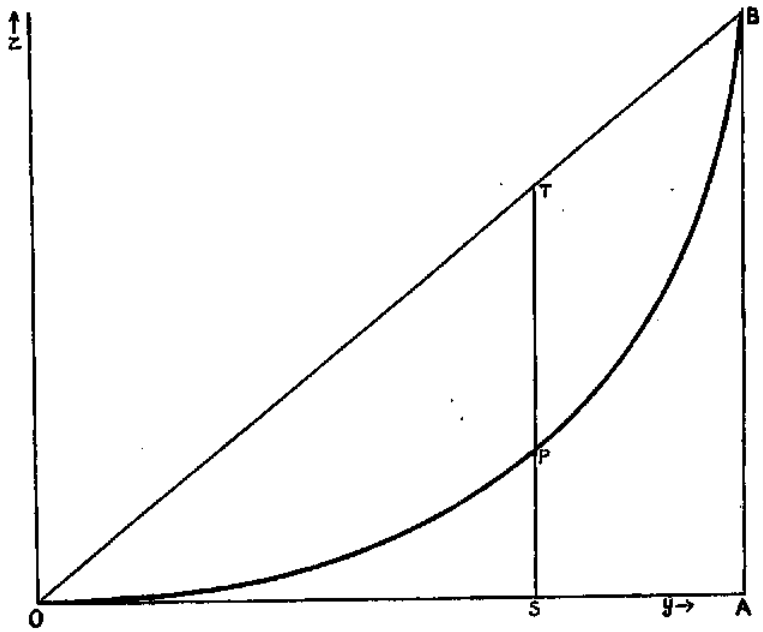
（3） Lloydの均等度 (Lloyd's measure of uniformity)

（4） 河川特性数 (stream characteristic)

等がある.

変異係数は記述統計学で広く用いられている周知のもので，日流量の変異係数とは，日流量の標準偏差と平均値との比である.

河況係数とは或期間内に於ける最大流量と最小流量との比である.



第1図. 集中曲線.

x：累積流量. y：累積日数.

Lloyd の均等度は次の様な幾何学的考察から導かれた.[1] 考を具体的にする為, 当面の考察の対称である河川流量に例を取つて見よう. こゝに某川の若干年間の日流量（x）の記録があるとする. 此を流量の小さい方から大きさの順に並べ, 最初のy個の日流量の和zを縦座標にyを横座標にとつて点を plot すれば第1図の曲線OPBを得る. 此を集中曲線 (curve of concentration) という. 因に図のOA, AB（日流量の総和）を夫々100として画いた集中曲線は所謂 Lorenz 曲線で所得の均等度表示等に用いられているものである.[2]

日流量がすべて等しい場合, 即ち流量分布が完全に一様な場合には, 集中曲線は直線OBとなり, 日流量の一つが総和ABに等しく, 従つて他は尽く零である場合即ち流量分布が最も不均等な場合には, OABとなる. 一般には集中曲線は三角形OABの内部を走る上方に凹なOPBの様な線となるのであろう. よつて直線OA, ABと集中曲線との間の面積の三角形OABの面積に対する比（L）は, 日流量の均等の程度を表わす一つの尺度と見ることが出来る. Lが即ち Lloyd の均等度である. 1－Lは直線OBと曲線OPBとに包まれた部分の面積即ち集中面積 (area of concentration) の三角形OABの面積に対する比を表わし, 流量の散らばりの程度を測る一つの尺度と考えられる. 此の比の半分を Lorenz の比と呼ぶ[1]. 次に総日数をn, n個の日流量から取つたあらゆる二つの日流量の差の算術平均を△, 日流量の平均値を$\bar{x}$とすれば, nが大きく流量が連続変量と見なし得るとき $1-L=\triangle/2\bar{x}$ であることが示される[3]. $\triangle/2\bar{x}$ は Gini の集中係数 (coefficient of concentration) と呼ばれる量[4]である. 此を G で表わせば, Lloyd の均等度はnが十分大きく変量が連続的と見なし得るとき $L=1-G=1-\triangle/2\bar{x}$ と書くことが出来る.

次に日流量が$\bar{x}$を越えない日数を, 第1図のS点で表わすとすれば, $\bar{x}=AB/OA=ST/OS$, また$\bar{x}$を越えない日流量の平均値を x' とすれば $x'=SP/OS$, 故に $x'/\bar{x}=SP/ST$. SP/ST もまた日流量が最も均等であるとき1となり, 最も不均等である時零となる量であるから, $x'/\bar{x}$ を均等度を測る一つの尺度に取ることが出来る. 此を河川特性数 (stream characteristic)[1,5] という. なお $dz/dy=x$ であるから, S点に於ける dz/dy は$\bar{x}$に等しく, 従つてPに於ける集中曲線の接線は OB に平行である.

以上述べた4量の中で変異係数と河況係数とは流量の分散度を表わし, Lloyd の均等度と河川特有数とは, その均等度を表わすものであるが, 此等はすべて時間的順序を顧慮していない. 従つて此等の諸量は不変でも, 流量の起る時間的順序が異れば, 日流量の変動度を等しいと考えることは穏当でない場合も起り得るであろう.[6] そこで著者は河川流量の変動の程度を測る他の尺度として変動係数 (coefficient of fluctuation) なる量を導入した. n日間の日流量を時間的順序に記載した記録があるとき, その日の流量と翌日の流量との差を最初の日から最終の日の前日迄総計したものをその期間内の日流量の全変動 (total fluctuation), 此を此の期間の全日数で除した商を平均変動 (mean fluctuation) と呼ぶことにする. 若し $n\geqq3$ ならば, 日流量の全変動は日流量合計の2倍に迄は達し得るが, 此を越えることはない. 全変動の日流量合計の2倍に対する比を日流量の変動係

数（F）と名づける．或は平均変動をD，平均流量を$\overline{x}$とすれば，$F=nD/2n\overline{x}$ となつて Gini の集中係数を定義した式の中の△をDで置きかえた形となる．1－Fは流量の定常性を表わす一つの尺度と解し得るであろう．[3)]

こゝでは日流量の変動係数および集中係数を九州地方の8山地河川について計算した．資料を提供された旧日本発送電株式会社九州支店に対し深謝の意を表する．また同支店土木部水路課の丹羽秀雄氏には特別の御配慮を煩わした．こゝに同氏の御好意に対し厚く御礼申上げる．なお本研究は費用の一部を文部省科学研究費に依つて行つたものである．

2．資料，方法，結果

河川名，測水所の名称，位置，および流域面積は第1表に示す通りである．

第　1　表

河川名	測水所 名称	測水所 位置	測水所 流域面積
A　川上川水系中原川	大野	佐賀県小城郡北山村大字大野字鷺の羽	53.98km²
B　筑後川水系津江川	荒瀬	大分県日田郡中津江村大字栃野字荒瀬	159.00km²
C　筑後川水系大山川	貫見	大分県日田郡大山村大字西大山字貫見	492.00km²
D　筑後川水系玖珠川	桜竹	大分県日田郡中川村大字桜竹字簗ケ瀬	456.00km²
E　筑後川水系筑後川	袋野	福岡県浮羽郡山春村大字三春字袋野	1441.40km²
F　耳川水系耳川	下福良	宮崎県西臼杵郡椎葉村大字下福良字若宮	211.00km²
G　耳川水系耳川	古園	宮崎県西臼杵郡諸塚村大字七つ山字古園	412.00km²
H　大淀川水系高崎川	巣立	宮崎県北諸県郡志和地村大字岩瀬字巣立	214.24km²

次に此等の河川について，（I）各年の変動係数，（II）記録の初年度の初からその年の終までの変動係数，各年の（III）最大日流量，（IV）最小日流量，（V）河況係数，（VI）平均日流量，（VII）平均比流量を第2表として掲げる．流量の単位は m³/sec，比流量の単位は m³/sec/1km² である．

第　2　表

A　中　原　川（大野）

年度	1929	1930	1931	1932	1933	1934	平均
(I)	0.1443	0.1689	0.1164	0.1157	0.1410	0.1226	0.1348
(II)	0.1443	0.1593	0.1416	0.1347	0.1361	0.1341	
(III)	11.88	47.85	25.42	16.96	39.94	24.91	
(IV)	0.90	1.35	1.50	1.57	1.37	1.12	
(V)	13.2	35.4	16.9	10.8	29.2	22.3	
(VI)	1.93	2.93	3.40	2.97	3.25	2.60	
(VII)	0.0357	0.0542	0.0630	0.0551	0.0603	0.0482	

B 津 江 川（荒瀬）

年度	1938	1939	1942	1943	1944	1945	平 均
(I)	0.2018	0.1410	0.2021	0.2092	0.1962	0.1997	0.1917
(II)	0.2018	0.1807	0.2021*	0.2051*	0.2026*	0.2017*	
(III)	148.0	88.8	243.0	167.0	170.0	200.3	
(IV)	2.53	1.98	2.50	1.91	2.20	2.20	
(V)	58.5	44.8	97.2	87.4	77.3	91.0	
(VI)	9.70	5.16	11.85	8.92	8.24	14.08	
(VII)	0.0610	0.0325	0.0745	0.0561	0.0518	0.0886	

* 1942年から起算した数値.

C 大 山 川（貫見）

年度	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935
(I)	0.1032	0.1143	0.1467	0.1696	0.0990	0.1198	0.0866	0.1464
(II)	0.1032	0.1077	0.1219	0.1368	0.1307	0.1291	0.1249	0.1280
(III)	418.0	239.0	258.0	529.6	184.0	185.0	147.0	463.0
(IV)	8.5	8.22	7.68	8.90	9.26	8.50	8.38	9.16
(V)	49.2	29.1	33.6	59.5	19.9	21.8	17.5	50.5
(VI)	27.56	18.93	26.62	33.29	20.41	22.09	17.02	29.44
(VII)	0.056	0.0385	0.0541	0.0677	0.0415	0.0449	0.0346	0.0598

年度	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	1943	平 均
(I)	0.1753	0.1291	0.1391	0.0980	0.1478	0.1181	0.1000	0.2003	0.1358
(II)	0.1355	0.1348	0.1352	0.1334	0.1345	0.1332	0.1475	0.1608	
(III)	420.0	179.0	328.0	136.0	339.0	259.0	590.0	484.0	
(IV)	9.92	10.2	11.4	8.25	7.03	11.8	11.3	7.05	
(V)	42.3	17.5	28.8	16.5	56.8	21.9	52.2	68.7	
(VI)	36.39	25.23	26.58	15.05	24.46	30.39	30.89	25.64	
(VII)	0.0740	0.0513	0.0540	0.0306	0.0497	0.0618	0.0628	0.0521	

D 玖 珠 川（桜竹）

年度	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	1935
(I)	0.1936	0.1422	0.1580	0.1526	0.1940	0.1061	0.1334	0.1004	0.1581
(II)	0.1936	0.1642	0.1625	0.1603	0.1694	0.1606	0.1573	0.1527	0.1534
(III)	223	397	247	237	423	189	191	93.8	312
(IV)	2.32	7.19	7.60	8.37	7.94	8.99	8.12	5.30	4.64
(V)	96.1	55.2	32.5	28.3	53.3	21.0	23.5	17.7	67.2
(VI)	17.19	23.08	15.56	16.46	26.75	15.97	15.75	11.69	22.55
(VII)	0.0377	0.0506	0.0341	0.0351	0.0587	0.0350	0.0345	0.0256	0.0495

年度	1936	1937	1938	1939	1940	1942	1943	1944	1945
(I)	0.1273	0.1176	0.0817	0.1036	0.1236*	0.1190	0.1714	0.2760	0.2048
(II)	0.1505	0.1475	0.1424	0.1380	0.1369				
(III)	214	176	188	168	153	128	87.9	741	384
(IV)	9.36	7.64	7.69	3.48	3.05	8.85	5.32	3.36	1.46
(V)	22.9	23.0	24.4	48.3	50.2	14.5	16.5	221	263
(VI)	22.01	18.12	17.29	12.27	16.67	20.08	19.64	14.61	24.45
(VII)	0.0483	0.0397	0.0379	0.0269	0.0366	0.0440	0.0431	0.0320	0.0536

* 1927—1940の各年の変動係数の平均値は0.1352である.

E 筑　後　川（袋野）

年度	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934
(I)	0.1818	0.1535	0.1369	0.2141	0.1571	0.1680	0.1517
(II)	0.1818	0.1704	0.1595	0.1793	0.1754	0.1743	0.1721
(III)	1820	701	1110	1560	1400	1185	696
(IV)	12.3	13.2	16.2	16.0	18.9	17.8	15.6
(V)	148	53.9	68.5	97.5	74.1	66.6	44.6
(VI)	65.71	44.95	53.53	92.80	53.14	59.03	39.54
(VII)	0.0456	0.0312	0.0371	0.0644	0.0369	0.0410	0.0274

年度	1935	1936	1937	1938	1939	1940	平　均
(I)	0.2810	0.2282	0.1154	0.2316	0.1273	0.2050	0.1809
(II)	0.1960	0.2009	0.1934	0.1966	0.1933	0.1942	
(III)	5660	1360	545	2260	455	2130	
(IV)	13.7	23.0	18.3	23.1	17.6	11.1	
(V)	413	59.1	29.8	97.8	25.9	192	
(VI)	114.88	86.88	56.70	66.70	36.62	68.16	
(VII)	0.0797	0.0603	0.0393	0.0463	0.0254	0.0473	

F 耳　　川（下福良）

年度	1942	1943	1944	1945	1946	1947	平　均
(I)	0.1698	0.2567	0.2200	0.1955	0.2055	0.0992	0.1911
(II)	0.1698	0.2177	0.2183	0.2115	0.2101	0.1984	
(III)	359	1063	425	374	582	229	
(IV)	3.30	2.92	4.05	3.53	3.63	2.74	
(V)	109	364	105	106	160	83.6	
(VI)	17.55	21.58	13.99	22.54	24.44	11.79	
(VII)	0.0832	0.102	0.0663	0.107	0.116	0.0559	

G 耳　　川（古園）

年度	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	平　均
(I)	0.1317	0.1144	0.0945	0.0958	0.1341	0.1737	0.1289	0.1247
(II)	0.1317	0.1235	0.1152	0.1118	0.1177	0.1288	0.1288	
(III)	391.3	266.2	296.0	183.4	463.6	934.3	471.1	
(IV)	7.06	7.12	8.33	6.68	7.14	6.38	5.86	
(V)	55.4	37.4	35.5	27.5	64.8	146	80.4	
(VI)	31.49	28.56	24.25	17.94	35.98	34.10	29.26	
(VII)	0.0764	0.0693	0.0589	0.0435	0.0873	0.0828	0.0710	

H 高　崎　川（巣立）

年度	1927	1928	1929	1930	1931	1932	1933	1934	平　均
(I)	0.1656	0.1294	0.1721	0.1583	0.1820	0.1205	0.1789	0.1303	0.1546
(II)	0.1656	0.1464	0.1535	0.1546	0.1605	0.1530	0.1553	0.1533	
(III)	423.0	181.0	269.0	300.5	282.0	238.0	207.4	88.8	
(IV)	2.73	3.76	3.67	5.32	3.77	3.66	2.37	3.10	
(V)	155	48.1	73.3	56.5	74.8	65.0	87.5	28.6	
(VI)	14.72	16.50	11.84	13.66	15.46	16.67	8.50	8.38	
(VII)	0.0687	0.0770	0.0552	0.0638	0.0721	0.0778	0.0397	0.0391	

変動係数の計算は流量表の上で次の方式に従つて行つた.

例

(1) 日	(2) 流量	(3) 増減
1	− 8.43	—
2	++ 8.74	／
3	−− 8.43	＼
4	+ 9.05	／
5	9.05	—
6	+ 9.05	—
7	− 8.43	＼
8	+ 8.43	—
9	8.13	＼
10	− 8.10	＼
		—
総流量	85.84	
全変動	2.19	

変動係数＝2.19/85.84×2＝0.01276

先づ期間を前後に各1日だけ延長したと考え，左例について言えば，第0日と第11日とを設ける．次に第0日の流量は第1日の流量に等しく，第11日の流量は第10日の流量に等しいとして，第1日から第11日迄流量の増減を第3欄に記入する．即ちその日の流量を前日のそれと比較し，増ならば／，減ならば＼等しければ—と記す．次に流量曲線の峯と谷との位置を次の方法で表わす．第3欄で或日の記号の右端に翌日の記号の左端を接して書いたと考えるとき，／＼ならば峯，＼／ならば谷，‾＼或は／‾ならば半峯，＼_ 或は _／ならば半谷と呼ぶこととし，第2欄の数字の前に峯ならば ++，谷ならば −−，半峯ならば +，半谷ならば − を記入する．かくして日流量を表わす数字の中で正号を持つものの合計から，負号を持つものの全部を差引けば流量の全変動が得られる．但し ++ は此を2回加え，−− は2回差引く．また符号を持たない数字は，此の場合顧慮する必要はない．

次にそれぞれの河川の日流量の集中係数を計算した．その為に日流量の累積度数曲線を Goodrich の方法[7,8]で平滑した．初め Gibrat の方法[9]を用いたが，その方法では累積度数曲線を都合よく1本の直線に引直すことが出来なかつた．そこで Reinhold に従い日流量 x の累積相対度数が

$$10^{-c(x-b)^n}$$

で表わされると仮定し，観測資料を用いて c，b，n を定めた．先づ図解法[10]によつて b を求め，n，c は観測値と計算値との差の自乗和が最小になるように定めた．*

日流量が x を越えない日数を Y，総観測日数を A とすれば

$$\frac{Y}{A}=10^{-c(x-b)^n} \qquad (1)$$

ここに $\log(-\log Y/A)=\eta$，$\log(x-b)=\xi$ とおけば

$$\eta=n\xi+\log c \qquad (2)$$

しかるに（1）式の残差は（2）式の残差の $d(Y/A)/d\eta$ 倍に当る．[11] 従つて（2）式の残差の $d(Y/A)/d\eta$ 倍の自乗和が最小になるように n，c を定むれば（1）式の残差の自乗和が最小になる．このようにして各河川について（2）式を導き第3表の結果を得た．（2）式を図示したものが第2図の直線である．図中の円は観測点を表わす．次に平滑した累積相対度数を用いて Gini の集中係数を算出するのに次式を利用した．

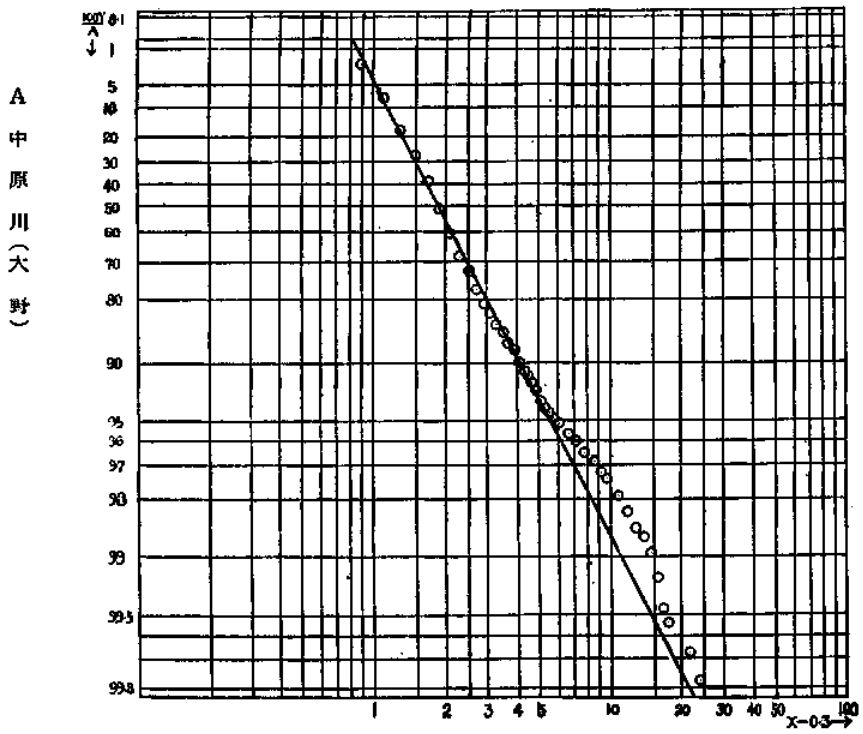
* この様な定め方に理論的な根拠はない．かりに (1) 式が理論上の必然性を有するにしても，観測値の非独立性を考慮すれば，通常の最小自乗法で parameter を定めることに合理性はない．例えば文献 (12) を参照．

$$\triangle/2=\int_{-\infty}^{\infty}F(x)(1-F(x))dx$$

但し△は前記の平均差，F(x)は分布函数を表わす．かくして得られた集中係数の値は第3表の最後の欄に掲げてある．

第　3　表

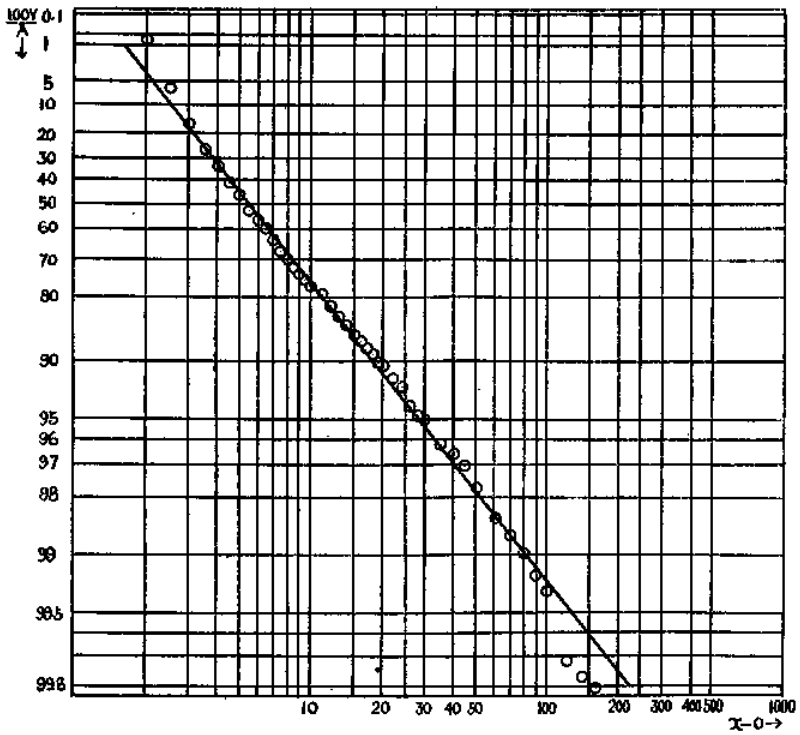
河　川　名	b	logc	n	集中係数
A　中原川(大　野)	0.3	0.13	−2.41	0.296
B　津江川(荒　瀬)	0	0.61	−1.55	0.521
C　大山川(貫　見)	4	1.52	−1.83	0.206
D　玖珠川(桜　竹)	2	1.79	−2.23	0.314
E　筑後川(袋　野)	11	1.58	−1.51	0.466
F　耳　川(下福良)	0	0.91	−1.46	0.674
G　耳　川(古　園)	0	1.46	−1.59	0.507
H　高崎川(巣　立)	2	0.98	−1.79	0.393



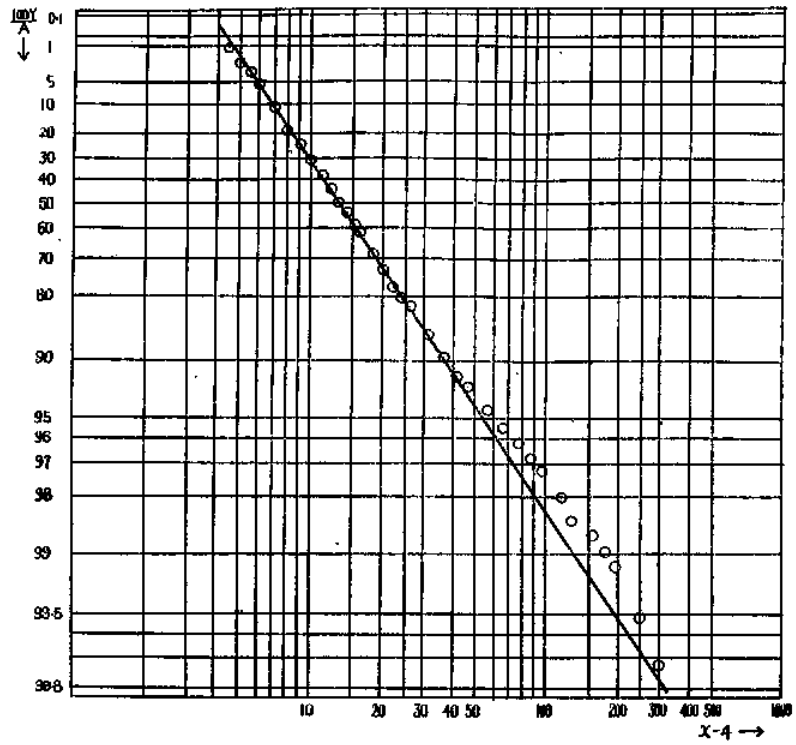
第 2 図 (A−H).

$\log(-\log Y/A)=\eta$, $\log(x-b)=\xi$ の関係.
直線は $\eta=n\xi+\log c$ を表わす.

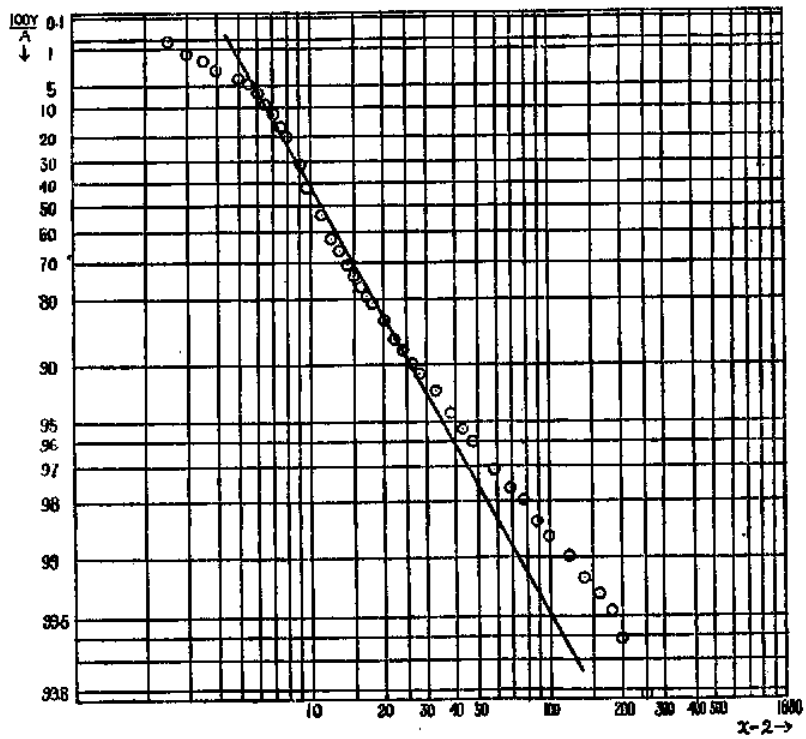
B 津江川(荒瀬)



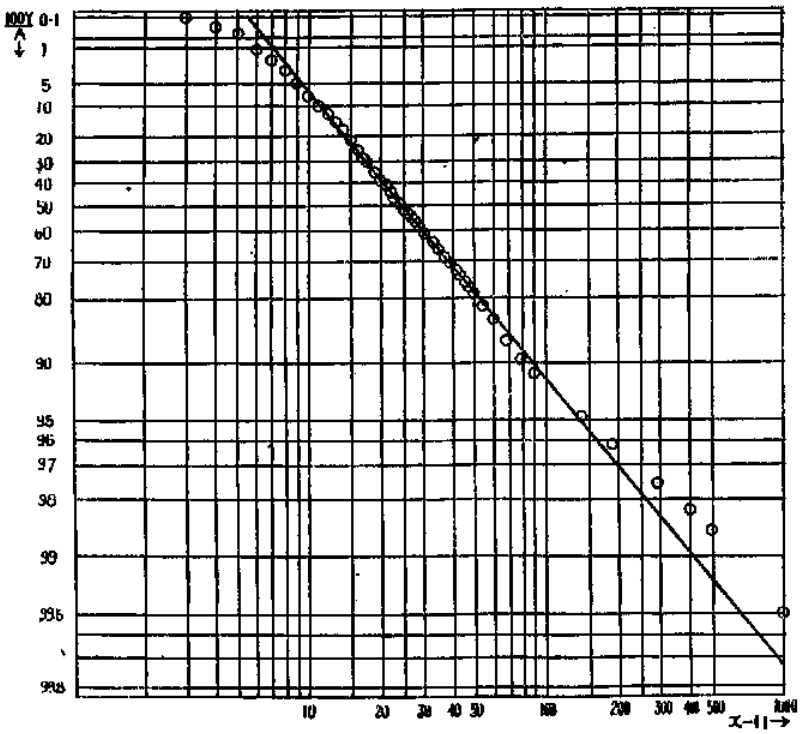
C 大山川(貫見)



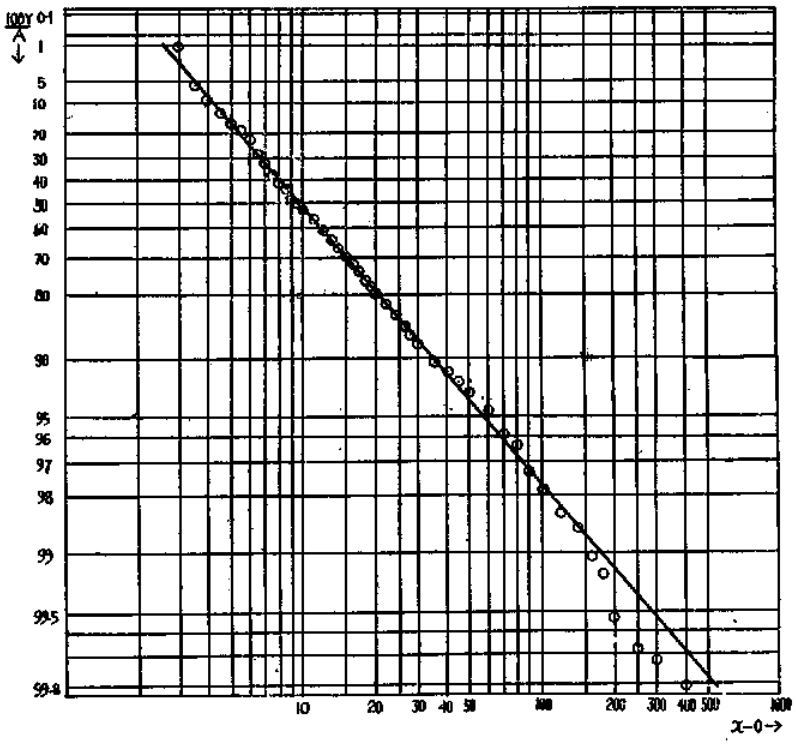
D 玖珠川（櫟竹）



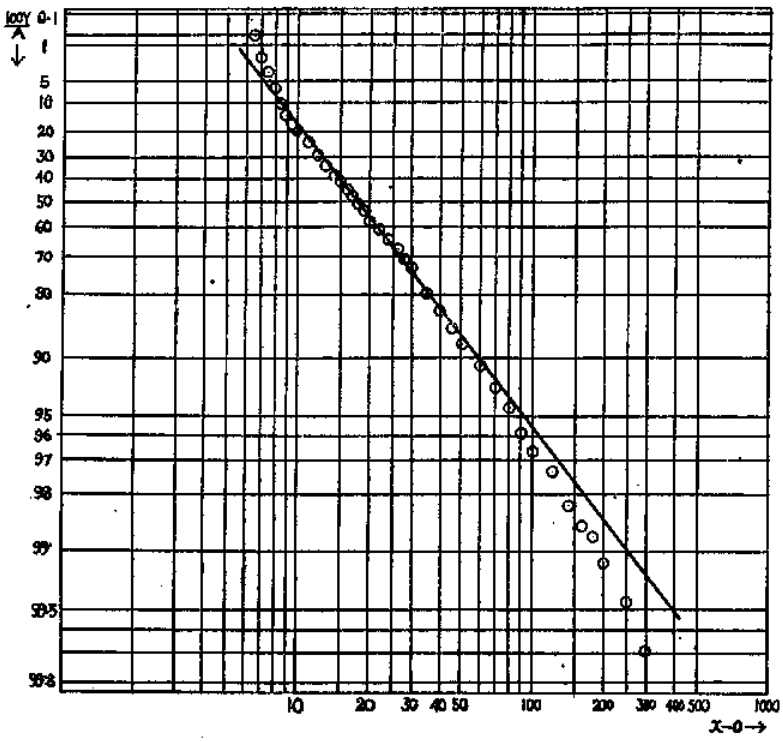
E 筑後川（袋野）

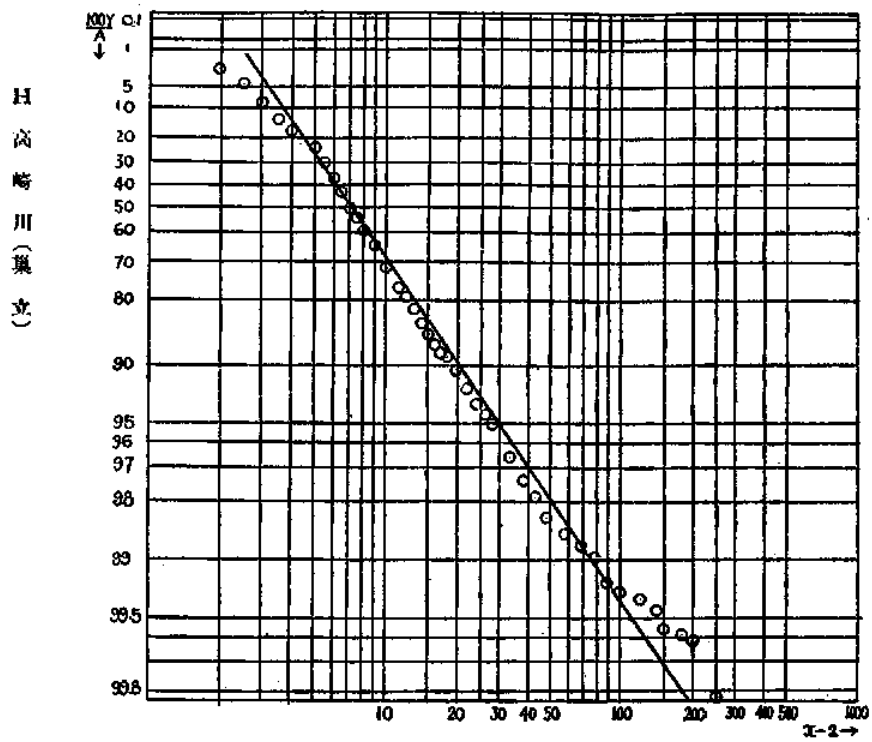


F 耳川(下福良)



G 耳川(古閑)





今集中係数と変動係数とを対比すれば次の様になる．

	集中係数	変動係数
A　中原川（大　野）	0.296	0.1341
B　津江川（荒　瀬）	0.521	0.2017
C　大山川（貫　見）	0.206	0.1608
D　玖珠川（桜　竹）	0.314	0.1369
E　筑後川（袋　野）	0.466	0.1942
F　耳　川（下福良）	0.674	0.1984
G　耳　川（古　園）	0.507	0.1288
H　高崎川（巣　立）	0.393	0.1533

此の中でB，Dは集中係数と変動係数とを計算した資料が一致しないから此を除き，他の6河川について両者の相関係数を計算すれば 0.0085 となり此の値は有意でない．次に各河川の毎年の変動係数と河況係数との相関係数を 76 対の値について計算した結果は 1%の危険率で有意である．但しその値は 0.5242 であるから，両者の間にあまり密接な関係は認められない．

3．摘　　要

河川流量の変動を表示する一つの尺度として“変動係数”なる量を，九州の8山地河川について計算した．変動係数とは，当日の流量と翌日の流量との差を期間の最初の日から最後の日の前日迄合計し，此を期間内の総日流量の2倍で割つた商である．得られた値は 0.13～0.20 の程度であつた．此に対し Gini の集中係数は 0.30～0.67 である．変動係数

が野渓的河川の flashiness を表示する尺度として，従来用いられている分散度を表わす諸量に対して有すると考えられる利点は，（1）流量の時間的順序を考慮に入れていること，（2）流量表の上で簡易に計算の出来ることである．

文　　献

(1) Lloyd, D., A Measure of Uniformity, and its Application to Daily Stream Flows. Water and Water Engineering, Vol. 42, 10—13 (1940).

(2) 統計学辞典（東京：1951），pp. 16, 645.

(3) 治水研究 (1)，（九州大学農学部林学教室砂防工学研究室：1948），pp. 21—22.

(4) 統計学辞典，p. 169.

(5) Lloyd, D., Attributes of the Curve of Concentration. Water and Water Engineering, Vol. 42, 346—350 (1940).

(6) Discussion of (1) by M. G. Ionides. Water and Water Engineering, Vol. 42, 160 (1940).

(7) Reinhold, F., Einfache Zeichnerische Darstellung von Dauerkurven. Die Wasserwirtschaft. Jg. 26, Nr. 13, 14, 15 (1933).

(8) Weibull, W., A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. Journal of Applied Mechanics, September, p. 293 (1951).

(9) Gibrat, R., Aménagement hydroélectrique des cours d'eau. Statistique mathématique et probabilités. Revue générale de l'Electrcité, 15, 22 Octobre (1932).

(10) 統計学辞典，p. 864.

(11) Schwerdt, H., Lehrbuch der Nomographie (Berlin: 1924), S. 87.

(12) Kottler, F., The Goodness of Fit and the Distribution of Particle Sizes. Journal of the Franklin Institute, May, p. 499 (1951).

Résumé

As a measure of flashiness for mountain torrents, the "coefficient of fluctuation" has been introduced. It is the day-to-day variations in discharge summed up over the period under consideration, divided by twice the sum total of the daily discharges during the same period.

If the number of days is not less than 3, the coefficient of fluctuation may attain but never exceeds 1. What may perhaps be considered as its advantages over the hitherto proposed measures of the flashiness of river flows are (1) that it takes account of the chronological order in which the daily flows occur and (2) that it can be computed on the daily record of discharge according to a simple scheme without rearranging the data. The coefficient of fluctuation calculated for eight mountain streams in Kyushu, Japan, ranges from 0.13 to 0.20 as against 0.30 to 0.67, the corresponding range of Gini's coefficient of concentration, which is the complement (with respect to unity) of the measure of uniformity introduced some years ago by Mr. D. Lloyd.