

# 森林の流量調節作用表示式に對する統計的檢討

文 部 教 官      野      口      陽      一

Yoichi NOGUCHI :

## A Study on the Run-Off Controlling Effect of Forest by Means of the Statistical Method

### 目            次

I    緒            言.....	135	V    流量調節作用の永年變化.....	140
II   假説及び計算の方法.....	135	VI   摘            要.....	140
III   資            料.....	137	Résumé .....	140
IV   計算結果及び假説の驗證.....	137		

### I            緒            言

東京大學農學部附屬愛知縣演習林に於ける量水試験は、1926年以來繼續行われて現在に至つて  
いるが、その間森林の影響に關する研究上多大の貢獻をして來た。筆者が當量水所に於ける多年  
の觀測結果を研究資料として與えられ、幸にして比較的短期間に之を纏める機會を得たことは、  
演習林に勤務せられる各位の熱心なる御協力の賜である。本報告は量水試験方法論に關する基礎  
的研究を目的としたもので、その意圖は本學荻原貞夫教授に負う所が極めて大きい。尙多大の勞  
力を要する計算作業には砂防工學教室に勤務される尾崎芳子・白石喜美子兩氏を煩わした。又大  
學院學生山口伊佐夫氏との討論に於て教えられた點も少くない。上記の方々に對し此所に深く感  
謝の意を表する次第である。

### II    假説及び計算の方法

1) 今雨の降り方が同一であり且つ平均流量が等しいと假定した2つ以上の流域に於て、一定  
期間の流量の標準偏差

$$S_r = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}} \dots\dots\dots (1)$$

(茲に  $d$  はその期間内の平均流量に對する單位期間の流量の差、 $n$  は單位の總數)

をそれぞれ考えると、 $S_r$  の値がより小さい流域は、 $S_r$  の値がより大きい流域よりも流量調節作用が  
より大であると云つて差支えない。(森林の流量調節作用を斯う解釋する。以下同じ。) それ故  $S_r$

1) 此所では雨の降り方と云う言葉に降水量の標準偏差及び平均降水量の意味を含ませるものとする。

の大小を以て2つ以上の流域の流量調節作用を比較する標準とすることが出来る。以上の理論は之をそのまま現實の流域に當てはめるには無理な假定から出發しているが、量水試験としては出来るだけ近似的にその假定を成り立たしめるような流域を選定することに力が注がれているのであるから、茲ではその理想的な場合を考えたのである。

さて  $S_r$  の値を流量調節作用比較の標準として用いる場合、計算の單位として年又は月のような長い期間を採ることはあまり意味がなく、1日と云うような短い期間を採ることが實際的である。<sup>1)</sup> 何となれば降水量に増減が起つてから、それが流出量の増減として現われるまでに経過する時間は、量水試験地程度の流域の大きさでは通常<sup>2)</sup> 長いものではないからである。單位時間を1時間或は1分と云うように、更に短く採つて計算し得る資料を用いるときは、精密さの點で一層よいわけであるが、こうすれば同一の手数を掛けて纏め得る試験期間の範圍が小さくなると云うことには注意しなければならない。本報告に於ては資料の關係で、すべて1日を單位とした1年間に於ける標準偏差即ち日流量標準偏差を計算の基礎としている。

2 元來條件因子の多い野外に於ける量水試験は、少くとも氣象特に降水状態が極めて類似している隣接した流域に於て行われる事を理想とする。<sup>4)</sup> しかしこの要件を満足する類似の限界即ちどの程度に類似しておればよいかと云うことは未だ明らかにされていない。従つて雨の降り方が多少でも異なることを認めた場合に、 $S_r$  の大小を以て流量調節作用比較の標準とする事は理論的根據が薄弱であつて、茲に雨の降り方が流量に及ぼす影響を、數學的操作に依つて消去する問題が起る。

今平均降水量及び平均流量がそれぞれ等しい（雨の降り方の中、降水量の標準偏差のみ異なる）と假定した2つ以上の流域に於て、流量の標準偏差  $S_r$  が降水量の標準偏差  $S_p$  にそれぞれ比例するものとすれば各流域に就て

$$F_0 = \frac{S_r}{S_p} \dots\dots\dots (2)$$

はそれぞれ一定であつて、<sup>5)</sup>  $F_0$  の値がより小さい流域は、 $F_0$  の値がより大きい流域よりも流量調節作用がより大きいと云うことが出来る。それ故前と同様に、 $F_0$  の大小を以て流量調節作用比較の標準とすることが出来る。

3 次に一般の場合即ち平均降水量や平均流量も異なることを認める場合を論ずるに先立つて、平均降水量  $A_p$  と平均流量  $A_r$  との關係を考えると、 $A_r$  は流域に依つて定まる  $A_p$  の函數即ち

1) 櫻井莊三：愛知縣演習林に於ける流出量測定結果に就て、東京大學農學部演習林報告 第25號 (1937)

2) 積雪地方に於てはその期間が長いから別に考えねばならない。

3) 佐野謙次：流域理水機能の數學的表現法、卒業論文 (1950)

4) 荻原貞夫：森林と水、農學 第2卷 第8號

5) 簡單の爲に一定と云う語を用いたが  $F_0$  の値が、それらの大小を以て他の流域との比較の基準となし得る程度に（或る確率を以て）揃つた値であればよい。換言すれば任意の流域の  $F_0$  の値は雨の降り方に依つて差はないと云う假説を設けるのである。荻原貞夫・山本勝市：瀧の口山水源涵養林試験第2回報告、森林治水試験彙報 第20號 (1944) 及び佐藤良一郎：無相關檢定法 pp.4~6

$$A_r = f(A_p) \dots\dots\dots (3)$$

として表わすことが出来る。それ故、 $A_r$  の値を数學的操作に織り込んで得た或る値を以て、平均流量の大小の影響を消去したものであると見做し得る場合は、その値は既に、平均降水量の大小の影響からも免れていると見做して差支えないであらう。

そこで今一般の場合に2つ以上の流域に於て、 $F_0$ が平均流量  $A_r$  に比例するものとすれば各流域に就て

$$F_1 = \frac{F_0}{A_r} = \frac{S_r}{S_p A_r} \dots\dots\dots (4)$$

はそれぞれ一定であつて、 $F_1$  の値がより小さい流域は  $F_1$  の値がより大きい流域よりも流量調節作用が大きい。従つて前と同様に  $F_1$  の大小を以て流量調節作用比較の標準とすることが出来る。

### Ⅲ 資 料

東京大學農學部附屬愛知縣演習林内に4箇の量水堰による流量測定設備があり、各種の氣象要素と共に毎日の流量が観測されている。その流域の概況は第1表に示す通りである。これら各流

第1表 4流域土地利用區分(單位ha)  
及び地勢

流域 利用區分	A	B	C	D
松及雜木地	38.0	25.2	10.5	50.6
松樹地	59.3	29.9	—	24.9
砂防植栽地	—	—	3.0	—
檜植栽地	—	11.4	—	—
雜木地	—	13.5	—	—
未立木地	—	—	0.4	11.1
崩壊地	9.4	7.6	—	16.6
陶土採集地	—	—	—	—
耕地	—	—	—	4.7
除地	—	0.9	—	1.7
合計	106.7	88.5	13.9	109.6
傾斜 海拔高(m)	稍々急 347~617	急 294~629	緩 140~217	稍々緩 128~205

(本表は櫻井莊三:「愛知縣演習林に於ける流量測定結果に就て」に依り作成した。但し流域名はA,B,C,Dは同論文に記載された符號A,B,C,Dとは關係なく、新に附したものである)

域に於ける1930年より1949年に至る20年間(但しD流域は1945年迄で観測を中止したから16年間)の日降水量及び日流量(いづれも單位はmm)を本報告に於ける計算の基礎とした。  
これらの観測には下記の諸氏が當られた。  
流域A—林和夫(1930—1937), 中川止(1938—現在), 流域B—近藤幸男(1930—1932), 田村義美(1933—1937), 林和夫(1938—現在), 流域C—大塚通男(1930—現在), 流域D—小島完一(1930—1938), 井上丹治(1939—1945)

### Ⅳ 計算結果及び假説の驗證

前述の意圖に基いて  $S_r$ ,  $F_0$ ,  $F_1$  の値を計算した結果は第2,3,4表にそれぞれ示す通りであるが

- 1) 例えば櫻井莊三: 前掲論文に於ては兩者の關係は直線的であるとし、 $A_r = a \cdot A_p + b$  ( $a$ ,  $b$  は流域に固有の常數) なる式の  $a$ ,  $b$  値が實驗的に定められた。
- 2) 茲でも亦前頁註5に述べたと同様な假説を一應認めるものとする。

之に依つて前述の假説を驗證するに先立つて我々は次の事柄を認めなければならない。

(1) 森林の皆伐其他特に注目すべき林況地況の變化が起らない限り、或る流域の流量調節作用は年により甚だしく増減するものではない。

(2) 従つて2個以上の流量調節作用に関する順位は急激には變化しない。

1 そこで第2表をみると1流域に就て $S_r$ の値が2倍乃至數倍或はその逆にも變化しているが之は(1)に述べた事柄と相容れない。又 $S_r$ の値の小さい順序に従つて4流域を横に並べると第5・

第2表  $S_r$  の 値

流域 年	A	B	C	D
1930	4.88	4.76	3.23	4.21
31	2.27	2.16	3.05	3.10
32	2.98	4.78	6.03	5.78
33	1.95	2.52	2.50	2.23
34	1.54	2.37	1.95	2.19
35	4.43	4.11	4.44	5.22
36	4.35	4.44	5.98	5.96
37	2.72	2.71	2.43	3.16
38	6.80	7.57	4.98	6.30
39	1.82	2.53	1.79	2.13
40	3.29	4.20	4.84	6.41
41	5.41	4.90	6.87	7.93
42	2.88	3.63	2.59	3.21
43	1.99	2.40	3.17	2.41
44	1.20	1.02	1.33	1.61
45	5.45	8.79	5.90	6.51
46	3.33	3.58	3.66	—*
47	1.19	1.68	1.35	—
48	1.54	2.85	1.86	—
49	4.29	7.09	5.28	—
平均	3.22	3.90	3.67	4.26

第3表  $F_0$  の 値

流域 年	A	B	C	D
1930	0.372	0.368	0.320	0.423
31	0.211	0.232	0.326	0.335
32	0.229	0.337	0.513	0.504
33	0.195	0.216	0.263	0.244
34	0.165	0.237	0.238	0.272
35	0.312	0.238	0.351	0.420
36	0.301	0.301	0.422	0.434
37	0.234	0.230	0.256	0.316
38	0.455	0.480	0.418	0.520
39	0.163	0.221	0.203	0.252
40	0.251	0.314	0.393	0.514
41	0.350	0.323	0.443	0.515
42	0.272	0.250	0.246	0.310
43	0.168	0.199	0.295	0.227
44	0.132	0.114	0.170	0.213
45	0.366	0.555	0.438	0.503
46	0.238	0.320	0.314	—*
47	0.120	0.121	0.151	—
48	0.176	0.262	0.242	—
49	0.278	0.453	0.393	—
平均	0.249	0.291	0.320	0.375

第4表  $F_1$  の 値

流域 年	A	B	C	D
1930	0.111	0.117	0.121	0.161
31	0.079	0.103	0.123	0.144
32	0.073	0.123	0.159	0.181
33	0.092	0.113	0.117	0.126
34	0.107	0.159	0.135	0.171
35	0.096	0.091	0.099	0.123
36	0.107	0.108	0.127	0.142
37	0.091	0.087	0.093	0.123
38	0.123	0.119	0.118	0.155
39	0.090	0.120	0.128	0.153
40	0.142	0.175	0.170	0.268
41	0.099	0.093	0.128	0.145
42	0.127	0.105	0.119	0.153
43	0.102	0.118	0.156	0.138
44	0.099	0.112	0.131	0.165
45	0.103	0.132	0.122	0.147
46	0.093	0.122	0.120	—*
47	0.080	0.083	0.093	—
48	0.087	0.116	0.115	—
49	0.104	0.146	0.125	—
平均	0.100	0.117	0.125	0.156

\* 流域Dに於ては1945年を以て觀測を中止した。

1表のようになるが、之を見ると殆んど1年毎に流域の順位が變化して、(2)に述べた事柄に反する結果となつてゐる。これらのことは、當流域の場合 $S_r$ の大小を以て流量調節作用比較の標準とすることが適當でないことを物語つてゐる。これは當該4流域が各々距離的にも可なり隔りがあり、1の2に述べたような量水試験地としての理想的な條件を必ずしもそなえていない事實から考えると當然の事である。

2 次に第3表をみると任意の1流域について $F_0$ の値は稍々揃つてゐるがまだ數倍に變化する場合がないでもなく、(1)に述べた事柄とはやはり相容れないとみるべきであらう。しかし $F_0$ の値の小さい順序に従つて4流域を横に並べた結果得た所の第5・2表を見ると、年に依り例外もあるが概ねA, B, C, Dの順になることが看取される。20年間に於て同じ順位に現われる流域の数の最

第5表 流量調節作用の大きさの順序の表

年	5.1表 $S_r$ を標準とした場合				5.2表 $F_0$ を標準とした場合				5.3表 $F_1$ を標準とした場合			
順位	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1930	C	D	B	A	C	B	A	D	A	B	C	D
31	B	A	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
32	A	B	D	C	A	B	C	D	A	B	C	D
33	A	D	C	B	A	B	D	C	A	B	C	D
34	A	C	B	D	A	B	C	D	A	C	B	D
35	B	C	A	D	B	A	C	D	B	A	C	D
36	A	B	D	C	A	B	C	D	A	B	C	D
37	C	B	A	D	B	A	C	D	B	A	C	D
38	C	D	A	B	C	A	B	D	C	B	A	D
39	C	A	D	B	A	C	B	D	A	B	C	D
40	A	B	C	D	A	B	C	D	A	C	B	D
41	B	A	C	D	B	A	C	D	B	A	C	D
42	C	A	D	B	C	B	A	D	B	C	A	D
43	A	B	D	C	A	B	D	C	A	B	D	C
44	B	A	C	D	B	A	C	D	A	B	C	D
45	A	C	D	B	A	C	D	B	A	C	B	D
46	A	B	C	—*	A	C	B	—*	A	C	B	—*
47	A	C	B	—	A	B	C	—	A	B	C	—
48	A	C	B	—	A	C	B	—	A	C	B	—
49	A	C	B	—	A	C	B	—	A	C	B	—
合	A <sub>11</sub> B <sub>4</sub> C <sub>5</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>9</sub> C <sub>6</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>5</sub> C <sub>3</sub> D <sub>6</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>5</sub> C <sub>3</sub> D <sub>7</sub>	A <sub>13</sub> B <sub>4</sub> C <sub>3</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>5</sub> B <sub>10</sub> C <sub>5</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>5</sub> C <sub>10</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub> D <sub>13</sub>	A <sub>15</sub> B <sub>4</sub> C <sub>1</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>10</sub> C <sub>7</sub> D <sub>0</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>6</sub> C <sub>11</sub> D <sub>1</sub>	A <sub>0</sub> B <sub>0</sub> C <sub>1</sub> D <sub>15</sub>

\* 1946年以降はDが欠けているが、Dを假に観測したとすれば之は第4位に来るとして、3位迄を他の3つを以て充當したのである。

1) 大のものをとつて定めた順序は $F_0$ の20年間の平均値に依つて定めた順序とも一致する。つまり(2)に述べた事柄を大體に於て裏書きしている。換言すれば、流量調節作用を表わす標準として $F_0$ の値を用いた場合は、 $S_r$ の値を用いた場合よりも、我々が公理的に認めた(1),(2)の事柄と矛盾しない確率が大となつたのである。

3 さて最後に第4表を見ると任意の1流域に就て $F_1$ の値は略々一定している。又第5.3表は前と同様に $F_1$ を標準とした4流域の順序の表であるが、この表に於て4流域の順序が同じになる度合は益々増加している。即ち任意の年をとつて定めた4流域の順序がA,B,C,Dとなり、従つて(1),(2)に述べた事柄を満足する確率は前の2つの場合に於けるそれより、一層大となつた。尙第5.3表に於てA,B,C,Dの順にならない年がまだあるのは、降水量或は流量そのものの影響に依るのでなく、流域中に於ける他の因子(例えば人爲的一時的因子)に原因する變位と考えるより他はない。

1) 第3表最下行平均値はA,B,C,Dの順に増加している。

以上を以て、當該4流域のように雨の降り方が異なる場合に於ては流量調節作用の標準として  $S_r$  又は  $F_0$  の値を用いるよりは  $F_1$  の値を用いる方が優れていると云うことが實證されたわけである。

## V 流量調節作用の永年變化

さて第5・3表を注意深く觀察すると、順位の2番、3番には全期間の前半に於てはB、Cが多く現われ、後半に於てはC、Bが多く現われる。この事はB或はC流域の流量調節作用が永年に於て變化しつゝある事を示唆している。そこで筆者は今此の永年變化が假に直線的なものであるとして、 $F_1$  の値をY軸に、年數をX軸にとり、

$$y = ax + b \dots\dots\dots (5)$$

なる式の係數  $a$ ,  $b$  を最小自乗法によつて定め、次の實驗式を得た。

$$\text{流域A} \dots\dots y = + 0.00009 x + 0.0971 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{" B} \dots\dots y = + 0.00022 x + 0.1145 \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{" C} \dots\dots y = - 0.00034 x + 0.1285 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{" D} \dots\dots y = + 0.00063 x + 0.1509 \dots\dots\dots (9)$$

即ち1930年~1949年の間に於て  $F_1$  の値はA、B、D流域に於ては極く僅か乍ら次第に増大（流量調節作用は減少）しつゝあるが、只C流域に於てのみ減少（流量調節作用は増大）しつゝあると云い得る。(6)~(9)式に於て(5)式の  $b$ ,  $a$  に相當する値を、林相状態を示す或る値（例えば鬱閉度）及びその逆數の變化率と對比してみれば、概ねそれらに相應する値をとつてい<sup>1)</sup>るのではあるまいか、少くとも4流域の順序をとる標準とはなるであろう。又C流域のみについて  $F_1$  が減少しつゝあることは、C流域に於てはその面積の22%に行われた(1926~1931)砂防植栽の爲林相が急速に向上しつゝあると云う事實と明らかな對應を示している。

## VI 摘 要

1 一定期間の日流量標準偏差を  $S_r$ , 日降水量標準偏差を  $S_p$ , 平均日流量を  $A_r$  とすれば、流量調節作用を表わす標準として  $S_r$ ,  $\frac{S_r}{S_p}$ ,  $\frac{S_r}{S_p A_r}$  等の式が用いられるが、その中  $\frac{S_r}{S_p A_r}$  を用いるのが最も一般的である。

2 東京大學農學部附屬愛知縣演習林に於ける4流域の流量調節作用を上式に依つて表わせば1930~1949年の間、3つの流域に於てそれは極く僅か減少しつゝあり、他の1つの流域に於て僅かに増加しつゝある。前者の原因は未だ明らかでないが、後者の原因は砂防植栽の効果であると

1) 鬱閉度と流量調節作用との關係を研究する方法としての一策であるが、本報告ではそれ迄論ずる資料がなく、只第1表の土地利用區分及び觀察に依る林相の良否と比較するに止めた。

考えられる。

### Résumé

In order to express the run-off controlling effects of forest the following three statistical formulas are presented and compared with each other.

$$1. S_r = \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}$$

$$2. F_2 = \frac{S_r}{S_p}$$

$$3. F_1 = \frac{F_0}{A_r} = \frac{S_r}{S_p A_r}$$

where  $d$  = Difference between daily run-off and the average of them during a year.

$n$  = Number of days in a year.

$S_r$  = Standard deviation of daily run-off.

$S_p$  = Standard deviation of daily precipitation.

$A$  = Average of daily run-off.

As the results of the comparison using data of 20 years obtained from the experiments conducted on 4 watersheds in the Tokyo University Forest in Aichi Prefecture, formula 3 is found to be most suitable for expressing the run-off controlling effect of forest.