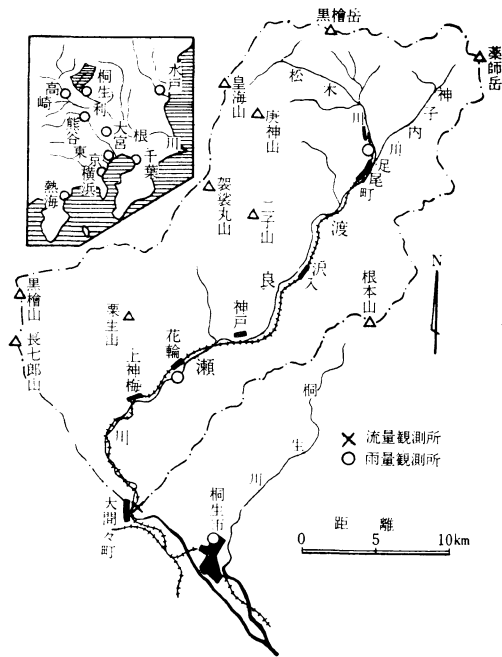


洪水時における渡良瀬川の流出傾向

荒 巻 孚*

1. ま え が き

ある特定の気象条件によって豪雨が発生し、そのために、特定の様式の洪水が生ずると考えられるが、同一流域内で発生する洪水様式は大略的には流域の環境に支配されて、ある定められた姿に規制されるといわれる⁽¹⁾⁽²⁾。したがって、個々の洪水を、それを引きおこした個々の大雨との関連から検討することは必要であるが、さらに、同一流域内における洪水の一般傾向を把握することは、洪水予知のうえから極めて重要である。



第1図 調査流域概況図

これらの点を明らかにするため、すでに、筆者は渡良瀬川の洪水を史的に考察し、また、最近の洪水の資料を用いて、洪水の発生頻度およびその周期性を報告した⁽³⁾。その後、同地域における高水時の量水曲線の解析

を行い、その流出傾向を調べたので、今回はその結果を報告する。なお、調査にあたっては、山地出水が洪水におよぼす重要性を考え、平野部に至るまでの上流山地の高出水を調査することに重点をおいた。したがって、研究の対象とする地域は山地部の末端に位置する大間々高津戸測水所から上流々域 452km²である(図1)。すなわち、高水資料は上記測水所の1914年から1950年までの37年間の記録を用いた。また、本研究でとりあげた出水は警戒水位(8.00m)をこえた高水位時のものである。さらに、相対する降水量の詳細な資料は上流部の足尾測候所(海拔高度 674m)の記録を用い、併用した他地点のそれは公刊の統計書によった。

なお、本研究にあたっては、終始、教育大三野与吉博士の御指導および西平重喜講師の御助言をえた。また、足尾測候所々長山崎氏ならびに、渡良瀬川砂防工事々務所の方々のご好意ある御協力を得た。これらの方々へ深く感謝の意を表したい。

2. 調査流域の降雨と出水時期の傾向

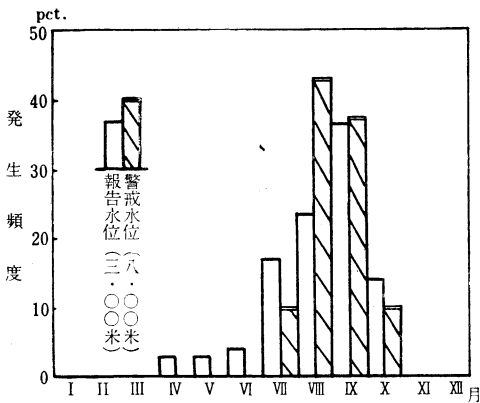
調査流域の大よその特性を把握するために、大間々測水所の近くに位置する桐生の資料を加えて、流域内の観測地別に降雨の傾向を概観する。表1はそれぞれの地点における年・月平均降水量およびその標準偏差・変動係数を示した。すなわち、流域内の平均年降水量は約1500mmであるが、山寄りの足尾では1953mm(平均年降雨日数 219.8日)と相当に多い。月降水量は冬季に少なく、夏季に多く、特に、7~9月の3月間の降水量が年降水量の約半分に相当する。降水量の変動係数を求めると、年降水量の係数は小さく、月降水のそれは割合に大きい。しかし、各月の中で、9月の変動係数は花輪・桐生が最小で、足尾のそれも、6・10月について小さい。したがって、9月の降水は毎年多量に、しかも、その割合には一定している。これに反し、8月の値は相当に大きい。しかし、概して、夏季は他の季節に比べてその値が小さいから、毎年多量の雨がほぼ一定していることがわかる。

つぎに、大間々高津戸における高水の発生回数の割合

* 東京教育大学地理学科 —1958年1月20日受理—

第 1 表 流域内各観地の年・月降水量 (1901~1950)

月	足 尾			花 輪			桐 生		
	平均降水量 mm	標準偏差	変動係数	平均降水量 mm	標準偏差	変動係数	平均降水量 mm	標準偏差	変動係数
1	40.55	23.68	0.58	27.36	19.31	0.70	21.07	16.18	0.77
2	61.42	45.53	0.74	37.97	25.76	0.68	36.84	29.21	0.79
3	88.29	40.59	0.46	59.98	31.09	0.52	53.23	28.66	0.54
4	137.42	57.92	0.42	121.41	49.69	0.41	84.85	36.82	0.43
5	175.31	84.32	0.48	139.14	62.24	0.45	104.02	53.93	0.52
6	205.86	81.48	0.39	175.32	75.56	0.43	152.07	70.76	0.46
7	303.76	204.02	0.67	222.55	109.11	0.49	179.46	77.25	0.43
8	372.71	230.21	0.62	246.93	157.36	0.64	186.36	95.77	0.51
9	320.68	143.75	0.45	231.70	93.06	0.40	193.56	84.81	0.43
10	184.94	76.09	0.41	132.41	54.04	0.41	134.99	67.03	0.50
11	82.17	47.51	0.58	49.20	35.07	0.71	50.87	36.19	0.71
12	48.80	29.59	0.61	35.63	27.08	0.76	29.92	25.80	0.86
年	1953.89	324.86	0.17	1451.21	276.12	0.19	1236.73	196.91	0.16

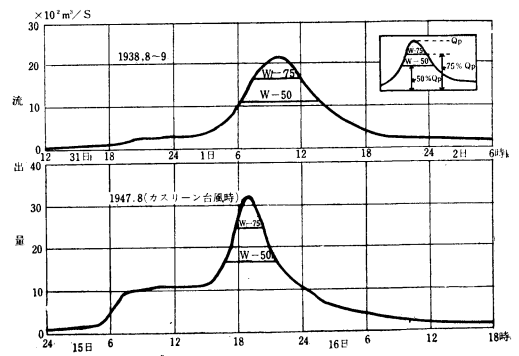


第 2 図 高津戸測水所における報告・警戒水位の月別発生頻度 (1901~1950)

を月別に集計すると(第2図), その発生傾向は同様に夏季に多く, 増水は7~9月に集中してみられる. すなわち, 1912~50年の報告水位 (3.00m) をこえた高水の発生頻度は9月が37%, ついで, 8・7・10月の順となり, 夏季3月間でその8割をしめる. また, 同期間中の警戒水位をこえた増水も全年の9割を占める. したがって, 渡良瀬川の高水の発生は降水量の多いこれら夏季に殆んど限られる.

3. 量水曲線の形態

以上の結果から, 大よその出水傾向が知られたが, つぎに, 高水時に現われた量水曲線の形態から流出の傾向をとらえてみる. 警戒水位以上の高水時の曲線をとら



第 3 図 渡良瀬川高津戸の高水時の量水曲線

げると, 曲線の形態は雨の降り方と, それにともなう水の出方によってその度に異っている(第3図)*. しかし, 各曲線を通観してみると, その曲線の形態はある共通した傾向をもって現われているようである. 例えば, 量水曲線の初期の流量はほぼ一定に保たれ, 増水時には急激に水量が増し, 曲線に現われる傾斜の変換が明らかである. また, 減水時には, 増水時のそれよりも明らかではないが, 同様に, ある流量に達すると減水時の曲線が急に折れまがる. さらにまた, その間の曲線の形態も最大流量に準じて一様に変化している. このことについて, Sherman 教授⁴⁾ は(4)流域の特性によって, 量水曲線は

* 第3図は紙面の都合から, 当流域で特に典型的な2高水時の量水曲線のみに限った. 従つて, 第6図もそれが高水時の unit graph のみを示した.

ほぼ一定であり、曲線が雨量強度に支配されることはないと述べている。

そこで、これらの曲線の共通性を見出すため、各高水時における最大流量と量水曲線の幅員(W)から、曲線の形態を調べた。この幅員は便宜的に最大流量に対し、ある割合の流量を定め、それ以上の流量があらわれる継続時間を示したものである。ここでは、最大流量に対する50% (W-50) および75% (W-75) に相当する流量以上の時間、すなわち、それぞれの流量時の曲線の幅員を求めた。いま、最大流量とこれら幅員との関係をプロットすると、第4図に示される。各点の分布の傾向は一

ることは、最大流量が変化しても、W50とW75の比がある程度等しいことになる。

また、同グラフ上に、W50およびW75の最大限界線を引くと、両者の限界線は同様な傾向を有し、ほぼ平行して求められる。すなわち、これらの傾向から推して、量水曲線の幅員は最大流量の規模に準じて、一応、規則的な比例関係をもって現われることが認められる。つまり、最大流量の50%以上に相当する流量時の曲線は各高水時で、それぞれある程度異なるが、その傾向はほぼ一定で、やはり、流域の状態に規制されていると考えられる。

しかし、Sherman が指摘したように、量水曲線が雨量強度に支配されないという考え方は各点のばらつきが相当あることから、必ずしも当流域では当てはまらない。特に、日本では降雨の状態が多種多様であるから、降雨の状態の差による影響差が大きく、流出の傾向もその場合によって異ってくるのであろう。しかし、降雨の状態が単純でなく、しかも、地形が複雑で、河長が短いこの河川においても、ある程度のばらつきを認めれば、流域の特性が流出の傾向を定め、量水曲線を規制しているとみられることは興味ある事実である。

このように、量水曲線の型に一応の規則性のあることがわかったが、つぎにこの量水曲線を一つの波型として推定する。いま、試みに、量水曲線の形態について、曲線のうちで特に重要であるところのW50以上のそれについて検討する。第4図から求められた傾向線について、W50およびW75のそれぞれの傾向式を求めると次式となる。すなわち、

$$W50 = 3.64 \times 10^5 Q_p^{-1.443} \dots\dots\dots (1)$$

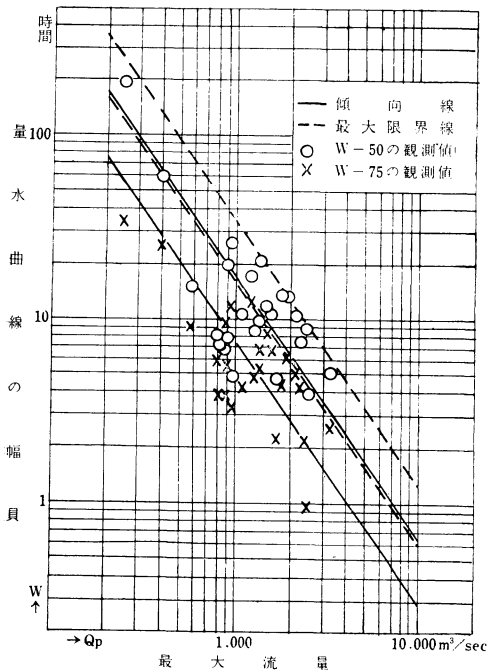
$$W75 = 1.62 \times 10^5 Q_p^{-1.443} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 Q_p : 最大流量, (m^3/sec), $W50$: 最大流量に対し50%以上の流量が現われている継続時間 (時間), $W75$: 75%以上の流量が現われている継続時間 (時間) となる。(1), (2) 式から、W50とW75との関係を求めると、

$$W50 = 2.24 W75 \dots\dots\dots (3)$$

が得られる。

つぎに、最大流量に対し、50% (W50) 以上の曲線がどのような波型を有すか検討する。末松博士によると、八斗島の量水曲線の結果は⁵⁾、単位流量に対する増水時間を t とすれば、減水時間は $3t$ となり、最大流量時を境にしてその曲線を非対称型と考えている。このように出水の全期間を通じてみると、確かに、筆者が調べた高



第4図 最大流量と量水曲線の幅員との関係

般に、最大流量が増加するほど、量水曲線の幅員が減少する。したがって、量水曲線の全体の形は最大流量が大きい出水ほど、先端が鋭く突出するような形をとる。平均的にいうと、量水曲線の幅は最大流量が $1000m^3/sec$ のときにはW50が16時間、W75が7時間であり、また、 $3000m^3/sec$ のときにはそれぞれ4時間、2時間となる。

さらに、W50およびW75について、それぞれ傾向線を引くと、両対数グラフ上の各点が相当に分散しているけれど、両傾向線は平行した直線で引くことができる。これら傾向線は点のばらつきをもとに、一応近似な線を書いたものであるが、W50およびW75が平行してひかれ

水でも増水時と減水時の曲線は非対称型である。しかるに、本研究で取り上げたような出水規模が大きい高水で、加えて、W50以上の曲線のみを対象とした場合には、その曲線型は殆んど対称型と見なされる(第3図)。したがって、曲線の型態に適合するような曲線波型は一応その範囲が限られてくるであろうから、ピアソン系の度数曲線の中、いくつかの波型を取り上げて当てはめた結果、最大流量を mode とする対称的時型が一番よく適するようである。すなわち、ピアソン系の度数曲線は⁶⁾、

$$\frac{1}{y} \cdot \frac{dy}{dx} = \frac{-x}{b_0 + b_1x + b_2x^2} \dots\dots\dots (4)$$

となる微分方程式で定義されるところの函数である。そして、W50以上の曲線に当てはまるようなピアソン系の2型に属する曲線は

$$y = y_0 \left(1 - \frac{x^2}{\alpha^2}\right)^m \dots\dots\dots (5)$$

で表わされる。

そこで、y軸に流量、(rQ)、x軸に曲線の幅員、すなわち時間(T)をとり、出水時の波型を考える。いま、(5)式に(1-3)式を当てはめると、 $\alpha = W50/2$ となり、 $m = 3.12$ となる。すなわち、

$$rQ = 1/2 Q_p \left(1 - \frac{(T_i)^2}{(W50/2)^2}\right)^{3.12} \dots\dots\dots (6)$$

ただし、 $rQ = W50$ の流量以上の T_i 時の流量(m³/sec)

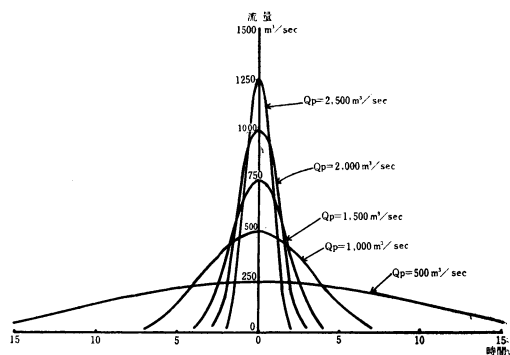
$T_i = W50$ の時間の1/2を原点とした前後の時刻(時)

$Q_p =$ 最大流量(m³/sec)

があたえられる。そこで、W50は(1)式であたえられるから、

$$rQ = 1/2 Q_p \left(1 - \frac{T_i^2}{(1.82 \times 10^5 Q_p^{-1.443})}\right)^{3.12} \dots\dots\dots (7)$$

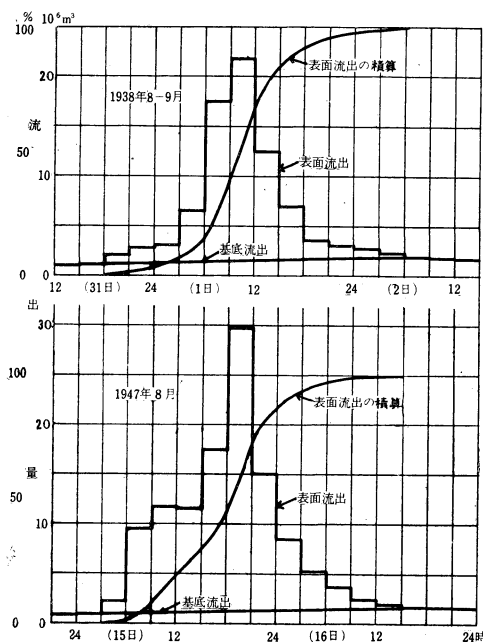
となり、 Q_p (最大流量)をあたえることによって、最大流量に対する波型が得られる。したがって、この式から得られる波型は最大流量が大きい出水ほど、突出した曲線でえられる。この式をもとに、それぞれの最大流量時の標準波型を求めると、第5図に示される。この図をもとにして、第3図のW50以上の曲線を見ると、ある程度のずれは認められるが、一応、有意な関連をもっている。しかし、この波型の方程式は量水曲線を表わす一つの試法として導いたもので、さらに、適切な波型式を考える必要がある。同時に、このことは将来、洪水を予知する上に重要であると思われる。



第5図 渡良瀬川高津戸測水所の量水曲線のW-50以上の標準曲線

4. 洪水時における表面流出の特性

つぎに、量水曲線をもとに、表面流出の傾向をとらえてみた。すでに、筆者は前項で、量水曲線について、増水・減水時に、それぞれ、その曲線傾斜が急激に変るところがあることにふれた。これは、表面流出によって、河川に対する流水の供給量が急激にふえ、反面、減水時には表面流出による流水の供給が停止して生ずる現象と考える。そこで、量水曲線の形から推定して、流出源別にそれぞれ基底流出と表面流出とに分けた。この際、1.



第6図 3時間 Unit Hydrograph.

第2表 流出量および降水量の総括

年 月 日	総降水量 P 10^5m^3	総流出量 R 10^6m^3	表面流出量 Sr 10^6m^3	基底流出量 Bf 10^6m^3	表面流出比 Sr/Bf Unitless	表面流出強度 $Sr/\text{表面流出時間}$ $10^6\text{m}^3/\text{min}$	表面流出率 Sr/P Unitless	降水時間 (足尾) 10min
1914 8 29~31	—	1088	844	244	3.5	0.361	—	216
1914 9 14~16	—	824	539	285	1.9	0.187	—	216
1917 10 1~2	—	513	346	167	2.1	0.213	—	240
1919 9 14~19	—	3034	2305	729	3.2	0.337	—	600
1920 8 4~7	—	1408	1003	405	2.5	0.232	—	288
1922 8 24~27	—	1776	1337	439	3.1	0.275	—	336
1925 8 15~17	—	1101	657	444	1.5	0.152	—	336
1928 10 10~9	609	428	195	233	0.8	0.098	0.32	—
1930 7 30~2	1049	760	562	198	2.3	0.284	0.53	174
1933 8 14~15	705	449	222	227	1.0	0.103	0.31	—
1935 8 29~30	814	532	341	191	1.8	0.172	0.42	114
1937 7 14~18	1645	1352	848	504	1.7	0.181	0.52	320
1937 9 11~12	718	549	376	173	2.2	0.209	0.52	132
1938 6 29~1	587	403	97	306	0.6	0.032	0.17	—
1938 8 31~2	1203	882	674	208	3.3	0.312	0.56	180
1939 8 5~6	717	353	232	121	1.9	0.184	0.33	162
1940 8 26~27	835	278	156	122	1.3	0.144	0.19	264
1941 7 22~23	1100	642	444	198	2.2	0.224	0.41	186
1943 10 3~4	746	349	206	143	1.4	0.143	0.28	—
1944 10 7~8	753	320	181	139	1.3	0.144	0.24	—
1947 9 15~16	1744	1221	1016	205	5.0	0.470	0.58	324
1948 9 16~17	1238	693	528	165	3.2	0.326	0.43	138
1949 8 31~1	1322	1011	796	215	3.7	0.402	0.60	—
1950 8 4~6	1165	893	552	311	1.9	0.170	0.50	234

時間単位の量水曲線ではその境が明らかでないで、その限界をより明瞭にするため、3時間単位の unit-hydrograph を求めて推定した(第6図)⁽⁷⁾⁻⁽⁸⁾すなわち、増水時の傾斜が変る前の勾配をその俣外挿し、減水時の流量差が殆んど認められない時点に結びつけた。この境界線から以下の流量を基底流出によるもの、以上の流量を表面流出によるものと考えた。

このような方法で求めた、各高水時の表面流出量、基底流量およびその他の値は第2表に示される。また、この表で示された基底流量、および、総流出量は表面流出が行われていた期間の値である*。

したがって、実際にはここに示された値より多量の流出があったことになる。

* 一雨の降水がどの程度基底流出に影響するか、その限界を知ることは不可能であるから、表面流出が行われている期間に限った。

a) 表面流出量

大正・昭和年間を通じて、連続した1雨による表面流出量が最も多かった出水は大正8年9月14~19日に発生したもので、最高水位 14.55m を記録した。この出水はすでに停滞していた不連続線と中部山岳地帯を通過した台風の影響によるものである。つぎに、大きいものは大正11年8月に関東東部から三陸沖に抜けた台風による最高水位 12.73m の出水である。この時は3日間に連続した2回の大雨が有り、両者を合せて、足尾の総降水量が500mm 強もあった。第3は渡良瀬川において稀有の大洪水といわれたカスリーン台風によって発生した出水時の表面流出である。

これらの表面流出量は降雨の継続時間と降雨強度によって定まるであろうから、つぎに表面流出量をこれら降雨の状態の函数として考える。すなわち、つぎのような方法で定めた。雨量強度は局地的に異なるであろうが、便

宜的に流域の総降水量を足尾の降水時間で割った値とした。また、この総降水量は流域内に雨量観測所が少いため、栃木・群馬両県のそれぞれの出水時の雨量図から、該流域の部分抜き出し、等雨量線によって囲まれた面積を計測し、それぞれの階級の面積に相対する平均雨量（囲んだ2つの等雨量線の平均値）を乗じ集計して求めた。降水時間は足尾の値を使用した（第2表）*。

これらの資料をもとに、表面流出量を従属変数として、3変数を1つの群と考え、重回帰分析によって関係式を求めると、

$$S_F = 1.22R_i + 3.27R_t + 8.31 \dots \dots \dots (8)$$

但し、 S_F = 表面流出量 ($10^7 m^3$)

R_i = 降雨強度 ($10^4 m^3/min$)

R_t = 降水時間 ($10^3 min$)

となる。この回帰式による推定の標準誤差は $1.50 \times 10^7 m^3$ である。さらに、分散分析を示すと第3表となり、相

第3表 分散分析表

変動因	d.f.	SS	SV	F ₀
回帰	2	47.5902	23.7951	10.52**
偏差	8	18.0941	2.2618	
全体	10	65.6843		

** 1%で有意

関は密接で危険率1%の水準で有意性がある。また、重回帰の結果から、表面流出量に対する R_i と R_t の相対的効果を検討すると、独立な標準回帰は R_i が +0.72, R_t が +0.95 となる。したがって、(8) 式では、降雨時間が雨量強度よりも表面流出量に対して効果的である。

b) 表面流出強度 表面流出量は1雨ごとの総量を求めたもので、必ずしもこの値が大きいほど大出水であるとは限らない。つまり、総表面流出量が僅かでも、短時間に大雨がもたらされたときは表面流出強度が大きく、大出水をまねく。

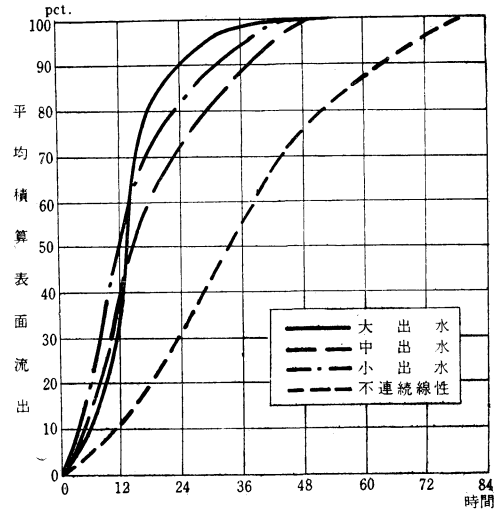
いま、総表面流出量を表面流出時間で割った値を表面流出強度とすると、調査期間を通じて、この値はカスリーン台風時が $4.7 \times 10^4 m^3/min$ で最大で、ついで、キティ台風時の $4.0 \times 10^4 m^3/min$ が大きい。要するに、すでに筆者が論及した洪水の被害規模⁹⁾ はこれら表面流出強度が高いものほど、大きいようである。

そして、このような表面流出強度は基底流量と表面流

* 各高水時の降水時間の資料のうち、欠けているものは資料不明のため調査不能による。

出との比に密接な関連がある。すなわち、カスリーン台風時にはこの比率が 5.0, キティ台風時には 3.7 とともに大きく、他出水をみても、この比率は表面流出強度と比例関係にある。これは表面流出と基底流出との境を定めるに当って、どの量水曲線も殆んど類似していたように、基底流出による単位時間あたりの河川への供給量がほぼ一定であるからであろう。

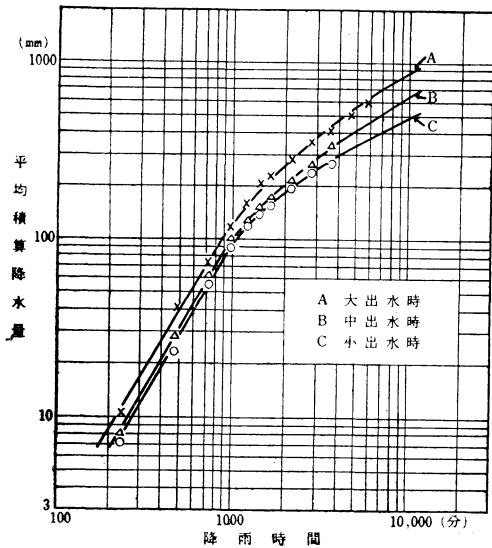
つぎに、高水の規模によって、水の出方がどの程度異なるかを比較してみる。図7は高水規模の区分別に、各出



第7図 出水規模別に集計した平均積算表面流出比と表面流出時間との関係

水を集計して、表面流出時間に対応する平均積算表面流出比を求めたものである。高水規模の区分は最大流量によって、適宜に大・中・小の出水に3区分した。すなわち、大出水は最大流量が $2000 m^3/sec$ 以上を示した出水、小出水が $1200 m^3/sec$ 以下、その中間を中出水と定めた。また、出水の性格が純粋に不連続線性によるものはさらに別に区分し、これら4区分について、それぞれ値を集計して平均を求めた。この結果、不連続線性の出水は降雨の特性を現わすように、表面流出が緩慢で、殆んど同じような流出強度で流水が河川に供給される。これに対し、主に台風性の降雨による出水時の他3曲線は表面流出量の50%が表面流出開始から、12~15時間で終る傾向がある。そして、50%をすぎるとあたりから、積算曲線の傾斜が緩となり、単位時間あたりの積算比が減少する。また、時間的に表面流出開始が降雨開始より若干遅れるとするならば、このような積算曲線の傾斜の変換点は大雨の雨量強度が減る境の時刻あたりに相当するようで

ある。すなわち、第8図は足尾の降雨時間に対する平均積算降水量をそれぞれの降水に相対する高水規模別に集計したものであるが、3曲線とも雨が降り始めてから約



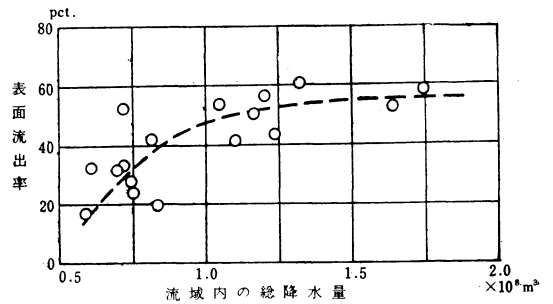
第8図 出水規模によつて分類した出水時の平均積算降水量

1000分(約17時間)前後で、降雨強度が漸減し、単位時間あたりの増加率が減小する。これは関東山岳地帯における1雨の moist air の供給に関連するからで、雨量強度の時間的変化の一特徴によるものであろう⁽¹⁰⁾。このように、雨量強度が減小する変り目と表面流出強度のそれとは約2~3時間のずれをもっているが、両者の開始時刻のずれから考えて、一連の関係をもっていると考えられる。

また、便宜的に分けた大・中・小の出水規模別に積算曲線の傾向をみると、大出水のそれは単位時間当りの積算率が高く、表面流出量の90%が流水開始から20時間以内に現われる。これに対し、中・小出水はほぼ同じような曲線の傾向を示し、表面流出比が大出水よりは一様である。しかし、小出水の曲線が中出水のそれに比してかえて曲線が急である。これは小出水時には表面流出の後半の流出量が相当に減じるため、積算比として表わした曲線に、この影響が現われるからであろう。

表面流出が行われた継続時間は高水の規模によって異なるが、全般にみて、約40時間前後である。この継続時間は平均降雨時間が約40時間であるから、大雨のそれとほぼ一致する。したがって、表面流出は降雨の開始および終止と相前後して行われるようである。

c) 表面流出率 つぎに、表面流出によって雨水が出水時の流量にどの程度影響するか、降雨の有効雨量* について考察する。表面流出率を総降水量と表面流出量との比率から求めると、その結果は第2表に示される。すなわち、本論で取り上げた高水時の表面流出率は高く、大よそ45%である。中でも、その比率が高かった出水の値はキテイ台風時の60%、カスリーン台風時の58%、昭和13年の台風だけの影響によって発生した出水時の56%である。この値は筆者が調べた渡良瀬川の斜面状況の結果から推して⁽¹¹⁾、いまだ行われた実験値とほぼ近似のようである。例えば、野満博士⁽¹²⁾は各地方の実験の測定値から強雨による表面流出の標準を求められ、裸地55~60%、森林の少ない土地45~55%、森林の多い土地35~45%と定めている。



第9表 表面流出率の傾向

さらに、第9図は総降水量と表面流出率との関係を示したものであるが、一般に拋物線的で総降水量に比例して表面流出率が高くなる。しかし、総降水量が $1 \times 10^6 \text{m}^3$ (平均降水量約200mm)以上になると、表面流出率の増加の割合が少くなり、その値が50%とほぼ等しくなる。そして、その最大限界が約60%である。したがって、降雨の特性によって一律に言及することができないが、200mm以上の降雨があると、有効雨量は殆んど一定となるものと推せられる。末松博士の利根川の研究でも⁽¹³⁾、総流出率**は平均降水量が150mm以上に達すると80%と、ほぼ定まってくるのが報告されている。

このような点から、当流域では降水量が200mm以上降ると、土壌の保湿度が飽和状態となり、斜面が裸地的徴候を呈するらしい。そして、雨水の損失は土壌の保湿度が飽和になると、重力水として地中に滲漏し、地下水

* この場合は表面流出する雨量のみについて考える。
** 末松博士の調査は総流出量、すなわち表面流出量+基底流出量について行われた。

として補給される水量のみに限られてくるのではなかろうか。したがって、地下水として補給される滲漏水の割合が、このような大雨時には降雨量と無関係に一定になることが考えられるが、この点については推論をし難い。過去の研究も⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾、本論で対象としたような大雨時よりも寡雨時の観察が主で、その結果は雨量と滲漏水とが比例関係にあることを指摘したに過ぎない。したがって、大雨時の滲漏率について、その傾向は明らかでない。また、当流域でも現地でも、斜面における雨水の滲漏に関する調査を行っておらず、滲漏効果について不明である。しかし、それらは大雨時の有効雨量の一定化との間に、ある関連をもっていることは考えられる。

5. 要 約

以上、渡良瀬川高津戸における警戒水位をこえた高水時の量水曲線をもとに、種々の作業を行い流出の傾向を調べた。それらの結果のうち、主だった点を要約するところの通りである。

1. 渡良瀬川の高水の発生は雨量の多い7～9月の夏季3カ月間に集中する。特に、これら夏季の雨量は年降水量の半分に達し、各年の変動も少く、一定してもたえられる。

2. 一般に、量水曲線の形は最大流量の大きさに準じて一定の規則性をもつ。すなわち、量水曲線から最大流量に対し、50%以上の流量時の継続時間および75%のそれを求めると、その継続時間は相互に規則性をもち、最大流量に反比例して短くなる。したがって、最大流量が大きいくほど、鋭く突き出した曲線型を示す。

3. 表面流出量を降雨の状態、すなわち降水時間・降雨強度との函数と考え、関係式を求めると、

$$S_F = 1.22R_i + 3.27R_t + 8.31$$

但し、 S_F : 表面流出量 ($10m^3$)、 R_i : 降雨強度 ($10^4 m^3/min$)、 R_t : 降水時間 ($10^3 min$) が与えられる。また、この式によれば、降水時間の因子が降雨強度の因子よりも、表面流出量に対して、効果的である。

4. 一般に、表面流出強度は洪水規模や被害の多少に関連がある。また、表面流出の継続時間は高水規模によ

って異なるが、ほぼ一定で、大雨の平均降雨時間と等しく今回調査した場合、約40時間前後である。

5. 表面流出率は警戒水位を突破するような高水時にはその値が高く、約45%である。さらに、総降水量と表面流出率との関係は拋物線的で、総降水量に比例して値が大きくなる。しかし、総降水量が $1 \times 10^8 m^3$ 以上—平均降水量 200mm—になると、表面流出率は50%とほぼ一定になり、その最大限界値が約60%である。

参考文献

- 1) Creager, W. P., J. D. Justin and J. Hinds, 1950: Engineering for Dams. New York, 99-207.
- 2) Sherman, L. K., 1932: Stream Flow from Rainfall by Unitgraph Method. Eng. News Rec. 108.
- 3) 荒巻 孚, 1955: 渡良瀬川の洪水頻度. 天気, 12, 19-23.
- 4) Sherman, L. K., 1932: 前出 (2).
- 5) 末松 栄, 1956: 利根川の解析(下). 建設省 関東地方建設局 213~214.
- 6) 佐藤良一郎, 1951: 数理統計学. 培風館, 139~150.
- 7) Foster, E. E., 1949: Rainfall and Runoff. New York, 106-170.
- 8) Creager, W. P., J. D. Justin and J. Hinds, 1950: 前出 (1).
- 9) 荒巻 孚, 1955: 前出 (3).
- 10) 経済安定本部資源調査会, 1950: 関東地方台風資料, 東京.
- 11) 荒巻 孚・沢野亮一, 1956: 荒廃山地が河床堆積物および運搬物資に与える影響, 地評, 548-563.
- 12) 野満隆治, 1943: 河川学, 東京, 54.
- 13) 末松栄, 1956: 前出 (5).
- 14) 野満隆治, 1943: 前出 (12).
- 15) 真山利雄, 1933: 地表流下量と滲透量の観測成績, 森林治水気象集報, 13, 115-140.