第25回水理講演会論文集　1981年２月

降雨の平均損失強度の推定およびその特性について

Estimation of the mean loss rate of precipitation and its characteristics

東京工業大学工学部　正　員　　日　野　幹　雄
東京工業大学工学部　学生員　○　グエン　ソン　フン

1. はじめに

流出計算に際しては，一般に，まず実測降雨量強度から有効降雨強度を推定し，次に有効降雨強度から流量を計算するという二段階の処理がなされる。しかし，タンクモデルによる方法の様に，降雨の損失量の計算は流量計算の過程に含まれるという一段階の方法もある。従来の流出計算法においては，上記の第二段階の計算のみが強調されすぎて，最初の計算段階が軽視されてきたきらいがある。ということは，流出計算モデルとして種々の方法が提案され，精密化されているのに対して，有効降雨強度の推定方法は案外粗略にされているということである。有効降雨強度の推定方法には多くの方法がある：すなわちCoaxial method[1]，初期一括損失差し引き法，一定比損失差し引き法，一定量損失差し引き法，損失量曲線による方法，浸透能曲線による方法，以上の組合せによる方法，流域貯留量に比例して差し引く方法など[2]。しかし，これら種々の方法による推定損失強度の時間的分布は互に異なり，それらの間の差異は非常に大きい。また，山地流域では流出係数が0.5より小さいことはよくある。したがって，損失強度（特にその時間的分布）を十分に推定しえない限り，流出現象を十分に記述出来たとは言えないであろう。また，降雨－流出現象の非線形性を議論することも困難である。

降雨の損失量には，水面・葉面などからの蒸発，樹木の生長に費やされる水量（蒸散），他流域への流出または観測所の河道の地下を流れる非観測流量などの成分がある[3]。しかし，これらの量を十分に正確に測定することは容易ではない。

ところで，水文資料はその種類においても，量においても限られ，普通よく観測されるのは雨量と流量だけである。雨量・流量資料は一般に時間や日の単位で観測され，前者は洪水時だけに，後者は通年わたって行われるのが普通である。このような限定された水文資料から，その流域の水文特性を出来るだけ多く抽出するのはhydrologistに与えられた仕事の一つであろう。従来は，雨量・流量の資料を用いて降雨一流出現象の機構解明，モデル化などの研究がよくなされてきた。本論文は，このような立場から，従来研究の少い損失量の特性の把握および解析の第一段階として，数年間の日雨量と日流量の資料の解析から，まず平均的な意味での損失量の特性を調べたものである。

2. 従来の研究

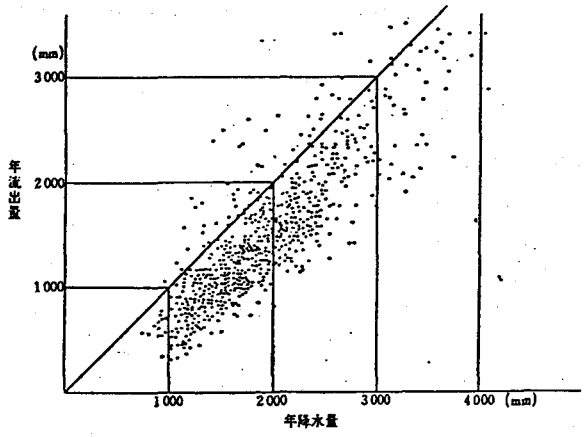
日雨量・日流量の資料を利用した降雨損失量の推定についての研究は，著者ら知る限りでは極めて少ない。これらのうちの主なものを掲げると以下のようである。

(1)建設省土木研究所は，各地方建設局，北海道開発局に依頼し，８年間にわたって日本の各河川の年降水量と年流出量を調査した[4]。この調査の結果によると，(i)水収支関係は，年流出率で見るより年損失量で見る方がよい。(ii)年降水量が少ないほど年損失量が多くなる傾向がある。(iii)年降水量が多くなるにつれて，各河川流域における年降水量と年流出量の関係のばらつきは大きくなる。

(2)中野[5]は，小森林流域において同様に年降水量と年流出量の関係について調べ，次のことを報告している。すなわち，年流出量は年降水量とともに指数関数的に大きくなるが，年降水量がある限度以上大きくなると両者の関係はほぼ直線的になる（図－２）。この限界点の年降水量は，亜熱帯，熱帯地方ではかなり大きな値をとり，暖地ではさらに大きい値となり，逆に寒地，高地では小さい値をとる。上記の２つの研究では年間の総損失量のみが対象とされ，損失量の時間的変化は考慮されなかった。

(3)日野・砂田[6]は，タイ国のQuai Yai 川の水文データの解析から，この流域における流出係数は年間を

通じて一定ではないと報告している。図－3(a)はこのことを示す。R_{cum}，Q_{cum}はそれぞれ雨季開始から時間tまでの累積した雨量と流量，f(t)はその期間における流出係数，R_T，Q_Tはそれぞれ雨期の総降水量と総流出量である。（R，Q，tの定義は次の節に述べる。）さらに，彼らは観測降雨強度から有効降雨強度を推定する新しい方法を提案しつつ，月平均損失量の大部分が蒸発によるものであり，これは気温などからThornthwaite 法やHamon法で推定しうることを示した。図－3(b)は，一群の降雨による流出係数C_fが雨季開始から時間tまでの累積した総降雨量の関数であることを示している。



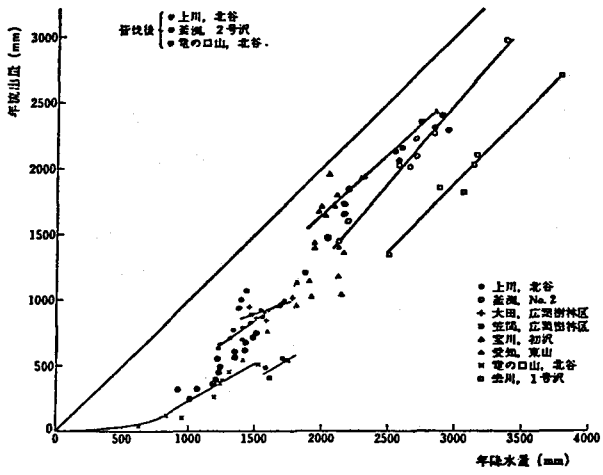
図－1　年降水量と年流出量との関係
（土木学会水理委員会，水理公式集，1971）

3. 解析方法

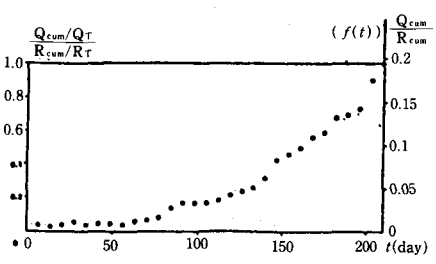
今，流域をlumped systemとして考える。さて，降雨期間内における流域全体の水収支は，次式で表わされる。

$$R(t)-L(t)-\frac{dV_S(t)}{dt}-\frac{dV_G(t)}{dt}$$
$$=Q_S(t)+Q_G(t)=Q(t) \qquad (1)$$

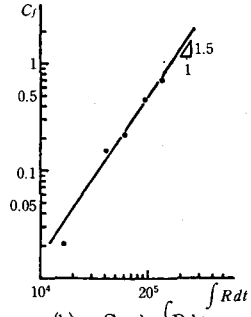
ここで，R(t)は流域平均の日雨量，流量Q(t)はR(t)と次元を合わせるために，これを流域の面積Aで割った単位面積あたりの日流出量で，単位はR(t)，Q(t)ともmm／dayで扱う。L(t)は時刻tにおける損失強度（日損失量）で，これには



図－2　森林流域における年降水量と年流出量の関係
（中野，森林水文学，1977）



(a)　f(t)および$\frac{Q_{cum}/Q_T}{R_{cum}/R_T}$とt



(b)　C_fと$\int Rdt$

図－3　Quai Yai 川流域における流出係数の変化
（日野・砂田，土木学会論文報告集，1977）

前述のように蒸発散量，他流域への流出量，観測所の河道の地下を流れる非観測流量等が含まれる。また，V(t)は貯留量であり，添字SとGはそれぞれ表面からのと地下からのという意味で使われている。

式(1)の右辺のQ(t)を左辺に移して書きなおすと

$$R(t)-Q(t)=LS(t) \tag{2}$$

こゝに，

$$LS(t)=L(t)+\frac{dV_S(t)}{dt}+\frac{dV_G(t)}{dt} \tag{3}$$

しかし，浸透現象を主眼にすれば，降雨期間における流域全体の水収支は，また別の形で表わすことが出来る。

$$R(t)-Q(t)=F(t)+\frac{dV_S(t)}{dt}-Q_G(t) \tag{4}$$

ここに，F(t)は浸透強度。

$$F(t)=R(t)-\frac{dV_S(t)}{dt}-Q_S(t) \tag{5}$$

$$=Q_G(t)+\frac{dV_G(t)}{dt}+L(t) \tag{5a}$$

上式で，もし地表貯留から蒸発や他流域への表面流出量を無視出来れば$F(t)$はほぼ浸透強度に近い値になる。

式(2)に示した$LS(t)$は，時刻tにおける流域の入力$R(t)$と出力$Q(t)$の差であるので，ここで仮りに**見掛けの全損失強度**と呼ぶ。式(3)に示したように，見掛け損失強度$LS(t)$には損失強度$L(t)$だけではなく地表・地下貯留量の増加速度（$\dot{V}_S$，$\dot{V}_G$）も含まれる。各時刻における損失強度$L(t)$を計算するには，雨量Rと流量Q以外に地表貯留量V_S，地下貯留量V_Gが必要であるが，これらは直接には測定しえない。

ところで，流域全体の貯留量は，一般的に降雨強度$R(t)$と流量$Q(t)$の関数であると考えられる。従って，もし一定強度の雨量$R(t)$が長期間続くと，やがて流量$Q(t)$も一定値に近づき，流域全体の水収支関係はほぼ平衡状態に達し，流域全体の貯留量の変化はなくなる。つまり，$\frac{dV_S(t)}{dt}\approx 0$，$\frac{dV_G(t)}{dt}\approx 0$と考えて良い。従って，降雨強度$R(t)$と流量$Q(t)$がほぼ一定値になっている期間においては，式(3)から解るように見掛け損失強度$LS(t)$は，真の損失強度$L(t)$に近づくことになる。

$$LS(t)\longrightarrow L(t) \qquad (R(t)=\mathrm{const}) \tag{6}$$

さて，式(2)，(3)を積分すれば，次の式が得られる。

$$\int_0^t[R(\tau)-Q(\tau)]\,d\tau=\int_0^t LS(\tau)\,d\tau=\int_0^t L(\tau)\,d\tau+V_S(t)+V_G(t) \tag{7}$$

ここで時間tは，後に解析する熱帯地方（タイ国）のデータに対しては，雨期に入る直前の乾期のある時点から測る。一方，雨期と乾期の区別がそれほど明かではない日本の河川資料については，便宜上乾期にあたる1月1日にとる。時間tが零に近い時点の情報はデータ解析から除くので，時間tの原点の選択の任意性は，この場合とくに問題とならないと考えられる。

もし，降雨強度$R(t)$が一定である期間が長く続くと，$V_S(t)$と$V_G(t)$は一定となる。従って，この期間における式(7)を微分すると

$$\frac{d}{dt}\left[\int_0^t L(\tau)\,d\tau\right]=\frac{d}{dt}\left[\int_0^t\{R(\tau)-Q(\tau)\}\,d\tau\right]$$

すなわち

$$\overline{L}(t)=\overline{\frac{d}{dt}\left[\int_0^t\{R(\tau)-Q(\tau)\}\,d\tau\right]} \tag{8}$$

これより，平均損失強度$\overline{L}(t)$を求めるには，まず降雨強度と流量の差$R(t)-Q(t)$の累積値を時間に対してプロットし，次に上記の曲線が長期間にわたってほぼ直線になる部分の勾配$\overline{\frac{d}{dt}\left[\int_0^t\{R(\tau)-Q(\tau)\}\,d\tau\right]}$を求

めればよい。

4. 種々の流域の降雨損失の特性

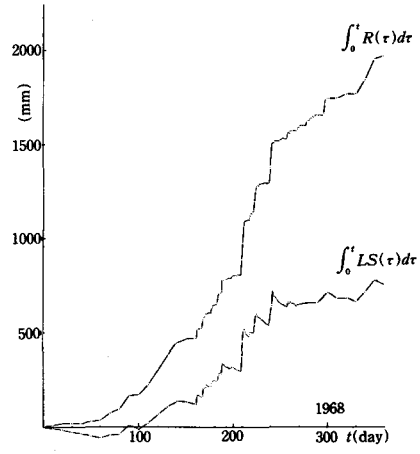
〔使用資料と対象流域の特性〕：前節に述べた水文資料の解析方法を実河川流域に適用し，降雨の損失現象の2，3の特性を調べる。ここでは，日本の大中小3つの実河川流域とタイ国の大中2つの実河川流域における数年間の日雨量と日流量の資料を利用した。表－1は，上記の流域の位置，地形・地質条件と雨量観測所の数などをまとめたものである。

表－1　対象流域の位置，地形・地質条件と雨量観測所の数など

河川流域	位置	流域面積 (km^2)	主要な地質層	資料の利用期間	雨量観測所の数	備考
梓川流域	山梨県（日本）	0.4	中生代・第三紀第四紀層	1969-1973（4年間）	3	比較的水もちの良い流域[7]。
神流川流域	群馬県（日本）	373.6	古生代層	1952-1960（9年間）	31	急な山地が多い，表土の浸透性が小さくその厚さは薄い[2) 11)]。
相模川流域	山梨県・神奈川県（日本）	1,200.0	中生代層	1964-1975（12年間）	8	流域は厚い火山灰層に覆われる[9]。
Huai Sato 川流域	タイ国	190.0	—	1971-1977（7年間）	1	—
Quai Yai 川流域	タイ国	10,802.0	古生代層	1960-1965（5年間）	4	流域の上流では森林がある。

(a) 相模川流域

図－4は，相模川流域における年間の降雨強度R(t)と見掛け損失強度LS(t)の累積値の変化を示した一例である。時間tが零に近い区間において$\int_0^t LS(\tau)d\tau$が負になるのはこの区間における流量Q(t)には，前年度の降雨（先行降雨）の影響が含まれているのに，降雨の積算がt＝0（1月1日）から始まるためである。前述のように，この区間の情報は解析データから除かれるので問題にならない。



図－4　相模川流域の一年間の$\int_0^t R(\tau)d\tau$と$\int_0^t LS(\tau)d\tau$の変化

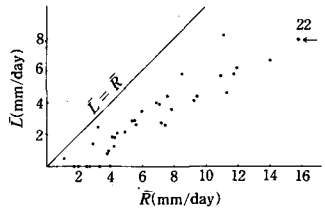
図－4に示されるように，例えばt＝100～140（day），160～190（day），240～300（day）のように降雨強度がほぼ一様と做せる期間がいつかある。12年間の日雨量R(t)と日流量Q(t)の資料を用いて，このような期間について前節に述べた解析法で求めた平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係が，図－5に示されている。この図から解るように，点のばらつきは多少大きいにもかわらず，平均降雨強度$\overline{R}$が大きくなるにつれて，平均損失強度$\overline{L}$も大きくなるという傾向が認められる。詳しく見ると平均降雨強度$\overline{R}$はある程度以上大きくなると平均損失強度$\overline{L}$は一定値近づくという傾向が見えないことはない。しかし，残念ながらこの領域においては，点の数が少なく断定することは出来ない。この点については，さらに降雨強度の大い場合の多くの資料を用い検討していく必要がある。また，同図には，平均降雨強度$\overline{R}$が小さい区間で，横軸上に乗っている点がいくつかある。すなわち，これらの点は上記の区間においては降雨の損失はほとんどないことを意味している。しかし，降雨強度

が小さい場合には，たとえ降雨強度R(t)が長期間にわたってほぼ一定になっても，流域全体の水収支関係が平衡状態に達するには十分長い時間が必要で，従って，この区間における平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係は一般の傾向からはずれる。

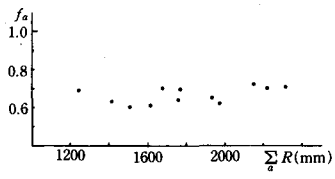
上記の２つの特殊な場合に対する点を除外すれば，平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失$\overline{L}$の関係は直線関係で近似することが出来る。

$$\overline{L} = 0.5\,\overline{R} \qquad (\text{単位：mm／day}) \qquad (9)$$

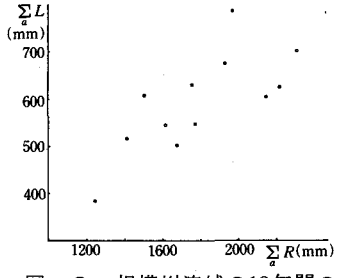
すなわち，相模川流域では，年間の降雨の平均強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の比はほぼ一定である。その結果，年間の総降雨量と年総流出量の比，すなわち年平均流出係数は，ほぼ一定である（図－６）。12年間にわたる流出係数の平均値は約0.66である。この平均値と式(9)の比例係数の相異は，平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係のばらつきや，年間を通して水収支関係が常に平衡状態にあるとは限らないことなどによるものであると考えられる。また建設省土木研究所の調査[4]の方法に従い，年流出係数の代りに，年損失量で見れば図－７のような結果が得られる。同図によれば，相模川流域における年降水量と年損失量の関係は一般傾向と逆になっている。



図－５　相模川流域の平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係



図－６　相模川流域の年降水量$\sum_a R$と年損失量$\sum_a L$の関係



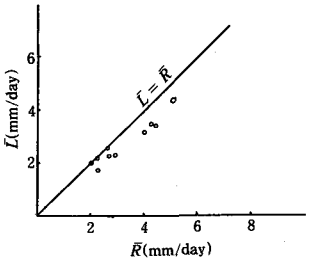
図－７　相模川流域の12年間の年流出係数

(b) 梓川流域

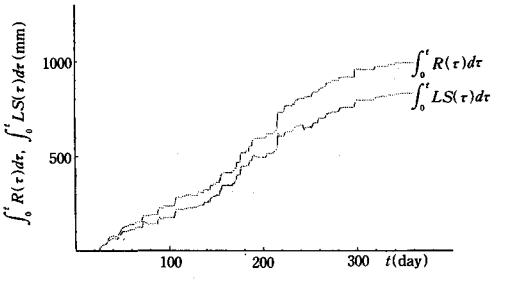
山梨盆地の小流域である梓川流域における平均損失強度$\overline{L}$は，相模川流域と同様に，平均降雨強度$\overline{R}$が増加するにつれて大きくなる傾向が認められた。しかし，相模川流域と異なる点は，図－８から解るように，損失量が極めて大きいことである。平均損失強度$\overline{L}$はほぼ平均降雨強度$\overline{R}$に等しい。年流出係数は小さく，対象になった４年間にわたって約0.2～0.4である。洪水期における短期流出係数も同じく小さい[7]。梓川流域は水もちの比較的によい，植生の多い流域であること，小流域で流量観測にかゝらない流出量が多いであろうことを考えると，この結果を理解することが出来る。図－９は梓川流域における降雨強度R(t)と見掛け損失強度LS(t)の累積値の変化を示す一例である。また，年降水量が大きくなるにつれて年損失量が大きくなる傾向は相模川流域の場合と同様に認められた。

(c) 神流川流域

図－10は神流川流域における降雨強度・見掛け損失強度の累積値$\int_0^t R(\tau)d\tau$，$\int_0^t LS(\tau)d\tau$の変化を示す。

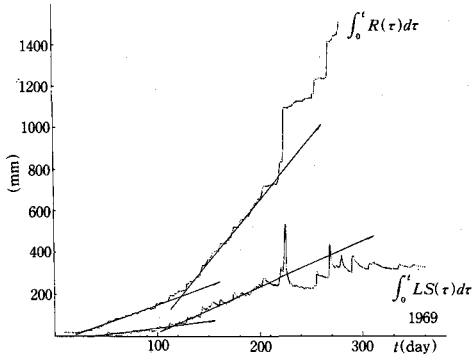


図－８　梓川流域における平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係



図－９　梓川流域における一年間の$\int_0^t R(\tau)d\tau$と$\int_0^t LS(\tau)d\tau$の変化

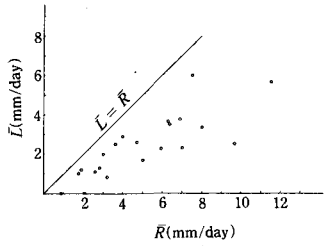
相模川流域の場合と同様に，平均降雨強度Rと平均損失強度$\overline{L}$の計算に使われた区間が，矢印で示されている。この流域の9年間の日雨量と日流量を用い，図—11に示されているような平均日雨量$\overline{R}$と平均日損失量$\overline{L}$の関係を求めた。平均日雨量Rが大きくなるほど平均日損量$\overline{L}$は大きくなるという傾向は変わらずに認められるが，相模川流域の場合と比べて，使用した資料の数は少ないが，点のばらつきは大きい。



図—10　神流川流域における一年間の$\int_0^t R(\tau)d\tau$と$\int_0^t LS(\tau)d\tau$の変化を示す一例

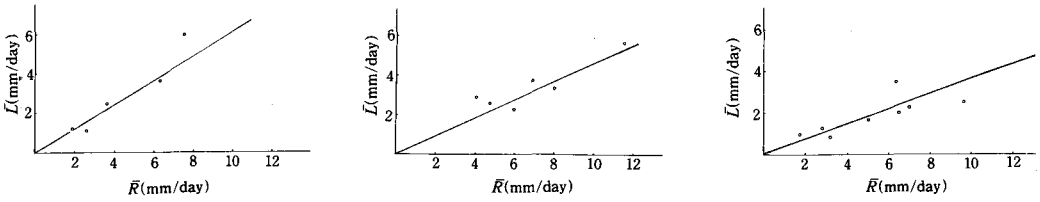
この原因を調べるために，平均日雨量$\overline{R}$と平均日損失量$\overline{L}$の関係を，年間を3つの雨期，すなわち最初の雨期（春雨期と考えてよい），次の雨期（梅雨期），最後の雨期（台風期）に分け，それぞれの期間ごとに9年間の資料を整理して求めると，図—12(a)(b)(c)にみられるように，点のバラツキは少なくなりはっきりとした傾向が現れる。これらの関係は直線で近似することでき，次の結果が得られる。

$$\left.\begin{array}{l}\overline{L}=0.6\,\overline{R}\ (\text{春雨期})\\ \overline{L}=0.5\,\overline{R}\ (\text{梅雨期})\\ \overline{L}=0.3\,\overline{R}\ (\text{台風期})\end{array}\right\}\quad(\text{単位：mm／day})\qquad(10)$$



図—11　神流川流域の平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係

すなわち，どの雨期に対しても平均日損失量$\overline{L}$は平均日雨量$\overline{R}$に比例して変化するが，その比例係数は年間を通じて一定ではなく，降雨の特性または季節によって変化しており，春雨・梅雨・台風期の順序で小さくなる。

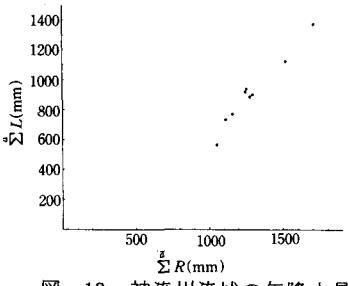


(a)最初の雨期（春雨期）　(b)中間の雨期（梅雨期）　(c)最後の雨期（台風期）

図—12　季節による平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係の変化（神流川）

春雨期に損失係数が大きくなるのは，植物の生長に関係して，蒸発散が大きくなるためとも考えられる。（事実，最近，河川流量の変化に対する蒸発散の影響を指摘する論文も一二見られる[8]。）

上記の結果として年降水量と年流出量の関係のばらつきは小さいにもかかわらず（図—13），年流出係数は相模川流域と異って一定値にはならず，各降雨期間に降った降雨量の分布によって変わる（図—14）。図—14が示すように，年降雨量が大きくなるにつれて年流出係数は大きくなる傾向を示す。これは，年降雨量の大きい年は，流出係数f_iの大きい梅雨期や台風期における降雨が多い事実で説明しうる。



図—13　神流川流域の年降水量$\sum_a^z R$と年損失量$\sum_a^z L$の関係

$$f_a \doteqdot \frac{\sum_{i=1}^{3} f_i P_i}{\sum_{i=1}^{3} P_i}\qquad(11)$$

ここで，P_i，f_i（$i=1,2,3$）はそれぞれ各雨期における総降水量，流出係数，f_aは年流出係数である。

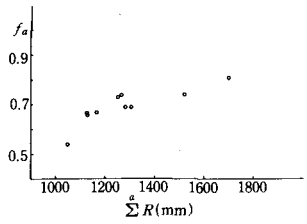
(d) Quai Yai 川流域と Huai Sato 川流域

同じ解析法でタイ国の2つの中および大河川の流域の解析を行なった。

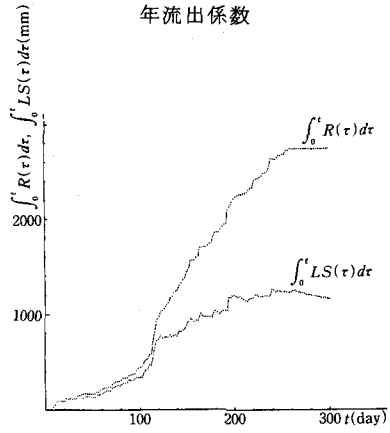
図−15はHuai Sato川流域の降雨強度$\overline{R}(t)$と見掛け損失率LS(t)の累積値の変化を示す一例である。この図から解るように，雨期の最初の期間においては降雨の流出はほぼ零に近い。すなわち，降雨はほとんど損失になって河川に現われない。その後は，降雨の流出は徐々に多くなる。

Quai Yai 川流域の平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係は図−16に示すようにHuai Sato川流域と同様な傾向をもつ。図−16に記入した first, second などは降雨時点の順序を示す。

平均降雨強度Rの増大につれて平均損失強度Lが大きくなるという結果は日本の河川と同様に変わらない。しかし，雨期の開始時点から降雨時点までの期間が長くなるほど，その降雨の流出係数は大きくなる。この結果は日野・砂田 (1977) によって求められた結果とまったく一致する。



図−14　神流川流域の9年間の年流出係数



図−15　Huai Sato川流域の一年間の$\int_0^t R(\tau)d\tau$と$\int_0^t LS(\tau)d\tau$の変化

5. 考　察

(i)対象になったどの河川流域に対しても，平均降雨強度$\overline{R}$が大きくなるにつれて，平均損失強度$\overline{L}$は大きくなるという一般的傾向が認められる。この結果は，次のように説明しうる。

流域全体の降雨強度R(t)とその浸透強度F(t)は単調増加関係にある[5]。

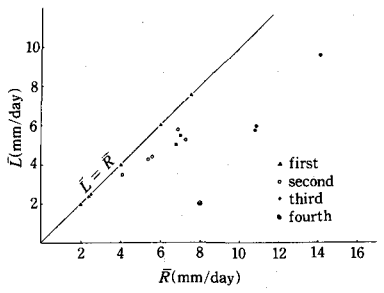
$$F \propto R$$

一方，式(5a)が示すように流域全体の浸透強度F(t)は，損失強度L(t)と地下貯留量の増加速度$\frac{dV_G(t)}{dt}$と地下流出$Q_G(t)$の和である。しかし，降雨強度がほぼ一定になる期間内では，流域全体の水収支関係は平衡状態に達する。すなわち$\frac{dV_G(t)}{dt}$が零に近いと考えてよい。また地下流出$Q_G(t)$と流域全体の降雨強度R(t)の関係は線形であることが考えられる[9]。

$$F \fallingdotseq \overline{L} + \alpha\overline{R} \propto \overline{R}$$

従って，平均損失強度$\overline{L}$は平均降雨強度$\overline{R}$と比例して変化する。

$$\overline{L} \propto \overline{R} \qquad (12)$$



図−16　Quai Yai 川流域の平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係

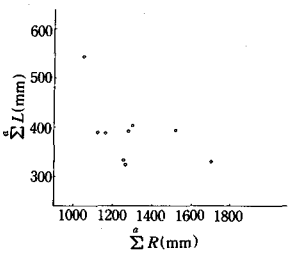
(ii)ところが詳しく見ると，平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係は流域ごとに多少異なる。すなわち，相模川流域においては，上記の関係すなわち，式(12)の定数は年間を通して変わらない。これに対して神流川流域における同じ関係は，降雨の特性ないしは季節により変わっていく。またタイ国のQuai Yai 川とHuai Sato 川の2つの流域においては，この関係は簡単にまとまらず，雨期の開始時点から降雨時点までの総降水量の関数である[6]。

同じく日本の河川である相模川と神流川の流域における上記の平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係の性質の相異は地質・地形条件によるものであると思われる。日本の河川と熱帯に属するタイ国の河川の流域におけるその相異については地質・地形条件によるものはもちろんであるが，主要な因子は気候であると考えた方がよいだろう。

また，周知のように相模川流域は火山灰の厚い層（厚木におけるその厚さは約100mである[10]）に覆われているので流域の浸透性は非常に大きいと考えられる。その結果として，降雨の特性による浸透能の変化は小さいであろう。

これに対して神流川流域は急な山地が多いので表層の厚さは薄く，流域の貯留能は小さいという理由で流域の浸透能は降雨の特性の影響で変化していく。さらに，この場合には植生の生長に使われる水消費の影響は小さくないであろう。

(iii)年降水量と年損失量の関係については，建設省土木研究所(1969)が報告したように，神流川流域において年降水量が大きくなるほど年損失量は小さくなるという傾向が認められた（図－17）。しかし，相模川流域に対しては逆傾向すなわち年降水量の増大につ て年損失量は大きくなる（図－6）。また式(9)と式(10)から解るように春雨期における平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係はほぼ同じである。しかし，降雨量そのものが多い梅雨期と台風期においては，この関係は異っている。従って，この相異は年降水量が多くなるにつれて，各河川流域における年降水量と年損失量の関係はどちらの期の降雨が大きいかによって異なり，それが年平均に対する点のばらつきが大きくなるという結果[4]と説明しうる。



図－17　神流川流域における年降水量$\sum_a^a R$と年損失量$\sum_a^a R$の関係

(iv)以上の結果を要約すれば，平均損失強度$\overline{L}$は次の4つのタイプに分類しうる。

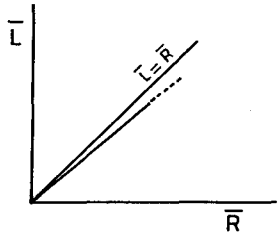
(A)**高損失型**：降雨強度Rに較べて損失能が高く，降雨のほとんどが損失となる型で，小流域の山梨県梓川がこれを当る（図－18(a)）。

(B)**比例損失型**：降雨強度と損失強度が比例する型である。この型は，さらに比例係数が一定のもの（相模川）と比例係数が降雨のタイプや季節の影響を受けるもの（神流川）に分けられる（図－18(b)）。

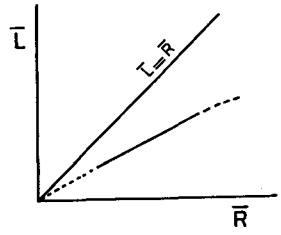
(C)**一定（または飽和）損失型**：降雨強度に較べて損失強度が低く，すぐ飽和状態となるもので，(B)の型のものも降雨強度の大きい領域ではこの型に近づく（図－18(c)）。

(D)**熱帯型**：降雨の損失に対する蒸発散の影響が大きく，気候・気温等に支配されるもの。（Quai Yai 川，Huai Sato 川がこれに当る。）

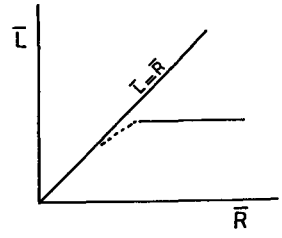
(v)(A)，(B)，(C)の3つの平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$の関係を横軸$\overline{R}$のスケールを調節してつなぎ合わせると一本の曲線となる。上記の(D)の型を除き，(A)(B)(C)はいずれも図－19に示されている一般な降雨強度－損失強度関係のうち，地形・地形・植生等の特性に応じてその一部分が現れるものと考えうるであろう。



(a)　高損失強度型

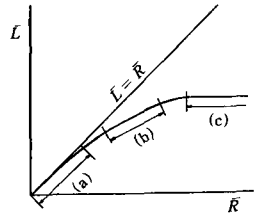


(b)　比例損失強度型

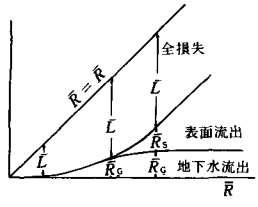


(c)　一定（または飽和）損失強度型

図－18　平均全損失強度のタイプの分類



図－19　平均降雨強度$\overline{R}$のスケールを調節した3つの損失強度型の$\overline{R}-\overline{L}$の関係



図－20　平均降雨強度$\overline{R}$と平均損失強度$\overline{L}$と各流出成分の入力との模式的関係

(V)また，平均降雨強度$\bar{R}$と平均損失強度$\bar{L}$の差は平均有効降雨強度である。最近長谷部・日野[14]は流量時系列を自己回復モデルに適用して，有効降雨分離，すなわち表面流出成分と地下流出成分それぞれに対応する入力を計算することが出来た。彼らの結果と本論で得られた結果を合わせると，降雨—流出現象における降雨の成分分布の模式的な図が図—20のように書ける。すなわち，平均降雨強度$\bar{R}$が小さい間はすべてが平均損失強度$\bar{L}$に，やゝ平均降雨強度$\bar{R}$が増加してくると平均降雨強度$\bar{R}$は平均損失強度$\bar{L}$と地下流出成分$\bar{R}_G$に，さらに平均降雨強度$\bar{R}$が表面および中間流出成分$\bar{R}_S$が出はじめ，やがて平均損失強度$\bar{L}$も地下流出成分R_Gも飽和値してしまい，平均降雨強度$\bar{R}$の増加は表面および中間流出成分$\bar{R}_S$の増加になる。

6. 結　論

本論文では，普通われわれ利用しうる日常水文資料である日雨量・日流量から実河川流域の水文特性を出来る限り引き出そという考え方に立って，流域全体のある期間における平均全損失強度$\bar{L}$の計算方法を提案し，さらにその解析方法を日本の大中小3つの実河川流域と熱帯に属するタイ国の大および中2つの実河川流域に適用して，その平均損失強度$\bar{L}$の特性を調べた。本研究で得られた結果を要約すれば，以下のようである。

(1) 一般に，水文資料が不足であることにより，求めることの困難な損失強度に関して，その平均値を雨量・流量の資料から計算することが出来た。

(2) 暖帯地にせよ熱帯地にせよ，平均降雨強度が大きくなるにつれて，平均損失強度は大きくなる。この結果は，土壌への雨水の浸透機構から説明することが出来る。（しかし，暖帯地・熱帯地の河川流域における降雨の損失現象を支配する主要な因子は互に異なる。前者においては流域の地質・地形・植生状態，後者においては，気候・気温等であると考えられる。）

(3) 暖帯地の実河川流域においては，その流域の地質・地形・植生等の条件により平均降雨強度と平均損失強度の関係は3つタイプに分類しうる：すなわち，高損失強度型，比例率損失強度型（比例係数が年間にわたって一定の場合および季節により変る場合），一定（または飽和）損失強度型。

(4) 平均降雨強度と平均損失強度の関係は各河川流域の年降水量と年損失量の関係の相異を理解することに役立つ。

参考文献

1) Linsley, R.K. and Others：Applied Hydrology, McGraw-Hill, pp. 605-655, 1949
2) 青木佑久：山地流域における洪水流出の追跡，土木研究報告，第143号，pp.27-58，1972
3) 高瀬信忠：河川水文学，共立出版，pp.72-73，1978
4) 建設省土木研究所：利水計画における流況把握の研究．第23回建設省技術研究発表会，1969
5) 中野秀章：森林水文学，共立出版，pp.73-87，1977
6) 日野幹雄・砂田憲吾：熱帯モンスーン地域における流出特性の解析，土木学会論文報告集，第267号，pp.61-69，1977
7) 萩原能男・砂田憲吾・小林哲郎・貞弘丈佳：甲府市梓川における流出について，第27回年次学術講演概要集，Ⅱ－137，pp.391-394，1972
8) 大政正隆（監修）：森林学，共立出版，pp.474-478，1978
9) 町田洋：火山灰は語る火山と平野の自然史，蒼樹書房，1977
10) 岡本芳美：日本列島の山地林地流域における降雨の流出現象に関する総合的研究，土木学会論文報告集，第280号，pp.51-66，1978
11) Egawa, T. and T. Takenouchi：Characteristics of the Shape of the Recession, Proc. of Tokyo Symposium, IAHS, pp.58-61, 1975
12) 土木学会水理委員会：水理公式集，土木学会，pp.127，1971
13) 土木研究所水文研究室編：神流川流域水文観測資料，土木研究室資料No.324，1968
14) 長谷部正彦・日野幹雄：流量時系列のみによる降雨時系列，流域の流出特性および流出分離の推定について，第23回水理講演会論文集，pp.193-198，1979