

京大防災研 正員 石原安雄
同上 正員 小葉竹重機

われわれは過去数年間にわたって、風化花崗岩の流域である野洲川支川の荒川流域において、流出現象に関する観測を行なってきたが、たとえば森林による降雨遮断量、蒸発散量、浸透量などのように直接測定が困難なもの、あるいは測定可能であっても局所的にしか計れないものがある。このような場合、流出現象を巨視的にとらえ流域平均値として測定困難な水文要素を推定するために、水収支的手法がよく用いられる。本報告はこうした観点から、荒川試験地を対象として主として、蒸発散量と地下水流出量を検討したものである。

1. 水収支の基本式

ある時刻に生起している現象を、Fig. 1 に示すようなそれぞれの貯留の場における連続の式で表わせば Table 1 のようになる。ここにおいて t_0 : 降雨開始時刻、 t_1 : 直接流出の開始時刻、 t_2 : 降雨終了時刻、 t_3 : 遮断されていった水滴のうち落下可能なものなくなる時刻、 t_4 : 直接流出終了時刻、 t_5 : t_0 における流量と同じ流量になる時刻、 R : 林外降雨強度、 R_g : 林内降雨強度、 Q_d : 直接流出強度、 Q_g : 地下水流出強度、 S_t : 植生上の貯留量、 S_a : 直接流出の生起する場における貯留量、 M : 土壌水分量、 S_g : 地下水貯留量、 F_0 : 直接流出の生起場からの浸透強度、 F_g : 土壌から地下水帯への浸透強度、 E_t : 降雨終了後植生上に残った水滴からの蒸発強度、 E_a : 直接流出の生起場からの蒸発強度、 E_m : 植生からの蒸散を含めた土壌からの蒸発強度である。ただし各場からの蒸発はその場に水の供給がなくなった時点から始まると仮定している。各場における水収支式は Table 1 の各式を各々の場について積分すると、遮断の場に対して t_0 から t_5 まで積分して $0 = \int_{t_0}^{t_2} R \, dt - \int_{t_0}^{t_2} R_g \, dt - \int_{t_2}^{t_5} E_t \, dt \dots (1)$ 直接流出の場に対して t_0 から t_4 まで積分して $0 = \int_{t_0}^{t_3} R_g \, dt - \int_{t_0}^{t_4} F_0 \, dt - \int_{t_0}^{t_4} Q_d \, dt - \int_{t_3}^{t_4} E_a \, dt \dots (2)$ 土壌水分に対して、流量が等しい時は土壌水分も等しいとすれば t_0 から t_5 まで積分して $0 = \int_{t_0}^{t_5} F_0 \, dt - \int_{t_0}^{t_5} F_g \, dt - \int_{t_3}^{t_5} E_m \, dt \dots (3)$ 地下水に対して t_0 から t_5 まで積分して $0 = \int_{t_0}^{t_5} F_g \, dt - \int_{t_0}^{t_5} Q_g \, dt \dots (4)$ となる。一降雨に対する流域全体の水収支式は上記4式を加えて $\int_{t_0}^{t_5} E_t \, dt + \int_{t_3}^{t_4} E_a \, dt + \int_{t_3}^{t_5} E_m \, dt = \int_{t_0}^{t_5} R \, dt - \int_{t_0}^{t_4} Q_d \, dt - \int_{t_0}^{t_5} Q_g \, dt \dots (5)$ となる。

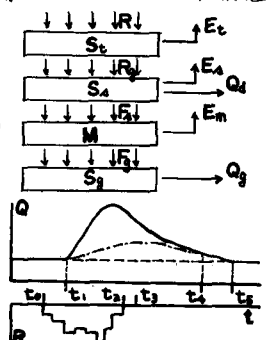


Fig. 1. 水収支モデル

Interception	$\frac{dS_t}{dt} = R - R_g$ $\frac{dS_t}{dt} = -R_g - E_t$ $\frac{dS_t}{dt} = -E_t$	$t_0 < t < t_2$ $t_2 < t < t_3$ $t_3 < t$
Direct runoff	$\frac{dS_a}{dt} = R_g - F_0$ $\frac{dS_a}{dt} = R_g - F_0 - Q_d$ $\frac{dS_a}{dt} = -F_0 - Q_d - E_a$	$t_0 < t < t_1$ $t_1 < t < t_3$ $t_3 < t < t_4$
Soil moisture	$\frac{dM}{dt} = F_0 - F_g$ $\frac{dM}{dt} = F_0 - F_g - E_m$ $\frac{dM}{dt} = -F_g - E_m$	$t_0 < t < t_3$ $t_3 < t < t_4$ $t_4 < t$
Groundwater	$\frac{dS_g}{dt} = F_g - Q_g$	$t_0 < t$

2. 蒸発強度 E_t, E_a, E_m (蒸散を含む) について

(5)式において各場からの蒸発強度を合計したものを E で表わすと、 $Q_d + Q_g$ は実際の河川流量であるから (5)式は $\int_{t_0}^{t_5} E \, dt = \int_{t_0}^{t_5} R \, dt - \int_{t_0}^{t_5} Q \, dt$ となる。こうして求めた E と E の積分時間である $(t_5 - t_2)$ の関係を示したものが Fig. 2 である。蒸発強度は降雨終了後の経過時間と共に減少すると考え平均的な曲線を入れたものが図中の実線である。(なお図中右下の日付けの入っている点は積雪のあった

時でこの点は除外して考えた)。この図において縦軸の切片は以下の曲線を外挿して与えたもので、その値は一降雨の遮断による損失量を表わし、量的には(5)式の $\int_{t_2}^{t_5} E_t dt$ に等しい。この値は図から3mm程度となる。こうしたことから Fig. 2 の曲線は初期においては厳密には蒸発散量だけではないが、この期間後は後に述べるように約20時間と考えられる。Fig. 2 からある時刻を中心とした24時間の蒸発散量を読みとり、横軸に降雨終了後の経過日数、縦軸に日蒸発散量をプロットしたものが

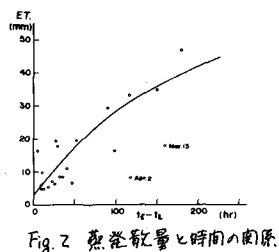
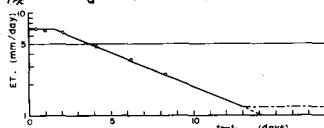


Fig. 3 である。降雨終了後約2日間一定強度7mm/dayの蒸発散が続くが、この期間は二つに分けられ前半は E_t と E_a 、後半は E_a と E_m (この期間では蒸散だけ) で構成されると考えられる。直接流出の生起場からの蒸発強度 E_a はほぼ蒸発計蒸発強度 E_0 に等しく一定であり、これにほぼ等しい E_t と E_m が加わった為に一定強度の蒸発散が続くと考えられる。逆に言えば直接流出はこの流域(0.18 Km²)では平均的に2日間で終了することと意味する。またこの期間の前半において E_t と E_a と 1:1 とすると遮断された3mmが蒸発するには20時間を要する。すなわち20時間で遮断能力がもとにかえることになる。降雨終了後2日目からは E_m だけの蒸発散となり $E_m = C_0 e^{-\alpha(t-t_0)}$ の形で表わされる。($C_0 = 7 \text{ mm/day}$, $\alpha = 0.15/\text{day}$)。Fig. 3 において13日以後を点線で書いたのは土壌水分の観測結果によれば、これ以後には干と土壌表面に乾燥被膜が形成され蒸発散量も一定となるからで、以後は一点鎖線で表わされる。この最終蒸発散強度は1.2 mm/day である。



3. 浸透強度 F_0 , F_g と地下水流出強度 Q_g との関係

Fig. 4 は昭和45年5月29日から8月5日までの雨量、流量(実線 2/sec)と岩の割目からの流出量(点描 2/hr)の観測結果である。岩の割目からの流出量が地下水流出量とほぼ代表すると考えると、地下水流出量は流域が乾燥状態にあるときは降雨があっても増加しないが、湿润状態にあるときは降雨開始後も増加し始めその後2~3日間一定強度の流出が続き、かつその一定値は初期状態によって異なることが分る。これらの現象は次のように考えることができる。まず乾燥状態に降った雨は土壌水分 M を増加させるだけで F_g は0である。つぎに Q_g が種々の一定値をとるとして F_g もそれに対応する種々の一定値をとっていることになるが、これは Fig. 5 のように考えることで説明できる。土壌水分の分布が①の状態の時に降雨があれば F_0 によって②の状態になるが、不飽和浸透であるからA点のような空気が閉じ込められた領域ができ、この領域を通過する量として浸透強度 F_g が決定され一定値をとる。降雨が終了して F_0 が0になると空気は開放され、水分の拡散によって③の状態になるが、この時再び降雨があり今度は③の状態を初期状態として②の状態になり、浸透強度はB点で決定され F_g となる。すなわち初期状態によって地下水への浸透強度が変化することになり、これが例えば6月17日、6月20日、6月27日の一定値を構成する。ただしこのことは F_0 や Q_g と前期条件との関係から確かめる必要があり、今後こうした方向で研究を進める予定である。

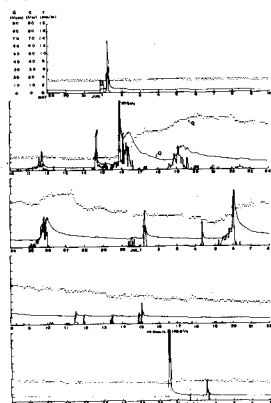


Fig. 4 観測結果

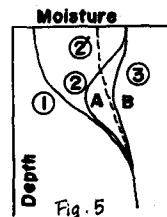


Fig. 5