

東京工業大学大学院 学生員 藤田 光一
東京工業大学工学部 正員 日野 幹雄

1. はじめに 降雨流出における損失特性を明らかにすることは、雨水の浸透・土壌保水など流域の内部構造にかかわる流出過程の性質を知る上で重要であり、山地流域の損失機構に言及した直接流出特性、流出率に関する研究が近年なされている。本研究は、降雨流出データより損失に密接な関連を持つ項目について流出の物理過程に関する知見をもとに整理検討を行ない、損失機構に考察を加えたものである。これにより初期流量の損失に与える影響と流出場としての河道付近が果たす役割が明らかにされている。

表1 対象流域

2. 対象流域並びに検討項目 表1に示す流域を考察の対象とする。いずれも森林に被われた人工物のほとんどない山地流域である。また以下に示すものを検討項目とする。【流出率 f ・雨総降雨量 Σr ・総損失量 Σq ・平均降雨強度 $\bar{r} = \Sigma r / T$ ・平均損失速度 $\bar{q} = \Sigma q / T$ ・初期流量 q_0 ・時期(夏期, 冬期の区別)・先行降雨指標API】ここでは、初期流量 q_0 を全流量から差引いて直接流出量を求め、一雨の降雨時間から極端に強度の小さい期間を除いたものを降雨継続時間 T とした。

流域名	流域面積
梓川流域小試験地 [A]	0.4 Km ²
美和試験地 [B]	1.3 Km ²
裏筑波流域小試験地 [C]	3.1 Km ²

3. 一雨降雨の平均強度 $\bar{r}$ 及び総量 Σr に関して 図1に流域Bの $\bar{r}$ と q_0 関係を示す。雨水の地下への浸透がそのまま損失量に対応する場合には、流域固有の $S(K)$ (浸透能が K である部分の面積の割合)を介して $\bar{r}$ (降雨強度)と q_0 (流域平均損失速度)の関係が①式により近似的に与えられることが著者らの解析より、 $q_0 = \bar{r} - \int_0^{\bar{r}} (r - K) \cdot S(K) dK$ --- ① 明らかになっている。図1の $\bar{r}$ と q_0 関係は大きく1/4ついており山地流域での損失が浸透だけでは説明できないことがわかる。一方図2には Σr と Σq 関係が流域A, Cについて示されている。タイプは異なるが両流域とも Σr が大きい程 Σq の割合が減少する傾向があり、また上述の $\bar{r}$ と q_0 関係に比べバラツキが小さい。このことは流域内に一定以上雨水が貯留されてから流出を開始するという損失の原因を土壌、岩盤中の保水に帰す考え方を裏付けるものである。しかし同一のデータを流出率 $f = \Sigma q / \Sigma r$ と Σr の形で表わすと(図3)かなりバラツキが大きく見掛け程

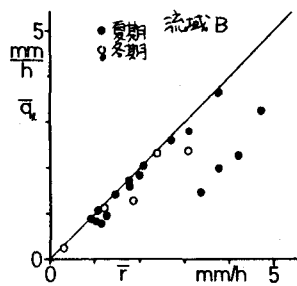


図1 $\bar{r}$ と q_0 の関係

良い関係にならないことがわかる。したがってさらに別の要因が損失に関係していると考えられる。なお、 Σr と Σq 、 $\bar{r}$ と q_0 関係の傾向が季節的に変化しないことから(図1, 2)、これらの流域では現データで見る限り直接流出に及ぼす季節的な植生の変化の影響は小さいものと思われる。

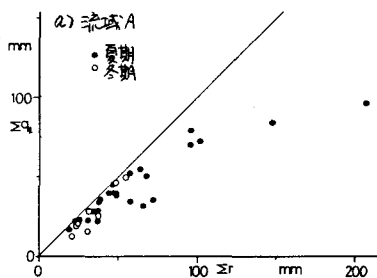
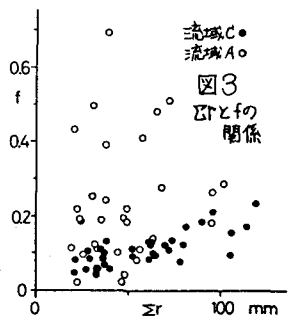


図2 Σr と Σq の関係

4. 流出率 f と初期流量 q_0 の関係 図4に f と q_0 の関係を示す。流域B, Cには、同一規模の Σr を持つ降雨について q_0 の増加に伴う流出率 f の増大の傾向が見られる。但し Σr が80mm以上の降雨にはこの傾向がない。また流域Aでは、 q_0 が



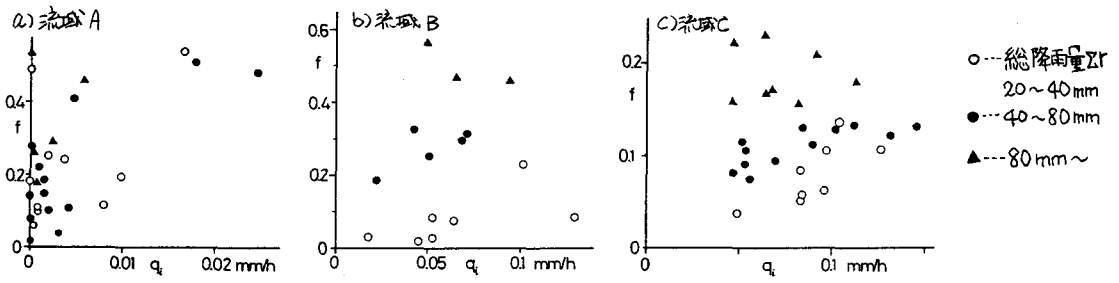


図4 初期流量 q と流出率 f の関係(総降雨量 Z_r の規模による分類)

小さい場合の f のバラツキが大きく q が増加するにしたがい f が急激に増大し一定に近づく傾向が見られる。このように3流域とも f が q に何らかの影響を受けている。ここで q の意味を考察する。図5には降雨開始から流出開始までの時間 T_e と q の関係が流域A,Bについて示されている。 T_e は雨水が河道付近の土壌を湿らせる或いは地下水面まで浸透するのに要する時間と考えられ、この T_e が q と反比例の関係にあることから、 q が河道付近の地下水面の高さまたは土壌の湿潤度を表わしていると言えよう。さらに実河川においても地下水位が河川流量と固定した関係を持つことが報告⁽⁵⁾されている。以上より q は流域全体の湿潤度を表わすというよりも地下水面の高さすなわち河道付近の土壌の湿潤度の指標になっていると思われる。このことから流域B,Cにおいて Z_r が小さい降雨についてだけ f が q に依存する前述の傾向は、損失が河道付近の湿潤状態に大きな影響を受け、 Z_r が大きい降雨では流域全体の損失機構が重要になることを意味するものと思われる。そしてこの損失機構の変化は累積降雨の増大に伴い同一降雨中にも起こりうると考えられる。流域Aについては他の流域と比較して q が非常に小さいことから、谷付近の内部構造がB,C流域と異なっておりそのため q と q の関係にも違いが現われていると推定される。

5. 損失機構を表現するモデル 上記の考察結果を考慮し

損失特性の時間変化まで表現できるように①式を拡張する。

累積降雨量、累積損失量をそれぞれ $R = \int_0^t r dt$, $Q_e = \int_0^t q_e dt$

とする。初期流量 q に応じた固定した $Q_e \sim R$ 関係が存在する

と仮定すると、②式より流域平均損失速度 q とその時の降雨強

度 r の関係が求まる。一方①式から③式が導かれる。③式に②式の $q \sim r$ 関係を代入すると④式が得られ、これ

により流域内の浸透能 K の分布 $S(K)$ の時間変化が求まる。なお $S(K)$ に時間変化が考慮されているので、土壌・岩

盤中の雨水の貯留による損失はその時刻における K が無限大の領域として表現される。④式は $K=0$ の面積の割合

が $[1 - G(\int_0^t r dt)]$ でありその他の場所の K が無限大であること、すなわち流域が不透透域と流出に寄与しない部

分の2つに分けられることを示している。 $Q_e \sim R$ 関係は q などにより変化するがその傾向は図2の $Z_r \sim Z_e$ 曲線

に一致し $G(R)$ は R の増大に伴い減少すると考えられよう。したがってこの不透透域の面積 $[1 - G(\int_0^t r dt)]$ は

時間と共に増大し、特に Z_r が大きい場合には非常に大きくなると推定される。これは4で述べた損失特性の

変化に対応し、降雨初期の不透透域は河道付近に対応するのではないかとと思われる。

以上本研究により山地流域の損失特性が明らかになった。上記の損失モデルは雨が降った時点で損失量が決定

されるという仮定に基づいており、今後土壌保水地下への浸透などの損失機構を物理的に検討する必要がある。

謝辞: 本研究で用いた資料の一部は山梨大学萩原能男教授より戴いたものであり深く謝意を表します。

参考文献(1)山田, 1981, 論議報告, No.306, P11-22 (2)日野・長谷部, 1982, 水講, P347-353 (3)高橋・宮藤・有澤, 1982, 水講, P197-203 (4)日野・山田・藤田, 1982

水講, P321-328 (5)三川・西原, 1981, 愛大研究報告, No.16 (6)美和川試験地水質観測資料, 土研(7)裏谷試験地水質観測資料, 土研

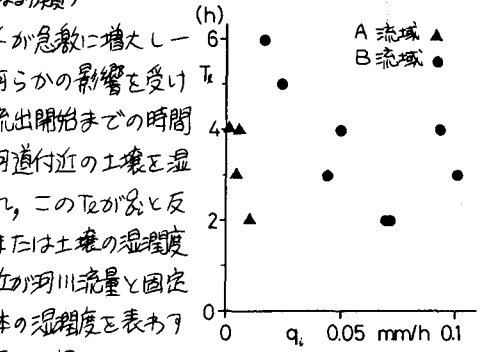


図5 q と T_e の関係

$$\left| \frac{q}{Q_e} = \frac{dQ_e}{dR} = \frac{dQ_e}{dR} \cdot \frac{dR}{dR} = \frac{dQ_e}{dR} \cdot r = G(R) \cdot r \right. \quad \text{--- ②}$$

$$\left(G(R) = \frac{dQ_e}{dR} \right)$$

$$\left| S(K) = -\frac{\partial Q_e}{\partial K^2} + \left\{ 1 - \frac{\partial Q_e}{\partial K} \right\}_{K=0} \right\} \delta(K) \quad \text{--- ③}$$

$$\left| S(K, t) = [1 - G(\int_0^t r dt)] \cdot S(K) \quad \text{--- ④} \right.$$

$S(K)$: 確率関数