

熊本大学 工学部 正員 下津昌司

熊本大学 工学部 学生員 前田晃

はじめに 流出解析手法の考え方に依りては、ブラック・ボックス的応答モデル、物理的パラメーターモデルなどのように、いくつかの分類がおこなわれているが、いずれにしても、流出過程の内部機構を説明することには、その展望を開くことができないのではないかならうか。その中で、降水が地表面に達した後の流下経路の違い、すなわち、一般的には、表面流、中間流、地下水流の各成分に分離される場である。地表面での雨水の挙動が、流出現象にとって、基本的な、そして決定的に重要な現象であることは、Horton 以来の認識として知られているところである。しかし現実には、流域内の地表面条件の多様さは、浸透機構のモデル化とその流域への適用にとって、大きな難問であり、いくつかの問題をかかえていることも事実である。しかし、やはり単純な地表面状態における諸現象が基本であり、これらの問題解明を通して、より一般化への道を考えた。そこで、49年より阿蘇火山地帯、白川流域内の自然丘陵試験流域において、雨水流出過程の諸現象、とくに土壌水分量の変化を通して、雨水の保留、損失、地下水への伏貯などの解明と、そのモデル化を目的とした研究をおこなっている。ここでは、火山灰土層への雨水浸入と土壌水分の変化の様相を野外実測値により考察したものである。

**観測概要** 土壌水分は容量式土壌水分計(計測技術研製)を15, 30, 50, 80, 100, 120 cmの深さに埋設し連続測定をおこなっている。降雨量、蒸発量は同じ場所で計測している。

**表層土壌の物理特性** 本試験流域の土壌は火山灰土で、60~80 cmを遷移層として、上方に有機質を多量に含み黒色を呈するいわゆる黒ボク土、下方に赤褐色を呈するいわゆる赤ボク土層をなしている。100 cm深さまでの土壌について、分類を図-3、粒度分布を図-4、土壌の鉛直分布、比重、間隙率を図-5に示す。なお、室内実験により不攪乱試料の飽和圧水係数を測定したところ、結果にはばらつきがあるが、平均値は黒ボクで  $4.9 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 、赤ボクで  $4.4 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$  であった。

**雨水浸潤の解析** 雨水浸潤の解析に用いる不飽和浸透流理論の基礎方程式は、不飽和帯に拡張されたダルシ-則(1)と連続の式(2)より誘導される(3)式である。
$$\theta = -k(\theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right) \dots (1), \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} \dots (2), \quad \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z}) - \frac{\partial k(\theta)}{\partial z} \dots (3),$$
ここに、 $\theta$  は体積含水率、 $D(\theta)$  は土壌水分拡散係数、 $D(\theta) = k(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial \theta} \dots (4)$ 、 $k(\theta)$  は不飽和圧水係数、 $\psi$  は土壌水分吸引水頭、 $q$  は単位面積当りの土壌水分移動量、 $z$  は下向きを正とする座標、 $t$  は時間である。(3)式を解くにはまず(4)および(5)を決定する必要がある。(4)土壌水分拡散係数の決定 水平方向のみの土壌水分移動を仮定する際には、重力項が無視され(3)式は(5)式となる。
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} (D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z}) \dots (5),$$
(5)式を  $\lambda = \sigma \theta^{\frac{1}{2}}$  という関係を用いて Boltzmann

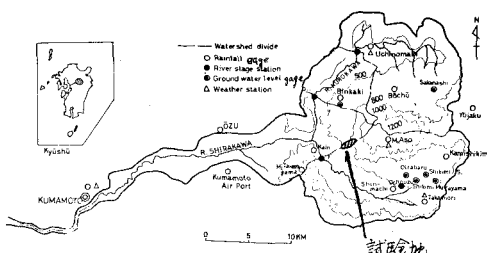


図-1 試験流域位置図

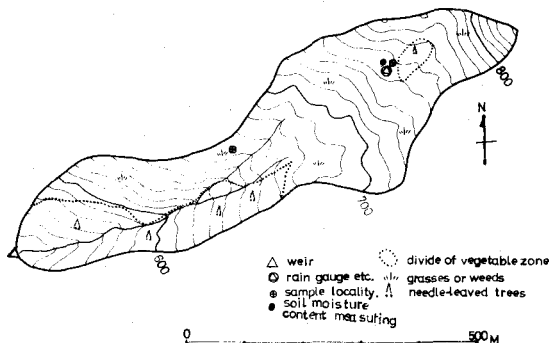


図-2 試験流域概要図

変換し、初期境界条件を満足するように積分すると(4)式となる。  
 $D(\theta) = -\frac{1}{\alpha} \left( \frac{d\psi}{d\theta} \right)_{\theta=\theta_0} \alpha d\theta \dots (4)$ 。この式に、実験により得られた時間 $t$ における $\theta \sim \psi$ 曲線を代入すると、 $D(\theta)$ が計算できる。 $D(\theta)$ は本来ヒステリシスを有するが、この実験は吸水過程の曲線を求めるものである。④不飽和透水係数の決定 不飽和透水係数は $D \sim \theta$ 曲線と $\psi \sim \theta$ 曲線を用いて、(4)式より計算する。 $\psi \sim \theta$ 曲線は、不飽和土を用いた土柱法で決定する。なお、 $\psi \sim \theta$ 曲線はヒステリシスを有するので、吸水排水の両過程の実験をおこなった。

観測結果と考察 ①土壌水分の変化 土壌水分の変化を図-6に示す。また土壌水分測定値から直接に直線式のみを用いて累加浸透量および降雨終了後の蒸発散量と算定したものも示している。50 cm深さへの浸透量の算定は、次に示す座標式の差分展開式と土壌表面での浸透能を境界条件として求めたものである。 $\theta_{n+1,m} = (\theta_{n+1} - \theta_{n+1,0}) \frac{z}{z_0} + \theta_{n+1,0} \dots (7)$ 。同図に数km離れた地点に設置してある径20 cmのライシードタの深さ50 cm土柱よりの実測浸透量も示している。蒸発量は降雨終了後、排水過程における $\psi \sim \theta$ 関係を考慮して、ある時点以降の土壌水分の減少量は全て蒸発散量として算定したもので、蒸発計による実測値とハーモン式による計算値もあわせて示している。②水収支 一降雨毎および月単位の収支を表-2に示す。これは比較的降雨程度の小さい例であるが、降雨条件によってさらに考慮せねばならぬ点もあるものの、この先実用的な適用に手掛かりを得たものと考えている。

本報告は、文部省科学研究費(自然現象特別研究 代表者 西尾隆雄教授)に22分の1である。  
 (原稿名) J.R. PHILLIPS: The Theory of Infiltration, Soil Sci., 1956

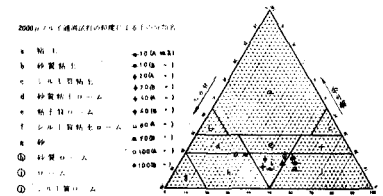


図-3 地味土壌分層

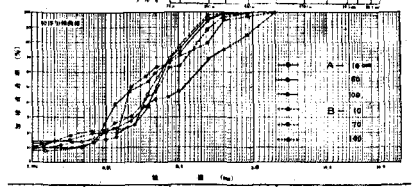


図-4 土壌水分の経時変化

| 深さ (cm) | 土壌水分 (%) | 土壌水分 (%) | 土壌水分 (%) | 土壌水分 (%) |
|---------|----------|----------|----------|----------|
| 0       |          |          |          |          |
| 15      |          |          |          |          |
| 30      |          |          |          |          |
| 50      |          |          |          |          |
| 80      |          |          |          |          |
| 100     |          |          |          |          |

図-5 土壌水分の物理的性質

| 表-1 一 降雨水収支 |         |                  |                   |                         |                          |                  |                   |                   |    | 表-2 月、水収支        |                  |                   |               |  |
|-------------|---------|------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------|------------------|-------------------|-------------------|----|------------------|------------------|-------------------|---------------|--|
| 日付          | 水分計設置位置 | 降雨量<br>R<br>(mm) | 蒸発散量<br>E<br>(mm) | 50cm深さの土壌水分<br>I<br>(%) | 50cm深さの土壌水分<br>II<br>(%) | 流出量<br>Q<br>(mm) | 流出率<br>Q/E<br>(%) | 流出率<br>Q/R<br>(%) | 月  | 降雨量<br>R<br>(mm) | 流出量<br>Q<br>(mm) | 蒸発散量<br>E<br>(mm) | R-Q-E<br>(mm) |  |
| 10.2        | A       | 69.0             | 0.0               | 41.3                    | 20.2                     | 7.5              | 10.9              | 34.6              | 10 | 260.5            | 139.7            | 47.5              | 73.3          |  |
|             | B       | 63.0             | 0.0               | 35.8                    | 27.4                     | 6.4              | 9.3               |                   |    |                  |                  | (26.5)            | (74.3)        |  |
| 10.19       | A       | 94.5             | 0.0               | 52.3                    | 19.4                     | 22.8             | 24.1              | 24.1              | 11 | 94.5             | 45.7             | 93.0              | 5.8           |  |
|             | B       | 94.5             | 0.0               | 47.0                    | 28.0                     | 19.5             | 20.6              |                   |    |                  |                  | (20.7)            | (28.1)        |  |
| 12.2        | A       | 40.5             | 0.5               | 17.2                    | 18.2                     | 4.6              | 11.4              | 10.7              | 12 | 119.5            | 52.6             | (13.8)            | (53.1)        |  |
|             | B       | 40.5             | 0.5               | 11.0                    | 25.3                     | 3.7              | 9.1               |                   |    |                  |                  |                   |               |  |
| 計           |         |                  |                   |                         |                          |                  |                   |                   |    | 474.5            | 238.0            | (61.0)            | (175.5)       |  |

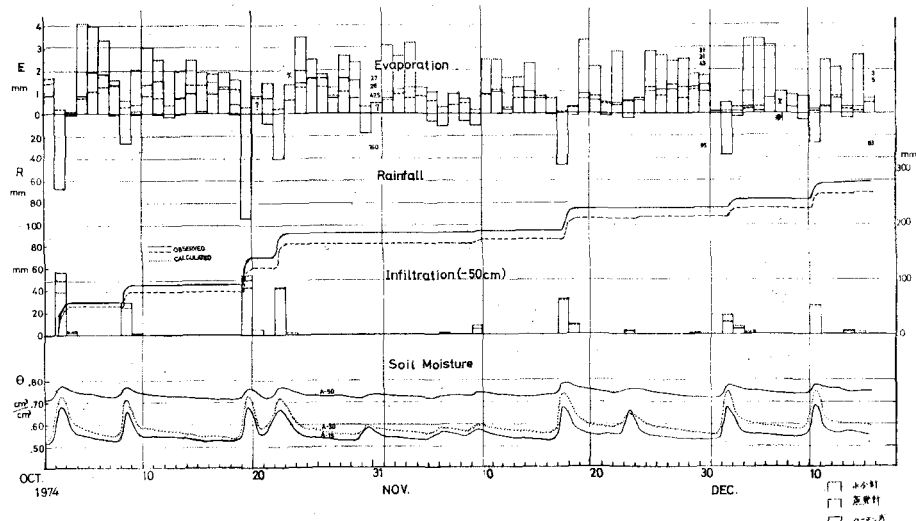


図-6 土壌水分の変化