

京都大学大学院	正員	椎葉充晴, 堀 智晴, 田中賢治
京都大学防災研究所	正員	市川 温
京都大学大学院	学生員	○ 金澤瑞樹

1 はじめに 現在、水文流出系の分野では、河川流域規模での流出を予測することが要求されている。河川流域規模の流出予測における流域土壌の水収支は、洪水流量によるものだけでなく、地表面からの蒸発量や植生からの蒸発散量も考えられる。このため、これらを統合した流出モデルの開発が必要とされる。

これまでの、山腹斜面側方向の水の流れの理論では、椎葉らが従来の表面流・中間流モデルに圃場容水量の考え方を導入したモデルを開発し、低水時の流出計算を可能とした。これにより、kinematic wave による流出計算が、洪水時だけでなく、低水時へも、あるいは、低水時から洪水時へ連続的に接続できるようになった [1]。

一方、鉛直方向の水収支では、J.Noilhan らが地表面層とそれを内包する表土層における水・熱収支を取り扱い、地表面における蒸発と植生による蒸発散の挙動を提示している [2]。

本研究では、これらのモデルを山腹斜面要素の中で組み合わせ、側方向だけでなく、鉛直方向の水収支も考えた流出モデルを構築する。さらに、本モデルに既知の気象データを用いて流出が再現できることを検証する。

2 モデルの統合

2.1 側方向水収支 山腹表層に側方向の水の流れが生じるとき、流れのうち表土層中を流れるものを中間流、表土層から地表面に現れて流れるものを地表面流と呼ぶ。この側方向への水の流れは、土中の自由水の流れによるものであるが、山腹表土層に流入した水がすぐに自由水となって流れ出すわけではなく、含水率が低い土粒子の周りに吸着され、含水率の増加に伴い自由水となって流れ出す。このときの含水率を圃場容水量と呼ぶ。この圃場容水量を導入した表面流・中間流モデルを用いて、側方向水収支を表す。

2.2 鉛直方向水・熱収支 次に、土壌の不飽和層における鉛直方向の水収支は、地表面層の含水率と、地表面層を含む不飽和表土層の平均含水率の収支を考えることで表される。地表面層では大気からの降雨と大気への蒸発が

行われ、且つ、地中との水分量のやりとりも行われる。また、不飽和表土層では大気との水分量のやりとりの他に、植生が根から吸い上げる水分量(蒸散)も考慮される。

蒸発散を考えるためには地面の熱収支を考える必要がある。この熱収支は強制復元法を用いて、地表面および植生表面の平均温度(以降、表面温度と呼ぶ)と、表土層の平均温度の収支を考えることで表される。地表面では、純放射、顕熱、潜熱の影響と、表土層との熱のやりとりを考える。また、表土層では、地表面層との熱のやりとりを考える。

2.3 モデルの結合 側方向水収支を支配する、圃場容水量を考慮した表面流・中間流モデルから得られる自由水水分量を用いて、表土(不飽和)層の平均含水率を導出し、それを表土層の平均含水率とする。この平均含水率を鉛直方向水・熱収支機構内で適応し、モデルの結合をはかる。

3 モデルの数値計算 本モデルで流況を調べる場合、山腹斜面をいくつかの斜面要素に区切り、その1つの斜面要素を用いて計算を行う。その要素の水平斜面長を等間隔に N 個のグリッドに分けて、時間間隔 Δt ごとに各格子点の状態量の変化を追求する。

流量は、任意のグリッドにおいて、上流から受け取られ、下流へ渡される状態量である。前後の格子点との間で関係があるため、各格子点上 ($N+1$ 個) でその変化を追う。それに対し、鉛直方向の収支だけを扱うため、その他の状態量は各格子点ごとに独立である。したがって、各グリッドの中央 (N 個) でこれらの状態量の変化を追う。

3.1 各種条件の設定 本モデルを実行するためには、斜面要素の状態量の初期値とパラメタ、そして外部からの入力データが必要である。

斜面要素の状態量は、流量、地表面の含水率、表面温度、表土層の平均温度、植生の遮断水分量の5つである。今回の計算では、上流端と下流端に流量の初期値を与え、各格子点に比例配分した。それに基づき、含水率の初期値を決定した。また、その他の状態量に関しては、各グリッドに同じ初期値を与えた。

次に、パラメータは山腹斜面の形状や、土壌の性質、森林の状態や種類等によって決められる。今回の計算では土壌を Silty loam とした。

また、外部からの入力データは降雨量、風速、相対湿度、気温、直達日射量、赤外放射量、上流端からの流入量の7つで、斜面要素内で一定である。今回、上流端からの流入量は0としている。上流端からの流入量を除く大気側の変数のうち直達日射量は日照時間から、赤外放射量は気温、水蒸気圧、日照時間から間接的に求められる。気象観測値としてこれらの内、アメダスでは降雨量、風速、気温、日照時間が得られ、SDP データ(測候所・気象台のデータ)からはすべての観測量を得ることができる。これらのデータはふつう 60 分ごとの値で、降雨量と日照時間は 60 分間の集積値、それ以外は観測時刻での瞬間値である。

今回のシミュレーションでは山口県山口市の 1995 年 3 月 22 日から 29 日までの 7 日間の SDP データを使って計算した。

3.2 計算方法 本モデル中の側方向水収支、鉛直方向水・熱収支の各機構で状態量の変化を表す偏微分方程式が用いられる。各状態量は各式で独立したものでないため、各偏微分方程式を差分化し、全状態量を並行して反復法で解く。

4 計算結果と考察 上記の方法で計算を行った結果、流量の値が収束しないという困難が生じた。この時の他の変量をみてみると、目立ったものとして、入力データである風速が急激に0になっていること、地表面の平均温度が急激に上がっていること、純放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックスの各種熱量が急激に減少すること、が挙げられる。これらの急激な変化は、風速が0になることで、風速に比例する熱量が0となり、熱の移動がなくなる。熱が移動しないため、地表面の温度は急激に上昇する。また、潜熱フラックス内の蒸発散の項も急減するため、流量が収束しないと考えられる。そこで、入力データである風速に下限値を設けてやったところ、流量は収束をみせ、他の変量も不自然な変化をみせることがなくなった。改善後の流量、表面温度と、入力データの風速、降雨量を図1に示す。ただし、図は、どれも下流端の変化を表している。

5 結論 本研究では、これまで別々に考えられてきた側方向と鉛直方向の水収支を同時に扱える単一モデルの理論を構築した。その理論に基づき試験的なシミュレーション

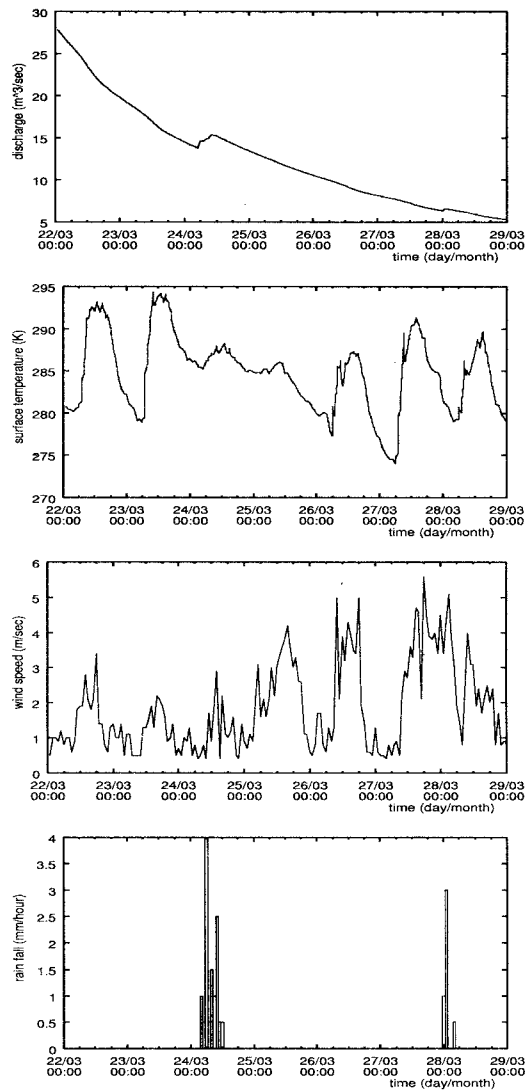


図1 上から、流量、表面温度、熱貯留量、風速、降雨量

を行ったところ、改善の余地は残るが、実行できることを確認でき、モデルの結合が可能であることがわかった。

今後は、複数の斜面要素における長期の流出再現を考え、ていくとともに、本システムをより自然な状態に近づけるため、積雪、浸透、凝結、斜面勾配の日射に与える影響などを導入する必要がある。

参考文献

- [1] 椎葉充晴他：圃場容水量・パイプ流を考慮した斜面流出計算モデルの開発京大防災年報，第41号，B-2，1998。
- [2] J.Noilhan and S.Planton：A Simple Parameterization of Land Surface Process for Meteorological Models, Centre National de Recherches Meteorologiques,Toulouse,France,1988。