

豊平川上流域における陸面過程モデルに保水能分布を 考慮した流出予測手法の開発

Development of a runoff prediction method associated with a land surface model
including a water holding distribution over Toyohira upper catchment area

北海道大学工学部環境社会工学系 ○学生員 石田遼平 (Ryohei ISHIDA)
北海道大学大学院工学研究科 正員 山田朋人 (Tomohito YAMADA)

1. はじめに

山地小流域における流出予測手法は古くから多く提案されてきている。その多くは降雨に対する流出の応答関数を重視する手法の概念モデルである。概念モデルである合理式や Sherman¹⁾の提案する単位図法は流出現象を線形として扱っているため、非線形な挙動を示す実際の流出現象には対応できない場合がある。また、非線形な流出形態を考慮に入れることができる概念的物理モデルがあるが、モデル中のパラメータは物理的根拠に乏しく、水文情報の不足した流域において使用するパラメータを容易に推定できないという問題点がある。特に山地流域においてこの問題は顕著である。

ここで、流出予測のための水文モデルは陸面モデルと流出過程の計算をする流出モデルの2つに大別される。陸面モデルは、大気とのエネルギー収支を算定することで、水熱収支を計算するものであり、陸域が有する物理特性を可能な限り考慮に入れることができる。一方、流出モデルは、実際の洪水予測等に用いられる計算手法であり、前述した概念モデルや概念的物理モデルはこの流出モデルに当てはまる。

本研究では陸面過程モデル Minimal Advanced Treatments of Surface Interaction and RunOff(以降 MATSIRO)と集中定数形の流出モデルとを組み合わせた降雨流出計算を試みる。

本研究では著者らがを行っている水文気象観測によって得られた気象データを用いて対象となる地点で中山手法を用い、その妥当性を確かめる。この手法は保水能分布を決定し、MATSIROより計算される土壌水分量の偏差を利用して有効降雨を算定し流出計算を行うものである。

2章では降雨流出計算と陸面過程モデルの概要について、長所・短所を含め説明する。3章では著者らがを行っている水文気象観測の観測地点・観測手法等について説明する。4章では結果・考察について記し、5章ではまとめ及び今後の予定について記す。

2. 集中定数系の降雨流出計算モデル

2-1 降雨流出計算の基礎式の導出

本研究で用いる降雨流出計算手法として、山田ら²⁾の土壌・地形特性に基づく手法を用いる。この手法は、Kinematic Wave法に基づき斜面流下方向流れに対する集中化を行った基礎式であり、以下にこの導出を行う。

一般化した運動則(1)式を連続式(2)に代入し整理する

と表面流に関する Kinematic Wave 方程式(3)が得られる。

$$v = \alpha h^m, \quad q = vh = \alpha h^{m+1} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + a q^{\frac{m}{m+1}} \frac{\partial q}{\partial x} = a q^{\frac{m}{m+1}} r(t) \quad (3)$$

ただし、 $a = (m+1)\alpha^{\frac{1}{m+1}}$ 、ここに、 v :断面平均流速[mm/h]、 h :水深[mm]、 $q(t)$:単位幅流量[mm/h]、 $r(t)$:有効降雨強度[mm/h]、 m :流出パラメータ、 α :流出特性を表わすパラメータである。また流域特性を表わすパラメータ α と抵抗則 m の値は式(4)、(5)に示すような土壌・地形特性から決定される。

$$\alpha = \frac{k_s i}{D \gamma^{-1} w \gamma} \quad (4)$$

$$\gamma = m + 1 \quad (5)$$

ここに D :表層土厚[mm]、 γ :土壌の透水性を表わす無次元パラメータ k_s :飽和透水係数[mm/h]、 i :斜面勾配、 w :有効空隙率であり、

$$w = \theta_s - \theta_r$$

θ_s :飽和含水率、 θ_r :残留含水率で定義される。直接流出は河川近傍のみから発するものとし、斜面長が実地形上の斜面長に比べ十分短いものとする、変数分離形の近似式(6)が得られる。

$$q(x, t) \doteq x q_*(t) \quad (6)$$

ここに、 q_* :流出高[mm/h]である。斜面長 L の末端で考え $x = L$ とし(6)を用いて(3)式を整理すると(7)式の常微分方程式が得られる。

$$\frac{dq_*}{dt} = a_0 q_*^\beta (r(t) - q_*) \quad (7)$$

ただし

$$a_0 = a L^{\beta-1} = (m+1) \alpha^{\frac{1}{m+1}} L^{\frac{-1}{m+1}}, \quad \beta = \frac{m}{m+1}$$

である。(7)式は単一斜面における山地流域からの降雨流出を表わす基礎式である。

最終的に式(7)から流出量を求めることが可能であるが、有効降雨 $r(t)$ を算定する必要がある。

2-2 保水能の理論

前節で説明したように(7)式の計算を行うには有効降雨の決定を行わなければならない。有効降雨の決定を行

うために、山田ら²⁾は保水能の理論から流域の保水能分布を求める手法を提案している。以下に保水能の理論と有効降雨の算定方法を示す。

累積雨量がその土壌特性によって決まるある値に達するまで、その雨量は直接流出には寄与しない。このときの累積雨量を保水能と定義し、その保水能を有する土壌が流域全体に占める割合を保水能分布と定義する。保水能の理論では損失雨量を以下の式(8)で表わすことができる³⁾。

$$F(r) = a \tanh(br) \quad (8)$$

ここで $F(r)$: 損失雨量、 r : 総降雨量、 a 、 b : 総降雨量に対する損失雨量の関係を回帰するためのパラメータを表わす。このパラメータ a 、 b の値を変えることで土壌の初期水分状態の違いを表わすことができる。この式(8)を用いることで流出に寄与する有効降雨および流出寄与割合を算出することができる⁴⁾。

2-3 陸面過程モデル

MATSIRO は気候予測に用いる大気大循環モデル(GCM)において大気過程との相互作用を再現するための陸面の受け皿の役割を担うものである。

次に陸面過程モデル MATSIRO の特徴を列挙する。

- ・異なる地域を一度に計算することができる。
- ・植生や気象条件を考慮に入れて計算することができる。
- ・対象とする地域が広いため結果が荒い。
- ・水熱収支を計算することができる。
- ・MATSIRO で計算を行うためには葉面積指数、比湿、降水量、気圧、下向き短波放射、下向き長波放射、2m 地点の風速、10m 地点の風速のデータというような多くのパラメータが必要となる。

3. 気象データの観測

1) 観測地点・観測機について

著者らは実際に定点観測を行うことで MATSIRO に与える上記のパラメータ全てを得た。観測ポイントは八剣山、札幌国際スキー場、ホワイトバーチファーム、札幌市平岡公園、開発局南6号排水機場、寒地土研石狩水理実験場、開発局千歳川上流防災ステーション、開発局逆川水防資材場の8カ所である。本研究は山地流域に関する研究であるため八剣山(写真1)および札幌国際スキー場(写真2)の2地点を対象とする。図-1に対象とする2地点の地図を記載する。赤丸で囲った地点は対象とする2地点を示し、他の赤点で示された地点は著者らの観測サイトである。尚、地図上の黒丸で示されるのは本気象庁が設置した AMeDAS データの観測地点である。

著者らの観測サイトでは気圧、気温、湿度、風速、降水量、突風速度、風向、上向き短波放射、下向き短波放射を計測している。図-2に得られた観測データの例を記載する。



写真1 八剣山果樹園

写真2 札幌国際スキー場

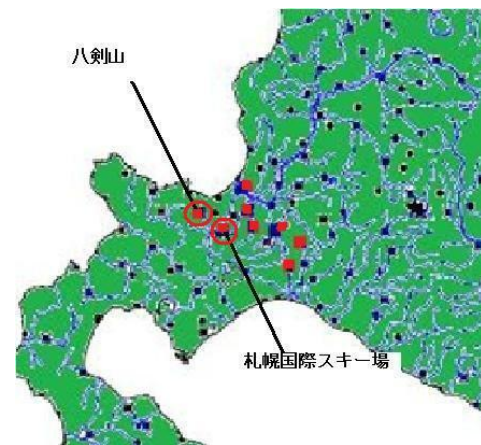


図-1 観測地点の地図: 赤で示してある地点が著者らの観測を行っている地点で、赤丸で囲った地点は八剣山と国際スキー場である。地図上の黒点は AMeDAS データの観測地点である。

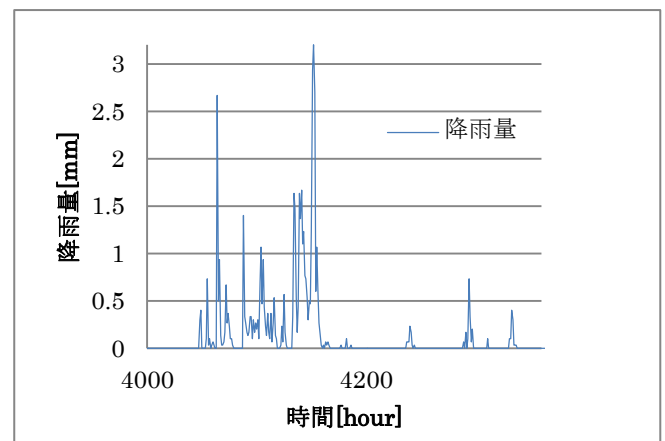


図-2-a 八剣山における時間平均雨量の推移

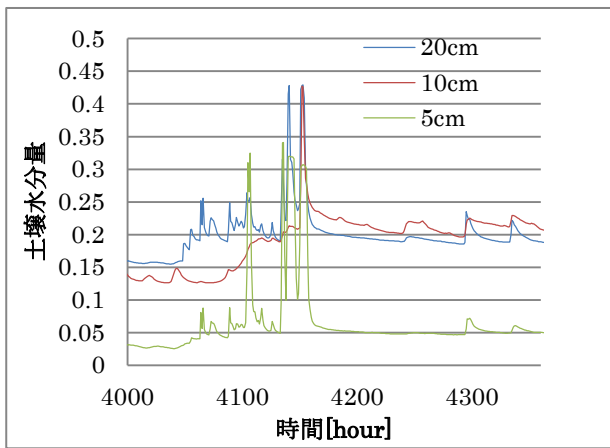


図-2 八剣山における各深度の土壌水分量の推移

5cm	採取時	乾燥前	乾燥後	水分量	体積含水率
No.1	108g	96.71g	71.23g	36.77g	34.05%
No.2	132g	119.68g	89.05g	42.95g	32.54%
10cm					
No.1	98g	86.11g	65.67g	32.33g	32.99%
No.2	123g	111.08g	83.82g	39.18g	31.85%
20cm					
No.1	116g	104.4g	77.69g	38.31g	33.03%
No.2	93g	81.48g	58.24g	34.76g	37.38%

図-3 八剣山における各深度の土壌水分量, 体積含水率

2) 土壌サンプル実験

また、各地点で三深度のそれぞれについて2つの土壌サンプルを100mlのサンプル缶を用いて採取した。この土壌サンプルは各地点の各深さの体積含水率と透水係数を実験により調べるために採取したものである。実験方法は土壌サンプルを24時間110℃の乾燥器に入れ乾燥前後の重量を量る。図-3に八剣山における各深度の実験の結果を記載する。飽和透水係数に関する実験は現在準備中である。

この実験から得られる体積含水率はMATSIROの挙動を確認するために用い、飽和透水係数はMATSIROに与えるインプットデータとして用いる。

4. 今後の予定

本研究で得られた観測データからMATSIROを用い、豊平川上流域における表面流の短期流出について、中山ら⁵⁾の手法の妥当性を確認する。これに加えて、この手法の長期間流出予測への適用について議論を進め、その妥当性について考察する。

(参考文献)

- 1) Sherman, L. K. : Streamflow from rainfall by unit-graph method, Eng. News Record, pp. 501-508, 1932.
- 2) 山田正、山崎幸二: 流域における保水能の分布が流

出に与える影響について、土木学会水理講演会論文集 Vol. 27, pp. 385-392, 1983

- 3) 呉修一、山田正、吉川秀夫: 表面流の発生機構を考慮した斜面多層降雨流出計算手法に関する研究
- 4) 山田朋人、呉修一: 保水能効果を有する降雨流出予測手法の高精度化に向けた陸面モデルの活用
- 5) 中山裕太、山田朋人: 陸面過程モデル MATSIRO と保水能理論および集中定数系方程式の統合手法開発 2011