

山地森林内溪流での濁度データを用いた河川流量の逆推定

岐阜大学工学部	学生会員	○壁谷高明
岐阜大学大学院	学生会員	中澤麗稀
岐阜大学	正会員	吉村英人
岐阜大学	正会員	篠田成郎

1. はじめに

2019年に創設された森林環境税及び森林環境譲与税にも見られるように、森林整備の重要性が目まぐるしくなっている。一方、森林に関する各種アンケート調査によれば、国民からは森林による土砂災害防止機能の発現・維持に対して最も大きな期待が寄せられている。近年の極端降水の頻発化がその背景にあると思われる。山地森林での斜面崩壊は地中内水分量の急激な上昇に起因するが、地形・地質だけでなく、人工林間伐などの森林管理状況によって地中内水分量は変化する。このため、森林施業の基本単位である林班ごとの地中内水分動態を適正化させ得る森林管理が必要になる。例えば、間伐不足は下層植生の消失や表層土壌内水分一時貯留低下をもたらすため、地中内水分量の急激な増加に繋がる。一方、過間伐は雨水の樹冠貯留量を減少させ、やはり地中内水分量の急増を引き起こす。林地特性に応じた適切な植生管理計画のためには、林班ごとの降雨貯留・流出特性を大まかに把握することが不可欠となる。

山地森林域での水分動態を把握する際、一般には森林内の降水量と河川／溪流の流量による降雨流出解析が有用となる。しかし、林班ごとに流量を計測することは現実的ではない。一方、渓流水の濁度であれば、林業従事者自らの採水により、容易にデータ取得できる。河川水濁度は降雨と流量によってほぼ決まるため、濁度データから流量を逆推定できる可能性がある。そこで本研究では、データ同化手法を降雨流出モデルと濁質流出モデルを統合した流出モデルに適用することにより、連続的な降雨データと不定期な濁度データから連続的な流量変化を同定する手法を提案し、その適用性について検討する。

2. 統合型流出モデルの提案

林班単位に相当する小森林集水域での流量推定を対象とするため、集中型概念モデルとして流出モデルを構成することにする。図-1は降雨による地中

内水分移動と濁質流出の概念を示したものである。山地森林小集水域を鉛直方向にA層（表層土壌；早い中間流出に寄与）、B層（無機質土壌；遅い中間流出に寄与）、C層（基岩；基底流出に寄与）の3つに分け、各層からの流出流量 Q_{iH} の総和として流量 Q を表現する¹⁾。

$$Q = \sum_i Q_{iH}, \quad Q_{iH} = A\alpha_{iH}h_i, \quad Q_{iV} = A\alpha_{iV}h_i,$$

$\frac{d}{dt}(A\varepsilon_i h_i) = Q_{(i-1)V} - Q_{iV} - Q_{iH} \dots \dots (1)$
 ここに、 A :集水域面積 $[L^2]$, h_i : i 層における水分貯留高 $[L]$, ε_i : i 層の間隙率 $[-]$, α_{iH} :水平方向流出パラメータ $[T^{-1}]$, α_{iV} :鉛直方向流出パラメータ $[T^{-1}]$, i :第 i 流出成分(i :A, B, C)である。

濁質は各層の土壌から供給されるため、 i 層からの濁質流出負荷量 L_i およびその合計値 L を次のLQ式で表す²⁾。

$$L = \sum_i L_i, \quad L_i = \beta_i Q_{iH}^{\gamma_i}, \quad C = \frac{L}{Q} \dots \dots (2)$$

ここに、 β_i および γ_i :濁質流出パラメータ、 C :濁度である。

降雨量、流量、濁度の観測値が得られている場合には、式(1)および式(2)に基づいて計算される流量と濁度に合わせるようにパラメータ α_{iH} , α_{iV} , β_i および γ_i が決められる。ここでは、非逐次型データ同化手法であるMCMC法を用いてパラメータを同定する³⁾。流量が未知な場合であっても、式(1)から得られる仮の流量を式(2)に適用することにより、MCMC法でパラメータを同定できるはずである。ただし、この場合に

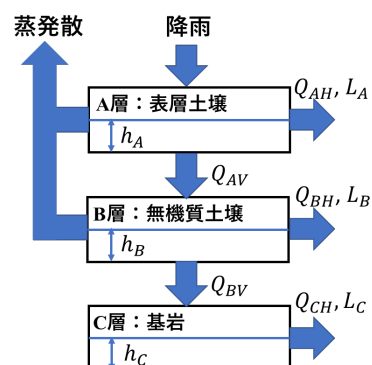


図-1 降雨による地中内水分移動と濁質流出の概念

は、同定対象パラメータ数に対して、制約条件式が減るため、同定パラメータの不安定化を引き起こす可能性がある。その解決方法の検討が本研究での最も重要なポイントになってくる。

3. 順推定によるモデル適用性の検証

例として、ある森林集水域で観測された降水量 r 、流量 Q_{obs} および濁度 C_{obs} と表-1に「Test」欄として示す同定パラメータを式(1)および(2)に適用して $r \rightarrow Q \rightarrow C$ の順で推定された流量 Q_{sim} および濁度 C_{sim} を図-2に示す。本モデルおよびパラメータにより実際の流出現象をほぼ再現できていると判断できる。

そこで、こうして得られた10分間隔の推定流量および推定濁度を以下の流量逆推定におけるテストデータと扱うことにする。この逆推定では、表-1のパラメータ（Test欄）が真値となり、MCMC法による同定値との比較から逆推定の妥当性が検証される。

4. 流量逆推定の結果

10分間隔の降水量連続観測値と上記の濁度テストデータ C_{test} から流量推定値 Q_{est} を求めてみる。この際、表-1に示す12個のパラメータを同定する必要があるが、同一の地質条件であれば、B層およびC層のパラメータは林班ごとに大きく異なることはない。また、 γ_i の値は2程度と扱える。そこで、ここでは、A層に関する3つのパラメータ（ α_{iH} 、 α_{iV} 、 β_A ）のみMCMC同定対象として、これら以外には表-1 Test欄の値を与えることとする。一方、流量逆推定時に用いる濁度はテストデータ作成時のような時間間隔で得られるわけではないため、いくつかの時間間隔で濁度が得られたものと想定することとする。

降水量観測値と任意の時間間隔による濁度テストデータを流量逆推定時の観測値として与えたときのパラメータ同定結果を表-1に括弧書き数値にて記載する。入力濁度の時間間隔が大きくなると真値としてのTest欄の値からわずかにずれる傾向が認められるが、ほぼ一致すると判断できる。

図-3は各時間間隔の濁度値 C_{test} から逆推定された流量 Q_{est} と真値としての流量 Q_{test} との比較を表す。1週間間隔のケースでは3点しか濁度データを与えていないにも拘わらず、流量逆推定結果は真値の変動傾向をほぼ把握できており、本手法の妥当性が確認できる。

表-1 同定パラメータ

Layer		α_{iH}	α_{iV}	β_i	γ_i
	i	[1/10min]	[1/10min]	[1/10min]	[1/10min]
A	Test	4.5×10^{-4}	4.0×10^{-2}	60.0	2.0
	(10 min)	(4.5×10^{-4})	(4.4×10^{-2})	(62.3)	2.0
	(1 day)	(5.2×10^{-4})	(4.3×10^{-2})	(63.1)	2.0
	(1 week)	(5.2×10^{-4})	(5.6×10^{-2})	(67.8)	2.0
B	Test	1.5×10^{-4}	7.0×10^{-3}	0.8	2.0
C	Test	1.0×10^{-6}	5.0×10^{-7}	0.0	2.0

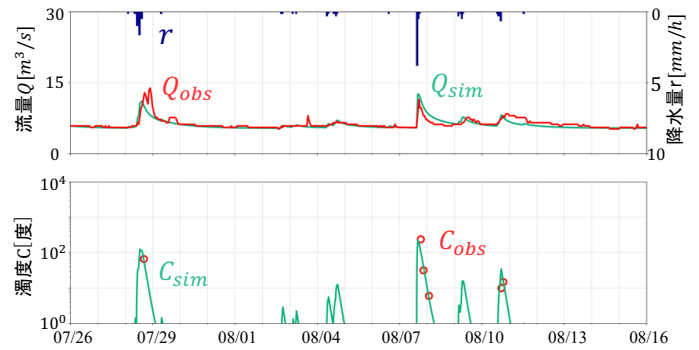


図-2 降水量、流量、濁度の観測値と推定値

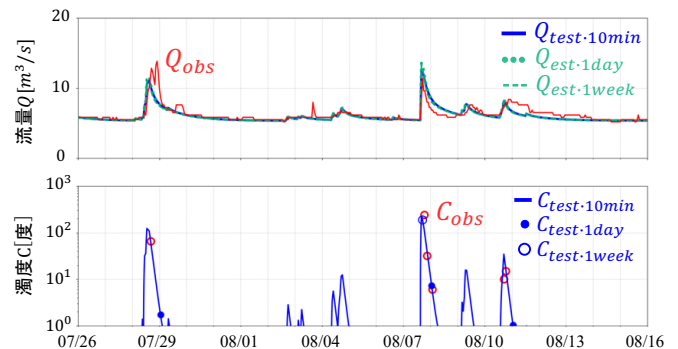


図-3 テストデータにおける濁度と推定濁度の比較

5. おわりに

以上、本研究では、降水量と濁度を用いた流量の推定手法を提案し、林班に相当する小集水域での流量推定の可能性を示すことができた。今後は、様々な山地森林溪流での適用性を確認していく必要がある。

参考文献

- 1) Matsui, S. Itoshiro, M. Buma, T. Matsushita, K. Hosogoe, A. Yuasa, S. Shinoda, and T. Inoue: Predicting pesticide concentrations in river water with a hydrologically calibrated basin-scale runoff model, Water Sci. and Tech., 45(9), 141-148, 2002.
- 2) 中澤麗稀・范顔楊・川口智哉・篠田成郎：粒子フィルタ法を用いた高濁度河川水のリアルタイム発生予測，令和2年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，2021。
- 3) 林浩平・范顔楊・Vivien Wanda Rahma・川口智哉・篠田成郎：データ同化手法を用いた高濁度河川水の発生予測に関する検討，令和元年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集，2020。