

鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデルのパラメータと表層地質の関係の分析

中央大学大学院 学生会員 ○及川 雄真
 中央大学 正会員 小山 直紀
 中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

気候変動の影響により降雨形態の変化が推定される中で、精度の高い降雨流出解析が可能であれば、河川計画やダム洪水調節機能の有効活用の一助となる。山地流域の降雨流出過程を表現するモデルは古くから多く提案されている。一般に降雨流出モデルには複数のパラメータが存在し、そのパラメータは過去の洪水イベントにおいて最も精度よく再現できるものを推定することで決定している。一方で、中小河川のような雨量・流量等の水文データが不足した流域においては、洪水の再現によるパラメータ推定が困難となる。したがって、降雨流出モデルのパラメータ特性を明らかにすることで、水文データが不足した地域においても、限られた情報からパラメータを決定できると考えられる。

本研究では、降雨流出モデルの物理性に着目し、その導入として日本全国のダム流域を対象にパラメータ推定を行い、パラメータと流域の表層地質の関係について分析を行った。

2. 鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデル

山地流域における流出現象では、表面流より中間流が卓越することが知られている。そこで、斜面内流れを表面流、鉛直浸透流、飽和・不飽和側方流と多層流れを考慮した吉見・山田¹⁾によって提案された降雨流出モデルを用いて解析を行った。

$$\frac{ds_n}{dt} = V_{n-1} - r_{nm} - V_n \quad (1)$$

$$\begin{cases} r_{nm} = 0 & (s_n \leq h_{nm}) \\ r_{nm} = a_{nm}(s_n - h_{nm}) & (s_n > h_{nm}) \end{cases} \quad (2)$$

$$V_n = b_n s_n \quad (3)$$

$$\frac{dq_{nm}}{dt} = \alpha_{nm} q_{nm}^{\beta_{nm}} (r_{nm} - q_{nm}) \quad (4)$$

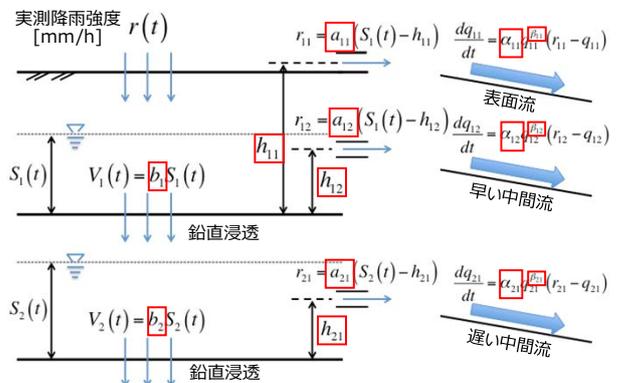


図-1 鉛直浸透機構を考慮した降雨流出モデル (2段3層モデル)の計算過程の概念図

式中の変数は次の通りである。 n ：層数、 m ：各層における側方成分の数、 s_n ：各層の土壌内水位[mm]、 a_{nm} 、 b_n ：各側方成分、鉛直浸透成分の比例定数[1/h]、 h_{nm} ：流出成分発生の閾値[mm]、 r_{nm} ：斜面流出に寄与する雨量[mm/h]、 V_n ：鉛直浸透量[mm/h]、 α_{nm} 、 β_{nm} ：それぞれ単一斜面における降雨流出の基礎式の各側方成分、鉛直浸透成分の比例定数である。

3. 対象流域

表-1に本研究の対象流域を示す。日本全国のダム流域の中で、上流にダムが無く、単一の表層地質で構成されているダム流域を対象とした。表層地質の区分については、虫明ら²⁾の区分を参考に決定した。

4. 流出パラメータの分析

(1) 流出パラメータの推定手法

本研究において、流出計算には図-1に示す2段3層モデルを使用しており、パラメータを14個有する。また、パラメータ推定にはGauss-Newton法を用い、層構造を問わず、すべてのパラメータを同時に推定した。

(2) 流出パラメータの推定結果

図-2に推定したパラメータの箱ひげ図の一例を示す。この図より、パラメータは洪水ごとにばらついていることが分かる。次に、表層地質ごとにパラメータ

表-1 対象のダム流域

水系	ダム名	流域面積 [km ²]	イベント数	表層地質
十勝川	札内川	117.7	41	古生層
石狩川	大雪	291.6	9	古生層
利根川	下久保	322.9	26	古生層
荒川	浦山	51.6	23	古生層
木曾川	徳山	254	15	古生層
天竜川	新豊根	136.3	54	古生層
櫛田川	蓮	80.9	56	古生層
肱川	野村	168	44	古生層
吉野川	富郷	101.2	21	古生層
吉野川	早明浦	417	90	古生層
荒川	二瀬	170	26	中生層
渡川	中筋川	21.1	102	中生層
利根川	相俣	110.8	20	第三紀層
利根川	矢木沢	167.4	14	花崗岩類
矢作川	矢作	504.5	30	花崗岩類
重信川	石手川	72.6	32	花崗岩類
日野川	菅沢	85	24	花崗岩類
斐伊川	尾原	289	7	花崗岩類
吉井川	苦田	217.4	24	花崗岩類
江の川	土師	307.5	22	花崗岩類
利根川	藪原	493.9	26	火山岩類
木曾川	岩屋	264.9	21	火山岩類
筑後川	下笠	185	70	火山岩類
山国川	耶馬溪	89	46	火山岩類

の平均値及びばらつきについて分析を行った結果を示す。図-3、図-4にそれぞれ推定したパラメータの平均値、標準偏差を表層地質ごとに示している。これらの図より、表層地質ごとのパラメータの平均値及び標準偏差に顕著な差は見られないことが分かる。一方で、 a_{12} 、 b_1 、 α_{11} 、 α_{12} については、パラメータの平均値がダム流域ごとに比較的大きい差が見られ、パラメータの標準偏差が大きいことが分かる。これらのパラメータは、山地流域の流出現象において卓越する中間流に関連するパラメータであり、洪水ごとに異なる降雨波形やその規模による影響が表れていると考えられる。

5. まとめと今後の展望

本研究では、複数のダム流域を対象にパラメータ推定を行い、表層地質ごとのパラメータの平均値及び標準偏差について分析を行った。その結果、表層地質ごとの顕著な差は見られなかった一方で、中間流に関連するパラメータのダム流域ごとの平均値の差及び標準偏差が比較的大きいことが分かった。今後は、このばらつきの要因についての分析に加え、流出計算結果に与える影響について分析を進めていく。

参考文献

- 1) 吉見和紘, 山田正: 鉛直浸透機構を考慮した流出計算手法の長短期流出解析への適用, 土木学会水工学論文集, Vol.70, pp.367-372, 2014.
- 2) 虫明功臣, 高橋裕, 安藤義久: 日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果, 土木学会論文報告集, 第389号, pp.51-62, 1981.

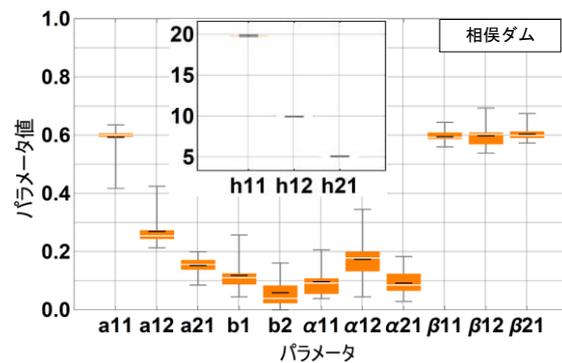


図-2 推定したパラメータの箱ひげ図の一例

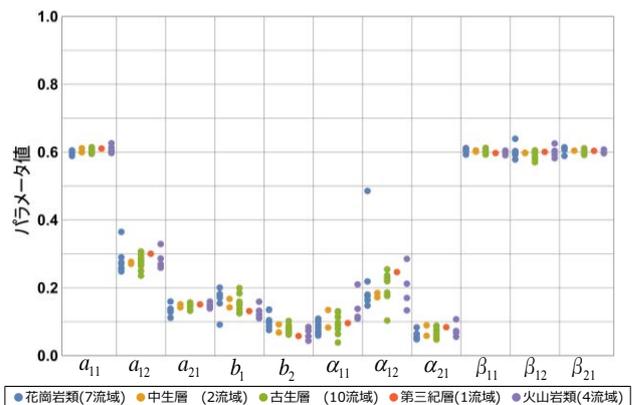


図-3 表層地質ごとのパラメータの平均値

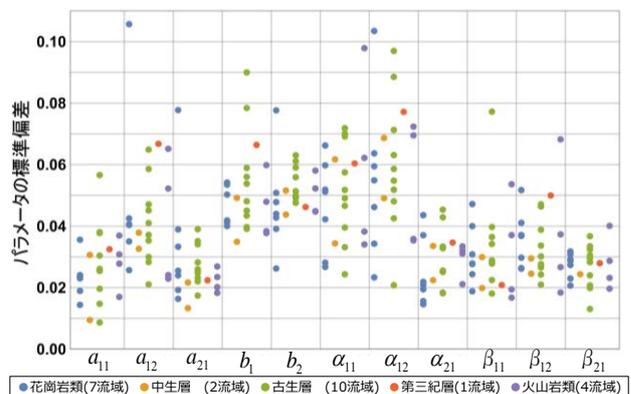


図-4 表層地質ごとのパラメータの標準偏差