

水循環解析に基づく低水流出貯留関数式の最適定数に関する一考察

明星大学 正会員 ○藤村 和正
東京工業大学大学院 正会員 井芹 慶彦
東京工業大学大学院 正会員 鼎 信次郎
高知工科大学 フェロー 村上 雅博

1. 序論

山地河川の低水流出を的確に把握することは、かつては都市化に伴い急増する水需要に対する水資源確保のために必要であり、今日では、地球温暖化による水資源への影響評価とその適応策検討¹⁾のために必要である。また、昨今の電力供給不足から、山間部の河川流出を利用した小水力発電への関心も高まっており、低水流出量の把握は重要である。本研究は、山地流域における低水流出の貯留関数式の定数について検討するものである。安藤ら²⁾が提案し Fujimura et al.³⁾により改良された水循環モデルの精度向上のため、貯留関数式の2つの定数を変化させて水循環解析を繰り返し、流出の計算値と実測値の相対誤差を小さくする定数を総当たりで探索し、そして最適定数の特性について考察することを目的とする。

2. 低水流出の貯留関数式

流域の基底流出の非線形性を解明することは、水文研究の主要課題の一つとして古くから多くの研究が行われてきている。その中で、流域貯留量と基底流出の関係が貯留関数式として表されている。高橋ら⁴⁾は、実用的な観点から、被圧地下水流出と不圧地下水流出について次式の貯留関数式を示している。

被圧地下水流出 $Q_g = a \cdot S_g$ (1)

不圧地下水流出 $Q_g = b \cdot S_g^2$ (2)

ここに、a：指数減水定数、b：分数減水定数、 Q_g ：地下水流出量、 S_g ：地下水貯留量。

また、Ding⁵⁾は低水流出量 Q と流域貯留量 s の関係を一般化した指数関数式として次式で表している。

$Q = c^N \cdot s^N$ (3)

ここに、c：流出係数、N：指数（形状係数）。

本研究では、(2)式と(3)式及びこれまでの研究経緯^{2), 4)}から、流出係数 c を減水定数 A_u と表記し、地下水流出量と地下水貯留量の関係を次の貯留関数式で表すこととする。

$Q_g = A_u^N \cdot S_g^N$ (4)

3. 水循環モデルの概要

本研究で用いる水循環モデルは、安藤ら²⁾が構築し、Fujimura et al.³⁾が改良したモデルであり、その概念図を図1に示す。基本的にタンク貯留型の構造であり、それぞれの流出口に各々の関数を与えている。モデル構造は、Diskin-Nazimovの雨水浸透モデル、貯留関数法による洪水流出計算、タンク流出計算による不飽和帯水分保留量と地下水涵養量の算定、貯留関数式による地下水流出計算から構成される。

4. 対象流域

早明浦ダムは、四国地方の安定的な水利用を目的の一つとして1975年に建設された。そして、1978年に建設された高知分水や下流の池田ダムとの連携操作により四国4県の利水強化が図られている。流域面積は472km²であり、これは汗見取水堰から発電用水の導水を受ける流域面積55km²を含んでいる。また、瀬戸川取水堰からの取水量は瀬戸川導水路、地蔵寺川導水路を通して鏡ダム流域に流域変更されている(図2)。水文資料は、ダム流入量、流域内7地点の雨量データ、AMeDAS 本山地点

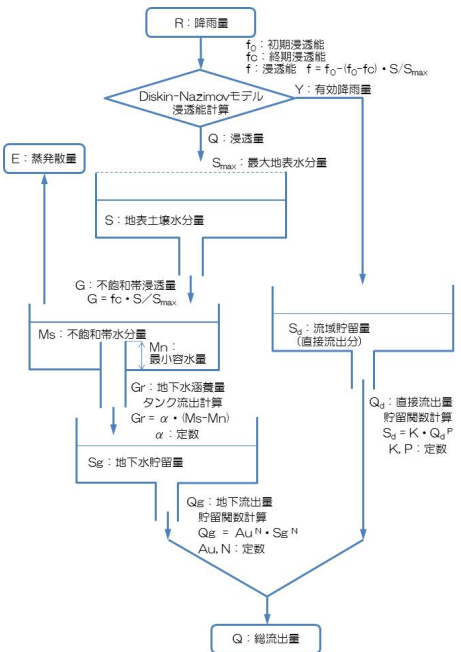


図1 水循環モデルの概念図



図2 早明浦ダム流域の概要図

の平均気温を用い、可照時間は国立天文台天文情報センター暦計算室 Web サイトにダム地点の緯度経度を入力し求めた。

5. 水循環解析と最適定数の探索

(1) 水循環解析と水収支

対象期間は1991年1月1日から2010年12月31日までの20年間である。降水量、浸透能、地表浸透量、有効降雨の算定は500mメッシュで行っている。各メッシュの降水量の推定は、距離逆数重み付き法を用いている。水循環解析の結果から年平均水収支量を図3に示す。年平均降水量は3,091mm、これに対して実測の年平均総流出量は2,078mmである。地下水流出量の計算値は2,134mmと算出されたが、実測総流出量を上回るため、有効降雨算定に基づく直接流出量555mmとHamon式による蒸発散量425mmを確定値と見なし、計算総流出量が実測総流出量2,078mmに近似する様に地下水流出の損失係数を0.29と決定した。その結果、計算値の総流出量は2,070mm、地下水流出量は1,515mm、地下水流出損失量は619mmとなった。このことから、地下水流出の約3割が流域外に消失していることが示唆される。

(2) 最適定数の関数

水循環解析の誤差評価を当初 Nash-Sutcliffe 係数で行っていたが、係数0.8以上の高い精度を示しながらも、低水流出部分の再現性は良好ではなかった。そこで、日流出量10mm/day以下のデータに対して次式の相対誤差式で評価することとした。

$$ADRE = 100 \cdot \{ \sum (|Q_c - Q_o| / Q_o) \} / n \quad \dots\dots (5)$$

ここに、ADRE：日流出量相対誤差の平均値、 Q_c ：流出量計算値、 Q_o ：流出量実測値、 n ：評価日数合計。

低水流出の貯留関数式(4)式の減水定数 A_u と指数 N の最適値の探索は、表1に示す2段階の方式で行った。計算1で広範囲の探索を行い、その後、探索範囲を狭めた計算2を行った。計算2の結果では、ADREの最小値は33.86%、最大値は131.78%であり、計算結果全てのADREを可視化すると図4の様なコンターが示された。再現性が比較的良好い40%以下の部分は紫色でやや左下側に分布している。さらに最適定数の特性を明確にするため、ADREが33%以上36%未満の定数を抽出し、図5に示す両対数グラフにプロットし、近似曲線で表した。その結果、最適定数を表す近似曲線は指数関数式として明確に示すことができた。

6. 結論

早明浦ダム流域を対象として、低水流出の貯留関数式の2つの定数、減水定数 A_u と指数 N の最適値の探索のため、水循環解析を繰り返し行った。その結果、最適な減水定数 A_u と指数 N の関係は指数関数式として表すことができた。これは貯留関数式の最適定数の決定に寄与できるものと考えている。本研究は、1つの山地河川流域のみの検討であるので、地質や気候の異なる他の山地流域においても検証する必要があると考えている。

本研究は、文部科学省気候変動適応研究推進プログラム(RECCA)の研究課題「流域圏にダウンスケーリングした気候変動シナリオと高知県の適応策」の成果の一部である。貴重な水文データを提供して頂いた独立行政法人水資源機構吉野川局、池田総合管理所の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 文部科学省：気候変動適応研究推進プログラム、<http://isacc.triple-i.me/> (2013.4.1)。
- 2) 安藤義久・高橋裕：山地河川の長期流出解析に関する一考察、土木学会論文報告集、第318号、pp. 93-105、1982。
- 3) Fujimura, K., Shiraha, K., Kanae, S. and Murakami, M.: Development of the hourly hydrological model for mountainous basins using the storage function method and the Diskin - Nazimov infiltration model, In: E. Sascha et al., eds. Models - Repositories of Knowledge, Wallingford: IAHS Press, IAHS Publ., 355, pp. 338-344, 2012。
- 4) 高橋裕・安藤義久・伊藤孝・伊藤和央：山地河川の低水流出の減水特性に関する研究、土木学会論文報告集、第337号、pp. 75-82、1983。
- 5) Ding, J. Y.: Variable unit hydrograph, Journal of Hydrology, 22, pp. 53-69, 1974。

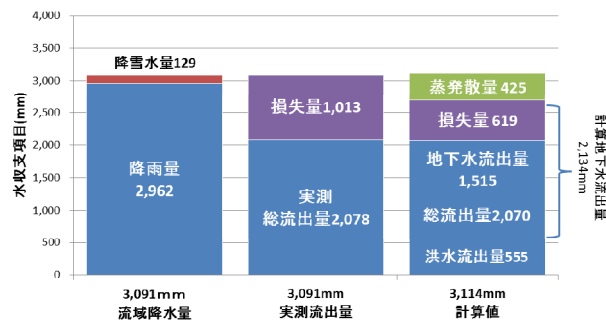


図3 早明浦ダム流域の水収支

表1 最適定数の探索計算

	定数	探索範囲	ステップ	計算数
計算1	減水定数 A_u	0.002~0.050	0.002	25
	指数 N	1.0~40.0	0.5	79
計算2	減水定数 A_u	0.0001~0.0100	0.0001	100
	指数 N	1.0~40.0	0.5	79

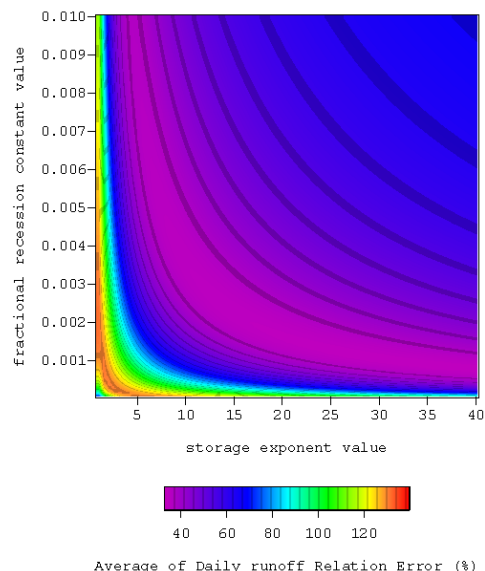


図4 可視化した相対誤差

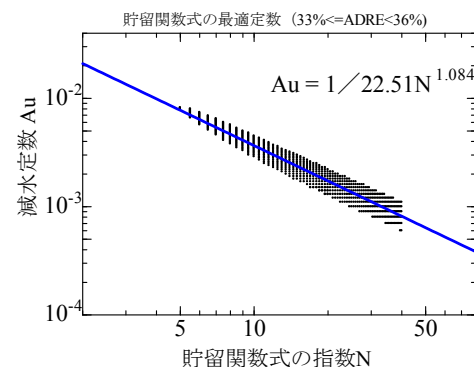


図5 最適定数の関数