

多数の出水を対象とする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. 研究の背景と目的

流出の減水時の非線形性を貯留量と流出量の関係により表すことは、1936年、Horton¹⁾により行われた。その後、貯留量-流出量の研究は、水資源の重要性から無降雨時の減水特性を解明することとして進められた。日本においては、渇水よりも洪水被害が多いことから、洪水の流出解析法として貯留関数法が木村²⁾により提案され、現在では、河川管理や河川整備計画に広く用いられている。洪水流出に貯留関数式を適用する場合、洪水ごとに定数が異なり、定数の最適化は洪水予測する上での課題でもある。一方、低水流出に対しては、水循環解析に基づく感度分析から、貯留関数式に含まれる2つの定数の関係性が藤村ら³⁾により示されている。そこで本研究では、この同様の手法を洪水流出にも適用し、対象期間内の多数の出水に対して同一の最適定数を表すことにより、洪水流出の場合の貯留関数式の定数の特性について考察することを目的とする。

2. 対象流域と解析方法

対象流域は早明浦ダム流域とし、流域面積は472km²である(図1)。対象期間は1991年から2010年までの20年間とし、水資源機構、水文・水質データベース、AMeDASの1時間単位の水文データを用いる。水循環解析には、安藤ら⁴⁾が提案しFujimura *et al.*⁵⁾が改良したモデルを用いる。計算過程は、Diskin-Nazimovの雨水浸透モデルにより有効降雨と浸透量を算定し、有効降雨は貯留関数法により洪水流出計算を行い、浸透量はタンク構造のモデルに入力し、地下水涵養量、地下水流出量の計算を行い、洪水流出と地下水流出を合計して総流出量を算定する。(1)式は貯留関数法で用いる貯留関数式であり、(2)は地下水流出計算を行う貯留関数式である。

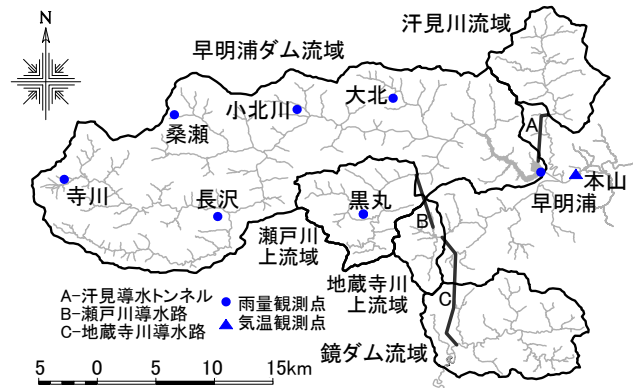


図1 早明浦ダム流域の概要図

$$S = KQ^P \quad (1)$$

$$Q_g = A_u^N \cdot S_g^N \quad (2)$$

ここに、 S : 貯留高 (mm)、 Q : 流出高 (mm)、 S_g : 地下水貯留高 (mm)、 Q_g : 地下水流出高 (mm)、 P, K, A_u, N : 定数。なお、(1)式と(2)式の定数を比較すると、 N は $1/P$ に相当し、 A_u は $1/K$ に相当する。

最適定数の感度分析は、貯留関数式の指数 P を固定し、定数 K を変化させて前述の水循環モデルにより1時間単位の20年間の解析を繰り返し、解析誤差が最小となる P と K の組み合わせを求める。誤差評価は、Nash指数及び相対誤差の平均値 (ARE: Average of relative error) を用い、実測流出高が1.0 mm/h以上の流出に対して解析値を評価する。表1には感度分析の計算条件として、指数 P 、定数 K の計算範囲、ステップ値及び計算数を示す。

表1 感度分析の計算条件

No	指数 P		定数 K の計算条件		計算数
	P	$1/P$	範囲	ステップ	
1	1.000	1.0	3.0 - 9.0	0.1	61
2	0.909	1.1	5.0 - 12.0	0.1	71
3	0.833	1.2	5.0 - 12.0	0.1	71
4	0.769	1.3	8.0 - 15.0	0.1	71
5	0.714	1.4	8.0 - 15.0	0.1	71
6	0.667	1.5	10.0 - 17.0	0.1	71
7	0.625	1.6	10.0 - 17.0	0.1	71
8	0.588	1.7	14.0 - 21.0	0.1	71
9	0.556	1.8	14.0 - 21.0	0.1	71
10	0.526	1.9	16.0 - 22.0	0.1	61
11	0.500	2.0	16.0 - 22.0	0.1	61
12	0.400	2.5	24.0 - 31.0	0.1	71
13	0.333	3.0	30.0 - 50.0	0.5	41
14	0.286	3.5	35.0 - 55.0	0.5	41
15	0.250	4.0	45.0 - 55.0	1.0	21
16	0.222	4.5	30.0 - 80.0	1.0	51
17	0.200	5.0	50.0 - 80.0	1.0	31
18	0.100	10.0	100.0 - 120.0	1.0	21

3. 結果と考察

解析結果として、指数 P に対して定数 K を変化させたときの誤差

キーワード 洪水流出、貯留関数式、最適定数、水循環解析

連絡先 〒191-8506 東京都日野市程久保2-1-1 明星大学理工学部 TEL 042-591-5111

評価値を図 2 の片対数グラフに示す。Nash 係数の最大値は 0.89075 であり、その時の定数の組み合わせは、 $P=0.833$ 、 $K=7.0$ である。相対誤差 ARE の場合は、最小値が 36.60% で定数は $P=0.909$ 、 $K=7.7$ であった。両者とも指数 P は 1 に近い。低水流出の場合の指数 N ($1/P$) に対応させると、 $P=0.833$ は $N=1.2$ 、 $P=0.909$ は $N=1.1$ となる。低水流出では、実用的な指数の最適値は $N=100$ と見な

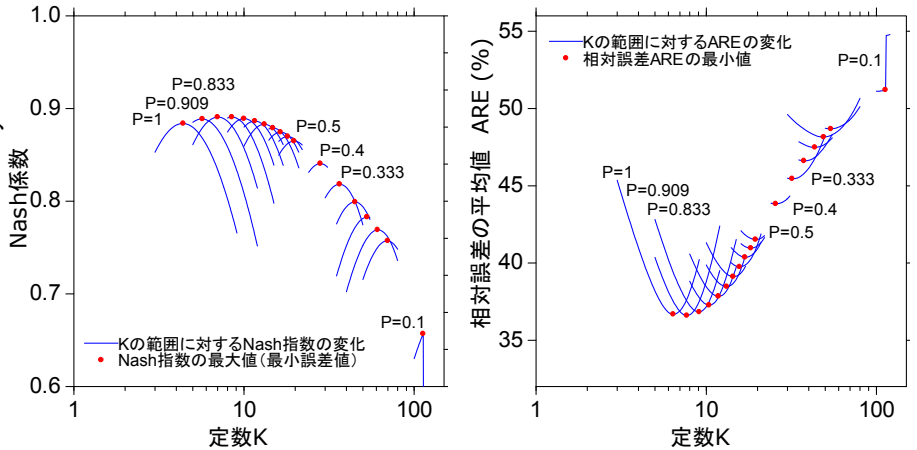


図 2 定数 K の範囲に対する Nash 指標と相対誤差の最小誤差値

しており、非線形性が高いことが伺えたが、洪水流出の指数 N ($1/P$) の最適値は 1 に近い値であり、線形的傾向が強い。次に、指数 P に対する定数 K の最適値を図 3 に示す通り方対数グラフにプロットした。解析精度が比較的高い $P=0.5 \sim 1.0$ について対数近似を行ったところ、決定係数が $R^2=0.992$ となる $P-K$ 関係式が得られた。さらに、従来の水循環解析で定数の最適値として用いてきた $P-K$ の値の位置を◎で示し、その算出根拠とした各洪水の最適定数を▲で表す(図 3、表 2)。 $P-K$ 近似式の近傍に洪水ごとの最適定数は存在しているが、それらにはバラツキがある。ハイドログラフの実測値と解析値の比較の例として、

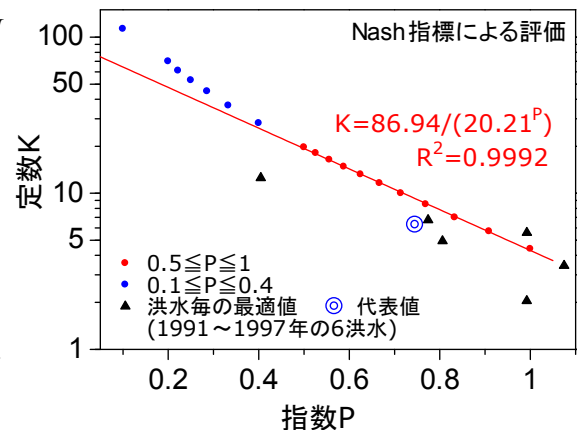


図 3 指数 P に対する定数 K の最適値

20 年間の対象期間のうち 1991 年から 1995 年の出水期について図 4 に表す。解析値は実測値を概ね再現しているが、減水曲線を追従できていない部分も見られる。

表 2 洪水ごとの貯留関数式の定数とその代表値

年月日	総雨量 (mm)	直接流出高 (mm)	定数 k	定数 p
1991.8.21-8.25	257.2	65.4	3.4353	1.0746
1992.8.7-8.11	265.3	170.94	4.9402	0.806
1992.8.24-8.27	292.31	151.63	12.544	0.4044
1995.9.22-9.25	193.41	55.99	2.043	0.9921
1996.8.13-8.16	359.34	174.97	6.745	0.7742
1997.6.27-6.30	227.02	126.95	5.594	0.9923
			代表値 6.289	代表値 0.7455

4. まとめ

多数の出水に共通して使用する場合の貯留関数式の定数は、線形性の傾向を有することが示された。つまり、低水流出は非線形性の高い現象であるのに対して洪水流出は線形性を有する現象であることが考察された。本研究は、独立行政法人水資源機構に貴重なデータの提供を頂いた。また、本研究の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金基盤研究(C)(一般) (15K06241) の支援により実施された。ここに記して関係各位に謝意を表す。

【参考文献】

- Horton, R. E.: Natural stream channel-storage. Transactions, American Geophysical Union, 17(2), pp.406-415, 1936.
- 木村俊晃: 貯留関数法による洪水流出追跡法, 土木研究所, 1961.
- 藤村和正・井芹慶彦・鼎信次郎・村上雅博: 低水流出に適用する貯留関数式の定数の特性, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.71, No.4, pp.361-366, 2015.
- 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.
- 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: Models - Repositories of Knowledge, IAHS Publ., 355, pp.338-344, 2012.

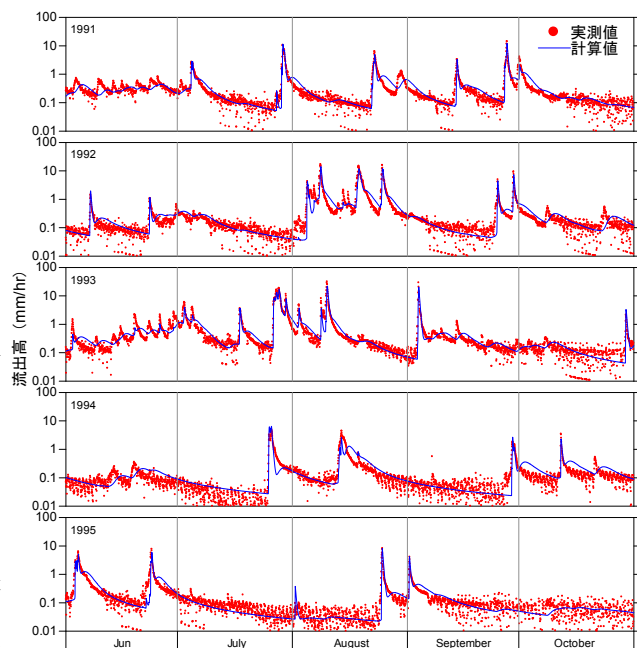


図 4 出水期(6月から10月)のハイドログラフの例