

気候・地質の異なる山地河川流域の水循環解析と水収支量の比較

○藤村和正（明星大学）、井芹慶彦（カリフォルニア大学デービス校）、岡田将治（高知工業高等専門学校）
 鼎 信次郎（東京工業大学大学院）、村上雅博（高知工科大学）

1. はじめに

日本の国土面積の約 7 割を占める山地部への降水は、人口・産業が集中する平地部に流出する。故に、山地流域からの流出量を的確に算定することは水資源管理および洪水防御にとって極めて重要である。さらに近年では、地球温暖化が流出に与える影響を評価することも課題となっている。しかし、流出量を算定する流出モデルには不確実性があり、例えば、確定的なモデルパラメータが示されていないことなど、必ずしも信頼性ある流出モデルは確立されていない。そこで筆者らは、多くの流出モデルの基礎式に適用されている貯留関数式について、そのパラメータ特性を明確にし、流域として妥当なパラメータ値の特定を進めてきた。本研究ではこれらの結果を整理し、気候・地質の異なる 6 つの山地河川流域における水循環解析の結果を示し、そして、現在と将来の年水収支量を比較して考察することを目的とする。

2. データと解析方法

対象流域は、気候と地質の異なる 6 つのダム流域とし、それぞれ四国地方の早明浦ダム流域と鏡ダム流域、東北地方の最上川上流の白川ダム流域と寒河江ダム流域、そして、北海道地方の石狩川上流の大雪山ダム流域と天塩川上流の岩尾内ダム流域である。流域の地質と気候は流出を支配する主な要因とされており、対象流域の地質と気候の条件はそれぞれ異なっている。早明浦ダム流域と鏡川流域は太平洋側気候であり、年間降水量の大半は夏期にある。白川ダム流域と寒河江ダム流域は日本海側気候であり、夏期に晴天が多く降水量は比較的少ない。そして、大雪山ダム流域と岩尾内ダム流域はオホーツク海気候であり、梅雨期がなく台風の襲来が少ない。表層地質に関しては、四国地方の 2 流域は地質年代が比較的古い中生層が主であり、東北地方、北海道地方の流域では、火山性地質の第三紀層、第四紀層の割合が多い。雨量、気温、ダム流入量の 1 時間単位のデータは、水文・水質データベース、AMeDAS から入手し、また、水資源機構および高知県から提供を受けた。将来気候データである GCM 出力値は、ISIMIP から提供されている MIROC5、RCP8.5 排出シナリオの現在期間（1986-2005 年）と将来期間（2080-2099 年）の日単位の降水量と気温を用いる。

解析方法は、降雨強度を考慮して浸透能を計算できる Diskin-Nazimov の雨水浸透モデルと地下水流出計算および洪水流出計算に貯留関数式を用いた 1 時間単位の水循環モデルを用いる¹⁾。解析精度は貯留関数式に含まれるパラメータに依存するため、最適値を適用する必要がある。そこで、洪水流出に対しては、2 つのパラメータ、 p と k を変動させる 2 重ループの繰り返し洪水流出解析を行い、誤差評価値を Nash 係数で表す。そして、全洪水の同じパラメータセットの Nash 係数を平均化し、その値が最大となるパラメータセットを流域最適値と見なす。低水流出については、2 つのパラメータのうち指数 N 値は 100 を用い、減水定数 Au は繰り返し計算により誤差評価値である日流出量相対誤差の平均値 (ADRE) (%) が最小となる Au 値を最適値とする。

3. 解析結果と考察

図 1 には、繰り返し洪水流出解析から得

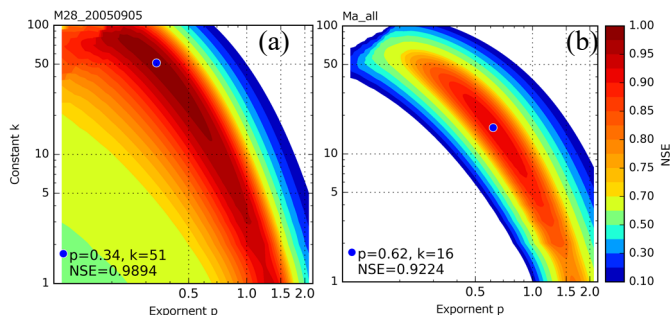


図 1 パラメータ p - k 値を変化させた洪水流出解析の結果から得た誤差評価値 Nash 指数の可視化（早明浦ダム流域の例）
 (a)2005 年 9 月 5 日洪水の結果。●印は Nash 指数最大値の位置 ($p=0.34, k=51$) (b)44 個の対象洪水の平均 Nash 指数可視化グラフ。●印は Nash 指数最大値の位置 ($p=0.62, k=16$)。

表 1 洪水流出の貯留関数パラメータ流域代表値

対象流域	洪水数	p	k	Nash 指数
早明浦ダム	44	0.62	16	0.9224
鏡ダム	6	0.58	18	0.9175
白川ダム	13	0.74	10	0.8047
寒河江ダム	17	0.80	7	0.8949
大雪山ダム	10	0.77	10	0.8323
岩尾内ダム	9	1.17	17	0.8592

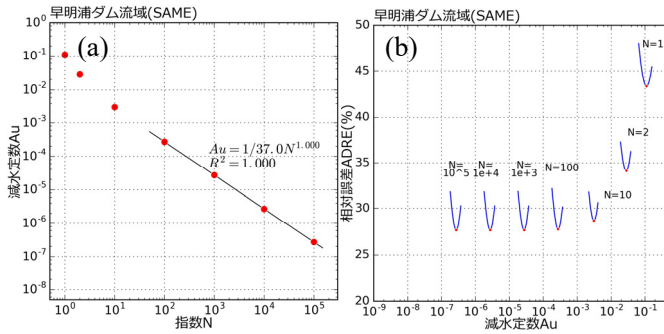


図2 低水流出のパラメータ (a)N-Au 関係と(b)減水定数 Au の最適値探索 (早明浦ダム流域の例)

表2 低水流出の貯留関数パラメータの最適値

対象流域	解析年数	Au	ADRE(%)
早明浦ダム	1986-2015	2.7×10^{-4}	27.8
白川ダム	2003-2017	1.5×10^{-4}	30.3
寒河江ダム	2002-2017	7.2×10^{-5}	26.0
大雪ダム	2002-2017	5.3×10^{-5}	21.3
岩尾内ダム	2002-2017	2.3×10^{-4}	30.9

た Nash 係数を可視化した $p-k$ 関係図 (図 1(a)) と、各洪水の Nash 係数を平均化して可視化し、流域代表値としての $p-k$ 関係図 (図 1(b)) を早明浦ダム流域の場合について表す。そして表 1 には、対象流域の 6 流域の解析洪水数、流域代表値である p, k 値とその平均 Nash 係数を表す。

次に、低水流出解析の結果として、低水流出の 2 つのパラメータ、指数 N と減水定数 Au は逆数で表現できることを本研究の 6 つの対象流域でも再確認できた (図 2 (a) は早明浦ダム流域の場合)。そして、 N 値は実用的な値として 100 を用い、減水定数 Au の最適値を繰り返し計算により日流出量相対誤差の平均値 (ADRE) が最小となる値を求めた (図 2 (b))。表 2 には最適値 Au を用いた場合の長期水循環解析の 6 流域の結果を示す。

水循環解析の結果を年水収支量として整理し、各流域の現在値と将来値の水収支量を図 3 に表す。いずれの流域でも将来の降水量は現在に比べて増加している。積雪地域では、降水量に占める降雪量の割合は現在の 45%程度から将来は 30%~15%程度に減少しており、気温上昇の影響が降雪量の減少に表れている。流出量について、直接流出量は流域によって増減がある。

4. おわりに

本研究では、気候と地質の異なる複数の山地河川流域を対象として、現段階で最適と見なせる貯留関数パラメータを特定した。また、GCM 出力値を利用して水循環解析を行い、日本の山地のダム流域規模で将来流出変化を年水収支量として表した。なお、貯留関数パラメータと気候、地質といった流域条件との関係について、解析流域数が少ないため、現在のところ明らかになっていない。

本研究は、独立行政法人水資源機構吉野川局池田総合管理所および高知県鏡ダム管理事務所からデータを提供して頂いた。また、日本学術振興会の科学研究費補助金基盤研究(C)(一般) (JP15K06241) の支援により実施された。関係各位にここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 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特長、土木学会論文集 B1(水利工学)VoL174No4,1_301_306,2015.

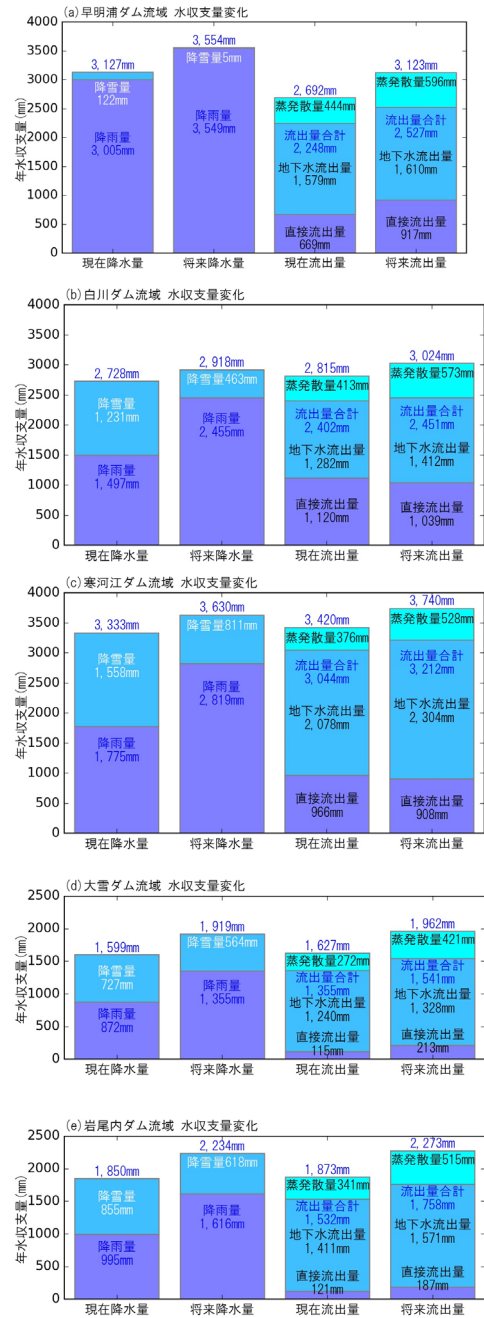


図3 年水収支量の現在値と将来値の比較