

気象・地質・土地利用を考慮したリンクマグニチュードによる河川流量の推定モデル

神戸大学大学院 正会員 ○宮本 仁志 三井造船 正会員 石田 和也
神戸大学大学院 フェロー会員 道奥 康治

1. はじめに

流域の自然と社会の調和を考慮して持続可能な水資源管理や生態系保全を実行するためには、流域全体を統合化する共通指標が必要となる。筆者らは、河道位数に代表される河道ネットワークの数理表現が共通指標になると考え、その適用性を検討してきた^{1~3)}。本報では、気象・地質・土地利用など流域の自然・社会条件を考慮して、河川環境に重要な流量と位数化指標のひとつであるリンクマグニチュードとの関係を定式化した。得られた流量の推定モデルを用いて、明治・大正期からの土地利用変化が河川流量に及ぼす影響を評価した。

2. 対象流域および解析データ

対象流域は相模川を除く日本の108の一級水系である。相模川は流量データ不足のため対象外とした。流量は、(社)日本河川協会の雨量・流量年表データベースに収録される平成6~15年の10年間の日平均流量を用いた。それぞれの流域を代表する一つの観測地点において、年平均流量および豊・平・低・渇水流量など365日の河川流況について10年平均値を算出して解析対象とした。一方、リンクマグニチュードは国土地理情報の50mメッシュ標高データを用いて作成した。降水量・気温は(財)気象業務支援センターの気象データベース・アメダスを用いた。平成6~15年のうち8年以上の観測データが存在する観測所1154箇所を対象とした。地質は、産業技術総合研究所地質センターの統合地質図データベース・20万分の1日本シームレス地質図を用いた。土地利用は、国土交通省の国土数値情報ダウンロードサービスの100mメッシュ平成9年度データを使用した。

3. 気象・地質・土地利用を考慮した河川流量のリンクマグニチュードモデル

リンクマグニチュード*i*に関する流量 Q_i (m³/s)のべき乗式³⁾を式(1)に示す。さらに、降水量、地質、土地利用、気温を用いて式(1)を補正した流量推定式をそれぞれ式(2)~(5)に示す。

$$Q_i = \overline{Q}_1 \cdot i^{b \cdot c \cdot \lambda}, \quad \overline{Q}_1 = a \cdot d \cdot \overline{A}_1^{b \cdot c} \quad (1a, b)$$

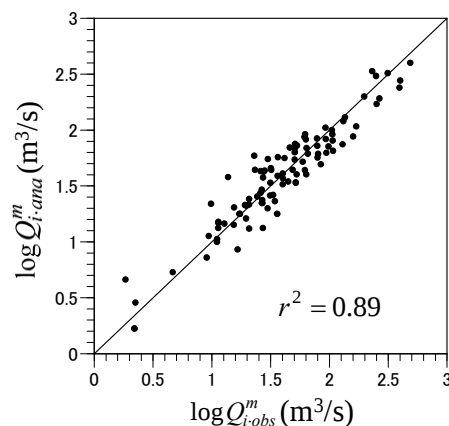
$$Q_i = F_R \cdot i^{b_R \cdot c_R \cdot \lambda}, \quad F_R = f_R \cdot \overline{r} \cdot d_R \cdot \overline{A}_1^{b_R \cdot c_R} \quad (\text{降水量を考慮}) (2a, b)$$

$$Q_i = F_G \cdot i^{b_G \cdot c_G \cdot \lambda}, \quad F_G = \left(\sum_{\gamma} f_{\gamma} \cdot GE^{\gamma} / A_i \right)^{b_G} \cdot d_G \cdot \overline{A}_1^{b_G \cdot c_G} \quad (\text{地質を考慮}) (3a, b)$$

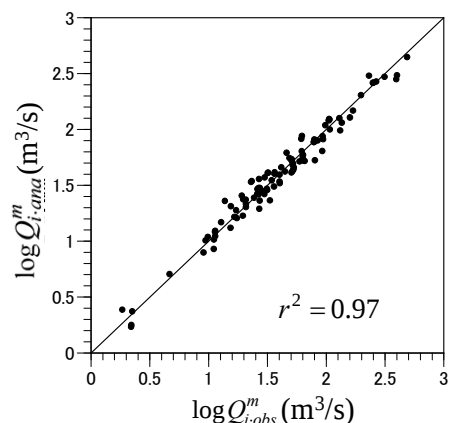
$$Q_i = F_{RG} \cdot i^{b_{RG} \cdot c_{RG} \cdot \lambda}, \quad F_{RG} = \overline{r} \cdot \left(\sum_{\gamma} f_{\gamma} \cdot GE^{\gamma} / A_i \right)^{b_{RG}} \cdot d_{RG} \cdot \overline{A}_1^{b_{RG} \cdot c_{RG}} \quad (\text{降水量・地質を考慮}) (4a, b)$$

$$Q_i = F_{RGLT} \cdot i^{b_{RGLT} \cdot c_{RGLT} \cdot \lambda}, \quad F_{RGLT} = \overline{r} \cdot f_T \cdot \left(\sum_{\gamma} f_{\gamma} \cdot LG^{\gamma} / A_i \right)^{b_{RGLT}} \cdot d_{RGLT} \cdot \overline{A}_1^{b_{RGLT} \cdot c_{RGLT}}, \quad f_T = 10^{-e \cdot \overline{T}} \quad (\text{降水量・地質・土地利用・気温を考慮}) (5a, b, c)$$

ここに、 $\overline{A}_1$: $i=1$ の平均流域面積、 $\overline{Q}_1$: $i=1$ の平均流量、 $\overline{r}$: 年平均降水量、 GE^{γ} : 地質 γ の面積、 A_i : i の流域面積、 LG^{γ} : 土地利用#と地質 γ の属性をもつ面積、 $\overline{T}$: 年平均気温である。 $a, b, c, d, e, f, \lambda$ はモデルパラメータであり、下添字の R, G, L, T は考慮した要素(降水量・地質・土地利用・気温)を示す。



(a) 式(1): 補正なし



(b) 式(5): 降水量・地質・土地利用・気温を考慮

図-1 年平均流量に対する推定モデルの適用性

キーワード 流域環境, 統合水資源管理, 河川流量, 河道ネットワーク, 土地利用

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 宮本仁志 miyamo@kobe-u.ac.jp

4. 解析結果と考察

図-1 に、代表観測点の年平均流量に関して、式(1)・(5)の推定値 Q_{i-ana}^m と観測値 Q_{i-obs}^m の比較を示す。これより、降水量・地質・土地利用・気温を考慮した方が流量の推定精度が格段に高くなる。一級水系 108 流域に対して式(5)のモデルによる決定係数 r^2 は 0.97 であった。さらに、式(5)におけるモデルパラメータ $f_{\#y}$ によって地質・土地利用ごとの流出特性が定量的に評価される。ここでは、地質が中・古生代堆積岩類で土地利用形態が荒地の組み合わせの場合に流出率が最大となった。

次に、365 日の河川流況に対して推定式(1)~(4)の適用性を評価し、降水量・地質が流況のどの部分に影響するのかを検討した。

図-2 に、代表観測点の降順日流量に関して、式(1)~(4)の流量推定値と観測値との決定係数 r^2 を示す。出水時を示す年最大流量付近および渇水時の年最小流量付近を除くほとんどの流量降順順位において、降水量・地質の両方を考慮した式(4)の適用性が最も高いことがわかる。式(4)と補正を全くしない式(1)を比較すると、降順順位の広い範囲で r^2 が 0.07 程度大きくなる。一方、式(1)と式(2)の r^2 を比較すると、降水量の補正が渇水流量付近を除く高水側の降順順位で流量推定精度の向上に寄与することになる。また、式(1)と(3)とを比較すると、地質の考慮は渇水・低水流量付近で推定精度を大きく向上させることがわかる。

次に、得られた河川流量の推定式(5)を用いて土地利用変化が河川流量に及ぼす影響を検討する。図-3 に、代表観測点の年平均比流量に関して、観測値 Q_{i-obs}^m / A_i と式(5)による推定値(現在の土地利用形態) $Q_{i-ana}^{m(現在)} / A_i$ の関係を示す。図中には、95・99%予測信頼区間を併記している。これより、 $Q_{i-ana}^{m(現在)} / A_i$ は全て 95%の予測信頼区間内にプロットされており、現在の自然・社会条件の相違による流量の違いは概ねこの信頼区間の枠内で説明されることがわかる。一方、図-4 は、観測値 Q_{i-obs}^m / A_i と式(5)による推定値 $Q_{i-ana}^{m(明治大正期)} / A_i$ (明治・大正期の土地利用形態⁴⁾)の関係である。図中には、図-3 に示す現在の流域に対する 95・99%信頼区間を併記している。明治大正期の土地利用変化により、95~99%信頼限界上に 2 つの流域が、99%信頼区間外に 7 つの流域がプロットされる。これら 9 つの流域に関しては、時代に伴う土地利用変化が流出形態に本質的な変化をもたらしたと推察される。具体的には、99%の信頼区間上限を上回る 7 流域においては明治大正期から現在へかけて荒地の減少と森林の増加が、一方、下限を下回る 2 流域では建物用地の増加と森林の減少が、それぞれ顕著であった。

【参考文献】 1) Miyamoto, H., et al.: Basin-wide distribution of land use and human population: stream order modeling and river basin classification in Japan, *Environmental Management*, doi:10.1007/s00267-011-9653-0, 2011. 2)宮本ら: 日射遮蔽と流入水温の影響を補正した河川水温ネットワークモデルの精緻化, 水工学論文集, 55, pp.S1243-S1248, 2011. 3) 宮本ら: 河道リンク/マグニチュードと流域面積・河川流量の関係, 水工学論文集, 54, pp.1105-1110, 2010. 4) 西川ら: アトラス【日本列島の環境変化】, 朝倉書店, 1995.

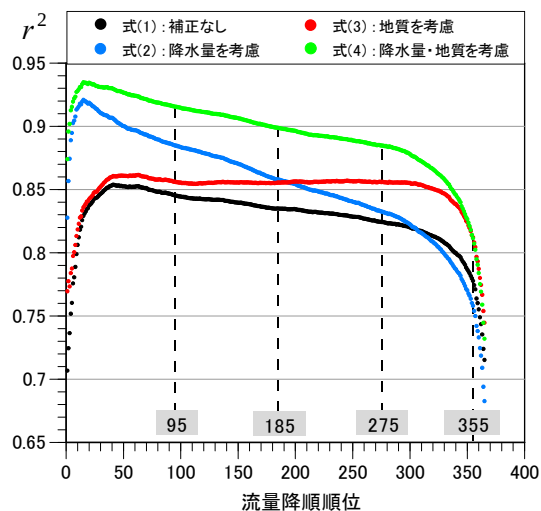


図-2 河川流況に対する推定モデルの適用性

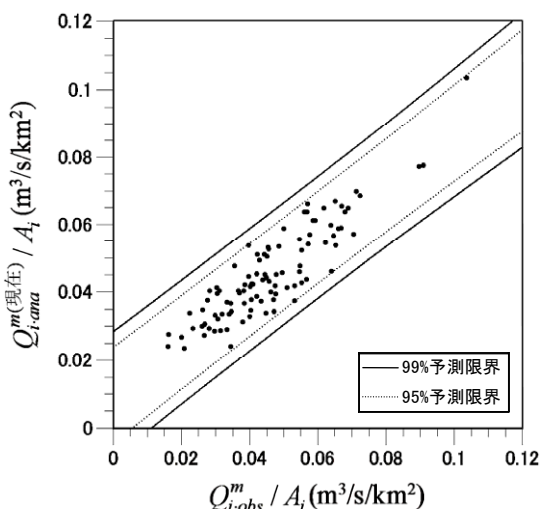


図-3 年平均比流量の観測値と現在の土地利用による推定値の関係

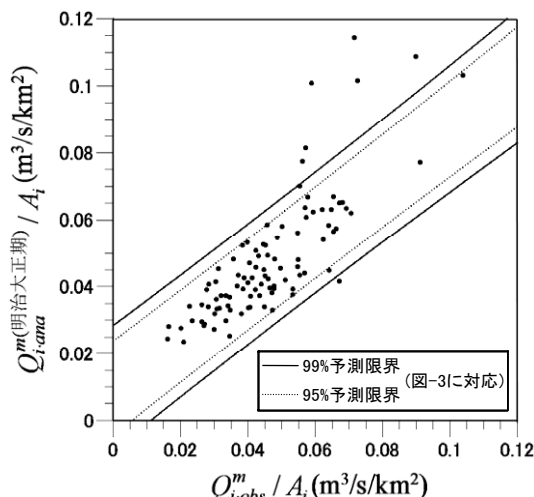


図-4 年平均比流量の観測値と明治大正期の土地利用による推定値の関係