流域の気候・地理条件に基づく 山地河川の流況推定に向けた予備的検討

小松 和¹・木村 龍²・横尾 善之^{1*}

¹福島大学大学院共生システム理工学研究科 (〒960-1296 福島県福島市金谷川1)

²株式会社日水コン北海道支所 (〒060-0003 北海道札幌市中央区北3条西1丁目1番地)

* E-mail: yokoo@sss.fukushima-u.ac.jp

本研究は日本の水資源を保全する上で重要な山地流域の河川の流況を流域特性値から推定する手法の開発を目的として、豊水量・平水量・低水量・渇水量と流域の気候的・地理的特性値の関係を重回帰分析した。その結果、年間降水量は豊水量・平水量・低水量の増加要因、建物用地と黒ボク土壌の面積率は平水量・低水量・渇水量のそれぞれ減少要因、増加要因であることがわかった。また、紀伊半島以西の流域では、得られた重回帰式と流域特性値から豊水量・平水量・低水量・渇水量が精度よく推定できた。

Key Words : *topography, climate, soil, geology, land us, runoff*

1. はじめに

流域の気候・地理条件から流況曲線形状を推定する手法に関する研究の歴史は長く、1970年頃から Singh¹⁾, Mimikou and Kaemaki²⁾, Franchini and Suppo³⁾, Croker *et al.*⁴⁾, Castellarin *et al.*^{5),6)}等によって研究されている。しかしこれらの研究は、流況曲線形状の推定手法の適用範囲について十分明らかにしておらず、推定が可能な流域はそれぞれの研究対象地域に限定されると考えるべきであろう。また、流況曲線形状に与える要因として、地頭菌・竹下⁷⁾, 志水⁸⁾, Molire *et al.*⁹⁾, Mazviniavi *et al.*¹⁰⁾, Farmer *et al.*¹¹⁾, Sefton and Hawarth¹²⁾等は気候の影響, Sefton and Hawarth¹²⁾, Ward and Robinson¹³⁾, Soulsby *et al.*¹⁴⁾, Kim and Kaluarachchi¹⁵⁾等は土壌の影響, 地頭菌・竹下⁷⁾, 志水⁸⁾, 虫明ら¹⁶⁾, Holmes *et al.*¹⁷⁾, 横尾・沖¹⁸⁾等は地質の影響, Molire *et al.*⁹⁾, Sefton and Hawarth¹²⁾, Fennessey and Vogel¹⁹⁾, Abebe and Foerch²⁰⁾等は地形の影響, Molire *et al.*⁹⁾, Sefton and Hawarth¹²⁾, Kim and Kaluarachchi¹⁵⁾等は土地利用の影響, Sefton and Hawarth¹²⁾, Burt and Swank²¹⁾, 真板・鈴木²²⁾, Komatsu *et al.*²³⁾等は森林の影響について報告している。さらに、横尾・有働²⁴⁾は、25種類の地理条件と流況曲線形状の関係を調べ、流況曲線形状はパラメータが4つの簡単な数学的モデルを用いて表現できることを明らかにしている。しかしこれらの研究は、流域の気候・地理条件と流況曲

線形状の関係を包括的に説明するには至っていない。また、流況曲線形状を数学的モデルで再現した場合、モデルパラメータと流域の気候・地理条件の間には有意な関係が見出し難いことが報告されている²⁵⁾。以上より、流域の気候・地理条件から流況曲線形状を推定する方法論はまだ発展途上と言える。

これらに対し、横尾・沖²⁵⁾は流域の気候・地形・土壌・地質・土地利用と流況曲線形状の関係を豊水量・平水量・低水量・渇水量に着目して包括的に説明した。しかし、西日本に位置するダム流域を流域選定の条件としたため、結果として得られた関係は西日本に限定されている可能性が高く、他の流域に適用できる十分有効な関係を得られたとは言えなかった。

そこで本研究は、対象流域を拡大し、横尾・沖²⁵⁾と同様に流域の気候・地理条件と流況曲線形状の関係を包括的に調べた。具体的には、重回帰分析によって、豊水量・平水量・低水量・渇水量に対する各気候・地理条件の影響度の評価を行い、気候・地理条件に基づく豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定法を提案した。なお、本論文の一部は既に木村ら²⁶⁾が報告しているが、解析手法を改善するとともに年降水量の取り扱いについて、新たな知見を得たので内容を修正・追加して報告するものである。

表-1 本研究で抽出した流域の気候・地理条件

区分	項目名
気候	年間降水量(mm/y), 最大日降水量(mm/d)
地形	流域面積(km ²), 流域代表勾配
土壌	岩石地, 未熟土壌, 黒ボク土壌, 森林土壌
表層地質	第三紀火山岩, 第四紀火山岩, 花崗岩, 第三紀層, 中生層, 古生層
土地利用	水田, 畑地, 森林, 荒地, 建物用地, 幹線交通用地

2. 方法

(1) 対象流域

本研究は、図-1に示す二川、一庫、岩瀬、厚東川、緑川、棕梨、永瀬、野村、新豊根、青蓮寺、下笠、椿山、鶴田、湯原、鹿ノ子、十勝、岩尾内、漁川、美利河、寒河江、玉川、大川の合計22のダムの流域を対象とした。これらの流域は、データの欠測がないこと、人間活動の影響が少ないと考えられる上流部に位置すること、流域面積が100km²以上であることを条件として選定した。

(2) 使用データ

二川、一庫、岩瀬、厚東川、緑川、棕梨、永瀬、野村、新豊根、青蓮寺、下笠、椿山、鶴田、湯原の各ダムは1990年から1992年までの日雨量、日流入量データを多目的ダム管理年報^{27,29)}から収集した。鹿ノ子、十勝、岩尾内、漁川、美利河、寒河江、玉川、大川の各ダムについては2006年から2008年までの日流入量データをダム諸量データベースから、日雨量を気象庁のアメダスデータおよび水文水質データベースから収集した。また、収集したダム流入量データから毎年の豊水量・平水量・低水

量・渇水量を流域別に算出した。

(3) 地理条件の算出

流域の地理条件の抽出を行うため、国土地理院が整備した数値地図情報を入手し、このデータから各流域の切り出し作業を行った。この作業は、数値地図情報の行政区画、河川、ダム、および国土地理院発行の50mメッシュの標高データを使用した上で、①標高ポイントデータのラスターデータへの変換、②標高ラスターデータに基づく流向グリッドの作成、③累積流量グリッドの生成、④累積流量の閾値を用いた支流への分割、⑤集水域データの生成の順に行った。

また、作成した流域内の地理条件を算出するため、集水域の50mメッシュのラスターデータを1kmメッシュのポイントデータに変換し、このデータをもとに取得した3次メッシュコードを求めた。この3次メッシュコードを用いて国土地理院の数値地図情報から流域の土地利用、土壌、表層地質についてのデータを切り出し、それぞれ項目別の面積率を横尾ら²⁹⁾と同様の手法で算出した。表-1に流況曲線形状を説明する変数（因子）として取り上げた20種類の流域の気候・地理条件をまとめる。

(4) 気候・地理条件が流況に与える影響の評価方法

流域の気候・地理条件が流況に与える影響を調べるため、気候・地理条件を独立変数、豊水量・平水量・低水量・渇水量を従属変数とした重回帰分析を行った。ここで、多重共線性を生じる場合には分散拡大要因が大きい独立変数を順に分析対象から除き、すべての説明変数の分散拡大要因が10未満になることを確認した上で分析を行った。変数選択法には変数増減法を採用し、変数の採否基準としてF値2.0を用いた。なお、独立変数は基準化していなかったため、従属変数への影響度を偏回帰係数の大きさによって評価することができない。そこで、各独立変数のt値によって従属変数への影響度を評価した。

3. 結果

(1) 重回帰分析の結果についての検討

表-2は、重回帰分析を行った結果である。表中では、独立変数として最終的に採用されたものだけを取り上げ、従属変数である豊水量・平水量・低水量・渇水量への影響度を示すt値の絶対値が大きい順に独立変数を並べた。

表-2から豊水量・平水量・低水量・渇水量のうち3つ以上に影響する独立変数に着目すると、まず年間降水量が多いほど豊水量・平水量・低水量が増加するというCastellarin *et al.*⁵⁾と同様の傾向があることがわかる。これは、年間降水量が多い九州から紀伊半島までの太平洋側

表-2 重回帰分析の結果。赤色および青色の塗りつぶしはそれぞれ増加要因、減少要因であることを示す。

要因番号	豊水量			平水量			低水量			渇水量		
	変数名	偏回帰係数	t 値	変数名	偏回帰係数	t 値	変数名	偏回帰係数	t 値	変数名	偏回帰係数	t 値
1	年間降水量	0.00234	9.91	年間降水量	0.00134	7.73	森林土壌	-1.92	-4.90	流域面積	0.00228	7.53
2	花崗岩	6.46	8.29	第四紀火山岩	-4.33	-4.92	年間降水量	0.000744	4.82	第三紀層	6.91	6.60
3	森林土壌	-4.65	-8.10	流域面積	0.00264	4.45	定数項	0.898	4.31	建物用地	-42.6	-6.44
4	水田	-18.5	-6.97	黒ボク土壌	2.07	4.18	第三紀火山岩	-1.32	-4.06	古生層	1.93	6.07
5	未熟土壌	-11.0	-4.57	中生層	-1.65	-4.09	建物用地	-23.5	-3.62	幹線交用地	-619	-5.50
6	中生層	2.33	4.04	幹線交用地	-884	-3.74	流域代表勾配	0.0205	3.36	黒ボク土壌	0.926	3.36
7	古生層	2.94	4.01	第三紀火山岩	-1.91	-3.32	黒ボク土壌	1.10	2.75	第三紀火山岩	0.828	3.15
8	岩石地	-4.30	-3.42	建物用地	-65.9	-3.30	第四紀火山岩	-0.9976	-2.50	花崗岩	0.651	2.43
9	定数項	2.15	3.02	荒地	6.48	2.61	最大日降水量	0.00300	1.95	最大日降水量	0.00122	1.46
10	荒地	7.86	3.02	第三紀層	5.53	2.60				定数項	0.0835	0.567
11				定数項	0.774	2.55						
12				未熟土壌	-4.04	-2.12						
13				水田	-3.54	-1.76						
14				古生層	0.992	1.46						

に位置し、夏の降水量が多い流域の影響が表れたためと考えられる。また、建物用地の面積率が大きいと、平水量・低水量・渇水量が減少する傾向が示されている。これは、建物用地での水利用や不浸透域の拡大の影響で平水量・低水量・渇水量が減少することを示している。これとは逆に、黒ボク土壌の面積率が大きいと平水量・低水量・渇水量が増加する傾向が出ている。これは、黒ボク土壌は透水性と保水性がともに高いことを示していると考えられる。第三紀火山岩の面積率は、平水量・低水量の減少要因に、渇水量の増加要因となっている。第三紀火山岩が渇水量の増加要因である点は地頭菌・竹下⁷⁾、志水⁸⁾、虫明ら¹⁰⁾と同様の傾向であるが、平水量・低水量との関係は虫明ら¹⁰⁾とは異なる傾向である。虫明ら¹⁰⁾においても本研究においても第三紀火山岩は平水量・低水量への影響度が4番目以降の決定要因であるので、この関係については対象流域を増やして詳しい分析を行う必要がある。これは、本研究の対象流域数は22と少ないため、採用する独立変数の数は2ないし3程度にとどめるのがよいと考えるためである。

独立変数のうち主要な順に3つ程度を対象に、表-2に示す豊水量・平水量・低水量・渇水量に影響する因子を個別に確認し、既往文献の知見との比較を試みる。まず、上述の年間降水量に加えて花崗岩の面積率が豊水量の増加要因となっている。これは志水⁸⁾、虫明ら¹⁰⁾と同様の傾向である。地頭菌・竹下⁷⁾は「年間降水量2000mm付近以下」では花崗岩は豊水量増加への寄与は小さいが、「2000mm付近以上」では豊水量増加への寄与は花崗岩が最も大きくなると指摘している。年間降水量と合わせて表-2を見ると、地頭菌・竹下⁷⁾の「年間降

水量2000mm付近以上」の流域の傾向が強く表れたのではないかと考えられる。また、森林土壌の面積率が大きい流域では豊水量が減少する傾向が確認できる。これは、森林土壌による洪水緩和機能が表現されていると解釈できるが、豊水量と森林土壌との単相関を調べると明確な負の相関は見出せないため、森林土壌が豊水量の減少要因とは言い切れない。

平水量については年間降水量が上述の通り増加要因となっている一方、第四紀火山岩の面積率が減少要因になっている。虫明ら¹⁰⁾では第四紀火山岩は平水量の主な増加要因と報告しており、本研究の結果と正反対の結果である。第四紀火山岩と平水量の単相関をみると、第四紀火山岩の面積率が20%を超えると正の相関が確認できたため、第四紀火山岩が平水量の減少要因とするには疑問が残る。また、流域面積が平水量の増加要因であることが確認できる。これは、流域面積が増えると雨水が浸透する機会が増えて平水量が増加するためと考えられる。

低水量については上述の年間降水量が増加要因であることに加えて、森林土壌の面積率が減少要因になっている。土壌型と豊水量・平水量・低水量・渇水量の関係を調べた横尾・沖²⁵⁾は乾性褐色森林土壌（黄褐色系）および乾性褐色森林土壌（赤褐色系）は平水量の減少要因であるが、褐色森林土壌は増加要因になると報告している。よって、本研究の結果は乾性褐色森林土壌（黄褐色系）および乾性褐色森林土壌（赤褐色系）の影響が表れた可能性がある。

渇水量については、流域面積と第三紀層の面積率が増加要因、建物用地が減少要因となっている。流域面積が増加要因なのは、雨水が浸透する機会が増えて渇水量が

図-2 樺山ダムの1990年の流況曲線と豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定結果

図-3 十勝ダムの2006年の流況曲線と豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定結果

図-4 豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定値と観測値の相対誤差の3年平均値。エラーバーは年別に得られる相対誤差の平均値の最大値と最小値を示す。

増加するためと考えられる。第三紀層の面積率が増加要因であるという結果は志水⁹⁾も報告しているが、虫明ら¹⁰⁾と同様に主要な増加要因はむしろ第四紀火山岩であると結論付けている。虫明ら¹⁰⁾は第三紀層について「水力開発の対象となるような高位山岳地帯での分布は稀」としており、第三紀層の面積率と渇水量との関係については、さらに詳しく調べる必要がある。

(2) 重回帰式についての検討

図-2 は、1990 年の樺山ダム流域を対象として、本研究で得られた重回帰式に流域の気候・地理条件を代入して求めた豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定値と観測流量から描いた流況曲線を重ねたものである。この図から、本研究で得た重回帰式が 1990 年の樺山ダムの流況を精度よく再現できることがわかる。

図-3は、2006年の十勝ダムを対象として図-2と同様の図を描いたものである。この図から、十勝ダムにおける推定値は観測値から大きく外れてしまうことがわかる。十勝ダムは北海道に位置し、降雪の影響を大きく受けていると考えられるが、本研究では降雪域に属する流域に配慮した解析を行っていないことが原因で、再現性が低くなっていると考えられる。

図-4は、本研究の全対象流域における豊水量・平水量・低水量・渇水量の観測値と重回帰式による推定値の4つの相対誤差の平均値を流域別かつ年別に計算し、対象とした3年間の平均値、最大値、最小値を流域ごとにまとめて表示したものである。横軸の流域は北海道から九州に向かう方向で並べてある。この図から、全体的な傾向として、紀伊半島に位置する青蓮寺ダムから西に位置する流域では比較的再現性が高いことがわかる。また、降雪の影響を受ける流域の相対誤差が相対的に大きいことがわかる。ただし、降雪の影響を受けるすべての流域の相対誤差が大きいわけではなく、降雪の影響が相対的に大きくはないはずの新豊根ダム流域でも再現性がよくない。このため、本研究で得られた重回帰式が適用しにくい気候・地理条件があると言える。

4. 考察

本研究は、流域の気候・地理条件から流況曲線形状を推定する手法の提案を最終目的として、豊水量・平水量・低水量・渇水量と流域の気候・地理条件との関係を重回帰分析法で調べ、気候・地理条件に基づく豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定法を模索した。重回帰分析では、数値地図情報から求めた合計 20 種類の気候・地理条件を独立変数としたが、北海道から九州までに分布するすべての対象流域において精度よく豊水量・平水量・低水量・渇水量を推定するには至らなかった。

この原因はどこにあるのであろうか。主な原因として対象流域数の不足が考えられる。例えば同じ日本全国を対象とした虫明ら¹⁰⁾は 124 流域、志水⁹⁾は 70 流域、地頭菌・竹下⁷⁾は 163 流域を対象としたが、本研究では 22 流域だけである。これにより、日本の流域の気候的・地理的多様性を十分に抽出できなかった可能性があり、対象流域を増やして分析をする必要があると考えられる。

また、気候・地理条件に関するデータの吟味が足りなかった可能性もある。例えば、降雪のある流域でもその影響を考慮した分析を行わなかった問題があり、その一端が図-4 に表れている。さらに、虫明ら¹⁰⁾、志水⁸⁾、地頭蘭・竹下⁷⁾は流域の地質特性を抽出する際、著者らと同様の地質区分を採用しているものの、流域の代表的な地質を1種類に特定することで、その流域の地質が流況に与える影響を論じ、地質の影響を簡単かつ効果的に抽出している。本研究では数値地図情報の利点を生かして、流域のすべての地質構成比を考慮したが、このことがむしろ分析データにノイズを増やすことになった可能性が否定できない。

重回帰分析に利用した気候・地理条件の数も事前に減らす必要があった可能性もある。例えば、Singh¹⁾は流域面積と流況曲線形状との関係を論じただけであった。その後、Mimikou and Kaemaki²⁾、Franchini and Suppo³⁾、Crocker et al.⁴⁾、Castellarin et al.^{5,6)}等によって同様の研究が行われているが、分析に利用した気候・地理条件が最も多いのはCastellarin et al.⁵⁾の6個であり、いずれも簡単に算出できる値である。多くの流域での適用性を狙った著者らの研究では20個もの条件を利用し、得られた重回帰式に含まれる独立変数の数は最大で14個にのぼった。その結果、この重回帰式を実際に利用するには数多くの気候・地理条件の値を算定する必要があり、これは容易ではない。分析を行う前に豊水量・平水量・低水量・渇水量と気候・地理条件の関係を個別に詳しく調べ、利用する気候・地理条件を十分に吟味してから重回帰分析を行う方がより効果的かつ利用しやすい重回帰式を得ることになった可能性がある。

5. 結論

本研究は、流域の気候・地理条件から流況曲線形状を推定することを目的として、豊水量・平水量・低水量・渇水量を流域の気候・地理条件から推定する方法の可能性を検討し、以下の結果を得た。

- ① 本研究で得られた重回帰式によって豊水量・平水量・低水量・渇水量を推定すると、紀伊半島以西における再現性は高く、同地域の流域では気候・地理条件から流況を推定できる可能性は高い。
- ② 豊水量・平水量・低水量・渇水量のうち3つ以上に影響する気候・地理条件は、年間降水量、建物用地の面積率、黒ボク土壌の面積率、第三紀火山岩の面積率の4つであった。このうち、年間降水量は豊水量・平水量・低水量の主要な増加要因であった。建物用地の面積率は平水量・低水量・渇水量の減少要因であるが、黒ボク土壌の面積率は

平水量・低水量・渇水量の増加要因である。第三紀火山岩の面積率は平水量・低水量の減少要因であるが、渇水量の減少要因であった。ただし、第三紀火山岩の面積率の影響については再解析を要する。

- ③ 本研究で得られた重回帰式は、紀伊半島以西では相対誤差も小さく再現性が高いが、それ以外の地域では相対誤差のばらつきが大きく、対象流域を増やすとともにより詳細な検討が必要である。

今後は、より多くの流域のデータを収集し、対象としなかった他の気候・地理条件を解析に加えた上で、研究手法と結果を再検証し、適用性の高い重回帰式を見出す必要がある。その上で、豊水量・平水量・低水量・渇水量の推定精度と推定手法の簡便性のバランスを考慮しながら説明変数の数を減らす方法についても検討が必要である。

謝辞：東京大学総括プロジェクト機構「水の知」（サントリー）総括寄付講座、科学研究費補助金（若手研究 B、21760381 および 24760388）、環境省環境研究総合推進費 S-8-1(4)、科学研究費補助金（基盤研究 B、22360192、代表：風間聡）、の成果の一部である。本研究は国土交通省所管の水文水質データベース、数値地図情報、ダム諸量データベースを活用した。ここに謝意を記す。

参考文献

- 1) Singh K.P.: Model flow duration, *Water Resour. Res.*, Vol.7, pp.1031-1036, 1971.
- 2) Mimikou M. and Kaemaki S.: Regionalization of flow duration characteristics, *J. Hydrol.*, Vol.82, pp.77-91, 1985.
- 3) Franchini M. and Suppo M.: Regional analysis of flow duration curves for a limestone region, *Water Resour. Man.*, Vol.10, pp.199-218, 1996.
- 4) Crocker K.M., Young A.R., Zaidman M.D. and Rees G.G.: Flow duration curve estimation in ephemeral catchments in Portugal, *Hydrol. Sci. J.*, Vol.48, pp.427-439, 2003.
- 5) Castellarin A., Galeati G., Brandimarte L., Montanari A. and Brath A.: Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins, *Adv. Water Resour.*, Vol.27, pp.953-965, 2004.
- 6) Castellarin A., Camorani G. and Brath A.: Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins, *Adv. Water Resour.*, Vol.30, pp.937-953, 2007.
- 7) 地頭蘭隆・竹下敬司：山地河川の流況と流域条件の関係 II 流域地質が流況に及ぼす影響，鹿児島大学農学部演習林報告，Vol.15，pp.15-38，1987.
- 8) 志水俊夫：山地流域における渇水量と表層地質・傾斜・植生との関係，林業試験場研究報告，Vol.301，pp.109-128，1980.
- 9) Moliere D.R., Lowry J.B.C. and Humphrey C.L.: Classifying the flow

- regime of data-limited streams in the wet-dry tropical region of Australia, *J. Hydrol.*, Vol.367, pp.1-13, 2009.
- 10) Mazvimavi D., Meijerink A.M.J., Savenije H.H.G. and Stein A.: Prediction of flow characteristics using multiple regression and neural networks: A case study in Zimbabwe, *Phys. Chem. Earth*, Vol.30, pp.639-647, 2005.
 - 11) Farmer D., Sivapalan M. and Jothityangkoon C.: Climate, soil, and vegetation controls upon the variability of water balance in temperate and semiarid landscapes: Downward approach to water balance analysis, *Water Resour. Res.*, Vol.39, 1035, doi: 10.1029/2001WR000328, 2003.
 - 12) Sefton C.E.M. and Howarth S.M.: Relationships between dynamic response characteristics and physical descriptors of catchments in England and Wales, *J. Hydrol.*, Vol.211, pp.1-16, 1998.
 - 13) Ward R.C. and Robinson M.: *Principles of Hydrology*, McGraw-Hill, pp.264-266, 1990.
 - 14) Soulsby C., Tetzlaff D., Rodgers P., Dunn S.M. and Waldron S.: Runoff processes, stream water residence times and controlling landscape characteristics in a mesoscale catchment: an initial evaluation. *J. Hydrol.* Vol.325, pp.197-221, 2006.
 - 15) Kim U. and Kaluarachchi J.J.: Application of parameter estimation and regionalization methodologies to ungauged basins of the Upper Blue Nile River Basin, Ethiopia, *J. Hydrol.*, Vol.362, pp.39-56, 2008.
 - 16) 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，Vol.309，pp.51-62，1981.
 - 17) Holmes M.G.R., Young A.R., Gustard A. and Grew R.: A region of influence approach to predicting flow duration curves within ungauged catchments, *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, Vol.6, pp.721-731, 2002.
 - 18) 横尾善之・沖大幹：山地河川の流況曲線形状を説明するための表層地質の分類法に関する検討，水工学論文集，Vol.53，pp.463-468，2009.
 - 19) Fennessey N. and Vogel R.M.: Regional Flow Duration Curves for Ungauged Sites in Massachusetts, *J. Water Resour. Plan. Manag.*, ASCE, Vol.116, pp. 530-549, 1990.
 - 20) Abebe A. and Foerch G.: Catchment characteristics as predictors of base flow index (BFI) in Wabi Shebele river basin, east Africa, *Proceedings of Conference on International Agricultural Research for Development*, pp.1-8, 2006.
 - 21) Burt T.P. and Swank W.T.: Flow frequency responses to hardwood-to-grass conversion and subsequent succession, *Hydrol. Process.*, Vol.6, pp.179-188, 1992.
 - 22) 真板英一・鈴木雅一：森林植生の伐採が山地小流域の流況曲線に与える影響—流況の流域間変動に対する植生要因の大きさの検討—，日本森林学会誌，Vol.90，pp.36-45，2008.
 - 23) Komatsu H., Maita E. and Otsuki K.: A model to estimate annual forest evapotranspiration in Japan from mean annual temperature, *J. Hydrol.*, Vol.348, pp.330-340, 2008.
 - 24) 横尾善之・有働恵子：流域の地理条件が流況曲線形状に与える影響，水工学論文集，Vol.51，pp.373-378，2007.
 - 25) 横尾善之・沖大幹：流域の気候・地形・土壌・地質・土地利用が河川の流況に与える影響，水工学論文集，Vol.54，pp.469-474，2010.
 - 26) 木村龍・江坂悠里・横尾善之：流域の気候・地理的条件が山地河川の流況に与える影響，東北地域災害科学研究，Vol.47，pp. 165-170，2011.
 - 27) 建設省河川局開発課：多目的ダム管理年報，平成2年度版，中国建設弘済会，1994.
 - 28) 建設省河川局開発課：多目的ダム管理年報，平成3年度版，中国建設弘済会，1995.
 - 29) 建設省河川局開発課：多目的ダム管理年報，平成4年度版，中国建設弘済会，1996.

(2012. 4. 20 受付)

(2012. 6. 22 受理)

A Preparatory Investigation Toward Estimating Flow Duration Curves From Physiographic Characteristics in Japanese Mountainous Watersheds

Nagomu KOMATSU¹, Ryo KIMURA² and Yoshiyuki YOKOO¹

¹Graduate School of Symbiotic Systems Science and Technology, Fukushima University

²Sapporo Regional Office, Nihon Suido Consultants Co., Ltd.

The present study explored the effects of physiographic watershed characteristics on the index-flows of 95 days flow, 185 days flow, 275 days flow, and 355 days flow toward estimating the shapes of flow duration curves based on physiographic watershed characteristics in Japanese mountainous watersheds. A multiple regression analysis showed the 95, 185, and 275 days flows increase with annual rainfall. The 185, 275, and 355 days flows increased with Andosol coverage ratio and decreased with building coverage ratio. The obtained regression equations successfully estimated the index-flows only in the mountainous watersheds located between the Kii peninsula and the Kyushu region in Japan.