

流域の気候・地理的条件が山地河川の流況に与える影響

福島大学共生システム理工学類 木村 龍

福島大学共生システム理工学類 江坂 悠里

福島大学共生システム理工学類 横尾 善之

1. はじめに

洪水や渇水に代表される河川の流況は流域の気候・地理条件によって決定されているが、両者の関係については未だに十分に整理されていない^{1), 2)}。そのため、流域の気候・地理条件から河川の流況を推定することは現在のところできないが、両者の関係が整理されれば、流量データが得られないところでも気候・地理条件から河川流量を推定できるのではないかと考えている。そこで、本研究は流況曲線形状を決定する豊水量・平水量・低水量・渇水量³⁾とダム流域内の気候・地理条件の関係を整理することを目的とする。

2. 方法

2.1. 対象流域

本研究は図-1 に示す日本全国の計 22 か所のダム流域を対象とした。これらの流域は、河川の上流にあり人の影響が少ないと考えられ、データの欠測がなく、流域面積が 100km² 以上のダム流域¹⁾を日本全国から合計 22 か所のダム流域を選んだ。各ダム流域の平均流域面積は 295.5km² であり、所在は図-1 に示すとおりである。

2.2. 豊水量, 平水量, 低水量, 渇水量の算出

本研究は、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、日流量データを多目的ダム管理年報から収集し、鹿ノ子、十勝、岩尾内、漁川、美利河、寒河江、玉川、大川の各ダムは 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収集した。日雨量は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。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。図-2 は 1990 と 2006 年の流況曲線を示している。

2.3. 流域の地理条件の算出

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データのみを抜き出す切り出し作業を行った。この作業には、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、①標高ポイントデータのラスターデータへの変換(図-3)、②標高ラスターデータに基づいて水の流下方向を示す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(図-4)の順に作業を進めた。

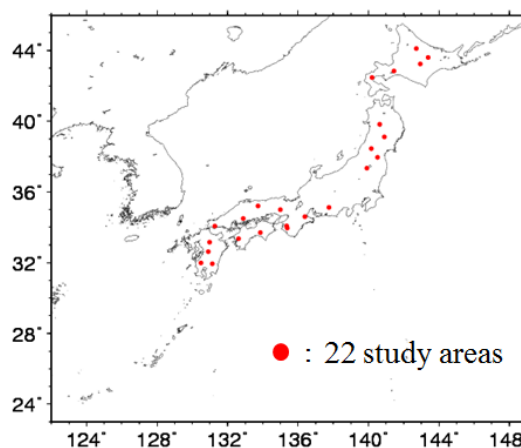


図-1 対象流域

* Effects of geographic characteristics of watersheds on the flow regimes in Japanese mountainous areas by Ryo Kimura, Yuri Esaka, Yoshiyuki Yokoo

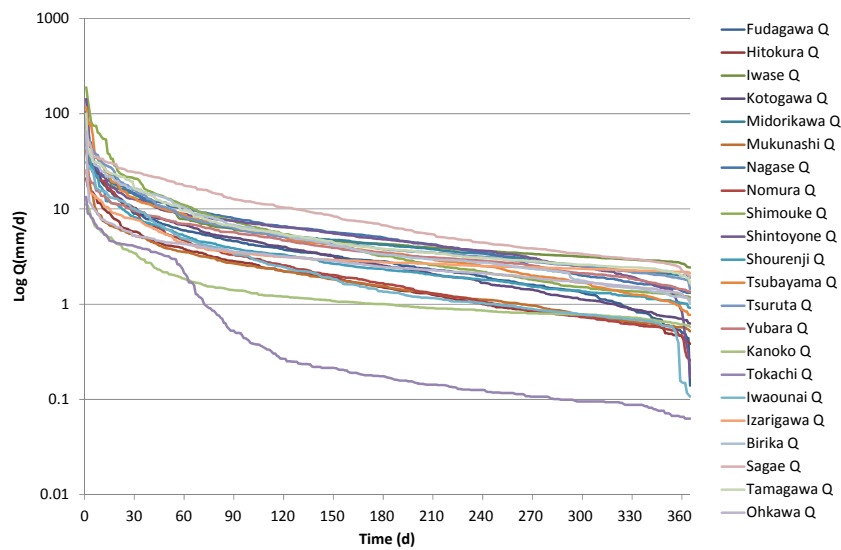


図-2 流況曲線 (1990年と2006年のデータより作成)

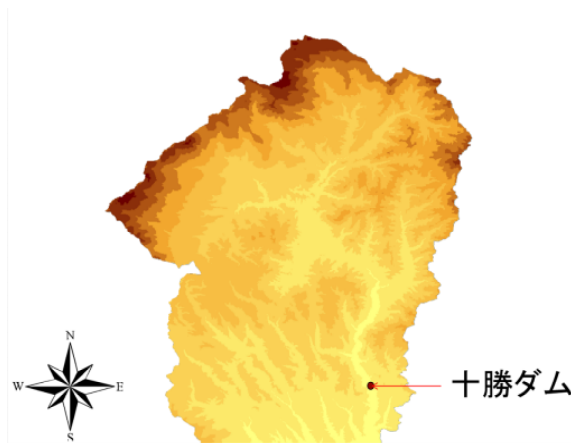


図-3 十勝ダム周辺の標高グリッド

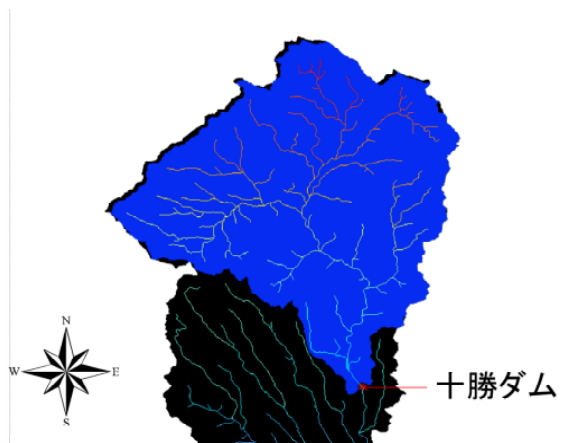


図-4 十勝ダムの集水域と河川

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メッシュラスタデータを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流域の土地利用、土壌、地質についてのデータを切り出し、それぞれの項目別の面積率を横尾ら¹⁾と同様の手法で算出した。

2.4. 流域の気候・地理条件が河川の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て重回帰分析を行った。変数選択法には変数増減法を採用し、採否の基準としてF値2.0を採用した。なお、独立変数の基準化は行っていないため、偏回帰係数の絶対値による従属変数への影響度を評価することができない。そこで、各独立変数のt値で従属変数への影響度を評価した。また、流域の地域特性値として年間降水量を取扱って3年間の平均年間降水量を独立変数とする重回帰分析と、年間降水量は年々変動するものなので毎年の年間降水量を独立変数とする重回帰分析を実施した。これにより、年間降水量の取り扱い方の影響について考察した。

表-1 特性値の有意性(年間降水量を3年間の平均にして重回帰を行った)

	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
第1要因	年間降水量	0.0025	5.7824	年間降水量	0.0021	9.0485	年間降水量	0.0013	7.0881	年間降水量	0.0008	6.8847
第2要因	黒ボク土壌	7.7776	5.4511	森林土壌	-1.7081	-3.9959	森林土壌	-1.0281	-2.6569	森林土壌	-1.4468	-6.4830
第3要因	畑地	-40.9172	-4.5395	花崗岩	2.5697	3.7934	花崗岩	1.2328	2.3918	幹線交通用地	-230.1696	-1.6634
第4要因	第三紀火山岩	-4.3066	-3.4169	水田	-8.1125	-3.3053	水田	-5.8236	-2.1902	定数項	0.3466	1.5918
第5要因	水田	-14.9554	-3.0383	第三紀火山岩	-2.0822	-2.8655	第三紀火山岩	-0.9717	-1.7848			
第6要因	定数項	6.0135	1.9060	定数項	-0.0984	-0.2411	定数項	2.0589	1.5628			
第7要因	森林	-5.9214	-1.5914				森林	-2.2361	-1.5036			

表-2 特性値の有意性(年間降水量を3年間それぞれ年別に重回帰を行った)

	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
第1要因	年間降水量	0.0023	9.9058	年間降水量	0.0014	10.5244	森林土壌	-3.1000	-6.5649	森林土壌	-3.5003	-7.5991
第2要因	花崗岩	6.4562	8.2886	岩石地	-4.5787	-6.7652	年間降水量	0.0008	6.4774	定数項	0.9758	6.4625
第3要因	森林土壌	-4.6525	-8.0970	第三紀火山岩	-2.3333	-6.4625	流域平均勾配	0.0451	5.0214	流域平均勾配	0.0312	5.3693
第4要因	水田	-18.5039	-6.9743	水田	-57.2002	-6.3995	中生層	1.2937	3.8666	中生層	1.5468	4.9701
第5要因	未熟土壌	-10.9949	-4.5723	花崗岩	2.5166	6.2696	第三紀火山岩	-1.0251	-3.0516	年間降水量	0.0005	4.7652
第6要因	中生層	2.3262	4.0435	森林土壌	-1.6081	-6.0489	岩石地	2.9526	2.6519	花崗岩	1.1703	3.3915
第7要因	古生層	2.9387	4.0119	定数項	48.1768	5.7040	第四紀火山岩	-2.3551	-2.5672	建物用地	21.7470	3.3087
第8要因	岩石地	-4.2980	-3.4174	畑地	-51.0806	-5.6143	定数項	0.5380	2.1121	未熟土壌	-1.6911	-2.5599
第9要因	定数項	2.1508	3.0247	森林	-47.3978	-5.5535	花崗岩	0.8213	1.8938	幹線交通用地	-200.9169	-2.3260
第10要因	荒地	7.8598	3.0199	荒地	-40.7445	-4.8804	黒ボク土壌	1.2280	1.8772	黒ボク土壌	-0.8301	-2.0154
第11要因				未熟土壌	-6.2810	-4.8674						
第12要因				建物用地	-29.8330	-2.1254						

3. 結果

3.1. 重回帰分析の結果についての検討

表-1 は3年間の平均年間降水量を独立変数とした重回帰分析結果であり、表-2 は年別に異なる年間降水量を独立変数とした重回帰分析の結果である。従属変数である豊水量・平水量・低水量・渇水量に対する影響度

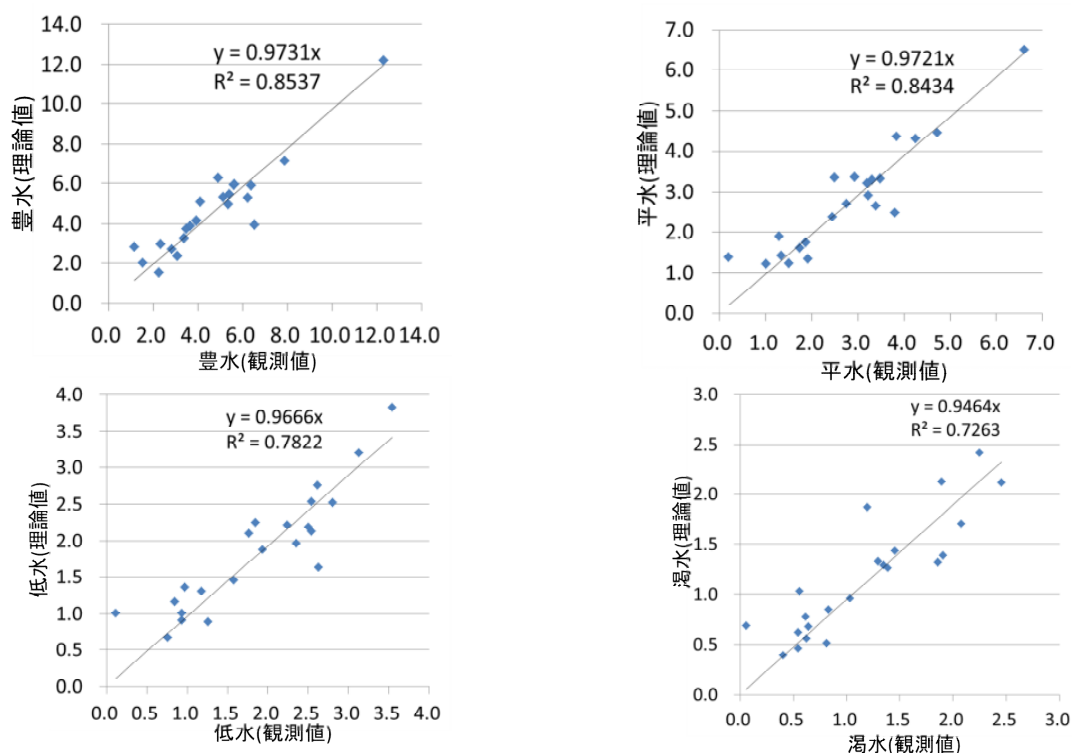


図-5 理論値と観測値の比較 (左上：豊水量，右上：平水量，左下：低水量，右下：渇水量)

を示す各独立変数の t 値の絶対値の大きい順にいずれの表も並べてある。

表-1 によると、豊水量は年間降水量、黒ボク土壌面積率が多いと増加し、畑地面積率、第三紀火山岩面積率、水田面積率、森林面積率が多くなると減少することがわかる。平水量および低水量は、年間降水量および花崗岩面積率の増加とともに増加し、森林土壌面積率、水田面積率、第三紀火山岩面積率の増加とともに減少することがわかる。渇水量年間降水量とともに増加し、森林土壌および幹線交通用地の面積率の増加によって減少することがわかる。この結果を総合的にみると、豊水量・平水量・低水量・渇水量に最も影響を与えているのは年間降水量であり、年間降水量が大きくなるほど豊水量・平水量・低水量・渇水量は大きくなることがわかる。豊水量の第2要因である黒ボク土壌と平水量・低水量の第3要因である花崗岩も正の値のため、年間降水量と同様に河川流量を増加させる傾向があること示している。反対に、平水量・低水量・渇水量の第2要因である森林土壌面積率は偏回帰係数が負の値なので、森林土壌が多くなるほど平水量・低水量・渇水量は小さくなると言える。森林土壌は保水機能があるため一時的に雨を貯留するが、木が雨の降らない低水・渇水時に、土壌中に貯留した水を根から吸い上げて蒸散させる^{4), 5), 6), 7)}ため負の値をとったと考えられる。同様に、豊水量・平水量・低水量は第三紀火山岩および水田の面積率が多いと減少することがわかる。これらの結果の類似性は豊水量・平水量・低水量・渇水量間の相関関係を示唆している。

しかし、年別の年間降水量で重回帰を行った表-2 では、表-1 との類似性がありつつも異なった結果を示している。有意な独立変数の数が増え、低水量・渇水量の第1要因が変化した。これは、低水量・渇水量は年間降水量の年々変動にそれほど敏感ではなく、むしろ流域を流下する中で降水量の変動の大きさが緩和される傾向があることを示していると考えられる。

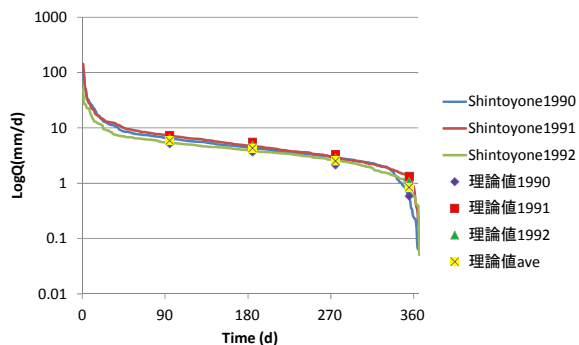


図-6 新豊根ダムの理論値(年間降水量を平均)

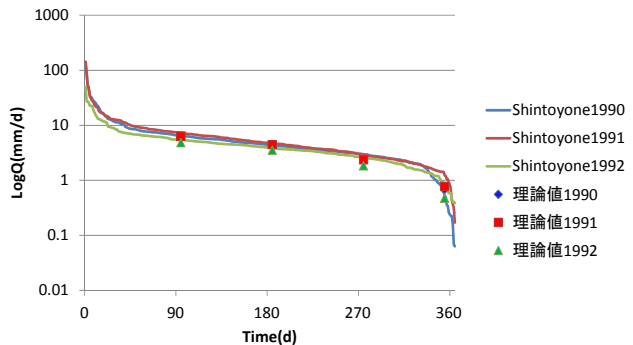


図-7 新豊根ダムの理論値(年間降水量を年別)

3.2. 重回帰式についての検討

図-5 で豊水量・平水量・低水量・渇水量の重回帰分析から求められた推定値と観測値を散布図にし、良好な推定ができることを確認しているが、流況曲線上での検討は行わなかった。これを行うため、図-6 では重回帰式と隆起の気候・地理条件を利用して、新豊根ダムにおける豊水量 $Q(95)$ 、平水量 $Q(185)$ 、低水量 $Q(275)$ 、渇水量 $Q(355)$ の推定値を流況曲線上にプロットした。図-6 では、重回帰式を求める際に3年間の年間降水量の平均を用いた。推定値を求める際に年間降水量の平均値をもちいた値を「理論値 ave」とし、3年間別々の年間降水量をもちいた値をそれぞれ「理論値(1990), (1991), (1992)」とした。理論値は流況曲線上にプロットされており、その残差は非常に小さい。このことから、年間降水量について細かくわけなくとも、流域の流況曲線形状は大まかに推定できることがわかる。また、平均年間降水量を使って求めた重回帰式に、年別の年間降水量を入力すると観測値に非常に近い値になり、特に渇水量の再現性が飛躍的に向上することがわかる。

図-7 は年別の年間降水量を独立変数として求めた重回帰式によって、新豊根ダムにおける豊水量 $Q(95)$ 、平水量 $Q(185)$ 、低水量 $Q(275)$ 、渇水量 $Q(355)$ の推定値を流況曲線上にプロットした結果である。流況曲線との残差があまり誤差なくプロットできている。しかし、図-6 における結果と大きな差がないこと、渇水量の再現性は図-6 において年別の年間降水量を入力した場合に比べてむしろ劣っていることがわかる。このことは、前節3.1 で述べたように、降水量の年々変動に比べて流況曲線形状の年々変動は小さく、平均年間降水量を利用すれば流域の流況は概ね再現できることを再確認する結果であると言える。

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た。対象流域は日本全域を広くカバーしており、結果の適用性は日本を対象とする限り、良好な結果を得ることができる可能性が高い。しかしながら、関東・北陸・中部のダム流域に関してはカバーできておらず、これらの地域の流域を加えたいうで再度検討する必要もある。

気候条件については、本研究では年間降水量と年最大降水量を解析対象としたが、気候条件を特徴づける特性値はまだ多く求めることができる。例えば、可能蒸発散量や乾燥指数がその代表例である。これらを解析に加えると、さらに有益かつ根源的な関係を見出せる可能性がある。一方で、年間降水量については、流域固有の値として平均年間降水量を用いれば十分である可能性が見出された。この点は流況曲線形状を推定する上では非常に有益な結果である。今後、より多のデータを活用して、この点を検討することが必要である。

本研究は流況曲線形状を推定することを目的としながらも、豊水量・平水量・低水量・渇水量を推定するにとどまっている。しかしながら、これら4点を推定できれば、流況曲線形状全体を推定できる可能性が高い。実際、横尾・有働²⁾は4つのパラメータで流況曲線形状の推定に成功している。この点についての検討を詳しく進めることも今後の課題に位置付けられる。

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た結果、以下の結果を得た。

- ① 気候・地理条件から河川の流況を推定できる可能性は高い。
- ② 重回帰分析の結果、年間降水量、森林土壌の面積率、花崗岩面積率、水田面積率、畑地面積率、第三紀火山岩面積率などが、豊水量・平水量・低水量・渇水量の大きさに影響していることがわかった。具体的には、年間降水量は豊水量・平水量・低水量・渇水量を増加させること、水田は豊水量・平水量・低水量を減少させること、森林土壌は平水量・低水量・渇水量を減少させることがわかった。
- ③ 重回帰分析を行う際、年間降水量に複数年の平均値を用いるか、毎年の値を用いるかについて検討した結果、年間降水量の複数年の平均値を用いれば十分高精度に豊水量・平水量・低水量・渇水量が推定できることがわかった。また、得られた重回帰式に年別の年間降水量を入力すると渇水量の推定精度が大きく改善することもわかった。

今後は、より多くの流域について長い期間のデータを収集し、研究手法と結果を検証するとともに、より多くの気候・地理条件を解析に加えることで、より一般性のある重回帰式を見出すことや、豊水量・平水量・低水量・渇水量を元に流況曲線形状全体を推定する手法の詳細な検討が課題である。

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)、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)、福島大学自然共生再生プロジェクト「阿武隈川流域水循環系の健全化に関する研究」・「裏磐梯の人間-自然環境系に関する研究」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) 横尾善之・沖大幹: 流況の気候・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, 第54巻, pp. 469-474, 2010.
- 2) 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, 第51巻, pp. 373-378, 2007.
- 3) 吉川秀夫: 河川工学(改訂増補版), 朝倉書店, 1993.
- 4) 森林水文学編集委員会: 森林水文学-森林の水のゆくえを科学する-, 森北出版, pp. 5-7, 2007.
- 5) 塚本良則: 森林・水・土の保全-湿潤変動帯の水文地形学-, 朝倉書店, 1998.
- 6) 蔵治光一郎・保屋野初子編: 緑のダム, 築地書館, 2004.
- 7) 沖大幹監修: 水の知, 化学同人, 2010.