

九州の河川を対象とした 流量レジーム特性の比較研究

COMPARATIVE STUDY ON FLOW REGIME IN KYUSHU ISLAND

巖島 怜¹・島谷幸宏²

Rei ITSUKUSHIMA and Yukihiro SHIMATANI

¹正会員 工博 九州大学 持続可能な社会のための決断科学センター (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

²フェロー会員 工博 九州大学大学院 工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

River flow regime is important role in determining the river morphology, water use and biotic composition. In Japan, however, river management based on the concept of variation of flow regime is not taken. Because the knowledge of potential hydrological regime is lacking.

In this study, we proposed the flow regime indicators which can explain seasonal change of stream flow at 52 watersheds in the Kyushu region. And, we investigated the relationship between flow regime indicators and factors that affect the hydrology (physiographic factors, geological factors and vegetation factors).

Result of multiple regression analysis, flow regime indicators were well explained by the factors of physiography, geological and vegetation. The results indicated that geology of volcanic ejecta tends to stabilize the flow fluctuation, and urbanization and plantation tend to increase frequency of disturbance and drought.

Key Words : *Flow Regime, Physiography, Geology, Vegetation, Kyushu Region*

1. はじめに

河川の流量変動は河道形成, 水利用, 生態系, 治水の観点から重要な河川の機能である。流量の大きさや季節的な変化を含めた概念は流量レジームとよばれている¹⁾。流量の季節変化や変動量, 渇水や洪水といった生態系にとっての危機的なイベントの発生回数や頻度, およびそれらの継続時間等の流量の性質である²⁾。

海外ではこうした変動を考慮した流量管理が行われている。米国では河川の流量変動特性に関する研究が進められており, RVA(Range of Variability Approach)等の指標が提案されダム放流量等の河川管理に活用されている³⁾。また, 南アフリカでは, 生態学的に必要な河川の流量を複数の生態学的条件を積み重ねて決定するBBM(Building Block Methodology)法⁴⁾, 豪州では, 水生生物相に対して深刻な影響を及ぼさない流量調整の範囲を科学的に決定し流量レジームを保全するBenchmark法⁵⁾が開発され流量管理に用いられている。

しかし, 日本では, 流量変動特性やその特性に影響を与える要因が明らかとなっていないため, 現状では, 変動を考慮した流量管理を行うことが困難な現状にある。現在, 日本の流量管理に用いられている「正常流量検討の手引き(案)」では, 河川の正常な機能を維持するための流量は, 動植物の生息地又は生育地の状

況, 景観等9項目における必要な最低流量⁶⁾として設定されており, 流量変動の概念が含まれていない。また, 中小河川では低水流量観測を行う予算が十分に確保されておらず, 河川の潜在的な流況を把握困難なことから, 正常流量が設定されていない事例が多い。

日本の河川の流量変動特性とその要因については, 山地河川を対象に水文学の分野を中心に研究が行われている。例として, 山地河川を対象に流況と地質の関係性を調べた虫明らの研究⁷⁾や, 流量と流域の年降水量, 地質, 傾斜, 植生との関連を調べた志水らの研究⁸⁾, 花崗岩地帯の河川の低水時の流出特性を調べた寺本らの研究⁹⁾, リンクマグニチュードにより流況の推定モデルを構築した石田ら¹⁰⁾の研究が挙げられる。このように河川の流量特性を決定付ける要因として流域の表層地質や降水量が大きく影響していることが明らかとなっている。また, 白川らは欧米で提案されているflow regimeの考え方に基づいた流量の評価手法を提案している¹⁰⁾。

しかし, 日本の気候特性として春夏秋冬の季節毎に大きく降雨量が異なることから, 季節毎の流量変動を評価する指標を設定することが重要である。本研究では, 菰淵らが提案した流量レジームに関する指標¹¹⁾を基に降水量の季節変化を考慮した指標を設定し, 降水量, 地形, 地質, 植生の要因と流量レジーム指標の関係を明らかにすることを目的とする。

2. 設定した流量レジーム指標

(1) 流量データと対象流域

流量データとして、国土交通省水文水質データベースおよびダム諸量データベースの日流量を用いた。入手可能なデータのうち、①対象地点より上流域に、日流量に大きな影響を与えるダム等の流況調節施設が無いこと、②10年間以上の日流量観測データが揃っていることを条件に絞り込み、52流域を抽出した(図-1)。対象流域の諸元を表-1に示す。

(2) 設定した流量レジーム指標および算出方法

日本の河川は急勾配な河川が多く、流量は降雨に大きく影響されると考えられるため、日本の降雨特性を反映した指標を作成する必要がある。本研究では、菟淵らが提案した指標¹⁾に加え表-2の10指標を設定した。まず、年間を通じての水の豊かさを示す指標として、各月の15番目に大きい比流量の平均値である平均15日比流量(Qy)を設定した。次に、各季節の流量を表現する指標として、3月～5月の平均15日比流量である春季比流量(Qsp)、6月～8月の平均15日比流量である夏季比流量(Qs)、9月～11月の平均15日比流量である秋季比流量(Qa)、12月～2月の平均15日比流量である冬季比流量(Qw)を設定した。また、年間の流量の安定度を表現する指標として、平均15日比流量が最大の月と最小の月の比を最大最小比流量比(I_{max}/I_{min})として定義した。加えて、攪乱や渇水は生物相や水利用に影響を及ぼす重要なイベントであるため平均15日比流量(Qy)の5倍以上の流量の日数(Nd5)、10倍以上の流量の日数(Nd10)、1/5未満の流量の日数(Ndr0.2)、1/10未満の流量の日数(Ndr0.1)を設定した。

平均15日比流量は各月の中央値を採用し、各年の平均値を当該月の平均15日比流量として採用した。また、本研究では最小9.6km²～最大477km²と広範囲の流域面積を対象とするため、100km²あたりの比流量を算出することで流域面積による流量の違いを緩和した。

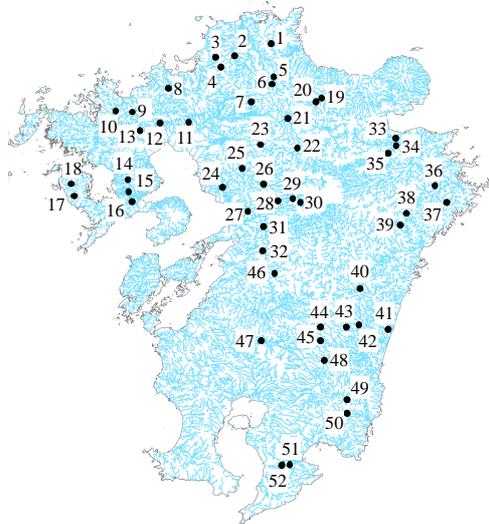


図-1 対象地点位置図

表-1 対象地点の諸元

No	地点名	水系名	河川名	観測点上流の流域面積 (km ²)	年間流域平均降雨量 (mm)
1	ます淵ダム	紫川	紫川	18.5	1853
2	カ丸ダム	遠賀川	八木山川	34.1	1739
3	猪野ダム	多々良川	多々良川	5.5	1713
4	鳴淵ダム	多々良川	多々良川	6.8	1722
5	添田	遠賀川	彦山川	76.0	2306
6	陣屋ダム	遠賀川	中元寺川	12.6	1888
7	寺内ダム	筑後川	佐田川	51.0	2025
8	瑞梅寺ダム	瑞梅寺川	瑞梅寺川	7.2	2672
9	伊岐佐ダム	松浦川	伊岐佐川	9.6	2011
10	徳須恵橋	松浦川	徳須恵川	71.0	2074
11	日出来橋	筑後川	城原川	50.8	2534
12	祇園	嘉瀬川	祇園川	18.1	2168
13	浦町橋	六角川	牛津川	26.7	2099
14	葦瀬ダム	郡川	郡川	18.9	2228
15	番川	本明川	本明川	8.9	2225
16	裏山	本明川	本明川	35.8	2158
17	神浦ダム	神浦川	神浦川	16.5	1682
18	雪浦ダム	雪浦川	雪浦川	19.9	1682
19	耶馬溪ダム	山国川	山移川	89.0	1862
20	下郷	山国川	山国川	143.0	2291
21	花月	筑後川	花月川	130.2	2321
22	下笠ダム	筑後川	津江川	185.0	2609
23	日向神ダム	矢部川	矢部川	84.3	2538
24	城	菊池川	岩野川	109.8	2281
25	岩崎	菊池川	繁根木川	18.2	1907
26	広瀬	菊池川	菊池川	152.0	2697
27	代継橋	白川	白川	477.0	2800
28	陣内	白川	白川	425.0	2872
29	立野	白川	白川	386.0	2940
30	妙見橋	白川	白川	149.0	2835
31	御船	緑川	御船川	120.0	2273
32	氷川ダム	氷川	氷川	57.4	2809
33	宮苑	大分川	賀表川	53.0	2061
34	胡麻鶴	大分川	七瀬川	93.0	2022
35	原村	大分川	七瀬川	39.0	2106
36	小川橋	番匠川	番匠川	102.0	2117
37	黒沢ダム	番匠川	堅田川	18.2	2299
38	北川ダム	五ヶ瀬川	北川	178.0	2341
39	祝子ダム	五ヶ瀬川	祝子川	45.2	2410
40	渡川ダム	小丸川	渡川	81.0	3097
41	欄干橋	小丸川	宮田川	20.0	2424
42	長谷ダム	一ツ瀬川	三納川	11.8	2691
43	立花ダム	一ツ瀬川	三財川	41.1	2800
44	田代八重ダム	大淀川	綾北川	131.5	2831
45	綾南ダム	大淀川	本庄川	87.0	2480
46	五木宮園	球磨川	川辺川	227.0	2880
47	上真幸	川内川	川内川	227.0	2975
48	岩瀬ダム	大淀川	岩瀬川	354.0	2355
49	広渡ダム	広渡川	広渡川	34.4	3057
50	日南ダム	広渡川	酒谷川	59.2	3303
51	高山橋	肝風川	高山川	54.0	2603
52	始良橋	肝風川	始良川	62.0	2568

表-2 設定した流量レジーム指標

	指標
量に関する指標	平均15日比流量 (Qy)
	春季比流量 (Qsp)
	夏季比流量 (Qs)
	秋季比流量 (Qa)
	冬季比流量 (Qw)
流量変動に関する指標	最大最小比流量 (I _{max} /I _{min})
攪乱に関する指標	5Qy以上の流量の日数 (Nd5)
	10Qy以上の流量の日数 (Nd10)
渇水に関する指標	0.2Qy未満の流量の日数 (Ndr0.2)
	0.1Qy未満の流量の日数 (Ndr0.1)

3. 解析方法

(1) 比流量指標を用いた流量特性の類型化

対象とした52地点を比流量に関する5指標(平均15日比流量, 春季比流量, 夏季比流量, 秋季比流量, 冬季比流量)を用いて類型化を行った。階層的クラスター分析のward法により地点間の類似度から類型化を行った。対象間の距離としてユークリッド距離を用いた。また、解析には統計解析ソフトRを使用した。

(2) 流量レジーム指標と地形・地質・植生との関係

河川の比流量を規定する要因として降雨、地形、地質、植生等が指摘されている^{6), 7), 8)}。そこで、本研究では流量レジーム指標を目的変数に、地形要因、地質要因、植生要因を説明変数として重回帰分析を行った。以下にその手順を記載する。

a) 降雨による比流量の標準化

設定した流量レジーム指標のうち、比流量に関する指標は降雨の影響を強く受けているため、対象地域の流域平均降雨量により標準化を行った（以下、標準化比流量と記載する）。標準化に用いた降雨量データは、九州内に設置されている気象庁および国土交通省の234観測所の月降雨量を用い、ティーセン分割法によって流域平均降雨量を算出した。降雨量の補正は以下の式で行った。標準化比流量（春季，夏季，秋季，冬季）＝比流量／（降水量／100mm），標準化比流量（年間15日比流量）＝比流量／（降水量／1,000mm）。

b) 地形データの整理

地形要因として、流域平均勾配の逆数および形状比を設定した（図-2）。流域平均勾配の逆数は、対象地点における標高と主流路の源流標高の差を主流路長で除したものを流域平均勾配と定義し、その逆数を変数とした。主流路の源流標高は国土地理院が発行している数値地図50mメッシュ（標高）から計測した。また、流路長は地理情報システム（GIS：Geographic Information System，以下GISと記述）により計測した。形状比はHorton¹²⁾が提唱した流域の形状を数値で表す指標で流域面積を流路延長の2乗で除した値であり、流域が方形ないし円形に近いほど1.0に近づく。上記により整理した、各地点の地形データを表-3に示す。

c) 地質データの整理

地質要因として、各流域の表層地質の構成割合を変数として設定した。表層地質のデータは国土交通省国土情報課が公表している20万分の1表層地質図を基に、図-2の20種類に分類し、GISにより流域毎の地質構成割合を算出した。

d) 植生データの整理

植生要因として、各流域における植生の構成割合を変数として設定した。植生データは環境省が実施した自然環境保全基礎調査の植生調査結果（2万5千分の1）を基に、図-2の11種類に分類し、GISにより流域毎の植生割合を算出した。

e) 解析方法

流量レジーム指標（表-2）を目的変数に、図-2に示された34指標を説明変数に重回帰分析を行った。説明変数の選択は増減法により行い、AIC（赤池情報量規準）が最小値となる変数群を対象として解析を行った。目的変数の一覧を表-3に示す。ただし、地質および植生については流域毎に主要なものを記載している。

1. 地形要因
 - 1) 流域平均勾配の逆数
 - 2) 形状比
2. 地質要因
 - 1) 安山岩類の割合
 - 2) 花崗岩類の割合
 - 3) 溶結凝灰岩類の割合
 - 4) 片岩類の割合
 - 5) 砂岩類の割合
 - 6) 玄武岩類の割合
 - 7) 流紋岩類の割合
 - 8) 砂・礫・粘土類の割合
 - 9) 石灰岩類の割合
 - 10) 凝灰岩類の割合
 - 11) 頁岩類の割合
 - 12) 泥岩類の割合
 - 13) 礫岩類の割合
 - 14) 粘板岩類の割合
 - 15) 火山砕屑物類の割合
 - 16) 火山灰・ロームの割合
 - 17) 斑レイ岩類の割合
 - 18) シラスの割合
 - 19) チャートの割合
 - 20) 碎屑物類の割合
 - 21) 蛇紋岩類の割合
3. 植生要因
 - 1) 岩角地の割合
 - 2) 耕作地の割合
 - 3) 市街地等の割合
 - 4) 植林地の割合
 - 5) 竹林の割合
 - 6) 二次草原の割合
 - 7) 伐採跡地群落の割合
 - 8) 落葉広葉樹林の割合
 - 9) 常緑広葉樹林の割合
 - 10) 針葉樹の割合
 - 11) 牧草地・ゴルフ場・芝地

図-2 重回帰分析で設定した目的変数

表-3 対象地点の地形、主要地質および主要植生

No	地点名	1/勾配	形状比	主要地質	主要植生
1	ます淵ダム	7.22	0.35	斑レイ岩類 (18%)	植林地 (39%)
2	力丸ダム	15.01	0.15	花崗岩 (46%)	植林地 (60%)
3	猪野ダム	5.75	0.17	花崗岩 (96%)	植林地 (87%)
4	鳴瀬ダム	5.72	0.21	花崗岩 (53%)	植林地 (64%)
5	彦田	17.34	0.25	安山岩 (34%)	植林地 (75%)
6	龍尾ダム	6.48	0.30	花崗岩 (84%)	植林地 (90%)
7	寺内ダム	15.90	0.20	花崗岩 (81%)	植林地 (83%)
8	瑞梅寺ダム	4.03	0.44	花崗岩 (64%)	植林地 (63%)
9	伊岐佐ダム	4.55	0.46	花崗岩 (100%)	植林地 (64%)
10	徳須直橋	13.24	0.41	砂岩類 (74%)	植林地 (45%)
11	日出来橋	23.27	0.09	花崗岩 (86%)	植林地 (64%)
12	紙園	8.81	0.23	片岩類 (42%)	植林地 (41%)
13	浦町橋	8.07	0.41	砂岩類 (65%)	植林地 (44%)
14	菅瀬ダム	6.84	0.40	安山岩 (84%)	植林地 (36%)
15	富川	6.63	0.20	安山岩 (73%)	植林地 (60%)
16	裏山	13.73	0.19	凝灰岩類 (60%)	耕作地 (43%)
17	神浦ダム	6.96	0.34	片岩類 (100%)	植林地 (52%)
18	雪浦ダム	9.63	0.21	片岩類 (94%)	植林地 (52%)
19	耶馬溪ダム	22.32	0.18	溶結凝灰岩 (65%)	植林地 (35%)
20	下郷	25.13	0.23	安山岩 (61%)	植林地 (57%)
21	花月	14.18	0.65	安山岩 (44%)	植林地 (52%)
22	下釜ダム	19.93	0.47	安山岩 (67%)	植林地 (75%)
23	日向神ダム	12.62	0.53	安山岩 (42%)	植林地 (86%)
24	城	28.04	0.14	片岩類 (40%)	植林地 (51%)
25	岩崎	9.61	0.20	花崗岩 (87%)	耕作地 (37%)
26	広瀬	30.21	0.17	溶結凝灰岩 (51%)	植林地 (47%)
27	代継橋	67.95	0.10	砂・礫・粘土類 (77%)	耕作地 (33%)
28	陣内	46.68	0.20	安山岩 (34%)	耕作地 (30%)
29	立野	37.49	0.27	安山岩 (33%)	植林地 (27%)
30	妙見橋	24.51	0.25	安山岩 (50%)	植林地 (29%)
31	御船	33.17	0.11	溶結凝灰岩 (44%)	植林地 (39%)
32	水川ダム	11.81	0.41	砂岩類 (81%)	植林地 (78%)
33	宮廻	20.94	0.12	安山岩 (29%)	植林地 (31%)
34	胡麻橋	34.17	0.08	礫岩類 (26%)	植林地 (42%)
35	原村	15.45	0.16	溶結凝灰岩 (37%)	植林地 (40%)
36	小川橋	22.74	0.20	砂岩類 (67%)	植林地 (52%)
37	黒沢ダム	5.30	0.65	砂岩類 (100%)	植林地 (44%)
38	北川ダム	17.28	0.60	砂岩類 (68%)	植林地 (38%)
39	祝子ダム	11.11	0.37	花崗岩 (47%)	針葉樹林 (29%)
40	渡川ダム	19.76	0.21	頁岩類 (71%)	植林地 (65%)
41	欄干橋	12.90	0.12	砂・礫・粘土類 (58%)	耕作地 (64%)
42	長谷ダム	10.22	0.11	砂岩類 (100%)	常緑広葉樹 (47%)
43	立花ダム	12.47	0.26	砂岩類 (100%)	常緑広葉樹 (38%)
44	田代八重ダム	23.95	0.23	泥岩類 (62%)	植林地 (58%)
45	綾南ダム	23.47	0.16	砂岩類 (91%)	植林地 (61%)
46	五木宮園	25.18	0.36	砂岩類 (85%)	植林地 (63%)
47	上真寺	29.47	0.26	安山岩 (30%)	植林地 (45%)
48	岩瀬ダム	50.41	0.14	火山砕屑物・シラス (68%)	植林地 (41%)
49	広瀬ダム	7.93	0.55	砂岩類 (87%)	植林地 (63%)
50	日南ダム	14.21	0.29	砂岩類 (65%)	植林地 (63%)
51	高山橋	19.42	0.14	花崗岩 (66%)	植林地 (65%)
52	治良橋	15.95	0.24	溶結凝灰岩 (49%)	植林地 (58%)

4. 結果および考察

(1) 流量レジーム指標の特徴

表-4に流量レジーム指標の算出結果を、図-3に対象地点のQsp, Qs, Qa, Qw, Qyを示す。図-3は左からQyの大きい順に並べている。Qsp, Qs, Qa, QwともにQyと同様に右側の地点に向け減少する傾向を示した。し

かし、地点間の変動はQsおよびQwで大きく、QspおよびQaでは小さい傾向となった。また、流域平均降雨量が大きい九州南部および内陸部の地点で比流量が大きい傾向となった。従って、比流量の多寡には流域平均降雨量が大きく影響していると考えられる。

次に、図-4にQsp, Qs, Qa, Qwと春季降雨量, 夏季降雨量, 秋季降雨量, 冬季降雨量およびQyと年間降水量の関係を示した。Qsと夏季降雨量およびQyと年間降水量は相関が強く、Qwと冬季降雨量では相関が弱いことがわかる。降雨量の大きい夏季では、基礎地盤の飽和度が高く地下浸透量が小さくなり、河川の流量は降雨量で良く説明されるものと考えられる。一方、冬季では降雨量の地点間差は他の季節と比べて小さいが、比流量のばらつきは他の季節と大差はない。降雨量が少ない冬季には、地質、植生等の降雨以外の要因が比流量に大きな影響を与えていると考えられる。また、Qyと年間降水量の相関は季節毎に分類した場合に比べて高かった。阿部は九州の45流域の流量と降雨量を調査し、平水量と年雨量の間に密接な関係があることを明らかにしており¹³⁾、本結果の妥当性を支持している。

このように、季節毎に比流量に影響を与える要因は異なると考えられ、季節毎に流量レジーム指標を設定することは有効である。

表-4 流量レジーム指標の算出結果

No	地点名	Qsp	Qs	Qa	Qw	Qy	Imax/Imn	Nd5	Nd10	Nd0.2	Nd0.1
1	ま十洞ダム	2.47	3.77	1.78	1.57	2.40	3.57	21.32	8.89	2.32	0.26
2	力丸ダム	2.12	3.52	2.04	1.65	2.33	3.13	20.00	9.00	1.58	0.53
3	猪野ダム	2.43	2.73	1.45	0.83	1.86	7.26	31.00	17.30	44.50	13.80
4	鳴瀬ダム	2.10	3.51	2.59	1.73	2.48	3.19	19.50	7.38	0.75	0.63
5	添田	2.37	3.93	1.55	1.15	2.25	6.76	27.46	13.43	48.34	17.74
6	陣屋ダム	2.16	4.63	2.37	1.31	2.62	5.36	19.16	6.95	31.79	12.47
7	寺内ダム	2.49	4.69	2.44	1.46	2.77	5.70	17.63	7.47	0.32	0.00
8	瑞梅寺ダム	3.71	5.79	4.39	2.82	4.18	2.98	8.37	2.42	0.26	0.05
9	伊岐佐ダム	3.11	6.45	4.00	2.29	3.96	4.15	10.63	3.11	0.11	0.11
10	徳須恵橋	2.00	2.93	2.53	1.46	2.23	3.37	12.55	5.91	14.73	3.09
11	日出来橋	1.77	4.79	2.20	1.00	2.44	9.62	20.25	7.58	46.83	18.58
12	蔵園	2.30	6.52	2.39	1.19	3.10	8.91	23.41	11.73	43.18	5.05
13	浦町橋	2.42	3.46	1.42	1.05	2.09	5.87	44.08	28.54	28.61	6.73
14	岩瀬ダム	3.95	5.98	2.50	1.80	3.56	4.78	26.74	11.79	2.68	0.16
15	富川	2.97	3.34	2.62	2.16	2.77	2.12	33.74	17.97	0.00	0.00
16	栗山	3.32	4.89	2.84	2.37	3.35	2.65	20.04	9.21	1.77	0.15
17	神瀬ダム	2.99	3.69	2.24	2.07	2.75	2.58	18.58	8.05	7.74	1.58
18	神瀬ダム	2.17	3.52	1.66	1.30	2.16	3.54	19.58	8.74	24.89	9.63
19	那馬溪ダム	1.60	2.56	1.19	1.05	1.60	3.79	26.79	14.47	4.32	0.47
20	下郷	3.27	4.82	2.17	2.09	3.09	6.64	30.70	13.40	0.10	0.00
21	花井	1.89	3.32	1.30	1.24	1.94	5.95	25.08	13.33	5.50	1.17
22	下巻ダム	4.09	8.21	3.07	2.15	4.38	5.54	20.74	9.84	1.21	0.16
23	日向神ダム	2.85	6.33	2.22	1.42	3.20	7.16	23.47	11.26	7.32	0.16
24	城	2.51	4.51	1.99	1.47	2.62	6.22	24.00	11.67	2.83	0.00
25	岩崎	2.41	3.90	2.37	2.45	2.78	4.18	8.75	3.50	3.25	1.35
26	岩瀬	3.18	6.32	3.11	2.40	3.75	5.13	19.28	9.68	3.04	0.24
27	代継橋	3.69	5.07	4.26	3.81	4.21	2.19	11.85	4.52	10.23	3.99
28	陣内	3.67	5.67	4.36	3.97	4.42	2.60	11.50	4.10	8.35	3.20
29	立野	3.10	6.99	4.11	3.08	4.32	3.49	13.69	4.94	0.00	0.00
30	妙見橋	4.72	8.04	6.30	4.91	5.99	2.44	6.24	1.88	0.00	0.00
31	御船	3.69	6.92	3.14	2.35	4.03	4.60	17.62	7.90	2.98	0.22
32	北川ダム	3.32	7.18	3.24	2.27	4.00	4.75	17.21	6.74	0.47	0.37
33	宮苑	2.19	3.03	2.09	1.37	2.17	2.75	20.02	9.23	18.02	7.04
34	胡麻橋	2.73	5.78	3.01	1.32	3.21	5.60	18.77	8.69	11.25	0.96
35	原村	3.17	5.60	3.24	1.63	3.41	4.68	17.16	7.50	3.92	0.09
36	小川橋	2.01	4.58	2.77	1.15	2.63	4.93	23.79	11.26	24.11	3.20
37	黒沢ダム	2.47	3.91	2.98	1.74	2.78	3.61	18.11	7.26	6.37	0.47
38	北川ダム	2.49	4.69	2.44	1.46	2.77	5.74	20.58	8.42	14.84	0.79
39	祝子ダム	4.30	9.43	5.59	2.23	5.39	5.32	22.11	9.63	2.84	0.16
40	岩瀬ダム	5.56	10.70	4.44	2.06	5.69	8.62	20.58	8.47	46.63	9.21
41	欄干橋	2.17	7.52	5.51	2.64	4.46	5.35	16.95	5.00	12.88	3.81
42	長谷ダム	4.21	10.02	4.23	1.82	5.07	9.20	26.32	11.74	39.58	18.74
43	立花ダム	4.33	8.56	4.04	1.65	4.65	8.72	20.47	7.89	30.74	1.74
44	田代八重ダム	3.69	7.58	2.81	1.71	3.95	8.42	19.50	11.50	16.50	1.33
45	蔵園	3.77	7.22	2.98	1.51	3.87	8.16	22.05	9.79	16.32	0.47
46	五木宮園	4.79	9.38	3.50	2.49	5.04	6.64	18.54	7.32	9.60	0.06
47	上真幸	4.61	8.00	5.72	3.43	5.44	3.03	12.78	4.78	1.25	0.27
48	岩瀬ダム	4.30	7.89	6.07	3.81	5.52	2.33	11.63	3.58	0.26	0.16
49	岩瀬ダム	4.84	9.99	5.71	2.60	5.79	6.09	19.51	6.79	4.05	0.95
50	日南ダム	3.97	9.13	4.31	1.70	4.78	9.40	20.58	7.53	31.32	6.26
51	高山橋	3.15	7.65	5.01	2.60	4.60	3.55	19.27	7.33	7.59	1.71
52	始昌橋	3.89	7.00	4.62	3.05	4.64	2.66	13.25	4.75	1.56	0.75

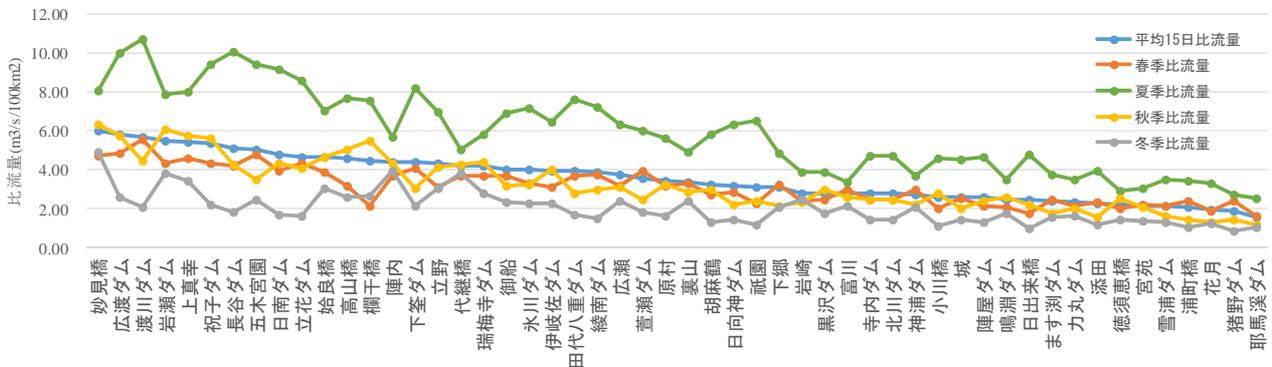


図-3 対象地点における比流量

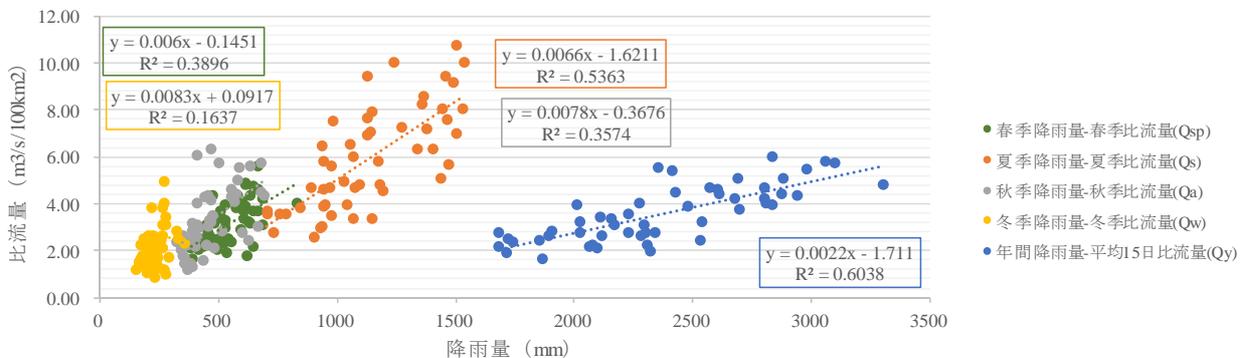


図-4 比流量に関する指標と降雨量の関係

(2) 比流量指標を用いた流量特性の類型化

図-5に Q_{sp} , Q_s , Q_a , Q_w , Q_y を用い、クラスター分析によって流量レジームの類似度から対象地点を分類した結果を示す。クラスター分析の結果、対象地点は大きく、以下の3グループに分類された。降雨量が多く比流量も大きい九州南部を中心とする群（グループ1）、グループ1に次いで降雨量が少なく比流量も小さい九州内陸部の群（グループ2）、降雨量、比流量ともに最も小さい九州北部を中心とする群（グループ3）である。また、各グループの比流量および降雨量を図-6に示す。上記より、比流量の特性から九州は大きく3つに分類することができ、分類結果は降雨の多寡に大きく影響されていることがわかる。

また、図-7に九州の流出特性区分¹⁴⁾および気候区分¹⁵⁾を示す。九州の南海部および北東部が他の地域と異なることが両者に共通する点である。比流量指標による分類結果も南海部と北東部は他の地域と区分されており、図-5に概ね一致している。本研究では、九州西部が内陸部とその他で分類された。また、内陸部、山間部に位置する地点が少ないため、降雨量が多い内陸部と南海部が同一のグループに分類されたと考えられる。

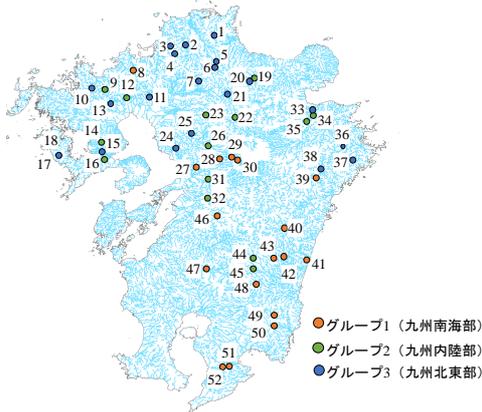


図-5 比流量指標による対象地点の分類結果

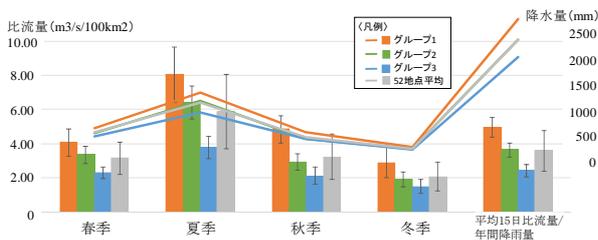


図-6 各グループの比流量および降雨量

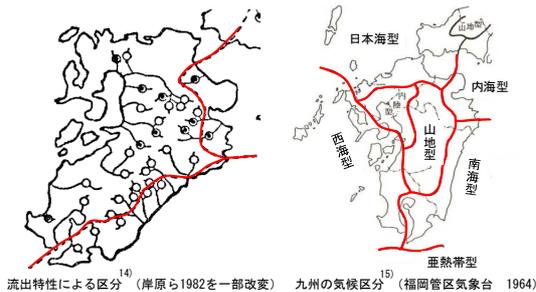


図-7 九州の流出特性区分および気候区分

(3) 流量レジーム指標と地形・地質・植生との関係

流量レジーム指標を説明変数に、地形、地質、植生の各要因を目的変数に重回帰分析を行った結果を表-5に示す。表中に記載した数字が各説明変数の標準化回帰係数である。説明変数を増加させる要因を青字で、減少させる要因を赤字で記載している。標準偏回帰係数の絶対値の大きさが目的変数に対する寄与の大きさを示している。各指標の自由度調整済みの決定係数は0.41~0.83であり、概ねモデルは適合している。

地形要因については、河床勾配の逆数および形状比が増加すると攪乱・渇水頻度が減少する結果となった。地頭園らは、緩傾斜面では雨水が地下に浸透しやすく、一般に土壌が厚いため流況が均等化することを示唆している¹⁶⁾。今回の解析結果はその説を支持する結果となった。また、青木らは、流域形状の差異と流量ハイドログラフの関係を調べ同一の流域面積、河道長、降雨量であっても流域形状が異なると洪水ピーク流量が異なることを示している¹⁷⁾。形状比が小さいほど洪水時には本川と支川のピーク発生時刻がずれる、流量が増加せず攪乱頻度が少なくなるものと考えられる。

地質要因について解析結果を概略すると、凝灰岩類や礫岩類など堆積岩は比流量を増加させる傾向があり、攪乱頻度を減少させる傾向にあることが分かった。一方、火山噴出物に由来する熔結凝灰岩類や火山砕屑物類は比流量を減じ、熔結凝灰岩類については渇水を減少させる傾向となった。岸原らは火山砕屑物の堆積物地帯では、流況係数が小さく流量が安定することを明らかにしており¹⁴⁾、本研究においても同様の傾向が確認された。

次に、植生要因と流量レジーム指標の関係について考察する。平野らは、森林植生の樹種と降雨時の地表流の流出量を調べた結果、針葉樹林（ヒノキ林）で地表流の流出応答が大きく、広葉樹林で非常に小さいことを明らかにしている¹⁸⁾。本解析結果では、針葉樹林が攪乱指標を増加させる要因となっているのに対し、広葉樹林は攪乱指標に影響する要因として選択されておらず、上記の研究結果と類似する結果となった。また、市街地は非浸透域が多く、降水を速やかに流下させるため、降水時の河川流量を増加させる一方、地下水の涵養はほとんどなされていないことが指摘されている¹⁹⁾。本解析では、市街地は比流量を低下させ、攪乱および渇水の頻度を上昇させる結果となっており、上記の現象を反映していると考えられる。

本研究では、河川流量を基底流量と表流水に区分せずに解析を実施しているため、各地質要因や植生要因がどの流出成分に寄与しているかは判断できない。また、地形要因についても流域の平均高度や傾斜分布、平均傾斜等も流量に影響を与える要因である。今後これらを指標化することで、より高精度なモデル構築が可能となると考えられる。

表-5 重回帰分析結果

	Qsp	Qs	Qa	Qw	Qy	I _{max} /I _{min}	Nd5	Nd10	Nd0.2	Nd0.1
地形	1/勾配		0.12	0.18	0.14		-0.59 ***	-0.57 ***	-0.34 *	-0.18
	形状比		0.18		0.13		-0.52 ***	-0.45 ***	-0.45 **	-0.45 **
	安山岩類	0.64 ***	0.21		0.34 *			0.14		
	花崗岩類	0.30	0.26		0.41 **	0.26 *	-0.84 ***	-0.58 ***	0.20	0.46 **
	熔結凝灰岩類			-0.52 ***	-0.35 **		-0.24		0.39 *	0.64 **
	片岩類	0.82 ***	0.62 **	0.25 *	0.79 ***		-0.75 ***	-0.48 ***		
	砂岩類	0.45 *	0.36	0.18	0.53 *		-0.42 **	-0.24		
	玄武岩類		-0.18	-0.33 **	-0.35 ***	-0.16	0.41 ***	0.61 ***	0.33 **	0.44 **
	流紋岩類	0.24 *	0.38 **	0.24 **	0.21		-0.10	-0.07		
	砂・礫・粘土類								0.50 **	0.63 **
	石灰岩類	0.65 ***	0.47 ***	0.17	0.14	0.47 ***	-0.31 **	-0.23 **		
	凝灰岩類	0.36 *	0.12	0.10		0.34 *	-0.45 ***	-0.32 **	-0.17	
	頁岩類	0.27	0.26 *				0.14	-0.30 **	-0.21 *	0.27 *
	泥岩類	0.31 *	0.30 *			0.33 **	0.21 *	-0.23 *		
	礫岩類		0.38 ***				-0.09	0.00	0.13	
	粘板岩類	0.44 **			0.13	0.49 ***				
	火山砕屑物類			-0.83 **	-0.80 **	-0.39			-0.24	
	火山灰・ローム	0.34 **	0.32 **	0.47 ***	0.33 **	0.45 **	-0.17	-0.35 **	-0.36 ***	-0.40 **
	珪レイ岩類		-0.13					-0.18 *	-0.09	-0.16
	シラス	0.27 *	0.12	0.88 ***	0.76 ***	0.61 **	-0.23 *	-0.45 ***	-0.38 ***	
	チャート			-0.15	-0.17			-0.05	0.39 **	0.43 **
	砕屑物類			0.62 *	0.64 *	0.38		-0.32 **	-0.21 **	0.57 **
	蛇紋岩類		-0.11				-0.20	-0.24 **	-0.18 *	-0.18
	岩角地	0.33 **	0.22 *	0.34 ***	0.12	0.27 *	-0.18		-0.14	-0.34 *
	耕作地			0.34 *	0.34 **				-0.59 *	
	市街地等	-0.28	-0.69 ***	-0.29 *	-0.31 **	-0.65 ***	0.33 **	0.40 ***	0.42 **	0.58 ***
	植林地	-0.27	-0.65 ***	-0.25	-0.29 *	-0.66 ***	0.35 **	0.32 **	0.29 ***	0.66 **
	二次草原	0.41 **	0.49 ***	0.52 ***	0.41 **	0.37		-0.59 ***	-0.60 ***	-0.47 **
	伐採跡地群落	0.40 **	0.49 ***	0.35 *		0.49 **	0.52 ***	-0.14	0.09	0.23
	落葉広葉樹林		-0.39			-0.26 *			-0.19	-0.43 **
	常緑広葉樹林		-0.45 **	-0.34 *		-0.43 *			0.41 *	-0.42 **
	針葉樹林	-0.16	-0.35 **			-0.44 **		0.33 ***	0.39 ***	
	牧草地・ゴルフ場・芝地		-0.26 *			-0.23		0.24	0.28 *	
	R-square	0.69 ***	0.81 ***	0.85 ***	0.77 ***	0.82 ***	0.57 ***	0.88 ***	0.91 ***	0.75 ***
	Adjusted R-square	0.52	0.66	0.74	0.67	0.64	0.47	0.77	0.83	0.56

注) β: 標準偏回帰係数 *** 0.1%水準で有意 ** 1%水準で有意 *5%水準で有意

5. 結論

- ①流量レジーム指標による分類の結果、九州は大きく、南海部、内陸部、北部の3区分に分類され、分類には降雨量が大きく影響していることがわかった。
- ②日本では流量に影響を与える降雨特性が季節毎に異なるため、季節毎に比流量指標を設定することで、流量レジームに影響を与える要因が特定可能となる。
- ②火山噴出物に由来する岩石で構成される流域は渇水頻度が小さく流量が安定する一方、市街地が多い流域では渇水、攪乱の頻度が高い傾向にある。

参考文献

- 1) Poff, N. L., Allan, D. J. and Bain, M. B.: The Natural Flow Regime: A paradigm for river conservation and restoration, *BioScience*, Vol.47, No.11, pp.769-784, 1997.
- 2) Richter, B. D., Baumgartner, J. V., Wigington, R. and David P.: How much does a river need?, *Conservation Biology*, Vol.37, No.1, pp.231-249, 1997.
- 3) J. M. King, R. E. Tharme. and M. S. Villiers.: Environmental Flow Assessments For The Rivers: manual for the Building Block Methodology, *WRC Report No TT 354/08*, 2008.
- 4) Sandra, O.B, Angela. H. A, Satish, C. C, Mark, J. K, Stephen, J. M, Brad, J. P. and Garry, L. W.: BENCHMARKING, A 'TOP-DOWN' METHODOLOGY FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL FLOWS IN AUSTRALIAN RIVERS.
- 5) 国土交通省河川局河川環境課: 「正常流量検討の手引き(案)」, 2007.
- 6) 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, 第309号, 1981.
- 7) 志水俊夫: 日本における山地河川の流出特性, 水利科学, Vol.48, No.6, pp.6-17, 1996.
- 8) 寺本行芳, 下川悦郎, 地頭園隆, 馬込まり子: 鹿児島県北

- 西部の花崗岩流域における低水時の流出特性, 鹿児島大学農学部演習林研究報告, Vol.33, pp.1-8, 2005.
- 9) 石田和也, 宮本仁志: 気候・地質・土地利用の影響を考慮したリンクマグニチュードによる河川水系の流況推定, 土木学会論文集B1 (水工学), vol68, No.4, pp.487-492, 2012.
- 10) 白川直樹, 玉井信行: 環境用水の概念整理と水文統計の設定手法の利用可能性について, 水工学論文集, 第47巻, pp.379-384, 2003.
- 11) 菰刈延, 島谷幸宏: 九州10河川を対象とした流量レジーム特性に関する研究, 河川技術論文集, 第12巻, pp.317-322, 2006.
- 12) Horton, R. E, Drainage Basin Characteristic, *Transactions, American Geophysical Union*, Vol.13, Issue 1, pp. 350-361, 1932.
- 13) 阿部謙夫: 九州に於ける河川の流量に就て: 土木学会誌, 第12巻, 第4号, pp.783-1092, 1926.
- 14) 岸原信雄, 石井正典: 日本列島の山地流域からの流出に関する研究 (I) 流出地帯区分について: 日本林学会誌, Vol.64, No.10, pp.373-381, 1982.
- 15) 福岡管区気象台: 九州の気候, 西日本気象協会, 1964.
- 16) 地頭園隆, 竹下敬司: 山地河川の流況と流域条件等の関係解析II, 鹿児島大学農学部演習林研究報告, Vol.15, pp.15-38, 1987.
- 17) 青木 慶, 岡部真人, 山田 正: 流域の地形特性が流量ハイドログラフの形成に与える影響, 水文・水資源学会研究発表会要旨集, 24(0), pp.113-113, 2011.
- 18) 平野智章, 寺嶋智巳, 中村智博, 境 優, 青木文聡, 名波明菜: 針葉樹林流域と広葉樹林流域の短期流出特性の違いー降雨イベントの規模が森林流域の水流発生機構に及ぼす影響ー, 水文・水資源学会誌, vol.22, No.1, pp.24-39, 2009.
- 19) Leopold, L. B.: Hydrology for Urban Land Planning a Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use, *U. S. Geological Survey, Circular*, No.554, 1968.

(2014. 9. 30受付)