

九州10河川を対象とした流量レジーム の特性に関する研究

CHARACTERISTICS OF FLOW REGIME OF 10 RIVERS IN KYUSHU ISLAND

菰渚 延¹・島谷幸宏²

Tadashi KOMOBUCHI, Yukihiro SHIMATANI

¹学生会員 九州大学大学院 工学府 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)
²フェロー会員 九州大学大学院 工学研究院 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

This research is intended to characterize flow regime of 10 rivers in Kyushu, western Japan. Flow regime is determined by both natural conditions (e.g., geography, subsurface geology, rainfall patterns) and human-associated impacts. Using 8-years record of mean daily flow values, we derived flow index representing mean values of annual flow, winter discharge and intra-annual variation of discharge etc., and compared the index among 10 streams. Given the different catchments area of the streams investigated, we used the values normalized by catchments area ($\text{m}^3\text{s}^{-1}100\text{km}^{-2}$).

Key Words : Flow regime, RVA, environment, Kyushu.

1. はじめに

河川は流域の地質、地形、降雨特性など自然状況に違いがあり、そのような違いが川の個性を生みだしている。河川に生息する生物はその川の個性に適応して生息してきたと考えられ、流量は河川の個性を形成する重要な要素である。流量の大きさや季節的な変化を含めた概念として近年流量レジームという言葉が使われる。流量レジームとは河川を流下する水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また、その継続時間など河川生態系に影響を与えていると考えられる流量の性質のことである。

現在、正常流量検討の手引きにおいて河川の正常な機能を維持するための流量が、動植物の生息地又は生育地の状況、漁業、景観、流水の清潔の維持、地下水の維持等の観点からそれぞれ必要な流量を算定し、最低流量を求めて管理されている。しかしながら河川環境は量的な観点だけではなく、出水などによる攪乱や数年～時間単位での流量変動など、様々な時間スケールでの変化が存在し、その環境インパクトに対応して河川は形成されている。河川の流量を管理する際には、このような変化を正確に把握し、目標に取り入れることが重要であろう。

これまで河川流量の研究は治水や利水といった観点から研究が行われているものはあるが、河川生態系の観点

から見た流量レジームに関する基礎研究や、横断構造物設置といった人為的なインパクトによる流量レジームへの影響を明らかにした日本における研究は少ない。アメリカにおいては流量レジームを評価する指標として Richterら^{1) 2)} がRVA (Range of variability approach) を提唱し、欧米へと近年普及している。日本においても白川ら³⁾ がこの手法を日本の河川に適用した事例が発表している。

しかしながら、日本の河川は規模が小さく、また梅雨の影響や台風の影響などにより流量の変動も異なるため、日本独自の手法が必要であると考えられる。

そこで本研究では、九州内の代表的な10河川において、ダムや堰といった人為的な影響がなく、自然流況とみなせる観測点の流量データを用い流量レジーム解析を行い、日本の川の特徴を明らかにすることが可能な指標の提案を行うことを目的としている。

2. 流量レジーム解析に用いた値

本研究で解析を行う際、以下の事項に配慮し、解析を行った。

(1) 100km^2 当たりの比流量

本研究では河川間比較に基づき流量レジームの特徴を

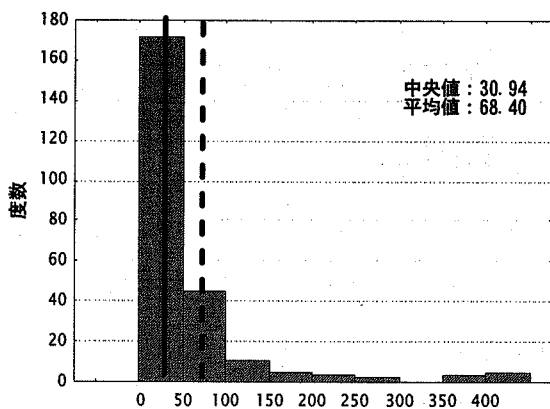


図-1 大野川8月のヒストグラム

1月	順番	平成6年	平成7年	...	平成13年	
	1	7.62	2.60	...	5.46	
	2	5.67	2.05	...	5.34	
	3	4.80	2.02	...	4.72	
	...					
	...					
	15	2.77	1.49	...	2.05	平均 2.06
	...					
	...					
	31	2.07	1.05	...	1.56	

単位は全て($\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$)

各月の比流量のデータを順番に並べて、15番目の比流量がその年、その月の15日比流量となる(平成6年1月の場合2.77)。今回は8年分のデータを平均したものがその月の15日比流量(2.06)として解析した。

図-2 15日比流量の求め方の例

把握するため流域面積が異なる河川間の比較を行う必要がある。そのため流量の分析を行うための流量単位として、低水流量や渇水流量の管理に一般的に用いられ、流域面積の影響をある程度緩和できる 100km^2 当たりの比流量を用いる。RVAでは比流量を用いておらず、 100km^2 当たりの比流量を用いることが本研究の特徴である。

(2) 15日比流量

Richterらは月流量を代表させる値として平均値を用いている。しかし本研究では平均値ではなく中央値を用いて月流量を代表させる。日本では台風や集中的な降水によって月内の流量変動が大きく、平均値を用いるとその月の流量の代表的な値を表しているとはいえない。例えば図-1に本研究で用いた8月の大野川のヒストグラムを示した。度数分布が多いのは $0\sim 50\text{m}^3/\text{s}$ となっているが、平均値を用いると $68.4\text{m}^3/\text{s}$ と大きく評価されていることがわかる。一方、中央値は $30.94\text{m}^3/\text{s}$ と最頻値に近い。これを検証するために、各河川の各月のヒストグラムを作成し、平均値と中央値のどちらが適合性が高い

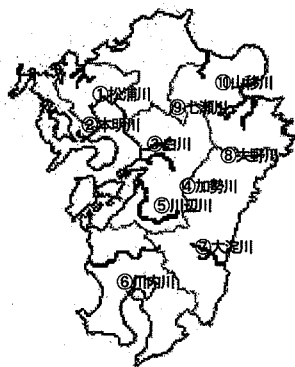


図-3 対象河川

表-1 対象河川の特徴

河川名	観測点での流域面積 (km^2)	流域内年平均降水量 (mm)	流域内の主な表層地質
①松浦川	275	2151.0	砂岩、泥岩、花崗岩
②本明川	35.8	2206.4	礫岩、粘土、安山岩
③白川	425	2523.4	火山灰(阿蘇ローム)
④加勢川	220	2126.8	熔結凝灰岩
⑤川辺川	521	2668.2	四万十帯、秩父帯
⑥川内川	805	2806.8	熔結凝灰岩、安山岩
⑦大淀川	160	2747.0	熔結凝灰岩、四万十帯
⑧大野川	1239	2261.4	熔結凝灰岩
⑨七瀬川	93	2141.4	秩父帯、熔結凝灰岩
⑩山移川	89	2444.5	安山岩

かを検討した。その結果、120データ中、最頻値との適合性が中央値のほうが良いのは65データ、両者とも良いのは38データ、平均値のほうが良いのは3データ、両者とも悪いのは14データである。以上のように日本の河川の場合は平均値よりも中央値のほうが代表的な流量を表していると考えられる。なお両者とも適合性が悪いのは白川、嘉瀬川でヒストグラムが二山になるため最頻値との適合性が悪くなっている。そこで本研究では中央値としてその各月の15番目の流量を15日比流量と定義し解析に用いた。図-2に各月の比流量の求め方を示した。

なお対象期間の n 月の比流量を Q_n とする。

3. 対象河川

図-3に本研究で解析の対象とした10河川の位置を示した。九州内の比較的規模が大きく流量データがそろっている1級水系の10河川(松浦川・本明川・白川・加勢川・川辺川・川内川・大淀川・大野川・七瀬川・山移川)を対象に人為的影響の少ない観測点を抽出し、1994～2001年の8年間の日流量データを用い流量レジームの比較を行った。その際、表層地質が流量レジームに与える影響を考慮するために、経済企画庁(現内閣府)発行

の『土地分類図（表層地質図Ⅳ）九州地方（50万分の1）』に流域界を重ねて、熔結凝灰岩や火山灰地帯、安山岩地帯など、様々な表層地質を流れる河川を選んだ。表-1に流域の表層地質と降水量をまとめた。年平均降水量を河川間で比べると、白川、大淀川、川内川、川辺川ではその他の河川よりも若干多いが著しい差はなかった。日本の年平均降水量は約1700mmと言われているので、九州は他地域と比べ降水量が多いことがわかる。

4. 流量レジームの指標化と九州の河川の特徴

玉井⁴⁾は、環境用水は絶対量、時期、継続時間で構成されるとし、河川維持流量に必要な要素として平常時流量、特定期流量、洪水、中小出水、変化率を上げている。この考えはRichterら¹⁾の考え方に基づくもので、Richterらはmagnitude(量)：ハビタットの量を定める水の絶対量、timing(時期)：生活史と関連した時期、frequency(頻度)：再生産や死亡と結びついた洪水や渇水の回数、duration(継続時間)：生活史のうち湛水や乾燥が必要な特別の期間の継続、rate of change(変化率)：変化に対応する植物の根の伸長などの生物の対応と関連した流量の変化率の5つの考え方に対して32の指標を提案している。また皆川らは出水がハビタット、生物に果たす役割について、季節的な出水（特に春出水）および出水規模および頻度の重要性を指摘している。

本研究では河川環境に与える流量レジームの特性として、量、変動、攪乱に着目し解析を行う。RVAと比較すると、変化率及び継続時間に関する指標化をここでは十分に行わないことになる。変化率や継続時間に関しても今後重要となってくる課題であるが現在のところ生物との関連が十分に明瞭となっておらず情報が十分でないため指標化を行わないことにする。

量は生物が生息する空間の絶対的な大きさを示すため重要な指標であると考えられる。ここでは年間を通しての量と日本の河川は特に冬季流量が少なくなることから冬季流量を指標とする。なお冬季に積雪がある地方では雪解け出水の量が重要であるが九州では雪解け出水の影響がないため比較できないが参考のため雪解け出水指標も提案する。

次に変動については年変動、季節変動、月変動、日変動、時間変動などが考えられる。ここでは年変動、季節変動、月変動に関して指標を提案する。発電などのインパクトを見るときには日変動や時間変動が重要になると考えられるが、自然河川の特性を見る際には大きな差が出ないと考えられるためここでは指標の提案は行わない。攪乱に関しては、大きさ、時期、回数が重要と考えられる。

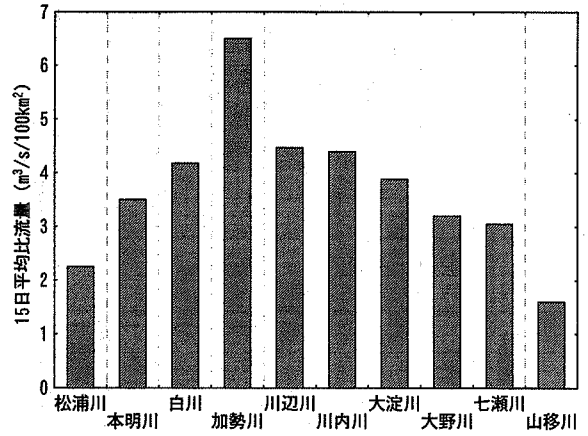


図-4 15日平均比流量

(1) 量に関する指標

a) 15日平均比流量 (Qm)

流量の量的な指標として、数年単位の平均的な流量、年最大、最小流量などがある。本研究ではその中でも特に年間を通しての量に着目した。これは総流出量を表現しており、水の豊かさを示す指標である。年間の15日平均比流量を $Q_m = (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{12}) / 12$ とする。

図-4に10河川のQmを比較した結果を示す。九州内の河川であってもQmに3倍程度の差があることがわかる。Qmは年間の総雨量と地質に関係する。ただし、年間雨量の差は1.3倍以内であるので地質等の流出現象の影響が大きいと考えられる。熔結凝灰岩を主とする加勢川、川内川、大淀川、大野川や火山灰が主である白川、また付加体を主とする川辺川、七瀬川においてはQmが大きく水量の多い河川であるといえる。特に加勢川ではQmが100km²当たり6.5m³/sと特に多く、地下水流出の多い川であることが予想できる。反対に安山岩を主とする山移川や古い地層を流れる松浦川ではQmは小さく、水量の少ない川といえる。火山地帯を流れる川では水量が多く、安山岩や古い地層を流れる川は水量が少ない傾向がある。

b) 春季比流量 (Qsp)

冬季の流量を表現する指標として、3月、4月、5月の15日比流量の平均を冬季比流量 $Q_{sp} = (Q_3 + Q_4 + Q_5) / 3$ と定義した。

c) 夏季比流量 (Qs)

夏季の流量を表現する指標として、6月、7月、8月の15日比流量の平均を夏季比流量 $Q_s = (Q_6 + Q_7 + Q_8) / 3$ と定義した。

d) 秋季比流量 (Qa)

秋季の流量を表現する指標として、9月、10月、11月の15日比流量の平均を秋季比流量 $Q_a = (Q_9 + Q_{10} + Q_{11}) / 3$ と定義した。

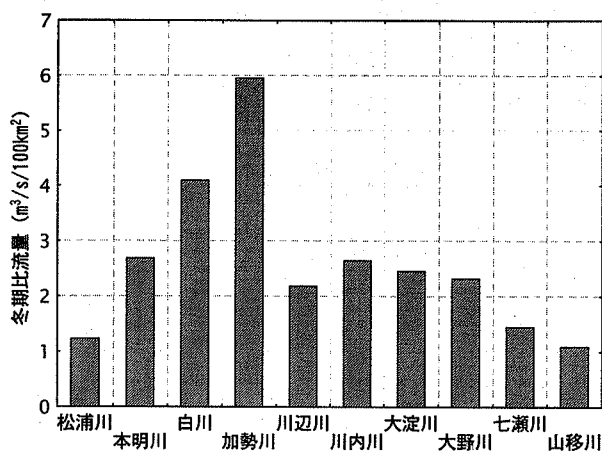


図-5 冬期比流量

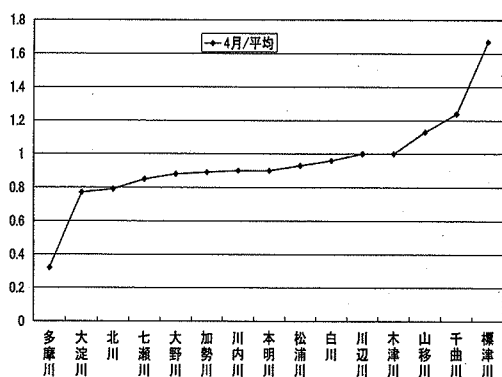


図-6 雪解け出水指標 (Isnow)

e) 冬季比流量 (Qw)

冬季の流量を表現する指標として、12月、1月、2月の15日比流量の平均を冬季比流量 $Q_w = (Q_1 + Q_2 + Q_{12})/3$ と定義した。日本の冬季は流量が減少するため、 Q_w が小さい河川は生物には厳しい条件となると考えられる。

図-5に Q_w を比較した結果を示す。傾向は Q_m とよく似ているが、最大の加勢川と山移川では6倍程度との Q_m よりも差が大きい。特に変化が大きいのは川辺川、川内川、大淀川などが大きく減少している。

傾向は地下水流出量が多い加勢川、火山灰を主とする白川などでは冬季の流量が多く、反対に安山岩を主とする山移川や古い地層を流れる松浦川では冬季の流量が少ないことが示された。

Q_w は冬季の流量の多寡を見ることができるため重要な指標であると考えられる。

f) 雪解け出水指標 (Isnow)

$Isnow = Q_4/Q_m$ を雪解け出水指標とする。図-6に北海道の標津川、長野の千曲川を含めた $Isnow$ を示した。千曲川、標津川のみが1を超え雪解け出水を示している。値が1を超えると雪解けを示すようで、その値が大きいほど雪解け出水の規模が大きいことを示している。雪解け河川の数が少ないため今後検証が必要な項目である。

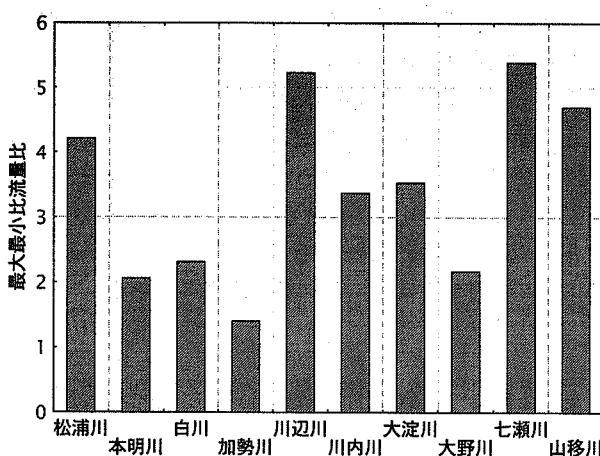


図-7 最大最小比流量比

(2) 変動に関する指標

a) 最大最小比流量比 (Imax/min)

変動に関する指標としては、年、月、日、時間単位の変動がある。本研究ではその中でも月単位の変動に関する指標として最大最小流量比を定義した。最大最小流量比とは、平均15日流量が最大の月と最小の月の比である。この指標は年間を通しての流量の安定度を表現しており、この比が小さい河川では年間を通して流量が安定していることを表す。

図-7に $Imax/min$ を比較した結果を示す。流量がもっとも安定している河川は加勢川であり出水時以外は年間を通してほぼ一定の水が流れている。一方、川辺川や大分川、山移川などは5倍近く流量が変動している。

熔結凝灰岩を主とする加勢川、大野川や火山灰を主とする白川などでは $Imax/min$ が小さく、年間を通して流量が安定しているが、反対に付加体を主とする七瀬川、川辺川、安山岩を主とする山移川、古い地層を流れる松浦川では比が大きく、流量の変動が大きな河川であるといえる。

(3) 攪乱に関する指標 (Nd5, Nd10)

攪乱に関する指標として、(1)で求めた Q_{sp} 、 Q_s 、 Q_a 、 Q_w を基準流量とし、それぞれの5倍以上の流量の洪水パルスの回数 (Nd5)、10倍以上の回数 (Nd10)とし、年間に発生する洪水パルスの回数を表現した。図-8に洪水パルスの求め方を示した。洪水パルスは平均15日比流量の5倍、10倍以上の流量が流れている期間でも、流量が増加している場合、それぞれ別のパルスとしてカウントしている。皆川ら^{5) 6)}は流量変動が河川環境に果たす役割について過去の研究をまとめている。例えば、グレンキャニオンダムのフラッシュ放流は通常時流量の約6倍、小倉が行った研究では南浅川での出水で底生動物群集が変化する流量は平常時流量の7-10倍、自然共生研究センターの実験河川では付着藻類が流下するのがみられたのは通常時の10倍程度であるなどを参考に、本研究では5倍、あるいは10倍を用いた。

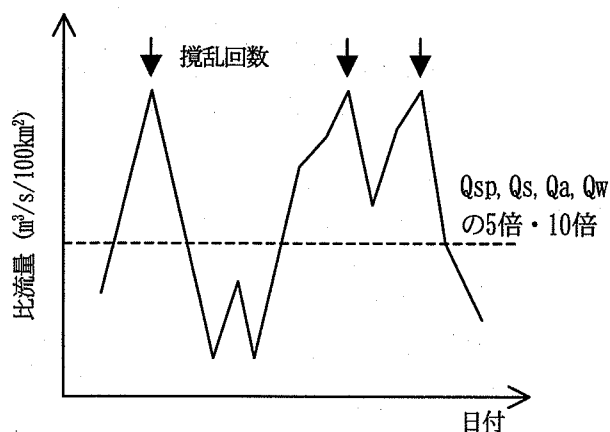


図-8 洪水パルスの回数の求め方

表-2 Nd5の比較

	3月 5月	6月 8月	9月 11月	12月 1月	年平均回数 (回)
松浦川	6.00	7.50	5.25	2.00	20.75
本明川	2.63	5.75	2.00	0.25	10.63
白川	1.00	3.63	0.75	0.00	5.38
加勢川	1.00	2.25	1.13	0.00	4.38
川辺川	0.88	2.13	1.38	0.13	4.50
川内川	1.25	3.38	0.75	0.00	5.38
大淀川	1.25	4.25	1.38	0.25	7.13
大野川	0.75	3.25	1.50	0.13	5.63
七瀬川	1.63	3.13	1.63	0.88	7.25
山移川	2.63	5.13	3.13	1.63	12.50

表-3 Nd10の比較

	3月 5月	6月 8月	9月 11月	12月 1月	年平均回数 (回)
松浦川	3.38	4.88	3.00	0.50	11.75
本明川	0.88	3.63	1.38	0.13	6.00
白川	0.25	1.00	0.38	0.00	1.63
加勢川	0.13	0.63	0.25	0.00	1.00
川辺川	0.13	0.88	0.63	0.00	1.63
川内川	0.13	0.88	0.38	0.00	1.38
大淀川	0.38	1.63	0.63	0.13	2.75
大野川	0.13	1.50	0.75	0.13	2.50
七瀬川	0.50	1.63	1.13	0.38	3.63
山移川	1.50	3.38	2.00	0.63	7.50

表-2にNd5、表-3にNd10を比較した結果を示した。5倍流量と、10倍流量では発生回数が大きく異なる。

3月～5月の春出水は、魚類等の産卵行動にとって重要な出水と考えることができる。この時期に出水が多いのは松浦川である。日本の梅雨は6月であるので場合によっては6月までを加えて春季攪乱を評価することも考えられる。

一方、冬季攪乱はいずれの河川も極めて少なく九州では、この時期が一番流量が安定している。この時期の流量の安定が生物の生活とどのように対応しているかという知見はあまりないが、重要な観点であろう。

夏季は一番攪乱頻度が高いことがわかる。10倍流量で見ると、攪乱頻度に差があることがわかる。

河川別に見ると松浦川の攪乱頻度が高いことが際立っている。春季の攪乱発生回数が多く、年間6回発生しており春出水が多い河川であるといえる。一方、加勢川はNd5が年間4回程度、Nd10が年間1回しか発生しておらず、攪乱の少ない河川であることがわかる。

松浦川、本明川、加勢川、川辺川、大淀川、大野川、七瀬川、山移川では秋期に年一回以上の攪乱が発生していることがわかる。その中でも松浦川は年間5回以上と秋期も攪乱発生回数が多いことがわかる。これらの河川では9月から10月上旬に多く発生しており、これは台風による降水によって流量が増加したことが考えられる。言い換えれば、これらの河川は台風の影響を受けやすい河川であるといえるであろう。攪乱の発生と表層地質に明確な相関関係は見られない。

攪乱の指標に関してはNd5のほうが感度がよいが、ある程度規模の大きな出水も考えるとNd5、Nd10ともに指標として用いることが望ましい。また、この指標を季別に見ることにより変動も把握することができる指標である。

(4) 九州の河川の特徴

10河川の流量レジーム解析の結果をまとめてみると、九州の川は流量レジームから見て大きく3つのグループに分けることが出来る。年間を通して流量が安定し、流出量が豊富な第四紀火山地帯を流れる白川や緑川支川の加勢川などのグループ、冬期の流量が極端に減少する保水力の小さい松浦川や山国川のグループ、これらの中間に位置するグループである。

5. 結論と課題

1997年の河川法改正以来、治水、利水に加えて環境が加えられ、河川環境に配慮した川づくりが日本全国で行われているが、その川が持つ固有の“個性”が明確になっていないのが現状である。環境に配慮した川づくりを行うためには、個性を明確にする必要があるであろう。そこで本研究では流量に着目し、量・変動・攪乱の観点から比較を行ってその川の特性を明らかにしようとしてきた。その結果、以下のような見地が得られた。

- ・ 比流量および中央値を用いたことにより、他河川と比較が可能になり九州の河川の特徴をよく表現することができた。
- ・ 量、変動、攪乱に対応する流量レジームの特性を表現する指標を表-4のように提言した。特にNd5、Nd10

- は変動も表現しており有力な指標と考えられる。
- 九州の川は流量レジームから見て大きく3つのグループに分けることができ、表層地質との相関関係が高いことがわかった。
 - 年間を通して流量が安定し、流出量が豊富な第四紀火山地帯を流れる白川や緑川支川の加勢川などのグループ
 - 冬期の流量が極端に減少する保水力の小さい松浦川や山国川のグループ
 - これらの中間に位置するグループ
 - 10河川のうち攪乱が最も多い河川は松浦川であり、生物生息環境に影響を与える影響が大きいと予測される。

今後の課題としては、本研究で得られた流量の特性を生物情報と照らし合わせ、流量の特性の相違点がどのような種に影響を与えているのかということ把握する必要があると考えている。

表－4 本研究で提案した指標

	指標	表現している事項
量	15日平均比流量	総流出量 水の豊かさ
	春季比流量	春季の流量の多寡
	夏季比流量	夏季の流量の多寡
	秋季比流量	秋季の流量の多寡
	冬期比流量	冬期の流量の多寡
	雪解け出水指標	4月に発生する雪解け出水の有無
変動	最大最小比流量比	年間を通しての流量の安定度
攪乱	Nd5	小規模の攪乱
	Nd10	中規模の攪乱

参考文献

- 1) Richter, B.D. Baumgartner, J.V. Powell, J. and Braun, J.: A method for assessing hydrologic alteration within ecosystem, *Conservation Biology*, Vol.10, No.4, 1163-1174, 1996.
- 2) Richter, B.D. Baumgartner, J.V. Wigington, R. and Braun, J.: *How much water does a river need?* , *Freshwater Biology*, 37, 231-249, 1997.
- 3) 白川直樹, 玉井信行：環境用水の概念整理と水文統計的設定手法の利用可能性について, *水工学論文集*, 47, 379-384. 2003.
- 4) 玉井信行, *河川計画論*, 東京大学出版, 2004.
- 5) 皆川朋子, 清水高男, 島谷幸宏, 流量変動が生物に及ぼす影響に関する実験的検討, *河川技術論文集*, 第6巻, 191-196, 2000.
- 6) 皆川朋子, 河口洋一, 萱場祐一, 尾澤卓思, 流量変動が河川環境に果たす役割と実験的検討, *土木技術資料*44-10, 32-37, 2002.
- 7) 小倉紀雄, 洪水による南浅川上流域の水生昆虫群集の破壊と現存量の遷移, *とうきゅう環境浄化財団研究助成*, No. 77, 1985.

(2006. 4. 6 受付)