

流量変動が河川環境の維持形成に果たす役割に関する研究

A Study on the Role of Fluctuation in River Discharge in Forming River Environment

研究第三部 主任研究員 清水 康生
リバーフロント研究所長 小池 達男

There are a number of clear reasons for researching the fluctuations in river discharge. Based on nationwide surveys, it is reported that because the seasonal fluctuations in stream-flow in some rivers have decreased, the bottom quality of the riverbeds has worsened and is exerting bad effects on the fish and other wildlife.

In this paper, the purpose is to conduct research into the role of fluctuations in river discharge in maintaining and forming the river environment. First, we review the knowledge gained from existing research results concerning the influence exerted on the river's ecosystem by fluctuations in river discharge. Next, we examine the relationship between fluctuations in river discharge and river course topography, vegetation, etc., taking 5 rivers in the Kanto region as our subject, and we study the influence exerted on the river environment by comparing these with each other. This knowledge is arranged as a macro influence structure and we present the concept of macro-habitat. We set up temporary working hypotheses concerning the influence of fluctuations in river discharge on the river environment and suggest an evaluation index for verifying them.

KEY WORDS : fluctuations in river discharge, river environment, influence structure, macro-habitat, evaluation index, working hypotheses

1. はじめに

流量変動を研究するには幾つかの明確な理由がある。全国を対象とした調査¹⁾によれば、一部の河川で、河川流量の季節的な流量変化が少なくなったため、河床の底質が悪化し魚類等に悪影響を及ぼしている等の報告がなされている。また、現在、河川環境を生態系にとって良好なものとするために、多くの河川で進められている多自然型川づくりにおいても、河道整備を定規断面から生物の生息環境に配慮した断面に整備するだけでは十分でなく、そこを流れる流水が用水路のような常に一定の流量であってはならず、やはり、季節的な自然の流量変動が必要であろう。

このような河川流量の変動は、上流ダム群による、治水、利水等を目的とした貯留や農業用水、都市用水の大規模取水等によってその程度は異なるが、人為的に制御されている場合が多い。今後、河川環境の向上を図るには、流量変動についても必要に応じ何らかの制御を行うことが望ましいと考える。そして、このためには、まず、流量変動と河川環境の関係について基礎的な知見を得ることが必要

である。従来、河川流量と河川環境の関係については幾つかの報告²⁾³⁾⁴⁾がなされているが、流量変動を直接研究の対象にしているものは少ない⁵⁾⁶⁾。

また、流域の水循環を考えた時、従来の研究は、循環の経路の問題、水量及び水質を問題としていたが、水循環の意義を生物の生息環境という観点からみるならば、上述のような理由で流量変動という視点も大切であることを示唆している。

以上より、本稿では、河川の流量変動が河川環境の維持形成に果たす役割について研究を行うことを目的とする。まず、2では、流量変動が河川の生態系に及ぼす影響について、既往の研究成果等の知見を整理する。次いで、3では、関東地方の5つの河川を対象として流量変動と河道地形や植生等との関係について調査を行った結果を相互に比較し、河川環境に及ぼす影響を検討する。4では、これらの知見をマクロ的な影響構造として整理した。さらに、5、6では、流量変動が河川環境に及ぼす影響について作業仮説を設定し、それらを検証するために有意義な評価指標を提案する。

2. 河川環境への影響

洪水の河川環境への影響について、津田⁷⁾は伊勢湾台風による破壊とその後の回復について奈良県内の河川を調査し、水生昆虫が洪水前の状態に回復するのに7年を要したと考察している。このように、洪水が発生した場合の影響は大きいが、一方で、河川流量の制御が行われ自然の変化でなくなった場合の影響はどうであろうか。本章では、次に示すような人為的な原因により生じると推察される影響について整理を行った。この場合、以下で用いる流量変動という言葉には流量そのものの減少という意味合いも多くの場合に含まれている点に留意する必要がある。

- ① ダム等の貯留施設による流況改変
- ② 農業用水や都市用水の大規模取水による流況改変 等

まず、影響の実態を把握するために全国の河川管理者に対してアンケート調査を行い、また、既往文献の整理を行った。ただし、アンケート調査では、現場での現象が流量変動とどのような因果関係にあるかがある程度認

識できる場合にのみ回答されている。この点は注意する必要がある。以上より、河川生態系への影響を整理し、表-1に整理した。なお、魚類、藻類、底生生物、植物への影響内容を中心として示した。

同表より生態系全般にわたって影響を及ぼすことがわかる。

また、これら影響が生じるのは河道において表-2に示すような状況が生じているためである。河道の変化と生態系の関連については後節で整理するが、河道変化は平常時の「流量の大きさ」だけでなく、それを基準に考えた場合の出水時の「変動の大きさ」及び出水の「発生頻度（再現期間）」が重要であることがわかる。

これを具体的に示せば、例えば、扇状地河川で、土砂は、数年または数十年に一回は生じる大きな規模の洪水により供給され、その後もある程度の平常時の流量が維持されていないと、堆積した土砂の表層が洗われず浮き石状態ができなくなってしまうことになる。

表-1 河川生態系への影響

Table 1 Influence on River Ecosystem

影響 内 容	
ア 藻類の付着面積の減少により生産力が低下 ⁹⁾	
イ 魚類の餌としての藻類の質の低下 ^{10) 11) 12)}	
ウ 藻類の剥離更新ができず着性育成を活発化できない ¹³⁾	
エ 河床への砂泥の堆積により水生昆虫に悪影響を及ぼす ¹⁴⁾	
オ 藻類、草類の増殖に必要な栄養塩を供給できない ^{15) 16)}	
カ 底生魚の産卵に必要な水通しの大環境が維持できない ¹⁷⁾	
キ 魚類の産卵場所の減少、成長不良、降下阻害を生じる ¹⁸⁾	
ク 産卵期に先立って適度な出水がないと産卵行動開始の引き金がなくなる ¹⁹⁾	
ケ 産卵場への浮泥の沈着は卵の剥離流下を引き起こす可能性がある ²⁰⁾	
コ 水温の上昇はマスの生息域の制限やアユの病気発生の原因となる ²¹⁾	
サ 種の分散機能が維持できない	
シ 適度な冠水がないとカワラサイコ等の砂礫地特有の植物群落が減少 ^{22) 23)}	
ス 自然裸地で植生が発達する ²⁴⁾	
セ 乾燥化によりヨシ群落からオギ群落へ変化する ²⁵⁾	
ソ 草本群落の減少と木本群落の増加 ²⁶⁾	
タ 一般的な土地に生える植物が進入して植被を増す ²⁷⁾	

表-2 河道への影響
Table 2 Influence on River Channel

影響内容
ア 出水時の掃流力の低下による土砂供給量の減少 ^{1) 5) 16)}
イ 河床低下、漂砂の固定化 ^{1) 5) 16)}
ウ 瀬や淵の形状や位置の変化 ⁵⁾
エ 流量減少による水面積の減少 ^{5) 9)}
オ 瀬切れの発生 ⁷⁾
カ 早瀬の平瀬化、トロの増大 ^{5) 8)}
キ 流速の低下による砂礫・シルトの堆積、浮泥の沈着 ⁵⁾
ク 浮き石状態の維持が困難となる ⁵⁾
ケ 水位低下による地下水水位の低下 ⁵⁾
コ 水温が気温と日照に左右され易くなり、水温が上昇 ^{1) 5)}
サ ワンドなど水際に特有の環境が維持できない

3. 流量の変動と河川環境の変化

3-1. 代表河川の流況と河道特性

河川流量と河川環境の関係を調べるために関東地方の5つの河川を選定した。各河川の特色について表-3に整理した。流量変動の状態を調べるには、「流量の大きさ」「変動の大きさ」及び「発生頻度（再現期間）」という3つの視点を含めることとした。ここでは、変動の大きさを流量変動比（豊水／低水

など）と変動係数で表したものとした。また、上流ダムの影響を調べるために（ダム流域面積／観測点流域面積）と（ダム貯水量／年間総流出量）による地点分類を行った。なお、この年間総流出量は10年間の平均値として算出した。この結果を図-1示す。さらに、各観測所の近傍における河川横断図を図-2に示す。図中には、高水敷冠水位とその時の流量を示した。

これらより、以下のことがわかる。

- 神流川（若泉）は、上流域面積の内80%程度がダム流域で、ダム容量も年間総流出量と比較して大きく、下久保ダムの流量制御の影響を強く受けている可能性がある。一方、烏川と那珂川は共に自然的な流況を呈する河川と考えられる。
- 荒川の大芦橋と太郎右衛門橋ではダムはあるが容量が小さいため、影響は小さいと考えられる。ただし、太郎右衛門橋では直上流で武蔵導水を受けているため、豊平低渴の各流量が大きくなっている、この影響が大きい。

表-3 代表河川の特性
Table 3 Characteristics of Typical Rivers

	鳥川 (岩鼻)	神流川 (若泉)	荒川 (大芦橋)	荒川 (太郎右衛門橋)	那珂川 (小口)
流域面積(km ²)	1188	402	1019	1211	1152
河床勾配	1/470～1/600	1/200～1/340	1/1080	1/1780	1/330
平均粒径(mm)	26～37	13.3	16.6	0.2～0.4	20以上
流量 変動	豊水流量(m ³ /s)	33.5(2.82)	8.30(2.07)	22.5(2.21)	68.8(5.68)
	平水流量(m ³ /s)	15.5(1.31)	3.26(0.81)	10.1(0.99)	52.6(4.34)
	低水流量(m ³ /s)	9.0(0.76)	1.5(0.38)	5.6(0.55)	45.8(3.79)
	渴水流量(m ³ /s)	5.3(0.44)	0.7(0.17)	2.4(0.23)	37.7(3.11)
	最大/平水	38.5	46.7	67.3	15.5
	豊水/平水	2.16	2.55	2.22	1.31
	低水/平水	0.58	0.46	0.55	0.87
	渴水/平水	0.34	0.21	0.23	0.72
変動係数	0.89	1.28	1.13	0.58	0.58
高水敷冠水頻度(回/年)	7/30	5/20	21/30	0/30	1/30
水質	BOD(75%)	4.2	1.6	2.1	2.0
備考		上流に昭和43年完成の下久保ダムがある		大芦橋の下流で昭和40年完成の武蔵導水を受ける	流域に湧水源がある

注1) 流量の欄のカッコ内の数字は比流量(m³/s/100km²)である。

注2) 流量は平成7年までの10年間の値で計算。水質は平成7年度値。

注3) 高水敷冠水頻度は、高水敷冠水位より等流計算により求めた冠水流量が過去に発生した回数として求めた。
なお、高水敷冠水位とは植生図に示される草本類の生育区域のレベルと考えた。

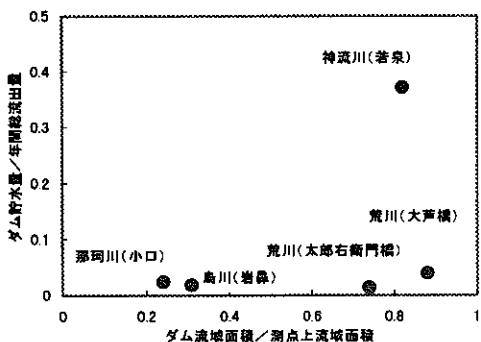
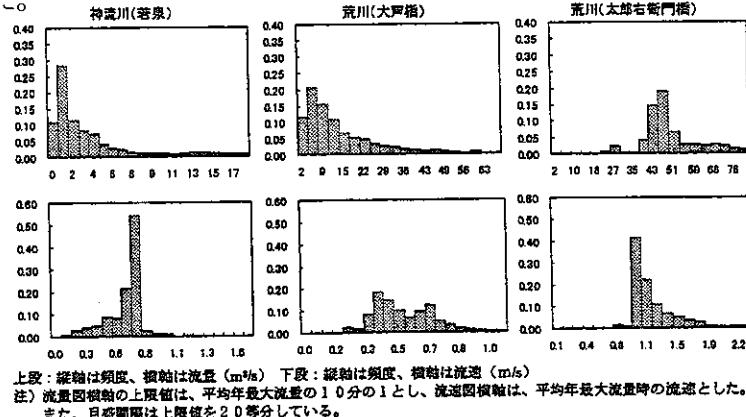


図-1 観測地点の分類

Fig. 1 Classification of Observation Points

○烏川、那珂川は、自然な流況を維持しているが、那珂川は、那須火山帯が上流域にあるため湧水域を流域内に有し比流量が他の河川よりも大きい。また、烏川の水質状態は、良好とは言えない状態である。

このような考察を踏まえ、各河川の流量変動の状況を詳しく調べるため、神流川（若泉）、荒川（太郎衛門橋）及び荒川（大芦橋）の3地点を対象として10年間の日平均流量データから流量の頻度分布図を作成した。さらに、図-1に示す各地点の横断図を用いて、マニング式より等流計算による概算の平均流速を計算し、平均流速の頻度分布図を作成した。

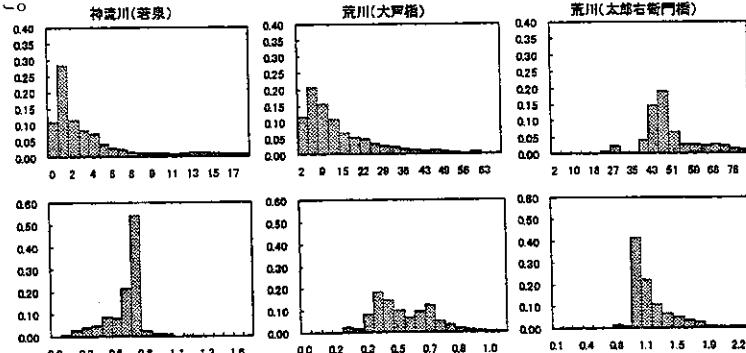


注) 表-3注3) の考え方による高水敷冠水水位と流量を記した

図-2 各河川の横断図

Fig. 2 Cross Section of Each River

以上の結果を図-3に示す。これらより各河川の流量変動の特色について以下のように解釈した。



上段：縦軸は頻度、横軸は流量 (m^3/s) 下段：縦軸は頻度、横軸は流速 (m/s)
注) 流量図横軸の上限値は、平均年最大流量の10分の1とし、流速図横軸は、平均年最大流量時の流速とした。
また、目盛間隔は上限値を20等分している。

図-3 流量と流速の頻度分布図

Fig. 3 Discharge and Flow Velocity Frequency Distribution Diagrams

- ① 流量の頻度分布図より、神流川（若泉）と荒川（大芦橋）の流況は比較的似ている。ただし、神流川の方が下久保ダムの貯留の影響を受け、少ない流量状態での発生頻度が高くなっている。また、太郎右衛門橋地点の流況は、大芦橋地点の分布が武藏導水の流量分（約35m³/s）だけ平行移動した状態に近似していることがわかる。
- ② 一方、流量の頻度分布で類似した形状を呈した神流川と荒川（大芦橋）は、流速の頻度分布をみると、大きく分布が異なっている。大芦橋では、流速分布にはらつきがあるが、神流川では、流速の特化が認められる。この流速分布の特化は太郎右衛門橋でも認められる。流量が増加しているにも係わらず流速があまり増加しない理由は、濁筋が固定し深掘れが生じている場合である。図-2の横断図からも神流川と荒川（太郎右衛門橋）では、このような状況であることを確認することができる。

3-2. 河川環境と流況との関係

(1) 濁筋の変遷

前節で述べたように河川によっては流量変動の状況は大きく異なる。ここでは、下久保ダムの影響を受けている神流川（若泉付近）と比較的自然的な流況を呈している荒川（大芦橋付近）について河川環境を比較しその違いについて考察する。まず、河道の変遷を大まかに把握するために、図-4に過去の濁筋の動きを整理した。

同図を比較すると、神流川でも濁筋は変化しているが昭和60年以降については大きな変化は生じていない。一方、荒川では、川幅全体に渡って、特に砂州の消長の大きいことがわかる。

(2) 植生の遷移

河道内の植生の遷移状態を把握するため

に、空間を「水面」「自然裸地・草地」及び「樹林地」に分け、各面積の割合の推移を整理した。その結果を図-5に示す。

荒川では、「自然裸地・草地」の構成割合が昭和22年から平成7年まではほぼ一定しており、「樹林地」の割合も近年は大きく変化していない。高水敷の頻繁な冠水により自然裸地・草地、樹林地が偏りなく維持されていることがわかる。一方、神流川では、昭和40年代以降、特に樹林化が進行していると認められる。このような樹林化の原因としては、河床低下、濁筋の固定化、洪水発生頻度の低下が考えられる¹⁶⁾。

(3) 植生分布から判断した冠水頻度分布

各植物群落に対して経験から判断した冠水頻度を想定し、それらから冠水頻度分布を把握するものとした。判断基準としたのは安田の報告¹⁷⁾より作成した表-4である。同表を近年行われた植生分布調査（神流川：平成5年、荒川：平成8年）の結果に適用し、図-6の冠水頻度分布をまとめた。同図より、神流川では濁筋に沿って自然裸地も点在するが、ニセアカシア群落等の木本類が多く分布し、数十年に一回の冠水頻度の川原であることがわかる。一方、荒川では、そのような木本類は生育しておらず、冠水頻度の高い川辺に生育する草本類を中心となっている。このように、植生からみても神流川では大規模冠水は少なく荒川は比較的頻繁であることがわかる。

(4) 流量変動と底生生物

さらに、水域の生物として底生生物を取り上げ流量変動との関係について考察する。

ここでは、烏川（岩鼻）、神流川（若泉）、荒川（大芦橋）、荒川（太郎右衛門橋）及び那珂川（小口）における流量データを近傍で得られた河川水辺の国勢調査結果と対応させるものとする。具体的には、当該河川の洪水時でない平常時の流量変動の概況

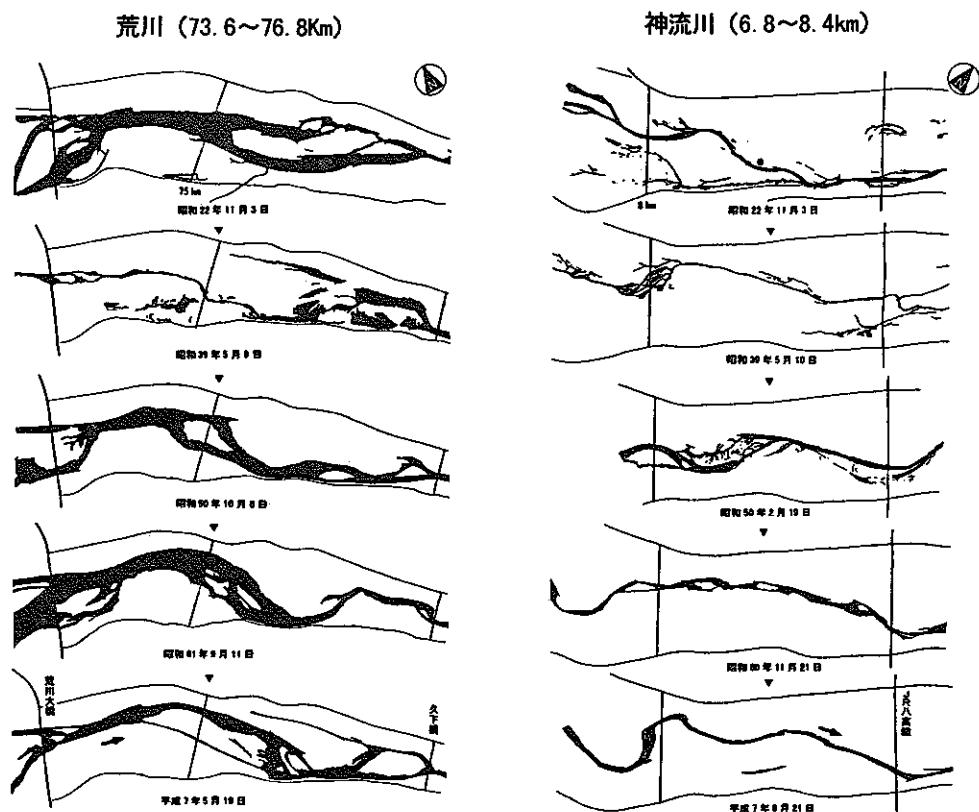


図-4 漂筋の変遷の比較

Fig. 4 Comparison of Histories of Water Routes

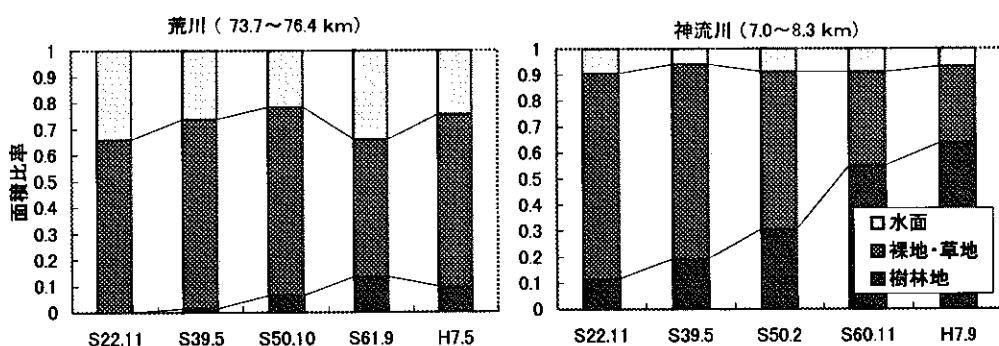


図-5 河道遷移の比較

Fig. 5 Comparison of Changes of Ground Cover

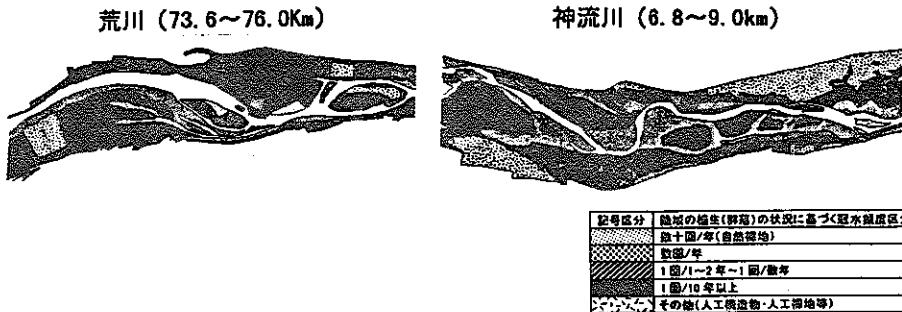


図-6 川原植物の冠水特性からみた河川敷の識別

Fig. 6 Discernment of River Area from the Viewpoint of Overhead Flooding Characteristics of Riverbed Vegetation

表-4 冠水頻度と植生

Table 4 Overhead Flooding Frequency and Vegetation

冠水頻度	神流川(6.8~9.0km)			荒川(73.6~76.0km)		
	一年生草本群落	多年生草本群落	木本植物群落	一年生草本群落	多年生草本群落	木本植物群落
数回/年	アキノエノコロクサーコ センタシングサ群落、 オオイヌタデ群落、 コセンタシングサ群落	ツルヨシ群落、 ヨシ群落、 ツルヨシ-ヨシ群落	-	オイヌタデ群落、 コセンタシングサ群落	ツルヨシ群落、 ヨシ群落	-
1回/1~2年	ヒメムカシヨモギ群落、 アレチカリ群落 エノコロクサ群落、 カナムグラ群落、 ハシバ群落、 マツヨイグサ群落	ホウ群落、 カワラヨモギ群落、 ヤマカラシ群落、 ヘクソカスラ群落、 カワラニコ群落、 カワラニカナ群落、 ヨモギ-メトハギ群落、 ヨモギ群落、 セイカアリタツヅリ群落	-	ヒメムカシヨモギ群落、 カナムグラ群落、 ヒシハエノコロクサ群落、 ヨモギ群落	ホウ群落、 トトロハギ群落 ヨモギ群落	-
1回/数年	-	スキ群落	アズマオササ群落	-	-	カワヤナギ群落
1/10~1/20	-	-	ニセアカシア群落、 シシジュ群落、 ヌメ群落	-	-	-
1/20~1/50	-	-	-	-	-	-
1/50~	-	-	エキ群落	-	-	-

を表す指標として流量変動比（豊水／低水）を用い、底生生物の科数と対応させるものとし、底生生物は1~3月の時期に調査された結果を使用した。図-7にこの結果を示す。同図より、明確ではないが流量変動比が大きいと底生生物の科数が多くなる傾向を伺うことができる。横軸に変動係数をとってもほぼこの傾向は認められた。扇状地河川の中流域までの区間におけるこのような傾向は、東北地方の6河川を対象として底生生物の種類数と流量の変動係数との対応を調べた結果⁶⁾とも

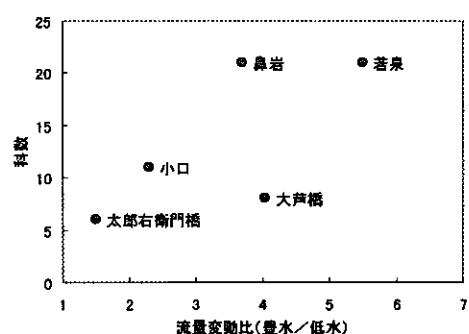


図-7 流量変動と底生生物の種類数
Fig. 7 Change of Discharge and Number of Benthos Varieties

一致している。一方、今回の生物データを生活型(18)で分類すると荒川(太郎右衛門橋)を除く4河川では匍匐型の出現数比率が最も高くなっているが、太郎右衛門橋では掘潜型が最も高くなっている。これは、表-2に示すよう太郎右衛門橋での河床状態がシルト質に近い状態であることを反映しているためと考えられる。

4. 流量変動が河川環境に及ぼすマクロ的な構造

以上より、流量変動と生態系との直接的関連を示す知見は少ないが、樹林化の状態や植生分布などを流況と対応付けて解釈すると、明らかに因果関係があると判断できる。しかし、それらの関係は複雑であり、生態系の多くの現象と流量変動を直接的に関連付けることは極めて困難であると思われる。そこで、河川の流量変動と生態系との関係の全体像を把握するために、両者を直接結び付けて因果関係を解釈するのではなく、図-8に示すよう河川流量→河道地形→ハビタット→生態系と影響の段階を大きく4つに分けて、マクロ的に関連性を把握することとする。このように考えると、この影響構造を研究するには、第4象限は“流量変動と河道地形の関係”について主に河川工学の知見を、第3象限は“河道地形とハビタットの関係”について河川工学と生物学の知見を、第2象限は“ハビタットと生態系の関係”について主に生物学の知見を援用して研究していく必要があろう。図-8に示す考え方に基づいてマクロ的な影響構造として表-1及び表-2に示した知見を再整理すると図-9となる。

5. 流量変動が河川環境に及ぼす影響についての作業仮説

以上の内容を踏まえ、河川環境と流量変動の間に設ける作業仮説を考えた場合、余り細部の作業仮説はその検証が困難であるばかりでなく、河川環境全体における位置付けも困難となる。

また、作業仮説は、現実に生じている問題を解決するための意味あるものとしたい。

このように考え、作業仮説は、2で述べた具体的な問題解決に寄与する内容でかつマクロ的なものとする。以下に具体的なアプローチ方法を述べるものとする。

5-1. 河川環境をマクロに捉えるための観点

(1) 環境へ及ぼす影響の集約

流量変動が減少したことによる原因と推察される環境上の問題点は、図-9に示した関連図からもわかるよう、以下の3つに集約することができる。

- ① 瀬・淵の環境悪化
- ② 自然裸地、草地の減少
- ③ 河道内の樹林化

(2) 河川管理者にできること

1997年の河川法改正に伴い、河川管理の目的に従来からの治水や利水の他に、河川環境の整備と保全が位置づけられた。この河川環境の整備と保全に関して河川管理者が実行できることは、次の3点である。

- ① 河道の整備（「多自然型川づくり」に代表される川づくり）
- ② 河川流量の制御（ただし、限られた河川・範囲である）
- ③ 河川環境の監視（モニタリング）

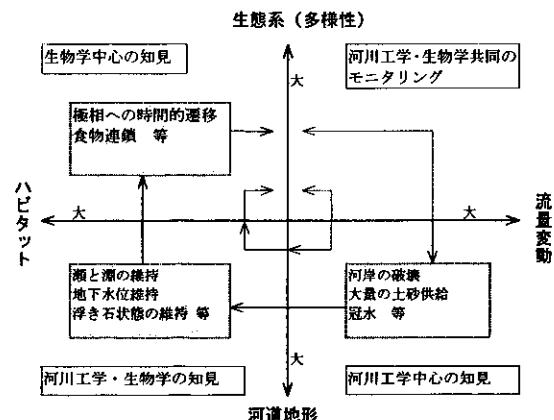


図-8 流量変動の影響のマクロ的な捉え方

Fig. 8 Macroscopic Understanding of Influence of Discharge on River Ecosystem

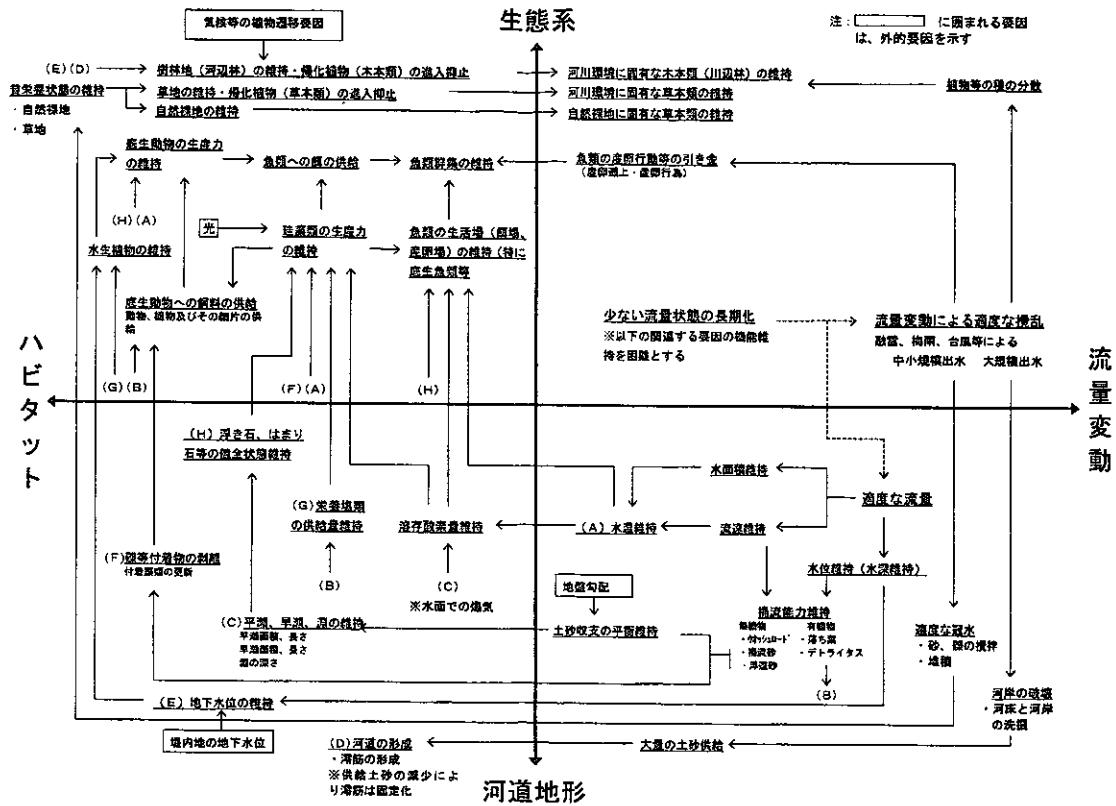


図-9 流量変動が河川生態に及ぼすマクロ的影響構造

Fig. 9 Macro-influential Structure of Discharge to River Ecosystem

前述の図-8で言えば、第3象限と第4象限の限られた範囲での整備と制御、さらに第1象限と第2象限の生態系についてのモニタリングである。①に挙げた河道整備については、多くの生物のハビタットに配慮した個別の整備はなかなか困難である。実際の整備に際しては、もう少しマクロ的に捉えた何らかの目安を持つことが必要である。

(3) 研究対象の重点化

問題点を集約した結果と前述の河川管理者にできることを踏まえ、以下に示す理由により研究対象を重点化し、水域では「早瀬」を、陸域では「自然裸地」「草地」「樹林地」というマクロハビタット(macro-habitat)を対象として、これらに焦点をあてて流量変動と河川環境の関係を分析していくものとする。

○「早瀬」を対象として重点化する理由

- ・早瀬は基礎生産力が最も高く（付着藻類等）、消費者（底生動物や魚類）の重要な生息場、魚類の重要な産卵場ともなっており、水域における代表的なハビタットである。
- ・水域を縦断的にみた場合、早瀬の健全さは平瀬や淵など他の生息場の健全さを包括した指標となり得る。
- ・早瀬の位置は観察により容易に特定可能である。

○「自然裸地」、「草地」、「樹林地」を重点化する理由

- ・各マクロハビタットには、固有の生物が生息している。
- ・自然擾乱（流量変動）は、この3区分の空間的な規模や配置のバランスを規定し、こ

のバランスは河川における陸域の健全さの維持に重要である。

- ・この3区分は、生態遷移の段階を表現しており、観察により区分は容易である。

(4) マクロハビタットの階層性

マクロハビタットが維持されたり、更新が行われるには、それぞれの空間的な規模に応じた流量変動が関係する。例えば、河床の更新には礫を掃流するに足る流量が必要であり、さらに陸域の草地や樹林地を更新させるには洪水のような大出水が必要となる。このように考えると前述の「早瀬」「自然裸地」「草地」「樹林地」というマクロハビタットの維持や更新にも、それらに応じた規模の流量が必要である。これらマクロハビタットの更新に係わる各流量レベルを一つの目安として考えることができよう。図-10は、それらマクロハビタットと維持・更新のための流量規模を発生頻度と対応させて図示したものである。

また、ひとたび樹林地が更新されるような出水が生じた場合、草地、自然裸地、水域内

の早瀬の環境も全て更新される。より上位のマクロハビタットが前提となり、空間的に限定される次のレベルのマクロハビタットの環境条件が決まってくる。マクロハビタットは、このような階層性を有するものであり、河川環境を流量変動と対応付けて考える時、このマクロハビタットの階層性は重要である（図-10参照）。

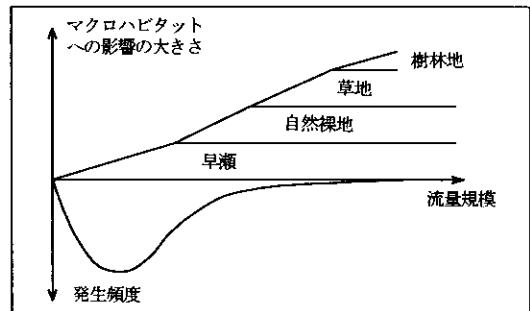


図-10 マクロハビタットと流量変動

Fig. 10 Macro-habitat and Fluctuation in River Discharge

表-5 マクロハビタット毎の作業仮説

Table-5 Working Hypothesis for Each Macro-habitat

流量の大きさと頻度	早瀬	自然裸地	草地	樹林地
流量小 頻度低 ↑ ↓ 流量大 頻度高	礫間の細粒土砂を移動させる流量が、頻繁に発生していれば浮き石状態が維持し、早瀬における浮き石河床の面積比率が高くなる。この様な早瀬では、造網型水生昆虫の比率は小さい。さらに、付着藻類が剥離する流量が、頻繁に発生していれば珪藻類（緑藻や藍藻の著しい繁殖は抑制される）の生産力が高められ、藻類食性の魚類（アユ）にとって良好な餌場が形成されることになり、魚類の産卵・生育場が好適な状態で持続し、健全な早瀬が維持される。	礫が移動する流量が、年数回の頻度で発生すれば、自然裸地では貧栄養状態が持続し、冠水による自然擾乱は生態遷移を停止、または初期状態に戻され、他種との競争力に弱い自然裸地に特有な生物（昆虫や植物等）の生存を可能にする。	台風等により発生する中規模の大出水は、草地を擾乱し帰化植物の侵入や繁殖を押さえ、在来植物の安定した生育地を維持させる。この様な擾乱は、河川環境に特有な草本類の持続的な生育を可能にする。	台風等による数年ないしは数十年に1度の河道地形全体を改变する規模の大出水は、帰化種や内陸性の木本類の定着及び成長を阻止し、河川環境に特有な樹林地（河辺林）を再生させる。
	早瀬の改変	自然裸地の改変	草地の改変（大）	
	早瀬の改変（大）	自然裸地の改変（大）		

5-2. 作業仮説の設定

本稿では、流量変動と生態系の直接的対応を作業仮説とするのではなく、マクロハビタットがその健全性を維持していれば、自ずとその場の生態系も自然な状態を維持すると考え、流量変動から前述のマクロハビタットまでの一連の関連を作業仮説として設定する。

流量変動と各マクロハビタットに関する作業仮説を、流量変動（流量）の規模と対応させて表-5に示す。河川環境全体を総合的に評価するには、これらの早瀬、自然裸地、草地、樹林地に関する各作業仮説を重層化することが必要となる。

6. 作業仮説検証のための評価指標

作業仮説を検証するために、各マクロハビタットを対象とした評価指標を考えるものとする。この評価指標は、マクロハビタットに注目して河川環境の健全性を評価する指標とも考えることができる。なお、現地データの収集までを念頭に置き以下の観点で作業仮説検証のための評価指標を考えた。評価指標を表-6に示す。

- 評価指標の調査が容易であること
- データは誰が測定してもほぼ同じ精度が得られること
- 調査の結果が早く出せること

表-6 マクロハビタットの評価指標

Table 6 Evaluation Indices for Macro-habitats

対象	評価の視点	評価指標	評価の内容
全体	規模	面積	・面積が大きいほどハビタットとしての機能が安定している。
	構成バランス	構成比率 配置	・偏りのないハビタットの構成バランスや流水の影響に応じた植生域の空間的配置は、河川環境の多様さが維持されていることを示す。
早瀬	位置	淵、平瀬、早瀬の配置	・中流域の典型的な河道には、1蛇行区間に一連の淵→平瀬→早瀬が見られる。この様な連続的な配置である時、早瀬の形態的な健全性が維持されている。
	規模	面積、水面幅・長さ	・生息環境の面積が大きいほどハビタットとしての機能が安定し、健全な早瀬と考える。また、水面幅に対して長さの長い早瀬の方が、機能が安定していると考える。
	河床材料	浮き石の面積と比率 沈み石の面積と比率	・浮き石が減少し沈み石が拡大していることは、早瀬の平瀬化が進行していると見ることができ、このことは早瀬の生息環境が劣化していることを示す。
		粒度組成	・健全な早瀬では、礫質の高い粒度組成を呈す。
	礫表面	デトライタス等の堆積状況	・健全な早瀬では、礫表面にシルト等の堆積物は見られない。
		沈積量、 クロロフィルa (付着藻類の繁茂状況)	・健全な早瀬では、付着藻類の更新がなされ、現存量と生産量のバランスが保たれている。流速が遅く礫が安定すると、藻類は古くなり、現存量は多くなるものの藻類の活性は低下しクロロフィル量は減る。
		目視による相の把握	・富栄養化していない水域の健全な早瀬では、珪藻類が繁茂し、緑藻や藍藻は繁茂しない。
		はみ跡の状況	・生産性の高い健全な早瀬では、アユのはみ跡が多数見られる。
	底生動物	造網型水生昆虫の生息状況	・健全な早瀬には、ライフサイクル（一化性以上：一年に1回羽化する水生昆虫以上）の長い造網型の種は少ない。
		ユスリカ類の生息状況	・シルトやデトライタスの堆積が進行し、緑藻や藍藻の藻類相のマット化が進むと赤い色素を有するユスリカ類が多くなる。このことは、早瀬の機能が維持されていないことを示す。
	底生魚類	カジカの生息状況 ヨシノボリ類の生息状況	・健全な早瀬では、浮き石河床が維持され、礫の下に産卵する底生魚が多く生息する。 <small>注) 関東地方を対象としていることからカジカを選定した。</small>
自然裸地 草地 樹林地	モニター植物	モニター種の生育の有無 モニター種の株数	・モニター種の生育およびモニター種の株数の多さは、陸域のハビタットの健全性を示す。
	帰化植物群落	生育の有無	・帰化植物群落の規模の大きさは、ハビタットの不健全さを示す。
		群落面積 群落の面積比率	・帰化植物群落の面積比率の高さは、在来群落の衰退を意味し、ハビタットの不健全さを示す。
	モニター昆虫	モニター昆虫の生息の有無 (カワラバッタ)	・モニター種の出現は、健全な自然裸地が維持されていることを示す。カワラバッタは、草本類を餌とし“河原での草本類の生息環境（ハビタット）”が健全であると考える。

7. ハビタットに影響する流量規模の推定

6ではマクロハビタットの環境（状態）を評価するための指標を提案したが、河道地形やマクロハビタットの状態を規定する流量規模についても把握することが必要である。ここでは、それらを対応させる幾つかの目安となる方法について既往の知見を整理した。早瀬における評価指標である細粒土砂、付着藻類および礫とそれらを更新する流量規模との関係について、下記の状態を対象として、対応する流量規模の推定方法を示す。

① 細粒土砂の移動

② 付着藻類の剥離

③ 矶の移動

(1) 細粒土砂の移動流量

混合粒径砂礫の粒径別限界掃流力を表す下記の Egiazaroff の式¹⁹⁾を用いて、細粒土砂が移動する限界流速を推定することが考えられる。同式に対象とする現場の細粒砂の粒径 d_i と粒度組成から求められる平均粒径 d_m を与え、粒径 d_i の移動限界流速を算出する。

$$\frac{u_{*ci}^2}{(\sigma/\rho - 1)gd_i} = \frac{0.1}{\{\log_{10}(19d_i/d_m)\}^2}$$

ここに、 d_i 、 d_m は、それぞれ河床の各砂礫径および平均粒径、 u_{*ci} は粒径 d_i の砂礫の移動限界摩擦速度である。以上より、等流計算 (Manning 式) により細粒土砂の移動流量を算出する。

(2) 付着藻類が剥離する流量

藻類のクロロフィル a の季節変動を従来の研究²⁰⁾から調べると 4～10 月にかけての変動が大きい。藻類の現存量は他の生物による摂食や人為的擾乱も影響するが、藻類の剥離は、その現存量と流量変動による影響が最も大きいと考える。期間内で、クロロフィル a の量が降下した時の実測流量を剥離流量と考える。

(3) 矶が移動する流量

混合粒径砂礫の粒径別限界掃流力を表す

Egiazaroff の式を用いて、礫が移動する限界流速を推定する。(1)と同様の方法であるが、礫の粒径 d_i は、平均粒径や最大粒径を与える。

また、空間的なスケールから小規模河床形態という見方で、砂漣・砂堆、遷移、平坦河床・反砂堆、を促す流量を求める方法や中規模河床形態として交互砂州、複列砂州を促す流量を求める方法も考えられる²¹⁾。

今回、神流川、荒川を対象として上記(1)～(3)の方法による各流量の試算を行った。しかし、②の藻類の剥離流量、③礫の移動流量などで、値のばらつきが大きい結果となった。

この理由として推定式の仮定の限界性と共に藻類の剥離現象そのもののしくみが明確でなく、河床勾配、粒径、河川横断形状などデータも測定点の近傍値を使用したため、などが考えられる。今後、現地調査を行うなどして流量規模と河道地形、ハビタットとの関係について分析していく必要があると考える。

8. 結論

本稿では、河川での流量変動が河川環境にどのような影響を及ぼすかを研究していくための具体的なアプローチ方法を提案した²²⁾²³⁾。主な結論は以下のとおりである。

①河川管理者へのアンケート調査や既往文献

調査結果より、流量変動が自然な状態でなくなった時の影響は、藻類、底生生物、魚類及び植生など広範囲に及ぶことがわかった。関東地方の 5 つの河川を比較分析しても、流量変動の影響は認められた。これらの問題点は、瀬・淵の環境悪化、自然裸地・草地の減少及び河道内の樹林化に集約される。

②流量変動の影響を生態系と直接的に関連付けるのは困難であり、マクロ的に「流量変動→河道地形→ハビタット→生態系」というように段階的な影響構造として把握する方法が有効である。本稿では、生物の生息場を「早瀬」「自然裸地」「草地」及び「樹林地」というマクロハビタットとして捉え

- ることを提案した。
- ③流量変動が河川環境に及ぼす影響に関する作業仮説を設定するに際して、「河川環境をマクロハビタットが重層化している状態として捉え、それらマクロハビタットの健全性を維持することが、その場の自然な生態系を保証する」と考え、流量変動とマクロハビタットの関係に重点を置いた作業仮説を設定した。
- ④作業仮説を検証するための、マクロハビタット毎の具体的な評価指標を、検証作業の容易さ迅速性を考慮して提案した。
- 課題としては、7で述べたマクロハビタットに影響する流量規模の推定方法を現場での調査を基にして研究していく必要があると考えている。なお、今後、作業仮説の検証を行うために現地調査を進める予定である。
- 最後に、本研究を進めるにあたっては、東京大学の玉井信行教授を座長とする「流量変動と河川環境の維持形成に関する検討委員会」から有益なコメントを頂いた。ここに謝意を表します。
- 【参考文献】**
- 1) 建設省地方建設局へのアンケート調査結果、1997
 - 2) 辻本哲郎、岡田敏治、村瀬尚：扇状地河川の川原の植物群落と河道特性、水工学論文集、第37巻、1993
 - 3) 李參熙、山本晃一、島谷幸宏、萱場祐一：多摩川扇状地河道部の河道内植生分布の変化とその変化要因との関連性、環境システム研究、VOL. 24、1996
 - 4) 玉井信行、松崎浩憲、白川直樹：潜在自然型河川の特性とそれに関する研究・河川管理の在り方について、第3回河道の水理と河川環境に関するシンポジウム論文集、1997
 - 5) 全国内水面漁業共同組合連合会：河川生物資源保全流量調査報告書「魚を育む豊かな流れ」、1989
 - 6) 清水康生、小池達男：河川流量の変動と生物の生息状況についての基礎的考察、リバーフロント研究所報告、第8号、1997
 - 7) 近畿地方建設局：河川生態系の復元力に関する調査報告書、1972
 - 8) 全国内水面漁業共同組合連合会：河川形態変化影響調査報告書「魚にやさしい川の姿」、1991
 - 9) 環境が河川生物および漁業に及ぼす環境を判断するための「判断基準」と「事例」：(財)日本水産資源保護協会、1996
 - 10) 奥田重俊、佐々木寧：『河川環境と水辺植物』、ソフトサイエンス社、1996
 - 11) 小泉喜嗣：野村ダム湖における陸封アユの研究、愛媛水産試験場研究報告No.5、1992
 - 12) 竹門康弘：動物の目から見た河川のあり方、関西自然保護機構会報、1991
 - 13) 村上恭祥：広島県とアユ②、広報ないすいめん(全国内水面漁業協同組合連合会)No.7、1997
 - 14) 村上恭祥：広島県のアユ③、広報ないすいめん(全国内水面漁業協同組合連合会)No.8、1997
 - 15) 山本晃一：『沖積河川学』山海堂、1994
 - 16) 水戸唯則、安田実：河道内の樹林化の実態と要因分析に関する研究、リバーフロント研究所報告、第8号、1997
 - 17) 安田実、深沢博：多自然型川づくりを考えた河道計画への新たなアプローチについて、リバーフロント研究所報告、第8号、1997
 - 18) 津田松苗：水生昆虫学、1962
 - 19) 土木学会：水理公式集、1985
 - 20) 桜井善雄：千曲川中流域における河床periphytonによる有機物生産とその河川水質への寄与、信州大学環境科学論文集、第7号

- 21) 黒木幹男、岸力：沖積河道の流路形態の領域区分に関する研究、第 26 回水理講演会論文集、1982
- 22) 清水康生、安田実、竹本隆之：流量変動が河川生態系に及ぼす影響についての考察、第 53 回土木学会年次学術講演会、1998 (投稿中)
- 23) 安田実、清水康生、竹本隆之：流量変動と河川環境の係わりに関する研究、第 53 回土木学会年次学術講演会、1998 (投稿中)