

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

前研究第三部 主任研究員 清水 康生

よりよい河川環境を創出するためには、河道の整備だけでなく河川の特性を活かすような流量変動を確保することも重要であろう。本報告は、「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」と題して平成10年度土木学会環境システム委員会「環境システム研究」に、安田実氏（関東地方建設局）竹本隆之氏（関東地方建設局）と連名で提出した論文に若干の参考図を添付したものである。

マクロ的にとらえるべきことを述べ、流量変動と河川環境との係わりを解明するための作業仮説を設定し、それらを検証するための評価指標を提案する。本研究で対象とする河川は扇状地河川である。扇状地の河川は河道の形状が複雑で多様性に富み、河川独自の生物が多数生息・生育する場である。もともと洪水や渇水などの河川流量の変動の影響を受けやすい場であるが、一方で取水やダム調節などの人為的作用も強く受ける位置にある。

1. はじめに

河川的环境は河川の流量の変動と大きな係わりを持っている。河川的环境は生物的な要因と物理的な要因によって支配されているが、これらの要因に大きな影響を及ぼすのが河川の流れたからである。河川環境の特徴は破壊と再生が繰り返されるダイナミックな動きにある。もしこのダイナミックさがなくなれば河川的环境は湖沼と変わらないものになってしまうであろう。現在、河川の自然生態系をより良好なものとすることを目指して多自然型川づくりが多くの河川に進められているが、河川の自然生態系を川らしい良好な状態に保つためには河道の形状や河川施設の構造を生態系に配慮した様々なものに工夫するだけでなく、適切な量の流水が流れておりさらにそれが渇水時から洪水時までを通じて適当に変動することが必要である。

このような河川の流量の変動は、取水や導水、ダムによる調節などにより多くの場合人為の影響を受けている。これら人為の影響の程度は河川により大きく異なっているが、今後の河川環境管理を適切に行い、より良い河川環境の維持、形成を図るためには、このような河川の流量変動についても可能な限り何らかの制御を行うことが望ましい。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¹⁾²⁾³⁾がなされているが、河川環境と流量変動との係わりを直接研究の対象にしているものは少ない⁴⁾⁵⁾。

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し、まず、2では流量変動の現況や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では流量変動が河川環境に及ぼす影響について

2. 河川環境への影響

2.1 河川の流量変動の現状

表 - 1は利根川支川神流川の貫井地区における最近5か年間の流況を整理したものである。貫井地区は神流川のおよそ8km地点に位置し、流域面積は約388km²、河床勾配は約1/210である。約3.6km上流に取水堰があり灌漑期最大約13.7m³/sの取水が行われている。さらに、11km上流には下久保ダムが建設されている。下久保ダムは有効貯水容量12,000万m³、流域面積323km²の多目的ダムで、貫井地区上流の流域面積の83%を占めており、年間を通じて神流川の流況のコントロールが行われている。ケース1（現況）とケース2（ダムなし）の比較により、ダムが洪水時や豊水時に流量を貯留し、平水時以下の流量が少ないときに補給を行って全体として流量の変動を平滑化し、河川の流量変動を少なくしていることがわかる。しかし、ケース2（ダムなし）とケース3（ダム・取水なし）とを比較すると、取水によって河川の流量が全体的に低減され、特に豊水時以下の流況時においては大きな影響を及ぼし、その結果ダムなしの場合の流量変動を大きなものに行っていることが理解できる。これらの比較により、むしろダムは取水によって影響を受けた流況を自然流況に近づける作用を有しているといえる。しかし、これらの比較は近年の5か年という短い期間の比較であるため河道に大きなインパクトを与える大洪水時の流況の変化は把握されていない（神流川の計画高水流量は2000m³/s）。大洪水時には取水の影響は無視できる程に小さくダムの洪水調節による流量低減の影響がより大きくなっていくものと考えられる。いづれにしても、本検討から河川の流量変動が取水やダム操作などの人為的作用によって大きく影響を受けていることが把握される。このことは、逆に言えば、河川の流量変動は人為に

よってコントロール可能であることをも示しており、人為的作用が及ぼす影響の程度と内容は河川によって様々ではあるが、流量変動とその管理が今後の河川環境管理において川らしい環境を維持、形成するための重要な視点であると考えられる（参考図 - 1 参照）。

2.2 流量変動が河川環境へ及ぼす影響

洪水の河川環境への影響について、津田⁶⁾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ですが、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。本節では、取

表 - 1 神流川貫井地区の流況

	最大流量	豊水流量	平水流量	低水流量	濁水流量	最小流量
ケース1	1.71	5.45	2.36	1.47	0.80	0.23
現況流況	(116)	(3.70)	(1.80)	(1.00)	(0.54)	(0.16)
ケース2	1.97	6.19	2.02	0.78	0.00	0.00
ダムなし	(252)	(7.92)	(2.58)	(1.00)	(0.00)	(0.00)
ケース3	2.00	9.91	4.05	2.79	1.74	0.66
自然流況	(71.6)	(3.55)	(1.74)	(1.00)	(0.62)	(0.24)

単位：m³/s

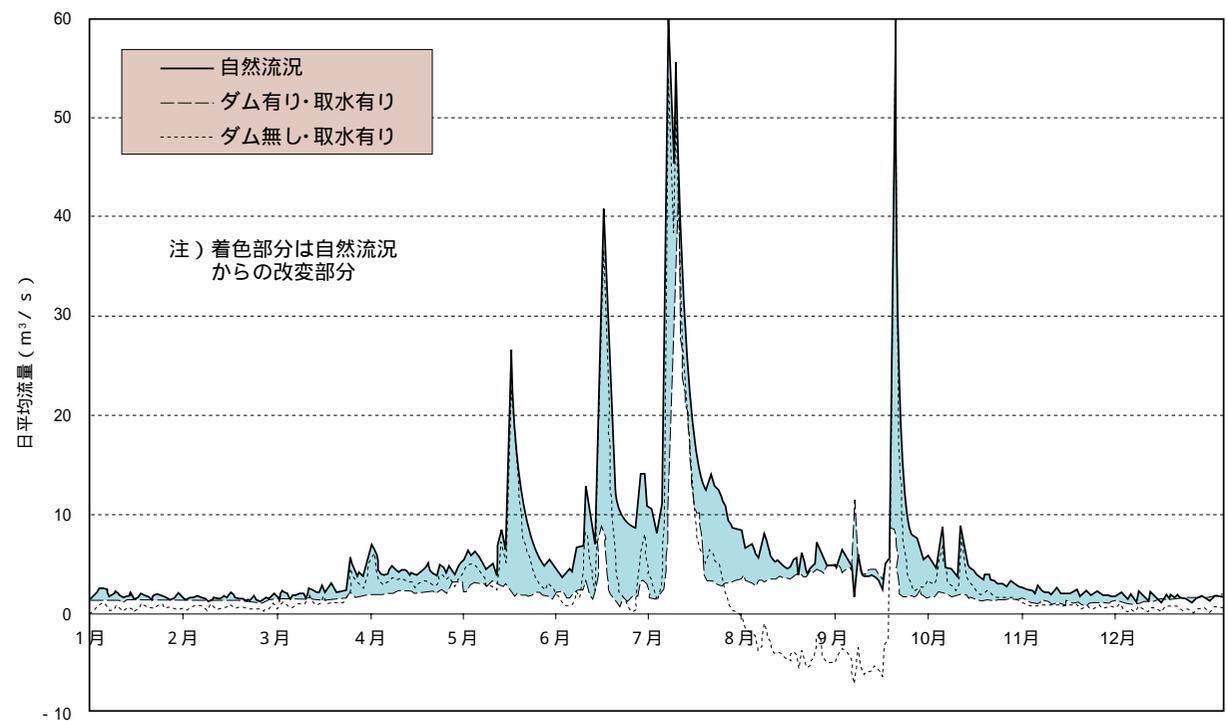
凡例) ケース1：現況流況(ダム、取水あり)

ケース2：ケース1に対して上流のダム調節が無い場合の計算流況(ダムなし)

ケース3：ケース2に対して上流の取水が無い場合の計算流況(自然流況)

注1) 各流量とも平成3年から平成7年までの5ヵ年間の各年の値を平均したもの

注2) 下段：各流量の低水流量に対する比



参考図 - 1 神流川貫井地区における流量変動の改変状況(平成7年)

水や導水、ダム等の貯留施設等の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、流量変動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。

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流量変動が原因と推察される河川環境上の課題、考えられる原因などについ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を記入者が推察できる場合にのみ回答されている。この結果を整理したものが表 - 2 である。なお、水域及び植物への影響を中心として示した。これらのことから流量変動の変化は河川の生態系全般にわたって影響を及ぼすことがわかる。また、これらの影響が生じるのは河道において表 - 3 に示すような状況が生じているためである。

河道の変化は河床材料の移動や河道地形の破壊と再生という現象を通じて、「流量の大きさ」だけでなく、平常時及び出水時の「変動の大きさ」とその「発生頻度(再現期間)」によって支配されていることから、河川環境の状態を理解するためには流量変動の程度について理解することが重要となる。

表 - 2 河川生態系への影響

影響内容
ア 藻類の付着面積の減少により生産力が低下 ⁴⁾
イ 魚類の餌としての藻類の質の低下 ^{4) 7) 8)}
ウ 藻類の剥離更新ができず着性育成を活性化できない ⁹⁾
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 ⁸⁾
オ 藻類、草類の増殖に必要な栄養塩を供給できない ^{9) 10)}
カ 底生魚の産卵に必要な水通しの良い大礫が維持できない ¹¹⁾
キ 魚類の産卵場所の減少、成長不良、降下阻害を生じる ⁴⁾
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 ¹²⁾
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 ¹³⁾
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 ⁴⁾
サ 種の分散機能が維持できない ¹⁴⁾
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増減 ^{7) 14)}
ス 自然裸地で植生が発達する ⁷⁾
セ 乾燥化によりヨシ群落からオギ群落へ変化する ⁷⁾
ソ 草本群落の減少と木本群落の増加 ⁷⁾
タ 一般的な土地に生える植物が進入して植被を増す ¹⁴⁾

表 - 3 河道への影響

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 ^{4) 7) 15)}
イ 濤筋の固定化 ^{4) 7) 15)} や水面積の減少 ^{4) 12)}
ウ 瀬や淵の形状や位置の変化 ⁴⁾
エ 早瀬の平瀬化、トロの増大 ^{4) 8)}
オ 流速の低下による砂礫・シルトの堆積、浮泥の沈着 ⁴⁾
カ 浮き石状態の維持が困難となる ⁴⁾
キ 水温が気温と日照に左右され易くなり、水温が上昇 ^{4) 7)}

これを具体的に示せば、例えば、扇状地河川では、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土砂が供給され、その後の平常時の流量によって堆積した土砂の表層が洗われ、浮き石状態の早瀬が形成・維持されるが、このような流量の変動が失われると河道の状態が大きく変化するようになる。

3. 流量変動が河川環境に及ぼすマクロ的な構造

以上のとおり流量変動が河川環境へ及ぼす影響は広範である。河川環境の最大の特徴はその変動性にある。そしてその中で河川流量の変動は、川らしい環境を維持・形成するための最も基本的な要素である。図 - 1 は河川環境の維持・形成の基本的構造を示したものである（参考図 - 2 参照）。

流量の変動は河道地形を変化させ、そして河道の変化がハビタットを変化させる。ハビタットの変化はさらに生物を変化させる。流量変動は河道地形ばかりでなく直接ハビ

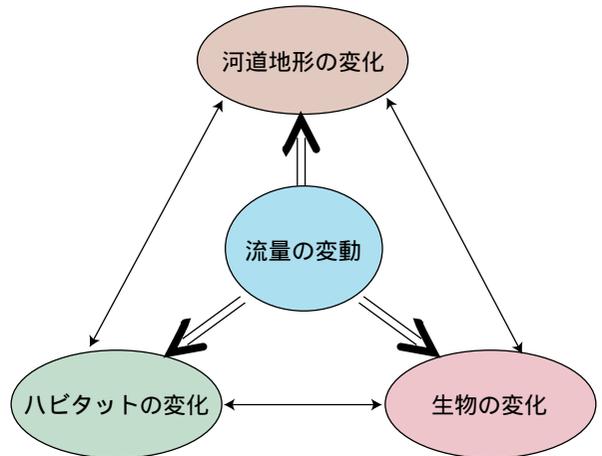
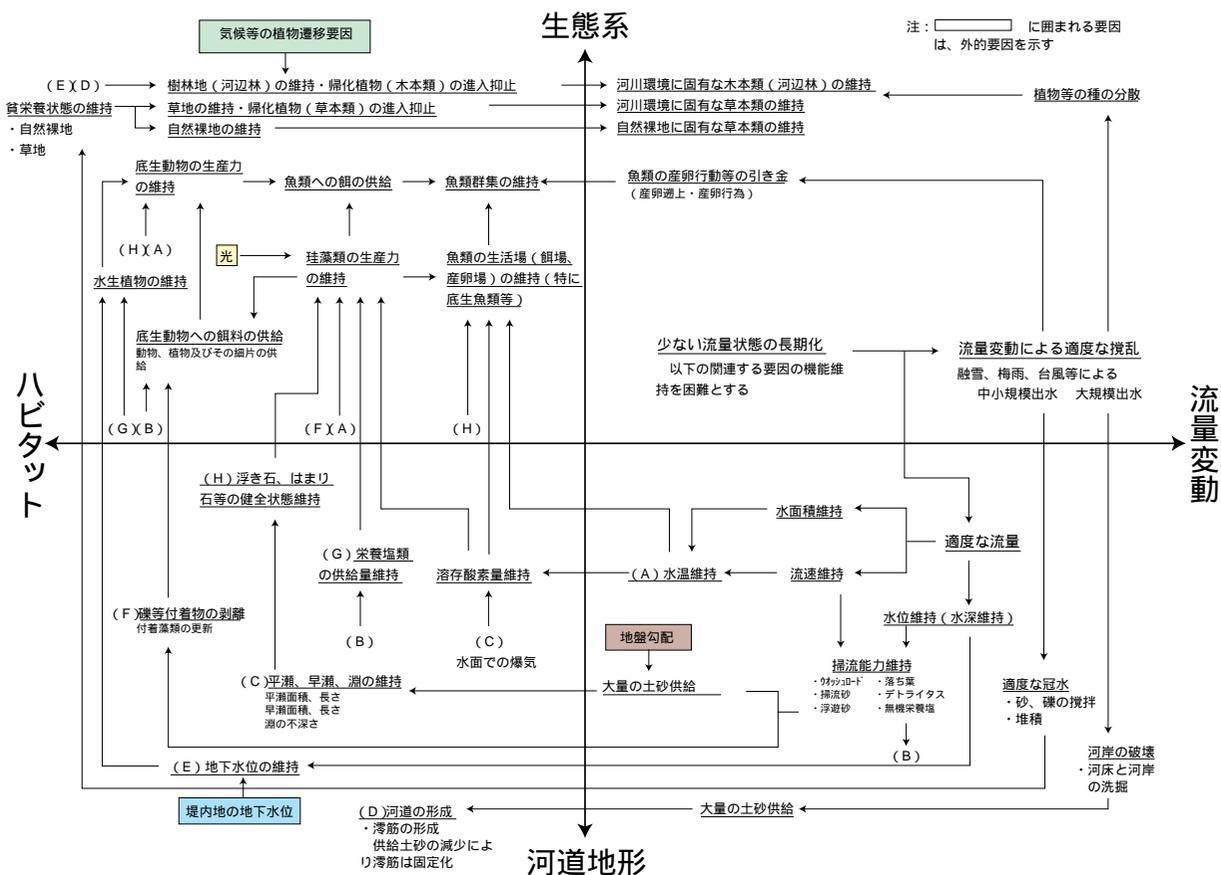


図 - 1 河川環境の維持・形成の基本的構造

タットや生物も変化させる。河道地形の変化やハビタットの変化、生物の変化はそれぞれ相互に作用し、お互いがお互いを変化させる働きを持つ。このように河川環境は流量の変動、河道地形の変化、ハビタットの変化、生物の変化が広範に複雑に関連しながら維持・形成されている。しかし、これらの係わりの中において流量の変動は他に影響されない基本的なものであり、河川環境を維持・形成する基本的条件であるといえる。なお、ここでいう変化には変化の結果として成立する河川環境の維持・形成が含まれる。



参考図 - 2 大胆に仮定した場合の流量変動が河川生態系に及ぼす影響構造

4. 流量変動が河川環境に及ぼす影響についての作業仮説

4.1 作業仮説設定の視点

河川の流量変動は河川環境のすべての面に係わっている。そのため、両者の関係の解明はきわめて複雑であり、また、その研究には河川工学はもちろん膨大な生物学の知見も必要となってくる。従って、到底そのすべてを明らかにすることは不可能である。そこで、本研究においては河川の流量が変動した場合にどのように河川環境に影響が及ぶのかをあらかじめ想定する仮説を設定し、その仮説(「作業仮説」と称する)をできるだけ河川工学的に把握可能な情報で証明するという研究手法をとることとした。この際、現実の河川管理に役立つための実際的な研究成果を得るため、作業仮説は現実が生じている問題を解決するこ

とに意味あるものとし、かつ、現象を大きくとらえることができるようできるだけマクロな情報により把握可能なものとする事とした。

2で示したように、流量変動が減少したことに起因すると推察される河川環境上の問題点としては、水域の環境としては早瀬の悪化、陸域の環境としては自然裸地や草地の減少と樹林地の増加の2点に集約される。そこで、本研究においては、早瀬、自然裸地、草地、樹林地の4つのマクロハビタットに注目し、これらが流量変動とどのように係わっているのかを明らかにすることとした。河川のマクロハビタットとしてはこれらの他に水域では淵、平瀬などが、陸域では高茎草地、低茎草地、低木林、高木林などの区分があり、いずれも河川的环境にとって重要・不可欠なものであるが、本研究においては以下の理由によりこれら4つのマクロハビタットを特に研究の対象として重点化することにした。

- 水域 -

水域のマクロハビタットとしては早瀬、淵、平瀬があるが、通常扇状地河川ではこれらが連続しつつ繰り返す構造が見られる。通常早瀬と淵が対になっている場合が多く、早瀬の変化を追跡することによって河道の変化の全体的な変化が追跡できる。

早瀬は、水深が浅いため流量の変動にもっとも敏感に反応するとともに、河道地形の僅かな変化によっても状態が容易に変化するため、水域環境の変化を最初に示す。

早瀬は、生産力が最も高く（付着藻類等）、魚類にとって産卵場や採餌場として河川全体の中で重要な位置を占めており、水生昆虫類にとっても多数・多様の種が生息する重要な場であり、早瀬の環境悪化は河川全体に影響を及ぼす。

早瀬の位置は観察により容易に特定可能であり、現地調査においても物理的、生物的情報が比較的容易に把握可能である。

全体として、早瀬は河川の水域全体の環境の健全性を示す代表的マクロハビタットといえる。

- 陸域 -

○自然裸地、草地、樹林地は陸域のもっとも基本的区分である。

これら3つのハビタット区分は視覚的にも容易に区分可能である。

これら3つのハビタットは河道特性や流量変動の影響により規模や配置のバランスが規定されており、扇状地河川においては通常この3つのマクロハビタットが存在する。

自然裸地は、水域における早瀬同様、流量変動の影響や河道地形の変化の影響を最も敏感に受けるとともに、その結果として、景観的にも、生物の生息・生育の場としても、河川を代表する最も川らしい場を表現している。

4.2 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それぞれのエリアを冠水させて破壊する洪水が必要となる。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

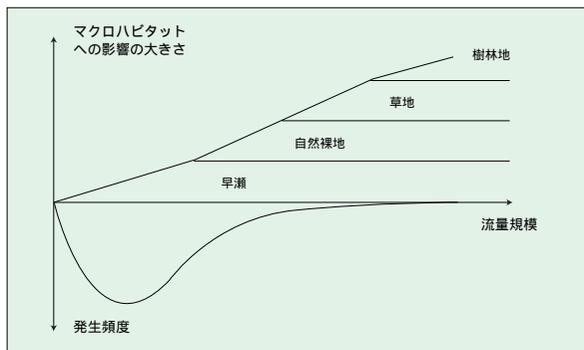


図 - 2 マクロハビタットの階層性

マクロハビタットの維持や更新には、それらに応じた規模の流量が必要である。図 - 2 は、これらマクロハビタットの維持・更新が河川の流量規模とどのような係わりになっているかを流量の発生頻度を考慮して示したものである。早瀬、自然裸地、草地、樹林地は流量を軸として階層的関係にある。小さな流量は特定のマクロハビタットにしか影響しないが、より大きな規模の流量はより小さい流量で影響を受けるマクロハビタットすべてに影響を及ぼす。例えば、樹林地が更新されるような出水が生じた場合、早瀬、自然裸地、草地の環境も全て更新される。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を反映した作業仮説を考えることが重要である。

4.3 作業仮説の設定

本稿では、流量変動と生態系の直接的関係を作業仮説とするのではなく、流量変動と前述のマクロハビタットとの関係を作業仮説として設定する。すなわち、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るわけである。流量変動と各マクロハビタットに関する作業仮説を、流量の規模と対応させて表 - 4 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。

5. 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が流量の変動に対してどのように影響を受けるかを追跡、評価する指標を表 - 5 のとおり考案した。この評価指標は、各マ

表 - 4 マクロハビタット毎の作業仮説

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茂は抑制される）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維持し、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、冠水による自然攪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きな出水は、草地を攪乱し帰化植物の侵入や繁茂を押さえ、在来植物の安定した生育地を維持させる。この様な攪乱は、河川環境に特有な草本類の持続的な生育を可能にする。	
	早瀬の改変	自然裸地の改変		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変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。
↓ 流量大 頻度高	早瀬の改変（大）	自然裸地の改変（大）	草地の改変（大）	

クロハビタットの河川環境としての質を把握するもので、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。この指標は、作業仮説検証のため、現地において一定期間に多量の観測データを収集することを念頭に置き、作業仮説検証の実行可能性を維持するため、次の点を重視して設定した。

- 評価指標の調査が容易であること（容易性）
- 高度な専門的知識を必要とせず通常のレベルの技術者であれば誰が測定してもほぼ同じ精度が得られること（客観性）
- 調査の結果が早く出せること（迅速性）
- これらの結果として費用が少ないこと（経済性）

6. 結論

本稿では、扇状地河川を対象に、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研究方法を提案した¹⁶⁾¹⁷⁾。主な結論は以下のとおりである。

既往文献調査結果等より、流量変動が変化した時の影響は、藻類、底生生物、魚類及び植生など広範囲に及び、こ

れらの問題点としては、早瀬の環境悪化、自然裸地・草地の減少、河道内の樹林化に集約される。

流量変動の影響は河川環境のすべてに及ぶものの、現実の問題として顕在化している事項や河川工学的な手法による解明可能性を考慮し、流量変動と河川環境との係わりを早瀬、自然裸地、草地、樹林地というマクロハビタットに重点化して捉えることを提案した。

流量変動が河川環境に及ぼす影響を研究していく手段として、マクロハビタットに視点をいた作業仮説を設定した。

作業仮説を検証するため、検証の実行可能性を踏まえた評価指標を提案した。

7. おわりに

今後、作業仮説の検証を行うため、本稿2で紹介した神流川貫井地区と荒川中流部に調査地区を設定し、詳細な現地調査を進める予定である。また、これら現地における検証の結果を踏まえて作業仮説と評価指標の再構築を行うこととしている。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

表 - 5 マクロハビタットの評価指標

対象	評価の視点	評価指標	評価の内容
全体 自然裸地 草地 樹林地	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、早瀬の健全性が維持されていると考える。
	規模	面積、水面積・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られる。
	河床材料	浮き石の面積と比率 沈み石の面積と比率 粒度組成	・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。 ・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。
		乾燥重量(付着物量) 強熱減量(有機物量) クロロフィルa量(付着藻類現存量)	・健全な早瀬では、剥離等による付着藻類の更新がなされ、付着物量と藻類現存量とのバランスが保たれている。流速が遅く礫が安定すると、シルトや粘土質等が堆積し易くなるため付着物量は多くなるが、藻類の活性は低下しクロロフィル量は減る。
		付着藻類の種類(クラスレベル)	・健全な早瀬では、珪藻類が比較的多く繁茂し、緑藻や藍藻は少ない。
		はみ跡の状況	・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 回羽化する水昆虫以上) の長い造網型の種は少ない。
		ユスカリ類の生息状況	・シルトやデトライタスの堆積が進行し、緑藻や藍藻のマット化が進むと赤い色素を有するユスカリ類が多くなる。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	カジカ等の生息状況 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。
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。(モニター種 : 河川特有の植物種)
	帰化植物群落	生育の有無 群落面積 群落の面積比率	・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。 ・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。

の維持形成に関する検討委員会」の諸先生方からご助言をいただいた。ここに謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 李参熙、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
- 3) 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回河道の水利と河川環境に関するシンポジウム論文集、1997
- 4) 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
- 5) 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 - フロント研究所報告、第8号、1997
- 6) 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
- 7) 建設省関東地方建設局：河川生態系保全の流量管理法検討業務、1998
- 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) 村上恭祥：広島県とアユ、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
- 10) 村上恭祥：広島県のアユ、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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 山本晃一：『沖積河川学』山海堂、1994
- 16) 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、CS - 89、1998
- 17) 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、CS - 90、1998