

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

Basic Considerations Concerning the Relationship between Fluctuation of River Discharge and Biological Diversity

研究第三部 主任研究員 清水 康 生
研究所 所 長 小 池 達 男

Accompanying its societal and economic development in Japan, water storage facilities such as dams have been built for water resource development. Consequently there has been a tendency to make the natural fluctuations of river discharge smoother by regulation in some river systems. Continuation of this situation not only hinders the maintenance of streams, but also has great influence on river ecosystems. Therefore, research is being carried out on desirable river discharge from the viewpoint of maintenance and conservation of ecosystems. As the first step of our basic research, we studied the relationship between fluctuation of river discharges and biological diversity through case study.

Key words: Fluctuation of river discharge, biological diversity, 6 rivers in Tohoku region, coefficient of variation, benthos

1. はじめに

従来、我が国では治水安全度の向上を図ると共に水資源開発を推進するために、ダム等の貯留施設の整備を行ってきた。この結果、多くの河川で洪水に対する安全度が高まると共に、増大した都市用水等の需要に対する供給が可能となった。

しかし、一方で、洪水をカットし渇水時に放流するという流況制御が行われた結果、河川流量の自然な変動を平滑化してしまうこととなった。特に全流域に占めるダム流域面積の割合の大きな河川やダム直下などでは、年間を通じて流量変動の少ない用水路のような河川となる可能性がある。このような状態が継続すると、送流土砂やゴミの堆積等により河道の維持に支障を生ずるだけでなく、河川における生態系にも大きな影響を与えるものと考えられる。このような背景から、生態系の維持・保全という観点で望ましい河川流量に関する研究が進められつつある。しかし、河川流量の変動それ自体が生態系に及ぼす影響については、生息する生物に関する有効なデータの蓄積が不足している等の理由から十

分な知見が得られていない状況である。

河川の流量変動は、流域の水文特性、地形特性、流路形態など多くの要因の影響を受けるものである。従来、河川流況を表す代表的な指標としては、最大流量、豊水流量（年間95日は利用できる流量）、平水流量（同185日）、低水流量（同275日）、渇水流量（同355日）、最小流量があり、流況曲線や流況係数により流量変動特性の概要が把握されてきた。一方、生態系との関係で河川流量をながめると、植生分布については、流量変動に伴う冠水頻度と洪水の規模に関係することが指摘されている。¹⁾ 前述の指標でいうならば最大流量に関係が深いと理解される。しかし、水際における生態系のきめ細かな維持・保全を図るためには、小出水などの日常的な流量変動をも含めて生態系との関係を把握しておくことが重要である。

以上より、本稿では、河川流量の変動と生物の生息状況について考察を行うことを目的とする。

まず、生態系と河川流量の関係に関する従来の研究について整理を行い、次いで、全国

の一級河川を対象として流量変動の特性についての基礎的な考察を行った。さらに、東北地方の一級河川を対象として、底生生物の多様性と流量変動の大きさとの関係について基礎的な分析を試みた。その結果は、河川の流量変動と底生生物の多様性には相関関係の存在することを示唆するものであった。

2. 河川特性と生物の生息状況に関する従来の研究

河川流量の変動に付随してまたはそれが原因となって生じる物理的河道特性の改変は、生態系に対して大きな影響を及ぼす。例えば、洪水による土砂供給、滯筋の変化、瀬と淵の変化、高水敷上の植生の破壊などである。洪水でなく河川改修によってもこのような改変は生じる。

基本的には、流量の変動が物理的河道特性の改変を惹起し、その後に生態系が環境に適合して遷移して行く、という構造である。後段のプロセスについて研究事例がある。例えば、扇状地河川における、植生分布への影響については幾つかの河川で事例分析が行われている。^{2) 3) 4)} また、魚類の生息に対する影響については、河川改修前後を比較した事例分析がある。⁵⁾ しかし、先にも述べたとおり、これらは、河川流量の変動の大きさを分析対象としているのではなく、洪水後、ダム建設後などに生じた物理的な河川形態の改変前後及び改変の期間を通じての生態系の遷移について考察を行ったものである。

一方、河川流量の大きさが生態系へ与える影響に関しては、魚類を中心にIFIM (Instream Flow Incremental Methodology) ⁶⁾ の適用に関する研究が盛んに行われている。^{7) 8)}

以上のような観点から、河川流量と生態系との関わりについて研究が行われているが、1. で述べたように、今日的意義を有する河川流量の変動という観点で直接的に生物との関係を論じた研究は未だ少ない。

本来ならば上述のような研究成果を蓄積したうえで議論を進めるべきであるが、流量変動と生物の多様性に関してどのような関係が存在するのかという点について、目安となる知見を得るために、以下のような分析を行った。ただし、このような分析を行う前に整理しておくべき生物の多様性の持つ意義^{9) 10) 11)} については改めて論じ、ここでは議論しないものとする。

3. 全国的に見た河川流況の特性

3-1 日平均流量により表される流量変動の特性

我が国における河川流量の年間変動の概要について把握する。全国の一級河川における3,679箇所の流量観測データを使用して、豊水流量、平水流量、低水流量及び渇水流量の相互の関係を図-1に整理した。同図より、各流量の相関関係を相関係数により調べると、平水流量と低水流量が0.988、豊水流量と平水流量が0.979、低水流量と渇水流量が0.974となっている。平水流量と低水流量の相関が特に強くなっている。また、各流量の概算の大きさを平水流量を基準にして表すと、豊水流量は1.6倍、低水流量は3/4、渇水流量は1/2である。

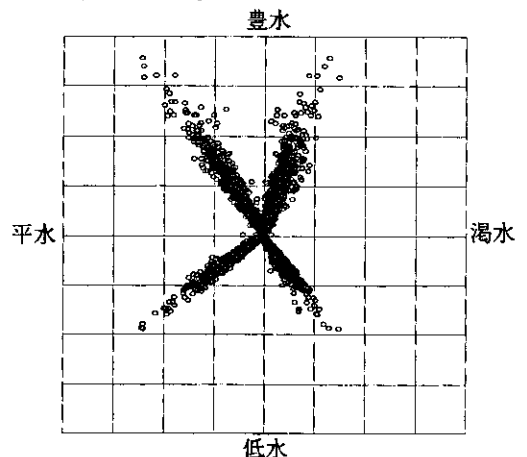


図-1 豊水流量、平水流量、低水流量及び渇水流量の関係

Fig. 1 Relationships between 75-day discharge, 185-day discharge, 275-day discharge and 355-day discharge

次に、平水時の河川流量を流域面積の大きさとの関係で整理すると図-2のとおりである。同図の勾配で表される平均比流量は、 $0.02\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 程度となっている。

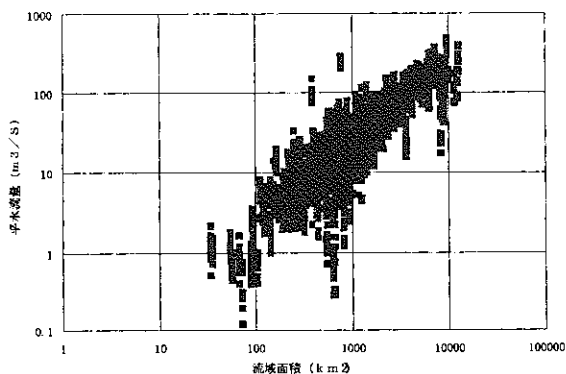


図-2 流域面積と平水流量

Fig. 2 River basin area and 185-day discharge

3-2 河川流量の変動に関する要因

上述のような流量変動の原因には、地域特性を反映して多くの要因が関係している。それらを整理すると次のように分類されよう。

(1) 自然的要因

① 水文

気候、降水量、積雪量、地下水位、地下浸透能、気温

② 地形・地質

河道配置（放射状、羽根状等）、地質条件（底質状態）、土地利用、河床勾配、林相、植生分布

(2) 人為的要因

① 貯水施設

集水面積、貯水容量、貯水施設の配置、貯水施設の運用ルール

② 取排水形態

大規模取水（都市用水、農業用水他）、還元水（農業用水）、放流水（下水処理水）、その他河川を介する人為的な水循環、上記取排水量の期別変動

4. 東北地方の河川における事例分析

4-1 対象河川の選定

ここでは、河川流量の変動の影響を直接的にも受ける底生生物を対象として、河川流量の変動と生物の多様性との関係について分析を行うものとする。対象河川は複数とするが、3-2で述べた水文特性等についてできるだけ条件の類似した河川を選定する必要がある。さらに、底生生物の生息状況は、河川水質とも強い相関を有するため¹²⁾、水質についても同レベルの河川とする必要がある。以上の点を考慮して東北地方の岩木川、米代川、雄物川、子吉川、最上川及び赤川の6河川を選定した。これらは、いずれも日本海に注ぎ、融雪による流量への影響が大きい河川である。

選定した6河川の水質状況（BOD）は、表-1のとおりである。水質状況は、全般に良好な河川である。流程に沿って水質の変化をみると、最上川を除いて概ね上流から下流に行くに従い汚濁が進む傾向が認められる。最上川は、上流部に米沢市がありその生活排水等により $3\text{mg}/\text{l}$ 以上の水質となっている。

表-1 対象河川における水質（平成5年）

Table 1 Water quality in subject rivers (1993)

河川名称	BOD75% 値(mg/l)	観測地点
岩木川	2.0	神田橋上流7地点
米代川	1.4	二ツ井上流4地点
雄物川	1.4	椿川上流7地点
子吉川	1.2	二十六木橋上流2地点
最上川	1.7	高屋上流9地点
赤川	0.5	東橋

注：観測地点は感潮域を除き底生生物の調査位置を考慮して選定した。

4-2 日平均流量の変動特性

対象とする6河川について基準地点での豊

水流量、平水流量、低水流量及び濁水流量を調べると表-2となった。3-1で求めた全国の平均的流況と比較すると対象6河川では、豊水流量が大きく、低水流量、濁水流量が小さくなっている。中でも赤川でその傾向が強い。そこで、河川流量の変動特性を詳しく調べるために、1985年から1994年までの10年間の日平均流量の頻度分布図を作成した。図-3は全頻度を1に基準化して表したものである。

表-2 基準地点における河川流量

Table 2 River discharge at each reference point

河川名称 観測所名	豊水	平水	低水	濁水
岩木川	86.2	50.6	31.9	11.8
五所川原	(1.70)	(1.00)	(0.63)	(0.23)
米代川	235.9	133.4	88.0	53.0
二ツ井	(1.77)	(1.00)	(0.66)	(0.40)
雄物川	295.6	185.6	130.88	80.7
椿川	(1.59)	(1.00)	(0.70)	(0.43)
子吉川	62.3	38.5	28.2	17.8
二十六木橋	(1.62)	(1.00)	(0.73)	(0.46)
最上川	418.2	246.6	158.5	80.8
高屋	(1.70)	(1.00)	(0.64)	(0.33)
赤川	78.7	38.5	20.1	3.4
熊出	(2.04)	(1.00)	(0.52)	(0.09)

注：() 内は平水流量に対する比率である

同図をみると赤川を除いていずれの河川でも概ね対数正規分布に近い形となっていることがわかる。赤川の分布は、小流量の発生頻度が非常に高くなっている。3-2で述べたように河川流量に影響する要因には、ダムの集水面積の大きさや農業用水などの大規模取水の影響が挙げられる。そこで赤川の集水面積の大きさを図-4に示した。参考値として主要河川もプロットしたが、荒川を除き河口堰を有するため比率は高くなっている。赤川は他の河川と比べて(ダム集水面積/全流域面積)の比率は高く65%となっているが、これは流域にある荒沢ダム(治水・発電)と八久和ダム(発電)が理由である。これらでは発電が行われているが放水口は流量観測地点

よりも上流である。一方、観測地点の直上流には赤川頭首工があり、約 $47\text{m}^3/\text{S}$ が取水されている。熊出地点での流量減少の主な原因は、頭首工からの取水による流量制御の影響である。以下の分析では、洪水流量をも含めた流量変動の大きさを表す指標として、平均流量を基準としてばらつきの大きさを無次元数で表示する変動係数(標準偏差/平均値)を用いるものとする。使用するデータは、1985年~1994年までの10年間の日平均流量を用いるものとする。

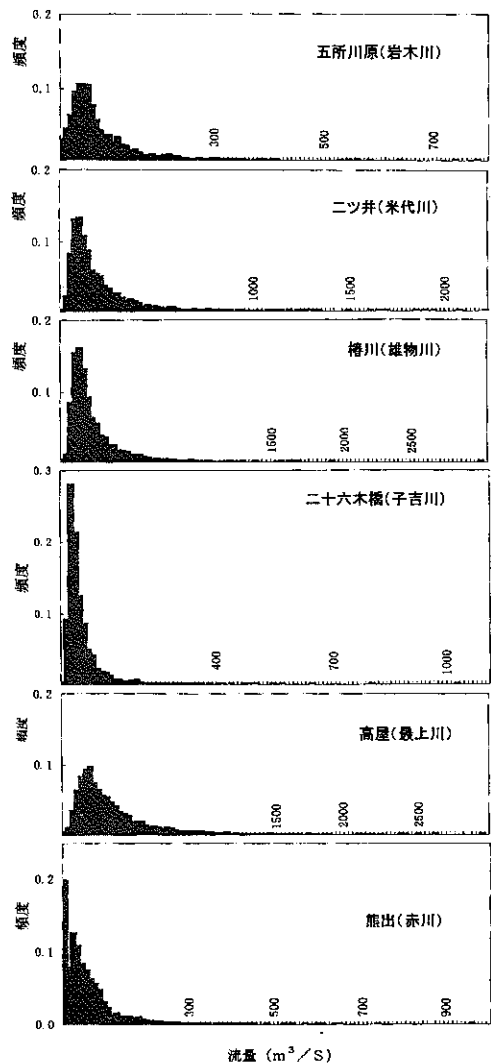


図-3 日平均流量の頻度分布

Fig. 3 Distribution of frequency of daily mean discharge

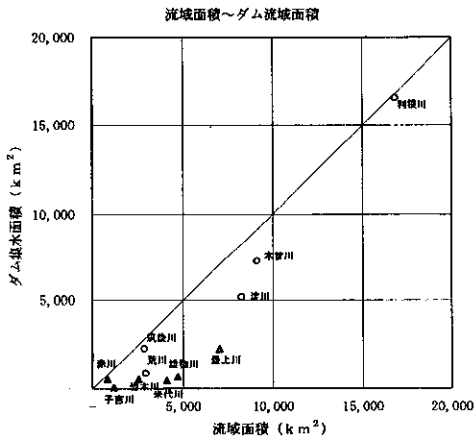


図-4 ダム集水面積と全流域面積

Fig. 4 Dam catchment area and entire basin area

4-3 底生生物の多様性

生物の多様性には、種の多様性、群落構造の多様性等多くの観点がある。⁹⁾¹⁰⁾ここでは、底生生物が多様であることの定義を「種類数が多いこと・独占的な種がないこと」と考える。それらを表す指標としては、多様性指数等¹³⁾があるが、ここでは、基本的な“種類数”を多様性指標と考えるものとする。データは、コドラート調査による1㎡当りの種類数とし、平成4年から平成7年までに行われた河川水辺の国勢調査の結果を再度専門家により精査し、補正を加えたものを使用した。また、調査は、夏季と冬季に2～3回行われているため、各々の結果を分析の対象とした。各河川において確認された底生生物のうち目安となる種を選定し、それらの出現状況を表-3に整理した。

底生生物の調査地点における流量の変動特性は近傍の流量観測地点の変動係数により表すものとする。底生生物の調査地点と流量観測地点との対応を図-5に示す。

4-4 底生生物の種類数と日平均流量の変動係数との関係

流量の変動特性を表す変動係数と底生生物の種類数の関係について分析した。種類数と

表-3 対象河川において確認された底生生物 (一部)

Table 3 Benthos (partial) confirmed in subject rivers

種名	岩木川	米代川	雄物川	子吉川	最上川	赤川
ゴカイ	○	○	○	○		○
イトミミズ科	○		○	○	○	○
ヒゲナガカワトビケラ		○	○		○	○
ナミヒラタカゲロウ		○		○		○
ナミウズムシ	○	○	○		○	
シマイシビル	○		○	○	○	○
サホコカゲロウ	○			○	○	○
キイロカワカゲロウ		○	○	○	○	○
フタバコカゲロウ		○		○	○	○
モンカゲロウ		○		○	○	○
ヒメトビイロカゲロウ		○	○	○	○	○
チラカゲロウ		○		○	○	○

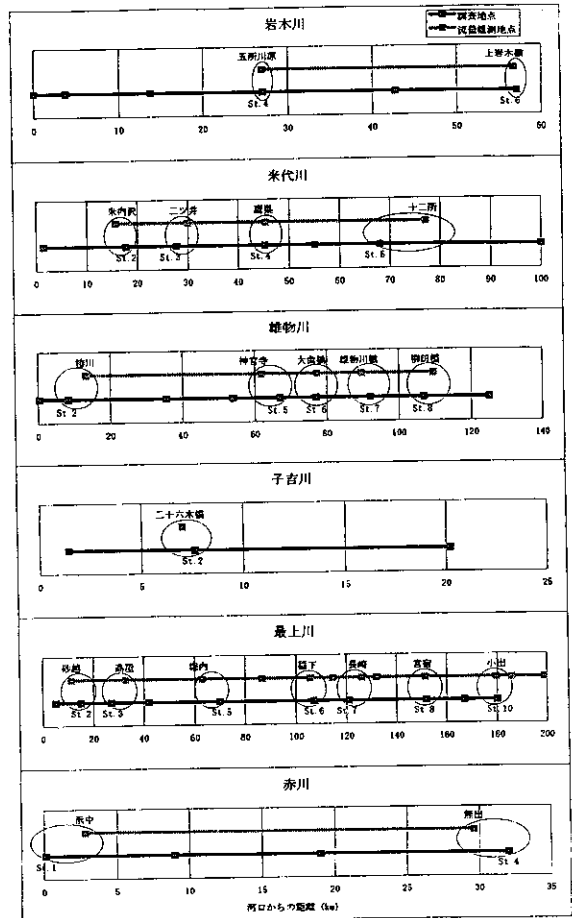


図-5 流量観測点と生物調査地点との対応

Fig. 5 Correspondence between discharge observation points and benthos exploration points

変動係数の関係を整理した結果を図-6に示す。同図を河川別に表示した結果を図-7に、さらに、河川のセグメント別¹⁴⁾に表示した結果を図-8に示す。

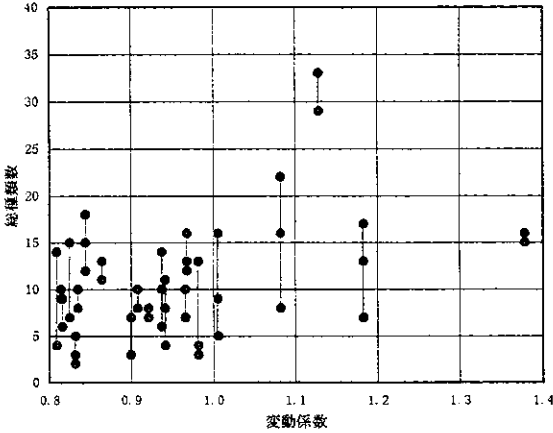


図-6 河川流量の変動係数と底生生物の種類数の関係

Fig. 6 Relationship between coefficient of fluctuation of river discharge and number of species in benthos

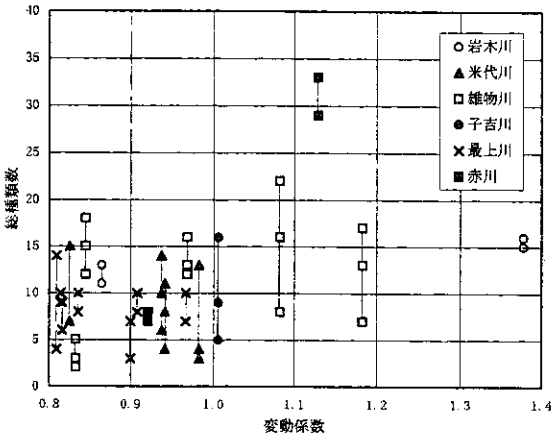


図-7 河川別の変動係数と種類数の関係

Fig. 7 Relationship between coefficient of fluctuation of river discharge and number of species in benthos for each river.

これらより以下のことがわかる。

- ① セグメント1と2の区間では、全体としては、流量変動が大きくなるに伴い底生生物の種類数も多くなる正の相関が認められる(図-6)。

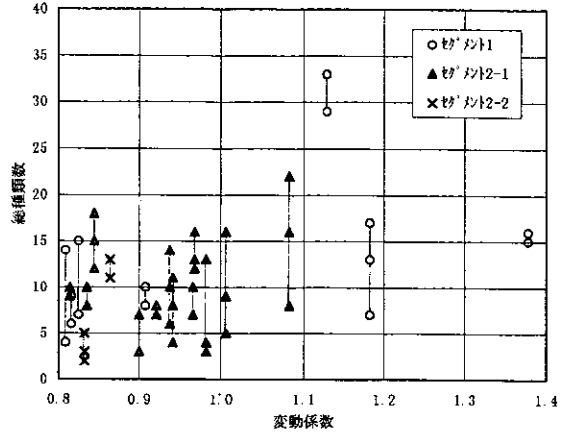


図-8 セグメント別の変動係数と種類数の関係

Fig. 8 Relationship between coefficient of fluctuation of river discharge and number of species in benthos for each segment

- ② 河川別にみると岩木川、雄物川、赤川では正の相関傾向が認められる。しかし、米代川や最上川のように相関が認められない河川もある(図-7)。
- ③ セグメント別にみると、上流部では流量変動が大きくなる傾向がある。これは、我が国の自然河川における一般的な傾向である。各セグメント1と2では流量変動が大きくなると底生生物の種類数も多くなる傾向を窺うことができる(図-8)。

5. おわりに

2. で述べたように、生物の生息条件には多くの直接的、間接的要因が関係しており、生物の底生生物の多様性を河川流量の変動だけで説明できるものではない。本文では触れていないが、洪水の直後か否か、水温¹⁵⁾という観点も入ってこよう。しかし、4. での分析結果は、両者に関連性のあることを示唆するものであると考える。今後は、何故このような結果が得られたのか、そのしくみを解きほぐして行く必要がある。

そのためには、生物の生息実態に関するデ

ータの蓄積を図り、これら生物調査に関するデータの限界性を踏まえた上で方法論の開発が必要である。

例えば、多くの河川において関連する要因の相互影響関係を分析し、要因間の関連構造を把握する。次いで、生物の多様性を説明するという目的論的観点から代表性のある要因を絞り込んで行くことが考えられる。

また、同一河川で地点を定め物理的な河道特性の改変前後（出水前後）を比較するという方法も考えられる。底生生物に関して、このような事例として動物群集保全という生物学的観点からも一部で研究が進められているが、¹⁶⁾このようなアプローチも考えられよう。

<参考文献>

- 1) 奥田重俊、佐々木寧編：河川環境と水辺植生、ソフトサイエンス社、pp. 93-95、1996
- 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、pp. 207-214、1993
- 3) 萱場祐一、島谷幸宏：扇状地河川における地被状態の長期化とその要因に関する基礎的研究、土木学会年次学術講演会資料、pp. 200-201、1995
- 4) 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、pp. 26-33、1996
- 5) 島谷幸宏、小栗幸雄、萱場祐一：中小河川改修前後の生物生息空間と魚類相の変化、水工学論文集、第38巻、pp. 337-344、1994
- 6) テリー・ワドゥル：IFIMの概念と応用例、講演記録「人と自然にやさしい川づくりセミナー96 IFIMへの招待」、pp. 4-22、リバーフロント整備センター、1997
- 7) 石川雅朗、中村俊六：千葉県の河川における主要魚の生息適正曲線、土木学会年次学術講演会資料、pp. 254-255、1995
- 8) 金亨烈、玉井信行、松崎浩憲：流量増分生息域評価法における生息数基準に関する研究、水工学論文集、第40巻、pp. 151-156、1996
- 9) 橋川次郎：なぜたくさんの生物がいるのか？、岩波書店、1995
- 10) 鷺谷いづみ、矢原徹一：保全生態学入門、文一総合出版、1996
- 11) 関克己、唐裕一：河川の植生管理方法に関する研究（その1）、財団法人リバーフロント整備センター、リバーフロント研究所年報、pp. 106-113、1995
- 12) 津田松苗：汚水生物学、北隆館、1994
- 13) 木下猛、関克己：生物指標を用いた水環境の指標化に関する研究、財団法人リバーフロント整備センター、リバーフロント研究所年報、第6号、pp. 26-38、1995
- 14) 山本晃一：沖積河川学、山海堂、1994
- 15) 沼田真監修、水野信彦、御勢久右衛門：河川の生態学、築地書館、1993
- 16) 川那部浩哉、竹門康弘、谷田一三、平松和也、Ivan Silva、中田兼介、糸川泰一：豊富な動物群集保全のために必要な河川環境要素の研究、地球環境研究No20 第1回「地球環境財団研究奨励金」研究成果報告書（2）、pp. 65-123、財団法人地球環境財団、1992