

令和3年度 河川砂防技術研究開発公募 地域課題分野(河川生態) 研究開発テーマ
＜一般研究:事後評価結果＞

テーマおよび概要		研究代表者名	評価	審議結果
テーマ	河川中流域における生物生産性の機構解明と河川管理への応用	信州大学 平林 公男	A	研究目的は達成され、 十分な研究成果があった。
概要	河川中流域の瀬淵ユニットにおいて、観測技術と数値モデルを駆使し、一次生産、二次生産を含めた生物生産性の機構解明を行い、良好に保つために必要な河道特性を管理基準として提案する。			

評価の凡例

- A:研究目的は達成され、十分な研究成果があった。
- B:研究目的は概ね達成され、研究成果があった。
- C:一定の研究成果があった。
- D:研究成果があったとはいえない。

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

● 研究代表者		氏 名（ふりがな）		所 属		役 職	
		平林 公男		信州大学繊維学部		教授	
● 技術研究 開発テーマ	名称	河川中流域における生物生産性の機構解明と河川管理への応用					
● 研究経費（単位：万円）		H28年度	H29年度	H30年度	R1年度	R2年度	総 合 計
※端数切り捨て.		999万円	999万円	999万円	999万円	999万円	4,995万円
④研究者氏名 （研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）							
氏 名		所属機関・役職（※令和 年3月31日現在）					
傳田 正利		国立研究開発法人土木研究所・主任研究員					
萱場 祐一		国立研究開発法人土木研究所・グループ長					
北野 聡		長野県環境保全研究所・主任研究員					
宮原 裕一		信州大学理学部・教授					
東城 幸治		信州大学理学部・教授					
豊田 政史		信州大学工学部・准教授					
笠原 里恵		信州大学理学部・助教					
土屋 健司		国立環境研究所・特別研究員					
Maksym Gusyev		国立研究開発法人土木研究所・専門研究員					
研究の目的・目標 （様式地生-1、地生-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。） （背景・課題）：河川生態系の保全・復元には、生物の「生息場の質と構造」及び構成生物種の生活パターンを意識した「物質循環と生物生産性」の2つが重要な視点となる。近年、多自然川づくり・自然再生事業の進展に伴い、「生息場の質と構造」に関する研究と事業が現場河川において活発に行われ、一定の成果を挙げてきている。しかし、「物質循環と生物生産性」については、1970年代にJIBPにより実施された2河川（奈良県の吉野川と北海道の遊楽部川）の総合研究調査成果があるのみで、その後の研究は大きく進展していない。近年、河川生態系を取り巻く環境は大きく変化しており、魚類現存量の減少やコクチバス等の肉食性外来魚の侵入などにより、1970年代とは異なる「物質循環と生物生産性」の形成が推測される。以上のことから、再度「物質循環と生物生産性」に関する研究を進める必要性が出てきた。近年の観測・分析や数値計算技術の進展・普及に伴い、一次生産を中心とした調査・研究には進捗がみられ、「物質循環と生物生産性」の実態解明の実現性は高くなっている。しかし、実河川における二次生産までを含めた生物生産性の実態把握とそのモデル化は未だ不十分であり、魚類現存量の減少をはじめとする水圏生産性の低下などの原因解明や、これら問題を解決するための河川管理上の留意点等の把握には至っていない。 （目的）：河川中流域の瀬・淵ユニットにおいて、観測技術、分析技術を駆使し、物理環境、一次生産及び二次生産を一連の系としてとらえる「二次生産系」の実態を把握し、その量的な関係を明らかにすることを第一の目的とした。また、野外において直接観測できない項目や、推測が難しい項目については、近年、著しい進歩が認められる数値モデルを駆使し、全体像の把握に努めた。河川生態系は時間的な変動が大きいので、季節や年を通じた野外でのデータ観測を継続するとともに、複数の手法を用いて生物生産力を推定した。さらに、推定したデータを元にして、開発したモデルを用いて過去からの生物生産性の変遷を再現し、二次生産に関する課題の原因推定と二次生産系を良好に保つための河川管理基準（以下「生産性管理基準」）を提案することを目的とした。							

研究成果：本研究では、千曲川中流域における二次生産解明のために7つのサブグループ(①バクテリア生産、②有機物動態と一次生産G、③水生昆虫G、④魚類G、⑤鳥類G、⑥物理環境・モデル解析G、⑦流域スケールでの物質動態G)を編成し、解明を進めてきた。

1. バクテリア生産量 (BP) の時空間変動 (土屋)

常田地区の瀬 (Sta. TS)・淵 (Sta. TF), 岩野地区の瀬 (Sta. W) におけるプランクトン BP とバイオフィーム BP を図1に示した。プランクトン BP は

5.5~466 mgC/m³/day, バイオフィーム BP は 2.9~132 mgC/m²/day の範囲で変動した。プランクトン BP は春に、バイオフィーム BP は夏に最大値を示した。プランクトン BP は地点間で差は見られなかったが, Sta. TS におけるバイオフィーム BP は Sta. TF, Sta. W と比較して高かった。また, バイオフィーム BP の水柱全体の BP への寄与率は 15.4~97.8%を示し, 春に最も低く, 冬に高い値を示した。ガンマ分布と対数リンク関数を仮定した一般化線形モデルを用いて, 環境変数がプランクトンおよびバイオフィーム BP に及ぼす影響を検討した。その結果, プランクトン BP は水温と溶存態有機炭素, バイオフィーム BP は水温, 地点, 流速, 溶存態無機窒素濃度, バイオフィームバクテリア現存量が主要な説明変数であることが示唆され, 両 BP は異なる環境要因によって制御されていたことが明らかとなった。

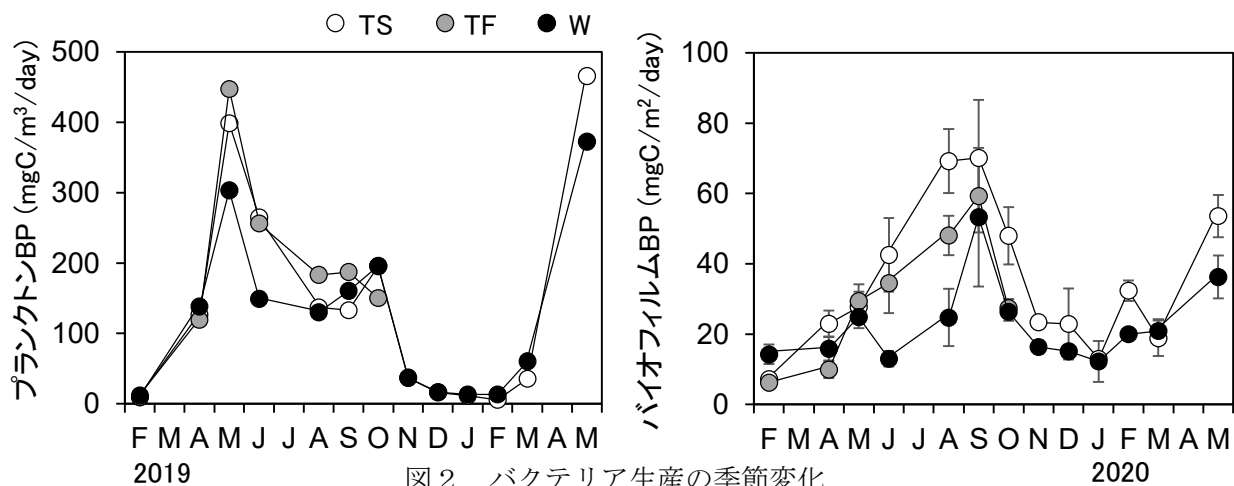


図2 バクテリア生産の季節変化

2. 付着藻類の純生産量の推定と流下有機物の起源 (宮原・戸田)

千曲川中流域における生態系代謝を明らかにするため, 二つの調査を行った。一つ目の調査では, まず, みかけ上の純生産量を明らかにするため, 現場における付着藻類の増加を2年にわたり観察した。この観察では, 水生昆虫による被食量や増殖などにもなる剥離量は評価できないため, 持ち帰った付着藻類から水生昆虫を取り除き培養し, 培養時の光合成速度と呼吸速度から現場での純生産量を見積もった。現場で観察した純生産量との差分を, 被食量と剥離量の合計とし, その純生産量に占める割合を推算したところ, 純生産量の81%が被食量と剥離量の合計と見積もることができた。一方, 年間の総生産量(純生産量と呼吸量)を見積もるため, 1年間水中の溶存酸素濃度を測定し, マスバランス法で純生産量および呼吸量を推算した。年間の純生産量および呼吸量を推算するため, 各月10日間について推算を行い, 年平均値を得た。

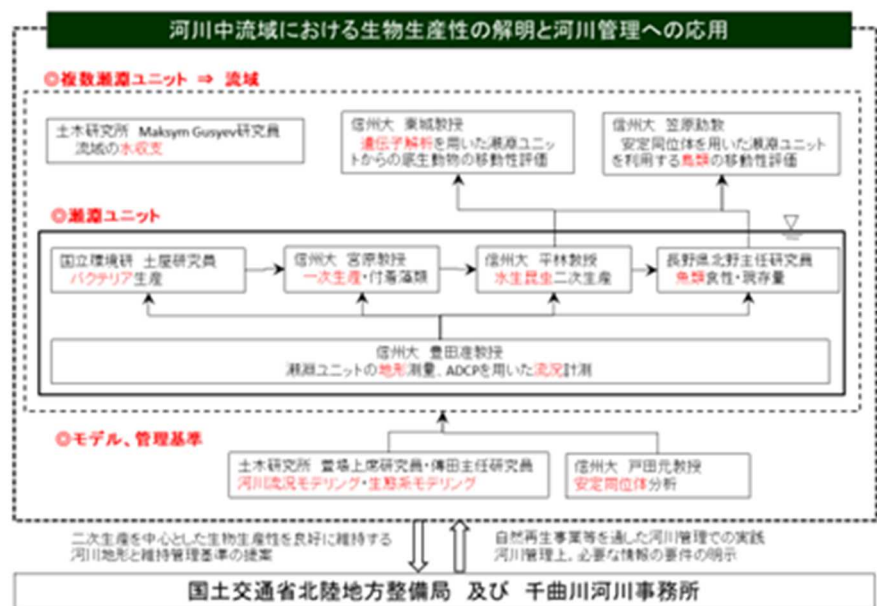


図1 研究組織

二つ目の調査では、流下懸濁物質中の有機物の起源解析を試みた。流下懸濁物質は付着藻と陸上植物の2つが主な起源であるため、炭素安定同位体比と C/N 比から、流下懸濁物質の有機物に占める付着藻類の寄与率を推定した。陸上植物の炭素安定同位体比の試料差は C/N 比よりも小さく、こちらから算出された寄与率を採用することとし、流下懸濁物質の4割は付着藻類、6割は陸上植物由来とした。以上、二つの調査をまとめ、千曲川中流域（常田地区）の生態系代謝を整理すると図3のようになった。

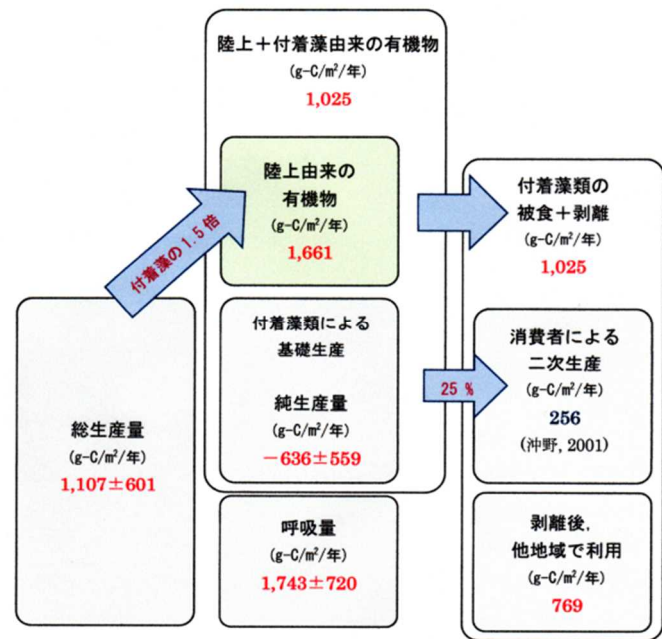


図3 常田地区における生態系代謝のまとめ

3. 水生昆虫類の二次生産力(平林)

3-1. 千曲川中流域における全水生昆虫類の二次生産力

2015-2017年を例に、分類群ごとの二次生産力を表1に示した。各地区の二次生産力は、瀬と淵の平均値とした。算出された二次生産力(AFDWg/m²/年)は、常田地区では

53.5~90.0、岩野地区は46.2~58.4の変動幅であった。また、二次生産力の各分類群が占める割合を図4に示した。常田地区、岩野地区ともに全年度でトビケラ目の割合が高く、最低でも47%(常田地区2015年、2016年)を占め、最高では67%(常田地区2017年)を占めた。トビケラ目の中でも常田地区ではヒゲナガカワトビケラの割合が高く、岩野地区ではヒゲナガカワトビケラを除くトビケラ目の割合が高かった。

表1 算出された全水生昆虫類の二次生産力 (AFDWg/m²/年)

3-2. 他河川の水生昆虫類の二次生産力との比較

世界の河川における水生昆虫類の二次生産力の値(Gaines et al., 1992 ; Meyer and Poepperl, 2003 ; Tsuda, 1975)

と比較してみると、アメリカやニュージーランドなどの温暖湿潤の気候帯を流れる河川と比べても2-3倍高い値を示した。

4. 魚類群集(北野)

4-1. 種組成および現存量

秋季に実施した千曲川中流・広域投網調査の2016-2020年の結果を図5に示した。期間を通じてウグイ、オイカワ、ニゴイ、コクチバス(外来種:2002年頃に千曲川に侵入)が優占種であった。2018年のコクチバスは25%を占めたが年によって増減し、2020年にはゼロとなった(2020年のバスはすべてオオコクチバス)。2020年

	ヒゲナガカワトビケラ	ウルマーシマトビケラ	エチゴシマトビケラ	その他のトビケラ類	カゲロウ目	ユスリカ科	ガガンボ科(Antocha属)	その他	合計(全水生昆虫類)
2015年度	28.9	1.3	0.2	11.6	8.6	10.8	1.1	27.5	90.0
常田地区 2016年度	17.8	2.1	0.1	5.6	7.0	12.9	1.1	7.1	53.5
2017年度	26.7	3.2	0	7.3	5.7	3.4	0.5	8.9	55.7
2016年度	10.1	1.8	2.8	12.1	7.6	5.6	0.3	6.0	46.2
岩野地区 2017年度	13.5	6.0	2.8	9.8	7.8	4.4	0.1	14.0	58.4

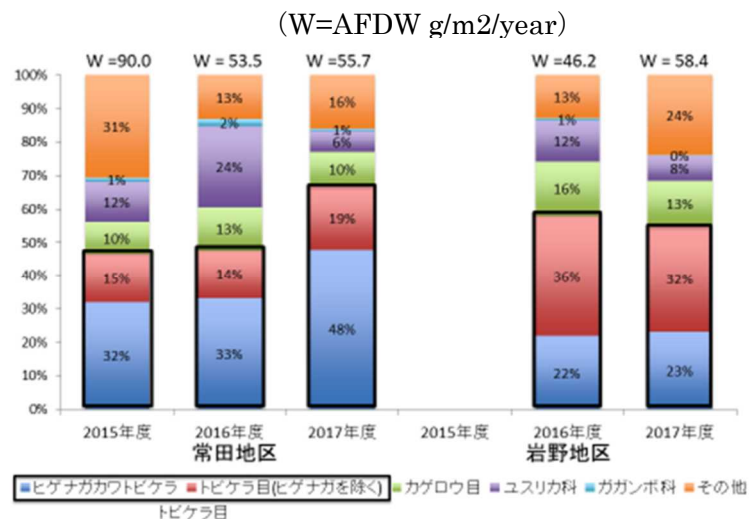


図4 水生昆虫類の二次生産力の各分類群割合

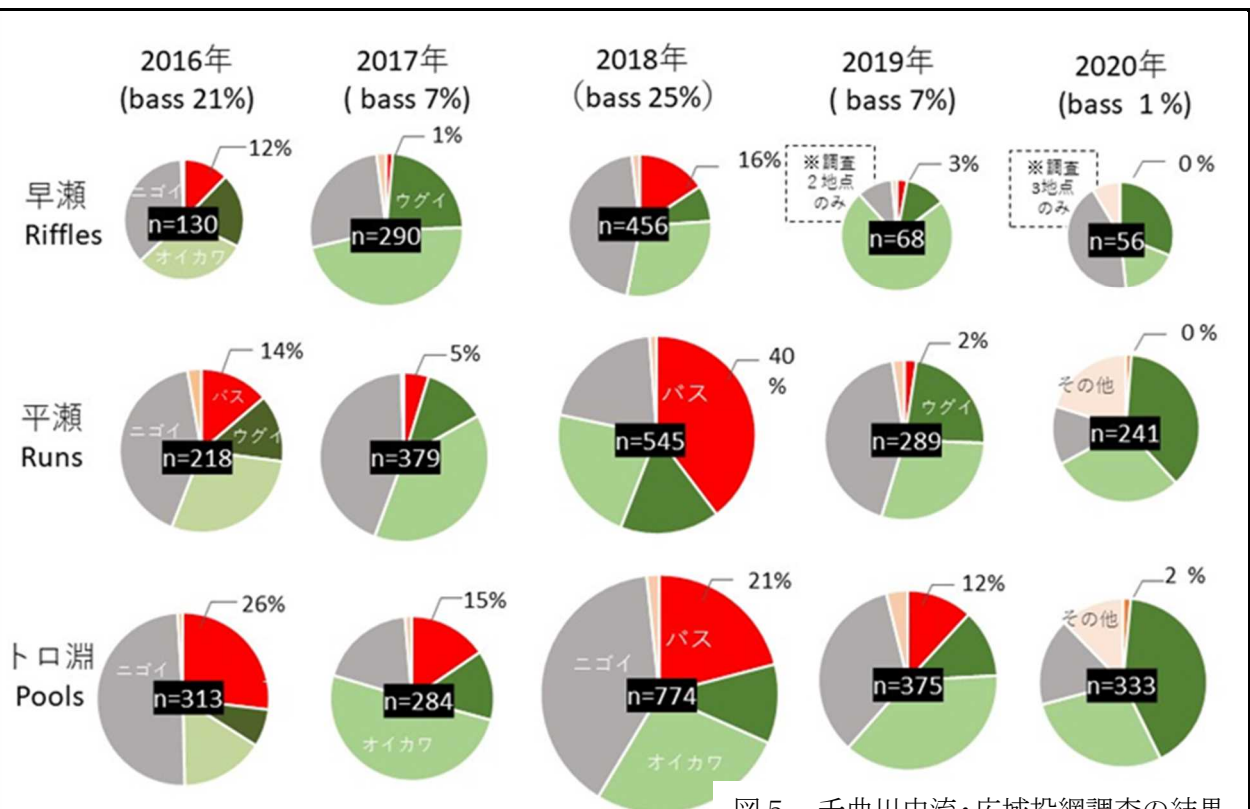


図5 千曲川中流・広域投網調査の結果

にはそれまでの優占種の他にアブラハヤ、モツゴ等のその他魚類の割合も増加しており、2019年秋の大規模出水がコクチバスの激減、種数の増加に影響したと考えられる。

4-2. 既往の千曲川魚類現存量との比較

これまでに千曲川学術研究グループで得られた魚類現存量と比較してみると、コクチバス侵入前の1999-2000年当時に調査された推定値84.7g/m²が最も高く、現在（台風前の5年間）の中流域はその10分の1程度と考えられた。2012年当時の密度よりは現在の密度は若干高いものの、場所によるばらつきが大きく増減に関する評価は困難であった（表2）。

表2 千曲川における現存量調査の比較.

調査年	時期	地点	環境	コクチバス g/m ²	コイ科その他 g/m ²	計 g/m ²	推定方法	出典
2015-2019年	初夏	冠着橋	本川・瀬淵	4.2	0.9	5.1	投網	本研究
2015-2019年	秋季	：	：	6.6	3.0	9.6	投網	本研究
2015-2019年	秋季	赤坂～鼠橋	本川・瀬淵	1.0	3.8	4.8	投網	本研究
2012年	夏	常田新橋	本川・瀬淵	0.0	3.4	3.4	投網	①
2012年	夏	大望橋	：	0.0	10.9	10.9	投網	：
2012年	夏	冠着橋	：	1.4	1.3	2.7	投網	：
2012年	秋	常田新橋	：	0.0	0.0	0.0	投網	：
2012年	秋	大望橋	：	0.0	9.9	9.9	投網	：
2012年	秋	冠着橋	：	0.8	0.3	1.1	投網	：
1999-2000年	冬季	鼠橋下流	本川・瀬淵	0 (未侵入)				

図5 調査年毎の魚種現存量の変化

出典：①千曲川研究グループ（2014）「千曲川の総合研究Ⅲ」、

②千曲川研究グループ（2001）「千曲川の総合研究－鼠橋地区を中心として－」

5. 鳥類の捕食－被食関係と、瀬と淵の利用状況（笠原）

先行研究および本プロジェクトでの成果から千曲川における捕食－被食関係を示した（図6）。

また、2016–2018 年に行ったセンサーカメラ調査から、常田地区と岩野地区において、瀬と淵に共通して最も多く記録されたのは水面採食鳥類であった（図 7）。瀬では歩行採食鳥類が、淵では潜水採食鳥類が水面採食鳥類に次いで多かった。全体的な鳥類の出現数は淵よりも瀬で多い傾向があり、瀬どうし、淵どうしの比較では、礫が露出した瀬および流れの遅い淵で、鳥類の出現数が多い傾向が見られた。礫が露出した瀬では、シギチドリ類やセキレイ類などの小型の歩行採食鳥類や陸鳥などに礫が足場を提供することで、水へのアクセス性を高め、結果的に採食行動や体の大きさなどが異なる様々な鳥類に採食場所や水浴び場などの利用場所を提供していると考えられた。また、流れが遅い淵は、身体の小な潜水採食鳥類のカイツブリ類が採食可能な小魚が多く存在する可能性や、水面採食鳥類のカモ類が水面に滞在する労力を少なくしながら効率よく採食できる可能性などが考えられた。礫が露出した瀬では昼夜ともにカモ類などの水面採食鳥類とサギ類やシギチドリ類などの歩行採食鳥類が出現した一方で、流れの遅い淵では、昼間を中心にカモ類などの水面採食鳥類とカワウやカイツブリなどの潜水採食鳥類が出現していた。

鳥類の食性（図 6）と併せると、瀬では水生昆虫と魚の両方が様々な鳥によって捕食されていることが示された。淵を利用する鳥類の食物内容は課題として残るものの、これまでに明らかとなった鳥類の出現頻度と食物内容から、瀬における二次生産は、淵よりも大きい可能性が示唆された。

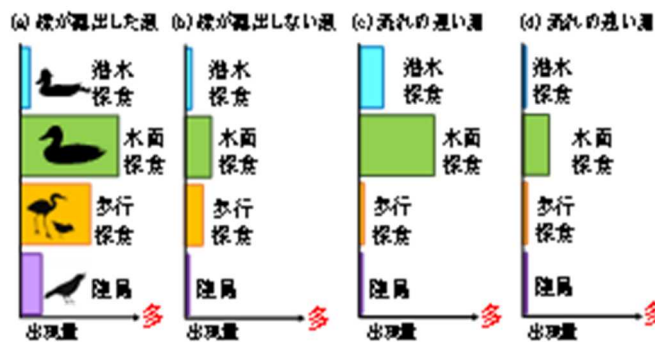


図 7 千曲川の瀬淵における出現鳥類の多さ

6. 信濃川水系内の水生生物の集団構造と遺伝構造の解明（東城）

千曲川水系は国内最大規模の水系であり、多様な底生動物が生息している。特に、中流域では底生動物の現存量も大きく、藻類などの生産性の高さと深く関係していると考えられる。それらの底生動物が、「本川–支川間でどの程度移動分散しているのか?」、「その移動分散の方向性や強度はどの程度であるか?」これらの問いに答えるのは極めて困難である。従来、特定の個体を標識して採捕するような調査手法や、発信機を装着させることで移動を追跡するような調査・研究は実施されてきたものの、特定の個体の行動記録にとどまり、種群全体の動向を議論することは困難であった。しかしながら近年では、流域内の調査地点における生息密度や検出される遺伝構造から、流域内における遺伝的多様性の高いエリアを絞り込むことや、遺伝子流動の方向性や強度から、当該生物の移動分散の方向性や強度を議論することも可能となりつつある（Saito and Tojo, 2016a, b; Saito et al. 2016; Tomita et al., 2020）。このような背景下、千曲川水系において優占的となる底生動物種群を中心に、流域内広域を対象

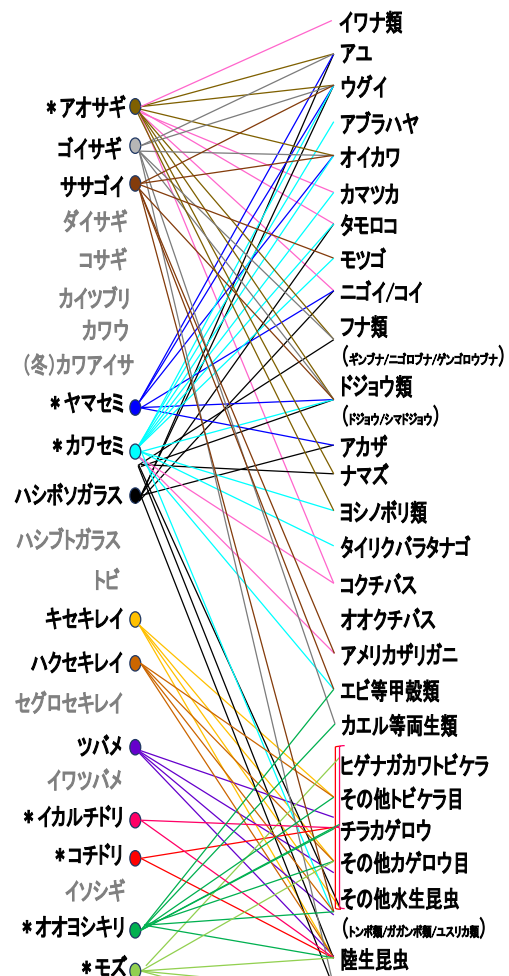
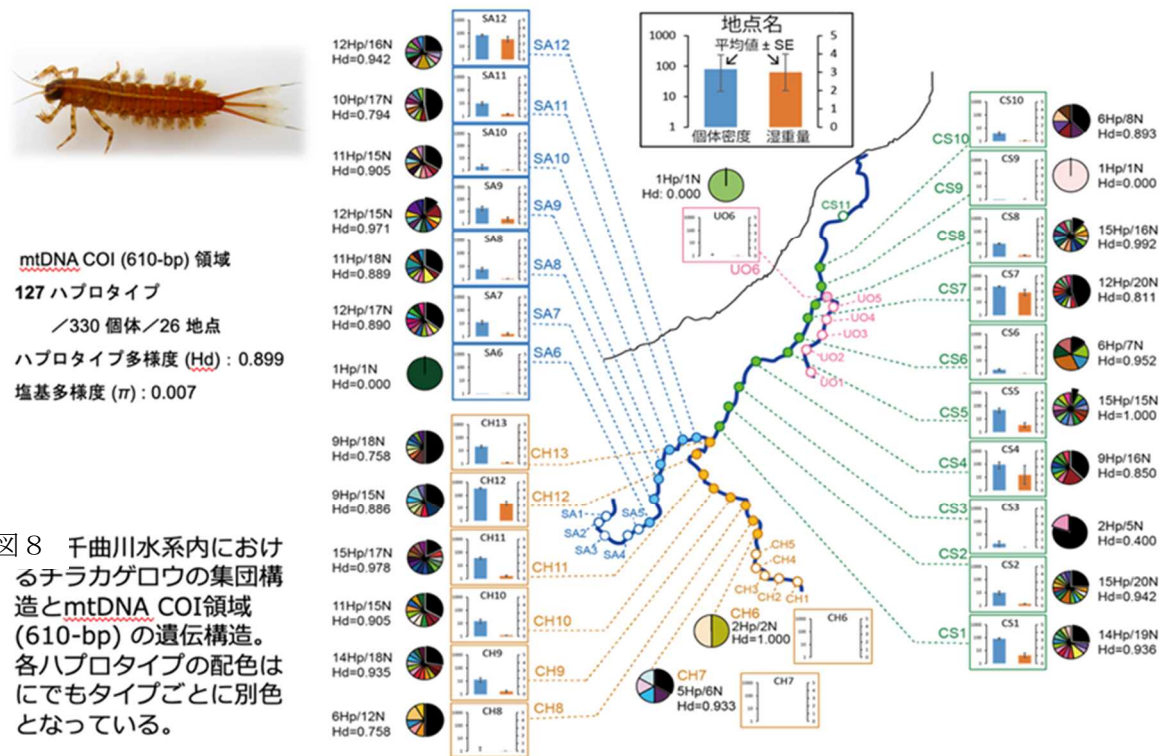


図 6 鳥類と被食生物との関係

中村・吉田（2001）および中村・長田（2001）、（Kasahara & Katoh 2008, 笠原 未発表）および本プロジェクトでの調査結果。アオサギとカワセミにおいて、桃色の線は先行研究では検出されておらず、本プロジェクトで初めて検出されたことを示す。灰字の種は千曲川でよく出現する種であるが食性調査が実施されていない種を示す。（冬）を付した種は千曲川ではよく出現するものの出現時期が越冬期である種を示す。

にした集団構造や遺伝構造の比較検討から、流域内における移動分散の方向性や強度を追究するとともに、それぞれの底生動物における「Source-Sink（供給源-分散先）」の関係性を究明することで、流域内における底生動物の多様性や生産性の相対的な評価、流域内での重要地域（ホットスポット）の可視化を目的に集団構造・遺伝構造の解析を実施してきた。



7. 千曲川上中流域集水域内の水収支（マキシム）

雨水の長期トリチウム (^3H) 濃度データと本州からの短期データを用いて、調査対象域での水の滞留時間・滞留量を推定した。70%指数モデルによる推定MTTは、今回の調査地域では、9～31年と推定された ($^3\text{H} = 1.890 (\pm 0.038) \sim 2.807 (\pm 0.052) \text{ TU}$)。一方、飲料水として使用されている長野市内の湧水では、 ^3H 濃度は $0.614 (\pm 0.024) \text{ TU}$ 、 NO_3^- 濃度は 76 mg/L と高く、MTTは160年と長かった。深さ1000mの鬚櫛温泉井戸では、 NO_3^- 濃度 0.04 mg/L 、MTTは204年であった ($^3\text{H} = 0.085 (\pm 0.014) \text{ TU}$)。千曲川流域で河川水のMTTは18～34年であった。2017年12月～2018年1月の調査から、トリチウムは $1.890 (\pm 0.038) \text{ TU} \sim 2.807 (\pm 0.052) \text{ TU}$ であり、MTTは9～31年であった。利根川流域の採水調査では、2017年6月7日に低流量の利根川で採水したサンプルのトリチウムは $2.598 (\pm 0.051) \text{ TU} \sim 3.171 (\pm 0.056) \text{ TU}$ であり、MTTは25～40年、計数低減率は1.33であった。8月と9月に長野県菅平高原で採取した雨水中の NO_3^- 濃度は 5 mg/L であり、野辺山高原の雨水濃度よりわずかに高かった。2017年12月に $f_y = 0.36$ 、2018年9月に $f_y = 0.66$ であった。また、河川水の極微量トリチウム分析も実施した。生田観測所地点では、貯留地下水が河川に流れ込んでいるが、このフラクション数を使うことで、河川流量のうち地下水分を計算することができる。河川水のMTT (9～31年) と河川流量 ($0.0013 \sim 32.7 \text{ m}^3/\text{s}$) とを乗じると、千曲川上流域 ($30.2 \sim 2036.4 \text{ km}^2$) の地下水貯水量は $0.0011 \sim 22.41 \text{ km}^3$ の範囲となる。年間データによると、塩名田観測所が位置する集水域での深層地下水涵養量は年平均降水量の8～31% (平均21%)、生田と塩名田観測所の間に地下水流出は年平均降水量の17～45% (平均30%) であった。2017年12月及び2018年1月の調査から、生田観測所が位置する集水域では、千曲川の帯水層に加えて、源流付近の集水域でも地下水涵養があることが示された ($3.9 \sim 6.9 \text{ m}^3/\text{s}$)。2019年10月12日、地下水貯留はほぼ最大になり、台風によって引き起こされた大雨の多くをさらに200MCM組み込むことができた。このことは、洪水調節機能と給水機能を備えた多目的ダムに似ており、将来の貯水にも利用できる可能性がある。BTOPモデルを使用した研究では、地下水依存と地下水の生態学的

意義を解明すべく、地下水から河川水への栄養塩負荷を把握することが可能である。

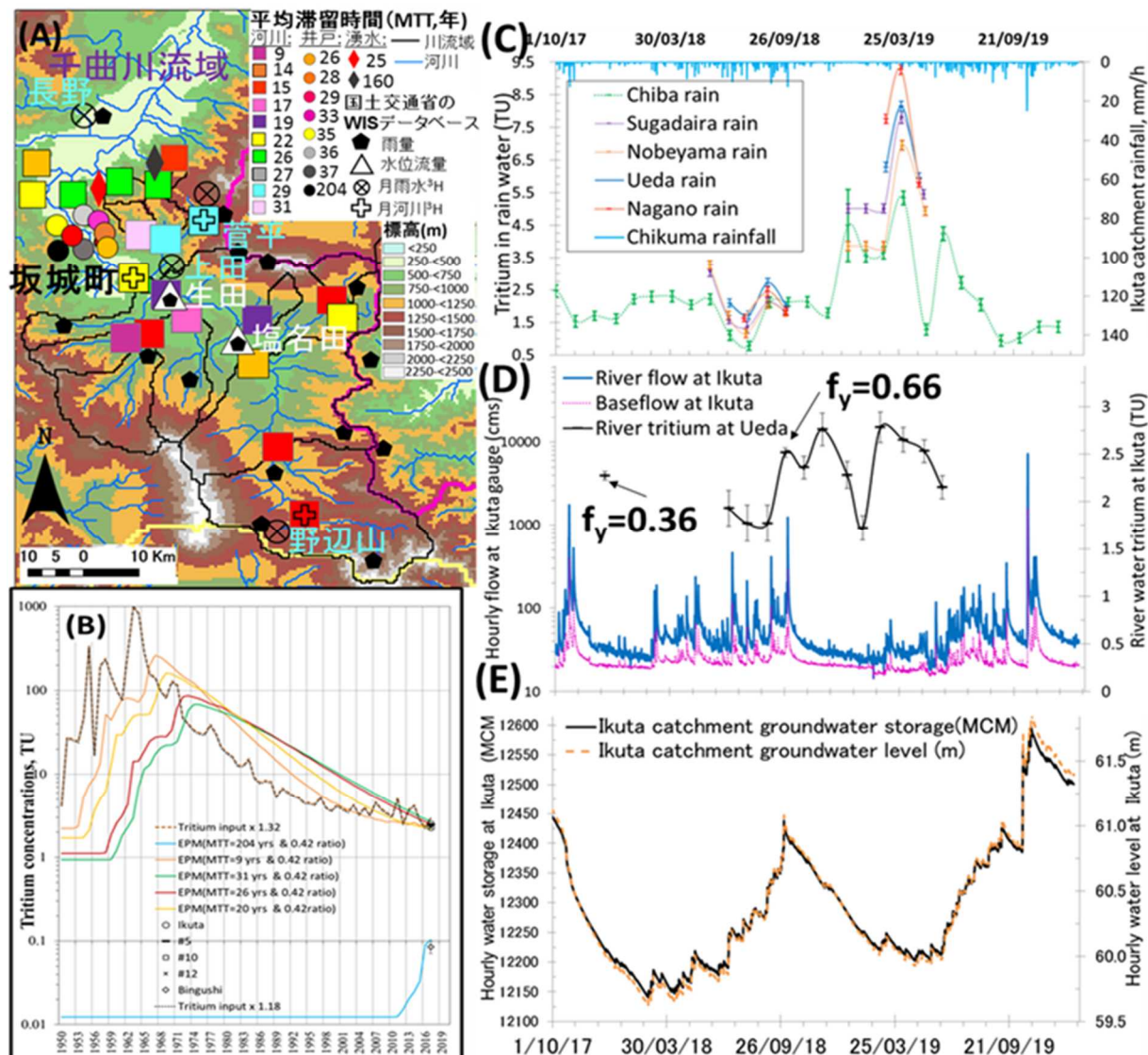


図9. 千曲川流域の各研究対象地点の平均通過時間 (MTT)推定結果

(A). インプット ^3H 濃度(月東京 ^3H 濃度 $\times 1.32$), 実測 ^3H 濃度, EPMを用いて推定した ^3H 濃度, (MTT=9年, 20年, 26年, 31年 & 204年) およびEPM比(B). 千曲川流域の降水量のおよび長野, 上田, 菅平, 野辺山の降水水中の月別 ^3H 濃度(C) 生田地点の毎時河川流量, "古い水"に分離する上田地点の月別 ^3H 濃度(D). 平均滞留時間(MTT)及び流量(Q_{riv})から得られる ^3H 採取地点の流域貯留量($V[10^6\text{m}^3]$), 千曲川流域の地下水貯水量及び地下水位の変化シミュレーション結果(E).

8. 淵における三次元流動シミュレーション(豊田)

常田(上田市)と岩野(千曲市~長野市)の淵において, ADCP 観測結果(流れ場)を再現できる準三次元数値解析モデルを構築し, その流れ場に物質輸送の効果を加えた微細粒子堆積シミュレーションを行った.

8-1. 数値モデルの概要

常田新橋下流の常田地区(河床勾配: 約 1/180)と岩野橋上流の岩野地区(河床勾配: 約 1/1000)を対象とした. 数値モデルは, 北澤(2001)の準三次元流れ場モデルに, 豊田(2007)の方法で浮遊土砂の堆積効果のみを加えたものを用いた. なお, 微細粒子の粒径は $9\mu\text{m}$ とした.

8-2. 物質輸送シミュレーションの結果および生物生産性検討のための流況解析時の注意点

それぞれの淵において, 現地観測時の流量を参考として現地において想定される流量を用いて, 定常状態の流れを作ったのちに, SS をパルス状で上流端から与えた. そして, 物質堆積傾向を定量的に評価するために, 計算領域全体における単位面積当たりの堆積量を求めた. それぞれの淵で流量を平水時の範囲で変化させて得られた結果が図10である.

この結果から、平水時における流下物質の堆積量は、岩野の淵の方が常田の淵よりも 5%程度大きいことがわかった。また、流れ場の 3 次元性を検討した結果、常田の淵では流れ場の 3 次元性はほとんどみられないのに対し、岩野の淵では流れ場の 3 次元性が若干みられた。また、その 3 次元性が物質の堆積量に及ぼす影響をみるために SS の移流拡散方程式のみを 2 次元として計算した結果、常田の淵ではほとんど差がみられないが、岩野の淵では 20% 程度の差となった。このことから、生物生産性を研究する上での基礎となる流況解析に 2 次元モデルを適用した場合、岩野の淵で若干過大評価になることを念頭に置く必要があるものの、物質堆積傾向（岩野＞常田）には差はみられないことがわかった。

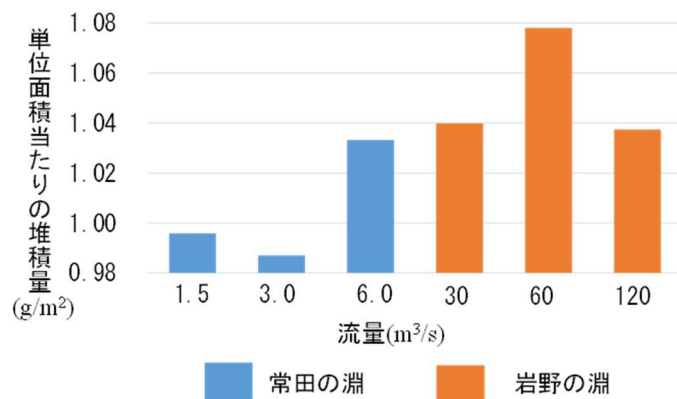


図 10 常田、岩野両地点の淵における堆積量

9. 河川版コンパートメントモデルと生産性管理基準の提案（傳田）

9-1. 河川版コンパートメントモデル

河川版コンパートメントモデルのフロー図を図 11 に示す。河川版コンパートメントモデルは、流量の取り込み・出水の判断、平面流況計算、各生物における季節性の判断、対象区間内の計算格子における一次生産量、水生昆虫類、魚類の現存量推定、生産性の推定、計算対象期間の繰り返し及び計算結果の出力で構成される。常田地区においては、出水を 100m³/s と設定し、100m³/s 以上の出水が生じた場合には、計算を除外した。

生産性推定の基礎となる各生物の現存量の推定は、各生物の研究者の成果に基づき現存量に影響を与える主物理環境因子と現存量の関数（図 11 内の「 f （環境因子）」参照、以下、「現存量推定関数」と記述する。）を定義した。現存量推定関数は、季節、瀬及び淵により変化する設定とした。5 年間の計測の結果、前年度の出水流量が翌年の現存量に影響を与える水生昆虫類と魚類に関しては、現存量推定関数に補正係数かけ、推定現存量を減じた。生産性推定は、モデル内に記録される前日の推定現存量と推定対象日の推定現存量を比較し算定した。

図 12 に現地観測による生産性推定と河川版コンパートメントモデルによる生産性推定の比較を示す。一次生産、水生昆虫類及び魚類の生産性を概ね良好に再現した。河川版コンパートメントモデルは、物理環境を主とする環境因子を入力として、河川生態系の一次生産、二次生産（水生昆虫類、魚類）を良好な精度で再現できることを確認できた。

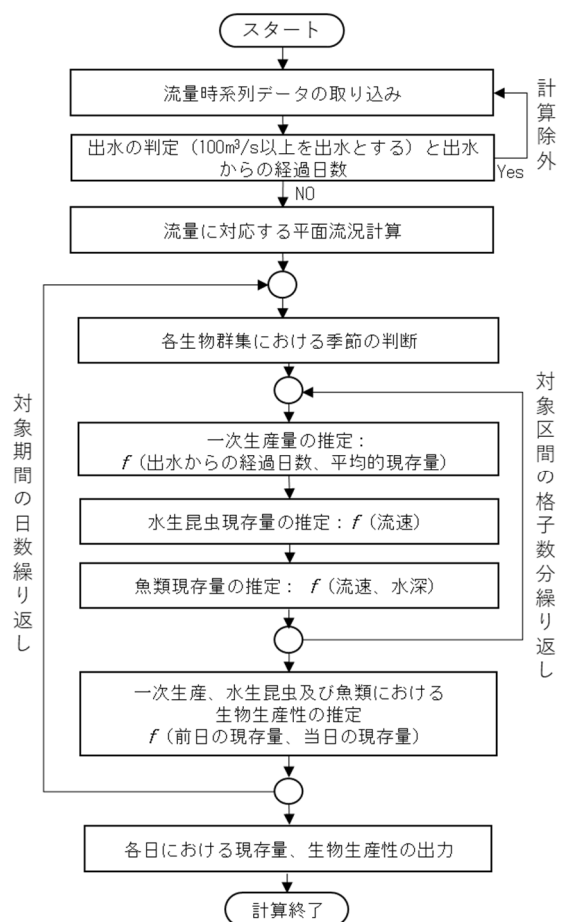


図 11 河川版コンパートメントモデルのフロー図

9-2. 生産性管理基準の提案

各生物における現地観測の結果、平水時における「流速」、「水深」及び「これらの組み合わせ」が、各生物における現存量・生産性に影響を与えることを明らかにし、「流速」、「水深」を用いた生

産性管理基準を考案した。一般的に、流速は平水時における流量を断面積で除して求めることができ、平水時における断面積は川幅（以下、「b」と記述する.）と「水深」（以下、「h」と記述する.）の積で求めることができる。流量に大きな変化がない場合、b と h を用いれば、流速を推定することができる。これらの関係性を平易に求めるデータとして、定期的横断面測量に着目した。対象区間における横断測量、平均河床勾及び配簡易等流計算を用いて、平水時における b、h 及び流速を求める手法を考案し、その指標化として「b/h」を考案した。千曲川の横断面において b/h を求め、河道内微地形の特徴や生産性に影響を与える流速、水深を良好に表現できることを確認した。

応用研究として、平面流況計算を用いて常田地区における過去の測量成果から、過去の流況を再現した。その後、河川版コンパートメントモデルを用いて過去の生産性を再現した。最後に、過去の b/h を算定し、生産性との関連性を分析した。

図 13 に河川版コンパートメントモデルを用いて推定した常田地区における二次生産（水生昆虫の生産、魚類の生産）と b/h の関係性を示す。

b/h が約 19～23 の値をとる地点で、二次生産が大きくなった。b/h が 19 となる 2005 年、b/h が 23 となる 1960 年代の順に、複流路、瀬、淵が発達した時期に二次生産が大きかった。

一次生産

付着藻類

実測による推定
729～1485
(図15より)

モデルによる推定
1230.66

二次生産

水生昆虫

実測による推定
43.1～69.7
(図15より)

モデルによる推定
74.24

魚類

実測による推定
207～234
(図15より)

モデルによる推定
219.31

図 12 実測による生産性推定と河川版コンパートメントモデルによる生産性推定の比較

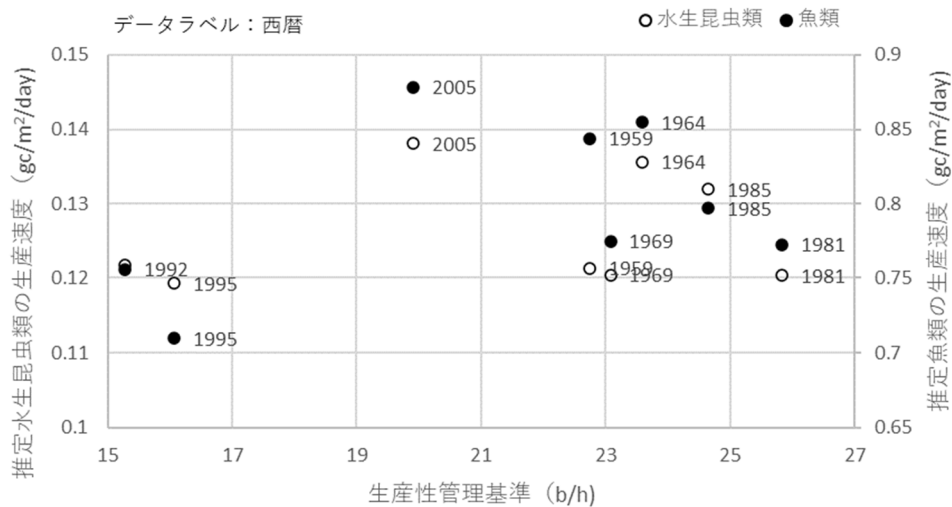


図 13 生産性管理基準 (b/h) と水生昆虫類の生産力及び魚類の生産力との関係性

10. まとめ

図 14 に本研究における千曲川中流域における炭素の物質収支を示した。沖野(2001)の報告に、オレンジ枠、赤字を追加して、新たな知見・情報を追記した。一次総生産量の 1.6 倍にあたる 1743 gC/m²/year もの呼吸量が計測された。そのため、通年での純生産は -636 g C/m²/year と負の値となった。この河川全体での呼吸量に対し、細菌類の呼吸量は 129.2 gC/m²/year であり、その差は河床での呼吸量と推定され、かなり大きな値である。一方、この負の純生産を陸上由来の有機物が補い、河川生態系の二次生産を支えており、その量は 1661 gC/m²/year と推定された。総一次生産量

に占めるバクテリアの純生産量は、 $52.9 \text{ g C/m}^2/\text{year}$ と比較的小さい値であった。しかし、千曲川中流域における付着性および浮遊性バクテリアの純生産量（それぞれ $3 \sim 132 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$, $6 \sim 466 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ ）は、他河川における値（付着性： $7 \sim 286 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$, 浮遊性： $0 \sim 618 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$; Ainsworth and Goulder 2000a, b, Carr et al. 2005, Fukuda et al. 2006, Scott et al. 2008, Kamjunke et al. 2015）と同程度であった。陸上由来の有機物量と細菌類による純生産量を含めた有機物生産量

（ $1078 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ ）を消費者による二次生産量と剥離後、他の地域で利用される有機物量の合計と見積もった。魚類や水生昆虫類などの消費者による二次生産量は、付着藻類による純生産量の 20-30%とされているが、ここでは上記の有機物生産量の 25%とし、 $270 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と見積もった。この内の約 20%が水生昆虫類による二次生産量（およそ $43\text{--}70 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ ）であり、残りの約 80%が魚類などによる二次生産量（およそ $200\text{--}227 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ ）と推計された。アユの二次生産力は他の魚類に比べて極めて高いことが報告されており、京都府の宇川におけるアユの二次生産力は、最大で $413.7 \text{ (g/m}^2/\text{year: 炭素換算で } 33.1 \text{ gC/m}^2/\text{year})$ と報告されている(川那部, 1970)。千曲川ではアユ(全て放流由来)は遊泳魚の 1%未満にとどまる。

水中有機物の安定同位体比の測定結果より、陸上由来の有機物と、内生有機物との比がおよそ 6:4 であることから、陸上由来の有機物量は $1661 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ と見積もられ、付着藻類による総生産量を上回る大きな値を示した。また、剥離後、他地域で利用される有機物は $808 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ で、消費者による二次生産量の 3 倍の値を示した。

図 15 は、魚類を中心とした生物生産力の季節変化を 3 季についてまとめた。時空間的に生物生産力に違いが認められること、それらを利用する魚類の捕食速度も大きく異なることが示唆される。バクテリアによる生産力は夏季から秋季に高く、冬季に低くなる季節変動を示した。また、瀬・淵の違いは一次生産と同程度であった。

瀬における付着藻類の純生産力は、年間を通してあまり大きな変化は認められなかった。総生産に大きく関わる付着藻類の現存量は、夏季から秋季に少なくなる傾向は毎年観察されるが、冬季から春季の付着藻現存量に季節性が見られないので、ここに示された総生産量が季節性を反映しているか不明である。水生昆虫類も年間を通して、また、瀬・淵の違いもあまり認められなかった。ただ、冬季は水生昆虫類の生産力が春の生産力よりも高く、主には、ユスリカ類（特に大型のヤマユスリカ亜科）が重

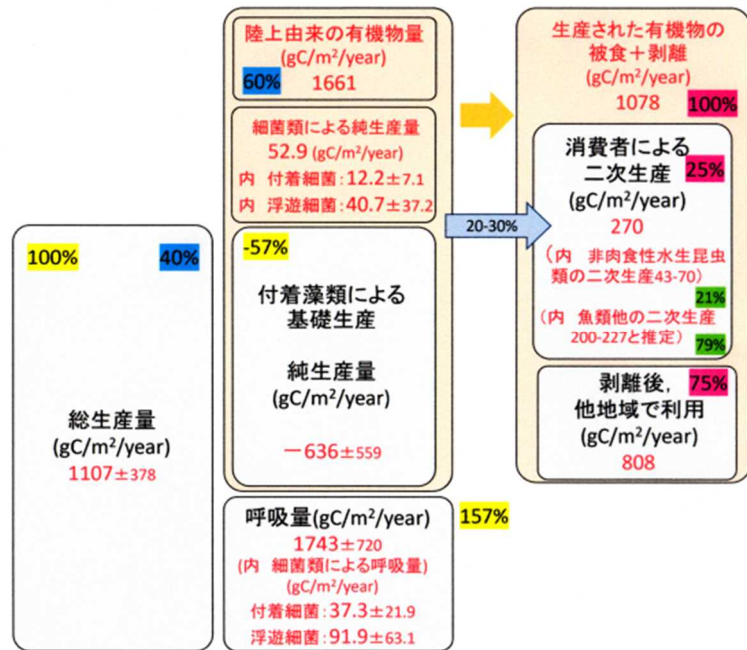


図 14 千曲川中流域における炭素の物質収支

生物生産速度と捕食経路（数字の単位はすべて $\text{mgC/m}^2/\text{day}$ ）

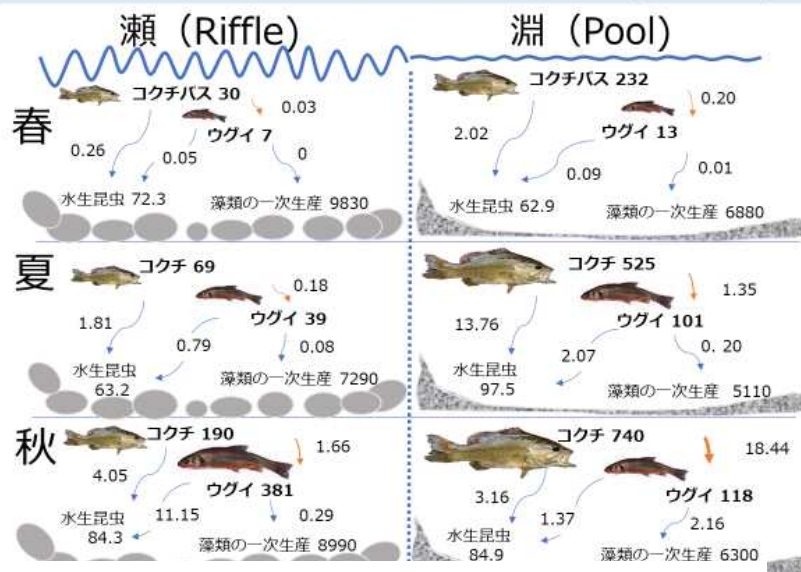


図 15 魚類を中心とした二次生産量と捕食量

要な役割を果たしている」と推測された。魚類の捕食は 180 日/年（水温 15℃<）として計算し、胃内容物の検討から捕食されている水生昆虫のほとんどはカゲロウ類(7・9 月の夏季に羽化)であり、ユスリカ類、トビケラ類は極少であった。トビケラ類の生産力は、水生昆虫類全体の 50%近くを占めるが、魚類に利用されているのは全生産量の約 10%を占めるカゲロウ類であった。淵ではカゲロウ類はほとんど羽化してこない。コクチバスは秋の淵で生産力が高く、ウグイを多量に捕食していると推計される。さらにこの時、ウグイは藻類を多く捕食していると思われた。一方、ウグイは秋の瀬で生産力が高く、水生昆虫類を多く捕食している。水生昆虫類は夏、淵でコクチバスに多く捕食されていると推計された。千曲川の生物生産は秋に生産力が高く、洪水が少ない年であれば、藻類も水生昆虫類も豊富に存在するため、生物生産力全体は、さらに高くなると予想される。

1 1. 今後の展望

1) 千曲川中流域の生物生産力を高めるために

沖野(2001)によると、千曲川の総生産量は 1056 gC/m²/year、呼吸量は 272 gC/m²/year、その差が純生産量 786 gC/m²/year として報告されている。本研究では、総生産量は 1107 gC/m²/year と、沖野(2001)の報告とほぼ同様の値を示したが、呼吸量が 1743 gC/m²/year と高い値を示した。これは、本研究で採用したマスバランス法が、河床/河床下をも含めた呼吸量を測定しているためであると推測され、結果として、付着藻類による純生産量がマイナスの値を示した。このことは、調査期間内における千曲川中流域の二次生産力は、陸上由来の有機物に支えられていたことを示唆している。陸上由来の有機物が、近傍の河畔林由来であるのか、さらには、上流域から供給されてくる有機物なのかは、現時点では不明である。二次生産者のうち、水生昆虫類では、水中の粒状有機物を網で濾過して摂食する濾過食者の生産力が高いのも、理解できる。河床が大きく変動するような大規模洪水が起きると、河床下に堆積した有機物が一掃され、河床の呼吸量が小さくなり、相対的に藻類の純生産量が高くなるのかもしれない。逆に長期間、大規模な洪水が起きなければ、河床下に有機物が堆積し、呼吸量が増大し、二次生産者は陸域の有機物に依存せざるを得なくなっているのかもしれない。

魚類により主に利用される水生昆虫類は カゲロウ類(7・9 月の夏期に羽化)であるため、河川が安定化し、造網型のヒゲナガカワトビケラなどの密度が高くなると、水生昆虫類全体の生産力は高くなるが、トビケラ類は魚類にあまり捕食されないため、物質循環上は、あまり重要ではないと推計される。このことから、水生昆虫類は造網性トビケラ類が主となる極相に至らぬよう、適度な攪乱を受け、カゲロウ類が優占する群集であることが望ましいと推測される。魚類では、本来存在しなかったコクチバスを少なくすれば、ウグイ、オイカワの生産力は上がりそうではあるが、逆に、水生昆虫類はウグイ、オイカワに捕食され、減少する可能性もある。本研究成果は高生産性の中流域を構成する単位の瀬・淵区域を対象としている結果であり、より多様性の高い流域全体を対象とする場合には、さらなる基礎的な研究の展開が必要となろう。

2) 今後の展望

モデル研究により、河床低下に伴う水深・流速の増加が、一次生産量の変化、餌資源を含めた魚類生息環境に影響を与え、浅い低流速域を有する複数流路で構成される水域が重要であることなどが明らかとなり、河川再生事業の現場で、活用されつつある。また、冬期における河道内掘削や河道内工事などの河川生態系への影響などについても、環境保全措置の観点から具体的な回避策や配慮事項などが提言できる可能性があり、将来、具体的な課題への応用が期待できる。

本研究調査後の令和元年東日本台風により、対象調査地の河道の構造は大きく変動した。そのため、これまで蓄積されてきた千曲川中流域における生物生産力のポテンシャルが、この洪水でどのように変化し、どのように回復していくのかについて、新たな視点で検討をスタートさせることが期待できる。一例として、水生昆虫類のヒゲナガカワトビケラやナカハラシマトビケラの非越冬世代で、二次生産力を洪水前後の 1 年間で比較すると、約 1/10 程度まで生産力が落ちていることが明らかとなっている。

1 2. 河川等政策への質の向上への寄与

河川生態学、河川工学、河川管理者が連携し、共通の場で研究を行うことにより、河川生態系の「捕食-被食関係」や「生物生産力の構造」などが相互に理解でき、情報を共有することができた。その結果、千曲川の生態系保全の際に指摘される魚類現存量の減少、コクチバス・アレチウリなどに代表される外来種の駆除・防除などの喫緊の課題解決に向けての考え方や具体的な方策立案について、迅速に対応でき、大きな成果に繋がった。

河川中流域における生物生産性の機構解明と 河川管理への応用

PRODUCTIVITY OF COMMUNITIES IN THE MIDDLE REACHES OF THE CHIKUMA RIVER AND APPLICATION TO RIVER MANAGEMENT

研究代表者 平林 公男 (信州大学 教授)

Production studies have been recognized as a powerful tool in aquatic ecology, with applications in energy-biomass flow studies, trophic ecology, management of biological resources, as well as assessment of environmental stress. The object of our project is to estimate the productivity of communities of the middle reaches of the Chikuma River and to apply our results to river management, i.e., using secondary production as a tool for the assessment of the ecosystem structure. We suggested "a productivity management standard" newly.

Key Words : river management, material circulation, food web, secondary production, middle reaches of the Chikuma River, primary productions, productivity management standard

1. 研究の背景・目的

生態系を評価するための手段は、「密度や構成種などの群集構造の評価 structural measures」と「物質循環やエネルギーフローなどの機能的評価 functional measures」を組み合わせた方法が推奨されており、「構造的評価」と「機能的評価」の両者をカバーする評価法の一つに二次生産の分析がある。また生物生産は、生物相互作用や環境条件などの影響を受けるため、生物生産の推定は、環境変化や人間の活動からの影響を評価する手段ともなり、重要な指標の一つだと報告されている (Buffagani and Comin, 2000 ; Dolbeth, 2012)。しかし、我が国の河川においては、「物質循環と生物生産性」について、1970 年代に JIBP により実施された 2 河川 (奈良県吉野川と北海道遊楽部川) の総合研究調査があるのみで、その後の研究は大きく進展していない。近年、河川生態系を取り巻く環境は大きく変化しており、魚類現存量の減少やコクチバス等の肉食性外来魚の侵入などにより、1970 年代とは異なる「物質循環と生物生産パターン」の形成が推測される。近年の観測・分析や数値計算技術の進展・普及に伴い、一次生産を中心とした調査・研究には進捗がみられ、「物質循環と生物生産性」の実態解明の実現性は高くなっている。しかし、実河川における二次生産までを含めた生物生産性の実態把握とそのモデル化は未だ不十分であり、魚類現存量の減少をはじめとする水圏生産性の低下などの原因解明や、これら問題を解決するための河川管理上の留意点等の把握には至っていない。

河川中流域の瀬・淵ユニットにおいて、観測技術、

分析技術を駆使し、物理環境、一次生産及び二次生産を一連の系としてとらえる「二次生産系」の実態を把握し、その量的な関係を明らかにすることを第一の目的とした。また、野外において直接観測できない項目や、推測が難しい項目については、近年、著しい進歩が認められる数値モデルを駆使し、全体像の把握に努めた。河川生態系は時間的な変動が大きいので、季節や年を通じた野外でのデータ観測を継続するとともに、複数の手法を用いて生物生産力を推定した。さらに、推定したデータを元にして、開発したモデルを用いて過去からの生物生産性の変遷を再現し、二次生産に関する課題の原因推定と二次生産系を良好に保つための河川管理基準を提案することを目的とした。

5 力年の研究内容

本報告では、千曲川研究グループで共通調査地点 (上流より、常田新橋、岩野橋) を設け、「千曲川中流域における生物生産」というテーマについて、河道の

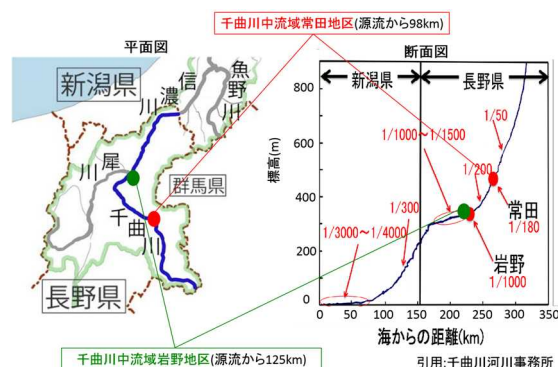


図1 調査地点

河川中流域における生物生産性の解明と河川管理への応用

⑤複数観測ユニット ⇒ 流域

土庫研究所 Maksym Gusev 研究員
流域の水収支

信州大 東城教授
衛星計測を用いた観測ユニットからの底生動物の移動性評価

信州大 笠原助教
安定同位体を用いた観測ユニットを利用する鳥類の移動性評価

⑥観測ユニット

国立環境庁 土庫研究員
バクテリア生産

信州大 宮原教授
一次生産/打撃適限

信州大 平林教授
水生昆虫二次生産

長野県 北野主任研究員
鳥類発生・越冬量

信州大 農田進教授
観測ユニットの地形測量、ADC計を用いた流況計測

⑦モデル、管理基準

土庫研究所 菅野上原研究員・俣田主任研究員
河川流域モデリング・生態系モデリング

信州大 戸田元教授
安定同位体分析

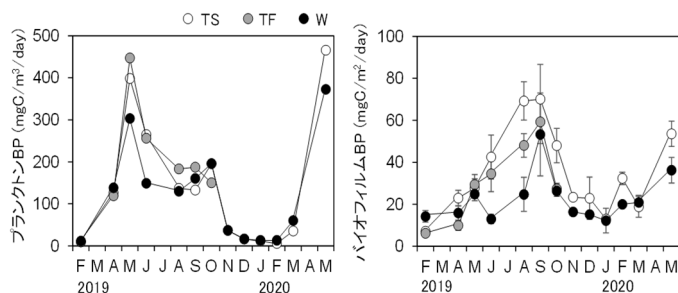
二次生産を中心とした生物生産性を良好に維持する
河川地形と維持管理基準の提案

自然再生事業等を通じた河川管理での実践
河川管理上、必要な情報の要件の明示

国土交通省北陸地方整備局 及び 千曲川川河事務所

生物分野からは、①バクテリア生産の時空間変動、②マスバランス法による生態系代謝の推定、③水生昆虫類の二次生産力の推定、④コクチバス駆除に伴う魚類群集の変化、⑤生息する鳥類からみた「捕食-被食関係」を紹介する。また、物理環境分野からは、⑥数値解析を用いた淵における微細粒子堆積傾向の比較、⑦河川版コンパートメントモデルを用いた複数年間の生物生産性の検証と生産性管理基準への展望を紹介する。流域スケールの研究としては、⑧流域における水循環、⑨遺伝子マーカーを用いた底生動物の水系内移動分散評価 (source-sink の関係性や遺伝的多様性のホットスポット追究) の概要を紹介する。

①**バクテリア生産（土屋）**：常田地区の瀬・淵および岩野地区の瀬において、プランクトンバクテリア生産量（BP）は $5.5 \sim 466 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ 、バイオフィルムBPは $2.9 \sim 132 \text{ mgC/m}^2/\text{day}$ の範囲で変動した。バイオフィルムBPの水柱全体BPへの寄与率は $15.4 \sim 97.8\%$ を示した。



②河川生態系における炭素循環（宮原）：流下懸濁物質中の有機物の起源解析を試みた。付着藻類と陸上植

常田地区

Year	W	ヒゲナガカガツビケラ	トビケラ目(ヒゲナガを除く)	カガロウ目	ユスリカ科	ガンボ科	その他
2015年度	90.0	32%	15%	10%	12%	1%	31%
2016年度	53.5	33%	14%	13%	24%	2%	13%
2017年度	55.7	48%	19%	10%	6%	1%	16%

岩野地区

Year	W	ヒゲナガカガツビケラ	トビケラ目(ヒゲナガを除く)	カガロウ目	ユスリカ科	ガンボ科	その他
2015年度	46.2	22%	36%	16%	12%	1%	13%
2016年度	58.4	23%	32%	13%	8%	0%	24%

Legend: ヒゲナガカガツビケラ (Blue), トビケラ目(ヒゲナガを除く) (Red), カガロウ目 (Green), ユスリカ科 (Purple), ガンボ科 (Light Blue), その他 (Orange)

から算出された寄与率（40％）を採用することとした。

③水生昆虫類の二次生産力（平林）：水生昆虫類の各分類群が占める二次生産力の割合は、常田地区、岩野地区ともに全年度でトビケラ目の占める割合が高く、最低でも47%（常田地区2015年、2016年）、最高では67%（常田地区2017年）を占めた。トビケラ目の中でも常田地区ではヒゲナガカワトビケラの割合が高く、岩野地区ではヒゲナガカワトビケラを除くトビケラ目の割合が高かった。しかし、魚類の主な餌となっているカゲロウ目の生産力は、全体の10%程度であった。

④魚類の現存量と生産力(北野): 2020年の魚類の生息状況は前年秋の大規模出水の影響を受けて大きく変化した。定点としている冠着橋サイトの本川ハビタット(早瀬, 平瀬, トロ淵)では, コクチバス, コイ科魚類(ウグイ, オイカワ, ニゴイ)の重量密度はそれぞれ0.25 g/m²(前5年比 6%), 0.21 g/m²(同25%)と大幅に減少した。コクチバスは秋になっても回復しなかったのに対し, コイ科魚類は2.65 g/m²(同106%)と例年並みに回復した。秋の広域調査でもコクチバスの捕獲は皆無だったのに対し, コイ科魚類は例年並みの結果であった。

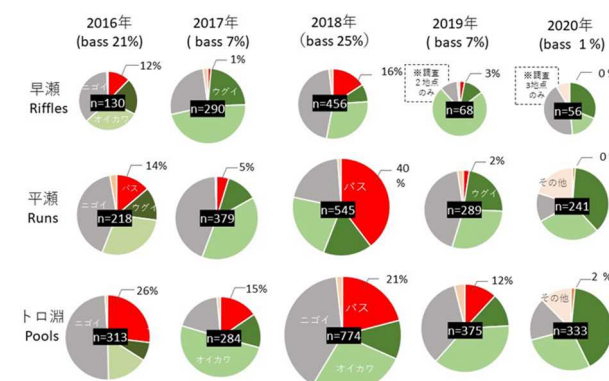


図5 調査年毎の魚種現存量の変化

⑤鳥類の食物としての魚類、水生昆虫類（笠原）：コクチバスの増加などの千曲川の魚類相の変化を鑑みて魚食性鳥類の食性を調査し、2000年代前半と比較した。小型のカワセミと大型のアオサギの両方で利用魚種に一部変化がみられ、アオサギではコクチバスの利用も確認された。また水生昆虫ではヒゲナガカワトビケラやチラカゲロウがオオヨシキリの主要な食物であった。

⑥信濃川水系内の集団構造と遺伝構造の解明（東城）：千曲川水系内において優占度の高い水生昆虫類を対象とする水系内の集団構造と遺伝構造に関する知見の更新（特に、遺伝子解析データの追加）を実施した。特に、流程分布するキロヒラタカゲロウとウエノヒラタカゲロウに関する遺伝構造データの充実化を図った。

⑦集水域内の水収支（マキシム）：BTOPモデルを利用した研究では、地下水から河川水への栄養塩負荷を把握することが可能であり、地下水依存と地下水の生態学的意義を解明すべく、地下水から河川水への栄養塩負荷量を把握することができた。

⑧淵における3次元流動シミュレーション（豊田）：常田地区では流れ場の3次元性はほとんどみられないが、岩野地区では常田地区に比べると、流れ場の3次元性が若干みられるが、それが物質輸送に与える影響は小さいことが明らかとなった。

⑨生産性管理基準の策定（傳田）：各生物における現地観測の結果、平水時における「流速」、「水深」及び「これらの組み合わせ」が、各生物における現存量・生産性に影響を与えることを明らかにし、「流速」、「水深」を用いた生産性管理基準を考案した。一般的に、流速は平水時における流量を断面積で除して求めことができ、平水時における断面積は川幅（以下、「b」と記述する。）と「水深」（以下、「h」と記述する。）の積で求めることができる。bとhを用いれば、流速

る手法を考案し、その指標化として「b/h」を考案した。千曲川の横断面においてb/hを求め、河道内微地形の特徴や生産性に影響を与える流速、水深を良好に表現できることを確認した。

4. まとめ

図7に本研究における千曲川中流域における炭素の物質収支を示した。沖野(2001)の図に、オレンジ枠、赤字を追加して、新たな知見・情報を追記した。一次総生産量の1.6倍にあたる1743 gC/m²/yearもの呼吸量が計測された。そのため、通年での純生産は-636 gC/m²/yearと負の値となった。この河川全体での呼吸量に対し、細菌類の呼吸量は129.2 gC/m²/yearであり、その差は河床での呼吸量と推定され、かなり大きな値である。一方、この負の純生産を陸上由来の有機物が補い、河川生態系の二次生産を支えており、

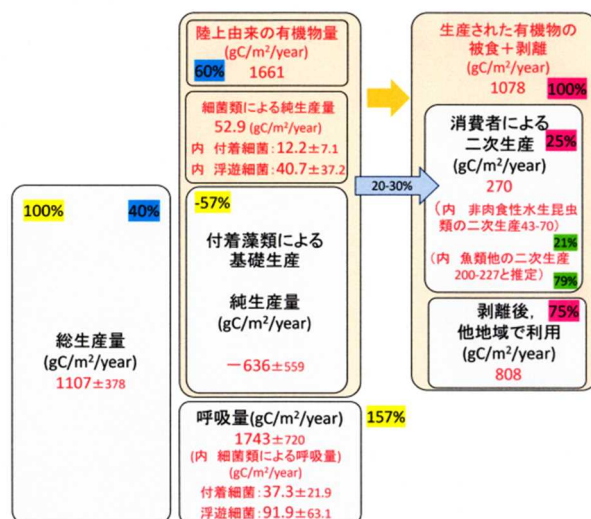


図7 千曲川中流域における炭素の物質収支

その量は1661 gC/m²/yearと推定された。総一次生産量に占めるバクテリアの純生産量は、52.9 gC/m²/yearと比較的小さい値であった。しかし、千曲川中流域における付着性および浮遊性バクテリアの純生産量（それぞれ3~132 mgC/m²/day, 6~466 mgC/m²/day）は、他河川における値（付着性：7~286 mgC/m²/day, 浮遊性：0~618 mgC/m²/day；Ainsworth and Goulder 2000a, b, Carr et al. 2005, Fukuda et al. 2006, Scott et al. 2008, Kamjunke et al. 2015）と同程度であった。陸上由来の有機物量と細菌類による純生産量を含めた有機物生産量（1078 gC/m²/year）を消費者による二次生産量と剥離後、他の地域で利用される有機物量の合計と見積もった。魚類や水生昆虫類などの消費者による二次生産量は、付着藻類による純生産量の20-30%とされているが、ここでは上記の有機物生産量の25%とし、270 gC/m²/yearと見積もった。この内の約20%が水生昆虫類による二次生産量（およそ43-70 gC/m²/year）であり、残りの約80%が魚類などによる二次生産量（お

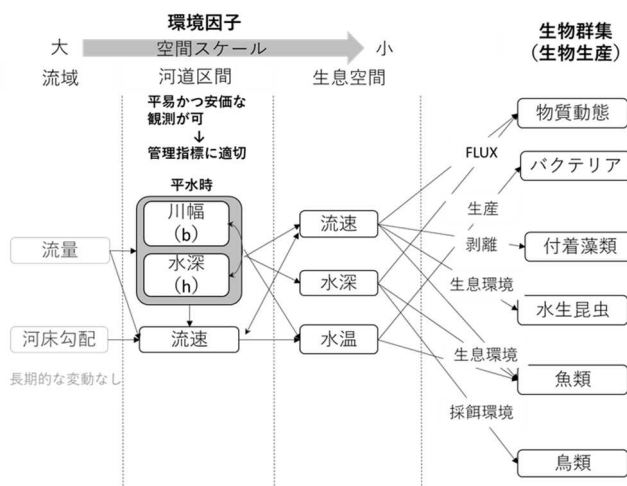


図6 モデル構築のための環境因子と生物生産

を推定することができる。これらの関係性を平易に求めるデータとして、定期的横断面測量に着目した。対象区間における横断面測量、平均河床勾及び配簡易等流計算を用いて、平水時におけるb、h及び流速を求め

よそ 200-227 gC/m²/year) と推計された。アユの二次生産力は他の魚類に比べて極めて高いことが報告されており、京都府の宇川におけるアユの二次生産力は、最大で 413.7(g/m²/year : カーボン換算で 33.1gC/m²/year)と報告されている(川那部, 1970)。

水中有機物の安定同位体比の測定結果より、陸上由来の有機物と、内生有機物との比がおおよそ 6:4 であることから、陸上由来の有機物量は 1661 gC/m²/year と見積もられ、付着藻類による総生産量を上回る大きな値を示した。また、剥離後、他地域で利用される有機物は 808 gC/m²/year で、消費者による二次生産量の 3 倍の値を示した。

5. 今後の展望

沖野 (2001) によると、千曲川の総生産量は 1056 gC/m²/year、呼吸量は 272 gC/m²/year、その差が純生産量 786 gC/m²/year として報告されている。本研究では、総生産量は 1107 gC/m²/year と、沖野(2001)の報告とほぼ同様の値を示したが、呼吸量が 1743 gC/m²/year と高い値を示した。これは、本研究で採用したマスバランス法が、河床/河床下をも含めた呼吸量を測定しているためであると推測され、結果として、付着藻類による純生産量がマイナスの値を示した。このことは、調査期間内における千曲川中流域の二次生産力は、陸上由来の有機物に支えられていたことを示唆している。陸上由来の有機物が、近傍の河畔林由来であるのか、さらには、上流域から供給されてくる有機物なのかは、現時点では不明である。二次生産者のうち、水生昆虫類では、水中の粒状有機物を網で濾過して摂食する濾過食者の生産力が高いのも、理解できる。河床が大きく変動するような大規模洪水が起きると、河床下に堆積した有機物が一掃され、河床の呼吸量が小さくなり、相対的に藻類の純生産量が高くなるのかもしれない。逆に長期間、大規模な洪水が起きなければ、河床下に有機物が堆積し、呼吸量が増大し、二次生産者は陸域の有機物に依存せざるを得なくなっているのかもしれない。

魚類により主に利用される水生昆虫類は カゲロウ類(7-9 月の夏期に羽化)であるため、河川が安定化し、造網型のヒゲナガカワトビケラの密度が高くなると、水生昆虫類全体の生産力は高くなるが、トビケラ類は魚類にあまり捕食されないため、物質循環上は、あまり重要ではない。このことから、水生昆虫類は造網性トビケラ類が主となる極相に至らぬよう、適度な攪乱を受け、カゲロウ類が優占する群集であることが望ましいと推測される。魚類では、本来存在しなかったコクチバスを少なくすれば、ウグイ、オイカワの生産力は上がりそうではあるが、逆に、水生昆虫類は捕食により減少する可能性もある。本研究成果は高生産性の中流域を構成する単位の瀬・淵区域を対象としている結果であり、より多様性の高い流域全体を対象とする

場合には、更なる基礎的な研究の展開が必要となろう。

モデルの研究成果により、河床低下に伴う水深・流速の増加が、一次生産量の変化、餌資源を含めた魚類生息環境に影響を与え、浅い低流速域を有する複数流路で構成される水域が重要であることなどが明らかとなり、河川再生事業の現場で、活用されつつある。また、冬期における河道内掘削や河道内工事などの河川生態系への影響などについても、環境保全措置の観点から具体的な回避策や配慮事項などが提言できる可能性があり、将来、具体的な課題への応用が期待できる。

6. 河川等政策への質の向上への寄与

河川生態学、河川工学、河川管理者が連携し、共通の場で研究を行うことにより、河川生態系の「捕食-被食関係」や「生物生産力の構造」などが相互に理解でき、情報を共有することができた。その結果、千曲川の生態系保全の際に指摘される魚類現存量の減少、コクチバス・アレチウリなどに代表される外来種の駆除・防除などの喫緊の課題解決に向けての考え方や具体的な方策立案について、迅速に対応でき、大きな成果に繋がった。

7. 主な発表論文及びホームページ等

Tsuchiya, K., T. Sano, N. Tomioka, K. Komatsu, A. Imai, K.

Hayakawa, T. Nagata, T. Okamoto, V. S. Kuwahara and A. Kohzu (2020) Novel method for measuring aquatic bacterial productivity using D₁₀-leucine based on protein synthesis rate. *-Aquatic Microbial Ecology*, 85, 121-129. doi:10.3354/ame01945

宮原裕一・中城由佳里・平林公男 (2019) 下水処理排水が河川生態系の化学量論と代謝に及ぼす影響, 信州大学環境科学年報, 41, 60-66.

Hirabayashi Kimio, Ohtsuka Kento, Namba Hiroki, Okada

Shunsuke and Choi Sangki (2019) Seasonal trends of density, biomass, and secondary production of *Antocha* sp. (Diptera: Tipulidae) in relation to the summer floods in the middle reaches of the Shinano River. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*30:9-14.

Peterson, M. I., **Kitano, S.** & Ida, H. (2019). Spawning season and nesting habitat of invasive smallmouth bass *Micropterus dolomieu* in the Chikuma River, Japan. *Ichthyological Research* 67: 1-6.

Kasahara, S., Morimoto, G., Kitamura, W. et al. Rice fields along the East Asian-Australasian flyway are important habitats for an inland wader's migration. *Sci Rep* 10, 4118 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60141-z>.

Saito, R., S. Kato, R.B. Kuranshi, T. Nozaki, T. Fujino and **K. Tojo** (2018): Phylogeographic analyses of the Stenopsycha caddisflies (Trichoptera: Stenopsychidae) of the Asian Region *Freshw. Sci.*,37: 562-572.

東城幸治・扇谷正樹・関根一希 (2012): 「標高傾度」と「系統進化」: 水生昆虫の分布と遺伝的構造. *昆虫と自然*, 47: 35-39.