

千曲川研究グループ

会長

平林 公男 信州大学繊維学部・教授（水生昆虫）

研究者

笠原 里恵 信州大学理学部・助教（鳥類）
萱場 祐一 国立研究開発法人土木研究所・グループ長（河川生態）
北野 聡 長野県環境保全研究所・主任研究員（魚類）
土屋 健司 国立環境研究所・特別研究員（バクテリア）
傳田 正利 国立研究開発法人土木研究所・主任研究員（河川工学）
東城 幸治 信州大学理学部・教授（底生生物）
戸田 任重 信州大学理学部・元教授
豊田 政史 信州大学工学部・准教授（河川工学）
Maksym Gusyev 国立研究開発法人土木研究所・専門研究員（河川工学）
宮原 裕一 信州大学理学部・教授（環境化学）

顧問

沖野 外輝夫 信州大学名誉教授

（50音順、所属機関・役職は令和3年3月31日現在）

お問い合わせ先

国土交通省 北陸地方整備局 千曲川河川事務所 調査課

〒380-0903 長野県長野市鶴賀字峰村 74 番地

岩野地区(2018年8月7日撮影)

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

＜研究期間＞

FS研究:平成27年度 一般研究:平成28年度～令和2年度

河川生態学術研究会

一千曲川研究グループ

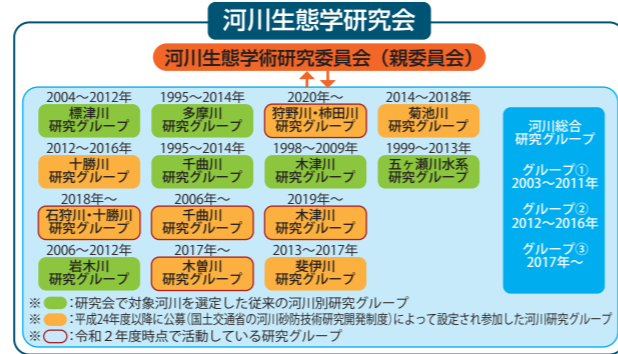
令和4年9月

常田地区(2018年8月7日撮影)

1 河川生態学術研究会 千曲川研究グループについて

河川生態学術研究会とは？

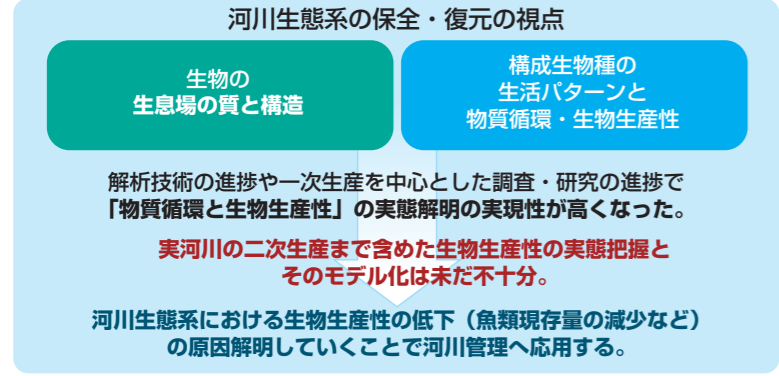
河川が本来持っている自然環境の役割を見直し、河川管理のあり方を再検討するため、生態学と河川工学の研究者、両者が共同して新しい河川管理に向けて総合的な研究を進めることを目的に創設された。



千曲川研究グループについて

千曲川では、蛇行を繰り返しながら瀬と淵を形成する中流域の景観が顕著である鼠橋地区、複列砂州と交差砂州の混在領域となっている栗佐橋地区を中心に、これまで掘削による人為的インパクトが生態系に与える影響を把握することを目的として、研究がおこなわれてきた。

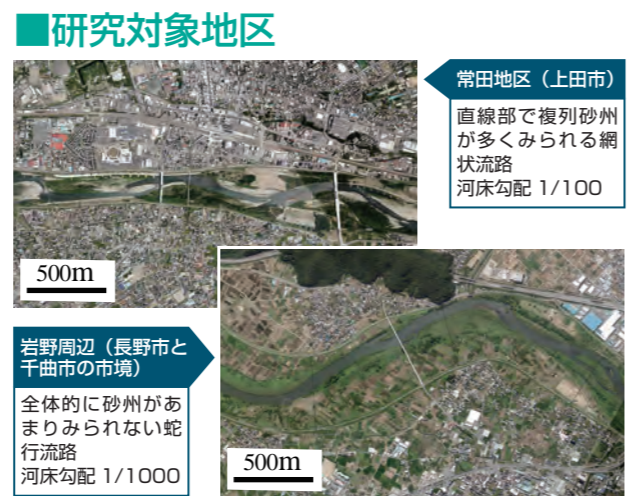
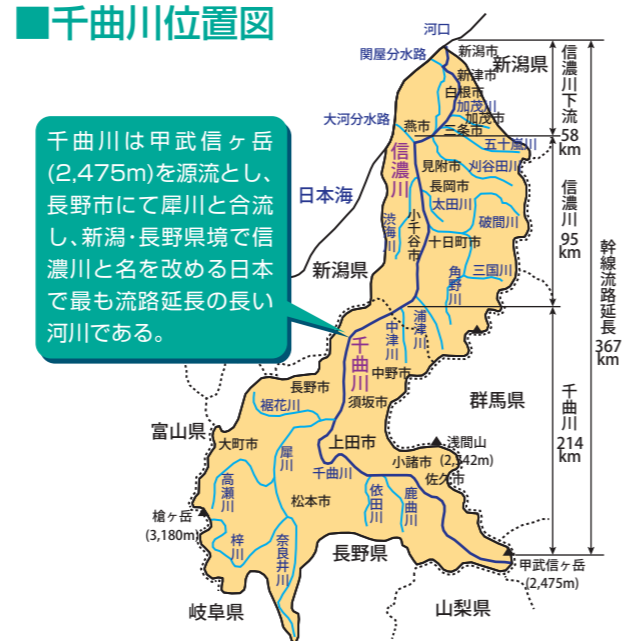
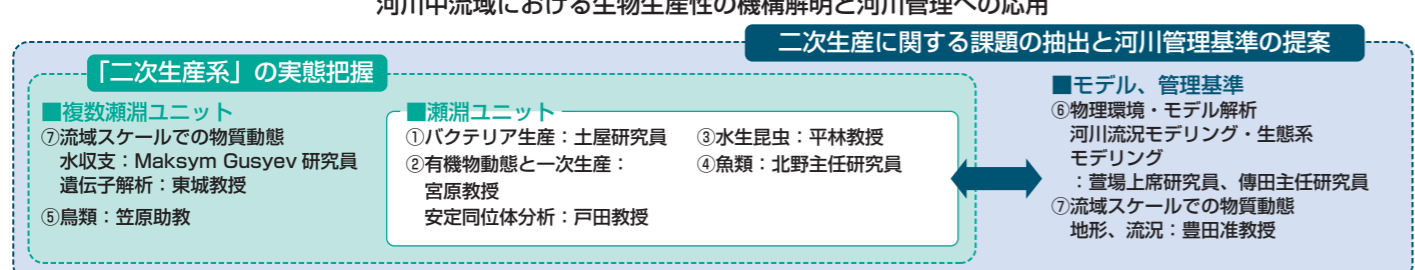
研究背景・課題



研究目的

- 本研究は、主に以下を目的として実施した。
- 河川中流域の瀬・淵ユニットにおいて、観測・分析技術を駆使し、物理環境と一次生産や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。
- 生物生産性の変遷を再現可能な数値モデルの開発により、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の提案を行うこと。

実施体制



2 千曲川研究グループの研究成果概要

①バクテリア生産グループ

バクテリアは溶存態有機物を利用して自身のバイオマスを作ること(=バクテリア生産:BP)で有機物を懸濁態化し、微生物食物連鎖を駆動している。

バクテリアの動態を定量的に調べることで、千曲川中流域におけるプランクトン・バイオフィームBPの時空間変動・制御要因を明らかにした。

【主な成果】

- 常田地区(瀬:TS、淵:TF)、岩野地区(瀬:W)の3地点において、河川水中およびバイオフィーム中のバクテリア生産量を千曲川で初めて測定。
- プランクトンBPは春、バイオフィームBPは夏に最大値。
- プランクトンBPは地点間で差は見られないが、瀬におけるバイオフィームBPは淵と比較して高い(図-1)。
- バイオフィームBPの水柱全体のBPへの寄与率は春に最も低く、冬に高い。生産量は地区、河川単位の違いよりも季節変動が卓越。
- 水温以外の制御要因は両BPで異なり、プランクトンBPは炭素流速、バイオフィームBPは流速などのバイオフィーム形成・消失に係る物理過程が主要な制御要因として示唆(図-2)。

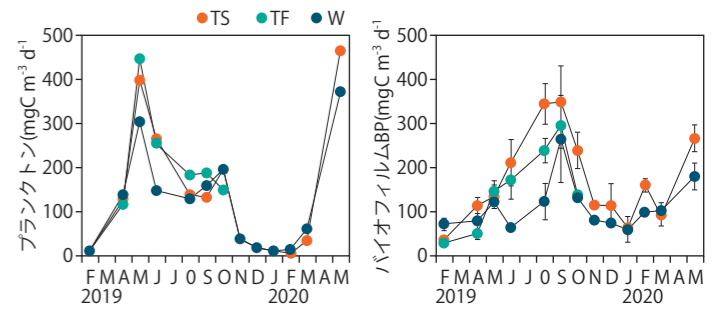


図-1 バクテリア生産(BP)の季節変化

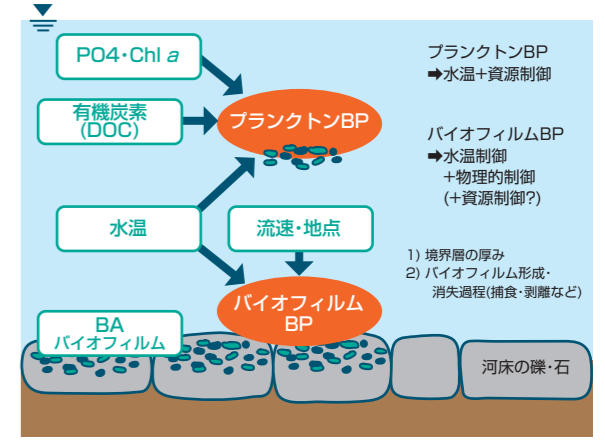


図-2 バクテリア生産の制御要因

②有機物動態と一次生産グループ

千曲川中流域における炭素循環を明らかにするため、「(1)河川生態系による総生産力と呼吸力の通年での推定、藻類の剥離および被食割合の推定、(2)流下懸濁物質中の有機物の起源解析」を試みた。

【主な成果】

- 千曲川中流域の常田地区では、年間の総生産力は1107g-Cm⁻²年⁻¹、群集呼吸力が1743g-Cm⁻²年⁻¹と推定(図-3(a))。別途行われた、現場法と培養法による純生産力の差異から、純生産量の81%は被食量と剥離量の合計と推定(図-3(b))。
- ※年間の総生産力と呼吸量を見積もるため、1年間水中の溶存酸素濃度を連続測定し、マスバランス法で総生産力および群集呼吸力を推算した。年間の総生産力および群集呼吸力は、各月10日間の推算値から年平均値を算出した。
- ※培養法で推算された純生産力と、同時に現場で観察した純生産力との差分を、被食量と剥離量の合計とした。

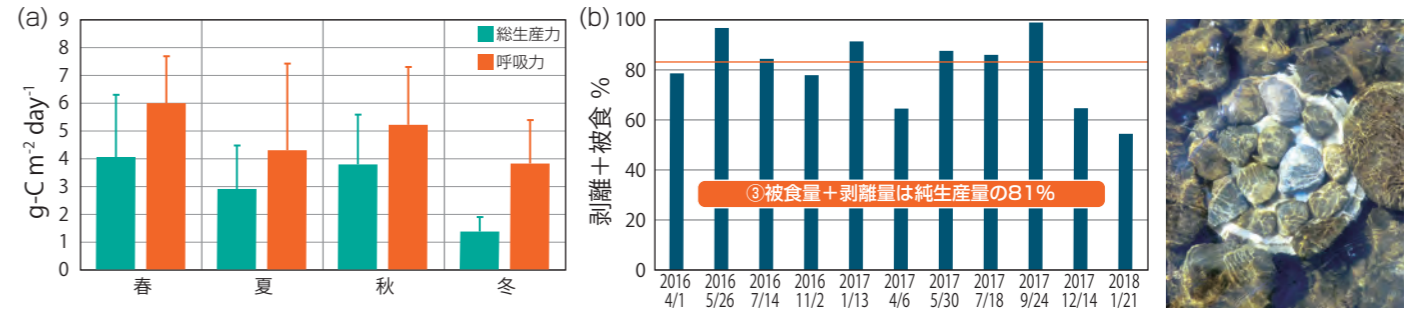


図-3 (a) マスバランス法による日総生産力と日群集呼吸力の推定(季節別) (b) 現場法と培養法の差分から求めた付着藻類の被食量+剥離量の割合

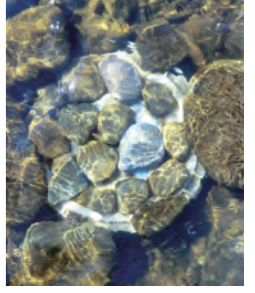


写真 現場法による純生産量の推定

●流下懸濁物質の4割は付着藻類、6割は陸上植物由来であると推定。

※流下懸濁物質は付着藻類と陸上植物の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。

2 千曲川研究グループの研究成果概要

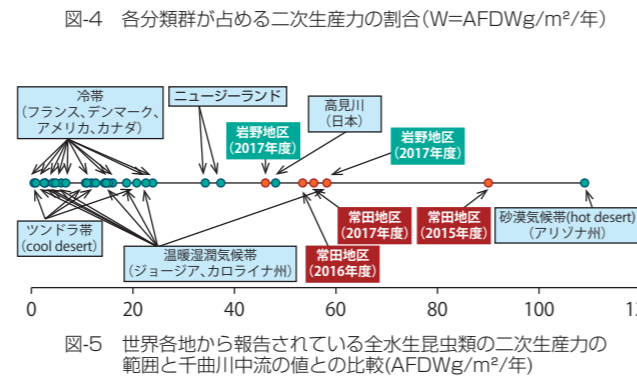
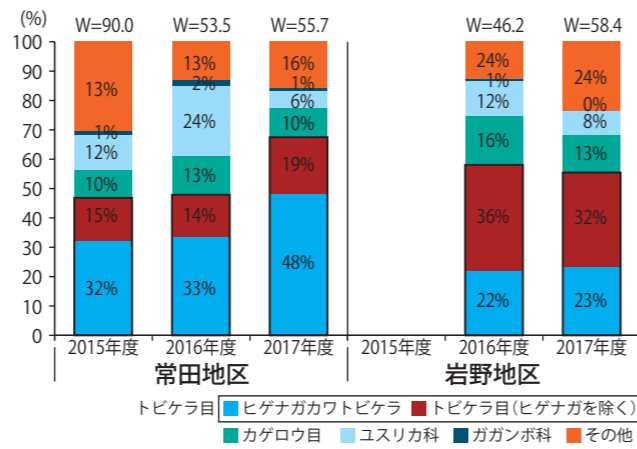
3 水生昆虫グループ 平林教授

千曲川中流域の河床勾配の異なる常田地区と岩野地区で、水生昆虫類の二次生産力を分類群ごとに推定した。

トビケラ目は「瞬間生長率・生長速度法」で、カゲロウ目とガガンボ科は「平均現存量にP/E比を乗じる方法」で、ユスリカ科は「羽化量の定量ならびにP/E比から推定する方法」で推定した。

【主な成果】

- 常田地区、岩野地区ともに全年度で、全水生昆虫類の二次生産力に占めるトビケラ目の割合が高いことが明らかとなった(図-4)。
- 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占める割合が高く、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占める割合が高かった(図-4)。
- 千曲川中流域では、年間を通じて水生昆虫類全体で90.0-46.2 AFDWg/m²/年の範囲で二次生産力が変動した。
- 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)と千曲川中流域の値とを比較すると(図-5)、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倍高い値を示している。

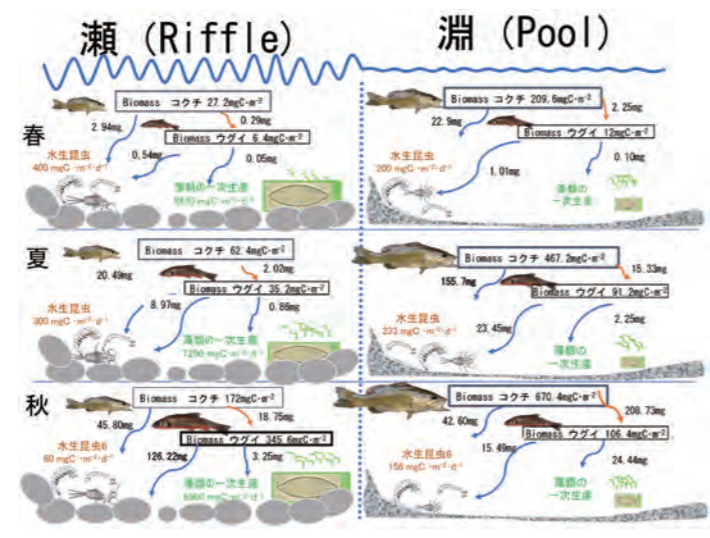
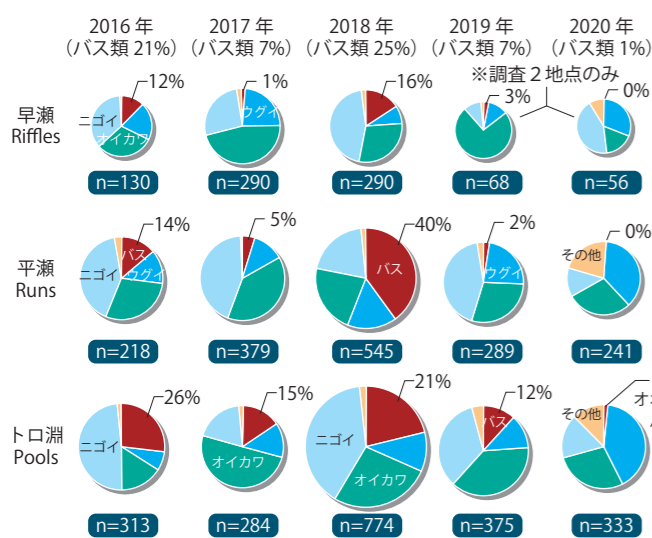


4 魚類グループ 北野主任研究員

魚類の分布実態、主要魚種の食性等を明らかにし、中流域を代表するユニット「瀬」および「淵」における魚類を中心とした食物網構造を明らかにすることを目的に調査を実施した。

【主な成果】

- 優占種は、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)。
 - 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(図-6)。
 - 2020年は、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。
⇒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推測。
 - 「瀬」と「淵」における主要魚種の日当たり捕食量(藻類、水生昆虫、魚類):コクチバスは淵では魚類を、瀬では水生昆虫を捕食し、ウグイ他と重複しており、競争関係の激化により瀬に進出していると推測(図-7)。
- ※これまで得られた魚類組成(現存量)および食性データに基づき推定。



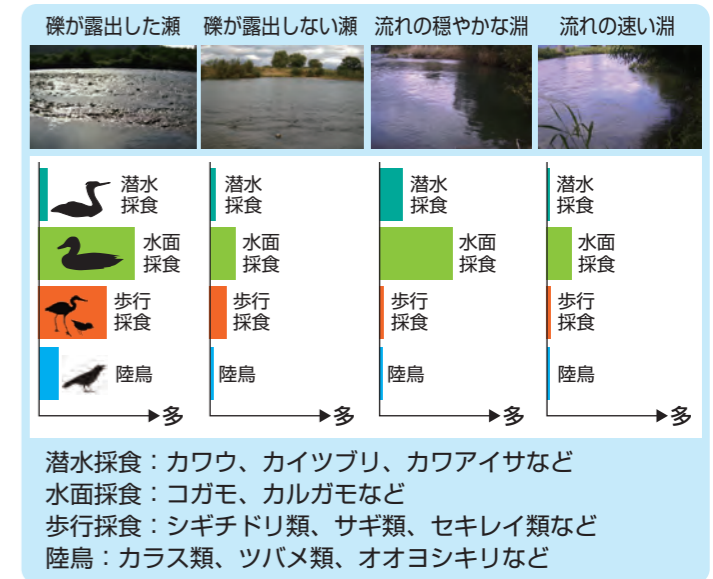
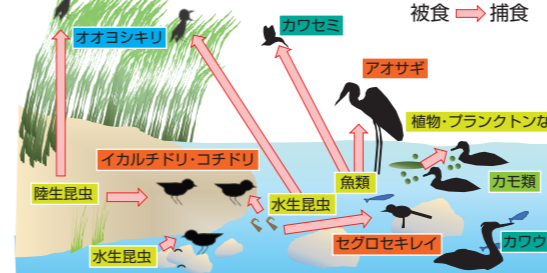
2 千曲川研究グループの研究成果概要

5 鳥類グループ 笠原助教

千曲川で繁殖する鳥類がどのような食物を利用し、どのような瀬と淵に多く出現するかを明らかにした。

【主な成果】

- 瀬と淵に自動撮影カメラを設置し、鳥類の出現量を調査したところ、相対的に瀬で多様な鳥類が観察され(図-8、9)、出現量も多い傾向。
- 出現鳥類の食性から、瀬では水生昆虫と魚の両方を様々な鳥によって捕食。
- 瀬同士、淵同士でも礫の露出の有無や流速などで鳥類は異なる出現量。これは、河川内における鳥類の出現には食物へのアクセス性や採食効率に関連していることを示唆。



潜水採食: カワウ、カイツブリ、カワアイサなど
水面採食: コガモ、カルガモなど
歩行採食: シギドリ類、サギ類、セキレイ類など
陸鳥: カラス類、ツバメ類、オオヨシキリなど

- 高次の捕食者である鳥類の二次生産を定量的に測定することは難しいが、出現する鳥類の多様さ、その食物と出現量から、瀬における二次生産は、淵よりも大きい可能性を示唆。

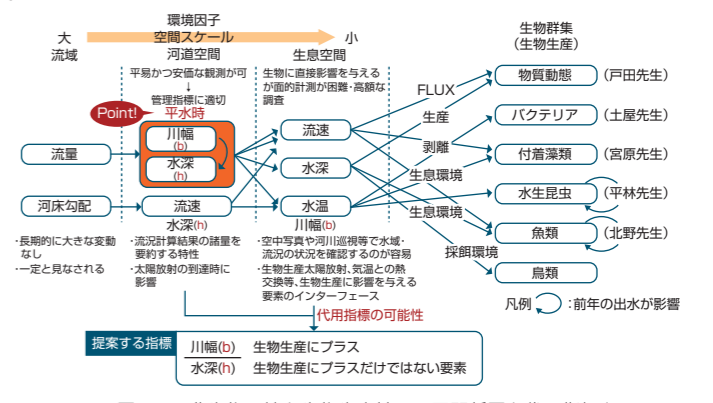
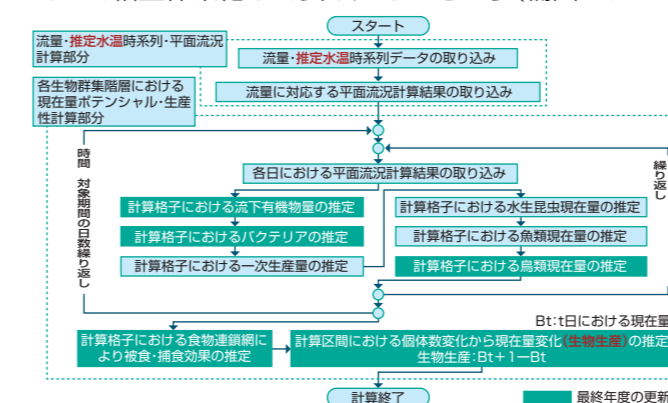
6 物理環境・モデル解析グループ 菅場上席研究員、傳田主任研究員

河川版コンパートメントモデル*を開発することにより、生産性管理基準を確認、提案した。

【主な成果】

- 河川版コンパートメントモデル(図-10に示すフローで構成)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。
- 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。
- 対象区間における横断測量、平均河床勾及び流計算を用いて平水時の川幅(b)、水深(h)及び流速を求める手法や生産性管理基準の指標として「b/h」を考案し、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(図-11)。

※コンパートメントモデル:(河川)生態系を含む環境を構成している要素を目的に適用するように取捨選択して組み合わせ、相互体系化して表したものをいう(楠田ら、2002)。



2 千曲川研究グループの研究成果概要

⑦流域スケールでの物質動態グループ

豊田准教授、Maksym Gusyev研究員、東城教授

(1) 遺伝子解析、(2) 水収支、(3) 地形、流況の観点から、千曲川流域における物質動態について把握する目的で研究した。

【主な成果(1)】：集団構造・遺伝構造の解析で流域内の底生動物の多様性や生産性を相対評価、重要地域(ホットスポット)を可視化(図-12)

- 千曲川水系で優占的となる底生動物種群を中心に、流域内広域を対象に集団構造や遺伝構造を比較。
- チラカゲロウについては、国内で分化した2系統が千曲川に生息しており、高い遺伝的多様性を有していることを確認。

【主な成果(2)】：地下水貯水量のポテンシャル評価

- 雨水の長期トリチウム(³H)濃度データと千曲川集水域からの短期トリチウム濃度データを用いて、平均滞留時間(MTT)に基づき、調査対象地域での水の滞留時間・滞留量を推定した。
 - a. 70%指数モデルによる推定MTTは、河川水の場合は、9~31年と推定。長野市の湧水の場合は160年、山間部の湧水の場合は26年と推定された。
 - b. 坂城町温泉スタンドでは、推定MTTは204年、浅井戸の場合は26~37年と推定された。
 - c. 生田観測所集水域の地下水貯留量と水位は、季節変動がそれぞれ350MCMと1.5mである。千曲川地下水貯留量の1時間毎の変化を計算すると、豪雨は貯水量が多い時期に発生していた(図-13)。⇒地下水貯留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。

【主な成果(3)】：常田地区と岩野地区の「淵」における微細粒子堆積量の違い

- 一般に物質が堆積する「淵」に着目し、常田地区と岩野地区の「淵」を対象として、準三次元数値解析モデルで微細粒子堆積量を検討。
- その結果、平水時において、岩野地区の方が常田地区に比べて微細粒子堆積量が5%程度大きいことが判明(図-14)。

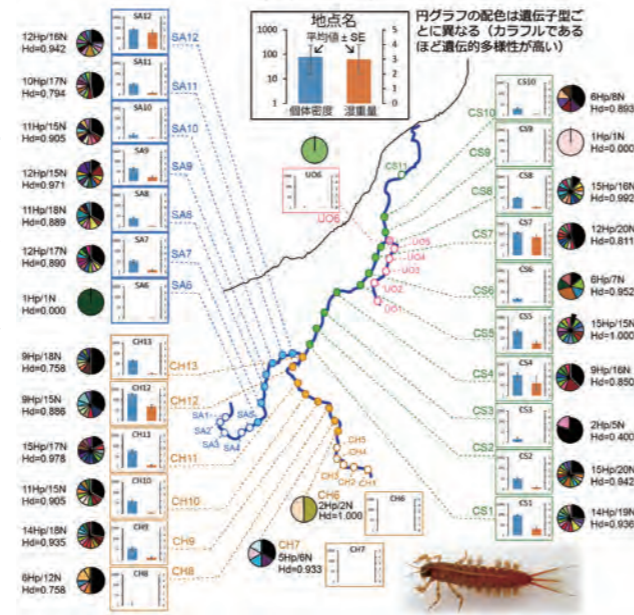


図-12 千曲川水系内におけるチラカゲロウの集団構造とmtDNA COI領域(610-bp)の遺伝構造

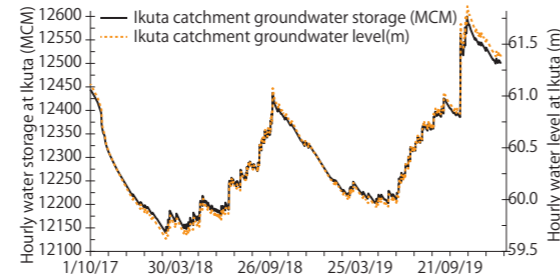


図-13 千曲川流域生田観測所(上田市)の地下水貯水量及び地下水位の変化シミュレーション結果

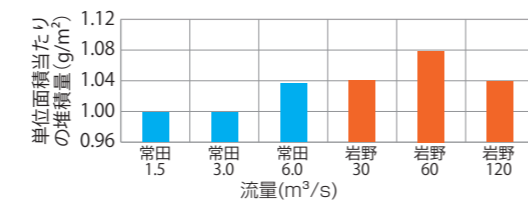


図-14 平水時の流量ごとの微細粒子堆積量

3 千曲川研究グループの研究成果まとめ

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、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(図-15)。

- 総生産力を超える群集呼吸力が観察され、陸上からの有機物供給によっても河川生態系が維持されていた。その量は付着藻類による生産力の1.5倍と推定された。
- 一次総生産量に占める付着性および浮遊性バクテリアの純生産量は比較的小さい値を示した。
- 純生産量のうち、約8割が付着藻類の被食量+剥離量と推定された。
- この内の約2割が水生昆虫類による二次生産量で、残りの7~8割は魚類などによる二次生産量であると推計された。

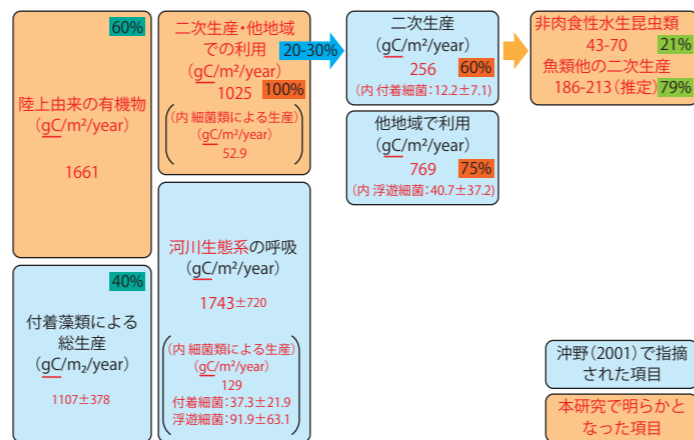


図-15 千曲川中流域における炭素の物質収支

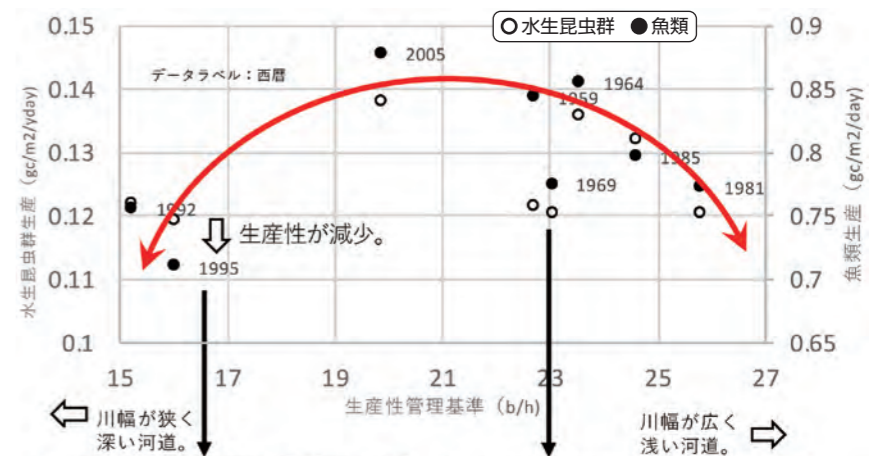
4 本研究における提案と今後の展望

■本研究における生物生産管理基準の提案

■生産性管理基準の提案

平水時における断面積は川幅(b)と水深(h)の積で求めることができ、bとhを用いれば、流速を推定することができる。

各生物における現地観測の結果をもとに、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』b/hを考案した(図-16)。



川幅が狭く、河道が直線化され瀬・淵が減少 川幅も広く蛇行し瀬・淵が複数ある
図-16 1959年からの常田地区における生物生産性管理基準b/hと推定生物生産性の関係性

b/hは生態上重要な値であり、適正な値を目指し、本指標を今後の河川管理に活用していく。

■今後の展望

■流域スケールでの研究成果

- 千曲川で現存量の大きな水生昆虫を対象に集団構造や遺伝構造の解析を実施した結果、以下の点が明らかとなった。
- ① 千曲川中流域の瀬やワンドやたまりなどの止水域では、多くの調査対象種群において現存量が多いこと。
 - ② 流域全体を通して高い遺伝的多様性が維持されていること。
 - ③ 生息環境が連続性や分断化の傾向が、生物そのものの移動分散の強度に影響し、結果として遺伝構造にも反映されていること。

これらの知見は、流域スケールでの水生昆虫の移動分散の方向性や強度を検討する上での重要な基盤的成果としても評価できる。

■ステークホルダー間での情報共有と河川管理への応用

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で、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迅速に対応でき、大きな成果に繋がった。

■今後の展望

本研究結果により、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。

しかし、本研究の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考えられる。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。