

### 13. 水生生態系の保全・再生技術の開発

研究期間：平成18年度～22年度

プロジェクトリーダー：水環境研究グループ グループ長 中村 敏一

研究担当グループ：水環境研究グループ（河川生態、水質、自然共生研究センター）、材料地盤研究グループ（リサイクル）、水災害研究グループ（水文）

#### 1. 研究の必要性

我が国の淡水域や湿地帯の水生生物は、河川や湖沼における改修工事、ダム建設、河川周辺農地における営農形態の変化や、流域の土地利用変化により大きな影響を受けている。このような水域環境の変化のなかで地域固有の生態系を持続的に維持するためには、河川・湖沼が本来有していた生態的機能を適正に評価し、これを保全・再生すること（自然再生）が必要であり、社会的要請も高い。

河川・湖沼の生態的機能は、水域や水際域が持つ物理的類型景観、流量・水位変動特性、土砂・栄養塩類・有機物動態、河床材料などの要素により規定されているが、それぞれの要素の生物・生態系への影響については複合的であるために未解明な点が数多く残っており、これらを整理し、定量的評価を加えることは自然再生を適切に行うための喫緊の課題であり、研究の必要性が高い。

#### 2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、河川・湖沼が有する生態的機能について、水域や水際域が持つ物理的類型景観、流量・水位変動特性、土砂・栄養塩類・有機物動態、河床材料などの要素が生物・生態系に影響する状況を種々の視点から抽出し、これらの生態的機能を定量的に評価すると共に、河川・湖沼などの水域環境を生物・生態系の視点から良好な状態に再生するための技術開発を行うことを研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 新しい水生生物調査手法の確立
- (2) 河川地形の生態的機能の解明
- (3) 流域における物質動態特性の解明と流出モデルの開発
- (4) 河川における物質動態と生物・生態系との関係性の解明
- (5) 湖沼の植物群落再生による環境改善手法の開発

#### 3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 水生生物の生息環境の調査手法と生態的機能の解明に関する研究（平成18～22年度）
- (2) 河川工事等が野生動物の行動に与える影響予測及びモニタリング手法に関する研究（平成18～22年度）
- (3) 河川における植生管理手法の開発に関する研究（平成17～21年度）
- (4) 多自然川づくりにおける河岸処理手法に関する研究（平成18～20年度）
- (5) 河床の生態的健全性を維持するための流量設定手法に関する研究（平成18～21年度）
- (6) 流域規模での水・物質循環管理支援モデルに関する研究（平成18～22年度）
- (7) 河川を流下する栄養塩類と河川生態系の関係解明に関する研究（平成18～22年度）
- (8) 土砂還元によるダム下流域の生態系修復に関する研究（平成18～21年度）
- (9) 湖沼・湿地環境の修復技術に関する研究（平成18～22年度）

このうち、平成19年度は(1)～(9)の9課題を実施している。

## 4. 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成19年度に実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

### (1) 新しい水生生物調査手法の確立

#### ①分布を考慮した定量的底生生物調査手法の確立

河床地形と底生動物群集の対応関係を解明するために、長野県千曲川中流において一般に底生動物バイオマスの高い瀬に注目し、現地調査および解析を行った。現地調査は通常調査が困難である急流部において、重機を利用した簡易水制の作成による生物採集を試みた。測量に基づき河床地形を再現し水理計算を行うとともに河床礫サイズを調べることで、瀬のなかの場所ごとの増水時における流速や河床の礫の動きやすさを検討した。本解析から、平瀬、早瀬、深瀬という河床地形の観点から異なる場合は、異なる底生動物群集を持つこと、従来ほとんど調査されてなかった深瀬は底生動物バイオマスを考える上で重要な場であること、底生動物の分布には平水時の流速とともに増水時における河床の安定性が影響していることが示唆された。

流速分布や河床の安定性といった河川の物理環境指標と生物分布とを関連づけることで、水生生物調査の高度化が進むと考えられる。今後は、さらなる一般性の確保が課題としてあげられる。

#### ②野生動物自動追跡システムのアユへの適用

ニゴイを供試魚として千曲川で取得した野生動物自動追跡システム (Advanced Telemetry System: ATS) のデータをもとに、魚類行動と物理環境条件の因果関係の解析を行った。その結果、平水時において、供試魚は約4000m<sup>2</sup>を行動圏として活動し主に深部を利用していた。利用した空間の流速、水深はそれぞれ約0.6m/s、約0.5mと一定の範囲の水理特性を持っていた。これに対して、出水時においては、供試魚は流量増加に伴う流速変化に対応し、流速の遅い場所を選択し下流への流下を回避する行動をとることが明らかになった。しかし、著しく流速が増加すると、河岸沿いや高水敷上の低流速域を利用しながら下流側の深部へ移動した。

今回作成したATSにより水中の魚類行動を連続的に観察することが可能となり、河川環境保全のためのデータ取得に大きく寄与すると考えられる。今後は、発信器の小型化、長寿命化が課題としてあげられる。

### (2) 河川地形の生態的機能の解明

#### ①河川における植生管理手法の開発に関する研究

小貝川において、迅速図や空中写真で読み取った過去100年間の地被状態の変化パターンをGISにより定量的に求めた。100年前と比較し、自然樹種が増えてきている一方で、樹林面積が増大していることが分かった。1940年代から1970年代までにかけては、各地被面積の割合はほぼ一定であったが、その内訳をみると草地が樹林地に変化した後に、再び草地へと変化しているなど、管理により動的平衡がとれていることが示唆された。1970年以降になると、生活様式の変化により耕作放棄や管理放棄が増えた結果、樹高が増大していた。樹高については、15年も経ると15~20mの高木林へと変化していた。河川環境を動的平衡状態に維持するには、河川のダイナミズム復元に加えて、過去の人為的攪乱に相当する攪乱を計画的に加え、適切な維持管理計画を行うことが重要であると考えられる。

今後は、異なる種類の人為的攪乱と自然の攪乱とが河川植生に与える影響について、個別に整理する必要がある。

#### ②多自然川づくりにおける河岸処理手法に関する研究

河岸—水際域の生息場所として石礫がつくる間隙の機能解明、河岸—水際域に設置した木杭群の生息場所修復手法としての評価、環境護岸を中心とした既存護岸の生息場所評価について検討を行った。その結果、(a)魚種ごとに選択する間隙の位置や環境は異なり、さらに、昼夜では利用する間隙を変化させることが明らかとなった。本研究で抽出された統計モデルを用いれば、石礫の設置幅、設置水深、間隙流速および間隙内の照度をコントロ

ールすることによる各種の生息確率が予測できる。また、礫のサイズによっても群集構造レベルで定着する魚類が異なること、魚種によっては流量の増減少時に間隙を避難場所として利用することが示されている。今後、環境因子を操作して実証実験を行い、モデルの検証を行う必要がある。(b)魚類の定着には、断続配置よりも連続配置の方が有効であることを示した。ただし、本実験は小流量時に限定された結果であるため、今後流量の幅を拡げて検討し、流量増減に伴う修復手法の効果の変化を明らかにする必要がある。(c)冬季における解析結果から、大礫－巨礫がつくる間隙が越冬場所として機能していることを示した。今回は冬季における生息場の評価を中心に行ったが、今後は各季において同様の検討を行い、水際域の生息場としての機能を物理指標と関連付けていくことが必要である。

### ③河床の生態的健全性を維持するための流量設定手法に関する研究

生物による摂食が河床付着膜の状態に果たす役割の解明、単位クロロフィル a 当たりの光合成速度、底生性生物群集の呼吸速度を推定する数理モデルの構築・検証を行った。その結果、(a)アユを対象に実験を行った結果、摂餌によって、河床付着膜は、一定の厚さ（薄い）が維持され、生きている藻類の割合や強熱減量（%）が高い状態に変化すること、また、摂餌された付着藻類の最大光合成速度は、摂餌されなかったものより高いことを明らかにした。アユの摂餌は、藻類の活性、アユの餌資源としての質の向上に寄与することが示唆された。(b)河床付着膜内部の基質の動態を拡散方程式で、光合成速度は光量子量、栄養塩濃度を従属変数としたミカエリス・メンテン型の方程式で表現し、底生藻の光合成速度・底生性生物の呼吸速度を推定するための数理モデルを構築し、検証した。

今後、さらに、流量、河床の状態、底生動物、魚類等の摂食に関するデータを現地調査、実験等により補足するとともに、これを基に、一次生産及び付着藻類を餌とする生物の物理環境生息場、摂食圧を組み込んだモデルの構築を進め、現地への適用を図る予定である。

### (3) 流域における物質動態特性の解明と流出モデルの解明

土木研究所で開発を進めてきた流域水循環解析モデルである WEP モデルを基盤として窒素、リンの物質循環モデルを導入することにより、流域内の窒素、リンの動態を定量的に把握する流域水・物質循環モデルを開発することを目的として、平成 18 年度に行った窒素およびリンのプログラムコーディングの検証計算を行った。2001 年、2002 年を対象として計算を行った結果、窒素については良好な再現性が得られたが、リンについては良好な再現性が得られなかった。誤差の原因としては、リンの土壌吸着の過小評価や、SS とリンの関係がモデル化されていないことが原因と考えられ、今後改善する必要がある。

また、流域で発生する汚濁負荷が水域へ到達する機構を考察するための基礎情報収集を目的として、流域における点源と面源の割合が異なる複数の流域を対象として、晴天時のトレーサー物質及び溶解性栄養塩類の実態を調査した。その結果、トレーサー物質と溶解性栄養塩類の濃度比の整理から、生活系以外の畜産系と考えられる汚濁源の存在を推定することが可能であった。

なお、晴天時には、生活系、事業系、大規模な畜産系等の点源で発生する汚濁が、人為的な処理や流下過程で土壌への吸着や生物などへの摂取により低減されて、その残りが恒常的に水域へ到達していると考えられる。閉鎖性水域へ到達する汚濁負荷の総量を考える際には、晴天時に一時的に流域に保持された汚濁負荷が雨天時に移動することも考慮する必要があり、雨天時も含めた調査が必要である。

さらに、溶解性の鉄（フミン鉄）やケイ素（シリカ）等の必須元素の河川への供給の減少に関する懸念に対応して、関東地方の都市影響河川の流域を調査した。その結果、溶解性鉄は都市排水中濃度が河川水中濃度の半分以下程度で、都市排水流入により河川水中濃度が低下、溶解性窒素・リンに対する濃度比も低下するが、レッドフィールド比より大で不足の可能性は低いと考えられた。溶解性ケイ素は都市排水中濃度が河川水中濃度と同程度で、都市排水流入が河川水中濃度へ影響しないが、溶解性窒素・リンが増大して濃度比がレッドフィールド比を下回る場合があり不足が考えられた。

### (4) 河川における物質動態と生物・生態系との関係性の解明

#### ①河川を流下する栄養塩類と河川生態系の関係解明に関する研究

平成 19 年度は、2つの調査を実施した。ひとつは、江の川（広島県）の3地区（ダム上流、ダム下流の河床が動きやすい河原再生地区、比較的河床が固定されているダム下流の河原再生未実施地区）において河床堆積性有機物および水生生物の差異を比較した。その結果、再生区は攪乱環境にあり、ダム下流でありながら、付着藻類の更新が頻繁に起こっており、活性度が高いことがわかった。しかし、出水の少ない期間が続くとダム下流の環境に近づくことが分かった。

また、河川生態系を支える栄養塩の由来に関する調査を豊川（愛知県）において実施した。安定同位体を用いて、水生生物を構成する有機物の由来を調査し、栄養塩を含む物質循環について検討を行った。平成 19 年度は対象を上流まで広げ、年間を通じ水質を測定し流域の土地利用との関係を調べるとともに、安定同位体分析による底生動物の有機物源の推定およびその上下流変異をもとに、上流から下流の間に行われる水中と河床の物質の交換について検討を行った。安定同位体分析にもとづき底生動物のエネルギー源は、上流は陸域有機物、中流は河川内有機物、下流は陸域有機物であることが考えられ、下流へ運ばれる有機物は質的に低いものが相対的に多く含まれている可能性が考えられた。

#### ②土砂還元によるダム下流域の生態系修復に関する研究

18年度に引き続き、土砂還元を実施している阿木川ダムを対象に、土砂還元後の物理環境・生物相の変化を解析し、土砂還元の効果を検討した。その結果、土砂還元後、ダム下流で砂の割合が増加するなど、河床粗粒化にある程度の改善が見られること、また、細粒河床材料を利用するタクサが、土砂還元後に増加し優占種となることが明らかとなった。しかし、年1回の頻度で実施された土砂還元の効果は、継続的な土砂供給をもたらす支川流入による改善効果には及ばないことが示唆され、効果的な生態系修復効果を持たせるためには、継続的な土砂供給が重要であると考えられた。

### (5) 湖沼の植物群落再生による環境改善手法の開発

霞ヶ浦において現存する3時期（昭和35年、平成2年、平成14年）の湖沼図と植生図から、沈水植物が生育可能な光条件を考慮し、過去からの生育範囲をシミュレーションにより求めた。その結果、各年とも水深が浅く透明度の高い湾奥や沿岸域が沈水植物の生育適地であることがわかった。また、近年になるにつれて、生育可能な範囲は徐々に減少していた。平成14年の光環境からみた生育可能範囲は、波浪による土砂移動の影響を緩和可能な水深（約1.0m）以深でも部分的に存在することが明らかとなった。つぎに水位変動については、本邦湖沼の水位を定量的に分析し、その特徴について明らかにするとともに、河川の流量指標を参考に湖沼の水位指標を平均や偏差に加え、頻度や継続時間の観点から提案した。さらに、それらの指標と生態系の関係を検討するために漁獲高を使用した分析を行った。その結果、水位変動と漁獲高についていくつかの関係性が見出された。

今後は、沈水植物群落再生手法について、さらに検討を進めると共に、水位変動と湖沼環境との関連性について詳細検討を実施する必要がある。

## DEVELOPMENT OF TECHNIQUES FOR CONSERVATION AND RESTORATION OF AQUATIC ECOSYSTEMS

**Abstract** : It is highly necessary to evaluate, conserve, and restore sound ecological functions of rivers and lakes to maintain locally native ecosystem. Five achievement goals are set to meet this necessity as follows; proposal of new aquatic biological survey method, evaluation of the ecological function of river morphology, development of watershed runoff model, elucidation of the correlation between material dynamics and aquatic ecosystem, and development of lake restoration method through the restoration of littoral vegetation.

**Key words** : Restoration, Aquatic ecosystem, biological survey, river morphology, watershed model, nutrient dynamics, and littoral vegetation

