

水辺植物の持つ環境安定機能に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：自然共生研究センター

研究担当者：萱場祐一、佐川志朗、大石哲也

【要旨】

各地において自然再生事業として、湿地的環境の保全・再生・創出が実施されているが、水辺植物の有する環境機能が定量的に解明されていない。本課題は、水辺植物が有する在来魚の保全機能、鳥類の魚類への捕食圧、水質インパクト（水質汚濁など）に対する緩衝作用を明らかにするために検討を行った。その結果、水辺植物は、①被食者の隠れ家を提供し、魚食性外来魚、魚食性鳥類の捕食圧を低減する。②動物プランクトンの生息場所を提供し、植物プランクトンへのトップダウン効果を介して水質浄化（透明度向上）に寄与することが分かった。
キーワード：沈水植物、人工水草、水質改善、在来魚保全

1. はじめに

□新湖沼法の改正の柱に、湖辺環境保護地区の指定が盛り込まれるなど、水辺植物が有する浄化機能および環境改善機能が着目されている。また、各地において自然再生事業として、湿地的環境の保全・再生・創出が実施されているが、水辺植物の有する環境機能が定量的に解明されていないために、事業の効果に関し、十分な説明責任を果たせない場合がある。そのため、現場からは水質および生態系に対する水辺植物の定量的な環境機能について解明が望まれている。

□本課題は、水辺植物が有する在来魚の保全機能、鳥類の魚類への捕食圧、水質インパクト（水質汚濁など）に対する緩衝作用を明らかにするために検討を行った。

2. 研究方法

2. 1 水辺植物の在来魚種保全機能に関する実験

□2. 1. 1 概要

沈水植物を含む水草は水質浄化機能の他に魚類の生息場として、なかでも比較的小さな魚類や稚魚の隠れ家として、生物多様性を維持する機能も期待されている。しかしながら、水質浄化機能と比較するとその検討は少ない^{1),2)}。そこで、本実験では、水草が魚類間の捕食被食関係に与える影響について、自然共生研究センター（岐阜県各務原市）にある実験池を用いて検討した。

2. 1. 2 方法

水草の面積被度が魚類の捕食被食関係に与える影響を調べるために、2m×2mの隔離水界56個（被度4種類×ナマズの有無×反復7）をランダムに、自然共生研究センター内にある実験池2つ（長径50m、短径30m、実験時水深0.5m）に設置した。隔離水界は4mmメッシュで、底部を有し、底部に沈水植物を模したビニールひも（人工水草）を取り付けた。人工水草の隔離水界に対する面積被度は0、12.5、25、50%の4通りとした（図1）。被食魚としてはワキン



図-1 人工水草（黒塗部）の設定パターン

（平均全長60.4mm SD7.7mm）を利用し、捕食魚としてナマズ（平均全長280mm SD14.8mm）を使用した。すべての隔離水界にワキン15個体を投入し、ナマズは半数に1個体ずつ投入した。

実験は、ナマズを数週間馴致させたあと、2007年11月2日にワキンを投入した。1週間後（11月9日）に、隔離水界を引き上げ、残存個体数から捕食量を計測した。その作業の後、減少したワキンを15個体になるよう補填し、再度1週間後に計測した。この作業を、11月23日までの3度繰り返した。

解析はナマズを投入した28セルを対象に、等分散性の検定（Levene）を行った後、分散分析（ANOVA）

及び多重比較 (Tukey HSD) によるデータ解析 (SPSS 使用) を行い、有意水準 $p=0.05$ とした。

2. 2 水辺植物の鳥類捕食圧低減機能の解明

□2. 2. 1 概要

水生生物にとって河川および湖沼に生育する水辺植物は、肉食性魚類や鳥類からの避難場所として機能している。しかし前者についての報告は多いものの^{1),2)}、後者については少なく³⁾、河道環境のみならず餌の現存量をも考慮して、鳥類の捕食について要因解析した研究はみられない。本研究では、実験河川の各エリアにランダムにセットしたビデオ画像から、サギ類の捕食回数をカウントし、各エリアにおける魚類の現存量や河道環境との因果関係を把握したのでここに報告する。

2. 2. 2 方法

調査河川は、岐阜県各務原市に存する土木研究所の実験河川である。実験河川は野外に延長 800m のものが 3 本並走しており (図 5)、自然河川の様相を呈する。各河川は河道形状や環境が異なる区間 (80-100m/区間) に区分されており、すべての区間は連続しており流入河川である木曽川からの水生生物の行き来が可能である。また、運用当初から鳥類の飛来や索餌行動がみられている。調査地はこれら 3 河川を環境に応じて区分した 34 区間とした (図 5)。サギ類の捕食行動調査として、1999 年の 5 月から 8 月までの期間において、任意の日に (サギ類がいるかないかは関係なく) 無作為に抽出した 1 区間を見渡せるようにビデオカメラを設置し、60-90 分の撮影を行った。その後映像解析を行い、サギ類が飛来・飛去した時間、水面への索餌回数、索餌成功回数を抽出した。調査は計 110 回行った。また、魚類の現存量調査として、毎月 1 回、3 河川に満遍なく設定した 25-45 区間においてエレクトリックショックカーを用いた 3 回反復の捕獲調査を実施した。各月各区間の個体数密度を算出し、サギ類調査区の個体数密度として解析に適用した。河道環境調査として、毎月 1 回以上ラジコンヘリコプターを用いた空中写真撮影を行った。空中写真は GIS に取り込み、各鳥類調査区間に等間隔で設けた 20 本の横断測線において、A:水中植物割合 (沈水植物および糸状藻類)、B:瀬割合、C:礫床割合、D:水際植物割合 (抽水および陸上草本植物)、E:河道幅のばらつき割合の 5 要因を定義、算出し、解析に供した。なお、淵割合、平瀬割合、シルト・砂割合、水面幅のばらつき割合

は前述要因と共線性を有したため解析から省いた。魚類の生息密度 (ケース I) を応答変数、前述の 5 要因を説明変数、サギ類の索餌回数 (ケース II)、索餌成功率 (ケース III) を応答変数、前述の 5 要因に F 魚類の生息密度の 6 要因を説明変数とした統計モデル解析を行った。各解析は確率分布を負の二項分布とした一般化線形モデル (GLM) により行い、各要因による総組み合わせモデル (FULL) および AIC 値によるベストモデル (Best) を算出した。

2. 3 水辺植物の水質変化に対する影響緩和機能の解明

2. 3. 1 概要

□水辺植物の機能の 1 つとして水質浄化効果があげられる。なかでも沈水植物は、透明度向上など水質インパクトに対する緩衝作用が高い^{4),8)}。沈水植物のもつ水質浄化効果は、これまで栄養塩濃度の吸収、巻き上げ防止などの研究例が多い^{8),9)}。ここでは、これまでの報告同様に①物質動態を介した機能の他に、②生物生息場所を介した機能についての検討を行った。

2. 3. 2 方法

実験池 (水深は 0.9m) に直径 25cm 高さ 1m の透明なアクリル製の筒を用意し、ケース 1 は何も入れず (対照区)、ケース 2、ケース 3 には鉢植えの水草 (クロモ区)、人工水草 (人工藻区) を入れた (図-1)。各筒の中間地点に、DO、水温、クロロフィルの計器を設置し自動計測を行った。また、実験中は約 2 日に 1 回のペースで採水し、筒内の水質変化を測定した。実験期間は 9 月 8 日から 19 日とし、9 月 13 日の採水後に筒内の水量に対して全窒素含有量が 2ppm 増加するように液体肥料 (ハイポネックス液) を加え、栄養塩濃度の上昇に伴う筒内の水質変化をみた。さらに、実験前後に池と各筒で採水を行い、植物プランクトン、動物プランクトンの簡易指標として $94\mu\text{m}$ の網で濾過した POC (懸濁態有機炭素) を分析した。

3. 研究結果と考察

3. 1 水辺植物の在来魚種保全機能に関する実験

3. 1. 1 結果

1) 水草の繁茂パターンと捕食個体数

11 月 9 日 (以下 1109 と記す) のデータより得られた水草繁茂パターンと捕食量の関係を図 2 に示す。分散分析の結果 4 つの繁茂パターンには有意差

($p=0.016$) があり、多重比較を行ったところ、パターン1 (以下パターン略) が3より、2が3より有意に捕食量が多かった。しかしながら、そのほかの1116、1123のデータに関しては2つの捕食量が大きい傾向があったが、パターンによる有意差はなかった。3回のデータを合わせた結果では、4つのパターンに有意差($p=0.030$)が認められ、多重比較の結果、2が3より有意に捕食量が多いことが分かった(図3)。

2) 捕食量の水温依存性

人工水草設定1において、調査時期が遅くなるほど、水温と捕食量とともに減少する傾向があったため、調査時期と捕食量の関係を分析したところ、1 (被度0%) においてのみ有意差があった。1の各調査時期の池水温と捕食量(平均値)の関係を図4に示す。

3. 1. 2 考察

1) 水草の捕食量への影響

1109の結果に関しては、被度の大きい水界で、捕食量が小さい傾向があったが、全体としては、被度と捕食量の関係は見られなかった。しかし、図4より1の捕食量は水温が高いときに大きくなると想定される(例えば20°Cで5.4)。その場合、1から3にかけて、被度が大きくなるにつれ捕食量が小さくなり、文献2)で示唆された「水草はナマズのワキンに対する捕食量を低下させる」という結果と一致する。

水草のある水界では被度12.5%の2において、最も捕食量が高く、3,4については同程度であった。この要因として水草面積と水草周辺長の2点が考えられるが、目視観察した限りでは、ワキンが水草帯の中より水草周囲にいることが多く(餌資源が要因か)、水草面積よりも周辺長が影響していると考えられた。実際、2の水に接する周辺長は1.5mに対し、3,4は2mと同じで、周辺における遭遇率(encounterrate)が単純に周辺長に反比例すると考えると2は3,4のおよそ1.3倍となる。図3より捕食量は1.5倍程度であり、比較的近い値となっている。仮に面積が主要因と考えると3の遭遇率は4より高くなるので、結果と一致しない。今回の結果は、被食魚の避難場としては面積よりも、入り組みなど周辺長に留意する必要性を示している可能性がある。

2) 水草の有無と水温の捕食量への影響

図4より、水草の無い1においてのみ捕食量に水温依存性が見られた。その要因は、水草の有無による採餌様式の変化ではないかと考えられる。一般に捕食者の採餌様式は、待ち伏せ型(sit-and-wait)と

探索型(searching)¹¹⁾があるが、水草がある場合に待ち伏せ型、無い場合に探索型となる例が報告されている¹²⁾。探索型では水温とともにナマズの行動が緩慢となり、捕食量が減少したのに対し、水草がある場合、ナマズは待ち伏せ型となり、水温の影響を受けにくく、安定的な捕食量を確保したのではないかと考えているが、今後さらに検討を要する。

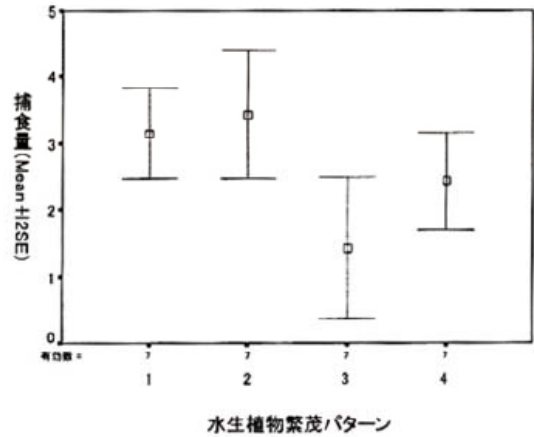


図-2 水草繁茂パターンと捕食量 (11/9)

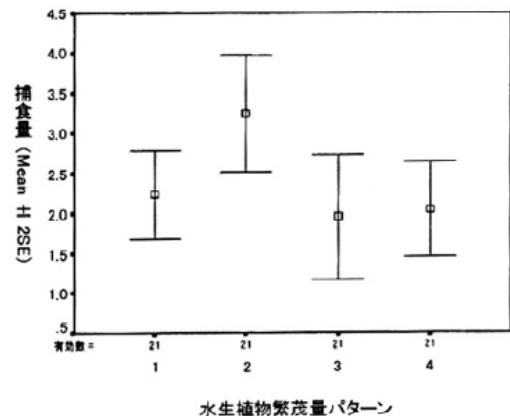


図-3 水草繁茂パターンと捕食量 (全体)

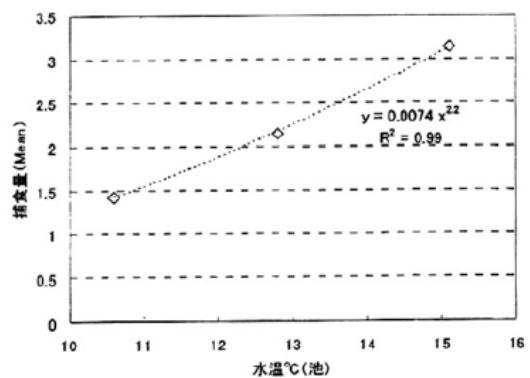


図-4 水温と捕食量((平均値)パターン1(被度0))

3. 2 水辺植物の鳥類捕食圧低減機能の解明

3. 2. 1 結果

計 110 回のビデオ撮影調査の結果、サギ類の索餌を 12 回撮影することができた (図 5)。

各ケースのベストモデルには以下の特徴がみられた (表 1)。Ⅰ. 魚類の個体数では、要因の A, B, E がモデルに含まれ、その係数は正であった。すなわち、水中植物の割合、瀬 (もしくは淵) の割合、河道幅のばらつきの高さが高いほど、魚類が多く生息すると解釈される。Ⅱ. サギ類の索餌回数では、要因の A (係数は負)、C (係数は正) および F (係数は負) が含まれた。すなわち、水中植物の割合が高く、礫河床の割合が低く (砂およびシルト河床の割合が高い)、魚類密度が高いほど、索餌回数が少なくなると解釈される。一方、Ⅲ. サギ類の索餌成功率では、要因の A が含まれその係数は負であった。すなわち、水中植物の割合が高いほど索餌成功率が低くなると解釈される。

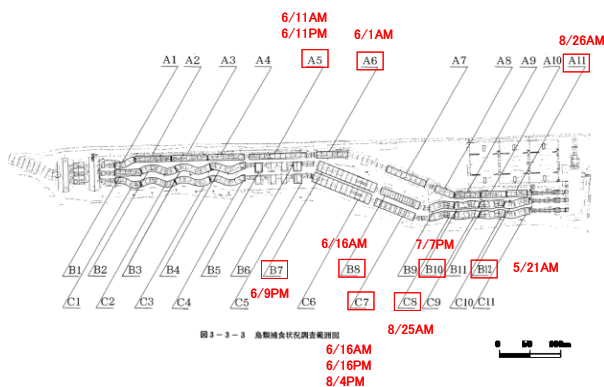


図 5 サギ類捕食確認箇所 (□)と確認日

表 1 各ケースの統計モデルの結果

説明変数	ケース					
	Ⅰ. 魚類個体数 (/m ²)		Ⅱ. 索餌回数 (/分)		Ⅲ. 索餌成功率 (%)	
	Full	Best	Full	Best	Full	Best
A: 水中植物	+	+	-	-	-	-
B: 瀬	+	+	-		+	
C: 礫	+		+	+	+	
D: 水際植物	+		+		+	
E: 河道幅変動	+	+	-		-	
F: 魚類密度				-	-	
AIC	81	77	88	84	48	40

+, - は係数の符号を示す

3. 2. 2 考察

本研究の結果、水中植物の割合が高く、魚類密度が高いと索餌回数が減少することが明らかとなった。特に水中植物の密度は索餌成功率にも寄与しており、密度が高いほど成功率が低下することが示唆された。水中植物による索餌回数および索餌成功率の低下は、餌の見つけにくさや捕食のし辛さが寄与していることが考えられる。一方、魚類密度が高いと索餌回数が減少することが示唆されたが、その理由としては、ケースⅠの解析結果より、水中植物が多いと魚類密度が上昇することからも、水中植物が魚類の避難場所となっており、鳥類が魚類を発見することが困難なことが考えられる。以上より、水中植物の増加は魚類密度の増加を促すだけでなく、捕食圧を低下させる二重の効果を有することが考えられる。また、河床の性状もサギ類の索餌回数に影響している可能性が示唆された。礫割合が高いほど索餌回数が増加する理由としては、間隙環境への魚類の定着や、食い易さ、餌の見えやすさ等の関与が考えられるが、これらの因果関係についてはさらなる研究が必要である。

3. 3 水辺植物の水質変化に対する影響緩和機能の解明

液体肥料添加後、筒内のリン酸態リンの濃度は、ケース 2 の水草有りのケースで低く、ケース 1, 3 ではほぼ同等となった (図 6)。次に、DO (%) の変動を比較すると、ケース 1 で飽和度が高いが、ケース 2, 3 ではほぼ同様であった (図 7)。表 2 からケース 1 の植物プランクトンは他と比較し 1 オーダーも大きいので、DO 変動の違いは、植物プランクトンの呼吸量の違いと考えられる。また、同表の POC を見ると、ケース 2, 3 では POC が大きく、植物プランクトンが少ない。これは、水草、人工水草が動物プランクトンの増殖に参与し、植物プランクトンの増殖が抑えられることが原因の 1 つと考えられる。写真-1 に実験終了時の各筒の様子を示す。このうち、植プラ量の多いケース 1 では透明度が低く、ケース 2, 3 は透明度が著しく高いことが分かる。

以上から、水草は水界において単に栄養塩の吸収による水質浄化だけでなく、水界における生態系の安定化をもたらしている可能性がある。すなわち、植物プランクトンへのトップダウン効果を介して水質浄化 (透明度向上) に寄与しているものと考えられる (図 8)。

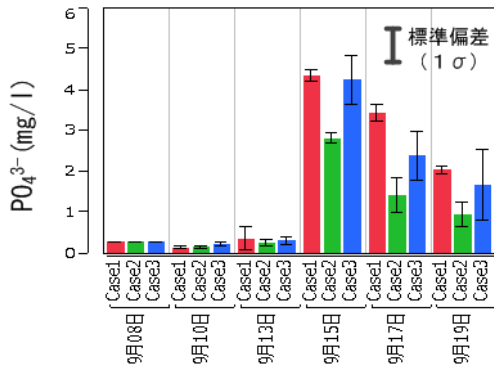


図6 栄養塩濃度 (PO₄³⁻) の変動

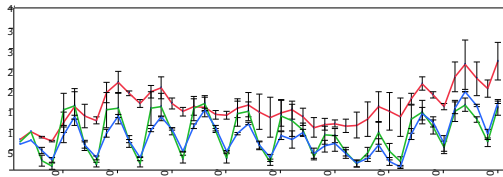


図7 DOの変化 (平均)

表2 植物プランクトンと POC

	ケース1	ケース2	ケース3	池
植プラ (個数/ml)	257,000	50,000	25,000	205,000 (前:26,000)
POC (mg/l)	0.08	0.61	0.38	0.08 (前:0.05)

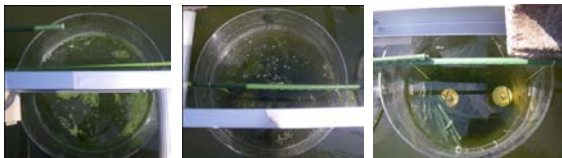


写真-1 ケースごとの透明度の違い

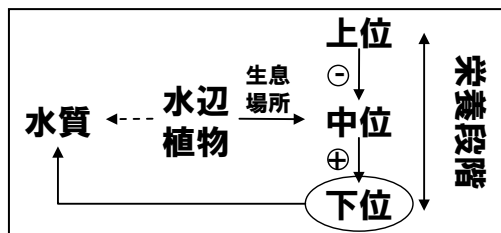


図8 水辺植物が持つ生態的機能 (模式図)

4. まとめ

□本研究では、水辺植物が有する在来魚の保全機能、鳥類の魚類への捕食圧、水質インパクト（水質汚濁など）に対する緩衝作用を明らかにするために検討を行った。その結果、水辺植物は、①被食者の隠れ家を提供し、魚食性外来魚、魚食性鳥類の捕食圧を

低減する。②動物プランクトンの生息場所を提供し、植物プランクトンへのトップダウン効果を介して水質浄化（透明度向上）に寄与することが分かった。今後は水質現象に群集を絡めて現象を明らかにすることが必要である。

参考文献

- 1) 片野ら: アユなどの温水性魚類への摂食行動及び影響の実験的解析. 外来性コクチバスの生態学的研究及び繁殖抑制技術の開発 研究成果 417:36-51, 2003.
- 2) 中村圭吾: 魚類の隠れ家としての水草の機能. 土木技術資料 49:9-10, 2003.
- 3) Candolin U. & Voigt H-R (2003) Do changes in risk-taking affect habitat shifts of sticklebacks?. Behav. Ecol. Sociobiol. 55:42-49
- 4) Gulati RD., Ellen D : Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review. Hydrobiologia., vol.478, pp. 73-106, 2002.
- 5) T Tatrai I, Matyas K, Korponai J, Szabo G, Pomogyi P, Heri J : Response of nutrients, plankton communities and macrophytes to fish manipulation in a small eutrophic wetland lake. International review of Hydrobiology, vol.90(5-6), pp.511-522, 2005.
- 6) 島谷幸宏, 細見正明, 中村圭吾 : エコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化—持続的な水環境の保全と再生—, ソフトサイエンス社, p.325, 2003.
- 7) 浜端悦治 : 琵琶湖における夏の湧水と湖岸植生面積の変化—2000年の湧水調査から— 滋賀県琵琶湖研究所所報, vol.20, pp.134-145, 2001.
- 8) Scheffer M, Carpenter S, Foley JA, Folke C, Walker B : Catastrophic shifts in ecosystems, Nature, vol.413, pp.591-596, 2001.
- 9) 天野邦彦, 大石哲也 : 霞ヶ浦における沈水植物群落の消長と環境変遷の関連性解析に基づく修復候補地の抽出, 水工学論文集 (CD-ROM) , vol.53, 2009.
- 10) 平山明: ガラモ場に生活するメバル当才魚の摂餌活動と移動及び種間関係について. 南紀生物 20:55-62, 2003
宮下直: 待ち伏せ捕食者, 生態学事典, 共立出版, 519-520, 2003.
- 11) 宮下直: 待ち伏せ捕食者, 生態学事典, 共立出版, 519-520, 2003.
- 12) Eklöv and Diehl: Piscivore efficiency and refuging prey: the importance of predator search mode. Oecologia 98:344-353, 1994.

SUTADY ON THE FUNCTION OF ENVIRONMENTAL STABILITY OF AQUATIC PLANTS

Budged

Research Period: FY2006-2010

Research Team: Aqua Restoration

Research Center

Author: KAYABA Yuichi

SAGAWA Shirou

OISHI Tetsuya

Abstract:

The natural restoration projects of wetland were conducted in various locations in Japan. However, the function of environmental stability about aquatic plants was not clear enough quantitatively. The purpose of this study was to unveil the buffer function of aquatic plants to the water quality, such as water contamination, the conservation of indigenous fish and the predation pressure of birds to fish. As a result, aquatic plants were founded to have indicated to offer hiding places for prey and to reduce the predation pressure from fish-eating invader fish. Moreover, aquatic plants can indirectly improve transparency through the consumption of phytoplankton by zooplankton occurring around aquatic plants.

Key words: Submerged plant, Artificial plant, Water quality improvement, Conservation of indigenous fish