

<解説 ノート>

氾濫原と魚の話

山下 慎吾*

1. はじめに

生物多様性がますます注目されるようになってきました。1992年にリオ・デ・ジャネイロで開催された国連環境開発会議（UNCED）の成果である「生物の多様性に関する条約」に各国が署名を行ったことに始まり、日本でも1993年に施行された環境基本法に「生態系の多様性の確保、野生生物の種の保存、その他の生物多様性の確保が図られるとともに、森林、農地、水辺地等における多様な自然環境が地域の自然的社会的条件に応じて体系的に保全されること」と記されました。また河川では、1997年の河川法改正により治水や利水に加えて河川環境の整備と保全が目的として位置づけられ、2002年度には河川の自然環境の再生を目的とした自然再生事業制度が創設されています。これらの動きをみていると、生物多様性を維持するには、生物をその生息空間とともに保全することが重要だと認識されつつあることがわかります。

今回話題としてとりあげる「氾濫原」は、生物多様性や生物生産の中核¹⁾ともいわれている空間です。各地では、氾濫原に関する研究報告をまとめた書籍も出版され始めており、その地形的特性から、陸域生物だけではなく、水域生物である魚類にとっても重要な生態的機能をもっていることが報告されています。

ここでは、氾濫原への興味を持ってもらうことを目的として、その概要を整理するとともに、氾濫原上の水たまりと魚類多様性との関係を中心に紹介していきます。

2. 氾濫原(Floodplain)とは

氾濫原とは、簡単にいうと洪水時に流水が河道などから溢流して氾濫する範囲のことです(図1参照)。詳細には、水域と陸域との間にある生態的移行帯²⁾³⁾であり、その範囲は水文学的(100年確率洪水により冠水する範囲)、地形学的(近年の沖積堆積物によって覆われる範囲)、生態学的(洪水に適応した生物が生育する範囲)基準によって線引きされます¹⁾。その複雑性や動態性のため、面積について世界的な評価を行うことは難しいのですが、最近の集計によると、湿地(Wetland)は地球の地表面積の約10%にあたり、そのうち2%が湖(Lake)、30%がミズゴケの生えるような湿原(bog)、26%が湿原(fen)、20%が沼泥地(swamp)で、15%が氾濫原(floodplain)と算出されています⁴⁾。

氾濫原は、生物多様性や生物生産の中核¹⁾ともいわれている空間です。世界の多くの地域において、他の景観単位よりも多種の動植物が確認されており、その地形的特性から、陸域生物だけではなく水域生物である魚類にとっても重要な生態的機能をもっていることが報告されています⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。また各地では、氾濫原に関する研究報告をまとめた書籍も出版され始めています。

例えば、南アフリカのPongolo氾濫原¹¹⁾、バングラデシュの氾濫原¹²⁾、ナイジェリアのHadejia-Nguru氾濫原¹³⁾、アイルランドのGearagh¹⁴⁾、チェコのLuznice¹⁵⁾、南米のAmazon¹⁶⁾やPantanal¹⁷⁾などのほか、氾濫原漁業⁷⁾¹⁸⁾に関する手引書も発行されており、氾濫原に対する理解は進んできているといえます。

その一方で、河川氾濫原は最も絶滅が危惧される生態系でもあります¹⁾。Tockner and Stanford (2002) は、世界の氾濫原面積について再検討を行った結果、ヨーロッパや北米では氾濫原の90%以上がすでに耕作地となっており、その機能が大きく減衰していることを報告しています。このような状況に対して、近年では、主に欧米を中心として河川を復元しようとする動きが始まりました。オランダでは二次流路の創出¹⁹⁾、スイスでは河道の拡幅²⁰⁾、ドナウ川では氾濫原公園の管理²¹⁾などが行われ、イタリアの自然河川タリアメント川では河川復元に関する研究が進められています²²⁾。日本でも、氾濫原は土地利用の高度化、河川改修に伴う河道の直線化や固定化、流量調節に伴う出水頻度の低下などにより減少していますが、それに対して河道の再蛇行化や高水敷の掘削などが実施されはじめています²³⁾。

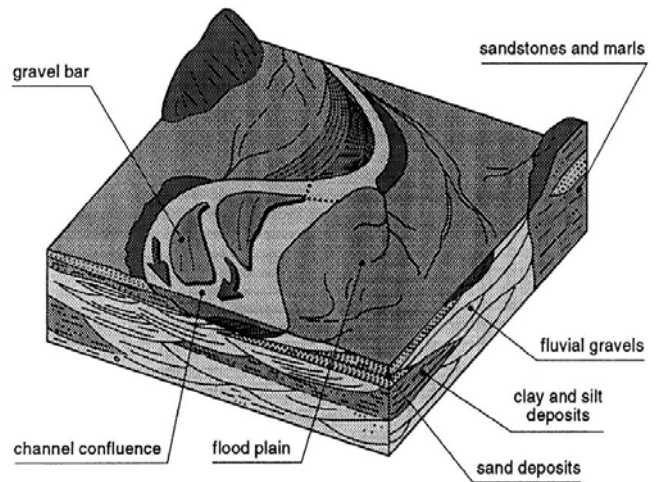


図1 沖積河川における地形的要素⁵⁾

3. 氾濫原にできる水たまりの名称

氾濫原には、水域から陸域までさまざまな特性をもつ空間が存在します(表1)。そのうち氾濫原上に形成される水たまりは backwater、secondary channel、ワンド、タマリ、side pool、oxbow、一時的水域などとさまざまな名称でよばれています。また、これらのうちワンドやタマリは流水域に開口部を有するかどうかで区別されることがありますが⁹⁾、出水による地形変化や観察年の流量によってこれらの識別が困難な場合も多いことから、ワンドがこれらの総称として用いられる²⁵⁾こともあります。また、淀川の事例では、主流路の水際に設置されたケレップ水制とよばれる人工構造物に土砂が堆積して形成された止水域をワンドとよんでいます。

本稿では、氾濫原上の水域について、低水位期でも主流路に開口部を有する湾状の水域をワンド(表1:グループ3上段)、低水位期において主流路に開口部のない水域をタマリ(表1:グループ3中下段)と称することとします。また、タマリのなかでも、流路の作用によって自然に形成され、年1回(数日)以上主流路と接続する止水域(表1:グループ3中段)に特に注目し、詳細な検討結果を紹介します。過去に詳細調査を行った Halyk and Balon (1983)⁶⁾を参照して、このタイプのタマリについては floodplain pool (氾濫原プール)という名称を用います。

表1 横断的地形分類 (Roux 1982²⁴⁾ を一部改変)

Habitat classification		Group
Aquatic	In-channel features Pools Riffle Gravel bars Islands Banksides	1
	Continuously flowing side arm	2
Lateral continuum	Backwater connected to main river at downstream end only	3
	Backwater without permanent connection to river. Strongly influenced by floods	
	Backwater without permanent connection to river. Rarely influenced by floods	
	Area of floodplain grassland / marsh subject to periodic inundation	4
Fen / swamp		
Terrestrial	Marsh	
	Riparian / floodplain woodland	

4. 氾濫原の水たまりには魚がたくさんいるのか

Halyk and Balon (1983)⁶⁾は、カナダの小河川 (Irvine Creek) と周辺に点在する氾濫原プール 19 箇所 (1 - 597 m²) において(図2)、夏季に薬剤を用いた魚類調査を実施しています。Irvine Creek は夏季(7 - 9月)に最も流量が少なくなる河川で、最大流量となる春季(3月)と、ついで流量が多い秋季(12月)に主流路と氾濫原プールが接続する特徴があります。調査の結果、20種 41626 個体の魚類が捕獲され、その総生産量は Irvine Creek が 298kg/ha/year、氾濫原プールが 135 - 314kg/ha/year であること、氾濫原プールが稚魚の保育場として接続期に主流路に戻る魚類の生産量に寄与しており Irvine Creek システムにとって有益であることを示しました。また、出水時の避難場機能についても示唆するとともに、氾濫原プールの面積(log)が生息魚種数と有意な正の相関をもつことを報告しています。

日本では、千曲川のワンド(この場合はワンドやタマリの総称)で主に定置網を用いた捕獲調査が行われています²⁶⁾。当該地には、主流路に開口部がある常時接続タイプから3年に1回程度接続するタイプまで 10-11 箇所のワンドがあり、それらの面積は 119 - 3813 m² となっています。そのうち 1999年3月(冬季減水期)の結果は表2のとおりです。河川規模が大きく流路をしきって捕獲したわけではないため、主流路の魚類確認数は過小評価されていますが、多くの魚類がワンドを利用していること、ワンドのタイプによっても魚類生息状況が異なることがわかります。また、主流路では主に成魚であるのに比べて、ワンドでは多数の稚魚が確認されたという特徴があります。

これらのことから、ワンドやタマリは、多くの魚類に利用されており、特に稚魚期の保育場として、河川システムの中で重要な役割を担っているのだということがわかります。

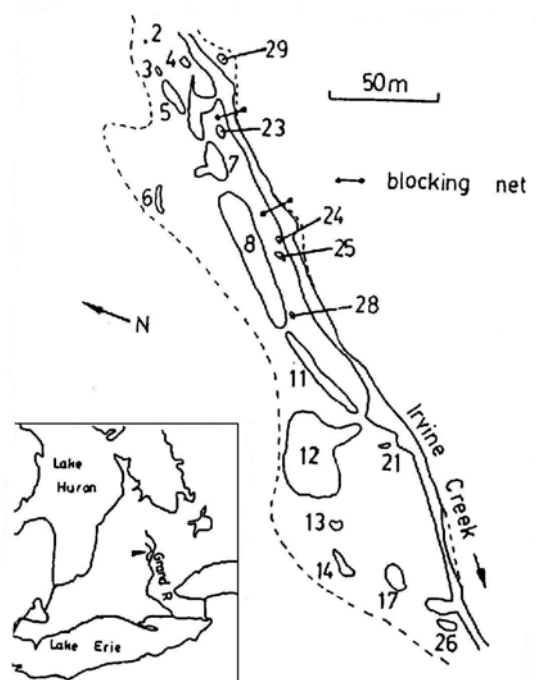


図2 調査地(Irvine Creek / Floodplain)の位置関係⁶⁾
破線は洪水時の水際線

表2 千曲川における魚類捕獲個体数（1999年3月）²⁶⁾

魚種名	主流路	わんど/たまり										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<i>Anguilla japonica</i>	ウナギ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Cyprinus carpio</i>	コイ	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
<i>Carassius auratus langsdorfii</i>	ギンブナ	0	0	5	8	5	20	40	29	16	0	0
<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	タイリクバラタナゴ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Zacco platypus</i>	オイカワ	0	0	22	157	14	78	234	82	5	7	0
<i>Phoxinus lagowskii steindachneri</i>	アブラハヤ	1	0	17	3	68	20	19	59	40	1	0
<i>Tribolodon hakonensis</i>	ウグイ	75	0	219	82	160	384	193	4	8	27	162
<i>Pseudorasbora parva</i>	モツゴ	0	0	1	7	1	51	8	5	3	0	0
<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>	タモロコ	0	0	0	0	6	10	4	4	2	1	0
<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>	カマツカ	0	0	23	1	1	14	0	4	0	27	0
<i>Hemibarbus barbuis</i>	ニゴイ	0	0	12	51	3	9	62	0	0	0	0
<i>Msigurus anguillicaudatus</i>	ドジョウ	0	1	1	2	2	2	1	1	6	0	0
<i>Cobitis biwae</i>	シマドジョウ	0	0	0	0	1	0	2	0	3	37	0
<i>Liobagrus reini</i>	アカザ	0	0	3	2	0	0	0	0	0	2	0
<i>Rhinogobius sp. OR</i>	トウヨシノボリ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

5. 多種類の稚魚が生息する水たまりの特徴は

稚魚多様性が高い水たまり（floodplain pool）の地形的特徴は何でしょうか。その疑問に答えるべく、次のような調査を行いました²⁷⁾。

5.1 調査地と調査時期

調査地は千曲川中流域の氾濫原です。ここには透明度の高い伏流水で満たされたさまざまな面積、形状、水深を有する多くのタマリ（氾濫原プール）があります（図3）。そのうちの10箇所において月1回調査を行い、台風出水で冠水した後に流量が安定した10月と、春出水で冠水する前にあたる3月のデータを解析に用いました（図4）。



図3 氾濫原プール（長さ約200m、幅約20m）

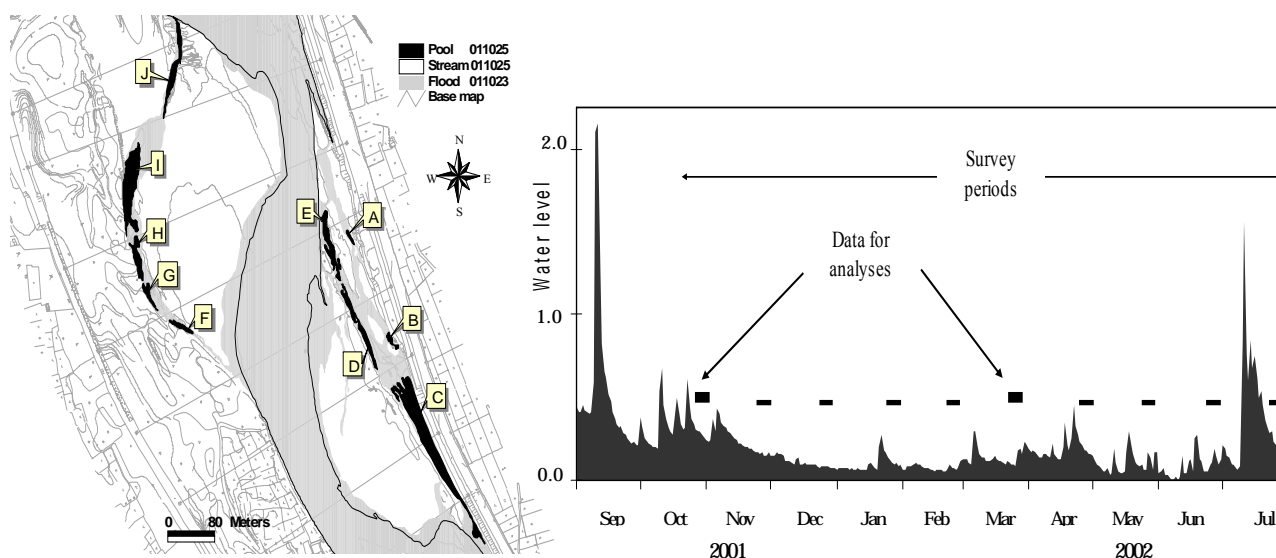


図4 調査対象の氾濫原プール10箇所と調査時期²⁷⁾

5.2 方法

調査は次の方法で行いました。

- ・ 各調査時期に2回、魚類の潜水目視観察と水際線付近におけるタモ網採集を実施。目的変数を稚魚種数とした。
- ・ DGPS (Differential global positioning system) を併用してプールの地形特性を計測し、GIS(Geographical information system)を用いて各情報を整理
- ・ 地形特性は次の13項目。プールの長さ/幅/面積/水際線長/カバーのある水際線長/カバー水際線率/最大水深/平均水深/水深の変動回数/底質多様度/形状指数/主流路からの距離/最近傍プールからの距離
- ・ カバーは陸上植物、倒木、えぐれなどによる遮蔽で、水面上50cmまでを対象
- ・ 底質多様度はSimpsonの多様度指数を用いて算出
- ・ 形状指数(SI)は形状の複雑さを表し、円のとき最小値1をとる指標。面積(A)と水際線長(P)から算出 $SI = \frac{P}{2\sqrt{A\pi}}$
- ・ ステップワイズ重回帰分析を実行。赤池情報基準 (AIC: Akaike information criterion) をモデル選択の参考値とした

5.3 結果

解析の結果は次のとおりです。

- ・ 10月:2つの回帰モデルが構築された(表3)。第1のモデルでは最大水深(MAXD)が選択され($R^2 = 0.655$, $p = 0.005$)、第2のモデルでは最大水深(MAXD)と底質多様度(SUBST)が選択された($R^2 = 0.844$, $p = 0.001$)。第2モデルの方がAIC値は小さかった。この場合、最大水深は底質多様度よりも稚魚種数に与える影響が大きい。
- ・ 3月:カバー水際線率(COVP)を予測変数とする1つの回帰モデル($R^2 = 0.626$, $p = 0.006$)が構築された(表3)。なお、カバー水際線長(COV)に置き換えたとしても有意なモデル($R^2 = 0.562$, $p = 0.008$)となる。

表3 稚魚多様性の高い氾濫原プールの地形特性に関する解析結果²⁷⁾

Month	Model	Predictor	Partial correlation	Standardized partial coefficient	R^2	F	P	AIC
October	1	MAXD	6.831**	0.810	0.655	15.216	0.005	35.90
	2	MAXD	5.166**	0.612	0.844	19.001	0.001	29.39
		SUBST	7.672*	0.478				
March	1	COVP	5.558**	0.791	0.626	13.416	0.006	-

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

5.4 考察

多種類の稚魚が生息する水たまり(floodplain pool)の特徴は、10月は最大水深(MAXD)や底質多様度(SUBST)の値が大きいこと、3月はカバーのある水際線が多いこと(COVP, COV)であることがわかりました。

最大水深(MAXD)や底質多様度(SUBST)が選択されたことについては、プール内空間の不均質性(Heterogeneity)の重要性を示していると考えています。日本の淡水魚類(特に種類の多いコイ科など)の視点からみると、梅雨出水や夏季台風出水時期(図5参照)は、孵化した仔稚魚が出現/分散する時期に該当します。河川流量の増大時において、冠水する氾濫原上のくぼみ(プール水深)が深いほど、空間的、時間的に多様な流速分布が生じ(底質多様度にも反映)、これら遊泳力の小さい稚魚の主流路からの侵入や滞在が容易になっているのではないかと推察します。

カバー(COVP, COV)については、魚類が遮蔽部を好む事例は多くの論文によって報告されており、捕食者からの避難場となるなど、プール孤立期(10月-3月)における稚魚多様性の維持機能として重要な要因になっていると考えています。

これまで、生物の生息種数に最も影響する要素として「面積」がよくとりあげられていました。Halyk and Balon(1983)も氾濫原プールの面積が魚種数と有意な正の相関をもつことを報告しています。この調査では面積よりも最大水深やカバーなどがより影響をもつ指標として選択された点が興味深いと考えています。おそらく今後、観測技術の向上により、空間の不均質性や対象生物の必要条件など、面積よりも直接的に表現できる要素が各方面で報告されるのではないのでしょうか。

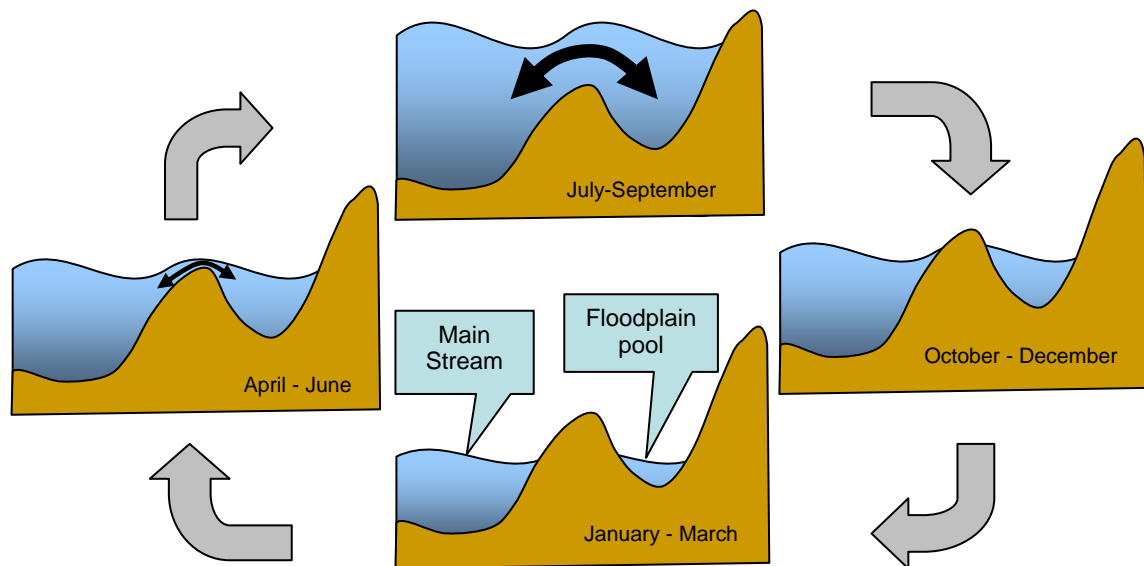


図5 氾濫原プールと主流路の接続状態に関する季節変化

6. 稚魚は水たまりの中でどんなところを利用しているのか

稚魚は水たまり（floodplain pool）の中で、特にどんなところを利用しているのでしょうか。その疑問に応えるべく、次のような調査を行いました²⁸⁾

6.1 調査地と調査時期

調査地は千曲川中流域の氾濫原です。最も大きな氾濫原プール（長さ約400m、幅約20m）において（図6）、2000年7月と2001年7月に調査を実施しました。その間、2000年9月の台風出水の際には冠水し、プール形状が変化するほどの影響を受けています。



図6 氾濫原プール内の稚魚群集

6.2 方法

調査は次の方法で行いました。

- ・ 各調査時期の昼間（14:00-17:00）と夜間（19:00-22:00）にそれぞれ2回ずつ、DGPS（Differential global positioning system）を併用して、魚類の潜水目視観察を行い、その確認位置を記録した。
- ・ DGPSを用いてプールの水平形状を計測し、上下流方向10m、横断方向1m間隔で、表層流速、水深、底質を記録
- ・ GISを用いて、2mグリッドセルごとに水深、流速、大礫面積率、カバー面積率、傾斜、水底の方向、カバーからの距離、水際線からの距離の8要素を算出した。
- ・ データ量が多いため、データマイニング手法の一種である回帰木分析を実行。本手法では、目的変数に影響の大きい（全体の誤差減少量を最大にする）分岐ルールが順に選択され、樹形モデルが形成される。モデルサイズは10群交差検証法（クロスバリデーション）により決定した。プログラムはRPART（Recursive PARTitioning）を用いた。

6.3 結果

解析の結果は次のとおりです。

- ・ オイカワ、ギンブナ、アブラハヤ、ウグイ、ニゴイ、モツゴ、カマツカ、タモロコ、コイ（確認個体数順）の計9種のコイ科稚魚が確認された。オイカワはプールの広い範囲に分布しており、特に夜間には他の数種とともに全面的に水面付近に浮遊していた。
- ・ 昼間：多種の稚魚がいる微空間指標として、2000年データではカバーからの距離が1.5m未満という分岐ルールがまず抽出され、次いで水深や大礫割合などが選択された（図7）。2001年データでも最上位にはカバーからの距離1.5m未満という分岐ルールが抽出されたことは同様。次いでカバー割合や水深などが選択された。
- ・ 夜間：2000年データではどのような分岐ルールを用いても誤差が減少せずモデル構築は不可能。2001年データでは説明率が極めて低いモデルが構築された。

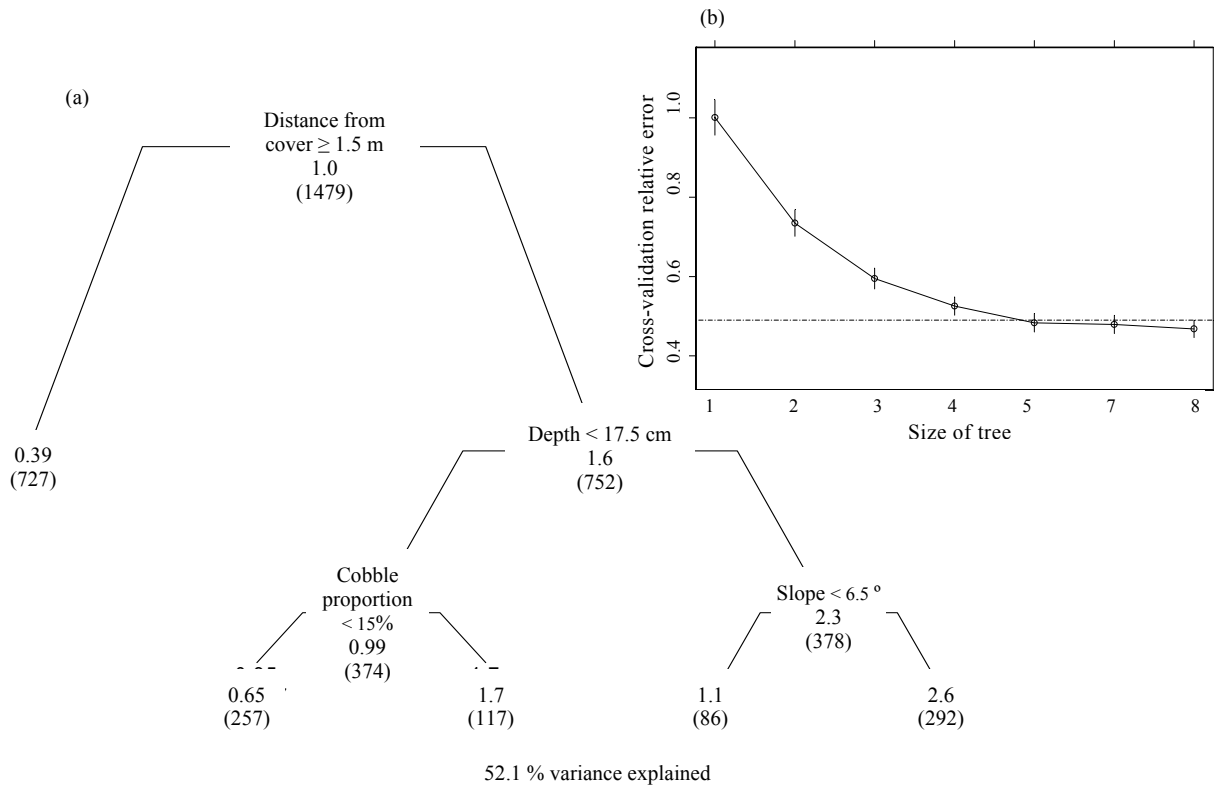


図7 沱濫原プール内において多種のコイ科稚魚がいる微空間に関する回帰木モデル（2000年7月昼間）²⁸⁾
 (a) 分岐ルール（変数と閾値）は各ノードに記されており、Yesなら左に、Noなら右に進む。目的変数の平均値は端末ノードにあり、括弧内はサンプルサイズを示す。(b) モデル構造の複雑化に伴う交差検証による相対的誤差減少率を示す。

6.4 考察

多くの稚魚は、昼間、水たまり（floodplain pool）の中で「カバーからの距離が近い場所」にいることがわかりました。また、夜間にはプール内で広く分散していることが観察されました。

稚魚がカバーを好むことは既往文献でもよく知られています²⁹⁾³⁰⁾。さらに、この調査では昼間にのみ「カバーからの距離」が最重要分岐ルールとして抽出された点が興味深いと考えています。Helfman（1981）³¹⁾は遮蔽物の陰にいる魚類の有利性について報告しています。彼は水面上に浮遊物を浮かべ、その陰の下と陰から離れた場所の両方において、目標物の相対的な視認性を計測し、陰の下にいる魚は明るい場所にいる目標物を認識しやすく、同時に自身は見つけられにくいことを見出しています（図8）。また、Damant（1921）³²⁾は、陰の外にいる個体よりも、陰の中にいる個体からのほうがプランクトンを見つけれやすいことを報告しています。

このように、沱濫原プール内では、昼間、稚魚はカバーから近い場所を利用していることがわかりました。また、遮蔽物による陰から近い微空間の存在は、稚魚にとって、摂餌や捕食者からの避難場としてとても重要なのではないかと考えています。

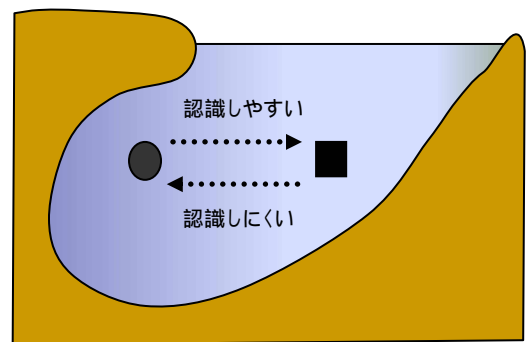


図8 遮蔽物下にいる魚の有利性に関する概念図

7. 沱濫原における水産業

最後に、沱濫原における人の暮らしについて少しだけ触れたいと思います。これはバングラデシュの一地域（シャムタ村）で水面利用についての現地聞き取り調査を行った結果³³⁾です。

バングラデシュでは、川のほか、河跡湖（bangor）、川に囲まれた自然低地（haor）、haorの中でもより低い湖沼状の窪地（beel）、beelが川とつながる場合に形成される水路（khal）、人が窪地を掘った池（pukur）等さまざまな水域があります。

聞き取り調査の結果、図9に示す5タイプの水面利用形態がありました。各住居近くの池にコイ科魚類（図10など数種）やティラピアなどの稚魚を春に購入して入れておき、育った魚を投網（khepla jal）（図11）で捕獲して自家消費に用いるタイ

プが一般的で、そのほか、大きな池では孵化養殖を行うタイプ、商業目的で対象魚種を絞って養魚を行うタイプ、川の一部を仕切ってカゴ網で魚を捕る漁法もみられました(図12)。また特に、養殖を行う池では、施肥としてUrea(尿素)、Potassium(カリウム)、TSP(リン酸)といった化学肥料のほか、牛糞やコイル(油粕)と呼ばれる有機肥料が用いられていました。同時に行われた食事調査結果とあわせて、これらの水面利用により得られる魚類(コイ目コイ科、ナマズ目ヒレナマズ科、スズキ目カワスズメ科など20種以上)はシャムタ村の人々の主要なたんぱく質源となっていることがわかりました。

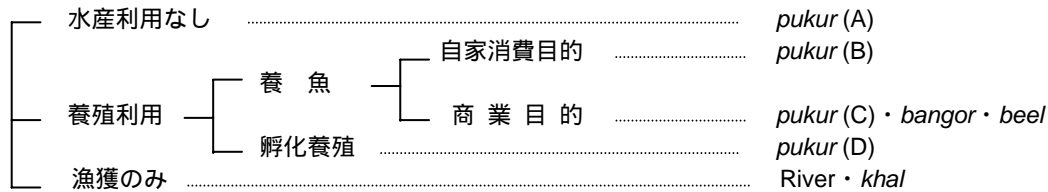


図9 シャムタ村の水面利用形態



図10 コイ科魚類 *Catla catla*



図11 投網 *Khepla jal*による漁獲



図12 川を仕切って捕る漁法

8. おわりに

氾濫原の水たまりと魚類多様性に関する話題を紹介させていただきました。2010年には、生物多様性条約 第10回締約国会議(COP10: Conference of the Parties)が日本で開催されます。それに伴い、ESR(The Corporate Ecosystem Services Review: 企業のための生態系サービス評価)といった言葉もきかれるようになりました。今後、生物多様性はより一般的な問題として扱われることでしょう。生物多様性を背景に、ぜひ氾濫原の水たまりへの興味ももっていただけると幸いです。

参考文献

- 1) Tockner, K. and Stanford, J.A. (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, 29, 308-330.
- 2) Gregory, S.V. et al. (1991) An ecosystem perspective of riparian zones. *BioScience*, 41, 540-551.
- 3) Malanson, G.P. (1993) *Riparian Landscapes*. Cambridge University Press, UK. 308p.
- 4) Ramsar and IUCN (1999) *Wetlands and global change* [www. document]. URL http://www.ramsar.org/key_unfccc_bkgd.htm
- 5) Huggenberger, P. et al. (1998) Abiotic aspects of channels and floodplains in riparian ecology. *Freshwater Biology*, 40, 407-425.
- 6) Halyk, L.C. and Balon, E.K. (1983) Structure and ecological production of the fish taxocene of a small floodplain system. *Canadian Journal of Zoology*, 61, 2446-2464.
- 7) Tsai, C.F. and Ali, M.Y. eds, (1997) *Openwater Fisheries of Bangladesh*. The University Press, Dhaka. 212p.
- 8) 斉藤憲治 他(1988) 淡水魚の水田周辺における一時的水域への侵入と産卵. *日本生態学会誌*, 38, 35-47.
- 9) 河川環境管理財団大阪研究所(1999) わんどの機能と保全・創造 ~豊かな河川環境を目指して~. 河川環境管理財団.
- 10) Hoggarth, D.D. (1999) Management guidelines for Asian floodplain river fisheries, part2 Summary of DFID research. *FAO Fisheries Technical Paper*, 384/2.
- 11) Heeg, J. and Bren, C.M. (1982) Man and the Pongolo floodplain. *South African National Scientific Report* 56, Pretoria, South Africa.
- 12) Rahman, A.A. et al. (1990) *Environmental Aspects of Surface Water Systems of Bangladesh*. The University Press, Dhaka. 258p.
- 13) Hollis, G.E. et al. (1993) *The Hadejia-Nguru wetlands*. IUCN, Switzerland. 244p.
- 14) Brown, A.G. et al. (1995) *The biogeomorphology of a wooded anastomosing river: the Gearagh on the River Lee in Country Cork, Ireland*. Occasional Paper 32, University of Leicester, UK.
- 15) Prach, K. et al. (1996) *Floodplain Ecology and Management. The Luznice River in the Trebon Biosphere Reserve, Central Europe*. Hague, Netherlands, SPB Academic Publishing. 285p.
- 16) Junk, W.J., ed. (1997) *The Central Amazon Floodplain*. Berlin, Springer. 525p.
- 17) Heckman, C.W. (1998) *The Pantanal of Poconé: biota and ecology in the northern section of the world's largest pristine wetland*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. 622p.

- 18) Welcomme, R.L. (1979) Fisheries Ecology of Floodplain Rivers. Longman, London, UK. 317p.
- 19) Buijse, A.D. et al. (2002) Restoration strategies for river floodplains along large lowland rivers in Europe. *Freshwater Biology*, 47, 889–907.
- 20) Jaeggi, M. and Zarn, B. (1999) Stream channel restoration and erosion control for incised channels in Alpine environments. In: *Incised River Channels: Process, Forms, Engineering and Management*. John Wiley, Chichester, pp. 343–369.
- 21) Tochner, K. et al. (1998) Conservation by restoration: the management concept for a river-floodplain system on the Danube River in Austria. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 8, 71–86.
- 22) Tockner, K. et al. (2003) The Tagliamento River: a model ecosystem of European importance. *Aquatic Sciences*, 65, 239–253.
- 23) Nakamura, K. and Tockner, K. (2004) River and wetland restoration in Japan. In: *3rd ECRR international conference on river restoration in Europe*. Zagreb, Croatia, pp. 211–220.
- 24) Roux, A.L. (1982) Cartographic polythématique appliquée à la gestion écologique des cours d'eau: étude d'un hydrosystème fluvial. In: *The new Rivers and Wildlife Handbook*. KPC Group, London, pp.12-15.
- 25) 萱場祐一 他 (1997) 千曲川における「わんど」の実態とその特徴に関する基礎的研究. 土木学会環境システム論文集, 24, 611–614.
- 26) 傳田正利 他 (2002) ワンドと魚類群集 - ワンドの魚類群集を特徴づける現象の考察 - . 日本生態学会誌, 52, 287-294.
- 27) YAMASHITA, S. et al. (2004) Geomorphological predictors for diversity of juvenile fish in floodplain pools during a low-water period. *Ecology and Civil Engineering*, 7, 93-102.
- 28) YAMASHITA, S. et al. (2004) A microhabitat analysis of juvenile fish in a floodplain pool using a regression tree technique. *Journal of Environmental Information Science*, 32, 55-62.
- 29) DeVore, P.W. and White, R.J. (1978) Daytime responses of brown trout (*Salmo trutta*) to cover stimuli in stream channels. *Transactions of the American Fisheries Society*, 107, 763–771.
- 30) McMahon, T.E. and Hartman, G.F. (1989) Influence of cover complexity and current velocity on winter habitat use by juvenile coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 46, 1551–1557.
- 31) Helfman, G.S. (1981) The advantage to fishes of hovering in shade. *Copeia*, 2, 392–400.
- 32) Damant, G.C.C. (1921) Illumination of plankton. *Nature*, 108, 42–43.
- 33) 山下慎吾・東直子 (2001) シャムタ村の水産業. In 谷正和 (編) バングラデシュ・ベンガル地方の地下水ヒ素汚染問題に関する応用人類学的研究, 文部省科学研究費補助金成果報告書.