

ため池の接続性が魚類の移動及び群集構造に与える影響の解明

満尾 世志人

岩手県

1. 研究の背景

ため池は、4～6 世紀頃の古墳の建設にともなってその造成が始まったとされ、その後農業の発展とともに少雨や地形によって河川から水を引くことが困難な地域で多く造られてきた。ため池には自然の池沼に取水施設を取り付けただけのものもあるが、多くの場合は新たに築堤し川や湧き水をせき止めて生み出された人工的な環境である。しかしそうした人間活動のために造られた環境であっても、長い年月をかけ様々な生物が移り棲みそのそこに応じた生態系が築き上げられてきた。植物についてみると、兵庫県における調査では県に生息する 121 種の水生植物のうち 92 種がため池に生息し、44 種がため池にしか見られないという結果が出ている（角野 1998）。水域に限らず自然環境の荒廃が進む現代では、灌漑のための水源としてだけでなく地域の生物多様性を支えるという点においても、ため池の存在は重要であると考えられる。我が国には 20 万箇所を越えるため池が存在しているが、近年では新たな用水の開通やダム建設にともなってその数が減少している（内田 2003）。一方で、二次的自然を含めた水辺空間の持つ多面的機能についての認識が広まり、生物の生息空間としてため池の保全や活用を進める事例も増えている（角野 1998；農林水産省農業環境技術研究所 1993）。今後ため池の保全を考えていくうえでは、ため池の生物生息空間としての特徴を把握し、それに応じた保全策を検討していく必要がある。

淡水魚類は生活史の各段階において目的に応じた異なる生息環境を利用しており、そのため様々なスケールでの移動を行う（Lucas and Baras 2001）。特に水田水域に生息する多くの魚類に関して、水田や小水路などの一時的水域と幹線水路などの恒久的水域との間を往来し生活史を全うしていることが知られている（斉藤ほか 1988；中村 1969）。しかし、ため池内に生息する魚類の生活史に関しては、周辺水域との接続性に注目した報告は極めて少ない。

生物の移動・分散は、例えばメタ個体群動態や局所的な適応など、個体から群集に至る種々の重要な生態的プロセスと密接に関連している（Bowler and Benton 2005；Hastings and Harrison 1994）。近年は移動・分散が群集構造に及ぼす影響について多くの研究が行われており、局所群集やメタ群集に対する移動・分散の役割が示されつつある（e.g. Cadotte 2006）。しかし一方で、自然環境下における生物の移動の評価は困難であることから、これまでの研究は実験系や代替的な指標を用いた事例が大部分である。

そこで本研究では、ため池に生息する魚類の移動実態やその関連要因の解明を行うと共に、移動性が池内の魚類群集に与える影響について解明することを目的とする。

2. 材料と方法

2.1 調査地概要

調査対象地である岩手県奥州市は県南部に位置し、西部の奥羽山脈と胆沢川流域に形成される胆沢扇状地から成っている（図1）。本市の面積は993.3平方キロメートルであり、そのうち約220平方キロメートルが農地となっている。

調査対象としたため池の規模は水面面積にして約0.1ha～5.6ヘクタールであり（表1、写真1）、周辺の主要な土地利用は水田である。造成時期に関する資料は乏しいものの、古いものでは江戸時代以前から存在するものもあり、いずれのため池も造成から少なくとも100年程度以上は経過していると思われる。また、一般にため池は立地や護岸、堰堤等の形態から、平地の窪地等の周囲を護岸で固めて造る「皿池」と、丘陵地等の谷部分に堰を設けて造られる「谷池」とに大別される。調査対象ため池に関しては主に谷池に近い形態を持つといえるが、ため池上流側にも水田が広がるなど皿池に近い特徴を備えたものも多く、両タイプの中間的性質をもつといえる。

現在の各ため池の管理状況については、多くの池で堰堤部の草刈等は行われているものの、池干しや泥さらいといった作業は20～30年ほど行われていない。一方、近年では生態系保全の観点から、ため池からのブラックバス駆除活動が進められている。

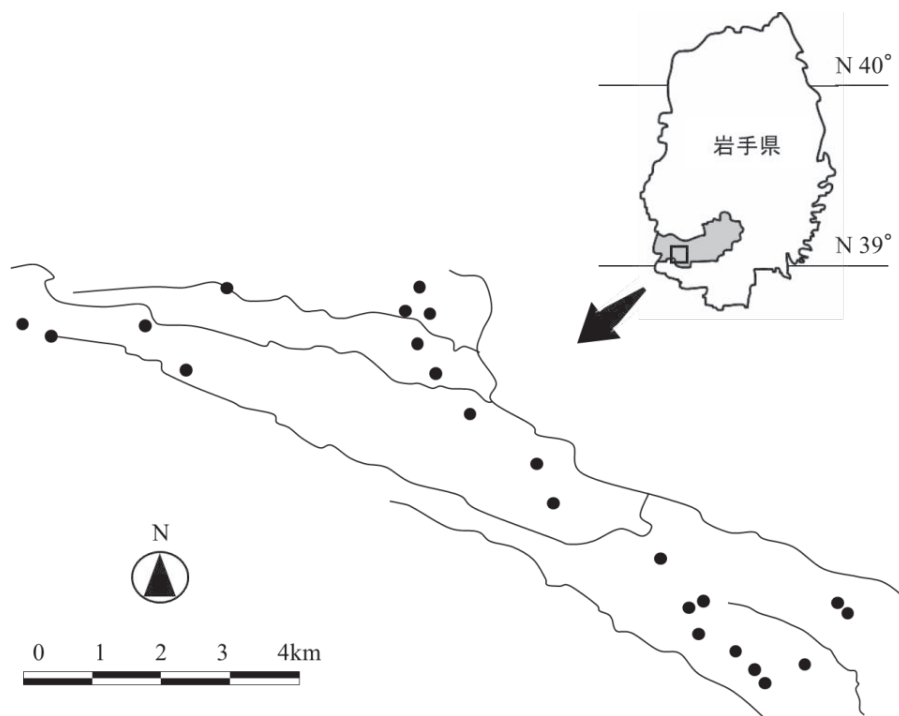


図1 調査対象地域



写真1 調査対象ため池の例

表1 調査対象池・水路の概要

計測項目	平均±S.D.	最大	最小
ため池			
水面面積 (ha)	1.18±1.22	5.56	0.09
最大水深 (m)	1.46±0.68	3.33	0.63
コンクリート護岸率 (%)	33.7±31.1	100.0	0.0
植物被覆率 (%)	44.2±28.9	83.3	1.7
水温 (°C)	22.9±1.22	25.2	19.7
pH	7.21±0.88	9.03	6.03
溶存酸素量 (DO、mg/l)	7.38±1.74	10.82	4.32
電気伝導度 (EC、μs/m)	93.2±17.5	139.0	63.3
透視度 (cm)	51.2±24.2	89.7	12.0
流入水路			
水深 (cm)	15.7±13.1	53.0	3.6
水面幅 (cm)	110.0±77.5	298.0	2.6
流速 (cm/s)	16.3±15.2	70.1	3.6
水温 (°C)	20.3±3.0	26.5	14.3
pH	7.16±1.37	9.50	3.60
溶存酸素量 (DO、mg/l)	6.90±1.26	10.12	4.83
電気伝導度 (EC、μs/m)	105.2±38.2	200.0	46.0
透視度 (cm)	77.4±26.4	100.0	24.0

2.2 調査方法

本調査は、ため池・流入水路間に設置された小型の定置網による移動状況調査と、ため池内部における魚類相調査の二つに大別される。調査は夏期（8月、灌漑期）、秋期（10月、非灌漑期）に実施した。

2.2.1 ため池・流入水路間における魚類の移動状況

ため池からの魚類の移出、及び周辺水域からため池内への魚類の移入状況を把握するため、23か所のため池において移動個体の採捕を行った。移動個体の採捕は、ため池とその流入水路の接続口に小型の定置網（写真2）を移出・移入のどちらの個体についても採捕できるように2つ設置し（写真3）、24時間後に回収することで行った。採捕は各期において2回ずつ行った。また、接続口に落差が存在するなどの理由から、ため池からの移出個体を採捕する定置網を設置したのは全対象ため池のうち12か所とした。

2.2.2 ため池内の魚類相

ため池内に生息する魚類相の把握を目的として、調査対象とした全てのため池において、投網（18節1000目）及び手網（間口40cm）を用いて採捕を行った。採捕された魚類は種の同定と個体数を記録した後ため池へと放流した。ため池間における採捕努力量が等しくなるよう、池の水面面積に合わせて採捕時間を調整した。

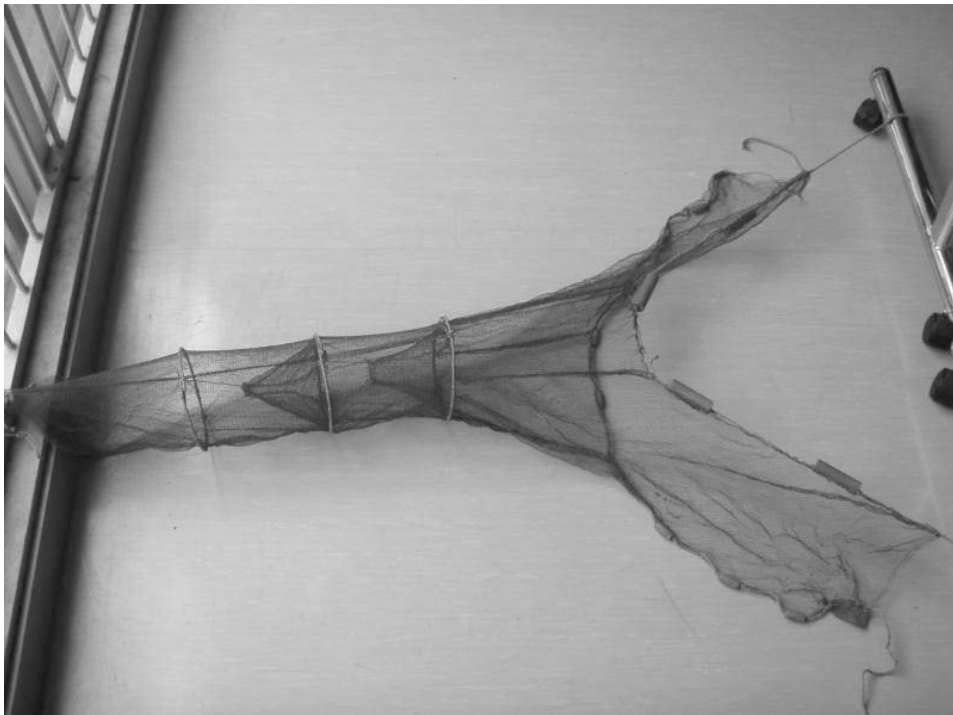


写真2 小型定置網



写真3 ため池・水路間における小型定置網設置状況

2.2.3 環境調査

(1) ため池

各調査期に全ての対象ため池において最大水深、透視度、水質（水温、pH、EC、DO）、コンクリート護岸長、水生植物の繁茂状況について記録を行った。水面面積については2万5千分の1地形図を用いて計測した。

なお、水質は池の表層水を用いて以下の機器により計測を行った。

水温計：マルチ水温計、(株) 日本動物薬品

pH計：pH Meter KS701、(株) 新電元製

EC計：DO-5509、Lutron 製

DO計：Conductivity Meter B-173、(株) 堀場製作所

(2) 流入水路

移出個体の採捕を実施したため池の流入水路において、水深、水面幅、流速、透視度、水質（水温、pH、EC、DO）の計測を行った。水深及び流速は水路中央で行い、水質の計測には上述の機器を用いた。

2.3 分析

ため池からの魚類の移出に関連する要因について考察するため、移出魚種数を目的変数とし、計測された各ため池及び流入水路における環境要因、及びため池内で採捕された魚種数・個体数を説明変数とした GLM 解析を行った。この際、各調査期に行った 2 回のサンプリングは合算し、調査期ごとの値として扱った。また、Burnham and Anderson (2002) に従い、AICc を用いた Model Averaging によって関連する説明変数間の相対的重要性についても評価を行った。この際、ベストモデルからの $\Delta AICc$ が 2 以下のものを候補モデルとして解析に含めた。

次に、周辺水域からの移入が池内の魚類群集に及ぼす影響について考察するため、池内の生息魚種数を目的変数、移入種数及びため池で計測された各環境要因を説明変数とした GLM 解析を行った。また、上記と同様の方法で説明変数間の相対的重要性についても評価を行った。

本研究における統計解析には R 3.1.0 (R Development Core Team 2014) を使用し、Model Averaging には MuMIn package (Barton 2011) 中の関数を用いた。

3. 結果

3.1 採捕魚種

3.1.1 ため池内の魚類相

23 箇所のため池における採捕調査により、合計 14 種 1311 個体の魚類が採捕された。各ため池で平均 5 種が採捕され、生息が確認された種の中で出現率 (採捕された池の数/調査対象池の総数 \times 100) が最も高かったのはヨシノボリ属であり、すべてのため池 (n=23) で生息が確認された (表 2)。ついで出現率の高かった種はモツゴ、フナ属であり、ともに 70%であった (表 2)。

環境省レッドリストにおいて絶滅危惧 I A に分類されているアカヒレタビラが 1 か所のため池で確認され、同じく絶滅危惧 II 類に分類されるギバチが 2 か所のため池で確認された。また一方で、特定外来生物に指定されているオオクチバスも 6 か所のため池で生息が確認された。

3.1.2 移動魚種と移動傾向

23 箇所のため池 (このうち、移出個体を対象とした池は 12 か所) において実施した小型定置網を用いた採捕調査により、全調査を通じて合計 15 種 1281 個体の魚類が採捕された (表 3)。

ため池からの移出個体に関しては、最も多くの池で確認されたのはヨシノボリ属であり、ついでドジョウであった (表 3)。一方でため池への移入個体に関しては、夏期の調査時に最も多くの池で移動個体が採捕されたのはドジョウであり、秋期ではヨシノボリ属となった (表 3)。また、調査期別における移動種数の比較では、移出種数と移入種数はともに夏期で多く確認される結果であったものの、いずれも直接の比較において統計的に有意な傾向は認められなかった (U-test、移出種数 : p-value = 0.182、移入種数 : p-value = 0.078) (図 2)。

表2 ため池内において採捕された魚種

	種名	個体数	出現率
ヨシノボリ属	<i>Rhinogobius</i> sp.	619	1.00
モツゴ	<i>Pseudorasbora parva</i>	285	0.70
タイリクバラタナゴ	<i>Rhodeus ocellatus ocellatus</i>	282	0.52
ドジョウ	<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	176	0.61
オオクチバス	<i>Micropterus salmoides</i>	142	0.26
フナ属	<i>Carassius</i> spp.	123	0.70
ゲンゴロウブナ	<i>Carassius cuvieri</i>	66	0.30
コイ	<i>Cyprinus carpio</i>	32	0.26
オイカワ	<i>Zacco platypus</i>	29	0.13
アカヒレタビラ	<i>Acheilognathus tabira erythropterus</i>	13	0.04
シマドジョウ	<i>Cobitis biwae</i>	7	0.13
ギバチ	<i>Pseudobagrus tokiensis</i>	6	0.09
ワカサギ	<i>Hypomesus nipponensis</i>	6	0.17
アブラハヤ	<i>Rhynchocypris logowskii steindachneri</i>	2	0.09

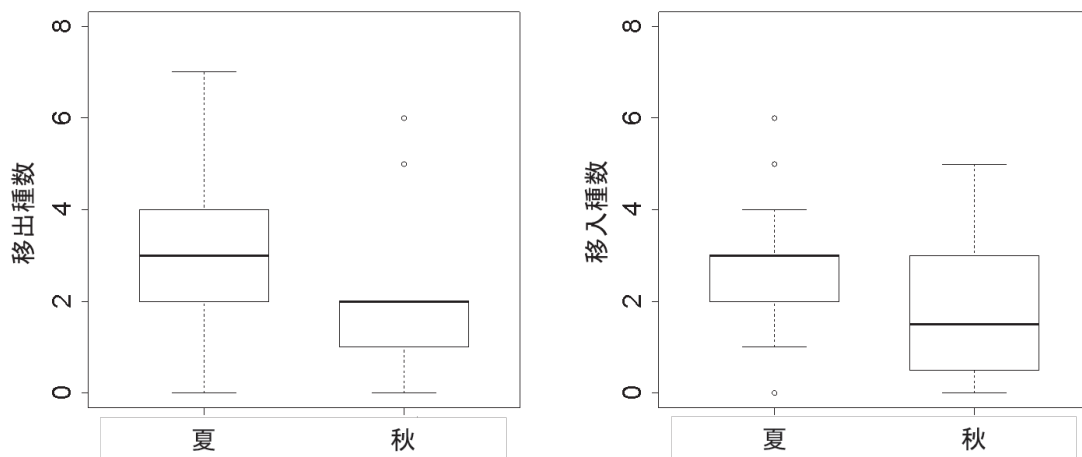


図2 移動魚種数の季節変化

表 3 移動魚種の概要

	夏期				秋期				総个体数
	移出		移入		移出		移入		
	个体数	出現率	个体数	出現率	个体数	出現率	个体数	出現率	
ヨシノボリ属	114	0.83	1119	0.78	57	0.78	160	0.58	1450
モツゴ	791	0.50	51	0.26	312	0.22	27	0.17	1181
ドジョウ	39	0.67	366	0.83	5	0.33	50	0.50	460
タイリクバラタナゴ	124	0.33	50	0.26	61	0.33	186	0.17	421
シマドジョウ	5	0.25	22	0.09	17	0.22	5	0.17	49
ギバチ	10	0.33	17	0.04	2	0.22	1	0.08	30
アカヒレタビラ			26	0.09	1	0.11			27
フナ属	2	0.17	2	0.09	10	0.11	1	0.08	15
オオクチバス			11	0.04					11
スナヤツメ	3	0.08	4	0.04					7
ゲンゴロウブナ			3	0.09					3
ワカサギ	2	0.08							2
コイ			1	0.04					1
オイカワ			1	0.04					1
アブラハヤ	1	0.08							1

3.2 移出魚種と各環境要因の関係

ため池からの魚類の移出に関連する要因について考察するため、ため池・流入水路間に設置した小型定置網によって採捕された池からの移出魚種数を目的変数として行った GLM 解析の結果、上位モデルにはコンクリート護岸率、季節、最大水深、pH、水温が説明変数として含まれていた (表 4)。このうちコンクリート護岸率と季節、水温が推定された係数の 95%信頼区間中に 0 を含まなかった (表 5)。最も影響の強い要因として推定されたのはコンクリート護岸率であり、護岸率が上昇するほど移出種数も多くなる傾向が認められた (表 5、図 3)。また、直接の比較では統計的に有意な傾向は認められなかったものの、本解析では調査時期による影響が認められ、秋期に対して夏期で移出種数が多くなる傾向が示された (表 5)。加えて、水温についても移出種数との関連が認められ、水温が高いほど移出種数は増加する傾向が確認された (表 5)。

3.3 移入が群集構造に及ぼす影響

ため池内の魚類群集に対して周辺水域からの移入が及ぼす影響について考察するため、池内における採捕によって確認された魚種数を目的変数とし、池への移入種数とため池内の各環境要因を説明変数として GLM 解析を行った。その結果、上位モデルには移入種数、溶存酸素量 (DO)、最大水深、植生被度が説明変数として含まれ、このうち移入種数、DO、植生被度が推定された係数の 95%信頼区間中に 0 を含まなかった (表 6)。最も関連の強い要因として抽出されたのは移入種数であり、移入種数と池内の生息魚種数には正の関連が認められた (表 7、図 4)。また、最大水深及び植生被度についても共に池内魚種数と有意な関連が認められ、両要因の増加に伴い魚種数は増加する傾向が認められた (表 7)。

表 4 移出魚種数に関する GLM 解析結果。AICc に基づく上位モデル ($\Delta AICc < 2$)

Model	AICc	$\Delta AICc$	AICw
護岸 + 水深 + 季節	71.9	0	0.42
護岸 + 季節	72.3	0.38	0.34
護岸 + 水深 + pH + 水温	72.9	1.09	0.24

表 5 移出魚種数を目的変数とした GLM 解析を基に、上位モデルに含まれる説明変数に関して Model averaging により得られた推定値とその 95%信頼区間。太字は信頼区間に 0 を含まない。

Variables	Estimate	95% CI	Relative Importance
護岸	2.447	0.378 to 4.516	1
季節	-0.588	-1.879 to -0.213	0.76
水深	-1.046	-1.245 to 0.069	0.66
pH	-0.436	-0.896 to 0.024	0.24
水温	0.152	0.030 to 0.275	0.24

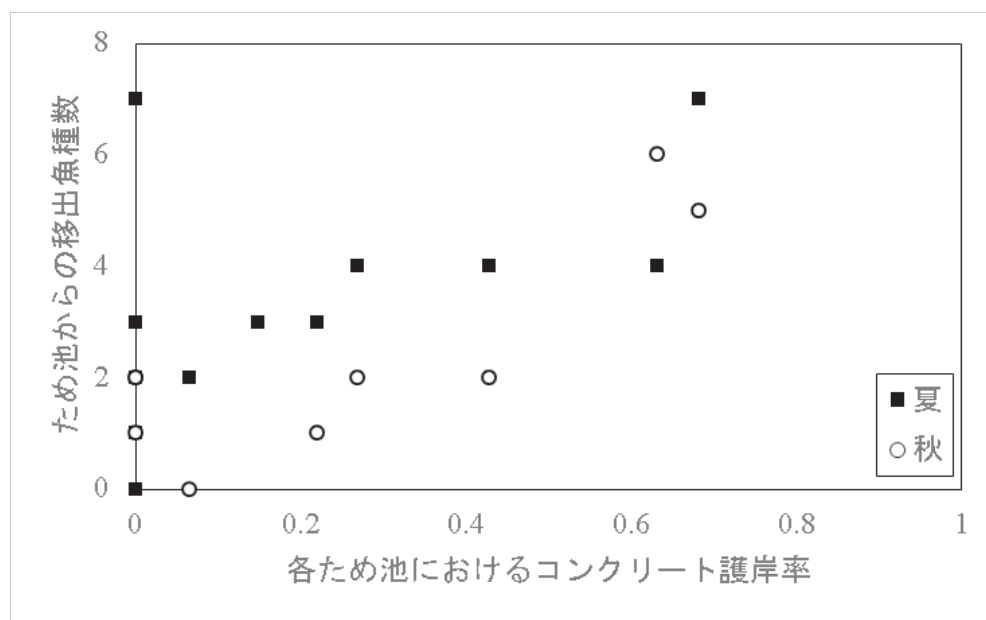


図 3 移出魚種数とコンクリート護岸率の関係

表 6 ため池内魚種数に関する GLM 解析結果。AICc に基づく上位モデル ($\Delta AICc < 2$)

Model	AICc	$\Delta AICc$	AICw
移入種数	89.23	0	0.44
DO + 移入種数	89.93	0.7	0.31
水深 + DO + 植生被度	90.42	1.19	0.24

表 7 ため池内魚種数を目的変数とした GLM 解析を基に、上位モデルに含まれる説明変数に関して Model averaging により得られた推定値とその 95%信頼区間。太字は信頼区間に 0 を含まない。

Variables	Estimate	95% CI		Relative Importance
移入種数	0.067	0.017	to 0.297	0.76
DO	0.097	-0.056	to 0.342	0.56
水深	0.153	0.091	to 0.733	0.24
植生被度	0.006	0.003	to 0.027	0.24

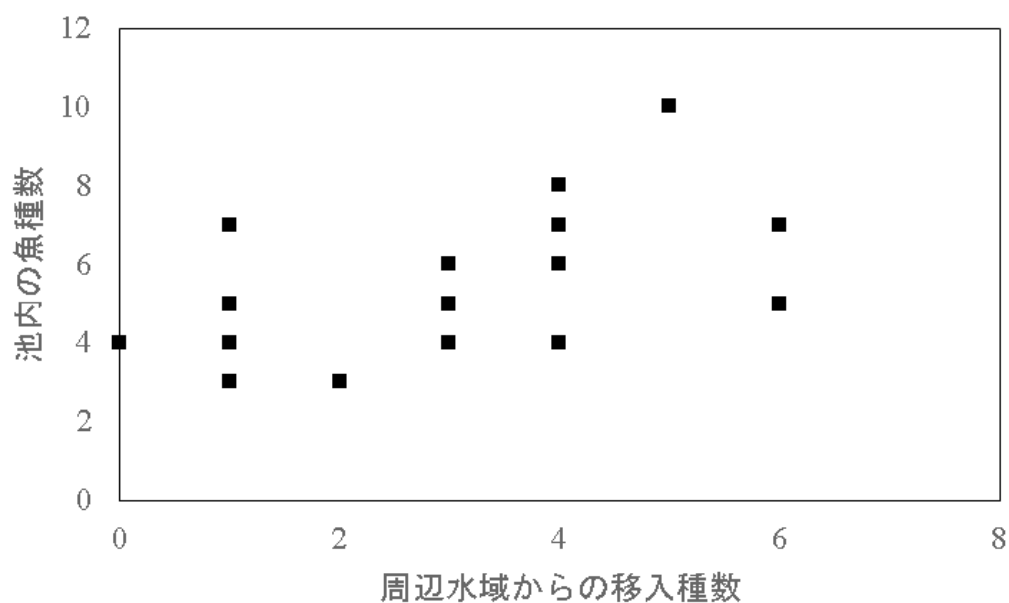


図 4 ため池内の魚種数と移入種数の関係

4. 考察

4.1 移出魚種に影響を及ぼす要因

これまで湖沼に生息する多くの魚類について、繁殖や捕食圧の上昇、餌資源量の低下といった様々な要因が湖沼外への移動（移出）を引き起こすことが指摘されてきた（Borcherding et al. 2002 ; Jepsen and Berg 2000）。本調査地においては捕食者による影響については考察できないもの（移出調査の対象池でオオクチバスの生息が確認されたのは1か所のみ）、コンクリート護岸の割合が移出種数に強い影響を及ぼすことが示唆された。湖沼における沿岸帯は、高い生産性と地形勾配や水位変化に応じた環境異質性を備えており、魚類にとっても餌場や仔稚魚の育成場として重要な空間となっている。沿岸部のコンクリート護岸化は浅場の消失により環境異質性や生産性の低下につながると考えられ、本研究で得られたコンクリート護岸率と移動魚種数の正の関連は池内における好適な生息場の減少が影響した結果であると推測される。また、本研究におけるGLM解析結果においては夏期において秋期より多くの魚種がため池から移出する傾向が認められた。特に水田水域に生息する多くのコイ科魚類は6月頃に繁殖期を迎えるため、本調査が実施された8月は個体数が増大する時期であり、池内における競争の激化が夏期における移出魚種の増加を引き起こした可能性が考えられる。さらに、本研究では水温の上昇に伴う移出魚種増加の傾向も認められたが、解析中では季節による違いが考慮されていることを踏まえると、各池における水温条件の違いが移動性に影響を与えていると考えられる。一般的に湖沼内の生産性や生物の代謝は水温の上昇とともに増大し、さらに水中の溶存酸素量は水温の上昇とともに減少するため、特にため池のような浅い湖沼においては夏期の夜間などにSummerkillと呼ばれる溶存酸素量の低下による魚類等の斃死がしばしば認められる（Barica 1975）。また、Magnuson et al. (1985)は湖沼内の溶存酸素量低下時においては流入河川が魚類の退避場となることを報告している。本研究においては夜間の溶存酸素量は把握されていないものの、解析結果で認められた水温と移動魚種の正の関連は、水温上昇に伴う溶存酸素量低下が影響している可能性が考えられる。

4.2 移動状況と群集構造に及ぼす影響

これまで、湖沼の魚類群集における種数の維持に対しては周辺水域からの移入が強い影響を持つと考えられてきたが、多くの研究では湖沼間の距離等を移入率の指標として用いており、実際の移入状況からその影響を把握した研究事例は極めて乏しい。本研究においては、定置網調査から把握された移入状況を用いた解析結果から、ため池における生息魚種数には水深等の局所的環境要因に比べ周辺水域からの移入がより強い影響を持つことが示された。さらに、これまでの理論的研究では高すぎる移入率は強力な競争種の移入機会を上昇させることで局所群集に負の影響を与えることが予測されてきたが（Cottenie and Meester 2004; Mouquet and Loreau 2003）、移入種数とため池内における種数の間には単調増加関係が認められた。湖沼では結氷による爆気阻害や呼吸による消費によって極度に溶存酸素量が低下することが知られており、特にため池のような浅い水域では上述のSummerkillのような魚類の斃死がしばしば確認されている。水中の溶存酸素量が5mg/lを下回ると魚類の生息に影響があるとされているが（Kramer 1987）、本調査地において

も、日中の計測にもかかわらず約 4mg/l という低い溶存酸素レベルを確認している。Snodgrass et al. (1996) はストレスの強い環境下では生物間の相互作用は弱く移入の重要性が高まる可能性を指摘しており、本研究で認められた移入種数の増加に伴う池内魚種数の単調増加はこの説を支持する結果であると考えられる。また、本研究結果は周辺からの移入が種数の維持に強く貢献していることを示しており、ため池における移入の消失は速やかな多様性の低下につながり、さらに環境ストレスに耐えうる種によって優占される均質な群集構造へと変化することが予測される。

引用文献

- 角野康郎 (1998) ため池の植物群落-その成立と保全、「水辺環境の保全—生物群集の視点から—」、pp1~16、朝倉書店、東京。
- Barica J. (1975) Summerkill risk in prairie ponds and possibilities of its prediction. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 32: 1283-1288.
- Barton K. (2011) MuMIn: multi-model inference. R package version 1.5.2.
- Borcherding J., M. Bauerfeld, D. Hintzen and D. Neumann (2002) Lateral migrations of fishes between floodplain lakes and their drainage channels at the Lower Rhine: diel and seasonal aspects. *Journal of Fish Biology* 61:1154-1170.
- Bowler D. E. and T. G. Benton (2005) Causes and consequences of animal dispersal strategies: relating individual behaviour to spatial dynamics. *Biological Reviews* 80: 205–225.
- Burnham K. P. & D. R. Anderson (2002) Model Selection and Multimodel Inference. Springer-Verlag, New York.
- Cadotte M. W. (2006) Dispersal and Species Diversity: A Meta-Analysis. *The American Naturalist* 167:913-924.
- Cottenie K. and L. De Meester (2004) Metacommunity structure:synergy of biotic interactions as selective agents and dispersal as fuel. *Ecology* 85:114–119.
- Hastings A. and S. Harrison (1994) Metapopulation Dynamics and Genetics. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25: 167-188.
- Jepsen N. and S. Berg (2002) The use of winter refuges by roach tagged with miniature radio transmitters. *Hydrobiologia* 483:167173.
- Kramer D. L. (1987) Dissolved oxygen and fish behavior. *Environmental Biology of Fishes* 18: 81-92.
- Magnuson J. J., A. L. Beckel, K. Mills and S. B. Brandt (1985) Surviving winter hypoxia: behavioral adaptations of fishes in a northern Wisconsin winterkill lake. *Environmental Biology of Fishes* 14:241-250.
- Mouquet N. and M. Loreau (2003) Community patterns in source-sink metacommunities. *American Naturalist* 162:544–557.
- 中村守純 (1969) 日本のコイ科魚類、資源科学研究所、東京。

- 農林水産省農業環境技術研究所（1993）農村環境とビオトープ、養賢堂、東京。
- Lucas M. C. & E. Baras (2001) Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford.
- R Development Core Team (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- 斉藤憲治・片野 修・小泉顕雄（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(1): 35-47。
- Snodgrass J. W., A. L. Bryan, R. F. Lide & G. M. Smith (1996) Factors affecting the occurrence and structure of fish assemblages in isolated wetlands of the upper coastal plain. U.S.A. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53: 443–454.
- 内田和子（2003）日本のため池：防災と環境保全、海青社。

