

瀬田月輪大池における魚類群集の変遷
—— 12年間の生物学実習の結果より ——

Changes of fish populations in an irrigation pond in Otsu City
from 12 years' data collected by undergraduate students of
Shiga University of Medical Science

遊磨正秀¹⁾・田中哲夫²⁾・竹門康弘³⁾・中井克樹⁴⁾・瀧側祐一⁵⁾
小原明人⁵⁾⁶⁾・今泉真知子⁵⁾・佐藤 浩⁵⁾・土井田幸郎⁵⁾

Masahide YUMA, Tetsuo FURUKAWA-TANAKA, Yasuhiro TAKEMON,
Katsuki NAKAI, Yuuichi FUCHIKAWA, Akito OHARA,
Machiko IMAIZUMI, Hiroshi SATO and Yukio DOIDA

- 1) 京都大学生態学研究センター
- 2) 姫路工業大学自然・環境科学研究所
- 3) 大阪府立大学総合学部
- 4) 滋賀県立琵琶湖博物館
- 5) 滋賀医科大学生物学教室
- 6) 滋賀医科大学基礎生物学教室

Abstract

Freshwater fish populations in an irrigation pond, Seta Tsukinowa Ooike, were examined in October and November from 1984 to 1995 using the mark-and-recapture method. Fishes were captured by bait traps and angling, marked by fin clipping, and recaptured one or two weeks later. An indigenous cyprinid, topmouth gudgeon, *Pseudorasbora parva*, was abundant in 1984 but decreased abruptly after 1985, possibly due to the population increase of bluegill. Population of an exotic fish, bluegill, *Lepomis macrochirus*, fluctuated at an interval of 2 - 4 years. The largest abundance of 0+ bluegill was observed in 1987, which was nearly equal to the abundance of topmouth gudgeon in 1984. The largest abundance of large bluegill was observed in 1985 and 1987, being about one third of that of 0+ bluegill. An increase of 0+ bluegill was observed when the population of large bluegill (more than 1+) had declined. Population of another exotic piscivorous fish, largemouth bass, *Micropterus salmoides*, increased after 1992. In 1995, this level was one fifth of the largest abundance of large bluegill, and probably caused a decline of the bluegill population.

1) 520-01 大津市下阪本4-1-23
2) 669-13 三田市弥生ヶ丘6丁目
3) 593 堺市学園町1-1

4) 525 草津市下物町烏丸
5) 6) 520-21 大津市瀬田月輪町

key words: fish populations, topmouth gudgeon, bluegill, largemouth bass, mark-and-recapture method, irrigation pond

1. はじめに

灌漑用溜池は、西日本の降雨の少ない地方を中心に25万個近くがある。そこには、もともと河川下流部の氾濫原の池沼や湿地に住んでいた生物が多く残存しており、独特の生物群集が形成されている(ため池の自然談話会1994, 角野・遊磨1995)。魚類では、溜池にはモツゴやタナゴ類などのコイ科魚類が多く生息していたと考えられるが、近年、池内外の物理的構造や水質などの溜池環境の悪化に加えて、ブルーギルやオオクチバスなどの外来魚が侵入し、在来の魚種を減少させていると言われている(前畑1989, 寺島1989, 全国内水面漁業協同組合連合会1992)。

本報で取り上げた大津市瀬田月輪大池は、1984年より滋賀医科大学の生物学実習の一環として魚類の個体数調査を行ってきた溜池である。ここにおいても、1984年当初モツゴが優占種であったが、1986年頃よりモツゴが減り、代わってブルーギルが優占種となり、1994年頃からはブルーギルとともにオオクチバスも多く見られるようになった。ここでは、12年間の滋賀医科大学生物学実習による標識再捕獲法調査によって得られた瀬田月輪大池における各魚種の個体数変動について報告する。

2. 調査場所と調査方法

実習調査を行った瀬田月輪大池は、滋賀県大津市東部のなだらかな丘陵地に1674~76(延宝2~4)年に築造された面積約5.6haの灌漑用溜池である(図1)。現在の堤は、1977~79年に改築されたもので、池の周囲の大半は勾配約1:1.2のコンクリート護岸となっている。池の東側に余水吐があり、増水時には隣接する昭和池に放水できるようになっている。実習調査は、月輪大池の主に東岸において行った。調査場所の土手は水深約1mまでコンクリートブロックで覆われ、その沖は緩やかな傾斜の泥底となっており、水際から約5mの場所の水深は2~3mであった。池底には水草類などはほとんど

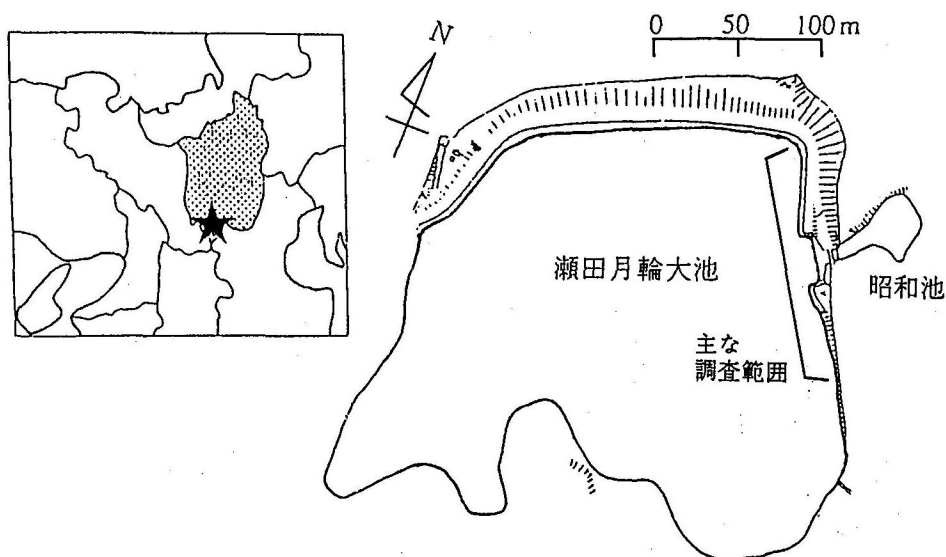


図1. 調査地の地図

ど認められなかった。

実習調査は、1984年より1995年にかけての10月上旬~11月上旬の雨天時以外の日に行った。実習調査は、約50人編成の2つのクラスそれぞれに2回行い、2クラスあわせて、各年に4回(1989年のみ2回)の実習調査を実施した(表1)。各クラスの第1回目調査では魚類の捕獲と標識を、1~2週後の第2回目調査では魚類の捕獲と標識個体の確認を目的とした。各クラスは、基本的に5人を1つのグループとして10班に分け、約10m間隔にグループを配して魚類の捕獲・標識作業を行った(図1、2)。

魚類の捕獲は、モンドリおよび釣りによって行った。モンドリ(透明プラスチック製トラップ、直径15cm、長さ25cm)は各班ごとに2個用い、誘引用餌として蛹粉、アミ粉などを用い、岸際より5m以内の池底に沈め、約30分ごとに引き上げてモンドリ内の魚類の有無を確認した。釣りは、2~5mの竿を各班ごとに3本前後を用い、ソーセージやミミズを餌として、調査時間中随時行った。なお、調査時間は午後2時から5時半までの間の約3時間で、調査中の気温は15~24度、水温は17~21度であった。

捕獲された魚類は、魚種を識別し、尾叉長を計測して記録した。未標識の個体には、尾鰭の上下、背鰭、左右の胸鰭、左右の腹鰭、尻鰭のうち2カ所の先端部を切り取ることにより、標識日と放流地点の識別を行った。ただし切除する鰭の組み合わせによる標識は、2つの班(1班と2班、3班と4班、……という対)で同じものを使用した。捕獲した魚類は記録・標識の後、バケツに保管しておき、その日の調査終了時に放流した。なお、放流時に正常に遊泳できない個体は死亡とみなして記録した。

標識再捕獲法による個体数推定には、2回目調査時に捕獲されたマーク付の魚の個体数が10個体以上のときはPetersen (1896) の式(1)を、10個体未満のときはChapman (1951) の式(2)を用いた(伊藤・村井1977)。

$$\hat{N} = R \times C / M \quad (1)$$

$$N^* = ((R + 1) \times (C + 1) / (M + 1)) - 1 \quad (2)$$

なお、R、C、Mはそれぞれ、第1回目調査時に標識を付けて放した個体数、第2回目調査時に捕獲した個体数、2回目調査時に捕獲した個体のうち標識のあるものの個体数を表す。 \hat{N} と N^* は第1回目調査時の個体数の推定値である。また、再捕獲された個体がなかった場合の個体数推定値は、その前後の年の個体数推定値をもとに、一日当たりの捕獲数の比率で比例配分して求めた(表6参照)。



図2. 調査風景
1994年10月撮影。

表 1. 魚類標識再捕獲調査の実施日

年 度	調査場所 (所在地)	クラス	調 査 日			
			1 回目	2 回目	3 回目	4 回目
1983 (昭58)	大池 (大津市一里山)	B	10月17日	—	10月24日	—
		A	—	10月18日	—	10月25日
1984 (昭59)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月15日	—	10月22日	—
		A	—	10月16日	—	10月23日
1985 (昭60)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月14日	—	11月11日	—
		A	—	10月15日	—	11月12日
1986 (昭61)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月13日	—	—	10月28日
		A	—	10月14日	10月21日	—
1987 (昭62)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月26日	—	11月9日	—
		A	—	10月27日	—	11月10日
1988 (昭63)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月24日	—	—	11月7日
		A	—	10月25日	11月1日	—
1989 (平元)	大戸川支流 (大津市瀬田)	B	10月16日	10月23日	—	—
	月輪大池 (大津市瀬田)	A	—	—	10月24日	10月31日
1990 (平2)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月15日	—	10月22日	—
		A	—	10月16日	—	10月23日
1991 (平3)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月14日	—	—	10月29日
		A	—	10月15日	10月22日	—
1992 (平4)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月12日	—	10月19日	—
		A	—	10月13日	—	10月27日
1993 (平5)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	—	10月18日	—	11月1日
		A	10月12日	—	10月19日	—
1994 (平6)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月17日	—	—	10月31日
		A	—	10月18日	10月25日	—
1995 (平7)	月輪大池 (大津市瀬田)	B	10月16日	—	10月23日	—
		A	—	10月17日	—	10月24日
1996 (平8)	上丸尾池 (大津市瀬田)	B	10月7日	—	—	11月5日
		A	—	10月15日	10月22日	—

3. 結果および考察

3-1. 捕獲された魚種およびそのサイズ分布と捕獲数

月輪大池において確認された魚種は、モツゴ *Pseudorasbora parva*, ヒガイ *Sacrocheilichthys variegatus* subsp., フナ *Carassius* sp., コイ *Cyprinus carpio* (以上コイ科Cyprinidae), トウヨシノボリ *Rhinogobius* sp. OR (ハゼ科Gobiidae), ブルーギル *Lepomis macrochirus*, オオクチバス *Micropterus salmoides* (以上サンフィッシュ科Centrarchidae) であった。なお、魚類以外にスジエビ *Palaemon paucidens* (テナガエビ科Palaemonidae), アメリカザリガニ *Procambarus clarkii* (ザリガニ科Cambaridae) も確認された。

捕獲された各魚種の尾叉長は、モツゴ 3~10cm, ブルーギル 1~23cm, オオクチバス 4~31cm, トウヨシノボリ 2~3cm, フナ 8~14cm, コイ 20~26cm であった。

これらの魚類のうちブルーギルのサイズ組成には、尾叉長 3cm 付近と 10cm 付近に 2 つのピークが認められた (表 2)。ブルーギルは、孵化後約 1 カ月半で 2.5cm に達し、それまで生活していた水草帯を離れて自由生活に入り、以後の成長は 1 年魚で全長 3.6~12cm, 2 年魚で 6~14cm, 3 年魚で 9~17cm, 4 年魚で 12~19cm に達することが知られている (寺島 1989, Conrow 1990, 全国内水面漁業協同組合連合会 1992)。したがって、瀬田月輪大池のブルーギルにおける尾叉長 3cm 前後の集団と 10cm 前後の集団はそれぞれ、その年生まれの当歳魚, 1, 2 年魚を中心とする 1 歳以上の魚によって構成されていたものと考えられる。

オオクチバスは、12cm 付近にサイズ分布のピークがみられた (表 2)。日本で知られている本種の成長は 1 年魚で全長 11~19cm, 2 年魚で 13~28cm, 3 年魚で 19~37cm, 4 年魚以上で 22cm 以上に達する (全国内水面漁業協同組合連合会 1992)。したがって、瀬田月輪大池で捕獲されたオオクチバスは 1 年魚を中心とする集団で構成されていたものと考えられる。

モツゴとブルーギル小型個体は主にモンドリで捕獲され、ブルーギル大型個体とオオクチバスは主に釣りによって捕獲された (表 3)。ブルーギルがサイズによって捕獲される方法が異なるのは、小型個体は釣り針にかかりにくいこと、および体高の高い種類 (尾叉長約 6cm で体高が 3cm に達する (横川 1986)) であり、大型個体 (本報告では 7cm 以上のものを指す) はモンドリの小さな入口 (口径約 3cm) を通りにくいためと考えられる。また、モツゴが釣りで得にくいのも、その口が小さく釣り針にかかりにくいことによると思われる。一方オオクチバスは、動くものを餌として認識する習性をもつ (全国内水面漁業協同組合連合会 1992) ため、モンドリでは得にくいものと思われる。

表 2. 各魚種のサイズ組成

調査年度	総個体数	尾 叉 長 (cm)																
		1.0	3.0	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0	15.0	17.0	19.0	21.0	23.0	25.0	27.0	29.0	31.0	
		2.9	4.9	6.9	8.9	10.9	12.9	14.9	16.9	18.9	20.9	22.9	24.9	26.9	28.9	30.9	32.9	
モツゴ	1988-1995	4	1	0	0	3												
ブルーギル	1986-1995	5,978	1,037	2,328	261	618	727	548	272	132	45	8	1	1				
オオクチバス	1988-1995	242		1	0	13	23	62	46	35	25	19	11	2	0	3	1	1
トウヨシノボリ	1988-1995	27	8	19														
フナ	1994-1995	8				1	2	2	3									
コイ	1995	4										1	1	1	1			

表 3. 魚種別採集方法別捕獲数の年変化

クラス 1 日あたり合計捕獲数の平均値で示す。

モンドリと釣りの間に示された捕獲数は、2つの採集方法の合計値を示す。

() 内の数値は、同じ年度のデータのうち、異なる集計方法のものを示す。

ブルーギルにおける→記号は、小型個体を大型個体に含めて集計していることを示す。

表中の+と-記号は、それぞれその魚種が確認された場合と確認されなかった場合を示す。

Year		モ ツ ゴ		ブルーギル(小型)		ブルーギル(大型)		オオクチバス		トウヨシノボリ	フナ	コイ
		モンドリ	釣 り	モンドリ	釣 り	モンドリ	釣 り	モンドリ	釣 り			
1984	n=3	2,651	37	→		388	88	-		-	-	-
1985	n=2	1,187		→		190		-		-	-	-
	(n=1			26	*	124)						
1986	n=3	173		133	*	121		-		-	-	-
1987	n=4	6		314 **		54		-		+	-	-
	(n=2			383	0**	4	52)					
1988	n=4	1		31	*	38		0	2	+	+	-
1989	n=2	-		37	*	109		-		-	-	-
1990	n=4	1		311	*	144		0	1	+	-	-
1991	n=4	-		47	*	30		0	1	-	-	-
	(n=4			→		57	35)					
1992	n=4	-		95	3 *	1	98	0	2	38	-	-
1993	n=4	-		1	*	42		0	10	-	-	-
1994	n=4	-		36	*	90		0	6	-	2	-
1995	n=4	-		0	*	35		0	39	-	+	1

* : 小型個体は70mm未満のもの、大型個体は70mm以上のもの。

** : 小型個体は50mm未満のもの、大型個体は50mm以上のもの。

この実習調査のように、モンドリと釣りによる捕獲方法では、岸近くに多く生息するモツゴ、ブルーギル、オオクチバスは容易に捕獲された。ただし、これら3種はいずれも水界の中層や表層を遊泳する魚種である。岸近くの水底には多数のトウヨシノボリが観察されたが、この種は水底を這うようにして生活しているため、本調査の方法では稀にしか捕獲されなかった。また、コイ、フナ類は岸から離れた場所に多いようであるが、本実習調査では稀に捕獲されるだけであった。

捕獲数の多いブルーギルにおいて、調査時間帯と捕獲数の比較を行った(図3)。モンドリでは、調査開始直後はあまり捕獲されないが、以後日没近くまでブルーギルが捕獲された。これは、調査開始直後はモンドリの餌による誘引効果がまだ乏しいことによると考えられる。一方、釣りでは午後4~5時に捕獲数が多くなった。これは大型のブルーギルが日中よりも薄暮に摂食活動が盛んになるためと考えられる。なお、漁獲量の日周変化からブルーギルは夜行性である可能性も示唆されている(Morgan 1951)。

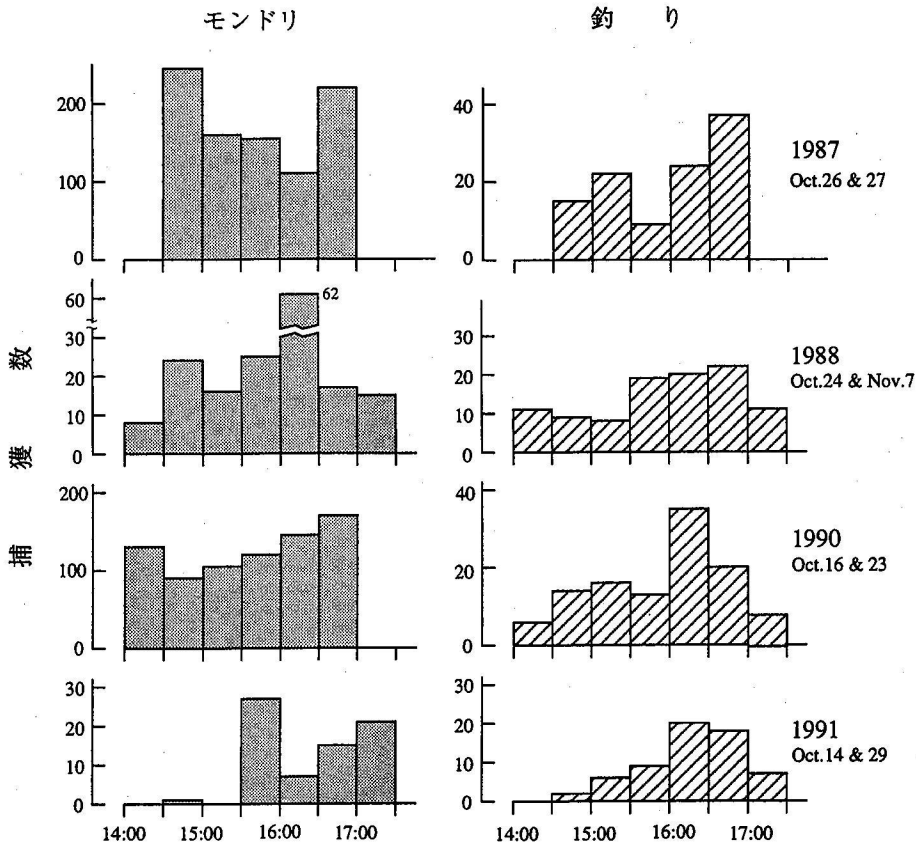


図3. モンドリと釣りによるブルーギル捕獲数の変化

3-2. 個体数推定のための諸条件の検討

瀬田月輪大池では、モツゴは1984年および1985年に多く捕獲され、1986年以降激減した(表3)。一方、ブルーギルの小型個体(尾叉長7cm未満)は、1984, 87, 90年に多く捕獲され(1984年にモンドリで捕獲された個体のほとんどが小型個体とみなされる)、同種大型個体(尾叉長7cm以上)は1984~86, 89~90, 92, 94年に多く捕獲され、ともに2~4年ごとに増減を繰り返しているようであった。また、オオクチバスは1988年以降少しづつ捕獲されるようになり、1993年からは標識個体が再捕獲されるほどに多く捕獲されるようになった。

このような捕獲数の変動からは、毎年捕獲方法が同じなのでそれぞれの種における大まかな個体数変動パターンを類推することはできるが、気象条件などにより年による捕獲効率が異なる可能性があるため十分な比較にはならない。また、種によって捕獲効率が異なると考えられ、種間の比較は行えない。そこで各種の個体数変動を比較するために、標識再捕獲法による個体数推定を試みた。

標識再捕獲法により個体数の推定を行うためには次の5つの条件を満たす必要がある。すなわち、1) 個体群は閉鎖的であること、2) 標識個体と未標識個体との間に生存率に差がないこと、3) 標識個体と未標識個体が次の調査時に同じ確率で捕らえられること、4) 2回の調査の間で標識が失われないこと、5) 標識の見落としがないこと、である(伊藤・村井1977)。これらの条件のうち、条件1に関しては、調査した場所が農閑期の溜池であり、他の水系とはほぼ隔離されているので、その条件は満足されるものと考えられる。条件4に関しては、本実習調査における調査間隔は1~2週間

であり、標識のため切除した鰭先端部がこの期間中に再生することはほぼないと考えてよい。また条件5に関しては、標識個体には容易に検分できる尾鰭先端を必ず切除するようにしているので、この条件もほぼ満足されるものと考えらる。

条件2に関して、本実習調査の方法では直接に標識個体ならびに未標識個体の調査間隔における生存率を求めることはできない。そこでまず、捕獲から標識放流までの間の魚の生存率、すなわち捕獲・計測・標識・保管という調査作業の影響を検討した(表4)。ブルーギル小型個体の場合、調査作業中の生存率は平均0.963と高いが、同種大型個体では0.849と低くなっていた。これは、小型個体はモンドリで捕獲されるため魚体に傷がつくことは稀であるが、大型個体は釣りによって捕獲され(表3)、時として飲み込んだ針をはずす際に魚体に傷がつくことが多いためである。オオクチバスも釣りで捕獲されるが、この種の場合は口が大きく、針をはずすのが比較的容易なため、作業中の生残率は高かった。したがってブルーギル大型個体に関しては、捕獲作業に伴うダメージが大きく、それが放流後の生存率にも影響している可能性が示唆された。

次に、もし標識した魚の生残率が低いとすると、調査間隔が長くなるにしたがい標識個体の割合が低くなるはずであるので、調査間隔と標識個体の割合の関係を検討した(図4)。なお、標識個体の割合を高めるために、可能な限り第1回目調査と第2回目調査の標識放流を合計し、第3回目調査ならびに第4回目調査の結果と比較した。標識個体の割合は、ブルーギルの小型個体、大型個体ともに、第2回目調査のうち第1回目調査の翌日の場合よりも、第1回目調査の1週間後(第2回目調査または第3回目調査)の場合の方が高く、2週間後(第4回目調査)にはやや低くなる傾向が見られた。しかし両者の場合とも、第1回目調査の翌日に調査した場合(第2回目調査の大半)の標識個体の割合は、以後の調査のものよりも有意に小さい(Wilcoxon符号順位検定、小型個体 $n=11$ 、大型個体 $n=6$ 、共に $P<0.01$) が、第3回目調査(第1回目の7~8日後)と第4回目調査(第1回目調査の8

表4. 捕獲から計測・標識・放流までの魚類の生存率

C: 捕獲数, R: 放流数, R/C: 放流時の生存率

	ブルーギル小型個体			ブルーギル大型個体			オオクチバス		
	C	R	R/C	C	R	R/C	C	R	R/C
1990年10月15日	120	109	0.908	236	222	0.941	0	—	—
10月16日	393	390	0.992	168	155	0.923	0	—	—
1991年10月14日	6	6	1.000	46	31	0.674	0	—	—
10月15日	11	10	0.909	26	22	0.846	0	—	—
1992年10月12日	54	53	0.981	133	111	0.835	0	—	—
1993年10月12日	3	3	1.000	111	103	0.928	30	28	0.933
10月18日	0	—	—	74	64	0.865	7	7	1.000
1994年10月17日	49	46	0.939	42	38	0.905	4	4	1.000
10月18日	34	32	0.941	86	78	0.907	1	1	1.000
1995年10月16日	0	—	—	7	5	0.714	30	28	0.933
10月17日	1	1	1.000	61	49	0.803	60	46	0.767
平均			0.963 (n=9)			0.849 (n=11)			0.939 (n=6)

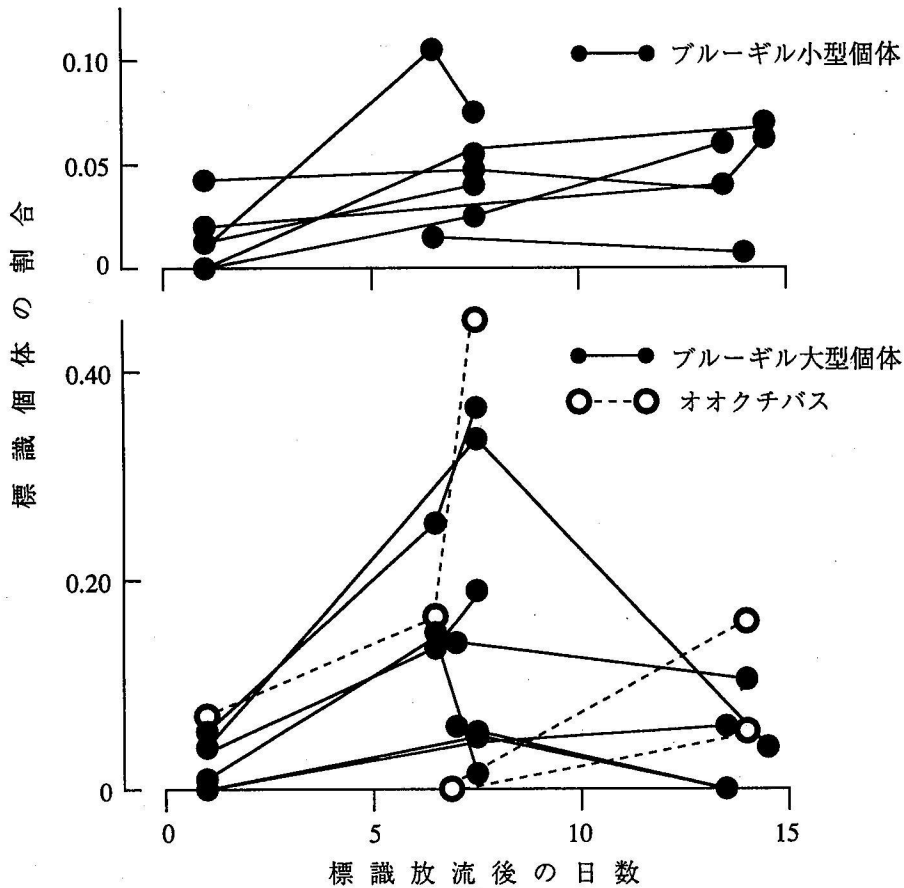


図4. 標識率の変化

～14日後)の間には有意な差は認められなかった (Wilcoxon符号順位検定, 小型個体 $n = 11$, 大型個体 $n = 8$, 共に $P > 0.10$)。このように, それぞれの年の調査期間中に標識魚の割合が下がるとは言えないので, 標識魚と未標識魚の間の生存率には差は認められず, 標識再捕獲法の条件2は満足しているものとみなした。

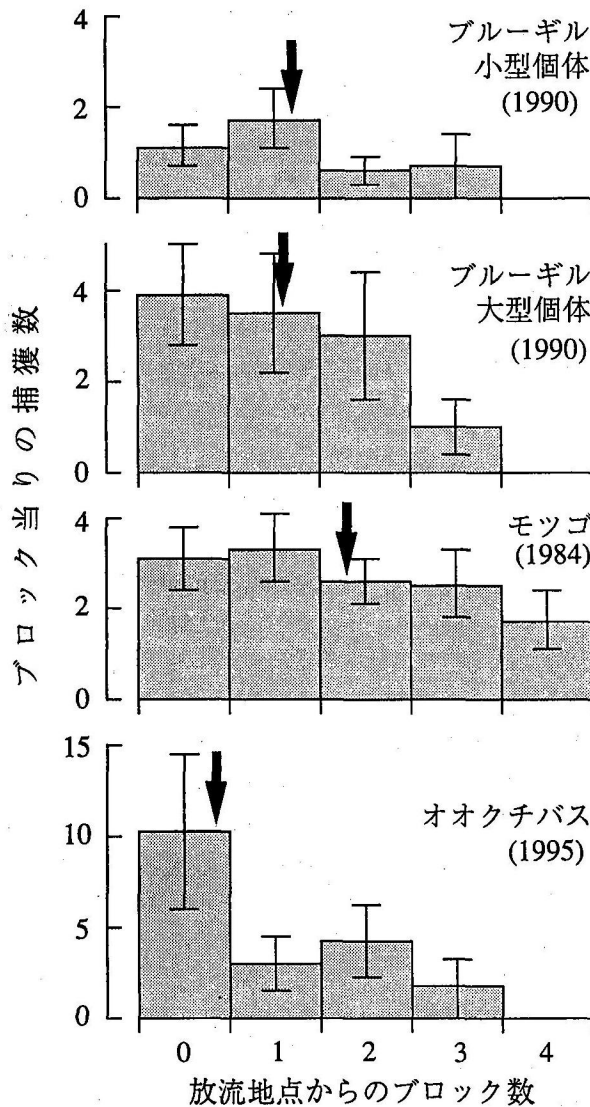
ただし, 第1回目調査の翌日の調査では標識個体の割合が有意に小さかった。これは捕獲された個体は翌日には, ブルーギル小型個体も大型個体も捕えられにくいことを示しており, 前日の捕獲・標識作業の影響が出ているものと考えられる。しかし1週間後には標識個体の割合は高い値となり, しかも以後大きく変わらないので, 1週間後以降では捕獲・標識作業の影響は薄れているものと考えられた。したがって, 1週間後の場合は標識再捕獲法の条件3を満たしているものとみなした。

次に, 標識再捕獲法による調査を行う場合の条件には含まれていないが, 本実習調査では対象とする池の東岸の一部においてのみ調査を行ったので, 実際にはどの範囲(面積)の魚類の個体数推定をしていたのかという点について検討を行った。

本実習調査は毎年10～11月初旬の同じ季節に行ったので, それぞれの魚種の移動分散様式の季節的差異は大きくないものと考えられる。したがって, 個体数推定の結果は, その推定値が適用される面積にかかわらず, 各魚種の年変動については比較しうる。しかし, 種によって移動分散力が異なる場合, それが小さい場合には個体数推定の対象となる面積は狭いものとなり, 移動分散力が大きい場合

には個体数推定の対象となる面積は広いものとなるため、種間での個体数の比較には問題が生ずることになる。そこで、標識魚の放流地点と再捕獲地点の関係から各魚種の移動分散力について分析した。

標識は隣接する2つの班に同一のものを用いたので、標識により識別できる調査地点は5ブロックである(ブロック間の距離は約20m)。標識放流された魚の個体数はブロックによりまちまちであるため、1ブロック当たりの標識放流魚数を100匹に基準化した上で、放流地点と再捕獲地点の間のブロック数と1週間後の基準化された再捕獲数との関係をまとめた(図5)。その結果、ブルーギル小型個体では放流点より0~3ブロック離れたところでほぼ同数が再捕獲された。同種大型個体では0~2ブロック内で再捕獲されたものが多かった。しかし、この結果から求められる小型個体と大型個体の平均移動ブロック数は、それぞれ1.1と1.2とほぼ同じであった。一方モツゴは、0~4ブロックまでの



線分は標準誤差、矢印は移動ブロック数の平均値を示す。

図5. 各魚種の移動分散

広い範囲で再捕獲され、その平均移動ブロック数は1.7と、ブルーギルよりも大きな値となった。またオオクチバスは、0ブロック（放流点と同じブロック内）で再捕獲されたものが多く、その平均移動ブロック数は0.9と、他種に比べて小さな値となった。このことから相対的にはあるが、1週間の間にモツゴは広い範囲を移動しているが、ブルーギルは小型、大型個体ともモツゴよりは狭い範囲を動き回り、オオクチバスは移動性が乏しく、すなわち定住性が強いということが示唆される。

これらの結果は、一方で、推定した個体数は池全体のものではなく、種ごとに異なる面積範囲のものであることを示している。ここで、それぞれの魚種の個体数推定にあたって対象とした面積は、それぞれの種の移動分散の指標である平均移動ブロック数の自乗に比例するものと考え、モツゴの場合はブルーギルの場合の2~3倍の面積を対象とし、オオクチバスの場合はブルーギルの0.5~0.6倍の面積を対象としていたことになる（表5）。

3-3. 各魚種の個体数変動

前節に示したように、連続した日の調査の場合は標識魚が再捕獲されにくい傾向が認められた（図4）ため、調査間隔を1週間以上をあげた場合の結果を用いて各種魚種の個体数推定を行った（表6、図6）。ここで、標識個体の再捕獲数が0の場合（表6；ブルーギル小型個体1985, 1989, 1993, 1995年、同種大型個体1985年、など）は、前年あるいは翌年の個体数推定値を用い、当該年の捕獲数と前年あるいは翌年の捕獲数の比から推定値を求めた。

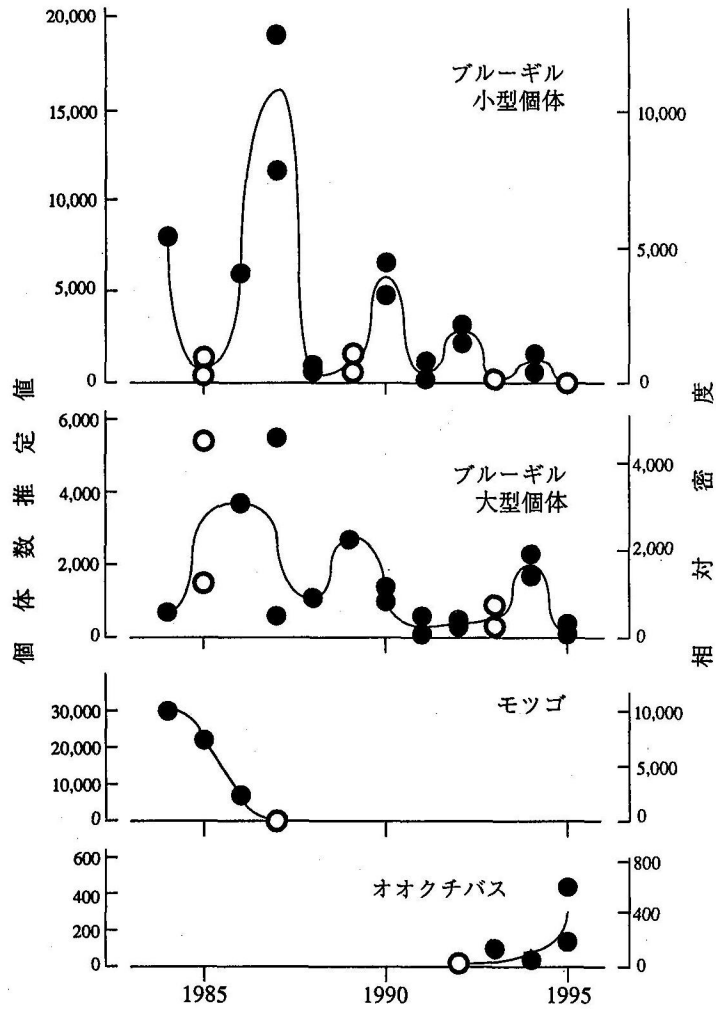
また、各種の個体数推定の対象となる面積の相対値（表5）をもとに、各種の推定個体数を補正し、図6の右側に示した軸のように相対密度として変換した。このことにより、ブルーギル小型個体の最大相対密度（1987年）はモツゴの1984年の相対密度とほぼ等しく、ブルーギル大型個体の最大相対密度（1985または1987年）は小型個体の3分の1程度であり、オオクチバスの1995年の相対密度はブルーギル大型個体の最大相対密度の2割程度に達していた、と推定できる。

ブルーギル小型個体（尾叉長7cm未満）は、2~3年周期で増減をくりかえし、推定個体数の変動幅は100倍以上であった。特に1987年に多く、他の年の推定個体数はその半分以下であった。一方、ブルーギル大型個体（尾叉長7cm以上）は3~5年周期で増減をくりかえし、推定個体数の変動幅は、小型個体のそれよりも小さく、10倍程度であった。

ブルーギルの小型個体と大型個体の推定個体数の関係を比較すると、小型個体、すなわち当歳魚の増加により翌年の大型個体（1歳魚以上のもの）が増加するのではなく（図7a）、むしろ大型個体が多いときに小型個体が増加する傾向が認められた（図7b）。さらに小型個体は、大型個体の推定個体数が減少している（ある年の推定個体数/前年の推定個体数<1）ときに増加する傾向が認められた（図7c）。このことから、ブルーギルの個体数の増減は、大型個体が多いときに当歳魚が多く生産されるのではなく、大型個体が減少したときに当歳魚が多く生産されるものの、それは翌年の大型個体の増加には結びつかない、という個体群動態を示唆している。

一方、モツゴは1985年以降急速に減少し、1987年以後はほぼ絶滅状態になり、オオクチバスは1995年になって急速に増加したことがわかる（図6）。

肉食性の強いオオクチバスが在来の魚種を食害して減少させたと各地で報じられている（全国内水面漁業協同組合連合会1992）が、瀬田月輪大池における各魚種の個体数変動（図6）をみる限り、在来種であるモツゴはオオクチバスが増える数年前に激減しており、オオクチバスがモツゴの減少に関与した可能性は低いと考えられる。1983年以前のブルーギルの状態は不明であるが、モツゴの減少にはむしろブルーギルが関与した可能性がある。日本では、フナ類やワカサギが水草や石礫に産みつけ



●と○はそれぞれ、標識再捕獲法による推定値と前後の年の捕獲数から得た推定値を示す(表6参照)。右側の縦軸は相対密度を示す(本文参照)。

図6. 個体数推定値の年変動

表5. 各魚種の平均移動ブロック数と個体数推定の対象となる相対面積

	平均移動ブロック数	相対面積
モツゴ	1.738	3.021
ブルーギル小型個体	1.227	1.506
ブルーギル大型個体	1.091	1.190
オオクチバス	0.853	0.728

表 6. 標識再捕獲法による個体数推定

R : 第 1 回目調査において標識放流された魚の個体数。
 C : 第 2 回目調査において捕獲された魚の個体数。
 M : 第 2 回目調査において再捕獲された標識魚の個体数。
 \hat{N} : 再捕獲された標識魚が10匹以上の時のPetersen(1896)による推定個体数。
 N^* : 再捕獲された標識魚が10匹未満の時のChapman(1951)による推定個体数。
 $N^\#$: 前年あるいは翌年の推定個体数と1日当たりの捕獲数の比により求めた推定個体数。

標識放流日	再捕獲日	R	C	M	標識率	\hat{N}	N^*	$N^\#$	
モツゴ									
1984	Oct 16	Oct 23	1,902	3,830	244	0.064	29,855	—	—
1985	Oct 14	Oct 15	498	1,876	39	0.021	23,955	—	—
1986	Oct 13,14	Oct 21	433	77	4	0.052	—	6,769	—
1987	—	—	—	—	—	—	—	—	234
ブルーギル (小型個体)									
1984	Oct 16	Oct 23	358	221	10	0.045	7,912	—	—
1985	Oct 14	Oct 15	?	124	0	0.000	—	—	503 or 1,184
1986	Oct 13,14	Oct 21	299	100	4	0.040	—	6,059	—
1987	Oct 26,27	Nov 9	787	290	12	0.041	19,019	—	—
	Oct 26,27	Nov 10	787	550	37	0.067	11,699	—	—
1988	Oct 24,25	Nov 1	80	21	1	0.048	—	890	—
	Oct 24,25	Nov 7	80	26	1	0.038	—	1,093	—
1989	Oct 16	Oct 23	33	39	0	0.000	—	—	1,305 or 564
1990	Oct 15,16	Oct 22	493	346	36	0.104	4,738	—	—
	Oct 15,16	Oct 23	493	460	34	0.074	6,670	—	—
1991	Oct 14,15	Oct 22	16	86	5	0.058	—	246	—
	Oct 14,15	Oct 29	105	105	7	0.067	—	1,404	—
1992	Oct 12	Oct 19	44	154	2	0.013	—	2,324	—
	Oct 13	Oct 27	43	148	1	0.007	—	3,277	—
1993	Oct 12	Oct 19	3	1	0	0.000	—	—	29 or 32
	Oct 18	Nov 1	0	0	—	—	—	—	—
1994	Oct 17,18	Oct 25	78	39	1	0.026	—	1,579	—
	Oct 17,18	Oct 31	78	17	1	0.059	—	710	—
1995	Oct 16	Oct 23	0	0	—	—	—	—	0
	Oct 17	Oct 24	1	0	—	—	—	—	—

(表 6. 続き)

	標識放流日	再捕獲日	R	C	M	標識率	\hat{N}	N*	N [#]
ブルーギル (大型個体)									
1984	Oct 16	Oct 23	56	348	28	0.080	696	—	—
1985	Oct 14	Oct 15	?	26	0	0.000	—	—	1,503 or 5,890
1986	Oct 13,14	Oct 21,28	267	97	6	0.062	—	3,751	—
1987	Oct 26,27	Nov 9	131	28	4	0.143	—	765	—
	Oct 26,27	Nov 10	131	82	1	0.012	—	5,477	—
1988	Oct 24,25	Nov 1	75	59	3	0.051	—	1,139	—
	Oct 24,25	Nov 7	75	22	0	0.000	—	—	—
1989	Oct 16	Oct 23	86	149	4	0.027	—	2,609	—
1990	Oct 15,16	Oct 22	368	183	47	0.257	1,433	—	—
	Oct 15,16	Oct 23	368	41	15	0.366	1,006	—	—
1991	Oct 14,15	Oct 22	53	9	3	0.333	—	134	—
	Oct 14,15	Oct 29	53	50	3	0.060	—	688	—
1992	Oct 12	Oct 19	82	38	7	0.184	—	404	—
	Oct 13	Oct 27	62	38	4	0.105	—	490	—
1993	Oct 12	Oct 19	42	34	2	0.059	—	501	—
	Oct 18	Nov 1	26	34	0	0.000	—	—	—
1994	Oct 17,18	Oct 25	116	116	5	0.043	—	2,281	—
	Oct 17,18	Oct 31	116	102	6	0.059	—	1,721	—
1995	Oct 16,17	Oct 23	55	29	4	0.138	—	335	—
	Oct 16,17	Oct 24	55	43	8	0.186	—	273	—
オオクチバス									
1992	—	—	—	—	—	—	—	—	20
1993	Oct 12	Oct 19	5	12	0	0.000	—	—	—
	Oct 18	Nov 1	21	17	3	0.176	—	98	—
1994	Oct 17,18	Oct 25	5	4	0	0.000	—	—	—
	Oct 17,18	Oct 31	5	16	1	0.063	—	50	—
1995	Oct 16,17	Oct 23	74	51	8	0.157	—	432	—
	Oct 16,17	Oct 24	74	16	8	0.500	—	141	—

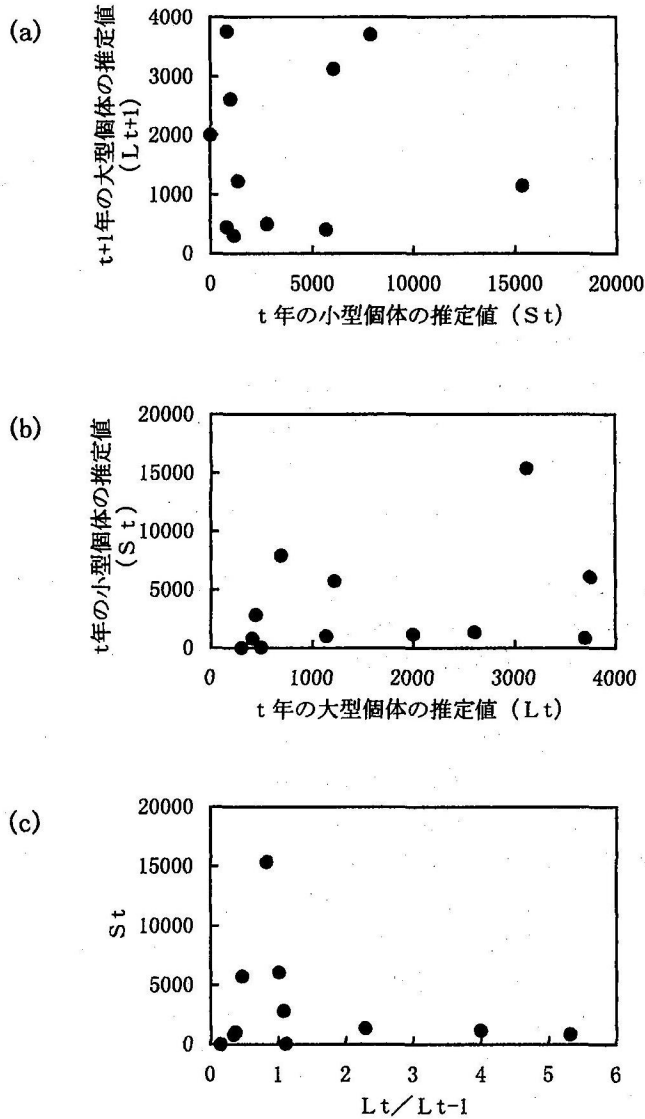


図7. ブルーギルの小型個体と大型個体の個体数推定値

た卵をブルーギルが大量に食べることが報じられており (寺島1977, 1980, 全国内水面漁業協同組合連合会1992), モツゴの卵もブルーギルにより食害された可能性がある。さらにブルーギルはユスリカ幼虫などの底生動物をも大量に消費し, これを餌としている在来魚種を圧迫しているとも言われている (全国内水面漁業協同組合連合会1992)。また, モツゴが多く生息していた1984, 85年頃には, 池にはスジエビも多数目撃されたが, スジエビもモツゴと同様に以後激減した。ブルーギルは, 琵琶湖ではエビ類を主食としていたことが知られている (寺島1977, 1980)。これらのことから, ブルーギルの増加がモツゴやスジエビの減少を引き起こした可能性が示唆される。一方, ブルーギルの個体数とオオクチバスの個体数は逆相関の関係を保ちながら変動することが知られており (全国内水面漁業協同組合連合会1992), 1990年頃以降はこの2種による拮抗的変動が始まったものと考えられる。

なお、瀬田月輪大池で認められた魚類相の変化、すなわち1980年中頃に在来魚種に代わってブルーギルが目立つようになり、1990年頃からオオクチバスが目立つようになったという変化は、一里山大池など近隣の溜池でもここ10年ほどの間にほぼ同じく観察された。溜池は管理のため水抜きなどが行われ、そのような環境変動が各魚種に影響を与えた可能性もあるが、溜池の水抜きは通常数年に1回であり、また各地の溜池が同じ周期で行われるものではない。また、溜池はかなり閉鎖された水系であり、新しい魚種が侵入してくることは一般に困難である。したがって、これらの魚類相の変化は溜池の環境の変化よりも、魚種の人為的導入によって引き起こされた可能性が高いと考えられる。

3-4. ブルーギルの体長組成変動

上述の結果に基づき、サンプルの多いブルーギルにおいて、サイズ組成の頻度分布を相対密度の軸で表現した(図8)。なお相対密度とは、個体数推定値を小型個体、大型個体それぞれの個体数推定の対象となった相対面積(表5参照)で除し、それを各サイズクラスの観察頻度に基づいて再配分したものである。なお、小型個体は主に当歳魚を指し、大型個体は1年魚以上のものを含んでいる(3-1節参照)。

同じ年度の小型個体は大型個体により生産された当歳魚であるので、この関係を図8のサイズ組成により比較すると、大型個体の中に尾叉長10cm前後のものが多い年に小型個体が多い傾向が認められる(1986, 1987, 1990, 1992年)。しかし1988年と1989年は10cm前後の個体が多いにもかかわらず、小型個体は少なかった。

一方、ある年の大型個体には、前年の小型個体が成長したものも含まれる。この関係を年を追って比べてみると、1986年の小型個体は1987年には尾叉長10cm前後に成長した可能性が高く、1987年に数の多かった小型個体は1988年には尾叉長8cm前後にしか成長しなかったと考えられる。また、1989, 1990, 1994年には大型個体が多いにもかかわらず、それぞれの前年には小型個体が少ないという観察結果が出ている。このことは、前年の観察で小型個体の過小評価が起こっていることを示唆しており、おそらく、標識再捕獲調査をした範囲以外のところで小型個体が多数いたものと考えられる。すなわち、小型個体はごく岸際の水草や石礫の周辺に群れている傾向があり、そのような環境は池の水位の変動などの影響を受けやすい場所であることから、年により小型個体が多く群れる場所に偏りがあったものと考えられる。

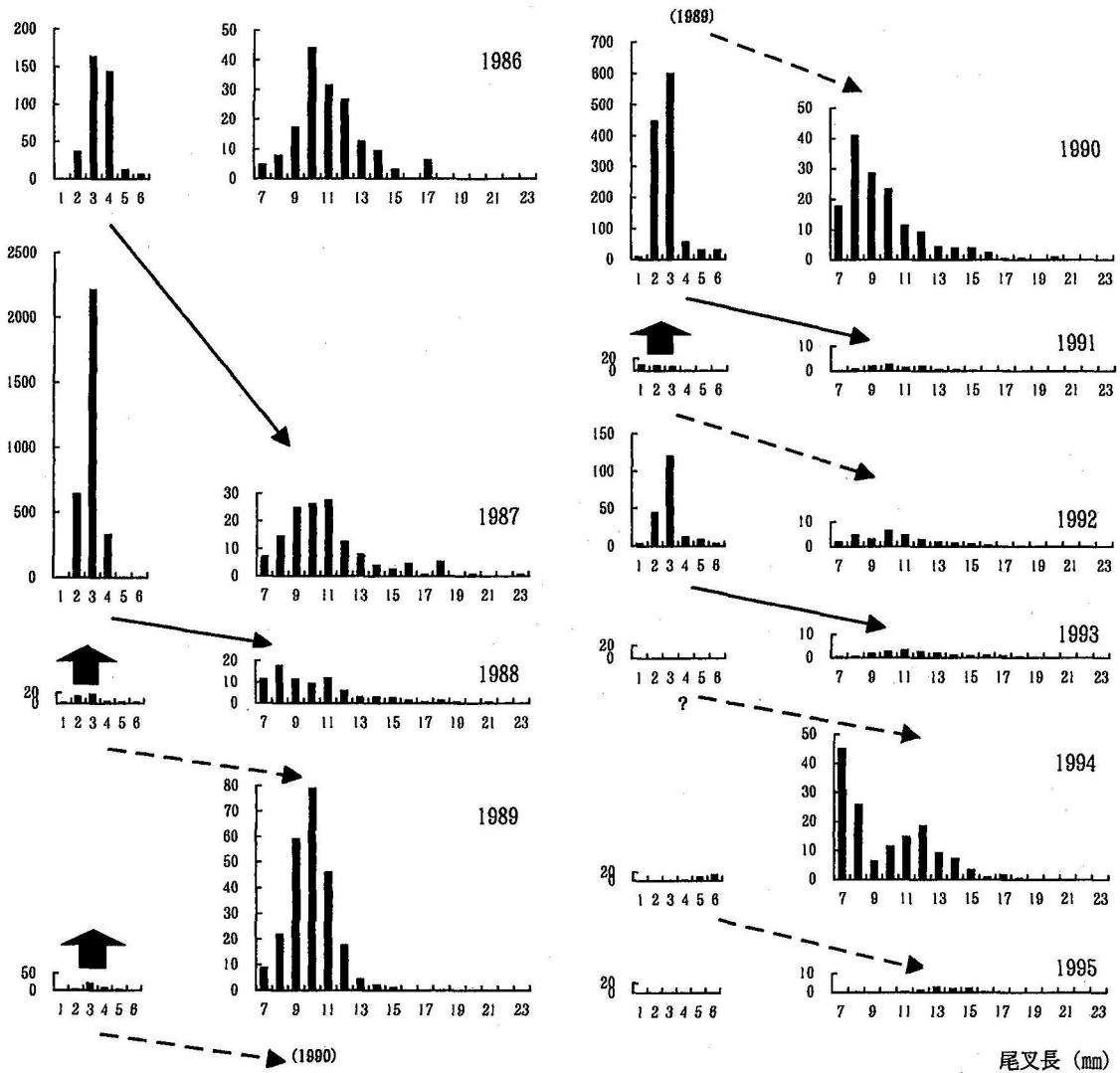
また、1994年には大型個体の中に尾叉長7cm前後のものも多く認められた。これは1993年の小型個体が成長したものと考えられるよりは、1994年のサイズ組成が2山型になっていることから、当年生まれの個体の成長が著しく、調査を行った10~11月にはすでに大型個体のサイズに達していたものと考えられる。

このように、小型個体は1986~1990年、1992~1993年には池の中には多数おり、それがそれぞれの翌年の大型個体の密度に寄与し、一方で1991年と1994年には小型個体が少なく、そのためそれぞれの翌年の大型個体も小さな密度になっていたものと考えられる。

4. その他の実習調査

1983年には大津市一里山大池にて本報告と類似の魚類標識調査を行い(表1)、その際にはモツゴ、オオクチバスを確認した。1989年には瀬田月輪大池に加えて、大戸川支流においてカワムツ *Zacco temmincki* を対象に魚類標識調査を行った。

1996年は、瀬田月輪大池が水辺公園整備に伴って池の水抜きが行われたため、近隣の上丸尾池にお



縦軸は相対密度（個体数推定値を小型個体，大型個体それぞれの個体数推定の対象となった相対面積（表5参照）で除し，それを各サイズクラスの観察頻度に基づいて再配分したもの）を示している。図中の実線の矢印は，ある年の小型個体が翌年の大型個体に成長したと考えられる場合，破線の矢印は前年に小型個体がないにもかかわらず大型個体の新規加入が起こったと考えられる場合を示す。なお，上向きの大矢印は，破線の矢印で示した場合に對して，前年の小型個体数が過小推定になっていると考えられる場合を示す（本文参照）。

図8. ブルーギルのサイズ組成の変遷

いて標識再捕獲法による魚類の実習調査を行った(表1)。その上丸尾池では、モツゴ、カワバタモロコ *Hemigrammocyppris rasborella*, カワムツ, トウヨシノボリを確認したが、ブルーギルやオオクチバスは確認されなかった。

謝 辞

滋賀医科大学での生態学関連の学生実習の遂行にあたって、京都大学名誉教授、現滋賀県立琵琶湖博物館館長、川那部浩哉先生および京都大学生態学研究センター教授安部琢哉先生には多大なるご援助をいただきました。この機会に厚くお礼申し上げます。(Y. D.)

本報告の実習調査は滋賀医科大学第1学年を対象とした生物学実習Iの一環として行われたものである。ここに示した14年の間、1,400名ほどの方に実習調査に参加してもらい、その成果を用いさせていただきました。瀬田月輪大池の使用にあたっては、大津市役所管財課および瀬田月輪自治会の方々には便宜をはかっていただきました。岡本巖先生には月輪大池の由来について教示していただきました。これらの方々には厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Chapman, D.G. 1951. Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological censuses. Univ. Calif. Public. Stat. 1: 131-160.
- Conrow, R.C., A.V. Zarl & R.W. Gregory. 1990. Distribution and abundance of early life stages of fishes in a Florida lake dominated by aquatic macrophytes. Trans. Amer. Fish. Soc. 119(3): 521-528.
- 服部昭尚. 1997. 琵琶湖におけるブルーギルの生息地の構造と行動一沿岸域の水中景観と外来種による場所利用一. 関西自然保護機構会報(in press).
- 伊藤嘉昭・村井実. 1977. 動物生態学研究法. 558 pp. 古今書院.
- 角野康郎・遊磨正秀. 1995. ウェットランドの自然. 198 pp. 保育社.
- 前畑政善. 1989. オオクチバス. pp.494-502. In: 日本の淡水魚(川那部浩哉・水野信彦編), 山と溪谷社.
- Morgan, G.D. 1951. The life history of the bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*, of Buckeye Lake (Ohio). J. Sci. Lab. Denison Univ. 42: 21-59.
- Petersen, C.G.L. 1896. The yearly immigration of young place in the Limfjord from the German Sea. Rept. danis biol. Sta. 6: 1-48.
- ため池の自然談話会(編). 1994. 身近な水辺 ため池の自然学入門. 合同出版.
- 寺島彰. 1977. 琵琶湖に生息する侵入魚, 特に, ブルーギルについて. 淡水魚 3: 38-43.
- 寺島彰. 1980. ブルーギル一琵琶湖にも空いていた生態的地位. pp. 63-70. In: 日本の淡水生物一侵略と攪乱の生態学(川合禎次・川那部浩哉・水野信彦編), 東海大学出版会.
- 寺島彰. 1989. ブルーギル. pp.506-510. In: 日本の淡水魚(川那部浩哉・水野信彦編), 山と溪谷社.
- 横川浩治. 1986. 香川県の湖沼におけるブルーギルの生態. 香川県水産試験場研究報告 2: 47-74.
- 全国内水面漁業協同組合連合会. 1992. ブラックバスとブルーギルのすべて. 221 pp. 外来魚対策検討委託事業報告書, 水産庁.