

水田地帯における

イシガイ科二枚貝の保全に関する研究

近藤 美麻

目次

第1章 緒言.....	1
1.1 背景.....	1
1.2 本研究の目的.....	2
1.3 既往研究の整理と本研究の課題.....	3
1.3.1 イシガイ科二枚貝の基礎生態.....	3
1.3.2 イシガイ科二枚貝の宿主魚種.....	3
1.3.3 宿主魚類がイシガイ科二枚貝の再生産や生息分布に及ぼす影響.....	4
1.3.4 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全地の創出.....	5
1.3.5 本研究の課題.....	6
1.4 用語の説明.....	7
1.5 本研究で扱うイシガイ科二枚貝.....	8
第2章 研究概要.....	9
2.1 調査地概要.....	9
2.2 調査方法および実験方法.....	16
2.2.1 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の生息状況調査.....	16
2.2.2 コンクリート三面張り排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況調査.....	17
2.2.3 寄生状況調査.....	19
2.2.4 寄生実験.....	20
2.2.5 宿主魚種3種の移動調査.....	23
第3章 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の生息状況.....	26
3.1 採捕数変動.....	26
3.2 殻長分布.....	28
3.3 成長率.....	39
3.4 2011年7月の妊卵状況および生息密度.....	48

3.5 考察	50
3.5.1 ビオトープ池における新規定着個体の出現とその定着時期	50
3.5.2 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の成長	53
3.5.3 2013 年における個体数の減少要因	54
3.6 小括	57
第4章 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況	58
4.1 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況	59
4.1.1 生息を確認したイシガイ科二枚貝と生息密度	59
4.1.2 殻長分布	61
4.1.3 トンガリササノハガイの成長率	64
4.2 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息分布と底質環境	65
4.2.1 排水路における底質の堆積状況とイシガイ科二枚貝の生息密度	65
4.2.2 イシガイ科二枚貝が採捕された地点の底質材料	66
4.2.3 イシガイ類が採捕された地点の堆積厚	71
4.2.4 鉛直方向の分布	73
4.3 考察	74
4.3.1 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況	74
4.3.2 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息分布と底質環境の関係	76
4.4 小括	79
第5章 イシガイ科二枚貝幼生の寄生状況	80
5.1 ビオトープ池における寄生状況	80
5.1.1 寄生率および平均寄生数	80
5.1.2 寄生部位	85
5.1.3 魚類の体長と寄生数	86
5.2 排水路における寄生状況	87
5.2.1 寄生率および平均寄生数	87

5.2.2	寄生部位.....	89
5.2.3	魚類の体長と寄生数.....	89
5.3	遡上・降下魚における寄生状況.....	90
5.4	考察.....	91
5.4.1	調査地における幼生の寄生主.....	91
5.4.2	魚類の移動を介した幼生の分散.....	92
5.5	小括.....	93
第6章	イシガイ科二枚貝3種の宿主魚種.....	94
6.1	未変態の幼生と変態稚貝.....	94
6.2	変態率.....	96
6.3	寄生状況の経時変化.....	98
6.4	考察.....	102
6.5	小括.....	104
第7章	宿主魚種3種の移動距離.....	105
7.1	宿主魚種3種の移動距離.....	105
7.2	考察.....	110
7.2.1	移動距離の推定式.....	110
7.2.2	水田水域における宿主魚の移動に影響する要因.....	111
7.3	小括.....	114
第8章	水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全.....	115
8.1	宿主魚種がビオトープ池のイシガイ科二枚貝に与えた影響.....	115
8.1.1	ビオトープ池における宿主魚種.....	115
8.1.2	ビオトープ池へのイシガイ科二枚貝の移入に寄与した魚種.....	117
8.1.3	ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の再生産に宿主魚種が及ぼす影響.....	120
8.1.4	宿主魚種の存在以外に考えられる移入および再生産への影響要因.....	125
8.1.5	宿主魚種を介したイシガイ科二枚貝の分散.....	127

8.2 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全.....	129
8.2.1 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の保全.....	129
8.2.2 保全地の設置間隔.....	133
8.2.3 コンクリート三面張り水路におけるイシガイ科二枚貝の保全.....	133
8.2.4 改修工事に際したイシガイ科二枚貝の一時保管.....	135
8.2.5 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全.....	136
第9章 総括.....	138
謝辞.....	141
引用文献.....	143

第 1 章 緒言

1.1 背景

わが国において水田地帯は食糧生産の場であるとともに、多様な生物が生息する場としても重要な役割を果たしている（守山，1997；農林水産省農業環境技術研究所，1998）。しかし，水田地帯の生物の生息場所としての機能は，昭和 40 年代から行なわれた圃場整備事業による圃場や水路の物理的環境の改変や，それに伴う農業形態の変化により急激に劣化し，水田地帯における生物の生息数は減少している（水谷，2007；森，2008）。このような状況下において，近年では国民の自然環境に対する関心の高まりや，圃場整備の際の環境への配慮を原則とした 2001 年の土地改良法改正法の施行により，生物多様性保全の場としての水田地帯の役割が注目されるようになり，水田地帯においては農業生産の場としての機能と生物の生息場としての機能の両立が求められるようになった（日鷹，1998；水谷，2007）。

食糧生産に重点を置いた構造をもつ水田地帯において，生物の生息場所を保全，あるいは創出するためには，対象生物の生態的知見を踏まえた上で対策がなされる必要がある。例えば，水田地帯に生息する魚類では，その生活史の中で一時的水域である水田と恒久的水域である水路や河川を利用することが明らかにされ（斉藤，1988；西田ら，2006），その知見を元にした保全地の創出や，分断された移動経路をつなぐための魚道の開発，効果の検証がなされている（端，2000；鈴木ら，2004；大平ら，2006a，2006b，2006c，2006d）。このように水田地帯における生態の解明が進み保全の効果をあげている生物種もあるが，水田地帯に生息する生物は多種多様であり，保全に取り組む上で必要となる生態的知見が不足しているものも多い。本研究で対象とするイシガイ科二枚貝（以下，イシガイ類と記す）もそのひとつである。

イシガイ類は日本に 15 種が生息するが（Kondo，2008），現在ではそのうち 11 種が環境省レッドリストにおいて絶滅危惧種あるいは準絶滅危惧種として記載されている（環境省，2012）。水田地帯の水路やため池といった恒久的水域はイシガイ類の重要な生息環境である

が (Kondo, 2008), 水路は圃場整備に伴う暗渠化やコンクリート化, 直線化によって, ため池は灌漑システムの変化に伴う管理放棄などによって, 生息環境としての機能は劣化している. また, イシガイ類の生態的知見は限られており, 根岸ら (2008a) は国内におけるイシガイ類の生態に関する主要論文数を整理したところわずか 29 編であったと報告している. 水田地帯におけるイシガイ類の保全では, 水路改修の際に生息していたイシガイ類を一時的に避難させ工事後に再導入したり, 改修後の水路に土砂を導入する, 底質材料が堆積しやすい工法を用いるといった事例が報告されている (市川, 2002 ; 角田・新井, 2007 ; 根岸ら, 2008b ; 滋賀県農林土木コンクリート製造協会, 2006). しかし, いくつかの事例ではその後イシガイ類の再生産が確認されなかったり, 施工後のモニタリング結果が公表されておらず, 後に応用するための知見は不足している.

以上より, イシガイ類の保全に応用するための生態的知見の蓄積とそれに基づいた保全方法の検討は急務であるといえる. また, イシガイ類はそれ自身が絶滅の危機に瀕しているだけでなく, 希少魚類であるタナゴ類やヒガイ類の産卵床として不可欠であり, イシガイ類の減少はそれらの魚類にも負の影響を及ぼす. さらに, イシガイ類も魚類を利用した繁殖様式をもつことや移動能力が低く長寿命であること, 濾過食者であり水環境にも大きな影響を与えることなどから, 環境指標生物としての有用性が指摘されている (Negishi et al., 2013 ; Vaughn and Spooner, 2006). 水田地帯においてもイシガイ類を指標種として保全に取り組むことで, より多様な生物の保全にも寄与し得る可能性を秘めている.

1.2 本研究の目的

本研究の目的は, 未だ明らかでないイシガイ類の生態的知見を明らかにし, それを元に水田地帯におけるイシガイ類の保全方法を検討することである. ここでいう保全とは, 再生産を含めた, イシガイ類の長期的な個体群維持を意味する. そのため, 本研究では, とくにイシガイ類の再生産や移動分散に寄与する宿主魚種に着目した. また, 多くのイシガイ類は水田地帯の恒久的水域を重要な生息場所とする. そこで, 長期的な湛水管理が可能である休耕田や耕作放棄田を利用したビオトープと, コンクリート三面張り水路のイシガイ

イ類の生息地としての利用可能性を検討した。

1.3 既往研究の整理と本研究の課題

1.3.1 イシガイ科二枚貝の基礎生態

イシガイ類は雌雄異体であり，繁殖期になると雄が精子球を放出し，雌がそれを胎内に取り込むことにより卵と受精する．イシガイ類は繁殖期により夏季繁殖型と冬季繁殖型に大別される（Kondo, 1987）．雌は鰓が保育嚢となり，受精卵は其中でグロキディウム幼生となる．成熟したグロキディウム幼生は水中へ放出される．1 個体の雌から放出されるグロキディウム幼生数は数千から数万とされ，夏季繁殖型と比較して冬季繁殖型で抱卵数が多いことが報告されている（Kondo, 1989）．水中へ放出されたグロキディウム幼生は魚類に寄生する．寄生した幼生は魚類の上皮組織に覆われ（シストの形成），寄生期間中に稚貝へと変態し，その後脱落して底生生活にはいる（福原ら，1990）．イシガイ類は普段水域の底質中に潜り込んで生息しており，移動能力は低い．イシガイ類 6 種の移動行動について報告した近藤・加納（1993）によると，最もよく移動する種でも一日の最大移動距離は 195cm である．そのため，分布域の拡大や近隣の個体群間の再生産交流には幼生の寄生期間中の宿主魚類の移動が寄与する．また，イシガイ類は寿命が長く，Negishi et al.（2009）はマツカサガイ *Pronodularia japonensis* の年齢を 20 歳以上であると推定しており，他の種でも約 10 年は生きるとされる（Kondo, 2008）．イシガイ類の餌資源としては植物プランクトンの珪藻が重要であるといわれており（柳田・外岡，1992；森ら，2009），緑藻や藍藻が優占する水域においては珪藻の摂食が阻害され，成長率が低下することが報告されている（柳田・外岡，1992；柳田，1992）．

1.3.2 イシガイ科二枚貝の宿主魚種

イシガイ類はすべての魚種を幼生期の宿主として利用できるのではなく，イシガイ類の種ごとに宿主として適した魚種が異なることが多くの既往研究で報告されている（例えば，Kondo, 1987；伊藤ら，2003）．そのため，イシガイ類の再生産や移動分散を考慮に入れた保全を検討する場合には，各種イシガイ類において適した宿主魚種を明らかにし，同時に保全していく必要がある．幼生は寄生時に対象が宿主として適しているかを判別すること

はできない．非宿主に寄生した場合，多くが変態を完了することができず，死亡してしまう．魚類に寄生できるかどうかは母貝から放出された幼生と魚類との接触機会の多少といった生態的要因が影響する．また，寄生した後に稚貝へと変態できるかどうかは，各魚種がもつ免疫反応などの生理的要因が作用する．そのため，野外において実際にイシガイ類の再生産や移動分散に寄与する宿主魚種を明らかにするためには，生態的要因が影響する現地における幼生の寄生状況と，生理的要因が影響する各魚種における幼生の変態率の両面から検討する必要がある（伊藤ら，2003；Klunzinger et al., 2012；Levine et al., 2012）．また，現地における魚類やイシガイ類の生息密度や種構成割合を把握することも再生産状況を検討する上で重要である．

日本産イシガイ類と魚類の寄生関係については，ドブガイ *Anodonta woodiana* では福原ら（1986）が，カタハガイ *Obovalis omissa*, ドブガイ類 *Anodonta* sp., オバエボシガイ *Inversiunio yanagawensi*, マツカサガイ, トンガリササノハガイ *Lanceolaria grayana* およびニセマツカサガイ *Inversiunio yanagawensis* については近藤（1997）が野外における寄生状況を報告しているほか，ドブガイ類，オバエボシガイ，マツカサガイ，トンガリササノハガイ，イシガイ *Unio douglasiae nipponensis*, ニセマツカサガイ，カタハガイでは人為的な寄生下での寄生日数による宿主としての適性の評価がなされているものの（Kondo, 1989），複数魚種における変態率が明らかにされ，生態的側面と生理的側面から宿主魚種が検討された種はマツカサガイ（伊藤ら，2003；伊藤・丸山，2005），ヨコハマシジラガイ *Inversuno jokohamensis* (Itoh et al., 2010), タガイ *Anodonta japonica* (Akiyama, 2011), ドブガイ類 (Itoh et al., 2008) およびイシガイ（石田ら，2010；伊藤ら，2013）に限られる．とくに，野外において再生産や移動分散に寄与する宿主を検討する上での基礎的知見となる魚種の生理的適性は，多くの種で明らかではない．

1.3.3 宿主魚類がイシガイ科二枚貝の再生産や生息分布に及ぼす影響

イシガイ類は移動能力が低いことから，幼生期の宿主の移動は個体群間の再生産交流や生息域の拡大に寄与する．海外では宿主魚類の分布が制限されたことによりイシガイ類の分布が縮小した例や（Watters, 1996），宿主魚類の移動が確保された場合に，イシガイ類も

同様に分布を広げた例が報告されているが (Douglas, 1985 ; Strayer, 2008), 日本では Kakino et al. (2012) が谷津地帯における宿主の減少がヨコハマシジラガイの再生産の失敗に影響した可能性を指摘しているのみである。

水田地帯においては、保全対象生物の移動可能な範囲内に複数の保全地を設けて供給源を複数確保することで生物多様性を維持・回復することの重要性が指摘されている (若杉ら, 2002)。これは移動能力が極めて低く、改修工事などによる局所的な個体群の絶滅リスクが高いイシガイ類においても重要な視点であり、再生産交流が可能である範囲内に保全地を設けることが個体群維持のために有効であると考えられる。前述したように、イシガイ類の再生産交流や分布域の拡大には幼生の寄生期間中の宿主の移動が寄与することから、保全地の設置間隔を検討するためには、宿主魚種の移動能力を明らかにすることが必要である。しかし、宿主魚種の移動能力について検討された例はない。

1.3.4 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全地の創出

水田地帯におけるイシガイ類の生息場所として恒久的水域である水路が挙げられるが、近年その多くが暗渠化あるいはコンクリート化され、コンクリート三面張り水路では従来の土水路と比較して流速や底質といった生物の生息に関与する物理的条件が悪化する (森淳ら, 2008)。しかし、コンクリート三面張り水路であっても底質が堆積した場所ではイシガイ類が生息している場合もあり (近藤, 2003)、条件次第ではイシガイ類の生息場所となり得る。コンクリート三面張り水路におけるイシガイ類の保全を検討するためには、ベントスであるイシガイ類の生息に影響すると考えられる底質環境を中心として、どのような条件下においてイシガイ類が生息可能であるのかを明らかにする必要がある。

近年では、圃場整備による生産性の向上の一方で日本人のコメ離れが進んだことに起因する減反政策や、農家の高齢化に伴い増加した休耕田や耕作放棄田を生物の生息場所として利用する取り組みがある。その例としては、水生昆虫などの保全地として (市川ら, 2004)、魚類の産卵・生息場として (端, 2000)、あるいは復田を見据えて草本の遷移を抑えるための湛水による二次的効果としての生物の保全地として (櫻井・矢野, 2005) の利用事例が報告されている。これらは休耕田や耕作放棄田を生物の生息場や越冬場として利用するこ

とができる可能性を示唆しているが、未だ知見は少ない。また、休耕田や耕作放棄田を利用することは長期的に湛水状態を保つことができる点で恒久的水域を必要とするイシガイ類の保全にも効果が期待されるが、イシガイ類を対象とした保全事例はない。

1.3.5 本研究の課題

以上を踏まえ、本研究では以下の課題を設定し、複数種のイシガイ類と魚類が生息する休耕田を利用したビオトープモデル圃場（以下、ビオトープ池と記す）を中心とした水田地帯において調査を行なった。

（1）宿主魚種がビオトープ池に生息するイシガイ類に与えた影響の解明


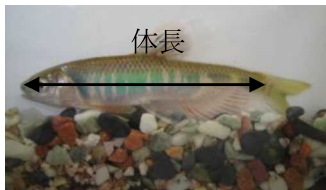
ビオトープ池におけるイシガイ類の再生産状況の解明と、イシガイ類幼生の宿主魚種の解明を通し、イシガイ類の再生産や移動分散に宿主魚種が与える影響を明らかにする。

（2）水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全

（1）の検討結果をふまえ、休耕田利用ビオトープ池のイシガイ類の保全地としての利用可能性を検討する。また、コンクリート三面張り排水路におけるイシガイ類の生息分布と底質環境との関係を明らかにし、コンクリート三面張り排水路におけるイシガイ類の生息可能性について検討する。さらに、宿主魚種の移動距離を明らかにすることにより、保全地の設置間隔を検討する。

1.4 用語の説明

本論文では，文中に用いる用語を以下の通り定義する．

水田地帯	水田，農業水路，河川およびため池などの水域を中心とした地帯．
一時的水域	灌漑期にのみ通水される水田および農業水路．
恒久的水域	灌漑期，非灌漑期間問わず水域のある農業水路，河川，ため池．
寄生主	イシガイ類幼生が寄生した魚類．寄生した幼生が変態するか否かは問わない．
宿主	イシガイ類幼生が寄生し，その後稚貝へと変態できる魚種．
(イシガイ類の) 殻長	イシガイ類の殻の水平方向で最も長い部分の長さ． 
(魚類の) 体長	魚類の吻先から尾鰭の付け根までの長さ． 
(稚貝の) 定着	魚類に寄生して変態を終えた稚貝が魚類から脱落して着底すること．
稚貝	定着後，性成熟するまでのイシガイ類．
成貝	性成熟したイシガイ類．
再生産	雄では精子球，雌では卵の生成→受精→幼生の放出→魚類への寄生→変態→脱落→定着までの過程．
ビオトープ池	「ビオトープ」とは生物群集の生息空間として定義され（ヨーゼフ，1997），元来生物が生息する場所を示す言葉として用いられていた．しかし，日本ではとくに人為的に生物の生息に配慮した場所を示す意味合いが強い．従って，本研究においても休耕田や耕作放棄田を人為的に生物の生息に配慮した構造としたものをビオトープ池と呼ぶ．

また、イシガイ類の分類および学名は Monograph of Unionoida in Japan (Mollusca: Bivalvia) (Kondo, 2008) に、魚類の分類および学名は日本産魚類検索第3版（中坊, 2013）に従った。

1.5 本研究で扱うイシガイ科二枚貝

本研究で扱ったイシガイ類は、イシガイ、トンガリササノハガイ、フネドブガイ *Anemina arcaeformis*, マツカサガイ、オバエボシガイおよびドブガイ類 *Anodonta* spp. の6種である (Fig.1-1)。ドブガイ類にはタガイとヌマガイを含むが、両種は幼生、成貝ともに外見からの識別が困難であることから、本研究ではドブガイ類とした。このうち、タガイは年間を通じて繁殖を行なう種であり、フネドブガイは冬季繁殖型、それ以外の種は夏季繁殖型に分類される (Kondo, 2008)。

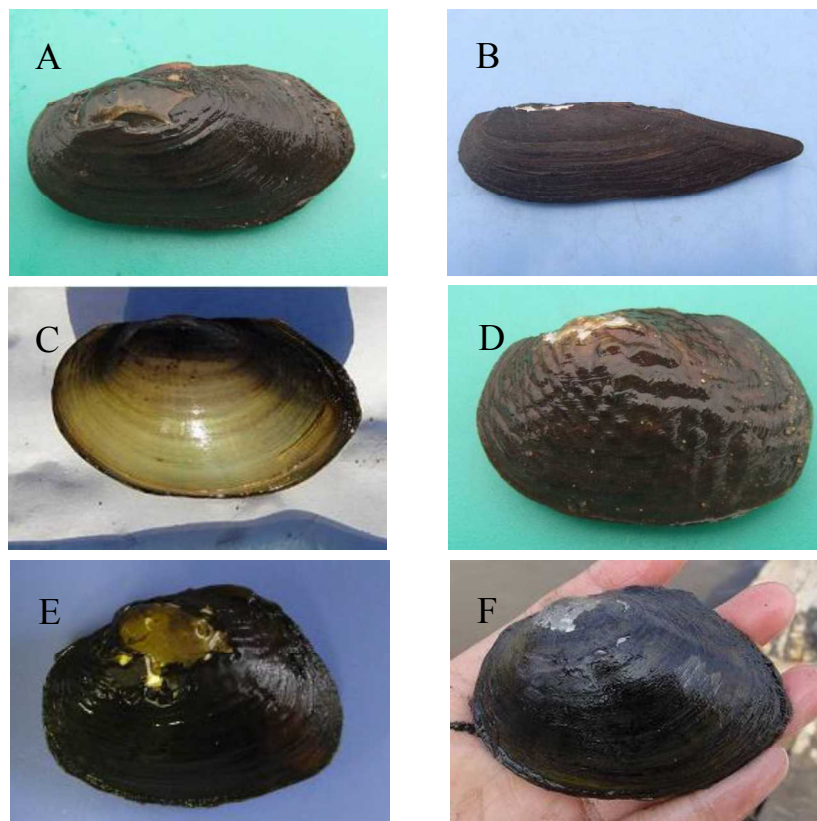


Fig.1-1 本研究で扱ったイシガイ類

A: イシガイ, B: トンガリササノハガイ, C: フネドブガイ,
D: マツカサガイ, E: オバエボシガイ, F: ドブガイ類

第 2 章 研究概要

2.1 調査地概要

本研究の調査は岐阜県の南西部に位置する揖斐郡揖斐川町谷汲（旧谷汲村）大洞・深坂地区内に設置されたビオトープ池，ビオトープ池と接続する排水路および管瀬川において行なった（Fig.2-1）．現在の揖斐川町は 2005 年に揖斐川町，谷汲村，春日村，久瀬村および坂内村の 1 町 5 村が合併してできた町である．大洞・深坂地区は谷汲の南端部に位置し，谷筋に沿って南北に細く伸びる約 200ha の水田地帯を形成している．この地区は 1985 年に農業生産基盤整備事業（県営圃場整備事業谷汲 2 期地区）が開始され，1999 年に完了しており，用水は地区内にあるファームポンドからパイプラインにより灌漑される．

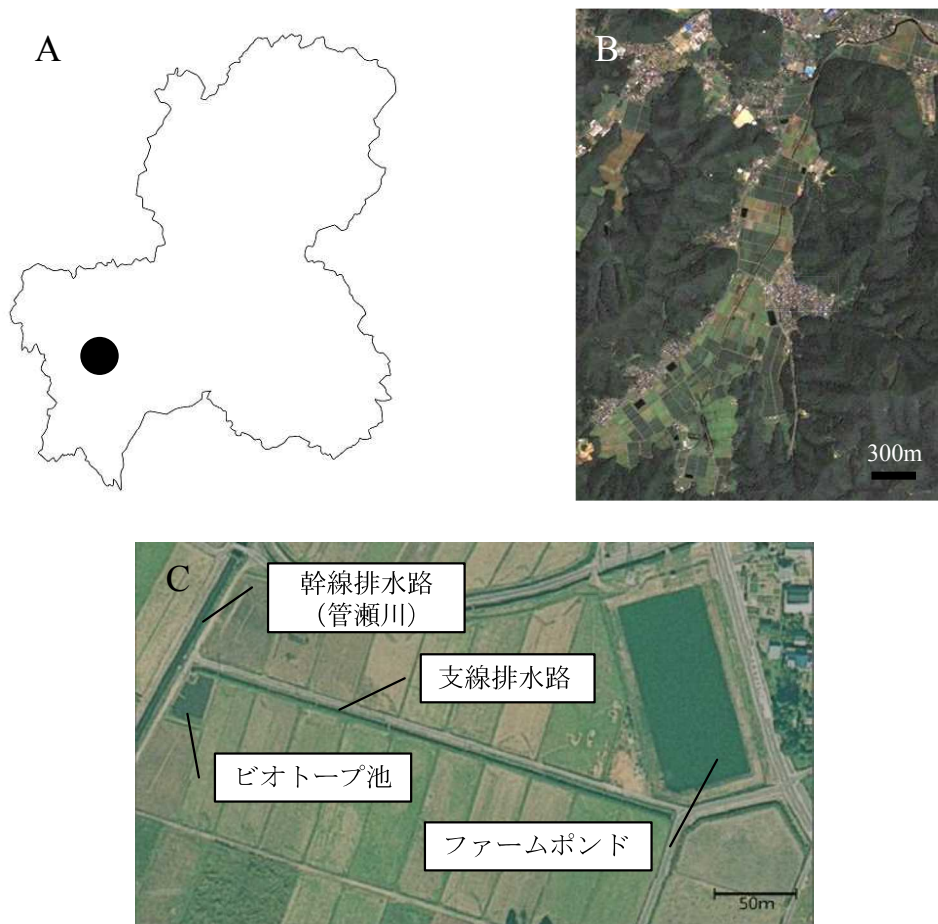


Fig.2-1 調査地概要

A：岐阜県における旧谷汲村の位置，B：深坂・大洞地区，C：ビオトープ池周辺水域

ビオトープ池は休耕田を改修して創られたもので、2001年7月21日に竣工した(**Fig.2-2**)。ビオトープ池の設置は、東海農政局(整備課, 事業計画課, 資源課)を中心に、岐阜県(農山村整備政策課, 揖斐川事務所)、谷汲村(建設課, 生活環境課, 教育委員会)、財団法人日本生態系協会ならびに地元住民の取り組みにより実現した。施設設置までの経緯としては、農村地域における生物の生息地と農業用施設とのネットワーク化による生物多様性確保の手法を検討するために、1999-2000年にかけて深坂・大洞地区の管瀬川、水田および周辺部を対象として生物の生息状況の把握を目的とした調査が行われた。その結果、この地域にはメダカ(環境省 RDB 絶滅危惧Ⅱ類)やカワバタモロコ(環境省 RDB 絶滅危惧ⅠB類、岐阜県 RDB 絶滅危惧Ⅱ類)などの希少種をはじめとした多様な生物が生息しているものの、いずれの種も生息場所が限られており、個体数も少ないという現状が明らかとなった(東海農政局農村計画部資源課, 2001)。そこで、河川、水路、水田をネットワーク化するための魚類遡上実験施設としてビオトープ池が設置された。その後、ビオトープ池は施設の老朽化のため2009年春と2011年末から2012年春にかけて2度の改修工事が行われ、現在に至る(**Fig.2-3**)。



Fig.2-2 ビオトープ池

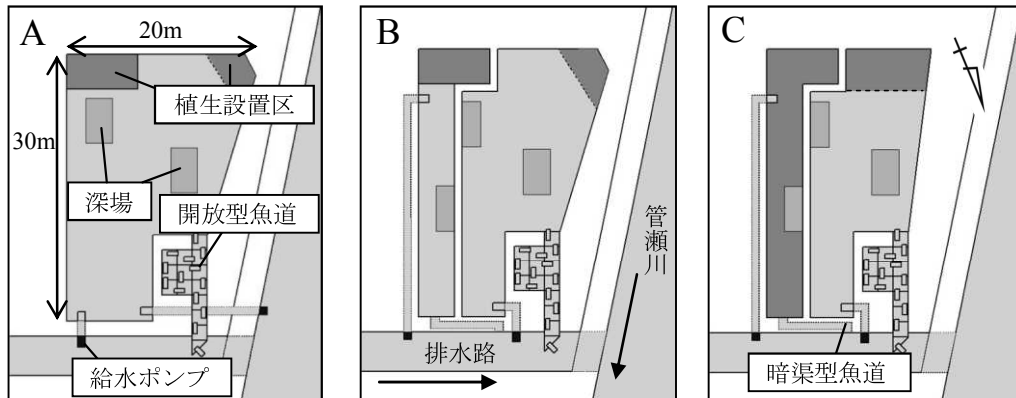


Fig.2-3 ビオトープ池の概要図

A : 2001-2008 年, B : 2009-2011 年, C : 2012 年-現在

創設当初のビオトープ池は面積約 400m^2 、平均水深約 0.2m で、鳥類からの食害を防ぐため、水深 0.8m の深場が 2 か所設けられた。ビオトープ池の底質は有機物からなる腐植土（泥炭）であるが、これは調査地区が第四紀後期を通して形成された最大 30m 近くにおよぶ腐植土層を有することに由来する（武藤，2011）。ビオトープ池の南部にはマコモ *Zizania latifolia*、ガマ *Typha latifolia*、ヨシ *Phragmites australis*、イネ *Oryza sativa* が植栽された植生設置区が設けられた。ビオトープ池とその北側を流れる排水路との間には 15 段の開放型魚道が設置された（Fig.2-4）。魚道の各段の落差は 0.1m であり、プール部の面積は 1m^2 ($1\times 1\text{m}$) である。格段には幅 0.3m 、傾斜約 15° の斜板が設けられている。

2009 年春の改修工事では池内に畔が作られ、ビオトープ池は西側（面積約 300m^2 ）と東側（面積約 100m^2 ）に二分された。東側には排水路との間に新しくプール部の面積 0.24m^2 ($0.4\times 0.6\text{m}$)、格段の落差約 0.1m の暗渠型魚道が設置された（Fig.2-5）。また、従来の開放型魚道も老朽化に伴い改築され、プール部の面積が 1.12m^2 ($0.8\times 1.4\text{m}$) となった。2011 年から 2012 年にかけて行なわれた改修工事では、老朽化したビオトープ池の外枠の丸太が刷新された。2011 年の改修工事以降、西側の植生設置区にはマコモが、東側においては全面にイネが植栽された。

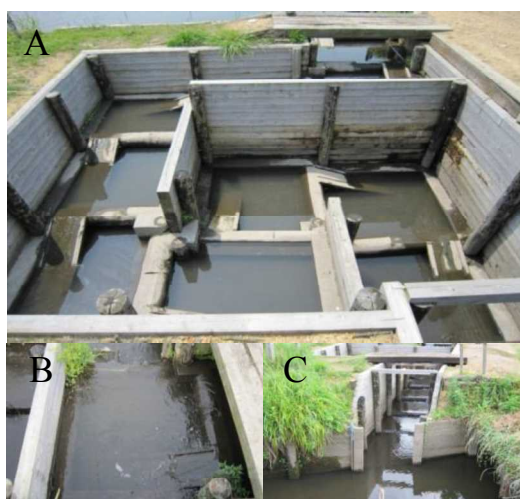


Fig.2-4 開放型魚道

A : 全景, B : プール部, C : 魚道入り口

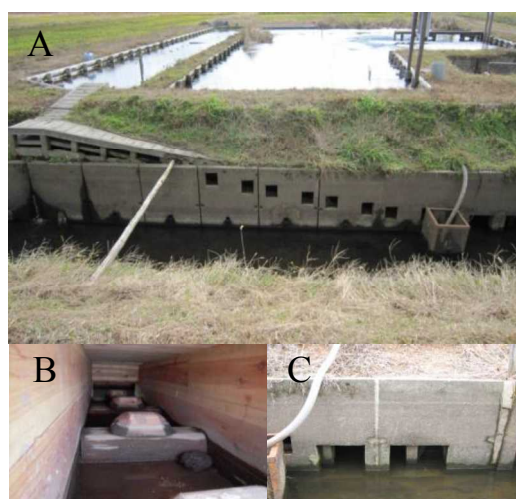


Fig.2-5 暗渠型魚道

A : 全景, B : 魚道内部, C : 魚道入り口

ビオトープ池の水管理は隣接排水路から給水ポンプで水をくみ上げることにより行ない、常に湛水状態に保っている。また、くみ上げられた水が魚道を流下して排水路へ流れ込むことにより魚類の遡上と降下が可能となる。給水ポンプの稼働時間はタイマーにより自動制御され、2001-2004年は2台で常時、2005-2006年は2台で6:00-6:45、14:00-14:45、22:00-22:45の1日計135分、2007年と2008年はそれぞれポンプ3台と1台で11:00-19:00の1日計8時間稼働していた。また、2009年の改修工事以降は西側と東側それぞれに1台の給水ポンプが設けられ、11:00-19:00の1日8時間稼働している。なお、ポンプの電気代および更新費用は自治体（揖斐川町）が負担している。

ビオトープ池と接続する排水路（**Fig.2-6**）は水路幅 2.0-2.5m のコンクリート三面張り構造であり、水路底の大部分には礫や砂が堆積している。水源は最上流部の山際からのしぼり水であり、灌漑期には接続する水田約 20ha からの排水も流入する。そのため、非灌漑期と灌漑期では水位が 0.2-0.9m の間で変動するものの、年間を通して水が枯れることはない。排水路はビオトープ池横で農道下の土管を通じ管瀬川と合流する。管瀬川（**Fig.2-7**）は根尾川の支流であり、一級河川に分類される。調査地区の中央を南北方向に流れ、幹線排水路として機能している。排水路と管瀬川の合流部には落差など魚類の移動を阻害するものは

なく、魚類は自由に排水路と管瀬川との間を移動することができる（**Fig.2-8**）。また、管瀬川と排水路の合流部から下流へ約 2,300m 地点には水門（**Fig.2-9**）があり、これが開閉されることにより管瀬川および排水路の水位が変化する。

ビオトープ池では創設当初から日本生態系協会により、2005 年からは本研究室により魚類やイシガイ類の生息状況調査が継続的に行なわれている。



Fig.2-6 排水路

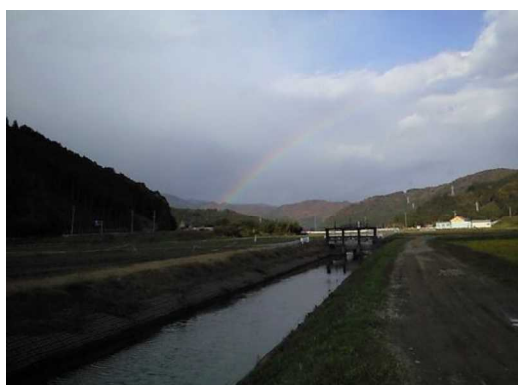


Fig.2-7 管瀬川



Fig.2-8 排水路と管瀬川の合流部



Fig.2-9 管瀬川下流部の水門

調査地におけるイシガイ類の生息状況としては、管瀬川にはトンガリササノハガイおよびドブガイ類（東海農政局農村計画部資源課，2001），排水路にはトンガリササノハガイ，イシガイ，マツカサガイ，オバエボシガイ，フネドブガイ，ビオトープ池にはイシガイ，トンガリササノハガイ，フネドブガイ，ドブガイ類，マツカサガイが生息している．なお，ビオトープ池は岐阜県内ではじめてフネドブガイの生息を確認した場所である（近藤ら，2013）．また，魚類は管瀬川および排水路において 8 科 28 種（ヤツメウナギ科：スナヤツメ *Lethenteron* sp., ウナギ科：ニホンウナギ *Anguilla japonica*, コイ科：コイ *Cyprinus carpio*, ゲンゴロウブナ *Carassius cuvieri*, ギンブナ *Carassius* sp., オオキンブナ *Carassius buergeri buergeri*, ヤリタナゴ *Tanakia lanceolata*, タイリクバラタナゴ *Rhodeus ocellatus ocellatus*, カワバタモロコ *Hemigrammocypripis rasborella*, オイカワ *Opsariichthys platypus*, スナムツ *Candidia sieboldii*, アブラハヤ *Phoxinus lagowskii steindachneri*, タカハヤ *Phoxinus oxycephalus jouyi*, ウグイ *Tribolodon hakonensis*, モツゴ *Pseudorasbora parva*, タモロコ *Gnathopogon elongatus elongatus*, ゼゼラ *Biwia zezera*, カマツカ *Pseudogobio esocinus esocinus*, ツチフキ *Abbottina rivularis*, ドジョウ科：ドジョウ *Misgurnus anguillicaudatus*, シマドジョウ *Cobitis biwae*, トウカイコガタスジシマドジョウ *Cobitis minamorii tokaiensis*, ホトケドジョウ *Lefua echigonia*, ナマズ科：ナマズ *Silurus asotus*, メダカ科：ミナミメダカ *Oryzias latipes*, ドンコ科：ドンコ *Odontobutis obscura*, ハゼ科：シマヨシノボリ *Rhinogobius nagoyae*, カワヨシノボリ *Rhinogobius flumineus*）が確認されており，ビオトープ池ではスナヤツメ，オオキンブナ，タカハヤ，ウグイ，ツチフキ，ホトケドジョウ，シマヨシノボリを除く 7 科 21 種の魚類の生息が確認されている（日本生態系協会，2005；太田，2006）．二枚貝や魚類の他にも，ビオトープ池においてはヒメタニシ *Bellamya (Sinotaia) quadrata histrica* などの巻貝やスジエビ *Palaemon paucidens* などの甲殻類（日本生態系協会，2005），環境省レッドリストにおいて準絶滅危惧種として記載されているコオイムシ *Appasus japonicus* などの水生昆虫といった多様な生物の生息を確認している．ビオトープ池は改修される以前の約 2 年半の間は休耕しており非湛水状態であったため水生生物は生息しておらず，ビオトープ池の創設以降，人為的に生物を放流したことはない．また，給水ポンプによって排水路からビオト

ープ池へ水が汲み上げられているが、給水ポンプには 5mm メッシュのフィルターが取り付けられており、魚類などが巻き込まれる可能性は極めて低い。そのため、現在ビオトープ池に生息する生物は隣接排水路や他水域から移入してきたものであり、特にイシガイ類および魚類は魚道を介して侵入したものと考えられる。魚類に関しては、ビオトープ池が成育場や採餌場、越冬場として機能していることが明らかにされている（太田，2006）。

2.2 調査方法および実験方法

本研究で行なった調査および実験は、ビオトープ池におけるイシガイ類の生息状況調査、排水路におけるイシガイ類の生息状況調査、寄生状況調査、寄生実験、宿主魚種 3 種の移動に関する調査である。以下に各調査および実験の目的と概要を記す。

2.2.1 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の生息状況調査

ビオトープ池におけるイシガイ類の生息状況と再生産状況を明らかにすることを目的として行なった。同時に、イシガイ類の再生産に寄与すると考えられる魚類を対象とした生息状況調査も行なった。また、2011 年 7 月には、再生産に寄与する産卵母貝の妊卵状況を明らかにするために妊卵状況調査を行なった。以下にそれぞれの調査の概要を示す。

(1) イシガイ類の生息状況調査

調査ではまずビオトープ池の水を抜き、池内を 1m^2 ($1\times 1\text{m}$) から 4m^2 ($2\times 2\text{m}$) の大きさの区画に区分し、複数の調査員が一定の努力量 ($10\text{min}/\text{m}^2$) で貝を採捕した。採捕は素手で底質の中を探ることにより行なった。採捕した貝は殻長を 0.5mm 単位で計測し、個体識別のため殻表面にマーカーペンあるいはマニキュアを用いて標識付けをした後に採捕した区画に放流した。標識付けは、各調査時に未標識の個体が採取された場合は追加して行なった。調査は 3 月から 11 月までの奇数月を基本として、2008 年 3 月から 2013 年 11 月にかけて計 19 回実施した (Table 2-1)。2009 年の 3 月および 5 月、2012 年の 3 月はビオトープ池において改修工事が行なわれていたために生息状況調査は行なわず、イシガイ類は工事前

に採捕して 2009 年は実験室で、2011-2012 年は大学内試験圃場のハウス内に造成した池で飼育し、工事終了後の 2009 年 7 月と 2012 年 5 月に再びビオトープ池に放流した。

Table 2-1 イシガイ類の生息状況調査を実施した月 (○は調査を行なった月を示す。)

年	月				
	3 月	5 月	7 月	9 月	11 月
2008	○	○	○	○	○
2009	改修工事		放流	○	○
2010	○	○	○	○	○
2011	○	○	○	○	○
2012	改修工事	放流			○
2013					○

(2) 魚類の生息状況調査

イシガイ類の生息状況調査と同時に、魚類の生息状況調査を行った。調査ではタモ網（開口寸法 40cm, 目合い 2mm）やサデ網（開口寸法 90cm, 目合い 2mm）、カゴ網（25×25×40cm, φ6cm）を用いて生息魚類を採捕し、体長を計測した後に再びビオトープ池に放流した。ただし改修工事前の 2008 年 11 月と 2011 年 11 月にはビオトープ池には戻さず、管瀬川に放流した。魚類の生息状況調査は本研究室のメンバーの研究テーマとして行なわれており、本論文では必要とされる場合にこれらの結果を引用する。

(3) 妊卵状況調査

2011 年 7 月の池干し調査時にイシガイ類の妊卵状況を調査した。採捕した個体の殻をスパチュラ（全長 200mm, スパチュラ部幅 7mm）で少し開き、鰓の状態を確認した。イシガイ類の雌は鰓が保育嚢となり、卵や幼生をもつと膨らみ、色づくことから、そのことが確認された個体を妊卵個体として記録した。

2.2.2 コンクリート三面張り排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況調査

ビオトープ池に隣接するコンクリート三面張り構造の排水路におけるイシガイ類の生息状況を明らかにすることを目的として、2008-2010 年にかけて行なった。また、2010 年の調査時には、水路の底質環境とイシガイ類の生息分布との関係を明らかにするため、イシガイ類の生息状況調査に加え底質環境調査を行なった。以下にそれぞれの調査の概要を示す。

(1) 生息状況調査

2008 年および 2009 年の 11 月、2010 年 4-6 月に調査を行った。各年の調査区画を **Fig.2-10** に示す。調査では、調査区画において複数名の調査員が横並びになり、一定の努力量（10min/m²）で底質を素手で探ることによりイシガイ類を採捕した。採捕したイシガイ類は 0.5mm 単位で殻長を計測し、殻に個体識別用のマーキングを施した後に採捕地点に放流した。

(2) 生息地点の底質環境調査

2010 年の調査時には、調査区画全体の堆積状況と底質材料を目視で観察・記録するとともに、貝が採捕された地点においては底質材料、堆積厚、鉛直方向の貝の分布の 3 項目を

記録した。底質材料は視覚的に礫，砂，腐植，粘土の 4 種に区分し（**Fig.2-11**），堆積厚は 0.5cm 単位で記録した。底質材料の区分は地盤工学会の分類に基づき，直径 2mm 以上を礫，2mm 未満を砂とした。貝の採捕地点においては，底質材料が上層と下層で異なる地点では層別に底質材料と堆積厚を記録した。また，鉛直方向の貝の分布は貝が底質上にいたか，底質中にいたかを記録し，底質中にいたもののうち底質材料が上層と下層で異なる地点において採捕された個体はどちらの層で採捕されたかを記録した。

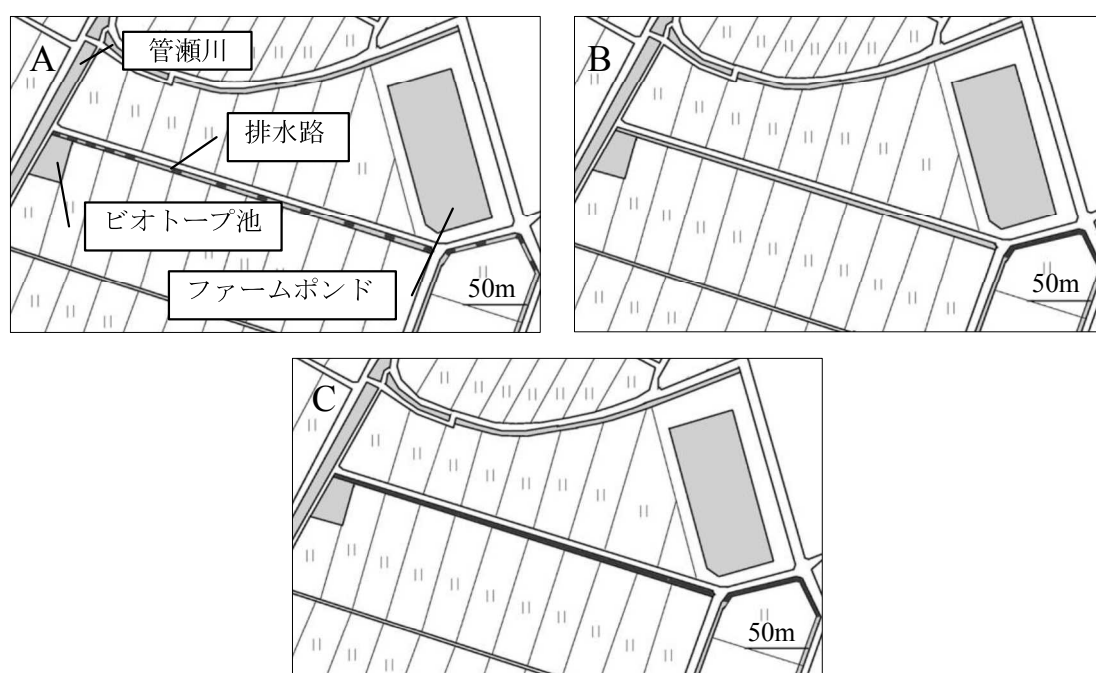


Fig.2-10 排水路における生息状況調査の調査区画

A : 2008 年, B : 2009 年, C : 2010 年
(各年の調査区間を黒で示す)



Fig.2-11 排水路の底質材料

A : 礫, B : 砂, C : 粘土, D : 腐植

2.2.3 寄生状況調査

ビオトープ池と排水路においてイシガイ類幼生が寄生する魚種を明らかにすることを目的として 2008 年 5-10 月と 2013 年 3 月に行った。また、ビオトープ池と排水路間での魚類を介した幼生の移動状況を明らかにするため、2008 年の調査時にはビオトープ池と排水路の間に設置された魚道の遡上・降下魚も対象とした。

2008 年の調査では、5 月から 10 月にかけて月に一度、ビオトープ池、排水路、魚道上部（ビオトープ池側）、魚道下部（排水路側）において魚類を採捕し、イシガイ類幼生の寄生状況を調べた。魚類が多数採捕された場合は、1 種につき 15 尾をサンプル数の上限とした。魚類の採捕は、ビオトープ池ではカゴ網、排水路では定置網を用い、魚道上部ではそで付き胴網を用いて遡上魚を、魚道下部ではサデ網とカゴ網をつなぎ合わせることで出口の形状に合うように作成した網を用いて降下魚を採捕した。調査対象魚種は、2007 年 7 月におけるビオトープ池の生息魚種の種構成割合（Fig.2-12）より、生息割合が高く、ビオトープ池内でのイシガイ類の繁殖への関与が大きいと考えられる 6 魚種（ギンブナ、タイリクバラタナゴ、オイカワ、ヌマムツ、モツゴ、タモロコ）とした。なお、ビオトープ池に生息する魚種の中で、既往研究により本研究で対象としたイシガイ類の宿主であると報告

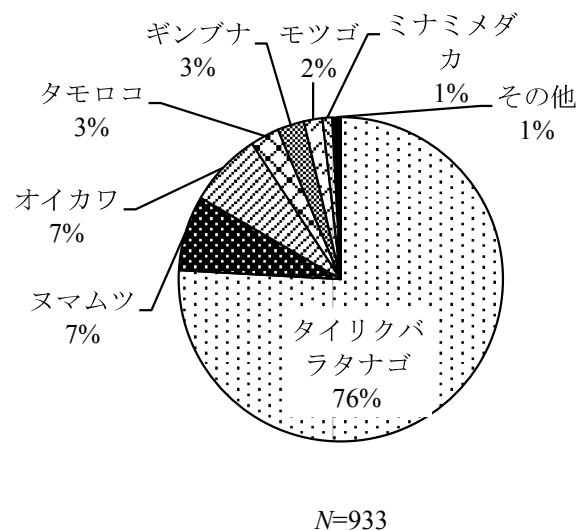


Fig.2-12 ビオトープ池の生息魚種の種構成割合（2007 年 7 月）（新井，2008）

されているヨシノボリ類およびドジョウ (Kondo, 2008 ; 伊藤ら, 2003) は, ビオトープ池に生息してはいるもののその数が極めて少ないために調査対象からは除外した. 採捕した魚類は現地にて 10%ホルマリンもしくは 90%エタノールを用いて固定した. 固定した魚は実験室に持ち帰り, 実体顕微鏡 (20-28 倍) および生物顕微鏡 (200 倍) を用いて寄生状況を確認した. イシガイ類幼生が寄生するのは魚体の中でも主に鰓および鰭であることから (福原ら, 1986 ; Kondo, 1987 ; 伊藤ら, 2003), 寄生状況を確認する部位は, 胸鰭, 腹鰭, 背鰭, 尻鰭, 尾鰭, 鰓および鰓蓋の内側の計 7 か所とした. 寄生していたイシガイ類幼生は接眼マイクロメータの下で殻長および殻高を測定し, 種を同定した.

2013 年には, 冬季繁殖型 (福原ら, 2013) のフネドブガイが寄生する魚種を明らかにすることを目的として, 3 月に調査を行なった. フネドブガイ幼生はイシガイ類幼生の中で比較的大きく (Kondo, 2008), 肉眼でも観察可能であることや, 鰭にも寄生すること (Kondo, 2008) から, ビオトープ池において魚類を採捕し, 現地で観察水槽を用いて魚類の各鰭および体表面における幼生の寄生状況を目視にて観察した. 対象は調査時に採捕したすべての魚種とした.

2.2.4 寄生実験

調査地に生息する魚類のイシガイ類 3 種 (イシガイ, トンガリササノハガイ, フネドブガイ) の宿主としての生理的適性を明らかにすることを目的として行なった. 実験に用いた魚種はギンブナ, タイリクバラタナゴ, オイカワ, ヌマムツ, モツゴ, タモロコ, ゼゼラ, カマツカ, ドジョウ, シマドジョウ類 (シマドジョウおよびトウカイコガタスジシマドジョウ), カワヨシノボリ, スナヤツメの 12 分類群である. シマドジョウおよびトウカイコガタスジシマドジョウは外見による識別が困難であることから, シマドジョウ類として扱った. 各種の実験期間および使用魚種を **Table 2-2** に示す.

供試魚はビオトープ池および隣接排水路でタモ網やサデ網, カゴ網を用いて採取し, 実験室に持ち帰り, 幼生を寄生させる前に最低 2 週間予備飼育した. 予備飼育は, 現地で採取した魚にすでにイシガイ類幼生が寄生している可能性があったことから, それらを脱落させるために行なった. 予備飼育には実験水槽 (21 L) を用いた (**Fig.2-13**). 実験水槽は,

13 個の飼育水槽，濾過槽，紫外線殺菌灯およびクーラーを連結したもので，それぞれの飼育水槽の水は水槽上部に連結したホースから濾過槽へオーバーフローして流入する．濾過槽には砂利および砂を入れてあり，水は重力式に濾過される．濾過された水は紫外線殺菌灯およびクーラーを通り各水槽へ流入する．これにより各水槽を同じ水質・水温に保つことが可能となる．予備飼育期間中，魚には 1-2 日おきに人工飼料を与えた．また，予備飼育終了後は各魚種 2 尾を解剖し，イシガイ類幼生の寄生がないことを確認した．

Table 2-2 寄生実験期間と使用魚種

対象種	実験期間	使用魚
イシガイ	2011 年 9 月 13 日 ～9 月 27 日	ギンブナ，タイリクバラタナゴ，オイカワ，ヌマムツ，モツゴ，タモロコ
	2012 年 5 月 17 日 ～5 月 31 日	ゼゼラ，カマツカ，ドジョウ，シマドジョウ類，カワヨシノボリ，スナヤツメ
トンガリ ササノハガイ	2012 年 8 月 23 日 ～9 月 6 日	ギンブナ，タイリクバラタナゴ，オイカワ，ヌマムツ，モツゴ，タモロコ，ゼゼラ，カマツカ，カワヨシノボリ，スナヤツメ
	2013 年 6 月 5 日 ～6 月 19 日	ヌマムツ，ドジョウ，シマドジョウ類，カワヨシノボリ
フネドブガイ	2012 年 2 月 27 日 ～3 月 28 日	ギンブナ，タイリクバラタナゴ，オイカワ，ヌマムツ，モツゴ，タモロコ，ゼゼラ，カマツカ，ドジョウ，シマドジョウ類，カワヨシノボリ，スナヤツメ

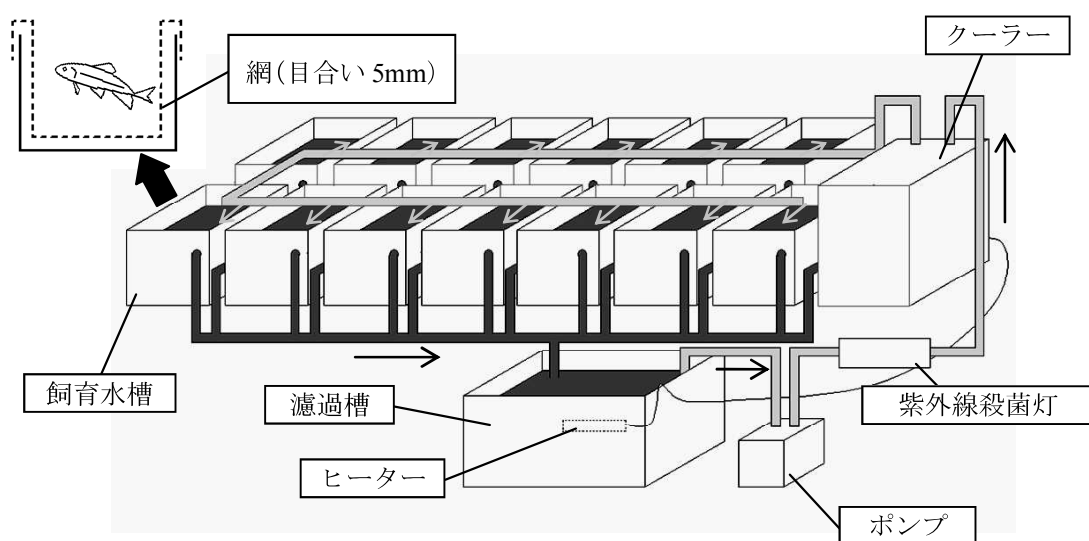


Fig.2-13 実験水槽概要図

実験に用いたイシガイ類幼生は、ビオトープ池に生息する妊卵個体から得た。各種の繁殖期にビオトープ池において貝を採取し、スパチュラを用いて殻を少し開き妊卵状態を確認した。その結果、鰓が褐色で膨らんでおりグロキディウム幼生を持つことを確認した個体を実験室に持ち帰り、エアレーションを行なった水槽内で幼生を放出するまで飼育した。放出された幼生は、Zale and Neves (1982) を参考に、一部を採取して食塩水に入れ、殻を閉じることを確認して活性を確かめた。さらに、すでに宿主魚種であることが明らかになっているヨシノボリ類 (Kondo, 2008) の近縁種であるカワヨシノボリに一部の幼生を寄生させ、魚への寄生能力を持つことを確かめた後に実験に使用した。

水深 20cm とした水槽 (30×60×30cm) に幼生とすべての供試魚を入れ、約 10 分間寄生させた。寄生中は水槽内の幼生が懸濁状態となるようにエアレーションで攪拌した。寄生後は供試魚を再び魚種別に実験水槽に入れ飼育した。水槽の内側には目合い 5mm の網を設置し、脱落した幼生や稚貝を供試魚が捕食しないようにした (Fig.2-13)。実験期間中の水温は実験時期におけるビオトープ池の水温を参考に、イシガイおよびトンガリササノハガイでは 25℃、フネドブガイでは 15℃とした。供試魚には 1-2 日おきに人工飼料を与えた。寄生後、24 時間ごとに水槽内のすべての水をプランクトンネット (目合い 100μm) を用いて濾し、魚体から脱落してくる幼生および稚貝を採取した。採取した幼生や稚貝は実体顕微鏡 (20-28 倍) および生物顕微鏡 (200 倍) を用いて未変態の幼生と変態した稚貝に区別して観察、計数した。変態稚貝の判断は、グロキディウム幼生期の殻の内側に新しい殻が形成されていること (福原ら, 1990) や、殻を開閉させたり、さかんに足を伸ばす動作がみられること (Rogers and Dimock, 2003 ; Itoh et al., 2010 ; Akiyama, 2011) を基準として行なった。実験終了後には各魚種 3 尾を解剖し魚体における残存幼生の有無を確認した。

2.2.5 宿主魚種 3 種の移動調査

寄生状況調査および寄生実験によりイシガイ類幼生の宿主であることが明らかになったヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリについて、夏季繁殖型のイシガイ類幼生の寄生期間中の移動距離を明らかにするため、2009 年 8 月および 2012 年 9 月に標識再捕獲法を用いた移動調査を行った。

2009 年 8 月にはヌマムツ、2012 年 9 月にはヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリを対象とした。供試魚は調査地区内の排水路および管瀬川においてサデ網やカゴ網、定置網を用いて採捕した。採捕した個体は NMT 社製イラストマー蛍光タグを用いて標識付けを行った後、管瀬川に放流した。放流地点は、ビオトープ池横の排水路と管瀬川の合流点を起点として、2009 年には上流側 4 地点 (300m, 600m, 900m, 1,178m) と下流側 7 地点 (300m, 600m, 900m, 1,200m, 1,800m, 2,400m, 3,000m) の計 11 地点とした。2012 年には下流 2,300m 地点に位置する水門が閉じており、魚の移動が不可能な状態であったため 2009 年と同様の上流側 4 地点と、下流側は 1,800m までの 5 地点に水門手前の 2,300m 地点を加えたの計 10 地点とした (Fig.2-16)。上流側には 1,178m 地点に魚の移動に影響を及ぼすと考えられる落差工が存在したため、この地点を最上流地点とした。放流個体数は 2009 年ではヌマムツ各地点 50 尾、計 550 尾、2012 年ではヌマムツ各地点 20 尾、計 200 尾、オイカワ各地点 22 尾、計 220 尾、カワヨシノボリ各地点 20 尾、計 200 尾とした。放流の際は地点ごとに供試魚の体長が偏らないよう、現地で採捕した供試魚の体長分布を考慮して各地点における放流個体の体長および尾数が同程度となるようにした。また、放流地点を判別するため、放流地点ごとにタグの色と標識部位の組み合わせを変えた。放流個体の体長分布を Fig.2-17 に示す。

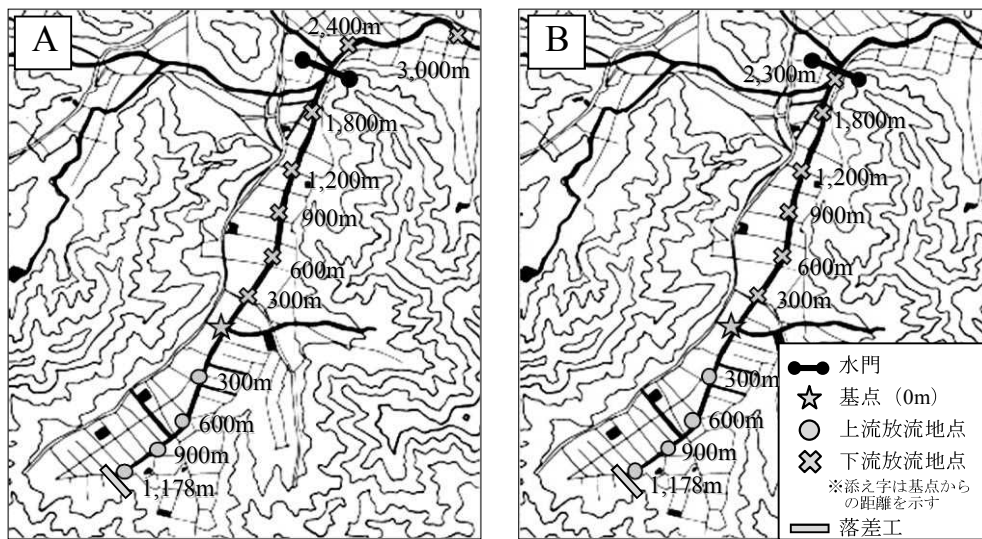


Fig.2-16 管瀬川における標識再捕獲調査の際の宿主魚放流地点

A : 2009 年, B : 2012 年

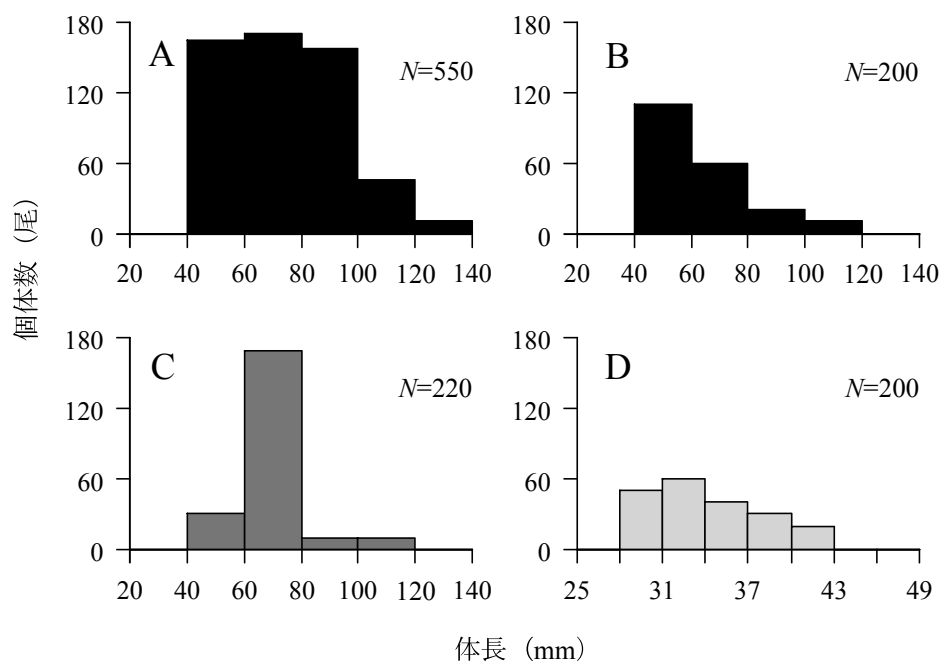


Fig.2-17 管瀬川における標識再捕獲調査の放流個体の体長分布

A : 2009 年ヌマムツ, B : 2012 年ヌマムツ,
C : 2012 年オイカラ, D : 2012 年カワヨシノボリ

放流後の再捕獲は、管瀬川は川幅が広く再捕獲率が低くなることが予想されたため、管瀬川と排水路の合流点より約 5m 上流の排水路内に定置網を設置することにより行なった (Fig.2-18)。定置網はそで網を水路幅いっぱいに広げ、設置地点より上流に魚が移動しないように固定した。定置網は 24 時間ごとに引き上げ、各放流地点から移動してくる標識個体を確認した。イシガイ類幼生の寄生期間は水温の影響を受け、一般に水温が高ければ寄生日数は短く、低ければ長くなり、両者の関係は Kondo (2008) によって数式化されている。調査時期における調査地の平均水温は約 25℃であり、これを用いて本調査地に生息するイシガイ類幼生の寄生期間を計算すると 7 日となったことから、再捕獲期間は 7 日間とした。調査期間中に定置網で採捕した魚はすべて種を同定し、体長を計測した。再捕獲した標識個体は体長とタグの色および部位を記録し、後日の調査での重複計測を防ぐための目印として右腹鰭の先端を切除した後に、排水路の定置網設置場所よりも上流部に放流した。ただし、2009 年の調査では調査期間のうち 3 日間は他の調査との兼ね合いにより定置網が設置できたのが 24 時間中 10 時間であり、標識個体が定置網設置地点より上流部へ移動した可能性が考えられた。そのため、これらの日の翌日には定置網による採捕に加え、定置網設置地点からその上流部を追い込み区間として、サデ網を用いた追い込み調査を行なった (Fig.2-18)。追い込み調査で採捕した魚はヌマムツのみ個体数と体長を計測し、標識個体はタグの色と部位を記録し、右腹鰭の先端を切除して定置網設置個所よりも上流部に放流した。なお、追い込み調査で採捕した標識個体は基点までを移動したものとみなし、放流地点から基点までの距離を移動距離とした。



Fig.2-18 管瀬川における標識再捕獲調査の再捕獲地点と追い込み区間

第3章 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の生息状況

ビオトープ池におけるイシガイ類の生息状況と再生産状況を明らかにするため、2008 年 3 月から 2013 年 11 月にかけて計 19 回生息状況調査を行なった。その結果、ビオトープ池においては、イシガイ、トンガリササノハガイ、フネドブガイ、マツカサガイ、ドブガイ類の 5 分類群のイシガイ類が採捕された。このうち、ドブガイ類は 2011 年 11 月の調査で 1 個体が採捕されたのみであったため、以降では解析の対象としない。また、ビオトープ池では 2009 年と 2011-2012 年にかけて改修工事が行なわれた。その際、貝は工事前に採捕し、2009 年では実験室で、2011-2012 年では大学内試験圃場のハウス内に造成した池で飼育し、工事完了後の 2009 年 7 月と 2012 年 5 月にそれぞれ再放流した。2009 年 7 月ではビオトープ池西側と東側で各種の個体数密度と殻長分布が同程度となるよう考慮して放流した。また、2011-2012 年の改修工事以降、東側では全面でイネの作付が行なわれる予定であったことから、2012 年 5 月にはすべての個体を西側にのみ放流し、以降の調査も西側でのみ行なった。以下では、採捕数変動、殻長分布、成長率および妊卵状況を示し、ビオトープ池におけるイシガイ類の再生産状況を考察する。

3.1 採捕数変動

各調査におけるイシガイ類の採捕数を **Fig.3-1** に示す。全調査を通じて最も多く採捕されたのはイシガイであり、ビオトープ池の優占種であった。次いで多かったのはトンガリササノハガイおよびフネドブガイで、マツカサガイは最も少なく、調査期間を通して種構成割合に大きな変化はみられなかった。2009 年の改修工事以降は、イシガイの採捕数が西側で増加する傾向がみられた一方で、東側では 2009 年 11 月にかけて減少し、その後横ばいで推移した。トンガリササノハガイ、フネドブガイおよびマツカサガイは採捕数の大きな変化はみられなかった。2011-2012 年の改修工事後では、西側においてすべての種の採捕数が減少した。なお、2012 年 5 月の放流時において 2011 年 11 月よりも個体数が多いのは、2011 年 11 月の調査以降に数回イシガイ類の採捕を行ない、その際に採捕された個体も含めて放

流したためである。採捕数の減少はとくに 2013 年 11 月の調査において顕著であった。

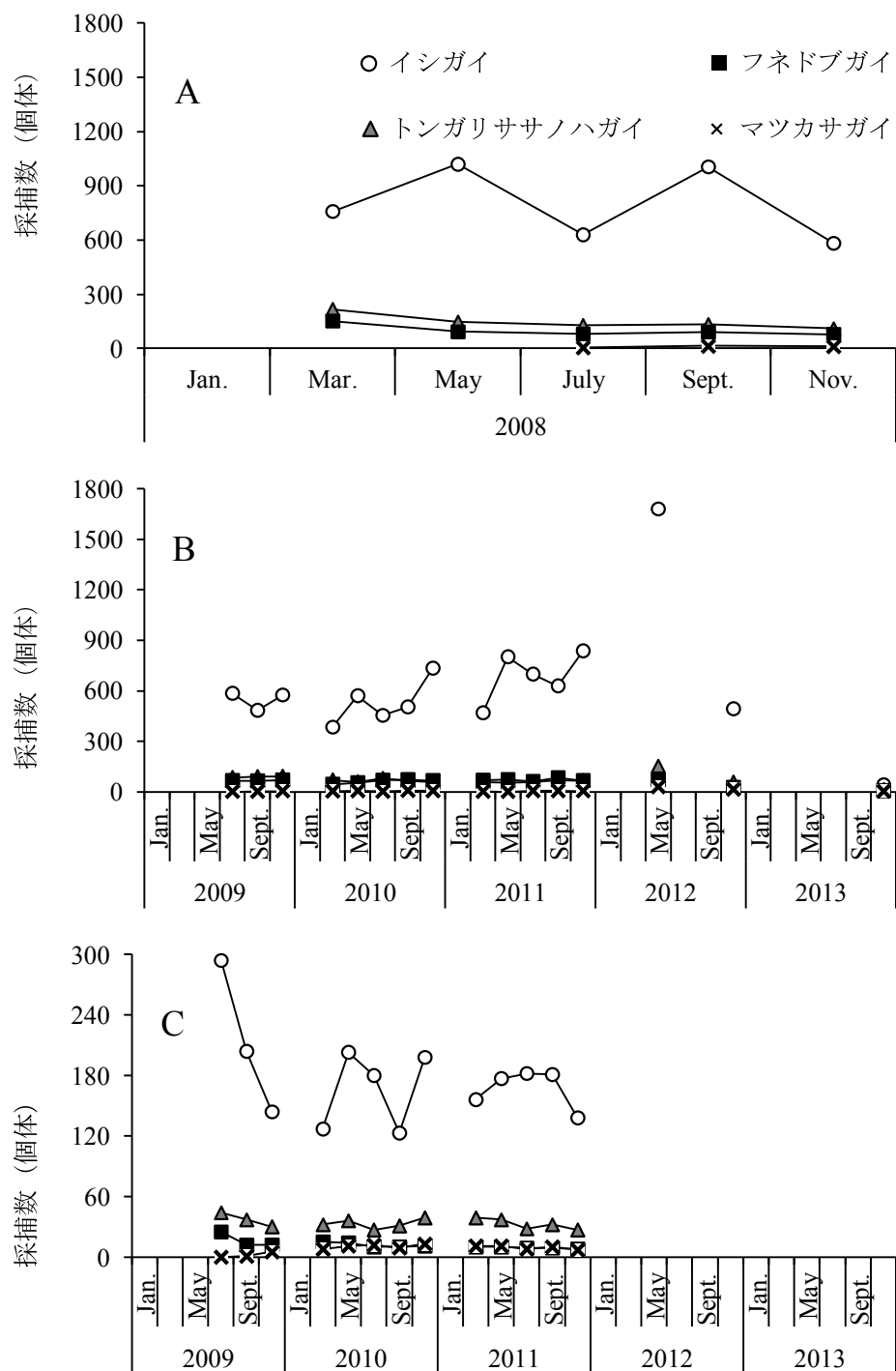


Fig.3-1 ビオトープ池におけるイシガイ類の採捕数変動

A : 2008 年, B : 2009 年-西側, C : 2009 年-東側

3.2 殻長分布

(1) イシガイ

2008 年 3 月では 60.0-65.0mm にピークをもつ右寄りの分布を示した。その後ピークは小型化し, 11 月には 40.0-50.0mm となった(**Fig.3-2**)。また, すべての調査時に, 殻長 10.0-20.0mm の個体が採捕された。

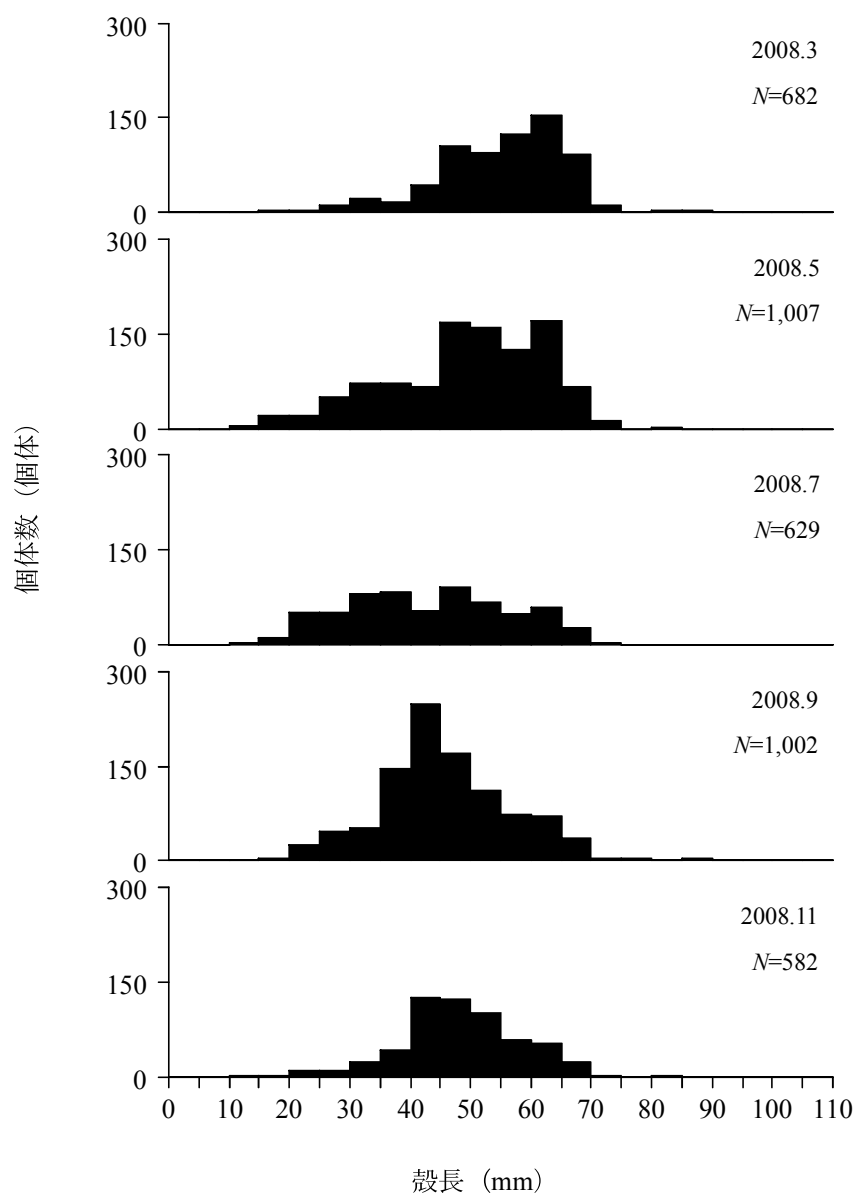


Fig.3-2 ビオトープ池におけるイシガイの殻長分布 (2008 年)

2009 年以降の殻長分布を **Fig.3-3** に示す。西側においては、2009 年 7 月に放流した個体は 45.0-50.0mm にピークをもつ分布を示した。その後、ピークは大型化し、2010 年 5 月には 2008 年 3 月と同様に 60.0-65.0mm となり、その後の推移はみられなかった。また、放流時の殻長グループとは別に、2009 年 9 月には殻長 15.0-20.0mm の個体が出現した。このグループは放流後に定着したと考えられ、殻長ピークは 2010 年 3 月には 20.0-25.0mm, 5 月には 25.0-30.0mm, 7 月には 30.0-35.0mm, 9 月には 40.0-45.0mm に推移し、放流時の殻長グループと混合した。また、2010 年 9 月から 2011 年 11 月にかけては 2011 年 3 月を除いていずれの調査時においても殻長 10.0-20.0mm の個体が採捕された。2011 年 3 月および 5 月には、殻長 60.0-65.0mm にピークをもつ右寄りの殻長分布を示し、7 月以降は明確なピークが見られなくなった。一方、東側においては、2009 年の改修工事後に放流した個体は西側と同様に 45.0-55.0mm にピークをもつ分布を示したが、その後、西側にみられたような殻長ピークの大型化は確認されなかった。また、2011 年 7 月および 9 月に殻長 40.0mm 前後の新規定着個体が採捕されているものの、西側においてみられたような新規定着個体の殻長グループの形成や、各調査時において殻長 10.0-20.0mm の個体が採捕されることはなかった。

2012 年 5 月に西側に放流した個体は 50.0-55.0mm にピークをもつ分布を示したが、放流後は個体数の減少が顕著であり、また、2008 年や 2009-2011 年にみられた殻長 10.0-20.0mm の個体も採捕されなかった。

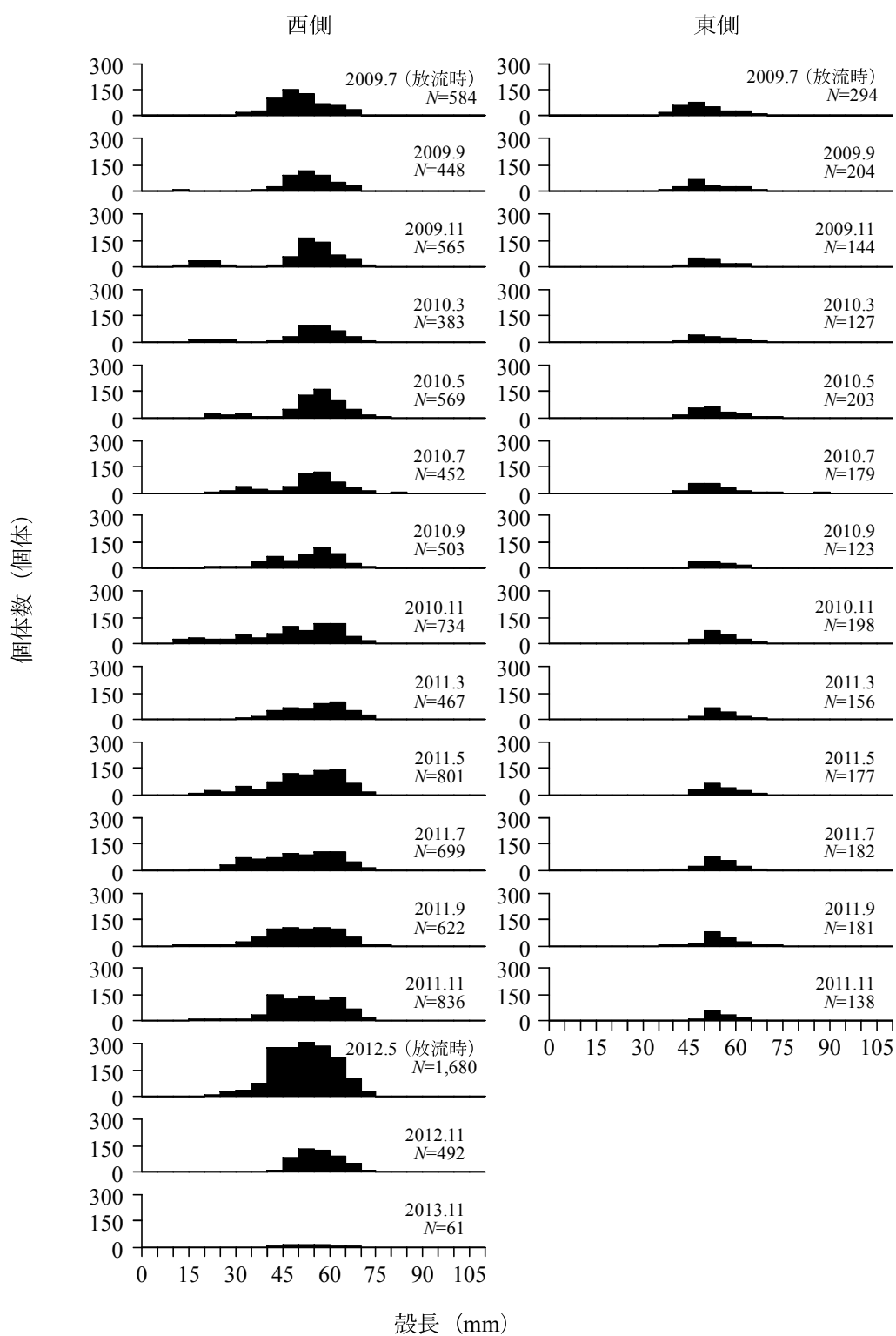


Fig.3-3 ビオトープ池西側および東側におけるイシガイの殻長分布 (2009-2013 年)

(2) トンガリササノハガイ

2008 年では 85.0-90.0mm にピークをもつ右寄りの殻長分布を示しており、その後も同様の傾向を示した (Fig.3-4). 明確な殻長グループではないが、2008 年 3 月において殻長 25.0-40.0mm のグループ、60.0-65.0mm と 90.0-95.0mm にそれぞれピークをもつグループが存在し、その後前者 2 つのグループは成長し、2008 年 9 月においては 50.0-55.0mm と 70.0-75.0mm にそれぞれピークが推移した.

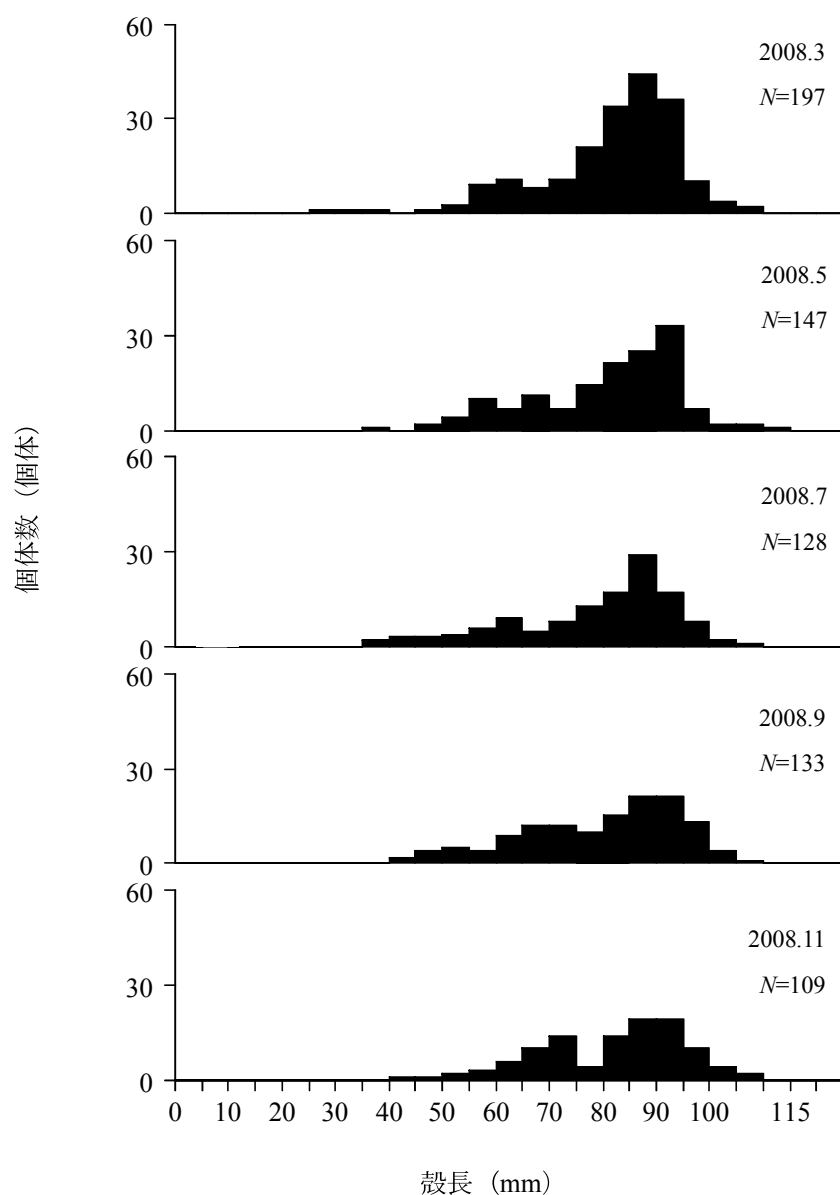


Fig.3-4 ビオトープ池におけるトンガリササノハガイの殻長分布 (2008 年)

トンガリササノハガイの 2009 年以降の殻長分布を **Fig.3-5** に示す。西側においては 2009 年 7 月の放流時には 90.0-95.0mm をピークとする右寄りの分布を示しており、その後ピークの推移はみられなかった。トンガリササノハガイでは改修工事後もイシガイのような新規定着個体の明確な殻長グループの出現はみられなかったが、2010 年 7 月や 2011 年 5-11 月には放流時の個体よりも殻長が小さい新規定着個体が採捕された。一方、東側では、2009 年 7 月の放流時は 85.0-90.0mm をピークとする分布であり、その後も分布傾向の大きな変動はみられなかった。また、東側においても 2010 年 7 月に放流時の個体よりも殻長が小さい個体が採捕されたが、その個体は過去に標識をつけられたものであり、改修工事前にイシガイ類を採捕した際に取り残した個体であった。

2012 年 5 月に西側に放流した個体は 80.0-85.0mm にピークをもつ右寄りの分布を示した。しかし、その後は個体数が減少し、新規定着個体もみられなかった。

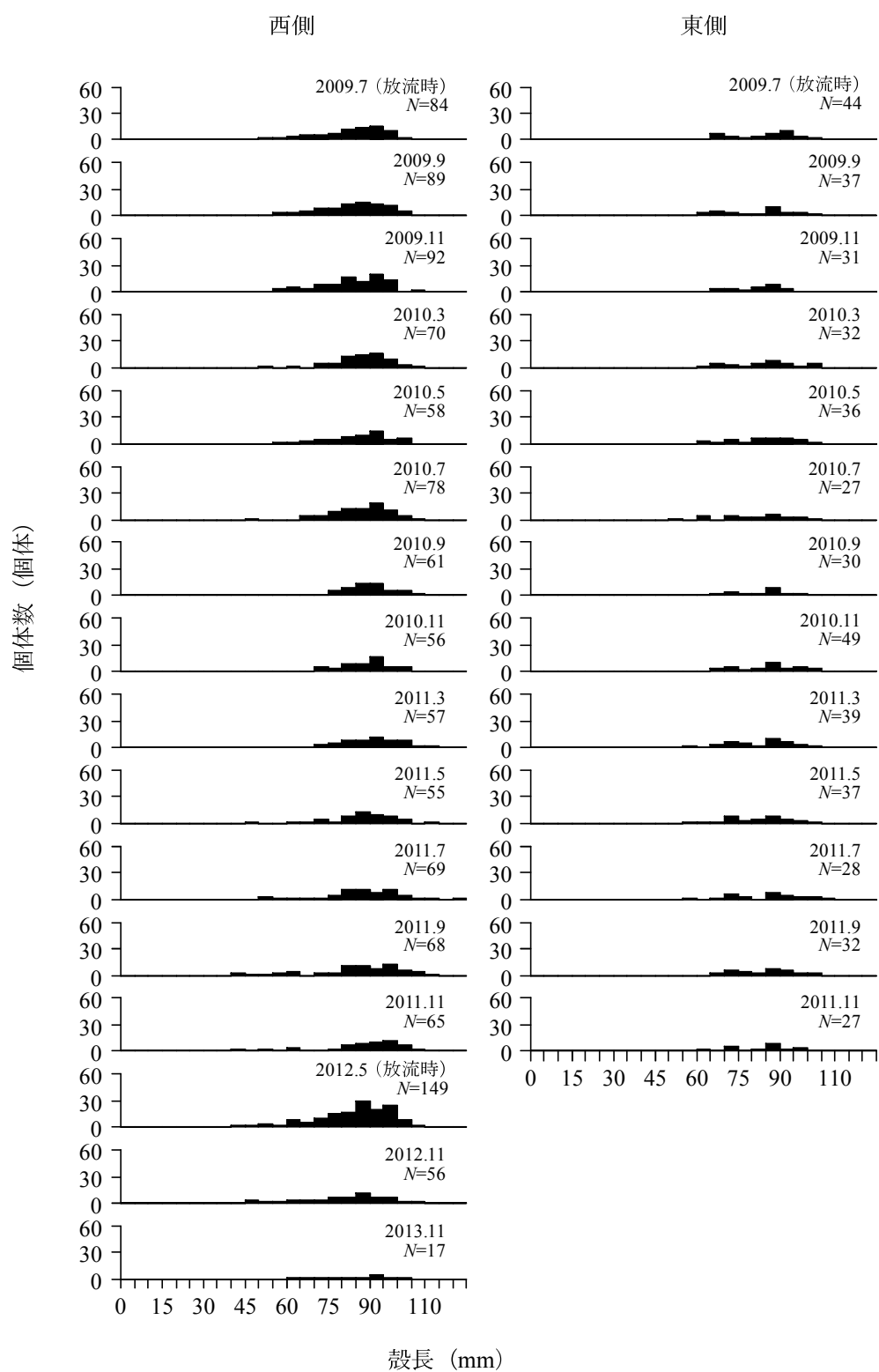


Fig.3-5 ビオトープ池西側および東側におけるトンガリササノハガイの殻長分布
(2009-2013 年)

(3) フネドブガイ

2008 年 3 月では 60.0-65.0mm と 85.0-90.0mm にそれぞれピークをもつ殻長グループが存在した。60.0-65.0mm にピークをもつ殻長グループは 5 月および 7 月には 65.0-70.0mm, 9 月には 70.0-75.0mm にピークが推移し, 11 月には 85.0-90.0mm にピークを持つ殻長グループと混合した (Fig.3-6)。

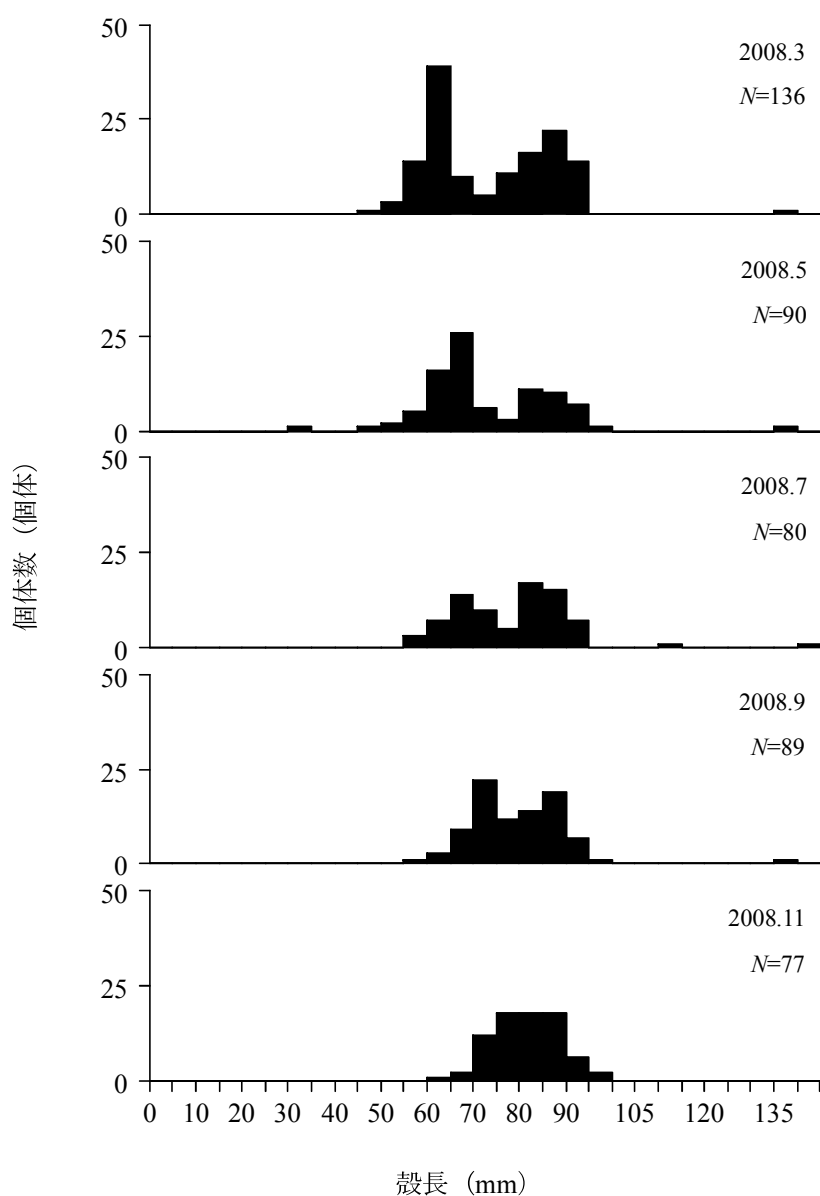


Fig.3-6 ビオトープ池におけるフネドブガイの殻長分布 (2008 年)

2009 年の改修工事後における殻長分布を **Fig.3-7** に示す. 2009 年 7 月に西側に放流した個体は 75.0-80.0mm にピークをもつ分布を示した. その後, 2010 年 7 月に新規定着個体と考えられる 30.0-50.0mm の個体が出現した. この殻長グループのピークは, 2011 年 11 月までに 70.0-75.0mm に推移した. また, 2011 年 7 月にも新規定着個体が出現し, 2011 年 11 月には, 放流時のグループと, 2010 年に出現したグループ, 2011 年に出現したグループがそれぞれ存在した. 一方, 東側では 2008 年や西側においてみられた殻長ピークの推移や新規個体の殻長グループの形成は確認されなかった.

2012 年 5 月に西側に放流した個体は, 明確でないものの, 50.0-55.0mm, 70.0-75.0mm, 85.0-90.0mm にそれぞれピークをもつ分布を示したが, それ以降は個体数の減少が顕著であり, 11 月には 75.0-80.0mm にピークが推移し, 2013 年 11 月には明確な殻長ピークはみられなくなった. また, 新規定着個体の出現もみられなかった.

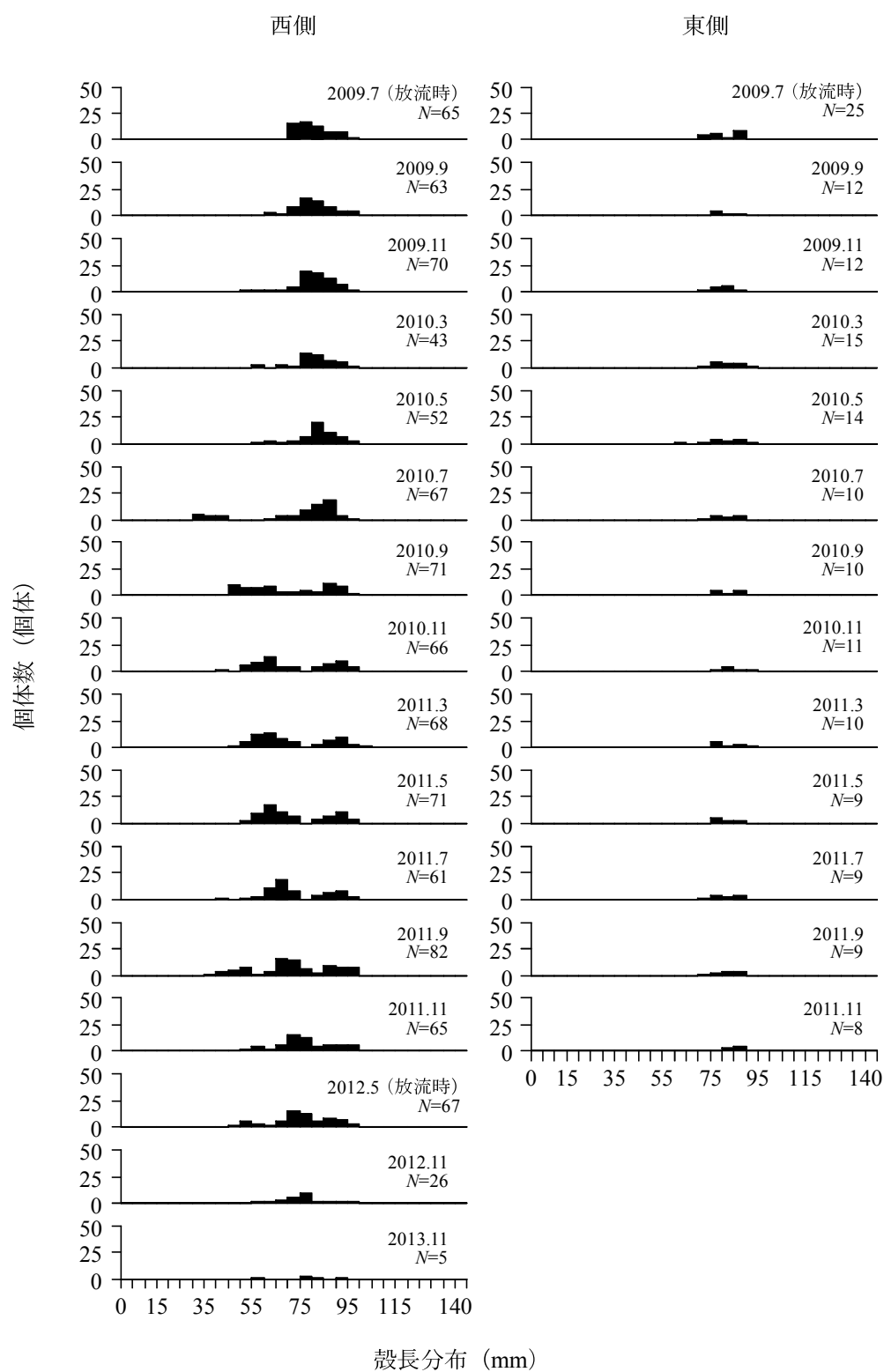


Fig.3-7 ビオトープ池西側および東側におけるフネドブガイの殻長分布 (2009-2013 年)

(4) マツカサガイ

マツカサガイの殻長分布を **Fig.3-8** に示す。マツカサガイは個体数が少なく，他の 3 種と比較して明確な殻長グループの形成はみられなかった。マツカサガイは 2008 年 7 月に初めてビオトープ池において採捕されたが，殻長にはばらつきがみられた。改修工事後，西側では 2010 年や 2012 年に，東側では 2011 年 9 月に殻長 25.0mm 前後の新規定着個体が確認された (**Fig.3-9**)。

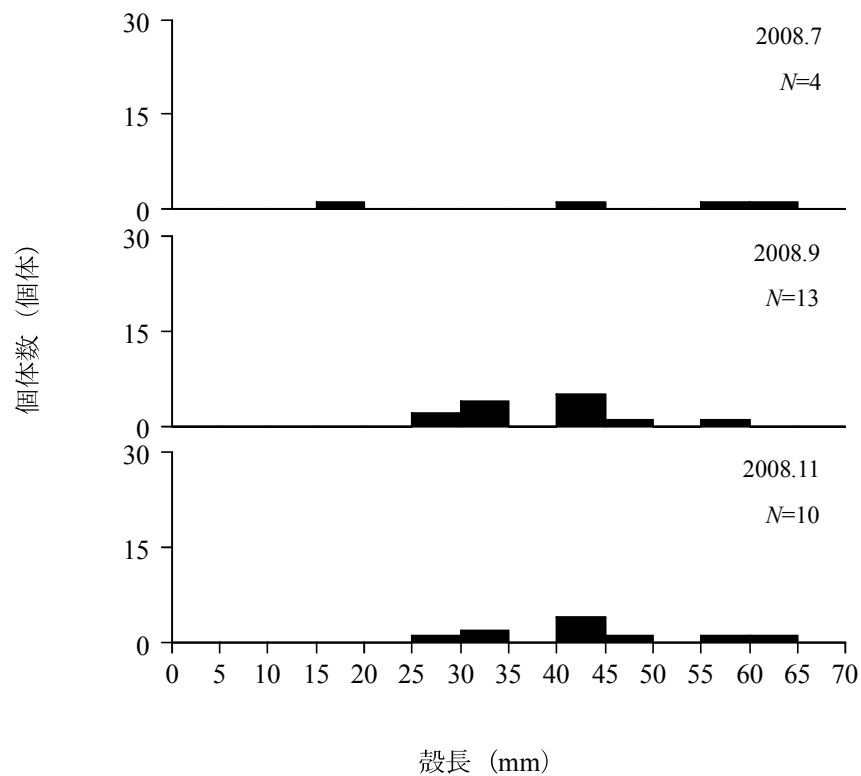


Fig.3-8 ビオトープ池におけるマツカサガイの殻長分布 (2008 年)

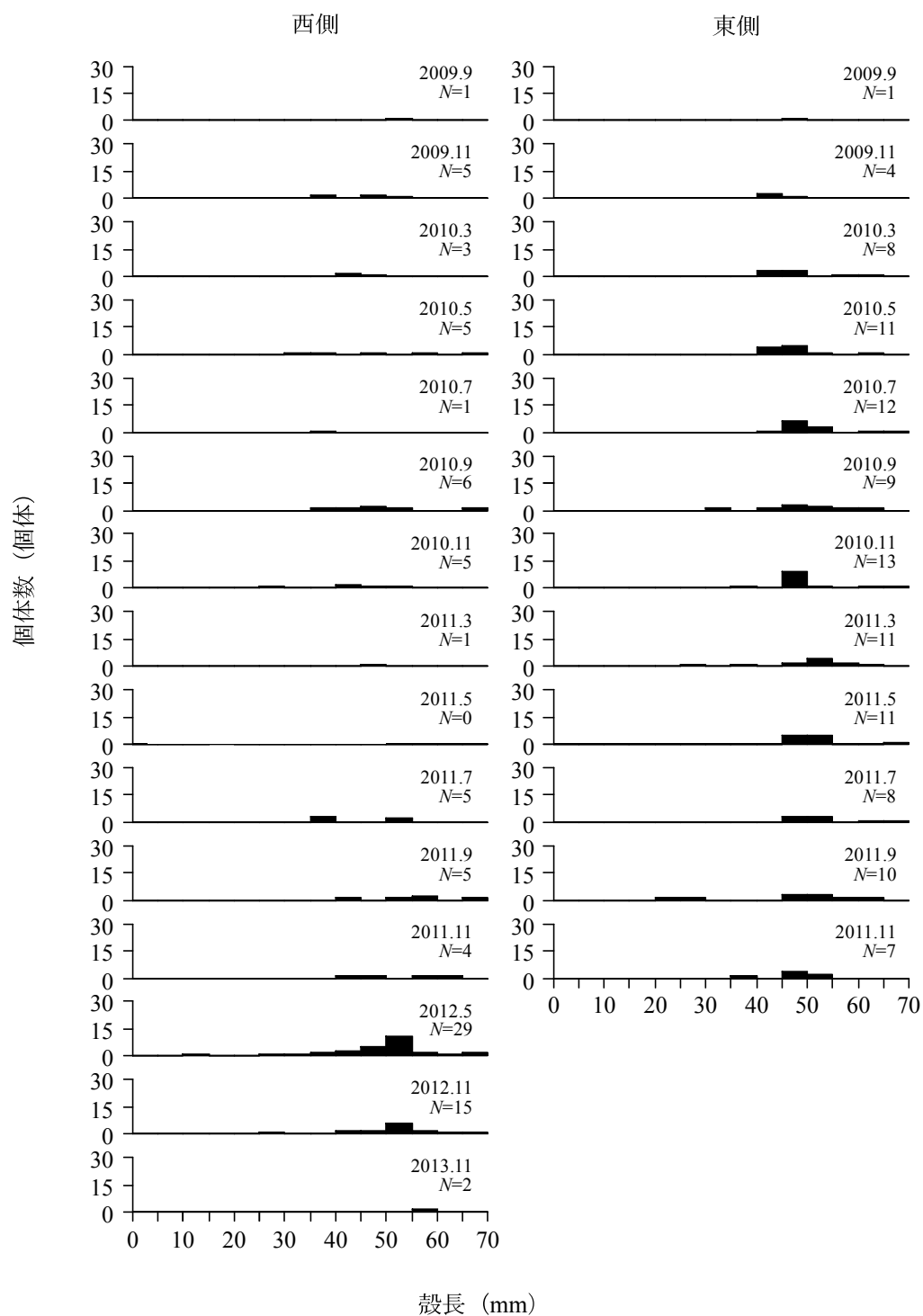


Fig.3-9 ビオトープ池西側および東側におけるマツカサガイの殻長分布 (2009-2013 年)

3.3 成長率

2008 年から 2012 年までの 11 月の調査時のデータを用いて 2008-2009 年, 2009-2010 年, 2010-2011 年, 2011-2012 年の 4 カ年の年間成長率を, 各年における各調査時のデータを用いて 3-5 月, 5-7 月, 7-9 月, 9-11 月, 11-3 月における時期別平均日成長率をそれぞれ求めた. 各成長率の算出には以下の式を用いた (Negishi and Kayaba, 2009).

$$\text{年間成長率} : G = 100(L_e - L_i)/L_i$$

G : 年間成長率 (%), L_e : 初回計測時の殻長 (mm),

L_i : 初回計測時から 1 年後に計測した殻長 (mm)

$$\text{日成長率} : G_{(t)} = \{100(L_{(t)} - L_{(t-1)})/L_{(t-1)}\}/T_{(t)}$$

$G_{(t)}$: 日成長率 (%), $L_{(t)}$: t 時における殻長 (mm), $L_{(t-1)}$: $t-1$ 時における殻長 (mm),

$T_{(t)}$: $t-1$ 時から t 時までの経過日数 (日)

(1) イシガイ

イシガイの年間成長率を **Fig.3-10** に示す. 成長率はいずれの年においても殻長が小さい個体ほど高く, 殻長が大きくなるほど指数関数的に低下した. 殻長が小さい個体が多数採捕された 2009-2010 年のビオトープ池西側においては, 殻長が 20.0mm より小さい個体 (15.5-19.5mm, $N=9$) の成長率は 178.7%であったが, 20.0-40.0mm の個体 (21.0-29.0mm, $N=10$) では 101.8%, 40.0-60.0mm の個体 (40.0-59.5mm, $N=97$) では 10.8%, 60.0mm 以上の個体 (60.0-73.0mm, $N=28$) では 4.1%と次第に低下した. 西側と東側においては西側の方が成長率が高い傾向がみられた. また, 西側と東側ともに年によって成長率に差がみられ, 西側では 2011-2012 年における成長率, 東側では 2009-2010 年の成長率が他の年と比較して低かった.

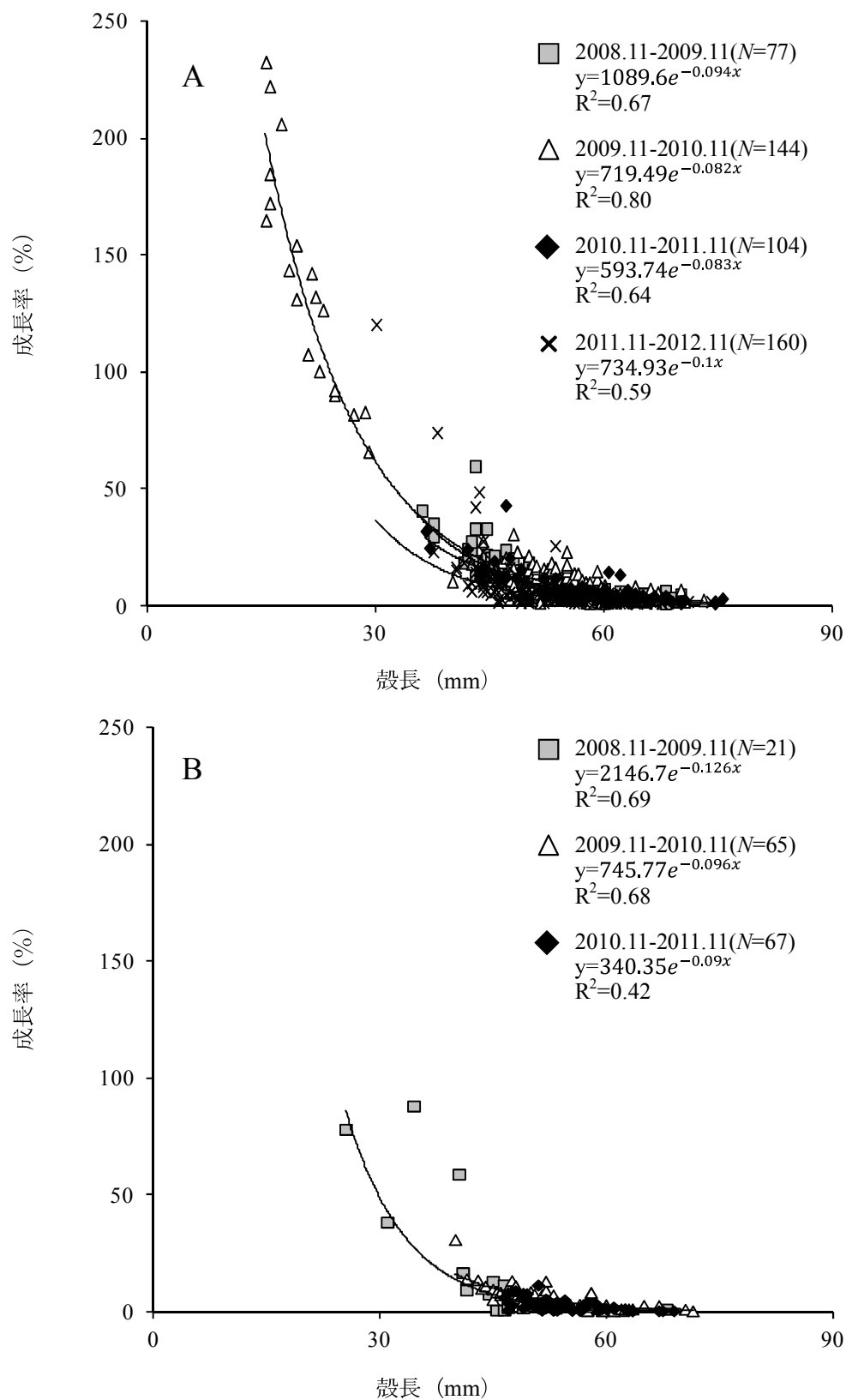


Fig.3-10 ビオトープ池西側と東側におけるイシガイの年間成長率

A : 西側, B : 東側

イシガイの時期別平均日成長率を **Fig.3-11** に示す. いずれの年においても成長率が高いのは 7-9 月にかけてであり, 3-5 月と 11-3 月では成長した個体もみられたものの, 他の時期と比較して成長率は低かった. また, 同程度の殻長であっても成長率には差がみられ, とくに 9-11 月にかけてはその差が大きかった. 西側と東側では, 3-5 月, 5-7 月, 11-3 月の成長率には差はみられなかったが, 7-9 月と 9-11 月の成長率が西側よりも東側で低い傾向がみられた.

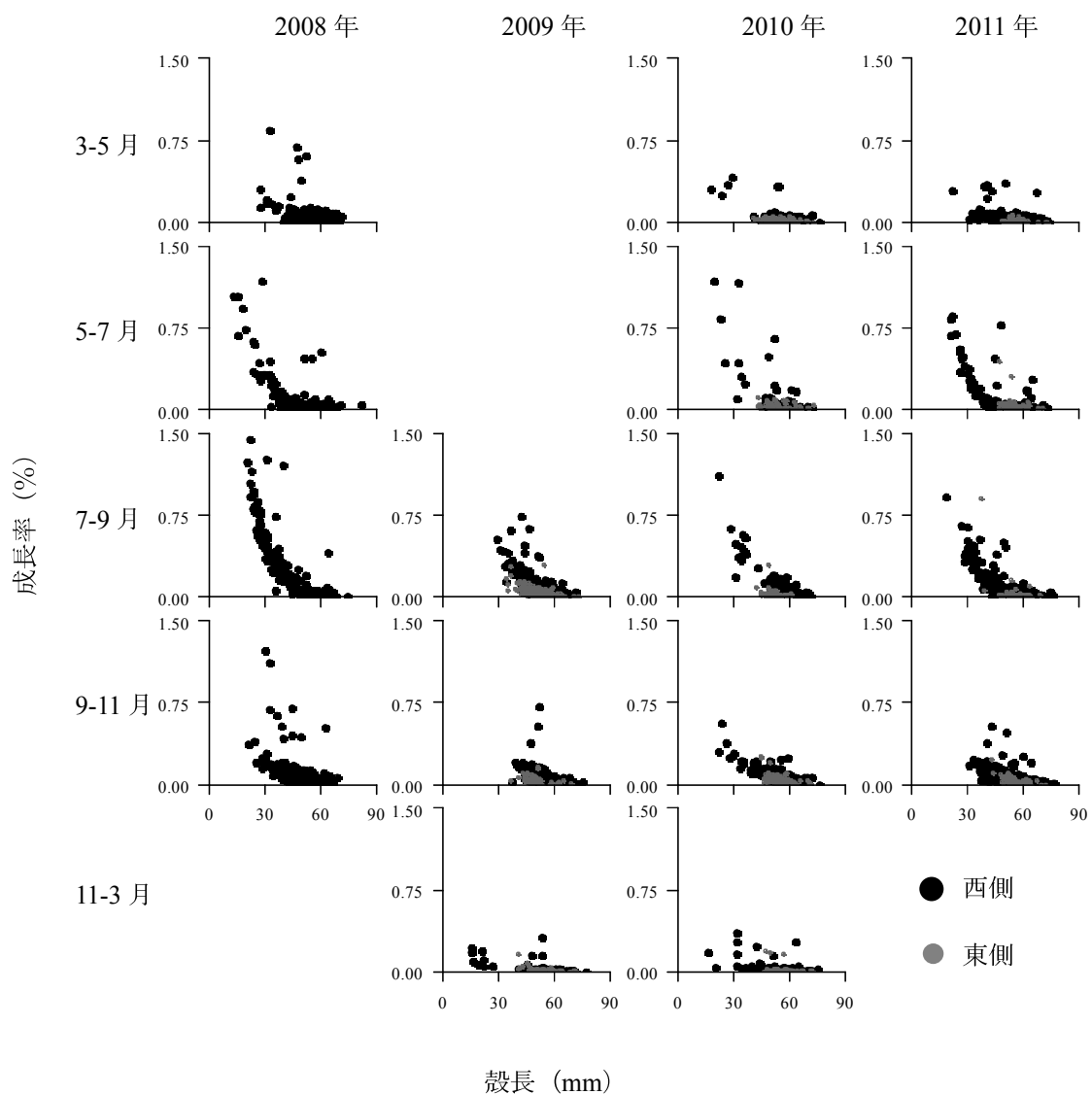


Fig.3-11 ビオトープ池におけるイシガイの時期別平均日成長率

(2) トンガリササノハガイ

トンガリササノハガイの年間成長率を **Fig.3-12** に示す。トンガリササノハガイにおいても殻長が小さいほど成長率が高い傾向がみられた。サンプル数が多かった 2009-2010 年における成長率は 60.0-80.0mm の個体 (61.0-78.5mm, $N=11$) で 14.4%, 80.0-100.0mm の個体 (80.0-99.0mm, $N=16$) では 4.5%であった。西側と東側では 2008-2009 年では東側の方が、その他の年では西側の方が成長率が高い傾向がみられた。西側においては、2008-2009 年と 2011-2012 年の成長率が低く、2010-2011 年と 2009-2010 年の成長率は高かった。一方、東側では年による成長率の大きな差はみられなかった。

トンガリササノハガイの時期別平均日成長率を **Fig.3-13** に示す。トンガリササノハガイにおいても最も成長率が高かったのは 7-9 月であり、3-5 月と 11-3 月では成長率は低かった。また、年間成長率が低かった 2008-2009 年の主な成長時期であると考えられる 2009 年 7-9 月においては、成長が良い個体もみられるものの、2008 年や 2010 年と比較して成長率が低い傾向がみられた。西側と東側では、2009 年 9-11 月や 2010 年 7-9 月、2011 年 7-9 月において、西側の方が成長率が高い傾向がみられた。また、イシガイと同様に同程度の殻長であっても成長率には差がみられた。

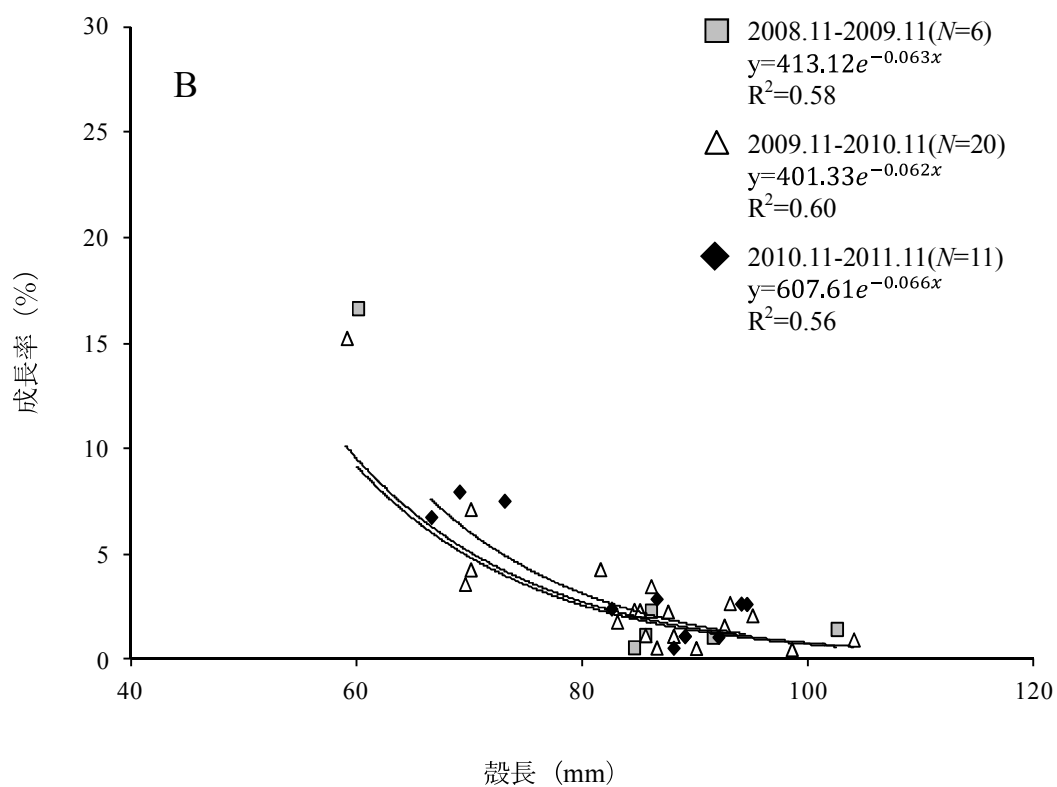
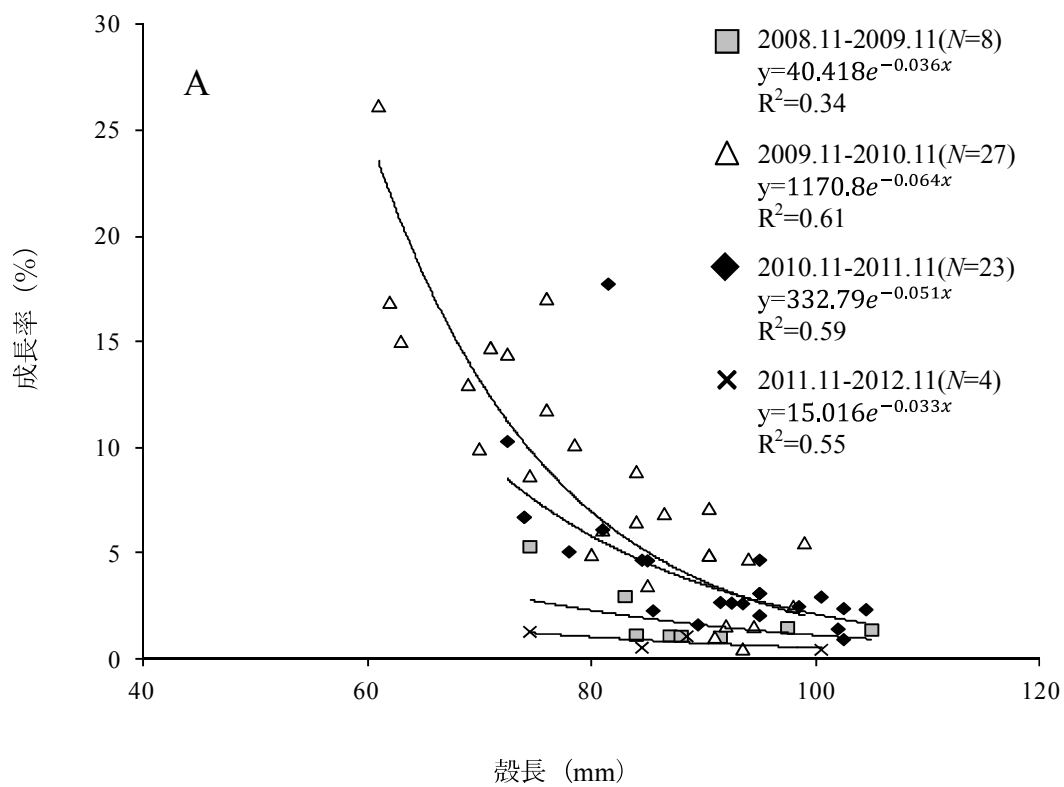


Fig.3-12 ビオトープ池西側と東側におけるトンガリササノハガイの年間成長率

A : 西側, B : 東側

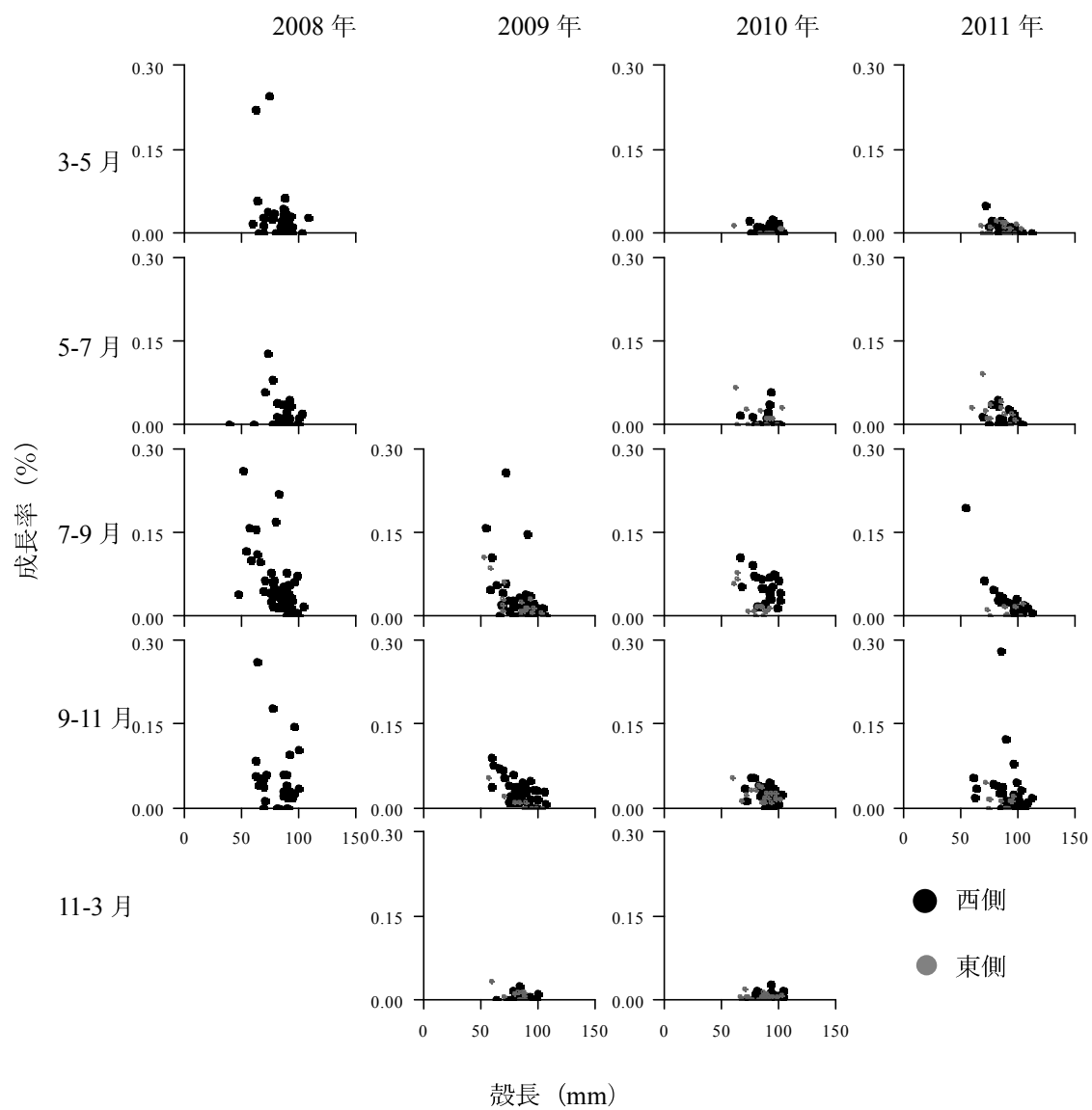


Fig.3-13 ビオトープ池におけるトンガリササノハガイの時期別平均日成長率

(3) フネドブガイ

フネドブガイの年間成長率を **Fig.3-14** に示す. フネドブガイは 2009 年 11 月の東側における再捕獲数が少なかったことから, 2008-2009 年の年間成長率の結果は西側のみ示した. 成長率は殻長が小さい個体ほど高かった. 最もサンプル数の多かった 2010-2011 年の西側においては, 殻長が 60.0mm より小さい個体 (53.0-59.0mm, $N=5$) で 26.9%, 殻長 60.0-80.0mm の個体 (60.0-75.0mm, $N=15$) で 16.7%, 殻長 80.0mm 以上の個体 (82.5-97.5mm, $N=12$) で 2.3%であった. 西側と東側では, 成長率は 2009-2010 年では西側の方が高かったが, 2010-2011 年では東側の方が高かった. ただし, 東側ではサンプル数が少ないことから, 成長率を過大評価している恐れがある. 西側においては, トンガリササノハガイと同様に 2009-2010 年, 2010-2011 年, 2008-2009 年, 2011-2012 年の順に成長率が高い傾向がみられた.

時期別平均日成長率を **Fig.3-15** に示す. フネドブガイは東側における採捕数が少ないことから成長率の時期別の傾向は明らかではなかった. 2008 年および西側においては, 7-9 月と 9-11 月にかけて成長率が高い傾向がみられた. しかし, トンガリササノハガイと同様に, 2009 年 7-9 月の成長率は他の年と比較して低かった. また, 11-3 月と 3-5 月ではいずれの年も成長率は低かった.

(4) マツカサガイ

マツカサガイは再捕獲数が少なく, 成長率は断片的にしか明らかにできなかった. 2009-2010 年では, 39.0mm の個体が 42.5mm に成長し, 成長率は 9.0%であった. 2010-2011 年では, 42.5mm の個体が 46.5mm に, 51.0mm の個体が 55.5mm に成長し, 成長率はそれぞれ 9.4%と 8.8%であった.

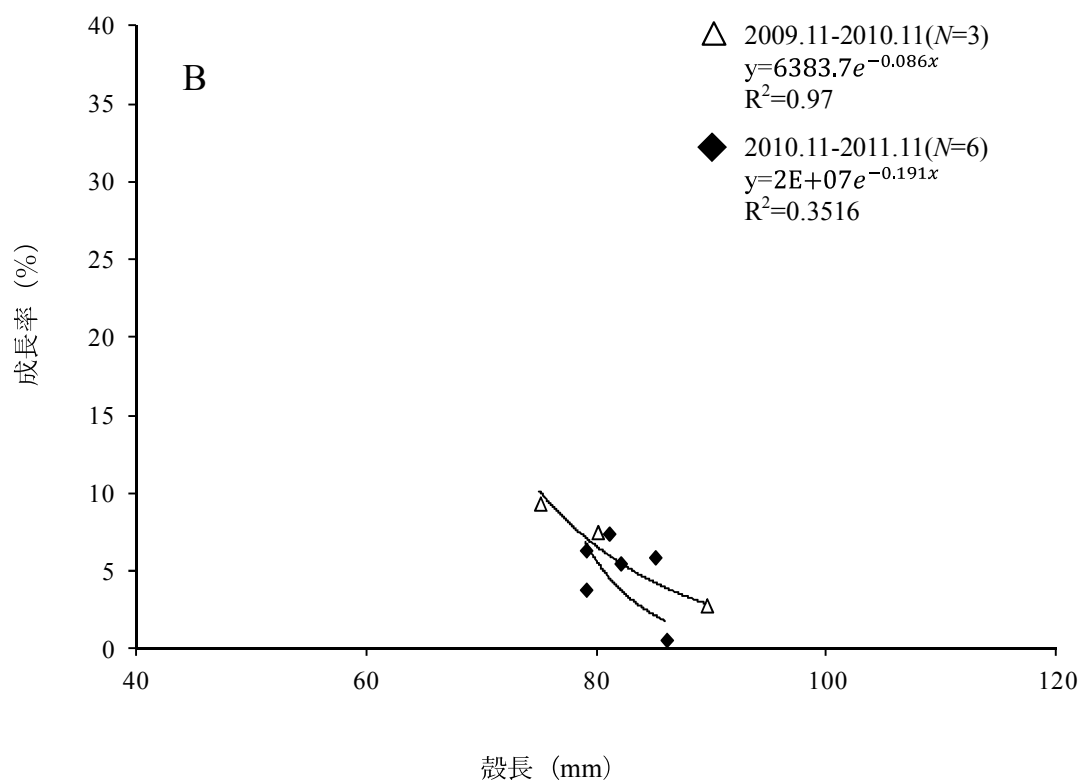
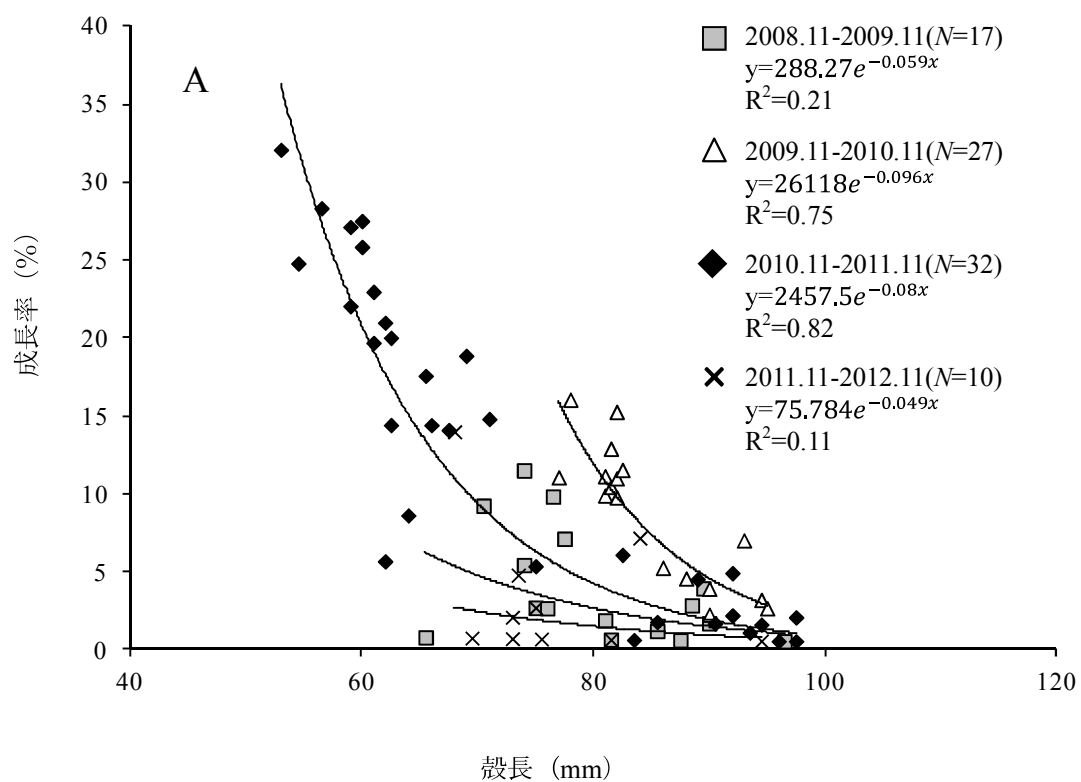


Fig.3-14 ビオトープ池西側と東側におけるフネドブガイの年間成長率

A : 西側, B 東側

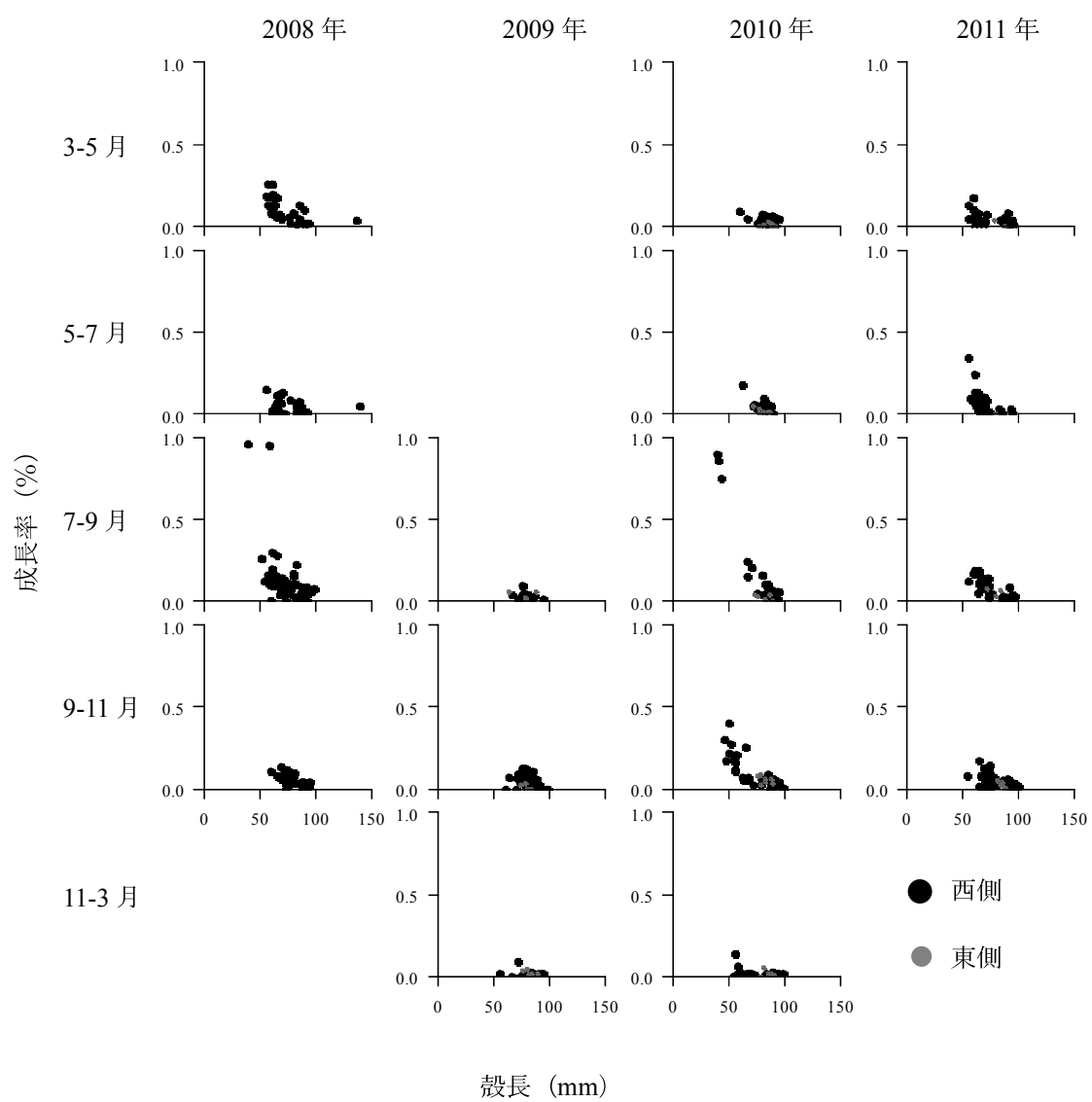


Fig.3-15 ビオトープ池におけるフネドブガイの時期別平均日成長率

3.4 2011 年 7 月の妊卵状況および生息密度

2011 年 7 月に行なった妊卵状況調査の結果を **Fig.3-16** に示す。イシガイの妊卵率は西側で 13%，東側で 53%，トンガリササノハガイは西側で 22%，東側で 29%であった。マツカサガイは西側では 0%，東側で 38%の個体が妊卵していた。すべての種で妊卵率は東側の方が高かった。フネドブガイは妊卵期が 9 月から 4 月であるために（福原ら，2013），妊卵個体は確認されなかった。

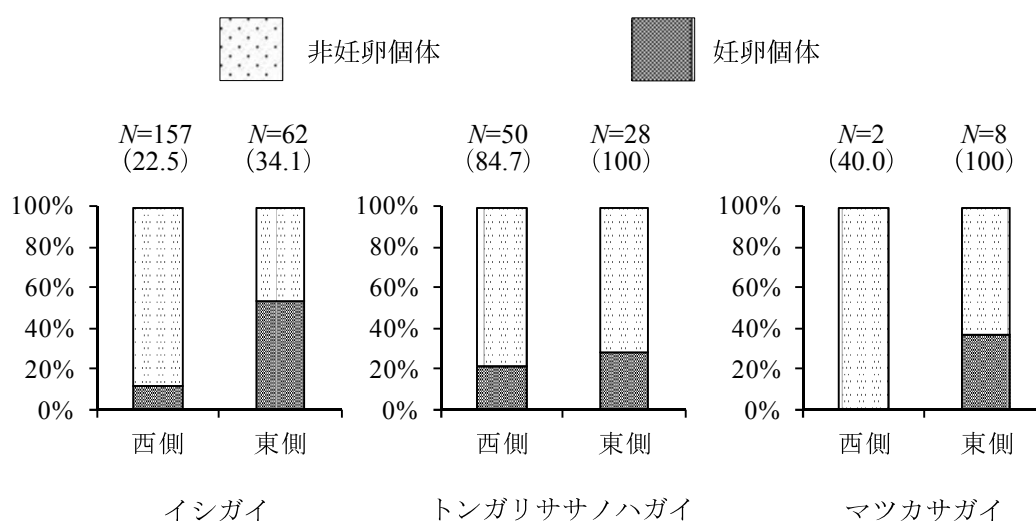


Fig.3-16 ビオトープ池西側と東側におけるイシガイ類 3 種の妊卵個体と非妊卵個体の比率

() 内は採捕個体のうち妊卵状況を確認した個体の割合を示す

イシガイ類の繁殖においては雄が精子球を水中へ放出し雌がそれを胎内に取り込むことにより受精が生じるため、受精の成功には生息密度が影響するといわれている（根岸ら，2008a）．**Table 3-1** に 2011 年 7 月のビオトープ池における単位面積あたりの最大生息密度と平均生息密度を示す．なお，イシガイ類は生息域内で分布に偏りがあることが知られており，生息密度を算出する上ではそのことを考慮すべきであるとされる（近藤，2003）．ビオトープ池においても，イシガイは周縁部に，トンガリササノハガイ，フネドブガイおよびマツカサガイは池全体に生息することが明らかになっている（西澤，2008）．そのため，生息密度は調査時にビオトープ池内に設けた面積 $1\text{-}4\text{m}^2$ の採捕区画ごとの採捕数を採捕区画の面積で割ることにより算出した．2011 年 7 月におけるビオトープ池の各種イシガイ類の生息密度は，西側でイシガイの最高生息密度が $30\text{ 個体}/\text{m}^2$ であった以外は，最も密度が高い区画でも $10\text{ 個体}/\text{m}^2$ 以下であった．

Table 3-1 ビオトープ池におけるイシガイ類の生息密度（2011 年 7 月）

種	生息密度（最大/平均）（個体/ m^2 ）	
	西側	東側
イシガイ	30/2.6	9/1.4
トンガリササノハガイ	5/0.2	5/0.3
フネドブガイ	2/0.2	2/0.1
マツカサガイ	1/0.02	3/0.09

3.5 考察

3.5.1 ビオトープ池における新規定着個体の出現とその定着時期

ビオトープ池においては、イシガイの個体数が最も多く、次いでトンガリササノハガイおよびフネドブガイ、最も少ないのがマツカサガイであり、調査期間を通して種構成は安定していた。その中で、イシガイおよびフネドブガイでは、新規定着個体による殻長グループの形成が確認された。トンガリササノハガイとマツカサガイでは、新規定着個体は採捕されているものの、イシガイやフネドブガイにみられた新規定着個体の殻長グループの形成はみられなかった。トンガリササノハガイでは、殻長 90.0-95.0mm にピークをもつ分布を示しているにも関わらず新規定着個体が少ないことから、各年の新規定着個体が殻長 90.0-95.0mm をピークとした殻長グループに集約していったことに加え、過去に多くの個体が定着した年があったものと推測する。

調査時に採捕された殻長が小さい個体はイシガイでは殻長 10.0mm、フネドブガイでは 30.0mm 程度であった。宿主である魚類から脱落した直後のイシガイ類はグロキディウム幼生期と同程度のサイズであることから（福原ら，1986；伊藤ら，2003；Akiyama, 2011），定着時期と採捕された時との間には時間差が存在することになる。以下では、イシガイとフネドブガイについて成長率を踏まえ新規定着個体の定着時期を考察する。

イシガイでは、ビオトープ池西側において 2009 年の改修工事後の 9 月に新規定着個体の殻長グループの形成がみられた。また、2008 年および 2010 年、2011 年では各調査時に殻長 10.0-20.0mm の個体が採捕された。イシガイの繁殖期は春から夏にかけてであり、一度の繁殖期に繰り返し妊卵する（Kondo, 2008）。ビオトープ池においても 5 月から 9 月にかけて魚に寄生した幼生を確認していることから（第 5 章参照），定着時期もこの期間であると考えられる。2009 年においては、7 月に放流した個体には殻長が小さい個体は含まれていないことから、9 月に確認された個体は放流後に定着したものであるといえる。イシガイの時期別成長率は 7-9 月にかけて最も高く、殻長 20.0mm の個体で約 1.0%/d であった。つまり、7 月の時点で殻長 20.0mm であった個体は 9 月には約 32.0mm に成長すると推測できる。殻長が小さいほど成長率は指数関数的に増加することを考慮すると、定着直後の個体はさら

に成長率が高いと考えられ、7月に定着した個体が9月までに殻長約20.0mmまで成長することは十分にあり得る。また、前述したようにイシガイは繁殖期が数カ月におよぶことから、その期間中は順次新しい稚貝が定着すると考えられる。時期別成長率を考慮すると、繁殖期初期の5月に定着した稚貝は夏季の成長率が高い時期を経て、その年の11月までに40.0mm程度に成長すると推測される。しかし、9月の繁殖期終期に定着した稚貝は冬季の成長率が低いために成長が停滞し、3月や5月に10.0-20.0mmになり、2年目の11月に40.0mm程度に成長すると推測する。そのため、11月の時点で殻長40.0mm前後のグループは、その年の繁殖期初期に定着した個体と、前年の繁殖期終期に定着した個体が混合すると考える。また、定着時期により成長率に差があるために、2008年、2010年および2011年では各調査時に10.0-20.0mmの殻長が小さい個体が採捕され、2009年では7月まで繁殖が不可能であったために定着時期が限られ、明確な年級群が形成されたものと推測する。以上のことを考慮すると、イシガイは2009年改修工事後の東側および2012年の改修工事後の西側では殻長10.0-20.0mmの個体がいずれの調査時でも採捕されなかったことから、再生産が行なわれていないと考えられる。

フネドブガイではビオトープ池西側において2010年7月に殻長30.0mm前後、2011年9月に殻長50.0mm前後の新規定着個体の殻長グループを確認した。フネドブガイは繁殖期が冬～初春であり、一繁殖期に一度だけ妊卵し、1月後半から4月にかけて数カ月にわたり幼生を放出する（Kondo, 2008；福原, 2013）。そのため、定着時期もこの期間であると推定できる。フネドブガイの定着時期は成長率が低い時期であることから、定着時期に差があっても成長に大きな差はみられず、そのためにイシガイとは異なり各年の新規定着個体が明確な殻長グループを示すと考えられる。2010年および2011年に確認された殻長グループの定着時期を時期別成長率から推測する。フネドブガイは7-9月がもっとも成長率が高く、2010年では7月において殻長が40.0-44.0mmであった個体の成長率は0.77-0.90（平均0.83）%/dであり、9月には65.0-67.0mmに成長した。定着直後の個体はさらに成長率が高いと考えられると、1-4月に定着した稚貝がその年の7月に30.0mm、9月に50.0mm前後に成長する可能性は十分にあると考えられる。そのため、ビオトープ池において2010年7月および2011年9

月に確認した新規定着個体の殻長グループは、その年の繁殖期に定着した個体であると考ええる。以上を考慮すると、2008年にみられた殻長 60.0-65.0mm をピークとする殻長グループは2007年に定着したグループであり、2008年7月および9月に殻長 30.0-50.0mm の個体が見られないことから、その年は再生産が行なわれなかったと考えられる。同様に、2009年の改修工事後では、西側においては2009年、東側では改修工事以降すべての年で、2012年の改修工事以降では西側においても再生産が行なわれていないと考えられる。

イシガイ類の再生産は、雄では精子球、雌では卵の生成→受精→幼生の放出→魚類への寄生→変態→脱落→定着という段階を経て成功する。そのため、再生産が行なわれなかった年ではこのいずれかの段階が阻害されていると考えられる。フネドブガイでは、2009年と2012年には繁殖期である1-4月がビオトープ池の改修工事の時期と重なり、個体を大学内で飼育していたために現地における再生産が不可能な状況であったことから、再生産失敗の原因は明白である。2009年の改修工事以降は東側においていずれの種も新規定着個体を確認されなかったが、ビオトープ池西側と東側において2011年7月に行なった妊卵調査では、調査時期が繁殖期ではなかったフネドブガイと西側で妊卵個体を確認できなかったマツカサガイを除いて西側と東側それぞれで妊卵個体を確認した。そのため、東側においては、幼生の放出までは正常に行なわれており、魚類への寄生以降の段階で再生産が阻害されたものとする。2012年以降では、5月の放流の際にイシガイおよびトンガリササノハガイでそれぞれ50個体と20個体の妊卵状況を確認したが、1個体も妊卵個体はみられなかった。2008年5月においてはビオトープ池で幼生が多数寄生した魚を確認していることから（第5章参照）、本来であれば妊卵個体が存在するはずである。そのために、2012年には卵あるいは精子球の生成の段階で失敗していた可能性が考えられた。その要因としては、2011-2012年の改修工事中の飼育環境がイシガイ類に適したものではなかったことが挙げられる。また、2013年では、後述する外敵の捕食によりビオトープ池内における成員の生息密度が低くなり、精子球や卵の形成が正常に行なわれたとしても、生息密度の低さから受精に至らなかったことが再生産失敗の要因として考えられた。

3.5.2 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の成長

イシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイでは、成長率はいずれの種も殻長が小さいほど高く、イシガイ類の成長について報告した既往研究（Kondo, 1992 ; Negishi and Kayaba, 2009 ; Zirena et al., 2013）の結果を支持する結果となった。ビオトープ池に生息する各種の成長率が低下し、ほとんど成長しなくなる殻長はイシガイでは 60.0-65.0mm, トンガリササノハガイでは 90.0-95.0mm, フネドブガイでは 85.0-90.0mm であった。成長率は東側と西側では西側の方が高く、年別に比較すると、3 種ともに 2011-2012 年の成長率が最も低かった。また、トンガリササノハガイおよびフネドブガイでは 2008-2009 年の成長率も他の年と比較して低い傾向がみられた。成長率が低い東側や 2012 年は、再生産が失敗した条件とも一致する。そのため、成長率が低くなる条件は、再生産が阻害される条件と共通する可能性がある。

Kondo (1992) は水路内に生息するイシガイおよびトンガリササノハガイを対象とした研究において、両種の成長量が最も高い季節は夏であることを報告している。本研究においても、3 種ともに 7-9 月における成長率が最も高く、これを支持する結果となった。また、Kondo (1992) は成貝において、成長が良い個体と悪い個体が存在することを報告しており、本研究においても同様の傾向がみられた。Kondo (1992) は、その要因として繁殖と成長とのトレードオフの関係によるものと考察している。そこで、2011 年 7 月の妊卵調査において妊卵が確認された個体と確認されなかった個体について、5-7 月にかけての成長率を比較した。その結果、妊卵個体とそれ以外の個体では成長率に差はみられなかった (Fig.3-18)。また、イシガイとトンガリササノハガイでは繁殖時期ではない 9-11 月にかけても同様の傾向がみられた。そのため、成長の良し悪しには繁殖と成長に対するエネルギーの配分以外にも何らかの要因が存在していることが考えられる。

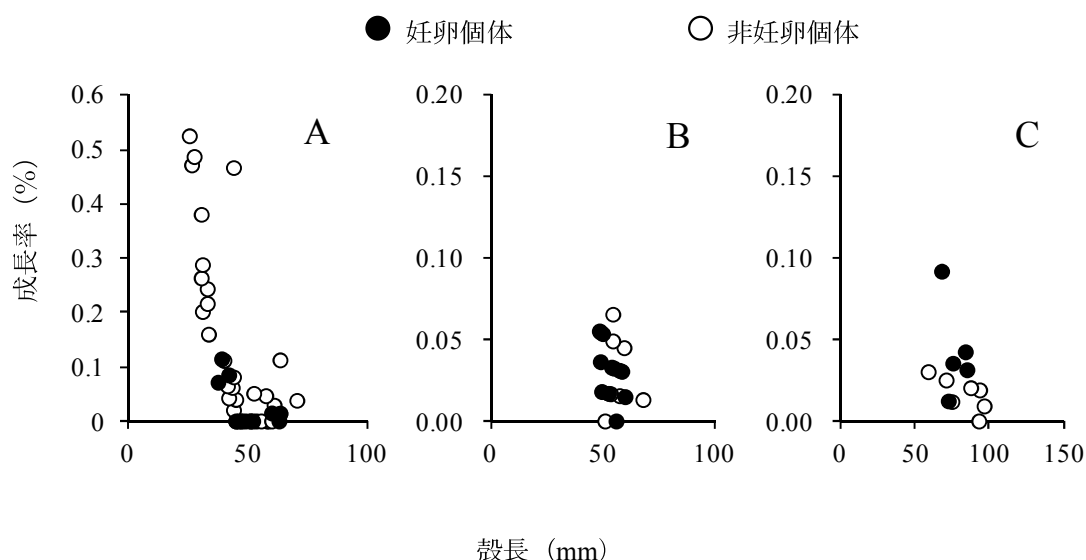


Fig.3-18 2011 年 5 月から 7 月にかけての妊卵個体と非妊卵個体の日平均成長率
A：イシガイ（西側），B：イシガイ（東側），C：トンガリササノハガイ（東側）

3.5.3 2013 年における個体数の減少要因

ビオトープ池西側では、2012 年 11 月から 2013 年 11 月にかけてイシガイ類の採捕数が激減した。この要因として、ヌートリア *Myocastor coypus* とカラス類 *Corvus* sp.による食害が考えられた。ヌートリアによるイシガイ類の食害は岡山県や島根県、大阪府の淀川において報告があり、殻が割られていることや、新鮮な肉が殻に残っていること、付近に新鮮な糞が落ちていることが特徴的な痕跡であるとされる（森，2003；岡山県，2010；中野ら，2011；木邑ら，2012）。ビオトープ池においても 2013 年の春に、閉殻筋や外套膜が残った殻が落ちており、池内や畦畔にヌートリアの糞を確認した。また、殻頂部分にのみ穴があいている殻や、ビオトープ池から数十 m 離れた場所にも落ちている殻がみられたため、カラス類による食害の可能性があると考えた（Fig.3-19）。ヌートリア、カラス類ともに調査を開始した 2008 年からビオトープ池周辺での生息を確認していたが、2013 年までは貝の食害はみられなかった。2013 年になり食害が顕著にみられた要因としては、ビオトープ池の水位の低下が挙げられる。2011-2012 年の改修工事以降、ビオトープ池では漏水が生じ、水位を維持しにくい状況となった。また、2012 年および 2013 年では東側においてイネの作付が行

なわれ、田植えからしばらくの間はイネの流亡を防ぐために給水をしない期間が存在した。東側と西側は畔によって仕切られているものの水の移動はあり、水位変動の影響を受けることから、西側においても給水ポンプが稼働しない時間は一部底質がむき出しの状態となるまでに水位が低下した。そのために、ヌートリアやカラス類が容易にイシガイ類を採捕できる環境となり、食害が発生したと考える。岡山県においても池の水位が低下した年にヌートリアによるドブガイ類の食害が増加したことが報告されており（岡山県，2010），水位を維持することが食害を防ぐために重要であったと考えられる。



Fig.3-19 2013年にビオトープ池周辺でみられた貝殻

A：殻内部に生々しい肉片が残るイシガイの殻，B：殻は閉じたまま，殻頂部にのみ穴があいた殻，C：ビオトープから数十m離れた場所に落ちた殻

2013 年 11 月には, ヌートリアやカラス類が貝を採捕できないようビオトープ池内に貝の飼育区画を設置し, 11 月の採捕調査において採捕された個体をすべてこの中に収容した (Fig.3-20). 今後, 食害の防止や個体数の回復について対策を講じる必要がある.



Fig.3-20 2013 年 11 月にビオトープ池に設けたイシガイ類飼育区画

3.6 小括

ビオトープ池におけるイシガイ類の生息状況調査の結果、以下のことが明らかになった。

- ・ビオトープ池にはイシガイ，トンガリササノハガイ，フネドブガイ，マツカサガイ，ドブガイ類が生息しており，優占種はイシガイであった。
- ・成長率はいずれの種も殻長が小さいほど高く，成長するにつれ指数関数的に低下した。
- ・いずれの種も 2009 年の改修工事後に東側で，2011-2012 年の改修工事後は西側で新規定着個体が確認されなかった。
- ・新規定着個体が確認されなかった年は成長率が低かった。
- ・2011 年 7 月では西側，東側ともに妊卵個体が確認されたにも関わらず再生産がみられなかったことから，放出された幼生が魚類に寄生する以降の段階で再生産が阻害されたと考えられた。
- ・2012 年の工事以降では，2013 年にかけてイシガイ類の生息数が激減したが，これはヌートリアやカラス類による食害によるものと考えられた。

第4章 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況

コンクリート三面張り排水路におけるイシガイ類の生息状況を明らかにすることを目的として、2008年11月、2009年11月および2010年4-6月にかけて排水路においてイシガイ類の生息状況調査を行なった。また、2010年では底質材料や堆積状況を記録し、イシガイ類の生息分布と底質環境との関係を調べた。本調査で対象とした排水路の区間内には、深場や土管による落差などのイシガイ類が自身で移動するのが不可能と考えられる地点が3か所存在した。そのため、それらを境目として排水路内を区間1から区間4までに区分して結果を記す（Fig.4-1）。

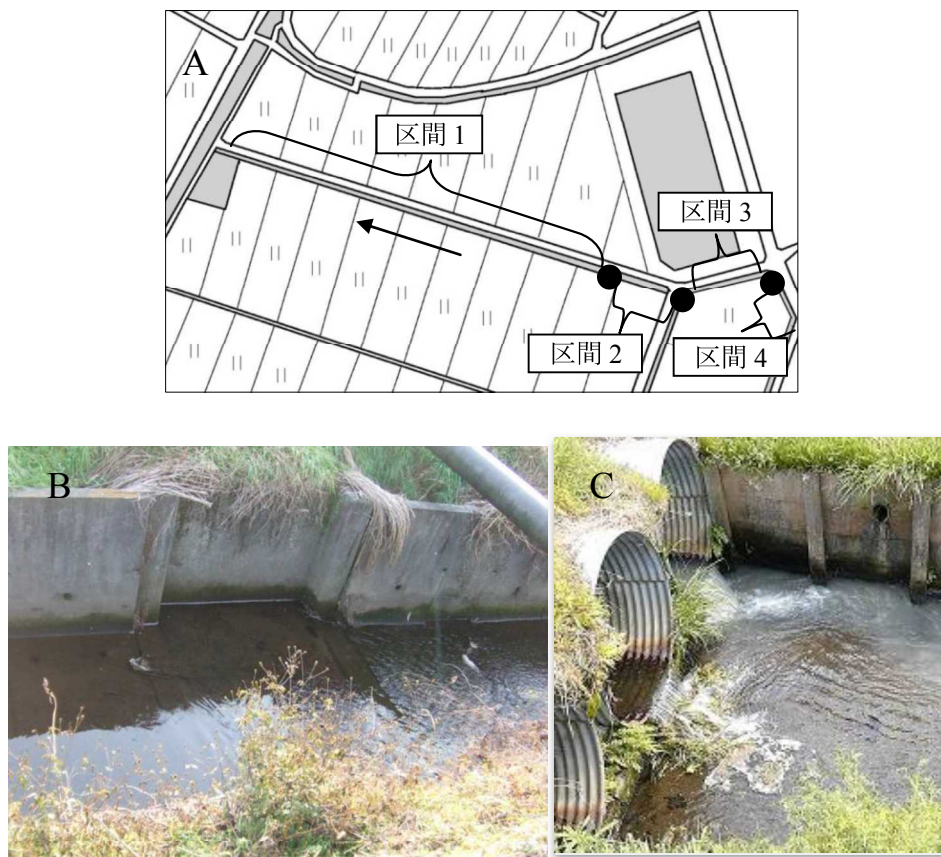


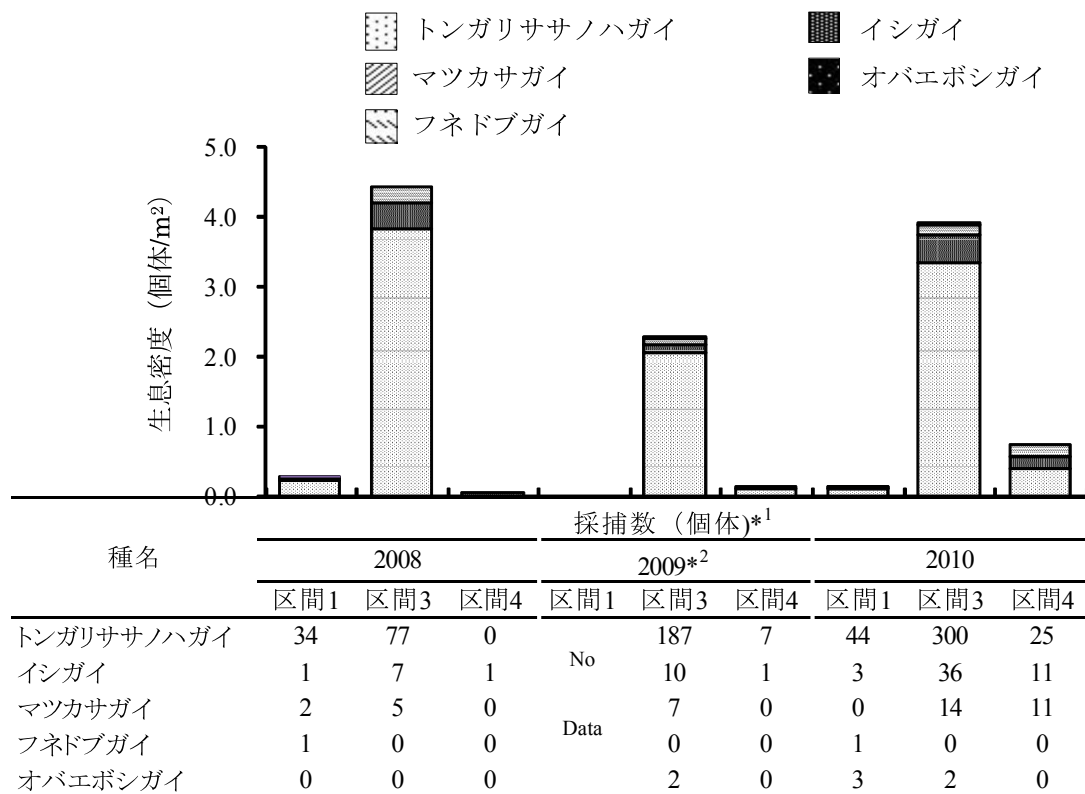
Fig.4-1 排水路におけるイシガイ類の生息状況調査の調査区間

A：区間区分，B：区間1と2，区間3と4の間の深場，C：区間2と区間3の間の落差，

4.1 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況

4.1.1 生息を確認したイシガイ科二枚貝と生息密度

2008 年では、排水路に流路方向 5m の調査区画を 16 区画（区間 1：11 区画，区間 2：1 区画，区間 3：2 区画，区間 4：2 区画）設けて調査を行った。その結果，区間 1 ではトンガリササノハガイ，イシガイ，マツカサガイ，フネドブガイが，区間 3 ではトンガリササノハガイ，イシガイ，マツカサガイが採捕された。また，区間 4 ではイシガイが 1 個体のみ採捕され，区間 2 ではイシガイ類は採捕されなかった。2009 年は区間 3 と区間 4 の全域において調査を行った。その結果，区間 3 ではトンガリササノハガイ，イシガイ，マツカサガイ，オバエボシガイが，区間 4 ではトンガリササノハガイとイシガイが採捕された。2010 年には区間 1 から区間 4 の全域で調査を行った。その結果，区間 1 ではトンガリササノハガイ，イシガイ，フネドブガイ，オバエボシガイが，区間 3 ではトンガリササノハガイ，イシガイ，マツカサガイ，オバエボシガイが，区間 4 ではトンガリササノハガイ，イシガイ，マツカサガイが採捕され，区間 2 ではイシガイ類は採捕されなかった。Fig.4-2 に各年の採捕数と，採捕数を調査区間の面積で割ることにより算出した単位面積当たりの生息密度を示す。いずれの年においても最も多く採捕されたのはトンガリササノハガイであり，次いでイシガイ，マツカサガイであった。種構成割合もトンガリササノハガイが最も高かったが，区間 4 においては区間 1 および 3 と比較してイシガイとマツカサガイが占める割合が高かった。生息密度はいずれの年においても区間 3 で最も高く，トンガリササノハガイで 2-4 個体/m²であった。



*1：各年ともに区間2ではイシガイ類は採捕されなかったため，表中に記していない
 *2：2009年では区間1において調査を行っていない

Fig.4-2 排水路の各調査区間におけるイシガイ類の生息密度

4.1.2 殻長分布

(1) トンガリササノハガイ

Fig.4-3 に各年の調査で採捕されたトンガリササノハガイの殻長分布を区間別に示す。区間1では区間3および区間4よりも生息個体の殻長が大きく、2008年では殻長64.0-114.5mm、2010年では殻長73.0-111.0mmの個体が採捕された。区間3においては、2008年では殻長50.0-80.0mmの個体が採捕され、殻長分布のピークは60.0-65.0mmであった。2009年では殻長13.0-80.0mm、2010年では殻長14.5-81.0mmの個体が採捕され、殻長分布のピークはいずれも55.0-60.0mmであり、殻長が小さな個体の採捕数は少なかった。区間4では2009年で35.0-68.5mm、2010年で14.0-69.0mmの個体が採捕された。採捕数が少なく殻長分布において明確なピークはみられなかったが、生息個体の殻長範囲は区間3と同程度であった。

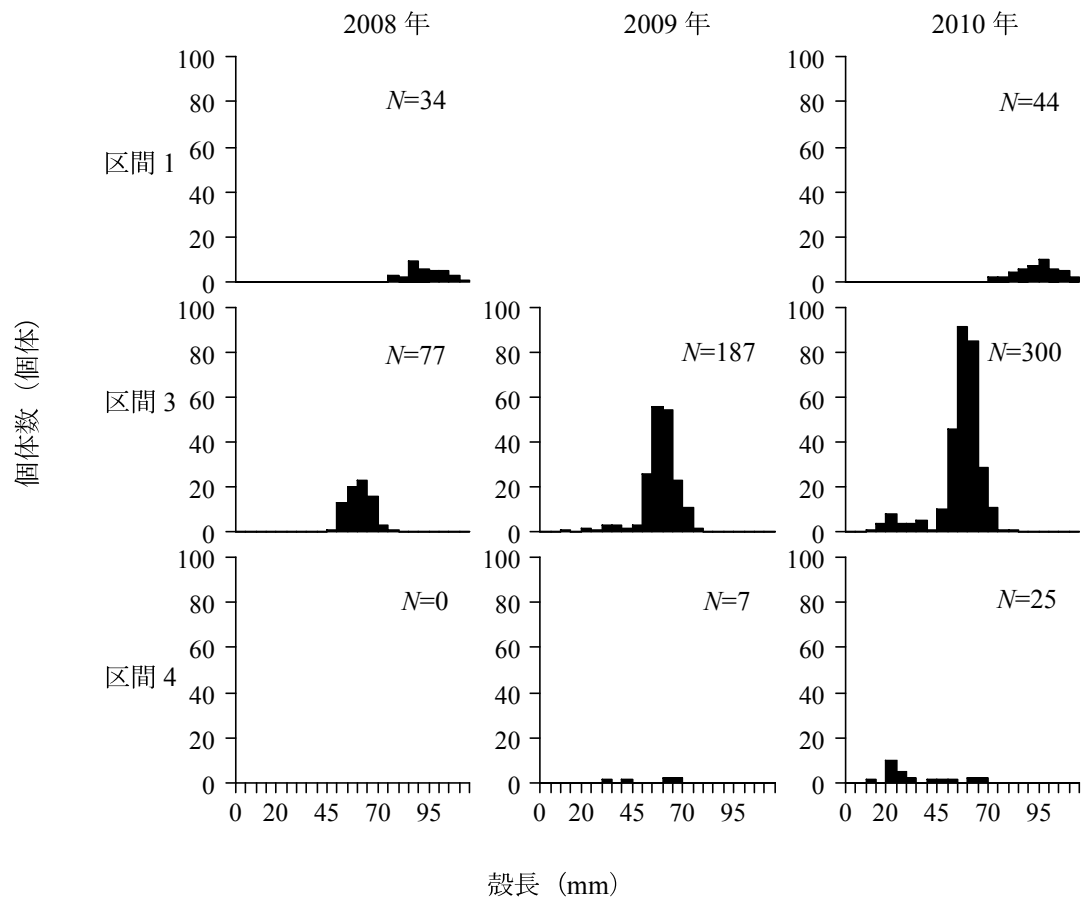


Fig.4-3 排水路の各採捕区間におけるトンガリササノハガイの殻長分布

(2) イシガイ

Fig.4-4 に排水路におけるイシガイの殻長分布を示す。イシガイでもトンガリササノハガイと同様に，区間 1 では区間 3 および 4 と比較して生息個体の殻長が大きい傾向がみられた。区間 1 においては 2008 年には殻長 61.0mm の個体が 1 個体，2010 年では 56.0-67.5mm の個体が採捕された。区間 3 では 2008 年は殻長 14.5-38.5mm，2009 年では殻長 16.5-38.0mm，2010 年では殻長 15.0-39.0mm の個体が採捕された。2008 年では明確なピークはみられなかったが，2009 年では 30.0-35.0mm，2010 年では 15.0-20.0mm と 30.0-35.0mm の個体数が多い傾向がみられた。また，区間 4 では 2008 年には殻長 34.5mm，2009 年では殻長 33.0mm の個体がそれぞれ 1 個体，2010 年では 17.5-50.5mm の個体が採捕された。

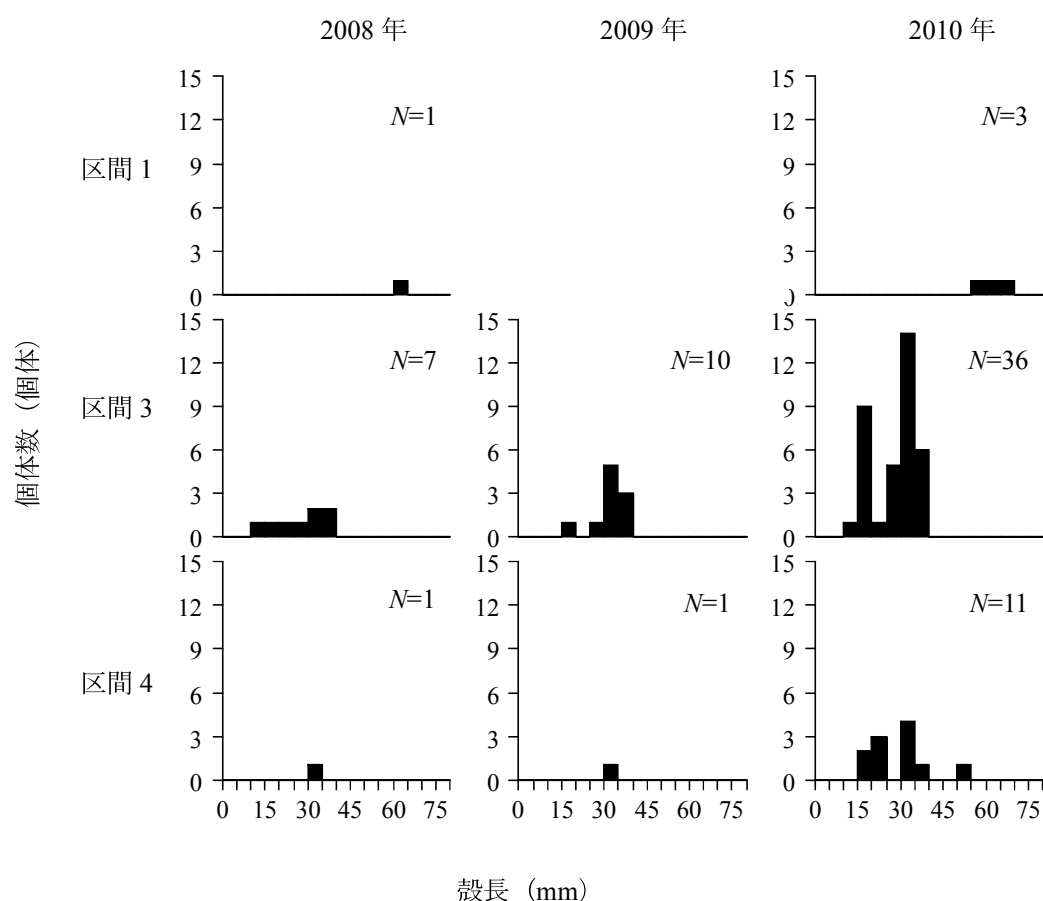


Fig.4-4 排水路の各区間におけるイシガイの殻長分布

(3) マツカサガイ

Fig.4-5 に排水路におけるマツカサガイの殻長分布を示す。区間 1 では 2008 年に 33.5mm と 50.0mm の 2 個体が採捕された。区間 3 では 2008 年に 22.0-44.0mm の個体，2009 年に 34.0-45.0mm の個体，2010 年に 19.5-46.0mm の個体が採捕された。区間 4 では，2010 年に 19.5-38.5mm の個体が採捕された。いずれも採捕数が少なく，最も殻長が大きい個体は区間 1 において採捕されているものの，トンガリササノハガイやイシガイでみられたような区間ごとの生息個体の殻長の違いは明確ではなかった。

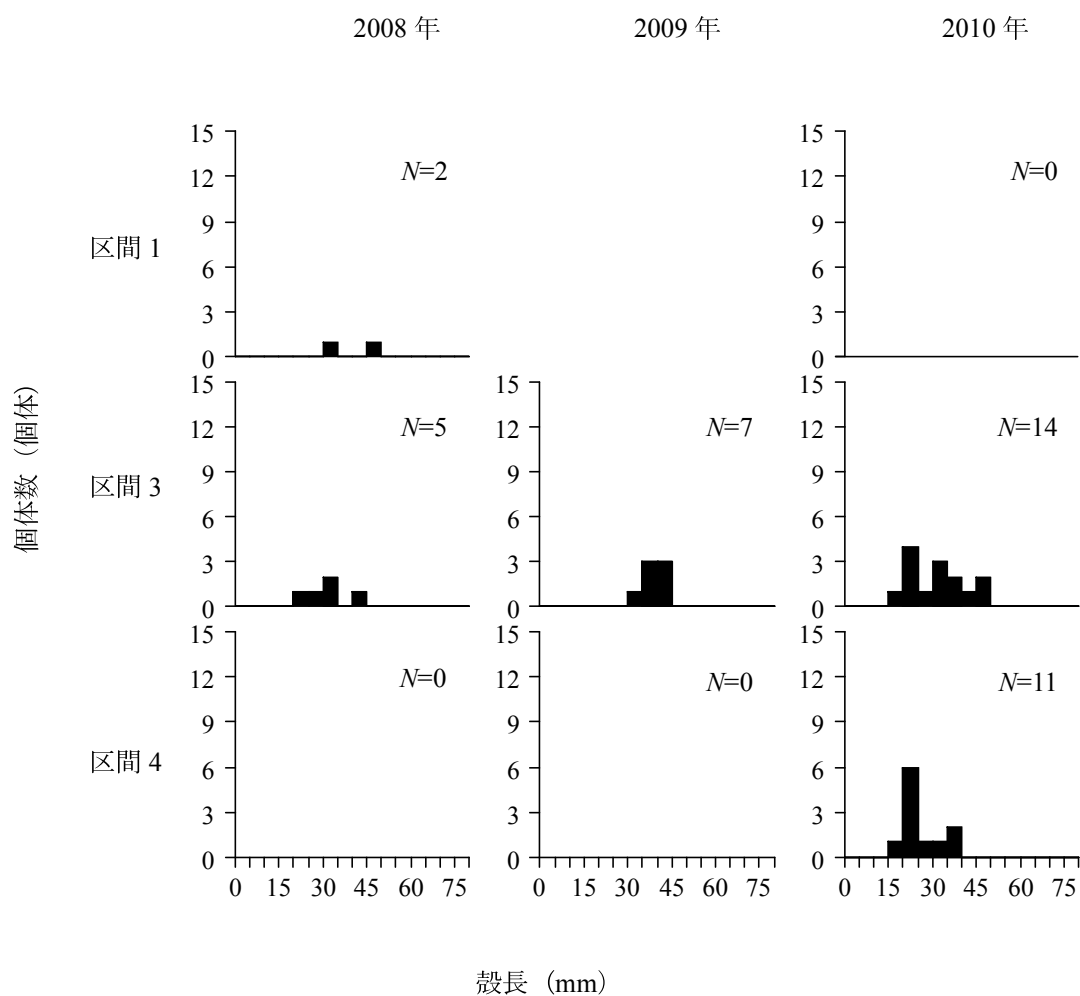


Fig.4-5 排水路の各区間におけるマツカサガイの殻長分布

(4) オバエボシガイ・フネドブガイ

オバエボシガイは2008年の調査では採捕されず,2009年の調査で区間3において35.0mmと34.5mmの2個体が,2010年の調査では区間1において22.5mm,35.5mm,49.0mmの3個体,区間3において55.5mmと57.0mmの2個体が採捕された.また,フネドブガイでは,2008年と2010年の調査において1個体ずつ,それぞれ37.5mmと87.0mmの個体が採捕された.

4.1.3 トンガリササノハガイの成長率

トンガリササノハガイは2008年11月の調査時に採捕して標識付けを行なった個体の一部が2009年11月に再捕獲された.そこで,ビオトープ池と同様に年間成長率を求めた.その結果,殻長53.0-69.5mmの個体の成長率は1.4-4.5(平均2.2)%であった(**Fig.4-6**).

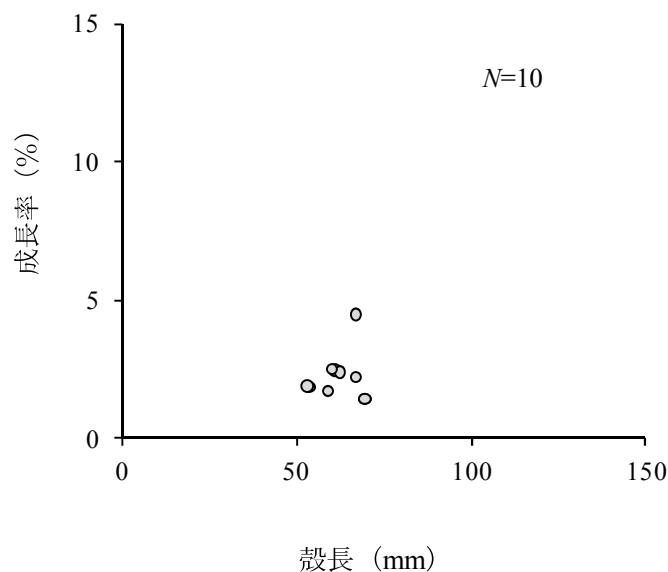


Fig.4-6 排水路におけるトンガリササノハガイの年間成長率 (2008年11月-2009年11月)

4.2 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息分布と底質環境

4.2.1 排水路における底質の堆積状況とイシガイ科二枚貝の生息密度

Fig.4-7 に 2010 年に調査を行なった排水路における堆積状況の概要と、単位面積当たりのイシガイ類の生息密度を示す。排水路の底質は、区間 1 の管瀬川との接続点から上流へ約 100m の区間は主に砂や腐植が堆積しており、腐植は上流の方で多かった。また、オオカナダモ *Egeria densa* の繁茂もみられた。100m より上流部では次第に堆積が薄くなり、ほぼ堆積がない区間が約 200m 続いた。それらの区間では部分的に礫が堆積しており、この区間において採捕されたイシガイ類はその上に生息していた。区間 2 では区間 3 との間の土管の手前に礫が堆積した区間が約 5m 存在したが、イシガイ類は生息していなかった。区間 3 および区間 4 は主に礫が堆積していたが、区間 3 の一部では礫の下に粘土が堆積していた。また、主に水路の壁際を中心として部分的に腐植が堆積していた。排水路に堆積する礫は粒径 2-64mm の細礫や中礫であった。

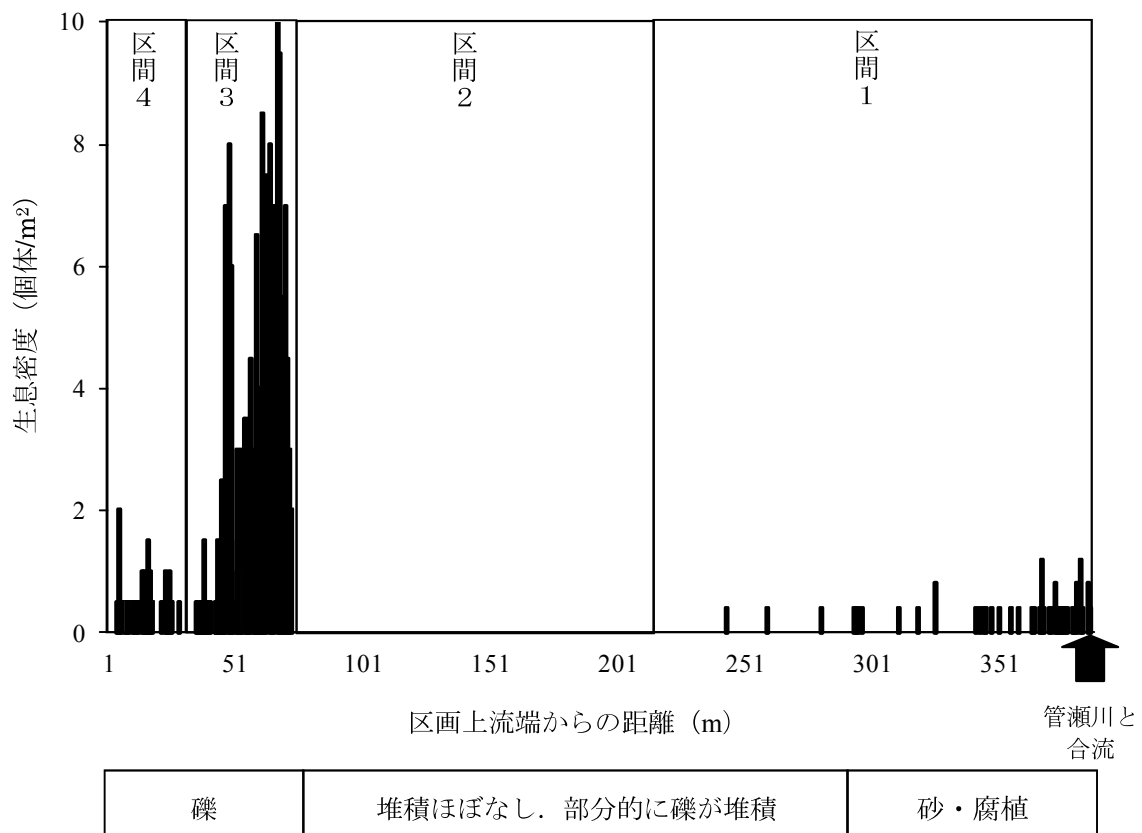


Fig.4-7 排水路における単位面積当たりのイシガイ類の生息密度と底質堆積状況の概要

4.2.2 イシガイ科二枚貝が採捕された地点の底質材料

本調査では底質材料を礫、砂、腐植、粘土の4種に区分して記録し、2種類の底質が混合している箇所や上層と下層で底質が異なる地点についてはその旨を記録した。各種イシガイ類が採捕された地点の底質材料および堆積状況を示す。

(1) トンガリササノハガイ

トンガリササノハガイは礫が堆積した地点で採捕される割合が最も高く、次に砂が堆積した地点で高かった。また、砂と礫が層別に堆積した地点や、礫や砂の上に腐食が堆積した地点を合わせると、9割近くの個体が礫あるいは砂が堆積した場所で採捕された。区間1では大部分に腐植が堆積していたにも関わらず、腐食のみが堆積した地点で採捕された個体の割合は低かった (Fig.4-8)。

採捕された底質材料別の殻長分布では、礫が堆積した地点では他の底質と比較して殻長が小さい個体の採捕数が多い傾向がみられた (Fig.4-9)。上層と下層で底質が異なる地点では、上層が砂および腐植の場合においてのみ下層において採捕され、上層が礫や砂利であった場合には上層において採捕された。ただし、上層が砂や腐植であってもすべての個体の下層まで潜り込んでいたわけではなく、上層において採捕された個体も存在した。

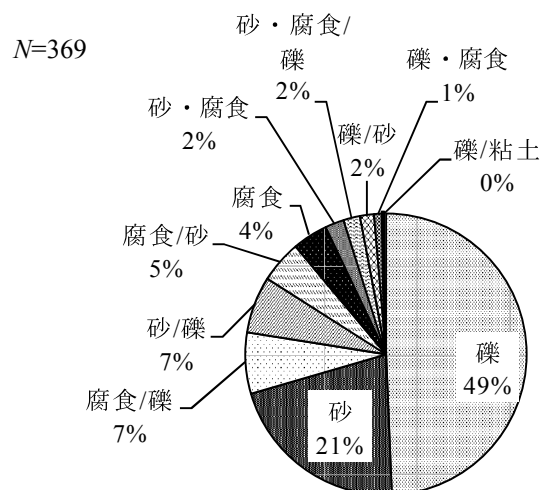


Fig.4-8 トンガリササノハガイが採捕された地点の底質材料

「/」は上層/下層の底質材料を、「・」は2種の底質材料が混合していることを示す

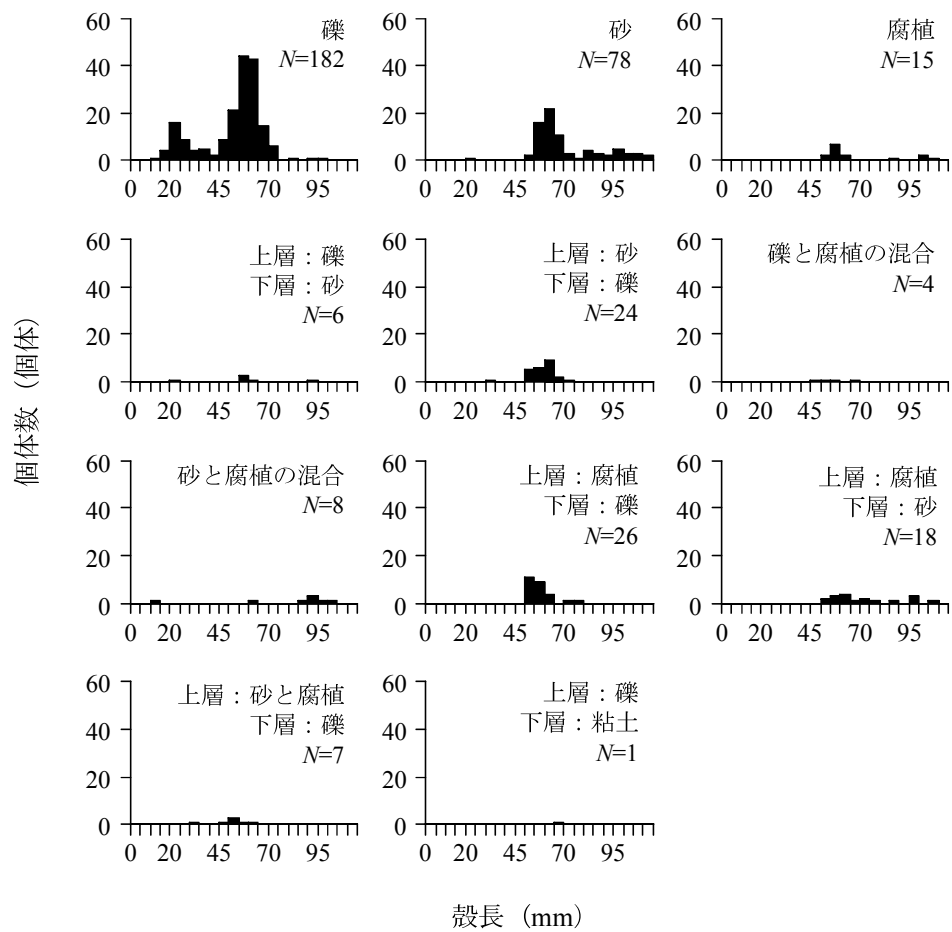


Fig.4-9 トンガリササノハガイの生息地点の堆積状況別殻長分布

(2) イシガイ

イシガイも礫が堆積した地点で採捕される個体の割合が最も高く、次に砂の堆積地点で高かった (Fig.4-10)。また、腐植のみが堆積した地点で採捕された個体の割合は低かった。底質材料別の殻長分布では、トンガリササノハガイと同様に殻長が小さい個体の多くが礫が堆積した地点において採捕される傾向がみられた (Fig.4-11)。上層と下層で底質が異なる地点では、上層が砂、もしくは腐植の地点においてのみ下層において採捕された。ただし、必ずしも下層において採捕されるということではなく、上層において採捕された個体も確認された。

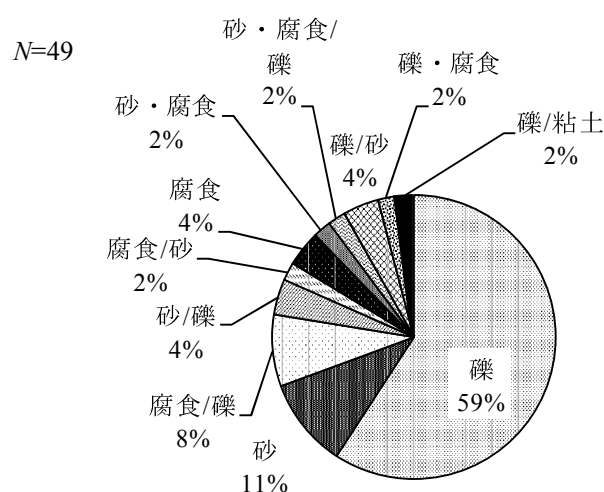


Fig.4-10 イシガイが採捕された地点の堆積状況

「/」は上層/下層の底質材料を、「・」は2種の底質材料が混合していることを示す

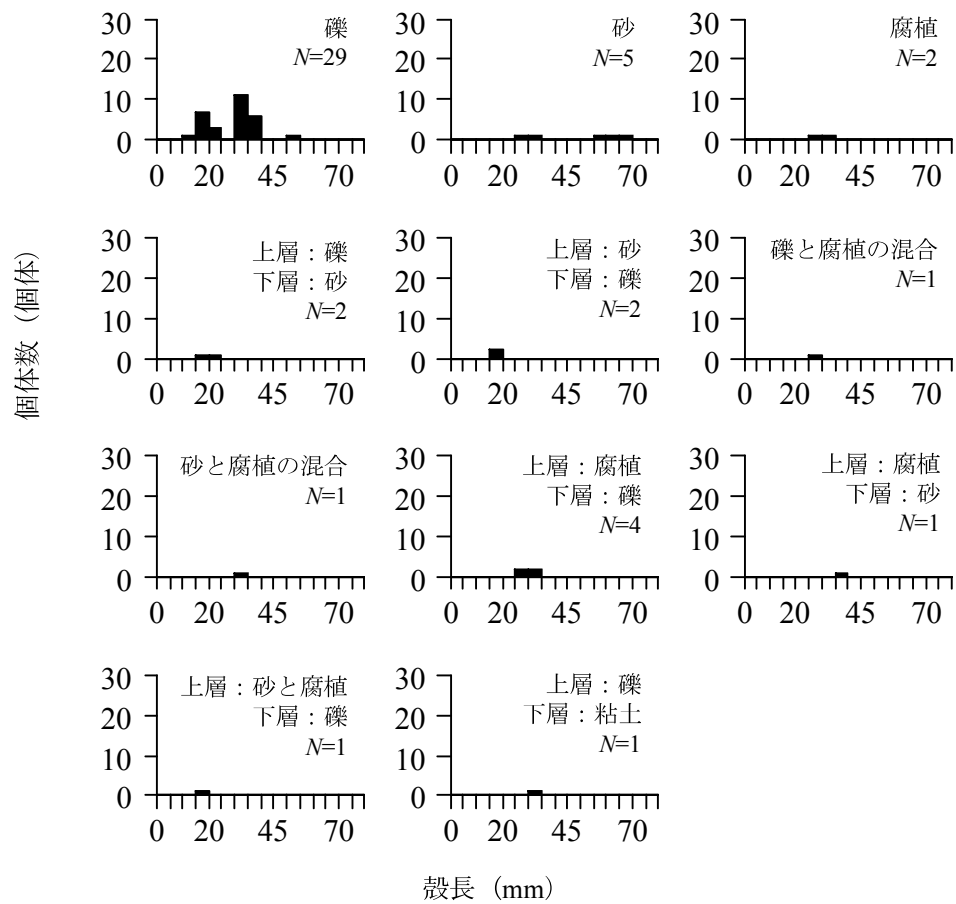


Fig.4-11 イシガイの生息地点の堆積状況別殻長分布

(3) マツカサガイ

マツカサガイは礫が堆積した地点で採捕される個体の割合が最も高かった (**Fig.4-12**). また, 上層と下層で底質が異なる底質環境では, 上層が砂である場合に下層の底質中で採捕された. マツカサガイは採捕数が少なく, 殻長が小さい個体が礫が堆積した地点に多いといった明確な傾向はみられなかった (**Fig.4-13**).

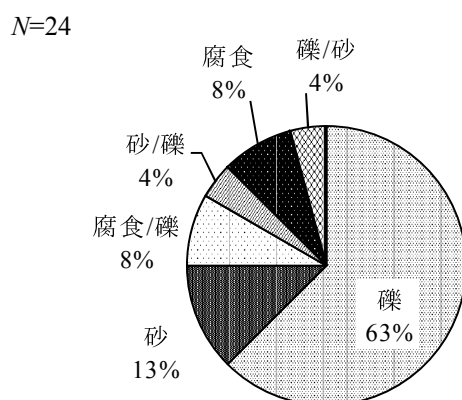


Fig.4-12 マツカサガイが採捕された地点の底質材料

「/」は上層/下層の底質材料を示す

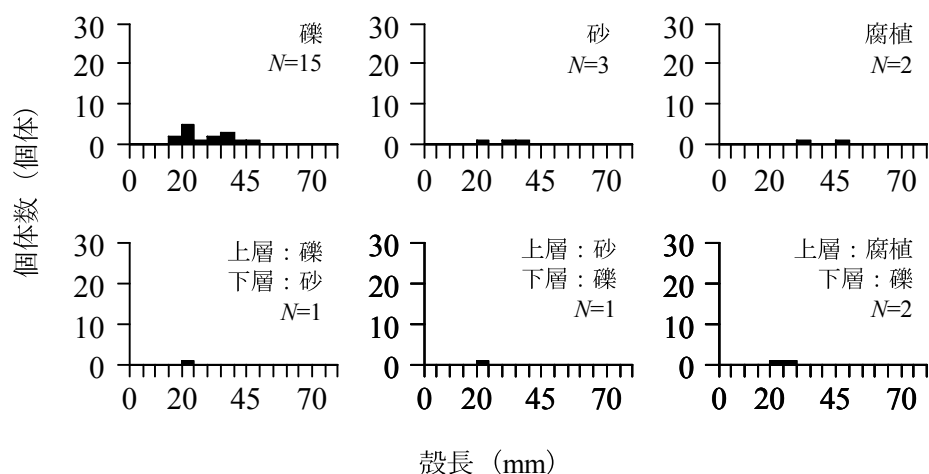


Fig.4-13 マツカサガイが採捕された地点の底質材料別の殻長分布

(4) オバエボシガイ・フネドブガイ

オバエボシガイは 5 個体採捕され、すべての個体が砂もしくは礫において、底質中に生息していた。また、フネドブガイは 1 個体が採捕され、腐植に体を埋めた状態で生息していた。

4.2.3 イシガイ類が採捕された地点の堆積厚

Fig.4-14 にイシガイ類の殻長と採捕された地点の堆積厚との関係を示す。イシガイ類は各種ともに堆積が 1cm 以上の地点において採捕され、堆積がない地点では採捕されなかった。各種ともに殻長の大きさと採捕地点の堆積厚との間に相関関係はみられなかった。採捕地点の堆積厚と採捕数の関係では、トンガリササノハガイにおいて負の相関関係がみられたが、その他のイシガイ類では相関関係はみられなかった (Fig.4-15, $r_s = -0.79$, $P = 0.00084$, Spearman's rank correlation coefficient was performed in R.2.14.2)。

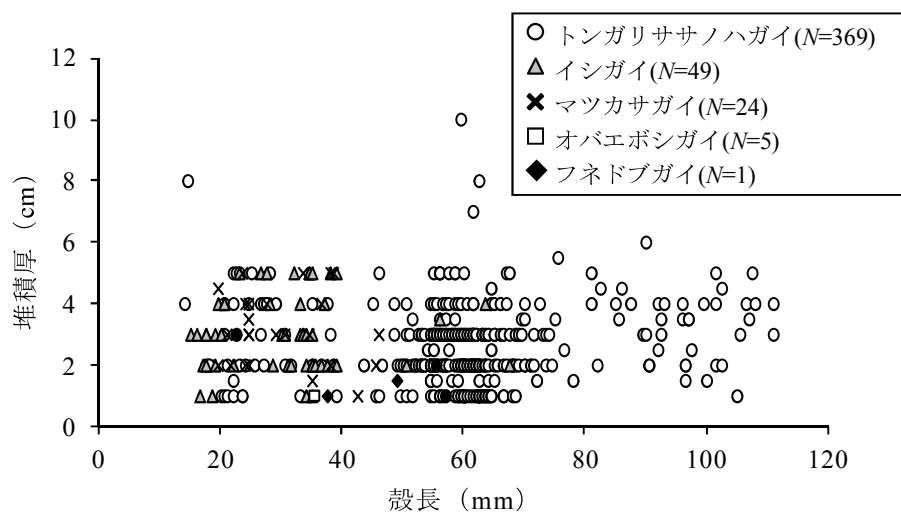


Fig.4-14 イシガイ類の殻長と堆積厚との関係

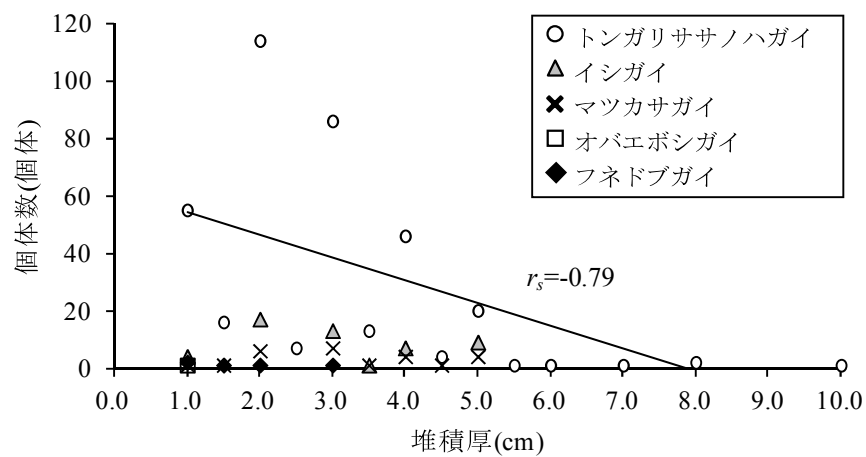


Fig.4-15 イシガイ類の採捕数と堆積厚との関係

図中にトンガリササノハガイの採捕数と堆積厚との回帰直線を示す

4.2.4 鉛直方向の分布

底質表面において採捕された個体の割合はトンガリササノハガイとイシガイで約 8%, マツカサガイで約 13%であり, いずれの種も底質中に埋没した状態で生息している個体の方が多かった. また, いずれの種でも底質表面で採捕された個体は殻長が小さい個体が多かった (Fig.4-16).

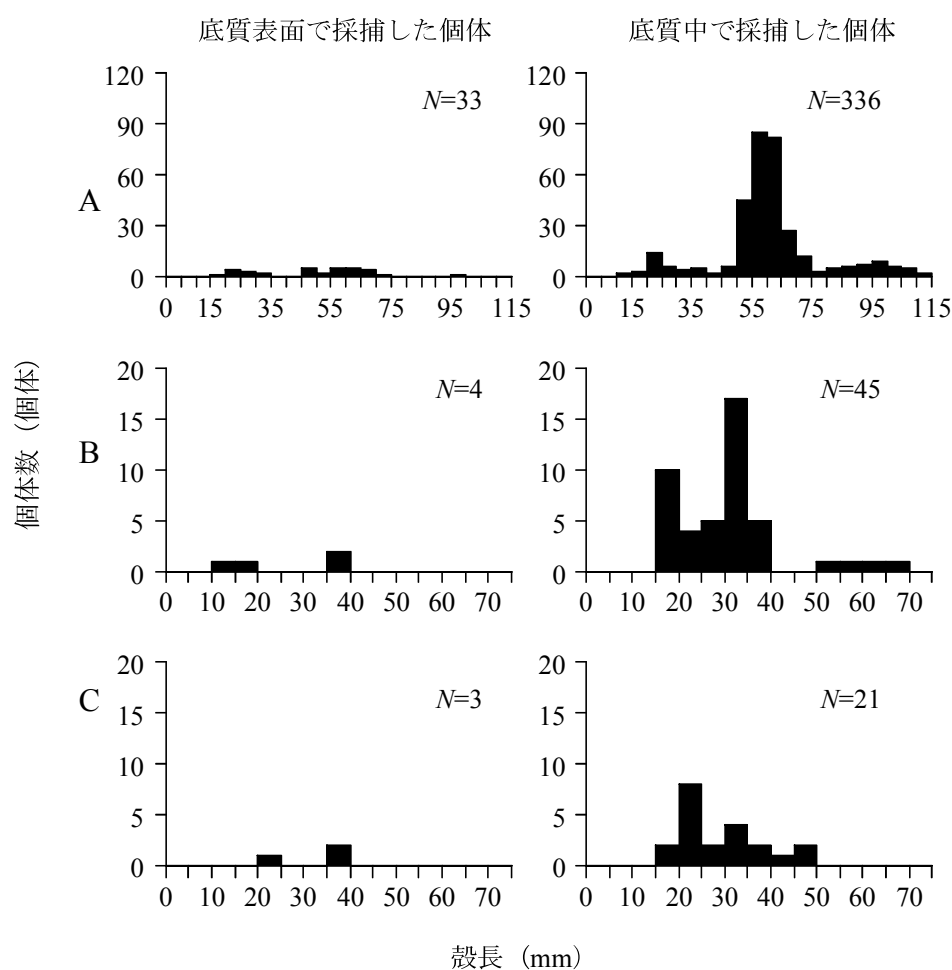


Fig.4-16 底質表面で採捕した個体と底質中で採捕した個体の殻長分布

A: トンガリササノハガイ, B: イシガイ, C: マツカサガイ

4.3 考察

4.3.1 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況

排水路においては、トンガリササノハガイ、イシガイ、マツカサガイ、フネドブガイ、オバエボシガイが採捕され、ビオトープ池とは異なりトンガリササノハガイが優占種であった。フネドブガイとオバエボシガイは生息数が非常に少なかった。トンガリササノハガイとイシガイでは排水路の区間によって殻長分布に差がみられ、区間 1 に生息する個体は区間 3 および 4 の個体と比較して殻長が大きかった。ビオトープ池における両種の殻長と比較すると、区間 1 はビオトープ池において優占する殻長グループの殻長範囲と同程度であった。区間 3 および区間 4 に生息する個体の殻長が小さい理由として 2 つの仮説を立てる。ひとつは、区間 3 および区間 4 に生息する個体はビオトープ池や区間 1 に生息する個体よりも若く、ビオトープ池よりも後に定着した個体群であるということである。もうひとつは、区間 3 および区間 4 においては成長率が低いために、ビオトープ池に生息する個体と同じかそれ以上の年齢であっても、殻長が小さいということである。実際に、2008 年 11 月から 2009 年 11 月かけての殻長 60.0mm 前後の個体の年間成長率は、排水路では最も成長が良い個体で 4.5%であったのに対し、ビオトープ池では約 16.7%であった。イシガイ類の成長には水温や餌環境が影響するといわれている (Kondo, 1992)。2010 年 8 月 4 日から 5 日にかけて区間 3 の中央部、区間 1 の下流部およびビオトープ池西側で 30 分毎に水温を計測したところ、区間 3 では区間 1 やビオトープ池と比較して水温が低く、区間 1 やビオトープ池では水温が 25℃を超えるような時間帯であっても、20℃前後に安定していた (Fig.4-17)。この要因としては、排水路の水源が山際の絞り水であり、夏季でも水温の上昇が抑制されること、灌漑期においては上流の区間 3 および区間 4 と比較して下流の区間 1 では接続水田からの流入が多く水温が上昇しやすいことが挙げられる。また、水田排水は餌環境にも影響を及ぼす可能性がある。接続水田においては、イシガイ類の餌とされる珪藻を含め、灌漑期に植物プランクトンが大量に発生する (松下, 2011)。その水が流入するために、排水路下流部ほどイシガイ類にとって優れた餌環境である可能性がある。以上より、水温や餌環境が異なるために排水路の区間 3 および区間 4 では成長が抑制されている

可能性がある。あるいは、定着時期の遅さと成長率の低さが複合的に影響している可能性も考えられる。また、排水路の区間 1 では殻長が大きい個体しか生息していなかった。このことから、区間 1 では現在生息する個体が定着して以降、何らかの要因により稚貝の定着が生じていないことや、元々稚貝の定着には不適切な環境であり、区間 3 や区間 4 から流されてきた個体のみが定着して、高水温と水田からの排水による餌の供給によって殻長が大きく成長したことが考えられる。排水路におけるイシガイ類の定着時期や殻長の差異に関しては、今後、年齢推定も含めた検討が必要である。

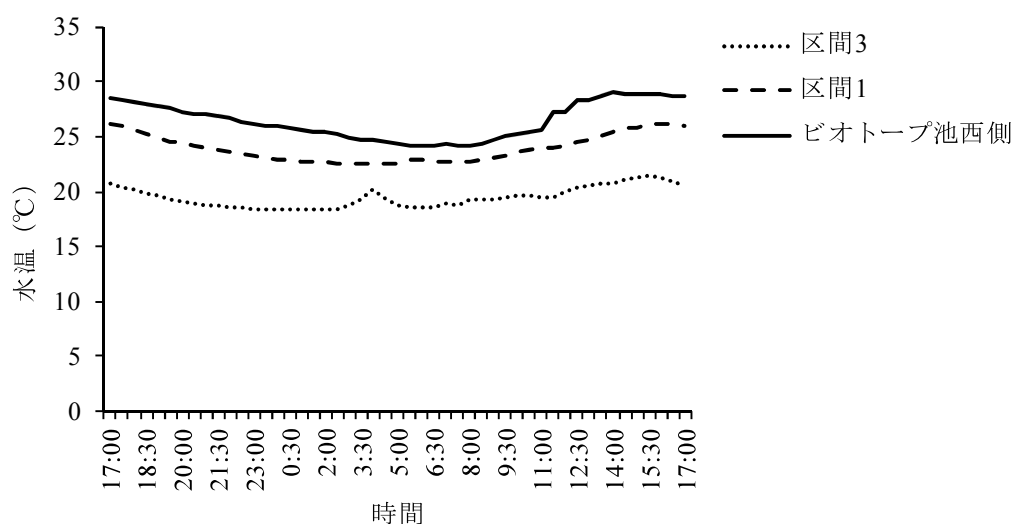


Fig.4-17 排水路の区間 1（下流部）、区間 3（上流部）およびビオトープ池西側の水温
(2010 年 8 月 4 日～8 月 5 日)

4.3.2 排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息分布と底質環境の関係

本調査で対象とした排水路は約 400m の調査区間内において堆積状況や底質材料が異なり、多様な底質環境を有していた。そのような環境下で、トンガリササノハガイ、イシガイおよびマツカサガイは礫、オバエボシガイは砂や礫、フネドブガイは腐植が堆積した地点において採捕された。既往研究では近藤（1998）が福岡県内の生活用水路内においてイシガイ類の生息状況と底質との関連性について調査を行い、イシガイおよびマツカサガイは礫～砂礫、オバエボシガイおよびトンガリササノハガイは砂礫～砂、ドブガイ類は砂～泥が堆積した地点における生息密度が高いことを報告しており、本調査の結果はこれを支持するものとなった。

イシガイ類は 1cm 以上の堆積がある地点において生息が確認されたことから、体を完全に潜り込ませずとも、流されることなく定位することが可能であるだけの底質が堆積していれば生息可能であると考えられた。しかし、そのような環境は非常に不安定なものであり、大雨などの影響で水路の流量が増大した際に流出する恐れが大きい。Negishi et al. (2011) は、コンクリート二面張りの農業水路におけるマツカサガイの季節的な垂直移動を調査しており、季節によって 0-8cm 程度の深さまで移動することを明らかにし、イシガイ類の生息にはコンクリート水路であっても 10cm 以上の堆積があることが望ましいとしている。また、垂直移動の要因としては冬季の水温の低下が関係するとしている。本調査地には堆積が薄い地点が多く、最も堆積厚が大きかった場所でも 5cm ほどであった。そのような状況でも生息可能であるのは、前述したように調査水路の水源が山際からの絞り水であり、夏季の水温上昇や冬季の水温低下が比較的抑制される環境であることが影響している可能性がある。また、トンガリササノハガイでは採捕数と堆積厚との間に負の相関関係がみられ、堆積が薄いほど生息数が多かった。しかし、とくに採捕数が多かった堆積が 2cm や 3cm の地点の底質材料は礫が高い割合を占めており (Fig.4-18)、礫はトンガリササノハガイの生息密度が高かった区間 3 に優占する底質材料であった。そのため、トンガリササノハガイが堆積が薄い地点を好むということではなく、底質材料などの堆積厚以外の要因によりトンガリササノハガイが多数生息していた地点の堆積厚の多くが 2cm や 3cm であったためにこ

のような傾向を示したと考える。

鉛直方向の分布では、本調査で対象とした各種イシガイ類は全採捕数の約 90%の個体が底質中に埋没した状態で採捕された。近藤（1998）によると、マツカサガイやトンガリササノハガイでは底質に埋没している個体の割合が高く、イシガイのようなイシガイ類の中で比較的行動能力の高い種は埋没しているよりも底質表面にいる割合が高いといわれているが、本研究ではイシガイと他種で埋没個体の割合に差はみられなかった。

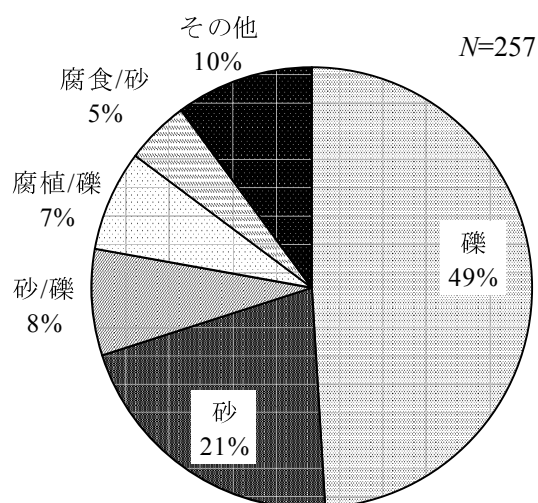


Fig.4-18 堆積厚が 2cm および 3cm の地点の底質材料（トンガリササノハガイ）
「/」は上層/下層の底質材料を示す

生息していた地点の底質材料と鉛直方向の分布では殻長サイズによりその傾向に違いがみられ、とくにトンガリササノハガイとイシガイでは殻長が小さい個体は礫が堆積した地点において多く採捕された。また、鉛直方向の分布に関してはトンガリササノハガイ、イシガイ、マツカサガイともに殻長が小さい個体は底質表面で採捕される割合が高かった。これらの成長段階による分布傾向の違いは、殻長が小さい個体は殻長が大きい個体と比較して底質に潜り込む力が小さく、砂と比較して粒径が大きい礫であれば、底質中に潜り込まずとも間隙を利用することにより流水中で定位することができるためと考える。また、Yeager et al. (1994) は、イシガイ目イシガイ科の *Villisa iris* の稚貝が間隙水を利用していることを報告していることから、粒径の大きな底質の方が稚貝の生息に適した間隙水環境であるためにこれらの底質で採捕される割合が高い可能性も考えられる。成長段階に伴う底質選択性については、林 (1972) がイケチョウガイ *Hypriopsis schlegeli* の稚貝は砂～砂泥底に多く、成貝は泥に多いことを報告している。これは、殻長が小さい個体が粒径の大きな底質を好むという本調査により得られた結果と同様の傾向を示すものであり、この傾向はイシガイ類に共通する可能性がある。また、鉛直方向の分布について Negishi et al. (2011) はマツカサガイの殻長 20mm 以下の個体は春先に殻長が大きい個体と比較して有意に底質表面に多くなり、2 月には 2-8cm まで潜行することを報告している。本研究を行なったのは 4-6 月であることから、季節的な要因により底質表面で採捕された個体の割合が高かった可能性も考えられる。一方で、Balfour and Smock (1994) は、イシガイ科の *Elliptio complanata* では稚貝の多くが潜行しているのに対して、成貝は底質上に多くみられたことを報告している。これは本調査で得られた結果とは逆の結果を示すものであり、イシガイ類は種によって成長段階による鉛直方向の分布特性が異なることが考えられる。

4.4 小括

排水路におけるイシガイ類の生息状況調査の結果、以下のことが明らかになった。

- ・排水路にはトンガリササノハガイ、イシガイ、マツカサガイ、フネドブガイ、オバエボシガイが生息しており、優占種はトンガリササノハガイであった。
- ・トンガリササノハガイとイシガイでは調査区間において生息個体の殻長分布が異なり、上流部の区間 3 および区間 4 に生息する個体は下流部の区間 1 やビオトープ池に生息する個体と比較して殻長が小さかった。
- ・殻長が異なる要因として、区間 3 および区間 4 に生息する個体は区間 1 やビオトープ池に生息する個体よりも後に定着した個体群であることや、上流部は水温が低く成長が抑制されることが考えられた。
- ・底質環境と生息分布との関係では、いずれの種も 1cm 以上底質材料が堆積した地点に生息していた。
- ・各種ともに礫が堆積した地点で採捕される割合が高かった。
- ・トンガリササノハガイおよびイシガイでは、殻長が小さいほど粒径が大きい底質に多く、底質表面で採捕される個体も多かった。

第5章 イシガイ科二枚貝幼生の寄生状況

調査地においてイシガイ類幼生が寄生する魚種を明らかにすることを目的として、2008年5-10月にかけてビオトープ池、排水路において魚類を採取し、イシガイ類の寄生状況を調べた。また、ビオトープ池と排水路との間での魚類を介した幼生の移動状況を明らかにするため、遡上・降下個体も対象とした。2013年3月ではフネドブガイを対象として、ビオトープ池において魚を採捕し、幼生の寄生状況を調べた。以下に、場所別の調査結果を示す。

5.1 ビオトープ池における寄生状況

5.1.1 寄生率および平均寄生数

2008年の調査では5-9月に魚類に寄生した幼生を確認した。魚類に寄生していたイシガイ類幼生は、イシガイ、トンガリササノハガイ、マツカサガイ、ドブガイ類の4分類群であった（Fig.5-1）。ドブガイ類はタガイかヌマガイの幼生であると考えられたが、両種の幼生の形態は似ており、種の判別には電子顕微鏡を用いた観察が必要であることから（近藤ら、2006）、本調査ではドブガイ類として記録した。Table 5-1に調査対象とした各魚種のサンプル数と、寄生個体数（サンプルとして採取した個体のうちイシガイ類幼生が寄生していた個体数）、寄生率、寄生幼生数（各魚種に寄生していた幼生の合計）および平均寄生数を示す。なお、寄生率と平均寄生数は以下の式により算出した。

$$\text{寄生率 (\%)} = \frac{\text{寄生個体数 (尾)}}{\text{サンプル数 (尾)}}$$

$$\text{平均寄生数 (個体)} = \frac{\text{寄生幼生数 (個体)}}{\text{寄生個体数 (尾)}}$$

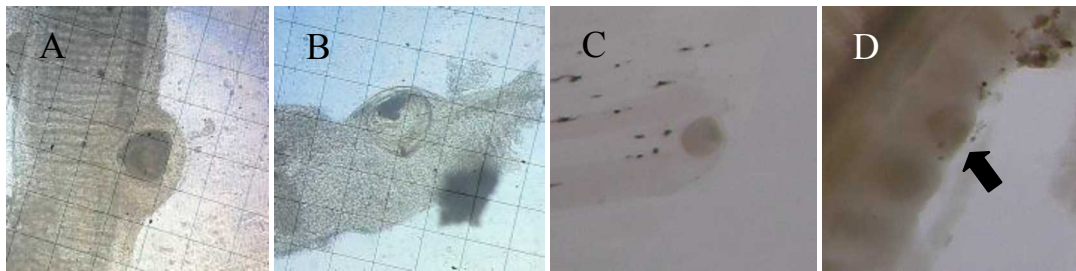


Fig.5-1 魚類に寄生したイシガイ類幼生

A : イシガイ, B : トンガリササノハガイ, C : マツカサガイ, D : ドブガイ類

Table 5-1 ビオトープ池におけるイシガイ類幼生の寄生率と平均寄生数

魚種	サンプル 数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	31	6	19.4	10	1.7 (±0.8)
タイリクバラタナゴ	89	3	3.4	4	1.3 (±0.6)
オイカワ	35	26	74.3	851	32.7 (±39.6)
ヌマムツ	39	21	53.8	124	5.9 (±3.8)
モツゴ	52	7	13.5	14	2.0 (±1.0)
タモロコ	61	20	32.8	30	1.5 (±0.6)
合計	307	83		1,033	

*±SD

ビオトープ池においてイシガイ類幼生は調査対象とした 6 魚種すべてに寄生していたが、寄生率および平均寄生数はオイカワで最も高かった。また、1 尾に対し複数種のイシガイ類幼生が寄生した個体も確認され、最も多くの幼生が寄生していたのは 5 月に採取したオイカワ（体長 77mm）で、185 個体の幼生が寄生していた。

Table 5-2 にイシガイ類の種類別に寄生率と平均寄生数を示す。イシガイ幼生は最も多い 568 個体が確認された。調査対象としたすべての魚種に寄生していたが、寄生率が高かったのはオイカワおよびヌマムツでありそれぞれ 65.7%と 41.0%であった。その他の魚種では低く、10%に満たなかった。平均寄生数（±SD）はオイカワで高く 21.6（±37.1）個体であった。ヌマムツの平均寄生数は 3.3（±3.0）個体であり、寄生率に対して低かった。その他の魚種では 2 個体に満たなかった。トンガリササノハガイ幼生は 200 個体が確認され、ギンブナ、オイカワ、ヌマムツ、モツゴに寄生していた。寄生率はイシガイと同様にオイカワおよびヌマムツで比較的高く、それぞれ 45.7%と 33.3%であり、その他の魚種では 10%に満たなかった。平均寄生数はオイカワで最も高く 10.8 個体であり、その他の魚種では 2 個体に満たなかった。マツカサガイ幼生は 31 個体が確認され、オイカワ、ヌマムツ、モツゴ、タモロコに寄生していた。マツカサガイはイシガイやトンガリササノハガイと比較すると寄生率、平均寄生数ともに魚種による偏りが少なかった。ドブガイ類幼生は 4 個体が確認され、すべての個体がヌマムツに寄生していた。

上記の他に、計測中に殻を破壊してしまうなどの理由で殻長および殻高を計測することによる種の判別が不可能であった個体は不明個体としてカウントした。不明個体は 230 個体であり、調査期間中に確認した寄生幼生数の合計は 1,033 個体であった。

Table 5-2 ビオトープ池における各種イシガイ類幼生の寄生率と平均寄生数

イシガイ					
魚種	サンプル数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	31	3	9.7	5	1.7 (±1.2)
タイリクバラタナゴ	89	1	1.1	1	1.0
オイカワ	35	23	65.7	497	21.6 (±37.1)
ヌマムツ	39	16	41.0	52	3.3 (±3.0)
モツゴ	52	4	7.7	5	1.3 (±0.5)
タモロコ	61	6	9.8	8	1.3 (±0.5)
合計	307	53		568	
*±SD					
トンガリササノハガイ					
魚種	サンプル数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	31	1	3.2	1	1.0
タイリクバラタナゴ	89	0	0.0	0	0.0
オイカワ	35	16	45.7	172	10.8 (±14.6)
ヌマムツ	39	13	33.3	25	1.9 (±1.0)
モツゴ	52	2	3.8	2	1.0
タモロコ	61	0	0.0	0	0.0
合計	307	32		200	
*±SD					
マツカサガイ					
魚種	サンプル数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	31	0	0.0	0	0.0
タイリクバラタナゴ	89	0	0.0	0	0.0
オイカワ	35	2	5.7	2	1.0
ヌマムツ	39	5	12.8	13	2.6 (±2.6)
モツゴ	52	1	1.9	2	2.0
タモロコ	61	11	18.0	14	1.3 (±0.6)
合計	307	19		31	
*±SD					
ドブガイ類					
魚種	サンプル数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	31	0	0.0	0	0.0
タイリクバラタナゴ	89	0	0.0	0	0.0
オイカワ	35	0	0.0	0	0.0
ヌマムツ	39	2	5.1	4	2.1 (±1.4)
モツゴ	52	0	0.0	0	0.0
タモロコ	61	0	0.0	0	0.0
合計	307	2		4	
*±SD					

2013 年にフネドブガイを対象として行なった調査では，ビオトープ池で採取した魚類のうち，ギンブナ 14 尾，タイリクバラタナゴ 60 尾（1,050 尾中），オイカワ 2 尾，ヌマムツ 5 尾，アブラハヤ 2 尾，モツゴ 27 尾，タモロコ 23 尾，ゼゼラ 1 尾，ドジョウ 8 尾，ミナミメダカ 60 尾を対象に寄生状況を調べた．その結果，フネドブガイ幼生はミナミメダカ 2 尾に各 1 個体，ドジョウ 2 尾に 2 個体と 1 個体，モツゴ 1 尾に 1 個体寄生していた（Fig.5-2）．

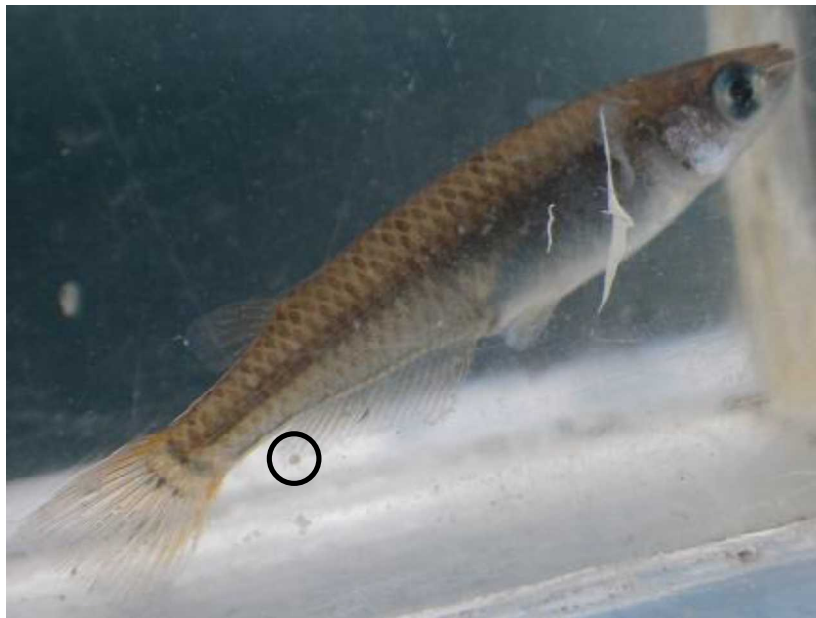


Fig.5-2 ミナミメダカの尻鰭に寄生したフネドブガイ幼生（丸で示す）

5.1.2 寄生部位

各種イシガイ類幼生の寄生部位を **Fig.5-3** に示す。イシガイおよびトンガリササノハガイではほとんどの幼生が鰓に寄生していたが、マツカサガイでは鰓に寄生していたのは 45% であり、イシガイやトンガリササノハガイと比較して鰓に寄生した幼生の割合が高かった。また、ドブガイ類幼生はすべて鰓（鰓弓）に寄生していた。

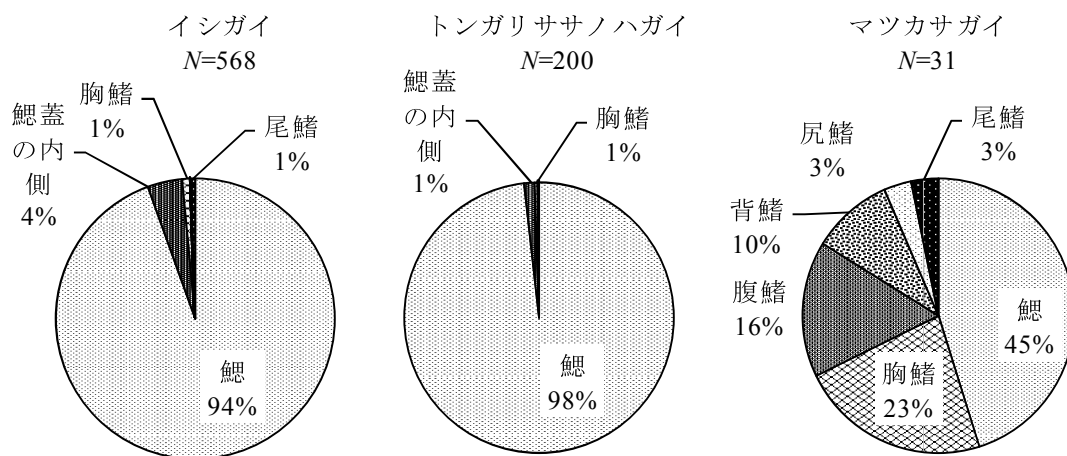


Fig.5-3 ビオトープ池におけるイシガイ類幼生の寄生部位

5.1.3 魚類の体長と寄生数

各魚種の体長と寄生数との関係を **Fig.5-4** に示す。ヌマムツでは体長と寄生数との間に正の相関関係がみられたが（ヌマムツ： $r_s=0.465$, $P=0.034$; Spearman's rank correlation coefficient was performed in R.2.14.2），その他の魚種では相関関係はみられなかった。ただし，各魚種に対してイシガイ類幼生の種類別に体長と寄生数との関係を検定したところ，ヌマムツにおいても相関関係はみられなかった。

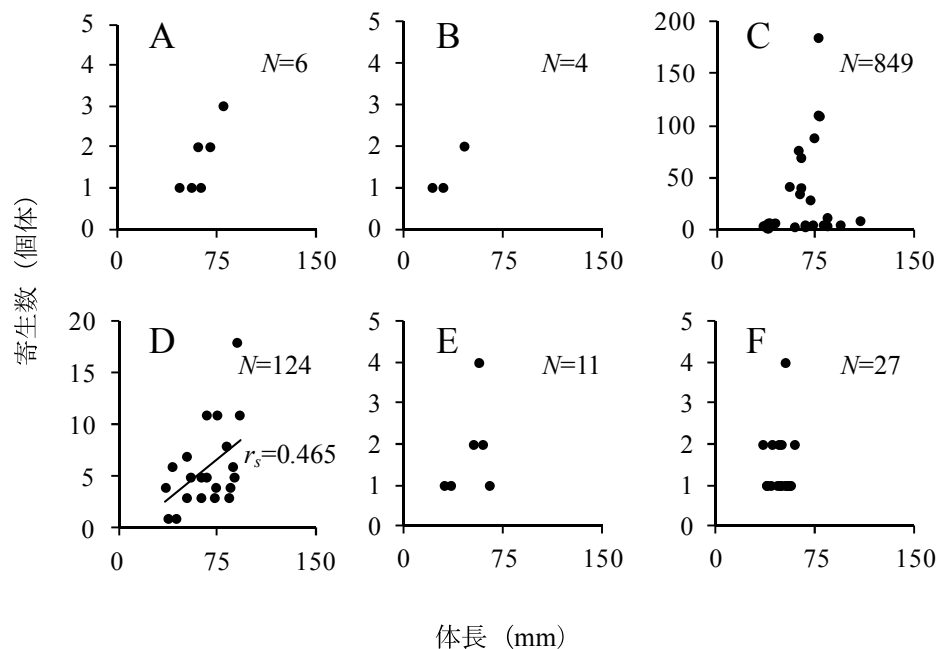


Fig.5-4 ビオトープ池における魚類の体長と寄生数との関係

A : ギンブナ, B : タイリクバラタナゴ, C : オイカワ

D : ヌマムツ, E : モツゴ, F : タモロコ

D のグラフ中にヌマムツの体長と寄生数との回帰直線を示す

5.2 排水路における寄生状況

5.2.1 寄生率および平均寄生数

Table 5-3 に排水路におけるイシガイ類幼生の寄生率および平均寄生数を示す。排水路においてはイシガイ、トンガリササノハガイ、ドブガイ類の幼生の寄生を確認したが、マツカサガイ幼生は確認されなかった。調査対象とした 6 魚種すべてにイシガイ類の幼生が寄生していたが、寄生率および平均寄生数はビオトープ池と同様にオイカワで最も高く、それぞれ 70.6%と 3.3 (±6.0) 個体であった。

Table 5-4 にイシガイ類の種別に寄生率と平均寄生数を示す。イシガイ幼生はビオトープ池と同様に最も多く、26 個体を確認され、タモロコを除く 5 魚種に寄生していた。寄生割合はオイカワで最も高く 35.3%、次いでギンブナで 6.1%であった。平均寄生数はオイカワで最も高く、2.5 (±3.7) 個体であった。トンガリササノハガイ幼生は 15 個体を確認され、オイカワおよびヌマムツに寄生が確認された。寄生割合はオイカワで高く 41.2%であったが、平均寄生数はヌマムツの方が高く、3.0 個体であった。ドブガイ類幼生は 2 個体の幼生を確認され、オイカワとヌマムツに 1 個体ずつ寄生していた。排水路において不明個体は 16 個体であり、調査期間中に確認した寄生幼生数の合計は 59 個体であった。

Table 5-3 排水路におけるイシガイ類幼生の寄生率と平均寄生数

魚種	サンプル数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	33	2	6.1	2	1.0
タイリクバラタナゴ	77	1	1.3	1	1.0
オイカワ	17	12	70.6	40	3.3 (±6.0)
ヌマムツ	36	6	16.7	10	1.7 (±0.8)
モツゴ	75	4	5.3	5	1.3 (±0.5)
タモロコ	22	1	4.5	1	1.0
合計	260				

*±SD

Table 5-4 排水路における各種イシガイ類幼生の寄生率と平均寄生数

イシガイ					
魚種	サンプル 数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	33	2	6.1	2	1.0
タイリクバラタナゴ	77	1	1.3	1	1.0
オイカワ	17	6	35.3	15	2.5 (±3.7)
ヌマムツ	36	2	5.6	3	1.5 (±0.7)
モツゴ	75	4	5.3	5	1.3 (±0.5)
タモロコ	22	0	0.0	0	0.0
合計	260	15		26	
*±SD					
トンガリササノハガイ					
魚種	サンプル 数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	33	0	0.0	0	0.0
タイリクバラタナゴ	77	0	0.0	0	0.0
オイカワ	17	7	41.2	12	1.7 (±1.9)
ヌマムツ	36	1	2.8	3	3.0
モツゴ	75	0	0.0	0	0.0
タモロコ	22	0	0.0	0	0.0
合計	260	8		15	
*±SD					
ドブガイ類					
魚種	サンプル 数	寄生 個体数	寄生率 (%)	寄生 幼生数	平均 寄生数*
ギンブナ	33	0	0.0	0	0.0
タイリクバラタナゴ	77	0	0.0	0	0.0
オイカワ	17	1	5.9	1	1.0
ヌマムツ	36	1	2.8	1	1.0
モツゴ	75	0	0.0	0	0.0
タモロコ	22	0	0.0	0	0.0
合計	260	2		2	
*±SD					

5.2.2 寄生部位

排水路におけるイシガイ類幼生の寄生部位を **Fig.5-5** に示す。イシガイは鰓および鰓蓋の内側に、トンガリササノハガイは鰓および胸鰭に寄生していたが、ビオトープ池同様に鰓における寄生割合が高かった。ドブガイ類はすべての幼生が鰓（鰓弓）に寄生していた。

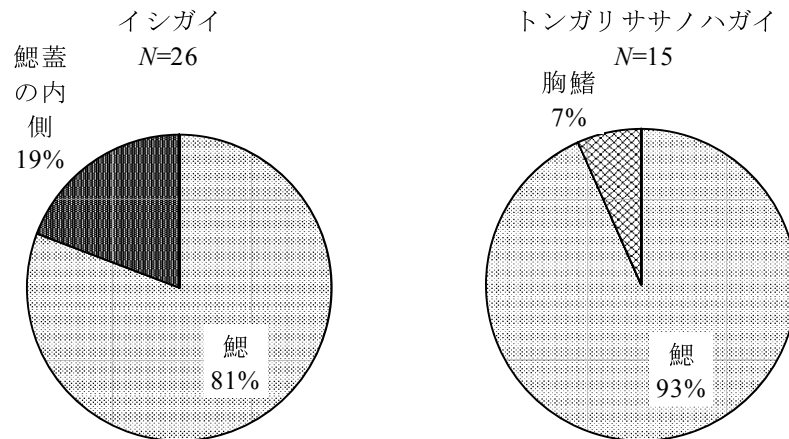


Fig.5-5 排水路におけるイシガイ類幼生の寄生部位

5.2.3 魚類の体長と寄生数

排水路においては、オイカワ、ヌマムツおよびモツゴでは体長と幼生の寄生数との間に相関関係はみられなかった (**Fig.5-6**)。その他の魚種では幼生の寄生数が少なく、両者の関係性は明らかでなかった。

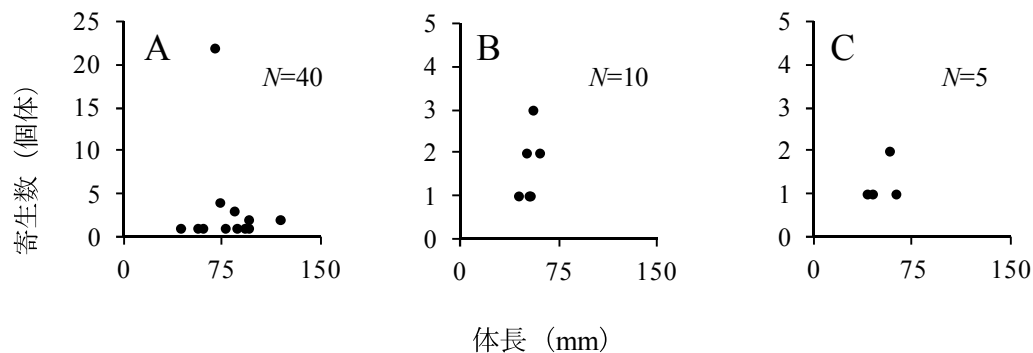


Fig.5-6 排水路における魚類の体長と寄生数との関係

A: オイカワ, B: ヌマムツ, C: モツゴ

5.3 遡上・降下魚における寄生状況

排水路からビオトープ池へ遡上した個体のサンプル数は、タイリクバラタナゴ 45 尾、オイカワ 1 尾、ヌマムツ 1 尾、モツゴ 9 尾、タモロコ 2 尾、の計 58 尾であった。このうち、オイカワ 1 尾、モツゴ 2 尾にイシガイ類幼生の寄生が確認された。オイカワには計 10 個体のイシガイ類幼生が寄生しており、そのうち 1 個体はイシガイ幼生、5 個体がトンガリササノハガイ幼生であり、4 個体については不明であった。モツゴは、イシガイ幼生 1 個体と不明個体 1 個体がそれぞれ寄生していた。

ビオトープ池から排水路へ降下した個体のサンプル数は、ギンブナ 7 尾、タイリクバラタナゴ 27 尾、オイカワ 1 尾、モツゴ 6 尾、タモロコ 1 尾の計 42 尾であった。このうち、オイカワ 1 尾にイシガイ類幼生の寄生が確認された。寄生幼生数の合計は 35 個体であり、そのうち、イシガイ幼生は 20 個体、トンガリササノハガイ幼生は 9 個体であり、6 個体については不明であった。

寄生幼生の総数は遡上魚では 12 個体、降下魚では 35 個体であり、降下魚において多い結果となった。

5.4 考察

5.4.1 調査地における幼生の寄生主

ビオトープ池では、イシガイ幼生は調査対象としたすべての魚種に、トンガリササノハガイ幼生はタイリクバラタナゴとタモロコを除く魚種に寄生していたが、寄生率や平均寄生数は魚種により異なり、オイカワやヌマムツにおいて高く、排水路においても同様の傾向がみられた。また、マツカサガイ幼生はビオトープ池のみで寄生が確認され、イシガイやトンガリササノハガイと比較して寄生率、平均寄生数ともに魚種による偏りが少なかった。2013 年に行なったフネドブガイの寄生状況調査では、幼生の放出時期である 3 月（福原ら，2013）に調査を行なったにも関わらず、確認された幼生数は少なく、ビオトープ池においてどの魚種が主な寄生主であるのかを推察するに足る結果は得られなかった。幼生数が少なかった要因としては、第 3 章で述べたように 2012-2013 年ではフネドブガイの生息数が激減したために、産卵母貝が少なかったことが影響したと考える。

寄生部位では、イシガイ、トンガリササノハガイおよびドブガイ類は鰓における寄生割合が高く、マツカサガイは鰓および鰭に同程度の割合で寄生しており、排水路でも同様の結果が得られた。Kondo（2008）はイシガイおよびトンガリササノハガイは主に鰓に、マツカサガイおよびドブガイ類は鰓と鰭に寄生するとしており、伊藤ら（2003）はマツカサガイについて、ドジョウ、タモロコおよびヨシノボリ類に寄生していた幼生の 5 割あるいはそれ以上が鰭に、それ以外が鰓に寄生していたことを報告している。本研究もこれらの既往研究の結果を支持するものとなった。

魚類の体長と寄生数との関係では、ビオトープ池においてヌマムツと幼生の寄生数の間に正の相関関係がみられたが、イシガイ類の種類別に検討すると相関関係はみられなかった。また、排水路ではいずれの種においても相関関係はみられなかった。Bauer（1987）は、イシガイ目カワシンジュガイ科の *Margaritifera margaritifera* が寄生主とするブラウントラウト *Salmo trutta* では、体長が大きい個体ほど寄生数が減少することを報告しているが、本調査地ではそのような傾向がみられなかった。また、Bauer（1987）はそのような傾向がみられる要因として、体長が大きい個体は過去に寄生を経験しており、幼生の寄生に対する抵

抗性を獲得しているためとしている。魚類の幼生の寄生に対する生理的反応は第 6 章において詳しく述べるが、本調査地では魚類の抵抗性といった生理的条件に加え、幼生との接触機会といった生態的条件が寄生状況に強く影響する要因であると考ええる。

5.4.2 魚類の移動を介した幼生の分散

ビオトープ池、排水路ともに寄生率と平均寄生数が高かったオイカワについて採捕地点別の平均寄生数を比較してみると、イシガイとトンガリササノハガイではビオトープ池および魚道下部（降下個体）で採捕した個体においては排水路および魚道上部（遡上個体）で採捕した個体と比較して平均寄生数が高い結果となった（Table 5-5）。

野外におけるイシガイ類の寄生状況には、水底付近において放出された幼生と魚類との接触機会の有無が影響する（福原ら，1986）。グロキディウム幼生は塊で放出され、水路のような流水環境では水流により拡散して流下し（伊藤・丸山，2004）、止水環境では水底に沈殿する（福原ら，1986）。ビオトープ池は給水ポンプが稼働する時間帯には緩やかな水流が生じるものの、ほぼ止水に近い環境である。そのため、放出された幼生はほとんどがビオトープ内に沈殿すると考えられる。また、ビオトープ池内の魚類は給水ポンプが稼働する時間帯に越流する魚道を介してのみ排水路へ移出することが可能であることから、ビオトープ池内に長時間留まる可能性が高い。さらに、ビオトープ池の水深は約 0.2m と低く、オイカワやヌマムツのような遊泳魚でも幼生が放出される水底付近を泳ぐ確率が高い。これらの条件から、ビオトープ池は魚類が幼生に接触しやすい環境であったと考える。また、第 3 章で明らかにしたようにビオトープ池には多数のイシガイ類が生息していることから、

Table 5-5 各採捕地点におけるオイカワ 1 尾あたりのイシガイ類幼生の平均寄生数

種類	平均寄生数*			
	ビオトープ池	魚道上部	魚道下部	排水路
イシガイ	21.6 (±37.1)	1	20	2.5 (±3.7)
トンガリササノハガイ	10.8 (±14.6)	5	9	1.7 (±1.9)
マツカサガイ	1	0	0	0
ドブガイ類	0	0	0	1
不明	11.4 (±12.0)	4	6	2.4 (±2.1)

*±SD

繁殖期には多数の幼生がビオトープ池内で生産されると推測する。一方、排水路ではイシガイ類は生息しているもののビオトープ池と比較して生息密度が低いことや、流水環境であり幼生が拡散しやすいこと、魚類が周辺水域へ移動する際に障害となるものがないこと、水深が 1m 近いことから、ビオトープ池と比較して幼生が寄生しにくい環境であったと考えられる。そのために、平均寄生数はビオトープ池やビオトープ池からの降下個体において高かったであろう。

5.5 小括

ビオトープ池および排水路におけるイシガイ類幼生の寄生状況を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- ・ビオトープ池ではイシガイ、トンガリササノハガイ、マツカサガイ、ドブガイ類の、排水路ではイシガイ、トンガリササノハガイ、ドブガイ類の幼生の寄生を確認した。
- ・調査対象とした魚種のうち、オイカワやヌマムツにおいて寄生率や平均寄生数が高かった。
- ・イシガイ、トンガリササノハガイ、ドブガイ類幼生は主に鰓に、マツカサガイ幼生は鰓と鰭に寄生していた。
- ・ビオトープ池と排水路間で魚類を介した幼生の遡上、降下が生じており、ビオトープ池で多数のイシガイ類幼生が寄生していると考えられた。

本章においては、現地の生態的要因が影響する幼生の寄生状況を明らかにした。次の第 6 章では各魚種の生理的適性を検討する。

第6章 イシガイ科二枚貝3種の宿主魚種

調査地に生息する魚類のイシガイ類の宿主としての生理的適性を明らかにするため、イシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイを対象として寄生実験を行なった。実験対象とした魚種において、寄生幼生のうち稚貝に変態した個体の割合を変態率として求め、宿主としての適性を検討した。

6.1 未変態の幼生と変態稚貝

未変態で脱落した幼生の殻は透明であり、閉殻筋などの内容物はみられず、殻を閉じた状態や開いた状態で脱落していた (**Fig.6-1**)。これに対して変態が完了した稚貝は茶褐色で内容物が充填しており、幼生時の殻の内側に新しい殻の形成が確認されたほか、足を盛んに伸ばしたり、殻を開閉する様子が観察された (**Fig.6-2**)。殻の内部や足の表面には繊毛があり、盛んに動かしていた。また、変態途中と考えられる個体も確認した。それらは殻を閉じた状態で脱落しており、中身は充填していて幼生の様子とは明らかに異なるものの、新しい殻の形成が見られず、足の動きも観察されなかった。変態途中と考えられる個体は未変態の個体として計数した。

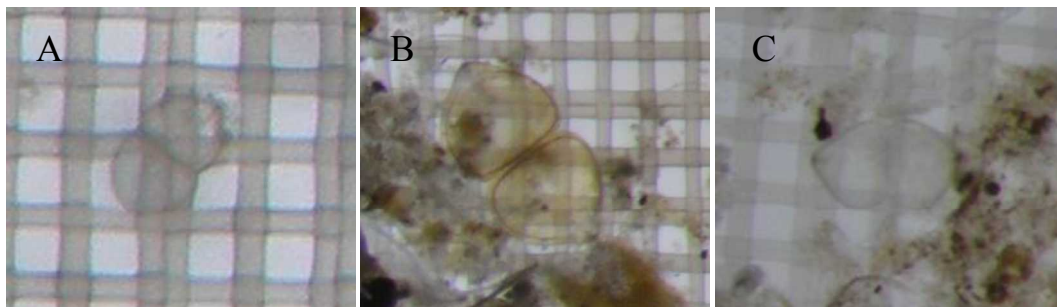


Fig.6-1 寄生実験で得られた未変態の脱落幼生

A : イシガイ, B : トンガリササノハガイ, C : フネドブガイ



Fig.6-2 寄生実験で得られた変態が完了した稚貝

A : イシガイ, B : トンガリササノハガイ, C : フネドブガイ

6.2 変態率

Table 6-1 に、各魚種からの未変態の幼生および変態が完了した稚貝の脱落数と変態率を示す。変態率は各魚種における変態稚貝数を寄生幼生数の合計（実験中に脱落した未変態の幼生数＋変態稚貝数）で除したものである。イシガイ、トンガリササノハガイ、フネドブガイともにすべての魚種から未変態の幼生が脱落しており、幼生はすべての魚種に寄生したが、稚貝へと変態した魚種は限られた。イシガイではオイカワ、ヌママツ、モツゴ、カワヨシノボリ、カマツカおよびスナヤツメの 6 魚種、トンガリササノハガイはオイカワ、ヌママツおよびカワヨシノボリの 3 魚種、フネドブガイはギンブナ、タイリクバラタナゴおよびドジョウを除く 9 魚種で稚貝に変態した。3 種共通して宿主であったのはオイカワ、ヌママツおよびカワヨシノボリであり、共通して非宿主であったのはギンブナ、タイリクバラタナゴおよびドジョウであった。

各種イシガイ類において変態率は魚種間で異なった。イシガイではオイカワで 95.3%、カワヨシノボリで 88.1%と非常に高く、それ以外の魚種では 5%以下であった。トンガリササノハガイでは、ヌママツで 52.3%（2 回目の実験では 50.8%）、オイカワで 44.4%であり、カワヨシノボリで 3.8%であった。フネドブガイでは、最も変態率が高いのはヌママツで 30.3%であり、イシガイやトンガリササノハガイと比較して全体的に低い変態率を示した。また、同じ魚種であっても貝の種類によって変態率は異なり、共通して宿主であったオイカワ、ヌママツおよびカワヨシノボリに着目すると、オイカワはイシガイで 95.3%と非常に高い変態率を示したものの、トンガリササノハガイでは 44.4%、フネドブガイでは 11.9%であった。また、ヌママツはイシガイでは 4.8%と低かったが、トンガリササノハガイでは 44.4%、フネドブガイでは 30.3%と比較的高い値を示した。カワヨシノボリはイシガイで 88.1%と高い値を示したが、トンガリササノハガイでは 3.8%、フネドブガイでは 23.5%と比較的低い値を示した。

Table 6-1 各種イシガイ類幼生の脱落個体数および変態率

イシガイ				
魚種	脱落数（個体）			変態率（%）
	未変態幼生	変態稚貝	計	
ギンブナ	88	0	88	0.0
タイリクバラタナゴ	39	0	39	0.0
オイカワ	37	743	780	95.3
ヌマムツ	380	19	399	4.8
モツゴ	51	2	53	3.8
タモロコ	49	0	49	0.0
ゼゼラ	59	0	59	0.0
カマツカ	592	1	593	0.2
ドジョウ	64	0	64	0.0
シマドジョウ類	230	0	230	0.0
カワヨシノボリ	33	244	277	88.1
スナヤツメ	33	1	34	2.9
トンガリササノハガイ				
魚種	脱落数（個体）			変態率（%）
	未変態幼生	変態稚貝	計	
ギンブナ	8	0	8	0.0
タイリクバラタナゴ	41	0	41	0.0
オイカワ	69	55	124	44.4
ヌマムツ*	41/151	45/156	86/307	52.3/50.8
モツゴ	13	0	13	0.0
タモロコ	26	0	26	0.0
ゼゼラ	15	0	15	0.0
カマツカ	229	0	229	0.0
ドジョウ	32	0	32	0.0
シマドジョウ類	174	0	174	0.0
カワヨシノボリ	251	20	271	7.4
スナヤツメ	4	0	4	0.0
フネドブガイ				
*1 回目/2 回目の実験結果を示す				
魚種	脱落数（個体）			変態率（%）
	未変態幼生	変態稚貝	計	
ギンブナ	57	0	57	0.0
タイリクバラタナゴ	26	0	26	0.0
オイカワ	96	13	108	11.9
ヌマムツ	53	23	76	30.3
モツゴ	19	3	22	13.6
タモロコ	47	1	48	2.1
ゼゼラ	35	1	36	2.8
カマツカ	536	4	540	0.7
ドジョウ	308	0	308	0.0
シマドジョウ類	456	92	548	16.8
カワヨシノボリ	143	44	187	23.5
スナヤツメ	43	2	45	4.4

6.3 寄生状況の経時変化

実験期間中の各日における寄生中の幼生，未変態の幼生，変態が完了した稚貝の割合の経時変化を **Fig.6-3**, **6-4**, **6-5** に示す．また，いずれの種でも，実験終了後に行った解剖では魚体に残った幼生はみられなかったことから，寄生幼生は実験期間内にすべて脱落したといえる．

(1) イシガイ

未変態の幼生は実験開始後 1-10 日目に脱落が確認され，稚貝が得られなかった非宿主では 4 日以内にすべての寄生幼生が未変態のまま脱落した．変態が完了した稚貝は実験開始後 6-11 日目に脱落した．変態稚貝の平均寄生日数は，2009 年 9 月の実験では 8.5 日，2012 年 5 月の実験では 8.3 日であった．稚貝が得られた宿主魚種においては，稚貝の脱落と同時期に未変態の幼生の脱落も観察された．宿主魚種のうち，変態率が比較的低いモツゴおよびスナヤツメでは未変態のまま脱落した幼生の約 8 割が実験開始 1 日後に脱落したが，ヌマムツでは未変態の幼生の脱落割合が漸次的に増加する傾向があり，モツゴやスナヤツメと比較して未変態のまま脱落する幼生が長期間魚体に残る傾向がみられた (**Fig.6-3**)．

(2) トンガリササノハガイ

未変態の幼生は実験開始後 1-11 日目に確認された．非宿主のうち，ドジョウ以外の魚種からは実験開始 3 日以内にすべての寄生幼生が脱落した．ドジョウでは 9 割が 3 日目までに脱落したが，10 日目にも 1 個体の未変態の幼生が脱落した．変態稚貝は実験開始 6-11 日目に脱落した．変態稚貝の平均寄生日数は 2012 年 8 月の実験では 7.2 日，2013 年 6 月の実験では 7.8 日であった．イシガイと同様に宿主魚種では稚貝の脱落と同時に未変態の幼生の脱落がみられた (**Fig.6-4**)．

(3) フネドブガイ

未変態の幼生は実験開始後 1-24 日目に観察された．また，非宿主においても比較的長期間 (4-24 日間) 幼生が魚体に残る傾向がみられた．変態稚貝は実験開始 12-24 日目に観察され，イシガイおよびトンガリササノハガイと同様に，稚貝の脱落時に未変態の幼生の脱落も確認された (**Fig.6-5**)．変態稚貝の平均寄生日数は 14.2 日であった．

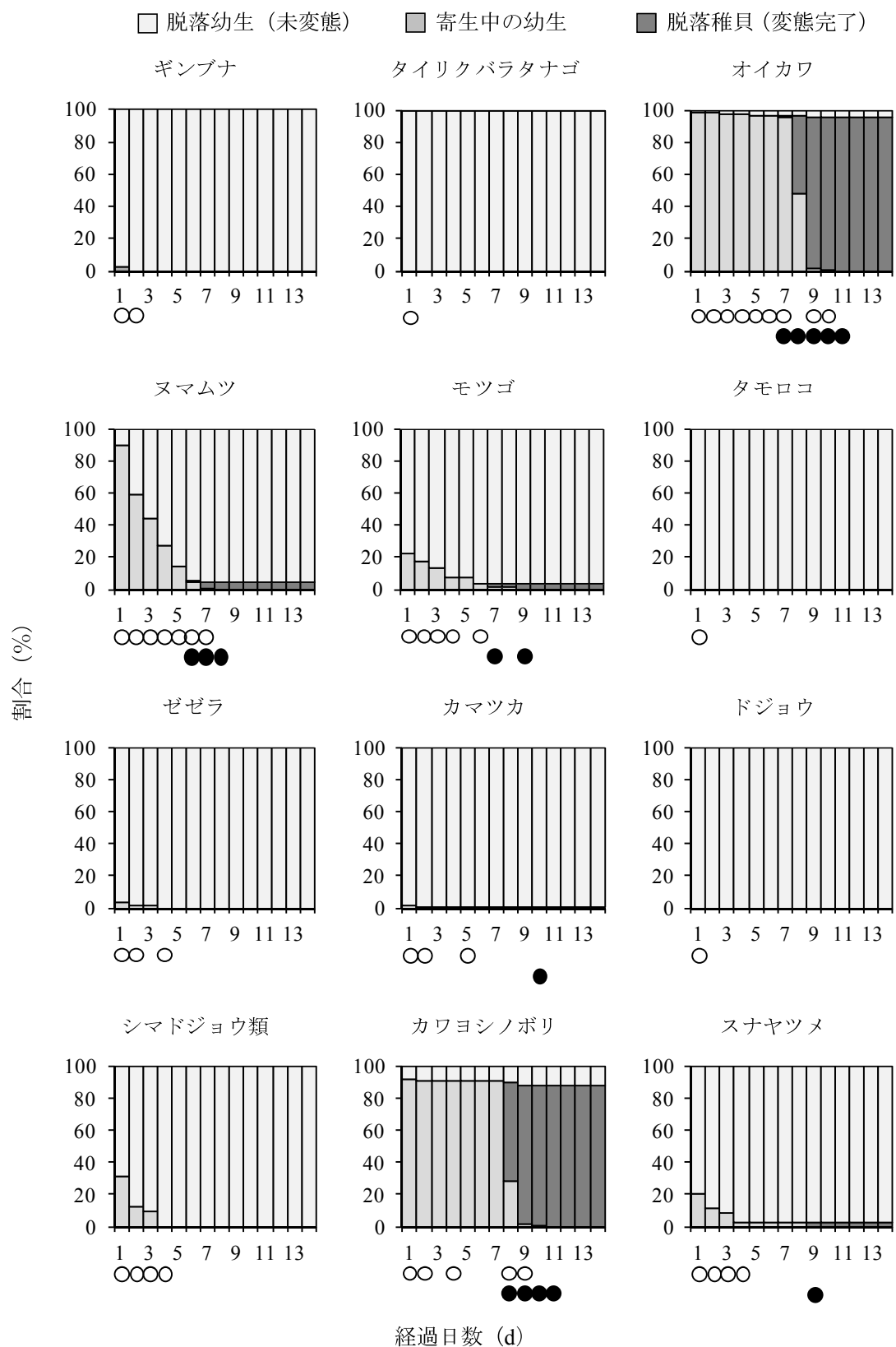


Fig.6-3 イシガイの脱落状況の経時変化
(白丸は幼生の、黒丸は稚貝の脱落日を示す)

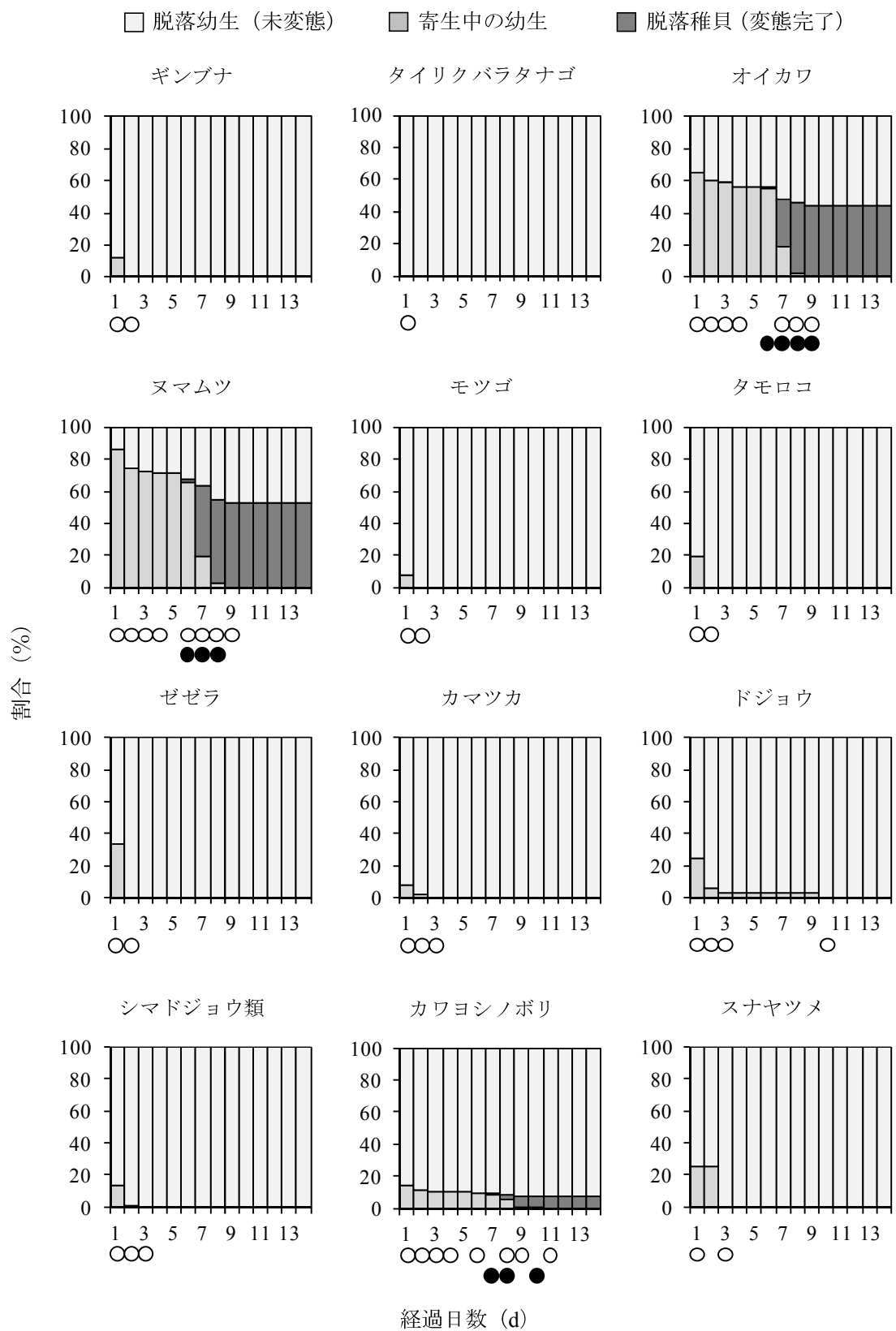


Fig.6-4 トンガリササノハガイの脱落状況の経時変化

（白丸は幼生の、黒丸は稚貝の脱落日を示す）

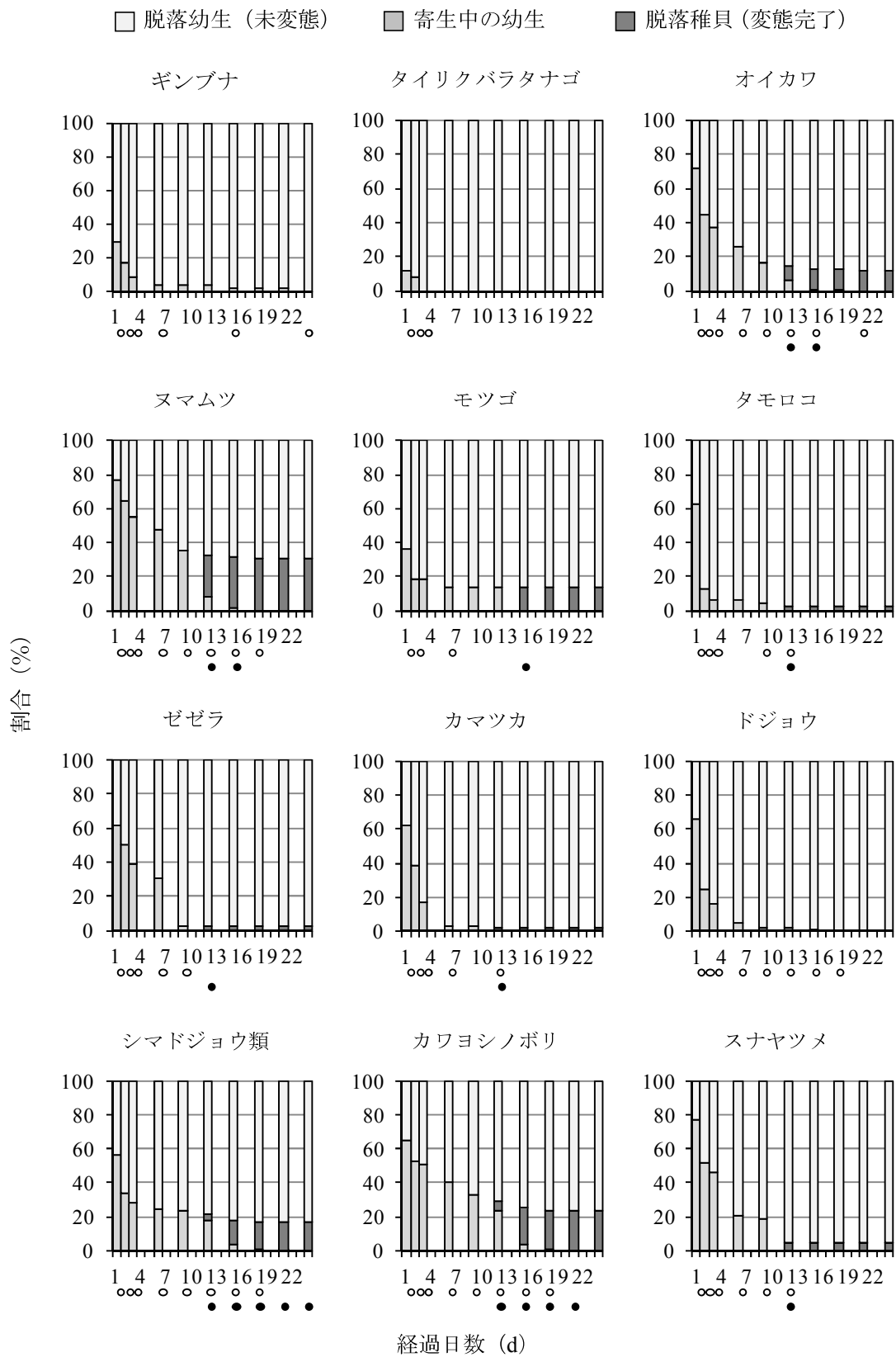


Fig.6-5 フネドブガイの脱落状況の経時変化
(白丸は幼生の、黒丸は稚貝の脱落日を示す)

6.4 考察

本実験の結果、変態率は魚種間で異なり、同じ魚種でも貝の種間で異なった。イシガイは 6 魚種が宿主であったが、その中でもオイカワおよびカワヨシノボリにおいて非常に高い変態率を示した。トンガリササノハガイは 3 魚種のみが宿主であり、実験対象とした 3 種のうち最も宿主特異性が高かった。一方、宿主特異性が最も低かったのはフネドブガイで 9 魚種が宿主であった。

変態率に影響する要因としては、魚類が生来もつ免疫力や抵抗性に加え、獲得抵抗性が知られている。獲得抵抗性は過去にイシガイ類幼生の寄生を経験したことにより得るものであり (Rogers and Dimock, 2003), 同種のイシガイ類だけでなく他種のイシガイ類幼生への交差抵抗性も報告されている (Dodd et al., 2005)。獲得抵抗性を得た個体においては、宿主魚種であっても幼生の寄生数が減少する (近藤, 2014), シストの形成が開始されるまでの時間や完了するまでの時間が長くなり、その形状が不完全となる (Rogers and Dimock, 2006), 変態率が低下する (Rogers and Dimock, 2003) ことが報告されている。本研究で用いた魚の寄生履歴は不明であることから、獲得抵抗性が変態率に影響した可能性は評価できない。しかし、イシガイにおけるオイカワで 95.3%, カワヨシノボリで 88.1% という変態率は獲得抵抗性の影響を考慮しても非常に高いといえる。また、獲得抵抗性を得た個体でも変態率が 0% になることはなく (Strayer, 2008), 本研究で稚貝が得られなかった魚種については元々宿主としての適性を持たない種であると考ええる。

イシガイおよびトンガリササノハガイの寄宿主を検討した既往研究としては、人為的に幼生を魚類に寄生させて寄生持続日数から検討した Kondo (1989) と、野外において採取した魚種におけるシストの形成状況から検討した石田ら (2010) が挙げられる。Kondo (1989) は寄生後 7 日後に寄生幼生の半数以上が寄生を続けた魚種を宿主として判断しており、イシガイの宿主としてオイカワ、カワムツ *Zacco temminckii*, モツゴ, カワヨシノボリが、トンガリササノハガイの宿主としてオイカワ、カワムツおよびカワヨシノボリが適しているとしている。カワムツは現在のカワムツ *Candidia temminckii* とヌマムツの混称であり、両種が分類されたのは 2003 年である (Hosoya et al., 2003)。そのため、Kondo (1989) が用いた

種がどちらであるのかは明らかでないが、本研究の結果は概して Kondo (1989) の結果を支持するものとなった。ただし、本研究においてはモツゴに寄生したイシガイ幼生のうち約 8 割が実験開始 1 日目に脱落していることから、7 日後にはじめに寄生した幼生の半数以上のが寄生し続けたという Kondo (1989) の研究結果とは傾向が異なった。石田ら (2010) は、淀川のワンドに生息する 19 魚種群を対象に検討を行い、魚体上のシストの形成状況から寄主としての適性を検討している。その結果、ギンブナではほとんどの幼生がシストで覆われ、イシガイの寄主として適した魚種であると報告しており、本実験とは異なる結果を示した。なぜこのような差異が生じたのかは明らかではないが、イシガイ類の宿主魚種の検討においては、同種のイシガイ類および魚類であっても結果が異なる場合があり (伊藤ら, 2003), この要因としては、検討方法の違いや、地域の違いにより異なる宿主選択性を発達させた可能性が指摘されている (伊藤ら, 2003)。また、石田ら (2010) は淀川のワンドにおいて、トンガリササノハガイ幼生は多様な魚種の中でオイカワのみに寄生していたことを報告している。これは本研究と同様にトンガリササノハガイの宿主特異性の高さを示すものであると考える。フネドブガイの宿主に関しては Kondo (2008) がヨシノボリ類から稚貝が得られたことを述べているほかは既往研究が存在しないものの、フネドブガイが属するドブガイ族 *Anodontini* は宿主特異性が低く、宿主である魚種数が多い分類群とされ (Strayer, 2008), 本研究においてもフネドブガイは他の 2 種と比べて宿主特異性が低かった。

宿主特異性の程度に影響するイシガイ類の生態的要因として Neves et al. (1985) は幼生の寄生部位を挙げ、鰭は鰓と比較して免疫系から隔離された器官であるために、鰭に寄生する幼生は魚類の免疫反応の影響を受けにくくより多くの魚種を宿主として利用できるとしている。また、Bauer (1994) は、幼生のサイズが大きな種類は寄生期間が短期間であり、そのために魚の免疫の影響を受けにくいとしている。日本産イシガイ類に関しては Kondo (1989) が繁殖期および抱卵数との関連性を挙げ、夏繁殖型の種では抱卵数が少なく、宿主特異性が高くなり、冬繁殖型の種では抱卵数が多く宿主特異性が低くなることを報告している。Kondo (2008) によると、イシガイとトンガリササノハガイの幼生の大きさはそれ

ぞれ $156 \times 183 \mu\text{m}$ と $209 \times 215 \mu\text{m}$ であり、主に鰓に寄生する。それ対しフネドブガイ幼生は $392 \times 398 \mu\text{m}$ と大きく、鰓や鰭に寄生する。また、イシガイとトンガリササノハガイは夏季繁殖型であり寄生期間は比較的短く、フネドブガイは冬季繁殖型であり寄生期間は長い。そのため、フネドブガイは Bauer (1994) が示した幼生サイズが大きいほど寄生期間が短いというタイプには当てはまらず、本研究においてイシガイとトンガリササノハガイに比べフネドブガイの宿主特異性が低かったのは Neves (1985) および Kondo (1989) の説に支持されるように思われる。ただし、Levine et al. (2012) はイシガイ目イシガイ科の *Popenaias popeii* の幼生を 31 魚種の鰓に寄生させた結果、約 8 割の 24 種から稚貝が得られたことを報告している。また、伊藤ら (2003) は、夏季繁殖型のマツカサガイで実験に用いた 11 魚種すべてから稚貝が得られたことを報告している。そのため、寄生部位や寄生期間、繁殖時期などのイシガイ類の生態的要因が宿主特異性に影響する要因となり得るかは今後の検討を要する。

6.5 小括

イシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイについて、調査地に生息する 12 魚種を対象として寄生実験を行なった。その結果、以下のことが明らかになった。

- ・ 3 種とも実験対象としたすべての魚種に寄生したが、稚貝へ変態したのはイシガイでは 6 魚種、トンガリササノハガイでは 3 魚種、フネドブガイでは 9 魚種であった。
- ・ 変態率は各魚種で異なり、最も高かったのはイシガイではオイカワ 95.3%、トンガリササノハガイではヌマムツ 52.3%、フネドブガイでヌマムツ 30.3%であった。

本章では調査地に生息する魚類のイシガイ、トンガリササノハガイ、フネドブガイの宿主としての生理的適性を明らかにした。第 5 章での寄生状況の結果をふまえ、第 8 章にてイシガイ類の再生産や移動分散に果たす役割の大きい魚種を検討し、ビオトープ池におけるイシガイ類の移入や再生産に宿主魚種が与えた影響を考察する。

第7章 宿主魚種3種の移動距離

宿主魚種がどの程度の範囲まで幼生を分散させ得るかを検討するため、2009年と2012年に標識再捕獲法を用いて夏季繁殖型のイシガイ類の寄生期間における魚類の移動距離を調べた。対象魚種は第5章および第6章において明らかにした宿主魚類のうち、ヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリとした。ヌマムツおよびオイカワは遊泳力が高い遊泳魚に、カワヨシノボリは遊泳力が低い底生魚に分類される（農林水産省、1994）。

7.1 宿主魚種3種の移動距離

(1) ヌマムツ

2012年の調査ではヌマムツは1尾も再捕獲されなかった。そのため、2009年の調査結果のみを記す。放流から7日間以内に再捕獲された標識個体数は39尾であり、全放流個体の約7%であった。また、排水路の定置網設置個所よりも上流部で追い込み調査を行なった3日間で採捕した標識個体は39尾中3尾（再捕獲個体の約8%）であった。下流部と上流部からの移動個体数はそれぞれ23尾（下流部へ放流した個体の約7%）と16尾（上流部へ放流した個体の約8%）であり、下流からの移動では3,000mを除くすべての地点から、上流からの移動ではすべての地点からの移動を確認した（Fig.7-1）。ただし、下流部1,800-3,000m地点に放流を行なった4日後に管瀬川の下流2,300m地点にある水門が閉じられた。このことが、水門より下流からのヌマムツの移動に影響した可能性がある。標識個体の移動距離を再捕獲までの日数で割ることにより算出した一日あたりの平均移動距離（ \pm SD）は、下流部からの移動個体では247.9（ \pm 155.3）m/d、上流部からの移動個体では207.8（ \pm 158.5）m/dであり、上流部と下流部からの移動では差はみられなかった（ $U=147$, $P=0.295$, Mann-Whitney U -test）。また、一日あたりの最大移動距離は600m/dであった（Table 7-1）。

一日あたりの移動距離と再捕獲個体の体長との関係では、下流部からの移動個体では正の相関関係がみられた（ $r_s=0.559$, $P=0.005$ Spearman's rank correlation coefficient was performed in R.2.14.2）。一方、上流部からの移動個体では両者の間に相関関係はみられな

った (Fig.7-2).

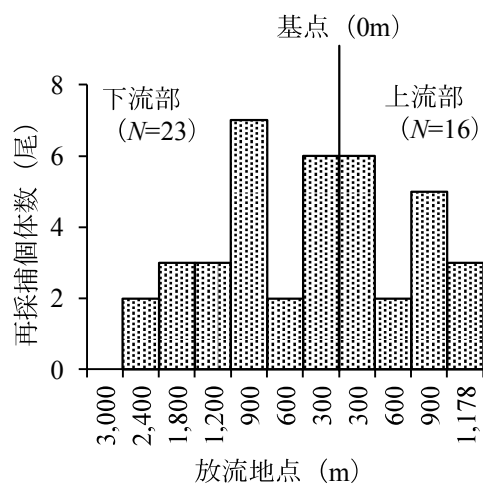


Fig.7-1 放流地点別の再捕獲数 (ヌマムツ)

Table 7-1 放流からの経過日数別の再捕獲個体数 (ヌマムツ)

放流地点 (m)	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目	計
上流部								
1,178		1	2					3
900			3	1	1			5
600				1			1	2
300			1	2	1	2		6
下流部								
300		1	2	1	2			6
600				1		1		2
900		1	3		1	2		7
1,200		1	1			1		3
1,800					1	1	1	3
2,400					2			2
計	0	4	12	6	8	7	2	39

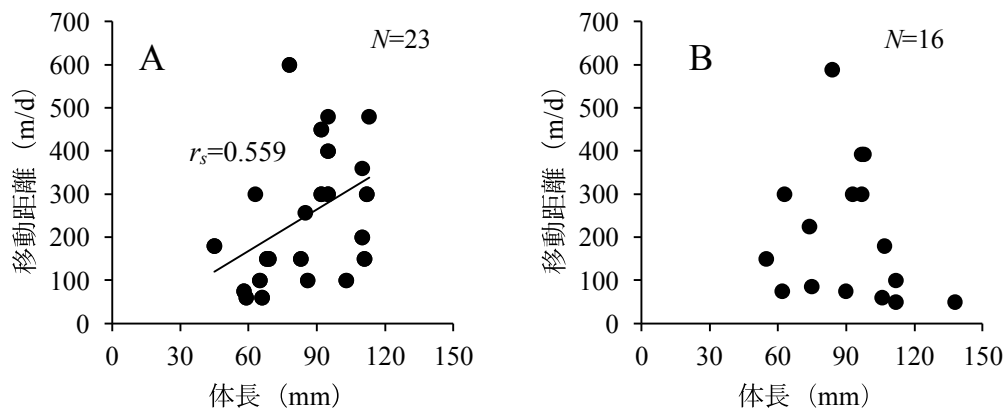


Fig.7-2 ヌマムツの体長と移動距離の関係

A：下流部からの移動個体，B：上流部からの移動個体

図 A 中に下流部からの移動個体の移動距離と体長との回帰直線を示す

(2) オイカワ

オイカワは放流から7日以内に6尾が再捕獲され、放流個体の再捕獲率は約3%であった。

下流部と上流部からの移動個体はそれぞれ4尾と2尾であり、下流からは300, 900, 1,800m地点から、上流からは900, 1,178m地点からの移動を確認した (Fig.7-3)。また、一日あたりの平均移動距離 (±SD) は、下流からの移動では 225.0 (±86.6) m/d、上流からの移動個体では 248.2 (±73.3) m/d であり大きな差はみられなかった。最も一日あたりの移動距離が大きかったのは上下流ともに900m地点から移動した個体で300m/dであった。(Table 7-2)。再捕獲個体数が少なかったため、一日あたりの移動距離と体長との関係では明らかではない。

(3) カワヨシノボリ

カワヨシノボリは放流から7日以内に4尾が採捕され、放流個体の再捕獲率は約2%であった。下流部と上流部からの移動個体はそれぞれ2尾であり、上流からは300m地点のみ、下流からは300, 600m地点からの移動を確認した (Fig.7-4)。一日当たりの平均移動距離 (±SD) は、下流からの移動では 125.0 (±35.4) m/d、上流からの移動では 67.5 (±10.6) m/d であり、下流からの移動の方が大きかった。最も一日あたりの移動距離が大きかったのは下流300m

地点から移動した個体で 150m/d であった (Table 7-3). オイカワと同様に再捕獲個体数が少なく一日あたりの移動距離と体長との関係では明らかではない.

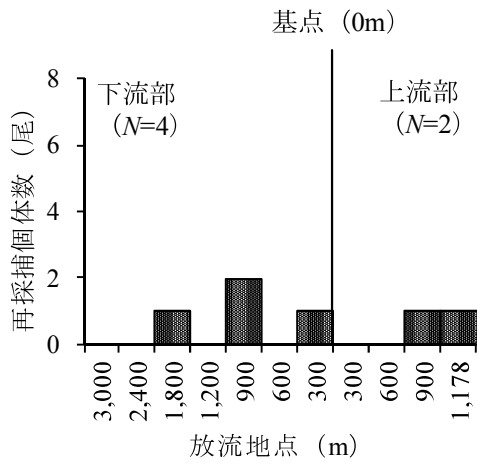


Fig.7-3 放流地点別の再捕獲数 (オイカワ)

Table 7-2 放流からの経過日数別の再捕獲個体数 (オイカワ)

放流地点 (m)	1 日 目	2 日 目	3 日 目	4 日 目	5 日 目	6 日 目	7 日 目	計
上流部								
1,178						1		1
900			1					1
600								0
300								0
下流部								
300		1						1
600								0
900			1			1		2
1,200						1		1
1,800								0
2,020								0
計	0	1	2	0	0	3	0	6

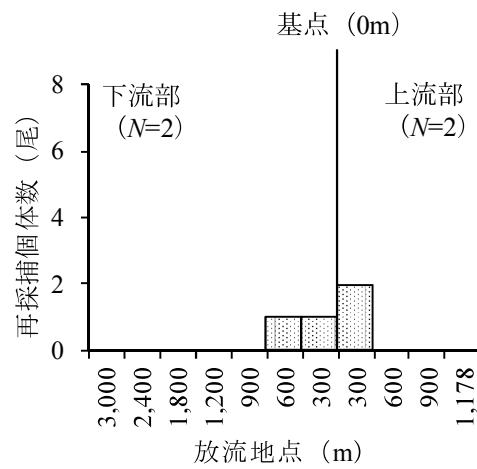


Fig.7-4 放流地点別の再捕獲数 (カワヨシノボリ)

Table 7-3 放流からの経過日数別の再捕獲個体数 (カワヨシノボリ)

放流地点 (m)	1 日目	2 日目	3 日目	4 日目	5 日目	6 日目	7 日目	計
1,178								0
上流部								0
900								0
600								0
300				1	1			2
300		1						1
600						1		1
下流部								0
900								0
1,200								0
1,800								0
2,020								0
計	0	1	0	1	1	1	0	4

7.2 考察

7.2.1 移動距離の推定式

調査結果より各魚種における一日あたりの平均移動距離および最大移動距離を得た。しかし、イシガイ類幼生の寄生期間中の移動を考えた場合、魚が寄生期間中に平均移動距離や最大移動距離を一定方向に毎日移動し続けるとは考えにくい。また、本研究の結果からは上流、下流からの移動ともに移動個体数や一日あたりの平均移動距離に大きな差は見られなかった。そこで、調査により得られた標識個体の再捕獲までの日数を説明変数、移動距離を目的変数として一般化線形モデルを用いて解析し、各魚種について両者の間に次の関係式を得た (Fig.7-5)。

ヌマムツ： $y=\exp(6.50+0.06x)$

オイカワ： $y=\exp(5.95+0.21x)$

カワヨシノボリ： $y=\exp(5.17+0.17x)$

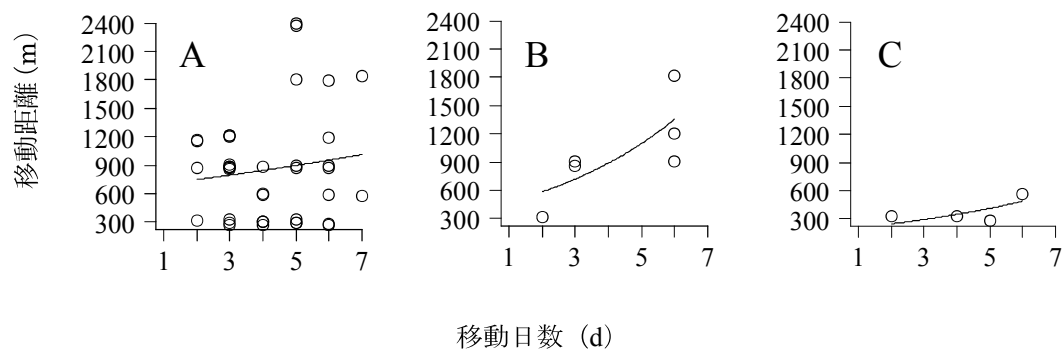


Fig.7-5 移動日数と移動距離との関係式

A：ヌマムツ (N=39), B：オイカワ (N=6), C：カワヨシノボリ (N=4)

各図中に各魚種における移動距離と移動日数との回帰曲線を示す

推定式に本調査で設定したイシガイ類幼生の寄生期間である 7 日を代入すると、ヌマムツは約 1,040m、オイカワは約 1,669m、カワヨシノボリは約 578m 移動すると推定され、ヌマムツおよびオイカワはカワヨシノボリよりも移動距離が約 2 倍長い結果となった。これより、ヌマムツとオイカワはイシガイ類幼生を広範囲に拡散させることが可能であり、個体群間の再生産交流や新たな生息地への移動分散に寄与する魚種であると考え。一方、カワヨシノボリはオイカワやヌマムツと比較して、長距離の移動分散よりも比較的狭い範囲での再生産や個体数維持に寄与する魚種であると考え。

体長と移動距離との関係では、ヌマムツのみ下流部からの移動において相関関係がみられた。これは、下流部からの移動では体長が大きいほど遊泳能力が強く、流れに逆らって泳ぐことができるためであると考え。そのため、体長が大きい個体ほどより遠くへイシガイ類幼生を拡散させることができる可能性がある。

7.2.2 水田水域における宿主魚の移動に影響する要因

2009 年と比較して 2012 年に行なった調査では再捕獲率が低く、ヌマムツは標識個体が再捕獲されなかった。2012 年では 2009 年よりも放流した標識個体数が少なかったことが影響した可能性が考えられるが、同様の採捕方法で調査を行ったにも関わらず、未標識個体を含めた採捕数も 2009 年と比較して 2012 年では少なかった (Table7-4)。魚類が好む生息環境は季節によって変化することから (中村ら, 1996), 2009 年では 8 月に、2012 年は 9 月に調査を行なったことが採捕結果に影響した可能性も考えられるが、2012 年において個体数が少なかった理由は本研究からは明らかではない。また、同じ水路であっても年によって優占魚種が異なることは西村ら (2006) によっても報告されており、今後、時期別あるいは年単位での魚類の移動特性を明らかにすることは、水田地帯における魚類の保全だけでなく、イシガイ類の保全の観点からも重要であると考え。

Table 7-4 採捕期間中の魚種別採捕数

2009 年

魚種	採捕数（尾）*													計
	8/13	8/14	8/15	8/16	8/17	8/18	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25	
ウナギ									1					1
コイ			2			1				2				5
ギンブナ	1	6	16	6	21	4	5		13		10	3	9	94
タイリクバラタナゴ	20	13	10	14	24	11	2	2	19	4	13	3	3	138
オイカワ	8	33	120	65	77	95	9	8	70		17	49	3	554
ヌマムツ	13	29	87	47	78	71	15	4(204)	51	14(328)	19	32	7(114)	467(646)
アブラハヤ	10	4	3	2	1	11	7	5	2	3	3	5		56
モツゴ	3	10	8	16	12	3	5	1	4		5	2	5	74
タモロコ		2	4	6	4	2	4	2	7	1	1	2		35
ゼゼラ	9	4		10	2	3	9	2	16	1	14	22		92
カマツカ	1	6				4	4		5		2			22
シマドジョウ類	1	1	1						2				1	6
ナマズ														0
ミナミメダカ	2													2
カワヨシノボリ									2					2
種数	7	7	5	5	5	6	6	5	8	4	6	5	3	
合計採捕数	39	56	103	81	97	94	44	24	89	27	44	63	28	

*（）内の数字は追い込み調査での採捕数を示す

2012 年

魚種	採捕数（尾）								計
	9/6	9/7	9/8	9/9	9/10	9/11	9/12	9/13	
ウナギ	1								1
ギンブナ	5	12	18	7	15	4	4	20	85
タイリクバラタナゴ	47	23	25	35	17	18	9	22	196
オイカワ	16	11	19	14	14	48	11	10	143
ヌマムツ	12	9		4	3	2	7	1	92
アブラハヤ								5	5
モツゴ	3			8		3	3		17
タモロコ	8	8	13	3	6		1	13	52
ゼゼラ	3	5	3	17	12	2	8	3	53
カマツカ	2	1				3			6
ドジョウ							1		1
シマドジョウ類	1	3		3			1		8
ナマズ								1	1
ミナミメダカ	1	3				2	3		9
カワヨシノボリ		3	3	4	3	1		2	16
種数	7	6	2	5	3	5	7	5	
合計採捕数	37	38	21	44	27	18	31	30	

夏季繁殖型のイシガイ類の繁殖期は水田地帯における灌漑期と一致する。灌漑期には非灌漑期には枯れていた水路系に水が通り、水田が湛水する。また、灌漑期は本研究で対象とした 3 種を含め、水田地帯に生息する多くの魚種の産卵期でもある（森文俊ら，2008）。水田地帯に生息する魚類は種により灌漑期における一時的な水域や恒久的な水域の利用パターンが異なることが報告されている（斉藤ら，1988；西田ら，2006）。水田地帯の魚類を生活史型により区分した大平ら（2005）によると、恒久的に水を湛える農業用水路と河川、一時的な水域である水田を有する農村地域において、ヌマムツ、オイカワ、カワヨシノボリは索餌のために河川や水路を移動する魚種であり、成魚、稚魚ともに水路に生息し、産卵も水路で行なうとされる。仮に魚に寄生したイシガイ類の幼生が一時的な水域に持ち込まれて脱落した場合、非灌漑期には水が枯れるために生存することは不可能であるため、本調査で対象とした 3 種のように恒久的な水域を移動する魚は宿主として適していると考えられる。また、本研究で得られた移動距離は採餌や繁殖場所を求めて移動した距離であると考えられる。

2009 年の調査では、調査期間中に下流部 2,300m に設置された水門が閉じられた。これが水門よりも下流からのヌマムツの移動に影響を及ぼした可能性があるが、その影響に関する詳細は不明である。しかし、海外においては、河川内の小規模なダムが宿主魚類の分布を制限し、その結果イシガイ類の分布が制限されている例や（Watters, 1996）、魚類の移動を制限していたダムに魚道を設置し、ダム上流部への魚類の移動が可能になったところ、その魚を宿主とするイシガイ類もそれに伴い分布を広げた例が報告されている（Douglas, 1985）。これらは水田地帯の水域と比較して大規模かつ長期的な影響について検討した報告であるが、水田地帯においても水域内の落差や灌漑期の水管理に伴う水門等の状態の変化が宿主魚類とイシガイ類の分布に影響を及ぼす可能性がある。

7.3 小括

ヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリを対象としてイシガイ類幼生の寄生期間中の移動距離を調査した結果、以下のことが明らかになった。

- ・ヌマムツは 550 尾中 39 尾，オイカワは 220 尾中 6 尾，カワヨシノボリは 200 尾中 4 尾が再捕獲された。
- ・本調査では上流，下流からの移動ともに移動個体数や一日あたりの平均移動距離に大きな差が見られず，流れの方向が移動距離に及ぼす影響は明らかでなかった。
- ・体長と移動距離との関係では，ヌマムツの下流部からの移動のみ正の相関関係がみられ，体長が大きい個体ほどより遠くへイシガイ類幼生を拡散させ得ると考えられた。
- ・移動日数と移動距離から得られた移動距離の推定式より，イシガイ類幼生の寄生期間が 7 日間であった場合，ヌマムツでは 1,040m，オイカワは 1,669m，カワヨシノボリは 578m 移動すると推定された。
- ・水田地帯における魚類の移動分散には，落差工や水門といった水路構造物が影響し，それがイシガイ類の分布にも影響する可能性が示唆された。

第 8 章 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全

8.1 宿主魚種がビオトープ池のイシガイ科二枚貝に与えた影響

8.1.1 ビオトープ池における宿主魚種

第 5 章で示したビオトープ池における寄生状況調査の結果と第 6 章における寄生実験結果よりビオトープ池に生息するイシガイ類の再生産に寄与する魚種を考察する。

(1) イシガイ

寄生状況調査の結果、イシガイ幼生はビオトープ池において調査対象とした 6 魚種（ギンブナ、タイリクバラタナゴ、オイカワ、ヌマムツ、モツゴ、タモロコ）すべてに寄生していた。寄生率、平均寄生数（ \pm SD）ともに最も高かったのはオイカワであり、それぞれ 65.7%と 21.6（ \pm 37.1）個体であった。次いでヌマムツが 41.0%と 3.3（ \pm 3.0）個体であり、他の魚種では寄生率は 10%より低く、平均寄生数は 2 個体に満たなかった。一方、寄生実験の結果では、寄生状況調査で対象とした 6 魚種のうち稚貝が得られたのはオイカワ、ヌマムツおよびモツゴの 3 魚種であった。変態率はオイカワで 95.3%と最も高く、ヌマムツでは 4.8%、モツゴでは 3.8%であった。これより、ギンブナ、タイリクバラタナゴおよびタモロコは幼生が寄生していても再生産や移動分散に寄与しないことが明らかになった。また、イシガイはオイカワでの変態率が最も高く、現地での寄生率や平均寄生数もオイカワで最も高かったことから、ビオトープ池におけるイシガイの再生産に寄与する主な宿主はオイカワであると考えられる。寄生状況調査で対象とした 6 魚種のうちヌマムツでは、高い寄生率に対して平均寄生数が少なかった。この要因を寄生実験の結果から推察すると、ヌマムツでは未変態のまま脱落する幼生の累積割合が実験期間中漸次的に増加し、脱落幼生が他の魚種と比較して長期間魚体に残る傾向がみられた（第 6 章，Fig.6-3 参照）。このため、野外調査においては幼生が寄生した個体を採捕する確率が高くなり、平均寄生数に対し寄生率が高くなったと考える。

(2) トンガリササノハガイ

寄生状況調査ではギンブナ、オイカワ、ヌマムツ、モツゴに寄生が確認され、寄生率が

高かったのはイシガイと同様にオイカワとヌマムツでそれぞれ 45.7%と 33.3%であり、平均寄生数 (±SD) は 10.8 (±14.6) 個体と 1.9 (±1.0) 個体であった。一方、寄生実験の結果、現地で寄生を確認した魚種のうち稚貝が得られたのはオイカワおよびヌマムツであったことから、ギンブナとモツゴは幼生が寄生しても再生産や移動分散に寄与しない魚種であることが明らかになった。また、トンガリササノハガイの変態率はオイカワで 44.4%、ヌマムツで 50.8-52.3%であり大きな差はみられなかったことから、両魚種がビオトープ池におけるトンガリササノハガイの再生産に寄与する主な宿主であると考え、トンガリササノハガイでもヌマムツが寄生率に対し平均寄生数が低い結果となったが、寄生実験の期間中、イシガイのように未変態のまま脱落する幼生が他の魚種と比較して長期間魚体に残るといった傾向はみられなかった。

(3) フネドブガイ

ビオトープ池において 2013 年に行なった寄生状況調査では幼生が 6 個体しか確認されず、幼生が多く寄生する魚種を明らかにすることはできなかった。寄生実験の結果では対象としたイシガイ類 3 種のうち最も宿主特異性が低く、12 魚種中 9 魚種から稚貝が得られた。変態率はヌマムツで最も高く 30.3%であり、カワヨシノボリで 23.5%、シマドジョウ類で 16.8%、モツゴで 13.6%、オイカワで 11.9%であり、他の魚種では 5%以下であった。

(4) マツカサガイ

寄生状況調査ではオイカワ、ヌマムツ、タモロコおよびモツゴに幼生が寄生していた。しかし、確認幼生数は 31 個体と少なかった。また、マツカサガイでは寄生実験を行っていないため、各魚種における幼生の変態率は明らかでない。ただし、伊藤ら (2003) は本研究で対象としたモツゴおよびタモロコを含む 11 魚種を対象としてマツカサガイ幼生の寄生実験を行ない、変態率には差があるもののすべての魚種において寄生幼生が稚貝に変態したことを報告している。このことから、マツカサガイは本研究における寄生実験で対象とした 3 種のイシガイ類と比較して宿主特異性が低く、多くの魚種を宿主として利用できると考える。

以上より、イシガイではオイカワ、トンガリササノハガイではオイカワおよびヌマムツ

がビオトープ池における再生産に寄与する宿主として重要な魚種であると考える。また、フネドブガイでは現地における寄生状況が、マツカサガイでは各魚種における寄生幼生の変態率が不明であり、現地での状況と魚類の生理的適性の両面から宿主を検討することはできなかった。イシガイおよびトンガリササノハガイでは、変態率が高い魚種において現地における寄生率や平均寄生数も高い傾向がみられ、現地での寄生状況は魚種の生理的適性を反映していた。しかし、寄生幼生が稚貝へと変態しない非宿主魚種にも寄生が確認された。これは、幼生に寄生された直後で、未変態のまま脱落するはずの幼生が魚体に残っている状態の個体を採取したためであると考える。野外におけるイシガイ類幼生の非宿主への寄生事例はこれまで外来魚において報告されているが(石田ら, 2010; Klunzinger et al., 2012), 本研究においては在来魚であるギンブナやタモロコにおいても同様の現象がみられた。以上のことから、現地においてイシガイ類の再生産や移動分散に寄与する宿主魚種を検討するためには、野外における幼生の寄生状況と、接触機会といった生態的要因を排除した条件下で調べられた生理的適性の両面を考慮することが望ましいといえる。

8.1.2 ビオトープ池へのイシガイ科二枚貝の移入に寄与した魚種

ビオトープ池は2001年7月に創設されて以降、2002年6月にはイシガイ、2003年2月にはトンガリササノハガイ、2005年4月にはフネドブガイ、2008年7月にはマツカサガイの生息がはじめて確認された。これらのイシガイ類の移入に寄与した魚種を検討する。

はじめに、2005年4月に野久(2006)がビオトープ池創設後初めて池全域を対象として行ったイシガイ類の生息状況調査における採捕結果より、各種イシガイ類の定着時期を考察する。

2005年4月に行なわれた生息状況調査ではイシガイが1,146個体、トンガリササノハガイが33個体、フネドブガイが2個体採捕された(野久, 2006)。イシガイおよびトンガリササノハガイの殻長分布をFig.8-1に示す。イシガイは殻長30.0-44.0mmの個体の採捕数が最も多く、殻長45.0mm以上の個体も採捕された。本研究による殻長分布と成長率の解析結果より、イシガイは春の時点で殻長20.0-30.0mmの個体は冬までに40.0-50.0mmに成長し、冬の間は成長が停滞し、それぞれ翌年の春も同程度の殻長を示すことが明らかになった。

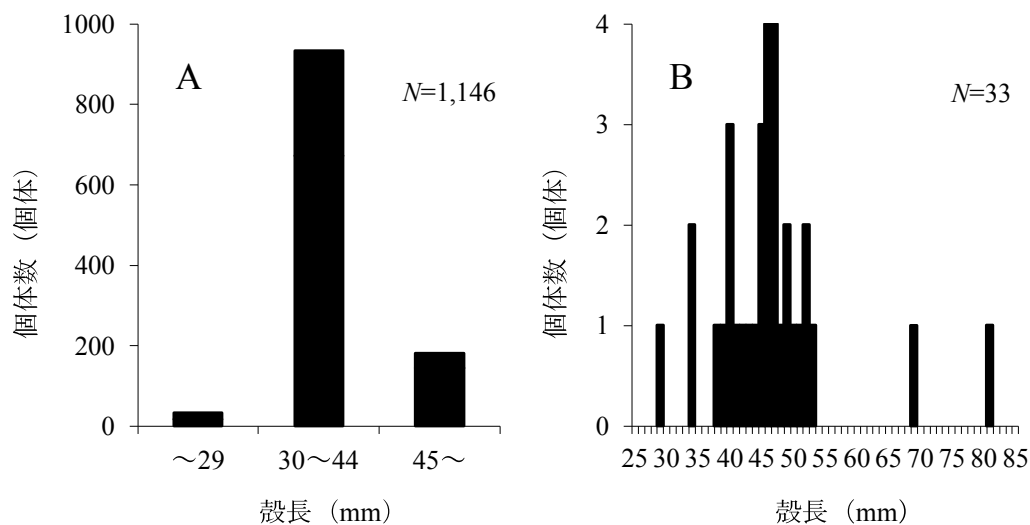


Fig.8-1 2005 年 4 月におけるイシガイとトンガリササノハガイの殻長分布 (野久, 2006)

A : イシガイ, B : トンガリササノハガイ

これを考慮すると、2005 年 4 月に採捕された殻長 45.0mm 以上の個体は 2003 年以前に、殻長 30.0-44.0 mm の個体は 2003-2004 年にかけて、殻長 29.0mm 以下の個体は 2004 年の繁殖期に定着したものと推測する。Kondo (2008) によるとイシガイは生後 2 年で殻長約 30.0mm に達し性成熟するとされ、ビオトープ池においても 2011 年 7 月の妊卵調査時に殻長 31.0mm の個体の妊卵を確認した。ビオトープ池では繁殖期初期に定着した稚貝は 11 月までに殻長約 30.0mm 程度まで成長すると推測されることから、ビオトープ池においてイシガイは定着から 1 年もしくは 2 年で繁殖に参加すると考える。そのため、イシガイは創設後から 2002 年にかけてある程度の個体数がビオトープ池に持ち込まれて定着し、2003 年からは遡上に伴う移入に加え定着した個体が繁殖に加わり、個体数を増やしたと考える。

トンガリササノハガイは殻長 81.0mm の個体が最大であったが、殻長 45.0mm 前後の個体が最も多かった。本研究の調査では殻長が 45.0mm 前後の個体の採捕数が少なく、成長率を明らかにすることができなかった。そのため、成長率から定着時期を推察することはできないが、殻長 81.0mm の個体はビオトープ池創設直後に定着し、最も個体数が多い 45.0mm 前後の個体はそれよりも遅くにまとまって定着したものであろう。また、Kondo (2008) によるとトンガリササノハガイは生後 2 年で殻長約 40.0mm に成長し性成熟することから、ビ

オートープ池でも同様の成長を示すと仮定すると、2005 年 4 月において殻長 45.0mm 前後の個体は 2003 年の繁殖期に定着したものと推測される。また、2003 年以前に定着したと考えられる個体数は少なく、ビオートープ池内で繁殖が行なわれたとは考えにくいことから、2003 年に定着したと推測される殻長 45.0mm 前後のトンガリササノハガイはビオートープ池内で生産されたのではなく、幼生が寄生した宿主の移動に伴う外部からの移入によって定着したと考える。

フネドブガイは 2005 年 4 月の調査時に 2 個体が採捕され、殻長はそれぞれ 48.0mm と 75.0mm であった。本研究で明らかになった成長率を考慮すると、殻長 48.0mm の個体は 2004 年の繁殖期に、殻長 75.0mm の個体は 2003 年の繁殖期にそれぞれ定着したものであると考える。

マツカサガイは 2008 年 7 月にはじめて 4 個体が採捕された。各個体の殻長は 19.5, 44.5, 57.0, 62.5mm であった（第 3 章、**Fig.3-8** 参照）。本研究ではマツカサガイの採捕数が少なく成長率は断片的にしか明らかにすることができず、成長率から定着時期を推定することはできない。ただし、Kondo（2008）によると、マツカサガイは生後 2 年で殻長約 30.0mm に成長するとされる。ビオートープ池でも同様の成長を示すとすると、マツカサガイは少なくとも 2 年以上前に定着していたと考えられる。

以上を整理すると、イシガイは創設後から 2002 年にかけて外部からの宿主魚種の移動に伴い定着し、2003 年からは外部からの移入に加え定着個体の再生産により個体数が増加した。トンガリササノハガイは、2003 年の繁殖期に多くの個体が外部から移入し定着した。フネドブガイでは 2003 年、マツカサガイでは 2006 年には定着個体が存在したと考えられるものの、その数は少なかった、ということになる。

次に、ビオートープ創設当初の魚類の遡上状況からイシガイ類の移入に寄与した魚種を考察する。魚類の遡上状況は日本生態系協会（2002；2003；2004）の調査結果を引用した。ビオートープ池では創設当初からイシガイおよびトンガリササノハガイの宿主として適したオイカワおよびヌマムツを含む魚類の遡上が確認された（**Table 8-1**）。とくにオイカワは創設直後からビオートープ池への遡上が確認され、2002 年の時点でビオートープ池内での確認個

Table 8-1 2001 年および 2002 年にビオトープ池に遡上した魚類
(日本生態系協会, 2002 ; 2003 ; 2004 より作成)

魚種	2001 年			2002 年	2003 年
	7/27	8/10	10/19	6/14	6/17
ギンブナ	0	2	0	0	0
タイリクバラタナゴ	1	2	0	26	37
オイカワ	6	10	1	7	9
ヌマムツ	13	3	0	0	4
モツゴ	1	1	1	9	7
タモロコ	1	4	0	5	8
ゼゼラ	4	4	2	41	27
ドジョウ	1	0	0	0	0
シマドジョウ	1	0	0	0	0
スジシマドジョウ小型種東海型 ^{*1}	11	0	0	0	0
メダカ ^{*2}	0	1	0	0	10

^{*1} 現在のトウカイコガタスジシマドジョウ

^{*2} 現在のミナミメダカ

体数が 100 尾を越えたことが報告されている。また、2003 年ではヌマムツも確認個体数が 100 尾を越えている（日本生態系協会, 2004）。これより、イシガイはビオトープ池創設直後に宿主であるオイカワの遡上に伴い侵入したと考えられる。また、トンガリササノハガイは 2003 年に多くの個体が定着したと考えられたが、2003 年ではオイカワに加え、ヌマムツが増加した。トンガリササノハガイはヌマムツで最も変態率が高かったことから、2003 年のトンガリササノハガイの定着はヌマムツの生息数の増加と関連している可能性がある。フネドブガイおよびマツカサガイでは、両種ともに宿主特異性は低く、イシガイやトンガリササノハガイよりも多様な魚種を宿主として利用可能であると考えられる。そのため、ビオトープ池創設当初から宿主魚種を介した移入が生じていたと考える。しかし、その数は少なかった。

8.1.3 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の再生産に宿主魚種が及ぼす影響

ビオトープ池においては各種イシガイ類ともに 2009 年の改修工事以降東側で、2012 年の改修工事以降西側で再生産が行なわれなかった。また、フネドブガイは 2008 年においても再生産が行なわれなかった。2011 年 7 月に行なった妊卵調査では、繁殖期ではないフネド

ブガイを除いた種で再生産が行なわれなかった東側においても妊卵を確認した。そのため、再生産は幼生の魚類への寄生以降の段階で阻害されていると考えられた。以降では、寄生実験により宿主を検討したイシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイについて、宿主魚種の存在が再生産に与えた影響を検討する。

Fig.8-2, 8-3, 8-4 に各種イシガイ類の繁殖期におけるビオトープ池の宿主魚種の生息密度を示す。なお、生息密度は 2008-2011 年にかけて行なわれた魚類の生息状況調査結果より、各魚種の採捕数をビオトープ池の面積で割ることにより求めた。

イシガイでは 2009 年の改修工事以降、東側では宿主魚種の生息密度が低く、2011 年の 9 月を除きいずれの月でも 1.5 尾/m² に満たなかった。2011 年 9 月においても、その多くは変態率が低いモツゴであり、宿主として適したオイカワの密度は低かった。トンガリササノハガイも同様で、2009 年の改修工事以降東側では宿主として適した魚種であるオイカワおよびヌマムツの生息密度が低かった。このことから、宿主の密度の低下が再生産失敗の要因となったと考えられた。

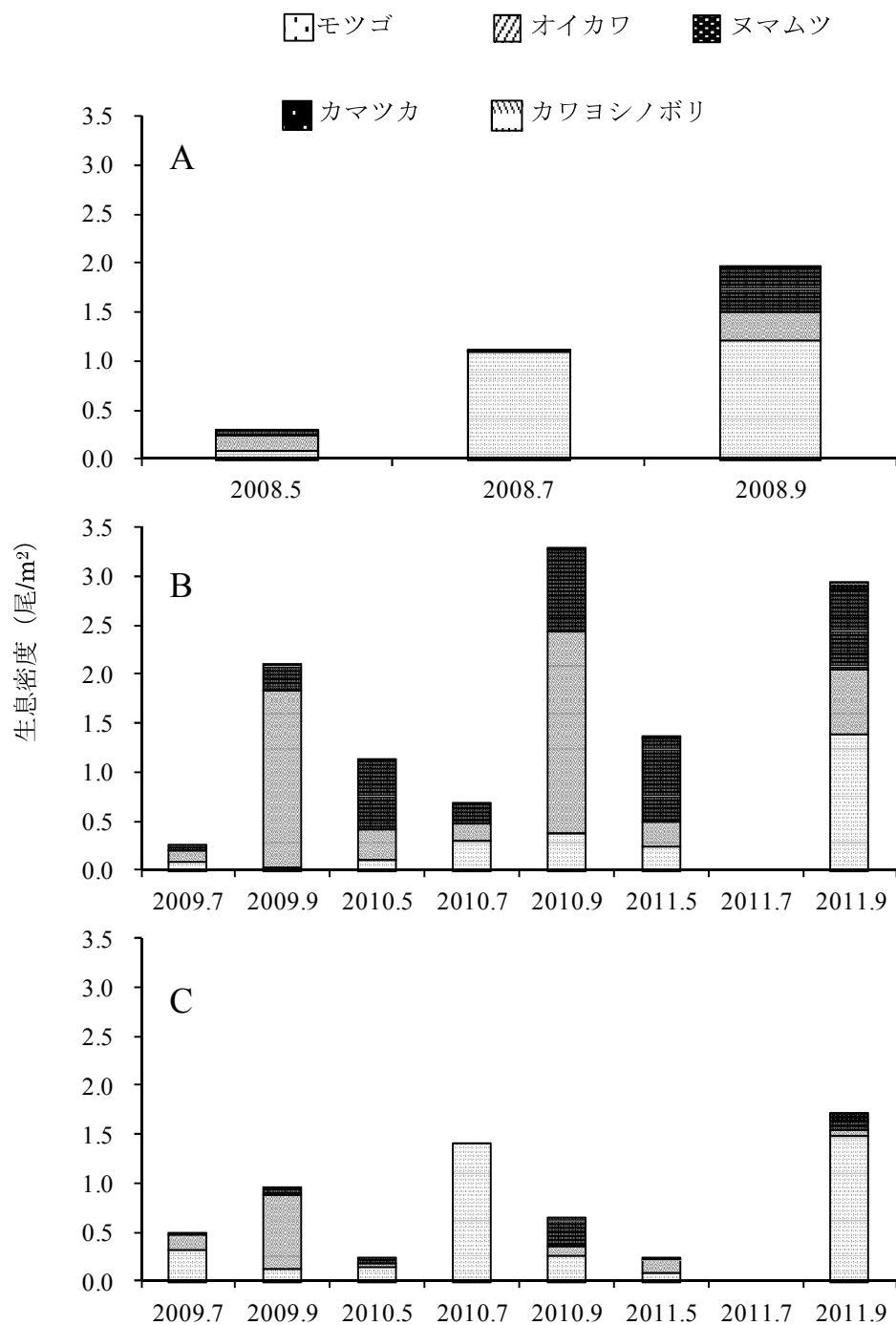


Fig.8-2 イシガイの宿主魚種の生息密度
 (2011年7月は魚類の生息状況調査を行っていない)
 A : 2008年, B : 2009年-西側, C : 2009年-東側

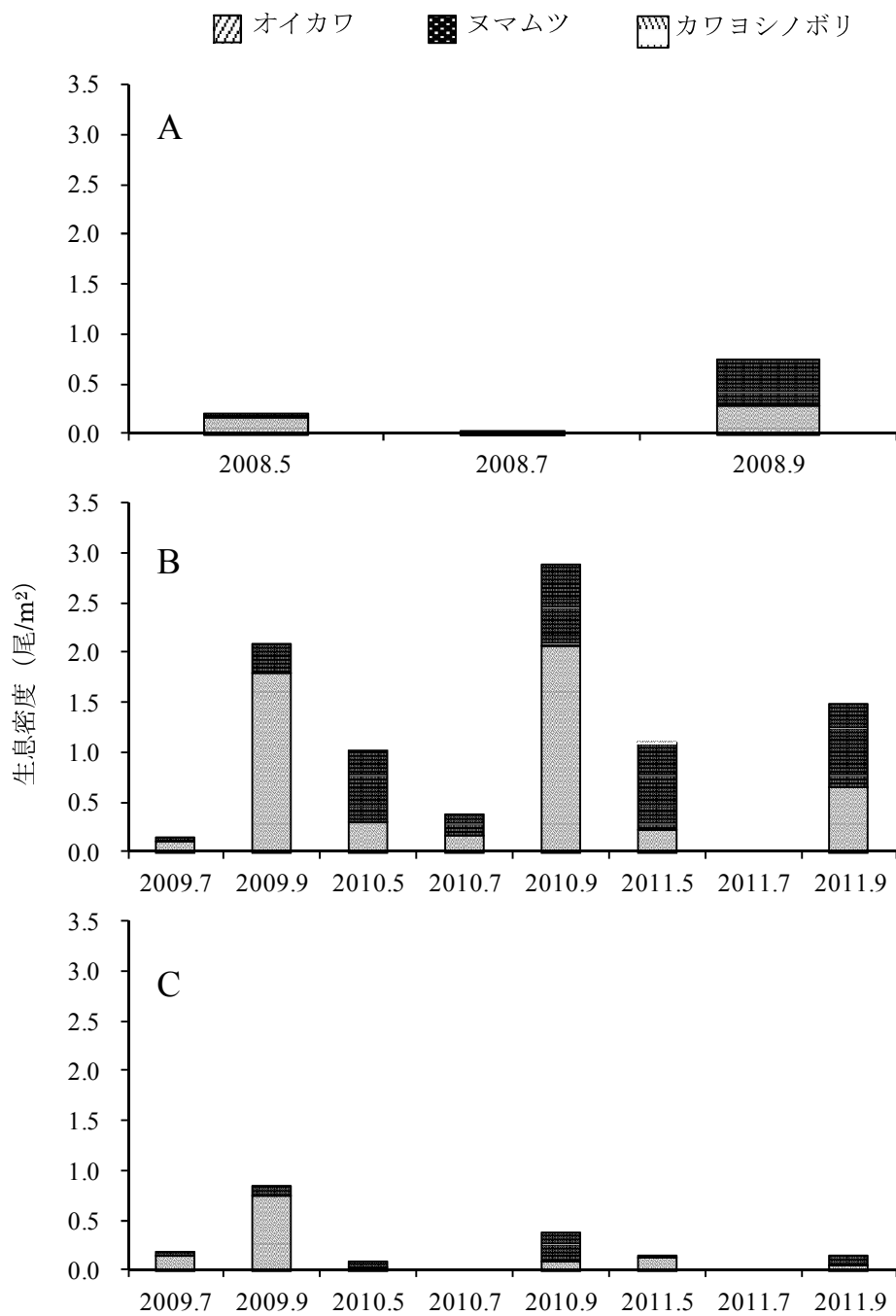


Fig.8-3 トンガリササノハガイの宿主魚種の生息密度
(2011年7月は魚類の生息状況調査を行っていない)
A : 2008年, B : 2009年-西側, C : 2009年-東側

Fig.8-4 にフネドブガイの繁殖期である 3 月の宿主魚種の生息密度を示す。フネドブガイでは 2008 年と 2009 年の改修工事以降東側において再生産が行なわれていなかった。2008 年や東側では宿主の生息密度が西側と比較して低かった。ただし、2010 年の東側では再生産が成功した 2011 年の西側よりも宿主魚種の生息密度が高かった。しかし、寄生実験の結果変態率が最も高かったヌマムツに着目すると東側における生息密度は低く、フネドブガイにおいてもイシガイやトンガリササノハガイと同様に宿主の生息密度の低さが再生産に影響したと考えられた。

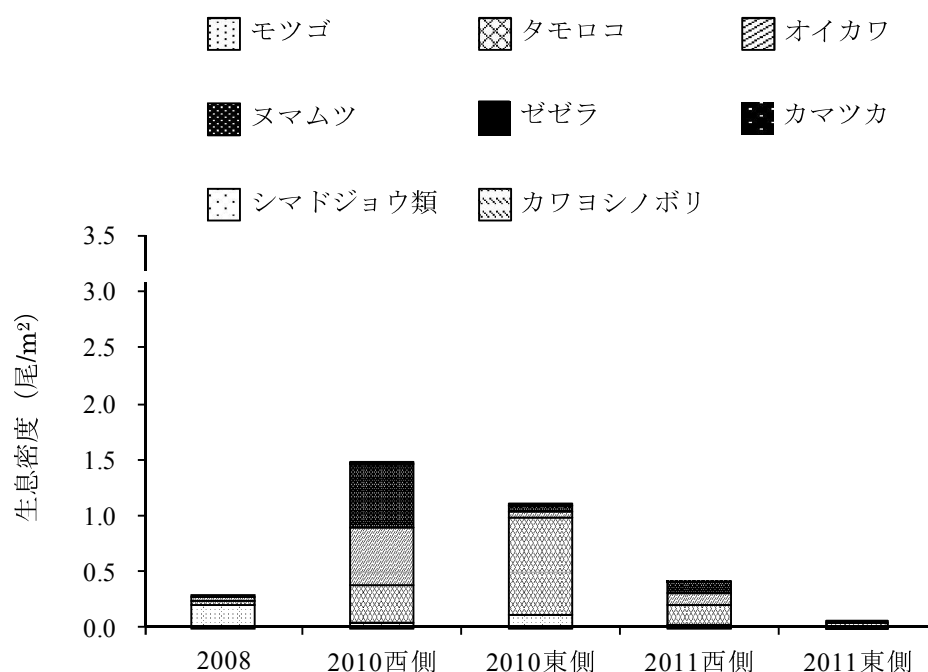


Fig.8-4 各年の 3 月におけるフネドブガイの宿主魚種の生息密度

ビオトープ池西側と東側において宿主の生息密度に差がみられた要因としては、それぞれに設置された開放型魚道と暗渠型魚道では遡上魚種が異なることが挙げられる。両魚道の遡上魚種を比較した西澤（2010）によると、イシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイの宿主としての適性が高いオイカワやヌマムツの遡上数は東側の暗渠型魚道と比較して西側の開放型魚道において有意に多いことが報告されている。魚類は種類ごとに遊泳能力や遊泳特性が異なり、魚道の越流量や流速は魚類の遡上の可否を左右する（大平ら、2006a）。また、同様の構造であっても、遡上には光条件や流下水の水温が影響する（端、2000）。ビオトープ池においても、両魚道の構造の違いにより生じた越流量や光条件の違いや、開放型魚道では水面に入り口が開くのに対し暗渠型魚道では水路底面に入り口が開くことなどの条件の違いがオイカワやヌマムツの遡上に影響した可能性がある。

2012 年では、西側にのみイシガイ類を放流し、その後 7 月および 9 月に魚類の生息状況調査が行なわれた。その結果、両調査の採捕数を合計してもビオトープ池西側では宿主として適した魚種であるオイカワとヌマムツはそれぞれ 15 尾しか採捕されなかった（尾崎、2013）。前述したように 2012 年の改修工事以降ビオトープ池では漏水が生じ、魚道の越流量も減少した。このことがオイカワおよびヌマムツの遡上に影響した可能性がある。

以上のことから、2009 年の改修工事以降のビオトープ池東側や 2012 年の改修工事以降のビオトープ池西側では宿主魚種の遡上数が少なく、その結果生息密度が低くなり、幼生が放出されたとしても宿主に寄生することができず再生産が失敗したと考える。

8.1.4 宿主魚種の存在以外に考えられる移入および再生産への影響要因

8.1.2 では、宿主として適した魚種の遡上数がビオトープ池へのイシガイ類の移入に影響したと考えた。ただし、創設当初ビオトープ池に移入してきたイシガイ類は、宿主魚類が移動可能であるビオトープ池の接続水域に生息していた個体群が由来であると考えられることから、各種イシガイ類の移入状況には、宿主魚種の遡上数に加え、元々の生息地におけるイシガイ類の生息状況や繁殖状況も影響すると考えられる。また、本研究においてイシガイ類は成長段階により生息に適した環境が異なることが示唆されたが、定着数が少なかった種ではビオトープ池において脱落した稚貝の好適生息環境がビオトープ池内におい

て限られていたために、定着数が少なかった可能性もある。また、イシガイは現在ビオトープ池に生息するイシガイ類の中で最も早く多くの個体に移入し、2003年にはすでにビオトープ池内で再生産が行なわれたと推測した。また、本研究においても新規定着個体が明確な殻長グループを形成していた。その一方でトンガリササノハガイは2003年に多くの個体が定着したもののその後新規定着個体が明確なグループを形成することではなく、フネドブガイではイシガイよりも数年遅れて新規定着個体の殻長グループが観察されるようになった。マツカサガイは生息数が増加することではなく、現在でも周辺水域からの移入個体为主であると考えられた。このような再生産状況の違いは、前述した宿主魚種の生息割合に加え、宿主魚種における交差抵抗性の発達といった宿主をめぐる競争が影響している可能性もある。同所的に生息する複数種のイシガイ類の種構成割合が決定するには様々な要因が複雑に影響していると考えられることから、その機構についても今後検討する必要がある。

改修工事後の再生産に関しては、8.1.3で宿主魚種の生息密度が低いことによる幼生の寄生の失敗を主たる再生産失敗要因と考えた。ただし、わずかに存在した宿主に寄生が成功したとしても、宿主から脱落した後に定着できなかった可能性がある。その要因として、改修工事後はビオトープ池において糸状緑藻類が繁茂したことが挙げられる（Fig.8-5）。糸状緑藻類が繁茂すると、底質付近は貧酸素状態になることが報告されている（琵琶湖・淀川水質浄化センター，2004）。これらの環境要因が、脱落直後のイシガイ類の生息に不適であったために再生産が阻害された可能性もある。また、2011-2012年の改修工事後に放流し



Fig.8-5 ビオトープ池に繁茂した糸状緑藻類

たイシガイおよびトンガリササノハガイでは妊卵個体が確認されなかったことや、改修工事の期間を含む 2008-2009 年や 2011-2012 年はイシガイ類の成長率がその他の年と比較して低かったことから、改修工事に伴いイシガイ類を大学で飼育していたことがイシガイ類の再生産や成長に負の影響を与えた可能性が考えられた。とくに再生産に関しては、2009 年と 2012 年ではどちらも工事期間中に大学で飼育し、その後放流したにも関わらず 2009 年のみ再生産が確認された。これは、飼育環境の違いが影響したと考える。2009 年の改修工事の際は、大学の実験室内にコンテナを設置し、カルキ抜きをした水道水を入れ、エアレーションを行なった環境下でイシガイ類を飼育し、飼育期間中給餌は行なわなかった。一方、2011-2012 年では大学の圃場ハウス内に飼育池を造成し、ビオトープ池の泥炭を移植した上で、水をわずかにかけ流しの状態とした。2009 年では水温の計測などは行なっていないものの、実験室内は気温が低く、直射日光も当たらない環境であった。一方、ハウス内は気温が高く、飼育池の水温は 3 月の時点で 25℃を超え 5 月には 30℃を超える日もあり、イシガイ類の餌として適した珪藻の摂食を阻害するとされる緑藻類が繁茂した。これより、2009 年では水温が低く貧栄養の条件下でイシガイ類の活性が抑えられたままであったが、2011-2012 年では水温の上昇に伴い活性が上がり、摂食行動が盛んになった一方で、餌環境が悪かったためにエネルギーを消費し、精子球あるいは卵の形成や成長が阻害された可能性がある。2011-2012 年の飼育時にはなるべく現地の環境を再現しようとしたが、逆にイシガイ類の負担となったのかもしれない。

8.1.5 宿主魚種を介したイシガイ科二枚貝の分散

ビオトープ池においては創設以降人為的に貝を放流したことはないため、創設当初イシガイ類幼生が寄生した魚が魚道を介してビオトープ池内に侵入したことがきっかけでビオトープ池に分布を広げたことは明らかである。本研究を開始した 2008 年ではすでにイシガイ、トンガリササノハガイ、フネドブガイはある程度の個体数が定着しており、ビオトープ池内で幼生が多数生産されていたと考えられる。実際に 2008 年の寄生状況調査においてビオトープ池、排水路、魚道の遡上、降下個体のオイカワにおけるイシガイ類幼生の平均寄生数は、ビオトープ池およびビオトープ池からの降下個体において排水路からの遡上個

体および排水路の個体よりも多かった。そのため、ビオトープ池において多数の幼生が寄生し、他水域へ分散していると考えられた。これは夏季繁殖型の個体の結果ではあるが、冬季繁殖型であるフネドブガイにおいても再生産状況を考慮すれば多くの幼生が生産され他水域へ運ばれている可能性が高いと考える。一方、マツカサガイやドブガイ類ではビオトープ池における平均寄生数が低く、生息数も少ないことから、ビオトープ池における寄生状況調査で確認した幼生はビオトープ池内で生産されたものではなく、周辺水域において寄生した幼生である可能性が高いと考える。

以上のことから、イシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイでは、ビオトープ池が幼生の供給源としての機能を有していると考えられる。しかし、実際に周辺水域においてビオトープ池に生息する個体群由来の幼生が定着しているかは明らかでない。ただし、排水路上流部の調査区間である区間 3 および区間 4 では、下流部の区間 1 やビオトープ池に生息する個体と比較して殻長が小さい個体が採捕された。水温や餌環境などにより成長が抑制されている可能性も否めないが、殻長 10.0mm 前後のビオトープ池が創設されて以降に定着したと考えられる個体に関しては、ビオトープ池由来である可能性も考えられる。ビオトープ池から排水路上流部までの距離は約 400m ほどであり、本研究で明らかにした宿主魚種の移動範囲を考慮すると、十分にビオトープ池で幼生が寄生した宿主魚種が移動可能であると考えられる。区間 1 と区間 3 との間には落差があるが、遊泳魚であるオイカワおよびヌマムツは遡上することが可能であろう。その場合、ビオトープ池で生産された幼生が排水路上流部に運ばれ、定着したことも考えられる。これを明らかにするためには、遺伝的手法や年齢査定を用いた解析が必要である。しかし、区間 3 および区間 4 よりもビオトープ池に近い区間 1 においては、トンガリササノハガイの成貝しか採捕されなかった。第 4 章においても述べたが、区間 1 においては稚貝の定着に不適であった可能性が考えられる。特に排水路におけるイシガイ類の生息分布と底質材料との関係では、成長段階ごとに生息に適した底質環境が異なることが示唆され、殻長が小さい個体は礫が堆積した地点に多かった。排水路の区間 1 は主に砂や腐植が堆積していたため、稚貝の定着に適した底質環境ではなかった可能性がある。

8.2 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全

8.2.1 ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の保全

本研究の結果は、休耕田を利用して造成したビオトープ池がイシガイ類の生息場所として、また、幼生の供給源として機能し得ることを示すものである。そのため、イシガイ類の個体数が減少傾向にある地域においては、休耕田や耕作放棄田を常時湛水することでイシガイ類の生息地を創出することがイシガイ類の保全における一つの有効な方法であると考えられる。しかし、保全地を設けるにあたってはいくつかの留意点が挙げられる。

【イシガイ類の保全における宿主魚の重要性】

本研究より、宿主魚種の存在は保全地における再生産や幼生の移動分散に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。そのため、再生産も含めたイシガイ類の長期的な個体群維持を視野に入れた保全においては、その地域において保全対象となるイシガイ類の宿主魚種を明らかにし、宿主魚種も同時に生息可能であるような保全地の在り方を検討する必要がある。本研究においては、野外における魚類に対するイシガイ類幼生の寄生状況はある程度宿主としての生理的適性を反映していたが、野外において幼生が寄生していても寄生幼生が稚貝へと変態しない魚種も存在した。そのため、宿主魚種を明らかにするためには野外における寄生状況と生理的適性の両面からの検討が大切である。

本研究でヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリを対象として行なった移動距離調査では、移動距離が大きいヌマムツやオイカワはイシガイ類の生息域の拡大や再生産交流に、移動距離が短いカワヨシノボリは局所的な個体群維持にそれぞれ寄与すると考えられた。そのため、イシガイ類の局所的な生息地での世代交代と、そこを供給源とした幼生の分散を考える場合、多様な遊泳特性をもつ魚種を併せて利用することが有効であると考えられる。

【保全地への宿主魚類の移入および移出】

保全地をその地域におけるイシガイ類幼生の供給源として機能させるためには、保全地と周辺水域との間を宿主魚類が移入、移出可能な状態とすることが必要である。保全地が周辺水域と常時接続しており、その間に魚の移動を妨げるものが無いような環境であれば良いが、ビオトープ池のように魚道を用いて接続する必要がある場合には、その水域にお

いて明らかにされたイシガイ類の宿主魚種の遊泳特性に応じて遡上・降下が可能である構造や水利条件の魚道を用いる必要がある。また、魚道を設置した場合、流下水の呼び水効果によって遡上が促進されるが、幼生の供給源としての機能を発揮させるためには、移入した魚類に寄生した幼生が脱落する前に再び保全地外に移出させなければならない。魚道のみで周辺水域と接続している場合には、魚道に常時通水し、いつでも降下可能な状況としておくことが効果的である。しかし、これには水の確保や、いつ降下するか分からないといった問題点が存在する。そのため、魚類を半ば強制的に降下させる方法も考慮すべきであると考え。例えば、稲作が行なわれる水田では中干しが行なわれ、その際の水抜きと同時に魚類が脱出することが報告されている（皆川，2009）。保全地においても、水尻や水抜き穴を設置し、それをイシガイ類の繁殖期に解放することにより魚類を降下させるなどの対策が、周辺水域への幼生の供給を促すための方法の一つであると考え。また、その際には保全地内での再生産も保証されるよう、水温により推定される幼生の寄生期間が1週間であるならば強制降下を2週間ごとに行なう等、イシガイ類幼生の寄生期間を考慮して頻度を設定することが望ましいと考える。

【保全地におけるイシガイ科二枚貝および魚類の生息密度】

本研究の調査地であるビオトープ池では自然発生的にイシガイ類が移入・定着したが、新規に保全地を造成する場合、元々その地域に生息していた個体を導入する場合も考えられる。保全地内での再生産を考慮する場合、イシガイ類が再生産可能であるイシガイ類および宿主の生息密度を考慮する必要がある。根岸ら（2008a）によると、Downing et al. (1993) はイシガイ目イシガイ科の *Elliptio complanata* の生息密度が 10 個体/m² 以下では受精が失敗し、40 個体/m² 以上ではほぼ 100%成功することを報告している。本研究では、ビオトープ池西側と東側でイシガイ、トンガリササノハガイおよびマツカサガイの妊卵が確認された 2011 年 7 月におけるイシガイ類の生息密度は、最も高い区画で 30 個体/m²（西側、イシガイ）であったが、その他の種では 10 個体/m² に満たなかった。ビオトープ池は排水路から水をくみ上げているため給水に伴い外部から精子球がビオトープ池内に入ることも考えられるが、排水路におけるイシガイ類の生息状況からみてもその可能性は低いであろう。し

たがって、生息密度が 10 個体/m²を下回った場合でも受精は成功したと考えるのが妥当である。しかし、生息密度が 1 個体/m²であった西側のマツカサガイでは妊卵個体を確認していない。ただし、本研究では妊卵状況を確認した個体は区画の生息密度を考慮せず、ランダムに選んだ。また、ビオトープ池内に生息するイシガイ類の雌雄比も明らかでない。さらには、受精の成否には流速等の環境条件も影響すると考えられる。そのため、今後はこれらの要因も考慮して再生産が可能な生息密度について検討する必要がある。また、宿主魚種の生息密度は、第 8 章において考察したように、宿主としての生理的適性が高い魚種の生息密度がイシガイ類の繁殖期を通して 1.5 尾/m²を下回った場合、再生産が失敗する可能性が高くなると考えられた。そのため、1.5 尾/m²以上の密度で宿主魚種が生息していることがイシガイ類の再生産において有効であると考ええる。

【保全地における水の確保】

イシガイ類は恒久的水域に生息する。そのため、保全地を設ける場合、水の確保は第一条件である。水深に関しては、ビオトープ池における調査結果より、0.2m 程度の浅い水深でも水田地帯に生息する魚類やイシガイ類の生息場所としての機能を果たすことが証明された。また、水深が浅いために水底付近で放出されるイシガイ類の幼生が遊泳魚であるオイカワやヌマムツへ寄生することができ、イシガイ類の増殖にも寄与したと考えられた。しかし、水深が浅いことは、容易に水底が露出する危険性も併せ持つ。ビオトープ池においても、一時的な給水中断による水位の低下がヌートリアやカラス類によるイシガイ類の食害を誘発したと考えられた。そのため、水深が浅くても常に湛水状態を保つことが大切である。

水の確保に関しては、ビオトープ池においては恒久的水域である隣接排水路から水をくみ上げることにより湛水状態を保っており、給水ポンプの電気代および更新費用は自治体（揖斐川町）が負担している。しかし、保全地の継続性を考えた場合、より維持コストが低い方が好ましい。休耕田や耕作放棄田を湛水して利用する例としては、生物の保全地（上原，2006）としてだけでなく、養殖池（秋山，2005；浅山，2005；日詰，2004）や釣り堀（堀井，2005）としての利用が挙げられる。それらの事例において、水は排水路を堰上げ

して導水する，井戸を掘る，湧水や河川水を引くといった方法がとられている．これらの方法は給水ポンプを用いるよりも維持コストが低い方法であるといえる．しかし，排水路の堰上げや，湧水や河川水からの導水は，灌漑利用などとの兼ね合いにより，年間を通して一定量の水が確保できない可能性がある．

年間を通してどれだけの水量を確保できるかということは，保全地の面積を決定する上でも重要であると考える．田村ら（2010）は，冬季湛水田を対象として，冬季の水源の供給可能水量と，水田の減水深といった水収支機能から，湛水可能面積を算出している．休耕田や耕作放棄田利用ビオトープ池においても，これと同様の視点が重要であると考えられる．また，水田は地域により様々な土壌特性を有しており，その特性により保水力も異なる（川瀬ら，1972）．そのため，候補地である休耕田や耕作放棄田の水収支機能も併せて検討することが望ましいと考える．

【保全地への外来種の侵入】

イシガイ類や魚類の生息に配慮した保全地は，外来種の生息場としても機能する恐れがある．ビオトープ池においても，イシガイ類の定着にともないタイリクバラタナゴが生息魚類の中で高い割合を占めるようになった．タイリクバラタナゴが増殖することで，餌資源をめぐる在来魚種との競争や，大量の卵を産みつけられることによるイシガイ類への負荷が懸念される．また，本研究の結果，タイリクバラタナゴはイシガイ，トンガリササノハガイ，フネドブガイにとって幼生が寄生しても稚貝へと変態しないことが明らかになったため，タイリクバラタナゴの生息割合が高くなった場合，放出された幼生がタイリクバラタナゴに寄生する確率が高まり，再生産にも影響が生じると考えられる．さらに，ビオトープ池内で増殖したタイリクバラタナゴが周辺水域へ移出することにより，外来魚の供給源として，不本意な機能を果たしてしまう危険性がある．また，ビオトープ池においては近年ヌートリアが餌場や生息場として利用している痕跡がみられるようになった．ヌートリアはイネの作付期にはイネを食害するが，それ以外の時期には餌を求めて移動する性質があることが報告されている（岡山県，2010）．冬季でも水があり，マコモやイシガイ類といった餌が豊富に存在するビオトープ池はヌートリアの格好の住処であると思われる．

新規に保全地を造成する場合には、その地域に生息している外来種が移入してくる可能性などのリスクを事前に検討することが望ましいが、そもそも生物の生息に配慮した施設は外来種にとっても生息環境として適している可能性は高く、外来種といえど特定の生物種を排除することは極めて困難であることが予想される。そのため、外来種の対処事例の蓄積が今後重要となるであろう。ビオトープ池においても、イシガイ類を保全しながらタイリクバラタナゴの増殖を抑える方法等の検討が望まれる。

8.2.2 保全地の設置間隔

本研究における移動距離調査で対象としたヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリの7日間での移動距離はヌマムツでは1,040m、オイカワでは1,669m、カワヨシノボリでは578mと推測され、ヌマムツおよびオイカワにおいて移動距離が長く、個体群間の再生産交流や分布域の拡大に寄与すると考えられた。そのため、ヌマムツおよびオイカワの移動距離を考慮すると、イシガイ類の生息地が約1,000m間隔で整備されれば、離れた生息地間での再生産交流が可能となり、水田地帯におけるイシガイ類の長期的な個体群維持に有効であると考えられる。ただし、イシガイ類幼生の寄生期間は水温に強く影響を受けることから、保全地を設けるにあたってはイシガイ類の繁殖期における対象水域の水温から幼生の寄生期間を算出し、それを元に宿主魚類の移動距離を推定して保全地の整備場所を決定すべきであると考えられる。水温と寄生日数との関係はKondo（2008）により数式化されている。

水田地帯においては、水門や落差などの水路構造物が宿主魚の移動に影響する。そのため、現在では主に魚類の保全を目的として行なわれている水路内の魚道の設置等がイシガイ類の分布域を拡大する上でも有効であると考えられる。しかし、無制限な水域のネットワーク化はかえって外来種の移入を生じさせることにもなりかねず（伊藤・千家，2013）、イシガイ類だけではない保全地の設置地区における生物の分布特性を考慮し、水路構造物により外来魚の侵入が妨げられている場合などにおいては、その部分はネットワーク化を行わないなどの対策が必要である。

8.2.3 コンクリート三面張り水路におけるイシガイ科二枚貝の保全

本研究では、コンクリート三面張り水路におけるイシガイ類の生息条件として底質材料

の堆積が 1cm 以上存在することが、礫（細礫～中礫）が生息に適していることが挙げられた。堆積が 1cm というのは極めて不安定であり、大雨による流量の増大などにより流亡してしまう危険性が高い。しかし、筆者は本調査地以外でも、堆積がわずかなコンクリート三面張り水路にイシガイ類が生息している場面に何度か遭遇したことがある。本調査地の水路では、水源が山際からのしぼり水であり、夏季の水温の上昇や冬季の水温の低下が抑えられているために堆積がわずかであってもイシガイ類の生息が可能であると考えられたが、そのような水路独自の水理特性がイシガイ類の生息状況に影響を及ぼしている可能性がある。今後は様々な水理特性を有する水路においてイシガイ類の生息分布を調査し、両者の関係を明らかにすることが、コンクリート三面張り水路をイシガイ類の保全において活用する上で重要な知見となると考える。また、本調査地の排水路においては成長段階により好適生息環境が異なる可能性が示唆されたことから、より成長段階の低い個体の好適生息環境の把握が急務であると考ええる。

水田地帯において水路は、前述した保全地間の宿主魚類の移動を考える場合、その移動経路としても利用される。そのため、水路内がイシガイ類の生息に適した環境であれば移動経路内に幼生が脱落しても定着することが可能となり、より広域的にイシガイ類の生息適地が確保されることになる。本研究の結果では、礫が堆積した地点に殻長が小さい個体が生息していたことから、トンガリササノハガイやイシガイ、マツカサガイを保全対象とする場合には底質材料として礫が優占するように配慮することが保全に有効な水路の整備方法の一つであると考えた。夏季繁殖型のイシガイ類の繁殖期は灌漑期と重複しており、さらにその時期は本研究の移動調査において対象としたヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリを含む水田地帯に生息する魚類の繁殖期でもある。これら 3 種はいずれの種も繁殖場所として砂礫底の環境を好むことが報告されており（宮地ら, 1976；石田ら, 2006；佐野ら, 2008）、カワヨシノボリおよびオイカワに関しては砂礫底の水域において他と比較して生息密度が高いことが報告されている（松井・佐藤, 2004；石田ら, 2007）。そのため、底質材料として礫が優占する環境はイシガイ類のみならず、宿主魚類の生息環境としての役割を果たすことも期待される。

8.2.4 改修工事に際したイシガイ科二枚貝の一時保管

従来イシガイ類が生息していた場所において圃場整備等が行なわれる場合、個体を一時的に保管する必要がある。既往事例においては、近隣水路に移植し、改修工事後に再び同じ水路に戻す方法や（塚原幸治，私信；滋賀県農林土木コンクリート製造協会，2006 角田・新井，2007），イシガイ目カワシンジュガイ科カワシンジュガイ *Margaritifera laevis* の保全事例では、改修対象である生息水路の側に造成した池に水路の水を導水し、そこに個体を移して飼養する方法が挙げられる（東海農政局，1998）。一時保管における死亡率などは公表されていないが、カワシンジュガイの事例では、改修工事が終了し個体を水路に戻すまでの1年以上の間、ほとんどの個体が生存し続けたという（東海農政局，1998；近藤高貴，私信）。冷水域に生息するカワシンジュガイとイシガイ類では生息条件が異なる可能性も考えられるが、濾過食者であるイシガイ類にとって元来の生息環境の水が利用できる環境は好ましいものであったのだろう。このことから、工事の際の保管場所としては元来の生息水域と同じ水が導水される接続水域などの環境が適していると思われる。さらには、イシガイ類が生息する環境であり、平常時から宿主魚を介した交流が生じている範囲内に移植し、工事終了後に戻すことが最も良いと考えるが、そのような環境は望めない場合が多いであろう。本研究では、ビオトープ池の改修工事の際に、2009 年では実験室内で、2011-2012 年では、大学内試験圃場のハウス内に設置した池でイシガイ類を飼育した。その結果、飼育時の水温が低く貧栄養状態であったと考えられる 2009 年の方が再びビオトープ池に放流した後のイシガイ類の再生産や成長に与える影響が小さかったと考えられた。これより、工事期間中に別の場所で飼育する場合は、冬季の活性が落ちる時期に、水温が低く貧栄養の環境下で維持することでその後の再生産や成長に及ぼす影響を最小限にとどめることができると推測する。しかし、科学的根拠に基づいた有効な飼育方法に関しては今後検討していく必要がある。また、水路の改修工事では工事区間を何分割かにして長期的に順次工事を行なうことにより、イシガイ類が工事をしていない区間に定着することができ、生息が維持された例がある（近藤高貴，私信）。このように、工事期をずらしながら施工を行うことで、現地でイシガイ類が生息し得る環境を残しながら工事を進めることも有効な方法

であると考える。

8.2.5 水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全

イシガイ類は寿命が長く、多くの種が性成熟までに2年を要する (Kondo, 2008)。そのため、水田地帯におけるイシガイ類の保全においては長期的な視点が大切であり、一時的な避難場所としてではなく、恒久的な生息地としての保全地を造成する場合においては、生息に適した環境を長期的に維持する必要がある。また、寿命が長いために、成貝が生息可能な環境では再生産が行なわれないまま成貝のみが長期にわたり生息し続けることから、再生産が途絶えてからイシガイ類が絶滅するまで数十年の時差が生じる場合がある (Strayer, 2008)。そのため、成貝のみの生息を確認したとしてもその環境が再生産も含めたイシガイ類の生息環境として適しているとはいえず、稚貝を確認してはじめてその判断が可能となる。本研究においても、定着した稚貝が調査において確認できるようになるまでに数カ月から1年を要したことや、工事中の避難などに伴う一時的な生息環境の変化が再生産に影響する可能性が示唆されたことから、1年未満のモニタリング結果のみで成否を判断するのではなく、数年の間隔で評価することが望ましいと考える。さらには、モニタリング結果は公表されなければならない。水田地帯におけるイシガイ類の保全に取り組んだ例はいくつか存在するものの、施工後のモニタリング結果が報告された例はほぼなく、後の保全に応用するには知見が不足している。筆者はイシガイ類の保全に配慮したいくつかの現場を訪れ、施工後再生産が行なわれていない事例や、個体数が減少した事例を目の当たりにした。今後は、どのような保全方法が、どのような結果となったのか、長期的な視点において公表されることが望まれる。そのことは、水田地帯におけるイシガイ類の保全を成功させるための重要な道標となるであろう。

本研究で対象としたビオトープ池は農村地域の生物保全のためのモデル圃場として整備され、創設当初から生物の生息状況調査など、学術的な活動の場として利用されてきた。しかし、水田地帯という人間活動の場において実際に保全地を設ける場合には、地域住民の理解や協力が不可欠である。イシガイ類に限らず生物の保全においては、より多くの人がその対象を知り、興味を持つことが保全の成功と生物が存続することへの大切な第一歩

であると考え、とくに人間活動の場である水田地帯においては重要であるように思われる。そのため、新しく保全地を設ける場合には、生物の生息場としての機能に加え、環境教育の場や生物との触れ合いの場として、地域住民の理解と協力を得ることが大切である。そのためには、対象生物の生態的な特徴や、生息環境が失われている現状を伝えることが有効であると考え、

本研究の成果が、今後の水田地帯における再生産や移動分散も含めた長期的なイシガイ類の個体群維持のための保全に貢献することに加え、より多くの人にイシガイ類に関する理解を深めてもらう上でも役立つことを期待する。

第9章 総括

水田地帯は食糧生産の場であるとともに、多様な生物の生息場としても重要な役割を果たしている。本研究の対象であるイシガイ類も水田地帯の水路やため池といった恒久的水域を主な生息場所としていたが、圃場整備事業に伴う水路のコンクリート化などにより生息環境が劣化し、個体数が減少しており、日本に生息するイシガイ類 15 種のうち 11 種が環境省レッドリストにおいて絶滅危惧種に指定されている。しかし、イシガイ類に関する生態的知見や保全事例に関する知見は不足している。そこで本研究では、休耕田利用ビオトープ池を中心とした水田地帯を調査地として、とくにイシガイ類の再生産や移動分散に果たす役割が大きい宿主魚種に着目し、宿主魚種がイシガイ類の再生産や移動分散に与える影響の解明を試みた。また、休耕田利用ビオトープ池およびコンクリート三面張り排水路におけるイシガイ類の保全地としての利用可能性を検討するとともに、宿主魚の移動距離を明らかにすることにより保全地の設置間隔を検討した。

第3章「ビオトープ池におけるイシガイ科二枚貝の生息状況」では、休耕田利用ビオトープ池においてイシガイ類の生息状況調査を行ない、殻長分布、成長率および妊卵状況から、イシガイ類の再生産状況を明らかにした。ビオトープ池にはイシガイ、トンガリササノハガイ、フネドブガイ、マツカサガイ、ドブガイ類が生息しており、優占種はイシガイであった。成長率はいずれの種も殻長が小さいほど大きく、成長するにつれ指数関数的に低下した。ビオトープ池においてはいずれの種も 2009 年の改修工事後に東側で、2011-2012 年の改修工事後は西側で新规定着個体が確認されなかった。2011 年 7 月では西側、東側ともに妊卵個体が確認されたことから、放出された幼生が魚類に寄生する以降の段階で再生産が阻害されたと考えられた。また、2012 年から 2013 年にかけてビオトープ池におけるイシガイ類の生息数が激減したが、これはヌートリアやカラス類による食害によるものと考えられた。

第4章「排水路におけるイシガイ科二枚貝の生息状況」では、イシガイ類が生息するコンクリート三面張り水路において、2008 年 11 月、2009 年 11 月および 2010 年 4-6 月につ

てイシガイ類の生息状況調査を行ない、イシガイ類の生息分布と底質環境との関係を明らかにした。排水路にはトンガリササノハガイ、イシガイ、マツカサガイ、フネドブガイ、オバエボシガイが生息しており、優占種はトンガリササノハガイであった。トンガリササノハガイとイシガイでは調査区間において生息個体の殻長が異なり、排水路上流部においては排水路下流部やビオトープ池の個体と比較して殻長が小さかった。殻長が異なる要因として、上流部の個体は下流部やビオトープ池よりも後に定着した個体群であることや、上流部は下流部と比較して水温が低いために成長が抑制されたことが考えられた。底質環境との関係では、いずれの種も 1cm 以上底質材料が堆積した地点に生息していた。生息していた個体の割合が高かった底質材料は礫であった。トンガリササノハガイおよびイシガイでは、殻長が小さいほど粒径が大きい底質に多く、底質中に潜行するよりも底質表面に生息している割合が高かった。

第 5 章「イシガイ科二枚貝幼生の寄生状況」では、2008 年 5-10 月にかけてビオトープ池、排水路および遡上・降下個体で魚を採捕し、イシガイ類の寄生状況を調べた。また、2013 年 3 月にはビオトープ池において冬季繁殖型であるフネドブガイを対象として寄生状況を調べ、イシガイ類幼生が寄生する魚種を明らかにした。2008 年の調査では、ビオトープ池ではイシガイ、トンガリササノハガイ、マツカサガイ、ドブガイ類の、排水路ではイシガイ、トンガリササノハガイ、ドブガイ類の幼生の寄生を確認した。対象とした魚種のうち、幼生の寄生率や平均寄生数が高かったのはオイカワやヌマムツであった。また、イシガイ、トンガリササノハガイおよびドブガイ幼生は主に鰓に、マツカサガイ幼生は鰓と鰭に寄生していた。また、ビオトープ池と排水路間では魚類を介した幼生の遡上、降下が生じており、とくにビオトープ池で多数の幼生が寄生していると考えられた。2013 年の調査ではフネドブガイ幼生は 6 個体しか確認できず、幼生が多く寄生する魚種を明らかにすることはできなかった。

第 6 章「イシガイ科二枚貝 3 種の宿主魚種」では、イシガイ、トンガリササノハガイおよびフネドブガイを対象として寄生実験を行った。寄生実験では、人為的に魚類に幼生を寄生させ、寄生率（寄生幼生が稚貝に変態する割合）を求めることにより宿主としての適

性を検討した。3種とも実験対象としたすべての対象魚種に寄生したが、稚貝へ変態したのはイシガイでは6魚種、トンガリササノハガイでは3魚種、フネドブガイでは9魚種であった。変態率は各魚種で異なり、最も高かったのはイシガイではオイカワで95.3%、トンガリササノハガイではヌマムツで52.3%、フネドブガイでヌマムツで30.3%であった。

第7章「宿主魚種3種の移動距離」では、第5章および第6章にて明らかにした宿主魚種であるヌマムツ、オイカワおよびカワヨシノボリを対象として、標識再捕獲法により夏季繁殖型のイシガイ類幼生の寄生期間における魚類の移動距離を調査した。放流個体のうち、ヌマムツは550尾中39尾、オイカワは220尾中6尾、カワヨシノボリは200尾中4尾が再捕獲された。本調査の結果からは、流れの方向が移動距離に及ぼす影響は明らかでなかった。また、体長と移動距離との関係では、ヌマムツの下流部からの移動のみ正の相関関係がみられた。移動日数と移動距離から得られた移動距離の推定式より、イシガイ類幼生の寄生期間が7日間であった場合、ヌマムツでは1,040m、オイカワは1,669m、カワヨシノボリは578m移動すると推定された。また、水田地帯における魚類の移動分散には、落差工や水門といった水路構造物が影響し、それがイシガイ類の分布にも影響する可能性が示唆された。

第8章「水田地帯におけるイシガイ科二枚貝の保全」では、本研究成果より、宿主魚種がビオトープ池のイシガイ類に与えた影響について、再生産および移動分散から考察した。また、水田地帯におけるイシガイ類の保全について、ビオトープ池を用いたイシガイ類の保全と保全地の設置間隔、コンクリート三面張り水路におけるイシガイ科二枚貝の生息地としての利用可能性を考察した。

以上の研究成果が、今後の水田地帯における再生産や移動分散も含めた長期的なイシガイ類の個体群維持のための保全に貢献することを期待する。

謝辞

はじめに、主指導教員である岐阜大学 伊藤健吾准教授に深く感謝の意を表します。伊藤先生は日頃から私の稚拙な発想にも耳を傾けて議論してくださり、終始懇切にご指導くださいました。また、水田生態系保全に関する考え方だけでなく、農業の在り方、人との繋がり、物事に対する考え方など、様々なことを教えていただきました。そして何よりも、研究を楽しむことを教えていただきました。伊藤先生主指導の博士第一号であることは私の誇りであり、そのことに恥じぬようこれからの研究人生を歩む所存です。

副指導ならびに主査をお引き受けいただいた岐阜大学 千家正照教授には日頃から研究に取り組む姿勢や、研究成果を発信し続けることの大切さを教えていただきました。心より感謝いたします。また、千家先生ならびに伊藤先生は私が学部 4 回生の頃から 6 年間に在籍した岐阜大学水利環境学研究室の担当教員でもあり、興味をもったこと、挑戦したいことに関して最大限許容し、応援してくださる、大変充実した研究環境を整えていただきました。また、研究に限ることに限らず、日常の他愛もない話にも耳を傾けて下さいました。充実した学生生活を送ることができたのは、両先生のお陰であると感謝しております。

静岡大学 土屋智教授には、副指導ならびに副査をお引き受けいただき、中間発表などの折りには他分野の視点から非常に有意義なご指摘、ご助言をいただきました。また、岐阜大学 土田浩治教授には副査をお引き受けいただき、生態学的な視点から貴重なご意見をいただきました。心より感謝いたします。

岐阜大学 岩澤淳教授には副査をお引き受けいただき、本論文に対し非常に丁寧で有意義なご指摘、ご助言をいただきました。また、岩澤先生率いる比較生化学研究室と水利環境学研究室で 6 年間にわたり合同開催しているゼミにおいては、私の発表に対し貴重なご意見やご指摘をいただきました。そのひとつひとつが励みになっておりました。心より感謝いたします。

岐阜大学水利環境学研究室ならびに比較生化学研究室の学生、卒業生のみなさまには、本研究の調査に対し多大なご協力をいただきました。本研究はその助けなくては遂行することができませんでした。心より感謝いたします。

岐阜県揖斐郡揖斐川町および調査地の周辺住民の方には調査地をご提供いただきました。時には調査中にねぎらいの声をかけてくださり、励みとなっておりました。心より感謝いたします。

大阪教育大学 近藤高貴教授には貴重な文献や標本をご提供いただき、折りに触れ大変有意義なご助言、ご指摘をいただきました。また、本研究における調査にもご協力いただき、イシガイ類に関して非常に多くのことを教えていただきました。アクア・トトぎふ 波多野順氏、いであ株式会社 木邑聡美氏、滋賀県立大学 皆川明子博士には本研究の調査にご協力いただき、有意義なお話を聞かせていただきました。NPO 法人ふるさと自然再生研究会の塚原幸治氏をはじめとしたみなさまには、イシガイ類が今まさに生息の危機に瀕している現場において、調査に同行させていただき、多くのことを学ばせていただきました。木邑氏、皆川先生、財団法人広島県環境保健協会 中西毅氏、NPO 法人西中国山地自然史研究会 内藤順一先生、国土技術政策総合研究所 秋山吉寛氏、氷見市 西尾正輝氏、大阪市立城陽中学校 河合典彦氏には日本各地においてイシガイ類が生息する現場をご案内いただき、貴重な文献をご提供いただきました。北里大学 柿野亘博士には、貴重な標本をお譲りいただき、また、学会や調査をご一緒した折りに、研究に対する考え方、研究者としての在り方について今後の参考となるご助言をいただきました。岐阜県河川環境研究所 米倉竜次氏ならびに岸大弼氏には岐阜県内において多くのフィールドをご案内いただき、貴重な経験をさせていただきました。これまでの研究生活の中で諸氏と出会い、様々な経験をさせていただいたことは、自らの研究に対する視野を広げることに繋がり、その経験があったからこそ、本研究を一層実りあるものにすることができたと感じております。心より感謝いたします。

北海道大学 工藤秀明准教授ならびに同研究室のみなさま、標津サーモン科学館市村政樹氏には、博士課程への進学を決意するきっかけをいただきました。また、合同調査や合同ゼミの開催を通じて大変お世話になりました。心より感謝いたします。

最後に、人よりも長い学生生活を送ることを決めた娘を常に見守り、応援してくれ、経済的、精神的に力強く支えてくださった家族に心より感謝いたします。

引用文献

- Akiyama, Y. (2011) : Host Fish Species for the Dlochidia of *Anodonta japonica* Inhabiting Drainage Ditches for Rice Cultivation in Hikone City, *VENUS*, **69**, 207-209.
- 秋山和喜 (2005) : スジエビ, メダカ, タニシ絶滅危惧種を育てて食べる, 現代農業 2005 年 11 月号, 235-238.
- 新井羊子 (2008) : ビオトープ水田による淡水魚類の保全に関する検討, 平成 19 年度岐阜大学応用生物科学部卒業論文.
- 浅山鉄夫 (2005) : ナマズ 自然産卵・孵化, 稚魚育成も成功, 現代農業 2005 年 11 月号, 238-240.
- Balfour, D. L. and Smock, L. A. (1994) : Distribution, age structure, and movements of the freshwater mussel *Elliptio complanata* (Mollusca: Unionidae) in a headwater stream, *J Freshw Ecol*, **10**, 255-268.
- Bauer, G. (1987) : The parasitic stage of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) II. Susceptibility of brown trout, *Archiv fur Hydrobiologie Supplementband*, **76**, 413-412.
- Bauer, G. (1994) : The adaptive value of offspring size among freshwater mussels (Bivalvia; Unionoidea). *Journal of Animal Ecology*, **63**, 933-944.
- 琵琶湖・淀川水質浄化センター (2004), 底質改善の降下実証実験, 琵琶湖・淀川水質浄化センター年報第 6 号, 1-16.
- Dodd, B.J., Barnhart, M.C., Rogers, C.L., Fobian, T.B. and Dimock, R.V. Jr. (2005) : Cross-Resistance of Largemouth Bass to Glochidia of Unionid Mussels, *The Journal of Parasitology*, **91**(5), 1064-1072.
- Douglas, G.S. (1985) : Recent Range Expansion of the Freshwater Mussel *Anodonta imbecilis* and Its Relationship to Clupeid Fish Restoration in the Connecticut River System, *Freshwater Invertebrate Biology*, **4**, 105-108.
- Downing, J. A., Rochon, Y. R., Perusse, M. and Harvey, H. (1993) : Spatial aggregation, body size,

- and reproductive success in the freshwater mussel *Elliptio complanata*, *Journal of North American Benthological Society*, **12**, 148-156.
- 福原修一，長田芳和，山田卓三（1986）：溜池におけるドブガイ *Anodonta woodiana* の幼生の寄生時期とその寄主および寄生部位，*VENUS(Jap. Jour. Malac.)*, **45**, 43-52.
- 福原修一，中井一郎，長田芳和（1990）：淡水二枚貝ドブガイ *Anodonta woodiana* の魚体寄生時における発生過程，*VENUS(Jap. Jour. Malac.)*, **49**, 54-62.
- 福原修一，田部雅昭，近藤高貴（2013）：フネドブガイの繁殖期，*NEVUS*, **71**, 121-123.
- 林 一正（1972）：琵琶湖産有用貝類の生態について（前編），*VENUS (Jap. Jour. Malac.)*, **31**, 9-34.
- 端 憲二（2000）：魚類の産卵・生息場としての休耕田の活用対策，*Science & technonews Tsukuba*, **55**, 26-28.
- 日鷹一雅（1998）：水田における生物多様性とその修復，水辺環境の保全－生物群集の視点から－，朝倉書店，125-148.
- 日詰 勉（2004）：中華料理の高級食材上海ガニ，現代農業 2004 年 5 月号，208-211.
- 堀井政弘（2005）：雑魚釣り キャッチ&リリースが楽しい，現代農業 2005 年 11 月号，240-243.
- Hosoya, K., Ashiwa, H., Watanabe, M., Mizuguchi, K. and Okazaki, T. (2003) : *Zacco sieboldii*, a species distinct from *Zacco temminckii*(Cyprinidae), *Ichthyol Res*, **50**, 1-8.
- 市川憲平（2002）：タナゴももどったきすみ野ビオトープものがたり，農山漁村文化協会.
- 市川憲平（2004）：放棄田ビオトープによる里の自然再生とタガメやその他の水生動物の定着，ホシザキグリーン財団研究報告，**7**, 137-150.
- 石田 惣，久加朋子，金山 敦，木邑聡美，内野 透，東 真喜子，波戸岡清峰（2010）：外来魚の優占がイシガイ科二枚貝の繁殖に与える負の影響－淀川ワンド域におけるイシガイ *Unio douglasiae nipponensis* での事例，保全生態学研究，**15**, 265-280.
- 石田裕子，竹門康弘，池淵周一（2006）：河川の土砂堆積様式に基づく底生魚類の生息場評価，京都大学防災研究所年報，**49B**, 661-675.
- 石田裕子，中林真人，竹門康弘，池淵周一（2007）：堰堤で仕切られた都市河川の魚類相と

- 生息場の特性, 京都大学防災研究所年報, **50B**, 781-788.
- 伊藤寿茂, 尾田紀夫, 丸山 隆 (2003) : マツカサガイのグロキディウム幼生の寄生生態, 日本生態学会誌, **53**, 187-196.
- 伊藤寿茂・丸山 隆 (2004) : マツカサガイのグロキディウム幼生の流下生態, 日本生態学会誌, **54**, 85-94.
- 伊藤寿茂・丸山 隆 (2005) : マツカサガイ幼生の宿主としてのホトケドジョウ, *VENUS*, **64**, 199-201.
- Itho, T., Tanaka, T. and Imai, K. (2008) : Record of Two New Host Species, *Tridentiger brevispinis* and *Gymnogobius urotaenia*, for the Glochidia of the Freshwater Unionid Mussel *Anodonta "woodiana"*, *VENUS*, **67**, 89-91.
- Itoh, T., Kakino, W. and Yoshida, Y. (2010) : Host Species for glochidia of the Freshwater Unionid Mussel *Inversiunio yokohamensis*, *VENUS*, **69**, 41-48.
- 伊藤寿茂 (2013) : 人為的に寄生処置を施した関東産イシガイ幼生の宿主としてのオオクチバスとウシガエルの不適合, *VENUS*, **71**, 117-110.
- 伊藤健吾, 千家正照 (2013) : 水田地帯における外来魚の分布要因, 農業農村工学会全国大会講演要旨集, 210-211.
- Kakino, W., Itho, T., Kobayashi, A. and Yoshida, Y. (2012) : Distribution Pattern and Assessment of an *Inversiunio Yokohamensis* Population at a Reservoir Where Management was Abandoned, *JDRE*, **278**, 117-120.
- 川瀬金次郎, 横山栄造, 松井 慎 (1972) : 写真図鑑日本の水田土壌, 講談社.
- 環境省 (2012) (参照 2012.12.14) : 【貝類】環境省第 4 次レッドリスト (2012), (オンライン), 入手先<http://www.env.go.jp/press/file_view.php?serial=20555&hou_id=15619>
- 木邑聡美, 岡崎一成, 唐沢恒夫, 石田 惣 (2012) : 淀川におけるイシガイの生態, 特に違いについて, 関西自然保護機構 2012 年度大会, ポスター発表.
- Klunzinger, M.W., Beatty, S.J., Morgan, D.L., Thomson, G.J. and Lymbery, A.J. (2012) : Glochidia ecology in wild fish populations and laboratory determination of competent host fishes for an

- endemic freshwater mussel of south-western Australia, *Australian Journal of Zoology*, **60**, 26-36.
- Kondo, T. (1987) : Breeding Seasons of Seven Species of Unionid Mussels (Bivalvia : Unionidae) in a Small Creek, *VENUS (Jap. Jour. Malac)*, **46**, 227-236.
- Kondo, T. (1989) : Differences in Clutch Size and Host Recognition by Glochidia between Summer and Winter Breeders of Japanese Unionid Mussels, *VENUS (Jap. Jour. Malac.)*, **48**, 40-45.
- Kondo, T. (1992) : Population Density and Growth of *Unio douglasiae* and *Lanceolaria grayana* (Bivalvia: Unionidae) in a Small Creek at Kyoto, *VENUS*, **51**, 219-224.
- 近藤高貴, 加納正子 (1993) : イシガイ類 (淡水産二枚貝) 6 種の移動行動, 陸水学報, **8**, 1-4.
- 近藤高貴 (1997) : イシガイ類幼生の寄生魚種, 魚類自然史研究会会報 ボテジャコ, **1**, 5-10.
- 近藤高貴 (1998) : 用水路の淡水二枚貝群集, 水辺環境の保全-生物群集の視点から-, 朝倉書店, 80-91.
- 近藤高貴 (2003) : 農業土木技術者のための生き物調査 (その 3) -淡水産貝類調査法-, 農業土木学会誌, **70** (1), 43-48.
- 近藤高貴, 田部雅昭, 福原修一 (2006) : ドブガイに見られる遺伝的 2 型のグロキディウム幼生の形態, *VENUS*, **65** (3), 241-245.
- Kondo, T. (2008) : Monograph of Unionoida in Japan (Mollusca: Bivalvia), Special Publication of the Malacological Society of Japan, 3.
- 近藤高貴 : イシガイ類幼生の寄生に対する魚類の一時的抵抗性の獲得, 大阪教育大学紀要 第三部, **62** (2), 7-11.
- 近藤美麻, 秋山吉寛, ノエリカント・ラマモンジソア, 伊藤健吾, 千家正照 (2013) : 東海地方初記録の淡水二枚貝フネドブガイ *Anemina arcaeformis* (イシガイ科: ドブガイ族), ちりぼたん, **43**, 395-402.
- Levine, T.D., Lang, B.K. and Berg, D.J. (2012) : Physiological and ecological hosts of *Popenaias popeii* (Bivalvia: Unionidae): laboratory studies identify more hosts than field studies, *Freshwater Biology*, **57**, 1854-1864.

- 松井 明, 佐藤政良 (2004) : 茨城県下館市の水田圃場整備によって造成された排水路系における水生生物の分布, 保全生態学研究, **9**, 153-163.
- 松下飛鳥 (2011) : 休耕田を利用したビオトープと水田におけるプランクトン構成の違いに関する研究, 平成 22 年度岐阜大学大学院応用生物科学研究科修士論文.
- 水谷正一 (2007) : 水田生態学入門, 社団法人農村漁村文化協会.
- 皆川明子 (2009) : 田んぼが育む淡水魚とその保全, 春の小川の淡水魚その生息場と保全, 学報社.
- 宮地伝三郎, 川那部浩哉, 水野信彦 (1976) : 原色淡水魚類図鑑, 保育社, 135-137.
- 森 淳, 水谷正一, 高橋順二 (2008) : 水田生態系の特徴と変質: 水田生態工学の視点から, 農業農村工学会論文集, **76** (2), 211-221.
- 森 淳, 渡部恵司, 吉田 豊 (2009) : 安定同位体を用いたマツカサガイの食性の解析, 農業農村工学会全国大会講演要旨集, 66-67.
- 森 文俊, 内山りゅう, 山崎浩二 (2008) : ヤマケイポケットガイド 17 淡水魚, 山と溪谷社, p.62, pp.64-65, p.205.
- 森 生枝 (2003) : 岡山県自然保護センターにおけるヌートリアの食性, 岡山県自然保護センター研究報告, **11**, 49-58.
- 守山 弘 (1997) : 水田を守るとはどういうことか—生物相の視点から—, 社団法人農村漁村文化協会.
- 武藤 剛 (2011) : 「谷汲深坂・大洞地区における軟弱地盤対策の検討」, 水と土, **163**, 31-38.
- 中坊徹次 (2013) : 日本産魚類検索 全種の同定 第三版, 東海大学出版会.
- 中村俊六, 石川雅朗, 築坂正美, 東信行, 中村緩徳 (1996) : 河川における魚類生息環境評価 (IFIM 適用) のための基礎調査, 木更津工業高等専門学校紀要, **29**, 23-32.
- 中野浩史, 桑原友春, 金森弘樹 (2011) : 斐伊川ワンドに侵入したヌートリア *Myocastor coypus* と補食された淡水二枚貝の記録, ホシザキグリーン財団研究報告 **14**, 315-317.
- 根岸淳二郎, 萱場祐一, 塚原幸治, 三輪芳明 (2008a) : イシガイ目二枚貝の生態学的研究: 現状と今後の課題, 日本生態学会誌, **58**, 37-50.

- 根岸淳二郎, 萱場祐一, 塚原幸治, 三輪芳明 (2008b) : 指標・危急生物としてのイシガイ目二枚貝: 生息環境の劣化プロセスと再生へのアプローチ, 応用生態工学, **11** (2), 195-211.
- Negishi, J. N. and Kayaba, Y. (2009) : Size-specific growth patterns and estimated longevity of the unionid mussel (*Pronodularia japonensis*), *Ecological Research*, **25**, 403-411.
- Negishi, J.N., Doi, H., Katano, I. and Kayaba, Y. (2011) : Seasonally tracking vertical and horizontal distribution of unionid mussels (*Pronodularia japonensis*): implications for agricultural drainage management, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **21**, 49-56.
- Negishi J., Nagayama S., Kume M., Sagawa S., Kayaba. Y, Yamanaka. Y (2013) : Unionid mussels as an indicator of fish communities: A conceptual framework and empirical evidence, *Ecological indicators*, **24**, 127-137.
- Neves R. J., Weaver, L. R. and Zale, A. V. (1985) : An Evaluation of Host Fish Suitability for Glochidia of *Villosa vanuxemi* and *V. nebulosa* (Pelecypoda: Unionidae), *The American Midland Naturalist*, **113**, 13-19.
- 西田一也, 藤井千晴, 皆川明子, 千賀裕太郎 (2006) : 一時的水域で繁殖する魚類の移動・分散範囲に関する研究—東京都日野市の向島用水・国立市の府中用水を事例として—, 農業土木学会論文集, **74**, 553-565.
- 西村圭市, 武田育郎, 福島晟, 宗村広昭 (2006) : 水田地区に生息する魚類に影響を及ぼす環境因子, 雨水資源化システム学会誌, **12**, 11-16.
- 西澤 慧 (2008) : 環境配慮型水田におけるイシガイ類の生息域及び水管理による成長率の違い, 平成 19 年度岐阜大学応用生物科学部卒業論文.
- 西澤 慧 (2010) : ビオトープ水田におけるイシガイ類の分布特性と魚類の利用状況に関する研究, 平成 22 年度岐阜大学応用生物科学研究科修士論文.
- 日本生態系協会 (2002) : 平成 13 年度農業農村整備推進環境保全技術調査生態系保全技術検討調査「輪之内地区」報告書.
- 日本生態系協会 (2003) : 平成 14 年度農業農村整備推進環境保全技術調査生態系保全技術検討調査「輪之内地区」報告書.

- 日本生態系協会（2004）：平成 15 年度農業農村整備推進環境保全技術調査生態系保全技術検討調査「輪之内地区」報告書.
- 日本生態系協会（2005）：平成 16 年度農業農村整備推進環境保全技術調査生態系保全技術検討調査「輪之内地区」報告書.
- 野久智也（2006）：水田魚道とビオトープ水田が生態系に与える影響－谷汲地区生態系保全モデル圃場事例－，岐阜大学農学部平成 17 年度卒業論文.
- 農林水産省（1994）：よりよき設計のために「頭首工の魚道」設計指針，農業農村整備情報総合センター.
- 農林水産省農業環境技術研究所（1998）：水田生態系における生物多様性，養賢堂.
- 大平 裕，中野芳輔，弓削こずえ（2005）：農業用水路の生物相調査に基づく環境保全目標の設定，九大農芸誌，**60**，233-251.
- 大平 裕，中野芳輔，弓削こずえ，林田創（2006a）：農家管理による水田生態系保全を目的とした小型魚道の開発（Ⅰ）室内実験によるモデル魚道の流況評価，九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，**61**，215-228.
- 大平 裕，中野芳輔，弓削こずえ，柴田幸二（2006b）：農家管理による水田生態系保全を目的とした小型魚道の開発（Ⅱ）：モデル魚道による遡上効果の評価，九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，**61**，229-236.
- 大平 裕，中野芳輔，弓削こずえ，柴田幸二（2006c）：農家管理による水田生態系保全を目的とした小型魚道の開発（Ⅲ）－現地実験による魚道 3 タイプの遡上効果の実証－，九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，**61**，237-246.
- 大平 裕，中野芳輔，弓削こずえ，柴田幸二（2006d）：農家管理による水田生態系保全を目的とした小型魚道の開発（Ⅳ）現地実験による斜水路型および連続堰型魚道の遡上効果の実証，九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，**61**，247-259.
- 岡山県（2010）：ヌートリア対策マニュアル，岡山県.
- 太田智久（2006）：水田生態系の保全を目的としたビオトープ水田の水管理方法に関する検討，平成 18 年度岐阜大学大学院農学研究科修士論文.

- 尾崎暢也（2013）：2 種の水田魚道における魚類の遡上状況の差異について，平成 25 年度岐阜大学応用生物科学研究科修士論文．
- Rogers, C. L. and Dimock, R. V. Jr. (2006) : Encapsulation of Attached Ectoparasitic Glochidia Larvae of Freshwater Mussels by Epithelial Tissue on Fins of Naïve and Resistant Host Fish, *The Biological Bulletin*, **210**, 51-63.
- Rogers, C.L. and Dimock, R.V. Jr. (2003) : Acquired Resistance of Bluegill Sunfish *Lepomis Macrochirus* to Glochidia Larvae of the Freshwater Mussel *Utterbackia Imbecillis* (Bivalvia: Unionidae) After Multiple Infections, *The Journal of Parasitology*, **89**(1), 51-56.
- 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**，35-47.
- 櫻井雄二，矢野和之（2005）：湛水休耕田における動物相とその生息量，農業土木学会誌，**73**，801-804.
- 佐野二郎，牛嶋敏夫，稻田善和，西川仁（2008）：オイカワ増殖手法に関する研究，福岡県水産海洋技術センター研究報告，**18**，59-64.
- 滋賀県農林土木コンクリート製品協会（2006）：豊かな田園の生き物との共生をめざして報告書，滋賀県農林土木コンクリート製品協会．
- Strayer, D. L. (2008) : Freshwater Mussel Ecology A Multifactor Approach to Distribution and Abundance.
- 鈴木正貴，水谷正一，後藤 章（2004）：小規模魚道による水田，農業水路および河川の接続が魚類の生息に及ぼす効果の検証，農業土木学会論文集，**72**，641-651.
- 田村孝浩，谷本 岳，石田憲治（2010）：冬期湛水水田の水収支観測に基づいた湛水可能面積の試算 重力式灌漑による湛水圃場を事例として，農村計画学会誌，**28**，285-290.
- 東海農政局計画部資源課（1998）：カワシンジュガイの保全に配慮した農業農村整備事業 農業農村整備推進生態系保全対策調査 「三枝地区」総合報告書．
- 東海農政局農村計画部資源課（2001）：農村地域生物多様性保全対策調査「深坂地区」（平成 11～12 年度）調査報告書．

- 角田勝祐紀, 新井昭次 (2007) : 希少水生生物の保護に配慮した排水路整備, 水土の知, **75** (9), 840-841.
- 上原和男 (2006) : フナや絶滅危惧種まで殖える!, 現代農業 2006 年 8 月号, 74-79.
- Vaughn, C. C. and Spooner, D. E. (2006) : Unionid mussels influence macroinvertebrate assemblage structure in streams, *Journal of American Benthological Society*, **25**(3), 691-700.
- 若杉晃介, 長田光世, 水谷正一, 福村一成 (2002) : アジアイトトンボの移動距離の測定—水田ほ場整備地区における生物保全地の設置間隔に関連して—, 農業土木学会論文集, **219**, 127-132.
- Watters, G.T. (1996) : Small Dams as Barriers to Freshwater Mussels (Bivalvia, Unionoida) and Their Hosts, *Biological Conservation*, **75**, 79-85.
- 柳田洋一, 外岡健夫 (1992) : 淡水二枚貝類の生育環境条件について—II 飼料環境と成長との関係, 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, **28**, 35-42.
- 柳田洋一 (1992) : 淡水産二枚貝類の成育環境条件について—III 珪藻類のイケチョウガイに対する飼料としての有効性, 茨城県内水面水産試験場調査研究報告, **28**, 43-47.
- Yeager, M. M., Cherry, D. S. and Neves, R. J. (1994) : Feeding and burrowing behaviors of juvenile rainbow mussels, *Villosa iris* (Bivalvia: Unionidae), *J. N. Am. Benthol. Soc.*, **13**(2), 217-222.
- ヨーゼフ・ブラープ (1997) : 野生の生きものを守るためのガイドブック ビオトープの基礎知識, 財団法人日本生態系協会.
- Zale, A.V. and Neves, R.J. (1982) : Fish hosts of four species of lampsiline mussels (Mollusca: Unionidae) in Big Moccasin Creek, Virginia, *Canadian Journal of Zoology*, **60**, 2535-2542.
- Zirena, E. G. R, Stewart, P. M. and Miller, J. M. (2013) : Growth Rates and Age Estimations of the Fuzzy Pigtoe, *Pleurobema strodeanum*: A Species Newly Listed under the Endangered Species Act, *Southeastern Naturalist*, **12**, 161-170.