

ヒルギシジミ類 *Polymesoda* spp. の生態系管理を目指した
景観生態学的研究 ―西表島を事例として―

2023 年

鷺谷寧子

目次

第1章 諸論	……1
第1節 マングローブ林とは	
第2節 ヒルギシジミ類とは	
第3節 本研究の目的	
第4節 調査対象地	
第2章 ヒルギシジミ類の種判別法の整理	……9
第3章 ヒルギシジミ類の空間分布パターンの把握	……23
第1節 浦内川感潮域のマングローブ林におけるヒルギシジミ類の生息状況	
第2節 マングローブ林床の環境とヒルギシジミ類の空間分布パターンとの関係	
第3節 西表島ヒナイ川，ニシダ川，後良川におけるマングローブ林床環境と ヒルギシジミ類の空間分布パターンの関係	
第4章 水中の塩分がヒルギシジミ類の生残率に与える影響	……57
第5章 マングローブ林内を流れるクリーク位置とヒルギシジミ類の空間分布パターン との関係	……72
第6章 総合考察	……87
引用文献	……96
謝辞	……106

要旨

インド・太平洋西側沿岸のマングローブ林に生息する二枚貝ヒルギシジミ類 *Polymesoda* spp. はマングローブ生態系を代表する生物の一種である。マングローブ林周辺に居住する人々にとっては、古くから有用な食糧資源として位置付けられている。その殻は日常生活においては道具として用いられ、祭事の際には神様に酒を供えるための器として用いられるなど多目的で利用されてきたことが確認されている。マングローブ林周辺の文化に不可欠な種であるため、個体数を維持することが望まれているが、マングローブ林面積は全世界で減少し続けている。また、林内環境の劣化についても多く報告されており、ヒルギシジミ類の個体数の減少が懸念されるため、マングローブ林保全と同時にヒルギシジミ類の保全対策を講じる必要がある。さらに、ヒルギシジミ類を持続的に利用していくためには、適切な資源管理を行う必要があると考えられる。しかしながら、保全や資源管理を含めた生態系管理の手法を構築するためのヒルギシジミ類の生態学的な研究事例は現時点では十分に存在しない。そこで本研究では、景観生態学的観点から様々なスケールにおいてヒルギシジミ類の生息に適した環境を明らかにし、ヒルギシジミ類の生態系管理を行う方法を検討することを目的とした。2011 年から 2014 年、主に西表島において、ヒルギシジミ類のフィールドにおける種判別法、河川感潮域の生息状況、マングローブ林内の林床環境と空間分布の関係、水中の塩分がヒルギシジミ類に与える影響、マングローブ林内のクリークと空間分布の関係について調べた。

その結果、現在日本国内に生息しているヒルギシジミ類は形態的特徴からヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの 2 種に分けられているが、本研究で行った分子系統分析結果より明確に分けることは出来ないことが示唆された。フィールドにおいてこれら 2 種を正確に判別出来ないため、本研究では 2 種をまとめてヒルギシジミ類として取り扱った。浦内川の感潮域では広い範囲のマングローブ林内で生息が確認された。さらにマングローブ林内で詳細な調査を行ったところ、オヒルギが優占する林床において地上根が林床面積の 50%以上を占める環境で多く出現することが明らかになった。オヒルギが優占する林床は潮汐によって水中の塩分が緩やかに変化し、高塩分や低塩分状態が長く続かない環境であり、ヒルギシジミ類の生命維持に適した環境であるため、出現個体が多いと推測された。また、ヒルギシジミ類はマングローブ林を流れるクリークから 5 m 以内に多く出現する傾向があることが示された。

本研究により、河川感潮域、マングローブ林、林床といった複数のスケールでのヒルギシジミ類の空間分布とそれに影響を与える要因が明らかにされた。これらの結果は、ヒルギシジミ類の生態系管理の手法を構築する際に非常に有用な情報となることが期待される。最後に、本研究結果をふまえ、現在国内外で問題を抱えているマングローブ林の再生事業の具体例とあわせて、ヒルギシジミ類の持続可能な生態系管理を行う方法について考察した。

第1章 諸論

第1節 マングローブ林とは

マングローブ林は熱帯・亜熱帯地域の沿岸部に広がり、海側と陸側の生態系を結ぶ役割を果たしている。海水と淡水の混合だけでなく、無機物、有機物、栄養塩、溶存酸素等の輸送がマングローブ林を介して行われていることが報告されている(赤松ほか, 2002; Taillardat et al., 2019; Nguyen et al., 2020)。また、マングローブ植物であるヤエヤマヒルギやオヒルギ等は地上根を持ち、これらの植物の地上部が波浪の影響を軽減させる物理的障壁となっており(Dahdouh-Guebas et al., 2005)、津波の発生時にはその影響を抑える効果を有することがわかっている(Ismail et al., 2012; UNEP, 2016)。さらに、マングローブ林が存在する沿岸部には人間の活動エリアが集中しており、容易に利用することのできる場所に位置している。マングローブ林はこのように多くの機能を持ち、非常に重要な役割を担っているため、沿岸部の開発、農地への転用、エビの養殖池の確保、樹木利用を目的としたマングローブ植物の過剰な伐採が行われてきた。土地の転用や樹木利用のための伐採によるマングローブ面積の減少という直接的な影響だけでなく、工場からの排水に含まれる物質による林内の土壤汚染や、マングローブ林内を流れる河川上流にダムを造成することによる淡水供給の減少による植物の枯死等、間接的にマングローブ林環境に影響が及ぼされていることも報告されている(FAO, 2006)。

近年、マングローブ林面積の減少傾向は穏やかになってきているものの、1980年以降のマングローブ林の消失速度は平均的な森林消失の約3~5倍であり、既に世界の4分の1の面積が消失した(FAO, 2006; UNEP, 2016)(Table 1-1, Fig. 1-1)。2020年の世界におけるマングローブ林面積は145,068 km²と算出されており、そのうち本研究対象種であるヒルギシジミ類が生息しているアジアでは、全世界のマングローブ林面積の39.2%と最も大きな割合を占めている(Jia et al., 2023)。しかしながら、アジア地域は上記のようなマングローブ林の過剰な利用が多く行われている地域でもあり、その減少率は他の地域より高いことが報告されている(FAO, 2006)。

Table 1-1 Changes in the area of mangrove forests around the world (FAO, 2006; Jia et al., 2023)

Reference year	1980	1990	2000	2005	2020
Areas (100ha)	18,794	16,925	15,740	15,231	14,507

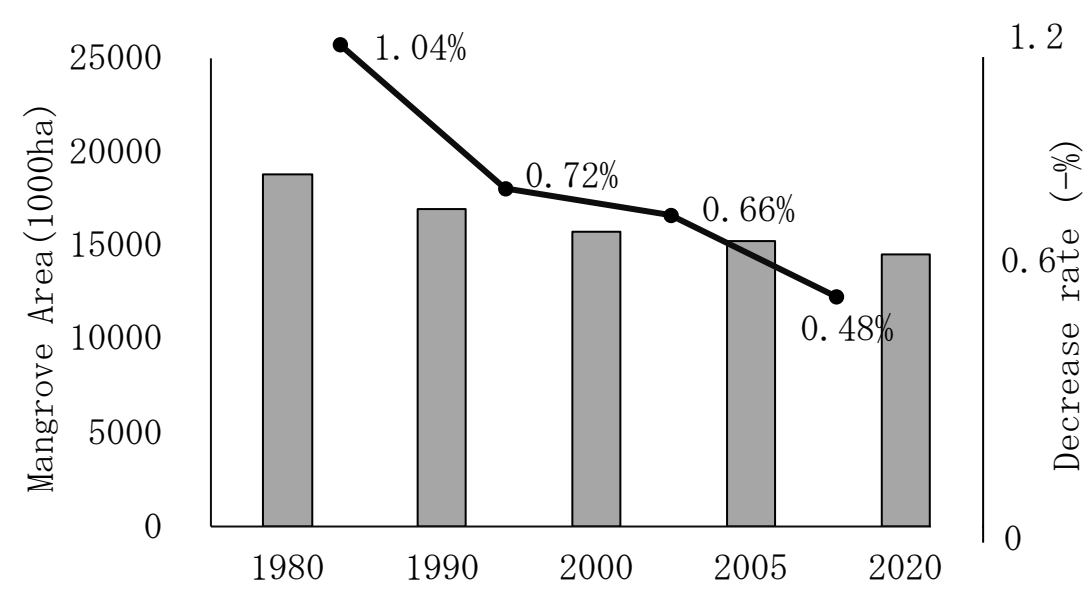


Fig. 1-1 Changes in the area of mangrove forests (bars) and the ratio of decline in mangrove forest area (line) around world (FAO, 2006; Jia et al., 2023)

第2節 ヒルギシジミ類とは

ヒルギシジミ類 *Polymesoda* spp. はマルスダレガイ目シジミ科ヒルギシジミ属に属し、成貝は殻長が 100 mm を超える大型の二枚貝である。インド・太平洋西側沿岸のマングローブ林に生息しており、マングローブ生態系を代表する種と位置付けられている。インド・太平洋西側地域においては、ヒルギシジミ属には主にヤエヤマヒルギシジミ *Polymesoda coaxans*, リュウキュウヒルギシジミ *Polymesoda expansa*, *Polymesoda bengalensis* の3種が属している。ヒルギシジミ類は属名を *Polymesoda* または *Geloina* のいずれに統一すべきかという論争が続いているが、未だ確定していない (Huber, 2015; Nodobe, 2023)。Morton (1984) はインド太平洋においては *Polymesoda* の亜属として *Geloina* が含まれると述べているが、その根拠は明確に記されていない。また、ヤエヤマヒルギシジミは近年 *Polymesoda erosa* (*Geloina erosa*) と多くの論文で記載されてきたが、Huber (2015) によってヤエヤマヒルギシジミに関する文献が整理され、現時点では *Polymesoda coaxans* (*Geloina coaxans*) のシノニムとして登録されている。

ヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミはインド・太平洋地域に広く生息しているが、*P. bengalensis* はインドでのみ生息が確認されている (Morton, 1984)。これら3種はマングローブ林の林床において、殻が全て土壌から露出した状態で生息している個体が確認されているが、多くは殻の一部を露出させた状態または殻の全てを土壌中に埋もれさせた状態で生息している。満潮時マングローブ林内が水で満たされている際には、他の二枚貝と同様に水中の酸素や懸濁物を体内に取り込み、呼吸や採餌をする。しかしながら干潮時や長期間降雨が無くマングローブ林内が水で満たされないような環境下では、ヒルギシジミ類は斧足を使って土壌中の間隙水をかき混ぜ採餌することや、空気中で呼吸をすることができる (Morton, 1975)。

マングローブ林は人間の生活圏からアクセスしやすい位置にあることが多く、林内に生息する魚類、甲殻類、貝類等は多くの種が利用されている。ヒルギシジミ類も他種同様にマングローブ林周辺に住む人々に昔から利用されてきた。オーストラリア北部およびタイ東部の完新世中期の貝塚からはヒルギシジミ類の殻が多く出土している (Allen, 1987)。オーストラリア北西部の貝塚はヒルギシジミ類の殻が多く含まれていたことが報告されているが、その殻は加工されており、日常的に道具として使用されていた形跡が確認されている (O'connors, 1999; Przywolnik, 2003)。現在はマレーシア、インド、ソロモン島、オーストラリア北部、フィリピン、インドネシア、ベトナムにおいて、大きな市場で流通する種ではないものの、マングローブ林周辺の小規模な市場で取引され、地元住民が日常的に食用目的で採取して消費していることが明らかにされている (Morton, 1975, 1984; Clement, 2007; Flores, 2009; Clemente and Ingole, 2011; Carter, 2014; Dolorosa et al., 2014; Shanker and Welant, 2004; Thao et al., 2019; Ransangan et al., 2019; Widianingsih and Nuraini, 2020)。Thao et al. (2019) によると、ベトナムでは天然種苗を用いてマングローブ林内で養殖を行なっていることが報告されている。日本において

は、規模の大小を問わず市場にヒルギシジミ類が出回ることはないものの、地元住民らによると昔から日々の食糧として利用してきたことや、貝殻は水を汲む道具として使用していたと記録されている(宮城, 1982)。また本研究の調査中には、現在でも沖縄県西表島北部の集落内にて祭事の際に神前に供える酒を入れる器としてヒルギシジミ類の殻を利用していることが確認された。このように、様々な国と地域において時代を問わず、マングローブ林周辺に居住する住民たちにとってヒルギシジミ類は非常に有用な種と位置付けられている。

第3節 本研究の目的

西表島で行われた本研究の事前調査時には、かつてはヒルギシジミ類の個体数が多く、マングローブ林の土壌に足を入れると至る所で殻の存在が足先に感じられるほどであったが、現在は個体数が非常に少なくなっているという地域住民の証言を得られた。FAO(2007)の報告によると、日本のマングローブ林面積は1980年から2005年まで約800 haであり、面積の減少は見られていない。それにも関わらず、個体数が減少したという住民らの証言やレッドデータリストでは準絶滅危惧Ⅱ類(VU)に分類されていることから、今後のヒルギシジミ類の個体数の減少が懸念される。また、日本以外の国・地域においては、マングローブ林面積が減少していることや、資源利用する際の適切な資源管理がなされていないことから、将来これらの地域においてもヒルギシジミ類の個体数が維持されない可能性が生じるものと推測される。そのため、ヒルギシジミ類の保全や資源管理の手法を確立する必要があるが、これまでに分布状況や生息環境を詳細に調べた研究は多く存在せず、これらの手法を確立するための十分な情報は揃っていない。そこで本研究ではヒルギシジミ類の保全や資源管理を含めた生態系管理法の確立に役立つ情報を提供するため、ヒルギシジミ類の生息に適した環境を明確にすることを目的とし、次のような6項目(①～⑥)の調査を行った。

Morton(1976, 1984)によると、生息地が重なっているヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミは類似した殻の特徴を持ち、種判別が容易に行えないとされている。また、ヒルギシジミ類はpHが約5.5～6.5の酸性土壌中に生息し、殻が酸性土壌により侵食されていることや、ノコギリガザミが捕食を試みる際に殻を傷つけたりすることから、殻表面の損傷が激しくフィールドでの種判別が非常に困難であるとされている。そこで、まず第2章では西表島、石垣島、奄美大島のヒルギシジミ類サンプルのmtDNAのCOI領域の塩基配列を調べ(①)、各々の形態的情報と合わせてフィールド上での種判別の可否について検討した。次に第3章では、はじめに第1節において西表島浦内川流域のヒルギシジミ類の分布状況を明らかにした(②)。その結果からマングローブ植物とヒルギシジミ類の空間分布パターンには関係があることが示唆されたため、第2節では浦内川河口域のマングローブ林にて林床の植生や地上根がヒルギシジミ類の空間分布パターンに及ぼす影響について考察した(③)。さらにこれらの結果が普遍性を持つ可能性について、他の河川で行った検証調査の結果をもとに議論した(④)。つづく第4章では、第3章で得られた知見をもとにヒルギシジミ類が多く生息するエリアと、生息が確認されにくいまたは確認できなかったエリア等の4区画において生残率と間隙水の塩分を比較するための飼育実験を行い、ヒルギシジミ類が生残するために必要な環境条件を明らかにした(⑤)。そして、第5章ではマングローブ林内で淡水や海水を交換する役割を担う小規模な水の流れ(クリーク)に着目した。クリーク内および周辺でヒルギシジミ類の分布調査を行い、クリークの位置とヒルギシジミ類の空間分布との関係について検討した(⑥)。最後に第6章では第3から5章の研究から得られた結果をもとにヒルギシジミ類の保全や資源管理等の方法について総合

的に考察した.

第4節 調査対象地

本研究は主に沖縄県八重山郡西表島(24° 17' N and 123° 52' E) (Fig. 1-2)の浦内川流域のマングローブ林にて行った。西表島は沖縄本島に次いで沖縄県で面積が2番目に大きく(約28,900 ha)、約9割が森林である。森林面積の大部分(約24,600 ha)が国有林であり、さらにその約8割(約22,400 ha)が森林生態系保護地域に指定されている(九州森林管理局「西表島の森林」, https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/iriomote_fc/huresen3.html, 2023.10.10)。この島のマングローブ林面積は全国の約7割に相当する503 haであり、仲間川流域は132 ha、仲良川流域は80 ha、浦内川流域は51 haのマングローブ林が広がっている(渡辺, 2018)。

西表島のマングローブ林の主たる構成種は、メヒルギ *Kandelia obovata*, ヤエヤマヒルギ *Rhizophora stylosa*, オヒルギ *Bruguiera gymnorhiza*, マヤプシキ *Sonneratia alba*, ヒルギダマシ *Avicennia marina*, ヒルギモドキ *Lumnitzera racemosa*, ニッパヤシ *Nypa fruticans* でマヤプシキは東海岸のみ、ヒルギモドキは北西海岸のみに見られる種である。これらに次いで副次的な構成種と位置付けられ、主要な構成種ではなく限定的に分布する種はサキシマスオウノキ *Heritiera littoralis*, シマシラキ *Excoecaria agallocha*, ミズガンピ *Pemphis acidula*, ミミモチシダ *Acrostichum aureum* である。さらにマングローブ林に近接して生育する耐塩性・耐水性を有する陸上植物として、アダン *Pandanus odoratissimus*, サガリバナ *Barringtonia racemosa*, クロヨナ *Pongamia pinnata* などが報告されている(中須賀, 1976; 九州森林管理局「西表島の森林」, https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/iriomote_fc/huresen3.html, 2023.10.10)。

また、このマングローブ林の林床には、本研究対象種であるヒルギシジミ類の他にキバウミニナ *Terebralia palustris*, ノコハオサガニ *Macrophthalmus latreillei* 等のマングローブ湿地固有の底生動物が豊富に生息している(環境省「重要湿地」No.631 浦内川, https://www.env.go.jp/nature/important_wetland/wetland/w631.html, 2023.10.10)。

西表島浦内川流域は大きな面積のマングローブ林を有していること、森林生態保護地域に指定されているため人為的な影響が少ないこと、豊かな植物・生物相を持つことからヒルギシジミ類の生息環境を調べる上で貴重な情報を得られるものと考え、本研究の対象地に選定した。

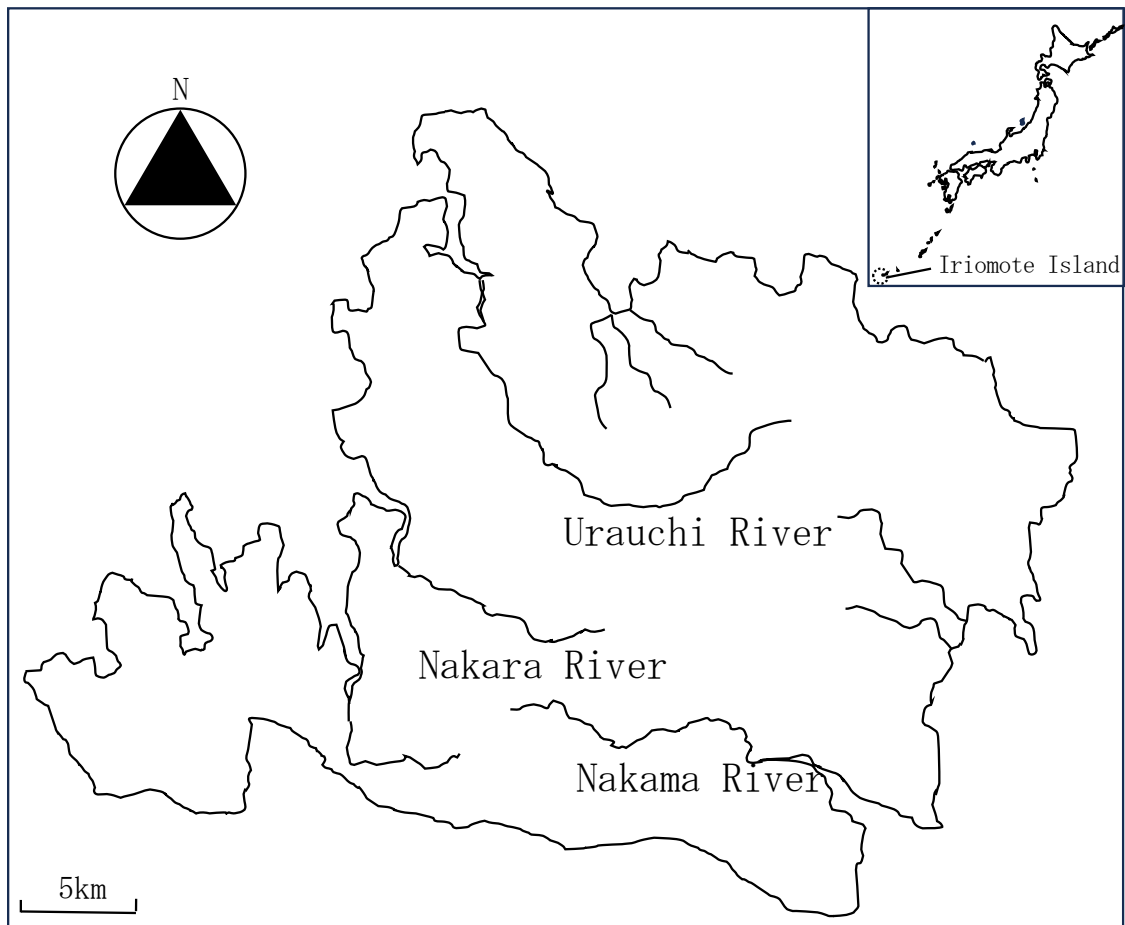


Fig. 1-2 Map of Iriomote Island and main rivers

第2章 ヒルギシジミ類の種判別法の整理

2-1. 背景

インド・太平洋西側沿岸に生息するヒルギシジミ類については Morton(1984)によると、ヤエヤマヒルギシジミ、リュウキュウヒルギシジミ、*P. bengalensis* の3種が確認されており、*P. bengalensis* はインド周辺でのみ生息しているが、ヤエヤマヒルギシジミおよびリュウキュウヒルギシジミはインド・太平洋沿岸域で広く生息していると報告されている。増田・内山(2009)は日本国内においては、ヤエヤマヒルギシジミは奄美以南に分布し、リュウキュウヒルギシジミは石垣島および西表島に分布していると述べている。

この2種の形態的特徴としては、ヤエヤマヒルギシジミはリュウキュウヒルギシジミに比べ、丸味を帯びた形状をしているとされる。前者の一部には、後背部に太く浅い畝があり、復縁に達するものもある(Morton, 1984; 増田・内山, 2009)。一方、後者は復縁後部が伸長し、末端は切断されたような形状になる(Mousson, 1849)。しかしながら、シジミ科の他種と同様に種内でも殻の形態には様々なパターンがあり、上記の特徴に合致しないものも多い。さらに、マングローブ林の土壌は酸性である箇所が多く、殻の主成分は炭酸カルシウムであるため、ヒルギシジミ類は長期間酸性土壌に曝されることによって殻の表面が溶解してしまう(Morton, 1975; Isaji, 1993)。溶解が広範囲に及んだ際には軟体部を保護するため溶解した殻表面に保護膜を作り、それ以上の溶解を防ぐことが報告されているが、溶解した殻表面が再生することはない(Isaji, 1995)。また、ノコギリガザミがヒルギシジミ類の捕食を試みる際に殻を傷つけることがわかっており、この傷がさらに酸性土壌によって侵食されて殻の表面の特徴が読み取れない状態になる(Fig. 2-1)。そのため、フィールドにおいてヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミを明確に判別することは非常に困難であるとされている。本研究の事前調査において実際にヒルギシジミ類を観察したところ、Morton(1984)が述べていたようにこれらの種は外部形態に多様な特徴を持っていることや、殻表面の損傷が激しいものが多いことからフィールドで殻の特徴から正確な種判別を行うことは難しいという印象を受けた。

そこで本研究では、まず日本国内における現行のヒルギシジミ類の分類を把握するため、西表島、石垣島、奄美大島で採集された標本の mtDNA の COI 領域の塩基配列に基づく分子系統分析を行った。これに加え、標本の形態的特徴を調べ、分子系統分析によって得られた結果と照らし合わせて、ヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミはフィールドで種判別を行うことが可能であるのかを検証した。



Fig. 2-1 *Polymesoda* spp. collected in the mangrove forest on Iriomote Island.

2-2. 方法

2-2-1. 標本採集地と標本数

2013 年，ヒルギシジミ類標本を西表島および奄美大島で採集し，石垣島の標本については沖縄県立八重山商工高等学校生物部に採集を依頼して入手した．各地点で採集されたもののうち，比較的状态の良い個体を選出し，2013 年から 2014 年にかけて分子系統分析および殻形態の比較分析を行なった．西表島の浦内川河口のマングローブ林から 6 標本，浦内川のウタラ川のマングローブ林から 3 標本，ヒナイ川，後良川のマングローブ林からそれぞれ 12，10 標本，石垣島名蔵川のマングローブ林から 9 標本，奄美大島住用川河口のマングローブ林から 9 標本の合計 49 標本を選出した．

2-2-2. 分子系統分析

2-2-2-1. DNA の抽出

ヒルギシジミ類の軟体部から斧足の一部を切り取り，100%エタノールに保存した．そこから約 2 mm 四方の組織片を切り取り乾燥させた後，200 μ l のチューブに入れ，Nuclei Lysis Solution を 75 μ l，20 mg/ml Proteinase K を 1 μ l 加えて転倒混和させた．それを 55℃に設定したサーマルサイクラーに入れ，約 1 時間組織片を溶解させた．次にタンパク質を除去するため，Protein Precipitation Solution を 25 μ l 加えて転倒混和させた後，20 °C，1300 rpm で 3 分間遠心分離させた．新しく用意した 200 μ l のチューブに遠心分離により得られた上澄み液 75 μ l を注入し，イソプロパノール 75 μ l を加えて混和後，DNA を沈殿させるため 3 分間遠心分離させた．沈殿した DNA のみを残して上澄み液を取り除き，70%エタノールを加えて 3 分間遠心分離を行った．上澄み液を再度取り除き，乾燥させた後 TEbuffer を 15～50 μ l 加えて溶解させた．

2-2-2-2. PCR 抽出

dNTP を 0.8 μ l, 10 $\times$ Ex Tag Buffer を 1 μ l, Ex Tag を 0.05 μ l, プライマー (Forward, Reverse) をそれぞれ 0.2 μ l ずつと, 抽出した DNA を 1 μ l 混合し, サーマルサイクラーで PCR 抽出を行った. PCR 抽出では 94 $^{\circ}$ C で 3 分, 次に 94 $^{\circ}$ C で 30 秒, 45 $^{\circ}$ C で 30 秒, 72 $^{\circ}$ C で 1 分のサイクルを 30 回繰り返し, 最後に 72 $^{\circ}$ C で 3 分のプログラムを行った.

2-2-2-3. アガロース電気泳動

PCR 産物 3 μ l と Loading dye を 1.5 μ l, 100bpLadder を 3 μ l 混ぜ合わせ, 電気泳動槽にセットされたアガロースゲル上で 100 V, 15 分間泳動させた. その後 15 分間エチジウムブロマイドで染色し, トランスイルミネーターを用いて紫外線を照射して写真撮影した.

2-2-2-4. PCR 産物の精製

PCR 産物と, PCR 産物の 0.6 倍のポリエチレングリコールを加えてよく混ぜた後, 15 分間冷蔵庫内で静置させた. その後 0 $^{\circ}$ C, 1,300 回転で 20 分間遠心し, 分離した上澄み液を取り除いた. そこに 70%エタノールを加え, さらに 0 $^{\circ}$ C, 1,300 回転で 5 分間遠心させた. エタノールを取り除き, 精製水を 30 μ l 加えて DNA を溶解させた. 次に, プライマー Forward 用と Reverse 用のそれぞれのチューブに, 精製した PCR 産物 2.5 μ l, BigDye Terminator を 0.5 μ l, 1.6 μ M のプライマーを 0.5 μ l, 2.5 $\times$ Sequencing Buffer を 1.5 μ l 入れ, サーマルサイクラーに入れて 94 $^{\circ}$ C で 2 時間加熱した. なお, 使用したプライマーは LC01490, HC02198 (Former ら, 1994) である.

100%エタノールと 3M 酢酸ナトリウム 20 μ l を混ぜ合わせたものを 13 μ l のチューブに入れ, そこに BigDye 産物に 5 μ l の精製水を加えて混和させたものを添加した. それを 0 $^{\circ}$ C 1,300 回転 20 分間遠心分離させた後, 上澄み液を取り除いた. 完全にエタノールを乾燥させてから Hi-Di Formamide を 12 μ l 加えて DNA を溶かした.

2-2-2-5. アライメント・系統樹作成

自動シーケンサーによって得られた塩基配列データを, MEGAX を用いてアライメントを行った. GenBank より *G. erosa* (AB076927), *G. expansa* (AB498812, AB722087, AB722088, AB722089, AB722090) のデータを入手し (Table 2-1), 上記の過程を経て得られたデータと合わせて系統樹を作成した. 系統樹の作成には最尤法を採用し, ブートストラップ検定を 1000 回行った.

Table 2-1 Information on obtained specimens from GenBank for this analysis.

ID	Accession Number	Country/Region of origin	Submitted taxon	Reference
G. erosa	AB076927	Japan/Iriomote	<i>G. erosa</i>	Matsumoto (2003)
G. expasa-G01	AB498812	Japan/Iriomote	<i>G. expansa</i>	Unpublished (2009)
G. expasa-G02	AB722087	Japan/Iriomote	<i>G. expansa</i>	Ida et al. (2012)
G. expasa-G03	AB722088	Japan/Iriomote	<i>G. expansa</i>	Ida et al. (2012)
G. expasa-G04	AB722089	Japan/Iriomote	<i>G. expansa</i>	Ida et al. (2012)
G. expasa-G05	AB722090	Japan/Iriomote	<i>G. expansa</i>	Ida et al. (2012)

2-2-2-6. 殻の形態的特徴の分析

分子系統分析に用いた標本の外部形態を把握するため、各標本の殻長、殻高、殻幅を計測し、殻のおおよその形状が把握できるように殻高/殻長、殻幅/殻長を算出した。さらに、溝と畛の有無、復縁部の切断面の有無を記録した。溝と畛、切断面が確認されないものは0、明確では無いが少し認められるものは0.5、明確に認められるものは1とした。これらのデータを分子系統分析により作成された系統樹により分けられたグループごとにまとめ、グループ間の形態的な特徴を比較した。

2-3. 結果

2-3-1. 分子系統分析

全ての標本で確実なシーケンスが得られた 518 bp を用いて解析を行ったところ、Fig. 2-2 のような系統樹が構築された。この系統樹ではまず、2つの主要な系統に分けられ、さらに各系統は2つずつに分けられ、合計4つのグループに分けられた。系統1については、グループ1はGenBankより塩基配列データを入手した *G. expansa*-03, *G. erosa* を含み、西表島および石垣島の各地点で採集した26標本、グループ2は奄美大島の9個体で構成された。系統2については、グループ3はGenBankより塩基配列データを入手した *G. expansa*-G02, *G. expansa*-G05に加え、西表島の浦内川河口、ヒナイ川、石垣島名蔵のマングローブ林で採集された5標本、グループ4はGenBankより塩基配列データを入手した *G. expansa*-G01 および *G. expansa*-G04, 西表島の後良川以外と石垣島名蔵のマングローブ林で採集された9種で構成された。

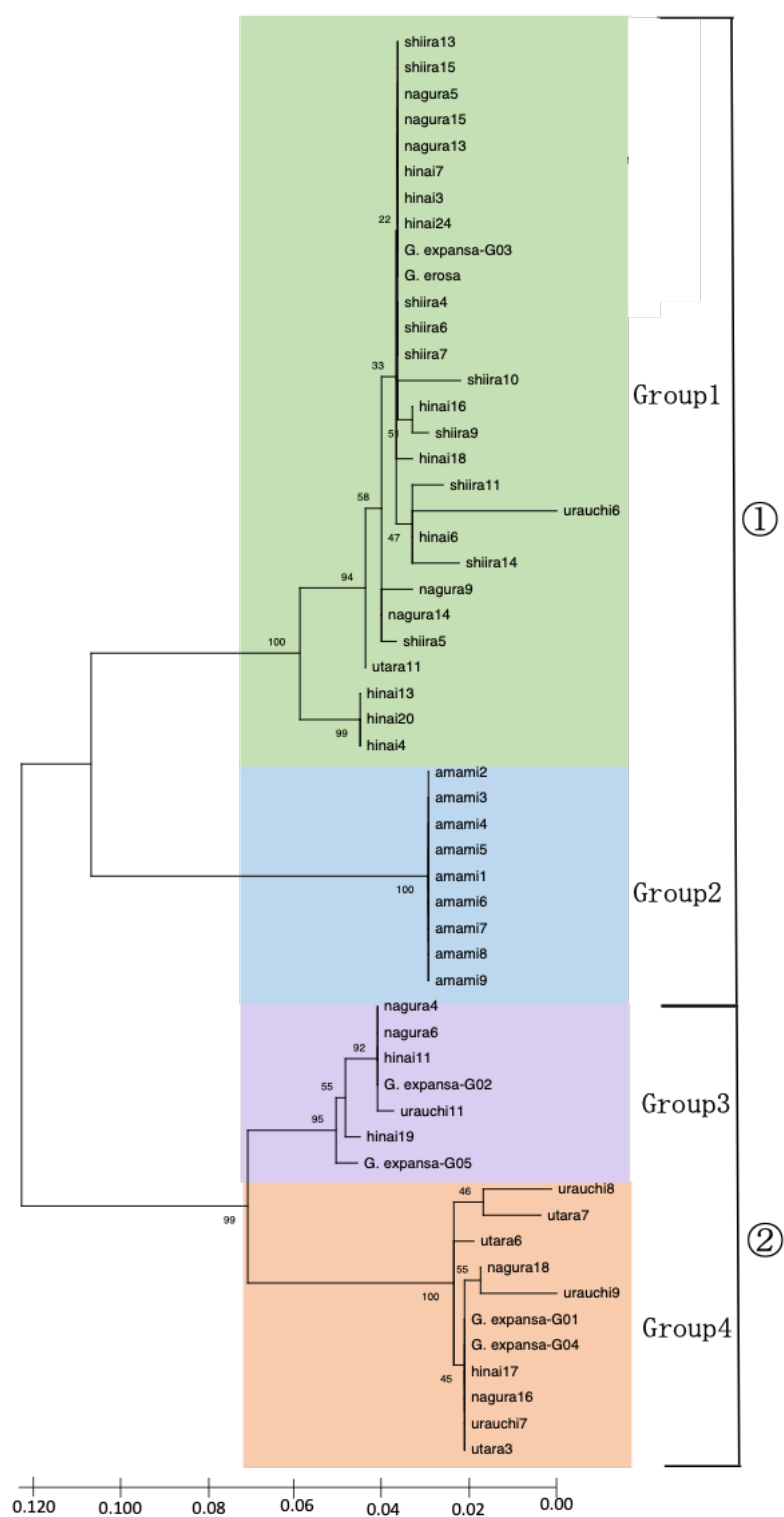


Fig. 2-2 Maximum likelihood phylogenetic tree

2-3-2. 殻の形態的特徴の分析

まず、全ての標本の形態的特徴を観察したところ、同一グループ内にヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの特徴を持つ標本が混在すること、2 種の特徴だけでは説明できない標本が存在することが分かった。以下にその一例を示す (Fig. 2-3).

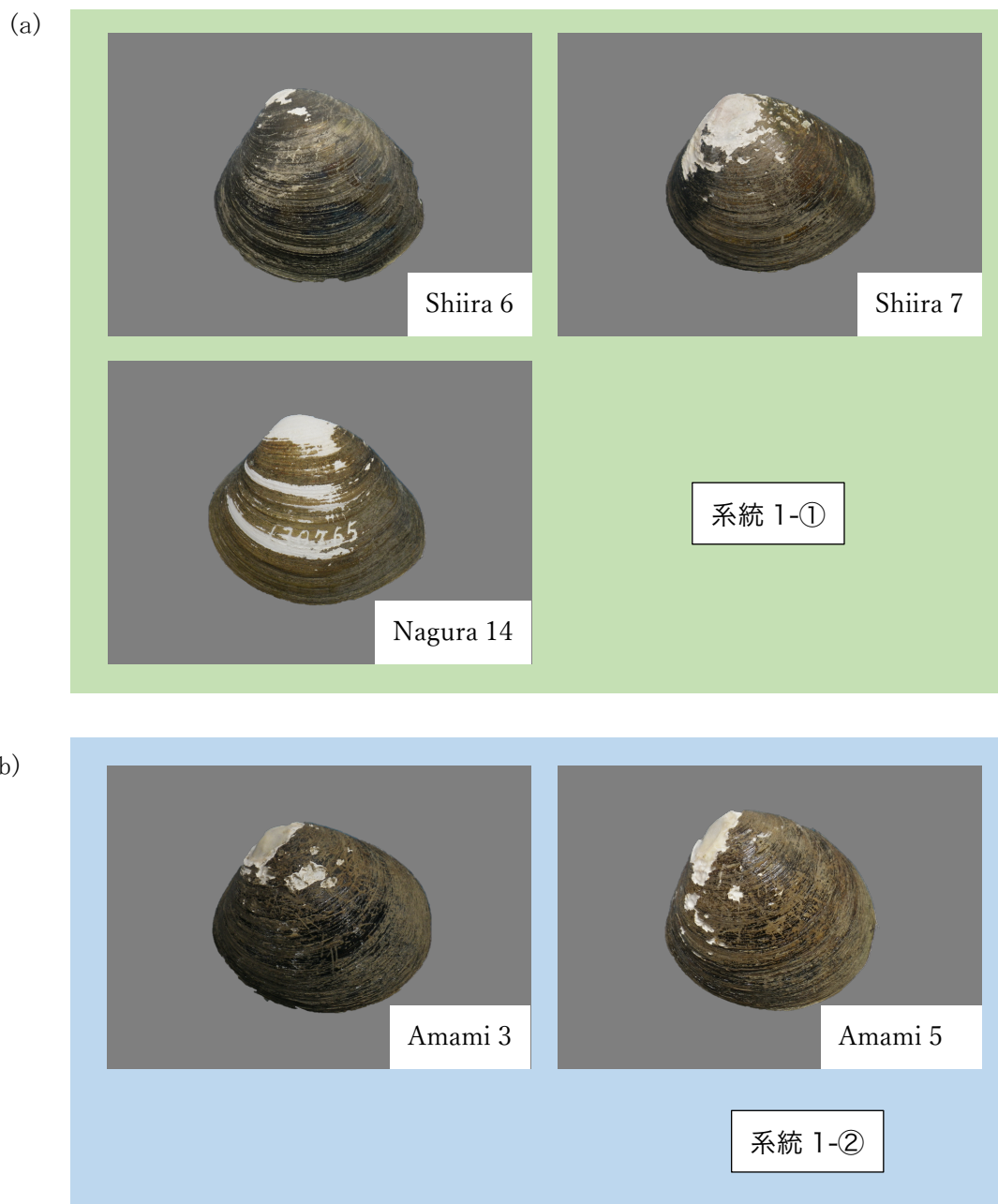


Fig. 2-3 The specimens from system 1-① (a) and system 2-④ (b)

系統1の①に含まれる Shiira 6は殻長に対して殻高が大きく丸い形をしており、畝を有するためヤエヤマヒルギシジミの特徴と合致し、Shiira 7は殻長に比べて殻高が小さく、復縁後部に伸長し、切断面を有するためリュウキュウヒルギシジミの特徴と合致した。Nagura 14は殻長に対して殻高が大きいが切断面が確認されたため、ヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの中間的な特徴を有する。次に系統1の②に含まれる Amami 3は殻長に対する殻高が小さく、復縁後部に伸長し切断面を有するためリュウキュウヒルギシジミの特徴と合致し、Amami 5は殻長に対する殻高が大きく、不明瞭であるが畝を持ち、ヤエヤマヒルギシジミの特徴と合致した。

次に、系統1と系統2の主要な系統間での形態的特徴を比較したところ Fig. 2-4 および 2-5 のように表された。系統1の殻高/殻長の平均は 0.85 ± 0.04 、殻幅/殻長の平均は 0.55 ± 0.03 、系統2の殻高/殻長の平均は 0.90 ± 0.04 、殻幅/殻長の平均は 0.60 ± 0.05 となり、系統2は系統1に比べて殻長に対する殻高と殻幅が有意に大きかったため ($P < 0.01$)、系統1に比べて系統2の方が球体状であることが示された (Fig. 2-4)。次に、Fig. 2-5 に示された畝の有無、切断面の有無については、系統2の方が系統1に比べて畝や切断面を有する標本が多かった。

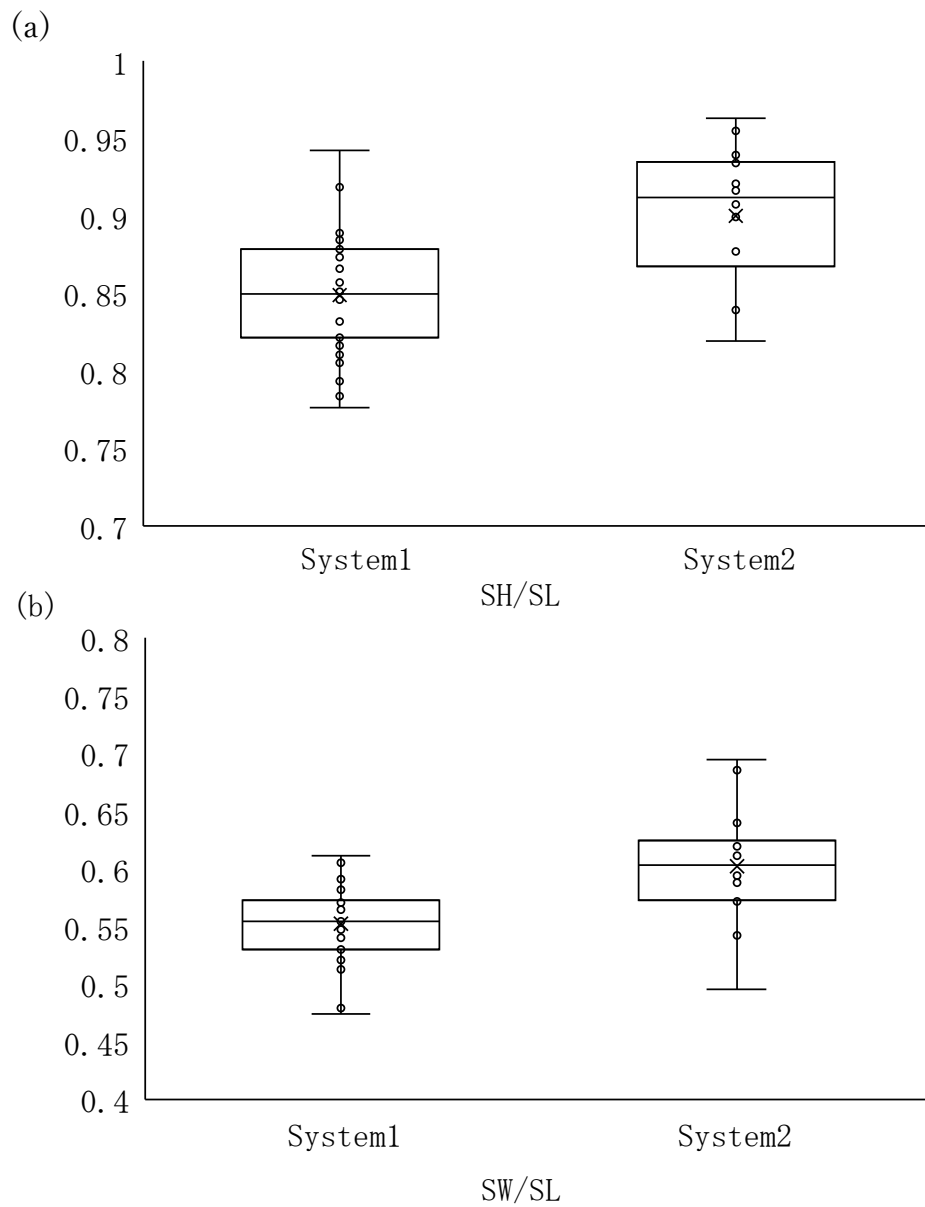


Fig. 2-4 Comparison of ratio of shell height(SH) to shell length(SL) (a) and shell width(SW) to shell length(b) between system 1 and 2

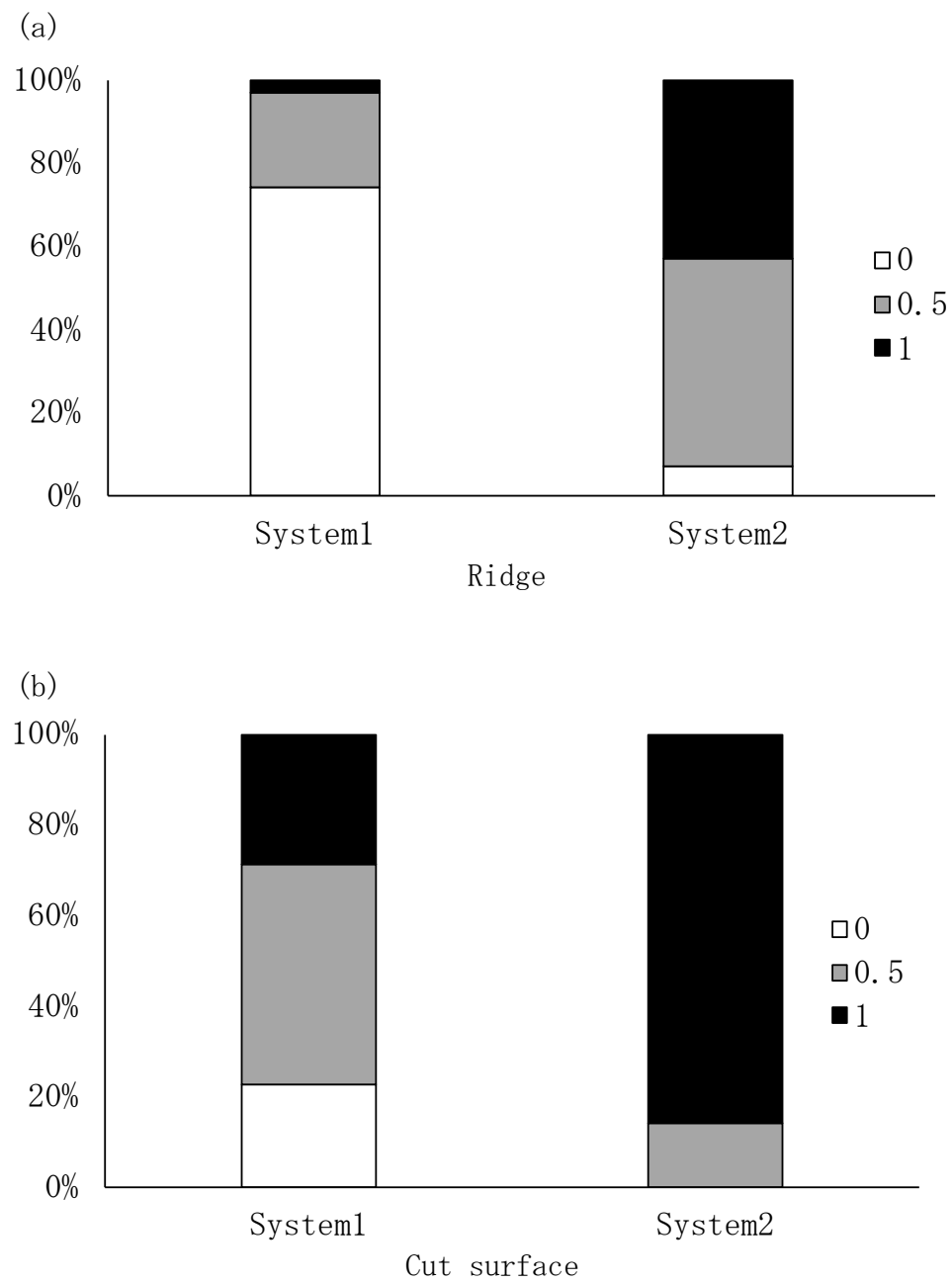
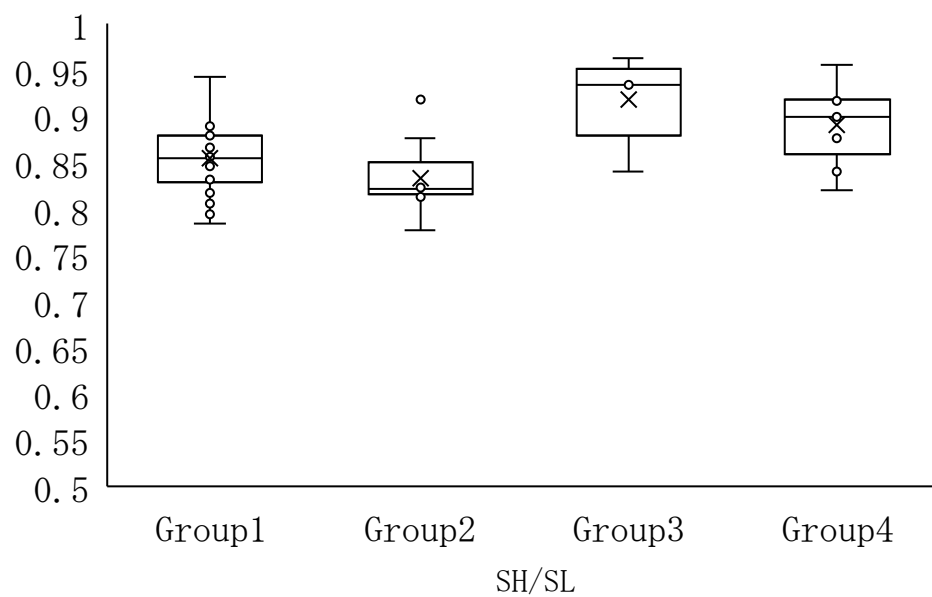


Fig. 2-5 Comparison of ratio of the number of specimens with or without ridges(a) and with or without cut surface(b) between system 1 and 2

さらに系統内で分けたグループごとに詳細な比較を行ったところ、Fig. 2-6, 2-7 のように表された。殻高/殻長の平均は、系統1のグループ1では 0.85 ± 0.03 、グループ2では 0.83 ± 0.04 、系統2のグループ3では 0.92 ± 0.04 、グループ4では 0.89 ± 0.04 となり、グループ3とグループ1およびグループ3とグループ2の間には有意な差が確認された($P < 0.01$, $P < 0.05$)が他のグループ間に有意な差は見られなかった。殻幅/殻長の平均は、系統1のグループ1では 0.55 ± 0.49 、グループ2では 0.56 ± 0.02 、系統2のグループ3では 0.63 ± 0.04 、グループ4では 0.59 ± 0.05 となり、グループ3とグループ1およびグループ3とグループ2の間には有意な差が確認された($P < 0.01$, $P < 0.05$)が、他のグループ間には有意な差は確認できなかった。これらのことから、系統2は系統1に比べて球体に近い形状であるが、特にグループ3が最も球体に近い形状であることが示された。グループ4は殻長に比べて殻高が大きく丸い形状に近いが、殻幅は大きくなくグループ3に比べて薄い形状であることが読み取れた。また、グループ2は殻長に比べて殻高が小さく、最も楕円状であり、系統2の2つのグループよりも殻長に比べて殻幅が小さいことから、厚みが小さく平たい形状をしていると推察された。そして系統1内のグループ2では畝を有する標本は確認されなかったが、グループ1には約3割の標本に少しまたは明確に畝を持つ標本が確認された(Fig. 2-7)。系統2のグループ3は全ての標本が少しまたは明確な畝を有しており、グループ4の約9割の標本が少しまたは明確な畝を持っていた。切断面については、グループ1は約8割の標本に少しまたは明確に確認され、グループ2は約50%の標本に確認されず、グループ3では全ての標本に確認され、グループ4では全ての標本に少しまたは明確に確認された。

(a)



(b)

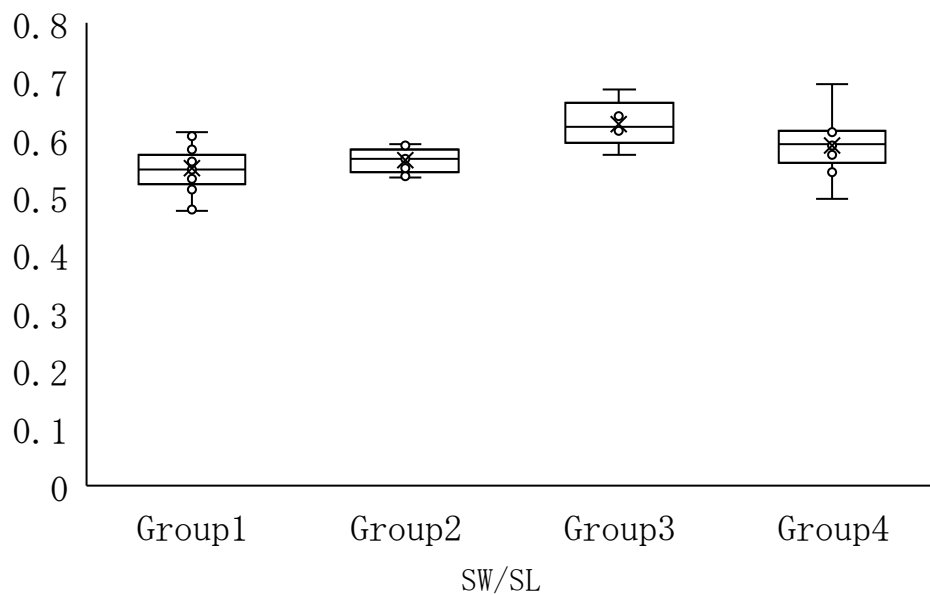


Fig. 2-6 Comparison of ratio of shell height(SH) to shell length(SL) (a) and shell width(SW) to shell length(b) among Group1 to 4

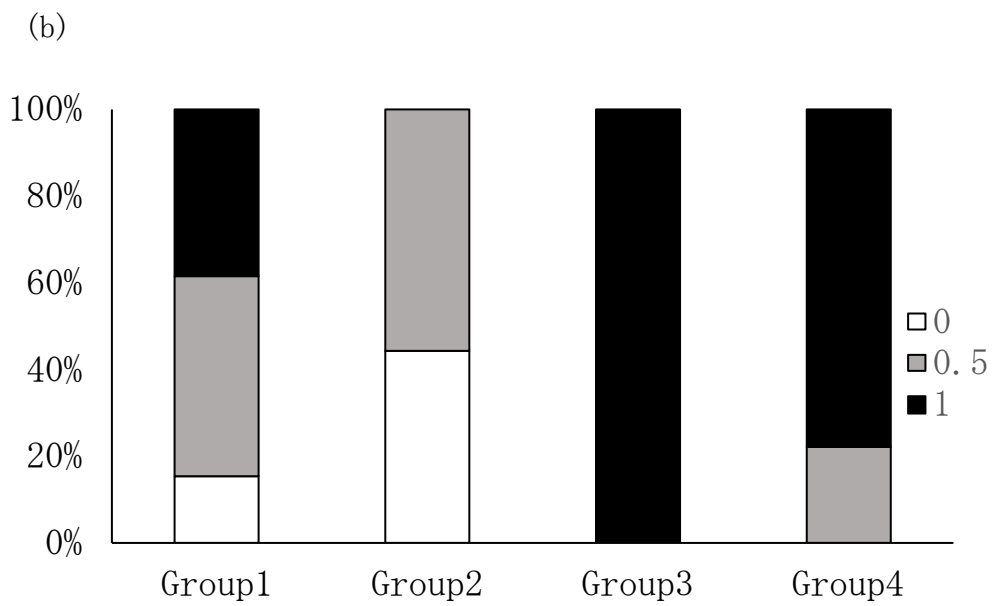
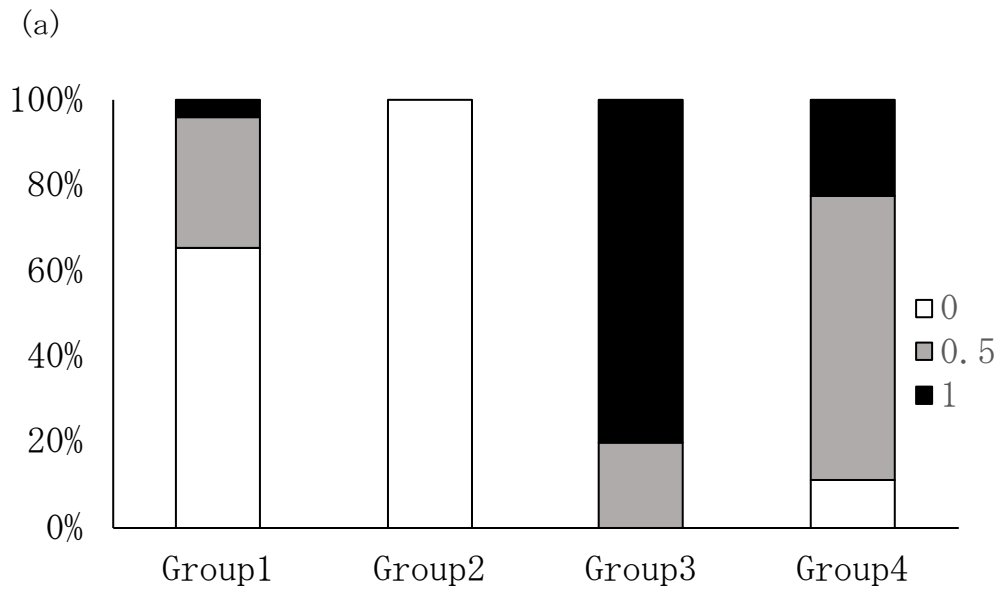


Fig. 2-7 Comparison of ratio of the number of specimens with or without ridges(a) and with or without cut surface(b)between system 1 and 2

2-4. 考察

Fig. 2-2 の系統樹中の系統 1 内のグループ 1 には本来同グループに属することのない *G. expansa*-G03 と *G. erosa* が含まれていた。そこでまず、分子系統分析の結果において系統 1 がヤエヤマヒルギシジミ、系統 2 がリュウキュウヒルギシジミであると仮定すると、本研究の形態的特徴の分析により得られた結果と Mousson(1849)の原記載論文に記されたリュウキュウヒルギシジミ、Morton(1984)や増田・内山(2009)らが述べたヤエヤマヒルギシジミの形態的特徴とは合致しなかった。これらの文献中においては、ヤエヤマヒルギシジミは丸い形をしており一部の個体が畝を有すること、リュウキュウヒルギシジミは後背部に伸長した細長い形と復縁部の切断面を持つことが特徴であると述べられているが、本研究においてはFig. 2-8 の写真のようにヤエヤマヒルギシジミと仮定された系統 1 よりリュウキュウヒルギシジミと仮定された系統 2の方が丸く球体に近い形状であり、畝を有するものが多いことが示された(Fig. 2-4, 2-5)。

次に系統 1 がリュウキュウヒルギシジミ、系統 2 がヤエヤマヒルギシジミであると仮定すると、本研究で得られた形態的特徴の分析結果と Mousson (1849), Morton(1984), 増田・内山(2009)らが述べた形態的特徴は合致した。

以上より、系統 1 がリュウキュウヒルギシジミ、系統 2 がヤエヤマヒルギシジミである可能性が高いと考えられるが、系統 1 には GenBank に別種として登録されている *G. expansa*-G01 と *G. erosa* が含まれ、系統 2 にはリュウキュウヒルギシジミとして GenBank に登録された *G. expansa*-G01, 02, 04, 05 が含まれていたことから、ヒルギシジミ類の種判別を明確におこなうことは困難であることが推察された。

また、Ndobe et al. (2023)によってヒルギシジミ類の分子系統分析を行った結果が報告されている。この研究には本研究でも用いた GenBank に掲載されているリュウキュウヒルギシジミ *G. expansa*-G01, 03, 04, 05 (AB498812, AB722088, AB722089, AB722090)が含まれており、分子系統分析の結果 G01, 04, 05 は同系統内に出現したが、G03 は別系統に出現した。なお、G01, 04, 05 は GenBank から入手したマレーシアのヤエヤマヒルギシジミと同系統にまとめられており、種レベルでの同定が不可能な状態であることが示唆されている。

さらに系統 1 と系統 2 をそれぞれ 2 つずつのグループに分けて形態的特徴を整理した結果から、同じ系統内であっても形態的な特徴が様々であることが明らかになった。これまで用いられてきたヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの形態的な特徴のみで種判別を行うことは非常に困難であり、今後この 2 種の種判別法は詳細な分子系統分析に併せて形態学的知見の整理を行い、再構築されなければならない。したがって、本研究においてはヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの 2 種をフィールドにおいて区別することは不可能であると判断し、2 種をまとめてヒルギシジミ類として取り扱うこととした。

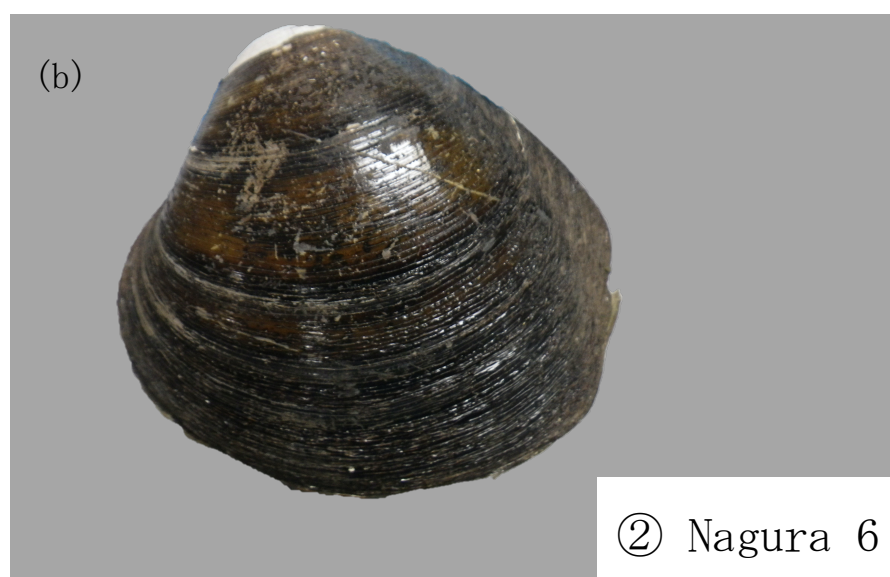


Fig. 2-8 The specimens from system 1 (a) and system 2 (b)

第3章 ヒルギシジミ類の空間分布パターンの把握

第1節 浦内川感潮域のマングローブ林におけるヒルギシジミ類の生息状況

3-1-1. 背景

汽水域に生息するシジミ科のヤマトシジミ *Corbicula japonica* は卵から孵化し、浮遊幼生期を経て着底稚貝となって定着する(田中, 1984)。ヒルギシジミ類についても、ヤマトシジミ同様に雌雄異体で卵発生し(Morton, 1985; Gimin, 2005)、浮遊幼生期を経て着底稚貝となることが明らかにされている(Clemente and Ingole, 2009)。一般的に二枚貝の浮遊幼生は自ら遊泳する機能は持たず、水の動きに逆らうことなく受動的に移動する(Bertness et al., 1996)。そのため、このような生活環を持つヒルギシジミ類の生態を把握するためには、河川の上流から下流までの感潮域をひとつの系として捉えて分布状況を明らかにする必要がある。

ヒルギシジミ類の分布状況については、これまでいくつかの研究が行われており、Clemente(2007)や Clemente and Ingole(2011)はインド、Widianingsih et al.(2020)や Hasan et al.(2020)はインドネシアにおいて1つのマングローブ林内もしくは複数のマングローブ林間で分布状況の比較している。しかし、河川の感潮域の複数のマングローブ林をひとつの系として捉えて生息状況およびその環境を調べた研究事例は確認できていない。そこで本節は、まず河川の上流から河口部までの感潮域におけるヒルギシジミ類の分布状況とその環境を明らかにすることを目的として以下の調査を行った。

3-1-2. 材料と方法

3-1-2-1. 調査地

浦内川は主流長 18.8 km の沖縄県最長の河川であり、汽水域は河口から上流部まで約 11 km 続く(鈴木ほか, 2016)。その河岸にはマングローブ林が点在しており、調査ではその全てのマングローブ林 20 ヶ所を調査対象地とした(Fig. 3-1, 3-2)。



Fig. 3-1 Map of Survey Site

Modified from a map data of Geospatial Information Authority of Japan (<https://maps.gsi.go.jp/>, 2023.10.10)

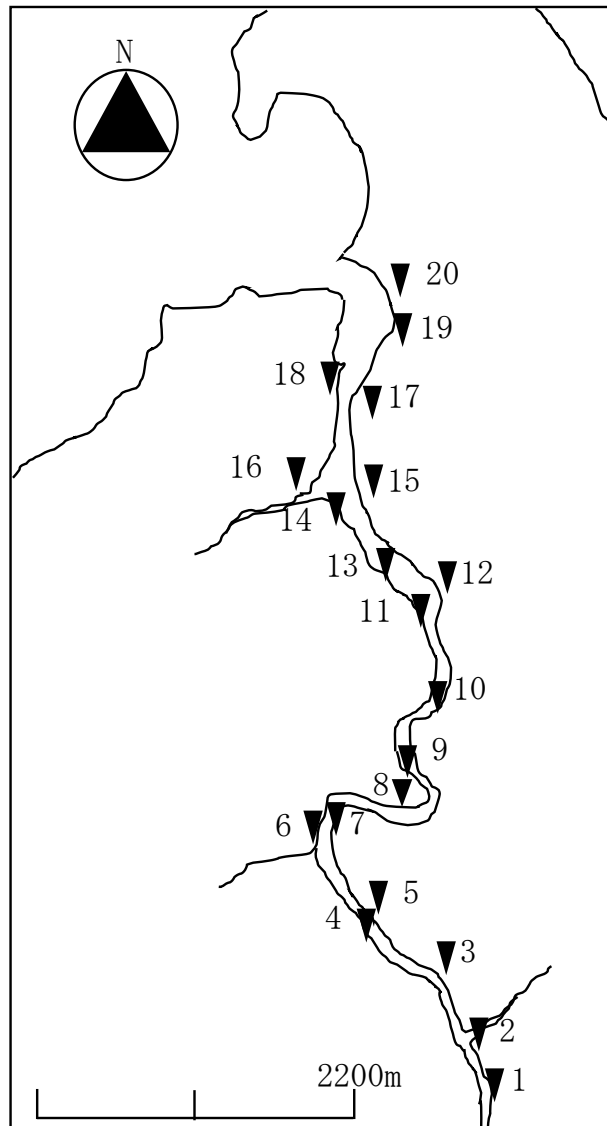


Fig. 3-2 Map of Survey points

3-1-2-2. 調査方法および分析方法

2012 年 9 月の昼間の干潮時に調査を行った。20 箇所のマングローブ林全てに 1 箇所ずつ約 30 m 四方のコドラートを設置した(30 m 四方未満であるマングローブ林は可能な限りこの大きさに近づけた)。まずこのコドラート内を歩き回り、ヒルギシジミ類の生息の有無を確認した。生息が確認された場所では、その場所を中心として 10 m 四方のコドラートを設置し、第一優占樹種および第二優占樹種を記録した。次に 1 m 四方の小コドラートを設けて、小コドラート内 3 箇所内で径 50 mm の円柱パイプを用いて表層 10 mm および 90-100 mm の 10 mm の厚さの土壌を採取し、各層において土壌の温度を測定したほか、HORIBA C-121 を用いて土壌中の間隙水の塩分を、デジタル ORP メータ YK-23RP を用いて酸化還元

電位を測定した。さらに 100 mm の厚さで土壌を剥ぎ取り、ヒルギシジミ類を採集した。一方、生息が確認されなかった場所では、30 m 四方のコドラート内において任意に 10 m 四方のコドラートを設置し、第一優占樹種および第二優占樹種を記録した。また、生息が確認された箇所と同様に 1 m 四方のコドラートを設置し、土壌の採取、土壌の温度、塩分、酸化還元電位の測定を行った。

これらのデータと土壌サンプルを持ち帰り、1 m 四方のコドラートで得られた土壌サンプルは千葉県の水産総合センターの SIMADZU SLAD-3100 を使用して粒度組成を調べ、中央粒径を算出した。また、0-10 mm 層、90-100 mm 層それぞれについて、中央粒径、土壌の温度、塩分、酸化還元電位の平均値を算出した。

マングローブ林に生育する植物は中村・中須賀(1998)によって、耐塩性や地上根の有無、胎生種子の有無等の特徴から、純マングローブ種(Major)、準マングローブ種(Semi-)、従マングローブ種(Associates)、非マングローブ種(Non)の4つのカテゴリーに分けられている。本研究ではこれを参考に、Table 3-1 のようにそれぞれのカテゴリーにスコアを設定した。10 m 四方のコドラートについては、第一優占樹種および第二優占樹種の割合から、各コドラートのマングローブ林らしさ表すスコアを割り当てた。

Table 3-1 Category and score that represent mangrove characteristics

Species	Category	Score
<i>Avicennia marina</i> ヒルギダマシ	Major	1
<i>Bruguiera gymnorhiza</i> オヒルギ	Major	1
<i>Kandelia candel</i> メヒルギ	Major	1
<i>Rhizophora stylosa</i> ヤエヤマヒルギ	Major	1
<i>Sonneratia alba</i> マヤプシキ	Major	1
<i>Lumnitzera racemosa</i> ヒルギモドキ	Semi-	2
<i>Heritiera littoralis</i> サキシマスオウノキ	Semi-	2
<i>Pandanus odoratissimus</i> アダン	Associates	3
<i>Barringtonia racernosa</i> サガリバナ	Associates	3
<i>Pongamia pinnata</i> クロヨナ	Non	4
<i>Michelia compressa</i> オガタマノキ	Non	4
<i>Derris trifoliata</i> シイノキカズラ	Non	4
<i>Bambusa multiplex</i> ホウライチク	Non	4

3-1-3. 結果

20ヶ所の調査地のうちヒルギシジミ類の生息が確認されたのはPlot 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 19の11ヶ所であった(Fig. 3-3). 1 m四方あたりの個体数は, Plot 4, 10の2ヶ所は2個体であったが, その他は1個体であった.

土壌については中央粒径の結果(Fig. 3-4(a))より, 全調査地点の0-10 mm層, 90-100 mm層のいずれにおいても粒径区分は砂(粗砂~細砂)であった. また酸化還元電位については(Fig. 3-4(b)), Plot 9から15の中流域の90-100 mm層では非常に低い値となっており, 還元性の強い土壌であることが示唆された. 塩分は上流側から下流側向かって高くなっていく傾向が確認できた(Fig. 3-4(c)). Plot 14, 19は0-10 mm層は塩分が低いものの, 90-100 mm層では塩分が高くなっていることから汽水域の塩分の範囲内であると判断された. Plot 20は河口に最も近いにもかかわらず, 後背地からの淡水の供給により塩分が非常に低くなっていた. 土壌環境データとヒルギシジミ類の個体密度の相関係数を算出したところ, Fig. 3-5のように表された. いずれの項目についてもヒルギシジミ類の個体密度との相関は確認されなかった.

マングローブ林らしさを表すスコアとヒルギシジミ類の個体密度との関係はFig. 3-6のように示された. 20の調査地点のうち1地点(Plot 1)でスコア4, 2地点(Plot 2, 3)でスコア3, 残り17地点でスコア1となった. スコア1の17地点に着目すると, 個体密度は8地点で0, 7地点で1, 2地点で2となった.

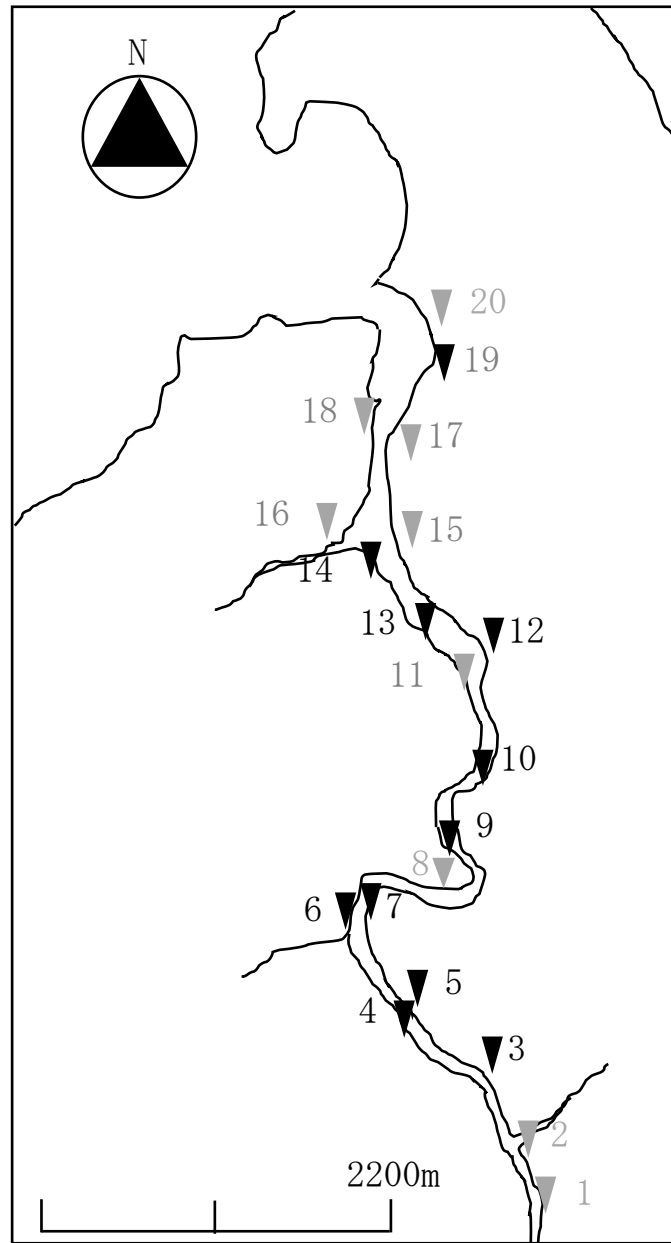


Fig. 3-3 Present points (Black color) and absent points (Gray color) of *Polymesoda* spp.

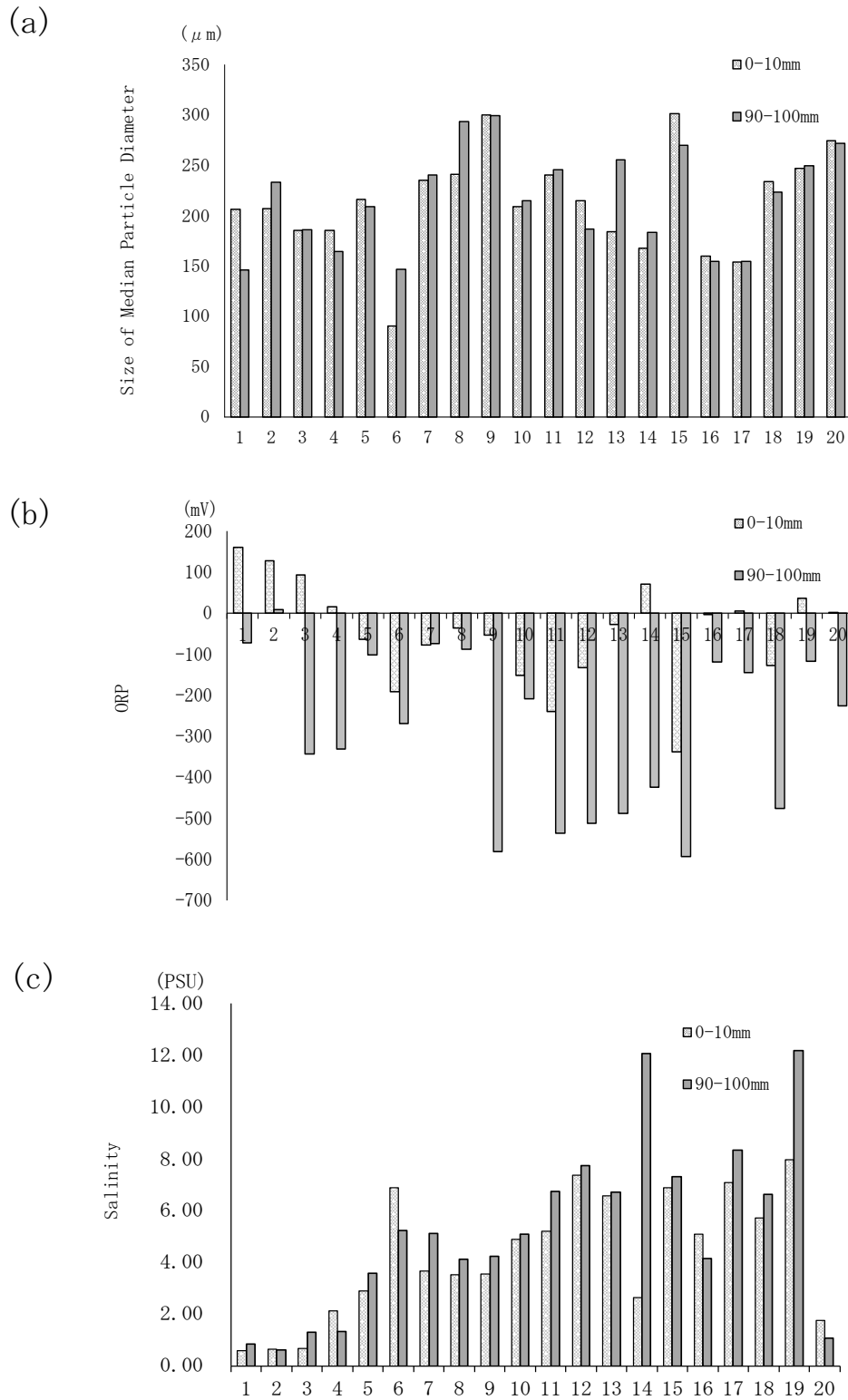


Fig. 3-4 Result of median Particle meter(a), ORP(b), salinity(c)
The horizontal axes are plot numbers.

	Density	Median Particle Diameter0-10mm	Salinity 0-10mm	ORP 0-10mm	Median Particle Diameter90-100mm	Salinity 90-100mm	ORP 90-100mm
Density		-0.21	0.02	-0.01	-0.16	0.07	-0.11
Median Particle Diameter0-10mm	-0.21		-0.07	-0.25	0.81	-0.03	-0.27
Salinity 0-10mm	0.02	-0.07		-0.62	0.04	0.72	-0.34
ORP 0-10mm	-0.01	-0.25	-0.62		-0.28	-0.3	0.54
Median Particle Diameter90-100mm	-0.16	0.81	0.04	-0.28		0.06	-0.24
Salinity 90-100mm	0.07	-0.03	0.72	-0.3	0.06		-0.32
ORP 90-100mm	-0.11	-0.27	-0.34	0.54	-0.24	-0.32	

Fig. 3-5 Correlation matrix

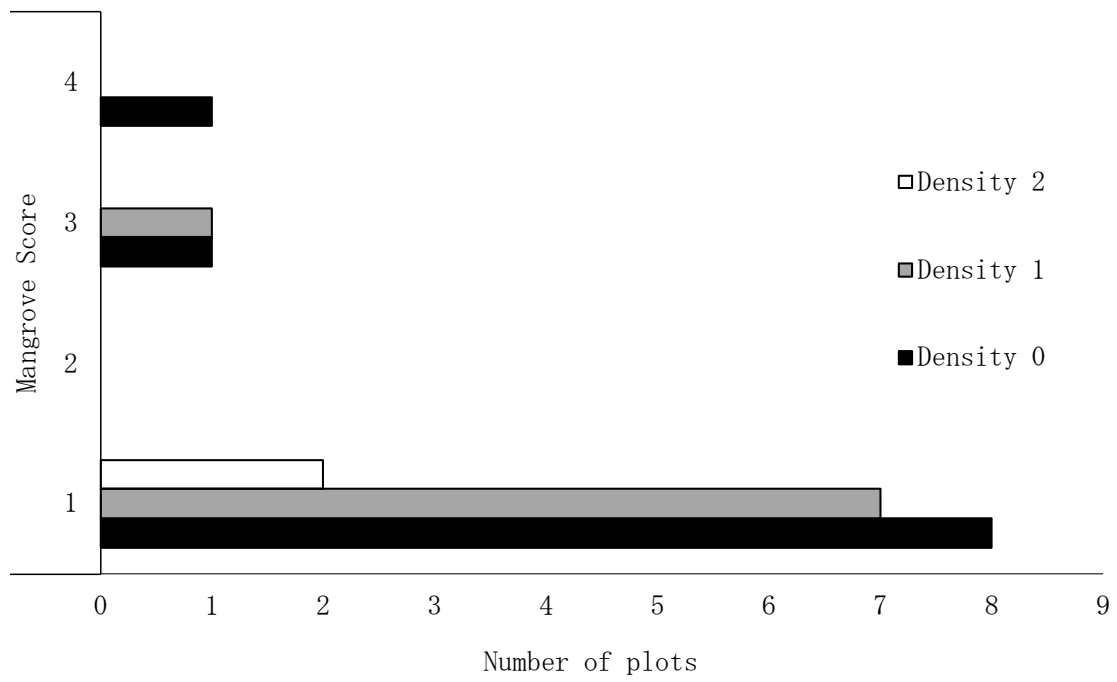


Fig. 3-6 Individual density at each score that represents mangrove characteristics

3-1-4. 考察

ヒルギシジミ類は感潮域の上流側から河口側まで広い範囲で生息していることが示された。また、純マングローブ種が優占する林床のみに生息しており、これまでの研究で述べられていたようにマングローブ林に生息することを再確認できた。しかしながら、純マングローブ種が優占する 17 地点のうち約 5 割の地点では生息が確認されておらず、ヒルギシジミ類の生息地として純マングローブ種が優占する林床であることは必要な条件ではあるが、純マングローブ種が優占する林床であればヒルギシジミ類の生息に適しているとは説明できない。ヒルギシジミ類の生息に適した環境を把握するため、マングローブ林内の環境と生息分布についてより詳細な研究が必要であると考えられた。

第2節 マングローブ林床の環境とヒルギシジミ類の空間分布パターンとの関係

3-2-1. 背景

第3章第1節で示したとおり、ヒルギシジミ類はマングローブ林のどこにでも生息しているわけではない。Clemente and Ingole(2011)がインドで行った研究によると、殻長の小さな個体は海側で、殻長の大きな個体は陸側で生息する傾向があるとされている。また、本研究の事前調査においても海側よりも陸側のエリアの林床でマングローブの地上根に挟まり、土壌に埋もれた状態で生息している個体が確認される機会が多かった。

マングローブ林では、潮汐による浸水時間や耐塩性の違いによって生育できる樹種が異なり、海側から陸側へと植生が帯状に変化していく特徴を持つ(Watson, 1928; Macnae, 1968; Tomlinson, 1994)。浦内川流域のマングローブ林のうち今回調査を行った河口域のマングローブ林を例に挙げると、河口の前面にヒルギダマシ、ヒルギモドキ、ヤエヤマヒルギ、その後背部にオヒルギ、アダン群落となっており(中須賀, 1976)、Tomlinson(1994)が述べていたマングローブ林の特徴をもとに視覚化するとFig. 3-7のよう表される。これまでの調査結果やClemente and Ingole(2011)の研究結果から、ヒルギシジミ類の空間分布のパターンとマングローブの植生分布の帯状構造との間には関係があると考えられる。

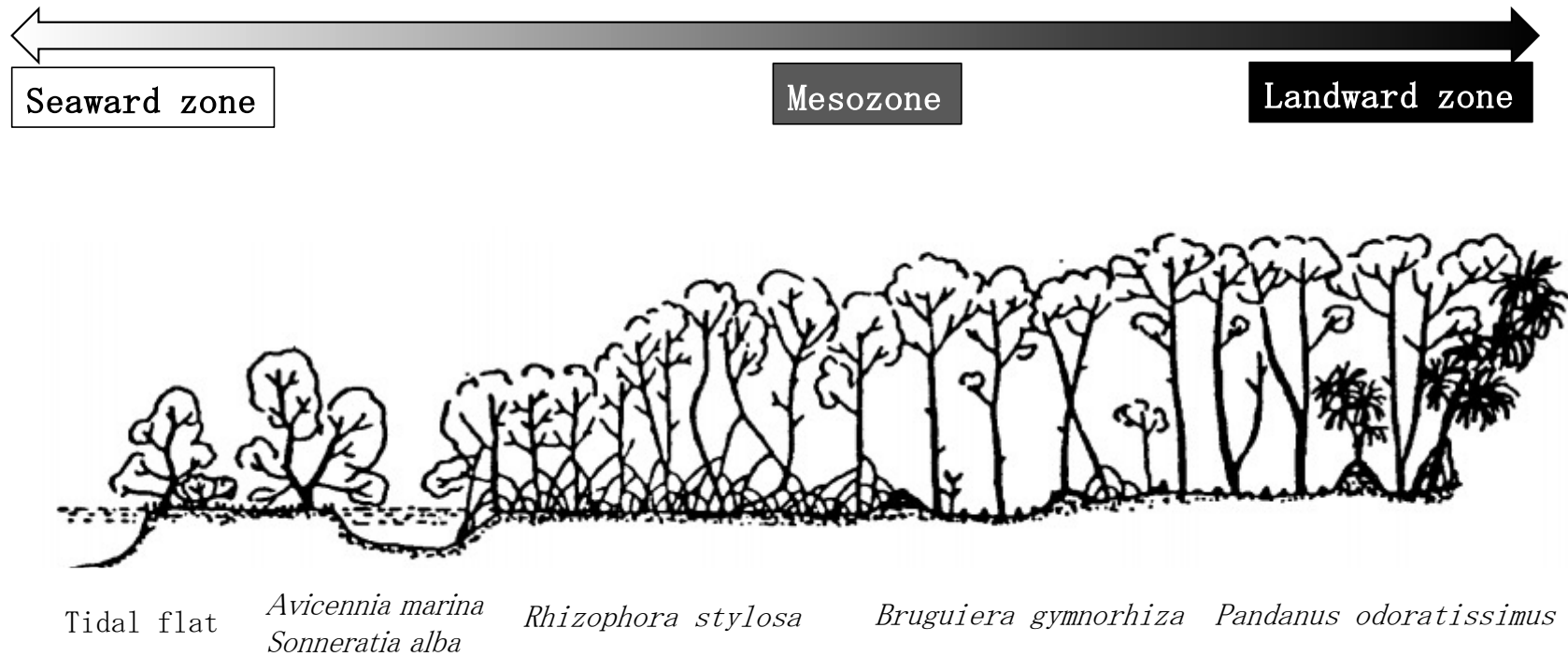


Fig. 3-7 The zonation of a mangrove forest

Text in italics refers to the scientific names for the dominant species of each zone in the mangrove. Modified from Tomlinson(1994) and Nakamura and Nakasuga(1998)

また、マングローブは地下だけでなく地上にも根を有する特徴がある。例えば、マヤプシキやヒルギダマシなどは、地中の浅い部分に地面と平行に伸びる根から地表へ箭のように垂直に伸びる筍根を持つ。ヤエヤマヒルギは、幹や枝から幹を支えるようにタコ脚状の根が地面に向かって四方に伸びる支柱根を持つ。オヒルギは密集した支柱根と、この支柱根が地面浅く這いながら横に張り出し、途中瘤状に膨らんだ部位が空気中に垂直に突き出る膝根を有する。マングローブ林の林床は、この地上の根(以下地上根)が林床を占める被度によって様々な様相を呈する。ヒルギシジミ類はマングローブの根の周りで生息していることが多く(Morton, 1975)、能動的に動き回ることもほとんどないため、地上根の被度はヒルギシジミ類の分布に影響を与えているのではないかと考えられる。

本節ではヒルギシジミ類の空間分布のパターンとマングローブ林の林床を構成する植物の樹種と地上根の被度には関係があるという仮説を立て、それを検証するために以下のような調査を実施した。

3-2-2. 材料と方法

3-2-2-1. 調査対象地

浦内川の河口に位置するマングローブ林を調査対象地とし(Fig. 3-8, 3-9), 2011年9月と12月の昼間の干潮時に行った。



Fig. 3-8 Map of survey site

Modified from a map data of Geospatial Information Authority of Japan (<https://maps.gsi.go.jp/>, 2023.10.10)

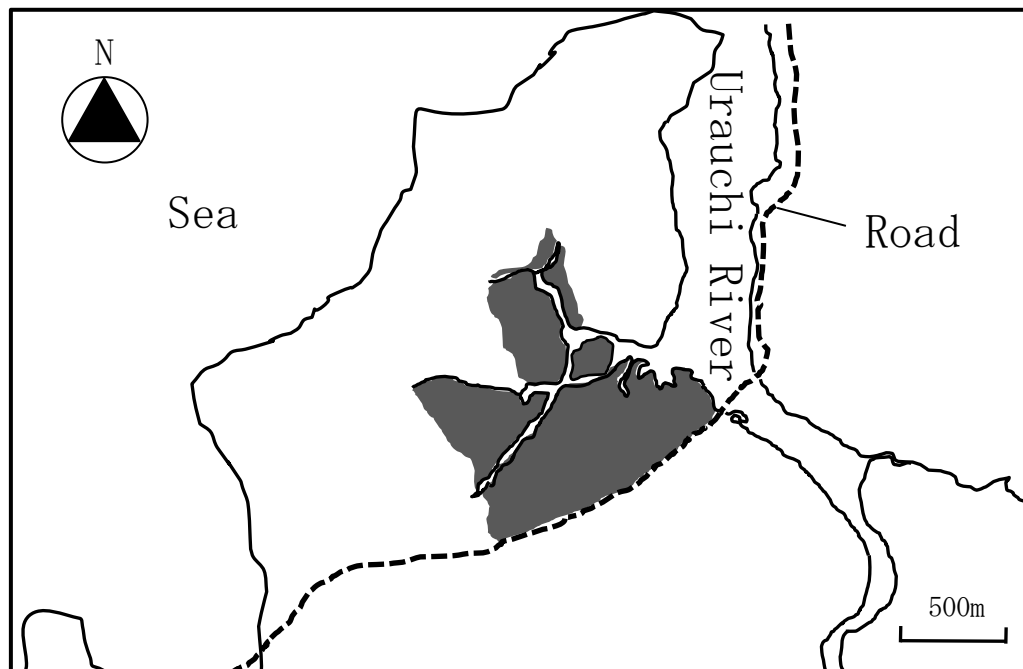


Fig. 3-9 Map of survey site (painted dark gray) at mouth of the Urauchi River

3-2-2-2. 調査地の設定

調査対象地内に 75 ヶ所の調査地を任意に設け、全ての地点において 10 m 四方の大コドラートと、その中心部に 1 m 四方の小コドラートを設置した。

3-2-2-3. 調査方法と分析方法

大コドラート

コドラート内をくまなく歩き回り、ヒルギシジミ類の生息状況を調べた。ヒルギシジミ類が出現した地点は出現地点とし地点名を P1, P2, P3..., 出現しなかった地点は非出現地点として地点名を A1, A2, A3...とした。次に第一優占樹種および第二優占樹種の樹種とその割合、地上根が林床を占める被度を記録した。マングローブは前述のとおり、海側から陸側へ植生が帯状に分布する特徴を持つ。そこで本研究では Fig. 3-10 のように植生によってマングローブ林を分けし、それぞれの区分に①から④の番号を割り当てた。各コドラートの代表種から区分番号を決定した。さらに、地上根が林床を占める被度によって Fig. 3-11 のように 4 つのランクに分けた。被度が 0-25%はランク①, 25-50%はランク②, 50-75%はランク③, 75%以上はランク④とした。

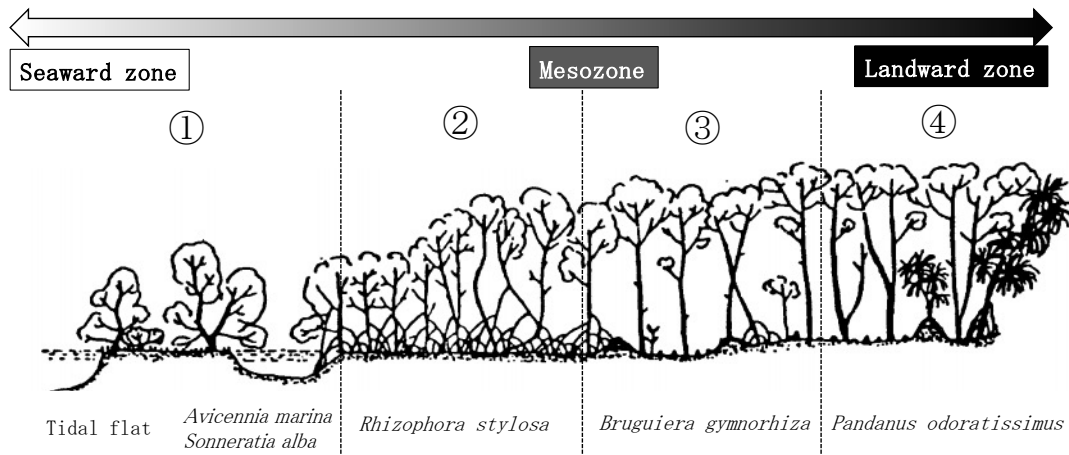


Fig. 3-10 The rank numbers assigned to each zone by the dominant mangrove species. The mangrove species names replaced by the species inhabiting the investigation site based. Modified from Tomlinson(1994) and Nakamura & Nakasuga(1998)

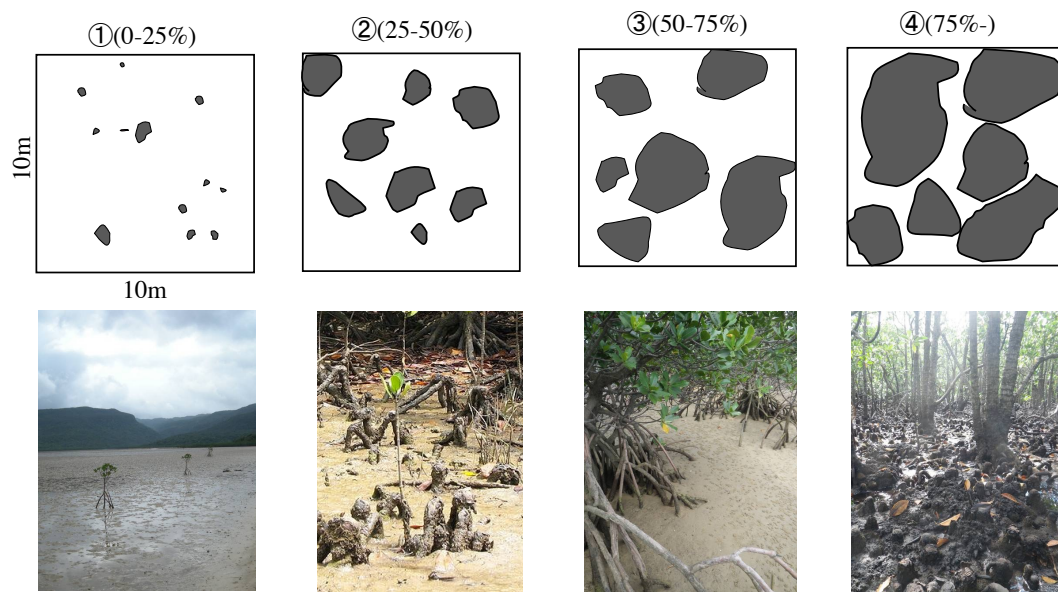


Fig. 3-11 The ratio of the above-ground root density on the forest floor
Gray parts are mangrove above-ground roots and white parts are vacant.

小コドラート

まず、各コドラート内3ヶ所で内径50 mmのアクリルパイプを用いて表層(0-10 mm)の土壌を採取し、土壌の温度とデジタル ORP メータ YK-23RP を用いて酸化還元電位を測定した。採取した土壌は千葉県の水産総合センターの SIMADZU SLAD-3100 を使用して粒度組成を調べ、中央粒径を算出した。ヒルギシジミ類の出現が確認できた地点では厚さ150 mm, 1 m 四方の土壌を剥ぎ取り、ヒルギシジミ類を採集し殻長を測定した。採集されなかった場合には近くの土壌を同様に剥ぎ取って採集を試み、確実に採集できるまで上記の測定および土壌の採取を繰り返した。

3-2-3. 結果

3-2-3-1. 出現傾向と個体密度および個体サイズ

ヒルギシジミ類は34地点で出現し、採集された個体数は51個体であった。P33地点で1 m 四方から5個体が採集され最も個体密度が高かったが、他の地点では1 m 四方あたりの個体密度は1~2個体であった。殻長サイズの度数分布はFig. 3-12のように表され、殻長が最も小さかったのはP15地点で採集された個体の49.8 mm, 最も大きかったのはP32地点の116.8 mmであった。

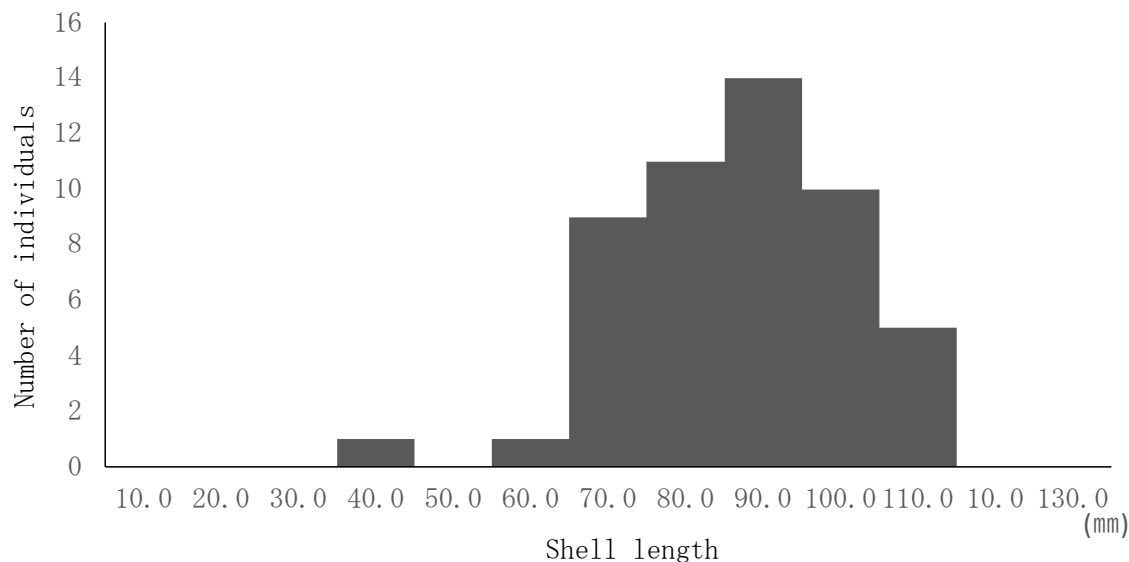


Fig. 3-12 Size composition of *Polymesoda* spp.

3-2-3-2. 出現傾向と土壤環境

出現地点および非出現地点における土壤の温度，中央粒径，酸化還元電位はそれぞれ Table 3-2 および Table 3-3 のようになった．ヒルギシジミ類が出現した地点のうち P5, 9, 16, 28, 30, 31 地点は粗砂，その他は細砂であった．非出現地点では，A1, 4, 9, 10, 12, 17, 18, 20, 21, 22, 28, 30, 31 地点は粗砂，その他は細砂であった．

土壤の温度については，出現地点では平均 27.1℃，最高は P12 地点の 37.3℃，最低は P28 地点の 21.7℃，非出現地点では平均 27.3℃，最高は A4 地点の 33.4℃，最低は A29 地点の 21.2℃となった．出現地点の酸化還元電位の平均は 17 ± 131 mV，最高値は P6 地点の 146 mV，最低値は P3 地点の -313 mV，非出現地点の平均は 9 ± 150 mV，最高値は A7 地点の 191 mV，最低値は A4 地点の -501 mV であった．

Table 3-2 The average of median particle diameter, sediment temperature, ORP, first and second dominant species name, zone number and above-ground root coverage rank of present quadrats

Plot No.	Average of Median particle diameter(μm)	Average of sediment temperature($^{\circ}\text{C}$)	Average of Oxidation-Reduction Potential (mV)	First Dominant Species	Second Dominant Species	Zone number	Root Coverage Rank
P1	161.52	31.2	-68	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	2
P2	151.35	27.2	-206	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P3	128.90	28.2	-313	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P4	196.31	27.3	-73	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P5	202.40	31.5	25	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P6	141.63	27.7	146	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	3	2
P7	187.03	30.1	79	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P8	141.99	28.4	-306	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P9	201.29	30.6	-180	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P10	127.73	28.8	100	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	4	4
P11	125.73	31.1	-271	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P12	189.50	37.3	-65	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P13	159.40	33.7	-119	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	4	3
P14	151.42	29.1	90	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P15	72.97	29.1	51	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P16	209.37	30.1	120	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
P17	190.01	24.6	108	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	3
P18	195.49	26.8	75	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	3
P19	70.03	26.5	65	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	3
P20	80.49	26.3	78	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	3
P21	184.08	26.1	105	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	4
P22	197.33	24.5	111	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
P23	82.01	23.0	115	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P24	199.91	23.2	101	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P25	199.95	24.5	117	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
P26	188.89	24.6	27	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P27	177.80	24.7	99	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P28	200.09	21.7	68	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	3	3
P29	154.68	22.8	59	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P30	206.87	24.8	72	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P31	212.15	24.5	119	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P32	124.29	24.6	120	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
P33	35.06	23.4	131	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
P34	121.19	24.6	6	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4

Table 3-3 The average of median particle diameter, sediment temperature, ORP, first and second dominant species name, zone number and above-ground root coverage rank of absent quadrats

Plot No.	Median particle diameter(μm)	Average of sediment temperature($^{\circ}\text{C}$)	Average of Oxidation-Reduction Potential (mV)	First Dominant Species	Second Dominant Species	Zone number	Root Coverage Rank
A1	202.80	31.5	5	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	2
A2	177.57	32.4	-110	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
A3	122.45	27.6	100	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	2
A4	215.79	33.4	-501	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	1
A5	153.74	30.1	-189	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	3
A6	116.56	28.1	-225	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
A7	191.92	30.2	191	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	4
A8	199.67	29.7	-199	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	3
A9	202.37	29.2	-376	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	2
A10	203.31	27.7	-137	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	3
A11	169.16	27.2	98	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	4	3
A12	203.62	27.9	177	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	1
A13	125.59	29.2	85	<i>K. candel</i>	<i>R. stylosa</i>	1	4
A14	92.56	29.7	77	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	3
A15	174.29	29.6	110	<i>K. candel</i>	<i>R. stylosa</i>	1	3
A16	150.73	30.2	-113	<i>K. candel</i>	<i>R. stylosa</i>	1	4
A17	202.00	26.1	98	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	2
A18	217.18	29.0	-147	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	1
A19	61.42	27.6	63	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	3	4
A20	226.74	29.3	-197	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	1	2
A21	248.98	28.4	-70	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	1
A22	211.46	29.6	169	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	3
A23	165.63	32.0	47	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	3
A24	120.73	30.1	126	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	3
A25	176.80	23.5	-76	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	4
A26	94.77	23.2	61	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	4
A27	179.27	23.2	37	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	2
A28	203.09	22.6	92	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	2
A29	141.27	21.2	51	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	4	2
A30	203.39	24.2	113	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	2
A31	210.74	25.3	100	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	2
A32	189.81	24.4	88	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	2
A33	196.36	24.6	84	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	1	2
A34	108.86	24.3	105	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	2
A35	128.61	24.6	101	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	2
A36	45.98	24.8	113	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	4
A37	136.88	25.4	77	<i>B. gymnorhiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	3
A38	188.97	25.7	80	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	4
A39	94.50	25.9	105	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	4
A40	36.06	26.6	72	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	4
A41	193.99	26.0	92	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnorhiza</i>	2	4

3-2-3-3. ヒルギシジミ類の出現傾向と植生および地上根の被度

出現地点および非出現地点の第一・第二優占樹種，帯状区分番号，地上根の被度は Table 3-2 及び 3-3 に示したとおりである．出現地点においては，帯状区分番号が 3 と割り当てられたオヒルギが優占する地点における出現が最も多く，全出現地点の 74.9%にあたる 27 地点で確認された．一方，非出現地点においては，帯状区分番号 1 の地点が最も多く，全調査地点の 41.5%に相当する 17 地点であった (Fig. 3-13)．

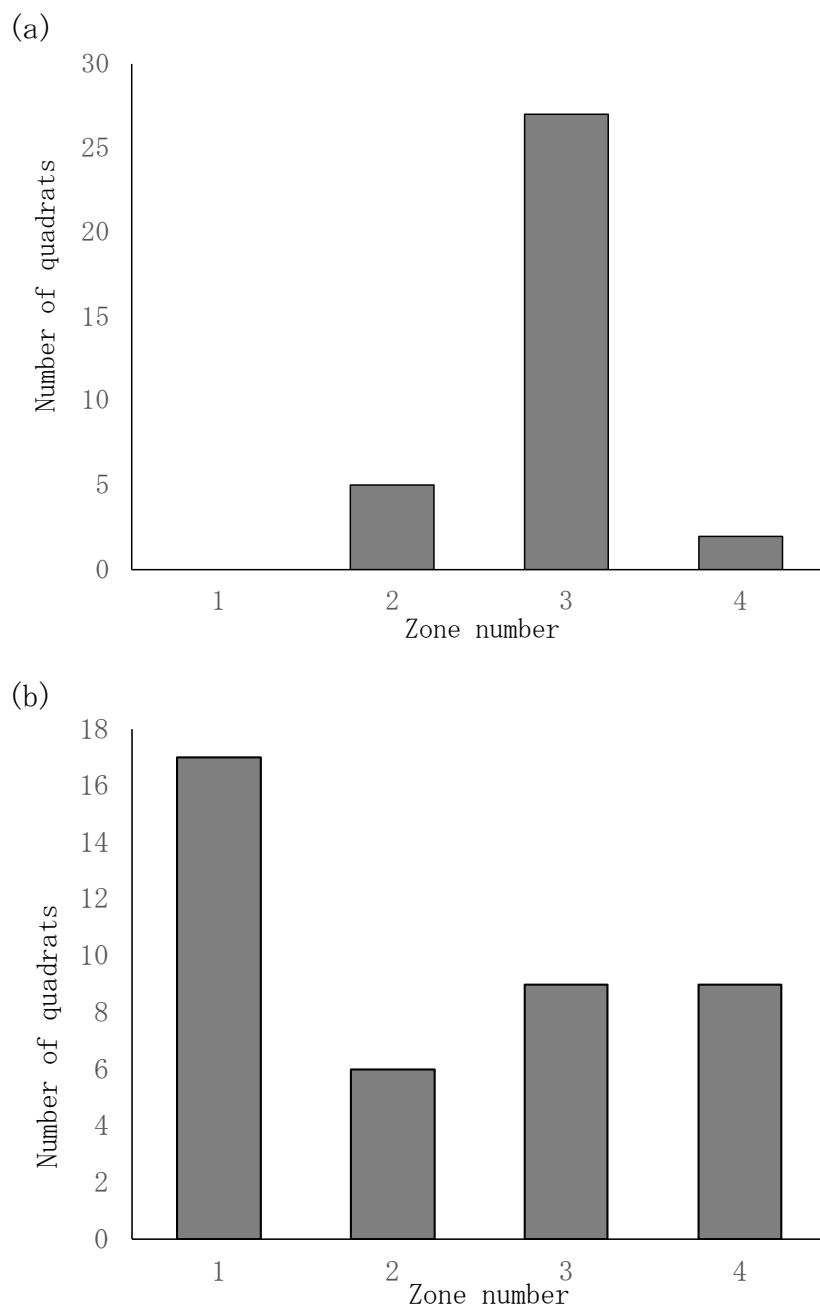


Fig. 3-13 Comparison of the numbers of quadrat among for zones assigned by dominant mangrove species. (a)Present quadrat (b)Absent quadrat

次に、出現地点の地上根の被度のランクは全出現地点の 94%に相当する 32 地点で林床の 50-75%を占めるランク 3, 75%以上を占めるランク 4 となっていた. 非出現地点に関しては、ランク 1 以外はいずれかのランクに大きく偏ることはなかった (Fig. 3-14).

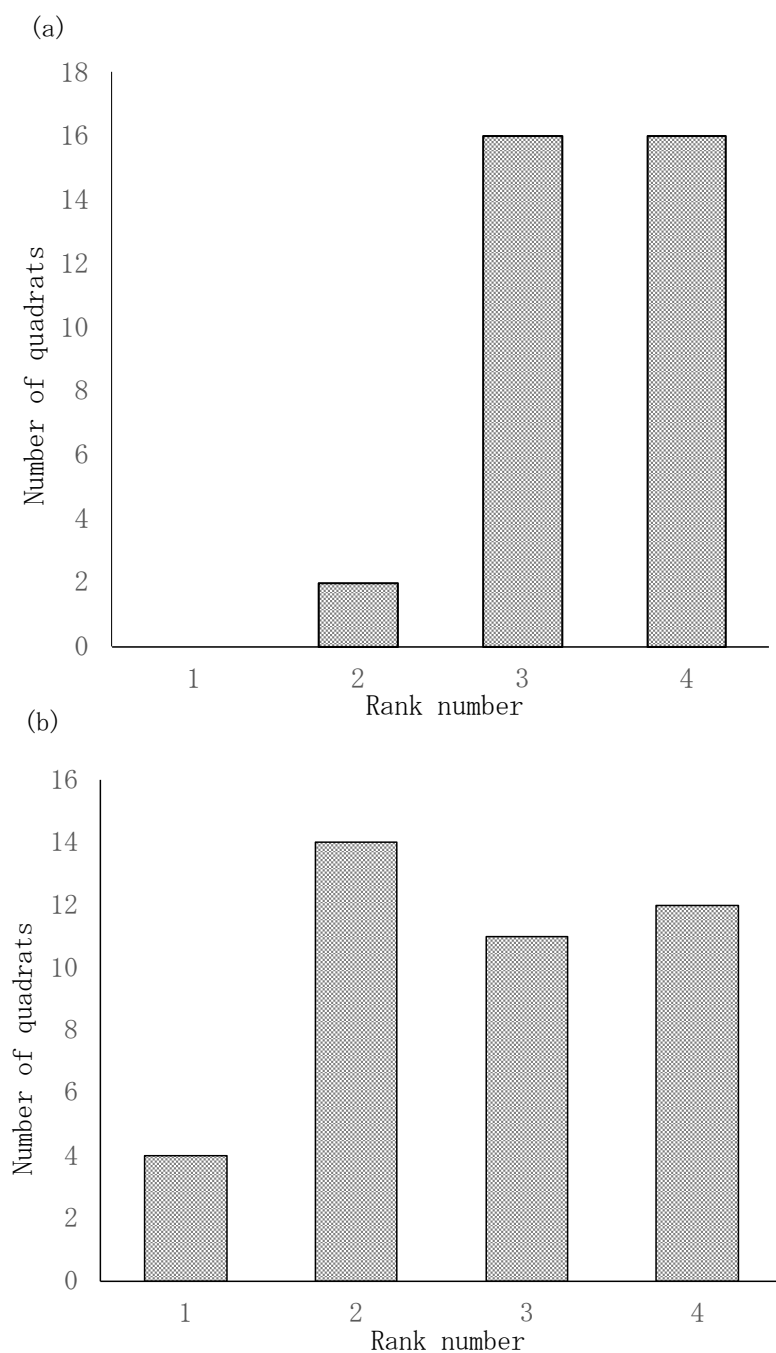


Fig. 3-14 Comparison of the numbers of quadrat among four ranks assigned by the ratio of above-ground root coverage. (a)Present quadrat (b)Absent quadrat

3-2-4. 考察

出現地点と非出現地点の土壌の温度、中央粒径、酸化還元電位を比較したところ、いずれの項目についても有意な差は確認されなかった (Fig. 3-15)。ヒルギシジミ類が出現した地点であっても土壌の温度が高温であった地点や、酸化還元電位が非常に低い地点も確認された。これは、決して良好な土壌条件とは言えない場所でもヒルギシジミ類は生息することができることを表しており、第 3 章第 1 節の結果と同じくヒルギシジミ類の空間分布には土壌の環境条件の影響は与えられにくいと類推された。一般的に二枚貝は、海水の塩分が急速に変化した場合など悪条件に曝された際には殻を閉じることで軟体部を守ることができる (村地・古川, 1958)。ヒルギシジミ類は干潮時には良好ではない土壌条件に曝されるが、殻を閉じたまま耐えることができるだけでなく、水が無くても空気中で呼吸することができる (Morton, 1975)。満潮時には海水によって周辺環境が改善されるため、ヒルギシジミ類の空間分布パターンは干潮時の土壌環境には影響を受けにくいと推察された。

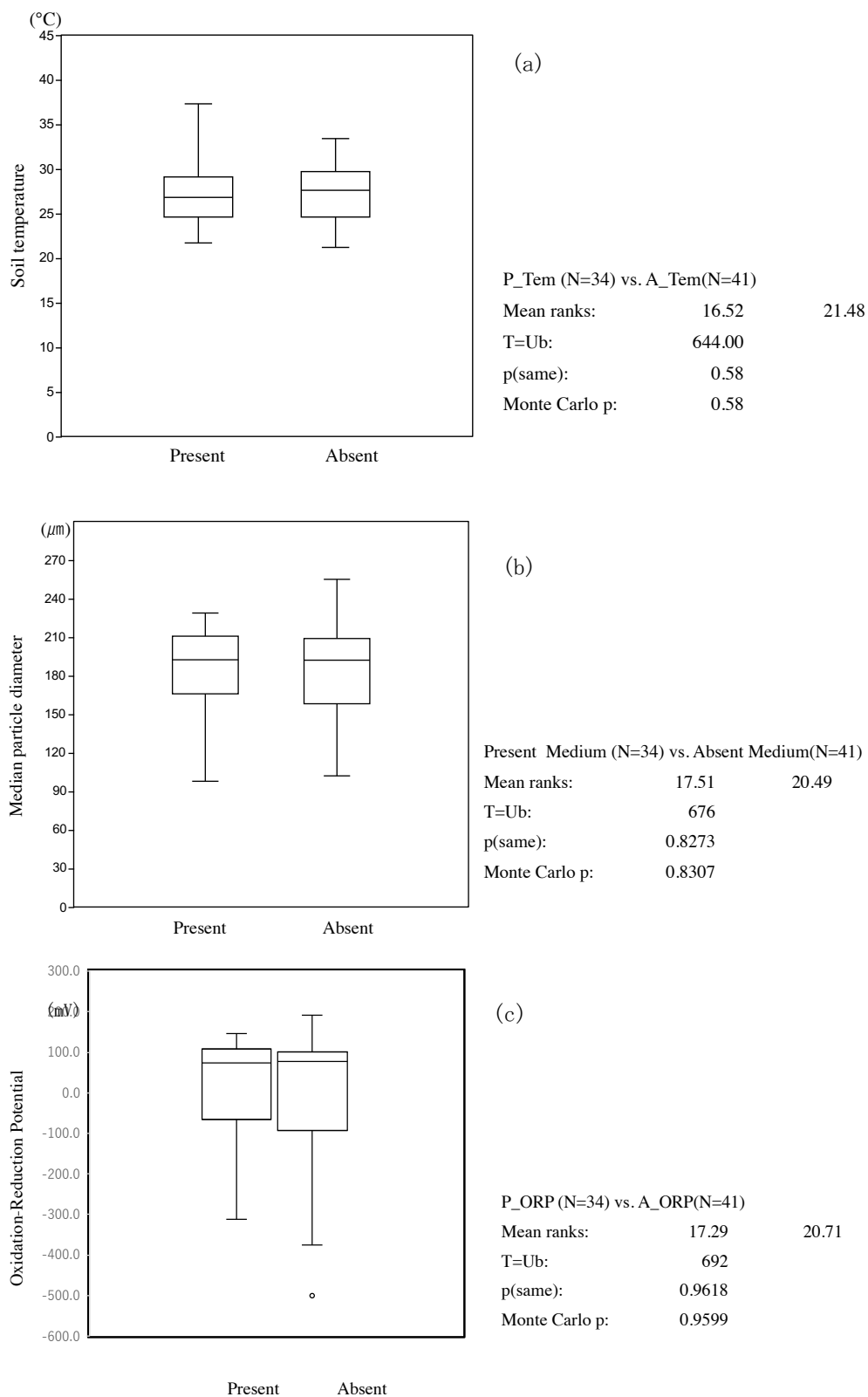


Fig.3-15 Comparison of the average of soil environment items between present and absent quadrat. (a)Sediment temperature, (b)Median particle diameter, (c)ORP

ヒルギシジミ類の出現が確認された地点の多くは、マングローブ林の中間帯であるオヒルギが優占しているエリアに存在した。また、地上根の被度が 50%以上の林床で出現傾向が高くなっていた。二枚貝の流出を防ぐためには、底質の障害物は重要な役割を果たす。海中のノリ養殖用の杭が撤去された後、底質の流出と共にアサリ *Ruditapes philippinarum* の個体も流出し、個体数が減少した事例が柿野(2006)によって報告されている。ヒルギシジミ類にとっては、林床の地上根がアサリにとってのノリ養殖用の杭と同じ役割を果たしているのではないかと類推された。Furukawa and Wolanski(1996)は、樹種の違いが土壌に土砂が堆積する速度に対して与える影響について研究し、地上根が複雑な形状である樹木の周囲では土砂の堆積が多くなることを明らかにした。また、マングローブの樹木密度と土砂の堆積量との間には相関が見られなかったが、地上根の密度と堆積量との間には正の相関が見られたことを Young and Harvey(1996)が示している。さらに、Krauss et al.(2003)は *Rhizophora* spp. の支柱根やハマザクロの筍根が高密度であれば、土砂の堆積が促され、波浪の影響が小さくなることを確認している。マヤブシキやヒルギダマシは細い筍根を地表に出し、ヤエヤマヒルギはタコ脚状の支柱根を地中に向けて幹の周りに張り、オヒルギは一つの塊がマヤブシキなどの筍根よりも大きな膝根を地中に張り巡らせた根から地表に向けて突き出す(中村・中須賀, 1998)。オヒルギの膝根は一つ一つの大きさが大きいだけでなく、張り巡らされた根から多く突出するため、他種の地上根と同様に林床で障害物としての役割を果たしていると推測される。そして、林床での地上根の被度が高くなるほどヒルギシジミ類の流出を防いでいることが類推された。

以上より、ヒルギシジミ類の空間分布パターンが土壌環境から受ける影響は小さく、マングローブの植生や林床の地上根から受ける影響が大きいことが示唆された。

第3節 西表島ヒナイ川，ニシダ川，後良川におけるマングローブ林床環境とヒルギシジミ類の空間分布パターンの関係

3-3-1. 背景

本章第2，3節において，ヒルギシジミ類は下流から上流までの感潮域の広い範囲に点在するマングローブ林内に生息しているが，その空間分布パターンにはマングローブの植生や林床の地上根の被度が影響を与えている可能性が示された．これは浦内川のみで得られた結果であり，他の河川においても同様であるか否かを検証する必要がある．そこで，本節では西表島の他の河川でも調査を行い，前述の結果が普遍性を持つか否かについて考察した．

3-3-2. 材料と方法

3-3-2-1. 調査対象地

西表島のニシダ川，ヒナイ川，後良川の3本の河川を対象として(Fig. 3-16)，2013年7月と9月の昼間の干潮時に調査を行った．

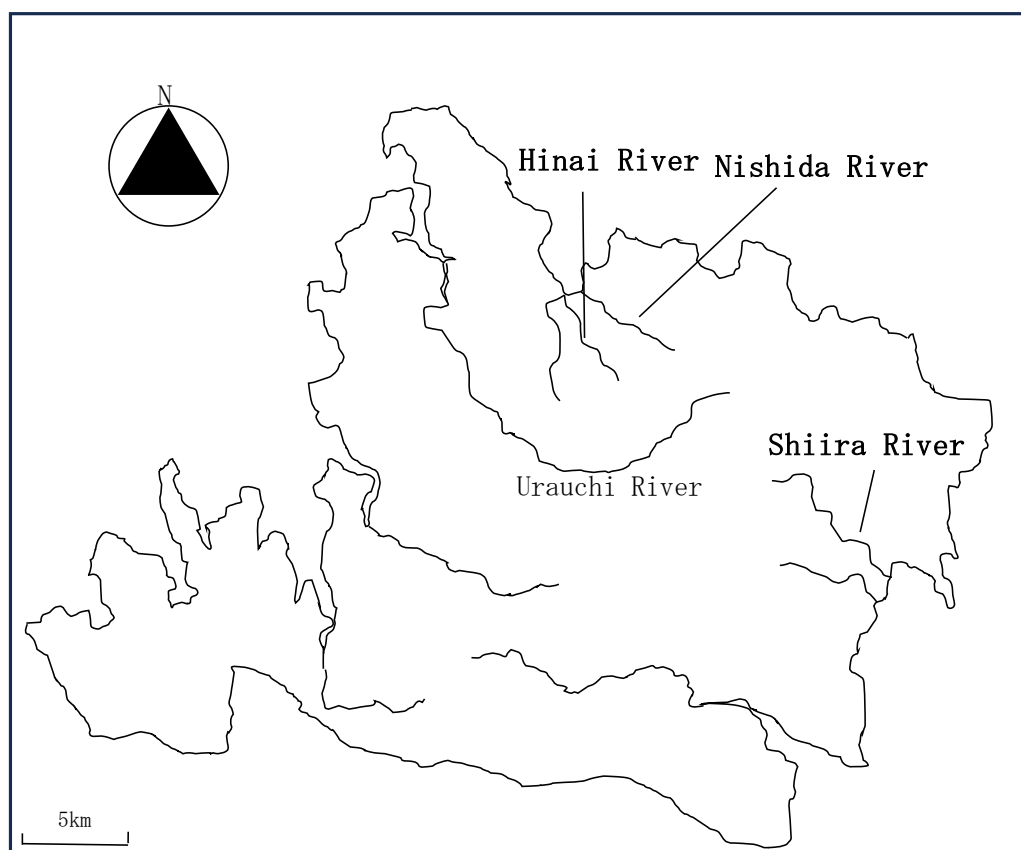


Fig. 3-16 Location of the Hinai River, the Nishida River and the Shiira River

3-3-2-2. 調査方法および分析方法

全ての河川において、まず河口部左岸側の河岸から出発し、陸側の林縁部に到達すると河岸方向へと向きを変え、河岸に到達するとまた陸側の林縁部へと向きを変えて、マングローブ林内をジグザグに横断を繰り返しながら上流へ向かって歩いた。上流のマングローブ林が途切れる位置に到達すると、右岸側へ渡り河口へ向かって左岸と同様の方法で歩いた。歩きながらヒルギシジミ類を発見した所で 1 m 四方の小コドラートを設置した。まず小コドラート内 3 カ所において土壌温度とデジタル ORP メータ YK-23RP を用いて酸化還元電位を測定した。次に 1 m 四方、表層 100 mm で土壌を剥ぎ取りヒルギシジミ類を採集した。その後、1 m 四方の小コドラートの周囲に 10 m 四方の大コドラートを設けた。このコドラートにおいては優占樹種と、地上根が林床を覆う被度を記録した。そして、第 3 章第 2 節と同様にマングローブ林帯状構造の区分番号、地上根の被度ランク番号を割り当てた。

3-3-3. 調査結果

ヒナイ川, ニシダ川, 後良川のマングローブ林においてヒルギシジミ類の生息が確認され, 調査を行った地点はFig. 3-17, 3-18, 3-19, 3-20 に示したとおりである.

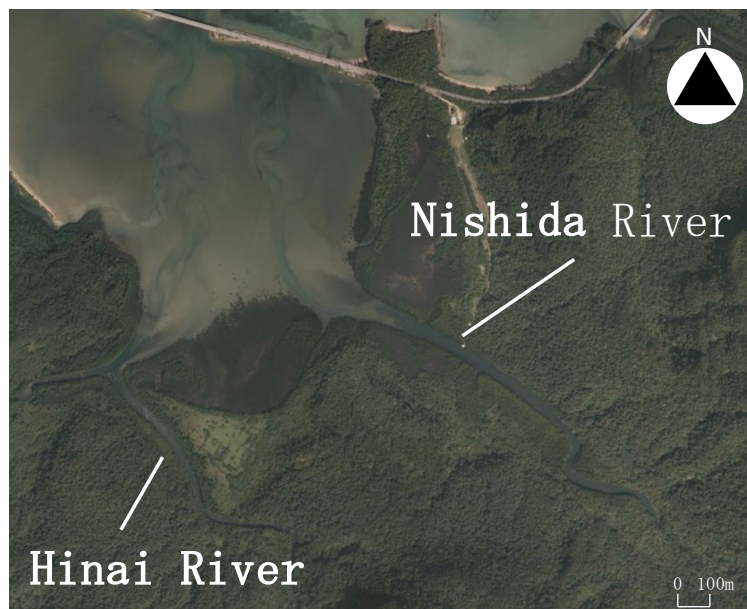


Fig. 3-17 Map of survey site (the Hinai River and the Nishida River)

Modified from a map data of Geospatial Information Authority of Japan(<https://maps.gsi.go.jp/>, 2023. 10. 10)

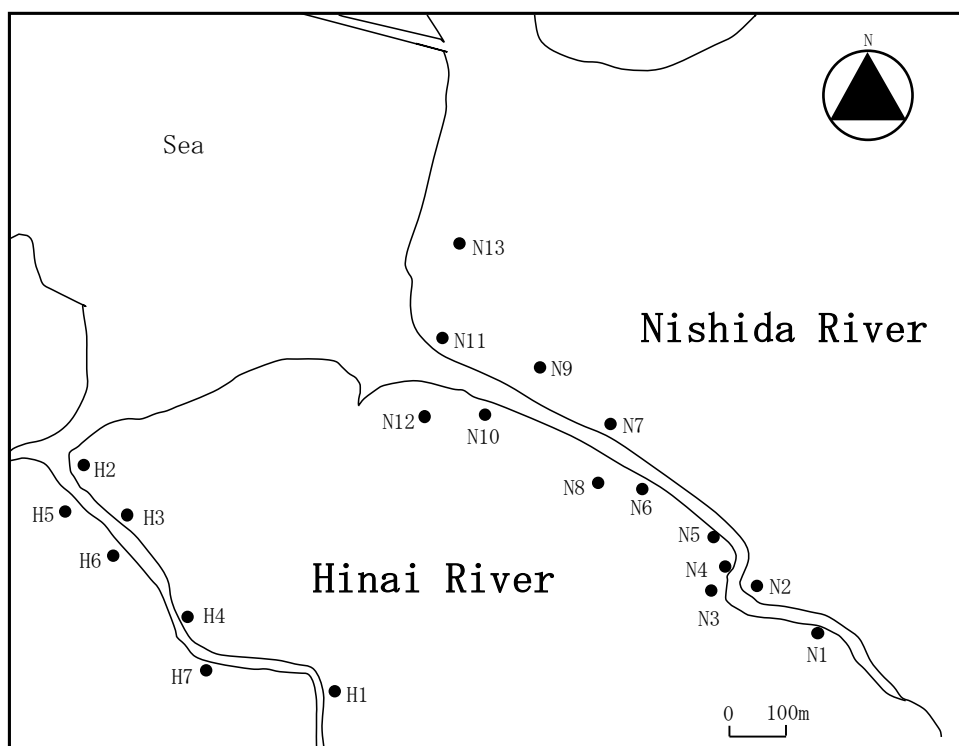


Fig. 3-18 Map of survey points in the Hinai River and the Nishida River



Fig. 3-19 Map of survey site (the Shiira Riber)

Modified from a map data of Geospatial Information Authority of Japan
(<https://maps.gsi.go.jp/>, 2023.10.10)

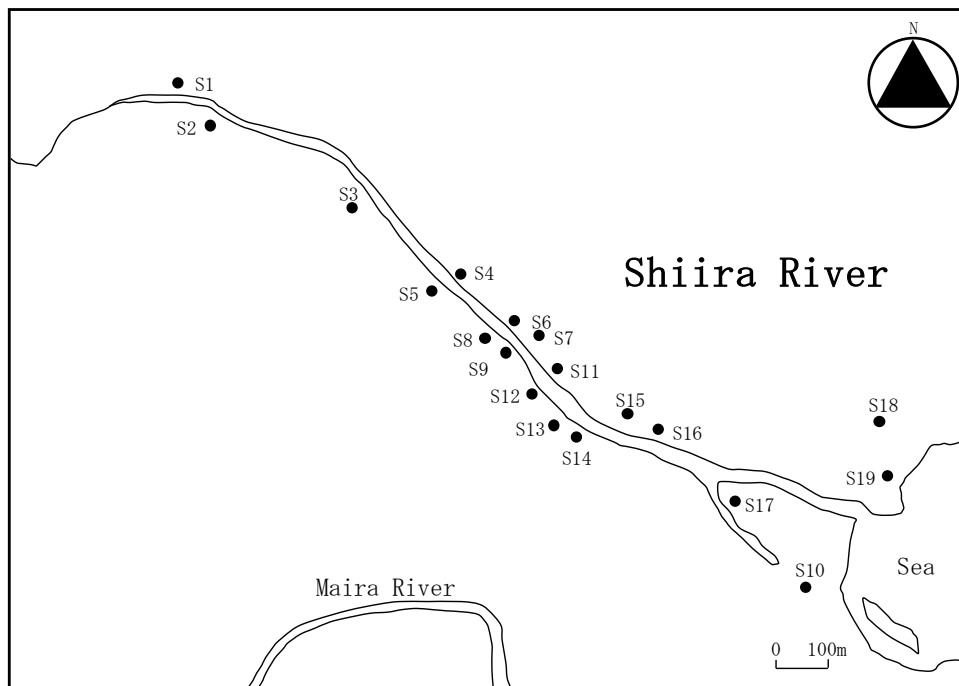


Fig. 3-20 Map of survey points in the Shiira River

次に、各河川に設置した調査地点におけるヒルギシジミ類の個体数、土壌温度、酸化還元電位、帯状区分番号、地上根の被度ランク番号の結果は Table 3-4, 3-5, 3-6 に示した。3 本の河川のマングローブ林内の土壌温度には違いはなかったが、後良川のマングローブ林の土壌の酸化還元電位の平均値は -129 ± 93 mV, ヒナイ川は 60 ± 56 mV, ニシダ川は 47 ± 62 mV であり、調査時の後良川のマングローブ林の土壌は他の 2 本の河川のマングローブ林より非常に還元性の強い土壌であることが示された。また、後良川のマングローブ林で採集されたヒルギシジミ類の 1 m^2 あたりの平均個体数は 2.4, ヒナイ川は 1.9, ニシダ川は 1.8 であった。

Table 3-4 Data of the number of *Polymesoda* spp., average of sediment temperature, average of ORP, zone number, root coverage number in the Hinai River

ID	Density of <i>Polymesoda</i> spp.	Average of sediment temperature (°C)	Average of oxidation- reduction potential (mV)	Zone number	Root coverage rank
H1	1	28.0	191	3	3
H2	4	28.5	49	3	4
H3	3	28.4	74	3	4
H4	1	28.2	44	3	4
H5	1	28.0	45	3	4
H6	2	28.3	38	3	4
H7	1	28.2	-19	3	4

Table 3-5 Data of the number of *Polymesoda* spp., average of sediment temperature, average of ORP, zone number, root coverage number in the Nishida River

ID	Density of <i>Polymesoda</i> spp.	Average of sediment temperature (°C)	Average of oxidation- reduction potential (mV)	Zone number	Root coverage rank
N1	1	28.3	118	3	3
N2	2	28.5	93	3	3
N3	2	29.3	42	3	2
N4	1	28.8	112	3	4
N5	1	29.1	97	3	4
N6	3	28.4	-42	3	4
N7	3	27.9	95	3	4
N8	3	29.0	72	3	4
N9	1	31.9	62	2	2
N10	3	29.6	-84	3	3
N11	1	28.9	43	3	3
N12	1	28.0	-56	3	4
N13	1	28.5	66	3	4

Table 3-6 Data of the number of *Polymesoda* spp., average of sediment temperature, average of ORP, zone number, root coverage number in the Shiira River

ID	Density of <i>Polymesoda</i> spp.	Average of sediment temperature (°C)	Average of oxidation- reduction potential (mV)	Zone number	Root coverage rank
S1	4	28.9	-108	3	3
S2	1	29.5	-23	3	4
S3	2	29.6	-203	3	4
S4	4	29.9	-40	3	3
S5	2	30.5	-41	3	3
S6	5	33.2	-168	3	3
S7	4	31.9	-227	3	3
S8	3	31.8	-267	3	3
S9	1	29.8	-139	3	1
S10	1	29.5	-60	2	3
S11	4	34.5	-54	3	3
S12	2	30.6	-160	3	4
S13	2	32.2	-183	3	4
S14	1	28.6	-205	3	3
S15	2	34.6	-299	3	3
S16	1	31.8	-111	3	4
S17	1	32.3	-112	3	3
S18	2	39.3	-160	2	2
S19	3	25.8	111	3	4

さらに、3本の河川の各調査地点に割り当てられたマングローブ林の帯状区分番号ごとの調査地点の合計数を Fig. 3-21 にまとめた。区分番号1および4を割り当てられた調査地点は存在せず、区分番号2を割り当てられた地点は3地点、3を割り当てられた地点は36地点であった。

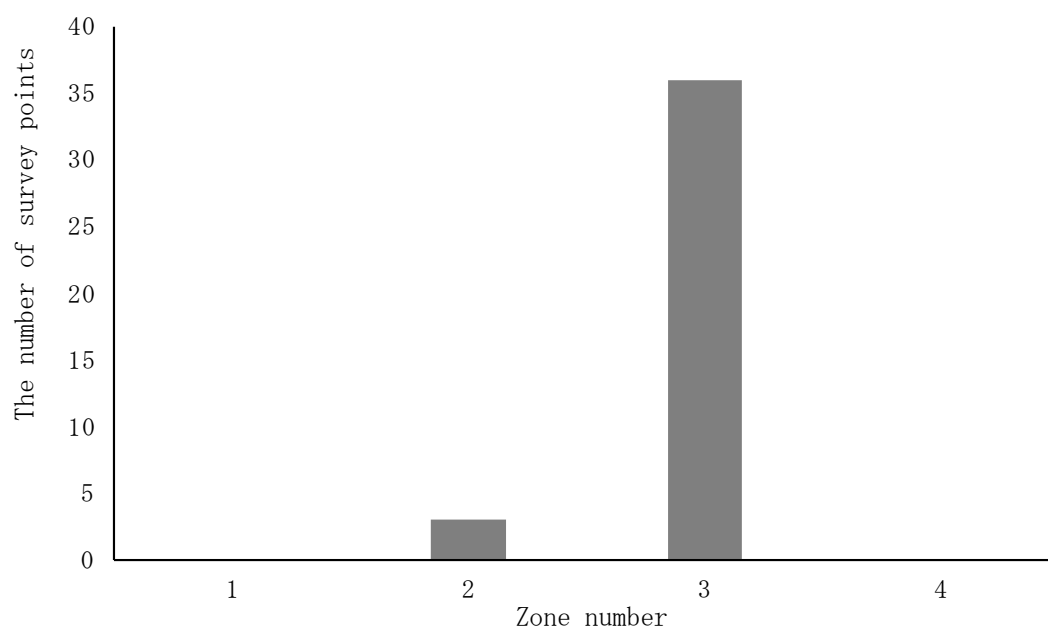


Fig. 3-21 Comparison of the numbers of survey point among for zones assigned by dominant mangrove species (Fig. 3-10)

带状区分番号と同様に、3本の河川の各地点に割り当てられた地上根の被度ランク番号ごとの調査地点の合計数をまとめた (Fig. 3-22)。地上根の被度ランク番号1を割り当てられた地点数は1、2を割り当てられた地点数は3、3を割り当てられた地点数は16、4を割り当てられた地点数は19であった。

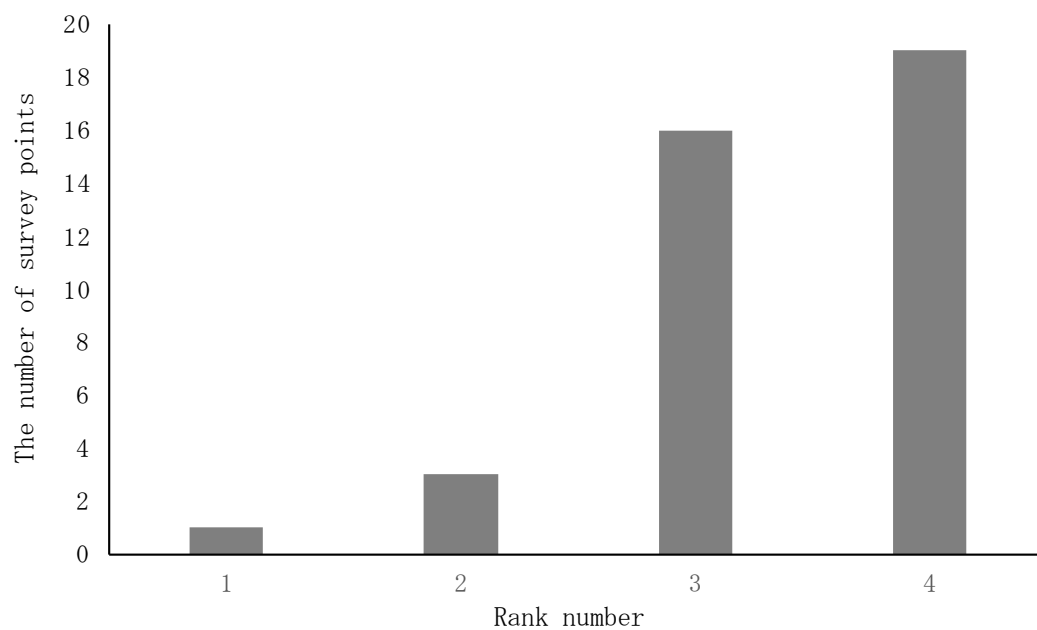


Fig. 3-22 Comparison of the numbers of point among four ranks assigned by the ratio of above-ground root coverage (Fig. 3-11)

3-3-4. 考察

本研究においても、第 1 節の調査結果と同様にヒルギシジミ類は下流から上流の感潮域のマングローブ林に広く分布していることが明らかになった (Table 3-4, 3-5, 3-6)。

また、マングローブ林の带状区分番号は 3 と割り当てられた地点は全体の 92.3%を占め、オヒルギが優占するエリアでヒルギシジミ類が多く生息していることが示唆された。そして地上根の被度ランクは 1 が全体の 2.6%, 2 が 7.7%, 3 が 41.0%, 4 が 48.7%となり、被度が 50%以上の地点が全体の 89.7%を占めていることから、地上根が林床面積の多くを占めるほどヒルギシジミ類の生息環境として適していることが類推された。以上の結果は、本章第 1, 2 節の結果と同様であり、マングローブ林の带状区分および地上根の被度とヒルギシジミ類の空間分布パターンとの間には関係があることが再度推察された。したがって、さらに他の河川のマングローブ林にもこの結果が適用でき、普遍性があるといえる可能性が高いと考えられた。

第4章 水中の塩分がヒルギシジミ類の生残率に与える影響

4-1. 背景

第3章ではマングローブ林の林床の環境を特徴づける土壤環境の測定項目、植生やマングローブが有する地上根の被度に着目し、ヒルギシジミ類の空間分布パターンとこれらの項目との関係を探った。その結果、土壤の温度、塩分、粒度組成、酸化還元電位などはヒルギシジミ類の分布には影響を与えず、植生や地上根の被度が影響を与えている可能性が高いことが示唆された。Clemente and Ingole(2011)もマングローブ林内におけるヒルギシジミ類の生息分布には偏りがあると述べている。ヒルギシジミ類は卵から発生後、浮遊幼生期を経て着底稚貝となる。浮遊幼生期には淡水や海水の流れに影響を受け、受動的に移動し一様に分散する。着底後も能動的に広範囲を移動する可能性は低いいため、一旦着底してしまうとそこで生育する。空間分布に偏りがあるのであれば、出現が確認できない環境では着底後のいずれかの成長段階で斃死している可能性があるという仮説が推された。そこで本研究ではまず、植生によるマングローブ林の带状区分間で生残率が異なるという仮説を立てた。この仮説を検証できれば、オヒルギ林にヒルギシジミ類が多く見られる理由を明確にすることが可能となる。

ヒルギシジミ類は土壤環境が良好でない場合であっても、干潮時には殻を閉じて軟体部を守ることや空気中で呼吸し(Morton, 1975)、海水が遡上してくると海水中で採餌や呼吸をするため、土壤環境に加えて海水による影響の有無についても把握する必要がある。一般的に海水中に生息する二枚貝は、水中の塩分が急激に変化した場合には、血リンパ浸透圧を調節して体内の塩分を変動させる浸透順応型動物である(Robertson, 1964; Prince, 1971; Lockwood, 1976; Gainey and Greenberg, 1977; 松田ほか, 2008)。周囲の環境に適応する際にはエネルギーを消費して浸透圧を調節するため、塩分は二枚貝の生育に影響を与えることが福原ほか(1986)によって報告されている。そのため、海水中に生息する他の二枚貝と同様にヒルギシジミ類も潮汐によりもたらされる塩分変化の影響を受けている可能性があるのではないかと考えた。

本研究ではヒルギシジミ類の生息に適した環境について検証するため、第3章で設けたマングローブ林の4つの带状区分でヒルギシジミ類の飼育試験を行うと同時に、水中の塩分の経時変化を調べ、成長率および生残率に与える影響について考察した。

4-2. 試験方法

4-2-1. 飼育試験対象地と試験区の設定

第 3 章でヒルギシジミ類の分布調査を行った浦内川河口域のマングローブ林内に設けた 4 つの試験区にて飼育試験を行った (Fig. 3-10, 4-1). 試験区 1 は浦内川河岸のマングローブ林縁部, 試験区 2 はヤエヤマヒルギが優占するエリア, 試験区 3 はオヒルギが優占するエリア, 試験区 4 は最も陸側に位置しており, アダンが優占するエリアである.

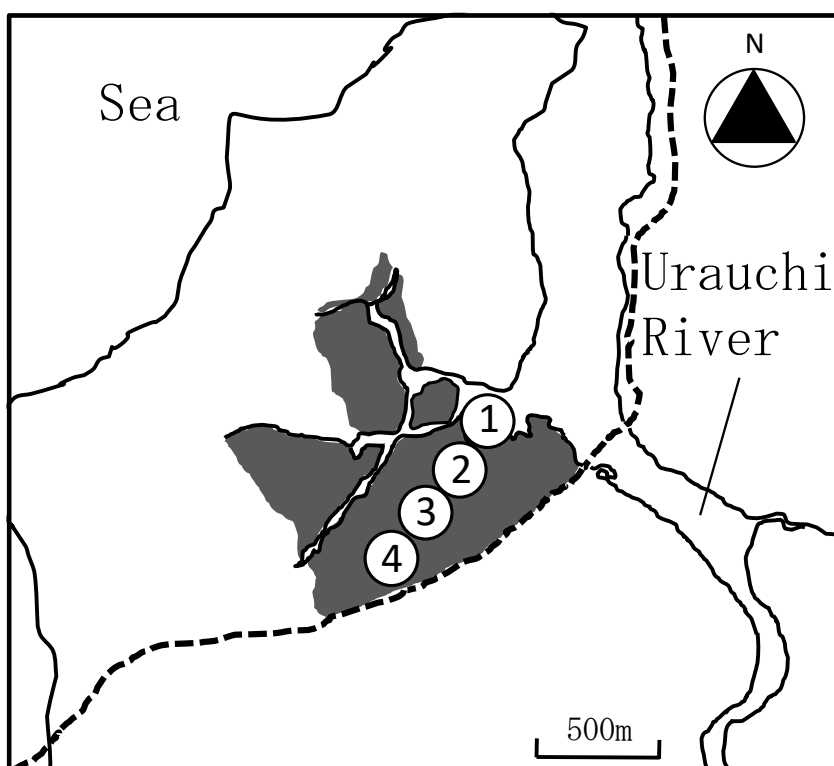


Fig. 4-1 Map of study site in the Urauchi River. The numbers 1 to 4 correspond to the zone number shown in Fig. 4-1

4-2-2. 試験方法と材料

4-2-2-1. 予備試験

4つの試験区における生残率の差を確認するために2012年6月から11月、予備試験を行った。まず、浦内川河口のマングローブ林内においてヒルギシジミ類を40個体採集した。採集された個体の平均殻長は 89.2 ± 16.5 mm, 最小殻長は42.1 mm, 最大殻長は116.8 mmであった。

採集した個体を10個体ずつ4つのグループに分け、それぞれのグループごとに目合い10 mm, $150 \times 150 \times 50$ mmの金属製のカゴに入れた。Boulding(1984)によってガザミ類がヒルギシジミ類を捕食することが報告されているため、ガザミ類による侵入と捕食を防ぐことのできる目合サイズと材質の飼育カゴを選択した。次に、それぞれのカゴをFig. 4-1に示した4ヶ所の試験区に設置した。ヒルギシジミ類は水がない状態であっても採取や呼吸を行い(Morton, 1975), 長時間乾燥した環境に置かれても軟体部の含水量を維持できるが、通常多くの個体は水分を多く含んだ土壌内で生息していることが報告されている(福岡ほか, 2010)。したがって、この試験においても乾燥した状態を避けるため飼育カゴは土壌を10 cm程度掘った上に設置し、干潮時でも水分が存在することを確認した。なお、4ヶ所それぞれのカゴに入れた個体の大きさは次の通りである。試験区1は平均殻長 91.7 ± 14.8 mm, 試験区2は 90.4 ± 21.0 mm, 試験区3は 86.3 ± 15.3 mm, 試験区4は 84.6 ± 16.5 mmであり(Table 4-1), 個体サイズの偏りが生じないようにした。この後、2012年9月と11月に各試験区に設置した飼育カゴからヒルギシジミ類を取り出し、殻長の計測と生残個体の確認を行った。

Table 4-1 Maximum shell length, minimum shell length and average shell length of each plot for the preliminary exam.

	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4
Maximum Shell Length	113.0	116.8	103.8	107.2
Minimum Shell Length	71.7	42.1	53.0	53.0
Average Shell Length	91.7 ± 14.8	90.4 ± 21.0	86.3 ± 1.53	84.6 ± 1.65

(mm)

4-2-2-2. 本試験

予備試験の後、同じ試験区において2012年11月から2013年9月までの約10ヶ月間、成長率および生残率と水中の塩分との関係を把握するための本試験を実施した。予備試験で斃死した個体を取り除き、全試験区の飼育個体が40個体となるようヒルギシジミ類を採集した。本試験に用いた個体の平均殻長は 89.2 ± 16.5 mm、最小殻長 42.1 mm、最大殻長 116.8 mm であった。これらを10個体ずつ4つのグループに分け、試験区1の平均殻長は 80.8 ± 18.6 mm、試験区2は 86.7 ± 21.1 mm、試験区3は 84.5 ± 16.5 mm、試験区4は 89.6 ± 14.2 mm で (Table 4-2)、予備試験同様に個体サイズに大きな偏りが生じないようにし、前述の飼育カゴに入れて予備試験と同じ場所にそれらを設置した。その後、2013年4月、7月、9月に各試験区に設置した飼育カゴからヒルギシジミ類を取り出し、殻長の計測と生残個体の確認を行った。

Table 4-2 Maximum shell length, minimum shell length and average shell length of each plot for the main exam

	Plot 1	Plot 2	Plot 3	Plot 4
Maximum Shell Length	110.1	117.8	10.3	109.2
Minimum Shell Length	42.2	43.8	54.0	58.4
Average Shell Length	80.8 ± 1.86	86.7 ± 21.1	84.5 ± 16.5	89.6 ± 14.2

(mm)

塩分と水温は HOB0 U24-002 をポリ塩化ビニルのパイプに入れ、深さ 5cm の所にセンサーが位置するようにして飼育カゴの隣に設置し、干潮時であってもセンサーが土壌中の間隙水に接触している状態を保った。この測定器によって本試験期間中は1時間ごとに電気伝導度と水温を測定し、試験終了後にこのデータを研究室に持ち帰って HOB0 wear を使用して電気伝導度を塩分に換算して分析に用いた。

4-3. 結果

4-3-1. 予備試験

予備試験期間の試験結果は Table 4-3 に示したとおりである。試験開始から約 3 ヶ月後の 9 月には試験区 4 の生残個体数は 0 となっていた。次に低い生残率を示したのは試験区 1 で、9 月には 50%の個体の斃死が確認され、その約 3 ヶ月後の 11 月には生残個体数が 0 となっていた。試験区 2 は試験終了時には 70%の個体が生残しており、試験区 3 は全ての個体が生残していた。また、各試験区の殻長の平均的な成長量は試験区 1 が 0.3 ± 0.2 mm, 試験区 2 が 1.2 ± 1.2 mm, 試験区 3 が 0.6 ± 0.6 mm であった (Fig. 4-2)。いずれの試験区間においても、有意な差は見られず成長量には差がないことが示された。

Table 4-3 Natural mortality percentages of *Polymesoda* spp. during two 3-month periods (June to August and September to November 2012, inclusive). Natural mortality numbers shown in parentheses.

	Plot. 1	Plot. 2	Plot. 3	Plot. 4
Jun. -Sep. , 2012	50 (5)	20 (2)	0 (0)	100 (10)
Sep. -Nov. , 2012	50 (0)	30 (1)	0 (0)	NA

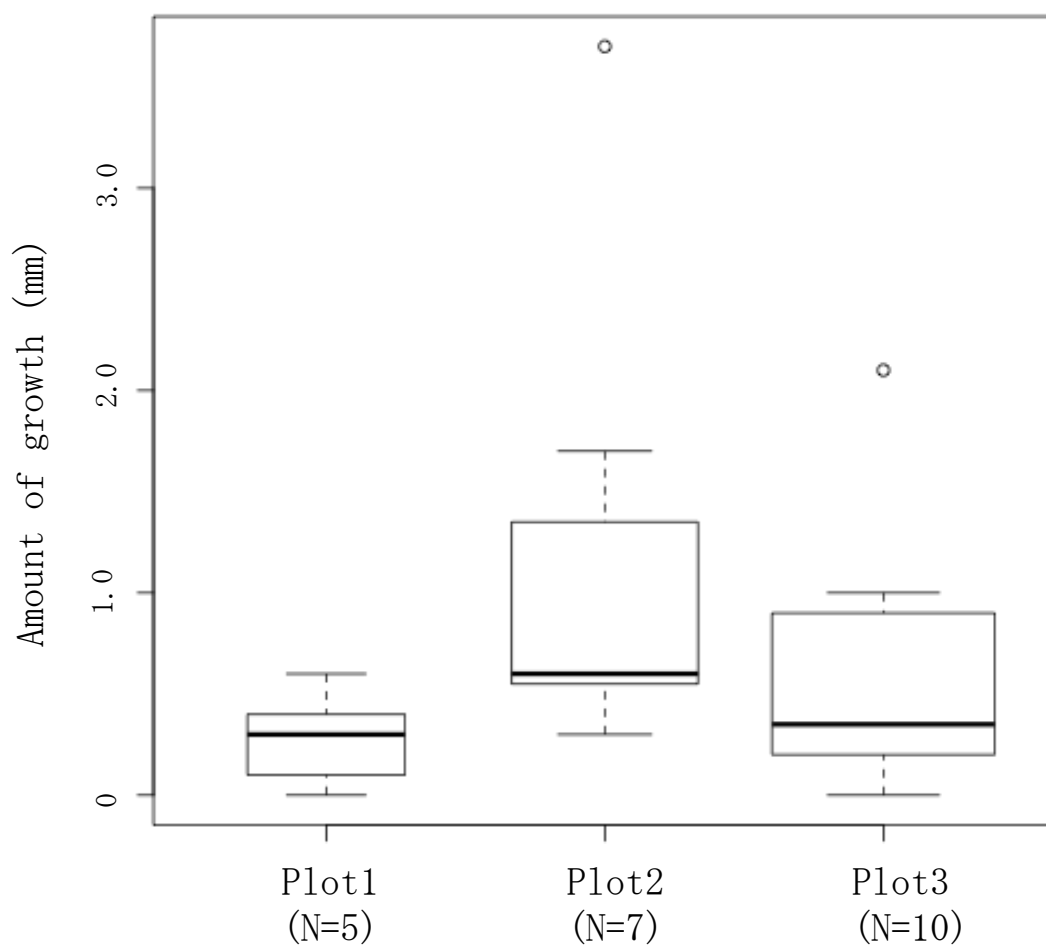


Fig. 4-2 Comparing of the amount of growth over six months (June to November 2012)

4-3-2. 本試験

本試験期間の試験結果は Table 4-4 に示したとおりである。本試験においても試験区 4 では 2012 年 11 月から 2013 年 4 月までに全ての個体が斃死し、生残個体は 0 となった。4 月には試験区 1 と 2 ではそれぞれ 60%, 80%の個体が生残していたが、最終的には生残個体はそれぞれ 4 個体ずつとなり、60%の個体が斃死した。試験区 3 では 2013 年 7 月までに斃死した個体は無かったが、7 月から 9 月に 1 個体が斃死し、90%の個体が生残した。全試験期間の飼育試験による生残率は試験区 1 および 2 が 40%, 試験区 3 が 90%, 試験区 4 は 0% となり、予備試験の結果と似た結果が得られた。各試験区におけるヒルギシジミ類の殻長の平均成長量は、試験区 1 が 1.4 ± 2.4 mm, 試験区 2 が 2.1 ± 3.0 mm, 試験区 3 が 2.1 ± 2.0 mm であった (Fig. 4-3)。いずれの試験間においても有意差は確認されず、成長量に差は見られなかった。

Table 4-4 Natural mortality percentages of *Polymesoda* spp. during main experimental periods (November 2012 to April 2013, April to July and July to September inclusive). Natural mortality numbers shown in parentheses.

	Plot. 1	Plot. 2	Plot. 3	Plot. 4
Nov. 2012-Apr. , 2013	40 (4)	20 (2)	0 (0)	80 (8)
Apr. -Jul. , 2013	50 (1)	50 (3)	0 (0)	100 (2)
Jul. -Sep. , 2013	60 (1)	60 (1)	10 (1)	NA

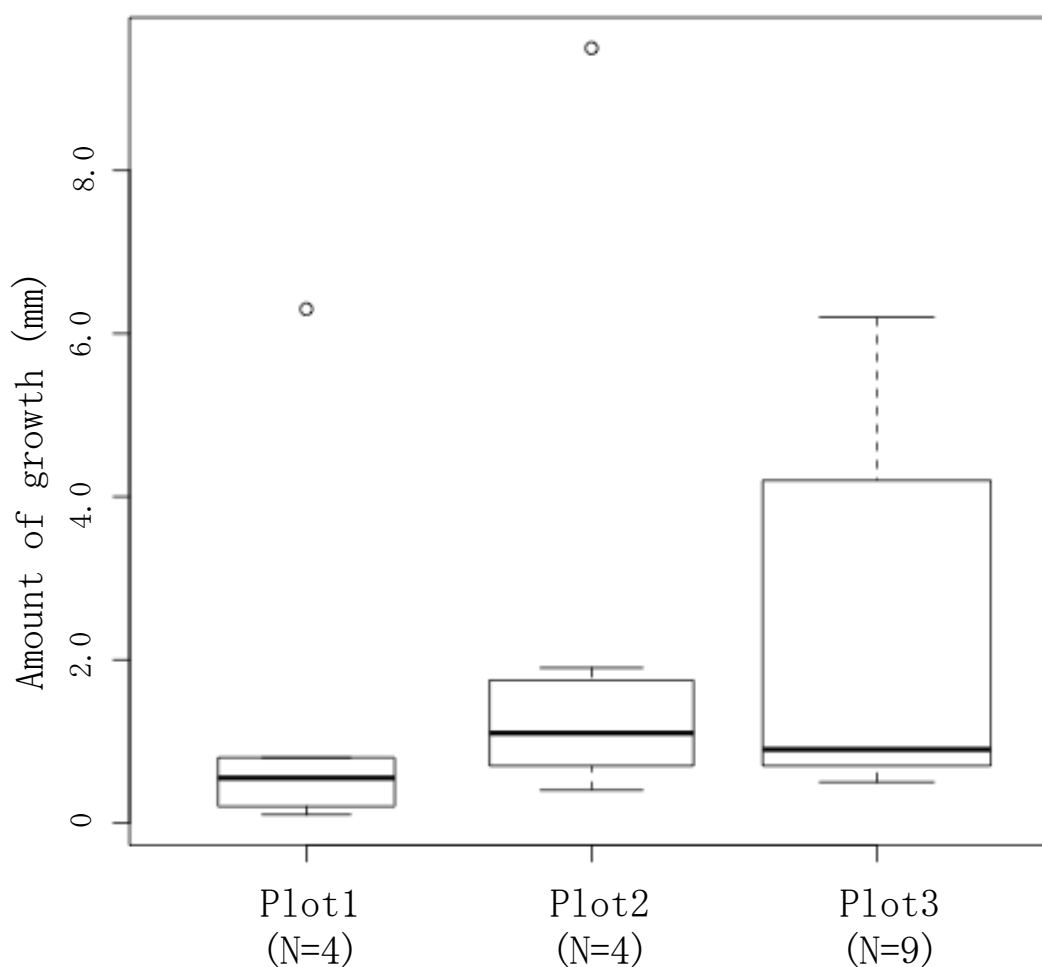


Fig. 4-3 Comparing of amount of growth over 10 months (November 2012 to September 2013)

Fig. 4-4 は試験期間中，合計 4,630 時間測定された塩分および水温の推移である．試験区 1 から 4 における平均水温はそれぞれ， 22.73 ± 3.93 °C， 22.58 ± 3.48 °C， 21.71 ± 3.64 °C， 20.70 ± 3.38 °C であった．いずれの試験区間においても有意な差は見られなかったが，陸側に向かうにつれ，平均水温が低くなる傾向が確認された．次に試験区 1 から 4 の水中の平均塩分はそれぞれ， 16.22 ± 12.68 PSU， 21.99 ± 6.83 PSU， 9.70 ± 9.18 PSU，0 PSU であり，試験区 4 については，塩分は常に 0 であり満潮時であっても塩水が遡上していないことが示された．

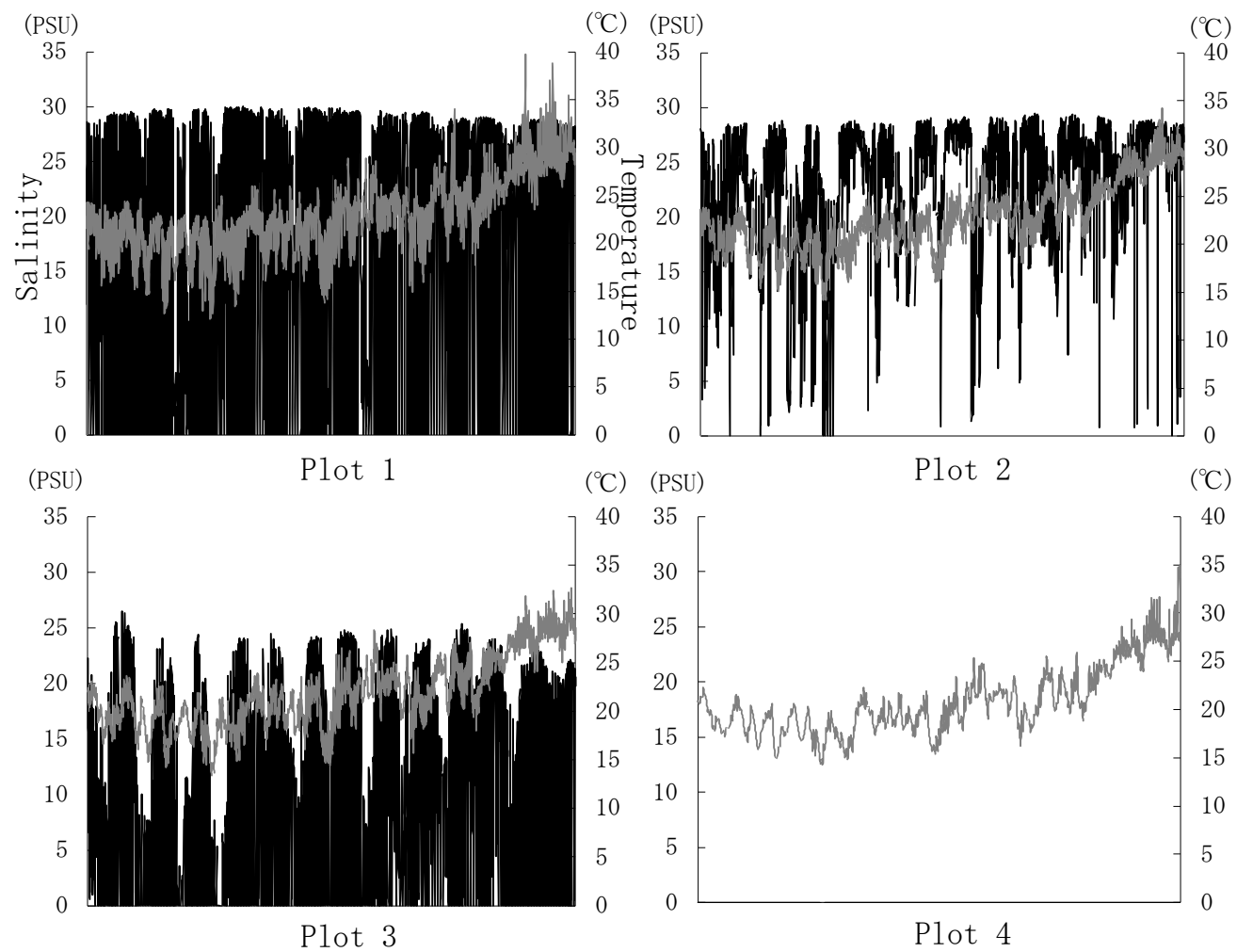


Fig. 4-4 Change of salinity and water temperature during research period - (black color) ...salinity,
 - (Gray color) ... water temperature

4-4. 考察

本試験の全期間中に測定された水中の塩分を 0.5 PSU 未満, 0.5 以上 10 PSU 未満, 10 以上 20 PSU 未満, 20 以上 30 PSU 未満の 4 つのレベルに分け, 各試験区が各塩分レベルに曝されていた時間をそれぞれ合計し, 全測定時間 (4,830 時間) に対する各塩分レベルの合計暴露時間の割合を算出した (Fig. 4-5). 試験区 2 では全測定時間の 60%を超える 2780 時間, 20~30 PSU の高い塩分を記録していた. 試験区 1 は 0.5~10 PSU, 10~20 PSU の低塩分に曝されていた時間の合計は約 20%程度であったが, 20~30 PSU の高い塩分に曝されている時間は全体の約 50%の約 2,300 時間, 0.5 PSU 未満の低い塩分に曝されていた時間は全体の約 30%の約 1,390 時間であり, 塩分が高い水か低い水のどちらかに曝されている合計時間が多かった. 試験区 3 は全測定期間を通して, 淡水から高い塩分の水に概ね均等に曝されていることが示された.

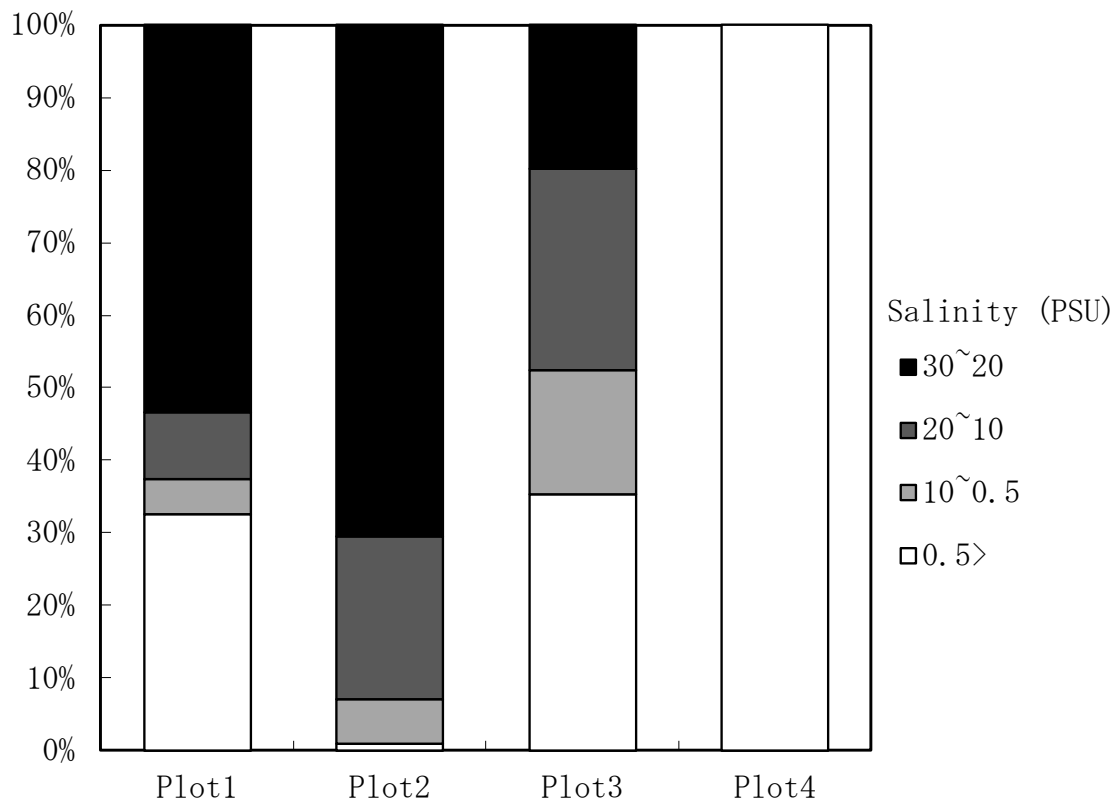


Fig. 4-5 The rate of time the clams were exposed to four salinity levels

次に任意の 3 日間(2013 年 1 月 24 日から 27 日)の水中の塩分の増減を各試験区間で比較した(Fig. 4-6). Fig. 4-7 の各グラフの横軸は任意の 3 日間における塩分が変化した回数, 第 1 軸は 1 回あたりの塩分の変化量, 第 2 軸は 1 時間あたりの水中の塩分の変化量である. 試験区 1 では 3 日間で塩分が変化した回数は最も少なかったが, 1 回, 1 時間あたりの塩分の変化量が最も大きかった. 試験区 2 では 1 回, 1 時間あたりの変化量が最も小さかった. 試験区 3 は 3 日間で塩分が変化した回数が最も多いが, 1 回, 1 時間あたりの変化量は中程度であった.

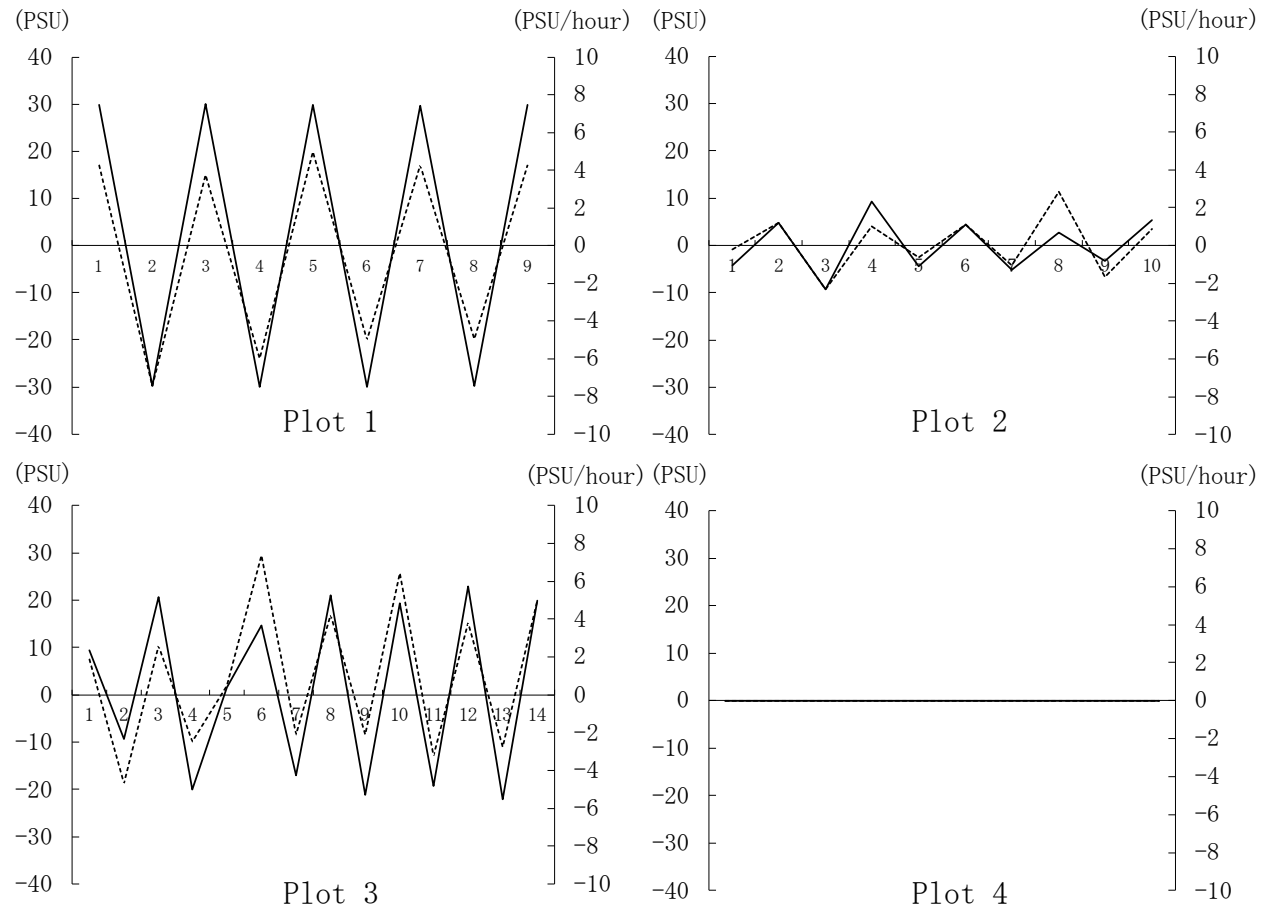


Fig. 4-6 The levels of increase and decrease in salinity over an arbitrary period. First axis is the level of salinity (PSU) - (solid line), the second axis is the level of salinity for a single hour (PSU/hour) ... (dashed line). The horizontal axis is the number of times of change in level of salinity.

Fig. 4-4, 4-5, 4-6 より、試験区 1 では水中の塩分は短時間に非常に大きく変化し、塩分が高い水と淡水に曝される時間が頻繁に入れ替わること、試験区 2 では淡水に影響されにくく水中の塩分が高い状態に長時間継続すること、試験区 3 は塩分の最高値も変化量も中程度であること、試験区 4 では海水が遡上せず、常に淡水に曝されていることが明らかになった。

海水中の塩分が変化すると、二枚貝の血リンパ浸透圧も変化し、血リンパ浸透圧は常に海水の塩分と等しくなるように調節される (DoPaul and Webb, 1971; Florkin and Bricteaux-Gregorie, 1972; Pierce, 1971; Gainey and Greenberg, 1977; Baginski and Pierce, 1978; Gainey, 1978; Livingstone et al., 1979; Henry and Mngum, 1980; Deaton et al., 1985; Pierce et al., 1992; Dragolovich, 1994). 血リンパ浸透圧は細胞の浸透圧と等しく、血リンパ浸透圧が変化すると細胞の浸透圧も変化するが、細胞の浸透圧は無限に変化し続けられるわけではない (Lockwood, 1963). 周囲の環境に適応する際にはエネルギーを消費して浸透圧を調節しなければならない、水中の塩分は二枚貝の生育に影響を与えることが報告されている (福原ほか, 1986). そして、海水中の塩分が急激に変化した場合には殻を閉じ、軟体部にその影響が及ばないようにする (村地・古川, 1958). しかし殻を閉じると軟体部への水分の供給、呼吸や採餌ができなくなるため、その状態が長時間に及ぶとやがて斃死する. ヤエヤマヒルギシジミについては、淡水中で飼育したところ 72 時間後に全ての個体が斃死したことが Clemente (2007) によって報告されている. 水中の塩分に合わせて細胞の浸透圧を調節することや、塩分の急激な変化に対応するために殻を閉じる習性は二枚貝の生命を維持するために必要不可欠であるが、生育状態の悪化や斃死してしまう原因になる. このように水中の塩分は二枚貝の成長や生残に影響を与えることが先行研究によって明らかにされている.

本研究でも Clemente (2007) の実験結果と同様に、常に淡水に曝されている試験区 4 では全ての個体が斃死しており、ヒルギシジミ類は淡水では生息できないことが改めて示された. 他の試験区ではヒルギシジミ類は生息することは可能であるが、水中の塩分とその変化の状況によって生残率が異なっていた. 浦内川河岸のマングローブの林縁部に位置する試験区 1 では塩分の変化が激しく、ヤエヤマヒルギが優占する試験区 2 では塩分が高い状態が続いていた. そのような環境下においては、水中の塩分に合わせて細胞の浸透圧を調節したり、殻を閉じたりする時間が多くなるために生残率が低くなったものと推察された. オヒルギが優占する試験区 3 では、水中の塩分によってヒルギシジミ類が受けるストレスが最も小さかったために高い生残率を維持することが可能であったと考えられた.

以上より、マングローブ林内の全てのエリアでヒルギシジミ類が生息することは不可能であり、水中の塩分によって生息可能なエリアが制限されることが明らかになった. そして、ヒルギシジミ類の生息に最も適している带状区分域は、水中の塩分の最高値も塩分の変化量も中庸なオヒルギが優占するエリアであることが示唆された.

第 5 章 マングローブ林内を流れるクリークの位置とヒルギシジミ類の空間分布パターンとの関係

5-1. 背景

マングローブ林内には河川の規模より小さな水の流れである水路(クリーク)が存在することが多い。クリークは陸側から淡水を、海側から塩水をマングローブ林内に供給しており、土壌を湿潤に保つだけでなく、土壌中の塩分が高くなり過ぎないように保つ役割を担っている(Vreugdenhil et al., 2013; Wösten, 2013)。ヒルギシジミ類は水が無い状況下においても空気中で呼吸することが可能であり、硬く分厚い殻によって軟体部が乾燥から守られるため、長時間水が無く乾燥した環境に置かれても生命を維持することが可能である(Morton, 1975)。しかしながら、その特性は乾燥時に生き残るために獲得した特殊な機能であり、ヒルギシジミ類にとってそのような環境が好ましいということではない。シンガポールや西表島で行われた研究では、多くの個体が水分を含んだ土壌に埋もれた状態で生息していることが確認されている(Morton, 1975; 福岡ほか, 2010)。ヒルギシジミ類の生息する土壌には水が供給され、湿潤な状態に保たれていなければならない。また、第 4 章においてヒルギシジミ類は水中の塩分が高過ぎず、その変化量が大きすぎない環境を好むことが示唆された。これらのことから、マングローブ林内を流れ、淡水と海水を供給する役割を持つクリークはヒルギシジミ類の空間分布パターンに影響を及ぼしているのではないかと推測した。そこで、本章では以下の調査を行い、クリークの位置とヒルギシジミ類の空間分布パターンとの関係を考察した。

5-2. 材料と方法

5-2-1. 調査対象地

浦内川河口に位置するマングローブ林には複数のクリークが存在するが、第 3 章および第 4 章の調査および飼育実験が行われたエリア内に流れる 2 本のクリークを選定し、2012 年 11 月の昼間の干潮時に調査を行った(Fig. 5-1)。

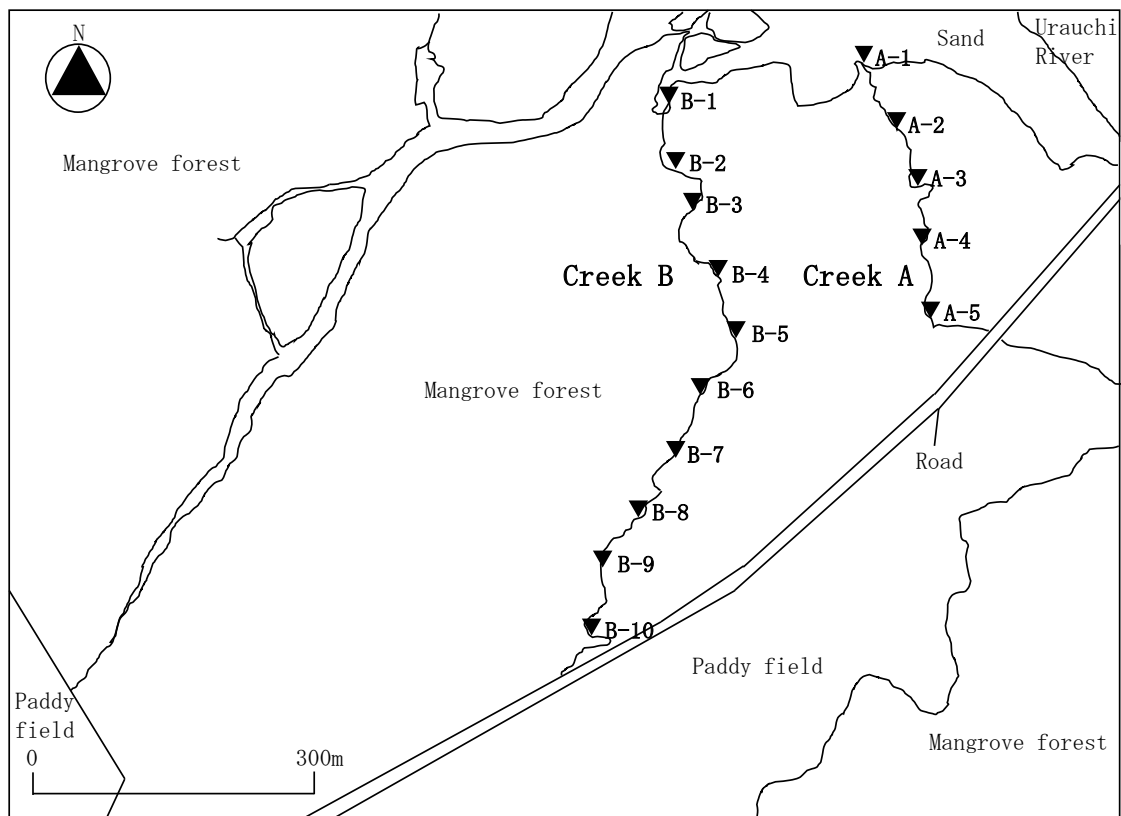


Fig. 5-1 Location map of Survey points

5-2-2. 調査地点の設定

選定された2つのクリークは、河口に近いクリーク(全長約350 m)をクリークA、陸側のクリーク(全長約680 m)をクリークBとした。クリークAはマングローブ林の東側から、クリークBは南東の陸地側からそれぞれ北側の浦内川に向かって淡水が流れており、これらのクリークの水深はクリークAで最高0.25 m、クリークBは0.50 mである。これら2つのクリークのそれぞれに河口側から陸側へ約70 m間隔の横断ラインを設けた。これによりクリークAでは5本の横断ライン、クリークBでは10本の横断ラインが設置された。各横断ラインにおいて流心部(CL)、右岸(RB)、左岸(LB)、右岸より5 m(R5)、10 m(R10)、左岸より5 m(L5)、10 m(L10)の位置に7つの調査地点を設けた(Fig. 5-2)。植物が低い位置に枝を密集させており侵入できず、調査が困難な調査地点もあったため、調査地点数はクリークAでは合計31地点、クリークBでは56地点となった。流心部以外の全ての調査地点において1 m四方の小コドラートを設置し、さらに小コドラートを中心として5 m四方の大コドラートの2種のコドラートを設けた。右岸、左岸についてはどちらのクリークも川幅が非常に狭く、5 m四方の大きさを確保することが不可能であったため、大コドラートは設けず小コドラートのみ設置した。

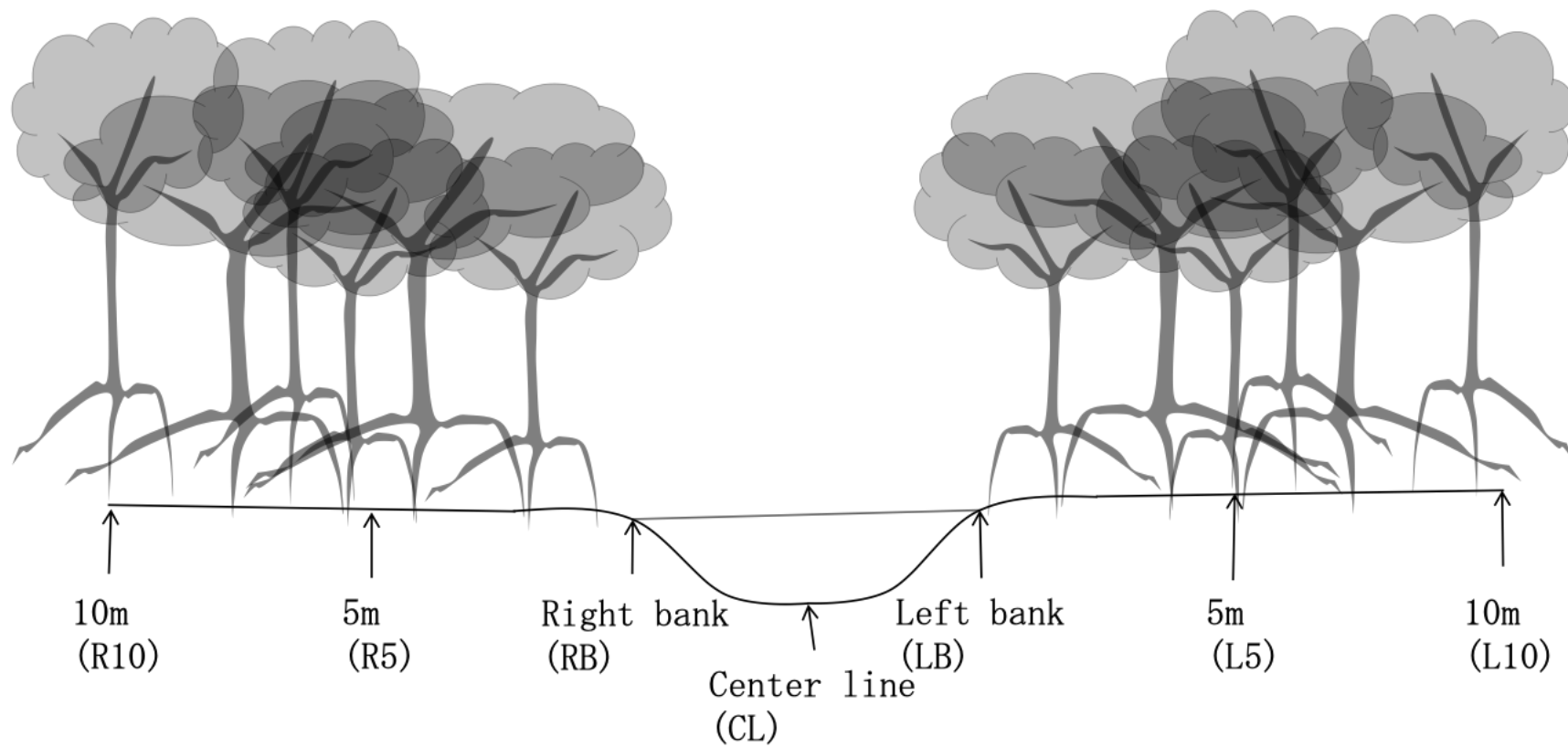


Fig. 5-2 Sampling points on a transversal line

5-3. 調査方法

5-3-1. 小コドラート

全ての地点において土壌の温度、デジタル ORP メータ YK-23RP を用いて酸化還元電位 (mV) を測定した。土壌の温度および酸化還元電位を測定した後、1 m 四方の範囲で土壌の表層約 100 mm 程度を剥ぎ取り、5 mm の篩にかけて篩に残ったヒルギシジミ類を採集し、個体数を計数したあと各個体の殻長、殻高、殻幅を測定した。流心部については土壌の温度および酸化還元電位は測定せず、水深を測った後に底泥の 1 m 四方を網で掬い取り、他の地点と同様にヒルギシジミ類の採集および個体サイズの測定を行った。

5-3-2. 大コドラート

ヒルギシジミ類はマングローブ林内に一様に分布するわけではなく、主にオヒルギが優占するようなマングローブ林中間地帯で、林床面積の半分以上をマングローブの地上根が占めるような林床により多くの個体が生息する傾向がある (Washitani and Shibata, 2022)。したがって、本研究においても植生を調査項目に加えた。流心部、右岸、左岸以外の各地点における大コドラートでは、第一優占樹種および第二優占樹種と地上根が林床を占める面積の割合を記録した。マングローブ林は海側から陸側へと帯状に分布しており (Watson, 1928; Macnae, 1968; Tomlinson, 1994)、第 3 章第 2 節と第 4 章で行った調査および実験と同様に植生を 4 つの区域に分けて 1 から 4 の区域番号を設けた。そして、記録された大コドラート内の植物種に応じて各調査地点にこの番号を割り当てた。また地上根が林床を占める面積の割合については、第 3 章第 2 節と同じく 1 から 4 の地上根被度ランク番号を割り当てた (Fig. 3-11)。

5-4. 結果

クリーク A およびクリーク B の各調査地点については、採集された個体数、土壌の温度、酸化還元電位、第一優占樹種、第二優占樹種、区域番号、地上根被度ランクを示したのが Table 5-1 である。クリーク A については、最高土壌温度は A-3. L10 の 26.8°C、最低は A-1. LB の 23.9°C、平均は $25.4 \pm 0.9^\circ\text{C}$ であった。酸化還元電位は A-1. RB の最高 -77.7 mV、A-5. LB の最低 -250.6 mV、平均は -136.2 ± 42.5 mV であった。マングローブ林の帯状構造の区域番号はヤエヤマヒルギが優占する 2 が 12 地点、オヒルギが優占する 3 が 4 地点であった。また、地上根の被度ランクは地上根が林床面積の 25-50% を占めるランク 2 が 4 地点、50-75% のランク 3 が 5 地点、75% 以上のランク 4 が 7 地点であった。

Table 5-1 Depth of the Creek, Number of Individuals, Sediment Temperature, ORP, Name of the First and Second Dominant Species, Zone Number, and Root Density Rank of Each Sampling Points of Creek A

Plot ID	Depth(m)	Number of <i>Polymesoda</i> spp.	Sediment temperature(°C)	Oxidation- Reduction Potential(mV)	First Dominant Species	Second Dominant Species	Zone Number	Root Density Rank
A-1.CL	0.25	0	-	-	-	-	-	-
A-1.RB	-	0	24.1	-77.67	-	-	-	-
A-1.LB	-	0	23.9	-82.33	-	-	-	-
A-1.R5	-	0	24.2	-87.92	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	2	2
A-1.R10	-	0	25.3	-118.67	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	2	2
A-1.L5	-	0	24.4	-115.50	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	2	2
A-1.L10	-	0	24.6	-122.75	<i>R. stylosa</i>	<i>R. stylosa</i>	2	2
A-2.CL	0.25	0	-	-	-	-	-	-
A-2.RB	-	0	24.3	-97.08	-	-	-	-
A-2.LB	-	0	24.6	-106.25	-	-	-	-
A-2.R5	-	3	24.5	-110.17	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
A-2.R10	-	0	24.8	-96.92	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
A-2.L5	-	1	24.6	-98.42	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	3
A-2.L10	-	0	25.4	-144.00	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	3
A-3.CL	0.10	0	-	-	-	-	-	-
A-3.RB	-	0	25.3	-125.92	-	-	-	-
A-3.LB	-	0	25.6	-147.17	-	-	-	-
A-3.R5	-	0	25.7	-145.33	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	4
A-3.R10	-	0	25.9	-125.00	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	4
A-3.L5	-	0	26.6	-170.92	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	4
A-3.L10	-	1	26.8	-170.83	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	3
A-4.CL	0.02	0	-	-	-	-	-	-
A-4.RB	-	0	25.7	-169.83	-	-	-	-
A-4.LB	-	0	26.6	-160.58	-	-	-	-
A-4.R5	-	0	26.0	-140.08	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	4
A-4.R10	-	1	26.5	-174.92	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	3
A-4.L5	-	1	26.3	-159.67	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	3
A-4.L10	-	2	26.1	-104.67	<i>R. stylosa</i>	<i>B. gymnohiza</i>	2	4
A-5.CL	<0.01	0	-	-	-	-	-	-
A-5.RB	-	0	25.7	-238.50	-	-	-	-
A-5.LB	-	0	25.7	-250.58	-	-	-	-

クリーク B について (Table 5-2) は、最高土壌温度は B-5. L10 の 25.8°C 、最低は B-9. R5 の 20.9°C 、平均は $23.4 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ であった。酸化還元電位は B-6. L5 で最高 -39.5 mV 、B-9. RB で最低 -321.1 mV 、平均は $-118.6 \pm 57.5 \text{ mV}$ であった。マングローブ林帯状構造の区域番号はヤエヤマヒルギが優占する 2 が 2 地点、オヒルギが優占する 3 が 22 地点、アダンが優占する 4 が 2 地点であった。地上根の被度ランクは、地上根が林床面積の 25-50% を占めるランク 2 が 4 地点、50-75% のランク 3 が 18 地点、75% 以上のランク 4 が 4 地点であった。

Table 5-2 Depth of the Creek, Number of Individuals, Sediment Temperature, ORP, Name of the First and Second Dominant Species, Zone Number, and Root Density Rank of Each Sampling Points of Creek B

Plot ID	Depth(m)	Number of <i>Polymesoda</i> spp.	Sediment temperature(°C)	Oxidation- Reduction Potential(mV)	First Dominant Species	Second Dominant Species	Zone Number	Root Density Rank
B-1.CL	0.45	0	-	-	-	-	-	-
B-1.RB	-	0	24.5	-54.58	-	-	-	-
B-1.LB	-	0	24.8	-121.25	-	-	-	-
B-1.R5	-	0	23.5	-264.08	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-1.R10	-	2	22.8	-116.83	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-1.L5	-	0	23.2	-120.58	<i>R. stylosa</i>	-	2	3
B-1.L10	-	0	23.2	-145.17	<i>R. stylosa</i>	-	2	2
B-2.CL	0.20	0	-	-	-	-	-	-
B-2.RB	-	0	24.5	-117.92	-	-	-	-
B-2.LB	-	0	-	-	-	-	-	-
B-2.R5	-	0	22.8	-101.08	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-2.R10	-	0	22.6	-62.00	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-2.L5	-	1	23.0	-63.42	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-2.L10	-	0	22.8	-65.17	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-3.CL	0.50	0	-	-	-	-	-	-
B-3.RB	-	0	24.4	-139.50	-	-	-	-
B-3.LB	-	0	24.2	-114.75	-	-	-	-
B-3.R5	-	1	23.2	-82.42	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-3.R10	-	0	23.4	-103.58	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-3.L5	-	5	23.4	-55.58	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-3.L10	-	0	23.5	-99.42	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-4.CL	0.10	0	-	-	-	-	-	-
B-4.RB	-	0	24.7	-139.42	-	-	-	-
B-4.LB	-	0	24.5	-147.58	-	-	-	-
B-4.R5	-	9	24.6	-201.58	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	3
B-4.R10	-	2	24.8	-138.83	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	3
B-4.L5	-	2	24.5	-86.25	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
B-4.L10	-	1	24.5	-88.50	<i>B. gymnohiza</i>	<i>R. stylosa</i>	3	4
B-5.CL	0.03	0	-	-	-	-	-	-
B-5.RB	-	0	25.4	-152.67	-	-	-	-
B-5.LB	-	0	25.5	-186.00	-	-	-	-
B-5.R5	-	1	24.6	-179.67	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	4
B-5.R10	-	2	24.6	-87.33	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	4
B-5.L5	-	1	24.7	-110.33	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-5.L10	-	0	25.8	-149.08	<i>B. gymnohiza</i>	-	3	3
B-6.CL	0.04	0	-	-	-	-	-	-
B-6.RB	-	0	25.1	-138.33	-	-	-	-
B-6.LB	-	0	25.2	-189.58	-	-	-	-
B-6.R5	-	1	21.7	-87.92	<i>B. gymnohiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	3	3
B-6.R10	-	0	21.7	-40.00	<i>B. gymnohiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	3	3
B-6.L5	-	3	21.7	-39.50	<i>B. gymnohiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	3	3
B-7.CL	0.05	0	-	-	-	-	-	-
B-7.RB	-	0	22.2	-192.75	-	-	-	-
B-7.LB	-	0	22.2	-141.33	-	-	-	-
B-7.R5	-	2	21.6	-55.08	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnohiza</i>	4	2
B-7.L5	-	0	22.6	-80.00	<i>P. odoratissimus</i>	<i>B. gymnohiza</i>	4	2
B-8.CL	0.05	0	-	-	-	-	-	-
B-8.RB	-	0	22.1	-179.33	-	-	-	-
B-8.LB	-	0	22.2	-81.67	-	-	-	-
B-9.CL	0.20	0	-	-	-	-	-	-
B-9.RB	-	0	21.5	-321.08	-	-	-	-
B-9.LB	-	0	21.1	-50.33	-	-	-	-
B-9.R5	-	0	20.9	-70.58	<i>B. gymnohiza</i>	<i>P. odoratissimus</i>	3	2
B-10.CL	0.02	0	-	-	-	-	-	-
B-10.RB	-	0	21.2	-96.17	-	-	-	-
B-10.LB	-	0	21.4	-79.75	-	-	-	-

クリーク A では全調査地点 31 地点のうち 6 地点で合計 9 個体が採集された。Fig. 5-3 はそれぞれのクリークで採集されたヒルギシジミ類の殻長の度数分布を表したものである。個体の平均殻長は 90.9 ± 11.4 mm であった。クリーク B では全調査地点 56 地点のうち 14 地点で合計 33 個体が採集され、採集された個体の平均殻長は 89.9 ± 12.0 mm であった。

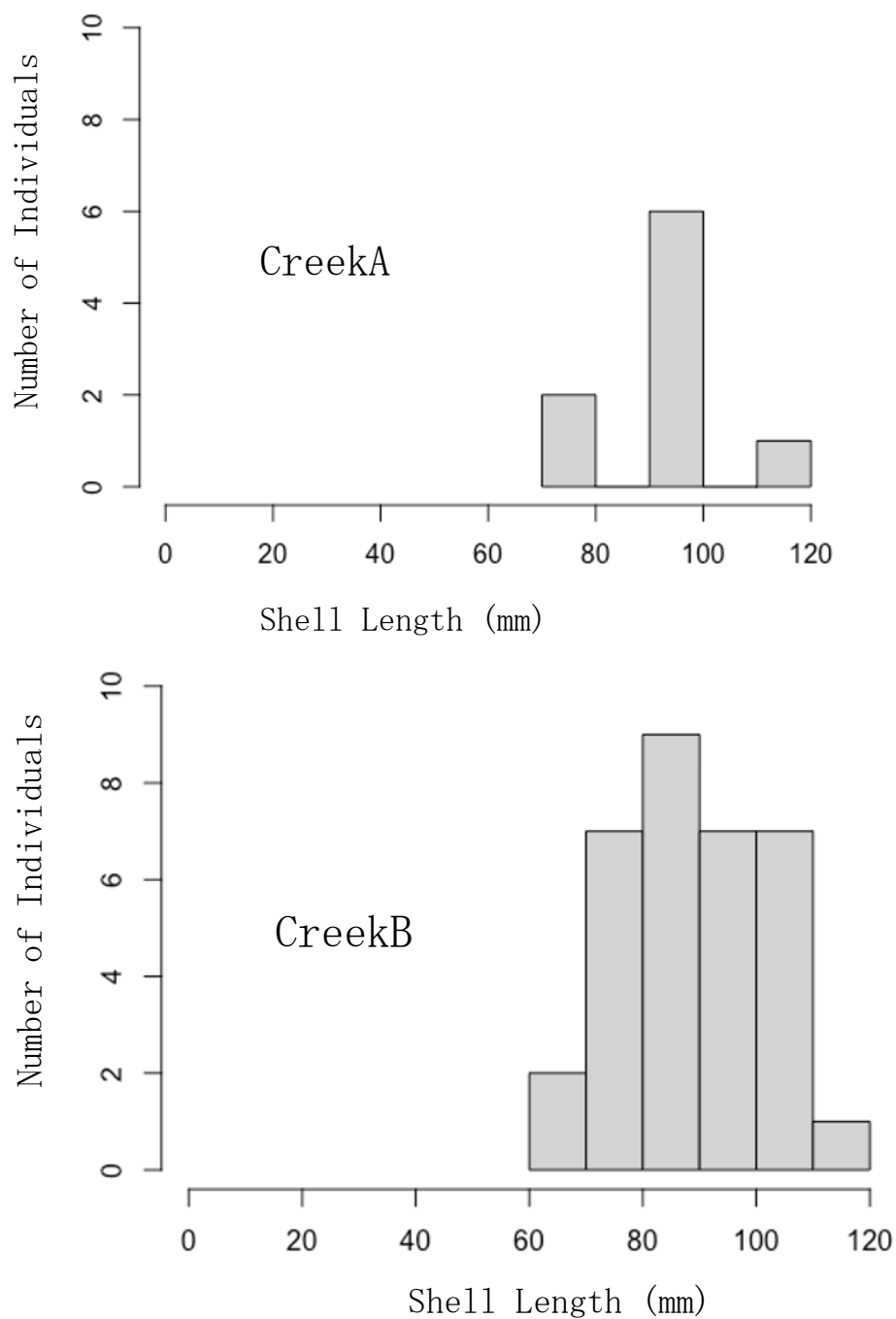


Fig. 5-3 Size composition of *Polymesoda* spp. of Creek A and B

5-5. 考察

5-5-1. マングローブ林内におけるクリークの位置とヒルギシジミ類の空間分布パターンとの関係

2本のクリークそれぞれのヒルギシジミ類の空間分布パターンを図示したところ Fig. 5-4 のように表された。採集された個体数はクリーク A では1地点あたり 0.29 個体、クリーク B では 0.59 個体であり、クリーク B の個体数の方がクリーク A に比べ約 2 倍多かった。次にクリーク A とクリーク B で採集された個体の殻長を比較したところ (Fig. 5-5)、2本クリークの間には有意な差は確認されなかったため ($t(40)=0.23$, $P=0.82$)、殻長 60 mm から 120 mm のサイズの個体が偏りなく分布していることが示された。

クリーク A はクリーク B に比べ海側に位置するため、ヤエヤマヒルギが優占する地点が多く、クリーク B はクリーク A より陸側に位置するため、オヒルギが優占する地点が多くなっていた。ヒルギシジミ類はマングローブ林内に一様に分布するわけではなく、主にオヒルギが優占するようなマングローブ林の中間地帯により多くの個体が生息する傾向がある (Washitani and Shibata, 2022) ため、クリーク A よりクリーク B の方で 2 倍もの個体が採集されたものと推察された。

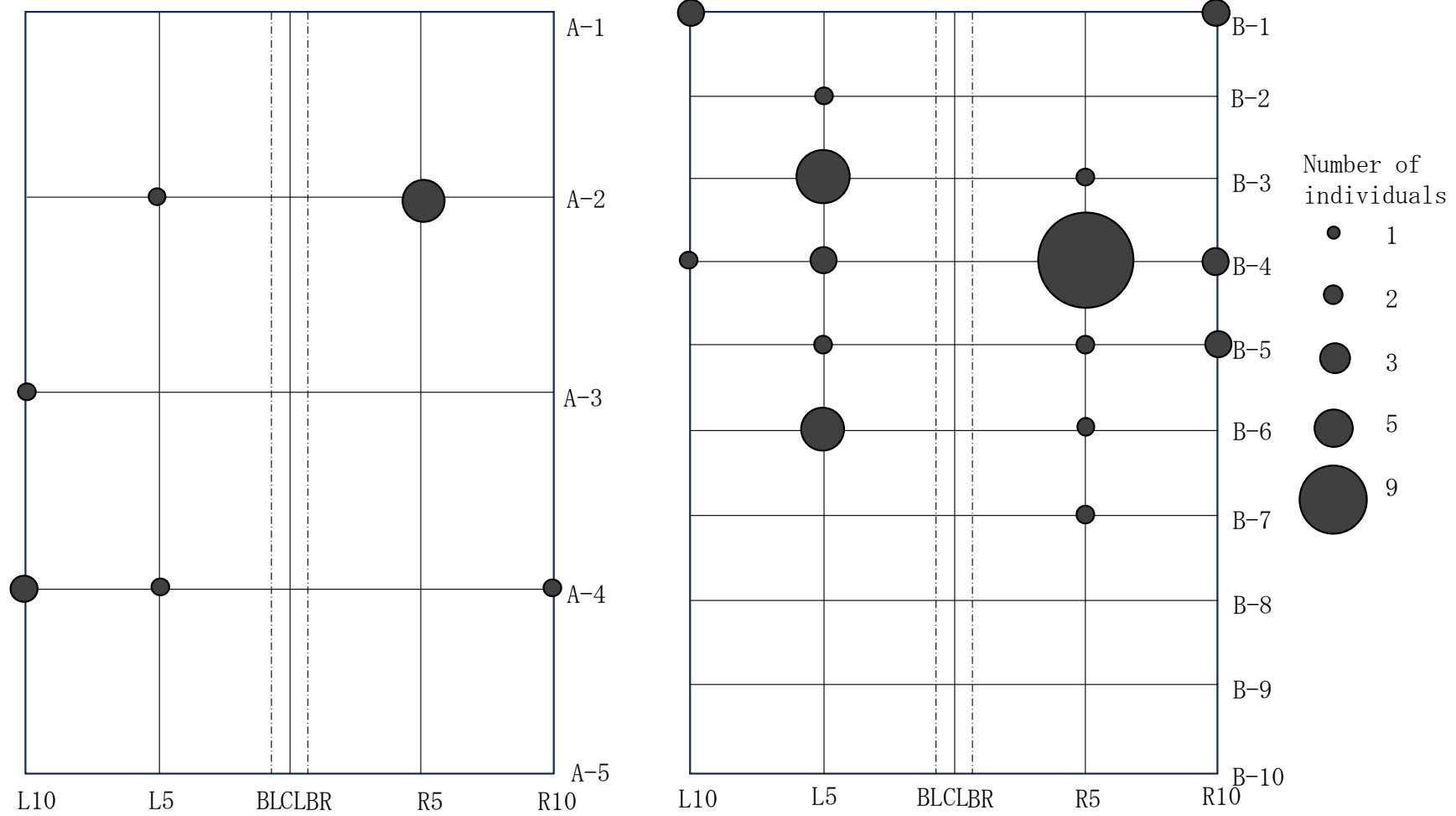


Fig. 5-4 Spatial Distribution of Creek A (left) and B (right)

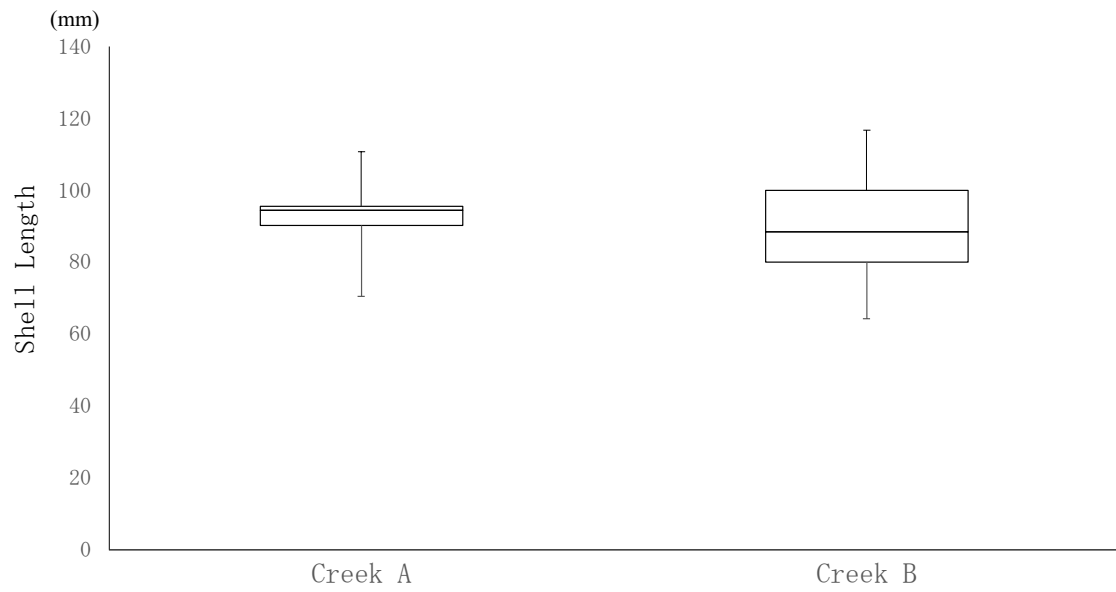


Fig. 5-5 Comparison of the size of *Polymesoda* spp. between Creek A and Creek B

5-5-2. クリークからの距離とヒルギシジミ類の空間分布パターンの関係

ヒルギシジミ類は 2 本のクリークのいずれにおいても流心部，右岸，左岸のいずれの地点からも採取されず，クリークから 5 m および 10 m の地点で採取された．そこで，2 本のクリークの 5 m 地点データ，10 m 地点のデータをそれぞれ統合し，5 m 地点と 10 m 地点のデータを比較したところ，採集された個体数は 5 m 地点では 31 個体，10 m 地点では 11 個体であった．次に 5 m 地点と 10 m 地点で採集された個体の殻長を比較したところ (Fig. 5-6)，5 m 地点と 10 m 地点で個体サイズに有意な差は認められなかった．以上から，クリークからの距離と個体サイズの間には関係が見られないが，空間分布パターンとの間には関係があることが推察された．

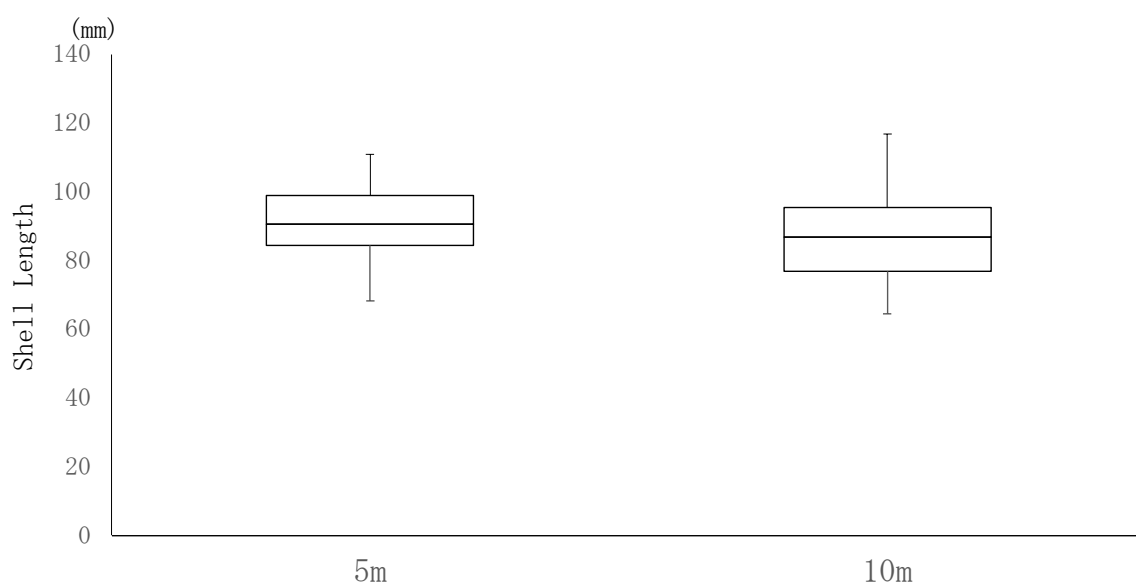


Fig. 5-6 Comparison of the size of *Polymesoda* spp. between 5 m and 10 m plots

Vreugdenhil et al. (2013)やWösten(2013) は、マングローブ林を流れるクリークは、満潮時には海水を陸側へ運び、干潮時には淡水を陸側から海側へ供給する重要な役割を果たしていると述べている。クリークによる水の循環は土壌塩分をマングローブの生育に相応しい程度に保つ機能や、土砂が堆積することを防ぐ機能を有する。南カリブ海のボネール島のマングローブ林では、水の循環が制限されたことにより土壌塩分が高くなったことや、土砂が流れ出ず林内に堆積したことによってマングローブが枯死したエリアがあった。ボネール島の研究事例では、水循環を円滑にするためにクリークを整備したことによって、林床環境が改善した結果、マングローブ林が回復したと報告されている (Vreugdenhil et al., 2013; Wösten, 2013)。今回の本調査地においても、クリークの存在がマングローブ林の水循環に重要な役割を果たしていることが類推された。

干潮時には陸側からクリークによってマングローブ林内に常に淡水が供給されるため、クリーク中央部と左右岸では塩分の低い水に長時間曝されることが推測される。ヒルギシジミ類は淡水または低塩分水では短期間で死滅したと報告されている (Clemente, 2007; Washitani et al., 2017)。そのため、本研究においてクリーク中央部、右岸、左岸でヒルギシジミ類が採集されなかったのは、これらの地点では水中の塩分が低い状態が長時間継続し、ヒルギシジミ類の生息に適さない水環境であったためと推定された。このことは、第4章の結果からも裏づけられている。

一方、クリークから5 m, 10 m離れた地点では多くの個体が採取された。ヒルギシジミ類は塩分が急激に変化せず、高塩分水に曝されない環境に生息する傾向が高いことが Washitani, et al. (2017) によって示唆されている。Susilo et al. (2005) によって行われた研究によると、クリーク付近の土壌中では間隙水はクリークによってもたらされる水と交換されていることが明らかにされている。さらにその交換率は、クリークから5 ~ 10 m離れた地点と比べ、0 ~ 5 mの地点では2倍高く、クリークから10 m以上離れると交換率はおおよそ一定となっていた。土壌中の水がクリークからもたらされる水と交換される際、土壌中に含まれるさまざまな物質も交換されるが、塩分も例外ではない。土壌から塩分が除去され淡水が供給されることにより、土壌中の塩分は低下する。Susilo et al. (2005)の結果から、今回の調査においてクリークから10 m離れた地点よりも5 m離れた地点で多くの二枚貝が採集されたのは、土壌中の塩分がヒルギシジミ類の生息に適した濃度に保たれていたためであると考えられた。

また、クリークに近い地点でより多くの個体が採集された要因にはヒルギシジミ類の生活環も考慮する必要がある。ヒルギシジミ類と同じシジミ科に属し、汽水域に生息するヤマトシジミは、浮遊幼生期、着底稚貝期を経て成貝となる(田中, 1984)。勢村ほか(2014)が宍道湖で行った調査結果によると、底層には初期浮遊幼生期の個体が多く、上層には後期浮遊幼生期の個体が多く存在することが明らかにされている。浮遊後期に上層に多くの個体が存在したのは、酸素欠乏を回避したことに加え、表層の流れに乗って適切な生息地に到達する機会があったためであると推測されている。Clemente(2007)によると、

ヤエヤマヒルギシジミも産卵後、浮遊幼生期、着底稚貝期を経て成貝になる。そしてGimin(2005)がオーストラリアで行った研究では、マングローブ林が長期間にわたって浸水する雨季の中期から後期にかけて、ヤエヤマヒルギシジミがより頻繁に産卵することが明らかにされている。水量が増す時期に産卵することにより、幼生期および着底稚貝期に豊富な水の流れに乗って確実に分布を広げているものと考えられる。これらの先行研究結果より、本研究対象地においてもヒルギシジミ類浮遊幼生は引き潮の流れに乗ってマングローブ林内から河口へと移動し、浮遊幼生期後期には塩水と共にクリークの流れに沿って遡上してマングローブ林内へと拡散していくことが推測される。そのため、クリーク付近に着底する個体が多くなるのではないかと考えられる。

以上より、クリークの位置とヒルギシジミ類の空間分布には関係がある可能性が認められた。すなわち、ヒルギシジミ類はマングローブ林内でオヒルギが優占する帯状構造の中間帯において、クリークからの距離が比較的近く、淡水に長時間曝されない環境下で多く生息していた。クリークはマングローブ林内の環境だけでなく、そこに生息するヒルギシジミ類にも影響を与えているものと考えられる。

第6章 総合考察

本章では第2章から第5章の研究結果から、ヒルギシジミ類の生息に適した環境についてまとめ、国内外のマングローブ林再生事業の事例を参考にして、ヒルギシジミ類の生態系管理の具体的な手法について検討する。

6-1. ヒルギシジミ類の分類

Morton(1976, 1984)によってヒルギシジミ類は、ヤエヤマヒルギシジミ、リュウキュウヒルギシジミ、*G. bengalensis*の3種がヒルギシジミ属に属していることが明確にされた。そのうちヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの生息地は重なっていることが明らかにされている。ヒルギシジミ類の生息環境を把握するためには、本来はこれら2種を区別し、それぞれの生息環境を詳細に調べなければならない。しかしながら、Morton(1984)はこれら2種の判別を外形の特徴から行うことは非常に困難であると言及しており、ヒルギシジミ類の分子系統分析を行ったNdobe et al. (2023)も同様の考察を行っている。これまでにヒルギシジミ類の形態的特徴と分子系統分析を合わせて行った研究は存在せず、これら2種の明確な種判別の可否について調べられた事例はなかった。本研究を行うにあたり、この2種の種判別の可否を検証することは最優先課題であると考えた。西表島、石垣島、奄美大島で採集した標本の形態的特徴を整理し、mtDNAのCOI領域の塩基配列を調べたところ、これらの2種の種判別はこれまで正確に行われていないことが明らかになった(Fig. 2-2)。また、外形の形態的特徴も様々であり、これまでに整理された特徴のみで2種を外形の特徴から判別することは不可能であると結論づけられた。そのため、本研究ではこの2種をヒルギシジミ類としてまとめて取り扱った。

6-2. ヒルギシジミ類の分布適地

ヒルギシジミ類は西表島の浦内川の感潮域の下流から上流の広い範囲に点在しているマングローブ林内に生息していることが第3章第1節で明らかになったが、それと同時にマングローブ林であればどこにでも生息しているわけではないことが示された。続く第2節ではマングローブは海側から陸側へと植生が帯状に変化していく特徴をもつことから(Watson, 1982; Macnae, 1968; Tomlinson, 1994)、植生パターンによってヒルギシジミ類の空間分布パターンが説明できるのではないかと考えられた。また、マングローブの地上根は林床でヒルギシジミ類の流出を防ぐ役割を果たしている可能性があるため、地上根が

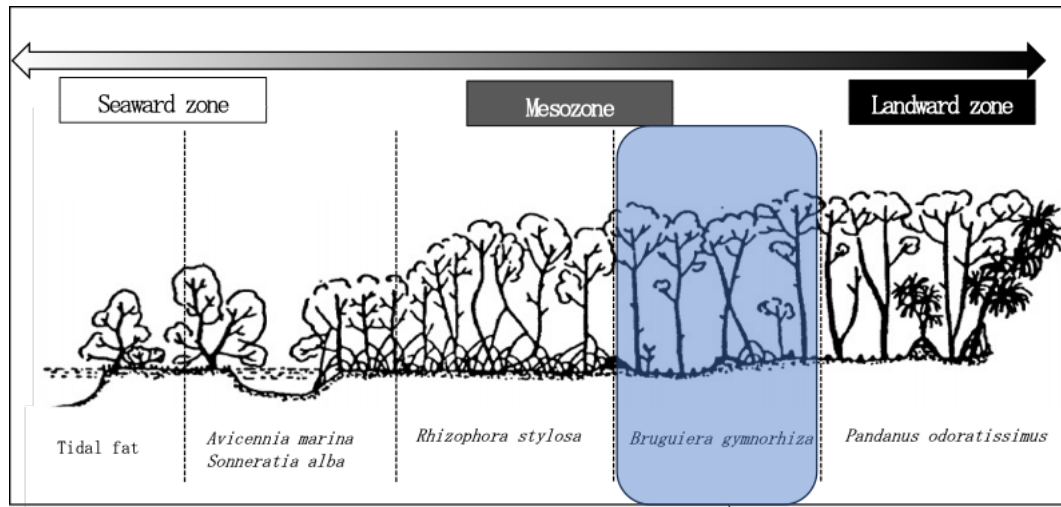
林床を覆う被度との関係も合わせて調べた。その結果、ヒルギシジミ類はオヒルギが優占するマングローブ林中間帯で多く生息しており、その林床を覆う地上根の被度は 50%以上であることが望ましいことが示唆された。この結果は西表島のヒナイ川、ニシダ川、後良川においても同様であったため、広く適用できる可能性があると考えられた。

6-3. ヒルギシジミ類の生存環境

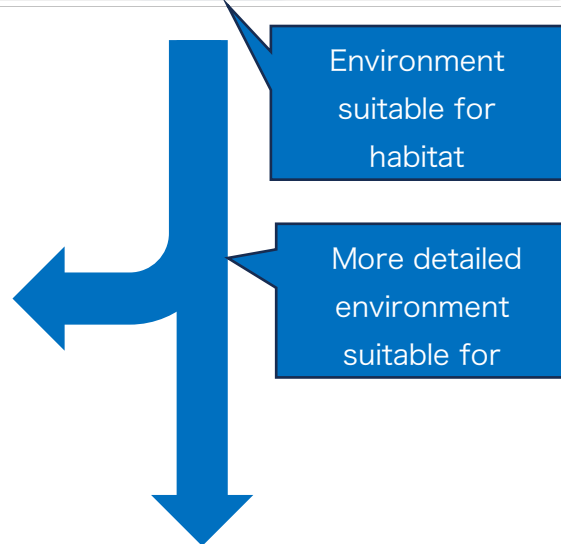
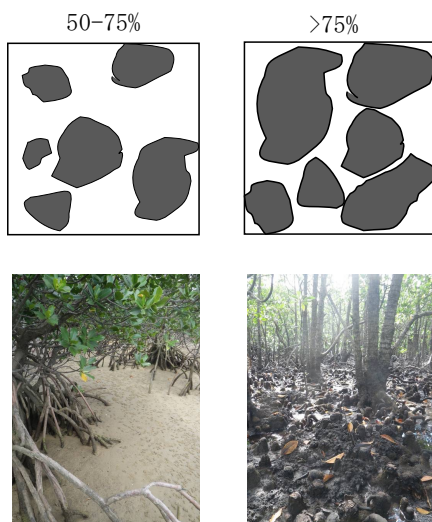
二枚貝は水中の塩分に合わせて血リンパ浸透圧を調節し (DoPaul and Webb, 1971; Florkin and Bricteaux-Gregorie, 1972; Pierce, 1971; Gainey and Greenberg, 1977; Baginski and Pierce, 1978; Gainey, 1978; Livingstone et al., 1979; Henry and Mngum, 1980; Deaton et al., 1985; Pierce et al., 1992; Dragolovoch, 1994), 急激な変化が起きた際には殻を閉じて軟体部を守る (村地・古川, 1958) 性質を持つことなどから、水中の塩分は二枚貝の生命維持に大きな影響を与えることが明らかにされている。これらの先行研究結果と第 4 章で行ったフィールド実験結果により、塩分が激しく変化せず、高塩分水にも曝されないオヒルギが優占するエリアがヒルギシジミ類の生息環境として適していると推察された。さらに、マングローブ林内を湿潤に保つだけでなく、土壌中の塩分変化に影響を与えるクリーク (Vreugdenhil et al., 2013; Wösten, 2013) の位置と、ヒルギシジミ類の空間分布パターンとの間には関係があることが第 5 章の結果から推測された。

以上より、高塩分水に曝されず、塩分が激しく変化しないオヒルギが優占するマングローブ林の中間帯エリアで、林床を覆う地上根の被度が 50%以上である環境がヒルギシジミ類の生息環境として適していることが示唆された。これらに加え、クリークの縁から 5m 程度離れた地点までのエリアは、ヒルギシジミ類にとってはさらに好適な環境であると考えられた (Fig. 6-1)。

- Vegetation -



- Root Density -



- Microenvironment -

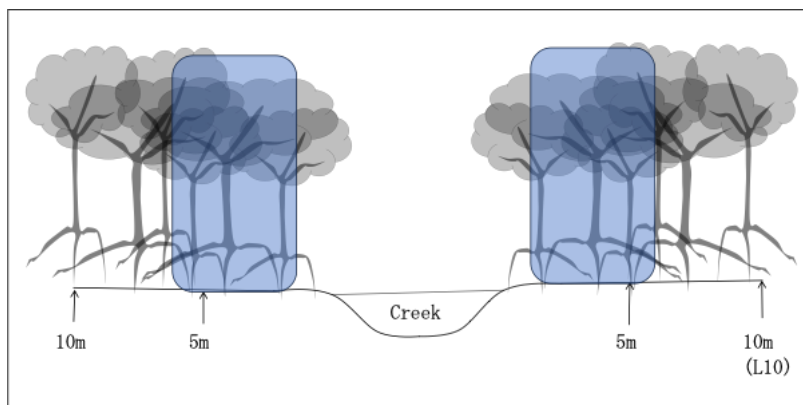


Fig. 6-1 Environment suitable for habitat of *Polymesoda* spp.

6-4. 地球規模の環境変化とヒルギシジミ類を含めたマングローブ生態系保全の意義

近年、海洋の酸性化は地球規模の気候変動問題と共に解決すべき環境問題のひとつとして注目されている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告書(2007)では、1750年から1994年にかけて海洋表層のpHは0.1低下したと報告されており、第6次報告書(2021)においては今世紀末には19世紀末より0.16～0.44低下すると予測されている。海洋の酸性化が進行すると、殻の主成分が炭酸塩である二枚貝は大きな影響を受け、やがて食物連鎖上位の生物種も影響を受けることによって、水産業が多大な損害を受けることが懸念されている。Midorikawa ほか(2010)は、東経137度、北緯3度～33度の観測地点において、1983年から2007年の海洋表層のpHの平均低下速度は冬季には $0.0018 \pm 0.0002 \text{ yr}^{-1}$ 、夏季には $0.0013 \pm 0.0005 \text{ yr}^{-1}$ であったと述べている。この観測地点はヒルギシジミ類の分布域であるインド・太平洋西側エリアに近く、既にヒルギシジミ類の分布域でも海水の酸性化が進行していると類推される。

海洋酸性化の主要因は二酸化炭素濃度の増加であると指摘されている。植物は呼吸によって炭素を吸収した後、器官内に貯留する。さらに、一部はリター(落葉落枝)として土壌中にも蓄えられる。特にマングローブ生態系の炭素貯留量については高く評価されており、これまでは植物のみが注目されていたが、相馬ほか(2020)によると、マングローブ生態系の炭素貯留の主要因はマングローブの純生産および底生生物の殻生成であると述べられている。地球規模の環境問題を解決するためには、マングローブ林の保全だけでなく、炭素貯留量の大きいヒルギシジミ類などの底生生物の保全を行うことも重要である。

また、酸性土壌に曝される環境下で生息しているヒルギシジミ類は、殻が酸に侵食されると殻の内側に保護膜を生成し、軟体部を保護する性質を持つ。この性質は他の二枚貝には見られず、酸性環境下で生残するために獲得した特異な性質である(Isaji, 1993, 1995)。水産価値の高い二枚貝が海洋酸性化の影響を受けることが懸念されているが、他の二枚貝に比べヒルギシジミ類が受ける影響は小さいと推測される。炭素貯留のためだけでなく、食糧資源として有用なヒルギシジミ類の保全や資源管理を行う意義は大きい。

陸からの淡水供給と潮汐による塩分勾配によって海から陸へと植生が帯状に変化していくマングローブ林内では、帯状区分ごとに様々な生物種が生息している。河口から上流側の連続性、河岸から陸側への連続性、小規模な水の流れ(クリーク)から林床内部への連続性という複数の方向のベクトルが保たれることで、1つの河川流域の豊かなマングローブ生態系が成立するのである。局所的にマングローブ林面積を確保するだけでは、海洋酸性化等の地球規模で生じている環境問題の解決には至らない。世界中の多くの地域において、ヒルギシジミ類のような炭素貯留に貢献する底生生物を含む多種多様な動植物が生息できる豊かなマングローブ生態系が成立することで、二酸化炭素濃度増加による海洋酸性化は緩和されていくと考えられる。

6-5. ヒルギシジミ類の保全

第1章で述べたように世界のマングローブ林面積の減少率は、年々小さくなっているものの、未だ減少傾向から抜け出せていない。日本においては、総面積は変化していないとFAO(2007)によって報告されているが、国内のマングローブ林の状態を詳細に調べていくと、全てが健全な環境であるとは言えない。一例を挙げると、沖縄本島の慶佐次川では上流の農地開拓によって赤土が流出し、マングローブ林内に堆積した結果、マングローブ林内の水路が埋まり、陸化が進んでいることが示されている。陸化の進行によって林内の底生生物相は、2010年時に比べて2014年には陸生生物の割合が増加したことが明らかにされている(沖縄県環境再生課, 2017a, https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/saisei/documents/03_h28gyomuhokoku.pdf, 2023. 10. 10)。この河川流域のマングローブ林内にはヤエヤマヒルギシジミが生息していることが報告されており(沖縄県, <https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/saisei/documents/gesasi05.pdf>, 2023. 10. 10), ヤエヤマヒルギシジミの個体群もその影響を受けていることが懸念される。

沖縄県ヒルギ林内生態系再生モデル事業では、慶佐次川からマングローブ林内に流れ込む水路の一部において、堆砂によって埋没していた箇所を掘削し、水の流れを確保する事業が実施された。掘削実施後には水流が増加した箇所も確認されており、堆砂の状況も改善されることが期待されている(沖縄県, 2017b, https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/saisei/documents/07_h28gyomuhokoku.pdf, 2023. 10. 10)。マングローブ林内の水の流れ(クリーク)はヒルギシジミ類の生息にとっても非常に重要な要素であることは第5章によって述べたとおりである。慶佐次川のヒルギシジミ類の個体数を維持していくためには、現在のヒルギシジミ類の分布状況を詳細に調査した上で、土壌を掘削し確保された水路のうち地上根の生育状況の良いオヒルギが優占するエリアにおいて、本種を水路から約5 m以内の範囲に移動させることを提案する。これにより現在生息している個体数の維持のみならず、クリークの流れを利用した新規個体の加入による個体数の増加が期待される。

6-5. ヒルギシジミ類の再導入と資源管理

現在日本国内外を問わず多数のマングローブ林の再生計画が進められている。各地でマングローブの植林が行われているが、成功事例は多くない(Marchand, 2008)。インドの西ベンガル州では1989年から1995年の間にマングローブが植林されたが、植林後に生残したのは約1.52%であった(Lewis, 2005)。ベトナム北部のザントウイアン・ティエン・ハコースタル保護区においては、植林を施したものの、生残率は低くマングローブ林が断片化したと報告されている(Seto & Fragkias, 2007)。仮に植林後に生残したとしても、ヒルギシジミ類の生息に適した林床を提供するオヒルギは樹高9~12 m、胸高直径23-30 cmに達するまでに15年を要するとされており(Walsh, 1974)、地上根の被度が50%を超える

ようなヒルギシジミ類の生息に適した林床環境になるまでには、長い年月が必要となる。植林直後のマングローブ林は地上根も発達しておらず、何も対策を講じず直ちにヒルギシジミ類を再導入することはできない。最も確実な方法は、ヒルギシジミ類の生息に適した林床環境に発達するまで待つことであるが、それまでに再導入を試みる必要がある場合は、人工的にヒルギシジミ類の生息に適した林床環境を整備することを提案する。本研究の第3章で示されたように、林床面積の50%以上を地上根が占めるような環境ではヒルギシジミ類の出現率が高い。柿野(2006)はノリ養殖用の杭のような海中の障害物がアサリの流出を防いでいる可能性について述べており、マングローブの地上根はヒルギシジミ類の流出を防ぐトラップのような役割を担っていると考えられる。そこで、間伐材のように資源を有効活用できる素材を利用した杭を用い、人工的に地上根が林床面積の50%を超えるような環境を整える。Fig. 6-2のような直径100 mm、高さ300 mmの杭を深さ100 mmまで打ち込み、林床面積に対して50%以上が杭面積となるよう各杭の間を200 mmずつ空けて杭を打ち込む。流出を防ぐため隣り合う列をずらして打ち込み、生じた空間にヒルギシジミ類を入れる(Fig. 6-3, 6-4)。この手法で1平方メートルに杭を打ち込んでいくと64本の杭が打ち込まれ、49個体のヒルギシジミ類を飼育することが可能となる。このように杭を用いて人工的に作り出した環境はヒルギシジミ類だけでなく、魚やエビが生息する漁礁の役割を果たすことも期待される。

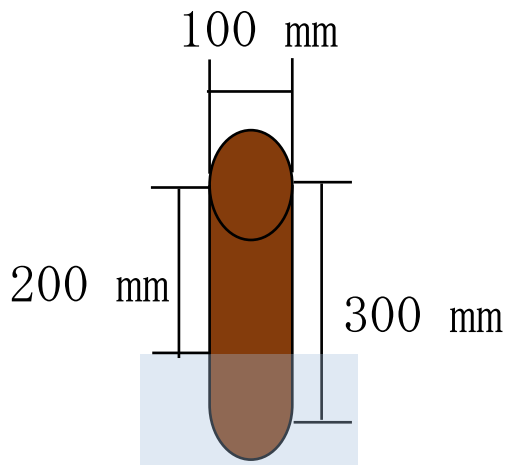


Fig. 6-2 Schematic diagram of a pile

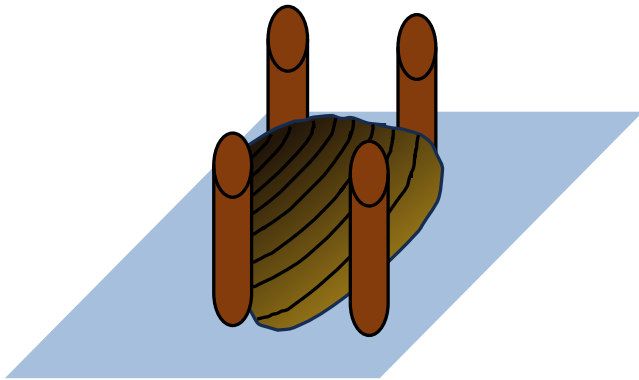


Fig. 6-3 Schematic diagram of *Polymesoda* spp. placed between piles

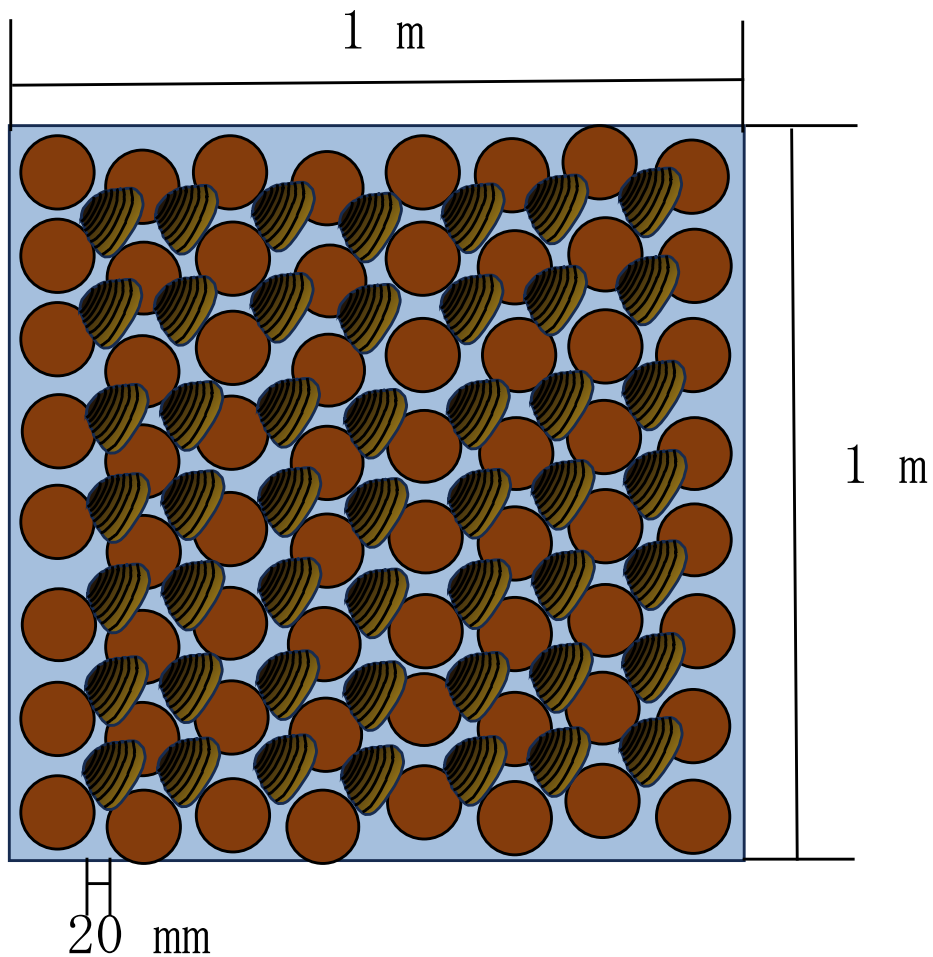


Fig. 6-4 Schematic diagram of sixty-four piles driven per square meter

Duisan et al. (2021) は, *Polymesoda erosa* の生殖腺を個体サイズ間で比較したところ, 殻長 55.0 mm から 84.9 mm の個体の生殖腺が活発な状態であったことを報告している. すなわち, 殻長 55.0 mm 以下では生殖腺が未発達であり, 84.9 mm を超えると生殖腺が不活性化するため繁殖に不適であることから, 殻長 55 から 84.9 mm の個体から人工的に種苗を採集し, ある程度の大きさに成長するまで水槽や目合の細かい籠に入れて飼育する. 長期間飼育を行うことはコストを要するため, 可能な限り早い段階で自然環境下での飼育に切り替えることが望ましい. Fig. 6-4 に示したような環境では, 殻長 20 mm 程度を超えると杭の間をすり抜けて流出する可能性が低くなると考えられるため, 殻長が 20 mm を超えた個体は Fig. 6-3 および 6-4 のように杭の間に土壌に埋めるように置いて飼育を行う. 新規個体を確保しつつ, 殻長の大きな個体から食糧資源として利用するような方法で持続可能な資源管理を行うことが必要であると考えられる.

ベトナムのフエ市東部のタムジャンラグーンにはマングローブ林が存在していたが, 無計画な木材の生産や養殖池の造成により, その面積は約 4.8 ha まで減少した. そこで本来のマングローブ生態系を取り戻すべく, 2012 年よりマングローブの植林事業が行われている (WWF, <https://wwf.panda.org/es/?224233/WWF-and-Microsoft-joined-forces-to-help-local-people-in-Thua-Thien-Hue-adapt-to-climate-change-impacts-and-have-more-secure-livelihoods-Vietnam>, 2014.06.05). 2010 年にベトナム・フエ市のフォン川からタムジャンラグーン周辺で行われたシジミ漁従事者に対する聞き取り調査により, 調査当時に主要な漁獲対象種であったタイワンシジミ *Corbicula fulminea* 以外に, かつてはマングローブに生息する大型のシジミ (ヒルギシジミ類と推定) も主要な漁獲対象種であったことが明らかにされている (鷲谷未発表). ベトナムの他の地域においてはヒルギシジミ類の生息が報告されており (Thao, 2019), この地域でも生息していた可能性は高いと推測される. かつてこの地域のマングローブ林に生息していた可能性が高く, 漁獲対象種として有益なヒルギシジミ類をこの再生林に再導入することはマングローブ生態系の保全だけでなく経済的にも利点があると考えられる. そのためには, まず, ラグーン内での生残個体の確認を行うことが肝要である. マングローブ林でなくても, 水中の塩分が適切であり, 植物由来のデトリタスが供給される環境下であればヒルギシジミ類は生残している可能性はあると考えられる. それらの生残個体を確保し, マングローブ林内の適切な場所に放流する. 生残個体が確保出来なかった場合には, 伝統的なシジミ漁文化を継承するために, 近隣のマングローブ林からヒルギシジミ類を移植することも提案したい.

6-6. 今後の課題

以上のような生態系管理を行うためには, 未だ多くの課題が残されている. まずヤエヤマヒルギシジミとリュウキュウヒルギシジミの分類を整理しなければならない. その上で, それぞれの種の成長段階ごとの空間分布パターンを把握する必要がある. 本研究にお

いては稚貝の採集も試みたが、いずれの地点からも採集されなかった。今後は調査範囲を広げて浮遊幼生や稚貝の動態を調べ、ヒルギシジミ類の成長段階ごとの空間分布パターンを明らかにし、さらに具体的な保全や再導入等の方法を提案していくことが課題として残されている。

引用文献

- 赤松良久, 池田駿介, 中嶋洋平, 戸田祐嗣(2002). 現地観測に基づくマングローブ水域における有機物・栄養塩輸送に関する研究 大潮期に着目して. 土木学会論文集 2002 年, 698, Pp. 69-80.
- Allen, H. R. (1987). Holocene mangroves and middens in northern Australia and Southeast Asia. Bulletin of the Indo-Pacific Prehistory Association 7. DOI:10.7152/bippa.v7i0.11248.
- Baginski, R. M., Pierce, S. K. (1978). A comparison of amino acid accumulation during high salinity adaptation with anaerobic metabolism in the ribbed mussel, *Modiolus demissus demissus*. J Exp Zool 203: 419-428.
- Bertness, M. D.; Gaines, S. D.; Wahle, R. A. (1996). Wind driven settlement patterns in the acorn barnacle *Semi Balanus balanids*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 137: 103-110.
- Boulding, E. G. (1984). Crab-resistant features of shells of burrowing bivalves: decreasing vulnerability by increasing handling time. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 76(3):201-223.
- Carter, M. (2014). Subsistence Shell Fishing in NW Santa Isabel, Solomon Islands., Ethnoarchaeology and the Identification of Two *Polymesoda* (Solander 1786) Species. Archaeological. Ethnographic and Experimental Studies 6: 40- 60. DOI: 10.1179/1944289013Z.00000000013.
- Clement, S. (2007). Ecology and population dynamics of the mangrove clam *Polymesoda erosa* (Solander 1876) in the mangrove ecosystem. Goa University, Goa India.
- Clemente, S., Ingole, B. (2009). Gametogenic development and spawning of the mud clam, *Polymesoda erosa* (Solander, 1876) at Chorao Island, Goa. Marine Biology Research 5: 109-121.

- Clemente, S., Ingole, B. (2011). Recruitment of mud clam *Polymesoda erosa* (Solander, 1876) in a mangrove habitat of Chorao Island, Goa. *Braz J Oceanogr* 59:153-162.
- Dahdouh-Guebas, F., Pulukkuttige, J. L., Nitto, D. D., Bosire, J. O., Seen, D. L., Koedam, N. (2005). How effective were mangroves as a defense against the recent tsunami?. *Current Biology*, 15(12), R443-R447.
- Deaton, L. E., Hilbish, T. J., Koehn, R. K. (1985). Hyperosmotic volume regulation in the tissues of the mussel *Mytilus edulis*. *Comparat Biochem Phy* 80: 571-574.
- Dolorosa, R. G., Galon, F. G. (2014). Population Dynamics of the Mangrove Clam *Polymesoda erosa* (Bivalvia: Corbiculidae) in Iwahig, Palawan, Philippines. *International Journal of Fauna and Biological Studies*, 1: 11-15.
- DoPaul, W. D., Webb K. L. (1971). Salinity-induced changes in the alanine and aspartic aminotransferase activity in three marine bivalve mollusks. *Archives Internationales de Physiologie et Biochimie* 82 : 817-822.
- Dragolovich, J. (1994). Dealing with salt stress in animal cells: the role and regulation of glycine betaine concentrations. *J Exp Zool* 268: 139-144.
- Duisan, L., Salim, G., Soon, T. K., Ransangan, J. (2021). Sex Ratio, Gonad and Condition Indices of Mangrove Clam, *Polymesoda (Geloina) erosa* (Bivalvia: Corbiculidae) in Marudu Bay, Sabah, Malaysia: Implication for Broodstock Selection in Artificial Breeding Program. *Journal of Fisheries and Environment* 45(1): 106-119.
- Flores, C. (2009). Shell middens in a Pacific Island village, Baraulu, Roviana Lagoon, Western Solomon Islands. *The Magazine of the Society for American Archaeology* 9 (5): 19-21.
- Florkin, M., Bricteaux-Gregoriws, S. (1972). Nitrogen metabolism in mollusks. In "Chemical Zoology vol VII" Ed by M Florkin, BT Scheer, Academic Press, New York.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations.(2007). The world's mangroves 1980-2005. FAO Forestry Paper 153. ISBN: 978-92-5-105856-5.
- 福原修, Wapsada, 梅澤敏, 野上和彦(1986). サルボウ養殖種苗の塩分耐性. 南西海区水産研究報告 20, Pp1-12.
- 福岡雅史, 南條楠土, 佐藤守, 河野裕美(2010). 西表島浦内川のマングローブ域におけるシレナシジミ *Geloina coaxans* の分布特性. 東海大学海洋研究所研究報告 31:19-29.
- Furukawa, K. and Wolanski, E. (1996). Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves and Salt Marshes* 1(1): 3-10.
- Gainey, L. F. (1978). The response of the Corbiculidae Mollusca: *Bivalvia* to osmotic stress: the cellular response. *Physiol Zool* 51: 79-91.
- Gainey, L. F., Greenberg, M. J. (1977). Physiological basis of the species abundance-salinity relationship in mollusks: a speculation. *Marine Biology* 40: 41-49.
- Geospatial Information Authority of Japan(2022). (<https://maps.gsi.go.jp/>). 10th Oct. 2023.
- Gimin, R. (2005). Reproduction and Conditioning of the Mangrove Clam *Polymesoda* (*Geloina*) *erosa* (Bivalvia: Corbiculidae) (Solander, 1786). A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy Charles Darwin University.
- Hasan, U., Wahyuningsih, H., Jumilawaty, E. (2014). Density and growth pattern of mangrove clam *Geloina eros*a (Solander 1786) in mangrove ecosystems Belawan Jurnal Perikanan dan Kekautan 19(2).
- Henry, R. P., Mangum, C. P. (1980). Salt and water balance in the oligohaline clam, *Rangia cuneata*: I. Anisotonic extracellular regulation. *Journal of Experimental Zoology* 211: 1-10.

- Huber, M. (2015). Compendium of Bivalves 2. A Full-Color Guide to the Remaining Seven Families. A Systematic Listing of 8500 Bivalve Species and 10500 Synonyms. Conch Books, ISBN 9783939767633.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Isaji, S. (1993). Formation of organic sheets in the inner shell layer of *Geloina* (Bivalvia: Corbiculidae): an adaptive response to shell dissolution. The Veliger 36: 188-173.
- Isaji, S. (1995). Defensive Strategies against Shell Dissolution in Bivalves Inhabiting Acidic Environments: The Case of *Geloina* (Corbiculidae) in Mangrove Swamps The Veliger 38(3): 235-246.
- Ismail, H., Wahab, A. K. A., Alias, N. A. (2012). Determination of mangrove forest performance in reducing tsunami run-up using physical models. Natural Hazards 63(2), DOI:10.1007/s11069-012-0200-y.
- Jia, M., Wang, Z., Mao, D., Ren, C., Song, K., Zhao, C., Wang, C., Xiao, X., Wang, Y. (2023). Mapping global distribution of mangrove forests at 10-m resolution. Science Bulletin 68(12):1306-1316. DOI: 10.1016/j.scib.2023.05.004.
- 柿野純 (2006). アサリの減耗に及ぼす物理化学的環境の影響に関する研究. 日本水産工学会 43(2): 117-130.
- 環境省 「重要湿地」 No. 631 浦内川
(https://www.env.go.jp/nature/important_wetland/wetland/w631.html)・10th Oct. 2023.

Krauss, K. W., Allen, J. A. and Cahoon, D. R. (2003). Differential rates of vertical accretion and elevation change among aerial root types in Micronesian mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56(2): 251-259.

九州森林管理局「西表島の森林」

(https://www.rinya.maff.go.jp/kyusyu/iriomote_fc/huresen3.html). 10th Oct. 2023.

Lewis III, R. R. (2005) Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests. *Ecological Engineering*, 24, 403-418.

Livingstone, D. R., Widdows, J., Fieth, P. (1979). Aspects of nitrogen metabolism of the common mussel *Mytilus edulis*: adaptation to abrupt and fluctuating changes in salinity. *Marine Biology* 53: 41-55.

Lockwood, A. P. M. (1963) *Animal Body Fluids and Their Regulation*. Heinemann Educational Books, London.

Lockwood, A. P. M. (1976). Physiological adaptation to life in estuaries. *Adaptation to Environment*. Butterworths, London, Pp315-392.

Macnae, W. (1968). A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forests in the Indo-West Pacific region. *Advance in Marine Biology* 6:73-270
DOI:10.1016/S0065-2881(08)60438-1.

増田修, 内田りゅう (2009). 日本産淡水貝類図鑑 2 汽水域を含む全国の淡水貝類, ピーシーズ, ISBN4-938780-90-9.

松田正彦, 品川明, 日向野純也, 藤井明彦, 平野慶二, 石松惇 (2008). 低塩分がアサリの生残, 血リンパ浸透圧および軟体部水分含量に与える影響. *水産増殖* 56(1): 127-136.

Marchand, M. (2008). Mangrove restoration in Vietnam Key considerations and a practical guide. (<http://resolver.tudelft.nl/uuid:98b5ba43-1452-4631-81dc-ad043ef3992c>). 10th Oct. 2023.

- Midorikawa, T., Ishii, M., Saito, S., Sasano, D., Kosugi, N., Motoi, T., Kamiya, H., Nakadate, A., Nemoto, K., Inoue, H. Y. (2010), Decreasing pH trend estimated from 25-yr time series of carbonate parameters in the western North Pacific, *Tellus Ser. B*, 62, 649-659.
- 宮城文(1972) 八重山生活誌, 沖縄タイムス社.
- Morton, B. (1975). The biology and functional morphology of the Southeast Asian mangrove bivalve, *Polymesoda (Geloïna) erosa* (Solander, 1786) (Bivalvia: Corbiculidae). *Canadian Journal of Zoology* 54(4): 482-500. DOI: DOI:10.1139/z76-055.
- Morton, B. (1984). A review of *Polymesoda (Geloïna)* Gray 1842 (Bivalvia: Corbiculacea) from Indo-Pacific mangroves. *Asian Marine Biology* 1: 77-86 .
- Morton, B. (1985). The reproductive strategy of the mangrove bivalve *Polymesoda (Geloïna) erosa* (Bivalvia: Corbiculidae) in Hong Kong. *Malacological Review* 18:83-9.
- Mousson, A. (1849) Die Land- und Süßwasser- Mollusken von Java. Zurich, Friedrich Schulthess. iv + 126.
- 村地四郎, 古川哲三(1958). サルボウ(モガイ)の希釈海水に対する抵抗性について. 水産増殖 6(2): 35-40.
- 中村武久, 中須賀常雄(1998). マングローブ入門-海に生える緑の森. 株式会社めこん.
- 中須賀常雄(1976). IV-(3)宮古・八重山群島におけるマングローブの分布状況(マングローブに関する研究). 琉球大学農学部学術報告書, 23:339-364 に関する研究). 琉球大学農学部学術報告書, 23: 339-364.
- Ndobe, S., Rosyida, E., Mangitung, S. F., Ridwan, Beto, A., Risdawati, Sya' ban M., Fikry, M., Moore, A. M. (2023). Size structure and DNA barcoding of mangrove clams collected in Tolongano, Donggala District, Central Sulawesi, Indonesia. *AACL Bioflux* 16(3): 1781-1794.

- Nguyen, T. N., Marchand, C., Strady, E., Truong, V. V., Taillardat, P., Nguen, C. H., Trang, T. N. T. (2020). Trace Metal Dynamics in a Tropical Mangrove Tidal Creek: Influence of Porewater Seepage (Can Gio, Vietnam). *Frontiers in Environmental Science*, DOI: 10.3389/fenvs.2020.00139.
- O' Connor, S. (1999). 30,000 Years of Aboriginal Occupation: Kimberley, North West Australia. Canberra. Department of Archaeology and Natural History and Centre for Archaeological Research, Australian National University. *Terra Australis* 14.
- 沖縄県. 自然環境現況調査【慶佐次川】.
[\(https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/saisei/documents/gesasi05.pdf\)](https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/saisei/documents/gesasi05.pdf).
10th Oct. 2023.
- 沖縄県環境再生課(2017a). 1.1.2 再生手法の検討. ヒルギ林内生態系再生モデル事業結果報告書.
[\(https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/saisei/documents/03_h28gyomuhoku.pdf\)](https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/saisei/documents/03_h28gyomuhoku.pdf). 10th Oct. 2023.
- 沖縄県環境再生課(2017b). 1.2.4 水路掘削の効果把握・1.2.5 取組評価. ヒルギ林内生態系再生モデル事業結果報告書.
[\(https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/saisei/documents/07_h28gyomuhoku.pdf\)](https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kankyo/saisei/documents/07_h28gyomuhoku.pdf). 10th Oct. 2023.
- Pierce, S. K. (1971). A source of solute for volume regulation in marine mussels. *Comp. Biochem. Physiol* 38: 619-635.
- Pierce, S. K., Rowland-Faux, L. M., O' Brien, S. M. (1992). Different salinity tolerance mechanisms in Atlantic and Chesapeake Bay conspecific oysters: glycine betaine and amino acid pool variations. *Marine Biology* 113: 107-115.
- Przywolniak, K. (2016). Shell artefacts from northern Cape Range Peninsula, northwest Western Australia. *Australian Archaeology* 56(1): 12-21 ISBN: 0312-2417. DOI: 10.1080/03122417.2003.11681745.

- Ransangan, J., Soon, T., K., Duisan, L. (2019). Population dynamics of marsh clam, *Polymesoda* spp. (Bivalvia: Corbiculidae) in Marudu Bay, Malaysia. *Aquaculture, Aquarium. Conservation & Legislation International Journal of the Bioflux Society*, 2(2): 395-403.
- Robertson, J. D. (1964). Osmotic and ionic regulation. *Physiology of Mollusca*. Academic Press, New York 1: 283-308.
- 勢村均, 曾田一志, 石田健次, 開内洋, 浜口昌己 (2014). 資料 宍道湖におけるヤマトシジミの初期生活史—H24年度の調査結果—. 島根県水産技術センター研究報告 6: 31-43.
- Seto, K. C. & Fragkias, M. (2007). Mangrove conversion and aquaculture development in Vietnam: A remote sensing based approach for evaluating the Ramsar Convention on Wetlands. *Global Environmental Change*, 17: 486-500.
- Shanker, A., Weiant, P. (2004). Scientific Evaluation in Women's Participatory Management: Monitoring Marine Invertebrate Refugia in the Solomon Islands Human Organization. DOI: 10.17730/humo.63.3.r7kgd4thkmyf7k1.
- 相馬明郎, 小西颯人, 戸田慎治, 名倉亮太, 渋木尚, 茂木博匡, 桑江朝比呂 (2020). マングローブ・海草複合生態系による気候変動緩和のメカニズム～数理モデル解析～, 土木学会論文集(海岸工学), 76 (2)-I: 961-966.
- Susilo, A., Ridd, P.V., Thomas, S. (2005). Comparison between tidally driven groundwater flow and flushing of animal burrows in tropical mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*. 13, 377-388. DOI: 10.1007/s11273-004-0164-0.
- 鈴木寿之, 森誠一 (2016). 西表島浦内川の魚類. *魚類学雑誌* 63(1): 39-43.
- Taillardat, P., Ziegler, A. D., Friess, D. A., Widory, D., Frank, D., Ohte, N., Nakamura, T., Evaristo, J., Nguyen, T. N., Truong, V. V., Cyril, M. (2019). Assessing nutrient dynamics in mangrove porewater and adjacent tidal creek using nitrate dual-stable isotopes: A new approach to challenge the Outwelling Hypothesis?. *Marine Chemistry* volume 241.

- 田中彌太郎(1984). ヤマトシジミ稚仔期の形態および生理的特性について, 水産庁養殖研究所 養殖研究所研究報告 6: 23-27.
- Thao, N. T. T, Nhiet, D., An, C. M., Hai, T. N. (2019). Growth and survival rate of mud clam larvae (*Geloina* sp.) in relation to rearing densities and diets . Can Tho University Journal of Science, 11(2): 89-96.
DOI: 10.22144/ctu.jen.2019.028.
- Tomlinson, P. B. (1986) The Botany of Mangroves. Cambridge University Press.
United Nations Environment Programme. The importance of Mangroves to people: A call of action. ISBN: 9789210601825. DOI: 10.18356/0791f9de-en.
- Vreugdenhil, I., Metselaar, K., Dam, J. (2013). Modelling Mangrove growth and salinity: a semi-arid case study. Master' s Thesis Modeling mangrove growth and salinity WUR.
- Walsh, G. E. (1974). Mangroves, a review. Pp. 51-174. In: R.J. Reimold and W.H. Queen (Eds.). Ecology of halophytes. Academic Press. New York.
- Washitani, Y., Hayakawa, R., Li, M., Shibata, S. (2017). Comparing the Survival Rate of Mangrove Clam, *Polymesoda* (*Geloina*) spp. (Solander 1876) Through Field Experiments in Mangrove Forests of Iriomote Island, Zool. Sci., 34 (3): 223-228. DOI:10.2108/zs160021.
- Washitani, Y., Shibata, S. (2022). Effects of Forest Floor Environmental Factors on the Spatial Distribution Patterns of *Polymesoda* spp. in the Mangrove Forest of Iriomote Island, Japan. Environment and Ecosystem Science., 6(2): 75-82.
- Watson, J. G. (1928). Mangrove forests of the Malay Peninsula., 6. Singapore Fraser & Neave.
- 渡辺信, 内山庄一郎, 宮城豊彦 (2022) 無人航空機調査で明らかにする西表島マングローブ林の倒壊被害. Mangrove Science, 13: 3-8.

- Widianingsih, W., Nuraini, R. A. T. (2020). The Population of Mangrove Clam (*Polymesoda expansa*) in The Panikel Village, Segara Anakan, Cilacap. E3S Web of Conferences. 147(1). DOI: 10.1051/e3sconf/202014702018.
- Wösten, J. H. M. (2013). Ecological rehabilitation of Lac Bonaire by wise management of water and sediments. Alterra Report 2448. ISSN 1566-7197.
- WWF. (<https://wwf.panda.org/es/?224233/WWF-and-Microsoft-joined-forces-to-help-local-people-in-Thua-Thien-Hue-adapt-to-climate-change-impacts-and-have-more-secure-livelihoods-Vietnam>). 5th Jun. 2014.
- Young, B. M. and Harvey, L. E. (1996). A spatial analysis of the relationship between mangrove (*Avicennia marina* var. *australasica*) physiognomy and sediment accretion in the Hauraki Plains, New Zealand. Estuarine, Coastal and Shelf Science 42:231-246.

謝辞

本研究を進めるにあたり、京都大学大学院地球環境学堂 景観生態保全論研究室教授 柴田昌三博士には完遂するように常に叱咤激励をいただきました。通常の何倍もの年月がかかってしまいましたが、柴田教授の激励によって諦めずに博士論文を執筆することができました。また、同研究室准教授 深町加津枝博士、同研究室前助教 今西純一博士(現大阪公立大学農学研究科教授)にはゼミ等を通して多くのご助言をいただきました。京都大学大学院地球環境学堂 生物多様性保全論研究室教授 西川完途博士には多くの有益なご教示とご鞭撻を賜りました。

大阪公立大学農学研究科地域生態学研究室 前教授 上甫木昭春博士には人と自然を結ぶ視点をご教授いただいただけでなく、博士論文を完成させるよう励まし続けていただきました。

本論文第2章の分子系統分析については、京都大学大学院総合人間学部 人間・環境学研究室前教授 加藤真博士に研究室の機材の使用許可をいただき、同研究室に所属されていた山根美子博士に分子系統分析の方法やデータの見方を教えていただきました。また、ヒルギシジミ類の分類を把握する上で重要な資料を京都大学フィールド科学教育センター 瀬戸臨海実験所助教 後藤龍太郎博士に提供していただきました。

粒度組成分析を行う際には、独立行政法人水産総合研究センター 水産工学研究所の機材を使用させていただきました。同センターの斉藤肇博士をはじめとする研究員の皆様には分析方法のご指導をいただき、調査方法についても多くのご助言をいただきました。

現地調査にあたって、西表島では環境省那覇自然環境事務所の永長大輔氏に調査に必要な許可申請の手続きについて教えていただきました。また、同事務所にアクティブレンジャーとして所属されていた早川玲子氏には、現地の情報を提供していただいただけでなく、フィールドにて調査を手伝っていただきました。Karmy walkの錦絨尚子氏には、本研究のいくつかの調査でお力をお借りしました。一緒に浦内川でカヌーを漕ぎ、マングローブ林内を歩きながら、西表島の生活や環境について多くの事を教えていただきました。そして、西表島祖内の宮良用範氏には祭事の見学や、現地住民の方々へのインタビューの際に調査を実行できるよう手配していただきました。石垣島の標本を入手する際には、八重山商工高等学校生物部顧問 藤本治彦先生と生物部の生徒の皆様にご名蔵アンパルまで出向いていただき、ヒルギシジミ類の標本を集めていただきました。奄美大島の標本を入手する際には、現地ガイドの永井弓子氏に住用川のマングローブ林について情報を提供していただきました。

富山市立科学博物館 増渕佳子博士、和歌山県立自然博物館 主査学芸員 山名裕介博士には博物館所蔵の標本の写真を撮影し、送っていただきました。

博士論文を執筆するにあたり、修士課程のインターン先であった独立行政法人大阪府

立環境農林水産総合研究所の山本圭吾博士は数多くのアドバイスをくださり、研究者としていかにあるべきかを常に示してくださいました。

西表島での研究生生活は本州では味わえない貴重な体験の連続でした。晴れた日には空の色と海の色がグラデーションのように続く景色を見ながら意気揚々と、寒く冷たい雨が降る日はかろうじて雨風をしのげるレインコートを翻しながらスクーターを走らせて調査地に向かいました。鬱蒼と茂った樹木の中に静寂な空間が広がるマングローブ林にひとりで足を踏み入れると、自分が広大なマングローブ林内で孤独であるという恐怖感に襲われました。単独の調査時は孤独を感じるだけでなく、体力的に非常に辛い状況下に置かれることも多々ありました。そのような状況下でも、事情を知らないミナミトビハゼは呑気な顔で泥の中からたくさん出てきて、調査の様子を見に集まってくるのです。ミナミトビハゼの呑気な表情を眺めていると、心が軽くなり次の調査地点へと歩みを進めることができました。そして、調査が終わると、浦内川南西部に位置する祖内地域の宮良用範氏、宮良弘子氏ご夫妻がご自宅へ招いてくださり、山で獲れたイノシシ(カマイ)やノコギリガザミ、海で獲れた魚などを調理して食べさせてくださいました。食後には用範氏の三線の演奏に耳を傾けながら、西表島の歴史や文化、自然環境について幅広く貴重なお話を伺いました。

京都へ戻ると、柴田教授をはじめとする先生方や研究室の先輩、同期、後輩の皆さまにゼミや日常会話の中で、研究に対する学術的かつ実践的なご助言や刺激をいただきました。特に修士課程から共に同じ研究室で過ごし、切磋琢磨してきた李美花氏には現地調査だけでなく、研究室において徹夜でヒルギシジミ類のサイズを計測する作業を手伝っていただき、大変お世話になりました。また、事務の釜我礼子氏には調査に必要な機材を購入するための手続きなどでお世話になっただけでなく、いつも励ましていただきました。西表島から戻り度、この研究室に所属することができて良かったと心から感じていました。

博士論文の執筆を進めるにあたってお世話になった方々全てのご芳名とエピソードを書き記したいのですが、本文のページ数を超える可能性があります。心苦しい限りですが、書き記せなかった方々にはこの場をお借りして厚く御礼申し上げます。

最後に、身勝手なことばかりを繰り返しているにも関わらず、それを許して温かく見守り続けてくれた両親 父鷺谷宗昭、母鷺谷尚子には書きうる限りの感謝の言葉を並べ尽くしたとしても足りません。私を産み、育てて良かったと思ってもらえるよう孝行していきたいと思います。妹僚子にも多々迷惑を掛けてきましたが、どのような時も応援してくれました。夫圭吾は最後までやり遂げるようにと私を励まし続け、論文執筆中は様々な場面で協力してくれました。そして、息子圭樟と共に過ごす時間を論文の執筆に当て、寂しい思いをさせたにも関わらず、彼は「お母さん、頑張ってね。終わったら一緒にゲームしようね」と邪魔をしないようこっそり私に声を掛け、1人で過ごしてくれました。この大切

な家族にも力を尽くして恩返しをしていくつもりです。

このように思い返せば数多くの方々のお力添えをいただき，ここまで歩んでくることができました．お力添えいただいた全ての皆さまに衷心より御礼申し上げます．今後とも可能な限り研究を続け，次世代に貢献できるよう取り組んでまいりたいと思います．