

吉野川汽水域における緩傾斜護岸の構造と
潮間帯生物との関係

2024年9月

神野威

吉野川汽水域における緩傾斜護岸の構造と潮間帯生物との関係

目次

第1章 緒論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 既往の知見	1
1.3 研究の目的	3
1.4 本論文の構成	4
参考文献	6
第2章 吉野川河口汽水域における護岸構造と潮間帯生物 の分布に関する研究と研究成果を活かした 護岸構造の提案	7
2.1 緒言	7
2.2 方法	7
2.2.1 調査地の概要	7
2.2.2 調査区の概要	8
2.2.3 調査方法	9
2.2.4 統計解析	9
2.3 結果および考察	10
2.3.1 付着動物の種類別の被度	10
2.3.2 マガキ	10
2.3.3 コウロエンカワヒバリガイ	12
2.3.4 カニ類	13
2.3.5 イソダンツウ	14
2.3.6 乾湿度合の日変化	15
2.4 結言	17
参考文献	19
第3章 吉野川汽水域の緩傾斜護岸における日射と 潮間帯生物の分布の関係について	20
3.1 緒言	20

3.2	方法	20
3.2.1	調査地の概要	20
3.2.2	調査方法	22
3.2.3	護岸の日射量	22
3.2.4	統計解析	22
3.3	結果	23
3.3.1	調査護岸の日射量	23
3.3.2	生物相	23
3.4	考察	25
3.4.1	護岸の向きによる表面の生物分布の比較	25
3.4.2	護岸の向きによる隙間の生物分布の比較	26
3.4.3	護岸の隙間でのコウロエンカワヒバリガイとマガキの分布の比較	27
3.5	結言	28
	参考文献	29

第4章	夏季高温時における汽水域の緩傾斜護岸構造と カニ類の生息場機能との関係について	30
4.1	緒言	30
4.2	方法	30
4.2.1	調査地の概要	30
4.2.2	調査方法	32
4.2.3	統計解析	33
4.3	結果	33
4.3.1	護岸の隙間構造	33
4.3.2	護岸の表面温度と隙間温度の関係	33
4.3.3	カニの確認数	35
4.3.4	カニのサイズ割合	35
4.3.5	カニの確認数と護岸表面温度の関係	36
4.3.6	カニの護岸表面滞在時間と護岸表面温度の関係	37
4.4	考察	38
4.4.1	日射と護岸表面の温度と乾燥の関係について	38
4.4.2	カニ類の高温環境に対する忌避行動について	38
4.4.3	小型のカニの大型のカニからの避難行動について	38

4.4.4 カニの分布に適する護岸の構造について	39
4.4.5 カニの護岸表面の利用について	41
4.5 結言	42
参考文献	43
第5章 結論	44
5.1 緩傾斜護岸の構造と潮間帯生物との関係について	44
5.2 望ましい生物共生護岸構造の提案	46
参考文献	52
謝辞	53

第1章 緒論

1.1 研究の背景

本来、堤防や護岸は生物の侵入を排除する目的を持つものではない。たまたま、生物にとって好適な柔らかい構造、隙間構造が強度において問題があるために採用されなくなり、生物は洪水や高潮と一緒に排除されたと考える。

それなら、その本来の目的に沿うよう、国土の水際を取り巻く長大な護岸構造物を生物の生息にも適したものに換えられないか、というのがこの研究のテーマである。我が国では『多自然型川づくり』の方針が、2006年に『多自然川づくり』に修正された。

護岸に関する主な修正点は、次の2点である。

- ・「単に自然のものや自然に近いものを多く寄せ集めるのではなく、可能な限り自然の特性やメカニズムを活用すること」。
- ・「生物の生息・生育・繁殖環境の保全・創出に配慮した適切な工法とすること」。

しかし、実際の工事現場では、自然の特性やメカニズムを活用することなく、自然に似せただけの護岸づくりが今なお行われている。問題点として挙げられるのは、護岸材料や護岸構造の決定に当たり、生物学・生態学の知見がほとんど入っていないことである。効果のないもの、逆効果なものを施工し壮大な無駄遣いをしている恐れがある。

生物種ごとにマッチングする護岸材料や護岸構造を知るためには、複数のタイプの既設護岸で、対象とする生物の分布や護岸利用の違いについての実態調査が必要である。そして、対象とする生物を生息させるにはどのような条件が必要かを多様な種について研究することが大事である。護岸を生物生息環境と見なして、現地調査により生物との相性を調べ、種ごとに最適な材質や構造を見つける研究はこれまでにあまり例がないので、こういった調査・研究の蓄積が望まれる。

1.2 既往の知見

生物共生や親水性を有する護岸には、一般的に石材を用いた緩傾斜護岸が用いられる。しかし、潮間帯内に設置した緩傾斜護岸と直立護岸を比較した場合、緩傾斜石積み護岸に生物の分布範囲が小さく、その要因として緩傾斜石積み護岸では日陰が少なく護岸の湿潤環境が安定しないことが指摘されている。このような考えに立ち、直立護岸の前面に有孔のコ

ンクリートパネル（カニパネル）と裏込め材を配した生物共生護岸を開発し、成果を上げた報告²⁾がある。港湾では船の接岸の関係もあり直立護岸が多用されるため、この報告は港湾の生物共生護岸として有効な技術開発の一例であると考えられる。

一方、築堤式の河道が多い河川の下流域においては、護岸（のり覆工）は2割より緩い緩傾斜とする（河川管理施設等構造令）ことが一般的であり、緩傾斜護岸そのものにおける生物共生護岸の技術開発も重要である。特に汽水域の潮間帯で広く用いられている石材を用いた緩傾斜護岸について、「日陰が少なく護岸の湿潤環境が安定しない」という弱点を克服するため、日射による乾燥や向きに伴う日照条件の違いと護岸構造及び生物の分布の関係について調査・研究することは、改善される生物生息環境の規模の上からも意味のあることと考える。

護岸の向きに伴う日照条件の違いと生物の分布の関係については、湿潤状態が常に維持される潮下帯を評価した研究報告³⁾がある。この研究では構造物が傾斜しているため直立構造物に比べ日光を受ける時間が長い傾斜構造物では、日射条件が水面下の海藻にとって不利である北側に面した地点においても海藻の出現量が減少しない傾向や、付着基盤をめぐる競争から海藻の出現量と固着動物の出現量の間にも負の相関があることが示されている。

一方、潮間帯では潮の干満により例えば平均潮位の標高では1日2回の干出環境を経験し乾燥に曝されるため、潮下帯と乾湿の条件が大きく異なる。潮間帯の付着動物の垂直的な分布には動物各種の乾燥に対する耐性が関係することが指摘されている⁴⁾。干出時に南向きは北向きより日射の影響を強く受けるため、護岸の向きは乾燥の程度の違いから生物の生息に影響が大きいと思われるが、潮間帯においては未だ報告がなされていない。

緩傾斜護岸において生物の生息に配慮した適切な工法を見出すためには、まず、対象とする汽水域に分布する主要な生物や保全すべき生物種（目標種）の環境選好特性を知る必要がある。本研究の調査区域である吉野川汽水域の緩傾斜護岸に分布が多い生物は、付着動物では、マガキ *Crassostrea gigas* とコウロエンカワヒバリガイ *Xenostrobus securis* であった。マガキは在来種で保全すべき種と考えるが、コウロエンカワヒバリガイは2015年に環境省・農林水産省から生態系被害防止外来種（我が国の生態系等に被害を及ぼすおそれのある外来種）に指定され、制御されることが望ましい種とされている。東京湾の直立護岸において貝類の水平分布や垂直分布を調査した既存研究⁴⁾では、この2種の垂直の分布域は中潮帯で重なり合い競合するが、汽水域ではマガキは分布できておらずコウロエンカワヒバリガイのみが分布し、海域ではマガキのみが分布していた。直立護岸より日陰が少なく乾燥しやすい緩傾斜護岸において、この2種の分布の違いについて汽水域で調査・検討した報告は見当たらないので、本研究で調査・研究することに新規性がある。

2006年の夏季、秋季に国土交通省が実施した吉野川水系河川水辺の国勢調査（魚類調査）

では、本調査区周辺で 40 種 904 個体を確認したが、主要種の出現状況では、マハゼ *Acanthogobius flavimanus* が 30% 近くを占め最も優占しており、次がヒイラギ *Nuclia nuchalis*, ボラ *Mugil cephalus*, コトヒキ *Terapon jarbua*, セスジボラ *Chelon affinis*, スズキ *Lateolabrax japonicus* の順となっていた。既存研究⁵⁾では、内湾性の代表種であるマハゼを中心としたこのような食物連鎖において、マハゼの稚仔魚期から成魚期の餌料がその成長段階のサイズに合った、エビ・カニ類を代表とする甲殻類とその幼生や動物性プランクトンであることが示されている。

また、魚類の胃の内容物を調査した別の研究^{6),7),8)}でも、アカオビシマハゼ *Tridentiger tirgonocephalus* では甲殻類が、カサゴ *Sebastes marmoratus* ではヨツハモガニ *Pugettia quadridens*, イシガニ *Charybdis japonica*, シワオウギガニ *Macromedaeus distinguendus*, ヒメケブカガニ *Pilumnus minutus* が、メバル *Sebastes inermis* ではヨツハモガニが内容物として確認されている。このようにカニ類は食物連鎖の中位に位置する低次消費者であり、調査区域周辺の食物網を下位から上位へつなぐ者として非常に重要な生物である。調査区域の護岸を利用するカニ類の個体密度では、フタバカクガニが最も高く、次に高いのがアシハラガニであった。この 2 種についての護岸利用の既存研究は見当たらないので、新規性があり調査・研究の必要がある。

調査区域の緩傾斜護岸では、潮間帯において付着海藻の種数や分布量がかなり少なかった。調査時にカニがハサミ足を使ってこれらの付着海藻を摂食する行動が頻繁に観察された。また、カワザンショウガイ類 *Assimincidae* などの巻き貝も付着海藻の上に分布していることが多かった。生物共生護岸では、食物網の中で生産者となる海藻が豊富に生育することは重要である。既存研究では天然の磯場の微地形と生物相の関係を調査・評価したものがあり、この研究では適度な隠蔽度を有する構造は、日除けや水分の蒸発防止の効果があり、光合成活動も阻害されないことから付着海藻の生育に有効であることを示唆している⁹⁾。一方、人工の緩傾斜護岸の潮間帯において海藻を付着させる構造についての研究事例は見受けられないので、新規性があり調査・研究する必要がある。

以上のことを踏まえ、本研究では吉野川汽水域の調査区域の緩傾斜護岸で保全すべき生物種（目標種）として、特に在来種のマガキ、カニ類、付着海藻を挙げ、潮間帯生物の生息に好適な物理環境や護岸構造について考察を進めた。

1.3 研究の目的

汽水域では生物多様性の面から干潟の保全に注力が高されてきたが、潮間帯にある護岸も重要であり、ベントスや海藻などに配慮した構造の検討が望まれる。本研究は、徳島県を

東西に流れる吉野川の河口部汽水域の南向きと北向きの構造の異なる緩傾斜護岸において、付着動物、カニ類、付着海藻、巻き貝の分布を調べ、護岸の向きに伴う日射の影響や護岸の構造と生物の分布の関係性を明らかにすることを目的とした。具体的な調査護岸のタイプ（構造）は南向き護岸では巨石張り、かごブロック、環境保全型ブロック、コンクリートブロック張り、北向き護岸では環境保全型ブロック、空石張りである。同一護岸でも表面と隙間では日照条件が異なり乾湿環境が異なるため、表面と隙間の部位に分けて調査した。また、調査区域で吉野川は東流しており、南岸と北岸の護岸を対比することによって護岸の向きによる日射量の違いとそれに起因する高温や乾燥の問題の生物への影響について調査し、検討した。護岸の向きや構造と生物分布の関係についての検討の着眼点は、それぞれの生物が、どういう点を好んでその護岸を利用しているか、どのような要因が足りなくてその護岸の利用が少ないかである。吉野川汽水域の潮間帯で生息する生物種の中で、保全すべき目標種（マガキ、カニ類、付着海藻）の生存に好適な環境や不適な制限因子を抽出・整理するとともに、それぞれの種に最適な護岸構造を見つけ出すことを目的とした。

1.4 本論文の構成

本研究では、徳島県を東西に流れる吉野川の河口部汽水域の南向きと北向きの構造の異なる緩傾斜護岸において、付着動物、カニ類、付着海藻、巻き貝の分布を現地で調査し、護岸の向きに伴う日射の影響や護岸の構造と生物の分布の関係性を明らかにすることを目的として研究を行った。本論文は全5章から構成され、各章の概要を以下に示す。

第1章では、研究の背景として、我が国の多自然川づくりの方針が2006年に修正されたこと、護岸に関する主な修正点が実際の工事現場で未だ反映されていないことを示し、その原因となる問題点を挙げた。次に汽水域の護岸と生物分布の関係に関する先行研究を整理し、緩傾斜護岸の潮間帯における報告がないことを確認した。また、本調査区の現地調査や先行研究をもとに、本調査区で保全すべき生物種を挙げた。研究の目的としては、護岸の向きに伴う日射の影響や護岸の構造と生物の分布の関係性を明らかにすることとした。

第2章では、南向きの巨石張り、かごブロックと北向きの環境保全型ブロック、空石張りの夏季における潮間帯生物の分布の違いについて考察した。具体的には、同一護岸で表面と隙間の生物分布の違いについて比較するとともに、主要な生物の護岸の選好性（どの生物がどのタイプの護岸に多いか、または少ないか）を評価し、その理由を考察した。つぎに本章で確認できた知見をもとにマガキとカニ類の生息に適した護岸構造の例を示した。

第3章では、南向きの巨石張り、かごブロック、環境保全型ブロックと北向きの環境保全型ブロック、空石張りの潮間帯生物の分布調査結果をもとに、夏季における日射と潮間帯生物の分布の関係について考察した。具体的には調査地の南向き護岸と北向き護岸の日射量の違いが、南向き護岸と北向き護岸の表面の生物分布にどう影響するかを考察した。また、日射の影響を受ける浅い隙間を持つ同タイプの護岸で、南向き護岸と北向き護岸の隙間の生物分布の違いについても考察した。

第4章では、南向きの巨石張り、かごブロック、コンクリートブロック張り、環境保全型ブロックにおけるカニ類の分布調査結果をもとに、夏季におけるカニの生息場に適した緩傾斜護岸の構造について検討した。具体的には定点観測用カメラを用いてカニの分布や動きを撮影し、護岸の温度変化や護岸の構造の違いが、カニの分布や行動にどう影響するかを考察した。護岸の構造については、隙間の幅やそのばらつき、隙間の深さに着目して整理した。

第5章では、本研究で得られた主要な結果をまとめるとともに、調査護岸の建設の経緯から生物分布と護岸の強度の関係を考察し、望ましい生物共生護岸構造の提案を行い結論とした。

参考文献

- 1) 柵瀬信夫, 加藤智康, 枝広茂樹, 小林英樹, 古川恵太: 都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用, 海洋開発論文集, 第23巻, pp. 495-500, 2007.
- 2) 柵瀬信夫, 林文慶, 越川義功, 内川隆夫, 唐木裕志: 環境保全・修復材ーコンクリート護岸パネルの試みー, 海洋開発論文集, 第17巻, pp. 153-158, 2001.
- 3) 小笹博昭, 室善一郎, 中瀬浩太, 綿貫啓, 山本秀一: 生物にやさしい港湾構造物の研究, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1016-1020, 1994.
- 4) 古瀬浩史, 風呂田利夫: 東京湾奥部における潮間帯付着動物の分布生態, 付着生物研究, 5巻2号, pp. 1-6, 1985.
- 5) 桑原連, 竹内博治: 生活史から見たマハゼの環境保全, 横浜市立大学総合研究, 第4号, 1987.
- 6) 横山隆司, 小國嘉之, 藤原吉美, 中原紘之: 環境配慮型岸壁に形成される生物群集構造の評価, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1211-1215, 2003.
- 7) 伊藤靖, 中野善央, 藤沢真也: 人工漁礁の蛸集魚類と摂餌生態, 水産工学 Fisheries Engineering Vol.45, No3, pp. 195-206, 2009.
- 8) 日下部敬之, 有山啓之, 大美博昭, 天野玉雄: 関西国際空港島人工傾斜護岸と自然岩礁海岸におけるカサゴ成魚の摂餌生態の比較, Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 71(4), pp. 594-600, 2005.
- 9) 檜山博昭, 大塚哲哉, 中瀬浩太: 磯場の微地形の定量的評価の試み, 海洋開発論文集, 第17巻, pp. 165-168, 2001.

第2章 吉野川河口汽水域における護岸構造と潮間帯生物の分布に関する研究と研究成果を活かした護岸構造の提案

2.1 緒言

生物種ごとにマッチングする護岸材料や護岸構造を知るためには、複数のタイプの既設護岸で生物の分布や護岸利用の違いについて調査することが有効である。護岸を生物の生息環境と見なして現地調査により生物との関係性を調べ、種ごとに最適な材質や構造を見つける既存研究は少ないため、このような研究の蓄積が望まれる。本章では、吉野川河口部汽水域にある、空石張り、環境保全型ブロック、かごブロック、巨石張りの4タイプの低水護岸において、カニ類、付着動物、付着海藻の分布状況を調べ、護岸構造と生物の分布の関係性を明らかにすることを試みた。

2.2 方法

2.2.1 調査地の概要

吉野川は四国西部の高知県吾川郡いの町に源を発し、上流部で南から北へ四国山地を横断する以外は概ね四国山地沿いを東流し、徳島県徳島市で紀伊水道に注ぐ四国最大の1級河川である。幹線の流路延長は約194 km、流域面積は約3,750 km²で、四国の面積の約20 %を占める広大さである¹⁾。吉野川の河口から潮止めとなる第十堰までの約14 km区間が汽水域となっている。調査区は図-1、図-2の矢印で示す位置である。



図-1 調査地の位置



図-2 調査区の位置 (google mapを使用)

2.2.2 調査区の概要

2012年7月に、河口から約7.6 km上流にあるJR吉野川橋梁周辺の護岸タイプの異なる低水護岸上の潮間帯に、第1から第3までの3調査区を設置しコドラート調査を実施した。2013年はこれに第3調査区直上流の巨石張り護岸を第4調査区として追加した（図-2）。コドラート調査を実施した各調査区の護岸の概観を写真-1に、種類と特徴を表-1に示す。写真-1a)が第1調査区の空石張りで、石材は緑泥片岩（約40×20 cm）となっている。老朽化のため隙間の幅に開き（平均4 cm）があり、強度の上で問題がある。また、隙間の深さは約35 cmで石の下は土砂地盤になっている。写真-1b)が第2調査区的环境保全型ブロックで、石材は同じく緑泥片岩の栗石（約20×10 cm）である。隙間の幅は概ね均一（約2.5 cm）で、隙間の深さは約10 cmと浅く、コンクリート板に石材を植え付けた構造であるため、石裏に隙間はない。写真-1c)が第3調査区のかごブロックで、石材は砂岩の栗石である。コンクリートのかごに石材をランダムに詰めた構造で、大小の隙間（平均2.5 cm）がある。栗石の寸法が10～20 cmで深さは40 cmであるため、2層、3層と栗石が重なり、隙間には前面河床の土砂が溜まっている。また、偶然、遮水矢板の後ろに潮だまりができる構造になっている。

写真-1d)は第4調査区の巨石張りで、花崗岩の巨石（直径約1 m）を積み上げた形である。

a) 第1調査区空石張り(北向き)



b) 第2調査区環境保全型ブロック(北向き)



c) 第3調査区かごブロック(南向き)



d) 第4調査区巨石張り(南向き)



写真-1 調査護岸の概観

表-1 調査護岸の種類と特徴

調査区名称	護岸の種類	護岸の特徴						
		勾配	材質	表面の粗さ	石材の径	隙間の幅	隙間の深さ	隙間の底(石裏)の材質
第1調査区	空石張り	1:2.2	緑泥片岩	凹凸あり	40×20cm	4.0cm	35cm	土砂
第2調査区	環境保全型ブロック	1:2	緑泥片岩	凹凸あり	20×10cm	2.5cm	10cm	コンクリート
第3調査区	かごブロック	1:1.5 と1:3	砂岩	凹凸あり	20×10cm	2.5cm	40cm	コンクリート+ 堆積土砂
第4調査区	巨石張り	1:2	花崗岩	凹凸あり	1×1m	20cm	70cm	吸出防止 シート+堆積

目地の幅は約20 cmと広く，深さは約70 cmと深い．巨石の下は吸い出し防止シートが張られ，その下は土砂となっている．吸い出し防止シートの上には厚さ約30 cmの土砂が堆積している．

表-2 乾湿度合の分類

乾湿度合	評価値	乾湿度合の目安
高湿	4	表面の水膜が見える状態
中湿	3	表面に水膜は見えないが十分に湿っている状態
低湿	2	表面が湿っている状態
やや乾	1	表面に湿っている部分が一部残っている状態
乾燥	0	表乾状態以上に乾燥した状態

2.2.3 調査方法

一辺が37.5 cmのネット状のコドラートで，付着動物や付着海藻の被度を護岸の表面と目地（隙間）に分けて目視計測をした．また，カニ類については，単位面積当たりの個体数を同様に計測した．併せて護岸表面の乾湿度合も目視計測した（表-2）．コドラート調査の各調査区における地点数は12ポイントあり，この12のポイントについて，2012年，2013年とも中潮帯でコドラート調査を行った．

調査は夏季に実施した．2012年は7月1日，7月15日，7月16日に，2013年は6月22日，7月6日，7月7日，8月17日にそれぞれ1護岸につき1日を当て，主に午前中の干潮時刻前後に調査を行った．

吉野川の水位の高さの基準面はA.P+（アワ・ペイル）で表し，調査区ではA.P+0 mが朔望平均干潮位(L.W.L)となり，A.P+1.75 mが朔望平均満潮位(H.W.L)となる．既設4タイプの護岸について，潮間帯中部のコドラート中心をA.P+1.09 mとした．

感潮域は河口からの距離に応じて塩分濃度やその変動幅が変化することから²⁾，第1～第4調査区とも河口からの距離を同程度（6k800 mから8k200 mの範囲内）とし，塩分濃度に関する条件を可能な限り揃えた．

2.2.4 統計解析

第1から第4調査区で実施したコドラート調査で確認した生物種を，付着動物，カニ類，付着海藻の3グループに分け，各グループの各護岸種での分布状況を比較した．また，各生物グループを構成する個々の生物種についても特徴的なものについては比較の対象とした．

統計解析はまず各グループの分布について等分散性の検定（ルビーンの等分散性の検定）を行った．その結果，等分散性が仮定できないグループが多かったため，これらはノンパラ

メトリック検定（クラスカル・ウォリス検定）を用いて解析し，有意差が認められたものについてマン・ホイットニーの検定で多重比較を行った．また，等分散性が仮定できたグループについては，分散分析を行い，テューキーの方法で多重比較を行った．有意水準 α は0.05とした．なお，すべての統計処理はSPSS Ver22.0で行った．

2.3 結果および考察

2.3.1 付着動物の種類別の被度

図-3は，付着動物の被度を構成種（フジツボ類，マガキ，コウロエンカワヒバリガイ，ウネナシトマヤガイ）ごとに分けたグラフである．上段の護岸表面と隙間の合計値において，両年とも，かごブロックでマガキの被度割合が高い（78～86 %）のが特徴的で，他の3護岸では被度割合が23～43 %と低かった．逆に，生態系被害防止外来種のコウロエンカワヒバリガイは両年とも環境保全型で被度が最も高く，かごブロックで被度が最も低かった．また，護岸表面では付着が観察された全ての護岸でフジツボ類の生息量が優占しているのが特徴的であった．さらに，下段のグラフから護岸の種類にかかわらず，潮間帯では付着動物の生物量を支えるのは護岸表面ではなく護岸隙間であることがわかる．

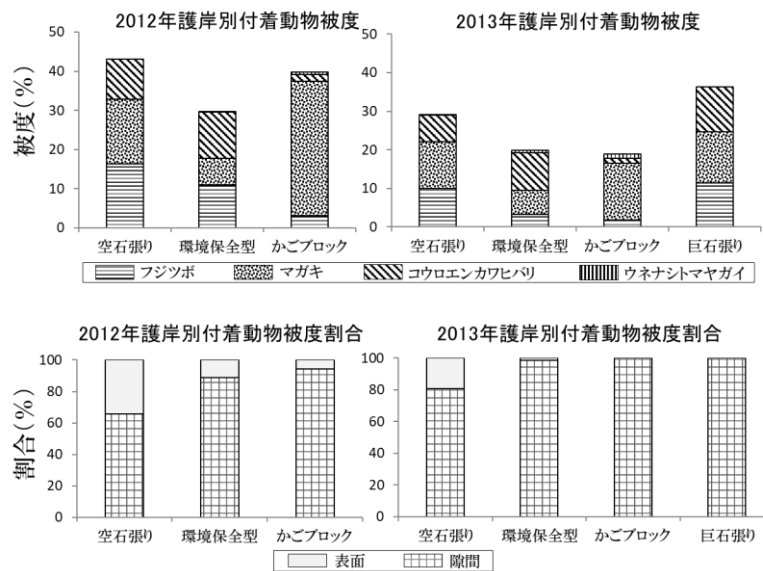


図-3 付着動物の種類別被度と表面・隙間分布割合

2.3.2 マガキ

図-4にマガキの護岸別被度を示す．クラスカル・ウォリス検定の結果，上段の護岸別被度

(表面と隙間の合計値)において、2012年では環境保全型の被度が空石張りより有意に低く($p<0.01$), 2013年では環境保全型の被度がかごブロック, 巨石張りより有意に低かった($p<0.05, p<0.05$). 2012年は、かごブロックのマガキの被度の平均値は高いが、ばらつきが大きいいため他護岸と有意な差はみられなかった. これは、かごブロックの調査ポイントの約半数において粘性土の堆積が多く、マガキの付着を阻んだためと思われる(図-5a). これらのことから、環境保全型においてはマガキの被度は他護岸より有意に低く、また護岸構造としては、かごブロックがマガキの分布に適していると考えられる. かごブロックは栗石が

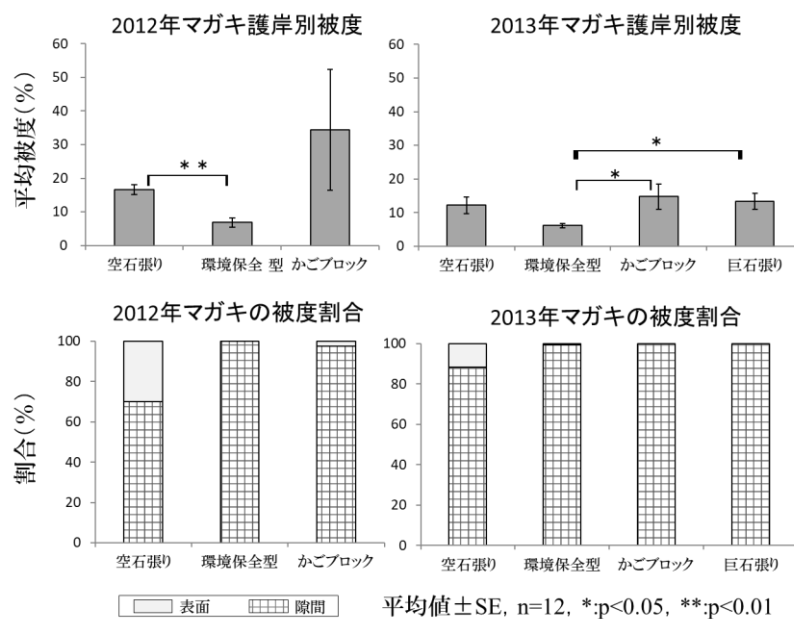


図-4 マガキの被度と表面・隙間分布割合

何層にも重なり、マガキの付着基盤の面積が多いこと、タイドプールがあるため干出時にも水中環境が保持されることがマガキの分布に影響すると考えられる(図-5a). 逆にマガキが環境保全型に少ない理由は、隙間が10 cmと浅いために付着基盤の面積が小さいからと考えられる.

また、下段グラフのマガキの表面の被度割合において、2012年では空石張りの被度が環境保全型、かごブロックより高く、2013年でも同様に空石張りの被度割合が環境保全型、かごブロック、巨石張りより高かった. これは、空石張りが北向き護岸であることや、写真-1a)に示すように空石張りが河畔林の日陰になり、やや乾燥が緩和される環境にあることが原因であると考えられ、また、マガキが乾燥の激しい中潮帯表面(空石張り、かごブロック)にもわずかであるが分布できることを示している.

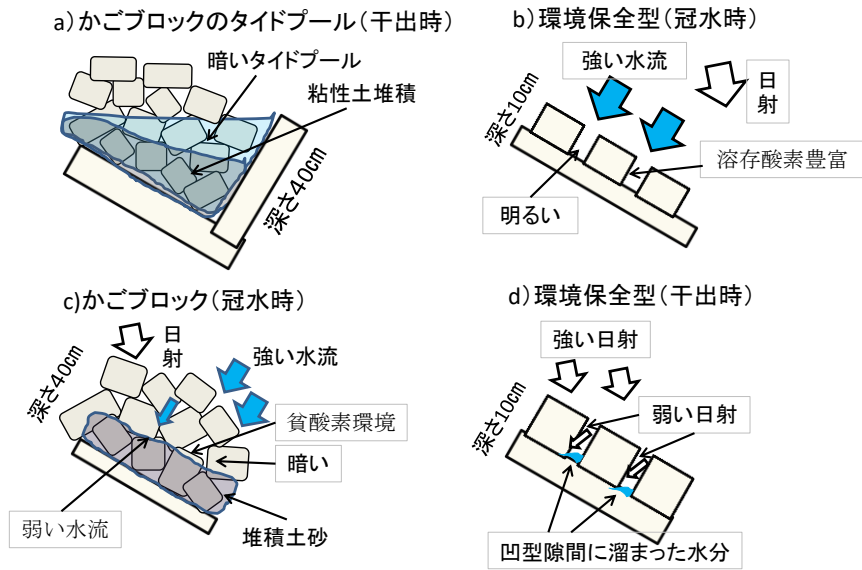


図-5 かごブロックと環境保全型の護岸構造の違い

2.3.3 コウロエンカワヒバリガイ

図-6にコウロエンカワヒバリガイの護岸別被度を示す。上段は、表面と隙間の合計値であるが、2012年ではかごブロックが空石張り、環境保全型より有意に被度が低く ($P<0.01, P<0.01$)、2013年でも同様にかごブロックが空石張り、環境保全型、巨石張りより有意に被度が低かった ($p<0.01, P<0.01, P<0.05$)。このように、両年の傾向は極めて類似しており、コウロエンカワヒバリガイは、かごブロックで有意に被度が低く、環境保全型ブロックで有意に被度が高かった。これは先ほどのマガキと逆の分布を示した。

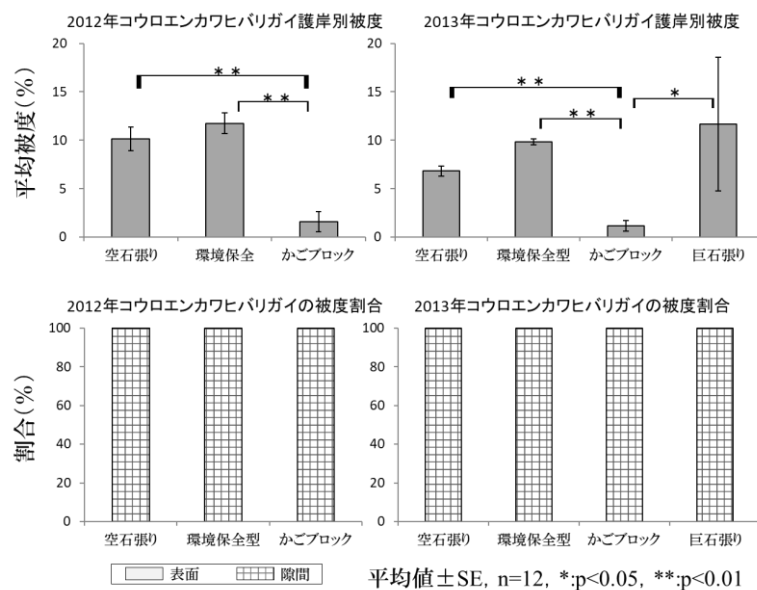


図-6 コウロエンカワヒバリガイの被度と表面・隙間分布割合

下段グラフに示すように、コウロエンカワヒバリガイは乾燥が激しい中潮帯表面ではすべての護岸で全く見られないという特徴があり、耐乾燥性においてマガキより劣ると推測される。

環境保全型とかごブロックの隙間構造に起因する環境の違いは、環境保全型は隙間が10 cmと浅いため、冠水時に日射が届き水流が直接当たり溶存酸素の供給が良好であると思われるのに対し（図-5b）、かごブロックの隙間は栗石が何層にも重なるため、石裏に日射が届かず、石裏の水流が弱いことが想定され、また、現地調査時に石裏の土砂が黒色を呈し異臭がしたことから、やや還元的な要素を合わせ持つと考えられる（図-5c）。既存研究では、マガキはイガイ科のアコヤガイ、ムラサキインコガイ、チレニアイガイよりも酸素利用率が低いことが実験によって示されている³⁾。また、別の、藤前干潟で軟体動物を調査した研究においては、コウロエンカワヒバリガイは「水質が汚れている場所」に生息し、マガキは「水質が汚れている～非常に汚れている場所」に生息する指標生物と位置づけられている⁴⁾。これらのこと、コウロエンカワヒバリガイがイガイ科に属することから、コウロエンカワヒバリガイはマガキより貧酸素環境に弱いという性質を持つことが推測される。

上記の理由から、かごブロックは生態系被害防止外来種のコウロエンカワヒバリガイの増殖を抑えるのに有効な構造を持つと考えられる。

2.3.4 カニ類

図-7にカニ類の護岸別密度を示す。上段の護岸ごとのカニ類の平均密度（表面と隙間の合計値）では、かごブロックが各年度で52.7～28.1 n/m²と飛び抜けて高く、空石張りが14.7～13.9n/m²でその次に高かった。巨石張りでは2013年に8.9 n/m²の密度を示し、環境保全型が

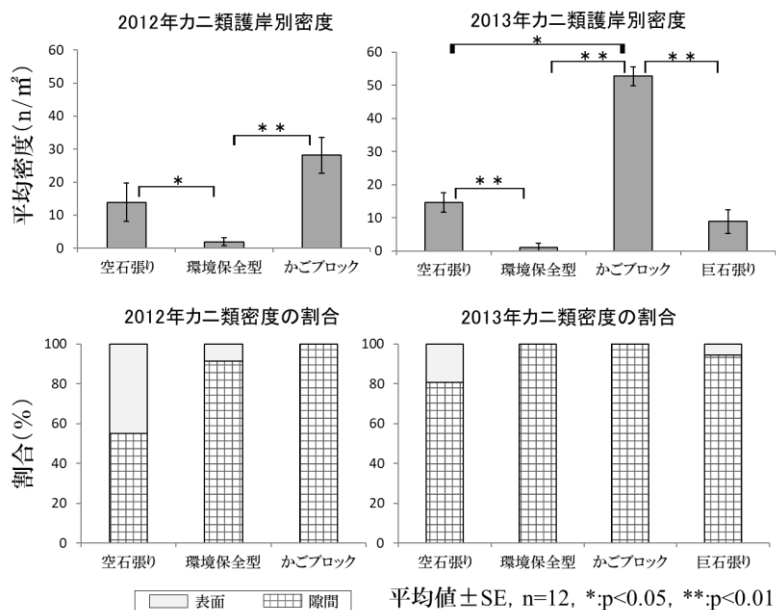


図-7 カニ類の密度と表面・隙間分布割合

3.6~1.0n/m²と他の3つの護岸より際だって低かった。クラスカル・ウォリス検定では、2012年において、かごブロックと空石張りが環境保全型より有意に密度が高く ($p<0.01, p<0.05$) , 2013年ではかごブロックが空石張り, 環境保全型, 巨石張りより有意に高い密度を示した ($p<0.05, p<0.01, p<0.01$) .

環境保全型でカニの密度が低いのは, 環境保全型は石裏に隙間がないため, カニが捕食者や乾燥から身を守る空間が乏しいことが原因であると考えられる。また, かごブロックでカニの密度が他の護岸より有意に高いのは, かごブロックは大きなカニも隠れることができる多様なサイズの隙間があり, そこに巣穴を掘ることができる柔らかい土砂が堆積していること(写真-1c)右)からフタバカクガニやアシハラガニが分布し, さらにタイドプールがあるため乾燥を防ぎ, 水中を好むケフサイソガニ⁵⁾も分布していたことが原因であると考えられる。ケフサイソガニは護岸前の石の下の湿った場所にも多数隠れていたが, 乾燥した場所には出現しないようであった。巨石張りが空石張りよりカニの密度が少し低いのは, 石の径(直径約1 m)や隙間の幅(約20 cm)が分布するカニ類の体のサイズ(甲幅約3.5 cm以内)に比べ大きいので, カニ類が鉛直・水平方向とも移動しにくいことが原因と考えられる。これに対してかごブロックでは石の径(10~20 cm), 隙間の幅(平均2.5 cm)ともカニのサイズに近いので移動の際の足がかりとして適していると思われる。移動の困難性は, 摂餌行動や捕食者からの退避行動に不利に働くと推測される。

下段のグラフで, 密度に占める表面の割合が一番大きいのは空石張りである。これは, 付着動物やマガキのグラフと同じ傾向であり, 表面では空石張りが最も湿っていたことが影響していると思われる(図-9)。空石張りの表面が最も湿っていた理由は, 先に述べた空石張りが北向き護岸であることや, 写真-1a)に示す河畔林や雑草の日陰効果が考えられる。

空石張りはこれに加え石裏や護岸より上部が柔らかな土砂であり, 護岸上部の一部にヨシが生えるミニ干潟がある点が, 他の3護岸と異なる。このため, 分布割合が多い種から順に示すと, 他護岸と共通の優占2種であるフタバカクガニ, ケフサイソガニに続いてカクベンケイガニ, アシハラガニが分布し, 空石張り独自のものとしてユビアカベンケイガニ, シオマネキ, クロベンケイガニ, アカテガニも護岸上で見られ, 合計で8種類と他護岸より多くの種を確認した。上記のような環境がカニ類の種数の豊富さに影響すると考えられる。また, 各護岸とも護岸表面にカニ類の分布は少なく, 護岸隙間に多く分布している。カニ類は鰓呼吸に支障がないように水分のあるところを選んで活動していると考えられる。付着動物と同様に, カニ類の分布も護岸の乾湿度合いと相関があることを示している。

2.3.5 イソダンツウ

図-8にイソダンツウの護岸別被度を示す。調査区潮間帯の護岸に分布する海藻類には他に

ハナフノリ，ボタンアオサ，ヒビミドロがあったが，それぞれ生育量（湿重量）が少なく，イソダンツウの生育量は他の付着海藻より際立って大きかった．

両年の被度の傾向は似ており，イソダンツウは両年とも圧倒的に環境保全型の隙間で被度が高く，他の護岸の被度は極めて低かった．クラスカル・ウォリス検定の結果では，上段の護岸別被度（表面と隙間の合計値）では，2012年は環境保全型が空石張り，かごブロックより有意に高い値を示している（ $p<0.01, p<0.01$ ）．また，2013年でも上段の護岸別被度で同様に環境保全型が空石張り，かごブロック，巨石張りより有意に高い値を示している（ $p<0.01, p<0.01, p<0.01$ ）．これは，環境保全型の隙間だけが，イソダンツウの光合成に必要な弱い日射と水分のバランスを保っていたからと考えられる．日射が強いと水分は蒸発してしまうが，環境保全型の浅い隙間（深さ約10cm）は，適度に弱められた日射が底部まで届き，且つ水分が蒸発しにくい環境を作り出している．環境保全型の隙間は凹型で水が溜まりやすい⁶⁾ことも水分保持に効いていると考えられる（図-5d）．

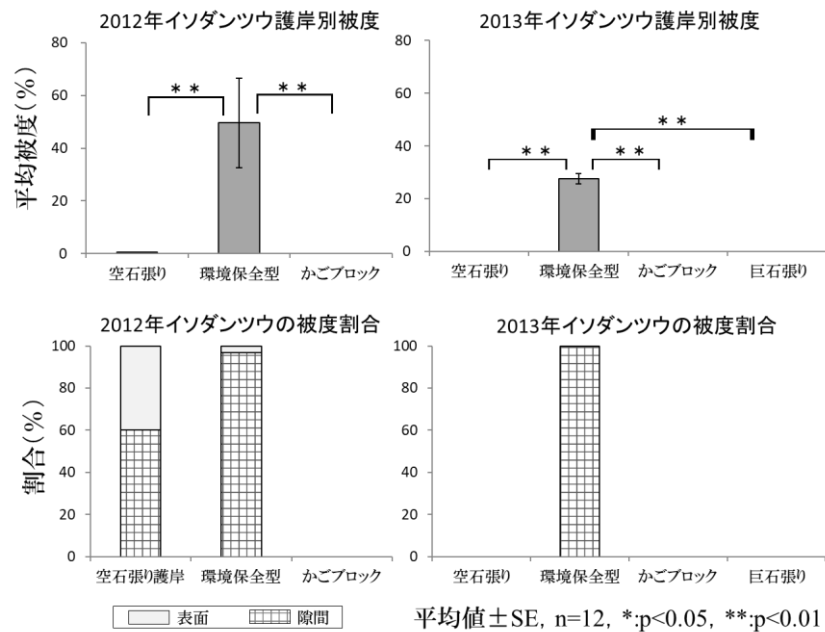


図-8 イソダンツウの被度と表面・隙間分布割合

2.3.6 乾湿度合の日変化

図-9に2012年調査時のコドラートにおける中潮帯の表面と隙間の乾湿度合の変化を示す．調査は3護岸とも晴天の日に行った（7月1日，7月15日，7月16日）．護岸ごとの各部位について12ポイントの観測値がある．

図の中段の北向き護岸である環境保全型ブロックの調査は7時28分に開始した．調査開始

時の乾湿度合は、中潮帯表面、中潮帯隙間とも3（中湿）であった。時間経過にともない中潮帯表面は10時41分に乾燥したが、中潮帯隙間は調査終了時点の12時36分において乾湿度合2（低湿）の状態を保っていた。次の満ち潮で冠水するのは中潮帯で14時10分であったので、中潮帯表面では約3時間30分の乾燥状態が続いたと思われる。

また、上段の北向き護岸である空石張り表面は、湿潤時は環境保全型より乾湿度合の数値が1ランク高い傾向にあるものの、同様な時間経過による乾湿度合の変化を示している。しかし、日射量の多い南向き護岸であるかごブロックの表面は調査開始時の午前8時30分にはすでに乾燥していたので、北向き護岸（空石張り、環境保全型）より乾燥時間が1～2時間以上長いことが分かる。

いずれにしても表面はすべての護岸で3時間半以上の乾燥時間があり、生物の生存には厳しい環境である。一方、隙間では程度の差はあるが、すべての護岸で中潮帯において調査時間中水分を保持していた。隙間では次の満ち潮まで水分を保持している可能性が大きい。

これまでの調査結果では、潮間帯生物はそのほとんどが表面ではなく隙間に生息していた。生物が安定的に生息するためには、湿潤状態が維持される環境が必要であると思われる。

また、かごブロックの高潮帯隙間（日陰）の調査時に、コンクリートかごの側壁表面より底部の堆積土砂（粘性土、砂）の方がより湿潤状態を保っていることを確認した。土砂は日陰において保水材として高い機能を持つと考えられる。

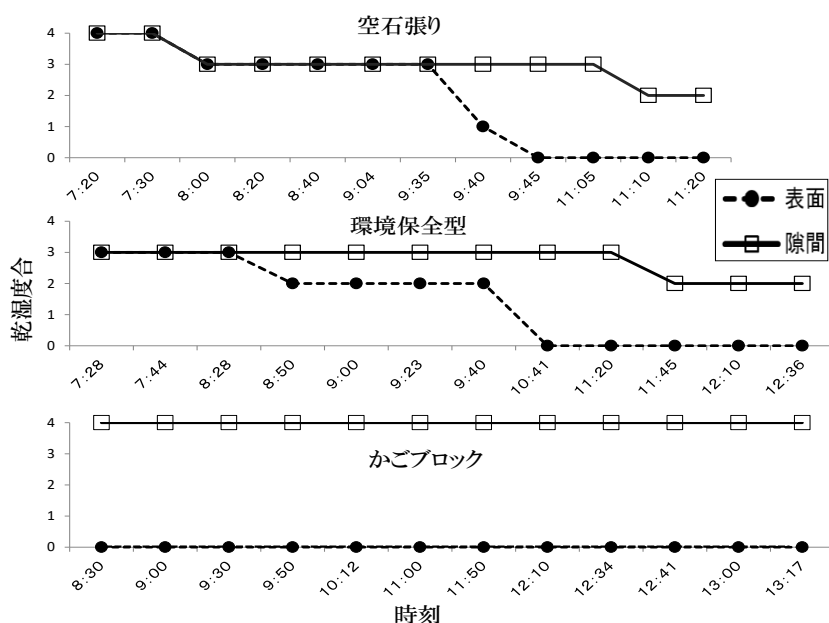


図-9 日中の時間経過による表面・隙間の乾湿度合の変化

2.4 結言

以下に主要な結論を示す。

1)同一護岸内では，ほとんどの種で護岸表面より隙間の方が生物の被度が高い．これは，表面より隙間の方が乾燥しにくいことが原因と推測される．

2)潮間帯生物にとっては干出時の乾燥が最大の分布制限因子であると考えられる．護岸においては乾燥防止のために隙間（日陰）の存在が極めて重要である．

かごブロックが持つ特徴から次のことが言える．

3)マガキの分布には多層の付着基盤を持つ護岸内のタイドプールが，そして護岸内の暗いや溶存酸素の少ない環境も有効である．この環境は，コウロエンカワヒバリガイが選好しない環境なので，生態系被害防止外来種のコウロエンカワヒバリガイの繁殖抑制に効果的であると考えられる．

4)イワガニ類の分布には，水分と多様なサイズの隙間，ケフサイソガニが選好する護岸内のタイドプール，巣穴を掘るための粘性土の敷設が有効である．イワガニ類はこの巣穴で越冬が可能となることを確認している（神野未発表データ）．

空石張りが持つ特徴から次のことが言える．

5)多様なカニ類の分布には，護岸前面にミニ干潟・餌料にもなるイセウキヤガラ，ヨシの移植，陸上部は雑草を侵入させ，捕食者の目を遮るとともに日陰をつくり，地表温度を下げるものが有効である．

環境保全型ブロックが持つ特徴から次のことが言える．

6)イソダンツ（海藻）は環境保全型ブロックの隙間で有意に被度が高い．浅い隙間は日射量が過多とならず乾燥しにくいので，光合成が可能な弱い日射と水分のバランスをこの藻類に提供するからであると推察される．潮間帯護岸に海藻を付着させるには，光合成が可能な範囲の弱い日射と水分の組み合わせが極めて重要である．

最後に，本研究で得た知見をもとに考えられる，マガキとカニ類の生息に適した護岸構造の例を図-10に示し，その概要を述べる．今回調査した4タイプの既存護岸の中で在来種のマガキやカニ類を保全すべき目標種とした場合，最も好適な生息環境を創出し，且つ強度面でも問題がない護岸はかごブロックであった．図中下段は既設かごブロックで，厚さ30 cmのコンクリート底板で護岸としての強度を確保している．そして上段に改良点を示す．

具体的には，

7)前面にミニ干潟を造成してヨシやイセウキヤガラを移植する．ミニ干潟には周辺のスナガニ類の侵入が期待でき，移植した抽水植物はイワガニ類の餌料となる．

8)ミニ干潟の前面に，日当たりのある光合成が可能なタイドプールを設置し，海藻類の生育

を図る。

9)護岸内には、かごブロックの上下左右の開口部を塞ぎ、3段のタイドプールを作り、カニ類、マガキの生息環境を拡大する（このタイドプールは石材の陰となり日射が届かないので海藻類の生育はあまり期待できない）。

10)かごの深さを50 cmと深くし、厚さ30 cmの泥質土を栗石の間隙に充填し、カニの巣穴に十分な土層厚を確保する。

11)潮上帯の護岸面に雑草植生を繁茂させ、直射日光を遮り、カニが隠れることができる日陰を作る。

12)管理道路脇に締め固めない泥質土を50 cmの深さで敷設し、植生やコケがある環境を作り、カニ類に餌料、日陰、巣穴環境を提供する。

13)管理道路勾配を川側に付け、水抜きパイプで雨水を護岸内へ誘導し、潮上帯護岸面の植生に灌水する。

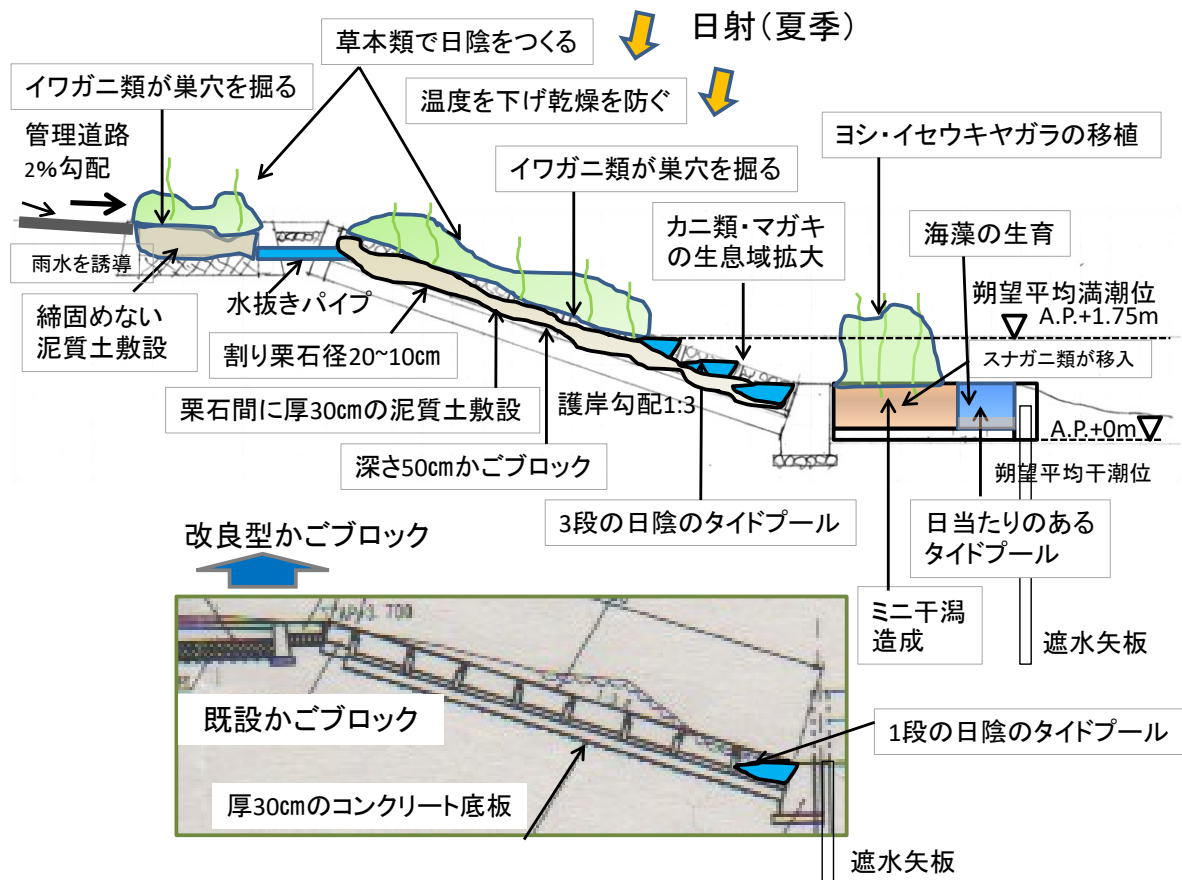


図-10 改良型カキ・カニ護岸の例

参考文献

- 1) 四国地方整備局徳島河川国道事務所：吉野川資料館
<<http://www.skr.mlit.go.jp/tokushima/river/profile/prolog/yoshino1.html>>,2012,10,21. 参照
- 2) 上月康則・倉田健悟・村上仁士・鎌田磨人・上田薫利・福崎亮：スナガニ類の生息場からみた吉野川汽水域干潟・ワンドの環境評価：海岸工学論文集,第47巻,pp.1116-1120,2000.
- 3) 山本憲一・半田岳志：マガキの酸素摂取に及ぼす低酸素の影響 水産増殖 (aquaculture Sci.) 59(2),pp.199-202,2011.
- 4) 川瀬基弘：藤前干潟の軟体動物：<http://www.mizuho-c.ac.jp/images/library/kiyo_01/amckiyo-no01-16.pdf>
- 5) 小倉雅実・岸由二：ケフサイソガニの繁殖期と雄の空缶利用行動,日生態会誌 (Jap.J.Ecol.) ,1985.
- 6) 綿貫啓・廣瀬紀一・長谷川実・高橋邦正・古澤晃：人工タイドプールの開発,海洋開発論文集,第15巻,5月,1999.

第3章 吉野川汽水域の緩傾斜護岸における日射と潮間帯生物の分布の関係について

3.1 緒言

緩傾斜石積み護岸に生物の分布範囲が小さく、その要因として緩傾斜石積み護岸では日陰が少なく護岸の湿潤環境が安定しないことが指摘されている¹⁾。干出時には南向きは北向きより日射の影響を強く受けるため、護岸の向きは乾燥の程度の違いから生物の生息に影響が大きいと思われるが、潮間帯においては未だ報告がなされていない。本章では、徳島県を東西に流れる吉野川の河口部汽水域の北向きと南向きの緩傾斜護岸において、付着動物、カニ類、付着海藻、巻き貝の分布を調べ、護岸の向きや護岸の構造に伴う日射の影響と生物の分布の関係性を明らかにすることを試みた。

3.2 方法

3.2.1 調査地の概要

吉野川は四国西部の高知県吾川郡いの町に源を発し、徳島県徳島市で紀伊水道に注ぐ四国最大の1級河川である。吉野川の河口から潮止めとなる第十堰までの約14 km区間が汽水域となっている。調査地は徳島市内の図-1の矢印で示す位置である。

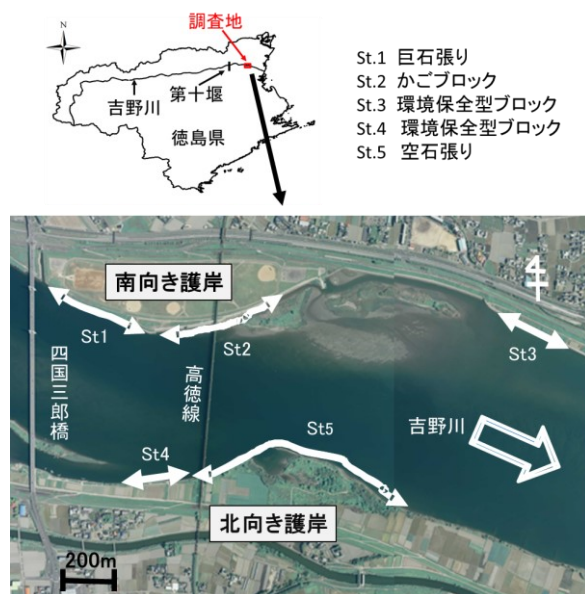


図-1 調査地の位置

河口から約7.6 km上流にあるJR高徳線吉野川橋梁周辺の護岸タイプの異なる低水護岸上の潮間帯に、南向きのSt.1, St.2, St.3調査区と北向きのSt.4, St.5調査区を設置しコドラート調査を実施した。各調査区の護岸の外観を写真-1に、護岸の種類と特徴を表-1に示す。



St.1 巨石張り(南向き)



St.2 かごブロック(南向き)



St.3 環境保全型ブロック
(南向き)



St.4 環境保全型ブロック
(北向き)



St.5 空石張り(北向き)

写真-1 調査護岸の概観

表-1 調査護岸の種類と特徴

調査区名称	護岸の種類	護岸の特徴					
		向き	勾配	材質	石材の径	隙間の幅	隙間の深さ
St.1	巨石張り	南向き	1:2	花崗岩	1×1m	20cm	70cm
St.2	かごブロック	南向き	1:1.5 と1:3	砂岩	20× 10cm	2.5cm	40cm
St.3	環境保全型 ブロック	南向き	1:2	緑泥片岩	20× 10cm	2.5cm	10cm
St.4	環境保全型 ブロック	北向き	1:2	緑泥片岩	20× 10cm	2.5cm	10cm
St.5	空石張り	北向き	1:2.2	緑泥片岩	40× 20cm	4.0cm	35cm

また、調査地付近における大潮時の表層水の塩分が20～30 psuの間で変動することが示されている²⁾。

3.2.2 調査方法

一辺が37.5 cmで縦横10柵（計100柵）のネット状のコドラートを中潮帯の護岸面に置き、コドラート内に分布する生物の種と量を目視計測した（図-2）。付着動物や付着海藻は被度を、カニ類や巻き貝については個体数を、護岸の表面と隙間（目地）に分けて求めた。また、各護岸にはコドラートをそれぞれ12区画置いた。

調査は夏季の晴天日に実施した（表-2）。それぞれ1護岸につき1日を当て、主に午前中の干潮時刻前後に調査を行った。

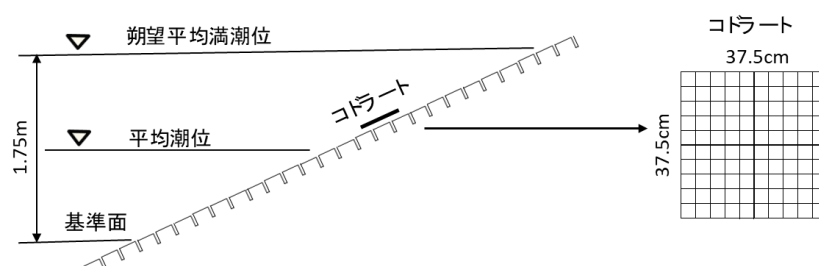


図-2 コドラート設置図

表-2 調査年月

調査年月日	調査区名				
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
2012年7月1日～16日		○		○	○
2013年6月22日					○
2013年7月6日～7日	○	○			
2013年8月17日				○	
2014年8月23日～24日			○	○	

3.2.3 護岸の日射量

日射量は9年間（2010～2018年）の日射量データを用いて算出されたNEDOの日射に関するデータベース³⁾の平均年のデータを使用し、徳島市（北緯34度4分）における護岸の方向角ごとの夏至頃（6月16日）、秋分頃（9月21日）の晴天日の日最大時間日射量（傾斜角27°）を平均して算出した。

3.2.4 統計解析

生物分布の統計解析については、2護岸での比較はMann-WhitneyのU検定⁴⁾で、3護岸以上の比較はSteel-Dwass検定⁴⁾でおこなった。なお、統計ソフトはBellcurve社のエクセル統計バージョン4.04を使用した。

3.3 結果

3.3.1 調査護岸の日射量

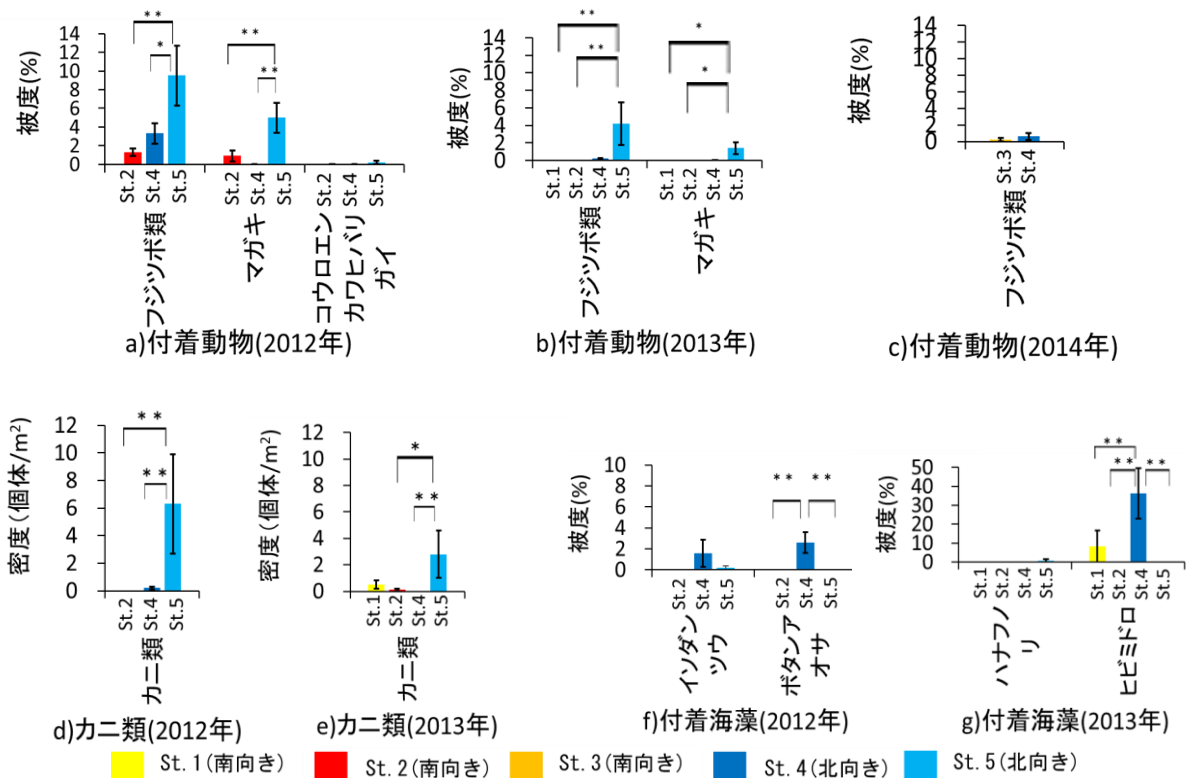
表-3は調査護岸の真南からの方向角と夏季の日最大時間日射量の関係を示したものである。日射量の少ない北向き護岸St.4, St.5の日射量が2.38, 2.48 MJ/ m²であるのに対し, 南向き護岸St.1~St.3の日射量は3.41~3.46 MJ/ m²と約1.4倍大きかった。

表-3 護岸の真南からの方向角と夏期の日最大時間日射量

調査区名	真南からの方向角 (度)	日最大時間日射量 (MJ/m ²)
St.1 (南向き)	23	3.46
St.2 (南向き)	341	3.41
St.3 (南向き)	25	3.45
St.4 (北向き)	174	2.38
St.5 (北向き)	157	2.48

3.3.2 生物相

図-3は2012年, 2013年, 2014年調査での護岸表面の生物分布を示している。付着動物では,

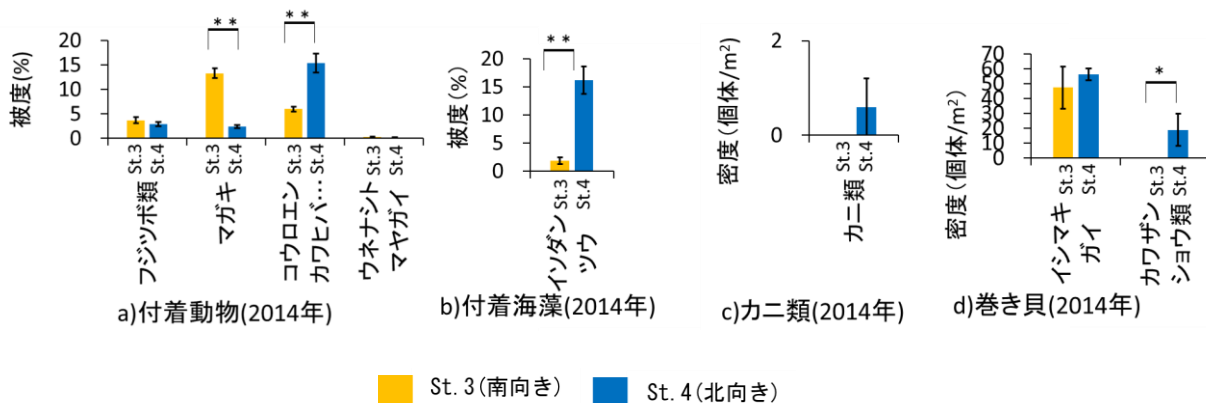


平均値±SE, n=12, Steel-Dwass検定 * : P < 0.05, ** : P < 0.01

図-3 護岸表面の生物分布の比較

フジツボ類Thoracica, マガキCrassostrea gigas, コウロエンカワヒバリガイXenostrobus securisの3種を確認している.

図-3のa)~c)を見ると, 2012年, 2013年, 2014年の3か年で調査した各調査区ではいずれもフジツボ類が優占し, 次にマガキの被度が大きかった. なお, 図-3のd), e)で示すカニ類Brachyuraについては, 2012年, 2013年に個体を確認することができた. 図-3のf), g)に示す付着海藻はイソダンツウCaulacanthus okamurai, ハナフノリGloiopeltis complanata, ヒビミドロUlothrix sp., ボタンアオサUlva conglobataの4種が確認できた. ただし, イソダンツウは2012年のSt4とSt.5で, またボタンアオサは2012年のSt.4, ハナフノリは2013年のSt.5だけで, ヒビミドロは2013年のSt.1とSt.4の両調査区で分布が確認できた.



平均値±SE, n=12, Mann-WhitneyのU検定 * : P<0.05, ** : P<0.01

図-4 護岸隙間の生物分布の比較

図-4は2014年調査の環境保全型ブロック (St.3とSt.4) の隙間の生物分布を示している. 図-4a)の付着動物はフジツボ類, マガキ, コウロエンカワヒバリガイ, ウネナシトマヤガイTrapezium liratumの4種を確認した. 図-4b)の付着海藻は両調査区でイソダンツウのみ出現した. 図-4c)のカニ類はSt.4にのみ0.6個体/m²が確認された. 図-4d)の巻き貝では, 両調査区でイシマキガイClithon retropictusが分布していたが, カワザンシヨウガイ類Assimineidaeは北向き護岸 (St.4) の隙間だけに分布し南向き護岸 (St.3) の隙間には分布がなく, 南向き護岸より北向き護岸の方が有意に被度が高かった (p<0.05) .

また, 2014年調査で表面と隙間の生物相を比較すると表面は北向き, 南向きともフジツボ類だけであったのに対し (図-3c), 北向きの隙間は8種, 乾燥しやすい南向きの隙間であっても6種と多数の生物種が確認できた (図-4) .

3.4 考察

3.4.1 護岸の向きによる表面の生物分布の比較

図-3a), b), c)から護岸の南北の向きで付着動物の被度を比較すると、フジツボ類は南向き護岸 (St.1, St.2, St.3)の方が北向き護岸 (St.4, St.5)よりも被度が低い傾向にあった。マガキは2012年と2013年に分布し、南向き護岸の分布は北向き護岸 (St.5)よりも被度が低かった。コウロエンカワヒバリガイは北向き護岸 (St.5)のみに分布していた。また、これらの付着動物の被度を比較すると生物分布がある場合にはフジツボ類、マガキ、コウロエンカワヒバリガイの順に低くなっていた。この順位は各生物種の高温・乾燥耐性の違いによるものと考えられる。

図-3f), g)に示す付着海藻については北向きのSt.4の被度が他の調査区よりも高い傾向にあった。南向き護岸表面は付着海藻の生育を制限しヒビミドロを除く種では付着は全くないが、北向き護岸表面ではヒビミドロの他、イソダンツウ、ボタンアオサ、ハナフノリがわずかではあるが付着できる環境となっていることが分かる。ヒビミドロについては極めて薄く護岸に付着している状態であり、被度の割合は高いものの体積としては非常に小さいものであった。

このように南向き護岸より北向き護岸の方が付着動物や付着海藻の種数が多く、かつ、それぞれの被度が高いことの要因として日射量、護岸の表面温度の違いが考えられる。

通年の観測を行い各気象要素と蒸発量の月平均値の関係を調べた結果、日射量と蒸発量、気温と蒸発量はリニアな関係にあることを示し、蒸発量と最も関係が深い気象要素として日射量 (単純相関係数0.96)を、2番目に関係が深い気象要素として気温 (単純相関係数0.89)を挙げている研究がある⁵⁾。なお、この調査において各月の風速の平均値は季節変化が少なく、年平均で1.8m/sと弱いものであった。さらに地表面温度については、裸地面での夏の正午の値では日射量10%の減少で地表面温度が2.5℃低くなることが示されている⁶⁾。南向き斜面の日射量は北向き斜面の日射量の約1.4倍であるため、北向き斜面より南向き斜面の表面温度が高くなっていたと考えられる。

以上のことから、南向き護岸は北向き護岸より日射量が多く、乾燥しやすく表面温度も高くなる環境にあると言える。そして生物調査結果では南向き護岸表面の方が北向き護岸表面より生物種が少なく、生物量についても付着動物、付着海藻の被度が低い傾向を示した。

また、図-3f)のボタンアオサや図-3g)のヒビミドロの分布においてSt.5がSt.4より被度が低い原因の1つとして、図-3d), 3e)に示すカニ類の分布においてSt.4よりSt.5の個体密度が有意に高いことから、St.5でのカニ類による付着海藻の摂食⁷⁾が考えられる。

なお、護岸の石材の種類と分布する生物の種類、量に関する報告は見当たらないが、こ

ここで石材の吸水量について着目すると、砂岩(3.2%~8.0%)>花崗岩(1.0%~2.0%)>緑泥片岩(0.2%~0.4%)の関係がある⁸⁾⁹⁾。南向き護岸の石材はより吸水率が大きく蒸発による吸熱効果も期待できる砂岩、花崗岩であったが、北向き護岸の緑泥片岩の表面より生物量は少なかった。このことから、石材の種類よりも護岸の向きによる日射の影響の方がより強く生物の分布に作用していることが示唆された。

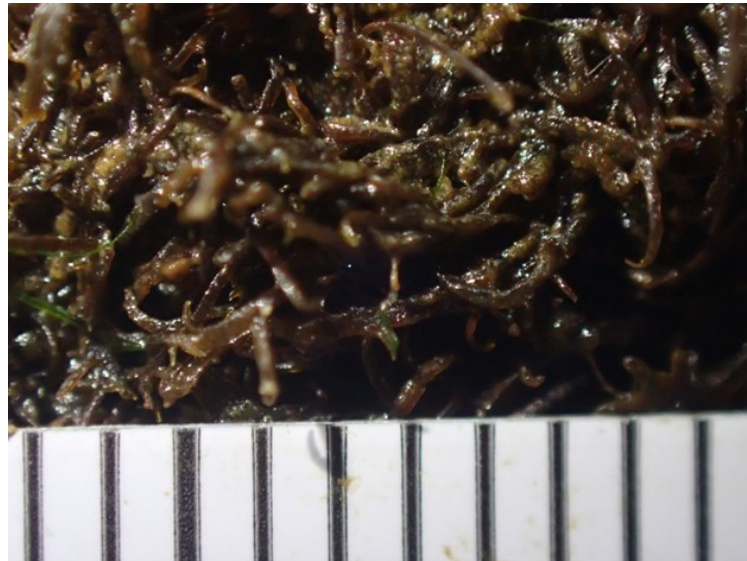


写真-2 イソダンツウ (目盛: mm)

3.4.2 護岸の向きによる隙間の生物分布の比較

図-4b)の付着海藻の分布では両護岸とも海藻の種はイソダンツウ(写真-2)のみである。イソダンツウは外海の岩上や潮線間中上層に生育するすぎのり目ゆかり科の紅藻類で、北海道東部以外ほとんど日本全岸・朝鮮で分布し¹⁰⁾、小樽市における調査では5月から12月の間に出現しており季節的消長があることが確認されている¹¹⁾。

イソダンツウについては2014年調査で環境保全型ブロックの表面には分布がなく、図-4b)で示す隙間では被度が北向き緩傾斜護岸(St.4)で約16%であるのに対し、南向き緩傾斜護岸(St.3)では約2%しかなく、南向き護岸より北向き護岸の方が有意に被度が高かった($p<0.01$)。緩傾斜護岸の環境保全型ブロックの隙間は日射の及ぶ幅2.5 cm、深さ10 cmの浅い隙間である。ここでも北向きよりも南向きの隙間の方が乾燥しやすい環境にあると言える。

ただし、表面と違い隙間では南向きでも僅かながら湿潤環境が保たれ、その結果南向きの隙間にも海藻のイソダンツウが少量であるが生育できたと推察される。さらに南向きの隙間での海藻の被度を高くさせるためには、日射量や乾燥などに配慮し隙間の幅や深さを工夫すればよいと思われる。海藻類については光合成が可能な弱い光環境を提供し湿潤状態を維

持する隙間構造が重要であると言える。

以上のことや2014年調査結果（図-3c, 図-4）から、南を向き、日射の影響を強く受ける環境にある護岸でも、隙間では湿潤環境が保持されやすく、多数の生物が生息できることが示唆された。

3.4.3 護岸の隙間でのコウロエンカワヒバリガイとマガキの分布の比較

図-4a)より、コウロエンカワヒバリガイの被度は南向き護岸（St.3）の隙間より北向き護岸（St.4）の隙間が有意に高かった（ $p<0.01$ ）。その一方でマガキの被度は北向き護岸（St.4）の隙間より南向き護岸（St.3）の隙間の方が有意に高かった（ $p<0.01$ ）。そして南向きに比べ高温・乾燥ストレスの低い北向き護岸（St.4）の隙間ではコウロエンカワヒバリガイが優占し、北向きに比べ高温・乾燥ストレスの高い南向き護岸（St.3）の隙間ではマガキが優占する傾向にあった（写真-3, 写真-4）。

これについては、コウロエンカワヒバリガイと同科のムラサキイガイとマガキの高温・

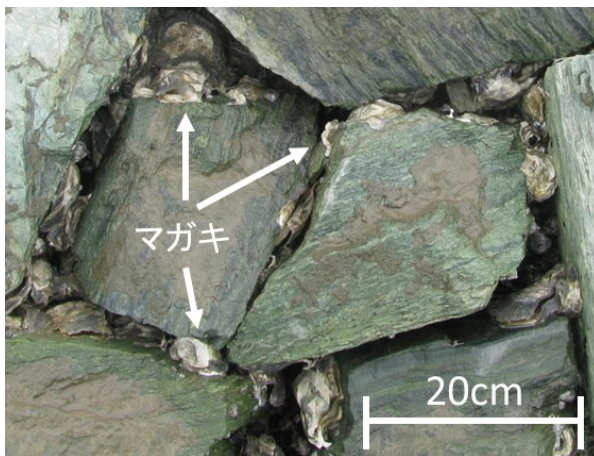


写真-3 南向き隙間でのマガキの優占

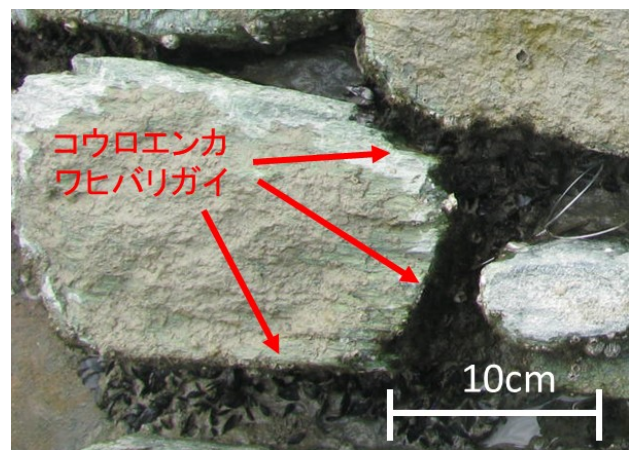


写真-4 北向き隙間でのコウロエンカワヒバリガイの優占

乾燥耐性に関する実験を行った結果、ムラサキイガイよりマガキの方が高温・乾燥耐性が高いことが明らかにされている¹²⁾。この実験からもコウロエンカワヒバリガイよりマガキの方が高温・乾燥耐性が高いことが示唆される。

また、高温・乾燥ストレスの低い北向きの護岸（St.4）の隙間でコウロエンカワヒバリガイがマガキ等の他の付着動物種よりも優占していたことの一因には、コウロエンカワヒバリガイの足糸による被覆行動が考えられる。本調査では北向き護岸でコウロエンカワヒバリガイに被覆され死滅しているマガキを確認している（写真-5）。他にも内湾部の直立護岸においてムラサキイガイの足糸の下にマガキの死殻が多く観察されており¹³⁾、また、紀ノ川下流

部の直立護岸の調査結果からコウロエンカワヒバリガイがドロフジツボを被覆し死滅させていることが推察されている¹⁴⁾。

このように、コウロエンカワヒバリガイへの乾燥ストレスの低い場所では、他の生物種を被覆・死滅に至らせることは一般的にみられることのようにある。

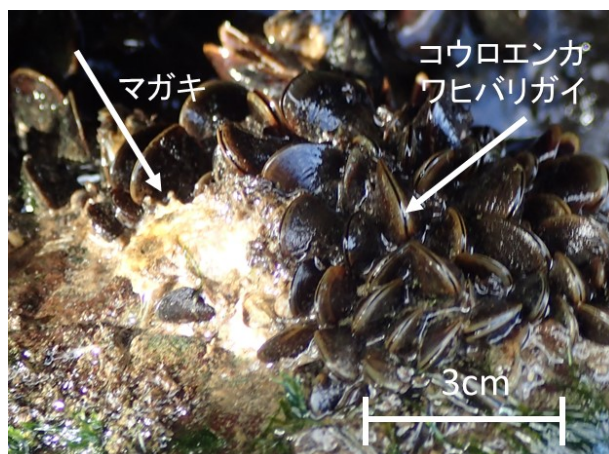


写真-5 コウロエンカワヒバリガイに覆われるマガキ

3.5 結言

緩傾斜石積み護岸に日陰が少なく、生物の分布範囲が小さいという課題に対処する方法を見出すことを目的に、夏季に吉野川汽水域の緩傾斜護岸において、日射と潮間帯生物の分布の関係について調査を行った。その結果、調査地の南向き護岸の日射量は北向き護岸の日射量の約1.4倍で、南向き護岸は北向き護岸より日射の影響を強く受け、乾燥しやすく、表面温度が高くなる環境であることが分かった。それに応じて、護岸表面の生物は北向きに比べて南向きでは種数が少なく被度も低かった。ただし、護岸の隙間では湿潤環境が維持されるため、護岸表面よりも被度が高く、南向きの護岸であっても複数の生物種の生息が確認された。特に当地点の南向き護岸の隙間では適度な日射と湿度が保たれ、ある程度の海藻（イソダンツウ）の生育も可能となっていた。

以上のことから、緩傾斜護岸への日射の影響を低減させ、生物多様性を高めるためには、湿潤環境が保持できる隙間構造を適切に設けることが重要であることが示された。

参考文献

- 1) 柵瀬信夫, 加藤智康, 枝広茂樹, 小林英樹, 古川恵太: 都市汽水域の生き物の棲み処づくりにおける順応的管理手法の適用, 海洋開発論文集, 第23巻, pp. 495-500, 2007.
- 2) 上月康則, 倉田健悟, 村上仁士, 鎌田磨人, 上田薫利, 福崎亮: スナガニ類の生息場からみた吉野川汽水域干潟・ワンドの環境評価, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1116-1120, 2000.
- 3) NEDO 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構: 日射に関するデータベース, https://www.nedo.go.jp/library/ZZFF_100041.html, 2023年1月28日確認.
- 4) 柳井久江: 4Stepsエクセル統計, 第4版, pp. 94-99, pp. 186-189, オーエムエス出版, 2015.
- 5) 三浦健志: 蒸発散(その2), 農業土木学会誌, 第57巻第5号, pp. 429-436, 1989.
- 6) 菅原広史, 近藤純正: 都市における各種地表面温度の敏感度解析, 天気, 42巻12号, pp. 813-818, 1995.
- 7) Mchenga, I. S. S. and M. Tsuchiya: Feeding choice and the fate of organic materials consumed by sesarma crabs *Perisesarma bidens* (De Haan) when offered different diets, J. Mar. Biol., Vol. 2010, Hindawi Publishing Corporation, 2010.
- 8) 糟谷憲司: 岩石の物理量の相互関係および物理量による岩石の工学的分類に関する一試案, 応用地質, 第19巻第4号, pp. 16-37, 1978.
- 9) 天田高白, 川上和彦, 渡辺文人: 破碎帯地域の岩石物性に関する考察, 新砂防, 44巻6号, pp. 21-28, 1992.
- 10) 新崎盛敏: 原色新海藻検索図鑑, 重版, p. 100, 北隆館, 2005.
- 11) 佐藤輝夫: 北海道小樽市海岸における海藻の季節消長, 藻類, 第43巻第1号, pp. 1-7, 1995.
- 12) 佐藤省吾, 武田忠郎: 垂下養殖カキの附着生物に関する研究第1報 ムラサキイガイ (*Mytilus edulis* LINNE) の駆除について, 東北海区水産研究所研究報告, 1号, pp. 63-67, 1952.
- 13) 古瀬浩史, 風呂田利夫: 東京湾奥部における潮間帯付着動物の分布生態, 付着生物研究, 5巻2号, pp. 1-6, 1985.
- 14) 岩崎敬二: 外来二枚貝コウロエンカワヒバリガイが在来種に及ぼす影響について: 人工護岸壁の場合, 日本生態学会第56回全国大会学会講演要旨集, p. 209, 2009.

第4章 夏季高温時における汽水域の緩傾斜護岸構造とカニ類の生息場機能との関係について

4.1 緒言

第2章では目視によるカニ類の分布調査を行っており、護岸表面にカニ類の分布は少なく、護岸隙間に多く分布していると述べたり。しかし、目視での護岸表面のカニ類の分布調査は、カニが逃げないように一定距離を置いての観察になることや、人の影響が完全に排除できないため、正確で自然な分布を把握するには困難性を伴う。この解決策として定点観測用カメラの利用があり、定点で計測する物理環境とカニの分布や行動との関連付けも可能となる。

本章では定点観測用カメラの映像を用いて、護岸の構造や物理環境とカニ類の分布や行動の関係性を明らかにし、夏季のカニ類の棲息場に適する緩傾斜護岸構造を提示した。

4.2 方法

4.2.1 調査地の概要

吉野川は四国西部の高知県吾川郡いの町に源を発し、徳島県徳島市で紀伊水道に注ぐ四国最大の1級河川である。吉野川の河口から潮止めとなる第十堰までの約14 km区間が汽水域となっている。調査地は徳島市内の図-1の矢印で示す位置である。河口から約7.6 km上流にあるJR高徳線吉野川橋梁周辺の護岸タイプの異なる南向きの低水護岸上の潮間帯に、St.1, St.2, St.3, St.4調査区を設置しコドラート調査を実施した。各調査区の護岸の外観を写真-1に、護岸の種類と特徴を表-1に示す。

St.1は巨石張りで、巨石を積み上げた構造である。St.2はかごブロックで、栗石をコンクリートのかごに詰めた構造である。St.3はコンクリートブロック張りで、老朽化のためコンクリートブロックの継ぎ目に多数の狭い隙間が開いている。St.4は環境保全型ブロックで、栗石をコンクリート板に垂直に植え付けた構造である。

なお、調査地付近における大潮時の河川表層水の塩分が20~30 psuの間で変動することが示されている²⁾。

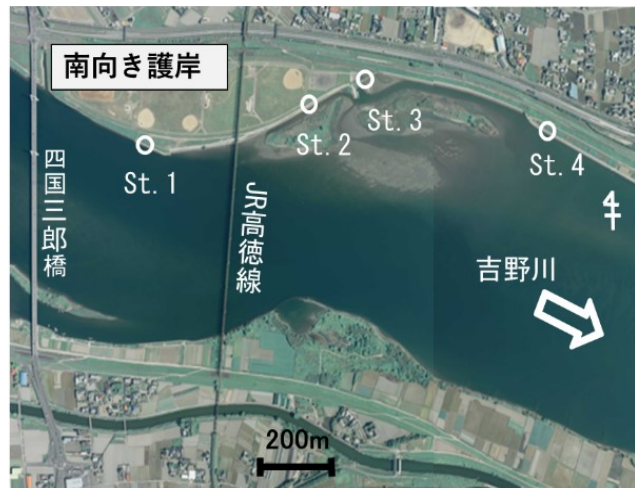
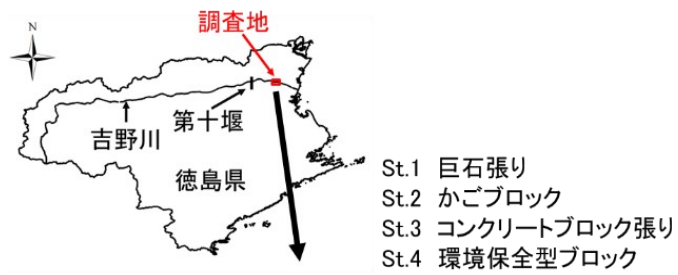


図-1 調査地の位置



St.1 巨石張り (南向き)



St.2 かごブロック (南向き)



St.3 コンクリートブロック張り (南向き)



St.4 環境保全型ブロック (南向き)

写真-1 調査護岸の外観

表-1 調査護岸の種類と特徴

調査区名称	護岸の種類	護岸の特徴			
		向き	勾配	材質	石材等の径
St.1	巨石張り	南向き	1:2	花崗岩	1×1m
St.2	かごブロック	南向き	1:1.5	砂岩	20×10cm
St.3	コンクリートブロック張り	南向き	1:1	コンクリートブロック	30×30cm
St.4	環境保全型ブロック	南向き	1:2	緑泥片岩	20×10cm

4.2.2 調査方法

一辺が 50 cm のコドラートを各調査区の中潮帯の護岸面上に置き（各 1 区画）、実際の護岸の縦 50 cm、横 50 cm の範囲やコドラート周囲に分布するカニ類を、近傍に設置した定点観測用カメラ（タイムラプスカメラ）で撮影した（写真-1、図-2）。コドラートの設置位置（写真-1 の赤色枠）は各調査区で同一標高とした。撮影はコドラートの下端が引き潮により干出してから次の満ち潮で冠水するまでの間に行った。また、調査時の潮汐によるコドラートの干出時間は 4 調査区で大きな差異はなかった。各調査区について概ね 1 時間ごとに護岸表面温度と護岸隙間温度を計測し、1 日当たり 6 回の温度データを得た。護岸温度は熱画像カメラで護岸表面を面的に計測し、計測画面で表面と隙間の位置を特定し、表面と隙間の温度を求めた。なお、定点観測用カメラは Brenno 社の TLC200Pro を、熱画像カメラは CHINO 社の CPA-B0304 を使用した。調査は 2023 年 8 月 28 日の 7 時 2 分～13 時 9 分までと、8 月 29 日の 7 時 30 分～13 時 48 分までの 2 日間行った。また、各調査区の護岸の隙間の幅、護岸面と垂直方向の深さをコドラート位置とその周辺で 50 箇所計測するとともに護岸の隙間の構造図を作成した。隙間の深さは検尺棒を隙間に差し込み計測した。なお計測回数は各箇所 1 回とした。

8 月 28 日の天候は晴れで雲量は少なく調査時間帯の日照時間の割合は 97%³⁾であったのに対し、8 月 29 日は晴れではあるものの雲量が多く調査時間帯の日照割合は 54%³⁾で、降水量には計上されない程度の短時間の少雨が観測された。

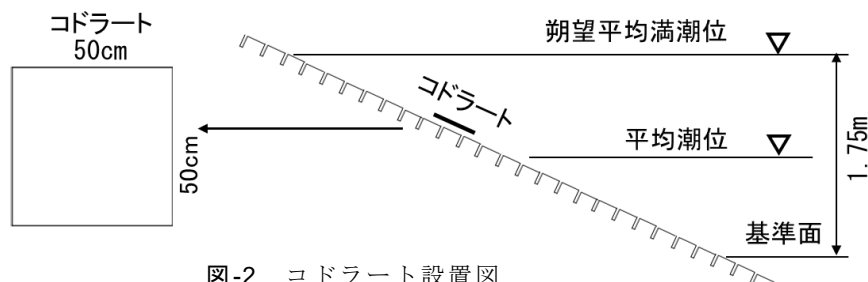


図-2 コドラート設置図

4.2.3 統計解析

各護岸のカニ類の分布の統計解析については、Steel-Dwass 検定⁴⁾でおこなった。また、カニ類の分布と物理環境との関係については Spearman の順位相関係数⁴⁾を用いて解析した。なお、統計ソフトは Bellcurve 社のエクセル統計バージョン 4.04 を使用した。

4.3 結果

4.3.1 護岸の隙間構造

図-3 は各調査区の護岸の隙間の幅と深さの関係(n=50)を示している。St.1 は幅が 4～30cm (平均 16 cm)、深さが 70～132 cm (平均 100 cm)、St.2 は幅が 0.7～8 cm (平均 2.8 cm)、深さが 20～40 cm (平均 34 cm)、St.3 は幅が 0.7～3.5 cm (平均 1.4 cm)、深さが 8～100 cm (平均 46 cm)、St.4 は幅が 1～6 cm (平均 3.2 cm)、深さが 6～13.5 cm (平均 11 cm) であった。St.1 の隙間は幅が広くてかなり深い隙間と言える。St.2 の隙間は幅が狭くばらつきがあり、ある程度の深さのある隙間である。St.3 の隙間は深さがあるが、幅のばらつきは小さく、一様にかなり狭い隙間である。St.4 の隙間は幅が狭くばらつきがあるが、深さのばらつきは小さく、一様に浅い隙間となっている。

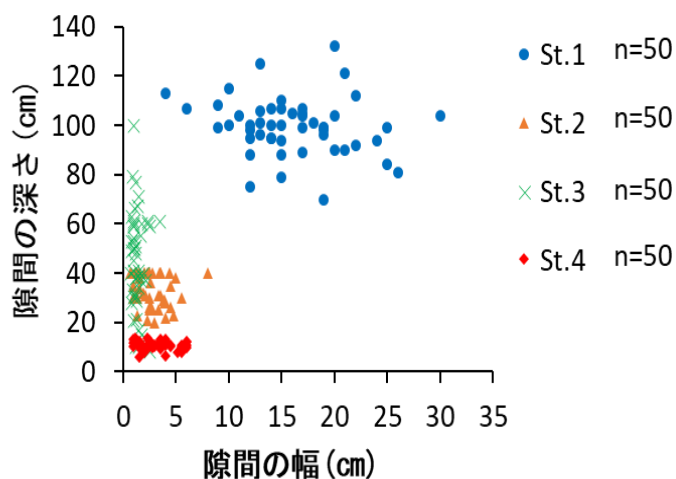


図-3 護岸の隙間の幅と深さの関係

4.3.2 護岸の表面温度と隙間温度の関係

図-4 は 8 月 28 日の護岸の表面温度と隙間温度の概ね 1 時間ごとの変化を示している。各調査区とも調査開始の早朝の護岸温度は低いですが、時間が経過し太陽高度が高くなるにつれ、

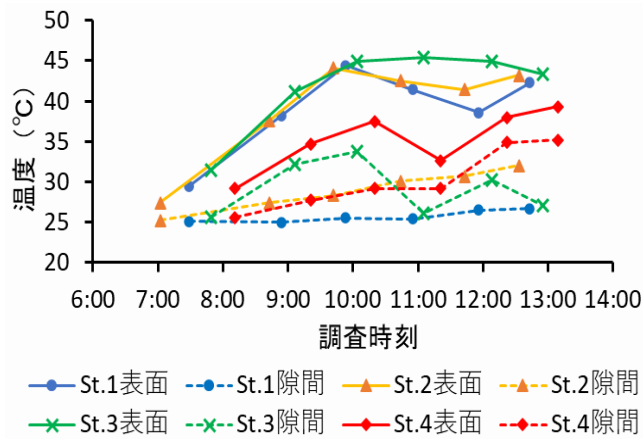


図-4 8月28日の護岸の表面温度と隙間温度の時間変化

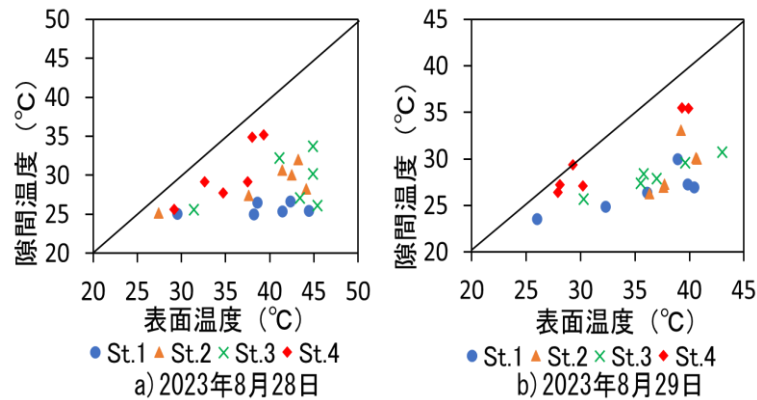


図-5 護岸の表面温度と隙間温度の関係

特に護岸表面では高い温度上昇が見られた。8月29日も同様な傾向を示した。図-5は護岸の表面温度と隙間温度の関係を示しているが、両日とも護岸の隙間温度は表面温度より低かった。図-5a)の8月28日ではSt.1は表面温度が最高値44.4°Cの時の隙間温度は25.5°Cであり、その差は18.9°Cであったが、St.4では表面温度が最高値39.3°Cの時の隙間温度は35.2°Cであり、その差は4.1°Cしかなかった。図-5b)の8月29日ではSt.1は表面温度が最高値40.4°Cの時の隙間温度は27.0°Cであり、その差は13.4°Cであったが、St.4では表面温度が最高値39.9°Cの時の隙間温度は35.4°Cであり、その差は4.5°Cしかなかった。両日とも隙間の最も深いSt.1は表面温度が上昇しても隙間温度はあまり上昇せず、表面温度に対する隙間温度の割合が調査区の中で最も低かった。一方隙間の最も浅いSt.4は表面温度の上昇に伴い隙間温度の上昇が顕著であり、表面温度に対する隙間温度の割合が調査区の中で最も高かった。St.2, St.3はその間に位置した。

4.3.3 カニの確認数

図-6 は 8 月 28 日, 8 月 29 日の各調査区での 10 分間のカニ類の確認個体数を示している。確認されたカニの種は St.1, St.3, St.4 がフタバカクガニ *Perisesarma bidens* 1 種のみであり, St.2 はフタバカクガニとのアシハラガニ *Helice tridens* の 2 種であった。8 月 28 日調査の St.4 はカメラの不具合で映像を撮ることができなかった。カニの確認個体数 (2 種の合計) は各調査区での温度測定 (6 回/日) 前の 10 分間について, 定点観測用カメラ映像から読み取ったものであり, サンプル数は各護岸当たり 6 個である。なお, コドラートに複数回出入りする個体については 1 個体としてカウントした。図-6a) の 8 月 28 日では St.2 は St.1, St.3 より有意に分布数が多かった。図-6b) の 8 月 29 日では St.2 は St.1, St.4 より有意に分布が多く, St.3 も St.1, St.4 より有意に分布が多かった。St.2 は St.3 より平均値で分布が多いものの有意差はなかった。

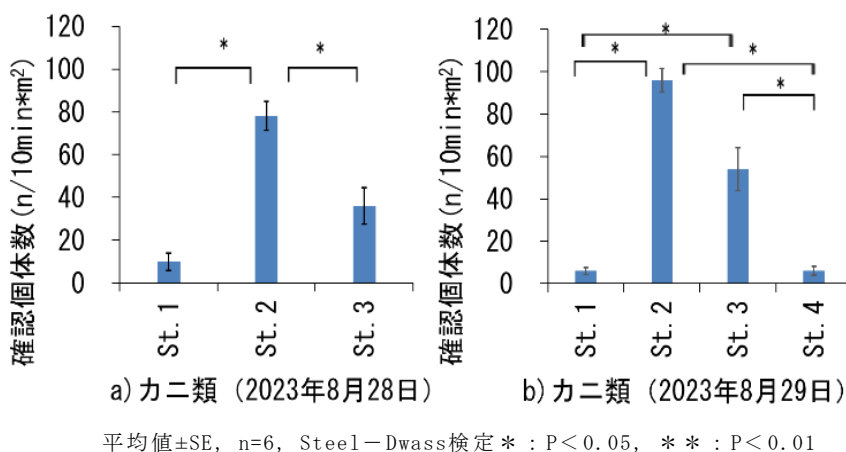


図-6 10分間のカニ類の確認個体数

4.3.4 カニのサイズ割合

図-7 は 8 月 28 日, 8 月 29 日の各調査区でのカニ類の甲幅サイズの割合を示している。各調査区での温度測定 (6 回/日) 前の 10 分間について, カメラ映像から抽出した 1 日当たり計 6 枚の画像ごとに, 分布するカニのサイズを目視で小型 (甲幅 < 1cm), 中型 (1cm ≤ 甲幅 ≤ 2cm), 大型 (甲幅 > 2cm) に分類し, 1 枚ごとの分布割合を平均して算出した。隙間の幅が最も狭い St.3 は St.1, St.2, St.4 より小型のカニの割合が多く, 中・大型のカニの割合が少なかった。一方隙間の幅が広い St.1 は中・大型のカニの割合が多かった。なお, 図中に上記 6 枚の画像のカニの平均密度を示した。

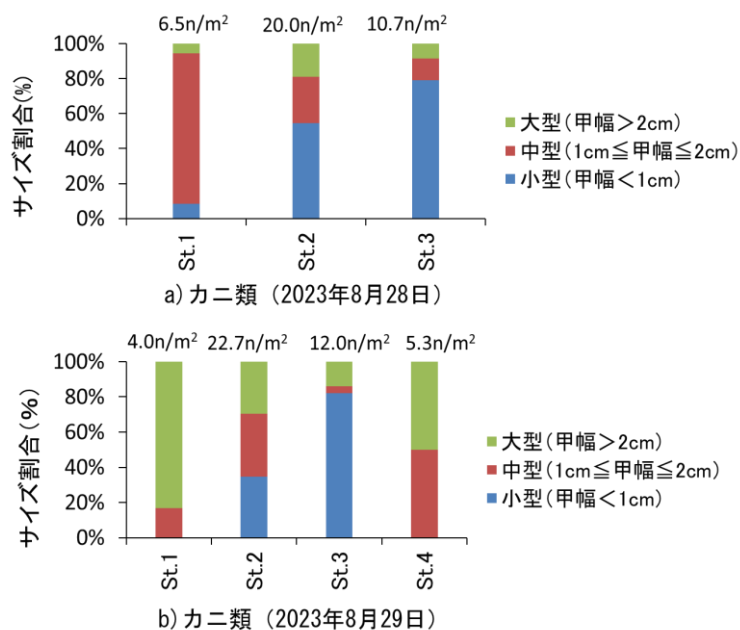


図-7 カニ類のサイズ

4.3.5 カニの確認数と護岸表面温度の関係

図-8 は 8 月 28 日, 8 月 29 日調査における各調査区の温度測定前 10 分間のカニの確認個体数と護岸表面温度の関係を示している. St.2, St.3 ではカニの個体数と表面温度に負の相関があり, 護岸の表面温度が上昇するとカニの個体数が減少する傾向が示された. 図-9 はフタバカクガニとアシハラガニの 2 種が分布する St.2 について, 図-8 に示す分布の種類別内訳を示したものである. アシハラガニの確認個体数は全体の 1 割程度であり, 両種とも個体数と護岸表面温度に負の相関が見られた.

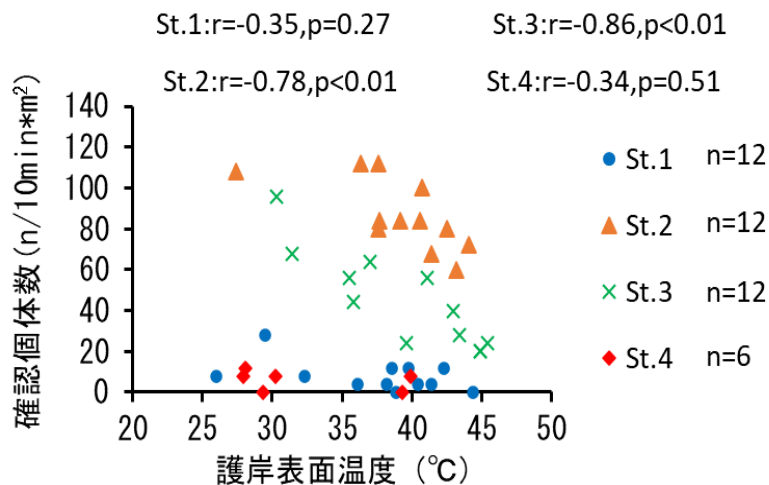


図-8 カニの確認数と護岸表面温度の関係

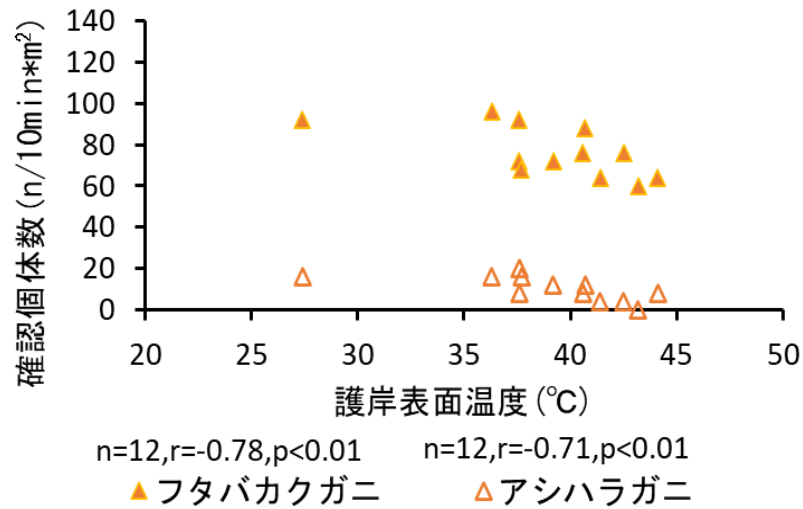


図-9 St. 2のカニの種類別確認数と護岸表面温度の関係

4.3.6 カニの護岸表面滞在時間と護岸表面温度の関係

図-10 は 8 月 28 日, 8 月 29 日調査における各調査区のカニの護岸表面滞在時間と護岸表面温度の関係を示している. カニの表面滞在時間は温度測定前 10 分間において定点観測用カメラ映像から, カニが隙間を出てから再び隙間に入るまでの時間を読み取ったものである. St.1, St.3 では表面滞在時間と表面温度には負の相関があり, 散布図では St.2 も含めて表面温度が上昇するとカニの表面滞在時間が短くなる傾向が見られた. なお, St.1, St.4 で観測値がそれぞれ 2 点少ないのは計測時間帯にカニの出現がなかったためである.

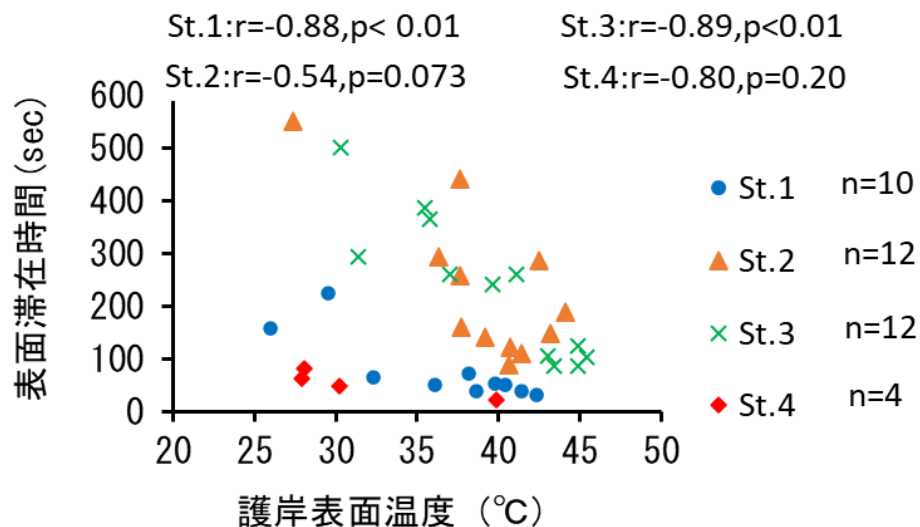


図-10 カニの表面滞在時間と護岸表面温度の関係

4.4 考察

4.4.1 日射と護岸表面の温度と乾燥の関係について

通年の観測を行い各気象要素と蒸発量の月平均値の関係を調べた結果、日射量と蒸発量はリニアな関係にあり、蒸発量と最も関係が深い気象要素として日射量（単純相関係数0.96）を挙げている研究がある⁵⁾。この研究では自然環境下の蒸発量決定メカニズムは、まず日射量が増大し、次に地表面の温度が上昇した後、蒸発量が増大するという流れであることを指摘している。このことから、各調査区の護岸表面温度は日射により朝方から昼頃にかけて上昇し（図-4）、温度上昇に応じて蒸発量が増大して護岸表面での乾燥が進行していったものと考えられる。

4.4.2 カニ類の高温環境に対する忌避行動について

イワガニ上科 *Grapsoidea* のベンケイガニ類 *Sesarma* spp. は鰓室に取り入れた呼吸水を口から吐き出し体表を流すうちに空気中の酸素を取り込んでまた鰓室に戻すことを繰り返し空気中で鰓呼吸を行っている⁶⁾。地表が湿っていると出現が多く、乾燥していると出現が減少することから、ある程度地表が湿った状態でないと呼吸機能や摂食活動に支障をきたすことが指摘されている⁷⁾。陸ガニはこの水循環システムで、ある程度の乾燥状態にも耐えられるが、湿度は陸ガニにとって欠かせない要素であるとの指摘もある⁸⁾。また、陸生及び半陸生のカニ類は外殻を通して体内の水分を失いやすく、その補充手段の一つとして餌料中の水分が利用されていることが指摘されている⁹⁾。

図-4、図-5では隙間の方が護岸表面より温度が低いことが示された。図-8の St.2, St.3では護岸の表面温度が上昇すると表面のカニの確認個体数が減少し、また、図-10の St.1, St.3では表面温度が上昇するとカニの表面滞在時間が短くなる傾向が示された。さらに St.2のカメラ映像では大型、中型、小型のカニの頻繁な隙間の出入り行動が、St.3のカメラ映像では小型のカニの頻繁な隙間の出入り行動が確認された。St.1, St.4でもカニが護岸表面ではなく主に隙間に沿って移動することが確認された。これらのことから、カニは夏季の日中の高温や乾燥を忌避し、日射による体温上昇や乾燥を避けるため、温度の低い隙間を避暑地として利用していると考えられる。陸上で生活するカニ類にとっては、体の乾燥を防止し、体内に貯蔵する呼吸水の減少を抑える環境が必要であり、護岸においては日射を遮り温度が低く湿潤な隙間構造が必要であると考えられる。

4.4.3 小型のカニの大型のカニからの避難行動について

同種個体の捕食例としてオサガニ類 *Macrophthalmus*¹⁰⁾のものや、フタバカクガニやアシ

ハラガニと同じイワガニ上科 *Grapsoidae* のケフサイソガニ *Hemigrapsus penicillatu* の大型個体が小型個体を追跡し捕食する事例¹¹⁾がある。異種間ではアシハラガニがチゴガニ *Ilyoplax pusilla* を捕食する報告¹²⁾がある。当調査箇所付近でもフタバカクガニがケフサイソガニをハサミ足で捕捉しているところを確認した。St.2, St.3 のカメラ映像では大型のカニが小型のカニを捕捉しようと近づくと、小型のカニが距離を取ったり隙間に逃げ込んだりする行動がよく見られた。小型のカニが大型のカニから逃げる行動は被食を回避する行動と捉えることができる。護岸においては大きなカニが入ってこられない小さな隙間の存在が小型のカニにとって重要であると考えられる。

4.4.4 カニの分布に適する護岸の構造について

ケフサイソガニはある程度の奥行きをもち自分の体との間にできる隙間が小さな状態の隙間を好むこと、かくれ場が多いことや小型と大型の個体の生息場所のすみわけが共食いを抑制することが指摘されている¹¹⁾。カメラ映像では、カニが頻繁に隙間に入る行動の中には避暑や乾燥防止の他に、小型のカニが大型のカニの捕食から逃れる行動も含まれていた。これらのことから、夏季にはできるだけ表面より温度が低く、単一のサイズではなく大・中・小の様々なカニのサイズに応じた隙間が多数混在する護岸構造のほうが避暑、共食い抑制の両面からカニの個体群の保持に有効であると思われる。

調査区で優占するフタバカクガニの成体の甲幅を写真-2a)に、隙間に逃げ込む様子を写真-2b)に示す。フタバカクガニの成体の甲幅は 28.5 mm くらい、アシハラガニの成体の甲幅は 34 mm くらいとされており¹³⁾、未成体のカニであればさらに小さい甲幅となる。ここでこれらのカニのサイズを基にして、調査護岸の隙間の構造の違いを表-2 に示す。また、図-11 に護岸の隙間の構造図を示す。

図-11a)の St.1 の隙間は平均深さが 100 cm と深く、図-5 で隙間温度は十分低いので避暑



a) フタバカクガニの成体の甲幅 b) 隙間に逃げ込むフタバカクガニ

写真-2 フタバカクガニの成体のサイズとそれに応じた隙間

機能はあったが、隙間の平均幅が 16 cm とカニの甲幅よりかなり広く（表-2）、カニが捕食者から隠れるには隙間が大きすぎるため、カニの分布が少なかったと思われる（図-6a), 6b)）。

図-11b)の St.2 の隙間は図-5 で隙間温度は十分低く避暑機能があり、平均深さは護岸と垂直方向で 34 cm とある程度深く、幅 0.7~8 cm（平均 2.8 cm）の多様なサイズの隙間がある（図-3, 表-2）。カニの成体の甲幅とほぼ同じ平均幅を中心にばらつきをもつこの護岸の

表-2 調査護岸の隙間の構造

調査区名	護岸の種類	調査護岸の隙間の構造			
		隙間の平均幅	隙間の幅のばらつき	隙間の平均深さ	隙間の形(構造)
St.1	巨石張り	カニの成体の甲長よりかなり広い(16cm)	大きい	かなり深い(100cm)	やや単調
St.2	かごブロック	カニの成体の甲長とほぼ同じ(2.8cm)	大きい	ある程度深い(40cm)	複雑
St.3	コンクリートブロック張り	カニの成体の甲長よりかなり狭い(1.4cm)	小さい	深い(46cm)	やや複雑
St.4	環境保全型ブロック	カニの成体の甲長とほぼ同じ(3.2cm)	大きい	浅い(11cm)	単調

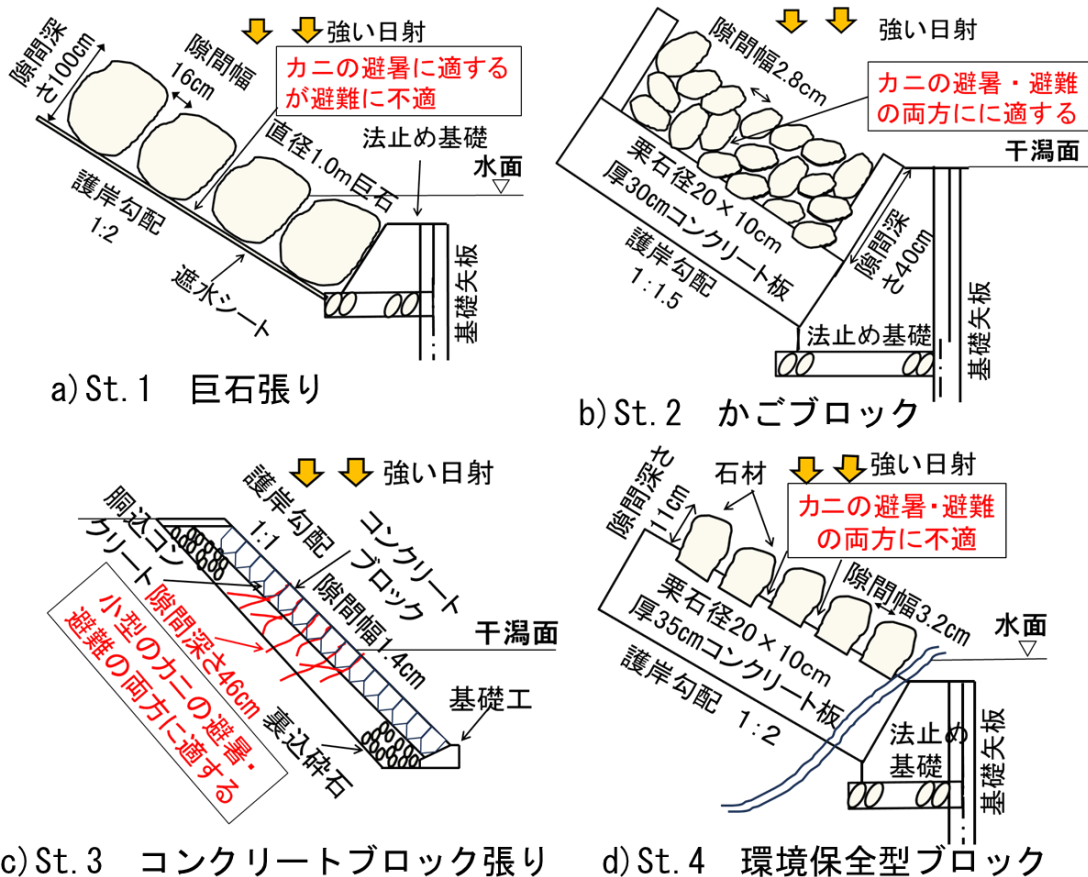


図-11 護岸の隙間の構造図

隙間は、カニの体との間にできる隙間が小さくカニに好まれる¹¹⁾ため、かくれ場の機能を持つと考えられる。またこの護岸は 10~20 cm の栗石を 40cm の深さのコンクリートのかごにランダムに詰めた構造で、どの隙間も 40 cm の深さで護岸内部に複雑な形で広がっている。これらの理由から、すべてのサイズのカニが護岸の隙間を避暑地、避難場所、棲み処として利用できるため、**図-7** に示すように大型、中型、小型のカニの分布割合に偏りが少なく、カニの分布数が最も多かったものと考えられる (**図-6a, 6b**)。

図-11c)の St.3 の隙間は平均深さが 46 cm と深いため、**図-5** で隙間温度は十分低く避暑機能はあった。しかし、隙間の幅が 0.7~3.5 cm (平均幅 1.4 cm) とかなり狭くばらつきも小さいため (**図-3, 表-2**)、小型のカニは護岸の隙間を避暑地、避難場所、棲み処として利用が可能であったが、中型、大型のカニはほとんどの隙間に入れないため、**図-7** に示すように中型、大型のカニが少なく、St.2 よりカニの分布が少なかったと考えられる (**図-6a, 6b**)。また、この護岸の建設当初は隙間の開きはなくカニの分布は現状よりかなり少なかったものと思われる。

図-11d)の St.4 の隙間は幅が 1~6 cm (平均幅 3.2 cm) でカニの成体の甲幅とほぼ同じである (**図-3, 表-2**)。隙間の平均深さが 11 cm と浅く (**表-2**)、形も単調なため、隙間の底部を真上から視認できる。コンクリート板に石材を植え付けた構造であり石裏に隙間はない。このように日射が隙間底部に届き温度が上昇しやすい構造であるため、**図-5** で示すように隙間温度が高かったものと思われる。St.4 の隙間は避暑地に適さず、構造的にもカニが十分に隠れることができないことから、**図-6b**)に示すようにカニの分布が少なかったと考えられる。

これらのことから、カニの分布に適する護岸構造は、St.2 のように十分な (40 cm 以上) 深さと、栗石が積層することで成体や未成体のそれぞれのカニのサイズに合った多様な大きさや形の隙間を多数持ち、日射を遮ることで夏季の隙間温度をできるだけ低く保ち湿潤で、カニが捕食者から隠れることができる、避暑と隠れ場の両方の機能を持った護岸構造であると考えられる。

4.4.5 カニの護岸表面の利用について

カメラ映像ではカニの地上行動として、採餌、移動、干渉 (追いかけ、逃避、縄張り争い)、停止の 4 種の行動が見られた。移動は主に採餌のためと考えられるが、St.1 や St.4 のように護岸際に干潟がなく直接水域に接している護岸 (**写真-1**) での採餌場所は、護岸の湿った石の面や水際の濡れた石の面であった。St.2 や St.3 のように護岸際に干潟がある護岸 (**写真-1**) での採餌場所は、干潟や護岸と干潟の境の湿った場所であった。このようにカニの採餌はほとんどが湿った場所で見られ、湿った餌料から水分の補給も行っているものと

考えられる。カニの採餌行動には湿潤な環境が必要であると考えられる。

なお、図-9 の St.1 で相対的にカニの表面滞在時間が短かった理由は、St.1 の採餌場所は隙間部である巨石の根元の水面に近い湿った場所と考えられ、表面滞在時間が採餌場所への移動時間のみになったことであると思われる。St.2, St.3 では採餌場所が表面部である干潟や護岸と干潟の境であり、表面滞在時間は採餌場所への往復の移動時間と採餌時間の合計値であった。

4.5 結言

カニ類の生息場に適した緩傾斜護岸の構造について検討するため、徳島県を東流する吉野川の河口部のタイプの異なる南向き緩傾斜護岸において、夏季にカニ類の調査を行った。いずれの護岸でもカニは護岸の隙間を生息場所にしており、隙間の特性に応じてカニの個体数や甲幅の分布が異なっていた。例えば隙間の幅の狭いコンクリートブロック張りでは大半のカニが小型で、隙間の幅の広い巨石張りは中型・大型のカニの割合が多かった。かごブロックは隙間の幅や構造が多様であり、カニの個体数が最も多く、様々な甲幅のカニが確認できた。大型のカニが小型のカニを捕捉しようとする行動が観察されたことから、隙間の幅が広く単調な巨石張りは小型のカニの避難場所として不適であり、一方多様なサイズの隙間のあるかごブロックは様々な甲幅のカニの棲み処として適していると言える。カニは護岸表面で採餌している様子が見受けられたが、高温になる程に表面での個体数が減少し、表面での滞在時間も短くなる傾向が示された。これはカニが高温や乾燥を忌避し、温度の低い隙間に避暑したことが原因と考えられる。以上のことから、一般に石材を用いた緩傾斜護岸はカニ類の生息場所になっていることが知られているが、護岸の隙間の形状によって生息場の機能が異なることが示唆された。特に、夏季には高温や乾燥の影響を緩和する機能が求められるが、環境保全型ブロックの様な浅い隙間の護岸の場合には隙間も高温となり、避暑地として適さないことがわかった。

参考文献

- 1) 神野威, 河口洋一, 竹川有哉: 吉野川河口汽水域における護岸構造と潮間帯生物の分布に関する研究と研究成果を活かした護岸構造の提案, 河川技術論文集, 第 21 巻, pp. 37-42, 2015.
- 2) 上月康則, 倉田健悟, 村上仁士, 鎌田磨人, 上田薫利, 福崎亮: スナガニ類の生息場からみた吉野川汽水域干潟・ワンドの環境評価, 海岸工学論文集, 第 47 巻, pp.1116-1120, 2000.
- 3) 気象庁: 過去の気象データ検索, https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php?prec_no=71&block_no=47895&year=2023&month=8&day=&view=, 2024 年 2 月 3 日確認.
- 4) 柳井久江: 4Steps エクセル統計, 第 4 版, pp. 186-189, pp. 204-210, オーエムエス出版, 2015.
- 5) 三浦健志: 蒸発散 (その 2), 農業土木学会誌, 第 57 巻第 5 号, pp. 429-436, 1989.
- 6) 三宅貞祥: 無脊椎動物 A (現代生物学体系第 1 巻), pp. 272-273, 中山書店, 1970.
- 7) 橋口義久, 三宅貞祥: ベンケイガニ類の生態 1 冬眠, 冬眠場所および冬眠期における寄生動物, 九州大学農学部学芸雑誌, 第 23 巻, 第 2 号, pp. 67-80, 1967.
- 8) 鷺谷寧子, 上甫木昭春: 沿岸埋め立て部の海岸林における陸ガニの分布状況の変化, ランドスケープ研究, 73 巻 5 号, pp. 513-518, 2010.
- 9) Lawrence, W. P. and Dorothy, E. B.: Terrestrial adaptations, In, *The Biology of Crustacea*, pp. 271-333, Academic Press, New York, 1983.
- 10) 北浦純, 和田恵次: オサガニ類 (スナガニ上科) における捕食・腐食行動, 沖縄生物学雑誌, 43 巻, pp.71-73, 2005.
- 11) 岡本一利: 七北田川河口域のケフサイソガニ個体群に関する生態学的研究, 東北大学機関リポジトリ, 博士論文, 1991.
- 12) 小林哲: 河川環境におけるカニ類の分布様式と生態:生態系における役割と現状, 応用生態工学, 3 巻 1 号, pp. 113-130, 2000.
- 13) 岡田要: 新日本動物図鑑 (中), pp. 719-720, 北隆館, 1974.

第5章 結論

5.1 緩傾斜護岸の構造と潮間帯生物との関係について

第1章では、研究の背景、既往の知見、研究の目的、論文の構成について示した。

第2章では南向きの巨石張り、かごブロックと北向きの環境保全型ブロック、空石張りの夏季における生物分布の違いについて考察した。同一護岸内では、ほとんどの種で護岸表面より隙間の方が生物の被度が高かった。これは、表面より隙間の方が乾燥しにくいことが原因と考えられる。潮間帯生物にとっては干出時の乾燥が最大の分布制限因子であると考えられる。護岸においては乾燥防止のために隙間の存在が極めて重要である。

付着動物については、マガキがかごブロックで分布が多く、環境保全型ブロックで分布が少なかったのに対し、コウロエンカワヒバリガイは逆に環境保全型ブロックでの分布が多く、かごブロックでの分布が少なかった。マガキはかごブロックの隙間や石裏の暗いやや溶存酸素の少ないタイドプール内の付着基盤でも生息可能であったのに対し、この環境は、コウロエンカワヒバリガイの生息に適さなかったことから、かごブロックは生態系被害防止外来種のコウロエンカワヒバリガイの繁殖抑制に効果的な護岸であると考えられる。

カニ類についてもかごブロックの分布が最も多く、空石張り、巨石張りの順に分布が少なくなり、環境保全型ブロックの分布が際だって少なかった。環境保全型ブロックでカニの分布が少ないのは、環境保全型ブロックは隙間が浅く石裏にも隙間がないため、カニが捕食者や乾燥から身を守る空間が乏しいことが原因であると考えられる。また、かごブロックでカニの分布が他の護岸より多いのは、かごブロックは大きなカニも隠れることができる多様なサイズの隙間があることが原因であると考えられる。

付着海藻（イソダンツウ）は環境保全型ブロックの隙間で分布が多く、他の護岸の分布は極めて少なかった。これは、環境保全型ブロックの隙間だけが、イソダンツウの光合成に必要な弱い日射と水分のバランスを保っていたことが要因と考えられる。日射が強いと水分は蒸発してしまうが、環境保全型ブロックの浅い隙間（深さ約10 cm）は、適度に弱められた日射が底部まで届き、且つ水分が蒸発しにくい環境を作り出している。また、環境保全型ブロックの隙間の形状が凹型で水が溜まりやすいことも水分保持に効いていると考えられる。

第3章では南向きの巨石張り、かごブロック、環境保全型ブロックと北向きの環境保全型

ブロック，空石張りの潮間帯生物の分布調査結果をもとに，夏季における日射と潮間帯生物の分布の関係について考察した．調査地の南向き護岸の日射量は北向き護岸の約1.4倍で，南向き護岸は日射の影響を強く受け，乾燥しやすく，表面温度が高くなる環境であることがわかった．それに応じて，護岸表面の生物は北向きに比べて南向きでは種数が少なく被度も低かった．一方，護岸隙間では湿潤環境が維持されるため，南向きの護岸であっても表面よりも生物の種数が多く被度も高いうえ，環境保全型ブロックでは海藻（イソダンツウ）の生育も可能となっていた．緩傾斜護岸の日射の影響を低減させ，生物多様性を高めるためには，湿潤環境が保持できる隙間構造を適切に設けることが重要であることが示された．なお，隙間では巻き貝（イシマキガイ，カワザンショウガイ類）も確認された．

第4章では，南向きの巨石張り，かごブロック，コンクリートブロック張り，環境保全型ブロックにおいて定点観測用カメラを用いて実施したカニ類の分布・行動調査の結果をもとに，夏季におけるカニの生息場に適した緩傾斜護岸の構造について検討した．カニは護岸の隙間を生息場所にしており，隙間の特性に応じてカニの個体数や甲幅の分布が異なっていた．例えば隙間の幅の狭いコンクリートブロック張りでは大半のカニが小型で，隙間の幅の広い巨石張りは中型・大型のカニの割合が多かった．かごブロックは隙間の幅や構造が多様であり，カニの個体数が最も多く，様々な甲幅のカニが確認できた．大型のカニが小型のカニを捕捉しようとする行動が観察されたことから，隙間の幅が広く単調な巨石張りは小型のカニの避難場所として不適であり，一方多様なサイズの隙間のあるかごブロックは様々な甲幅のカニの棲み処として適していると言える．カニは高温になる程に，表面での個体数が減少し，表面での滞在時間も短くなる傾向を示した．これはカニが高温や乾燥を忌避し，温度の低い隙間に避暑したことが原因と考えられる．以上のことから，護岸の隙間の形状によってカニの生息場としての機能が異なることが示唆された．特に，夏季には高温や乾燥の影響を緩和する機能が求められるが，環境保全型ブロックのような浅い隙間の護岸の場合には隙間も高温となり，避暑地として適さないことがわかった．

上記のことから緩傾斜護岸の潮間帯において生物多様性を高めるためには，まずは生物の乾燥防止のために護岸内に湿潤な環境のシェルターを用意する必要があると言える．これは潮の満ち引きのある潮間帯では，日射を低減したり遮ったりする隙間構造を護岸内に適切に設けることで可能となる．隙間は日射が強く高温で護岸面が乾燥しやすい夏季であっても湿潤状態を保つことから，付着動物，カニ類，巻き貝の生物量を豊かにするうえでも重要である．

個別の生物について言えば，付着動物のマガキの分布には，湿潤な付着基盤の面積を大

量に確保できることから栗石を積層させたかごブロックのような護岸構造が有効であることがわかった。カニ類の分布には大型・中型・小型のすべてのサイズのカニ（フタバカクガニ、アシハラガニ）が護岸の隙間を避暑地、避難場所、棲み処として利用できる多様なサイズの隙間があるかごブロックのような護岸構造が有効であることがわかった。一方、付着海藻の分布には光合成活動が阻害されないように、弱い日射と湿潤環境のバランスを保つ環境が必要で、凹型で水が溜まりやすい環境保全型ブロック（隙間の深さ約10 cm）のような浅い隙間を持つ護岸構造が有効であることがわかった。

5.2 望ましい生物共生護岸構造の提案

本論文は2012年，2013年，2014年，2023年の夏季に吉野川河口部汽水域の緩傾斜低水護岸において実施した潮間帯生物の分布調査や物理環境調査をもとにして，吉野川汽水域における緩傾斜護岸の構造と潮間帯生物の関係について取りまとめたものである。

まず，今回の調査護岸の建設の経緯や生物分布と護岸の強度の関係について考察を加えておきたい。河川管理者の四国地方整備局徳島河川国道事務所によれば，2004年に発生した台風10号，16号，21号，23号による洪水のため，吉野川では40箇所が被災し，なかでも，台風23号による出水は流量観測地点の岩津で最大流量16,427 m³/sを記録し，吉野川の洪水観測史上最大のもので被害も甚大であった。今回調査した巨石張り，かごブロック，環境保全型ブロックの箇所も，被災箇所に含まれ，災害復旧工事として施工されている¹⁾。次年度に施工された災害復旧工事の設計図面（横断図）には地盤線として被災時の旧石張り護岸（控え40cm程度の石張り単体）の形状が描かれている。国の『多自然型川づくり』の方針が，『多自然川づくり』に修正されたのは2006年であるので，この災害復旧工事は旧の『多自然型川づくり』の方針に沿った環境に配慮した工法（巨石張り，かごブロック，環境保全型ブロック）で施工されたと考えられる。本研究は旧方針での環境配慮型護岸が「生物の生息・生育・繁殖環境の保全・創出に配慮した適切な工法」に適合するものであったかどうかを検証する側面を持っていると言える。

生物分布と護岸の強度の関係についてであるが，復旧前の石張り護岸は1975年以前に造られたということであり，被災した2004年までの約30年間を超える期間に発生した洪水に耐えてきた経過から，建設当時は十分な強度を備えていたと考えてよい。空石張りは石のかみ合わせと石組みによる「せり持ち作用」により強度を発揮する²⁾ので，特に強度を要求される河川護岸のような構造物の場合は，石と石が接する合端を直線状に割って揃え，目地（隙間）幅を無くし，谷積みで施工することが基本である。おそらく被災した石張り護岸も建設当時はこのように堅固に造られていたと思われるが，度重なる洪水の掃流力により少しずつ

変形・摩耗し、目地が開いて強度が低下し、最後に破壊に至ったのではないかと考えられる。今回調査した老朽化して目地が開いた空石張りの隙間にはマガキ、カニ類のある程度の分布が確認できている（第2章図-4、図-7）。

生物の生息環境という視点から空石張りを見た場合、建設当時はカニやカキが生息できる、それぞれのサイズに合った隙間はほとんどなかったことになる。空石張り単体においては、洪水流に対する強度と生物の収容能力はトレードオフ（二律背反）の関係にあり、強度と、生物の生息に適する隙間構造の両方を求めることは本来困難である。

この地区の防災上の重要度からすると空石張り単体での新規の護岸工事はあり得ないと思うが、もしこの災害復旧工事を控え40 cm程度の空石張りで施工する場合は、強度を確保するため目地の隙間がほとんどない在来工法で施工することとなるので、空石張りで施工するからといって直ぐには生物にとって住みやすい環境とはならないと思われる。そうした場合、石張りが洪水流などの外力により変形し、石材間の目地が開くまでは多様な生物の生息は期待できないこととなる。

次に、これらの旧石張り護岸の被災や災害復旧工事の経緯を踏まえ、今回調査した各護岸タイプを生物共生の観点から評価してみたい。なお、比較はすべて護岸が劣化する前の新設時点での隙間の構造で行うこととする。まず分布するカニのサイズを基にした調査護岸の隙間構造の特徴を表-1に示す。また、図-1に護岸の隙間の構造図を、表-2に生物共生護岸としての評価を示す。表-1に示すコンクリートブロック張りは建設当初胴込めコンクリートで隙間を塞がれており、また、空石張りは石の合端を直線状に割って揃え目地（隙間）幅を無くしていることから、それぞれ隙間がない護岸構造となっている。巨石張り、かごブロック、環境保全型ブロックの隙間は日陰となり湿潤な状態を保つが、巨石張りとかごブロックの隙間は深いので暗く、環境保全型の隙間は浅いのでやや明るい光環境となっている。

表-1 護岸の隙間構造の特徴

図記号	護岸の種類	護岸の隙間構造の特徴					
		隙間の平均幅 (カニのサイズと比較)	隙間の幅の ばらつき	隙間の 平均深さ	隙間の形 (構造)	隙間の 乾湿度合	隙間の 明るさ
a)	巨石張り	カニの成体の甲幅より かなり広い(16cm)	大きい	かなり深い (100cm)	やや単調	湿潤	やや暗い
b)	かごブロック	カニの成体の甲幅と ほぼ同じ(2.8cm)	大きい	ある程度深 い(40cm)	複雑	湿潤	暗い
c)	コンクリート ブロック張り	新設時は 隙間なし(0cm)	-	-	-	-	-
d)	環境保全型 ブロック	カニの成体の甲幅より 少し広い(3.2cm)	大きい	浅い(11cm)	単調(凹型で水が 溜まりやすい)	湿潤	やや明る い
e)	空石張り	新設時は 隙間なし(0cm)	-	-	-	-	-

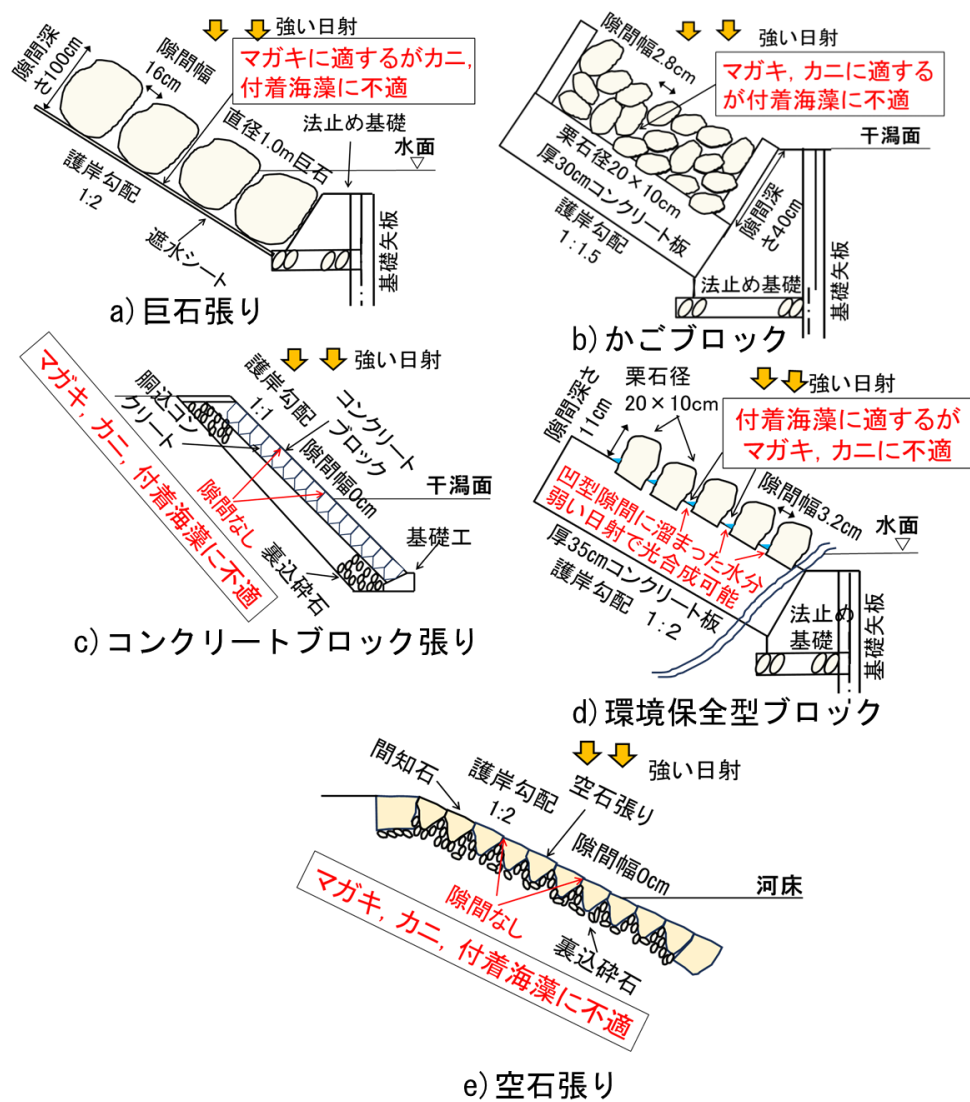


図-1 護岸の隙間の構造図

表-2 護岸の生物共生護岸としての評価

図記号	護岸の種類	比較項目			
		生物との相性	強度 (耐久性)	施工性 (工期)	経済性
a)	巨石張り	マガキに適するが、カニ、付着海藻に不適 △	石に重量があり流されない ◎	工種が多く工期がやや長い △	基礎矢板が必要 △
b)	かごブロック	マガキ、カニに適するが、付着海藻に不適 ◎	隠し護岸で強度を確保 ◎	工種が多く工期がやや長い △	基礎矢板が必要 △
c)	コンクリートブロック張り	マガキ、カニ、付着海藻に不適 ×	目地が開くと強度が低下 △	工種が少なく工期が短い ◎	基礎矢板が不要 ◎
d)	環境保全型ブロック	付着海藻に適するが、マガキ、カニに不適 ○	コンクリート板で強度を確保 ◎	工種が多く工期がやや長い △	基礎矢板が必要 △
e)	空石張り	マガキ、カニ、付着海藻に不適 ×	目地が開くと強度が低下 △	工種が少ないが熟練の技術が必要 ○	基礎矢板が不要 ○

◎:特に優れている, ○:優れている, △:普通, ×:劣る

図-1a)の巨石張りは単体でも流されない2~3トン以上の巨石を積み上げ施工したものであり、洪水に対する耐久性が特に優れており、施工性、経済性も普通で問題はないと思われる。生物との相性では、隙間が深く湿潤であり、付着面積が大きいいためマガキの分布には適していたが(第2章図-4)、石材の径が大きいため隙間の平均幅が16 cmと広く、カニ類の隠れ場としては不適であり、現地調査でもカニ類の密度が低かった(第2章図-7, 第4章図-6)。また、隙間に付着海藻の分布がなかったのは隙間がやや暗いため光合成に不向きであったことが原因と考えられる(表-1, 表-2, 第2章図-8)。

図-1b)のかごブロックは厚さが30 cmのコンクリートを底版とする隠し護岸で強度を確保し、耐久性が特に優れており、施工性、経済性も普通で問題はないと思われる。生物との相性ではコンクリートのかごに栗石をランダムに詰めた構造が、マガキには湿潤な付着基盤の面積を大量に確保し、カニ類には棲み処として利用できる多様なサイズの隙間を提供し、両種にとって好適な環境を兼ね備えていた。現地調査でもマガキの被度とカニ類の密度が調査護岸中で最も高かった(第2章図-4, 図-7, 第4章図-6)。しかし、隙間には付着海藻の分布がなかった。これは隙間が暗いため光合成に不向きであったことが原因と考えられる(表-1, 表-2, 第2章図-8)。

図-1c)のコンクリートブロック張りは建設当初の強度は普通であるが、経年劣化が進むと第4章の図-11c)で示すようにブロックの継ぎ目に幅の狭い深い隙間が発生し、強度が低下するものと思われる。工種がブロック張り工のみで工期が短く、基礎矢板も不要で施工性、経済性ともに特に優れている。しかし、生物との相性では、建設当初は隙間がなく、生物のシェルターとなる湿潤環境が護岸内に確保できないため、マガキ、カニ、付着海藻の分布に不適であり、生物共生護岸にはなり得ないと考えられる(表-1, 表-2)。

図-1d)の環境保全型ブロックは厚さが35 cmのコンクリート板で強度を確保し、耐久性が特に優れており、施工性、経済性も普通で問題はないと思われる。生物との相性では、隙間の平均深さが11 cmと浅いため、隙間でのマガキの付着面積が少なく、第2章の図-4で示すようにマガキの被度が他護岸に比べて最も低かった。また、この浅い隙間ではカニは隠れることができず、第2章の図-7で示すようにカニの密度も同様に他護岸に比べて最も低かった。一方、この浅い隙間は凹型で水が溜まりやすい構造と相まって、湿潤でやや明るい光環境となっており、海藻の光合成が可能な環境と考えられ、付着海藻(イソダンツウ)の被度が他護岸より有意に高かった(第2章図-8)。環境保全型ブロックの隙間は、調査護岸の中で唯一海藻が付着できる隙間構造とすることができる(表-1, 表-2)。

図-1e)の空石張りは建設当初の強度は普通であるが、経年劣化が進むと第2章の表-1で示すように石材の隙間の幅が4.0 cmと大きく開き、それに応じて強度が低下するものと思われる。工種が石張り工のみで、施工に熟練の技術が必要となるものの工期が短く、基礎矢板も

不要で施工性、経済性ともに優れている。しかし、建設当初は隙間がなく、生物のシェルターとなる湿潤環境が護岸内に確保できないため、マガキ、カニ、付着海藻の分布に不適であり、生物共生護岸にはなり得ないと考えられる（表-1、表-2）。

以上のことから、今回調査したかごブロックのように、底版を厚さ30cmのコンクリートで固め、これを隠し護岸として強度を確保し、前面の栗石を詰めたかごの部分で付着海藻以外のマガキやカニ類を始めとする潮間帯生物の体のサイズに合った湿潤な隙間空間を創出するハイブリッド工法は、施工した当初から強度と生物の生息環境の両方を確保できるため、生物共生護岸として非常に合理的な工法であると考えられる。

一方、付着海藻についての既存研究では、アマノリ属の葉状体は干出中でも葉状体の水分がある程度残っていれば光合成を行い、乾燥により水分が6割以上失われるまで光合成機能があまり低下しないことが示されている³⁾。調査区でも干出中の付着海藻が乾燥しにくい環境にあれば、同様に光合成機能が保持されるものと考えられる。環境保全型ブロックのように、水分の溜まりやすい凹型の構造を持ち、日射がある程度低減され、湿潤環境が維持される浅い隙間構造は、干出中でも光合成活動が可能となるので、付着海藻にとって好適な環境であると言える。

このように今回の調査で、潮間帯においては付着動物のマガキとカニ類に好適な護岸の隙間構造は例えばかごブロックのように兼ねることができるとは示されたが、光合成を行う付着海藻に好適な護岸の隙間構造がこれと異なることが示された。生物共生護岸では、食物網の中で生産者となる海藻が豊富に生育することは重要である。緩傾斜護岸内で生産者の付着海藻からカニや巻き貝のような低次消費者へ食物網を繋げるためには、施工現場でそれぞれに適する護岸や護岸構造を交互に配置するなどの工夫が必要であると考えられる。

また最後に、護岸全体を水域から陸域へのエコトーンとして捉え、本研究で得たタイドプールやヨシが生えるミニ干潟が持つ生物生息機能の知見を加えて、考えられる生物共生護岸の一例を図-2に示す。この護岸は、マガキとカニ類（イワガニ類）の分布に好適なかごブロックに改良を加え、かごブロックの弱点であった海藻の生育にも配慮したものである。図中下段は既設かごブロックで、厚さ30 cmのコンクリート底板で護岸としての強度を確保している。そして上段の「改良型かごブロック」では以下の改良を行っている。

- 1)前面にミニ干潟を造成してヨシやイセウキヤガラを移植する。ミニ干潟には周辺のスナガニ類の侵入が期待でき、移植した抽水植物はイワガニ類の餌料となる。
- 2)ミニ干潟の前面に、日当たりのある光合成が可能なタイドプールを設置し、海藻類の生育を図る。
- 3)護岸内には、かごブロックの上下左右の開口部を塞ぎ、3段のタイドプールを作り、カニ類、マガキの生息環境を拡大する（このタイドプールは石材の陰となり日射が届かないので

海藻類の生育はあまり期待できない)。

4)かごの深さを50 cmと深くし、厚さ30 cmの泥質土を栗石の間隙に充填し、カニの巣穴に十分な土層厚を確保する。

5)潮上帯の護岸面に雑草植生を繁茂させ、直射日光を遮り、カニが隠れることができる日陰を作る。

6)管理道路脇に締め固めない泥質土を50 cmの深さで敷設し、植生やコケがある環境を作り、カニ類に餌料、日陰、巣穴環境を提供する。

7)管理道路勾配を川側に付け、水抜きパイプで雨水を護岸内へ誘導し、潮上帯護岸面の植生に灌水する。

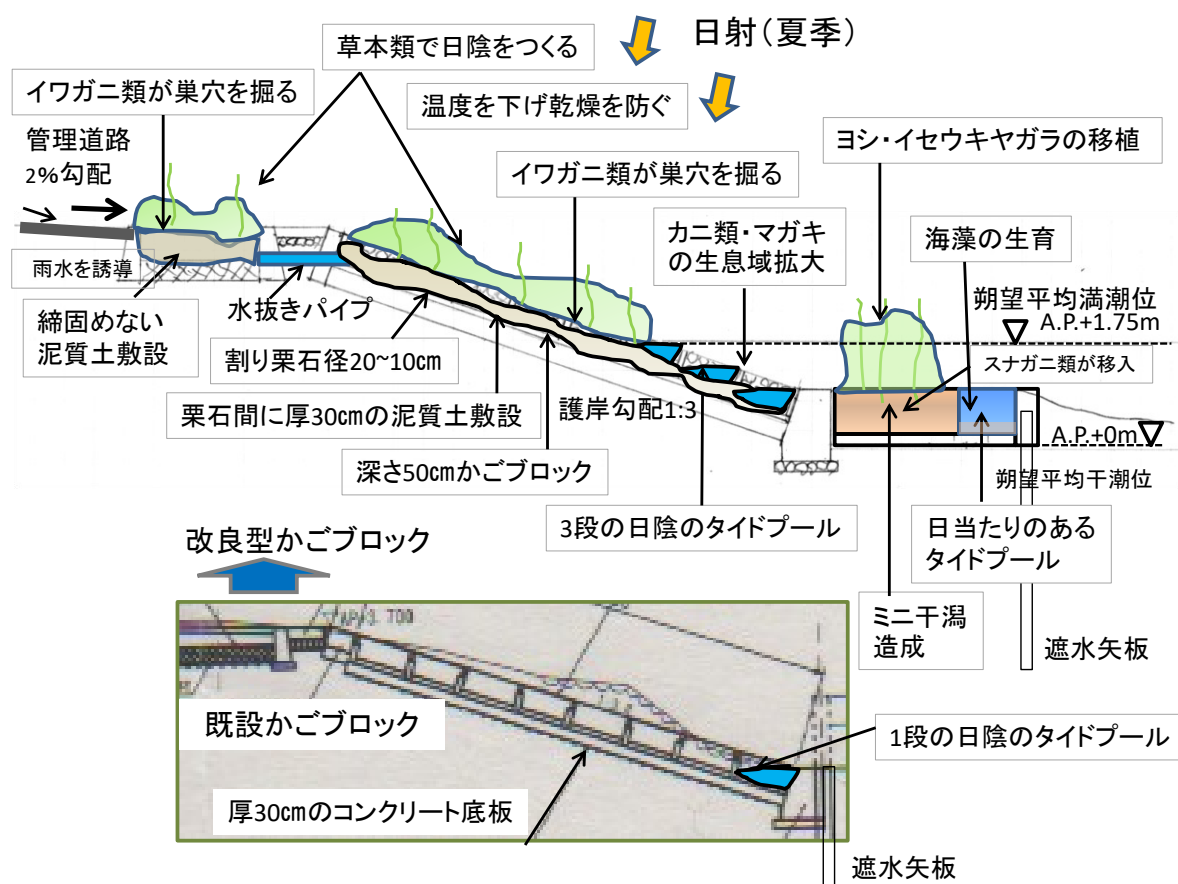


図-2 改良型カキ・カニ護岸の例

現地調査によりタイプの異なる複数の護岸と生物種との相性を調べ、その生物を生息させるにはどのような条件が必要かを多様な種について調査した知見の蓄積は、新たな護岸を施工するときの羅針盤として有効である。本研究がその一助になればと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所：平成 16 年度事業概要（補正予算），<https://www.skr.milt.go.jp/tokushima/report/info16/h170201/h170201.pdf>
- 2) 国土交通省河川局河川環境課：河川の景観形成に資する石積み構造物の整備に関する資料，平成 18 年 8 月，https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/kankyo/stone-structure/s-1.pdf，2024 年 3 月 6 日確認。
- 3) 今田克，斎藤祐一，前木樹：天然海域におけるノリの生育と養殖環境の関係-2，日本水産学会誌，第 36 巻 4 号，pp.369-376，1970.

謝辞

本論文は放送大学大学院の在学時や徳島大学大学院先端技術科学教育部在籍時に著者が行ってきた研究の成果をまとめたものであります。本論文の執筆に当たりお世話になった方々に対し、感謝の意を込め、サポートいただいたことをここに記させていただきます。

徳島大学環境防災研究センターの上月康則教授には、主指導教員をお引き受けくださるとともに、調査計画の立案、調査結果の整理の仕方、エビデンスに基づく考察の仕方など研究の基本を教えてくださいました。また、貴重な多くの時間を学会投稿論文の作成指導に割っていただいたことに感謝申し上げます。

徳島大学大学院社会産業理工学研究部の橋本親典教授には副指導教員を、徳島大学環境防災研究センターの湯浅恭史講師にはアドバイザー教員をお引き受けくださり、定期的な御指導をいただきお世話になりました。

徳島大学大学院社会産業理工学研究部の河口洋一准教授には、本研究の調査の基本となるコドラートを使用した生物調査の手法をご教授いただき、また学会投稿論文の御指導をいただくなどお世話になりました。

徳島大学環境防災研究センターの山中亮一准教授にはカニ類調査の画像データの復元や学会投稿論文の審査・助言をしていただきお世話になりました。

大阪公立大学工業高等専門学校の大谷壮介准教授には学会投稿論文の審査・助言をしていただきお世話になりました。

徳島大学大学院先端技術科学教育部の大学院生で在学された故 竹川有哉さんには学会投稿論文の図表の作成にご協力いただきました。

徳島大学大学院創成科学研究科の大学院生の本原将吾さんには、貴重な時間を割いて定点観測カメラを用いたカニ類の現地調査を共同で実施していただき、機材のセットや映像の整理で大変お世話になりました。

徳島大学理工学部の学部生で在学された宮本貴広さんには吉野川上流の魚類調査でお世話にもなりご迷惑もおかけしました。

最後に、ここに記すことができなかつた徳島大学大学院でお世話になった先生方や学生の方、事務職員の方々に感謝の意を表します。