

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

A STUDY ABOUT RELATION OF RIVER WALL STRUCTURE AND TIDAL BIOTA DISTRIBUTION IN YOSHINO RIVER ESTUARY, AND A SUGGESTION OF NEW RIVER WALL USING THE RESULTS OF THIS STUDY.

神野威¹・河口洋一²・竹川有哉³

Takeshi KANNO, Yoichi KAWAGUCHI, Yuya TAKEGAWA

¹ 学生会員 徳島大学大学院先端技術科学教育部 (〒770-8506 徳島市南常三島2-1)

² 正会員 博士 (学術) 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 (〒770-8506 徳島市南常三島2-1)

³ 学生会員 徳島大学大学院先端技術科学教育部 (〒770-8506 徳島市南常三島2-1)

In order to grasp the relation between river wall structure and tidal biota distribution at a tidal river, we surveyed 4 types of river wall structure (dry stone pitching, environmental conservation type, basket block, megaliths pitching) at the tidal area in Yoshino River which flows through the eastern part of Shikoku Island in Japan. Distribution of tidal biota (*Crassostrea gigas*, *Xenostrobus securus*, *Grapsoides*, *Caulacanthus okamurae*) was observed. Tidal biota were more common at clearance gaps than the surface of river wall because gaps serve a function to maintain wet condition. Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) and crabs (*Grapsoides*) were more prevalent at the basket block than the other types of river wall, whilst *Xenostrobus securus* were less common at the basket block than the other types of river wall. Based on these results we suggest a new improved basket block for breeding Japanese oysters and crabs. And we suppose that this new river wall will control the distribution of the non-indigenous Mytilid Bivalve *Xenostrobus* which are prevalent in tidal rivers.

Key Words : river wall structure, tidal biota distribution, Yoshino River, clearance gaps

1. はじめに

平成18年に『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。護岸に関する主な修正点は次の2点で、「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」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」である。しかし、護岸構造と生物の分布に関する基礎研究は限られており、特に汽水域では研究報告が極めて少ないのが現状である。

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。

本研究では、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目的とした。さらに、保全すべき目標種の生存に好適な環境や繁殖を抑制したい種に不適な制限因子を抽出・整理するとともに、可能な限りこれらの目標を満たす護岸構造の提案を試みた。

2. 方法

(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194km、流域面積は約3,750km²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14km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

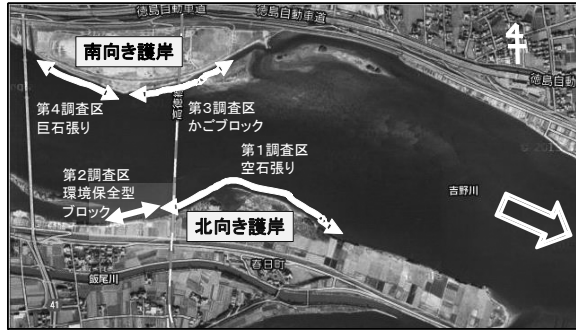


図-2 調査区の位置 (google mapを使用)

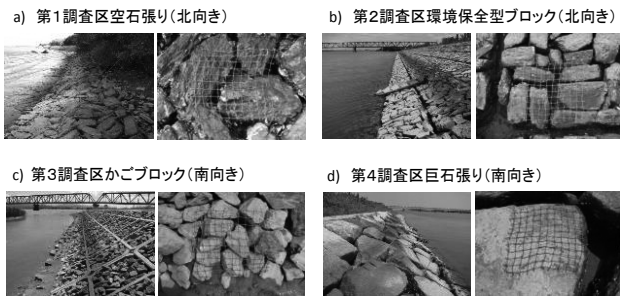


写真-1 調査護岸の概観

表-1 調査護岸の種類と特徴

調査区名称	護岸の種類	勾配	材質	護岸の特徴				
				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

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
中質	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) 調査区の概要

平成24年7月に、河口から約7.6km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。平成25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種類と特徴、概観を写真-1、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40×20cm)となっている。老朽化のため隙間の幅に開き(平均4cm)があり、強度の上で問題がある。また、隙間の深さは約35cmで石の下は土砂地盤になっている。写真-2bが第2調査区の環境保全型ブロックで、石材は同じく緑泥片岩の栗石(約20×10cm)である。隙間の幅は概ね均一

(約2.5cm)で、隙間の深さは約10cm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2.5cm)がある。栗石の寸法が10~20cmで深さは40cm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1m)を積み上げた形である。目地の幅は約20cmと広く、深さは約70cm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30cmの土砂が堆積している。

(3) 調査方法

一辺が37.5cm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、平成24年、平成25年とも中潮帯でコドラート調査を行った。

調査は夏期に実施した。平成24年は7月1日、7月15日、7月16日に、平成25年は年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+0mが朔望平均干潮位(L.W.L)となり、A.P+1.75m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+1.09m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(6k800mから8k200m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。

(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。

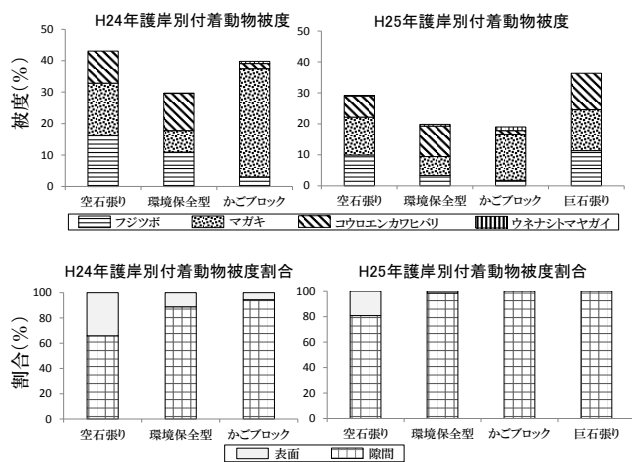


図-3 付着動物の種類別被度と表面・隙間分布割合

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（ルベ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。

3. 結果および考察

(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、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。

(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、平成24年では環境保全型の被度が空石張りより有意に低く（ $p < 0.01$ ）、平成25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

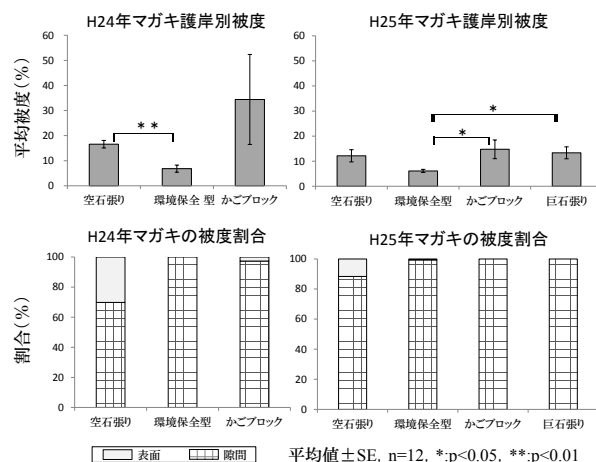


図-4 マガキの被度と表面・隙間分布割合

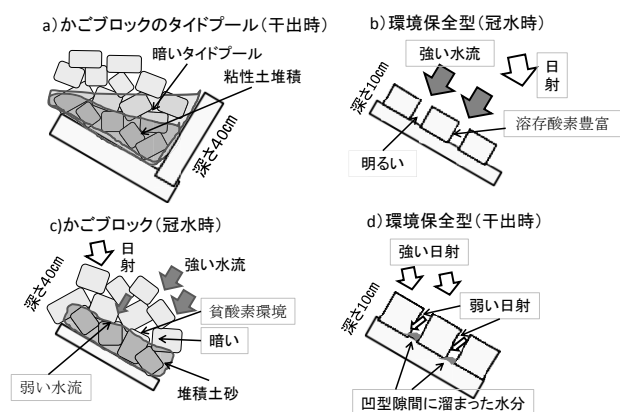


図-5 かごブロックと環境保全型の護岸構造の違い

（ $p < 0.05$, $p < 0.05$ ）。平成24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10cmと浅いため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、平成24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、平成25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、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）にもわずかに分布できることを示している。

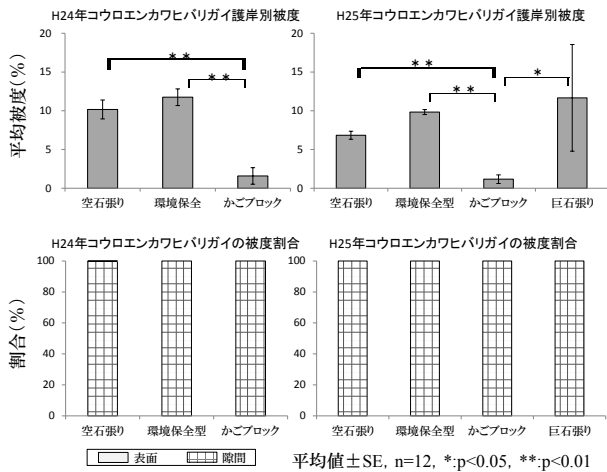


図-6 コウロエンカワヒバリガイの被度と表面・隙間分布割合

(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、平成24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 ($P<0.01$, $P<0.01$)、平成25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。

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10cm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、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、かごブロックは要注意外来生物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

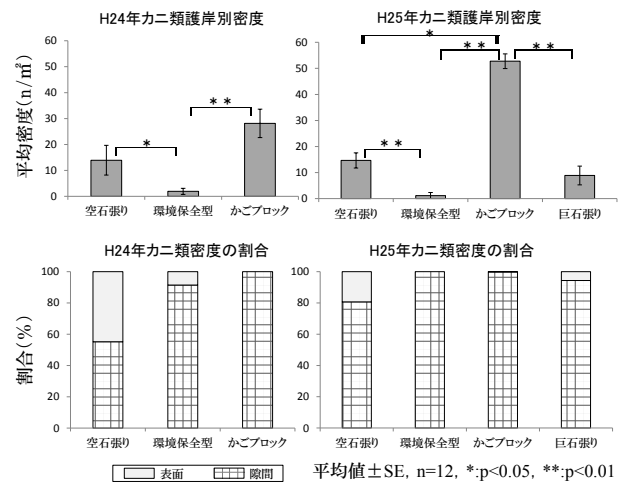


図-7 カニ類の密度と表面・隙間分布割合

を持つと考えられる。

(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52.7~28.1n/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。巨石張りでは平成25年に8.9n/m²の密度を示し、環境保全型が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、平成24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 ($p<0.01$, $p<0.05$)、平成25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)、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⁾が大量に分布していたことが原因であると考えられる。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1m) や隙間の幅 (約20cm) が分布するカニ類の体のサイズ (甲幅約3.5cm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 (10~20cm)、隙間の幅 (平均2.5cm) とともに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回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

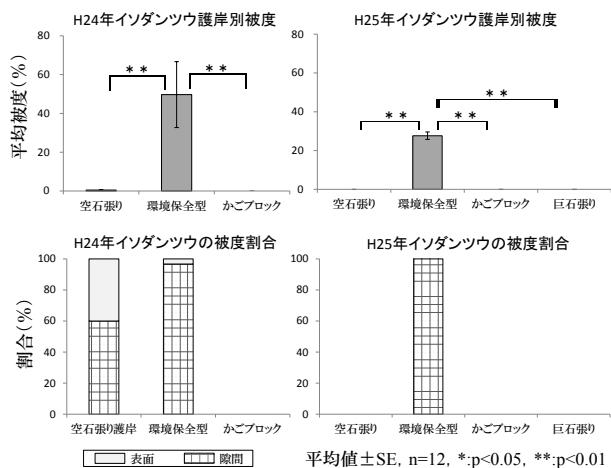


図-8 イソダングツウの被度と表面・隙間分布割合

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．

(5) イソダングツウ

図-8にイソダング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、イソダング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、イソダングツウは両年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、平成24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、平成25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、イソダングツウの光合成に必要な弱い日射

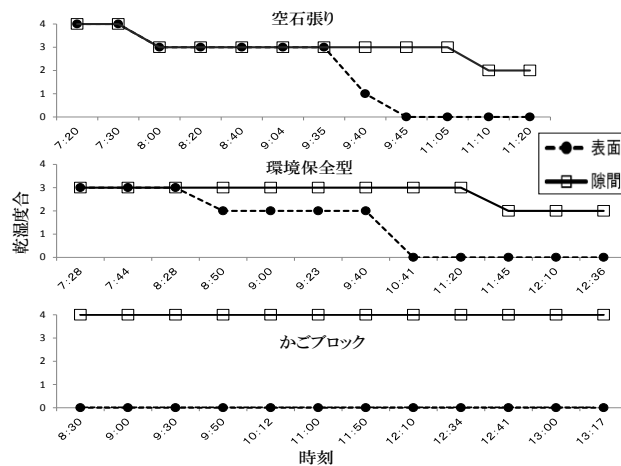


図-9 日中の時間経過による表面・隙間の乾湿度合の変化

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）．

(6) 乾湿度合の日変化

図-9に平成24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分を開始した．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．時間経過とともに中潮帯表面は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。

4. まとめ

以下に主要な結論を示す。

- ・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。

- ・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。

- ・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、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。

- ・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。

- ・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、地表温度を下げることで有効である。

環境保全型ブロックが持つ特徴から次のことが言える。

- ・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30cm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、

- ・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

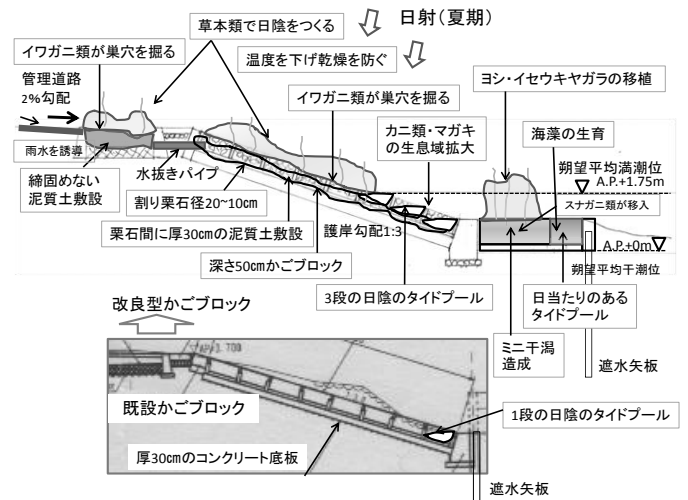


図-10 改良型カキ・カニ護岸の例

き、移植した抽水植物はイワガニ類の餌料となる。

- ・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。

- ・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）。

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

- ・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。

- ・管理道路脇に締り固めない泥質土を50cm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。

- ・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。

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, 瀬木学園紀要, (1), 141-148, 2007.
- 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.

(2015. 4. 3受付)