

カブトガニは何故その岸辺に産卵するのか？

——産卵地の地形・堆積物・波・流れの特性——

清野 聡子* ・前田 耕作** ・日野明日香**
宇多 高明*** ・真間 修一**** ・山田 伸雄*****

1. ま え が き

カブトガニは、「生きている化石」として学術的価値や地域環境のシンボリック的価値を持つ水生節足動物である。現在本種は絶滅危惧種になっており、その絶滅理由として生息地となる海岸部の埋め立て、干拓による生息地の喪失があげられる。その保全には歴史的に様々な努力がなされたが、現実には絶滅への一途をたどりつつある。カブトガニは、産卵-幼生-成体に至る生活史の中で、砂浜、干潟、沖合海底を利用するという特徴を有している。よって本種の保全のためには、その全ての環境をセットで守る必要がある。しかしながら、従来の生物学的知見のみではカブトガニ産卵地の選択性は解明できていない。またこのような稀少生物の生息地の特性に関して、海岸工学的視点に立った研究は過去に例がない。本論文ではカブトガニの産卵状況を調べるとともに、産卵地の地形、および産卵条件に大きく関係する流れの特性を明らかにする。産卵地は、海浜、河川の湾曲部や河口砂州など様々な場所にあるが、ここでは安定した海浜が形成されている防波堤周辺の砂浜を取り上げる。

2. 調 査 方 法

カブトガニ産卵地の調査は、残されたカブトガニの生息域として有名な大分県守江湾で行った。図-1には既往資料に加え、1997年に新たに発見された産卵地（土屋ら、1998）を含む、現在までに確認されているカブトガニ産卵地を示すが、本研究ではこれらの中から首捻防波堤周辺を対象に選んだ。カブトガニは夏季の大潮時に、水通しのよい砂礫地を選んで産卵する。そこで1997年夏季の大潮時に産卵に来浜したつがいについて、個体数、産卵地点、接岸経路などの生物学的調査を行ったほか、産卵地の詳細地形測量を行った。また、産卵地周辺の底質調査を行い、卵発生過程を通じて卵床となる材料の特性

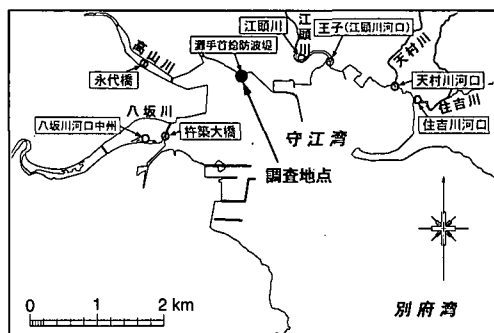


図-1 大分県守江湾内のカブトガニ産卵地

を調べた。

首捻防波堤周辺の砂浜は、産卵個体数から守江湾内および流入河川における最大級のカブトガニ産卵地である。防波堤前面を流れる高山川の対岸には幼生の生息地となる干潟があり、そこへの分散が可能な場所である。さらにその干潟から防波堤を望むと、泥の平面上に砂のマウンドが形成されている様子が観察される。砂と泥の境界線、勾配や高度の変化は明瞭であるため、産卵個体がこの場所を目指してアプローチする理由を、物理的要素から解明することは意義深いと考えられる。

3. 首捻防波堤周辺の地形特性

1997年8月21、22日、首捻防波堤周辺の地形測量を行った。以下では、得られた深淺図と縦断面図をもとに産卵地である砂州の地形特性について論じる。図-2には首捻防波堤周辺の深淺図を示す。また、図には1997年夏季の観察でカブトガニの産卵が確認された場所の平面位置も示す。首捻防波堤は逆L型の構造を有しており、その先端部は西側、すなわち高山川の流路に対して上流方向を向いている。この防波堤が河川流に対しては水制の働きを、また波浪に対しては突堤の役割を果たしているため、防波堤周辺の砂州は安定している。防波堤が逆L型をしているため、防波堤による波の遮蔽域には長さ約15mの狭いポケットビーチ状の砂浜が広がり、そこは船溜まりとして利用されている。カブトガニは、防波堤の南側では防波堤に沿うようにして産卵しているが、最も

* 正会員 農修 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学
科助手
** 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学
科
*** 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長
**** (財)リバーフロント整備センター
***** パシフィックコンサルタンツ(株)

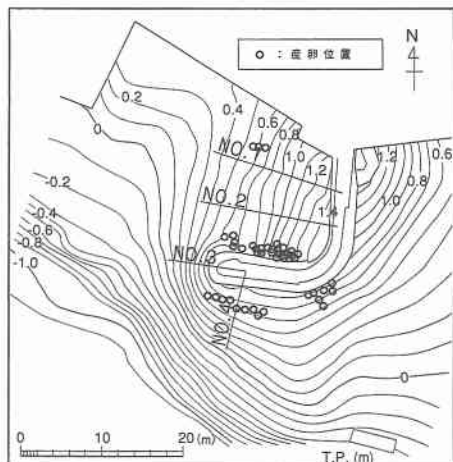


図-2 首捻防波堤周辺の深浅図

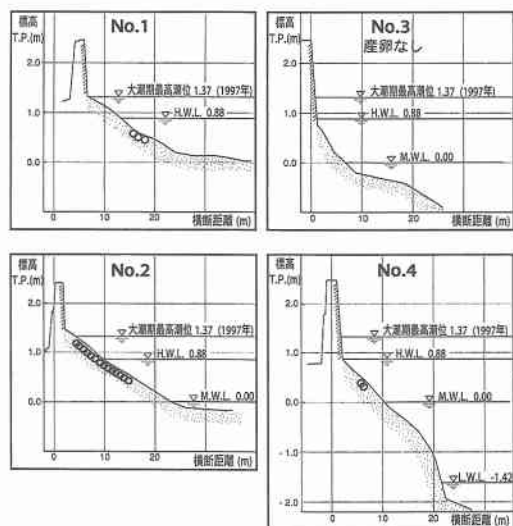


図-3 首捻防波堤周辺の代表測線における海浜縦断形

産卵数が多いのは防波堤のすぐ裏側の海浜である。これらの産卵地点は標高が T.P. 0.6 m から 1.3 m の間に分布している。一方、防波堤の南西側沖では海底勾配が急で、高山川沖の澤筋へとつながっている。

図-3 には、図-2 に示す 4 測線の縦断形を、その近傍における産卵場所とともに示している。測線 No. 1, 2 の前浜勾配はそれぞれ約 1/15, 1/14 であるが、沖合では平坦になっており、汀線付近の急勾配斜面と明らかに違いを示す。カブトガニの産卵はほぼ一定勾配を持つ前浜で行われている。一方、防波堤の先端付近と南側の測線での前浜勾配は 1/8 (No. 3), 1/10 (No. 4) と、船溜まり内の前浜勾配と比較して急である。

1998 年 12 月 27 日、現地状況の写真撮影を行った。写真-1 は、首捻防波堤周辺の砂浜を西側から望んだもの



写真-1 首捻防波堤周辺の産卵地を西側から望む



写真-2 首捻防波堤南側の砂浜状況

である。写真上部左端に見える海岸護岸から防波堤が伸び、その裏側に船溜まりである。船溜まりの奥に見える砂浜の南端部、すなわち写真中央やや右側に見える 2 隻のボートの右側に隣接する砂浜がカブトガニの良好な産卵地である。地形的に見ると、図-2 の地形図に示したように逆 L 型防波堤の先端部では海底勾配が約 1/8 と急であるが、そこから船溜まりに入ると次第に勾配が緩くなる。防波堤の先端には写真前方、すなわち東側からマウンドが発達してきているが、その先端部はほぼ円弧状である。船溜まり内の満潮時汀線付近は砂で構成されている。数多く並んだボートの船尾より手前(西)側では黒っぽい潟土で覆われている。カブトガニは、このように潟土で覆われた場所ではなく、満潮時汀線付近に見られるように砂浜を選んで産卵を行う。写真-2 は防波堤の南側の海浜状況を示す。防波堤の南面に沿うようにして前浜が伸びている。前浜上に見られる縞模様は、同一潮位時における碎波および沿岸流の作用の痕跡であって、同じ状況を呈する場所はその標高がほぼ等しいことを意味している。この模様は防波堤の先端方向へと大きく円弧状に回り込んでいる。写真-3 は、防波堤先端から海浜状況を東向きに撮影したものである。左端に見える防波堤の付け根から右(南)側には三角形に前浜が広がっている。白っぽく見える砂浜に対して防波堤が突出しているために、砂浜を構成する砂は防波堤の先端を越えて船溜まり側へは流出しにくく、その意味でこの防波



写真-3 首捨防波堤の先端から東側を望む

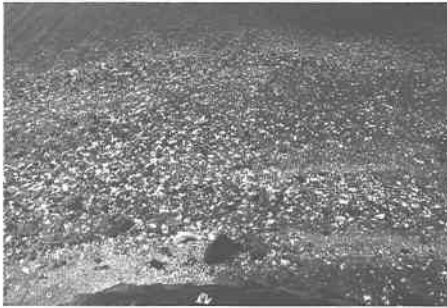


写真-4 首捨防波堤の先端直下の海浜状況



写真-5 首捨防波堤に囲まれた船溜まり内の海浜状況

堤はその南面に広がる砂浜の安定化に役立っている。防波堤の先端部は、写真に示すように粒径の大きな礫で覆われている。写真-4は、防波堤の先端から海底面を撮影したものである。図-2に示したように、この付近は海底勾配が約1/8と非常に急で、等深線はほぼ円弧状に走っている。このことを考慮したとき、写真において同じような粒径組成を有し底質がそろっているように観察される部分は、潮汐変動時、ほぼ同じ水深になっていることを表していると考えられる。

写真-5は、防波堤上から船溜まり内の砂浜を撮影したものである。写真中央にあるボートと直交するように幾列もの縞模様が見える。最も右側には満潮時にうちあげられたゴミが帯状に伸びる。図-2の地形図との比較によれば、ゴミの帯の左端がほぼT.P.1mに相当してい

る。またその左側には4列の模様が見える。これらの模様もまた、ある高さの潮位時における波浪の作用で形成されたことを表している。

4. 底質特性

産卵地の底質特性を明らかにするために、1997年3月末に図-2の測線No.2,3において底質サンプリングを行った。いずれの測線においても測線に沿って防波堤基部からの沖方向距離を測定すると同時に、地表面から約10cm深までのサンプリングを行い、粒度分析を行った。図-4には測線No.2に沿う中央粒径 d_{50} の岸沖分布を示す。 d_{50} は、前浜上では0.4mmから約1.0mmの間に分布している。しかし、防波堤から約20m離れたと、0.1mm以下の潟土で覆われている。図-2に示した産卵地の標高は0.6mから1.3mの間であったから、カプトガニの産卵地は水通しのよい粗砂からなることが明らかである。そして、沖合の潟土からなる区域よりはるかに岸側のマウンドが産卵地として選ばれている。

ミティゲーションとしてのカプトガニ産卵地の造成などにおいては、 d_{50} だけではなく、海浜材料の粒度組成自体が問題になる。そこで、同じデータより粒度組成を整理したのが図-5である。粒度組成については、礫(2mm $\leq d$)、粗砂(0.425mm $\leq d \leq 2$ mm)、細砂(0.075mm $\leq d \leq 0.425$ mm)、シルト・粘土($d \leq 0.075$ mm)の区別を付けている。図-4の d_{50} の分布と比較しつつ図-

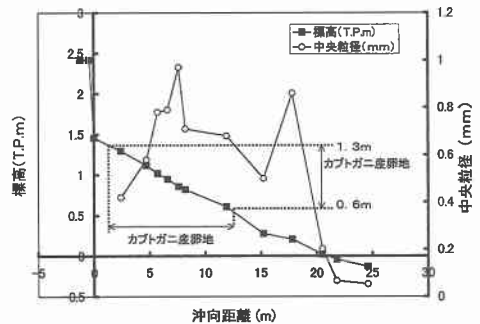


図-4 測線 No. 2 上における底質中央粒径の岸沖分布

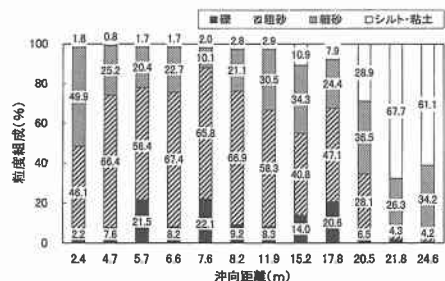


図-5 測線 No. 2 上における底質粒度組成

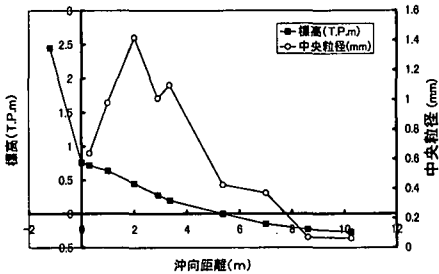


図-6 測線 No. 3 上における底質中央粒径の岸冲分布

5を見ると、産卵地の粒度組成は、粗砂および礫の含有率が最小でも66.6%、最大で87.9%を占めており、しかもシルト・粘土の割合は約3%以下と非常に低いことがわかる。このような粗粒な粒径からなる場所を好んでカブトガニは産卵することが明らかである。

同様に、防波堤の先端を通る測線 No. 3 における d_{50} の岸冲分布を図-6 に示す。この測線では、測線 No. 2 と比較して海浜の地盤高は T.P.0.75 m 以下と低い、この場合も前浜上は約 0.4 mm から 1.4 mm の粗砂で覆われている。しかし、防波堤から 8 m 以上離れたと急速に粒径が小さくなり、潟土で覆われている。したがって図-2 に示した平面図と考え合わせれば、粗粒の底質が防波堤の先端を回り込むようにして船溜まり内へと広がっていることが分かる。

5. 海浜流計算

海浜流の計算方法や計算条件を一括して表-1 に示す。計算範囲は首捻防波堤周辺で、沿岸方向に 60 m、岸冲方向に 60 m の範囲である。計算時の潮位は、カブトガニが大潮時の満潮時に産卵することを考慮して T.P. 0.88 m とした。入射波条件として、守江湾内での干潟上での波浪減衰を考慮して沖波波高を 0.2 m、周期を 4 s とし、波の入射方向を湾口方向の SE として、不規則波の波

表-1 海浜流計算の条件

目 的	カブトガニ産卵場の波浪場と海浜流場の把握
数値計算手法	波浪変形計算モデル：四部（1986）の放物型波動方程式モデル 海浜流計算モデル：平面 2 次元の運動方程式と連続式（堀川 1985）
計算対象領域	首捻周辺：沿岸方向 60 m × 岸冲方向 60 m
潮 位	H.W.L. : T.P. + 0.88 m
入射波条件	荒天波 入射波高 $H_0 = 0.2$ m、周期 $T = 4$ sec、波向 SE（湾口方向） 方向集中度パラメータ $S_{max} = 25$
波浪変形計算条件	・数値計算法 : 差分法（クラランク・ニコルソン法） ・計算メッシュ : 0.01 波長 ・不規則波の成分波への分割数：周波数 5 分割 × 波向 9 分割 = 計 45 成分波 ・境界条件 : 開境界
海浜流計算条件	・数値計算法 : 差分法（リーブフロッグ法） ・計算メッシュ : $\Delta x = 0.4$ m ・タイムステップ : $\Delta t = 0.03$ sec ・トータルタイムステップ : 2500 ・摩擦係数 : $C_b = 0.01$ ・水平拡散係数 : $N = 0.01$ ・境界条件 : 海域は開境界、陸域との境界は固定壁境界

浪変形計算を行った。図-7 には波向分布を示す。湾口からの入射波は、首捻防波堤の南東側の砂浜に対してはほぼ直角入射している。一方、防波堤の先端付近では屈折が著しい。防波堤の先端では波の集中が起こるとともに、舟溜り内へも回折波が侵入している。図-8 には波高分布を示す。防波堤の南東側では、沿岸方向にほぼ一様な碎波状況を示す。しかし、防波堤の先端では波高が沿岸方向に大きく変化する、舟溜り内へと急減する。

以上の波向・波高分布に対応する海浜流計算の結果を図-9 に示す。逆 L 型の防波堤に沿って西向きの流れが生じ、さらに防波堤の先端から防波堤の裏側へと向かう流れが起きている。この流れの分布は図-2 に示した産卵地分布とよく対応し、カブトガニのつがい方が後方から緩やかな流れに乗るようにして移動し、産卵地である砂浜へ到達している可能性が示唆される。また、図-8 の波

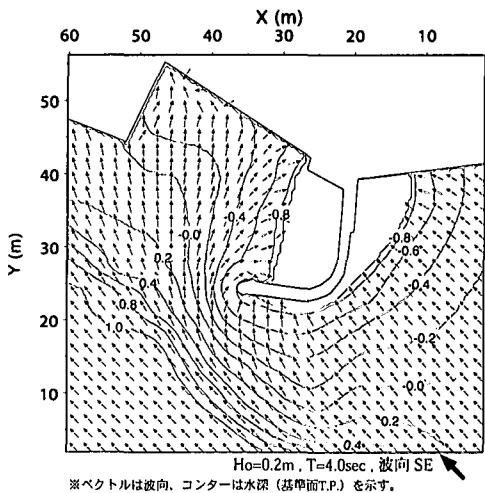


図-7 首捻防波堤周辺の波向分布

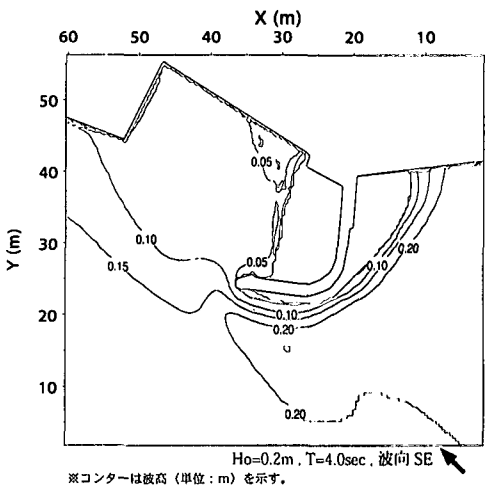


図-8 首捻防波堤周辺の波高分布

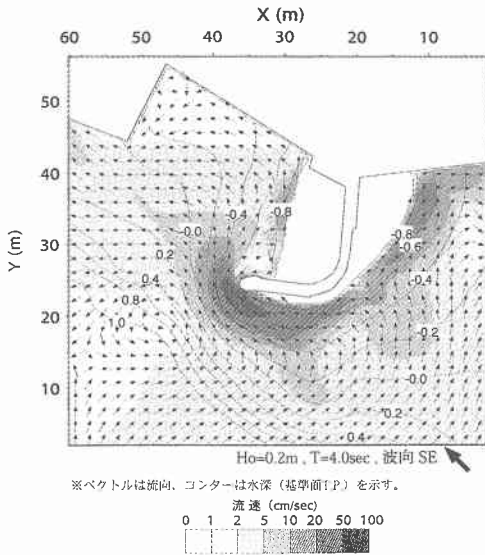


図-9 首捻防波堤周辺の海浜流

高分布と図-9の流れの分布によれば、防波堤の先端では波高と流向流速の場所的变化が著しく、そこはカブトガニが安定して産卵しにくい場所となっていることがわかる。

6. 考 察

河口から直線的に流れた高山川の流路は、対岸の灘手地区の護岸によって制約され、流れの向きを大きく変える。このようにして南東方向へ向かった流路は、首捻防波堤沖のほぼT.P.-1.0 m付近の等深線（図-2参照）に沿うようにして流れている。このような流れに対して、首捻防波堤の先端部とそれを取り囲むマウンド状の高まりが突出しているために、先端部より下流側の海浜には強い流れの作用が及ぶことがない。このため先端部を除き、逆L型防波堤の東側部分は河川流に対して保護された形になっている。また、逆L型防波堤の先端より北側は死水域であって、当然のことながら流れの作用を受けない。このことから、防波堤の先端部を除けば首捻防波堤周辺のマウンド状の高まりは河川流に対してかなり安定していると考えられる。

一方、首捻防波堤周辺のマウンド状の高まりは波浪に対してもかなり安定になっている。この地点には守江湾の形状より、ほぼSE方向から波浪が入射する。このような波浪が入射したとき、逆L型防波堤の東側隅角部付近では南側に不透過性の防波堤が伸びているために、汀線付近で波が碎けることによって発達する西向きに沿岸漂砂の移動が阻止される。また、逆L型防波堤の先端部ではほぼ同心円状の等深線が形成されていることから分か

るように、防波堤がコアになった砂嘴のような地形になっている。このような砂嘴状の地形では、沿岸漂砂は砂嘴の先端、すなわち防波堤先端の同心円状の等深線で表されたマウンドの先端を回り込んで北側の船溜りへと運び去られるのであるが、地形が砂嘴状に大きく突き出ているため、南東方向から入射した波は逆L型防波堤の先端部を回り込んだとたん急激にエネルギーを失う。このことは、突出した地形でありながら、その先端部では沿岸漂砂の移動があまりない、動的にほぼ安定した地形になっていることを意味する。

以上2つの理由から、図-2に示す首捻防波堤周辺のマウンド状の高まりは、カブトガニの産卵にとってかなり安定した条件にあると言える。少なくとも、一般の養浜された砂浜のように、砂浜の地形変化が大きく、産卵した卵が流れや波浪の作用で急激に失われてしまう場所ではない、安定した条件下にある。

7. 結 論

調査対象地の首捻防波堤周辺は、波浪作用に対して安定なマウンド状の高まりで、そこがカブトガニの産卵地になっていることが判明した。またその形状の安定性が保たれている機構も明らかになった。さらに、カブトガニが産卵地に到達する際には、マウンド状の産卵地周辺での海浜流が重要な役割を果たすことも示唆された。本研究は、漂砂や海浜流に関する海岸工学の知見を、稀少生物カブトガニの産卵地の選択性という生物学の問題に導入したものであって、これにより海岸工学と生物学の学際研究の有効性が示された。

なお、本研究に際しては防波堤周辺の写真撮影には土屋康文氏に、そのほか調査には(株)住吉浜開発・海岸研究プロジェクトの釘宮浩三氏、および杵築市役所の西原繁朝氏に協力いただいた。また、本論文の図面作成においては海岸研究室(有)の三波俊郎、古池 鋼両氏の助力を受けた。さらに、大分県、日本航空(株)には研究上の種々の便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 磯部雅彦 (1986): 放物型方程式を用いた不規則波の屈折・回折・碎波変形の計算法, 第33回海岸工学講演会論文集, pp. 134-138.
- 土屋康文・清野聡子・宇多高明・釘宮浩三・前田耕作・軸丸恒宏・日野明日香・清本隆司 (1998): カブトガニ産卵地の保全に配慮した河道計画, 第4回河道の水理と河川環境シンポジウム論文集, pp. 189-194.
- 堀川清司編 (1985): 海岸環境工学-海岸過程の理論・観測・予測方法, 東京大学出版会, 582 p.