

砂客土により修復されたカブトガニ産卵地の物理・化学的性質

大坪政美*・石田英和**・嶺井久勝*・山岡伸也***・東 孝寛*

Physical and Chemical Properties of the Nest-site Beach of the Horseshoe Crab
Rehabilitated by Sand PlacementMasami OHTSUBO*, Hidekazu ISHIDA**, Hisakatsu MINEI*, Shinya YAMAOKA***
and Takahiro HIGASHI*

* Faculty of Agriculture, Kyushu University, Hakozaki 6-10-1, Higashi-ku, Fukuoka-shi, Japan

** Faculty of Agriculture, Kyushu University (Fukuoka Prefecture at present)

*** Graduate School of Bioresource and Environmental Sciences

Abstract

Tidal flats in Imazu and Kafuri Bay in Fukuoka Prefecture, Japan, were well known as the nest-sites of horseshoe crabs, but their nesting has declined because of water and sediment pollution of the bay. To rehabilitate the polluted beach in the tidal flat, placement of fresh sand on the beach was performed by Fukuoka City, resulting in an increase of nesting of the horseshoe crab. We compared the factors that potentially affect nesting at Imazu and Kafuri beach: morphology, exposed time, grain-size distribution, water content, oxygen concentration, and redox potential. The elevation of the beach was higher at Imazu than at Kafuri, leading to a longer exposed time at Imazu than Kafuri. This induced low water content, and high oxygen concentration and redox potential at Imazu compared with Kafuri though the grain-size distribution and organic matter were almost the same at both beaches. We suggest that sand placement is an effective procedure to rehabilitate nesting sites of the horseshoe crab in terms of exposed time of the sites, water content, oxygen concentration, and temperature.

Key words: horseshoe crab, nesting, rehabilitation, tidal flat, elevation, dissolved oxygen, redox potential

1. ま え が き

カブトガニ *Tachypleus tridenatatus* (Leach) は、中世代初期から現代まで 2 億年以上もほぼ同じ形態を維持し、いわゆる「生きている化石」として生物の系統進化研究上極めて重要な動物とされている (西井, 1975; 関口, 1999)。わが国においてカブトガニは、主に瀬戸内海と九州北部の沿岸に生息し、本州の中部以北および九州中部以北には分布していない。カブトガニは、比較的穏やかな、干潮時に干潟ができるような速浅の海岸をもつ内湾に生息する。これまで、カブトガニの生息状況につ

いては長年にわたって各地で調査が行われてきたが、その多くはカブトガニの分布や生態に重点が置かれた (土屋, 1991; 関口, 1999)。しかし近年、カブトガニの生息環境を地形、堆積物、海水の流れなど、自然環境の側面からとらえようとする研究が行われるようになった (清野他, 1998 a, 1998 b, 2000 a, 2000 b, 2002; 前田他, 2000)。

福岡県下のカブトガニの産卵状況については、若宮 (1988, 1989, 1996) が長年にわたって調査し、1983 年までの産卵数については今津湾が最も多く、加布里湾が中程度、津屋崎、周防灘沿岸では非常に少ないことを示し

* 九州大学大学院農学研究院 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

** 九州大学農学部 (現福岡県庁)

*** 九州大学大学院生物資源環境科学府 〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-10-1

キーワード: カブトガニ, 産卵地, 修復, 干潟, 溶存酸素, 酸化還元電位

た。その後、産卵・生息環境の悪化により今津湾でも産卵数は激減した(若宮, 1996)。福岡市は、産卵地の環境を改善するために1996年今津の産卵地に砂を客土した。その結果、産卵にくるカブトガニのつがい数は増加した(福岡市, 2000)。一方、客土が行われない加布里では産卵はほとんど見られない。カブトガニの産卵に好適な場所は、排水が良好で、干潮時には長時間大気に露出する砂地であると考えられており(関口, 1999)、今津での客土がこのような条件を満たすようになったと推測される。本研究では、まず、今津湾と加布里湾を対象に、産卵地としての砂地および幼生の生息地としての泥土を、潮位、地形、化学的・物理的性質の観点から特徴付け、次に、砂の客土により産卵が増えた理由を、砂地の物理的性質、酸化還元電位、間隙水の溶存酸素濃度をもとに考察する。

2. 調査地点とその地形的特徴

今回のカブトガニ産卵地の物理・化学的性質の調査地点は、福岡市の瑞梅寺川河口の今津干潟(今津湾)と、前原市の泉川河口の加布里干潟(加布里湾)である(図-1)。加布里を調査地点に選んだのは、今津に客土を施していない場所がほとんどなく、加ブリの標高が今津に比べ低いため産卵地の露出時間を比較できる、という理由による。今津、加布里とも護岸側に砂地があり、沖に向かって泥地が続いている(写真1)。図-2は調査地点の等高線図を示す。砂地はほとんど砂分からなり、表面が泥に覆われていない場所である。泥地は砂に分類されるが(図-7)、干潟の表面が数mmの厚さの泥に覆われている。海岸線からの砂地の幅は今津で6~16m、加布里ではそれより狭く2~3mである。砂地の標高(東京湾平均海面)は、今津では0.1~0.8m、加布里では-0.4~0mであり、今津の標高が加布里よりはるかに高い。図-3は、調査地点の断面図を示す。今津については、砂を客

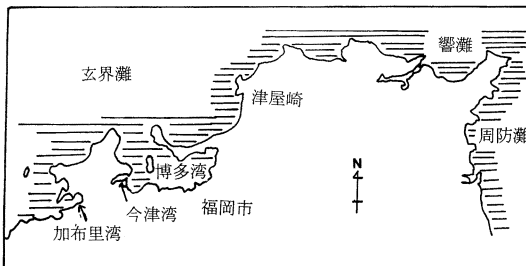


図-1 今津湾と加布里湾の位置

Fig. 1 Location of Imazu and Kafuri Bay.

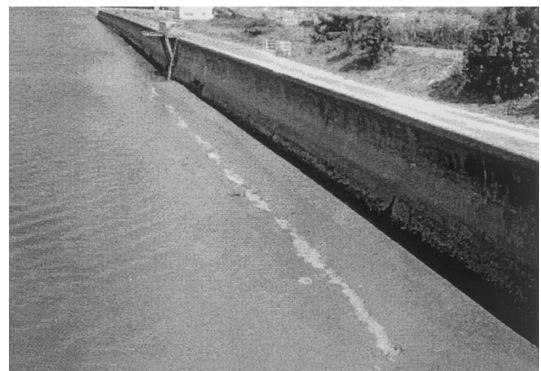
土する前の断面も示す。砂を客土することにより表面の標高はおよそ25~35cm高くなっている。砂地前線というのは、砂地と泥地の境界を表す。

今津と加布里ともに大潮の満潮時、表面はすべて海水に覆われる。一方小潮の満潮時には、今津の地表面は大気に露出するが、加ブリの地表面は海水に覆われる。

次に砂地が大気に露出する時間を図-4で詳しくみる。この図は、大潮時の潮位変化と砂地の上限の標高および下限の標高を示している。ここで砂地の上限標高は、図-3において岸壁の地面標高、下限標高は砂地前線(今津の場合客土後の前線)の標高を意味する。潮位曲線は、8月の大潮時、潮位差が最大になる日のものである。砂地の標高が潮位曲線より上に位置する時間帯には、砂地の表面は大気に露出する。露出時間を計算すると、大潮の場合今津で12~17時間、加布里で7~11時間である。このように加布里に比べ今津の砂地の露出時間がはるかに長いことがわかる。



今津



加布里

写真-1 調査地点の概観

Picture 1 General view of the investigation site.

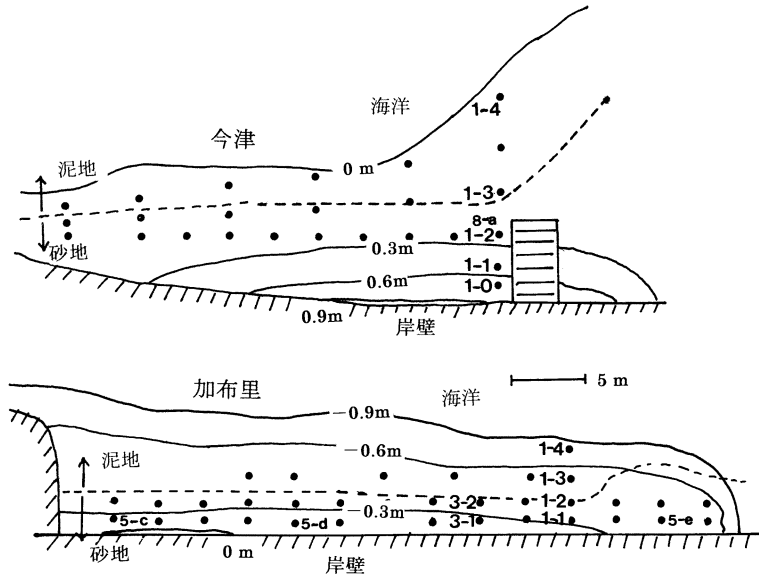


図-2 調査地区の等高線と調査・試料採取地点

Fig. 2 Contour in the investigation site and sampling points.

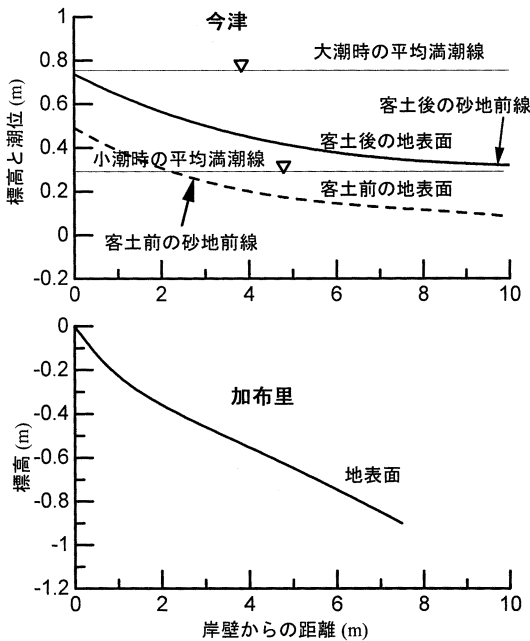


図-3 調査地の標高と潮位

Fig. 3 Ground and tidal level of the investigation site.

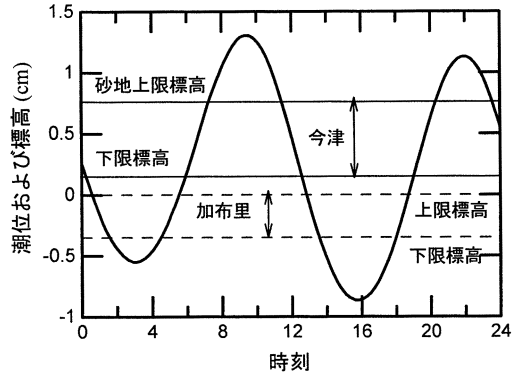


図-4 大潮時の潮位曲線と砂地の標高

Fig. 4 Tidal curve during high tide and elevation of beach.

3. カブトガニの生息地と今津, 加布里におけるカブトガニの産卵状況

カブトガニは、比較的波が穏やかで、干潮時に干潟ができるような遠浅の内湾に生息している。図-5は、カブトガニの成長と生息場所の移動を模式的に示している(清野他, 1999)。カブトガニは6月下旬から9月上旬の大潮の満潮時、波打ち際に近い、海水面下10~20cmの砂浜に産卵する。産卵地の97%までが、大潮時の満潮線

と小潮時の満潮線にはさまれた地域に集中している（関口, 1999）。孵化した幼生は砂の中で越冬し、翌年の春または夏に砂から出てくる。幼生は隣接する干潟（泥地）で脱皮を繰り返して成長し、その後沖合に移動、産卵時に再び干潟にもどってくる。

若宮（1989, 1996）は、1980年以降数回にわたって福岡県下のカブトガニ生息地の産卵状況を調査した。表-1は、その調査結果の中から本研究で対象とした今津と加布里での卵塊量のデータを抜粋したものである。調査地点は図-2に示す。表-1において卵塊量の変化は常在度と卵塊の頻度により表される。産卵地は岸に沿って帯状に広がる長方形を呈している。岸に向かって斜め方向の溝を等距離になるように5条掘り、卵塊が見つかった溝の数を常在度とした。例えば3つの溝に卵塊が見つかった場合、常在度はⅢである。産卵地が長い場合は7条、9条の溝を掘ることもある。卵塊の頻度は、すべての溝

における卵塊の総数を溝の数で除したものであり、一つの溝あたりの平均卵塊数を表す。今津の四所神社前 8-aでは、常在度は1980～1993年にはVであるが、1995年には卵塊は全く見つからなかった。頻度は1980～1983年では7.6～5.2であるが、その後急速に低下した。加布里の弁天橋での卵塊数は今津より少なく、1980年から1983年の間減少した。

なお今津では、1988年道路の拡幅により護岸が海側へ移動し、その結果、産卵地の標高が低くなったので砂の客土が行われた。1990年以降の調査は客土した砂地で行われた。客土当初はある程度の卵塊は見つかったが、客土して7年後の1995年には卵塊は全く見つからなかった。

1997年には、福岡市が今津四所神社前の産卵地におよそ100m³（長さ100m、幅5m、平均厚さ0.2m）の砂を客土した（図-3）。砂は長崎県壱岐郡郷ノ浦町から採取し

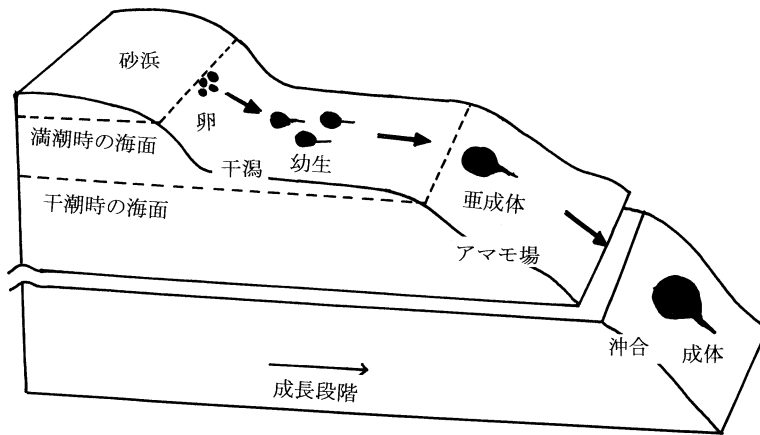


図-5 カブトガニの生息地
Fig. 5 Habitat of the horseshoe crab.

表-1 今津と加布里におけるカブトガニの産卵状況（若宮（1989, 1996）を一部修正）

Table 1 Nesting of the horseshoe crab at Imazu and Kafuri

調査地点	1980		1981		1983		1990		1993		1995	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
今津 四所神社前 8-a	V	7.6	V	12.0	V	5.2	V	1.2	V	2.1		0
加布里 弁天橋 5-c	V	1.8	I	1.2	0		—		—			—
加布里 弁天橋 5-d	Ⅲ	0.5	0		0		—		—			—
加布里 弁天橋 5-e	—		—		IV	2.4	—		—			—

(1) : 卵塊の常在度；常在度とは、産卵地において岸に斜め方向の溝を5つ掘り、その内のいくつかの溝に卵塊を見つけたかを示しており I から V により表す。例えば3つの溝に卵塊を見つけた場合はⅢである。(2) : 卵塊の頻度；頻度とは一つの溝あたりの平均卵塊数

たものであり、粒度組成はシルト分 (0.075-2mm) 18%、砂分 (2mm 以上) 82% である。客土前後に福岡市環境局 (2000) が調査したカブトガニつがいによる産卵個所を図-6 に、また砂地を訪れて産卵したつがいの経年変化を表-2 に示す。調査は7, 8月の大潮時の3日間、満潮時刻の前後3時間にわたって行われた。産卵するつがいの確認は目視あるいはつがいの出す産卵泡により行い、産卵が終わるまでつがいの行動を記録した。訪れたつがいを重複してカウントしないように、つがいに標識を貼付して放流した。産卵箇所は客土の年には、客土前に比べ著しく増えた。つがいの数は1996年から1998年までは増えたが、1999年には少し減少した。

4. 調査および試験の方法

調査は、図-1 に示す今津湾と加布里湾において、2000年9月12日、10月13日、12月14日、2001年1月8日の大潮の日に行った。調査地点と試料の採取地点は図-2 に示す。現地での調査項目は、土の酸化還元電位と pH、間隙水の溶存酸素、採取試料の試験項目は有機物含有量、粒度組成、透水係数である。試料は、表面から深さ10cmの部分から採取した。調査地の標高は、波打ち際の位置と潮位から算定した。砂地を掘ると海水がしみ出てきて、数秒すると水位は表面からおおよそ15~20cmの深さで一定となる。溶存酸素はしみ出た海水について測定し、酸化還元電位と pH はしみ出た海水の水面より数cm上の砂地に電位計 (HORIBA pH METER D-13) の電極を挿入して測定した。間隙水の塩分濃度とイオン濃度は、深さ20cmまでの試料を採取し、その間隙水につ

いてそれぞれ電気伝導度計とイオンクロマトグラフィーを用いて測定した。透水係数は、採取試料を現場の間隙比と同じになるように透水円筒に詰めて透水試験を行い決定した。粘土・シルト分の少ない試料では定水位透水試験、粘土・シルト分の多い試料では変水位透水試験を用いた。

5. 調査結果

5.1 物理的性質

砂地は産卵地として重要な役目を持っており (図-5)、ここでは砂地の物理的性質を中心に述べる。今津と加布里における砂地と泥地の粒度組成を図-7 に示す。今津の砂地に施された客土は20%の礫を含むが、砂地の礫分はこれより著しく少ない。これは礫分が泥地へ流出したためであり、このことは今津の泥地が10%程度の礫分を含むことに表れている。今津と加布里の砂地を比べると、粗砂分および細砂分については違いがあるが、いずれも砂分からなるという点は同じである。泥地では今津も加布里も10~20%の粘土・シルトを含んでおり、粗

表-2 産卵つがいの数の経年変化 (福岡市環境局, 2000)

Table 2 Change in the number of nesting horseshoe-crab's pair with time

	1996	1997	1998	1999
調査回数 (日数)	17(13)	32(16)	34(17)	24(12)
延べ来浜つがい数	6	23	37	17
1回当たりつがい数	0.35	0.72	1.09	0.71

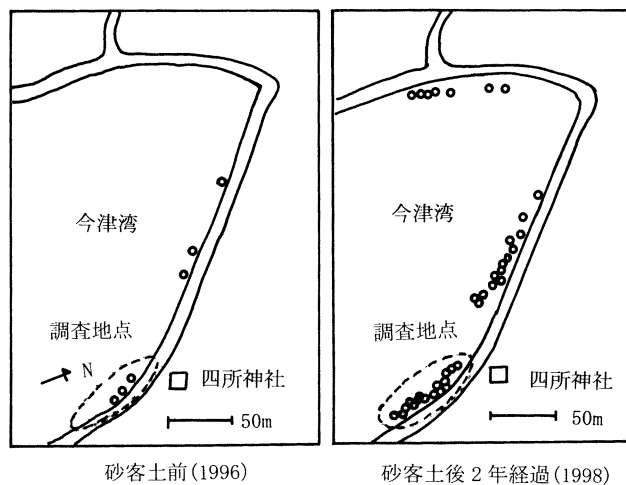


図-6 今津における客土前後のカブトガニの産卵状況

Fig. 6 Nesting of the horseshoe crab before and after sand placement in Imazu.

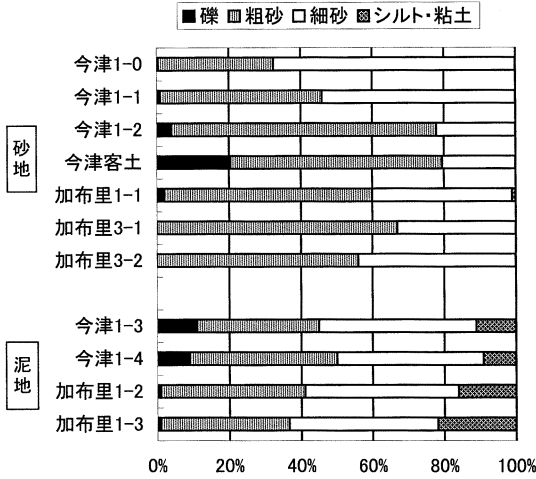


図-7 砂地と泥地の粒度組成

Fig. 7 Grain size distribution at beach and mud ground.

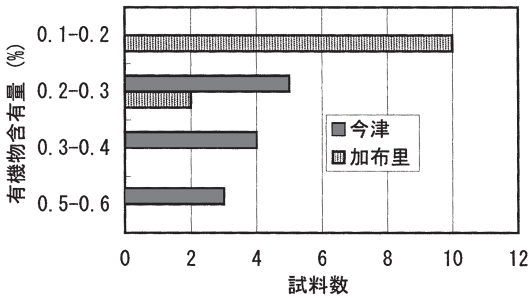


図-8 砂地における有機物含有量の頻度

Fig. 8 Frequency of organic matter content at sandy ground.

砂分が砂地の場合より少ない。砂地における有機物含有量の頻度分布を図-8に示す。今津での有機物含有量が加布里よりわずかに高い。

砂地における含水比の頻度分布および深さ方向の含水比をそれぞれ図-9と図-10に示す。いずれの図においても、今津が加布里より10%程度低い含水比を示す。含水比は一般に、土の粒度組成、有機物含有量、乾燥の程度などに支配される。粒度組成と有機物含有量は、今津と加布里の間でほとんど変わらないので、今津の砂地の含水比が加布里より低いのは、今津の砂地が加布里より長時間大気に露出するためと考えてよい(図-3, 図-4)。さらにこのことは、表-3において今津の砂地の水分飽和度が加布里のそれより低いことにも表れている。

図-11は、間隙比と透水係数の関係を示す。砂地の場

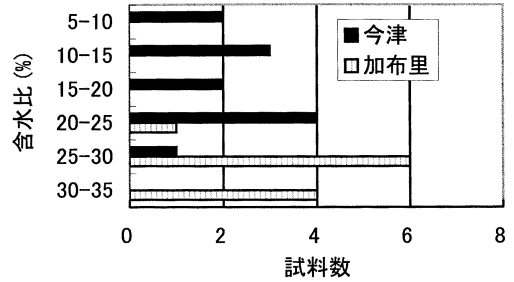


図-9 砂地における含水比の頻度

Fig. 9 Frequency of water content at beach.

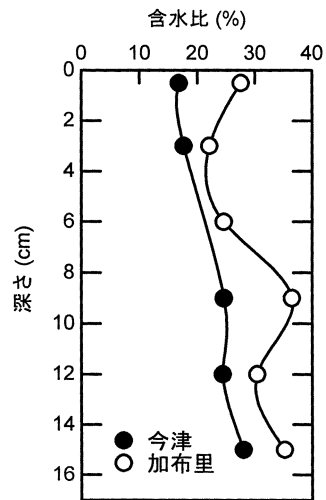


図-10 深さ方向の含水比の変化

Fig. 10 Change in water content with depth.

表-3 砂地と泥地の飽和度

Table 3 Saturation degree of beach and mud ground

今津調査地点	飽和度 (%)	加布里調査地点	飽和度 (%)
砂地		砂地	
1-0	12	1-1	82
1-1	19	3-1	52
1-2	76	3-2	87
泥地		泥地	
1-3	100	1-2	98
1-4	95	1-3	98
2-1	99		

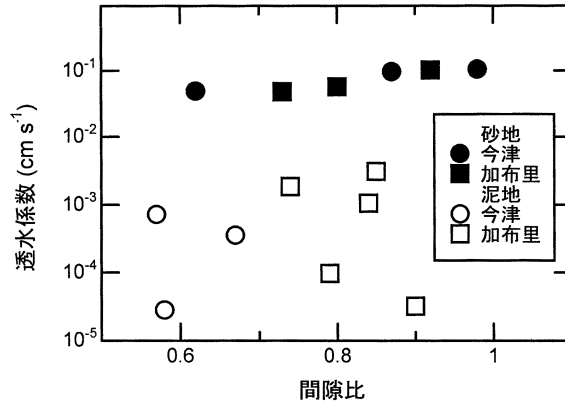


図-11 間隙比と透水係数の関係

Fig. 11 Void ratio versus coefficient of permeability.

合、今津と加布里の透水係数は同じレベルであり、間隙比の増加によりわずかに増加した。泥地の透水係数は、間隙比の違い、つまり採取地点の違いにより大きく変動しており、これは土壤構造の違いによる。また、泥地の透水係数は砂地に比べ2から3オーダー低い値を示した。

5.2 溶存酸素と酸化還元電位

カブトガニの卵には海水を卵膜内に取り込む機能があり、干潮時においても砂地の水分（海水）に含まれる酸素を取り込むことにより、胚は卵膜内の液体（困卵液）中で発生を続ける（関口，1999）。このことは、砂地の間隙水中の溶存酸素濃度が高いことが産卵と卵の発生を促すことを示唆している。そこで、今津と加布里の砂地における間隙水中の溶存酸素と、溶存酸素の影響で決まる土の性質の一つである酸化還元電位について考察する。

図-12は、今津と加布里における酸化還元電位と間隙水の溶存酸素濃度の関係を示す。砂地についてみると、両者の間には、溶存酸素濃度の増加により酸化還元電位は増大するという予想した変化はみられず、今津と加布里の間に異なった特徴が見られた。即ち、今津の溶存酸素濃度のほとんどは4 mg L⁻¹以上、酸化還元電位は170～260 mVの範囲にあり、それぞれの値は加布里における1～2 mg L⁻¹と-150～200 mVより高い。これは今津の砂地が加布里に比べ酸化的な状態にあることを意味している。一般に土が酸化的になる理由として、土が排水のよい粒度組成をもつこと、土が大気に長時間露出すること、土中の可分解性有機物が少ないこと等が考えられる。これらの因子を今津と加布里の砂地で比べてみると、排水条件を支配する粒度組成（図-7）と透水係数（図-11）はほぼ同じであり、有機物含有量（図-8）は、加布

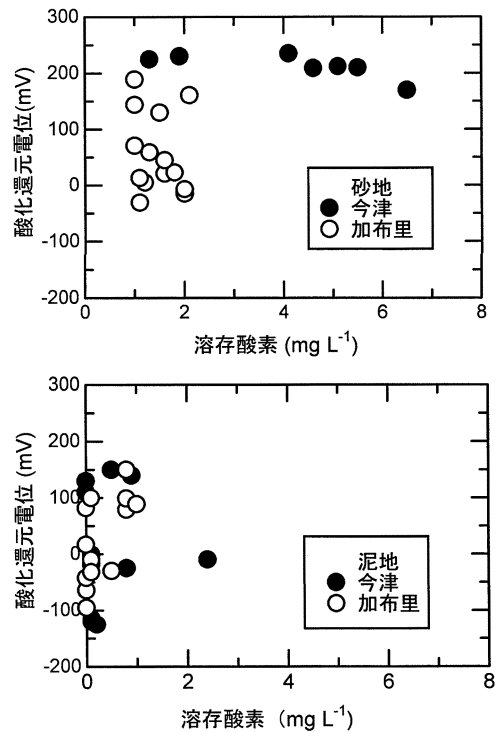


図-12 砂地と泥地における酸化還元電位と溶存酸素関係の関係

Fig. 12 Redox potential versus dissolved oxygen concentration in beach and mud ground.

里よりむしろ今津が高い。従って、今津の溶存酸素濃度と酸化還元電位が加布里に比べ高いのは、今津の砂地がより長期間大気に露出し（図-3、図-4）、水分の飽和度が

加布里に比べ低い(表-3)ためと考えるとよい。

泥地についてみると、溶存酸素濃度と酸化還元電位の間には相関はみられず、今津、加布里ともに溶存酸素濃度はほとんど 1 mg L^{-1} 以下、酸化還元電位は 150 mV 以下である。泥地の表面は干潮時露出するが、数 cm 下は海水に浸水しており飽和度は 100% に近い(表-3)。図-12によると泥地の透水係数は砂地に比べて低く、 $5 \times 10^{-3} \text{ cm s}^{-1}$ 以下である。このよう理由から干潮時にも酸素が十分に取込まれず、泥地の溶存酸素濃度と酸化還元電位は低い値をとる。泥地が産卵地として適さない理由は、このようなデータからも裏付けられる。

5.3 塩分濃度と pH

塩分濃度は、カプトガニ幼生の生息環境の重要な指標の一つと考えられている。前田ら(2000)は、杵築市守江湾の産卵地の温度、塩分、溶存酸素などを連続的に測定し、孵化幼生の出現との関係を考察した。それによると、間隙水中の塩分が 19 psu (実用塩分; g kg^{-1}) 以下、溶存酸素が 6 mg L^{-1} 以下では、孵化幼生は出現しなかった。杉田ら(1985)は、カプトガニを 30°C の恒温状態で 10 psu や 15 psu で飼育した場合、 $20 \sim 35 \text{ psu}$ の場合に比べ孵化までの日数が長くなることを報告した。表-4に、調査地点の土の pH、間隙水の塩分濃度を示す。pH はおよそ 7 から 8 の値をとる。塩分濃度は、電気伝導度に 0.64 を乗じて算定し(土壤養分測定法委員会, 1975) g L^{-1} で表示した。値としては psu で表示した場合とほとんど変わらない。今津、加布里での塩分濃度は $24 \sim 29 \text{ g L}^{-1}$ であり、前田ら(2000)が示した孵化幼生の出現する限界濃度の 19 psu よりかなり高い。塩分濃度の観点

からみると今津、加布里ともに孵化幼生の生息には適している。

6. 今津が産卵地として適する理由

カプトガニの産卵および卵の発生にとって好適な場所は、排水が良好で干潮時には長時間大気に露出し、かつ適度な水分を含む砂地である。砂が乾燥しすぎても湿潤でありすぎてもよくない。このような場所は大潮時の満潮線と小潮時の満潮線にはさまれた部分である。適度な水分を含む砂は、卵の発生のための温度調節機能の役目を果たし、夏の産卵時期、温度が過度に上昇することを緩和する(関口, 1999)。

今津と加ブリの調査地点は同程度の砂分を含み、いずれも砂質土に分類される砂地からなる。調査地点の露出時間は、大潮の場合今津で $12 \sim 17$ 時間、加布里で $7 \sim 11$ 時間である。加布里でもある程度の露出時間は確保されているが、産卵はほとんど行われていない。この程度の露出時間は産卵を促すには十分ではなく、少なくとも今津での露出時間が必要であるといえる。砂地が露出することにより適度な水分状態となり、また間隙水の溶存酸素は増加する。溶存酸素濃度は露出時間が長いほど高くなる。今津と加ブリの水分状態を比べると、今津の含水比のほとんどは $5 \sim 25\%$ であるのに対し加ブリのそれは $25 \sim 35\%$ である(図-9)。また、砂地の水分飽和度は、今津の方が低い(表-3)。このように今津の含水比は産卵条件を満たすが、加ブリの含水比は産卵条件としては高すぎると思われる。間隙水の溶存酸素については、今津ではほとんどが 4 mg L^{-1} 以上、加ブリでは 2 mg L^{-1} 以下

表-4 土の pH および間隙水の塩分濃度

Table 4 Soil pH and salt concentration in pore water

採取地点	今津		加布里		
	1-2	1-3	1-1	1-2	1-3
電気伝導度 (ds m^{-1})	40.50	37.30	43.30	45.60	43.00
塩濃度 (g L^{-1})	25.92	23.87	27.70	29.18	27.52
陽イオン (g L^{-1})					
Na	8.12	7.71	8.82	8.60	6.89
K	0.39	0.35	0.42	0.40	0.37
Ca	1.12	1.05	1.19	1.08	1.04
Mg	0.41	0.37	0.43	0.38	0.37
陰イオン (g L^{-1})					
Cl	20.33	18.36	22.09	11.93	10.86
SO ₄	2.37	1.94	2.29	2.37	2.29
Br	0.18	0.09	0.12	0.19	0.15
F	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01

であることから (図-12)、今津の砂地が示す程度の溶存酸素と酸化還元電位は、産卵の必須条件と考えるべきである。酸素濃度と酸化還元電位の高い砂浜が産卵と卵の生存に好適な場所となることは、Penn and Brockmann (1994) により示されている。

今津の砂地が加布里より多くの溶存酸素を獲得する機構は以下のように説明できる。干潮時の砂地の含水比と飽和度は今津の方が低くかつこの状態は長時間続くので、砂地の間隙に存在する気相と液相はより多くの酸素を取り込む。上げ潮に伴い海水は砂地の中を上方に浸透し、その間、間隙に存在する酸素が浸透水に溶解する。干潮になるにつれて砂地の間隙水は下方に移動するが、間隙水中の溶存酸素は高い状態のままである。

以上に述べた考察から、今津で実施された砂客土は、表面の露出時間、水分状態、溶存酸素などの観点からみたとときカブトガニ産卵地の修復手法として非常に有効であるといえる。

7. ま と め

得られた結果をまとめると次のようになる。

(1) 今津の砂地の標高が加布里に比べて高いため、今津の砂地がより長期間大気に露出する。

(2) 今津と加ブリの砂地はいずれも細砂と粗砂からなり、透水係数はほとんど同じである。

(3) 砂地の含水比と飽和度は、加布里より今津が低く、有機物含有量は加布里より今津がわずかに高い。

(4) 酸化還元電位と溶存酸素濃度は、砂地では加布里より今津が高い。これは今津の砂地がより長期間大気に露出するためである。泥地では今津も加布里も低い値を示す。

(5) 今津、加ブリの間隙水中の塩分濃度は、孵化幼生の生息には十分に高い値である。

(6) 今津の砂地が産卵に適するのは、砂分が100%であること、表面が長時間露出する(大潮時に12~17時間)こと、水分状態が適度である(含水比で5~25%)こと、間隙水の溶存酸素濃度と酸化還元電位が高い(ほとんどが4~5 mg L⁻¹, 200~300 mV)などの条件がすべて満たされるからである。

引 用 文 献

杉田博昭・村上公信・関口晃一 (1985) : カブトガニ類の胚発生に及ぼす塩分濃度の影響, *Acta Arachnology*, **34** : 1-9.

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 (1998 a) : カブトガニは何故その岸辺に産卵するのか?, *海岸工学論文集*, **45** : 1091-1095.

清野聡子・宇多高明・真間修一・三波俊郎・芹沢真澄・古池 銅・前田耕作・日野明日香 (1998 b) : 絶滅危惧生物カブトガニの生息地として見た守江湾干潟の地形・波浪特性, *海岸工学論文集*, **45** : 1096-1100.

清野聡子・宇多高明・大分県 (1999) : カブトガニの棲む干潟—八坂川の河川改修と環境保全—, 大分県, p. 60.

清野聡子・宇多高明・土屋康文・前田耕作・三波俊郎 (2000 a) : カブトガニ産卵地の地形特性と孵化幼生の分散観測—希少生物生息地のモニタリング計画のために—, *応用生態工学*, **3** (1) : 7-9.

清野聡子・宇多高明・前田耕作 (2000 b) : 埋設データロガーによるカブトガニ産卵地および幼生生息地の温度・塩分環境の計測, *海岸工学論文集*, **47** : 1216-1220.

清野聡子・宇多高明・芹沢真澄 (2002) : カブトガニ産卵地となる河口砂州周辺の海浜流の特性と産卵行動の関係, *海岸工学論文集*, **49** : 1156-1160.

関口晃一 (1999) : カブトガニの生物学 (増補版), 制作同人社発行, 星雲社発売.

土壤養分測定法委員会 (1971) : 土壤養分分析法, 養賢堂発行 : 45-52.

土屋圭示 (1991) : カブトガニの海, 誠文堂新光社.

西井弘之 (1975) : カブトガニ辞典 (増補再販).

福岡市環境局・環境テクノス株式会社, 平成11年度自然環境調査 (カブトガニの保全及び生息調査) 委託報告書, 2000.

前田耕作・清野聡子・西原繁明・日野明日香 (2000) : カブトガニ *Tachypleus I tridentatus* (Leach) の孵化幼生の生態と物理環境との関係, *日本ベントス学会誌*, **55** : 15-24.

若宮義次 (1988) : カブトガニの話, *水*, **3** : 25-28.

若宮義次 (1989) : 博多湾および唐津湾を主とした福岡県の現況 日本カブトガニを守る会 : 115-138.

若宮義次 (1996) : 今津湾カブトガニの現況と保全対策, 糸島の自然, 第4号, 糸島自然研究会 : 4-20.

Penn, D. and Brockmann, H.J. (1994) : Nest-site selection in the horseshoe-crab, *Limulus-polyphemus*, *Biological Bulletin*, **187** (3) : 373-384.

受稿年月日: 2004年8月11日

受理年月日: 2004年12月8日