

空中写真による干潟の微地形判読と現地踏査を 組み合わせたカブトガニ生息地・産卵地調査法

INVESTIGATION OF THE HABITAT AND SPAWNING GROUND OF HORSESHOE CRAB
BY COMBINATION OF READING OF MICRO-GEOMORPHOLOGY ON TIDAL FLAT
FROM AERIAL PHOTOGRAPHS AND FIELD OBSERVATION

清野聡子¹・塩崎正孝²・宇多高明³・後藤 隆⁴・黒木利幸⁴・中村利行⁴

Satoquo SEINO, Masataka SHIOZAKI, Takaaki UDA, Takashi GOTO,
Toshiyuki KUROKI and Toshiyuki NAKAMURA

¹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 (〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1)

²正会員 工修 大分県土木建築部港湾課長 (〒870-8501 大分県大分市大手町3-1-1)

³正会員 工博 建設省土木研究所河川部長 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)

⁴正会員 三井共同建設コンサルタント(株)地域・環境事業部 (〒169-0075 東京都新宿区高田馬場1-4-15)

An investigation method of the habitat and spawning ground of horseshoe crab *Tachypleus tridentatus* was developed by the combination of reading of micro-geomorphology on tidal flat from aerial photographs and field observations. The method was applied to the investigation at Nakatsu tidal flat in Oita Prefecture as one of the environmental assessment of the port construction. The method was compared with the ordinary observation method using line transects. Reasonable results were obtained for the investigation of the habitat of larval horseshoe crab.

Key Words : Tidal flat, horseshoe crab, aerial photograph, field observation, spawning ground, tidal currents, endangered species

1. まえがき

「生きている化石」として知られるカブトガニ (*Tachypleus tridentatus*) は、かつては瀬戸内海や九州北部の内湾干潟などに広く生息していたが、沿岸開発などにより環境が激変した結果、現在では絶滅危惧種とされるほどに生息数が減少している。本種への社会的関心は高く、沿岸環境保全のシンボリック的存在となっている。近年では、土木事業の遂行にあたって絶滅危惧生物への十分な配慮が必要とされているが、カブトガニの生息場である干潟の地形的変化においても十分な影響調査が求められる。こうした場合、一般に行われている干潟の網羅的調査は、労力の割に全体を把握するには成果に乏しい。その原因は、問題解決のための方法論が未開拓なこと、干潟の生物全種を同じ精度で分類することが事実上不可能なこと、同定作業に時間がかかること、全ての生物群の分類能力がある人は希なことなどによると考えられる。

こうしたことから、干潟の環境調査では、まず広域的視野を持った調査から始めることが有効である。平面的な

広がりをもつ干潟では、海と河川により外力場が規定され、変動しているが、干潟の生物もそれに応じた棲み分けをしている可能性が大きい。このことからそこでの営力について生物調査中にも絶えず認識することが必要とされる。筆者らは、干潮時に撮影された干潟の空中写真によれば干潟上の微地形の判読が可能であり、そのようにして得られた判読図は、カブトガニなど干潟上の生物生息地の区分を行う上で有効利用が可能であることを明らかにした¹⁾。

本研究では、このような空中写真による干潟の微地形判読と現地踏査を組み合わせたカブトガニ幼生の生息地・産卵地の調査法について述べる。具体的には、中津港の改修工事に当たっての絶滅危惧種カブトガニへの影響調査の一環として行ったものである。この調査では、中津干潟の生物相についての情報が不充分であったため、数日間の調査期間ではあるが最大限の効果を上げるための調査法を検討した。特に広域調査の精度を上げるために、ライントランゼクト法に加えて、パッチ状に分布するマイクロハビタット (小スケールの生息地) を把握するために空中写真から干潟の地形判読を行い、推定される生息

地を集中的に調査した。現地調査は、1999年9月23日～25日に実施した。

2. 中津港周辺の干潟と周辺の海底地形特性

研究対象地の中津干潟は、図-1に示すように大分県北部国東半島の西側に位置し、周防灘に面している。主として山国川からの流出土砂が沿岸部に堆積して広大な干潟が形成された。干潟の中央部には干潟を開削して建設された中津港がある。中津干潟には、山国川・中津川だけではなく多くの中小河川が流入し、河口には砂州が発達している。中小河川としては、西から順に、蛸瀬川、自見川、大江川、舞手川、余水川、天貝川および犬丸川がある。

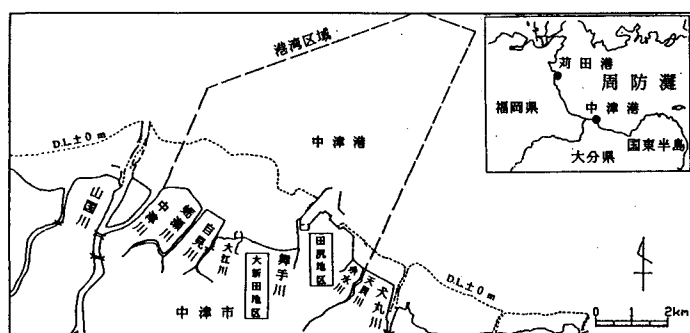


図-1 中津干潟の位置図

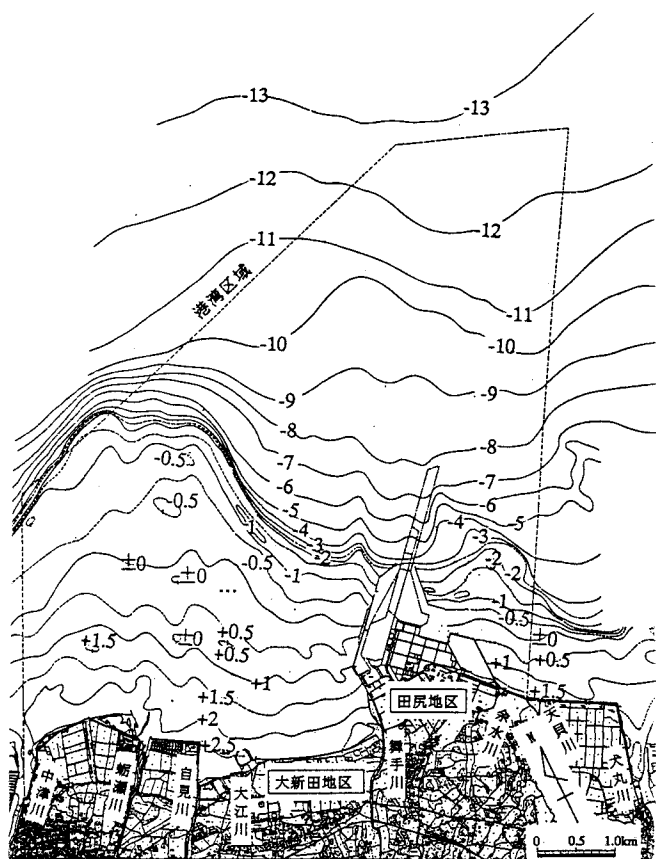


図-2 中津港周辺の海底地形図(基準面 D.L.0 m =T.P.-1.95 m)

中津港での波浪条件については、中津港の北西28kmに位置する荻田港での風資料からSMB法によって有義波高を算出すると、波高0.3m未満が75.2%、2.0m以上が0.1%と静穏である。また、中津港の基本水準面(D.L.)はT.P.-1.95m(=L.W.L.)に、H.W.L.はT.P.+1.50mにある。

図-2は、1987年の測量による中津港周辺の海底地形図(基準面はD.L.0m)である。中津川、蛸瀬川の河口沖約3kmには河口デルタが大きく突出している。この河口デルタは平均海面から約-3mまでに約1/800~1/1000と非常に緩やかな勾配の海底面を有する。この面が現在中津干潟と呼ばれる場所である。これに対して、河口デルタの沖側斜面(前置斜面)の勾配は約1/70と相対的に急である。この急斜面は、洪水時に山国川や中津川から流入した土砂が運ばれ、堆積して形成されたものである。

3. カブトガニ幼生生息地および産卵地調査

カブトガニの幼生調査は、干潮時に干潟を踏査し幼生を確認する方法と、夜間にライトで海面を照らして浮遊する孵化（1 齢）幼生を確認する方法の、2通り行った。1999年9月25日の踏査はライトランゼクト調査であり、100m間隔の測線においてカブトガニ幼生調査熟練者23人により幼生の有無、分布状況を確認した。陸上にポールを設置し、各ラインの左右約1.5mを、生息の可能性のある潮溜まりを中心に確認した。図-3には測線配置を示す。また同時に各ラインの底質・微地形・その他生息種を調べた。カブトガニの幼生を確認した場合、その位置、形態（全長・前体幅）と底質条件を調べた。また、9月26日には9月25日の観測結果と空中写真撮影結果を考慮して、生息の可能性が高い箇所では集中調査を実施した。9月24日には台風18号が付近を通過したが、波浪、出水による干潟面の変化も観察した。

孵化幼生調査は9月23日と9月25日の夜間に実施した。9月23日には中津川河口左右岸の砂州で行った。9月25日には図-3に位置を示すように、中津川河口砂州、蛸瀬川河口左岸砂州から三百間浜の砂嘴、自見川河口右岸・大江川河口周辺・舞手川河口左岸の砂州などで調査した。夜間の満潮時において空中写真および事前調査により産卵地としての可能性がある場所で200Wの投光器にて水深約50cmの場所にスポットライトを当て、海面下の光に集まった孵化幼生をタモ網で捕獲し個体数を計数した。なお、調査地点としては事前の産卵情報がなかったために、満潮時に水没しても干潮時には露出する砂浜や砂州、河口周辺で適度に淡水が流入しているが河川流を直接的に受けにくい砂浜や砂州、波浪の影響を直接受けにくい砂浜や砂州を選定した。

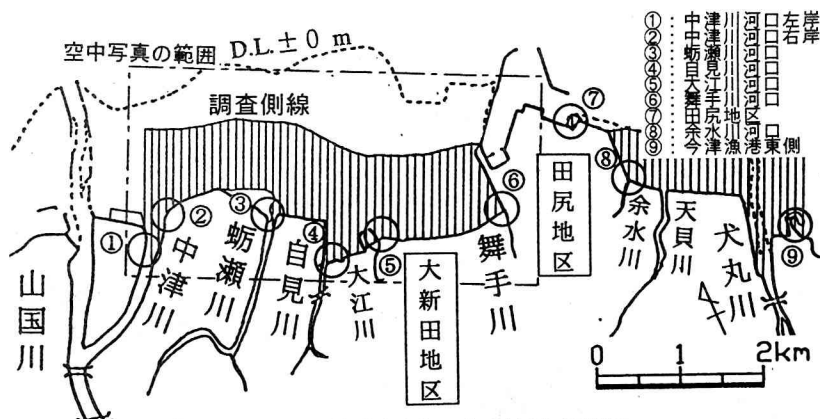


図-3 測線配置と現地踏査を行った中津川、蛸瀬川、自見川、舞手川河口の位置

4. 干潟の空中写真判読による

カブトガニ幼生生息地調査

(1) 空中写真の判読とマイクロハビタット候補地の選定

既往の知見¹⁾によれば、カブトガニの幼生生息地は波浪や河川流の強い作用を受けず、同時に干潮時にもごく浅い水深が保たれ、かつ表面が泥で覆われた干潟であり、幼生生息地は空中写真に特有なパターンを示す場所として判読される。そこで空中写真よりマイクロハビタットの可能性がある地点を選定し、大局的に見て生息地の見落としがないような調査法を考案した。この方法はマイクロハビタットの発見には効果的であるが、調査地の選定に恣意性があり得るので、別にラントランゼクト法をランダムサンプリングとして位置付け、両者により客観性と調査精度を高めた。

図-4には、中津川河口沖干潟の空中写真を示す。中津川河口沖には河川の滞筋の延長上に緩く蛇行する水路が延びている。またそれとほぼ直交して多数の細長い帯状の地形が判読される。これは干潟上に侵入した波浪によって形成された沿岸砂州と考えられる。この沿岸砂州は全体としてはほぼ平行に

並び、平均海岸線と斜交している。写真で白く見える沿岸砂州は小高い高まりであり、その間の黒っぽい場所は相対的に標高が低い場所である。清野ら¹⁾が明らかにしたように、カブトガニの幼生は波の作用を強く受けて沿岸砂州の発達するような場所には生息しにくい。したがってこのような模様が顕著に現れた場所は、幼生の生息地とはなりにくいと推定できる。

蛸瀬川の河口左岸には、沿岸方向に細長く延びた砂州があり、その先端は河口に回り込み砂嘴となっている。この砂州は蛸瀬川河口に隣接し、しかも材質が砂礫であることから、産卵地である可能性が高い。また、蛸瀬川河口内に見られる砂嘴も産卵地となる可能性が高い。一方、蛸瀬川河口沖では、ほぼ東方向を向いた砂州が河川の流下方向に延びている。これらの扇状の区域は、中津川河口沖の場合と同様、河川流の作用を強く受ける場所であり、幼生の生息には適さない。蛸瀬川河口と自見川河口を結ぶ直線的な海岸堤防の中央やや西寄りの場所では、蛸瀬川と自見川いずれの河川の作用もあまり著しくない場所が存在する。このような場所は、カブトガニの幼生の生息に適している。

自見川の左岸側には干拓堤防があり、河川流の西側への拡散が制約されているが、右岸側では河川流は東側へと広がりつつ流れている。このため、河口から北東ないし東向きに河川流の作用によって形成された細かい模様を有する多数の砂州が観察される。この砂州の沖側、東側端部は波の作用によって形成されたと見られる砂州により取り囲まれている。また東浜船溜の防波堤のすぐ西側では、流れが阻害されて防波堤沖に沿った流れによって滞筋が形成されている。

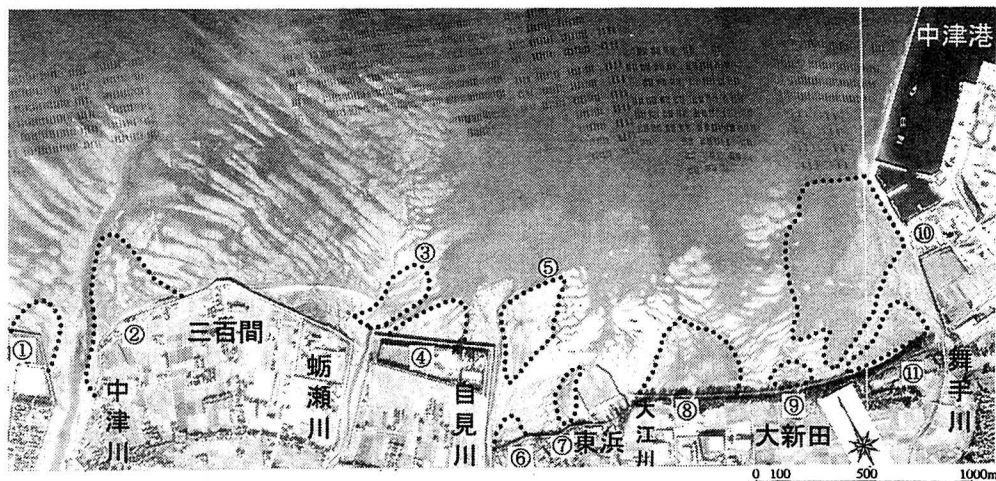


図-4 中津川河口沖干潟の空中写真 (1998年12月4日撮影)

以上と同様な状況は、船溜の東側に隣接する大江川の河口沖でも見られる。カブトガニ幼生の生息地として自見川の河口沖の河川流および波による作用が著しいと見られる区域は適さない。しかし、東浜船溜まりの西側隣接域は幼生の良好な生息場になっている可能性が高い。東浜船溜まりと舞手川河口の間では河川の流入もなく、また中津港防波堤によって沖合からの入射波浪が遮蔽されるため、比較的静穏な海域である。大新田地区沖には一部沿岸砂州が見られるがその規模は中津川河口沖と比較して小さい。舞手川河口沖では、中津港の防波堤が導流効果を発揮するため、防波堤に沿って河川流が干潟に広がっている。しかし河川流の作用が著しい区間は、「く」の字型防波堤のうち、舞手川河口から防波堤隅角部までの距離のおよそ1/2までの区間である。その沖は防波堤によって遮蔽されているために、波の強い作用を受けず、また河口から離れているために河川流の強い作用を受けない干潟である。これより舞手川河口沖の砂州の西側隣接域は幼生の生息地としての可能性が高いと推定される。

結局、空中写真判読によれば図-4に示す①～⑪の区域がカブトガニ幼生の生息地としての可能性が高いと推定された。

(2) 結果

ライトランゼクト方式による9月25日の観測と、空中写真判読を考慮して9月26日に行った現地調査の結果を図-5a, bに示す。大新田地区を中心に中津港の防波堤から西側海域で幼生が総計43個体（ダブルカウント有り）確認されたが、田尻地区およびその東側海域（犬丸川河口まで）では幼生は発見されなかった。図-5a, bを比較すると、特に舞手川河口沖での幼生の発見個数に違いがあり、26日の発見個体数が多いが、この場所は空中写真で幼生の生息の可能性が高い場所として指摘された場所であった。

表-1には、図-4に示す11区域の特徴とそこでのカブトガニ幼生の確認結果をまとめて示す。また、生息が確認された地点では、 d_{50} の平均が $0.13 \pm 0.04 \text{ mm}$ ($N=16$)、最大 0.22 mm 、最小 0.08 mm であった。これに対して、確認されなかった地点での d_{50} の平均は $0.43 \pm 0.26 \text{ mm}$ ($N=9$)、最大 0.80 mm 、最小 0.10 mm であり、95%有意水準で生息確認の有無では有意差が見られた。細粒分含有率(%)は、確認された地点では平均 $24.03 \pm 11.47\%$ 、最大 49.30% 、最小 8.10% 、確認されなかった地点では平均 $20.16 \pm 11.84\%$ 、最大 45.5

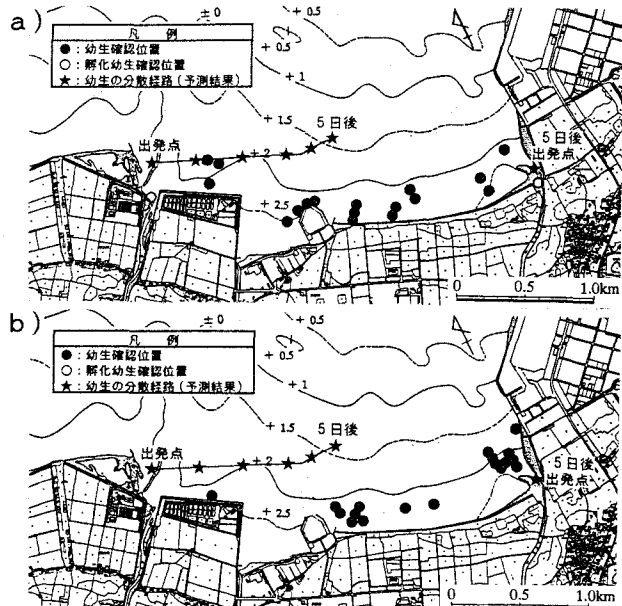


図-5 カブトガニ幼生の確認地点と河口から出現した幼生の分散経路（予測結果）

0%, 最小6.30%であった。よって95%有意水準で生息確認の有無では有意差がなかった。

以上より、生息域を規定している環境要素としては d_{50} があげられる。なお、確認された幼生の生息地は、踝から膝上程度まで沈む砂泥地であった。また、酸化層厚が薄い場所においても生息が確認された。さらに、発見位置の主要生物は、幼生確認地点ではウミニナ、ヤマトオサガニ、アラムシロガイ等の比較的泥質部に生息する種が主体であり、未確認地点ではコメツキガニ、アサリ、シオフキガイ等砂泥質に生息する種が見られた。

表-1 幼生生息の可能性の高い11区域の特徴と幼生確認結果

場 所	調査地点の特徴	確 認 結 果
①中津川河口左岸	中津川河口左岸の護岸前の泥干潟。静穏度が高い泥干潟	幼生は確認せず。砂灘の発達状況から、波の影響を比較的受けやすい条件下にあると判断。還元化の進行により、幼生の生息条件としては厳しい。
②中津川河口右岸	中津川の河川流が干潟面へ緩やかに拡散している干潟	幼生は確認せず。砂灘の発達状況から波の影響を比較的受けやすい条件下にあると判断。
③新瀬川河口（三百間浜）	新瀬川の河川流が東側に蛇行して干潟に流入する。砂嘴と沖合の沿岸砂州に挟まれた泥干潟。	新瀬川河口左岸砂州で1齢幼生1匹を確認。河川流の作用を強く受ける可能性があり、多くの砂灘が観察された。
④清掃工場前	新瀬川と自見川の河川流の著しい作用を受けない区域	5, 6, 8 齢幼生を確認。
⑤自見川河口右岸沖	自見川の河川流が拡散する区域。波の影響を示す砂灘は認められない。	幼生は確認せず。東系の激浪時には波の影響を強く受ける。自見川河口左岸堤防と船溜で河川流の拡散が制約されている。河川流と波浪双方の作用が強い。台風18号通過後の現地踏査では粗砂でできた砂灘が多く観察された。
⑥自見川河口右岸	自見川の河川流が拡散する区域。波の影響を示す砂灘は認められない。	幼生は確認せず。
⑦船溜左側	船溜による波浪の遮蔽域。沖合が浅いので波の影響を受けにくい。	5, 8 齢幼生を確認。
⑧大新田地区干潟1	田尻地区西防波堤により波が遮蔽され、波の影響を受けにくい。大江川と舞手川の河川流が拡散可能。	5, 6, 8 齢幼生を確認。
⑨大新田地区干潟2	田尻地区西防波堤により波が遮蔽されている。舞手川の河川流が拡散。	4 齢幼生を確認。
⑩舞手川河口左岸沖	田尻地区西防波堤により波が遮蔽され、舞手川の河川流に対する導流堤となっている。舞手川の河川流が拡散。	舞手川河口左岸砂州で1齢幼生を確認。左岸沖で3, 4, 7, 8 齢幼生を確認。
⑪舞手川河口沖	中津港西防波堤により波遮蔽されている。舞手川の河川流が拡散。	舞手川河口左岸砂州で1齢幼生を確認。河口沖で3, 4, 5, 7 齢幼生を確認。

5. カブトガニ産卵地調査

既往の知見²⁾によれば、中津干潟でカブトガニの産卵地となり得る場所は、図-3に示したように9地点が考えられた。そこで1999年11月9、10日、中津川河口左右岸、蛸瀬川河口左岸、自見川河口右岸および舞手川河口左岸砂州の地形の詳細な現地調査を行った。産卵地と推定される河口砂州の写真撮影を行うとともに、砂州上の各地点より約0.5kgの砂を採取し、粒度分析を行った。ここでは代表的にカブトガニの1齢幼生の発見された蛸瀬川と舞手川河口砂州の状況を示す。

図-6は蛸瀬川左岸砂州のサンプリング地点の状況を示す。観察者が指差す場所付近でカブトガニの孵化幼生が確認された。この砂州の沖合には左岸側から砂州が延びており、それによって波が遮蔽されているために、作用波浪は相対的に弱い条件下にある。同様に図-7は、舞手川河口左岸砂州の状況である。観察者が示す場所付近で、カブトガニの孵化幼生が確認された。ここでも満潮時汀線付近からサンプリングを行った。写真上部に見える直立護岸は、右岸側に延びた中津港田尻地区の護岸であり、砂州



図-6 蛸瀬川河口左岸砂州における底質サンプリング地点 (11月10日満潮時撮影)



図-7 舞手川河口左岸砂州における底質サンプリング地点 (11月9日干潮時撮影)

の右端と、護岸の間に舞手川の流路がある。この場所も河口砂州の裏側に位置しているため、静穏な波浪条件下にある。

調査した砂州の材料の粒度分析を行った。結果を

表-2に示す。孵化幼生の出現調査から産卵地であることが確認されている蛸瀬川と舞手川河口での d_{50} は平均で0.81mm、シルト分の占める割合は平均で1.4%である。産卵が確認された場所の底質特性と比較して、これとほぼ同等の特性を有するのが中津川河口右岸砂州と自見川河口右岸砂州である。これに対して、中津川河口左岸砂州では粗砂分が17.7%と小さく、細砂分およびシルト・粘土分が大きく増加している。蛸瀬川と舞手川河口砂州の材料と比較して、細砂の割合が非常に高いことは、中津川河口左岸砂州では透水性から考えてカブトガニの産卵地としての可能性が相対的に低いと考えられる。一方、中津川河口右岸砂州と自見川河口右岸砂州では底質材料から見る限り、カブトガニの産卵地である可能性が高いと推定される。

表-2 砂州材料の粒度分析結果

河 口 名	d_{50} (mm)	粗砂分 (%)	細砂分 (%)	シルト (%)	産卵確認
中津川河口左岸	0.25	17.7	79.7	2.0	未確認
中津川河口右岸	0.55	71.9	25.6	1.0	未確認
蛸瀬川河口左岸	1.10	86.9	2.2	1.2	確認
自見川河口右岸	0.66	70.9	22.3	1.8	未確認
舞手川河口左岸	0.52	64.0	33.3	1.6	確認

カブトガニ産卵地である大分県守江湾での観測結果²⁾によれば、粒径特性は表-3のようである。中津干潟の値を守江湾の d_{50} データと比較すると、産卵地として舞手川河口は既知の値の範囲内であるが、蛸瀬川河口での値はこれを上回っている。一方、シルト・粘土分はほぼ同様な結果であった。

表-3 産卵地の粒度特性

d_{50} の平均値	0.70±0.17mm (N=7)
d_{50} の最小値	0.42mm
d_{50} の最大値	0.97mm
粗砂・礫の含有率	66.6~87.9%
シルト・粘土の含有率	約3%以下
礫	11.3±7.5%
粗砂	61.0±7.9%
細砂	25.7±12.3%
シルト・粘土	2.0±0.7%

6. 潮流計算に基づくカブトガニ幼生の分散計算

清野ら³⁾は、潮流シミュレーションより水粒子の移動をラグランジュ的に追跡することによりカブトガニの孵化幼生の分散経路を推定した。ここでも同じ方法で検討した。潮流シミュレーションには、Navier-Stokesの方程式を基礎とした3次元マルチレベルモデルを用い、干潟の浅海地形を考慮した移動境界モデルを用いた。潮流シミュレーションの再現性は、1994年および1999年夏季に実施した15昼夜連続観測データをもとに確認した。計算条件を表-4に、干潟が水没している時間の潮流シミュレーション結果の例を図-8a, bに示す。満潮前後1時間の潮流

であるが、上げ潮には大新田沖干潟では中津港の防波堤の陰に入るため流れは弱い、下げ潮時には全体として東向きの流れが卓越することが分かる。この流れの分布によれば、蛸瀬川河口から流出した幼生は東向きに移動し、舞手川から流出した幼生は河口沖に止まり易いことが分かる。

潮流シミュレーションで得られた各メッシュの流向・流速から、幼生の分散の可能性の大きい蛸瀬川と舞手川河口の2箇所より満潮前1時間に幼生が離岸したと考え、水粒子の移動をラグランジュ的に追跡した。蛸瀬川と舞手川河口沖からの分散経路は、図-5のカブトガニ幼生確認地点図に示した。これらの結果によれば、蛸瀬川および舞手川河口から出現した幼生は大新田地区沖で確認された幼生生息地点のごく近傍まで到達しており、蛸瀬川河口および舞手川河口の産卵地を起源とする可能性が大きいことが分かる。

表-4 潮流計算の条件

項 目	計 算 条 件
計算領域	13km×8km
格子間隔	200m
水深	1987年の深浅測量図による
層分割	第1層 海面～D.L.-5m 第2層 D.L.-5m以深
タイムステップ	4.0s
使用潮汐	M ₂ +S ₂
計算時間	4潮汐
境界面摩擦係数	0.0026
海底摩擦係数	0.0026
水平運動粘性係数	3.7×10 ⁴ cm ² /s
水平拡散係数	3.7×10 ⁴ cm ² /s
鉛直拡散係数	0.1 cm ² /s
境界条件	開境界での潮位振動
河川流入量	山国川 646,239.5 m ³ /日、中津川 2,549.1 m ³ /日 蛸瀬川 9,047.4 m ³ /日、自見川 8,604.6 m ³ /日 大新田川 1,065.1 m ³ /日、舞手川 9,430.3 m ³ /日
塩分濃度	初期値33.3，河川流入水は0.0

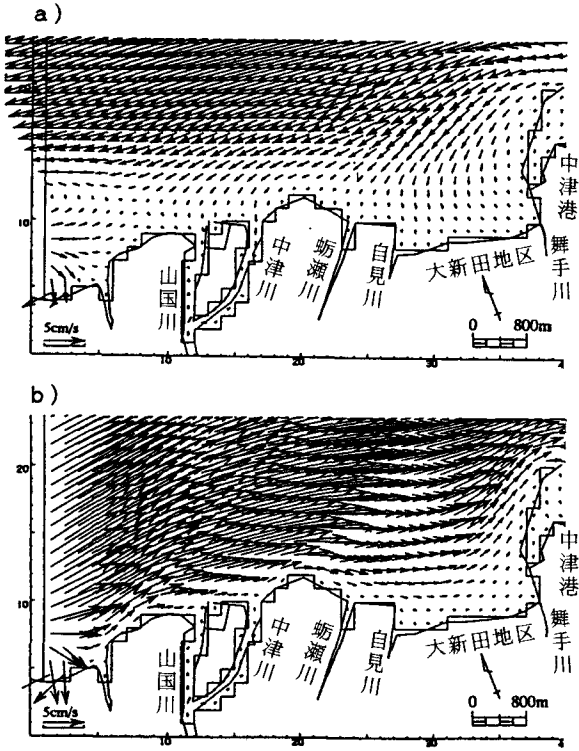


図-8 満潮前後1時間における潮流の流況（表層）

7. 結論

本研究では、干潟の空中写真の判読によりカブトガニ幼生のマイクロハビタットの推定を効率的に行う手法を開発した。また、ライントランゼクト法によるランダムサンプリング結果との比較により、観測法の有効性を確認した。これらの知見は、干潟の生態系に配慮した環境保全計画の作成や干潟の管理に応用できる。空中写真を継続的に撮影すれば、管理者は干潟面の地形変化や、それに伴うカブトガニ生息地としての適格性を判断することができるため、対策の検討に有効と考えられる。本方式では、カブトガニ幼生の生息の可能性が高い区域を、従来の知見と空中写真の判読から選定したが、その地形的特徴は、①河口および河口沖干潟、②河川水の影響を受けるが、河道には直接面さない場所、③強い波浪の影響を受けにくい場所、④細砂が堆積した場所である。本方式による検討では、予測地点全てで幼生が発見された訳ではなかった。その理由としては、①空中写真の撮影時期が冬季（12月）、調査は9月であったこと。よって干潟の微地形に影響を与える波浪条件が異なったこと、②調査前日の9月24日の台風18号による出水後であったこと、③空中写真では判読できない条件（還元状態、干潟面のより細かい地形）が検出できなかったためと考えられる。一方、現在のところ、空中写真の撮影頻度が低いため、どの時点での波浪によりこの干潟表面の地形が形成されたのかは不明である。しかしながら、中津大新田地区干潟においては本方法による予測と、実際の幼生の生息地点がほぼ一致するという結果を得た。したがって、今後このような空中写真の撮影を継続し、波浪との関係を把握していくことが課題である。

謝辞：本研究は、中津港改修環境影響調査（カブトガニ・アオギス）検討委員会（委員長塚原博九州大学名誉教授）における調査が中心となっている。ご協力に対し、ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

1) 清野聡子・宇多高明・真間修一・三波俊郎・芹沢真澄・古池鋼・前田耕作・日野明日香：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、第45巻、pp.1065-1100,1998。
2) 清野聡子・宇多高明・土屋康文・前田耕作・三波俊郎：カブトガニ産卵地の地形特性と孵化幼生の分散観測-希少生物生息地のミティゲーション計画のために-、応用生態工学、Vol. 3, No.1, pp.1-19, 2000。
3) 清野聡子・宇多高明・前田耕作・山路和雄：守江湾内の八坂川河口沖干潟におけるカブトガニ孵化幼生の分散機構の解析、水工学論文集、第44巻、pp.1209-1214, 2000。

(2000.10.2 受付)