

稀少生物カブトガニの生息地としての大分県守江湾干潟における 環境変遷とその修復*

清野 聡子**・宇多 高明†

Environmental Changes and Restoration of Endangered Horseshoe Crab Habitat in Morie Bay, Oita Prefecture

Satoquo Seino and Takaaki Uda

現在、「環境修復」や「環境復元」が注目され、沿岸域についても人工干潟や藻場の造成なども行われている。本研究では、大分県の守江湾を対象として絶滅危惧生物カブトガニ (*Tachypleus tridentatus*) の生息と守江湾の環境変遷の関係について考察し、生息場の修復のためのミティゲーションについて述べた。干潟の環境調査では、一般に干潟が空間的に広くしかも干潮時のみ出現するために網羅的調査には限界がある。このことから、空中写真を利用した効果的な環境調査法を開発した。空中写真により干潟の微地形分類を精度よく行うことができた。また洪水が干潟に及ぼすインパクトを調べるために、洪水前後に詳細測量を行って干潟の地形変化量を把握し、それと生物の生息条件の関係について調べた。守江湾への流入河川である八坂川では、2000年に河口から2～4 km 区間に残されていた感潮域蛇行部の捷水路事業が行われたが、河川改修による下流への影響として洪水時の流速の増大が見込まれ、それに起因して河口部のカブトガニ産卵地砂州の流出可能性が指摘された。そこで産卵地の代替適地を選定し養浜を行った。環境対策のために、他の流域や沿岸からの土砂の使用を極力避けるといった思想のもと、養浜材料には近傍の河道掘削土砂を活用した。

Restoration/recovery of environment is widely focused on in Japan, and creation of artificial tidal flat and sea grass field have been tested. In this study, relation between the habitat conditions of the horseshoe crab *Tachypleus tridentatus*, being one of the endangered species in Japan, and artificial changes in bay were investigated, taking Moriye Bay in Oita Prefecture as the example. Mitigation method for the restoration of spawning sites of horseshoe crab was described. Since tidal flat has a vast area and is exposed only during short period in ebb tide, comprehensive field observation is difficult. Therefore an investigation method utilizing high-resolution aerial photographs taken in low altitude was developed. Precise classification of the surface of tidal flat in terms of micro-geomorphology was done. Impact of river flood to the tidal flat was investigated by the detailed surveys on tidal flat and habitat condition of horseshoe crab was found. In the lower Yasaka River, the improvement works of straightening at the meandering part was carried out in 2000, causing increase of flood velocity at the river mouth bar, where spawning site of horseshoe crab is located, inferring its disappearance. An appropriate location of spawning site of horseshoe crab for the compensation was selected and beach nourishment was carried out, using the materials prepared in the nearest rivers in order to minimize environmental impact due to the mixing of different species in other regions.

キーワード：環境変遷, 環境修復, 干潟, 空中写真, カブトガニ, 養浜

1. はじめに

現在、「環境修復」や「環境復元」が環境関連の学問上の大きな課題となっているが、環境の悪化が各地で急速に進む中でこれらは社会的関心事でもある。行政的にはいわゆる公共事業批判のうねりの中で、新しいタイプの

土木事業として環境修復が計画、実行される機会も増加している。とくに都市近郊での自然回復や地方部での自然復元が多くの人々の注目を集めている。沿岸域環境についても同様な流れの中にあり、人工干潟や藻場の造成に関する技術開発がマニュアル化されている(運輸省港湾局・エコポート(海域)技術WG, 1998¹⁾; 水産庁漁港部, 1999²⁾)。特に人工干潟は、その水質浄化機能に着目した研究が進められている(細川, 1999³⁾)。しかし、これらは環境計画全体を見直すというのではなく、現在の状

* 2001年10月26日受領, 2001年11月6日受理

** 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科

† 国土交通省国土技術政策総合研究所

況あるいは既存の計画に新たな計画が付加されることがほとんどで、修復というレベルや、逆に新たな環境を創出する発想であり、現状の保全への指向性は希薄と考えられる(清野, 2001⁴⁾)。一方、「環境復元」の本来の趣旨は、過去に大きく改変された環境を根本的な意味からもとの状態に戻すことにある。しかし、そのためには陸地を再び浸水させ、あるいは人工構造物を撤去するなど、土地利用の大きな変化を伴うため、わが国のように沿岸部が高度に利用され、人口が密集している地域でのその実施は社会制度上も非常に困難である。このような状況の中で多様な議論がなされているが、それらは概ね以下の見方に集約される。

- ①環境修復事業は環境保全に真に貢献する(細川, 1999³⁾)。
- ②環境修復や復元は従来型の環境破壊を引き起こした土木事業からすれば改善された方法であり、技術開発をしながら事業を進めている途上にある。しかし状況によっては「開発の免罪符」になるという現状を認識せざるをえない(清野, 2001⁴⁾)。
- ③環境修復・復元とはいえ、現況の生態系を大きく改変するのであるから新しいタイプの環境破壊とも考えられる(花輪ほか, 1998⁵⁾; 風呂田, 1998⁶⁾)。

とくに公共土木事業批判において環境破壊的な事業の見直しが強く指摘されるなか、環境配慮型事業に対しては批判が比較的少ないため、この種の事業の推進は当然のこととされているとも考えられる。筆者らは、本来は①であらねばならないことは充分認識しているが、今回紹介するように既に大きく人為的改変がなされており、かつ個人の力では大規模な改変を見直すことは不可能であるため、現実には②の状況で研究を進めた。一方で、③と思うほどこの分野を悲観しておらず、最悪の破壊という状態よりはより良い方法を模索する過程で得た知見や技術をもとに、最終的には①を目指すことを目標としている(清野, 2001⁴⁾)。なお、環境の修復・復元については化学的方法などさまざまなアプローチがあるが、ここでは稀少生物カブトガニの生息地である大分県の守江湾を対象として人為的地形改変に伴う干潟を含む湾内の環境変遷とその修復のためのミティゲーションについて述べる。

「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(西井, 1973⁷⁾; 関口, 1993⁸⁾; 関口, 1998⁹⁾; 関口, 1999¹⁰⁾)。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

土木事業にあたって絶滅危惧生物への保全策が必要とされている。しかしカブトガニ保護のための産卵地の造成や構造物の設置効果が十分に評価されていないために、すでに変化した環境の中でいかなる保全策を採用すべきかについて解決すべき問題が残されていた。また、絶滅危惧生物1種への保全策と、生息環境の全体の保全との関連も充分留意する必要がある(清野ほか, 2000¹¹⁾)。

大分県の別府湾に面した小湾の守江湾は、カブトガニの生息地である(Fig.1)(関口, 1993⁸⁾; 清野ほか, 2000¹¹⁾)。既往の調査(清野ほか, 2000¹¹⁾; 清野ほか, 1998¹²⁾)によれば、守江湾におけるカブトガニの産卵地と幼生生息地はFig.2のように分布する。カブトガニ産卵地は、湾奥部の砂浜と流入河川の河口砂州、河道の蛇行

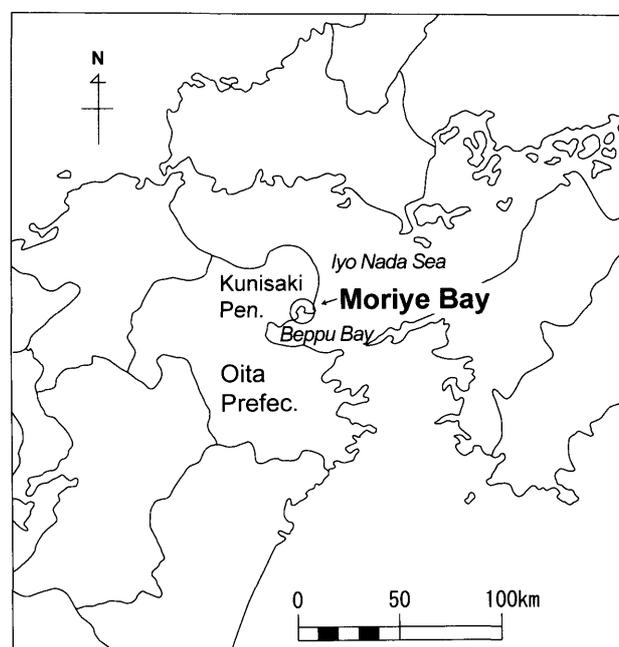
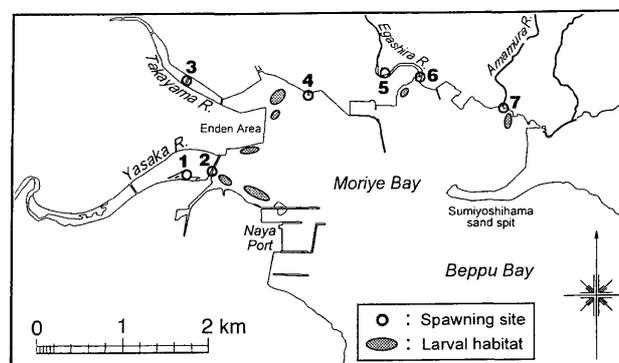


Fig. 1 Location of Moriye Bay in Oita Prefecture.



- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1 : Rivermouth bar of Yasaka River | 5 : Inner bar of the river bend |
| 2 : Kitsuki Bridge | 6 : Mouth of Egashira River |
| 3 : Eitai Bridge | 7 : Mouth of Amamura River |
| 4 : Kubihineri Breakwater | |

Fig. 2 Distribution of habitats of horseshoe crab in Moriye Bay.

部内岸側砂州にある。また幼生の生息地は産卵地近傍の干潟である。産卵地から幼生が孵化して水中に現れ、さらに幼生生息地まで分散する過程には潮流が大きく関与する。この機構は、フロート追跡と潮流の数値シミュレーションにより明らかにされた(清野ほか, 2000¹³⁾)。河口域・干潟面上の流れは潮汐に合わせて変動するが、孵出のタイミングにより分散に利用できる流れの経路や流速は異なる。孵出は同時ではなく満潮前後2時間にわたり継続的に行われ(前田ほか, 2000¹⁴⁾)、幼生を生息地まで運ぶ流れが発達する条件が整わないと幼生は干潟上の生息地へ到達できない。

2. 守江湾におけるカブトガニの生態に係わる環境調査

カブトガニの生息地については、数kmと広域的スケールから産卵地の数mという局所的スケールまでの地形に注目し、また時間的には地質学的時間スケールより、数十年間にわたる人工的改変、さらには潮汐変動の時間スケールまでを研究対象とした。干潟の環境調査では、平面的に広がる特性から調査地点の相対的位置の認識が困難であり、一般に干潟が空間的に広い面積を有し、しかも干潮時にのみ出現するために網羅的調査には限界がある。また、干潟に生息する生物の全てについて同じ精度で分類することは同定作業に時間がかかることなどの理由より事実上不可能である。したがって効果的な環境調査を行う方法論の開発が必要であり、その場合まず広域調査から始めることが理解を促す。

2.1 空中写真の利用による守江湾干潟の地形改変の変遷調査

経年的な空中写真記録にもとづき守江湾の変遷を解析した(清野ほか, 1998¹²⁾)。空中写真による守江湾の変遷を Fig. 3 に示す。1966年では守江湾内には規模の大きな人工構造物はほとんどなく、海岸線の大部分は自然のままの状態にあり、湾口には住吉浜の砂嘴が細長く西向きに伸び、住吉浜から砂嘴の先端を回り込んで湾内の天村川河口へと砂浜が続いていた。一方、住吉浜砂嘴の対岸の、八坂川と高山川の河口沖には干潟が広がり、それらは納屋地区の南側に位置する権現鼻の海食崖から延びる砂浜とつながっていた。1977年では Fig. 3(b) に示すように、湾中央において灘手漁港の防波堤の延伸と同時にその西側隣接部で埋め立てが開始され、湾口の納屋港も干潟の掘削と防波堤の延伸、北側隣接部での埋め立てが行われた。さらに住吉浜砂嘴の守江湾側と先端部が埋め立てられ、護岸が建設された。1990年では Fig. 3(c) に示すように灘手漁港が完成し、埋め立て埠頭と湾の中央部に向かって突き出した防波堤により湾が二分された。さらに干潟の南側の湾口には納屋港が完成し、南側から続く砂浜と干潟

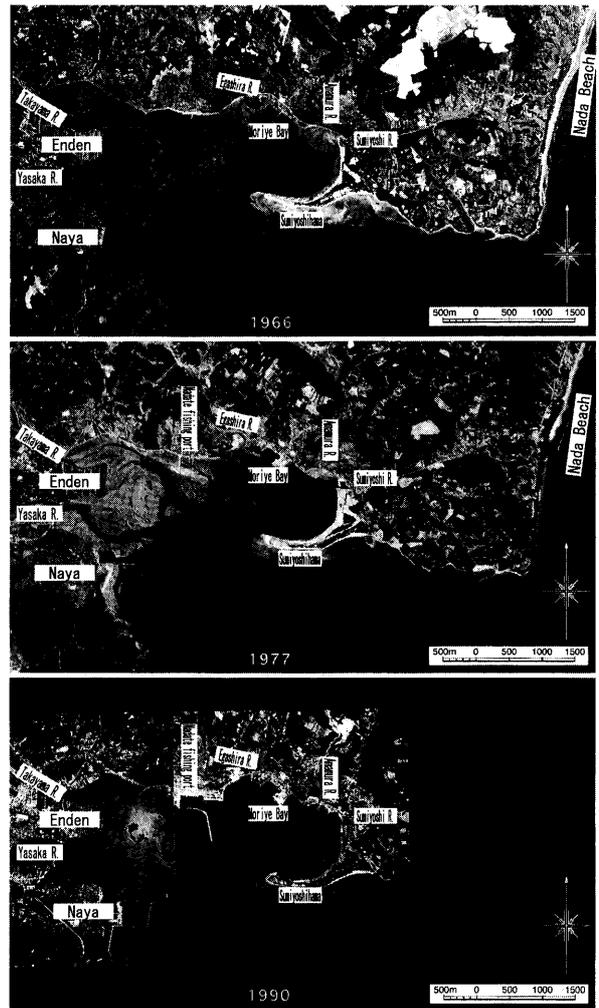


Fig. 3 Aerial photographs of Moriye Bay ((a): 1966, (b): 1977, (c): 1990).

が分断された。また防波堤の建設によって湾の入口の幅が大きく狭まった。一連の工事の結果、八坂川河口沖の干潟では河川水や河口からの流出土砂が海域へ拡散しにくい状態へと推移してきた。

このように干潟の広域調査によって、干潟周辺の境界条件が数十年スケールで大きく変化してきたことが明らかになった。この視点は局所的意味で環境修復を行っても、過去の良好な環境条件の回復には直接繋がらない可能性が高いことを示唆する。環境修復を成功させるにはこのような境界条件の長期的変化を十分認識することが必要である。

2.2 空中写真による干潟の地形判読

1/8,000程度の小縮尺の垂直空中写真によれば干潟の微地形の判読精度を著しく向上させることができる。例えば、1996年7月18日の大潮最干潮時(15時30分)における低高度空中写真を Fig. 4 に示す。これによれば、微地形とその形成にかかわる外力(波浪, 河川流, 潮流)に応じて、干潟面には多様な微地形が観察された(清野ほ

清野 聡子・宇多 高明



大分県杵築市守江湾

1996年7月18日干潮時撮影

Fig. 4 Aerial photograph of tidal flat in Moriye Bay measured on July 18, 1996.

か, 1998²⁾). この空中写真から, 微地形特性に応じた干潟のゾーニングにより, 砂州, 砂浜, 砂堆, 高位・低位干潟面, アマモ場, 海底掘削穴が分類された (Fig. 5). そして「干潟」と総称される場所でも詳細な観察を行うと, 洪水を含む河川流の作用の著しい区域, 干潟外縁近傍で

波の作用の著しい区域, さらにはこれらのいずれの作用も受けにくい区域に分かれることが明らかになった. また Fig. 1 に示したカブトガニ幼生は河川流と波の両者の作用を受けにくい区域に生息することもわかった.

Classification of geomorphology and vegetation	Micro-geomorphology
sand bar, sandy beach	gully (braided bar, flood currents)
mud flat (upper)	fairway
mud flat (lower)	fairway (by waves)
seagrass bed	dune (by waves)
dredging hole	gully

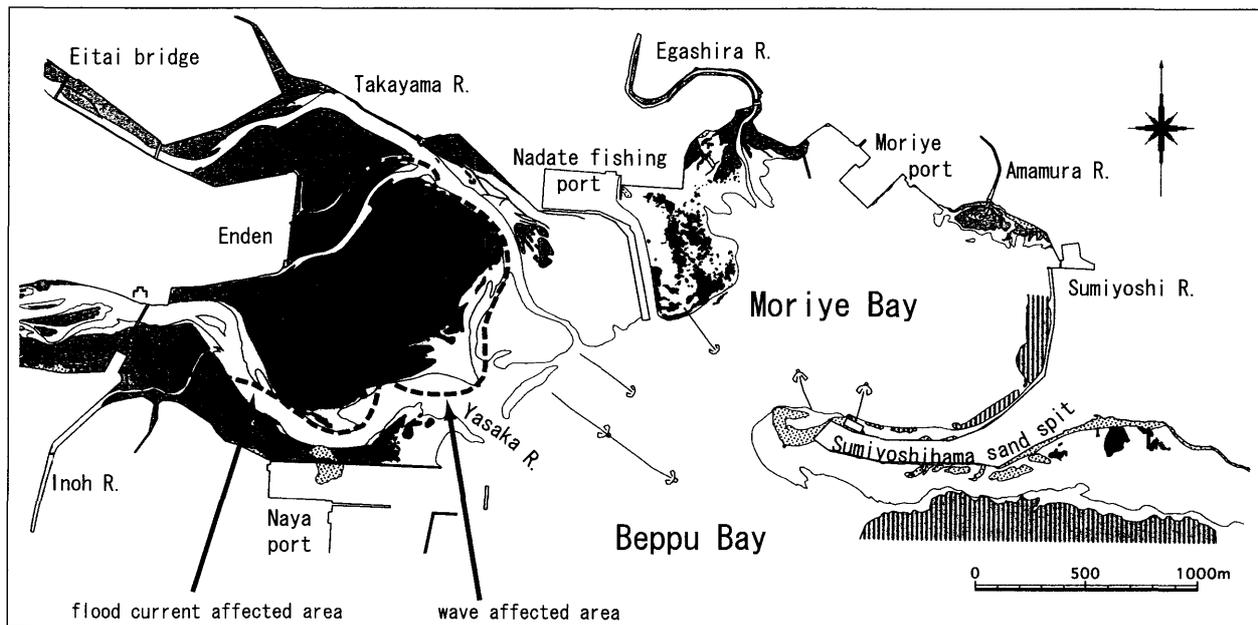


Fig. 5 Characteristics of surface of tidal flat read from aerial photograph.

3. 河川と干潟の関係

3.1 洪水が干潟に及ぼすインパクト

1997年9月16日に発生した大洪水直後の干潮時に撮影された空中写真より、洪水流が干潟上へと乗り上げたことが干潟面上の模様から判読された (Fig. 6). また、干潟上には鱗状の細長い模様が幾筋も観察された。この模様は直進してきた八坂川の洪水が干潟上へ乗り上げ、流速が低下したために掃流力が低下して土砂が堆積して形成されたと判断された (宇多ほか, 1999¹⁵⁾).

守江湾干潟では、流入河川である八坂川における、1997年9月の洪水の前後に同じ測線で行われた測量によれば、Fig. 7(a)に結果を示すように洪水によって干潟上に土砂が堆積した場所での堆積厚の最大値は約50 cmにも達したが、塩田地区沖のカブトガニ幼生の生息地付近での堆砂厚は Fig. 7(b)に示すように約8 cm であって、河道付近で堆砂や侵食が著しかったことと比較すると1オーダー小さな堆砂が生じたのみであった。カブトガニの幼生はそのような場所を生息地としている特性が分かった。

3.2 流入河川の改修の影響

守江湾へ注ぐ最大の流入河川である八坂川では、河口から2~4 km 区間に残されていた感潮域蛇行部を直線化する捷水路事業が2000年に行われた (清野ほか, 2001¹⁶⁾). 改修後には感潮域の河川延長が短縮され旧河道

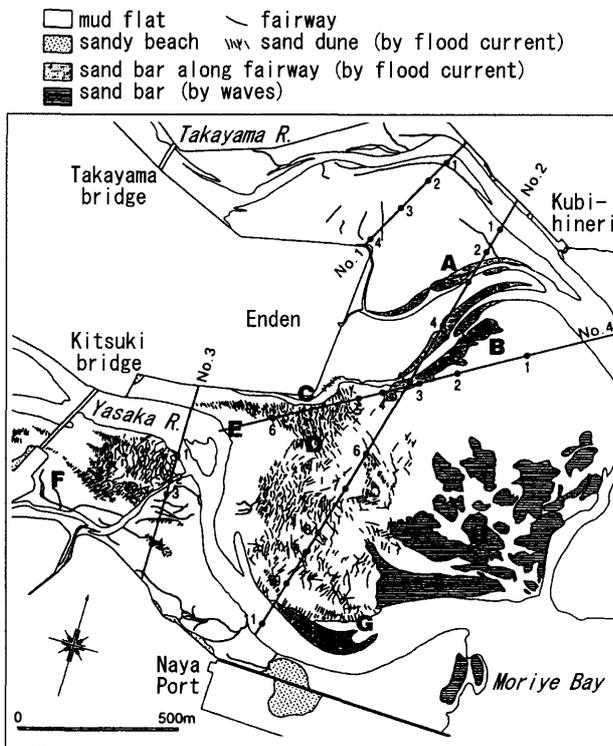


Fig. 6 Characteristics of surface of tidal flat read from aerial photograph taken after the flood.

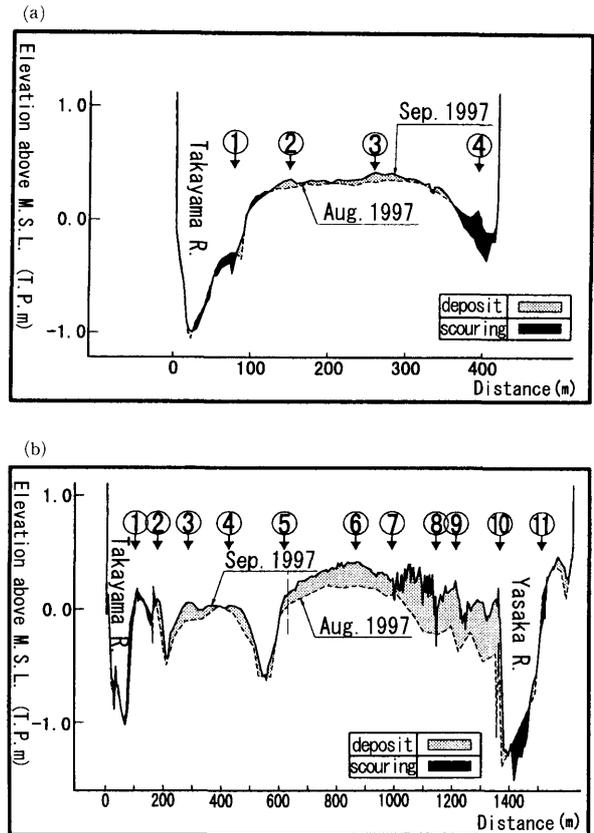


Fig. 7 (a) Detailed profile of tidal flat along No. 2.
 (b) Detailed profile of tidal flat along No. 1.

は埋め立てられた。この蛇行部には、塩分の縦断勾配に応じた生物相が見出されたが、環境の単調化などの影響が予測されている。また旧河道に存在した自然石による空石積護岸の間隙には甲殻類、軟体動物、魚類など多くの生物が生息していたが、それらは埋め立てにより消失した。しかし、影響を軽減するために人力による埋め立て区間内の生物移植や河床材料の移動が行われた。また多孔質ブロックを使用した護岸および覆土が行われ、感潮域に生息する稀少貝類のオカミミガイについては代替地が用意された。さらに河川改修による下流への影響も予測されている。工事に伴い洪水時の流速の増大が見込まれ、それに起因して河口部のカブトガニ産卵地砂州の流出可能性が指摘された。

4. ミティゲーションとしてのカブトガニ産卵地の復元

カブトガニの産卵地選択は、上述のように出水などの変動を前提としたシステムになっていると考えられるが、人為改変に伴う変化に対しては最大限の対策を行うべきと考えた。この場合、守江湾でのカブトガニ個体群が減少している状況では、可能な限り生活史初期における減耗率の増大を阻止しなければならない。このことから改修の影響をほとんど受けない場所に現状と同等規模

以上の産卵地を確保することが望ましいと考えた。

本研究でのミティゲーションは、「代替」産卵地の確保という考え方である。代替産卵地を造成する方法は2通りある。第1は、既に産卵が確認されている場所の「修復という機能や規模の改善」、第2は、現在は産卵地ではないが、そのポテンシャルのある環境条件を満たした場所での産卵地の「新規造成」である。代替適地の選定は、改修によって影響を受ける八坂川の河川区域に限定せず、産卵個体群が利用すると考えられる守江湾および流入河川を検討対象とした。なお、本来は改修対象の河道内でのミティゲーションが理想的ではあるが、河道の直線化により下流全体が影響を受ける可能性があること、また、近年の守江湾の環境変化原因が河川工事に限定されないことも検討対象区域を拡大した理由の一つである。

これらの事業では、環境対策のための材料に他の流域や沿岸から土砂を使用することは極力避けるという思想のもと、養浜材料には守江湾内で治水上掘削された土砂を活用するよう配慮した点が特徴である (Fig. 8)。

守江湾に流入する江頭川河口の左岸側には小規模なカブトガニの産卵地があったが、1996年の大規模な洪水によって砂州が流出し産卵地が消失した。この場所においてカブトガニ産卵地の復元を行った (Fig. 9)。河口に導流堤を建設し、この導流堤と護岸とに囲まれた場所にカブトガニ産卵地として三角形形状の砂浜を造成した (清野

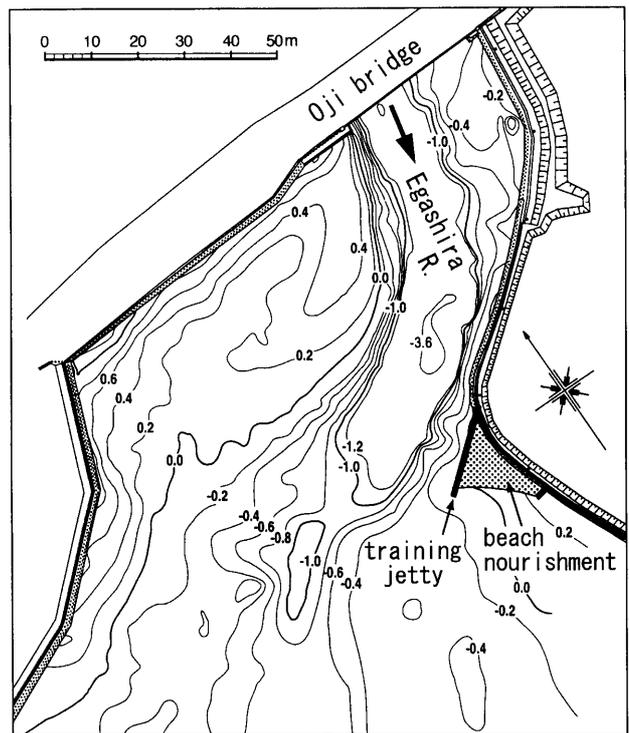


Fig. 8 Sand transportation for beach nourishment. Materials were collected at the same bay or watershed of the improving river.

ほか、2000¹⁷⁾; 清野・宇多, 2001¹⁸⁾). 養浜に用いた土砂は江頭川の上流湾曲部に堆積した土砂である。また、八坂川河口の直立護岸部分において、人工物が設置される

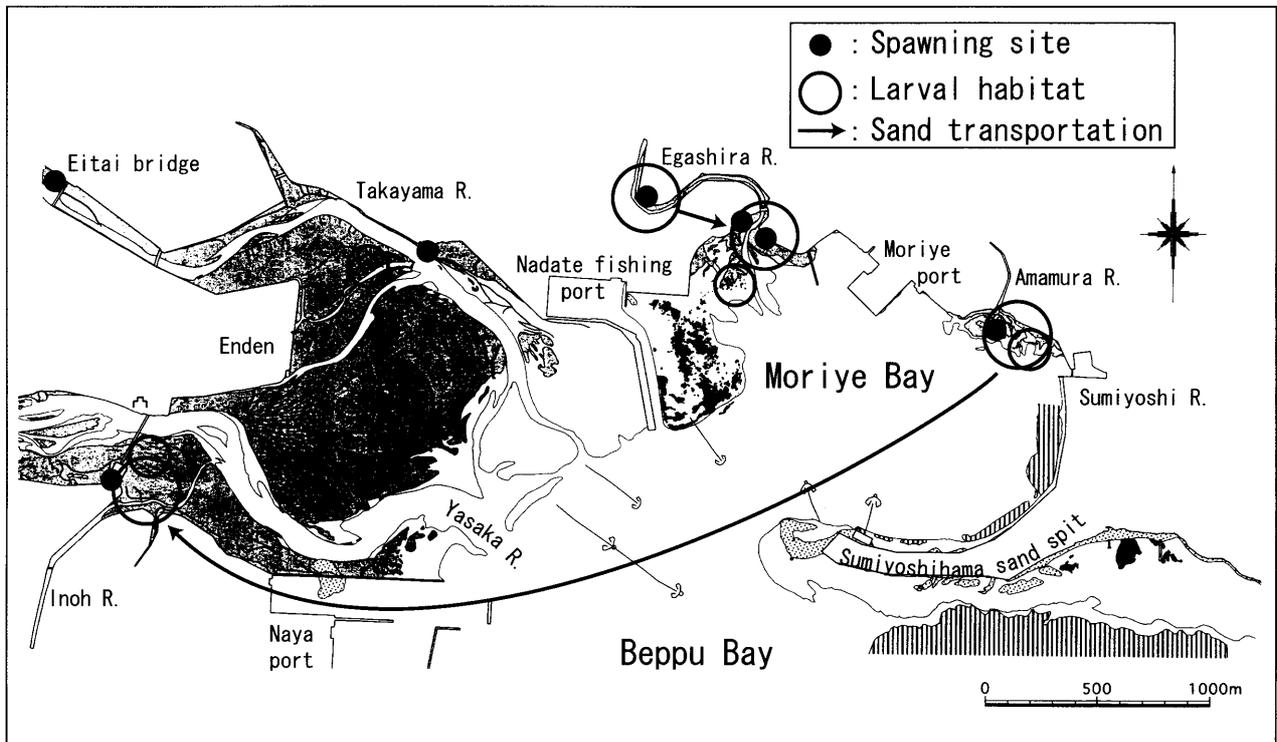


Fig. 9 Construction of a jetty and beach nourishment as a mitigation at the Egashira River mouth.

稀少生物カプトガニの生息地としての大分県守江湾干潟における環境変遷とその修復

以前の「干潟の縁辺部の砂浜とエコトーンの復元」を目的として養浜を行った。環境修復については、行政的に見ると「多額の予算を必要とする環境修復事業を行うことができた」ということが大きな成果であろう。多くの予算がかかる工事はそれだけうまくいけば成果も大きいからである。しかし発展段階にある技術の場合、新しい技術を産み出していくという過程において最も尊重されるべきは思想性がきちんと整理され、かつ独創的なアイデアが多く含まれることである。このように考えれば、規模が小さいことから「環境修復」の事例にならないと考えるのは誤りであり、むしろそのような小規模なものであっても、数々の経験を整理し、それらの中から新しい視点を見出すことができる能力があれば、事業規模が大きくなった場合指向性を誤る恐れが低下するに違いない。本研究はこのような視点の下で進められた。実際には、小さな事業であっても社会実験的な部分が多く含まれていた。例えば、

- ・河川事業のミティゲーションを港湾区域で行うこと（管理区域外での工事をする場合の各種調整作業の重要性）
- ・従来は捨てられていた掘削土砂の再利用（資源の再利用）
- ・地元での材料調達（環境修復のために別の地域の環境破壊に繋がることの阻止。同時に別地域の生物遺伝子混入の回避）
- ・市民参加のモニタリング（市民との連携）
- ・適応的管理における地元の施工業者との協力（養浜材料投入後、波浪による海浜変形や圧密効果、材料の粒度組成変化の状態をモニタリングしながら目標とする条件に近づけていく。いわゆる「造りっ放し」ではない管理）。

河口域や干潟の環境保全においては、港湾や農地整備事業の計画やそれらの進行状況が大きな影響を及ぼす。それぞれの事業は個別的に検討されるために、湾や流域の保全といった広域的な視野で計画、検討されることは稀である。これらの様々な観点から、単に科学的研究成果が出ればそれで現実の環境保全が進む訳ではなく、現実的な問題の解決においては制度的問題の調整や地域でのミティゲーション場所への関心の喚起など多くの要素に関する総合的視点が重要なことが認識された。

5. あとがき

河口から海洋に至る空間は様々な作用を受けて変動を繰り返している。それらの変動の時間空間スケールは様々であって、その全ての説明は困難であるが、時間空間スケールの様々な組み合わせから現象の理解を進める

ことが有効である。このような研究はそれぞれの縦割りの研究分野からすれば曖昧さが残るといった危険性はある。しかし、大局的な視野がなければ全体像が見えないこともまた事実である。また、このような場の観察においては、干潟面の生物攪乱や海藻・海草類による波浪の減衰など、生物と地学的要素との bio-geo interaction から見た視点も重要である。この種の自然地形と生物との間の因果関係の検討は今後も実り豊かな研究分野と考えられる。

本研究の現地調査や環境計画にあたっては、大分県土木建築部河川課、大分県別府土木事務所にご協力とご尽力を、河川環境管理財団には研究へのご支援をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局監修・エコポート（海域）技術WG編(1998)：港湾における干潟との共生マニュアル。財団法人港湾空間高度化センター・港湾・海域環境研究所, 138pp.
- 2) 水産庁漁港部(1999)：自然調和型漁港づくり技術マニュアル—藻場機能の付加—。59pp.
- 3) 細川恭史(1999)：干潟の水質浄化システムとその再生・造成の可能性。沿岸海洋研究, **36**, 137-144.
- 4) 清野聡子(2001)：地方における環境に配慮した海岸づくり。土木学会誌, **86**, 32-25.
- 5) 花輪伸一・辻淳夫・小島健仁・鈴木晃子・加藤倫教・伊藤恵子・古南幸弘・吉田正人(1998)：人工干潟の現状と問題点—人工干潟は藤前干潟埋め立ての代償措置になり得るか。人工干潟調査報告書, 人工干潟実態調査委員会, 66-72.
- 6) 風呂田利夫(1998)：自然は戻るのか？ 東京湾の人工海浜批判と提案。水情報, **18**, 14-17.
- 7) 西井弘之(1973)：カプトガニ事典。岡山。私費出版, 221pp.
- 8) 関口晃一編(1993)：日本カプトガニの現況【増補版】。日本カプトガニを守る会, 岡山, 229pp.
- 9) 関口晃一(1998)：カプトガニ。p.358-359, 日本の希少な野外水生生物に関するデータブック, 水産庁編。日本水産資源保護協会, 東京。
- 10) 関口晃一編(1999)：カプトガニの生物学【増補版】。制作同人社, 東京, 356pp.
- 11) 清野聡子・宇多高明・土屋康文・前田耕作・三波俊郎(2000)：カプ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, **3**, 7-19.
- 12) 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(1998)：絶滅危惧生物カプ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.
- 13) 清野聡子・宇多高明・前田耕作・山路和雄(2000)：守江湾内の八坂川河口沖干潟におけるカプトガニ孵化幼生の分散機構の解析。水工学論文集, **44**, 1209-1214.
- 14) 前田耕作・清野聡子・西原繁朝・日野明日香(2000)：カプトガニ *Tachypleus tridentatus* (Leach) の孵化幼生の生態と物理環境との関連。日本ベントス学会誌, **55**, 15-24.
- 15) 宇多高明・清野聡子・真間修一・山田伸雄(1999)：台風9719号

清野 聡子・宇多 高明

- に伴う洪水による八坂川河口沖干潟の地形変化の現地観測.
水工学論文集, **43**, 437-442.
- 16) 清野聡子・宇多高明・久米忠臣・森繁文・工藤秀明(2001): 八坂川における改修の歴史的背景と丸山の淵の保存に至る経緯. 河川技術論文集, **7**, 519-524.
- 17) 清野聡子・宇多高明・釘宮浩三・綿末しのぶ・石本利行・大久保章子・河野律子・土谷博信・森繁文・工藤秀明(2000): 大分県江頭川河口におけるカブトガニ産卵地造成と市民参加型モニタリング調査. 河川技術に関する論文集, **6**, 203-208.
- 18) 清野聡子・宇多高明(2001)カブトガニ産卵地ミティゲーション手法に係わる指針案の提案. 海岸工学論文集, **48**, 1381-1385.