

干潟周辺域における海浜流系の発達と 人工構造物建設による影響

DEVELOPMENT OF NEARSHORE CIRCULATION SYSTEM AROUND TIDAL FLAT OFF THE RIVER MOUTH AND INFLUENCES OF CONSTRUCTION OF ARTIFICIAL STRUCTURES

清野聡子¹・宇多高明²・芹沢真澄³・三波俊郎⁴・古池 鋼⁴

Satoquo SEINO, Takaaki UDA, Masumi SERIZAWA, Toshiro SAN-NAMI and Kou FURUIKE

¹正会員 工博 東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学科

²正会員 工博 (財) 土木研究センター審議役なごさ総合研究室長

³正会員 海岸研究室(有)

⁴海岸研究室(有)

Nearshore circulation induced by wave breaking under the low and mean tide conditions around the tidal flat was investigated by the calculation of waves and nearshore currents, taking the tidal flat in Moriye Bay in Oita Prefecture as the example. The development of longshore currents toward the bay bottom was confirmed by accretion and erosion condition on the beach in the short-term and the formation of sand spit in the very shallow water surrounding the tidal flat in the long-term. It is concluded that construction of artificial structures such as port breakwaters remarkably obstructed continuous water circulation in the bay, resulting in the retardation of diffusion of fluvial sediment on the tidal flat.

Key Words : tidal flat, waves, nearshore circulation, numerical simulation

1. まえがき

外洋・外海に面した海岸と比較して、相対的に穏やかな波浪条件を有する内海・内湾域に流入する中小河川の河口部では、しばしば河口沖干潟が形成される。このようにして形成された干潟を含む汽水域は、様々な生物の棲息場として非常に重要な価値を有している。筆者らは、このような干潟に棲息する稀少生物カブトガニの棲息条件に関する研究を進めているが、これには生物学的な検討のみならず、カブトガニの棲息場である干潟およびその周辺の砂浜の形成機構までを含む広範な検討が必要である。そこでこの一環として、カブトガニ棲息地である大分県別府湾北部に位置する守江湾を研究対象として、湾周辺の海岸特性や漂砂環境を空中写真により調べ、主として近年の人為的改変に起因する干潟を含む海岸地形の変遷とカブトガニの棲息場の変化を明らかにした¹⁾。

河口沖干潟は、地形的に見ると沖合に非常に平坦な面を有する一方、干潟外縁には比較的勾配の急な前置層を持って沖合の海底面に続く点において、熱帯・亜熱帯のリーフ海岸と良く似た地形特性を有している。大きな相違は、リーフ海岸の多くが外洋に面して波浪エネルギーが

大きくリーフの骨格部分が固いサンゴ礁でできているのに対し、干潟では波浪エネルギーが小さくそれが砂泥で構成されている点にある。また清野ら¹⁾で示したように、干潟外縁付近で波浪の影響の大きな場所にはしばしば沿岸砂州が発達するが、これはリーフエッジ付近の高まりに相当し、干潟面を波浪から遮蔽する効果を有している。このように波浪のレベルや構成材料において両者は大きな相違を示すものの、地形的な相似性は高い。

リーフ上においては海浜流・潮流が物質輸送に大きな作用を有している。地形条件の類似性を考えると、エネルギーレベルは低いものの内湾の干潟周辺域においても干潟周辺の地形形成に海浜流の作用が無視できない可能性がある。従来、海浜流や漂砂に関する研究は外海に面した砂浜海岸での検討が主になされてきた。これは入射波浪のエネルギーレベルが高いために波・海浜流が海浜変形の主要因であったためである。一方、内湾の干潟周辺では主として潮流の作用が注目され、それによる物質輸送が検討の対象とされてきた。しかし波浪のエネルギーレベルが低いとしても、長期的に見ると内湾の干潟周辺にあっても海浜流の作用を無視できない場合も存在する可能性が高い。しかし干潟地形についてこのような視点に立った研究は行われていない。このことから、本研究では

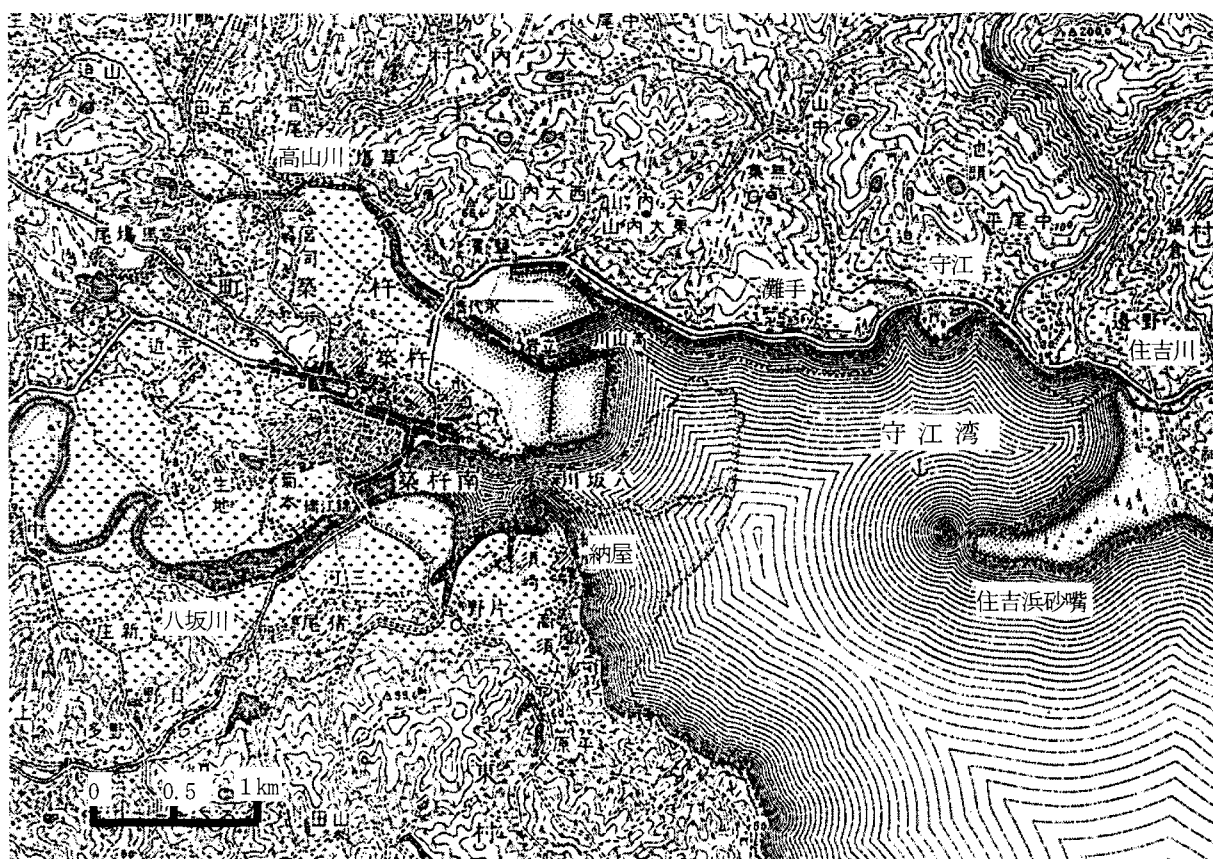


図-1 守江湾の旧版地形図

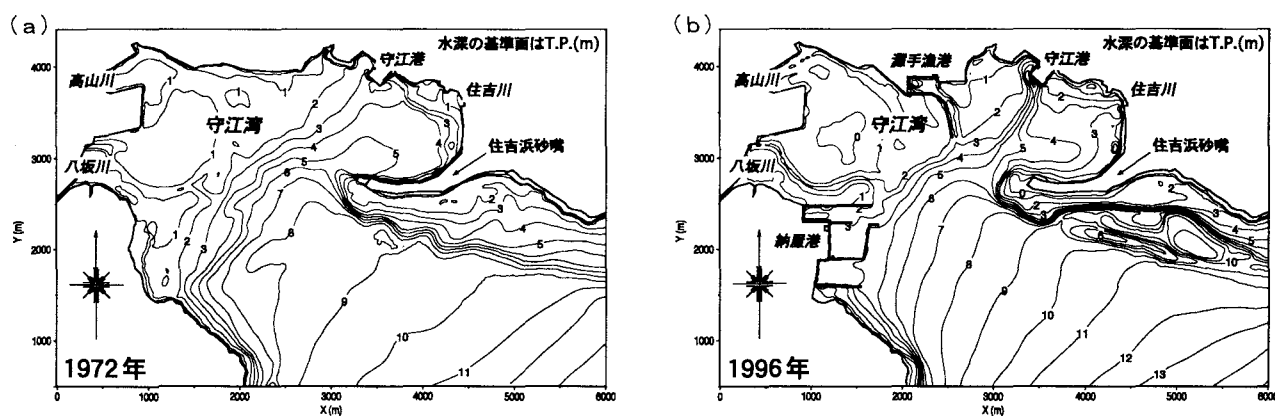


図-2 守江湾の海底地形((a)1972年, (b)1996年)

守江湾干潟を対象として波浪・海浜流の数値計算を行った。計算結果の妥当性は、明治36年測図同39年製版の旧版地形図をもとにした海岸線の変遷や海岸の現地調査結果より検証する。

2. 旧版地形図による海岸線変化比較

図-1には明治36年測図同39年製版の守江湾の地形図を示す。この図では海域の測量は行われていないが、八坂川河口沖には干潟の概形が示されている。この当時、住吉

浜砂嘴の両面は砂浜であった。また住吉川河口には南側から砂州が伸び、このため河口は北側に押しやられていた。高山川の河口部では、この当時すでに永代橋の北東側に位置する藍浜の前面や塩田地区は埋め立てられていた。八坂川河口南部の納屋地区では、小規模な砂州が八坂川の流路へと伸びていた。対岸に位置する住吉浜砂嘴はほぼ東西方向に伸びているのに対し、この砂嘴の伸長方向は北西方向である。

この砂嘴がかなり安定したものであったことは、砂嘴の付け根付近に集落が立地していることから理解される。

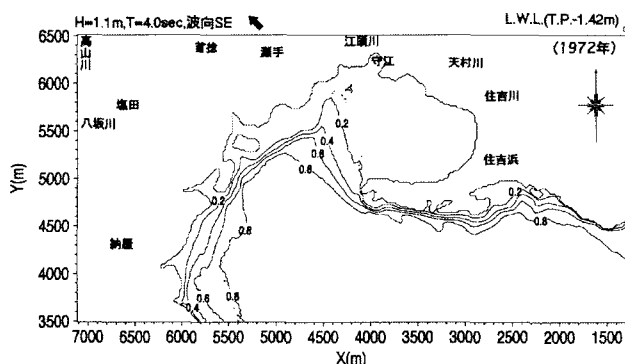


図-3 (a) 守江湾内の波高分布(1972 年, 干潮時)

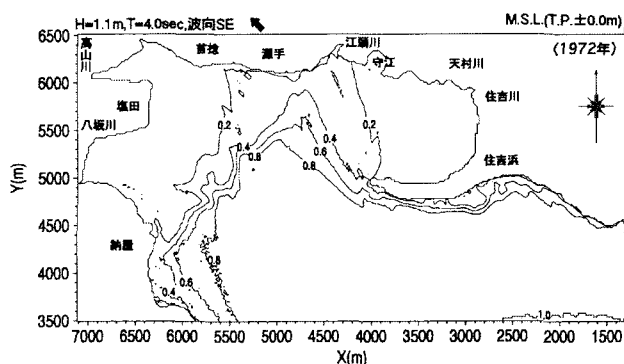


図-3 (b) 守江湾内の波高分布(1972 年, 平均潮位時)

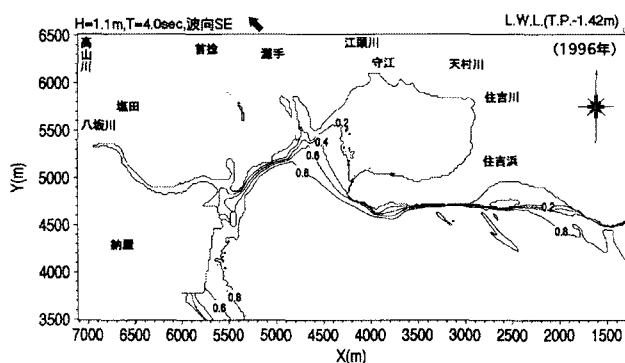


図-4 (a) 守江湾内の波高分布(1996 年, 干潮時)

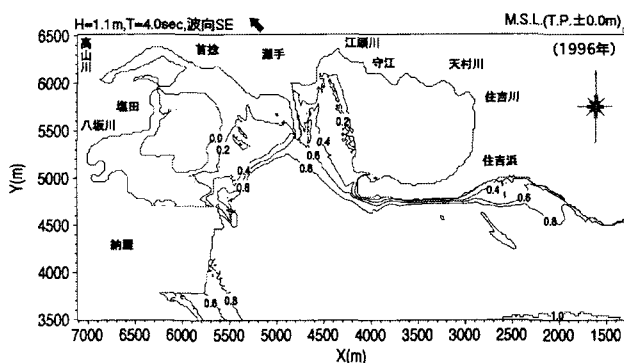


図-4 (b) 守江湾内の波高分布(1996 年, 平均潮位時)

周辺の集落の名称からもこの土地は砂が堆積して形成された場所であることが推定できる。まず、納屋地区の先端部は須崎と呼ばれているが、これは洲の先(先端)を想定させる。また納屋地区の南部は高須と呼ばれるが、これは(標高が)高い砂州、すなわち立地地点が砂州上であることを示唆している。これらより、納屋地区は砂嘴の先端へと続く砂州上に立地していたことが分かる。集落は砂州上に立地しており、その周辺には干潟が広がっていたと推定できる。以上のように、旧版地形図によれば納屋地区では八坂川の河口へと北西方向に砂嘴が発達していたことが明らかになった。この砂嘴の形成に預かる土砂の供給源は、八坂川の流出土砂とこの地区の南側、権現鼻に発達する海食崖の崩落土砂と推定される。両者それぞれの寄与を定量的に評価することはできないが、後者については、砂嘴の形成された八坂川の河口部は干潟が発達するような極浅海域であったために、波浪のエネルギーが河口奥まで到達できず、このため南側から運ばれてきた沿岸漂砂が河口付近に堆積し、バリアー状に砂州が伸びたと考えられる。別府湾からの波浪は住吉浜砂嘴と権現鼻の間の海域から進入するが、この方向からの波の入射は納屋地区と権現鼻の間の海岸線に対しては斜め入射となり、北西方向への沿岸漂砂を発生させる。

3. 干潟外縁線付近での海浜流の数値計算

守江湾では近年になって納屋港や瀬手漁港などの防波堤工事や埋め立てに伴う大きな地形改変が行われた。これらの地形改変が干潟周辺地形に及ぼした影響を海浜流の面から調べてみる。本研究では、図-2(a), (b)に示す1972年と1996年測量の深浅図をもとに同一潮位・波浪条件で計算を行った。これらの深浅図を比較すると、住吉浜砂嘴の沖合では海底掘削に伴う人工的な掘削穴が形成されるとともに、湾内には複数の防波堤や埋め立て地の造成などが行われ、守江湾の地形条件が大きく変化してきている²⁾。なお、沖合の水深が十分大きい場所でも両者の海底地盤高は一致せず、このデータには深浅測量に伴う誤差が含まれていると考えられるが、測量はこれら2時期しか行われていないために、いずれのデータが正しいかの判断ができず、したがって以下では測量結果をそのまま入力して波・流れの計算を行った。

卓越波向は最も長いフェッチとなるSEとして年に数回程度起こる波浪を風データから推算し、沖波波高1.1m、周期4.0sを得た。この入射波に対し、潮位をLWL(T.P.-1.42m)、MSL(T.P.0.0m)と変え不規則波の波浪場と海浜流を計算した。波浪場の計算には放物型モデルを用いた。海浜流の計算結果は、流向と輸送流関数として表示した。ここに輸送流関数 ϕ は、海浜流の計算結果を用いてその定義式³⁾

$$\begin{aligned} U(h + \eta) &= \partial \phi / \partial y \\ V(h + \eta) &= -\partial \phi / \partial x \end{aligned} \quad (1)$$

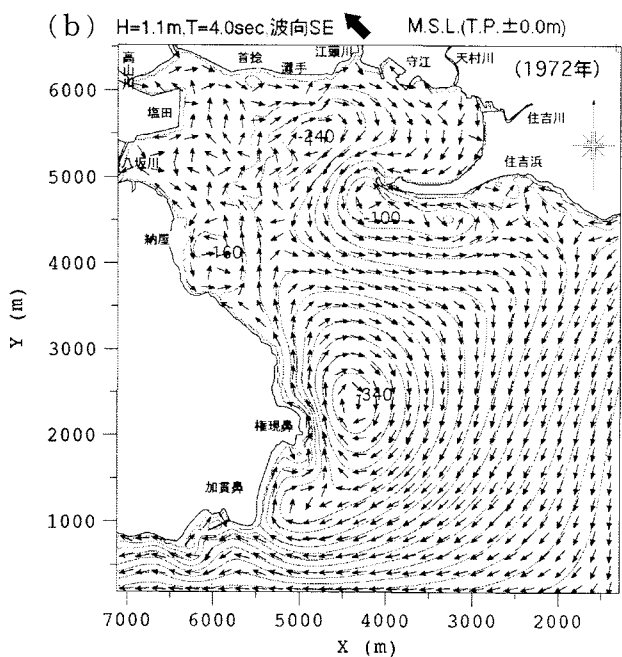
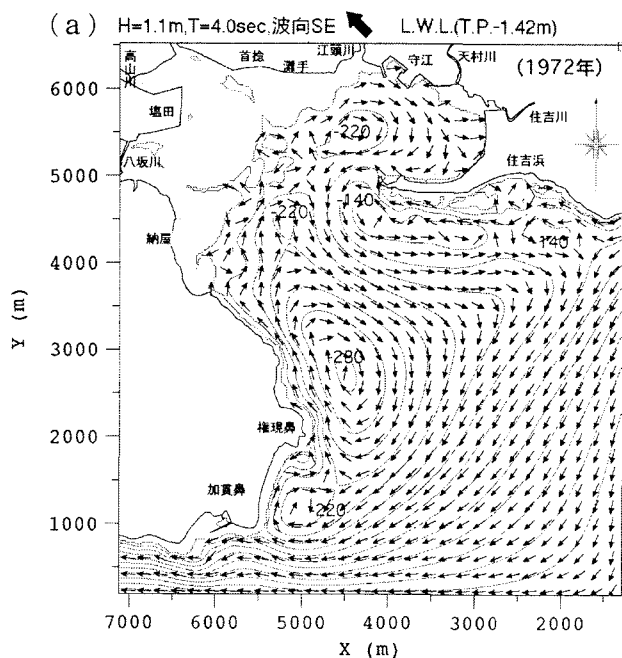


図-5 輸送流れ関数の分布
(1972 年, (a) 干潮時, (b) 平均潮位時)

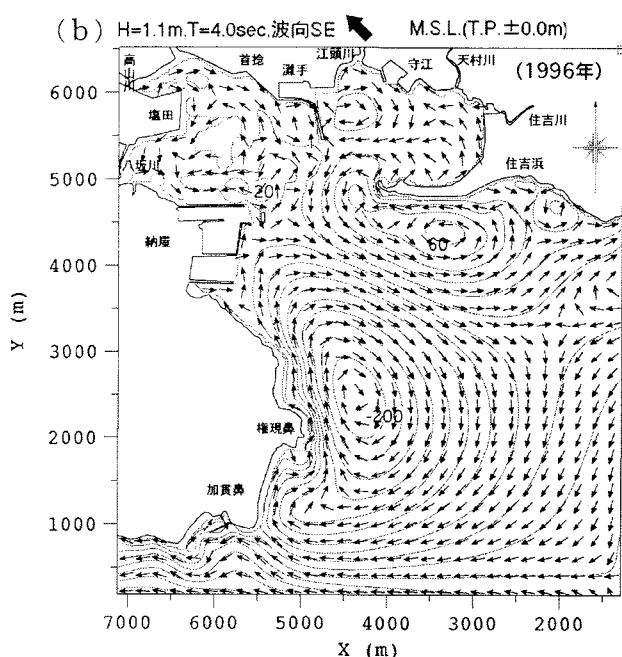
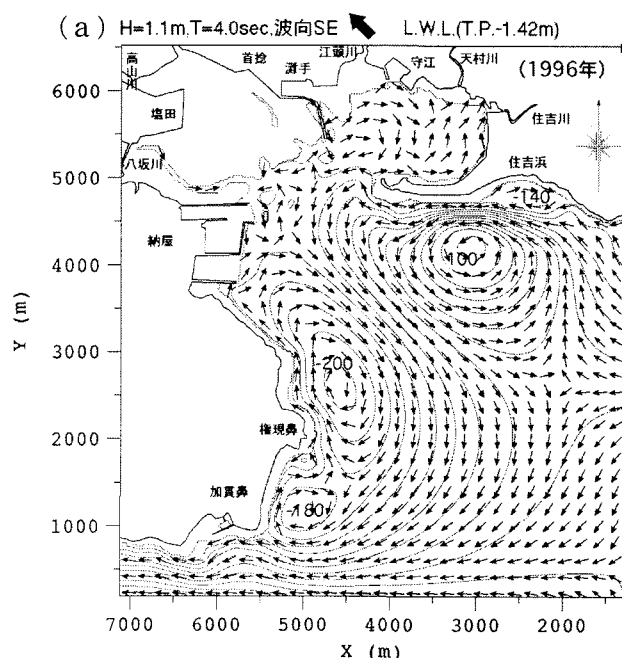


図-6 輸送流れ関数の分布
(1996 年, (a) 干潮時, (b) 平均潮位時)

を差分化した式を平面的に数値積分することにより求めた。ここに x, y は平面座標, U, V は x, y 方向の海浜流流速 (深さ方向の平均流速), η は平均水位の上昇量である。

同様な計算は宇多ら⁹⁾でも行ったが、前報は住吉浜砂嘴沖の海底掘削が海浜流に及ぼす影響を調べることが目的としたため計算領域が狭く、また西部の権現鼻周辺は計算領域外であった。このことから本研究では計算領域を南側に大きく広げた。また前報では掘削穴の影響が顕著となる HWL の場合の結果を示したが、本研究では干潟外縁付近での流れの発生に注目するため干潮時および平均潮位時の計算結果についてとくに注目する。

しかし干潟外縁線付近での波高低下が大きく、干潟上での波高は低い。

図-4(a), (b)には1996年の海底地形条件下での干潮時、平均潮位時の波高分布の計算結果を示す。図-3(a), (b)との比較により各種地形改変が湾内の波高分布に及ぼした影響の評価が可能である。干潮時の波高分布は全体的には図-3(a)と大きな違いは見られないが、納屋港の防波堤の建設によって八坂川河口南側の干潟沖において波高が緩やかに低下する空間が消失すると同時に、沖防波堤の背後で著しい波高低下が生じている。同様に、瀬手漁港の防波堤の建設に伴って防波堤東側に沿って掘削された航

路の先端部付近でも急激な波高低下が生じている。平均潮位時には納屋港の沖防波堤の背後とその北側部分での波高分布の相違が非常に顕著となった。特に沖防波堤の北側では高波浪の区域が八坂川河口沖へと舌状に入り込んでいる。また灘手防波堤の東側では、航路内の波高は低いのに対し、その東側直近では局所的な波高の高まりが生じている。このような波高の場所的変化は海浜流に大きな影響を及ぼすと考えられる。

図-5(a), (b) は人為的地形改変が多くなされる前の、1972 年の守江湾の海底地形を与えて行った海浜流の計算結果のうち、干潮、平均潮位時の流れについての輸送流れ関数の分布を示したものである。干潮時では、権現鼻の前面海域において権現鼻から尾本海岸の海岸線に沿って北西方向へと向かう強い沿岸流が生じている。海食崖の後退は主に高潮位時に起こるが、このとき崩落した土砂は干潮時には守江湾内へと輸送されていたと考えられる。また守江湾干潟の外縁では干潟外縁線に沿って南西から北東方向へ向いた連続的な流れが発生し、この流れの先端は灘手漁港の前面まで到達していた。さらに住吉浜砂嘴の北側では北東方向へ流れてきた沿岸流が時計回りの渦を形成した後、住吉浜砂嘴の先端から流れ込む逆向き流れと調和的に流れている。平均潮位時では権現鼻前面海域における北向き流れは干潮時と比較して弱まったが、流れの一部は守江湾内部へと深く入り込み、全体に東向きの沿岸流となった後、時計回りの循環流を形成して住吉浜砂嘴沖の反時計回りの循環流と一對のセルを形成している。

図-6(a), (b) には各種人工構造物の建設が進んだ 1996 年の深浅図をもとに図-6(a), (b) の場合と同じ潮位・波浪条件を設定して行った海浜流計算の結果を示す。干潮時には権現鼻から尾本海岸を通過して湾内へと向いた沿岸流は 1972 年の場合と同様に発生しているが、この流れは納屋港の防波堤が建設された結果そこで離岸流に変わり、湾内の干潟前縁線に沿った流れは切断された。逆に納屋港の防波堤の北東端部では上述の沖防波堤による波の遮蔽効果によって局所的に反時計回りの循環流が生じ、干潟外縁線に沿ってなだらかに北東方向へ向かう流れは完全に消失した。さらに灘手漁港の防波堤が延ばされたためにその先端部で局所的な強い流れが生じ、時計回りの循環流が生じている。一方、住吉浜砂嘴の南岸沖での流れも大きな変化が生じているが、これは砂嘴沖の海底掘削によるものである⁴⁾。図-5(a) に示した住吉浜砂嘴の北側では時計回りの循環流が生じていたが、図-6(a) の場合には同じ場所で灘手漁港沖の強い循環流の形成にもなつて流れの向きが反転している。

図-6(b) に示す平均潮位時の流れについては権現鼻沖では守江湾内方向へと向かう沿岸流が生じているが、この流れは納屋港の防波堤によって妨げられ、湾内の干潟へと到達することはできなくなった。また納屋港の北側直近では強い反時計回りの循環流が生じている。流れの

強度は干潮時よりも増大している。さらに灘手漁港の防波堤が干潟外縁線に沿った連続的な流れの発生を阻害すると同時に、その東側では局所的な反時計回りの循環流を形成させている。この流れと対になるため住吉浜砂嘴の北側での流れの向きが 1972 年当時と反転したことも干潮時と同様である。

以上のように湾内に規模の大きな人工構造物がない 1972 年と人工構造物の建設された後の 1996 年では、海浜流の流況に大きな変化が見られた。それらの特徴を要約すれば、

- ・ 権現鼻沖から湾内へと向かう沿岸流の発達 は 1972 年、1996 年とも同様であるが、1972 年ではこの沿岸流が湾内の干潟外縁線まで到達し、北東方向へと連続的に流れることができた。しかし 1996 年には納屋港の防波堤によってこの流れは大きく阻止された。
- ・ 納屋港の沖防波堤の北側には干潮・平均潮位時共に反時計回りの局所的循環流が生じるようになった。
- ・ 灘手漁港の防波堤も湾内に大きく延びたために干潟外縁線に沿った流れの発達を阻害すると同時に、防波堤の先端を含む背後域には時計回りの局所的循環流の形成をもたらした。
- ・ 干潮時の計算結果に明らかなように海底掘削後住吉浜砂嘴沖の沿岸流の強度が増した。

このようにして権現鼻から湾内干潟の外縁線へ向いた緩やかな流れの発達が人工構造物の建設によって阻止されるようになった。これより少なくとも人工構造物の建設以前には権現鼻の海食崖の崩落土砂は沿岸漂砂によって湾内へと運ばれ、干潟外縁線付近の地形形成にも寄与したと言える。干潟の構成土砂の大部分は八坂川などの流入河川から供給されると考えられるが、1997 年洪水後の現地観測⁵⁾ で明らかにされたように、洪水時の土砂堆積は干潟面の陸域近傍で集中的に起きている。このように河川起源で運ばれてきた土砂も波と上述の海浜流の作用を受ければ移動が可能であろう。しかし干潟外縁線付近での緩やかな流れが消失し、局所的な渦群が発達する水域環境となったことは、定量的評価はできないものの、少なくとも定性的には干潟外縁付近での地形や湾内の生物生息環境に少なからぬ影響を与えたと推定される。

4. 権現鼻から納屋港方向への沿岸漂砂の確認

宇多ら⁶⁾ は、権現鼻～納屋港間の尾本海岸において 1997 年 4 月末に海岸の現地調査を行った。ここではこれを引用して計算結果と実現象の対応を調べる。写真-1 は権現鼻の海食崖の写真である。標高約 30m のほぼ鉛直の崖が形成されていた。海食崖の表面には水平な地層が観察される。この付近の地質は凝灰岩・珪藻土のほか、泥岩・砂岩の互層である。崖前面には平坦な海食台が続く。権現鼻の海食崖から守江湾側へ入ると砂礫浜が広がる。

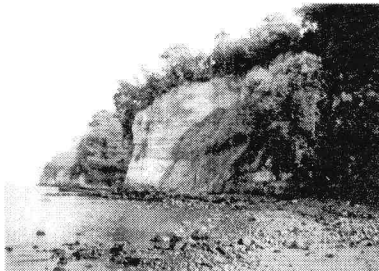


写真-1 権現鼻の海食崖



写真-2 突堤北側の浜崖

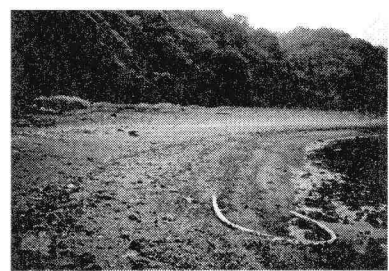


写真-3 納屋港の南側隣接部に堆積した砂浜

小さな流入河川の北側には小規模な突堤が存在するが、突堤を挟んで南(右)側では細砂が堆積しているのに対して左側では表面が礫で覆われており、明らかに地盤高が低かった。不透過突堤を挟んで左右(南北)の海浜状況が異なり、南側で堆積していることから、この地点における沿岸漂砂の卓越方向は明らかに守江湾内へと向かう方向であった。

写真-2は突堤の北側隣接部において観察された浜崖である。観察者の左隣では基礎地盤が侵食されたために木の根が露出している。このような形で根が生えることはあり得ないから、ここは最近侵食されたことが分かる。そして、この付近は突堤の下手側に位置し、南側から沿岸漂砂の供給が絶たれていることがその原因である。写真-3は写真-2よりわずかに北側の海浜状況である。この写真にはU字パイプが満潮時汀線付近に落ちているが、U字パイプの手前側には砂がこんもりと盛り上がり、その頂点まで砂が堆積しているのに対し、パイプの内側では砂浜の高さは低く、また砂浜はパイプの手前側では沖側に膨らんでいるのに対し、パイプの前方では凹んでいる。そして、汀線付近の砂浜と沖合の泥質の海底面とは明瞭な線によって区分される。これらは写真の手前(南)側から前方(北側)への土砂移動の存在を示す証拠となり得る。以上のように権現鼻～納屋港間に延びた尾本海岸における現地調査によれば、権現鼻から尾本海岸へと守江湾内への沿岸漂砂移動が存在することが明らかであり、これは前節で述べた湾内へと向かう沿岸流の存在とよい対応を示す。

5. あとがき

本研究では守江湾内の干潟周辺における海浜流系に及ぼす人工構造物の建設の影響について検討した。検討の結果、従来湾内全域を含む規模での緩やかな循環流系が生じていたが、防波堤の建設によってそれが分断され、それによる波の遮蔽域で局所的な循環流が生じる状態に大きく変化することが分かった。このような全体的な流れの変化は、湾外から湾内へと向かう物質輸送に大きな変化をもたらしたと考えられる。ここでは砂移動について実際に検証したが、同様な問題はより粒径の小さなシルト質の底質についても起きており、それらの移動・堆積パ

ターンに変化が現れていると推定される。そのような変化は守江湾周辺域での生態系にも間接的に影響していると考えられる。

さらに、東京湾奥部江戸川河口デルタにおける結果のように、大規模な埋立による海岸線の変化は、その海域の波・流れを大きく変える⁷⁾。その結果、干潟面や水面が残されたとしても、波高や海浜流など底質や、海岸のエコトーンの要素となる小規模の砂浜などの地形の変化に伴って、底生生物などの生息環境の質的变化は明らかである。

従来の海域への人為改変では、例えば三番瀬での埋立の環境影響検討のように、“潮流”の変化と生態系の関係が検討されてきた⁸⁾。しかし、底生生物や海岸生物については、本研究のような海浜流や微地形の変化の検討が不可欠と考えられる。

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. 1096-1100, 1998.
- 2) 清野聡子, 宇多高明, 三波俊郎, 芹沢真澄, 古池 鋼: 漂砂源の枯渇, 海底掘削, 護岸建設に起因する別府湾吉浜砂嘴周辺の海浜地形変化, 地形, Vol. 22, pp. 59-73, 2001.
- 3) 堀川清司編: 海岸環境工学, 東京大学出版会, p. 582, 1985.
- 4) 宇多高明, 清野聡子, 釘宮浩三, 芹沢真澄, 古池 鋼, 三波俊郎: 海底掘削穴岸側での急激な土砂堆積と砂嘴の大変形の機構, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 601-610, 2001.
- 5) 宇多高明, 清野聡子, 真間修一, 山田伸雄: 台風 9719 号に伴う洪水による八坂川河口干潟の地形変化の現地観測, 水工学論文集, 第43巻, pp. 437-442, 1999.
- 6) 宇多高明, 清野聡子, 芹沢真澄, 古池 鋼, 三波俊郎: 大分県奈多海岸および守江湾沿岸の現地踏査, 海洋開発論文集, Vol. 14, pp. 251-256, 1998.
- 7) 清野聡子・宮武晃司・芹沢真澄・古池 鋼: 江戸川河口デルタの人為改変と波・流れ環境の変化の数値的復元, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 1186-1190, 2003.
- 8) 千葉県: 市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告書 予測編, 1999.

(2003. 9. 30 受付)