

# 干潟の物理過程と干潟—流域—沿岸域間の物理的な相互作用

小松 利光・矢野 真一郎

(九州大学大学院工学研究院環境都市部門)

## 摘 要

干潟におけるゾーニングや分類法、ならびに物理的な過程についての新しい研究成果を紹介する。また、干潟の大規模な消失があった有明海において、干潟の存在が周辺の沿岸域に与える物理的な影響と、干潟域へ流入する河川の流域からの土砂供給が与える干潟への影響についての考え方を述べる。有明海では諫早湾干拓事業の潮受堤による締め切りで、諫早湾奥と有明海の最湾奥において直立壁と干潟という地形的な違いが有明海本体の流れの構造を変化させた。このメカニズムについても詳述する。さらに、有明海への最も重要な物質流入源である筑後川において過去に行われた砂利採取やダム建設に伴って減少した土砂供給が、干潟へ与えた影響についても紹介する。

キーワード： 有明海、沿岸域、干潟、物質輸送

## 1. はじめに

干潟は潮間帯に存在するため、潮汐による干出と水没のサイクルをはじめとして、潮流、吹送流、ならびに波浪、日射による熱環境の変化、河川の流入による土砂や栄養塩・有機物の輸送、さらには突発的な河川の出水、台風、高波、高潮、津波などの気象擾乱など多くの物理過程の影響を受けている。それらの物理過程は、干潟の地形や底質の構造に変化をもたらす。このように干潟は常に強い変化にさらされることから、動的に安定した状態にあると考えられる。

干潟の水質浄化機能、生態系の特殊性や豊かさ、さらに渡り鳥の飛来地としての機能など、沿岸域の自然環境に対する干潟の重要性が認識されて久しい<sup>1), 2)</sup>。また、沿岸域における大規模な埋め立てや港湾整備などの結果として劣化した環境を修復する目的で、人工的に干潟を造成する試みも行われ始めている<sup>3)-6)</sup>。そのような状況のもと、干潟の特性に関する活発な研究、調査が行われてきており、数多くの知見が得られてきた。しかしながら、干潟の動的な特性に起因する現地調査の困難さのため、さらに、個々の干潟は潮汐、波浪、地形、周辺の環境、生態系など多くの構成条件があるため、一般的な議論が行われにくいこともあり、最も基本的な物理過程についてさえもまだ十分に理解されているとは言えない。

本稿では、これまでの数多くの研究事例から、

主に物理的な過程に関する研究に着目し、レビューを試みる。さらに、近年、著者らが重点的に現地調査を行っている有明海の流動構造に関する研究結果から、干潟の存在が沿岸域に与える物理的な影響や干潟域に流入する河川の流域での人為が干潟へ与える影響についても紹介したい。

## 2. 干潟の物理過程

### 2.1 干潟の分類

干潟の厳密な定義はないといわれているが、ここでは一般的な干潟に対するイメージをよく表現していると考えられる、栗原<sup>7)</sup>による「潮汐の干満周期により露出と水没のサイクルを繰り返す平坦な砂泥質の地帯」という定義を採用する。この定義についても砂浜との区別が明確ではないが、一般的な砂浜のイメージと比較して、干潟は主に保湿能力の高い微細な粒子で構成された地形<sup>3)</sup>と考えることにする。

干潟の分類法については、干潟の構成要素が多様であること、さらに特殊な生態系を構成していることなどがこれまでの干潟研究の主要な動機になっていたことから、種々の提案がなされている。個々の干潟については、地形により分類する場合(前浜干潟、河口干潟、潟湖干潟)や、構成材料により分類する場合(泥干潟、砂質干潟)がある。また、ある1つの干潟の内部をゾーニングする場合もある。この場合には、各ゾーンの干出・水没

の時間的な割合が主に潮汐により決定されることから、潮汐の統計的な情報により分けられることが多い。

一例として、Dyer *et al.*<sup>8)</sup>で紹介された Klein<sup>9)</sup>によるゾーニングを示す(図1)。ここでは、大潮平均高潮面(MHWST)と小潮平均高潮面(MHWNT)の間を upper flat、MHWNT と小潮平均低潮面(MLWNT)の間を middle flat、MLWNT と大潮平均低潮面(MLWST)の間を lower flat と分けている。一般的に、朔望平均満潮面(MHW)と朔望平均干潮面(MLW)、もしくは大潮最高高潮線(EHWS)と大潮最低低潮線(ELWS)に挟まれる区間を潮間帯(intertidal zone, littoral zone)と定義する。さらに、潮間帯の上部を潮上帯(supratidal zone) (もしくは飛沫帯(splash zone))、下部を潮下帯(subtidal zone) (もしくは亜潮間帯(sublittoral

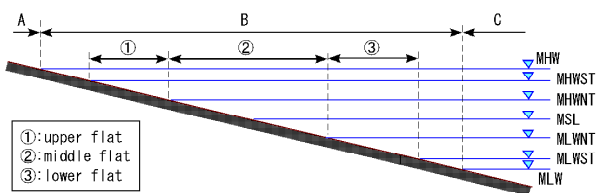


図1 干潟のゾーニング(Klein<sup>9)</sup>によるゾーニング)。

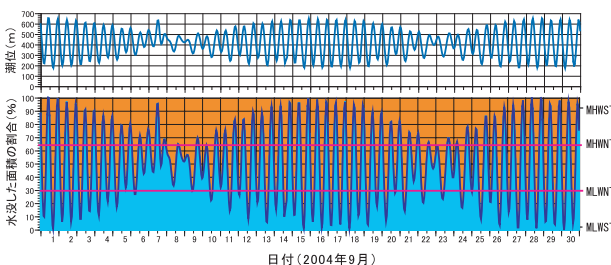


図2 有明海, 大浦における2004年9月の実測潮位(DL上)と干潟の干出(オレンジ色)・水没(水色)の割合変化。

zone))という。この他にもいくつか分類法が提案されている<sup>10)</sup>が、本質的には干出と水没の割合により分類されている点は同じである。

Klein のゾーニングを、我が国で最も干潟面積が大きいことで有名な有明海に適用して考えてみる(図2)。2004年9月の気象庁による大浦験潮所のデータ<sup>11)</sup>を利用して考えると、一定勾配を持つ干潟が存在していたと仮定して、upper flat が約28%、middle flat が約35%、lower flat が約28%と分類された。これは後で示す護岸堤防のない自然干潟についていえることであり、堤防が存在する場合は干潟全体の面積が少なくなると同時に、3つのゾーンの割合も変化することには注意が必要である。特に地球温暖化に伴い海面上昇が起こった場合、自然干潟であるか、堤防が存在しているかで干潟への影響は大きく変わると考えられる。なお余談であるが、2004年9月7日には台風18号による高潮が記録されており、大浦では午前11時38分に最大潮位偏差 213 cm を記録した。

次に、Dyer *et al.*<sup>8)</sup>が行った INTRMUD プロジェクトにおける干潟の分類について説明する。Dyer<sup>12)</sup>は潮差、波浪のエネルギー、ならびに地形勾配の3つのパラメータで定性的な分類を試みたが、それをベースにしてさらに多くのパラメータを導入した分類法を提案している。表1に利用されているパラメーター一覧を示す。Dyerらは、INTRMUD プロジェクトで調査されたイギリス、オランダ、デンマークの18の干潟(13のエスチャリーに分布)についてデータを整理し、相関解析、多次元尺度分析(MDS)、クラスター解析などの統計解析によりグルーピングを行った。その結果、潮差が最も支配的なパラメータであり、波浪への露出度(表1中の露出度C)と勾配が次に重要であり、mesotidal と macrotidal な干潟については乾燥密度も重要なパラメータであることが明らかにされた。

表1 干潟の分類に利用するパラメータ。(Dyer *et al.*<sup>8)</sup>)

項目	説明	項目	説明
1 潮差(m)	micro(<2m), meso(2-4m), macro(4-6m), hyper(>6m)	11 有機物含有比(%)	
2 潮汐の位相	S <sub>2</sub> 潮の位相	12 乾燥密度(kg/m <sup>3</sup> )	
3 干潟幅(m)		13 せん断強度(Pa)	
4 最大フェッチ方向	北から時計回りの角度	14 露出度A	卓越風の風向を10ランクに分類
5 海岸線の方位		15 露出度B	卓越風の風向と最大フェッチの方向の一致度を10ランクに分類
6 平均勾配	平均潮差/平均干潟幅	16 露出度C	卓越風の風向におけるフェッチ長を10ランクに分類
7 平均密度	足跡の深さで3つにランク分け	17 位置	エスチャリーにおける相対位置(河口~干潮域上限)
8 底質タイプ	5つにランク分け	18 水路長(m)	
9 平均被覆率(%)	干潮時の水没面積の割合	19 干潟全面積(ha)	
10 粒径(μm)		20 最大フェッチ長(m)	

この結果は、我が国の干潟にすぐには援用できない部分もあると考えられるが、多数の干潟を簡便な調査手法により分類する場合に非常に有用である。しかし、これらの分類法はある程度平均化された情報に対する分類には適しているが、定量的に厳密な分類でなく、また外力の時間変化に対する応答などについては一切情報を与えてくれない<sup>13)</sup>。干潟の動的な特徴を把握するための、包括的で詳細、かつ長期的な調査研究が必要と考えられる。

## 2.2 干潟の物理過程に関する調査研究

これまでに実施された膨大な干潟研究事例を全て把握し紹介することは著者らの能力を超えるので、最新の研究事例のうち主なもののみを紹介したい。近年の沿岸域環境保全へのニーズから人工干潟造成の機運が高まっており、干潟の物理過程に着目した研究は、土木工学的視点からの研究事例が急増している。それらの視点は、1) 干潟の水質浄化機能に関連した研究<sup>14)-19)</sup>、2) 波浪・潮汐などの物理的外力が干潟の地形安定性に及ぼす影響に関連した研究<sup>6), 13), 20)-26)</sup>、3) 物理的外力が生物生息環境に与える影響に関連した研究<sup>27), 28)</sup>などである。これらのうち、新しい調査方法として注目されるのが、中村らの研究グループによる調査<sup>17), 18)</sup>である。これまでの干潟研究では、物質輸送と水質変化は定点観測(オイラー的観測)で行い、各物質のフラックスを求めてボックスモデル的に解析されてきた。ここでは、流れにより移動する水塊に着目し、それを追跡しながら水質調査(ラグランジュ的観測)を行っている。これにより、移流による変化を除いた生産・消費過程などの物質動態を正確に把握することができる。さらに、透明なビニールバック内に隔離した水塊を同時に浮遊させることで、周囲水との混合の影響を除いた測定も実施している。この手法は、ある単一の水塊のみに着目するため、測定開始地点や開始時刻に依存するという問題点はあるが、物理的な過程と生物化学的な過程をある程度分離できると考えられるため、非常に有用な測定手法と思われる。

また、数値シミュレーションにより干潟の流れ場を計算する試み<sup>29)-33)</sup>も精力的に行われているが、それらの多くは沿岸域の流れを計算する際の精度向上を目的に干潟部分を計算しているものが多く、干潟の物理プロセスそのものを計算する目的のもの<sup>34), 35)</sup>はまだ少ない。これは、干潟部分の流れを計算するためには非常に細かい計算メッシュを必要とする一方、現象は潮汐変化など比較的長い時間スケールを持っていることから、計算負荷が大きいことと、干潟を正確に解くためには境界条件とし

て接続する河口部や沿岸域の流れも同時に解く必要があり、計算が大変難しいためである。

## 3. 干潟と周辺海域、流域との相互作用：有明海の事例から

### 3.1 干潟の流れと干拓等による地形の変化の影響

我が国の干潟は、まさに干拓の歴史そのものと言える。例えば、有明海においては江戸時代以前から“搦(からみ)”という独特の手法を用いた干拓が続けられてきており、現在までに260 km<sup>2</sup>を超える面積の干拓が行なわれてきた。そのおおよその干拓速度は以下のようである<sup>36)</sup>。

江戸時代	:	415 ha/10年
明治～昭和10年代	:	435 ha/10年
昭和20年～昭和30年代	:	650 ha/10年
昭和40年～昭和50年代	:	1,950 ha/10年

昭和後期に大きく増加している。また、1997年(平成9年)には諫早湾干拓事業により一挙に約3,500 haの海域が失われ、約1,500 haの干潟が消失した。

#### 3.1.1 干潟の有無による潮流流速の変化

図3に自然干潟、干拓堤防前面の干潟、潮受け堤防などによって干潟が完全に消失した場合の3通りの断面図を示す。

図3(a)のような自然干潟で、干潟の勾配がほぼ一定のまま沖合まで続くと、矩形に近い湾では岸沖方向に直角な沖合のどの断面でも水深平均の潮流流速はほぼ一定となるという大きな特徴をもつ。一方、図3(c)は直立堤で仕切られて干潟が

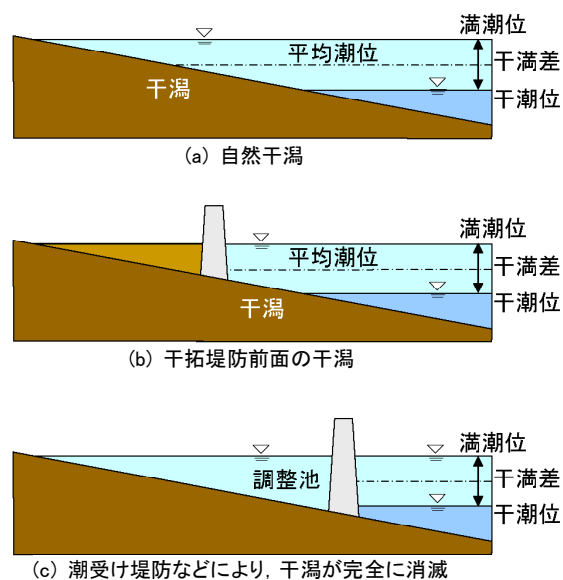


図3 地形の変化による干潟の態様.

消滅した場合である。この場合は沖合のある断面の水深平均潮流流速は、その断面と潮受け堤の間の岸沖方向の距離に依存して増加することになる。図3 (b)は、(a)と(c)の中間的なパターンで現在よく見られる。干拓堤防の前面に干潮のときだけ干潟が広がる。図4は1977年7月30日に、海上保安庁が有明海で61隻の定置船を用いた一斉同時観測から得た下げ潮最強時の潮流分布<sup>37)</sup>である。また、図5は矩形のモデル湾で水深が一定の場合の潮流分布である。有明海では1977年当時干潟部分のほとんどが図3 (b)の形であったと思われるが、湾奥に行くにしたがってやや潮流流速は減少しているものの、図5と比べると流速の一樣性は高く、干潟が存在する場合の特徴をよく示している。

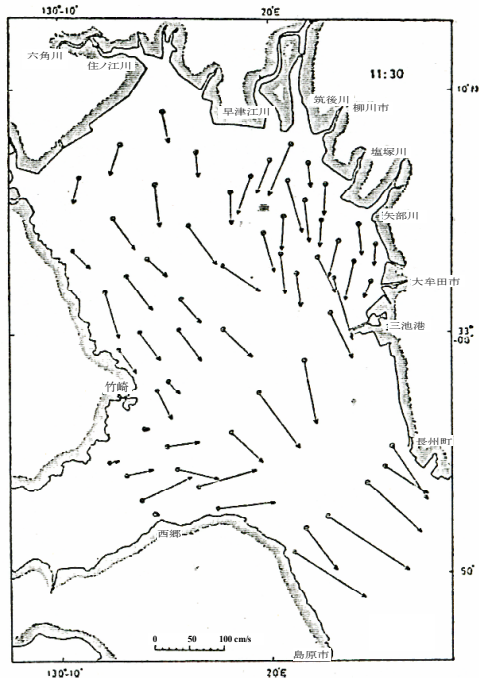


図4 北部有明海における1977年7月30日の下げ潮最強時の潮流パターン<sup>37)</sup>。

### 3.1.2 干潟の有無による潮流パターンに変化

前節で干潟の有無が潮流流速に大きな影響を与えることを示したが、本節では干潟の有無が流速だけでなく潮流のパターンにも大きな影響を与えることを具体例を挙げて示す。

図6に干潟のない内湾湾口部における潮流発生メカニズムを示す。潮差が同じであれば湾への入退潮量は内湾の面積と潮差で決まるが、湾口部の潮流流速は単位幅当たりの入退潮量(すなわち奥行き $\times$ 長さ $\times$ 潮差の積)をその点の水深で割った値で与えられる。図6の比較において潮差や湾口部の水深は同じとすると、湾口部の流速は湾の奥行き $\times$ 長さで決定されることになる。湾奥部に干潟が図3 (a)のような形で共通に存在しても同様のことがいえる。

有明海において諫早堤防の締め切り前は、図7の左図に示されるように諫早湾は有明海最奥部と較べて湾の広さは大きく劣るが、奥行き長はほぼ匹敵するスケールを持っていた。したがって、両

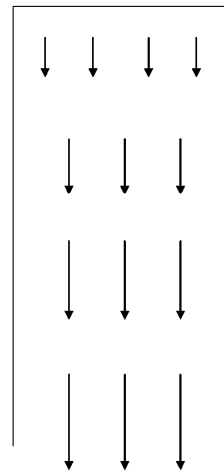


図5 水深一定の場合の矩形モデル湾の潮流パターン。

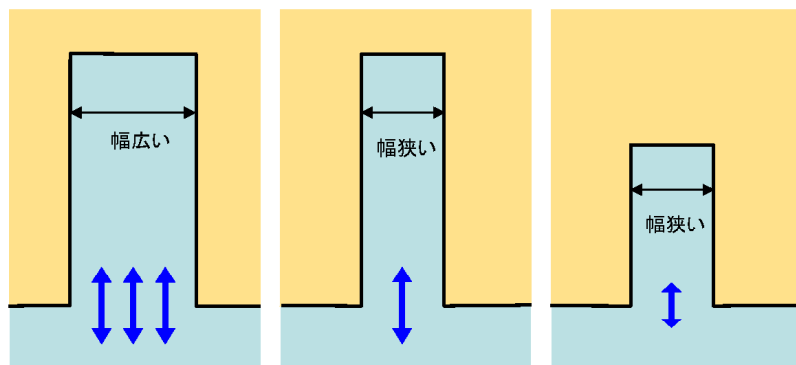


図6 内湾における潮流発生メカニズム。



湾口付近における流速もほぼ同程度であったと思われることから、潮流は諫早湾の独立性が強い分岐・合流流れであったと思われる(図7, 右図参照)。

1977年7月30日の海上保安庁による、一斉同時観測の上げ潮最強時の潮流パターン<sup>37)</sup>を図8に示す。前述の図4と対をなすものであるが、両図から諫早湾締め切り前は図7の右図に一致する分岐・合流流れが実現されていたものと判断できる。

図9、図10に、小松ら<sup>38), 39)</sup>による2001年10月の大潮期と、2003年7月の中潮期において実施された ADCP 曳航観測により得られた、諫早湾口部の下げ潮最強時と上げ潮最強時の流速分布<sup>40)</sup>をそれぞれ示す。大潮期では諫早湾への強い水塊の流入が見られるのに対して、中潮期ではそれが弱まり、湾口北側(竹崎側)で下げ潮時にやや強い流入が発生しており、キャビティーフロー的な流動構造が出現している。キャビティーフローとは、窪地の入り口に発生する片方の端で流入し、反対の端で流出するような流れのパターンのことをいう。大潮～中潮～小潮のサイクルで潮差が変化したとしても、諫早湾ならびに北部有明海についてそれぞれの湾奥部の汀線付近における地形の状況が同じであれば、両海域に出入りする入退潮量の比は変わらない。しかし、実際には図11に縦断面図を模式的に示すように、北部有明海の湾奥部については、干潮のときは広大な干潟が広がり、満潮のときには直立堤防によって仕切られている。一方、諫早湾奥部は常時潮受け堤防が直立壁となって仕切っている。これらの地形状況の違い(干潟

の有無)により、北部有明海の奥部に出入りする入退潮量は小潮から大潮になっても、図11中の黒塗りで示される潮間帯に掛かる容積分は増えないことになる。したがって、小潮～大潮の変化は、諫早湾と北部有明海へそれぞれ出入りする入退潮量の比を変化させることになる。すなわち、諫早湾への入退潮量の北部有明海奥部への入退潮量に対する比が、小潮・中潮期よりも大潮期で相対的に大きくなる。これらのことより、大潮期では諫早湾口周辺海域において諫早湾方向(東西方向)へ往復する潮流成分は、北部有明海方向(南北方向)に往復する潮流成分に対して相対的に増加し、分岐・合流流れ近くになったものと思われる。

ここに示した諫早湾口周辺の流況は、松野・中田<sup>41)</sup>により、有明海奥部への入退潮が諫早湾口の前面海域を通過する際に生じるキャビティーフローと諫早湾へ出入りする潮流との重ね合わせとして説明されている。潮受け堤防締め切り後の現況では、大潮期は小潮・中潮期と較べて諫早湾への入退潮量が相対的に大きいためキャビティーフローの成分が弱まり、分岐・合流流れに近くなるが(図9)、潮差の比較的小さい中潮では有明海奥部に対する諫早湾への入退潮量の比が相対的に小さくなるため、キャビティーフローが明瞭に現れたと推測される(図10)。つまり諫早湾奥の干潟が消えたことから、現在の諫早湾口付近の流れのパターンは、潮差の大きさによって変わってくるという微妙なバランスの上に成り立っているといえる。

内湾における潮流の大きさは、前述のように基本的には、その点の単位幅当たりの入退潮量とその点の水深によって決まる。一方、単位幅当たりの

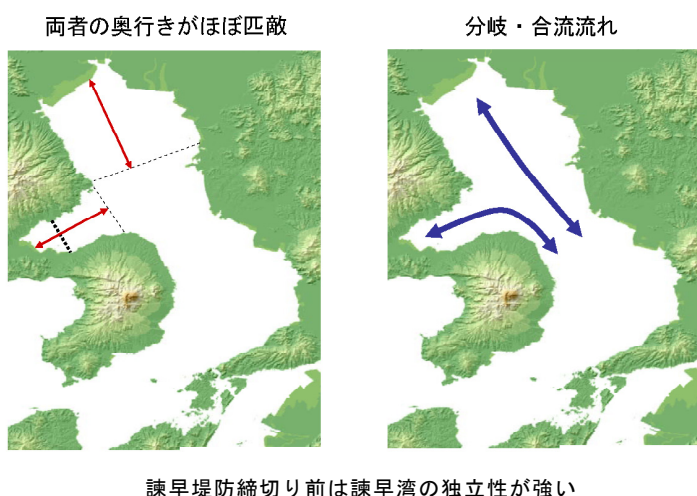


図7 締め切り前の諫早湾口の流れのパターン。

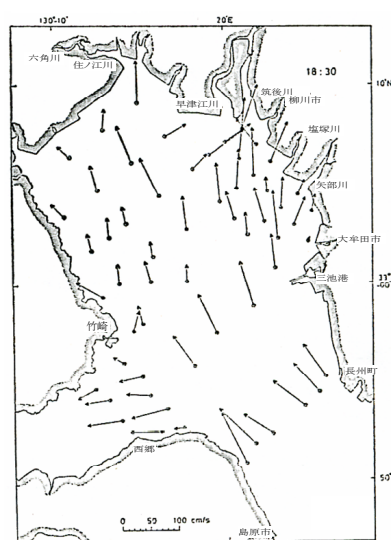


図8 北部有明海における1977年7月30日の上げ潮最盛時の潮流パターン<sup>37)</sup>。

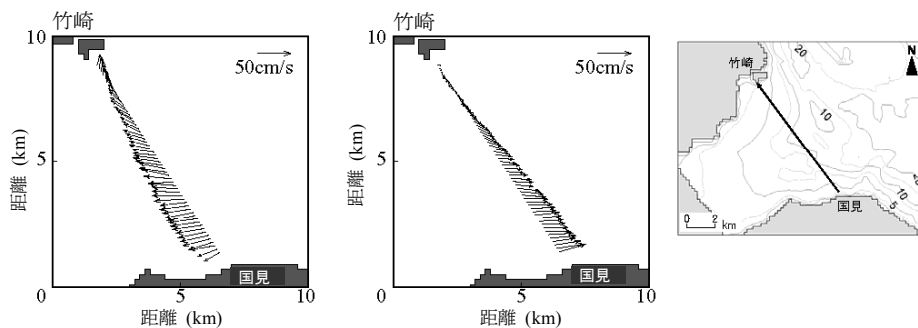


図9 大潮時の諫早湾口における水深平均流速ベクトル図<sup>40)</sup>.  
(左図: 上げ潮最強時, 中央図: 下げ潮最強時, 右図: 測線の位置).

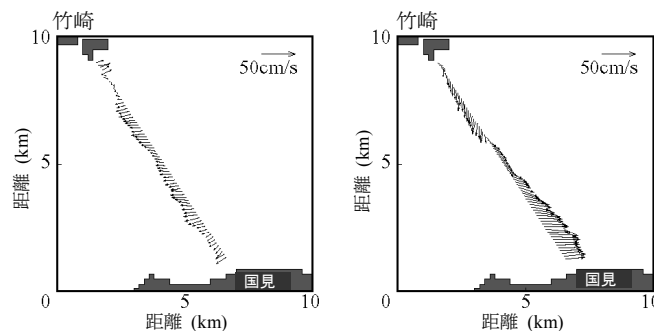


図10 中潮時の諫早湾口における水深平均流速ベクトル図<sup>40)</sup>.  
(左図: 上げ潮最強時, 右図: 下げ潮最強時).

入退潮量は潮差と湾の奥行き長で決定される。図11の右図に示されるように、締め切り以前は諫早湾の奥行き  $L_2$  と有明海奥部の奥行き  $L_1$  はほぼ同程度であった。その後の諫早湾における堤防締め切りは、諫早湾の奥行き長を約2/3に減少させたことで単位幅当たりの入退潮量も約2/3に大幅に減少させることとなった。さらに、諫早湾奥部の汀線の地形をも変化させて干潟も消滅させた。締め切り以前は、諫早湾への単位幅当たりの入退潮量は現在の約1.5倍であったことから諫早湾と北部有明海は、上げ潮で分岐流、下げ潮で合流が明瞭に発生する安定した流れ場であったが、現在では干潟の有無により潮差の大きさに応じて変化するような微妙な流れパターンの変ってしまったと考えられる(図12)。

したがって、諫早湾の締め切りによって干潟が消え、海表面積が減少することで、諫早湾口付近の潮流パターンは大きく変化した。さらに、締め切り後の諫早湾奥には直立堤が、有明海最奥部には干潟が存在することから、潮差の大きさにより干潟の効果の相対的大きさが異なってくることで、諫早湾口の潮流のパターンが変わることが分かった。干潟は湾内の潮流の流速のみでなく、流れのパターンにも大きな影響を与えることが明らかとなった。

### 3.2 河川からの土砂供給と干潟の粒度特性

近年、河川からの土砂供給の減少が海岸侵食、砂浜の消失、また干潟の細粒化・泥化を引き起こし、生態系に悪影響を与えているとの指摘がなされている<sup>42), 43)</sup>。河川からの土砂供給を減少させる要因としていくつか考えられる。

- (1) 江戸末期頃に最も荒れていた山に植林がなされ、裸地が減ったため、山地からの土砂生産そのものが減少してきている。
- (2) 土砂がダムに堆砂することにより下流側へ流れて来ない。
- (3) コンクリートの骨材用の砂利採取がかつて活発に行われていたことにより河床が低下したため、上流から新たに土砂が流れてきても途中で停止し、下流まで流れない。

一方、砂利採取の際、河川水で砂利・砂をふるって粗い成分のみを残したため、細粒分が極端に高い割合で下流側に流れ、これが干潟の細粒化・泥化をさらに引き起こしている可能性がある。筑後川では流域の年間土砂生産推定量は 32万  $m^3$ /年であるが、砂利採取の最盛期には年間 200万～300万  $m^3$ の採取が行なわれた。また同じく、有明海に注ぐ熊本県の緑川でも似たような状況であった。

現在は、砂利採取はほとんど全面禁止となって

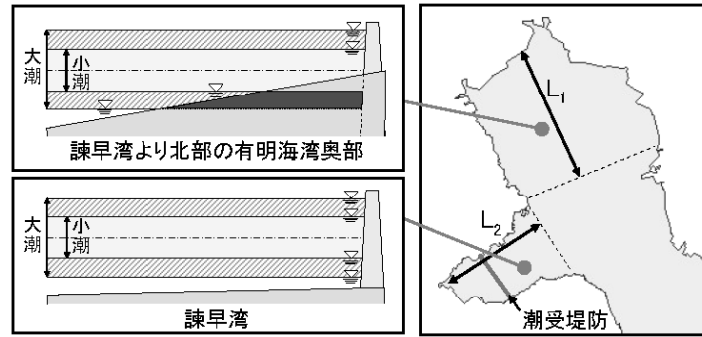


図11 干潟の有無がもたらす潮汐条件による入退潮量の差異.

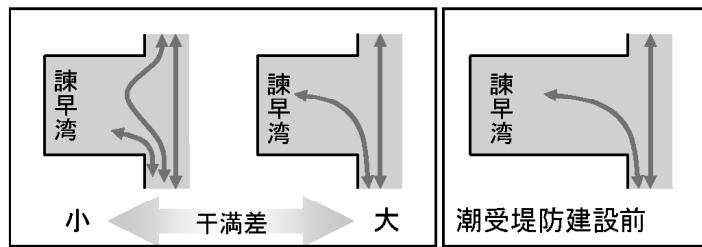


図12 潮汐条件による諫早湾口の流れの差異.

いるが、それによって河川からの土砂供給が復活するところまでには至っていない。こうした原因の一つは、河川管理者、土木分野の研究者が共に河川からの土砂供給が海の生態系に大きな影響を与える可能性があることを全く認識しなかったことである。彼らの関心は専ら河床が低下すると橋脚の基礎が洗われて危険だとか、護岸の根固めが不安定になることなどに向けられていた。また逆に、河床に土砂が堆積して河床が上昇すると、河積が不足して洪水通過能力が低下することを恐れ、積極的に掘削や砂利採取を行って河床の土砂を排除してきた。

現在は、河川管理者・河川の研究者は共に流域から海への新鮮な土砂の定常的な供給と、それによる干潟を構成する材料の更新が、海の生態系にとって極めて重要であることを認識するようになってきている。今後は干潟を取り巻く環境も徐々に改善されていくことが期待される。

#### 4. おわりに

最近の研究事例から、干潟におけるゾーニングや分類法、ならびに物理的な過程についての成果の紹介を行った。これらの知見は、複雑な干潟のメカニズムを理解することだけでなく、自然干潟の保全と再生、ならびに人工干潟の造成などのための工学的な応用へも利用されていくと考えられ

る。また、我が国で最も広大な干潟を持つがゆえに、干拓により干潟が大規模に消失し続けてきた有明海において、干潟の存在が周辺の沿岸域に与える物理的な影響と、干潟域へ流入する河川の流域からの土砂供給が与える干潟への影響についての考え方を紹介した。有明海においては、干潟の消失が水質浄化機能を損なうだけでなく、諫早湾干拓事業の潮受堤による締め切りにより、諫早湾奥と有明海の最湾奥において直立壁と干潟という地形的な違いが生じた。そこには、有明海本体の流れの構造を変化させるという物理的メカニズムが存在しており、これが有明海問題の原因の一つになっている可能性が強い。さらに、有明海への最も重要な物質流入源である筑後川において、過去に行われた砂利採取やダム建設に伴う堆砂により減少した土砂供給が、有明海の干潟へ与えた影響も甚大である。これらの影響が複合的に作用して、いわゆる負のスパイラルが生じ、今の有明海の疲弊が生じたのではないかと考えられる。このことから、有明海の問題は、流域－河川－干潟－沿岸域の相互作用系として捉え直し、総合的な調査研究を進める必要がある。

#### 引用文献

- 1) 栗原 康(1980)干潟は生きている, 岩波新書.
- 2) 佐々木克之(1989)干潟域の物質循環. 沿岸海洋

- 研究ノート, 26, 172-190.
- 3) 細川恭史 (2000) 干潟生態系の保全と修復. 須藤隆一 (編), 環境修復のための生態工学, 講談社サイエンティフィク, 191-224.
  - 4) 棚瀬信夫 (1994) 干潟の造成. 磯部雅彦 (編), 海岸の環境創造 ウォーターフロント学入門, 朝倉出版, 58-73.
  - 5) 桑江朝比呂 (2005) 造成された干潟生態系の発達過程と自律安定性. 土木学会論文集, 790/VII-35, 25-34.
  - 6) 片倉徳男・高山百合子・上野成三・勝井秀博・林 文慶・田中昌宏・新保裕美・古川恵太・岡田知也 (2006) 人口干潟の地形安定化工法に関する現地実験. 海岸工学論文集, 53, 1216-1220.
  - 7) 栗原 康 (1975) 干潟環境の破壊と修復および生物群集の動態. 佐々 学・山本 正 (編), 人間生存と自然環境 3, 東京大学出版会, 248-270.
  - 8) Dyer, K.R., E.W. Christie and E.W. Wright (2000) The classification on intertidal mudflats. *Continental Shelf Research*, 20, 1039-1060.
  - 9) Klein, G. deVries (1985) Intertidal flats and intertidal sand bodies. In: R.A. Davis, ed., *Coastal Sedimentary Environments*, 2nd ed., Springer, 187-224.
  - 10) Raffaelli, D. and S. Hawkins (1996) Intertidal Ecology, Chapman & Hall. (朝倉 彰 訳, 潮間帯の生態学 (上, 下), 文一総合出版)
  - 11) 気象庁 潮汐観測資料ホームページ.  
<http://www.data.kishou.go.jp/kaiyou/db/tide/genbo/index.php>
  - 12) Dyer, K.R. (1998) The typology of intertidal mudflats. In: K.S. Black, D.M. Paterson and A. Cramp, eds., *Sedimentary Processes in the Intertidal Zone*, 139, *Geological Society*, 11-24.
  - 13) Yamada, F. and N. Kobayashi (2004) Annual variations of tidal level and mudflat profile. *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, 130, 119-126.
  - 14) 野村宗広・中村由行 (2003) 盤洲干潟の大潮・小潮における水質観測と栄養塩収支. 用水と廃水, 45, 1053-1061.
  - 15) 野村宗広・中村由行 (2003) 盤洲干潟における潮汐変動に伴う水質観測に関する現地観測. 水環境学会誌, 25, 217-225.
  - 16) 神尾光一郎・野村宗弘・中村由行 (2004) 盤洲干潟周辺海域における岸沖方向の水質構造の観測及びモデル化. 海岸工学論文集, 51, 1011-1015.
  - 17) 神尾光一郎・中村由行・三好英一・桑江朝比呂・細川真也 (2005) ラグランジュ及びオイラー的手法を併用した干潟潮間帯－潮下帯の水質応答特性に関する現地観測. 海岸工学論文集, 52, 996-1000.
  - 18) 中村由行・鶴崎賢一・三好英一・井上徹教・細川真也 (2006) 盤洲干潟におけるラグランジュ的手法を用いた水質観測. 海岸工学論文集, 53, 1041-1045.
  - 19) 児玉真史・松永信博・水田健太郎・徳永貴久 (2002) 和白干潟における水質の動態に関する現地観測. 土木学会論文集, 720/VII-25, 53-61.
  - 20) 柿木哲哉・滝川 清・山田文彦 (2000) 白川・緑川河口域の干潟形成に及ぼす潮位・潮流と河川流入の影響. 海岸工学論文集, 47, 636-640.
  - 21) 柿木哲哉・木下栄一郎・滝川 清・山田文彦・外村隆臣 (2003) 平均水面の季節変化が干潟地形に及ぼす影響. 海岸工学論文集, 50, 471-475.
  - 22) 内山雄介 (2005) 干潟のながれと地形変化. ながれ, 24, 57-66.
  - 23) 山田文彦・上原和朗・中道 誠・外村隆臣・由比正年・小林信久 (2005) 潮間帯に発達する Multiple Sand Bars の発生確率と季節変動特性. 海岸工学論文集, 52, 496-500.
  - 24) 中道 誠・山田文彦・外村隆臣・玉置昭夫・小林信久 (2005) 季節的な平均潮位の昇降に伴う干潟岸沖断面の堆積・浸食メカニズム. 海岸工学論文集, 52, 526-530.
  - 25) Christie, M.C., K.R. Dyer and P. Turner (1999) Sediment flux and bed level measurement from a macro tidal mudflat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49, 667-688.
  - 26) French, C.E., J.R. French, N.J. Clifford and C.J. Watson (2000) Sedimentation-erosion dynamics of abandoned reclamations: the role of waves and tides. *Continental Shelf Research*, 20, 1711-1733.
  - 27) 石垣 衛・上月康則・大谷壮介・西川直仁・宍倉知広・村上仁士 (2004) 大阪湾奥の干潟に作用する物理的攪乱が生物生息場におよぼす影響. 海岸工学論文集, 51, 1171-1175.
  - 28) 越川義功・田中昌宏 (2006) アサリ初期稚貝の生息環境に与える地形変動の影響評価. 海岸工学論文集, 53, 1211-1215.
  - 29) 西田修三・入江政安・橋本 基・海江田洋平 (2006) 干潟を考慮した流動モデルの構築と有明海への適用. 水工学論文集, 50, 1441-1446.
  - 30) 田中昌宏・稲垣 聡・山木克則 (2002) 有明海の潮汐及び三次元流動シミュレーション. 海岸工学論文集, 49, 406-410.



- 31) 千葉 賢・武本行正 (2003) 諫早湾潮受け堤防設置に伴う有明海の流況変化に関する研究. 海岸工学論文集, 50, 376-380.
- 32) Lin, B. and R.A. Falconer (1997) Three-dimensional layer integrated modelling of estuarine flows with flooding and drying. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44, 737-751.
- 33) Ji, Z.G., M.R. Morton and J.M. Hamrick (2001) wetting and drying simulation of estuarine processes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 53, 683-700.
- 34) 陸田秀実・高橋俊之・土井康明 (2005) N分散相二流体モデルに基づく干潟の流動・地形変化の数値解析. 海岸工学論文集, 52, 431-435.
- 35) 高橋俊之・新井 洋・陸田秀実・土井康明 (2006) N分散相二流体モデルに基づく干潟土壌の粒径別挙動及び地下水面の数値解析. 海岸工学論文集, 53, 1016-1020.
- 36) 第24回有明海・八代海総合調査評価委員会資料 (2006) 委員会報告骨子案. 資料3-1.
- 37) 井上尚文・青山恒雄・宮地邦明 (1979) 沿岸域の海況調査方法としての多数船同時観測の有明海における試行の意義. 月刊海洋科学, 11, 448-457.
- 38) 小松利光・安達貴浩・金納 聡・矢野真一郎・小橋乃子・藤田和夫 (2003) 有明海における流れと物質輸送に関する現地観測. 海岸工学論文集, 50, 936-940.
- 39) 小松利光・矢野真一郎・齋田倫範・松永信博・鶴崎賢一・徳永貴久・押川英夫・濱田孝治・橋本彰博・武田 誠・朝位孝二・大串浩一郎・多田彰秀・西田修三・千葉 賢・中村武弘・堤 裕昭・西ノ首英之 (2004) 北部有明海における流動・成層構造の大規模現地観測. 海岸工学論文集, 51, 341-345.
- 40) 齋田倫範・矢野真一郎・橋本泰尚・小松利光 (2005) 大規模一斉観測データを用いた諫早湾口周辺の流動特性の検討. 海岸工学論文集, 52, 346-350.
- 41) 松野 健・中田英昭 (2004) 有明海の流れ場を支配する物理過程. 沿岸海洋研究, 42, 11-17.
- 42) 横山勝英 (2005) 筑後川における土砂動態の現状と再生方策. 第14回沿環連ジョイント・シンポジウム「有明海再生をめざして」要旨集, 46-52.
- 43) 福岡捷二 (2005) 第13回有明海・八代海総合調査評価委員会資料.

(受付2006年11月1日, 受理2006年11月8日)