有明海の潮流・潮汐メカニズム

九州大学　名誉教授　小松利光

海の環境、自然環境に関しましては、潮の流れや化学的な作用、それから生物学的な作用など非常に複雑ですが、その中でやっぱり物理的な作用、有明海としては潮の流れ、これが基本になると思っています。というのは、水の流れがいろんな物質を輸送、たとえば生物の幼生の輸送、栄養塩の輸送、それから濁りとかいろんなことに関わってくるわけなんですね。ですから、水の流れがもっとも基本であり、その水の流れが今までどのように変わってきたのかについてお話したいと思います。実際、有明海については諫早干拓だけでなくて、長年にわたって福富干拓とかいろんな人工的な改変が行なわれてきていまして、流れに関しては、そういう人工改変の大きなつけが、今、出てきているということが言えるかと思います。

では、潮流は一体何で起こるのか。分かりやすくいえば、月とか太陽の引力によって潮の干満が起こります。この干満が起こると水面勾配というものが生じて、水の流れが起こるわけですが、内湾の場合には分かりやすくいうと、入退潮量によって流れが起こるというふうに言い換えることもできます。では、入退潮量というのは何かといいますと、たとえば、有明海で干潮から満潮に潮が上がってきたときに、湾の中にずっと入ってきて、それから干潮になると湾の中から出て行く水の量、それが入退潮量というわけです。ですから、結局、湾内の潮の流れというのは入ってくる水の量によって決まってくる。水の量が多ければ流速が大きくなるし、水の量が少なければ流速が小さくなっていくということです。

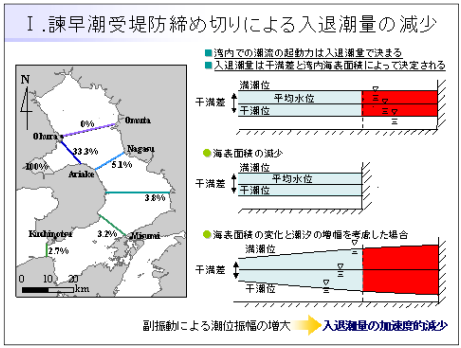


図-1

たとえば、諫早湾の締め切りによって潮の量がどれくらい、入退潮量がどれくらい減ったかというと、まず締め切り提の前面では 100%減っているわけです。そして、諫早湾の入り口では、だいたい３分の１が締め切られましたので、約 33%が減

っている。で、大浦のラインから奥は、諫早湾干拓による影響はゼロです。ここから先は関係ありません。もちろん、福富などの以前のいろんな干拓によって、このラインの奥でも入退潮量は減っているんですけれども諫早湾干拓によっては変わっていません。それから、多比良のラインより奥では5.1%、島原のラインでは3.8%、三角のラインでは 3.2%、口之津のラインでは 2.7%入退潮量が減っているということが言えるわけです（図１）。

では、何で入退潮量は減るのかというと、先ほども言いましたように干潮から満潮まで水が入ってこなければならない。たとえば多比良のラインで考えると、ラインより奥に流れ込む水の量が入退潮量になるわけですね。ですから、干拓や締め切りで、海水の流れ込まない部分ができると、結局、その部分が入退潮量としては減るわけです。ですから、大雑把な目安としては、入退潮量というのは「干満差×海表面積」ということになります。ところが、有明海は潮が湾口の方から入ってきて湾奥でぶつかってまた反射して戻っていくもんですから、実は副振動という奥に行けば行くほど干満差が大きくなるという現象がありまして、実際は満潮位というのは奥に行けば行くほど高くなっているんですね。干潮位は奥に行けば行くほど低くなります。ですから、単なる海表面積の減少割合以上に入退潮量は減るということになりますので、そこまで考慮してこの5.1%とか3.8%とか（図１左）を計算しています。だから、このライン上では 5.1%入退潮量が減る。入退潮量が減るということは平均潮流流速がやはり 5.1%減るということになるわけです。

結論から言いますと、たとえば諫早湾干拓の締め切りの影響で、島原半島の周辺で大きな流速の減少が起きるだろう、それから流況（流れの形・パターン）は大浦の周辺も影響を受けるだろうということです（図２）。もちろん、この辺が影響を受けると、その周辺も影響を受けるんですが、直接的な影響を受けるのは図でお示ししている辺だろうということです。

締め切り前後で流れが変化したと思われる領域

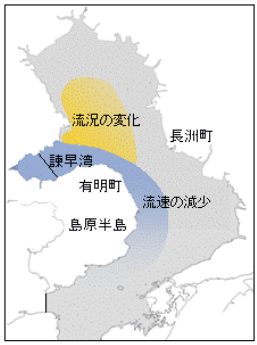


図-2

それで、先ほど入退潮量によって潮流流速は決まってくると言いました。たとえば、こういう湾があったとします（図３）。干満があると、湾の中に潮が出たり入ったりするわけで、その点の潮流というのは決まってくるわけです。もちろん幅が広ければ広いほど入退潮量は大きくなります。だけど、その入退潮量を湾の断面で割って流速を計算しますので、湾の幅が広ければ断面も広くなりますから、結局、幅が広い場合と狭い場合で入退潮量は違うけど流速は変わらないということになります。ところが、幅と違って奥行きが短くなると、湾内に出入りする潮の流速は小さくなります。こういう風に、ある断面の潮流の流速というのは奥行きに比例する、つまり、奥行きが短くなると潮流は小さくなり、奥行きが長ければ潮流は大きくなるということが言えるわけです。

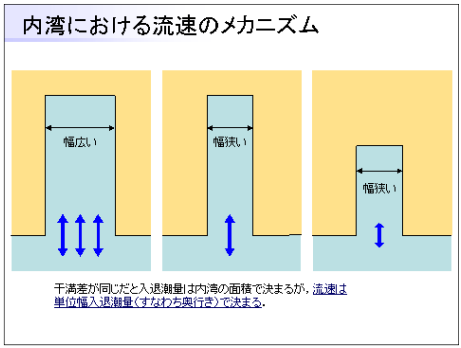


図-3

たとえば、諫早湾と有明海の湾奥では、湾奥の方が圧倒的に広いですが、奥行きから見ると、もちろん湾奥のほうが奥行きも長いんですけどそんなに遜色はないんですね。ということは、先ほどお話したように流速は奥行きによって決まるのであれば、以前は諫早湾側に流れる流速も湾奥に流れる流速もそんなに変わらなかったということがいえるわけです。そうすると、締め切り前の潮の流れというのは、下げ潮のときは諫早湾と湾奥からの流れ出しがあって、上げ潮のときには、このように湾奥に流れていく潮の流れと諫早湾内に流れていく潮の流れという、それぞれ独立した感じの、強い潮の流れ込みがあったのではないかということが、この距離からだけでも言えるわけです（図４）。

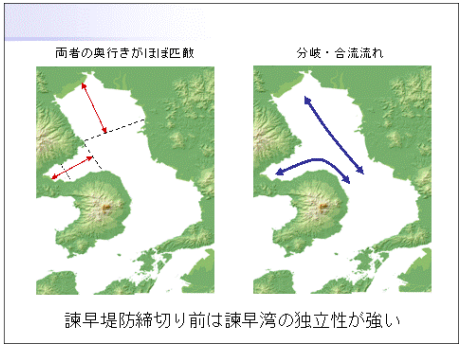


図-4

では、実際はどうなんだということで、締め切りが行われている今の状態で、諫早湾の入り口のところで超音波流速計を走らせて、水深方向の平均流速を測ってみ

ました（図５、図６）。大潮のときと中潮のときに測っていまして、グラフの縦軸は潮位です（図５）。下げ潮の一番激しいとき、上げ潮の比較的激しいとき、それから、上げ潮の激しいとき、下げ潮の激しいときに測っています。そうしますと、大潮のときは大体こんな感じ（図６上）でして、これは下げ潮ですが諫早湾入り口全体にわたって下げ潮のときは潮が出ていって、上げ潮のときは、全体的に潮が入ってくる状況になっています。ところが、中潮、小潮になると、ちょっと様子が変わってきます。こういう風に下げ潮のときですが（図６下）、竹崎側のほうは潮が中に入ってきていて、国見側は出て行っている。下げ潮ですから諫早湾の中から外に出て行ってよさそうなものなのですが、一部、中に入ってくる潮の流れがあるわけですね。上げ潮のときはそんなにはっきりとしませんが、大潮のときのように流れがきれいに揃っていません。ということで、どうも現状だと大潮と中潮・小潮の場合に流れ方がどうも違う。その大潮と中潮・小潮とでは一体何が違うというかというと干満差が違うだけです。そうすると、潮の流れ方というのは干満差が違うだけですから、潮流が弱くなるだけで流れ方自体は変わらなくていいはずなんですよね。ところがこういう風に変わってくる。大潮の時にはわりときれいな流れで、中潮・小潮の場合はややこしい流れになっている。これはいったいどうしてだろうか。結論からいうと、こういうちょっとなかに入って出て行く流れがあると、さきほどの中潮のような流れになる。一方、こういう風にわりと独立した流れになっていると大潮のような流れになる。だからこれは比較的、独立したような流れをしていて、一方こちらはいったん中に入って出て行くような流れ方になっている。ということは、どうも現状は大潮がこういう独立性の強い流れ、中潮・小潮ではどうも中途半端な流れになっ

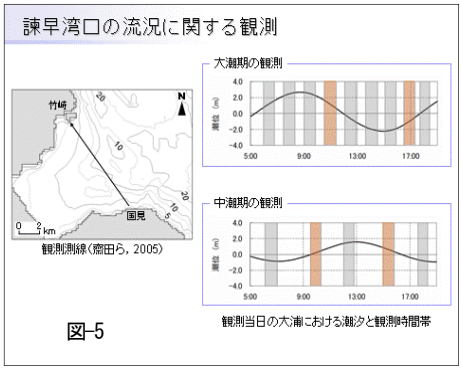


図-5

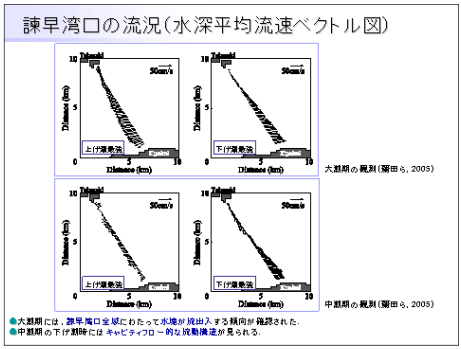


図-6

ているのではないかということです。

それはどうしてだろうかといいますと、実は今は潮受堤防ができているわけですが、この諫早湾の中はどういう状況かというと（図７）、小潮の場合にはこれが小潮の干潮、これが小潮の満潮です。そして、これが大潮の干潮、これが大潮の満潮です。そうすると、小潮の場合にはそのブルーで書いたこの部分の面積の潮が出たり入ったりしているわけです。だからこれが入退潮量になります。大潮のときはこの全体が出たり入ったりしているわけです。諫早湾はそういう状況ですが、有明海湾奥部はどうかといいますと、こちらはだいたい堤防の護岸ができていて、その前面に干潟があるというところがほとんどです。そうすると、この湾奥部のほうは小潮のときはこのブルーの部分が出たり入ったりするんですけれども、大潮になると台形の部分が出たり入ったりするわけです。ということは黄色い部分はこれも干潟によって遮られていますからここは出たり入ったりしないわけです。小潮から大潮に変わったときに、諫早湾のほうは順調に入退潮量が増えるんですが、有明海の湾奥側はこの黄色の部分が増えないから入退潮量は順調には増えていかないんですね。大潮のときは小潮のときに比べて、諫早湾側の入退潮量の湾奥側への入退潮量に対する割合が比較的大きいということがいえるわけです。ですから、諫早湾からの流れが、大潮のときは比較的独立したような流れになるけれども、中潮・小潮になると湾奥側に対する相対的な強さは弱まりますので、キャビティフローといいますが、こういう流れのパターンが出てくることになるわけです。現状では微妙な状態になっています。だから、大潮では独立性の強い流れだけど、中潮・小潮では必ずしもそうではないという微妙な流れになっているわけです。

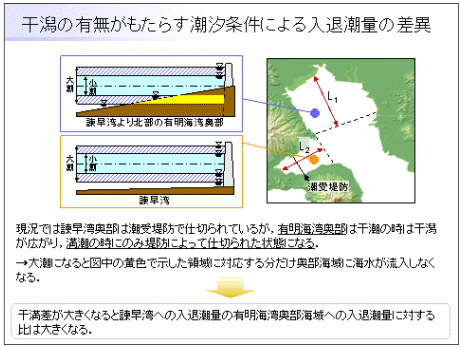


図-7

それを分かりやすく書くと、現状では干満差が小さいとキャビティフロー、キャビティというのは空洞とか穴という意味ですけど、穴があるところにちょっと入って出て行くような流れができる（図８）。干満差が大きくなると比較的、独立した流れになる。これが干満差によってこっち側に現れたり、こっち側に現れたりするのを繰り返している。ところが、以前の締切り提がない場合は、諫早湾の奥行きが１.５倍ぐらい長かったわけです。すると、現状でも干満差が大きいときにはすでに独立したような流れが出ているわけですから、この奥行きが１.５倍あれば以前は諫早湾が完全に独立したような流れになっていたのではないかと思います。ところが、今、締め切り堤によってこういう複雑な、ある意味、不安定な流れが作り出されているのではないかと考えています。

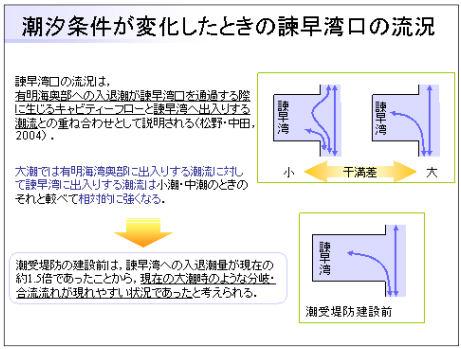


図-8

それをもう少し分かりやすく描いたのがこれで（図９）、現状という真ん中の図に示すような、キャビティフロー的なものと、独立した流れが混在している流れになっているわけです。そして、締切り前は左図のように奥行きが長いですからこういう独立した流れになっていたんだろうと推測されますし、もし仮に潮受堤防がもっと前面にあったら、独立した流れは全く出なくて、こういうちょっとしたキャビティフローがでるような流れになっていたのではないかと思います。だから以前から比べたら、流れが変わってきているのではないかということです。

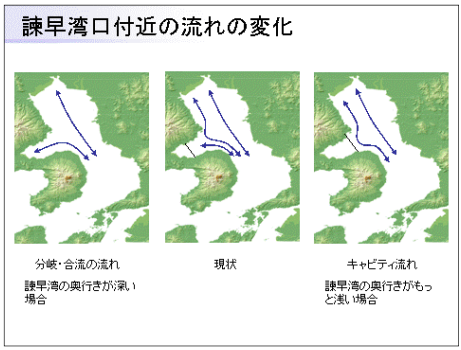


図-9

それで、観測結果として裏付けられてるのかということなんですが、これが、1979年ですから諫早湾締切り前の図です（図１０）。船を多数動員して、潮流の同時観測を行なっているわけですね。これは大潮のときですが、図をみていただくとわかる

ように、下げ潮では、湾奥からは南向きの流れがあって、諫早湾からは東向きに流れています。ですから、比較的南向きの流れと東向きの流れ、まさに独立した流れになっています。上げ潮のときは、きれいに諫早湾の入り口から西向きに流れていっているし、中央付近からは湾奥に向って流れているということで、上げ潮のときも独立したような流れがきれいに分かれていますので、締め切り以前は、こういう分岐・合流の傾向が強かったということがいえます。

現状ではどうなのかということで、これは長崎大学の多田先生達のグループの観測結果ですが、DBF 海洋レーダ、それから超音波流速計を使って測った結果です（図１１）。

海洋レーダは表面の流速だけですので、必ずしも水深方向の平均流速ではないのですが、これは大潮のときのものです。ちょっとわかりにくいですけども、だいたい、上げ潮のときは、湾奥からの流れと諫早湾からの流れが、それぞれ独立した流れに近い流況を示していますし、下げ潮のときも、それぞれ独立した流れに近い流況を呈しています。

では、小潮のときはどうなるのか。これも長崎大学の観測結果ですが、超音波流速計を船に積んで、図で示す線

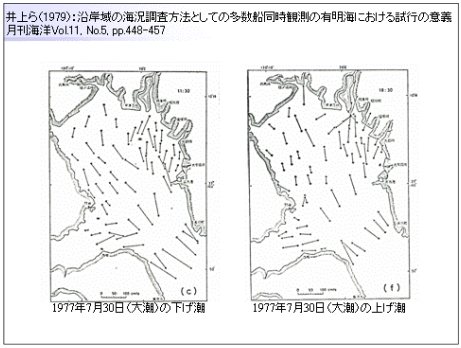


図-10

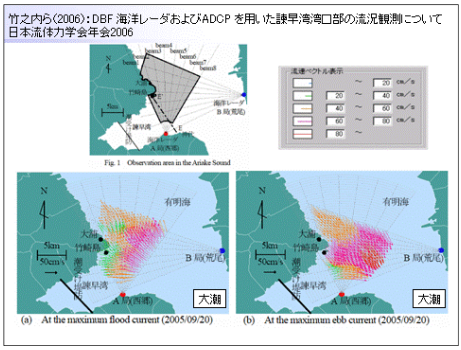


図-11

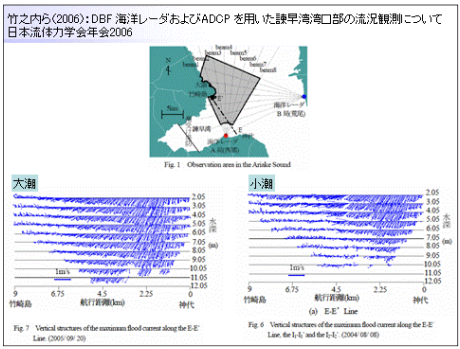


図-12

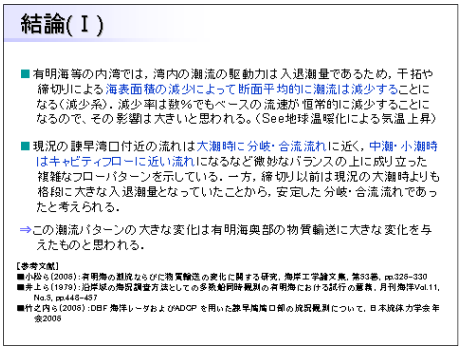
上を走らせて、この断面の流速を観測したものです(図１２)。この図（図１２下）の見方ですが、図の上のほうが水表面近くの流速ということで、左側が竹崎で、右側が神代港です。青い線が潮の流れる方向を示していまして、水表面近くは諫早湾の内側に入る流れになっていて、深いところまで結構内側に入る流れが出ています。この辺でちょっとグシャグシャとなって逆方向に流れているところもあります。ところが、この潮の流れが小潮になるとどうなるかといいますと、神代港の方は内側に入る流れですが、真ん中あたりから流れがおかしくなって、竹崎側では潮が逆に流れています。ということは、この図の右側付近は上げ潮のときに、内側に向かって流れているけれどもこの図の左側の辺りは外側に向かって流れているということです。ですから、大潮と小潮で流速の大きさが違うのはもちろん違ってていいのですが、形、流れ方が違っている、小潮のときには、上げ潮のときは全体的に入ってきて、下げ潮のときは全体的に出て行くという大潮のときのパターンになっていないわけで、先ほど言いましたように、小潮のときは大潮のときの独立した性質、潮の流れ方が薄れているということです。

いずれにしても、こういうことから、現状では諫早湾の入り口で微妙な流れになっている。以前、潮受堤防がなかったときには、かなり独立した傾向が強かったと思いますが、締め切りによって、島原半島の周辺では流速が減少している、また、大浦の周辺では流況が大きく変化している、ということが言えると考えています（図１３)。

それで、結論の（Ｉ）ですが（図１４)、湾内の潮流の駆動力は入退潮量ですから、干拓や湾の締め切りによって海表面積が減少すると、必然的に入退潮

締め切り前後で流れが変化したと思われる領域

図-13



結論(Ｉ)

■ 有明海等の内湾では，湾内の潮流の駆動力は入退潮量であるため，干拓や締切りによる海表面積の減少によって断面平均的に潮流は減少することになる(減少系)．減少率は数%でもベースの流速が恒常的に減少することになるので，その影響は大きいと思われる。(See地球温暖化による気温上昇)

■ 現況の諫早湾口付近の流れは大潮時に分岐・合流流れに近く，中潮・小潮時はキャビティフローに近い流れになるなど微妙なバランスの上に成り立った複雑なフローパターンを示している．一方，締切り以前は現況の大潮時よりも格段に大きな入退潮量となっていたことから，安定した分岐・合流流れであったと考えられる．

⇒この潮流パターンの大きな変化は有明海奥部の物質輸送に大きな変化を与えたものと思われる．

[参考文献]
■小松ら(2006)：有明海の潮流ならびに物質輸送の変化に関する研究，海岸工学論文集，第53巻，pp.326-330
■井上ら(1979)：沿岸域の海況調査方法としての多点船同時観測の有明海における試行の報告，月刊海洋Vol.11, No.5, pp.448-457
■竹辻内ら(2008)：DBF 海洋レーダおよびADCP を用いた諫早湾湾口部の流況観測について，日本流体力学会年会2008

図-14

量が減少して潮流は減少することになります。そういう意味では基本的に有明海の潮流は減少系にあります。減少率は数%ですが、これは恒常的に減少することになるので、その影響は大きいのです。たとえば、よく「有明海は流速の大きいときは 1～1.5m/s になり、1.5m の数%である数 cm 潮流が減少しても影響はないんじゃないか」と言われますがそうではないんですね。それは地球温暖化を考えてみたら良く分かると思います。過去 100 年間で地球の陸上の平均気温は 0.74 度上昇したと言われています。ところが 0.74 度上がった現在、いろんな大きな問題が出てきています。今のままだと将来、100 年後に 4 度上がるそうです。ところが、実は平均気温が 2 度上がったら、取り返しのつかない状況になるといわれています。たとえば、九州でも冬は 0 度ぐらい、または 0 度以下になると思います。夏の暑いときは 37 度とか 38 度になりますよね。40 度近い変動があるわけです。40 度近い変動の中で 0.74 度なんて無視できると思う人もいるかもしれませんがそうではないんですね。基礎となるものが、そのまま嵩上げされるということは非常に怖いことです。ですから、干拓等で全体の流速が減少系になっていけば大変なことになっていきます。数%でも決して無視できません。自然界というのは本当に微妙なバランスの上に成り立っていますので、恒常的に数%変化するということは大変なことなんですね。

それから、先ほどもいいましたように、現況の諫早湾口付近の流れというのは、大潮時には分岐・合流流れに近くて、中潮・小潮時にはキャビティフローに近い流れになるという微妙なバランスの上に成り立った複雑なフローパターンを示しています。締め切り以前は安定した分岐・合流流れであったと考えられますので、こういう流れの状況の変化は、物質輸送等に大きな影響を与えることから、これも大きな影響を与えるだろうと考えているところです。

今までの話が干拓等で汀線を人工改変することによって平均的にこういう変化が出てくるという話ですが、実はもうひとつ大事なことがあります。というのは有明海の場合は潮流が早くて、日本一大きな干満差によって潮流が非常に大きいということで、有明海特有の混合が大きい、濁りがあるという特徴があったわけですが、ところが本当のもう一つの大きな特徴は、干満が大きい、潮流が大きいということに加えて、干潟、干潟があったということなんですね。ところが、我々研究者自身もそのことにあまりピンと来てなかったように思います。その話をこれからやります。

２番目の話として、鉛直堤の設置によって混合力が低下するという話です（図１５）。これはどういうことかといいますと、上の図は何もない従来の干潟がひろがっている様子、本当は干潟の勾配はもっと緩やかですが、図が描きにくいので勾配をつけています。満潮のときは潮がきて干潮のときに干潟になる部分、潮間帯といいますが、この干潟がものすごく広がっているときにはどういうことが起こるかというと、たとえば、先ほども話したようにこの断面で見ると、満潮と干潮の差が入退潮量になるわけです。この入退潮量がこの断面を通過するわけで、それが潮流になります。これが陸地の方にいったらどうなるかというと、潮汐振幅の部分が出たり入ったりするわけで、この断面において出たり入ったりするものがこの断面の潮流になる。これがずっと陸の方にいくとだんだん水深が小さくなる。そうすると入退潮量は小さくなるんですが、干潟が広がっているときには水深も小さくなっていきますので、流速は変わらないんですね。ということで、干潟上では結構大きな流速が生じているわけです。ところが、これが直立堤が作られたらどうなるかというと、図１５の下の図のような直立堤があって、干満が下の図の潮汐振幅のようになっている。そうすると、流速の観測地点から直立堤までが入退潮量になりますので、この水深を通ってこの部分が出入りすると、矢印のような潮流がおきるんですが、この潮流が直立堤に近くなるとどんどん小さくなる。構造物に近くなればなるほどこの潮流の流速がどんどん遅くなって直立堤の前面ではゼロになるわけです。一方、干潟が広がる方は、近づいてもほとんど潮流は低下しないんです。ということは干潟が広がっていると、干潟上では結構速い流速が行ったりきたりしているわけですね。これが実は非常に大事なことです。有明海の場合は、諫早干拓の締切り堤の場合は図の下のようになっているわけですが、有明海の湾奥部ではここまで極端ではなくても、自然干潟と直立堤の中間ぐらいの状況が出てきています。これもまた後で詳しくお話します。

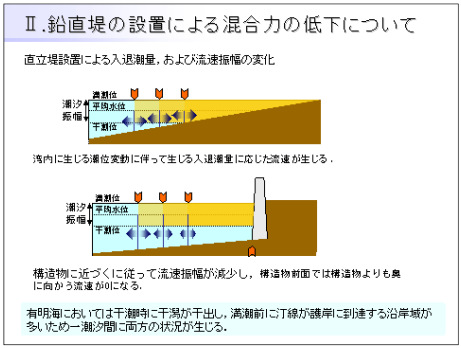


図-15

そうするとどういったことが起こるかというと、構造物がなくて干潟が広がっていると、先ほど言いましたように流速が落ちないんですね。落ちなくて早い流速が

出たり入ったりしているわけです。ところがさっき言ったように構造物があるとどんどん流速が小さくなってきます。おまけに水深が大きいですから、更に流速が小さくなっていきます。そうすると、こういう流速が遅い場合には、鉛直の混合力が弱くなってきます。一方で、流速が早い場合には鉛直の混合力が強くなる。だから干潟上ではこの直立堤がある場合と比較すると、鉛直混合が大幅に活発であるということが言えるわけです（図１６）。

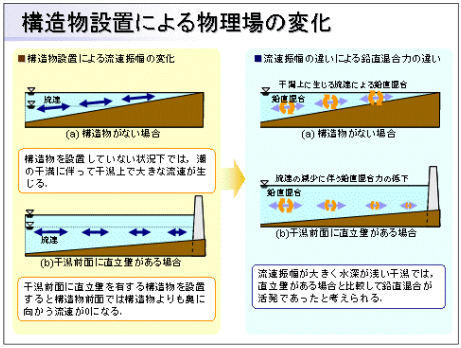


図-16

更に、干潟上の混合を促すもうひとつの要因があります。それが実は波なんですね（図１７）。たとえば、こういうふうに干潟が広がっていると、波が海岸に近づくときに、だんだん水深が浅くなりますから、エネルギーが集約されてきて波の波高が高くなります。しかも、波の下ではこういう流速が起こっていますから活発な流体運動が起こっているわけです。ところが、直立堤があると水深が深いために波が弱いですから、せいぜい直立堤に波がぶつかって反射するぐらいで、混合を促すような強い運動は起こらないわけです。

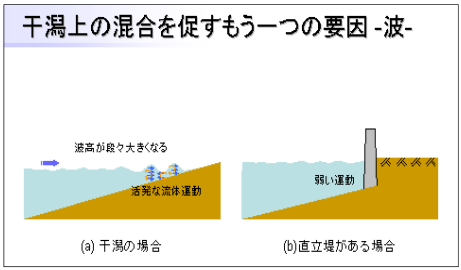


図-17

これを写真で見ると、これは昨年の12 月 10 日に諫早湾の潮受け堤防のすぐ横、島原半島側で撮った写真ですけれども、この辺りは、わりときれいな礫干潟で一面に干潟が広がっている場所です。この日は風のない凪の状態で、ほとんど波がなかったのですが、それで

干潟上の波（2007.12.10）

図-18

も干潟の上にくると波の波高が高くなって砕波しています。水深がものすごく小さくなりますから波が大きくなってくるわけです。こういうふうになると波の下ではものすごく混合しています（図１８）。

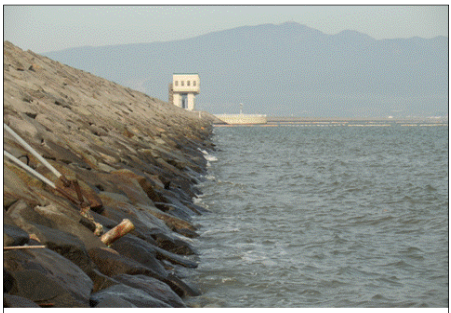
これは同じところですが角度を変えて撮ったものですが、きれいな凪で、遠くの方ではほとんど波がありません。ですが、干潟上では大きな波になっているわけです（図１９）。

同じ日の同じ時間に諫早湾の潮受け堤防の前で撮った写真ですが、波が護岸にぶつかって少し打ち上げていますが、ここではほとんど波がありません（図２０）。すると水深も深いですから、この下は波による水の動揺はおこらないわけです。だから護岸を作って水深が深くなる、大きくなるということと干潟が広がっているということは、物理環境としては、そこの流体の動きが全く違うということです。潮流も違いますし、こういう波によっても大きく違うということになります。

それで、干潟の奥の陸域の河川などから淡水・河川水が流れてくる場合を考えて見ます（図２１）。そうすると淡水が流れてくると干潟だったら波とか潮流が早いですから混合力があるわけです。そういうところに流れ込んできますからよく混ざる。混ざって

干潟上の波(2007.12.10)

図-19



締切堤前の波(2007.12.10)

図-20

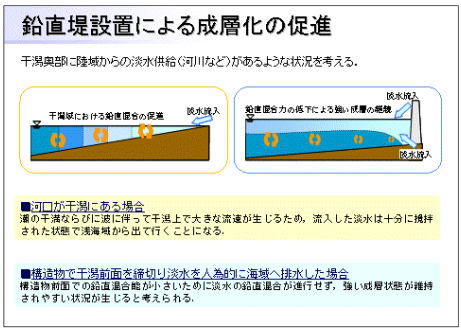


図-21

混合して、いわゆる成層化しにくい状況ができてきます。ところが直立堤などがあると混合力が弱い、波も影響を与えないということですから、たとえば淡水を水表面上に流しても海底面付近から流しても、下から流すと淡水は軽いですから浮きます。浮いて混ざり方が弱い状態でこういうふうに流れていく。ですから干潟のところに淡水が流れ込むのと直立堤があって流れ込むとでは混合力が全く違ってくるということがいえるわけです。その例を１つお見せしたいと思います。

これはちょっと違う話なんですが、筑後川の河口から 23km のところに筑後大堰ができたわけです（図２２）。潮の影響が到達するのがもう少し上のほうまでですが、ここでせき止められたわけです。そうするとこの No1 という地点で、それぞれ表層と中層と底層で塩分濃度を測っているのですが、筑後大堰は昭和 59 年に竣工なんですが、表層、中層、底層の塩分濃度がそれまではこういう感じできているわけです。ところが筑後大堰が竣工した途端に塩分濃度が上がって、幅が非常に広くなっている。ということは、基本的に塩分濃度があがって、かつ表層と底層で塩分差が大きくなっているということがわかるわけです。筑後大堰の場合は河口よりもだいぶ上流にありますから、比較的影響は弱いのですが、それでもここで入退潮量をせき止めることによって川の河道の混合力が弱くなっているということがいえる。このデータから見ても明確に見て取れるわけです。

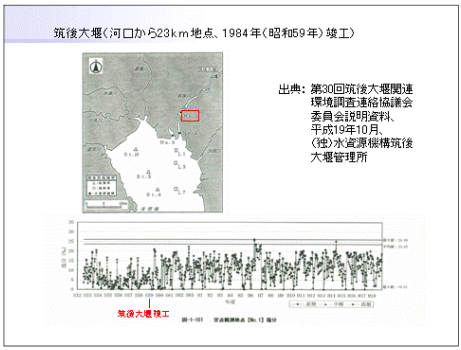


図-22

潮受け堤防や直立堤のあるなしによって成層度が大きく変わるのではないかということを我々は主張しているわけですが、諫早湾において潮受け堤防建設前の状況はどうだったかというと（図２３）、諫早湾内に干潟が発達して

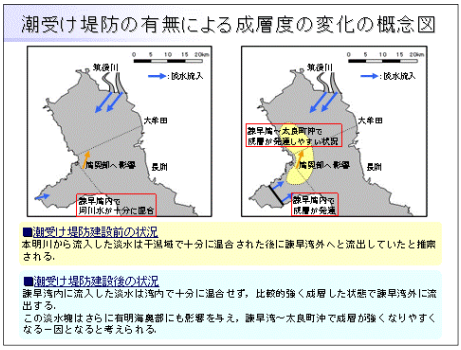


図-23

いて本明川から淡水が流れてくるわけです。ところが先ほども言いましたように干潟上では海水が活発に動いていますので本明川から流れてきた水は混合して出て行ったのではないかと思います。もちろん諫早湾の外に対しても境界条件として影響を与えますので、諫早湾がよく混ざっていたということは有明海の湾奥側にも影響を与えます。もちろん湾奥のほうについては筑後川の影響が一番大きいわけですが、諫早湾側の影響も及びます。ところが、これが今の潮受け堤防ができて、その前面で混合力が非常に落ちているということになると、この潮受け堤防からの調整池の淡水の排水が充分混合しない状況で出て行って、湾奥側に対しても境界条件として影響を与えるということで、成層化が進み頻繁に貧酸素水塊が発生することにつながると思われます。成層が強くなると貧酸素水塊ができやすくなります。層ができると下層に対して酸素の供給がなくなりますからね。これが混ざっていれば表層からの酸素の供給がありますけど、層ができて下の水が上に行くことはないですから、下の水の酸素が消費されると供給はされませんので貧酸素水塊が発生します。ですから成層化するということは環境にとっては非常に悪いわけです。潮流が弱くなる、全体的な潮流が弱くなるということと、干潟がなくなるということが成層化を助長しているのではないかと考えています。

結論の（Ⅱ）ということで（図２４）、干潟上は水深が浅いことから大きな潮流流速が生じる。それから、波によるオルビタルモーション、これは何かというと波が来ると波の下というのは流速があって動いている。　一方向ではなくて往復運動をします。波が大きければ大きいほど往復運動は強いですから、干潟上で波の波高が大きくなると、波の下では激しく水が動いているということが言えるわけです。この干潟上で潮流も大きい、かつ波による流れも非常に大きいということはもっと評価されていい干潟の特性です。ところが我々研究者自身もどうもこの物理特性に気がついていなかったというか認識なかったということを反省しております。

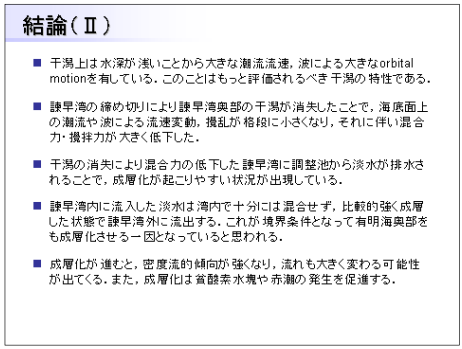


図-24

諫早湾の締め切り等によって干潟が消失したということで海底面上の潮流や波

による流速変動、攪乱が非常に小さくなっている。それによって混合力、攪拌力が低下してきている。それで調整池から淡水が排水されると非常に成層化が起こりやすい状況が出現している。それが諫早湾だけでなく有明海の奥部に関しても、当然境界条件として影響を与えるということで成層化を進める一因になっていると思います。

成層化が進むと、密度流といいますがそういう傾向が強くなり、流れが大きく変わる可能性がある。また、成層化というのは貧酸素水塊や赤潮の発生を促進する。貧酸素水塊を促進するということは先ほどお話しました。では、なぜ赤潮の発生を促進するのかというと、熊本県立大学の堤先生がよく言われているのですが、川から水が流れてくる。川の水はたくさん栄養分を含んでいて、それが成層化しているところに流れてくると、表層近くを河川水が流れることになる。そこに太陽光があたり、酸素の供給があり、栄養塩も充分にあるとなると、そこに赤潮が発生するわけです。ところが、もし栄養分を含んでいる河川水が入ってきても、すぐ混ざって上も下も同じ状況になっていると赤潮は発生しにくいんですね。ですから、成層化というのはどうも海の環境に対してろくなことはしていないということがいえます。

もうひとつは、昔から「三尺流れれば水清し」といいますが、どうも流れがあると環境にも生態的にも、いいということが言えそうです。澱むとろくなことがない。そういう意味では干潟上というのは非常に流れが大きいです。波の影響、潮流の影響で。ですから、今、干潟の泥化、細粒化が問題になっていますけど、きれいな干潟が保たれていると泥が溜まってもすぐに攪拌される。攪拌、溜まる、攪拌、溜まる、といったものが繰り返されていれば、泥化の問題も変わってくるのかなと思います。いずれにしても、流れが大きくてよく混ざっているとか、流れが大きくて底質を巻き上げたりしている状況というのは環境にも生態系にもいい影響を与えていたといえると思います。最初にお話したように有明海というのは、干満差が大きい、潮流が大きいということが特徴だったのですが、それプラス干潟があって干潟上で非常に大きな混合力を持っていたというのも大きな特徴だったわけです。

次は、今まで諫早湾中心にお話してきましたが、有明海奥部のほうも長期にわたって大きな改変が行なわれてきています(図２５)。たぶん、大昔はこういう干潟だったのだろうと思います。それが現在はこのように直立堤があったり、そこまで極端じゃなくても少し引いたところに直立堤、護岸があってその前面に干潟が広がっていたり、それから広大に干潟が残っているところも部分的にはあるだろうと思います。以前はこうだったのが現在はこういう状況に改変されて、有明海のほとんどが図２５の（b）のような状態だと思います。諫早湾の潮受け堤防は（a）の状況に近いと思います。(c）のような広大な干潟が何もない状態で広がってるという場所はもうほとんどないだろうと考えています。

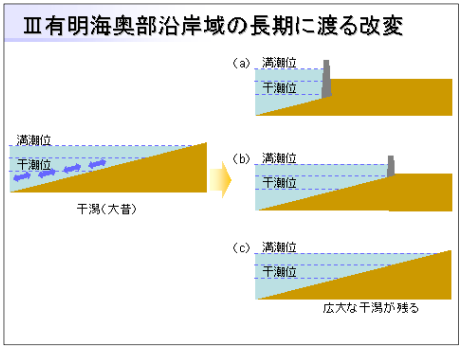


図-25

それで、実際に今はどういう状態なのかきちんと調査をしないといけないということで調査をやりました（図２６)。有明海というのは有明～長洲ラインより奥が非常に大事だと思います。熊本沖も大事ですが、基本的には奥が非常に大事だと考えているわけで、有明海奥部の沿岸域が今どういう状況なのかをきちんと押えようということです。どういう状況なのかというのは、

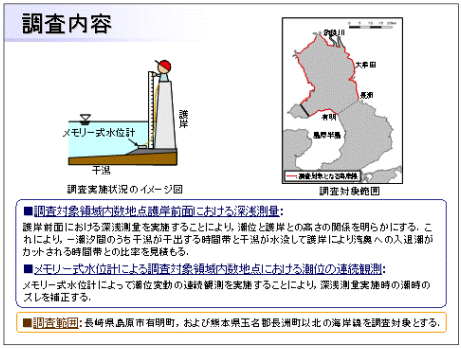


図-26

・図２５の３つのパターンのどれに所属するか、

・平均潮位と護岸堤の根元の部分との位置関係、干潟があるけれども平均潮位が護岸堤の根元の部分より上にある場合や下にある場合などいろいろあるだろうと思います。また、もし広大な干潟まだ残っているのならどこに残っているのかなど、有明海の奥がどうなっているのかきちんと把握しようということで調査を行なったわけです。

このスライドは予備調査を行った場所ですが、福富干拓前、鹿島市周辺の状況です。太良町周辺ではテトラポッドがいっぱいありまして、テトラポッドはあってもいいんですが、とにかく護岸の根元と平均潮位との関係がどうなっているのかを一番知りたいわけです。小長井漁港の前、瑞穂漁港の周辺、有明湯江漁港の周辺ということで、じゃあ、具体的な平均潮位との位置関係はどういう風になっているのかということです。

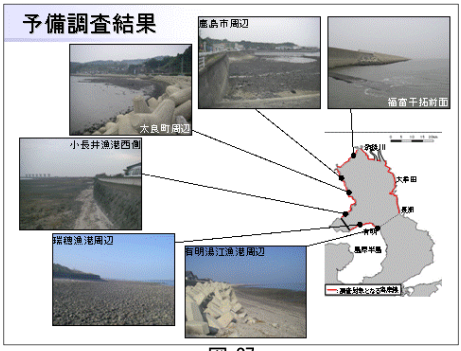


図-27

結論（Ⅲ）ということで書いていますが（図２８）、有明海奥部には完全な干潟は少ない。多くは満潮時には直立堤、護岸まで水が達し、それ以上の水の浸入はさえぎられている。中には干潟がほとんど見られない箇所もある。つまり、有明海奥部においても福富干拓など長年にわたって大規模な干拓が行なわれてきており、干潟が消失して、干潟上は大きな流速があって混合力が卓越しますが、そういう干潟の特性がかなり失われているということです。

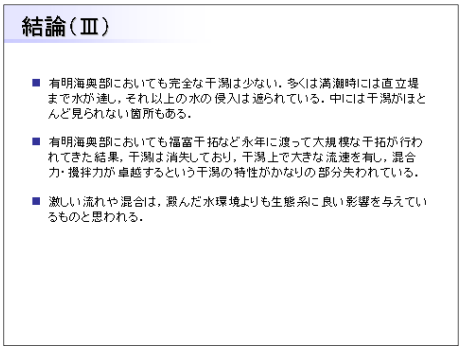


図-28

さきほど干潟上では流速が大きいということを話しましたが、計算を行ってみました（図２９）。干潟の勾配をθとして干潮から満潮まで、この間が干潟になるわけですが、干潟上でどういう流速になるかは理論的には連続の式を解くだけで簡単に求まります。

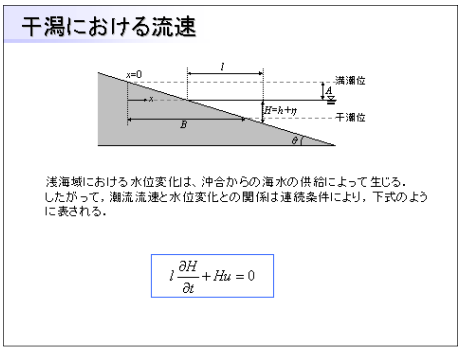


図-29

結果をみると、潮流の流速というのはこういうふうに表現できるんですが、これは時間の関数ですので最大潮流流速というのは潮流流速振幅の部分で決まります。ということは、最大潮流流速は、干満差とかは決まっていますので、潮汐の周期も M_2潮が一番代表的ですから決まっているので、結局干潟の勾配によってだけ変わってくるわけです。そうすると、干潟の勾配が緩やかだったら干潟上で 2m/s ぐらいの流速はすぐ出てきます。わりと岸の近くでも干潟上で非常に大きな流速が、こちらも勾配が非常に緩やかで水深が小さいですから結構大きな数字の流速が出てくるわけです。とにかく勾配によって最大流速が変わってきます（図３０）。

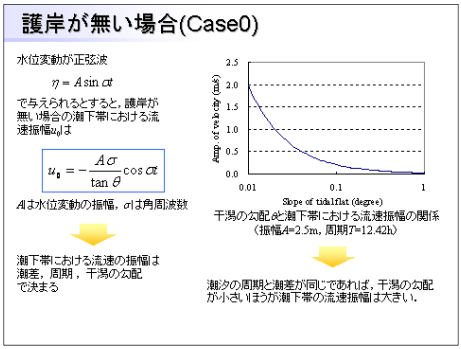


図-30

では、まず最初に干潟の前面に護岸や直立堤があって、潮が入ってこないときの流速はどう変わるかということで計算してみたのがこれです(図３１、図３２)。構造物・護岸がない場合でも干潟の最先端のほうに行くと流速は落ちてきますけどほとんど一定を保っています。図３２の横軸の１までが干潟です。ところが干潟の前面に直率堤がありますと、直立堤の前で流速が小さくなります。図３２の左のグラフが直立堤がない場合です。直立堤がないとこれだけの流速をもっているのに、干潟の前に直立堤ができるとこんなに減速して流速が落ちてしま

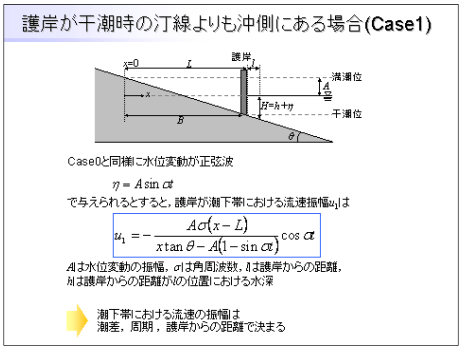


図-31

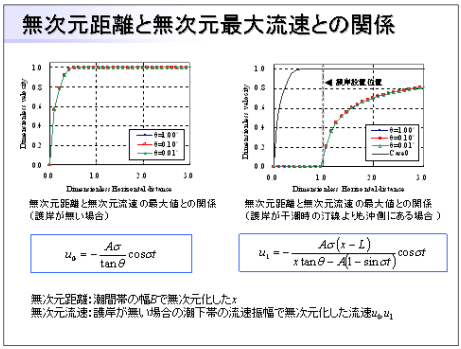


図-32

うわけです。ですから先ほど言ったように直立堤がなければ干潟上であっても流速は早い。これを直立堤でさえぎるとその前面では流速がガタッと落ちてしまうということです。

次は、もともと干潟に相当する部分、干潟がここで満潮がここで、その間の部分のこれが干潟です。この範囲に護岸があるとどうなるか（図３３）。有明海の奥の方というのはほとんどがこのパターンです。満潮のときは護岸に潮がかかり、干潟のときは前面に干潟が広がるというパターンですね。この護岸の位置がもう少し沖のほうにあるか手前にあるか、沖のほうにあるときが諫早湾の潮受け堤防ということになるわけです。手前にあれば干潟が完全に残っているわけです。でも実際はこの中間に護岸があります。この中間に護岸がある場合に、満潮の線に近い方に護岸があるとほとんど影響がでてきません。真ん中当たりでもそれほど影響はないです。これは最大流速を見ていますので、干潟の真ん中あたりまでは影響がでてこないんですね。ところが沖の方にまで護岸が出てくると、その前面というのは流速が減速して下がってきます。さらに沖の方に護岸があると、こういうふうにぐっと下がってきます。護岸が干潟の範囲のどのあたりに設置されているかで大きく変わってくるわけです（図３４）。

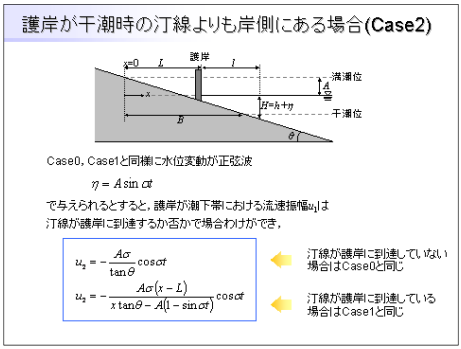


図-33

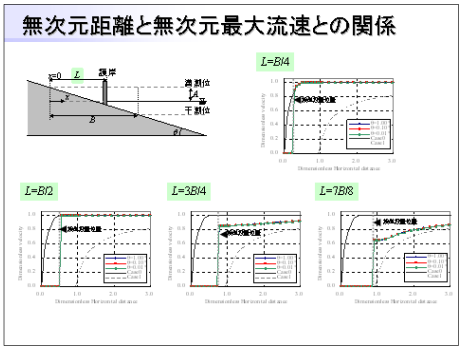
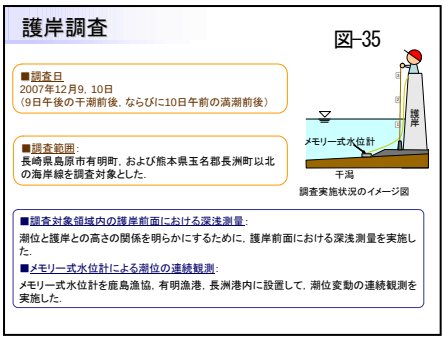
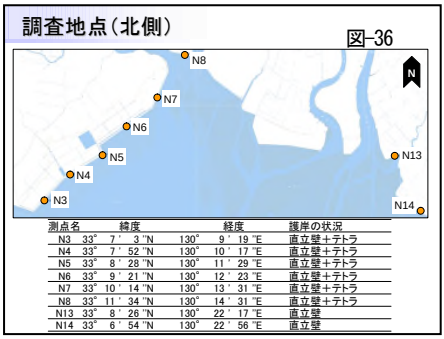


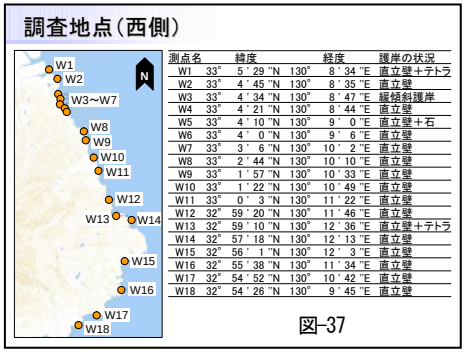
図-34





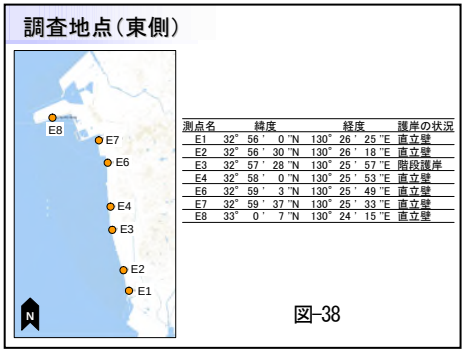
測点名	緯度	経度	護岸の状況
N3	33°　7′　3″N	130°　9′ 19″E	直立壁＋テトラ
N4	33°　7′ 52″N	130°　10′ 17″E	直立壁＋テトラ
N5	33°　8′ 28″N	130°　11′ 29″E	直立壁＋テトラ
N6	33°　9′ 21″N	130°　12′ 23″E	直立壁＋テトラ
N7	33°　10′ 14″N	130°　13′ 31″E	直立壁＋テトラ
N8	33°　11′ 34″N	130°　14′ 31″E	直立壁＋テトラ
N13	33°　8′ 26″N	130°　22′ 17″E	直立壁
N14	33°　6′ 54″N	130°　22′ 56″E	直立壁

では、有明海の奥部はどうなのかということで調べてみたわけですが、これが有明海の一番奥のところです（図３６）。これが西側です（図３７）。図に示している箇所で護岸と平均潮位の関係がどうなっているのかを見ています。これが東側（図３８）です。それで、まだ完全にデータを整理し終えていないんですが、実施状況ということでお話すると、護岸の付け根までの深さを測って平均潮位になったときに、どの位置にきたかを測っていった。その結果なんですが（図３９）、このゼロというところが護岸の付け根と考えてください。この棒グラフの先端がほぼ平均潮位の位置だと見ていただいたら結構ですが、平均をとるとだいたい－1m ぐらいですね。ということは平均潮位が護岸の付け根よりも 1m 低いところにあるという場所が多いということです。平均潮位より水位が 1m 上がったときにちょうど護岸の付け根ぐらいに水位がきて、それより水位が高くなると護岸にひっかかるところが多いということですね。ですから、有明海の奥というのは本当は、この図（図 39）で 2m とか 2.5m ぐらいのところにデータがあ



測点名	緯度	経度	護岸の状況
W1	33°　5′ 29″N	130°　8′ 34″E	直立壁＋テトラ
W2	33°　4′ 45″N	130°　8′ 35″E	直立壁
W3	33°　4′ 34″N	130°　8′ 47″E	緩傾斜護岸
W4	33°　4′ 21″N	130°　8′ 44″E	直立壁
W5	33°　4′ 10″N	130°　9′　0″E	直立壁＋石
W6	33°　4′　0″N	130°　9′　6″E	直立壁
W7	33°　3′　6″N	130°　10′　2″E	直立壁
W8	33°　2′ 44″N	130°　10′ 10″E	直立壁
W9	33°　1′ 57″N	130°　10′ 33″E	直立壁
W10	33°　1′ 22″N	130°　10′ 49″E	直立壁
W11	33°　0′　3″N	130°　11′ 22″E	直立壁
W12	32°　59′ 20″N	130°　11′ 46″E	直立壁
W13	32°　59′ 10″N	130°　12′ 36″E	直立壁＋テトラ
W14	32°　57′ 18″N	130°　12′ 13″E	直立壁
W15	32°　56′　1″N	130°　12′　3″E	直立壁
W16	32°　55′ 38″N	130°　11′ 34″E	直立壁
W17	32°　54′ 52″N	130°　10′ 42″E	直立壁
W18	32°　54′ 26″N	130°　9′ 45″E	直立壁

図-37



測点名	緯度	経度	護岸の状況
E1	32°　56′　0″N	130°　26′ 25″E	直立壁
E2	32°　56′ 30″N	130°　26′ 18″E	直立壁
E3	32°　57′ 28″N	130°　25′ 57″E	階段護岸
E4	32°　58′　0″N	130°　25′ 53″E	直立壁
E6	32°　59′　3″N	130°　25′ 49″E	直立壁
E7	32°　59′ 37″N	130°　25′ 33″E	直立壁
E8	33°　0′　7″N	130°　24′ 15″E	直立壁

図-38

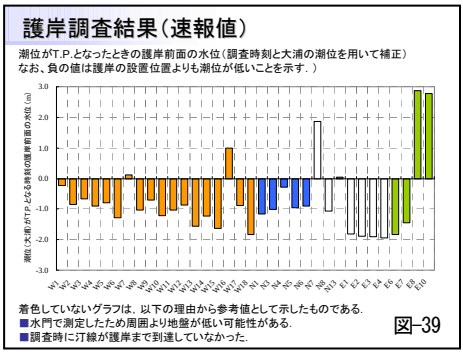


図-39

ると一番いい。それはどうしてかというとこの辺にデータがあるということは護岸の付け根から 2.5m ぐらい低いところに平均潮位があるということですから、満潮のとき、最満潮のときにちょうど護岸の付け根に水位が来ている。ということは干潟が前面に広がっていて最満潮のときに護岸の付け根に水が来ているということですから護岸は邪魔をしていないわけです。それでも平均潮位が-1m から-1.2m ぐらいにありますから、有明海の奥はまあまあそんなに悪くないといえる感じですね。

　ということで、有明海についてはもっと詳しい分析をやる予定ですが、結論としては、有明海はやはり我々人類によってこれまで大いに利用されてきた海ですが、干拓等によって干潟が消失してきたことが有明海の環境を大きく変えた一番の要因だろうと考えています。有明海の湾奥のように護岸があってもその前面に干潟が広がるような状況はまだ許容できるけれども、直立堤で前面に全く干潟がないような状況というのは環境にとっては極めて良くないということが言えると思います。以上です。