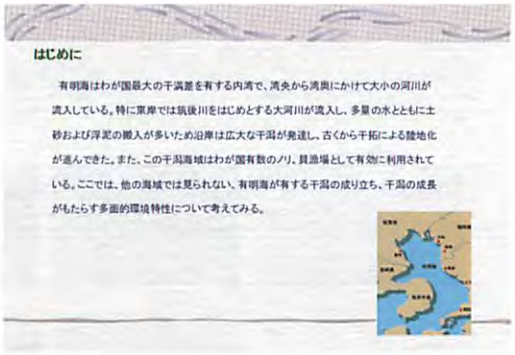
干潟の成長とそれに伴う環境問題

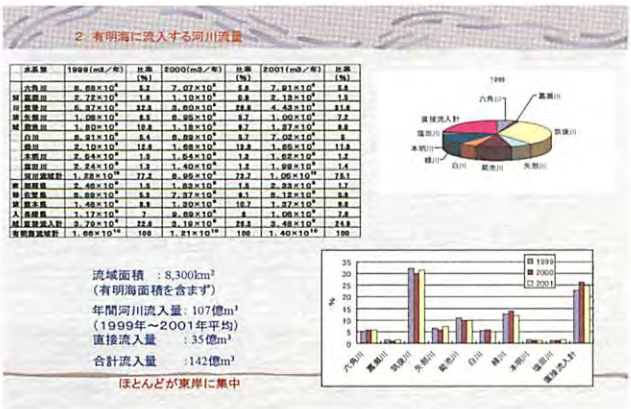
佐賀大学　加藤 治

干潟排水ということも少し入れた形で、干潟というものの非常に良い事と、困る事があるというふうな事で、お話をさせて頂こうと思っております。

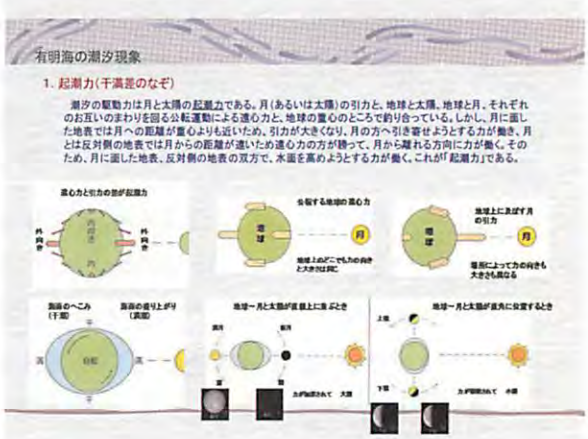
ご承知の様に有明海はこういう形をしておりまして、日本で一番大きな干満差を有しております。それから、一級河川8本と2級河川約100本の川が入ってきております。それともうひとつは非常に閉鎖性の湾であるという事です。そういう事から干潟が非常に発達しておりましたので、昔から干拓が普通に行われていました。干拓というのは、今色々問題になっておりますけれども、昔は争い事をせずに自分の土地を作る事が出来るという点で非常に利用されたのだろうと思います。ですから少し自分の前の干潟を囲ってやればすぐに陸地になる事が出来たという事で、発達した干潟を干拓地にしてきたという事だと思います。もうひとつは、この干潟域というのはご承知の様に非常に有数な海苔の漁場でありますし、又、本来二枚貝の漁場でもあったわけです。そういうものをいかにして、これから問題になる所が有るならば、それを何とか解決していく方法がないだろうかと考えていくのが使命だというふうに思っております。



有明海の概要でございますけれども、大体伊勢湾と同じ位の面積1700平方kmです。この早崎の瀬戸から住ノ江までの距離が約96km有ります。それから、ここに諫早湾が有りまして少し凹凸はあるのですけれども、大体平均の幅が大体18km、非常に浅い海でありまして、深い所は確かに200m位の深さの所が、ごく一部あるのですけれども、平均しますと平均水深は20m位しかないという事です。湾口のその距離が5kmから6km弱で

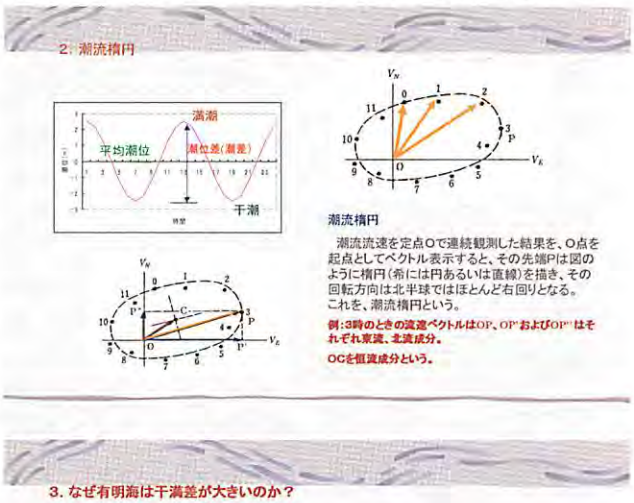


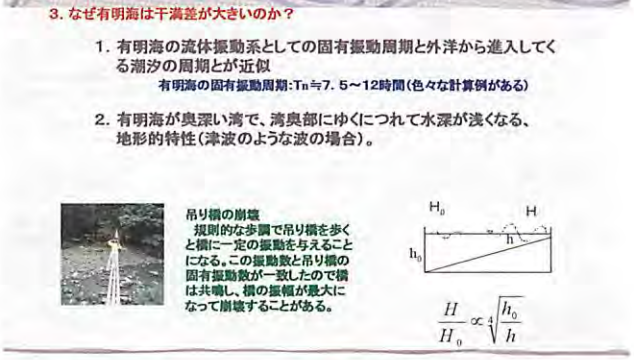
す。それ位の非常に狭い所から東シナ海と水のやり取りをしているという事でございます。もうひとつ大きな特徴は、やはり干満差が 6m 近くあるという事です。これは勿論日本においてはここ有明海だけであります。これは写真を撮って満潮の時と干潮の時の様子を調べたものですけれども、ともかくこの干潮の時は道路になっている所が、満潮になると海になってしまうという事はずうっと言っている事であります。



何故、こういうふうな潮汐現象が起こるのかという事で簡単にご説明したいと思います。干満差が起こるその力を起潮力と言いますけれども、これは太陽と月との地球の位置関係によるもので有りますという事なのです。月と太陽の起潮力には、まず、月或いは太陽の引力です。重たい物が二つ並んでいますとその二つの間に引力が働きます。そういう引力と、それからもうひとつは地球と太陽、或いは地球と月とがそれぞれお互いの周りを回っています。回っていますのでそれに対して、私達が何かボールを紐に引っ掛けて回す時に遠心力が働きますが、あれと同じ様に遠心力が働きます。外向きに遠心力と、それからお互いに引き合う引力です。この二つの力が存在する。そのバランスというか、力の大きい小さいによって潮の満ち引きが起こる。つまり引力の場合は距離に比例しますので、地球と月との距離です。つまり月に面した所とそれからその反対側とでは距離が違います。そうすると引力の強さが違うのです。こちらは引力の強さが強い、こちらは非常に弱いという事になります。これは、遠心力は中心に対して働きますので、どこを取っても同じであるという事なのです。この力とこの力を加え合わせてやりますと、ここにおいては引力の方が強くて、反対側の方は遠心力の方が強くなるという事になります。外向きの力がかかって、そういう時に地球上を覆っている海水を引っ張ります。そういう引っ張った所がつまり水深が大きくなって満潮になる。それと逆に、その反対に直角方向は捉えた状態で干潮になってしまうというふうな事になるのです。月と地球と太陽との位置関係によって、満潮になったり干潮になったりします。更にもうひとつ、大潮と小潮というのがあります。大潮と小潮というのは、太陽と月と地球とが一直線に並んだ時には、月との引力と太陽との引力と両方とも働きます。ですから非常に大きい力になって、大潮になります。それに対して太陽と地球と月とが直角の関係になっている場合は、この方向にも力もあるし、こちらの方向にも力があるという事で、結局分散されてこういう場合は小潮になります。こういう形で潮の満ち引きが起こっているのです。つまり大潮の場合と小潮の場合、太陽と地球と月です、地球から見ている時にお月さんはどういう位置関係、どういうふうに見えて

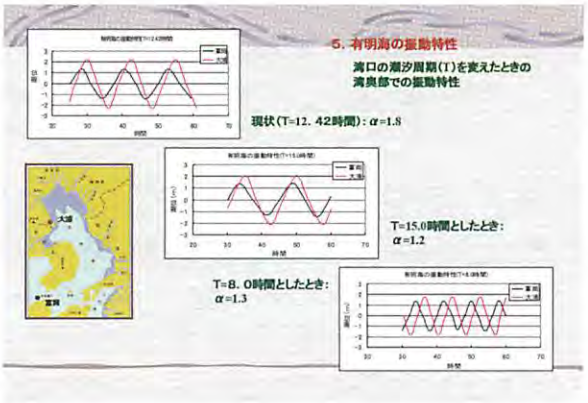
いるかというと、今のこういう状態が満月になります。これは、太陽が地球の裏側を照らしていますので、この場合は新月です。それから、これがお互い上弦と下弦という形になり三角形になっているわけです。こういうふうな形で、地球と月と地表の位置関係になっています。ここで青い所が大きくなったり小さくなったりしていますのが、大潮になったり小潮になったりしているという事でございます。ところが、この純粋にこの計算でされます月と地球との、天文潮と言いますけれども、それだけで例えば太平洋で引っ張られたとしますと、その時は実は大潮の時でも 50 センチ位しか引っ張られないのです。小潮の時は、実は 28 センチと書いてあります。これ位しか引っ張らないのです。ところが実際、有明海は 5 メートル 50 とか 6 メートル近くなるというのは、地形の影響によって非常に大きく変るという事なのです。地球上で一番干満差が大きいと言われていますカナダのファンディ湾という所では、15 メートルか 16 メートルの干満差があると言われています。まさに地形的なものであります。それから韓国の仁川という空港の近くですが、今そこは干拓をしていますけれども 10 メートル位の干満差があります。日本では有明海で大体 5 メートル 5.5 メートルで、これが日本においては一番最高である。日本の関東以北の太平洋岸では、大体 1 メートルから 1 メートル 50 の大潮位。満潮はその位しかありません。それから東海から西の方にかけますと少し大きくなります。瀬戸内海でもやはり少し内海になって、そこは 3 メートル位になります。それから日本海側は非常に小さい。これはまさに先程申し上げました所謂地形の関係のものであるという事になります。これは所謂干満差が非常に大きい所では、特にアマゾンのコロロフは非常に有名です、アマゾン川に波がバァーと押し寄せて来る、中国にもあるみたいですけれども、これもそういう大潮の時に起こります。少し言葉の整理をしておきたいと思いますけれども、縦軸が潮位です。横軸が時間で、満潮からずっと干潮になって、又、満潮になっていくという事なのです。それを繰り返している訳です。この上の所は満潮で下の所が干潮である。その満潮と干潮との差を私達は潮差と呼んでいます。先程申しました有明海はこの潮差が 5.5 メートルになるという事です。それから流れを表わすのに我々は『潮流楕円』こういう言葉を使います。中心から 0 時の時にこういう方向に流れがありますという場合、こういうベクトル図で書きます。それからこういうふうにずっと書いていくのです。干満差がありますと満ちたり引いたりするのですけれども、決して同じ所には行きません。大体、こういうふうに少しずつ動いていきます。こういうものを連ねたものを、我々は潮流楕円と呼んでいます。これは有明海の各地、実際に測定した所の潮流楕円を示しています。比較的往復量がこういう所は比較的往復量が画一で横にいったりしませんけれども、広がった所においては潮流楕円が起こるという事です。



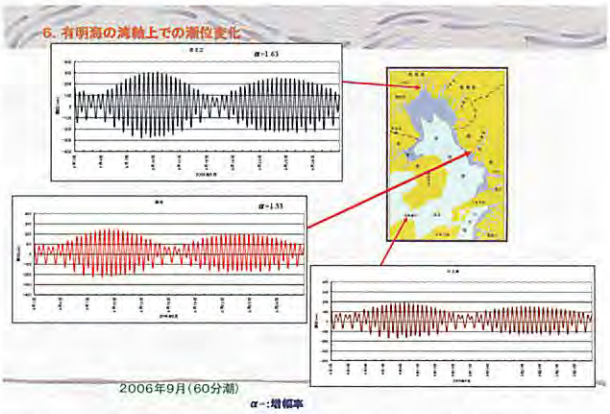


では何故有明海ではこういう干満差が大きくなるのだろうかという事を考えてみようかと思います。これは少しこちらの方を先に見て頂きたいと思います。これはつり橋なのです。つり橋に人が渡っていますと、やはりその人が渡る事によって振動が加えられますから揺れます。その揺れる周期、行って帰ってくる時間です。その周期が、この実はつり橋自身が持っている周期があります。これは、揺らした時に自然にずっと

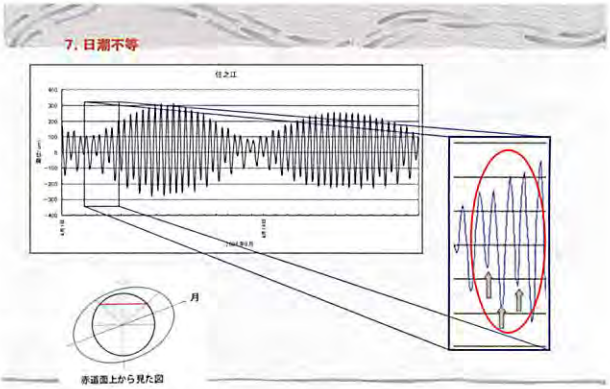
行ったり来たりする時間です。その時間と人間が乗って動かしているその周期とが、非常に近くなりますと拡大されるのです。それは例えば、私達が何か笛なんか吹く時に小さい物に何か大きな竹を付けますと大きな音になります。あれと同じ様に、共鳴現象みたいな形、ああいうふうな振動現象でありまして、それが増幅されるという事なのです。少し難しい言葉で言いますと、水が持っている固有周期、これは地形によるわけです。地形周期とそれから波です。その潮汐というのは先程、満潮、干潮という話をしました。これは月と地球と太陽との位置関係で、これはある程度私達は計算する事が出来ます。ですから我々は有明海の何月何日何時何分の潮位はこれ位であるという事を計算で出す事が出来ます。ただ、現実は気圧の問題とかふうの問題とかありますので少しずれますけれども、一応我々はそういう計算が出来る。ですから皆さん方が釣りをされる時に釣り屋さんに行きますと、100 円位で潮汐表を売っていますけれども、あれは全部計算で求めたものであるわけです。そういうふうな潮汐の周期というのは分かります。この周期とその地形が持っている固有周期とが非常に近くなりますと、先程申し上げました様に非常に増幅されてくるという事なのです。有明海の固有周期はどれ位なのかという事なのですが、これは計算の仕方で色々説があり難しいのですが、一番短いものでは、7.5 という話もあるし、12 時間という話もあります。それに対してこの潮汐の方は、大体 12.5 時間位の周期があります。ですから、これは後で申し上げますけれどもいろいろ計算する事によって、どちらが本当に近いかという事をある程求める事が出来ます。それから、もうひとつは有明海ではあまり無いと思うのですけれども、こういう現象よりも周期の方が大きいと思うのですが、湾口の方と湾口から湾奥に従って、ずっと次第に浅くなっている場合、矩形状態で非常に浅くなっている場合、そういう場合はこれは理論的に一応ここが大きくなるというのは計算で求められます。そういうふうなものと量とが兼ね合わさってこういう非常に大きな干満差が出来るというふうに考える事が出来ます。これは我々がオープンキャンパスという高校生とか市民の方々に来て頂いた時に見せたひとつの模型なのですけれども、固有周期というものを少しやった。非常にラフな実験です。1 メートル 40 で、幅が 20 センチ位のアクリルの水路を作ったのです。そしてこちら側に少し大きいタンクを作りまして、ここで、要は物を入れたり出したりする訳です。潮汐です。ここで矢印をしておりますけれども、これを上げたり下げたりするのです。そうすると波が起こります。その時に、この近くとこちらでは、波がどうなっているかという事を調べたものです。これは、色々出したり入れたりする速さを変えますと周期が変わります。そうしますと、この一例ですけれど、こちらの方ではこの位の潮汐しか出なかったものが、湾奥では少し大きくなっている事を見て頂けますでしょうか。これが固有周期による増幅なのです。ですからこれが、この水槽が持っている固有周期がもっと近ければもっと大きくなるだろう、一応これは綺麗な水路ですから計算は出来ますので、それに近い物を作れば良いのですが、なにぶん、手で上げたり下げたりしていますので、余り上手くいってはおりませんが、一応増幅している事がご理解頂ければという事です。これが実際に波を測定したものです。これは記録計で測定したも



のです。それを今度は、実際にやる事ができませんので、所謂コンピューターで計算してみたのです。湾が持っています先程の固有周期というのは、7.8 時間位から 12 時間位迄、結局この富岡からこの 96 キロを使って計算しますと、周期が小さくなるのですが、「実際はもう少しこちら側も影響しているんじゃないか」という事で、こちらからこう行きますと 12 時間位です。ですから、「それは実際に計算してみて合わせてみないとしょうがないだろう」という事なのです、取り敢えず我々はこういう実験をしてみました。数値実験です。実際には出来ませんので、現状は 12.42 時間で潮汐を与えます。それで実際の地形のデータを与えまして、ここに波を与えて、計算してここの潮汐がどういうふうになったかという事をコンピュータで計算させます。富岡という所の潮汐を青の方で与えました。そして、大浦の所の計算結果がこう、確かに増幅している事が分りました。それを同じという事は絶対に有り得ないのですが、この波の方の 12.4 を 15 時間にしてみた。その時の有明海の周期は変わりませんから、15 時間にすると、やはりこれで、この上がり方が少なくなりました。更に今度小さく 8 時間にしますと、これも小さくなって、結局これが 1.8 倍、つまり元の波との比が満潮と干潮の潮差です、その比が 1.8 倍であったものが、15 時間の周期で与えると 1.2 倍にしかならない。更に 8 時間にしても 1.3 倍にしかならない。現実はどうなのかというと、大体 1.8 位ですから、こういう周期というのは、15 時間よりも 12 時間に近い、8 時間よりも 12 時間に近いものであろうというという事が一応分かります。これが固有周期による増幅を表しているという事です。実際の波で計算してみました。これは 2006 年 12 月です。12 月 23 日ですからこういう潮汐があります。これから満潮に向かうのです。口之津という入り口の所の潮汐がこういうふうな形です。これを 1 とします。調査の大潮の時の潮差を 1 とします。そうすると、この熊本で計算したものが 1.33 倍以内です。更に、この住ノ江で計算しますと 1.63 倍になります。というふうな形で確かに増幅している事が分かります。

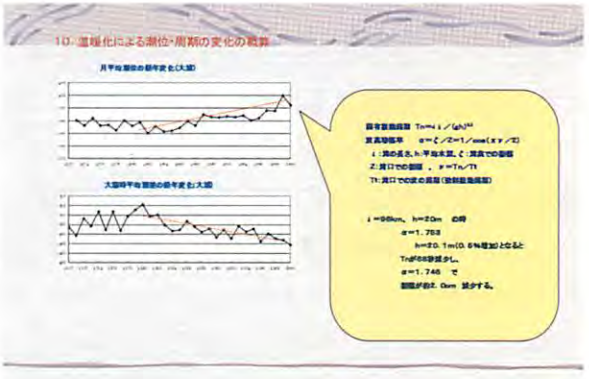


それからもうひとつ潮汐です。おもしろい現象が起きているのです。それはどういう事かと言いますと、上の方はあまり変わらず綺麗にこう行くのですけれども、下の方は、干潮の方は非常に小さくなったり大きくなったりして、ギザギザになっているのです。何故このような事が起きるのか、これを私達は『日潮不等』と呼んでいます。つまり、「一日で等しくない」です。日潮不等と呼んでいます。これは理論的に言いますと、つまりこの地球のこの赤道と太陽の所謂交点、回転する軸とがこれだけずれています。そうすると、例えば、こちらから光が、太陽が当たったとします、こちら側はこれだけの所謂潮差があります。地球は一日に一回ずつこう回転しています。ですから例えばこの場合ですと、この長いここの場合はこの値で入れる、こちらの短い方は実はこれだけの短い、この角度が付いている事によってそういう事が起こる。ですから、これは実は赤道上に来ますとこういう事は非常に少なくなるという事になるのです。こういう日潮不等というのがあるのです。

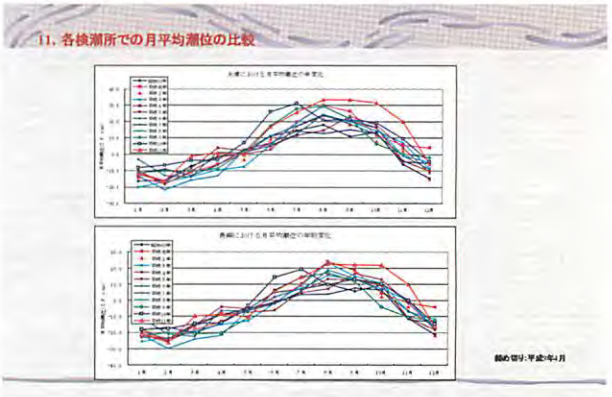


さて、この潮汐です、最近非常に気になる事があります。これは皆さん方もよく新聞なんかでも見られていると思いますけれども、ひとつは月平均潮位がどういうふうに変わってきたかという事を示して

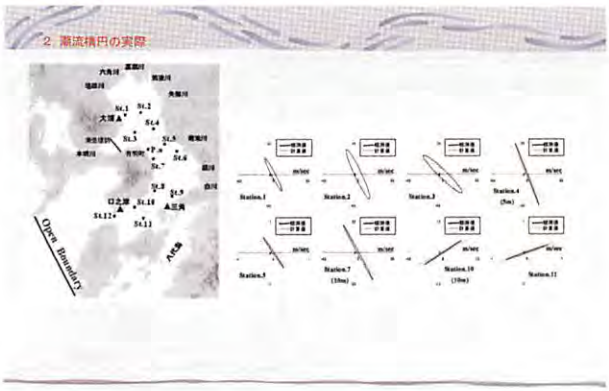
います。大浦と三角と長崎、長崎は一応何を意味するかと言いますと、要は有明海の外という事を意味しています。大浦の、所謂平均潮位というのは、満潮と干潮を全部足して平均したものです、それがこの辺から段々増加してきます。トレンドでいきますと、赤の線で増えてきているのではないかという事です。三角もそうです。長崎はどうかと言いますと、やはり長崎も少し増加している。これは今、有明海においては色々な問題点があると言われていますけれども、それ以外の要素でも上がっている可能性がある。ひとつは温暖化現象であるとか他の現象があるかもしれないという事です。

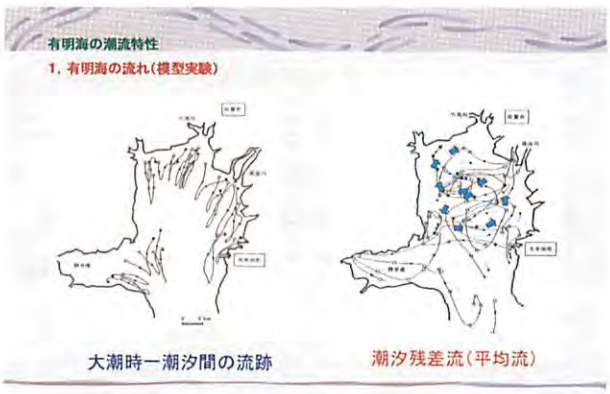


それから今度は平均の潮差、干潮と満潮の差です。干潮と満潮の差がどういうふうに変化してきたかという事を調べています。そうすると大浦の場合はここからこう上がってきまして今度は下がってくるのです。ずっと、1966 年位から下がってきています。三角も同じ様に少し下がっています。長崎もやはり下がり方は少ないけれど、傾向としてはそういう傾向というような事です。ではこれは有明海の中で起こっている問題以外のものとして、何が考えられるかという事を見てみる必要もあるだろうという事です。このひとつは温暖化による潮位、周期の変化の概算という事を、非常に荒っぽい計算をやってみました。つまり大浦でやりますと、少し単位が見えにくいのですけれども 10 センチ位上がっている訳です。それから潮差もやはり 10 センチ位下がってきている。これを実際の平均の値で計算してみました。固有周期は先程言いました。これは実際に計算出来るやり方でありますけれども、それから増幅率とかこういう計算の方法があるのですけれども、今、平均水深は 20 メートルです。20 メートルのものが、例えば 20.1 メートルになった。平均水深が 20.1 メートルになった、0.5 パーセント増加したとします。一応計算しますと、これは 2 センチ位やはり振幅の現象が実際計算でも出てきます。実際にはもっと出て来ているのではないかという事ですが、実はこれは非常に一次元の単純な計算でやっていますので、本当は幅方向で色々変わったりしていますので、そういうものをいれてやらないとならないのですが、とりあえず傾向としては水深が上がりますと振幅が小さくなるという傾向があると、それは先程のものと一緒だという事が分ります。



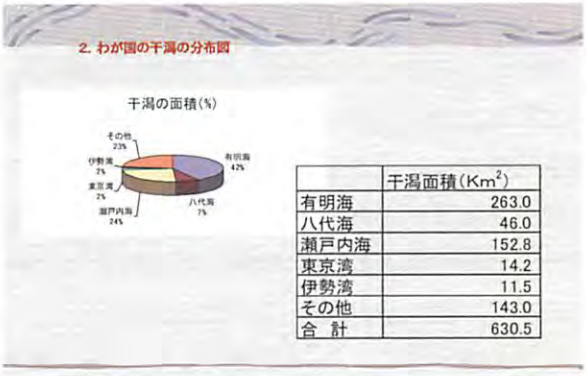
潮位の話を一応これまでにしまして、今度は流れがどうなっているかという事を見ましょう。これは我々が佐賀大学で実際に模型実験をやって求めたもの、写真から求めたものです。もうこの装置が残念ながら無くなってしまいましたので、これがあればもう少しお役に立てたかなと思いましたけれども、20年近く前の実験装置です。その流れの実験をしました。これはフロートをかけてフロートを浮かべて、干潮と満潮とを発生させるのです。その時にフロートがどういうふうに動いてきたかという事を満潮か



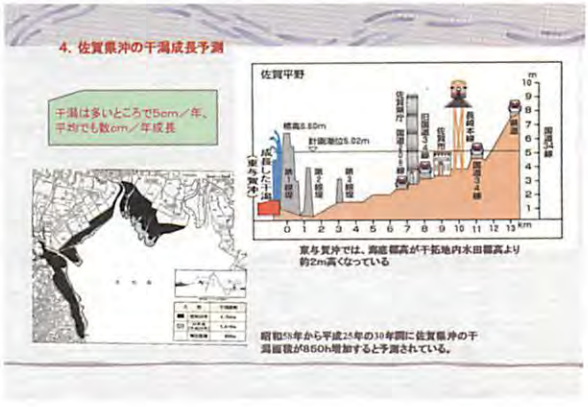


ら干潮になって、又、満潮になった時に何処へ戻るかという事を調べてみたのです。白い丸が出発点で黒い丸が戻ってきた所です。こういうふうな物をずっと往復しながら、ずっとどこかに動いているという事です。それを少し追跡して何回も往復実験をしてフロートをずっと追跡しますと、流れの方向が分りました。これは実は現実の有明海の漁師さんの話と少し違うのです。これはあくまでも模型実験です。模型実験でこれはやはり地溝側の影響が非常に受けているのだろうと感じています。ただ湾奥においては右回りの流れがあるという事です。この流れは非常にゆっくりした流れなのですが、実はその干潟の話をする時の砂を動かす非常に大きな役目をするという事を考えて下さい。つまり行ったり来たりするその非常に早い流れだけではなくて、ゆっくりと少しずつずれていく、この流れが非常に重要というふうに考えています。この事を少し申し上げます。後で又出て来ますけれども、これも実験で求めたものですけれども東側と西側においては、この往復流の長さですが少しやはり違っています。もうひとつは先程申しましたが有明海というのは非常に閉鎖性の強い湾です。ですから中々外の湾、流れと、東シナ海で海水の交換が中々起こらない。これも、やはり実験で求めたものなのですけれども、このこれだけのボリュームが、全部外の水と入れ替わるのに計算上大体2ヶ月かかるという事になります。東京湾では大体半月位かかります。その位有明海というのは閉鎖性の強い湾であるという事です。ここの5キロ位から少しずつ変わっているという事になります。これは現在の干潟の状況ですけれども、特にここで見て頂きたいのは、干潟は、有明海の場合は後で申し上げますけれども、確かに所謂粘土質な物が多いのですが細かく見てみますと、少し砂分の物が有ります。湾奥の殆どはやはりシルトという粘土質の物です。一部ではやはり砂質の物が有るという事です。先程申し上げましたこういうゆっくりした流れが有ると申し上げました。私達は潮汐残差流とか平均流とか呼んでいますけれども、例えば後で出て来ますけれどもたくさんの河川がここにあります。有明海には、これは一級河川です。8本。緑川、白川、菊池川、矢部川、筑後川、嘉瀬川、六角川と本明川です。本明川は今は直接海には出ていませんけれど、この8本で一級河川が有ります。その他に小さい河川が百本位ある訳です。それが、この赤で囲ったものが実は流域です。ここに降った雨は全部こちらに入ってきますよという事です。そういう流域が有ります。流域の面積が、大体8300平方キロメートルと言われています。これは有明海の面積1700平方キロメートル含んでいません。そこに、降った雨が有明海に流れ込む訳ですけれども、少し古いデータで申し訳ございません。大体平均しますと100億トン位の水が流れてきます。一級河川、二級河川併せてです。それから、有明海に降った雨がありますからトータルでいきますと、142億トン位の水が入ってくるという事にな

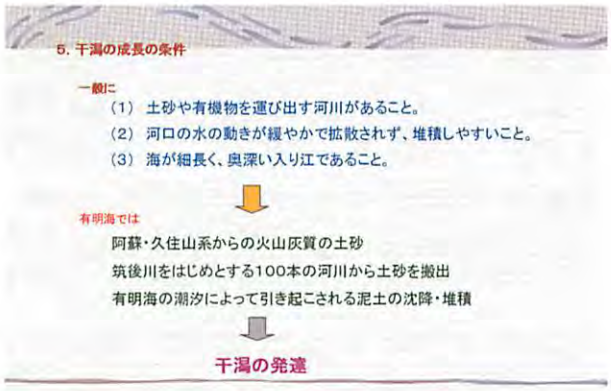
ります。そうしますと、そういう河川から入ってくる時に、天山であるとか阿蘇山のあの火山灰の細かいやつを沢山含んで入ってきます。その量がこれも色々な説が有りまして計算法も有るのですが、僕が計算したのでは大体一年間に 54 万トン位のその浮泥が、泥が入って来る。これも単純に少し計算してみますと、もし 54 万トンの泥が入ってきて東シナ海に抜けて行かない、ただ有明海に堆積したとすると大体 5 ミリ位溜まります。ですから有明海というのは、外へ逃げていかない限りやはり少しずつ浅くなっているという事は事実です。言い換えますと、それだけ干潟が発達しているという事です。事実、有明海の場合に筑後川の話は後でしますけれども、筑後川から流れてくる物の大体 7 割位がシルト、粘土質と言われています。そういう物が有明海に入って来る訳ですから、結局どんどん干潟を成長させているという事になるのです。干潟の面積は多分、500 k m2 を切っていると思います。要はそれでも有明海が大体半分近く、有明海と八代海で干潟の面積の半分位、日本の面積の半分位を占めているという風に言われています。非常に特徴がある。これは実は其々の干潟における、どういう土で出来ているか、細かい土なのか、荒い土なのかという事を粒度分析した物の結果です。少しこちらに書いておりますが、右にいく程細かくなります。左にいく程上にいくのです。右に有るという事は非常に細かい粒子の物である。左に有るという事は荒い物である。こういうものは比較的バランス取って存在しますという事になる訳です。こういう所と有明海を比べて頂こういうものは比較的バランス取って存在しますという事になる訳です。こういう所と有明海を比べて頂くと、一目瞭然にこの有明海には粘土、シルトが非常に多いのだという事が分かります。先程砂干潟が少し有りますよと言いましたけれども、圧倒的にやっぱりそれが多い。そういうものが実は 20 メートルとか 25 メートル堆積しているのです。そういう風な非常に特徴のある湾である。その干潟を構成している土でさえこういうふうに他の所とまったく違った組成分布をしていますよという事になります。先程申しました様に各河川からどんどん入ってきます。これは佐賀県が今から 15 年位前に調査開始された昭和 58 年から平成 25 年、やがてきますが、この 30 年の間にこの新しい干潟が 850 ヘクタール増加するという風に予想されています。これがどうなるかという事はすぐ結果は分かると思います。東与賀の所の断面ですけれ



	干潟面積(Km^2)
有明海	263.0
八代海	46.0
瀬戸内海	152.8
東京湾	14.2
伊勢湾	11.5
その他	143.0
合　計	630.5

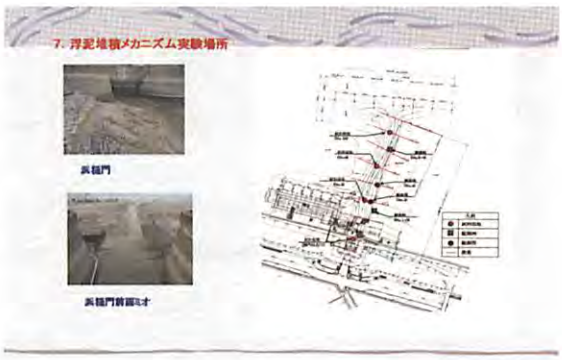


ども、東与賀の所ではこちらの干拓地区内の全面標高とそれから干潟の標高とを比較してやりますと、干潟の方が1メートル50から2メートル位高くなっています。そういう風な一種の逆転現象が起こったような形になっています。我々として農業土木のサイドからしますと、こういう形になってもらうとこちら側の排水が非常に問題になる。排水が中々やっぱり出来なくなってしまうという苦労をしなければならないという事がひとつあるという事で、後でお話をするという事はそういう事です。干潟が成長する条件としましては、

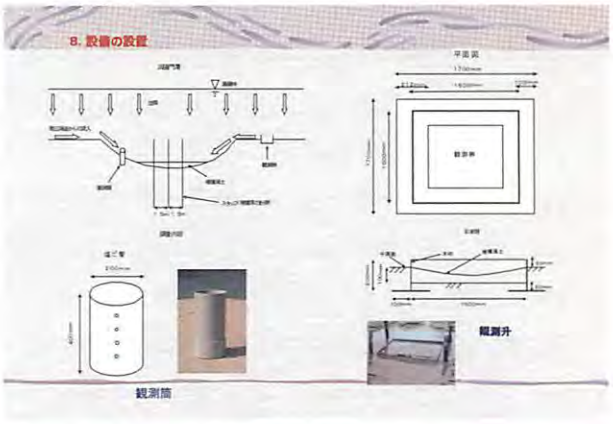


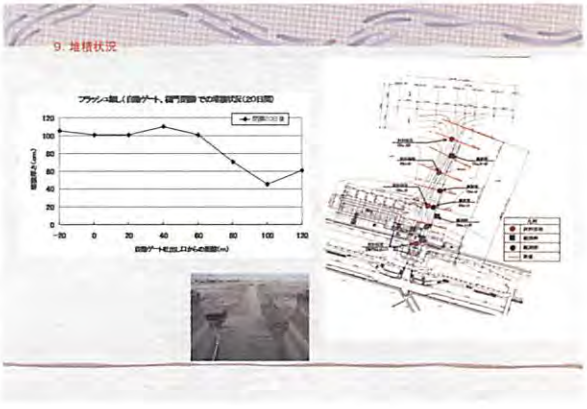
一般には土砂とか有機物を運び出す川がある事。それから河口の水の動きが穏やかで拡散せず堆積しやすい事。結局、川から入ってきて海に入り流れが収まりますとずっと沈降します。それから海が細長く奥深い入り江である事。細いという事、どちらかというと閉鎖性という事です。そういう風な湾である。有明海は全くこれに適合した形という事になりますので、干潟が非常に発達していますよという事になります。つまり阿蘇山、玖珠山系からの火山灰が、目の細かい火山灰等が運ばれてくる。それから非常に多くの河川が有ります。それから有明海の潮汐沈降堆積、これは非常に奥深い96キロ、幅が18キロに対して、100キロ近いそういう矩形の湾ですよという事です。ある意味こういう風な形で干潟が非常に発達してくる。或いは、これは鹿島です、我々が今調査している所の鹿島の干潮時です。非常に広大な干潟が発達しています。

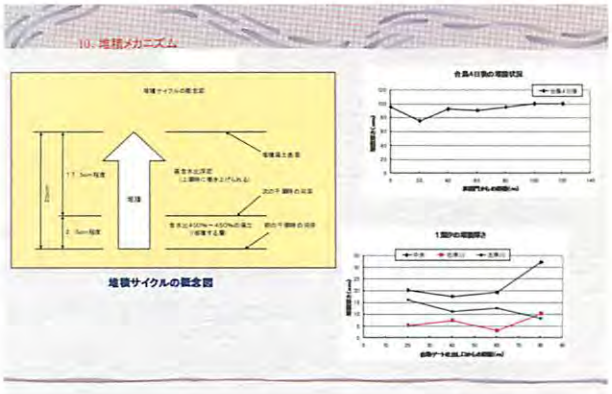
その干潟がどういう風にしてこうしてたまって来るのかという事を、先程は大きい流れとしてお話をしましたが、結局先程還流という所謂泡で書きました右回りと左回りのやつなのです。そうすると河川というのは、言い忘れましたその東岸域にあれだけ一級河川がある、筑後川とか緑川とか白川とか矢部川とかがずっと東側に有ります、そこから大量の土砂を含んだ水が流れてきます。そうしますと先程申しました様に川から一旦海に入りますと流れが遅くなります。遅くなると共に、後で申し上げますけれどもう1つの作用によって非常に沈降しやすくなる。沈みやすくなります。沈んでしまいます。沈みますけれども有明海の場合は所謂干満差が大きいものですから、流れが非常に所謂往復流の流れが大きい。その流れによって一遍沈んだ物が又巻き上げられる。そうすると先程の所謂青い遅い流れで少しずつ西側の方に運ばれていきます。ところが荒い物はその河口の近く、所謂東側の所に沈降したらそのままになる。巻き上がりません。つまり有明海の流れといえどもそんなに簡単に巻き上がりません。だから細かい物は巻き上がって又動きますけれども、荒い物はそこに留まっているという事になりますので、東側に荒い干潟が少しあるという事になるのです。その細かい物はどんどんどんどん西側に運ばれて、更に湾奥の右側に流れる。そうすると鹿島とか或いは六角川河口のああいう所が、非常に細かいものが流れて沈降



する。そういう風なメカニズムになっているのではないかと、それが大きい流れです。もう少し局所的な物で考えてみたらどうなるか。それをこれは七浦で、又後で詳しくお話しますけれども、これは実はこちら側に樋門がありましてそこからの澪です。この中でどういう風に堆積するかという事を調査しました。メカニズムです。泥を含んだ潮が満ちてきます。そうするとここに入ってくれて、これは抜けない様にしておこうと、一応です、或いはこういう形でともかくこの上に溜めてやろう、泥を溜めてやろうという事で、そうしてこういう実験をやりました。そうしますとこれ、ここから樋門からの排水が無かった時に 20 日間ここから水を出さなかった、そうしますと、ここの澪筋この赤い点がこれ平面ですけれども、この点点点がこれここです。この一番向こうは浜川というのが有りますけれども、この間の部分で、実は 1 メートル位堆積しました。20 日間でその位堆積してしまいます。つまり何もしなくてそのままの状態にしますと、こういう少し澪とか低い所があるとすぐに埋まってしまうという事を示しています。そういう状態です。という事は 20 日間ですから 1 日に 5 センチ近くです。1 日に 5 センチずつ増えていくという事です。ところが実際はこういう事だろうと思います。運んでくる時はもっと沢山運んでくる。これは実際測定した時に大体 20 センチ位、1 回持ってくる時に運んできます。ところが潮ですから今度引くわけです。引いていく時にその殆んどを持っていってくれるのです。ところがこの有明粘土というのは、この持ってくる粘土というのは非常に水を含んだ形です。本当に水の中に泥があるという感じ、含水が 700 とか 800 パーセントとか殆んどドロドロの水、そういうもので運ばれてくる訳です。ですからちょっとした流れがあれば運ばれてきます。それで一遍潮止まりで止まります、止まりますと、又後でお話しますけれども、非常に沈降しやすくなる。すっと沈降する。沈降しますとそうすると、段々下の物が上の物に押し潰された形で圧密という言葉を使いますけれども、自重圧密です、少しずつその水が抜けてくるのです。そうすると硬くなるのです。そういう状況でその 700 とか 800 パーセントのものが例えば 500 とか 600 になってくると、引いていく力では動かなくなってしまいます。そういうもので結局残ってくるのだろうという風に考えています。それが大体 2.2　前後。段々溜まっていくという事なのです。ところがフラットの所は中々堆積しないのですけれど、そういう窪みがある所はすぐこういうふうに堆積してしまいます。その辺の所はまだ十分僕把握しておりませんけれども、これが実験に基づいたもの、つまりある物が非常に含水比の高いものを放っておきますと、こういう風にどんどん含水比が下がってくるという事を示しています。それに応じて動かす力、含水比が小さくなると力を沢山与えないと動きませんという事です。そういう風な形で所謂局所的には持ってきた泥がそこに少し溜

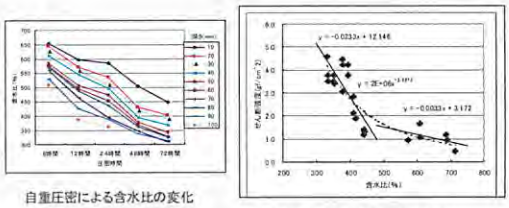






まって、そして殆どは引き潮の時引いてくれる。ただそれが往復でという事になりますと、これから私達がお話しますのは、澪、所謂樋門の前の澪筋というのを確保しておきたいです。もし澪筋が全部埋まってしまいますとゲートが開きません。ご承知のように有明海に排水樋門というのが、実は水圧で開く様になっています。つまり中の方のこちらが海でこちらが陸の方としますと、ずっと潮汐が下がってきますとこちらの水の力でこれが開くわけです。こちらが下がってこちらが上がってきますと、こういう風に閉じてしまう訳です。ですからこちらに澪が溜まってしまうと、開かなくなってしまう。そうすると中が、排水障害が起こってしまうという事になるのです。ですから澪筋の所はなんとかやはり水を流す面積をちゃんと確保して欲しいという事がある訳です。ところがそういう風に放っておきますと、自重圧密でどんどんどんどん閉塞するような状態になってしまうという事なのです。それを何とか避けたいというのがひとつ我々の課題です。

11. 泥土の自重圧密による含水比・せん断強度の変化(実験値)

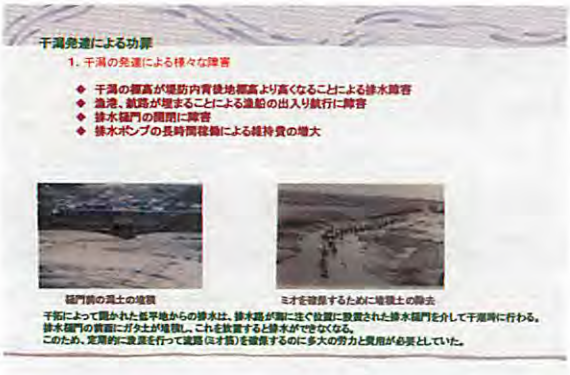


自重圧密による含水比の変化　　自重圧密によるせん断強度の変化

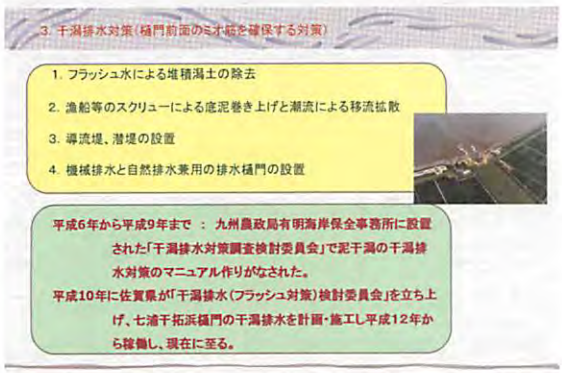
少し話が変わりますけれども、そういう干潟が発達しています。最初に申し上げました様に非常に様々な魚介類が獲れます。ところがご承知の様に段々漁獲高が減少しています。そういう事が分かる。実は弁解では有りませんが有明海だけではなく、東京湾でもやはり同じなのだという事、下がっているという事です。

そのひとつの原因としまして、水産振興センターがお調べになったもので底質が変わって来ている。これが 1989 年、これが 2000 年ですけれども所謂非常に細かい。先程言いました粘土とか泥とか、シルト、シルトは粘土です、その表面に覆っている面積が段々広がってきている。そういう事が有ります。これがやはり漁獲高の減少のひとつの原因ではないかという事が言えます。何故こうなったか。これについては色々其々原因が有ります。勿論、諫干という話も有りますし、或いはそれ位なものだという学者さんもいます。そういう風な所謂、ともかく減少としては非常に粘土シルト質の物の面積が増えて来た。そのひとつの物として、実はこの間、2, 3 日前に福岡県の荒尾で佐賀県の川上副知事さんと少しお話をする機会がありまして、副知事さんが非常に強調して言われたのが、所謂高度成長時代に河川から砂利を採取している。その量が物凄く多かったのではないか、その影響はどうだろうかとお話を少しされました。私もそれは確かに気にはなっていたのですが、まさかとは思ったのですが、それ以後調べさせて頂きました。非常にやはり面白い結果が出ています。少しご報告しようと思っています。実はこれは物凄く荒っぽい計算なのですが、この横山先生という方は首都圏大学、昔の東京都立大学の先生なのですが、この方が非常に荒っぽい計算をしていらっしゃいます。所謂ダムの流域、土砂の生産です。ダムの流域、所謂上流川と、それから自然流域それ以外の所です。どういう風な土砂の生産があるかという事を調べられています。これは筑後川流域だけです。そうすると大体全部で、泥で大体 100 万リュウベです。その内の 70 パーセント、73 万はやはりシルト粘土です。砂は先程申しました 25 万リュウベです。こういう風な形で大体これが森林の面積なのですけれども、35 年位から森林の面積があまり変わっていないという事で考えれば、この比率も今も変わらないのではないかというそういうデータですけれども、大体 25 万リュウベ位の土砂が生産されているという事なのです。ただ 100 万リュウベの物が、全部有明海に流れ込むかというとそうじゃ有りません。それは、河川にも流れますし、貯水しますからそういう所からも出てきます。一応 25 万リュウベ位の土砂が出ているのではないかという事です。この内のダムで堰き止められるのが大体 8 万、ずっと下がってくるのが、つまり川に流れているのが大体

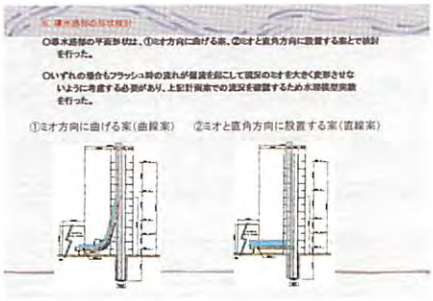
17 万という風な形になるのではないか、こういう風な事です。それでこれが筑後川の河道です。河道の所謂川底の高さを表している。この青いのが昭和 28 年です。それから現在の平成 15 年が一番下の赤です。ですからその間にこれだけ下がっている事は一目瞭然です。一目瞭然で下がっている。これの原因としてここに書いておりますけれどもひとつはやはり、後でその根拠をお話しますけれども、所謂砂利の需要が非常に高まった。30 年位からです。砂利の需要が高かった。しかも、その 34 年から機械で採取するようになったという事で非常に沢山の土砂を取ってしまった。最盛期には、これは後で言いますが、200 万から 300 万リュウベの砂を取っていたのではないかという事なのです。そうしますと、そういう事で昭和 44 年が少し青です。やはり下がっています。44 年、0 から 53 キロこの辺迄で大きい所は大体 4 メートル位下がっています。河床が。そういう結果が出ている。これは長期的に見た時の河床の変動です。昭和 26 年からずっと平成 15 年迄、これが下流側です。これが筑後大堰の 23 キロ地点ですから、大体それ迄です。それからそれより上流側です。そこで所謂河床の変動はここでは大堰から少し上の所が非常に大きいという事を示しているという事です。平成 10 年になりますと河床の低下量が 300 万リュウベ、これだけの土砂を採っているという事。50 年間に 3300 万リュウベ位の土砂を採っている。これがそれぞれ土砂を採ったその使い道です。ダムに堆砂した分がこれ位、この下が海岸のその川の堤防の修理に使った或いは干拓に使った、これは土砂を採って他の所に持って行った、これ位のものが土砂で無くなってしまうという事です。粒度分布を見てみますとこれも非常に面白い。この青のものが昭和 31 年で平成 6 年が赤なのですが、これが 0 から 10 キロの河口に近い所、これが 11 キロから 23 キロの大堰迄です。これを見て頂きますと何を意味するかといいますとこれは比較的砂のものが多いのですが、これになりましたら実は殆どシルト粘土の物である。つまり大堰から下流の 10 キロ位は殆どもう砂が無いという事です。そういう状況なのです。それより上流になりますと砂が有ります。河口近くも有りますけれども、この真ん中は完全に砂が抜け落ちてしまっている。こういう結果が出ています。こういう風な事から考えてきますとやはり砂の供給が非常に有明海に少なくなってしまったという事は、ひとつ有るのかも知れないなと思います。それで粒度組成が異なったのはそういう事が原因ではないかという事が少しデータから読み取れるという事をお話致しました。それから漁場を改良する為の取り組み、そういう風に非常に底泥が悪くなってしまった、ではその底泥を改良しようという事で、こういう風な事が為されています。覆砂これは土を覆いかぶす。土というのは砂をです。それから耕運、これは川副地区でされています。それから作澪、これは溝を掘って水の流れを良くしようという事です。それら堆積物の除去、かき殻などを取り除く、こういう施策が実はこの 4 件で為されています。

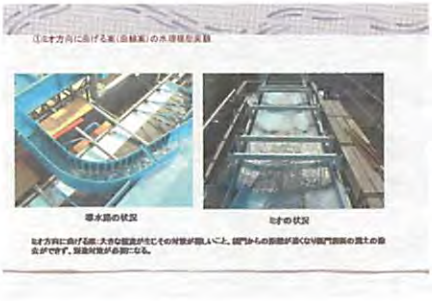


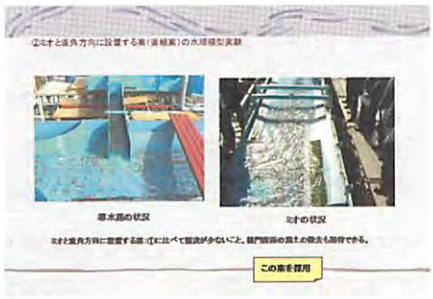
そこでここでは少し干潟の功罪という事で、私がやっている事をお話しようかと思っておりますけれども、先程申し上げました様にこういう風に澪というのを、ちゃんとここでは澪が埋まったから人海作戦でずっと取っていらっしゃるのです。昔はこういうふうに。それが酷くなると澪が完全に埋没してしまう。こうなったらどうしようもない。機械で掘るしかないです。こういう風な状況になってしまわない為にどうするかという事を考えるという事です。こういう風になる事によって何が起こるか。ここで先程申しました様にその向こうの干拓地からの排水が出来なくなる。勿論ポンプ排水をせざるを得ないという事です。それからここは船を、大体白石樋門の場合は、船の通りになっています。そういう船の出入りが問題になる。それから樋門の開閉に勿論障害が起こります。その為にはポンプを非常に

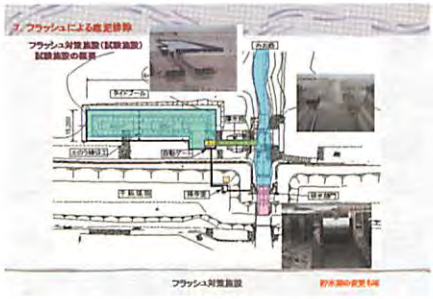


長時間稼動しなければならないという風な事が起こってくるという事です。そういう風な事が今、一方の側として干潟が発達すると少し困る事が起こる。実は樋門が完全に実は埋まってしまった所が２ヶ所有ります。１つはこの七浦樋門です。これは佐賀県が作られた七浦干拓の中に有ります。それからもう一つは福富樋門です。これはこれが白石澪すじですけれども、ここにあったのですが実は今はもう壊されて堤防に戻されました。新しくここに新樋門が出来ています。これもこういう状態で埋まってしまったのです。実はこれなどは出来て７年位でこういう風に埋まってしまったのです。未だこれは有りますけれども。そういう風になっている時に澪筋を確保する為にどうするかといいますと、これからやりますフラッシュ水、水を勢い良く出してその泥を採り除いてやろうという事です。それからここでやっています、先程申しました白石樋門です。ここにこういう澪が見えます。これは実はここは青くなっていますが、実は貯水池なのです。所謂余った水をここに貯めて干潮の時に出してやるのです。その水を出してやる一つのみず道です。それともう一つは、ここに所謂漁船が係留されてその漁船が出入りする所の航路です。お互いにこれは助け合っている。と言いますのは、漁船が走ってくれますと下の底泥を巻き上げてくれます。巻き上げた時にこちらからの流れ、或いは引き潮があった時に沖合いに流してくれる、そういう事を利用している訳です。それから漁船の方からしてもこういう澪があれば、少し水位が下がっても漁船が動く事が出来ますよという事になります。そういうお互いの為にこういう風な所に船着場を作ってやるという事、これは非常に成功していると言えるのではないかという事です。それから導流堤、潜堤の設置です。これは有明海においては少し難しい事なのですけれども、実際



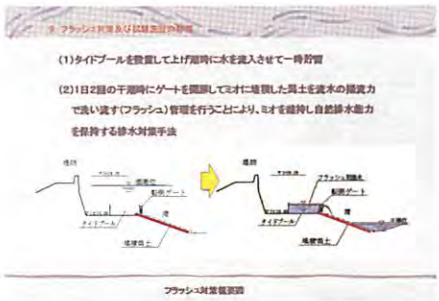


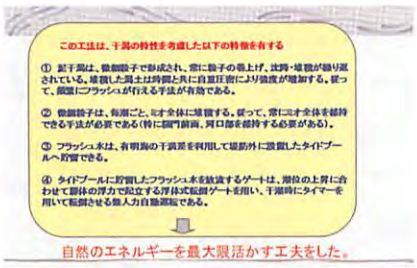


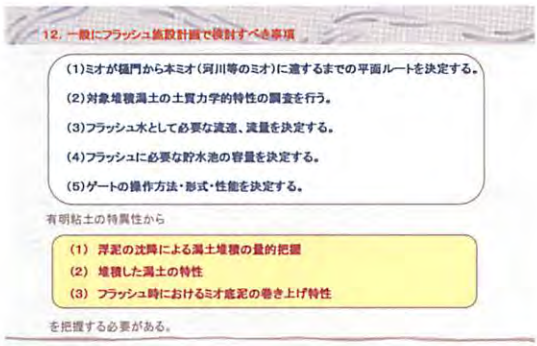


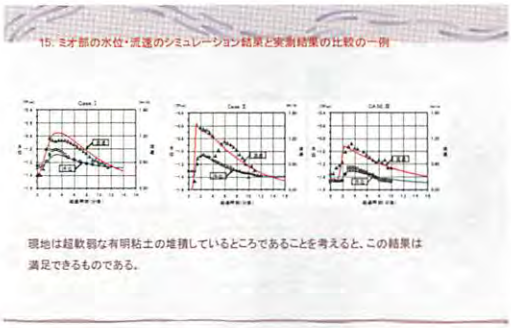
に流す為の所謂引き潮をそこに集中させる為の導流堤を作りましょうという事です。それから機械排水、最近これが多いです。一門は機械排水、一門は自然排水。水門の所をひとつ潰して、そこにポンプの排水のパイプを出すという様な形でやるのです。我々は七浦干拓という所でフラッシュによる所謂澪を確保する方法を考えました。これが七浦干拓です。これが浜干拓です。これが鹿島です。それを少し見てみますとこういう形になります。これは先程閉塞した所です。これは今稼動している所です。大体干拓地の一番低い所で樋門を作るのですけれども、ここは7年位でこういう風に埋まってしまった。そこで新しくここに樋門を作ったという事です。今こういう感じです。唯これも稼動して維持するのには非常に苦労されました。土地改良区の方。どういう事かといいますと、結局これは今の新しい樋門の所なのですけれどもこういう澪がありまして、こちらに浜川という川が流れています。ですから土砂はここ迄持っていけばその本流で運ばれていくだろうという事で、これだけ何とか沖合いに出すようにすればいいという事なのですが、それには中々やはりこちら側の水の力が無い。そこでこの時どうされたかといいますと、土地改良区の方は、結局ここに所謂潮遊びという貯水池が有りますが、その潮遊びという所をゲートで閉めてやりまして、そして干潮から満潮になって上がってくる時にゲートを開けてここに海水を入れられる。そして満潮の時にゲートを閉めて干潮になる迄待って、干潮の時に勢い良く開けてフラッシュする。こういう事を実はずうっとやっていらっしゃった。干潮から満潮になるまでのずうっとその間というのは結局、朝早くからそういう形で、実際に水を流すのは次の干潮の時ですから 12 時間後です。そういうご苦労をされて維持をされていた。それを何とかして自然の力を利用した形でフラッシュができないだろうかという事で我々が考えてみたのです。当たり前の事といえば当たり前なのですが、少し実験の物をいいですか、あまり時間が有りませんが。一応模型実験をしたので。これは平面図です。ここにこういうふうな矢板でサンプルを作りました。ここにこういうゲートをつける。これはフローティングゲートで水が来たらずうっと浮き上がってくる。それである所でピンを止めてやる形にする。そうするとここに水が溜まる訳です。今度干潮になった時にこのピンをはずせばここから勢い良く、後で良く見て頂きますが、水を流します。そういう形です。問題は先程申しました様にこの澪筋の溜まった泥を少なくともここまで運ばないといけない。運ぶ為にはどの位の流速でどの位の流量のものを何時間位続けさせれば良いかということを数値シミュレーションで計算をして、先の実験をやって、そういうような事でこれの面積を決めました。それでここからこのように出てきて、それがこれです。これがここにゲートを作ります。これがこの澪筋です。これがこのゲートの方から見てこういう形です。ここが先程申しました様にこれは転倒ゲートですが満潮になると上がって来て立ち上がるわけです。それで止めます。問題は干潮の時をどうして知るかという事です。干潮の時、流したら、干潮の時にどういうふうなやり方でやろうか、ここも一応色々議論しました。一番簡単なものはこのフロート式の水球をつけておいたら一番楽だろうということなのですが、実は有明海はそれをやったら絶対だめです。つまり浮泥が浮いていますからそれがフロートの上に乗っかってしまったら誤動作するのは当たり前だと、それで結局今はコンピューターがありますから、コンピューターに調査をさせて 365 日の干潮の時間を覚えさせる位は大したことではないのですから、覚えさせてその時間の前に来たらピンをはずす様な形でやることになりました。ともかく自然の力を最大限に利用しましょうという事を考えました。と言う事は干満差で

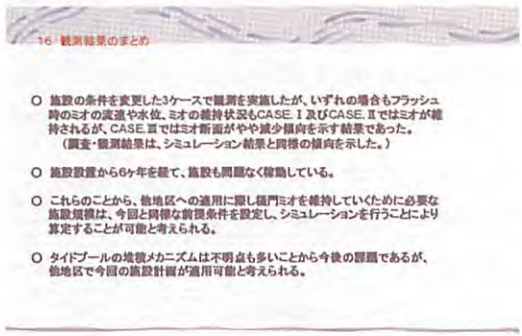
す。これが出来上がったものです。自動ゲートです。その次、ゲートが開いていると思いますがこれで干潮になった時倒れたりしました。これも倒れる時間も何秒で倒れさせるかという事も一応計算でやっています。というのはここに流れる流量、流速を計算して先程言いました様に、ここの泥を効率良く出してやるという事の為に、そういう計算を全部やっています。本来は土地改良区の方がやっていらっしゃった様にこちらからこう流すのが一番良いのですけれども、なにぶん海水を堤防の中に入れると言う事は、やはり営農的に危険ですから、それだけは避けたいという事で、このように堤防の外側に作りました。先程申しました様に実はここに溜まっている泥というのはものすごく水分が多い。ですから少し流れを与えてやりますときちんと動いてくれます。そういう事で我々の考え方は持ってきた物はその日の内に送り返そうという考え方でそんなに早い流れがなくてもいいからともかく作ってやろうという事でやるという事です。ですからこの位でも充分。これは別に早くも遅くもしていません。そのままの流れです。こういう形で水を流しています。これからここまで持って来てくれますと、先程言いました様にこちらのこの側は少しの、流量は少ないですけれどやはり流れてくれていますからこの自然の力はすごいものだ、それを利用しましょうという事です。問題はこれからゲートまでのここに溜まったものをどうするかという事ですが、ここにパイプがあります。水中ポンプで一応こちらに水を流せる様にした。ところが実際は水門から堤防の中の排水を流しますので、その時にそういう物を流してくれていますのでそんなに気にならない。こういう形で一応やっています。実はこれは作ってから6年経ちますけれど先程の矢板が大丈夫かなと思ったのですが、お陰さまできちんと動いてくれています。こういうふうな形でやりましたという事で、6年経っても問題なく稼動しています。



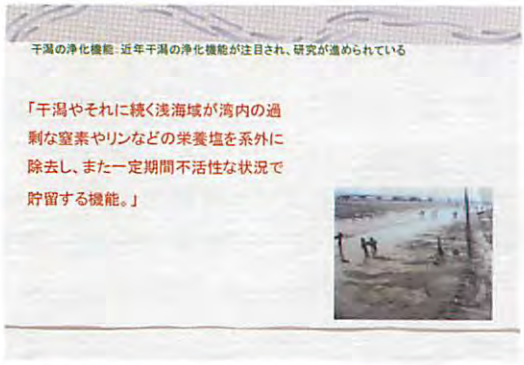


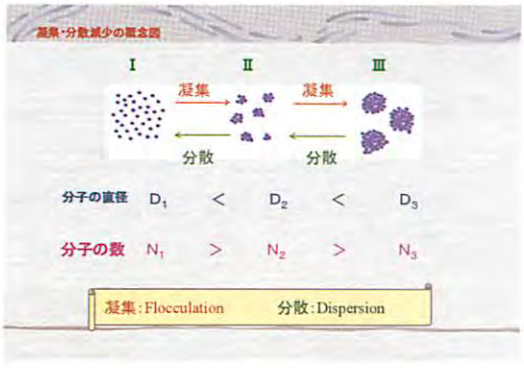






それから時間が無くなってきましたので、干潟にはもうひとつ良い事が有るのだよという事を話しておこうと思います。所謂干潟の浄化機能というものが有ります。これは佐賀大学の色々な先生がやって





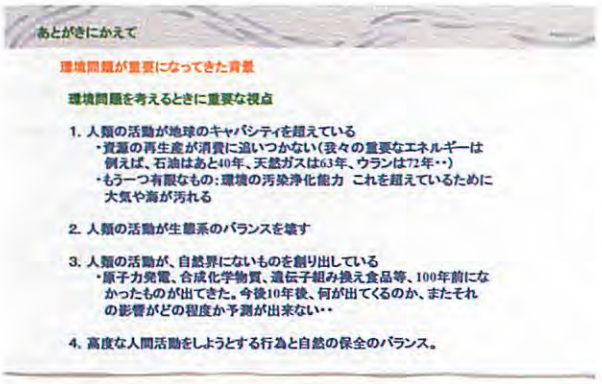
いらっしゃいます。干潟は非常に浄化能力があるのだということです。それには3つの方法があります。

1つは干潟が持つバクテリアです。言葉は悪いですが、バクテリアの作用によって化学的に処理しましょう、してくれるのです。それは干潟というのはある時は水が来てある時は干上がる、これを繰り返しているのです。例えば陸域からアンモニアの窒素が入ってきます。ここで干潟がむき出しになっていますと所謂好気性、空気に触れています。そうすると硝化菌というバクテリアが働きます。これが何をするかといいますと、このアンモニア態の中は窒素です。窒素を取り込んで硝酸態或いは亜硝酸態窒素に変えて来る。今度はこの状態で満潮になってきますと、水が来ますと空気に触れません。そうすると嫌気性のバクテリアが働きます。それが脱窒菌です。そうすると今度はその脱窒菌が結局生きる為にこの硝酸態窒素、亜硝酸態窒素の酸素をとるわけです。そうすると窒素ガスが残ります。窒素ガスは気体ですから空気中に出てきます。そうすると窒素の浄化になります。そういう干潟というのは大きな浄化能力が有るという事があります。

それからもう1つ先程から少し言ったのですけれども、実は学生さん、高校生の方に見せると非常に喜ばれるのですが、淡水と海水という非常に単純な実験です。この中に、こちら淡水でこちら海水で、ここに有明粘度を入れる。そしてばぁっと振ってここにおいておくのです。この状態で5分経った時にどちらが早く沈むでしょうかという事を考えてみる。海水の方が比重が1.02と重いから当然淡水の方が早く沈むだろうという考え方なのですが、考えがちなのですが、結果は逆なのです。つまり海水の方が見る見るうちに沈降するのです。ですから先程申しました様に筑後川とか河川から運んで来た淡水の中に含まれていた細かい粒子の物が海に入りますとこういう状態が起こるわけです。だからスーッとするのです。それは何故かと言いますと、ご承知の様にこれは諫早湾の調整池です。見た目はこんなに色が違う。こちらは非常に汚いというのはこれです。こちら淡水、こちら海水です。ですからそういう非常に粘度の細かいやつなどは、こちらはすっと沈降する。こちらは中々沈降しない。15分経っても殆ど沈降しない。こういう事なのですけれど。これは化学的に私は専門ではないのですが所謂未使用のイオンを受けますと凝集といって細かい物は必ず固まるのです。そうすると沈降し易くなるのです。で

はそれを真水の所に戻してやると又こちらに戻る。こういう凝集という現象が起こる。フロキュレーションといいます。有明海は濁ってないといけませんというお話がありますがその時私はこのように考えています。濁ってないといけませんといいますが、濁った時に海に入りますと先程のこういうような、凝集して沈降します。恐らくその時に余分な植物プランクトンとかいう物を一緒に包んでしまって沈降してくれる。という事は一種の浄化ではないかと。ですからこういう作用自身が一種の浄化機能を持っているのだろうと私は考えます。

それからもう１つはこういう植物連鎖です。いわゆる栄養塩、窒素、リンが入ってきますと植物プランクトンが発生します。それを食べるための動物性プランクトンが発生し、その動物性プランクトンを魚とか貝が食べる。そういう魚とか貝は人間とか鳥が有明海の外に出します。これもやはり一種の浄化です。それから勿論ノリもそうです。色素分を吸収して外に出します。大体その３つのものが同じ様な形で存在して浄化しているのだと思います。



私はこの環境問題が、非常にクローズアップされて来た背景には人類の活動が地球のキャパシティを越えてしまっている。つまり地球の持っている能力を超えた形で我々が悪さをしているというふうに考えられる。例えば資源の再生産が消費に追いつかない。例えば水などもそうです。川の自浄作用がある。ですから上流側で流しても下流ではきれいになる。ところがその浄化能力以上のもので汚してしまうから結局全部が汚れてしまう。全ての面で人間が、自然が持っている、地球が持っている浄化機能というものを超えた形で人間活動を行っているが為に結局追いつかないということであります。「石油はあと 40 年しかないよ」「天然ガスは 60 年しかないよ」「ウランはあと 70 年しかないよ」と言われております。だから子供達、学生達にいつも言うのですが、「君たちが僕ら位になったら本当にどうなるか分らないよ」と。脅すわけではないので長生きして下さいと。

人類の活動の生態系のバランスを壊してしまうという事は、やはり自然というのは、生物もそうですが、生物自身は住み良い環境を自分達で作っているのです。新しい環境を作りますとそれをすぐに人間様が壊してしまうという、そういう「いたちごっこ」をしている。それから人類の活動が自然界に無い物を作りだす、こういう事もあります。結局、遺伝子の組み換えなどもそうですし、原子力などもそうですし、環境ホルモンなどもそうでしょう。そういうものが出てくる。だから人間活動しようとする行為と自然のバランスが非常に大事ではないでしょうかという事を私の主張にさせて頂いて、どうもご清聴有難うございました。