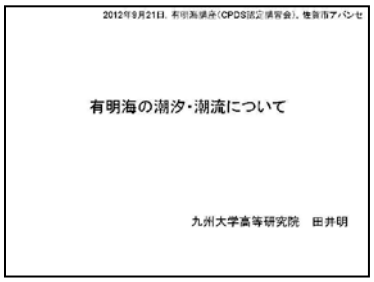
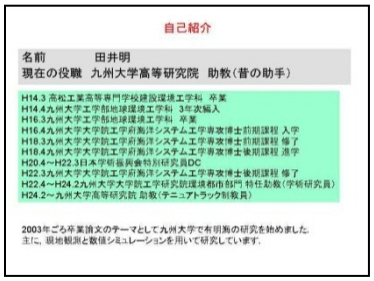
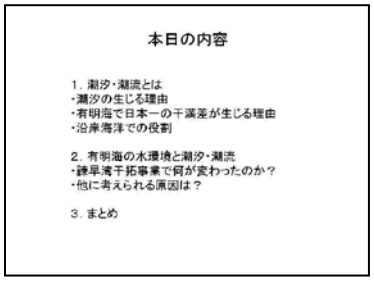
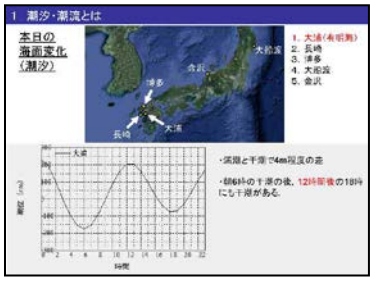








ご紹介いただきました、九州大学の田井と申します。今回は、「有明海の潮汐潮流について」というテーマでお話をしようと思います。

先ほどちょっと紹介していただいたんですけど、文字が小さくて申し訳ないんですが、これは言い訳なんですけど、私は高松高専で土木を学んで、その後九州大学に入って、土木工学というバックグラウンドで勉強してきました。その中で、2003 年から有明海の研究を始めてということで、ずっと大学にいる人間なので、皆さんの本当にお役に立てる話ができるかどうか少し不安でというので、そこを考慮していただければと思います。

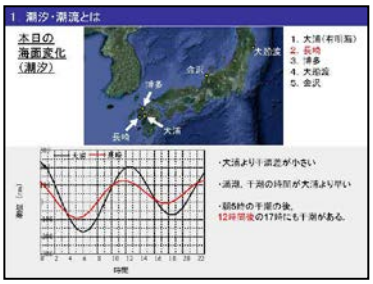
今日のお話ですけど、そもそも潮汐潮流とはということをまずお話したいと思います。潮汐の生じる理由で、今日は有明海に注目しているということで、有明海は日本一の干満差が生じるということで、潮汐潮流が沿岸海洋でどう役立つかという話をしたいと思います。

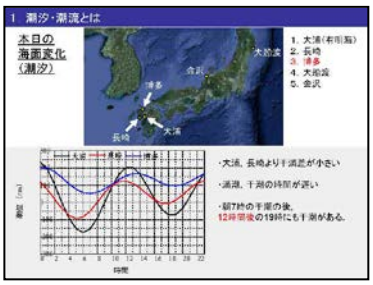
次に、有明海の水環境が悪くなっているということで、それと潮汐潮流がどう関わるか、また諫早の干拓事業で何が変わったのかということをお話ししたいと思います。

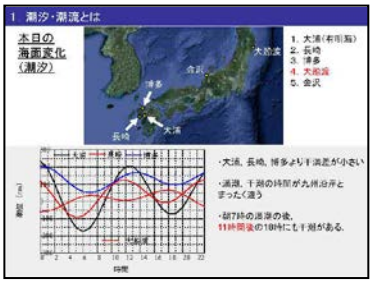
まず、潮汐潮流というのは海で起こる現象なんですけれども、私たちの分野では潮汐というのは、一般に波と言われています。波と聞くと、こういう海岸に打ち寄せるようなものをまず想像されると思いますけど、これは波動と専門の分野では言われまして、私がやっている潮汐とはまたちょっと違います。潮汐というのは、1 日の中で起こる満潮とか干潮、潮の満ち引きという現象です。津波も物理的には、専門的には潮汐と同様の現象です。今回はこの潮汐に注目して話したいと思います。

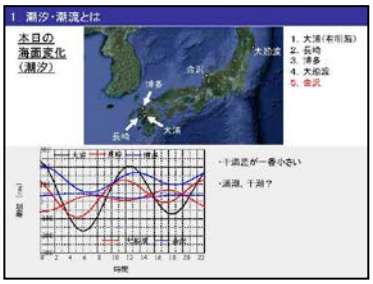
身近に感じていただくために、今日の潮汐、海面の変化がどうなっているかというのを説明したいと思います。今日、ここにグラフがあるんですけど、横軸が今日の 0 時から 23 時までの佐賀の大浦の海面の変化です。今 2 時ぐらいなので、昼ごろ満潮があって、今潮がどんどん下がっている、潮位が下がっているぐらいの時です。有明海は非常に潮汐が大きくて、満潮と干潮で 4m程度下がります。朝 6 時の干潮のあとの 12 時間後、18 時に干潮が今日はあります。

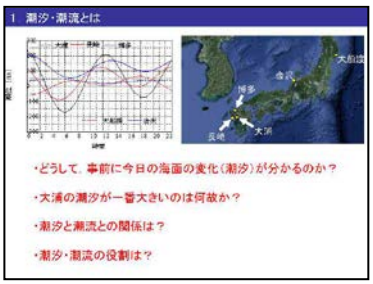
これが長崎だとどうなっているかというと、こんな感じ

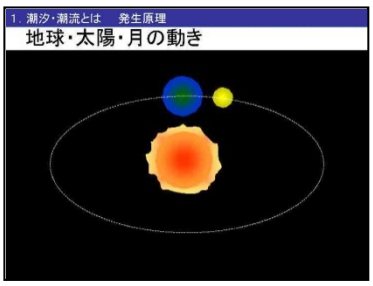












で赤い線です。有明海の中の大浦よりもかなり潮汐が、潮位振幅が小さくなっているのが分かると思います。あと、ちょっと山の位置が左にずれていますね。これが満潮と干潮の時間が大浦より早いということを示している。同様に、形は大体、朝に干潮があって、昼に満潮があって、また夕方ごろ干潮があるという形はかなり似ています。

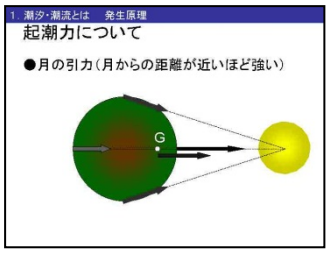
次に青い線。博多です。博多湾は潮位がどうなっているかというと、こんな形になりまして、高さが違いますけど、この振れ幅を見ていただくと、大浦とか長崎よりもまだ干満差が小さくなっているのが分かると思います。満潮とか干潮の時間は、大浦とか長崎よりも、山の位置を比べていただければ分かりますけども遅くなっています。形は大体また同じように似ていて、干潮・満潮・干潮という形であります。

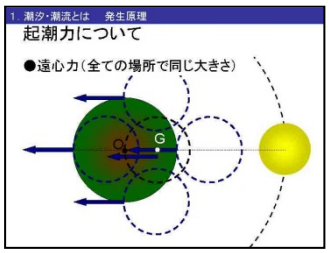
九州の今日の潮汐は、こんな感じになっていたんですけど、別にどこでもよかったんですけど大船渡、津波で結構被害を受けた場所ですが、どうなっているかというと、この赤い点線になります。これはまた九州の潮汐よりもかなり小さくて、こちらは満潮が今日 2 回あるというのに全く形が違う。ただ、1 日に 2 回山ができるような形では似てるかなと思います。

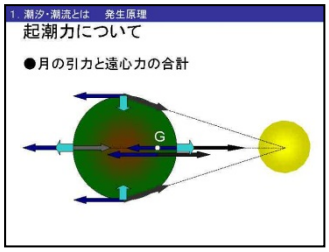
次に日本海側で金沢を見ていくと、この青い点線ですが、ほとんど振幅が見えないと思います。満潮とか干潮がよく分からないことになってる。ということで、このグラフで何が言いたいかというと、有明海というのはすごく潮汐が、黒い線ですけど大きいということで、実は日本海側のこの辺りの人というのはあまり潮の満ち引きというのを感じてないということも分かると思います。

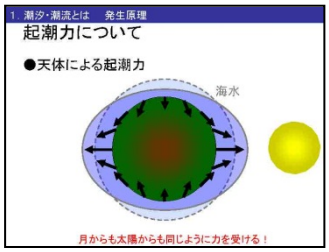
これはまた話していきたいんですけど、このスライド作ったのが 3 日ぐらい前なんですけど、なんで事前に今日の海面の変化が分かったのかということをまず説明したいと思います。次に、大浦の潮汐が一番大きいのは何故か。潮汐と潮流の関係はどうなっているのか。潮汐潮流の役割は何なのかというのを説明していきます。

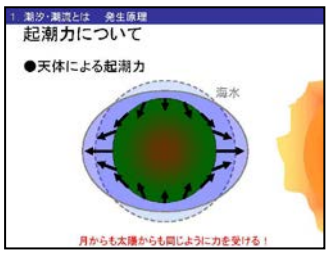
まず、どうして事前に今日の海面の変化が私は分かったのかを説明しますと、この真ん中が太陽で、青いのが地球で、くるくるその周りを回っているのが月です。これは地球と太陽と月の動きですけど、潮汐というのは基本的にはこれらの動きでできています。まず、地球が太陽の周りを周っていることと、地球の周りを月が周っている。地球も自転をしているということで潮汐というのは生じます。

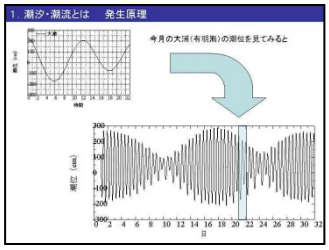


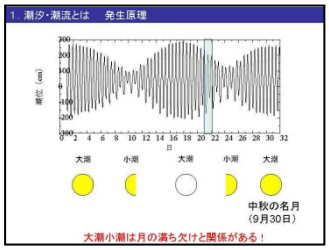












潮汐を起こす力というのは、起潮力、潮汐を起こす力で起潮力と言うんですけど、一番分かりやすい月による影響というのを中心に説明しますと、地球があって、月がある。すると、万有引力の法則で月の引力で引っ張られる。万有引力の法則というのは、距離が近いほど重力が大きいというものなので、矢印を書いていますけど､場所によって方向と大きさが微妙に違う。引力でこのように力が関わってくる。

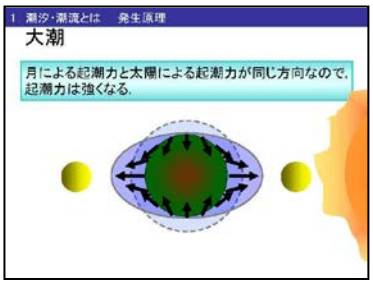
それと同時に、さっきのは引力なんですけど、同時にくるくる回したことで、簡単に言うと遠心力がかかるんです。物を外方向にかかる力というのが同時にかかります。この遠心力とさっきの引力を足したものが、図がややこしいですけど、こんな感じになっています。まとめると、月によって地球上の表面でかかる力というのは、こんな感じになります。この周りに海水が、外側に海水があるので、最初丸かったやつがこの月とこういう近いところが引っ張る、反対側も外側に押される、上と下は縮むというような、こういう形に変わる。この月があると引っ張られている、膨らんでいるところ、多い場所が満潮になって、へこんでいるところが干潮になるということになります。月が太陽でも全く同じで、同様にこういう力を持っています。

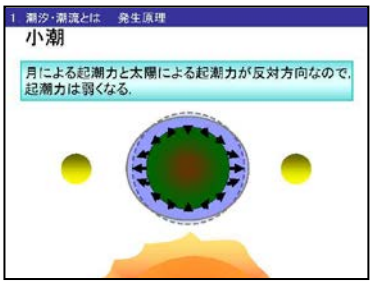
太陽のほうが圧倒的に大きいので、引力も強そうですが、さっきも申し上げましたようにすごく遠いので、実際に地球上の潮汐の力が一番大きいのは月によるものです。それをちょっと分かりやすく、違う説明をしますと、これは今日の潮汐だったんですけど、こちらのグラフが 9 月の 1 ヶ月間の潮汐です。ここを拡大すると､こうなります｡1 日 2 回でこぼこがあるので、1 ヶ月間だとこういうふうに見えるんですけども、1 つ分かるのが、振幅自体が小さい時と大きい時というのがあるのが分かると思います。今日はこのぐらいで、大きくもなく小さくもなく、そんなに大きくない時期になります。

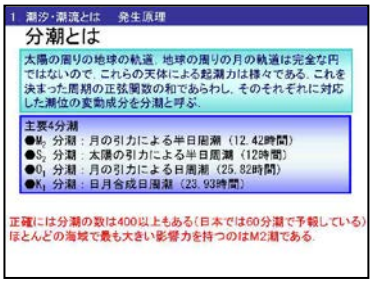
この変化というのは月の様子を見ていれば分かりまして、満月と新月のときはこういう感じで振幅がすごく大きくなります。満月のときは振幅がすごく小さくなります。中秋の名月、今年は 9 月 30 日ですけど、すごく潮汐が大きくなる。

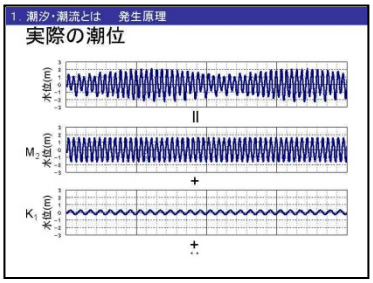
これはどういうことかというと、満月とか新月というのは、これが地球、月、太陽ですけど、太陽と月と地球がこのように並ぶときです。先ほど説明した起潮力というのは、月と太陽で重なって倍増されるということで､すごく起潮力が大きくなる。一方、小潮の時、半月のときというのは太陽と月と地球の関係がこんな感じになるので、月でこっちが膨らんでも、太陽でここがへこんでしまう。逆にここは太陽で膨らんでも、月でへこ

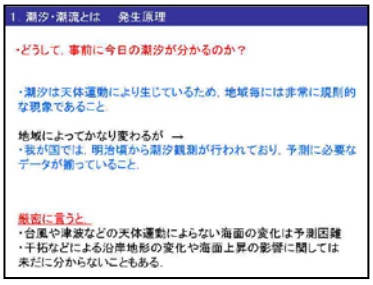
んでしまうということで、起潮力が弱くなってしまうので振幅がそんなに大きくならず、大潮のときが大きくなるということで、大潮、小潮というのは月の形を見ていると大体分かります。











ここからややこしいんですが、先ほど、潮汐というのは天体運動で決まっているということなので、さっきアニメーションでくるくる示した以外にも、いろいろややこしい話がありまして、それぞれの動きで力を地球の海水の値のでそれらを分ける、月による引力のものはここで言った M2 潮、太陽によるのは S2 潮、月の引力による 1 日の変化のものは O1 とかいうふうにいろいろ分けます。正確には、この分類をしていくと 400 以上にも成分を分けることができます。日本だと、日本の気象庁はこれを 60 個使って潮汐の予報をしています。

いっぱいあるんですけど、先ほどから申し上げておりましたように、世界中のほとんどの海域で最も大きい影響力を持つというのは、月による引力、1 日 2 回起こる潮汐で、M2 分潮。M って月を英語で言うとムーンというんですけど、2 というのは、1 日 2 回という意味ですけど、その M2 分潮というのは最も大きくなります。有明海も当然 M2 分潮が一番大きいです。

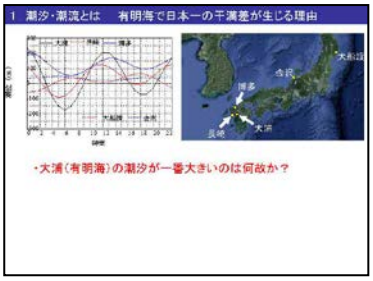
先ほどのような、1 個 1 個はこういうきれいな潮汐がいっぱい、この下に 400 個並ぶんですけど、それを足すと先ほど示したようなこういう実際の潮汐というのが出てきます。

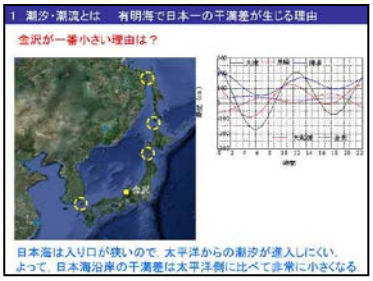
ちょっとまとめますと、どうして事前に今日の潮汐が分かるのかというと、潮汐が天体運動により生じているため、地域ごとには非常に規則的な現象なんです。太陽と月と地球、さらに地球の自転というのは何十億年前からあまり変わっていないので、非常に規則的な現象です。地域によって、細かい話でいろいろ変わりはしますが、ずっとそこの潮汐の振幅を調べていれば大体の傾向の予測はできる。日本では明治ごろから潮汐観測がずっと行なわれているので、いっぱい資料があるので、特に有明海とかはいつが満潮になって、いつが干潮になる、どのくらいの振幅の大きさになるというのは大体予測ができます。

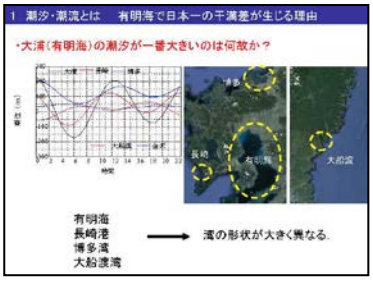
最近も台風が通ったので、佐賀の沿岸に住まわれている方はかなり気にされてたと思いますけど、海面の動きというのはこういう天体運動のもの以外に、台風とか津波、天体運動によらない海面変化というのもあります。これはかなり予測が難しい。実際に台風で、いくつかあるんですけど、台風は単純に気圧が下がりますと、今回台風が 900 ヘクトパスカルぐらいの台風が来ていたんで、あれがそのまま有明海に来ますと、何にもなくても、大体通常が 1000 ヘクトパスカルぐらいなので、100 ヘクトパスカル気圧が下がると、1m

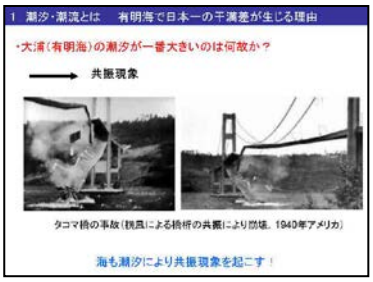
そのまま海面が上に吸い寄せられちゃうということが起こる。そういうのは事前では分かりませんが、台風の規模が分かれば、それだけ予測はできるということになります。

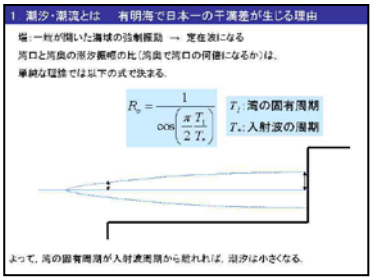
あと分からないのが、後半でお話ししますけど、干拓などによって沿岸の地形とか海底の地形が変わると、潮汐がそれによってどう変わるかというのはなかなか分からないこともあります。これについて、私は有明海でどのように潮汐が人間の手によって変わってきたのかというのを研究してきました。







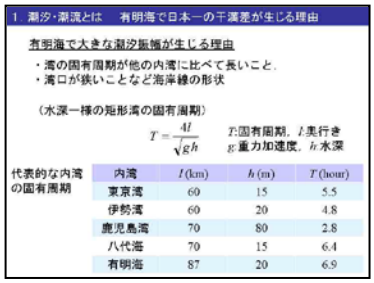




次が、有明海の潮汐が一番大きいのは何故かというので、まず大きい小さいという相対的なものです。金沢が一番小さいといいますと、先ほどの月を中心に説明しますと、月の引力と遠心力によって潮汐ができると言いましたが、それは太平洋から海面が盛り上がって入ってくる。日本の沿岸ですが、日本海というのは入り口が非常に狭いので、潮汐がなかなか入らないんです。太平洋側に比べると、入り口が狭いことによってなかなか振幅が伝わりにくくて、日本海側というのは非常に小さく潮汐がなりやすい。ほとんど赤青の点線ですけど、見えないぐらいにしかなりません。

それ以外の太平洋側の長崎とか大船渡に比べても、有明海の中は大きくなるんですけど、それっていう理由の１つが湾の形状がかなり違うということが挙げられます。湾の形状が違うと何が違うのかというのをお話するために、こういう例を出しますと、これは結構有名な話で、アメリカのタコマ橋というのが横風で桁がフラフラ揺れて、そのまま崩れてしまった。ご覧になられた方もいると思います。動画も結構ありますので。これっていうのは横風でできる風による渦による振動が橋側の固有周期と一致したために共振現象というのが起こって、どんどん揺れが大きくなって、このように崩れてしまうという現象です。これと同じ共振現象というのは海でも起こって、有明海では特に潮汐に共振しやすい海になっているので、潮汐が大きくなります。

少し詳しく説明すると、これは有明海を横から見た図ですが、こっちが東シナ海とか橘湾のほうで、こっちが湾奥のほうで、実際こんな形はしてないんですけど、ここが海洋です。単純に書くとこんな形です。有明海がこの形だとして単純な理論で式を作ると、こういう式が出てきます。これは何の式かというと、湾口での振幅というのは、湾奥で何倍になるかという式です。これを有明海の保有周期というのを他の湾と比べると、東京湾というのは、いろいろ書いてあるんですけど、この一番右だけ見ていただきたいんですが東京湾というのは、5.5 時間。伊勢湾は 4.8 時間、鹿児島湾は 2.8 時間、八代海は

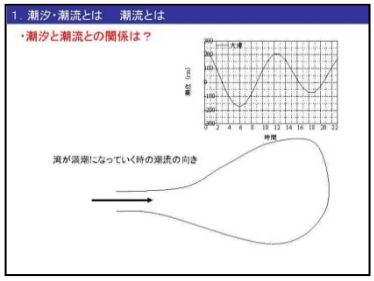


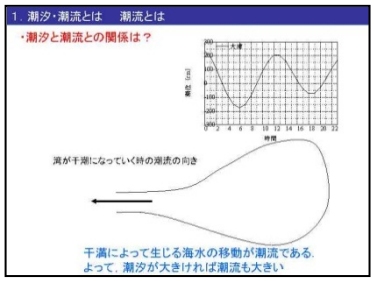
内湾	l (km)	h (m)	T (hour)
東京湾	60	15	5.5
伊勢湾	60	20	4.8
鹿児島湾	70	80	2.8
八代海	70	15	6.4
有明海	87	20	6.9

6.4 時間、有明海は 6.9 時間ということで、先ほど月による起潮力が一番大きいと言ったんですけど、月による起潮力の周期というのは 12 時間 25 分です。12 時間 25 分に一番近い有明海とか八代海というのは、比較的、東京湾、伊勢湾、鹿児島湾に比べて近い。ということで、一番増幅しやすいということになります。

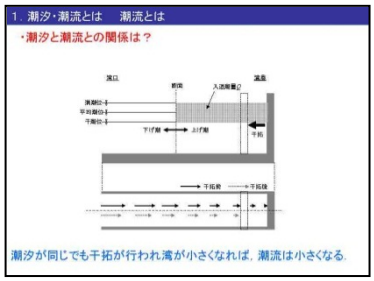
近くといってもこの程度の差ですよね。この程度の差でも、かなり大きく有明海は潮汐が大きくなる。世界一潮汐が大きくなるところというのは、アメリカ大陸のこの辺にあるファンディ湾という場所ですけど、干満差が 15mに及びます。有明海は大きくても 6m 程度。この湾が先ほどの式で計算すると、保有周期 12.4 時間となって、M2 潮汐、月による起潮力とほとんどぴったり重なってしまうので、ぴったり共振して、こんな大きな潮汐が生じる。有明海というのはこれに比べると小さいですけど、日本の中では一番共振しやすく、潮汐が大きくなるということになっています。

次が潮汐と潮流の関係で、今日は潮汐と潮流についてという題なんですけど先ほどから潮汐の話ばかりしてるんですけど、潮流を説明しますと、潮汐というのは海面の上下運動です。この海面の上下運動を、こういう湾があったとして、こっちが外の海で、満潮になっていくときに海面が上がるということは、海水が外から入ってくる必要があります。逆に、干潮になっていくときというのは海面が下がっていくので、海水がここから出ていく必要があります。こういう海水が出たり入ったりするときの動きというのが潮流です。潮汐と潮流というのは、そういう意味ではかなり表裏一体のものです。

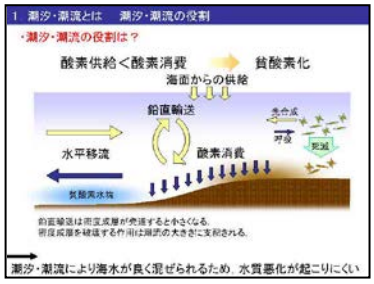




ちょっと後半にも出てくる話ですが、これまたさっきと同じような図で、こっちが湾口で、こっちが湾奥で、有明海を海の真ん中から切って横から見た図で、ここが平均潮位、満潮位、干潮位というイメージであります。干潮から満潮になるとき、これだけの色を塗った分だけ海水が外から入ってくる必要があって、それがまた干潮になるにはこの分だけ外に出ていく必要があるということがお分かりいただけると思います。それに干拓というのが起こると、このボリュームが少なくなります。その分だけ潮流というのは少なくなっちゃうんです。後半でまた説明しますが、頭に入れていただければと思います。



前半の最後ですが、潮汐潮流の役割。これが一番重要なんですが、図を見ていきたいと思います。有明海は潮汐が日本一大きくて、それに伴って潮流もかなり大きい。何が起こるかというと、海の横から見た図で、ここが海の底、ここが海面です。海の中でも生物が



生活していますので、酸素を消費します。この酸素が全く消費されなければ、海の底のほうにいる生物というのは窒息して死んじゃう。この酸素というのはどこから供給されるかというと、窒息しないために、海面からここに酸素がいっぱい空気中にある。海面の上にある。海面にここに供給されてもここにはなかなか届かないんですけど、その時に潮流が大きいと、こういう鉛直輸送、上下に混ぜる効果が強くなって、海面から供給される酸素というのが下にも届くようになります。

以前の有明海であれば、潮流が大きくて酸素消費というのもそれなりにあったので、健全な海であったんですけど、今は貧酸素水塊というふうに底のほうに酸素がない状態になっている。これっていうのは海面から酸素が入らない。入っても、輸送、下に届かないというふうに言われています。潮流が大きいほど、健全な海、微生物が生活しやすい海になります。有明海の水環境、有明海以外の沿岸水環境において、潮汐潮流というのは非常に重要な役割を果たしているという 1 つの例です。

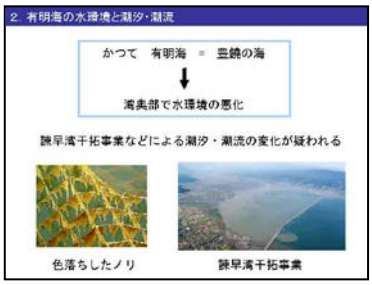
休憩

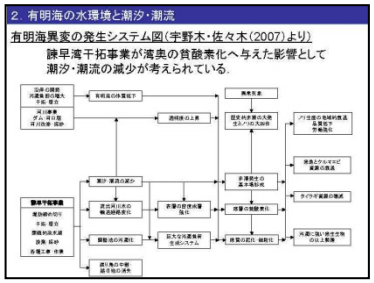
最初に潮汐の基本的な話を繰り返したんで、休憩がてら、私は大学で今研究しているんですが、結構海に現地観測に行きます。どんなことしているかというと、漁船に乗って海に行きまして、これは先ほど申し上げました海の中の混ぜる強さを測る機械ですけど、これを海に沈めてデータを採って、研究室に持って帰って解析したりしています。海に潮汐があるので、大体 12 時間で 1 セットの観測を計画しているんですけど、12 時間なので朝 6 時から夜の 18 時とかいうセットになります。ひどいときは、潮汐がうまく合わないと朝 4 時から夕方の 16 時とか、遅ければ朝 8 時から夜の 10 時までという感じで、結構 1 日長く観測しないと、潮汐のせいできれいにデータが採れないというのがあって、結構大変です。

基本は私は今助教の立場ですけど、学生と一緒に行って、こんなふうに漁船でへばっている。倒れているのは学生ですけど、結構辛いです。先月行ったときに海の上でなんか近寄ってくる船があるので見ていると、イルカウォッチングをしている船がちょうど来て、ついでに僕らも観測ついでにイルカを見て楽しみました。ちょっと休憩です。

次が、有明海の水環境と潮汐潮流ということで、最初にご説明しました潮汐潮流というのが昨今言われている諫早湾干拓事業の影響でどう変わったのかということと、それが最近の有明海の水環境の悪化、有明海異変と言われる環境の悪化にとってどういう影響を与えていたのかというの

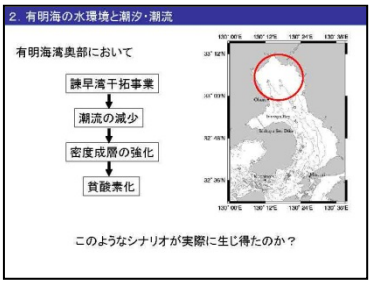
を説明したいと思います。





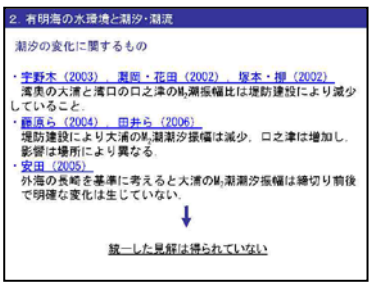
まず有明海の概要ですが、面積が 1545 平方 km、奥行きが 87km、平均水深が 20m ということで、かなり遠浅の海で、湾奥にかなり干潟が発達している海です。この早崎瀬戸というところで東シナ海と接続しています。八代海ともこの辺の 3 つの湾口で繋がっていますが、あんまり大きな海峡ではないので、基本的にはこの早崎瀬戸というのが一番大きな湾口となります。先ほどから言ってますように、潮汐振幅、干潟面積ともに日本最大、日本一と。かつて有明海というのは豊穣の海と呼ばれていました。と言っても、私が研究を始めたころはすでに湾奥に水環境の悪化が起こっていて、かつて呼ばれていたんだなというぐらいしか私は知りません。その影響として、この図にある諫早湾干拓事業などによる潮汐潮流の変化が疑われてきました。

そんなに詳しく見なくていいんですけど、有明海の異変がどのようにして起こったのかいうのを宇野木先生と佐々木さんがまとめた図になります。いろいろな要因が複雑に絡み合っているなという印象になるんですけど、この中で諫早湾干拓事業という文字があると思うんですけど、これによる潮汐潮流の減少というのが結構いろんなところにリンクしていて、諫早湾干拓事業による潮汐潮流の減少がいろんな異変を起こしたのではないかということはずっと言われてきました。



元々こういうシナリオですね。諫早湾干拓事業が起こって、潮流が減少して、密度成層が強化されて貧酸素が起こると。密度成層の強化というのを説明し忘れましたが、先ほど、海の中で酸素が届くためには上下方向に混ぜる必要があると説明したんですけど、その混合、上下の混ざる力が弱まるという意味です。こういうシナリオですが、これが本当に生じたんだろうかというのが私の研究の出発点で、研究をしてきました。

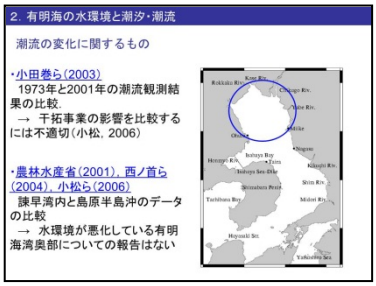
今回注目したいのが、これは有明海で、この辺りは湾奥のほうになるんですけど、諫早湾干拓事業がここです。諫干の中というところを、かなり貧酸素化が進んでいて水環境の悪化が進んでいます。ここに関してはあとでまた説明しますが、ここの環境異変に関してはかなり分かりやすく説明できますが、こっちの湾奥のほう、海苔の養殖がいっぱいあったり、一番環境異変があったというのが社会問題となった場所、こちらに関して実際どうだったのだろうということを今日お話ししたいと思います。

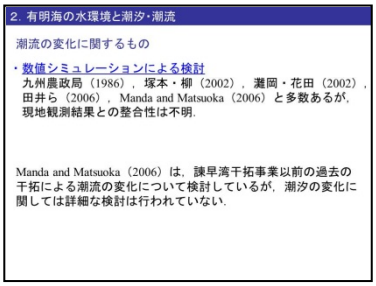


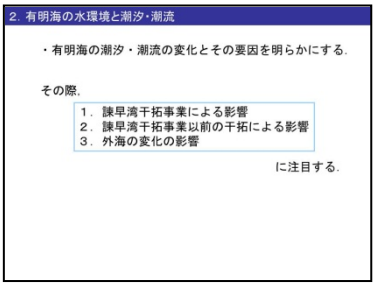
ここから専門的な話になりますが、潮汐の変化というのはたくさんの人が研究してきました。実際にこの青文字で

書いている方、これは私ですけど、どういうふうに研究するかというと、大浦という場所に潮汐観測所があります。そこのデータを気象庁からいただいて解析するんですが、そういうわけでみんな同じデータを使って研究しているんです。同じデータを使って研究しているのに、大きく 3 つに分けたんですけど、研究者によって言うことが違うという状況が、少なくとも私より以前、2002 年から 2004 年ぐらいまでの時は起こっていました。

まず最初、単純には諫早湾干拓事業があったので湾奥の潮汐潮流が減少して、有明海の異変が起こったんじゃないかというのが言われたんですが、その次の時期に、堤防の建設によって、湾奥のほうは減ったけど湾口は増えていて、よく分からないという研究が出てきて、この一番下の研究は、「変わった変わったと君たちは言うけど、私が解析したら変わってないよ」という人が出てくる。こういうふうに統一した見解が得られませんでした。



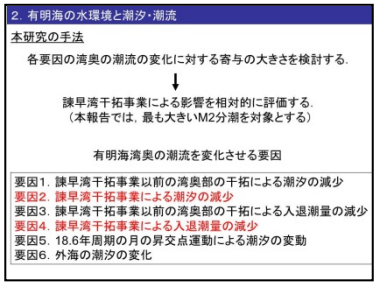




潮汐の話でしたが、潮流に関したのはもっと難しくて、潮流はさっき言いましたように潮汐観察所がないので、昔と比べるのがなかなか難しいです。なので、諫早湾干拓事業で潮流が減ったという定量的な証拠はなかなか少なくて、この 2 つぐらいしかない。小田巻さんという人が 1973 年と 2001 年を比べた例とか、こっちはいろいろあるんですけど、雲仙普賢岳の噴火のときにたまたま潮流の観測をこの辺りでやってて、そのデータ、同じ場所でやって比較したとかいう例があるぐらいで、あまり研究例が少ない。研究しようがない状況でした。

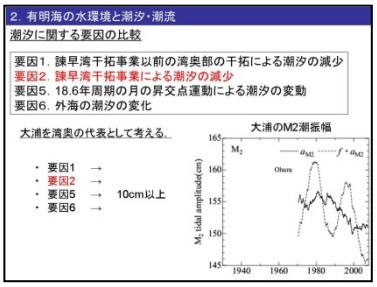
説明した研究というのは、実際に海に行くか、潮汐観測所のデータをもらって実際残っている観測データというのを比較するという研究手法なんですけど、潮流の変化というのは、先ほどからお伝えしているようにデータがないのでどうするかというと、コンピュータによる数値シミュレーションをやって検討するというのが盛んに行なわれています。こっちも人によって意見が一致している部分、一致しない部分というのがあって、なかなか結論が得られていない状況です。

こういう状況があって、今日お話するお話は有明海の潮汐潮流の変化とその要因を明らかにしようというときに、諫早湾干拓事業の影響を考えます。有明海というのは、あとで説明しますが、諫早干拓事業以前から盛んに干拓が行なわれてきていました。それらと諫早干拓事業の影響を、どっちがどのように影響与えてきたのかというのを調べてきています。最後 3 番目が外海、潮汐が太平洋から入ってくるというお話をしましたが、それ自体が変わっているんじゃないかということを疑って研究しています。なので、有明海の潮汐潮流が変わったというときに、考えられる要因というのがこの下に挙げる 6 個あります。



1 個目が、諫早干拓事業以前の干拓による潮汐の減少が

どれぐらいだったか。諫早干拓事業による潮汐の減少はどれくらいか。3 番目が、諫早干拓事業以前の湾奥の干拓による潮流の減少。こっちは 1 と 2 は潮汐です。3 と 4 は潮流の減少を調べます。5 番目というのが、ちょっと今説明したいんですけど、潮汐自体は 18.6 年という長いスパンで変わります。それによる変動というのがどれぐらいかと。あと、外海から入ってくる潮汐の変化というのがどれくらいだったか。この 6 個をそれぞれ定量的に比べて、この赤文字で示しているところが諫早干拓事業による影響ですけど、この 2 つがどれぐらいの位置を占めているのかを研究しました。

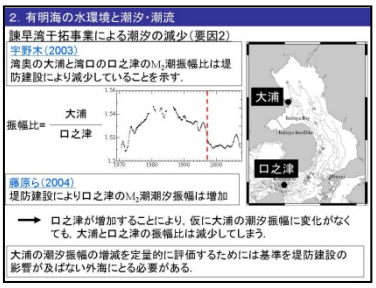


話に入っていきますと、まず潮汐に関する要因の比較。1 番と 2 番と 5 番と 6 番になります。まずこの図を見ていただきたいんですが、これは大浦の M2 潮の振幅。今日のお話の一番最初に、今日 1 日分の潮汐の振幅を示したんですが、海面の実際の変動ではなくて振幅だけを並べると、こういう絵になります。一番左が 1930 年から、一番右が 2010 年ぐらいまでですけど、大浦で潮汐観測が始まったのが 1968 年ぐらいなので、そこから図を描いています。

ここは縦軸が 145cm から 165cm になっていますけど、この数字というのは、ここ 155cm だとすると、今日 1 日の干潮と満潮の差の半分が 155cm ということで、1980 年ごろというのは月による干潮と満潮の差が 3m ぐらいある。3m10cm ぐらいある。今どれぐらいかというと、今は 3m ぐらいで、10cm ぐらい差がある。これは片側の振幅示したグラフですけど、実際に干潮と満潮の差というと 10cm ぐらい差があるという図です。1 日の上下の干満の差を並べている図です。

この黒い実線というのは、この中から月の影響というのを抜き取っているんです。月の影響というのを、月の 18.6 年周期の影響を抜き取った図が黒い実線ですけど、月の 18.6 年周期の変動、この点線ですけど、この山からこの山までが 18.6 年ある。これを入れると、こういう点線になる。

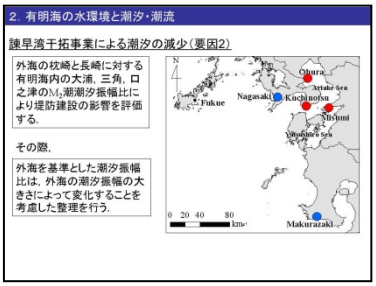
これはご覧いただいたら分かりますように、月による 18.6 年周期の影響というのは、さっき申し上げました、この差です。1980 年代から 2000 年代にかけて下がった、この差よりもはるかに大きいです。倍以上、平気で違うということが分かると思います。なので、実際に要因 5「18.6 年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動」というのは、有明海の振幅というのは 10cm 以上変化するということで、ここに 10cm と書きました。

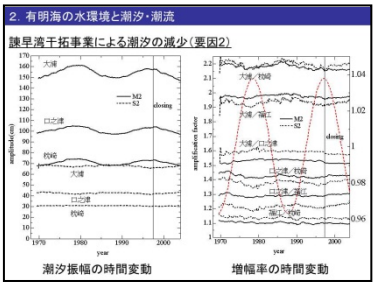


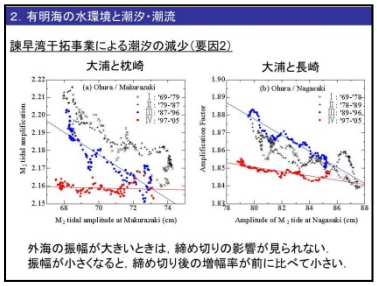
次が、諫早干拓事業による潮汐の減少がいくらぐらいだったかというのを説明するんですが、その際に考えるのが、どれぐらい減ったかというのを考えるときに、基準を取る必要があります。有明海はここに大浦という場所に潮汐観測所があるのと、この入り口に口之津の潮汐観測があります。ここの振幅とここの振幅、口之津と大浦の振幅というのを比較してあげると、どれぐらい中で減ったかというのが分かる。ということで、宇野木先生という方が調べたところ、こういう図が出てきた。

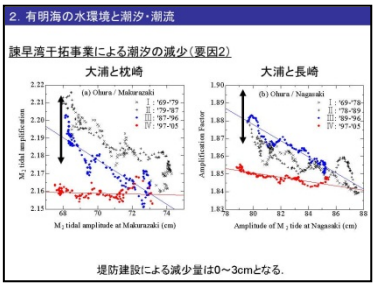
これはかなりややこしいんですが、比です。低いほど、下に下がるほど有明海の中の潮汐が減ったということを示す図ですけど、横が 1970 年から 2010 年ぐらいまでの図ですけ

ど、1980 年代から 90 年はずっと 1.54 ぐらいだったのが、1997 年の諫早湾の閉め切りがあったときを赤で示しています。ここに突然、がんと落ちていますよね。これが口之津堤防、閉め切りによる潮汐の減少のようだということでずっと研究されていたんですけど、１年後ぐらいに違う研究の成果として、これは九大の藤原さんとかがやられたやつですけど､堤防を建設したことによって口之津の潮汐振幅が増えたという研究結果を出しました。









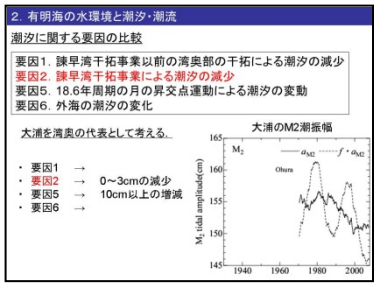
これはどういうことを意味しているかというと、この比で比較しています。この振幅比というのが下がるときに、大浦が減れば当然下がります。でも、大浦の振幅が同じでも口之津だけ増えれば、これは下がっちゃいます。実際、有明海の中の振幅というのを比較するときに、このやり方というのは間違いじゃないかということが議論されだしました。要するに何が不思議かというと、ここを閉め切った影響というのがこの近くに影響するならまだしも、遠く離れたこんな場所でも影響しちゃってたというのが分かったんです。

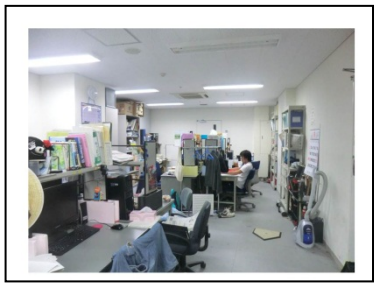
なので有明海の中の潮汐の振幅がどう変わったかというのを見るためには、こういうスケールですね。九州があって、鹿児島、有明海ですけど、今までは大浦と口之津の比を見ていたんですけど、そうじゃなくて、ここと例えば鹿児島なら枕崎とか長崎というふうに、かなり外側、遠いところと比較しないと実際どう変わったかというのが分からないんじゃないかと思って、データを見直した結果、次のようなことになります。

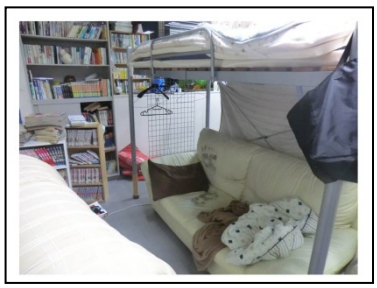
これは縦軸が振幅比ですけど、上にいくほど有明海なんかは潮汐が大きいと単純に考えています｡横軸というのは、左側は鹿児島の枕崎の振幅を示します。右側の図は、縦軸が上に行くほど潮汐が大きくて、下に行くほど小さい。有明海の中の潮汐が大きくて小さい。横軸は長崎の振幅を示している。

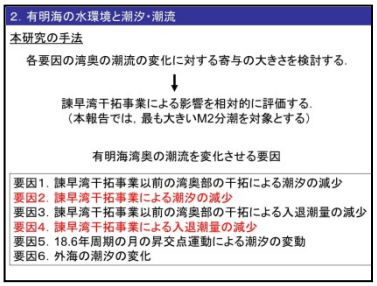
ちょっとややこしい図なので要点だけ言うと、この青点というのは閉め切りより前の点です。閉め切り以前。赤点で示したのは閉め切ったあとの点です。なので、青のほうが赤より上にあります。だから、閉め切ると青が赤に落ちたというのを示す。閉め切ったあとに、有明海の中の潮汐というのは減ったというのがこういう書き方で分かるんですけど、これを湾口の口之津で同じことをやると、図を忘れたんですけれども、青と赤がさかさまになります。赤が上にきて、青が下にきちゃうということが起こる。同じ有明海の中なのに、閉め切りによって増えたところと減ったところがあるという、不思議なことが起こります。なので、比較するときにかなり注意が必要です。

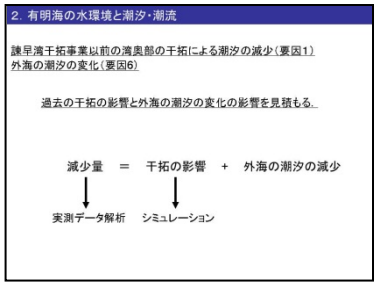
実際にこの図で、青と赤の差がここではちょっと詳しくないんですけど、この辺りはほとんど差がありません、縦方向。この辺はかなり大きく差があるということで、閉め切り











の影響というのは時期によって違うというのがこの図から分かるんですけど、今年は閉め切りの影響をあまり見ない年、大きく見える年というのがあるんです。

その中で、一番大きい時というのを見ると、大体 3cm ぐらい減少していることが分かりまして、ないときもあるので、0 から 3cm ぐらい未満ですね。諫早干拓事業の、潮汐の減少というのが起こっています。

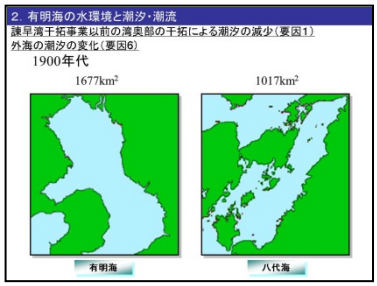
さっき 18.6 年周期の月の昇交点による変動が、増減が 10cm 以上だと。これに比べて要因 2「諫早湾干拓事業による潮汐の減少」というのは小さいというのが分かると思います。

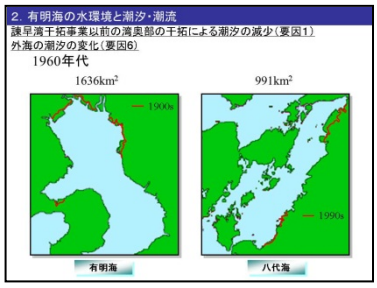
30 分ずつぐらいで休憩しようと思ったので、ここで話を切りまして、次また、大学の研究室の様子というのを休憩がてら説明しようと思います。

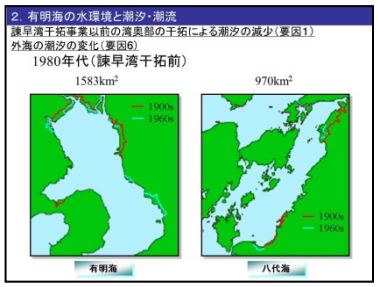
さっき現地観測の様子をご説明したんですけど、学生と一緒に行きます。大学、研究室というのがあって、そこで学生とか私が研究しているんですけど、これは私の所属している研究室の様子です。学生 1 人 1 人に席があって、パソコンがあって、研究しているやつもおります。これは今日の朝 1 時 40 分に撮ったんですけど、こんな夜遅くまで真面目にやっている人も 1 人ぐらいいたんですけど、そういう学生がちょっと休憩するために、ソファが研究室の中にあったりします。その奥はほとんど漫画です。こんな感じの場所で今説明したような研究をしています。

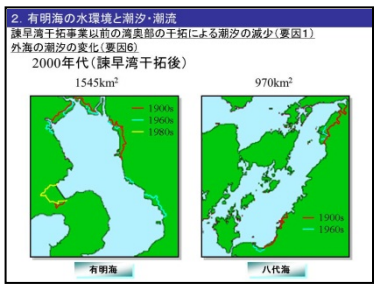
まとめますと、この要因 6 個を今調べています。次に諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少と外海の影響というのを調べたということで、過去の干拓の影響と外海の潮汐の変化を比較するためには、過去の情報と外海の情報が必要ということになります。先ほどまでは潮汐観測所のデータを使っていたんですけど、過去の干拓の影響を調べるためには、コンピュータを使った数値シミュレーションというのを使っています。

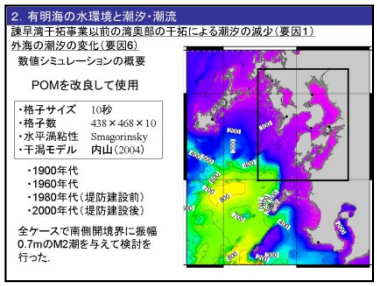
まず、過去の干拓というのがどのように有明海で行なわれてきたかというのを説明しますと、干拓自体は江戸時代からずっとやられているんですけど、ここで注目するのは 20 世紀の中の変化です。1900 年代の地図から海岸線を書くと、右側に八代海書いているんですけど、有明海は左側です。見ていただきたいんですけど、こんな感じです。これが 1960 年になると、こんな感じになって緑が増えます。赤線が 1900 年代の海岸線です。湾奥のほとんどの海岸線

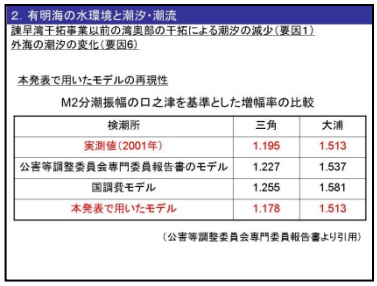












検潮所	三角	大浦
実測値（2001年）	1.195	1.513
公害等調整委員会専門委員報告書のモデル	1.227	1.537
国調費モデル	1.255	1.581
本発表で用いたモデル	1.178	1.513

が前進しているということが分かると思います。

次が 1980 年代、諫早干拓前の状況ですけど、同様に前進してきていることが分かると思います。これが現在の海岸線の様子で、この緑の現在の地形と赤線の様子を見ていただければ分かりますけど、湾奥でかなり海岸線が変わってきた。これによって、諫早湾干拓事業によって変わるならば、こっちによっても有明海の潮汐潮流というのが変わってきただろうと思って次のような研究をしました。

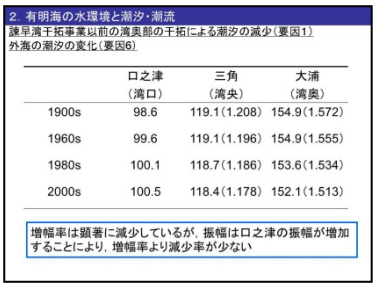
数値シミュレーションというのを行なうんですけど、九州の西側の地図で、色が付いているのが水深です。紫色が 10mとか 20mとかで、有明海湾口のほうはちょっと小さいんですけど、青い部分があって、これは 100mぐらいあります。沖縄トラフと呼ばれるようなあたりでは 800mとか 700mまで水深がずどんと落ちます。こういう場所で、こういうふうに四角を切り取って、この中を数値シミュレーションで計算します。

実際、数値シミュレーションというか、コンピュータを使って全く自然現象とも関係なく計算結果が出てくるんですけど、実際の値とどれぐらい合っているかというのを調べる必要があります。結果は出てきますけれどもコンピュータによる計算なので、全くうそをやっている可能性があるということで、僕は常にどれぐらい実際に合っているかというのを調べる。それを調べた結果なんですけど、一番上が実測の値で、三角が 1.195、大浦 1.513 という振幅の比なんですけど、この数字に近いほど、いいシミュレーションということになります。

これは国がやった公害等調整委員会とかいうのが使っていた数字がこのぐらいです。私が使ったモデルはこれぐらいなんで、他に比べても実質数値に近いから、まあいいでしょうということで次の話をします。実際の潮汐振幅をかなり合っているか確かめた上で、次のような検討を行なっています。

これが 1900 年代、1960 年代、1980 年代、2000 年代というふうな、さっき示した海岸線の形を変えて実際、潮汐振幅がどのように変わってきたかというのを数値シミュレーションで出した結果です。湾口の口之津と真ん中のほうの三角、八代海との境になるところの結果を示します。

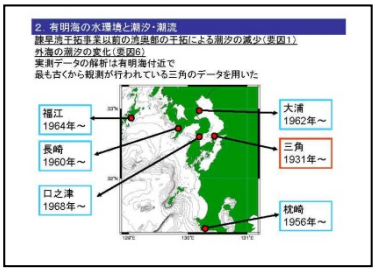
括弧の数字、154.9 とか 119.1 とかいう数字が実際の潮汐振幅の変化、海岸線の変化による変化です。海岸線がどんどん前進していくと、湾奥の大浦だと 1900 年のころは

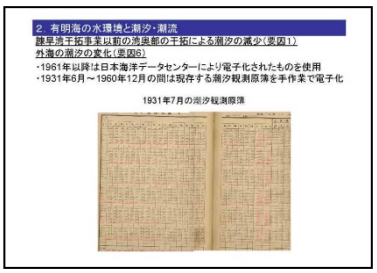


154.9cm だから、干潮と満潮の差にしていただくとこれを倍にするんですけど、309.8cm だったのが 2000 年代の海岸線で計算すると、304.2cm というふうに順調に減ってきたというのが分かると思います。

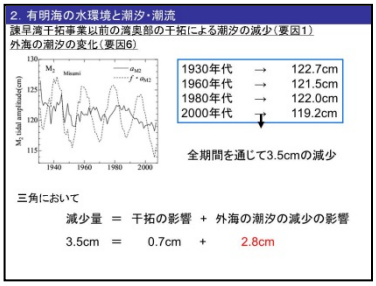
一方で、三角も同様に減ってきた。口之津というのは、湾奥と湾央、有明海の中が減ってきたにも関わらず、口之津は 98.6cm が 100.5cm というふうに逆に増えてしまった。増えてしまったというのもあれですけど、増えているんです。ということがシミュレーションでも分かりました。

これは実際に現地観測の結果もこういうふうになっている傾向にあるので正しいのだろうと思いますが、現在、私のやっている分野の教科書を見ても一切そのことが書いてなくて、その分野の偉い先生に聞いても、お前の計算は間違っているんじゃないかというふうに言われるぐらいの結果なんですが、実際、起こっています。



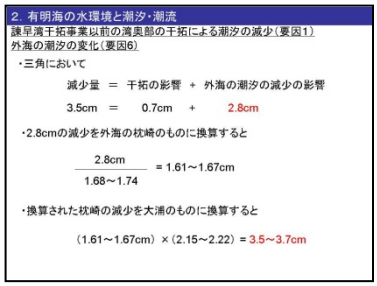


さっきの数値計算だけですけど、もっと古くから実際の潮汐振幅を調べたいということで、これは有明海の付近にある潮汐観測所でどれぐらいの時期から観測が始まったのかというのを示したものです。あるのは大浦、三角、枕崎、口之津、長崎、福井ってあるんですけど、この場所にある三角だけ 1931 年から観測が行なわれていたので、これを解析すれば 1931 年から現在までの潮汐振幅の変化、実際の変化というのが分かるだろうと思って、熊本気象台に問い合わせてデータをくださいと言ったら、あったのがこういう潮汐観測原簿と呼ばれるものでした。これは 1 日 1 時間ずつ、手書きでずっと残っているというのがありまして、実際にデータを解析するときには電子化する必要がありまして、これを全部、何十年分も目で読み取って、電子化して解析した結果を今からご説明します。

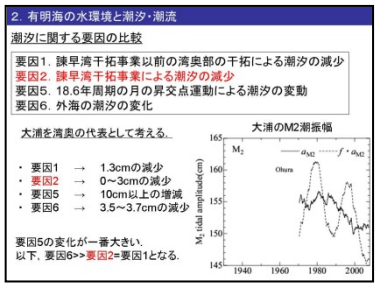


これがその結果で、横軸が 1931 年から 2000 年代ぐらい。縦軸が振幅を並べたものです。さっきまでは大浦を中心にやっていたんですけど、今は三角を、場所なんで、有明の湾奥とはちょっと場所が違うというのでご注意ください。

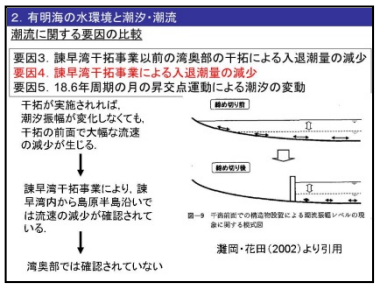
それで見ますと、黒い実線というのは潮汐の振幅の変化を示しています。点線というのは、先ほどから何度か言いましたが、18.6 年周期で影響を入れた場合の潮汐振幅になります。大体 80 年間に 4 回の山、4 回の谷間の振幅を繰り返している。まず黒い実線から注目すると、なんとなく 1930 年代のころとこの辺りの 2000 年代を比べると、右下がりの傾向。上下にちょっと変動がありますけど、この辺に比べたら小さくなっているということで、数字で示すとこういう形になって、昔は 122.7cm あったのがだんだん時代が移るにしたがって、ここでちょっと増えたりしていますけど、今は 119.5cm になった。全期間を通じて 3.5cm 減少したということが分かります。



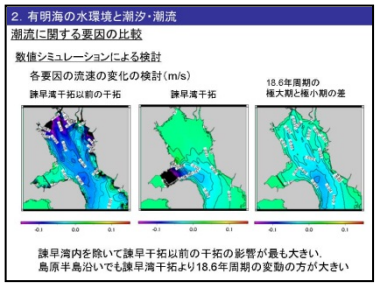
この 3.5cm というのは干拓の影響です。さっき説明した干拓の影響と、外から入ってくる潮汐自体の変化の影響が合わさったものです。干拓の影響というのは、さっきの数値シミュレーションで 0.7cm というふうに三角が出ていたので、これを 0.7 と書くと、残りの部分というのは外海の潮汐の減少の影響によると考えることができます。三角という場所に限りますけど、全部で 3.5cm 減って、人間が有明干拓したところして 0.7cm 減ります。それ以上に何かしら外から入ってくる潮汐というのは、大きく減っているというのがこれで分かりました。



これを大浦に換算すると、ちょっと大きくなりますが、要因別に潮汐の減少というのを書いていくと、諫早湾干拓事業以前の潮汐の減少というのが大浦で 1.3cm、干拓事業によるのは 0～3cm。この 18.6 年周期の振幅というのが 10cm、外海からの潮汐の変化というのが 3.5～3.6cm というふうに、一番変動を起こすのは月の 18.6 年周期。次が、外から入ってくる潮汐の大きさなんです。それより小さくて干拓ですね。要因 1 番と 2 番の影響があることが分かると思います。



今、潮汐の話ばかりしたんですけど、次に潮流の話をします。潮流は潮汐とほとんど表裏一体と先ほど申し上げましたが、潮流がどう変わったかというのをちょっと調べます。ここで注目したいのが、先ほど潮流というのは干満差を起こすために外から入ってくる水の量と説明しました。この絵を見ていただくと、右が湾の外のほう、こっちが内側のほうになるんですけど、要するに外から入ってくる水の量が、干拓前、干拓後で、干拓が進むと入ってくる量がこれだけ要らなくなります。潮汐振幅が全く変わってなくても、干拓さえ進めば潮流というのは減少するんです。なので、先ほど潮汐潮流は表裏一体物と言ったんですけど、若干うそで、潮汐の変化だけしちゃうと言っても、潮流の変化はこういう意味では分からない。このあと、この説明をします。



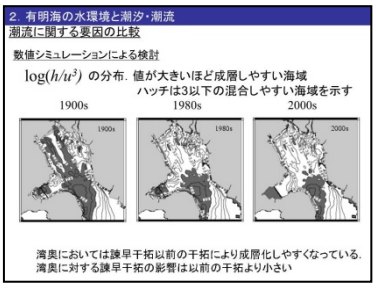
先ほど行なったシミュレーションの結果はこれになるんですけど、潮流の変化を示した図です。3 つ図があると思いますけど、左から、色が紫から青っぽいところというのは潮流の減少を示します。緑はこういう場所です。こういう場所というのは、潮流がほとんど変わっていない場所です。一番左が諫早湾干拓以前の、昔の湾奥の干拓による潮流の変化。真ん中の図が諫早湾干拓による潮流の変化の図です。一番右の図が、18.6 年周期による月の影響の変動による、月の影響が一番大きい時と小さい時の差が一番右の図になります。

これはあくまでも数値シミュレーションから出てきた結果で、実際の減少を海で観測した結果ではありません。こう比べるしか方法がないので、こういう図を描いてます。見ますと一目瞭然で、諫早湾干拓以前の干拓の影響というのは、有明海全域、湾奥の全域に広

がる。色が付いています。こういう結果に比べると。諫早湾の中というのはそんなに変わってないことが分かると思います。

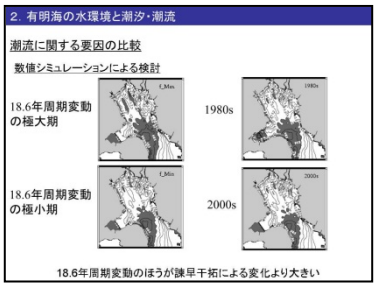
一方で、諫早湾干拓というのは、諫早の中ではすごく影響が強い。島原半島に沿ってもかなり減少がある、領域が広がるということが分かりますが、湾奥に関してはほとんど影響が見られません。

一番右を見ていただくと、人間が何をどうしようが、月の影響により起こってしまう変動ですけど、それにより起こる減少、変動量というもののほうが諫早湾干拓による湾奥への影響というのがかなり大きい。こちらは色が緑なのに比べて、こっちは青いです。大きいということで、この湾奥の影響だけに限ると、諫早湾干拓というのはこのほかの要因に比べて小さいです。諫早湾だけ見ると、一番大きい。これから言えるのは、諫早湾干拓というのは諫早湾の中には、かなり大きな環境異変を生じさせた可能性は非常に高いです。ですが湾奥に関しては、直接影響したとは考えづらいかなと。潮汐潮流の観点からするとそう考えられると言えます。



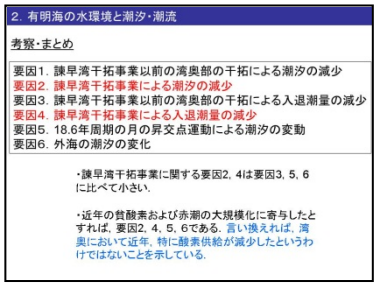
これはさっきの図を違う見方をして、海面と海の底の上下の混ざり方というのを定量的に示したものです。左から順番に、1900 年代、1980 年代、2000 年代というふうに、黒い色が付いているところというのは比較的、上下に混ぜやすい海域を示しています。1900 年代というのは、こんなふうに湾奥もかなり混ざりやすい海域が広がっていたのに対して、80 年代は湾奥の干拓が進んできた時点で、かなりそういう海域が減っていることが湾奥に関しても分かると思います。諫早湾の中もかなり混ざりやすかった。

2000 年代になると、これは諫早湾干拓の中が黒くなっているんですけど、これは実際の海じゃないんで、これを関係なく見ていただくと、諫早湾の中というのは混ざりにくい。全域で混ざりにくい場所に変わってしまう。諫早湾干拓事業。ただ湾奥は、その前から混ざりにくかったということが分かると思います。



今の諫早湾干拓事業と、諫早湾干拓事業より前に起こった干拓による影響ですけど、これは 18.6 年周期に変動による差を示した表です。ちょっと分かりにくいんですけど、これが混ざりやすい時です。18.6 年周期の変動による月の影響が大きいときがこれで、小さい時がこっちです。よく見ると差があるんですけど、こうやって見ると差がありますけど、あまり差がないんですけど、18.6 年周期の変動でもこれぐらいは混ざりやすさが変わるということで、1 つ前の図とよく比べると、18.6 年周期の変動のほうが諫早湾干拓による変化よりも大きいです。有明海全体に対してはですね。

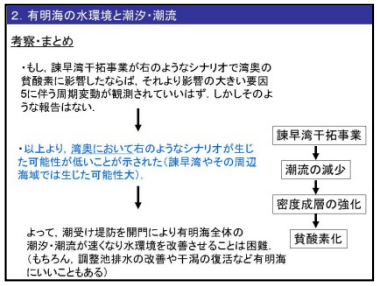
以上、ごちゃごちゃといろいろいろんな研究結果をまとめて羅列してきたので、ここでまとめ直しますと、こういう要因、1 番 2 番 3 番 4 番 5 番 6 番というのを 1 個 1 個データ解析とか数値シミュレーションとか使って定量化してきました。この中で赤文字というのが、諫早湾干拓事業によって起こった潮汐潮流の減少というものです。



結論から言うと、諫早湾干拓事業に関するこの赤文字は、諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮流入退潮の減少とか、18.6 年周期の月の運動による潮汐の変動とか、外海潮汐の変化に比べて小さいということが分かりました。

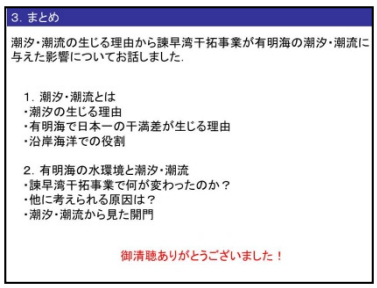
なので、諫早湾干拓事業において潮流が減少して密度成層が強化されるだろう、混ざりにくくなるだろうと。そして貧酸素化など、水質が起こったというシナリオというのは実際どう考えるべきかというと、潮流の減少というところは諫早湾干拓事業以外による影響のそれ以外のもののほうが大きいということは、諫早湾干拓事業でこれが起こるならば、ほかの要因で起こっている。だから、18.6 年周期の変動で大きいときと小さいときで貧酸素が起こるとか、水質が悪くなったという現象は起こっていたかというのは、干拓事業以前の干拓、1980 年代、70 年代から有明海というのは今のような水質変化、悪化があったのかというと、そういうことはないです。

ということから考えると、有明海の湾奥のほう、諫早湾以外の湾奥のほうに限ると、諫早湾干拓事業によって、このようなシナリオで水質悪化が起こったという可能性は非常に低いのではないかと思われます。諫早湾周辺の海域では十分にこういうことが生じた可能性は高いです。



昨今、潮受け堤防を開門して有明海全体の水環境がどうなのか調べようと、実際、裁判でも決着がついてしまっていて、来年の 12 月までには開けないとだめということになっているんですけど、実際その時に、開門しました、潮汐潮流が昔のように回復しました、水環境がよくなるというシナリオはちょっと描きづらいと私は考えます。

開門の影響によって、実際に諫早の調整池をご覧になった方は分かると思うんですけど、かなり見た目にも悪い。水質も環境基準をかなり下まわっている状況にあるのと、その中にやっぱり干潟とかが復活して、有明海という場所が非常にそのせいで良くなるということは十分には考えられると思います。ですが私が専門にしている潮汐潮流というのが大きく改善して変わるということは、ちょっと考えづらいかなと思っています。



最後にまとめますと、潮汐潮流の生じる理由から諫早湾干拓事業が有明海の潮汐潮流に与えた影響についてお話ししました。最初、潮汐の生じる理由、有明海に日本一の干満差が生じる理由、沿岸海域の役割というのを、簡単ですが説明しました。

次に、有明海の水環境と潮汐潮流の変化ということで、過去の干拓とか月の影響とか、外から入ってくる潮汐というのがどう変わったかというのを、データ解析とか数値シミュレーションで 1 個 1 個定量化して、その中で諫早湾干拓事業がどれぐらい予兆を示していたのかというのをご説明しました。それを踏まえて、開門によって潮汐潮流が回復して、有明海が突然良くなるというようなことはちょっと考えづらいかなということを最後にご説明しました。

以上で、私の発表は終わりたいと思います。ご清聴ありがとうございました。