NPO 法人　有明海再生機構

有明海講座

日時　平成 24 年 9 月 21 日（金）14：00～16：00

場所　アバンセ

佐賀県佐賀市天神三丁目 2-11(どんどんどんの森内)

来場いただいた方へのお願い
今回の有明海講座の会場定員は 80 名となっておりますが、予想を上回る申し込みとなったため、席に余裕がございません。ご迷惑をおかけいたしますが着席の際は隣席を空けずに着席頂きますようお願い申し上げます。
CPDS 認定講座受講証明書が必要な方は終了後に受付でお配りいたします。

次第

１．主催者挨拶

特定非営利活動法人有明海再生機構

理事長　荒牧　軍治

２．講演

「有明海の潮汐・潮流について」

九州大学高等研究院　助教　田井　明

３．質疑応答

本日は、お忙しいなか、お越しいただきありがとうございます。有明海講座に対する希望（開催時期、こんな講座があれば、等）がございましたら下記連絡先までご連絡いただけないでしょうか。企画の参考とさせていただきます。

Mail：npo-ariake@ceres.ocn.ne.jp　Fax：0952-26-7050

有明海の潮汐・潮流について

九州大学高等研究院　田井明

自己紹介

名前　　田井明
現在の役職　九州大学高等研究院　助教（昔の助手）

H14.3 高松工業高等専門学校建設環境工学科　卒業
H14.4九州大学工学部地球環境工学科　3年次編入
H16.3九州大学工学部地球環境工学科　卒業
H16.4九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻博士前期課程 入学
H18.3九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻博士前期課程 修了
H18.4九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻博士後期課程 進学
H20.4～H22.3日本学術振興会特別研究員DC
H22.3九州大学大学院工学府海洋システム工学専攻博士後期課程 修了
H22.4～H24.2九州大学大学院工学研究院環境都市部門 特任助教（学術研究員）
H24.2～九州大学高等研究院 助教（テニュアトラック制教員）

2003年ごろ卒業論文のテーマとして九州大学で有明海の研究を始めました.
主に，現地観測と数値シミュレーションを用いて研究しています.

本日の内容

１．潮汐・潮流とは
・潮汐の生じる理由
・有明海で日本一の干満差が生じる理由
・沿岸海洋での役割

２．有明海の水環境と潮汐・潮流
・諫早湾干拓事業で何が変わったのか？
・他に考えられる原因は？

３．まとめ

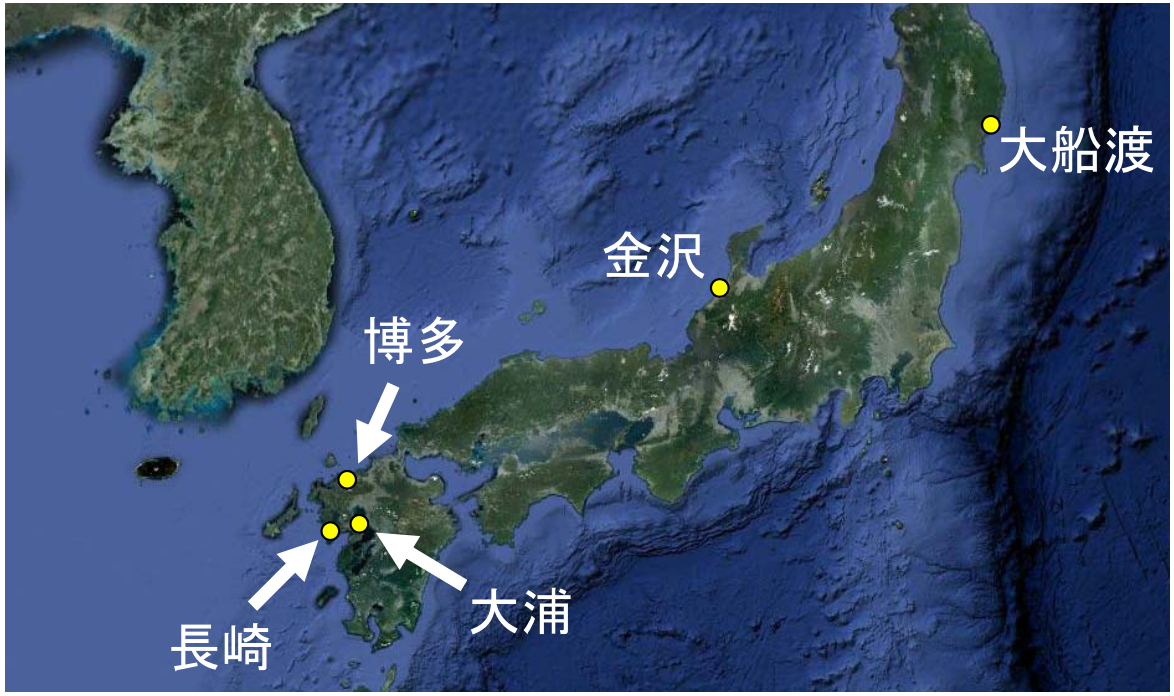
1. 潮汐・潮流とは

●満潮

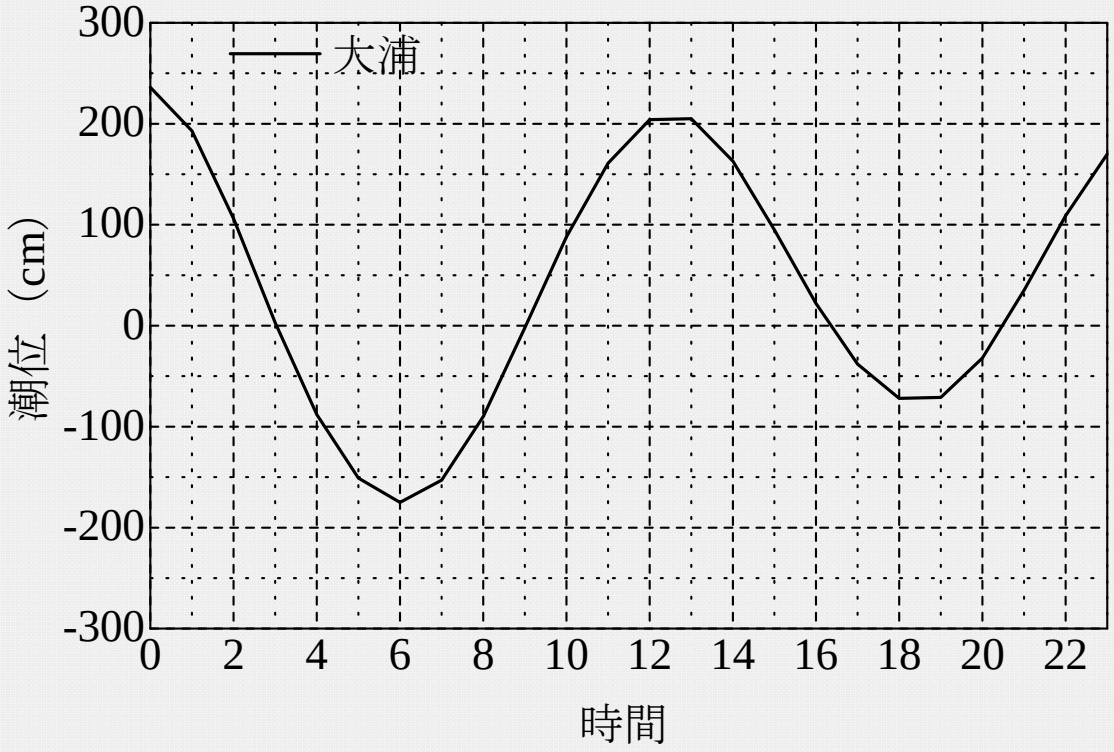
●干潮

1. 潮汐・潮流とは

本日の海面変化（潮汐）



1. 大浦（有明海）
2. 長崎
3. 博多
4. 大船渡
5. 金沢

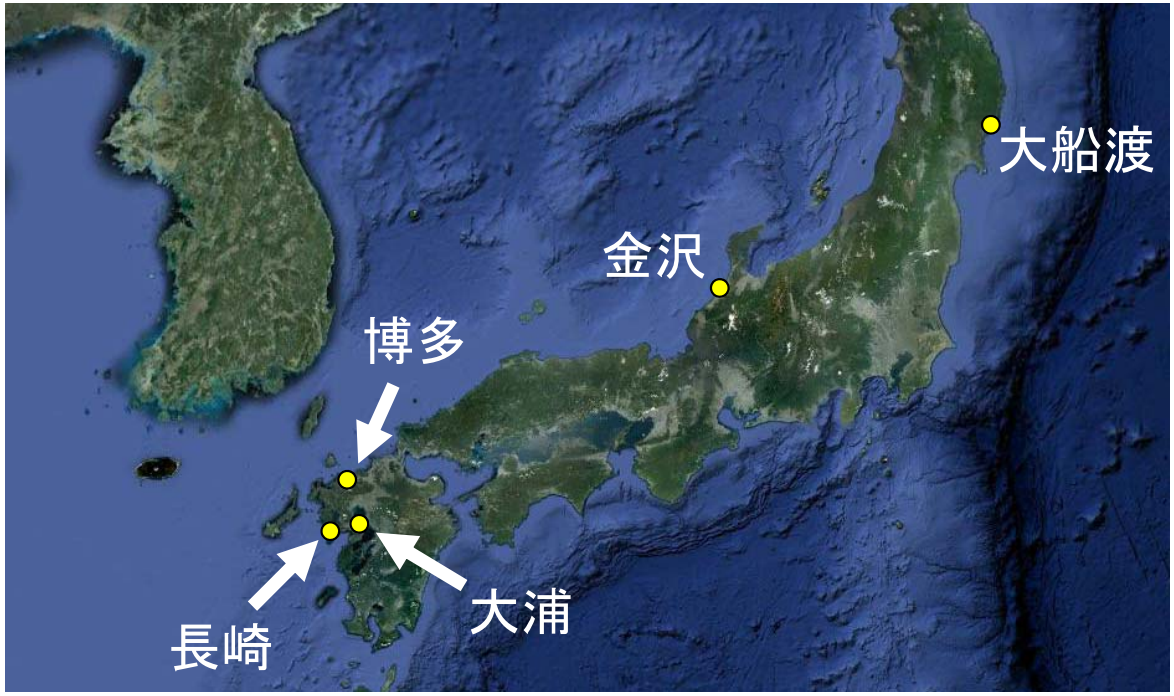


・満潮と干潮で4m程度の差

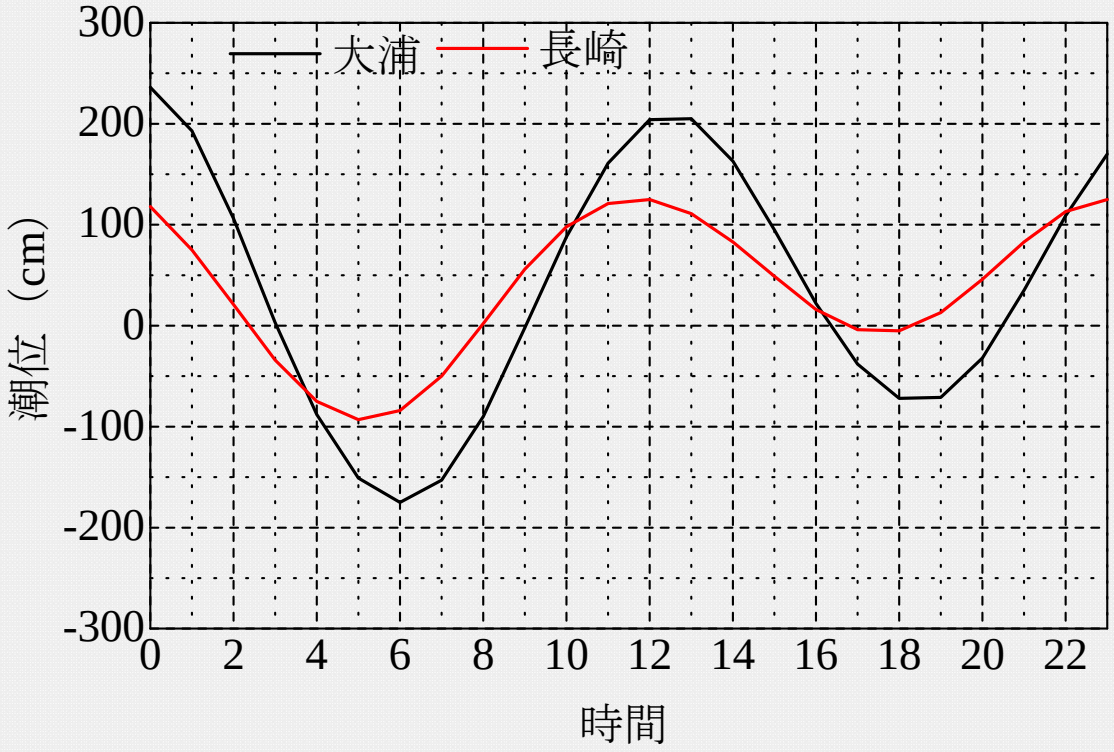
・朝6時の干潮の後，12時間後の18時にも干潮がある．

1. 潮汐・潮流とは

本日の海面変化（潮汐）



1. 大浦（有明海）
2. 長崎
3. 博多
4. 大船渡
5. 金沢



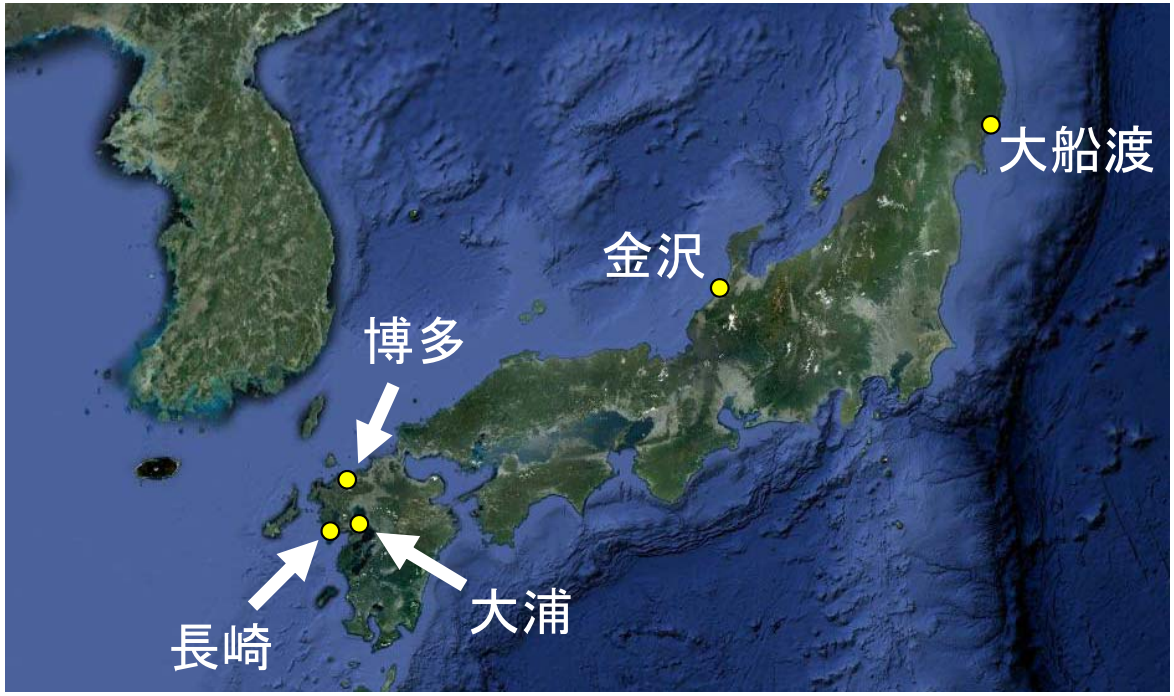
・大浦より干満差が小さい

・満潮，干潮の時間が大浦より早い

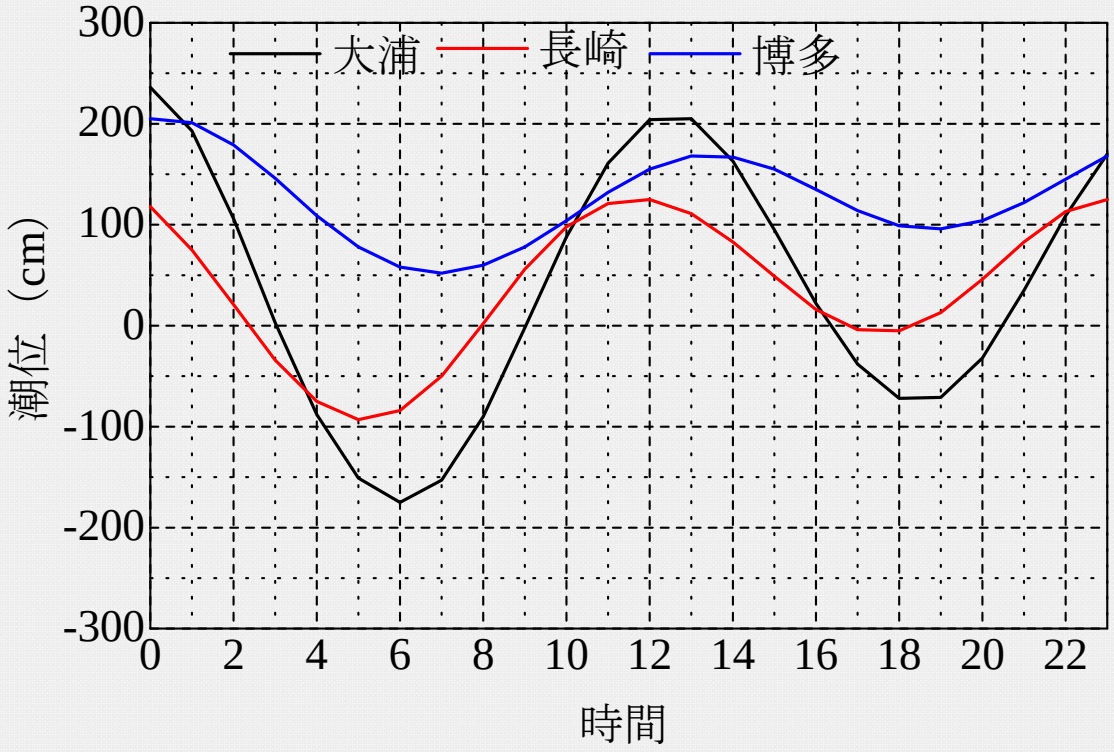
・朝5時の干潮の後，
12時間後の17時にも干潮がある．

1. 潮汐・潮流とは

本日の海面変化（潮汐）



1. 大浦（有明海）
2. 長崎
3. 博多
4. 大船渡
5. 金沢



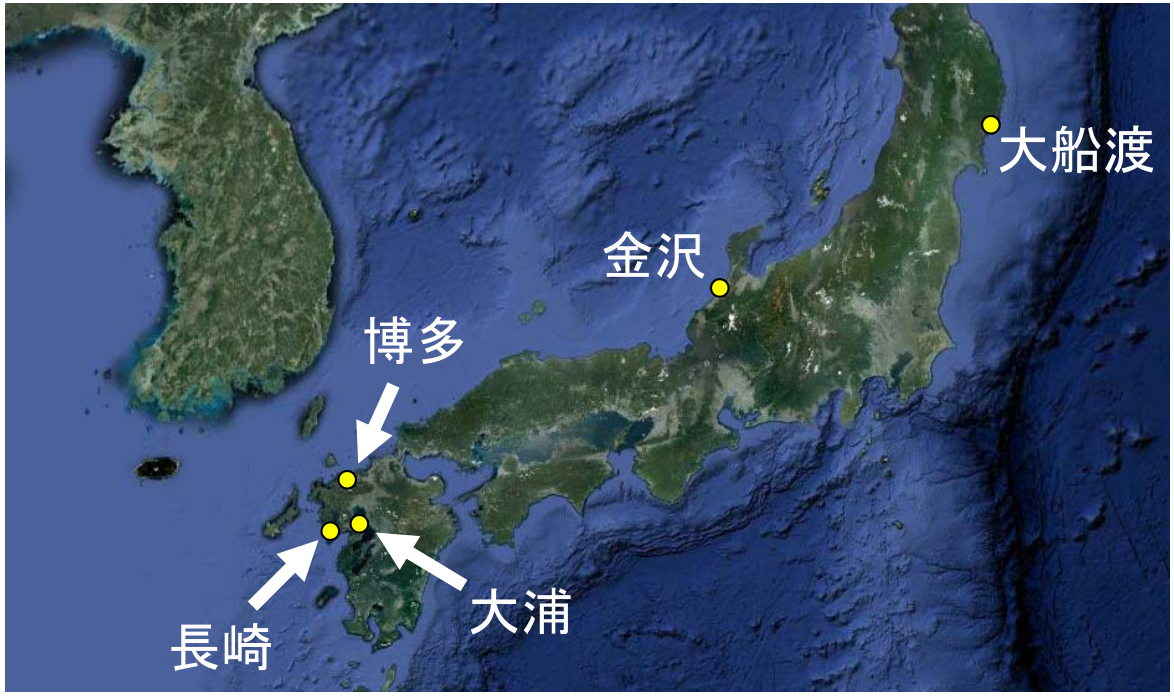
・大浦，長崎より干満差が小さい

・満潮，干潮の時間が遅い

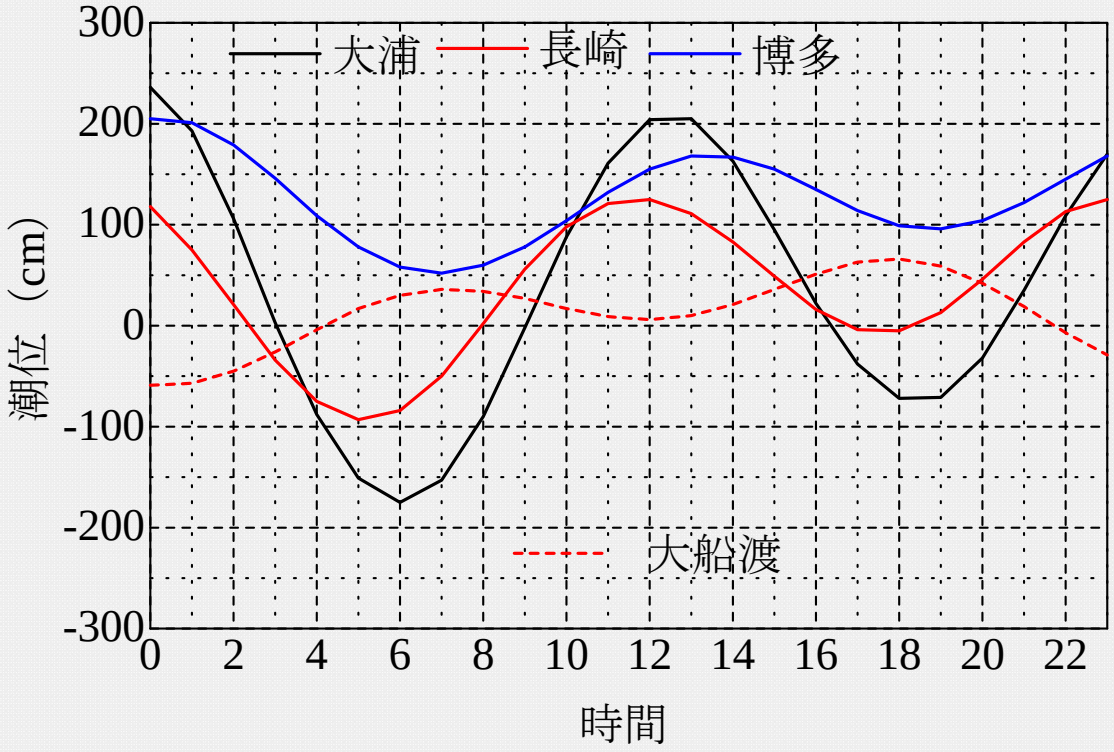
・朝7時の干潮の後，
12時間後の19時にも干潮がある．

1. 潮汐・潮流とは

本日の海面変化（潮汐）



1. 大浦（有明海）
2. 長崎
3. 博多
4. 大船渡
5. 金沢



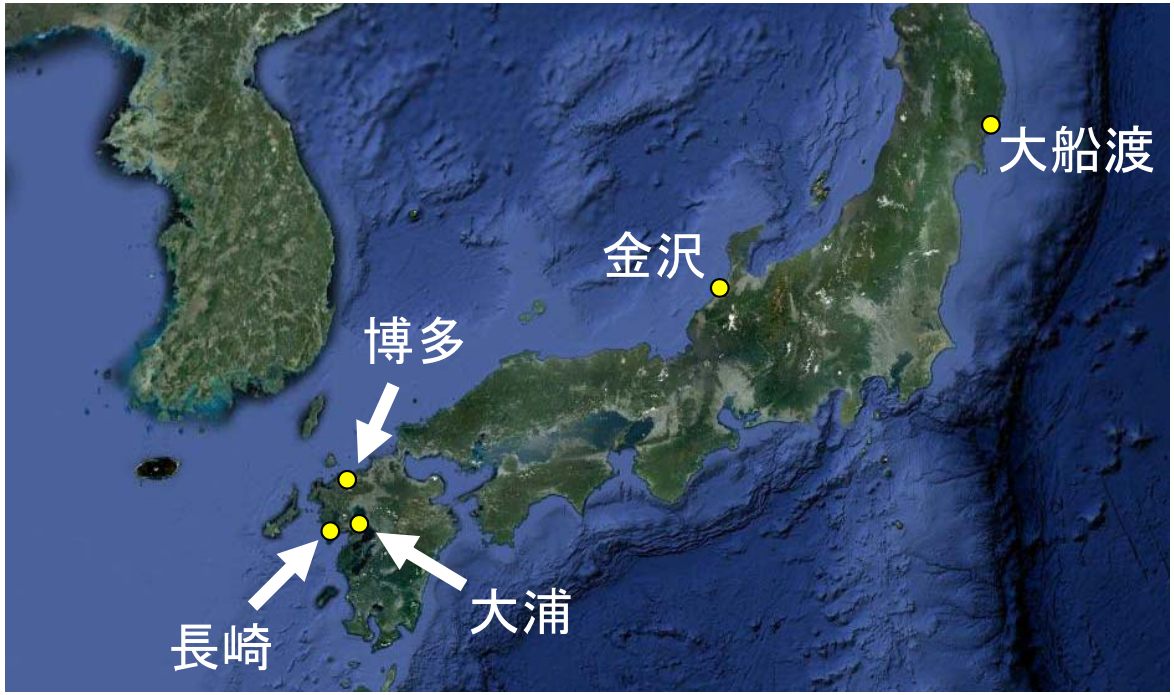
・大浦，長崎，博多より干満差が小さい

・満潮，干潮の時間が九州沿岸とまったく違う

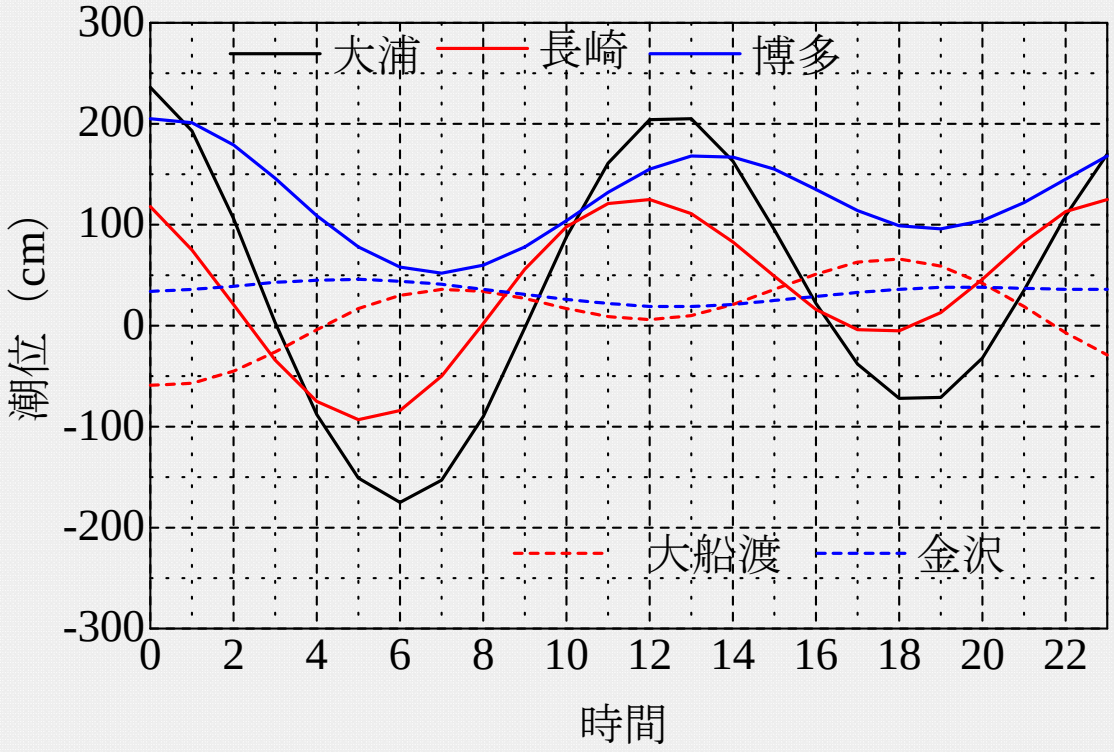
・朝7時の満潮の後，11時間後の18時にも干潮がある．

1. 潮汐・潮流とは

本日の海面変化（潮汐）



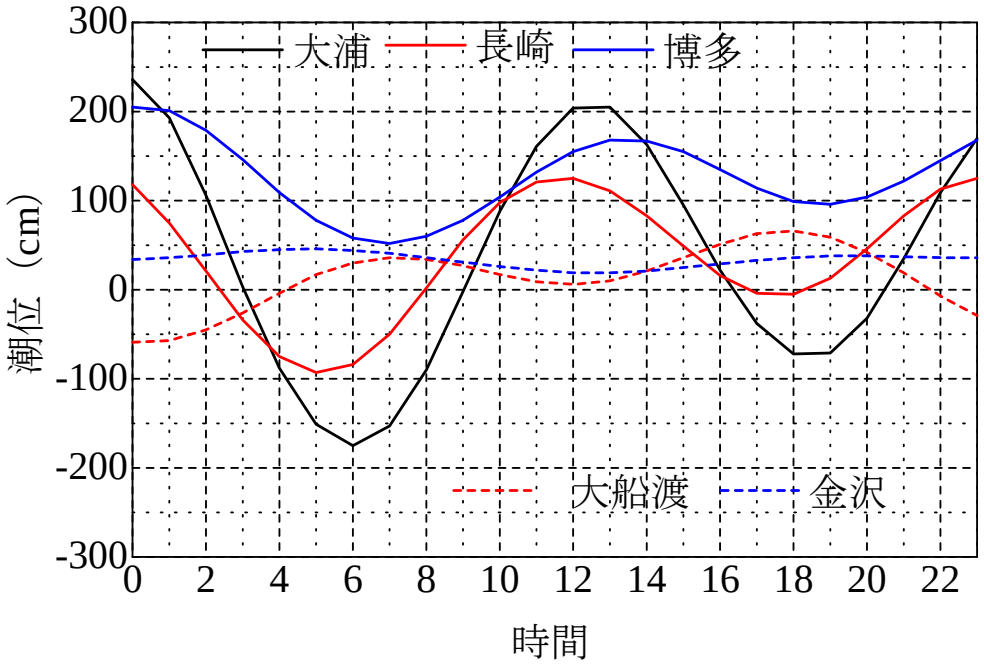
1. 大浦（有明海）
2. 長崎
3. 博多
4. 大船渡
5. 金沢

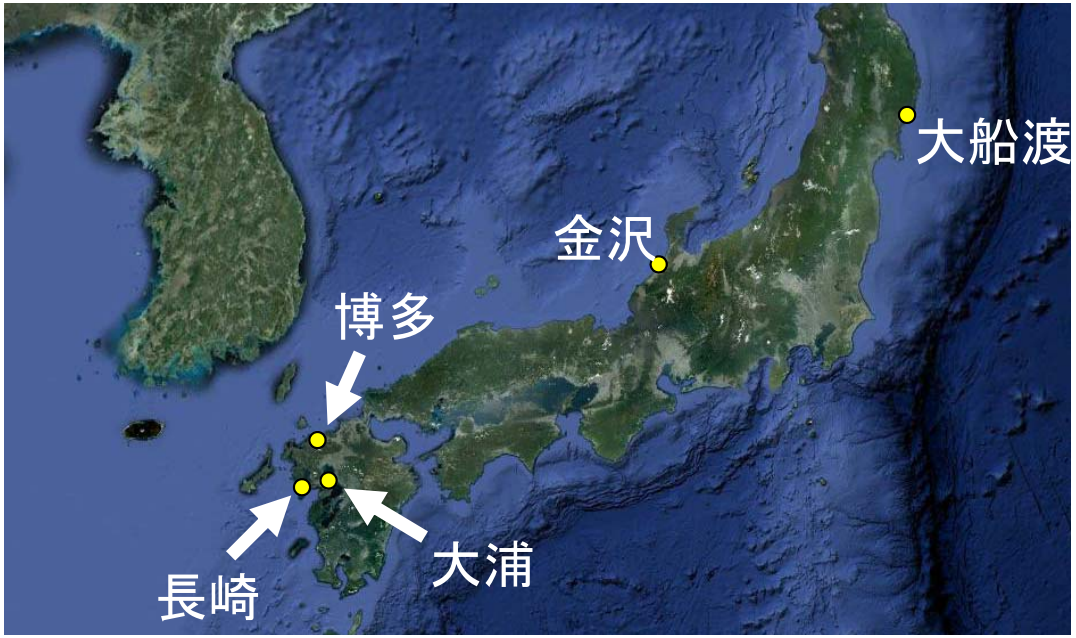


・干満差が一番小さい

・満潮，干潮？

1. 潮汐・潮流とは





・どうして，事前に今日の海面の変化（潮汐）が分かるのか？

・大浦の潮汐が一番大きいのは何故か？

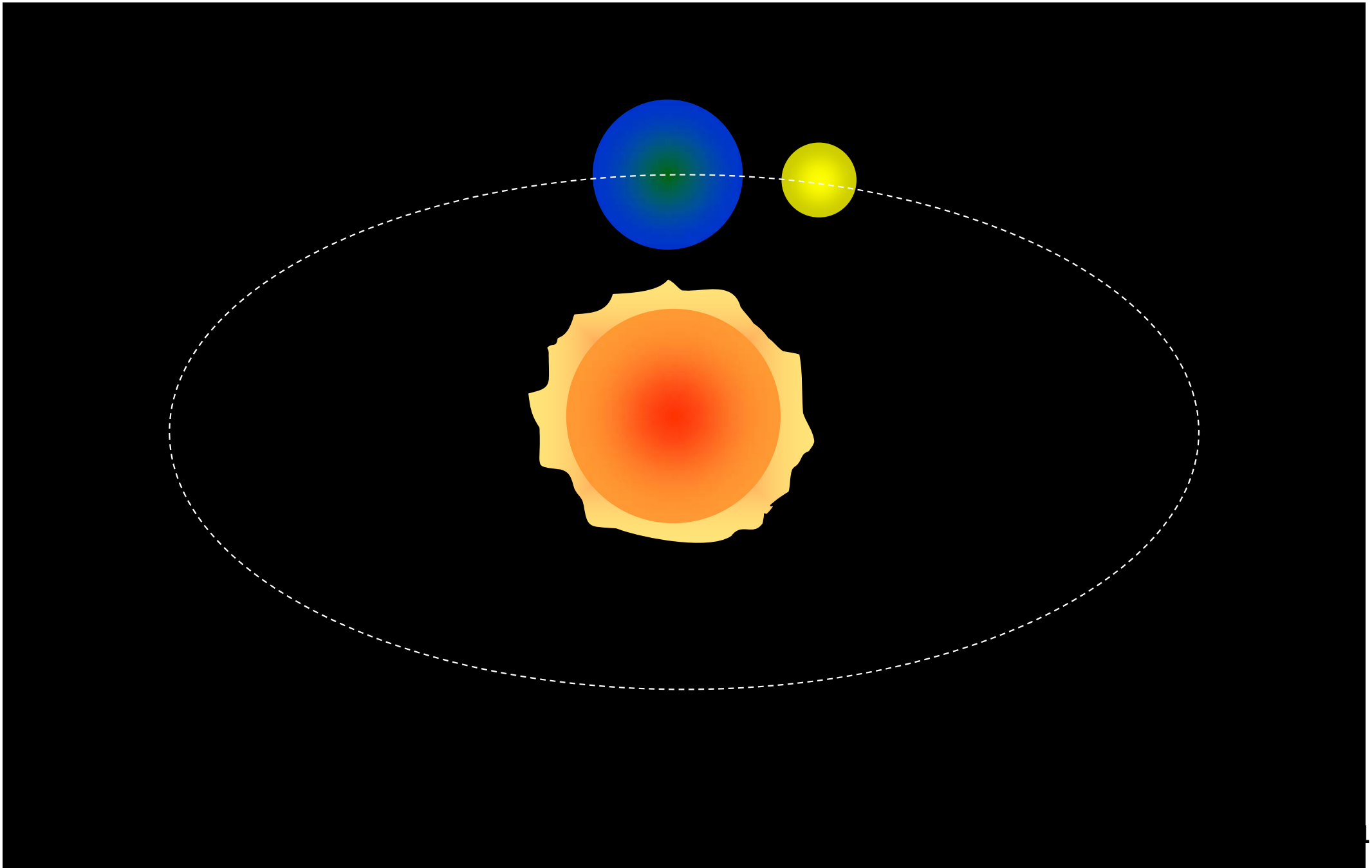
・潮汐と潮流との関係は？

・潮汐・潮流の役割は？

1. 潮汐・潮流とは　発生原理

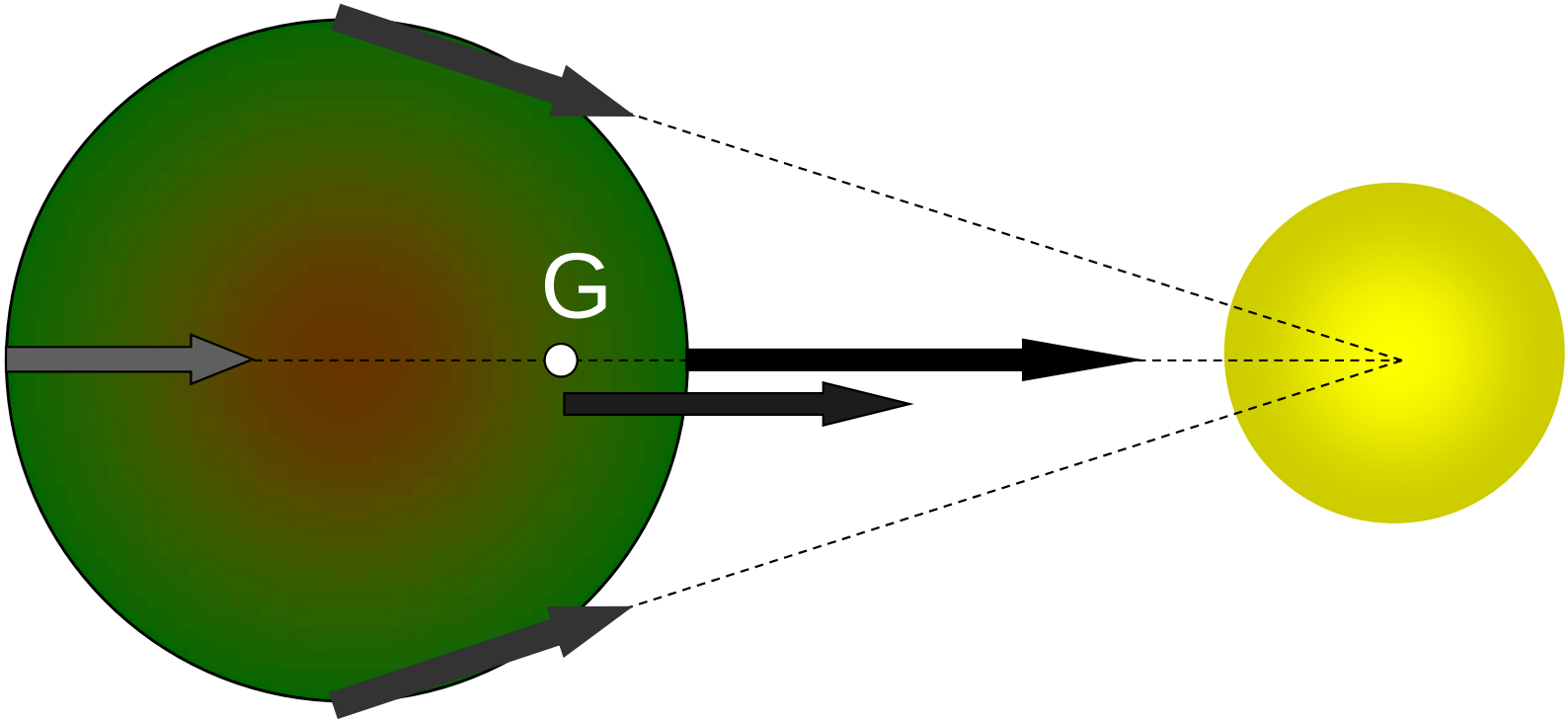
・どうして，事前に今日の海面の変化（潮汐）が分かるのか？

地球・太陽・月の動き



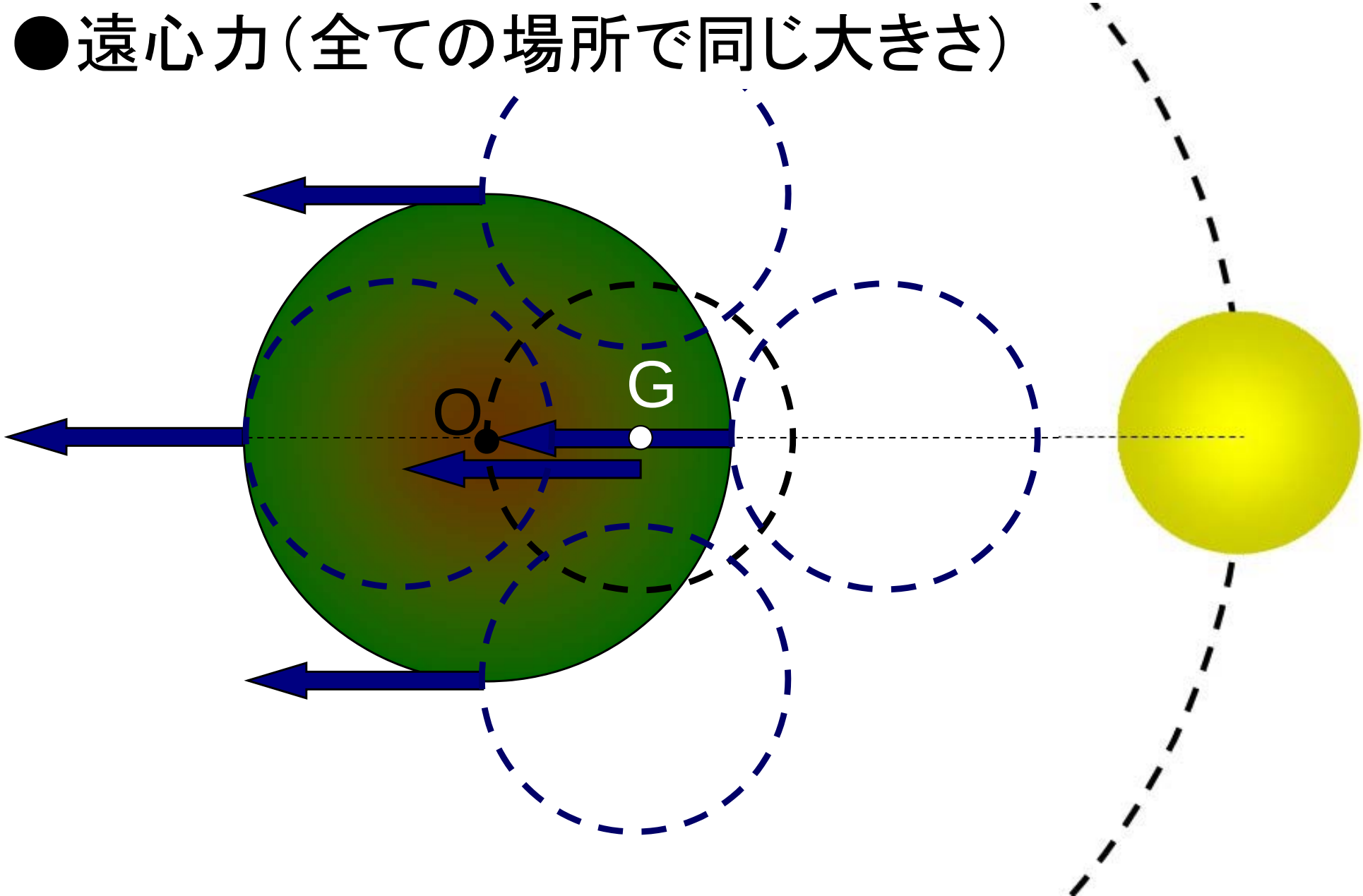
起潮力について

●月の引力（月からの距離が近いほど強い）



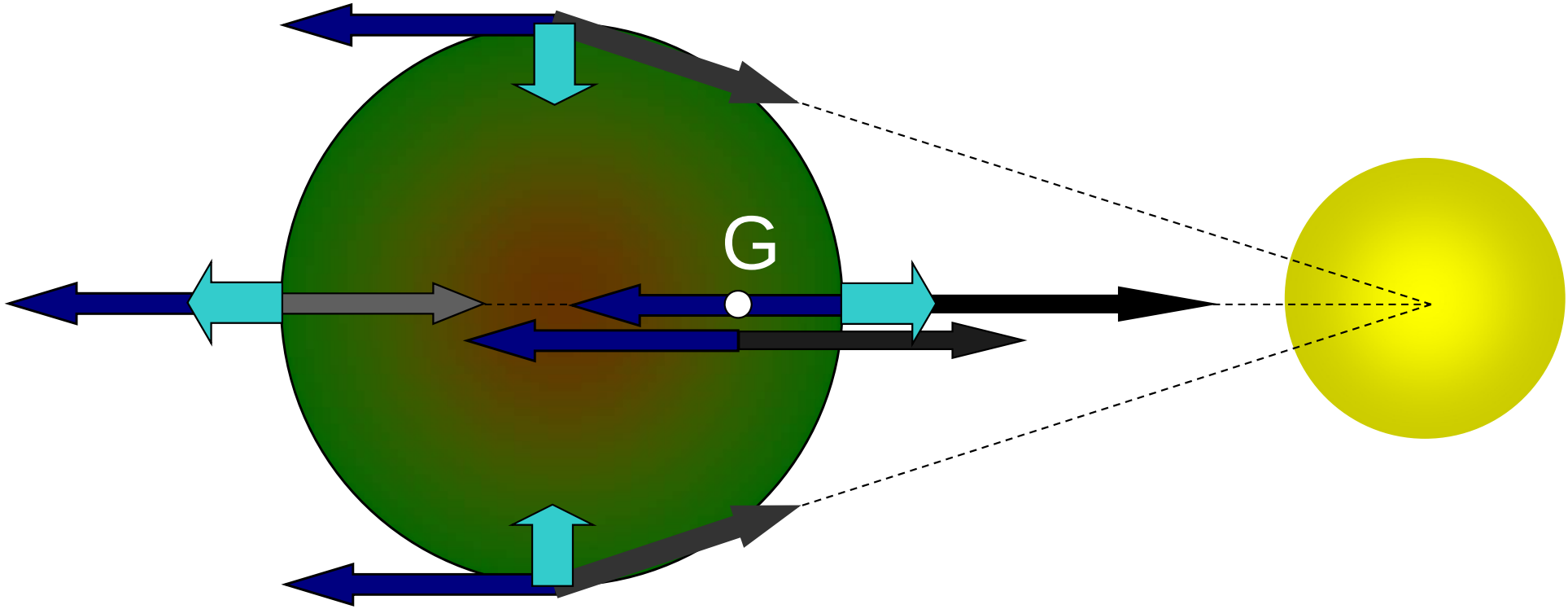
起潮力について

●遠心力（全ての場所で同じ大きさ）



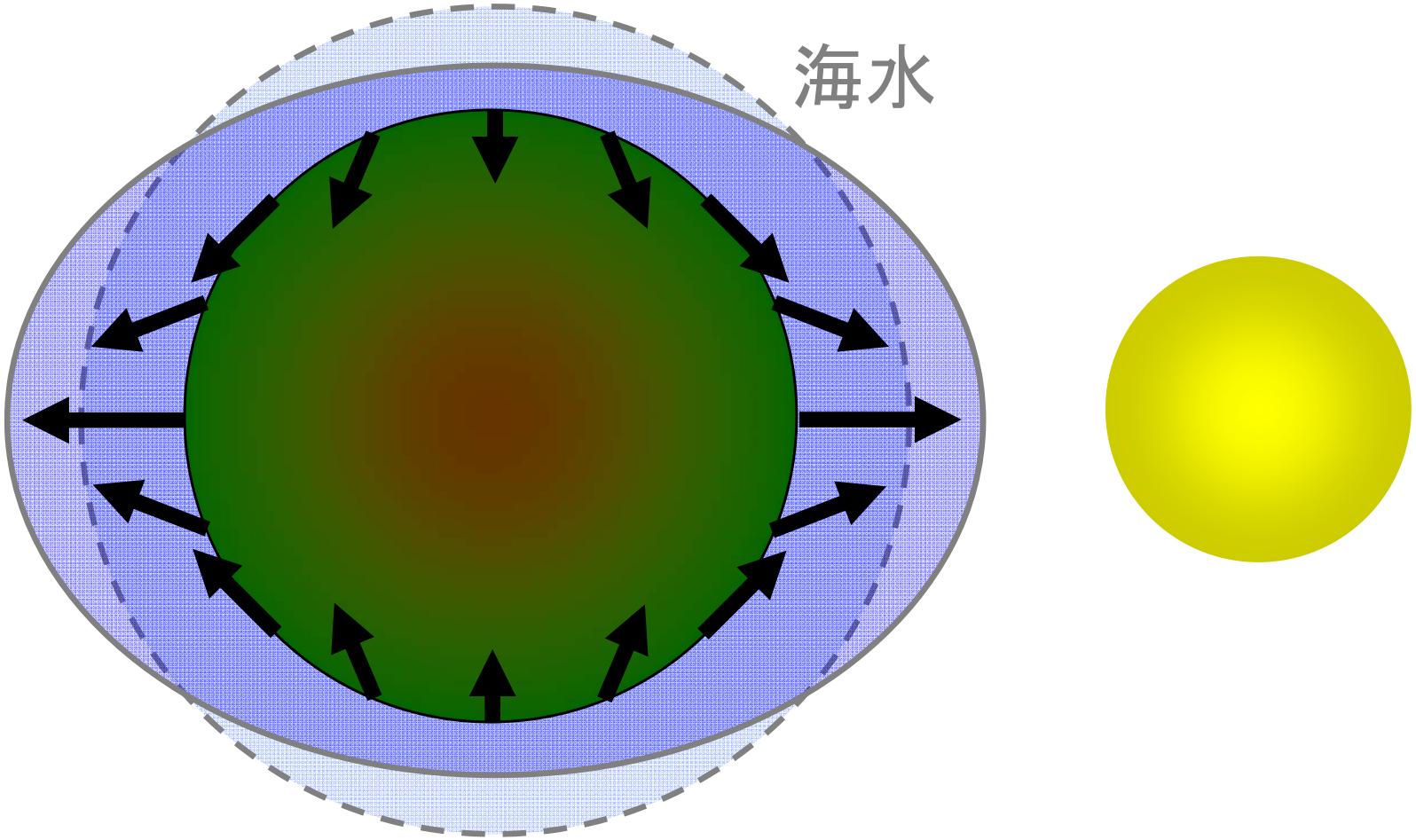
起潮力について

●月の引力と遠心力の合計



起潮力について

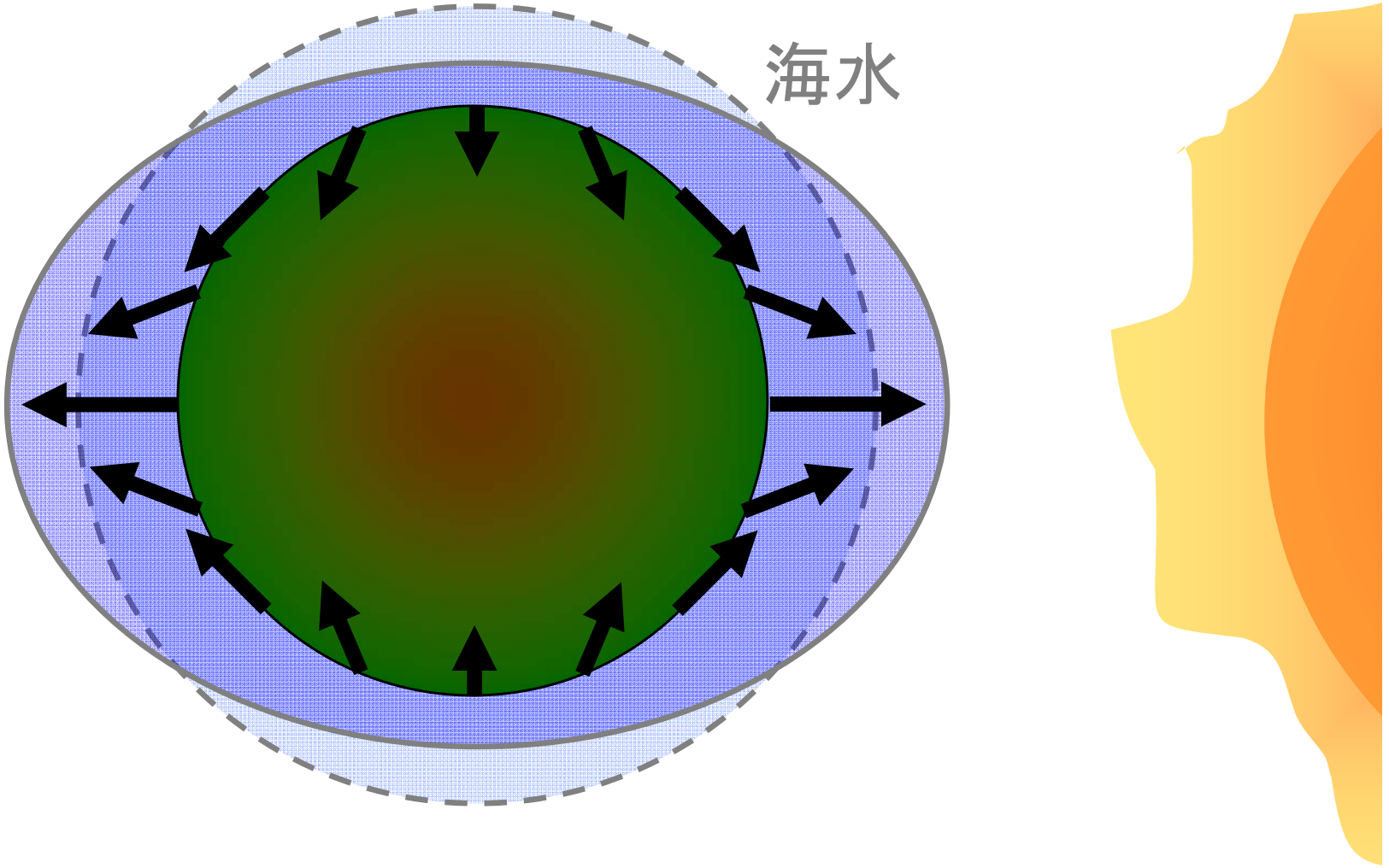
●天体による起潮力



月からも太陽からも同じように力を受ける！

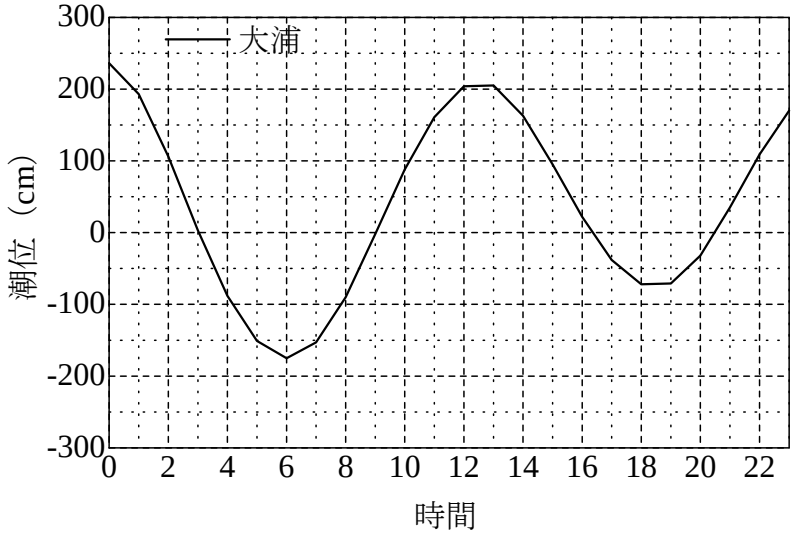
起潮力について

●天体による起潮力

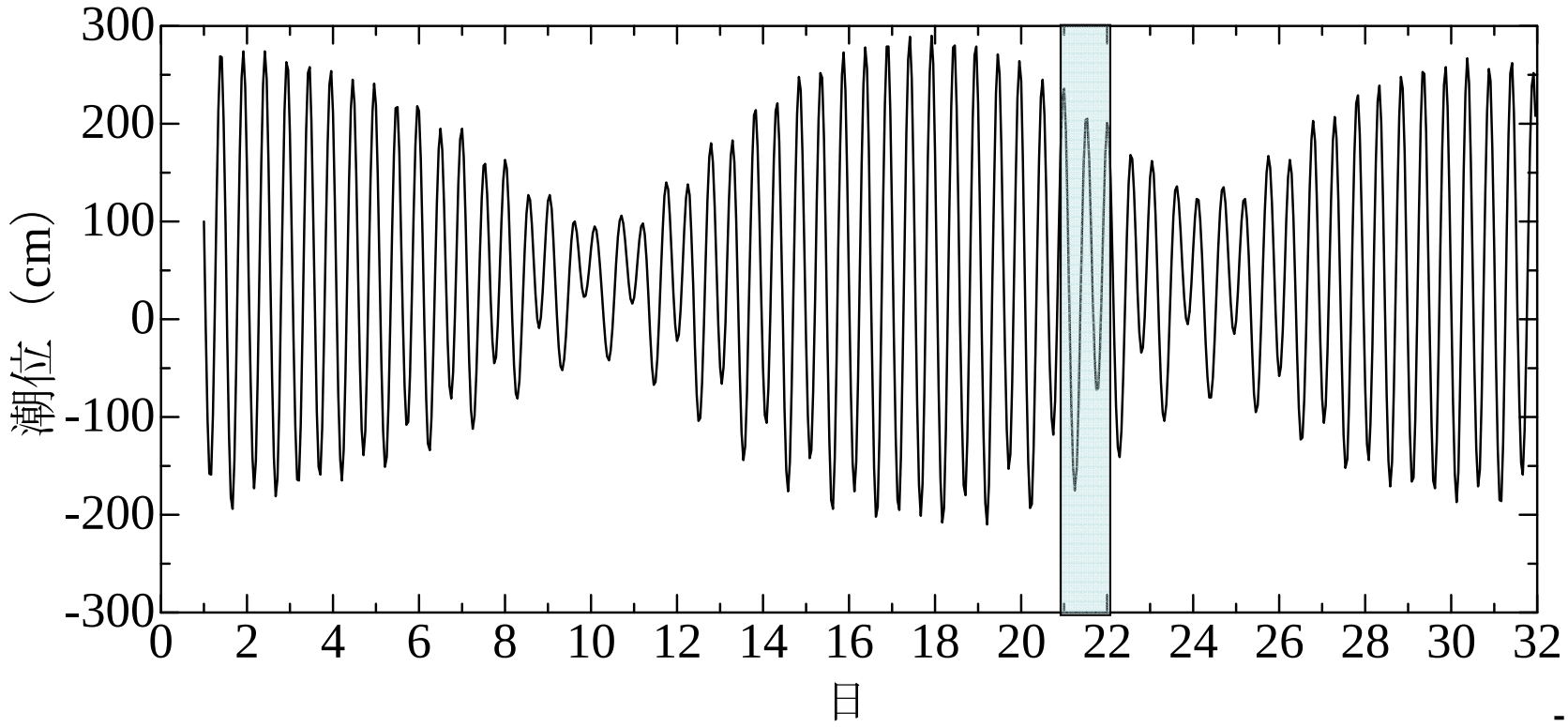


月からも太陽からも同じように力を受ける！

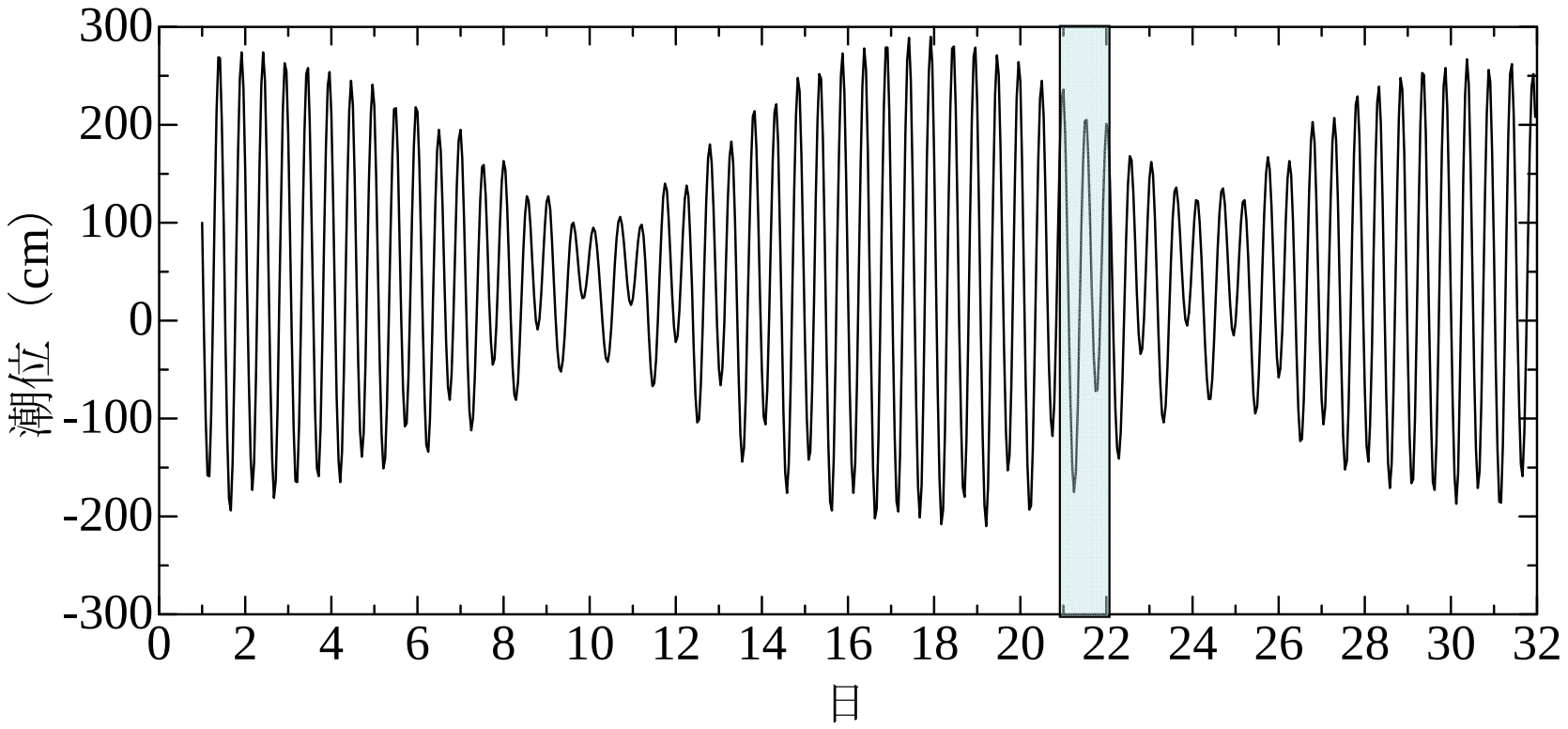
1. 潮汐・潮流とは　発生原理

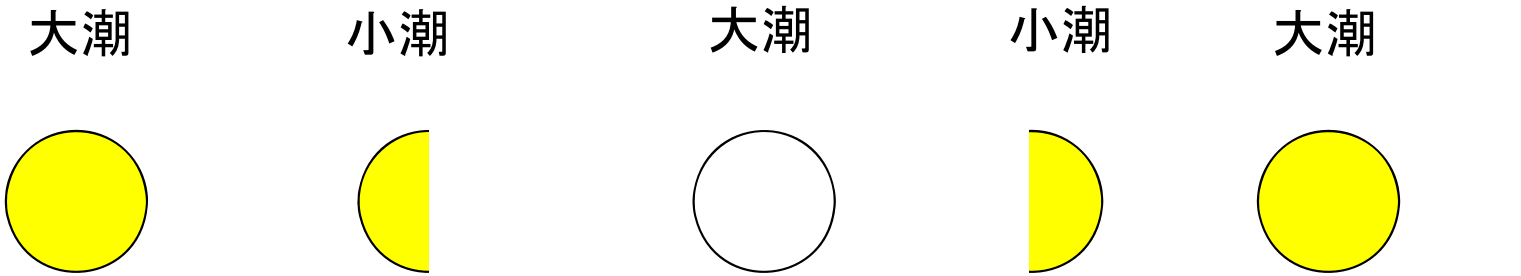


今月の大浦（有明海）の潮位を見てみると



1. 潮汐・潮流とは　発生原理



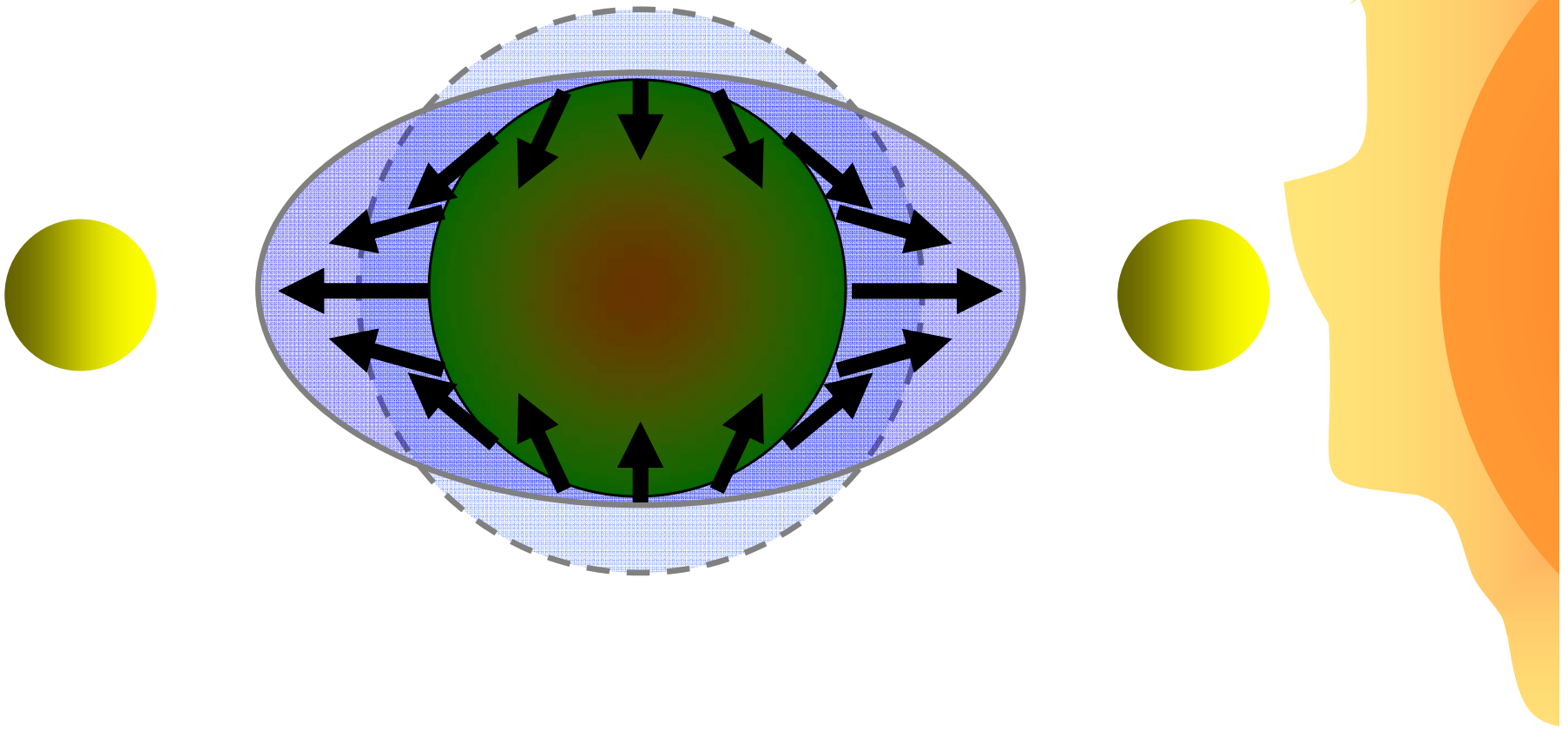


中秋の名月
（9月30日）

大潮小潮は月の満ち欠けと関係がある！

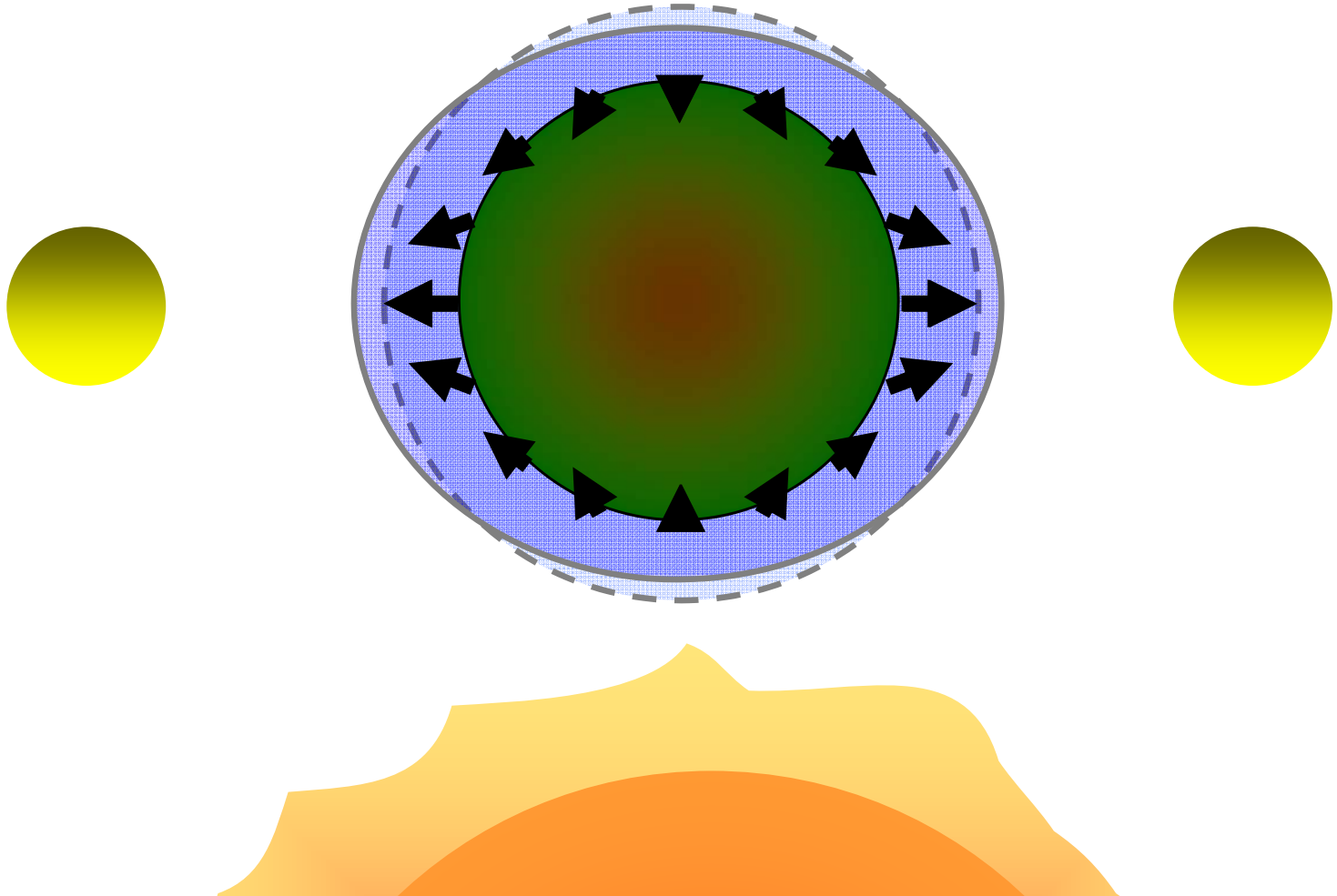
大潮

月による起潮力と太陽による起潮力が同じ方向なので，起潮力は強くなる．



小潮

月による起潮力と太陽による起潮力が反対方向なので，起潮力は弱くなる．



分潮とは

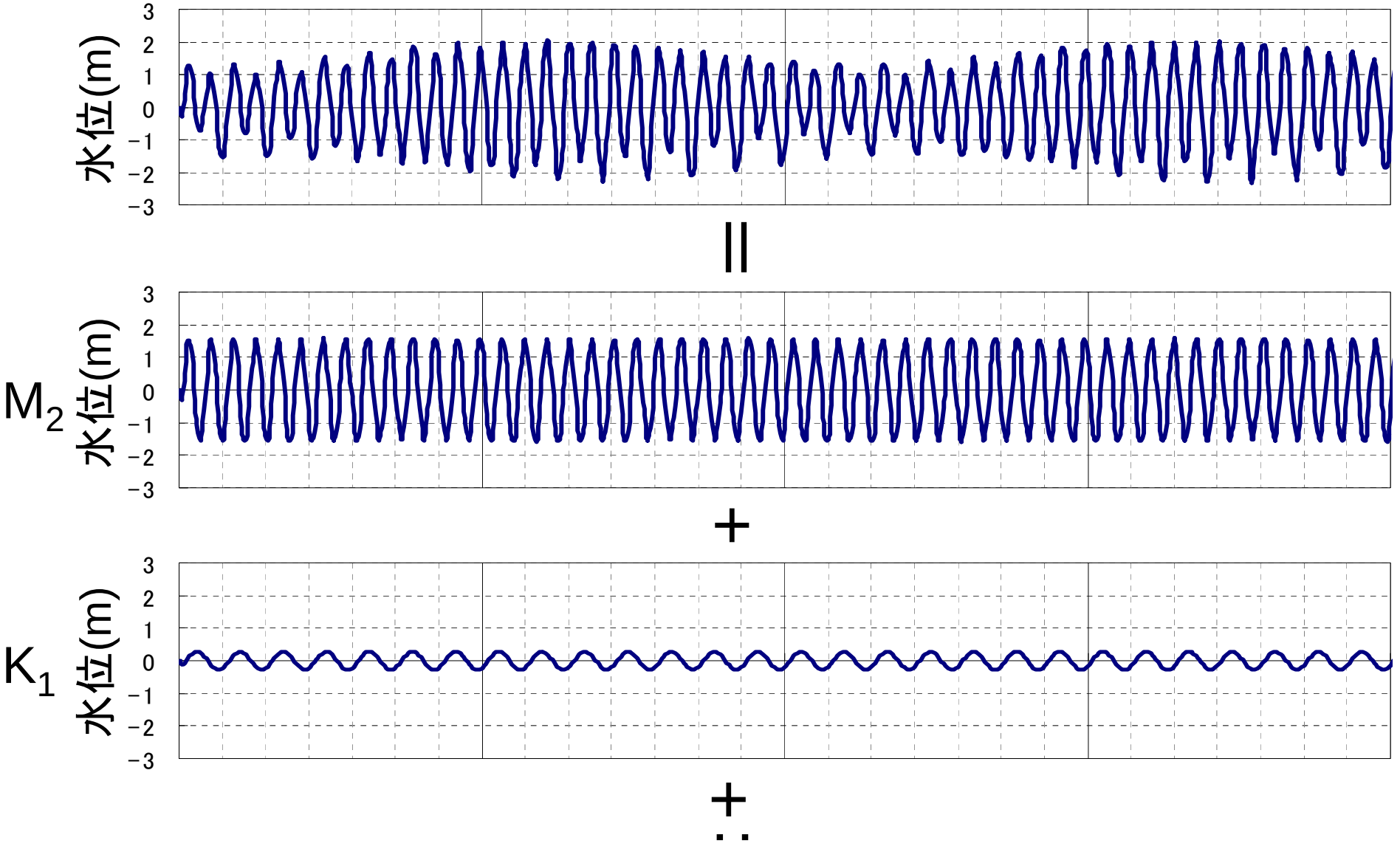
太陽の周りの地球の軌道，地球の周りの月の軌道は完全な円ではないので，これらの天体による起潮力は様々である．これを決まった周期の正弦関数の和であらわし，そのそれぞれに対応した潮位の変動成分を分潮と呼ぶ．

主要4分潮

- ●M_2 分潮：月の引力による半日周潮（12.42時間）
- ●S_2 分潮：太陽の引力による半日周潮（12時間）
- ●O_1 分潮：月の引力による日周潮（25.82時間）
- ●K_1 分潮：日月合成日周潮（23.93時間）

正確には分潮の数は400以上もある（日本では60分潮で予報している）
ほとんどの海域で最も大きい影響力を持つのはM2潮である．

実際の潮位



1. 潮汐・潮流とは　発生原理

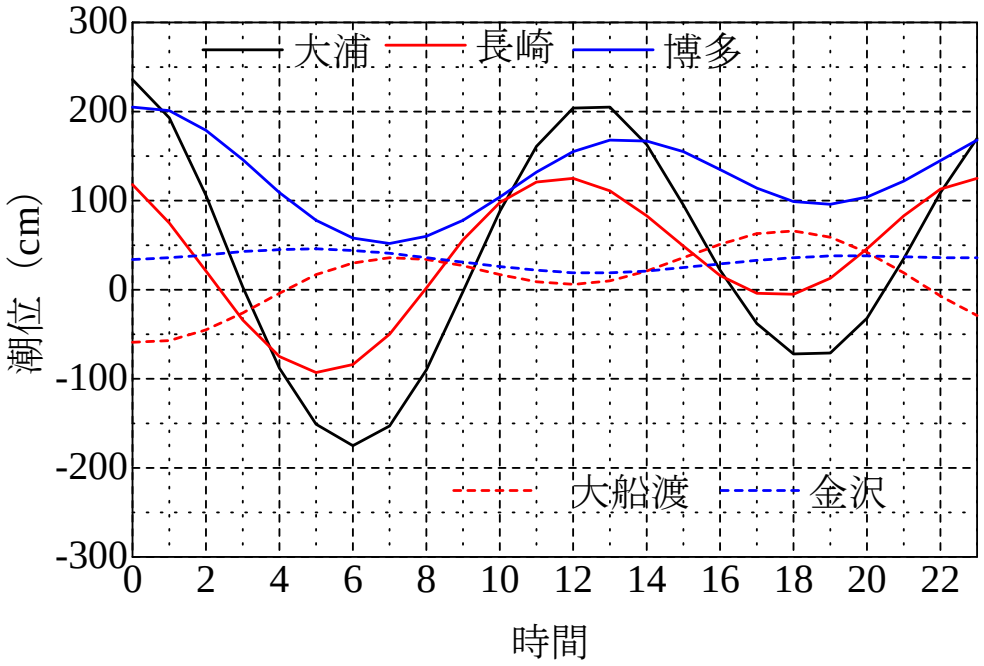
・どうして，事前に今日の潮汐が分かるのか？

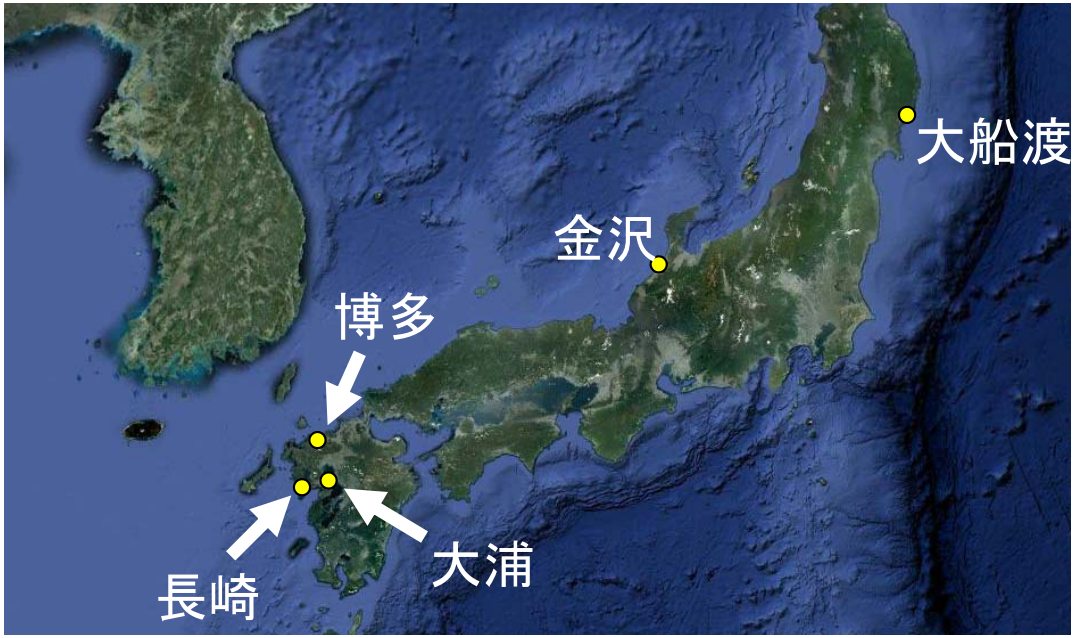
・潮汐は天体運動により生じているため，地域毎には非常に規則的な現象であること.

地域によってかなり変わるが　→
・我が国では，明治頃から潮汐観測が行われており，予測に必要なデータが揃っていること.

厳密に言うと，
・台風や津波などの天体運動によらない海面の変化は予測困難
・干拓などによる沿岸地形の変化や海面上昇の影響に関しては未だに分からないこともある.

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

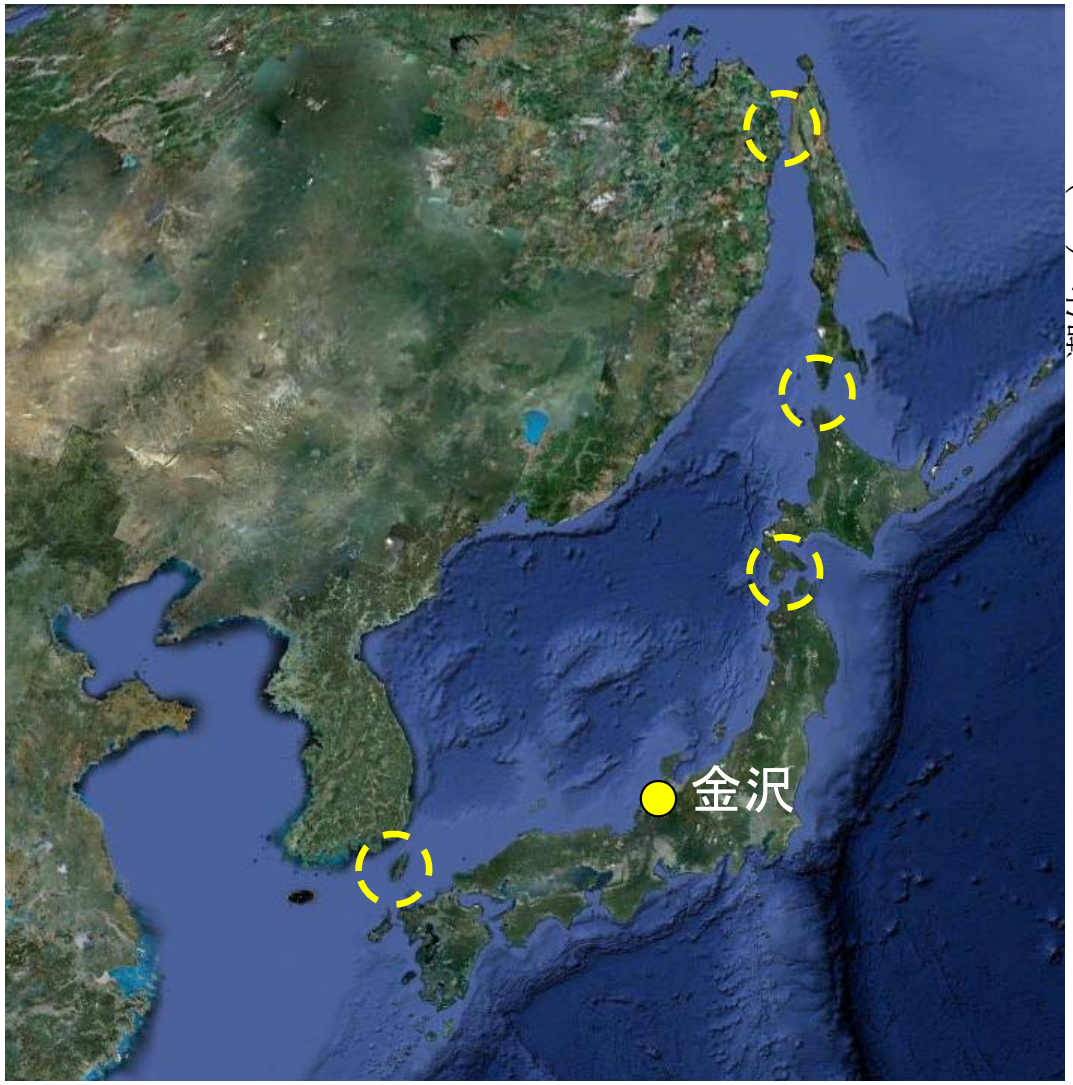


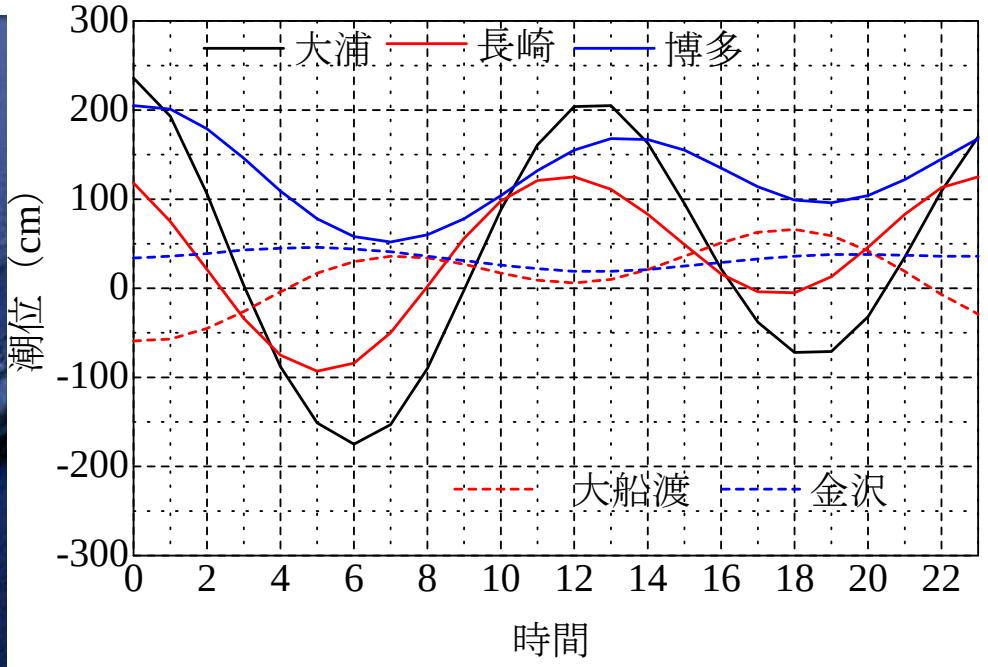


・大浦（有明海）の潮汐が一番大きいのは何故か？

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

金沢が一番小さい理由は？

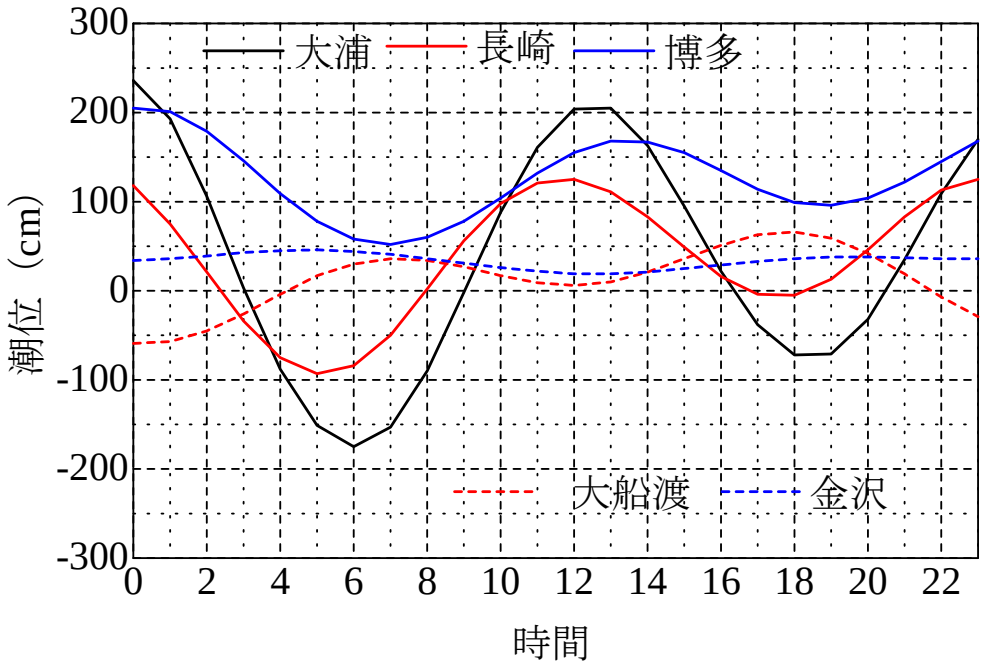


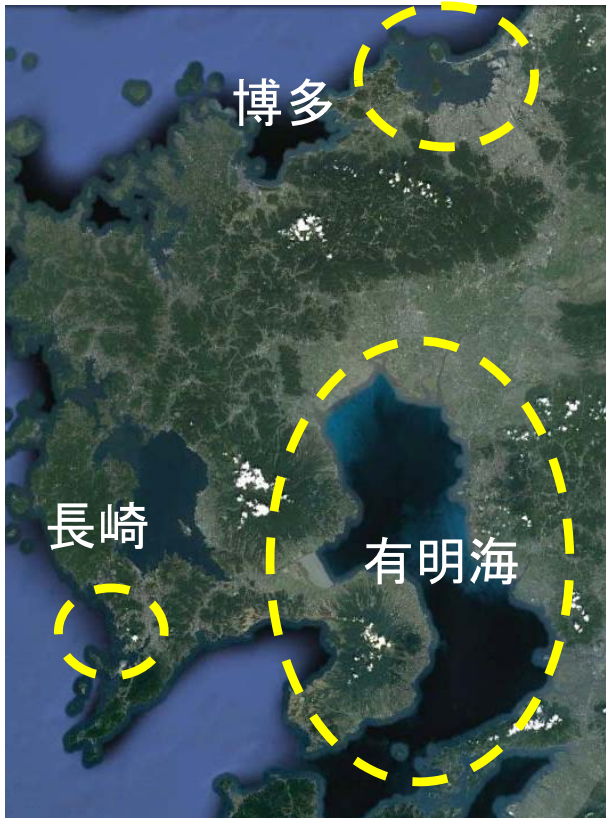


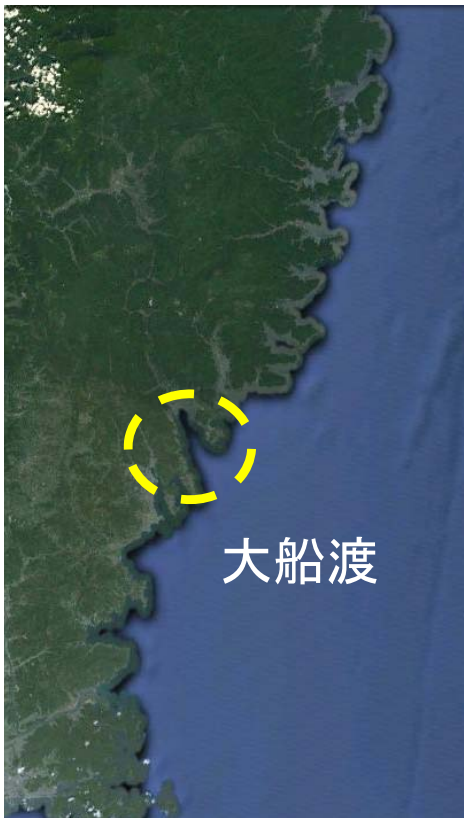
日本海は入り口が狭いので，太平洋からの潮汐が進入しにくい．
よって，日本海沿岸の干満差は太平洋側に比べて非常に小さくなる．

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

・大浦（有明海）の潮汐が一番大きいのは何故か？







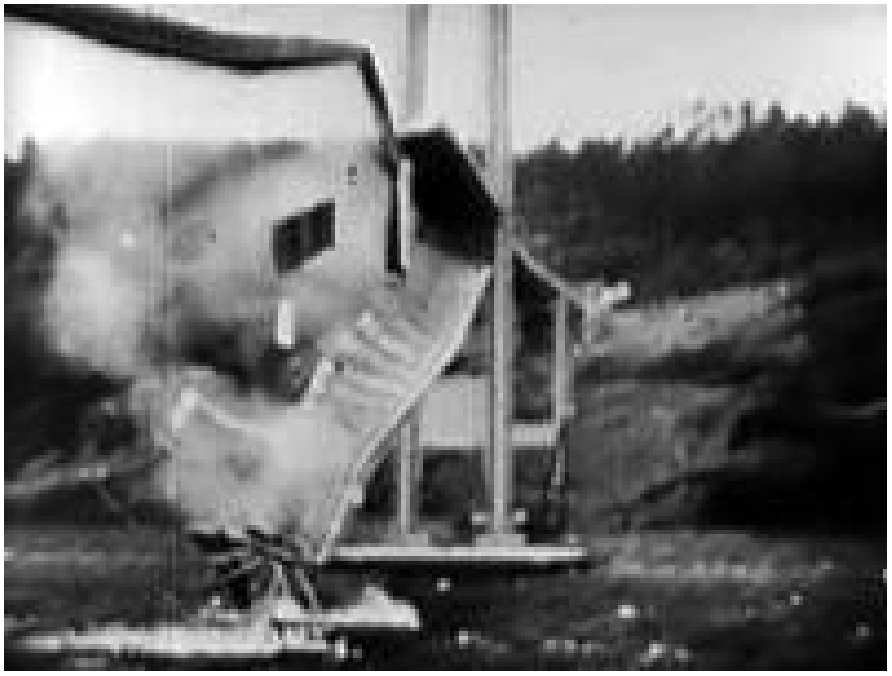
有明海
長崎港
博多湾
大船渡湾

→ 湾の形状が大きく異なる.

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

・大浦（有明海）の潮汐が一番大きいのは何故か？

→ 共振現象



タコマ橋の事故（横風による橋桁の共振により崩壊，1940年アメリカ）

海も潮汐により共振現象を起こす！

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

場：一端が開いた海域の強制振動　→　定在波になる

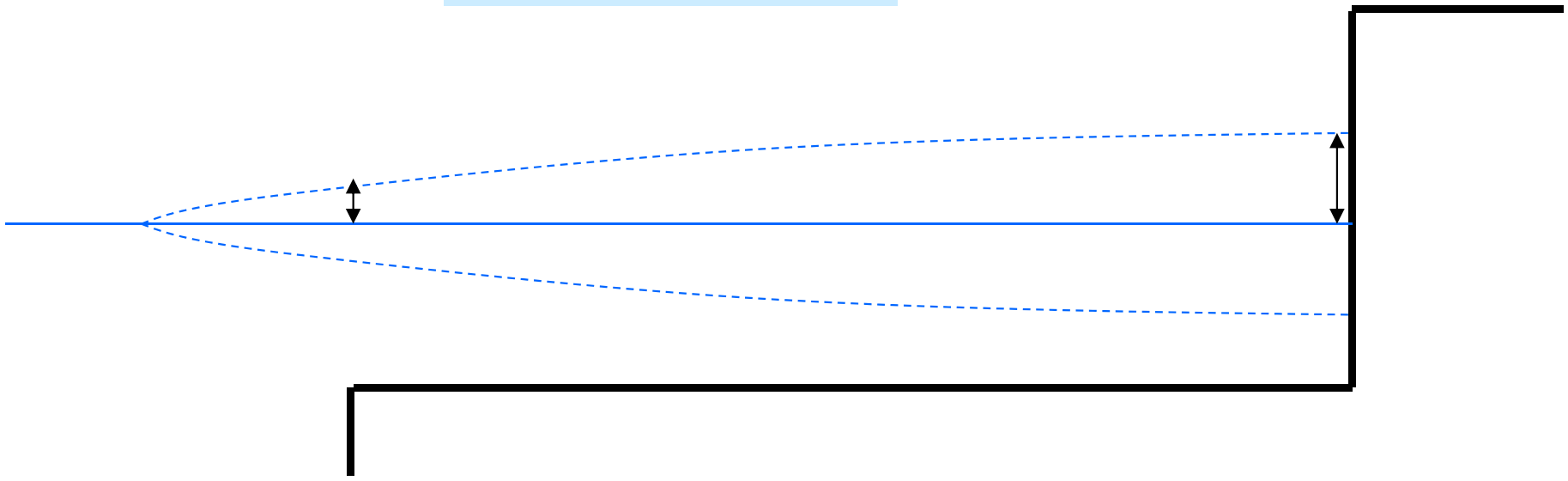
湾口と湾奥の潮汐振幅の比（湾奥で湾口の何倍になるか）は，

単純な理論では以下の式で決まる．

$$R_o = \frac{1}{\cos\left(\frac{\pi}{2}\frac{T_1}{T_*}\right)}$$

T_1：湾の固有周期

T_*：入射波の周期



よって，湾の固有周期が入射波周期から離れれば，潮汐は小さくなる．

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

有明海で大きな潮汐振幅が生じる理由

- 湾の固有周期が他の内湾に比べて長いこと.
- 湾口が狭いことなど海岸線の形状

（水深一様の矩形湾の固有周期）

$$T = \frac{4l}{\sqrt{gh}}$$

T:固有周期，l:奥行き
g:重力加速度，h:水深

代表的な内湾の固有周期

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

1. 潮汐・潮流とは　有明海で日本一の干満差が生じる理由

・大浦（有明海）の潮汐が一番大きいのは何故か？

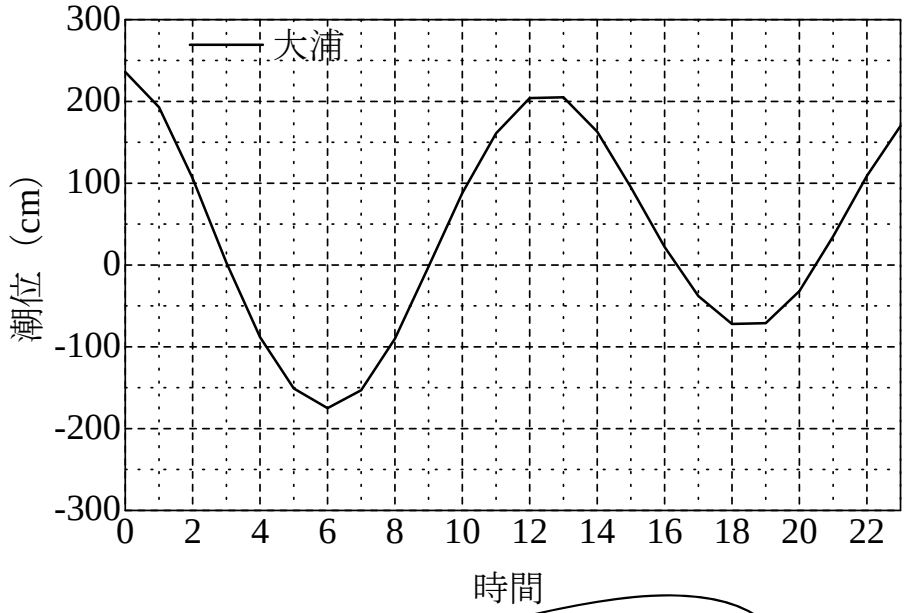
⟶ 有明海が遠浅でその固有周期がM2潮と近く共振しやすいため.

ちなみに,
世界一大きい潮汐が生じる湾　→　ファンディ湾（カナダ）
干満差が15メートルにも及ぶ（有明海は大きくて6メートル程度）

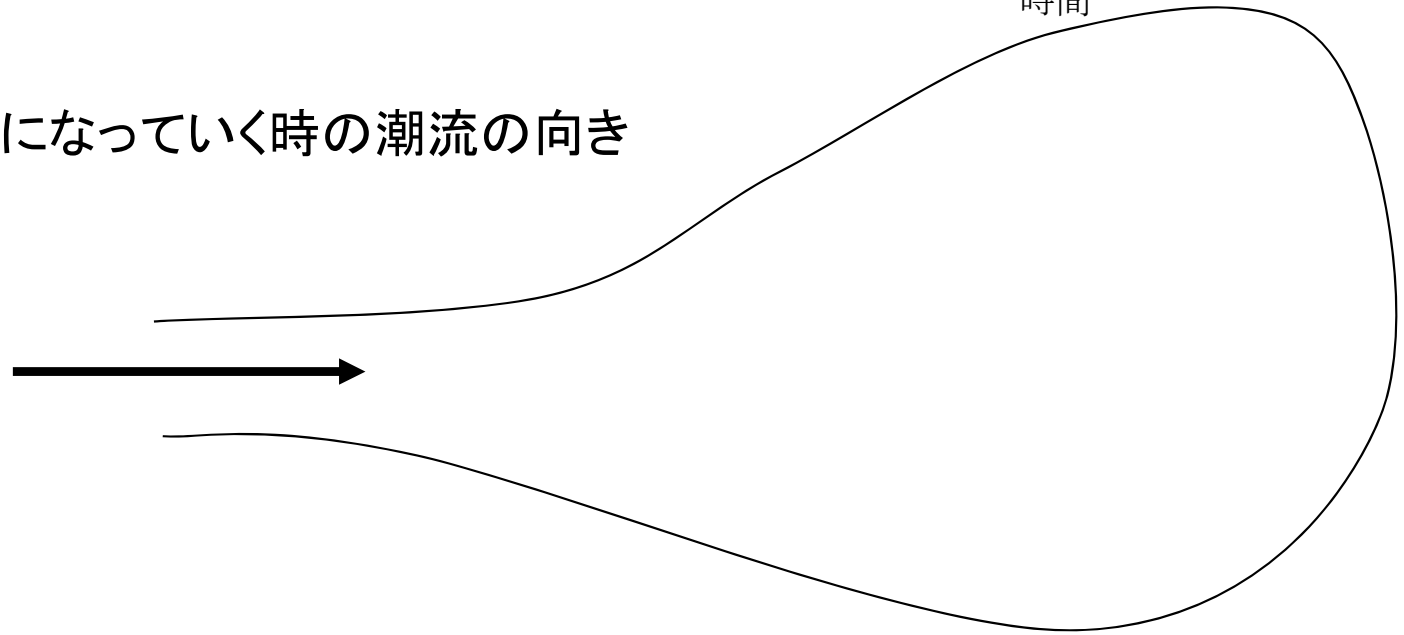
先ほどの式で計算すると固有周期が12.4時間となり，M2潮（12.42時間）とぴったり合う.

1. 潮汐・潮流とは　潮流とは

・潮汐と潮流との関係は？

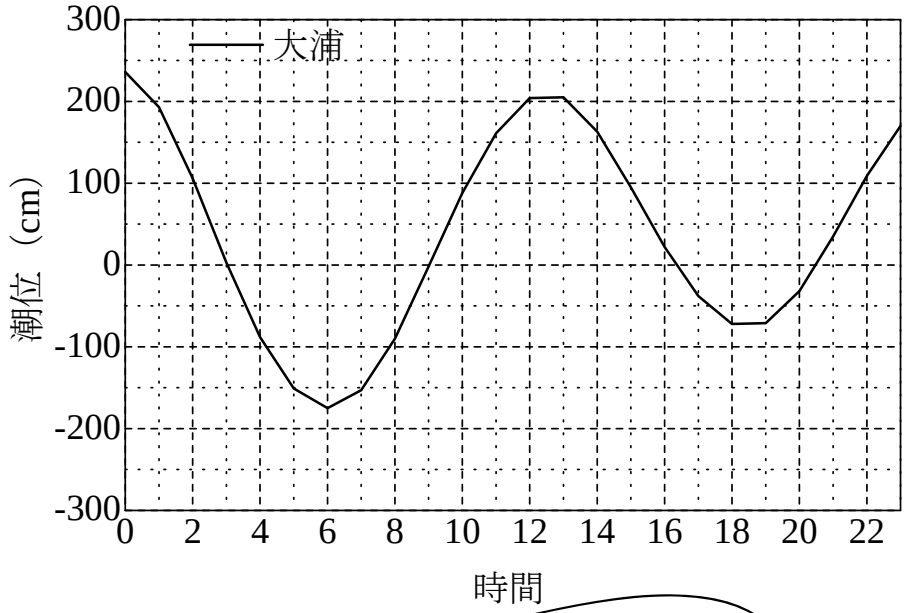


湾が満潮になっていく時の潮流の向き

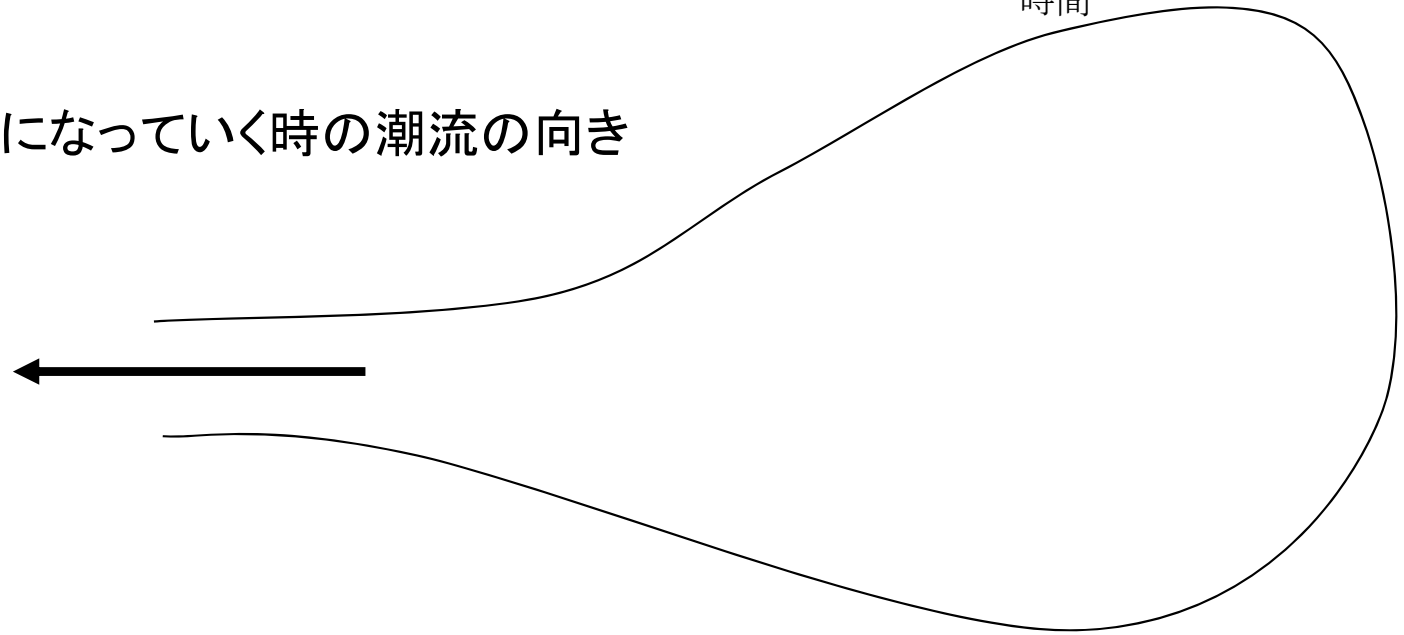


1. 潮汐・潮流とは　潮流とは

・潮汐と潮流との関係は？



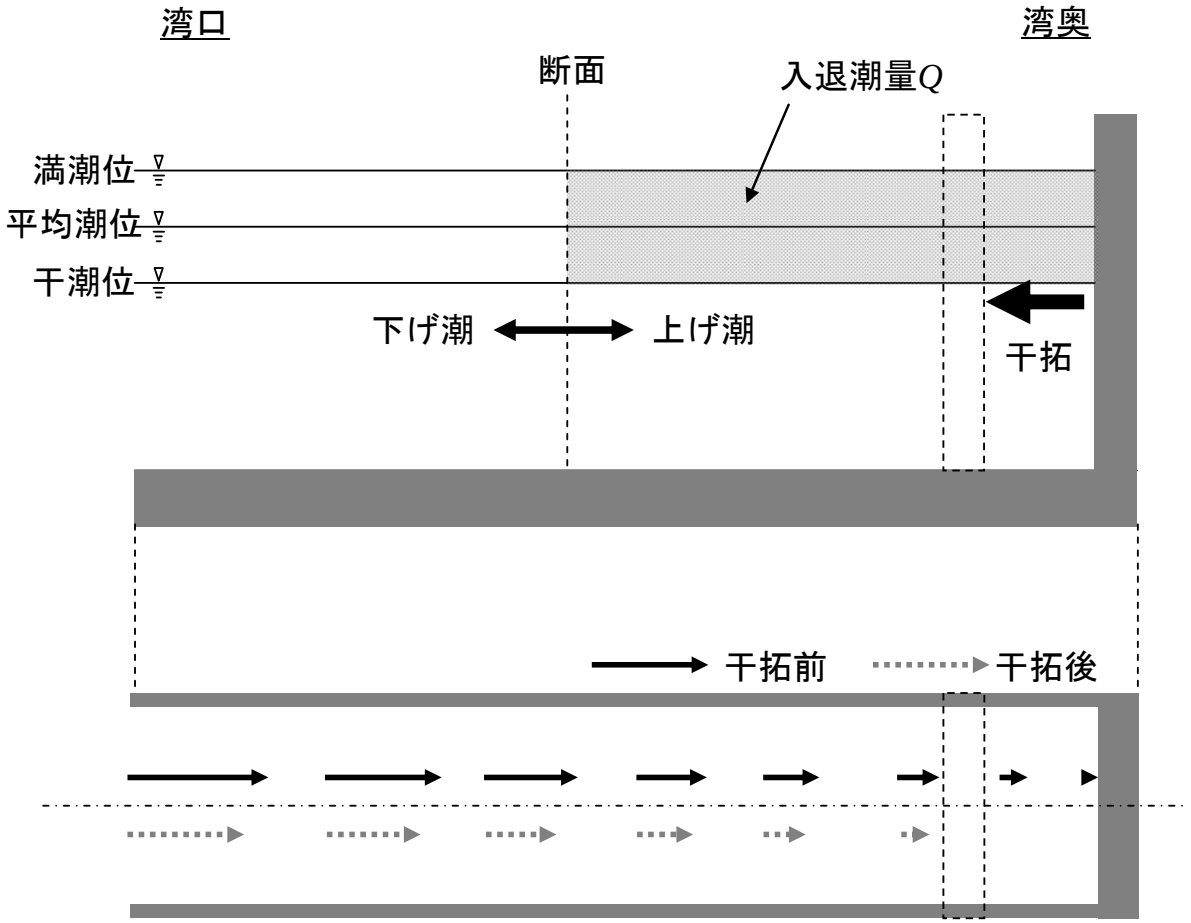
湾が干潮になっていく時の潮流の向き



干満によって生じる海水の移動が潮流である.
よって，潮汐が大きければ潮流も大きい

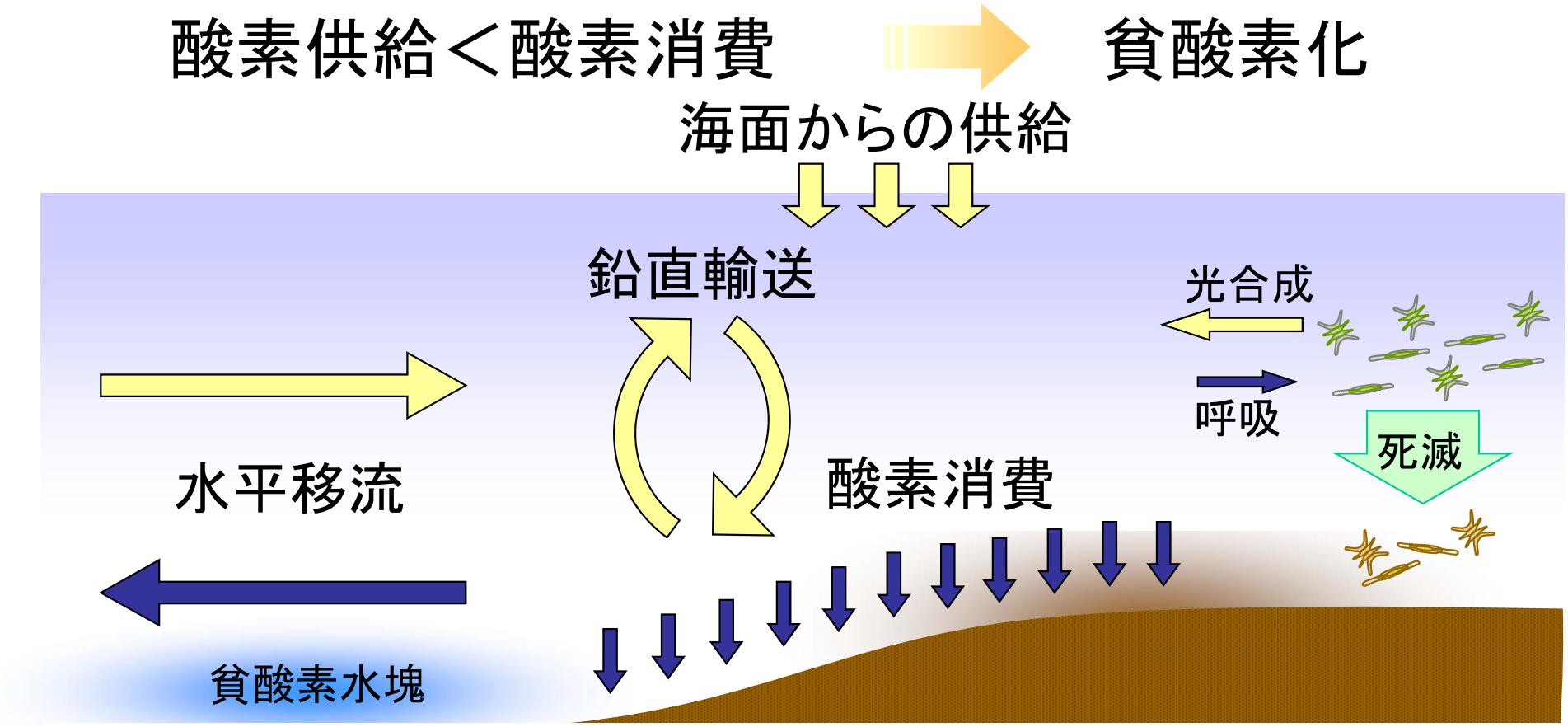
1. 潮汐・潮流とは　潮流とは

・潮汐と潮流との関係は？



潮汐が同じでも干拓が行われ湾が小さくなれば，潮流は小さくなる．

・潮汐・潮流の役割は？



鉛直輸送は密度成層が発達すると小さくなる.
密度成層を破壊する作用は潮流の大きさに支配される.

→ 潮汐・潮流により海水が良く混ぜられるため，水質悪化が起こりにくい

2. 有明海の水環境と潮汐・潮流

有明海の概要

- 面積　　：1,545km^2
- 奥行き　　：87km
- 平均水深　：20m
- 早崎瀬戸で東シナ海と接続
- 3つの瀬戸で八代海と接続

↓

潮汐振幅，干潟面積が日本最大

有明海

2. 有明海の水環境と潮汐･潮流

かつて　有明海　＝　豊饒の海

↓

湾奥部で水環境の悪化

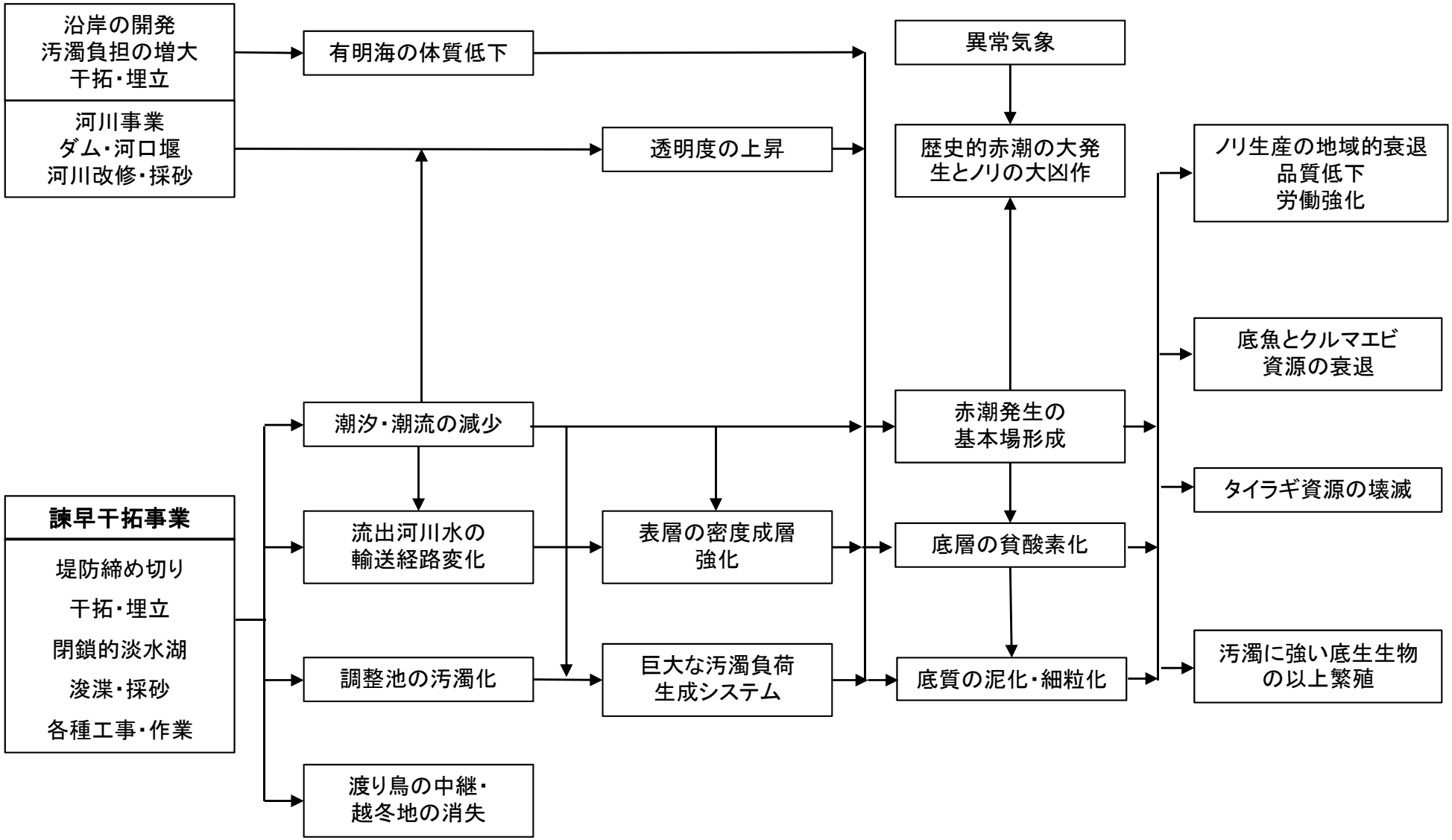
諫早湾干拓事業などによる潮汐・潮流の変化が疑われる

色落ちしたノリ

諫早湾干拓事業

有明海異変の発生システム図（宇野木・佐々木（2007）より）

諫早湾干拓事業が湾奥の貧酸素化へ与えた影響として
潮汐・潮流の減少が考えられている.



2. 有明海の水環境と潮汐・潮流

有明海湾奥部において

諫早湾干拓事業

↓

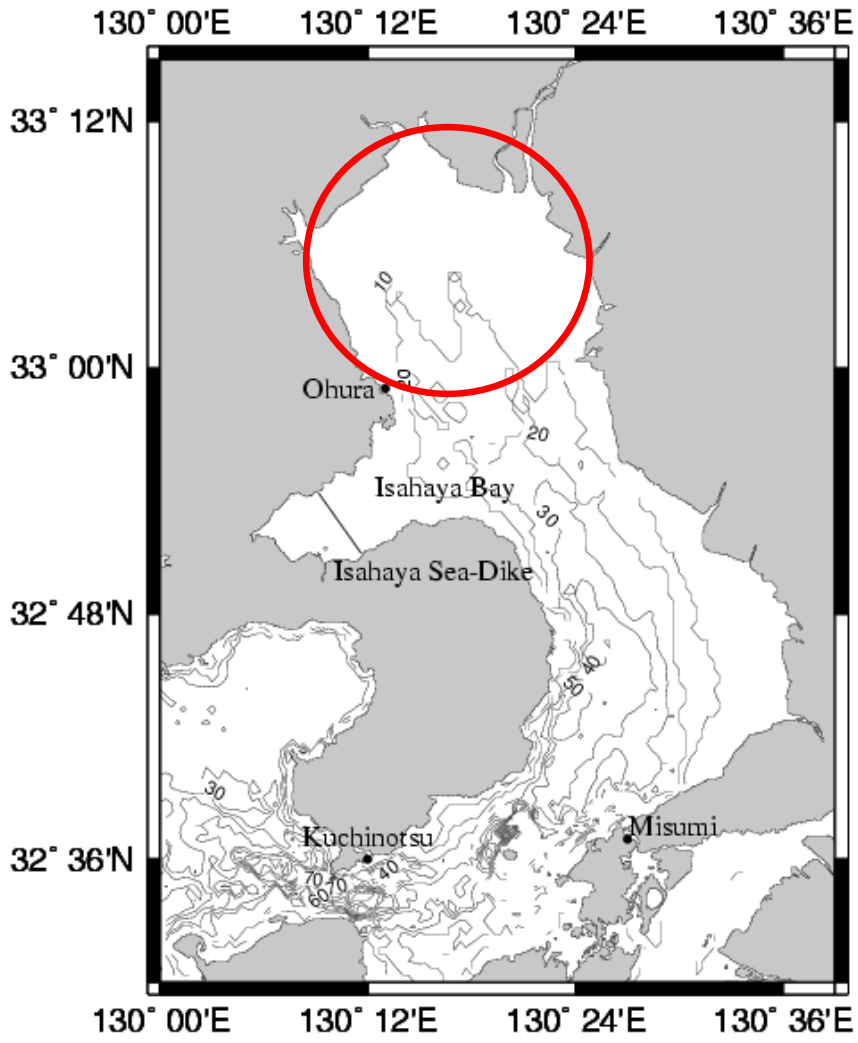
潮流の減少

↓

密度成層の強化

↓

貧酸素化



このようなシナリオが実際に生じ得たのか？

潮汐の変化に関するもの

・宇野木（2003），灘岡・花田（2002），塚本・柳（2002）
湾奥の大浦と湾口の口之津のM_2潮振幅比は堤防建設により減少していること.

・藤原ら（2004），田井ら（2006）
堤防建設により大浦のM_2潮潮汐振幅は減少，口之津は増加し，影響は場所により異なる.

・安田（2005）
外海の長崎を基準に考えると大浦のM_2潮潮汐振幅は締切り前後で明確な変化は生じていない.

↓

統一した見解は得られていない

潮流の変化に関するもの

・小田巻ら（2003）

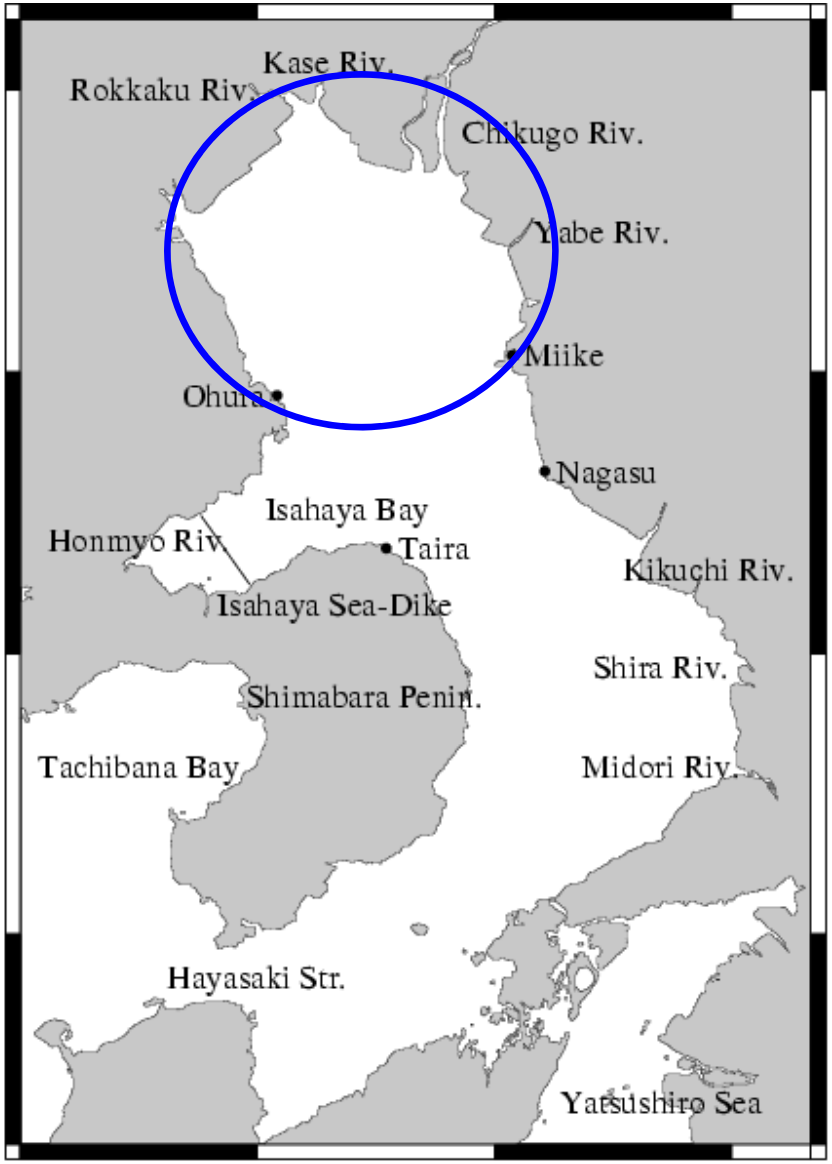
1973年と2001年の潮流観測結果の比較.

→ 干拓事業の影響を比較するには不適切（小松，2006）

・農林水産省（2001），西ノ首ら（2004），小松ら（2006）

諫早湾内と島原半島沖のデータの比較

→ 水環境が悪化している有明海湾奥部についての報告はない



潮流の変化に関するもの

- 数値シミュレーションによる検討
  九州農政局（1986），塚本・柳（2002），灘岡・花田（2002），田井ら（2006），Manda and Matsuoka（2006）と多数あるが，現地観測結果との整合性は不明.

Manda and Matsuoka（2006）は，諫早湾干拓事業以前の過去の干拓による潮流の変化について検討しているが，潮汐の変化に関しては詳細な検討は行われていない.

2. 有明海の水環境と潮汐･潮流

・有明海の潮汐・潮流の変化とその要因を明らかにする.

その際,

１．諫早湾干拓事業による影響
２．諫早湾干拓事業以前の干拓による影響
３．外海の変化の影響

に注目する.

本研究の手法

各要因の湾奥の潮流の変化に対する寄与の大きさを検討する.

↓

諫早湾干拓事業による影響を相対的に評価する.
（本報告では，最も大きいM2分潮を対象とする）

有明海湾奥の潮流を変化させる要因

要因1. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少
要因2. 諫早湾干拓事業による潮汐の減少
要因3. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による入退潮量の減少
要因4. 諫早湾干拓事業による入退潮量の減少
要因5. 18.6年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動
要因6. 外海の潮汐の変化

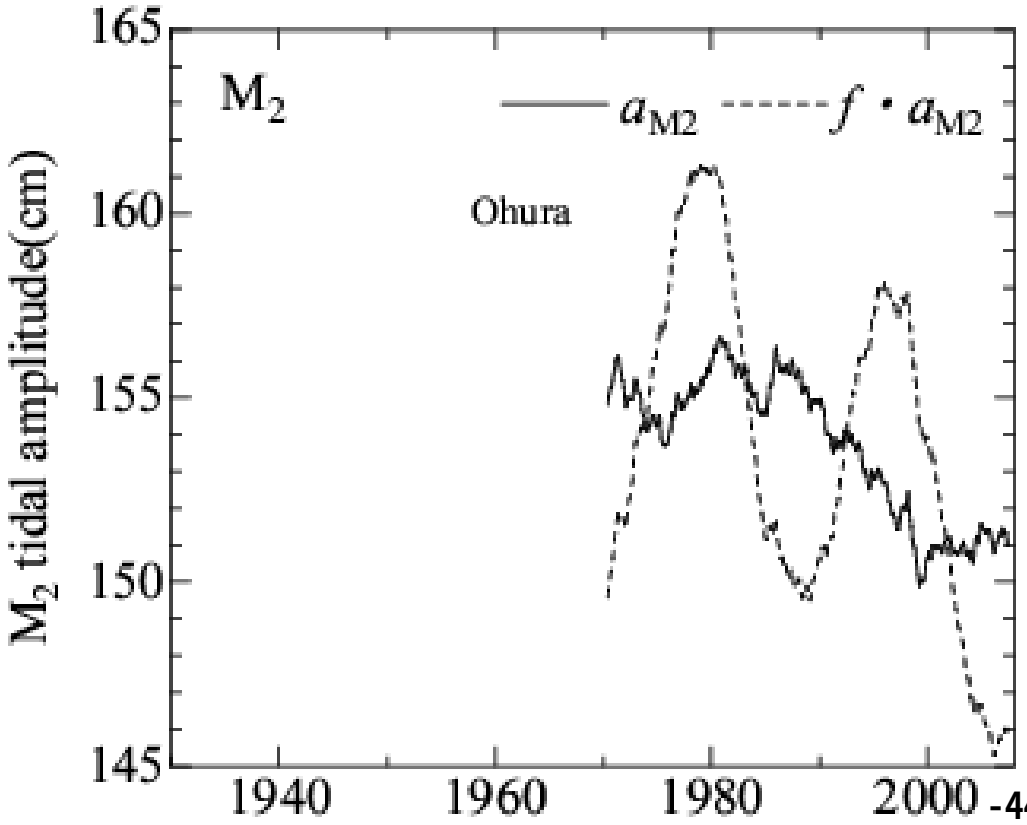
潮汐に関する要因の比較

要因1. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少
要因2. 諫早湾干拓事業による潮汐の減少
要因5. 18.6年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動
要因6. 外海の潮汐の変化

大浦を湾奥の代表として考える.

- 要因1 →
- 要因2 →
- 要因5 → 10cm以上
- 要因6 →

大浦のM2潮振幅

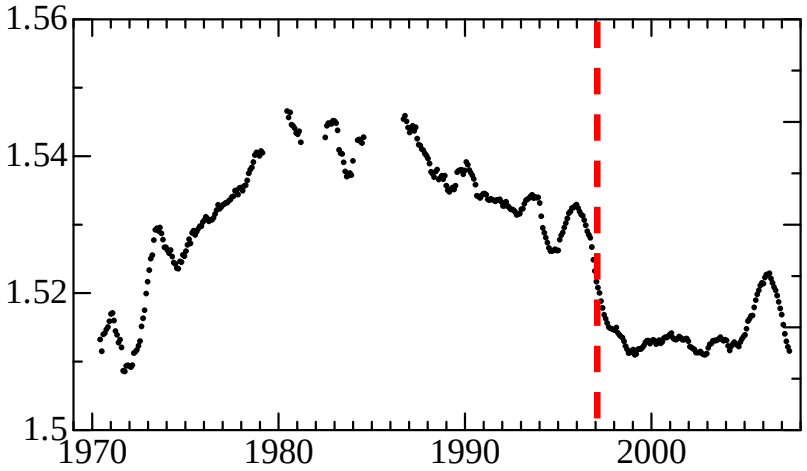


諫早湾干拓事業による潮汐の減少（要因2）

宇野木（2003）

湾奥の大浦と湾口の口之津のM_2潮振幅比は堤防建設により減少していることを示す.

$$\text{振幅比} = \frac{\text{大浦}}{\text{口之津}}$$



藤原ら（2004）

堤防建設により口之津のM_2潮潮汐振幅は増加

→ 口之津が増加することにより，仮に大浦の潮汐振幅に変化がなくても，大浦と口之津の振幅比は減少してしまう.

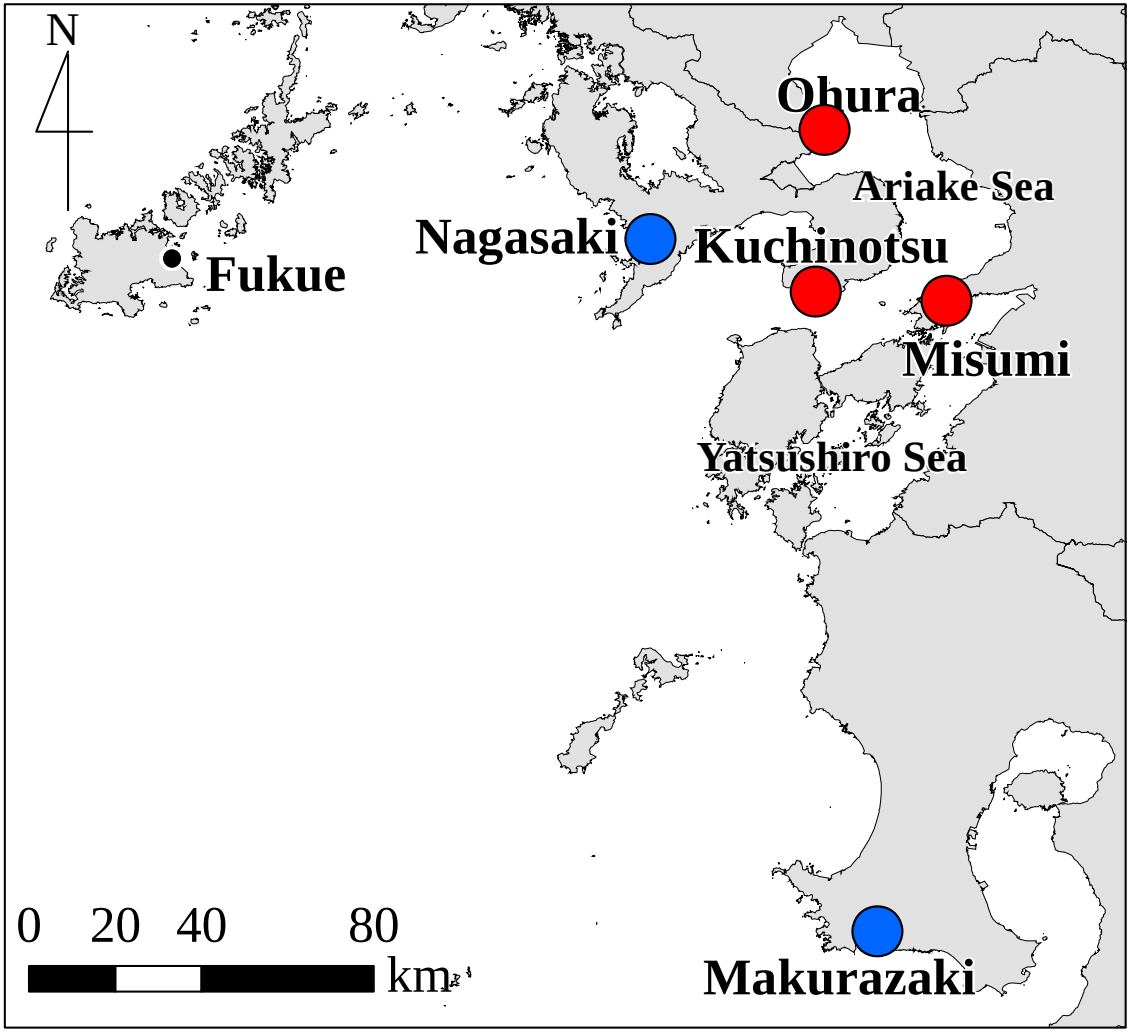
大浦の潮汐振幅の増減を定量的に評価するためには基準を堤防建設の影響が及ばない外海にとる必要がある.

諫早湾干拓事業による潮汐の減少（要因2）

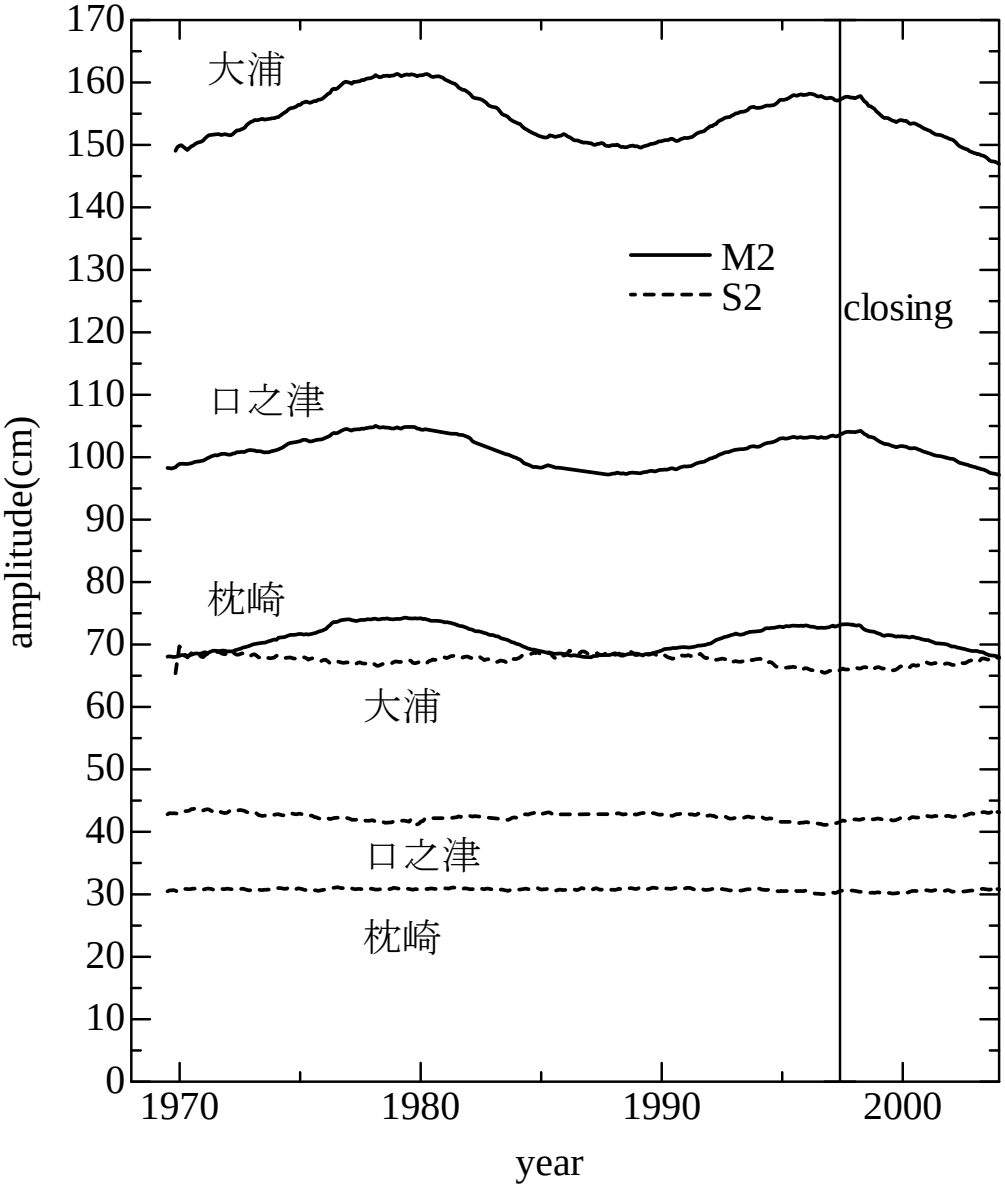
外海の枕崎と長崎に対する有明海内の大浦，三角，口之津のM_2潮潮汐振幅比により堤防建設の影響を評価する.

その際，

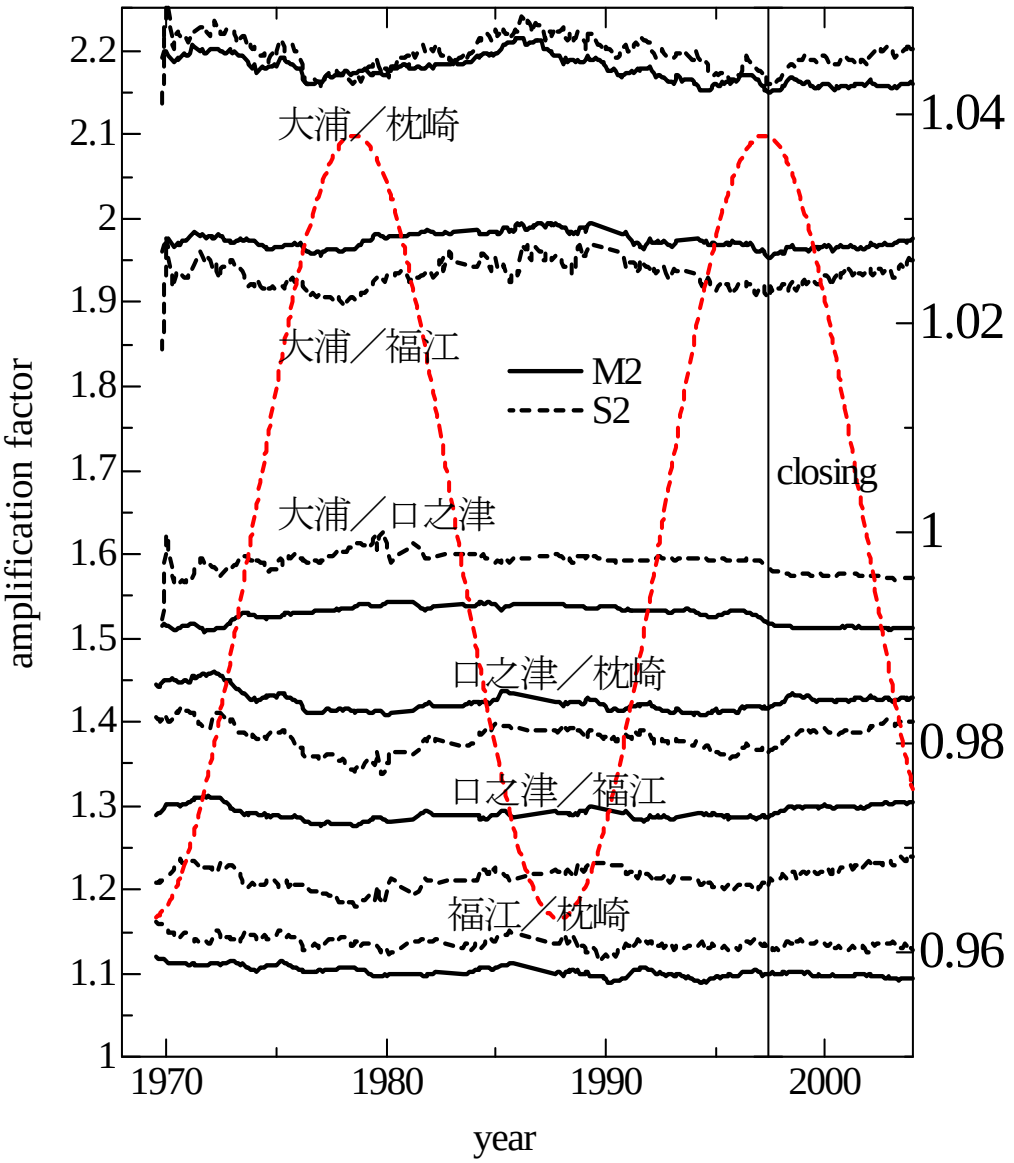
外海を基準とした潮汐振幅比は，外海の潮汐振幅の大きさによって変化することを考慮した整理を行う.



諫早湾干拓事業による潮汐の減少（要因2）



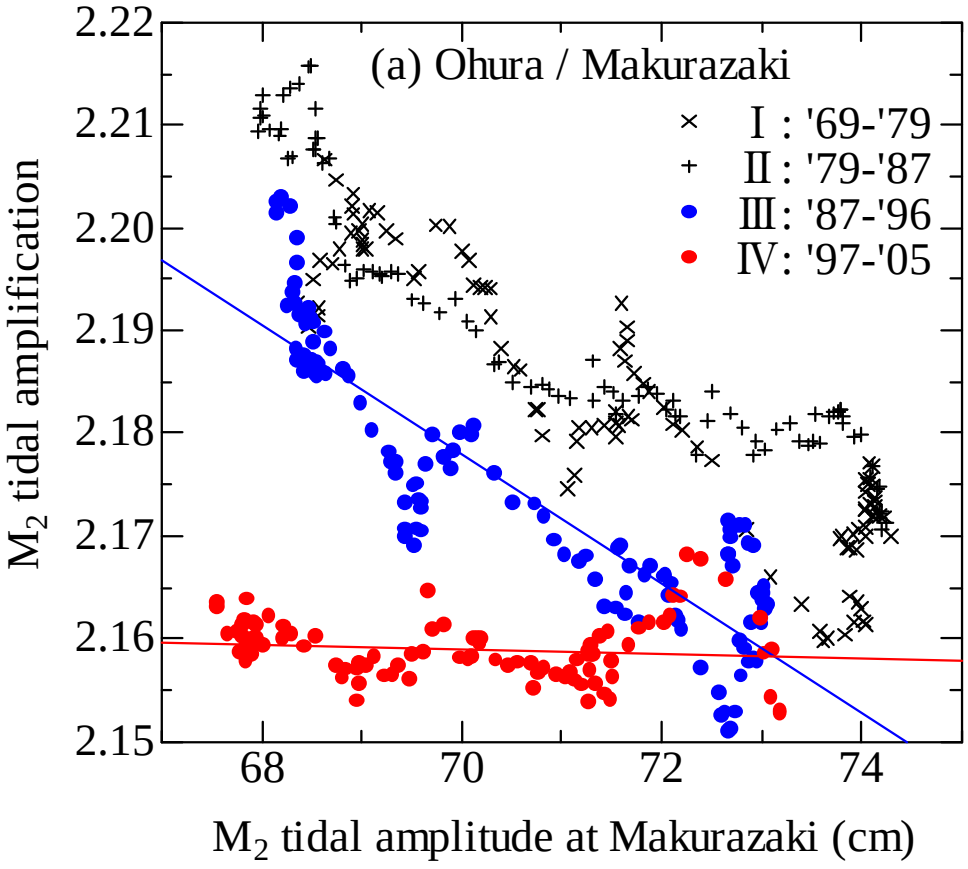
潮汐振幅の時間変動



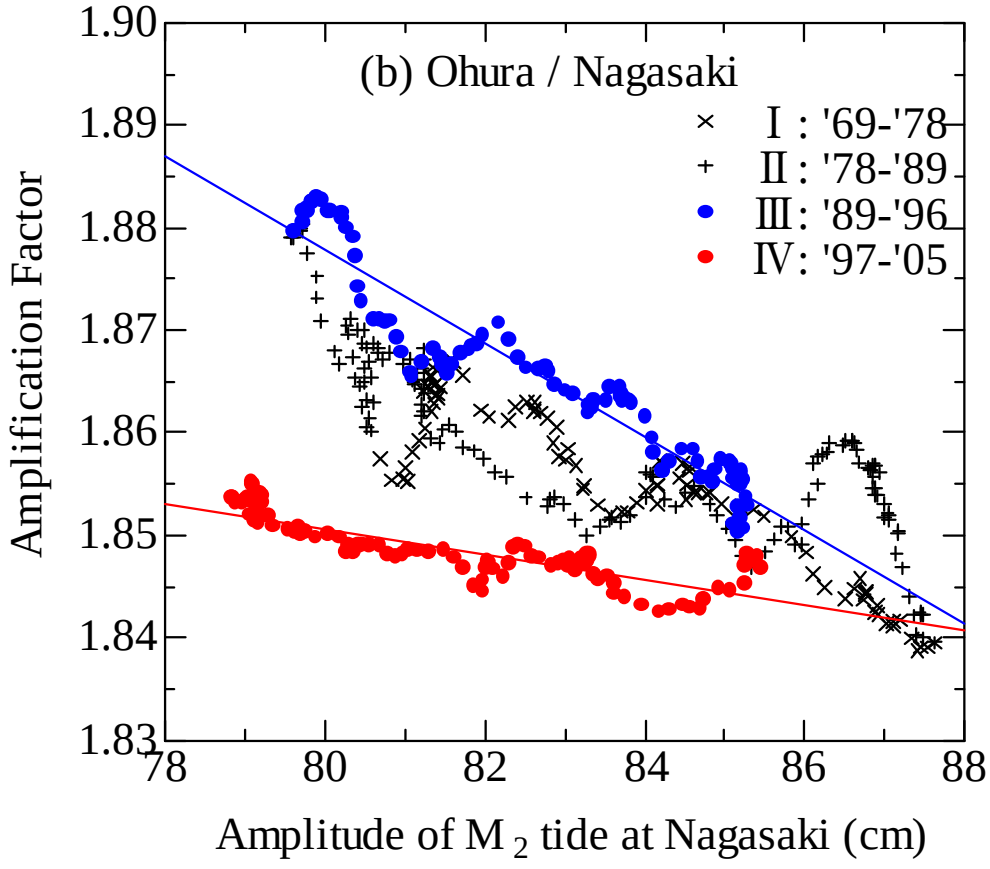
増幅率の時間変動

諫早湾干拓事業による潮汐の減少（要因2）

大浦と枕崎



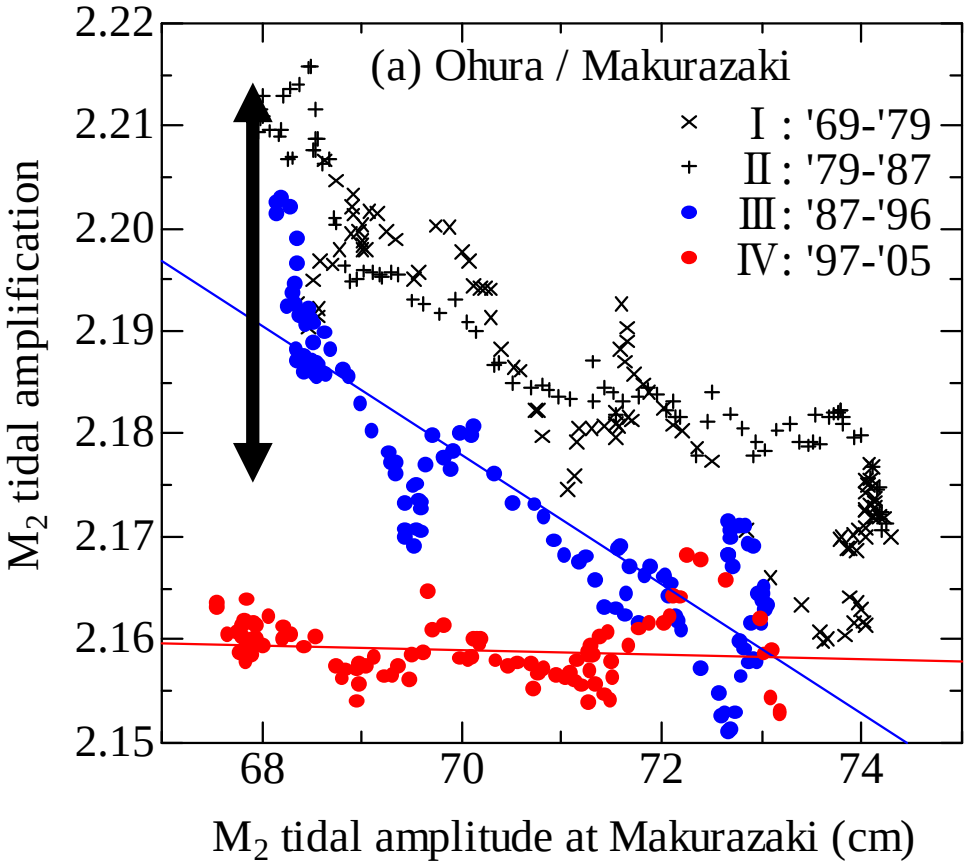
大浦と長崎



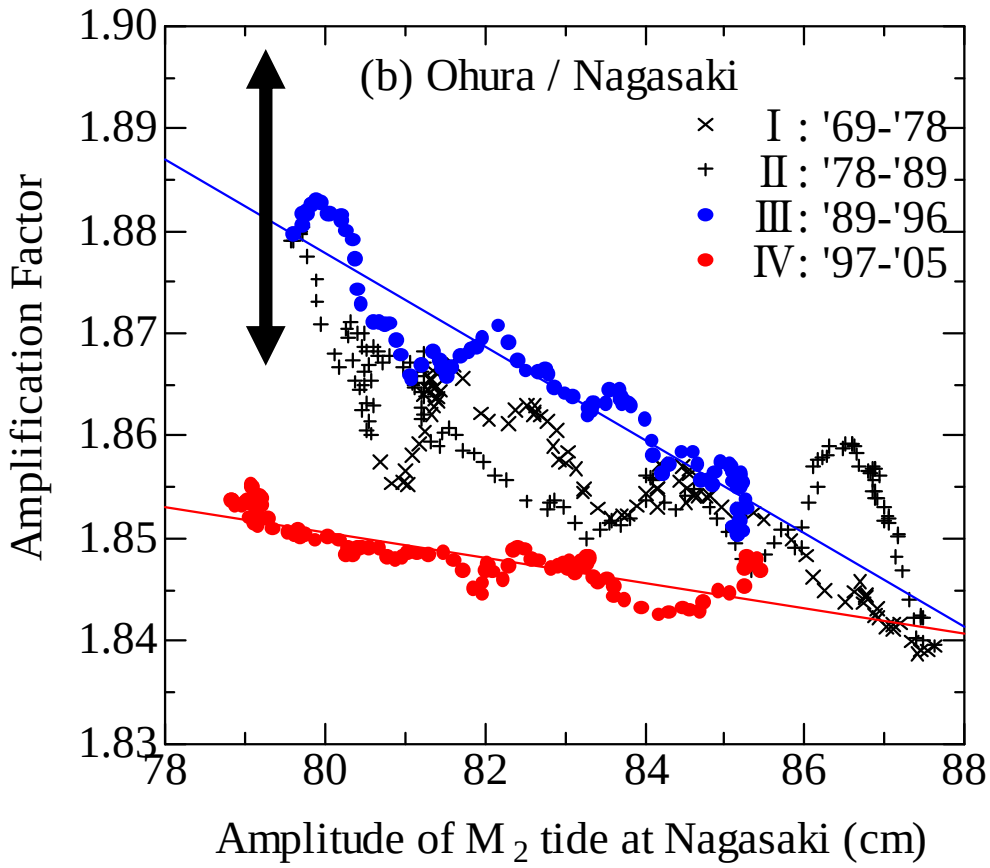
外海の振幅が大きいときは，締め切りの影響が見られない．
振幅が小さくなると，締め切り後の増幅率が前に比べて小さい．

諫早湾干拓事業による潮汐の減少（要因2）

大浦と枕崎



大浦と長崎



堤防建設による減少量は0～3cmとなる.

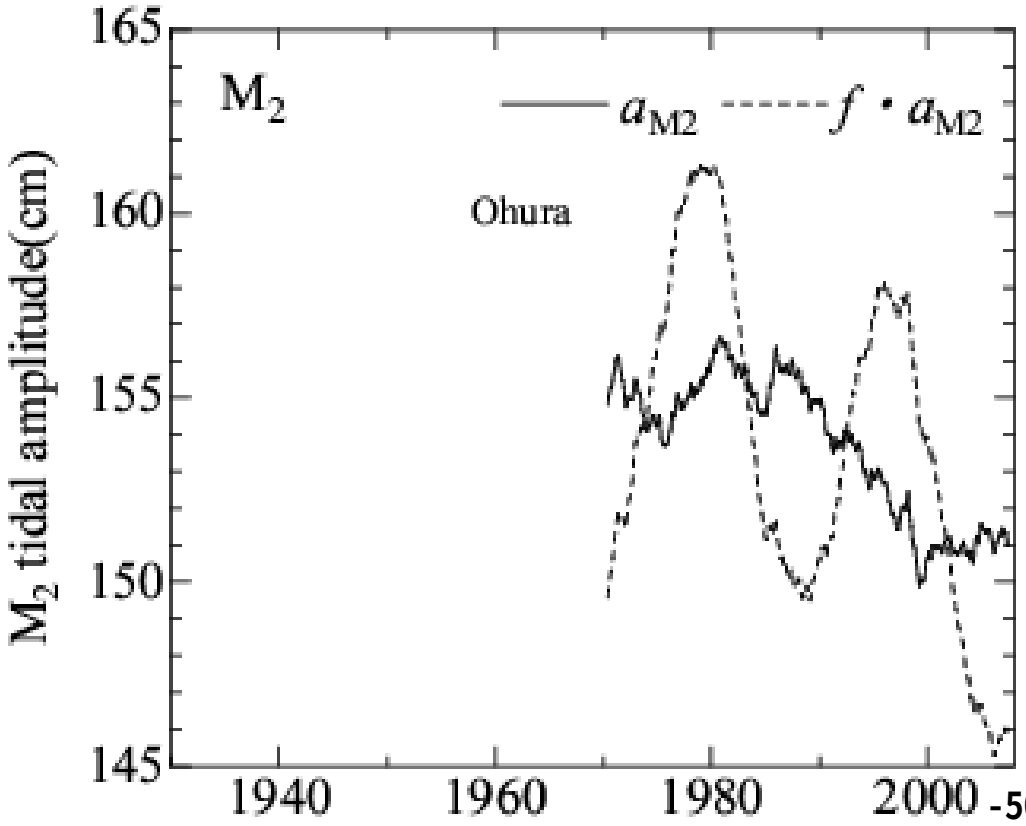
潮汐に関する要因の比較

要因1. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少
要因2. 諫早湾干拓事業による潮汐の減少
要因5. 18.6年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動
要因6. 外海の潮汐の変化

大浦を湾奥の代表として考える.

- 要因1　→
- 要因2　→　0～3cmの減少
- 要因5　→　10cm以上の増減
- 要因6　→

大浦のM2潮振幅



諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）
外海の潮汐の変化（要因6）

過去の干拓の影響と外海の潮汐の変化の影響を見積もる.

減少量　＝　干拓の影響　＋　外海の潮汐の減少

↓　↓

実測データ解析　シミュレーション

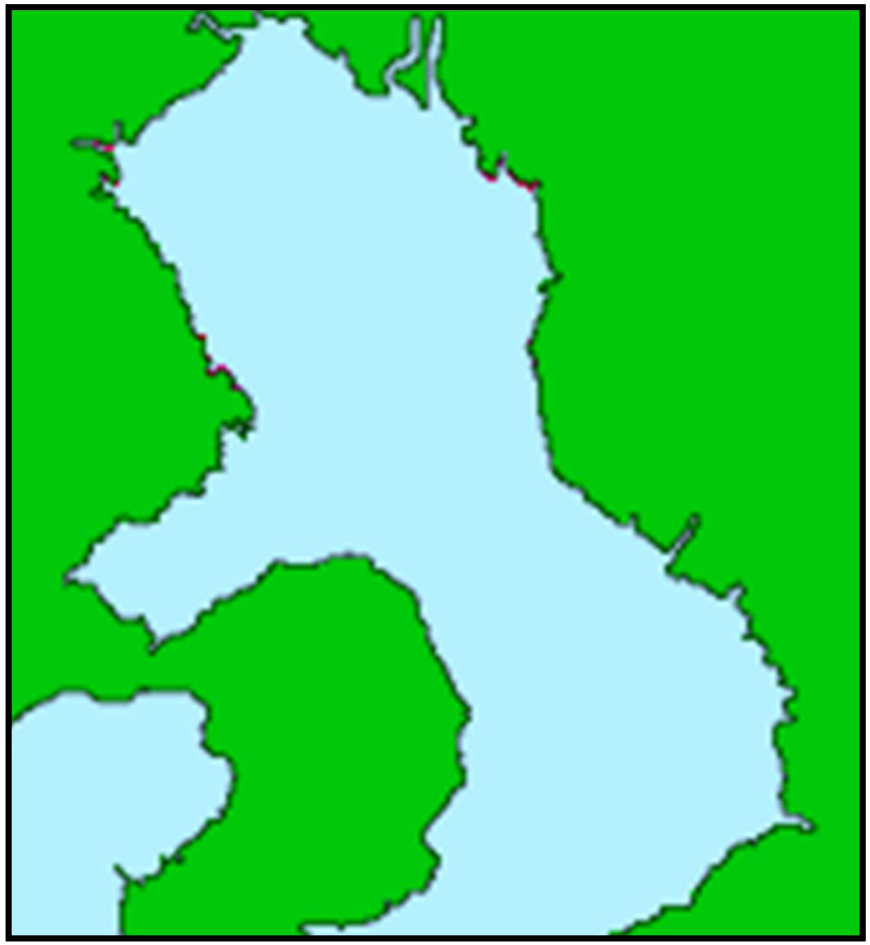
2. 有明海の水環境と潮汐・潮流

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

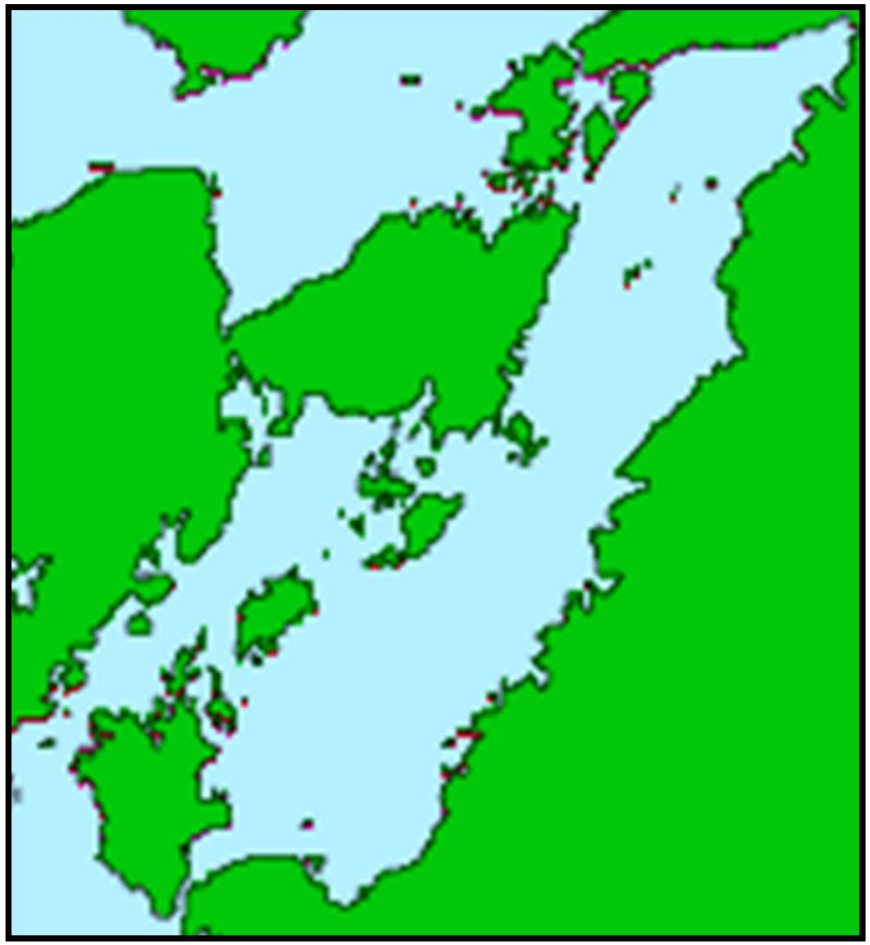
1900年代

1677km^2



有明海

1017km^2



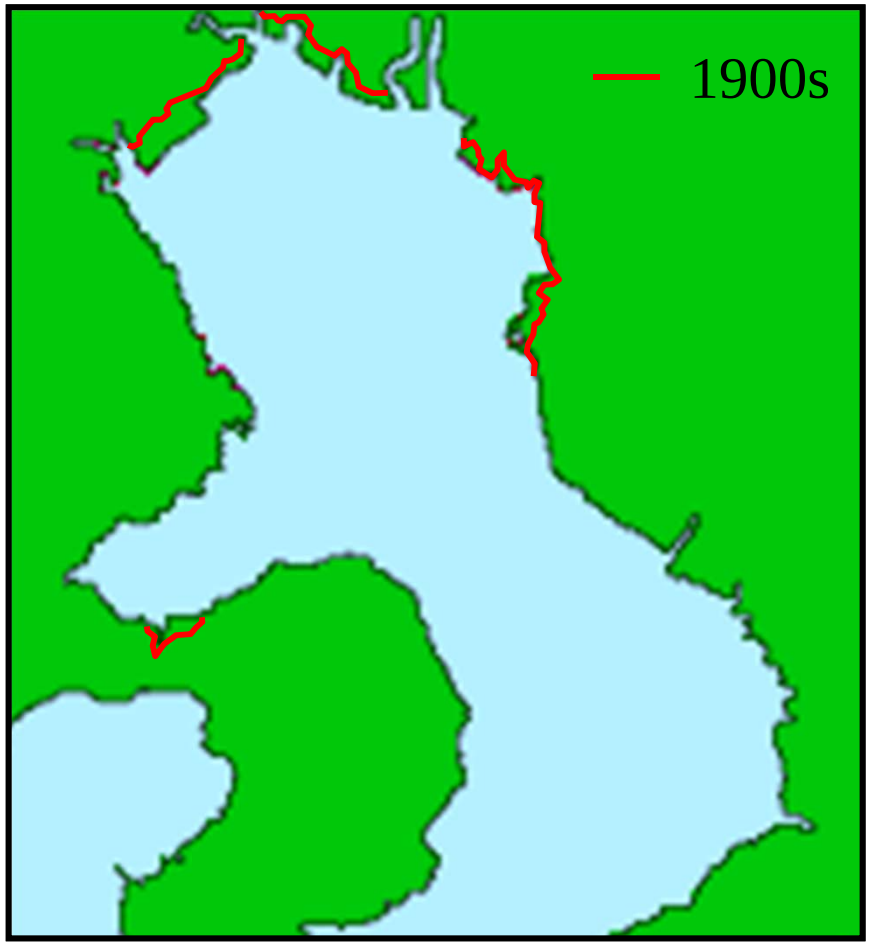
八代海

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

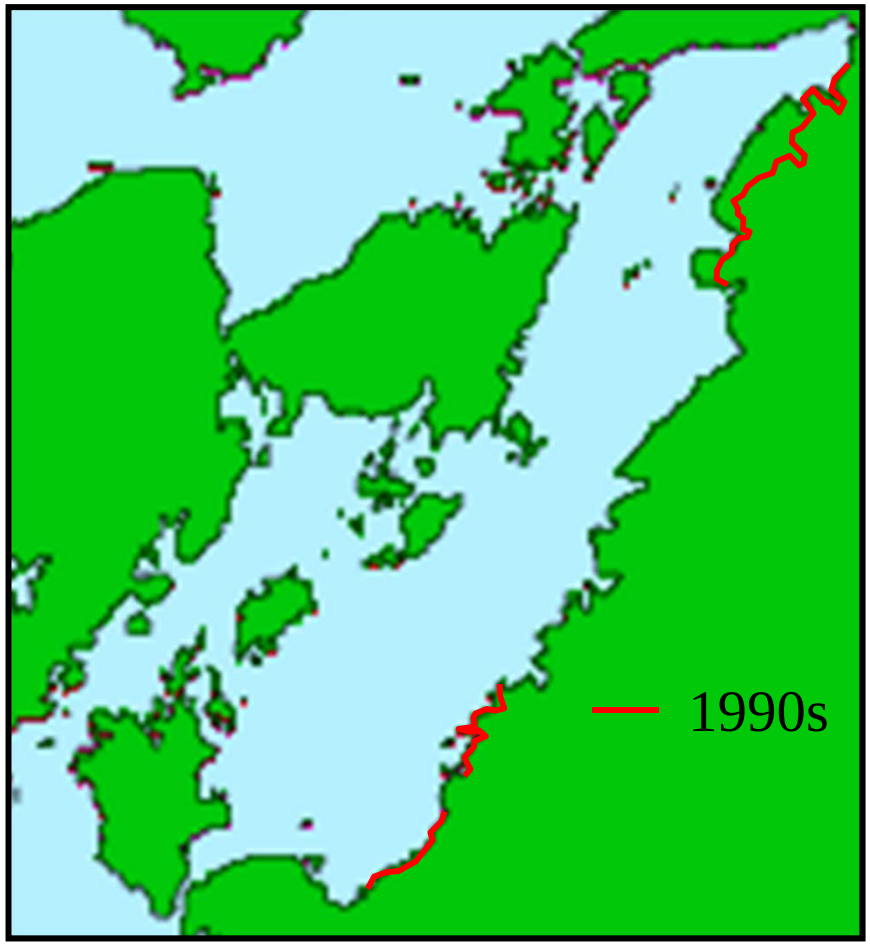
1960年代

1636km^2



有明海

991km^2



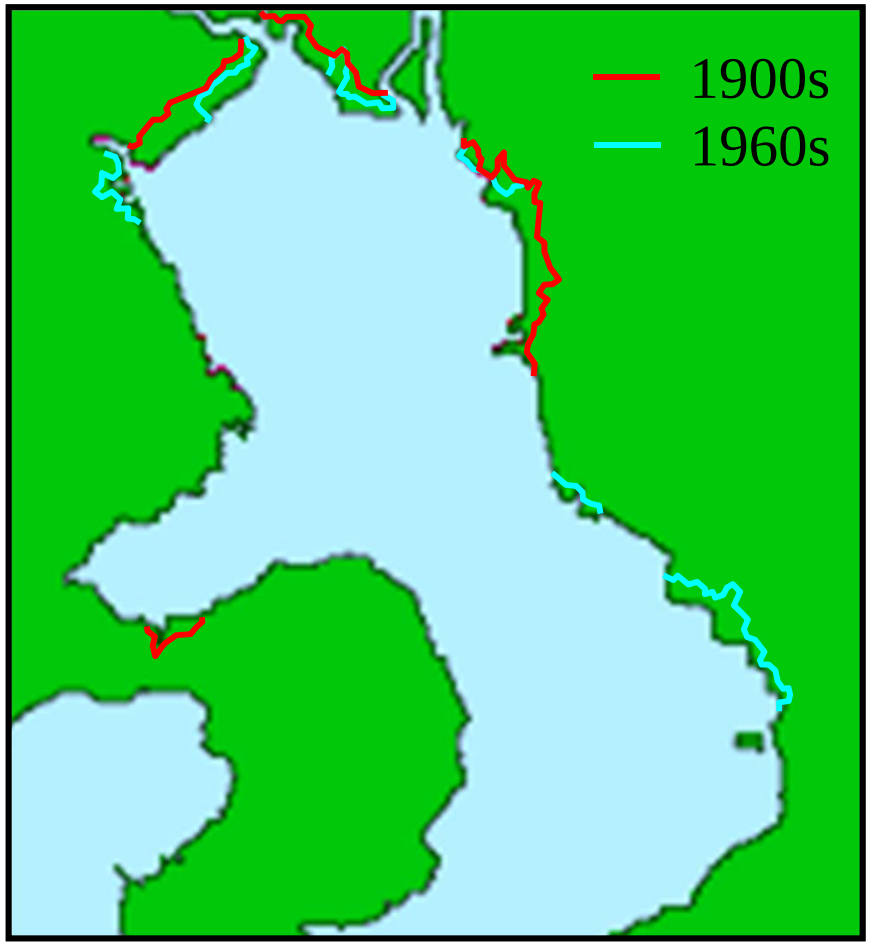
八代海

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

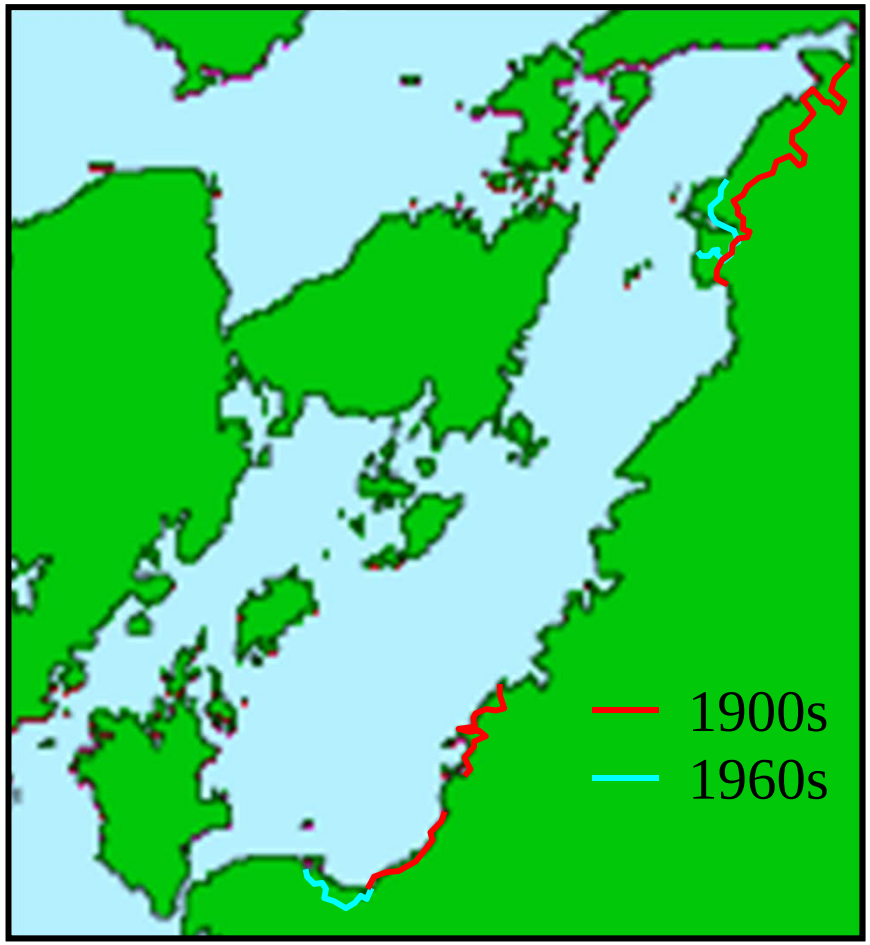
1980年代（諫早湾干拓前）

1583km^2



有明海

970km^2



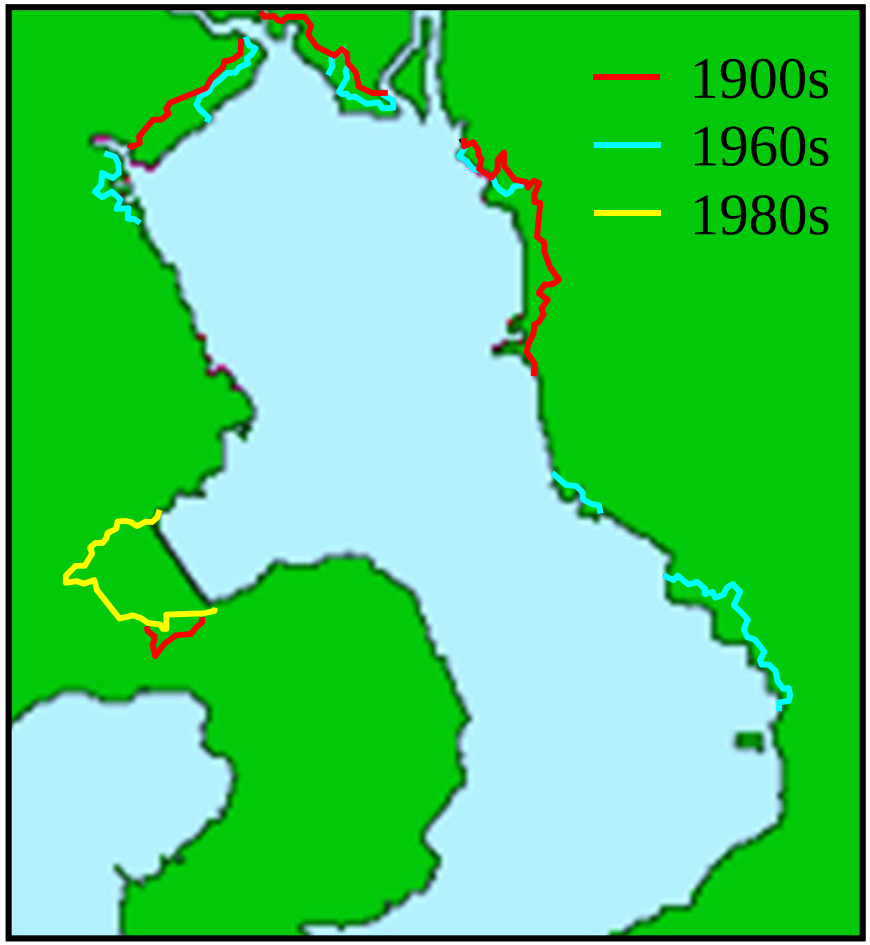
八代海

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

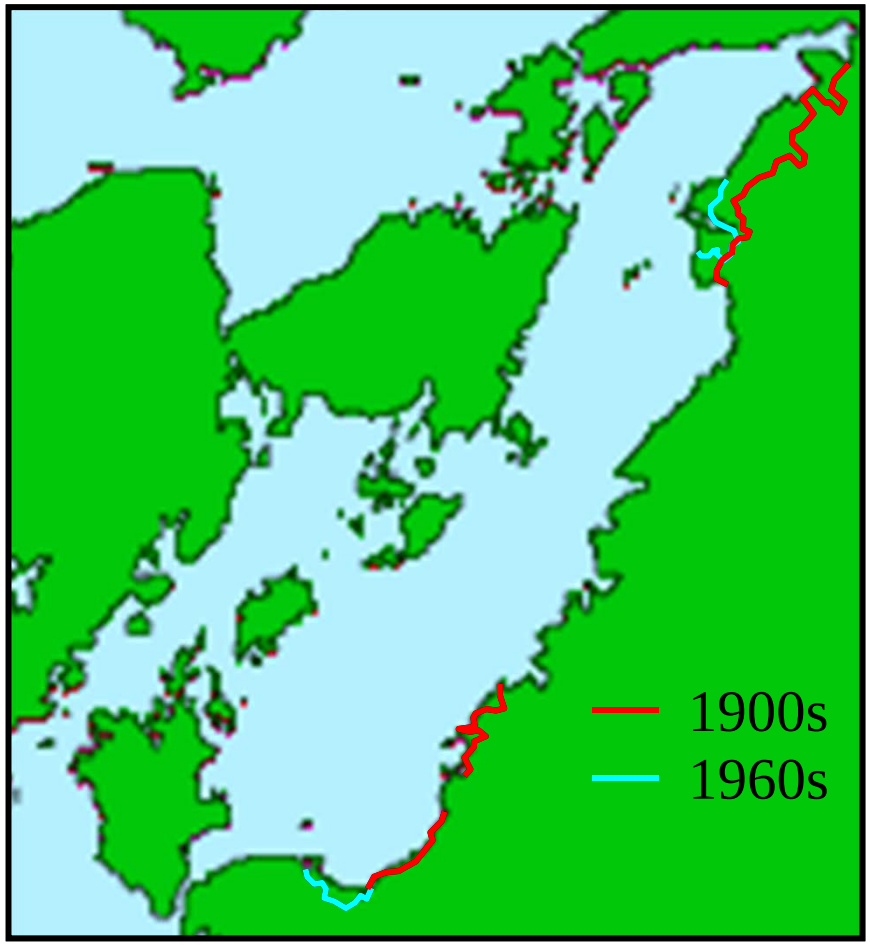
2000年代（諫早湾干拓後）

1545km^2



有明海

970km^2



八代海

2. 有明海の水環境と潮汐・潮流

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

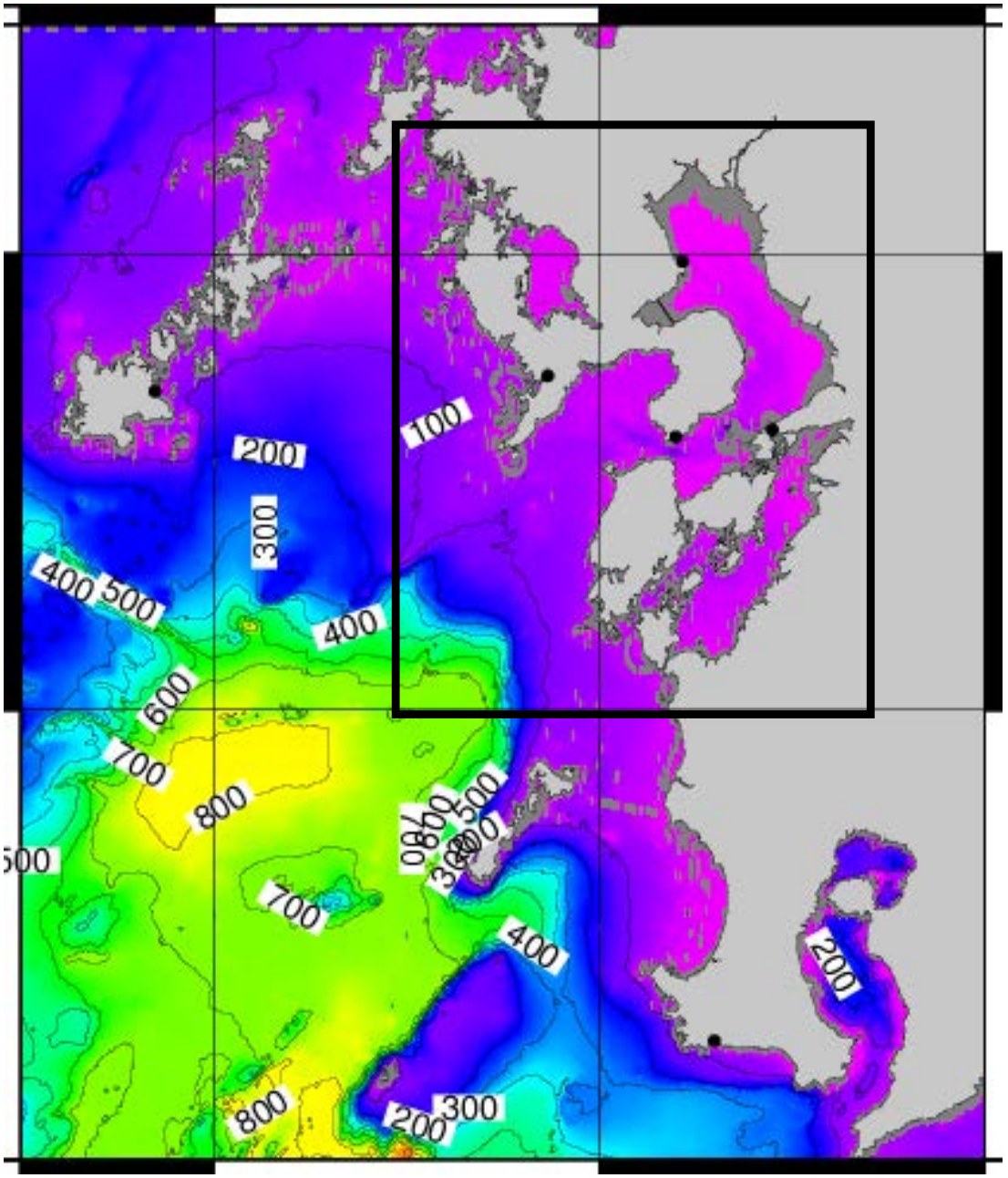
数値シミュレーションの概要

POMを改良して使用

・格子サイズ	10秒
・格子数	438×468×10
・水平渦粘性	Smagorinsky
・干潟モデル	内山（2004）

・1900年代
・1960年代
・1980年代（堤防建設前）
・2000年代（堤防建設後）

全ケースで南側開境界に振幅0.7mのM2潮を与えて検討を行った.



諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）
外海の潮汐の変化（要因6）

本発表で用いたモデルの再現性

M2分潮振幅の口之津を基準とした増幅率の比較

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

（公害等調整委員会専門委員報告書より引用）

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）
外海の潮汐の変化（要因6）

	口之津（湾口）	三角（湾央）	大浦（湾奥）
1900s	98.6	119.1（1.208）	154.9（1.572）
1960s	99.6	119.1（1.196）	154.9（1.555）
1980s	100.1	118.7（1.186）	153.6（1.534）
2000s	100.5	118.4（1.178）	152.1（1.513）

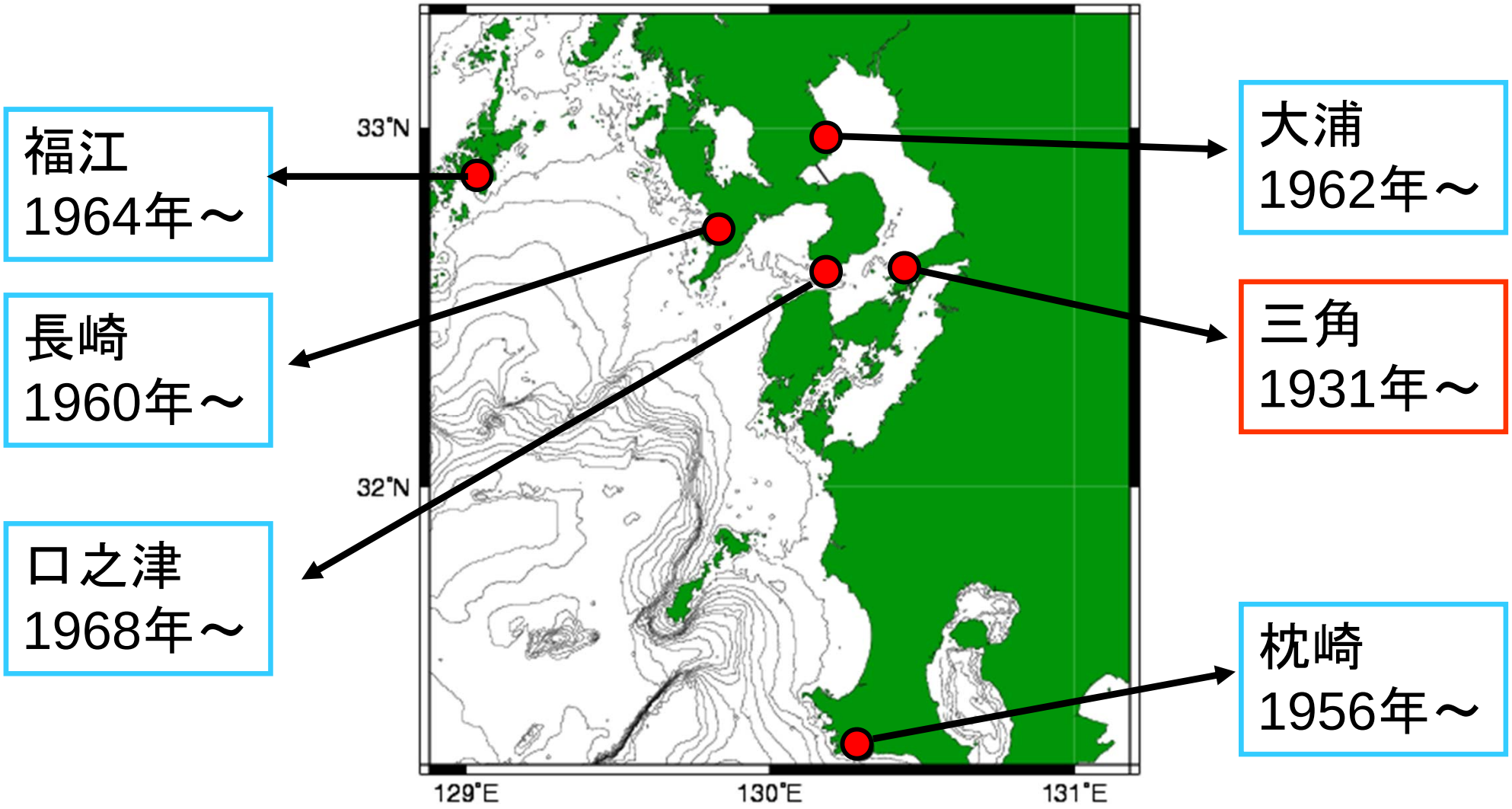
増幅率は顕著に減少しているが，振幅は口之津の振幅が増加することにより，増幅率より減少率が少ない

2. 有明海の水環境と潮汐・潮流

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

実測データの解析は有明海付近で
最も古くから観測が行われている三角のデータを用いた



2. 有明海の水環境と潮汐・潮流

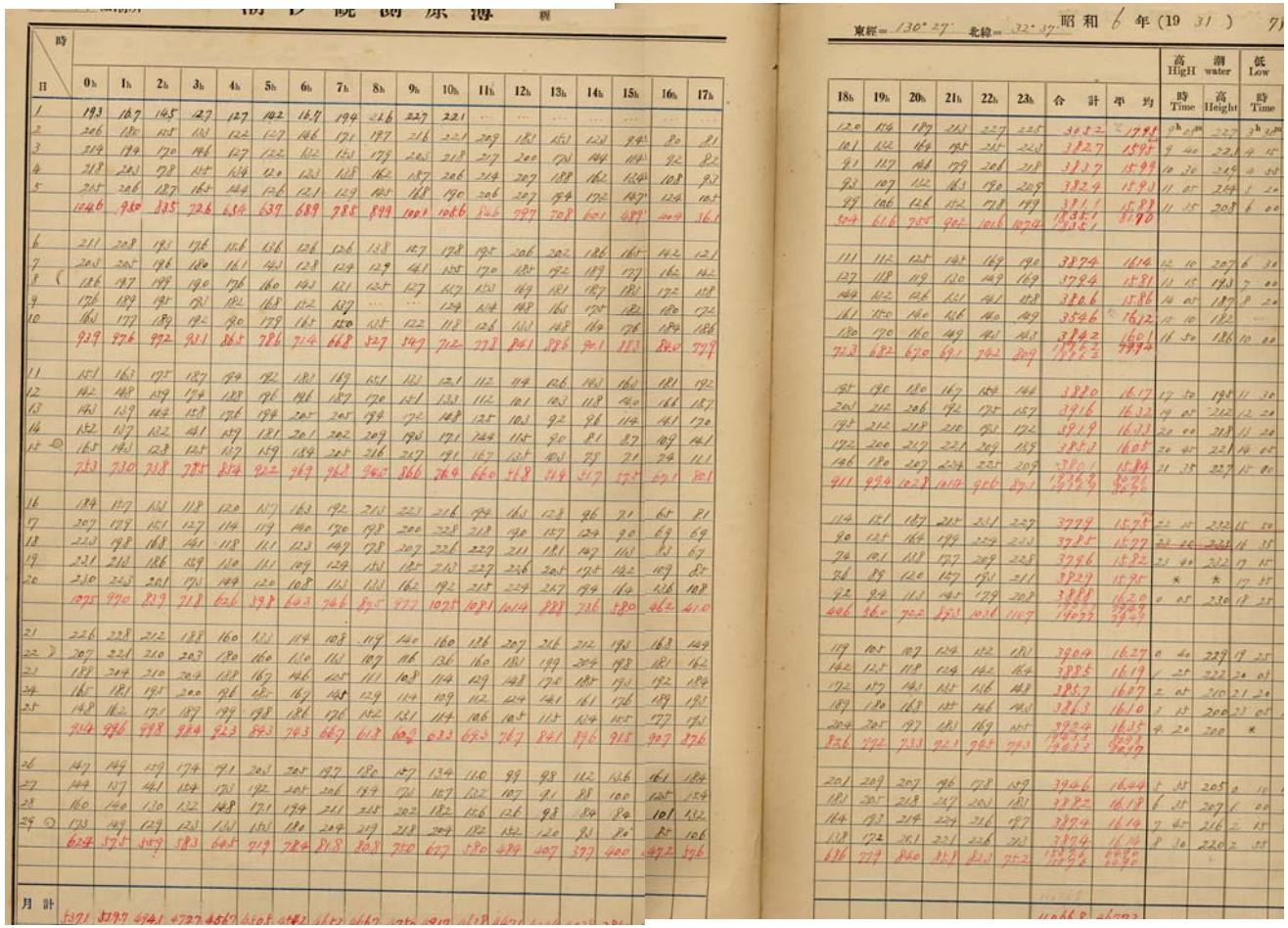
諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）

・1961年以降は日本海洋データセンターにより電子化されたものを使用

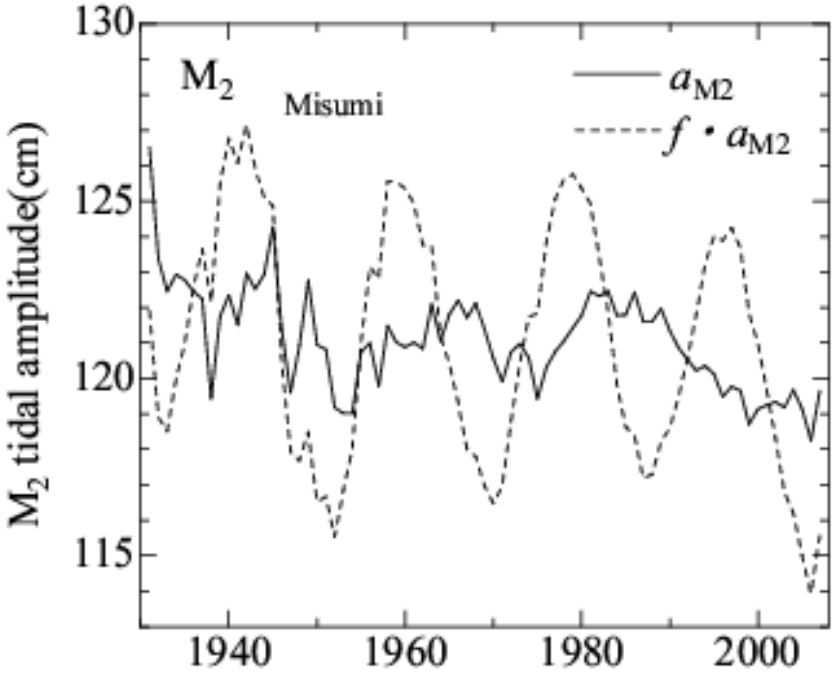
・1931年6月～1960年12月の間は現存する潮汐観測原簿を手作業で電子化

1931年7月の潮汐観測原簿



諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）

外海の潮汐の変化（要因6）



1930年代	→	122.7cm
1960年代	→	121.5cm
1980年代	→	122.0cm
2000年代	→	119.2cm

全期間を通じて3.5cmの減少

三角において

減少量 ＝ 干拓の影響 ＋ 外海の潮汐の減少の影響

3.5cm ＝ 0.7cm ＋ 2.8cm

諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少（要因1）
外海の潮汐の変化（要因6）

・三角において

減少量 ＝ 干拓の影響 ＋ 外海の潮汐の減少の影響

3.5cm ＝ 0.7cm ＋ 2.8cm

・2.8cmの減少を外海の枕崎のものに換算すると

$$\frac{2.8\text{cm}}{1.68\sim1.74} = 1.61\sim1.67\text{cm}$$

・換算された枕崎の減少を大浦のものに換算すると

（1.61～1.67cm）×（2.15～2.22）= 3.5～3.7cm

潮汐に関する要因の比較

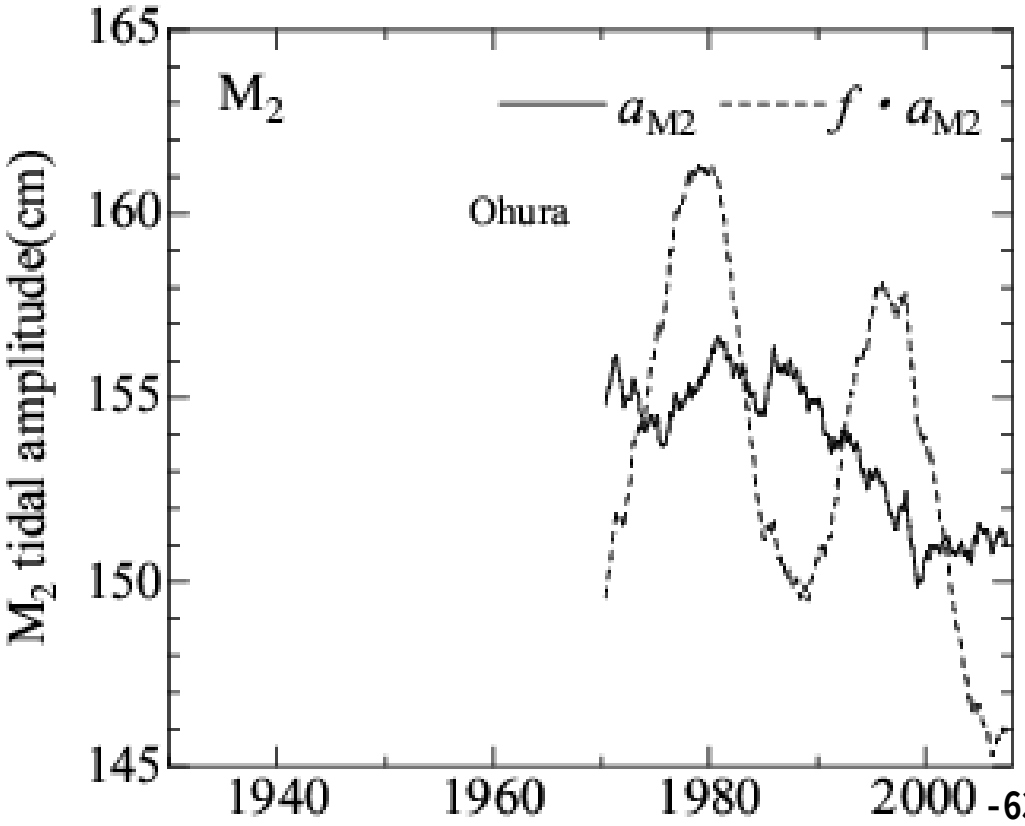
要因1. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少
要因2. 諫早湾干拓事業による潮汐の減少
要因5. 18.6年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動
要因6. 外海の潮汐の変化

大浦を湾奥の代表として考える.

- 要因1 → 1.3cmの減少
- 要因2 → 0～3cmの減少
- 要因5 → 10cm以上の増減
- 要因6 → 3.5～3.7cmの減少

要因5の変化が一番大きい.
以下, 要因6>>要因2=要因1となる.

大浦のM2潮振幅



潮流に関する要因の比較

要因3. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による入退潮量の減少
要因4. 諫早湾干拓事業による入退潮量の減少
要因5. 18.6年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動

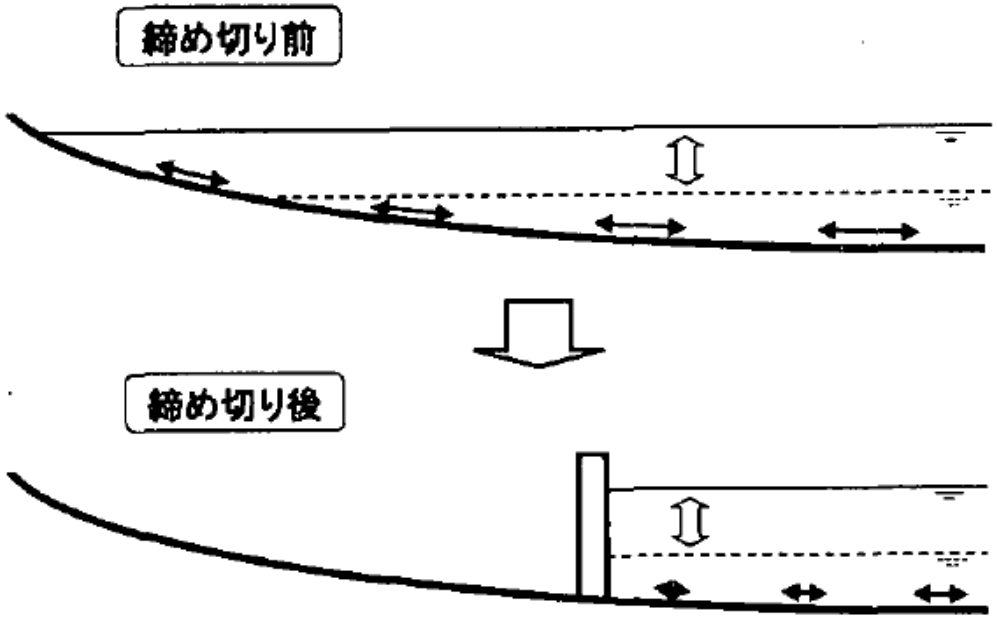
干拓が実施されれば，
潮汐振幅が変化しなくても，
干拓の前面で大幅な流速
の減少が生じる.

↓

諫早湾干拓事業により，諫早湾内から島原半島沿いでは流速の減少が確認されている.

↓

湾奥部では確認されていない



図—9　干潟前面での構造物設置による潮流振幅レベルの現象に関する模式図

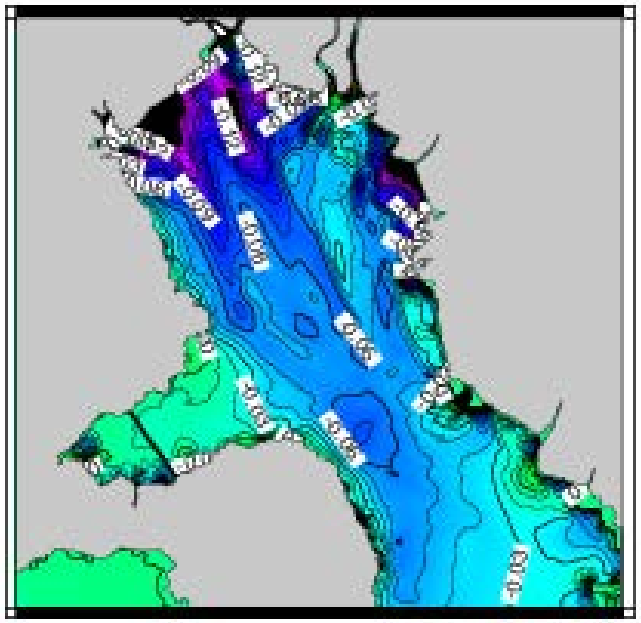
灘岡・花田（2002）より引用

潮流に関する要因の比較

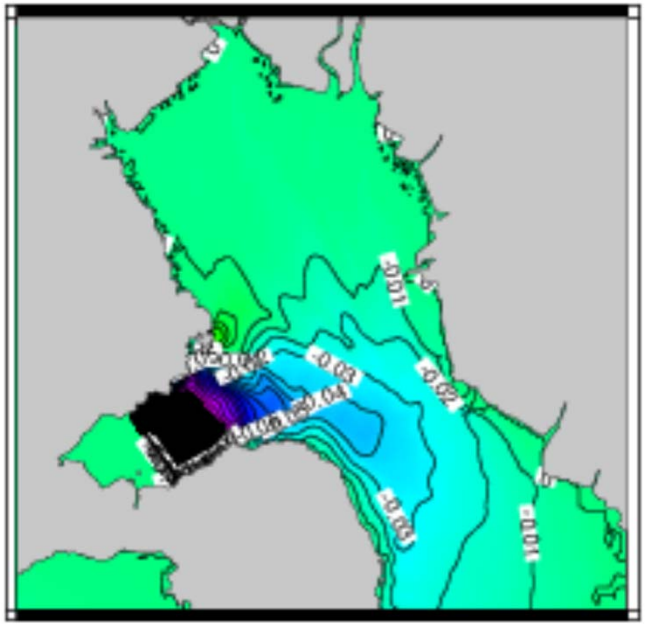
数値シミュレーションによる検討

各要因の流速の変化の検討（m/s）

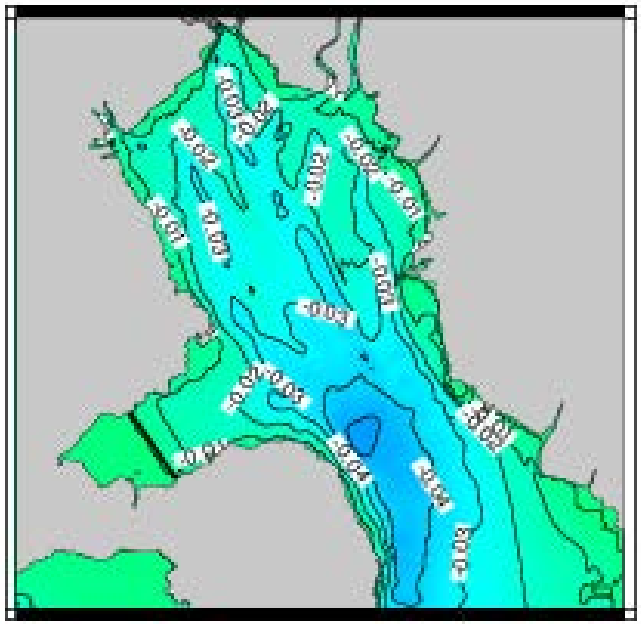
諫早湾干拓以前の干拓

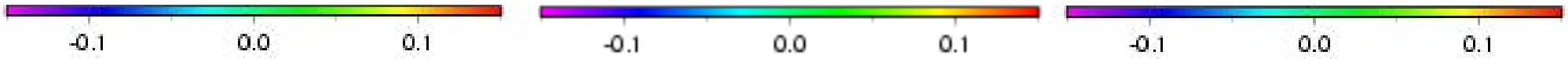


諫早湾干拓



18.6年周期の
極大期と極小期の差





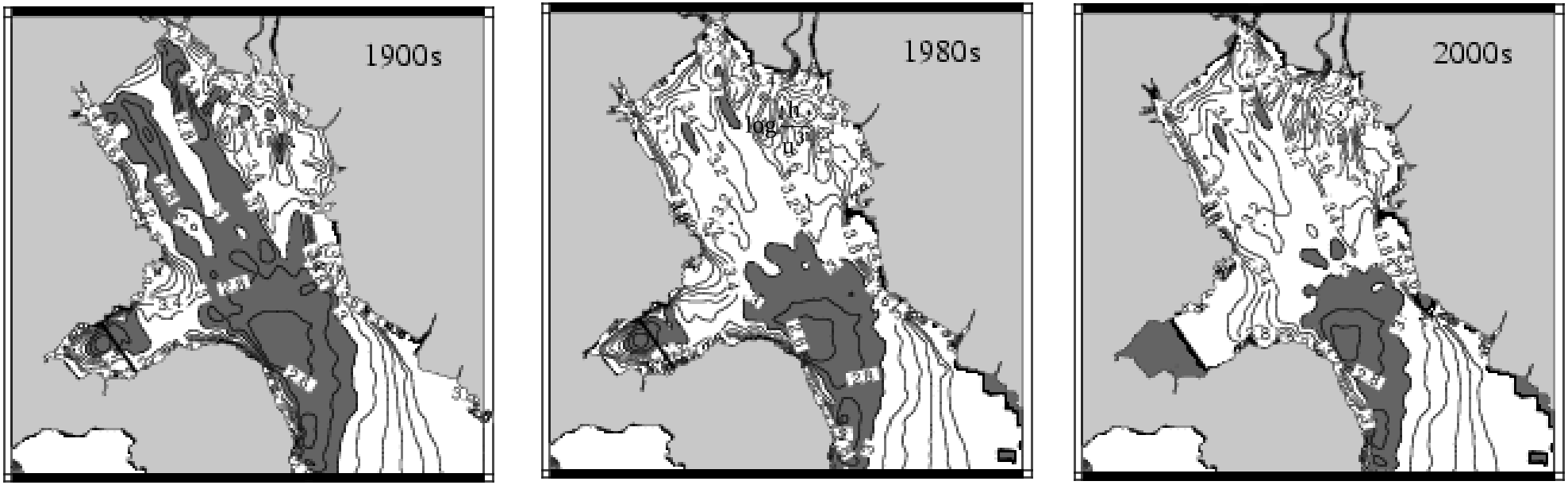
諫早湾内を除いて諫早干拓以前の干拓の影響が最も大きい.
島原半島沿いでも諫早湾干拓より18.6年周期の変動の方が大きい

潮流に関する要因の比較

数値シミュレーションによる検討

$\log(h/u^3)$ の分布. 値が大きいほど成層しやすい海域
ハッチは3以下の混合しやすい海域を示す

1900s　　1980s　　2000s



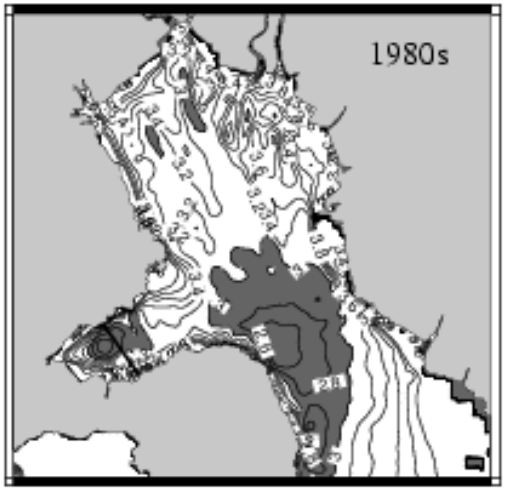
湾奥においては諫早干拓以前の干拓により成層化しやすくなっている.
湾奥に対する諫早干拓の影響は以前の干拓より小さい

潮流に関する要因の比較

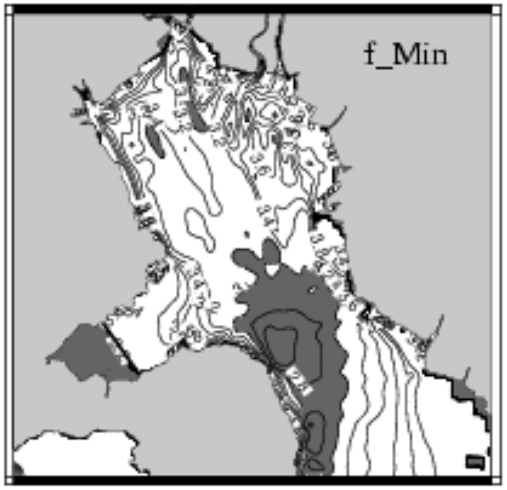
数値シミュレーションによる検討

18.6年周期変動の極大期

1980s



18.6年周期変動の極小期



2000s

18.6年周期変動のほうが諫早干拓による変化より大きい

考察・まとめ

要因1. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による潮汐の減少
要因2. 諫早湾干拓事業による潮汐の減少
要因3. 諫早湾干拓事業以前の湾奥部の干拓による入退潮量の減少
要因4. 諫早湾干拓事業による入退潮量の減少
要因5. 18.6年周期の月の昇交点運動による潮汐の変動
要因6. 外海の潮汐の変化

・諫早湾干拓事業に関する要因2，4は要因3，5，6に比べて小さい．

・近年の貧酸素および赤潮の大規模化に寄与したとすれば，要因2，4，5，6である．言い換えれば，湾奥において近年，特に酸素供給が減少したというわけではないことを示している．

考察・まとめ

・もし，諫早湾干拓事業が右のようなシナリオで湾奥の貧酸素に影響したならば，それより影響の大きい要因5に伴う周期変動が観測されていいはず．しかしそのような報告はない．

↓

・以上より，湾奥において右のようなシナリオが生じた可能性が低いことが示された．

↓

諫早湾干拓事業
↓
潮流の減少
↓
密度成層の強化
↓
貧酸素化

よって，潮受け堤防を開門により有明海全体の潮汐・潮流が速くなり水環境を改善させることは困難．
（もちろん，調整池排水の改善や干潟の復活など有明海にいいこともある）

3. まとめ

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ました.

1. 潮汐・潮流とは
・潮汐の生じる理由
・有明海で日本一の干満差が生じる理由
・沿岸海洋での役割

2. 有明海の水環境と潮汐・潮流
・諫早湾干拓事業で何が変わったのか？
・他に考えられる原因は？
・潮汐・潮流から見た開門

御清聴ありがとうございました！