有明海再生機構主催
有明海市民講座

平成27年1月28日（水）

第1回

有明海に関する基礎知識

有明海再生機構　理事長

荒牧 軍治

この有明海市民講座の実施に当たっては「福岡都市圏広域行政事業組合流域連携基金の助成を受けて実施いたしております。

「有明海市民講座」の目的

現地点における「有明海に関する科学的知見の到達点」を探る

やり方

これまで再生機構が蓄積した科学的知見の中から、荒牧が基本となると考えるデータ、解析結果を提供する

↓

参加者が疑問と思う点・理解しがたい点・違うと思う点を提出する

↓

荒牧が間違い・分かりにくい点を修正し、足りないものを補足する

↓

有明海再生機構が考える「科学的知見の到達点」の原案とする

科学的知見とは

単なる数字の羅列

大学、公的研究機関、民間調査機関等の信頼できる機関が、計測法等を明確にして取得した調査データを、論文、報告書等の責任ある形式で公表したもの　**データ**

&

上記計測結果を元に誰もが合理的と思われる数理的手法で解析した結果　**解析結果**

↓

論理的思考に従って得た事項別の結論

↓

システム全体を貫くストーリー

有明海再生機構がこれまでに蓄積した科学的事項

ネットワークから容易に得られる科学的データ

1. 有明海等環境情報・研究ネットワーク

浅海定線調査　長期的変動を検討する時に最も重要かつ唯一のデータ

収録データ

福岡県	1965年4月～2007年3月
佐賀県	1972年4月～2012年3月
長崎県	1992年6月～2007年3月
熊本県	1974年4月～2009年3月

水質：
水温　塩分　溶存酸素量　化学的酸素要求量　pH 透明度　プランクトン沈殿量
溶存態無機窒素量　溶存態無機リン量　溶存態無機ケイ酸量

有明海海域環境調査　環境省水環境部　2001年～2003年

有明海全域の水質と底質

平成15年度、16年度有明海・八代海水質保全調査

環境省水環境部　2003年～2004年

九州海域の赤潮　水産庁 九州漁業調整事務所 1985～2010年

漁業センサス　農林水産省統計情報部　第6次（昭和53年）～第10次（平成10年）
5年に1回

報告書・論文等に掲載されたデータ及び分析

環境省有明海・八代海等総合調査評価委員会　報告書

環境省のホームページから取得可能

平成18年（2006年）12月2日発行

当時の科学的知見の到達点

私の立脚点

佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　最終成果報告書

平成22年（2010年）3月発行

佐賀大学のホームページから取得可能

佐賀大学有明海総合研究プロジェクト　5年間成果の概要

蘇る有明海―再生への道程

プロジェクト「有明海の生物生息空間の俯瞰的再生と実証試験」報告書

平成23年（2011年）8月発行

財団法人九州環境管理協会有明研究会　報告書

第1巻　有明海環境の定量的評価「漁業生産の回復に向けて」　平成19年7月
第2巻　環境と生物生産力の調和「海域の高度な栄養塩管理」　平成23年10月
第3巻　海域の漁業資源の回復と増強に向けて「生物生産力向上と低下の定量的解析　　平成25年6月

科学的分析に基づく書籍

有明海の生き物たち―干潟・河口域の生物多様性ー　佐藤正典編
2000年（平成12年）12月

有明海の自然と再生　宇野木早苗著　　2006年（平成18年）4月

有明海の生態系再生をめざして　日本海洋学会編　　2005年（平成17年）9月

干潟の海に生きる魚たち　日本魚類学会自然保護委員会編
2009年（平成21年）3月

諫早干拓かノリ養殖か—有明海はなぜ荒廃したのか　江刺洋司著

2003年（平成15年）11月

有明海再生機構の報告書

いずれも有明海ホームページから取得できます

シンポジウム「有明海再生への道筋はどこまで見えてきたか?!」講演録

2007年（平成19年）3月

有明海講演会（福岡市）　講演録　2007年（平成19年）3月

シンポジウム「有明海における貧酸素水塊の発生と対応」　講演録

2007年（平成19年）6月

有明海講演会　講演録　2008年（平成20年）3月

有明海講演会 ~カキ礁復元による有明海再生~ 講演録

2008年（平成20年）8月

有明海講座「有明海の赤潮」講演録

2008年（平成20年）8月

有明海講演会 「有明海の貝類の過去・現在・未来」講演録

2009年（平成21年）9月

有明海講演会 ~有明海の魚類と貝類の関係~講演録

2010年（平成22年）2月

有明海なぜ?シンポジウム「なぜ、ノリの色落ちが起きたのか」講演録

2010年（平成22年）3月

有明海なぜ?シンポジウム なぜ、タイラギがとれたのか
~タイラギが定着できる環境が揃った理由は~講演録

2010年（平成22年）5月

有明海なぜ?シンポジウム「 なぜ、貧酸素水塊が発生するのか」講演録

2010年（平成22年）7月

有明海なぜ?シンポジウム「 底質・干潟はどうかわってきたのか」講演録

2010年（平成22年）11月

緊急フォーラム「佐賀発:有明海の未来を拓く」講演録

2010年（平成22年）12月

「有明海のなぜ?」シンポジウム ~有明海の環境変化はどこまで科学で解明されたのか、また今後の進むべき方向は~ 講演録

2011年（平成23年）2月

「有明海のなぜ?」シンポジウム ~有明海の環境変化はどこまで科学で解明されたのか、また今後の進むべき方向は~ 講演録

2011年（平成23年）2月

有明海再生に関する有識者意見交換会　講演録

2011年（平成23年）2月

有明海再生機構中間成果発表会　講演録

2011年（平成23年）5月

有明海再生機構中間成果発表会　講演録

2011年（平成23年）5月

有明海再生機構シンポジウム「今こそ有明海の現状と未来を考えよう」
―有明海のことで分かったこと　そして今後何をしないといけないか―
配付資料　2013年（平成25年）5月

有明海問題の社会的課題にシフト

有明海再生機構シンポジウム「今こそ有明海の現状と未来を考えよう」
―目前に控えた開門調査について考える―　配付資料
2013年（平成25年）10月

有明海再生機構シンポジウム「今こそ有明海の現状と未来を考えよう」
配付資料
2014年（平成26年）3月

有明海再生機構公開討論会「有明海再生の道筋を探る」
配付資料
2014年（平成26年）3月

有明海再生機構シンポジウム「『開門調査』から有明海再生の未来が見えるか」
―有明海問題を地域の問題として考えよう―　　配付資料
2014年（平成26年）8月

有明海再生機構シンポジウム「有明海の未来へ繋がる水産業の創世」
配付資料
2014年（平成26年）11月

その他多くの論文・報告書・書籍等が発行されている

私の基本的立場

環境省有明海・八代海等総合調査評価委員会　報告書

平成18年（2006年）12月2日発行

当時の科学的知見の到達点

それ以降に得られた知見で修正する

有明海に関する基礎知識

年代を考える

人類の誕生：　　700万年前（アフリカ）
アジアへの進出：100万年前

日本へは？

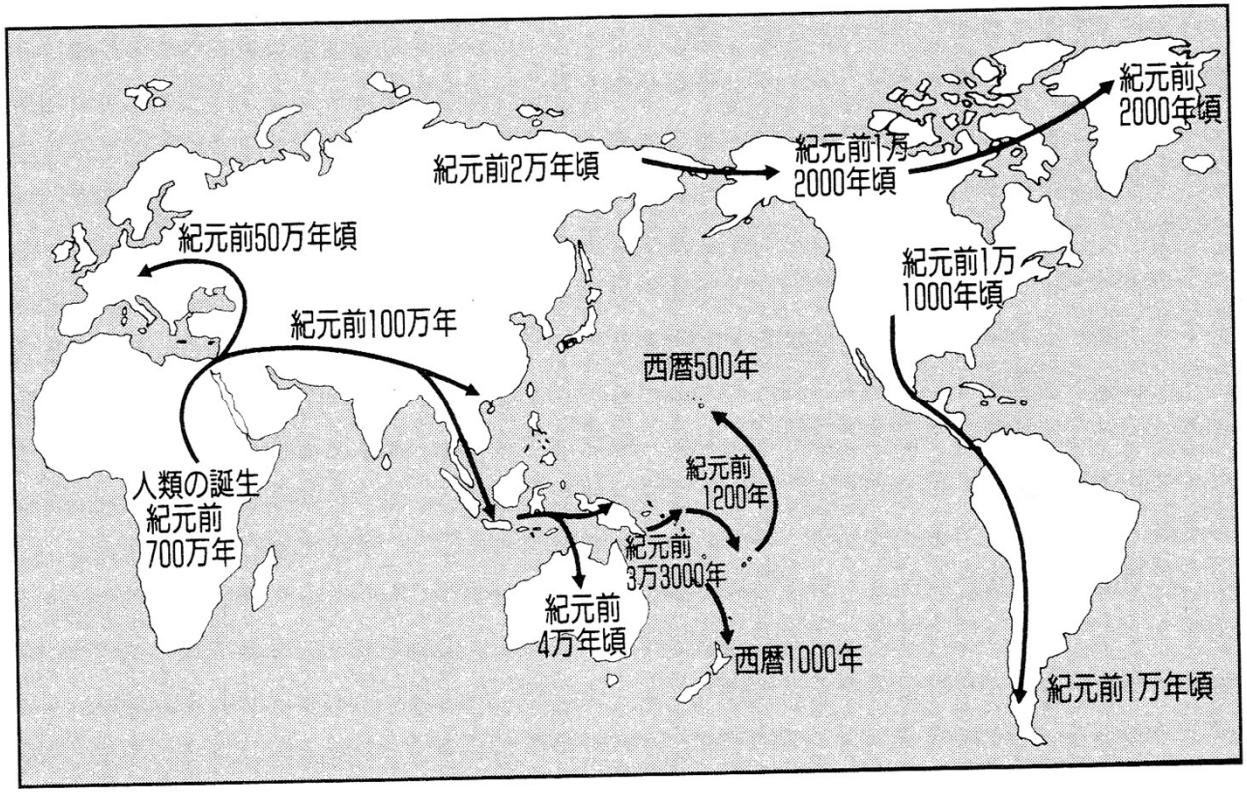
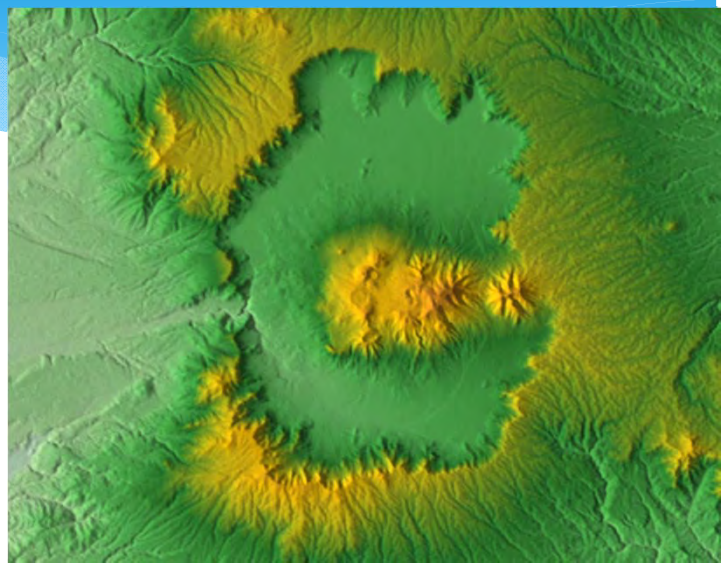


図1-1　人類の拡散

阿蘇山大噴火

海游社刊「有明海の生き物たち」第1部-2
「有明海の地史と特産種の成立」下山正一を参照



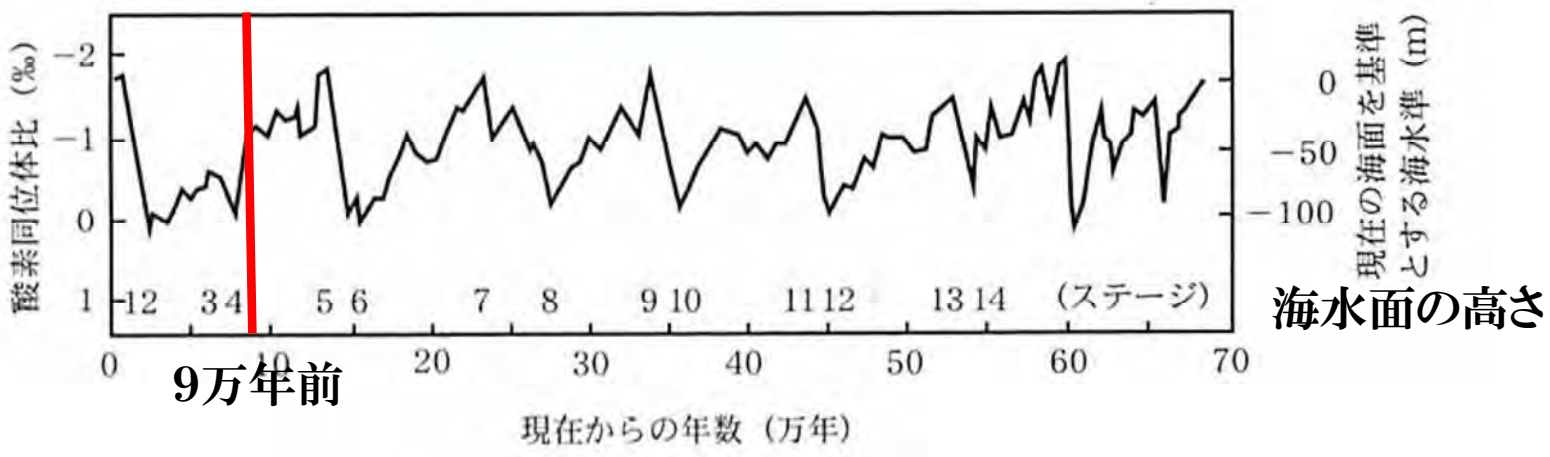
30万年前～9万年前　4回の大噴火

噴出物は600km^3
（ほぼ富士山の山体全部の大きさ）

火砕流台地：　九州の半分を覆った

地層区分(Aso4)：
北海道にいたる日本全土＋朝鮮半島
9万年前の地層と分かる

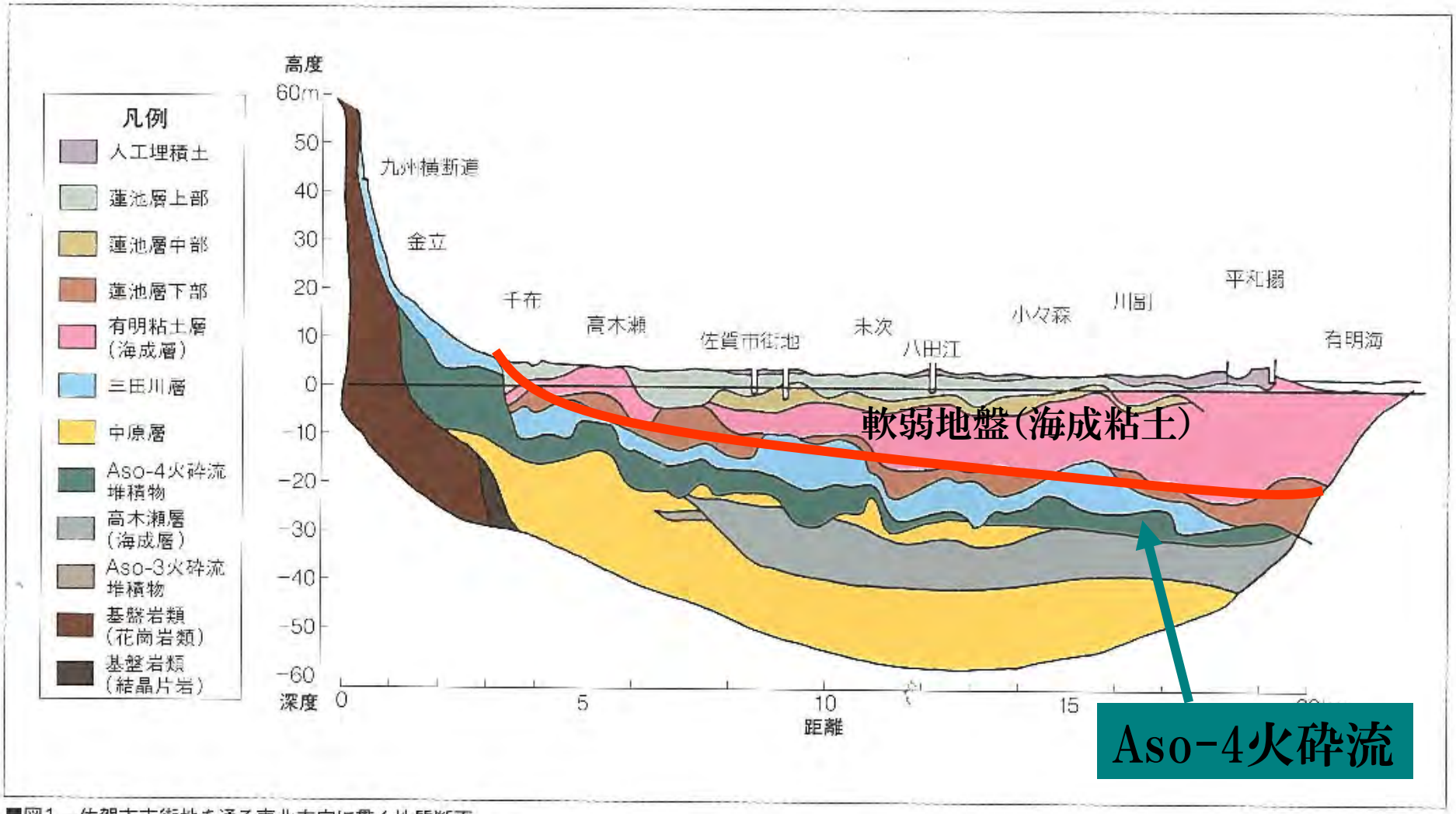
上峰町ふるさと館　　マツ科トウヒ属モミの木の一種　木の輪切り
阿蘇から直線で80km　400℃の火砕流
長さ22m、直径1．5m　　現在より4℃～5℃低い　東北程度



地層を読み解く鍵　阿蘇火砕流

30万年前から大規模4回

Aso-4火砕流
9万年前（火口カルデラの形成）



■図1—佐賀市市街地を通る南北方向に貫く地質断面

有明海の形成

海退（氷期）

氷期-間氷期（7～8万年周期）

海進（間氷期）

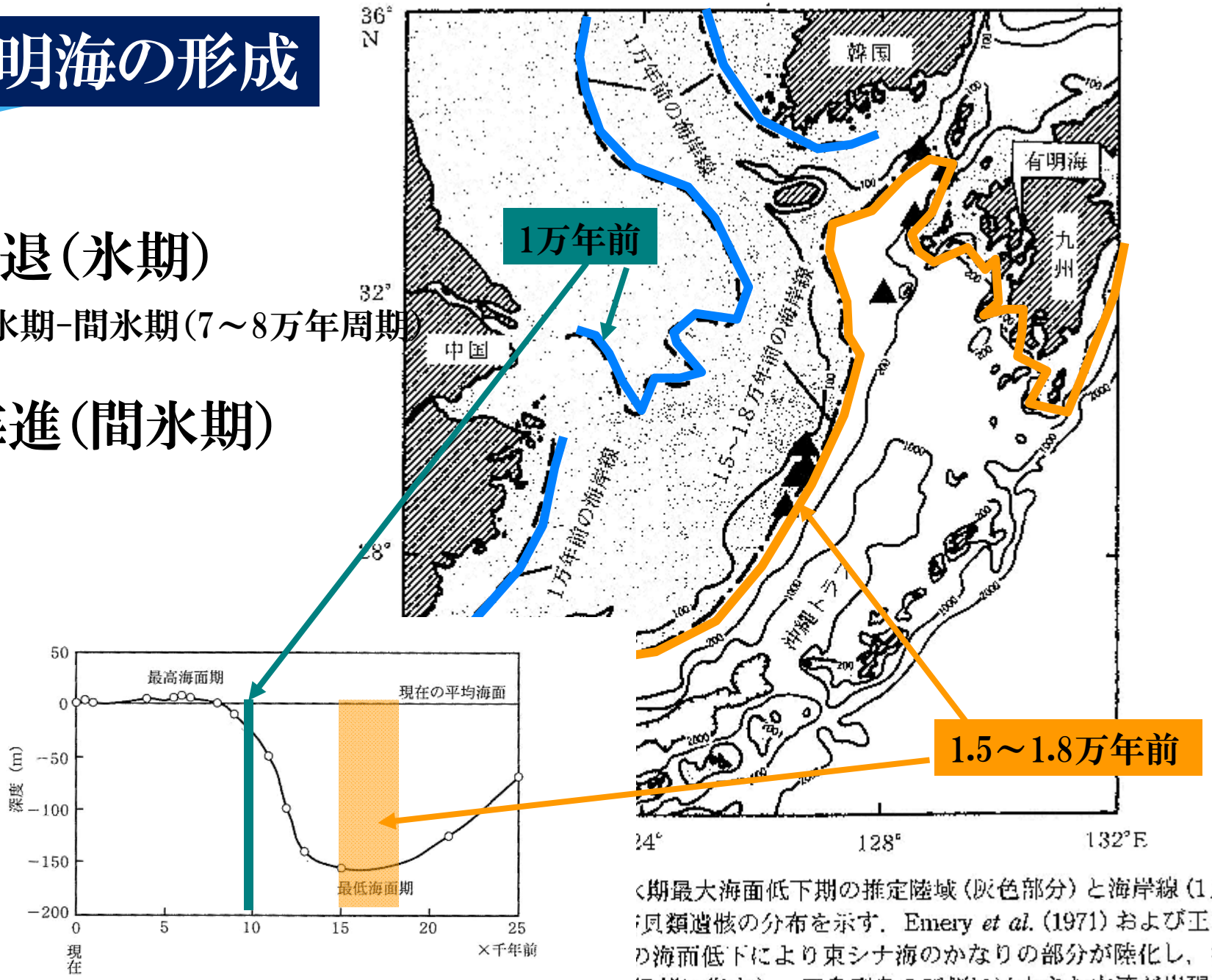


図2-4　中国東部および東シナ海大陸棚地域における2.5万年前以降の海面変化曲線．王・汪（1980）に基づく．

く期最大海面低下期の推定陸域（灰色部分）と海岸線（1点
貝類遺骸の分布を示す．Emery *et al.*（1971）および王・
の海面低下により東シナ海のかなりの部分が陸化し，浅
縁部に集中し，五島列島の西側には大きな内湾が出現し

歴史は地中に記録されている

地下に海成層
がある範囲

土壌が形成可能

阿蘇が豊かさの源

生物の成長

火山灰→土壌
→ミネラル

チッソ、リン、カリ

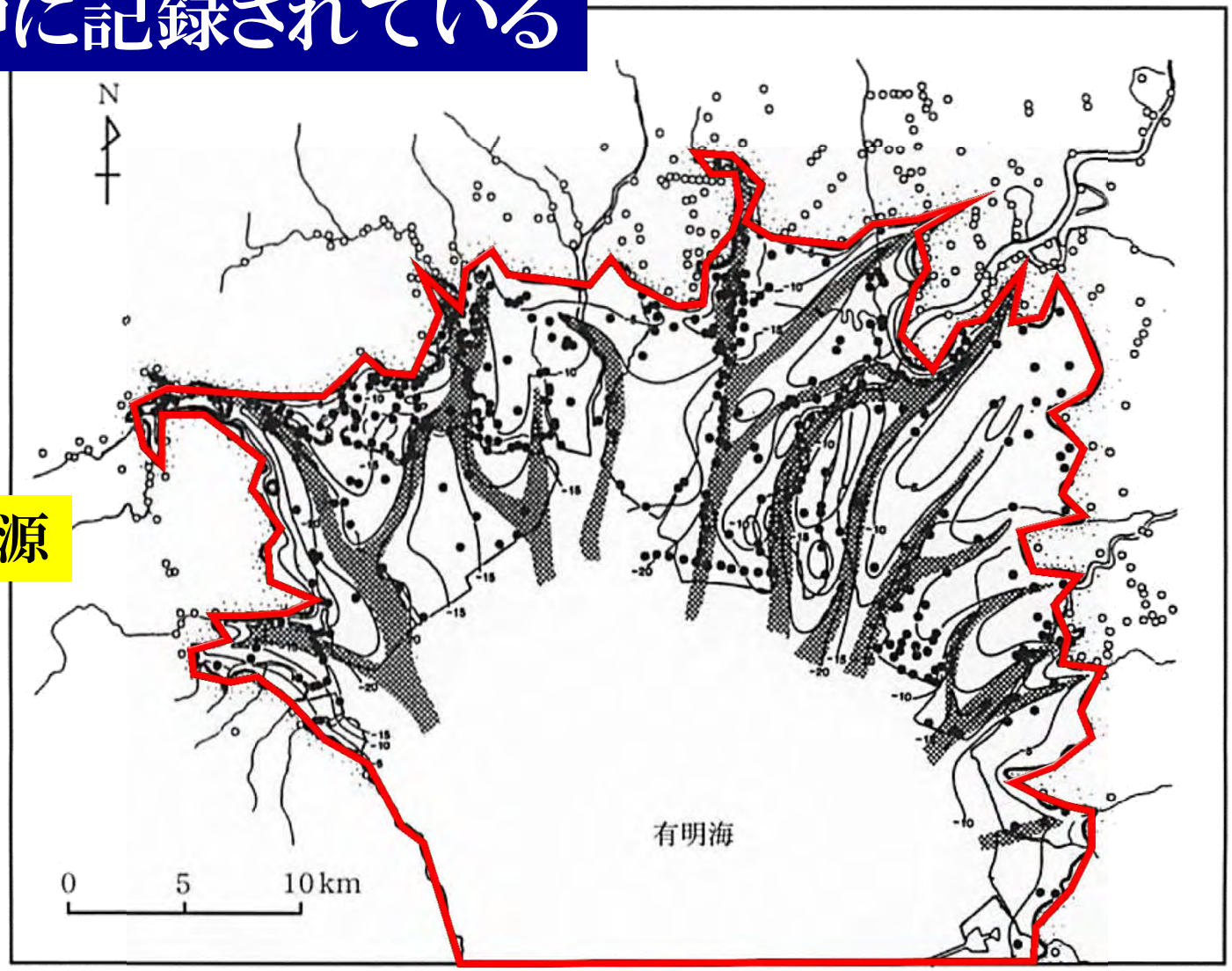


図 2-8　有明海北岸低地におけるボーリング資料から見た海成層の分布．黒丸が地下に海成層のある場所，白丸は海成層のない場所である．海成層の分布限界は太線で示す．それは，縄文時代前期約6千年前の有明海の海岸線と見なすことができ，当時の有明海は現在の平野の奥部まで侵入していたことがわかる．細い線は海成層下限の等深度線，アミ掛け部分は谷状地形を示す．

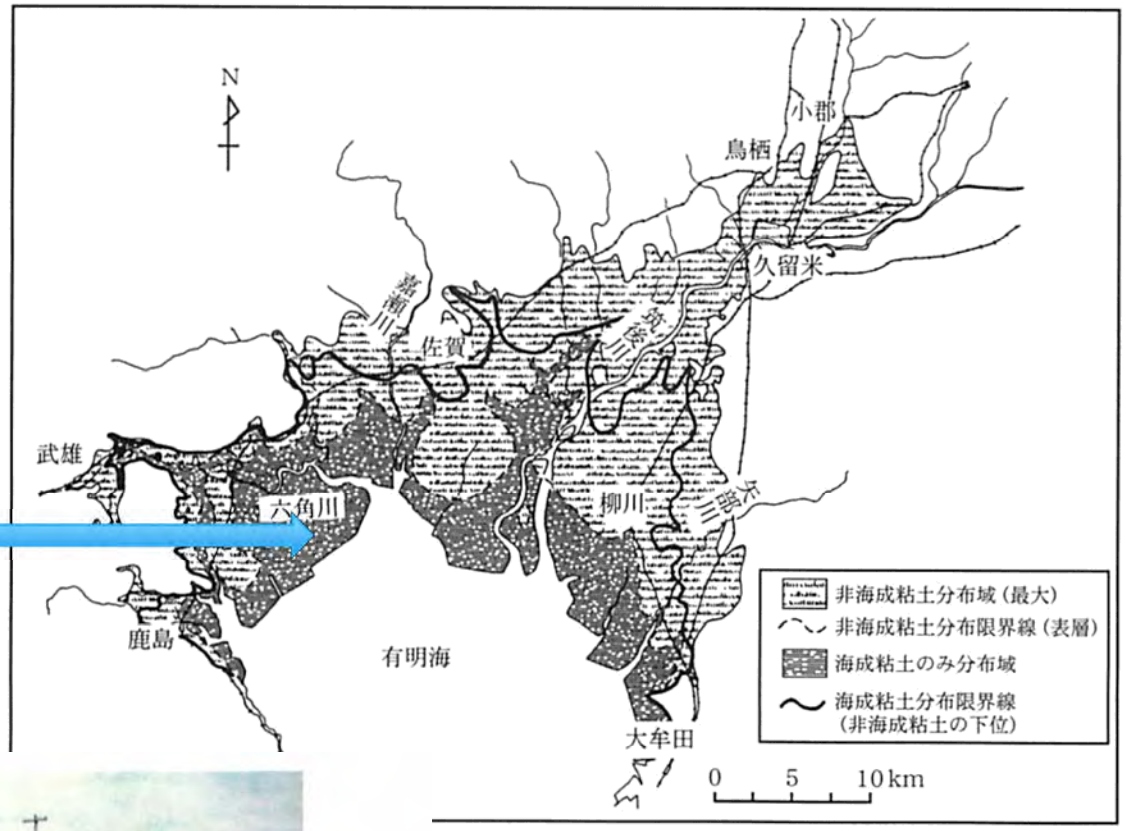
二重の粘土層

下層：海成粘土
上層：非海成粘土

（海に入らないで堆積）

海の泥を掴まえた

干拓（搦工法）



海成粘土の上に低塩分環境でできた粘土（汽水域、氾濫）

図2-7　有明海北岸低地の表層を占める非海成粘土層（佐賀市瓦町）．A, Bは非海成粘土層

有明海の海岸線の変化

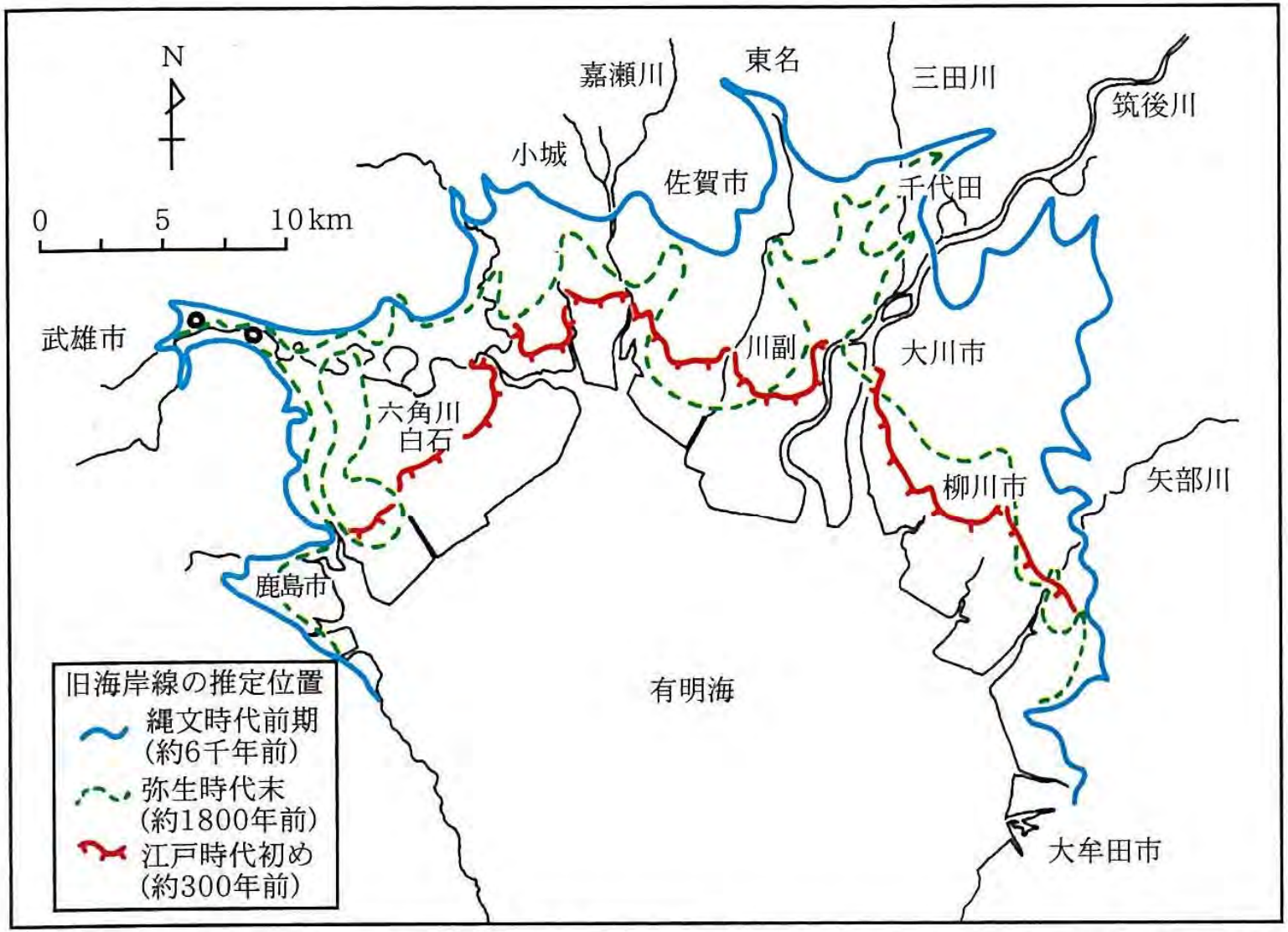
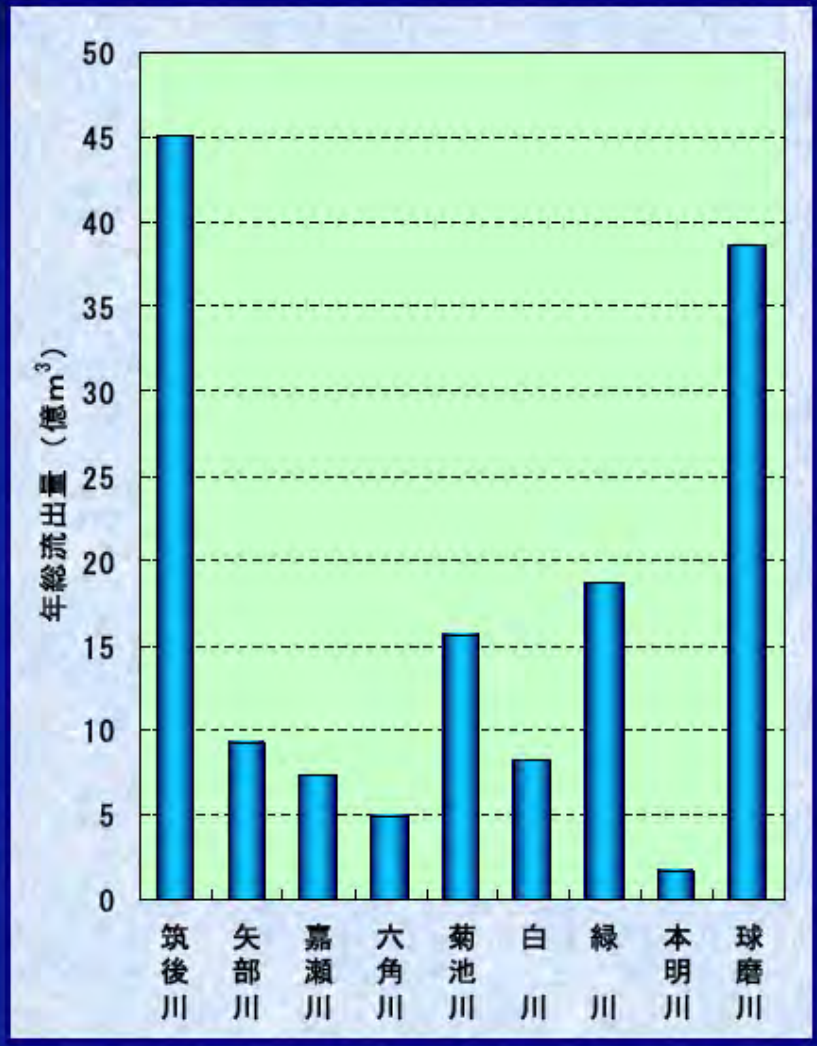


図2-11　有明海北岸低地における縄文海進ピーク時期以降の海岸線の変化．縄文時代前期，弥生時代末，江戸時代初めの3つの海岸線の推定位置と，現在の海岸線を示す．**下山正一氏作成**

有明海・八代海　一級河川の流況(1)

河川名	地点名	全体流域面積 (km²)	年総流出量 (億m³)
筑後川	瀬ノ下	2,860.0	45.04
矢部川	船小屋	620.0	9.29
嘉瀬川	川上	368.0	7.32
六角川	妙見橋	341.0	4.96
菊池川	分田	996.0	15.61
白川	代継橋	480.0	8.15
緑川	城南	1,100.0	18.64
本明川	裏山	87.0	1.63
小計		6,765.0	110.64
球磨川	横石	1,880.0	38.68
合計		15,497.0	149.32



※年総流出量は、観測開始から平成13年の平均値
※年総流出量は、観測地点流出量を流域面積比で流域全体相当に引き延ばしている。

有明海への流入量

有明海湾奥を支配する

筑後川

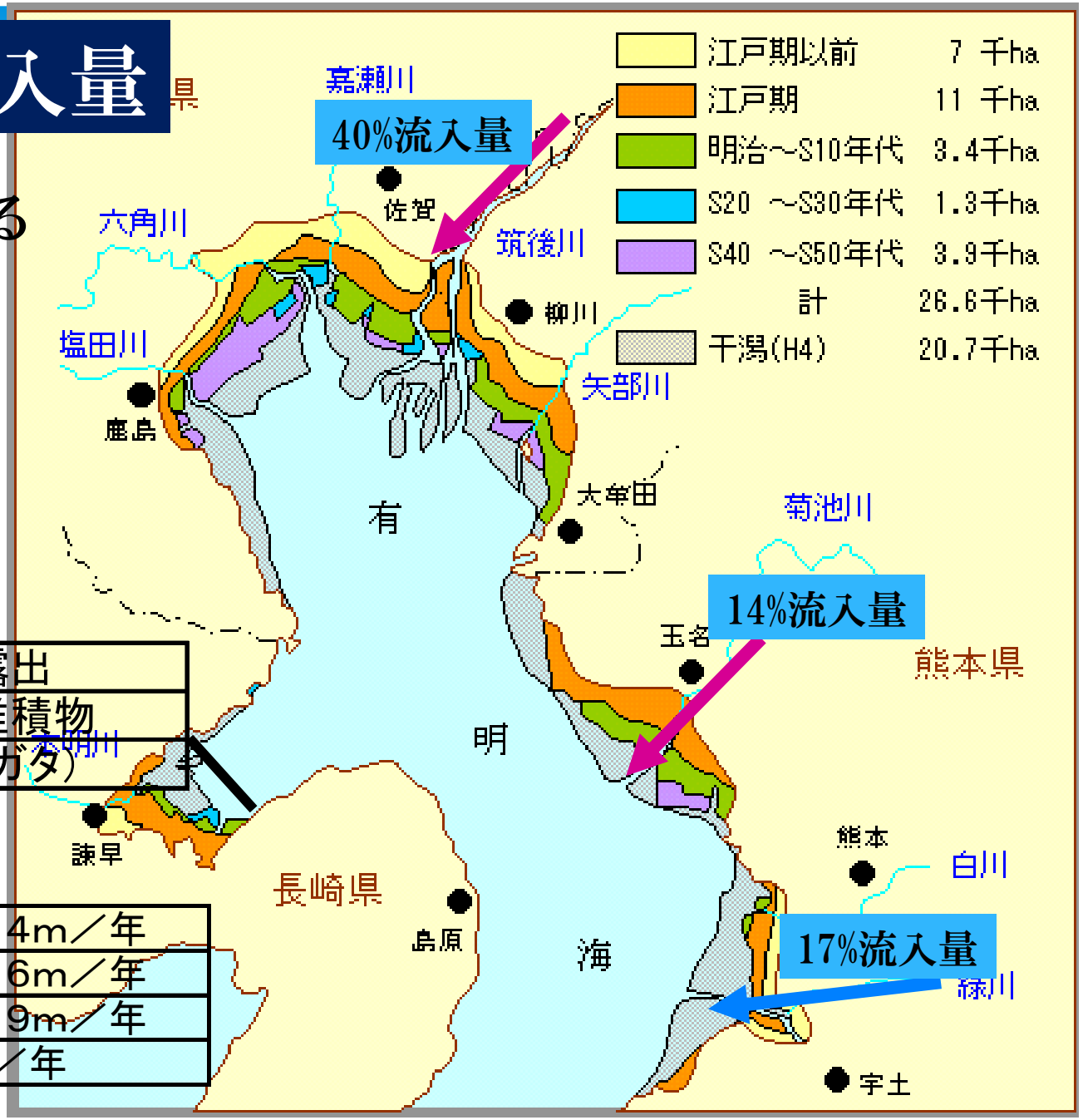
底質の違い

湾口部	岩盤露出
湾頭部	砂質堆積物
湾奥部　諫早湾	潟土（ガタ）

干潟の堆積状況

菊池川左岸	15．4m／年
菊池川右岸	14．6m／年
筑後川	10．9m／年
白石平野前面	3m／年

平均100年で1km陸化

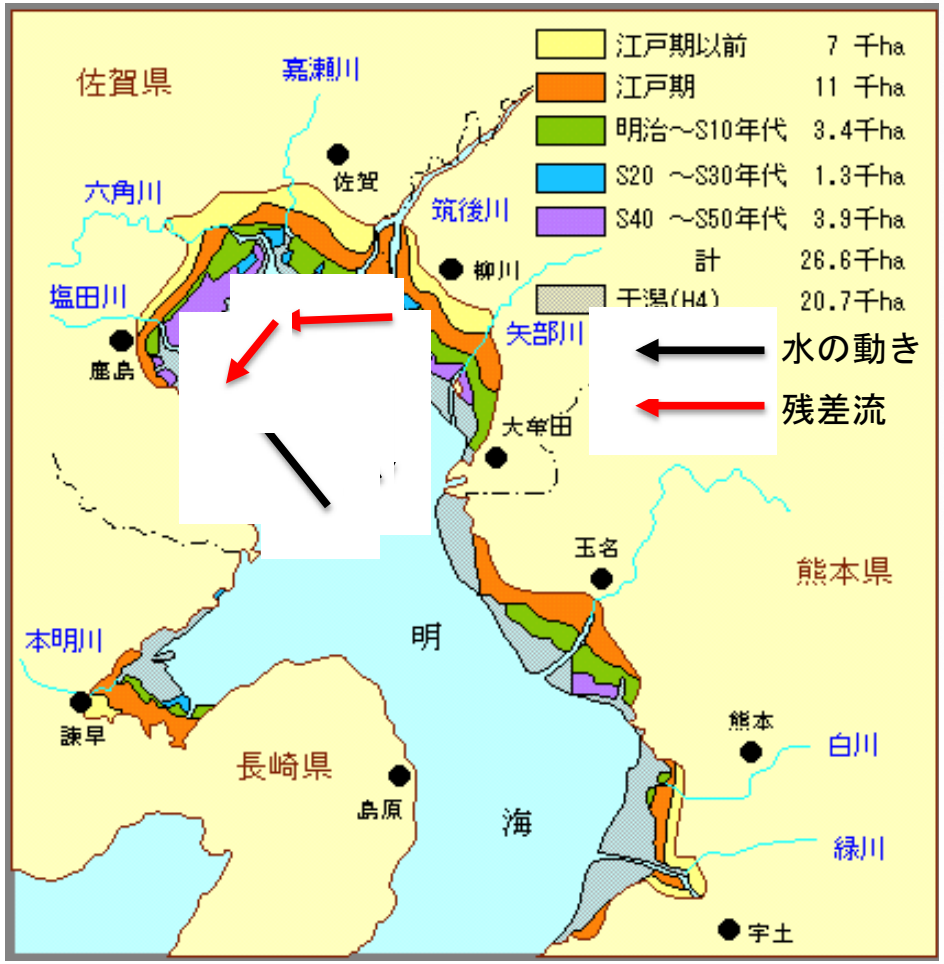


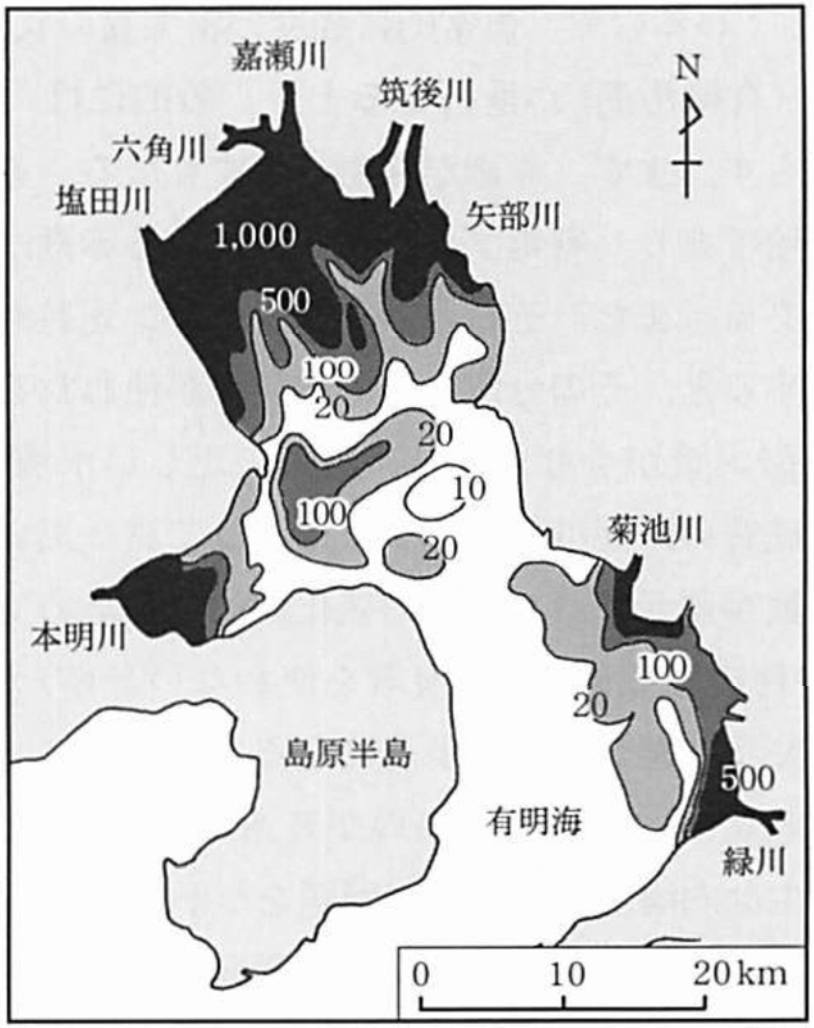
有明海は泥の海

海の中は泥でいっぱい→浮泥

西向きの流れ→残差流
（コリオリ力）

泥は西へ





浮泥の濃度分布

泥は西へ

干潟の底質

泥質

柳川(一部)、川副、佐賀
白石、鹿島、諫早

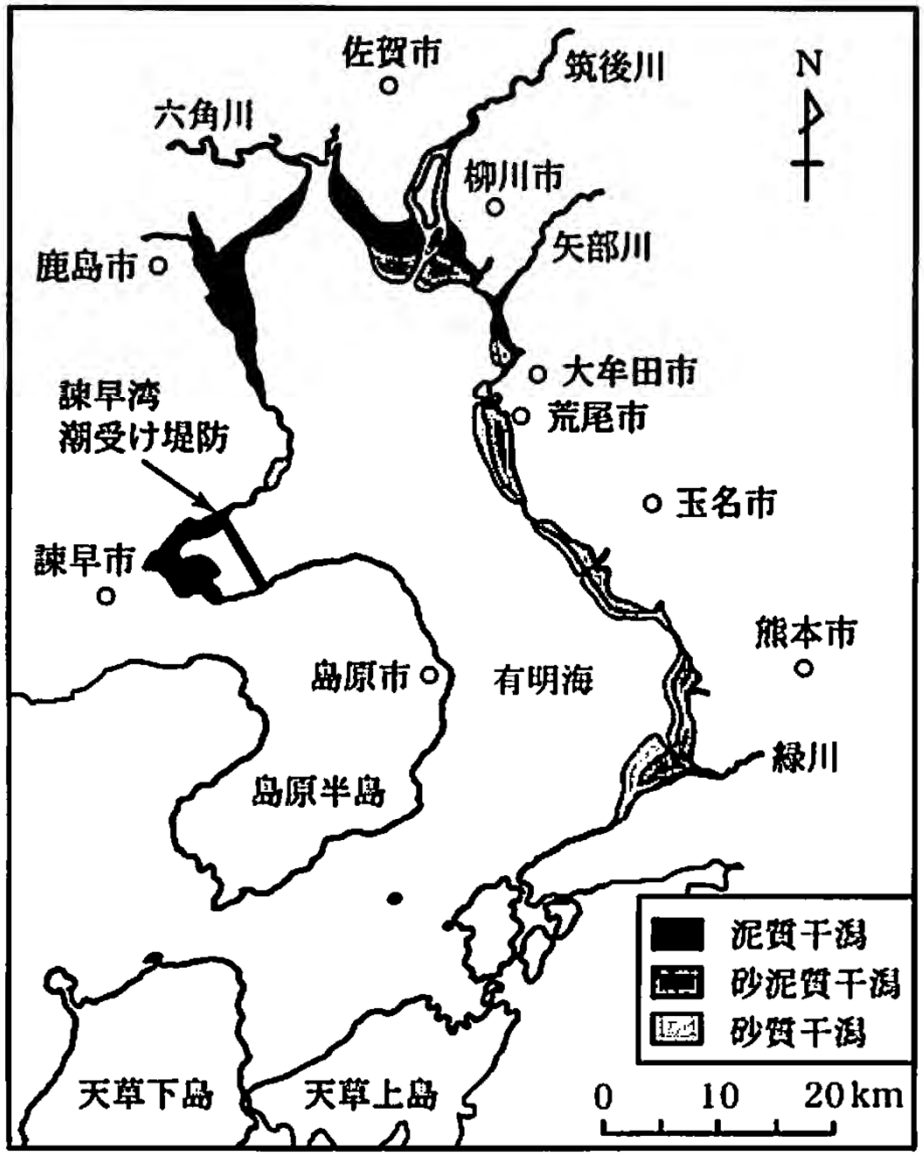
砂泥質

佐賀地先、柳川、大川
荒尾、玉名、熊本

干潟の堆積状況

菊池川左岸	15．4m／年
菊池川右岸	14．6m／年
筑後川	10．9m／年
白石平野前面	3m／年

平均100年で1km陸化

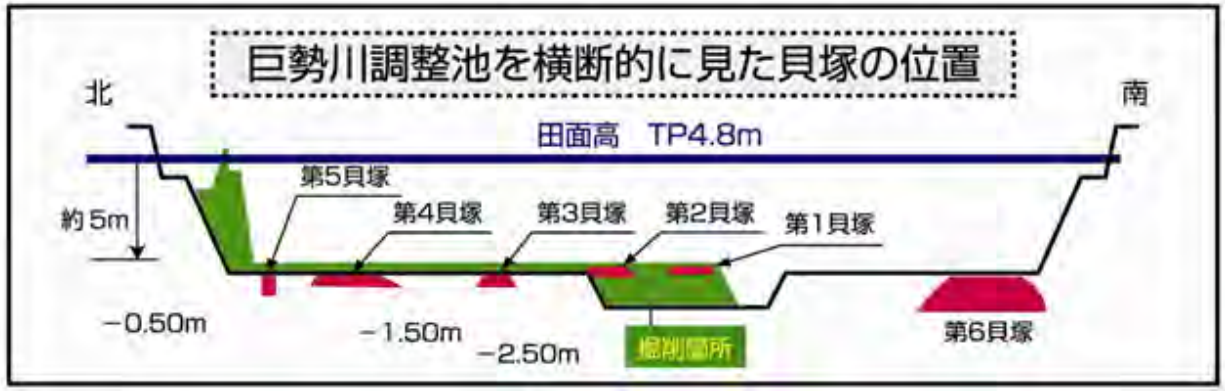


0　有明海の主な干潟の底質による区分．下山(1996)に基づく．

干潟の底質区分

東名遺跡

縄文時代早期（7000年前）
貝塚としては九州最古級
国内最古級の湿地遺跡



縄文遺跡・遺物は埋まっている

出土する植物性遺物の大半が最古例

特筆すべきは、最古の網みかごが多量に出土

復元された網かご

ヤマトシジミ・ハイガイ・アゲマキ・カキ

吉野ヶ里の時代

紀元前4世紀：集落形成→紀元3世紀：最盛期

弥生：水田農耕の開始　揚子江流域および朝鮮半島南部から伝来した

佐賀大学　和佐野先生：　炭化米　玄海灘沿岸→丸く小さい→朝鮮半島
有明海沿岸→やや長めで大きい→長江、淮河流域

有明海との関係

アカニシ貝

貝紫

冠位十二階（聖徳太子）

アレキサンダー大王
ローマ皇帝 → 帝王紫

貝輪

ゴホウラ貝
奄美以南

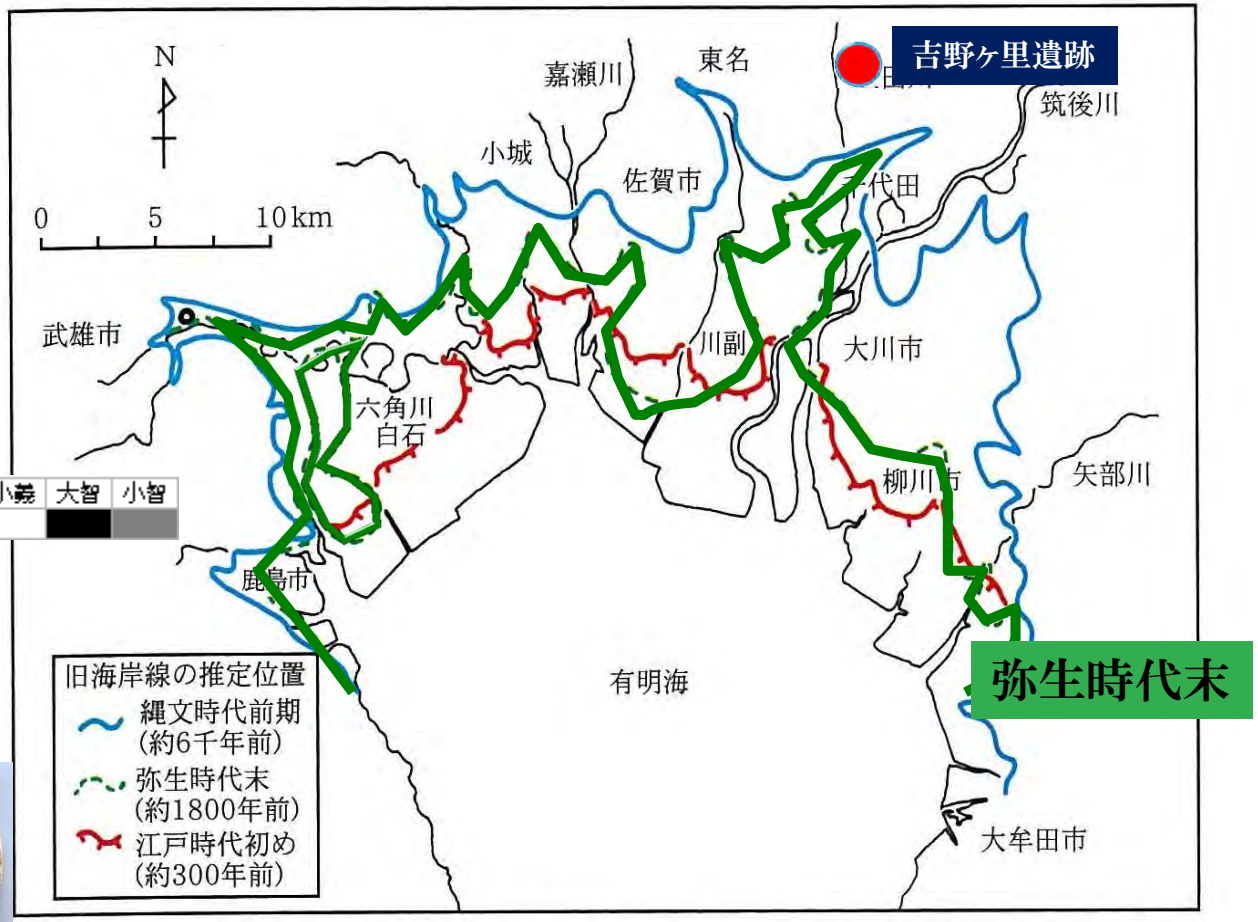


図 2-11　有明海北岸低地における縄文海進ピーク時期以降の海岸線の変化．縄文時代前期，弥生時代末，江戸時代初めの3つの海岸線の推定位置と，現在の海岸線を示す．

成富兵庫茂安の時代

成富兵庫が向き合った佐賀平野

①筑後川は洪水のたびに氾濫
あふれた洪水は再び筑後川にかえる

②脊振山地から流れだす川には堤防らしいものはない。川は洪水のたびに平野を乱流する

③古くは主流で、今は支流に変わっている旧河道は、好個の用水源となっている。

④条里制の地割によってつくられた計画的な堀と荘園時代の無統一な堀

⑤潟地を潮止めして干拓した土地

⑥中世封建的村落の伝統を受けついで、極めて勝手な水の使い方をしている村々

⑦近世城下町として佐賀城を造営しようとしている佐賀の町

⑧江湖

元禄国絵図（県立図書館蔵）

成富兵庫茂安の時代

茂安： 生誕1560年(永禄3年)
死没1634年（寛永11年）

松土居 ➡ 有明海と佐賀平野を境を決める

寛永（1624）から寛文（1661） 海抜2メートル線に沿って

早津江，犬井道南端，小々森，大野，元相応，新村，搦，新村，道免，永田，弁財（六角川まで）

松土居の内側： 籠（こもり）、揚（あげ）
外側： 搦（からみ）

（村刈芦郷城小） す 示 を 井 土 松

干拓

搦の造成： 村請け干拓10町以下

舫頭（ふうつう）： もやい頭
搦子（からみこ）： 20～30人から50～60人

造成法

堤防心として松の丸太を5尺間隔
丸太に粗朶や竹を搦めて棚 5年間放置して泥土を堆積
小潮時，投打鍬で土盛りし，土杵でつき固める。

➡ 搦工法

「50年に1干拓」

鱗型干拓

宿命的ともいえる原因

干潟が成長：干潟の奥にある旧干拓地は吐口がなくなり、排水が困難

内陸の古い干拓地が湿田化

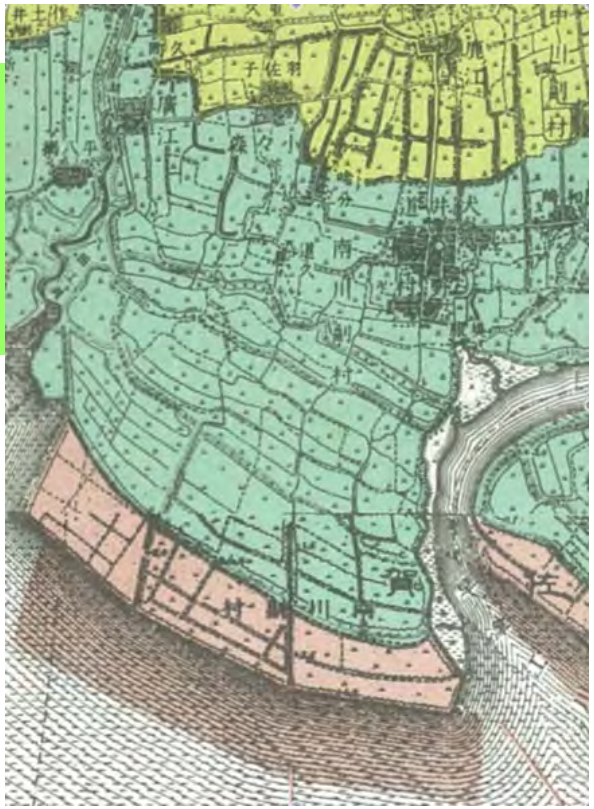
旧干拓地では、地盤沈下

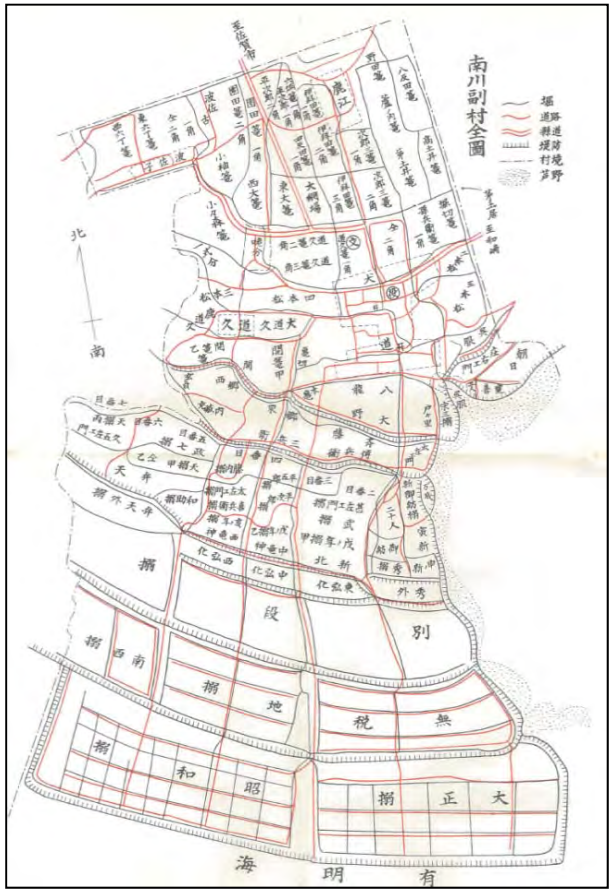
旧干拓地の排水不良はいよいよ深刻

佐賀藩：　村受新田

柳川藩：　商人資本

肥後藩：　藩営





旧南川副村

佐賀県干拓史附図

陸地測量部　昭和16年6月許可

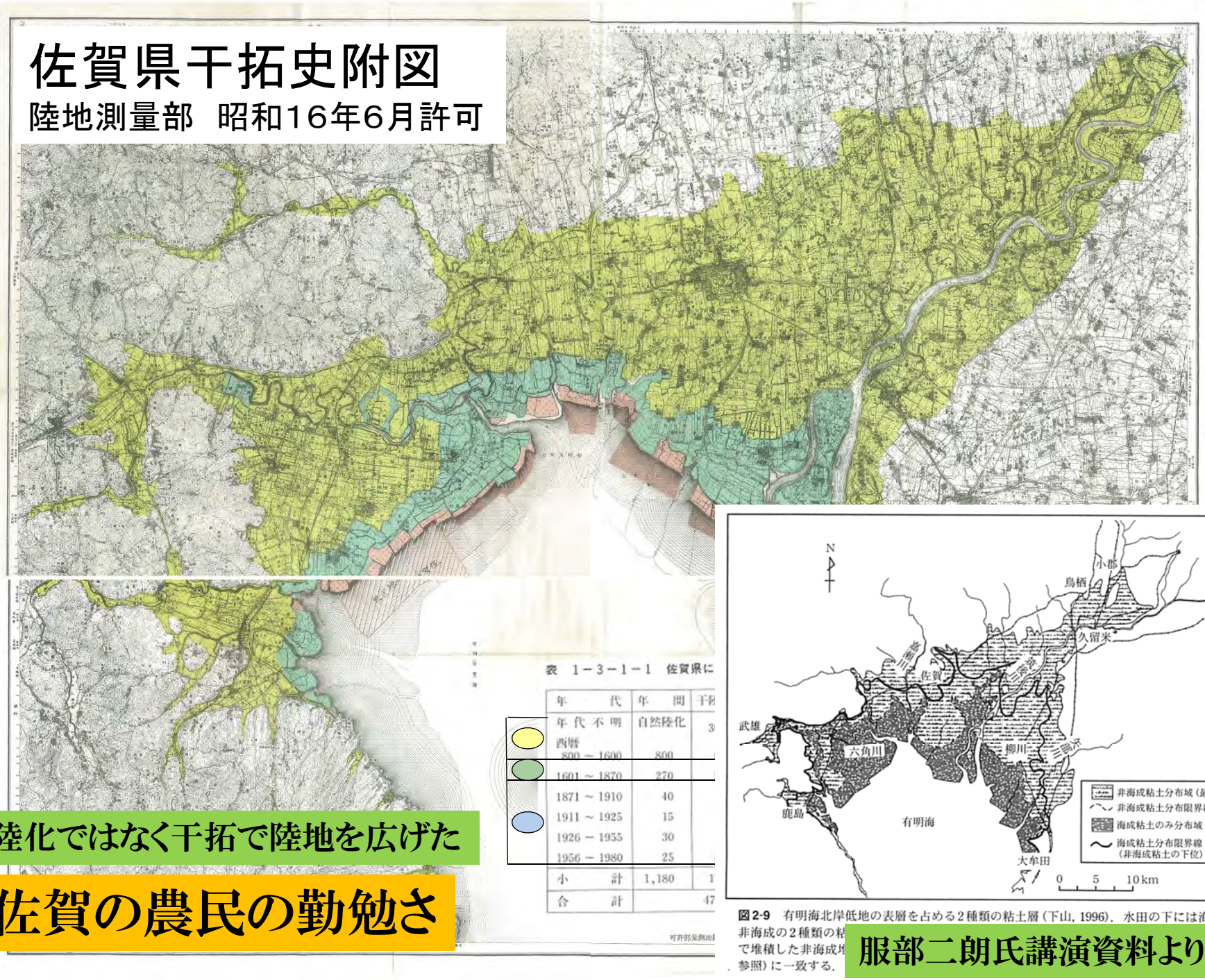


表　1－3－1－1　佐賀県に

年代	年間	干
年代不明	自然陸化	3
西暦 800 ～ 1600	800	
1601 ～ 1870	270	
1871 ～ 1910	40	
1911 ～ 1925	15	
1926 － 1955	30	
1956 － 1980	25	
小計	1,180	1
合計		47

図2-9　有明海北岸低地の表層を占める2種類の粘土層（下山, 1996）．水田の下には海成・非海成の2種類の粘 … 境 で堆積した非海成地 … -8 参照）に一致する．

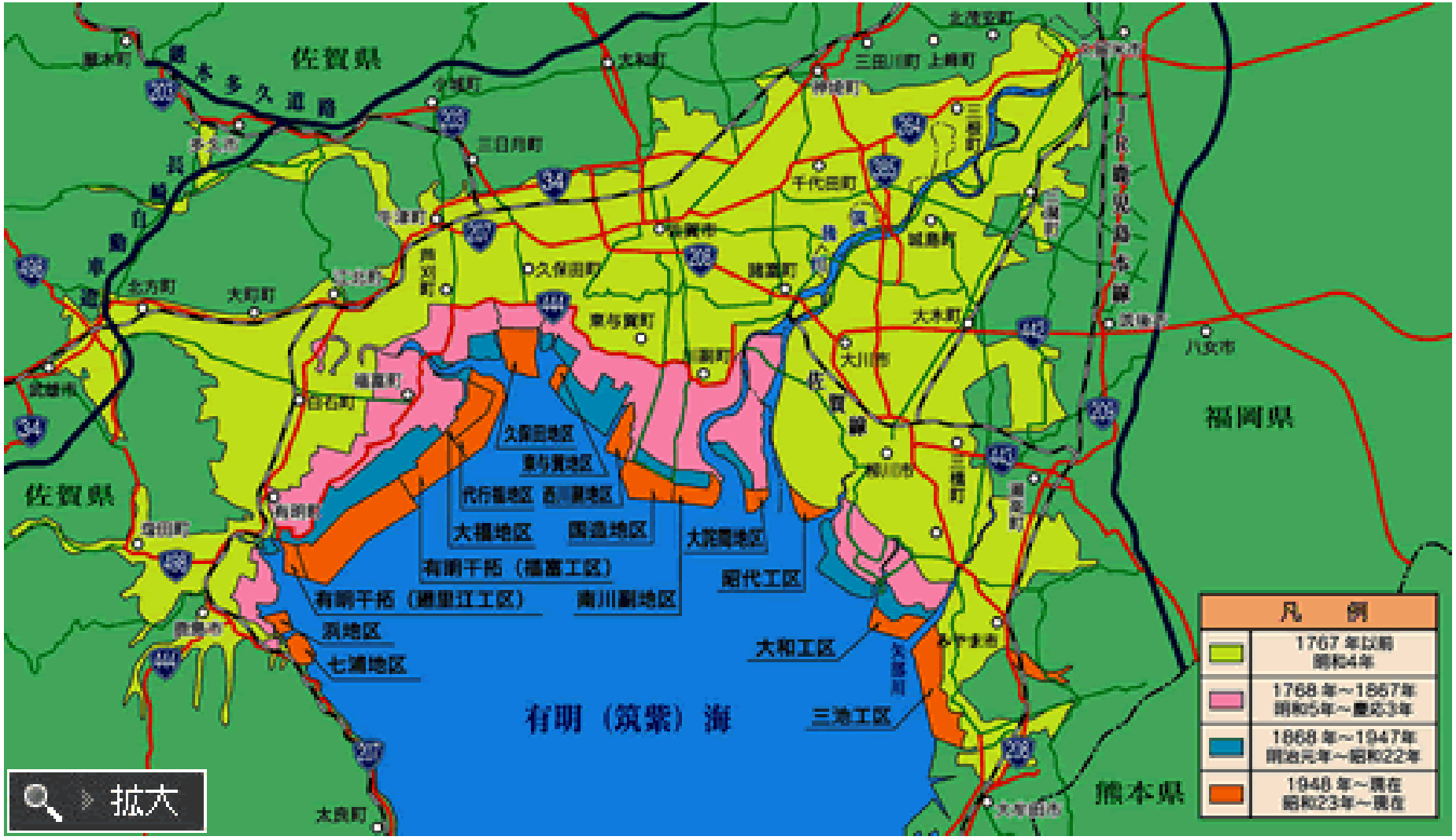
陸化ではなく干拓で陸地を広げた

佐賀の農民の勤勉さ

服部二朗氏講演資料より

明治維新以降の干拓事業

機械化　大規模 → **低平地が広大**

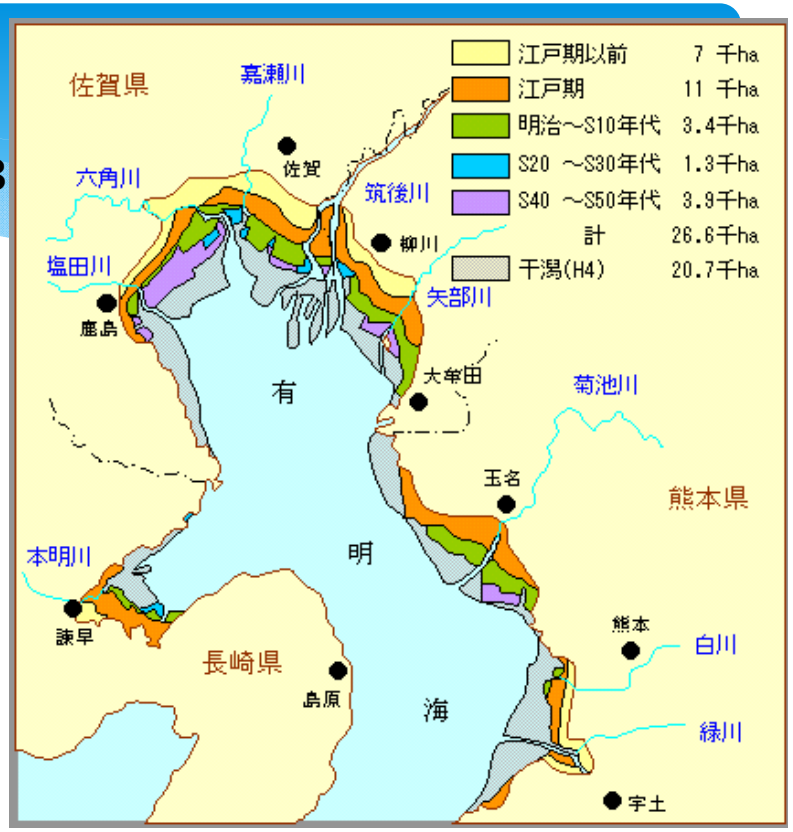


有明海の基礎データ

有明海への総流入量　　平均110億m^3

約3年で淡水に入れ替わる

塩分（濃度）が低い



環境省最終報告書

有明海の諸元（他海域との比較）

	面積（km^2）	平均深さ（m）	容積（km^3）	海水量（億トン）
有明海	1,700	20	34.0	340.0
東京湾	1,380	45	62.1	621.0
大阪湾	1,400	28	39.2	392.0
鹿児島湾	1,140	117	133.4	1,333.8

佐藤正典編「有明海の生き物たち」を用いて計算

水深が浅い　平均20m

次の呼称で海域を区分する

湾奥部　0～10m
諫早湾　0～10m
中央部　0～60m
湾口部　10～120m

海底地形の形状が潮位・潮流速を決定

湾奥から中央部→2本の海溝
中央部から湾口部→島原半島沿いに深い

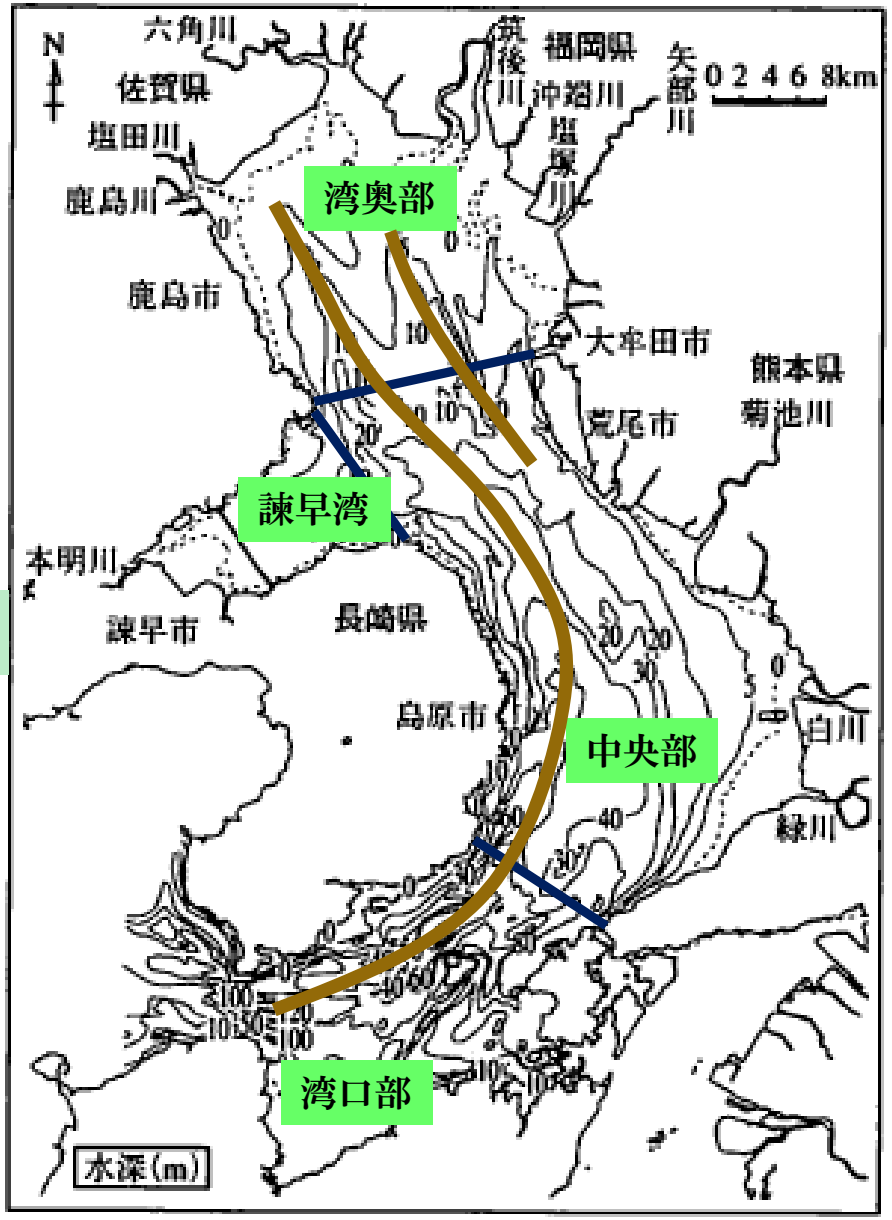


図 2.1　有明海の地形

楠田哲也編著「蘇る有明海—再生への道程」より

有明海の特徴

閉鎖度指標で示す

○閉鎖性海域である

$$閉鎖度指標 = \frac{\sqrt{S} \times D1}{W \times D2}$$

【湾口幅】その海域の入口の幅　:W
【面積】その海域の内部の面積　:S
【湾内最大水深】その海域の最深部の水深　:D1
【湾口最大水深】その海域の入口の最深部の水深　:D2

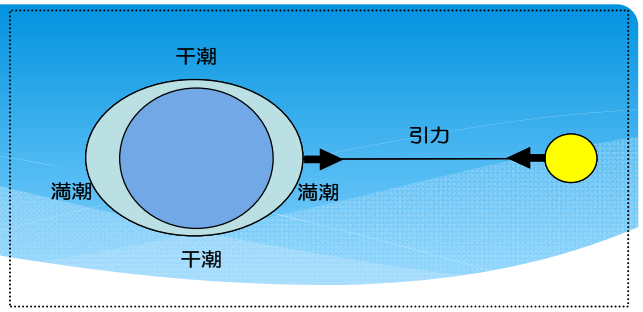
この数値が高いと、海水交換が悪く富栄養化のおそれがあることを示す。水質汚濁防止法では、この指標が1以上である海域等を排水規制対象としている。

海水交換が悪く富栄養化の恐れ

日本の代表的閉鎖性海域の閉鎖度指標

名称	湾口幅(km)	面積(km²)	湾内最大水深(m)	湾口最大水深(m)	閉鎖度指標	備考
東京湾	20.9	1380	700	700	1.78	総量規制区域 類型指定水域
伊勢湾	34.7	2130	49	43	1.52	総量規制区域 類型指定水域
瀬戸内海	130.3	21827	105	105	1.13	総量規制区域 類型指定水域
博多湾	7.7	134.2	23	17	2.04	類型指定水域
有明海及び島原湾	4.5	1700	164.6	117	12.89	類型指定水域
唐津湾	10.7	150	32	32	1.14	類型指定水域
伊万里湾	4.2	120	56	56		類型指定水域
大村湾	0.33	321	54	54	54.29	類型指定水域
八代海	1.3	1200	89	73	32.49	類型指定水域
鹿児島湾	11	1040	237	111	6.26	類型指定水域

○干満の差が大きい



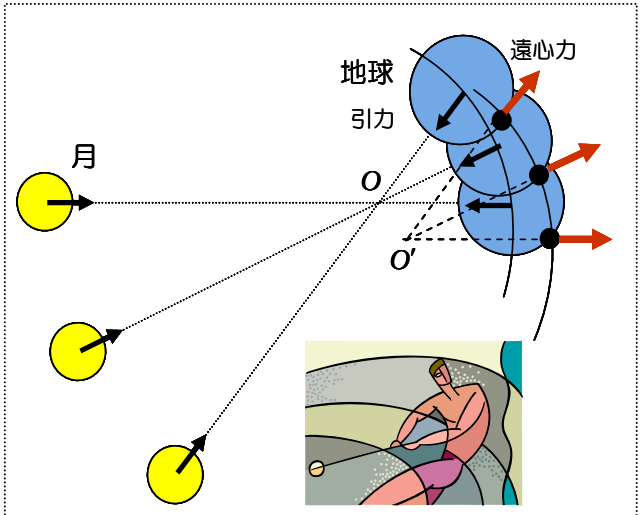
干満を引き起こす原因

1. 月の引力（と遠心力）
2. 太陽の引力（と遠心力）
3. その他の引力

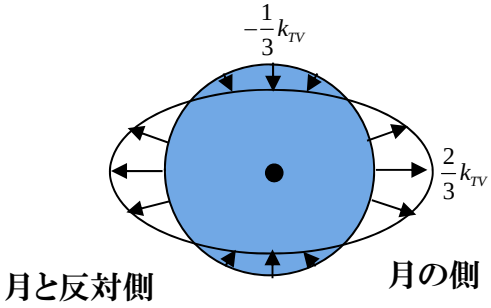
地球の周りを月が回転している

↓

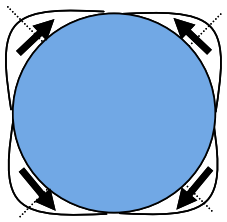
月の方に引力が作用すると同時に反対側に遠心力が働く
→ハンマー投げの選手の腕に引力が背中側に遠心力が働くイメージ



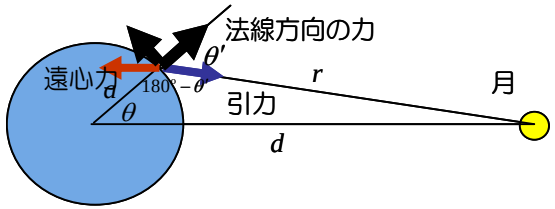
地球と月の引力と遠心力



法線方向の力の分布



接戦方向の力の分布



$$f_{TV} = \frac{3GMa}{d^3}\left(\cos^2\theta - \frac{1}{3}\right)$$

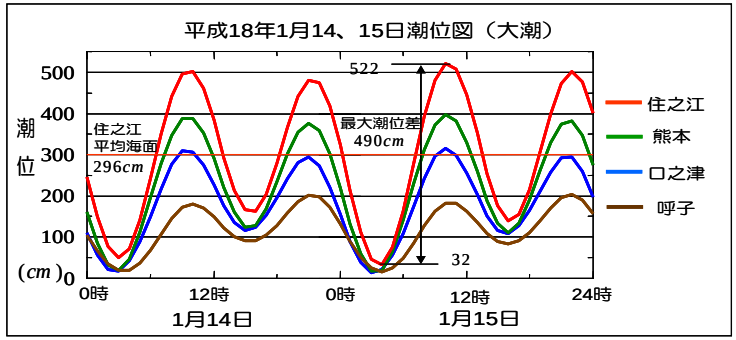
$$= k_{TV}\left(\cos^2\theta - \frac{1}{3}\right)$$

日本最大の干満差

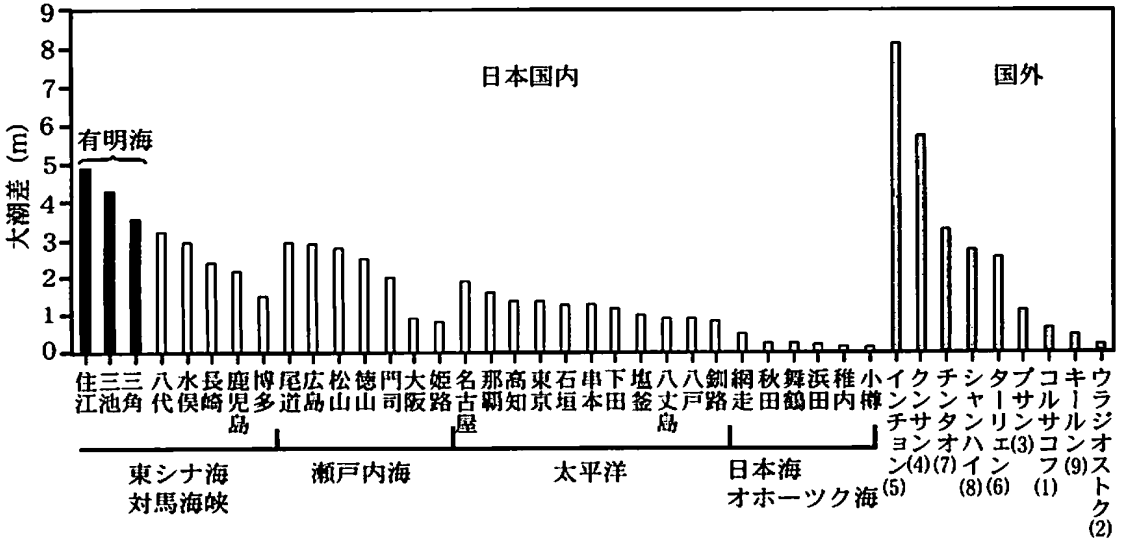
日本で最大の潮位差

大潮差： 大潮時の潮差の長年の平均値（普通に起こる）

最大潮差： 潮差の中で最大の値



気象庁：潮汐・海面水位のデータ　潮位表より



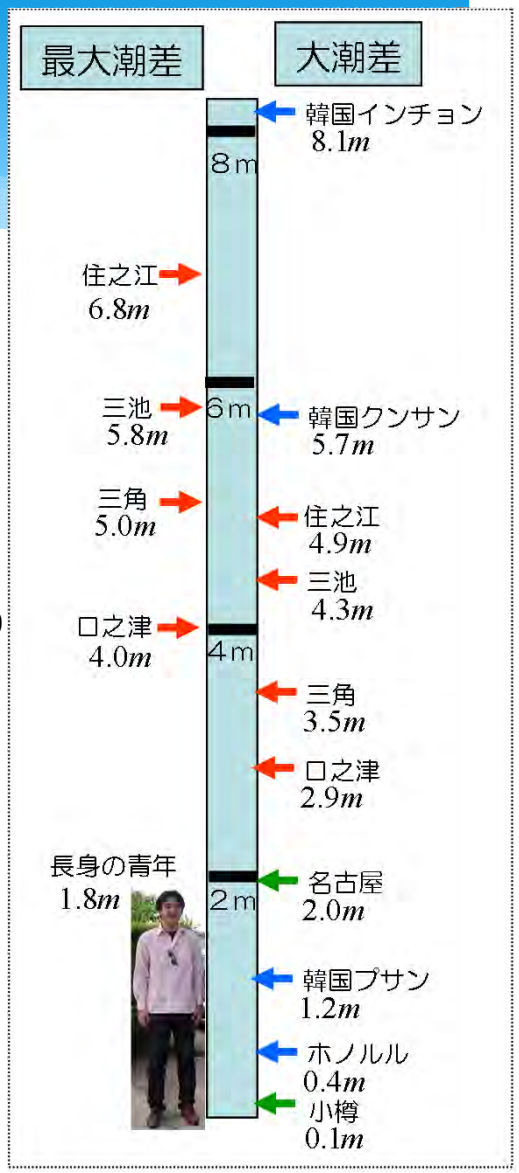


図 1-4　日本およびその周辺の各地の大潮差．大潮差とは，大潮時の潮差（満潮時と干潮時の水面の高さの差）の平均値である．理科年表（2000年）のデータに基づいて作図した．

佐藤正典編「有明海の生きものたち」より

有明海で大きな干満が起こる原因

湾口での干満差が他の海域（太平洋、日本海）より大きい
起潮力（干満を引き起こす力）の周期と有明海の固有周期が他の海域より近い

深さ一定の矩形湾の固有周期　メリアンの式

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

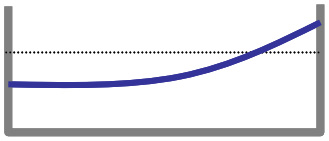
湾口における干満の周期と閉鎖性海域の固有周期が近いと共振現象が起きて干満差が大きくなる

閉鎖性海域の固有周期

我が国の主な内湾	奥行き l（km）	平均水深 h（m）	固有周期T（時間）
東京湾	60	15	5.5
伊勢湾	70	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

メリアンの式を用いた閉鎖性海域の固有周期

タライに水を入れある周期で揺すったときに大きく揺れる現象と同じ

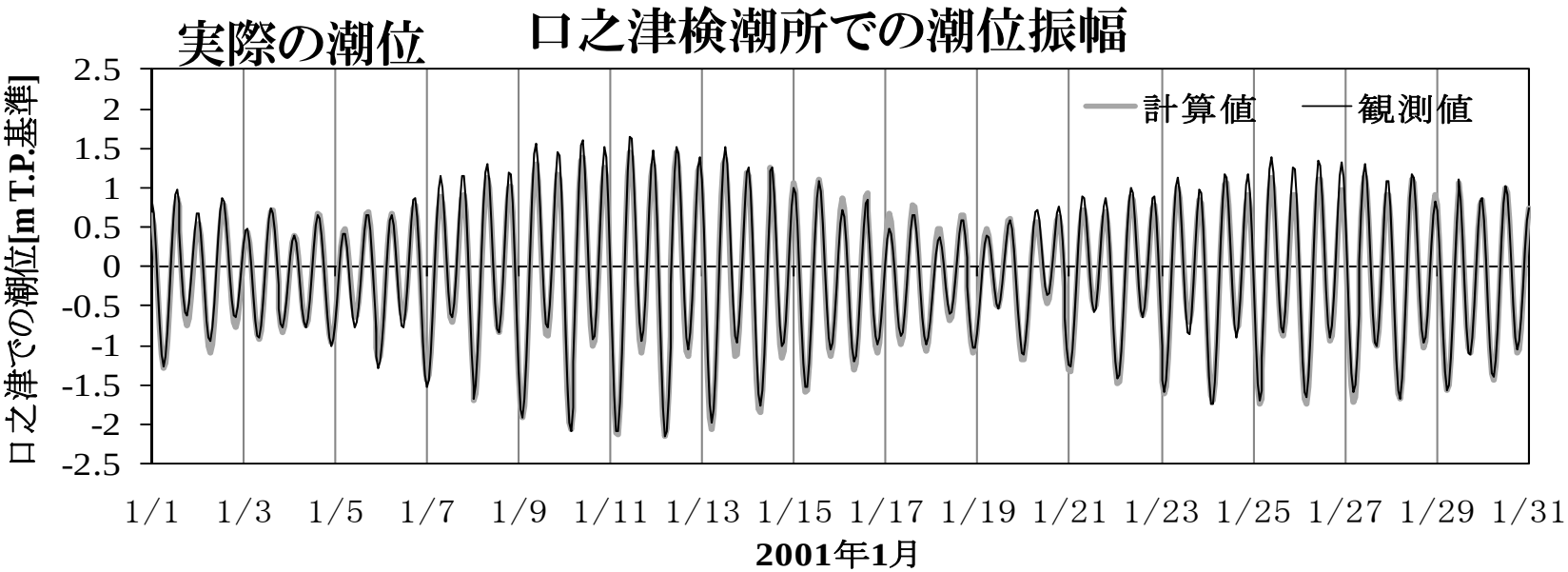


スロッシング現象

共振曲線から求めた固有周期

	固有周期　時間）
有明海	7.9
陸奥湾	3.6
東京湾	4.0
伊勢湾	5.5
大阪湾	3.9
鹿児島湾	2.7

分潮について



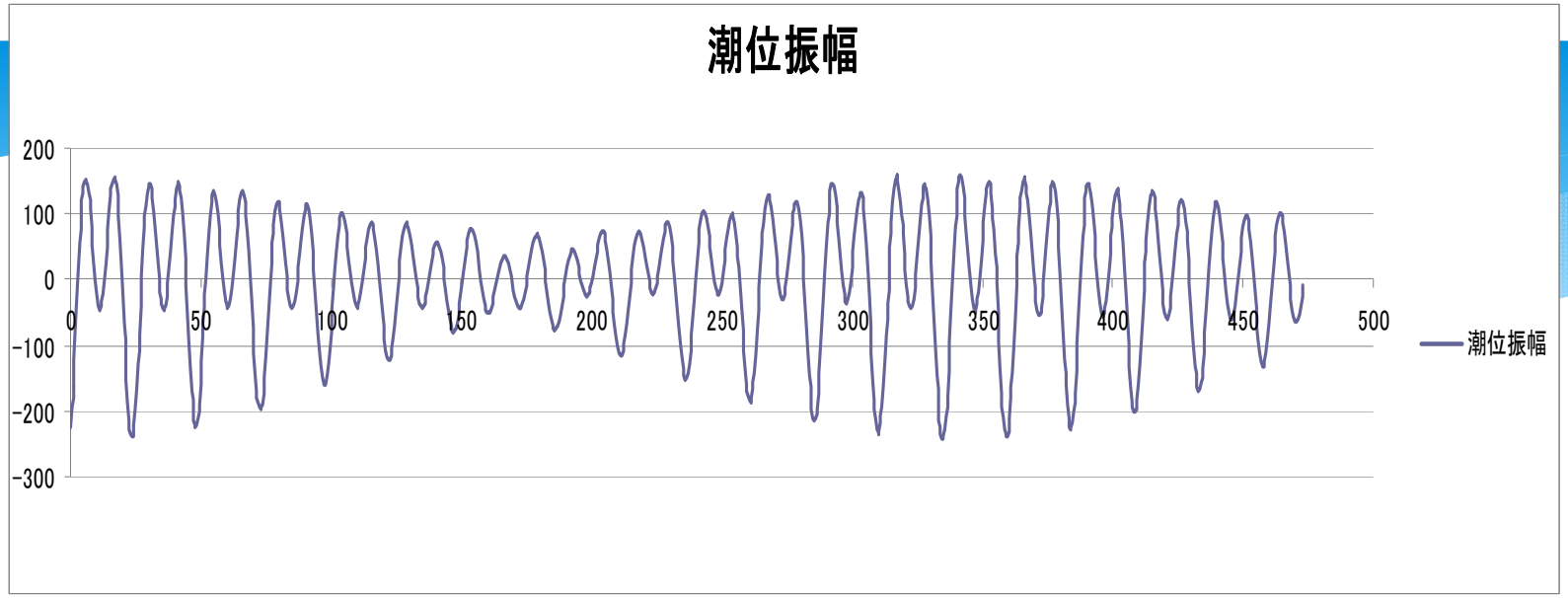
分潮に分解

$$\eta = \sum_{i=1}^{38} a_i \cos\left(\frac{2\pi}{T_i} t + b_i\right)$$

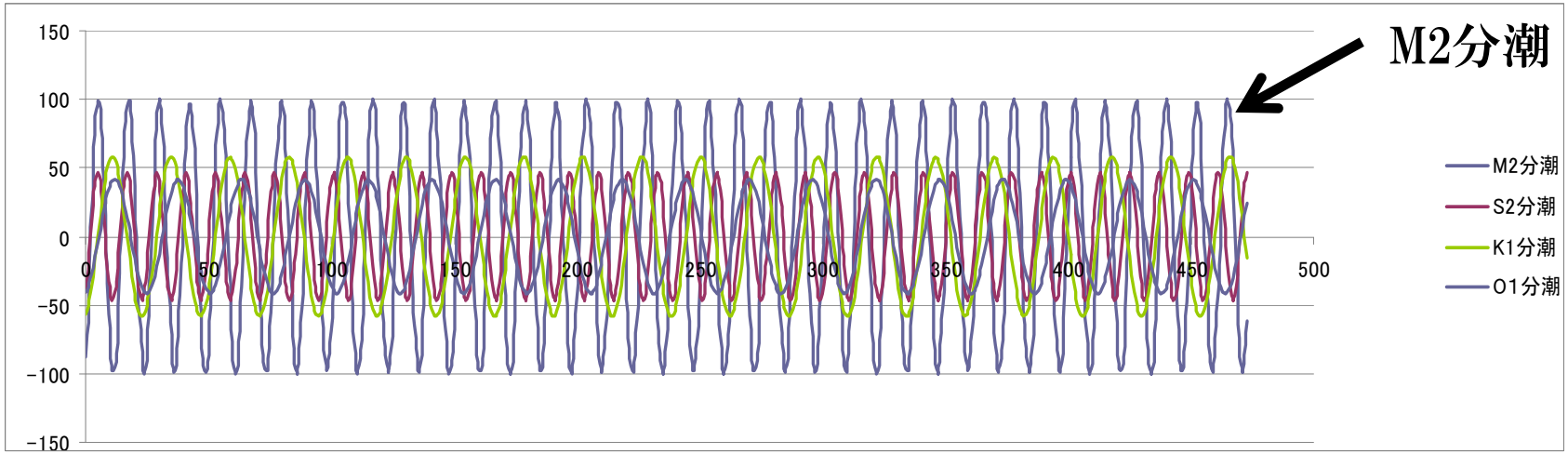
主要4分潮

	分潮周期(h)	角速度(rad/h)	相対的な振幅(M2=100)	名前
M2	12.4206012	0.505868	100.0	主太陰半日周潮
S2	12.0000000	0.523599	46.7	主太陽半日周潮
K1	23.9344697	0.262516	58.4	日月合成日周潮
O1	25.8193417	0.243352	41.5	主太陰日周期

中野(1940)



和を取る

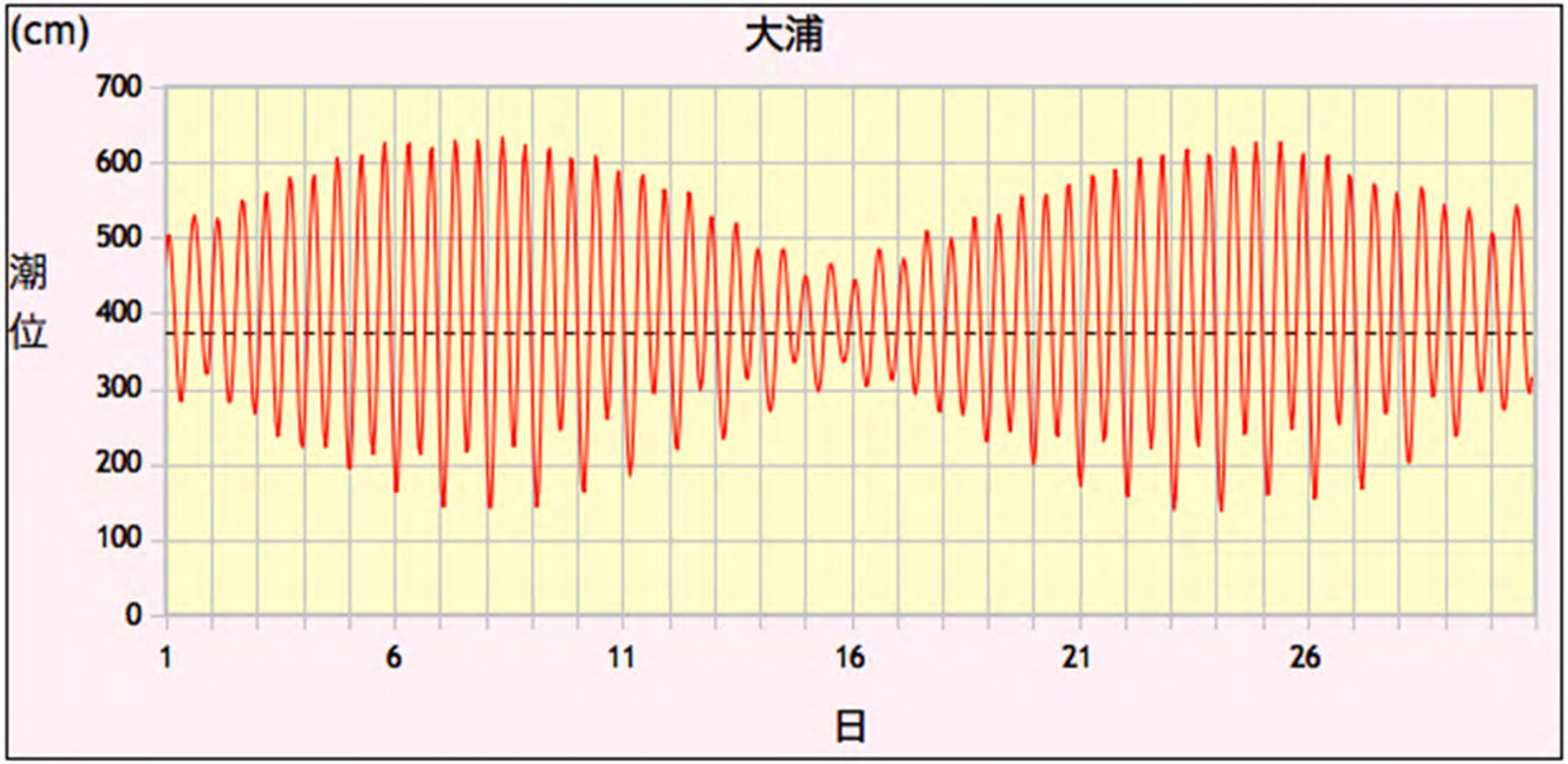


主要M2分潮による潮位・流速を検討する

平成26年11月の大浦験潮所の潮位実績

毎時潮位グラフ　2014年11月　大浦

先月　　翌月（速報値）



注意

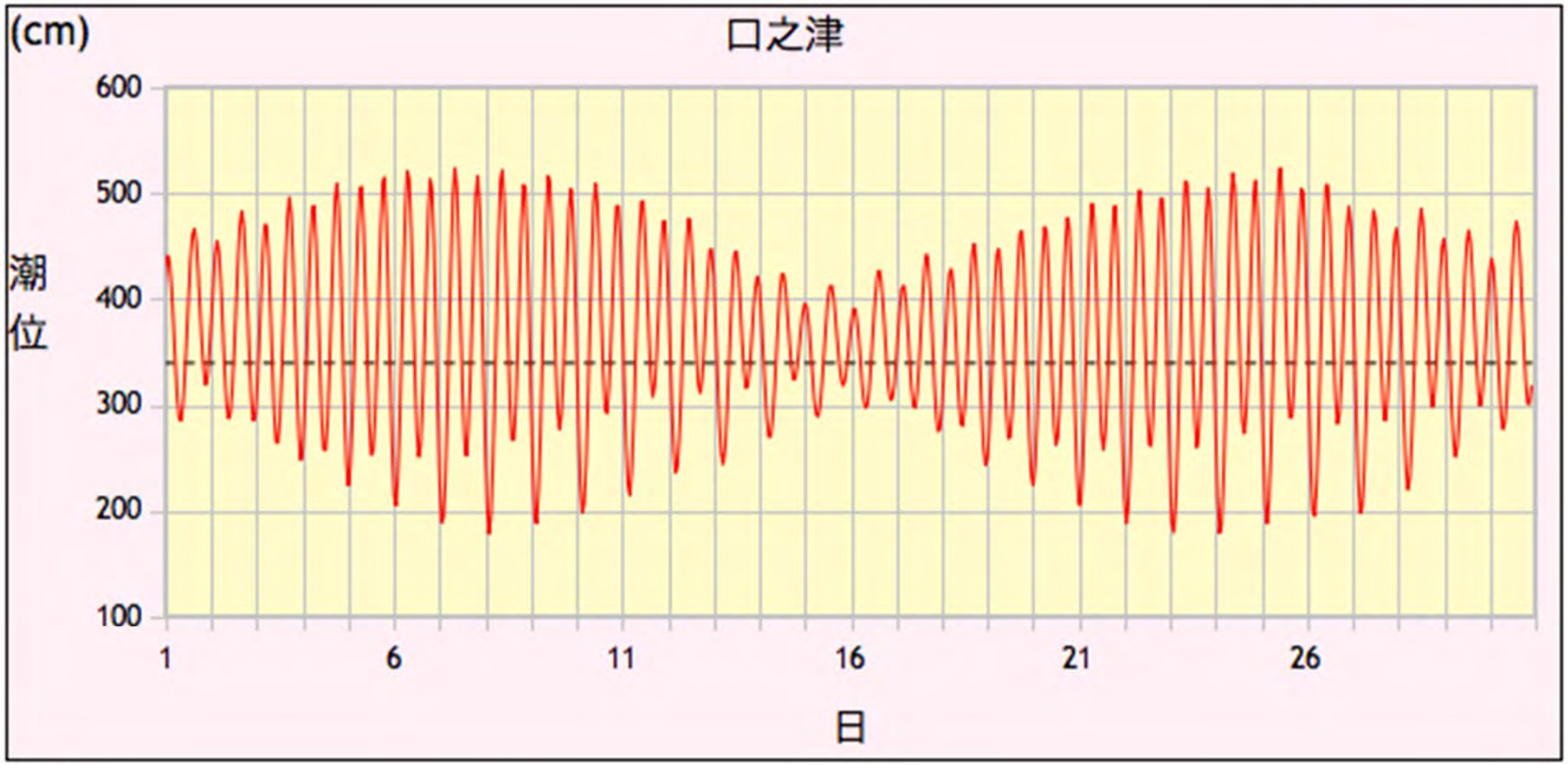
- グラフの縦軸は潮位、横軸は日付を示しています。
- 毎時潮位は観測基準面上の値で表示しています。
- 図中の点線は標高の基準です。

気象庁：潮汐観測資料

平成26年11月の口之津験潮所の潮位実績

毎時潮位グラフ　2014年11月　口之津

先月　　翌月（速報値）



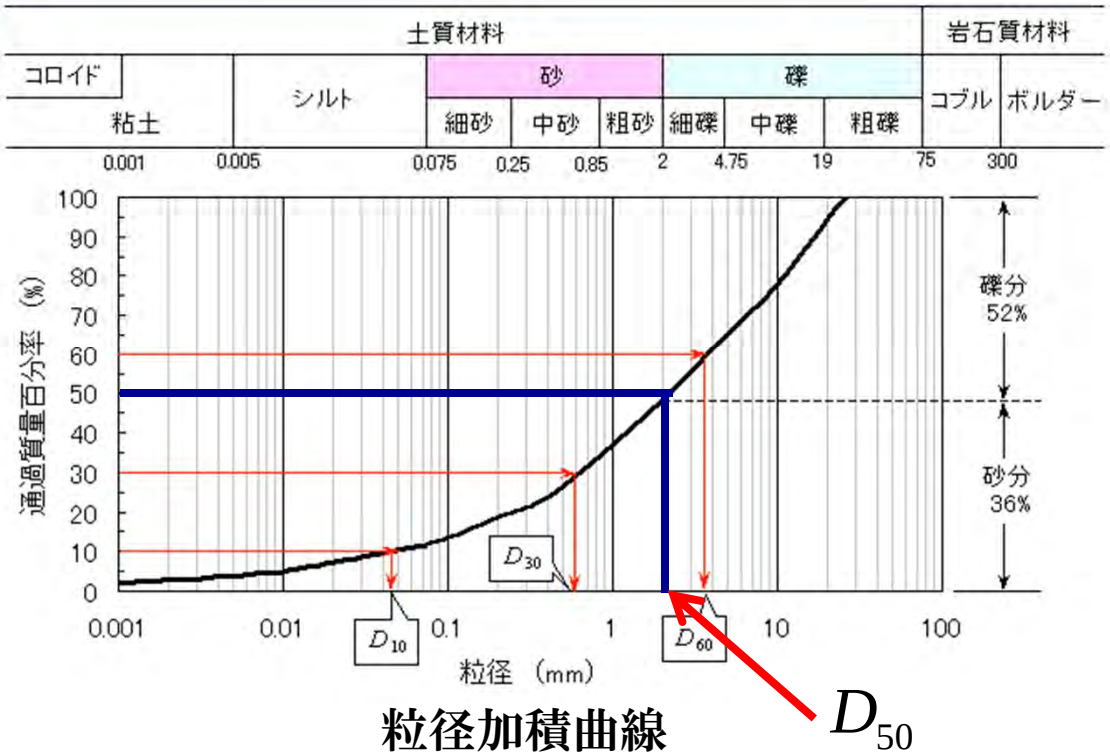
注意

- グラフの縦軸は潮位、横軸は日付を示しています。
- 毎時潮位は観測基準面上の値で表示しています。
- 図中の点線は標高の基準です。

泥干潟が広く発達している

フルイを通過した質量の累積曲線

50%が通過したフルイのサイズ D_{50}



粒径加積曲線

中央粒径値

Median Diameter Φ Md_{Φ}

$$粒径(\mathrm{mm})\ D_{50} = \frac{1}{2^{\Phi}}$$

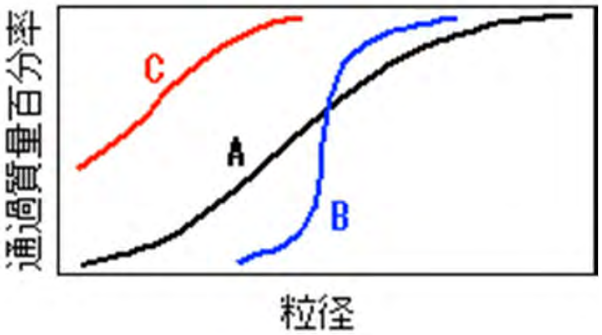
		粒径
Φ＝1	→	0. 5mm
Φ＝4	→	0. 0625mm

砂とシルトの境目

Φ＝8 → 0. 0039mm

シルトと粘土の境目

Φ＝8以上は泥



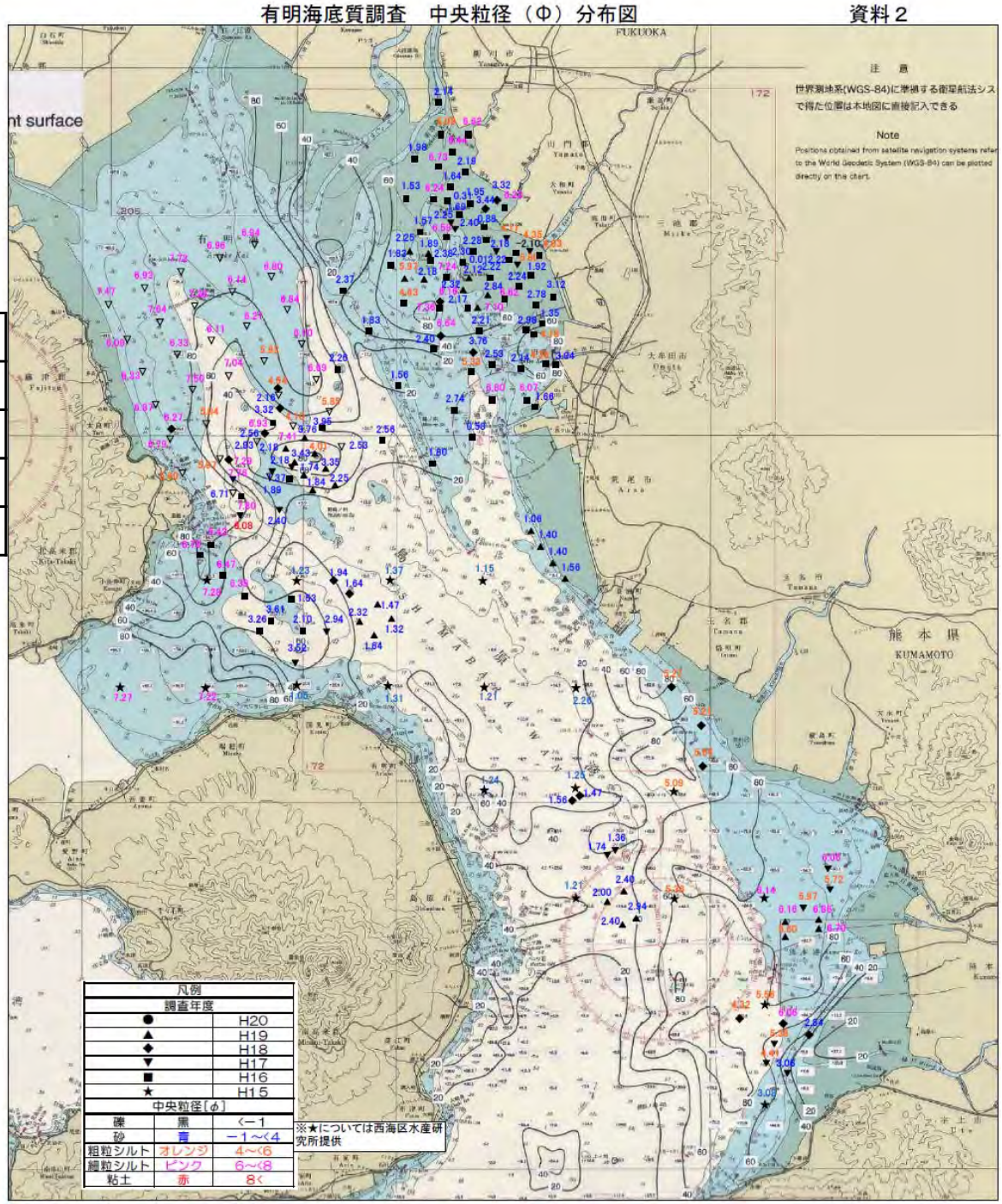
A:粒径の揃った土　B:均質な砂　C:粘土っぽい土

中央粒径値Φの分布

平成16年～20年
九州農政局農地整備課による
有明海底質の取りまとめ

黒	礫	＜1
青	砂	1～4＜
オレンジ	粗粒シルト	4～6＜
ピンク	細流シルト	6～8＜
赤	粘土	8＜

湾奥東部　　砂
湾奥西部　細粒シルト
諫早湾　　細粒シルト
中央部北　粗粒シルト～砂
中央部東　粗粒シルト



日本では有明海だけで見られる生物が23種もいる

特産種：
日本国内で有明海にしか分布記録がない。 23種

準特産種：
日本国内で有明海を含む一部にしか分布記録がない。有明海が主産地になっている。→40種以上

日本では有明海だけで見られる生物23種

魚類
- エツ
- アリアケヒメシラウオ
- アリアケシラウオ
- ハゼクチ
- ムツゴロウ
- ワラスボ
- ヤマノカミ

腹足類
（海に住むカタツムリ）
- ウミマイマイ
- アズキカワゼンショウ
- ヤベガワモチ

カニ類
- アリアケヤワラガニ
- ハラグレチコガニ
- ヒメモクズガニ

二枚貝類
- シカメガキ

腕足類
- オオシャミセンガイ

カイアシ類　２種

多毛類　６種
（ゴカイの仲間）

有明海の特産種

佐藤正典編「有明海の生きものたち」より

特産種、準特産種の多くが朝鮮半島、中国半島に広く分布
→「大陸沿岸性遺存種」

多くが重要な水産資源になっていた

有明海のもう一つの視点 → **生物多様性**

多くの生き物がたくさんいる

ご清聴ありがとうございました