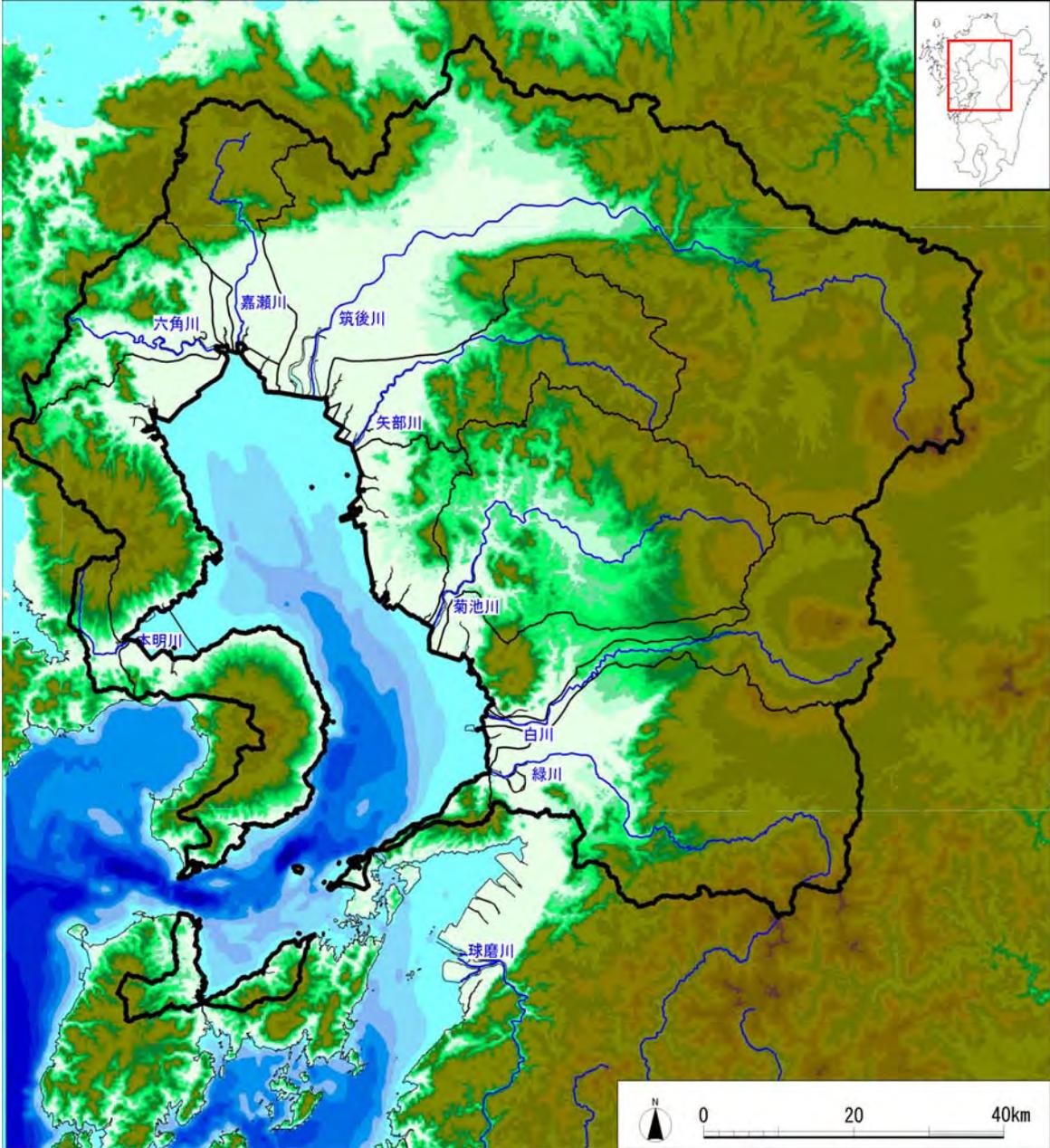


干潟・浅海域における
底質の物質循環調査に関する研究
平成 17～21 年度研究成果報告書

平成 22 年 3 月

特定非営利活動法人有明海再生機構
干潟分科会



はじめに

閉鎖系海域の環境劣化は東京湾のように一部に改善の兆しが見えるものの、多くの海域では今なお進行している。有明海もその一つである。2000年に珪藻赤潮が原因となる養殖ノリ色落ち被害を契機として、有明海環境問題が社会問題化し、その要因として諫早湾干拓事業が注目された。その後集中的な調査研究が展開されるにつれ、アサリやタイラギなどに代表される有明海の生物生産が著しく縮減していることが広く社会に認識されるようになった。さらに調査研究が進むにつれ、有明海生態系は環境劣化進行に対応して負のスパイラルに陥っていることが明らかになってきた。このような現在の有明海を、人々の生活を支え安らぎを与える健全で豊饒の海として再生することを願って、平成16年にNOP法人有明海再生機構が設立された。この機構には生産分科会、陸域分科会、潮流解析勉強会とともに干潟分科会が設置され、それぞれが有明海再生に向けての活動を展開している。

干潟分科会では平成17～21年度の5年間、佐賀県の委託事業として「干潟・浅海域における底質の物質循環調査に関する研究」に取り組んできた。この調査・研究によって得た成果はこれまでに公開干潟分科会やシンポジウムを通して公表してきた。調査研究を終えるにあたり、それらのシンポジウム等で寄せられた意見やコメントも含めて5年間の調査研究の成果を「干潟・浅海域における底質の物質循環調査に関する研究報告書」として取りまとめた。本報告書は有明海環境劣化の経緯に関する基礎的成果を主にしており、それに基づいて再生に向けての重要な情報を提供している。本報告書が今後の調査研究と有明海再生の取り組みに向けて有効に活用されることを期待し、この調査研究を展開してきた背景について触れる。

有明海生態系を一つのシステムとしてみると、それは大きく2つのサブシステムから構成されている。一つは“浮遊系”で、浮遊生物、遊泳生物、海水などで構成され、そこでの生物基礎生産は栄養塩や光エネルギー、塩分、水温、流れに支配されている。他の一つは“底棲系”で、底棲生物、浮泥、堆積物などで構成され、そこでの生物生産は堆積物の粒径、有機物含有量や浮遊系からの有機物供給に支配されている。さらに有明海生態系には大気や河川・地下水を通して陸域からの多量の物質供給があり、特に“浮遊系”は東シナ海の影響を、“底棲系”の一部である干潟域は陸域の影響を強く受ける。言うまでもなく貧酸素環境では底質から栄養塩が海水中に溶出してそこでの基礎生産に影響を与え、それに起因する赤潮は消滅後に原因生物が有機物として海底に沈積するなど、2つのサブシステムはお互いに干渉し合っている。このような観点から、「干潟・浅海域における底質の物質循環調査に関する研究」では“底棲系”サブシステムを主たる調査・研究対象とし、次の2つの大きな課題を設定した。1つは環境変化の画期を把握すること。すなわち、有明海の環境変化はどのような時系列で進行してきたのかを明らかにすることである。その為に、各種の既存データを収集解析するとともに、有明海海底堆積物の分析を通してそこに記録された環境変遷を把握する作業を行った。他の1つは有

明海再生に向けて進められてきた平成 17 年度～21 年度文部科学省「重要課題解決型研究等の推進 有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」(研究代表者:九州大学 楠田哲也)でも活用されている生物生息モデル(有明海モデル)をより精緻化するために、有明海生態系に多大の影響を与えている湾奥部に発達した泥質干潟の環境特性を現場観測から明らかにすること、そしてそれを適切に組み込みこんだモデルにより、干潟を含む湾奥部の環境変化をシミュレーションして再現することからその要因を抽出する作業である。それらの作業を通して得られた成果の一つはアサリの挙動である。有明海沿岸域では縄文時代の貝塚からアサリはほとんど産しないが、川副沖では約 90 年前から現在までほぼ連続して群生することから、約 90 年前が有明海湾奥部でアサリの優占開始時期と推定された。現在の有明海で主要な生物資源であるアサリの挙動は有明海生態系にどのような影響をもたらしたのか未だ十分に解明されていない。

それ以降の環境変遷を取りまとめると以下のような環境変遷史を描くことが出来る。湾奥部では 1970 年代までに干潟の大規模な干拓による地形変化や外海の潮位振幅(月の昇交点の変動に伴う 18.6 年周期)により、潮流が減少したことが主たる要因で 1970 年代後半以降から貧酸素水塊が湾奥部で頻発しはじめ、富栄養化が進行し、それに対応して底棲生態系が変わった。また、諫早湾では 1997 年の諫早湾干拓事業による潮受け堤防の構築により干潟が消失する地形改変が主たる要因で貧酸素水塊が頻繁に出現し、それによって底棲生態系が変化した。しかしながら、過去の地形改変が生態系に与えた影響を評価するに当たっての重要な点は、各環境要素の変化と生態系変化との間に生じる時間差(タイムラグ)である。色々な生態系に現れる変化は要因の変化から時を置いて現れるとの視点が重要である。以上の成果は有明海再生には少なくとも数十年以上の時間をかけて取り組む姿勢が必要であることを示唆している。

有明海再生には短期的な措置と長期的に取り組むべき方策がある。長期的とはどの程度の時間を必要とするのかをこの報告書から読み取ることが出来る。本調査研究では有明海の環境に影響を及ぼしたと思われる事象、また、“浮遊系”や“底棲系”で生じた変化も時系列として整理することが出来た。しかし、前者がどのようなメカニズムで有明海システムに影響を与えてきたのかはまだ十分に解明されておらず、今後に残された課題である。

平成 22 年 3 月

干潟分科会委員長 松岡數充

目 次

はじめに

I. 研究概要	1
1 課題設定	1
2 研究概要	1
II. 研究目的	2
1 研究目的	2
2 研究フロー	2
3 研究計画	2
4 研究内容	3
4.1 現地調査	3
4.2 数値解析モデルによる検証	3
4.3 既存データの整理	3
III. 研究成果	5
1 底質堆積物調査	5
1.1 調査概要	5
1.1.1 調査目的	5
1.1.2 調査構成	5
1.1.3 調査対象水域	6
1.1.4 調査方法	7
1.1.5 解析及び分析手法	23
1.2 調査結果	32
1.2.1 堆積相解析	39
1.2.2 粒度組成	58
1.2.3 年代測定	62
1.2.4 渦鞭毛藻シスト分析	74
1.2.5 生痕相解析	81
1.2.6 化石分析	85
1.2.7 マクロベントス	118
1.2.8 有機汚濁等に関する項目	122
1.2.9 重金属関係	132
2 モデル検証データ取得調査	147
2.1 調査概要	147
2.1.1 研究目的	147
2.1.2 調査構成	147
2.1.3 調査対象水域	147
2.1.4 調査方法	150
2.1.5 水質・底質分析法	157
2.2 調査結果	161
2.2.1 係留観測	161
2.2.2 水質調査	198
2.2.3 底質調査	241

3	数値解析モデルによる検証.....	285
3.1	低次生態系モデルの構造と基礎方程式.....	285
3.1.1	低次生態系モデルの構造と解析内容.....	285
3.1.2	基礎方程式.....	288
3.2	現況再現計算（2000～2006年および2007～2008年）.....	332
3.2.1	計算条件の設定.....	332
3.2.2	流動サブモデル・懸濁物輸送サブモデルの再現精度の検証.....	340
3.2.3	水質・底質サブモデルの検証（JSTモデルとの比較）.....	361
3.2.4	2007～2008年のデータを用いたモデル再現精度の向上に関する検討.....	394
3.3	過去の物質収支推定（1930～2000年代）.....	425
3.3.1	計算条件.....	425
3.3.2	計算結果の整理.....	431
3.3.3	計算結果の考察.....	477
4	既存データの整理（1960～2009年）.....	503
4.1	収集データ一覧.....	503
4.2	有明海環境のトピックス.....	504
4.3	経年変化図.....	505
4.3.1	社会環境.....	509
4.3.2	気象.....	510
4.3.3	干拓・海岸線.....	512
4.3.4	土砂動態（ダム等）.....	514
4.3.5	潮汐.....	517
4.3.6	淡水流入量および水利用.....	521
4.3.7	陸域からの負荷量.....	523
4.3.8	水質.....	525
4.3.9	赤潮.....	530
4.3.10	漁業生産.....	532
4.3.11	ノリ養殖.....	537
4.3.12	ナルトビエイ.....	540
4.4	有明海の主な環境変化.....	541
IV.	有明海湾奥部干潟・浅海域の底質環境変遷に関する総合考察.....	545
1	長期的変遷（数百年スケール）.....	545
2	短期的変遷（数十年スケール）.....	547
3	総合考察と今後の課題.....	550
V.	干潟分科会委員名簿.....	553
VI.	付録.....	資-1
付録1	底泥の剪断強度測定方法.....	資-1
付録2	プランクトン計数結果.....	資-5
付録3	底泥中微細藻類計数結果.....	資-19
付録4	マクロベントス計数結果.....	資-23
付録5	地層変遷図.....	資-43
付録6	分析グラフ.....	資-51

I. 研究概要

1 課題設定

「干潟・浅海域における底質の物質循環に関する研究」

2 研究概要

有明海は、日本最大の干潟を有する場所であり、豊富な水産資源を提供してくれる貴重な場所である。ところが、近年、漁獲量の減少・不安定化・赤潮の頻発など、海洋環境の悪化が大きな問題となってきた。漁業資源の豊かな有明海に戻すためには、まず有明海環境異変の要因を明らかにする必要がある。そこで、平成 17 年度から 21 年度にかけて、堆積物に残された環境変化の解読（底質堆積物調査）、文字記録として残された人間活動の整理（既存データの整理）、数値解析モデルによる過去に生じたであろう現象再現を行い、さらにモデル検証データを取得しモデル精度を向上させるとともに課題の整理を行った。数値解析モデルでは、有明海異変の象徴となっている貧酸素化に着目して、貧酸素水塊の形成および物質収支の推定を行い、それらの支配要因の解析を行った。

堆積物コアの分析によると、川副沖や柳川沖での 100 年オーダーでの環境は、1792 年の島原大変に起因する津波によって砂泥質干潟から砂質干潟へと大きく変化し、砂質干潟ではアサリの群棲との関係が明らかになった。津波イベント以降は砂泥質干潟となってアサリが減少したが、覆砂によって砂質となり回復している。筑後川河口デルタ前進や後退による堆積の促進や削剥が生じ、複雑に堆積相が変化している。覆砂の効果の裏付けとなる。一方、鹿島沖や白石沖では、夏季貧酸素環境を伴った状態が少なくとも 200 年ほどは継続していると考えられる。

昭和初期から現在までの約 100 年において 10 年オーダーでの環境変遷は、1)豊穡の海であった 1930~1950 年代、2)人間活動の急激な増加により有明海生態系が目立ち出した 1970 年代後半~1990 年代前半、3)有明海生態系異変が顕在化した 1990 年代後半~2000 年代の 3 つに区分され、4)人間活動によって疲弊した有明海生態系を回復させる 2010 年以降（近い将来）へと続く。1970 年代後半~1990 年代前半では地形条件は同じであるが、栄養塩等負荷量、懸濁物食者現存量、外海潮位振幅（F 値）等の違いによる貧酸素水塊発生規模の変化を明らかにした。望ましい有明海生態系の再生にあたっては、1)過去の流動場に近い状態に還元すること（酸素供給の増大）、2)二枚貝の生息環境を改善し資源量を増大させること（酸素消費の減少）が基本になるであろう。

II. 研究目的

1 研究目的

有明海は、日本最大の干潟を有する場所であり、豊富な水産資源を提供してくれる貴重な場所である。ところが、近年、漁獲量の減少・不安定化・赤潮の頻発など、海洋環境の悪化が大きな問題となってきた。そこで、漁業資源の豊かな有明海に戻ることが緊急の課題となっている。しかし、過去に十分な体系だった有明海の調査研究は行われていなかったため、その原因を明らかにすることは難しい。環境変化には様々な要素が絡み合っており、総合的に様々な分野の調査研究技術を用いて現状を把握し、再生に取り組むことが重要である。

このため有明海再生機構では、底質再生の見通しを明らかにすることを目的に、平成 17 年度・18 年度には佐賀県行政区内の海域を対象に、平成 20 年度には福岡県柳川沖の干潟を対象に底質の物質循環調査の基礎データの収集を主な目的として、底質の柱状採取、その解析/分析に基づいて過去の環境変遷史の再現を行った。さらに、有明海湾奥部泥干潟からその沖合の浅海域にかけての水域において平成 19 年 7 月から 1 年間の季節変動を押さえた調査を行い、生態系シミュレーションモデルによる計算結果の検証に資するデータ収集を行うとともに、コア分析の結果と生態系シミュレーションでの計算結果を合わせて、過去の環境変遷史、底質環境に関するデータベースの構築（底質マップ）を行った。また、干潟・浅海域における底質の物質循環モデルを実態に即して作成した。

2 研究フロー

本研究のフローを図 1 に示す。

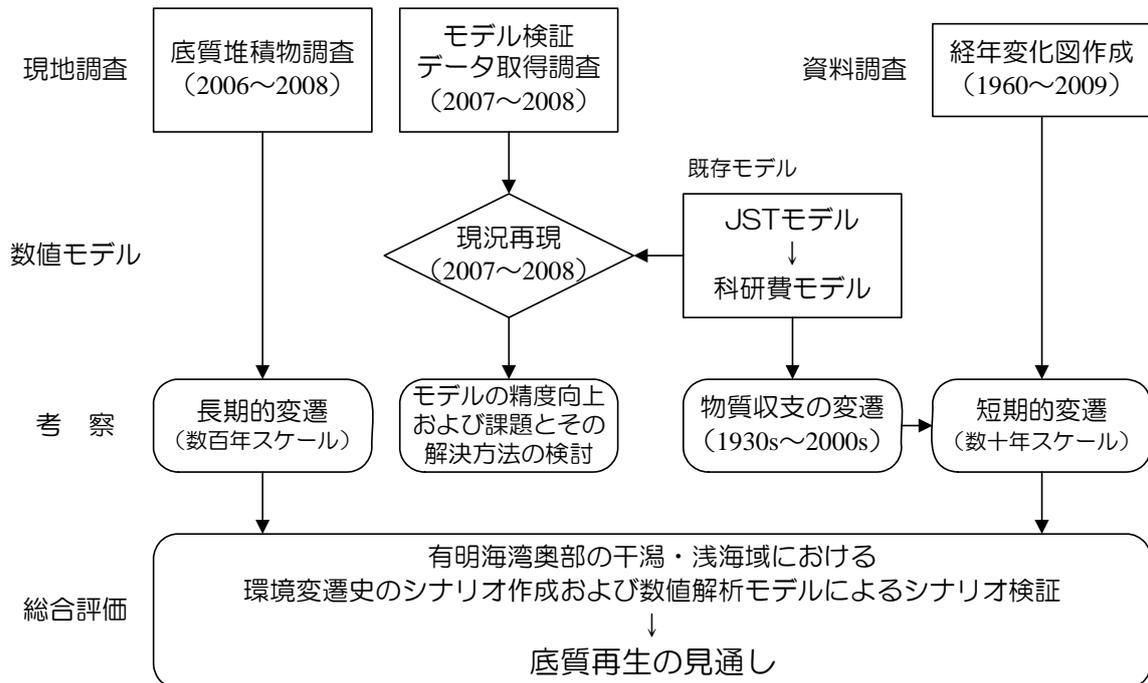


図 1 本研究のフロー

注 1)JST モデル：文部科学省 平成 21 年度科学技術振興調整費「重要課題解決型研究等の推進 有明海生物生息環境の俯瞰的再生と実証試験」(研究代表者 楠田哲也 (九州大学特任教授))

2)科研費モデル：佐賀大学の平成 21 年度科学研究費補助金「底泥コア分析と数値シミュレーションによる有明海環境変化の原因解明と再生に関する研究」(研究代表者 瀬口昌洋 (佐賀大学教授))

3 研究計画

全体計画の策定及び予備調査	平成 17 年度
広域的調査 (15 地点)	平成 18 年度～平成 19 年度
鉛直分布調査 (5 地点)	平成 19 年度～平成 20 年度
底質データベースの構築	平成 20 年度～平成 21 年度
干潟・底質物質循環モデル等作成	平成 21 年度
総合とりまとめ	平成 21 年度

4 研究内容

4.1 現地調査

(1) 干潟・底質のサンプル採取

1) 広域的調査

深度 0～1m 程度の底質試料を広域的に採取した。(15 地点程度)

2) 鉛直分布調査

深度 0～5m 程度の底質を上記 1) の地点の代表的な地点から採取した。(5 地点程度)

3) 深層鉛直分布調査

深度 0～50m 程度の海底堆積物の試料を採取した。(2 本程度)

(2) 底質試料の解析・分析

底質試料の解析及び分析項目は下記のとおりであり、各項目の分析目的および分析担当者を表 1 に示す。

堆積相解析	微量物質分析 (重金属、微量化学物質)
貝化石分析	工学特性分析 (粒度組成等)
火山灰分析	年代測定
全有機炭素(TOC)分析	生態系分析 (生物生息調査)
全イオウ(TS)分析	
安定同位体分析	

(3) 分析結果の評価

上記分析結果より、有明海における健全だったと考えられる過去から現在までの底質環境の変遷を把握し、底質環境に関するデータベースの構築 (底質マップ)、干潟・浅海域における底質の物質循環モデル (干潟微生物、無脊椎動物及びその他の生物の関与を含む。) を実態に即して作成し、底質再生の見通しを明らかにした。

4.2 数値解析モデルによる検証

下記の数値解析モデルのレビューを行い、1930 年代以降の貧酸素化とその要因分析および物質収支とその変化要因を考察した。また、2007～2008 年の再現計算を行い、本研究で取得された検証データをもとにモデル精度を高め、残された課題とその解決方法について検討した。

- ・ 文部科学省 平成 21 年度科学技術振興調整費「重要課題解決型研究等の推進 有明海生物生息環境の俯瞰的再生と実証試験」(研究代表者 楠田哲也 (九州大学特任教授)) (以下、「JST モデル」という)
- ・ 佐賀大学の平成 21 年度科学研究費補助金「底泥コア分析と数値シミュレーションによる有明海環境変化の原因解明と再生に関する研究」(研究代表者 瀬口昌洋 (佐賀大学教授)) (以下、「科研費モデル」という)

4.3 既存データの整理

有明海およびその流域の環境に関する既存資料を収集して経年変化図を作成し、1960 年以降の環境 (特に湾奥部) の変遷を明らかにした。なお、データが整備されているものについては 1900 年以降についても整理した。

表 1 本研究における解析・分析項目一覧

項目	目的	分析担当者
堆積層解析	底質の堆積構造・粒度・色調・含有化石等をもとに区分される堆積相の重なり合いなどを、現世及び地層研究によって得られている堆積環境ごとの地層と比較し、過去の堆積環境を推定する。	復建調査設計株式会社
生痕相解析	底質堆積物中に含まれる生痕(生痕化石)、生痕の組み合わせなどに基づいて堆積環境を推定する	復建調査設計株式会社
貝化石分析	アサリ、サルボウなどの貝類の化石から過去の環境を推定する。	復建調査設計株式会社 九州大学助教 下山正一
底生有孔虫分析	海水から汽水域に生息する 0.1~1mm程の原生生物である底生有孔虫から過去の環境を推定する。	復建調査設計株式会社
珪藻化石分析	0.01~0.05mm程の珪藻から堆積環境を推定する。	復建調査設計株式会社
渦鞭毛藻類	沈積年代が判明している堆積物から沿岸域での主要植物プランクトンの一員である渦鞭毛藻シストの群集組成変化を明らかにすることから当該海域の環境変化、特に水質の変化を推定する。	長崎大学教授 松岡数充
年代情報	底質堆積物の 216Pb 放射能の深度分布をもとに堆積速度の推定を行う。	九州大学教授 百島則幸
	底質堆積物の 137Cs 放射能の深度分布をもとに堆積速度の推定を行う。	佐賀県環境センター
	木片等に含まれる放射性炭素 14C の含有量を分析することで、木片があった堆積層の年代を推定する。	財団法人九州環境管理協会
微量物質	底質堆積物中の化学物質を鉛直方向に分析することにより、底質環境の長期的な変化を把握する。	佐賀大学名誉教授 田端正明
	底質堆積物中の化学物質を鉛直方向に分析することにより、底質環境の長期的な変化を把握する。	財団法人九州環境管理協会
有機汚濁関係	底質堆積物の安定同位体 13C を分析することにより、同位体組成から有機物の起源(陸域または海域由来)を推定する。	熊本県立大学教授 堤裕昭
	堆積物中の有機炭素量を鉛直方向に分析することにより、底質環境の長期的な変化を把握する。	熊本県立大学教授 堤裕昭
	堆積物中の T-N を鉛直方向に分析することにより、各層の底質環境の状況を把握する。	熊本県立大学教授 堤裕昭
	堆積物中の AVS を鉛直方向に分析することにより、各層の底質環境の状況を把握する。	熊本県立大学教授 堤裕昭
	堆積物中の有機物量を鉛直方向に分析することにより、各層の底質環境の状況を把握する。	財団法人九州環境管理協会
	堆積物中の T-P を鉛直方向に分析することにより、各層の底質環境の状況を把握する。	財団法人九州環境管理協会
粒度組成	堆積物中の粒度組成を鉛直方向に分析することにより、底質環境の長期的な変化を把握する。	熊本県立大学教授 堤裕昭
生物	底生生物の生息状況から底質環境を把握する。	熊本県立大学教授 堤裕昭