

第 33 回 有明海・八代海等総合調査評価委員会

海域再生対策検討作業小委員会の取り組み

－ 海域区分ごとの環境特性と連関図について －

目 次

1 再生方策の考え方	1
1.1 順応的管理の視点からの再生技術体系	1
1.2 再生方策の検討方針	5
1.3 再生方策検討の視点	6
2 環境特性の把握	7
2.1 考え方	7
2.2 使用したデータ	8
2.2.1 底質	8
2.2.2 底生生物	11
2.2.3 水質	14
2.3 解析方法	17
2.3.1 概要	17
2.3.2 階層的クラスタ分析の手順	18
2.4 解析結果	21
2.4.1 底質からみた環境特性	21
2.4.2 底生生物からみた環境特性	31
2.4.3 水質環境からみた環境特性	35
3 有明海・八代海の海域区分の検討	39
3.1 各観点からみた海域区分の重ね合せ	39
3.2 有明海・八代海の海域区分	40
3.2.1 有明海の海域区分	40
3.2.2 八代海の海域区分	41
4 海域区分ごとの環境特性	42
4.1 有明海	43
4.2 八代海	46
5 海域区分ごとの連関図と課題(案)	49
5.1 問題点とその原因・要因の考察（平成18年委員会報告記載内容）	49
5.2 有明海の各海域の連関図と課題	51
5.2.1 A1 海域	51
5.2.2 A2 海域	54
5.2.3 A3 海域	57

5.2.4 A4 海域	60
5.2.5 A5 海域	63
5.2.6 A6 海域	66
5.2.7 A7 海域	69
5.2.8 A8 海域	72
5.3 八代海の各海域の連関図と課題	75
5.3.1 Y1 海域	75
5.3.2 Y2 海域	78
5.3.3 Y3 海域	81
5.3.4 Y4 海域	84
5.3.5 Y5 海域	87

1 再生方策の考え方

閉鎖性海域の環境は「地圏・水圏・気圏」の3つの環境基盤と、これに人を含めた「生態圏」の4圏により構成され、互いが相互に関連し合っており、海域環境の変化の要因・原因については物理・化学的環境および生物生産過程を視野に入れた総合的な解析が必要であり、環境変動のメカニズムの解明が大きな課題とされている。また、海域環境の改善・再生に当たっては、このような海域環境変動のメカニズム解明を基本としながらも、海域再生策の基本は、人が制御可能な事項として、①底質環境の改善技術、②水質環境（負荷を含む）の改善技術、③人為的負荷の削減技術であるとされている。さらに、これら3つの技術目標に対して、物理・化学・生物学的技術の開発・適用、それらの組合せ技術が効果的であるとしている。

1.1 順応的管理の視点からの再生技術体系

再生方策に必要な再生技術について、順応的管理の視点から技術体系として整理した(図 1.1)。これは、滝川ら(2010)が示した順応的管理の視点からの技術体系を引用した。

ここでは、全体目標は、熊本県「委員会報告」(有明海・八代海干潟等沿岸海域再生検討委員会、平成18年3月)の有明海・八代海干潟等沿岸海域の再生のあり方における基本理念に基づき設定されている。これによると、干潟等を含む海域は、水質浄化機能、生物生息・生育の場として重要な役割を有しており、有明海・八代海を「豊かな海」として再生するためには、漁業対象の生き物を含む多様で豊かな生態系を回復・維持させるという考え方が必要であると謳われている。

有明海・八代海等の再生のための全体目標の検討は、次年度以降に行われるものの、検討を進めて行くためには目標像をイメージする必要がある。そこで、本小委員会では、現時点での全体目標を「**有明海・八代海における環境特性に応じた生物多様性のある海域環境**」として再生方策の検討を進めたいと考えている。この全体目標を実現するためには、環境全体のプラン、その中に海域全体と海域別のプラン、地域ゾーニングプランを考える必要がある。

*本章は、「滝川清・増田龍哉・五明美智男・五十嵐学、順応的管理の視点からの閉鎖性水域における環境改善の技術体系 ―有明海を例に―、海洋開発論文集 第26巻、2010年6月」を基に記載している。

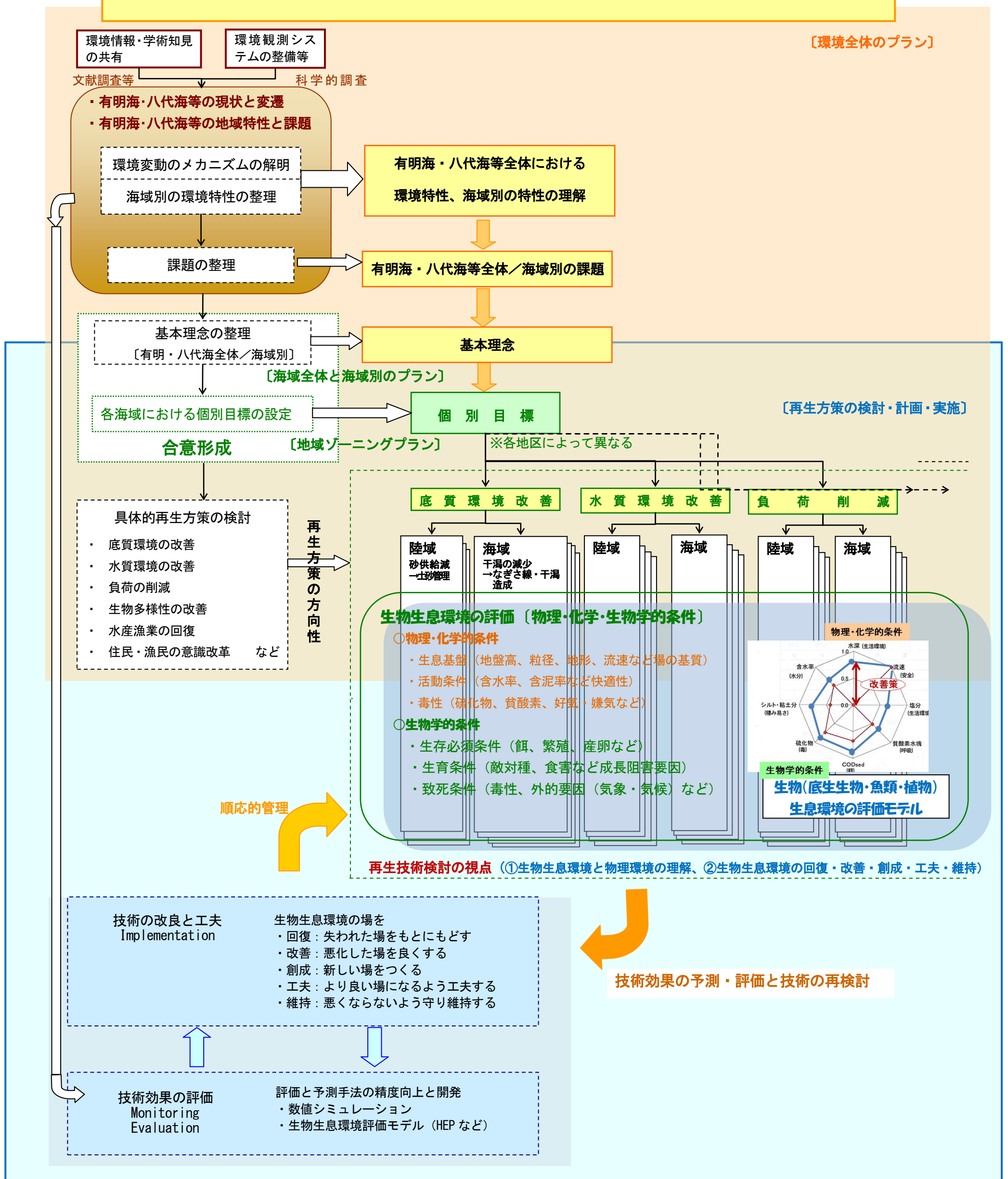
海域全体と海域別のプランでは、海域全体と海域別の基本理念を設定し、地域ゾーニングプランでは個別目標が各地区別に設定される。これらのプランを達成するためには、

- 第一に「有明海・八代海等全体における環境特性、海域別の特性を理解」し、これらが抱える「課題を整理」することが必要である。
- 第二に、整理した課題から有明海・八代海等全体、海域別の全体目標を達成するための「基本理念」を設定し、これらを基に、海域全体や各海域における「個別目標」を決める。

次に、個別目標を達成するための具体的な再生方策を検討する。再生方策の方向性として底質環境改善、水質環境改善、負荷削減等が挙げられる。これらの方策を検討する際は、海域の環境特性、地域特性を踏まえることが重要である。また、再生方策に適用する技術を検討する際は、従来の実施されている技術のみならず、複数の技術の組み合わせた新規の技術を含め最も効果のある再生技術を適用することが重要である。

さらに、個々の技術に対しては「技術の改良と工夫」、「技術効果の評価」が必要である。「技術の改良と工夫」では、生物生息環境の回復、改善、創成、工夫、維持の観点からの技術改良・工夫が重要である。一方、「技術効果の評価」では、再生技術実施後のモニタリング結果を通じての数値シミュレーションや HEP などの評価手法により一層の精度向上と開発が必要である。このような、技術検討を重ね、効果的な技術の進展を図ることが重要である。

全体目標：有明海・八代海の環境特性に応じた生物多様性のある海域環境



※滝川清・増田龍哉・五明美智男・五十嵐学、順応的管理の視点からの閉鎖性水域における環境改善の技術体系 ―有明海を例に―、海洋開発論文集 第26巻、2010年6月を基に作成

図 1.1 海域環境改善・再生の技術体系と順応的管理(素案)

1.2 再生方策の検討方針

有明海・八代海の環境変化については、「有明海・八代海総合調査評価委員会」において議論され、平成18年に以下のことが報告されている、

環境悪化の原因は様々な要因が複雑に関係し合っており十分な調査・研究が必要であるとしつつ、海域における物質収支のバランスが崩れた直接的な要因の1つとして、

- ・ 底質の悪化や干潟消失等によって底生生物の生息環境が悪化し、底生生物が減少している。
- ・ 底生生物が減少したため、物質循環における有機物分解過程の機能が低下（例えば、二枚貝類の減少に伴うろ過機能の低下等）している。
- ・ また、海水中の有機物の増加（赤潮抑制機能の低下）や底質中の有機物の蓄積（底層水の酸素消費促進、沈降中の有機物分解による酸素消費促進）によって貧酸素化が起きている。

などが指摘されている。

また、有明海・八代海のような閉鎖性海域における環境改善・再生に当たっては、以下のような留意点が述べられている。

- ・ 海域特性を十分に把握の必要性(海域ごとの環境特性に応じた環境改善・再生を考える必要がある)および海域全体への影響考慮とマスタープランの必要性。
- ・ 大気、水、底質およびこれら間の物質収支を把握する必要がある(赤潮や貧酸素水塊は物質循環が良好でないために頻発するようになっており、特に水、底質およびこれら間の物理的・化学的・生物的物質循環を把握することが必要である)。

上記を踏まえ、再生方策の検討方針を以下の通りとする。

【再生方策の検討方針】

- ① 有明海・八代海等全体における環境特性、海域別の特性を理解する。
⇒環境特性の把握と課題の整理
- ② 各海域の特性に応じた基本理念と個別目標を掲げる
⇒各海域の個別目標を設定する
- ③ 個別目標を達成するための具体的再生方策を検討する。
⇒各海域における再生方策の方向性、再生技術の検討

1.3 再生方策検討の視点

本検討では、先に示したとおり、環境特性に応じた生物多様性のある海域環境を創出することを目的として再生方策を考えることとした。具体的な再生方策(技術)については、生物の生息環境の観点から再生技術を検討する。再生技術の検討に当たっては、生物の生息環境を構成する要素である底質環境、水質環境、流動環境、地形環境等の各条件を評価した上で、適切な技術を検討する必要がある。そこで、まず底質環境、水質環境、流動環境、地形環境及び生物生息環境の特性把握とこれらの評価手法を検討することとした。

2 環境特性の把握

2.1 考え方

生物の生息環境の構成要素の物理的・化学的環境は、上記のように底質・水質・流動・地形環境が考えられる。これらは互いに関係し、長期的・短期的な相互作用の結果が現状と考えられる。即ち、底質は基本的には地形と流動で規定され、場合によっては水質からの影響を受ける(ex.懸濁物(赤潮)の局所的な沈降・堆積等)。また、地形は基本的には流動で規定されると考えられる。言い換えると、底質は、流動(地形)の長期的・短期的な影響の積分された結果である(その期間内では水質の影響も含む)。

有明海・八代海等では潮汐差が大きく、両海域ともに河川からの出水の影響も大きいと考えられ、そのために底質の変動は短期的には大きい。しかしながら、有明海湾奥西部では底質が長期的に一方向へ変化していることはなく、他の海域も同様と考えている。そこで、本検討では生物生息環境の構成要素のうち、底質環境をベースとして環境特性の把握、評価を考えることとした。その上で、水質、流動等の環境特性を整理して行くこととした。

生物生息環境については、有明海・八代海等の環境特性把握のベースを底質環境と考えること、移動力が比較的小さい底生生物はその場の環境変遷が積分された結果と考えられることから、まず、底生生物について検討を行う。その後、重要な水産資源である二枚貝類、魚類についても検討を進めて行くこととした。

また、有明海・八代海等では、現在、赤潮、貧酸素が社会的な問題となっていることから、前節までの整理が終了したところで各海域における赤潮、貧酸素水塊の影響を整理した。

なお、上記の二枚貝類、赤潮及び貧酸素水塊の影響については、生物・水産資源・水環境問題検討作業小委員会において整理がなされているところであり、それらの結果を参考とした。

2.2 使用したデータ

2.2.1 底質

(1) 調査地点

今回の作業に用いたデータの調査地点を図 2.1 に示す。

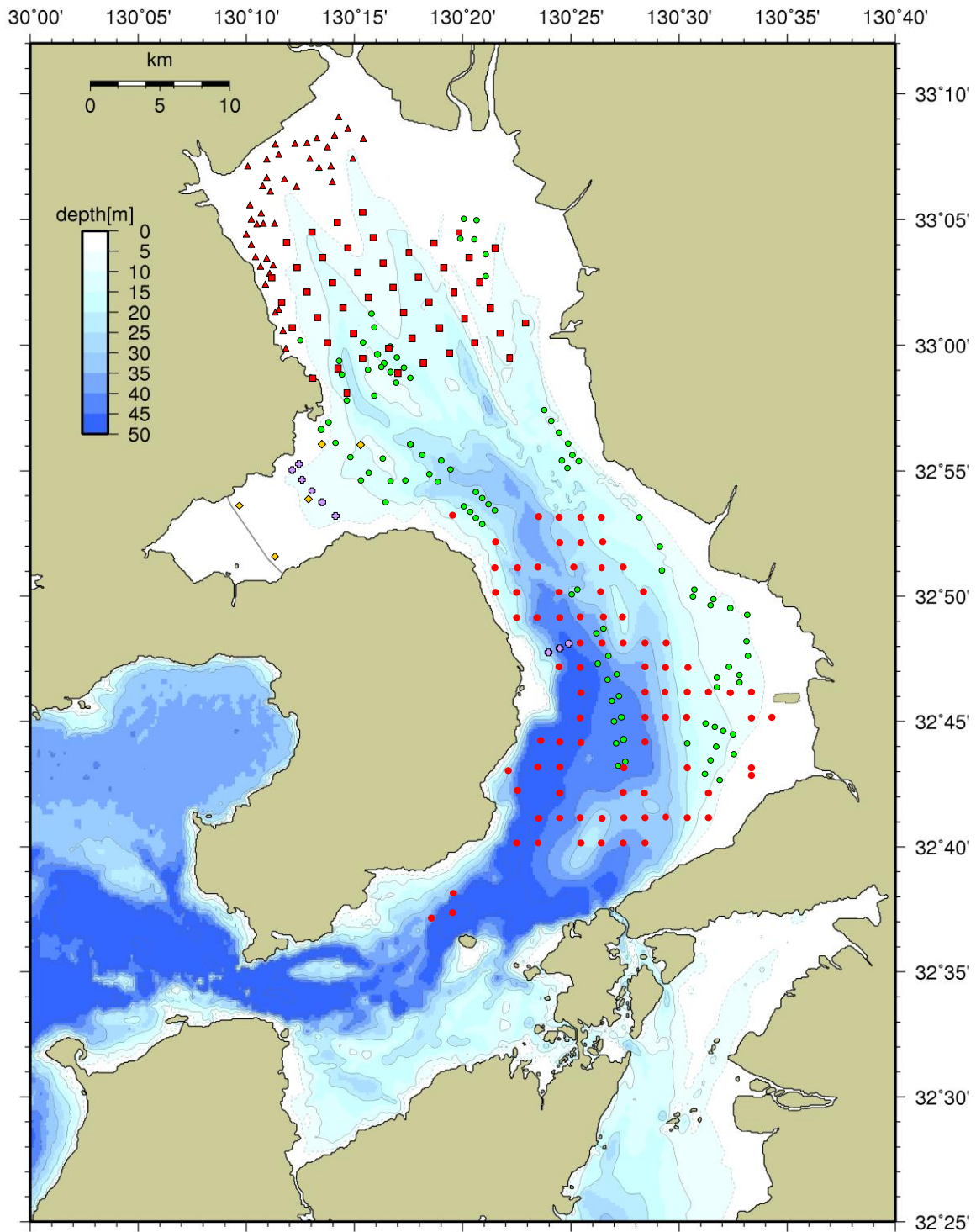


図 2.1 (1) 底質データ調査地点(有明海①)

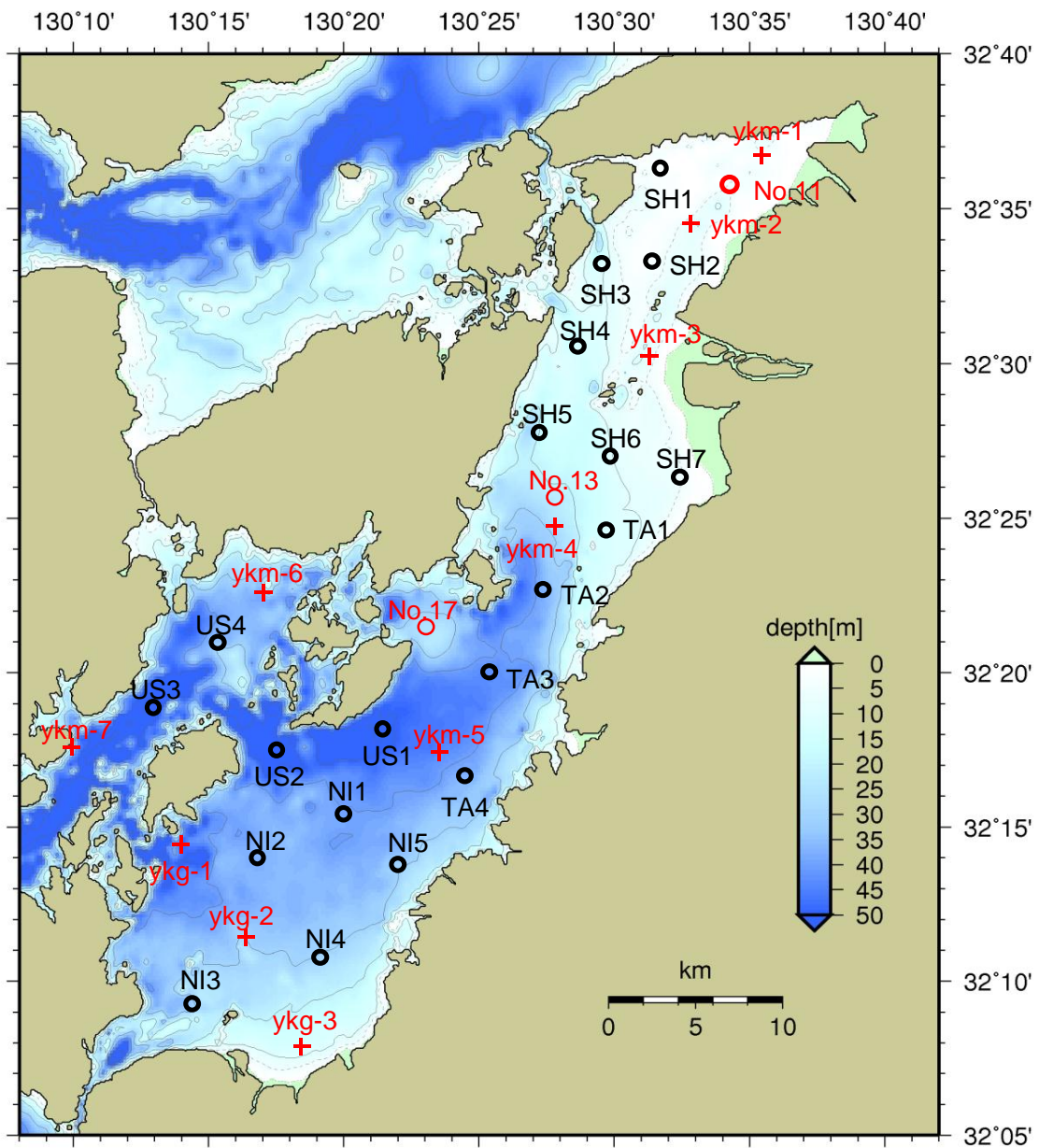


図 2.1 (2) 底質データ調査地点(八代海)

(2) 調査項目

作業に用いた底質の項目は表 2.1 に示すとおりである。

表 2.1 (1) 作業に用いた底質データ一覧(有明海)

調査機関	調査年	調査月	含泥率 (%)	全硫化物 (mg/g)	強熱減量 (%)	COD (mg/g)	全窒素 (mg/g)	全リン (mg/g)	AVS (mg/g)	地点
九州農政局 (底質環境調査)	2004~2007	7~9月上旬	○	○	○	○	○	○		図-2.1(1): ●
	2008~2013	7~9月上旬	○	○	○					図-2.1(1): ●
九州農政局 (環境モニタリング調査)	2007	8月	○	○	○	○	○	○		図-2.1(1): ◆
長崎県	2008	8月	○	○		○				図-2.1(1): ⊕
佐賀県	2009	7月	○		○	○			○	図-2.1(1): ▲
	2005	10月	○		○				○	図-2.1(1): ■
熊本県	2009	8月	○	○	○	○				図-2.1(1): ▼
	2011	7月	○	○	○	○				図-2.1(1): ▼
九州大学	2006	7~9月上旬	○		○					図-2.1(1): ●

表 2.1 (2) 作業に用いた底質データ一覧(八代海)

調査機関	調査年	調査月	含泥率 (%)	全硫化物 (mg/g)	強熱減量 (%)	COD (mg/g)	全窒素 (mg/g)	全リン (mg/g)	TOC (mg/g)	地点
環境省	2012	2月	○	○	○	○	○	○		図-2.1(2): ⊕
国土交通省	2012	5月	○	○	○	○	○	○	○	図-2.1(2): ⊙
熊本大学	2011	11月	○	○			○	○	○	図-2.1(2): ⊙

2.2.2 底生生物

(1) 調査地点

今回の作業に用いたデータの調査地点をまとめて図 2.2 に示す。

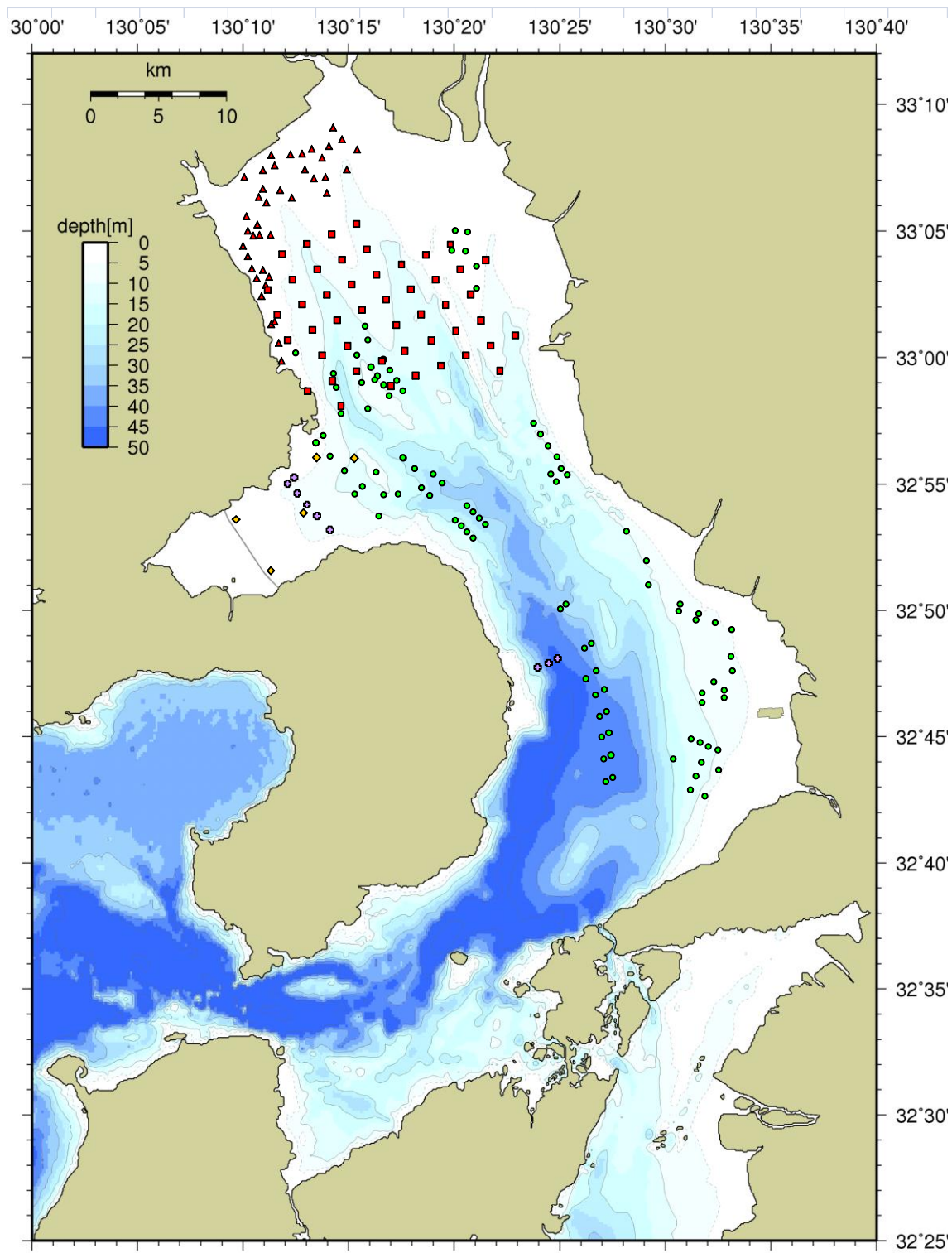


図 2.2 (1) 底生生物データ調査地点(有明海)

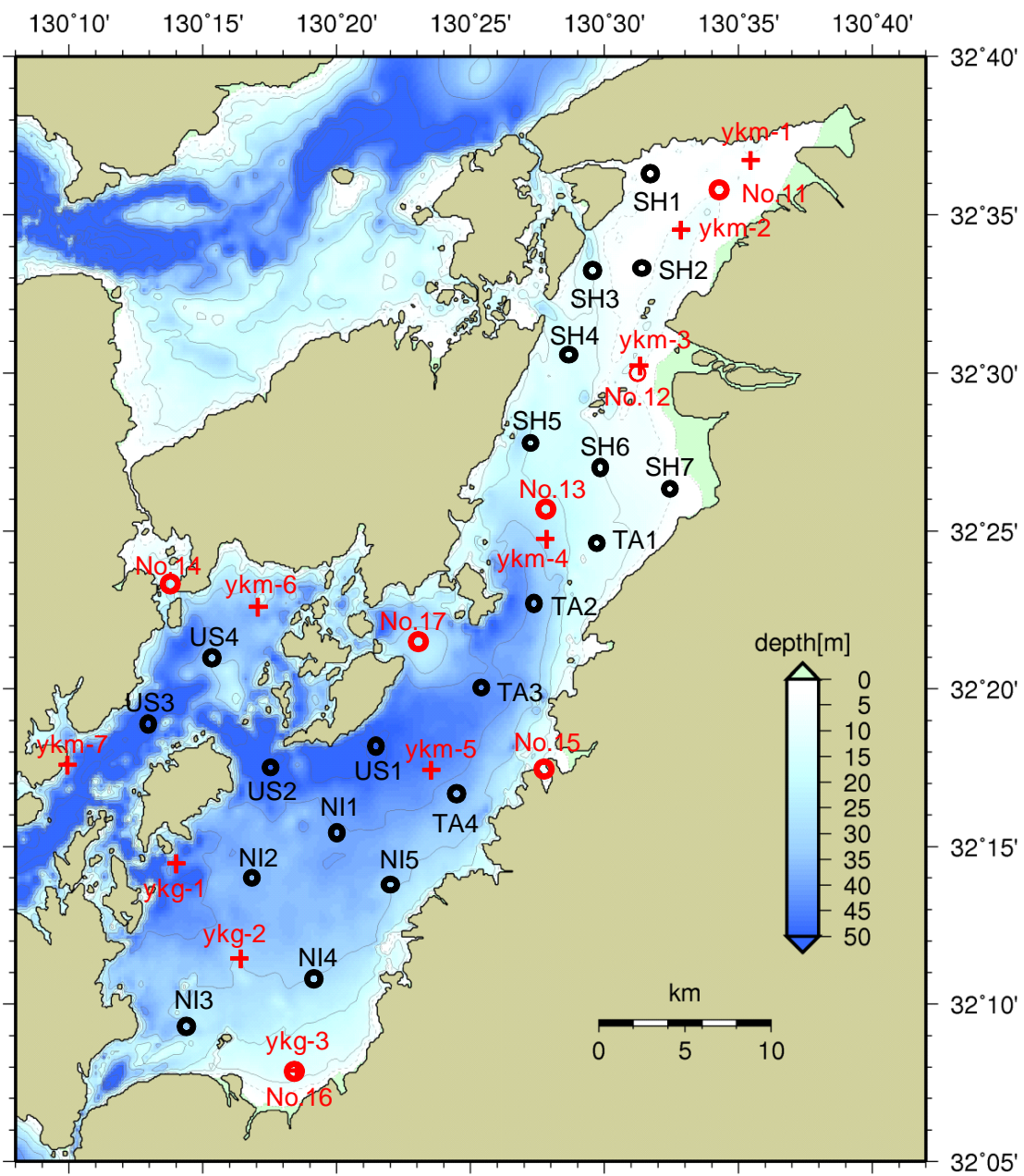


図 2.2 (2) 底生生物データ調査地点(八代海)

(2) 調査項目

作業に用いた底生生物の項目は表 2.2 に示すとおりである。

表 2.2 (1) 作業に用いた底生生物データ一覧(有明海)

調査機関	調査年	調査月	種類数	個体数	湿重量	地点
九州農政局 (底質環境調査)	2004~2007	7~9月上旬	○	○	○	図-2.2(1): ●
	2008~2013	7~9月上旬	○	○	○	図-2.2(1): ●
九州農政局 (環境モニタリング調査)	2007	8月	○	○	○	図-2.2(1): ◆
長崎県	2008	8月	○	○		図-2.2(1): ⊕
佐賀県	2009	7月	○		○	図-2.2(1): ▲
	2005	10月	○		○	図-2.2(1): ■
熊本県	2009	8月	○	○	○	図-2.2(1): ▼
	2011	7月	○	○	○	図-2.2(1): ▼

表 2.2 (2) 作業に用いた底生生物データ一覧(有明海)

調査機関	調査年	調査月	種類数	個体数	湿重量	地点
環境省	2012	2月	○	○	○	図-2.2(2): +
国土交通省	2012	5月	○	○	○	図-2.2(2): ○
熊本大学	2011	11月	○	○		図-2.2(2): ⊙

2.2.3 水質

(1) 調査地点

今回の作業では、福岡県・佐賀県・長崎県・熊本県が実施している浅海定線調査結果及び内湾調査結果を用いた。有明海・八代海の各調査地点を図 2.3 に示す。

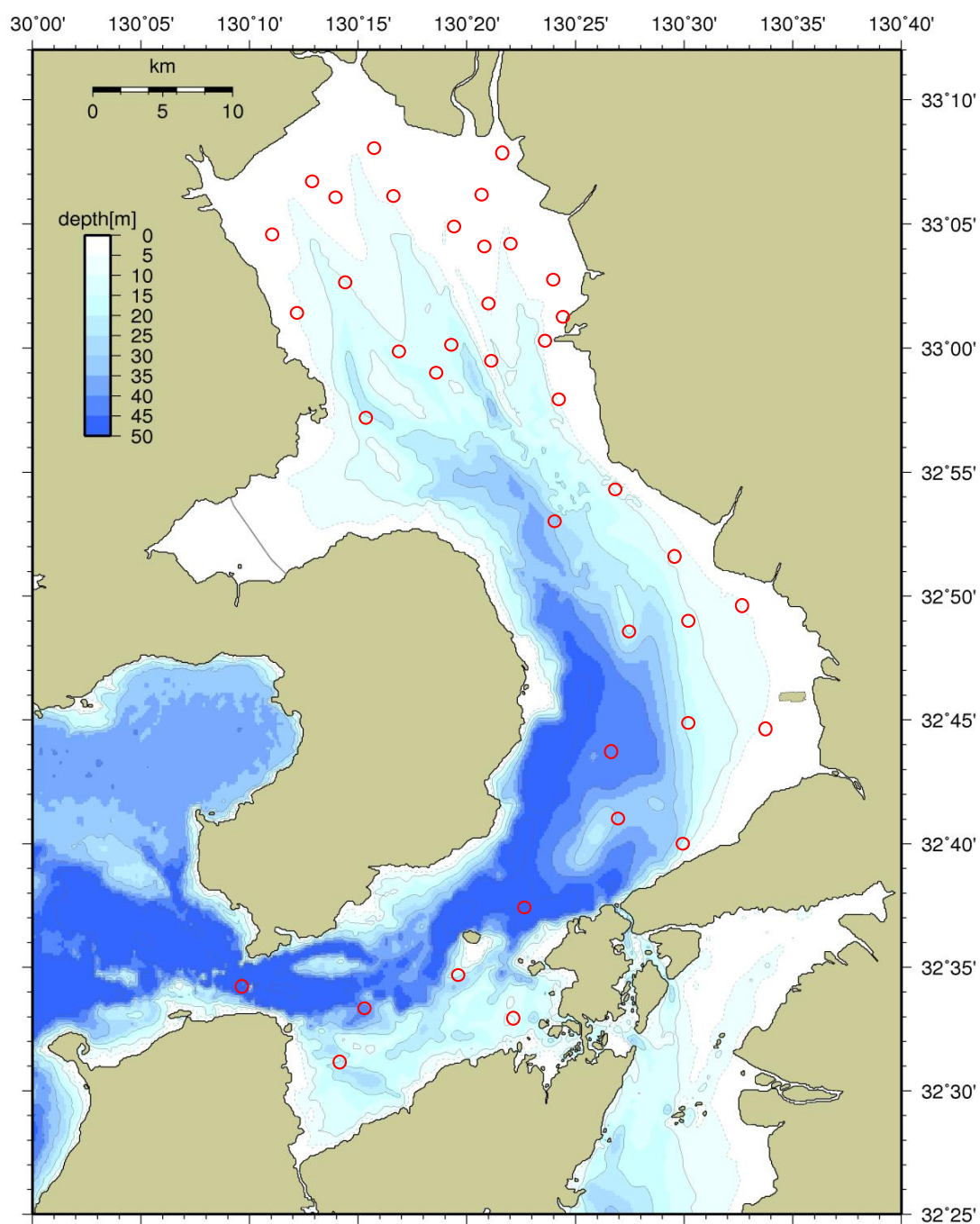


図 2.3 (1) 水質データ調査地点(有明海)

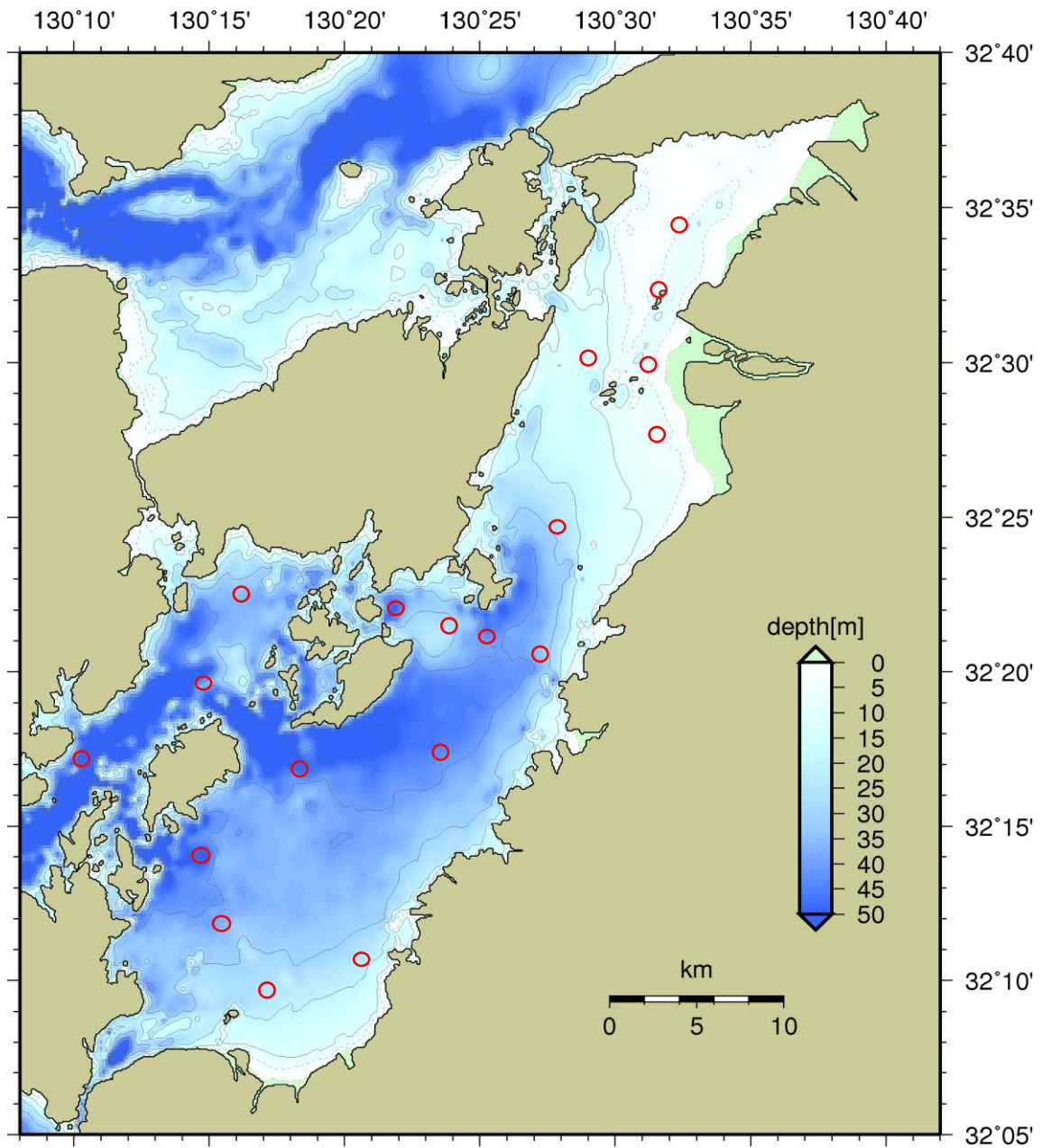


図 2.3 (2) 水質データ調査地点(八代海)

(2) 調査項目

作業に用いた水質の項目は表 2.3 に示すとおりである。

表 2.3 作業に用いた水質データ一覧

海域	調査機関	項目	期間
有明海	福岡・佐賀・長崎・熊本県	○海面下 5m の水温・塩分・DO・DIN・PO4-P ○透明度	1988/1～2006/12
八代海	熊本県	○海面下 5m の水温・塩分・pH・DSi・DO・DIN・PO4-P ○透明度	2004/12～2012/3

2.3 解析方法

2.3.1 概要

クラスター分析は、サンプル(あるいは変数)間の類似度あるいは非類似度に基づき、サンプル(あるいは変数)の分類を行う手法である。類似度あるいは非類似度とは、サンプル(あるいは変数)がどれだけ類似しているか、あるいはどれだけ類似していないかを数値として表したものである。

分類してできたサンプル(あるいは変数)の集団はクラスターと呼ばれ、大きく階層的方法と非階層的方法に分けられる。クラスター分析には表 2.4 に示すとおり、数多くの方法があるが、ウォード法は連鎖(クラスター分析の過程において、近い対象を含むクラスターが次々と統合して長い帯状のクラスターができる)が起きにくいことが経験的に知られており、実用性が高い手法であることから、ここでは、クラスター化法(分類をおこなう手法)としてウォード法、非類似類似係数(対象をまとめていくための基準)として平方ユークリッド距離を用いた。平方ユークリッド距離は、 n 個の個体において p 個の変量について観測値が与えられた場合、個体 a と b との非類似度 d_{ab} を次のように定義する。いま、 a, b の観測値ベクトル x_a, x_b を $x_a = (x_{1a}, x_{2a}, \dots, x_{pa})$, $x_b = (x_{1b}, x_{2b}, \dots, x_{pb})$ とすると、次式で表される。

$$d_{ab} = \sum_{i=1}^p (x_{ia} - x_{ib})^2$$

表 2.4 各クラスター化法の特徴

名称	特徴	短所
群平均法	<ul style="list-style-type: none"> 最も代表的な手法である。 クラスター間の類似度はそれらに属する対象の対の類似度の平均的な値で定義される。 最短距離法と最長距離法の中間的性質を持つ。 	
ウォード法	<ul style="list-style-type: none"> クラスターを統合することによる平方和の増分が最も小さいものを統合する。 ある 1 つのクラスターに対象が順に 1 つずつ吸収されてクラスターが形成されていく現象(連鎖)が起こりにくい。 	サイズ移動に敏感な非類似度係数しか使えない
可変法	<ul style="list-style-type: none"> 各方法を統一的に扱う方法。 パラメータの変更でどの方法にもなる。 	
最短距離法	<ul style="list-style-type: none"> 最も類似性の高い(距離が近い)対の類似度により決まる。 間隔尺度、順序尺度どちらにも使える。 一つの大きなクラスターを作る傾向がある。 	連鎖が起こりやすい。逆に連鎖を確認するために使うといった場合は便利
最長距離法	<ul style="list-style-type: none"> 最も類似性の低い(距離が遠い)対の類似度により決まる。 間隔尺度、順序尺度どちらにも使える。 	

*本節は、Yoshihiro SONODA, Kiyoshi TAKIKAWA, et al (2011) DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF WATERQUALITY, SEDIMENTS, AND BENTHOS IN THE ARIAKE SEA AREA. Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.G (Environmental Research), Vol. 67, No. 4, 150-169.から引用した。

2.3.2 階層的クラスター分析の手順

階層的分類法は凝集型と分岐型があるが、ここでは凝集型（分類対象となるデータをボトムアップ的に階層化する）を用いた。凝集型の解析手順は以下のとおりである。

- ・データ行列を作る。
- ・非類似度行列を計算する。
- ・クラスター化する。
- ・デンドログラム（樹形図）などで視覚化する。

上記の各手順・アルゴリズムには数多くの方法があるが、Lance と Williams によって提案され、現在では広く用いられている「組み合わせ的手法」をベースとした。

クラスター分析において、含泥率や全硫化物などの単位の異なるデータを使って分類をする場合、特定の変数にのみ大きな影響を受けてしまうため、データの標準化を行った。標準化の計算方法は最も一般的な平均0、標準偏差1とする計算とした。

図 2.4 に、クラスター化法としてウォード法、非類似類似係数として平方ユークリッド距離を用いたデンドログラムを示した。デンドログラムから分かるように、どの結合レベルで切断するかによって、いくつのクラスターに分類されるのかが変わってくる。クラスター分析は探索的な手法であり最適なクラスター数を決定する数値的な基準はない。そこで「良い解釈が得られそうな水準」でクラスター数を決定した。

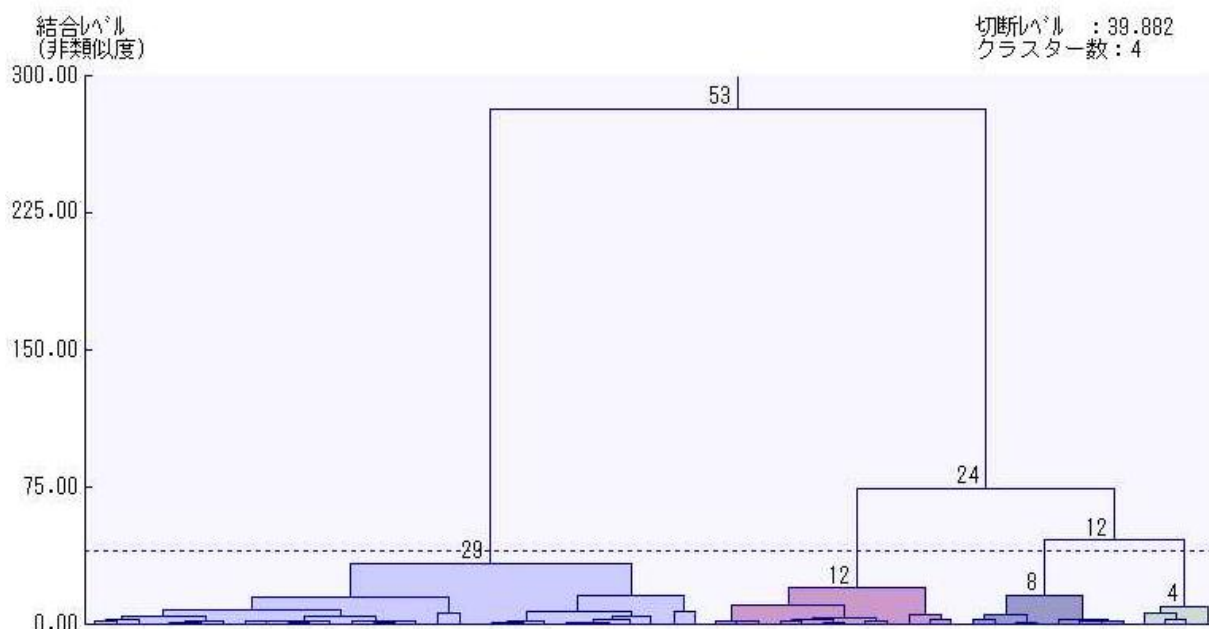


図 2.4 デンドログラム

クラスター数の判断の目安としては、①結合距離が長くなるところで切る、②各クラスターで各変数の平均値をとり、クラスター間で有意な差があるかを分散分析などで検討する、③判別分析でうまく予測できるクラスター数を採用する、④各種統計量基準(R^2 近似値、部分的 R^2 、疑似 F 値、疑似 t^2 値、CCC 基準)を勘案することなどが考えられた。ここでは、判断の目安の一つとしていくつかの統計量基準を用いた。これらは、クラスター集団を形成していく上での凝集経過によって変化する。この変化の過程の例を図 2.5 に示した。

一様性の推移(クラスター分析の凝集経過における統計指標の推移を表したもの)における統計指標の意味づけは、以下に示すとおりである。図 2.5 において、クラスター数が 4 個から 3 個に減少すると、これらの統計指標のうち RSQ(平方重相関)と SPRSQ(平方セミパーシャル相関係数)の変化傾向から、各グループの類似度が悪くなること分かる。

- ・ RMSSTD : 2 つのクラスターが結合して 1 つになった時の、平均平方根標準偏差を示す。
- ・ SPRSQ(平方セミパーシャル相関係数) : 結合した 2 つのクラスターがどの程度似通っていたか (分散比率の減少比) を示す指標。値は 0.0~1.0 の範囲内で値が小さい程良い。値が急速に小さくなる前のクラスター数に注意する。
- ・ RSQ(平方重相関) : クラスター間分散と全分散の比率。値は 0.0~1.0 の範囲内で値が大きい程良い。値が急速に大きくなる前のクラスター数に注意する。回帰分析の寄与率に相当する。
- ・ PSF(疑似 F 統計量) : 各ステップでの全クラスター間の分離度合いを示す統計量。値の系列変化を見たときに、頂点となる位置のクラスター数に注意する。
- ・ PSt²(疑似 t^2 統計量) : 各ステップで結合した 2 つのクラスター間の分離度合いを示す統計量値の系列変化を見たときに、値が大きく上がる直前のクラスター数に注意する。

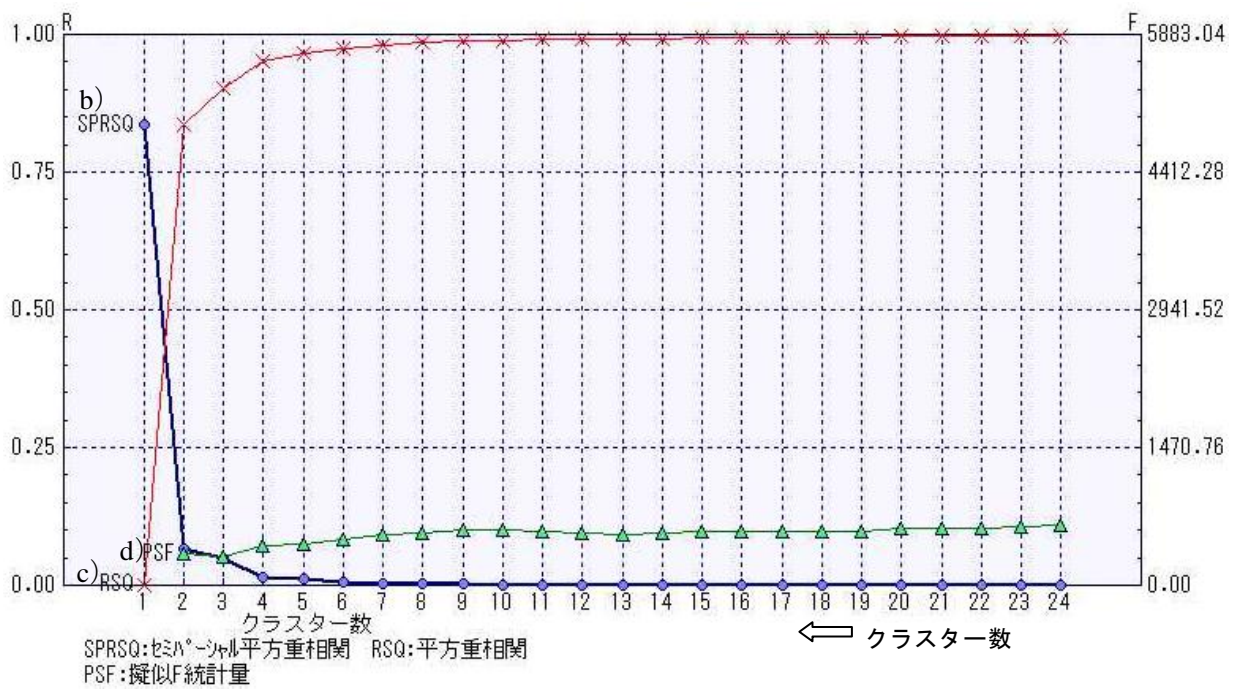


図 2.5 一様性の推移

2.4 解析結果

2.4.1 底質からみた環境特性

(1) 有明海

解析に用いた底質調査データは、表 2.1 に示した通り、実施機関によって底質項目が異なっているため、クラスター分析を一括して行うことができない。

そこで、底質項目の種類が最も多く粒度組成の異なるさまざまな地点で調査されているデータをベースデータ(表 2.6 中青色ケース)としてクラスター分析を行った。

表 2.5 各調査機関の調査項目

No.	調査機関	調査年	調査月	含泥率 (%)	全硫化物 (mg/g)	強熱減量 (%)	COD (mg/g)	全窒素 (mg/g)	全リン (mg/g)	AVS (mg/g)
①	九州農政局 (底質環境調査)	2004~2007	7~9月上旬	○	○	○	○	○	○	
②		2008~2013	7~9月上旬	○	○	○				
③	九州農政局 (環境モニタリング調査)	2007	8月	○	○	○	○	○	○	
④	長崎県	2008	8月	○	○		○			
⑤	佐賀県	2009	7月	○		○	○			○
⑥		2005	10月	○		○				○
⑦	熊本県	2009	8月	○	○	○	○			
⑧		2011	7月	○	○	○	○			
⑨	九州大学	2006	7~9月上旬	○		○				

表 2.6 検討ケース

ケース	クラスター分析の内容	含泥率	全硫化物	強熱減量	COD	全窒素	全リン	項目数
ケース1	①と③	○	○	○	○	○	○	6項目
ケース2	①と②	○	○	○				3項目
ケース3	①と④	○	○		○			3項目
ケース4	①と⑤	○		○	○			3項目
ケース5	①と⑥+⑨	○		○				2項目
ケース6	①と⑦+⑧	○	○	○	○			4項目

次に、ベースデータと各調査機関に共通の底質項目により個別にクラスター分析を行い、得られた海域区分とベースデータによる海域区分の含泥率を比較し、その類似性より海域区分を設定した(図 2.6 参照)。

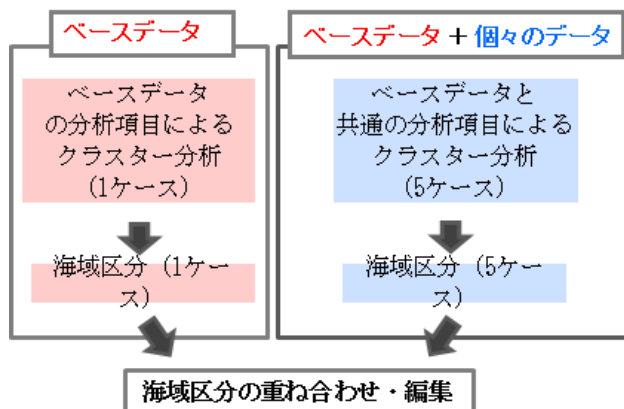


図 2.6 解析方法

ベースとした海域区分におけるクラスター分析の一様性の推移を図 2.7 に示す。前に述べたように図 2.7 の $SPRSQ$ (平方セミパーシャル相関係数)は小さいほど各クラスターの類似性が良く、回帰分析の寄与率に相当する RSQ (平方重相関)は大きいほど各クラスターの類似性が良い。また、 PSF (疑似 F 統計量)はクラスター数 3 でピークとなっていることから、クラスター数の目安は 3~5 程度となる。

ここで、クラスター数 3~5 における底質の環境特性を比較すると、クラスター数 5 の場合、クラスター番号 2 と 3 は他のクラスター番号に比べ、底質環境特性の変化が極めて小さくなっている。一方クラスター数 3 の場合、それぞれのクラスター番号の底質環境特性の違いは大きく明瞭である。両者の中間のクラスター数 4 では、各底質クラスター番号間の底質環境特性は、クラスター数 3 に比べ、より漸移的に変化する(表 2.7 参照)。

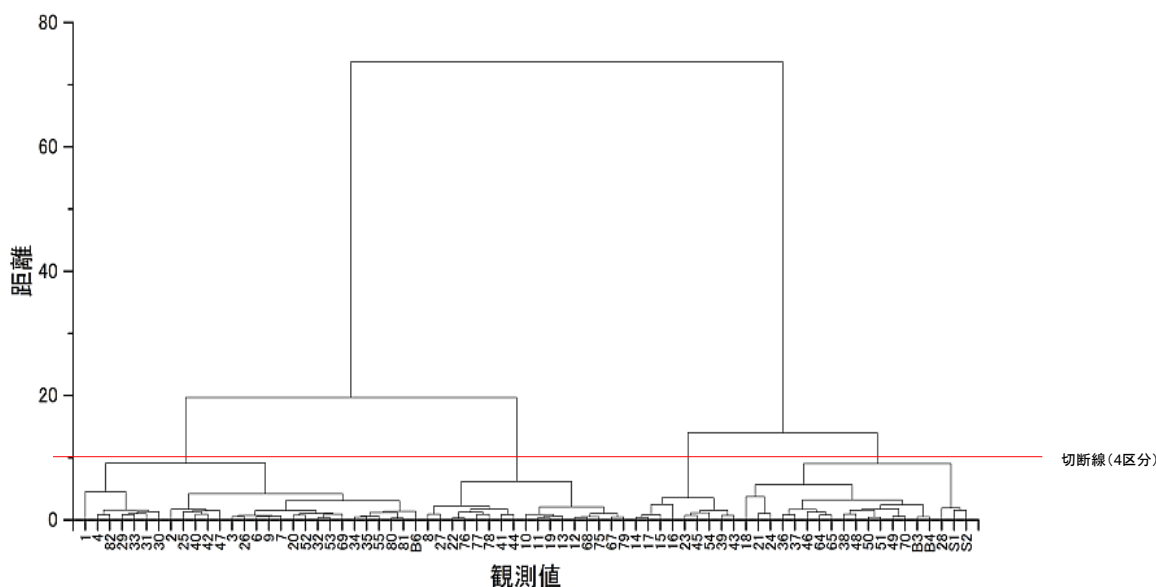


図 2.7 一様性の推移

表 2.7 クラスタ数と底質環境特性

クラス ター数	クラスタ ー番号	デー タ 個 数	含泥率(%)			全硫化物(mg/g)			強熱減量(%)			COD(mg/g)		
			平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値
5	1	17	20.9	9.1	37.8	0.05	0.01	0.09	4.1	2.6	5.7	4.4	1.8	6.4
	2	20	40.5	20.4	66.1	0.14	0.05	0.20	6.5	4.9	9.0	8.4	6.2	12.0
	3	7	41.1	21.3	48.1	0.25	0.01	0.44	8.2	5.9	9.6	8.8	5.5	13.0
	4	10	80.5	65.5	92.4	0.14	0.05	0.22	9.5	7.9	11.0	15.3	10.0	23.0
	5	15	92.3	79.1	99.9	0.39	0.20	0.91	10.5	8.8	13.0	16.1	12.0	28.0
4	1	17	20.9	9.1	37.8	0.05	0.01	0.09	4.1	2.6	5.7	4.4	1.8	6.4
	2	27	40.6	20.4	66.1	0.17	0.01	0.44	7.0	4.9	9.6	8.5	5.5	13.0
	3	10	80.5	65.5	92.4	0.14	0.05	0.22	9.5	7.9	11.0	15.3	10.0	23.0
	4	15	92.3	79.1	99.9	0.39	0.20	0.91	10.5	8.8	13.0	16.1	12.0	28.0
3	1	17	20.9	9.1	37.8	0.05	0.01	0.09	4.1	2.6	5.7	4.4	1.8	6.4
	2	27	40.6	20.4	66.1	0.17	0.01	0.44	7.0	4.9	9.6	8.5	5.5	13.0
	3	25	87.6	65.5	99.9	0.29	0.05	0.91	10.1	7.9	13.0	15.8	10.0	28.0

以上からクラスタ数の候補として3と4が考えられたものの、底質環境特性と底生生物分布特性との関連性を、泥化、有機汚濁化等の変動傾向からより詳細に検討を行うために、ここではクラスタ数を4に設定した。デンドログラムを図 2.8 に示す。

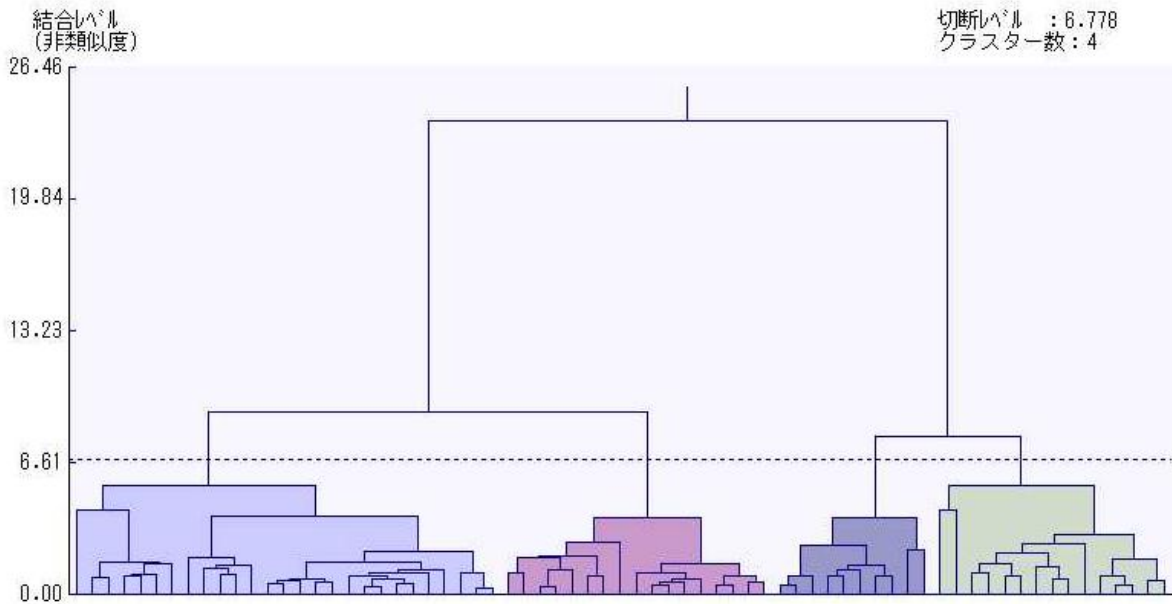


図 2.8 デンドログラム(ウォード法)と切断位置(破線)

底質項目のクラスター分析の結果による海域区分を図 2.9 に示す(図中の覆砂海域は局所的に粒径等の底質環境が大きく変動するため海域区分から除外した)。

各海域区分の底質項目の平均値を表 2.8 に、各海域区分の底質項目の頻度分布を図 2.10 に示す。

含泥率の平均値からみて、海域区分 A は砂、海域区分 B は砂泥(砂>泥)、海域区分 C は泥砂(泥>砂)、海域区分 D は泥に分類される。

強熱減量は、D(泥)で高く、図 2.10 をみると B(砂泥)で変動幅が大きい。

COD は、A(砂)、B(砂泥)及び C(泥砂)は水産用水基準を超過していないものの、D(泥)の 14%(4 地点/28 地点)は基準を超過している。

全硫化物は、A(砂)は水産用水基準を超える地点はないものの、B(砂泥)の 21%(7 地点/34 地点)、C(泥砂)の 22%(2 地点/9 地点)、D(泥)の 73%(30 地点/41 地点)は超過しており、図 2.10 をみると D(泥)では変動幅が大きい。

全窒素は、図 2.10 をみると含泥率と正の相関がみられるものの、D(泥)では変動幅が大きい。

全リンは、D(泥)の濃度が高くなる傾向があり、変動幅が大きい。

以上から、底質環境の悪化については、A(砂)ではみられないが、B(砂泥)ではやや悪化しているもののその度合いは弱い。C(泥砂)は B(砂泥)に比べてかなり進んでいる。D(泥)は底質環境が最も悪化している、と考えられる。

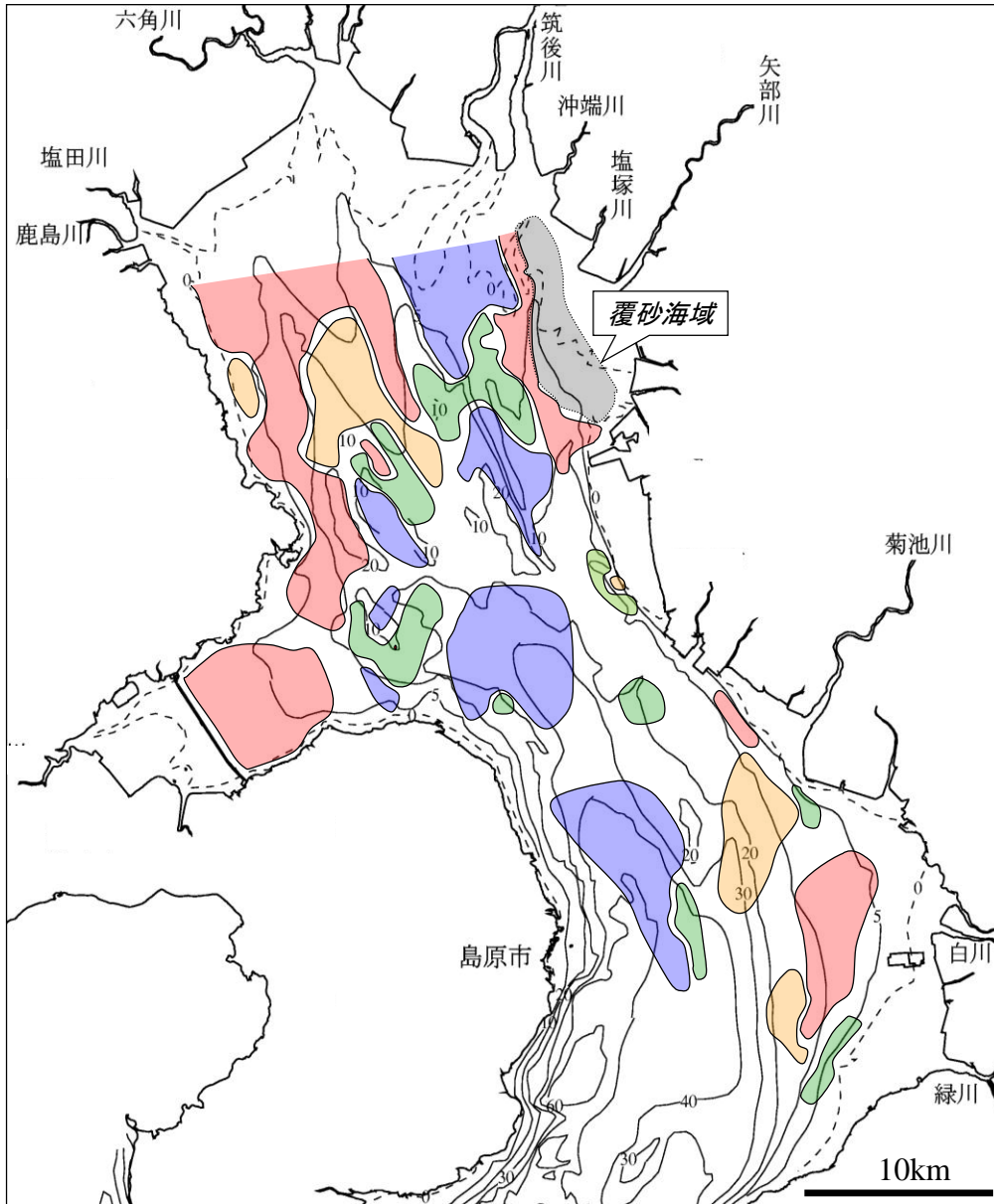


図 2.9 底質項目のクラスター分析による有明海の海域区分

表 2.8 有明海における海域区分毎の底質環境特性(平均値)

海域区分	含泥率 %	強熱減量 %	COD mg/g	全窒素 mg/g	全リン mg/g	全硫化物 mg/g
A	13.4	4.4	3.5	0.45	0.49	0.06
B	36.3	7.4	7.4	0.82	0.48	0.16
C	71.0	9.2	9.4	1.05	0.50	0.15
D	90.6	11.1	15.5	1.73	0.66	0.34

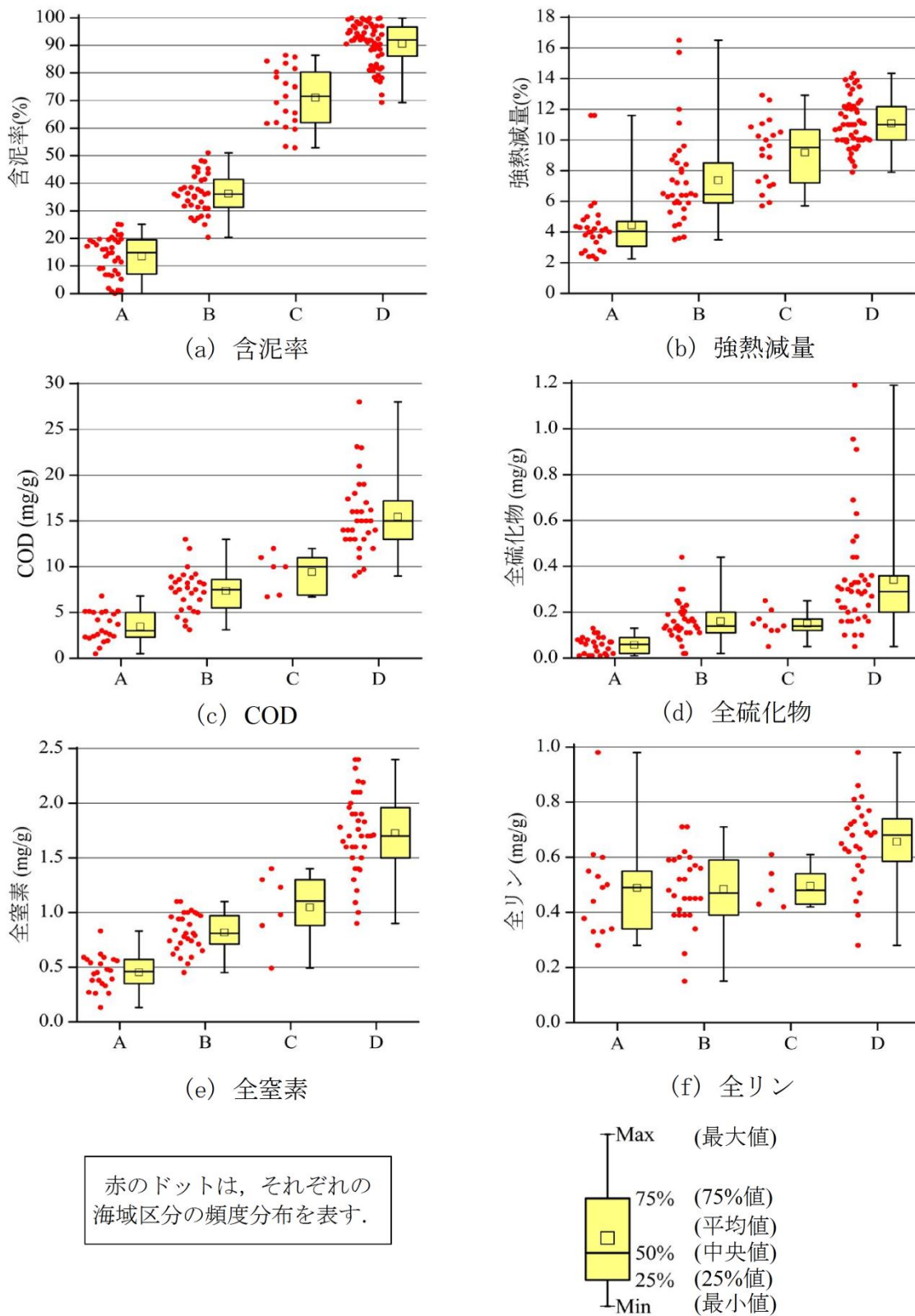


図 2.10 海域区分毎の底質項目の頻度分布特性(横軸:海域区分)

前述のように、底質環境から有明海を4つに区分したところ、各グループともに底質項目によっては変動が大きいことがわかった。強熱減量と硫化物の変動を含泥率とともに図 2.11 に示す。そこで、図 2.9 の海域区分を再区分することとした。その結果と細区分した海域の含泥率、強熱減量及び硫化物の関係を併せて図 2.12 に示す。

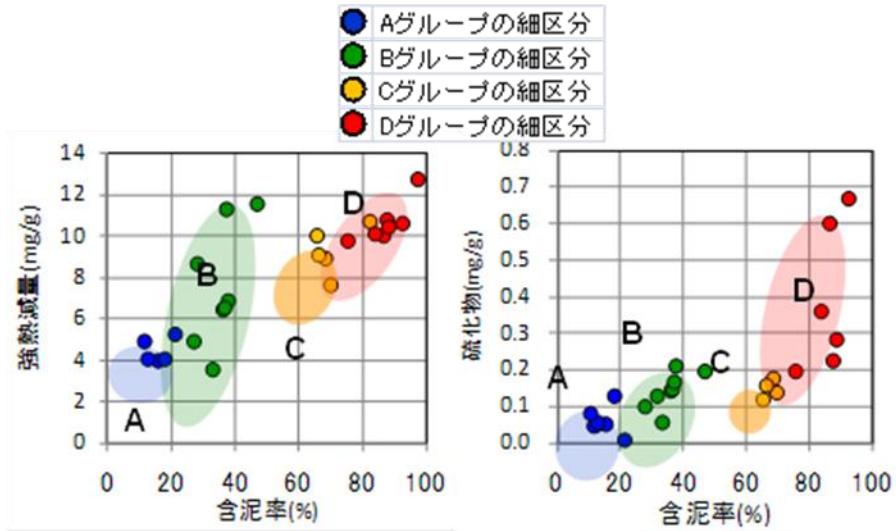


図 2.11 各海域区分の含泥率と強熱減量・硫化物の関係

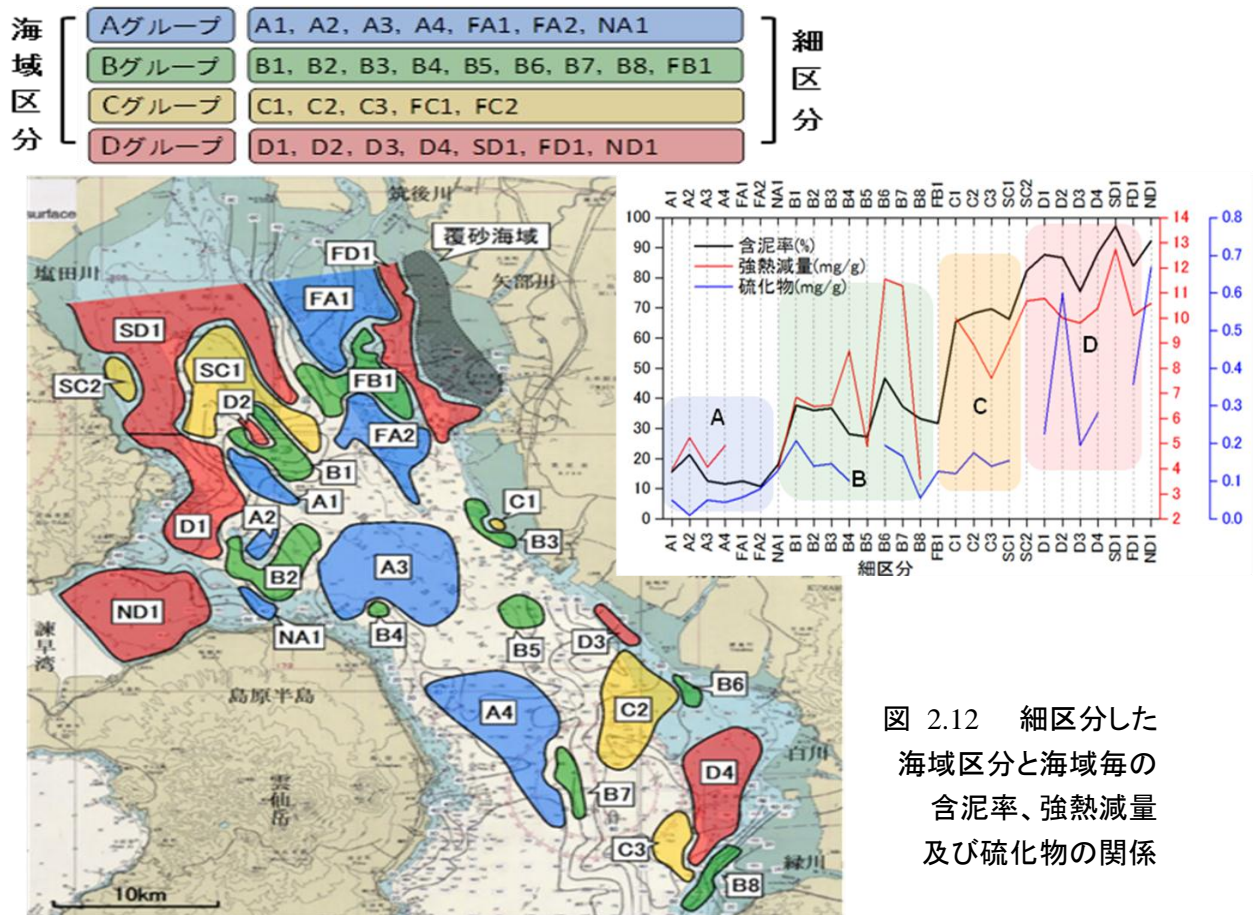


図 2.12 細区分した海域区分と海域毎の含泥率、強熱減量及び硫化物の関係

(2) 八代海

有明海と同様に、底質環境特性と底生生物分布特性との関連性を、泥化、有機汚濁化等の変動傾向からより詳細に検討を行うために、クラスター数を4に設定した。デンドログラムを図 2.13 に示す。

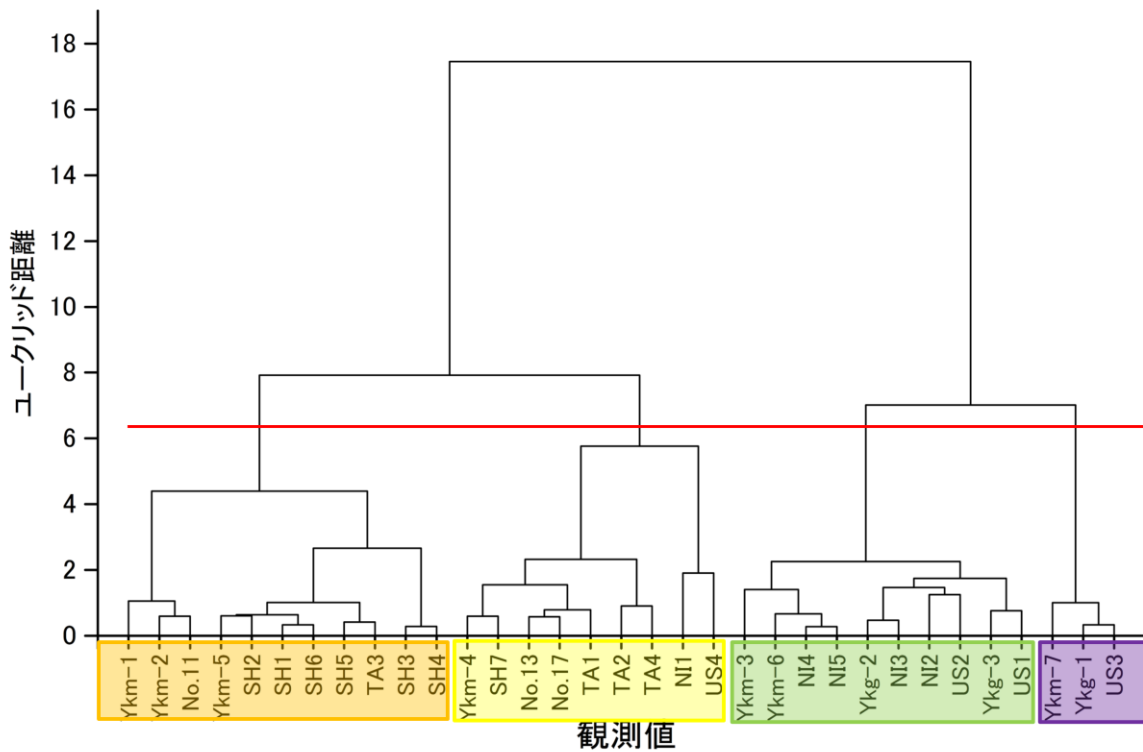


図 2.13 デンドログラム(ウォード法)と切断位置

底質項目のクラスター分析の結果による海域区分を図 2.14 に示す。また、各海域区分の底質項目の平均値を表 2.9 に、底質項目間の関係を図 2.15 に示す。

含泥率の平均値からみて、海域区分 A は泥砂(泥>砂)、海域区分 B は泥、海域区分 C は砂泥(砂>泥)、海域区分 D は砂に分類されるものの、A 海域、B 海域ともに変動が大きく、環境特性把握のためには細分化が必要と考えられる。しかしながら、有明海に比べて調査地点が少なく、細分化を行っても精度が低くなることから、現時点では、この4区分で整理を行うこととした。また、T-N、T-S と含泥率の関係をみると、相関が明瞭ではない。今後は、細分化した海域区分毎に関係を見直す必要がある。

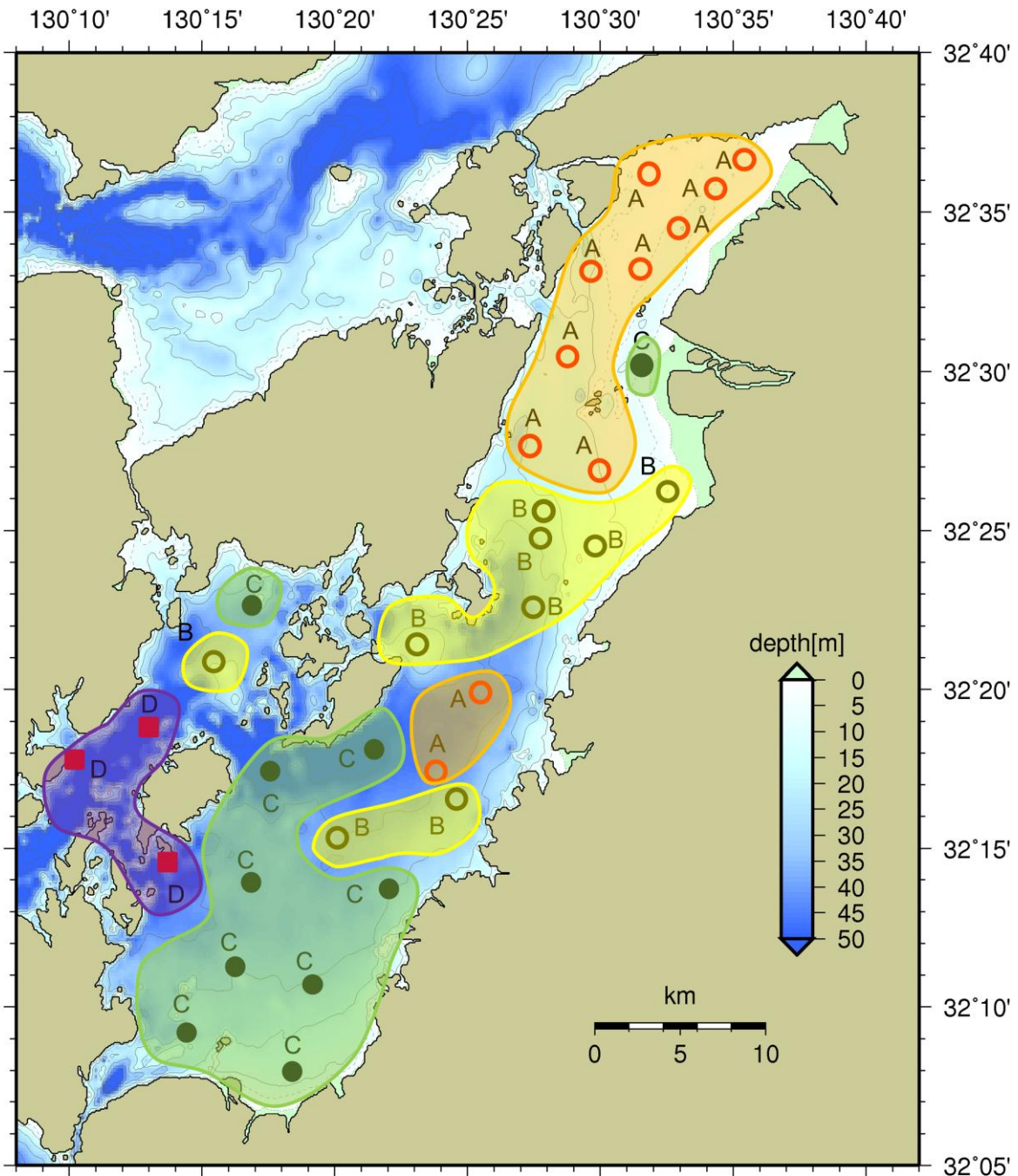
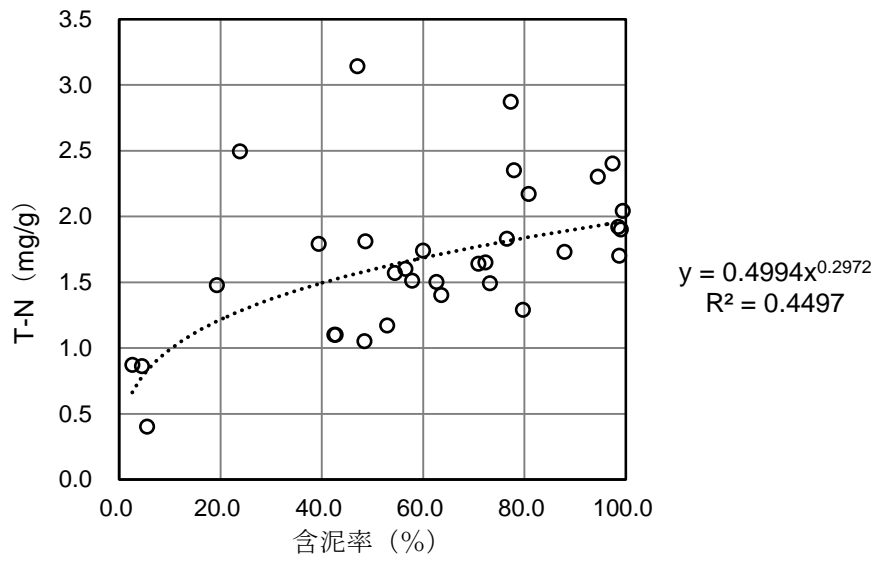


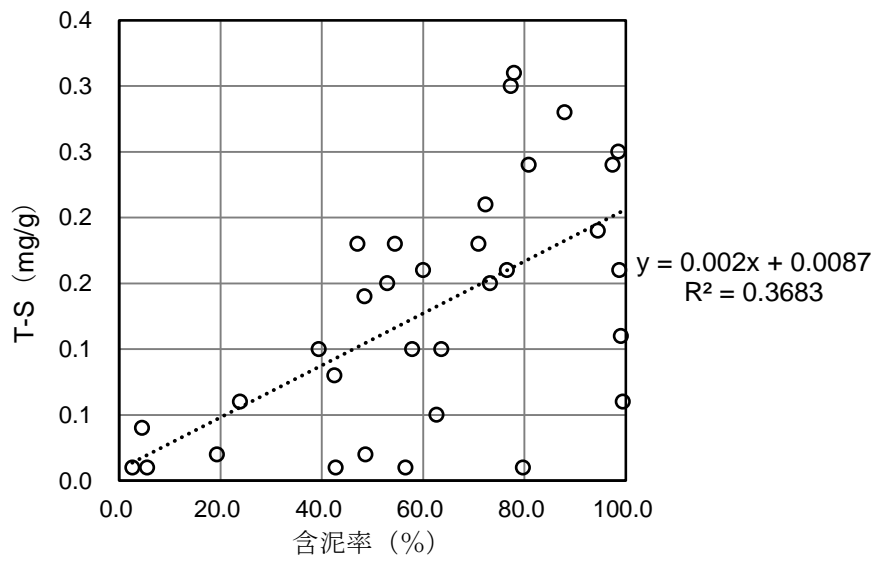
図 2.14 底質項目のクラスター分析による八代海の海域区分

表 2.9 八代海における海域区分毎の底質環境特性(平均値)

区分	地点数	含泥率		T-N		T-S	
	計(33地点)	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲
A	11	73.2	48.4~99.4	1.62	1.05~2.04	0.15	0.06~0.21
B	9	76.1	23.8~98.5	2.37	1.73~3.14	0.23	0.06~0.31
C	10	51.27	19.3~79.7	1.46	1.10~1.81	0.05	0.01~0.10
D	3	4.2	2.6~5.5	0.71	0.40~0.87	0.02	0.01~0.04



(1) 含泥率と T-N の関係



(2) 含泥率と T-S の関係

図 2.15 底質項目間の関係(含泥率と T-N・T-S)

2.4.2 底生生物からみた環境特性

(1) 有明海

図 2.12 に示した細区分毎に底質環境特性と底生生物分布を整理した。結果を表 2.10 に示す。また、この表に基づき底質環境特性と底生生物分布関連性のまとめを図 2.16 に示した。

この図における(a)含泥率と(b)4 門種数の対称的な傾向が、有明海における底質環境特性と底生生物分布特性との関連性を示している。

- (a) 図 2.11 に示したように、全体的には含泥率が高くなるにつれて有機物・硫化物が増加しており、含泥率が高いと底質環境の悪化が進んでいる、と考えられる。海域区分と細区分では、含泥率の変化に伴う底質環境の悪化は、A(砂)の細区分→B(砂泥)の細区分→C(泥砂)の細区分→D(泥)の細区分の順で進んでいる、と考えられる。
- (b) 4 門種数は、A(砂)の細区分と B(砂泥)の細区分に比べて、C(泥砂)の細区分と D(泥)の細区分で減少していた。
- (d) 4 門個体数においても、単一種の大量発生の影響が大きく現れている D1、D3 などの細区分を除外すると、同様の傾向がみられた。

また、

- (c) 門別種数については、泥化に伴う環形動物、棘皮動物等などでの減少傾向は 4 門種数と類似したが、軟体動物に限っては細区分に関係なく(底質環境の悪化の度合いに関係なく)出現した。これは、シズクガイ、チョノハナガイ等の有機汚濁指標種が C(泥砂)、D(泥)の細区分で頻繁に出現したためであった。
- (e) Shannon-Wiener の多様度指数については、泥化の度合いが大きいと小さくなり、種の多様性が低下する傾向がみられたものの、種数や個体数ほど明瞭に現れなかった。

これらから、底質の含泥率が高くなるにつれて有機物・硫化物が増加し、底生生物の種数と個体数の減少に直接的な影響を与えている、と考えられた。

*本節は、「園田吉弘，学位論文 有明海海域の水質・底質と底生生物の分布特性—物理・化学及び生態学的視点からの研究—，熊本大学大学院自然科学研究科，平成 23 年 2 月 8 日」から引用した。

表 2.10 細区分された海域区分毎の底質環境と底生生物の出現状況

細区分	底質名	含泥率 %	COD mg/g	強熱減量 %	全窒素 mg/g	全リン mg/g	全硫化物 mg/g	環形動物種数 種	節足動物種数 種	棘皮動物種数 種	軟体動物種数 種	総種数 種	総個体数 個体	出現割合が全体の 50%以上の種	出現割合が全体の 30%以上の種	多様度指数	水深 (m) T. P	地形及び 流れの特徴
A1	砂	19.2	4.60	4.10	0.40	0.43	0.05	12	9	6	1	28	407	ドロクダムシ		2.77	6~12	野崎ノ州（海底砂州）周辺
A3	砂	20.2	4.83	4.73	0.44	0.56	0.03	13	4	4	3	23	82		イカリナマコ	3.70	24~26	強い潮汐残差流
A4	砂	27.0	6.00	6.20	0.73	0.50	0.12	9	2	4	1	16	45	フツウギボシイソメ		3.20	25~39	海底谷，南下する強い潮汐残差流
FA1	砂	15.1	4.70	3.85	0.32	0.44	0.08	9	1	0	2	12	49			3.23	2~10	筑後川デルタ外縁
B1	砂泥	41.5	7.97	7.51	0.84	0.59	0.25	7	1	3	1	12	67	カキクモヒトデ	イカリナマコ科	2.65	11~17	
B2	砂泥	36.8	7.00	5.40	0.92	0.32	0.08	9	1	4	5	18	89		ヤマホトトギス	3.22	12~24	
B3	砂泥	36.7	7.10	6.53	0.67	0.50	0.15	14	2	5	1	21	68			3.99	4~9	
B7	砂泥	39.0	9.05	8.40	1.03	0.60	0.19	12	4	4	1	21	84		スナクモヒトデ科	3.56	30~50	
B8	砂泥	36.6	5.15	3.55	0.55	0.40	0.06	9	4	2	3	17	97		シズクガイ モロテゴカイ	3.00	5~8	
FB1	砂泥	29.2	6.20	4.90	0.51	0.41	0.20	15	3	2	2	22	107	ダルマゴカイ		2.76	3~15	蜂ノ州（海底砂州）周辺
C2	泥砂	62.8	12.00	7.60	0.49	0.48	0.14	3	1	1	1	6	9		シズクガイ	2.65	10	
C3	泥砂	64.1	8.95	6.05	0.93	0.43	0.09	4	2	1	3	10	15			3.36	11~15	
SC1	泥砂	59.6	10.00	7.10	1.30	0.54	0.14	7	5	2	4	18	69		シズクガイ	2.95	6~20	
D1	泥	86.9	18.00	9.75	1.70	0.63	0.24	5	3	0	4	11	371	チヨノハナガイ	ヒメカノコアサリ	1.46	5~23	塩田川沖海底水道南部
D2	泥	90.2	12.00	10.00	1.60	0.69	0.91	4	0	0	0	4	5			2.32	12~17	
D3	泥	75.6	15.00	9.80	1.85	0.74	0.20	6	1	1	3	11	124	ダルマゴカイ	シズクガイ	2.00	6~10	
D4	泥	91.1	13.75	11.50	1.78	0.70	0.36	7	1	1	2	11	22			3.29	4~12	熊本市沖平坦面，潮汐残差流の循環流
FD1	泥	95.5	16.00	11.00	1.50	0.72	0.51	7	1	1	2	11	35			2.84	0~12	筑後川沖東海底水道

底質・底生生物調査の調査年月：2005年6~8月，2006年6~8月，2007年8月 採集面積0.16m²あたり

底質項目，底生生物項目の値：各細区分に含まれる調査地点の値の平均値

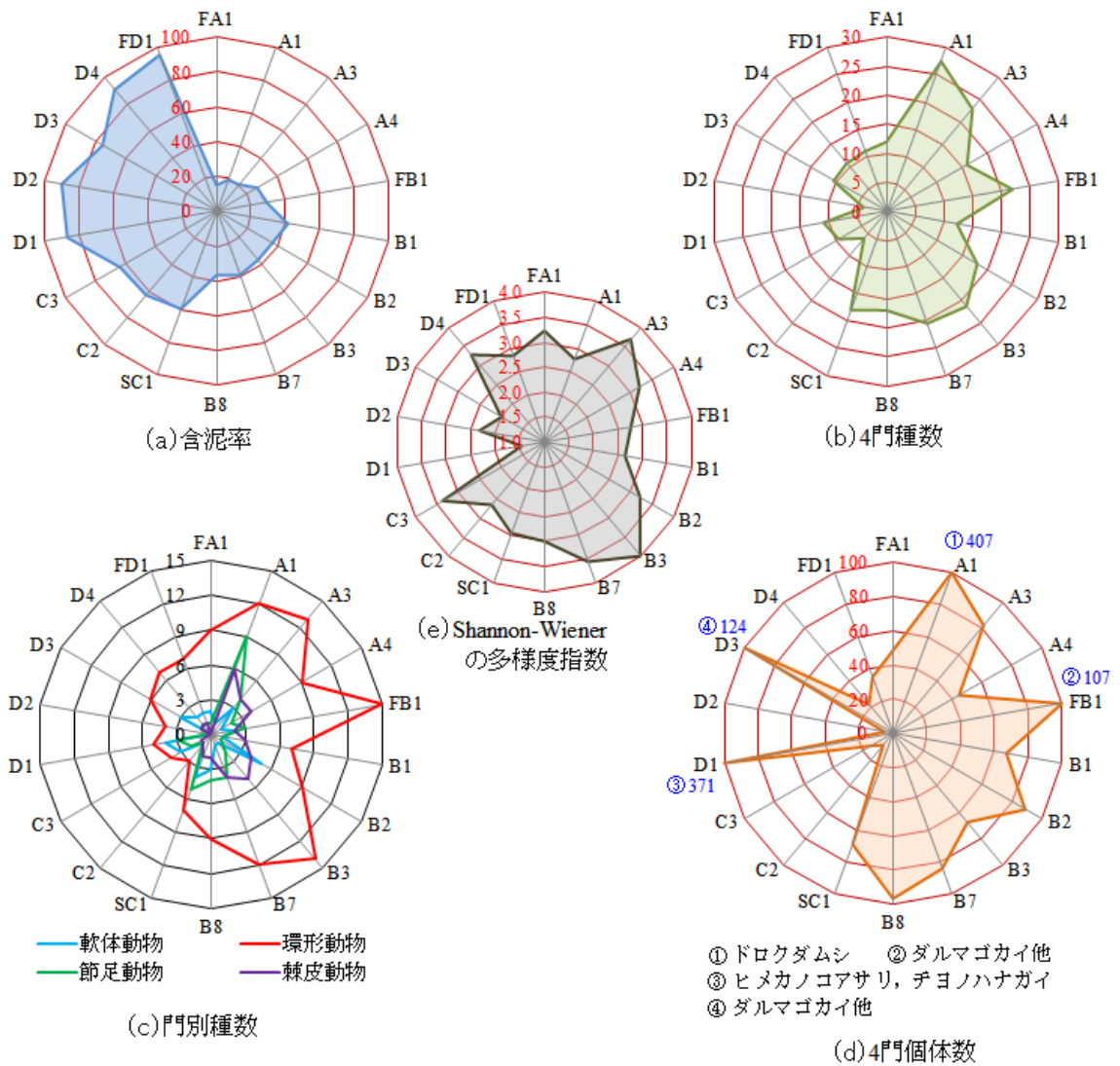


図 2.16 底質環境特性と底生生物分布(0.16m²あたり:2005~2007年)

(2) 八代海

底生生物の生息環境からみた各海域の環境特性については

取りまとめ作業中

2.4.3 水質環境からみた環境特性

(1) 有明海

水質も前節の底質と同様にクラスター分析を行うと、図 2.17 に示すように 8 グループに区分することができる。

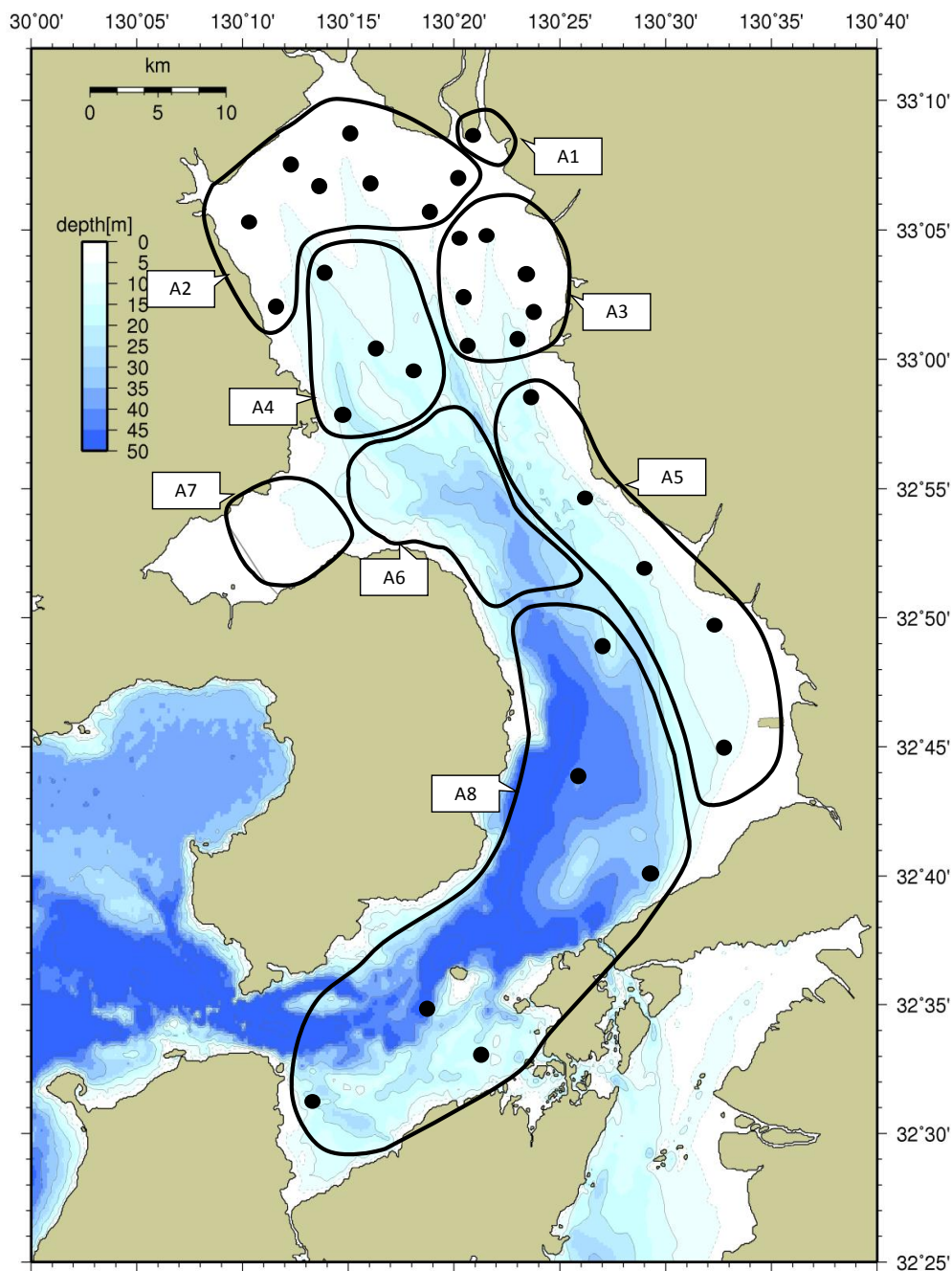


図 2.17 水質項目のクラスター分析による有明海の海域区分
(水深 5m 層、1987/4～2004/3)

*本節は「滝川清(2013)有明海・八代海再生のシナリオ、平成 25 年度熊本大学公開講座「有明海・八代海を科学する」平成 25 年 10 月 16 日講演資料」より作成した。

また、図 2.18 に、海域区分ごとの水質項目の年変動を示した。各海域の水質環境特性をみると、

- (a) 水温が最も高くなるのは 8 月で湾奥の海域 A1 で 27.7°C、湾央・湾口の海域 A8 で 26.0°C であり、最も低くなるのは 1~2 月で湾奥の海域 A1 で 8.6°C、湾央・湾口の海域 A8 で 11.9°C である。
- (b) 塩分は、筑後川からの流入がピークになる梅雨の 7 月に最も低下し、特に湾奥の筑後川前面の海域 A1 では 21‰ まで低下する。
- (c) 透明度は、湾央・湾口の海域 A8 を除き季節変動はあまりみられない。海域区分の中で最も透明度が高い湾奥・湾口の海域 A8 では夏季~秋季に低く、冬季~春季に高くなり、最も高いのは 2 月の 7.2m である。
- (d) DO は、湾奥北部の海域 A2 の 7 月に 4.7 μ mol/l、8 月に 5.3 μ mol/l まで低下する。また、海域 A1、A3 及び A4 でも 7 月~9 月にかけて低下しており、夏季における湾奥海域での貧酸素~低酸素化に対応している。
- (e) COD は湾央・湾口の海域 A5、A8 が湾奥の海域 A1~A4 より低く、年間を通して 1.0 μ mol/l 以下である。
- (f) DIN は、筑後川前面の海域 A1 で高く、A1 > A2 > A3 > A4 > A5 > A6 の順に低下しており、筑後川から流入した高濃度の DIN が筑後川前面の海域 A1 から湾口側の海域 A8 に向かって次第に拡散する。
- (g) PO4-P は、湾奥の海域 A2、A4 が高く、その年間変動は冬季から春季にかけて低濃度となり、夏季から秋季にかけて高濃度になる。
- (h) 潮汐の年間変動において月平均潮位が低くなって干潟干出面積の広がる時期と前述の PO4-P の濃度が低濃度になる時期は、ほぼ一致する。

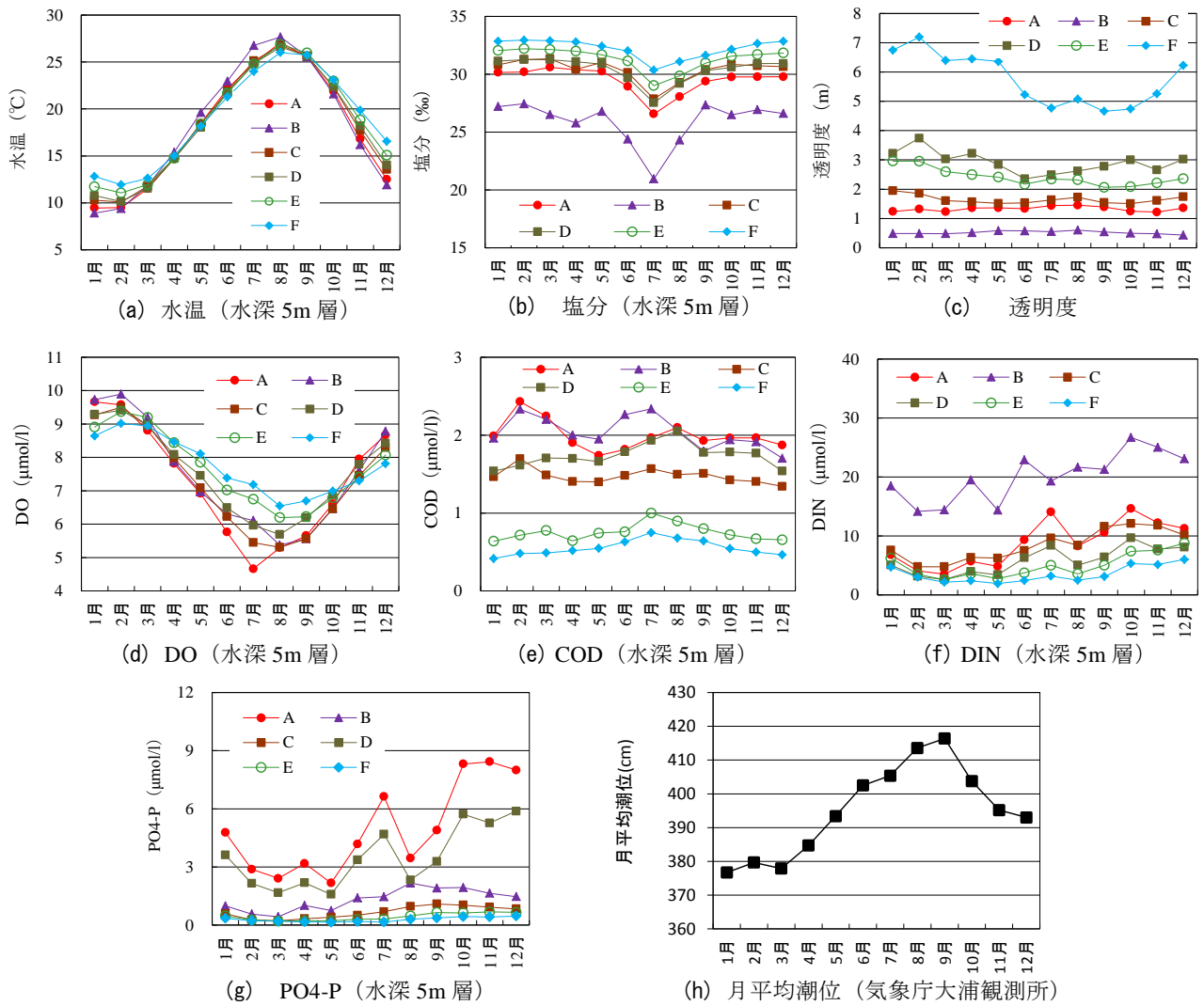


図 2.18 海域区分毎の水質項目の月平均値(1987/4~2005/3 の月平均値) 及び月平均潮位(2005/1~2009/12 の月平均値)の年変動特性

(2) 八代海

水質項目のクラスター分析により、図 2.17 に示すような 5 グループに区分することができる。

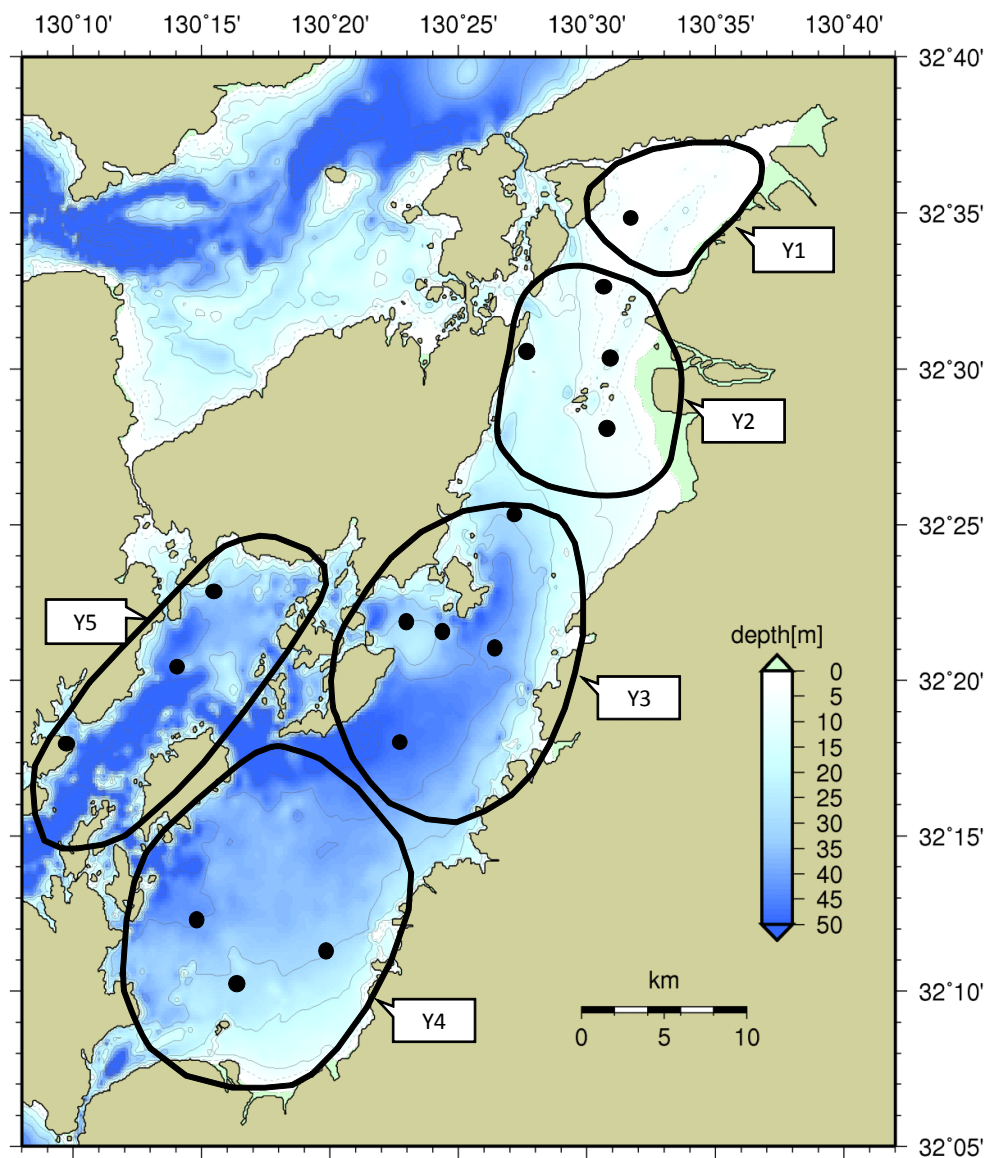


図 2.19 水質項目のクラスター分析による八代海の海域区分

水質環境からみた各海域の環境特性については

取りまとめ作業中

*本節は、「園田・滝川ら(2013)有明・八代海海域における海水温変動と底生生物群集の応答特性、第 60 回海岸工学講演会資料」より作成した。