

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  
環 境 特 性 の 把 握 ( 1 )  
－ 検 討 の 進 め 方 －

〔目 次〕

1 再生方策の検討.....	1
1.1 再生方策の考え方.....	1
1.2 順応的管理の視点からの再生技術体系.....	1
1.3 本業務における再生方策の検討方針.....	5
2 環境特性の解析手法について.....	6
2.1 クラスタ分析 <sup>1)</sup> .....	6
2.2 クラスタ解析例－底質－.....	9



## 1 再生方策の検討

### 1.1 再生方策の考え方<sup>1</sup>

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。

### 1.2 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<sup>1</sup>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。

先に示したように、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・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。

全体目標の「有明・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」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。

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、

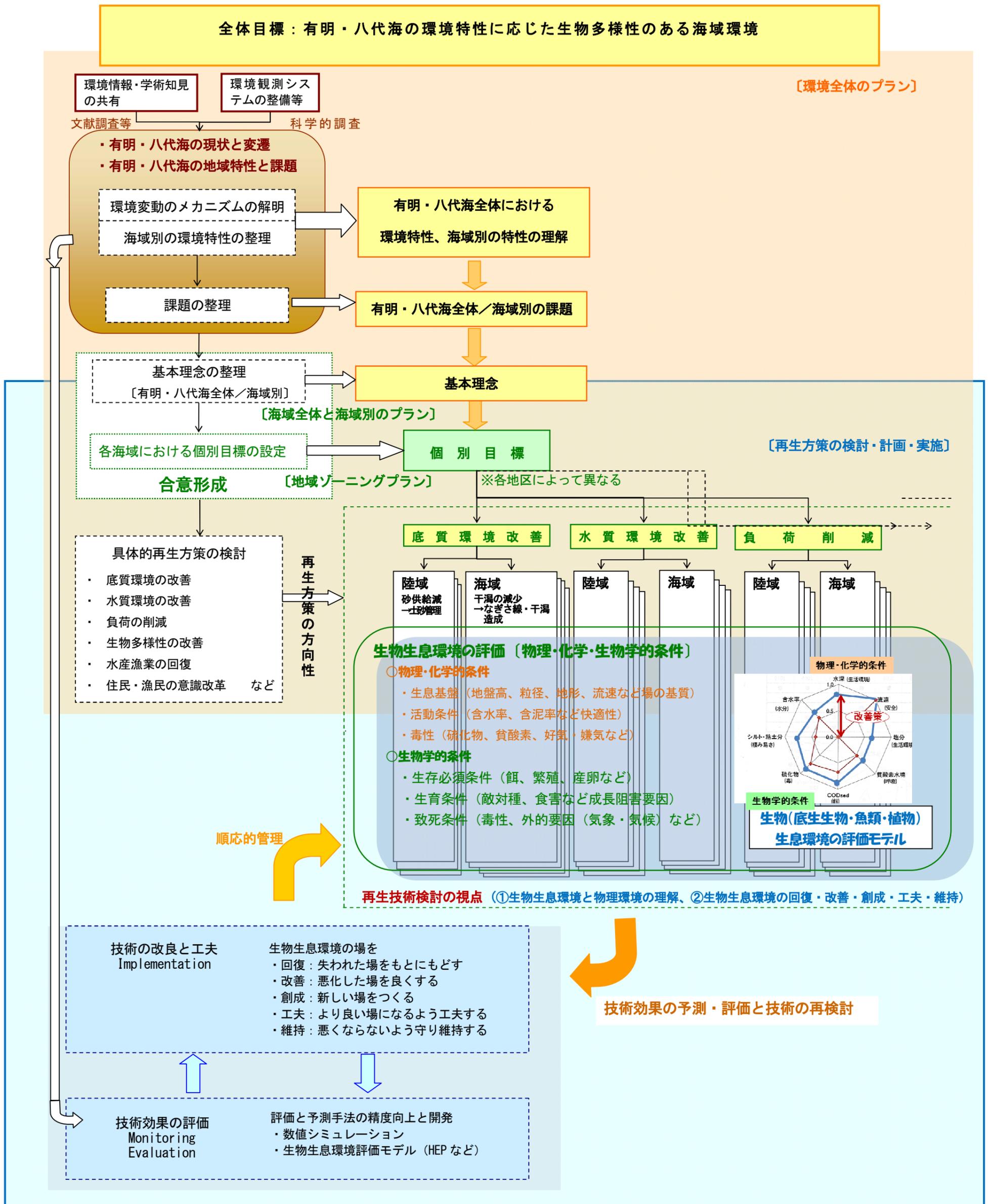
- 第一に「有明・八代海全体における環境特性、海域別の特性を理解」し、これらが抱える「課題を整理」することが必要である。
- 第二に、整理した課題から有明・八代海全体、海域別の全体目標を達成するための「基本理念」を設定し、これらを基に、海域全体や各海域における「個別目標」を決める。

---

<sup>1</sup>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

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。



※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 ―有明海を例に一、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)



### 1.3 本業務における再生方策の検討方針

有明・八代海の環境変化について、環境省に設置された「有明海・八代海総合調査評価委員会」において議論され、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・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、底質およびこれらの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、底質およびこれらの間の物理的・化学的・生物的物质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・八代海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

## 2 環境特性の解析手法について

### 2.1 クラスタ分析<sup>1)</sup>

クラスタ分析は、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の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。クラスタ分析には表 2.1 に示すとおり、数多くの方法があるが、ウォード法は連鎖<sup>注1)</sup>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、本検討では、クラスタ化法（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<sup>注2)</sup>を用いた。

表 2.1 各クラスタ化法の特徴

名称	特徴	短所
群平均法	<ul style="list-style-type: none"> <li>最も代表的な手法である。</li> <li>クラスタ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。</li> <li>最短距離法と最長距離法の中間的性質を持つ。</li> </ul>	
ウォード法	<ul style="list-style-type: none"> <li>クラスタ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。</li> <li>ある1つのクラスタに対象が順に1つずつ吸収されてクラスタが形成されていく現象（連鎖）が起きにくい。</li> </ul>	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"> <li>各方法を統一的に扱う方法。</li> <li>パラメータの変更でどの方法にもなる。</li> </ul>	
最短距離法	<ul style="list-style-type: none"> <li>最も類似性の高い（距離が近い）対の類似度により決まる。</li> <li>間隔尺度、順序尺度どちらにも使える。</li> <li>一つの大きなクラスタを作る傾向がある。</li> </ul>	連鎖が起きやすい。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"> <li>最も類似性の低い（距離が遠い）対の類似度により決まる。</li> <li>間隔尺度、順序尺度どちらにも使える。</li> </ul>	

注1) クラスタ分析の過程において、近い対象を含むクラスタが次々と統合して長い帯状のクラスタができること。

注2)  $n$  個の個体において  $p$  個の変数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、平方ユークリッド距離は次式で表される。

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

1) 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

階層的分類法は凝集型と分岐型があるが、本検討では凝集型(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」をベースとしている<sup>22)</sup>。

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ている。標準化の計算方法は最も一般的な平均0、標準偏差1とする計算としている<sup>22)</sup>。

図 2.1に、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デンドログラムを示した。



図 2.1 デンドログラム

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、いくつかのクラスターに分類されるのが変わってくる。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。研究の目的を踏まえ「良い解釈が得られそうな水準」でクラスター数を決定する。クラスター数の判断の目安として、

- 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<sup>2</sup> 近似値、部分的 R<sup>2</sup>、疑似 F 値、疑似 t<sup>2</sup> 値、CCC 基準) を勘案する。

ことなどが考えられる。

本検討では、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り変化する。この変化の過程の例を図 2.2 の一様性の推移に示した。

一様性の推移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 2.2 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が分かる。

- ・ **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。
- ・ **PSt<sup>2</sup>** (疑似 t<sup>2</sup> 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。

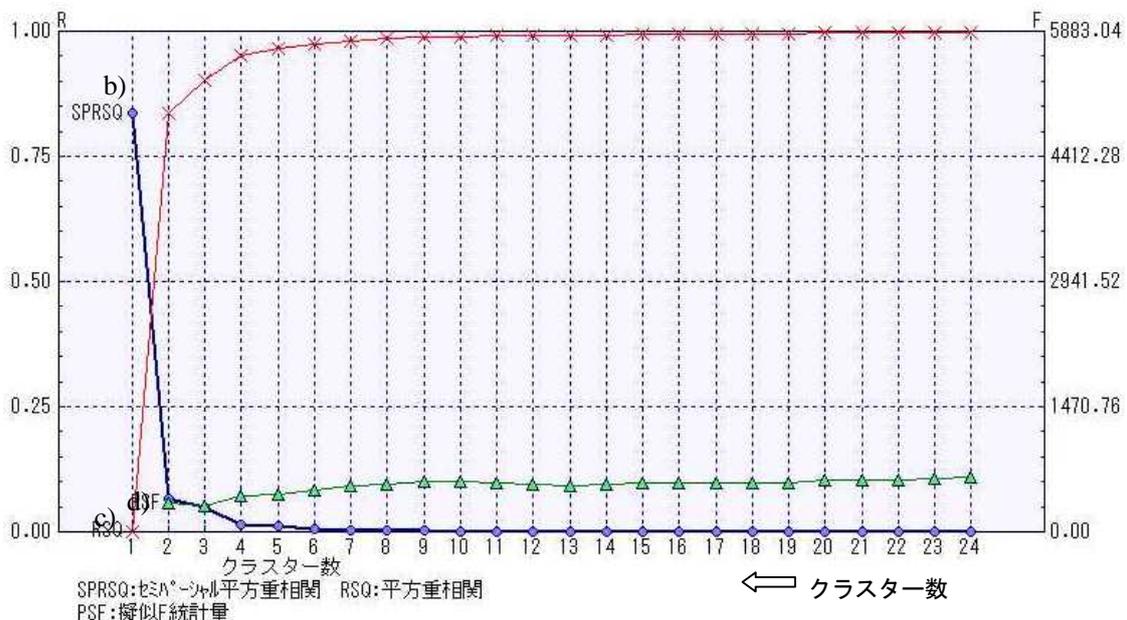


図 2.2 一様性の推移

## 2.2 クラスタ解析例－底質－

底質調査結果を用いたクラスタ解析の例を以下に示す。

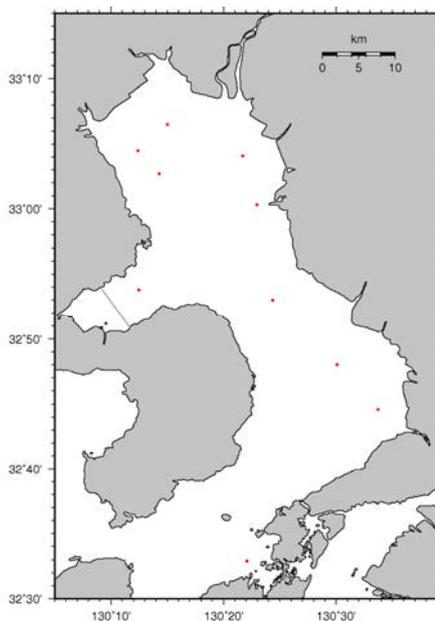
クラスタ解析は、原則として底質表層のシルト・粘土分、含水率、COD および硫化物のデータを用いた。クラスタ解析の対象データを表 2.2に、調査地点を図 2.3に示す。

表 2.2 対象データ

調査年度	月	粒度組成 (シルト・粘土分)	含水率	硫化物	COD
平成16年度	5	○	○	○	○
平成17年度	5	○	○	○	○
平成18年度	5	○	○	○	○
平成19年度	5	○	○	○	○
	6	○	○	○	—
	9	○	○	○	—
平成20年度	5	○	○	○	○
	11	○	○	○	○

(注) 表中の「—」は、調査データがないことを示す。

〔平成 16～18 年度、平成 20 年度調査地点〕



〔平成 19 年度調査地点〕

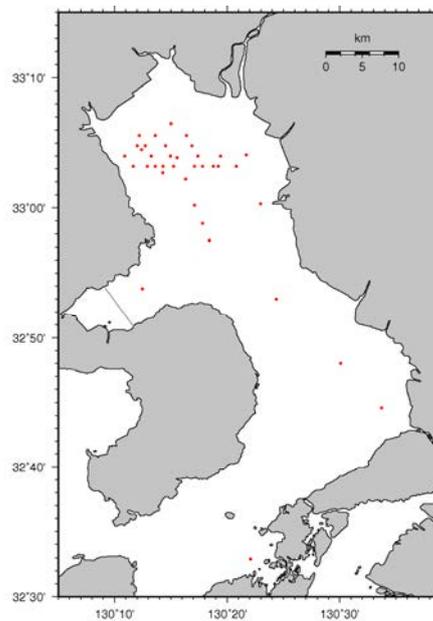
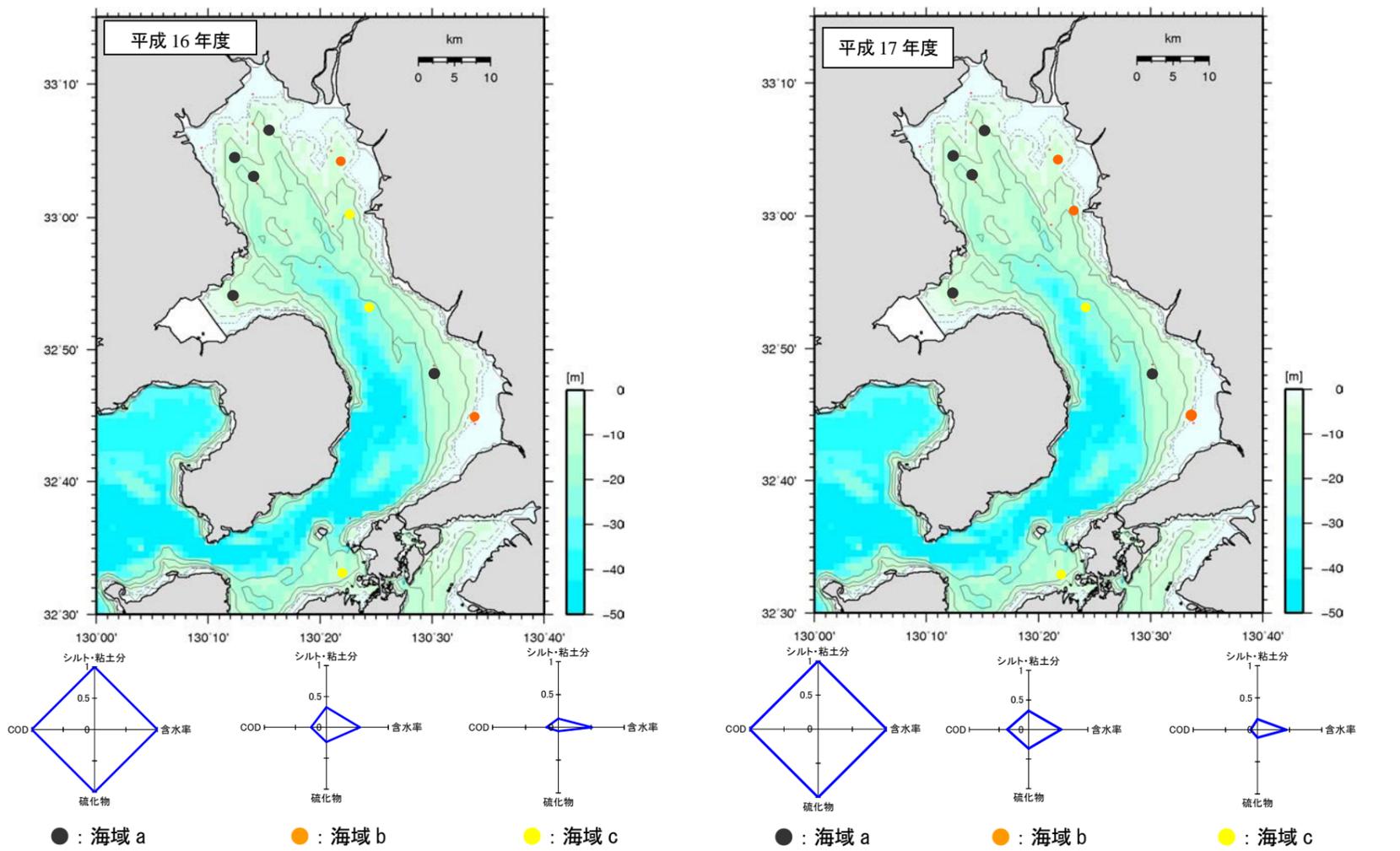


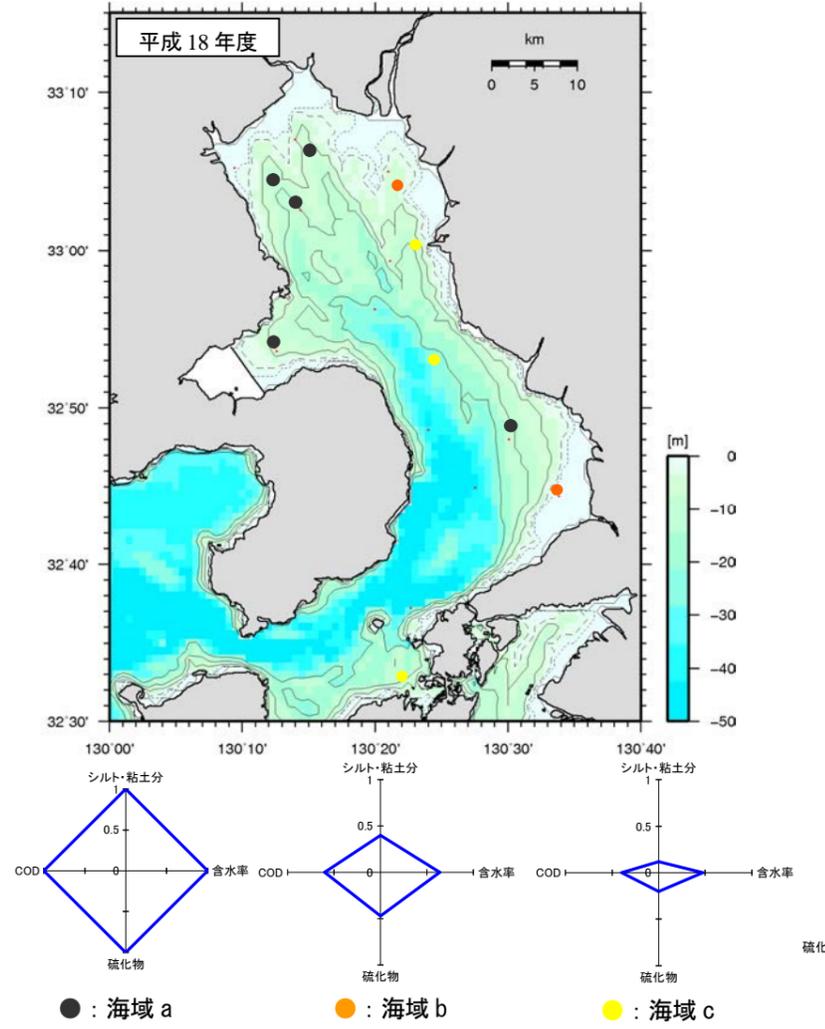
図 2.3 調査地点位置

クラスター解析は、まず、平成 16～20 年度の各年度別に行った。解析結果を図 2.4(1)~(2)に示す。結果をみると、有明海湾奥の西部では各年度ともにシルト・粘土分、含水率、COD および硫化物全ての項目が高い値を示しており、湾奥東部から湾央にかけてこれらの項目はやや低くなり、湾央から湾口にかけて最も低くなる傾向がみられている。平成 16～20 年度の 5 ヶ年度分全てのデータを用いて、同様にクラスター解析を行った結果も、各年度別の結果と同様となり、解析を行った 5 ヶ年は、有明海の底質の大きな変動はなかったものと思われる(気象イベント等による変動はあったと考えられるが、その影響は短期的であり、自然的外力によってもとの状態に戻っていると思われる)。

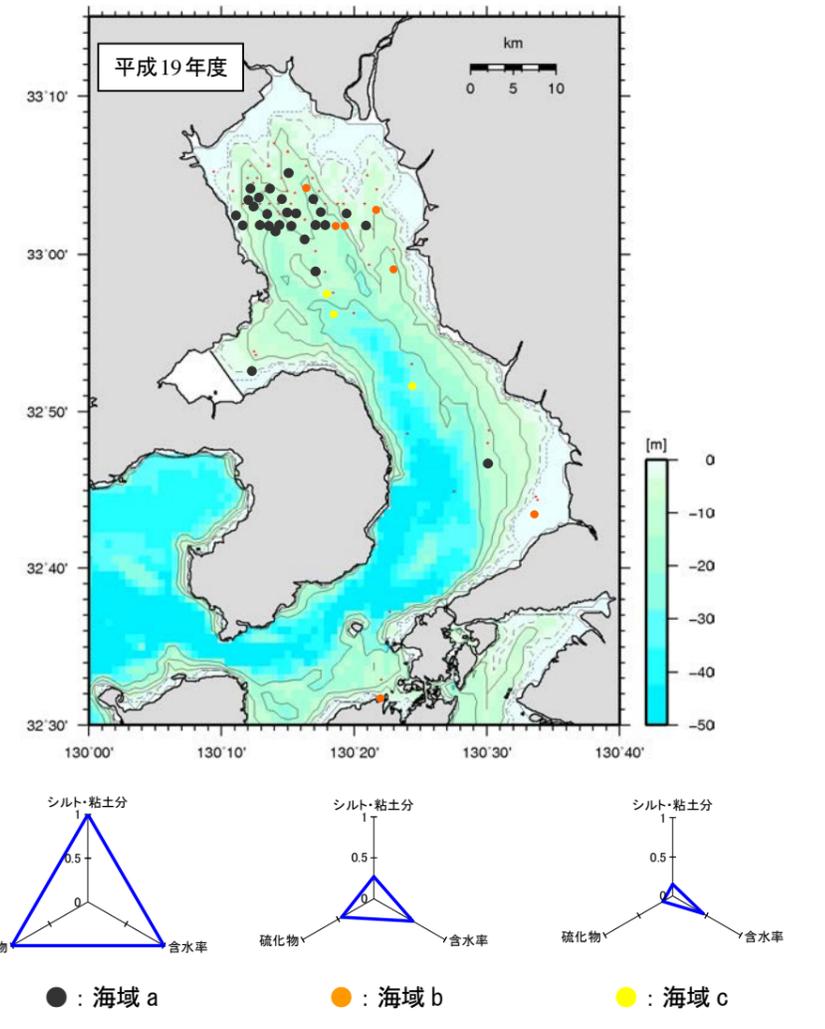


平成16年度	海域a			海域b			海域c		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
シルト・粘土分(%)	91.5	78.4	99.3	30.0	28.8	31.2	12.2	9.1	14.9
含水率(%)	62.4	52.0	69.4	33.8	29.2	38.4	31.8	29.2	33.8
硫化物(mg/g)	0.3	0.1	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
COD(mg/g)	24.8	18.0	31.0	6.1	5.3	6.9	4.6	2.9	5.6

平成17年度	海域a			海域b			海域c		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
シルト・粘土分(%)	88.9	74.1	97.2	28.4	24.1	31.6	14.6	13.3	15.8
含水率(%)	64.1	56.8	67.7	35.2	32.1	38.7	28.7	28.6	28.8
硫化物(mg/g)	0.4	0.3	0.5	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1
COD(mg/g)	15.0	13.0	18.0	5.4	4.2	6.5	1.6	1.1	2.1

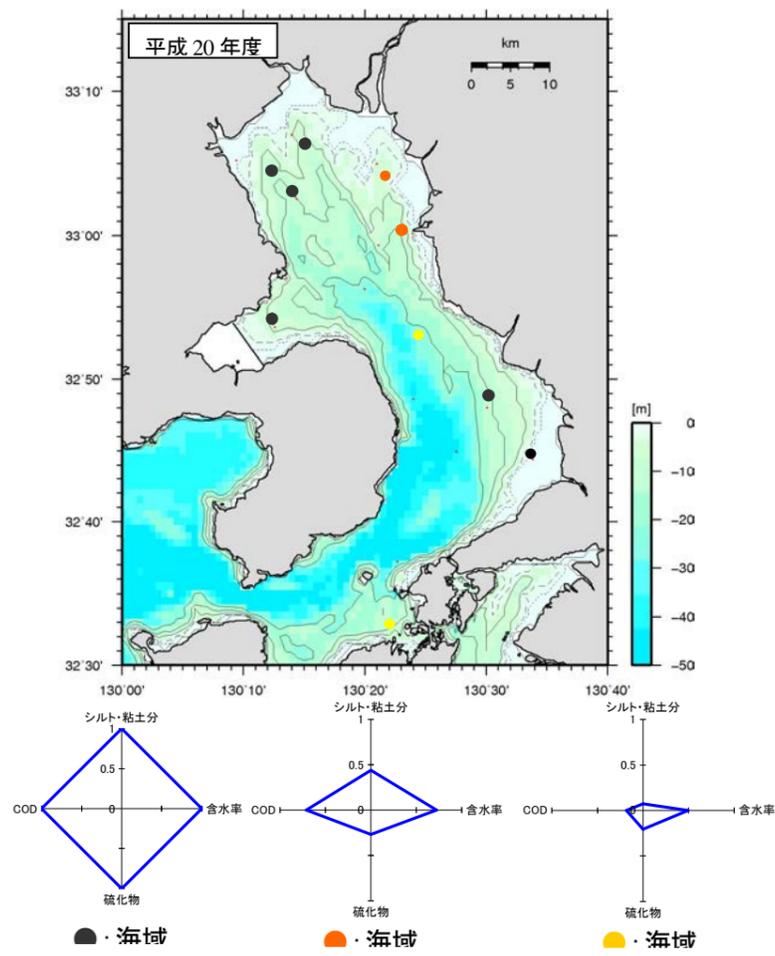


平成18年度	海域a			海域b			海域c		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
シルト・粘土分(%)	87.3	66.9	99.3	34.6	18.1	51.1	10.2	5.7	16.0
含水率(%)	59.5	51.8	67.1	38.0	23.3	52.6	28.2	22.2	32.5
硫化物(mg/g)	0.2	0.2	0.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
COD(mg/g)	8.6	7.0	10.0	5.2	2.7	7.7	3.4	1.3	4.7

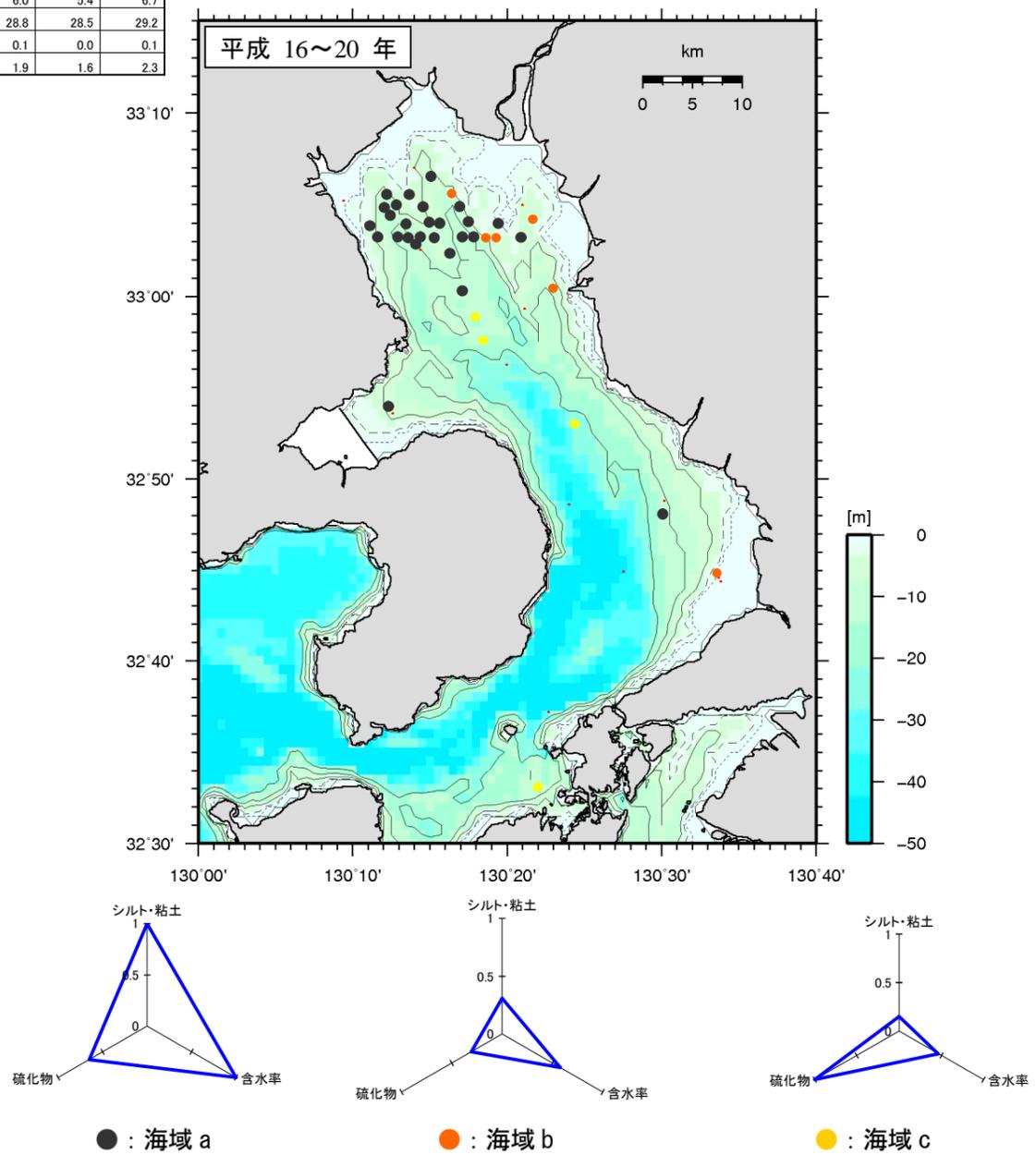


平成19年度	海域a			海域b			海域c		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
シルト・粘土分(%)	92.1	60.4	99.7	24.9	17.8	32.9	13.7	8.4	19.8
含水率(%)	68.1	52.1	77.0	37.5	28.3	47.6	30.8	23.6	41.2
硫化物(mg/g)	0.2	0.0	0.4	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1

図 2.4(1) クラスター解析結果



平成20年度	海域a			海域b			海域c		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
シルト・粘土分(%)	80.7	38.5	98.9	35.6	31.6	39.6	6.0	5.4	6.7
含水率(%)	58.5	33.3	69.6	42.4	41.5	43.3	28.8	28.5	29.2
硫化物(mg/g)	0.4	0.1	0.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
COD(mg/g)	10.4	6.0	13.9	7.4	7.4	7.4	1.9	1.6	2.3



平成16~20年度	海域a			海域b			海域c		
	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大
シルト・粘土分(%)	91.8	99.7	60.4	28.4	35.4	22.0	13.7	19.8	10.0
含水率(%)	68.1	77.0	52.1	39.6	47.6	29.9	31.6	41.2	26.7
硫化物(mg/g)	0.22	0.45	0.04	0.11	0.30	0.03	0.34	1.23	0.03

図 2.4 (2) クラスター解析結果