

## 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)。

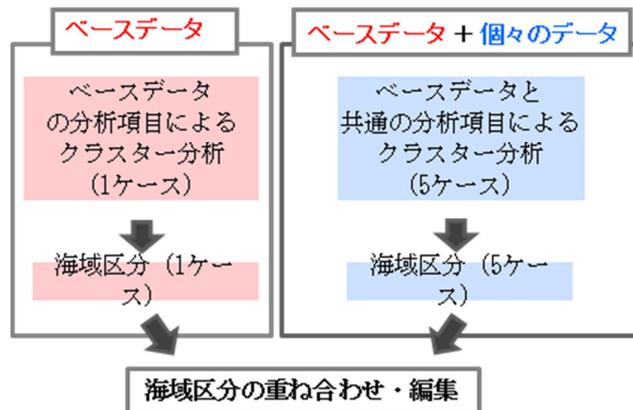


図 2.6 解析方法

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)。

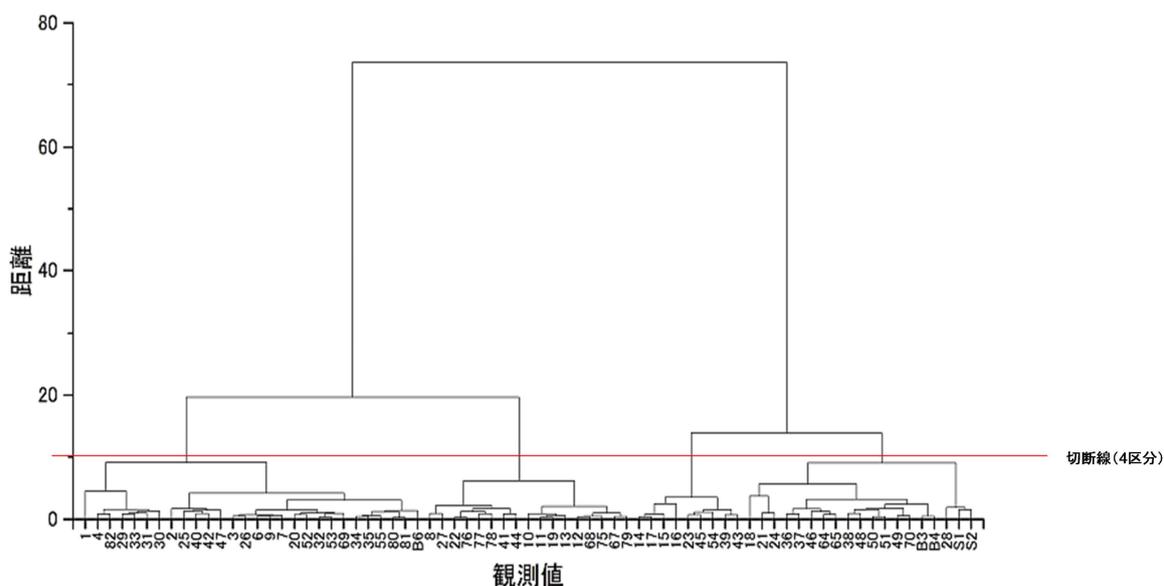


図 2.7 一様性の推移

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

以上からクラスター数の候補として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、ここではクラスター数を4に設定した。デンドログラムを図 2.8 に示す。

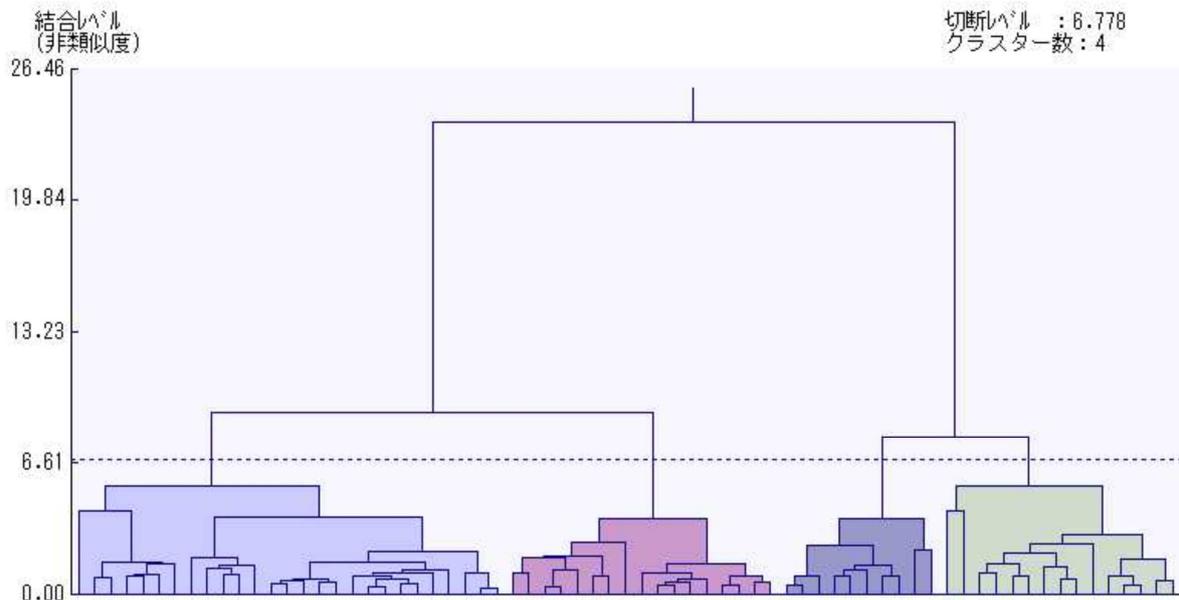


図 2.8 デンドログラム(ウォード法)と切断位置(破線)

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。



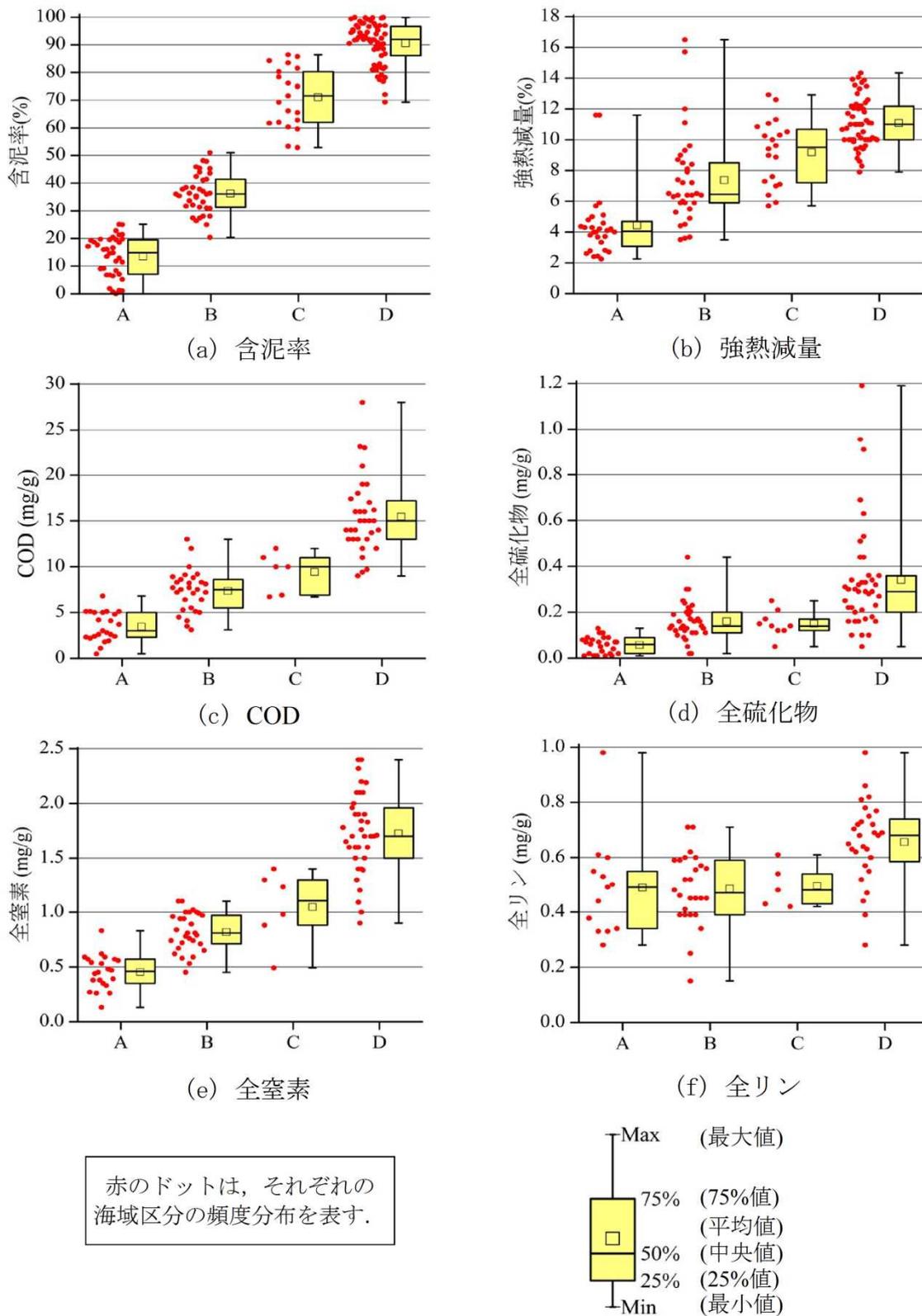


図 2.10 海域区分毎の底質項目の頻度分布特性(横軸:海域区分)

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。

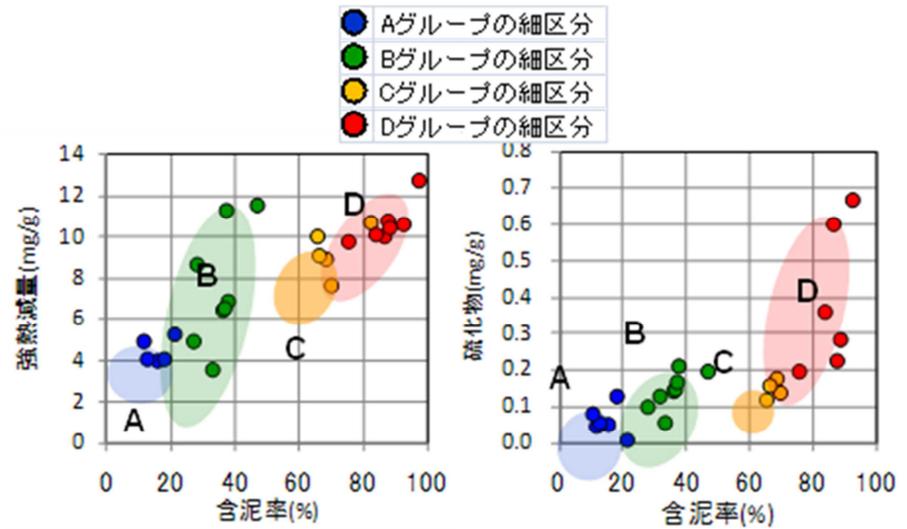


図 2.11 各海域区分の含泥率と強熱減量・硫化物の関係

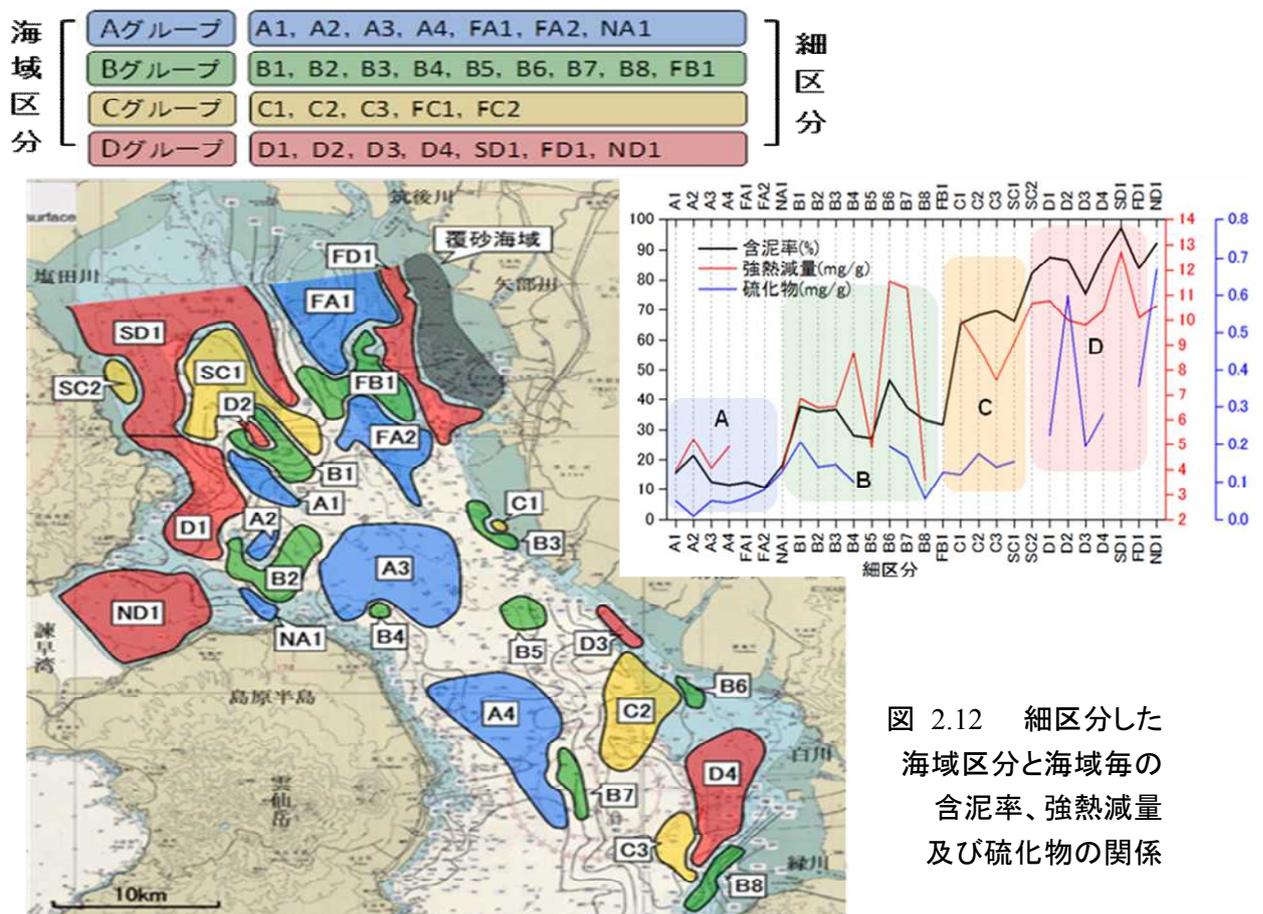


図 2.12 細区分した海域区分と海域毎の含泥率、強熱減量及び硫化物の関係

## (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。

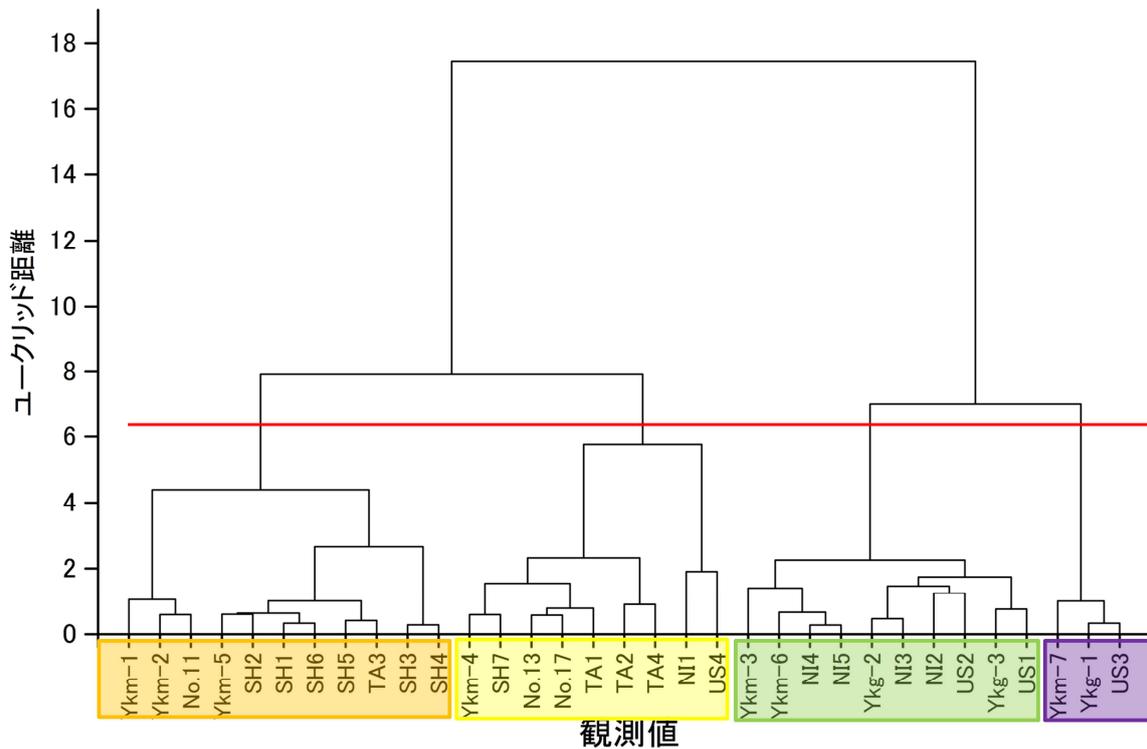


図 2.13 デンドログラム(ウォード法)と切断位置

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。

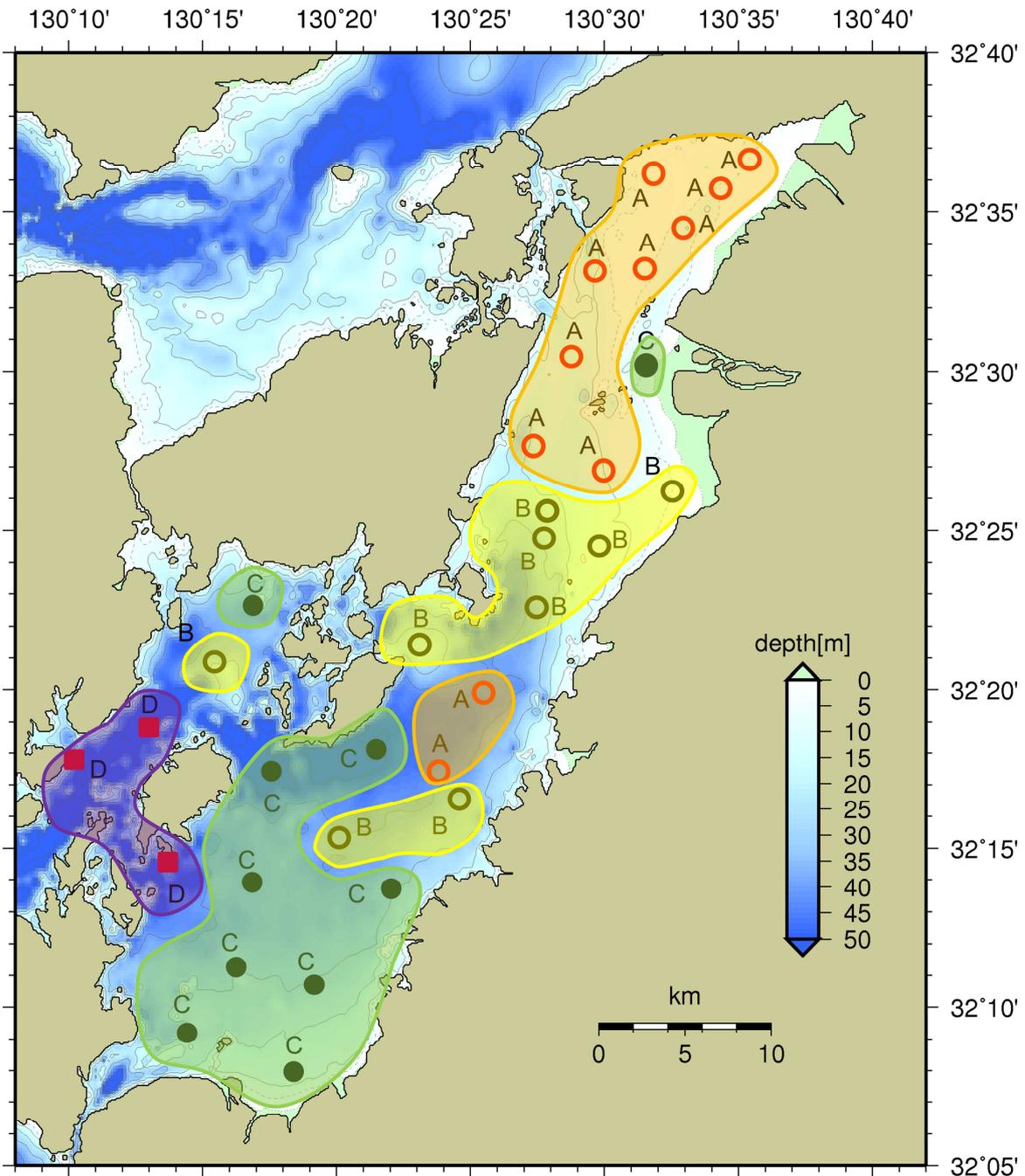
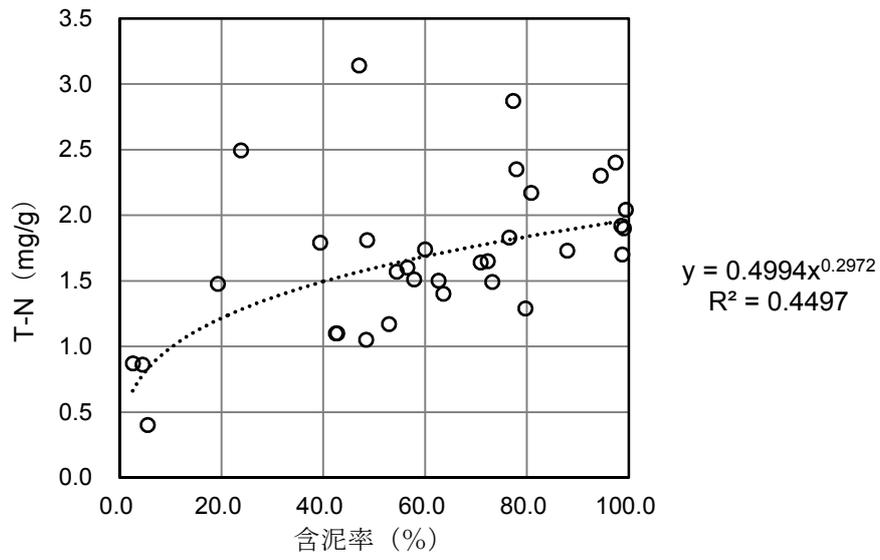


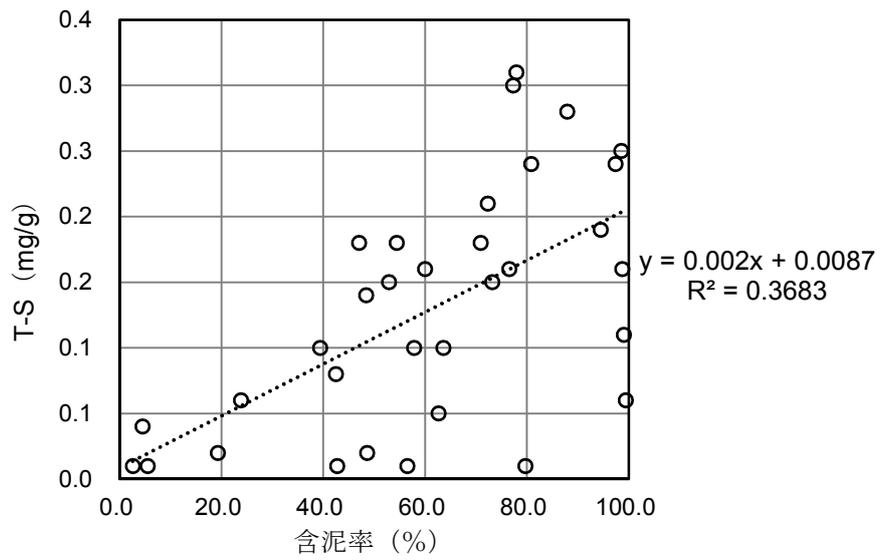
図 2.14 底質項目のクラスター分析による八代海の海域区分

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)の細区分の順に進んでいる、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0.16m<sup>2</sup>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

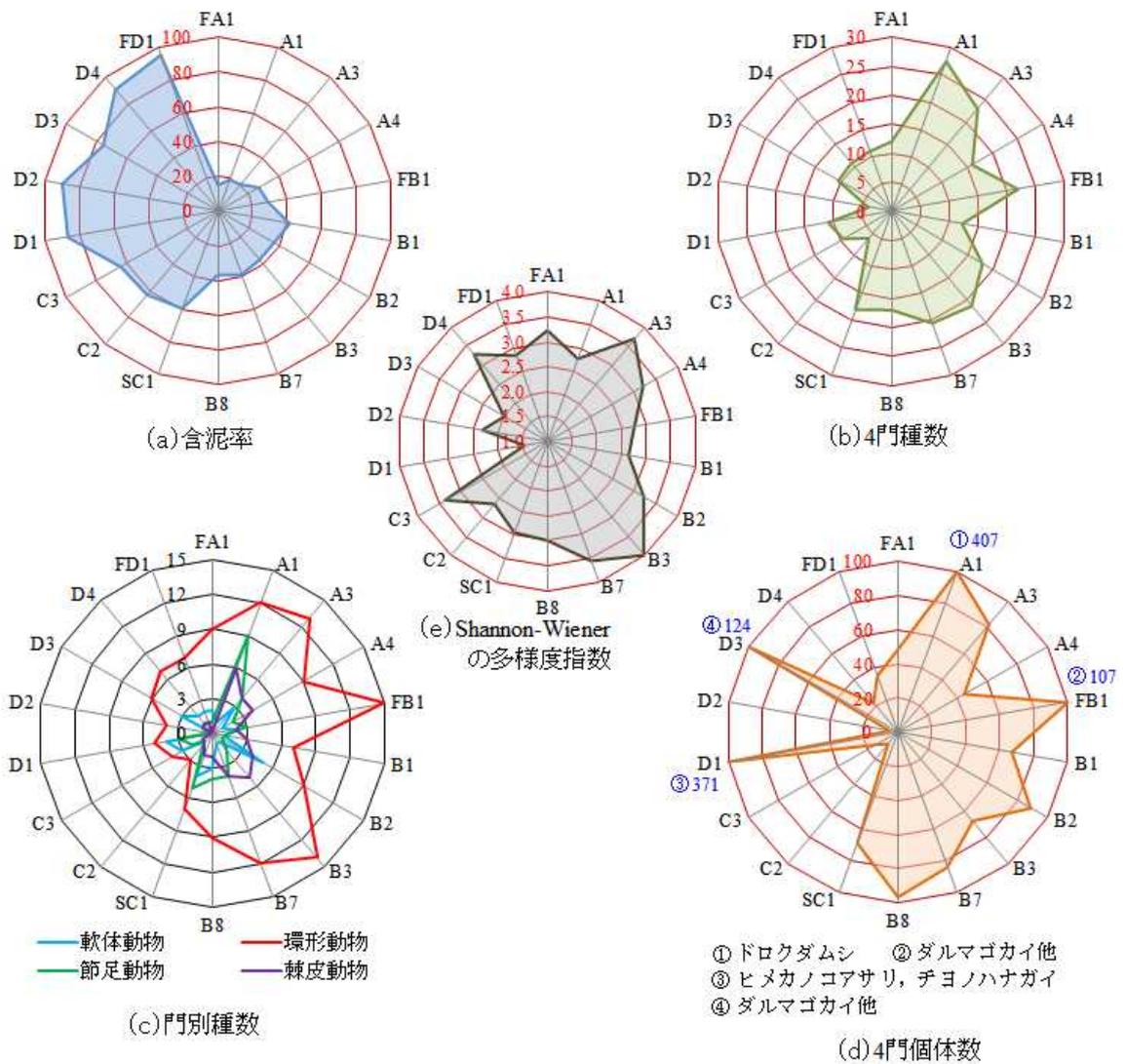


図 2.16 底質環境特性と底生生物分布(0.16m<sup>2</sup>あたり:2005~2007年)

(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。

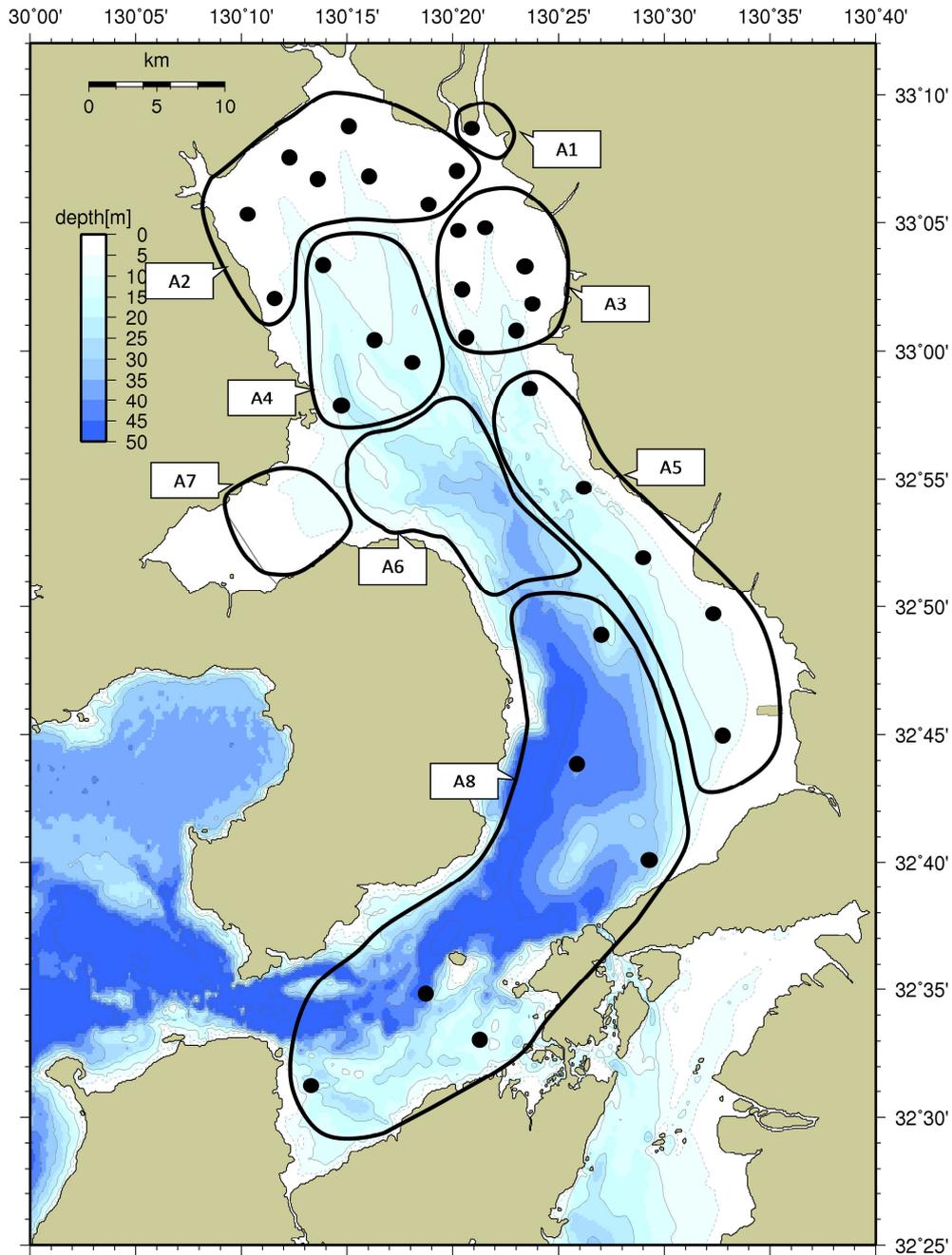


図 2.17 水質項目のクラスター分析による有明海の海域区分  
(水深 5m 層、1987/4～2004/3)

\*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  $\mu$  mol/l、8 月に 5.3  $\mu$  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  $\mu$  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。

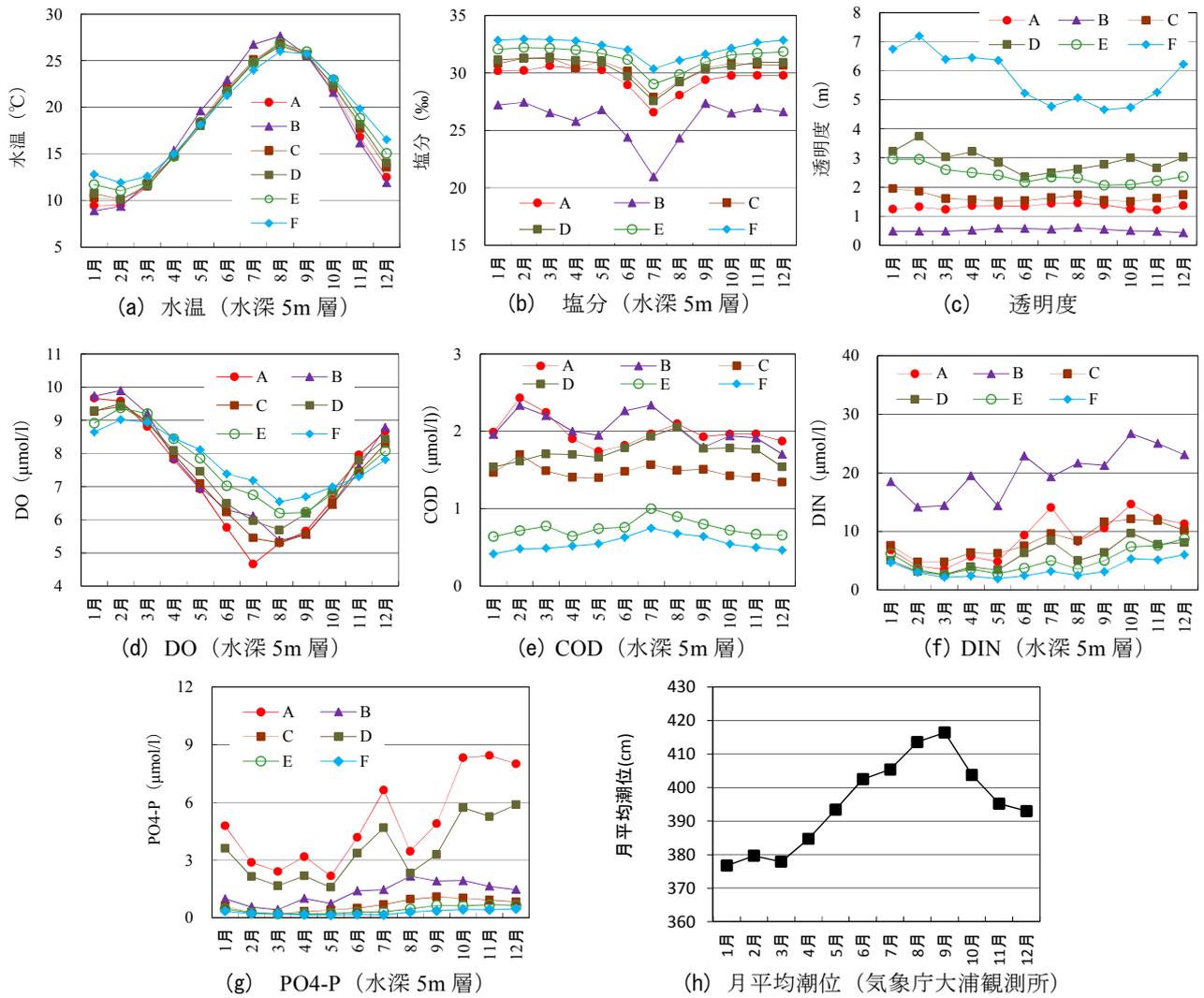


図 2.18 海域区分毎の水質項目の月平均値(1987/4~2005/3 の月平均値) 及び月平均潮位(2005/1~2009/12 の月平均値)の年変動特性

## (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。

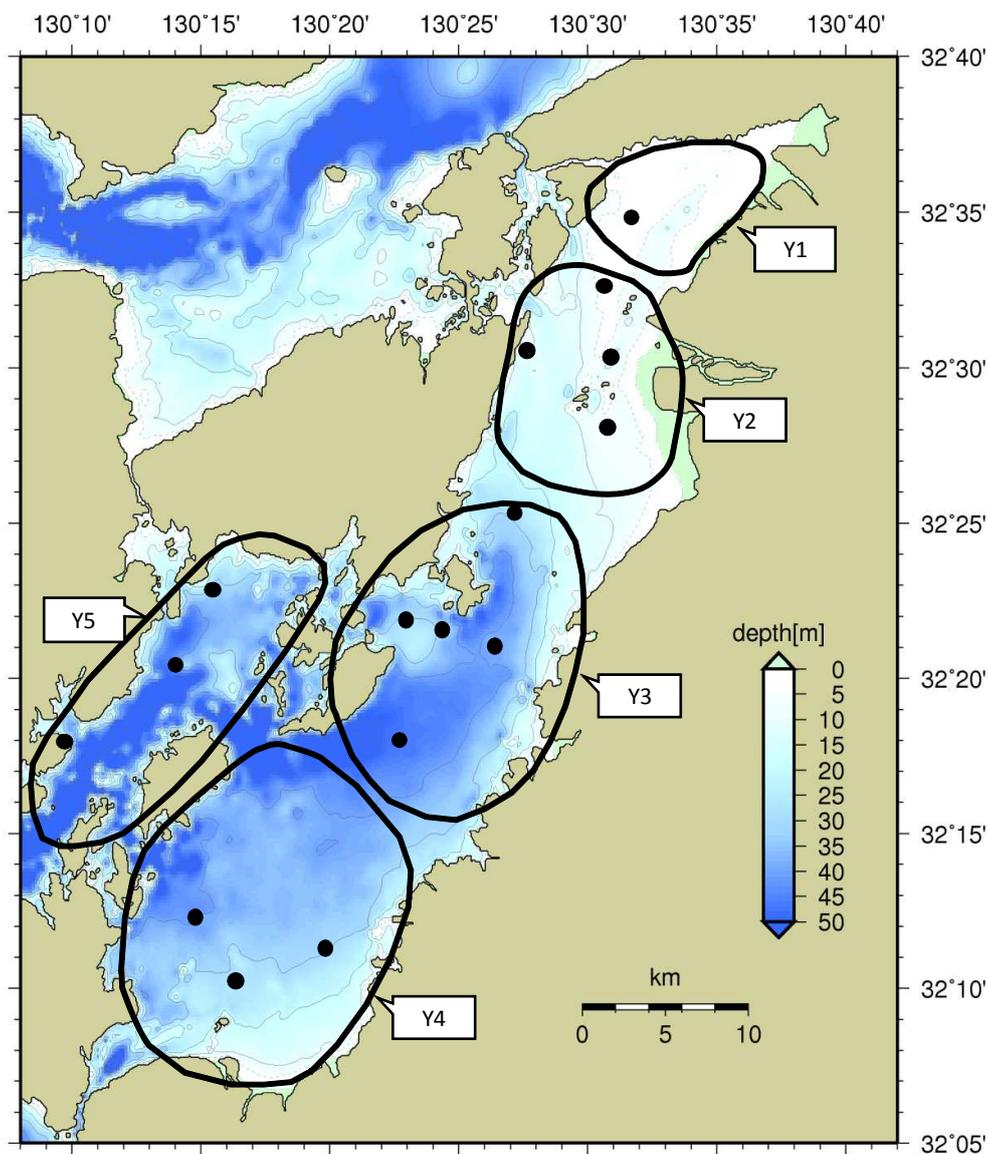


図 2.19 水質項目のクラスター分析による八代海の海域区分

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。