

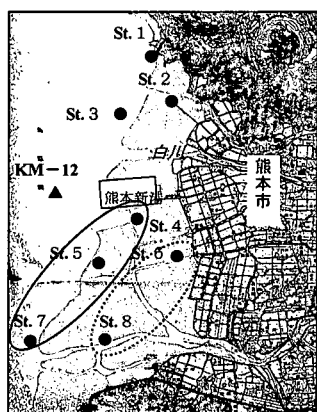
有明海の中部海域における環境変動の要因分析

滝川 清* ・田中健路**・外村隆臣***
吉村祥子****・古市正彦*****

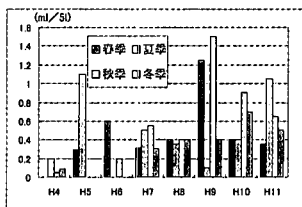
本研究では、近年顕著となってきた有明海の環境変化の要因分析を行なうにあたり、水質特性や底質特性、気象などの過去のデータから環境特性を把握するため分析と整理を行なった。その結果、底質の泥化による環形動物の増加や軟体動物の減少など底生生物の個体数の変化、降雨に伴う河川からの栄養塩流入と赤潮発生との相関、塩分・透明度など水質項目の季節変動がいくつかの海域グループに分類できることなどが明らかになった。また、水温・塩分濃度の水深方向分布調査から、干満差の大きい有明海でも夏季には密度成層が生じていることが明らかとなった。

1. はじめに

代表的な閉鎖性内湾である有明海は、生態系を含む物質循環の微妙なバランスによって形作られた独特の自然環境にある。全国の 49% にも達する我が国最大の干潟と湾奥部域の大きな干満差による強い潮流の効果、及び汚濁物質を凝集・沈殿させる浮遊底泥の効果などもあって、これまでは赤潮発生などの顕著な環境問題が表面化することは少なかった。しかし 1980 年代より、生息生物の種および数が減り始め、赤潮の発生、漁獲量の減少や水質の悪化などの環境悪化が顕著になって来ており、特に平成 12 年 7 月には「大量の赤潮発生」、平成 13 年 1 月には「ノリの色落ち」により沿岸 4 県の漁業に莫大な被害が生じている。本研究ではこのような有明海域の環境悪化の原因解明にあたって、過去約 25 年間の有明海域の生物・水質・底質・気象特性などの現地観測データの経年変化記録から、有明海の環境変動特性を把握することを目的とし分析を行なった。



図一 熊本港周辺干潟生物調査地点



図二 プランクトン沈殿量 (St. 6)

2. 熊本港周辺海域の環境変動特性

熊本港周辺海域干潟生物調査データ分析報告書（熊本県港湾課, 2001. 3）をもとに、この海域の海域環境特性を調べた。調査地点は図一に示す 8 つの地点で、おおよそ昭和 51 年から平成 11 までの 25 年間の調査データである。調査項目は、水質（水温、塩分、pH、COD、DO、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、DIN、SS）、底質（粒度組成、強熱減量、硫化物、COD）、プランクトン（沈殿量）、ベントス（個体数、種類数）などである。

2.1 底質特性

底質特性は底生生物が棲む環境そのものの変化を示し、河川流入による底質・水質等の変動を表す指標になる。そのため、緑川河口付近については底質特性の分析から行った。図一に示す緑川河口付近の 5 ヶ所の調査地点 (St. 4~8) について、全項目のデータが揃っている平成 4 年以降の底質のデータを用いてクラスター分析を行った。その結果、図一中に示すように St. 4, 5, 7 と St. 6, 8 の 2 グループに大別できた。これは、St. 6, 8 では硫化物が観測され、St. 4, 5, 7 ではほとんど観測されていなかったこと、また、この 2 グループは河口付近と沖合いという河口からの距離に比例した分類となっている。硫化物は河川流入により供給された有機物に起因するもの、或いは発生プランクトンの沈殿（図二参照）に

起因するものと考えられる。このことから、ある程度、河口からの距離に比例して底質の特性が異なることがわかる。底質特性は生物の種類や個体数を直接左右する。図一3は軟体動物・環形動物の経年変化で、St. 4~St. 8で観測された個体数を合計したものである。生物の個体数は全体的に減少する傾向にあり、特に軟体動物は近年大きく減少している。軟体動物と環形動物の生息環境については、環形動物であるゴカイは泥質に生息し、軟体動物であるアサリなどの二枚貝は砂質に生息し、互いに棲み分けする傾向がある（滝川ら, 1999; 滝川,

* 正会員 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学研究センター
** 正会員 理修 熊本大学助手 工学部環境システム工学科
*** 正会員 熊本大学技官 工学部環境システム工学科
**** 正会員 工修 国土交通省九州地方整備局長崎工事事務所
***** 正会員 博工 熊本県土木部 港湾課長

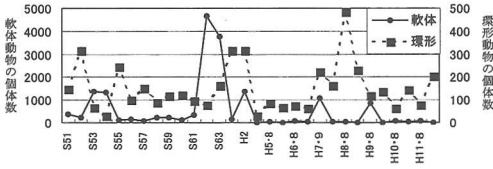


図-3 生物個体数の経年変化 (St. 4~8)

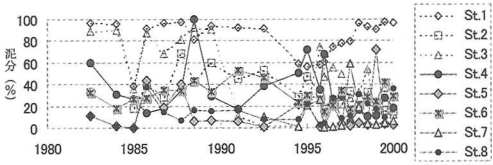


図-4 泥分の経年変化 (St. 1~8)

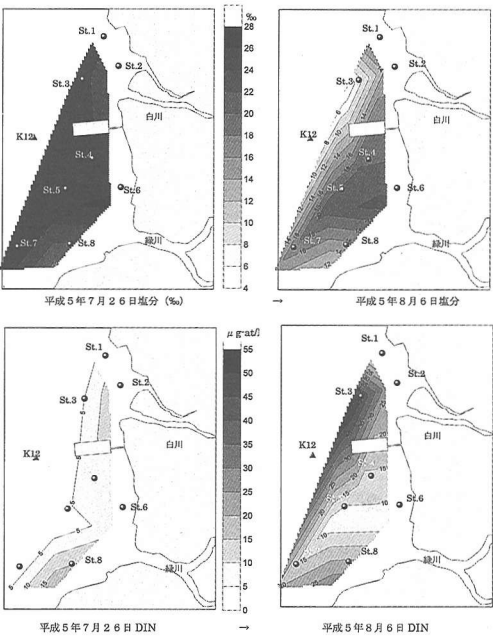


図-5 河川出水に伴う熊本港周辺の塩分と DIN (H5 年度)

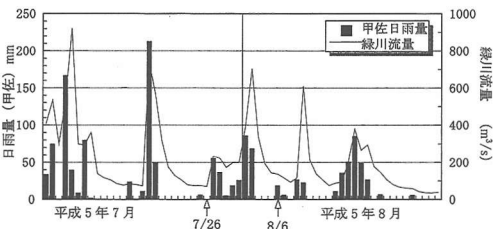


図-6 緑川流量と日雨量

より異なるが、St. 1 を除くと St. 2, St. 3 の白川河口および St. 4 は泥分が減少し、緑川河口の St. 5~St. 8 では増加する傾向にある。図-3 の底生生物の経年変化とあわせて考えると、泥分の増加と軟体動物の減少とが対応していることがわかる。

2.2 水質特性

河口付近の栄養塩濃度は降水量・河川流入量に大きく左右される。図-5 は平成 5 年 7 月 26 日と 8 月 6 日に熊本港周辺海域において行われた水質調査の結果で塩分と DIN の平面分布図を示している。平成 5 年は例年より降雨が多かった年である。7 月 26 日から 8 月 6 日にかけて塩分量は全体的に減少し、DIN は増加する傾向にあることがわかる。これは図-6 に示すように、期間中の降雨により河川流量が増加し、河口域に通常以上の無機窒素が流入した影響によるものである。

3. 有明海中部海域の環境変動特性

昭和 51 年から平成 12 年の 25 年間におよぶ有明海の浅海定線調査データ（熊本、福岡、佐賀の 3 県）および気象庁データ（気象庁年報、アメダス観測年報）をもとに、有明海中部海域を中心に、水質および気象特性について調べた。浅海定線調査地点は、図-7 に示すように熊本県 22 点、佐賀県 11 点、福岡県 10 点である。

3.1 有明海中部海域の海域特性

1) クラスター分析による海域特性

熊本県の浅海定線調査データのうち、平成 1 年から 7 年の間のデータを用い、水面下 5 m 層における塩分と $\text{PO}_4\text{-P}$ 、および透明度につきクラスター分析を行った。その結果、図-8 に示すような海域グループに分類され、また水質項目ごと及び分類グループごとに、図-9 に示すような月平均の年間変動特性が明らかになった。表層の塩分濃度特性は湾口（グループ A）、湾央南部（グループ B）、湾央北部（グループ C）に分類され、その月平均値の年間変動は 7 月の降雨期に低く、また湾奥部になるほど低濃度になる。 $\text{PO}_4\text{-P}$ の変動特性も、湾口部、湾央南部、湾央北部に分類され、その年間変動は冬季から夏季にかけて低濃度となり、夏季から秋季にかけて高濃度となる傾向にある。この $\text{PO}_4\text{-P}$ の低濃度の時期は、潮汐の年間変動のうち平均潮位が低くなって干潟干出面積の広がる時期とほぼ一致する（町田ら、2001）。また、透明度については湾口（グループ A）、湾央（グループ B）、浅海干潟部（グループ C）及びその他（グループ D）に分類され、各グループごとに年間を通じてほぼ一定の透明度を示す。これは、透明度が主に水深と潮汐変動の大きさに影響されているためと思われる。

2) 赤潮発生と水質特性

図-10 は、有明海中部域（熊本県）における近年の赤

2002)。このことから、軟体動物が減少するという現象は、底質の泥化が進んでいることを示していると思われる。

図-4 に熊本港周辺の泥分の経年変化を示す。場所に

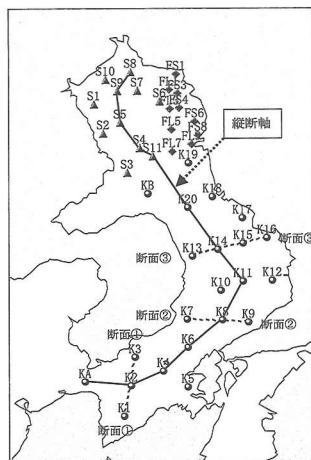
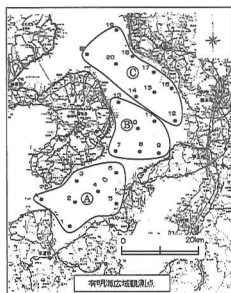
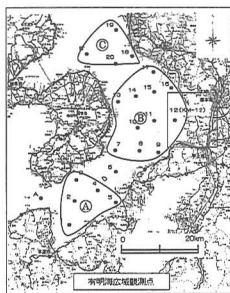


図-7 浅海定線調査地点と断面軸



(a) 塩分による分類

(b) PO₄-Pによる分類

(c) 透明度による分類

図-8 水質項目による海域のクラスター分析

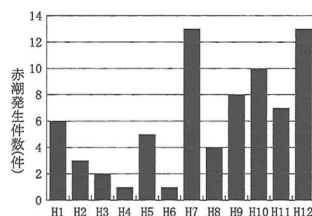
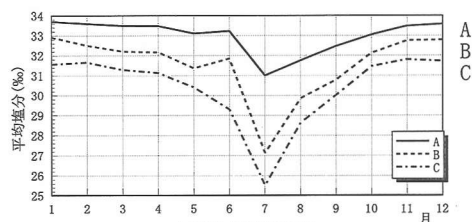
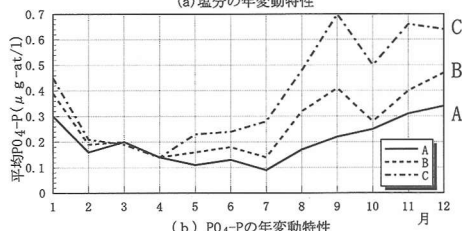
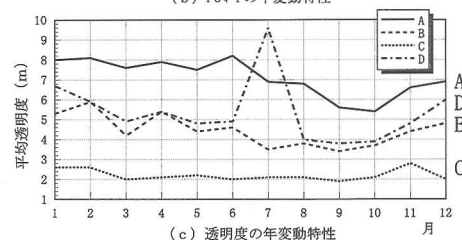


図-10 有明海(熊本県)の赤潮発生件数



(a) 塩分の年変動特性

(b) PO₄-Pの年変動特性

(c) 透明度の年変動特性

図-9 有明海中部海域の水質項目の年変動特性

潮発生件数(農林水産省, 2000)である。平成7年以降に赤潮が多発傾向にあり, これは図-2に示したプランクトン沈殿量の変動傾向と一致する。平成7年の夏には, 観測日の約一週間前に一日総降水量が200 mmを越す日があったため, 観測日直前に河川流入量が増加して土砂等が大量に流入し, 図-11に示すように, 湾央部に及ぶ透明度の低下が観測された。陸域からの土砂流入とともに, 栄養塩の流入によって大量のプランクトンが発生し,

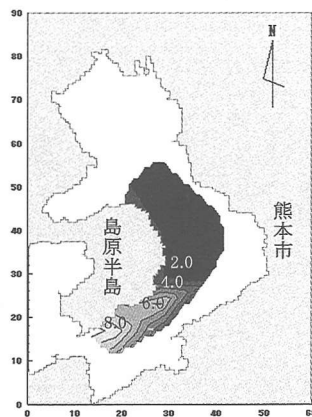


図-11 透明度(平成7年夏)

プランクトンそのものや死骸によって透明度が低下した可能性も考えられる。

有明海における平年の表層での DIN 濃度の平面分布は湾口より湾奥のほうが高く, また夏場より冬場のほうが高い濃度を示すが, 平成7年は, 前述した降雨に伴い海域に大量の無機窒素が流入したため, 夏場の DIN 濃度は平年より高く, $4 \mu\text{g-at/l}$ 以上の地点もある。この時の無機態窒素を個別に平面分布に表すと, 図-12のようである。亜硝酸態窒素($\text{NO}_2\text{-N}$), 硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$), アンモニア態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)はいずれも $1 \mu\text{g-at/l}$ 以下の部分が多く, 非常に低い濃度を示している。特に,

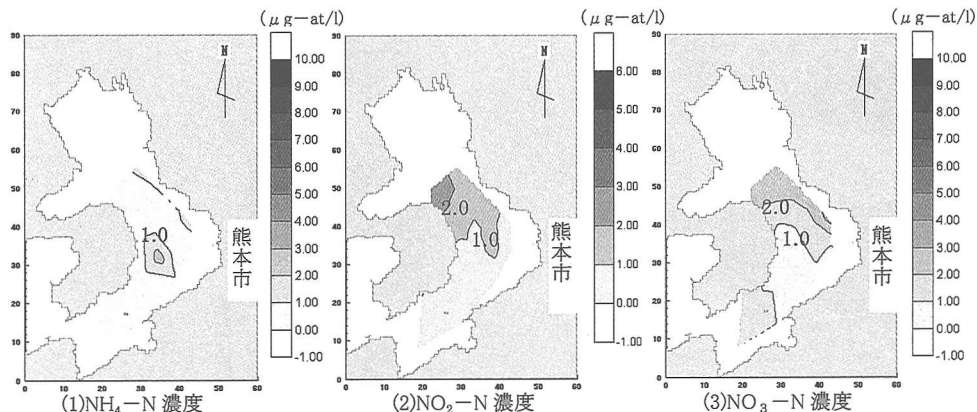


図-12 溶存態無機窒素の濃度分布 (平成7年夏)

夏場には溶存酸素が不足するため比較的高濃度になるアンモニア態窒素の濃度が、 $0 \sim 1 \mu\text{g-at/l}$ と著しく低い。一般に海域において、プランクトンは窒素をアンモニア態-亜硝酸態-硝酸態の順に体内に摂取・消費する。そのため $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が著しく低下するという傾向から、プランクトンが大量に発生し、アンモニア態窒素を大量に消費したことが予想される。

3.2 気象変動特性

図-13は昭和51年(1976年)から平成12年(2000年)の25年間にわたる熊本及び佐賀県の気象データをもとに作成した降水量、気温、日射量に関する変動特性である。(a)図の降水量は各1ヶ月間の積算降水量の経年変化、(b)図の気温偏差は過去25年間の各月平均値からの気温偏差、また、(c)図の全天日射量偏差は過去25年間の各月平均値からの偏差を各月平均値で割った値である。平成5年(1993年)は記録的な冷夏、多雨の年で、

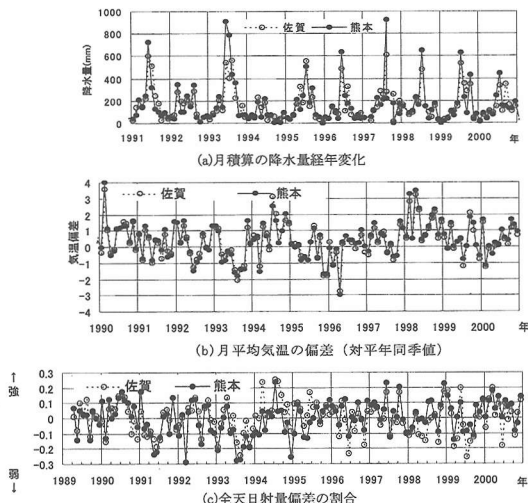


図-13 有明海の気象の経年変動

翌年の平成6年(1994年)は渇水、猛暑の年である。平成10年(1998年)は20世紀最大級のエルニーニョ発生年に当たる。有明海のノリ不作となった平成12年(2000年)末には、例年に比べて、降水量、気温偏差および日射量のいずれも大きいことが分かる。

3.3 水温・塩分の分布特性

浅海定線調査データのうち、水深方向の分布が計測されている水温と塩分について、図-7中に示した縦横断の断面における分布特性を調べた。図-14, 15, 16には、赤潮発生が急増した平成7年の夏と冬、ノリ色落ちが生じた平成12年の冬における水温と塩分濃度の分布を示した。なお図-14には水温と塩分濃度から密度の状態方程式を用いて算出される σ_t 分布も図示した。図-14に示す夏季には、水温は夏場に定線K8(宇土半島～島原半

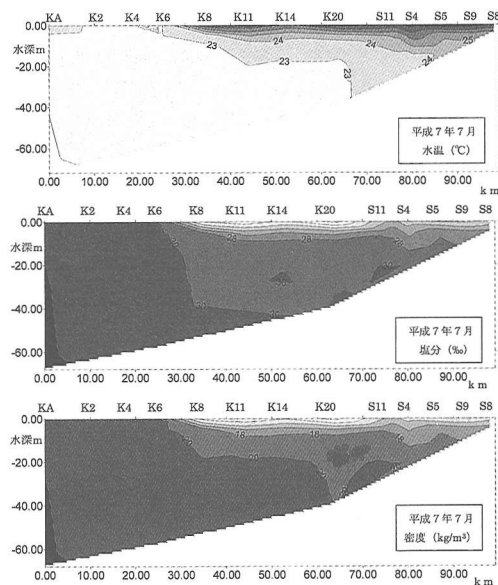


図-14 夏季の水温・塩分・密度の縦断分布 (H7年7月)

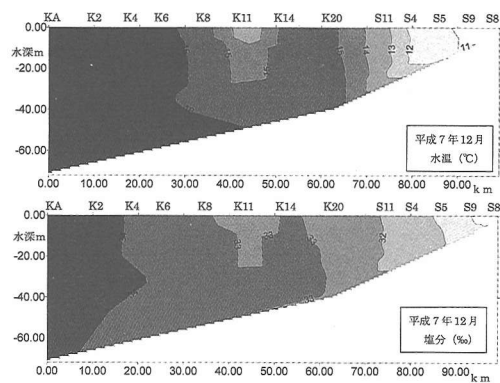


図-15 冬季の水温・塩分の縦断分布 (H7年12月)

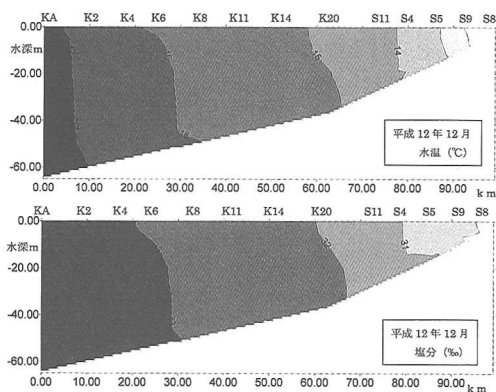
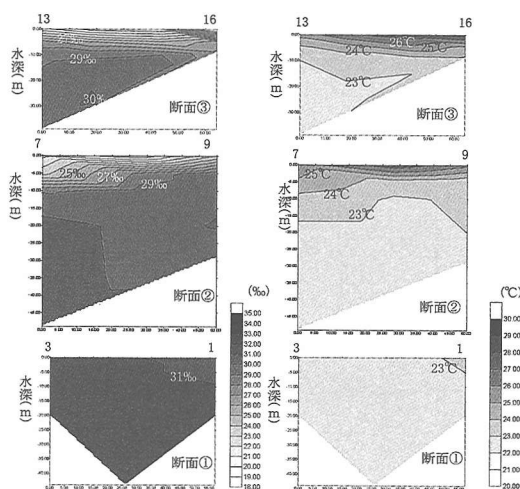


図-16 冬季の水温・塩分の縦断分布 (H12年12月)



(a) 塩分濃度の水深方向分布

(b) 水温の水深方向分布

図-17 湾横断面の塩分・水温の水深方向分布 (H7年7月)

4. おわりに

有明海の過去25年間にわたる浅海定線調査データを中心に気象・海象データから、この海域の環境特性の概要と変動要因の把握を行うことができた。しかしながら、これまでに行われた浅海定線調査は、多くて月に1回程度であり、この海域の環境変化を今後とも注意深く調べるには、多くの定点での定期的かつ連続的な観測と、底質、水質、海象にわたる、より多くの調査項目についての計測が必要である。最後に本研究を進めるに当たり、データの提供を図って戴いた農林水産省、熊本県、福岡県、佐賀県の関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 熊本県土木部港湾課 (2001): 熊本港周辺海域干潟生物調査データ分析報告書, 208 p.
- 熊本県水産研究センター (1975-2000): 浅海定線調査.
- 佐賀県有明水産振興センター (1975-2000): 浅海定線調査.
- 滝川 清・鈴木敦巳・古川憲治・大本照憲 (1999): 有明海の白川・緑川河口域における干潟環境特性とその評価に関する研究, 海岸工学文集, 第46巻, pp. 1121-1125.
- 滝川 清 (2002): 有明・八代海沿岸域の自然環境評価と環境共生型社会基盤整備に関する研究, 平成10年度~13年度日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(A)(2):一般), 研究成果報告書, 453 p.
- 農林水産省(2000): 有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会, 第1回会議資料, 資料5-2.
- 福岡県水産海洋技術センター有明研究所(1975-2000): 浅海定線調査.
- 町田史子・荒木宏之・古賀憲一・他 (2001): 有明海の海象および水質特性に関する基礎的研究(I), 平成12年度土木学会西部支部研究発表会, pp. B-450-451.

島の海域中央部付近)の水深0~10 m付近を始まりとして、湾奥に向かいより成層化が顕著にみられ、表層と海底でその差は5°C以上にもなった。塩分濃度も夏場の成層化が顕著に現れ、海底と表層で10‰以上の差があり、 σ_t 分布においても、表層から水深5 m~10 m付近まで湾奥部にかけて密度が小さくなっており、干満差の大きい有明海中部海域においても夏場には表層から水深5 m付近にかけて成層化が生じていることが明らかとなった。図-15, 16の冬季における水温、塩分濃度分布には成層化はみられないが、ノリ不作の平成12年12月は平成7年12月に比べ、湾奥部で水温が高く、塩分濃度も低くなっていたことが分かる。

図-17は、平成7年7月の湾軸に垂直な東西方向断面での水温・塩分濃度の鉛直分布を示す。各図の左側は島原、右側は熊本を示す。断面②において成層化が顕著となっており、断面③に至っては、表層での塩分濃度は25‰以下となる。断面②, ③はそれぞれ菊池川及び緑川・白川の河口付近にあたり、この時期の河川流入によって、表層の塩分濃度が特に低下したと考えられる。