熊本大学沿岸域環境科学教育研究センターは、有明海・八代海を中心とする沿岸域環境に関する幅広い教育研究を行ない、地域社会へ貢献することを目指しています。ご存知の通り、有明海・八代海は熊本県の西側全域が接している海域で、干満の差が極めて大きく、沿岸域には広大な干潟が形成されています。また、希少・貴重な動物種が数多く生息しているなど、この海域は世界的に見ても特異なものとなっています。ところが最近、生物多様性の減少、漁獲量の激減、赤潮による養殖漁業の被害、諸々の原因による環境悪化、台風による高潮災害など、多くの問題が発生しています。

沿岸域センターの平成 20 年度の活動としては、従来から展開中の 2 つの研究プロジェクト「沿岸域における生物多様性と生物資源の保全に関する研究」と「閉鎖性沿岸海域環境に関する先端科学技術研究」をさらに進めるとともに、その支援体制の学外協力研究者制度も十分に機能させてきました。各研究グループは 2 つのプロジェクトの下に、海産生物の多様性や水産生物資源の調査研究、干潟沿岸域環境の保全・開発・防災などの研究を、他大学、国土交通省、環境省、熊本県、熊本県内漁協、地元企業などと連携して実施しています。また、有明海・八代海の海底環境の変遷分析、養殖ノリの色調発現機構の分子的解明や有用新品種の分子育種も他大学や熊本県水産研究センターおよび県内企業と共に進めています。さらに、平成 17 年度に採択された文部科学省の科学技術振興調整費による「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験(滝川清教授)」を精力的に遂行しています。また、20 年度採択の熊本大学拠点形成研究 B「閉鎖性沿岸海域における環境と防災、豊かな社会環境創生のための先端科学研究・教育の拠点形成」には、センター専任教員全員が一丸となって取り組んでいます。

このような研究成果を地域に直接的に還元するために、市民公開講座の開催や県内外の大学や県内の小中学生・社会人への臨海実習の実施、高校と大学との連携教育事業の実施なども行なっています。また、各スタッフは、国・県・自治体などの審議会や委員会の委員を務めたり、各種団体や企業に対する技術指導を行なったり、NPOと連帯したりして、有明海・八代海の再生とより良い沿岸域環境の創造に向けて多方面から社会に貢献しています。

本講演会は、私たちの研究活動の一端を皆さんにお知らせし、研究成果を地域に還元することを目的としています。今回は、沿岸域センターの5名の専任教員と2名の客員教員に加えて、2名の学外協力研究者(長崎大学・佐賀大学)にも講演をお願いしました。講演内容は、沿岸域環境に関する基礎研究から応用分野の保全・再生・防災まで多岐にわたっています。限られた時間ではございますが、ご静聴の上、熱心なご討議やアドバイスをいただければ幸いです。

熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター センター長 内野 明徳

菊池川一緑川沖有明海における底生生物の生息環境の変遷 秋元和實

要旨

1. 研究の目的

有明海では環境の悪化と生物多様性の減少が、顕在化している.多様性の経年変化の解明は、生息環境の再生と漁業資源を回復するために不可欠な情報である.しかしながら、漁獲対象生物以外の底生生物について、多様性はほとんど調査されていない.

柱状堆積物試料中の底生有孔虫化石群集は、複数の試料で同年代の多様性が比較でき、観測記録の無い時代まで遡って時空間的変化を把握できる利点がある。そこで、近年の海域環境が報告されている緑川-白川-菊池川沖有明海において、多様性の経年変化を解析し、海域環境の変化に対する多様性の応答を検討した。

2. 研究内容

外海系水塊分布域 (緑川沖: K1,横島沖: K2) および沿岸水—外海系水境界(白川沖: K-st. 3,菊池川沖: K-st. 12) から採集された柱状試料中の有孔虫群集を対象にして,種多様度(H(s)),均衡度 (E),種数 (S)を,H(s)=- Σ pilnpiおよびE=e $^{H(s)}/S$ により算出した。さらに, 210 Pb, 137 Cs年代値に基づいて,経年変化を復元した。

3. 主要な結論

- 1) 生物多様性の特徴
- a. 多様性の地理的差異

沿岸水の影響下に分布する現世有孔虫群集では、種多様度は3以下、均衡度は0.4以下、種数は20~40である.外海系水の影響下に分布する群集では、3以上、0.4以上(緑川沖では0.6以上)、40~60である.

沿岸水-外海系水境界に位置し、沿岸水の影響が最も強いK-st12の化石群集では、種多様度が3.0 以下、均衡度が0.4以下であり、種数は他の試料と類似(30〜60)であることから、少数の種が多産する。他の試料では、種多様度が2.7以上、均衡度が0.4〜0.6であり、沿岸水-外海系水境界のK-st3の種数が外海系水塊のK1、K2のそれよりも若干低い。したがって、化石群集でも、現世群集と同様に地理的差異が認められる。

b. 海域環境の変化に対する多様性の応答

K1では、種多様度、均衡度に特定の変化は認められず、値もほぼ一定である(図1).このことから、外海系水の分布域では、環境の変動が、特定の種の優占あるいは消滅するほどには影響しなかったと判断される.一方、K-st12では、1960年代半ばから1990年まで、種多様度および種数が減少し、均衡度も低く、限定された種が優勢になり、種構成が単調化した.したがって、海域環境の変化は、沿岸水塊分布域に生息する底生生物の多様性により強く影響したことが明らかになった.以上の結果は、沿岸水の分布域に生息する採貝種を対象とした調査では多様性が低く、外海系水に生息する種を対象とした調査では高くなることを示唆している.

2. 生物生息環境の特徴

因子負荷量の層位的変化がないことから、生物生息環境は現在と同様であったと判断される.緩慢による干潟の地形変化を考慮した3次元流動シミュレーションでは、鉛直循環流が表現されている.

このことから,K-st12およびK2では沿岸水の,K-st3では周辺からの流入物質の,K1では外海系水の影響を受ける状況にあった。とくに,1980年には有明海南部の海水のCODは急減した(代田・近藤,1985)が,K-st3の第2因子負荷量(有機物負荷)の増減は,潮目直下の堆積物の強熱減量の急増(熊本開発研究センター,1978-1998)あるいは流入河川である坪井川のBOD(独立行政法人国立環境研究所: $http://www.nies.go.jp/igreen/md_disp.html)の変化と類似する。したがって,環境への負荷を復元するためのコアリングでは,流入物質が集積する地点を選定することが最も重要である.$

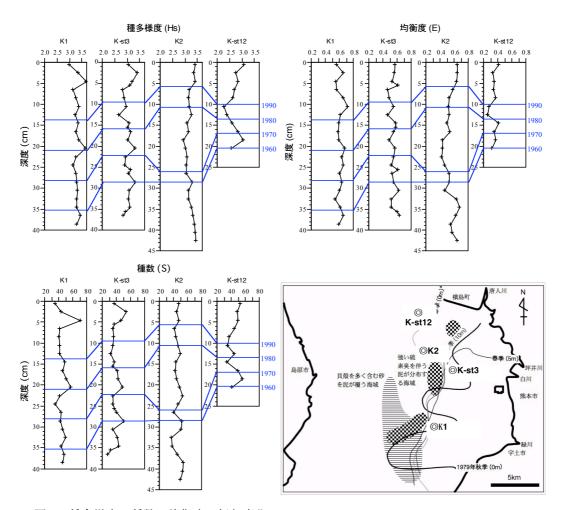


図1 種多様度・種数・均衡度の経年変化

キーワード: 有明海, 生物生息環境, 生物多様性, 経年変化, 底生有孔虫

スナガニ類の巣穴の助長効果について 嶋永 元裕

【研究の背景と目的】

「一見一様な環境が広がる干潟で、小型底生生物の生物多様性はどのように維持されているのか?」

大きな河口や内湾に発達する干潟は、アサリなどの有用生物の苗床であると同時に、堆積した有機物を分解する浄化槽としての生態系サービスを人類に提供する(和田 2000).この生態系サービスを支えるのが、干潟の堆積物表面や内部に生息する大小さまざまなサイズの底生生物(ベントス)である。ベントスは、体の大きさによって、いくつかのグループに分けられる.

メイオファウナは1mmの篩を通過する小型底生生物の総称である. 干潟における彼らの生物量は大型底生生物 (マクロファウナ) の数分の一だが, 世代交代時間が短いため, 生物生産量の点ではマクロファウナに匹敵し, それを凌駕する場合もある (ラファエリ&ホーキンズ 1996).

一方、マクロファウナには、小型生物では不可能な、干 潟内の構造を大規模に改変する能力がある。例えば、北海 の干潟に普遍的に生息するタマシキゴカイの1種のU字型 巣穴は、堆積物中の還元層を貫く形で形成されるが、この 巣穴の周りには薄い酸化層が形成され、様々な好気性のメイオファウナが巣穴内の微細構造を種特異的に利用してお り(図1)、その結果、干潟全体のメイオファウナの種多様 性や生物量の増加に、これらの巣穴が貢献している事が報 告されている(ライゼ 1985)。つまりゴカイなどのマクロファウナの巣穴は、一様な平面構造の広がる干潟に三次元 的な厚みを与え、酸素や食物を泥の奥まで行き渡らせる「毛 細血管」の役割を果たし、より小型の生物たちに微細生息 場所を提供しているのである。このように沿岸堆積物中で

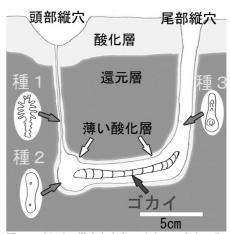


図1. ゴカイの巣穴と主なメイオファウナの分布. メイオファウナ各種のサイズは誇張されており,分布中心は矢印で示されている. ライゼ (1985) の図を元に著者が作成.

は、マクロファウナの活動が、より小型の底生生物の生物量・種多様性を増大させる方向に堆積物環境を改変する「助長効果 (promotion)」を及ぼす場合が非常に多い (ライゼ 1985).

シオマネキ,コメツキガニなどのスナガニ類の仲間は、干潟に普遍的に分布するカニ類であるが、彼らの捕食活動は、堆積物表層のメイオファウナに負の影響を与える事が知られている(Reinsel 2004).だが他方で、熱帯の干潟に生息するスナガニ類などの巣穴近縁の堆積物中では、その周辺の堆積物よりメイオファウナ全体、あるいは特定の分類群の個体数が多かったという報告もある(Dittmann 1996).したがって、スナガニ類の巣穴にも、タマシキゴカイなどと同様に、堆積物中のメイオファウナに対する助長効果があると思われる。しかし、彼らの巣穴周辺における、メイオファウナのcmスケールの微小な空間分布に関する包括的な研究例は、極めて少ないのが現状である。

干潟の代表的マクロファウナであるスナガニ類の助長効果が、メイオファウナの群集構造に与える 影響を解明する事は、干潟生態系において生物多様性が維持される仕組みや、有機物・エネルギーの 流れを理解する上で必要不可欠であると考えられる.

そこで私は、スナガニ類のメイオファウナに対する助長効果を明らかにするために、天草諸島の一つ、前島に所在する合津マリンステーション前の干潟において、ハクセンシオマネキとコメツキガニの巣穴周囲のメイオファウナの微小分布の調査を開始した。両種は、干潟上部の砂質部の代表的スナ

ガニ類である. 調査に当たっては,以下の二つ の作業仮説を念頭に置いた(図2).

仮説1. 堆積物表層は、カニの摂餌活動により撹乱され、また、酸素が外部から堆積物中に直接供給されやすい. したがって堆積物表層では、巣穴の助長効果は弱い、あるいは完全に打ち消されるため、メイオファウナの水平分布は、巣穴からの距離と無関係である.

仮説2. 堆積物深層では、巣穴がスノーケルの役割を果たすため、それに近いほど酸素濃度が高いと思われる。したがって堆積物深層では、巣穴の助長効果が強く働き、巣穴に近いほどメイオファウナ密度は高くなる。

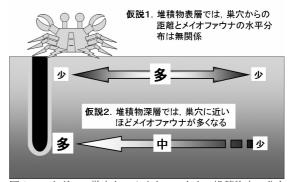


図2. スナガニの巣穴と、メイオファウナの堆積物中の分布 に関する作業仮説

【材料と方法】

サンプル採集は、2007(平成19)年に、ハクセンシオマネキ、コメツキガニ両種の繁殖期にあたる8月と、両種の活動が弱まる11月(一部12月初め)に行われた。サンプル採集と処理の詳細は、以下のとおりである。

まず干潟の干出直後に、いずれかの種の巣穴を含むように、内径8cmのプラスティック製コアサンプラーを深さ10~15cmまで挿入して、堆積物コアサンプルを採集した。同時に、その巣穴付近(巣穴中心部から水平距離で20cm以内)の巣穴がない場所からも堆積物コアサンプルを採集した。潮位とスナガニ類の摂食活動の影響を調べるため、最大干潮時にも、干出直後にサンプル採集を行った場所付近(2m以内)で同じ種に対する同様の採集を行った。サンプルを層別に分けて生物を固定処理するのにかかる時間(コア1本につき30分以上)と、潮位変化の速度を考えると、1日1セット(上記のコア4本分)が限界であった。したがって、同一干潟内のmスケールの変異をおさえるために、各時期において数日かけてサンプル採集を行った。

採集された堆積物コアサンプルは、「巣穴あり」「巣穴なし」ともに、実験室において、堆積物表面から垂直方向に2cm毎に、押し出し器を用いて層別に分けた。巣穴を含むコアサンプルの場合、巣穴近縁のメイオファウナの微小空間分布の変化を調べるために、それぞれの層において、巣穴壁面からの水平距離が0-1cm、1-2cm、2-3cmの位置で、先端を切り落としたシリンジ(断面積0.71cm²)を用いて堆積物サブサンプル(シリンジにより2回採集、合計1.42ml)を採集した。巣穴のないコアサンプルの場合も、同じシリンジを用いて、各層のコア中心付近から1.42mlの堆積物を採集した。

上記のとおり、本研究のために採集されたサンプル 数は莫大で、全てを解析するには多大な時間を要する. そこで本講演会では、干潮時に採集されたサンプルを

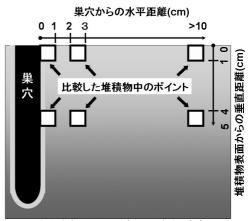


図3. 本講演会で用いるデータの解析デザイン

元に、両種の巣穴からの水平距離が0-1cm, 2-3cm, <10cm (巣穴のないコアからの堆積物) における 堆積物中のメイオファウナの個体密度、群集構造を、堆積物表面から0-1cmの層(以後、堆積物表層と呼称)と、表面から4-5cmの層(堆積物深層)で比較した結果を示す(図3).

【結果と考察】

メイオファウナ全体の個体密度

2007年8月,11月の,コメツキガニとハクセンシオマネキの巣穴周辺におけるメイオファウナ全体の微小空間分布をそれぞれ図4,5に示す.

堆積物表層のメイオファウナの分布には、両をもに、巣穴からの水平距離に沿った明確な傾向は見出されなかった。また、月を問わず水平距離間に有意差は検出されなかった。(ANOVA, P>0.05).この結果は仮説 1 と矛盾しない.

一方, 堆積物深層部で は,両種の巣穴周辺で異 なる傾向が見られた. コ メツキガニの巣穴の場 合, 堆積物表層と同様に, メイオファウナ個体数 と, 巣穴からの水平距離 との間に関連性は示さ れなかった. それに対し て, ハクセンシオマネキ 巣穴周辺では,メイオフ アウナ平均個体数密度 の最大値は,8月,11月 ともに, 巣穴直近部で観 察された. これは仮説2 を支持する結果である. しかし, サンプル間のバ ラツキが大きく, 両月と も水平距離間に有意差 は検出されなかった.メ イオファウナの主要な 高次分類群(線虫類,ク マムシ類, 多毛類など, 動物門 - 綱レベル[甲殻 類は、より細かく亜綱 -

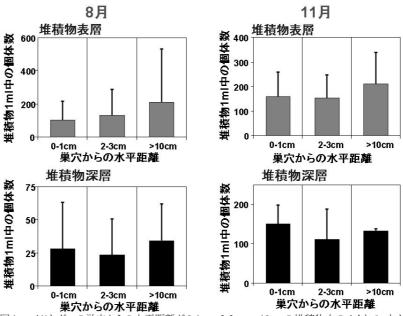


図4. コメツキガニの巣穴からの水平距離が0-1cm, 2-3cm, >10cmの堆積物中のメイオファウナ全体の個体密度(個体数/1ml). 上段が堆積物表層,下段が堆積物深層. バーは平均値, エラーバーは標準偏差をそれぞれ示す.

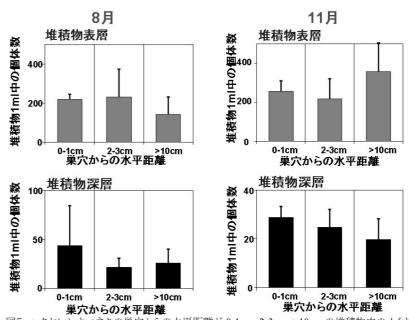


図5. ハクセンシオマネキの巣穴からの水平距離が 0-1cm, 2-3cm, >10cm の堆積物中のメイオファウナ全体の個体密度(個体数/1ml). 以下の説明は図4と同じ.

目レベル]で分類されたグループを指す)に対して同様の解析を行ったところ,最優占分類群である線虫類の11月の堆積物深層の空間分布に有意差が検出された.

メイオファウナ高次分類群の組成

2007年8月にハクセンシオマネキ東穴周辺から採集されたメイイに、ファウナ高次分類群の組成を元にを主成分分析を行った解析結果を図6に示す.群集構造が最も変化は大力を説明)に示す第一主成分軸に沿ってが表層のサンプが配置をであった4つの分類群のベランに、右に深層のサンプは大力が配置を入れた。また、4つの分類群のベランは、右になり、第一主成分軸に下ろしたのが最大となったのが線虫類であった。これらにより、メイオ

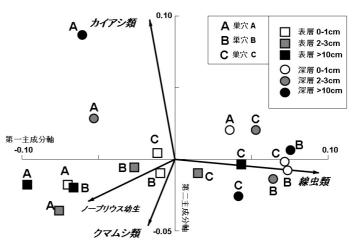


図6. ハクセンシオマネキ巣穴周辺のメイオファウナ群集組成の空間変異. 堆積物表層から採集されたサンプルは四角, 深層から採集されたサンプルは丸で示されている. 各記号の濃淡(白, 灰, 黒)は巣穴からの水平距離を示す. 同一のアルファベットは同一の巣穴から採集されたサンプルであることを示す. サンプル組成が似ているサンプルは互いに近い位置にプロットされている. 群集の組成変化に大きく貢献した分類群についてのみ変化の方向をベクトルで示している(長いほど貢献度が高い). 矢印の方向へ向かうにつれて, サンプル内のその分類群の割合が増大する.

ファウナ高次分類群の組成は、堆積物深度に沿って最も大きく変化する事、そして、この変化に最も 貢献するのが線虫類で、深度とともにこの分類群の相対頻度が増大する事が示された。しかし、巣穴 からの水平距離に沿った明確な空間変異は、堆積物表層、深層ともに見出されなかった。11月のハク センシオマネキ、および両月のコメツキガニの巣穴周辺の解析結果からも似たような結果が得られた ので、ここでは省略する。

以上を踏まえると、スナガニ類二種の巣穴によるメイオファウナへの助長効果は、ハクセンシオマネキの巣穴の方がより強いものの、両種ともに巣穴周辺のメイオファウナの群集構造に大きく影響する程のものではないようである。今回研究対象としたスナガニ二種は、堆積物粒子の粗い砂泥底に生息している。それらの干潟では堆積物中の間隙が広い(つまり通気がいい)ので、堆積物のかなり深い場所まで酸素や栄養が浸透し、そのため、堆積物深層といえども、巣穴の助長効果がメイオファウナの空間分布に及ぼす影響が明確に現れなかったのかも知れない。しかし、助長効果の強度が潮汐とともに変動する可能性は否定できないので、引き続き、これらの巣穴周辺における干出直後のメイオファウナの空間分布を調査する予定である。

【参考文献】

Dittmann, S., 1996. Effects of Macrobenthic burrows on infaunal communities in tropical tidal flats. Marine Ecology Progress Series, 134, P119-130.

ライゼ, K., 1985. 干潟の実験生物学(倉田 博訳), 生物研究社, 東京.

ラファエリ, D. & S. ホーキンズ, 1996. 潮間帯の生態学(朝倉 彰訳), 文一総合出版, 東京.

Reinsel K.A., 2004. Impact of fiddler crab foraging and tidal inundation on an intertidal sandflat: season-dependent effects in one tidal cycle. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 313, P1-17.

和田恵次. 2000. 干潟の自然史, 京都大学学術出版会, 京都

キーワード:メイオファウナ・スナガニ類・巣穴の助長効果

養殖ノリの環境ストレス応答機構 瀧尾 進

ノリ養殖に利用されている紅藻スサビノリ(Porphyra yezoensis)は、我国の海水面養殖産業における重要な資源植物のひとつである。ノリ養殖は日本各地で行われているが、なかでも有明海・八代海は生産量の高さだけでなく高品質のノリを生産する点で貴重な海域である。養殖ノリの品種は、より高生産、高品質をめざして改良が進められてきたが、近年の沿岸域環境の変異により新たな取組みも必要となってきている。特に、養殖期の海水温上昇や赤潮などによる「ノリの色落ち」問題は深刻であり、環境変異に強い品種の開発が進められている。ノリの色調は商品価値を決定する最も重要な形質であることから、約20年前までは「ノリの色」に関する生理学的研究は活発に行われていた。しかし、養殖技術の発展により生産量が増大・安定化するにつれ研究者は減少してきていた。一方、スサビノリは実験生物として有用な特徴をもつことからモデル生物化にむけた基礎研究も進められ、近年になり遺伝子解析の基礎技術も開発され、新たな展開が生まれつつある。我々は、2001年の沿岸域センター設置を機に「養殖ノリの環境ストレス応答機構」について遺伝子レベルでの研究を開始した。とくにと「内在性レトロトランスポゾンを用いた新品種の作出」(文献1~4)と「色落ちの分子機構解明」(文献5)を中心テーマとして研究を進めている。今回は、「養殖ノリ色落ちの分子機構」に関する研究の一部を紹介したい。

「ノリの色」について

植物は外部環境の変化に対しさまざまな 応答を示す。なかでも、エネルギー生産の場で ある葉緑体では反応中心複合体やアンテナ色 素複合体は光条件だけではなく栄養欠乏など の各種ストレスにも応答しダイナミックな変 動を示す。紅藻やラン藻はフィコエリスリンや フィコシアニンなどの光合成色素タンパクよ り構成される光合成アンテナ装置(フィコビリ ソーム)をもつ(図1)。紅藻類は紅色色素 あるフィコエリスリンを多量にもつため植物 体は紅色を呈する。しかし、赤潮プランクトン

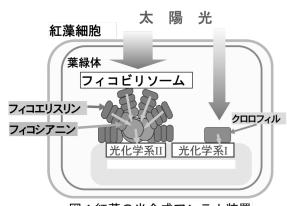


図1紅藻の光合成アンテナ装置

の発生などにより海水中の栄養窒素濃度が低下するとフィコビリソームが分解して,いわゆる「色落ち」が起こる。

ラン藻の「色落ち誘導遺伝子」

フィコエリスリン遺伝子 (*Cpe*) やフィコシアニン遺伝子 (*Cpc*) は富栄養状態では活発に発現しているが、窒素欠乏などの栄養欠乏条件では発現が停止し、フィコビリソームの分解が起こる (図 2)。

ラン藻では窒素欠乏時にも退色しない変異体が分離され、その原因遺伝子のひとつとして Nb1A(non-b1eaching A)が同定されている。Nb1Aは通常の栄養状態では発現

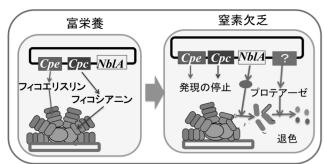


図2 ラン藻の窒素欠乏によるフィコピリソーム分解

が強く抑制されているが、窒素欠乏、リン欠乏、イオウ欠乏などの栄養欠乏により発現が増大しフ

ィコビリソームの分解を誘導する。Nb1A は約60アミノ酸からなる小さいタンパク質でフィコビリソームタンパク質との結合により分解を誘導すると推定されている。Nb1A はプロテアーゼ活性をもたないことから、フィコビリソームの分解に働くプロテアーゼが存在するはずであるが、その実体は不明である。

スサビノリ葉緑体遺伝子の発現様式

スサビノリの葉緑体ゲノムにはラン藻 Nb1A と相同性のある遺伝子 Ycf18 がコードされているが、その機能は不明であった(図3)。我々は、スサビノリの栄養欠乏による色落ちの仕組みを知るために、Ycf18 遺伝子がどのような環境条件で発現するのか調べてきた。

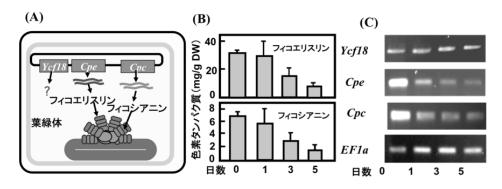


図3 スサビノリの葉緑体遺伝子(A)と窒素欠乏によるフィコビリンタンパク質量(B)と遺伝子発現量(C)の変化

スサビノリ Ycf18 遺伝子はフィコエリスリン遺伝子 (Cpe) の隣にコードされていた(図 3 A)。スサビノリを通常の培養液から窒素源を完全に取り除いた培養液に移すと、5 日後にはフィコエリスリンやフィコシアニンの色素タンパク量は通常の 30%以下に減少した(図 3 B)。フィコエリスリン遺伝子やフィコシアニン遺伝子の発現量は窒素欠乏に移して 1 日目から減少していたが、Ycf18 遺伝子の発現量は変化しなかった(図 3 C)。その後、Ycf18 遺伝子の発現を誘導する培養条件の検索を続け、Ycf18 はラン藻 Nb1A とは異なり、窒素欠乏には応答せず、栄養窒素を硝酸塩からアンモニアに切り替えると発現が誘導されるという奇妙な性質をもつことが明らかになった(文献 5)。スサビノリの培養には窒素源として硝酸塩のみを含む人工海水を使用しているが、窒素源をアンモニアに切り替えても正常に生育し、藻体の色調も顕著な変化は見られなかった。アンモニア培養におけるYcf18 の機能は不明のままであるが、少なくとも窒素欠乏におけるフィコビリソーム分解には Ycf18 は関与していないと考えられた。

フィコビリソーム分解に特異的に働くプロテアーゼが存在するのか?この問題は紅藻だけでなくラン藻においても未だ解決されていない。タンパク質の分解過程では、変成タンパク質のプロテアーゼによる除去反応とシャペロン(熱ショックタンパク質)による変成タンパク質の修復反応が連動していることが多い。スサビノリ葉緑体ゲノムにはプロテアーゼ遺伝子が1つ(FtsHc)、シャペロン遺伝子が2つ(ClpCと GroELc)コードされている。また、スサビノリEST 公開情報には葉緑体移行シグナル配列をもつシャペロン遺伝子

Ycf18 フィコピリン色素遺伝子 プロテアーゼ/シャベロン遺伝子 楽緑体

図4. スサビノリのシャペロン/プロテアーゼ遺伝子

(DnaKI, GroELI, CIpBI) とプロテアーゼ/ペプチダーゼ遺伝子 (CIpP2, FtsHI/SppAI) が見いだせた(図4)。これらの遺伝子の窒素欠乏に対する発現応答を調べたところ, CIpBI と DnaKI の発現は窒素欠乏により著しく増大することが明らかになった(図5)。酵母や細菌では, CIpB (Hsp10I) と Hsp7 O (DnaK) は複合体を形成し, 熱ストレ

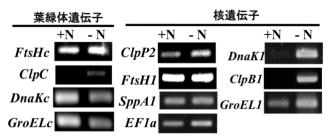


図5 プロテアーゼおよびシャペロン遺伝子の窒素欠乏下での発現

ス条件下で生じた変成タンパクの再生に働いている。植物にも CIpB/Hsp101 は存在し、全遺伝子情報が解読されているモデル植物のシロイヌナズナには、少なくとも細胞質、ミトコンドリア、葉緑体と細胞内局在部位の異なる遺伝子が存在する。これらはいずれも熱ストレスに応答して発現が増大するが、葉緑体局在型 CIpB/Hsp101 遺伝子を破壊すると、実生や葉緑体の発達が阻害されることから、CIpB/Hsp101 は単に熱ストレス耐性だけではなく、葉緑体の正常な発達に必須の役割をもつと推定されている。スサビノリの CIpB1 と DnK1 は、通常状態では発現が著しく低く窒素欠乏により誘導されることから、その機能はストレス耐性に関与する可能性がある。しかし、培養液に高濃度の硫酸銅を添加すると、フィコエリスリンやフィコシアニン遺伝子の発現は停止し、数日後には著しく退色する。銅添加によっても窒素欠乏処理と同様にフィコビリソーム分解がみられるが、このとき CIpB1 の発現は増大しなかった。CIpB1 と DnaK1 は窒素欠乏以外にどのようなストレス種に応答するのか、現在検討中である。

私たちは、紅藻スサビノリがもつ「色落ちの仕組み」のうち少なくとも一部は、葉緑体の祖先であるラン藻から受け継がれていることを期待していた。その理由のひとつは、ラン藻 NbIA と相同性のある遺伝子 Ycf18 がスサビノリを含むすべての紅藻の葉緑体ゲノムに保存されていたことである。さらに、NbIA の発現調節に働く転写因子 NtcA と相同性のある遺伝子 Ycf28 がスサビノリ葉緑体ゲノムに存在したことも期待した理由のひとつである。しかし、残念ながらスサビノリのこれらの遺伝子は窒素欠乏には応答せず、未だ機能は不明のままである。一方、スサビノリの窒素欠乏により発現が誘導されたプロテアーゼ/シャペロン遺伝子(CIpBI, DnaKI) は核ゲノムにコードされていた。これらの遺伝子がフィコビリソーム分解過程に特異的に働くのかを確認する必要はあるが、スサビノリの栄養欠乏によるフィコビリソーム分解はラン藻とは異なる独自のシステムにより制御されている可能性が高くなった。

文献

- (1) Zhang, W., Sakai, S., Lin, X., Takechi, K., Takano, H., Takio, S. 2006. Reverse transcriptase-like sequences related to retrotransposon in a red alga, *Porphyra yezoensis*. Biosci. Biotechnol. Biochem. 70:1999-2003.
- (2) Zhang, W., Lin, X., Suresh, P., Tackechi, K., Takano, H., Takio, S. 2007. Characterization of short interspersed elements (SINEs) in a red alga, *Porphyra yezoensis*. Biosci. Biotech. Biochem. 71:618-622
- (3) Peddigari, S., Zhang, W., Sakai, M., Takechi, K., Takano, H., and Takio, S. 2008. A *copia*-like retrotansposon gene encoding *gypsy*-like integrase in a red alga, *Porphyra yezoensis*. J. Mol. Evol.66:72-79.
- (4) Peddigari, S., Zhang, W., Takechi, K., Takano, H., and Takio, S. 2008 Two different clades of *copia*-like retrotransposons in the red alga, *Porphyra yezoensis*. Gene 424:153-158.
- (5) Kawakami, T., Sakaguchi, K., Takechi, K., Takano, H. and Takio, S. 2009. Ammonium induced expression of the red algal chloroplast gene *Ycf18*, a putative homolog of the cyanobacterial *NblA* gene involved in nitrogen deficiency-induced phycobilisome gegradation. Biosci. Biotechnol. Biochem. (in press)

キーワード: 養殖ノリ色落ち,遺伝子,葉緑体,光合成

塩性湿地および浅海域に生育する高等植物の分布と生態 中 西 弘 樹

要旨

海浜植生や海岸崖地植生は、海からの影響が強い外海に面した海岸に発達する。それに対して塩湿地植生や浅海域に生育する海草(海産種子植物)からなる植生は、波浪の影響が少ない内湾に発達する。フィールドの一つ長崎県大村湾は、超閉鎖性内湾であることと、かつて湖であったものが、今から約9,000年前から海とつながり、約7,000年前に現在のような湾ができあがったことがわかっている特殊な湾である。今回は塩生植生(塩性草本植生)の周辺に生育する海草と半マングローブ植物であるハマボウの分布と生態について、大村湾での研究も含めて紹介する。

大村湾(長崎県)における海草(海産種子植物)の分布

大村湾は海からの影響がきわめて弱いために海岸植生に乏しい。しかし、海草が豊富であることがわかった。海草の研究は遅れていたが、最近になって分類や生態の研究がなされるようになった。特にウミヒルモ属植物については、最近まで日本にはウミヒルモ1種が産すると思われていたのが、2007年になって8種が産することがわかってきた。大村湾にはノトウミヒルモと、これまで沖縄にしか知られていなかったトゲウミヒルモが生育していることが発見された。それらの種の侵入を、大村湾の成立と関連づけて考察したい。また長崎県では絶滅危惧種に指定されているコアマモも大村湾に多いことがわかった。

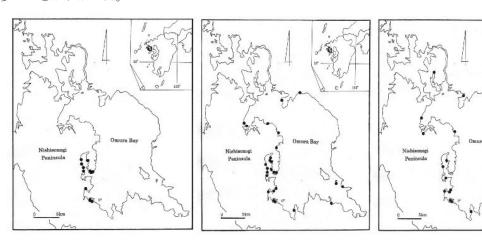


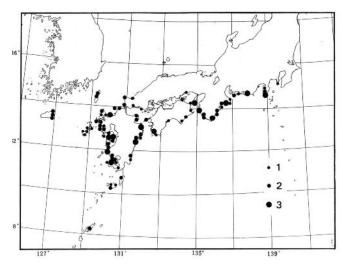
図1. トゲウミヒルモの分布

図2. ノトウミヒルモの分布

図 3. コアマモの分布

ハマボウの分布と生態

ハマボウはフョウ属 (Hibiscus) オオハマボウ節 (Azanza) 植物の中で世界で最も北に分布する種であり、塩性湿地の周辺に生育し、河口や入り江などに純群落を形成し、その種子は海流で散布される。ハマジンチョウ、ハマナツメと共に日本本土に分布する半マングローブ植物と考えられ、分類学的ばかりでなく、生態学的にも最も北に分布する植物である。野外調査と文献により全国のハマボウの生育地および株数を調べた。その結果、全国で10,000株余りが見られ、数10年前と比較して15%近く減少していることなどが明らかとなった。個体数の最も多い県は鹿児島県で、次いで和歌山県、熊本県、福岡県、三重県であり、それぞれ1,000株以上が生育している。500個体以上生育している県は、長崎県、静岡県、兵庫県、愛媛県であった。生育地の多い県は、長崎県、熊本県、鹿児島県であり、個体



数とは必ずしも一致していない。例えば長崎県は海岸線が複雑であるため生育地は多いが、ハマボウの群落に適した中程度の河川が少ないため、個体数は比較的少ない結果となっている。個体数および生育地の多い県と少ない県との差が大きいのは、沿岸部の地形が関係していると考えられる。

図4. ハマボウの分布図 1:9個体以下、2:10~99個体、3: 100個体以上

ハマボウの繁殖生態

フョウ属植物は花が大きく、動物媒花の特徴であるネクターガイドが発達しているため、繁殖生態の材料として研究されてきた。ハマボウについて開花と散布期間、花と果実の形態、果実の被食などの調査と、受粉実験を行い、近縁種のオオハマボウやテリハハマボウと比較した。開花期間は7月初旬から8月中旬までの約1ヶ月半であり、春に暖かい年では開花が早くなったが、開花期間は変わらなかった。散布期間は10月から翌年の6月までと長く、11月初旬と4月の2つの種子落下のピークがあった。花の形態や受粉システムを近縁種と比較すると、花が小さいこと、開花期間が短いこと、葯と柱頭の距離が短いこと、人工自家受粉による結果率および結実率が高いことなどから、ハマボウは暖温帯に適応した繁殖生態をしていると考えられる。結果率、結実率とも人工他家受粉、人工自家受粉、自動自家受粉の順に低下したが、結果率には有意差はなく、結実率には有意差があった。ハマボウは自家和合性があるが、近交弱勢を示す植物であることなどがわかった。

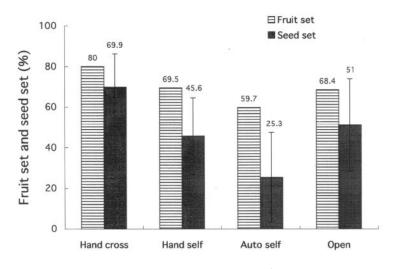


図4. ハマボウの受粉実験結果

図5. ハマボウの受粉実験結果

Fruit set:結果率 Seed set:結実率

Hand cross:人工他家受粉 Hand self.:人工自家受粉 Auto self.:自動自家受粉

Open::自由受粉

ハマボウの地理的変異と個体群多様性

調査は長崎県の西彼杵半島の東側に位置する大村湾沿岸の5つの個体群と、外海側に位置する半島の西側の4つの個体群を対象に研究を行った。各個体群から5つの個体をランダムに選び、計45個体について、各個体から30ずつの花と果実を採集し、形質を調べ比較した。測定した形質は、花弁長、花弁幅、花柱長、葯ー柱頭距離、葯-葯距離、雄蕊数、果実長、果実径、1果実あたりの潜在的な種子数(胚珠数)の9つの形質である。その結果、同一個体群内において各個体はそれぞれ特徴的な形質をもっているが、形質によっては差がないものもあった。しかし、個体群間ではすべての形質において差が認められた。大村湾側個体群と外海側個体群と比較すると、大村湾側個体群の方が、花弁長、花弁幅、葯-葯距離、果実長、果実径、1果実あたりの潜在的な種子数において値が小さかったが、葯-柱頭距離は値が大きかった。また、花柱長と雄蘂数は有意な差はなかった。大村湾が成立した当時は、現在のような自然が破壊された状態ではなく、海からの影響が強い外海側と比べて訪花昆虫が豊富であったと考えられる。したがって、それだけ花弁が小さく、葯-葯距離が短くても、昆虫に花粉を付着することが可能である。さらに、結実率が高くなるため胚珠数を少くすることが可能である。また、他家受粉が期待できるため、自家受粉を避けるように葯-柱頭距離が長くなったと解釈できる。ハマボウ群落の保全や植生復元には、個体群レベルで考慮する必要があると考えられる。

Characters Bay side Ocean side FPetal length (PL) $49.9 \pm 2.4 \text{ mm}$ $55.0\pm1.9~\text{mm}$ 51.226*** Petal width (PW) $51.6 \pm 3.6 \text{ mm}$ $54.2 \pm 3.3 \; mm$ 6.352* Style length (SL) $24.1 \pm 1.3 \; mm$ $24.4 \pm 1.3 \; mm$ 0.894^{ns} Anther-stigma distance (ASD) $3.9\pm0.9~\text{mm}$ $2.9\pm0.9~\text{mm}$ 14.500** Anther-anther distance (AAD) $13.4 \pm 1.9 \text{ mm}$ $15.5 \pm 1.7 \text{ mm}$ 15.097** Number of stamens 43.1 ± 8.6 43.8 ± 8.6 0.096ns Fruit length (FL) $26.9 \pm 1.8 \text{ mm}$ $29.1 \pm 2.2 \text{ mm}$ 12.907** Fruit diameter (FD) $15.3 \pm 0.7 \text{ mm}$ $16.2 \pm 1.0 \text{ mm}$ 10.893* Potential number of seeds 49.4 ± 4.2 54.0±3.9 9.576*

表1. 大村湾側と外海側におけるハマボウの花と果実の形態の比較

文献

中西弘樹 1979. ハマボウ群落の分布と生態. 植物分類地理30:169-179.

Nakanishi, H. 1985. Geobotanical and ecological studies on three semi-mangrove plants in Japan. Jap. Hour. Ecology 35:85-92.

Nakanishi, H. 2000. Distribution and ecology of semi-mangrove, Hibscus hamabo community in western Kyushu, Japan. Vegetation Science 17:81-88.

中西弘樹 2001. ハマボウの地域別個体数と生育状況. 奥田重俊先生退官記念論文集「沖積地植生の研究」pp.37-46.

Nakanishi, H. Nakanishi, K. and Takaki, A. 2007. Local variation and population diversity of Hibiscus hamabo (Malvaceae). Vegetation Science 24:19-28.

中西弘樹・吉岡一也・小林 業 2008. 長崎県大村湾におけるウミヒルモ属Halophila植物(トチカガミ科)の分布. 植物地理分類研究56:17-19.

キーワード: 塩性湿地、海産種子植物、ハマボウ、半マングローブ植物、繁殖生態

F: value by ANOVA test, significant level: ns, non-significant (i.e. P > 0.05);

^{*}*P*<0.05; ***P*<0.001; ****P*<0.0001.

有明海奥部泥質干潟の環境と機能について 瀬 ロ 昌 洋

要旨

有明海の奥部及び東岸の河口域や沿岸域には広大な干潟が広がっている。その面積は、わが国の総干潟面積(約500km²)の約40%にも達する。しかし、有明海の干潟は、その位置する海域によって底質の特性や環境を異にする。佐賀県に面した沿岸域では粘土、シルトなど微細な土粒子が多量に堆積した泥質干潟が、また福岡県、熊本県に面した東岸の沿岸域にはシルトや砂など比較的粗い土粒子が堆積した砂質あるいは砂泥質干潟が分布している(図ー1)。このような性質の異なる干潟の分布は、そこに生息する底生生物の種類や生息数にも大きな影響を及ぼし、有明海の多様な干潟生態系を生み出している。したがって、有明海の豊かさは、ここに形成された性質を異にする干潟の分布とそこに成り立つ多様な干潟生態系によって大きく支えられてきたと言える。しかし、近年、干潟やそれに続く浅海域の底質の変化、すなわち底質の細粒化、汚泥化、嫌気化などが指摘されている。このような底質の変化は、特に奥部海域において顕著であり、この海域に生息する稀有な生物種の生息数の激減の一因になっていると考えられている。したがって、有明海の環境や生態系の修復、さらには嘗ての豊穣な海を取り戻すためには、特に奥部の泥質干潟の現状を正しく理解した上で、対策を講ずる必要があるだろう。本報では、わが国において他に類を見ない奥部の広大な泥質干潟の環境の特異性や、そこでの生態系によって支えられた多面的機能について要約する。

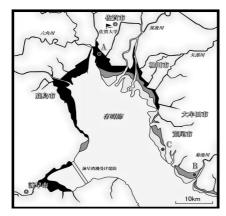


図-1 有明海の干潟分布



図-2 有明海奥部の底質 $(Md\Phi)$ 分布

干潟の分布と形成: 奥部海域の底質($\mathrm{Md}\Phi$)分布(**図**-2)から明らかなように、底質分布の特性は 六角川海底水道を挟んで東西海域で大きく異なっている. すなわち、東側の海域では $\mathrm{Md}\Phi=1\sim6$ の砂泥質、砂質の底質が、また西側の海域では $\mathrm{Md}\Phi \geq 4$ のシルト質、粘土質の底質が沖合から沿岸に向かって広く分布している. このような沿岸域の干潟や奥部海域の底質分布には、これらの素材となる河川からの搬入土砂の粒径組成や搬入後の土砂の分級さらには輸送過程が深く関わっていると考えられる. この一端は、有明海の大型潮流シミュレータ(水平縮尺:1/4,000、鉛直縮尺:1/160)による浮遊性物質(染料)の拡散やフロートの流跡実験あるいは筑後川出水後の河川水の拡散状況(塩分濃度分布)の観測結果からも推察される。すなわち、有明海の東方に広がる阿蘇火山地帯を含む約8,100km²の集水域から筑後川、矢部川、菊池川、白川、緑川などの出水に伴って搬入される多量の火山性土砂のうち、粒径の大きな砂などの大部分は河口域やその近辺に堆積する. 一方、浮遊性の強い

粘土などの多くは、電気化学的作用による凝集、沈殿、堆積と潮流、波浪による巻き上げ、流送を繰返しながら時空間的スケールの大きな、リンク状に繋がったいくつもの残差流(環流)などにより、よどみ域である奥部西岸海域に輸送され、堆積すると考えられる。したがって、現在の有明海の干潟や浅海域の底質の分布性は、太古からの自然の営みと近年の陸域などでの活発な人的活動の影響を大きく反映したものといえる

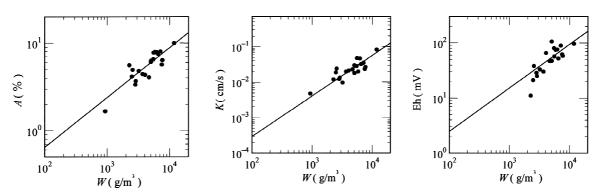


図-3 底質中のゴカイの湿重量(₩)と気相率(A),飽和透水係数(K)及び酸化還元電位(Eh)の関係

泥質干潟の環境:干潟の底質環境は多かれ少なかれ"階層構造"すなわち上層の好気的環境と下層の嫌気的環境より成り立っている。特に泥質干潟では、その構造が顕著に現れる。しかし、このような構造は固定的なものではなく、季節の推移や潮汐の状態(大潮と小潮、満潮と干潮)、マクロベントスの生物活動(摂餌や巣穴形成)さらにはバクテリアの代謝活性によって影響を受ける。その中でも、干出時のマクロベントスによる巣穴形成は透水性や通気性の低い泥質干潟の底質環境を大きく改変する(図-3)。すなわち、泥質干潟の干出時には、トビハゼ、ムツゴロウ、ヤマトオサガニ、ゴカイなどが巣穴から這い出し、盛んに摂食する。その結果、大小の多くの巣穴を通して空気が底質中に侵入し、マクロ的には好気的環境が表面から下層に向かって拡大する。一方、その冠水時には、マクロベントスの多くは一旦生物活動を休止し、巣穴で次の干出時まで待機する。また、冠水時には巻き上げられた浮泥が海底に堆積し、巣穴の多くを塞ぐ。そのため、空気の底質への侵入は、冠水と巣穴の閉鎖によって大きく阻害される。その結果、底質中の酸素はマクロベントスや好気性バクテリアの代謝などにより次第に減少し、それに伴って底質表層付近はマクロ的には嫌気的環境へと推移すると推察される。このように泥質干潟の最も本質的な部分である底質中の環境(図-4)は、潮汐の干満とそれに呼応するマクロベントスの生物活動等が相まって周期的に大きく変動していると考えられる。

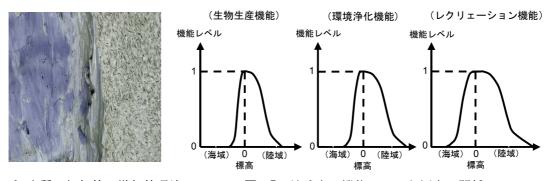


図-4 底質の好気的,嫌気的環境

図-5 地球上の機能レベルと標高の関係

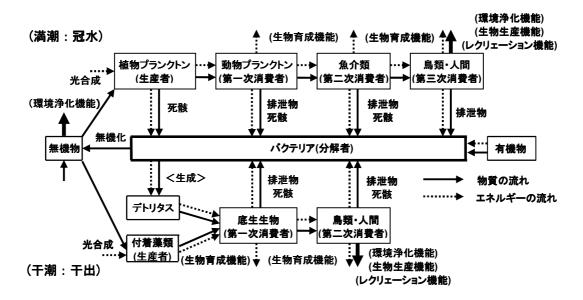


図-6 干潟域における物質循環と機能

泥質干潟の機能と物質循環:一般に干潟は,"海の畑","海の肺","海の揺りかご"などと称されてきた.これらの呼称は干潟の有する生物生産,環境浄化,生物育成などの多面的機能を端的に表すものである.このような機能は、多かれ少なかれ、地球上のすべての地点に備わっており、人類は太古より、これらの機能を活用しながら生き延びてきたと言えよう.しかし、これらの機能レベルは地球上のすべての地点で同等ではなく、各地点の位置する場所によって大きく異なる.いずれの機能の相対的レベルも、干潟域、デルタ地帯などの標高0m付近で最も高く、標高が低下あるいは上昇するに伴い、急減する(図-5).このような標高0m付近の高い機能レベルは、ここでの豊かな生態系に基づく活発な物質循環によって支えられている.特に泥質干潟では、冠水時に見られる植物プランクトンを起点とする生食連鎖と干出時に見られるデトリタス及び付着藻類を起点とする腐食及び生食連鎖が存在し、これらの食物連鎖に伴う多様な物質循環の過程の中で多面的機能が維持されている(図ー6).すなわち、泥質干潟では、一般の海域においては見られない干出時の腐食及び生食連鎖に基づく物質循環がここでの機能レベルの向上に大きく寄与しているといえる.

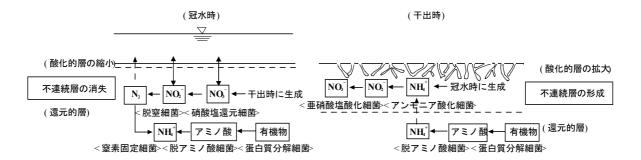


図-7 泥質干潟の底質表層付近における冠水時及び干出時の窒素循環

底泥の窒素除去パワー:潮汐の干満とそれに呼応するマクロベントスの生物活動により、好気的環境と嫌気的環境が交互に形成されると考えられる泥質干潟の底質表層付近では、それぞれの環境に応じて好気性バクテリアと嫌気性バクテリアの代謝活性が活発化すると推察される。特に窒素循環の視点から見た場合、干出時の好気的環境では硝化細菌による硝化活性が高まり、アンモニア態窒素は硝酸態窒素に酸化され、また冠水時の還元的環境では脱窒菌による脱窒活性が高まり、硝酸態窒素は窒素ガスに還元されて大気中に放出されると考えられる(図ー7)。したがって、泥質干潟の底質表層での環境変化と窒素循環は、海域からの窒素化合物の除去すなわち効率的な水質浄化に大きく寄与しているといえる。このような底泥の有する水質浄化の機能を有効に活用することにより、排水中の窒素化合物を効率的に除去することが可能と考えられる(図ー8)。

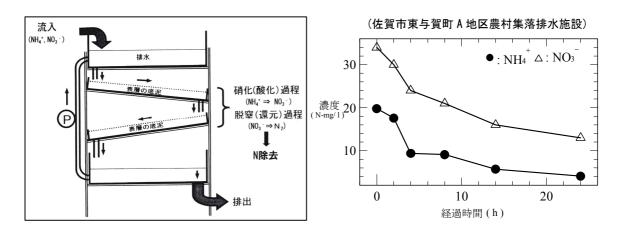


図-8 干潟域底泥を用いた排水中の窒素除去装置の概要と実験結果の一例

文献

鎌田康彦. 1980. 有明海の沿岸地質・海底地形と底質. 月刊 海洋科学. 12(2). 88-96.

戸原義男,渡辺 潔,加藤 治,瀬口昌洋. 1980. 有明海の潮流と混合,拡散に関する研究-有明海湾奥海域の環流-. 第27回海岸工学講演会論文集. 27. 483-486.

瀬口昌洋,郡山益実,加藤 治. 2002. 泥質干潟におけるマクロベントスの巣穴形成とその硝化・脱 窒過程への影響. 水工学論文集. 46. 1169-1174.

栗原 康. 1986. 海岸域における生物浄化機能と環境-干潟をめぐって-. B-1-1-B-1-13. 水工学 に関する夏季研修会講義集 Bコース.

栗原 康. 1991. 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー. 43-84. 東海大学出版会

瀬口昌洋,郡山益実,加藤 治. 2004. 干潟域底泥による無機態窒素化合物の除去特性. 水工学論文 集. 48. 1297-1302.

瀬口昌洋,郡山益実,古賀あかね,野田美幸. 2007. 有明海奥部干潟域における脱窒菌群の生息分布 と底質環境について. 海岸工学論文集. 54. 1126-1130.

キーワード

有明海、泥質干潟、干潟生態系、多面的機能、マクロベントス、硝化・脱窒

熊本県におけるハマグリの現状と資源管理 逸見 泰久

はじめに

移動能力の乏しい水産資源(例えば貝類など)は、厳格な管理を行うことで持続的な漁獲が可能となり、漁獲総量も増加することが見込まれる。例えば、熊本県緑川河口では10年ほど前からアサリの漁獲制限が行われるようになり、最近になってやっと資源量の増加が観察されるようになった(中原・那須 2002)。しかし、このような管理漁業が行われているのは、熊本県では一部の魚介類に過ぎず、地域も限られている。近年の漁具漁法の性能向上と流通の近代化により、「根こそぎ採り、遠隔地に高く売る漁業」が行われている漁場が少なくない。そのような場所では漁業資源が枯渇するのは当然であるが、同時に周辺の漁場の資源量にも悪影響を及ぼしている。

私たち「肥後ハマグリプロジェクトグループ」は、ハマグリ Meretrix lusoria をモデルに、資源管理の確立とブランド化による価値の付加を目指している。ハマグリは、縄文時代の貝塚から最も普通に産出する貝類で、最近までは全国の砂質干潟において最も普通に見られる二枚貝であった。しかし、1980年頃より多くの地域で漁獲量が激減し、絶滅危惧種に指定した県もある。ハマグリは砂質干潟の食物連鎖の基盤となる種であり、また、生物撹乱により底質改善を行う種であることから、資源量の回復は単に水産上の意義だけでなく、生物多様性や干潟環境を改善する上でも意義がある。

熊本県はハマグリ生産量日本一の県であり、緑川・白川の個体は殻の模様が美しいため、京阪神などに高値で出荷されている(図1). しかし、このことは地元(熊本市など)においてもあまり知られていない. また、県内いずれの漁場においてもハマグリは乱獲状態であり、絶滅が危惧されるほど資源量が減少している地域もある. さらに、ブランド化や地産地消な

ど、ハマグリを高く売る努力がほとんど行われていたないため、焼で有名な三重県桑名市などグリが地元ハる三重県本産のハマグリが地元ハるである。今後、正確な基礎デ源管である。今後、正基づいた資源管理を進める必要があるが、それにである。

本研究では、厳密な漁獲管理が行われている加水では、厳密な漁獲管理が行われているが、福田のでは、福田のでは、1月のでは、

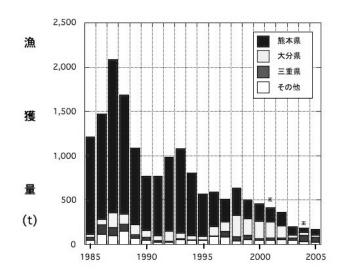


図1 ハマグリ Meretrix lusoria の漁獲量の年変動グラフ. 漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省)を集計し,加工.

ハマグリは絶滅危惧種

貝塚資料によると日本人は約 8.000年前からハマグリ類(ハマグ リとチョウセンハマグリ)を食べ ていたようで、北海道から沖縄に 至る全国の貝塚からハマグリ類が 出土している.『日本縄文石器時代 食料総説』(酒詰 1984)によると、 縄文時代の貝塚から出土する貝類 はハマグリ類が最も多く, 出現頻 度は80%近くにもなる(表1). ま た,縄文時代以降も,日本書紀の 「白蛤」などの書物を始め、こと わざ、俳句、絵画などにもハマグ リ類はしばしば登場する. さらに, 貝覆い,薬入れ,碁石など,ハマ グリ類は食材以外の目的にも多用 されてきた. このように、日本の 多くの地域の人々は、太古の昔か らハマグリ類の恩恵を受けていた ことがわかる.

しかし、1980年頃より多くの地域でハマグリ類は減少し、既に絶滅したと考えられる地域さえある.現在、ハマグリは九州地方で、チョウセンハマグリは関東の鹿島灘や九十九里浜で漁獲が多いが、そ

表 1 縄文時代の836の貝塚から出土した貝類353種の順位.

順位	種類	出現貝塚数	出現頻度(%)
1	ハマグリ	657	78.6
2	カキ類	562	67.2
3	アカニシ	471	56.3
4	アサリ	423	50.6
5	サルボウ	419	50.1
6	オキシジミ	410	49.0
7	シオフキ	390	46.7
8	ハイガイ	381	45.6
9	ツメタガイ	308	36.8
10	オオノガイ	300	35.9
13	ヤマトシジミ	199	23.8
19	マテガイ	153	18.3
26	アワビ	111	13.3
30	サザエ	103	12.3
47	チョウセンハマグリ	54	6.5
195	アゲマキ	5	0.6

れでも30年前に比べると漁獲量は大幅に減少している. 特にハマグリの減少は著しく,かつては漁獲量の多かった東京湾ではほぼ絶滅状態で,ハマグリ漁は1968年以降行われていない.また,伊勢湾でも1987年以降は年間漁獲量が100トンを切っている状態である. 状況は,国内最大のハマグリ生産県の熊本県でも同様で,過去20年間で漁獲量は約20分の1の100トン程度に激減している. そのため,ハマグリは各地のレッドデータブック等で絶滅危惧種に指定されている.

ハマグリの激減についてははっきりしない点が多いが、いくつかの原因が考えられる.まず、干潟の減少が大きく影響している. 1945 年には全国で 82,621ha あった干潟が、1996 年には約 64%の 49,380ha に減少してしまった. 中でもハマグリの生息地である河口域での埋め立てが顕著で、伊勢湾や瀬戸内海では多くのハマグリ生息地が消滅した. また、干潟や潮下帯の泥化も無視できない. ダムの建設や河川での砂利採取によって河口域に流入する砂の量が減ったのに加えて、護岸や防波堤の建設による潮流の停滞によって、河口の底質は以前に比べて泥っぽく、場所によっては堅くなった. ハマグリ、特に稚貝は泥分の少ない粗い砂底を好むので、河口域の泥化が稚貝の着底数減少や死亡率の上昇をもたらした可能性は強い.

合成洗剤や農薬といった有害物質の流入もハマグリ激減の原因である。特に浮遊幼生や稚貝は有害物質に弱いので、このような有害物質は他の魚介類の資源保護のためにも極力減らしていかなければならない。さらに、貧酸素水塊の発生もハマグリ激減の原因のひとつである。伊勢湾や東京湾では、赤潮や青潮に伴う海底の酸素不足がハマグリ激減の主な原因であると考えられている。海域の富栄養化によって赤潮が頻発し、それに伴って海底が酸素不足になり、最後には青潮が発生するようになったのである。他に、降雨に伴う塩分低下、高温や低温、底質の還元化と硫化物の生成もハマグリ激減の原因かもしれない。ただし、ハマグリは他の二枚貝(例えば、アサリやシオフキ)に比べて環境悪化には強いので、環境を改善することによって資源量を増加させることは不可能ではない。

乱獲もハマグリ激減の原因として無視できない. 熊本県では殻長(3cm 以下の採集の禁止)

以外の規制がないために、ハマグリに対する漁獲圧が高く、多くのハマグリが産卵前に漁獲されている。伊勢湾の木曽三川では地元の赤須賀漁協によって浅海域のハマグリ資源が管理されているが、干潟域では市民がレジャー感覚でハマグリを採集している。このような市民による無秩序なハマグリの採集は、長崎県など他の地域でも見られる。特に小規模な生息地ではほとんどハマグリが漁獲されておらず、そのため漁業者による監視や規制がないので市民による乱獲は個体群を維持する上で深刻である。

なお、泥化や有害物質、貧酸素による環境悪化は、陸上からの物質の流入や海域での複雑な相互作用が関わっているのに加え、埋め立てや浚渫などの大規模な沿岸域の改変が関わっているので、短期間で元の良好な環境に戻すことはほとんど不可能である。これに対して、乱獲がハマグリ減少の原因である場合は、適正な資源管理を行うことによって即効的な資源量の回復が期待できる。ハマグリ資源の回復のために、行政や漁業者が真っ先にできる対策である。

ハマグリは優占種

ハマグリは各地で絶滅、または絶滅が心配されるほど減少している貝類であるが、唯一ハマグリが豊富に生息している場所がある。福岡県の西端にある加布里湾である。加布里湾は糸島半島の西の付け根に位置するが、玄界灘に流入する泉川という小河川の河口に、主として砂泥質の干潟が広がっている。ハマグリの漁場は約30haと狭いが、地元の糸島漁協加布里支所によって厳格な資源管理に基づくハマグリの漁獲が行われている。

実は加布里湾でも 1980~1990 年代前半にはハマグリが激減し,ほとんど漁獲がない時期があった。何とかハマグリの資源を回復しようと、福岡県水産海洋技術センターと漁協が協議を重ね、ハマグリの漁獲サイズを殼長 5cm 以上に、漁獲量を 1 人 1 日 10kg までに、漁期を11 月から翌年 3 月までと決めた。また、海域の一部のみを漁場とし、それ以外の場所、特に稚貝の多い河川内は禁漁区とした。さらに、密漁が行われないように当番を決めて監視を行い、市民が漁業権のある区域に入ったときには漁業権のない上流部に移動するように注意している。このような加布里湾におけるハマグリの資源管理は、殼長 3cm 未満の漁獲制限しかない熊本県とは対照的であるが、全国でも例のないほど厳しいものである。

このような厳しい資源管理の効果もあって、現在、加布里湾ではハマグリが優占種(量的に最も多い種類)となっている。私たちは泉川の感潮域(潮の干満の影響を受ける地域)に12 カ所の調査地点(A〜L)を設け、それぞれの地点でハマグリの稚貝の個体数の季節変化を追跡すると共に、ハマグリの密度の高い河口域の地点 G〜L でハマグリのサイズ組成の季節変化を解析し、成長や移動を研究している。ここでは、2008 年 9 月 13 日に地点 G〜L で行った干潟底生動物調査の結果を紹介する。

調査は、地点 G~L にそれぞれ 50cm 四方のコドラート(各 10 カ所)を設置し、その中の砂泥を 1mm 目の篩でふるってすべての底生動物を採取し、各種の個体数と重量を測定した。なお、地点 G~I は河川最下部、地点 J~L は海域であるため、わかりやすいように河川(上・中・下)、海域(上・中・下)とした。図 2 (A) に個体数に関する結果を示す。横軸は底生動物の種名、縦軸は底生動物の密度($1m^2$ あたりの個体数)で、図は上部よりそれぞれ地点 G から地点 L である。このようにハマグリはどの地点においても個体数が多く、特に地点 I では $1m^2$ あたり 200 個体を越えている。他の底生動物ではアサリとユウシオガイは海域に多く、オキシジミとヤマトシジミは河川に多かった。なお、その他の底生動物は海域に多かったが、大部分はホソウミニナとアラムシロで、マキガイイソギンチャクやイボキサゴなどの希少種も生息していた。

図 2 (B) に重量に関する結果を示す. 縦軸は $1m^2$ あたりの底生動物の重量 (湿重) である. このようにどの地点においてもハマグリが生物量の大部分を占めており、特に海域では $1m^2$ あたり 1,250~1,850g と驚くべき値を示した. 一方、個体数が比較的多かったユウシオガイ、ホソウミニナ、アラムシロの現存量は小さかったが、これはこれらの種の 1 個体の重量がハマグリに比べてずっと小さいためである. また、地点Gのハマグリの現存量は小さかったが、これは地点Gとその上流部には漁業権がないため、この地点のハマグリが市民によって乱獲された結果であろう. また、各地点のハマグリの個体数と現存量を比較すると、ハマグリが海域に行くにつれて大型化しているのがわかる. ちなみに、ハマグリ 1 個体の平均重量は、

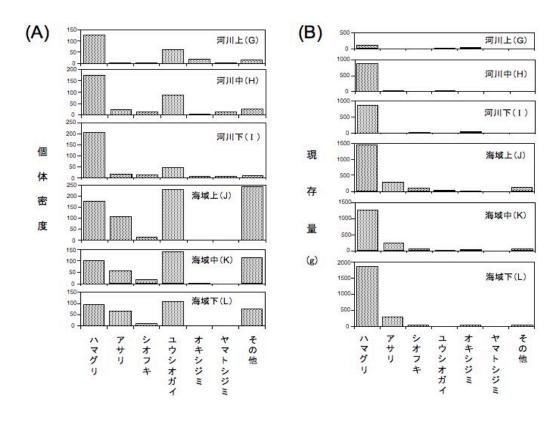


図 2 加布里湾における $1m^2$ あたりのハマグリの個体数(A) と現存量(B)

河川 (上・中・下) と海域 (上・中・下) で,それぞれ河川 (0.8g, 5.0g, 4.2g),海域 (8.2g, 12.2g, 19.5g) で,6 地点の平均は 7.2g であった.このことから,ハマグリは成長するにつれて河川から海域に移動していることがわかる.いずれにしても,これほどのハマグリが生息している場所は他になく,おそらく単位面積あたりの個体数・重量は加布里湾が日本一であろう.

実は、私は「環境が健全で、乱獲がなければ、アサリは砂泥質干潟の、ハマグリは砂質干潟の優占種」であると考えている。そして、これらの二枚貝が多量に生息することで、生物濾過や生物攪乱が十分に行われ、多種多様な生物が豊富に生息する豊かな干潟生態系が維持されると考えている。例えば、標準サイズのアサリは1日に100の海水を濾過するといわれているように、二枚貝は濾過によって植物プランクトンなどを食べ富栄養化を抑えるはたらきがある。さらに、アサリやハマグリのような二枚貝は、海底の砂泥に潜ったり表層の砂泥を出水管で吹き飛ばしたりすることで海底を耕す効果も持っている。近年、各地で沿岸域の環境が悪化しているが、環境の悪化が二枚貝の減少をもたらし、二枚貝の減少によってさらに環境が悪化するといった『負のスパイラル』に陥っている可能瀬が多くの研究者によって指摘されている。

実現可能なハマグリの資源管理策

では、熊本県でも加布里湾並みの資源管理は可能だろうか。また、資源管理の効果は期待できるのだろうか。私たちの調査では、白川河口でも稚貝は十分に生息していること、成長は比較的早いこと、死亡率は非常に低いことなどが明らかになっている(内野ら 2008)。したがって、白川河口の(そしておそらく緑川河口でも)ハマグリは資源管理の効果が十分に期待できる二枚貝であると考えられる。ハマグリ資源を回復するには、漁場整備の他に、漁獲サイズの引き上げ・漁期の設定・漁獲量の制限・漁場の設定などの資源管理策が必要であ

る. 以下に最も取り組みやすい方法として, 漁獲サイズの引き上げと漁期の設定を提案する.

- ◆漁獲サイズの引き上げ:ハマグリが産卵する大きさは殻長 4cm 程度と考えられている. したがって殻長 3cm で漁獲すると、そのハマグリは一度も産卵できなかったことになる. 次世代のハマグリを確保するためには、漁獲してよいハマグリのサイズを 4cm 以上に引き上げることを提案する.
- ◆ 漁期の設定: 夏場はハマグリの産卵期であると同時にハマグリの単価の安い時期でもある. この時期に採貝を制限することは、ハマグリの資源保護と漁家収益率向上の観点から重要である. 夏場はハマグリ採貝を休漁し、冬場はアサリ採貝を休漁する「ハマグリとアサリの二毛作的な資源管理」を提案する.

講演会では、我々が作成したリーフレットを配布し、合意形成に基づく資源管理について議論する予定である.

引用文献

中原康智・那須博史. 2002. 主要アサリ産地からの報告-有明海熊本県沿岸, 日本ベントス学会誌 57:139-144.

酒詰仲男. 1984. 日本縄文石器時代食料総説. 土曜会.

内野明徳・逸見泰久・畑中寛・福田靖・上村彰・中熊健二. 2008. 有明海・八代海の生物生息環境の評価・保全・再生. 政策創造研究プロジェクト 2007 年度報告書 pp.71-104. 熊本大学政策創造研究教育センター.

キーワード: ハマグリ, 生活史, 資源管理, ブランド化

陸と海の接点としての内湾域海岸線の構造・特性について 一有明海と他海域の比較から一 五明 美智男

要旨

昨年の本講演会では、「閉鎖性海域の環境保全・再生技術のいまー有明海と他海域の比較から」と 題し、特に著者がフィールドとしてきた東京湾との比較から、「閉鎖性海域の共通性・特異性と技術」、 「有明海・東京湾と技術」、「施策展開と技術」、「生物生息環境と技術」の4つ論点で話題を提供した。 今回は、特に海岸線の場を理解するためのた新たな試みとして、昨年紹介した生物生息環境の物理的 構造体系および他海域との比較を手がかりに、海岸線の構造・特性の分析を試みる。

1. 生物生息環境の物理的構造体系と地形

図-1は、生物生息環境の設計・施工の技術を検討するために、杉山(1995)を参考にして、生物生息場所の構造・形態伝播図を作成したものである(五明、2008)。フロー図に示すそれぞれの構造は形態の変化によって他の構造へと伝播していくが、その空間スケールは大から小まで様々である。例えば、写真-1は、大きなスケールの構造例として、上段左から順に、河川堤防、田んぼの畦道と用水路、干潟のサンドウエーブ、岬の先端の岩礁、海面に突き出た大岩、ブロックにより築造された河川のワンド、高速道路の橋脚、里地と尾根・谷、岬を示している。また、写真-2は、小さなスケールの構造例として、テトラポッドの脚、トビハゼの巣穴、干潟のタイドプール、自然石護岸、干潟のミオ筋、砂連、複数の巣穴、木杭、導水管内部を示したものである。

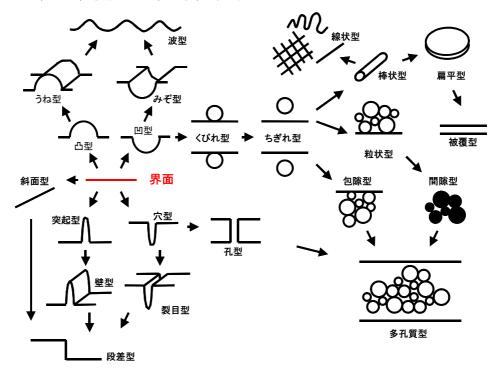


図-1 生物生息場所の構造・形態伝播図



写真-1 大スケールの構造

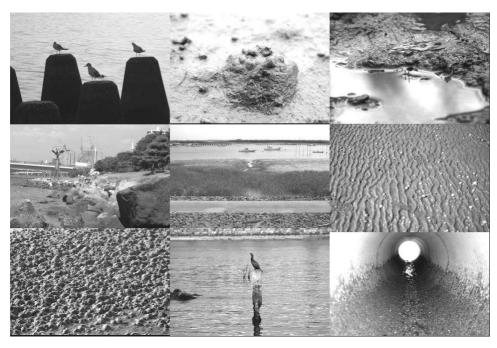


写真-2 小スケールの構造

このようなスケールの異なる構造の集 合によって,海岸線には多様な地形が見 られるのが通常である. 地形学的には, 時空間的に造形スケールの大きな地質構 造に, 自然外力, 人為改変および両者の 相互作用によって形成される小~中程度 規模の地形が重なり, さらに生物生息に 起因する微小なまたは小さな地形や構造 がその表面を覆ったり内部に見られたり する. 定性的には図-2のような整理が可 能である. こうした分類にもとづけば, 内湾の環境再生は, 中程度以下の空間ス ケールに対し、順応的な方法による小さ な時間スケールの試行の積み重ねによっ て, 基盤の回復や創造, 生物生息の工夫 を行うものととらえることができよう.

空間スケール 地質構造的な大地形 自然外力による地形 人為改変による地形 両者の干渉地形 基盤の回復・創造 生物生息の工夫

図-2 時空間スケールによる地形分類と 再生方策の範囲

2. 有明海の海岸線の特徴

東京湾のような他海域と比較した場合,有明海の海岸の大きな特徴として,潮位差が大きいこと,河川からの流下土砂および潮汐・潮流作用によって干潟が顕著に発達していること,海岸線の防護施設が軟弱な沖積層上に築造されていること,干拓により造成されてきた海岸線の背後地は地盤高が低く常に排水問題を抱えていること,潮位差および湾の地形特性から高潮災害を受けやすいことなどが挙げられる(熊本県・福岡県・佐賀県・長崎県,2005).

そのため、施設的には2つの課題がある. 写真-3に示すように、著しい高低差を持った壁型の構造ではあるが、地盤沈下や海



写真-3 有明海の海岸線の典型的な特徴

面の上昇などによって高さ不足を招きやすい.また、排水上は、樋門・樋管により陸から海への連続性を人為的に保つ必要があり、維持管理を課題とする施設が多数見られる.

3. 潮間帯に相当する沿岸帯の提案と定量化方法

従来,海側,海岸線,背後地における諸施設は,防護の必要性から同時に扱われることはあるものの,利用,環境面ではそれぞれ個別に扱われてきた。しかしながら,例えば,背後地の排水およびクリークの水質の保全や海域への影響などを検討したり,海岸利用の面での陸と海の連続性回復などを図ったりするためには,これらを一体として扱っていく必要がある。それ以上に,海側での環境再生の事業を進めたり,地域特性に応じた最適な方策を選定したりするためには,歴史的,社会的,文化的な背景を有する海と陸とを連続させた場の理解が不可欠である。

満潮位および干潮位の間のゾーンは潮間帯と呼ばれることから、干潮位海岸線に相当する海浜・干 潟縁辺部と背後地の満潮位海岸線の間の区域は、潮位変動に対する基本的な応答域と見ることができ る. そこで、図-3に示すように、両者から決定される区域を沿岸帯と定義して、海と陸の総合的な 評価を試行する.堤防がなければ潮間帯になると考えられるこの領域は,地盤高さと計画潮位を知る ことによりある程度正確に定量化することができることから、海岸線の特性、構造を表す1つの指標 と考えることができる.

整理が間に合わず結果は未掲載となるが,講演会では25000分の1地形図を用いた結果や特定の海岸 の分析例を示し、あわせて踏査時の観察状況や干潟調査結果から、沿岸帯を構成する干潟部・施設・ 陸地部各地域の特性についても触れる予定である。干潟・干拓といった人間の多様な営みを内包する 沿岸帯を対象とするような環境再生の場合には、経済、歴史、社会および文化的な視点での理解やア プローチも重要である. 自然科学的な場の理解とどのようにして融合・統合できるのか, またされる べきか、海岸線踏査を続けながら検討していければと考える次第である.

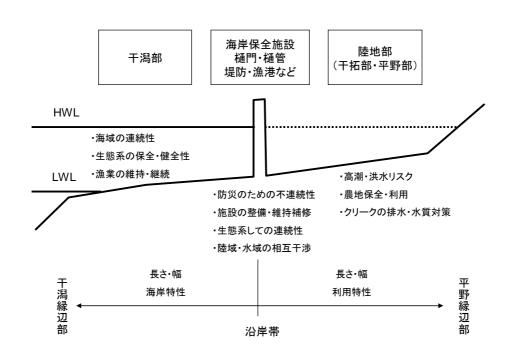


図-3 沿岸帯の定義と構成する各部の特性

文献

五明美智男(2008): 第6回熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター講演会要旨集, pp. 31-32. 杉山恵一 (1995): ビオトープの形態学-環境の物理的構造, 朝倉書店, 156p. 熊本県・福岡県・佐賀県・長崎県(2008): 有明海海岸保全基本計画, 43p.

国土交通省九州地方整備局:有明海岸パンフレット

キーワード: 内湾, 保全, 再生, 生息環境構造, 海岸線地形, 沿岸帯

有明海沿岸域を対象とした水処理技術システムの評価 熊本大学 沿岸域環境科学教育研究センター 客員准教授 村野昭人

要旨

1 研究の背景・目的

平成18年度末の日本における汚水処理人口普及率は、東京都の99.1%を始めとして都市部では高い値となっているが、全国平均では82.4%にとどまっている. さらなる整備を進める上では、地方都市の昨今の厳しい財政状況や、人口減少といった社会的動向を踏まえ、処理規模や人口密度といった地域特性に応じた効率の良い水処理技術を適用することが求められる.

そこで本研究では、近年、環境悪化の著しい有明海沿岸域を対象として、流入負荷軽減策の一つとして有機性廃棄物の循環利用を推進するために、水処理技術システムの導入による環境負荷削減効果を定量的に評価することを目的とする.

2 水処理技術システムの計画・評価

水処理技術システムを計画・評価の全体フレームを図1に示す.まず、排水や有機性汚濁負荷の発生源となるセクターごとに、社会統計情報、衛星情報、環境観測情報の複層的なデータを地理情報システム (GIS) 上で統合化して、環境資源のデータベースを構築する.データの精度については、一律の基準は設けず、あくまで本システムを用いる意思決定主体の特性に応じて構築することが重要である.第二に、政策や規制などの社会技術群として、経済変数の設定、循環施設の規模や立地の設定、土地利用・産業構造の転換、有機廃棄物の分別資源化を取り上げ、社会技術の操作変数を明らかにする.各設定値については、国内における代表値をデフォルト値と設定した上で、システム利用者が地域特性に応じた値を入力できるものとする.

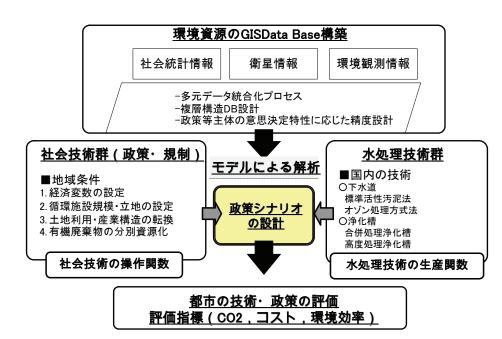


図1 水処理技術システムの計画・評価のフレーム

第三に、水処理技術群として、標準活性汚泥法、オゾン処理方式などの下水道技術や、合併処理浄化槽、高度処理浄化槽などの浄化槽技術について、初期・運用時それぞれにおけるコスト・投入エネルギーなどを調査し、水処理技術の生産関数を定式化する.

最後に、社会技術の操作関数と水処理技術の生産関数を組み合わせた技術政策シナリオを設計し、環境資源のGISデータベースに基づいてマクロ・ミクロの環境負荷削減効果や事業効率を評価する. 汚濁負荷除去量、事業コストと、長期コストとしてのLCCO₂、それぞれの環境効率を基本指標とした上で、各ステイクホルダーとの協議で具体的な指標を算出し、合意形成に向けた支援ツールとする.

3 水処理技術システムの評価方法

水処理技術システムの導入に伴う環境負荷量を、LCA を用いて評価する。本研究では建設段階と運用段階を対象として、年間の CO_2 排出量を算出する。 CO_2 排出量の算出フローを図 2 に示す。建設段階については、土木工事、建設工事、建設設備工事、機械工事、電気工事の建設費割合から、下水道事業費を按分し、さらにデフレーターを用いて補正を行う。補正した建設費を耐用年数で除して各々の原単位を乗じ、一年当たりの CO_2 排出量を求める。運用段階については、電気使用量、油・ガス系燃料使用量、薬品使用量、汚泥処理量を算定項目とし、各値に原単位を乗じて算出する。

また、環境省が出しているマニュアルを用いて、水処理技術システムの導入によるコストを算出する.下水道統計より管渠延長と処理面積の関係を調査し、得られた関係式から求められる管渠延長に管渠敷設あたりのコストを乗じて、下水道の管渠建設に要するコストを算出する.

処理面積と人口密度を変数として、BOD 単位除去量あたりのコスト、 CO_2 排出量から、下水道システム及び浄化槽システムの事業効率を試算した。まず、各システムの運転実績データより下水 $1m^3$

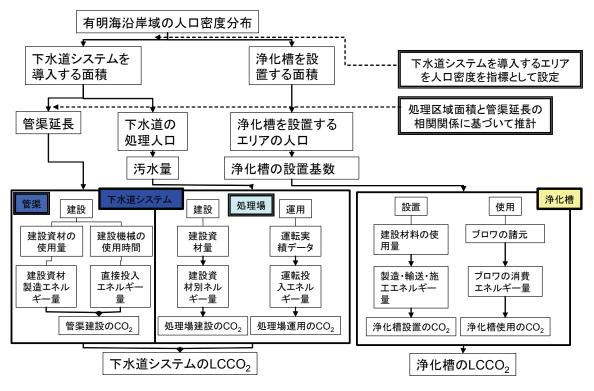


図 2 水処理技術システムの CO₂排出量算出フロー

あたりの平均汚濁負荷除去量を求め、一人一日当たりの下水量を0.225m³と仮定して年間一人当たりの 汚濁負荷除去量を算出した.次に、処理面積と人口密度の値から、各水処理技術の導入によるコスト を算出し、その値を基にLCCO₂排出量を求めた.最後に、1年当たりのCO₂排出量を、年間のBOD除去量 で除することで、単位汚濁負荷除去量当たりのCO₂排出量を算出した.

4 水処理技術システムの導入による環境負荷発生量の評価

人口密度と処理面積を操作して、水処理技術システムを導入した場合のCO2排出量を算出した結果を図3に示す。下水道においては管渠建設に伴う CO_2 排出量が多いことが明らかとなった。また、人口密度が高いほど、また処理面積が大きいほど、下水道の単位汚濁負荷除去量当たりの CO_2 排出量は減少することが分かった。人口密度が1000人/ km^2 の場合には処理面積に関わらず浄化槽よりも小さくなり、500人/ km^2 の場合には処理面積によって大小関係が変化することが明らかとなった。

また,熊本県沿岸域を対象として,人口密度500人/km²以上の自治体のエリアに下水道システム,それ以外の自治体に浄化槽を導入した場合(ケース1),年間226kt- CO_2 の排出となった。システム導入の分岐点を1000人/km²以上とした場合(ケース2)には,年間183 kt- CO_2 の排出,すべてのエリアに浄化槽システムを導入した場合(ケース3)には,年間142 kt- CO_2 の排出となった(図4)。さらに,各ケースで汚濁負荷除去量あたりの CO_2 排出量を算出した結果,ケース1で21。Okt- CO_2 /t,ケース2で18。O8kt- OO_3 /t,ケース3で30。O1kt- OO_3 /tとなった。

これらの結果を用いることで、海域に流入する汚濁負荷の軽減と、水処理におけるCO₂排出量の削減の両立させる施策を検討することが可能となる。今後、本稿で構築した評価方法を援用して、循環型水処理技術政策シナリオの環境効率を評価することが求められる。その際、①膜処理技術などの最新の技術を含めた技術インベントリの調査対象の拡大、②人口、技術、産業構造等の変化を考慮したシナリオの構築③汚濁削減性能指標の構築、が課題としてあげられる。

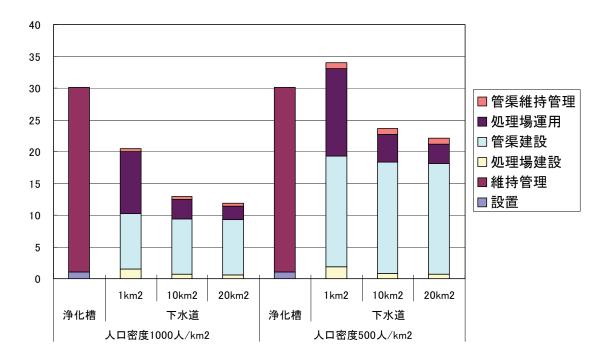


図3 水処理技術システムの汚濁負荷除去量当たりの CO₂排出量 (t-CO₂/t)

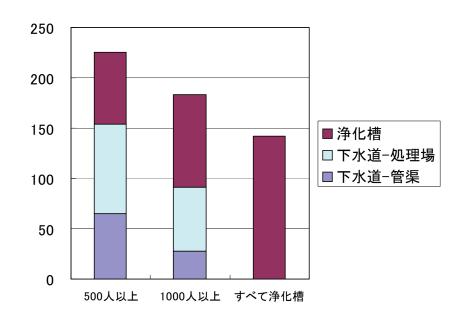


図 4 熊本県沿岸域を対象とした水処理技術システム導入による CO₂排出量 (kt-CO₂/year)

文献

金子光子,川村清史,中島淳:生活廃水処理システム,技報出版,1998

徐開欽, 稲森悠平, 須藤隆一: アメリカにおける分散型排水処理システムの政策的動向, 月刊浄化槽, No. 365, 4-11, 2006

井村秀文:下水道システムのライフサイクルアセスメント:LCE及びLC-CO2による評価,土木学会論文集NO.552/Ⅶ-1,pp.75-84,1996

環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課浄化槽推進室:生活排水処理施設整備計画策 定マニュアル,2002

藤田壮,村野昭人,徐開欽,橋本禅:循環型水処理技術・政策の計画・評価システム,第11回日本水環境学会シンポジウム講演集,pp. 138-139,2008

国立環境研究所:産業連関表による環境負荷データブック(3EID), 2002

キーワード:水処理技術システム,下水道,浄化槽,有明海沿岸域,LCA

「有明・八代海の現状とより良い環境創りに向けて」

熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター 教授 滝川 清

概説

有明海、八代海、東京湾、伊勢湾、瀬戸内海のような閉鎖性水域や各地の沿岸域の環境質、生態系、生物生産基盤の劣化は目に余るものがある。わが国が、安心して生活できる国、安全な国であるには、自然災害に対する防災基盤整備とともに生物生産基盤を維持し、国民のための食糧確保が危機状態においても可能なようにし、合わせて、国土の環境が生態系を保持しうる状況になければならない。このための努力は、各府省、各分野、各地にてなされているが、効果が目に見えるまでには残念ながら至っていない。環境や生態系の再生は、これらが自己修復機能を有している間に、つまり生物群やその生息環境が復元できる状況にある間になされなければならない。

本研究は、有明海・八代海を対象とするが、この海域では陸域からの栄養塩や有機物の流入量は既にかなり減少しているにもかかわらず回復の兆候を見せずに悪化の傾向を示している。この意味で、自己修復機能はかなり低下しており、環境劣化のスパイラルに入り込んでいる。海域で生物生産を持続的にするには、海域を利用する各分野の従事者の努力に加えて、陸域からの各種物質の発生・輸送・負荷の過程全域にわたり制御する技術システムと社会システムが必要である。具体的な改善目標を設定し、それを達成するために俯瞰的立場から科学的知見を駆使することは、この海域にとって焦眉の急である。有明海・八代海再生のための特別措置法(平成14年11月29日)が制定され、各府省の連携により施策が実施され始めている。しかしながら、研究は、個々の事象解明のためのものや、環境修復でもある側面のみに注目したものがほとんどである。各府省所轄の研究機関はそれぞれに課された研究課題の範疇を限定的に扱うことがほとんどで、対象とする閉鎖性水域全分野を視野に入れて研究課題の範疇を定めることには制度上無理がある。また、環境改善に、現象解明や基幹技術開発のような基礎的な研究を積極的に経費と時間をかけても、直接つながっていないのが実態である。

また、地球温暖化の影響により水温の上昇、海面上昇にともなう災害がすでに深刻化してきているが、大気環境の変化による気候変化、豪雨と渇水など両極端な現象の長期化と災害の巨大化が顕著に現れ、最近では、1999年9月の不知火海高潮災害、2003年7月の水俣「土石流災害」、2004年には史上最大10個の台風上陸を記録、これに伴う豪雨・強風・高潮・高波による災害、また、同じく2004年10月の新潟県中越地震災害、2004年12月にはスマトラ沖津波・地震災害、2005年8月には、米国メキシコ湾岸を襲ったハリケーン・カトリーナなど、巨大災害の頻発化とともに同時発生(複合災害)が相次いでいる。

台風の常襲地帯でもある熊本県下では、強風、豪雨による洪水、土砂災害、また高潮・高波等の海象災害などに悩まされ、自然災害に対する防災・安全対策は欠かすことができない。その反面、台風 9918 号による高潮災害に見られるような高潮対策のための海岸堤防等の防災構造物の建設が自然環境を阻害している面もある。まさに、この有明・八代海が直面する、二律相反した"環境と防災"の調和に関する早急な学術的・技術的対応を、緊急かつ積極的に行わねばならない。

すなわち、この海域では、「環境」と「防災」という相反する課題に直面している事実があり、環境あるいは防災のどちらかを選択するというような単純な課題ではなく、如何にして、この相反する、環境と防災に対処していくかという新たな課題があることを見据えなければならない。災害に強く安全でかつ環境と調和した、個性ある地域創りに関する早急な学術的、技術的対応へのマスタープラン作りを早急に創り上げねばならない。海域の環境と防災に関する Hardware (現象の理解・解明) および Software (海域の保全対策と水産資源の確保・維持など) の従来の課題対策に止まらず、さらに Lifeware (より高度な優れた海域環境の創成) の概念が今まさに必須の時である。

本講座では、有明海・八代海の海域環境及び防災に関する殆ど全ての国(各省庁)・県の委員会の委員長・委員(約30)を勤める立場を通して、その対策や政策への方向性を探り、提言する。

1. 沿岸域環境の再生への取り組み

~熊本県における「有明海・八代海再生へのマスタープラン」の提言~

昨今,有明海域の環境悪化が顕在化し,諫早干拓堤防との関連においても社会的問題となっているが,有明・八代海のような閉鎖性が極めて高い海域における環境は,周辺に多くの都市部や農村地域を抱えており,本来陸域から輸送される種々の物質負荷により富栄養化や汚染が進行しやすい海域である.この海域では陸域からの栄養塩や有機物の流入量は減少傾向であるにもかかわらず回復の兆候を見せずに悪化の傾向を示しており,この意味で,自己修復機能はかなり低下しており,環境劣化の負のスパイラルに入り込んでいる.海域で生物生産を持続的にするには,海域を利用する各分野の従事者の努力に加えて,陸域からの各種物質の発生・輸送・負荷の過程全域にわたり制御する技術システムと社会システムが必要である.

国家レベルでのこの海域についての取り組みは、2000 年冬の「有明海ノリ不作」を契機に、農林水産省に「有明海ノリ不作等対策関係調査検討委員会(第3者委員会)」が2001年3月に設置され、過去の調査データ整理・分析とともに、環境悪化の要因分析と環境変化の把握に関する課題が浮き彫りにされたものの、再生へ向けての対策等の提言には至らなかった。この有明・八代海の環境再生を目的に、「有明海および八代海を再生するための特別措置に関する法律(特別措置法)」が国会において成立、2002年11月29日に公布・施行され、これを受けて環境省において「有明海・八代海総合調査評価委員会」が2003年2月に設置され、「総合的な調査の結果に基づいて有明海および八代海の再生に関わる評価行い、意見を述べること」を目的に議論が重ねられ、2006年12月に委員会報告1)がまとめられている、しかしながら、具体的な再生方策に関する議論が十分でなく、解明すべき課題も数多く残されている状況にある。

このような中で、熊本県では学術的未解明事象の究明を座して待つのみに留まらず、疲弊している海域環境の再生に向けて"出来るところから取り組むべき"との地域からの強い要望を踏まえ、まず、環境の地域特性を把握し再生への方向性を探ることを目標に、学識者と県の関連部局、NPOを中心に「有明海・八代海再生に関わる情報交換会」を2003年10月より開始した。次に、この成果をふまえて、沿岸海域の具体的再生方策およびその方向性(基本概念)等を取りまとめることを目的として、学識者及び一般住民・漁業代表者で構成する「有明海・八代海干潟等沿岸海域再生検討委員会(委員長:滝川清)」を2004年8月に設置し、2ヵ年度にわたって検討を行うとともに、既存データの収集等の各種調査、委員会委員と地元との意見交換会などを重ね、2006年3月に委員会報告2)をまとめ、いわゆる「有明海・八代海再生のマスタープラン」として基本指針を示した。その一連のプロセスは、再生方策検討の実践的な手法として挙げられるとともに、有明海・八代海再生の県単位での総合的な取り組みとしては先駆的な試みである。

マスタープランとして取りまとめられた再生のあり方(提言)については、以下のホームページ上で詳細に公開されているので参照されると幸いである.

http://www.pref.kumamoto.jp/eco/saisei_plan/saiseikentou_1.htm

この提言を受け熊本県は、施策の調整・検討を行いながらケーススタディー地区のフォローアップなど(地域住民、NPOなどとの連携推進など)具体的な取り組みを開始したところである。熊本県のこの検討委員会の成果は、環境省の「有明海・八代海総合調査評価委員会」での貴重な資料として取り上げられ、また海域の環境変遷に関する聞き取り調査の手法や成果は、文部科学省重要課題解決型研究「有明海の生物生息環境の歴史的変動特性の研究」³⁾ に取り入れられ、福岡、佐賀、長崎の3県の聞き取りと合わせ取りまとめが行われている。

2. 防災から減災へ、そして環境との調和への取り組み

海域環境の悪化が著しい一方で、この有明海・八代海海域は 台風の常襲地帯でもある。強風、豪雨による洪水、土砂災害、 また高潮・高波等の海象災害などに悩まされ、自然災害に対す る防災・安全対策は欠かすことができない。その反面、台風 9918 号による高潮災害に見られるような高潮対策のための海 岸堤防等の防災構造物の建設が自然環境を阻害している面も ある(写真—1)。すなわち、この海域では、「環境」と「防 災」との相反する課題に直面している事実があり、環境あ るいは防災のどちらかを選択するというような単純な課題



写真-1 高潮災害後の不知火海岸の復旧工事:防災機能が向上する一方で、沿岸道路の景観や干潟の減少により生物生息場が消失

ではなく、如何にして、この相反する、環境と防災に対処していくかという新たな課題があることを見据えなければならない。巨大化、頻発化の兆候が著しい自然災害に対し、"災害に強く安全でかつ環境と調和した、個性ある地域創り"に関する早急な学術的、技術的対応が強く要請されており、これに関する事例を紹介する。

熊本県においては 1999 年の不知火町松合地区の高潮災害4.5)を受けて、熊本県高潮対策検討会で「想定災害高潮」を対象とした、新たな高潮対策に向けた「減災」ソフト防災対策の重要性を提言し、主要な施策として高潮ハザードマップを位置付け、他県に先駆けて減災対策の設計指針を示した6). これを受けて、「熊本県海岸保全基本計画」および「有明海海岸保全基本計画」の策定に「減災」の概念が盛り込まれた。また、2003 年の水俣集中豪雨災害7)を受けて、施設設備に加えて防災情報の収集・伝達、避難体制の強化といったソフト防災対策を重点的に進めており、洪水・高潮災害の対策に向けて「ハードとソフトが一体となった防災対策」、そして、被害を最小限に抑える「減災」へと災害対策のあり方の転換へと図りつつある。さらに、市町村の洪水・高潮ハザードマップの作成を支援する「ハザードマップ制作支援事業」(総称)を2005 年度から県の重点施策として位置付け、減災プロジェクトチームを設立し基礎となる「洪水、高潮浸水想定区域図」の作成に重点的に取り組んでいる8,9),10)

2006 年 4 月に、(a)「熊本県 洪水浸水想定区域図作成指針 8)」および(b)「熊本県 高潮浸水想定区域図作成指針 9)」の 2 つの基本指針を定め、さらに、これに基づき市町村での浸水図作成方法を示した。(c)「熊本県 洪水・高潮ハザードマップ作成マニュアル 10)」を策定した。(a)、(b)の 2 つの基本指針は浸水想定区域図を作成するために策定したもので、効率的・効果的な洪水・高潮氾濫解析の方法を提示し、浸水想定区域図の作成のためのツール集であり、行政・技術者のために用意されたものである。浸水の種々のケーススタディを実施して、隣接する河川、本川と支川、洪水と高潮、外水と内水といった氾濫が重なる「複合型浸水区域」についてハザードマップを作成する市町村へのいくつかの表記方法の提案を示している。また、(c)の市町村のための「洪水・高潮ハザードマップ作成マニュアル」では、ハザードマップの作成目的、作成すべきハザードマップのコンセプト作りを認識させ、具体的なハザードマップの作成手順、作成内容や留意点を事例・資料を用いて分かり易く解説している。さらに、地域住

民の意見の反映方法,ハザードマップの周知・活用について記載して、各地域特性に応じた地域ごとの「安心・安全」のための「マップ(Safety map)」づくりの作成手順を示しており、「減災」、「複合型災害」対策へ向けた基本指針・マニュアルは良き範例として特記すべき取り組みである。

「防護」「環境」「利用」の調和を目指した沿岸地域づ くりの範例として, 八代海北部沿岸都市地域連携創造会 議(市町村による連携)を紹介する.これは、八代海の 北部沿岸地域の1市9町(現在は市町村合併により八代 市・宇城市・上天草市・氷川町の3市1町)が連携し、 八代海を介した地域政策としての環境保全, 海辺空間の 確保,秩序ある海域利用に取り組み,併せて沿岸域の一 体的な発展を図るために、1998年8月に「八代海北部沿 岸都市地域連携創造会議」を,八代市を議長として開始, 年に 2~3 回程度, 現在も継続中である. 地域の市町村 が連携し、共同して、持続的な地域社会づくりに取り組 んでいる. まず、自分の地域を知る事から始まり、八代 海北部沿岸地域についての社会経済条件, 自然環境条件, 沿岸域の利用状況についての調査を行った. つぎに, 北 部沿岸地域に関連する上位の関連計画・構想等について の調査を行うとともに,各市町村の現状認識と将来意向 についてのアンケート調査が実施された.これらを基に、 北部沿岸地域の連携上の問題点・課題の抽出と地域連携 のあり方について検討し、地域連携の基本方針を策定11) した. それは①八代海域の安全・防災対策の確立、②八 代海域の自然・生態系保全体制の確立、③八代海域の適 切かつ計画的な開発・利用の促進 の3つの基本方針の もと、それぞれの方針に関する基本構想が整理されてお



写真-2 熊本新港に造成した「なぎさ線」: 人工護岸前面に「なぎさ線」を造成して地形の連続性と生態系の連続性を創出



写真-3 既設の防護海岸に連続突堤と盛砂の施工による新たな海岸堤防の建設:消失した生物生息場が回復するとともに景観・親水機能も向上(熊本県玉名横島海岸)

り、全体の推進体制の整備方策をも策定している。住民が自ら考え、行動する住民主導の"地域社会づくり"となるよう、大学、NPO等との連携により啓蒙活動とともに、地域への自治体から住民主体への展開に向けての組織づくりと対策の検討が開始されている。地域の自治体および住民が主体となり、自らの将来にわたるマスタープランを地域連携の形態で推進している全国的にもまれに見る取り組みである。

また、海域環境再生策の実施例として、人工海岸堤防の前面に連続した地形をつくる「なぎさ線の回復(**写真—2**)」¹²⁾ や、泥化した底質改善策としての「人工巣穴」¹³⁾ などユニークな現地試験を試みているところである。熊本県玉名横島海岸では、防護目的で建設された干拓堤防の前面に、連続突堤と盛砂工を施し"防護・環境と景観"に優れた新たな海岸堤防(**写真—3**) ¹⁴⁾ の事業が国(農林水産省九州農政局)とNPOとの連携で進められている。

3. **あとがき**

地域には、水・地形・地質・気候などの自然環境と、歴史的・文化的な側面を含む人間社会・経済の環境によってそれぞれ固有の環境特性が形成されている。従って、自然環境と調和し、将来に亘って好ましい潤いのある、個性豊かな地域社会創りにおいては、地域環境に関する広範な分野からの多面的かつ総合的検討が重要である。

このような観点から、海域環境悪化の要因が不明のまま疲弊状態にあり、かつ毎年の高潮・高波、洪水などの水災害に悩まされ続けている有明・八代海の沿岸海域における「環境の再生・維持」と「海岸の防災・保全」に対処し、かつ地域特性に応じた沿岸域の創成を目標に、2002年6月に「NPO法人: みらい有明・不知火」を設立した。大学、国・県等の行政、民間企業および個人で構成される約200会員の法人で、学術・技術的な調査・研究とともに一般社会への環境・防災教育を中心に活動を行っている。さらに地域住民や関連の行政機関などとの連携を深めて、この海域の環境と防災に関する「診察」「診断」「治療」を行なう「海の総合病院構想」150の実現に取り組んでいるところである。

参考文献

- 1)有明海・八代海総合調査評価委員会:委員会報告,環境省,2006年12月.
- 2)有明海・八代海干潟等沿岸海域再生検討委員会:委員会報告書~有明海・八代海干潟等沿岸海域の再生に向けて~, 熊本県,2006 年 3 月.
- 3) 滝川清,園田吉弘:生物生息環境の歴史的変動特性,文部科学省重要課題解決型研究有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験パンフレット,同事務局,2006年.
- 4) 熊本県不知火町:不知火高潮災害誌-1999年台風 18号の記録-, 2003.
- 5) 滝川清:台風 9918 号による不知火海高潮災害-その残したもの-, 土木学会誌, Vol.87-3, pp41-45, 2000.
- 6) 滝川清,有働人志,後藤雅之,倉吉一盛,田淵幹修:熊本県における想定最大高潮に基づく高潮減災対策の策定,海岸工学論文集,pp-1326-1330. 2004.
- 7) 熊本県: 平成 15 年 7 月県南集中豪雨災害記録-水俣市土石流災害等-, 熊本県防災情報 HP, 2005.
- 8) 熊本県:熊本県 洪水浸水想定区域図作成指針-県が管理する河川等における作成のために-, 2006.
- 9) 熊本県:熊本県 高潮浸水想定区域図作成指針-県が管理する海岸等における作成のために-, 2006.
- 10) 熊本県:熊本県 洪水・高潮ハザードマップ作成マニュアル,2006.
- 11)「平成 13 年度 八代海北部沿岸都市地域連携構想策定調查報告書」,平成 14 年 3 月,八代海北部沿岸都市地域連携創造会議,52p.
- 12)増田龍哉・滝川 清・森本剣太郎・前田恭子・柏原裕彦・島田康光: 「有明海熊本港周辺における「なぎさ線の回復」現地試験 による生態系構築過程に関する研究」, 海洋開発論文集, 第23巻,2007.
- 13)増田龍哉・滝川清・森本剣太郎・丸山繁・木田建次・大久保貴仁: 「有明海干潟海域環境改善へ向けた人工巣穴による底質改善技術の現地実証試験」,海岸工学論文集,第54巻,2007.
- 14) 滝川清·黒木淳博·増田龍哉·森本剣太郎·松永浩二·西尾徹:「熊本県玉名横島海岸における防護と環境の調和を目指した新たな海岸保全技術の開発」,海岸工学論文集,第 54 巻,2007.
- 15)NPO法人: みらい有明・不知火, http://www.mirai-ay.or.jp/index.html

キーワード: 有明海・八代海の環境、環境再生・維持、環境と防災の調和、防災と減災、 Lifeware (より高度な優れた海域環境の創成)、環境再生のマスタープラン

海域の自然環境

物理環境

気圏:水圏:地圏

生態環境

陸・水生の動植物、魚介、微生物 底生動物, プランクトン

自然環境 保全

危機管理

開発 利用 潜在的 種々の問題

自然的インパクト

地球温暖化:高潮:高波

台風;洪水流出;潮流変化なる

沿岸の開発・利用;都市化

汚染物の流入:漁業生産活動なる

海域環境問題の深刻化・拡大;顕在化 自然災害の頻発・巨大化・複合化

メカニズムの解明

Hardware

再生と沿岸防災の技術開発

Software

大学•研究機関

(各大学・3 大学連携会議 •有明•八代海研究者連絡会議

> 工学部 理学部

熊本大学 沿岸域環境科学

教育研究センタ

府省庁

(環境省・国土交通省

・農林水産省)

NPO:みらい有明不知火 技術士会 民間企業

自然科学研究科

県等の地域行政

(能本•佐智•長崎•福岡

環境と防災の バランス

Lifeware

より優れた閉鎖性海域環境の創成

