

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

沿岸域における生物生息環境の 変遷と保全に関する先端科学技術研究

日時：2008年3月21日（金）13:00～17:10

会場：熊本大学工学部百周年記念館
熊本市黒髪2-39-1（熊本大学黒髪南地区）

熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター

ご挨拶

熊本県の西側全域が接している有明海・八代海は、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。この干潟浅海域は、古くからノリや真珠、各種魚介類の養殖場、アサリ等の採貝漁場として大きな経済的価値を持ってきました。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。

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。

平成19年度は、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一層充実させてきました。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）」と熊本大学政策創造研究センタープロジェクト研究「有明海・八代海の生物棲息環境の評価・保全・再生（内野センター長・逸見教授）」も精力的に遂行しています。これらの研究の成果として、水産資源としての絶滅が危惧されているタイラギの新養殖法や海域底泥層の改質装置についての特許出願などの知的財産形成にも努力しています。

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人の専任教員と2人の客員教員に加えて、2人の学外協力研究者の方々にも講演をお願いしました。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

目次

1. ハマグリの生息状況と保全：資源管理は可能か？（13:10～13:35）	1
逸見泰久（生物資源循環系解析学分野 教授）	
2. 干潟底生生物の環境改変作用が小型生物に与える影響（13:35～14:00）	6
嶋永元裕（生物資源循環系解析学分野 准教授）	
3. 養殖ノリの環境ストレス応答機構（14:00～14:25）	10
瀧尾 進（生物資源保全・開発学分野 教授）	
4. ヒガシナメクジウオを生息地に戻せるか：室内飼育の試み（14:25～14:50）	15
安井金也（広島大学大学院理学研究科 教授；学外協力研究者）	
5. 有明海の再生策とマスターPLAN（15:05～15:30）	17
滝川 清（水・地圏環境科学分野 教授）	
6. 堆積物試料が示す熊本沖有明海の過去60年間の環境変遷（15:30～15:55）	23
秋元和實（水・地圏環境科学分野 准教授）	
7. 有明海の干潟を利用する鳥類と利用様式に関する観察（15:55～16:20）	27
塚原和之（有限会社 西日本野生生物調査代表取締役；学外協力研究者）	
8. 閉鎖性海域の環境保全・再生技術のいま -有明海と他海域の比較から（16:20～16:45）	31
五明 美智男（沿岸域社会計画学分野 客員教授）	
9. 陸域由来の汚濁負荷に対する 技術政策シナリオの評価システムの構築（16:45～17:10）	33
村野昭人（沿岸域社会計画学分野 客員准教授）	

司会進行：瀧尾 進

【注意】本講演要旨の著作権は、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センターおよび著者に帰属しています。本資料の利用にあたっては、当センターおよび著者の両者に対して、書面等による許諾を必要とします。

ハマグリの生息状況と保全：資源管理は可能か？

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貝類のみであり、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。

我々は、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、最近まで全国の砂質干潟においてシオフキと共に優占種であった。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ている県も多い。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、生物搅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。しかし、このことは地元（熊本市など）において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ないため、焼き蛤で有名な三重県桑名市などでは熊本産のハマグリが地元ハマグリの代用品として売られているほどである。今後、正確な基礎データとモニタリングに基づいた資源管理を進める必要があるが、それには漁業者間の合意形成が不可欠である。

本研究では、厳密な漁獲管理が行われている加布里湾（福岡県前原市）と白川河口（熊本市）において、ハマグリの稚貝加入・成長・生残などを比較し、そのデータを元に、熊本県におけるハマグリの漁獲管理案を作成した。また、ハマグリのブランド化の可能性についても考察した。

ハマグリの生物学的特性

ハマグリの資源管理の技術を確立するために、ハマグリの厳格な資源管理が行われている加布里湾（福岡県前原市）と、ほとんど資源管理が行われていない白川河口（熊本市）で、ハマグリの生息状況や漁獲状況を比較した。

加布里湾は、福岡県糸島半島西部にある玄界灘に面した湾である。小河川の泉川（雷山川ともいう）が流入し、湾奥部には泥質ないし砂質の干潟が発達している。海岸部には糸島漁協の漁業権があるため、地元の加布里支所の組合員によってのみハマグリが採られているが、漁業権のない河川内では市民による採集も日常的に行われている。なお、糸島漁協ではハマグリの厳格な資源管理を行っており（殻長制限：50mm以上、漁期：11月～翌年3月、採捕量の制限：1人1日10kg以内、漁業区のみでの採貝、操業日の設定），密漁や違反がないように厳しく監視している。

ハマグリの現地調査は、漁業権のある地域で行った（33°33'N, 130°10'E）。河川・海域にそれぞれ50cm四方の方形区を10カ所設置し、1mm目の篩で深さ5cmまでの砂泥をふるって、その中からハマグリを選別した。また、深さ5cm以深については手探りでハマグリを採集し、取り残しがないようにした。採集したハマグリは研究室に持ち帰り、方形区毎に殻長等を測定すると共に、密度を算出した。なお、採集は2006年1月～2008年1月に行った。ただし、2006年8月と2007

年9月については、漁業権のない地域でも採集を行った。

一方、白川は、熊本市にある有明海に注ぐ河川である。河口域には、緑川河口から坪井川河口まで連なる泥質あるいは砂質の広大な干潟が発達し、川口漁協・沖新漁協・小島漁協などによりアサリ・ハマグリなどの二枚貝が漁獲されている。なお、アサリは共販を中心とした資源管理が行われているが、ハマグリについては殻長30mmの制限しかない。

調査は、加布里と同様の方法で行った。河川・海域にそれぞれ50cm四方の方形区を20~30カ所設置し (32°47'N, 130°36'E), 深さ5cmまでの砂泥を1mm目の篩でふるって、その中からハマグリを選別した。また、深さ5cm以深については手探りでハマグリを採集し、取り残しがないようにした。採集したハマグリは研究室に持ち帰り、方形区毎に殻長等を測定すると共に、密度を算出した。

また、2006年9月から2007年11月には、加布里と白川の各地点で、表層2cmの砂泥を各10カ所採泥し、篩でふるわずに稚貝の生息状況を調査した。さらに、2007年8月からは、加布里と白川に40cm四方、高さ30cm、目合い5mmのケージを各3個設置し、それぞれにハマグリを投入して、成長・生残を追跡した。

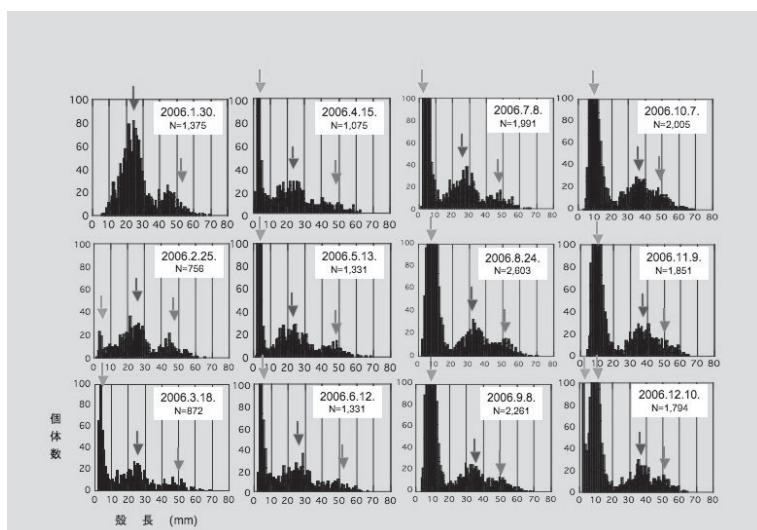


図1 加布里におけるハマグリの殻長組成 (2006年)。

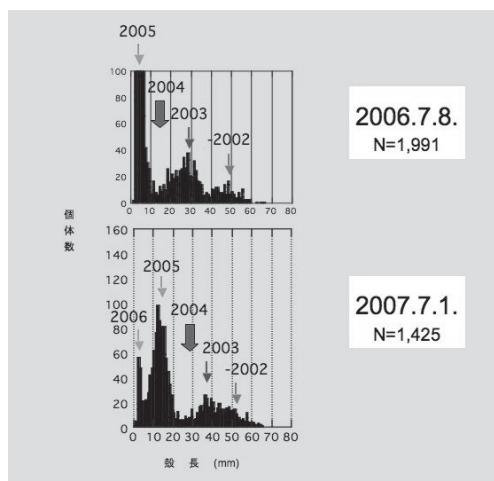


図2 2006年7月と2007年7月の加布里のハマグリの殻長組成の比較。

図1に加布里における2006年のハマグリの殻長組成を示す（他の月は省略）。このように加布里では、最大4つの年級群（2002, 2003, 2005, 2006年生まれ）がグラフ上で区別できた。しかし、2004年年級群は確認できなかった。これは、2004年生まれのハマグリの生残が非常に悪かったためと考えられる。図2に加布里における2006年7月と2007年7月のハマグリの殻長組成を示す。グラフの比較より、2006年7月には殻長28mm程度であった2003年年級群が、1年後には殻長38mm程度に成長したことや、2004年年級群同様に2006年年級群が少ないとわかった。

図3に白川における2007年3～11月のハマグリの殻長組成を示す（他の月は省略）。白川では大型のハマグリ（特に殻長40mm以上）が少なく、年級群も最大2つしか区別できなかった。なお、2007年は6月より稚貝の着底が見られ、11月には殻長10mm未満の個体に限っても、1平方メートルあたり平均347個体という多量のハマグリが見られた。

表1に加布里と白川の殻長別の密度を示す。このように白川では2007年後半に多量の稚貝が加入した。一方、2007年の稚貝加入は加布里では少なかった。ただし、いずれの年においても殻長40mm以上の大型ハマグリは加布里の方がずっと多かった。

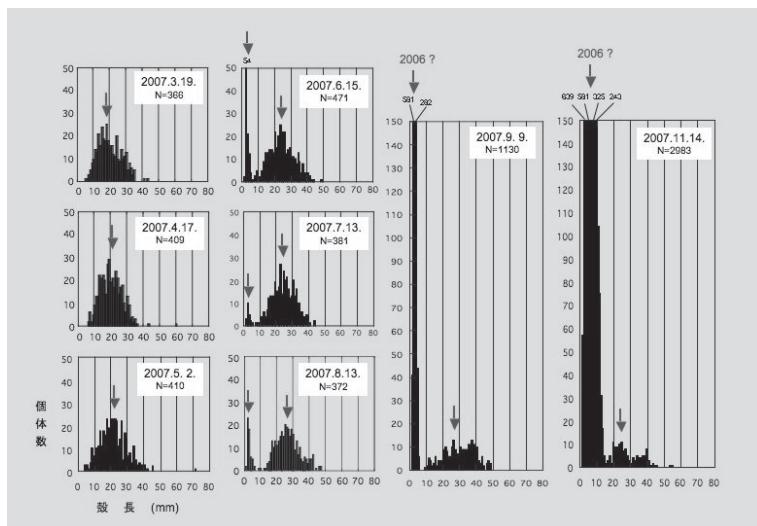


図3 白川のハマグリの殻長組成（2007年3～11月）。

表1 加布里と白川の殻長別個体密度（1平方メートルあたりの個体数：左5月、右9月）。

	白川						加布里	
	2007-D	2007-J	2007-H	2007-K	2006-J	2006	2007	
5 mm 未満	4.8	0.0	30.3	38.9	20.0	55.5	32.2	
5～10 mm	12.8	2.0	8.5	9.2	21.0	4.3	38.4	
10～20 mm	13.2	25.3	20.3	15.5	16.8	13.4	44.8	
20～30 mm	5.1	22.3	13.2	13.2	6.0	16.6	6.9	
30～40 mm	1.1	4.7	2.5	3.7	7.8	6.5	13.7	
40 mm 以上	0.1	0.3	0.9	0.1	0.2	10.2	18.1	
合計	37.1	54.6	75.7	80.7	71.8	106.5	154.0	

	白川						加布里	
	2007-D	2007-J	2007-H	2007-K	2006-J	2006	2007	
5 mm 未満	4.8	0.0	30.3	38.9	20.0	55.5	32.2	
5～10 mm	12.8	2.0	8.5	9.2	21.0	4.3	38.4	
10～20 mm	13.2	25.3	20.3	15.5	16.8	13.4	44.8	
20～30 mm	5.1	22.3	13.2	13.2	6.0	16.6	6.9	
30～40 mm	1.1	4.7	2.5	3.7	7.8	6.5	13.7	
40 mm 以上	0.1	0.3	0.9	0.1	0.2	10.2	18.1	
合計	37.1	54.6	75.7	80.7	71.8	106.5	154.0	

図4に殻長組成の季節変動から推定されたハマグリの成長曲線を示す。加布里では、初年度の成長は悪く、1年経っても殻長5mm程度にしかならなかつたが、その後は、殻長で約10～15mm/年の速度で成長した。一方、白川では、大型のハマグリが少ないため、殻長30mm以上については成長を推定することができなかつたが、小型個体の成長は加布里より若干早かつた。

図5にケージ飼育における各個体の成長量を示す。このように8～10月におけるハマグリの成

長はよく、中には殻長で10mm以上も成長する個体もあった。また、一般に成長は小型個体の方がよかつた。なお、ケージ飼育における生存率は非常に高く、2008年2月までの半年間における殻長20mm以上のハマグリの死亡個体は、加布里では51個体中3個体（死亡率5.9%）、白川では41個体中1個体（同2.4%）に過ぎなかつた。

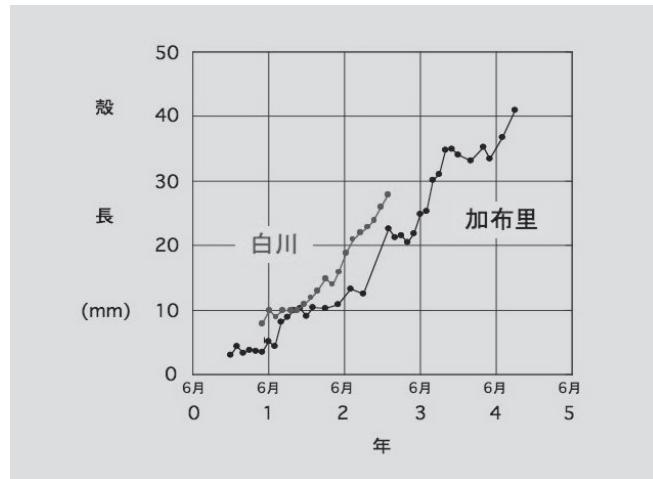


図4 ハマグリの成長曲線。

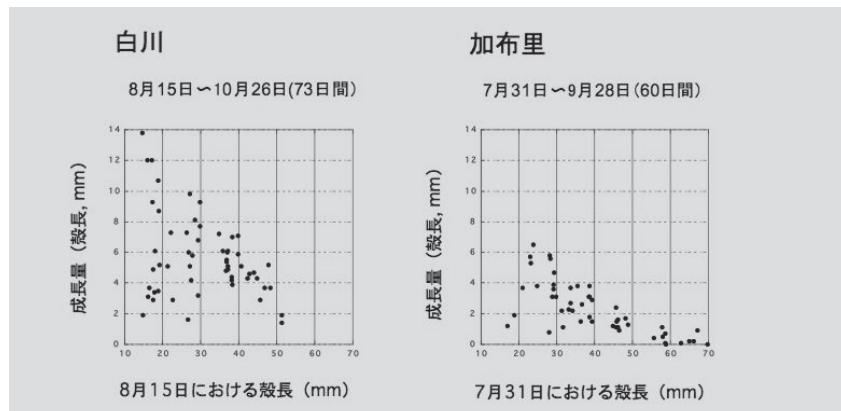


図5 ケージにおける飼育個体のハマグリの成長。

ハマグリの資源管理とブランド化の推進

有明海に面した熊本市沿岸域を中心としたハマグリの漁場では、旧来から大きな干満の差を利用して大潮の干潮時に直接人力によって採貝漁業が営まれている。この変わらぬ漁法によって熊本県では1974年のピーク時には5,855tのハマグリが水揚げされていたが、その後は減少の一途をたどり近年では数十トン～百数十トンの間で水揚げが推移している。それにもかかわらず、ハマグリの資源維持や増殖のための方策は何もとられることなく現在に至っており、熊本県の「レッドリストくまもと 2004」において絶滅危惧 I B類に分類されているほど資源量が減少している（熊本県、2004）。これは、同様の減少をたどったアサリが資源管理によってある程度の回復傾向を見せ始めているのと対照的である。今後、アサリと同様に資源管理に取組み、ハマグリの資源を維持していくことが不可欠かつ急務であることを示唆している。

現在のところ、ハマグリの資源管理に関しては、漁期が地先漁協によってアサリと同日程で

定められているのみであり、サイズに関しては熊本県漁業調整規則により殻長 30mm 未満は採捕禁止と定められているものの、その取締りに関しては不十分な状況である。さらに、その採捕量に関してはなんら制限がなく、無計画に漁獲されているのが現状である。したがって、熊本における管理は非常に緩めの規制と言わざるを得ない。規制なしでも安定的に水揚げされるのであれば問題はないが、乱獲に近い生産と種々の環境変化等の影響を受けて、現在の資源量はピーク時の 10 分の 1 以下に落ち込んでいると推定され、今後、無策のまま生産を続けた場合、種の保存限界を超えて絶滅の道をたどる可能性も考えられる。

ハマグリの資源管理を進めていくことは、全国的にみても絶滅傾向にあるハマグリの種保存の意味だけでなく、資源の増殖と維持による安定供給によって漁家収益の向上と安定を図る意味も有している。まず具体的に取組むべき課題は、採貝サイズを現行の殻長 30mm から段階的に 40mm 程度に引き上げることによって漁場内での生息期間を 1 年間程延ばしてやることである。これには、単に生産サイズの大型化に伴う単価向上のみならず、産卵する機会と産卵数を引上げる効果も含んでいる。

次に採るべき措置としては、産卵期であるとともに単価の安い「夏季」を中心とした採貝量制限強化があげられる。これは産卵期の保護と漁家収益率向上の観点から重要である。ハマグリの単価は関西の相場の影響を強く受けており、概ね 10 月期から上昇し、「ひな祭り」前の 2 月期にピークを迎えるのが例年の価格変動である。しかし、生産は無計画に行われており、単価の安い秋に乱獲され、その後の単価のピークを迎える冬には生産量が落ち込んでしまっている。今後は、少なくとも 3~10 月期までの生産は抑制し、産卵後の単価が高くなる 11~2 月期に生産を集約することで資源の保護と収益率の向上を図るべきである。これらの資源増殖を図ることは、単に生息個体数を増大させるのみではなく、別の二枚貝であるアサリの資源管理にも寄与するものと推察される。

ここで提案するハマグリ・アサリの漁獲方式は、「二毛作的な」管理である。すなわち、ハマグリに関しては産卵期である夏場を中心とした単価の低い期間の採捕を制限し、11 月下旬以降の単価が高い期間に集約して生産を行うことで、資源の増殖効果と効率的な資源利用による漁家収入向上を図る。逆にアサリに関しては、秋仔の着底～生育期間である冬場に漁獲制限を行って増殖を図り、ハマグリとは逆の期間に集中して生産を進めていくことで安定的な生産を確保する。このような二毛作的な管理を進めていくことで、ハマグリとアサリの資源維持と安定生産を進めていくことが現段階での理想形であると考えられる。

野外調査及び飼育実験で得られたデータにより、白川のハマグリは、1. 稚貝着底の年変動が大きい、2. 稚貝の着底個体数が多い、3. 年あたり殻長で年 10~15mm 成長、4. 生残率が非常に高いことが明らかになった。このような白川のハマグリの生物学的特性は、当地域のハマグリが資源管理に適した生物であることを示している。

さらに、熊本県は全国一のハマグリ生産県でありながら、その事実は県民にはもちろんのこと、漁業者や行政の担当者さえ十分には知られていない。今後は、資源管理と並行して、熊本産のハマグリの美味しさと希少性を打出した施策が必要となるであろう。

文献

- 熊本県. 2004. 熊本県の保護上重要な野生生物リスト－レッドリストくまもと 2004－, 熊本県.
- 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.
- 内野明徳・逸見泰久・魏長年・福田靖・上村彰. 207. 有明海・八代海の生物棲息環境の評価・保全・再生. 平成18年度熊本大学政策創造研究センタープロジェクト研究報告書. pp. 179-206. 熊本大学政策創造研究センター.

キーワード

ハマグリ, 生活史, 生息状況, 資源管理, ブランド化

干潟底生生物の環境改変作用が小型生物に与える影響

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環境サービスを人類に提供する（和田 2000）。これらの干潟の堆積物表面や内部に生息する底生生物は、体の大きさによって、いくつかのグループに分けられる。

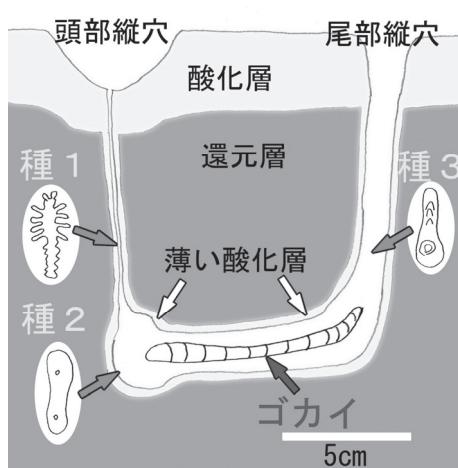


図1. ゴカイの巣穴と主なメイオファウナの分布。メイオファウナ各種のサイズは誇張されており、分布中心は矢印で示されている。ライゼ（1985）の図を元に著者が作成。

ているのである。このように沿岸堆積物中では、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「助長作用」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作用があると思われる。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作用が、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作用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ている（図2）。

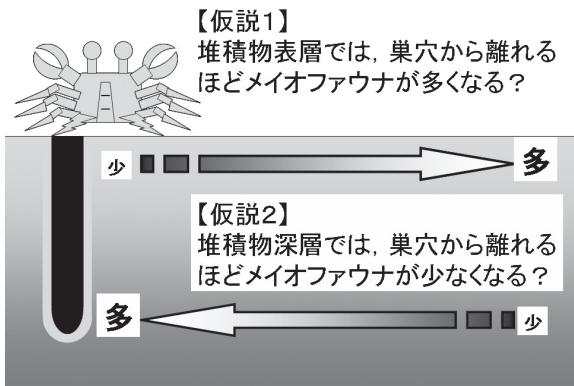


図2. スナガニの巣穴と、メイオファウナの堆積物中の分布に関する作業仮説

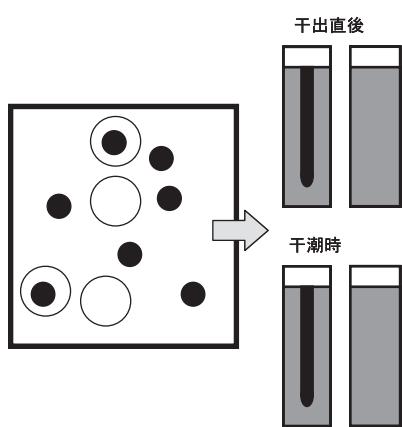


図3. スナガニ類の巣穴がある場所と、ない場所のメイオファウナの堆積物中の垂直分布を調べるために堆積物コアサンプル採集。

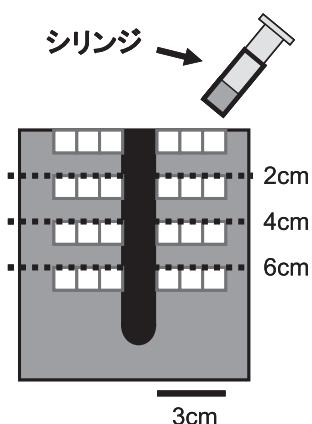


図4. シリンジによる微小空間変異調査用のサブサンプル採集

仮説1. 堆積物表層は、カニの摂餌活動により搅乱される。したがって表層では、巣穴から離れるほどメイオファウナが多くなると考えられる。また、搅乱作用は干潟の干出直後から始まるため、表層におけるメイオファウナの水平空間分布は、時間経過と共に大きく変動するであろう。

仮説2. 堆積物深層では、巣穴に近いほど酸素濃度が高いと思われる。したがって深層では、巣穴から離れるほどメイオファウナが少なくなると考えられる。

【材料と方法】

2007（平成19）年のサンプル採取を、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11/12月に行った。サンプル採取と処理の詳細は、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取した。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取した。潮位とスナガニ類の摂食活動の影響を調べるために、最大干潮時にも、干出直後にサンプル採取を行った場所付近（2m以内）で同じ種に対する同様の採取を行った（図3）。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取を行った。

採取された堆積物コアサンプルは、「巣穴あり」「巣穴なし」共に、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）を採取した（図4）。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の堆積物を採取した。

上記のとおり、本研究のために採取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、調査の第一段階として、両種の巣穴からの水平距離が0-1cm、

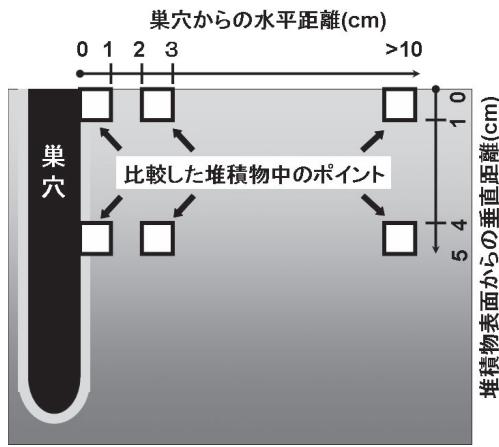


図5. 本講演会で用いるデータの実験デザイン

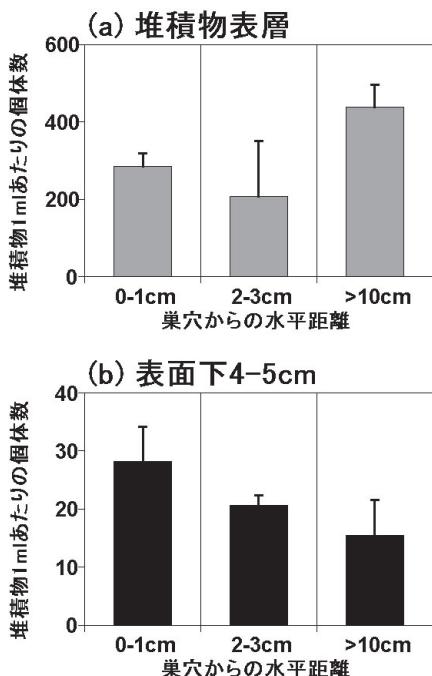


図6. ハクセンシオマネキの巣穴からの水平距離が 0-1cm, 2-3cm, >10cm の堆積物中のメイオファウナ全体の個体密度（個体数/1ml）。（a）堆積物表層、（b）堆積物表面下 4-5cm。バーは平均値、エラーバーは標準偏差をそれぞれ示す。

観測された。逆に、堆積物表面下4-5cmの堆積物深層部では、両種の巣穴近接部（0-1cm）で最高平均密度が検出された。これらの結果は、仮説1, 2と矛盾しない。だが、巣穴最遠部 - 近接部における平均個体密度差の程度（大きい方の値/小さい方の値）は、堆積物表層、深層共に、ハクセンシオマネキの巣穴周辺でより顕著であった。

スナガニ両種の巣穴は、潮位上昇による水没直前に、その持ち主によって入り口を塞がれ、日中の干出直後に再び入り口を開かれる。巣穴入り口の位置の時間変化を調べたところ、ハクセンシオマネキの巣穴の入り口は、毎日ほぼ同じ場所に開くのに対して、コメツキガニの巣穴の入り口の位置は、

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、堆積物表層と、表面から4-5cmの層で比較した結果を示す（図5）。

【途中経過と展望】

メイオファウナ全体の個体密度

現時点（2008年2月下旬）の解析結果を元に、2007年11/12月におけるハクセンシオマネキ、コメツキガニの巣穴周辺におけるメイオファウナ全体の微小分布パターンをそれぞれ図6, 7に示す。堆積物表層では、両種共に、巣穴最遠部（>10cm）で最も高い平均密度が

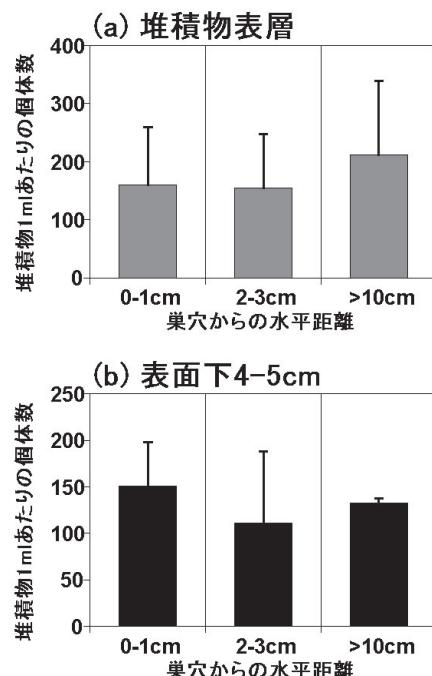


図7. コメツキガニの巣穴からの水平距離が 0-1cm, 2-3cm, >10cm の堆積物中のメイオファウナ全体の個体密度（個体数/1ml）。以下の説明は図6と同じ。

日ごとにかなり変わっていた。これは、コメツキガニの巣穴（少なくともその上部）が長期間維持されていない事を示唆する。それゆえ、コメツキガニの採餌による搅乱作用と、彼らの巣穴による助長作用は、ハクセンシオマネキの場合より弱いのかも知れない。しかし、解析に用いたデータ数が少なく($n=2$)、データのバラつきが大きかったため、いずれの調査項目でも有意差は検出されていない。

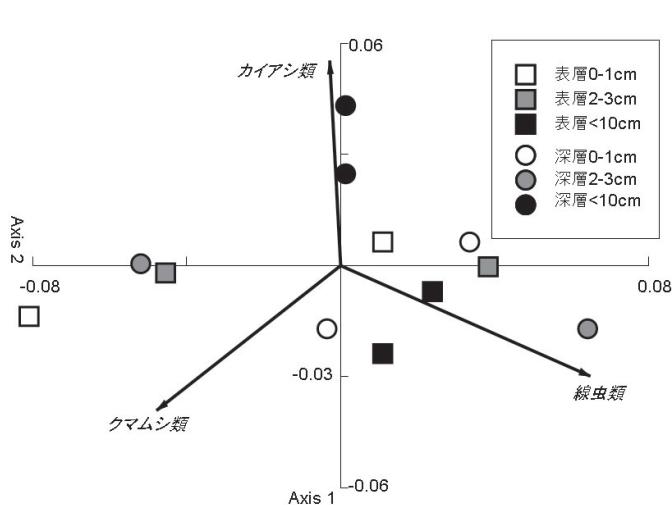


図8. ハクセンシオマネキ巣穴周辺のメイオファウナ群集組成の空間変異。堆積物表層から採取されたサンプルは四角、深層(表面下4-5cm)から採取されたサンプルは丸で示されている。各記号の濃淡(白、灰、黒)は巣穴からの水平距離を示す。組成が似ているサンプルは互いに近い位置にプロットされている。ベクトルは、群集の組成変化に大きく貢献した分類群についてのみ示されている。矢印の方向へ向かうにつれて、サンプル内のその分類群の割合が増大する。

講演会当日には、11/12月の残りのサンプルと、8月のサンプルの解析をできるだけ終えて、巣穴の助長作用の季節変化と種間の違いに関する、より角度の高い情報を提供したい。

【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・群集組成・マクロファウナの助長作用・スナガニ類の巣穴・搅乱

メイオファウナ高次分類群の組成

ハクセンシオマネキ巣穴周辺から得られたサンプル中のメイオファウナ高次分類群の組成を元に、PCAを行った解析結果を図8に示す。ここでいう「高次分類群」は、線虫類、クマムシ類、多毛類などの動物門・綱レベル(甲殻類は、より細かく亜綱・目レベル)で分類されたグループを指す。堆積物表層、深層共に、巣穴から10cm以上離れた地点から採取されたサンプル間の組成が類似していた事が示された。一方、巣穴近縁(巣穴からの水平距離0-1cm, 2-3cm)から採取されたサンプル間の類似度は低かった。少なくとも高次分類群レベルでは、巣穴近縁に共通の群集組成が存在する可能性は低く、むしろ巣穴が群集の空間異質性を高めているように見える。コメツキガニでも同様の結果が得られたので、ここでは省略する。

養殖ノリの環境ストレス応答機構

瀧尾 進

はじめに

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「色落ちの分子機構解明」と「内在性レトロトランスポゾンを用いた新品種の作出」を中心テーマとして研究を進めている。昨年度の本講演会では、紅藻からはじめて分離された幾つかのレトロトランスポゾンの性質について紹介した（文献 1～3）。今回は、「養殖ノリ色落ちの分子機構」に関する成果の一部をストレス応答の観点から解説したい。

養殖ノリと実験生物としてのスサビノリ

食用としているノリの葉状体は半数世代であり、冬期に成長し、春になると授精し倍数世代の糸状体となる。糸状体は貝殻に侵入して夏期を過ごす。スサビノリではフラスコ内で培養できる純系の培養株が分離されている（図 1）。葉状体は無菌状態で培養できるが、糸状体は完全無菌培養下では成長が悪く、小型のカルス状の細胞塊となり正常な葉状の形態が形成されない。正常な成育には植物体表面に付着する共生バクテリアの共存が必要である。実験室内では主要な生活環は 2～3 ヶ月で完結する。この他に、若い葉状体上に生じる単胞子が発芽して葉状体となる生活環があり、これは 1～2 週間で完結する。

実験材料としては、単胞子から生じた長さ 1～5cm の若い葉状体を使用した。葉状体は 15°C、10 時間明期/14 時間暗期、空気の通気により培養を行った。一方、糸状体は 23°C、連続明所で静置培養を行った。

「ノリの色」について

植物は外部環境の変化に対しき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。しかし、緑色植物ではそれらを構成する主要な色素がクロロフィルであるため、これらの構成成分の構造変化を植物の色調変化としては検

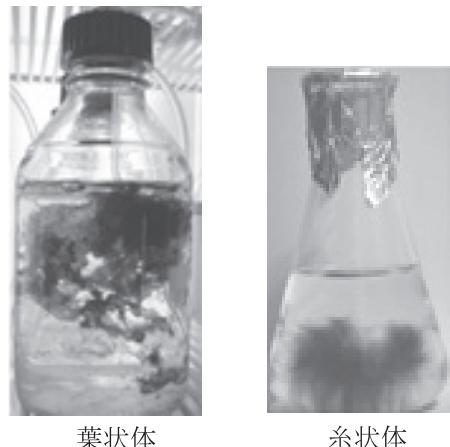


図 1 スサビノリの培養

出しにくい。一方、紅藻やラン藻では、アンテナ色素としてクロロフィルの他に多量のフィコビリシン類（フィコエリスリン、フィコシアニンなど）を含むため（図2），環境変化に対し多様な「色調変化」を示す。

葉緑体は植物の祖先となる真核細胞にラン藻が共生してできたと考えられている。スサビノリは原始紅藻亞綱に分類され、これは進化上もっとも古い真核生物の仲間である。私たちはノリのフィコビリソーム分解機構はラン藻から受け継がれているのではないかと予想し研究を進めてきた。

ラン藻の色落ち制御遺伝子

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 *nblA* (non-bleaching A) が同定されている（図3左）。*NblA* は通常の栄養状態ではその発現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誘導され、フィコビリソームの分解が起こる。*NblA* はフィコビリソーム分解に必須であるが、その作用機構の詳細は未だに不明である。*NblA* 遺伝子はラン藻には存在するが、その他の原核生物には存在しない。紅藻類の葉緑体はフィコビリソームをもち、葉緑体ゲノムには *nblA* と相同性のある遺伝子 *Ycf18*（図3右）がコードされている。*Ycf18* は *NblA* 類似遺伝子として記載されることもあるが、その機能については研究されていなかった。

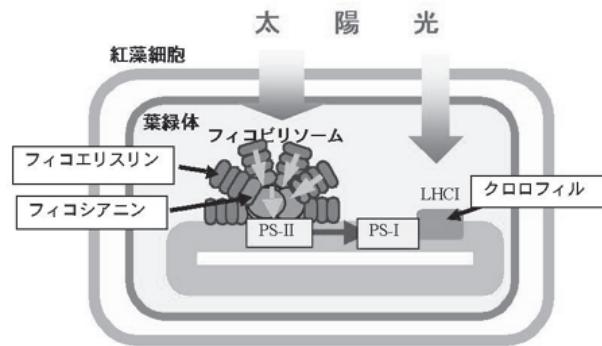


図2 紅藻の光合成集光装置

ラン藻と紅藻のフィコビリシン関連遺伝子の発現様式

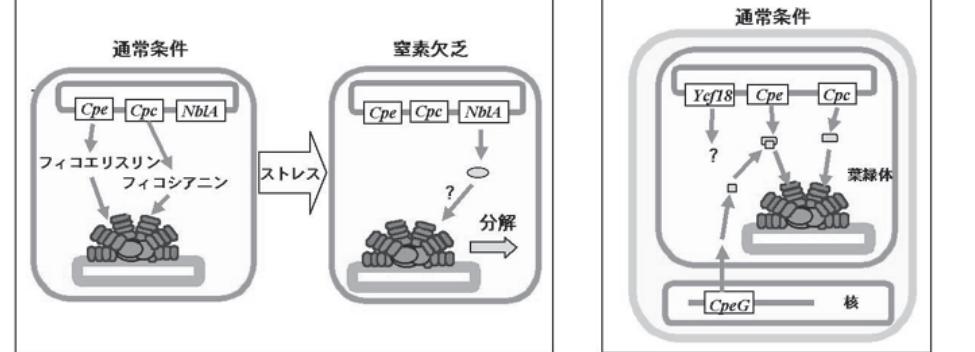


図3 ラン藻と紅藻のフィコビリシン関連遺伝子の発現様式

ラン藻：*NblA*遺伝子は通常の培養条件では発現が強く抑制されているが、窒素欠乏などストレス条件下で発現が誘導され、フィコビリソームの分解が開始する。一方、フィコエリスリン遺伝子(*Cpe*)やフィコシアニン遺伝子(*Cpc*)は窒素欠乏により発現が抑制される。

紅藻：紅藻の葉緑体ゲノムにはラン藻と相同なフィコエリスリンやフィコシアニン遺伝子がコードされている。ラン藻*NblA*と相同性のある*Ycf18*は通常状態では隣接するフィコエリスリン遺伝子と共に転写産物として発現している。フィコエリスリン遺伝子単独での転写産物発現量に比べると共転写産物量はごくわずかである。

窒素欠乏に対する葉状体と糸状体の応答

スサビノリ *Ycf18*がラン藻*NblA*と同じ機能をもつのであれば、窒素欠乏により発現が癒同されることが予想された。そこで、通常の窒素源として硝酸塩を含む通常の培養液で継代培養したスサビノリの葉状体と糸状体を窒素欠乏培地に移し、培養を行い、フィコビリシン色素量、フィコビリシン遺伝子および*Ycf18*遺伝子の発現量の変化を調べた（図4）。窒素欠乏

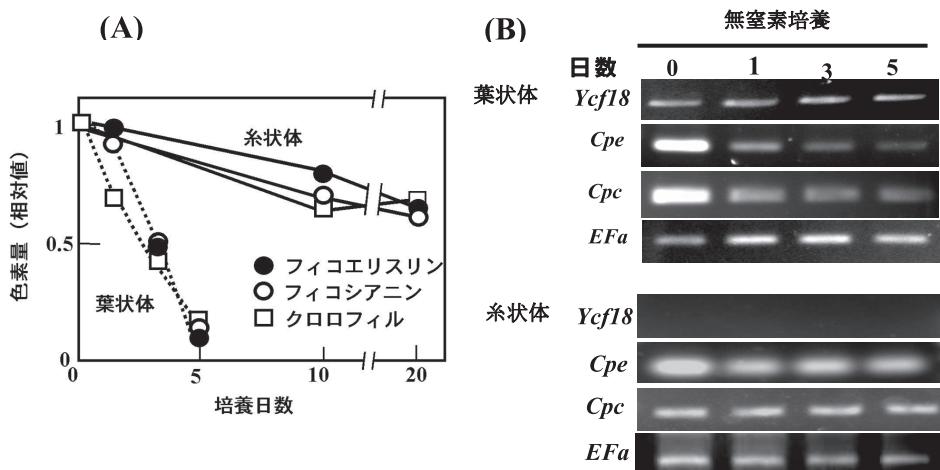


図4 塩素欠乏による色素量(A)とフィコビリン関連遺伝子の発現量(B)の変化

(A) 通常の培養液で継代培養された葉状体および糸状体を無窒素培地に移し培養を行い、乾燥重量あたりの各色素量を測定した。(B) 糸状体を通常の硝酸塩培地から無窒素培地に移し、各日数で全RNAを抽出し、ランダムプライマーによりcDNAを合成し、*Ycf18*, フィコエリスリン (*Cpe*), フィコシアニン (*Cpc*) および翻訳伸長因子 (*EFa*) の各遺伝子用プライマーによりPCRを行った。

による色素量の変化については、葉状体の場合は、いずれの色素も一週間以内に通常状態の約20%以下に低下したが、糸状体では色素量の減少は葉状体と比べて著しく遅かった(図4A)。フィコエリスリン遺伝子 (*Cpe*) やフィコシアニン遺伝子 (*Cpc*) の発現量については、葉状体では窒素欠乏に移し一日後には著しく低下していたが、糸状体では5日後までは顕著な低下は見られなかった(図4B)。これらのことから、糸状体のフィコビリソームは窒素欠乏ストレスに対して耐性能をもち、それはフィコビリン遺伝子の転写レベルで制御されていることが示唆された。

ラン藻Nb1Aは窒素欠乏条件で発現が誘導される。しかし、スサビノリ*Ycf18*は葉状体、糸状体ともに窒素欠乏では発現が誘導されなかった(図4B)。これらの結果から、*Ycf18*はスサビノリの窒素欠乏における色落ち(フィコビリソーム分解)には関与していないと考えられた。

銅ストレスに対する葉状体と糸状体の応答

葉状体に比べ糸状体は、窒素欠乏下におけるフィコビリソーム分解能が著しく低いことが明らかになった。その他のストレスに対する応答として銅過剰添加($100 \mu\text{M}$ 硫酸銅)による重金属ストレスについて調べた(図5)。窒素欠乏とは異なり、糸状体は葉状体と同様に銅ストレスに対して素早く応答することが明らかになった。

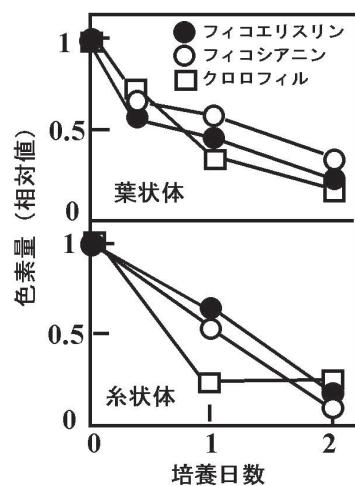


図5 過剰銅添加による退色

*Ycf18*遺伝子のアンモニアによる発現誘導

スサビノリの培養液には唯一の窒素源として硝酸塩が含まれている。通常培地では*Ycf18*の発現は著しく低いが、窒素源をアンモニアに切り換えると*Ycf18*の発現が誘導された(図6)。この性質は葉状体だけでなく糸状体でもみられ、また、アンモニア培地で継代培養を繰り返した後

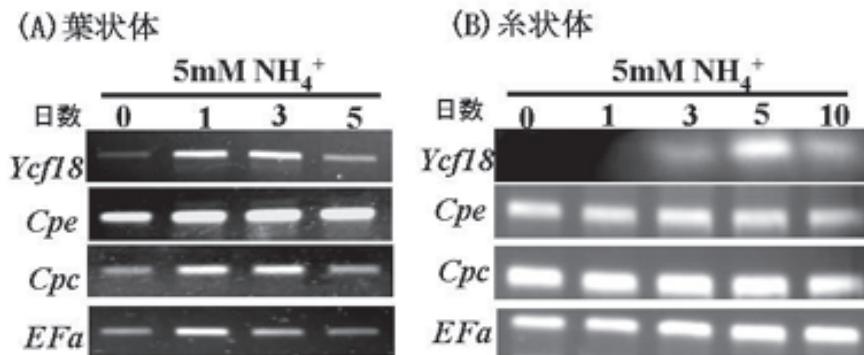


図6 アンモニアによるYcf18の発現誘導
Nb1A遺伝子は通常の培養条件では発現が強く抑制されているが、窒素欠乏などストレス条件下で発現が誘導され、フィコビリソームの分解が開始する。一方、フィコエリスリン遺伝子(Cpe) やフィコシアニン遺伝子(Cpc)は窒素欠乏により発現が抑制される。

でも保持されていた。一方、フィコエリスリンやフィコシアニン遺伝子の発現量は顕著な変化はみられず、光合成色素量も変化がみられなかった。

アンモニア同化系酵素遺伝子の発現レベル

Ycf18遺伝子の発現がアンモニアにより誘導されることから、Ycf18とアンモニア同化系との関連性を探るため、アンモニア同化系酵素遺伝子の発現について調べた(図7)。アンモニア同化系酵素については、被子植物や一部の緑藻では研究が進んでいるが、スサビノリを含む大型海藻ではほとんど研究されていなかった。全塩基配列が決定されているスサビノリ葉緑体ゲノムには窒素代謝系酵素遺伝子としてグルタミン生成酵素(GOGAT)が一つコードされていた。また、スサビノリESTデータベースにはグルタミン合成酵素(GS)とグルタミン酸脱水素酵素(GDH)の遺伝子断片が各一種類見出せた。これらの遺伝子の発現を調べたところ、GDHの発現レベルは低く、アンモニア培養によっても発現は変化しなかった。一方、GSとGOGAT遺伝子の発現量は高く、GOGATはアンモニアにより発現が増大した。これらの結果から、アンモニア培養におけるアンモニア同化の主要な経路はGS/GOGAT回路であると推定された。高等植物の場合、GSには細胞質局在と葉緑体局在の2種のイソ酵素が存在し、GOGATについても助酵素として還元型フェレドキシンとNADPHを利用する2種のイソ酵素が存在することが知られている。スサビノリにおいて、アンモニアにより増大したGOGATやGS遺伝子の発現が硝酸培養とは異なるイソ酵素遺伝子に由来する可能性があり、今後の課題である。

高等植物の場合、GOGATの基質である2-オキソグルタル酸はTCA回路から供給されることから、2-オキソグルタル酸の細胞内濃度によって窒素代謝系と炭素代謝系が制御されている。スサビノリにおけるアンモニア同化系の制御様式を明らかにすることにより、Ycf18の誘導がアンモニアにより直接制御されているのか、アンモニア同化系の代謝産物により制御されているのかが明らかになると考えられる。

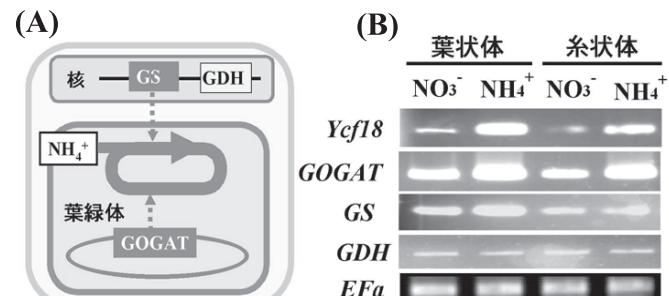


図7 アンモニア同化系遺伝子の発現レベル
(A) アンモニア同化系の模式図 (B) 硝酸塩およびアンモニウム塩培養におけるアンモニア同化系遺伝子の発現量

おわりに

我々は、従来、食用として利用されている葉状体をおもな実験材料として研究を行ってきた。今回、窒素欠乏、銅過剰ストレス、アンモニア培養などの異なる環境要因に対する、葉状体と糸状体の応答を調べた。窒素欠乏による色落ちについては、糸状体は葉状体よりも抵抗性をもつことが示唆された。しかし、葉状体と糸状体を正常に維持するためには異なる光・温度条件で培養する必要があったため、糸状体の性質が培養条件の違いにより生じた可能性があり、この点は今後検証する必要がある。また、糸状体は通気を行わずに培養したため、葉状体よりも生理活性が低く抑えられていた可能性もある。しかし、銅ストレスによる応答やアンモニア培養によるYcf18の発現誘導などは糸状体でも葉状体と同様に観察されたことから、糸状体における色落ち耐性の原因は、単なる生理活性が低下によるものではないと考えられる。

糸状体と葉状体は自然下では著しく異なる環境のもとで成育していることを考えると、ストレスの種類によっては両者が異なる応答を示すことは十分に予想されることである。例えば、糸状体は夏季に成長するため高水温耐性能をもち、葉状体は冬期の成長のために低温耐性能に切り替わっているはずである。糸状体の色落ち耐性能についても、糸状体は葉状体とは異なるフィコビリソーム分解制御機構をもつ可能性が考えられる。

我々は、紅藻のフィコビリソーム分解機構もラン藻から受け継がれていると推定していた。しかし、Ycf18の発現パターンはNb1Aとは全く異なることから、紅藻はラン藻とは異なる新たなフィコビリソーム分解機構を獲得していると考えられる。一方、アンモニアによるYcf18の発現誘導は葉状体だけでなく糸状体にもみられることから、Ycf18はアンモニア代謝に関連した何らかの機能をもつ可能性が考えられた。

一昨年、アラニン脱水素酵素がラン藻の窒素欠乏による色落ちに必須であることが明らかになった。同酵素遺伝子を破壊すると、窒素欠乏下でもNb1A遺伝子の発現が阻害され、フィコビリソームの分解が見られなくなった。窒素欠乏による色落ちでは、フィコビリソームタンパク質の分解により生じたアミノ酸は窒素源として再利用されると考えられている。アラニン脱水素酵素は反応産物としてアンモニアを生成することから、このフィコビリソーム分解過程にアンモニア同化系が関与する可能性も考えられる。従来、ラン藻Nb1Aの発現はアンモニアにより強く抑制されることは以前からよく知られており、このようなアンモニア生成酵素がフィコビリソーム分解機構に関与することは予想外であった。スサビノリYcf18がアンモニアにより誘導される現象はこの点で興味深く、Ycf18がフィコビリソームの合成・分解に間接的に関与する可能性は残されており、引き続き解析を行う予定である。

文献

1. Zhang, W., Sakai, S., Lin, X., Takechi, K., Takano, H. and 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., Takechi, K., Takano, H. and Takio, S. (2007) Characterization of short interspersed elements (SINEs) in a red alga, *Porphyra yezoensis*. Biosci. Biotechol. Biochem. 71:618-622.
3. Peddigari, S., Zhang, W., Sakai, M., Takechi, K., Takano, H. and Takio, S. (2008) A copia-like retrotransposon gene encoding gypsy-like integrase in a red alga, *Porphyra yezoensis*. J. Mol. Evol. 66:72-79.

キーワード

紅藻、スサビノリ、色落ち、環境ストレス、遺伝子、アンモニア同化

ヒガシナメクジウオを生息地に戻せるか：室内飼育の試み

安井金也

ナメクジウオは、その名前から連想される蛞蝓でも魚でもない。そのなかまは、世界で約30種が知られている。日本の海には4種類が生息し、そのうちの1種は、ごく最近、鹿児島で海底に沈められた鯨の死体がつくる特殊な環境で生息するナメクジウオとして発見されたものである(Nishikawa, 2004)。その名もゲイコツナメクジウオである。ナメクジウオ類はこれまで2つのグループ(属)に分けられていたが、Nishikawa(2004)によると、ゲイコツナメクジウオの発見により、3つの属に分けた方がよいと考えられる。日本で一般にナメクジウオと呼ばれているのは、ゲイコツナメクジウオなどとは違うグループで、より大きく、見た目もより魚に似ている(図1)。今回お話しする有明海に生息するナメクジウオは、この一般的なナメクジウオで、ヒガシナメクジウオと呼ぶ。ただし、最近分類が少し難しくなっており、今後、名前が変わる可能性がある。外観から想像されるように、我々背骨を持つ動物(脊椎動物)に近縁な動物と考えられ、脊椎動物の起源を知るために19世紀から研究してきた。日本でも、ナメクジウオは大変貴重な研究材料として紹介され、瀬戸内海や有明海のナメクジウオが早くから注目されていた。その後、戦争や環境破壊で日本のナメクジウオは幻の動物のごとくほとんど忘れられていたが、1990年代のリバイバルブームで、幾つかの地域で調査がなされ、生息地が再確認されるようになった。

我々は長い間、中国のナメクジウオに依存して研究を進めてきたが、日本の材料を使ってより高度な研究が進められるようにと考え、2005年から本格的な室内飼育に取り組んできた。飼育用に選んだナメクジウオは、有明海の入り口あたりに生息する個体群であるが、サイズが大きいことや合津マリンセンターの協力により、採集が容易であることが決定要因となった。当初は、中国での経験を踏まえて、生息地の砂の中での飼育繁殖を試みたが、砂が無い環境下でも問題なく排卵と放精が起こることが分かった。その経験を踏まえて、より飼育管理が容易な実験小型魚類用の飼育装置を導入して飼育を行っている。本格的な飼育を始めてから、これまで3回の繁殖シーズンを経たが、いずれも十分な受精卵を得ることができ、その一部を継代飼育に回すことができた(Yasui et al., 2007)。

親世代の飼育

親世代は、毎年天草で産卵が始まる約1週間前に性成熟個体を採集して、砂のない飼育装置で飼育を開始した。飼育装置内の産卵は、7月上旬から始まり8月中旬まで続いた。産卵・放精が終わった個体を継続して飼育しているが、11月ころから生殖腺の発達がみられ、繁殖期までにはほとんどの個体で生殖腺が十分発達した。しかしながら、これまで継続飼育個体の安定した産卵・放精は認められていない。砂を入れた飼育でも作業量がほとんど変わらないことから、病気の発生を抑えるため、また、より生息環境に似せるように、現在は4-9月以外は砂を入れた容器で飼っている。海水は天然海水をそのまま(冬季は加温して)約8時間流し、餌は1日1回流水停止後に、単細胞珪藻 *Chaetoceros* 属を適量与えている。

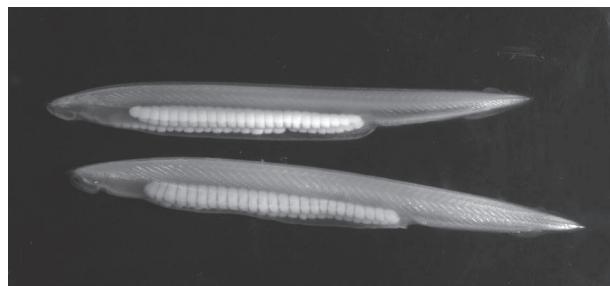


図1 有明産ヒガシナメクジウオの性成熟個体。大きさは4cm強の個体が多い。上の個体が雄で、腹部に小さな袋がな並んでいるように見える生殖腺が白く、色の付いた下の雌と簡単に区別がつく。

第一世代の飼育

受精卵の一部（数万個体）を飼育用に維持し、ふ化して数時間後に、約30リットルの砂無しのガラス水槽に移した。水槽の水はろ過した天然海水で、水槽の底には大型のエアストーンをセットした。受精後2日目に口が開口するので、そこから毎日単細胞珪藻を給餌した。水槽の掃除は週に1回、飼育個体をメッシュで回収して、不要物の除去と水の交換を行った。受精後30-40日ころの変態期までに個体数は約1/10に減少して、その後次年の春まではほぼそ



図2 飼育下で生まれた二世代目の幼生。受精してから約3日が経過している。二世代目の誕生は、中国のシャメン（アモイ）大学に次いで、世界で2番目の記録である。

の個体数が維持された。そのまま水槽で飼うと、夏までにさらに約1/10に個体数が減少した。2005年の第一世代は、06年6月から生殖腺が発達し始め、07年5月末に産卵・放精をして第二世代を出現させた（図2）。これは、一度も砂を知ることなく育った、ナメクジウオ史上初めての出来事であると考えられる。残念ながら、この第一、第二世代は放卵・放精の発見の遅れが原因で、その後しばらくして死滅した。現在は、春以降の個体数減少を防ぐこと、飼育をより容易にするために、体長が10mmほどになった時点で親世代と同じ飼育装置に、生息地の砂を篩でこしたやや細かい砂を敷いた容器をセットして飼育している。砂の飼育に移して3ヶ月が経過しているが、これまでの死亡率は5%前後で順調に成長している。今後気温が上がる春季の状況を見極める必要がある。

放流の可能性

有明海の生息地では、海砂採集が進められており、ナメクジウオの生息地の破壊が危惧されている。有明海のヒガシナメクジウオの繁殖期は年に1回か2回の短い期間に限られており、1匹あたり数万から数千の卵を産むとしても、繁殖後すぐに大きな環境変動があると、その個体群の新世代は簡単に消滅する可能性がある。また、有明海の生息環境では性成熟まで2年を要する。幼生は浮遊生活を送るので、一度消滅しても、生息環境さえ保存されていれば、他から運ばれてくる幼生によって新たな個体群が出現する可能性がある。しかし、人間が関与することも必要かも知れない。これまでの我々の飼育実績からすると、毎年1万匹程度の幼若個体を放流することが可能であると考える。ただし、2-3匹から得られる卵を使用する（雄もせいぜい数匹）、遺伝的多様性が小さいこと、放流時期をいつにするかなど、今後の課題として残される。もちろん、放流が意味を持つためには、生息環境が保証されていることが前提である。

Nishikawa T. 2004. A new deep-water lancelet (Cephalochordata) from off Cape Nomamisaki, SW Japan, with a proposal of the revised system recovering the genus *Asymmetron*. Zoological Science 21:1131-1136.

Yasui K., Urata M., Yamaguchi N., Ueda H., Henmi Y. 2007. Laboratory culture of the oriental lancelet *Branchiostoma belcheri*. Zoological Science 24:514-520.

キーワード：ナメクジウオ・室内飼育・有明海・個体群保全・放流

有明海の再生策とマスター プラン

滝川 清

要旨

1. はじめに

有明海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、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。

海域環境の悪化が著しい一方で、台風の常襲地帯でもある有明海・八代海海域では、高潮・高波等の海象災害、豪雨による洪水、土砂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に、高潮対策のための海岸堤防等、防災構造物の建設が自然環境を阻害している面もある。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。

本論では、有明海の再生を目的に、平成17年度から5ヶ年間の研究プロジェクト「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（熊大総額約4億円）」で実施している現地実証試験と熊本県において策定した「有明海・八代海再生のマスター プラン（提言）」を紹介する。

2. 有明海再生への取り組み

2-1 環境悪化の要因と再生策

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圏より構成される複雑系にある。従って海域環境の改善に当っては、海域環境のメカニズム解明のための総合的な調査・研究は当然のこと、この3つの環境基盤と生態系に対して、「何が・どこまでできるか？」を科学的に検討することが最も重要である。このような視点から、環境悪化の著しいこの海域の改善・再生策の基本は、まず第一には、「人為的インパクトの低減」と自然環境の回復能力の再生、特に「干潟環境の回復と創造」および河川水を含めた「水質の改善」などの対策を行うことである。

この海域の急激な環境悪化の要因には、干潟域の減少、沿岸域の開発、流域の都市化や農薬使用に伴う汚染物質の流入、河川形態の変化、大洪水に伴う土砂・汚濁物質の大量流入、台風や海流の変動による高温海水の浸入や潮流の変化、さらには地球温暖化など地球レベルでの気候変動も考えられるが、特に閉鎖性の高い有明海・八代海における環境悪化の原因は、①人為的及び自然的な流入負荷と内部負荷の増加と、②高い浄化機能を有する干潟や塩性湿地の埋立てに伴う減少および自浄機能の低下、の大きく二つの原因が考えられる。

前者の負荷増加に関しては、主に流域山間部からの自然的流入負荷は流域圏の都市化等によって減少し、生活及び工場廃水や農業排水等の人為的流入負荷は、環境基準による規制や下水道の整備により主要河川では昭和50年代から横ばいか減少傾向にある。また、主に底泥からの溶出やそれに伴う植物プランクトンの異常繁殖、枯死等の自然的内部負荷は「底質の悪化」が大きく影響を及ぼしていることが知られており、突発的なものではなく負荷が長年に亘って少しづつ蓄積したことによるものと考えられる。

後者の干潟域と干潟機能の低下に関して、自然の干潟や塩性湿地は、陸域から供給される土砂が潮汐や潮流・波などによって、長い年月をかけて浸食や堆積を繰り返すことで形成され、陸から海までをつなぐ潮上帯から潮下帯までの連続した地形を有する多様な場所である。その多様な環境条件の下で高い一次生産（植物が光合成により有機物を生産すること）をもつ場所であり、この一次生産に支えられて底生生物や魚類、鳥類といった多種多様な生物が生息・来訪し、産卵、稚仔魚の生育の場としても機能している。さらに、そういった生物活動の下、食物連鎖を通じた物質循環がバランス良く効率的に行なわれることで高い浄化機能を有している。

しかし、有明海の干潟は江戸時代以前から戦後の食糧難の時代にかけては、主に農地などの土地を広げるために干拓が行なわれ、高度経済成長時期には工場や港湾施設等を造るために埋め立てられてきた。

干拓面積は江戸時代以前に約 70km²、江戸時代に 110km²、明治～昭和 10 年代に 34km²、昭和 20～30 年代に 13km²、昭和 40～50 年代に 39km²、環境省自然環境保全基礎調査によると、1978 年度調査から 1989～1991 年度調査の間に、有明海の干潟は 220.70km² から 207.13km² (6.1% 減) に減少している（諫早干拓により消失した干潟 (15.50km²) を減らすと 188.41km² となり、14.6% 減となる）。さらに、海と陸との境界線である水辺や海岸線は干拓による農地等を防護するための防災目的でコンクリート製の堤防が構築され、堤防前面に干潟はあるものの、潮上帯から潮下帯までの連続した地形をもった干潟や塩性湿地が姿を消している。このことは、有明海の環境悪化に大きく影響を及ぼしている。有明海は長年にわたる負荷の蓄積と、干潟の埋立てや海岸線の人工化による自浄作用の衰退によって「負のスパイラル（悪循環）」に陥っているものと考えられる。

以上の視点から、有明海を再生させるためには、負荷が蓄積することによって悪化した底質を改善する「場の改善」と、潮上帯から潮下帯までの連続した地形をもった干潟や塩性湿地を創生することで自浄作用を回復させる「場の回復」が重要な改善策となる。

2—2 熊本県における再生への取り組み

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、有明海及び八代海を豊饒な海として再生させることを目的とした「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」が 2002 年 11 月に施行された。この法律により、環境省に有明海・八代海総合調査評価委員会が設置され、総合的な調査の結果に基づいて有明海・八代海の再生に係る評価により、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。

昨今、海域内の各地点ごとに、各省庁を中心に環境改善を目指した対策が数多く実施されているが、重要なのは、“個々の対策が有明海・八代海の海域全体にどのように影響を及ぼすか”を常に考えておくべきであり、“海域全体の環境のバランス”を前提とした“海域環境のゾーニング”を早急に策定しておく必要がある。

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 カ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り、ここに紹介する。

この委員会での検討フローを図-1に示し、各項目は以下のようである。(1)既存資料の収集整理：社会環境、自然環境など、多様な項目について資料の収集・整理を行い、現状、過去からの変遷（基本的に1950年以降）について整理を行った。(2)聞き取り調査：既存資料では十分に整理できない項目について把握するため、熊本県の沿岸域漁業者を対象に聞き取り調査を行った（聞き取り年表として整理）。(3)アンケート調査：聞き取り調査は漁業者を対象に行ったが、漁業者だけでなく一般住民を含めた幅広い層の意見を収集するため、内水面漁業者、沿岸域住民、一部の沿岸域漁業者に、アンケート調査を行った。(4)現地調査：海岸線の調査を行い、満潮時・干潮時の海岸前面の状況、護岸の状況、後背地の状況について記録し整理した。また、生態系の豊かさを表す指標となる塩生植物の分布状況を、一級河川の河口部を中心に調査した。(5)干潟等沿岸海域の再生方策に関する事例や文献の収集整理：干潟等沿岸海域の再生に関して、全国各地で行われている再生の事例や再生に関する研究文献等について収集・整理した。(6)ケーススタディー地区における意見交換会：具体的な再生方策を検討するに当たり、代表的な特徴を持つ6つの地区を選定し、地元の住民と委員が直接意見の交換を行った。

これらの資料を基に、有明・八代海の両海域に対して、海域全体およびケーススタディー地区ごとに“望ましい姿、再生方策の考え方”を整理し、これから課題を浮き彫りにして再生方策のあり方をまとめた。さらに提言を実施するためのフォローアップの方法についても言及した。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、NPO³⁾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。

2—3 再生の現地実証試験

有明海の再生・改善・維持方策の実施は早急かつ大きな課題であり、社会的にも強く求められているが、海域環境再生策のとして、生物生息の「場の改善」と「場の回復」を目的とした事例として、その有効性が認められ、有明海の再生方策として大いに期待されている「人工巣穴による底質改善」⁴⁾、「干潟なぎさ線の回復」^{5) 6)}について紹介する。

「人工巣穴による底質改善」は、底生生物の巣穴を人工的に再現し、干潮時に干出する干潟域では水位差、干潟にならない場所では潮流を利用して、底泥中に上層水を輸送し、好気的環境を創出することにより底質改善を行なうものである。2006年より熊本県熊本市の中央部を流れる坪井川河口の干潟域と海域で現地実証試験が行なわれている。その結果、人工巣穴によって好気的な環境が

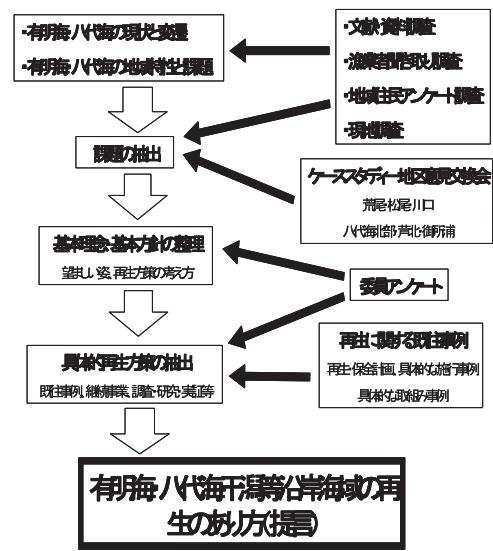


図-1 検討のフロー



写真-1 フォローアップ事業（地域講演会）

維持し、硫酸還元細菌の減少が示唆され、人工巣穴が魚介類の産卵・生息場になるといった波及的な効果も確認されている。

「干潟なぎさ線の回復」は、海岸線の人工化によって失われた、本来水辺や海岸線にあたる潮上帯から潮下帯までの緩やかで連続した地形（以下なぎさ線）を創造することによって、生物や塩生植物等の生息場を復元し、干潟生態系が有している自己再生機能（浄化機能）を回復させる改善策である。熊本港で実証試験が行なわれており、2005年10月に東なぎさ線（写真-2）、2006年9月に北なぎさ線（写真-3）、2007年9月には航路周辺等のなぎさ線が造れない場所への対策としてエコテラス護岸（写真-4）⁷⁾が造成され、現地実証試験を行なっている。

a) 熊本港「東なぎさ線」（写真-2）

東なぎさ線を造成した熊本港東護岸前面は、地盤高が約T.P. ±0.00m、中央粒径が約0.06mmの泥質干潟で、対岸の干拓地まで平らな干潟が広がっている。潮流は、上げ潮時は北向き、下げ潮時には南向きへ流れおり、波浪の影響を受けにくい場所である。ここに、H.W.L.（T.P. +2.05m）から現地盤のT.P. ±0.00mまで、幅100m×奥行100mの範囲で、潜堤をカデナリー曲線形に設定し、ちどり状に配置した。中央粒径が約0.79mmの有明海産の海砂で覆砂を施し、中央部勾配は約1/30で、護岸の前面には潮上帶付近の覆砂の流出を防ぐための突堤が2本、中央部には生物の生息環境に多様性を持たせるための島堤が3箇所配置されている。2005年10月に造成が完了した。

東なぎさ線における底生生物種数の時系列変化を図-2に示す。造成前はヤマトオサガニやササゲミミエガイなどの泥質干潟に生息する9種が確認された。造成後は、造成直後から生物の生息が確認され、生物の活動が乏しい冬季も維持されていた。造成半年後の春季には造成前の種数を上回り、夏季に24種とピークを示し、造成1年で造成前の約2倍にあたる20種の生物が確認されるようになり、種が多様化していることが確認できた。また、多数のアサリ貝の着床、生育も出現しており、通常はアサリが生息できない標高であるにも関わらず、なぎさ線を造成することで有用水産種も生育できる「場を創生」できる事が明らかとなつた（写真-5）。



写真-2 熊本港「東なぎさ線」



写真-3 熊本港「北なぎさ線」



写真-4 エコテラス護岸

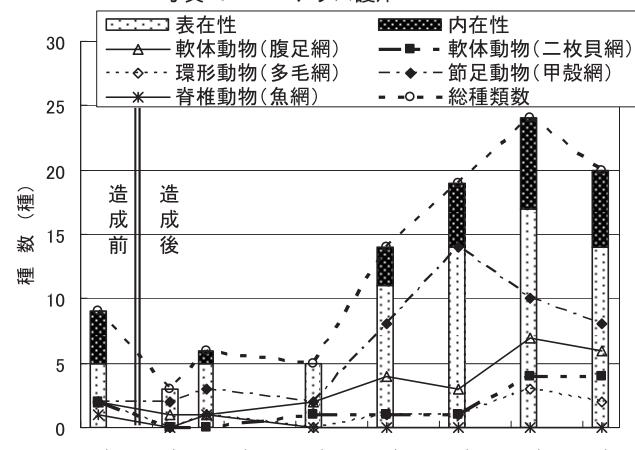


図-2 東なぎさ線における底生生物種数の変化



写真-5 標高の高い東なぎさ線で着床・生育しているアサリ貝

b) 熊本港「北なぎさ線」(写真-3)

北なぎさ線を造成した熊本港北護岸前面は、地盤高が約 T.P. -2.00m、中央粒径が約 0.04mm の泥質干潟で、100m ほど沖に離岸堤が設置されている。潮流は、上げ潮時は東向き、下げ潮時には西向きへ流れしており、波浪や季節風の影響を受けやすい場所である。ここに、H.W.L. (T.P. +2.05m) から現地盤の T.P. -2.00m まで、土砂流失を防ぐための突堤を幅 40m × 奥行 50m で 2 本配置した。そこに、中央粒径が約 0.02mm の熊本港近郊の航路浚渫土砂を下層（現地盤から T.P. -1.50m まで）、浚渫土と中央粒径約 0.18mm の海砂を 50%ずつ混合した土砂を中層、海砂のみを表層（厚さ 0.5m）に使用した 3 層構造になっている。勾配は約 1/12 で、軟弱な浚渫土砂の流出を防ぐため、護岸から約 40m 沖に中仕切堤が設置されており、2006 年 9 月に造成が完了した。

北なぎさ線の造成前は、トゲイカリナマコなどの泥質干潟に生息する 13 種が確認された。個体数が最も多かったのはゴカイなどの環形動物で、ニマイガイなどの軟體動物は、個体数は多いものの、確認されたのはシズクガイ 1 種のみであった。造成後は、東なぎさ線と同様に表在性生物の生息が確認され始めている。造成直後の調査でコメツキガニやイソカニダマシ、干潟 RDB で危険とされている希少種のアカニシガイ等の生物が確認され、造成 2 ヶ月後の調査ではマテガイやケフサイソガニ、クルマエビも確認されている。また、突堤東側に流出して出来た干潟には、ツバサゴカイの U 字型の棲管が多数確認されている。東なぎさ線よりも生物の生息確認時期が早いのは造成完了時期が東なぎさ線よりも 1 ヶ月早いことや、立地条件、干出時間の違いによるものと考えられるが、今後データを蓄積して比較する必要がある。

北なぎさ線において 25 cm × 25 cm コドラート枠で採取されたアサリ稚貝（殻幅 5~15mm）を写真-6 に示す。北なぎさ線では造成半年後の春から多くの生物が確認されるようになった。

c) エコテラス護岸 (写真-4)

エコテラス護岸を造成した熊本港東側の沖新海岸は、飽託海岸の高潮対策として昭和 33 年より海岸保全施設整備事業が行なわれている場所で、約 T.P. +7.00m の護岸堤防が構築されており、前面は地盤高が約 T.P. -0.20m、中央粒径が約 0.06mm の泥質干潟となっている。この護岸堤防の前面に、生物生息機能を持たせるために、捨石でマウンドを造った後、幅 9.5m、奥行き 2.5m のコンクリート製側溝を階段状（テラス状）に 3 段並べ、2007 年 9 月に造成が完了した。上段は天端を H.W.L. (T.P. +2.05m) に設定し、前面の泥を入れた後、ハママツナ、ホソバノハマアカザ、ハマサジ、フクド、シオクグの 5 種類の塩生植物を植栽した。中段は天端を T.P. +0.75m に設定した潮溜りとなつており、側溝の壁面に多孔質パネルを使用している。下段は天端を T.P. +0.55m に設定し、仕切りをした後、前面の泥と中央粒径が約 0.17mm の海砂をそれぞれ別区画に入れて、粒度組成が異なるテラス干潟となっている。造成の施工中から、中段の潮溜りには、ハゼやボラの稚魚、シバエビやシラタエビなど多くの生物が確認されはじめており、今後の成果が大いに期待できる。これらの結果、なぎさ線の回復によって、多種多様な生物の生息場が復元され、絶滅危惧種や希少種も多数確認されるといった効果が確認されている。

また、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⁸⁾の事業が国（農林水産省九州農政局）と NPO³⁾との連携で進められている。

3. おわりに

地域には、水・地形・地質・気候などの自然環境と、歴史的・文化的な侧面を含む人間社会・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

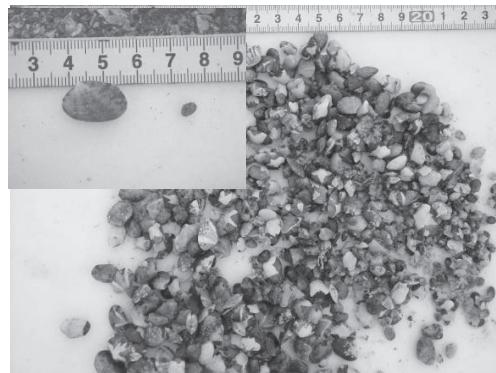


写真-6 北なぎさ線で採取されたアサリの稚貝

わた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つつ、さらに、巨大化・頻発化の兆候が著しい自然災害に対処しなければならない有明・八代海の沿岸海域においては、

「環境の再生・維持」と「海岸の防災・保全」の両立は重要な課題であり、“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を早急に創り上げねばならない。



写真-7 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）

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) NPO法人：みらい有明・不知火、
<http://www.mirai-ay.or.jp/index.html>
- 4) 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、pp. 1131-1135、2007。
- 5) 滝川清・増田龍哉・森本剣太郎・松本安弘・大久保貴仁：有明海における干潟海域環境の回復・維持へ向けた対策工法の実証試験、海岸工学論文集、第53巻、pp. 1241-1246、2006。
- 6) 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、pp. 525-530、2007。
- 7) 滝川清・増田龍哉：干潟なぎさ線の回復技術現地実証試験、文部科学省科学技術振興調整費重要課題型研究「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験」～熊大グループ編～、pp. 46-55、2007。
- 8) 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。

キーワード：有明海再生、環境再生、海域環境、再生のマスタープラン、生物生息環境、なぎさ線

堆積物試料が示す熊本沖有明海の過去 60 年間の環境変遷

秋元和實

はじめに

有明海の富栄養化は、一般に 1980 年代に急激に進行したと考えられている、海域環境は、悪化の原因が不明のままに、さらに進行する悪循環に陥っていると懸念されている。珪藻赤潮の統計が開始した 1985 年には 7 件が発生し、翌年には赤潮被害も報告されている（水産庁九州漁業調整事務所：<http://ay.fish-jfrca.jp/ariake/gn/index.asp>）。海水 $1m^3$ における *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve の細胞数は、熊本市沖では 1978 年から調査されている（熊本開発研究センター、1977-1998）。しかしながら、1980 年以前の赤潮情報の情報はなく、富栄養化の開始時期の特定は難しい。

多量の有機物の堆積は、海底における硫化水素の発生原因であり、珪藻赤潮はその原因の一つである。熊本県沿岸はアサリ (*Ruditapes* spp) の主要な産地である。漁獲量は 1970 年後半に極大（6 万トン/年以上）を示した後、徐々に減少し、1990 年には 2.5% まで減少した。木下ほか（1979）の熊本沖の底質と比較すると、有明海中央部では粗粒砂を泥が覆い、沿岸水と外海系水との境界部では硫化水素臭を発する泥が分布していた（秋元ほか、2004a）。この 23 年間の海底環境の変遷も、未解明であった。

環境悪化の原因の分析と再生の方策の立案には、物理・化学的要因と生物生産過程を統合した研究が必要である。これまでに実施された精密な水質調査や海洋観測手法では生起している事象を詳細に記録できても、観測開始前のデータは取れない。このため、原因の特定は難しく、さらに問題となっている生態系の変化と物理・化学的数値とは必ずしも直結しない。さらに、海域ごとに異なる環境特性を考慮せずに実施した改善策では、長期にわたって良好な状態を維持することも難しい。

閉鎖性内湾の環境改善は、有明海にとどまらず、世界および将来に関わる重要な課題でもある。堆積物の環境記録を解析する手法を確立することは、環境対策を講じるための十分な観測記録がない国内・国外の閉鎖系内湾域でも科学的根拠に基づいた改善への具体的な指針を与えることになる。2005 年から実施している文部科学省の科学技術振興調整費重要課題解決型研究「有明海再生」において、秋元が担当している「干潟環境の物質収支と特性と海底・海中環境の特性把握」では、陸域-干潟域-海域の環境における未解明の事象の把握と相互関係などメカニズムを明らかにするための総合的調査をしている。

その中で、環境の改善を図るために不可欠な海洋および海底の環境の変遷とそれぞれの変動要因となる社会環境の変化との関係を解明するために、熊本市沖の沿岸水と外洋系水との潮目（3 地点：菊池川沖、白川沖、緑川沖）において、不擾乱の柱状堆積物試料を採集した。柱状試料の表層から基底までを厚さ 1cm 毎に切り分け、粒度・重鉱物・微化石・重金属などを分析した。 ^{210}Pb および ^{137}Cs 年代に基づいて、分析結果を時系列に整理し、水質および底質の変化を復元した。以下に 3 年間の成果の概要を記述し、講演では内容の一部を公表する。

成果の概要

平成 17 年度からの 3 年間に、流入物質が集積する沿岸水と外洋系水との潮目において、3 地点（菊池川沖、白川沖、緑川沖）を選択し、不擾乱の柱状堆積物試料を採集し、水質および底質の変化を復元した。加えて、平成 19 年度には地形も調査した。

（1）地形

熊本沖の有明海では、緑川、白川および菊池川から流入した河川水を起源とする低塩分の沿岸水と橘湾から流入した高塩分の外洋系水との境界（潮目）が形成される。そこでは、有機物が沈積し、堆積物は硫化水素臭を伴う（秋元ほか、2004）。干潟の干出を考慮した 3 次元シミュレーションからも、ほぼ同じ場所に鉛直方向の潮汐残差流の鉛直循環が認められ、流動特性が集積に関係していることが明らかになった。

集積メカニズムに直接に関係する地形の情報は、熊本沖においては 1/2.5 万沿岸海域土地条件図（建設省国土地理院、1979）がある。しかしながら、海域環境が急速に悪化した 1980 年代以降なく、海砂採集に伴う変化すら不明である。1980 年から現在までの地形変化を明らかにするために、音響測深により地形を、柱状底質試料の採集地点を通過する測線でサイドスキャナーソナーにより底質を調査した（図-1）。その結果、菊池川沖の砂堆は、不規則に深さ 10m 以上掘削されていた（図-2）。掘削は、1979 年までは頂部で行われていたが（木下ほか、1980），その後に西斜面で大規模に行われ、地形が著しく変化していた。

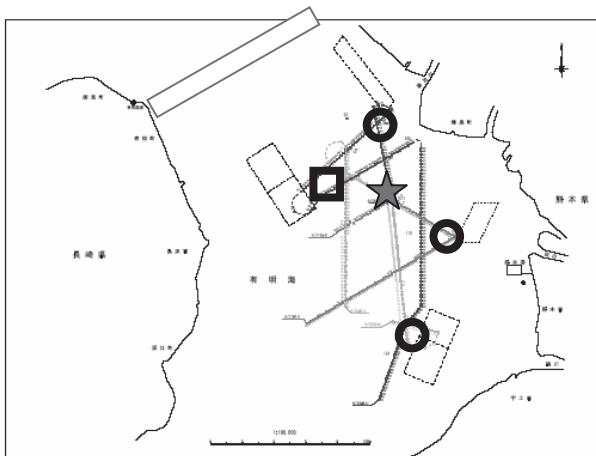


図-1 地形調査の測線 (平成 19 年 9 月 25-27 日)
と柱状試料採集地点 (○)および追加予定地点
(★・□)

(2) 1950 年以降の環境変化

柱状堆積物試料の表層から基底までを厚さ 1cm 毎に粒度・重鉱物・微化石・重金属などを分析し、 ^{210}Pb および ^{137}Cs 年代に基づいて、水質および底質の変化を復元した。

a) 珪藻赤潮の発生時期と場所の変化

有機物の集積は、硫化水素の発生原因であり、珪藻赤潮は原因の一つである。珪藻化石の層位的変化から、赤潮原因種 (*Skeletonomena costatum*) の初出現が、緑川沖では 1950 年代後半、白川沖では 1960 年頃、菊池川沖では 1985 年頃であり (第 I 期の悪化)，出現時期が北に向かって遅いことが明らかになった (図-3)。

多産する海域も、1980 年には緑川沖から白川沖まで、1996 年頃には菊池川沖まで拡大した (第 II 期の悪化)。白川沖と緑川沖の有明海では、海水中の *S. costatum* の細胞数は 1980 年に急増し (熊本開発研究センター, 1978-1998) している (図-4)。さらに、1985 年には珪藻赤潮が初めて報告され、翌年には赤潮被害も発生している (<http://ay.fish-jfrca.jp/ariake/gn/index.asp>)。したがって、化石を用いて復元した環境変化は、既存の水質資料と極めて良く一致している。この化石記録に基づけば、赤潮原因種の個体数が記録されてない 1960-1980 年代において、緑川沖から白川沖まで赤潮発生海域が拡大していったことを示唆している。

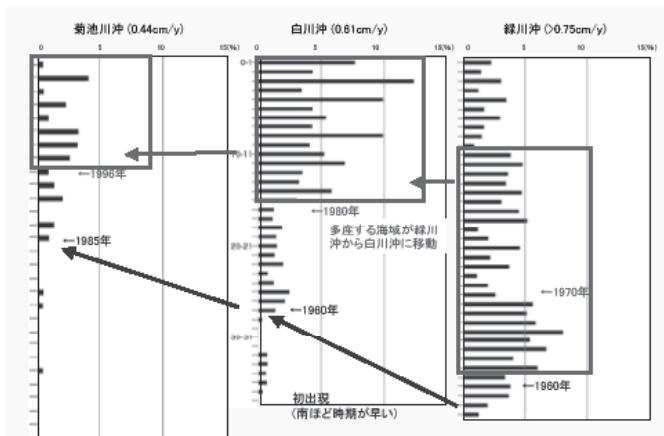


図-3 熊本沖の柱状底質試料における赤潮珪藻種 (*Skeletonomena costatum*) の層位的分布

b) 海底への有機物負荷の変化

赤潮発生海域の拡大とほぼ同時期の 1978-1988 年頃に、白川沖の底生有孔虫群集には、現在の有明海ではほとんど分布しない *Bulimina denudata* が多産 (最大で 20%以上) する (図-5)。本種は、八代海では堆積物に含まれる水銀の量に関係 (大木ほか, 2006) としているが、八代海北部の堆積物では水銀と有機物量には高い相関がある (中田ほか, 2006)。白川沖で有孔虫化石を解析した柱状試料では水銀の增加がなかったことから、有機物の供給量の変化を推定した。

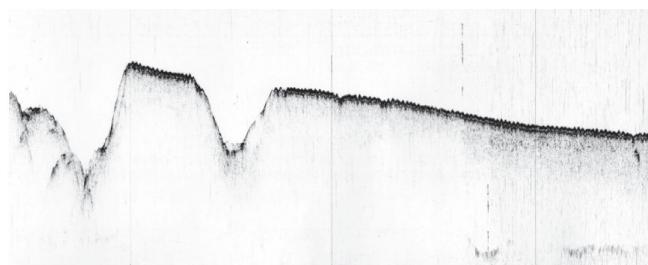


図-2 採砂による掘削で地形が変化した菊池川沖の砂堆 (図-1 の □)

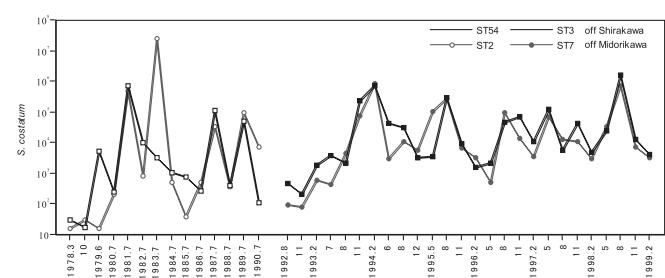


図-4 熊本沖の海水 10L 中の *Skeletonomena costatum* の細胞数の変化 (熊本開発研究センター, 1978-1999)

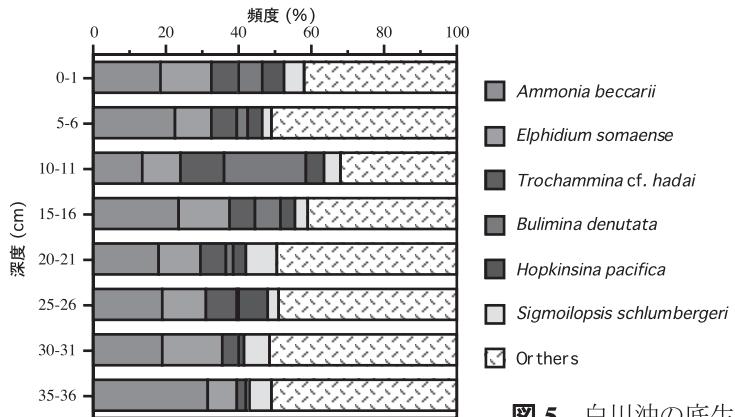


図-5 白川沖の底生有孔虫の変化

一方、1980年には熊本県沖を含む有明海南部の海水中のCODは急減している(代田・近藤, 1985)が、潮目直下の堆積物では強熱減量が急増している(熊本開発研究センター, 1978-1998)。さらに、有孔虫から示唆された有機物負荷の極大が二級河川(坪井川)のBODの極大期に一致する。このことから、陸域からの負荷に起因していると判断される。

以上、底生有孔虫化石群集の変化と化学分析の資料から、底生物相にまで影響を及ぼした環境悪化が生物相に基づいて初めて実証できた。

c) 底質の粒度組成の変化

底質の粒度変化は、底生物の分布に影響を与える。緑川沖の柱状試料では、深度30cmに貝殻片(アサリ、シオフキ、マテガイ)を含む中粒砂層(基底の年代が1975年頃)が認められた(図-6)。この砂層は音波断面でも捉えられ(図-7), 国土地理院(1979)の分布と近似する。

試料採取地点には、鎌田(1967)がシルトを、建設省国土地理院(1979)は貝殻まじりのシルトを、木下ほか(1980)は細粒砂を報告している。この砂は、木下ほか(1980)のそれと層相が類似し、基底から得られた放射年代値もそれぞれの報告書の調査年と矛盾しない。これらのことから、1979年に報告されていた砂と判断した。

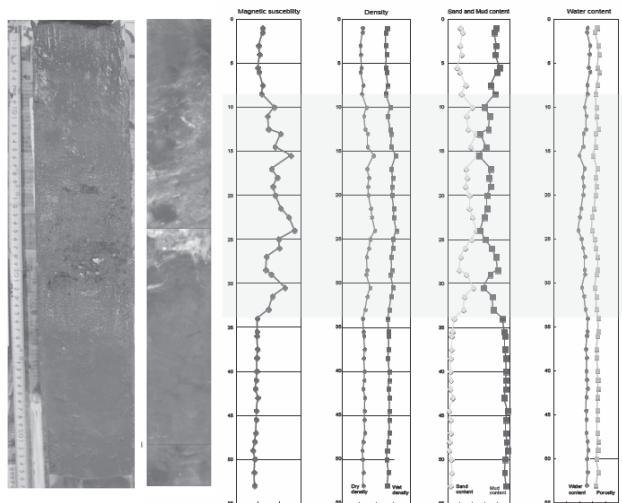


図-6 緑川沖柱状試料における底質の鉛直断面
(写真左: 目視, 右: ソフトX線)

3. 有明海再生に向けて残されている課題

熊本沖のアサリの漁獲量の極大は、1975年頃と推定した砂の分布の拡大後に発生している。本振興調整費の課題であるアサリの増加には、生息場となる砂の分布域が拡大・縮小した原因の解明が不可欠である。底質が粗粒化した範囲から、採貝可能海域の経年変化も把握できる。

さらに、有明海再生において問題になっている湾奥の環境改善のためには、湾奥の海水の流入・流出の情報が不可欠である。流速計は底層流の瞬間の速度を測定できるが、海水交換の現状を知るために平均流速を明らかにしなければならない。底層流によって形成される砂渾の形態は、流速と粒径によって変化し、長期の平均流速を反映している。木下ほか(1980)が砂渾から底層流の方向を推定した長洲-多以良(図-8)において、再度サイドスキャンソナーによる微地

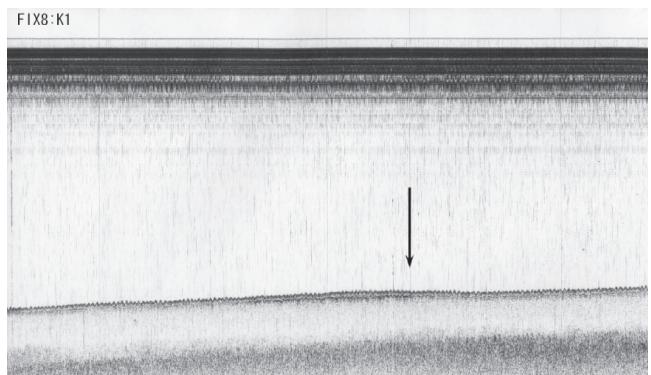
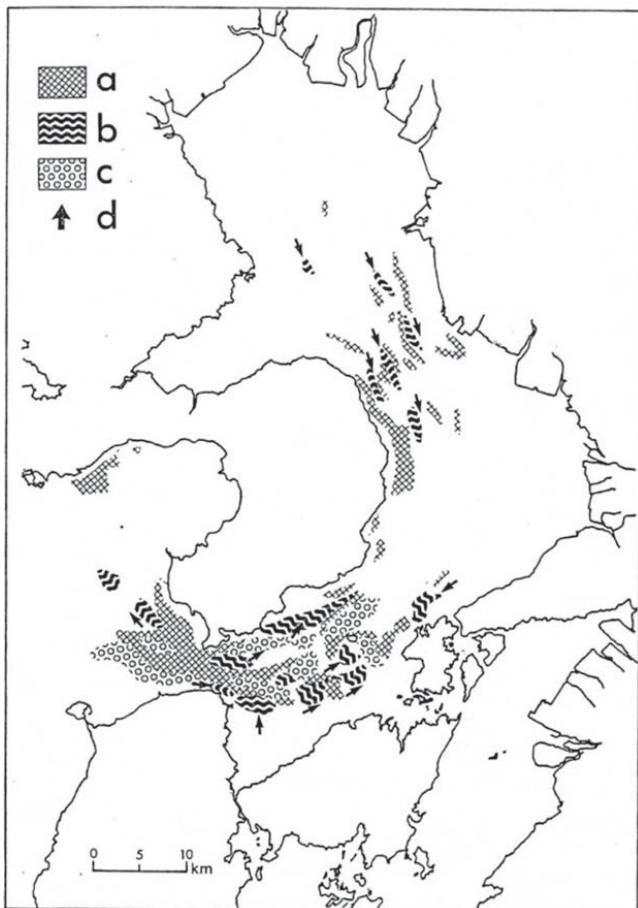


図-7 緑川沖柱状試料(矢印)の深度約10-35cmに存在する砂層は、音響の反射面として広域に追跡できる。

形調査(図-1の□)をすれば、30年前との流速の差異も明確になる。

本調査で、自然環境に対する人為的影響が明らかになり、生物生息モデルにおける改善目標も得られた。白川沖と菊池川との間(図-1の★)で環境への負荷量を見積もれば、実施範囲を限定でき、効率的改善も可能になる。



第21図 サイドスキャン・ソナーおよび海底写真による海底状況図
a : 露岩帯, b : 砂渾および砂連, c : 磨質帯, d : 砂質堆積物の移動方向

図-8 有明海の露岩、砂渾、礫の分布と砂の移動方向(木下ほか, 1980)

文献

- 秋元和實・滝川 清・島崎英行・平城兼寿・田中正和・西村啓介・長谷義隆・松田博貴・小松俊文・鳥井真之 (2004) : 「ガラカブ」が見た有明海の風景. NPO みらい有明・不知火.
- 鎌田泰彦 (1967) : 有明海の海底堆積物. 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 18, pp. 71-82.
- 建設省国土地理院 (1979) : 沿岸海域基礎調査報告書(熊本地区). 89 p.
- 木下泰正・有田正史・小野寺公児・大嶋和雄・松本英二・西村清和・横田節哉 (1980) : 61-2 有明海および周辺海域の堆積物. 公害特別研究報告, pp. 29-67.
- 熊本開発研究センター (1978-1998) : 熊本港周辺海域干潟生物調査.
- 中田晴彦・島田秀昭・安武 章・秋元和實・滝川清 (2006) : 八代海における化学汚染の現状解析 —八代海北部の底質中重金属について—. 月刊海洋 38 (2) 八代海-II —環境と生物の動態—, pp. 131-136.
- 大木公彦・Rifardi・富安卓滋 (2006) : 南部八代海の海底表層堆積物の挙動と水銀汚染. 月刊海洋 38 (2) 八代海-II —環境と生物の動態—, pp. 105-111.
- 滝川 清・秋元和實・平城兼寿・田中正和・西村啓介・島崎英行・渡辺 枢 (2005) : 有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物分布特性. 海岸工学論文集, 52, pp. 956-960.
- 代田昭彦・近藤正人 (1985) : 21章 有明海 III 化学. 日本全国沿岸海洋誌, pp. 846-862.

有明海の干潟を利用する鳥類と利用様式に関する観察

塚原 和之（日本野鳥の会熊本県支部）

要旨

調査目的（はじめに）

九州北西部の半閉鎖海域である有明海は、沿岸一帯に干潟が連続し、水鳥の渡りにおける重要な中継地であるが、水鳥が主に利用する部分は限られている。また特にシギ・チドリ類では採餌利用に用いる干潟が、しばしば何らかの原因で変動することが知られる。本研究では、水鳥の干潟利用の現況と利用場所の変動やその要因をとらえるための有用な手法検討として、水鳥の利用様式の記録と行動圏の模式化を試みた。調査データは2006年12月～2007年10月の冬季と秋季に、有明海再生事業の調査業務の一部として熊本港周辺において実施されたものを主として用い、演者の観察を加えた考察をおこなった。発表内容は2007年日本鳥学会熊本大会でおこなったものを一部変更しておこなうものであり、この共同発表者である滝川清先生、アジアプランニング株式会社の田渕幹修先生、園田吉弘氏には調査と発表の機会を与えていただいたことに心より感謝を申し上げる。

調査内容

潮汐に応じた種ごとの利用場所について一日を通して詳細に記録する“行動調査”は、主に熊本港周辺において行った。各生息地の干潟を利用する鳥類の“生息状況調査”は、有明海東沿岸地域を主な調査地とし、干潟利用種の休息と採餌利用地点の分布を記録した。調査地区における水鳥個体群の規模及び分類群ごとの比率の比較は、期間中に確認された最大数によっておこなった。

結果（生息状況調査）

生息状況調査（休息と採餌場所の分布）では、流域面積が比較的大きい河川の河口付近に水鳥の利用が集中し、有明海の干潟の中で水鳥が集中的に用いる干潟は限定されていた。また種毎に志向する環境の相違によって地区ごとの種構成に差が生じ、例えばシギ・チドリ類では、下げ潮時にいち早く出現する、“平均海面”より上位の干潟や砂混じり干潟の有無など環境の多様化に応じて多様性と個体群規模が拡大しているように見受けられた。ただし有明海湾奥に位置する佐賀東与賀海岸においては、干潟の立地が高い部分でも餌生物が多様な泥質となり、シギ・チドリ類では他の生息地より長時間、効率よく採餌することが可能となり、有明海東沿岸の干潟に比べ特異的であると考えられた。また多様性が高いシギ・チドリ類の群れが消失した地区がみられ、海岸や底質の変化との関連が示唆された。

水鳥の干潟生態系への係りや生息地保全への応用では、単に干潟の面積ではなく、水鳥の採餌利用の集中する干潟に留意することが不可欠と考えられる。

結果（行動調査）

行動調査では、熊本港周辺（白川河口）を例に挙げると、水鳥は安定した利用様式をもち、白川と熊本港調整池（浚渫土廃棄場）の間、半径約3km程度に休息場所と採餌場所のまとまりがみられた。種あるいは種群によって行動の様式や行動半径は異なるが、特にシギ・チドリ類、サギ類、カモ類の主要な水鳥は、潮汐に応じて概ね白川河口と熊本港調整池までの干潟と海岸を利用し、カモ類の一部やカモメ類、クロツラヘラサギなどはより広域的な行動圏をもっているとみられた。

菊池川河口など他の地区でも同様に行動圏は安定しており、種・種群の行動圏は河口を中心とした複合的な“水鳥（群集）行動圏”とも呼べるまとまりに集約できると考えられた。この広域的な行動圏のとらえ方は、水鳥の生息状況調査などにおける調査範囲の設定に有用となる。また特定の水鳥ま

たは水鳥群集の規模の推移を考察する場合、この生息地のまとまりは比較の前提となると考えられる。

まとめ

- ・ 干潟を利用している水鳥は大きく4種群+@。シギ・チドリ類、サギ類、カモ類、カモメ類、およびカワウ、クロツラヘラサギ、カラス類など。種群ごとに利用様式（季節・規模、採餌・休息場所などの行動圏の構造）が異なる。
- ・ 地形上千潟に分類されるエリアの中で、水鳥が利用するエリアは限定的。一定の規模の河川の河口周辺、それも沿岸左回りの下流側に生じる傾向がみられる（有明海西沿岸で顕著）。
- ・ 主要な水鳥の行動様式をみると、河口を中心とした“水鳥(群集)の行動圏”のまとまりとしてとらえることができる。

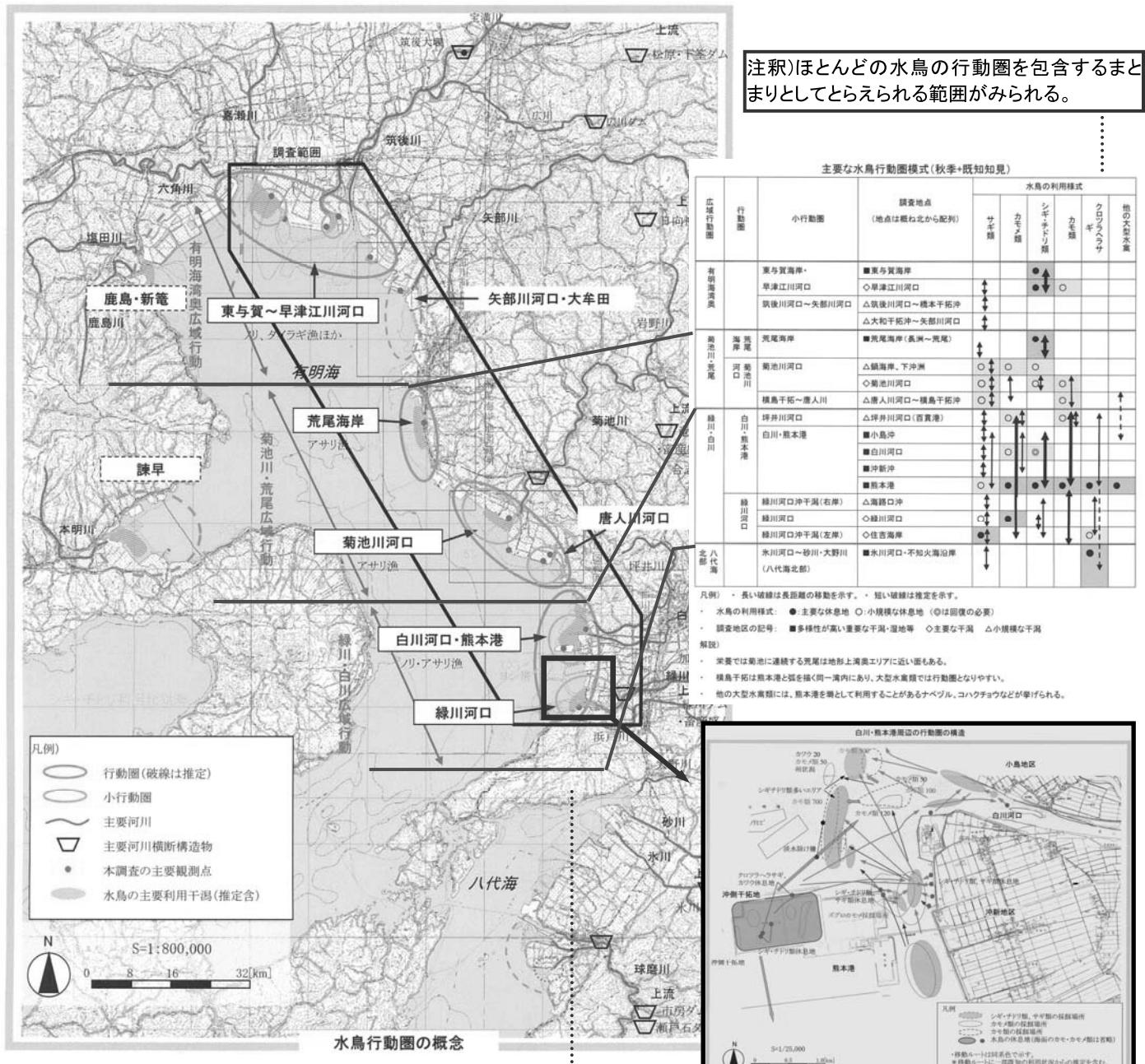
応用・発展の可能性

- ・ 渡来数の規模をとらえる範囲の設定を合理的なものとできる。各渡来地の過去のデータを比較する上で、有明海または各渡来地が含まれる水鳥行動圏のなかでの位置づけを明確にできる。
- ・ 干潟における物質収支への水鳥種群毎の係り方と濃淡の基礎資料となる。
- ・ 干潟の埋立など大規模開発における干潟性水鳥に対する影響評価などで、地形上千潟に分類される範囲のなかでも、実際に利用されるエリアや種々の要因により形成される現存の行動圏が予測の前提となる。
- ・ 各渡来地（水鳥行動圏）における水鳥の生息地保全の際には、行動圏の休息地や採餌場所の構造を踏まえた検討が可能となる。例えば、熊本港埋立地の休息地としての重要性は有明海西沿岸において極めて大きくなりつつあることなどが示された。また荒尾海岸においては行動圏の構造は単純で、逃避距離が大きいシギ・チドリ類の休息地が不足している状況が浮き彫りにされ、鳥類群集に対する保全への発展が期待できる。
- ・ なお、広域行動圏では、河口より反時計回り下流側にシギ・チドリ類の大きな渡来地が出現する傾向がみられ（特に西海岸）、菊池川や緑川など規模の大きな河川との物質的なつながりと、直下の河口における多様性の低下などが示唆されるように見受けられる。

参考文献

- 1) 天野一葉. 2006. 干潟を利用する渡り鳥の現状. 地球環境Vol. 11No. 2, 215-226.
- 2) 松富士将和・執行利博・江島浩紀・佐久間仁・江口浩喜・白石健一・田中忠 編. 2005. 鳥は環境のバロメーター 有明海の8年間が語るもの. 有明海水鳥調査報告書1997年5月～2005年1月. (財) 日本野鳥の会・日本野鳥の会長崎県支部・佐賀県支部・筑後支部・熊本県支部.
- 3) 滝川清・齊藤信一郎・園田吉弘. 2007. 有明海・八代海の環境再生-熊本県のとりくみ. 閉鎖性海域の環境再生, 恒星者厚生閣, 69-85.
- 4) 日本海洋学会 編. 2007. 有明海の生態系再生をめざして. 恒星者厚生閣.

キーワード：有明海、干潟、水鳥、シギ・チドリ類、カモ類、利用様式、行動圏



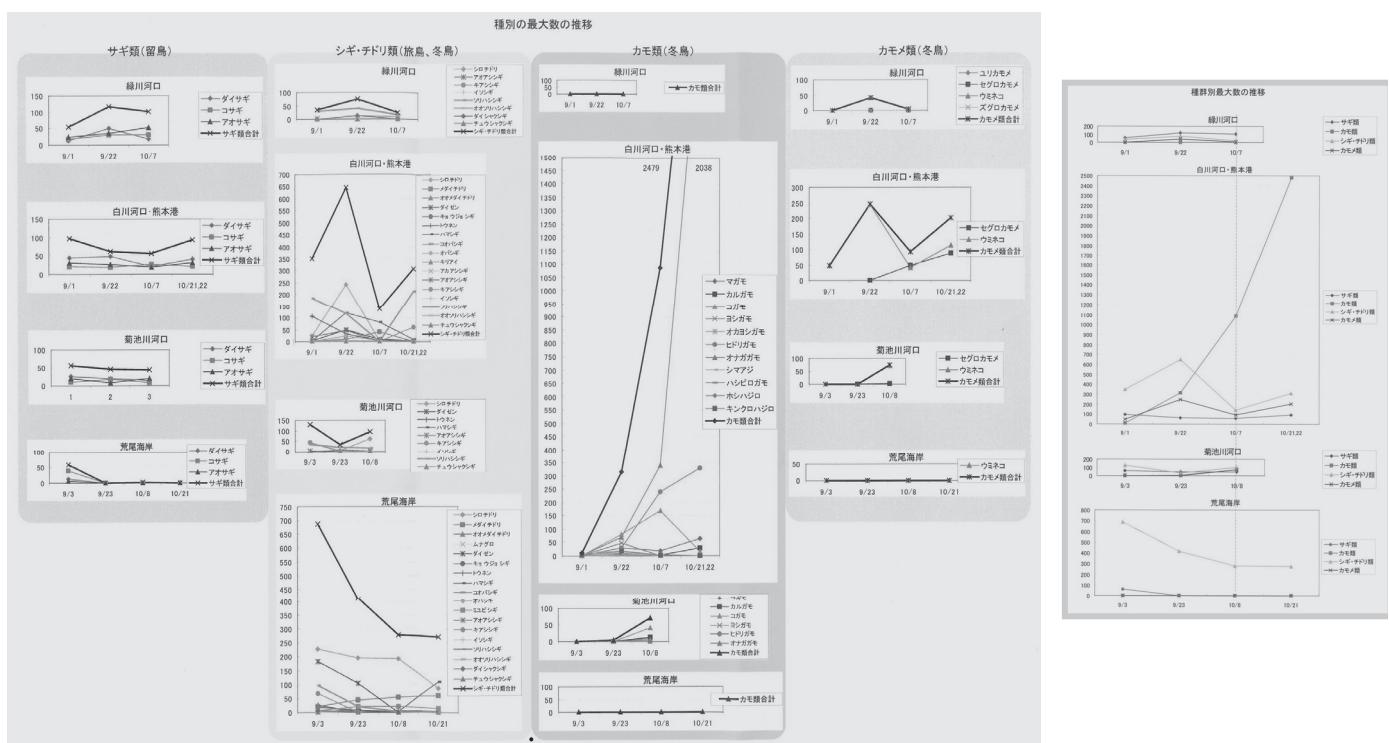
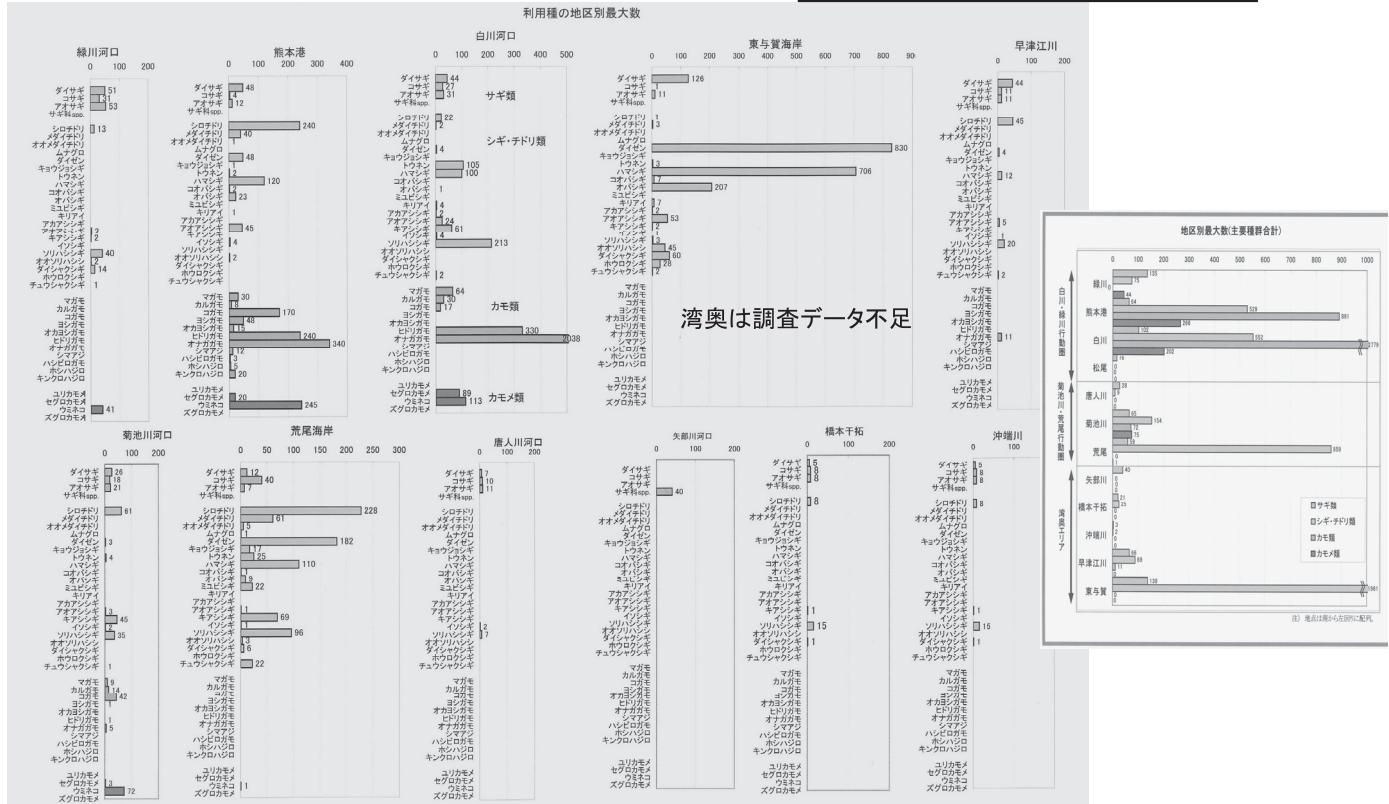
利用環境の分布状況の調査

注釈) 地形上の干潟のエリアの中で水鳥が利用するエリアは限られる。

行動圏の構造調査

注釈)河口を中心とした行動圏の利用の例。種群によって利用場所や行動が異なる。

注釈)秋季に記録した最大数による利用規模の比較。



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

五明 美智男

要旨

平成19年7月20日に施行された海洋基本法で制定が定められている海洋基本計画の原案が公開され、意見募集が行われた（総合海洋政策本部、2008）。計画案では、「海洋を知る」「海洋を利用する」「海洋を守る」分野のバランスと連携が指摘されており、これらの基盤となる技術の重要性が改めて注目されて良いように思われる。本報告では、沿岸域、特に閉鎖性海域の環境保全・再生の“技術”について、4つの論点で話題を提供する。

1. 閉鎖性海域の共通性・特異性と技術

閉鎖性海域は、海水交換が悪く滞留時間が長いといった閉鎖性を基本的な性状とするものの、適度な栄養塩負荷によって、豊かな生態系と漁業生産が成立する場といえる。そこでは、河川水と海水の密度差によって鉛直循環を促すエスチャリー循環が形成される一方で、密度成層によって酸素供給が阻害されるため、底層が貧酸素化する問題がある。こうした状況は、水および底質の生態系間に見られる物質循環、食物連鎖にも影響を与える。環境保全・再生の技術を検討する上では、こうした一般的特徴や各海域の特異性をより定量的に記述して、正確に把握する必要があるものと考えられる。例えば、環境省は1993年の水質汚濁防止法の一部改正にて閉鎖度指標を提案し、1.0以上の海域を閉鎖性海域と定義するとともに88海域を指定した（国際エメリクスセンター、2001）。その数値も図-1のよ

うに指標値をグラフの傾きとして表現すれば、閉鎖性水域の器としての相違や類似度はより理解しやすくなる。特に、他海域と比較し、有明海・八代海の閉鎖度が非常に高いことが明確となっている。最初の論点1では、こうした閉鎖性海域という器と水質、淡水供給などの器の中身について概説する。

2. 有明海・東京湾と技術

著者は東京湾を主なフィールドとして沿岸域環境の調査研究を続けてきた。紙数の関係で文献は省略するが、湾内での底泥分布特性、その浄化のための覆砂技術の検討、貧酸素化現象の観測、浚渫跡地内の水理水質特性と青潮現象の観測、浚渫跡地の埋め戻し工法の開発、マイクロバブルによる底層環境の改善、河口干潟でのトビハゼ調査などである。しかしながら、こうして築きあげた“東京湾のものさし”は、物理法則に従う水理現象などを理解する上では大いに役立つものの、有明海特有のガタ土で形成される広大な干潟で利用するには修正が必要であることを昨年の調査で痛感した。そこで、論点2では、有明海と東京湾でのフィールド調査を比較しつつ、環境保全・再生の技術を考える上で現場を知ることの重要性や理解しやすい現場情報の表現・整理について述べる。

3. 施策展開と技術

古川（2007）は、海辺の自然再生に向けた4つの視点として、目標設定、場の理解、手法開発、シス

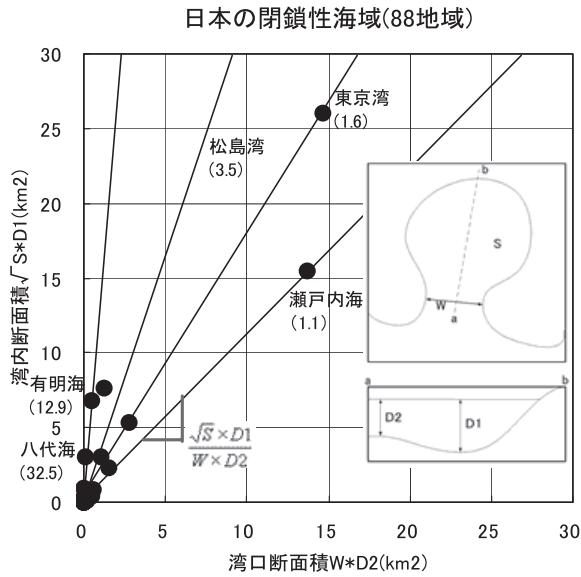


図-1 閉鎖度指標

テム化の重要性を指摘するとともに、東京湾における個別事例を通じて土木工学的アプローチの有用性を示している。港湾事業における目標設定は短期・対症療法的な対策から長期・自然のプロセス修復を意図したものへと変化しており、広域的な流域圏や生活史・生態特性などを考慮した生態系ネットワーク、さらには生き物の住み処といった視点での場の理解が必要とされている。そのため、従来の環境保全・再生技術は、こうした目標を達成するための手段として、さらには試行・計測・評価・予測を繰り返す順応的管理などのシステム化のメニューとしての展開が期待されている。論点3では、こうした施策の展開と技術の関連について述べる。

4. 生物生息環境と技術

最後の論点4では、3で述べた場の理解に関する視点のうち、講演会の主題である生物生息環境を対象とした保全・再生技術について述べることにする。生物生息環境の設計においては、生物生態などを考慮して造成場所を設定した上で、形や構造、その材料を工夫しながら、生息環境として機能を最適化するような試みがなされる。また、その施工にあたっては、土木工学的な手法がとられることが多いことから、生息場所の物理的形態により技術を分類し体系化する試みが可能と思われる。そこで、ここでは杉山（1995）を参考に、生物生息場所の形態伝播図を図-2のように作成してみた。いろいろな場所で試みられている事例とその技術は、概ね各形態の組み合わせで説明が可能である。例えば、熊本新港で造成されている東なぎさ線は、高潮対策で「壁型」となっているような護岸前面に、断面的には「斜面型」、平面的には「凸型」の連続的な砂質の地形を造成し、局的に「粒状型」・「間隙型」となる捨石マウンドを造成したものと言える。

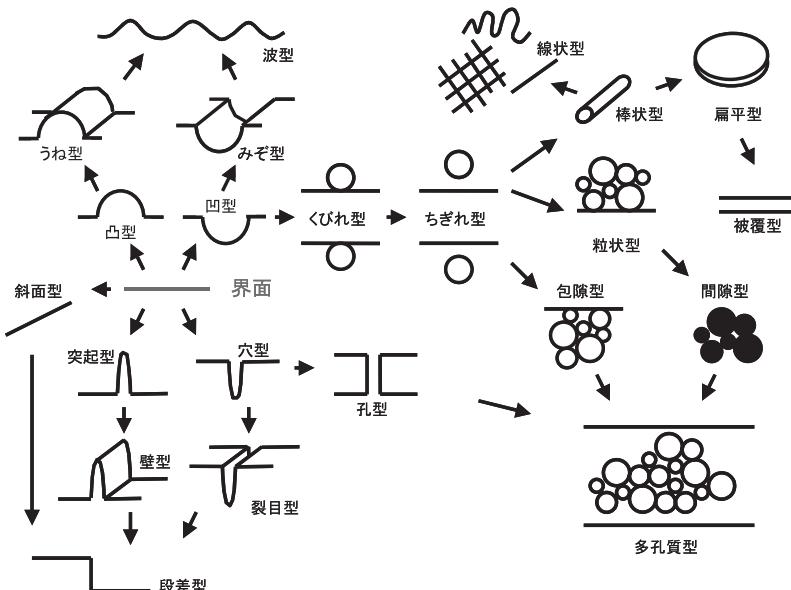


図-2 生物生息場所の形態伝播図

文献

- 国際エメックスセンター：日本の閉鎖性海域（88海域）環境ガイドブック, 177p.
 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.
 総合海洋政策本部（2008）：「海洋基本計画（原案）」に対する意見の募集（パブリックコメント）について、<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/public/index.html>.
 古川恵太（2007）：土木工学的アプローチ東京湾を例として、閉鎖性海域の環境再生、水産学シリーズ156、恒星社厚生閣, pp. 28-43.

キーワード：閉鎖性海域、保全・再生、生息場所、物理的形態

陸域由来の汚濁負荷に対する技術政策シナリオの評価システムの構築

村野 昭人

要旨

1. はじめに

閉鎖系水域の環境を保全するためには、海や湖における浄化を行うだけでなく、流入する汚濁負荷の適切なマネジメントが不可欠である。汚濁負荷の大きな発生源となっている都市やその近郊から発生する有機廃棄物を、循環資材やエネルギー資源として有効に再利用する技術と社会システムを構築することへの期待は大きい。

有機廃棄物を都市の資源として再利用することを社会政策として実現するためには、有機廃棄物の発生分布を定量的に解析したうえで、多様な循環技術に関する技術政策シナリオを設計し、その定量的な評価を行うことが必要となる。しかし、有機廃棄物は、都市生活や産業、農業など様々な活動主体から発生しているため、その分布特性の把握や資源活用にむけての効率的な収集システムの設計が困難であった。そこで本稿では、有機廃棄物の循環利用を推進する技術政策シナリオを定量的に評価・支援するシステムを構築することを目的とする。

具体的には、まず大都市圏域と都市との異なるスケールの地域を対象として、それぞれのスケールでの政策シナリオ分析をおこなうための分散型の GIS データベースを構築するプロセスを構築する。次に、有機廃棄物の循環利用技術の社会的適用をすすめる代替的な政策シナリオを設計した上で、これらの技術導入の社会経済、環境改善効果を定量的に算定するプロセスを構築する。これらの評価システムの構築により、有機廃棄物の循環利用について地域性を考慮した技術選択と有効な政策提言を行うことが可能となる。

2 技術政策シナリオの評価フレーム

汚濁負荷をマネジメントする技術政策シナリオの評価システムの全体フレームを図 1 に示す。まず、汚濁負荷の発生源となる各セクターごとに、それぞれ発生・排出・流達・流出の各プロセスをモデル化し、閉鎖性水域に流入する汚濁負荷量を地理情報システム (GIS) を用いてデータベース化する。次に、政策シナリオオプションとして、総量規制、排出権取引などの排出源施策や、排水処理技術の効率改善、技術導入対象の選択といった技術施策の操作変数を明らかにする。さらに、下水道における技術や浄化槽技術などの水質浄化技術のインベントリを定式化する。最後に、政策シナリオオプションと水質浄化技術インベントリを組み合わせた技術政策シナリオを設計し、GIS データベースに基づいてライフサイクル CO₂ の削減効果や環境効率を評価する。

3 有機廃棄物の発生分布量の推計

本章では、GIS データベース構築の例として、1 都 6 県（茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県）をエリアとする東京湾流域圏を対象として、有機廃棄物の発生分布を推計した方法を紹介する。

3. 1 データベースの構築プロセス

2000 年時点の東京湾流域圏の GIS データベースを、国勢調査、工業統計、商業統計の市町村別データ、地域メッシュ統計、工業メッシュ統計、商業メッシュ統計の 1km メッシュデータを基礎データとして用いて構築した。GIS データベースは地理情報と統計情報に大別され、地理情報には、行政界ポリゴンや 3 次メッシュポリゴンなどが含まれ、統計情報には、数値メッシュ統計、市区町村別統計、社会基盤施設情報等が含まれる。GIS における加工の流れの一例を挙げると、地域・商業・工業などの属性情報を持つ 3 次メッシュポリゴンを、地域標準 1 次メッシュポリゴン作成ユーティリティを用いて、東京湾流域圏の 3 次メッシュポリゴンに加工し、さらに地域・商業・工業などの

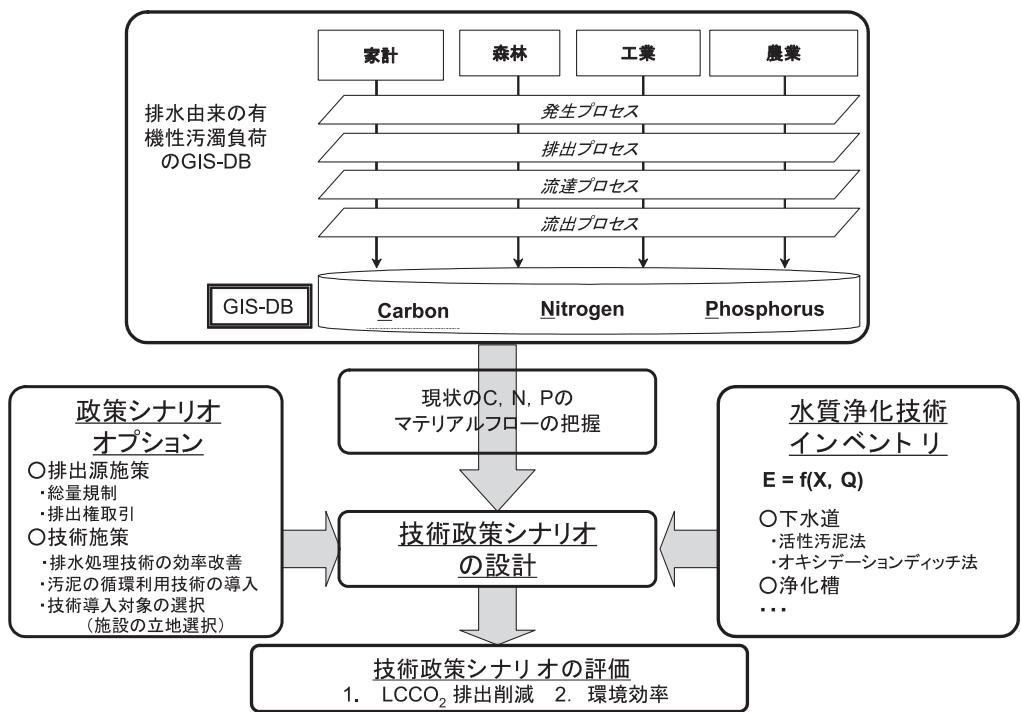


図1 GIS-DBに基づいた技術政策シナリオの評価システムの全体フレーム

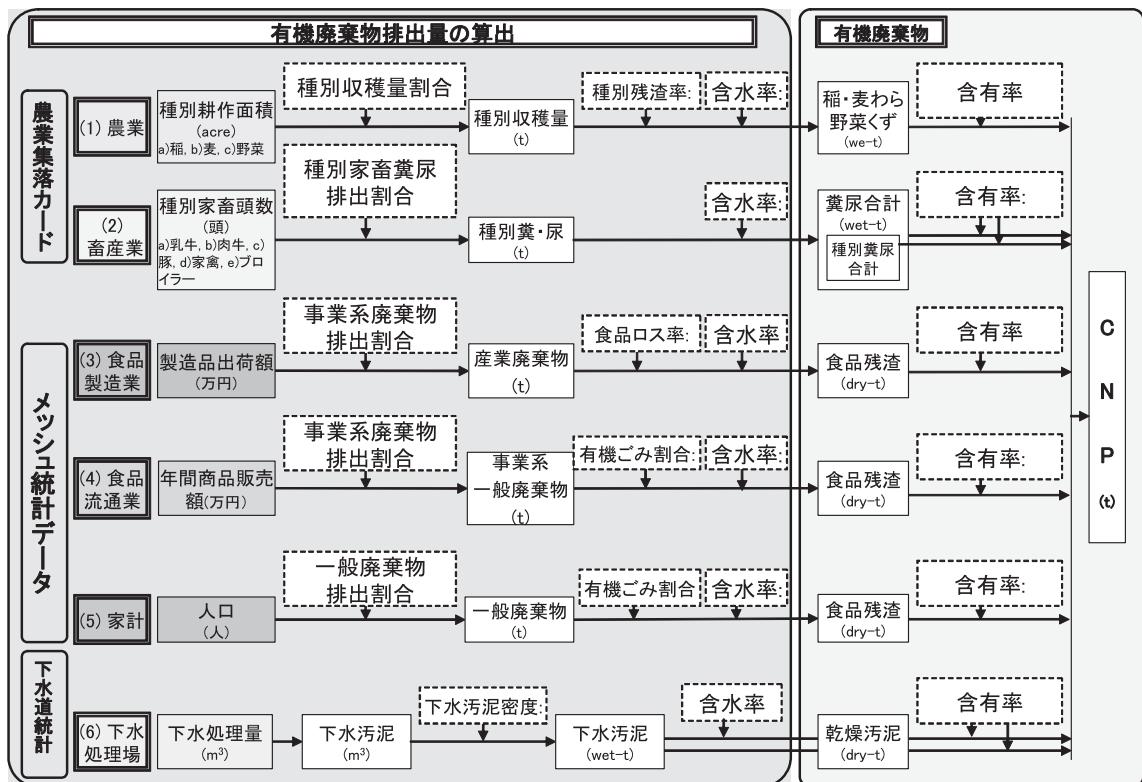


図2 有機廃棄物由来のC, N, P算出フロー

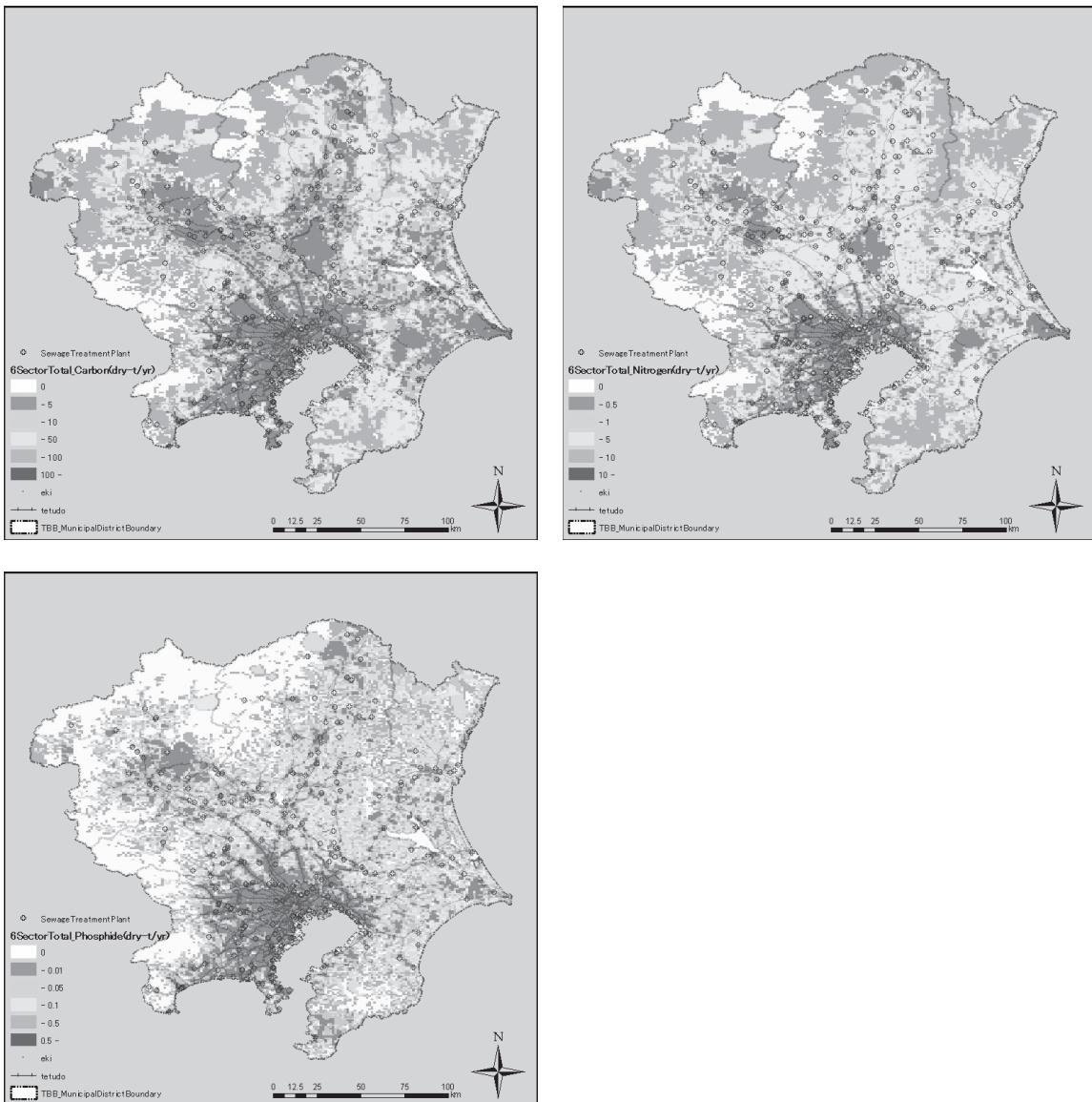


図3 6部門合計の有機廃棄物中の炭素（左上），窒素（右上），りん（左下）含有量(dry-t/yr)

数値メッシュ統計をテーブル結合するなどの変換処理を行った。

3. 2 有機廃棄物の発生分布の推計

有機廃棄物由来のC, N, Pの算出フローを図2に示す。農業・畜産業・食品製造業・食品流通業・家計・下水処理場の6部門を対象に試算を行った。農業・畜産業の基礎データとして農業集落カード、食品製造業・食品流通業・家計の基礎データとしてメッシュ統計データ、下水道の基礎データとしては、下水道統計のデータを用いた。固形有機廃棄物発生量の算出には、各セクターの活動量に圏域単位の廃棄物排出原単位を乗じた値に有機成分比を乗じた。具体的には、農業では、種別の耕作面積に収穫量割合、残渣率を乗じた。畜産業では、種別家畜頭数に糞尿排出割合を乗じた。食品製造業では、工業メッシュ統計の製造品出荷額に産業系廃棄物発生量原単位と食品ロス率を乗じた。食品流通業では、商業メッシュ統計の年間商品販売額事業系一般廃棄物発生量原単位と有機ご

み成分比を乗じた。家計部門では地域メッシュ統計の人口に一般廃棄物発生量原単位と有機ごみ成 分比を乗じた。下水汚泥については、下水処理場ごとにメッシュに帰属させ、下水汚泥の乾燥重量 を下水汚泥にその含水比を乗じて算定した。最後に、各セクターの有機廃棄物排出量に炭素、窒素、 りんの含有率を乗じて、炭素量、窒素量、りん量を算定した。6部門合計の有機廃棄物中の炭素(左)、 窒素(中)、りん(右)含有量の分布を図3に示す。いずれも都心部に多く分布しているが、周辺部 にも排出密度の高いエリアが散在していることが分かる。

4 メタン発酵技術の導入による CO₂削減効果の算出

本章では、技術政策シナリオとしてメタン発酵、ディスポーザーを導入した場合のCO₂削減効果について、川崎市の家庭系厨芥類、事業系厨芥類、下水汚泥を対象として分析したケーススタディの結果を示す。メタン発酵技術は、バイオマスからエネルギーを回収する技術として広く利用されて いる。廃棄物中に蓄積した有機物をメタンとして回収し、エネルギー化することにより電力や化石 燃料を節減しCO₂を削減する。下水処理場にメタン発酵施設を設置し、有機廃棄物を投入してエネ ルギーを抽出・利用した際の、環境負荷削減効果を算定する。

ケース0は、現状すなわち、家庭系厨芥、事業系厨芥をすべて焼却処理するケースとした。ケー ス1は、焼却処理場にメタン発酵施設を導入し、事業系厨芥類のみメタン発酵を行い、残渣は焼却 処分するケースとした。ケース2は、ディスポーザーを各住宅に設置し、家庭系厨芥と下水汚泥を、 下水処理場に設置したメタン発酵施設に投入するケースとした。なお、家庭系厨芥類、及び下水汚 泥はフィルター等を設置した下水管で回収すると仮定した残渣はケース1同様、焼却処分とした。 また、川崎市では4つの下水処理区域が存在するが、分流式の2処理区域のみを対象とした。合流 式の処理区域では現状同様、焼却処分を行うとした。ケース3では、各下水処理場にメタン発酵施 設を導入し、ディスポーザーはケース2と同様の地域に設置するケースとした。その他のディスポ ーザーに投入されなかった家庭系厨芥類とディスポーザー未設置地区の厨芥類は焼却処分とした。

事業系厨芥類は4つの下水処理施設に輸送し、下水汚泥とともに、メタン発酵施設に投入された とし。本研究では、下水汚泥を投入するため、含水率を考慮し、ケース1では高温発酵方式、ケー ス2・3では中温発酵方式を選択した。ケースごとのメタン発酵投入量・CO₂収支量を図4に示す。 メタン発酵施設を4つの下水処理施設に導入して、ディスポーザーを導入した結果、最大で約8,500

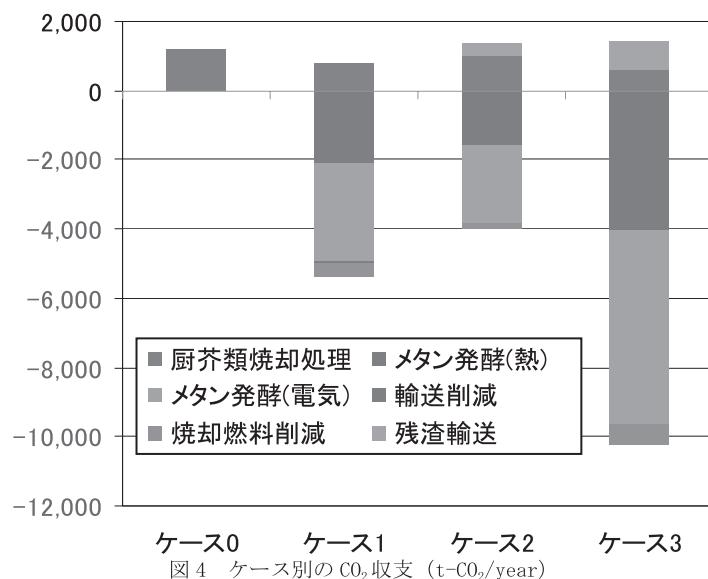


図4 ケース別のCO₂収支 (t-CO₂/year)

t-CO₂/year が削減可能であることが分かった。また、ケース 2 では、投入量が多いにもかかわらず、メタン発酵技術の効率の違いにより、ケース 1 よりも CO₂ 削減量が小さくなつた。

5 まとめ

本稿では、有機廃棄物を都市の資源として再利用することを社会政策としての実現を支援するために、循環利用を推進する技術政策シナリオを定量的に評価・支援するシステムを構築した。そして、地理情報システムを用いて東京湾流域圏の有機廃棄物の発生量分布をデータベース化した上で、技術政策システムとして、メタン発酵技術、ディスポーザーを導入するケースについて CO₂ 削減効果を評価した。

今後の課題として、本稿で構築した評価システムを援用して、閉鎖系水域に流入する汚濁負荷量を削減するシナリオを設定した上で、技術導入に伴うエネルギー消費量、必要なコストを算出し、技術政策シナリオの環境効率を評価することが挙げられる。

追記

本稿で示したデータは、平成 15 年度自然共生型流域圏・都市再生技術研究（代表 渡辺正孝：独立行政法人国立環境研究所水土壌領域長（当時））、および文部科学省・私立大学学術研究高度化推進事業「東洋大学 地域産業共生研究センター」（平成 16 年度～平成 20 年度：代表 藤田壯：独立行政法人国立環境研究所 アジア自然共生研究グループ 環境技術評価研究室長 兼 東洋大学教授）の一部として行われた研究成果である。

文献

- 盛岡通・藤田壯・岡寺智大：流域圏での都市活動に起因する有機循環にかかる負荷発生の変化分析 - 武庫川流域圏におけるケーススタディ - 環境システム研究論文集 Vol. 31, pp. 257-266, 2003
丹治三則、盛岡通、藤田壯：流域圏でのシナリオ誘導型の施策立案と評価を支援する地理情報システムに関する研究、環境システム研究論文集 Vol. 31, pp. 367-377, 2003
栗栖雅宣、藤田壯、盛岡通：武庫川流域における有機物資源リサイクルシステムの構築と評価、環境システム研究論文集 Vol. 31, pp. 333-342, 2003
Looi-Fang WONG, Tsuyoshi FUJITA, Youta SUZUKI, Tomohiro OKADERA : THE EVALUATION OF CO₂ EMISSION REDUCTIONS BY IMPLEMENTING INTEGRATED METHANE FERMENTATION SYSTEM AS THE MUNICIPAL ORGANIC WASTE RECYCLING SCHEME IN TOKYO BAY REGION, 第33回環境システム研究論文集, pp355-366, 2005
国立環境研究所提供：廃棄物統計, 2000
農林水産省：食品ロス統計調査結果, 2002
社団法人日本下水道協会、下水道統計行政編, 2002
東京都清掃研究所：東京都清掃研究所研究報告
有機質資源化推進会議：有機廃棄物資源化大辞典、(社) 農村漁村文化協会, pp. 511, 1997
川崎市入江崎総合スマッジセンター：汚泥等精密試験調査, 2002
経済産業省資源エネルギー庁：総合エネルギー統計エネルギーバランス表, 2000
株式会社EX都市研究所：バイオマス利活用事業導入モデル検討調査報告書, 2003
羽原浩史、松藤敏彦、田中信壽：事業系ごみ量と組成の事業所種類別発生・循環流れ推計法に関する研究. 廃棄物学会論文誌. Vol. 13:5. pp. 315-324. 200
柳奈保子、土田えりか、Looi-Fang WONG、藤田壯、山口直久；地域GISデータベースを用いた資源循環政策の効果算定システムの構築と試行的運用、環境情報科学論文集, No21, pp451-456, 2007
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), 2007

キーワード：汚濁負荷、技術政策、評価システム、LCA、メタン発酵

【注意】本講演要旨の著作権は、熊本大学沿岸域環境科学教育研究センターおよび著者に帰属しています。本資料の利用にあたっては、当センターおよび著者の両者に対して、書面等による許諾を必要とします。

お問い合わせ

研究・国際部研究支援課研究センター支援担当

TEL 096-342-3143（直通）

センター組織

センター長 内野明徳

(教育研究分野)

生物資源循環系解析学

教 授 逸見泰久

准教授 嶋永元裕

技術職員 島崎英行

生物資源保全・開発学

教 授 潑尾 進

水・地圏環境科学

教 授 滝川 清

准教授 秋元和實

沿岸域社会計画学（客員分野）

教 授 五明美智男

准教授 村野昭人

(海洋施設)

合津マリンステーション

〒861-6102

熊本県上天草市松島町合津 6061

TEL 0969-56-0277

FAX 0969-56-3740

熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター

(所在地) 〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1

(事務連絡先) 研究・国際部研究支援課研究センター支援担当

TEL 096-342-3143 (直通)