

【4D-1104】天草・島原沿岸の地域連携型保全に向けた干潟ベントス群集とその生態系機能に関する研究

(H23~H25；累計予算額 108,726 千円)

玉置 昭夫（長崎大学）

1. 研究実施体制

天草・島原沿岸の地域連携型保全に向けた干潟ベントス群集とその生態系機能に関する研究（長崎大学）

2. 研究開発目的

有明海湾口部から西方の天草灘までの海域を対象とし、海岸に点在する砂質干潟のベントス群集とベントス浮遊幼生が育つ沖合の全体を保全すべき根拠を示すこと、また、保全の観点ごとに重要度が異なる干潟を抽出することを最終目標とした。その観点には、特に、ベントス群集の種多様度と群集がもつ生態系機能のどちらを重視するのか、どの年代の干潟が望ましいのかが含まれる。目標に向けて、長崎大学に所属する5名が、以下に示す海域固有の状況と具体的な未解明の課題を踏まえた基礎的研究を実施した。担当者の氏名とその担当項目内容は、「3. 研究開発方法」及び「4. 結果及び考察」を通して、それぞれの細分項目（1）～（5）に記した。

干潟ベントス群集では、巣穴に棲み、基質攪拌作用が強い十脚甲殻類（ハルマンスナモグリ；以下スナモグリ）が優占している。本種は他の優占種である巻貝（イボキサゴ）と付随種を局所的に絶滅させ、種多様度を下げる。その一方でスナモグリは有機物の分解無機化（浄化機能）を強めている可能性があり、これを定量的に明らかにすることを目指した。最近、海域ではアカエイが増え、スナモグリを捕食するために干潟に穴を多数開けている。エイが及ぼす可能なトップダウン効果には、スナモグリ減少に伴う巻貝の復活と干潟の浄化力低下が含まれる。しかしエイによる底質攪乱の大きさは不明であったので、干潟を広範囲にわたって空撮し、基質攪拌量の分布を把握することを目指した。スナモグリと巻貝はそれぞれ長期間（4週間）と短期間（数日間）の浮遊幼生期をもち、この間の流れによる輸送過程が局所個体群の連結性と消長に影響を及ぼす。計算機に海水流動場を再現し、粒子の移動経路を調べることで、個体群間の幼生の授受関係を推定することを目指した。その結果に基づき、それぞれの種のメタ個体群の存続にとって重要と考えられる干潟のセットを抽出した。また、海水温上昇によって、特に長期浮遊型の幼生の発育期間が短くなり、潮汐周期に合わせた干潟への回帰時期が狂う可能性があるため、スナモグリ幼生の発育期間の水温依存性を確かめる室内実験を行った。一般に長期浮遊型のベントス幼生は浮遊生物食である。これまで幼生を室内飼育する場合、小型動物プランクトンの大量給餌が常法であった。このことから、幼生は野外でもカイアシ類等を食べる二次消費者であると推測されてきたが、実態は不明である。ス

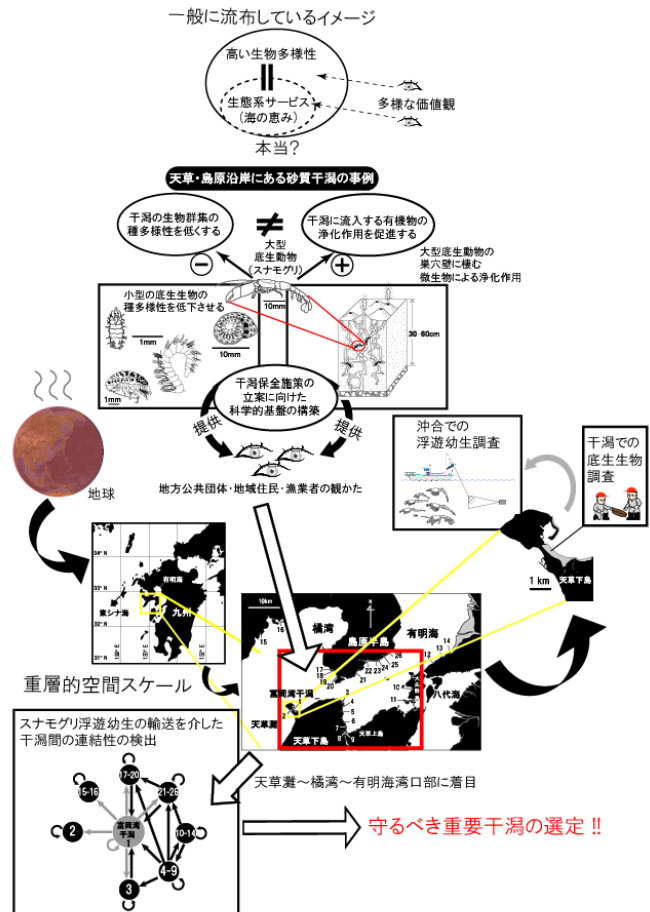


図 研究のイメージ

ナモグリ幼生の口部形態と消化管内容物の観察、安定同位体比解析を組み合わせることで、水界栄養段階での幼生の帰属を明らかにすることを目指した。また、有明海～天草灘間の海域では、内湾・外洋・陸棚底層水に起源をもつ栄養塩の供給があることが分かっている。これに伴うボトムアップ過程がベントス幼生の生残とどのように関わっているのかを追究することも目指した。上記海域の北側にある橘湾では、海底温泉由来の還元性化学物質と底層の貧酸素水が幼生に負の影響を及ぼしうる。スナモグリ幼生についてこの可能性を明らかにすることを目指した。さらに、これに関連して、本湾の海岸にあるわずかの干潟を保全することの意義を検討した。

3. 本研究により得られた主な成果（研究者による記載）

(1) 科学的意義

以下の1)～5)は、「3. 研究開発方法」及び「4. 結果及び考察」の(1)～(5)とそれぞれ対応している。

1) 玉置昭夫

海岸に棲む多くのベントスは浮遊幼生を沖合に放出し、それが一定の割合で成体の局所個体群に回帰することでメタ個体群を維持している。このとき、幼生の輸送を介した局所個体群の連結構造を推定することが、重点的に保全すべき成体の生息場所を抽出する基礎となる。幼生輸送の数値実験により、有明海湾口部～橘湾～天草灘におけるイボキサゴとスナモグリの局所個体群の連結構造を推定することができた。

海岸ベントスのうち、特に外海に幼生を放出するスナモグリのような種は、幼生の放出と回帰における輸送に大潮の強い流れを利用している。幼生の発育期間が大潮周期と一致していることを、野外水柱における幼生の生息深度の水温下で飼育することで実証した。さらに、飼育水温を変化させた実験により、海水温の上昇は幼生の発育期間を短縮させることで回帰率を下げ、個体群を衰退させる可能性があることを指摘した。

近年、世界の温帯域沿岸でエイ類の個体数が増加している。この増加は、餌ベントスの個体群凋落とそれに伴う群集の変化のみならず、海底の大規模基質攪拌を通じてその物理・化学的性状を著しく改変する。これまでエイ摂餌痕の空間分布を広範囲に捉えた研究は無かったが、本研究は、空撮と地上調査、さらにその後の綿密な解析を実施することで、研究上の難点を克服し、エイによる基質攪拌量の空間分布を定量的に把握できた。

2) 鈴木利一

外海でプランクトンを食べて発育する海岸ベントス幼生の形態と行動は、生き残り成体の生息地への回帰のために種の違いを越えて収斂してきたと推測される。これには食物種の選択と摂餌方法が含まれる。スナモグリ幼生の口器と付属肢の形態・付属肢と水流の動き・消化管内容物の詳細な観察結果から、ゾエア幼生は現場海域において、ほぼ恒常的に植物プランクトン（特に珪藻プランクトン）を摂餌している可能性が高くなった。

濾過摂食行動時の水流を記録したビデオ映像を解析することで、スナモグリゾエア幼生が有する濾過能力が明らかとなった。この能力の値を用いて現場海域での餌量を試算すると、幼生の成長を支えるのに必要な餌量よりも餌収集量が小さくなる傾向が強く出ていた。天草灘の夏期においては、スナモグリ幼生にとって餌不足の状況が頻繁に出現し、この海域の餌生物（植物プランクトン）現存量の大小が、幼生の生残を大きく左右する重要な要因であることが明らかになった。

これまで十脚甲殻類幼生を室内飼育する場合、ワムシやアルテミア・ノープリウスなど小型動物プランクトンを大量に給餌することが常法であった。このことから、幼生は野外でもカイアシ類などを食べる二次消費者であると推測されてきたが、実は一次消費者である可能性が高くなり、水界生態系像の変更を迫る知見が得られた。

3) 梅澤 有

スナモグリ幼生の主要な餌生物と考えられる植物プランクトンの生産を支える窒素、リンの起源として、硝酸の同位体比データを利用することにより、幼生の生息海域には、陸水・外洋底層水、大気降水などの多様な起源をもつ栄養塩が系外から新規に流入していることが分かった。また、新規の栄養塩の供給だけでなく、懸濁態有機物・溶存態有機物からの再生栄養塩量を明らかにしたことで、この海域が、栄養塩供給という点で、さらに頑強に支えられている安定した生態系であることを明らかにすることができた。

一般的な栄養段階の濃縮係数を用いた安定同位体比解析では、現場の生物・有機物の安定同位体比から餌資源を突き止めることが不可能であった。しかしながら、(1)バルク同位体比だけでなく、アミノ酸同位体比解析を組み合わせたこと、また、(2)飼育培養実験で丁寧に植物・動物プランクトン捕食時の濃縮係数の違いを明らかにしたこと、(3)生食食物連鎖だけでなく、デトリタスの寄与を仮定して、植物プランクトンの分解に伴う同位体比変動を明らかにしたことによって、現場のゾエア幼生が、植物プランクトンもしくは、その劣化有機物を利用して生息していることが、化学分析結果からも矛盾なく示すことができた。本研究の結果は、スナモグリ幼生だけでなく、他の十脚甲殻類の幼生や、カイアシ類などの動物プランクトンにも共通して起きている現象であることが想定され、低次生態系のメカニズム解明に大きく寄与する結果となった。

4) 武田重信

夏季の橘湾奥部において、海底湧水由来の還元性化学物質の拡散は小浜沿岸域に限定されること、湾中央の海底に高密度水が滞留して貧酸素化することが明らかになった。スナモグリ幼生は湾内に広く分布し、成長段階後期の幼生も出現したことから、スナモグリ幼生の墓場仮説は否定された。湾奥部の還流や、高水温による成長促進と潮汐周期のずれが、幼生の干潟回帰を妨げている可能性が示唆された。

5) 和田 実

富岡湾干潟における細菌群集構造と環境因子の関係を解析したところ、高水温で堆積物の攪乱が少ない夏期は、干潟堆積物上において系統的に多様な細菌種の出現と定着を促すが、低水温かつ強く堆積物が攪拌される冬期には、堆積物粒子上の細菌種の一部は淘汰され、限られた種類が優占する傾向があると考えられた。また、干潟における浄化機能の評価に用いた指標のうち、堆積物粒子上の還元性物質による酸素消費活性がスナモグリの分布密度と有意な負の相関を示したことは、スナモグリによって表層堆積物が好氣的に保たれることを示すものであり、干潟の浄化機能においてスナモグリの果たす役割が大きいことを示唆している。多くの環境要因が複雑に関わる野外環境において、スナモグリが堆積物中の細菌群集に与える影響を直接評価することは困難であるため、飼育実験によって潜在的な影響を定量化することを試みたところ、スナモグリの巣穴壁を構成する堆積物粒子には、非巣穴部分よりも有意に多くの細菌数が付着していた。この結果は、スナモグリの活動が、堆積物粒子における細菌の増殖を促進することを示す直接的な証拠の一つとなった。

(2) 環境政策への貢献

<行政が既に活用した成果>

特に記載すべき事項はない。

<行政が活用することが見込まれる成果>

- 1) 対象海域全体が保全の価値がある（『重要海域』である）という認識を地域住民と共有する
対象海域が栄養塩供給の点で頑健性を維持する構造を有している可能性が高いことにより、植

物プランクトン、及びベントス幼生やカイアシ類等の一次消費者が支えられ、さらにはボトムアップ過程を通じて、アジ・サバ漁業やそれらを食べるミナミハンドウイルカのような観光資源(全国有数のウオッチングサイト)も支えられていることになる。この知見を地域住民と共有することは、海域保全についての関心を高めることにつながると期待される。

2) ベントス群集の種多様度あるいは生態系機能のどちらに重点を置くのかをまず決める

対象海域の砂質干潟では、スナモグリは巻貝のイボキサゴ・アサリなどの水産有用二枚貝を含むベントス群集の種多様度を下げる加害種である一方、干潟がもつ浄化機能(下水や流入河川から負荷される有機物の分解無機化)を強める生態系サービス種としても確認された。生物多様性と生態系機能のどちらに重点を置くのかによって、保全の対象種と干潟のセットも異なってくる。もちろん、群集によっては両者が両立する場合もありうる。

3) 幼生輸送によるベントス個体群の連結構造に着目して保全対象となる重要干潟を抽出する

対象海域にある干潟を『重要性』の観点からランクづけする。このとき、干潟個体群の大きさ(干潟の大きさに依存する場合が多い)についての現地調査、及び干潟個体群間の幼生の授受関係についての数値実験が有力な判断材料となる。スナモグリ個体群の場合は、富岡湾干潟、天草下島の北東の角にある鬼池干潟、及び大矢野島の干潟が幼生の主要な結節点であった(図1)。これらは当地で卓越する潮流の主軸近傍にある地点群である。これらの主要干潟が残れば、島原半島南岸を含む他の海岸にある干潟個体群は、幼生の受給量は少なくとも維持できると推測される。特に、鬼池干潟は面積が小さいが、幼生の受給量が最も多い中間の結節点であった。この干潟は約3倍の面積をもつ礫浜に囲まれており、これを砂地に転ずることができれば、スナモグリ成体個体群の大きさを拡大することが可能であろう。橘湾の海岸にある国崎半島に囲まれた砂質干潟は小規模であるが、スナモグリの子孫の「受け皿」として保全すべき数少ない貴重な生息地の一つといえるだろう。イボキサゴ個体群の場合は、一度絶滅した富岡湾干潟の個体群を復活させた幼生の供給源は天草下島の東海岸の干潟群であった。このうち、最南端の干潟の個体群は最大数の幼生を供給する。しかし、幼生の放出時期が流れの弱い小潮時であり、浮遊期間が短いため、富岡湾にはわずかししか幼生が到達できない。そこで、幼生輸送の経由地として、上記の最南端の干潟よりも北側にある小さい干潟も保全対象として重要になってくる。

4) エイ類の個体数が著しく増えている最近の状況にどう対応すべきか

近年、対象海域～有明海湾奥部ではアカエイが著しく増えたが、ナルトビエイも増えている。前者は十脚甲殻類を主に食べるが、後者は水産有用種を含む二枚貝食である。有明海では、ナルトビエイの食害を防ぐために、網で捕獲する駆除が行われてきた。その中にはアカエイも含む他の魚種も混獲され、海域生態系に与える影響も懸念される。柵を建てることでエイの進入を防ぐ方法もある。その実施にあたっては、二点検討する必要がある。第一に、干潟ベントス群集の種多様度を高めたいのなら、スナモグリを摂食するアカエイの進入は放置しておけばよいが、スナモグリによる干潟の浄化機能を重視するのなら、排除すべきである。第二に、柵を設けるとして、コスト面からどれ位の間隔で棒を並べるべきか決める必要がある。富岡湾干潟のアカエイの場合、大型個体(体盤幅50cm以上)の進入が防げればスナモグリ個体群はあまり減らずにすむ。そこで棒の間隔は30~40cmが妥当ということになる。この推論は、空撮によって多数の摂餌痕が一度に把握できたことで初めて可能となった。

5) 有明海が脱富栄養化している現状を踏まえて水産資源の保全に取り組む

本研究により、スナモグリ幼生は植物プランクトンを摂食する一次消費者である可能性が高くなった。これは多くの十脚甲殻類の幼生にもあてはまるだろう。また、スナモグリ類の成体にと

っても、植物プランクトンは主要な食物源である。これらのことはアサリなどの水産有用二枚貝でもよく知られている。したがって、干潟ベントスの生物量を定める環境収容力として、海域の植物プランクトン量に着目する必要がある。有明海の水柱の化学的酸素要求量（COD）の経年変化を調べたところ、1970年代～1980年代初めに高かった値はその後、急落しており、海域は現在、脱富栄養化していることが分かった。CODに対するクロロフィル a 濃度の一次回帰式を利用して得られた後者の推定値（1997年まで）と実測値（それ以降）の経年変化を調べることで、現在の植物プランクトン量に基づく環境収容力は、1970年代の1/4～1/3の水準にあると推定された。1970年代末～1980年代初めに、有明海のアサリ漁獲量が全国一位に伸びたこと、スナモグリ類の個体数が急激に増えたことも海域の富栄養化が進行したことによると考えられる。上記の、現在の環境収容力は水塊がもつ上限値であり、個々の干潟ではアサリ等のほかスナモグリ類のような競合種にも振り向けられている。植物プランクトンと養殖ノリとの間の栄養塩をめぐる競合もある。海域の栄養塩濃度レベルをどこに設定するのかは、生態系管理の観点に立った水産資源の保全施策に組み込まれるべきであり、関係する各漁業協同組合、地域住民、各県と国の環境政策・水産政策・国土政策の決定者が連携して取り組む必要がある。また、かつてのようなアサリの高収穫量を願って、漁業協同組合が管轄する個々の干潟に大きな地形改変を施すことも行われているが、環境収容力の限界は越えられない。

4. 委員の指摘及び提言概要

天草・島原沿岸のスナモグリとアカエイを中心とした干潟の総合的な生態学研究で、ベントス（底生生物）の幼生の輸送経路や主要食物を明らかにし、査読論文を多く出版するなど科学的に大きな成果をあげた。生態系機能と生物多様性のトレードオフの関係を示し、目標ごとに今後の政策が異なることを明らかにした。さらに、海洋保護区との関連や産業と生態系の調和についての議論を深めることができれば、具体的な政策への活用役に役立つであろう。

5. 評点

総合評点：A