

## 第 2 部

---

### 幡豆の海と生き物

# 1 幡豆の沿岸環境

## 1 三河湾の海洋環境

### 三河湾の地形的特徴

第2部では、幡豆の沿岸域で見られるさまざまな海洋生物とその生息環境について具体的な事例を紹介する。本章では、三河湾や幡豆近海の海洋環境の特徴、生物多様性の概念等について説明しておきたい。

三河湾は、湾口を南西に開いた内湾であり、知多半島と渥美半島により外海と区切られ閉鎖性が高く、外海との海水交換が乏しい(図1)。三河湾の平均水深は約9mしかなく、隣の伊勢湾(約17m)や東京湾(約40m)と比べ、非常に浅い。また、三河湾には、矢作川や豊川といった流量の大きい河川からの水が流入する。そのため、三河湾での海水交換には、流入河川水によって起

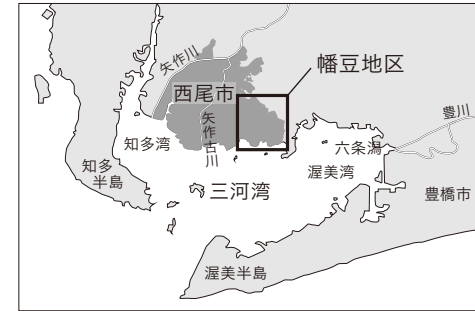


図1 三河湾

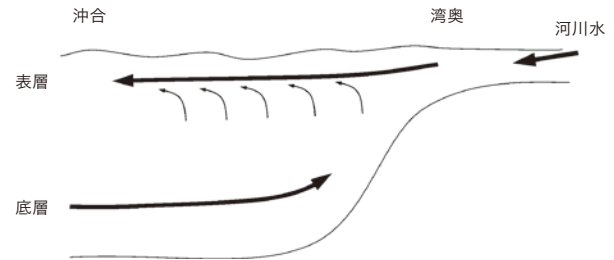


図2 エスチャリー循環の概念図

形で、下層から重たい外海水が湾内へと流入し、さらに湾奥まで向かう流れが生じる。こうした河川水の流入が引き起こす一連の現象がエスチャリー循環である。エスチャリー循環において、湾口から流出する水量は、連行の効果により、流入河川水の水量よりも数倍から数十倍も大きくなることが知られている。

三河湾では流量の大きい矢作川や豊川によって生じるエスチャリー循環が特に重要であるため、こうした河川の開発が海の環境へと影響を及ぼすことが心配されている。

### 三河湾の環境の変遷

わが国の沿岸域では1960年代以降、水質・底質環境の悪化が急激に進んだ。これは、高度経済成長に伴い、工業や農畜産業、家庭から生じる大量の排水が河川を通じて沿岸域に流入したことにより引き起こされた。

人間活動により生じた排水中には有機物が含まれ、直接的に水域の有機汚濁の原因となる。また、排水中には窒素やリンといった栄養塩も多く含まれ、水域の富栄養化の原因となる。栄養塩は植物プランクトンの成長に使われ、これも間接的に有機汚濁の原因となる。富栄養化した海域では、植物プランクトンを餌とする有用魚種等の漁獲量も増えるといった良い面もあるが、行き過ぎると赤潮の頻発や底層の貧酸素化といった現象を誘発することとなる。

赤潮は、植物プランクトン等が異常に大量増殖し、海水が着色する現象であり、魚介類の斃死や有毒プランクトンの発生といったさまざまな問題を引き起こす。底層の貧酸素化は、富栄養化

こされる「エスチャリー循環」と呼ばれる現象が大きな役割を果たしている。

エスチャリー循環の仕組みについて説明しておく。河川水は、塩分を含む海水に比べると密度が低く、上層を通過して沖合へと流出していく(図2)。このとき、流入した河川水は、接している下層の海水を取り込み、混ざり合いながら(この現象を連行という)、湾口へと向かう。この混合水は、下層の海水に比べると相対的に軽く、湾口まで上層を通ったまま湾外へと流出する。この上層から湾外へ流出した分の水量を補完する

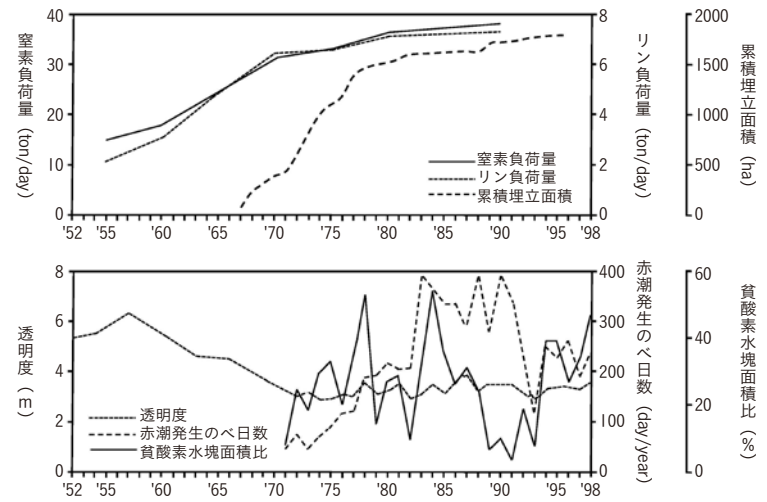


図3 三河湾における栄養塩負荷量、埋め立て面積（上）と透明度、赤潮発生のべ日数、貧酸素水塊の面積比（下）の経年変化（青山（2000）より）

により増えた植物プランクトンの死骸等の有機物が海底に堆積し、それらを微生物が分解する際に酸素を大量に消費して起こる現象であり、底生動物の生残や成長に悪影響を及ぼす。

三河湾でも、1955年頃から窒素やリンの負荷量が増加したが（図3）、赤潮の発生日数の増加は1970年代後半以降と、時間的なずれがみられる。この時間的なずれは、埋め立てによる干潟や浅場の消失が原因の一つであると考えられている。

干潟とは、潮汐により水没と干出を繰り返す浅い砂泥質の海岸のことである。干潟には、第2部で紹介する二枚貝類や多毛類といった様々な底生動物や顕微鏡でしか見ることができない微生物が息をする。これら生物の食うー食われると

いった食物連鎖の過程で、海中中の有機物が除去され、無機化されている。つまり、干潟は天然の下水処理場なのである。1970年以降、三河湾では、干潟の埋め立てにより海域の浄化能力が低下したため、赤潮の発生日数が増加したと考えられている。

貧酸素水塊の発生は、三河湾では6月下旬から10月上旬にかけて、湾奥部から中央にかけて発生する。梅雨期になると、降水によって栄養塩が流入し、その後の強い日射により赤潮が発生する。また、日射により暖められた海面付近の海水は密度が小さく軽いため表層に留まり、底層の冷たくて重い海水とは混合せず、分離された状態となる。その結果、表層では大気からの溶入、植物プランクトンの光合成等により酸素が供給されるのに対し、底層では海底に堆積した有機物の分解に酸素が消費されるのみとなり、貧酸素水塊が発生する。三河湾奥の観測事例では、夏期に降雨後2日間で栄養塩が急速に消費されて赤潮が発生し、降雨5日後には貧酸素水塊が形成されたとの報告がある（柘植ほか2012）。

図4に、夏期と冬期の三河湾における水温の空間分布を示す。冬期は、日射量が少なく、季節風により海水が混合するため、同一温度を示す等温線が鉛直方向に縞模様を示している。夏期は、日射量が多く成層が発達するため、等温線が水平方向に層をなしており、表層と底層で海水が混ざりにくくなっていることが分かる。内湾での海水交換は、前に述べたエスチャリー循環が大きな役割を果たす。このため赤潮発生期に少雨であると底層の流動が小さくなり貧酸素化しやすくなる（山室ほか2013）。

こうして、主に夏期に湾中央から湾奥部に発生する底層の貧酸素水塊は、風によって生じる流

1 幡豆の沿岸環境

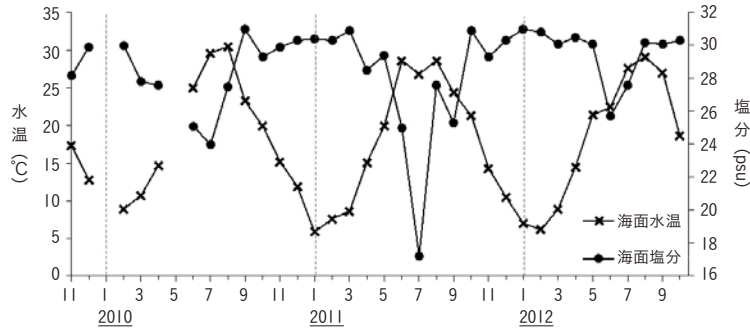


図5 東幡豆沿岸における水温および塩分の経時変化

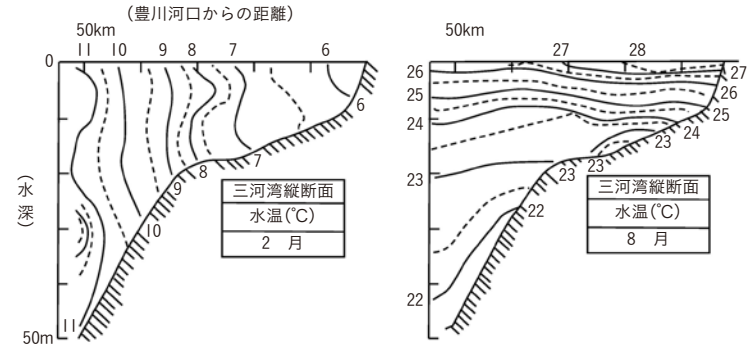


図4 三河湾における夏期(右)と冬期(左)の水温の分布 (西条 (1997) より)

れに伴い移動し、風向きによっては表面まで上昇してくることがある。貧酸素水塊の移動に伴い、干潟にいるアサリや逃げ場を失った魚が大量に死ぬことがある。

三河湾において貧酸素水塊が引き起こす問題としては、渥美湾奥部の六条潟でのアサリへの被害がよく知られている。六条潟はアサリの稚貝が大量に発生するため、付近の潮干狩り場への供給源となっているが、2011年8月下旬には貧酸素水塊の移動が原因で、アサリをはじめ二枚貝が全滅している。六条潟付近では、5m/s程度の東よりの風が数日連吹する場合には、貧酸素水塊が移動してくることが多いとされている(青木ほか 2014)。

幡豆近海の海洋環境

幡豆近海は、三河湾の中でも渥美湾に区分される。渥美湾は、知多湾に比べるとさらに海水交換が低く水質の汚濁が進みやすい。ただし、渥美湾の中でも、西

浦半島の西方に位置する幡豆近海は、湾奥部に比べると、外海水の流入があるため、汚れにくいようである。

東幡豆沿岸では、2009年11月～2012年10月に海洋学部の松浦研究室のグループが定期観測を行っている(図5)。

水温は1～2月が最も低く、6月にかけて上昇して、7～8月が最も高くなり、9月以降は低下した。最高水温は30.5℃(2010年8月)に達したのに対して、最低水温は5.9℃(2011年1月)であり、おおむね6～30℃の範囲で季節変化していた。これは一年の間で24℃も水温差があるということであり、夏は熱帯域の海水温を示し、冬は寒帯域の海水温であると言えることができる。こうした水温変化を示す原因は三河湾の浅い水深にある。水深が浅い海域では、夏期の太陽の日射による加熱や、冬期の冷却の影響が大きく現れる。これに対して、日本で一番深い駿河湾の沿岸域では、年間12～27℃の範囲で水温が変化する。三河湾の水温変化がいかに大きいか分かるだろう。

一方、塩分は年間を通して30 p s u (実用塩分単位: practical salinity unit) 前後であり、6~9月に減少する傾向があった。最高塩分は30・9 p s u (2011年3月)、最低は17・2 p s u (2011年7月)であり、他の海域に比べて低い値である。三河湾沿岸は水深が浅く河川水によって常に塩分は薄められているためであるが、特に梅雨の時期や降雨が多い夏期には、河川の水量が増えるために塩分は極端に低くなる。

潮汐により生じる潮流は、上げ潮時にはおおむね西から東へ、下げ潮時には東から西へと流れる。湾の中央から奥部にかけて発生する貧酸素水塊は、こうした潮流と共に、風によって生じる流れ(吹送流)のつて移動する。幡豆の沿岸域で貧酸素水塊の移動が確認されるのは、北~北西風が吹く場合である。こうした風向では表層の海水が南~南東へと運ばれ、移動した表層の海水を補充するように湾奥の貧酸素化した底層水が北~北西へと移動すると考えられる。

さて、幡豆の海岸を構成する環境要素について、少し具体的に紹介しておこう(位置関係は、口絵14を参照のこと)。まず、東幡豆町沿岸にあるトンボロ干潟は、アサリの潮干狩り場として、また自然観察教室の場として重要である。幡豆のトンボロ干潟は、無人島である前島と陸地との間に存在し、大潮の干潮時には陸地から前島まで歩いて渡ることができる。干潟にはアマモ場が隣接し、前島の周囲には、転石帯・岩礁帯も存在しており、さまざまな環境・生物を安全に観察する場として適している(ただし、前島海岸には、立ち入り禁止となっている区域があるので注意)。

トンボロ干潟の東側にはナギソ岩があり、周辺は岩礁帯・転石帯が散在している。さらに、東に行く、中ノ浜海岸があり、陸側の浜ノ山グラウンドは少年野球の練習場となっている。トンボロ干潟から西に行くと、妙善寺(かぼちゃ寺)前の東浜にも、小規模だが干潟がある。この東浜には、カボチャが流れ着いた言い伝えが民話として残っており、現在は夏の週末になると、マリンスポーツを楽しむために多くの人が訪れる。東浜干潟は、トンボロ干潟に比べると、少し奥まった場所にあることから、見られる生物の種類や量に違いがある(6章2)。

さらに西に進むと、東幡豆港、寺部海岸、西幡豆漁港、鳥羽海岸と続く。港は波が来ない奥まった場所であり、船の出入りに適した水深のやや深い場所となっている(第1部2章)。寺部海岸と鳥羽海岸には、小規模な砂浜、干潟、転石帯、岩礁帯が交互に連続して見られる。その中で規模が大きなものとしては、きれいな砂浜の寺部海水浴場があり、夏には海水浴客で賑わう。また、鳥羽海岸には幡豆漁協が管理する干潟があり、これも大切な潮干狩り場となっている。

以上のように、幡豆の海岸域は、干潟、砂浜、岩礁帯、転石帯、港湾等が複雑に入り組んで構成されている。幡豆の海岸を構成する環境要素としては、これらの非生物的環境に加えて、生物的環境としての藻場も重要である。藻場のうち、付着基盤を必要とする海藻藻場は岩礁帯に、地下茎を有する海草(アマモ)藻場は砂泥質の環境に主としてみられる(3章1)。

さらに、隣接する環境要素間では、生物や物質の往来がしばしば見られる。例えば、干潟に生息する底生生物(ベントス)の中には、卵や幼生期には浮遊生物(プランクトン)として海水中で過ごすものも多い(2章1)。また、トンボロ干潟の底生動物は、海水中の植物プランクトンや隣接するアマモ場からの有機物を、大なり小なり餌として利用している可能性が示唆されてい

る(6章4)。

これらの点を考慮すると、ある生態系の空間的な範囲・広がりには、単一の環境要素だけでなく、隣接する複数の環境要素を含めたほうが良い場合も多い。例えば、トンボロ干潟に生息する底生動物群集を中心とする食物網の構造を解明したい場合は、「トンボロ干潟」だけでなく、隣接するアマモ場や前島の転石帯・岩礁帯等を含めた、「干潟域」として捉える必要がある(6章4)。本書では、厳密には「干潟」を「砂泥堆積物とその直上」に限定し、隣接する他の環境要素を含めた場合を「干潟域」として、両者を区別して取り扱うこととするが、読者の皆さんはあまり気にせず読み進めていただいても理解できるような記述を心がけている。(仁木将人)

## 2 生物の分類と多様性

### 生態学的分類

生物を分類(グループ分け)する方法としては、その外部形態(姿・形)に基づいた、生物学的な階級分類(門・綱・目・科・属・種)が基本となる。第2部では、幡豆の海で見られる生物の特徴や生態などについて、主に門や綱レベルの高次分類群ごとに紹介している(魚類、貝類、多毛類、十脚目甲殻類など)。

一方、こうした階級分類以外に、生態学的な特性(生活型、栄養形式等)に基づいた生態学的分類も存在する。次章で紹介するプランクトン(浮遊生物・水中に生息、遊泳能力はないか弱い)は、生活型(生息場所と遊泳能力)に基づき定義されるグループであり、ほかにネクトン(遊泳生物・水中に生息、遊泳能力あり)、ベントス(底生生物・水底に生息)といったグループがある(定義の詳細は、2章)。

階級分類と生活型による分類は、互いにおおむね一致する場合もあるが、必ずしもそうではない。例えば、魚類の多くはネクトン、海藻類の多くはベントスに含まれる。一方、軟体動物のうち、頭足類(イカ・タコの仲間)はネクトンであるが、二枚貝類や巻貝類の多くはベントスであり、陸貝類(カタツムリ・キセルガイの仲間)に至っては水中に生息しておらず、いずれにも当てはまらない。

さらにややこしいことに、同じ種でも、生活史の段階によって、生活型が変化するケースも多い。例えば、大部分の魚類はネクトンであるが、稚仔魚の時期は遊泳力が弱くプランクトンに区分される場合が多い。多毛類や二枚貝類等も、幼生の時期は海水中を浮遊するプランクトンとして過ごした後、海底に着底、変態してベントスとなるものが多い。

栄養形式による分類も、生態系の食物網構造や物質循環を考える上では、重要である(6章4)。生物は栄養形式により、植物(酸素発生型の光合成により有機物を生成)と動物(植物等が生成した有機物に依存)に、大きく二分される。植物は、食物網に有機物とエネルギーを供給する生産者であり、海では藻類(海藻と植物プランクトン)や海草類が該当する(3章、6章4)。

## 生物多様性

「生物多様性」は、最近ニュース等を通して一般にも知られるようになってきた語句であり、単純には「数多くの種類の生き物がいること」といった意味である。しかし、実は幅広い概念・内容を含んだ専門用語であり、文脈や場面によって少しずつ異なる意味で用いられることがある。ここでは、1992年にリオデジャネイロで開催された地球サミットにおいて締結された生物多様性条約(Convention on Biological Diversity)で定義され、現時点で最も一般的と思われる「生物多様性」の三つの定義、「遺伝的多様性(種内の多様性)」、「種多様性(種間の多様性)」、「生態系の多様性」に即して、説明しておく(環境省ウェブサイトなど)。

まず、多くの人が「生物多様性」と聞いてイメージする内容は、ある区域にどれだけ多くの種類の生物が生息するか、であろう。この「種の豊富さ(species richness)」に概ね該当するのが、「種多様性(種間の多様性)」である。ただし、種多様性は、単に種数が多いかどうかだけでなく、種間で個体数の偏りがないかといった「均等度(evenness)」も含む概念である。これら二つの要素を考慮した種多様性(種間の多様性)の指標としては、Shannon-Wienerの多様度指数( $H'$ )等がある(6章2)。

二番目の「遺伝的多様性(種内の多様性)」は、ある一つの種の中での遺伝子の多様性である。「遺伝的多様性」は、その種の存続や環境変化への適応において重要な意味を持つ(6章5)。「遺伝的多様性」が高い集団の場合、種として持っている遺伝子の種類が多く、環境が変化した場合が高くなってしまふ。

最後の「生態系の多様性」は、「種」や「生物群集」よりさらに高次のレベルである「生態系」の多様性である。「生態系」とは、「ある区域の生物や生物群集のみならず、それらの生物が生育する環境を含めた系(システム)」である。先述したように、幡豆の沿岸域は、干潟、砂浜、藻場等といったさまざまな環境要素が入り組んで構成されており、「生態系の多様性」は高いと考えられる。第2部を一通り読み終えたと、そのことを実感していただけるのではないかと思う。

## 希少種や絶滅危惧種の保護

希少種(生息数が少なく、簡単に見られない種)や絶滅危惧種を保全するために作成された、絶滅のおそれがある種のリストを、「レッドリスト」と呼ぶ。「レッドリスト」を基に、分布や生息状況、保全対策などの情報をさらに盛り込んで作成されたものが、「レッドデータブック」である。世界全体では、国際自然保護連合(IUCN)が作成したリストがある(IUCN 2014 IUCN 日本委員会ウェブサイト)。日本では環境省や水産庁が作成している(環境省自然環境局生物多様性センターウェブサイト、水産庁1998)。また、地域レベルでも、日本の47都道府県全てで、レッドリストが作成されている(野生生物調査協会・Envision 環境保全事務所ウェブサイト、愛知県環境部 2015)。



レッドリストでは、絶滅のおそれの程度をいくつかの段階に分けている。環境省版レッドリストでは、1997年版以降2013年版に至るまで、次の七つのカテゴリーに分けている。絶滅(EX)、野生絶滅(EW)、絶滅危惧Ⅰ類(CR+EN)、絶滅危惧Ⅱ類(VU)、準絶滅危惧(NT)、情報不足(DD)、絶滅のおそれのある地域個体群(LP)。絶滅と野生絶滅はすでに絶滅したと判断される種に対して適用される。絶滅の危険性から高い順に並べると、絶滅危惧Ⅰ類、絶滅危惧Ⅱ類、準絶滅危惧となる。

正確で詳細なレッドリストの作成は、希少種や絶滅危惧種の保護を進める上での第一歩である。地域ごとにレッドリストを作成する試みは、同じ種であっても地域により遺伝子集団(個体群)や生息環境の状況等が異なる可能性を考えると、非常に大切である。しかし、「レッドリスト」の作成・更新には、予算や担当できる人材の確保が必要であり、全国レベルでは比較的調査がなされている生物群(貝類、甲殻類など)においても、都道府県レベルでは情報が不十分なことが多いのが現状である(6章6・7)。(吉川尚)

#### 参考・引用文献

- 愛知県環境部編(2015) 第三次レッドリスト レッドリストあいち2015新掲載種の解説。愛知県、全146頁。(http://www.pref.aichi.jp/kankyō/sizen/ka/shizen/yasei/redlist/index.html)
- 青木伸一・間瀬友記・蒲原聡(2014) 風による底層貧酸素水塊の浅海域遡上について。土木学会論文集B2(海岸工学)、70巻2号、1141-1145頁。
- 青山裕晃(2000) 三河湾における海岸線の変遷と漁場環境。愛知水試研報、7号、7-12頁。
- IUCN編(2014) 世界の絶滅危惧生物図鑑：IUCNレッドリスト。岩槻邦男・太田英利訳、丸善出版、東京、全416頁。
- IUCN日本委員会ウェブサイト IUCNの活動。http://www.iucn.jp/生物種の保護。http://www.iucn.jp/protection-15/species.html(参照日2016年2月18日)
- 環境省自然環境局自然環境計画課 みんなで学ぶ、みんなで守る生物多様性。http://www.biodic.go.jp/biodiversity/index.html(参照日2016年2月18日)
- 環境省自然環境局生物多様性センター いちものログ。http://iki-log.biodic.go.jp/(参照日2016年2月18日)
- 野生生物調査協会・Envision環境保全事務所 日本のレッドデータ検索システムhttp://www.jpnrdb.com/(参照日2016年2月18日)
- 照日2016年2月18日)
- 西条八東監修、三河湾研究会編(1997) とりもどそう豊かな海 三河湾——「環境保全型開発」批判。八千代出版、東京、全312頁。
- 水産庁編(1998) 日本の希少な野生水生生物に関するデータブック。日本水産資源保護協会、東京、全437頁。
- 拓殖朝太郎・大橋昭彦・山田智・岩田靖宏・石田基雄(2012) 三河湾東部、渥美湾における赤潮および貧酸素水塊形成に及ぼす降雨に伴う河川水流入の影響。愛知県水試研報、17号、9-24頁。
- 山室真澄・石飛裕・中田喜三郎・中村由行(2013) 貧酸素水塊 現状と対策。生物研究社、東京、全227頁。

## 2 プランクトン

### 1 プランクトンと海洋生態系

幡豆の干潟には、アサリやマテガイなど砂の中に潜って生活している生物が多く存在する。岩場に行けば、カニのように岩の上を歩き回ったり、フジツボやイソギンチャクのように岩に附着して生活している生物を見つけることができる。これらはともにベントス（底生生物）と呼ばれる、水域の底面で生活している生物のグループである。

一方、普段は気がつかないが、幡豆の沿岸に打ち寄せる海水の中にも生物は存在する。手で海水をすくつてのぞき込んでも、動いている姿や形が認識できない小さな生物たち、プランクトンである。プランクトン（浮遊生物）も、先ほどのベントスと同じように、水界の生物を生態学的に分類した用語であり、その定義は、「遊泳力が無いか非常に弱くて、水中に浮遊している生物」である。つまり、生物の形状や大きさではなく、生活スタイルによる分類（グループ分け）を意味する用語なのである（1章2）。

それに対して、魚類などの体がある程度大きくて、遊泳力をもつ生物たちはネクトン（遊泳生物）と定義される。プランクトンは遊泳力が乏しいために周辺の水の流れに逆らうことはできず、浮遊したままで自分の周りの水と一緒に移動してしまうが、ネクトンは海流や潮汐流などの水の流れに逆らって移動できる生物である。しかし、実際にはプランクトンとネクトンの境界は曖昧である。

ところで、プランクトンという言葉を知っている方は多いと思うが、具体的にどのような生物かといわれると、海の中にいる小さな「虫」、あるいは顕微鏡でようやく見える「微生物」のことだろう、といった認識が一般的と思われる。確かに、水界の微生物（バクテリア〔細菌〕やゾウリムシなど）や小型の生物たち（ミジンコなど）は、どれだけ頑張っても速く泳いでいても、周りの水と共に流されてしまうため、プランクトンの定義に当てはまるものが多い。そのため「水界の小さな生物＝プランクトン」という認識は的外れではないが、例外も多いので注意が必要である。例えば、海底の泥中に生息するバクテリア、海藻の葉上に生息する小動物などは、浮遊生活ではなく、底生生活をしているのでベントスに区分される。

反対に、体が大きくても浮遊生活をしていればプランクトンになる。例えば、クラゲのように大型でもぶかぶかと浮遊していて、ゆっくりと泳いでいればプランクトンである。魚類のマンボウはゆっくり漂いながら海流ののって回遊する魚なので、プランクトンとする学者もいるくらい、体の大きさは関係ない。もっともマンボウは本気になると驚くほど速く遊泳することができるし、

エチゼンクラゲも活発に拍動して泳ぎ始めると、あつという間に視界から消えてしまう。ただしそれらは緊急時の行動なので、通常時は「浮遊生物」の字のごとく、ぶかぶかと浮いて遊んでいる生物たちで、人間の感覚でみると羨ましい限りの生活スタイルである。

そんなプランクトンではあるが、彼らは植物プランクトンと動物プランクトンの二つに大別され、ともに海洋生態系では不可欠な存在である。植物プランクトンは太陽光エネルギーを利用して光合成を行い、水に溶けている無機炭素から有機物を作り出す基礎生産者である。植物プランクトンの大部分は単細胞の藻類であり、多くの魚類にとっては小さすぎるため餌として利用できない。

そこで、動物プランクトンが最初の捕食者（一次消費者）となって、小さすぎる植物プランクトンを食べて自らの体を形成する。その結果、有機物（餌となる動物）のサイズが大きくなり、より高次の消費者（魚類など）が利用できるようになるのである。

つまり、藻場などの一部の海域を除くと、海洋の食物連鎖の出発点はほとんどが植物プランクトンであり、それを動物プランクトンが食べて、さらにはほかの生物が動物プランクトンを食べて……といった、食う―食われるの関係が続ぶことで、生物の命は維持されている。彼らがいなければ、魚類や貝類、人間も餌にありつけない事態に陥るのである。このように、植物プランクトンは生産者として、動物プランクトンは一次消費者として、海洋生態系の食物連鎖の底辺を支えており、まとめて低次生産者と呼ばれている。

一方、動植物プランクトンの死骸やそれらの排泄物は、デトリタス（微細な有機物粒子）として水中を懸濁し、多くの動物、特に干潟に生息するベントスの栄養源となる。アサリなどの二枚貝類は、植物プランクトンやデトリタスを環境水とともに入水管から内部に吸い込み、それらを集めてろ過摂餌している。つまり、海中のプランクトンを中心とする食物連鎖系から、海底のベントスたちへと有機物やエネルギーが移行していくのである。あるいは、動物プランクトンと懸濁物食性のベントスは、餌を巡って競合関係にあり、複雑なネットワーク（食物網）を形成しているともいえる（6章4）。

このような食物連鎖の関係は、多くの生物が関与しているシステムであるため、どこかに異変が生じると、そのバランスが崩れてしまい、健全な生態系を維持することができなくなる。例えば、水域の富栄養化によって、特定の種類の植物プランクトンの異常増殖（赤潮）が発生すると、その植物プランクトンを餌として利用できなかつたり、水質の変化に弱い動物プランクトンやベントスは大きく影響されることとなる。

本章では、幡豆の海に生活するプランクトンのうち、主に中型の大きさの動物プランクトン（メソ動物プランクトン…体長200μm〜20mm）について、紹介したい。最初に、プランクトンは大きさで定義される生物群ではないといっておきながら、なぜ大きさで分けているのか疑問に思われるかもしれない。これは、水界では、生物の大きさと食物連鎖における栄養段階の間に強い関連があるためである。つまり、小型の動物プランクトンは小型の植物プランクトンを、大型の動物プランクトンは大型の植物プランクトンや小型の動物プランクトンを、餌とする傾向にある。

中型のメソ動物プランクトンには、後で紹介する枝角類やカイアシ類など、比較的認知度が高

く、イワシ類などのプランクトン食性の魚類の餌となる分類群が多く含まれている。プランクトンネットで採集され、顕微鏡で見ると数が多く、昔から盛んに研究されているのも、メソ動物プランクトンである。

ほかに、小型の動物プランクトン（マイクロ動物プランクトン：体長200 $\mu$ m以下）としては、ゾウリムシの仲間である繊毛虫類や鞭毛虫類などが海水中におびただしい数で存在し、細菌や小型の植物プランクトンを捕食しており、やはり食物連鎖において重要な存在である。しかし、体が小さい上に壊れやすいものが多く、顕微鏡での観察には特殊な方法が必要となる。また、大型の動物プランクトン（マクロ動物プランクトン：2~20cm、メガ動物プランクトン：20~200cm）としては、クラゲ類などが該当する。

（松浦弘行）

## 2 幡豆に生息するメソ動物プランクトン

### さまざまな動物プランクトンたち

筆者らが調査を行なった三河湾北部の東幡豆沿岸（前島・沖島の周辺海域）からは、メソ動物プランクトンは枝角類、カイアシ類、尾虫類、刺胞動物、毛顎動物、多毛類の幼生、十脚類の幼生、腹足類の幼生、二枚貝類の幼生、有櫛動物、タリア類が出現した。

まずここで、あまり馴染みの無い動物プランクトンの分類群について、特に出現個体数の多かった5グループ（枝角類、カイアシ類、尾虫類、毛顎動物、刺胞動物）を説明したい。

枝角類とカイアシ類は、エビやカニとともに節足動物門甲殻亜門（甲殻類）に属し、互いに親戚関係にあるグループである。枝角類はいわゆるミジンコである（写真1a）。プランクトンというと、このミジンコを想像する人が多いかもしれない。漢字で「微塵子」と書くように、古来より細かく小さな生物として知られている。体長は0.5~3.0mmほどで、体は丸く、二枚貝のような背甲に覆われている。頭部の中央には大きな一つの眼が発達している。大きく発達した一對の第2触角が頭部にあり、これを平泳ぎのように上下に使って泳ぐ。この第2触角は内肢と外肢の2本に枝分かれしており、枝のような触角をもつことから、枝角類と呼ばれている。

陸水域では動物プランクトンの代表として古くから重要視されているが、海洋においても特定の季節や水域では多量に出現することが知られており、海洋の生物生産において重要な役割を果たしている。

カイアシ類は学名をコペポダ(Copepoda)といい、ギリシャ語で船を漕ぐ時に使うオール(櫂・櫓)を意味する「コペ」と、脚を意味する「ポダ」を合わせた言葉である。漢字では橈脚類と書く。体は米粒のような前体部と尻尾に見える後体部に分かれており、前体部の先端に長い第1触角が一对あるのが特徴である（写真1b）。前体部の腹側に四~五対の胸脚が存在し、これを使って遊泳するのだが、この脚の形がオールに見えることから、名付けられた。

カイアシ類は甲殻類の中では十脚類に次いで種類が多く、1万2000種以上ともいわれ

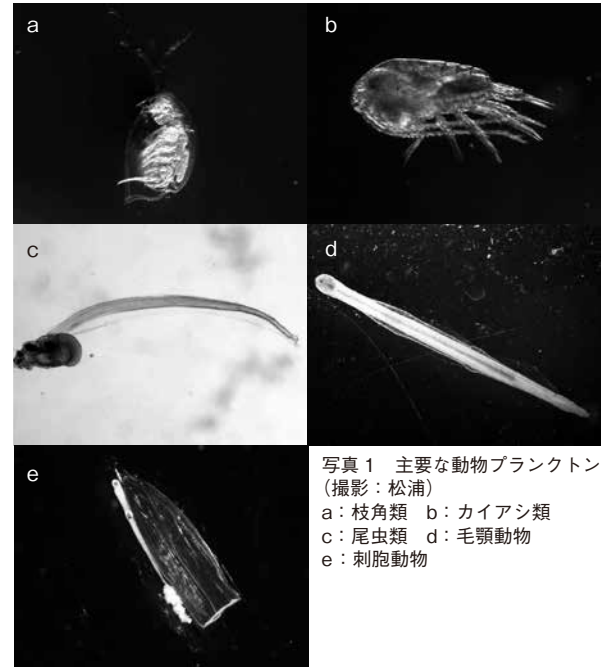


写真1 主要な動物プランクトン  
(撮影：松浦)  
a: 枝角類 b: カイアシ類  
c: 尾虫類 d: 毛顎動物  
e: 刺胞動物

重要視されている。

尾虫類は脊索動物門尾索動物亜門に属するグループで、オタマボヤとも呼ばれる。この尾索動物にはホヤ類（食用になるマボヤなど）も含まれているが、尾虫類は卵形の体（躯幹部）と長い尾部で構成され、体形がオタマジヤクシに似ていることから、オタマボヤと呼ばれる（写真1c）。私たちヒトは脊索動物門脊椎動物亜門に属しており、脊椎（背骨）をもつグループに含まれている。脊椎の中には脊髄（神経の幹）が存在しており、その原始的なものが脊索である。尾虫類は尾部にこの脊索を備えている。つまり、尾虫類とヒトは、分類学上では同じ動物門に所属する仲間、遠い親戚なのである。

尾虫類はハウスと呼ばれるタンパク質とセルロースできた袋状の構造物を作り出し、その中にもぐり込んで生活する。このハウス内には網目の細かいフィルターが備わっていて、内部で水流を起こすことで、フィルターでろ過・凝集された有機粒子を摂餌している。このフィルターが餌粒子で目詰まりすると、そのハウスを捨てて新しいハウスを作り直す。

尾虫類はこのような変わった摂餌を行うが、この摂餌フィルターの網目が非常に細かく、ほかの動物が利用できない小さなサイズの有機粒子を食べることができること、頻繁に捨てられる古いハウスがデトリタスとなってほかの動物の餌になることから、海洋生態系における尾虫類の役割が近年再認識されている。

毛顎動物はヤムシ（矢虫）とも呼ばれ、英語でも arrow worm である。弓矢のように直線状に細長い体形をしているためである（写真1d）。体は柔らかく半透明で、側面には透明な側鰭、

る微小な甲殻類である。海洋から陸水域、ベントスからプランクトン、寄生性まで存在し、その形態、生態は多様性に富んでいる。浮遊性のカイアシ類は多くの種類が2〜10mm程度だが、枝角類より小型の種類も存在する。

海洋の外洋域や沿岸域では、動物プランクトンのうちカイアシ類の生物量が最も多く、プランクトンネットを曳網すると、全個体数の70〜80%を占めるほどである。主に植物プランクトンなどの基礎生産者、あるいはそれに近い栄養段階の動物を摂餌すること、その個体数の多さから、海洋食物連鎖において

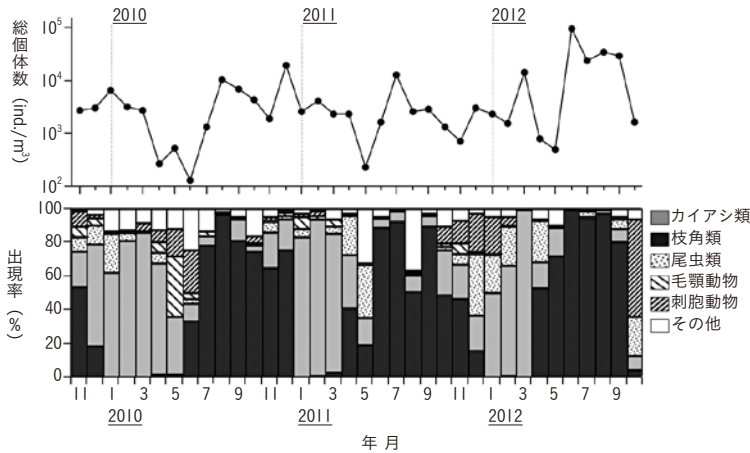


図1 東幡豆沿岸における動物プランクトン総個体数(上)と主要動物群組成(下)の季節変化

動物プランクトンの総個体数は、4～5月が最も低く、その後急激に増加して、6～9月に高密度になる(図1)。毎年この時期には1万個体 $\setminus$ m<sup>3</sup>を超すことになり、2012年6月には9万個体 $\setminus$ m<sup>3</sup>にまで達した。1m<sup>3</sup>の海水中に9万個体のプランクトンということは、1m<sup>3</sup>≒1000ℓなので、つまり1ℓの海水に90個体のプランクトンが生息しているのである。普段は目に付かず気がつかないが、数的にはかなりウジヤウジヤとしている。夏が過ぎると冬に向かって総個体数は減少して、2000～3000個体 $\setminus$ m<sup>3</sup>で推移した後に、さらに減少するが、2010年1月や2012年3月のようにひと

### 動物プランクトンの季節変化

ような手法で小型の動物プランクトンを捕らえている。

刺胞動物は、刺胞と呼ばれる細胞内小器官をもつグループで、クラゲやイソギンチャク、サンゴが含まれる。今回の調査では小型のプランクトンネットを用いたため、採集された主な刺胞動物はミズクラゲやアカクラゲなど大型の鉢虫綱ではなく、ヒドロ虫綱に含まれる管クラゲ類という小型の仲間である(写真1e)。よく知られる丸いお椀型の傘をもつクラゲ(鉢虫綱)とは異なり、管クラゲは遊泳、餌の捕獲、繁殖といった役割をもった個体が集まった群体であり、それぞれが管状の幹によって繋がっている。

東幡豆沿岸の調査で多く採集されたのは、ヒトツクラゲ(*Muggiaea atlantica*)で、透明なロケット型の遊泳個虫(泳鐘)をひとつ持つ種類である。泳鐘の大きさが4mmほどのクラゲで、泳鐘が律動することで内部に水を吸い込み、排出することを繰り返して遊泳する。泳鐘の後方内側には幹室という凹みがあり、その中に小さく縮まった多数の個虫(栄養個虫)を収納することができ、遊泳時には泳鐘の外に幹が伸び、そこから栄養個虫が触手を伸ばすことで、まるで延縄漁の

後端には尾鰭を持つ。泳ぐ時には体と鰭を使って、弓から放たれた矢のように素早く直進する。体の先端に頭部があり、頭部側面の顎にあたる箇所にも毛が生えていることから毛顎動物と呼ばれる。この頭部の毛は「顎毛」といい、毛とはいもものキッチン質で硬くなっており、餌を捕らえるためのキバとして用いる。このキバを用いて、周辺を泳いでいるカイアシ類や時には稚仔魚をも捕食する強い肉食性を示す。海域によっては個体数も多く、小型生物の捕食者としてだけでなく、魚類の餌料にもなるため海洋生態系で重要な動物であり、また水塊の指標種としても古くから重要視されている。

月だけ高密度になることもあった。

各月に出現した主要な動物群としては、初夏から秋期にかけて枝角類が、冬期から春期にかけてカイアシ類が優占して出現し、年間を通して二つの分類群が動物プランクトンのほとんどを占めていた。枝角類の出現割合が50%以上となったのは2010年7～12月、2011年6～9月、2012年4～9月であり、各年のほぼ半年間は枝角類が優占していた。特に総個体数がピークとなる夏期には、枝角類が90%以上を占めることが多かった。カイアシ類は2009年12月～2010年4月、2011年1～3月、2012年1～3月に50%以上の割合で出現し、冬の3～5ヶ月間が優占する期間である。

このように三河湾の東幡豆沿岸では、水温が上昇する時期に枝角類が顕著に個体数を増やして長期間優占する。その後の水温低下とともに枝角類は減少し、替わって低水温期にカイアシ類が優占するパターンを示した。東京湾や瀬戸内海などの沿岸域では、メソ動物プランクトンは多い時には数千～数万個体/日<sup>6)</sup>が生息するとされているが、年間を通して優占するグループはカイアシ類である。これらの海域でも稀に枝角類の割合が増えることはあるが、突発的な増加であり、毎年くり返されることはないと言われる。

ただし、1981年～2010年の東京湾において枝角類の長期変動をまとめた佐藤(2010)によると、1980年代と1990年代以降では枝角類の出現種が変化し、1990年代以降は以前よりも枝角類の個体数は多い傾向にあり、突発的に増加してカイアシ類よりも個体数が多い時がある。

過去の東幡豆沿岸や三河湾の他海域のデータは持ち合わせていないので、近年になって枝角類が増加したのか、それとも以前から枝角類が多いのかは不明であるが、調査を行った2010～2012年の3年間は、初夏から秋期は枝角類が数的に支配的な海域であり、彼らが減少すると、カイアシ類を中心とした群集構造に変化する特徴があった。(松浦弘行)

### 3 夏期の優占プランクトン

#### 枝角類の出現種と季節変化

東幡豆の沿岸では、枝角類が夏期に最も優占する動物プランクトンである。枝角類は600種以上が知られている小型甲殻類であるが、そのほとんどは陸水種である。海洋で知られる枝角類はわずかに3属8種だけで、日本で出現が確認されているのは7種である。東幡豆の沿岸からは、ウスカワニジンコ (*Penilia avirostris*)<sup>7)</sup>、トゲナシエボシニジンコ (*Evadne tergestina*)<sup>8)</sup>、ノルドマンエボシニジンコ (*Evadne nordmanni*)<sup>9)</sup>、コウノオオメニジンコ (*Podon polyphemoides*)<sup>10)</sup>、およびオオウミオオメニジンコ (*Podon leuckarti*)<sup>11)</sup>の5種が出現した(写真2)。日本産の残り2種、ウミオオメニジンコ (*Podon schmackeri*)<sup>12)</sup>とトゲエボシニジンコ (*Evadne spinifera*)<sup>13)</sup>は外洋性であり、内湾や沿岸域では外洋水の影響がある海域でのみ出現するため、閉鎖性の強い三河

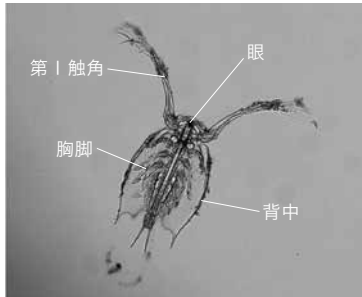


写真3 ウスカワミジンコを正面から見たところ (撮影: 松浦)

高見 (1991) は 1979 ~ 1990 年に渥美湾奥 (三谷沖) で調査した結果から、ウスカワミジンコは主に 6 ~ 11 月に出現し、年によって変動するものの、夏期の高密度出現は 1000 個体 / m<sup>3</sup> 以上であり、最大 11 万個体 / m<sup>3</sup> であったことを示している。筆者らの調査結果と合わせて考えると、三河湾における本種の夏期大発生は 1980 年代から変わっていないものと思われる。

ウスカワミジンコと同じ時期の 4 月から 12 月に出現する種がもう 1 種類いる。トゲナシエボシミジンコである。頭部の眼が大きく、「エボシ」ミジンコという名が示す通り、背甲で形成される殻が体の背側に大きく膨らんで、卵形 ~ 三角形の「烏帽子」のような形状を示す。この先端に長い棘を生じるのが外洋性のトゲエボシミジンコであるが、本種は棘が無いので区別できる。また、前述したウスカワミジンコ以外の全ての海産枝角類は、背甲が胸脚を覆うことはなく、胸脚は

ないが、水温が最も高くなる時期には約 1 万個体 / m<sup>3</sup> 以上、年によっては約 9 万個体 / m<sup>3</sup> まで爆発的に増加した。その後 10 月頃から個体数は急激に減少して、姿を消した。初夏から秋期にかけては、出現した枝角類の 80% 以上 (最大 97%) は本種で占められ、他種を圧倒する増加率と個体数で出現し、この海域のメソ動物プランクトンで、年間を通して数的に最も優占した種類であった。

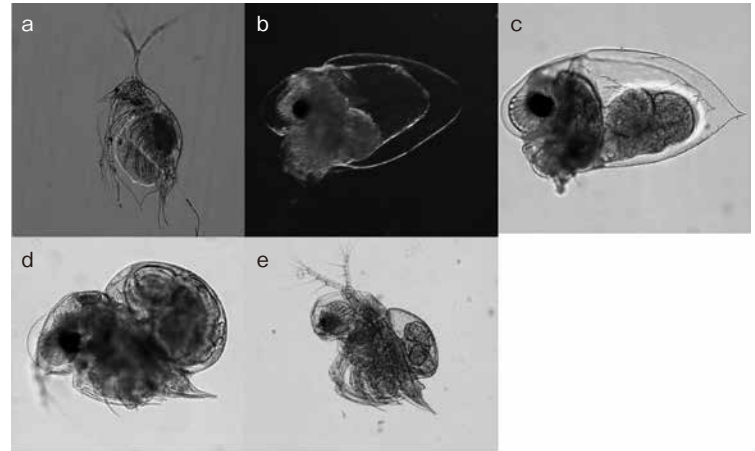


写真2 東幅豆沿岸に出現する枝角類 (撮影: 松浦)  
a: ウスカワミジンコ b: トゲナシエボシミジンコ c: ノルドマンエボシミジンコ  
d: コウミオオメミジンコ e: オオウミオオメミジンコ

湾には出現しないことが考えられる。最も多くの時期に出現し、個体数が多かったのはウスカワミジンコである。本種は一般的によく知られる淡水産のミジンコと体形が似ていて、海産枝角類でこの体形をしているのは本種だけである。背甲が発達して体の胸 ~ 腹部を完全に覆っているが、腹側は左右の背甲の隙間が空いており、まさに二枚貝のような形態を示す (写真3)。この隙間の内側には胸脚が収まっており、これを動かすことで、周りの水を背甲内側に吸い込む。この時に水とともに背甲の内側に入ってくる微小な植物プランクトンやデトリタスを胸脚に備わる繊細な毛でろ過摂餌する。

ウスカワミジンコは 4 月前後から 12 月にかけて出現し、それ以外の期間は姿を消す。春から夏までは数十 ~ 数百個体 / m<sup>3</sup> と少



露出していて、ウスカワミジンコのようなろ過摂餌用の繊細な毛は持たない。

トゲナシエボシミジンコはウスカワミジンコよりも出現個体数は少なく、出現し始める4～5月は10個体 $\setminus$ 日。以下の密度であるが、6～7月にかけて急激に増加して、7～8月に2000～3000個体 $\setminus$ 日でピークとなる。その後9～12月にかけて減少していく。同じ時期にウスカワミジンコが多く出現しているため、本種は初夏～秋期にかけて枝角類の約20～30%程度であるが、ピーク時の個体数は非常に濃密であった。

ウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコの個体数が少ない時期に、出現する枝角類がいる。コウミオオメミジンコである。オオメミジンコ科は頭部のほとんどが眼であり、背甲はエボシミジンコのように大きく背側に突出することはない、丸い球状の殻をもっている。そのため眼(頭部)が相対的に大きく見えるのである。同じオオメミジンコ科ではオオウミオオメミジンコも出現したが、この種は冷水性のためか、東幡豆からの出現は非常に稀であり、2011年と2012年の4月に二度だけ出現が確認された。

コウミオオメミジンコは、ウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコの個体数がピークを過ぎた11～12月の初冬になると出現する傾向がみられ、主に12月に個体数のピークを示し、1万個体 $\setminus$ 日を越した年もあった。12月だけは、ウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコの優占2種よりも、本種の個体数が多くなる。また優占2種が出現し始める4～5月にも、本種が100個体 $\setminus$ 日。以下の密度だが出現する。本種は、優占2種の個体数が多い夏期から秋期には出現せず、その前後2ヶ月ほどの期間に出現するパターンを示した。

ノルドマンエボシミジンコも、ウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコの2種がいない時期に個体数を増やしていた。トゲナシエボシミジンコに似た体形であるが、体の後方に突出する烏帽子状の殻の先端がとがることで特徴づけられる。本種は日本沿岸・外洋に広く分布するが、冷水性の枝角類である。

年によつてはほとんど出現しないこともあるが、冬期から春期にかけて、水温が最も低い2月から水温が上昇するまでの4ヶ月ほどの間だけ、出現が認められる。4月に数百個体 $\setminus$ 日まで増加したが、優占2種が出現し始めると、本種の個体群は消失する傾向がみられた。

#### 枝角類の増殖方法と種間関係

このように東幡豆沿岸では5種類の枝角類が生息しており、ウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコが主に6～11月に、コウミオオメミジンコが11～12月に、ノルドマンエボシミジンコが2～5月に多く出現しており、各種の出現時期は異なっている。特にウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコの優占2種は、夏から秋期に急激な個体数の増加を示し、莫大な個体数となった。枝角類がこのような水中から姿を消失している状態から、急激に増殖することができる理由は二つ存在する。

ひとつは、彼らは生活史の中で単為生殖を行うことができる生物だということだ(図2)。生息しやすい環境の時は、彼らには雌しか存在していない。水質や餌などの環境条件が好適な時には、雌は交尾を行わずに、雌だけで卵を形成し、殻の背側に位置する育房の中に卵を収める。これを

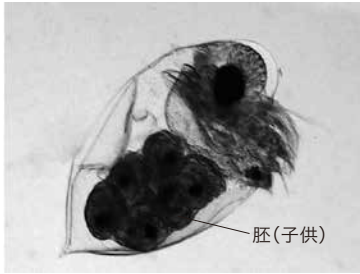


写真4 発達中の胚をもつノルドマンエボシミジンコ。育房内の子供に、目が発達しているのが分かる (撮影：松浦)

枝角類は一般的な甲殻類とは異なり、幼生期（昆虫でいうと幼虫期）をもたないことが知られている。特有の形態の幼生期をもたずに成体と同一ような形態で孵化する直接発生であり、育房内である程度まで発生が進んでから孵化するのである（写真4）。つまり、生態学的には弱い立場である幼生期を省略すること、迅速な成長と再生産を行えるのである。

また特殊な例として、オオメミジンコ科の枝角類では単為生殖によって産生されて親の育房内に入っている胚（子供）が、発生が進んで親から放出される直前に、自身の育房内に次の卵を産み出すことが知られている。親の育房内の子供が、生まれる前にすでに孫を身ごもっているのである。これを幼生生殖と呼ぶ。枝角類は好適環境下で個体数を増加させるために単為生殖という生殖方法を用いているが、さらにこのグ

成体が生息するのに適さない水温下でも耐えて生残することができ、休眠卵（または耐久卵）と呼ばれる。

成体が生息できる水温などに環境条件が好転すると、休眠卵（耐久卵）の発生が進み、雌が孵化する。この雌は単為生殖をくり返して、再び個体数を増加させるのである。枝角類は単為生殖と有性生殖という二つの生殖方法を獲得しており、生息環境の変化に応じて使い分けているのである。

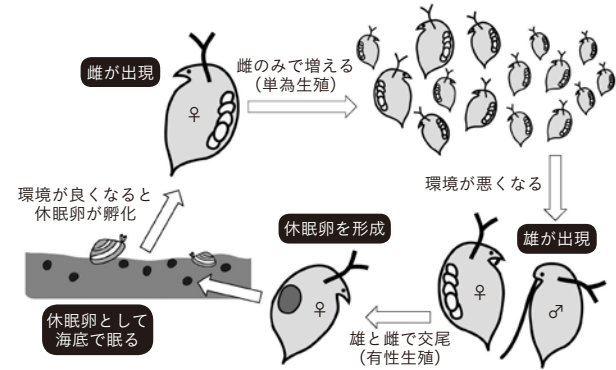


図2 枝角類の生活史。単為生殖による大增殖と休眠卵の形成

単為生殖と呼ぶ。雌の育房内で卵は発生が進み、母体から放出された個体は雌となって、再び単為生殖を始める。雄と雌が存在し、雌雄の出会い（交尾）受精（卵発生）といったプロセスを経る有性生殖よりも、単純なプロセスで時間がかからないため生産性が高く、個体群は爆発的に増加することができる。

もうひとつは休眠卵の産生である。単為生殖によって増殖した枝角類は、個体数密度が最大に達したり、生息環境条件が悪化してくると、雄が出現するようになる。すると、単為生殖を行わず、減数分裂による卵を生じる雌が出現し、その雌と雄が交尾することで、受精卵が形成されるようになる。この有性生殖が始まると個体数の減少が起こり、浮遊生活をする枝角類は水中から消失する。一方、有性生殖で形成された受精卵は、初期発生の途中で母体の育房内での卵発生は停止し、母体の脱皮とともに海中に放出される。この卵は海底に沈降して、環境条件が良くなるまで休眠状態になる。この状態の卵は

ループでは幼生生殖を行うことで、増殖効率を極限まで高めたといえるだろう。

ウスカワミジンコの休眠卵は、室内実験により12〜23℃で孵化し、特に17〜20℃で孵化率が高いことが明らかになっている（遠部 1974）。東幡豆沿岸では2010年は4月から、2011年と2012年は5月から本種が出現し始めており、この時期の海底水温は約14〜18℃である。海底水温が本種の休眠卵の孵化条件に達する4月以降に出現し、特に5月には17℃を越すために海底の休眠卵が一斉に孵化したことが考えられる。海底水温が12℃を越すのは例年3〜4月にかけてであるが、例年よりも早く海底水温が12℃を越すような暖かい年では、ウスカワミジンコは比較的早い時期から少数が出現し始める。孵化した個体は単為生殖によって個体数を増加させるため、翌月〜翌々月には莫大な密度に達する。

また、水温が上昇して単為生殖をしている時期には雌個体のみが出現するが、個体数が最多になった月には約10%の割合で雄個体が出現していた。単為生殖によって個体数を増やす戦略から、有性生殖による休眠卵の産出に切り替わったのである。個体数がピークを過ぎた夏以降には、海底にウスカワミジンコの休眠卵が大量に横たわっているはずである。

ウスカワミジンコ以外の枝角類も生活史は同様で、好適環境になると休眠卵が孵化し、単為生殖によって急激に個体群を増加させては、有性生殖によって休眠卵を作り出し、翌年まで海底で寝て過ごすサイクルを繰り返して、各種の個体群は維持されているのである。

ウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコは初夏〜秋期、コウミオオメミジンコは初冬、ノルドマンエボシミジンコは冬期〜春期に出現するといったように、各種はうまく出現時期をずら

すことで、種間が競合しないようになっていく。これらをコントロールしているのは、恐らく休眠卵の孵化条件なのだろう。

では、同じ時期に出現するウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコは喧嘩しないのであるか。これら2種は東京湾や瀬戸内海、伊勢湾においてもほぼ同じ季節に出現する。出現の時期に多少のズレは生じるが、水温が増加する夏期に個体数が最大になるのは各海域とも共通である。

その一方で2種の違いとして考えられているのは、摂餌生態である。ウスカワミジンコは先に述べたように、背甲内側に環境水を吸い込み、内部にある胸脚により餌を濾し取って食べる。過摂餌を行う。一方、トゲナシエボシミジンコは背甲の殻から胸脚が露出しているため、水流を発生させるようなる過摂餌はせず、胸脚で直接餌を捕まえる捕獲型の摂餌をする（Kim *et al.* 1989）。これら2種について餌の嗜好性は詳しく判明していないのだが、ウスカワミジンコは小型の植物プランクトンや運動性のある鞭毛藻をろ過摂餌できるのに対して、トゲナシエボシミジンコは動き回る鞭毛藻を捕まえるのは苦手であり、運動性の無い珪藻を好むことが考えられる。このように、対象とする餌が異なるため、餌をめぐる競争が軽減されていて、同時期に同所的に分布していても共存できているのかもしれない。

（松浦弘行）

## 4 冬期の優占プランクトン

### カイアシ類の出現種と季節変化

東幡豆沿岸において枝角類に次いで個体数が多かったのは、カイアシ類である。特に枝角類が減少した後の冬期から春期にかけては、メソ動物プランクトン群集でカイアシ類が優占して出現する。内湾においても潮通しの良い海域であれば、年間を通してプランクトンネットで最も多く採集できるメソ動物プランクトンは、カイアシ類であることが普通である。しかし、東幡豆沿岸では春期から初冬にかけての半年間は、カイアシ類の個体数を凌駕するほどに枝角類が優占しており、カイアシ類が優占するのは枝角類が減少する期間だけであった。このことは内湾性の強い三河湾、あるいは東幡豆沿岸の特徴だろう。

東幡豆沿岸からは、カイアシ類は22種が出現した。これらの種類は、東京湾（野村・村野 1992、伊東・青木 2010）や瀬戸内海（Hirota 1979）、伊勢湾（Sekiguchi 1978）でも出現する内湾性、沿岸性のカイアシ類がほとんどであった。東京湾では45種、瀬戸内海では65種、伊勢湾からは53種が報告されており、ほかの内湾に比べて東幡豆沿岸の出現種数は少ない。その理由としては三河湾が比較的閉鎖性の強い湾であることと、東幡豆沿岸の採集場所が岸から近い沿岸域であるた

めに外洋性種があまり出現しなかったことが考えられる。

22種のうちで数多く出現する主要な種は、カラヌス目のアカルチア・エリスレア (*Acartia eythraea*)、アカルチア・ハドソニカ (*A. hudsonica*)、アカルチア・オオモリイ (*A. omorii*)、アカルチア・シンジエンシス (*A. sinjiensis*)、カラヌス・シニカス (*Calanus sinicus*)、セントロパジェス・アブドミナリス (*Centropages abdominalis*)、セントロパジェス・テヌイレミス (*Centropages tenuiremis*)、パラカラス・パルバス (*Paracalanus parvus* s.l.)、シュードディアプトムス・マリヌス (*Pseudodiaptomus marinus*) およびテモラ・タービナータ (*Temora turbinata*)、キクロプス目のオイトナ・ダビサエ (*Oithona davisae*) とオイトナ・シミリス (*O. similis*)、ポエキロストム目のコリケウス・アフィニス (*Corycaeus affinis*) の13種である。そのほかの9種は分布密度が非常に低く、稀にしか出現しない。なお、カイアシ類には和名が付けられている種は少数しか存在しないため、本書では学名のカタカナ表記で統一する。

カイアシ類は一年を通していずれかの種類が出現したが、常に出現するような種は存在せず、強いていえばパラカラス・パルバスの出現頻度が年間を通じて最も高かった。しかし、カイアシ類の主な出現種とその個体数は季節的に変化しており、特に個体数が多く出現する時期に基づいて、三つのグループに分けることができる(表1)。

ひとつは夏期の短期間に多くなるグループで、アカルチア・シンジエンシス、セントロパジェス・テヌイレミスおよびオイトナ・ダビサエの3種であり(写真5a~c)、6~10月に出現して7月頃に個体数が最大となる。これらの3種は沿岸・内湾性であり、他海域でも夏期に出現する

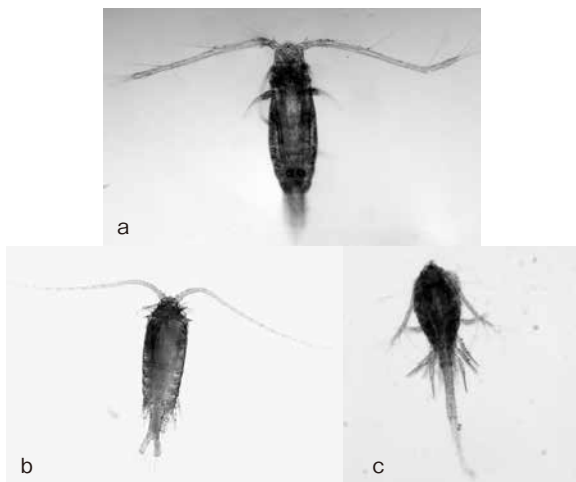


写真5 夏期に多いカイアシ類 (撮影: 松浦)

a: アカルチア・シンジエンシス b: セントロパジェス・テヌイレミス c: オイトナ・ダビサエ

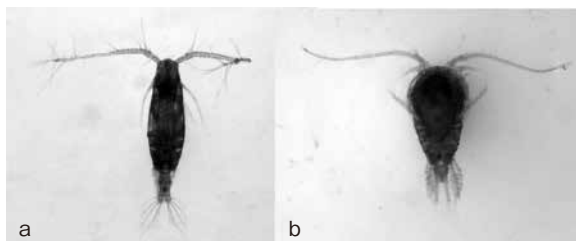


写真6 夏~秋期に多いカイアシ類 (撮影: 松浦)

a: アカルチア・エリスレア b: テモラ・タービナータ

表1 東幡豆沿岸における主要なカイアシ類の出現時期。

○は出現した月を、◎は個体数が多い月を示す

出現種	月											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
夏期に多い												
アカルチア・シンジエンシス						○	◎	○	○			
セントロパジェス・テヌイレミス						○	◎	◎	◎	○		
オイトナ・ダビサエ						○	◎	○	○	○		
夏~秋期に多い												
アカルチア・エリスレア							○	◎	◎	○	○	○
テモラ・タービナータ								○	◎	○	○	○
冬期(前半)に多い												
パラカラヌス・バルバス								○	○	○	○	◎
シュードディアプトムス・マリヌス												◎
コリケウス・アフィニス											○	◎
オイトナ・シミリス										○	○	◎
冬期(後半)に多い												
セントロパジェス・アブドミナリス						○	◎	◎	○			○
アカルチア・ハードソニカ						○	◎	◎	○			○
アカルチア・オオモリイ						○	◎	◎	○			○
カラヌス・シニカス						○	◎	○	○			○

ことが知られている。東幡豆沿岸では枝角類のウスカワミジンコとトゲナシエボシミジンコが同じ出現時期であるため、圧倒的な個体数に達する両種の陰に隠れているが、これらのカイアシ類も海水温の上昇とともに出現する。年によって最大密度は変化するが、オイトナ・ダビサエが最も多く、アカルチア・シンジエンシス、セントロパジェス・テヌイレミスの順に多かった。二つ目は夏~秋期に多いグループで、アカルチア・エリスレアとテモラ・タービナータの2種であり(写真6a・b)、7~12月に出現して9月頃に個体数が最大になる。ひとつ目のグループよりも出現が少し遅く、晩秋まで出現し続ける。2種とも熱帯~温帯域の内湾性の種類であり、夏~秋に出現す

ることが知られている。毎年アカルチア・エリスレアの方が多かったが、テモラ・タービナータの方が高密度となる年もあった。

三つ目は冬期に多く出現するグループで、多くの種類が含まれる。このグループは個体数がピークになる時期でさらに2つに分けることができる。冬期前半(12～1月)の短期間に多く出現するのは、パラカラヌス・パルバス、シュードディアプトムス・マリヌスおよびコリケウス・アフィニス<sup>2</sup>の3種である(写真7a-c)。また、10～2月頃までの長い期間に出現し、この期間に最大になるオイトナ・シミリスも含まれる(写真7d)。これら4種のうちでパラカラヌス・パルバスは最も個体数が多く、長期間にわたって出現し続けて12月に最大となる。シュードディアプトムス・マリヌスも12月に個体数が多く、特に2010年12月はパラカラヌス・パルバスと同じ位まで増加した。コリケウス・アフィニスは前2種よりも少ないものの、毎年12月頃に個体数は最大となり、2010年1月に高密度となった。オイトナ・シミリスは毎年12～2月に最大となり、2010年は2月に最も多くなった。まとめると、これら4種がこの時期の覇権を争っている、年によって優占する種が変化しているようである。

冬期後半の2～3月に多いのは、セントロパジェス・アブドミナリスとアカルチア・オオモリイ、アカルチア・ハドソニカの3種である(写真7e-g)。また、1～3月のうちでひと月の間だけ多く出現するカラヌス・シニカスも、このグループに近い種である(写真7h)。セントロパジェス・アブドミナリスは約1万個体 $\setminus$ 日<sup>2</sup>と非常に高密度で出現した年もあったが、通常は一ヶ月程度の短期間に数千個体 $\setminus$ 日<sup>2</sup>まで増加する。しかしピーク時以外の月は多くても数百個体 $\setminus$ 日<sup>2</sup>程度

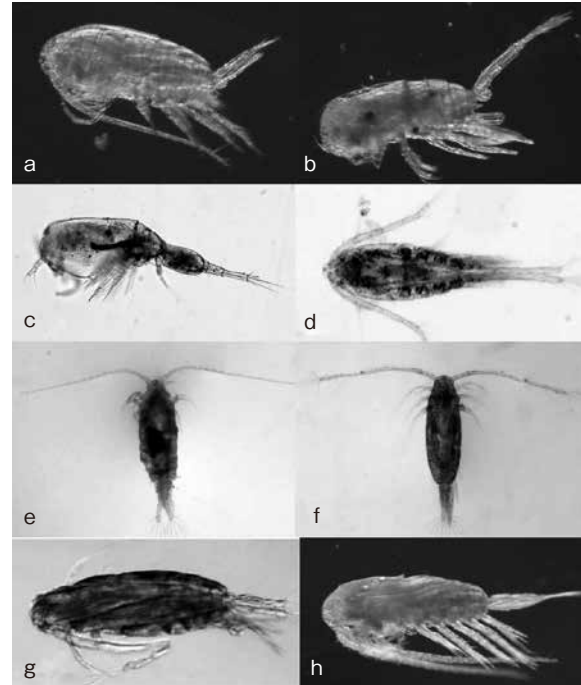


写真7 冬期に多いカイアシ類 (撮影：松浦)

- a: パラカラヌス・パルバス b: シュードディアプトムス・マリヌス  
 c: コリケウス・アフィニス d: オイトナ・シミリス  
 e: セントロパジェス・アブドミナリス f: アカルチア・ハドソニカ  
 g: アカルチア・オオモリイ h: カラヌス・シニカス

である。アカルチア・オオモリイとアカルチア・ハドソニカの2種は11月頃から少数が出現し始めて、3月に最大となり、ともに約千個体 $\times$ 日<sup>3</sup>に達する。カラヌス・シニカスは前3種よりも個体数は少なく、この時期に増加した。

冬期に個体数が多くなるこれらのカイアシ類は、夏・秋期の優占種である枝角類が消失しているために、この時期の東幡豆沿岸におけるメソ動物プランクトンの優占種になる。各種の個体数が多くなるのは一〜二ヶ月の短期間であることが多く、主にバラカラヌス・バルバス、セントロパジエス・アブドミナリス、アカルチア・オオモリイとアカルチア・ハドソニカの順に優占種が交替していく。その後は、夏期にかけてオイトナ・ダビサエが、秋期にかけてアカルチア・エリスレアが優占する傾向にある。

#### カイアシ類の増殖方法と種間関係

カイアシ類の主要な出現種のうち、カラヌス・シニカスとバラカラヌス・バルバスは沿岸域の表層に分布する種であり、内湾で特異的に大量に出現することはない。これらの種類では受精卵の発生が早く進み、水中に放出されてまもなく幼生が孵化する。このような受精に続いて発生が進む卵を急発卵と呼び、カイアシ類全体では一般的な再生産のやり方である。

一方で、カイアシ類の一部の種類ではこの急発卵と、枝角類のように生息環境が悪化する時期を乗り越えるために作り出す休眠卵の2種類の卵を産み分けることが知られている。東幡豆沿岸から出現した主要な種のほとんどは内湾性の種であり、そのうちアカルチア属の4種、セントロ

パジエス属の2種は休眠卵を産生する。枝角類と同じように、恐らく水温や光などの環境条件が満たされると、海底上のカイアシ類の休眠卵が目覚まして出現したと考えられる。夏期から多く出現したアカルチア・シンジエンシスとアカルチア・エリスレア、セントロパジエス・テスイレミスは水温が上昇することで、また冬期に多く出現したアカルチア・ハドソニカとアカルチア・オオモリイ、セントロパジエス・アブドミナリスは水温が低下することで、孵化が促される休眠卵であると考えられる。

しかし、カイアシ類は枝角類のような単為生殖をしないので、孵化してから成体となって再生産するまでに、枝角類に比べて時間を要する。さらに枝角類は成体と同じような形態で孵化する直接発生だが、受精卵から孵化したカイアシ類は、まずノープリウス幼生と呼ばれる成体とは異なる形態の幼生として生まれるのが普通である。ノープリウス幼生は浮遊生活をしながらか成長し、今度は成体に似た形態をもつが体の構造が完成していないコペポデイド幼生として生活する。コペポデイド幼生が成長して5回脱皮するとようやく成体となる。この時に初めて成熟した雌と雄として受精卵を作るので時間がかかるのである。そのためカイアシ類は休眠卵の孵化後に爆発的な個体数の増加を示すことはない。

一般的に同じ分類グループ、特に同じ「属」に含まれる種は、形態が似ている近縁種の集まりである。進化系統学上で非常に近い関係の2種類、つまり特に形態が似ている種類を姉妹種と表現したりする。近縁種であればあるほど、同じような生態を示すことが多い。しかし姉妹種といっても別の種なので、互いは生存するための競争相手である。同じ場所、同じ時期に出現してしま

うと、餌を奪い合う競争相手になってしまい、どちらかが（あるいは双方が）絶滅してしまう。回避する方法としては、異なる餌を食べるようにするか、異なる場所で生活するか、あるいは出現する時期をずらせば良いのである。

東幡豆沿岸に出現したセントロパジェス属の近縁種である2種は、みごとに発生時期を夏期と冬期で分けており、セントロパジェス・テヌイレミスは夏期に、セントロパジェス・アブドミナリスは冬期後半に多く出現している。また、夏期に出現するアカルチア属の近縁種であるアカルチア・シンジエンシスとアカルチア・エリスレアは少しの違いではあるが、7月と8〜9月にそれぞれ別の個体数のピークを示しており、時期をずらして出現することで競争を回避できている。

冬期に出現するアカルチア・ハドソニカとアカルチア・オオモリイは形態が非常に似ている姉妹種である。これら2種の出現時期はほぼ同じであったが、アカルチア・ハドソニカはより低塩分を好むことや、ほかの湾では出現時期が少しずれたり、湾奥部に偏って出現する傾向が知られている（上田 2001）。今回の調査では東幡豆沿岸の狭い範囲から採集しただけであるが、三河湾を広範囲で調査できれば、これら2種の水平的な分布様式が判明して、異なる分布を示すかもしれない。2種の分布域が重複していたとしても、その中心が異なれば競争は軽減されるため、同時期の出現は可能である。

（松浦弘行）

## 5 小さな通年優占種

### 小型カイアシ類 オイトナ属

東幡豆の調査で出現したカイアシ類のうち、多くの種類はカラヌス目という分類群に属している。カラヌス目以外には、キクロプス目、ソコムジンコ目、ポエキロストム目、モンストリラ目が出現した。このうち主要な出現種として扱った、オイトナ・ダビサエとオイトナ・シミリスはキクロプス目に属するカイアシ類である（写真5c・7d）。キクロプス目は寄生種も含まれるが、多くは陸水性プランクトンで、湖沼や池などに分布するカイアシ類はこのグループである。キクロプス目のオイトナ科というグループは、ほとんどが海産種で構成され、そのうち、オイトナ・ダビサエとオイトナ・シミリスは日本の沿岸・内湾域で優占して出現する種である。オイトナ属カイアシ類（体長0・5〜0・6 mm）は、カラヌス目カイアシ類（体長0・6〜0・9 mm）などよりも、さらに小さなプランクトンである。

実は、これまで紹介してきた内容は、プランクトンを採集する際に使うネットの大きさ（網目）が0・3 mmのもので得られた結果である。そのため大きさが0・3 mm以下のプランクトンは水と一緒に抜け出してしまい、ネット内にとどまることは少ない。体長1 mmのカイアシ類であれば、



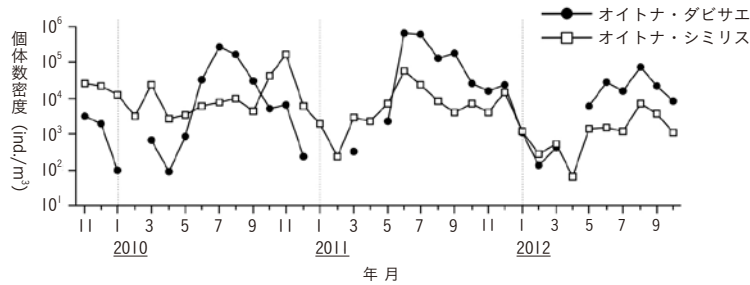


図3 東幡豆沿岸におけるオイトナ属カイアシ類2種の個体数の季節変化

に比べて非常に多かった(図3)。6~10月の水温が20℃以上の期間に1万個体 $\setminus$ 日以上の高密度になって優占種となり、特に6~8月の夏期に多かった。東京湾においても本種は同じ位の高密度で分布することがあり、水温とクロロフィルa量の上昇、塩分の低下にともない個体数が増加することが示唆されている(伊東・青木2010)。東幡豆沿岸においても、この時期は降雨の影響で塩分が低下することが多く、出現状況は一致していた。

もう一方のオイトナ・シミリスは世界の温暖域から極域に広く分布し、貧栄養な外洋域にも出現する種である。また日本各地の沿岸・内湾域に多く分布し、特に亜寒帯域では優占することがあり、幅広い水温・塩分範囲で生存できることが知られる。東幡豆沿岸において本種は一年を通じて約数千~数万個体 $\setminus$ 日、年平均で約1~3万個体 $\setminus$ 日で出現し、オイトナ・ダビサエと同じように6~10月の夏期に多かった。一方、本種は水温が低い11~1月にも多く出現し、特に2010年11月には約16万個体 $\setminus$ 日で分布していた。水温が低い11~5月にオイトナ・ダビサエは少なくなるが、オイトナ・ダビサエとオイトナ・シミリスの争い

その体幅は0.3mm前後であることが多く、このネットでは採集されるか、抜け出ているかは微妙な大きさであるため、一概にその生物の採集量や出現状況を評価することはできない。そこで網目の細かなネット(網目が0.1mm)で採集したオイトナ属カイアシ類の出現状況をここでは紹介する。

東幡豆沿岸において、小型カイアシ類のオイトナ属は多い時には60万個体 $\setminus$ 日を越すほどの莫大な個体数で分布していた。西尾市の人口は約17万人(2015年時点)なので、その約3.5倍の数が1m四方の海水中で生活していることとなる。いかに莫大な数かわかるだろう。数多く出現したのはオイトナ・ダビサエとオイトナ・シミリスであったが、ほかにもオイトナ・ナナ(Oithona nana)、オイトナ・オキユラータ(Oithona oculata)およびオイトナ・プルミフェラ(Oithona plumifera)も個体数は少ないが稀に出現した。オイトナ・ダビサエとオイトナ・シミリスは前述したように主に夏期と冬期に数多く出現する特徴をもつが、ほぼ通年出現していた。網目が0.3mmのプランクトンネットでは抜け出ている、個体数がピークの時だけ採集できていたのであろう。

#### オイトナ・ダビサエとシミリスの争い

オイトナ・ダビサエは日本の南西部の沿岸・内湾域に分布し、特に富栄養化した内湾では夏期に大量に増殖する。東幡豆沿岸において本種は1~2月に出現しないことがあったが、それ以外の時期には約数千~数万個体 $\setminus$ 日、年平均で6万個体 $\setminus$ 日で分布しており、中型カイアシ類

トナ・シミリスは出現し続ける。

日本の温帯域の沿岸・内湾域では、これら2種は同所的に出現することが知られている。一般的にオイトナ・ダビサエは、夏期から秋期にかけて湾奥部ではオイトナ・シミリスよりも多く出現し、オイトナ・シミリスは冬期から春期に湾の外側を中心に分布する。2種ともに生息可能な水温範囲は広く、東幡豆沿岸では一年を通じて生息が可能であるが、より内湾性が強く温帯性のオイトナ・ダビサエと、分布域が比較的広く亜寒帯にも生息できるオイトナ・シミリスでは、増殖に好適な水温・塩分帯が微妙に異なるのかもしれない。東幡豆沿岸では冬期に水温は10℃以下まで冷え込むので、この時期はオイトナ・ダビサエにとっては生息しづらい環境であり、大きく個体数を増やすことはできない。一方、オイトナ・シミリスは個体数が増えるわけではないが、変わらず生息できることで、晩秋・春期に優占するのであろう。

オイトナ・シミリスは、植物プランクトンの珪藻類は摂餌せず、繊毛虫類や渦鞭毛藻（渦鞭毛虫）といった小型の原生動物を摂餌する (Nishibe *et al.* 2010)。一方、オイトナ・ダビサエは渦鞭毛藻（渦鞭毛虫）をより嗜好すると考えられているが (Uchima and Hirano 1986)、『小型珪藻が消化管から見出されることもある（大塚ほか 1999）』つまり、オイトナ・ダビサエは、環境水中に豊富に存在する適当なサイズのことを摂餌する、いわゆる日和見的な摂餌生態を示すことが考えられている。

東幡豆沿岸では小型カイアシ類のオイトナ属2種が夏期と冬期に多い傾向を示し、中型カイアシ類に比べて、莫大な個体数でほぼ通年出現していた。三河湾で発生する赤潮の原因種は渦鞭毛藻であることが多く、彼らが積極的に利用できる餌が豊富に存在することになる。そのため、春期から水温が上昇するに当たって大発生する渦鞭毛藻をうまく利用して、莫大な密度まで個体群を増やせているのであろう。また、2006年以降は、以前に比べて渦鞭毛藻による赤潮の発生が減少し、珪藻によるものが増えているとの報告がある（中嶋ほか 2014）。赤潮を形成する植物プランクトンの種類がバラエティーに富むことは、日和見的な摂餌ができるオイトナ・ダビサエにとってさらに有利に働くだろう。

まとめると、これら2種は同所的に出現するものの、分布域と生息（増殖）に好適な水温・塩分範囲が少しずつ異なるため共存できるようである。両種の好適条件が重なる時期・場所では、日和見的に環境中の餌を利用できるオイトナ・ダビサエが優位にたっていると思われる。また、東京湾では海洋環境の移り変わりによって、1940年代まではオイトナ・シミリスが主要な種であったが、1970年代以降に減少し、入れ替わるようにオイトナ・ダビサエが主要な種となって現在に至っている（野村 2011）。もしかしたら、三河湾や東幡豆沿岸におけるこれら2種は、覇権争いの真つ最中なのかもしれない。

動物プランクトンとひと括りにしても、東幡豆沿岸には様々な種類が生息している。三河湾は流量の大きい河川を複数抱え、平均水深が浅いので、海水温と塩分の変動幅は、外洋域はもちろんのこと、隣の伊勢湾や東京湾などと比べても大きく、それらの影響は海底まで及ぶ（1章1）。そのため、動物プランクトン個体数の増減や再生産は、水温や塩分などの環境要因によって制限



写真8 卵塊を抱えて泳ぐオイトナ属カイアシ類 (撮影：松浦)

鎖の仲介者として重要な働きをしている。

中型カイアシ類の多くは卵を放出するタイプが多く、それらのうち冬期に多く出現する一部の種類は春期に休眠卵を産出し、夏期を休眠卵として海底上で過ごす。つまり幼生や成体では生息しづらい高水温の時期を休眠卵でやり過ごす戦略なのである。しかし、三河湾では夏期に貧酸素水塊が海底に発生するため(1章1)、休眠卵は低酸素状態にさらされてしまう。休眠卵は環境の悪化に耐えることができるとはいえ、溶存酸素が少ない状況では、孵化率は低くなる。そのため貧酸素水塊に長期間覆われる海底上の休眠卵は、その後、全てが孵化することはむしろかしく、貧酸素を免れた三河湾の一部の海域に存在する休眠卵だけが生き残り、孵化することで個体群が

維持されていると考えられる。

また、夏期から秋期に出現するカイアシ類は、幼生や成体として貧酸素水塊の上層を浮遊して過ごすことで低酸素状態から逃れることができるが、放出した急発卵が沈降して海底に達した場合には影響を受けてしまい、卵の発生は阻害される。そのため、貧酸素水塊が広範囲、または長期間に発生した年は、その次の世代のカイアシ類個体群が大きな増加を示すことはできないと思われる。

一方で、オイトナ属カイアシ類の雌は卵塊を体に付着させながら遊泳し、そこから幼生が孵化するタイプである(写真8)。そのため海底の貧酸素水塊に卵が影響されることは少なく、次の世代が無事に生まれることができる。このような再生産の仕組みにおいても、オイトナ属は三河湾の現状に適合しているため、莫大な個体数で分布しているのであろう。

三河湾の特に奥部では、ほぼ毎年のように夏期〜秋期にかけて広範囲の海底が貧酸素水塊に覆われてしまうが、東幡豆沿岸のように一時的に貧酸素になるものの無酸素化しない環境が残されていることは(1章1)、これらの動物プランクトンにとっては卵が生残するチャンスを提供している貴重な場所であるといえる。湾奥や中央部で海底上の卵が貧酸素水塊の影響を受けたとしても、周辺に残された卵から発生した動物プランクトンは、三河湾全体に徐々に広がって、三河湾全体の個体群を維持しているのかもしれない。

(松浦弘行)

## 参考・引用文献

- Hirota, R. (1979) Seasonal occurrence of zooplankton at a definite station off Mukashima from July of 1976 to June of 1997. Publ. Amakusa Mar. Biol. Lab. 5, 9-17.
- 伊東宏・青木延浩 (2010) 東京湾における浮遊性カイマン類の時空間的分布——1990年代初頭の湾奥における季節的消長。日本フランクトン学会報, 57号, 94-104頁。
- Kim, S.W., T. Onbe and Y.H. Yoon (1989) Feeding habits of marine cladocerans in the Inland Sea of Japan. Mar. Biol. 100, 313-318.
- 中嶋康生・山田智・戸田有泉・二ノ方圭介 (2014) 2006年以降の三河湾における赤潮発生状況の急激な変化。愛知水試研報, 19号, 10-15頁。
- Nishibe, Y., T. Kobari and T. Ota (2010) Feeding by the cyclopoid copepod *Oithona similis* on the microplankton assemblage in the Oyashio region during spring. Plankton Benthos Res. 5(2), 74-78.
- 野村英明 (2011) 動物プランクトン。東京湾——水と自然のかかわりあいの再生。東京湾海洋環境研究委員会編「恒星社厚生閣」東京、全309頁。
- 野村英明・村野正昭 (1992) 東京湾における中大型動物プランクトンの季節的消長。La mer. 30号, 49-56頁。
- 遠部卓 (1974) 枝角類の生態に関する研究。広島大学水畜産学部紀要, 13巻1号, 83-117頁。
- 大塚 攻・大谷修司・清家 泰・國井秀伸・西田周平 (1999) 中海における動物プランクトン、特にカイアシ類の食性について。LAGUNA, 6号, 89-105頁。
- 佐藤勇介 (2010) 東京湾における海産枝角類群集の長期変動。東京海洋大学修士学位論文, 全66頁。
- Sekiguchi, H. (1978) Biology of cladocerans and copepods in Ise Bay, central Japan — I. Seasonal cycles of the dominant species. Bull. Fac. Fish. Mie Univ. 5, 12-23.
- 高見明宏 (1991) 渥美湾底土中における海産枝角類 *Penilia avirostris* 耐久卵の経年変動。日本プランクトン学会誌, 38巻1号, 25-31頁。
- Uchima, M. and R. Hirano (1986) Food of *Oithona davisae* (Copepoda: Cyclopida) and the effect of food concentration at first feeding on the larval growth. Bull. Plankton Soc. Japan. 33, 21-28.
- 上田拓史 (2001) 内湾性カイマン類の生態。月刊海洋号外, 27号, 96-104頁。

### 3 藻場

#### 1 海藻・海草とは

海藻・海草といった海産大型植物は、単細胞の植物プランクトンとともに、沿岸生態系における主要な生産者となっている。海産大型植物の「群落」と「藻場」は、ほぼ同じ意味で用いられることが多いが、厳密には少し異なる。群落は、ある一定の範囲にまとまって生育する植物個体の全体と定義され、「植物そのもの」を示す。一方、藻場は、(複数のあるいは広大な) 群落が存在する広がりをもった「場(空間)」を意味する(新井 2002)。海藻・海草の群落(あるいは藻場)は、魚類や様々な無脊椎動物の隠れ家や住処として、また底質の安定化や酸素の供給など環境形成の面において重要な役割を果たしている(海)の自然再生ワーキンググループ 2003)。

海藻は、生物学的には藻類という原始的な生物群であり、高等植物のように根・茎・葉といった組織の分化が進んでいない。主に岩礁や転石帯に分布して、附着器と呼ばれる根のような部分

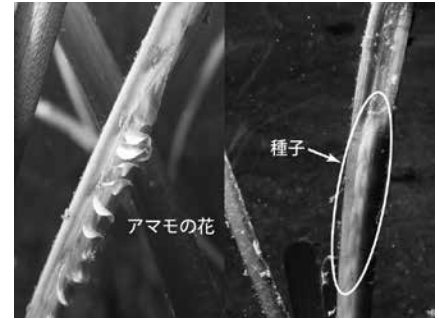


写真1 アマモの花と種子 (撮影: 松永)

で岩などに張り付いている。海藻は、緑藻類、褐藻類、紅藻類の3グループに大別される。これらは、門または綱レベルでまとまったグループであり、見た目の体色(主要な光合成色素)に基づいた名称となっている。

一方、海藻は、陸上に進出・適応した種子植物のうち、再び海に戻った一群である。海藻は、全ての種が、イネ科と同じ单子葉類の草本である。本州沿岸ではアマモが代表的な種類であり、主に砂泥域に分布し、花を咲かせて種子でも増えるが(写真1)、地下茎の分枝・伸長によって無性的にも増えることができる。亜熱帯域の南西諸島で種類が多く、リュウキュウスガモ、ウミシヨウブ、ウミヒルモなどが分布しており(大場・宮田2007)、アオウミガメやジュゴンなどの主食となっている。北海道周辺では、波あたりの強い岩礁にも茎を這わせて生育するスガモが分布している。

藻類ではなく、種子植物に属する海藻の場合にも、「藻場」という用語が適用されるのは次のような理由がある(新井2002)。日本では昔から水中に生育する植物全般を「藻」と呼んでいる。つまり、「藻場」における「藻」は、生育様式によって定義される「藻」であり、分類学上のグループである「藻類」ではない。海藻のアマモやウミヒルモの「モ」は「藻」に由来している。

海藻・海草は、見た目が地味であり、あまり動かないので、自然観察教室などでも子供たちが関心・興味を示すことは少ない。次節以降では、生態系における彼らの役割、幡豆沿岸における分布状況、代表的な種類の特徴などを紹介する。読者の皆さんには、彼らの重要性和魅力について少しでも理解を深めていただければ幸いである。(松永育之・種倉俊之・吉川尚)

## 2 幡豆沿岸における藻場の分布状況

三河湾では、高度経済成長期における、富栄養化による透明度の低下や、埋め立てなどともない、藻場は大きく減少した。三河湾全体のアマモ場面積は、1941年以前には101.4km<sup>2</sup>であったが、1955年には79.4km<sup>2</sup>と減少し、1970～1971年には5.6km<sup>2</sup>と激減、さらに2001年の藻場・干潟環境保全調査では2.5km<sup>2</sup>にまで減少していた(阿知波2009)。そのようななか、幡豆沿岸は、前島や沖島の周囲を始め、天然海岸が比較的残されており、磯(岩礁や転石帯)には海藻藻場、浜(砂浜・干潟)にはアマモ場がみられる。ここでは、幡豆沿岸における藻場の分布状況について、筆者らが2009年7月と2010年4月に、船舶及びスクーバ潜水による目視調査を行った結果を紹介する。

海藻藻場は、寺部海岸、ナギソ岩付近等で確認された(図1、ここではガラモ場〔後述〕のみ示してある)。ただし、海藻類の着生基質となる岩礁や転石帯の大部分は海岸線から十数mの範囲内に限られ、沖合はすぐに砂泥底になるために、海藻群落の規模は総じて小さい。幡豆にお

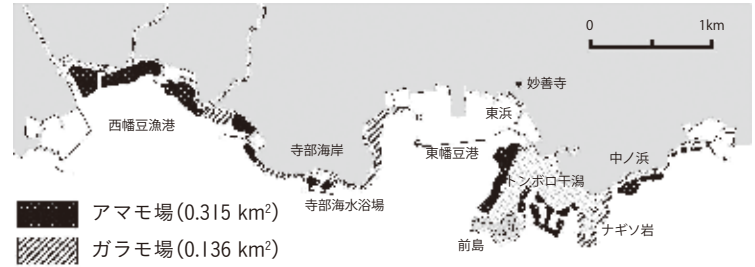


図1 幡豆沿岸におけるアマモ場とガラモ場の分布図

る海藻藻場の構成種については、次節で述べることにする。

一方、アマモ場は、寺部海水浴場、トンボロ干潟周辺、中ノ浜、幡豆港で確認された(図1)。特に、トンボロ干潟周辺のアマモ場は比較的規模が大きく、密生度が高かった。また、トンボロ干潟の前島付近の波打ち際には、小規模ながらコアマモの群落もみられた。コアマモは、アマモよりも浅い場所(潮間帯下部)に分布するため、護岸工事などの影響をより受けやすい海藻であるが、トンボロ干潟はその貴重な生息場となっていた。

トンボロ干潟の西側には干潟を維持するための石塁が存在するが、その石塁がアマモ場分布の境界線となっていた。アマモ場は一般に流れが緩やかな海域に形成され(海の自然再生ワーキンググループ 2003)、石塁の存在がアマモ場の維持にも寄与していたことが推察される。逆に、アマモ場の存在により、葉部が海水の流動を抑え静穏状態となる。また地下茎や根による干潟土壌の安定といった効果もある。これらのことから、干潟とアマモ場が安定して存続していくためには、互いの存在が重要であると言える。

また、アマモ場が流れを緩やかにすることによりアサリ浮遊

幼生の着底を促進する効果が指摘されている(鷺山ほか 2005)。実際に、幡豆のトンボロ干潟を始め、三河湾沿岸の他の干潟や、浜名湖、北海道の厚岸湖の干潟など、アマモ場が近くに存在する干潟は、アサリの好漁場となっている。アマモ場の存在が、漁場生産性の向上に寄与していることは、漁業者の多くも経験的に実感している。ここ幡豆でも、幡豆漁協と東幡豆漁協の組合員を中心に設立された「幡豆地区干潟・藻場を保全する会」により、アマモ場の復元・保全活動が行われている。幡豆港内で確認されたアマモ群落は、主にこの任意団体の移植によって再生されたものである。

筆者らが行った調査により、幡豆沿岸には2009～2010年時点で0・315 km<sup>2</sup>ものアマモ場が残されていることが明らかとなった。これは、2001年における三河湾全体のアマモ場面積(2・5 km<sup>2</sup>、阿知波 2009)の12・6%にも相当する。ただし、三河湾のほかの沿岸域でも詳細な調査を実施すれば、実はまだ残されているアマモ場が存在し、この割合は変わる可能性がある。いずれにせよ、現状を正確に把握することが、今後アマモ場の保全策を検討する上での出発点となる。

では、三河湾でアマモ場が減少した主な要因は何であろうか? 様々な要因が複雑に影響するために特定するのは難しいが、埋め立て等の生息域の直接的な破壊を除くと、透明度の低下が主な要因の一つと考えられる。

三河湾では、透明度の低下とアマモの生育水深は、1955年前後では水深約5 m以浅であったのに対し、三河湾におけるアマモの生育水深は、

表1 幡豆沿岸で確認された海藻類(計3綱16目40種)

緑藻綱; 計4目7種
アオサ目(ボウアオノリ、ウスバアオノリ、アオサ属の一種)
シオグサ目(シオグサ属の一種1、シオグサ属の一種2)、ミル目(ミル)
ハネモ目(ハネモ属の一種)
褐藻綱; 計6目9種
アミジグサ目(アミジグサ)、ナガマツモ目(ネバリモ、シワノカワ)
カヤモノリ目(フクロノリ、カヤモノリ)、ウルシグサ目(ケウルシグサ)
コンブ目(ワカメ)、ヒバマタ目(アカモク、タマハハキモク)
紅藻綱; 計6目24種
サンゴモ目(ビリヒバ)、テングサ目(ヒメテングサ、マクサ、オバクサ)
スギノリ目(イソダンツウ、フクロフノリ、マフノリ、カイノリ、スギノリ、ウツロムカデ、サクラノリ、フダラク、ヒラムカデ、キョウノヒモ、コメノリ、イバラノリ、オキツノリ)
オゴノリ目(オゴノリ)、マサゴシバリ目(コスジフシツナギ)
イギス目(ハネイギス、ケイギス、ミツデソゾ、キブリイトグサ、イトグサ属の一種)

注) 分類・種名は、『吉田忠生・吉永一男: 日本産海藻目録(2010年改訂版)』による。

### 3 海藻類の構成種

幡豆沿岸には様々な種類の海藻がみられる。筆者らが2013年7月と2014年4月に、寺部海岸で行った潜水調査によると、緑藻7種、褐藻9種、紅藻24種の計40種が確認された(表1)。これらのうち、ヒメテングサ、イソダンツウ、フクロフノリ、マフノリなどは、潮間帯の上部から中部にみられ、潮下帯に比べると温度や乾燥等の環境変化が激しく、波浪の影響も大きく受ける場所に生育していた(写真2)。

潮下帯には、ワカメやアカモク、タマハハキモクなどの大型海藻(写真3)、マクサやオバクサなどの小型海藻がみられる(写真4)。幡豆では、ワカメの天然個体を採集し市場に出荷しており、養殖も行われている。褐藻ホンダワラ科に属するアカモク、タマハハキモクは、長さが数mになる大型の海藻であり、それらの藻場はガラモ場と呼ばれる。幡豆の沿岸では、ナギソ岩付近では小規模ながら密な群落がみられたが、多くの場合、数株ごとに点在する程度で、ガラモ場といえるような場所はあまりみられない。

紅藻テングサ科のマクサやオバクサは、幡豆の潮下帯で最も普通にみられる小型海藻で、小規模ながら多数の群落を形成していた。トンボロ干潟の前島側では、荒天後に漂着しているマクサやオバクサを拾うことができる。マクサやオバクサはトコロテンおよび寒天の原料となる海藻であり、かつては幡豆でも自家消費に利用されていたが、現在では手間がかかるのとスパーなどで手軽に購入できるためか、ほとんど利用されなくなってしまった。

着生基質がないと思われる砂浜や干潟において

1970～1971年では約3m以浅と浅くなっている。この間、透明度は、1955年前後の5～6mから、1970年前後では3m前後にまで悪化しており、以降は横ばいで、近年も回復には至っていない(三河湾流域圏会議ウェブサイト)。アマモの生息可能な水深は、透明度の2倍程度までが目安とされており(マリノフォーラム21ウェブサイト)、三河湾のアマモ生育水深と透明度の変遷はおおむねこの目安と一致している。幡豆沿岸における状況は、筆者らが2009年以降に行った調査ではアマモの生育水深が2～4m以浅、透明度も年平均3m程度(松浦私信)と、1970年代以降の三河湾全体と同じ水準であった。(松永育之・種倉俊之・吉川尚)



写真6 貝殻上に生育するアオノリ類 (撮影: 吉川)



写真5 トンボロ干潟に大量に漂着したアオサ類 (撮影: 吉川)

蔵ワカメや乾燥ワカメはすでに加熱処理されており、生ワカメが売られていることは少ない。普通の人々が、緑色のペラペラした膜状の海藻を見れば、ワカメと誤ってしまふのは仕方ないのかもしれない。

アオサ類は、富栄養化した内湾域において大量発生し、緑潮(グリーンタイド)と呼ばれている(能登谷 2001)。従来、日本沿岸におけるグリーンタイドの多くは在来種のアナアオサが原因とされてきたが、近年、外来種のミナミアオサによる事例も報告されるようになってきた(Yabe *et al.* 2009)。ミナミアオサとアナアオサは形態では区別するのが困難である上、両種とも同じ海域で出現する事例も多く、研究・対策を進める上では注意が必要である。

また、トンボロ干潟では、小さな礫(石粒)やアサリなどの貝殻などに、アオサ類と同じ緑藻のアオノリ類、刺身のつまや海藻サラダに使われる紅藻のオゴノリなどがちよこんと付いているのがみられる(写真6)。

以上のように、幡豆沿岸では、海藻類の着生基質の範囲は狭いものの、特徴の異なる様々な種類が確認された。それぞれの



写真2 潮間帯上部に生育するイソダンツウ (撮影: 松永)



写真3 潮間帯下部に生育するタマハハキモク (撮影: 松永)

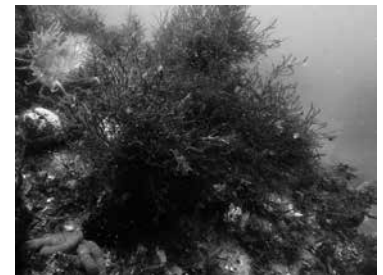


写真4 潮間帯下部に生育するマクサとオバクサ (撮影: 松永)

も、よく観察すると海藻はみられる。トンボロ干潟では、春から夏の高温期になると、緑藻のアオサ類が多数漂着している(写真5)。筆者らが干潟で調査をしていると、アオサ類を見つけた潮干狩り客の家族が、「お母さん、ワカメが沢山!」「あら、ほんとね」などと会話している場面に遭遇することがよくある。しかし、ワカメは褐藻というグループに属し、その名が示す通り生時は茶褐色なので、全く別物である。褐藻が茶褐色なのは、タンパク質と結合して赤色を呈するフコキサンチンというカロテノイド色素と、緑色のクロロフィル(葉緑素)が存在するためである。ワカメを加熱すると、タンパク質が変性してフコキサンチンが橙黄色に変化し、隠れていたクロロフィルの鮮やかな緑色が目立つようになる(西澤 2010)。スーパーで販売されている塩



種類ごとに、生息場所だけでなく、繁茂する季節も少しずつ異なる。一般に本州沿岸の海藻類の多くは冬から春の低水温期に繁茂するが、幡豆でみられたワカメやアカモク、タマハハキモクなどの大型海藻も冬から春が繁茂期である。一方、小型海藻であるマクサやオバクサは、ほかの多くの海藻類が消失する夏を含めて、周年存在している。

さらに、小規模な磯と浜が交互にみられる幡豆沿岸では、海藻場とアマモ場が近接して存在している。幡豆沿岸では、単一種の海産大型植物による大規模群落こそみられないが、多種多様な群落の存在が、海産無脊椎動物の多様性を支えている要素の一つと考えられる。その証拠の一例として、次節では、モロハタマキビと呼ばれる小型巻貝と海藻・海草群落の関係が紹介されている。

(松永育之・種倉俊之・吉川尚)

#### 4 藻場の葉上巻貝類

藻場の巻貝類というと、サザエやアワビのように比較的大型で岩にへばり付いて生活する種類が思い浮かぶかもしれないが、ここではアマモや海藻等の植物体上に生息する小型（多くは殻長1 cm未満）の葉上巻貝類を紹介したい。東幡豆のトンボロ干潟および前島周辺の海藻場やアマモ場では、シマハマツボとモロハタマキビが代表的な葉上巻貝類として確認されている。これら2種の巻貝は、アマモ場で季節によっては非常に多数の個体が認められる。

シマハマツボ（写真7）は、東幡豆沿岸では、夏季の7月よりアマモやテングサ類の葉上に新規加入個体群が出現し始める。新規加入がみられる前の4〜6月の春季には、成貝またはそれに近い大きさの個体がアマモや大型褐藻に比較的多く見られるが、丈が小さく枝が細いテングサ類にはわずかにしか見られない。シマハマツボの繁殖行動や産卵行動に起因する可能性が推測される。新規加入がある夏季には、アマモとテングサ類にきわめて多くのごく小型の個体が確認されるが、夏季に枯死流出する大型褐藻には生息できなくなる。このようにシマハマツボは、アマモのみではなく、同所に生育する海藻などもその盛衰にあわせて上手く利用して生息していることがうかがえる。そうした可能性を直接指摘したわけではないが、シマハマツボの個体数の季節変動をアマモだけでなくテングサ類の葉上でも調べた研究例は

相模湾でもなされている（倉持 2001a,b）。

一方、モロハタマキビ（写真8・9）に関しては、これまで全くと言って良いほどその生態が解明されていなかった。そこで、筆者らは東幡豆沿岸のモロハタマキビ個体群を対象に、シマハマツボよりもさらに踏み込んだ調査研究を行い、貝類学会での発表や論文発表を行ったので、その結果について簡単にふれておく。

生態調査を行うにあたっては、まず、モロハタマキビの分類に関するややこしい問題をクリアしておく必要があった。とい

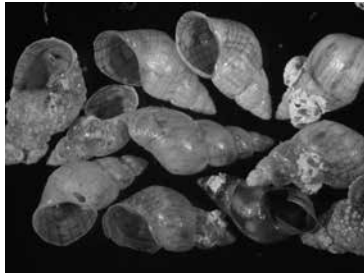


写真7 東幡豆町のアマモ葉上に見られるシマハマツボ (撮影：早瀬)

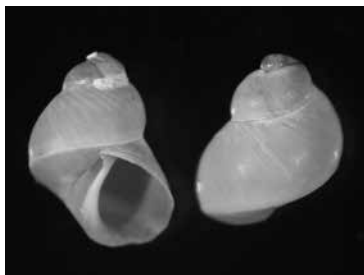


写真11 ヘソカドタマキビ（殻：神奈川県逗子市（逗子海岸）2015.1.28 採取 殻長約5～6mm）（撮影：早瀬）



写真10 東幡豆町のアマモ葉上に見られるモロハタマキビ（殻：2011.12.12 採取 殻長約5mm）（撮影：早瀬）

ている場合が多いことや、三河湾産貝類目録のヘソカドタマキビはモロハタマキビの誤認記録であることなど誤りが多く、この2種に分類上の問題があることが分かった。つまり、東幡豆沿岸の個体群がこれら2種のどちらに相当するのか注意深く検討する必要があるに生じたのである。そこで、それぞれの種の特徴をあらためて見直すと、モロハタマキビは紙のように薄くすぐ壊れそうな殻を持ち、薄い緑色を帯びた淡黄褐色である（写真10）のに対して、ヘソカドタマキビは比較的厚く硬い殻を持ち、色もオレンジ色に近い濃い茶褐色である（写真11）など特徴は大きく異なり、東幡豆沿岸の個体群はモロハタマキビであると同定された。

これまで多くの貝類研究者に混同されていたのは、これら2種の個体数が減少傾向にあるのと共に比較的珍しい種（分類標徴の現れる成熟個体がいつ、どこでも見つかるわけではない種）でもあったためであろう。実際に、これらの標本を所持する人はほとんどなく、筆者らは2種の違いを明らかにするために、貝類研究者・コレクターの方々から標本をお借りし、一年近くもの日数を要してしまった。

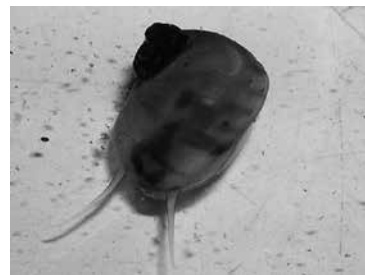


写真8 東幡豆町のアマモ葉上に見られるモロハタマキビ（背面）（撮影：早瀬）



写真9 東幡豆町のアマモ葉上に見られるモロハタマキビ（腹面）（撮影：早瀬）

タマキビ）であるとしている。そこで、筆者らが東幡豆沿岸で採集したモロハタマキビの成熟個体（成貝）の殻の形態を観察してみると、個体間での変異が大きく、典型的なセトウチヘソカドタマキビのような形態から典型的なモロハタマキビとされるものに近い形態まで連続的に変化しており、種を分けるような明確な区切りは認められないことが判った（早瀬ほか2016）。したがって、波部（1958）が提唱したセトウチヘソカドタマキビという種はモロハタマキビの一型にすぎないとする長谷川（2000）の考えを支持するものであった。

これで、セトウチヘソカドタマキビという種を考慮する必要がなくなりほっとしたつかの間、実は、図鑑にモロハタマキビとして図示されている写真には別種のヘソカドタマキビが誤用され

うのは、波部・小菅（1967）は三河湾に生息しているものをモロハタマキビではなく、セトウチヘソカドタマキビという形態が良く似た別種としていた。一方、長谷川（2000）は、セトウチヘソカドタマキビとされていたものは、モロハタマキビの型の一つであり、別種とするほどの違いではなく、同種（モロハ

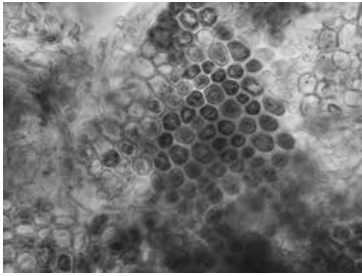


写真13 東幡豆町のモロハタマキビの糞の内容物(アマモの組織)(撮影:早瀬)

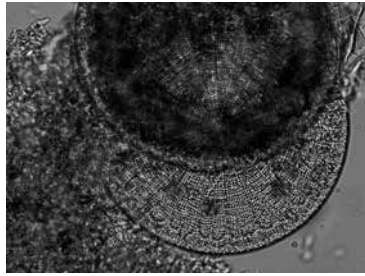


写真12 東幡豆町のモロハタマキビの糞の内容物(珪藻: *Arachnoidiscus japonicus*)(撮影:早瀬)

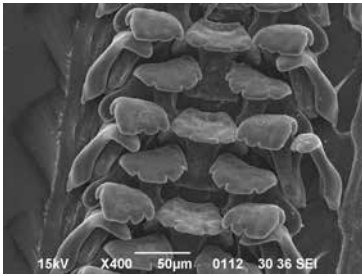


写真15 東幡豆町のモロハタマキビの歯舌(成貝:2012.1.18採取)(撮影:東海大吉川研究室)

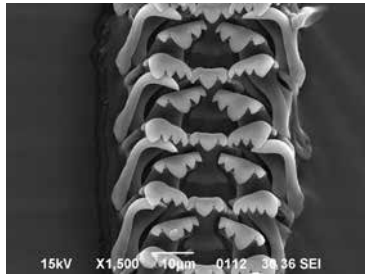


写真14 東幡豆町のモロハタマキビの歯舌(幼貝:2012.7.1採取)(撮影:東海大吉川研究室)

比べて幅広くて長い。殻長1cm近くにまで成長しても十分に生息できるのである。

晩秋以降にモロハタマキ成貝の消化物を顕微鏡で観察すると、付着珪藻類とともにアマモを多く摂餌していることが分かった(写真12・13)。巻貝類は、歯舌と呼ばれる器官を用いて、餌を削り取るようにして食べる。本種の歯舌形状の経月変化を調べたところ、稚貝や幼貝では比較的鋭い歯尖が認められた(写真14)のに対し、アマモをかじって食べるようになる

さて、モロハタマキビの生息場所に関しては、多くの凶鑑などでアマモ葉上とされている。しかし、実際に東幡豆沿岸で数種の海産大型植物を採集して調べたところ、決してアマモ葉上だけに生息する種ではなかったことが明らかとなった。年間を通じた調査により、モロハタマキビ稚貝の新規加入が見られるのは春であること、秋以降に成熟、冬に交尾や産卵を行った後に死滅する巻貝であることが分かった。

このような生活史は、各種海産大型植物、特にアマモの盛衰を上手く利用している可能性が推測された。すなわち、春の稚貝のときは、この時期に繁茂期となる褐藻タマハキモクにおびただしい数(数百〜数千個体)で付着していた。アマモやテングサ類にも見られたが、個体数としては圧倒的にタマハキモクの葉上の場合が多かった。タマハキモクなどの褐藻ホンダワラ類は、細い枝に多数の葉がついた複雑な形状の大型海藻(1〜数mに達する)であるため、非常に小さい稚貝(加入時、殻長0.5mmほど)が多数付着するのに適している。

夏になると、タマハキモクの茎から上部は枯死して流出してしまう。また、アマモも冬〜春にかけて十分成長した株が枯れて、地上部には若い株が丈の低くまばらな状態でしか残らない。モロハタマキビは、夏の間も現存量はあまり減少しないテングサ類の葉上で多く見られた。テングサ類は、丈が小さく枝も細い海藻であるが、モロハタマキビは他の大型植物が少なくなる夏の時期をテングサ類の葉上などでしのいでいると考えられる。

10月以降の秋に水温が低下し、アマモの地上部が再び盛んに生長をし始めると、モロハタマキビはアマモ葉上のみで多く見られるようになる。アマモの葉は、ホンダワラ類やテングサ類等と

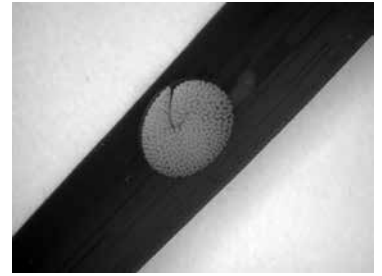


写真 16 東幡豆町のモロハタマキビの卵囊 (撮影：早瀬)

成貝では歯尖が円みを帯びる(写真15)ようになった(早瀬ほか2016)。このような歯舌の形状変化は、成長に伴う生活場所や食性の変化に適応するためと考えられ、モロハタマキビに近い北米産の同属の別種においても同様のことが報告されている(Padilla 1998)。歯舌の形状は、多くの巻貝において種を特定するために最も重要な形質のひとつであるが、その歯舌にいくつものパターンがあるということは、殻の変化に加え、実にやっかいな種である。

冬になると、モロハタマキビはアマモ葉上で成熟し、産卵するようになる。この時期の東幡豆のアマモ葉上には、多数の卵囊が観察された。野外から採取した個体が産卵した卵囊(写真16)を室内で飼育したところ、産卵から約2週間後に孵化して浮遊幼生(プランクトン)となることが分かった(早瀬ほか2016)。浮遊幼生としてしばらく海水中に漂って過ごした後に、アマモやタマハキモクなどの葉上に着底するのである。夏になると、数十m以上離れたテングサ類の群落へと棲みかを変えるわけだが、その時点でもまだ殻長数mmとごく小さく、しかも着底したために遊泳力はほぼゼロの巻貝が、いったいどのようにして移動するのであろうか？

そこで、採取直後のモロハタマキビ稚貝を入れた飼育容器を振り回して激しく水流を起こした後、静置して観察してみた(早瀬ほか2016)。その結果、水流に漂いながら細長い粘液糸を放出し、アマモの葉に絡むと、クモが糸を登るように葉上に戻る行動が観察された。このように粘液糸を利用した浮遊行動は、モロハタマキビと同属の別種でも報告されており(Martel and Chia 1991)、本種においても複数種の海産植物の群落間を移動する際に利用していると推測される。

以上、東幡豆沿岸で行われた調査により、従来は主にアマモ場で生活すると思われていたモロハタマキビが、各種大型植物の季節的な消長に応じて生活場所を変えていることが分かった。また、生息環境となる海藻・海草の変化に呼応して、成長や繁殖を行う時期を合わせ、そのような生活史に伴い歯舌などの形態が変化するように、適応・進化した可能性が考えられる。モロハタマキビの生存と繁栄には、それほど広くない範囲内に、複数種類の大型植物の群落が混在している環境が不可欠であると思われる。

モロハタマキビのように私たちの身近な場所に見られる貝類でさえも、ほとんどの種において生活史などの詳細は分かっていないのが現状である。多くの貝類には各種の興味深い生態があるはずだが、まだ未知の部分が多くを占めているのは非常に残念なことである。逆に言うと、どの貝類を対象としても、詳しく観察・研究を行えば新発見の情報を得られる可能性は非常に高い。このように多くの貝類の生態には未解明の部分が多く残されており、研究するにはこれほどやりがいのある生物はないと考える。生き物が好きで、その生態などの研究を志望している若い方などには、ぜひ貝類の生態学的研究に取り組んでもらえれば幸いである。(早瀬善正・吉川尚)

## 参考・引用文献

- 阿知波英明 (2009) 伊勢・三河湾のアマモ場面積の変動。愛知県水産試験場研究報告, 15号, 29-33頁。
- 新井章吾 (2002) 藻場。In: 堀輝三・大野正夫・堀口健雄編, 21世紀初頭の藻学の現況。日本藻類学会 (日本藻類学会創立50周年記念出版), 山形, 85-88頁。
- 波部忠重 (1958) 巻貝類10新種。Venus, 第20巻1号, 32-42頁。
- 波部忠重・小菅貞男 (1967) 標準原色図鑑全集3巻。保育社, 大阪, 全233頁。
- 長谷川和範 (2000) タマキビ科。136-143頁。In: 奥谷喬司編著, 日本近海産貝類図鑑。東海大学出版会, 東京, 全1-73頁。
- 早瀬善正・中島匠・種倉俊之・吉川尚・松永育之 (2016) 三河湾に生息するモロハタマキビの形態的特徴と初期生活史。ちりぼたん, 45巻4号, 214-226頁。
- 倉持卓司 (2011a) 相模湾のマクサ葉上にみられる貝類群集の季節変化と優占種の成長。横須賀市博物館研究報告 (自然科学), 48号, 23-34頁。
- 倉持卓司 (2011b) 相模湾のアマモ葉上におけるシマハマツボの成長と出現個体数の季節変化。ちりぼたん, 32巻1-2号, 19-23頁。
- マリノフォーラム21 アマモ類の自然再生ガイドライン。http://www.mf21.or.jp/pdf/amamo/guideline.pdf (2015年10月現在)
- Martel, A. and F. Chia (1991) Foot-raising behavior and active participation during the initial phase of post-metamorphic drifting in the gastropod *Laemus* spp. Marine Ecology Progress Series, 72, 247-254.
- 三河湾流域圏会議 Mikawa キーベース (三河湾流域圏環境情報総合センター) http://www.cbr.mlit.go.jp/toyohashi/kaigi/mlkawawan/mikawadb/index.html (2015年10月現在)
- 西澤一俊 (2010) 食品知識ミニブックスシリーズ 新わかめ入門。日本食糧新聞社, 東京, 全164頁。
- 能登谷正浩 (2001) アオサの利用と環境修復 (改訂版)。成山堂書店, 東京, 全171頁。
- 大場達之・宮田昌彦 (2007) 日本海草図譜。北海道大学出版会, 札幌, 全114頁。
- Padilla, D. K. (1998) Inducible phenotypic plasticity of the radula in *Laemus* (Gastropoda: Littorinidae). The Veliger, 41(2), 201-204.
- 武田和也 (2005) 三河湾の漁場環境の推移。愛知大学総合郷土研究所紀要, 50号, 231-238頁。(海の自然再生ワーキンググループ (2003) 海 of 自然再生ハンドブック3 藻場編 その計画・技術・実践 (監修) 国土交通省港湾局, 名古屋)。
- Yabe T., Ishii Y., Amano Y., Koga T., Hayashi S., and Nohara S. (2009) Green tide formed by free-floating *Ulva* spp. at Yatsu tidal flat, Japan. Limnology 10(3): 239-245.
- 吉田忠生・吉永一男 (2010) 日本産海藻目録 (2010年改訂版)。藻類, 58巻2号, 日本藻類学会。
- 鷺山裕史・後藤裕康・小泉康二 (2005) アマモ及び人工海草によるアサリ浮遊幼生の着底促進効果。静岡県農業水産部・環境森林部農林水産関係試験研究成果情報, 142-143頁。

# 4 魚類

## 1 三河湾沿岸域の魚類

### 魚類の生息環境としての沿岸域

内湾域は、沿岸の浅場と沖合の深場の大きく2つの領域からなる。三河湾の場合、沖合の深場では、比較的大型の魚類が生息し、群泳する種類を主な対象とした底曳網等が行われている（第1部5章）。一方、海岸線が入り組んだ浅場は、底曳網等の商業漁業の場としては適さないが、多くの魚種にとって産卵場や稚仔魚の育成場等として重要である。

一口に浅場といっても海岸線が入り組んでおり、幡豆近海をはじめ、三河湾全体で多様な環境要素がみられる（1章1）。例えば、大きな河川の河口に形成される河口干潟、それから少し離れた場所に形成される前浜干潟、前浜干潟等の周辺でみられるアマモ場などである。これらの各

環境要素は、海岸線の奥まった「浜」に相当する部分でみられるが、比較的波あたりが強い「磯」は岩礁域となっている。

三河湾の干潟には多様な底生動物が生息し、複雑な食物網を構成している（6章）。魚類もそれらの底生動物等を餌とし、その食物網を構成する一員となっている。三河湾の場合、河口干潟と前浜干潟の2タイプが多いが、両者では利用のされ方がやや異なる。河口干潟は、海と河川を行き来する通し回遊魚にとって、生活史の一時期を過ごす重要な場となっている。魚が海から河川へ（または河川から海へ）移動する際、塩分（浸透圧）の大きな変化に対する生理的な適応が求められる。また、餌や捕食者といった他生物との関係も大きく変化する。通し回遊魚にとって、河口干潟はそのような急激な変化をかわらげ、新しい環境に少しずつ適応するための経田地として、重要な場所となっている。

前浜干潟は、大きな河川の河口からは少し離れた場所に形成される（東幡豆のトンボロ干潟も、前浜干潟に該当する）。前浜干潟も、河口干潟と同様に、通し回遊魚にとっての経田地となっている面もある。アマモ場は、砂泥底で流れが緩やかな場所に形成される（3章）。そのため、前浜干潟の周囲にはアマモ場がみられることも多く（トンボロ干潟でもそうである）、アマモ場と行き来する種、両方の生態系に依存する種が存在する。

そのほか、岩礁域は、岩陰が魚に隠れ家を、付着生物が餌を提供している。また、岩礁域では海藻藻場がみられることもあり（3章）、アマモ場と同様、稚仔魚の育成場となっている。

## 調査の概要

ここでは、筆者が過去に調査した結果（荒尾ほか 2007）を中心に、三河湾沿岸の浅場、特に河口干潟でみられる主な魚種について紹介する。図1に、主な調査地点の位置を示しておく。なお、東幡豆のトンボロ干潟のアマモ場では次節を、三河湾の沖合や遠州灘などで主に底曳網で取れる魚種については第1部3章2を、それぞれ参照してほしい。

魚類採集には主にタモ網を使用した。タモ網は最も手軽で一般的な漁具である。海藻・海草群落の内部や周囲、石の下、泥の中などの隠れ家に潜んでいる魚類を、足で網に追い込んで使用する。ただし適度に加減をしないと、生息環境を徹底的に破壊することになりかねないため、注意が必要である（松沢 2012）。

逃げ足が速い等の理由から、タモ網では捕まえにくい魚種については、釣りによる採集も行った。のんびりと釣り糸を垂れるのも楽しい採集方法のひとつである。なお、アマモ場に多い稚仔魚は非常に小さいため、見つけ取りが主となるタモ網や釣りではなかなか採集され難い。アマモ場の魚類相を把握するためには、稚仔魚の採集用に開発された碎波帯ネット等の利用が適している（本章2を参照）。

沿岸域の主要なグループであるハゼ科魚類では、種によって好む底質が様々であるため、その種組成を正確に把握するには、泥底、砂底、礫底など、様々な底質で調査する必要がある。また、中には小型甲殻類の生息孔内を生息の場として利用している種もある（キセルハゼなど。後で詳

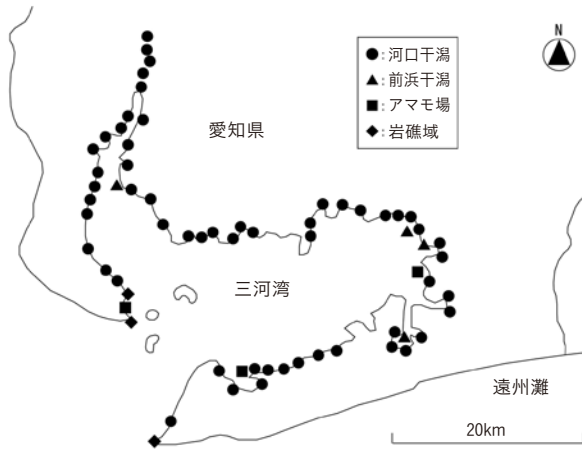


図1 調査地点（荒尾ほか（2007）、荒尾（未発表データ）をもとに作成）

しく紹介）。そのような種の場合はシャベルやスコップによる採集も有効である（乾・小山 2014）。さらに、季節によって生息場所を移動する魚種も多いことから、同じ場所について年に複数回の調査を行うことが望ましい。

このような魚類の採集調査は、子供の頃に水辺の生き物を採集したり、釣りをしたりといった経験の延長上にあり、非常に楽しいものである。海洋生物学や水産学等を専攻する研究者や大学生の中には、そうした幼少時の経験を基に進路を選択している人も多い。仮にそのような経験がなくても、大学進学後に周囲の友人等に誘われて始めるうちに、その楽しさにはまり、詳しくなっていくケースも沢山ある。

また、特に専門の大学に進学しなくても、あるいは卒業後に研究職等に就かなくても、

タモ網等を用いた魚類の採集調査は個人レベルで十分可能である。ただし、読者の皆さんが、海や河川等で魚類を採集する際には、禁止されている場所、時期、使用が禁止されている漁具等があるのを気を付けてほしい。詳しくは、各都道府県の水産担当部署による漁業調整規則等を参照されたい。近所の釣具店等でも情報は得られるかもしれない。また、安全面にも十分配慮が必要である。採集のルールに目を通したら、道具を持ってぜひ採集に行っていたきたい。きつと新しい発見が待っているはずである。

### 河口干潟の魚類

さて、三河湾の浅場に生息する魚類について、まず河口干潟から紹介しよう。三河湾沿岸では、豊橋平野を流れる豊川、岡崎平野の矢作川や境川等の流れの長い河川の河口において、発達した河口干潟がみられる。一方、渥美半島や知多半島側には流れが短い河川が多く、河口干潟はあまり発達しない。

三河湾の河口干潟には、計60種の魚類がみられた(表1)。他の場所に比べて種類が多いのは、最も重点的に調査した場所であったという事情もあるが、ハゼ科が計25種と多数みられたことが大きい。

ハゼ科は汽水域に生息する種が多く、泥底にはトビハゼ、砂泥底にはヒモハゼやマサゴハゼ、キセルハゼ、エドハゼ、砂底にはヒメハゼなどといった具合に、様々な底質に生息する。ハゼ科は世界の多くの内湾域や河口域で優占する(加納ほか 2000, 瀬能 2004, 乾・小山 2014)。また、

ハゼ科の多くは干潟減少や環境悪化の影響を受けて減少し、環境省や愛知県のレッドリストに掲載されているものも多い(表1)。つまり、ハゼ科魚類の出現状況は、その内湾沿岸域の魚類相や生物の生息環境のバロメーターと言えるかもしれない。

また、河口干潟では、様々な通し回遊魚が出現した。通し回遊魚は、河川と海を往来する途中で、浸透圧の変化に馴化する場所として、一時的に河口干潟を利用している。また、産卵場や稚仔魚の育成場などとして利用する魚種もいる。通し回遊魚は、主に河川や湖沼で成長し、繁殖・産卵のために海に降る降河回遊魚(ニホンウナギ、カマキリ〔別名アユカケ〕など)、川と海の両方で成長する両側回遊魚(アユ、ウツセミカジカなど)に分けられる。ほかに、産卵のために河川を遡上する遡河回遊魚(サケ・マス類等)もあるが、三河湾沿岸ではこのタイプの種は少ない。また、ボラ、スズキといった汽水魚に加え、クロソイ、タケノコメバル、メジナ、アイナメ、アサヒアナハゼ、ギンポ、ナベカ、ネズミゴチ、クロホシヤハズハゼ、アゴハゼといった海水魚も出現する。これらの海水魚は、もともと塩分変化の耐性が比較的高いと思われるグループである。

さらに、フナ類、モツゴ、タモロコ、スゴモロコ類、カダヤシ、ミナミメダカ、ブルーギルといった純淡水魚が出現することもある。汽水域である河口干潟において、純淡水魚に出会ったら、大抵の人は驚くと思われる。これら純淡水魚の多くは、雨による河川の増水などで一時的に流下したものと思われる。

カダヤシ、ミナミメダカの場合、塩分に対する耐性が強く(川那部ほか 2001)、河口域に周年



表1 三河湾沿岸の干潟・アマモ場・岩礁域に出現する魚種  
(荒尾ほか(2007)、荒尾(未発表データ)をもとに作成)

分類・種名			出現場所				レッドリストのランク	
目	科	種	河口干潟	前浜干潟	アマモ場	岩礁域	環境省 2014	愛知県 2015
エイ目	アカエイ科	アカエイ	●	●	●			
カレイ目	カレイ目	カレイ目	●					
ウナギ目	ウナギ科	ニホンウナギ	●				絶滅危惧IB類	絶滅危惧IB類
コイ目	コイ科	フナ属未同定種	●					
		ウグイ	●					
		モツゴ	●					
		タモロコ	●					
		スゴモロコ属未同定種	●					
サケ目	アユ科	アユ	●					
ボラ目	ボラ科	ボラ	●	●	●	●		
		メナダ	●					
カダヤシ目	カダヤシ科	カダヤシ	●					
ダツ目	メダカ科	ミナミメダカ	●				絶滅危惧II類	準絶滅危惧
スズキ目	メバル科	クロソイ	●			●		
		シロメバル	●	●	●	●		
		タケノメバル	●	●	●	●		
		ムラソイ	●			●		
	ハオコゼ科	ハオコゼ	●			●		
	コチ科	マゴチ(クロゴチ)	●					
	スズキ科	スズキ	●	●	●	●		
	サンフィッシュ科	ブルーギル	●					
	ヒイラギ科	ヒイラギ	●					
	タイ科	クロダイ	●			●		
	キス科	シロギス	●		●			
	シマイサキ科	コトヒキ	●					
		シマイサキ	●					
	メジナ科	メジナ	●			●		
	アイナメ科	アイナメ	●			●		
	カジカ科	カマキリ(アユカケ)	●				絶滅危惧II類	絶滅危惧IB類
		ウツセミカジカ(カ ジカ小卵型)	●				絶滅危惧IB類	絶滅危惧II類
		アサヒアナハゼ	●					
	ニシキギンボ科	ギンボ	●	●	●			
	ヘビギンボ科	ヘビギンボ	●			●		
	イソギンボ科	トサカギンボ	●					
		イダテンギンボ	●					
		ナベカ	●			●		
	ネズツボ科	ネズミゴチ	●		●			
	カワアナゴ科	カワアナゴ	●					準絶滅危惧

分類・種名			出現場所				レッドリストのランク	
目	科	種	河口干潟	前浜干潟	アマモ場	岩礁域	環境省 2014	愛知県 2015
スズキ目	ハゼ科	ミミズハゼ	●	●				
		ヒモハゼ	●				準絶滅危惧	絶滅危惧II類
		トビハゼ	●				準絶滅危惧	絶滅危惧II類
		マハゼ	●	●	●			
		アシシロハゼ	●					
		アベハゼ	●					
		マサゴハゼ	●	●			絶滅危惧II類	絶滅危惧II類
		アカオビシマハゼ	●					
		ヌマチチブ	●					
		チチブ	●					
		ヒナハゼ	●					
		クロホシヤハズハゼ	●					
		シマヨシノポリ	●					
		オオヨシノポリ	●					準絶滅危惧
		ゴクラクハゼ	●					
		ウロハゼ	●					
		ツマグロスジハゼ	●					
		スジハゼ	●			●		
		ヒメハゼ	●	●	●			
		スミウキゴリ	●					
		ウキゴリ	●					
		ニクハゼ	●					
		ビリンゴ	●	●				
		キセルハゼ	●				絶滅危惧IB類	絶滅危惧IA類
		エドハゼ	●	●			絶滅危惧II類	準絶滅危惧
		アゴハゼ	●			●		
		ドロメ	●			●		
		イトヒキハゼ	●			●		
カレイ目	カレイ科	イシガレイ	●	●	●			
フグ目	ギマ科	ギマ	●	●	●			
	フグ科	クサフグ	●	●	●	●		

レッドリストのランクは、環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室(2014)、愛知県環境部(2015)を参照した。

生息する個体群がある可能性すら考えられる。カダヤシは特定外来生物、一方でミナミメダカはレッドリスト掲載種であり(表1)、今後の調査課題になりそうである。

### 前浜干潟の魚類

三河湾沿岸では、豊川河口干潟に連なる六条潟、前芝干潟、矢作古川河口干潟に連なる一色干潟が比較的規模が大きく有名である。東幡豆のトンボロ干潟も、前浜干潟に該当する。河口干潟と同様、前浜干潟も、埋め立てや浚渫、護岸工事により減少した。

前浜干潟では、アカエイ、ボラ、シロメバル、タケノコメバル、スズキ、ギンポ、ミミズハゼ、マハゼ、マサゴハゼ、ヒメハゼ、ピリンゴ、エドハゼ、イシガレイ、ギマ、クサフグなどが出現する(表1)。河口干潟と連なるため、共通した種の出現が多い。また、周辺にアマモ場がみられる前浜干潟も多く、アマモ場との共通種もみられる。筆者の調査は、河口干潟に集中していたので、調査地点や頻度を増やせば、もっと多くの種が見つかると思われる。

### アマモ場の魚類

アマモ場は、前浜干潟やそれに連なる浅海、漁港内などに点在する。三河湾沿岸では、1955年頃までは数多くのアマモ場があったが、1970年以降に急減した。激減した理由は、干潟と同様に埋め立て等もあるが、富栄養化による透明度の低下も大きいようである(3章)。

アマモ場では、アカエイ、ボラ、シロメバル、タケノコメバル、スズキ、シロギス、ギンポ、ネズミゴチ、マハゼ、スジハゼ、ヒメハゼ、イトヒキハゼ、イシガレイ、ギマ、クサフグなどが出現する(表1)。シロギス、ネズミゴチといった投げ釣りの対象魚が生息することも特徴のひとつである。

なお、先述のように、アマモ場に多い仔稚魚の採集には、荒尾ほか(2007)で使用したタモ網は適さない。トンボロ干潟のアマモ場では、碎波帯ネットを使用した調査により、ここでは挙げない様々な魚種が確認された(本章2)。興味のある方はぜひ参照してほしい。

### 岩礁域の魚類

三河湾沿岸では、干潟や砂泥底の浅海が卓越し、岩礁海岸は比較的少ない。それでも、潮の引いた岩礁の磯にはタイドプール(潮だまり)が形成され、小型の魚類や仔稚魚が好んで入る(片岡1960)。調査は干潮時に行うと良く、タイドプールに取り残された魚類が比較的容易に採集できる。

岩礁域では、クロソイ、シロメバル、タケノコメバル、ムラソイといったメバル科魚類、クロダイ、メジナ、アイナメといった磯釣りの対象となる魚種が多く出現する(表1)。ハオコゼも外道として釣れることがあるが、背鰭の棘に毒があるため、注意が必要である。

シロメバル、タケノコメバルは、河口干潟やアマモ場でもみられるが、成魚は少なく、未成魚が多く採集される。筆者は、河口干潟である汐川干潟で、大量のタケノコメバルの未成魚を採集したことがある。シロメバルの場合、春の底生生活に移行直後の稚魚初期は岩礁域のガラモ場、

夏になると稚魚はアマモ場に移動して大きく成長し、成魚になると再び岩礁域へといった具合に生活場所を変えることが知られている（小路 2009 など）。

#### 代表的・特徴的な魚種の紹介

ここまで、各環境要素における魚類相の特徴を述べてきたが、いくつかの特徴的・重要な魚種やグループについて、その生態等を解説しておこう。

#### ニホンウナギ

本種は、河川や湖沼で大きく成長し、繁殖・産卵のために海に降る降河回遊魚として有名である。筆者の調査では、河口干潟において採集され、遡上中と考えられるシラス期の個体も確認されている。三河湾沿岸は養鰻が盛んな場所であり、過去には養鰻場から流出したと考えられるヨーロッパウナギの採集例もある（多部田 1980）。ニホンウナギとの外見による判別は困難であり、荒尾ほか（2007）の採集個体の中にヨーロッパウナギが混じっている可能性もある。Zhang *et al.* (1999) は、三河湾で採集された同属個体のミトコンドリアDNAを調べ、多くがニホンウナギであったものの、少なからぬ割合でヨーロッパウナギが混じっていたことを報告している。

#### ミニズハゼ

荒尾ほか（2007）では、三河湾に流入する河川の感潮域の礫底で確認された。体は円筒形で細

長い。鱗はなく、体表が粘液で覆われ、礫の間や石の下に潜んでいる。幡豆ではトンボロ干潟の転石をひっくり返すと、比較的容易にみつけることができる。

#### トビハゼ

三河湾では出現する年と出現しない年があることから、三河湾の出現個体は隣接する伊勢湾からの供給に依存しており、海流の変化により個体数の増減があるものと考えられる。

#### スジハゼ類

従来1種とされていた「スジハゼ」にはA、B、Cの3種が含まれることが判明し（鈴木ほか 2004）、それぞれツマガロスジハゼ、スジハゼ、モヨウハゼの和名が与えられた（明仁ほか 2013）。また、形態だけでなく、生息環境も異なることが明らかにされつつある。

三河湾からも「スジハゼ」が報告されていたが、3種を区別した報告はほとんどなく、分布も明らかにできていなかった。筆者の河口域を中心とした調査で、河口干潟にはツマガロスジハゼが生息することが明らかになった（荒尾 2008b）。その後の筆者の調査で、アマモ場にスジハゼが（表1）、さらに水深のやや深い所（約15～35m）にモヨウハゼが生息することが判明した（未発表データ）。三河湾にも3種が分布し、生息環境が少し異なることで棲み分けていることが示唆されたが、今後、棲み分けの要因を探るなどの生態学的研究も必要である。

## キセルハゼ

本種は、伊勢湾、瀬戸内海、有明海などに分布するとされていた(乾ほか 2007)。荒尾(2008a)は、豊川の河口干潟において本種5個体を採集し、三河湾からの初記録を報告した。三河湾は、本種の生息分布の東限に当たる。また、本種の生息地は極めて局所的である。これらの点から生物地理学的にみて、本種にとって三河湾は貴重な生息場であると言える。

本種は、河口干潟や前浜干潟に生息し、軟泥底に掘られたニホンスナモグリやアナジャコの生息孔内に生息すると考えられている(鈴木ほか 2006)。本種が採集された豊川の河口干潟(砂泥質)では、アナジャコのものと思われる生息孔が多数見られた。なお、東幡豆のトンボロ干潟(砂泥質)では、ニホンスナモグリと同属のハルマンスナモグリの生息も確認されているが(石川ほか 2016)、本種は確認されていない。

内湾や河口域に生息するハゼ科魚類の多くは、環境省や愛知県のレッドリストに掲載されており、干潟の減少や環境悪化を表している(乾・小山 2014)。筆者の調査でも、レッドリストに掲載されたハゼ科魚種が多く見つかった(表1)。

また、ニホンウナギやウツセミカジカなどの通し回遊魚、ボラやスズキなど様々な場所で出現した魚種等もみられ、沖合ー沿岸ー河川、干潟ーアマモ場ー岩礁域(海藻藻場)など、生活史に応じてダイナミックに流域・海域を回遊・移動する魚種、沿岸域の様々な環境要素に依存する魚種が存在していた。

三河湾沿岸の魚類相は、干潟やアマモ場の減少により危機に晒されているが、それでも本稿で示したような豊かさを維持しており、希少種も数多く含まれる。将来も、その豊富な魚類相を保全していくためには、まず調査により正確な生息状況を把握するとともに、沿岸域にみられる環境要素の多様性を維持していくことが重要である。(荒尾一樹)

## 2 幡豆のアマモ場でみられた魚類

アマモ場等の海藻藻場は、海藻藻場とともに、魚類にとって産卵や稚仔魚期の育成場として重要である(菊池 1973, 小路 2009)。稚仔魚にとってアマモ場は、豊富な底生動物を採餌する餌場として、また捕食者から逃避する隠れ家としての機能を持つとされている。三河湾全体では高度経済成長期に広大な面積のアマモ場が失われたが、東幡豆の沿岸には比較的まとまった面積のアマモ場が残され(3章1)、小型巻貝類、小型甲殻類、多毛類など葉上動物が多数生息している(3章2)。

ここでは、東幡豆のトンボロ干潟に隣接するアマモ群落とその周辺でみられる魚類について、筆者らが調査した結果を紹介したい。調査は、春から初夏にかけて行った(2014年4月、5月、7月の計3回)。魚類の定量採集は、アマモ群落が密に生える密生区、パッチ状に分布する疎生区、アマモが生えてない砂地の3か所で、碎波帯ネットを沿岸と平行に100 m曳網して行った(図2)。

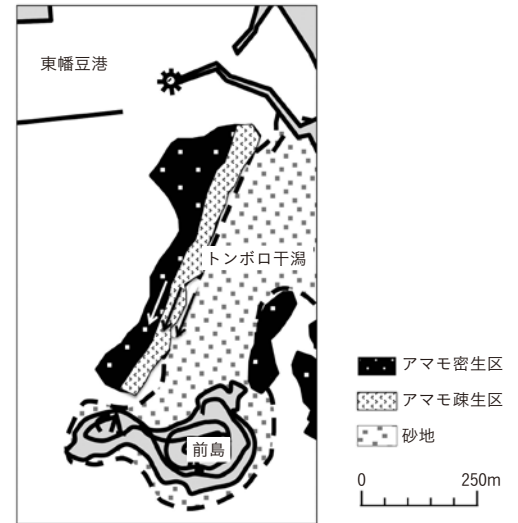


図2 東幡豆トンボロ干潟に隣接するアマモ場。碎波帯ネットによる魚類の定量採集は、アマモ群落の密生区、疎生区、砂地の3か所で行った

場への依存度に応じて、周年定住種、季節的定住種、一時的来遊種、偶来種といった4タイプのいずれかに当てはめた。周年定住種は、周年にわたってアマモ場に出現するタイプで、生活史の大部分をアマモ場で過ごす種であり、小型で運動性に乏しい種や水産的価値がほとんどない種が多く含まれる。季節的定住種は、特定の季節にアマモ場に出現するタイプで、主に稚魚期を過ごし、成長するとアマモ場を離れて大きくなる種であり、水産有用種が多く含まれる。一時的来遊

種は、広い範囲を動き回り、アマモ場には一時的に来遊するタイプで、餌を探すため夜間や高潮時に来遊するものなどがある。偶来種は、特にアマモ場を利用する目的はなく、偶然に来遊してきた種である。

ただし、アマモ場への依存度は同じ魚種でも海域等によって少しずつ異なり、ある文献では周年定住とされた魚種が、別の文献では季節的定住とされる場合もある。正確に判断するためには、対象とする海域毎に、行動生態等も含めた綿密な周年調査を行う必要がある。本稿で示すタイプは、アマモに対する依存度のおおよその目安と考えて頂ければと思う。

#### トンボロ干潟周辺アマモ場の出現魚種

碎波帯ネットによる定量調査では、期間全体で、総計4目13種671個体の魚類が採集された(表2)。スズキ、ヘダイ、メバル類、タケノコメバルといった季節定住種は、いずれも個体数が多く、ほぼ全ての個体が稚魚であったことから、他の研究事例と同様、主に稚魚期の育成場として利用していると考えられる(菊池1973、寺脇ほか1997)。スズキ、メバル類、タケノコメバルは、日本各地のアマモ場でよくみられる代表的な魚種である。一方、ヘダイは出現頻度が低いもの、時折まとまった個体数で報告されている魚である(上出ほか2012、中津川1981)。またヘダイ稚魚は、クロダイ稚魚と餌料生物を巡って競合関係にあると考えられるが、出現盛期が約2週間ずれることで、時間的な住み分けがあると言われている(中津川1981)。

周年定住種では、ギンポ、ヒメハゼ、アサヒアナハゼ、ヨウジウオで個体数が多く(表2)、成

碎波帯ネットは、少人数(2人以上)で曳網できる小型のネットであり、水深が浅い場所で、稚魚や遊泳能力の弱い小型魚類等を採集するのに適している。ただし、曳網速度が遅く、遊泳能力の高い魚種や成魚は逃避してしまうので対象外となる。そこで、碎波帯ネットでは採集できないような魚類については、見つけ次第、投網による定性的な採集調査も行い、食性解析等に用いた(個体数の結果には加えていない)。採集された魚種は、菊池(1973)や

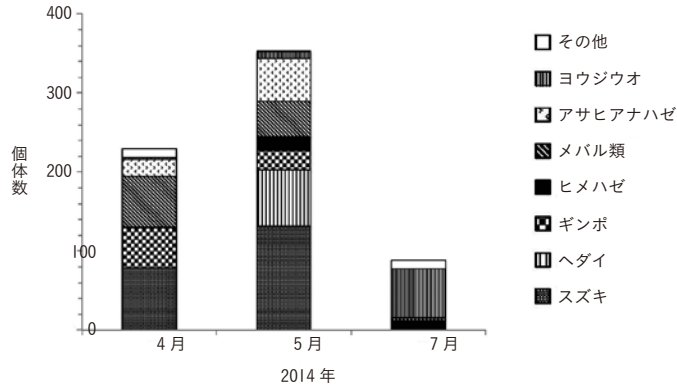


図3 各月における魚類の採集個体数 (全3か所の合計) とその内訳

トンボロ干潟には、アカエイが多数来遊することも潜水調査等により確認されている(第2部コラム「干潟に現れる謎のくぼみ」を参照)。

魚類の総個体数を採集時期で比較すると(図3)、春に比較的多く(4月・計229個体、5月・計353個体)、初夏に少なかった(7月・計89個体)。季節による出現魚種の違いを見ると、春には、スズキ、メバル類、ヘダイ等の稚魚が多かった。また、ギンポ、アサヒアナハゼも多く、大部分は稚魚または未成魚であった。一方で、初夏(7月)には、ヨウジウオが多くみられた。ヨウジウオは、立体構造に富むアマモ場等の海草群落を好んで利用する周年定住種である。

採集場所による総個体数の違いを見ると、砂地(28個体)では、アマモ密生区(334個体)や疎生区(309個体)と比べて、10分の1程度しか採集されず、非常に少なかった(図4)。種数でも、砂地では5種と少ない傾向にあった。ギンポは砂地で

表2 東幡豆トンボロ干潟のアマモ群落周辺において、碎波帯ネットで採集された魚類。計4目13種671個体の魚類が採集された

目 <sup>#</sup>	和名 <sup>#</sup>	個体数	出現タイプ*
スズキ目	スズキ	212	季節的定住
	ヘダイ	71	季節的定住
	ギンポ	74	周年定住
	ヒメハゼ	32	周年定住
	ウキゴリ類 <sup>1</sup>	1	偶来
カサゴ目	メバル類 <sup>2</sup>	109	季節的定住
	タケノコメバル	11	季節的定住
	アサヒアナハゼ	78	周年定住
トゲウオ目	ヨウジウオ	71	周年定住
	サンゴタツ	3	周年定住
フグ目	アミメハギ	5	周年定住
	クサフグ	3	偶来
	ギマ	1	偶来

<sup>#</sup>: 分類・種名は、中坊編(2013)に従った。

\*: 菊池(1973)に従い、周年定住、季節的定住、一時的来遊、偶来に分類した。

<sup>1</sup>: 標本では、ウキゴリ属のどの種か、判定不能であった。

<sup>2</sup>: シロメバル、アカメバル、クロメバルのいずれかと判断される標本が混在していた。

魚や未成魚も少数採集されたが、その多くは稚魚であった。やはり周年定住種においても、アマモ場は特に稚魚期の育成場として重要であったと考えられる(菊池1973、寺脇ほか1997)。なお、ギンポは、夏の1時期にアマモ場ではみられなくなることから季節定住種とされることもあるが(木村ほか1983)、ここでは周年定住種とした。これら以外の周年定住種としては、サンゴタツ、アミメハギが少数出現した。

そのほか、碎波帯ネットでは、偶来種としてウキゴリ類、クサフグ、ギマが少数採集された(表2)。また、補足的に行った投網調査では、ボラ(偶来種)、イシガレイ(季節的定住種)、ホウボウ(偶来種)といった、碎波帯ネットでは得られなかった魚種の未成魚や成魚が採集された。さらに、本調査では採集されていないが、このアマモ場で

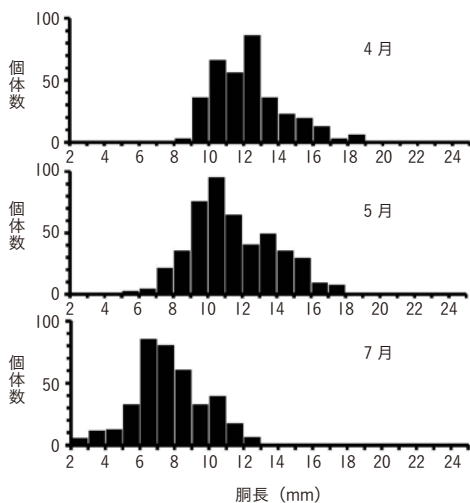


図5 各月におけるヒメイカの胴長の度数分布

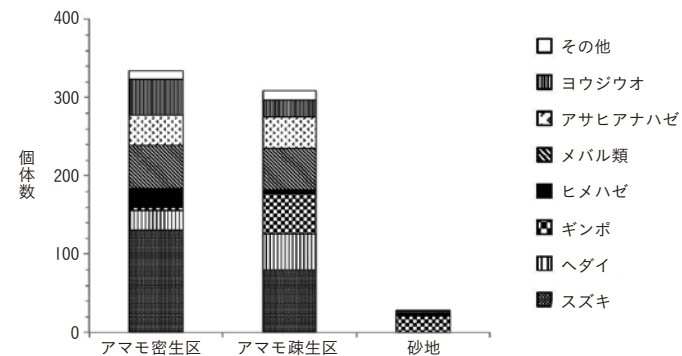


図4 各場所における魚類の採集個体数（全3回の合計）とその内訳

も20個体と比較的多かったが、他の4種は各3個体以下しか採集されなかった。ヒメハゼは海草群落内よりも周囲の砂地でよくみられるとの報告が多いが（中村 1944, 上出 2012）、東幡豆ではアマモ群落内の方で出現個体数が多かった。このように、アマモ場にみられた周年定住種、季節的定住種の大部分は、他の研究事例と同様（鈴木・家田 2003, 森口・高木 2009, 上出 2012）、海草群落を嗜好して生活の場として示唆された。

さらに、魚類以外のネクトン（遊泳生物）として、イカ類のヒメイカが採集された。ヒメイカは計1212個体も採集され、単一種としてはネクトンの中で最多であった。ヒメイカは、成体でも胴長（外套背長）16mm程度とイカ類としては世界最小級であり、背中の吸着器によりアマモの葉等に付着して生活し、主な餌は小型の甲殻類とされている（奥谷 2015）。

ヒメイカ個体の寿命は150日程度、秋から春先

には大型個体、夏から秋までは小型個体が多く、概ね年に2世代を繰り返すと考えられている（奥谷 2010）。トンボロ干潟のアマモ場においても、春にみられた個体標本の胴長（平均11～12mm程度）は、初夏（平均7～8mm程度）に比べて大きく、この説を支持する結果であった（図5）。

以上、春から初夏に限定されるものの、筆者らの調査で明らかとなった東幡豆のアマモ場の魚類相は、同じ三河湾沿岸の竹島、三谷（蒲郡市）、一色（当時一色町、現在西尾市）の各地先のアマモ場における過去の調査結果（鈴木・家田 2003）と共通点が多かった。鈴木・家田（2003）では、本報告と同様に、メバル類、ギンボ、タケノコメバル、スズキ、アサヒアナハゼといった魚種が数多く出現していた。

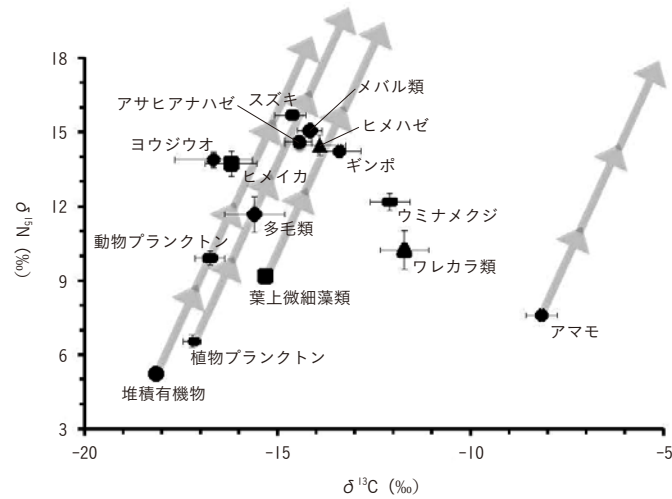


図6 東幡豆トンボロ干潟のアマモ場で採集された魚類等の安定同位体比マップ。5月の分析結果を代表例として示す。矢印は、各有機物起源を起点とする食物連鎖の目安

多くの魚類や底生動物にとって、アマモ等の海草はセルロースを成分とした硬い細胞壁があるため、消化・吸収しづらく、餌としての利用価値は低いとされている。ただし、枯死・堆積して微生物の分解作用を受けたのち、底生動物のヨコエビ等を通じて食物連鎖に組み込まれる可能性が指摘されている（菊池 1973, Douglass *et al.* 2011）。トンボロ干潟のアマモ場調査では、アマモ以外の主な有機物の起源としては、植物プランクトン、アマモ葉上の付着微細藻類、砂泥の堆積有機物を候補とし、分析対象とした。

図6に、分析結果の一例として、5月のアマモ場における各試料の安定同位体比マップを示す。図中の矢印は、各有機物起源を出発点とする食物連鎖

菊池 (1973) や菊池 (1982) は、日本各地のアマモ場における魚類相の調査報告を比較検討し、内湾性の強い海域ではメバル類やスズキなどが多く出現するのに対し、黒潮の影響が強い外洋的な海域ではゴンズイ、アイゴ、ハオコゼ等がみられ、カジカ目魚種の割合が低いといった違いを指摘している。その後に行われた研究事例の多くでも、この指摘を支持する結果が得られている（木村ほか 1983, 塩原・鈴木 1985, 森口・高木 2009, 工藤・秋元 2013）。三河湾沿岸のアマモ場における魚類相は、筆者らが調査した東幡豆のほか、竹島、三谷、一色（鈴木・家田 2003）のいずれの地先においても、内湾域の特徴を有していた。

また、三河湾（大島 1954, 鈴木・家田 2003）および隣接する伊勢湾（萩田・糸川 1970, 糸川ほか 1980, 木村ほか 1983）のアマモ場に共通し、他海域にみられない特徴として、ギンポが多数出現することが挙げられる。東幡豆のアマモ場でも、やはりギンポが多数出現し、この特徴を裏付ける結果となった。

#### 魚類の採餌場としてのアマモ場

さて、東幡豆トンボロ干潟のアマモ場では様々な魚類が確認されたが、彼らの生活にとってアマモ場はどのような意味があるのだろうか？ 主に、餌場や隠れ家として利用していることが様々な研究事例から指摘されている（菊池 1973, 小路 2009）。次は、彼らがどのような餌を食べているのかに着目し、炭素及び窒素の安定同位体比分析により調べた結果について、述べておきたい（この手法の詳細を知りたい場合は、6章4とそこで挙げた参考文献を参照してほしい）。



の経路の目安を示している(栄養段階数が一つ上昇すること)、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は $1.0\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は $3.4\%$ 増加と仮定。Minagawa and Wada 1981)。この分析結果から、多くの魚種は、主に植物プランクトン、葉上微細藻類または堆積有機物を起点とする食物連鎖上に位置することが示唆される(これら3種類の生産者の系列は互いに近く、いずれが主要かをこの分析結果だけで判断するのは難しい)。動物プランクトンや多毛類は、これら3種類の有機物起源と魚類の中間に位置しており、食物連鎖上で両者を仲介する役割を担っていると考えられる。

一方、アマモを起点とする食物連鎖上には、無脊椎動物や魚類はいないので、アマモは有機物起源としてはあまり寄与してないことが窺える。ただし、アマモ葉上動物のうち、小型甲殻類のワレカラ類と軟体動物のウミナメクジは、アマモを起点とする食物連鎖とほか3系列の中間地帯に位置しており、アマモにもある程度、依存していると考えられる。

魚種間で比較すると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{13}\text{C}$ 値がやや高いグループ(スズキ、メバル類、ヒメハゼ、ギンポ)と、比較的低いグループ(ヨウジウオやヒメイカ)の二つに分かれた。この結果から、前者と後者では、栄養段階や主に依存する有機物起源がやや異なることが示唆される。ただし、ヨウジウオはプランクトン食性とされるのに対し、ヒメイカは小さいが猛猛な肉食者でヨコエビ類や小さな魚を捕食するなど(奥谷 2010)、同位体比が近くても食性が異なる場合もあるので、注意が必要である。

一般に、マダイ等の沿岸性の魚種では、プランクトン食の仔魚期から、底生動物食の稚魚期へと、生活史の段階に応じて食性が変化することが多い(田中 1991)。メバル類の場合も、藻場へ加入した直後は、主にカイアシ類等の動物プランクトンを食べ、次第に底生動物食に移行するとされる(Takai *et al.* 2002, 小路 2009, Kamimura *et al.* 2011)。トンボロ干潟のアマモ場においても、メバル類の $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{13}\text{C}$ 値はともに4月から7月にかけて上昇傾向にあり、メバルの餌が動物プランクトンから、底生動物(ワレカラ類等)に移行した可能性が示唆された。

以上の同位体分析の結果、アマモ場に生息する多くの魚種や無脊椎動物にとって、アマモは有機物起源としての重要性はそれほど高くないことが示唆された。ただし、本調査では対象としなかった、砂泥底付近に生息する魚類(イシガレイ等)や底生動物(ウニ類、ナマコ類等)については、異なる結果が得られるかもしれない。Douglass *et al.* (2011)は、アマモ場内の様々な魚類、葉上動物及び底生動物の消化管内容物や同位体比を調べ、アマモへの依存度は分類群や種により幅があり、きめ細かい調査が必要であることを指摘している。

ところで、初夏に投網で採集されたボラ(全て25cm未満の未成魚)についても、同位体比分析による食性の推定を試みたところ、興味深い結果が得られた(図7)。ボラは出世魚の一つで、採集されたうち3個体はスバシリ(31.8cm)、他の2個体はイナ(18.30cm)と呼ばれる段階に相当した。スバシリとイナで $\delta^{13}\text{C}$ 値は明瞭に分かれ、スバシリの値はイナに比べて約14%も低くなっていた。

ボラ類は雑食性で、水底に堆積したデトリタス(生物の死骸や排泄物等の細片)等を主な餌とする(とされる(Odum 1970))。小型のスバシリの $\delta^{13}\text{C}$ 値( $-28.1 \sim -25.7\%$ )は、河川水の懸濁有機物(植物プランクトンやデトリタス等の混合物)の $\delta^{13}\text{C}$ 値( $-26.2 \sim -25.7\%$ )に近い。

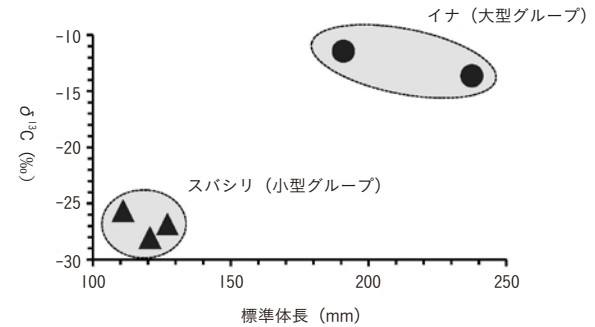


図7 アマモ場への偶来種ボラ（7月に投網で採集）の体長と $\delta^{13}\text{C}$ 値の関係。  
大型2個体（イナ）と小型3個体（スバシリ）では、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が大きく異なった

一方、大型のイナの $\delta^{13}\text{C}$ 値（ $-13 \cdot 6 \sim -11 \cdot 4 \text{ ‰}$ ）は、干潟直上水の懸濁態有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値（ $-18 \cdot 0 \sim -17 \cdot 8 \text{ ‰}$ ）に比較的近くなっている。ボラは特に幼魚期には群れをなして淡水域に遡上する姿が観察されることが多いが、スバシリとイナの間にもみられる $\delta^{13}\text{C}$ 値の違いは、生活段階による分布域の変化を反映していたのかもしれない。

筆者らの調査により、東幡豆のトンボロ干潟のアマモ群落には、様々な魚類やイカ類（ヒメイカなど）が生息・来遊していることが明らかとなった。また、アマモ葉上の付着微細藻類は、植物プランクトン等とともに、有機物起源の主要候補の一つであった。さらに、アマモ群落は海水の流れを弱め、様々な有機懸濁物や浮遊幼生をトラップし、堆積させる機能があるとされている（鷺山ほか2005）。実際に、アマモ群落内の堆積物中の有機炭素含量や有機窒素含量は、砂地に比べて高かった。

東幡豆のトンボロ干潟のアマモ群落が、スズキやメバル類等といった水産重要魚種を含む様々な魚類の保育場として機能し、漁業に直接的に貢献していることは明白であろう。直接利用されていない魚種や無脊椎動物も、漁獲対象種の餌となったり、干潟周辺の生物多様性を高めることとなり、間接的に漁業に貢献していると考えられる。

またメバル類は、春はガラモ場、夏はアマモ場と生活場所を変えることが知られており、異なる種類の藻場が近接して存在することの重要性が指摘されている（小路2009など）。トンボロ干潟や前島周辺にみられる葉上巻貝モロハタマキビも、アマモ群落だけでなく、ガラモ群落やテングサ群落といった複数の生活場所を利用していた（3章4）。様々な環境要素で構成される東幡豆地先の海は、こうした生物を育む貴重な場になっているのかもしれない。

本稿の内容は、単年度の調査結果に基づくものであり、魚類相やその食性の実態についてはまだ部分的にしか解明されていない。調査回数や測定項目をさらに増やすことで、魚類相の季節変化の詳細が明らかとなり、食物網構造についてもより精度の高い推定が可能となることが期待される。今後の課題である。

（吉川尚・玉井隆章・林大）

#### 参考・引用文献

愛知県環境部編（2015）第三次レッドリスト レッドリストあいち2015新掲載種の解説。名古屋、全146頁。<http://www.pref.aichi.jp/kankyo/sizen-ka/shizen/redlist/index.html>（参照日2016年2月21日）

- 愛知県環境調査センター編 (2009) 愛知県の絶滅のおそれのある野生生物。レッドデータブックあいち 2009。動物編1。愛知県自然環境部自然環境課、名古屋、全651頁。
- 明仁・坂本勝一・池田祐二・藍澤正宏 (2013) ハゼ亜目。1347-1608, 2109-2211頁。  
In: 中坊徹次編, 日本産魚類検索 全種の同定 第三版。東海大学出版会、神奈川、全2428頁。
- 荒尾一樹・山上将史・大仲知樹 (2007) 愛知県の河口域魚類。豊橋市自然史博物館研究報告, 17号, 29-40頁。
- 荒尾一樹 (2008a) 三河湾から得られたキセルハゼ。日本生物地理学会会報, 63巻, 173-175頁。
- 荒尾一樹 (2008b) 東海地方におけるスジハゼの分布。兵庫陸水生生物, 60号, 135-138頁。
- 荒尾一樹 (2010) 矢作川下流域の魚類。矢作川研究, 14号, 45-55頁。
- Dougllass, J. G., J. E. Duffy, E. A. Canuel (2011) Food Web Structure in a Chesapeake Bay Eelgrass Bed as Determined through Gut Contents and  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  Isotope Analysis. *Estuaries and Coasts*, 34, 701-711.
- 萩田健二・糸川貞之 (1970) 藻場。保護水面調査報告書 (アサリ、藻場)。三重県伊勢湾水産試験場年報, 17-41頁。
- 乾隆帝・小山彰彦 (2014) 本州・四国・九州の河口干潟に生息するハゼ類。魚類学雑誌, 61巻2号, 105-106頁。
- 乾隆帝・中島淳・江口勝久・中谷裕也・兼頭淳・鬼倉徳雄 (2007) 伊勢湾における絶滅危惧種キセルハゼの採集記録。魚類学雑誌, 54号, 242-243頁。
- 石川智士・仁木将人・吉川尚編 (2016) 幡豆の干潟探索ガイドブック。総合地球環境学研究所、京都、全82頁。
- 糸川貞之・萩田健二・瀬古準之助 (1980) 藻場調査。昭54 保護水面調査報告書 (アサリ・藻場)、三重県伊勢湾水産試験場年報, 16-43頁。
- Kaminura, Y., A. Kasai, J. Shoji (2011) Production and prey source of juvenile black rockfish *Sebastes cheni* in a seagrass and macroalgal bed in the Seto Inland Sea, Japan: estimation of the economic value of a nursery. *Aquatic Ecology*, 45, 367-376.
- 環境省編 (2014) レッドデータブック2014——日本の絶滅のおそれのある野生生物6貝類。ぎょうせい、東京、455頁。
- 環境省自然環境局野生生物課希少種保全推進室編 (2014) レッドデータブック2014——日本の絶滅のおそ

- れのある野生生物—4汽水・淡水魚類。ぎょうせい、東京、全414頁。
- 加納光樹・小池哲・河野博 (2000) 東京湾内湾の干潟域の魚類相とその多様性。魚類学雑誌, 47巻2号, 115-129頁。
- 片岡照男 (1990) 海にすむ動物。208-216頁。In: 自然史編纂調査会編, 東海の自然史。東海財団、名古屋、全390頁。
- 川那部浩哉・水野信彦・細谷和海編 (2001) 山溪カラー名鑑 日本の淡水魚 改訂版。山と溪谷社、東京、全719頁。
- 菊池泰二 (1973) 藻場生態系。23-37頁。In: 山本護太郎編, 海洋生態学 海洋学講座9。東京大学出版会、東京、全213頁。
- 菊池泰二 (1982) アマモ場の魚類群集・動物にとつての藻場の機能。漁場環境調査検討事業藻場特別部会、昭和56年度報告。日本水産資源保護協会、49-105頁。
- 木村清志・中村行延・有瀧真人・木村文子・森浩一郎・鈴木清 (1983) 美虞湾湾口部アマモ場の魚類に関する生態学的研究—1魚類相とその季節変化。三重大水研報, 10号, 71-93頁。
- 工藤孝浩・秋元清治 (2013) 横須賀市走水海岸アマモ場における春・夏季の魚類相について。神奈川県水産技術センター研究報告, 6号, 35-40頁。
- 松沢陽士 (2012) 川魚の飼育と採集を楽しむための本。学研教育出版、東京、159頁。
- Minagawa, M. and E. Wada (1981) Stepwise enrichment of  $^{15}\text{N}$  along food chains: Further evidence and the relation between  $\delta^{15}\text{N}$  and animal age. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45(6), 1135-1140pp.
- 森口朗彦・高木儀昌 (2009) 瀬戸内海の開放性の高い海域に形成されたアマモ場における潜水式囲い網を用いた生息生物の種組成と空間分布の調査。1巻2号, 53-64頁。
- 中坊徹次編 (1993) 日本産魚類検索 全種の同定。東海大学出版会、神奈川、xxv+1474頁。
- 中坊徹次編 (2013) 日本産魚類検索 全種の同定 第三版。東海大学出版会、神奈川、全2428頁。
- 中村中六 (1944) スジハゼおよびヒメハゼの生活史。水産学会報, 9号, 103-108頁。
- 中津川俊雄 (1981) 阿蘇海の藻場におけるヘダイの生態について。京都府立海洋センター研究報告, 5号, 17-22頁。

- Odum, W. E. (1970) Utilization of the direct grazing and plant detritus food chains by the striped mullet *Mugil cephalus*. 222-240. In: J. Steele (ed), Marine Food Chains. University of California Press, Berkeley. 552pp.
- 奥谷喬司 (2015) 新編世界イカ類図鑑。東海大学出版会、神奈川、全246頁。
- 奥谷喬司編著 (2010) 新鮮イカ学。東海大学出版会、神奈川、全366頁。
- 大島康雄 (1957) 藻場と稚魚の繁殖保護について。水産学の概観。日本学術振興会、東京、全128-181頁。
- 瀬能 宏 (2004) 総説——ハゼとはどんな魚か。12-15頁。In: 瀬能宏監修、決定版 日本のハゼ。平凡社、東京、全534頁。
- 塩原美敏・鈴木克美 (1985) 駿河湾内浦沿岸のアマモ場に出現する魚類群集。東海大学海洋学部紀要、21号、129-143頁。
- 小路淳 (2009) 藻場とよかな——魚類生産学入門 (ヘルソープックス32)。成山堂書店、東京、全178頁。
- 鈴木輝明・家田喜一 (2003) 三河湾に存在するアマモ場内・外の魚類群集の相違。愛知県水産試験場研究報告、10号、21-24頁。
- 鈴木寿之・渋川浩一・矢野維幾 (2004) キララハゼ属。411-420頁。In: 瀬能 宏監修、決定版 日本のハゼ。平凡社、東京、全534頁。
- 鈴木寿之・吉郷英範・野元彰人・淀 真里・中島淳・松井誠一 (2006) 絶滅危惧種キセルハゼの形態、生息状況および分布。日本生物地理学会会報、61巻、125-134頁。
- 多部田修 (1980) 外来ウナギー魚病も侵入。162-170頁。In: 川井禎次・川那部浩哉・水野信彦編、日本の淡水生物——侵略と攪乱の生態学。東海大学出版会、東京、x+194+26頁。
- Takai, N., Y. Mishina, A. Yorozu, A. Hoshika (2002) Carbon sources for demersal fish in the western Seto Inland Sea, Japan, examined by  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  analyses. *Limnology and Oceanography*, 47(3), 730-741.
- 田中克編 (1991) 魚類の初期発育。水産学シリーズ83。恒星社厚生閣、東京、全148頁。
- 寺脇利信・吉川浩二・高木儀昌 (1997) アマモ場の機能。82-110頁。In: 水産庁中央水産研究所編、藻場の機能。水産庁中央水産研究所報告書。
- 鳥居亮一・浅香智也・荒尾一樹・川瀬基弘 (2012) 矢作川下流域における魚類と甲殻類十脚目を中心とした生物種の記録。三河生物、3巻、9-49頁。
- 上出貴士・高橋芳明・山内信 (2012) 和歌山県田辺湾の潮間帯におけるコアモモ群落の魚類群集。水産増殖、60巻2号、243-253頁。
- 鷺山裕史・後藤裕康・小泉康二 (2005) アマモ及び人工海草によるアサリ浮遊幼生の着底促進効果。静岡県農業水産部・環境森林部農林水産関係試験研究成果情報、142-143頁。
- Zhang, H., Mikawa, N., Yamada, Y., Horie, N., Okamura, A., Utoh, T., Tanaka, S. and Moronobu, T. (1999) Foreign Eel Species in the Natural Waters of Japan Detected by Polymerase Chain Reaction of Mitochondrial Cytochrome b Region. *Fisheries Science*, 65 (5), 684-686.

## 5 貝類

本章では、幡豆の沿岸と前島・沖島に生息する様々な貝類を紹介する。貝類というと、一般的にはアサリやサザエのように、「貝殻をもった生物」と認識しているかと思う。しかしながら、貝類は正式には軟体動物門と呼ばれる大きな生物群であり、二枚貝類（アサリ等）や巻貝類（サザエ等）のように貝殻を持つグループ以外に、ウミウシ類や頭足類（イカ、タコ等）といった貝殻がない（退化した）グループも含まれる（佐々木 2010）。また、カタツムリ類やナメクジの仲間も有肺類とよばれる巻貝の仲間である（本章2）。さらに、岩礁でよくみられるヒザラガイ類が属する多板類や、最近、三重県の志摩半島南部の海域で発見されたセイスイガイ（Kano *et al.* 2012）が属する単板類は、貝類のなかでも最も原始的なグループに位置する。カサガイ類は巻いていない笠型の殻だが原始的な巻貝類である。まず、岩礁帯に生息する貝類のうち、カサガイ類を取り上げて紹介したい。

### 1 岩礁帯の貝類

東幡豆町の潮間帯では、カサガイ目の貝類が5種確認された。このなかのアオガイ類の3種（コウダカアオガイ、カスリアオガイ、クモリアオガイ）は、互いに近似する形態的特徴のため、かつて他のアオガイ類の種と共に同一種の形態型とみなされていた。しかし、詳細な分類学的研究により、3種すべてが別種であると結論付けられた（佐々木・奥谷 1993）。

コウダカアオガイ（写真1a）は、3種のなかでもより外海に面した潮間帯の最も高い部位の岩礁域環境に多く見られる。殻は円形に近い楕円形であり、殻の表面は微細な顆粒状突起が多数見られ、アオガイ類のなかでもザラザラしている。殻の模様は、淡色の不明瞭な斑紋が見られるか、もしくは模様はなく黒色1色の場合もある。

カスリアオガイ（写真1b）は、コウダカアオガイよりも若干低い部位に見られる。殻は円形に近い形状でコ

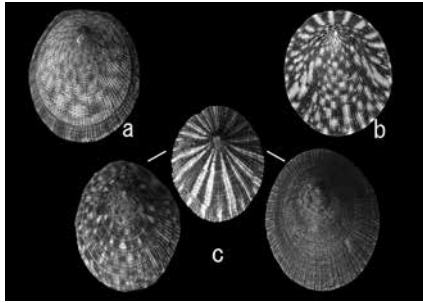


写真1 東幡豆町の岩礁・転石地で見られるアオガイ類（撮影：早瀬、編集：社家間太郎氏）  
a: コウダカアオガイ b: カスリアオガイ  
c: クモリアオガイ

ウダカアオガイに近いが、殻の表面の顆粒状突起は低く弱い。殻の模様は円く楕円形の白い斑紋がきわめて明瞭であり、コウダカアオガイと識別できる。カスリアオガイの模様のバリエーションは乏しく、東幡豆町の個体群に関しては、すべて同様の斑紋である。

最後にクモリアオガイ(写真1c)は、3種のなかで最も低い部位に見られる種である。殻はより楕円状で、3種のなかで最も小型かつ殻高が高い種である。クモリアオガイの斑紋は変異に富み、黒1色のもの、白い斑紋を散在させるもの、白い放射彩をもつものなど多様である。

ここまで東幡豆町で見られるアオガイ類3種について形態的特徴を述べたが、実際に現地でも物に接すると、識別は容易ではないだろう。アオガイ類は形態的特徴が類似しており、分布域も少しづつ重なっている(佐々木・奥谷 1993, 山平 2006)、かつては同一種の形態型と考えられていたことにもうなずける。

このほか、東幡豆町にはヒメコザラという小さなカサガイ類が見られる。本種は、外洋の潮間帯上部に多数生息するコガモガイ類とも近似するが、歯舌の縁歯が長い特徴により、縁歯が小さく不明瞭な特徴のコガモガイ類とは明らかに区別される。さらに、このヒメコザラは、シボリガイ、ツボミガイと形態的に近似している。これら3種は、近年まで同一種内の形態型とされていたが、現在は明確に別種とされる。ヒメコザラは内湾の潮間帯に広く生息する。シボリガイは河口付近の汽水域の潮間帯に生息する。ツボミガイは河口付近や内湾環境に生息するウミノナ類の殻の上のみに付着して生息する。東幡豆町で確認された種はヒメコザラのみであったが、三河湾内にはこれら3種が生息しているので、生息環境の違いを調べてみるのも面白いだろう。

このようにカサガイ類は、形態的な派手さはなく、地味な存在ではあるが、海岸に出ればいつでも多数の個体を見ることができるので、まず、身近な東幡豆町の海岸で見られるこれらのカサガイ類の分類を試みてはどうだろうか。身近な貝類の分類から、科学的な興味により発展してゆくことになるかもしれない。

(大貫貴清・早瀬善正)

## 2 転石帯の貝類

### 海と陸の狭間の貝類

潮間帯という限られた範囲に生息する貝類には、さらに特定の潮位帯にのみ生息域が限定される種が存在する。特に飛沫帯(満潮時でもほとんど水没しない潮間帯最上部)の環境に生息する貝類がそうである。この環境に生息する貝類には、タマキビ科の仲間(藻場にいるモロハタマキビと同じグループ。3章4参照)が良く知られているが、ほかにも、アマオブネ目、クビキレガイ科、カワザンシヨウ科、オカミミガイ科などの種も見つかる。これらのなかには陸産貝類(カタツムリの仲間)となっている種も多く存在し、陸上進出の過程にある一群ととらえることもできる。

このように潮間帯上部の環境には、陸域と海域をつなぐごく狭い空間のみに生息域をもつ貝類

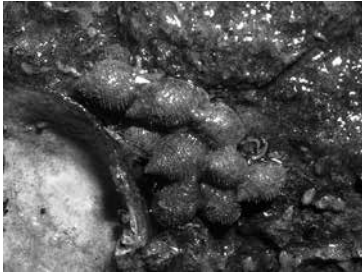


写真3 ウスコミミガイ (西尾市東幡豆町: 前島の潮間帯上部の埋没石の裏側) (撮影: 早瀬)



写真2 ヤマトクビキレガイ; 中央の小さな貝はサツマクリイロカワザンショウ (西尾市東幡豆町: 前島の飛沫帯の転石下) (撮影: 早瀬)

が存在している。ここでは、海なのに海水にあまり触れない環境に生息する貝類のなかで東幡豆沿岸で見られた主な種について紹介したい。

東幡豆町で見られるアマオブネ目の貝類として、アマオブネ科2種のほかに転石下に生息するユキスズメ科のヒナユキスズメが確認されている。陸上に棲むアマオブネ目には、東幡豆町に生息しないものの、愛知県他の地域に、生息地が限定的で希少な種であるヤマキサゴや微小なゴマオカタニシ類が見られる。

さらに、クビキレガイ科のヤマトクビキレガイ(写真2)は、前島のほとんど水没しない飛沫帯のごく限られた範囲の転石の下に、ジムカデ類やワラジムシ類などの海浜性の陸上節足動物、カワザンショウ科のサツマクリイロカワザンショウと共に生息している。カワザンショウ科には、ほかにも陸域に進出して海岸部の海浜植物の根元などに生息するヘソカドガイという種がおり愛知県下の分布記録もあるが、東幡豆町では確認されていない。なお、クビキレガイ類のこの「首切れ」という名称は、殻頂部(Ⅱ首)が成長完了時には折れて脱落する特徴に由来している。ただし、殻頂部を頭とみなすか、尻とみなすかは命名者の気分次第であり、同じ部位でもそれぞれの種により異なった名称となっている(例・シリオレギセル)。

このほか、オカミミガイ科の種については、東幡豆町ではウスコミミガイとハマシイノミガイの2種が確認された。ウスコミミガイ(写真3)は人工の石積み護岸のほか、前島や沖島の転石地などの潮間帯上部の石の下に生息していた(早瀬ほか2011)。ハマシイノミガイは、僅か1個体の生息確認に過ぎなかったが、前島の飛沫帯の転石下に生息していた。これらも潮間帯の上層

に特有の貝類群である。オカミミガイ科のなかでもケシガイの仲間は、1mm程度の大きさにしかならない半透明の殻をもち、標高1000mを越える山中にも生息する完全な陸棲種となっている。

ここまで話題にあげた陸産貝類との関連性からも、飛沫帯など潮間帯上部の環境は、そこに棲む特定の貝類にとつての重要な微細生息環境(マイクロハビタット)であると同時に、多くの巻貝類が陸上進出した際の通過点になったと推測されることを理解いただけるだろう。

しかし、潮間帯のなかでも最も岸に近い飛沫帯の環境は、護岸や道路建設などのために人の手によって破壊されやすい環境でもある。この様な開発に伴う生息地減少のためクビキレガイ科やオカミミガイ科の種の多くは絶滅危惧種となっている。ウスコミミガイは、愛知県では絶滅危惧Ⅱ類の種であり、前島や沖島の天然の海岸に比較的多くの個体が生息している。ところが、人為的に作った護岸部でも多くの個体が生息していたのである。本種の場合は浮遊幼生期間をもつ種であり、孵化した幼生は一定期間、海中をプ

ランクトンとして生活する。そのため、流された幼生が別の生息場所に着底することがあるので、人為的に創出された環境にも新たな個体群が定着することにつながっている。ただし、この場合の護岸は天然石の石積み護岸であり、作られてからの時間もかなり経過しているなどが重要な要素であろう。どんな材料でもすぐに生物に適した環境になり得るという訳ではないことを覚えておきたい。

一方、ヤマトクビキレガイの場合は直達発生（浮遊幼生を経ないで、卵や親貝から直接幼貝が生まれること）であり、この場合はより個体群維持が難しい。直達発生の場合には、人為的な好適環境が作り出せたとしても、海流で他所から浮遊幼生個体が運ばれて新たな個体群が生じることはない（流木等と一緒に流れ着くことでもない限り）。そもその個体群を維持することが重要なのである。

ヤマトクビキレガイは前島の1mにも満たないきわめて狭い範囲のみに生息していた。この狭い空間の維持がきわめて重要なのである。さらに、直達発生の種は自力移動しか移動手段がないので、浮遊幼生期をもつ種と比べて分散能力が低く地域間での遺伝的交流も薄くなり、地域ごとの遺伝的差異が大きくなる。つまり、各地域独自の特色をもった個体群が成立しやすいためである。

このことは、その場所の個体群がいなくなったら、別の場所にたくさんいる同種の個体を持ってきて増やせばいいじゃないか？という単純な案では、解決にならないことを示している。同一種であっても、各地域個体群は遺伝的な差異から見れば別ものだと示していることである。

したがって、ヤマトクビキレガイの保護は、環境の保全ということに加えて、この地域の個体群の保護が最重要という側面も加味されるので、ウスコミミガイよりもさらに困難である。このように同じ潮間帯最上部の環境に生息する貝類であっても生き方や置かれた状況は各種様々なのである。

さて、以上見てきた潮間帯上部の貝類は全て巻貝類であったが、二枚貝類の一部の種が好んで生息する場合も見られる。二枚貝類の多くは、海水中の有機懸濁物をろ過摂食しており、餌環境の面だけで見ると潮間帯上部に生息する利点は少ない。しかし、好きなように動くことができる自由生活のクチバガイが、なぜか分からないが潮間帯上部に生息している。砂泥質干潟において、満潮時の汀線付近の砂中に、本種が多数生息している。一方、転石海岸では、飛沫帯に近い転石の下に干潮時半ば乾いた状態で多数の個体が見られる。内湾奥の打ち上げ物が多数堆積したゴミのかたまりのような中から多数出現することもある。二枚貝類の中からは、さすがに陸上進出したものはないが、クチバガイは陸地に生息しているとも言いたいような種である。なぜ、この様に不思議な生息を示すのか、その理由は明らかにってはいいない。

潮間帯の特に上部の環境は、海水が十分に満たされることがなく、温度変化や陸上生物による捕食なども考えられる厳しい環境であるが、このわずかな範囲のマイクロハビタットを活用して多様で特殊な貝類の分類群が生息している非常に興味深い環境でもある。



## 還元環境の貝類

## 転石帯の特殊環境とは

海水の循環が制限されるような環境下では、有機物が堆積し、酸素も乏しくなる。すると硫化物が発生し、砂中の鉄分と反応して黒い砂（硫化鉄）となり、温泉地の硫黄臭にも似た臭いがする。このような酸素の乏しい「還元環境」は、通常、河口域や湾奥部の閉鎖的な環境に多く形成されるが、潮通しの良い開放的な海岸でも、特に砂や泥に深く埋没した転石下のマイクロハビタットに形成されるのである。後者の埋没石下の「還元環境」では、そのような環境にのみ限定的に出現する希少な特殊環境棲貝類が存在することが知られている（日本ベントス学会 2012）。

埋没石下の特殊環境棲貝類は、厳密には直に還元環境に生息しているわけではない。埋没転石下には、ゴカイ類やイソメ類などの多毛類や、アナジャコ類やテッポウエビ類などの甲殻類、様々な底生生物が生息している。これらの底生生物が転石下に巣穴を掘り、転石下に空間を作り生活するなどして、転石と砂泥の間に隙間が生じることがある。このような隙間に酸素や海水の循環がある空間が形成され、還元環境の一部分に好氣的な環境が生じる。この還元環境と酸化環境の境界に、特殊環境棲貝類が見られるのである。

このようなマイクロハビタットは従来ほとんど調査されず見過ごされてきたが、最近の調査により、発見例の少なかった貝類が多く生息していることが分かってきた。その一例として、和歌山県で1958年に記載されて以来30年以上発見されず、幻の貝とよばれてきたワカウラツボは、河口部の泥質干潟に見られる埋もれ石や流木下の還元的環境に限定的に棲むことが知られて以来、日本各地で発見されるようになった（日本ベントス学会 2012）（写真6）。

三河湾には前島・沖島・梶島などの小さな無人島から、佐久島・日間賀島・篠島といった比較的大きな有人島まで、いくつかの島嶼（嶼は「小島」のこと）が存在する。これら島嶼の海岸は比較的開発が進んでおらず、良好な環境が残されており、特殊環境棲貝類の生息環境が残されている可能性も高いのである。筆者らは、2013～2014年にかけて東幡豆町にある二つの島嶼（前島と沖島）で、転石帯の埋没転石下の貝類を調査する機会に恵まれ、いくつかの発見をすることができた。これら二つの島で確認できた貝類のうち、特徴的で珍しい習性や形態をもつ貝類のいくつかを紹介していきたい。

## 転石帯の特殊環境に棲む貝類…ヒナユキスズメ

前島と沖島には比較的広く転石帯が存在するが、特殊環境棲貝類は、どのような石の下にもいるわけではない。調査では、淡水が滲出しているような場所の埋没石下のほか、埋没石の下が黒い硫化物で覆われた還元的環境となっている場所を中心に探索する。特に大きな石の下の方が還元的環境となった場所の面積が大きく、特殊環境棲貝類が見つかる可能性は高い。一抱えあるような大きな岩の場合、テコの原理を利用して棒を使い、二人がかりで起こす場合もある。これを炎天下の干潟で行う際は大変な重労働であるが、良い具合に動物の巣穴等がある場合、一つの岩の下から多種多数の特殊環境棲貝類が同時に見つかることもある。ただ、やはり希少種というだ

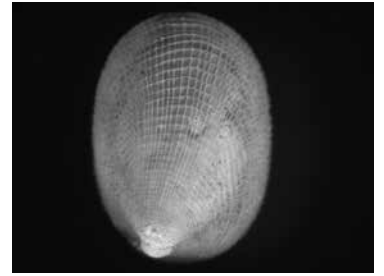


写真4 ヒナユキスズメの殻 (西尾市東幡豆町: 前島) (撮影: 早瀬)



写真5 ヒナユキスズメの生態 (西尾市東幡豆町: 前島) (撮影: 早瀬)

きた貝類は65種にも上ったが、ほとんどが通常の潮間帯でみられる酸素が豊富な環境を好む種であり、特殊環境棲の貝類はこのうちの10種程度であった。本項ではこの特殊環境に限定的に出現するごく少数種を特に取り上げて述べる。ヒナユキスズメは、軟体部が赤く、5mm以下の小さな笠形の貝であり(写真4)、内湾の転石下還元環境の種として代表的なものである(写真5)。ヒナユキスズメは、前島・沖島ともに比較的多く見られたが、マイクロハビタットの違いによるものなのか、沖島では前島よりも小さな個体が多かった。硫化物で黒く覆われた転石下においても、底生生物の巣穴などによってできた空間により、一部黒化していないような石の表面に、笠のような殻をびったりと付けて貼りついている。

ヒナユキスズメは、一見するとカサガイ類に似ているが、足の筋肉中にきわめて微細な石灰化した透明な蓋をもつなど、カサガイ類とは特徴が全く異なっている。ヒナユキスズメの学名(世界共通の正式名称)は *Phenacolepas* sp. であるが、この語尾の sp. は種を表す species の略である。日本語で言うならば、「ユキスズメ属の一種」という意味になる。したがって、このヒナユキスズメは、これから後に正式に論文で記載されてからようやく新種として認められる予定の新種予備軍で、「未記載種」とよばれるものである。後述のナギツボやイシン属の一種も同様に未記載種であり、これから新種となる可能性がある新種候補の貝類たちである。つまり、東幡豆の身近な転石帯にも、いくつも新種の貝がいるのである。

ヒナユキスズメが属するユキスズメ科貝類の多くは、ヒナユキスズメと同様に転石下の還元環境に多くの種が生息しているが、シンカイフネアマガイは深海の熱水の噴出域に生息している。ヒトや魚類等の脊椎動物はヘモグロビンが含まれる赤い体液をもつが、貝類や甲殻類等の多くはヘモシアニンが含まれる透明でやや青い体液を持つ。ところが、ユキスズメ科の貝類は、脊椎動物と同様にヘモグロビンが含まれる赤い体液をもつ (Fukuda 1995)。その理由としては、貧酸素の環境でも効率よく酸素を運搬するためであることが考えられる。

ただし、通常のヘモグロビンは酸素よりも硫化水素と結合しやすく、しかも結合した硫化水素は離れなくなつて、酸素との結合ができなくなつてしまう。私たち人間が硫化水素を含む火山ガスを吸うと危険なのはこのためである。還元環境に生息する生物では、体液に特殊な性質をもつことでこの問題を克服しているものも多い。深海の熱水噴出孔に生息する貝類として有名なシロ

けあつて、種によっては数十個起こした石に1個体という生息密度の低さの場合もある。

このようなことから、特殊環境に生息する種類を見つければとは簡単ではない。また、多くが5mm以下の微小な貝であるので、これを見つけないにも集中力を必要とし、一苦労である。

このようにして転石帯で確認で

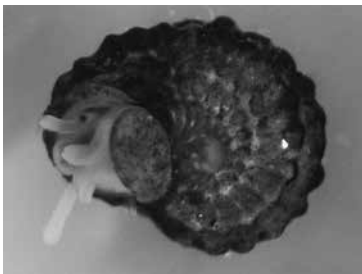


写真8 シラギクの生体 (西尾市東幡豆町・前島) (撮影: 早瀬)

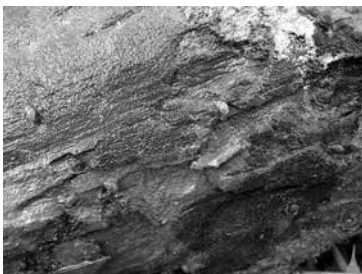


写真9 ワカウラツボの生態 (名古屋市港区: 庄内川河口) (撮影: 早瀬)

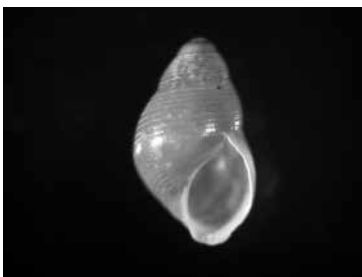


写真10 サザナミツボの死殻 (西尾市東幡豆町: 小河川河口) (撮影: 早瀬)

どちらも貝殻は白色半透明で透き通っており、ナギツボの方がやや殻高が高く(写真6)、イソコハクガイの殻の方が平たい(写真7)。どちらも腹足の後端がくぼみ、中央には細く短い紐状の後足触角をもっている。これら2種はイソコハクガイ科というグループに属し、筆者らの調査により愛知県での生息が初めて確認された(早瀬ほか 2015a・b)。ナギツボは、前島・沖島両島の北側の転石帯で確認されたが、前島でより多くの個体が観察された。ヒナユキズメと同様の環境を好むらしく、同じ転石から見つかることが多かった。イソコハクガイは沖島の北側の転石帯のみで観察されたが、浅く埋もれた転石下に比較的多くの個体が生息していた。

イソコハクガイ科にはほかにシラギク(写真8)という種が前島・沖島の両島で確認できた。

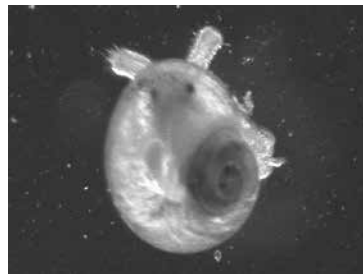


写真7 イソコハクガイの生体 (西尾市東幡豆町: 沖島) (撮影: 早瀬)



写真6 ナギツボの生体 (西尾市東幡豆町・前島) (撮影: 早瀬)

ウリガイではヘモグロビンのほかに硫化水素を運ぶ特殊なタンパク質をもっており(橋本 1997)、高濃度の硫化水素の中でも呼吸が可能となっている。

ヒナユキズメの赤い体液がシロウリガイのように特別な機能を備えているかは不明である。今後の研究が待たれるが、ほかの還元環境に棲む生物同様に何らかの特別な機能をもっていたとしても不思議なことではないだろう。

#### 転石帯の特殊環境に棲む貝類…微小な巻貝1

先述したヒナユキズメの5mmというサイズは、一般の人々の感覚ではとても小さく思えるかもしれない。しかし、ナギツボ(前島・沖島両島で確認)、イソコハクガイ(沖島でのみ確認)、イシン属の一種(前島のみで確認)に至っては、わずか1~2mm程度と、現地ではもはや白い点にしか見え、貝としての認識すらも危ういサイズである。これらの貝類は現地で貝であろうと認識された時点で持ち帰り、実体顕微鏡下で生きたままの状態を観察してはじめて種類が分かる。

ナギツボとイソコハクガイは1mm程度の非常に小さな貝で、



写真11 イシン属の一種の殻（西尾市東幡豆町：前島）（撮影：早瀬）

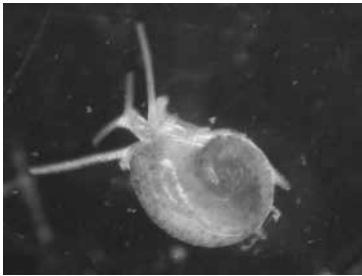


写真12 イシン属の一種の生体（西尾市東幡豆町：前島）（撮影：早瀬）

シラギクは3mm程度と上記2種と比べやや大きく、まるでアンモナイトのように凹凸が殻の表面に見られる。これを菊の花に見立てて純白の殻に対してシラギクというが、生きている個体では殻の表面に黒色の硫化鉄が付着し、「黒菊」とでも言いたい様相をしている場合も多い。シラギクに関しては、過去に愛知県内で死殻が見つかったのはいたもの、生きた個体は見つかったおらず、筆者らの調査で初めて、現在も絶滅することなく愛知県下に生息していることが確認された（早瀬ほか 2015b）。

最後に島嶼ではないが、東幡豆町（妙善寺前・東浜干潟）の小河川河口域の還元環境では、ベントス調査（多毛類、6章2）のサンプルに、これまでこの地域では確認されていなかった、ワカウラツボ科のサザナミツボの死殻が発見された（写真10）。この死殻は新鮮な状態であり、現在も当地にサザナミツボが生息していることを示唆するものである。サザナミツボは1・5mm程度の微小な種である。サザナミツボやワカウラツボ（写真9）などが属するワカウラツボ科は、前述のイソコハクガイ科と比較して、殻高が高く卵形から卵円錐形をしている。

イソコハクガイ科やワカウラツボ科のなかには、水深100〜400mの海底に沈んだ沈木周辺の還元環境に出現するキツキイソマイマイ（イソコハクガイ科）やキツキツボ（ワカウラツボ科）という貝がいることが知られている（Hasegawa 1997, 佐々木 2010）。特に転石下のサザナミツボと沈木周辺のキツキツボは、共に *Nozobu* 属に属している近縁な種でもある。これらの種も、ヒナユキスズメとシンカイフネアマガイの関係と同様に、遠く離れた浅海と深海のそれぞれに類縁関係のある貝が棲んでいる事例であり、生物の進化生態を考えた面からはとても興味深い。

#### 転石帯の特殊環境に棲む貝類…微小な巻貝2イシン属の一種

微小な貝としては、カクメイ科に属すイシン属の一種も確認されたが、先述のナギツボやイソコハクガイなどと、現地の目視確認で見分けることはかなり難しい。貝殻の形は、イソコハクガイに似たやや平たい形状である（写真11）。生きている姿を実体顕微鏡下で観察すると、前後端の二又した腹足と、先端が二分岐した長い吻や、右体側に一本の外套触角をもった特徴的な姿をしている（写真12）。

イシン属の貝類は、これまで神奈川県、静岡県、和歌山県、広島県、山口県、大分県、沖縄県で見つかっているが（Fukuda and Yamashita 1997, 木村ほか 2012）、本種も愛知県では初の記録となる（早瀬ほか 2015b）。今まで見つかった産地でも分布は局所的で非常に珍しい貝である。

前島では島の南側の転石帯で、たった1個体が確認された。この仲間は殻の形では種の判別が難しく、種の同定には少なくとも歯舌（口にある餌を削り取る器官）の形状を電子顕微鏡等で観察する必要があるとされている。稀である上に、このような理由もあり、イシン属の分類研

究は進んでいない。さらに、大分県と山口県の記載種の生息地は50 kmしか離れていないにもかかわらず、それぞれ独立した種として記載されたことなども合わせて考えると、今回確認されたイシン属も、将来新種と判定される可能性がある。

ところで、このグループには、革命(カクメイ)科、維新(イシン)属という非常に変わった名称が付けられている。日本国内ではもう1属、カクメイ属の存在も知られているが、幡豆では現時点で未確認であり、本科3属中、残る1属の一揆(イツキ)属は国内未記録である。このグループの発見は、次のような理由により巻貝の進化や系統を考える上で、まさに革命的であったといえる。

イシン属が位置するミズシタダミ上科は、ミズシタダミ科、ガラスシタダミ科、カクメイ科などで構成される。ミズシタダミ科は、北半球の内陸の淡水域のみに広くみられ、日本では琵琶湖や芦ノ湖、木崎湖などの大きな湖を中心とした淡水の湖沼に生息する。一方、ガラスシタダミ科は、水深400 mの沈木群集や深海の熱水鉱床に生息することが報告されていた(Hasegawa 1997)。これらの仲間の多くは、発生時の殻(原殻)の左右の巻き方が後に180度逆転(逆旋)したり、90°150度ほどまでねじれる「異旋」という特徴をもち、異旋類とも呼ばれる。

ところで、ミズシタダミ上科などが属する異鰓類は、異旋類(ミズシタダミ科やトウガタガイ科等)、後鰓類(ウミウシ等)、有肺類(カタツムリ)を含む大きなグループでありながら、その起源に関しては長らく不明であった。ガラスシタダミ科は扇舌型の歯舌や両櫛鰓をもち、ミズシタダミ科も櫛鰓状の二次鰓や多旋型の蓋をもつなど、異鰓類でありながら、原始的な前鰓類(イボキサゴ・サザエ等、海産種のみ)と共通する特徴をもっている。そのため、これらのミズシタダミ上科は、古い時代に海域において、原始的な前鰓類と分岐した最も原始的な異鰓類、つまり、前鰓類とほかの多くの異鰓類との橋渡しの存在であるとの仮説が考えられていた。

ただし、先述のように原始的な異鰓類のはずのミズシタダミ科は純淡水域のみに生息しており、海域のグループから派生した一部とみなさなければ、海域で原始的な前鰓類より異鰓類が分岐したとする考えが成立せず、仮説を立証する際の障害となっていた。上記の仮説を裏付けるためには、ミズシタダミ科が海域より派生したことを示すための、淡水域と海域をつなぐ場所(湾奥や汽水域の潮間帯など浅海域)に生息するミズシタダミ科の近縁種の存在の発見が不可欠であったが、そのような種類は長らく見つかることがなかった。

しかし、ついにPonder (1990)により、ミズシタダミ科と同様の殻や軟体部の特徴をもつカクメイ科貝類(異鰓類)の存在が浅海域で発見・報告されたのである。つまり、この報告により、上記の仮説を成立させるために必要であった、系統分類上の欠けた一環(ミッシングリンク)がようやく埋められたのである。なお、その後、長谷川(2006)や福田(2012)などにより、ガラスシタダミ科においても、本州の内湾浅海の還元的環境から未記載種(*Xenoskenia* sp.)の生息が報告されている。

カクメイ科貝類は、1~2 mm前後とごく微小な上に、棲んでいる場所は内湾湾奥の主に砂泥に深く埋もれた石の下であり、近年まで生きた姿が全く人目に触れることはなかったのである。このように多くの人々にとっては単に目立たない微小な貝が、巻貝類の進化系統を考える上で、非

常に貴重な存在なのである。この微小なカクメイ科貝類が、例えるならば、サルとヒトの分岐点に位置する猿人の化石の発見にも相当するような、まさに革命、維新級の興奮を貝類学者にもたらしたのである。この幡豆の海でも、そのように貴重な貝（カクメイ科イシシ属）が、現在まで、人知れず生き続けていたのである。

#### 転石下の特殊環境と深海環境との接点

これらの特殊環境に生息する貝類は、先述した通り、近縁種内で浅海と深海の還元環境に離れて生息している事例が多い。深海の熱水噴出孔や冷水湧出帯では化学合成細菌を生産者とする独自の生態系が存在する。このような場所から噴出する湧水には硫化水素やメタンなどが含まれており、転石下同様、還元環境となっている。また、深海底に沈んだクジラや流木の周りにも還元環境やそれ自体からなる特殊な環境が出現し、それぞれ「鯨骨群集」や「沈木群集」とよばれる独自の生物群集を形成する。このような場所では、生産者である化学合成細菌は硫化水素のような還元物質を酸化して有機物を合成し、消費者である貝類や甲殻類などは、化学合成細菌と共生したり、餌として利用する。

局所的な還元環境は、浅海から深海まで広く離れて点在している。問題は、それぞれの還元環境に同じ系統の生物がどのようにして辿り着き分化していったか、ということである。近年、特に鯨骨群集に関して、ステッピングストーン仮説とよばれる説が提唱されている (Smith *et al.* 1989)。これは、それぞれ遠く離れた熱水鉱床に生息する近縁の生物の分散過程において、鯨骨

や沈木が足掛かりになるとい説である。この説は鯨骨群集と熱水鉱床の生物群集に共通点が少ないことから、いまだ立証されていない。

また、鯨骨や沈木が化学合成生物群の分散の足掛かりとなった訳ではなく、浅海から深海の熱水鉱床へと進出し、進化してゆく足掛かりとなったという進化的ステッピングストーン仮説 (Distel *et al.* 2000) も提唱されている。例えばイガイ科の仲間、浅海に多く生息しているが、何かの要因で海底の鯨骨や沈木で生息するようになり、硫化水素を利用する能力を獲得する。このような種から熱水鉱床で生活する種が進化していったと考えられている。

転石下の特殊環境に生息する貝類は浅海性種ながら還元環境に生息しており、近縁な種が深海の還元環境にも生息するという事実は、どちらが起源にせよ、共通の祖先から同様の環境を足掛かりとして新たな生息域へと進出し分化していったことが想像できる。転石下の特殊環境の貝類はイガイ類などとは違い、浅海性の種そのものが希少であるので未だに研究が進んでいないが、同じ系統の貝が遠く離れた深海と浅海の還元環境に限定して生息していることは事実であり、今後大きな発見がなされるかもしれない。

#### 石の裏の華やかな貝類

##### 石の裏の二枚貝・ウロコガイ類

埋没した転石下には、これまで紹介してきた巻貝類のほかに、二枚貝類が生息している場合もある。特にウロコガイ科の二枚貝類は、多くの種が転石下の特殊環境棲巻貝類と共に生息してお



写真14 ツヤマメアゲマキの生体 (西尾市東幡豆町: 前島) (撮影: 早瀬)

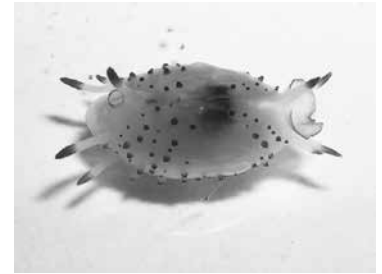


写真13 オウギウロコガイの生体 (西尾市東幡豆町: 前島) (撮影: 早瀬)



写真16 マツモトウロコガイの生体 (西尾市東幡豆町: 沖島) (撮影: 早瀬)

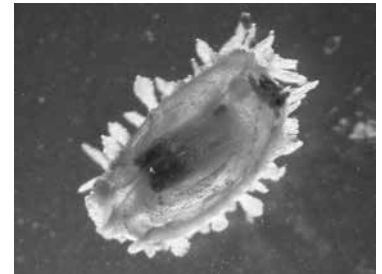


写真15 ニッポンマメアゲマキの生体 (西尾市東幡豆町: 前島) (撮影: 早瀬)

ゲマキ(写真15)は、アオサ類が多く漂着している海岸で確認され、転石下面にカンザシゴカイ科の棲管やカキの殻が固着し、間隙ができている場所に付着していた。マツモトウロコガイ(写真16)は、沖島の北側の浅く埋没した転石下で、わずかに1個体のみが確認された。ウロコガイ類には、ほかの無脊椎動物の体表面に共生する種、ほかの底生生物の巣穴に共生するもの、そして自由生活するものといった具合に、多様な生態の種が存在する(Goto et al. 2012)。これらウロコガイ科貝類の分類は難しく、いくつかの科に細分される場合もあるが、ここでは大きくまとめられた広義でのウロコガイ科として扱うこととする。

ウロコガイ科のなかで、ほかの底生生物の体表面に共生する種には、マゴコロガイやオサガニヤドリガイ、ガンツキなどがある。また後述するスジホシムシモドキヤドリガイも近い生態をもっている。これらは底生生物の体表に付着して生活している。特にマゴコロガイは有名で、釣り餌にもよく用いられるアナジャコの胸部の腹側に特異的に付着する。私たちヒトでは心臓がある位置にハートの形の貝が付着する様子から「真心貝」と名付けられている。マゴコロガイは残念ながら、三河湾では確認されず、愛知県では名古屋港でのみ見つかった(木村・山本 1990)。ほかの底生生物と共生するウロコガイ科には、このほかにも三河湾では報告例がないが、ニッポンヨーヨーシジミやナタマメケボリなどの数種類が知られる。これらの種もどのような底生生物でもよいというわけではなく、ここで挙げたニッポンヨーヨーシジミではシマトラフビメシヤコというシヤコの巣穴、ナタマメケボリではタテジマユムシの巣穴と、それぞれ特定の底生生物の巣穴に限定して生息している。

り、その生態や形態も多様性に満ちている。東幡豆では、オウギウロコガイ、ツヤマメアゲマキ、ニッポンマメアゲマキの3種が前島で、スジホシムシモドキヤドリガイとマツモトウロコガイの2種が沖島で確認された。このうちスジホシムシモドキヤドリガイを除く4種は、転石下の還元環境周辺で生活している。

前島で確認された3種は、島の北側の転石帯で確認された。オウギウロコガイ(写真13)とツヤマメアゲマキ(写真14)は、陸から淡水がしみだしているような滲筋にある同一の転石下に生息していた。ニッポンマメア

このようにウロコガイ科のグループ全体を通して見ると、小さく目立たない存在の二枚貝から、多様な共生関係と特殊な底生生物間の生態的つながりを垣間見ることができる。

#### ウロコガイ類とウミウシ類との類似点

転石下で見られたウロコガイ科のうち、何らかの生物と共生しない自由生活を送る種としては、オウギウロコガイ、ツヤマメアゲマキ、ニッポンマメアゲマキ、マツモトウロコガイが確認された。自由生活者のウロコガイ科では生きているとき、外套膜とよばれる軟体部分で殻全体を覆っている種が多い。このような例は美しい巻貝であり、貨幣として利用された貝類（貝貨）としても有名なタカラガイ類では良く知られている。

今回確認された種の中でも、オウギウロコガイとツヤマメアゲマキは外套膜から多数の触手のような突起が伸びている。突起の先端は、オウギウロコガイでは赤、ツヤマメアゲマキでは黄色で、非常にカラフルな色彩をしている。自由生活のウロコガイ科の一部にはこのように外套膜に派手な突起をもつ種がいることから、最近では一部のダイバーの間で観察の対象となつている種もいるほどである。

これらの派手な外套膜突起が、干潮時に石の下に潜む二枚貝にとってどのような意味があるのかは未だよく解っていない。可能性の一つとしては、満潮時には活発に行動し、外敵、特に視覚の発達した捕食者に対する警戒色として、何かに擬態していることが考えられる。もし擬態であるならば、モデルとなった生物には毒や忌避物質等があり、かつ目立つ色彩をしているはずである。

これらの派手な外套膜突起が、干潮時に石の下に潜む二枚貝にとってどのような意味があるのかは未だよく解っていない。可能性の一つとしては、満潮時には活発に行動し、外敵、特に視覚の発達した捕食者に対する警戒色として、何かに擬態していることが考えられる。もし擬態であるならば、モデルとなった生物には毒や忌避物質等があり、かつ目立つ色彩をしているはずである。

そのようなモデルには、イソギンチャクやクラゲなどが考えられる。イソギンチャクやクラゲは刺胞動物と呼ばれるグループに属している。刺胞動物には、その名が示す通り、刺胞という特有の細胞小器官がある。刺胞は刺激をうけると内部が反転し、刺糸と呼ばれる糸状の構造が飛び出す。これが相手に刺さったり、絡まることで毒を注入するのである。クラゲに刺されるといのは、この刺胞によるものである。自由生活者のウロコガイ科二枚貝がもつ外套膜の突起の形状は、イソギンチャクやクラゲのような刺胞動物の触手によく似ている。

もう一つ擬態のモデル生物として考えられるのはウミウシ類である。ウミウシ類は派手な色彩や奇抜な形状をしているものが多く、ダイバーにも人気が高い軟体動物である。多くのウミウシ類はカイメンや刺胞動物などの特定の餌生物を専食している。これらの餌生物には毒や忌避成分が含まれているが、ウミウシ類はこれら餌生物のもつ毒や忌避成分を自分の体に取り込み蓄積したり、さらに活性の強い物質に作り替えたりすることができる（平野 2000）。このように、ウミウシ類は餌生物の防御機構を取り入れることにより、派手な色彩や形態をしているにもかかわらず外敵に襲われないのである。

ウミウシ類の中でも特にミノウミウシ類は、餌生物の武器を巧みに自分のものとして利用できることが知られている。ミノウミウシ類の餌は、刺胞動物である。ミノウミウシ類は刺胞動物を食べる際に、発射されていない刺胞を体内に取り込む。ミノウミウシ類の多くは背中に多数の突起をもっているが、取り込まれた刺胞を突起にある刺胞囊という体構造中に貯めることができる。こうして、取り込んだ刺胞を自分の身を守るための武器として利用する。これは「盗刺胞」と呼



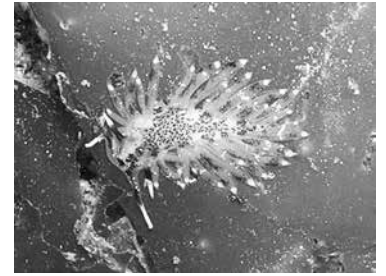


写真17 ヤツミノウミウシ (西尾市東幡豆町：前島) (撮影：早瀬)



写真18 イズミドリガイ (西尾市東幡豆町：沖島) (撮影：早瀬)

ばれている。

幡豆の調査でも、前島の転石下でヤツミノウミウシというミノウミウシ類が確認された(写真17)。自由生活者のウロコガイ科の突起は、ミノウミウシ類の突起とよく似ている。また、ツヤマアゲマキやオウギウロコガイなどの生体を観察すると、通常の二枚貝とは異なり、足を使ってまるでナメクジのように這いまわって移動する様子が観察できる。このような動きはミノウミウシ類に酷似する。以上のことから、自由生活性のツヤマアゲマキやオウギウロコガイは、ミノウミウシ類を擬態のモデル生物としている可能性が考えられる。ただし、この仮説も未だ実証はされていない。というのも、自由生活のウロコガイ類は希少な存在であり、その生態やほかの生物との相互関係を解明するためには、相当な時間と労力をかけて観察事例を増やす必要があるからである。

最後に、ウミウシ類の変わった特性についても少し述べたい。今回沖島ではイズミドリガイというウミウシ類が観察された(写真18)。このウミウシは囊舌目のゴクラクミドリガイ属というグループに属する。東幡豆周辺の潮間帯ではヒラミルミ

ドリガイやこの属の不明種などが確認されているが(早瀬ほか2011)、これらの種が愛知県下で確認されたのは初めての記録である。

このゴクラクミドリガイ属の仲間には、緑藻類を餌としている(Jenson 1997)。幡豆の海にも、シオグサ類やミル類といった緑藻が分布しており、本種もこのような緑藻類を餌にしていると思われる。本種は名前の通り緑色をしているが、これらの緑藻類に付着しても目立たない保護色の役割をしている。

また、この体色は、別の能力も秘めている。ゴクラクミドリガイ属のウミウシにはほかのカイメン食や刺胞動物食のウミウシと同じく、餌生物の特性を自身に取り込み利用することができる種も知られている。彼らは、餌である緑藻に含まれている葉緑体を壊さずに体内に取り込み蓄積し、取り込んだ葉緑体により光合成を行うことが可能なのだ。これを「盗葉緑体」とよぶ。

日本産のウミウシ類について盗葉緑体の知見は少ないが、山本ほか(2008)によって行われた調査では、8種の日本産囊舌目ウミウシ類について、光合成能があることが明らかとなっている。イズミドリガイに関しては、未だ調査されておらず、本種が光合成をおこなうかどうかは不明であるが、緑色の体色をしていることから、葉緑体を体内に蓄積している可能性は十分考えられる。今後研究が進めば、本種にもこのような変わった性質が見出されるのかもしれない。

(大貫貴清・早瀬善正)

### 3 共生・寄生生活をする貝類

次は、東幡豆町で確認された貝類のなかで、共生・寄生関係にあるものをいくつか取り上げ紹介したい。そのような種は、先述したウロコガイ科二枚貝類の一部の種とトウガタガイ科巻貝類に見られる。

ウロコガイ科のスジホシムシモドキヤドリガイは、干潟やアマモ場の砂泥中に多数生息する星口動物門のスジホシムシモドキの体表に細い足糸で附着し（写真19）、外部共生している微小な二枚貝である（写真20）。以前は本種をスジホシムシヤドリガイと表記した文献などが多かったが、本種はスジホシムシモドキのみに附着し、スジホシムシに附着することはないことから、最近ではスジホシムシモドキヤドリガイを正しい標準和名としている。

このスジホシムシモドキヤドリガイが何のためにスジホシムシモドキに附着しているのかについては明らかになっていない。稀に転石に附着する場合や、砂泥中に単独で見つかる場合もあり、必ずしもスジホシムシモドキに附着している必要性はないようである。

スジホシムシモドキヤドリガイなどウロコガイ科の種は、ユムシ類やホシムシ類、甲殻類のカニやシャコの仲間など砂泥中に巣穴を掘る宿主と共生することが多い。ウロコガイ科などの共生種にとっては、宿主が造る巣穴などの生息空間や宿主が起こす水流によって新鮮な循環水を確保

できること、宿主が集める懸濁物や餌の余り、宿主が出す粘液などの餌の摂取に都合が良いことが推測される。このように、共生性二枚貝類は、直接的に宿主に影響をおよぼす生態は示さないことが多い。

ウロコガイ科貝類は、宿主との共生関係の多様化とそれに対応する種分化が著しい分類群である。しかし、スジホシムシモドキヤドリガイをはじめ、これらウロコガイ科の分類や生態学的な解明の研究も、日本国内では最近になってようやく始められたばかりの未知の部分が多いグループである。

一方、トウガタガイ科巻貝類は、宿主の体液を吸うといった攻撃的な生態（寄生生態）を示す。トウガタガイ科巻



写真19 スジホシムシモドキヤドリガイ（写真上方に1個体）の付着するスジホシムシモドキ（西尾市東幡豆町：沖島の潮間帯）（撮影：大貫）



写真20 スジホシムシモドキに付着するスジホシムシモドキヤドリガイ（拡大）（西尾市東幡豆町：沖島の潮間帯）（撮影：大貫）

貝類では、東幡豆干潟においてヨコイトカケギリ（ヒガタヨコイトカケギリ）が確認された。転石地などでは、カキウラクチキレモドキ、スジイリクリムシクチキレ、ヨコスジギリ、クサズリクチキレ、



写真 21 クサズリクチキレの生体と生体 (西尾市東幅豆町:前島) (撮影:早瀬)

これらトウガタガイ科の種は、ほかの多くの巻貝類が持つ歯舌(3章4参照)を有しておらず、代わりに吻が細長く伸び、吻の奥には宿主に突き刺すための針(吻針)、さらに宿主の体液を吸うためのポンプ(口球ポンプ)を有している。私たち人間の場合に置き換えれば、蚊などの吸血性の昆虫に血を吸われるようなものかもしれない(比率から見ればさらに大型なのだが)。

これらトウガタガイ科の種は、宿主の体表に取り付け外部寄生をするグループである。ヨコイトカケギリは、干潟の砂泥底に多く見られる多毛類のミズヒキゴカイ類に寄生するとされる。ヨコスキウラクチキレモドキは、護岸や転石などに付着する固着性二枚貝のマガキに寄生する。ヨコスジギリ、クサズリクチキレ(写真21)、ミサカエクチキレは、主に石灰質の棲管を作るカンザシゴカイ科多毛類(6章2を参照)に寄生する。スオウクチキレは、足糸で転石や岩礁などに付着す

ミサカエクチキレ、スオウクチキレが確認された(早瀬ほか2011, 2015a・b)。上記は現時点で生貝が見られたもののみであり、死殻も含めればまだ多くの種の存在が知られている(口輪Bark)。なお、本科の多くに見られるクチキレという名称の由来は、口(=殻口)の軸唇に裳が1〜3本あり、時には外唇内面にも数本の肋があり、傷跡のようで、口が切れたかの様子に見えることから名付けられた。

る二枚貝のカリガネガイに寄生する。ただし、スジイリクリムシクチキレに関しては、いまだに何に寄生するのか明らかになっていない。主に固着性の宿主を選択する種は、宿主の付近に常時見られる。一方、比較的移動能力の高い多毛類などを宿主とする種は普段は自由に活動し、体液を吸う際のみ宿主に近寄る日和見的な寄生生態を示す。スジイリクリムシクチキレの宿主が不明な理由としては、後者の日和見的な寄生生態が可能性として考えられる。

これらトウガタガイ科の各種は、多様な無脊椎動物に寄生するが、特定の宿主を選択することにより近縁種間での競争を避けていると考えられる。このことにより、トウガタガイ科貝類は多様に種分化したのであろう。実際にトウガタガイ科は日本産のみで700種以上の学名の提唱があるとされる(肥後・後藤1993, 佐々木2010)。新種や生態が未解明な種もさわめて多く見られる。

近年、スマートフォンにその座を完全に明け渡しつつある状況になるまでは、日本国内の携帯電話の多機種・多機能化を指す言葉として、これを「ガラパゴス化」と呼んでいた。ダーウィンで有名な進化論にちなんでつけられたのであるが、トウガタガイ科各種の宿主選択の細分・特殊化とそれに伴う形態的な多様化ならびに種分化は、まさにそのような状態である。もつとも、携帯電話についてではなく、トウガタガイ科の種分化と多様化の方が正しい進化論的な考えに沿うものではあるのだが。

(大貫貴清・早瀬善正)

## 4 陸産貝類

## 前島と沖島の陸産貝類

海産の貝類に焦点を当ててきたが、ここからは陸上の貝類（カタツムリやナメクジなど）について紹介していきたい。陸産貝類は陸域の大部分に生息しており、日本産だけでもおよそ800種も記録されている。水中と比べ、陸域は乾燥や急激な温度変化があるなど、元々水中で進化してきた貝類にとってはきわめて特殊で過酷な環境といえる。このような陸域に進出を遂げたいいくつかの貝類は、様々な種に分化し現在のような多様性をもつに至った。カタツムリといえれば動きが遅い動物の代名詞に挙がるように、陸産貝類は移動能力がたいへん低い。実際にそれぞれの生息域からあまり移動することがなく、結果、各地域で様々な種に分化している。特に島のような海によって隔てられた環境では、外部との交流がほとんどないことから、独自の種分化が起こり、固有の貝類相となる場合が多い。

また、陸産貝類の移動能力の低さは、その地域特有の環境への適応進化へもつながっている。陸産貝類の多くは、種や地域個体群ごとに生息に好適なマイクロハビタットがあり、それ以外の環境では生息が困難な種が多い。特に樹上や石灰岩のくぼみ、ガレ場、朽木などの限定的なマイ

表1 東幅豆町の島嶼で確認された陸産貝類

確認種	沖島	前島
ツムガタギセル <i>Pinguiphaedusa platydera</i> (Martens, 1876)	○	
ウスベニギセル <i>Tyrannophaedusa aurantiaca</i> (Boettger, 1877)	○	
ナミコギセル <i>Euphaedusa tau tau</i> (Boettger, 1877)	○	
トカラコギセル <i>Proreinia eastlakeana vaga</i> (Pilsbry, 1901)	○	
オカチョウジガイ <i>Allopeas clavulinum kyotoense</i> (Pilsbry et Hirase, 1904)	○	○
トクサオカチョウジガイ <i>Paropeas achatinaceum</i> (Pfeiffer, 1846)*		○
ホソオカチョウジガイ <i>Allopeas pyrgula</i> (Schmacker & Boettger, 1891)	○	
コハクガイ <i>Zonitoides arboreus</i> (Say, 1816)*	○	○
チャコウラナメクジ <i>Lehmannia valentiana</i> (Férussac, 1822)*	○	○
コシタカシタラガイ <i>Sitalina circumcincta</i> (Reinhardt, 1883)	○	
イセノナミマイマイ <i>Euhadra eoa communisiformis</i> (Kanamaru, 1940)	○	○

\*: 国外外来種を示す

クロハビタットに局所的に生息する場合も多く、時にはこの環境選択の狭さが種分化につながっている。このように様々な環境に応じて陸産貝類が生息しており、逆に言えば陸産貝類相は、その場所がどのような環境であるかの指標となりうる。筆者らが前島と沖島に生息する陸産貝類を調査したところ、前島では5種、沖島では10種の陸産貝類を確認することができた（大貫ほか2015）（表1）。そのほぼ全ては本土やほかの地域でも普通に見られる種であり、両島共に島嶼環境ではあるものの、本土にもきわめて近い位置にあり、各島で種分化が起きていないことが明らかとなった。

前島で確認された5種のうち、トクサオカチョウジガイは東南アジア原産、チャコウラナメクジはヨーロッパ原産、コハクガイは北米原産の外来種であった。また残り2種のオカチョウジガイとイセノナミマイマイは人家の周りのような人為的影響の強い場所にも生活する種であった。

一方、沖島では確認できた10種のうち、外来種は2種のみで、残りは在来種であった。また、沖島では4種のキセルガイ類を確認することができた。キセルガイという名前は、その昔に煙草を吸う道具であった煙管（キセル）に似ていることに由来する。沖島では特に、ウスベニギセルというキセルガイ類が島内の全域に高密度に生息していた。

前島と沖島は近距離に位置しているが、前島で確認できた種数は沖島と比べ少なく、貝類相の多くが外来種によって占められていた。前島と沖島の両島は過去に観光地化された経緯があり、前島ではカイウサギ、沖島ではニホンザルが放されていた（堀越 1971、愛知県環境調査センター 2009）。また、両島の環境を比較すると、前島では過去の観光地化の際に作られた廃道沿いに広く人為的な植栽の形跡がみられるが、沖島は大部分が天然の照葉樹林となっている。

これらのことから、前島では過去の観光地化や本土に近い立地により、外来種の侵入・増殖が起こったことが推測できる。一方、沖島では、観光地化されたものの、神社という聖域が存在したためであろうが、前島ほどの開発が行われず、在来種が多く残ったものと思われる。このような沖島のかろうじて残された良好な環境は、次に述べるトカラコギセルの再発見にもつながったのである。

#### トカラコギセル―37年ぶりの再発見

トカラコギセルは殻長1cmほどの小さなキセルガイで、海岸沿いの照葉樹の樹幹に付着する樹上性の陸産貝類である。このキセルガイは、奄美諸島、トカラ列島、屋久島、九州南部、四国西

南部、本州までの各地域に飛び的に分布している（湊 1994、環境省 2014）。本州での分布地は愛知県蒲郡市の竹島と、今回調査した沖島の2島のみが知られており、主な生息地からは大きくかけ離れた分布の北限および東限となっている。愛知県でのトカラコギセルの生息状況は、竹島では農薬の散布により絶滅寸前であり、沖島では1977年を最後に確認されておらず、絶滅したとされていた（愛知県環境調査センター 2009）。

トカラコギセルは黒潮影響下にある海岸沿いに、飛び的に分布していることから、黒潮によって、この貝がついた倒木などが流され、運よく陸地にたどり着いたものがそこで繁殖し、現在の生息地になったと考えられている。前島と沖島には固有種が存在こそなかったものの、海流分散を示す種が存在し、南方の陸産貝類相との関係性がうかがえるのである。

同様に海流で分布を広げたと考えられるキセルガイ科には、ヒロクチコギセルという種もいる。ヒロクチコギセルは、愛知県の渥美半島先端部に唯一の正確な生息記録がある。また、少し前には、沖島の樹上性キセルガイ類はヒロクチコギセルであるという記述がされたこともあった（松岡 2010）。

以上のことから、沖島のトカラコギセルは絶滅したのか？ そもそも沖島でトカラコギセルとされていたものはヒロクチコギセルの誤認なのか？ という二つの問題が生じていた。これらの問題を解明するために、2014年の3月と7月の2回にわたって沖島でのトカラコギセルの生息状況調査を行った。1回目の調査では、ほかのキセルガイ類が群生しているのを確認したものの、トカラコギセルの発見には至らなかった。それでも諦めずに行った2回目の調査で、トカ



写真22 沖島のトカラコギセルの生息状況 (撮影:大貫)



写真23 生息が確認された樹木 (撮影:大貫)

あった。ヒロクチコギセルには、一般的なキセルガイ類の殻の内部にある、閉弁とよばれる蓋の役目をする弁や腔襞とよばれる襞がない。沖島のキセルガイには、閉弁や腔襞が確認され、そのほかの形態的な特徴からもトカラコギセルであることが判明した。これにより、沖島では実に37年ぶりにトカラコギセルがごく少数ながらも細々と生き残っていることが確認された。また、沖島のトカラコギセルはヒロクチコギセルであるという記述は誤認であり、真正銘トカラコギセルに間違いもないということも明らかになった。

こうして、三河湾の島嶼に生息するトカラコギセルについての若干の混乱などの問題も、ようやくきれいに解決したのである。37年ぶりに発見されたトカラコギセルの話題は喜ばしいことで

ラコギセルと思しき2個体をようやく確認することができた(大貫ほか2015)(写真22)。沖島は前述のように天然の照葉樹林に覆われているが、確認できたのは島の北部の斜面にある一本の照葉樹の大径木からのみであった(写真23)。

さて、調査後には発見した2個体を持ち帰り(事前に愛知県等の特別な採捕許可を得た)、トカラコギセル、ヒロクチコギセル、一体どちらなのかを確定する必要がある

はあるのだが、危機的な生息状況を考えると、今後の三河湾での本種の個体群維持をどうすれば良いのか? 同時に大きな課題も提示されたのである。(大貫貴清・早瀬善正)

#### 引用文献

- 愛知県環境部編 (2015) 第三次レッドリスト レッドリスト外いさご2015新掲載種の解説。愛知県、全146頁。(http://www.pref.aichi.jp/kankyo/sizen-ka/shizen/yasai/redlist/index.html)
- 愛知県環境調査センター編 (2009) 愛知県の絶滅のおそれのある野生生物 レッドデータブックあいち2009——動物編。愛知県自然環境部自然環境課、名古屋、全651頁。
- Distel, D. L., A. R. Baco, E. Chuang, W. Morill, C. M. Cavanaugh and C. R. Smith (2000) Do mussels take wooden steps to deep-sea vents. *Nature* 403, 725-726.
- Fukuda, H. (1995) Marine gastropoda (mollusca) of the Ogasawara (Bonin) Islands Part 3: additional records. *Ogasawara Research*, (21), 1-142.
- 福田 宏 (2012) ガラスシタタミ科の一種。79頁。刊: 日本ベントス学会編、干潟の絶滅危惧動物図鑑——海岸ベントスのレッドデータブック。東海大学出版会、神奈川、全265頁。
- Fukuda, H. and H. Yamashita (1997) Two new species of the family Cornisostriidae (Gastropoda: Heterobranchia: Volutoidae) from the Seto Inland Sea, western Japan. *The Yuryagai Journal of The Malacological Association of Yamaguchi*, 5(1-2), 1-16.
- Goto, R., A. Kawakita, H. Ishikawa, Y. Hamamura and M. Kato (2012) Molecular phylogeny of the bivalve superfamily Galeommatoidae (Heterodonta: Veneroida) reveals dynamic evolution of symbiotic lifestyle and interphylum host switching. *BMC Evolutionary Biology*, 12, 172.
- Hasegawa, K. (1997) Sunken Wood-associated Gastropods collected from Suruga Bay, Pacific side of the central Honshu, Japan, with descriptions of 12 new species. *National Science Museum Monographs*, (12), 59-123.

- 長谷川和範 (2006) 三重県英虞湾湾奥部真珠養殖筏下にみられた特異な腹足類群集 (貝類学会平成18年度大会〔東京〕研究発表要旨)。Venus, 65巻3号, 2699-2700頁。
- 橋本博 (1997) 地球の割れ目に住む貝。240-256頁。In: 奥谷喬司編, 貝のミラクル。東海大学出版会, 東京, 全350頁。
- 早瀬善正・木村昭一・大貫貴清 (2015a) 沖島 (三河湾) の転石地潮間帯の貝類相。かきつばた, 40号, 23-30頁。
- 早瀬善正・大貫貴清・吉川尚・松永有之・社家問太郎 (2015b) 前島 (三河湾) の転石地潮間帯の貝類相——特徴的な16種の記録。ちりばたん, 45巻3号, 105-122頁。
- 早瀬善正・種倉俊之・社家問太郎・松永有之・吉川尚・松浦弘行・石川智士 (2011) 愛知県幅豆町の干潟および岩礁域潮間帯の貝類相。東海大学海洋研究所研究報告, 32号, 11-33頁。
- 肥後俊一・後藤芳央 (1993) 日本及び周辺地域産軟体動物総目録。エル貝類出版局, 8尾, 全3+22+693+13+148頁。
- 平野義明 (2000) ウミウシ学——海の宝石、その謎を探る。東海大学出版会, 東京, 222頁。
- 堀越徹 (1977) 三河湾「沖の島」調査会報告。かきつばた, 3号, 6頁。
- Jenson, K. R. (1997) Evolution of the Saecoglossa (Mollusca, Opisthobranchia) and the ecological associations with their food plants. Evolutionary Ecology, 11, (3) 301-335.
- Kano, Y., S. Kimura, T. Kimura and A. Warén (2012) Living Monoplacophora: morphological conservatism or recent diversification. Zoologica Scripta, 41(6), 471-488. (doi:10.1111/j.1463-6409.2012.00550.x)
- 環境省編 (2014) レッドデータブック2014——日本の絶滅のおそれのある野生生物 6 貝類。きょうせい, 東京, 全455頁。
- 木村昭一・三長孝輔・三長秀男 (2012) 和歌山県田辺湾産カクメイ科イシシ属貝類の歯舌形態。かきつばた, 37号, 48-49頁。
- 木村昭一・山本妙子 (1990) マクロロガイを伊勢湾で採集。ちりばたん, 21巻1-2号, 12-13頁。
- 日本ベントス学会編 (2012) 干潟の絶滅危惧動物図鑑——海岸ベントスのレッドデータブック。東海大学出版会, 神奈川, 全285頁。
- 松岡敬二 (2010) 第3章 愛知の生物 第4節 愛知の貝類。246-276頁。In: 愛知県史編さん委員会編, 愛知県史別編自然。愛知県, 全700頁。
- 湊 宏 (1994) 日本産キセルガイ科貝類の分類と分布に関する研究。Venus Supplement 2, 212+6tabs.+74pls.
- 大貫貴清・佐藤拓也・木村昭一・早瀬善正・吉川尚 (2015) 沖島と前島 (愛知県西尾市東幅豆町) の陸産貝類。かきつばた, 40号, 39-42頁。
- Ponder, W. F. (1990) The anatomy and relationships of a marine Valvatoidean (Gastropoda: Heterobranchia). Journal of Molluscan Studies 56, 533-555.
- 佐々木猛智 (2010) 貝類学。東海大学出版会, 東京, 全381頁。
- 佐々木猛智・奥谷喬司 (1993) 新属 *Nipponacmea* ——従来 *Notoacmea* としていたアオガイ類の再検討。Venus 52(1), 1-40.
- Smith, C. R., H. Kukert, R. A. Wheatcroft, P. A. Jumars and J. W. Deming (1989) Vent fauna on whale remains. Nature, 341, 27-28.
- 山平寿智 (2006) 第8章 曲崎のアオガイ類の多様性維持機構。190-214頁。In: 菊池泰二編著, 天草の渚——浅海性ベントスの生態学。東海大学出版会, 神奈川, 全371頁。
- 山本義治・種村尚典・遊佐陽一・平野弥生・平野義明・本村泰三・小保方潤一 (2008) 光合成をするウミウシ。うみうし通信, 60号, 10-11頁。

# 6 干潟をめぐる生態系

## 1 干潟の貝類

干潟の代表的な貝類といえば、やはり二枚貝のアサリ（漢字では、浅利、浅蛸、蛤仔など）であろう（写真1 a）。特に、東幡豆のトンボロ干潟は、干潮時には前島と陸がつながり、春の大潮の干潮時には大勢の潮干狩り客で賑わう。ところで、皆さんは、潮干狩りの際、目的のアサリ以外にも別の種類の二枚貝に出くわしていないだろうか？ アサリかと思っただけど、形や模様などが少し違う、どうやら違う種類のようで美味しいかどうか分からないから逃がしたり、アサリがあまりとれないから代わりに持ち帰ったりなどしていると思われる。

アサリ以外の二枚貝のうち、比較的数量が多く、アサリと同じくらいの大きさで、かなり強く膨らんでいるのが、シオフキ（潮吹）である（写真1 b）。よく見ると、アサリの殻に見られる放射線状の細かい溝がシオフキでは見られないこと、シオフキでは同心円状の肋があるのみなのに対し

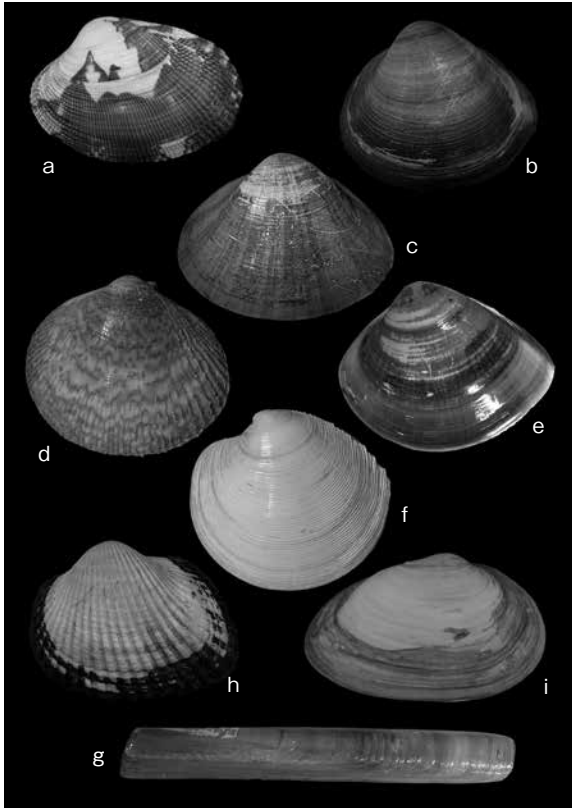


写真1 東幡豆町の干潟（潮干狩り場）で見られる二枚貝（撮影：早瀬、編集：社家間太郎氏）  
a: アサリ b: シオフキ c: バカガイ d: トリガイ e: ハマグリ  
f: カガミガイ g: マテガイ h: サルボオガイ i: オオノガイ



アサリにはひとつとして同じものがない不規則できわめて多様な模様まであることで、容易に見分けがつく。シオフキは、砂を多く取り込んでいるが、砂抜きをしっかりと行えば、十分に美味しくいただくことができる。

アサリより、ずいぶん大きくて、殻の表面がスベスベして放射状の薄い模様があるのは、バカガイ（馬鹿貝）である（写真1c）。名前の由来は、水中で斧足をだらしなく伸ばす様子、昔バカのように沢山獲れたからなど、諸説ある。ちょっとひどい名前だが、軟体部は上総青柳村（現…千葉県原市）の産地に因んだとされる青柳あおやなぎと呼ばれ（岡本・奥谷 1997）、鮎種として広く利用されている。他に、トリガイ（鳥貝）（写真1d）も同じく生食用に利用されている。

ハマグリ（蛤）は、少し前までは東幡豆干潟を含め三河湾全体でも絶滅が危惧されていたが、ここ数年、わずかながら見つかるようになってきた（詳細は6章6・7に後述）（写真1e）。最近、伊勢湾の一部地域では小ぶりのものが多く見つかるので少し持ち帰って吸い物などにして食べたが、独特のとりみがあり柔らかくて美味しい貝のひとつである。

カガミガイ（鏡貝）は、正円に近い美しい形をしており、大型である（写真1f）。東幡豆干潟でもアサリに混じって獲れるので、調査をしていると、潮干狩り客から「食べられるのか？」と聞かれることが時々ある。正直にあまり美味しくないことを教えると、見かけが立派で期待していただけに、残念そうな顔をして逃がす人が多い。ただし、調理法を工夫すると、美味しく頂くことも可能なようである（第1部4章1）。

マテガイ（馬刀貝）は、潮干狩り時に見られる二枚貝類の中でも形が少し変わっており、特殊な方法で採取されることから、自然観察教室などでは人気がある（写真1g）。マテガイは、ほかの二枚貝類よりも砂泥中のやや深くに潜っており、逃げるスピードも早いので、熊手を使う方法ではなかなか獲れない。ではどのようにして獲るかというと、まず、干潟表面を深さ5cmくらいスコップ等でこそぎ取って、マテガイの「目」（水管から出入りする水が通る穴。楕円形をしている）を探す。その「目」に塩をふってしばらく待つと、マテガイがびっくりしてピョコンと飛び出してくるので、つかんで引き抜くといったものである（結構な強さで逃げようとするので、しっかりとつかむ必要がある）。

そのほか、愛知では「チンミ」（正確にはハイガイの方言で、「血の身」に由来）と呼ばれるサルボオガイ（猿頬貝）（写真1h）は、トンボロ干潟では個体数は割と多いが、血液が赤く煮ると身が固いためか、あまり採取されないようである。ところが、中海（島根、鳥取県境に位置する汽水湖）では種苗を採取し、瀬戸内海・有明海などに輸送して養殖されていたほか、東京湾でも近縁種のアカガイ（赤貝）と同様、生食用や剥き身、佃煮、缶詰などにされ、消費される（アカガイと区別せずに、「赤貝」の表記で売られていることが多いようである）（谷口 1960、波部 1975）。

以上みてきたように、干潟ではアサリ以外にも食用となる様々な二枚貝が思った以上にたくさん獲れる。漢字表記や別称も多々あることから、昔から日本人に親しまれていたことがうかがえる。特に潮干狩りでは、多くのアサリが見つかるなかで偶然にハマグリが見つかったと、結構うれしいものである。では、このように同じ干潟に、多くの種類の二枚貝類が共存できるのは、なぜ

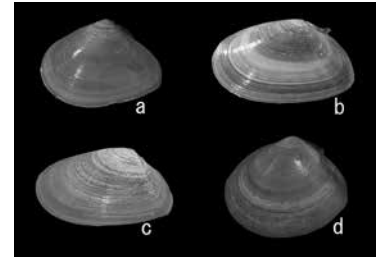


写真2 東幅豆町の干潟（潮干狩り場）で見られるニッコウガイ科の二枚貝（撮影：早瀬、編集：社家間太郎氏）  
a: ユウシオガイ b: サクラガイ  
c: ウズザクラ d: ヒメシラトリ

穿孔している。

トンボロ干潟では個体数は少ないもののオオノガイが確認されており（写真1）（早瀬ほか2011）。ここでは本種が最も砂泥中深くに穿孔している種であろう。5 cm程度の大きさの幼貝はさほど深くまで潜ることはないが、殻長10 cmほどになる成貝は50〜60 cmほど下まで潜ると思われるので、そう簡単には掘り出せないだろう。

このほか、ニッコウガイ科のユウシオガイ（写真2 a）、サクラガイ（写真2 b）、ウズザクラ（写真2 c）、ヒメシラトリ（写真2 d）などは非常に長い水管を持つ種であるが、前3種は殻長2 cm以下の小型種であるために、体の割には深く潜るものの、結果的には比較的浅くしか潜れなくてア

だるうか？ その理由のひとつとして、水管の長さや移動（穿孔）能力などにより、砂中の生息深度が少しずつ異なることが考えられる。

最も表層近くに生息しているのは、サルボオガイである。サルボオガイやその近縁種には水管がないため、砂泥中深くに埋没することができない。干出したトンボロ干潟を歩くと、足元の地表から多数、激しく水が噴出してくることがあるが、多くの場合、その正体はサルボオガイである。次にバカガイ、シオフキ、ハマグリ、アサリなどとなり、マテガイはさらに深く表層より30 cmほど下の砂泥中に

サリと同程度の深さに見られる。ユウシオガイはアサリやハマグリなどと共に砂泥質干潟の表層に近い位置に見られるが、サクラガイ、ウズザクラはアマモ場内を中心に分布することでユウシオガイとは棲み分けているようである。ヒメシラトリはやや泥っぽい場所の広範な環境に分布するが、前3種に比べて殻長3 cm程のやや大型の種であり、より深く穿孔できる。同科であり近縁なニッコウガイ科各種であるが、同じ干潟での棲み分けが上手く成立しているのであろう。

以上、トンボロ干潟で潮干狩りをする際に出会える二枚貝類について、主に食用となる種類を中心に紹介した。実に様々な種類が私たちの食卓を賑わしてくれること、彼らが共存して生息できる豊かな環境があると同時に、彼ら自身のもつ生態的な多様性が、ほかの生物群の種多様性や物質循環の健全性を支えているであろうことを理解していただければ幸いである。

（早瀬善正・吉川尚）

## 2 干潟域の多毛類

### 干潟域の様々な多毛類

多毛類は、環形動物門多毛綱に属する海産無脊椎動物の一群であり、一般的には「ゴカイ類」と呼ばれる。世界では89科8500種、そのうち日本では930種ほどが知られ、海産無脊椎動

表1 東幡豆のトンボロ干潟とその周辺域に生息する多毛類

科名	和名	学名
サシバゴカイ科	イトサシバ	<i>Anaitides japonica</i>
	<i>Anaitides</i> 属の一種	<i>Anaitides</i> sp.
	ホソミサシバ	<i>Eteone cf. longa</i>
	アケノサシバ	<i>Genetyllis castanea</i>
チロリ科	<i>Nipponophyllum</i> 属の一種	<i>Nipponophyllum</i> sp.
	サシバゴカイ科の一種	Phyllodocidae
	ヒガタチロリ (マキントシチロリ)	<i>Glycera macintoshi</i>
ニカイチロリ科	<i>Glycera</i> 属の一種	<i>Glycera</i> sp.
	ニカイチロリ科の一種	Goniadidae
オトヒメゴカイ科	<i>Podarkeopsis</i> 属の一種	<i>Podarkeopsis</i> sp.
カギゴカイ科	ハナオカカギゴカイ	<i>Sigambra phuketensis</i>
シリス科	<i>Eusyllinae</i> 亜科の一種	<i>Eusyllinae</i>
	<i>Syllinae</i> 亜科の一種	<i>Syllinae</i>
	シリス科の一種	<i>Syllidae</i>
ゴカイ科	コケゴカイ	<i>Ceratonereis erythraeensis</i>
	オイウケゴカイ	<i>Lycastopsis augeneri</i>
	オウギゴカイ	<i>Nectoneanthes oxypoda</i>
	<i>Nereis</i> 属の一種	<i>Nereis</i> sp.
	クマドリゴカイ	<i>Perinereis cultrifera</i>
	スナイソゴカイ	<i>Perinereis mictodonta</i>
	イシイソゴカイ	<i>Perinereis wilsoni</i>
ツルヒゲゴカイ	<i>Platynereis bicanaliculata</i>	
シロガネゴカイ科	ミナミシロガネゴカイ	<i>Nephtys polybranchia</i>
ウロコムシ科	ミロクウロコムシ	<i>Halosydna brevisetosa</i>
	マダラウロコムシ	<i>Harmothoe imbricata</i>
	ヤチウロコムシ	<i>Lepidonotus elongatus</i>
ナナテイソメ科	スゴカイイソメ	<i>Diopatra sugokai</i>
スピオ科	<i>Polydora</i> 属の一種	<i>Polydora</i> sp.
	ミツバナスピオ	<i>Prinospio (Aquilaspio) krusadensis</i>
	イトエラスピオ	<i>Prinospio (Minuspio) pulchra</i>
	ドロオニスピオ	<i>Pseudopolydora kempii</i>
	<i>Rhynchospio</i> 属の一種	<i>Rhynchospio</i> sp.
	マドカスピオ	<i>Spio filicornis</i>
ミズヒキゴカイ科	ミズヒキゴカイ	<i>Cirriformia tentaculata</i> auct. japon.
	<i>Cirriformia</i> 属の一種	<i>Cirriformia</i> sp.
ツバサゴカイ科	ムギワラムシ	<i>Mesochaetopterus japonicus</i>
オフェリアゴカイ科	ツツオオフェリア	<i>Armandia lanceolata</i>
チマキゴカイ科	チマキゴカイ	<i>Owenia fusiformis</i>
イトゴカイ科	<i>Mediomastus</i> 属の一種	<i>Mediomastus</i> sp.
	<i>Capitella</i> 属の一種	<i>Capitella</i> sp.
タマシキゴカイ科	タマシキゴカイ	<i>Arenicola brasiliensis</i>
	フサゴカイ科	<i>Nicolea gracilibranchis</i>
ケヤリムシ科	フタエラフサゴカイ	Terebellidae
	フサゴカイ科の一種	Sabellidae
カンザシゴカイ科	ケヤリムシ科の一種	Sabellidae
	エゾカサネカンザシ	<i>Hydroides ezoensis</i>
ウズマキゴカイ科	ヤッコカンザシ	<i>Pomatoleios kraussii</i> auct. japon.
	ウズマキゴカイ科の一種	Spirorbidae

物の中でも比較的種数の多い動物群である(佐藤 2006)。多数のいぼ足や剛毛を有することがその名称の由来となっている。同じ環形動物門には、ミミズ類(貧毛綱)も含まれる。ミミズ類が主に陸域の土壌中で分解者として機能しているのと同様に、多毛類は海域の砂泥中などにおいて有機物分解の役割を担っている。

私たちの生活に身近な多毛類には、海釣りで生き餌として用いる「いそめ」や「ごかい」がある。日本の東北地方では、ケヤリムシ科の一種であるエラコを食用とする(今島 1996)。また、太平洋のインドネシアからフィジー諸島やサモアなどでは、イソメ科の生殖群泳个体(パロロまたはニヤールと呼ばれる)が、神聖かつ美味な食料とされている。これらの種の生殖群泳は正確な周期で発生し、その採集は、島々での重要な祭事のひとつであったとされる(加藤 1999)。さらに、過去には茨城県の涸沼や瀬戸内海沿岸域では、イトメなどのゴカイ科の生殖群泳个体(バチあるいは日本パロロなどと呼ばれる)が肥料として利用されたとする記録もあるものの、現在は利用されていない(岡田 1988, 今島 1996)。

これら一部を除くと、多毛類の大部分の種は利用されることもなく、人目につかない場所で暮らしている。ところが、多毛類には、生息数量が多く、浅海域の無脊椎動物群集において重要な一群を担う一面がある。東幡豆のトンボロ干潟ならびにその周辺域では、これまでの筆者らの調査により少なくとも21科47種の多毛類の生息が明らかとなった(表1)。ここでは、東幡豆のこれら様々な多毛類が果たす役割や特性のほか、一部の種について、その特徴や暮らし方を中心に紹介してみたい。

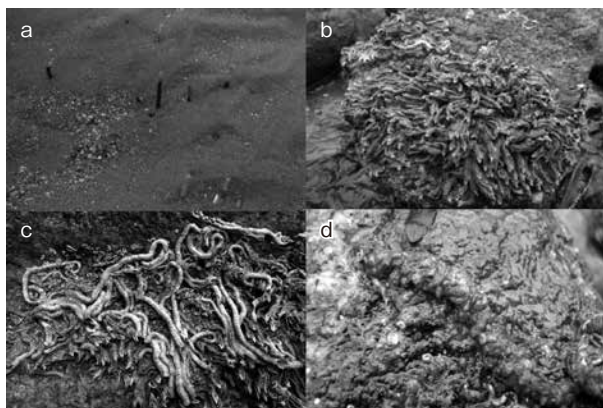


写真6 多毛類のさまざまな棲管 (撮影:a-c中島、d早瀬)  
a: ムギワラムシ b: ヤッコカンザシ  
c: エゾカサネカンザシ d: フタエラフサゴカイ

つまり、元の砂よりもきれいな排泄物なのである。また、5月～8月頃には、至るところに半透明の風船型のぶよぶよした物体が観察されるが、これは本種の卵囊である(写真5)。

水際より少し干上がったような場所では、ツバサゴカイ科のムギワラムシが作る円筒形で膜質の棲管がいくつも突き出ている(写真6a)。

ムギワラムシのほか、同じツバサゴカイ科のツバサゴカイなどは、比較的大形になる多毛類であり、体の後部にある円盤状のいぼ足を前後に振幅させることによって棲管内に水流を発生させ、ろ過摂食するとされる(林 1998)。

同じように少し干上がった場所の砂泥中では、体長18cm程度になる大形種のヒガタチロリも生息している(写真7)。ヒガタチロリは、いぼ足の付け根に三叉型の翻出性の鰓をもつ特徴がある。ヒガタチロリが属するチロリ科の種は、いずれも強靱な4個の顎をもつ肉食者であ

トンボロ干潟でまず目につくのは、最干潮線付近の至るところに見られる親指大の大きさの穴や、モンブランケーキのような形の砂の塊だろう。これらはタマシキゴカイの巣穴や糞塊である(写真3)。タマシキゴカイは体長25cm程度にまでなる大形の多毛類であり(写真4、縦に押しつぶした丁字のような形の巣穴(孔道)を掘る。本種は堆積物摂食者であり、その摂食方法は、巣穴の中で体後半部を震わせて尾部側の穴から海水を取り込み、それを頭部側より砂底表面まで噴き上げるのである。その行動によって微細有機物の付着した表層砂粒が地中の頭部近くに落下する(佐藤 2006、菊池 2003)。モンブランケーキのような砂の塊は、このようにして本種が表層砂を摂食して有機物を取り込み、浄化された清浄な砂として尾部側の穴より地表に排出した糞塊、



写真3 タマシキゴカイの巣穴(矢印)と糞塊(撮影:中島)



写真4 タマシキゴカイ(撮影:中島)



写真5 タマシキゴカイの卵囊(撮影:中島)



写真7 ヒガタチロリ (撮影：中島)



写真8 フタエラフサゴカイ (撮影：早瀬)

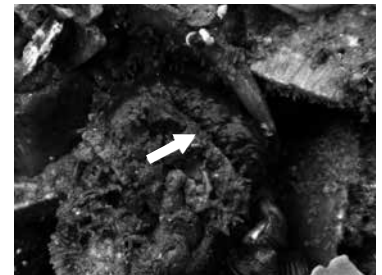


写真9 ウロコムシ科の一種が潜んでいる様子 (矢印) (撮影：中島)

る (今島 2007)。

前島沿岸の転石帯では、直径が数十cm〜数mまでの大きさの石や岩がゴロゴロと転がっている。それらのなかの手ごろな石をひっくり返してみると (怪我をしないように軍手などをして、観察が終わったら元の状態に戻すこと)、石の裏側や側面、隙間には、石灰質の小さな棲管が多数見られる。これらの棲管は、カンザシゴカイ科のヤッコカンザシやエゾカサネカンザシのものである (写真6 b・c)。これらカンザシゴカイ科の種は、多数の鰓糸からなる花のような鰓冠をもち、棲管の入り口を閉じるために備わった蓋が種ごとに特徴的な形態を示す (今島 1996)。カンザシゴカイ科の種は懸濁物食者とされる (林 1997)。

また、転石の裏側には、小石や砂粒を付着させた膜質の棲管も見られる (写真6 d)。その棲管内には、体長5cm程度のフタエラフサゴカイが棲んでいる (写真8)。フタエラフサゴカイは、体先端部から出る多数の細長い糸状の感触手を使って地表面の有機物を食べている (林 1997)。

さらに転石の裏側をよく探すと、他の付着生物の隙間に潜んでいるウロコムシ科の種が見つかることがある (写真9)。ウロコムシ科の種は扁平な体をしており、背面には種ごとに異なる様々な形をした縦二列に並ぶ多数の鱗をもっている。ウロコムシ科の種は、肉食性または雑食性とされている (今島 2001)。

転石帯の中でも陸域との接点となる満潮線付近の砂泥底には、ゴカイ科のコケゴカイ、スナイソゴカイ、イシイソゴカイが多く見られ、いずれも体長5cm程度で、巣穴を掘り生息している。コケゴカイは前口葉 (頭部) が小さく、細い体形である。スナイソゴカイとイシイソゴカイは、背面前部が濁緑色を呈する。コケゴカイに比べて前口葉は大きく、体形もかなり太い特徴があり、転石下の砂泥中に生息している。

なお、トンボロ干潟の脇のアマモ場内では、ゴカイ科のツルヒゲゴカイが分泌物を使ってアマモや海藻の葉を接着して作った膜質の巣の中に生息している。本種は、前口葉側面に比較的細長い四対の感触糸、各いぼ足には先端が黒色の鉤状で太く目立つ数本の剛毛を持つ特徴がある。

このようにゴカイ科の種は、砂泥中から海産植物の葉上に至る様々な場所に巣を作り、肉食や雑食など多様な摂食様式 (林 1977) を有する。一对の強靭な顎を持つ物 (口) の基部には、種ごとに異なる様々な顎片の配列が顕著であり (写真10)、この顎片の配列はゴカイ科の種を分類す

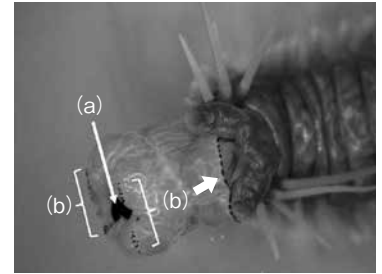


写真10 イシイソゴカイの頭(a)と顎片(b) (撮影：早瀬、編集：中島)



写真11 ツツオオフェリア (撮影：早瀬)

数集めることができる。これら小さな多毛類の多くは、ツツオオフェリアである(写真11)。ツツオオフェリアは体長1cm程度であり、体両側に多数の細い鰓、中央に複数の眼点を有するなどの特徴がある。本種は、棲管を作らず泥分が比較的少ない砂底に浅く潜って生活している。半透明で淡黄白色の体をくねらせるので、一見すると、ナメクジウオではないかと見間違えるかもしれない(ナメクジウオ〔ヒガシナメクジウオ〕は、化石種ピカイアに近縁で魚類の祖先にあたる。幡豆に近い三河大島はその生息地として天然記念物に指定されている)。

### 干潟域生態系における多毛類の役割

次は、生態系における多毛類の役割について紹介しよう。多毛類の役割には、堆積あるいは懸濁態有機物を食べ分解を行うこと、魚類や甲殻類等の餌生物となることで低次食物網を構成すること、の大きく二つが挙げられる。

先に、トンボロ干潟では、タマシキゴカイの糞塊が多数見られること、砂泥中におびただしい数の小さなツツオオフェリアが生息することを紹介した。これら無数の多毛類が、多くの軟体動物などと共に、東幡豆の干潟環境の有機物分解を担っているのである。また、ごく小さな堆積物食者のツツオオフェリアから、それらを捕食するヒガタチロリまで、実に多様な食性・大きさの多毛類が存在することで、それらを捕食する魚類等の餌生物となり、内湾の生態系や多様性の維持に貢献しているのである。

多毛類には、有機物の分解、餌生物といった二つの役割以外にも、もうひとつ、地中に伸びた巣穴(孔道)や棲管がパイプとなり、先にツバサゴカイの項で示したように多毛類の摂餌行動などがポンプとして働き、砂泥中に新鮮な空気を送り込む役割がある。

トンボロ干潟で砂泥を掘り進めると、砂の色はおよそ10〜30cm程でみるみる黒色に変わってゆく。この黒色は、硫化鉄などの硫化物の色である。砂泥中の有機物は、多毛類や微生物により分解されるが、その際に酸素が消費される。干潟砂泥底の深層部では、新鮮な海水が十分に行き届かず、酸素不足となりやすい。そのような酸素が少ない環境下でも、嫌気性細菌の働きにより有

る際の重要な分類形質のひとつになっている。

ここまで見てきた多毛類は、比較的大きく見つけやすい種類であった。これらのほかにもトンボロ干潟の砂泥内部には、おびただしい数のごく小さな多毛類が生息している。砂泥を目合い1mmのふるいにかけて、体長1cmにも満たない多毛類を多

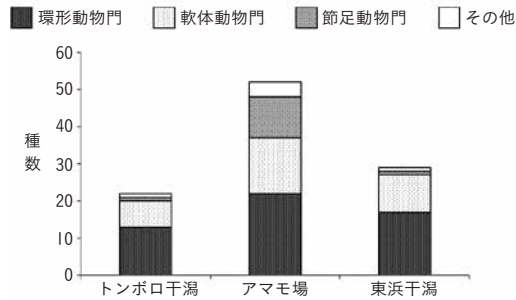


図1 東幡豆干潟の各環境における各動物門の出現種数

東幡豆の干潟域には、多毛類以外にも、貝類や甲殻類などが底生動物として存在しており、有機物の分解、魚類等の餌生物等の役割を担っている。それでは、底生動物群集全体が環境に果たす役割の中では、多毛類群集ほどの程度、寄与しているのだろうか？

この疑問にある程度答えられるデータを得るために、筆者らは、底生動物群集全体の種数と個体数中に、多毛類が占める割合を調査した。調査は2015年7月と8月に、(1)東幡豆のトンボロ干潟、(2)トンボロ干潟に隣接するアマモ場、(3)妙善寺前の東浜干潟の3か所で、砂泥中に埋入する1mm以上の底生動物を採集して行った。

その結果、単位面積当りの底生動物群集に占める環形動物門(多毛類)は、種数および個体数のどちらにおいても数量的に最も多い生物群であることが分かった。多毛類の種数は13〜22種であり、各地点の底生動物の全種数のおよそ半数を占め、なかでもアマモ場は22種と突出していた(図

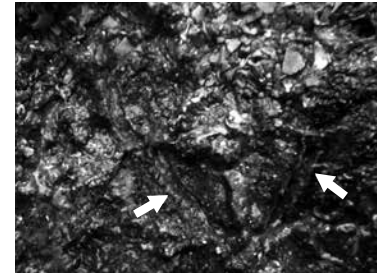


写真12 還元層のゴカイ科の巣穴の様子(矢印) (撮影：中島)

機物分解が進行しているが、その過程では猛毒の硫化水素が発生してしまう。この硫化水素は、砂泥中の金属元素と反応して硫化鉄などの硫化物となる。硫化水素は、アサリ等を含む多くの無脊椎動物にとっては有害であり、成長の低下や死滅などを招く。

多毛類が作る巣穴(孔道)や棲管は、豊富な酸素を含んだ海水が干潟の砂泥底内部まで届くための通り道としての役割を担っているのである。こうした巣穴や棲管の壁面とその周囲といった微細な空間では、硫化鉄などが再び酸化し、赤褐色(酸化鉄)に変化している様子が見られる(写真12)。

こうした巣穴や棲管内の微細空間は、ある種の生物にとってはその種独自のマイクロハビタットとなっている(例：ヤドリカニダマシなど)。具体的には、住居としてのほか、宿主である多毛類(ムギワラムシ)が取り入れた海水中に含まれるプランクトンなどとともに、多毛類の粘液なども餌として甲殻類(ヤドリカニダマシ)が利用すると思われる、このような共生関係が築かれているのである。このほかにも、多毛類がいなくなった後の転石下の巣穴の空間が還元層に特異的に生息する貝類(特殊環境棲貝類)の生息環境として、独特の微細生態系を創生しているような場合もある。多様な生物種の生息場創出に力を貸すだけでなく、干潟環境が良好な浄化装置として維持されるのは、こうした多毛類が生息していればこそ、と言っても決して過言ではないだろう。

### 多毛類と干潟の環境

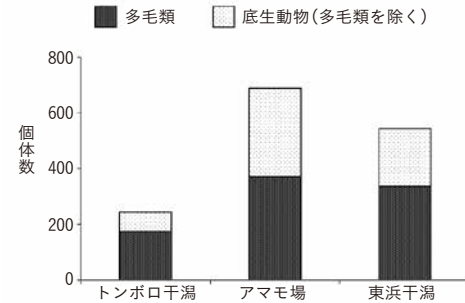


図2 東幡豆干潟の各環境における多毛類ならびに多毛類以外の底生動物の個体数

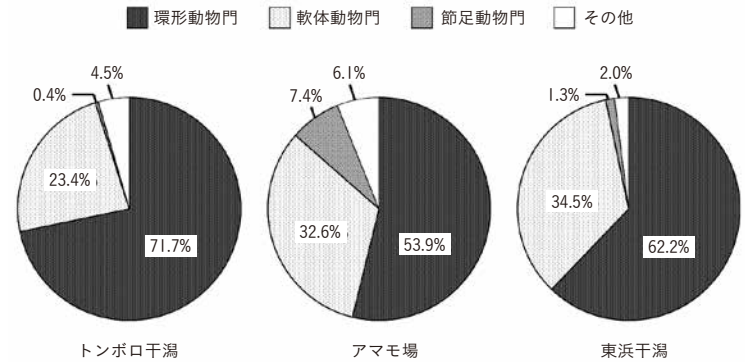


図3 東幡豆干潟の各環境における各動物門の個体数の割合

1)。多毛類の個体数は176〜370個体 $(\sqrt{25cm} \times \pi \times 2)$ と3地点のいずれも高密度であった(図2)。各地点における多毛類の優占種は、この調査ではいずれも小形種のツツオオフェリアであった。多毛類の個体数の割合は全底生動物のうち、53・9%〜71・7%をも占めており、3地点ともほかの動物門に比べて高水準であった(図3)。

このように、底生動物群集内における多毛類の存在の大きさが明らかとなった。次は東幡豆の干潟域での多毛類群集と周辺環境との関係について考えてみよう。ここまで地点ごとの種数、個体数や個体数の比率を調べたが、これらの結果のみで多毛類群集の特性や機能がどのようなものなのかを一言で説明するのは難しい。東幡豆の干潟域における多毛類群集についてさらに理解を深めるにはもう少し詳しい解析が必要である。

そこで、群集の特性をより端的かつ客観的に判断するため、Shannon-Wienerの多様度指数 $(H')$ を用いて、各地点を比較してみた。

$$H' = -\sum (n_i/N) \log_2 (n_i/N)$$

ここで、 $N$ は総個体数、 $n_i$ は $i$ 番目の種の個体数である。多様度指数 $(H')$ は、各種の相対優占度 $(n_i/N)$ より算出される、その場所を構成する生物種の多様性評価のための指数となっている。例えば、ある地点Aでは5種類の生物がそれぞれ100個体、もう一方の地点Bでは100種類の生物がそれぞれ5個体、両地点ともに500個体いたとしよう。多様度指数 $(H')$ を計算



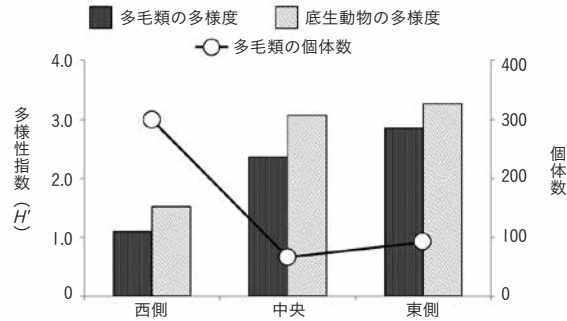


図5 東浜干潟の各地点における底生動物の多様度と多毛類の個体数

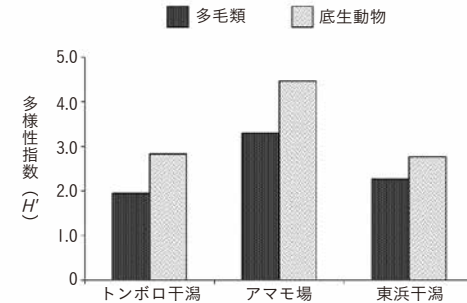


図4 東幅豆干潟の各環境の多様度

すると、地点Aでは2・32、地点Bでは6・64となり、多くの種類の生物が少しづつ生息する場合の方が、多様度指数は高くなる。つまり、多様度指数は、特定の少数種が優占する場合よりも、多くの種が存在し種組成が複雑となる場合に高くなるという様に、多様性の解釈に、群集の均等性の概念を用いた指数なのである。

さて、3地点での多毛類の多様度指数 ( $H'$ ) を求めた結果、アマモ場 (4・45) が最も高く、トンボロ干潟 (2・82) と東浜干潟 (2・76) は同水準であった (図4)。全底生動物群集の多様度指数も同様にアマモ場が最も高かった。アマモ場環境で多様度が高く示された理由として、単なる砂泥底環境にアマモが生育することで新たなマイクロハビタットが形成され、その結果、生物多様性を高める役割を果たしたと考えられる。つまり、砂泥底の地中に広がるアマモの根の空間のほか、葉の表面や裏側など砂地に固有の生物以外でも利用できる生息環境 (空間) が生じ、生物種が増加した結果なのである。

では、多様度指数が低かったトンボロ干潟や東浜干潟は、多毛類をはじめとする底生動物の生息環境として変化に乏しい単調な場所なのだろうか。トンボロ干潟では上述したようにタマシキゴカイやツツオオフェリアなど様々な多毛類が観察できるので、単調な環境とは考えられない。それでは東浜干潟が特に生物の少ない単調な環境なのだろうか？ いやいや、そう決めるのはまだ早い。先ほどの調査において東浜干潟では浜の中央付近のみで採泥を行ったのであるが、東西を防波堤に囲まれた150mほどの長さの東浜干潟の環境全体で見れば、東側には小河川が流入していること、西側は防波堤の真横に面した浜の最奥部であり潮流が行き止まり砂泥や有機物が堆積しやすい地形であることなど、異なる環境が存在している。

そこで、東浜干潟の各所で多毛類群集の組成が異なるか、さらに詳しく調べるため、(1)東側、(2)中央、(3)西側の3地点を設定し、採泥により1mm以上の底生動物を採取して地点間の多様度指数 ( $H'$ ) を求めた。

その結果、多毛類の多様度指数 ( $H'$ ) は、東浜干潟の東側が最も高く、次いで中央、西側の順に低くなった (図5)。

この傾向は全底生動物を対象とした場合でも同様であった。また優占した多毛類は東側ではミナミシロガネゴカイであったのに対し、中央と西側ではドロオニスピオで、特に西側が突出していた。多様性が最も高かった東側には小河川が流入しており、先程のアマモ場環境の説明と同様に、東側に存在したマイクロハビタットが生物多様性を高めていると考えられる。

一方で、多様度指数が最も低かった西側では、多毛類の個体数は299個体(25cm<sup>2</sup>)と最も多かった(図5)。西側は防波堤で囲まれた浜の最奥部であり、有機物が堆積しやすいことを既に説明した。このために底質が貧酸素化し、還元的な環境になりやすい。軟体動物や節足動物など、ほかの多くの生物群の生息が困難な環境となり、実際に底生動物群集の多様度指数はきわめて低かった(図5)。しかし、西側の優占種となったドロオニスピオなど、汚濁指標種と呼ばれる多毛類をも含めて、このような環境に耐えられる一部の多毛類においては、時にはおびただしい個体数となり、劣悪な環境の底質浄化を担っている。多様度が低く、一見すると生物相が一様で単純と思われる東浜干潟においても、小河川の淡水影響域付近や河口部の転石下の局所的なマイクロハビタットなどの存在が、一部の多毛類のみ優占しかねない状況下に多様な環境を生み、生物相の多様化に少なからず影響をおよぼしている。

以上、東幡豆の干潟域における多毛類の多様性とその役割について紹介してきた。先の各章に取り上げられた魚類や貝類、あるいは、次節の十脚目甲殻類と比べると、はるかに地味で目立たない存在の多毛類であるが、実に多様な種類が見られる上に、健全な干潟環境とその生態系の維持においても、きわめて貢献度の高い生物群であるということを理解していただけたであろうか？

本節を通じて、彼らの存在に少しでも興味を持っていただければ幸いである。(中島匠・早瀬善正)

### 3 干潟域の十脚甲殻類

東幡豆の潮干狩り場にはアサリやマテガイなどの二枚貝だけではなく、多種多様な十脚目が生息している。十脚目とは左右五対、合計10本のあし(胸脚)をもつことに名前の由来がある甲殻類のグループの一つである。甲殻類は多様なグループで、十脚目以外には、シヤコ(口脚目)、グソクムシ(等脚目)、オキアミ(オキアミ目)、プランクトンのカイアシ(カイアシ亜綱。2章参照)、貝のように見えるフジツボ(蔓脚下綱)などが含まれる。十脚目にはクルマエビやズワイガニ、タラバガニなどの食べておいしい種類をはじめとするエビ・カニ・ヤドカリ類が属している。ここでは東幡豆で観察できる種を題材に、十脚甲殻類の多様性をみていこう。

東幡豆の潮干狩り場に入場すると、広大なトンボロ干潟(第1部2章2)が広がっている。干出した干潟の上を前島に向かって歩いていくと、小さな穴とその周辺に転がっている砂団子が目につくだろう。この穴は甲幅1cm程度のコメツキガニが掘り出した巣の出入口であり、砂団子はその食べかすである(写真13)。コメツキガニは砂粒の表面に付いた藻類や、砂粒の間に堆積した有機物を食べるカニで、砂を口の中に入れてはその食べかすを団子状にまるめて巣穴の周囲に置いていく。繁殖期の春から秋にかけては、雄は周囲に雌がいると鉗をゆつくりと上に振り上げて



写真16 眼柄の長いオサガニは潮干狩り場北西側に多く分布している (撮影:土井)



写真15 マメコブシガニの交尾前ガード。1個体の大きな雌を、2個体の雄がガードしている (撮影:土井)

(Ivoff 1997)。生殖孔のみが柔らかくなる本種の場合、そのような効果があるのかはわかっておらず、交尾のための囲い込みと呼んだほうが正確かもしれない。マメコブシガニは、外見は丸くて穏やかそうに見えるかもしれないが、肉食性のカニである(小林 2013)。動物の遺骸を食べているのがよく観察されるが、小さくて殻の薄い二枚貝であれば鉗で割って中身を食べる。本種はほかの地域では個体数が減少しており、レッドデータブックに準絶滅危惧として掲載されているが(日本ベントス学会 2012)、幡豆ではふつうに観察される。引き続きタイドプールを観察していると、水面に2本の眼が飛び出しているのに気づく。オサガニである(写真16)。十脚目の眼は、体から伸びた柄の先端に付いており、動かすことができる。オサガニの仲間はこの眼柄がとくに長く、潜望鏡のように眼柄を立て、上空から襲ってくる鳥などを警戒するのに役立つ。そして、いざ隠れるときには甲らにある隙間に柄を収めてしまえば、長い眼柄も目立たない。本種は甲幅3cm程度になり、体はコメツキガニよりも大きい。同じ堆積物食である。ただし、鉗は強力なので挟まれる



写真13 コメツキガニの巣穴と砂団子(撮影:土井)



写真14 コメツキガニのダンス。鉗をゆくり上げ、素早く下ろす(撮影:土井)  
※動画 URL : <https://www.youtube.com/watch?v=9RGxL3ny6S4>

は、素早く降ろすダンスを踊る(写真14)。波打ち際や、干潟に残された水たまり(タイドプール)の中に目をやると、丸い体(甲幅1cm程度)のマメコブシガニが歩いていることがある。多くのカニは横に向かって歩くが、マメコブシガニは前方向

にも進むことができる。こちらの気配に気がつく、その場で砂の中に潜って隠れてしまう。ふだんは単独で生活しているが、夏になると雄と雌がいがいになって、一緒に行動しているのが観察される(写真15)。これは交尾前ガードと呼ばれる行動である。カニの交尾は、種によって、雌が脱皮した直後の体が軟らかい状態か、脱皮とは無関係に生殖孔が脱石灰化によって柔らかい状態のどちらから行われる。マメコブシガニの交尾は後者のタイプで、雄は雌の後ろにくっ付いて、ほかの雄からガードしながら雌が交尾可能な状態になるのを待っている。そこにほかの雄が近づいてくると、雌を奪い合うためのケンカが起きることもある。雌の脱皮直後に交尾が行われる種では、雄が体の軟らかい状態の雌をガードすることによって雌を捕食者から守る効果もある

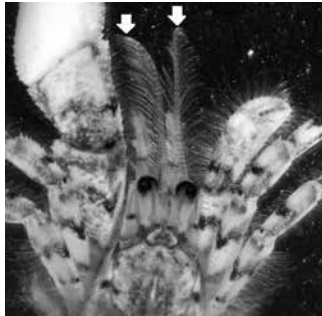


写真18 テナガツノヤドカリの第2触角(矢印)。細かい毛が密に生えている(撮影:土井)



写真17 テナガツノヤドカリの交尾前ガード。雄(上)は小さなほうの鉗で雌の貝殻をつかむ(撮影:土井)

と痛い。オサガニは猿の毛づくろいのように、ほかの仲間の体に付いた砂や泥を取り除いて食べる行動が知られている(和田2000)。本種もレッドデータブック掲載種だが(日本ベントス学会2012)、幡豆ではふつうに観察できる。

タイドプールの中で、たくさん貝殻がちょこちょこ動いているのが目立つが、これは、ヤドカリが貝殻を背負って動いているためである。生きている貝類などの腹足類は、ゆっくりと滑らかに移動するので、このちょこちょこ動きとは異なる。ヤドカリも十脚目であるが、その腹部は殻に覆われておらずとても軟らかい。そのため、死んだ腹足類の貝殻の中に腹部を入れることで敵から身を守っている。幡豆でよくみられるヤドカリは、ユビナガホンヤドカリとテナガツノヤドカリの2種である。ユビナガホンヤドカリは北方系のホンヤドカリ科に属し、左の鉗より右の鉗が大きい。これに対し、テナガツノヤドカリは南方系のヤドカリ科で左の鉗のほうが大きい。ヤドカリも繁殖期には交尾前ガードを行うが、マメコブシガニとは異なり、雄は雌の貝殻を鉗でつかんで強引に持ち歩く(写真17)。テナガツノヤドカリの第2触角は長く、羽毛状の毛が密生しており、これを使って海中を漂う有機物を捉えて食べることもできる(写真18)。また、本種は春の繁殖期の限られた時間帯(数日間ある大潮のうち前半の日の、潮が最も干上がる時間帯)には大集団を形成してより深いところまで移動する。熊本県での観察例では、この集団の密度は多いときに25cm×25cmの枠内に200個体を越えることがある(朝倉2006)。テナガツノヤドカリも絶滅が危惧されている地域があるが(日本ベントス学会2012)、幡豆ではふつうに観察される。

干潟にはコメツキガニ以外にも多毛類(前節参照)やホシムシ類などの底生動物が砂の中に巣穴を作って暮らしている。こういったほかの生物が作った巣穴に居候している十脚目がいる。ウモレマメガニは同じ十脚目のスナモグリ類の巣穴に、ヤドリカニダマシは多毛類のムギワラムシの棲管に共生しているいずれも甲幅1cm前後の小型種である(写真19)。彼らの運命は、巣の持ち主と一蓮托生で、巣穴がないと生きていくのは難しい。ホシムシ類やムギワラムシはきれいな砂質干潟でないと生きていけないため、共生者の十脚目とともに生息地は日本各地で減少している(日本ベントス学会2012)。ちなみに、カニダマシ(蟹騙)はその名が示す通り、一見カニ(短尾類)にみえるがヤドカリ(異尾類)の仲間である。カニダマシの体から伸びている脚を数えると、4対8本しかない。これはヤドカリの特徴である。厳密には5対目の脚がとて小さく、頭胸甲(甲ら)の中に隠れているだけで、10本脚ではある。また、眼が長い触角の外側に位置していることも、カニと異なる特徴である。ほかに、分類が未確定のマメガニ属の一種も見つかるが、この種は巣穴に共生するのか、たまたま巣

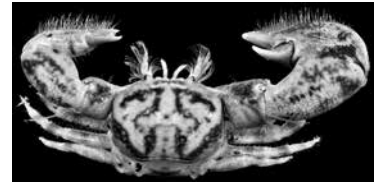


写真19 ムギワラムシの巣穴に共生するヤドリカニダマシ (撮影: 土井)



写真20 甲幅4 cm ほどのガザミの幼体。放流された個体かもしれない (撮影: 土井)

穴で見つかる個体がいるだけで自由生活をしているのか、まだよくわかっていない。

前島に向かってさらに進んでいくと、少し海に入ったところにアマモ場がある。春になると、この近くには、大きく成長する前のガザミやイシガニの子供がみつかる(写真20)。彼らは砂の中に身を沈めて餌が来るのを待ち構えていると思われるが、近づくと

カニとは思えないスピードで泳いで逃げていく。ガザミとイシガニが属しているワタリガニ科の仲間は、別名swimming crab(スイミング・クラブ)と呼ばれるくらい、素早く泳げるような体型をしている。すなわち、甲らは薄く左右に広がった形をし、歩脚の先端は船のオールのような形をしている。どちらも食べておいしいカニだが、幡豆で見かけるのはほとんどがまだ子供であり、ガザミは資源回復のために種苗放流も行われているので逃してあげたほうがよい。大型個体もたまにいますが、鋭い歯が並んだ大きな鉗を使って小さな動物を食べる捕食者であり、この鉗は人間にとっても危険なので、素手では触らないほうがよい。アマモの根元には、他にも、スジエビモドキ、エビジャコ類などのコエビ類や、稀少種のスネナガイソガニが潜んでおり、手網を

曳くと採集できる。

前島に到着すると人頭大の石がたくさん転がっている場所がある。この転石帯には日本列島各地に多産するタカノケフサイソガニ、イソガニ、ヒライソガニなどの普通種が生息している。石をそっとひっくり返すと、わらわらと歩きまわって周囲の石の下や、人間の足の下などに素早く隠れる。その生息密度は干潟やアマモ場にいる種類に比べると非常に高い。彼らは何でも食べる雑食性に加え、種によっては懸濁物を集めて食べるる過食も行うなど幅広い食性をもつ。潮間帯に生息するので、温度・塩分・乾燥などの変化にも比較的強く、隠れる場所さえあれば力強く生きていく。中でもタカノケフサイソガニとイソガニは日本を含む東アジアの原産地を飛び出し、ヨーロッパやアメリカで外来種として厄介者にもなっている(Yamasaki *et al.* 2011, Epiranio 2013)。ただし、たくさんいるからといって命を粗末にはいけない。転石帯で観察するときには石を静かにひっくり返し、その後は石をゆっくりと元に戻してあげよう。

東幡豆の干潟とその周辺には様々な十脚甲殻類が生息していることがわかりただけだろ。うか。十脚甲殻類には、姿形はもろろん、生息環境と個体数の多寡、食べる餌の種類、餌の摂り方、求愛行動、ほかの生き物との関係など、多種多様な生態があり、それぞれの種が干潟という環境に適応し子孫を残して生き延びてきた結果である。それが一つの地域で観察できるのも幡豆に豊かな自然が残されているからである。ときには潮干狩りで砂を掘る手を休め、そっとあたりを見渡してみよう。十脚甲殻類がうごめいていることを実感できるだろう。(土井航)

## 4 干潟域の食物網

### 干潟域の生物群と食物網

東幡豆のトンボロ干潟とその周囲のアマモ場や転石帯等には、貝類、多毛類、甲殻類等の広範な分類群からなる底生動物が生活しており、さらに各分類群内でも様々な形態・生態的特徴をもつ多様な種類がみられる(5章、6章)。干潟等の浅海域の食物連鎖において、これらの底生動物は、生産者(海藻・海草や植物プランクトン等)と高次消費者(魚類等)をつなぐ、仲介役として重要視されている。

生態系が多種多様な生物群で構成され、「食べる―食べられる」の関係(食物連鎖)が網目のようにつながった状態は、「食物網」と呼ばれる。一般に食物網の構造が複雑な生態系は、環境変動に対して安定とされている(近藤 2005)。東幡豆のトンボロ干潟には多種多様な底生動物が生活し、希少種も数多く存在することから、複雑で安定性のある食物網を形成していることが予想される。

東幡豆のトンボロ干潟において、食物網内に有機物やエネルギーを供給する生産者(植物)としては、大きく4種類の候補が予想され、食物網構造の複雑・安定化に寄与している可能性があら。具体的には、干潟の直上水(満ち潮時の海水)中に存在する植物プランクトン、干潟堆積物表面の底生微細藻類、干潟に隣接する海草のアマモ群落、春から秋に大量発生する緑藻類(アオサ類、アオノリ類)の4種類である。

ただし、植物プランクトンを化学分析の対象とする場合、海水中のデトリタス(生物の死骸や排泄物の細片)と区別して採集することは難しく、それらとまとめて懸濁態有機物として調べることが多い。懸濁物食者も、ある程度の選り好みをするが、両者を厳密に区別している訳ではない。また、底生微細藻類も、同様に砂や泥と完全に分離することは難しく、堆積有機物として分析されることが多い。以上のような場合は、生産者でなく、消費者(動物)にとつての有機物起源と呼ばれる。

ここでは、トンボロ干潟の食物網構造に関し、底生動物に焦点を当てて、筆者らが調査した結果の一部を紹介する。食物網構造を調べる方法としては、近年、元素の安定同位体比を指標とする手法が、生態学分野で広く用いられるようになってきた(富永・高井 2008、横山 2008)。筆者らの研究でもこの手法を用いたが、その原理や利点、適用する際の注意点や限界について、まず説明しておきたい。

### 安定同位体比による解析

ある生物が何を食べているのか知る方法としては、消化管や糞の内容物を直接調べるのが、最も確実な方法で、特に魚類や哺乳類のような大きな動物では有効である。しかしながら、消化さ

れにくい餌は過大評価（逆に消化されやすい餌は過小評価）となる問題がある。また、調査した日にたまたま食べたものしか分からない。さらに、干潟の底生動物の多くは小さくて脆弱であり、消化管内容物の分析に手間と時間を要する等の問題がある。

そこで、上記の直接的な方法に替わる（あるいは補完する）ものとして、化学分析による方法、すなわち元素の安定同位体比を指標とした方法が考案され、様々な生物群や生態系を対象とした研究に適用されるようになってきた（富永・高井 2008 横山 2008）。指標として用いられる主な元素は、生物の体に多く含まれ、安定同位体比の分析も比較的難しくなく、炭素や窒素等である。

元素の同位体とは、「同じ元素でありながら、相対的な質量（質量数）が異なる原子同士」のことである。例えば、炭素原子（C）には、質量数が12、13、14と異なる3種類の同位体が存在する（それぞれ、 $^{12}\text{C}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{14}\text{C}$ と表記される）。これらのうち、 $^{14}\text{C}$ は放射性崩壊を起こして、窒素原子（ $^{14}\text{N}$ ）に変化するため、放射性同位体と呼ばれる。ほかの2種類、 $^{12}\text{C}$ と $^{13}\text{C}$ は放射性崩壊を起こすことなく、安定的に同じ状態であるため、安定同位体と呼ばれる。地球上の炭素原子の存在比を見ると、 $^{12}\text{C}$ が約99%と大部分を占め、 $^{13}\text{C}$ は約1%、放射性同位体の $^{14}\text{C}$ はごくわずかしが存在しない。同様に、窒素原子（N）の場合は、 $^{14}\text{N}$ と $^{15}\text{N}$ の2種類の同位体が存在し（どちらも安定同位体）、地球上では大部分の窒素原子が $^{14}\text{N}$ である。

大気中には窒素や二酸化炭素が莫大な量で存在するため、窒素や炭素の安定同位体の存在比は比較的一定となっている。一方、生物体中の安定同位体比は、種類や生息環境等によって少しずつ異なる。この差異は、重い方の同位体原子（炭素の場合 $^{13}\text{C}$ ）を含む分子は、軽い方（ $^{12}\text{C}$ ）の

分子に比べて運動速度が遅い（つまり化学反応速度も遅い）ことによる「同位体分別効果」に由来する。

同位体分別効果による $^{13}\text{C}$ や $^{15}\text{N}$ の存在比の変化はごくわずかであるため、百分率や千分率で表記しても感覚的にわかりづらい。そこで、通常、安定同位体比は下式のように国際標準物質からの相対千分偏差（ $\delta$ ・デルタ値）で表される。

$$\delta^{13}\text{C} \text{ ‰} = \left[ \frac{R_{\text{試料}}}{R_{\text{標準}}} - 1 \right] \times 1000 (\text{‰})$$

ここで、 $R_{\text{試料}}$ は測定試料の同位体比（ $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ または $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ）、 $R_{\text{標準}}$ は国際標準試料の同位体比である。数式だけでは分かりづらいと思うので、具体的な例で説明したい。例えば、2種類の生物の炭素同位体比（ $R_{\text{試料}}$ ）を分析し、それぞれ0.01097、0.01086であった場合、両者の差はわずかしがなく分かりづらい。しかし、 $\delta^{13}\text{C}$ 値ではそれぞれ-10‰、-20‰となり、差が強調されて扱いやすくなるのである。また、重い同位体原子の割合が大きくなれば、同位体比は高くなる。

前述の同位体分別効果は、食物連鎖においてもみられ、ある動物の持つ重い同位体原子の割合は、その餌よりも大きくなる傾向にあるため、同位体比が高くなる。これは、食べた餌が身体の一部になった後、呼吸等により排出される際、重い同位体原子の方が反応速度は遅いため、体内に残りやすいからである。つまり、食物連鎖の栄養段階が上昇するに伴い、重い同位体の存在比が増加することとなる。

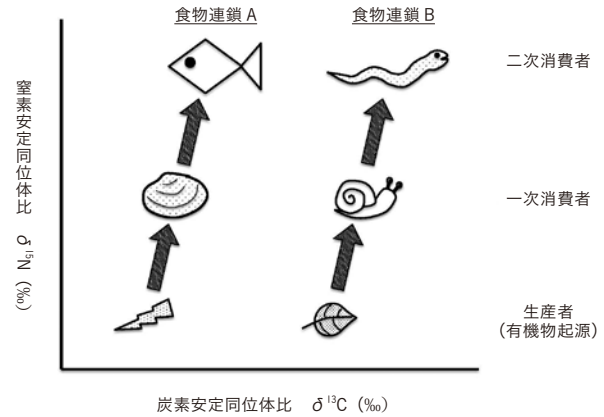


図6 安定同位体比マップにおける食物連鎖の模式図

図6は、横軸を炭素、縦軸を窒素の安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ 値・ $\delta^{15}\text{N}$ 値) とし、異なる二つの食物連鎖の生産者と消費者の位置をそれぞれ示したものである(安定同位体比マップ)。生産者(有機物起源)である植物の $\delta^{13}\text{C}$ 値には、光合成の仕組みや温度等の環境条件によって違いが見られる。例えば、中緯度海域では植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C}$ 値が-24~-18‰の範囲であるのに対し、アマモ等の海草類では-15~-3‰の範囲と相対的に高い(Fry and Sherr 1989, 富永・高井 2008)。ただし、これらは一般的な値の範囲や傾向であり、大きく外れる場合も少なくない(横山 2008)。

一般に、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は栄養段階が上昇しても変化の幅は比較的小さい(栄養段階が一つ上がると平均して10‰増大)。よって、対象動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値に近い生産者を安定同位体比マップ上で探すことにより、その炭素供給源となつて

いる生産者を推定できる。一方、 $\delta^{15}\text{N}$ は栄養段階が一つ上がると、平均34‰も増大するため、対象動物と生産者の $\delta^{15}\text{N}$ 値の差を34‰で割り算することで、栄養段階を推定できることとなる(Minagawa and Wada 1984)。

図6の例では、説明を簡単にするために、各消費者の餌は1種類のみという、最も単純な食物連鎖を想定している。しかしながら、実際の動物は様々な餌を食べており、複数の生産者(有機物起源)に依存していたり、雑食者のように中間的な栄養段階に位置する場合も多く、分析結果の解釈は単純ではない。また、同じ種類の動物でも、季節や成長段階等に伴い、餌や代謝活性等が変化するため、その解釈はさらに複雑となる。

このように、食物網を構成する各生物の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値を分析し、安定同位体比マップを作成することで、各動物が食物連鎖の起源として依存する生産者(有機物起源・横軸)と栄養段階(縦軸)の推定が可能となるのである。ただし、先述した栄養段階の上昇に伴う $\delta^{13}\text{C}$ や $\delta^{15}\text{N}$ の変化の幅は、数多くのデータの平均値であり、生態系や生物の種類等によって相当の幅があり、推定結果が実態から大きくずれる場合もあることに注意が必要である。この手法についてさらに詳しく知りたい場合は、分かり易い解説書が複数あるので、ぜひ参照してほしい(例えば、富永・高井 2008)。

### トンボロ干潟の食物網構造

では、筆者らが東幅豆のトンボロ干潟とその周辺(転石帯やアマモ等)を対象に、その食物網



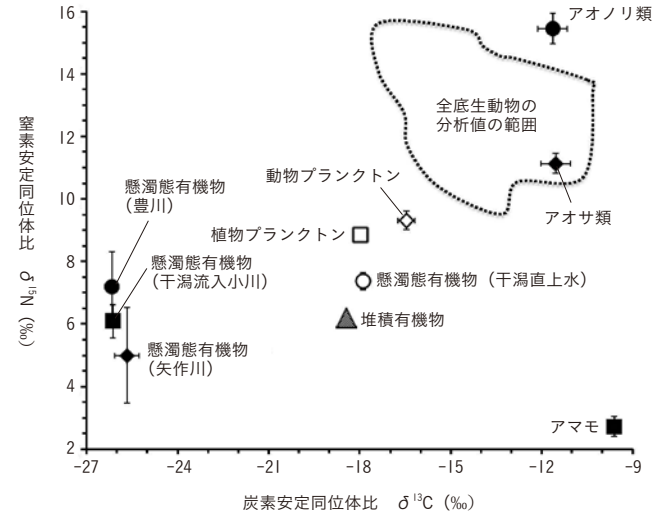


図7 東幅豆のトンボロ干潟において2013年7～8月に採集された各有機物起源、動物プランクトンの安定同位体比マップ。点線で囲ったエリアは、全底生動物の分布範囲を示す（詳細は図8を参照）

構造を調べた結果について紹介したい。調査は、春から冬の各季節に行ったが、ここでは調べた生物の種数が最も多かった夏の結果を示すこととする。

図7は、干潟食物網における有機物起源の候補について、安定同位体比マップを示したものである。炭素の安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ 値は、河川水（豊川、矢作川とトンボロ干潟に流入する小川）の懸濁態有機物の $-26\text{‰}$ 前後からアマモの $-9.6 \pm 0.2\text{‰}$ （平均±標準偏差）まで、非常に幅がある。窒素の同位体比 $\delta^{15}\text{N}$ 値でも、アマモの $2.7 \pm 0.3\text{‰}$ からアオノリ類の $15.4 \pm 0.5\text{‰}$ まで、やはり幅が大きい。

これらの有機物起源の候補と比べ

ると、全底生動物の分析値は点線で囲んだ範囲内にあり、比較的まとまっている。河川水の懸濁態有機物の $\delta^{15}\text{N}$ 値や $\delta^{13}\text{C}$ 値は、底生動物の分析値とは大きく離れていて、トンボロ干潟の場合、有機物起源としての貢献度は小さかったと思われる。

さらに詳しく見ると、有機物起源の $\delta^{13}\text{C}$ 値では、干潟直上水の懸濁態有機物（主に植物プランクトンとデトリタスの混合物）と、堆積有機物（底生微細藻類等）が比較的低く、アオノリ類、アオサ類、アマモで高かった。よって、例えば、同じ濾過食者でも、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が低い底生動物の場合は、懸濁態有機物や堆積有機物への依存度が比較的高く、逆に $\delta^{13}\text{C}$ 値が高い場合は緑藻類や海草への依存度が高い可能性が示唆されることとなる。

一方、 $\delta^{15}\text{N}$ 値では、アマモで低く、アオノリ類やアオサ類では顕著に高くなり、堆積有機物、懸濁態有機物では中間的な値となった。特に $\delta^{15}\text{N}$ 値が高かったアオサ類やアオノリ類への依存度が高い底生動物は、同じ栄養段階にある他の底生動物と比べて、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は高い値を示すこととなる。逆に、アマモへの依存度が高い底生動物の場合は、同じ栄養段階の他の底生動物に比べて、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は低くなる。つまり、底生動物の $\delta^{15}\text{N}$ 値を栄養段階の指標とする際には、依存する有機物起源の $\delta^{15}\text{N}$ 値にも左右されることを念頭におく必要がある。

図8は、各底生動物についての安定同位体比マップを示したものである（図7の右上部分を拡大）。有機物起源ほどではないが、 $\delta^{13}\text{C}$ 値や $\delta^{15}\text{N}$ 値にはある程度の幅が見られる。各分類群ごとに近い範囲に集中する傾向にあり、食性が共通したある程度のまとまりを形成しているようである。ただし、よく見ると同じ分類群内でも種ごとに違いは見られる。

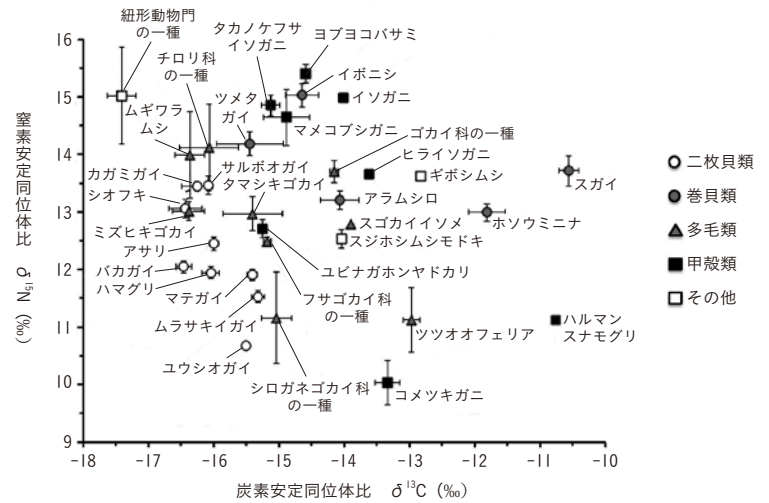


図8 東幅豆のトンボロ干潟において2013年7～8月に採集された各底生動物の安定同位体比マップ

まず分類群単位で見ると、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は甲殻類が全体的に最も高い範囲に集中し、巻貝類、多毛類、二枚貝類の順に高い傾向にあった。この結果は、二枚貝類の大部分が植食者またはデトリタス食者（懸濁態有機物や堆積有機物に依存）といった低次の消費者であるのに対し、甲殻類は肉食者または雑食者といった比較的高次の消費者が多いことを反映したものと考えられる。多毛類や巻貝類の場合は、濾過食者、堆積物食者、雑食者、肉食者等のさまざまな食性をもつ種類がいるため、中間的な値になったと考えられる。

炭素の安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ でみると、二枚貝類がやや低い範囲に集中したのに対し、多毛類、巻貝類及び甲殻類では幅が見られ、分類群間の違いは

特に明瞭ではなかった。この結果は、栄養段階の上昇に伴う $\delta^{13}\text{C}$ 値の変化が比較的小さいことを反映したものと考えられ、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が各有機物起源の依存度の指標として有用であることを暗示する。

次に、各分類群内での種による食性の違いを見ていこう。二枚貝類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、ユウシオガイ (10.7 ± 0.1‰) が最も低かった (図8)。多くの二枚貝類は水中の懸濁態有機物を濾過摂餌するのに対し、ユウシオガイは非常に長い水管を掃除機のホースのように伸ばして、砂泥中の堆積有機物を吸い取る特殊な摂餌生態が知られている。堆積有機物の $\delta^{15}\text{N}$ 値 (6.1 ± 0.2‰) は懸濁態有機物 (7.4 ± 0.3‰) や植物プランクトン (8.9 ± 0.2‰) を下回っており (図7)、ユウシオガイの低い $\delta^{15}\text{N}$ 値はその特殊な食性を反映していた可能性が示唆される。

マテガイ (11.9 ± 0.1‰) は、ユウシオガイに次いで低い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示した。その理由としては、マテガイは他の二枚貝類に比べて砂泥中の深い場所に生息しており、 $\delta^{15}\text{N}$ 値が低い堆積有機物の影響を受けていたことが考えられる。逆に $\delta^{15}\text{N}$ 値が最も高かったのは、サルボオガイ (13.5 ± 0.2‰) であった。サルボオガイには水管がないため、トンボロ干潟の二枚貝類のなかでは最も海底表面近くに生息していた (本章1)。その結果、堆積有機物よりも懸濁態有機物に対する依存度が高くなっていたことを反映していたと考えられる。

二枚貝類の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、-16.5 ~ -15.4‰と比較的狭い範囲に集中していた。本来は $\delta^{13}\text{C}$ 値が各有機物起源に対する依存度の指標となるが、夏のトンボロ干潟では懸濁態有機物と堆積有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値に顕著な差がなく、同位体比マップを見るだけの簡単な解析では、 $\delta^{15}\text{N}$ 値の方が食性

の傾向を表しやすかったたのである。各有機物起源の依存度を定量的に推定するためには、 $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値の両方を用い、栄養段階の上昇に伴う変化も考量した解析が必要である（アサリとユウシオガイを対象に、詳しい解析を試みた例について、後ほど紹介する）。

巻貝類では、 $\delta^{15}\text{N}$ 値、 $\delta^{13}\text{C}$ 値ともに、種による違いが認められた。 $\delta^{15}\text{N}$ 値は、イボニシ（15.0 + 0.2‰）、ツメタガイ（14.2 + 0.2‰）と似た肉食性の種で高く、スガイ（13.7 + 0.3‰）やウミニナ（13.0 + 0.2‰）と似た植食性あるいは雑食性の種でやや低い傾向を示した。ただし、肉食性の種とされるアラムシロ（13.2 + 0.2‰）も、やや低い値であった。

$\delta^{13}\text{C}$ 値の違いはより顕著であり、肉食性の種とされるイボニシ（-14.6 + 0.2‰）、ツメタガイ（-15.5 + 0.5‰）、アラムシロ（-14.1 + 0.3‰）では低い範囲に集中し、植食性あるいは雑食性とされるスガイ（-10.6 + 0.2‰）やホソウミニナ（-11.8 + 0.3‰）ではやや高い値となっていた。スガイやホソウミニナの $\delta^{13}\text{C}$ 値は、主な有機物起源と予想された堆積有機物の $\delta^{13}\text{C}$ 値（-18.5 + 0.5‰）に比べかなり高い値であった。ホソウミニナは、堆積有機物そのものというより、堆積物のごく表面に存在する底生微細藻類を摂餌していると考えられている。あるいは、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が高かった海藻・海草類の破片等を摂餌している可能性も考えられる。また、スガイは本来、岩礁帯に生息する巻貝であり（行平ほか 1995）、干潟表面というよりも、杭や転石等に多く見られたことから、その表面に付着する微細藻類を摂餌しているのかもしれない。

多毛類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、11.1 ~ 14.1‰とやや広い範囲に散らばっていた。チロリ科の一種（14.1 + 1.5‰）が最も高く、次いでゴカイ科の一種（13.7 + 0.4‰）で高かった。これら二科は大型の

多毛類で肉食性種が多いとされており（佐藤 2006, 本章 2）、それを反映した結果と考えられる。

一方、ツツオオフェリア（11.1 + 1.1‰）が最も低く、次いでシロガネゴカイ科の一種（11.2 + 1.6‰）が低かった。これらの多毛類は、堆積物食性とされる中でも小型の種類であった。その他の多毛類の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、12.5 ~ 13.1‰の狭い範囲に集中していた（ムギワラムシ：13.1 + 0.7‰、ミズヒキゴカイ：13.0 + 0.3‰、タマシキゴカイ：13.0 + 0.6‰、スゴカイイソメ：12.8‰、フサゴカイ科の一種：12.5 + 0.2‰）。これらの多毛類のうち、ムギワラムシやミズヒキゴカイは、比較的大型で、鰓で水中の懸濁物を濾しとって食べる種類である（本章 2）。また、タマシキゴカイも比較的大型で、堆積物食性とされる種である。

多毛類の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、-16.4 ~ -13.0‰とやや広い範囲に散らばった。 $\delta^{13}\text{C}$ 値はツツオオフェリア（-13.0 ± 0.3‰）で最も高かった。ツツオオフェリアは $\delta^{15}\text{N}$ 値では最も低く、安定同位体比マップ上で他の多毛類とは離れた位置にあり、食性が大きく異なることが示唆される。ツツオオフェリアは体長1cm程度とごく小さく、トンボロ干潟の多毛類のうちで最も優占する種であった（本章 2）。一方、ミズヒキゴカイ（-16.4 + 0.5‰）やムギワラムシ（-16.1 + 0.2‰）と似た、大型で懸濁物食性とされる種では低い値となっていた。

甲殻類では、 $\delta^{15}\text{N}$ 値は10.0 ~ 15.4‰、 $\delta^{13}\text{C}$ 値は-16.4 ~ -10.8‰と、どちらもかなり広い範囲に散らばっていた。特に、コメツキガニとハルマンズナモグリは、他の甲殻類と比べて、安定同位体比マップ上でかなり離れた位置にあった。コメツキガニは自ら掘った巣穴に生息し、堆積物食者とされている（本章 3）。ハルマンズナモグリも、干潟内部に生息する埋在性の甲殻類であり、

有明海における安定同位体比を指標とした研究から、植物プランクトンや底生微細藻類に依存していることが指摘されている (Shimoda *et al.* 2007)。これら2種に対して、他の甲殻類は干潟表面や転石下等に生息し、肉食性または雑食性とされている種類であった。こうした住み場所や食性の違いが、安定同位体比マップに反映されていたと言えそうである。

#### 各有機物起源に対する依存度の推定

ここまで、安定同位体比マップをもとに、底生動物の分類群間や分類群内における食性の違いについて推察してきた。さらに、各餌や有機物起源への依存度を定量的に評価したいが、トンボロ干潟の食物網のように有機物起源の主な候補が複数ある場合には、それは容易ではない (笠井 2008, 青木 2008)。

例えば、ある動物の食べている餌が2種類のみであり、その動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値が、2種類の餌のちょうど中間であった場合、各餌への依存度は50%ずつとなる。もし餌候補が3種類であった場合も、元素2種類の安定同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ 値と $\delta^{15}\text{N}$ 値) の分析値が得られれば、次の連立方程式から各餌への依存度を計算できる (笠井 2008)。

$$\begin{aligned} \delta^{13}\text{C}^*_{動物} &= f_{餌1} \times \delta^{13}\text{C}_{餌1} + f_{餌2} \times \delta^{13}\text{C}_{餌2} + f_{餌3} \times \delta^{13}\text{C}_{餌3} \\ \delta^{15}\text{N}^*_{動物} &= f_{餌1} \times \delta^{15}\text{N}_{餌1} + f_{餌2} \times \delta^{15}\text{N}_{餌2} + f_{餌3} \times \delta^{15}\text{N}_{餌3} \\ 1 &= f_{餌1} + f_{餌2} + f_{餌3} \end{aligned}$$

右の式中における $\delta^{13}\text{C}$ や $\delta^{15}\text{N}$ は、対象とする動物や3種類の餌の値である。また、 $f$ は、動物が各餌を食べている(正確には同化している)割合であり、合計で1となる。三つの未知数(各餌への依存度:  $f_{餌1}$ ,  $f_{餌2}$ ,  $f_{餌3}$ ) に対して、連立方程式は三つであるため、計算して解を得ることが可能である。

最初の二つの式は、対象動物の $\delta^{13}\text{C}$ 値または $\delta^{15}\text{N}$ 値が、3種類の餌の $\delta^{13}\text{C}$ または $\delta^{15}\text{N}$ 値を反映していることを表している。ただし、対象動物の同位体比は濃縮係数で補正した値 ( $\delta^{13}\text{C}^*$ ,  $\delta^{15}\text{N}^*$ ) のように表現している。

さて、餌候補が4種類以上となると、2種類の同位体比 ( $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ 値) の分析(連立方程式三つ) だけでは、各餌への依存度(未知数四つ以上) を求めることができなくなる。そのような場合は、モンテカルロ法や掃き出し法を用いて確率分布として解を求めることになる。計算には、Phillipsらによって開発され、ウェブサイトで公開されているコンピュータープログラム IsoSource が広く使われている (青木 2008)。

東幡豆のトンボロ干潟では、量的に主要な有機物起源の候補として、(干潟直上水中の) 懸濁態有機物、(干潟表面の) 堆積有機物(主に底生微細藻類)、アオサ類、アマモ類の4種類が考えられた。ここでは、ほぼ一次消費者(植食者) の栄養段階にある二枚貝類の代表的なものとしてアサリとユウシオガイを例に、上述の IsoSource プログラムによる推定を試みた結果について紹

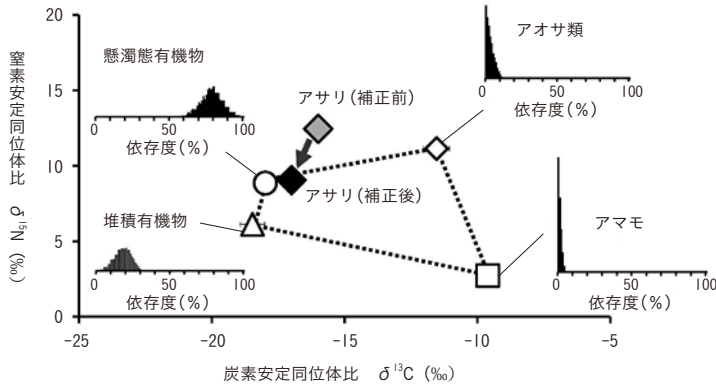


図9 混合モデル (IsoSource プログラム) を用いた、各有機物起源に対するアサリの依存度の推定 (2013年7~8月)

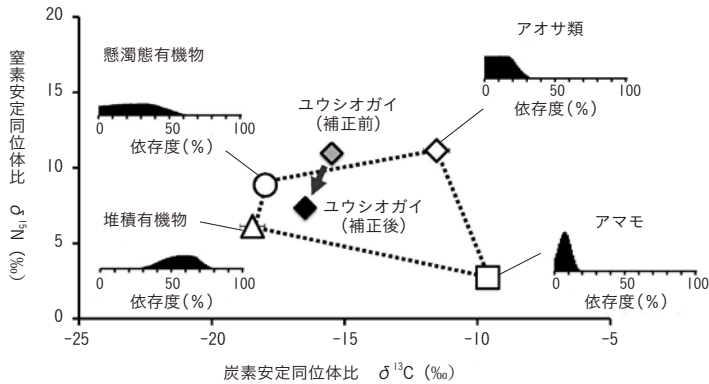


図10 混合モデル (IsoSource プログラム) を用いた、各有機物起源に対するウチソガイの依存度の推定 (2013年7~8月)

介する。

図9は、夏のトンボロ干潟におけるアサリの各有機物起源に対する依存度を推定した結果を示している。アサリの $\delta^{15}\text{N}$ 値及び $\delta^{13}\text{C}$ 値を濃縮係数で補正後にプロットすると、4種類の有機物起源を結んだ四角形の内部に位置し、特に懸濁態有機物の値に最も近い。確率分布を見ると、懸濁態有機物に対する依存度は80%程度、堆積有機物に対する依存度は20%程度が最も可能性が高く、アオサ類やアマモへの依存度は10%以下と推定される結果となった。

図10は、ウチソガイについての推定結果である。濃縮係数で補正後のウチソガイの $\delta^{15}\text{N}$ 値と $\delta^{13}\text{C}$ 値は、アサリに比べると、懸濁態有機物から遠く、堆積有機物に近くなっている。それを反映して、ウチソガイの懸濁態有機物への依存度は0~60%程度とアサリに比べて低く、逆に堆積有機物に対する依存度は30~80%程度と高くなっていた。

IsoSource プログラムによるこれらの推定結果は、安定同位体比マップから直観的に予想される結果と概ね一致しており、実情を反映した概ね妥当なものと考えてよさそうである。青木(2008)が浜名湖のアサリとウチソガイについて IsoSource プログラムで解析した例でも、本報告と同様の結果が得られている。

ただし、安定同位体比マップ上における対象動物と各有機物起源の位置関係が少し変化するだけで、依存度の推定結果が大きく変化してしまう場合もあることに注意が必要である。つまり、主な有機物起源の候補の選定、濃縮係数の補正等が不適切な場合、誤った結論を導き出してしまいう危険性がある。より確度の高い結果を得るためには、消化管内容物の観察といった定性的で確

実な手法との併用、飼育実験による濃縮係数の検討等を行うことが望ましい。

トンボロ干潟では、多岐の分類群にわたる様々な種類の底生動物が生活しているが、それらの底生動物は食性の面でも多様であることが、安定同位体比を指標とした解析によって明らかとなった。こうした多様性が、トンボロ干潟における食物網の複雑さ・安定性を生み出し、アサリ等の豊富な漁業生産、希少種の生存等を支えているものと考えられる。

安定同位体比による解析はいくつかの仮定を前提としており、その解釈が一人歩きすることは避けなければならないが、適切に用いければ非常に有用な分析ツールである。今後、他の分析方法と組み合わせた調査が行われることで、トンボロ干潟の食物網や物質循環のより詳しい実態が解明されることを期待したい。

(吉川尚)

## 5 干潟二枚貝類の遺伝的多様性

### 生物多様性―遺伝子の多様性と地域固有性―

地球上には私たち人間を含め、実にさまざまな生き物がさまざまな環境のもとで生息している。このような生き物や環境の多様さは、地球が誕生して以来、長い年月をかけて形作られてきたも

のであり、一般に「生物多様性」とよばれている。生物多様性は、いまや一般にも広く知れ渡る言葉となったが、この言葉の中には「遺伝子」「種」「生態系」といった三つの異なるレベル(階層)が存在する(詳細は、1章2を参照)。

それらのうち「種多様性」と呼ばれる概念は、一般的にもイメージしやすく広く認識されている考え方である。例えば干潟という環境の種多様性は、ゴカイなどの多毛類、エビ・カニなどの甲殻類、アサリやハマグリといった貝類など、さまざまな種類の生き物がいることを指している。一方、生物多様性は、「種多様性」にみられるような、たくさんの種がいるかどうか、というだけの単純な概念ではない。生物多様性にはほかに「生態系の多様性」という階層がある。ある生物がその場所に生息するためにはその生物に合った環境が必要であり、森林やサンゴ礁といったさまざまな環境とそこに生息する生物群集を含む生態系が守られていることが大切であるという考え方である。

さて、生物多様性の三つの概念のうち残る「遺伝子の多様性」であるが、これは、それぞれの個体もつ個性を大切にするという考え方である。個々の個体が有する遺伝的な個性は、DNA(≠遺伝子)の違いを反映している。この遺伝子の多様性は先に述べた「種」や「生態系」の多様性といった概念に対して、個々の個体間の遺伝子の違いといった非常にミクロなスケールの多様性を指す概念である。このようなミクロスケールの多様性は、個体や種の存続と密接に関連している重要な概念であるが、具体的にイメージしづらいものである。以下で少し詳しく説明しておきたい。

まず、DNA（≠遺伝子）は地球上に生物が誕生して以来、現代まで連続と子孫に受け継がれてきたものである。このDNAという物質は、父方のDNAと母方のDNAがシャッフルされて子へ引き継がれるが、その時にDNAの配列も少しだけ変化した形で受け渡される。たとえ親兄弟であってもそれぞれが異なる個性をもっているのは、育った環境が異なることに加えて、個々のもつ遺伝子の違い（≠遺伝子の個性）も原因である。

このような個性の多様性とも言い換えられる遺伝子の多様性は、一般に種の絶滅リスクと深い関連性があると考えられている。例えば、ある病原菌に対して耐性をもつ遺伝子が、すべての個体において同じであった場合、病原菌が少しでも変化してしまうとどの個体も耐性を持たないこととなり、その個体群は死滅してしまう。もし、病原菌の耐性に関する遺伝子に多様性があれば、病原菌が多少変化しても、いずれかの個体は耐性を有し、個体群（もしくは種）の絶滅は避けられる可能性が高まる。このように種の存続に直接影響を及ぼし得るのが「遺伝子の多様性」である。

また、遺伝子の多様性の概念には、これまで述べたような「各個体の遺伝子の個性」に加え、「地域固有の遺伝子の偏り」といったものがある。具体的にどのようなことか、メダカを例に紹介してみたい。メダカは日本全国の溜池などに生息している小型の淡水魚である。これまで、メダカはこのメダカも同じと思われるが、遺伝子の多様性を調べる研究により、青森から福井の日本海側に生息する北日本グループと、岩手から沖縄まで広範囲に生息する南日本グループの二つに大きく分けられることが明らかとなった（Takehana et al. 2003）。これら二つのグループは見た目はほとんど同じだが、実は2000万年近くも前から互いに交流することなく独自に進化

してきたと考えられており、現在ではカタノメダカ *Oryzias latipes sakazumii* とヒナメダカ *Oryzias latipes* の2種に分けられた（Asai et al. 2011）。

このように、同種であってもほかの集団から地理的に離れて遺伝子の混合（交流）がなくなる、地域固有の遺伝子の偏り（≠遺伝子の地域性）が生じ、さらにそれが長期間維持されると新たな種に分化するわけである。生物多様性を考えるうえで、このような遺伝子の地域性（独自性）も、それ自身が長い年月を経て形作られた保全すべき重要な単位となる。このように認識することで、遺伝子の多様性が種多様性の概念とも密接に結びついている根源的な多様性の概念であることがわかりただけだと思う。

### 遺伝子の多様性の測り方

これまで述べてきたように「遺伝子の多様性」は、ある種について各個体や各地域の個性・独自性の特徴づけるものとして重要である。しかしながら、遺伝子の違いがすべて、色・形・大きさなどの見た目（表現型）の違いを生み出すものでなく、遺伝的には違っていても見た目は同じという場合もある。では、実際にどのように遺伝子の多様性を測ればいいのかだろうか。その方法についても簡単に述べておきたい。

遺伝子の本体はデオキシリボ核酸（DNA）と呼ばれる化学物質であり、デオキシリボース（五炭糖）とリン酸、塩基から構成される核酸である。この塩基には、アデニン（A）、グアニン（G）、シトシン（C）、チミン（T）の4種類があり、この4つの塩基の並び方（配列）がまるで文字

列のように遺伝情報を伝えるのである。ただし、塩基のみではただの文字でしかなく、塩基が複数連なることで単語（「アミノ酸の情報」となり、さらに単語が文法に従って順に並ぶことで文章（「タンパク質の情報」となる。ゲノム（「その生物の全遺伝情報」の大半を占めるのは、こうしたタンパク質の生成とは直接関係のないジャンクDNA（ガラクタのDNAの意）であり、表現型の違いを生み出しているタンパク質生成に関与している場所はごく一部である。ジャンクDNAであれ、タンパク質生成に活用されるDNA部位であれ、塩基配列の違いの度合いが遺伝子の多様性の指標となる。つまり、ある個体の塩基配列が…ATGC…となっているのに対し、別の個体では…AGCC…となっていれば（下線部の1文字が異なる）、多様性があるということになる。遺伝子の多様性を知るためには、塩基配列の多様性を調べればよいということになるが、例えばヒトの細胞核には合計32億の塩基が並んでいる。これらすべての並びを個体間で比較することは、現時点では困難で実用性に乏しい。現状では、ある特定のDNA領域について、塩基配列を比較することで遺伝子の多様性の評価が行われている。

DNAの塩基配列を実際に調べる方法はいろいろあるが、最も直接的で正確な方法として、塩基配列決定法というものがある。この手法の詳細については多くの良書がすでに出版されているので省略するが、A・T・G・Cの4塩基にそれぞれ異なる色（赤、青、黄、緑）の蛍光標識をつけて、その蛍光色を頼りに並びを読み取る方法である。この手法を用いると、ある特定のDNAの塩基配列がすべて明らかになることから、対象とする個体間にみられる遺伝的な違い（「変異」）を知ることができる。

ところで、生物（動物）の細胞内小器官では、細胞核とミトコンドリアの二つの部位にDNAが存在する。ヒトの細胞核に含まれるDNA（核DNA）にはおよそ32億個の塩基が、ミトコンドリアのDNAには約1万6000個の塩基が含まれている。核DNAでは両親からそれぞれの遺伝情報を受け継ぐが、ミトコンドリアDNAでは母親からのみ遺伝情報が受け継がれる。遺伝的多様性を調べる際に、どちらのDNA情報を調べるのが適切かはその目的や状況次第であるが、ミトコンドリアDNAはサイズが小さくて比較的調べやすいこと、遺伝子の組み換え（シャッフル）がないこと、多くの生き物で共通の遺伝子が存在すること、といった特性があるために他種との比較が容易である。一方、核DNAは両親からの膨大な遺伝情報を含むため、ミトコンドリアDNAからは見出すことのできないような遺伝子の多様性を知ることができる場合がある。特に、マイクロサテライトDNAと呼ばれる領域は、犯罪捜査にも利用されるほど、個体間のDNAの差異を検出できるポテンシャルを秘めており、野生動物の遺伝子の多様性を測るうえで、も欠かせない分析の一つとなっている。

さて、対象のDNAと分析手法が決まれば、あとは対象種の体組織の一部から核およびミトコンドリアDNAを取り出し、そこに書かれた文字列（塩基配列）を読み取っていく作業となる。次いで、読み取られた4塩基の並びを個体ごとに並べて比較する地道な作業を経て、それぞれの遺伝子型が決定される。個体間での文字列の違いが大きく、異なる遺伝子型の種類が多いほど、遺伝子の多様性は高いということになる。また、地域固有の遺伝子型や偏りがみつかれば、それが独自の地域性をもつ証拠として、遺伝的多様性が高いと評価されることになる。



## トンボロ干潟の二枚貝類の遺伝的多様性

それでは実際に、三河湾に面した東幡豆のトンボロ干潟において、二枚貝類の遺伝子の多様性を調べた結果を、他地域との比較も含めて紹介していきたい。三河湾はさまざまな二枚貝類が多産する海域として知られている。三河湾沿岸のほぼ中央部に位置する東幡豆のトンボロ干潟でもアサリをはじめとして、バカガイ、カガミガイ、サルボオガイ、シオフキ、マテガイ、ユウシオガイなどが簡単に採集できる(写真21)。アサリとバカガイは比較的流通量の多い種で、カガミガイ、サルボオガイ、シオフキ、マテガイはあまり流通量の多くない種であり、ユウシオガイは人間による利用がまったくない種である。このうち、マテガイとユウシオガイは水質悪化に特に敏感で、全国各地で絶滅が危惧されている希少種である。

干潟の二枚貝類のうちで、アサリは特に水産上重要な資源であるとともに、潮干狩りなどのレジャー対象種としても関心が高いことから、これまでにも遺伝子の多様性に関するさまざまな調査・研究が行われてきた。例えば、張ほか(2013)は、アサリの貝殻模様にみられる左右対称・非対称の頻度を全国各地で調べ、静岡県沼津と浜名湖を境界として非対称型の出現頻度が顕著に異なることを報告している。また、Kitada *et al.* (2013) は、アサリにはR型と呼ばれるやや縦扁した貝殻で放射ろく数の多いタイプが存在し、これらは形態的・遺伝的に中国産と日本産とに分けられる(地域性がある)こと等を報告している。このように、アサリについてはその関心の高さから遺伝子の多様性に関する多くの研究があるが、そのほかの貝類においてはほとんど遺

伝学的な研究は行われておらず、遺伝子の多様性が種ごとにどのようになっているかは、よくわからないのが現状である。

そこで筆者らは、東幡豆のトンボロ干潟で代表的な前述7種の二枚貝類(アサリ、バカガイ、カガミガイ、サルボオガイ、シオフキ、マテガイ、ユウシオガイ)について、ミトコンドリアDNAの同一領域を対象に遺伝子の多様性を調査した。調査にあたっては、地域性を評価するため、トンボロ干潟以外にも全国各地から広くサンプルを採集するとともに、DNAデータベースに登録されているデータも活用した。

まず、遺伝子の多様性のうち個体間の塩基配列の違い、すなわち遺伝子の個性とよべるものについて述べたい。今回あつめた7種において、最も遺伝子の多様度が高かったものはマテガイであった。マテガイの個体間の塩基配列の違い(≡塩基置換率)は約1%という値を示した。これはそれぞれの個体の塩基配列を100文字(塩基)比較した場合に、平均して1文字程度異なっていることを意味している。これに対してアサリ、カガミガイ、シオフキでは0.4〜0.6%程度、バカガイ、サルボオガイ、ユウシオガイでは0.1〜0.3%程度と低い値を示した。

通常、個体数が多く資源量が安定している種ほど遺伝子



写真 21 幡豆トンボロ干潟で採集された貝類(撮影:野原)

の多様性が高く、絶滅が危ぶまれているような種ほど遺伝子の多様性は低い傾向にある。今回調べた7種のうちで最も個体数が多く資源的に安定していると考えられるものはアサリであるが、予測したほど高い遺伝子の多様性は認められなかった。これは漁業対象種であるアサリは、人間による間引きを恒常的に受けているため、稀な遺伝子型が確率的に集団中から除去されてしまう機会が多く、個体数から想定されるほどの遺伝子の多様性を保持していない可能性が考えられた。一方、遺伝子の多様性が最も高かったマテガイであるが、実は愛知県のレッドデータブックで準絶滅危惧種に指定されている(愛知県環境調査センター2009)。そのため当初、遺伝子の多様性は低いものと想定しており、この結果は少々意外であった。このような結果になった理由をひとりで説明することは難しいが、トンボロ干潟のマテガイは、比較的長い間、安定して大きな個体群を維持している可能性が高いと言えそうである。また、マテガイと同じく愛知県のレッドデータブックで準絶滅危惧種に指定されているユウシオガイは、今回調べた7種のうちで遺伝子の多様性が最も低かった。ユウシオガイの遺伝子の多様度は、最も遺伝子の多様度が高かったマテガイの10分の1程度であった。ユウシオガイは、人為的影響を比較的受けやすい内湾奥の河川の流れ込み付近に多く生息する傾向にあるためか、全国的に個体群の消滅が相次いで報告されている。今回の研究により、トンボロ干潟のユウシオガイ個体群は、著しく低い遺伝子の多様性を示したことから、見かけ上ある程度の個体数は維持しているものの、潜在的な脆弱性が認められたことになる。今後、ユウシオガイについては注意深くモニタリングしていく必要がある。

次に遺伝子の地域(固有)性に着目した結果について触れてみたい。先にも述べたように、アサリについてはこれまでも遺伝子の地域性に関するさまざまな研究が行われている。筆者らの研究においても、北海道、宮城、千葉、神奈川県、静岡、愛知、熊本の7道県より標本を採集し、DNAデータベース上からも中国産アサリについての情報を入手することで、幡豆に限らず日本国内外のアサリの地域性について検証した。その結果、筆者らの研究結果でも、先行研究と同様に中国から得られた個体のDNAは独自の遺伝的特性を示していた。中国産と日本産のアサリの遺伝子の違いは明らかで、幡豆を含む日本産のアサリとは遺伝的に明瞭に分けられることがわかった。また、日本産と中国(または韓国)産との遺伝的な違いは、アサリ以外にもバカガイ、シオフキ、カガミガイ、マテガイなど、比較が可能であったほほすべての種において認められた。このことから、大陸と日本との間での二枚貝類の移動や分散は、ある程度長い間制限されていることがわかれ、日本と中国(または韓国)近海ではそれぞれ固有の遺伝的特性を有する集団が存在することが分かった。

次に、もう少し小さなスケールである日本国内での地域差についてもみてみたい。筆者らが採集した日本国内という小規模な地理的スケールの比較においては、アサリを含むどの種においても、それほど明瞭な地域性を示すことはなかった。つまり、幡豆のアサリと北海道や九州のアサリも、ミトコンドリアDNAの部分配列では明瞭に区別できなかったというのである。これは調べた地域数、DNA領域、塩基配列の長さなど、分析上の多くの問題を多分に含んでいるが、干潟に棲む二枚貝類の多くは、日本国内のような地理的スケールでは地域差は識別しづらいことを意味している。地域性が生じるには、地理的にある程度離れており、さらに長い期間、遺伝子

の交流が途絶える必要があるが、少なくとも日本国内といったローカルな地理的スケールでは、干潟の二枚貝類の地域性が生じるような交流の制限は起きていないか、それぞれの地域性（固有性）を生み出すほどの時間がまだ充分に経っていない可能性が考えられた。加えて、今回対象とした種ではあまり明瞭な地域性が認められなかった一因として、上記のほかにもそれぞれの種のもつ生活史特性が大きく関連している可能性も考えられる。例えば、多くの巻貝類では幼生が直達発達を行い、他地域への分散が起こりにくいためか、日本国内といった地理的スケールでも地域性が認められることが報告されている。一方、今回調べた多くの二枚貝類は浮遊幼生期を過ごし、海流などに乗って地域間での交流が可能となる。このような種のもつ分散能力の有無が、日本国内での地域性（独自性）の強弱に影響していることも考えられる。

いずれにせよ、本研究では日本国内において明瞭な地域性を見出すことはできなかったが、よく研究の進んでいるアサリのような種においては、先に挙げたように、遺伝性のある貝殻の模様地理的な偏りが報告されていることから、丹念に調べればゲノムのどこかにDNAで地域性を区別できる場所がある可能性は高い。今後、より多くの標本とゲノム全体にわたるDNA分析を引き続き実施していくことで、日本国内の地域差のような微細な違いも明らかになっていくはずである。

人間は干潟に生息する多くの生き物を食料や観光資源として利用しており、特に干潟の二枚貝類からは水質浄化など優れた生態系サービスを享受している。健全な個体群を維持していくためには、個々の遺伝子の多様性や地域性を知ることが極めて重要である。今回紹介したような遺伝子の個性や地域性は、それぞれの種が長い年月をかけて少しずつ蓄積してきたものであり、一旦消失してしまうと取り返しがつかない（二度と取り戻せない）、かけがえの無いものである。しかしながら、例えば、有明海では過去に中国産のアサリ種苗が大量に持ち込まれた経緯があり、DNA分析で日本産と中国産のアサリがすでに交雑している可能性が報告されている (Kitada et al. 2013)。今回のミトコンドリアDNAの分析結果からは、日本産と中国産の交雑の検証はできないが、筆者らが採集を行った静岡県の一個体でも中国産のミトコンドリアDNA型が検出された。このような事例はアサリにおける人為的放流の影響を示唆するものである。遺伝子の独自性や固有性の消失は目に見えない形で進行し、気付いた時点ですでに手遅れであることが多くの種で知られており、干潟の二枚貝類においても他海域からの放流などによる遺伝的攪乱によって多様性を消失させないよう十分に注意を払うとともに、今後も継続して遺伝子の多様性をモニタリングしていくことが重要である。

(野原健司)

## 6 三河湾における貝類相の変遷

ここでは、すでに消滅した貝類も含めて三河湾での貝類相の変遷について論じてみたい。

三河湾では、戦後から高度経済成長期にあたる1945～1978年にかけて48%もの干潟が



写真22 貝塚に散乱する多数のハイガイ  
(刈谷市：中手山貝塚) (撮影：早瀬)



写真23 アゲマキの遺骸群 (名古屋市港区：庄内川河口干潟 2013.4.28 撮影) (撮影：早瀬)

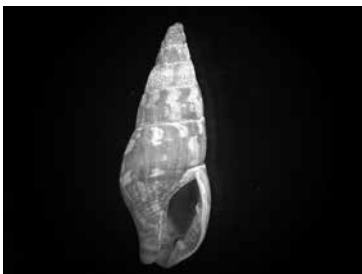


写真24 マルテンスマツムシの古い死殻  
(西尾市吉良町宮崎：潮間帯 2011.5.1 採取) (撮影：早瀬)

小型貝類の中には、その存在が明らかとなる前に、絶滅してしまったと思われる種もある。筆者らが三河湾で行った調査で、カワザンシヨウ科の一種の死殻を発見した(早瀬ほか 2011)。この個体は、東北から関東北部や九州の一部の干潟の中・低潮帯のみに分布するマツカワウラカワザンシヨウやオオシンデンカワザンシヨウなど未記載種(福田 2012)の近縁種であるが、三河湾は、これら近縁種の分布域とは大きく隔たっていることから、未記載の別種である可能性が高い。しかし、本科貝類の種レベルの分類には軟体部の情報が必要なため、死殻のみではこれ以上のことはわからない。このように三河湾だけでなく、他の生物多様性の高い内湾域などの沿岸域環境においても、本種のように未記載のまま人知れず絶滅してしまった種があるであろうことは

埋め立てられた(水産庁・水産資源保護協会 1988)。干潟の減少と共に水質の悪化も影響し、三河湾では多くの内湾性貝類の減少や絶滅につながった。かつての三河湾には「大陸沿岸系遺存種」とされる中国沿岸部を中心に分布する貝類のグループのいくつかの種(佐藤 2000)が広く見られた。ハイガイ、アゲマキ、イチヨウシラトリ、ウミタケなどがそれに該当する。しかし、ハイガイ(写真22)、アゲマキ(写真23)、イチヨウシラトリは1960年代を境にそれ以降、愛知県下では生息個体を確認できなくなり絶滅種とみなされた(愛知県環境調査センター 2009)。ウミタケは近年、三河湾でごく少数の生貝が確認され話題になったが(西 2010)、めつたに生息が確認されることはない。このほかにも泥質干潟に生息していたマルテンスマツムシ(写真24)、テリザクラ、イタボガキ、コオキナガイなども愛知県下では既に絶滅している可能性がある。このほかにも以前では日本各地の砂質の内湾環境にきわめて多数見られ普通の種であったイボキサゴが、浜名湖などの一部の地域を除き各地で著しく減少している。三河湾でもかつては多数の個体が生息していたと記録されるが、現在は東幡豆町の調査でごく少数が確認されたのみ(早瀬ほか 2011)という程度にまで個体数が激減している。

イボキサゴは、二枚貝類と同様に水管を使用する過摂食をする、巻貝類のなかでは珍しい食性の種であり、干潟の減少と共に三河湾の水質悪化も個体群減少に大きな影響をおよぼしたことが推測される。本種のように、かつてはごく普通の種であった貝類までもが人間の開発の影響により気がつけば絶滅の危機に瀕している状況がある。

記憶しておきたい。

三河湾の環境改善のために、東幡豆町では漁協などの取り組みでアマモ場の保護ならびにアマモの増殖が継続的に行われている。このほか、干潟環境の維持・改善のための干潟の耕耘などもされている。東幡豆町の干潟のアマモ場ではサクラガイやウズザクラなどのニッコウガイ科の種が、干潟ではユウシオガイ、マテガイなど、いずれも愛知県下では減少傾向にあり絶滅が危惧される種が多数生息している。このほかにも個体数は少ないながらも、ネコガイ、セキモリ、ムラクモキジビキガイ、マルヘノジガイ、ヒメマスオガイなどの内湾環境に棲む希少な貝類が生息することも確認された。東幡豆町で行った調査では、生きている個体が確認された貝類のうちの16・3%が愛知県や環境省で絶滅が危惧される種であった（早瀬ほか 2011）。この結果は、愛知県内や全国で減少傾向にある貝類の生息地として、東幡豆町の干潟が比較的良好な環境として維持されていることを示すものである。

東幡豆では潮干狩りが有名であるが、この潮干狩りが行われている干潟やアマモ場では多くの絶滅危惧種が見つかったのと共に、最近では個体群が激減し絶滅が危惧されている重要な食用対象種でもあるハマグリも増加傾向にある。筆者らが東幡豆町の干潟で2010年に調査した際にはハマグリが生貝は見つからず、時折、死後ずいぶん時間経過した古く状態の悪い死殻が見られる程度であった。しかし、2013年の調査では毎回数個体の生貝を発見している。

一度大きく減少した種であっても、必ずしもすべてが絶滅に向かうわけではなく、浮遊幼生期間を長く持つような種の場合は、内湾の干潟やアマモ場環境が回復することにより、新たな個体

群が復活する可能性もあるといえる。

（早瀬善正・吉川尚）

## 7 沿岸産貝類の保全のあり方

既に絶滅してしまった貝類に関しては、もはや打つ手はないのだが、いまだ生息が確認される絶滅危惧種に関しては、生息状況や個体数変動のモニタリングを行うと共に、これらの種が生息できる環境を維持・保全してゆくことが最も重要である。

これら貝類の保護・保全にあたっては、従来から言われているマクロなレベル（干潟、藻場等）での生息環境の保全もさわめて重要ではあるが、それだけでは決して十分ではなく、マイクロなレベル（転石地の転石下、アマモ群落内の砂泥底など）での貝類の多様なマイクロハビタットの維持・創出がなければ、沿岸産貝類の多様性維持は難しいと考えられる。

同じ種であっても生活史の中で、利用する生息環境・資源が変化することは先のモロハタマキビの話でも取り上げた。広範囲（浮遊幼生時・着底時）だけでなく、その後の生息環境となる狭い範囲（複数種の高藻群落等）の環境をも維持できなければ、本種の生息は成立しない。この例のみでも単純に特定の環境さえ維持できれば良いということではだめだということがわかる。前章で既に詳しく触れたが、潮間帯の貝類には、さらに狭所の環境での生活に特化した種もあり、よりマイクロなレベルでの環境の保全にも注目することが重要なのである。

現在、東幡豆町の干潟は潮干狩りの場として活用されている。人の手が多く加わることを生物の減少につながる行為ととらえる向きもあるが、干潟環境を人々が利用すると共に、良好に維持・管理されれば、生物多様性は高まるであろう。このような漁業なども連動した干潟環境の維持・保全の取り組みは、貝類をはじめ生物各種の保護にも直結する有効な保護活動のひとつに位置付けることができると考ええる。

減少傾向にある種をリストアップして各種の保護を訴えることは、各生物群の希少な種を存続させる意味できわめて重要である。しかし、単に各種の保護を訴えるのみではなく、それらの種が生息することができる自然環境の存在にこそ、ほかの多くの種も生息している貴重な環境要素が含まれているのである。したがって、今後は絶滅危惧種などを含む多くの希少な生物が生息するような環境自体をどのように保全・維持するかを検討することに移行してゆくべきであろう。そうでなければ、絶滅危惧種などをとりあげるレッドデータブックを作成することの本来の意義にはつながってゆかないと考える。

なお、東幡豆町での潮間帯貝類相を明らかにするために行った調査（早瀬ほか 2011, 2015）で確認された希少な貝類の存在を示す結果は、愛知県レッドリストの改訂版作成において、大いに活用された（愛知県環境部 2015）。このような特定の地域にどのような生物が存在するかという最も基礎的な研究内容は、専門の研究者でなくても地元で熱心な研究活動をしている一般の人々や地域の小規模団体（同好会）を中心として行うことは可能である。身近な地域にどのような生

物があるのかなど詳しく調べても仕方がないと思う人が大部分かもしれないが、実は、この身近な環境の生物が意外にも十分に調査されていない場合がほとんどなのである。このような調査も保全活動の一環なのである。皆さんには、ぜひ、身近な生物の存在を調べてもらいたい。近くに絶滅のおそれがある貴重な種がいて、実は、その貴重な生息環境が知られることなく開発の危機にさらされている状況にあるかもしれないので。

三河湾や伊勢湾では、絶滅が懸念されていたハマグリが発見され、ごくわずかではあるが増加している状況である。ハマグリの増加には、環境への配慮がなされたこと、また、下水道施設などのインフラ整備が進むことで、沿岸環境、特に水質の改善がなされ、富栄養化の緩和や赤潮・貧酸素水塊の発生頻度が減少したことなどが影響しているのかもしれない。このような個体数増加は、一部の絶滅危惧種でも認められている。ただし、ハマグリのような水産重要種の場合には、水産関係諸機関が研究を進め、資源増加の状況やその要因解明の研究を行っている。一方で、一般的に商品とはならないマイナーな種に関しては、ほとんどの研究機関は、詳細なモニターや研究は行わない。

マイナーな種は、まだまだ研究上の未解明な部分が多い。加えて、元々個体数も少なく、詳細な研究を進めるための標本試料も限られている。さらに最近では、干潟消失を含めた環境変化によって、試料が採集される機会がますます減っており、標本や情報の共有を行う全国的な調査体制の整備も必要である。筆者らは、マイナーな種も環境指標として重要な役割を有していると考えている。こうした種は分類学的にも生態学的にも未解明な部分が多いことから、研究の興味があ

戻ることではなく、これからも着目し続けていきたいと考えている。(早瀬善正・吉川尚)

#### 参考・引用文献

- 愛知県環境部編 (2015) 第三次レッドリスト レッドリストあいち2015 新規掲載種の解説。愛知県、全146頁。(http://www.pref.aichi.jp/kankyo/sizen-ka/shizen/yasei/redlist/index.html)
- 愛知県環境調査センター編 (2009) 愛知県の絶滅のおそれのある野生生物 レッドデータブックあいち2009-動物編。愛知県自然環境部自然環境課、名古屋、全651頁。
- 青木茂 (2008) 4章 浜名湖におけるアサリの食物源。58-69頁。In: 富永修・高井則之編、水産学シリーズ159 安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態——アサリからクジラまで。恒星社厚生閣、東京、全165頁。
- Asai T., H. Senou and K. Hosoya (2011) *Oryzias latipes*, a new ricefish from northern Japan (Teleostei: Adrianichthyidae). Ichthyol. Explor. Freshwaters, Vol. 22, No. 4, pp. 289-299.
- 朝倉彰 (2006) テナガツノヤドカリの貝殻利用と個体群動態。59-92頁。In: 菊池泰二編、天草の渚——浅海性ベントスの生態学。東海大学出版会、神奈川、全371頁。
- 張成年・山本敏博・渡辺一俊・藤浪裕一郎・兼松正衛・長谷川夏樹・岡村寛・水田浩治・宮脇大・秦安史・桜井泉・生嶋登・北田修一・谷本尚史・羽入和弘・小林豊・鳥羽光晴 (2013) アサリの非対称殻模様出現頻度における地域差。日本水産学会誌、79巻3号、190-197頁。
- Epifanio, C.E. (2013) Invasion biology of the Asian shore crab *Hemigrapsus sanguineus*: A review. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 441, 33-49.
- 福田宏 (2012) カワザンショウ科。46-54頁。In: 日本ベントス学会編、干潟の絶滅危惧動物図鑑——海岸ベントスのレッドデータブック。東海大学出版会、神奈川、全285頁。
- Fry, B. E.B. Sherr (1989)  $\delta^{13}\text{C}$  Measurements as Indicators of Carbon Flow in Marine and Freshwater Ecosystems. 196-229pp. In: Stable Isotopes in Ecological Research, Volume 68 of the series Ecological Studies, Editors: P. W. Rundel, J. R. Ehleringer, K. A. Nagy, Springer, Berlin, 525pp.
- 波部忠重 (1975) カラー自然ガイド(25) 貝の博物誌。保育社、大阪、全151頁。
- 早瀬善正・大貫貴清・吉川尚・松永育之・社家間太郎 (2015) 前島(三河湾)の転石地潮間帯の貝類相——特徴的な16種の記録。ちりぼたん、第45巻3号、105-122頁。
- 早瀬善正・種倉俊之・社家間太郎・松永育之・吉川尚・松浦弘行・石川智士 (2011) 愛知県幅豆町の干潟および岩礁域潮間帯の貝類相。東海大学海洋研究所研究報告、32号、11-33頁。
- 林勇夫 (1997) 多毛類生態学の最近の進歩23——多毛類の摂食生態(1)。海洋と生物、第19巻5号、442-446頁。
- 林勇夫 (1998) 多毛類生態学の最近の進歩27——多毛類の摂食生態(5)。海洋と生物、第20巻6号、509-512頁。
- 今島実 (1996) 環形動物多毛類。生物研究社、東京、全530頁。
- 今島実 (2001) 環形動物多毛類II。生物研究社、東京、全542頁。
- 今島実 (2007) 環形動物多毛類III。生物研究社、東京、全499頁。
- Jivoff, P. (1997) The relative roles of predation and sperm competition on the duration of the post-copulatory association between the sexes in the blue crab, *Callinectes sapidus*. Behav. Ecol. Sociobiol., 40, 175-185.
- 笠井亮秀 (2008) 3章 安定同位体比を用いた餌料源の推定モデル。46-57頁。In: 富永修・高井則之編、水産学シリーズ159 安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態——アサリからクジラまで。恒星社厚生閣、東京、全165頁。
- 加藤真 (1999) 日本の渚——失われゆく海辺の自然。岩波新書、東京、全220頁。
- 河辺訓受・木村昭一 (2015) 愛知県に生息していたテリザクラ——かつての汐川干潟の貝類相。かきつばた、40号、31-33頁。
- 菊池泰二 (2003) 第1章 ベントスとはどういうものか。16-17頁。In: 日本ベントス学会編、海洋ベントスの生態学。東海大学出版会、神奈川、全459頁。
- Kitada, S., C. Fujikake, Y. Asakura, H. Yuki, K. Nakajima, K.M. Vargas, S. Kawashima, K. Hamasaki and H. Kishino (2013) Molecular and morphological evidence of hybridization between native *Ruditapes philippinarum* and the introduced *Ruditapes* form in Japan. Conserv. Genet., 14, 717-733.

- 小林哲 (2013) 博多湾の砂質干潟で観察されたマメコブシガニの食性。日本ベントス学会誌, 68号, 37-41頁。
- 近藤倫生 (2005) 食物網の複雑性と柔軟性、個体群の安定性について。日本生態学会誌, 55号, 249-262頁。
- 日本ベントス学会 (2012) 干潟の絶滅危惧動物図鑑—海岸ベントスのレッドデータブック—。東海大学出版会, 神奈川県, 全285頁。
- 西澤孝 (2010) 三河湾で絶滅危惧種の二枚貝ウミタケの生息を確認。豊橋市自然史博物館研究報告, 20号, 15-17頁。
- 岡田要 (1988) 新日本動物図鑑 (上)。北隆館, 全679頁。
- 岡本正豊・奥谷喬司 (1997) 貝の和名。相模貝類同好会, 横須賀, xiii+95頁。
- 佐藤正典 (2006) 干潟における多毛類の多様性。地球環境, 第11巻2号, 191-206頁。
- 佐藤正典編 (2000) 有明海の生きものたち干潟・河口域の生物多様性。海游舎, 東京, 全96頁。
- Shimoda, K., Y. Aramaki, J. Nasuda, H. Yokoyama, Y. Ishii and A. Tamaki (2007) Food sources for three species of *Nihonotrypaea* (Decapoda: Thalassinidea: Callinassidae) from western Kyushu, Japan, as determined by carbon and nitrogen stable isotope analysis. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 342, 292-312.
- 水産庁・水産資源保護協会 (1988) 干潟。水産庁・水産資源保護協会, 東京, 全15頁。
- Takehana, Y., N. Nagai, M. Matsuda, K. Tsuchiya and M. Sakazumi (2003) Geographic variation and diversity of the cytochrome b gene in Japanese wild populations of medaka, *Oryzias latipes*. Zool. Sci. 20, 1279-1291.
- 谷口専治 (1960) 水産学全集第8巻 水産動物学。恒星社厚生閣, 東京, 全254頁。
- 富永修・高井則之 (2008) 1章 安定同位体比分析を始める人たち。9-30頁。In: 富永修・高井則之編, 水産学シリーズ159 安定同位体スコープで覗く海洋生物の生態—アサリからクジラまで。恒星社厚生閣, 東京, 全165頁。
- Yamasaki I., W. Doi, W.M. Mingkrid, M. Yokota, C.A. Strussmann, and S. Watanabe (2011) Molecular-based method to distinguish the sibling species *Hemigrapsus penicillatus* and *Hemigrapsus takanoi* (Decapoda: Brachyura: Varunidae). J. Crust. Biol. 31(4), 577-581.

横山寿 (2008) 温帯の感潮域および沿岸域における動物の食物源——安定同位体研究の成果と課題。日本生態学会誌, 58号, 23-36頁。

行平英基・野田幹雄・橋本博明・具島健一 (1995) スカイ *Limella coronata corensis* (Recluz, 1883) の分布と採餌。広島大学生物生産学部紀要, 第34巻2号, 113-124頁。

和田恵次 (2000) 干潟の自然誌——砂と泥に生きる動物たち。京都大学出版会, 京都, 全206頁。





## 干潟に現れる謎のくぼみ

近年、有明海をはじめエイ類の増加による貝類の被害が報告されるようになってきている。有明海で被害の原因とされるのはナルトビエイで、本種は貝類を噛み砕くのに適した板状の歯を備え（写真1）、アサリやタイラギなど貝類を専食しており（山口2009）。そしてナルトビエイが採餌した後の海底には貝を掘り起こした食痕（くぼみ）が認められている。これらエイ類の増加の要因として、ナルトビエイは暖かい海を好むことから地球温暖化に伴う海水温の上昇による分布の変化や、エイ類を捕食するシュモクザメ類などの大型サメ類の減少などが挙げられている。

幅豆の干潟にも、エイ類によると思われる無数のくぼみが形成されており、潮干狩りの対象となるアサリへの被害が懸念されている（写真2）。ただし、このくぼみはナルトビエイによるものではない。

なく、別種のアカエイによるものである可能性が高い。この場合、東幅豆で行った市場調査ではナルトビエイではなく、アカエイが漁獲されており、漁業関係者も近年アカエイが増加傾向にあると述べられていた（写真3）。実際に、大潮の夜間満潮前後に潜水調査を行ったところ、複数のアカエイは確認できたが、他のエイ類は確認できなかった。

このアカエイは体盤長1m前後になる種で、集団で干潟に来遊し餌を食べつくすことが懸念されるが、貝殻を噛み砕くような顎の筋肉もナルトビエイほど強くない。実際に、貝類の被害を想定した飼育実験では、アサリへの捕食行動は見られなかったとされる（金澤2003）。アカエイは敷石状の顎歯を備え甲殻類や多毛類などを好む。干潟には

多くの小型甲殻類やゴカイも生息しており、幅豆の干潟のくぼみがアカエイによるものならば、それらを食べるために掘り起こした可能性が考えられる。またアカエイの仲間には眼や、呼吸を行うためにある噴水孔を出しながら砂地に潜る習性があり、この潜伏行動によりくぼみを形成した可能性も考えられる。潜水調査でも、眼や尾を出して潜んでいる様子が見られた。

食害以外にも、アカエイの尾には毒棘が備わっており、このまま増え続けると、砂地に隠れているところを誤って踏みつけてしまうこともあるかもしれない。さらに要因は不明であるが、時に集団で河川などの淡水域にも遡上することも知られ



写真2 干潟に見られるくぼみ。エイ類が掘り起こしたのと思われる（撮影：堀江）



写真3 幅豆で取られたアカエイの腹面。尾には毒棘がある（撮影：堀江）

ている。これらのことから、生態系の保全やわれわれ人との共生を考える上で、駆除も視野に適正に扱う必要があると考えられる。

現在のところこのくぼみが、エイの捕食行動により形成されたものか、潜伏行動により形成されたものか不明であり、この掘り起こしによって干潟にどのような影響を与えているのかについてはわかっていない。今後、砂地に形成されている穴の数から干潟にはどのくらいのエイが来遊しているのか、どんな餌を食べているのか、他のエイ類の来遊の可能性などを明らかにすることで、自然豊かな幅豆の生態系において、これらエイの増加が与える影響について明らかになるものと考えている。（堀江琢）

### 参考・引用文献

- 金澤孝弘 (2003) 水温下降期の有明海におけるアカエイの漁獲分布と食性。福岡水技研報, 13号, 149-152頁。
- 山口敦子 (2006) 日本の沿岸域へのナルトビエイ *Aetobatus flagellum* の出現と漁業への影響。軟骨魚類研究—過去、現在、未来。月刊海洋, 号外45号, 75-79頁。



写真1 ナルトビエイの口。貝類を噛み砕くのに特化した板状の歯が連なる（撮影：堀江）

## Column

## 三河湾のスナメリ

## ●スナメリというイルカ

スナメリという生き物をご存じだろうか。海の近くに住んでいる人は、もしかしたら野生のスナメリを見たことがあるかもしれない。海岸から遠くを見てみると、手前の水面に何か灰色がかった白っぽい体を持つ生き物が滑るように背中を出し、すぐに潜っていく。時折「シュツ」という小さな息づかいも聞こえるかもしれない。こんな経験をしたことがあれば、その人はきっとスナメリを見たに違いない。沿岸の港を結ぶ小さなフェリーからも横を通り過ぎるスナメリをよく見かける。この生き物は、人里に最も近い所に棲むイルカなのである。

スナメリはネズミイルカ科という、イルカの中でも比較的小さくて沿岸に生息するものが多いグループに属しており、インド洋沿岸から日本の仙台湾まで主に海岸近くの浅い海に棲んでいる。日

本では特に有明海周辺、瀬戸内海から響灘、伊勢・三河湾、東京湾から仙台湾に多い(白木原雄2003)。伊勢・三河湾付近では「スザメ」や「スンコザメ」と呼ばれているが、名前の由来ははっきりしない。体長は大きい個体で約2mで、雄の方が少し大きい。成熟した個体は全身がほぼ白くなるが、未成熟個体は灰色をしている。普通、イルカ類にはある背びれがスナメリにはなく、またくちばし(吻)もない。そのため、水族館では人気のペルーガ(シロイルカ)の子供と間違えられることがよくある。背びれがない代わりに背中の中央部から正中線にそって、ザラザラした小粒が集まって延びている部分がある。

スナメリは通常は単独か2〜3頭で連れ立って遊泳しているが、まれに多数の個体が集まった群れを作ることもある。遊泳行動では特に目立つ動きはしないが、水族館で飼育されている個体は器

用に気泡をリング状に吐き出したりするので人気がある。通常は約50m以浅の浅い水域に棲み、そこでさまざまな餌を食べる。伊勢・三河湾で調べられた個体はイカナゴ、イカ類、甲殻類を捕食し、他の海域ではアジやイワシ、コノシロ、ハゼ類や、クルマエビ、シャコ、コウイカ類なども餌として報告されている(白木原美紀2003)。スナメリは沿岸の豊かな海の恵みを表層の魚から底層の甲殻類まで幅広く利用していると言えるだろう。

## ●三河湾のスナメリ

日本のスナメリは遺伝子の型から地域ごとに五つの繁殖集団、つまり個体群に分かれていると考えられており、そのうち三河湾に棲むスナメリについては伊勢湾のものとともに一つの個体群を成していると考えられている(Yoshida et al. 2001)。その個体数は両湾で合わせて約3000頭と見積もられている(小川・吉田2014)。

本種は沿岸性が非常に強く、伊勢・三河湾のような比較的閉じた形の湾内でも分布しているため、頻繁に海岸に死んだ個体が打ち上げられる。生きて打ち上げられる場合も含めて専門用語ではスト

ランディングというが、このようなストランディング個体から得られる標本や記録は貴重なデータになる。伊勢・三河湾岸では長年にわたって情報や標本の収集が続けられており、その分析結果からこの個体群の特性がいろいろ推測されている(栗原ほか2013、長谷川ほか2014)。

それらの報告によれば、最近10年間で、年間約30頭のストランディングや混獲、海上の漂流の記録があり、幅豆付近でも多くの記録がある。季節的には春、特に5月から6月に最も多くの記録があるのに対し、冬には最も少なくなる。目視調査でも春から初夏にかけて最も多く、冬期間には少なくなることや(宮下ほか2003)、冬から春にかけては湾口部での発見が増えることから(田口ほか2007)、伊勢・三河湾のスナメリの一部は季節的に湾外へ移動している可能性も指摘されている。遠州灘でも強い季節風で死体が沖へと運ばれる真冬の一時を除きストランディングはほぼ周年記録されていることから、伊勢・三河湾のスナメリ個体群の分布は遠州灘の沿岸にまで広がっていることが推察される。

三河湾では伊勢湾よりもストランディング個体

に幼体が占める割合が比較的多く、臍帯(へその緒)の痕跡が残った仔も発見されている。これらのことから三河湾はスナメリの出産海域であることが推測されている。知多半島と渥美半島に囲まれた三河湾は海況が荒れにくいことから出産や保育に適していると考えられている。また、出生体長と考えられる80cm前後の個体は5〜6月に多くストランディングすることから、春から初夏に出産盛期があることが推測されている。

#### ●人里近くに棲むイルカ

スナメリは人里近くに生息することから人間との関係が深い。広島県の竹原市ではスナメリ網代漁業という伝統漁法がかつてあった。漁師はスナメリを目印とし、スナメリが追い回した小魚を狙って集まるタイやスズキを一本釣りしたという。かつてこの漁法が行われていた水域は「スナメリクジラ廻游海面」として国の天然記念物に指定されている。また、本種は開発行為や漁業の影響を受けやすい所にいることから特に保護が必要とされ、シロナガスクジラ、ホッキョククジラ、コククジ

ラと並び、水産資源保護法によって保護動物として指定されている。しかし、沿岸の刺し網や定置網による混獲は後を絶たない。また、瀬戸内海では砂の採取による生息地の分断も懸念されている(Shirakihara et al. 2007)。

スナメリは私たちのそばで静かに暮らし、人々と共に沿岸の環境から恵を受けながら世代を重ねてきた。しかし、人々のそばで暮らすことには混獲や生息地の破壊だけでなく、船舶との衝突やエンジン音の騒音、漁業による餌の減少、ゴミの誤嚥や海洋汚染など多くの危険や脅威を伴う。愛知県で絶滅のおそれのある野生動物植物のリストである「レッドリストあいち2015」では、スナメリは準絶滅危惧種として掲載され、現時点では絶滅の危険性は小さいものの、環境変化によっては絶滅危惧種に移行する要素を有する種と評価されている。

時に岸近くまでやってくる人里のイルカ、スナメリ。三河湾はスナメリにとってもふるさとと言える海である。三河湾をふるさととする人々がこれからもスナメリと共に生きていくためには、地

域の人々が意識を持つてその生息環境の保全に取り組んで行く必要があるだろう。(大泉宏)

#### 参考・引用文献

- Yoshida, H., M. Yoshioka, S. Chou, and M. Shirakihara (2001) Population structure of finless porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in coastal waters of Japan based on mitochondrial DNA sequences. *Journal of Mammalogy*, 82, 123-130.
- 白木原国雄 (2003) 日本におけるスナメリの分布。月刊海洋, 35巻00号, 538-543頁。
- 白木原美純 (2003) スナメリの生物学的特性。月刊海洋, 35巻00号, 554-560頁。
- 宮下富夫・土田正美・長谷川修平・岡村寛 (2003) 伊勢・三河湾におけるスナメリ目視調査。月刊海洋, 35巻00号, 581-585頁。
- Shirakihara, K., M. Shirakihara, and Y. Yamamoto (2007) Distribution and abundance of finless porpoise in the Inland Sea of Japan. *Marine Biology*, 150, 1025-1032.
- 田口美緒子・吉岡基・柏木正章 (2007) 三河湾湾口部におけるスナメリの分布密度の季節変化。哺乳類科学, 47巻1号, 11-17頁。
- 栗原望・大池辰也・川田伸一郎・子安和弘・織田鏡一 (2013) 三河湾におけるスナメリ (*Neophocaena phocaenoides*) の漂着ならびに混獲に関する記録。

哺乳類科学, 53巻1号, 99-106頁。

小川奈津子・吉田英司 (2014) 日本におけるスナメリの個体数推定。海洋と生物, 211号(36巻2号), 182-190頁。

長谷川修平・大池辰也・浅井康行・村上勝志 (2014) ストランディング記録からみた伊勢湾・三河湾のスナメリについて。海洋と生物, 211号(36巻2号), 135-141頁。