

海洋生物の分布とその特殊性

【概要】

佐渡は周囲を海に囲まれているため、佐渡に暮らす人々には、佐渡の海は見慣れた風景として映っている。しかし、太平洋岸に暮らす人が初めて佐渡の海を見たとき、海岸の景観や海水の透明度が太平洋岸と大きく違うことに驚く。本節は、講義編、実習編、自由研究編、資料編、の4部からなる。このうち、本書では講義編を紙面に掲載し、実習編、自由研究編、資料編は付属DVD-ROMに収録した。

講義編では、日本海岸と太平洋岸の違いや、動物の分類と進化、佐渡の磯浜や砂浜に生息する生物、佐渡沿岸域の海洋プランクトン、海藻の分類と藻類の進化などについて概説する。とりわけ、近年の分子生物学の著しい進展に伴い、動物も海藻も系統分類の分野での従来の知見の大幅な見直しが進んでいる。今後高校の教科書等にも取り入れられると思われる新しい考え方なども紹介する。

【ねらい】

磯の波打ち際辺りを注意深く観察すると、小魚や巻貝などに混じって岩肌に固着したカイメンやイソギンチャクなどが目に入る。海綿動物も刺胞動物も古生代カンブリア紀に始まるカンブリア大爆発の前から生息している生物である。このような原始的な生物が進化の頂点にいる脊椎動物となぜ共存しているのか、ここに生物の多様性の謎が秘められている。また、緑藻・褐藻・紅藻が遙か昔の単細胞生物の時代（約10億年前）に分かれた別の生物だと知っている人は非常に少ない。さらに、近年の分子生物学の発展に伴い、海洋生物の系統関係についての理解が大きく変わってきた。ここでは、日本海の特徴や生物の系統進化などの理解を基礎に、佐渡の沿岸域に生息している海洋生物について、磯の生物の観察、プランクトン採集、海藻標本作製などを通じて、生物の多様性や暮らしぶりなどを学ぶ。

1. 日本海の成り立ちと対馬暖流

1 対馬暖流

佐渡島沿岸の海洋生物相は、日本海の成り立ちや海流と密接な関係にあるので、そのあたりから話を始めたい。日本海がアジア大陸の縁辺海として開裂

したのは、今から1500万年より前といわれている。その後も大陸と陸続きになったり、離れたりして、いまのような形になったのは、およそ8000年前のことで、歴史の浅い海といえる。しかも5つの浅い海峡によってくくられた、平均2500～3000mほどの深さの、底の平らな海となっている。5つの海峡とは、九州と対馬の間の対馬海峡（水深130m）、対

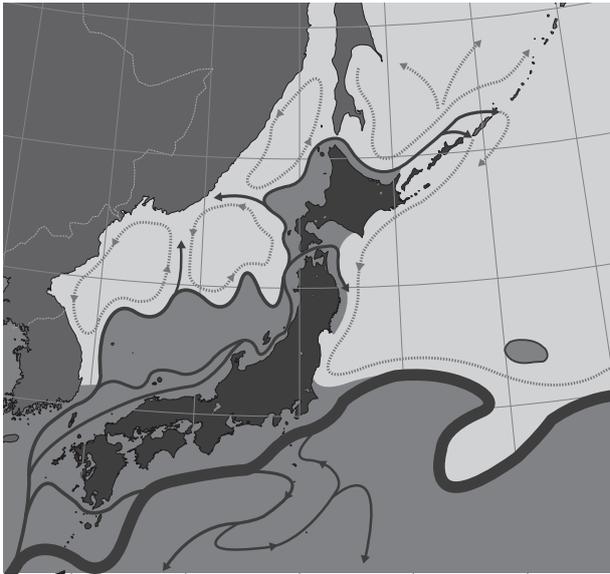


図1 日本近海の海流。黒矢線は暖流、細破線は寒流の流路を示す。■色域は表層において暖流系の水の卓越する範囲、□色域は寒流系の水の卓越する範囲。(文献1をもとに作図)

馬と韓国との朝鮮海峡（水深95m）、本州と北海道の間の津軽海峡（水深150～449m）、樺太と北海道の間の宗谷海峡（水深67m）、大陸と樺太の間宮海峡（タートル海峡＝水深20m）であり、日本海は、周囲を陸地で囲まれた内海的な特徴を持っている。

日本海に流入している唯一の暖流である対馬暖流は、黒潮の分流で、輸送量は黒潮の1/10程度といわれている。北上する対馬海流は、朝鮮半島沿いに流れていくもの、本州沿いに流れていくものなどに分かれるが、地球自転の影響でたえず右向き（日本側）に集まり、その多くは津軽海峡を抜け太平洋へ流れ出るが、一部は北海道西岸をさらに北上し続ける（図1）。

2 ちょうせき 潮汐

潮汐、すなわち潮の満ち引きは、地球・月・太陽間の位置と密接に関係するが、毎日の干満差は、地球の自転と月の引力の影響を強く受ける。満潮から満潮、または干潮から干潮までの時間差は、平均して約12時間25分である。そのため、普通は1日に2回ずつ満潮と干潮が交互に繰り返され、そこに潮間帯が形成される。図2に示すように、太平洋岸では、干満差は関東地方で2m、有明海などでは5mにも及ぶ。また、平均潮位も年間を通じて一定で、調和型の潮汐リズムがみられる。一方、日本海の干満差は

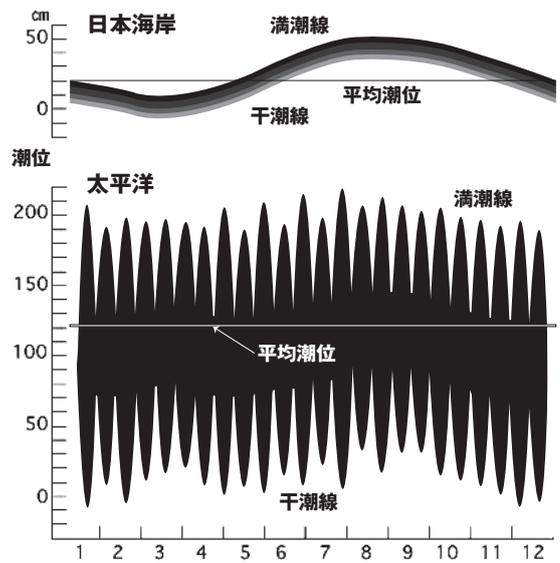


図2 非調和型（上：金沢）と調和型（下：東京）の潮汐リズム。文献3をもとに作図。

小さく、北陸地方では30cmほどしかない。そのため、潮間帯はきわめて狭く、干潟なども発達しない。さらに、対馬暖流の勢いも夏季には強く流入量も多いのに対して、冬季には勢力も弱いので、海面の高さが夏に高く冬に低い非調和型の潮汐リズムがみられる。このような環境は、潮間帯に暮らす固着性の生物にとっては居心地が悪く、移動性のカサガイ類が優占する結果となっている。

3 海洋プランクトンの大量発生（＝スプリング・ブルーム）

上述したように、日本海はたらいのような構造をしているため、周辺の海との海水交換は表層に限られている。対馬暖流の流れる本州沿岸域でも、表層水と中層水（せいぜい250mまで）の下層には、日本海固有水とよばれる冷水塊が広がっている（図3 [58頁]）。

新潟大学理学部附属臨海実験所では、実験所の沖合に3つの観測定点を定めて、1964年以来継続して、海水温や透明度を測定してきた（図4 [58頁]）。図4にあるように、海水の表面温度は2月から4月の平均10℃が最低で、8～9月の27℃が最高である。興味あることは、この50年で、2月～4月の最低水温が少しずつ上昇してきていることである。一方、夏の高温にはめだつた変化は見られない。地球規模の温暖化の影響は、佐渡近辺では、冬季の海水温

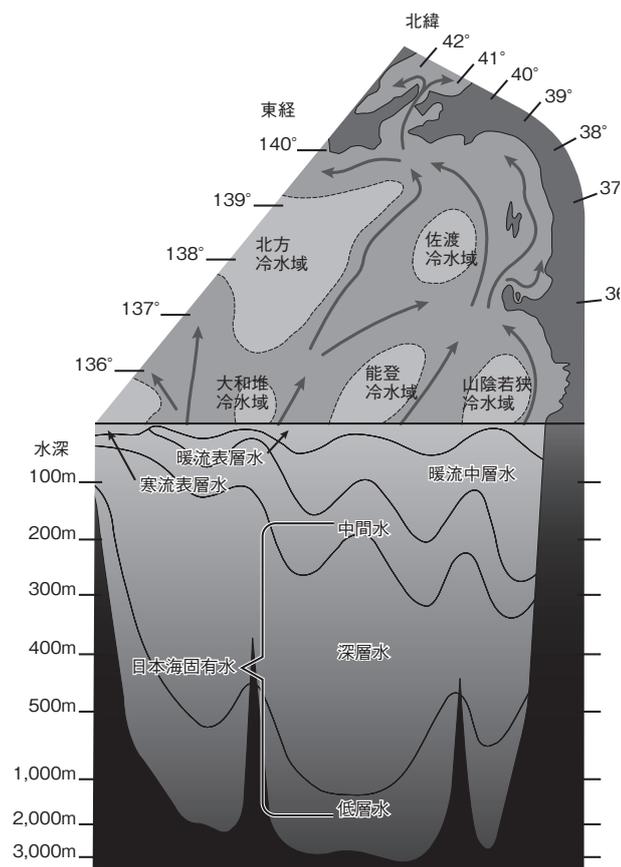


図3 日本海の水系模式図 (夏季)。文献2をもとに作図。

の上昇として顕著に現れていることがわかる。

一方、海水の透明度は、例年6月から翌年の1月までは20m前後に安定しているが、春季に急激な減少がみられる。原因は珪藻などの植物プランクトンの大量発生に起因する。これは、一般にスプリング・ブルームとして知られる現象で、冬の間、日本海の表層は大陸からの強い北西の季節風により冷やされ、かき回される。さらに海面では、対馬暖流と反対向きの吹送流すいそうりゅうが生じる。この流れが冷たい深層水を引き上げ、ますます海表面を冷やす結果となる。その結果、暖流に乗ってきた南方系の動物を死滅させる。この現象を死滅回遊とか無効分散とか呼んでいる。冬季の時化のあとには、それらの南方系の動

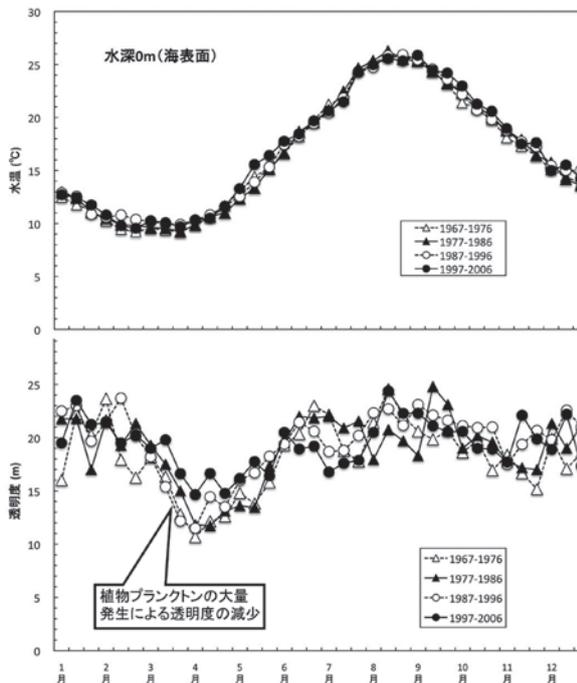


図4 佐渡達者沖の定点観測による水温と透明度の周年変化。10年ごとにデータをまとめて表示した。

物の死骸が新潟や佐渡の海岸に打ち上がっていることがしばしば観察される。昔からよく知られているものは、ハリセンボン、アミモンガラ、アオリイカなどである。一方、冬季の水温低下と吹送流は、マダラやスケトウダラ、ホッケ、サケなどの寒帯一亜寒帯動物の侵入を可能にしている。

さて、冬季の北西の季節風により、表層水は底の方に沈み、一方、深層からは栄養塩類に富んだ海水が上昇してくる。春先になり、海水温の上昇とともに太陽光の照度も増加するため、一次生産者である珪藻などの光合成プランクトンの大量発生に至る(図5)。これらの植物プランクトンは、食物連鎖により、二次生産者である植食動物(原生動物、カイアシ類、多くの海洋無脊椎動物の幼生など)に捕食され、さらに三次生産者(小型魚類など)、三次消費者(大型魚類)への栄養段階が上昇していく。日本海が豊かな漁場として栄えている理由の一つがこのスプリング・ブルームに起因している。

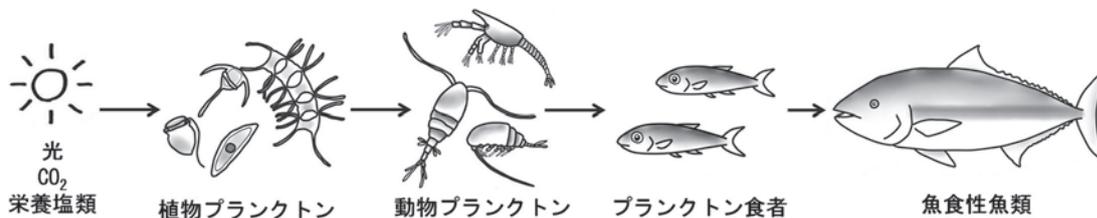


図5 海洋の食物連鎖

4 日本海の生物相

日本海の海洋生物相は、太平洋側と比較してきわめて貧弱であることが知られている。たとえば、淡水魚を含めて日本海域に生息している魚類は650～700種と見込まれているが、本州の太平洋側ではこの2倍の種類が知られており、日本列島全体では、5倍の3000種にもなる。日本海の魚類相は、単に貧弱だけでなく、単純単調でもある。この項のまとめとして、理由を列記する。

- 1) 日本海を囲む5つの海峡の水深がいずれも浅く、外海から半隔離された内海的様相をもつため、外洋からの真正深海魚などが侵入できない。
- 2) 日本海では潮汐差が小さく、しかも冬季に海面が著しく低下するため、潮間帯や干潟が発達しない。それらの生物群集の発達も悪い。
- 3) 日本海の形成の歴史が浅いため、生物相の発展が不十分である。
- 4) 日本海では夏季に表層が低塩分の水に広く覆われるため、高塩・狭塩性動物の多くは日本海に侵入できない。(例、サンゴ礁群集など)。

2. 地球の歴史と動物の進化

1 最古の生物化石

私たちの住んでいる地球は、他の惑星とともに、約46億年前に太陽系の第3惑星として誕生した。最初の生命の痕跡は、今から39億年前のグリーンランドの地層（縞状鉄鉱床）中のアパタイトと呼ばれる鉱物中に見つかる。その鉱物には、生命活動を示すといわれる¹³Cが濃縮しているためである。その後、生命の証拠を示す化石は次第に増えていき、今から28億年前になると、現生のラン藻類（シアノバクテリア）によく似た化石が多産するようになる。同時にラン藻類が作ったとされるストロマトライトと呼ばれる構造も地層中に多く見つかるようになる。この頃までの原始地球の大気は二酸化炭素に富むが、酸素はほとんど含んでいなかったと考えられている。多細胞生物の呼吸に不可欠な酸素は、28億年前の酸素発生型の光合成を営むラン藻類の出現により初めて地球に蓄積し始めた。

2 スノーボールアース（雪玉地球、全球凍結＝全地球的な氷河期）

地球はその誕生以来、何度か氷河期と呼ばれる寒冷な気候に支配される時代があった。現在判明しているもっとも古い氷河期は約29億年前のもので、最も新しいものは現在も続いている「新生代後期氷河時代」である。このうち、原生代（＝先カンブリア代）末期の約7億3000万年前～約6億3500万年前に、地球表面全体が凍結するほどの激しい氷河時代が存在したという考え方が地球史の研究者の間で主流となりつつある。これをスノーボールアース仮説といい、1992年にカリフォルニア工科大学のジョー・カーシュヴィンク教授がアイデアとして専門誌に発表したのが発端である。実際、その時代、古地磁気から当時の低緯度地方（赤道地方）にまで氷河があったことを示す痕跡が見つまっている。炭素同位体分析によると、この期間全地球的に生物による光合成が殆ど停止している。この仮説において注目すべき点は、それまで「ありえない」と考えられてきた「全球凍結」という壮絶な環境変動が実際に起こったらしいこと、それが原因となって原生物の大量絶滅とそれに続く跳躍的な生物進化をもたらしたとされることである。全球凍結の時代が終わるとエディアカラ生物群の時代に入る。なお、今から24～22億年前にも全球凍結に匹敵する氷河期があったことが分かっているが、その直後に真核生物が誕生している。これらのことは、生物進化の新展開は地球規模の気候変動が深く関係していることを示唆している。

3 エディアカラ生物群

1946年、オーストラリア南部のエディアカラ丘陵から、エディアカラ生物と呼ばれる多数の生物化石が発見された。これらの生物は6億年～5億4500万年前の浅海の砂底で繁栄していた。もっとも栄えたのは、5億4900万年～5億4500万年前の400万年間である。エディアカラ生物群と同様な化石は、南極大陸を除くほとんどの大陸から発見されている。産地の多くは、当時の赤道付近に位置しているため、熱帯～亜熱帯的な環境に棲んでいたと推定されている。いずれも硬い骨格を持たない扁平な生物で、大きなものでは

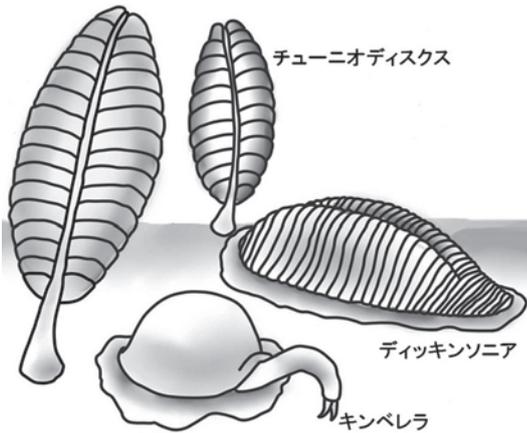


図6 エディアカラ生物群

長さ1mを超える(図6)。現生のクラゲやウミエラに似た生物群(刺胞動物?)や、体節構造を持つ扁平な蠕虫状の動物(環形動物ないしは節足動物に関連?)などもある。しかし、エディアカラ生物群は、現生の分類体系に含まれないものが多く、系統関係不明な生物群が多数を占める。重要なことは、6億年より古い多細胞生物の化石は見つかっていないということである。エディアカラ生物群のどの化石をとっても、その体制は刺胞動物に似ていることから二胚葉性のものが主体で、それから少し進化した程度のものが少数含まれているということである。

4 澄江(チェンジャン) = バージェス動物群

1984年、中国雲南省の澄江(チェンジャン)でカンブリア紀初期の多様な化石群がきわめて保存のよい状態で発見され、「最も驚くべき20世紀の科学的発見の一つ」といわれるほどの衝撃を与えた。さらに、澄江では先カンブリア代最末期のエディアカラ紀からカンブリア紀前期にかけての地層が化石を伴って連続しているため、他地域でのこの時代の地層の年代を決定する際の標準とされる重要な場所になっている。

古生代カンブリア紀の始まりは、5億4500万年前(5億4300万年、あるいは5億4200万年前という本もある)とされる。ちょうどその頃、エディアカラ生物群が絶滅している。澄江動物群の栄えた時代は5億2500万年~5億2000万年前であり、エディアカラ生物群の絶滅からわずかに1500万年~2000万年ほど後の時代である。後述するバージェス動物群の栄えた時代は約5億500万年前(5億2000万年前、あ

るいは5億1500万年前という本もある)のカンブリア紀中期であり、澄江動物群はバージェス動物群より1000万年ほど古い時代である。澄江動物群とバージェス動物群には共通する化石が多数見つかる(例:アノマロカリス; ハルキゲニア = 有爪動物カギムシの仲間)。

澄江動物群の特徴は、節足動物が圧倒的に多くて、次が海綿動物であることと、軟組織もわかる多くの動物群を含んでいることである。現在の分類単位で見ると、現生の動物門の多くが見つかる。複数の門の特徴を持つ動物もあり、門の分岐前の状態を示している可能性が高い。代表的なものでは、海綿動物、刺胞動物、類線形動物、^{えらひき}鰓曳動物、腕足動物、有爪動物(ハルキゲニアなど)、アノマロカリス類、節足動物(三葉虫類など)、半索動物(ユンナノズン、ハイコウエラなど)、脊索動物(ミロクンミンギア; ハイコウチクス = 魚類)などの他、オタマジャクシのような胴体に節足動物のような尾をもつヴェツリコラ(新口動物の1門として古虫動物門を新設)や分類群不明のものなどもある(図7)。

バージェス動物群は、1909年、カナダロッキー山脈のバージェス頁岩から発見された化石群から命名された。硬い殻をもった節足動物を多産する。その後、世界各地から同様な生物群が発見されている。120属以上の多様な生物群を含む。三葉虫などのほか奇妙な形をした動物も多数存在する。ピカイアという頭索類(=ナメクジウオの仲間)と考えられる生物もいた。

5 カンブリア大爆発の謎

エディアカラ生物群の繁栄から澄江生物群の多様

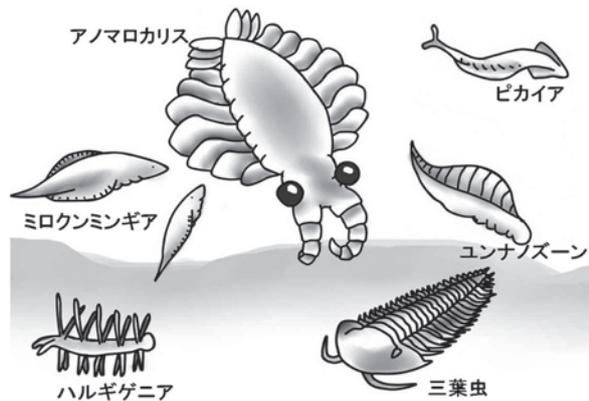


図7 澄江(チェンジャン) = バージェス動物群

な多細胞動物門の出現まで、わずか2000万年程度しか経過していない。その間に、現在よりも多様な多細胞動物門が出現している。端的に言えば、今日の地球上に生息しているすべての動物門は、澄江＝バージェス動物群の時代に生まれた生物で、それ以降に新たに出現した動物門はないと考えられている。なお、最近の分子遺伝学の知識から、遺伝子の爆発的多様化はカンブリア大爆発のおよそ3億年前に起こっていることが分かり、カンブリア初期に短期間に大進化が起こったわけではないとの考え方が主流となっている。すなわちカンブリア大爆発は「化石記録の」爆発的多様化であるという。

カンブリア大爆発が起きた原因として、1) 海水中の酸素濃度の増加＝多細胞動物の活発な代謝が可能となった、2) 海水中の炭酸塩やリン酸塩濃度の増加＝多細胞動物の硬い骨格を作ることが可能となった、3) 海水中に無機塩類が豊富に供給されるようになり、一次生産生物が増加し、大型の多細胞動物の出現を可能にした。4) 有眼生物の誕生による淘汰圧の高まり＝生物の歴史上、はじめて眼を持った生物（三葉虫）が生まれ、積極的に他者を捕食することによって眼をもっていない生物に対して有利となった。その捕食に対抗するため多くの生物が眼と硬組織を同時期に一斉に獲得していったという説、など（いずれも一長一短）が提唱されている。

3. 動物の分類

現在の地球上に生息する動物種は、数百万種とも数千万種ともいわれる。これらのすべての動物は40余りの門に分類されている。その中で、陸上の動物は節足動物、環形動物、脊椎動物など、半数にも満たない。一方、海洋にはほとんどすべての門の動物が生息している（表1 [74頁]）。海洋生物は、体制の非常に単純なものから複雑精緻なものまで多種多様であり、生物の系統進化は海洋生物の歴史でもある。ここでは、佐渡の沿岸域に普通に見られる動物を中心に、動物の進化と分類について概説する。

1 生物分類の基本単位としての種

種とは生物分類の基本単位である。生物には、互いに同じような体形と習性をもつ様々な群がある。太

古から人々はこのことに気づいており、その群を種（species）と呼んだ。つまり、種の内容は自然発生的に人々に認識されていったのである。18世紀になり、スウェーデンの植物学者リンネ（1707—1778）はこの生物群の基準単位を「種」と定め、高い方から界（動物界、植物界）、（門）、綱、目、（科）、属、種の5段階の分類階級を定めた。そして、種よりも一段大きい分類群である「属」名と組み合わせ、種名をラテン語で表す二名法を考案した。門と科は後の時代に導入された。動物、植物、細菌の学名は、それぞれ国際命名規約に基づいて命名される。ヒトの場合、動物界・脊索動物上門（あるいは門）・脊椎動物門（あるいは亜門）・哺乳綱・霊長目・ヒト科・ヒト属（*Homo*）・ヒト種（*sapiens*）となる。学名はイタリック体で表し、属名のみ最初の文字を大文字とする（例、*Homo sapiens*）。なお、和名は、学問規約的に規定されたものでなく、一般に使用されている習慣的な名称で、ある一種に対し地方ごとに異なった生物名が使われている場合には、ある程度標準的な一つが標準和名とされ、教科書等に使用されている。なお、和名は通常カタカナ表記される。

2 分子系統学

現在、多くの教科書に採用されている動物界の分類は、1) 動物は単純な体制から複雑な体制へと進化した、2) 発生初期の特徴は系統を反映しており、同じ特徴を共有する複数の動物群は祖先を共有する、の二つを大前提としている。この系統論は、1990年代後半になってポリメラーゼ連鎖反応（PCR）法が動物の系統分類に取り入れられ、分子系統学が確立するまで、半世紀以上にわたって動物界の主流的立場を維持してきた。ところが、PCR法の開発によって、従来非常に困難であった核やミトコンドリアのDNAの塩基配列の解読が、目的とする遺伝子を設定して容易にできるようになった。さらに発展して、この塩基配列がコードするアミノ酸配列の比較やエクソンの間に入っているイントロンの場所、転写方向の差異、複数の遺伝子の配列順序の比較なども系統関係の推定に利用されている。その結果、現在では、生物の系統関係の推定に関する最も信頼できるデータは分子生物学により得られると考えられている。この研究分野は、現在猛烈な勢いで新たな系統

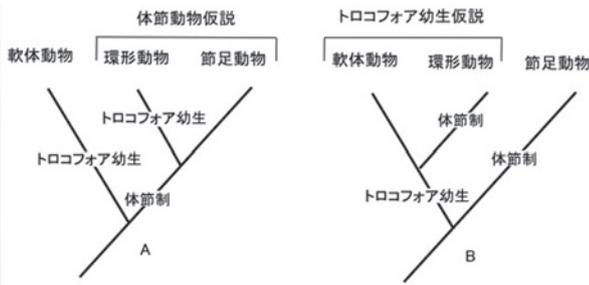


図8 旧口動物の主要3動物門の系統関係についての(A)体節動物仮説と(B)トロコフォア幼生仮説

学的知見が蓄積し続けており、その成果は従来の形態分類を支持するものであったり、あるいはまったく異なる系統関係を提示するものであったりするが、大筋で従来の系統論に重大な変更を要求している。

3 多細胞動物の起源

従来、多細胞動物の起源を鞭毛虫類、特に襟鞭毛虫の集合体に求め、海綿動物を最も原始的な多細胞動物とする考え方が支配的であった。分子系統学はこの問題に明快な解答をもたらした。すなわち、原生生物のうち、襟鞭毛虫類のみが動物界と姉妹群を作り、他の原生生物は原生生物界として別のグループに分類される。さらに、動物界は単系統であり、すべての動物が共通祖先から進化したこと(=われら動物みな兄弟)、動物界は菌界と最も近縁であることなどが明らかとなった(71頁、図30参照)。

4 脱皮動物と冠輪動物

左右相称動物は、少なくとも2つの超門、新口動

物と旧口動物に分けられる。これらの中には、胚発生のみなど、多くの違いがあり、特に、最初の開口部(原口)が旧口動物では口に、新口動物では肛門になる。さらに、下記の述べるように、最近では、旧口動物を少なくとも2つの超門、脱皮動物と冠輪動物に分ける説が有力である。

無脊椎動物を代表する3つの動物門、節足動物、環形動物、軟体動物の系統関係については、これまで研究者間で意見が分かれていた。すなわち、節足動物や環形動物に特徴的な体節性を重視するか(図8A)、環形動物と軟体動物に特徴的なトロコフォア幼生を重視するか(図8B)の対立である。多くの教科書では、体節性をより重視し、節足動物と環形動物がより近縁な系統樹が採用されている。この場合、トロコフォア幼生は、軟体動物と環形動物で別個に進化したと考える訳である。一方、トロコフォア幼生を重視する考えでは、体節性は環形動物と節足動物で独自に進化したということになる。最近の分子系統論は、これらの3門の系統関係にまったく新しい第3の系統樹を導きだした(図9A,B)。すなわち、節足動物は、緩歩動物(クマムシ類)、有爪動物(カギムシ類)、線形動物(カイチュウ、モデル生物として有名なC.エレガンスなど)などとともに脱皮動物群(Ecdysozoa)を構成する。一方、環形動物と軟体動物は、トロコフォア幼生を経るグループ(担輪動物 Trochozoa)と、腕足動物や苔虫動物など触手冠を持つグループ(触手冠動物 Lophophorata)を含み冠輪動物群(Lophotrochozoa)を構成する。

脱皮動物群は、外骨格を持ち脱皮を行うという共通点を持っている。最も重要な共通点は外骨格と

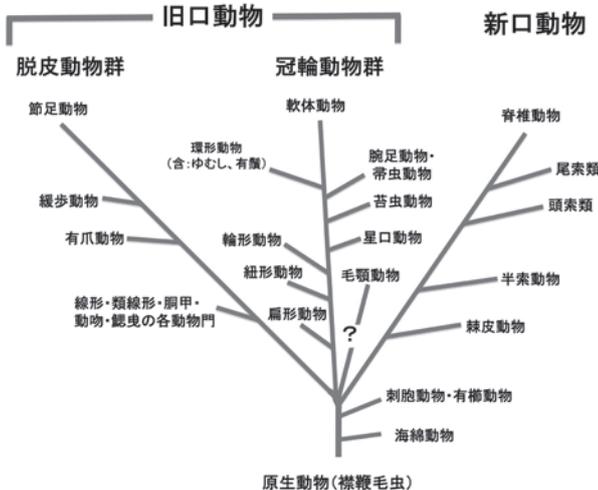


図9 分子系統解析による動物の系統樹(左右とも)

してのクチクラで、これが生長につれて定期的に脱皮される。運動のための繊毛は持たず、精子はアメーバ状で、胚は一般の旧口動物の特徴とされるらせん卵割を行わない。一方、冠輪動物はいずれもトロコフォア幼生を経るが、担輪動物が典型的ならせん卵割であるのに対し、触手冠動物は放射卵割であるなど、両者の間には大きな違いもみられる（触手冠動物の系統関係については、次項を参照）。

5 新口動物の系統関係

有鬚動物は深海の熱水噴出孔周辺に生息するチューブワーム（和名：ハオリムシ）や糸くずのように細長いヒゲムシの仲間である。一方、毛顎動物は、ヤムシの仲間、動物プランクトンとして海洋生態系の重要な位置を占める。両者は、ともにかつては新口動物に分類されてきた。しかし、近年の分子系統解析の知見から、有鬚動物は、環形動物にきわめて近縁で、独立の門とするよりも、環形動物門多毛綱（ゴカイの仲間）の中の科レベルの小グループとする見解が有力となっている（[文献6] 199頁参照）。また毛顎動物は、体腔が原腸から生じること（＝腸体腔動物）や成体の体制が半索動物のトルナリア幼生に類似することから、半索動物に近縁な新口動物に分類されてきた。しかし、分子系統解析結果は、毛顎動物が他の新口動物と姉妹群を作らず、旧口動物であることを明瞭に示している（[文献6, 7, 8]）。ただし、旧口動物内での系統的位相については、脱皮動物群との類縁性を指摘する意見や（[文献6] 43-44頁参照）、環形動物のトロコフォア幼生の前駆動物とする考え（[文献8] 280-285頁）などがあり、意見が一致していない。

苔虫動物、腕足動物、箒虫（ほうきむし）動物を合わせて、触手冠動物（Lophophorata）という。これらの動物は、旧口動物と新口動物の両方の特徴を併せ持つことから、両者の中間に位置するものとして扱われてきた（[文献6] 233-234頁参照）。たとえば、箒虫動物は、放射卵割・腸体腔という新口動物的特徴と口が原口の位置に開く旧口動物的特徴をもつ。分子系統解析結果から、触手冠動物が軟体動物や環形動物などトロコフォア幼生を持つ群と姉妹群を作ること、触手冠動物は多系統で、箒虫動物と腕足動物は姉妹群を作るが、苔虫動物はそれらと

姉妹群を作らないことなどが示されている（[文献6] 233-234頁参照）。結局、ヒトに至る系譜である新口動物は、棘皮動物、半索動物、脊索動物の3門のみとなっている。

6 まとめ

前項で述べたように、現生のすべての左右相称動物門はカンブリア大爆発と呼ばれるカンブリア紀初期のごく短期間に成立したと考えられている。その間様々な組み合わせで進化の実験が行われたと考えられ、厳密な系統関係の推定は難しいのが現実である。たとえば、どの教科書でも無脊椎動物の進化の頂点に節足動物を置いているが、化石記録を見る限り、かたい殻をもった三葉虫（節足動物）が左右相称動物として最初に出現する。進化の頂点の動物が最初に出現するわけであるから、系統樹の作成がいかに困難かということが分かる。

4. 佐渡沿岸域の動物

前述したように、動物界は40余りの動物門に分類される（表1 [74頁]）。このうちの半数以上の動物門の動物は、群全体が顕微鏡を使わないと観察できない小さな動物だったり、生息数や生息場所が限られていて、少数の専門家のみが見ることができる動物群だったり、生物学徒が臨海実習等で観察できる動物群は以下の約15門の動物群である（表2 [75頁]）。そのうち、種名を記したものは、代表的な、そして普通に見られる動物群である。これらの動物種の多くは、一般向けの海岸動物図鑑に記載されているので、種名を上げるに留める。なお、佐渡沿岸の動物相の詳細については、Honma and Kitami (1978, 1979, 1995) が、プランクトン相についてはAbe et al. (1984) がある。また、臨海実験所は、佐渡沿岸の動物約3000点のホルマリン標本を所蔵しており、インターネット検索が可能となっている（<http://www.sc.niigata-u.ac.jp/sc/sadomarine/specimens.html>）。

1 原生動物門【図10】

5界説では、原生生物界に分類される。すべて単細胞生物で、顕微鏡的な大きさ。地球上の至る所に分布している。一般に、体の構造がもっとも簡単なものとされて、動物分類学では、最下等に位置づけられている。しかし、1個の細胞のなかに、多細胞動物の諸器官にみられる微細構造をもつものが多い。

★プランクトン採集 - ヤコウチュウ、ケラチウム、ペリディニウム、放散虫類、有孔虫類、繊毛虫類。ヤコウチュウやケラチウム、ペリディニウムは渦鞭毛藻類に分類される光合成色素をもつ植物でもある。放散虫類はシリカ（珪酸）の殻をもち、化石記録として多産する。

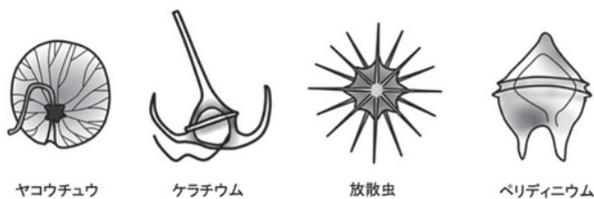


図10 代表的な原生動物プランクトン

2 海綿動物門【図11】

海綿動物は、真の組織や器官をもたない原始的な動物で、個々の細胞が集まった群体の段階を越えていない。体が内外2層からなる壺型をしており、壺の内層は襟（エリ）細胞と呼ばれる鞭毛をもった細胞に裏打ちされている。海綿動物の95%が普通海綿綱の動物で、体を支える骨片が珪質で海綿質と呼ばれる硬タンパク質が発達している。

★磯採集 - ダイダイイソカイメン、クロイソカイメン、ムラサキカイメンなど。

★海岸の打ち上げ - ワタトリカイメン（死んで骨格だけになったもの）



図11 クロイソカイメン（左）とダイダイイソカイメンに共生しているケハダカイメンフジツボ（右）

3 菱形（リョウケイ）動物門【図12】

ニハイチュウ（二胚虫）の仲間。タコやイカなどの頭足類の腎囊に寄生している。従来、原生動物（単細胞生物）から後生動物（多細胞動物）に進化する途中の動物として中生動物と呼ばれた。軸細胞と呼ばれる細長い細胞を、繊毛を持つ体皮細胞10～30個が1層に取り囲んでいるだけの構造。頭部の細胞は極帽と呼ばれる構造を作り、ここで腎組織に附着している。ニハイチュウ類は、無性生殖による細長い形をした^{ぜんちゅう}蠕虫型幼生と有性生殖による繊毛虫のような^{てきちゅう}滴虫型幼生の2種類の幼生（胚）を生じることに由来する。

全長1mm前後の顕微鏡サイズの動物であるが、成長したマダコの大半に寄生していることから、磯採集などで、生きたマダコが採集できれば、ぜひとも調べてみたい。観察には、まず胴体と足をハサミで切り離し、胴体を開いて腎臓を裸出させる。腎臓を包んでいる腎囊にハサミを入れて、流れ出る腎囊液（＝尿）をスポイトにとり、顕微鏡で観察する。マダコには、通常膨れた頭のヤマトニハイチュウと弾頭頭のミサキニハイチュウの2種類が寄生している。最近の分子系統解析の研究から扁形動物と近縁の動物が寄生により体制が単純化したとの考えが有力となっている（〔文献14〕）。

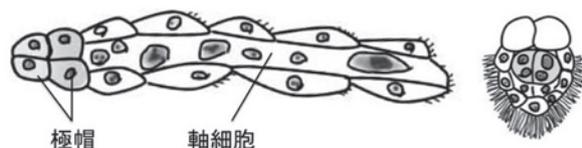


図12 ニハイチュウ（左）とその滴虫幼生（右）

4 刺胞動物門【図13】

クラゲ、イソギンチャク、サンゴの仲間。以前は刺胞動物と有櫛動物を合わせて腔腸動物といった。

多くが触手を持ち、触手には刺胞がある。体のつくりはきわめて単純。触手の存在を無視すれば、海綿動物と同じ壺型。刺胞動物は、基本として無性生殖を行うポリプ型と、有性生殖を行うクラゲ型の二つの形態をとる。両者は着床型と浮遊型の違いだけで、浮遊型のクラゲを逆さにして柄を付ければポリプになる。すべて水生で、散在神経系をもつ。筋肉

も分化している。

- ★磯採集 - イソギンチャク類(ヒメイソギンチャク、ミドリイソギンチャク、ウメボシイソギンチャクなど)、シロガヤ(達者の磯に普通、うっかり触れると腫れ上がるほど痛い)、サンゴ類(ムツサンゴ=冷水系のサンゴ、佐渡の達者や山形県飛島に大群生を見る)。
- ★磯や砂泥海岸の潮下帯など - アンドンクラゲ(夏から秋の佐渡の海岸にもっとも普通。傘高1~3cmの小型の箱形のクラゲ、刺されると痛い)。
- ★プランクトン - ミズクラゲ(日本の沿岸にもっとも普通、大量発生すると漁業や発電所の取水に深刻な影響を与える)、エチゼンクラゲ(秋から冬に佐渡の沿岸に近づく大型のクラゲ、この数年、日本海で大発生し、定置網などの漁業に深刻な影響を与えている)。プランクトン採集で普通に観察できるもの(1~数mm程度のヒドロクラゲ類など)。

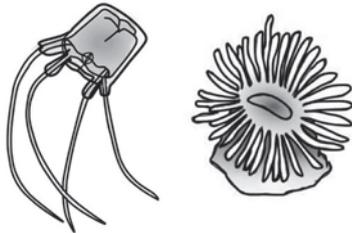


図13 アンドンクラゲ(左)とイソギンチャク(右)

5 有櫛(ユウシツ)動物門【図14】

クシクラゲの仲間。以前は、刺胞動物と一緒に腔腸動物として一つの門に分類されていた。刺胞動物との決定的な違いは刺胞を持たず、櫛板を持つこと。他にポリプ型がなく、卵割がモザイク卵で二軸相称などの違いがある。グループ全体がプランクトン。

- ★プランクトン採集で気まぐれに見つかるもの - ウリクラゲ、オビクラゲなど。

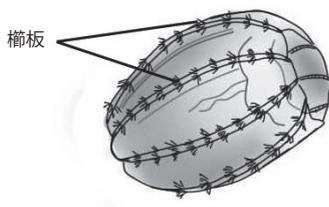


図14 ウリクラゲ

6 扁形動物門【図15】

扁形動物は渦虫類、吸虫類、条虫類の3綱よりなる。渦虫類はプラナリアやヒラムシの仲間で、平たいペラペラした動物。体が内外2層の組織からできており、内部に間充織と呼ばれるゲル状物質が入っている。肛門がなく、食物のカスは口から排泄する。扁形動物は、左右相称動物の中で体制のもっとも簡単な動物群であり、系統発生上非常に重要。磯の転石を裏返して注意深く観察すると、全長1~数cmの平たい動物が動いていることが多い。あるいは大型の容器に海水を張って、たくさんの海藻を入れておき、しばらくしてから海藻を取り去ると、容器の底を這っていることが多い。

- ★磯採集 - イイジマヒラムシ、ウスヒラムシ、ツノヒラムシ、オオツノヒラムシ、クロニセツノヒラムシ、ミノヒラムシなど)。
- ★プランクトン採集 - ヒラムシ類のミューラー幼生(時々見つかる)。

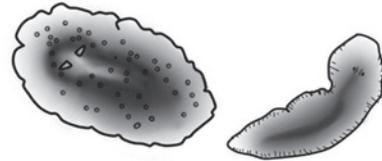


図15 ツノヒラムシ(左)とウスヒラムシ(右)

7 紐形(ヒモガタ)動物門【図16】

ヒモムシの仲間。長さ数cmから50cmほどの細長い動物。形はミミズに似ているが、体節がない。肛門が分化しており、扁形動物と環形動物の中間の動物として重要。磯の転石を動かして、海底をみると、30cmほどもあるヒモのように細長い動物が見つかる。

- ★磯採集 - ミサキヒモムシ、ミドリヒモムシ。
- ★プランクトン採集 - ヒモムシ類のピリジウム幼生(時々見つかる)。



図16 ミサキヒモムシ

8 環形動物門【図 17】

ゴカイ、ミミズ、ヒルなどの仲間。体節ごとに可動の剛毛をもつ。卵割は典型的な螺旋型で、螺旋動物の主幹となっている動物。軟体動物や星口動物などと近縁。ゴカイ類（多毛類）は、海岸の様々な環境に生息していて種数も多い。

- ★磯採集 - 低潮線下の転石を裏返すと、マダラウロコムシ、シマシリス、クマノアシツキやフサゴカイ類が見つかる。また岩の斜面などには、分泌した粘液と泥で丈夫な棲管を作る体長10cm前後のケヤリムシが見つかる。
- ★浅海の砂泥底 - タマシキゴカイを始め各種のゴカイ類が生息している。
- ★栈橋などの杭に付着しているカキ殻などの間にも各種のゴカイ類が生息している。
- ★日没後、漁港の防犯灯の周りの水面近くには、遊走性のイソゴカイやウミケムシなども集まる。
- ★プランクトン採集 - 各種ゴカイ類のトロコフォア幼生（頻繁に見つかる）。

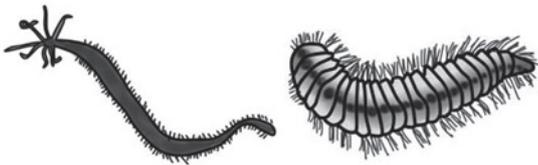


図17 クマノアシツキ（左）とウミケムシ（右）

9 軟体動物門【図 18】

二枚貝や巻貝、イカ・タコの仲間。一般に堅固な貝殻を持つため良好な化石の記録が多い。軟体動物も基本形は左右相称、巻貝ではそれが変形。磯採集で採集した動物を動物門毎に分けると、軟体動物が一番種類が多い。佐渡で普通に観察されるのは、巻貝類、ウミウシ類、ヒザラガイ類、二枚貝類、タコやイカ類などである。

- ★磯採集 - 腹足綱前鰓類（クロアワビ、メカイアワビ、トコブシ、サザエ、オオコシダカガンガラ、イボニシ、ウミニナ、イシダタミ、クボガイ、タマキビ、アラレタマキビ、オオヘビガイなど多数）、腹足綱前鰓類のカサガイ類（ヨメガガサ、ベッコウカサガイ、カモガイ、アオガイ、ウノアシなど）、腹足綱後鰓類（アメフラシ、アマクサアメフラシ、

クロヘリアメフラシ、アオウミウシ、シロウミウシ、クロシタナシウミウシ、ジボガウミウシ、メリベウミウシ、ヒカリウミウシなど）、多板類（ヒザラガイ、ニシキヒザラガイ、ケムシヒザラガイ、ウスヒザラガイ、クサズリガイなど）、二枚貝類（ムラサキインコガイ、イワガキなど）、頭足綱（マダコなど）。

- ★シタダミガイ - 磯で容易に採取でき、食べられる貝の総称。佐渡でシタダミガイと呼んでいるのは、日本海特産種のオオコシダカガンガラを指すことが多い。他にコシダカガンガラ、クボガイ、イシダタミ、イボニシ、レイシなども含まれる。
- ★浅海の砂泥底 - 二枚貝（マテガイ、アサリなど）、巻貝（ツメタガイ）。
- ★栈橋などの杭に付着している - マガキなど。
- ★プランクトン - 各種巻貝のベリジャー幼生（頻繁に見つかる）。



図18 アオウミウシ（左）とアメフラシ（右）

10 星口(セイコウ=ホシグチ)動物門【図 19】

ホシムシの仲間。前半部の細い吻部と後半部のやや太い体幹部から成る細長い円筒形の動物（5～10cm前後）。環形動物（ゴカイの仲間）と近縁。環形動物とは体節制を持たないことで異なる。

- ★磯採集 - サメハダホシムシなど（最近ではあまり採集できない）。

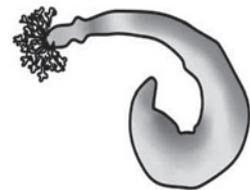


図19 ホシムシ

11 節足動物門【図 20】

昆虫や甲殻類（エビ・カニの仲間）、クモ、サソリ、

ムカデなどの仲間。外側に堅い骨格(外骨格)を持ち、生長に伴い脱皮をする。体節に分かれている(体節性)。足や触覚などの付属肢は節分かれ。それで節足動物。従来、体節を重視して環形動物と近縁とされてきたが、最近の分子系統解析では環形動物や軟体動物との近縁性は弱く、線形動物などととも脱皮動物群としてまとめる考えが有力。海に生息しているのは、ウミグモ綱と甲殻綱。甲殻綱は、軟甲亜綱の十脚目(エビ、カニ、ヤドカリ類)、貝虫亜綱(ウミホタル)、カイアシ亜綱(ケンミジンコ類)、蔓脚亜綱(フジツボ類)、端脚目(ワレカラ類)、等脚目(フナムシ類)、クマ目、アミ目などに分類される。

貝虫亜綱	ウミホタル		
カイアシ亜綱	カラヌスなど		
蔓脚亜綱	フジツボ、カメノテなど		
軟甲亜綱	アミ目	アミ	
	等脚目	フナムシ	
	端脚目	ヨコエビ類(ワレカラなど)	
	十脚目	長尾亜目	エビ類
		異尾亜目	ヤドカリ類
短尾亜目		カニ類	
口唇目	シャコ、スナモグリ		

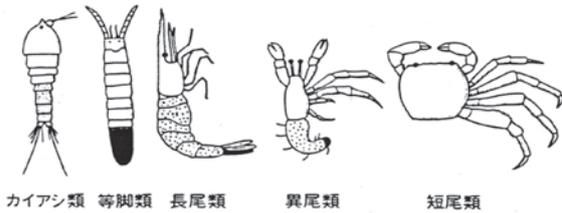


図20 甲殻類の分類と体系略図

- ★磯採集 - カニ類(イワガニ、イソガニ、ヨツハモガニ、イボトゲガニなど)、ヤドカリ類(ホンヤドカリ、ケブカヨコバサミなど)、エビ類(イソスジエビ、コシマガリモエビ、アシナガモエビなど)、フナムシ、ワレカラ類(マルエラワレカラなど)、蔓脚類(=つる脚類:カメノテ、イワフジツボなど)。ウミグモ類(シマウミグモなど)
- ★浅海の砂泥底 - スナモグリ、アナジャコ、各種のエビやカニ類。
- ★プランクトン - カイアシ類(コペポータ類)、エビやフジツボ類のノープリウス幼生(頻繁に見つかる)、アミ類。

12 苔虫(コケムシ)動物門【図21】

コケムシの仲間、ごく普通に、どこにでもいるが、一般の人は、現物をみても、海藻とかゴミだと思い、動物とは思わない。1mm前後の小さな個虫が多数集まって群体を作り、水中の岩や他の生物、漁港の海中のもやい網などに付着。コンブやアラメ、漁網などに付着して水産業に被害を与える嫌われ者。苔虫・帚虫・腕足の三つの動物群をあわせて触手(冠)動物といい、伝統的に新口動物として扱われている。しかし、旧口動物的な特徴も持ち、系統的な位置については議論が多い。最近の分子系統解析では、軟体動物や環形動物などととも冠輪動物群を作る。
★磯の岩やカキ殻、漁網など - ミカドコケムシ、フサコケムシ、チゴケムシなど。

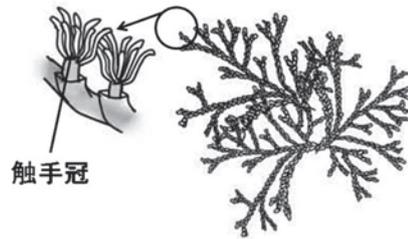


図21 フサコケムシ

13 毛類(モウガク)動物門【図22】

ヤムシ(矢虫)の仲間、口のまわりに堅い顎毛が発達しているので毛顎動物という。すべて海産。無色透明。体の側方と後方にヒレ(鰭)をもつ。無脊椎動物でヒレを持つのは毛顎動物だけ。海産プランクトンとしてごく普通。多くは体長1~3cm。カイアシ類(甲殻類)とともに動物プランクトンとして海洋生態系の重要な位置を占める。従来、新口動物に分類されてきたが、最近の分子系統解析では、旧口動物の一員であることを示す(63頁参照)。

- ★磯採集 - イソヤムシ
- ★プランクトン - 浮遊性のヤムシ類。



図22 ヤムシ

14 棘皮動物門【図23】

ウニやヒトデ、ナマコの仲間。すべて海産。成体は五放射相称。幼生はすべて左右相称。棘皮動物は、水管系という特別な器官を進化させ、独特な方向に進んだ動物。磯採集では、軟体動物、甲殻類について多くの種類と個体数がみつかるとは異なる。

★磯採集 - ウニ類（ムラサキウニ、バフンウニ、アカウニなど）、ヒトデ類（イトマキヒトデ、アカヒトデ、ヤツデヒトデなど）、クモヒトデ類（ニホンクモヒトデ、アミメクモヒトデなど）、ナマコ類（マナマコ、イソナマコなど）。

★浅海の砂泥底 - ナマコ類（シロナマコ、マナマコなど）、ヒトデ類（モミジガイ、トゲモミジガイなど）、クモヒトデ類、ウニ類（タコノマクラ、カシパン類）

★プランクトン - ウニ類のプルテウス幼生、ヒトデ類のビピンナリア幼生、クモヒトデ類のオフィノプルテウス幼生、ナマコ類のアウリキュラリア幼生など（いずれも時々見つかる）。

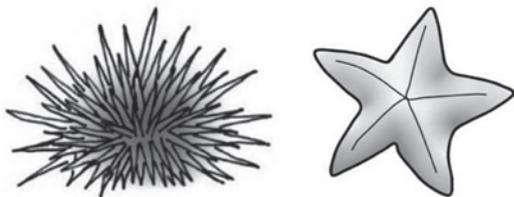


図23 ウニ（左）とヒトデ（右）

15 半索動物門【図24】

ギボシムシとフサカツギの仲間。すべて海産。かつて脊索に相当すると考えられていた小さな盲嚢管（それで半索動物）は、消化管の一部であることが判明したため、原索動物から除外された。体は細長い円筒形で、吻、襟、体幹に三分され、それに対応して1つの吻体腔、1対の襟体腔、さらに1対の体幹体腔、合計5つの真体腔が配列する。吻の形が、橋の欄干の擬宝珠ぎぼしに似ていることからギボシムシという。ヒトを含む脊索動物にもっとも近縁な動物。

★浅海の砂泥底 - ギボシムシ類（佐渡の真野湾には、未記載の体長数 cm のギボシムシがいる）。

★プランクトン - ギボシムシ類のトルナリア幼生（たまに見つかる）。

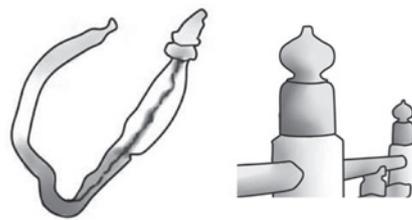


図24 ギボシムシ（左）。頭部の形が橋の擬宝珠に似ている。

16 脊索動物門（あるいは上門）

従来、尾索動物と頭索動物を合わせて原索動物門として、脊椎動物門と区別してきた。しかし、最近では両者を合わせて脊索動物門とする傾向が強い。理由は、これらの動物群が共通の祖先から進化してきた動物であり（これを単系統性という）、発生や器官系などに共通の特徴が多いからである。脊椎動物も原索動物もともに、少なくとも一生の間に、1) 脊索を持つ、2) 中枢神経が神経管を作る、3) 循環系が神経系の腹側に位置する、4) 鰓孔・鰓腔を持つ、5) 内柱を持つ、などの共通の特徴をもつ。補足として、脊椎動物では、発生の途中で脊索を囲むように脊椎骨が形成されるが、原索動物では脊椎骨は形成されない。また、ホヤでは尾部吸収で始まる変態の過程で脊索は消失する。さらに、神経管は、脊椎動物では脳と脊髄に分化するが、ホヤ類では変態の時に消失する。なお、内柱は脊椎動物では甲状腺に分化している。

従来、頭索動物が脊椎動物に最も近縁な分類群であり、尾索動物は脊索動物の中で最も古い系統だとされてきた。実際、ナメクジウオ（頭索動物）とヤツメウナギの幼生は、生態的にも形態的にも、とても良く似ている。一方、ホヤと脊椎動物はどう見ても同じ分類群の動物とは思えない。しかし、最近、ヒトばかりでなく、ホヤやナメクジウオの全ゲノムが解読されて、それらの分子系統解析が進むにつれて、ナメクジウオよりもホヤの方が脊椎動物により近縁だということがわかってきた（図9, 25）。

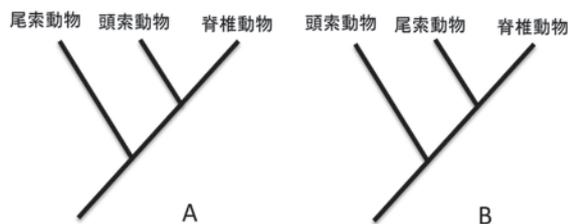


図25 脊椎動物の系統関係。最近の分子系統解析は、B説を支持している

■ 16-1 尾索動物亜門（あるいは門）【図 26】

ホヤ類、オタマボヤ類、タリア類からなる。ホヤ類の幼生をオタマジヤクシ幼生といい脊索を持ち、浮遊生活をするが、変態して着床すると脊索は消失する。一方、オタマボヤは終生脊索をもち、浮遊生活をする。タリア綱のウミタルやサルパでは脊索は発生途中にわずかに出現する。

★磯採集 - マボヤ

★栈橋などの杭や海中のもやい綱に付着しているもの - シロボヤ、エボヤ、ユウレイボヤなど

★プランクトン - オタマボヤ、ウミタル、ホヤ類のオタマジヤクシ幼生（時々見つかる）、サルパ類（体長数センチの半透明な寒天質の壊れやすい生物、体長 10cm 以上のオオサルパなどもある）

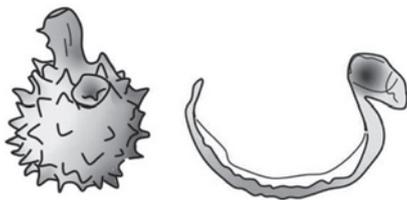


図 26 マボヤ（左）とオタマボヤ（右）

■ 16-2 頭索動物亜門（あるいは門）【図 27】

ナメクジウオ類。体長 5 cm 程度。浅海の砂底に浅く潜り、口だけを海底から出してプランクトンを



図 27 ナメクジウオ

採餌する。生息地として九州の有明海などが有名。佐渡の沿岸には生息していない。

■ 16-3 脊椎動物亜門（あるいは門）【図 28】

背骨をもつ仲間。無顎動物下門（ヌタウナギ綱、ヤツメウナギ綱）、顎口動物下門（軟骨魚綱、硬骨魚綱、両生綱、爬虫綱、鳥綱、哺乳綱）を含む。

★夏の磯でごく普通にみられる魚類 - スズメダイ、ホンベラ幼魚と成魚、キュウセン幼魚と成魚、メジナ幼魚と成魚、チャガラ、ウミタナゴ幼魚と成魚、カタクチイワシ、イシダイ幼魚、メバル、ア

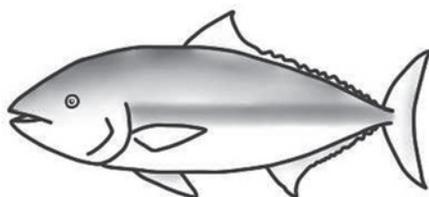


図 28 ブリ

イナメ、クサフグ、サヨリ幼魚、マアジ幼魚など。

5. 海藻の観察

ここでは、佐渡の沿岸域に生息する海藻・緑藻・褐藻・紅藻について、海藻の種類、主な海藻の説明、海藻の垂直分布と光合成色素の関係、真核生物の誕生と藻類の進化について述べる。

佐渡の人々になじみの深い海藻について、緑藻・褐藻・紅藻の違いを知るとともに、生育場所と光合成色素の関係、藻類の進化、さらに人々の暮らしとの関わりについても知ることがねらいである。実際に海藻標本を作製することも理解を深めるうえで重要な役割を果たすものと期待している（実習編参照）。

1 海藻と海草

海水中に生息する植物には、海藻と海草がある。海藻は水中に生育し、光合成をするが、花を咲かせることのない植物の総称である。一方、海草は海水中に生育し、花を咲かせ種子を作る種子植物である。真野湾などの内湾や加茂湖の砂浜海岸の浅場にはアマモ、スガモ、ウミヒルモ、ネジレカワツルモなどの海草が生育している。一方、海藻には紅藻、緑藻、褐藻の3種類がある。

■ 1-1 紅藻（紅色植物）

紅藻類は光合成色素としてクロロフィル a を含み、そのほかにフィコシアニンやフィコエリスリンなどの青や赤の光合成色素を含んでおり、全体として赤い色をしている。このような光合成色素の組み合わせはすべての真核植物の葉緑体のもとになったと考えられる藍藻類（=シアノバクテリア）と同じである。なお、紅藻類は、他の真核藻類と異なり、鞭毛をもった細胞（遊走細胞など）は全く見つかっていない。佐渡の潮間帯から漸深帯に普通に見られるものに、ウシケノリ目（ウップルイノリ = イワノリ）、テングサ目（マクサ、オバクサ）、スギノリ目（イバラノリ、オキツノリ）、オゴノリ目（オゴノリ、シラモ、カバノリ）、イソノハナ目（ムカデノリ、タンバノリ、フダラク、マツノリ）、イギス目（ユナ）など。

■ 1-2 緑藻（緑色植物）

広義には光合成色素としてクロロフィル a と b

を含んでいる藻類を指す。光合成色素の他に、遊走細胞が等長の鞭毛を2本持つこと、でんぷんを葉緑体中に作ることが特徴としてあげられる。陸上植物（コケ植物、シダ植物、種子植物）は、車軸藻に近縁の淡水性の緑藻類から進化したものと考えられている。佐渡の潮間帯から漸深帯に普通に見られるものに、アオサ目（アナアオサ、ボウアオノリ、ウスバアオノリ）、シオグサ目（ホソジュズモ、ツヤナシシオグサ）、イワズタ目（ミル、フサイワズタ）など。

■ 1-3 褐藻（黄色植物）

褐藻類は、ストラメノパイル（黄色植物）と呼ばれる珪藻や菌類の一部（卵菌類）などを含む大きなグループの一員で、いわゆる海藻類の中では進化的に最も新しく、最も大型で複雑な形態の体を作る藻類である。光合成色素としてはクロロフィルaとcを含んでいるが、このほかに多量のカロチノイド類（主にフィコキサンチン）を含んでおり、このため黄色や褐色に見える。葉緑体は2次細胞内共生に由来し、もともとは紅藻類のような真核藻類が葉緑体を持たない真核従属栄養生物に取り込まれたものと考えられている。佐渡の潮間帯から漸深帯に普通に見られるものに、シオミドロ目（モズク、イシモズク、フクロノリ、カゴメノリ、ハバノリ、セイヨウハバノリ）、アミジグサ目（アミジグサ、フクリンアミジ、ヘラヤハズ、ウミウチワ、オキナウチワ、コナウミウチワ）、コンブ目（ワカメ、ツルアラメ）、ヒバマタ目ホンダワラ科のアカモク、ヒジキ、ホンダワラ、イソモク、ウミトラノオ、ノコギリモク、フシスジモク、ヤナギモク、ジョロモク）など。

■ 2 海藻の垂直分布と光合成色素

一般に、アナアオサやミルのような緑藻類は潮間帯付近の浅い海に、ワカメやホンダワラのような褐藻類はそれよりも少し深い漸深帯（水深5～20m）付近に多くみられ、紅藻類はさらに深い所に生育している。これには、水深による光波長の変化と藻類のもつ光合成色素に深い関係がある。水中では、水による吸収のために長波長域（赤色域）が減衰し、また懸濁した粒子による散乱のために短波長域（紫色域）も減衰する。そのため、水深が増すにつれて青緑色域や緑色域のみが利用可能となる。（図29）。

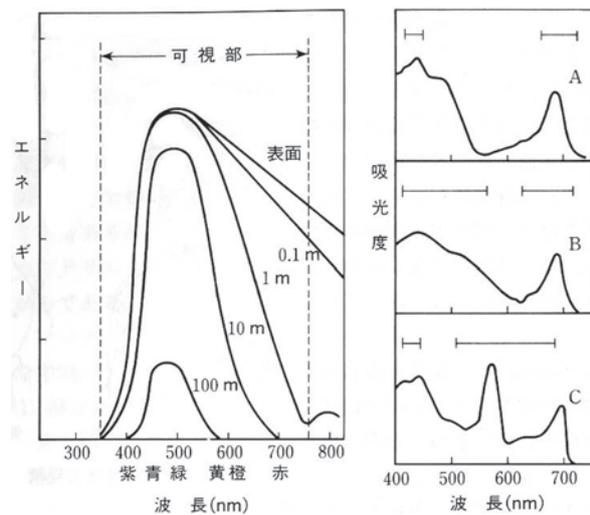


図29 水深と届く光の波長(左)と、藻類の吸収スペクトル(右)。右図でA: 緑藻類、B: 褐藻類(珪藻)、C: 紅藻類(ラン藻)。

光エネルギーを捕獲する主要な色素は、緑藻植物ではクロロフィルaとb、褐藻植物ではフィコキサンチン（キサントフィルの一種）、紅藻植物ではフィコエリトリン（フィコビリナンパク質の一種）である。クロロフィルaとbは可視光線の赤色域と紫色を吸収するが、これは緑藻植物がもっともエネルギーの強い500nmの波長域を避けているためと考えられる。フィコキサンチンの吸収スペクトルは450nm付近で最大になり、褐藻植物が青色光域および青緑色光域を利用できることがわかる。またフィコエリトリンは550nm付近をよく吸収し、紅藻植物は深海に届く緑色光域を利用できる。褐藻植物や紅藻植物は、水中に届く弱い光を効果的に利用する方向に適応した植物といえる（図29）。

緑藻類の中には、水深50m以上の海に生育する種類もいるが、これは光合成色素として特殊なキサントフィル（シフォナキサンチンなど）をもっていて、緑色光を吸収することができることがわかった（[文献25] 8頁）。また、紅藻類のなかにも浅海に生育するものがあるが、深海のものが赤色であるのに対して、浅海ものはフィコエリトリンが少なく、緑色を呈している。これらの事実は、光合成色素と利用できる光の波長との密接な関係を示している。

■ 3 真核生物の誕生と藻類の進化

酸素発生型光合成を行う生物をまとめて植物とい

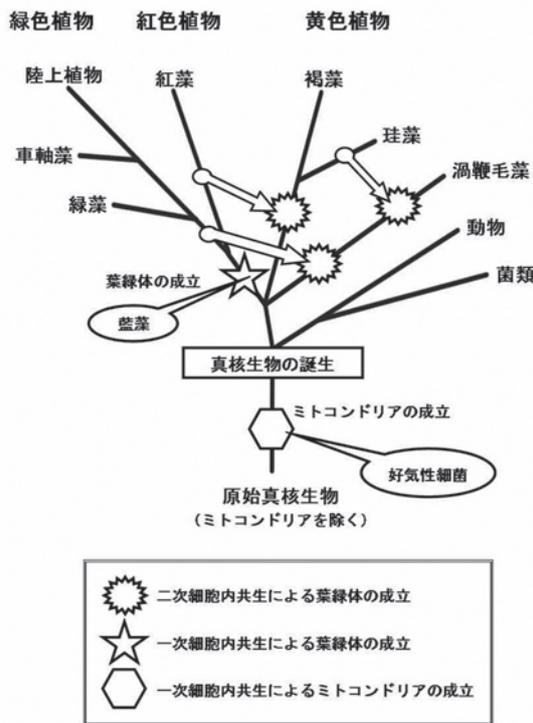


図30 藻類の多様性。18SrRNAによる分子系統解析による。文献25より。

う。動物はグループ全体が共通祖先から進化した単系統群を作り、「我ら動物みな兄弟」であるのに対し、植物は原核生物から多細胞生物まで含んでおり、系統的に異質なグループの集合体である(図30)。核を持つ最初の生物(真核生物)は、大型の嫌気性細菌に好気性細菌(酸素呼吸をする細菌=後のミトコンドリア)が共生して生まれたと考えられている。今から20~15億年前のことである。その後、10億年ほど前に、後生動物(多細胞動物)、菌類(キノコの仲間)、紅色植物(紅藻の仲間)、綠色植物(緑藻や陸上植物の仲間)、不等毛植物(褐藻類や珪藻類を含む群)、渦鞭毛植物(渦鞭毛藻の仲間)など、現在の主要な真核生物が一斉に分岐したことが、18sリボゾームRNAの解析結果などから示唆されている([文献25]43頁)。系統樹上で一斉に分岐した様子を冠に見立てて、これらの真核生物はクラウン生物群と呼ばれている。

クラウン生物群のうち、従属栄養性の後生動物と菌類は近縁関係にあり、原始真核生物の直系の子孫であると考えられている。一方、紅色植物と綠色植物は2重膜で包まれた葉緑体をもっている。これらの植物は、原始真核生物に藍藻類(シアノバクテリア=後の葉緑体)が共生して生まれたと考えられ

ている([文献25]149頁)。これを一次共生による葉緑体の成立という。この一次共生による葉緑体の成立は1回しかなかったと考えられている([文献25]43頁)。この考えが正しいとすれば、一次共生の葉緑体をもつ藻類は共通の祖先由来ということになる。実際、綠色植物と紅色植物が単系統群を形成することが高い確率で示されている。一方、不等毛植物(≡黄色植物)は、遊走細胞(生殖細胞)が長さの異なる2本の鞭毛をもつことに因んだ名称であるが、不等毛植物の葉緑体は、核の外膜と連なった2重膜で囲まれた空間中にさらに2重膜で包まれて存在するのが特徴である。([文献25]151頁)。この4重膜の葉緑体の起源については、次のようなシナリオが考えられている。1)捕食性の真核生物が光合成真核生物を取り込む。2)取り込まれた細胞は食胞中に保持されるが、やがて食胞膜と宿主の核の外膜との融合が起こる。3)取り込まれた光合成生物の核は縮小し、やがてその機能のすべてが宿主の核に移行すると消失する。同時に葉緑体以外の細胞器も消失する。さらに葉緑体内でもフィコビリソームの消失などが起きる。このようにして、4重膜の膜系に囲まれた葉緑体が確立した。すなわち、不等毛植物は従属栄養性の真核生物に光合成真核生物が2次共生した植物ということになる。同様に、3重膜の葉緑体を持つ渦鞭毛植物も真核藻類の2次共生によるものと考えられている。3重膜のうち、内側の2枚は葉緑体膜に由来し、外側の一枚は宿主細胞の食胞膜か共生藻の細胞膜のどちらかに由来すると考えられている。

4 佐渡の代表的な食用海藻【図31】

4-1 ウップルイノリ(佐渡の岩ノリ、紅藻類)

11~12月に水面より少し高い岩棚に小さいノリ芽がつく。冬の波しぶきがかかる頃になると生長し、2月頃に10~15cmの黒ずんだ細長いノリになり収穫される。3~4月頃には消失してしまう。

4-2 スサビノリ(紅藻類)

現在アサクサノリとして市場に出ているノリのほとんどがスサビノリ。もともとは東北地方の寒冷水域に分布していたノリであるが、生長が早いことと、淡水が混じらなくてもよく生長すること、低潮線付近の絶えず海水に浸かるような水面で養殖可能なこ

となどから、アサクサノリに代わってスサビノリが養殖されるようになった。なお、佐渡でも平成元年頃から平成8年頃にかけて小規模なノリ養殖が試みられたが、養殖に適した波静かな水面が得られないことなどから長続きがしなかった（〔文献26〕147頁）。

■4-3 ワカメ（褐藻類）

ワカメは日本特産種。分布域は北海道の南部から九州の五島列島までと広く、日本人の食生活にもっとも重要な海藻。市場に出ているワカメの大半は養殖ものであるが、佐渡の外海府一帯は天然ワカメの宝庫で、波浪が強く養殖が難しいこともあり、今でも天然ワカメを採取している漁民が多い。

ワカメは生長すると、根元に近いところにメカブ（雌株）と呼ばれる孢子葉ができる。メカブの単子嚢（=遊走子嚢）という組織のなかで減数分裂を経て遊走子（生殖細胞）が作られる（〔文献25〕220頁／〔文献26〕111頁）。遊走子は海水中に放出されると、発芽して、半数は雄性配偶体に、他の半数は雌性配偶体になる。雄性配偶体では精子（雄性配偶子）が、雌性配偶体では卵（雌性配偶子）が作られる。雄性配偶体で作られた精子は海水中に放出されて、雌性配偶体に作られた卵にたどり着き受精が行われる。受精卵は雌性配偶体の体上で発芽し、生長してワカメとなる。

ワカメの人工養殖は、陸上の水槽に成熟したワカメを入れ、遊走子を放出させる。水槽にはあらかじめ種紐が入れてあり、遊走子はこの種紐に付着して発芽、雄性配偶体と雌性配偶体を形成する。種紐上で受精が行われ、養殖業者は幼芽の生長を確認した後、海に出し、養殖用に使用する大きなロープに巻き付けて、ワカメを生長させる。

■4-4 アカモク（佐渡のナガモ：褐藻類）

長さが3～5mにもなる大型の海藻。アカモクは寿命が短く4月頃には流れ藻になったり、海水に溶けてしまって消失する。食べごろは茎の柔らかい2月頃。アカモクの気泡は長い紡錘形をしているので、ホンダワラ科の他の種類と容易に区別がつく。

■4-5 ホンダワラ（佐渡の銀葉藻：褐藻類）

長さが3mぐらいいもなる大型の海藻で、佐渡の海岸にもっとも普通。葉にはたくさんの丸い気泡がついていて、この気泡の浮力で海水中に直立する。磯から離れると、気泡の浮力で沈むことなく海表面

に漂い、流れ藻になる。食用にするのは早春の若くして柔らかいもの。ナガモと同様、みそ汁の具としたり、酢の物として食べることが多い。

■4-6 マクサ（=テングサ）（紅藻類）

マクサがテングサ科の代表種であることから、テングサと呼ばれることが多い。マクサは寒天の材料として重要な海藻。佐渡では周年にわたってみるこができる。潮間帯付近にも生息している。



図31 佐渡の土産物店で売られている海藻のいろいろ。上段左から、ぎんば藻、ながも、サラダめかぶ、海藻サラダ、下段左から、えごぐさ、磯ばらのり（=岩のり）、あおさ、角あらめ。

■4-7 ツルアラメ（佐渡の板アラメ：褐藻類）【図32】

ツルアラメ（図32）は、低潮線から漸深帯付近に生息する海藻で、日本海特産種である。漁民は船を漕ぎ出し、水深5～10mぐらいいの深さで1m以上に生長したものを、棒の先に金具を取り付け、巻き付けて採集する。佐渡では晩春から初夏の若く柔らかいものを加工して、板アラメ（あるいは角アラメ）として商品化している。佐渡の特産品



図32 ツルアラメ

ともなっている。板アラメの作り方は、採集したツルアラメを水洗いした後、食用とする葉の部分を「手打ちソバ」を切る要領で、数mm幅で刻んでいく。刻み終わったら、熱湯で茹でて「アクぬき」を行う。

ザルに移して流水で冷やした後、簀子（すのこ）の上に約10cm四方の枠を置き、枠内に1-2層に並べる。しばらく放置して、水切りが終わったら、枠をはずす。この操作を繰り返す。簀子がいっぱいになったら、簀子ごと、天日でよく乾燥させる。

■4-8 エゴノリ（佐渡のイゴネリ：紅藻類）

佐渡では、イゴとかイゴグサ、エゴグサ、イゴネリ草などと呼ぶ。毛髪状の海藻で、漸深帯のホンダワラ類にからみついて生育している。テングサと同じように寒天にして食用にする。

■4-9 モズク（褐藻類）

モズクはホンダワラ科の海藻について生長する。藻に付くから藻付く。佐渡ではモズクのことを、ハナモズクとかクサモズクとよぶことが多い。

■4-10 イシモズク（褐藻類）

イシモズクは、漸深帯付近の石に生える。モズクよりも太くて質が固い。佐渡では、イシモズクの方が歯ごたえがあり、美味しいという人も少なくない。

■4-11 アナアオサ・ボウアオノリ・ウスバアオノリ（緑藻）

いずれも潮間帯でみられる代表的な緑藻。のり佃煮やお好み焼きなどのアオノリの材料。

■4-12 海藻サラダの海藻

海藻サラダの海藻として、一般に市販されているものの中身は、国内産はワカメだけで、トサカノリ類（アカトサカやアオトサカなど）など輸入海藻が混じっている。なお、佐渡では、ユナ、ムカデノリ類（ヒラムカデなど）なども食用にされる。

—文献・専門的図書・図鑑類—

- 1) 西村三郎／編著 1992『日本海岸動物図鑑I』概説、保育社。
- 2) 本間義治 1992『新潟県 海の魚類図鑑』新潟日報事業社。
- 3) 矢島孝昭 1993『動物たちの地球』vol.115, 海岸、朝日新聞社。
- 4) 秋山章男 1983『磯浜の生物観察ハンドブック 磯浜の生態学入門』東洋館出版社。
- 5) Lalli, C.M., Parsons, T.R./ 著、關文威／監訳、長沼毅／訳 1996『生物海洋学入門』講談社。
- 6) 岩槻邦男・馬渡峻輔／監修、白山義久／編集 2000『無脊椎動物の多様性と系統』裳華房。
- 7) 宇佐見義之 2009『カンブリア爆発の謎～チェン

- ジャンモンスターが残した進化の足跡、技術評論社。
- 8) 山田真弓／監修、青木淳一・田近謙一・森岡弘之／編集 2000『動物系統分類学追補版』中山書店。
 - 9) Telford, M.J.: Affinity for arrow worms. Nature 431:254-256 (2004) .
 - 10) Honma, Y., Kitami, T.: Fauna and flora in the water adjacent to the Sado Marine Biological Station, Niigata University. Rep. Sado Mar. Biol. Stat., Niigata Univ., No. 8, pp. 7-81 (1978) .
 - 11) Honma, Y., Kitami, T.: Fauna and flora in the water adjacent to the Sado Marine Biological Station, Niigata University: Supplement 1. Rep. Sado Mar. Biol. Stat., Niigata Univ., No. 9, pp. 27-36 (1979) .
 - 12) Honma, Y., Kitami, T.: Fauna and flora in the water adjacent to the Sado Marine Biological Station, Niigata University: Supplement 2. Rep. Sado Mar. Biol. Stat., Niigata Univ., No. 25, pp. 13-30 (1995) .
 - 13) Abe, N., Honma, Y., Kitami, T.: Species composition and seasonal fluctuation of plankton communities in Tassha Bay of Sado Island. Rep. Sado Mar. Biol. Stat., Niigata Univ., No. 14, pp. 1-21 (1984) .
 - 14) 古屋秀隆 2007 中生動物の分類と自然史。片倉晴雄・馬渡峻輔／共編『動物の多様性』、シリーズ 21 世紀の動物科学 2、培風館。
 - 15) 日高敏隆／監修、奥谷喬司・武田正倫・今福道夫／編集 1997『日本動物大百科』第7巻、無脊椎動物、平凡社。
 - 16) 岡田要・内田清之助・内田亨／監修 1965『新日本動物図鑑・上中下』、北隆館。
 - 17) 奥谷喬司／編著 1994 山溪フィールドブックス 8『海辺の生きもの』山と溪谷社。
 - 18) 内海富士夫／監修、西村三郎・鈴木克美／著 1996 エコロン自然シリーズ『海岸動物』保育社。
 - 19) 波部忠重・小菅貞男／著 1996 エコロン自然シリーズ『貝』保育社。
 - 20) 益田一・林公義・中村宏治・小林安雅／編 1996 フィールド図鑑『海岸動物』、東海大学出版会
 - 21) 阿部正之 2008『海辺の生物 観察図鑑』、誠文堂新光社。

- 22) 新崎盛敏 / 著、徳田廣 / 編「原色新海藻検索 図鑑」2005 北隆館。
- 23) 田中次郎 / 解説、中村庸夫 / 写真「日本の海藻」2004 平凡社。
- 24) 千原光雄 / 監修「日本の海藻」2004 学習研究社。
- 25) 岩槻邦男・馬渡峻輔 / 監修、千原光雄 / 編集「藻類の多様性と系統」2007 裳華房。
- 26) 矢田政治 2002『ライフワーク佐渡』第一印刷所。

表 1. 現生の動物門とその成体の生息域 (+, 普通に見られる; △, まれ: -, 記録なしは不明)

動物門 * 海岸で見られるもの	現生種の 記載種類数 (推定数を含む)	代表種あるいは代表群	生息域	
			陸生または 淡水生	海洋 (P. 寄生性; M. 顕微鏡的)
* 原生動物 (= 原生動物界)	31,000	ヤコウチュウ、放散虫	+	+ (M)
* 平板動物 (= 板形動物)	1	センモウアメーバヒラムシ	-	△ (M)
* 菱形動物 (= 二胚虫動物)	90	ヤマトニハイチュウ	-	+ (P, M)
* 直泳動物	24	キリオキンクタ	-	△ (P, M)
* 海綿動物	9,000	ダイダイイソカイメン	△	+
* 刺胞動物	9,000	ヒドラ、ミズクラゲ、イソギンチャク類	△	+
* 有櫛動物	140	クシクラゲ類	-	+
* 扁形動物	17,000	プラナリア、ヒラムシ類、	+	+
* 紐形動物	1,400	ヒモムシ類	△	+
* 顎口動物	80	ハブログナティア	-	△ (M)
腹毛動物	400	イタチムシ	△	△ (M)
* 輪形動物	3,000	ワムシ類	+	+ (M)
* 動物動物	160	トゲカワムシ	-	△ (M)
胴甲動物	(50)	コウラムシ	-	△ (M)
* 線形動物	(100 万以上)	カイチュウ、C.elegans	+	+
類線形動物	280	ハリガネムシ類	+	△
鉤頭動物	1,000	コウトウチュウ類	△	△ (M)
鰓曳動物	16	エラヒキムシ	-	+
* 環形動物	14,000	ゴカイ類、ミミズ類、ヒル類	+	+
* ユムシ動物	145	ユムシ	-	+
* 軟体動物	70,000	巻貝、二枚貝、タコ・イカ類	+	+
* 星口動物	206	ホシムシ類	-	+
有爪動物	160	カギムシ	△	-
* 緩歩動物	815	イソトゲクマムシ、オンセンクマムシ	+	+ (M)
舌形動物	100	イヌシタムシ	△	-
* 節足動物 (昆虫類のみ)	(数百万)	昆虫類	+	+
* 節足動物 (甲殻類)	52,000	甲殻類	+	+
* 節足動物 (その他)	40,000	ウミグモ類、クモ・サソリ類、ムカデ類	+	+
* 筈虫動物	10	ホウキムシ	-	△
有輪動物	1	シンビオン	-	△ (P, M)
* 曲形動物 (= 内肛動物)	150	スズコケムシ	△	+
* 苔虫動物 (= 外肛動物)	5,000	コケムシ類	△	+
* 腕足動物	380	ミドリシヤミセンガイ	-	+
有鬚動物	152	ヒゲムシ類、ハオリムシ類	-	△
* 毛顎動物	130	ヤムシ類	-	+
* 棘皮動物	7,400	ウニ類、ヒトデ類、ナマコ類	-	+
* 半索動物	100	ギボシムシ類	-	+
* 尾索動物	2,500	ホヤ類、サルバ類	-	+
* 頭索動物	35	ナメクジウオ類	-	+
* 脊椎動物	45,000	硬骨魚類、爬虫類、哺乳類	+	+

注: 種類数は文献 6『無脊椎動物の多様性と系統』、文献 15『日本動物大百科: 7 巻, 無脊椎動物』などから算出した。

表2. 佐渡の臨海実習で観察される動物

門	綱(主なもの)	磯採集	砂浜のドレッジ採集	プランクトン採集
植物界				
黄色植物(門)	珪藻綱			Chaetoceros 属
原生動物	植物性鞭毛虫綱 肉質虫綱			ヤコウチュウなど 放散虫など
菱形動物		ニハイチュウ(タコに寄生)		
海綿動物	普通海綿綱	イソカイメン類		
刺胞動物	ヒドロ虫綱 箱虫綱 鉢虫綱 花虫綱	ヒドロ虫類 ミズクラゲなど イソギンチャク類	ヒドロ虫類 アンドンクラゲなど	ヒドロクラゲ類 ミズクラゲなど
有櫛動物				まれにウリクラゲなど
扁形動物	渦虫綱	ヒラムシ類		
紐形動物	無針綱	ヒモムシ類		
環形動物	多毛綱	クマのアシツキなど	タマシキゴカイなど	ゴカイ類の幼生
節足動物	海グモ亜門 甲殻綱 橈脚目 甲殻綱 蔓脚目 甲殻綱 等脚目 甲殻綱 端脚目 甲殻綱 十脚目	ウミグモ フジツボ、カメノテなど フナムシ ワレカラ類 エビ類、カニ類など	ウミグモ スナモグリなど	カイアシ類 フジツボ類の幼生 エビ・カニ類の幼生
軟体動物	多板綱 腹足綱 前鰓亜綱 腹足綱 後鰓亜綱 二枚貝綱 掘足綱 頭足綱	ヒザラガイ類 巻貝類、カサガイ類 アメフラシ、ウミウシ ムラサキインコガイなど マダコ	ツメタガイなど ヒカリウミウシなど マテガイなど ツノガイなど ダンゴイカなど	巻貝類の幼生 ウミウシ類の幼生 二枚貝類の幼生
星口動物		サメハダホシムシ		
苔虫動物		チゴケムシなど		
毛類動物		イソヤムシ類		ヤムシ類
棘皮動物	ウミユリ綱 ヒトデ綱 クモヒトデ綱 ウニ類 ナマコ類	ウミシダ類 イトマキヒトデなど ニホンクモヒトデなど ムラサキウニなど マナマコ、イソナマコなど	モミジガイなど クモヒトデ類	
尾索動物	ホヤ綱 オタマボヤ綱 タリア綱	マボヤ、群体ボヤなど	シロナマコなど	オタマボヤ ウミタル
脊椎動物	硬骨魚綱	各種真骨魚類	カレイ類、ゴチ類	仔魚類

★本節にかかわる活動の事例や学習のポイント

これらの内容は、付属のDVD-ROMに収録しています。

実習編

1. 海浜の種類と生物群集の帯状分布 / 2. 磯の生物の観察法(ランダム調査) / 3. 磯の生物の観察法(方形枠調査) / 4. 砂浜海岸の生物調査(ドレッジ調査) / 5. プランクトンの採集 / 6. ウニの発生実験 / 7. 海藻の採集と海藻標本の作成

自由研究編

1. スルメイカの解剖 / 2. カサガイの同定 / 3. 小型ヤドカリの同定 / 4. 磯の小型カニ類の同定 / 5. シタダミガイの同定 / 6. 巻貝の出殻反応 / 7. イトマキヒトデの実験 / 8. ヤドカリの殻交換 / 9. カニの自切 / 10. 海藻の体色変化と光合成色素の関係を調べる / 11. 海岸の自然度調査

資料編

佐渡達者沿岸の代表的な無脊椎動物種 / 佐渡達者沿岸の代表的な海藻種 / 佐渡達者沿岸の代表的なプランクトン種