

【はじめに】

No. 1

この講義では、「生態学」を教える。

<授業の目的>

- ・ 海洋の多様な環境に、それぞれの生物が適応して生活していることを理解する。
- ・ 様々な生態系を比較して、各生物や生態系が持つ普遍性・特殊性を知る
- ・ 講義で得た知識を用い、海洋環境の保全について考える。

授業内容：トピックス

- 1 はじめに：生物多様性
- 2 潮間帯の環境：生態系，食物連鎖，生物濃縮
- 3 底生生物（ベントス）：共有の悲劇
- 4 岩礁潮間帯・転石潮間帯：帯状分布，キーストーン種
- 5 干潟・塩性湿地・マングローブ・砂浜：メタ個体群
- 6 藻場・サンゴ礁：生態系サービス
- 7 中間テスト：スナガニ類の生態

逸見担当

-
- 8 熊本の海－有明海・八代海の環境と生物
 - 9 海洋の環境
 - 10 植物プランクトン
 - 11 動物プランクトン
 - 12 浅海・外洋の生態系
 - 13 深海の生態系 (1)
 - 14 深海の生態系 (2)
 - 15 攪乱される海

嶋永担当

中間試験 (2017/11/20)，本試験 (2018/2/5) を予定

【1】生物多様性 biodiversity 生物多様性くまもと戦略（概要版）

（1）生物多様性とは？

生物多様性とは、多様な生物が存在しているさま、またはその程度を指す。あらゆる生物種（動物・植物・微生物）と、それによって成り立っている生態系、さらに生物が過去から未来へと伝える遺伝子とを合わせた概念である。

生物多様性条約（1992）で、生物多様性は以下のように定義されている。

「陸上、海洋およびその他の水中生態系を含め、あらゆる起源を持つ生物、およびそれらからなる生態的複合体の多様性。これには生物種内、種間および生態系間における多様性を含む」

（参考）国際生物多様性年と COP10

国際連合は、2010年を「国際生物多様性年（IYB: International Year of Biodiversity）」と定め、世界の生物多様性の重要性の認知を高めることを決めた。特に日本は、生物多様性条約第10回締約国会議（COP10、2010年10月に名古屋市で開催）の議長国として、名古屋議定書を策定した。

生物多様性条約 Convention on Biological Diversity

<http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/kankyo/jyoyaku/bio.html>

1992年にリオ・デ・ジャネイロ（ブラジル）で開催された国連環境開発会議（地球サミット）で採択された条約のひとつで、正式名称は「生物の多様性に関する条約」。翌1993年発効。この条約では、**生物の多様性を「遺伝子」、「種」、「生態系」の3つのレベルで捉え、生物多様性の保全、その構成要素の持続可能な利用、遺伝資源の利用から生ずる利益の公正な配分を目的としている。**

締約国に対し、その能力に応じ、保全、持続可能な利用の措置をとることを求めるとともに、**各国の自然資源に対する主権を認め、資源提供国と利用国との間での利益の公正かつ公平な配分を求めている。**また、生物多様性に悪影響を及ぼすおそれのあるバイオテクノロジーによって改変された生物の移送、取り扱い、利用の手続き等については、カルタヘナ議定書が採択されている。

日本は1992年に署名、翌年加盟（受諾）。2017年現在で196ヶ国・団体が加盟している。

生物多様性国家戦略

<http://www.biodic.go.jp/nbsap.html>

生物多様性の恵みを我々の子孫も受け取ることができるように、生物多様性条約に基づき、生物多様性の保全と**持続的な利用**に関わる国の政策の目標と取り組みの方向性を示したもので1995年に策定され、これまで4度の見直しを行っている。また、地方公共団体も生物多様性戦略の策定を進めている（熊本県は2010年に策定、2016年改訂）。

ワシントン条約（絶滅のおそれのある野生動植物の種の国際取引に関する条約）

<http://www.customs.go.jp/mizugiwa/washington/washington.htm>

国際取引によって生存を脅かされているまたは絶滅してしまう恐れのある野生動植物を保護することを目的とした条約で、日本をはじめ世界の約 170 カ国が加盟している（日本は 1980 年に批准）。1973 年にワシントンで採択された。ワシントン条約の規制対象となるものは、生きている動植物のみならず毛皮、皮革製品及び漢方薬も含まれる。主な規制品は、麝香や虎骨を使った漢方薬、象牙、爬虫類（インドニシキヘビなど）の皮革製品、生きているものとしては、パフィオペディルム属のラン、アジアアロアナマダガスカルホシガメ、チンパンジーなどがある。

麝香（じゃこう）：ジャコウジカの腹部の香囊から得られる分泌物を乾燥したもの

（参考）カドリードミニオンのチンパンジー（パンくん）の法律抵触問題

チンパンジーは、ワシントン条約付属書 II に記載されている絶滅の恐れのある種であり、学術研究・展示・繁殖の目的に限って許可を得ての譲渡が可能であるため、パンくんの過度のテレビ出演が問題になっている。

種の保存法（絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律）

絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存を図ることを目的として 1992 年に制定された日本の法律。1993 年施行。捕獲や保持・流通等の規制、生息地の開発等の制限、保護増殖の促進が三本柱である。

この法律では、国内希少野生動植物種として 208 種を指定、海外の種については国際希少野生動植物種とし、ともに飼育や流通等を制限している。また、ハナシノブ生育地保護区（熊本県阿蘇郡高森町）など全国で 9 地区の生息地等保護区を指定している。さらに、現在一部の種（ベッコウトンボ、トキ、イリオモテヤマネコなど）を対象として国（環境省・農林水産省等）が中心となって、保護増殖を行っている。

（2）生物多様性の 3 つの側面

生物多様性には、3 つの側面がある。すなわち、**遺伝子の多様性・種の多様性・生態系の多様性**である（さらに多くの側面をあげる研究者もいる）。

地球上にはさまざまな生態系が存在し、さまざまな種が生態系を構成している。それぞれの種は、それぞれの環境に適応し進化しているので、多様な種を維持するには、多様な環境が必要である。

1. 遺伝子の多様性（個体群内・種内の多様性）：生物は多様な遺伝形質をもっており、個体や個体群の遺伝情報も多様である。種内の遺伝変異の総和を遺伝子の多様性という。
2. 種の多様性：種の豊富さを指す。ただし、単に種数だけを指すのではなく、種の組み合わせの豊富さを指す。
3. 生態系の多様性：ある 1 つの種の集団にとって、集団内にさまざまな遺

伝子の個体が存在すれば（遺伝的多様性が高ければ）、環境変動に対しても多様な反応を示すことができるので、集団の生存確率は高まる。したがって、集団を維持するには遺伝子の多様性が不可欠である。同様に、森林生態系や湿地生態系などさまざまな生態系機能の統合された多様性が存在することによって（生態系多様性）、地域あるいは地球全体の環境安定性が維持される。

（3）生物多様性の4つの危機

- ・ 第1の危機（人間活動の拡大や開発による影響）
人間活動や開発など、人が引き起こす負の要因による生物多様性への影響。開発による生息・生育地の減少や環境の悪化、希少種の乱獲や盗掘など。
- ・ 第2の危機（人間活動の縮小による影響）
自然に対する人間の働きかけが減ることによる影響。例えば、里山や草原、棚田が利用されなくなった結果、その環境に特有の生物が減少している。雑木林や草原の荒廃、竹林の増加、水田（特に棚田）の減少による水生生物の減少など。
- ・ 第3の危機（外来生物や化学物質等、人に持ち込まれたものによる影響）
外来種や化学物質などを人が持ち込むことによる生態系の攪乱。国内の他の地域から持ち込まれたものも含める。外来種による在来種の駆逐（競争）や捕食、交雑による遺伝的攪乱、寄生種や病原菌の持ち込みなどにより、地域固有の生態系が脅かされる。また、化学物質の中には毒性を持つものや環境を改変するもの（例えば土壌をアルカリ性にするなど）も多く、生態系に影響を与える。
- ・ 第4の危機（地球環境の変化による危機）
地球温暖化や異常気象による影響。広域で影響が起こり、何が直接的な原因となっているのかを特定するのが難しいという点で、第1の危機と異なる。現在起きている気候の変化はとても速く、多くの生き物にとって、移動が追いつかない速さである可能性がある。海水面の上昇の影響を受けやすい沿岸部の種や、逃げ場のない山頂付近に生育する高山植物などは特に気候変動に脆弱であると考えられている。

（4）レッドリスト

絶滅のおそれのある生物（動植物）のリストをレッドリストという。通常、種または亜種の水準で記載され、絶滅の危険性の高さによってカテゴリー分けがなされている。ただし、個体群や生息地をリストアップしたものもある。最初のレッドリストは自然保護団体であるIUCN(国際自然保護連合)によって1966年に作成されたが、その後、環境省などの政府機関、自治体、学術団体等によっても、同様のリストが独自に作成されている。

リストの作成には、それぞれの種の絶滅の危険性を正確に評価することが（絶滅リスク評価）必要だが、生息地さえ明らかになっていない種も多いため、リストは頻繁に改訂して精度を高める必要がある（生態学入門 p. 212）。

ちなみに、レッドデータブックは、レッドリストのリストアップされた生物を詳細に解説した冊子のこと。

※ IUCN レッドリストカテゴリー（2010）

1. Evaluated 評価実施
 - 1-1. Adequated data 適当なデータあり
 - a. Extinct (EX) 絶滅
 - b. Extinct in the Wild (EW) 野生絶滅
 - c. Threatened 危惧
 - c-1. Critically Endangered (CR) 絶滅寸前（絶滅危惧 IA 類）
 - c-2. Endangered (EN) 絶滅危機（絶滅危惧 IB 類）
 - c-3. Vulnerable (VU) 脆弱（絶滅危惧 II 類）
 - d. Lower Risk (LR) 低リスク
 - d-1. Conservation Dependent (LRcd) 保全対策依存
 - d-2. Near Threatened (LRnt) 準絶滅危惧
 - d-3. Least Concern (LRlc) 軽度懸念
 - 1-2. Data Deficient (DD) 情報不足
2. Not Evaluated (NE) 未評価

IUCN Red List

<http://www.iucnredlist.org/>

<http://www.iucn.jp/protection/species/redlist.html>

環境省レッドリスト

http://www.biodic.go.jp/rdb/rdb_f.html

熊本県レッドデータブック（2009年改訂版）

<http://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/44/rdb2009.html>

（5）外来種 alien species, introduced species

外来種（外来生物，帰化種）とは，たとえばカミツキガメのように，もともとその地域にいなかったのに，人間活動によって外国（または国内の別の地域）から入ってきた生物のことを指す。

ただし，同じ日本の中にいる生物でも，例えばカブトムシ（本来は本州以南にしか生息していない）が北海道に持ち込まれるなど，日本国内のある地域から元々いなかった地域に持ち込まれた場合もある．この場合も，外来種とするのが一般的である．

動物，植物を含め，現在，日本には，明治時代以降に日本に入ってきたもの

だけでも、約 1900 種の外来種（外国からの外来種）が定着していると考えられている。その中には、ブラックバスやのマンギースのように生態系に深刻な影響をもたらすものも少なくない。

※ 外来種が与える影響

- (1) 捕食や競争，寄生生物の持ち込みを通じて在来種を脅かす
- (2) 在来種と交雑して雑種をつくり，在来種の純系を失わせる（遺伝子汚染）
- (3) 生態系の物理的な基盤（土壌環境など）を変化させる
- (4) 人に病気や危害を加える
- (5) 産業（農業・林業・漁業など）への影響

※ 進入経路の例（これがすべてではない！）

- (1) 緑化に伴う侵入（外来牧草など）
- (2) 外国産緑化樹種の里山等への侵入
- (3) 輸入された飼料や穀物と共に侵入（雑草や害虫など）
- (4) 導入牧草の逸出
- (5) 飼育動物の逸走や遺棄
- (6) 天敵としての意図的な導入
- (7) 種苗としての放流（水生生物）
- (8) 旅行者や貿易による侵入（衣類などに付着・船体付着・バラスト水など）

外来生物法（**特定外来生物**による生態系等に係る被害の防止に関する法律）

<http://www.env.go.jp/nature/intro/>

外来生物による，生態系・身体・農林水産業への被害を防止し，生物の多様性の確保，人の生命・身体の保護，農林水産業の健全な発展への寄与を通じて，国民生活の安定向上を目的として 2005 年に施行された法律。正式には「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」といい，特定外来生物が生態系与える被害の防止に重点が置かれている。2016 年 10 月現在，哺乳類 25 種，鳥類 5 種，爬虫類 21 種，両生類 15 種，魚類 24 種，クモ・サソリ類 7 種，甲殻類 5 種，昆虫類 9 種，軟体動物等 5 種，植物 16 種の合計 132 種の特定外来生物が指定されており，「**飼養等**」（飼育・栽培・保管・運搬など）が禁止され，**罰則もある**。

世界の外来侵入種ワースト 100

<http://www.iucn.jp/protection/species/worst100.html>

ワカメ・コイ・イエネコなどもリストアップされている。

(6) **ミティゲーション** mitigation

ミティゲーションとは，元々，「和らげる，緩和する」という意味。最近では環境関連で用いられ「環境緩和」と訳されることが多いが，いい訳ではない。

開発等により環境への影響が生じる場合に、その影響を未然に防いだり（開発等の中止を含む）、影響をできるだけ少なくしたり、失われる環境と同じだけの環境を新たに創造するなどの対策をいう。

（7）生物資源の持続的利用 Sustainable use of bioresources

我々人類は、ヒトという動物種であり、他の多くの動物と同じように、野生の動植物を採集・狩猟・漁獲して生活してきた。特に、農耕の開始された新石器時代までは、すべての人類は狩猟採集社会で暮らしていたのである。現在でも、漁業の大部分は野生種を対象としているし、野生生物起源の薬品も少なくない（**遺伝資源**）。このような**生物資源**は、化石資源と違って再生可能であり、賢明な利用を行えば、半永久的（持続的）に利用することができる。

野生動物の利用をタブー視する人も少なくはないが（例えば、クジラ問題）、その一方で、特定の野生動物が増えすぎて生態系や農林水産業に悪影響を与えている事例も少なくない。野生生物利用の是非はともかくとして、我々は生物資源を有効かつ持続的に利用する技術を開発する必要がある（**生物資源の賢明な利用、持続的な利用**）。また、野生生物の個体数を保護増殖、あるいはコントロールする技術も必要である。この章では、生物資源管理の実例と順応的管理を解説する。

（8）共有の悲劇 The tragedy of the commons（詳細は、第3章）

生物資源の管理において最も大きな問題は、生物資源の多くには所有者がないことである。例えば、海を泳ぐ魚は誰のものでもないし、ジャングルの薬草は誰の管理下にもない。このように、**多数者が利用できる共有資源が過度に利用されること（例えば、乱獲）によって資源の枯渇を招く現象**を共有の悲劇（共有地の悲劇、コモンズの悲劇）という。元々は、経済学における法則である。

広い意味で、地球環境問題も共有の悲劇として捉えることができる。大気や水、海などは「みんなのもの」なので、みんなが好き勝手に利用することで、資源が枯渇し、また環境悪化が生ずるのである。このような「共有の悲劇」を防ぐには、財産権を定める（漁協などに共有地利用の優先権を与え、その代わりに管理させる）、適切な規制をする、受益者から環境税などを徴集するなどの方法がある。

<具体例>水産資源の**持続的利用**

基本的に漁業は原始的な（狩猟採集の段階にある）産業である。しかし、きちんと管理できれば持続可能な（永久に利用できる）投資のほとんどいない産業でもある（ただし、現在の漁業は投資の過大な産業になっている）。さらに、漁業が健全に行われている海域（持続可能な漁業が行われている海域）では、漁業の対象にならないような生物も豊富である（生物多様性が高い）。その意味で、漁業は「最も自然と密接に結びついた、自然共存型の産業」である

と言える。

農業と漁業の違い

- ・ 農業：1. 特定の地域を個人または少人数で管理するので、耕地や作物の所有者が明確
2. 肥料や作物の取り入れなどはその地域内に限られる（閉じた系）
- ・ 漁業：1. 漁業権等はあるものの養殖を除けば所有者が曖昧 → 乱獲などが起き易い（共有の悲劇）
2. 魚貝類は移動する、また養殖で多量の餌を与えると周囲まで影響する（開いた系）

(9) 順応的管理 adaptive management

20 世紀後半になると、人間活動により生物資源の枯渇や環境の悪化は深刻化し、人類の存続を脅かすようになってきた。こうした問題に対処するために、科学的な現状認識のうえに成り立ち、生物資源や生態系を管理するための新しい考え方や手法が提案されるようになった。

例えば、シミュレーションによる生態モデリングが、個体群や群集、生態系の動態予測と管理に役立てられるようになってきた。しかし現状では、モデルの予測や結論の信頼性を評価する客観的な方法が確立されているとはいえない。特に、管理対象が生態系など多くの不確定要素を含む場合は、モデリングによる正確な予測は困難である。

そこで、具体的な管理の場面では、順応的管理という考え方が導入されている。これは、地域の開発や事業を実施する場合、モニタリングによって計画の検証を行い、それによって計画を調整し、事業をよりよい方向に導くものである。順応的管理の原理は、生産管理などに用いられる PDCA サイクル (Plan→Do→Check→Act→Plan→) と同じである。順応的管理では、「計画作成 (Plan)」→「対策実施 (Do)」→「調査・評価 (Check)」→「予測・改善 (Act)」→の順で行われる。

なお、順応的管理の実行には、モニタリングを行い、その結果を分析する体制を整えることに加えて、いったん下した計画決定や資源管理の組織、予算の使い方を変更するなど、社会的に柔軟な体制を構築することが重要である。

- ・ **モニタリング**：開発や事業の影響を**実施中や実施後**に監視・評価すること。
ちなみに事前評価を**アセスメント**という。

(10) 予防原則 precautionary principle

化学物質や遺伝子組換えなどの新技術などに対して、人の健康や環境に重大かつ不可逆的な影響を及ぼす恐れがある場合、科学的に因果関係が十分証明されない状況でも、規制措置を可能にする制度や考え方のこと。

1992年の国連環境開発会議（UNCED）リオ宣言は、原則15で予防原則について以下のように記している。「環境を保護するため、予防的方策（precautionary approach）は、各国により、その能力に応じて広く適用されなければならない。深刻な、あるいは不可逆的な被害のおそれがある場合には、完全な科学的確実性の欠如が、環境悪化を防止するための費用対効果の大きい対策を延期する理由として使われてはならない」。これは、地球温暖化対策などで、科学的な不確実性を口実に対策を拒否または遅らせる動きの牽制とする意味合いもある。

なお、過去においては、予防原則が適用されなかったために深刻な被害が出た「公害」も少なくない（水俣病、薬害エイズ事件など）。

(1) 潮間帯とは

潮の干満によって干出・冠水を繰り返す地域。干潮時は干出して陸となり、満潮時は冠水して海底となる。(2①~⑤)

潮上帯 - 潮間帯 (高潮帯 - 中潮帯 - 低潮帯) - 潮下帯

・干満の原動力… 主として月の引力によるが、太陽の引力も影響する。地球と月と太陽が一直線に並んだとき (新月・満月)、引力は最大となり (大潮)、地球と月と太陽が垂直のとき (半月)、引力は最小となる (小潮)。

・干満の程度 … 潮の干満は地形や海流の影響を受ける。日本に限れば、太平洋側では干満の差が大きく、日本海側では小さい。また、湾奥部では干満の差が大きい (有明海や八代海、黄海の奥部が典型的な例)。

・干満の差は、日本では有明海が最大で約 5 m、韓国インチョンでは 10 m 近くにもなる。なお、世界で最も干満の差が大きいのは、カナダのファンディー湾で最大 15 m を越える。(2⑥)

・潮間帯は、上部から大潮最大満潮線、大潮平均満潮線、小潮平均満潮線、平均潮位、小潮平均干潮線、大潮平均干潮線、大潮最低干潮線の七つの潮位が区別される。

※ ちなみに、水深 200 m 以浅を浅海、200 m 以深を深海という。「沿岸」は浅海と同じ意味で使われることもある。なお、大陸棚は、水深約 100~200 m を指すことが多い。

※ 沿岸域は、陸から多量の栄養塩が供給されるため、生物生産性・生物多様性が高い海域である (3①②)。しかし、平坦で温暖な地域であるため、世界人口の 4 分の 3 が集中し、人間生活の影響を強く受ける海域でもある (2⑦)。

(2) 潮間帯の分類

a. 上部 (高潮帯)・中部 (中潮帯)・下部 (低潮帯)

・ 潮間帯上部は干出時間が長く、潮間帯下部は干出時間が短い。

→ 潮間帯上部は、一般に物理環境が厳しい (高温・低温や乾燥の影響が大きい)

(例) 転石地に生息するホンヤドカリは、北海道では夏に、九州では冬に繁殖する。これは、九州では夏場の転石地は高温になり、繁殖に適さないためと考えられる。

b. 潮間帯の種類 (3③)

- ・ 潮間帯は底質によって、大まかには岩礁・転石・干潟に分類できる。さらに干潟も底質によって、大まかに砂質干潟・砂泥質干潟・泥質干潟に分類できる。
- ・ **岩礁** (岩礁潮間帯) : 岩盤からなる潮間帯で、底質は移動しない
- ・ **転石** (転石潮間帯) : 転石からなる潮間帯で、底質はあまり移動しない
- ・ **干潟** : 泥・砂・礫からなる潮間帯で、底質の移動性が高い (流動性あり)

ただし、海岸線は固定された線ではない。氷期には海水中の水分が高緯度地帯の氷として固定するため、海水量は減少し、海面は低下する。一方、間氷期には氷が融解して、海水量は増加し、海面は上昇する。第四紀更新世にはこうした昇降を繰り返し、そのときの海面低下の最大値は今日の海面から約 100m とされている。海面変化の痕跡は、各地に見られる海岸段丘、河岸段丘、海底地形などに認められる。近年では 1890 年頃を境にして平均海水面が目立って上昇し始め、年 1.1mm 前後の割合で上昇を続けている。20 世紀後半、南極の氷は成長段階にあるといわれ、海面上昇の原因は、気候の温暖化による北半球の大陸氷河 (氷床) の融解にあると考えられている。

なお、縄文時代には海面の上昇とそれに伴う海岸線の前進が急激に起きた (**縄文海進**)。縄文時代前期の約 6,000 年前がピークで、温暖化により北欧などの氷河が溶け、海面は今より 3~5m (熊本では 5m) 高かったと考えられている。なお、最終氷期 (約 1 万 8,000~1 万 6,000 年前) には逆に海退が起き、海面は現在の海拔マイナス 100m 以下であったとされている。(3④⑤)

(3) 海洋生物の生活形

a. 生活様式 (4①)

- ① **プランクトン** (浮遊生物) … 移動力が全くないか、弱いため、水に浮いて生活する生物の総称。干潟に生息する動物の多くはベントスだが、幼生は一時的にプランクトンとして生活するものが多い。
- ② **ネクトン** (遊泳生物) … 移動力が大きく、水の動きなどに逆らって、水中を自由に遊泳して生活する生物の総称。干潟では、河口や潮だまりで生活する魚類や満潮時に干潟に入ってくる魚類などがこれにあたる。
- ③ **ベントス** (底生生物) … 水底で生活する生物の総称。干潟では、貝類・多毛類・甲殻類が主なメンバー。なお、多くの動物ベントス (アサリやガザミなど) は浮遊幼生を放出するため、幼生はプランクトンである。

b. 生活史 … 繁殖特性 (繁殖開始齢・繁殖期・産卵数など) や寿命といった一生を生きる上でのスケジュールを生活史という。(4②)

- ※ **r 戦略と K 戦略** : 一回繁殖か多数回繁殖か、大卵少産か小卵多産か?
- ※ **bet-hedging 戦略** (二股かけ戦略) : 変動の激しい (予想のつかない) 環境

では、危険を分散させるために、エネルギー投資（繁殖等）を分散して行う。

☆**トレードオフ理論**：2つ以上の形質が互いに拮抗し合う場合、それらが同時に最適な状態になることはあり得ない。このような形質間の拮抗関係をトレードオフという。卵サイズと卵数はトレードオフの関係にある。また、採餌によって得ることのできるエネルギーは限られているので、これを成長と繁殖にどのように分配するかもトレードオフの関係にある。

(4) 海洋動物の食性

- ① **肉食・腐肉食** … 餌動物を襲って食べる種類、あるいは動物の死骸に集まる種類（マダコ、アラムシロガイ、ガザミ、トビハゼなど）。
- ② **藻類食・植物食（藻食・草食）** … アオサやアマモなどの海藻・海草や、岩の表面の微小な藻類を食べる種類で、大部分の巻貝やウニ類などがこれに相当する（スガイ、アワビ、アメフラシなど）。
- ③ **懸濁物食（濾過食） suspension feeding, filter feeding** … 水中の微小なプランクトンや有機懸濁粒子（**セストン seston**）を濾し集め、食物としている種類で、大部分の二枚貝、多毛類の一部、尾索類などがこれに相当する（アサリ、ツバサゴカイ、マボヤなど）。
- ④ **堆積物食 detritus feeding, deposit feeding** … 懸濁物や植物の破片が沈降・堆積したものや、底生珪藻、底質中の細菌類（これらを総称して**デトリタス**という **detritus**）、あるいは泥そのものを食物とする種類。大部分の多毛類や、一部の二枚貝、スナガニ類などがこれに相当する（フサゴカイ、サクラガイ、コメツキガニ、ムツゴロウなど）。

※ その他（詳細は、後述）

単細胞藻類や化学合成細菌を体内に共生させ、その生産物の一部を栄養源とするもの。**サンゴ**礁を形成する造礁サンゴの大部分は体内に微小な単細胞藻類である**褐虫藻**（**zooxanthella**）を共生させて生きている。その他、二枚貝のシャコガイ科の外套膜でも多量の褐虫藻の共生が確認されている。

一方、深海の熱水噴出口周辺に生息するハオリムシ、シロウリガイ、シンカイヒバリガイは、メタンや硫化水素によって化学合成を行う**化学合成細菌**を鰓に共生させている。

なお、懸濁物を**セストン**、堆積物を**デトリタス**という。一般に懸濁物食の動物は砂地や岩礁に多く、堆積物食の動物は泥地に多い。

河口域では、淡水と海水が混合するが（汽水）、このような場所では、水塊中の微細粒子が塊を作って沈降しやすいという物理的特性がある。これにより、河口域では、大量の懸濁物（セストン）が堆積物（デトリタス）となり干潟に供給される。

(5) 食物連鎖 (生食連鎖と腐食連鎖)

食物連鎖とは、生物同士の食べる・食べられるの関係。食物連鎖によって炭素や有機物などエネルギーと物質が循環する。例えば「植物を食べるシマウマをライオンが食べる」のように生物が“食”を通じて一連の鎖でつながれている関係が食物連鎖である。しかし必ずしもこの流れは一本の鎖ではなく、互いに交差したりした相互関係も持ち、複雑に関係しているため食物網ともよばれる。

食物連鎖はおおまかに生食連鎖と腐食連鎖とに分けられる。

- ・ 生食連鎖 … 植物 (植物プランクトン・海そうなど) の生産者を起点する食物連鎖。文字どおり生きたものを食べるのが**生食連鎖**で、これは主として**緑色植物**が**無機物**から有機物を合成することから始まる。

* 生食連鎖の流れ

生産者 (緑色植物・化学合成細菌) → 一次消費者 → 二次消費者 → …

生食連鎖は、文字どおり生きたものを食べる流れである。しかし、実際には食べられないまま死亡する動植物がほとんどのため、ほとんどの生態系で、生食連鎖より腐食連鎖の方が主流である。しかし生食連鎖のほうが目にみえてわかりやすいので、一般に食物連鎖というと生食連鎖のイメージが強い。

- ・ **腐食連鎖** … 落ち葉、小枝、根、幹、動物の遺体などから始まる食物連鎖。生物遺体などの**有機物**が**分解者** (細菌・菌類) に分解され、その後、動物が分解者や細分化された有機物を取り込むことで腐食連鎖は進行する

* 腐食連鎖の流れ

生物遺体など → 細菌・菌類 (カビ・キノコ) → 動物 …… 腐食連鎖
↓
バクテリアや菌類によって無機物に → 生産者が利用 …… 生食連鎖

- ・ 例えば、枯木はセルロースに富むため多くの動物は利用できないが、分解者や体内に分解者が共生するシロアリなどによって利用される。その結果、枯木は細菌や菌類が豊富な粒子となり、他の動物が利用することが可能になる。これらの動物は、細菌や菌類を食べているといってもいい。
- ・ なお、分解者は有機物を無機物に還元するが、この無機物は植物に利用されることで、再び生食連鎖へ取り込まれる。
- ・ ちなみに、人間が出した**生ゴミ**や**家庭排水**から始まる連鎖も**腐食連鎖**である。なお、下水処理場は分解者の力を借りて有機物を分解する施設である。
- ・ 水中では有機物 (微小なプランクトンから大型の動植物まで) が分解される過程で、多くの有機物粒子が生じるが、これらが水中に懸濁したものを**セス**

トン、水底に沈んだものを**デトリタス**という。これらの有機物（セストン・デトリタス）も分解者が豊富で、水棲動物（イソギンチャク、貝類、甲殻類、魚などの水棲動物の重要な食物源になっている。

(6) **生物濃縮**（4③～⑥）

- ・ 化学的に安定で分解されにくい物質が、食物連鎖の過程を経て濃縮されること。例えば、人工的に作り出された除草剤や殺虫剤などの中には、生体内で分解されずに残留しやすい物質が少なくない（例えば、**DDT**、**ダイオキシン**、**PCB**、**有機水銀**、**TBT**）。このような物質は、低濃度では毒性が弱くても、**食物連鎖の過程を経て濃縮され、致命的な毒性を示す**場合が知られている。
- ・ 生態系の高次の消費者になる程、生物濃縮による影響が大きい。生物濃縮の結果、キーストン種（P. 19）である最高位の捕食者が激減すると、生態系の群集構造が大きく変化する。
- ・ 水俣病は、生物濃縮による公害病である。水俣湾に排出された水銀が環境中の微生物によってメチル化されて有機水銀となり、湾内の生物に取り込まれて蓄積した（植物プランクトン→動物プランクトン→無脊椎動物・小魚→魚→ヒト）。そして、最終的には、最高位の消費者であるヒトが中毒症状を起こしたのである。
- ・ ちなみに、フグやイモリの毒や季節的な貝毒も、生息地の細菌やプランクトンの毒を生物濃縮によって蓄積したものである。そのため、これらの動物を人工飼料で飼育（養殖）すると無毒になる場合が多い。

(7) 個体群・群集・生態系

生態学はいくつかの異なった**階層**で研究が行われる。一般的には、**個体・個体群・群集・生態系・景観**の5つに区分される。

1. 個体 individual：生物の最小単位。
2. 個体群 population：特定の地域に住み、ある程度のまとまりを有する1種類の生物の個体の集合（群れ）。例：高崎山のニホンザルの3つの個体群。
3. 群集 community：一定の空間に住む様々な生物の個体群の集合。植物の場合は、群落ということが多い。例：野釜島の貝類群集、緑川河口の湿地群落。
4. 生態系 ecosystem：ある程度閉じた（まとまりのある）地域に生息する生物と、その生息環境。例：ガラパゴス諸島の生態系。
5. 景観 landscape（陸域）と aquascope（水域）（生物圏 biosphere）：単なる景色を意味するのではなく、地形や植生配置および近隣の多様な生態系を含む複合的な地域。例：白川流域の景観

【3】底生生物 Benthos

No. 5, 6

(1) ベントスの生活型

ベントスとは水底で生活する生物の総称。底生珪藻、海藻、海草、底生魚類も含まれる。ただし、ベントスとプランクトンの境界にあるものも存在する。例えば、多くのヨコエビ類は、潮流に乗って移動する。また、大部分の底生無脊椎動物は、個体発生の初期に遊泳期を持つ（幼生プランクトン）。一方、底生魚類の多くは遊泳力があり、ベントスとネクトンの境界にある。

(1) 系統によるベントスの分類

- a. 動物ベントス：貝類，多毛類，甲殻類，棘皮動物，有孔虫，介形虫類，線虫類など
- b. 植物ベントス：海草（アマモなどの種子植物），海藻（ワカメなどの藻類）

(2) 大きさによるベントスの分類

- a. **マクロベントス**（小型底生生物）：1 mm 以上（肉眼で識別可能な貝類・多毛類・甲殻類など），特に大型のものは，**メガベントス**（大型底生生物）と呼ぶこともある（大型底生魚など）
- b. **メイオベントス**：0.1～1 mm（橈脚類、等脚類、有孔虫、線虫類など基質粒子の間隙に生活する小型多細胞動物）
- c. **マイクロベントス**：0.1 mm 以下（細菌，藍藻（シアノバクテリア），原生生物（繊毛虫など），単細胞藻類（珪藻など）など）

(3) 移動能力によるベントスの分類

- a. **移動性**ベントス mobile benthos (animals)：多くのカニ類，ゴカイ類，ウニ類，ナマコ類
- b. **固着性**ベントス sessile benthos (animals)：多くのイソギンチャク類，サンゴ類，イガイ類，フジツボ類，ホヤ類など

(4) 生活場所によるベントスの分類

- a. **表在性**ベントス epifauna (epibenthos)：基質（岩盤・転石・砂泥）の表面に生息（ウニ，フジツボ，巻貝など）
- b. **埋在性**ベントス infauna (endobenthos)：基質内部に生息する（多くの二枚貝，巣穴を掘る甲殻類など）

(2) 食性

「海洋動物の食性 (P. 12)」で解説したように、動物ベントスの食性には、肉食・腐肉食、藻類食・植物食、懸濁物食、堆積物食などがある。しかし、実際のところ、何を食べているかは、直接観察でも、消化管内容物調査でも難しい（例えば、プランクトンは目に見えないほど小さく、また、一部の餌はすぐに消化されてしまう。消化管内から砂などが多量に出てくる場合があるが、これは餌ではなく、餌と一緒に取り込んだものである）。

生物の食性を知る方法の一つとして、**安定同位体比分析**という方法がある（配布プリント「安定同位体を用いた干潟食物連鎖網の解明」）。これは、餌生物から捕食者へ栄養段階が1つ上がると、炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) が約 1‰ (1/1000) , 窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}$) が約 3‰ (3/1000) 濃縮されることを利用したものである。なお、同じ食物連鎖で連なっている各生物体内の $\delta^{13}\text{C}$ は近い値を示すことや、栄養起源にかかわらず同じ栄養段階にあるものでは $\delta^{15}\text{N}$ が同じような値を示すことがわかっている。これらのことから、様々な生物を、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ の二次元で表すことによって、複雑に入り組んだ食物網から、栄養起源を同じくする一本の食物連鎖系列を分離・認識することができ、食性はもちろんのこと、生態系の栄養動態を理解することに大いに役立つ。

安定同位体比を用いた研究の1つに **Kuwaie et al. (2008)**がある (No. 5) 。これは、ヒメハマシギ (小型の水鳥) の糞、餌となる可能性のある底生動物、デトリタス (バイオフィーム: 干潟の表面に形成される微生物の豊富な層) の安定同位体比を調べ、ヒメハマシギが、場所によっては、底生動物よりもバイオフィームを餌としていることを示した研究である。

(3) ベントスの生活史

(1) 幼生の発生・発達様式

- a. **浮遊発生**: 幼生がプランクトンとして、水中で浮遊生活をおくるもので、大多数の海洋ベントスは、この発生様式を持つ。浮遊期にプランクトンなどの餌を食べながら成長するプランクトン栄養型と、摂食せずに卵黄のみを栄養源として成長する卵黄栄養型に分けられる。
- b. **直達発生**: 浮遊幼生期を持たず、胚発生および変態が卵内で進行するタイプ。孵化時の子は、基本的には親個体と同じ形態や構造を持ち、そのまま底生生活を始める。ヨコエビ類、ウミホタル類など。ホソウミニナやアマガイなどの巻貝も直達発生である。
- c. **胎生**: 初期発生のすべてが母体内で進行するタイプ。胚は親から栄養を受けながら発生する。子は親と同じ形態・構造をもつ段階になってから親の体外に出て、そのまま底生生活を始める。胎生にはエイ類があり、母体から子へ栄養補給がある。一方、親が卵を体内に保持して孵化まで保育するものは、**卵胎生**と呼ばれる。卵胎生で、子は親とは直接繋がってはおらず、卵黄を栄養源に胚の発生が進行する。卵胎生は、淡水巻貝

(タニシやマシジミなど)では例があるが、海産ベントスには見られない。

なお、幼生の発生・発達様式は、卵サイズ・産卵数と密接に関係している (No. 3②)。一般に、プランクトン栄養型発生のベントスは小卵多産、直達発生型は大卵小産であり、卵黄栄養型はその中間となる。例えば、干潟に生息するヤマトカワゴカイは浮遊発生で、卵径 $130\sim 170\mu\text{m}$ の卵を数万~数十万個産む。一方、近縁 (同属) のヒメヤマトカワゴカイは直達発生で、卵径 $200\sim 250\mu\text{m}$ の卵を数千しか産まない (No. 6)。

(4) 共有の悲劇 The tragedy of the commons (資料「競争社会から共生社会に」)

生物資源の管理において最も大きな問題は、生物資源の多くには所有者がいないことである。例えば、海を泳ぐ魚は誰のものでもないし、ジャングルの薬草は誰の管理下にもない。このように、多数者が利用できる共有資源が乱獲されることによって資源の枯渇を招く現象を**共有の悲劇** (共有地の悲劇, コモンズの悲劇) という。元々は、経済学における法則である。

広い意味で、地球環境問題も共有の悲劇として捉えることができる。大気や水、海などは「みんなのもの」なので、みんなが好き勝手に利用することで、資源が枯渇し、また環境悪化が生ずるのである。このような「共有の悲劇」を防ぐには、財産権を定める (漁協などに共有地利用の優先権を与え、その代わりに管理させる)、適切な規制をする、受益者から環境税などを徴集するなどの方法がある。

ゲーム理論による「共有の悲劇」の解釈

ゲーム理論とは、社会や自然界における複数主体が関わる意思決定の問題や行動の相互依存的状況を数学的なモデルを用いて研究する学問。ゲーム理論の対象は、あらゆる戦略的状況 (自分の利得が自分の行動の他、他者の行動にも依存する状況) である。

共有の悲劇を回避するのが難しい理由は、ゲーム理論によって示すことができる。例えば、資源を浪費する個体 (遺伝子) をタカ派、持続的に資源を管理する個体 (遺伝子) をハト派とすると、総合得点 (適応度) が計算できる。

ただし、総合得点は頻度依存的 (タカ派とハト派の割合で異なる) ため、例えば、ハト派ばかりの集団では、タカ派が有利となり、このときがタカ派の得点が最大となる。したがって、タカ派やハト派の個体 (遺伝子) が集団からいなくなることはない (タカ派やハト派の性質は程度の変化はあっても残る)。

(1) 岩礁潮間帯・転石潮間帯の特徴

干潟が流動性のある基質からなり、生物が簡単に砂泥中に埋没できるのに対し、岩礁は硬く、多くの生物はその表面のみに生息する。したがって、生育・生息場所は、基本的には二次元である。また、**岩礁表面は温度・湿度の変化が激しく、直射日光も当たるので厳しい環境**と言ってよい（干潟のように、埋在して生活する生物はほとんどいない）。もちろん、岩礁にもタイドプールやクレバス（岩の割れ目）があり、そこは比較的穏やかな環境である。

一方、転石は、台風などの荒天時にはかなりの距離を移動する。また、転石下は直射日光が当たらないため、岩礁に比べ、穏やかな環境と言える。もちろん、転石の下の底質により（岩盤か、砂泥か）、そこに生育・生息する生物は大きく異なる。

他の海洋環境に比べれば、岩礁潮間帯の生態研究は比較的進んでいる。高密度に生息する生物群集に簡単に近づけるのに加えて、環境が二次元で、温度や干出時間などの環境勾配が単純であることが多く、さらに、野外実験も比較的容易だからである。一方、**転石潮間帯は環境が複雑**で、多様な生物が生息している（転石の大きさや形状・密度、転石の面（上面か、下面か）などの違いで生物相が異なる）。しかし、環境の把握が難しく、生態的研究はあまり進んでいない。

なお、転石潮間帯は、干潟と岩礁潮間帯の双方の特徴を有する。すなわち、転石表面は岩礁的性質を有し、転石下に堆積した砂泥は干潟的性質を有する。

(2) 種間相互関係

(1) 直接作用と間接作用

- ・ 群集 community: 同じ場所に生息する異なる種類の生物集団（異種の個体群）の集合。植物の場合は、群落ということが多い。
- ・ 異種間の相互作用は生態的地位の観点から、捕食(+-)・寄生(+/-)・競争(--)
- ・ 片利共生(+0)・相利共生(++)などに分けることができる。
- ・ 種間相互作用には、捕食や競争、共生などの直接作用以外に、他種を介する**間接作用（間接効果）**がある。例えば、植物-植食者-捕食者という関係において、捕食者が植食者を捕食すると、植食者が減少するので植物が増加する。このとき、捕食者は植物に正の間接作用を及ぼしているという。
- ・ 間接作用の例として、人間がラッコを乱獲したために、海藻が激減した例がしばしば引用される（7①）。これは、海藻→ウニ→ラッコの食物連鎖において、ラッコが激減したために、海藻を食べるウニが増加した結果である。ちなみに海藻が激減した結果、魚が減り、それを餌とするハクトウワシやアザラシまで減少した。
- ・ 植食者AとBが競争関係にあるとき、植食者Aを好んで捕食する捕食者が進入すると、植食者Aが減少するため、植食者Bが増加する。この現象も捕食

者による間接作用である。

(2) 食物連鎖

- 有機物を生産する植物などを生産者、生産者を捕食する一次消費者、それを捕食する二次消費者、三次消費者…、 n 次消費者、さらに遺体や排泄物を分解する分解者というように、群集の生物は栄養段階で分けることができる。
- 分解者とは有機物を無機物に分解する生物で、細菌と菌類がこれに当たる。シロアリ・ミミズ・モグラなどが分解者とされることがあるが、これは間違いで、彼らは消費者である。
- 食物連鎖とは、生物同士の食べる・食べられるの関係（捕食・被食の関係）を指す。食物連鎖によって炭素や有機物などの物質やエネルギーが循環する。例えば「植物を食べるシマウマをライオンが食べる」のように生物が“食”を通じて一連の鎖でつながれている関係が食物連鎖である。しかし必ずしもこの流れは一本の鎖ではなく、互いに交差したりした相互関係も持ち、複雑に関係しているため食物網ともよばれる。

(3) 群集の多種共存機構

a. キーストーン種（中枢種）

- 競争と捕食は、岩礁潮間帯の種組成や多様性に強く影響する。特に、食物連鎖の最高位捕食者は重要で、実験的にこれらの種を取り除くと群集構造が大きく変化する。そのため、これらの種は「中枢種（Keystone species）」と呼ばれる。
- 野外群集では資源が利用しつくされていない場合が多く、この場合は種間競争が弱いために多くの種の共存が可能となる。このような非平衡の共存が成立する条件は、(I) 捕食（キーストーン捕食者）や中規模の攪乱により競争上位種の個体数が抑制されているか、(II) 競争関係にある種間で優劣関係が時間と共に逆転するかのどちらかである。
- 岩礁潮間帯での研究により、捕食者の存在により競争の激化が妨げられ、種多様性が維持されていることが明らかになった。例えば、北太平洋の岩礁でヒトデを除去すると二枚貝のイガイが岩礁を覆い尽くし、種多様性が低下する。このように群集の種構成に強く影響を与える種を中枢種（keystone species）という。中枢種の多くは、食物連鎖の最高位捕食者で、実験的にこれらの種を取り除くと群集構造が大きく変化する（8③）
- 岩礁では肉食性のヒトデや巻貝が中枢種となることが多い（7②③）。また、北太平洋の海中林（ケルプ林）ではラッコが中枢種となっている。

海中林（ケルプ林）… コンブ類・大型褐藻類をケルプという。ケルプ林は、主として夏季水温が 20℃以下の温帯海域の水深 20～40m の岩礁上に生育する。

b. 帯状分布 zonation (7④⑤)

- 動植物の分布が、環境勾配に従って入れ替わっていき、それぞれの種の分布域が限られた狭い範囲に層をなすことを**帯状分布（構造）**という。岩礁潮間帯では帯状分布（構造）が顕著である。もちろん、その分布様式と種組成は気候条件・潮の干満差・波浪の強さなどによって異なるが、地理的に離れた場所でも類似した環境には類似した生物種が分布している。
- 一般に、ある生物の分布の上限は物理的条件（温度や塩分、乾燥の度合いなど）で決まり、分布の下限は生物的要因（捕食や競争）で決まることが多い。このことを明らかにするためには、ある種の上限・下限に生息する種を除去してやればよい。その種の分布が拡大すれば、生物的要因で分布が狭められていたことになるし、分布が変化しなければ物理的要因で分布が決まっていたことになる。また、物理的条件を緩和することで（例えば、覆いをつけて日光を遮る）、分布の制限要因を直接知ることもできる。（8④⑤）
- フジツボとチシマフジツボの生息場所の決定要因（7⑤）：フジツボの幼生は、大潮平均高潮線～平均潮位に着底するが、下部の個体はチシマフジツボとの競争に負けて死亡する。一方、チシマフジツボの幼生は潮間帯下部にも着底するが、高温・乾燥等により上部の個体は死亡する。
- 図 4.4 (No. 8①)：捕食者（ヒトデ>チジミボラ>カサガイ）にも、被食者（イガイ>フジツボ>イワフジツボ>海藻）にも、競争力に優劣があり、その結果、どの種が増えるか減るかは、直接作用だけでなく、間接作用が複雑に働き、予想が難しくなる。
- 図 4.3 (No. 8②)：ヨーロッパタマキビは、アオサやアオノリを好んで食べる。本種をタイドプールから完全に除去すると、アオノリが優占し、海藻の種多様性は下がる。一方、本種が増えすぎると、タマキビがすべての海藻を食べ尽くすため、再び海藻の種多様性は下がる。このように、**中規模の攪乱で海藻の種多様性は増加した**（グラフ左）。ただし、タマキビ除去実験を開けた岩礁で行ったところ、本種を完全に除去してもアオノリは優占せず、海藻の種多様性は増加する（グラフ右）。

< 中規模攪乱説 >

中規模の攪乱で、生物多様性が高くなる（多種が共存できる）とする説。攪乱の程度が小さいと、競争に強い特定の種が独占するようになり、種多様性は低くなる。中規模の攪乱では、どの種も優占種になることはできず、種多様性は高くなる。攪乱の程度が大きくなると、攪乱に強い種か、オポチュニストの種しか生き残れず種多様性は低くなる。

c. トップダウンとボトムアップ

- 群集内における種間相互作用には、より高次の生物がより低次の生物に影響

する **top-down process** と、逆の **bottom-up process** がある。

- 中枢種のように捕食者が群集構造を決める場合はトップダウンである。一方、生産者である植物の種類や量が群集構造に強く影響するのであればボトムアップといえる。

(1) 干潟・塩性湿地・砂浜とは

- ・干潟 tidal flat : 砂泥や礫を底質とする潮間帯で、主として河口に形成される。河口には都市が発達することが多いので（河川の流域には平野が発達し、河口域には干潟ができる）、都市に身近な自然であり、「都市の原風景」と言われることがある。
- ・塩性湿地 salt marsh : シチメンソウやフクドなどの塩生植物の生育する、潮の満ち引きの影響を受ける海岸の湿地を指す。ただし、塩分が高いと多くの塩生植物は生育できないため、塩性湿地は主として、淡水の流入する河口や海岸の湧水地に見られる。塩性湿地は、塩分・温度・湿度が大きく変化し、また、洪水や波浪に晒される厳しい環境のため、特殊な植物しか生育できない。また、動物も塩性湿地特有の種類が多く見られる。
- ・砂浜 sandy beach : 環境省は、干出幅 100m 以内、干出面積 1ha 以内の海岸を砂浜と定義しているが、科学的根拠はない。むしろ、外洋に面した小規模な前浜干潟（後述）と後背地を「砂浜」と呼ぶ方が現実的である。

(2) 干潟

(1) 形成要因からみた干潟の種類 (9①)

- ・潟湖干潟（海岸より内側にできる）
- ・河口干潟（川が運んだ土砂が堆積）
- ・前浜干潟（海が運んだ土砂が堆積）

(2) 底質からみた干潟の種類

干潟の底質（砂泥）は、川や海から供給される。一般に、潮流の速い場所は砂質干潟となり、遅い場所は泥質干潟となる。

- ・砂質干潟 - 砂泥質干潟 - 泥質干潟

干潟の生物は、干潟の底質によって「すみわけ」ている場合が多い。

(例) スナガニ類 (9②)

砂地（コメツキガニ・ハクセンシオマネキ） - 砂泥地（チゴガニ） - 泥地（ヤマトオサガニ）

(例) 二枚貝類 (9③)

砂地（マテガイ・ハマグリ） - 砂泥地（アサリ・シオフキ） - 泥地（タイラギ・サルボウ）

(3) 干潟の機能と悪化

河口域は陸上から多量の無機物・有機物が供給されるため、生産性が高い。

- ① 生物生産性が高い(生物資源が多い) … 食料としての魚貝類だけでなく、新素材・薬品の原材料等としても重要。未知の遺伝資源。
(悪化) → 魚貝類の激減。海苔の不作。
- ② 生物多様性が高い … 海そう・貝類・水鳥など、干潟は生物の宝庫。特に有明海・八代海には特産種が多い。
(悪化) → 埋め立てや環境悪化による生物多様性の減少。外来種侵入による在来種の減少。外来種との交雑による遺伝子汚染。
- ③ 浄化能力が高い … 細菌によって有機物が分解され無機物になる(富栄養化の抑制)。酸素が豊富なため、有機物が完全に分解される。細菌によって浄化が行われるだけでなく、海苔や魚貝類の漁獲によっても海域から多量の栄養塩類が除去される。
(悪化) → 環境の悪化による浄化能力の低下(浄化細菌の減少)。底生動物の激減による底質攪乱・生物濾過機能の低下。漁獲の減少による富栄養化物質の増加。
- ④ 親水性 … 干潟は身近な自然である。潮干狩りやバードウォッチングなど、多くの人が干潟に集まる。
(悪化) → 干潟の減少、海岸の堤防設置、漁業権強化による市民と干潟との隔離(入浜権)。

(3) 塩性湿地(10①)

- ・ 植物(塩生植物): ヨシ、アイアシ、フクド、ハママツナ、シチメンソウ、ハマサジなど。塩生植物も塩分の高い場所では生育できないため、河口や海岸の湧水域(地下水の湧いている場所)に生育する。
- ・ 動物: アリアケガニ・クシテガニ・ハマガニ・ベンケイガニなどのカニ類、ヘナタリ類・カワザンショウ類・オカミミガイ類などの巻貝

潮の干満の影響を受ける区域を感潮域という。塩分の低い河川感潮域上部では、ヨシ・アイアシが優占して、密なヨシ原となり、他の塩生植物は少ない。一方、海岸では、高塩分に弱いヨシ・アイアシが繁茂しないため、背丈の低い塩生植物(フクド、オニシバなど)が多様な群落を形成し、動物群集もヨシ原とは異なっている。

(4) マングローブ(10②)

干潟に生育する陸生顕花樹木(被子植物)の総称。約12属60種。メヒルギ、ヒルギダマシ、オヒルギなど。熱帯と亜熱帯の沿岸の60~75%を占める。河口など淡水が流入する場所に分布する(温帯では塩性湿地、熱帯・亜熱帯で

はマングローブができる)。以下の特徴を持つ。

- a. 潮間帯湿地（干潟）に分布する。
- b. 耐塩性がある。組織内に塩分が入らないか，過剰な塩分を排出する生理的適応がある。
- c. 泥底は酸素が乏しいので，酸素は気根を通して直接空気から吸収する。
- d. 種子は木についたまま発芽する（胎生種子）。発芽種子は木から落下し，水の流れによって分布を広げる。

(5) 砂浜

砂浜に生育・生息する動植物の種類数は，多くはない。しかし，砂浜では，干潟と全く異なる生態系が成立しており，動物相も大きく異なっている。現在，砂浜の多くで，人工海岸化・海岸浸食が進んでおり，生物多様性の面からも，保全が急務である。

(5) メタ個体群

- ・ **メタ個体群**：個体群は孤立しているわけではなく，周辺の個体群との間で個体の出入りがあるのが一般的である。このような複数の個体群をひとまとめにしてメタ個体群といい，それぞれの個体群をサブ個体群（局所個体群）という（10③）。
- ・ **サブ個体群**で出生や生残がなくても，他のサブ個体群からの移動によって，個体群が維持されている場合も見られる。供給側のサブ個体群を source，受け入れ側のサブ個体群を sink という。例えば，東日本の岩礁に生息するイセエビが放出した幼生（プランクトン）のほとんどは無効分散で，成長・繁殖する前に死んでしまう。しかし，沖縄や西日本から放出された幼生の加入によって個体群が維持されていると考えられている。
- ・ 大きな個体群が source，小さな個体群が sink になることが多い。また，ガラパゴス諸島のような孤島では，大陸が供給源（source），島が受け入れ側（sink）になるのが普通である。
- ・ ただし，例外はある。マングローブに生息する巻貝のウズラタマキビの一種では，マングローブの森林が sink，孤立したマングローブが source になっている（10④⑤）。これは，マングローブの森林には寄生性のハエが多く，本種は森林内では繁殖できないためであると考えられている。
- ・ 近年，多くの干潟・塩性湿地で底生動物・塩生植物が激減しているが，原因を「**メタ個体群の崩壊（地域間ネットワークの喪失）**」とする研究者も多い。底生動物の多くは，生活史の初期にプランクトン幼生期を持っており，海流によって受動的に分散する。塩生植物の多くも，種子が海流によって運ばれ，移動分散する点で，底生動物と似ている。このように，多くの底生動物や塩生植物は，地域間で幼生や種子を交換することで，それぞれの個体群が成り立っている。このことは，仮に特定の生息地が良好であっても，周囲の生息地が消滅・悪化してしまえば，**多くの幼生・種子が無効分**

散となり，また，他の個体群からの幼生・種子の加入がないため，個体群が衰退することを意味する．したがって，それぞれ個体群の維持には，相互に関係する個体群のネットワークの維持が重要で，たとえ小さな生息地でもネットワークにおいて重要な役割を果たしている場合があるので十分な注意が必要である．

【6】藻場・サンゴ礁

No. 11, 12

(1) 藻場

(1) 藻場とは

藻場とは、沿岸域に形成される海藻・海草の群落のことである。海藻の藻場は、藻場を形成する主な海藻によって、**ガラモ場**（**ホンダワラ類**が優占）、**カジメ場**（**カジメ類**が優占）、**コンブ場**、**ワカメ場**などに分類される（11①②）。一方、海草の藻場では、アマモ類以外が優占することは少ない（アマモ場）。

海藻は海で生活する藻類（孢子で繁殖）で、**緑藻**・**褐藻**・**紅藻**の3種類に分けられる。緑藻は、緑藻植物門の藻類で、アオサ、アオノリなどが含まれる。紅藻は、紅藻植物門の藻類で、スサビノリ（海苔養殖の対象種）、アサクサノリ、テングサなどが含まれる。褐藻は、不等毛褐藻綱の藻類で、モズク、コンブ、ワカメ、ホンダワラ、ヒジキなどが含まれる。

海草（アマモ類・ウミヒルモ類など）は、海産**種子植物**（被子植物門・単子葉植物綱）で、陸上に進出した植物が、再び海域に生活の場を移したものである。

藻場は、単位面積あたりのバイオマス（生物量）は大きくはないが、単位面積あたりの生産量が大きい（光合成が盛んである）。ただし、水深が深いと、光が弱まるため、藻場ができるのは、せいぜい水深 20m 程度までである。なお、多くの海藻は、春～夏に基質からはがれ、**流れ藻**となる。

(2) 藻場の役割

藻場の代表的な役割には、水質の浄化、生物多様性の維持・水産資源の保護、海岸線の安定などがある。

a. 水質の浄化

光合成が盛んなため、窒素・リンの吸収により、富栄養化を防止する。流れを弱めるため、透明度を増加させ、懸濁を防止する。光合成によって酸素を供給し、また、細菌や真菌などの微生物が海藻・海草に多数付着しているため、海中の有機物の分解を促進する。

b. 生物多様性の維持・水産資源の保護（11③）

藻場は、魚類や甲殻類など海中の様々な生物に隠れ場所・産卵場所などを提供するが、特に、幼稚仔に保育場を提供する点で重要である。また、流れ藻も産卵・保育場を提供している。

c. 海岸線の保全

藻場は、波浪を抑制し、底質を安定させるため、海岸線の保全にも役立っている。

(3) 藻場の減少

高度成長期の沿岸域の開発などによって、沿岸域の藻場は大幅に減少した。原因は、埋立、透明度の低下（光合成の障害）、化学物質（農薬・除草剤など）の流入、磯焼けなどで、特に、瀬戸内海では30年間で7割ものアマモ場が消失した。

また、以上のような長期的な沿岸環境の変化とは別に、岩礁域の藻場では、「磯焼け」（11④）と呼ばれる藻場が凋落する現象が古くから知られている。磯焼けの直接的な原因は、海流の消長による水温変化、湧昇流の減少による栄養塩類濃度の低下という外的環境要因で、こうした要因が引き金となって、海藻の生産力の低下が起こると、海藻を食べる魚（アイゴやブダイ）やウニの食圧が相対的に高まり、海藻の消失へとつながる。最終的には、新たに発芽した幼体も食べ尽くされ、磯焼け現象が固定化される。なお、外的な環境要因はなくても、海藻を食べる魚やウニが増えすぎると、生態系のバランスが崩れ、「磯焼け」が起こる。

（2）サンゴ礁

（1）サンゴ礁とは

サンゴは、**刺胞動物門**（イソギンチャクなどグループ）のサンゴ虫によって生成される群体である。また、サンゴ礁は、サンゴ虫が地質学的な時間で沈殿させた炭酸カルシウムの塊で、古いものは5億年前まで遡ることができる。

造礁サンゴは18℃以下の水温には耐えられず、適温は23～29℃である。また、強い光も必要なため、**熱帯の水深25m以浅の透明度の高い海域**にのみ生育する。

サンゴ礁の地形には、裾礁・堡礁・環礁の3種類がある。これは、島のまわりにできたサンゴ礁（裾礁）が、地殻変動や海水面の上昇により沈降していくと、サンゴが上方に成長するため、島のまわりにラグーンができ（堡礁）、ついには島が全部沈没し、ドーナツ型のサンゴ礁（環礁）となるものである（12①）。

（2）サンゴ礁の生物多様性

造礁サンゴには多様な生物が生息しているが、それはサンゴ礁の多様性に支えられている。

- ・インド-太平洋（造礁サンゴ500種）：貝類（5,000種）、魚類（2,000種）
- ・大西洋（造礁サンゴ62種）：貝類（1,200種）、魚類（600種）

（3）共生藻類

造礁サンゴの各ポリプには、**褐虫藻**という光合成渦鞭毛藻類を共生させている（12②③④）。一方、非造礁サンゴには褐虫藻が見られない。

サンゴと褐虫藻は相利共生の関係にある。サンゴは褐虫藻を保護し、光合成に必要な物質を供給する。一方、褐虫藻はサンゴに光合成産物（有機物）を供給する。この共生関係は強固で、サンゴは褐虫藻なしでは生育できない。一般にサンゴは、必要なエネルギーの71%を褐虫藻の光合成から、17%を動物プラン

クトンの捕食から、12%をセストンの吸収やバクテリアの摂食から得ている。

(4) サンゴ礁の悪化・減少 (12⑤)

サンゴ礁は、生物学的にも経済学的にも重要である。石灰化によって多量の二酸化炭素が固定される。また、発達したサンゴ礁は、波浪から沿岸域を保護する。しかし、サンゴ礁は環境ストレスに弱く、世界的に減少傾向にある。

<原因>

- ① 装飾用や建材用としてのサンゴ礁自体の乱獲
- ② ウニやオニヒトデによる捕食
- ③ 水質汚濁
- ④ エルニーニョや地球温暖化による海水温の上昇

現在、多くの場所でサンゴ礁の**白化**現象が起きている。これは、水質汚濁や高水温の影響でサンゴが褐虫藻を体外に排出し、白く変色する現象である。