

「水」を素材とした理科の学習文脈 (生物領域) — 海洋生態系 —

富 川 光
(2015年12月7日受理)

Learning context in biology education using “water” in marine ecosystem

Ko TOMIKAWA

Abstract. Marine ecosystem is one of our familiar environments and provides various ecosystem services for us. To date, conservation and sustainable use of biodiversity in marine ecosystem becomes an object of public concern. In this paper, features of learning contents of marine ecosystem from secondary education in Japan were briefly reviewed. In addition, three context-based approaches of marine ecosystem in biology education by focusing on the social problems were proposed.

1. はじめに

科学教育における文脈 (context) に基づく学習は一般的に、科学学習を実社会における文脈中に位置付けることにより、学習者と学習の結びつきを高めることを目的としたものである (King and Ritchie 2012)。このような文脈に基づく学習は、日常生活や社会における科学の役割を正しく理解するための手助けになると考えられている (Ummels et al. 2015)。

生物分野の学習においても、日常生活に関連する問題などの文脈を出発点とすることで、学習意欲や学習効率を高めることが報告されている (Reiss et al. 1999; Hulleman and Harackiewicz 2009)。このような背景のもと、国外ではイギリスの教科書 *Salters-Nuffield Advanced Biology for Edexcel AS Biology* (University of York Science Education Group 2008, 2009) のように、日常生活や、科学が関連する社会的諸問題などを文脈とした学習を採用した教科書もある。しかし、我が国の生物分野の教科書では学習内容の系統性が重視されており (甲斐 2008; 竹下・富川 2014)、文脈学習に関する研究はほとんど行われていないのが

現状である。

人類は海洋生態系から食料の供給、気候などの制御・調節、レクリエーションなど精神的・文化的利益、栄養循環や光合成による酸素の供給、そして水産資源利用の確保などのサービスを楽しんでいる (Millennium Ecosystem Assessment 2007)。特に海洋国である日本では海洋は最も身近な環境の一つであるため、海洋生態系に関連した学習では、人間生活や社会的問題に密接なかわりをもたせた文脈が設定できるという特徴がある。

水は人間にとって最も身近な物質であるとともに、自然科学のあらゆる現象に深く関与する物質である。また、小学校、中学校、高等学校を通してさまざまな学年や発達の段階に応じて理科学習の対象となっている。そのため、日常生活から最先端技術を利用した産業まで幅広い観点から科目間の複合・融合領域に関する分野横断的な文脈を設定することが可能である。本稿では、多角的かつ多元的な科学的諸能力の育成のための新たな学習文脈の開発を目的とした一連の研究「[[水]を素材とした理科の学習文脈」の生物領域における試みとして、水を主要な環境とする海洋生態系に

着目した文脈に基づく学習を提案する。

2. 海洋生態系に関連する学習内容の特徴

2-1. 学習内容の概要

海洋生態系は、ある海域に生息するすべての生物集団およびそれらを取り巻く環境を総合したものである。そのため、海洋生態系の学習に際しては、「生物間の相互作用」および「生物と環境との関係」のふたつの観点をもつことが重要である。ひとつ目の生物間の相互作用としては、食物連鎖が基本であり、寄生・共生などの概念も重要である。このような生物間の相互作用を理解するためには、海洋生物の多様性、食性・生活史などの生態的特徴を把握し、生産者から高次消費者まで生物間の関係を俯瞰して学習する必要がある。ふたつ目の生物と環境の関係で取り上げられる環境としては光、温度、空気などが挙げられるが、海洋生態系を考える上で最も重要な環境は大量の水の存在である。海洋生物と環境の関係を理解するためには、海水中における恒常性の維持メカニズムや光合成などのエネルギー変換のしくみを学習する必要がある。

2-2. 系統的学習における取り扱い

海洋生態系に関連する学習内容は、中学校第3学年の「自然と人間」、高等学校生物基礎の「生物の多様性と生態系」、高等学校生物の「生態と環境」に該当すると考えられる（文部科学省2008, 2009）。

- 中学校第2分野「自然と人間」
ここでは、自然界のつり合い、自然環境の調査と環境保全、自然の恵みと災害、自然環境の保全と科学技術の利用での扱いが考えられる。
- 高等学校生物基礎「生物の多様性と生態系」
ここでは、生態系と物質循環、生態系のバランスと保全、生物の多様性と生態系に関する探究活動での扱いが考えられる。
- 高等学校生物「生態と環境」
ここでは、個体群、生物群集、生態系の物質生産、生態系と生物多様性、生態と環境に関する探究活動での扱いが考えられる。
海洋生態系に関連する学習内容は、一般的な理科の学習過程である(1)知識の獲得、(2)獲得した知識の定着、(3)知識の応用、そして(4)知識の関

連づけにおいて、次のような特徴を挙げることができる。

(1) 知識の獲得

海洋国家である日本において海洋は身近な生態系の一つであるため、具体的なイメージをもって学習することができる。また、魚類や貝類などの水産物は日常的に食卓にのぼるため、食生活にも関連が深い。そのため、学習者は現実の生活と関連づけて知識を獲得し、記憶に止めることができる。

(2) 知識の定着

観察・実験などの学習者の主体的な活動は、学習内容に対する興味関心を高め、知識の定着に効果的である（Uitto et al. 2006）。海洋生態系に関連する学習では観察・実験のテーマが設定しやすく、学習者の実体験に基づく知識の定着をはかることができる（例えば、鳥越ほか 2012）。具体的には、魚類、甲殻類、軟体動物などの解剖、海洋プランクトンの採集と観察、ウニ類の発生実験、二枚貝による水質浄化実験、野外調査などが考えられる。

(3) 知識の応用

学習者は獲得した知識を応用して、例えば人間活動による海洋生物の生息環境の破壊、海洋汚染、乱獲による水産資源の減少、外来生物による生態系の攪乱などの今日的な問題を発見し、その原因や対策について考察することもできる。

(4) 知識の関連づけ

生物学と生物学以外の分野を関連づけた学習が可能である。具体的には、近年注目されている水産増殖に利用されるバイオテクノロジー（遺伝子解析、遺伝子操作、受精卵操作など）をテーマとすることで、生物学と生物学の発展に寄与した技術（遺伝子工学）を関連づけて学ぶことができる。また、漁業と経済の関係、地球温暖化なども学習テーマとして考えられる。

3. 海洋生態系を題材とした学習文脈

近年、海洋における生物多様性の保全や持続的利用が社会的な問題となっている（Millennium Ecosystem Assessment 2007）。また、生物多様性は科学と一般社会をつなぐ媒体としても注目されている（Weelie and Wals, 2002）。そこで、海洋生態系を題材とした学習文脈として「人間活動が海洋生物多様性に与える影響」、「環境の変化が海洋生態系に与える影響」、「外来生物により引き起こ

される生態系の攪乱」を設定し、高等学校生物で学習する内容と関連づけながら学習事項、学習の視点、活用できる観察・実験について述べる。

3-1. 文脈の適用場面

PISA 調査に基づく、科学教育における文脈の適用場面は主として「個人的な状況（自分自身、家族及び仲間集団）」、「社会的な状況（地域社会）」、「地球的な状況（世界にまたがる生活）」の3つのカテゴリーに分けられる（OECD 2013）。海洋生態系に関連する学習では、それぞれのカテゴリーにおいて表1のような文脈が考えられる。なお、複数のカテゴリーにまたがる文脈の設定も考えられる。

表1. 海洋生態系に関連する学習における文脈の例

個人的な状況	社会的な状況	地球的な状況
海岸清掃	栽培漁業の長所と問題点	生物多様性
レクリエーション	遺伝子操作	水産資源の持続可能性
水産資源の消費	エビ養殖による環境破壊	外来種

3-2. 文脈の提案

3-2-1. 人間活動が海洋生物多様性に与える影響

本文脈は個人的な状況から地球的な状況にまたがるものであり、海洋における生物多様性についてマクロからミクロまで幅広い視点でとらえることで生物多様性とその保全の重要性を理解し、生物多様性が直面している問題を発見・考察できることを目的としたものである。ここで扱う内容は、中学校第2分野の「自然と人間」、高等学校生物基礎の「生物の多様性と生態系」、高等学校生物の「生態と環境」を中心として、中学校の「動物の生活と生物の変遷」、「生命の連続性」、生物基礎の「生物と遺伝子」、生物の「生命現象と物質」、「生殖と発生」、「生物の進化と系統」に対応するとみなした（図1）。生物多様性は、種レベル、遺伝子レベル、生態系レベルの3つの視点でとらえることができる。しかし、これら3つのレベルは別々のものではなく、互いに関連したものと考えることで生物多様性を総合的に理解できる。つまり、生物の進化は種内の遺伝子の変異を出発点とし、多様な環境に適応することで種の多様性を

増加してきたと考えられるからである。

学習の流れとしては、まず種レベルの多様性から扱うことが考えられる。海洋生態系における種レベルの多様性については、節足動物と軟体動物が全動物種の約90%を占めることを踏まえつつ、水産有用種などの身近な生物を中心に実物の観察を伴った学習が考えられる。このような生物はスーパーなどで入手が容易であり、食材として利用されるため解剖への抵抗が少なく、扱いやすい材料である。具体的には、節足動物ではエビ、カニ、シヤコ、軟体動物ではカキ、ホタテ、イカなどが考えられるが、棘皮動物（ウニ、ナマコ）や脊椎動物（魚類など）も適している。近縁種間および離れた分類群間の比較を通して、形態の共通性と多様性が学習できる。次に遺伝子レベルの多様性について、例えばクルマエビのように日本産と海外産では遺伝子型が異なる例を示すことで、同種でも遺伝的性質が異なるものを含む場合があることを理解する。そして、遺伝的変異が種レベルの多様化を引き起こす進化の原動力になっていることにつなげて理解する。天然水産資源の維持増大をはかる目的で行われている種苗放流については、天然集団の遺伝的組成に影響を与える可能性などを題材として遺伝子レベルの多様性について考察することも考えられる。最後に生態系レベルの多様性について、沿岸部の河口、干潟、藻場、岩礁など人間生活の場の近くの生態系を取り上げ、それぞれの環境に適応した多様な生物が出現することを理解する。生態系の機能を理解した上で人間活動による環境の変更が生態系の機能低下を引き起こす可能性について議論し、生態系保全の必要性について考察することも重要である。「里海」と呼ばれる沿岸海域は、人手が加わることで生物多様性が高くなったと考えられている（柳2010）。「里海」について扱うことで、人間生活と海洋生態系との共生について考察することもできる。

3-2-2. 環境の変化が海洋生態系に与える影響

本文脈は個人的な状況から地球的な状況にまたがるものであり、海洋生態系の役割を理解し、人間活動が引き起こす環境の変化が海洋生態系に与える影響についての問題を発見し、解決に向けた考察ができることを目的としている。ここで扱う内容は、中学校第2分野の「自然と人間」、高等

学校生物基礎の「生物の多様性と生態系」、高等学校生物の「生態と環境」を中心として、中学校の「動物の生活と生物の変遷」、「生命の連続性」、生物の「生命現象と物質」、「生殖と発生」に対応するとみなした（図1）。

海洋における最も重要な環境は水である。水空間中で海洋生物は三次元的分布を示すが、この分布も環境の影響を受けている。例えば、光合成を行う植物プランクトンは水面近くや沿岸域に出現する。これは水深による太陽光の届く範囲と生物の出現をあわせて考察することで、光合成に必要な光が届く場所に植物プランクトンが分布すると理解することができる。海洋では主として微小な植物プランクトンが光合成を行う点で、樹木などの大型の植物が一次生産を担う陸域とは異なることにも留意する。また、光合成による酸素の生産は海洋生態系内のみならず、地球全体の酸素の維持にも大きな役割を果たしていることは重要である。植物プランクトンの光合成は海洋生態系における炭素化合物の供給源としても重要であるため、下述する食物連鎖と関連づけて学習すると効果的である。水中の化学物質が食物連鎖を通して生体内に濃縮されていく生物濃縮も、生物と環境の関係で重要である。化学工場から海に流されたメチル水銀が生物濃縮により魚に蓄積され、これが人間の体内に取り込まれることで発症した水俣病などを例に出して、生活関連化学物質の影響を考察することも考えられる。

「食う－食われる」の関係からなる食物連鎖は多様な生物の関わり合いにより形成されているため、生物多様性と関連づけて学習する。また、例えば瀬戸内地域ではスナメリのように食物連鎖の頂点に位置するシンボリック生物を取り上げ、珪藻（植物プランクトン）→カイアシ類（動物プランクトン）→イワシ→スナメリという具体的な食物連鎖の例を示すことも理解の助けになると考えられる。食物連鎖の基本的位置を占める植物プランクトンや動物プランクトンを実際に観察することも食物連鎖の理解には効果的であろう。よほど汚染の進んだ海域でない限り、プランクトンネットを数回投げるだけで1クラスの観察に必要な十分量のプランクトンが採集できる。プランクトンネットは市販のものでなくても、目の細かいネットを用いて作成した自作のもので十分である。年間を通してプランクトンネットを用いて採集したサ

ンプル中には、植物プランクトンの珪藻類、動物プランクトンのカイアシ類が多く含まれているため、海洋生態系における食物連鎖の基本的位置を占める生物が観察できる。季節によっては貝類、ウニ類など底生もしくは固着生活をする動物の幼生も観察できる。より直接的に食物連鎖を実感するためには、魚類の消化管内容物を観察する方法も有用である。ニボシはカタクチイワシを主な原料として生産された水産加工品で、日本人にとっては非常になじみ深い食品の一つである。ニボシは生産過程において内臓の除去などが行われないため、消化管内容物がほぼ完全な形で保持される。そのため、消化管を水に浸して内容物を光学顕微鏡で観察することで、珪藻類やカイアシ類が確認できる。

多くの無脊椎動物は成長段階によりプランクトン性から遊泳性、底生性などへとライフスタイルを変化させ、それに伴い食性や生息場所も変わる。例えば、岸壁などで固着生活をするカキ、ホヤ、フジツボも幼生はプランクトン性で浮遊生活を送った後、変態して固着生活にシフトする。カキの養殖では、カキの浮遊幼生を人工的な養殖棚に固着させて行うことを示すなどの工夫が考えられる。ウニの仲間は、卵・精子の採取が容易なこと、人工授精が可能であることから初期胚発生の観察実験材料に用いられてきたが、海産無脊椎動物の生活史の一部を確認するという視点からも利用価値が高い。春期はハスノハカシバン、夏期はムラサキウニやサンショウウニ、冬期はバフンウニが産卵期をむかえるため、季節ごとに材料を選ぶことで年間を通した観察実験が可能である。

アサリやカキなどの二枚貝は懸濁食者と呼ばれ、海水中のプランクトンやデトリタスなどを濾しとって食べている。二枚貝が多く生息する干潟やカキが付着している岩礁では赤潮の原因となる植物プランクトンの増殖を抑えられ、結果的に水質が保たれていることが知られている。懸濁物として米粉などを入れた水槽に二枚貝を入れ、二枚貝の摂餌により濁っていた水が透明になることを確かめる実験により、生物による水質浄化の機能を理解することができる。

3-2-3. 外来生物により引き起こされる生態系の攪乱

本文脈は社会的および地球的な状況に適用されるものであり、外来生物に関して正しく理解する

ことで外来生物の移入が海洋生態系に与える影響の問題について考察し、解決に向けた考察ができることを目的としている。ここで扱う内容は、中学校第2分野の「自然と人間」、高等学校生物基礎の「生物の多様性と生態系」、高等学校生物の「生態と環境」を中心として、生物基礎の「生物と遺伝子」、生物の「生殖と発生」に対応するとみなした(図1)。

近年、人間活動に伴う外来生物の侵入が在来の生態系に与える影響が問題となっている。現在、日本の海域からは約100種の外来種が記録されているが、その数は年々増加している(岩崎 2009)。外来生物についての学習では、侵入によるリスクや侵入経路を中心に扱うことが考えられる。外来生物は意図的に持ち込まれたものと、意図せずに船舶などによって運ばれた随伴移入種が存在する(岩崎 2009)。意図的に持ち込まれた種としては、食用として中国・韓国から移入されたシナハマグリ、タイワンシジミ、タイリクスズキなどが挙げられる。これらについては、日本在来の近縁種との交雑が確認されており、このような交雑が引き起こす問題を発見し、対策について考察することが考

えられる。異種間もしくは異なる集団間の交雑の検出には遺伝子解析などの技術が用いられており、バイオテクノロジーと関連づけた学習も展開できる。いっぽう、随伴移入種としては、幼生のプラスチック水への混入や船体付着により導入したと考えられているムラサキイガイ、コウロエンカワヒバリガイ、輸入シジミ類に混入して導入したと考えられているカワヒバリガイなどが挙げられる。船舶のプラスチック水に伴う外来種の拡散については、浮遊性生物を大量に移動させる点で海洋に特徴的なものである。底生・固着性生物も浮遊幼生がプラスチック水で運ばれることで拡散するため、外来生物の移入について海洋生物の生活史と関連づけて学習することが考えられる。プラスチック水が使用されるようになった歴史を調べることで、理科以外の教科との連携も考えられる。また、付着性の二枚貝類であるムラサキイガイ、コウロエンカワヒバリガイ、カワヒバリガイなどは、港湾整備により人工の岸壁が構築されたことにより生息に適した環境が増え、分布拡大の一因となったと考えられている。そのため、日本における港湾建設の歴史と関連づけて調べ、議論することも考えられる。

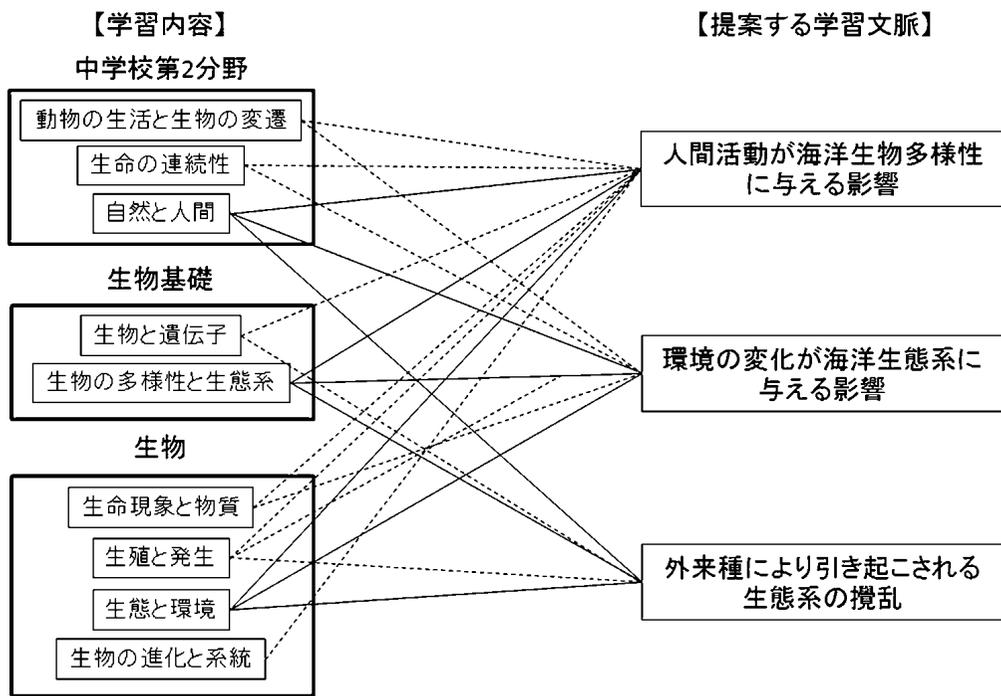


図1. 中学校第2分野、高等学校「生物基礎」および「生物」における学習内容と提案する学習文脈。実線は主要な対応、破線は派生的な対応を示す。

4. まとめ

本稿では、多角的な現象の捉え方や幅広い考え方を養うために適した題材と考える海洋生態系に着目し、「人間活動が海洋生物多様性に与える影響」、「環境の変化が海洋生態系に与える影響」、「外来生物により引き起こされる生態系の攪乱」を文脈とする学習を提案した。これらについては、今後授業実践等を通して学習効果を検証し、学習内容の精査や改善が必要である。また、海洋生態系に関連する分野は多岐にわたるため、目的とする概念に合わせて新たな文脈を考案していくことも必要であろう。

持続可能な開発を目指す現代社会においては、地球温暖化や環境破壊などの社会的諸問題に対処するための科学的思考力、科学的探究能力、科学的コミュニケーション能力などの育成を目指した科学教育が強く求められている。今後は、このような能力の育成を目指し、生物領域にとどまることなく、科学の領域間の有機的な結びつきを考慮した文脈を基盤とした分野横断的な学習の展開が必要であると考えている。

5. 謝辞

本研究の一部は、科学研究費基盤研究(A)(25242015, 代表：古賀信吉)の助成を受けて行った。

6. 引用文献

Hulleman C. S. and Harackiewicz J. M. (2009) Promoting interest and performance in high school science classes. *Science* 326: 1410-1412.
 岩崎敬二 (2009) 海の外来生物 Q & A. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会 (編), 海の外来生物 人間によって攪乱された地球の海, 3-18, 東海大学出版会.
 甲斐初美 (2008) 「系統性を踏まえる」ということの意味 —「生命」領域の学習における具体的な系統性—. *理科の教育* 60: 521-524.
 King D and Ritchie S. M. (2012) Learning science through real-world contexts. In Fraser B. J., Tobin K. G., and McRobbie C. J. (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 69-79). Dordrecht, The Netherlands, Springer.

Millennium Ecosystem Assessment (編) 横浜国立大学21世紀 COE 翻訳委員会 (監訳) (2007) 国連ミレニアムエコシステム評価 生態系サービスと人類の将来, オーム社.
 文部科学省 (2008) 中学校学習指導要領解説理科編, 大日本図書.
 文部科学省 (2009) 高等学校学習指導要領解説理科編理数編, 大日本図書.
 OECD (2013) PISA 2015 draft science framework, OECD.
 Reiss M. J., Millar R. and Osborn J. (1999) Beyond 2000: science/biology education for the future. *Journal of Biological Education* 33: 68-70.
 多紀保彦 (監修) 財団法人自然環境研究センター (編著) (2008) 決定版日本の外来生物, 平凡社.
 竹下俊治・富川光 (2014) 生物教材の開発と学習指導, 磯崎哲夫 (編著), 教師教育講座第15巻中等理科教育, 225-253, 協同出版.
 鳥越兼治・富川光・大塚攻 (2012) 海と海辺の生物を題材とした体験・学習活動の実践 (10). *学校教育実践学研究* 18: 185-191.
 Uitto A., Juuti K., Lavonen J. and Meisalo V. (2006) Student's interest in biology and their out-of-school experiences. *Journal of Biological Education* 40: 124-129.
 University of York Science Education Group (2008) *Salters-Nuffield Advanced Biology for Edexcel AS Biology*, Pearson.
 University of York Science Education Group (2009) *Salters-Nuffield Advanced Biology for Edexcel A2 Biology*, Pearson.
 Ummels M. H. J., Kamp M. J. A., Kroon H. and Boersma K. T. (2015) Promoting conceptual coherence within context-based biology education. *Science Education* 99: 958-985.
 Weelie D. and Wals A. E. J. (2002) Making biodiversity meaningful through environmental education. *International Journal of Education* 24: 1143-1156.
 柳哲雄 (2010) 「里海」の概念・「里海」創生運動の問題点. 山本民次 (編著), 「里海」としての沿岸域の新たな利用, 22-32, 恒星社厚生閣.