

物質循環を学ぶ水槽飼育実験と上下水道施設見学による中学校「校外学習」の開発

佐賀市立思斉中学校 教頭 正会員 下山田 隆
九州大学大学院工学研究院 准教授 正会員 清野 聡子
さが水ものがたり館 館長 荒牧 軍治

1. 目的

有明海においては、2012年に荒尾干潟（熊本県荒尾市）が、2015年には佐賀県の東よか干潟（佐賀市）と肥前鹿島干潟（鹿島市）が「ラムサール条約」登録湿地となった。

干潟の機能については、生物多様性の基盤として、その水質浄化のしくみが注目されている。この浄化作用では、生命活動等に由来する窒素分の循環が重要である。栄養分は水質悪化を導く植物プランクトンや海藻等に吸収され、これらの懸濁物が干潟の二枚貝や鳥、ムツゴロウ等の多様な生物により摂餌され（赤潮発生を抑制）、一部は食卓へと収穫される。さらに、脱窒により窒素として大気へ放出される。干潟の生物種は、隣接する海に比べ、二枚貝等の生息密度の高さに特徴があるといわれ、これは干潟の浅い水深による豊富な酸素供給が要因と考えられており、干潟の浄化機能の高さの要因といえよう。

現在、有明海再生や漁業の活性化に向けた活動から、干潟の機能と共に、下水処理水の実海域への放流による施肥の重要性が注目されている。そこで本報では、様々な物質循環から、有機物の分解からアンモニア、アンモニアが硝化されて硝酸に、そして、脱窒により窒素が大気中に放出される窒素循環に絞り、干潟等における物質循環の理解と、持続可能な開発や社会づくりに向けた懸命な判断の基礎となる学習を、水槽飼育と上下水道施設や干潟のフィールド見学とを関連付けて開発した。

2. 飼育水槽実験

校内においてヒラメやカサゴ、アサリ等の水槽飼育を教材展示化し（図1）、長期飼育のための環境条件を求める実験を設定し、水質管理法と成長曲線について、教師の指導のもと生物同好会の生徒に年間を通じて研究させた。

(1) 水質悪化と濾過器における生物濾過の仕組み

飼育水槽内の水質悪化の主な起因は、窒素を含む残餌や生物の排泄物等のタンパク質である。これらは複数の細菌によりアミノ酸、そして、アンモニアに分解される。アミノ酸の一部は細菌に利用され二酸化炭素や水となり、水に

溶けやすいアンモニアは、無害なアンモニウムイオンとなる。アンモニアはアンモニア酸化菌による硝化作用を受け亜硝酸イオンに、さらに、亜硝酸酸化菌により硝酸イオン（生産者である藻類等が吸収）へと硝化菌により酸化される（図2）。

嫌気的条件のない水槽内では、この硝酸イオンは蓄積され、pH値の低下と藻等の発生を導く。多くの濾過器では浮遊物や藻類をフィルターや多孔質の粒材で物理濾過し、好気細菌による硝化（生物濾過）によりアンモニアを硝酸イオンへと変えている。しかし、水質の悪化につながる硝酸イオンと発生する植物プランクトンの除去のためには、定期的な水替えが必要となる。

一方、溶存酸素が少ない嫌気的条件のある水槽内では、硝酸イオンが細菌の働きで還元され、亜硝酸イオン、亜酸化窒素を経て大気へ放出される窒素ガスになる。この脱窒の還元過程が機能する。



図1. 教科展示としての飼育水槽実験装置

3. 赤潮と青潮の対策に向けた下水処理

フィールドにおいて、クリークや海水中の窒素やリンなどが増えると、水中の植物プランクトンが急速に増殖し、増殖したプランクトンによって水面が赤やピンク色に見える赤潮と呼ばれる。赤潮発生下では、異常増殖した植物性プランクトンが、多くの場合、底層に堆積し細菌によって分解される。その際、酸素が消費され、酸素が減少した部分が生じ、これが湧き上がり、水面が青色や緑白色に見える

青潮となる。この貧酸素状況下では魚介類は生存できない。

赤潮・青潮が多く発生する海域は海水中の窒素分やリン等の富栄養化が進んでおり、生活排水の影響が示唆されている。そこで、消失しつつある干潟のはたらきに加え、下水処理施設による下水の浄化が必要となっている。

4. 窒素循環

物質循環に関する学習は中学校理科（中学3年）「自然界のつながり」や「自然環境の調査や環境保全」で学習し、高等学校の理科基礎「生態系と物質循環」で、エネルギーが移動することも含め学習される。

本報では、外部濾過器をつかった魚類の閉鎖循環型飼育法により長期飼育を行い、図2の窒素循環の模式図について学習した。その際、高感度の測定器具や装置は使用できなかったが、関連する物質を市販のバックテストや簡易水質検査材を使って、比色により定量化した。その結果、水槽の大きさにより個体密度を抑え、水槽の水替え間隔を7～10日に設定した場合には、塩分濃度の変化も含め、明らかな数値の変化は認められなかった。

しかし、残餌量が多く、濾過器での物理濾過・生物濾過の能力を超え、酸素供給も水槽水の交換も十分に行われなかった飼育開始時には、病気や酸欠等により多くの魚類のえい死と硫化水素の発生が見られた。これらは、硝化や脱窒による窒素循環のバランスを崩した結果で、人為的な影響によるものといえる。

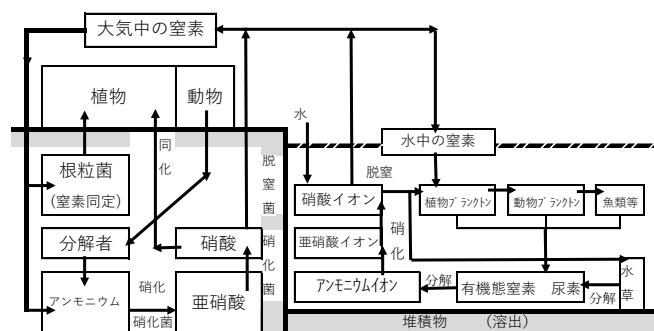


図2. 陸上と水槽中の窒素循環の模式図

5. 上下水道施設の見学を通して

一級河川嘉瀬川から砂を落とした水を現在も佐賀城下へと江戸時代から引き込み続ける石井樋（成富兵庫茂安による）と多くの渡り鳥が観察できる有明干潟、そして、佐賀市の上下水道施設の見学を2回に分けて実施した。

その結果、海へと流れ込む都市の生活排水などの下水でも、物理濾過に加え、窒素を分解し除去するための有力な

処理方法として、上記の硝化と脱窒の反応（生物濾過）が重視されていることが学習できた。さらに、そのはたらきは、水槽の濾過器でも上下水道施設でも、干潟においても共通していることがわかった。



図3. 下水処理センターにおける浄化システムの研修

6. まとめ

有明海の環境再生に注目が集まる中、それらにおける持続可能な取り組みや地域づくりに向け、地元の中学生の将来に向けた懸命な判断や行動選択の基礎となるべき学習が十分に展開されていない状況にあらう。そこで本報では、生物多様性の基盤となる干潟の水質浄化のしくみに注目し、干潟においても機能している物質循環の理解に向け、まずは上記の校内における飼育水槽の教材展示を通して実験し、さらに、上下水道施設での浄化の仕組みについて研修を行った。以上の学習の後に、有明干潟における渡り鳥の観察とその餌となる生物を支える干潟という生態系の豊かさや物質の循環について野鳥の会佐賀支部等の専門家より説明を受けることができた。

これらの取り組みに参加した生徒からは、自然界における生物や物質のつながりに関する気づきが生まれ、水槽や私たちの郷土、干潟や有明海を包む環境の大切さと家庭とのつながりを実感することができたようである。

一方、専門家や研究施設、複雑な課題について以上のような学際的な取り組みを実践する上で、筆者を含む多くの教師の事前研修の必要性を強く感じた。また、将来においては、本報のような企画・運営を教育課程上で実施する際には、市民科学的な活動やサービスを、求められる教育的なねらいと時期に応じて、学校やPTA、地域、専門施設、専門家と一緒にプログラムとして組み上げていく、専門性をもったコーディネータの存在が必要とされるであろう。

本報は、平成29年度佐賀県生物多様性保全事業の研究助成や佐賀県立宇宙科学館・佐賀市環境部環境政策課の支援により実現できた。紙面をお借りし感謝の意としたい。