

# 指導資料

 鹿児島県総合教育センター

## 理科 第241号

中，高等学校，盲・聾・養護学校対象  
平成15年11月発行

### 地中および水中における窒素循環

窒素は生物体を構成するのに必要不可欠な元素である。窒素分子は空気中の約78%を占めるが，非常に安定した分子なので，大部分の生物はこれを直接利用することができない。しかし，微生物の中には空気中の窒素分子を利用できる生物が存在する。

生物がどのように窒素を吸収し，利用しているかを学ぶ教材は，あまり知られていない。そこで，本稿では窒素循環に関して，簡単にいえる観察や実験をいくつか紹介する。

#### 1 イシクラゲの窒素固定



写真1 イシクラゲの藻体(左)と顕微鏡写真(右)

写真1のような生物を見たことがあるかもしれない。水が溜まりやすいコンクリートや芝生の上などでよく見られる生物である。雨後には水分を吸収してプヨプヨとしており，晴天が続けば乾燥ワカメに似た状

態となる。

この生物は，シアノバクテリア(ラン藻)の一種でネンジュモ目に属するイシクラゲである。藻体を顕微鏡で観察すると，通常の栄養細胞の他に，ヘテロシストと呼ばれる大型の細胞(写真1顕微鏡写真の中央付近の細胞)が見られる。ヘテロシストでは空気中の分子状窒素をアンモニウムイオンに変えている。この働きを窒素固定という。

イシクラゲは，乾燥への強い耐性をもっているため，乾燥したまま藻体を容易に保存できる。一度観察することを勧めたい。

#### 2 マメ科植物と根粒菌の共生

窒素固定を行う生物は，他にも多く知られている。代表的なものとしては，マメ科植物の根に共生する根粒菌が挙げられる。校庭でよく見られるシロツメ



クサの根粒は，長径約1mmの楕円形をしている。根粒内の根粒菌によって，窒素固定が行われる。

ダイズを用いれば，直径約3～5mmの大型の根粒を観察できる。根粒を割ると，内

部にはダイズのもつ色素のレグヘモグロビンが含まれているので、赤色を帯びている。レグヘ



写真3 ダイズ根粒の断面

モグロビンが酸素を吸収することで、根粒菌に微量の酸素を提供しながら、酸素に弱いニトロゲナーゼ(窒素固定酵素)の失活を防いでいるのである。

根粒菌を観察するには、次の処理を行えばよい。

<準備> 根粒，石炭酸フクシン液，アルコールランプ，ピンセット，柄付き針

<方法>

スライドガラス上で、ピンセットや柄付き針で根粒を潰す。根粒の組織液だけを残して、残りの根粒を取り除く。

スライドガラスをアルコールランプであぶって、乾燥させる。

石炭酸フクシン液を滴下して、1分間染色する。

水道の流水で水洗して、乾燥させる。

顕微鏡で観察(倍率600倍程度)する。

マメ科以外にもカバノキ科やマキ科の仲間など、多く



写真4 シロツメクサの根粒菌

の植物が根粒を形成する。パイオニア植物として知られるヤシャブシ(カバノキ科)は桜島や霧島山系などに見られるが、窒素固定により他の樹木が侵入する前の荒地でも生育できる。植物群落の遷移を学習する際にも、是非理解しておきたい事柄である。

### 3 ソテツとシアノバクテリアの共生

県内の学校に広く植栽されているソテツもまた、窒素固定の教材となる。まず地上部の幹を観察す

ると、枯死した葉が脱落した跡の鱗片が見える。



ソテツは1年間 写真5 ソテツの幹

に1~2列の葉を出して、わずか0.5~1.0cm程度しか成長しないことが分かる。鱗片の列数から樹齢を推定できる。

ソテツの根元の周囲を掘ると、枝サンゴのような形態のサンゴ根が出てくる。その先端



写真6 サンゴ根

部を切ると、表皮層内に環状の緑色部が見え、顕微鏡で観察すると、内



写真7 サンゴ根の断面

皮細胞中にシアノバクテリアの一種(写真8)を観察できる。

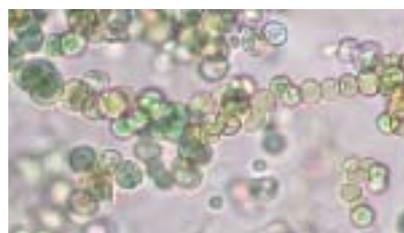


写真8 ソテツに共生するシアノバクテリア

地中の根の中には光が届かないので、このシアノバクテリアは光合成を行うことができない。ソテツから有機物を得ながら、窒素固定により得た無機窒素化合物の一部をソテツに供与しているものと考えられる。

先にも述べたように、ソテツの成長は非

常に遅く、日光をめぐる競争では成長の早い植物に対して不利になりやすい。だが、シアノバクテリアと共生することで、他の植物の生育に適さない断崖絶壁などの栄養塩類の乏しい場所に生息地を見いだしている。被子植物に比べて原始的な特徴をもつ裸子植物であるが、実に巧妙な戦略をもっている。

#### 4 水中における窒素循環の実験

窒素循環を学習する上で、硝化作用もまた重要な内容である。図1のように、生物の遺体や排泄物に由来するアンモニウムイオンが酸化されて、硝酸イオンになる。これを担っているのが、亜硝酸細菌や硝酸細菌などの硝化細菌と呼ばれる細菌である。

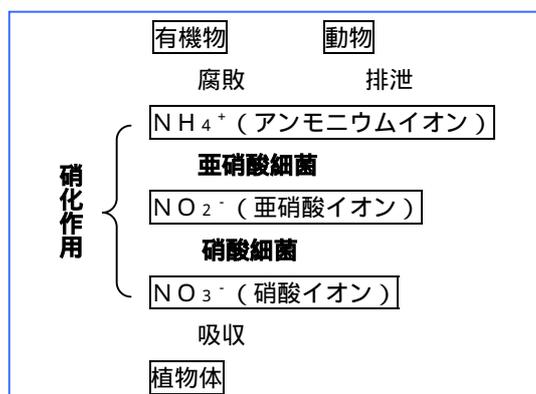


図1 硝化作用の流れ

硝化作用も土中や水中の細菌の働きによるもので、直接的に観察、実験をすることは困難な現象である。そこで、アンモニアを排泄する魚類のグッピーと、砂利の表面に増殖する硝化細菌、水中の硝酸イオンを吸収するホテイアオイの三者を組み合わせ、表1、表2のようにモデル水槽での飼育実験を行った。

飼育開始日より2日おきに各水槽から採水して、アンモニウムイオン、亜硝酸イオ

表1 実験条件

内容物	水槽A	水槽B	水槽C
動物(グッピー)	10個体	10個体	10個体
底砂(砂利)	なし	あり	あり
植物(ホテイアオイ)	なし	なし	1株

表2 共通の飼育条件

水量	9L
通気	エアレーションあり
日照	水槽を窓際に置き、自然光による光照射
給餌	残餌がない程度に毎日給餌
換水	なし

ン、硝酸イオンの各濃度をパックテストにより測定すると、パックテストの測定精度は高くはないが、生徒にも容易に測定ができるという利点がある。

測定結果を図2～4に示した。水槽Aには底砂がなく、硝化細菌がほとんど存在していないと考えられる。このため、アンモニウムイオンは他の2水槽と比較して高濃度であり、その反面亜硝酸イオンや硝酸イオンの濃度は低濃度のままとなっている。砂利がないために硝化作用がほとんど行われていないことが、はっきりと表れている。

水槽Bでは水槽Aと比較して、アンモニウムイオンが低濃度になり、亜硝酸イオンや硝酸イオンは高濃度になった。硝化作用が着実に行われていることがよく分かる。

水槽Cでは、硝酸イオン濃度は4日目までは水槽Bよりやや低い値を示した。これは植物の吸収によると思われる。ただし、6日目には水槽Bと同レベルになっているが、これはパックテストの測定限界に達したためと考えられる。水槽Cの植物量をもっと多くすれば、硝酸イオン濃度は更に小さくなり、水槽Bとの差異が大きくなることが予測される。そうすれば、水辺の植物が水質浄化に果たしている役割についても、

生徒に気付かせることができる。

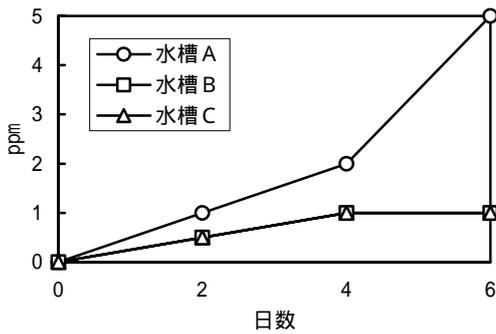


図2 アンモニウムイオン濃度

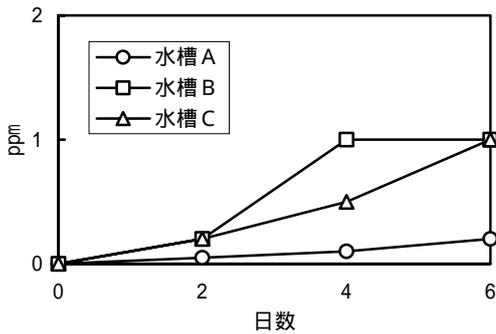


図3 亜硝酸イオン濃度

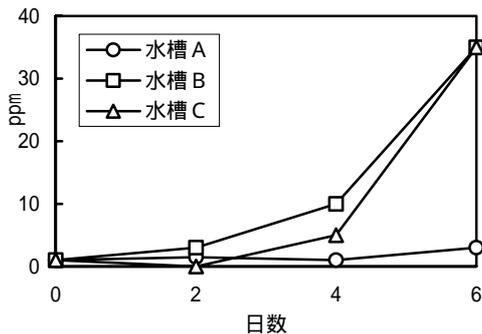


図4 硝酸イオン濃度

## 5 生活や社会への利用

早春の水田で、ゲンゲ（レンゲソウ）が一面に咲き誇っているのを見たことがあるだろう。マメ科のゲンゲにも根粒が見られ、窒素固定を行っている。田植え前に栽培して、そのまま耕し緑肥をすき込むことで、窒素化合物の豊富な土になる。最近では、化学肥料が普及してあまり見られなくなった光景だが、生徒に伝えたい農家の知恵の一つである。

かごしま水族館には、水量 1500 トンの

黒潮大水槽がある。ジンベエザメやカツオ、マグロ類が遊泳しており、高い人気を誇っている。この巨大水槽も、硝化作用を利用したろ過システムによって、水質が維持されているのである。黒潮大水槽の下には、たくさんの砂ろ過槽が一面に並んでいる。

ろ過槽の砂には、直径 1 mm 以下のケイ砂が使われている。



写真9 黒潮大水槽の砂ろ過槽

水槽から取水された海水がこの砂の中を流れて、再び水槽に戻される仕組みとなっている。これによって、魚が排泄するアンモニウムイオンを毒性の低い硝酸イオンに変えている。ろ過槽の流量は 1 時間に 1500 トンもあり、黒潮大水槽の海水は、ちょうど 1 時間に 1 回ろ過槽を循環することになる。このような硝化作用を利用した砂ろ過は、水族館や污水处理施設において重要な役割を果たしており、生徒に見学させたい施設である。

以上のような、身近な生物を用いた観察や実験の教材は、中学校の選択理科や高等学校の課題研究の学習で活用できる。環境教育の領域においても、様々な条件を変えて水質測定実験を実施することで、生態系のしくみや保護について学ぶ有効な教材となることが期待される。

### 【参考文献】

中村道徳編『生物窒素固定』1980 学会出版センター  
(第二研修室)