

『湖底のモデル実験』

琵琶湖の湖底の酸素が減少していく仕組みを理解するために、湖底の再現モデルを作り、そのモデル内の水に含まれる酸素が減少することを調べてみよう。

【理論】

琵琶湖では、富栄養化に伴う植物プランクトンの増殖は、毎年、気温が上昇し、光合成が盛んになる春から夏にかけて顕著に表れる。これは、表層水が緑色になることから分かる。そして、この富栄養化の進行によって表水層で植物プランクトンが増殖すればするほど、湖底の酸素が消費される。

その仕組みを、図1に示す。食物連鎖の関係によって、植物プランクトンが増えると、これを餌とする動物プランクトンやさらに動物プランクトンを餌とする上位の生物が増えることになる。その後、大量に増えた植物プランクトンの死がいとともに、これらの生物の死がいも湖底へと沈む。そして、これらの死がいは、湖底にすむ微生物の働きによって分解される。もちろん、微生物は呼吸によって生命活動のエネルギーを体内に作り出しており、そのために水中の酸素が消費されるのである。富栄養化が進行すると、湖底では大量の死がいも分解されることになり、場合によっては酸素が無くなることもあった。

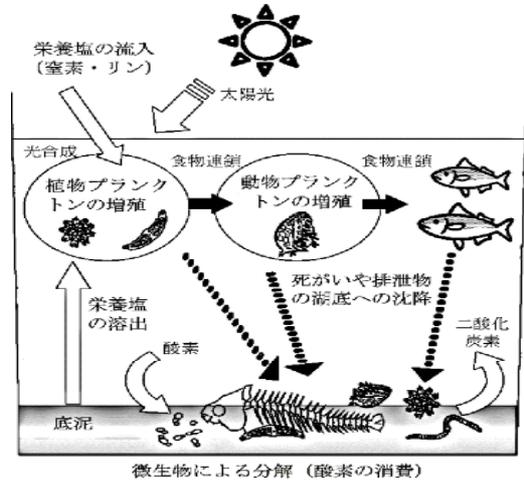


図1 湖底の分解者による酸素消費

【湖底の再現モデルの作り方】

- 溶存酸素瓶の中に、琵琶湖の泥（田んぼの土でもよい）を入れる。
- 琵琶湖の水を入れる。
- 栓をする。
- 暗室に静置する。

* の水に酸素があることを次頁以降の方法で確認する。

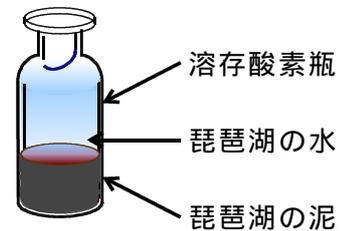


図2 湖底の再現モデル

【観察事例】

琵琶湖の底泥と湖水を溶存酸素瓶に入ると、泥が細かいため、沈殿するまでに1~2日かかる。あらかじめ湖水には酸素が含まれているため、泥の上層面は、鉄やマンガンの酸化物が生じ茶褐色になる。しかし、一週間ほど経過すると、この上層面が黒っぽい色へと変わる。これは、泥の中にいる微生物の生命活動によって、湖水の酸素が消費されるだけでなく、茶褐色を呈していた酸化鉄や酸化マンガンが還元されて、二価の金属イオンに変わるためである。さらに、一週間が経過すると、泥に亀裂が入り中からガスが発生する。

この段階で、栓を開けて臭いを嗅げば、どぶの臭いがする。これは、酸素が無くなったために、硫酸還元やメタン発酵が起こり、硫化水素やメタンなどのガスが発生したのである。その根拠として、硫化鉄などが生じたことにより、泥の上層面が黒色化していることから分かる。

10月27日 今の様子	10月28日	11月5日	11月12日
水と泥の境目の泥の色	灰色	若干茶色っぽい	黒色
底の泥の色	灰色	灰色	灰色
気がついたこと	泥が底にたまり、水も泥がまざっている	泥にかが割れが別、泥の上層が若干茶色っぽい	かび割れが細く成った気体が上部にあった

図3 再現モデルの観察記録例

【酸素の検出実験】

湖底の再現モデルの中の水に含まれる酸素の有無を確認するために、還元インジゴカーミン液(インジゴホワイト)を用いた実験を行う。

1 酸素の検出試薬の調整方法

インジゴカーミン水溶液(A液)と亜ジチオン酸ナトリウム水溶液(B液)の調製を以下のようにする。

A液：インジゴカーミン水溶液(250mL)の調製

炭酸水素ナトリウム 0.05g¹とインジゴカーミン0.025gに蒸留水を加えて250mLとする。この溶液は、約0.01%-インジゴカーミン液である。調製後、冷暗所に保存する。

B液：亜ジチオン酸ナトリウム水溶液(100mL)の調製

0.2%-NaOHaq 30mL²と亜ジチオン酸ナトリウム0.2gに蒸留水を加えて100mLとする。この溶液は、約0.2%-亜ジチオン酸ナトリウム液である。不安定な水溶液なので、実験直前に調製する。

*1 炭酸水素ナトリウムやNaOHaqを加えるのは、調製液を安定に保つためである。

*2 NaOH 1粒約0.2gなので、1粒をビーカーに入れ、100mLの水を加えて作り、そのうちの30mLを使う。

酸素の検出試薬の調製

- A液を試験管に10mL入れる。このA液内部に、駒込ピペットを使ってB液をゆっくりと1mL程度加える(a)。
- 両液が混ざるように、試験管の上端を持ちながら静かに傾け、そのまま試験管下部だけをゆっくりと回転させてから放置すると、次第に溶液は青色から黄色に変化して還元インジゴカーミン液ができる(b)。
(試験管を激しく振ると、還元インジゴカーミン液が空気中の酸素と反応して青色に戻るので注意する)
- しばらくすると空気と接している水面から酸素を取り込み青色になる(c)。これを防ぐために、上部に流動パラフィンを加え、空気と遮断する方法もあるが、後の処理に困るので、このままにしておく。20分程度では試験管底部まで青色になることはなく、底部が黄色であれば、酸素の検出は可能である。また、還元作用が残っていれば、試験管下部をゆっくりと回転させることにより、青色になった液の上部を黄色に戻すことができる。
- 内部まで青色になった場合は、B液を数滴加えて調製する(d)。

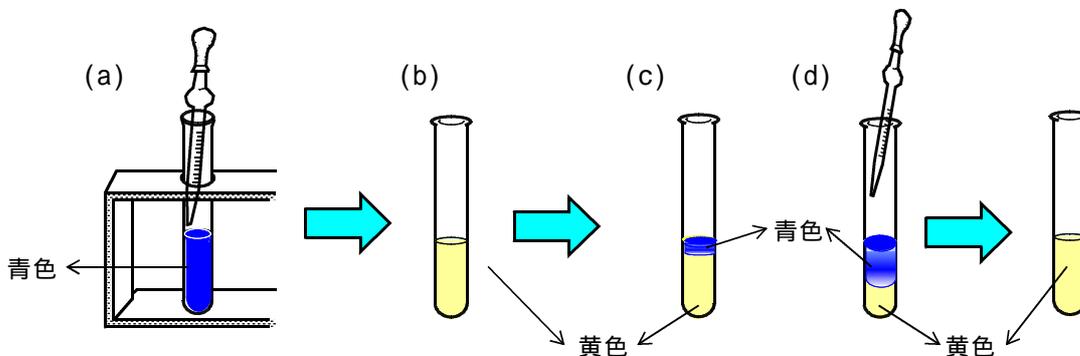


図4 検出試薬の調整

2 湖底の再現モデルを使って、酸素の減少を確認するための実験準備

パスツールピペット、検出試薬の入った試験管、試料水

酸素の検出方法

試験管に調製された酸素の検出試薬内に、試料水を加え、酸素の有無を調べる。液が青色になれば酸素が存在することが確認できる。ただし、調製段階で、還元剤である亜ジチオン酸ナトリウムを過剰に加えていれば、青色になっても、すぐに黄色に戻ってしまう。そこで、試料水を先の細く長いパスツールピペットで、試験管の底まで深く差し込み、ゆっくりと酸素の検出試薬内に流し込み、流し込まれた溶液の色が青色になるかどうかを見て酸素の有無を判定する。黄色に戻っても、入れている間にその部分が青色になっていれば、酸素が存在する。

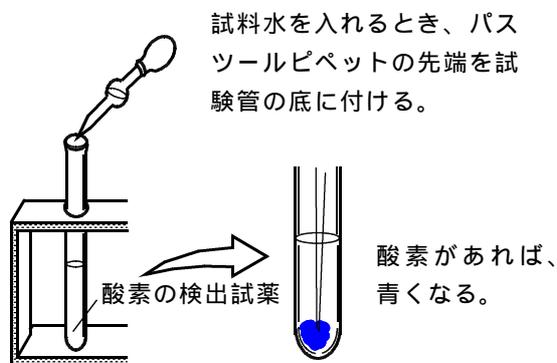


図5 検出操作

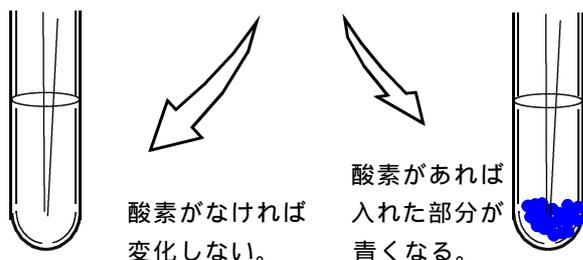
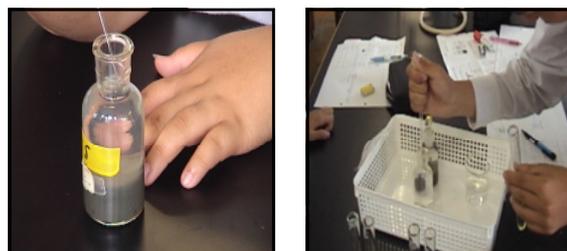


図6 酸素の有無の判定



ピペットに試料水を入れるときも、ピペットから試料水を試験管内に出すときも、空気を入れないように注意する。

3 生徒実験の例

実際の授業は、次頁以降のプリントにしたがって行う。生徒実験では、湖底の再現モデルのほかに3種の対照実験としてのモデルを作成する。また、生徒が、これらのモデルと湖の関係をイメージして実験を行うために、プリントに示した図を活用して説明する。この3種とは、単にビーカーに湖水を入れて静置した表水層モデル、波や風などで空気との接触の多い琵琶湖の表面を再現するためにエアープンプで空気を送り込んだモデル(表水波風モデル)、そして、溶存酸素瓶に湖水だけを入れて放置したモデル(水中モデル)である。そして、この3種のモデルの水には酸素があること、一方、湖底の再現モデルの水には酸素がないことを確かめる。

授業は、班単位(1班3~4名程度)で行うとよい。その後、全体場で各班の結果を発表させ、その結果を基に考察して実験をまとめるという流れを進める。

実験結果は、図7のようになる。

*湖底の再現モデルにおいて、酸素が無くなるのは、気温や保存場所などの諸条件で異なる。また、水中モデルは、プランクトンが存在するので、微量であるが酸素が消費される。実際には、事前実験を行い、酸素の減少を確かめておく必要がある。

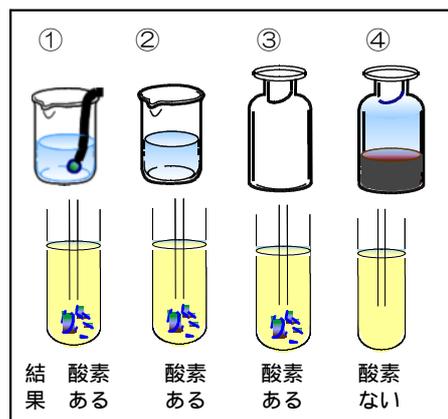


図7 実験結果の例

★実験 湖底の再現モデルを作って、湖底の様子を観察しよう！

① 湖底を再現しよう

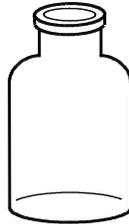
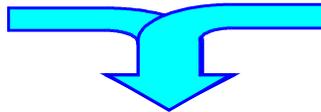
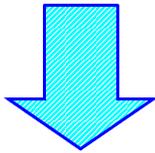
- ① 溶存酸素ビンの中に、琵琶湖の泥を入れる。
- ② 琵琶湖の水を入れる。(酸素が入っている水を入れる)
- ③ フタをする。

【再現モデルづくり】

琵琶湖の水
(表層水)

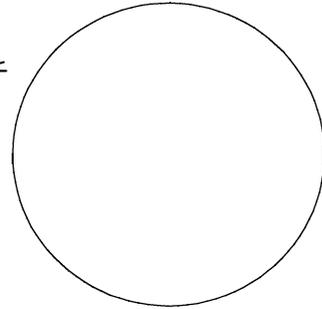
”
インジゴホワイトで
酸素の有無を調べる。

”
酸素が ()



【泥の観察】

* スケッチ



* 観察記録

色	
におい	
手ざわり	
気がついたこと	

② 泥の変化を観察しよう

* 絵で描こう！

今の様子	月 日	月 日	月 日
泥の表面			
泥の側面			
気がついたこと			

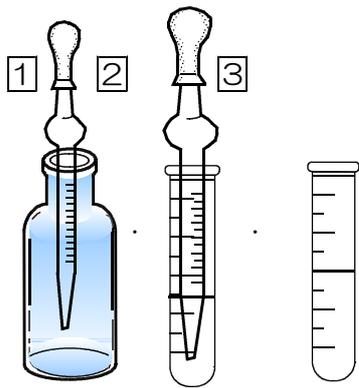
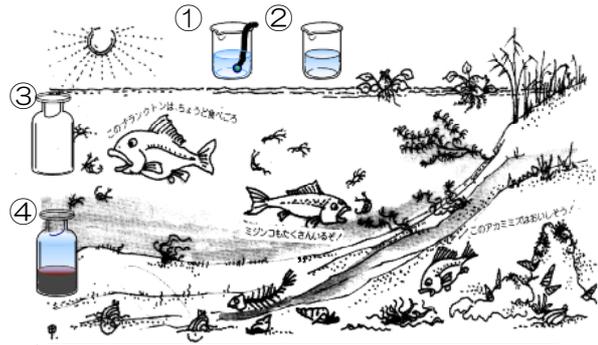
* 観察のまとめ

泥の表面の色は、はじめは () 色で、しだいに () 色へと変化した。泥の内部に () が生じ、() が発生している。() の臭いがする。

★実験 湖底の再現モデルを使って、酸素が減少するかどうかを調べてみよう！
 (インジゴホワイトと4種類の湖水について、酸素の有無を調べる)

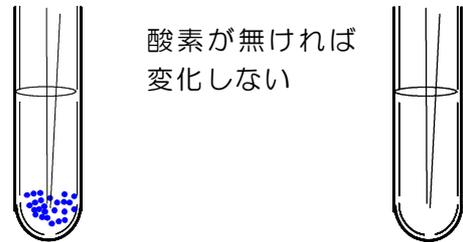
*方法

- ① 調べたい水をピペットで吸いとる。
 (*空気が入らないように吸い込む)
- ② インジゴホワイトの入った試験管の底に①の水を入れる。
 (*空気を吹き込まないように吹き出す)
- ③ 反応するかどうかを観察する。



* 判定方法 *

酸素があれば入れた部分が青くなる
 酸素が少ないと青くなってもしばらくすると色が消える



*結果

実験試料	①表水波風モデル	②表水層モデル	③水中モデル	④湖底の再現モデル
4種類の湖水				
インジゴホワイトとの反応				
酸素量 〔多い〕 〔少ない〕 〔無い〕				

*実験のまとめ

この実験によって、「湖底に酸素が減少する理由は、湖底の泥にすむ微生物によって、酸素が消費されるから」ということが確認 ()。