

自作簡易比色計による二酸化窒素測定を取り入れた小学校理科授業の開発

吉田 誠 治*・松井 明**・正元 和 盛***

Developing a science learning in elementary school by measuring nitrogen dioxide with a simple colorimeter

Seiji YOSHIDA, Akira MATSUI and Kazumori MASAMOTO

はじめに

本授業実践は平成14年度研究発表会熊本大学教育学部附属小学校（平成15年2月7日）の公開授業Ⅱ理科で行われたもののうち、簡易比色計による亜硝酸イオンの測定として二酸化窒素を測ることを活用した授業展開の部分について示したものである。それを実際の授業実践(I)とそのための基礎資料(Ⅱ)として解説した。

I. 小学校第5学年での実践

1. ねらい

自作簡易比色計を使った二酸化窒素測定実験を取り入れた授業を構想し、附属小学校第6学年児童38名を対象に授業実践を行った。授業は、第6学年理科単元：ヒトと環境の発展的な学習¹⁾として構成した授業「レッツ！身近な環境測定」（5時間取り扱い）の中に組み込んだモジュール学習として構成した。この授業のねらいは、ヒトは空気や水を通して植物と密接な関係を持って生きているという見方や考え方をもちょうにするることである。

メダカの飼育でなじみ深い水草が、酸素を作りだしたり空気をきれいにしてくれたりするという考えをもち子どもは少なくない。しかし、知識として知っているだけで、実感をもって理解しているとは言い難い。そこで、「金魚を飼うときに水草を入れるとよいのはなぜだろうか」という疑問をもたせ、自分なりの考えをもとにして、実験を計画し検証していく。そのような見通しを持った学習活動²⁾を行うことで、植物が大きな役割を果たしていることを実感することができる考えた。

2. 学習の実際

- (1) 「なぜ水草を入れると金魚は元気になるのだろうか」という疑問をもたせて実験を計画する
自ら見いだした問題を見通しをもって追究できるようにするために、事象提示を工夫した。酸素不足の2つの水槽に金魚を入れたものを用意し、一方は水草を入れもう一方は入れないようにして、しばらく時間をおいて2つの水槽の中の金魚の様子を比較させた。えらの動きの違いがよく見えるように動画クリップを用意し、前と後のそれぞれのえらの動きの様子を並べて見比べさせた（図1）。子どもたちは、「なぜ水草を入れると金魚は元気になるのだろうか」という疑問を抱くとともに、「水草が酸素をつくり出しているので、元気になったのではないかな」という予想を立てることができた。その後、大気汚染や酸性雨について考える授業を行い、その原因に車の排気ガスがあることを知り、以下の課題をもつことができた。

- 呼吸で増えた水中の二酸化炭素を植物を使って減らす。
- 空気中の二酸化炭素を減らす。



図1 水槽でのキンギョのえらの動きの動画クリップ

* 熊本大学教育学部附属小学校

** 熊本県南関中学校

*** 熊本大学教育学部理科生物

○空気中の二酸化窒素を減らす。

○水中の二酸化窒素を減らす。

子どもたちは4つのグループを編成し、これらを検証する実験を分担して計画することができた。その実験の1つに、自作簡易比色計による二酸化窒素測定実験をモジュール学習として取り入れた。

(2) 仕組みや手順を考えながら実験を行う

実験の測定結果がどうなるかという見通しをもたせて実験を行うことが大切である。そこで、自作簡易比色計の仕組みや測定の手順を子どもに考えさせながら実験を計画した。

比色法による濃度測定については、CODパケットによる測定経験があるので理解している。これと関連づけて測定の仕組みを理解させた。二酸化窒素濃度（水に溶けたあとの亜硝酸イオンとして）の測定では、試薬がピンク色に変化し、その色の濃さの度合いをもとにして値を出すので、その色が濃いことが二酸化窒素の濃度が濃いことであるというように理解することが、容易にできた。正しくは亜硝酸イオンとして測定しているが、混乱を避けるために子どもたちにはそこまでの理解は求めなかった。また、片方から光を出し、ピンク色で遮られた光の強さを、もう一方で測定することで、二酸化窒素の濃度を知ることができるという比色計の仕組みについても理解することができた。つまり、二酸化窒素の濃度が高い場合はピンク色が濃くなり遮られる光の量が多くなってデジタルメーターの数値が高い値を示し、二酸化窒素の濃度が低い場合はピンク色が薄くなり遮られる光の量が少なく値が低くなるというように理解することができた。

実験用の二酸化窒素の増えた空気は、実験を行う子どもが、自家用ディーゼル車の排気ガスを採って用意した。排気ガスは、段ボールで筒をつくり、ビニル袋の口に輪ゴムで取り付け、段ボールの筒ごと、排気パイプの先に差し込む。その際、やけどを防ぐために軍手をはめて行うように指示した。そして、ビニル袋が充分に膨らんだ後、ビニル袋を段ボールの筒から抜き取るようにして外すように指導した。この方法は分かりやすいようにビデオクリップを用意しておきそれを見せながら説明していった（図2）。

ビニル袋は45リットルのものを使用した。排気ガスの入ったビニル袋の中に、500ccの水を入れ、200回強く振り、二酸化窒素が溶けた水

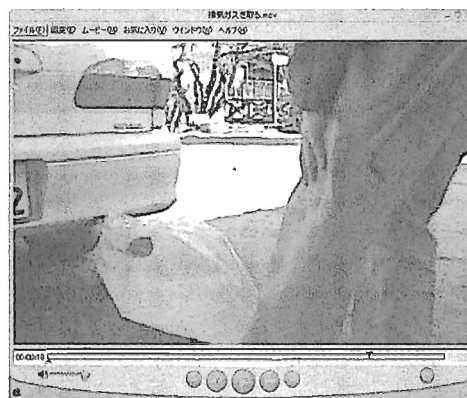


図2 自動車の排気ガスをとる方法を指導した動画クリップ

を用意した。それを1cc採り、試薬を溶かして比色計のセルに入れて測定した。測定の結果は1.70ppmであった（オオカナダモを入れる前）。その500ccの水をビーカーに入れ、その中に、長さ20cmのオオカナダモを2本入れ、サラップでふたをして、明るい窓際に置き、およそ48時間後に再び測定した。その結果は、0.12ppmと減少した。つまり、オオカナダモを水の中に入れることによって水中の二酸化窒素（溶けた亜硝酸イオンとして）を減少させることができたことを検証することができた。

(3) コンピュータを使って実験結果を考察する

デジタルメーターの値を二酸化窒素の濃度に換算する道具として、コンピュータを使用した。マイクロソフト社のエクセルを使用し、デジタルメーターの値を子どもが入力すると、入力してある数式によって、二酸化窒素の濃度（ただし測定した亜硝酸イオン濃度）に換算された数値が示される。同時に、その数値がグラフ化されることで、実験の前後で二酸化窒素の濃度の比較が視覚化できるようにした（図3）。このソフトを用意することで、実験結果をたやすく

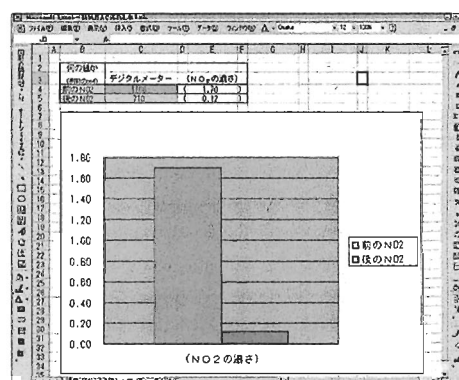


図3 児童による簡易比色計測定数値の入力例

考察することができた。

3. 考察

「なぜ水草を入れると金魚は元気になるのだろうか」という疑問を持たせ、予想や実験の見通しをもたせる工夫を行うことで、自作簡易比色計による二酸化窒素測定実験を取り入れた学習を効果的に行うことができた。その結果、植物が空気や水を通して私たちの生活に役立っていることを実感をもってとらえることができたと考える。

II. 基礎資料としての植物による亜硝酸イオンの取込み実験

1. 材料と方法

(1) 実験の条件

亜硝酸ナトリウム水溶液（終濃度；10ppm）200mlに植物を入れ（オオカナダモは全体、ポトスは根の部分のみ）、10：00～17：00に直射日光条件下においた（3日間）。瓶の口は蒸発を防ぐためにパラフィルムで封じた。測定時に、溶液0.5mlと0.2g/mlのザルツマン溶液0.5mlを混合し、20分後に分光光度計（UV-2200；島津）で測定した。

ザルツマン試薬の検量線を作成する際は0.1g/mlのザルツマン溶液に各濃度の亜硝酸ナトリウム水溶液を加え、20分後545nmの吸光度を分光光度計と簡易比色計で測定した。

(2) 各溶液の調整

1) ザルツマン試薬

クエン酸30g, N-1ナフチルエチレンジアミン酸0.01g, スルファニル酸1gを乳鉢中でよく混合し、この粉末10gを温めた蒸留水50mlに完全に溶かした³⁾。調整後のザル

ツマン試薬は長期にわたる保存だと発色が弱くなるため、冷凍庫に保存した。

2) 亜硝酸ナトリウム水溶液

亜硝酸ナトリウム0.15gを10mlの蒸留水に溶かし（10000ppm： NO_2^- ）、各濃度に希釈して使用した。

(3) 簡易比色計

簡易比色計は色のある試料溶液の光吸収を測定する装置で、それを用いた環境調査などの実践事例が報告されている⁴⁻⁶⁾。発光ダイオードの発した光が色のついた試料を通りCdSセル（硫化カドミウムを主成分とした光導電素子）に当たる。このとき試料の濃度が高いほど色も濃いので光が多く吸収され、透過する光は少なくなる。CdSセルはそれに当たる光量が小さいほど、抵抗が高くなり電流が流れにくくなるという特徴をもつ⁷⁾。つまり、試料の光吸収（濃度）が大きくなり光の透過率が小さくなると、CdSセルの抵抗は大きくなる。CdSセルはデジタルマルチメーターにつないでその抵抗値を読む。抵抗値の常用対数を取り測定値とした。抵抗値は蒸留水をキュベットに入れて測ったときの値（ Ω_0 ）に対する、溶液にザルツマン溶液を加えた反応で桃色になった反応液をキュベットに入れて測ったときの値（ Ω ）の比の対数（ $\log(\Omega/\Omega_0)$ ）をグラフの縦軸にとった。この値が反応液の濃度に比例する。

ここで用いた簡易比色計は、電源スイッチ、電流調整用抵抗の接続などのために基板上でハンダ付けをした。測定キュベット用にはフィルムケースを切り抜く等の加工をしたが、大学生でも作成に手間どった。小中学生が自作できるように、測定キュベットホルダーを紙で作り、

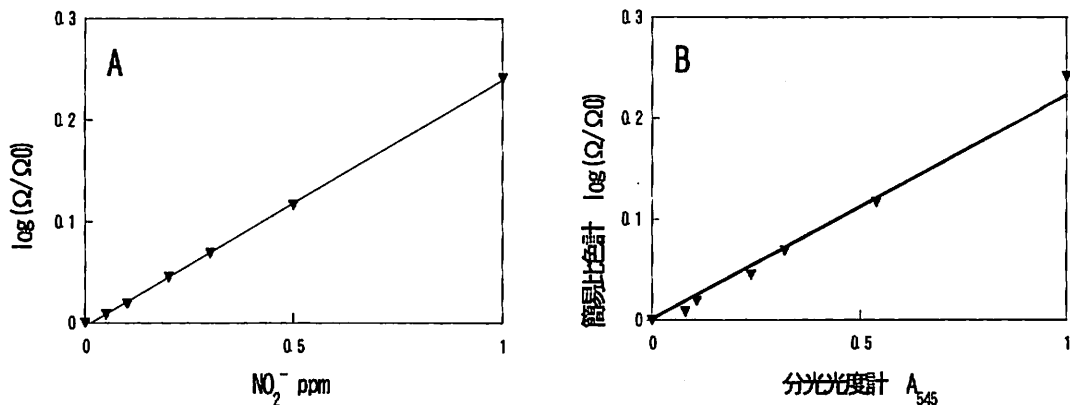


図4 亜硝酸イオンの検量線

0.1g/mlのザルツマン試薬溶液に各濃度の亜硝酸ナトリウム水溶液を入れて20分後の発色を簡易比色計で測定した(A)。また、各亜硝酸イオン濃度におけるザルツマン試薬との発色を、分光光度計の値と簡易比色計の値の値の関係を示した(B)。

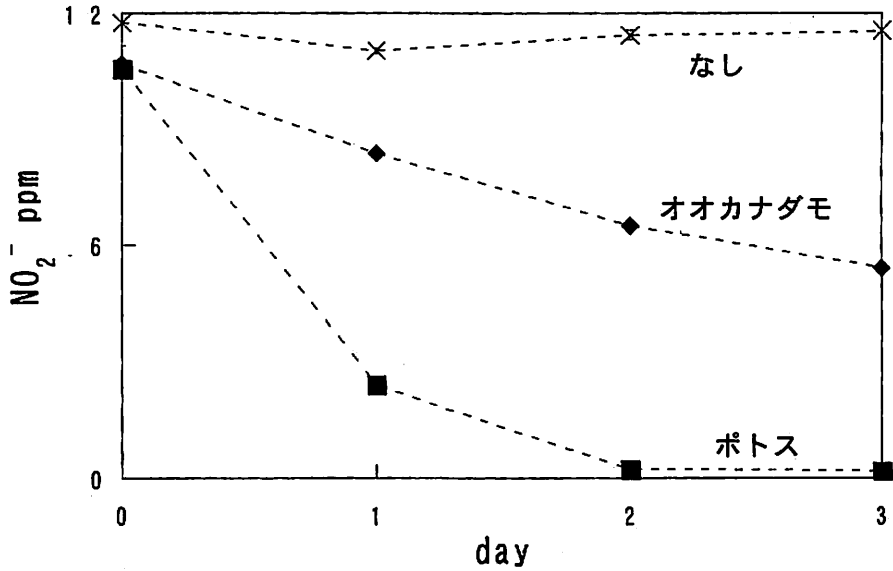


図5 オオカナダモ、ポトスの亜硝酸イオン取り込み

亜硝酸ナトリウム 1 ppm の水溶液を 200ml つくり、そこに植物を入れて 3 日間直射日光条件下に置いた。亜硝酸イオン濃度の測定には分光光度計を用いた。植物の生重量はオオカナダモが 1g、ポトスは 29g であった。ポトスは水栽培での根からの吸収。

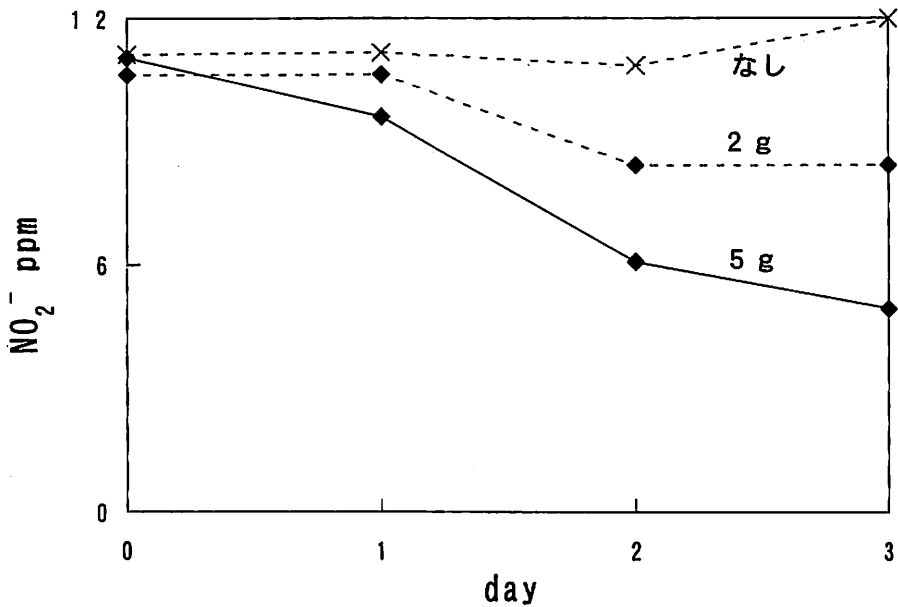


図6 オオカナダモの亜硝酸イオン取り込みの生重量依存性

オオカナダモの生重量 0g, 2g, 5g による亜硝酸イオンの取り込み量を調べた。実験条件は図5と同じであるが、光条件を木陰にしてある。

回路の接続にワニ口クリップを用い、かまぼこ板に押しピン、セロテープですべてを固定した簡素なつくりの改良型でも、測定には十分であった⁸⁾。

2. 実験結果と考察

(1) 検量線の作成

亜硝酸ナトリウムの数段階の濃度の水溶液を調整し、ザルツマン溶液を発色させ、分光光度計で 545nm の吸光度 (A₅₄₅) を測定すると同時に簡易比色計 ($\log(\Omega/\Omega_0)$) でも測定した。亜硝酸の濃度が 1 ppm の範囲で、簡易比色計で

の測定は亜硝酸濃度と比例関係にあった(図4 A)。また分光器での測定A545とも、良い対応がみられた(図4 B)。

(2) 植物の亜硝酸取り込み

オオカナダモ、ポトスは亜硝酸取り込みが1日目から明白に見られた(図5)。ポトスは実験開始から2日目ではほとんどの亜硝酸を取り込み、オオカナダモでも3日後には亜硝酸の濃度が半分まで低下した。ただし、直射日光条件下での実験では溶液の温度が上がりすぎないように注意が必要である。

オオカナダモの生重量を0g(Control)、2g、5g用いて、日陰で取込みを少し小さめにさせて、3日間亜硝酸濃度の変化を調べた(図6)。オオカナダモの生重量を増やしていくにつれて、亜硝酸取り込み速度は大きくなった。

参 考 文 献

- 1) 文部科学省 「個に応じた指導に関する指導資料—発展的な学習や補充的な学習の推進—(小学校理科編)」教育出版 平成14年
- 2) 角屋重樹・森本信也・村山哲哉 編著 「見通しをもって学ぶ子どもを育てる理科学習小学校5年」2000 東洋館出版社
- 3) 環境情報科学センター<http://www.ceis.or.jp/kankyogakushu/kankyo/activities/05>
- 4) 紺野昇, 大塚淳子, 杉本良一(1995) 自作の比色計とコンピュータを用いた大気汚染調査の教材化 日本理科教育学会研究紀要 36:11-20.
- 5) 伏島均, 大谷龍二(1999) LEDを利用した簡易比色計の製作と利用 群馬県総合教育センター長期研修報告.
- 6) 今倉康宏(2001) ふれあいサイエンス2001 <http://ostwald.naruto-u.ac.jp/~imakura-lab/hureai2001/hureait-ext.pdf>
- 7) 谷腰欣司光(2000) 光センサとその使い方 「第4章 CdS光導電セル」 pp.123-164 日刊工業.
- 8) 正元和盛, 木村知裕(2003) 「だ液アミラーゼの簡易比色計を用いた測定」 熊本大学教育学部紀要自然科学第52号 pp.99-104.