

ザルツマン試薬を活用した環境教材の工夫

－食品中の亜硝酸塩と大気中の二酸化窒素の検出－

越 坂 直 広

理科教育においては、日常生活と関連を図った学習、及び自然環境と人間とのかかわりなどの学習を通して、問題解決能力や多面的・総合的な見方を培うことが大切である。ここでは、ザルツマン試薬を活用した、食品中の亜硝酸塩や大気中の二酸化窒素の検出など、身の回りの環境課題に関係した観察、実験の方法について検討した。

[キーワード] 高等学校 化学 環境教育 総合的な学習の時間 ザルツマン試薬

はじめに

理科で学習する内容は、環境教育の基礎的な知識や考え方となることが多い。そのような中で、理科の学習内容を、循環、平衡、調和、多様性、相互作用、因果関係、生命などの環境教育の視点で見ることが大切である。このことを踏まえ、ここではザルツマン試薬を活用した食品や大気に関する実験を通して化学的な視点で環境問題について考え、主体的に判断し、よりよく問題を解決する資質や能力を育むことのできる教材について検討した。また、この教材は主に高等学校「化学Ⅰ」の中の「(2)物質の種類と性質 ア有機化合物」，「化学Ⅱ」の「(2)生活と物質 ア食品と衣料の化学 (ア)「食品」の食品添加物」，同「(イ)「衣料」の(アゾ)化合物」，「総合的な学習の時間」の中の「環境」，「健康」などの横断的・総合的な課題についての学習活動で活用できるものである。

1 ザルツマン試薬の調製

準 備

ビーカー (1000mL, 200mL)，スルファニル酸，N-1-ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩，酢酸，トリエタノールアミン，ガラス棒，温水

方 法

- (1) 1000mLのビーカー中に温水300mLを入れ、その中にスルファニル酸 4 gを入れて溶かす。

- (2) 200mLのビーカー中に水100mLを入れ、その中にN-1-ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩 0.2 gを入れて溶かす。その後、この水溶液を方法(1)のビーカーに加える。
- (3) 方法(1)のビーカーにさらに酢酸40mLを加える。その後、ビーカーの目盛りの800mLのところまで水を加える。

参 考

- (1) ザルツマン試薬は褐色びんに入れ冷蔵庫に保管するとよい。
- (2) 市販されているザルツマン試薬もあるが、高価 (500mLで約6000円) である。しかし方法(1)～(3)で調製すると、わずか10分程度で安価 (500mLで約100円) に調製できる。

2 食品中の発色剤 (NaNO_2 ；亜硝酸ナトリウム) を検出する

食肉等 (図1) に含まれるヘモグロビンやミオグロビンなどの血の色素は酸化されると、新鮮さのない褐色となる。その防止のために食品添加物として亜硝酸塩や硝酸塩を加えて鮮やかな赤・ピンク色を固定している。しかし、従前より亜硝酸塩の発ガン性などが指摘されており、大量に摂取すると人体に有害な影響をおよぼす。亜硝酸塩は一方で食中毒をおこすボツリヌス菌の繁殖を押さえるメリットもあることから、有害性に偏った視点から

だけでなく、摂取をできるだけ抑える方策についても視野に入れて、ザルツマン試薬による食品中の発色剤（亜硝酸塩）を検出する方策について述べる。



図1 亜硝酸塩を含む肉製品

準備

ビーカー（100ml）、ガラス棒、肉製品など亜硝酸塩を含む試料（ハム、ベーコン、ソーセージ、サラミ、からし明太子など）、乳鉢、乳棒、ザルツマン試薬（市販の亜硝酸塩検査用試験紙でもよい）

方法

- (1) 試料 5 g を乳鉢でよくすりつぶしてから、ビーカーに移し、水 45 ml を加える。
- (2) 方法(1)のビーカーにザルツマン試薬を 10 ml 入れ 10～15 分後に色を観察する。
- (3) 試料を油で炒めたり、ゆでたり、レンジで調理した後、方法(1)、(2)を行う（図2）。



図2 ザルツマン試薬での発色の様子

結果

- (1) 発色剤には、亜硝酸ナトリウム、硝酸カリウム、硫酸鉄(II)などがある。また、亜硝酸ナトリウムの発色助剤には硝酸塩、アスコル

ビン酸、ニコチン酸アミドなどがある。発色剤が含まれていた食品には、ベーコン、ウィンナー、ハム、サラミなどの肉製品の他、たらこ・明太子、筋子などがあつた。

- (2) 方法(3)の結果から、肉製品に「切れ目を入れてゆでる」だけで、亜硝酸量が半減（もしくはそれ以下に減少）することがわかった。油で焼いた場合にも亜硝酸塩が油に移行した。また食物繊維を多く含む海藻やイモは、食品添加物やダイオキシンなどの体の中の不要物、異物を取り込み排出する作用がある。このようなことから発色剤について、できるだけ摂取を押さえる簡単な方策や工夫が考えられる。

考察

- (1) 発色剤が使用されている理由を考える。
- (2) 方法(3)の結果から、発色剤を減少させる調理方法とその理由を考える。

参考

- (1) ザルツマン試薬の発色のしくみを図3に示す。赤紫色の発色は食品中の亜硝酸によるジアゾ化を利用したものである。まずスルファニル酸を亜硝酸によってジアゾ化し、これに N-1-ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩を結合（カップリング）させ、橙赤色（ピンク色）のアゾ色素を生成させているのである。

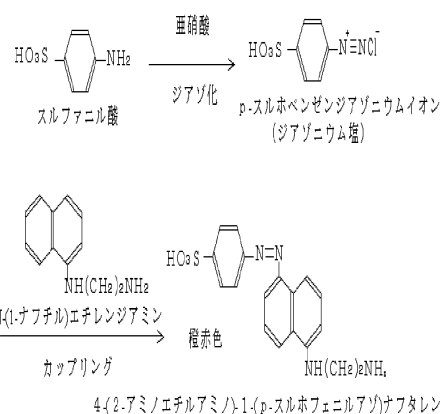


図3 ザルツマン試薬の発色のしくみ

- (2) 亜硝酸塩は急性毒性があり、食肉・魚肉中のタンパク質の中の2級アミン（ジメチルアミン）と結合し、N-ニトロソアミン（発ガン性物質）となる。また、ソルビン酸（保存

料)と亜硝酸が混合し、酸性の状態で熱が加えられた場合にも発ガン性の物質が生成すると指摘されている。

- (3) 化学肥料の大量使用や大気汚染に起因して野菜からも亜硝酸塩が検出された。図4は、ハクサイ約10gをすりつぶし、約60mlの水を加えてウォーターバス中で30分加熱した後、亜硝酸塩の存在をザルツマン試薬と亜硝酸塩検査用試験紙で確認したものである。

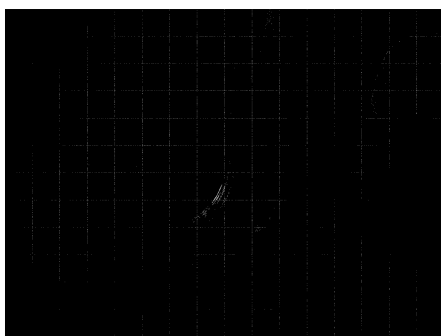


図4 野菜中の亜硝酸塩の検出

- (4) 腐敗した食肉で方法(1)、(2)を行うと、亜硝酸塩がほとんど検出されなかった。これは亜硝酸イオンが酸化され硝酸イオンになったためと考えられる。
- (5) 水質用パックテストの「亜硝酸用」の中味も原理的にザルツマン試薬と同様のものが入っているので、方法(1)～(3)と同様の実験ができる。
- (6) ザルツマン試薬のかわりに市販の検査用試験紙^{※1)}(図5)を用いてもよい。この場合、方法(1)のビーカーに1秒間浸し、1分後に試験紙の色を比色表と比較する。

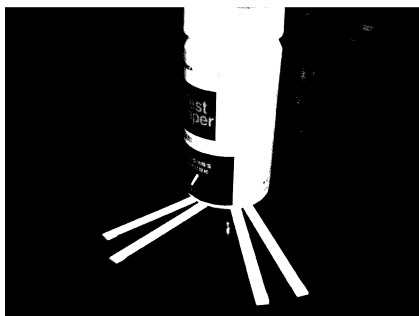


図5 亜硝酸塩検査用試験紙

3 大気中の二酸化窒素を検出する^{※2)}

準備

フィルムケース、ろ紙、セロハンテープ、比色計、ガラス棒、ザルツマン試薬、50%トリエタノールアミン水溶液、スポイト、試験管

方法

- (1) フィルムケースの内側にろ紙(2cm×9cm程度に切ったもの)をセロハンテープ等で貼りつけ、50%トリエタノールアミン水溶液をスポイトで3～4滴入れ、ろ紙に染みこませる。
- (2) いろいろな測定地点に、ふたを外したフィルムケースの口を下に向けて固定し、24時間放置する(図6)。

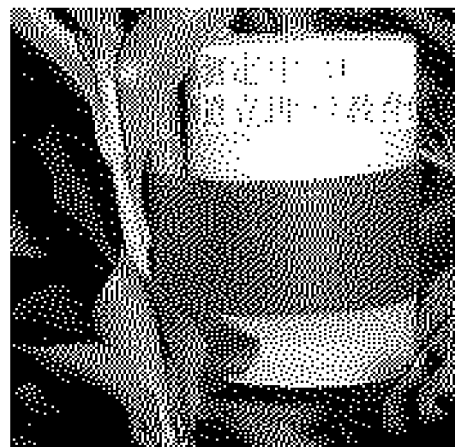


図6 二酸化窒素の捕集

- (3) フィルムケースを測定地点の場所から外し、ふたをして密封する。
- (4) 回収した方法(3)のフィルムケースの中にザルツマン試薬5mlを加えてふたをし、軽く振る。20分後、この液を試験管に移し、色の濃淡を比較する(図7)。また、比色表があればその色と比べてノックス(NOX)の濃さを調べる。比色計があれば色の濃さを測り、検量線にあてはめて二酸化窒素濃度にして記録する。

考察

- (1) ノックス(NOX)と空気の汚れとの相関関係を考える。
- (2) 雨の前後の実験結果の違いについても調べ

その理由を考える。

- (3) ザルツマン試薬のしくみ（カップリング）やトリエタノールアミンの働きについて考える（2の図3を参考）。



図7 発色の比較

参 考

- (1) 空気中の二酸化窒素は、主に自動車（燃焼反応）から排出され、空気の汚れ、大気汚染、光化学スモッグ、及び酸性雨やぜんそくの原因となっており人体や環境に悪影響を与えている有害な気体である。自動車以外でも、家庭のストーブ、タバコ、コンロからも発生が確認された。また、窒素酸化物同様に人体に悪影響のある硫黄酸化物は、排煙脱硫装置などの対策により著しく減少している。
- (2) 二酸化窒素（ NO_2 ）においての我が国の環境基準は「1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでの範囲内又はそれ以下」である（環境庁告示 第38号）。
- (3) 二酸化窒素を捕集する容器内にトリエタノールアミンを入れたのは、トリエタノールアミンが図8の様に二酸化窒素を捕らえることができる性質を利用したからである。また、トリエタノールアミンは非常に強い粘性を持っているので水で薄めて50%程度の濃度にして使用すると良い。

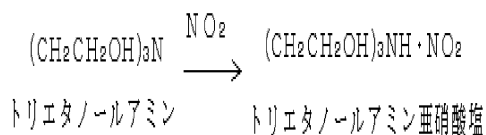


図8 トリエタノールアミンの働き

- (4) 方法(1)で使用するろ紙はペーパークロマト（例えば東洋ろ紙の50番）用のものを使用すると紙幅の調製が不要で便利であった。
- (5) 方法(2)でフィルムケースは直射日光の当たらない箇所に地上から1m～1.5mくらいの高さになるよう布ガムテープ等で固定するとよい。
- (6) 方法(2)の測定地点は交通量の多い所や少ない所、森林などが考えられる。場所による微妙な差も発色の様子で明確な違いがでた。
- (7) 環境保全の観点からも、方法(4)の実験後は、炭酸水素ナトリウム（重曹）や炭酸ナトリウムで中和の処理をするといよい。
- (8) 方法(4)でCdSセルと発光ダイオード等で自作比色計を作製すると、安価で簡単に、二酸化窒素の定量実験が可能である。
- (9) 気体検知管（図9）を用いても環境に影響を与えている気体について簡単に測定できる。気体検知管の中のシリカゲル等吸着させてある検知剤は特定の気体と反応して色が変わる。気体検知管は高価であるが、一酸化炭素や二酸化炭素をはじめ300種類以上の気体についてppmレベルの測定が可能である。

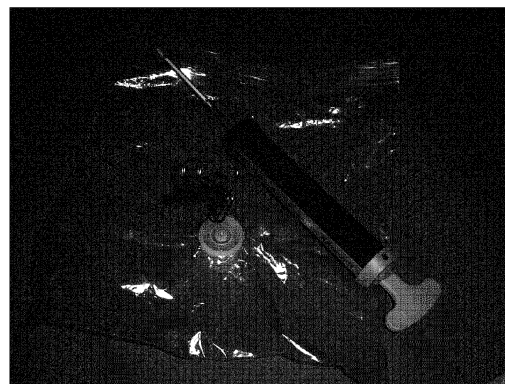


図9 気体検知管

4 二酸化窒素に関係したその他の実験

準 備

蒸発皿，ポリエチレン袋，ガスバーナー，ザルツマン試薬，身のまわりの燃える物質または熱源（毛糸，ろうそく，電熱器，アルコールランプなど），試験管，霧吹き，簡易pHメーター（または，万能試験紙やリトマス紙，パックテストなど），活性炭，試験管

A 二酸化窒素の発生要因を確かめる

方 法

- (1) 蒸発皿にザルツマン試薬を少量入れ，その液面を上からガスバーナーの炎で加熱する。
- (2) 別の蒸発皿にザルツマン試薬を少量入れ，蒸発皿の下からガスバーナーの炎で加熱する。
- (3) 蒸発皿に，それぞれ毛糸，スポンジ，ろうそく，ラップフィルムなどを少量入れて燃焼させる。このとき発生する気体を蒸発皿の上部にポリエチレン袋をかぶせ集める（図10）。また電熱器，アルコールランプなど熱源の上部にポリエチレン袋をかざして周辺の気体を集める。
- (4) 方法(3)のそれぞれの袋にザルツマン試薬を10ml入れよく振り，15分放置する。このとき簡易的に実験する場合は加える試薬は2ml程度で十分である（図11）。
- (5) 方法(4)のポリエチレン袋の液体を試験管に移し，その色を比較する。



図10 気体の採取



図11 毛糸の燃焼での発色

参 考

実験の結果から，窒素酸化物は，スポンジ（ポリウレタン：N（窒素）含む）や毛糸（ウール100%：N（窒素）含む）を燃やした場合濃いピンク色の発色が確認できたことから「N（窒素）を含む物質が燃焼中に酸化される時」と600Wの電熱器から回収した気体についても薄いピンク色の発色が確認されたことから「大気中の窒素が酸化された時」に発生すること（物質中にN（窒素）がなくても，温度が上昇することによって空気中で安定な窒素分が酸化されて二酸化窒素が発生すること）が確認できた。

考 察

方法(1)，(2)からわかることは何かを考える。

B 酸性雨モデルと二酸化窒素の浄化

方 法

- (1) 自動車の排気口にポリエチレン袋をあて，排気ガスを袋にためる。暖気運転時，回転数をあげたとき等条件を色々かえてそれぞれ3袋（A～C）ずつ採取する（図12）。

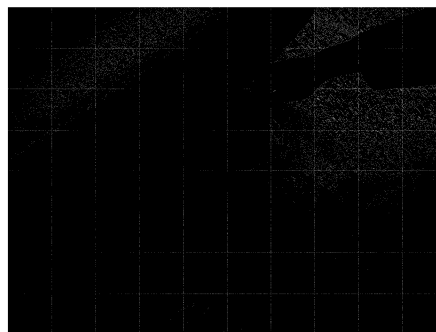


図12 排気ガスの捕集

- (2) 方法(1)の袋Aの中に、霧吹きで、袋の上部から霧を吹き袋中に水を溜める（酸性雨モデル）。
- (3) 方法(2)の袋中の液体についてpHを簡易pHメーターで測定する。
- (4) 方法(1)の袋Bの中に活性炭を適量入れる。袋Cには袋Bより活性炭量を増やして入れる。その後、適当な時間放置する（図13）。



図13 活性炭による浄化

- (5) 方法(3)(4)の袋にザルツマン試薬10mlを入れ、よく振って15分間放置する。活性炭が入った袋は、発色した色が活性炭に吸着されないように袋の角に活性炭を集めて輪ゴムなどで仕切る。その後、試験管に移し色を比較する。

結 果

- (1) 方法(2)では濃いピンク色の発色が容易に確認できる。酸性雨の成因と関係させると幅広い教材化が考えられる。今回の実験方法（方法(3)では）pH3.4の酸性雨となった。
- (2) 方法(5)から、ディーゼル車はガソリン車と比較して多量の二酸化窒素を出していることがわかった。これは、ディーゼル車は排ガス中の酸素濃度が高く、ガソリン車に使われている触媒が使用できず、排ガスが浄化されないためと考えられる。
- (3) 方法(4)，(5)では、100円ショップで購入した脱臭剤中の活性炭50gを使用し、ポリエチレン袋中で4時間放置した。この場合ザル

ツマン試薬での発色の差が明らかで活性炭の二酸化窒素吸着（浄化）効果が確認された。二酸化窒素の浄化には、実際には触媒（250～300℃で働く）が車などで使用されている。また、その他としてアンモニアによる還元浄化法がある。また自然の力として、落葉樹、広葉樹林も二酸化窒素を吸収浄化できる。

おわりに

理科教育において、身の回りの環境問題について現状を認識し、考察を加え、対策を練り、そして行動に移す態度を育むこと、自然と共生する合理的な生活、活力ある持続可能な社会を模索する力を育むことが大切である。環境に関する学習を進めていく上で、小学校→中学校→高等学校と段階的に、そして系統的に工夫を凝らしていく必要がある。今回検討した教材は、高等学校のみならず、小学校・中学校それぞれの視点からも扱うことができ、様々な観点から効果的・能率的にアプローチできる、環境や科学の基礎について主体的に探究することのできる教材と考える。

参考文献

- 1) 新観察・実験大辞典化学編③ pp.36-37 東京書籍 2002
- 2) 左巻健男・市川智史 環境調査マニュアル pp.75-88 東京書籍 1999

（こしざか なおひろ 化学研究室研究員）

越坂