

高等学校理科におけるグリーンケミストリー（G S C）の概念を生かした実験教材について

越坂 直広

使用する薬品の量をできる限り少なくした実験や触媒を用いた反応など、主に高等学校化学の有機化学領域におけるグリーンケミストリー（G S C）の概念を生かした観察、実験の方法について検討した。

[キーワード] 高等学校理科 グリーンケミストリー ニンヒドリン反応 アミノ酸の緩衝作用

はじめに

グリーンケミストリー（環境にやさしい化学（持続可能な化学））、Green and Sustainable Chemistry、以下G S Cと表す）とは化学製品の設計・製造から廃棄リサイクルまで全サイクルにわたって、人間の健康や環境に害を与えるものをより安全で環境に影響を与えないものへの変換を推進し、廃棄物の少ないシステム、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことで、現在ナノケミストリーとともに注目を浴びている分野である。G S Cについては高等学校の教科書などでも取り上げられ始めているが、現段階でG S Cの実験教材の例は少なく開発途上にある。今後、化学(理科)教育においても環境教育の観点からも、G S Cの理念を生かした教材の開発と学校教育のカリキュラムの中にG S Cをどのように組み込むかが課題である。ここでは、特に有毒な薬品を多く含む有機化学実験の領域における、論理的な判断・意志決定能力の育成を図りG S Cの考え方を示す実験教材及びG S Cの考え方をより身近なものとしてとらえられることのできる教材について検討した。

1 使用する薬品の量を出来る限り少なくした実験教材

G S Cにおいては「廃棄物を出してから処理

するのではなく廃棄物はできるだけ出さない（廃棄物を出すと処理費もかかる）。」という視点や「化学事故につながりにくい物質を使う。」「原料はなるべく再生可能資源（再生可能で環境に優しい原料）から得る。」という視点が重要である。これらのことを踏まえ、化学・のアミノ酸等を扱う有機化学の単元で活用できる、毛細管量の試薬でT L C板上で行うニンヒドリン反応の実験例や、セルプレートを利用したアミノ酸の緩衝作用についてのマイクロスケール実験例を紹介する。

実験1 T L C（薄層クロマトグラフィー）を用いて目薬中のサルファ剤を調べる

アミノ酸の検出に用いるニンヒドリン反応では、通常、試験管中で試料溶液とニンヒドリン溶液を混合して、ガスバーナーなどで加熱して青から赤紫色に発色させる方法を用いるが、ここでは毛細管を用いた、極少量の試料とニンヒドリン溶液による、簡単・短時間で明確にアミノ酸の検出ができる実験方法を紹介する。

この方法は加熱操作もドライヤーを使用した安全な方法を用い、実験結果もコンパクトに整理されるなどの面でも有効である。

目 的

薬品の化学 - 医薬品の単元で、授業の導入や発展として用い、有用な抗菌剤となる物質の構

造，性質などを扱い，化学の応用面について理解させるとともに，GSCの考え方をより身近なものとしてとらえることを目的とする。

準 備

目薬（抗菌剤（サルファ剤）を含むもの），1%ニンヒドリン水溶液，薄層プレート，毛细管，ドライヤー

方 法

- (1) 10mm×10mmに切った薄層プレート上にニンヒドリン溶液をスポットする。
- (2) 方法(1)の薄層プレート上のニンヒドリン溶液のスポットから2～3mm離れた位置に目薬をスポットする（図1）。
- (3) (2)の薄層プレートをドライヤーで加熱する。

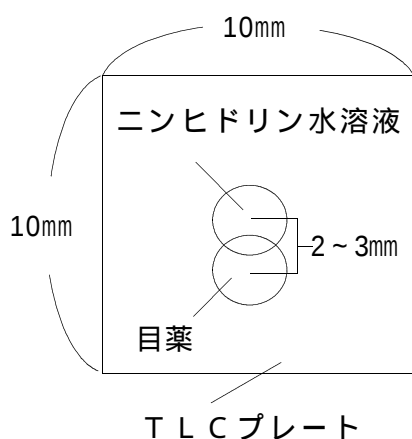


図1 TLC上でのニンヒドリン反応
生徒に指導するポイント

- (1) 化学療法の先駆け（化学的に合成された薬品治療のはじまり）となったサルファ剤（サルファミン剤）について，その発見・合成に至るまでの経緯などを調べさせる。
- (2) 方法(3)の結果から，サルファ剤についてどのようなことがわかるか考えさせる。

参 考

- (1) ここでは毛细管量の極少量の試薬で実験できることや，試料のスポット面積を小さく調整できること（3～6mm），乾燥が早いこと，発色の状態が良いこと等の理由でTLC板を用いた。TLCの活用その他には紙上での反

応も考えられる。

- (2) 大腸菌やサルモネラ菌などの細菌類の発育を阻止するサルファ剤の基本構造はP-アミノベンゼンスルホンアミドである（図2）。アミノ基を含むためニンヒドリン反応を示す。

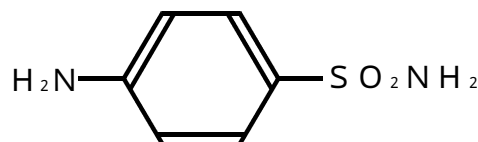


図2 サルファ剤の基本構造

- (3) 実験1は目薬だけではなく，アミノ酸を含む物質について調べるとよい。例えばお茶（テアニン，カテキンなど），化学調味料（味の素など：グルタミン酸），人工甘味料（アスパルテーム（L-アスパルチル-L-フェニルアラニンメチルエステルはL-アスパラギン酸とL-フェニルアラニンメチルエステルがペプチド結合したもの））などが挙げられる。これらは食品と衣料の化学・食品の単元での活用なども考えられ，日常生活の中の化学に興味をもち，アミノ酸が身の回りの様々な物質に含まれていることを確認し，濃度の大小を呈色反応で実感する実験などに用いることができる（図3）。

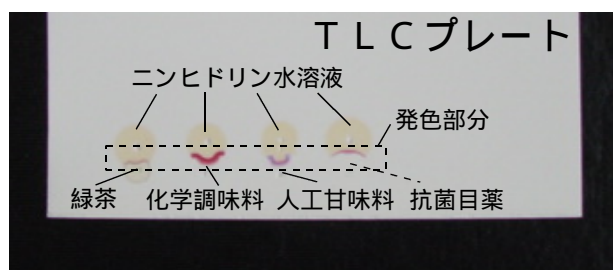


図3 身の回りの物質のニンヒドリン反応

- (4) 1%ニンヒドリン水溶液を用いないで簡易的にニンヒドリン反応を行うその他のGSC教材としての実験方法に，反応魚拓紙（ギョタックル（伏見株式会社））を用いる方法がある。この紙にはニンヒドリンがしみこんでおり，アミノ酸を含む試料を滴下し加熱することによって発色する。
- (5) TLC上で極少量の試薬量でできる効果的

な他の実験例は以下に示す指示薬の呈色を確認する実験（図4）や、酸化・還元反応への活用例などが挙げられる。

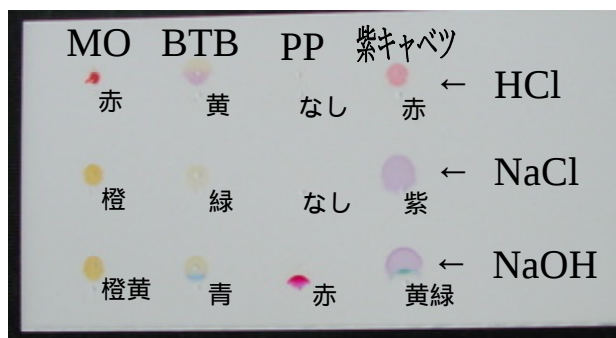


図4 TLC上での指示薬の呈色

実験2 アミノ酸の緩衝作用についてセルプレートを利用したマイクロスケール実験¹⁾

使用する薬品の量をできる限り少なくして、実験時間の短縮と実験の結果がコンパクトに整理される実験方法を紹介する。

準備

12 - ウェルセルプレート，ポリ点眼瓶(25 μ l)，万能試験紙，グリシン，2 mol/l HCl ，2 mol/l NaOH ，食酢，駒込ピペット

方法

- (1) セルプレートの隣り合った2個のセルにそれぞれ水2 μ lを加える。
- (2) 一方のセルにグリシン0.05gを加えて溶かし，もう一方のセルはそのままにしておく。
- (3) 両方のセルのpHを万能試験紙で調べ，記録する。
- (4) 両方のセルに2 mol/l HCl を点眼瓶を用いて1滴滴下し，セルプレートを軽く揺すって，pHを万能試験紙で調べ，記録する。2滴目以降も同じ操作を繰り返し，1滴ずつ8滴目まで順に行う。
- (5) 同様に，2 mol/l NaOH についても方法(1)～(4)の操作を行い，結果を記録し比較する。
- (6) セルプレートの隣り合った2個のセルにそれぞれ食酢5 μ lを加える。
- (7) 一方のセルにグリシン0.1gを加えて溶かし，もう一方のセルはそのままにしておく。

- (8) 両方のセルのpHを万能試験紙で調べ，記録する（図5）。

生徒に指導するポイント

- (1) 定量的な視点を身に付けさせ，データを処理する能力を育む意味でも，結果はグラフ用紙に記入させ滴定曲線をかかせる。このとき縦軸横軸に何をとるか，スケールをどうするかなどについても考えさせる。

○：グリシン水溶液 ▲：純水

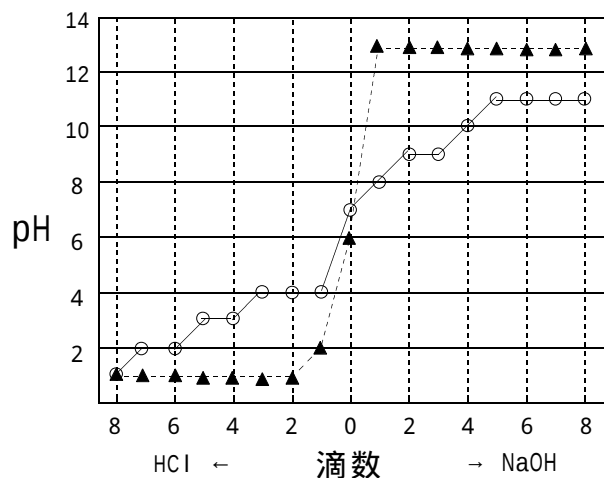


図5 アミノ酸の緩衝作用（滴定曲線）

- (2) アミノ酸の構造や緩衝作用，水溶液における平衡，双性イオンなどについて考えさせる。観察，実験を深める方法

身近な清涼飲料水（スポーツドリンク）などの緩衝作用について調べる。

参考

- (1) アミノ酸試料としては，極性をもたない中性電荷のグリシンを用いた。
- (2) アミノ酸の緩衝作用は，「だし汁でうすめた食酢は味がまるやかで刺激が少なく感じられる」という例などで日常生活で体験している。このことが方法(6)～(8)で確かめることができる。(8)で食酢のpHはおおよそ2，化学調味料を加えた食酢のpHは4となる。
- (3) 実験後の廃棄物の処理も，生徒に環境への影響や環境保全の大切さを考えさせ，GSCの考え方を示す実験教材及びGSCの考え方をより身近なものとしてとらえられるよい機

会となる。

酸やアルカリの廃液は互いに中和（ $\text{pH} = 6.5 \sim 8.6$ に調整）してから大量の水でうすめながら流すなど適切な処理が必要である。pH調整やろ過・凝集・（活性炭等を使用した）吸着その他の化学的処理を利用した廃液処理方法によりマンガン・亜鉛・銅・鉛などの重金属イオンの処理，前処理を組み込んだクロムを含む廃液の処理など，理科実験で生じる廃液を適当な化学処理（中和，酸化，還元，加水分解など）または希釈する方法を実験の中に組み込むことが望ましい。

2 触媒を使った反応（エネルギー消費の少ない反応）を用いた実験教材

エタノールからエチレンをつくる実験では，通常，濃硫酸（実験後廃棄が必要）を触媒として用いる。この場合問題点として，エチレンと同時に二酸化硫黄が発生し，この二酸化硫黄がエチレンと同様の反応（過マンガン酸カリウムなどとの反応）をしてしまうことなども挙げられる。ここでは触媒に活性アルミナ（実験後再利用できる）を用いた短時間で容易に安全にエチレンを集めることのできるGSCの視点にかなった方法を紹介する。

実験3 活性アルミナ触媒を用いてエタノールからエチレンをつくる²⁾

準備

エタノール，活性アルミナ，臭素水，過マンガン酸カリウム硫酸酸性溶液，綿，試験管（直径16mm），ケミカルスティック，気体誘導管，ガラス棒

方法

- (1) 試験管の底にガラス棒で綿をきつめに詰める。
- (2) 方法(1)にエタノール3 mLを加え，綿にしみこませる。しみこまない分は試験管を傾けて捨て，試験管をスタンドに水平に固定する。
- (3) 試験管の中央に，約1 gの活性アルミナを

ケミカルスティックを用いて入れる。

- (4) 試験管に気体誘導管付きゴム栓をはめる。
- (5) 試験管の活性アルミナの部分を加熱し，発生する気体を試験管に集める（図6）。
- (6) 気体を集め終わったら，誘導管を水から出してから加熱をやめる。
- (7) 集めた気体に点火したり，臭素水を加えたり，過マンガン酸カリウムの硫酸酸性溶液を加えるなどの操作をする。

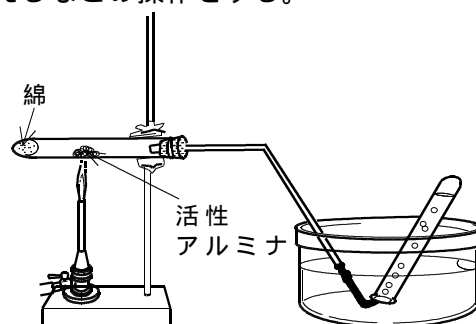


図6 反応装置

生徒に指導するポイント

エタノールの脱水でエチレンをつくるために従来使用されていたものは何か，活性アルミナを使用した場合はそれらと比較してどのような利点があるか考えさせる。

おわりに

今年度の理科研修講座においてGSCを題材に実験・協議を行った。その中では「有効な実験・考え方である。使用した物の行き先，そして物質の循環，我々に対する影響などを総合的にとらえる考え方として重要」などの意見が多かった。今後もGSCの理念を生かした教材の開発と学校教育のカリキュラムの中にGSCをどのように組み込むかについて検討していきたい。

参考文献

- 1) 日本化学会編 実験で学ぶ化学の世界3 丸善 pp.79-82 1996
- 2) 日本化学会化学教育協議会編 高等学校化学実験集 pp.144-145 2003

（こしざか なおひろ 化学研究室研究員）