

容易に自作可能な二段式つり合い比色計の開発

荒 川 昌一郎*・下 村 博 志**

(平成22年9月30日受付；平成22年11月5日受理)

要 旨

教育現場において溶液中の物質を定量するための器具の開発を目指して、簡易な二段式つり合い比色計を考案し製作した。これは外筒と内筒かならなる二重円筒構造を有し、また内筒と外筒の一端は各々透明樹脂製とし、光が透過できるようにしたものである。外筒には溶液溜めを設けた。これを2個制作し一組として使用する。各々の外筒に試料溶液と標準溶液を入れ上方から目視により透過光を観測し、内筒を上下させ、両者の溶液の色調が釣り合った点で溶液の光路長を測定する。ランベルト・ベール則により試料溶液の濃度を求める。試料が共存物により着色している場合あるいは懸濁している場合には、標準溶液側の内筒に当該試料溶液を入れ光学的に重ねあわせ、共存物の影響を補償する。試作した器具の材料は市販の塩化ビニール製パイプ、継手部品、透明樹脂フィルム及び透明樹脂板であり、製作は容易である。メチレンブルーを共存物とする亜硝酸イオン溶液を用いて、つり合わせによる亜硝酸イオンの定量を行うことができることを確認した。

KEY WORDS

化学分析 Chemical analysis つり合い比色計 Balancing Colorimeter

1 はじめに

目視により溶液の色調を比較し、物質を定量する比色分析法は、透過光強度を電子的に測定する光電光度計が開発される以前は、比較的信頼性がありかつ多様な物質に適用できる定量分析方法として広く活用されていた⁽¹⁾。比色法は一般的に吸光測定法よりは精度正確さに劣るものの、吸光測定法よりも用いる器具が簡便であることや測定操作が容易であること、さらに吸光測定法と同様に多様な物質に適用できることなど、簡易測定や現場測定、あるいは専門的な化学分析における予備測定などの用途としてふさわしい特性を備えている。比色法のなかでも代表的手法として標準列法とつり合い法があり、標準列法は市販のテストキット等として発展し非常に簡便な分析法として現在も広く実施されている。一方でつり合い法は、近年あまり実施されなくなっている。かつてつり合い法で盛んに使用されたデュボスク (Duboscq) 比色計は⁽²⁾、様々な改良が加えられ^{(3),(4)}、装置の簡易化についても検討されていた⁽⁵⁾、現在では博物館以外で見かけることは稀である⁽¹⁾。通常つり合い法の実施には専用のつり合い比色計が必要であり、その点が試験管のみでも実施できる標準列法に比べて不利である。しかしつり合い法は、手間のかかる標準溶液の調製が少数で済むという実施上の大きな利点がある。また標準列法と異なり測定値が離散値とならず、より正確な測定を行い得る方法である。つり合い法の測定原理は、着色した溶液の水位が増加するにつれて色調が濃くなってゆくとの、容易に確認できる現象を直接的に利用するものである。そのため測定器がブラックボックス化せず、測定者は測定原理を理解して実験を行うことができる。以上の点からつり合い比色計は教育現場に備える実験器具としても非常にふさわしい特性を有すると考えられるが、現在までにつり合い法の教材開発例は限られており著者らが知る限りでは、ネスラー管を流用したつり合い比色計の開発について一例報告があるのみである⁽⁶⁾。また分光を伴わない比色法は着色共存物の影響を受けやすく、かつてつり合い法が実用分析に供された際はこの影響を補償するため、二段式つり合い比色計が考案されていた⁽⁷⁾。実試料は共存物により着色していることも多く、その影響を補償できるつり合い比色計は有用である。しかし現在までに二段式つり合い比色計の簡易化や教材化についての検討例は見当たらない。教育現場で容易に自作可能で簡便に操作できる二段式つり合い比色計が考案されれば、それは教育現場における一つの実用的な分析器になり得る。そこで今回、教育現場で容易に製作できる二段式つり合い比色計を考案試作し、つり合わせが行えるかどうか検討した。

2 測定原理

2. 1 一段式つり合い比色計の原理

図1 (a) に示すように、試料溶液がセルAに入り、標準溶液がセルBに入っているとする。目的物質は予め、適当な処理により発色させておく。セルAの溶液中の目的物質濃度を C_1 、セルBのその濃度を C_2 とする。 ϵ は分子吸光係数であり、目的物質ごとに一定の値である。また、溶液の光路長を各々 L_1 及び L_2 とする。入射光強度を I_1 とし、以下、どの測定系でも I_1 は変わらないとする。また試料側透過光強度を I_2 、標準側透過光強度を I_3 とする。ランベルト・ベールの法則が成り立っているものとする⁽⁷⁾、

$$I_2 = I_1 \cdot 10^{-\epsilon L_1 C_1} \quad \text{かつ} \quad I_3 = I_1 \cdot 10^{-\epsilon L_2 C_2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここで、セルの上方より眺めた時、溶液の色調が一致したとすると、

$$I_2 = I_3 = I_1 \cdot 10^{-\epsilon L_1 C_1} = I_1 \cdot 10^{-\epsilon L_2 C_2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{となる。これを整理すると,} \quad C_1 L_1 = C_2 L_2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

となる。従って、 C_2 が既知で、 L_1 、 L_2 を測定すれば、未知濃度 C_1 を求めることができる。

2. 2 二段式つり合い比色計の原理

図1 (b) に示されるように、試料に分子吸光係数 ϵ_x を有する着色共存物が C_x の濃度で含まれていたとする。この場合、セルCに試料溶液を入れる。この試料溶液は目的物質を適当な処理により発色させておく（目的物質の濃度を C_3 とする）。この光路長を L_3 とする。セルDには無色の液体（蒸留水）が入っているとする。セルEには試料溶液を入れるが、この溶液は目的物質を発色させず、共存物のみにより着色しているとする。ただし、セルCに入れた試料に加えた発色試薬溶液に等しい蒸留水を加えておき、セルCの試料と希釈倍率を等しくしておく。またこの光路長 L_5 は L_3 と等しくなるようにセルに加える。セルFには目的物質を予め発色させておいた、標準溶液を入れる（目的物質の濃度を C_4 とする）。ここで光路長 L_6 は L_4 と等しくする。上方から眺めた時、試料側と標準側の色調が一致した場合は、

$$I_4 = I_5 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。上述の条件下では共存成分についてはセルCとセルEで濃度、光路長とも等しいので、共存物による着色も試料成分側、標準溶液側で等しい。分析目的物質については一段式と同様につり合わせを行い、

$$C_3 L_3 = C_4 L_6 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる点を求める。 C_4 が既知なので、 L_3 と L_6 を測定することにより未知濃度 C_3 を求めることができる。

3 実験

3. 1 比色計の製作

つり合い比色計は塩化ビニール製のパイプとTSソケット、TSチーズ、TSキャップ、透明フィルム、及び透明アクリル板を用いて製作した。外観を図2に、断面図を図3に示す。この比色計の基本的な構造は内筒と外筒を重ねたものである。内筒は、パイプ（内径13mm 外径18mm）を約210mmに切断し、この一端に厚さ1mmの透明アクリル板を接着剤で接着した。その際接着部分から水が漏れないように密着させるよう注意する必要がある。外筒は、パイプ（内径20mm 外径25mm）を約130mmに切断し、この一端にTSソケットを用いてフィルム（厚さ0.2mm）を挟み固定した。その際、シートの破損を防ぐためパイプの切断面をサンドペーパーで研磨した。オーバーフローを防ぐための溶液溜めとして、外筒の上端にTSチーズを装着し直角方向に外筒と同じ口径のパイプを、長さ約80mmに切断して取り付け、その先端はキャップで閉じた。外筒の上端には、内筒を安定に保持するため、外筒と同じ口径で長さ約10mmの

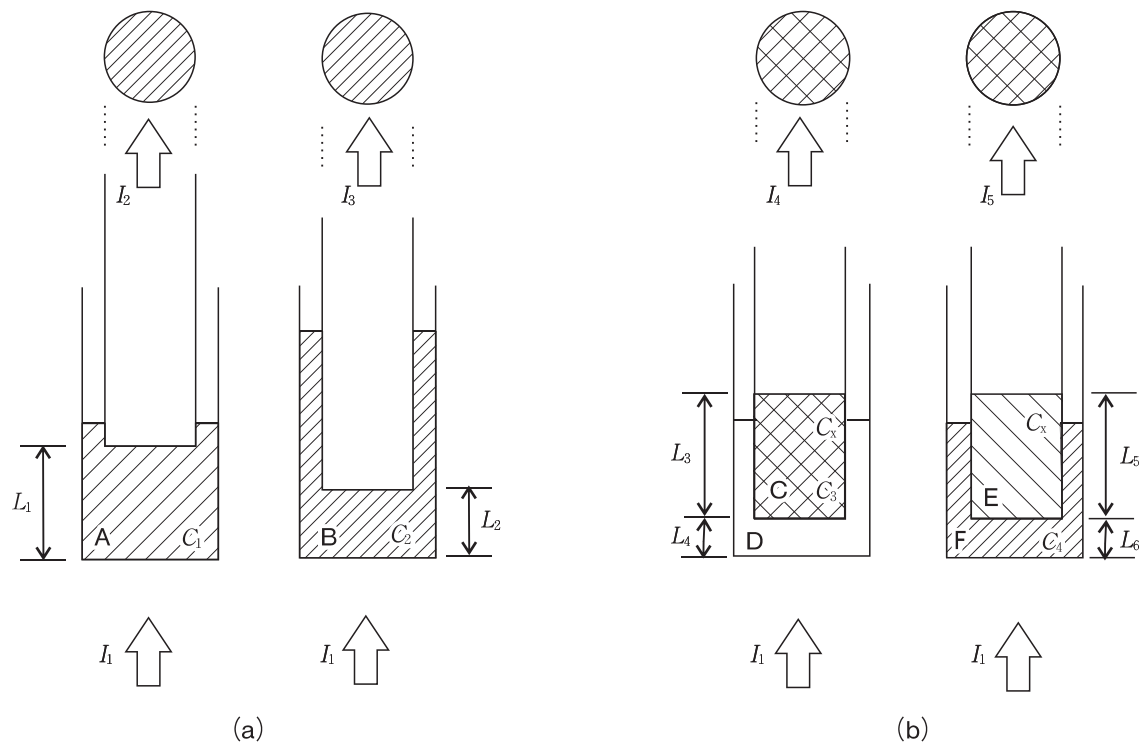


図1 一段式つり合い比色計 (a), 二段式つり合い比色計 (b) の原理

パイプを取り付けた。使用する際はこの部分にゴム片を挟んで内筒を固定できるようにした。なお内筒は指で押さえる等の方法で固定でき、固定材は必須ではなかった。内筒の下部以外の各部材は密着させれば接着する必要はなかった。

内筒には目盛板を取り付けるか記入し底面からの溶液中の光路長を読み取れるようにした。内筒を上下させることで外筒内溶液の水位を変化させた。内筒を押し下げて外筒内で水位が上昇した場合、あふれた溶液は溶液溜めに保持される。その場合、適当な傾斜をつけて溶液を元に戻した。比色は2個一組で行い、一つは標準溶液系、他方は試料溶液系とした。2つの比色計をゴムバンドなどで結束して使用した。目視による色調の比較は通常上方から行った。状況に応じ、白色の紙を敷いて太陽等の反射光を利用するか、ライトボックスを光源として使用した。

塩ビ管のサイズ（口径）を変更することも可能であり、必要に応じたサイズの装置の製作が可能である。外筒の外

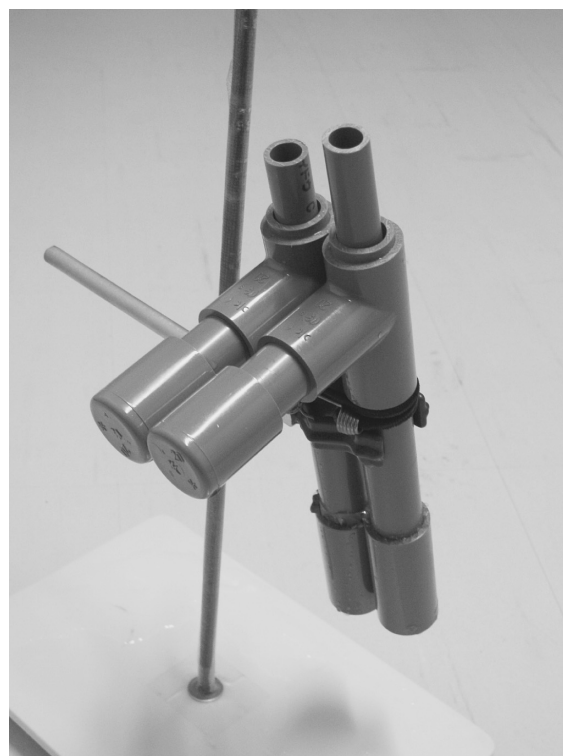


図2 試作したつり合い比色計の外観

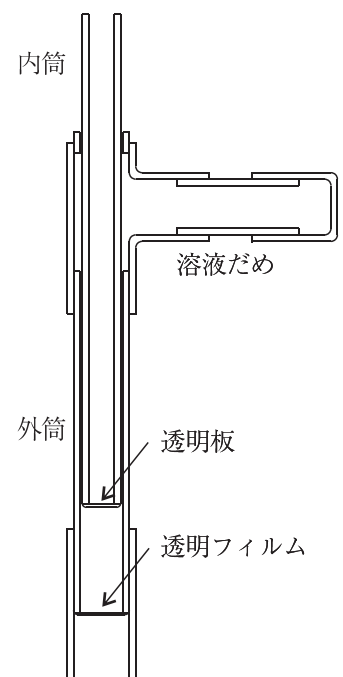


図3 つり合い比色計の断面図

径32mm, 内径24.5mm, 内筒の外径22mm, 内径11mmの中型のもの, また外筒の外径60mm, 内径51mm, 内筒の外径48mm, 内径44mmの大型のものも同様に制作した。また円筒の長さを変更することで, 光路長の変更幅を調節できる。後述する溶液の写真撮影には制作した大型比色計の一部を用いて行った。

3. 2 溶液調製

実験に用いる水は蒸留または蒸留後イオン交換処理により精製して用いた。発色試薬の調製は文献記載の方法に従った⁽⁸⁾。亜硝酸イオンの発色は発色試薬の添加による赤色ジアゾニウム化合物の生成によるものである。

亜硝酸標準原液：亜硝酸ナトリウム（純度98.5% 和光純薬社製 特級）を105℃で4時間加熱し, デシケーター中で保存したものを正確に量りとり, 純水で定容し1000ppm標準溶液を調製した。この溶液は冷蔵庫にて保存した。この溶液25.0mLを500.0mLに希釈し50ppm溶液を調製した。この溶液は保存せず, 実験当日に調製した。

亜硝酸発色試薬：亜硝酸発色試薬としてスルファニルアミド（和光純薬社製 特級）5g, N-1-ナフチルエチレンジアミン二塩酸塩（和光純薬社製 亜硝酸分析用）0.5g及び酢酸ナトリウム三水和物（和光純薬社製 特級）136gを, 純水約300mLに溶かし, これに塩酸（和光純薬社製 特級）105mLを加えたのち, 純水で全容を500mLとして調製した。この溶液は褐色のガラス瓶に入れ, 冷蔵保存した。

メチレンブルー溶液：メチレンブルー（米山薬品工業社製 特級）0.01gを水250mLに溶解した。

亜硝酸0.5ppm溶液：亜硝酸50ppm溶液5.0mLに水を約300mL加え, 亜硝酸発色試薬10mLを加え, 水で全容を500mLとして調製した。

亜硝酸0.25ppm溶液：亜硝酸50ppm溶液2.5mLに水を約300mL加え, 亜硝酸発色試薬10mLを加え, 水で全容を500mLとして調製した。

メチレンブルー含有亜硝酸0.25ppm溶液（疑似試料溶液）：亜硝酸50ppm溶液2.5mLに水を約300mL加え, メチレンブルー溶液5.0mLを加え, 水で全容を500mLとして調製した。

メチレンブルー含有亜硝酸0.25ppm溶液発色溶液（発色疑似試料溶液）：亜硝酸50ppm溶液2.5mLに水を約300mL加え, メチレンブルー溶液5.0mLを加え, 更に亜硝酸発色試薬10mLを加え, 水で全容を500mLとして調製した。

3. 3 一段式つり合い比色計でのつり合わせ

濃度の異なる亜硝酸溶液でつり合うかどうか試みた。標準溶液用の比色管の外筒に, 0.5ppmの濃度の亜硝酸標準液を約40mL入れ, 内筒を装着した。試料溶液用比色管の外筒には亜硝酸0.25ppm溶液を約40mL入れ, これも内筒を装着した。ライトボックスを背景とし, 内筒の上から目視で色調を比較した。内筒を上下させ, 2組の比色管内の色調がつり合う点を求め, 内筒と外筒の間にゴム片を挟む等の方法で固定し, 内筒が底面から浮き上がっている距離（溶液中光路長）を測定した。この際, 内筒の先端は外筒中の溶液の中に常に浸漬しているように操作した。0.5ppm溶液の光路長のおよそ2倍の光路長で0.25ppmの色調が一致した。

写真撮影は, 通常のつり合い計では口径が小さく困難であったため, 前述した大型つり合い比色計を用いて行った。外筒に発色させた亜硝酸溶液（0.5ppm 及び0.25ppm）を入れ, 蛍光灯のライトボックスを設置し, 焦点距離を固定するためにアングルで内筒を固定し, 外筒を0から10cmの範囲で2cm毎に下降させ, 焦点距離, 絞り, 露光時間を一定にしてデジタルカメラ（Canon SX110IS）にて撮影した。

3. 4 二段式つり合い比色計でのつり合わせ

メチレンブルーが含まれている亜硝酸溶液を疑似試料と想定して実験を行った。標準溶液用の比色管の外筒に, 発色させた0.5ppm亜硝酸標準溶液を約100mL入れた。内筒にはメチレンブルー含有亜硝酸0.25ppm溶液（疑似試料溶液）を一定量（水深8cm）加えた。試料溶液用の比色管の外筒には蒸留水を入れた。内筒には, 発色させたメチレンブルー含有亜硝酸0.25ppm溶液（発色疑似試料溶液）を一定量（水深8cm）加えた。

標準溶液用比色管の内筒を上下させ, 試料溶液用の比色管の色調と一致する点を求めた。標準溶液の光路長が約4cmの時に最も色調が近似した。

写真撮影は, 大型つり合い計を用いて行った。外筒に蒸留水を入れ水深を4cmとし, 内筒に疑似試料溶液を水深8cmになるように入れ, 撮影した。また発色疑似試料溶液及び亜硝酸0.25ppm溶液も同様に撮影した。

次に, 内筒に疑似試料溶液を水深8cmになるように入れ固定し, 外筒に亜硝酸0.5ppm溶液を入れ, その水深を0から10cmの範囲で2cm毎に変化させて撮影した。

4 結果と考察

4. 1 製作したつり合い比色計について

つり合い法を実現する最も単純な形は、2つのビーカーを白い紙の上に並べ、それに着色した溶液を入れて上方から比色し、つり合うまで液量をスポイトなどで調整し、つり合った時の水位を物差しで測るものである⁽⁹⁾。ここで容器として、均一な底面を有し十分な高さのあるネスラー管を利用したものが教材として開発されてきた⁽⁶⁾。これらの方法では、溶液は測定者がピペット等で出し入れする。つり合わせにおいては、標準溶液と試料溶液の光路長を数回微調整しなければならないが⁽¹⁰⁾、細長い容器で溶液を出し入れする操作は実際には煩雑である。デュボスク比色計はガラス製のプランジャーを溶液中で上下させ、溶液中光路長を自在に変更できるものであった。また簡易型のつり合い比色計も自在に光路長を変更するための溶液だめを有していた⁽⁵⁾。光路長を自在に変更できることがつり合い比色計において重要な機能である。今回製作したつり合い比色計は、外筒内に入れた溶液中で内筒を上下させるだけで光路長を自在に調節できる。

二段式つり合い比色計の基本的な構造は、デュボスク比色計におけるプランジャーに相当する部品を一種の光学セルに置き換え内筒としたものである。試料溶液が目的物質以外に、共存物により着色している場合や濁りがある場合は、標準側の内筒にその試料溶液を入れ、その水深を試料側の水深と同一とすることにより、標準側にも共存物による着色成分を重ね合わせ、共存物の影響を補償しようとするものである。

つり合い比色計の教材化に際しては、資材が容易かつ安価に入手できかつ加工と組み立てが容易であることを条件に検討した。水道工事等の資材として使われる塩化ビニールパイプとその関連部品、透明アクリル板、軟質塩化ビニールフィルムを利用することで、きわめて容易に作成できた。材料はいずれも容易かつ安価に入手できるものである。加工はパイプやソケットの切断、透明アクリル板の接着及び、必要に応じて切断面のヤスリがけだけである。必要な加工資材は樹脂を切断できる金引鋸と接着剤、サンドペーパーのみである。接着に要する時間を除いて、短時間で完成できる。適切な指導があれば、児童にも製作可能であると思われる。

4. 2 一段式つり合い比色計によるつり合わせ

一段式のつり合い比色計として濃度の異なる亜硝酸イオンの溶液を用いて色調を一致させることができるかどうかを調べた。

図4(a)に、発色させた亜硝酸0.5ppm溶液をつり合い比色計の外筒に入れ、光路長を0から10cmまで2cm毎に変化させた際の溶液の色調を示す。光路長が長くなるにつれてジアゾニウム化合物による赤色が濃くなっている。

図4(b)に発色させた0.25ppm亜硝酸溶液を外筒に入れ、内筒を上下させることにより溶液中光路長を0から10cmまで2cm毎に変化させた際の溶液の色調を示す。ここでも光路長が長くなるほど赤色が濃くなっている。0.25ppmの溶液は0.5ppmの溶液と比較すると全体に色調が淡くなっている。濃度0.25ppmで光路長4cmの場合の色調は、0.5ppmの2cmの場合の色調に最も近似している。また0.25ppmの8cmは、0.5ppmの4cmに最も似た色調を示し、異なる濃度の溶液で色調をつり合わせられることが示された。

比色計を用いたつり合わせにおいては、試料側比色管に発色させた亜硝酸0.25ppm溶液亜硝酸発色溶液を充填し、標準側比色管に発色させた亜硝酸0.5ppm溶液を充填し、その光路長を変化させた。試料側光路長が4cmのとき標準側が2cmで両者の色調が一致しており、つり合わせが可能であった。実際の測定の際には試料側に発色させた未知試料を入れて標準溶液とつり合わせて定量する。

つり合い比色計においては、試料溶液と標準溶液がつり合う点は理論的には無限に存在する。しかし、あまり色調が濃い領域でつり合わせを行うのは困難であった。光路長の変化量に対する透過光強度の変化量は溶液が濃い場合には小さくなるのがベールの法則から示されることであり、試料溶液と標準溶液の濃度レベルや光路長を適切に選択する必要がある。また、試料溶液と標準溶液とでは目的物質濃度差が小さい方が望ましいとされている⁽¹¹⁾。

4. 3 二段式つり合い比色計によるつり合わせ

メチレンブルー含有亜硝酸0.25ppm溶液を疑似試料溶液として、試料が共存物により着色している場合にもつり合い型比色計で亜硝酸イオン濃度を求めることが可能かどうか検討した。

図4(c)に、亜硝酸を発色させていない疑似試料溶液を内筒に水深8cmになるように入れた様子を示す。疑似試料には共存物としてメチレンブルーが添加されており、薄い青色溶液となっていた。図4(d)には、発色疑似試料溶液(亜硝酸0.25ppm)を水深8cmになるように入れた様子を示す。メチレンブルーの青色とジアゾニウム塩による赤色が混じり、紫色を示した。図4(e)には発色させた亜硝酸0.25ppm溶液を内筒に水深8cmになるように加えた様子



図4 つり合い比色計における溶液の色調。図中の数値は溶液中光路長を示す(単位cm)。(a) 発色させた0.5ppm亜硝酸溶液, (b) 発色させた0.25ppm亜硝酸溶液, (c) 擬似試料溶液の水深8cmでの色調, (d) 発色擬似試料溶液の水深8cmでの色調, (e) 亜硝酸0.25ppm溶液の水深8cmでの色調, (f) 内筒に擬似試料溶液を水深8cmになるように入れ, 外筒に発色させた亜硝酸0.5ppm溶液を入れ, その水深を0から10cmの範囲で変化させた際の溶液の色調。

を示す。ジアゾニウム塩による鮮赤色を呈し、発色させた疑似試料溶液の色調とは異なっていた。

図4 (f) には、内筒に疑似試料溶液（発色させていない）を水深8 cmになるように加え、外筒に発色させた亜硝酸0.5ppm溶液を入れ、その水深を0から10 cmまで2 cm毎に変化させた様子を示す。0 cmの場合には共存物の色調だけが現れ、外筒中溶液の光路長を増加させるとジアゾニウム塩による赤色が次第に濃くなっていった。全体の色調は亜硝酸イオンのみが含まれる場合より青みがかっており、紫色を呈していた。図4 (d) に示した溶液の色調は、図4 (f) の4 cmの場合の色調に最も近かった。図4 (d) の色調は、図4 (a) の4 cm、図4 (b) の8 cmのいずれの色調とも異なっていた。二段式とし、共存物の色調を光学的に重ねることで、より正確につり合わせることができた。

比色計を用いたつり合わせにおいては、試料溶液系の内筒に発色疑似試料溶液を一定の水深になるように加え、外筒には蒸留水を入れた。標準溶液系の内筒には疑似試料溶液を入れ、外筒には亜硝酸標準溶液を入れその光路長を変化させることで、つり合わせが可能であることを確認した。試料溶液側外筒の蒸留水は入れなくても、また標準溶液側外筒内の光路長に合わせなくても色調に特段の変化は無かったが、充填しないと気泡が挟まり障害となることがあった。

なお実試料の測定の際には、目的物質を発色させるために加えた試薬等により、共存物の色調や濃度が影響を受ける場合も想定される。その場合は二段式のつり合い計を用いても厳密には試料と標準とで色調が一致しないと考えられる。そのような場合には、標準溶液と試料とでpHなどの液性をできるだけ揃えるのが望ましいと考えられる。

4. 4 おわりに

製作した二段式つり合い比色計は容易に製作でき、操作できるものである。メチレンブルーが共存している亜硝酸溶液を用いて、共存物の着色を補償することができることを確認した。計量は理科の実験、観察において重要な要素であり、特に化学関連領域では物質の量や溶液の濃度ををはかることが重要である。今回開発したつり合い比色計は溶液の濃度を手軽に測定する器具として、多様な実験、観察活動を可能にする効果があると期待される。本装置は定量分析だけでなく、色の濃さの相対的な比較や、光や色の原理に関する学習にも応用できると考えられる。

謝 辞

本研究の一部の実験に際して、山下誓子教諭（加茂市立須田小学校教諭）、鎌倉正和教諭（糸魚川市立糸魚川小学校教諭）及び増田秀行氏（上越教育大学院）のご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

注

- 1) 例えば島津創業記念資料館（京都市）に実物が展示されている。他に大阪大学総合学術博物館（大阪府豊中市）にも収蔵されている。

引用及び参考文献

- (1) 武藤義一 1955, 比色分析法 共立全書97 共立出版
- (2) Stock, J. T. 1994 The Duboscq Colorimeter and Its Inventor Journal of Chemical Education 71, 11, 967-970
- (3) Kober P. A. 1917 An Improved Nephelometer-Colorimeter The Journal of Biological Chemistry, 29, 1, 155-168
- (4) Bloor W. R. 1915 A Simple Method of Converting The Duboscq Colorimeter into A Nephelometer The Journal of Biological Chemistry, 22, 1, 145-149
- (5) Frederick R. C. 1927 A Simple Colorimeter The Analyst 52, 469-470
- (6) 河淵計明, 前田ゆかり 1992 つり合い法による簡易比色定量 愛媛大学教育実践研究指導センター紀要 10, 1-8
- (7) Vogel, A. I. 1978 A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis Including Elementary Instrumental Analysis (4th. ed.) Longman, 693-772
- (8) H. H. Rump 1999 Laboratory manual for the examination of water, waste water and soil (3rd. ed.) Wiley-VCH
- (9) 伊藤年一 編, 1994, 新図詳エリア教科事典 化学, 学習研究社, 82-83
- (10) 荒木 峻, 村上徹朗, 鈴木繁喬 著, 日本分析化学会 編, 1978, 分析ライブラリー 4 分析化学実験指針, 116-118
- (11) 三宅泰雄, 松井秀夫 1943 水の化学分析法, 地人書館, 62-69

Development of An Easily Fabricable Hand-Made Double-Column Balancing Colorimeter

Shouichirou ARAKAWA* • Hiroshi SHIMOMURA**

ABSTRACT

A simple hand-made apparatus for visual balancing colorimetric analysis has been developed. The instrument possesses a double column structure. A pair of tubes form a set of colorimeter. Each tube has two concentric cylindrical vessels with flat clear bottoms, and can be filled with sample or standard liquid. The color comparison was carried out in two tubes, and the height of the liquid in one tube was adjusted so that when both tubes were observed vertically the color intensities in two tubes were equal. The concentration in one tube being known, that in the other might be calculated from the pass lengths of the two columns of liquid and the relation of Lambert-Beer's law. For the turbid or colored solutions, by filling inner vessel with the sample solution, the color of the unknown solution could be compensated for. The device was mainly made of PVC tubes and joints, and could easily be fabricated, and considered to be suitable for educational use.

* Shizu Junior High School, Sakura City, Chiba Prefecture

** Natural and Living Science