



炎色反応で物質を特定する～アプリ開発に向けての基礎研究～



つくば市立みどりの学園義務教育学校 科学部

山本創一(9年)・後藤拓人(8年)・小原空(8年)・平嶋賢太郎(8年)・半田惺来(8年)・沢邊颯汰(8年)

1 動機

炎色反応を研究したいと思った理由は3つ。

第一に、Dr.STONE というアニメ（原作：漫画）の影響である。このアニメには、「クロム」というキャラクターが主人公「千空」の前で炎に粉末状の金属をぶち込んで、炎色反応を起こすシーンがある。こんなシーンを見せられては、炎色反応を行うしかないと思った。

第二に、単純に何か科学実験をやりたいから。本校の科学部は「科学」という文字が入りながらも、主にほとんど毎回、ほとんど全員がプログラミングを行っており、私たちの代では科学実験を全くやることがなかった。そして、私は「この代で実験をやりたい！！」と本気で思った。部活でやりたい実験について話し合うと、炎色反応があった。炎色反応を目の前で味わい、色などの感覚を身につけたい。実験を画面越しに見るだけでは、ワクワクも科学的「勘」も身につけられない。特に、炎色反応のような実験の場合、間近で見たほうが圧倒的に学習につなげることができると思った。

第三に、炎色反応について調べてみると、物質ごとに色が変わることが分かった。つまり、物質が燃えるとき、含まれている物質によって炎の色が変わるので、炎の色によって含まれる物質の違いがわかることになる。この性質を利用して、本校の科学部が得意なプログラミングを活かして、何かできないかと考えたとき、アプリ開発があった。カメラ機能で動画や静止画などの画像を取り、プログラミング（Scratch や HTML、Python など）を駆使し、炎の色を判断させ、どんな物質が含まれるのかがわかるアプリを作りたいと思った。そのため、ゆくゆくできるであろうアプリ開発を目標とし、炎色反応について詳しく知り、データを集めたいと思った。

2 目的

本校の科学部が得意なプログラミングを活かして、ゆくゆくできるであろうアプリ開発を目標とし、炎色反応について、物質の違いによる色の違いや物質の状態（固体・液体・濃度など）の違いによる燃焼の違いを調べることで、物質が燃えたときに何が含まれるのか、判断するためのデータを集めたいと思った。

3 予想・仮説

①炎色反応は物質によって炎の色が異なる。

①物質（固体）の粒が大きいと、うまく炎色反応が現れない。

②複数の金属を混ぜ合わせて、炎色反応を起こすと色が混ざり合う。

③金属の水溶液をミスト状で吹きかければ、酸素と良く触れて色が濃くなる。

④水溶液であれば、濃度によって炎色反応が見られる時間が長くなる。散布など方法によって変わる。

→これらの予想・仮説を解決できる実験計画を順次立て、課題を解決しながら実験を行っていく。

4-1 キットを使ってみる。

(実験方法) ケニス、炎色反応実験器 (AF-6) を使用した。固形燃料に金属塩を含有させてあり、点火するだけで手軽に6種類の炎色反応を観察できる。燃焼時間が約2分と長く、しかも炎の色のちがいを同時に比較することができる。(青緑色-硫酸銅、橙色-ふっ化カルシウム、赤色-炭酸リチウム、黄色-炭酸ナトリウム、緑色-硝酸バリウム、紫色-ヨウ素酸カリウム)

(予想・仮説) 炎色反応として有名な金属ごとの決められた炎の色がみられる。

(結果) 炎の色を観察。

Ba : 黄緑 K : 紫 Li : 赤 Cu : 緑 Na : 黄 Ca : オレンジ

(考察) 金属が燃焼するときに炎が上がり、その炎が特有の色を示す。

想像していたよりもきれいに燃えた。燃焼している間は、ずっときれいに炎をあげていた。

4-2-A 物質をそのまま燃焼させる。

(実験方法) 炎に直接、物質を吹き込む。紙を二つに折り、その折り目に物質を置く。

ガスバーナーの前に折った紙を置き、物質に息を吹きかけ、物質をガスバーナーの炎に吹き入れる。まずは、銅粉末、食塩(塩化ナトリウム)など身近な物質から。

(予想・仮説) 炎色反応は物質が燃焼して起きる反応であれば、金属が燃焼したときに、反応が起きる。

(結果) 銅粉末はきれいな緑色になった。炎色反応が起きていることがわかる。食塩はオレンジ色の炎があがった。

(考察) 食塩はオレンジ色の炎だった。ただし、炎の大きさが変わっているため、物質がぶつかった勢いで炎がゆらいだとも考えられる。

4-2-B 物質をそのまま燃焼させる。

(実験方法) 炎に直接、物質（ヨウバン（硫酸カリウムアルミニウム）と炭酸ナトリウム）を吹き込む。紙を二つに折り、その折り目に物質を置く。ガスバーナーの前に折った紙を置き、物質に息を吹きかけ、物質をガスバーナーの炎に吹き入れる。

(予想・仮説) ヨウバンはカリウムが含まれるので紫色、炭酸ナトリウムはナトリウムが含まれているので、黄色になる。

(結果) ヨウバンはうすうすと一瞬だけ紫色。炭酸ナトリウムは炎が小さく、黄色かオレンジ色か、わかりづらいが、オレンジ色になった。

(考察) ヨウバンや炭酸ナトリウムは食塩と同様に銅粉末と比べると粒が大きいので、反応するまでに時間がかかったり、酸素と触れあわなかったりして、燃焼が起きなかったと考えられる。



4-2-C 物質をすりつぶし、燃焼させる。

(実験方法) 実験4-2-Aや実験4-2-Bと同じく炎に直接、物質を吹き込む。紙を二つに折り、その折り目に物質を置く。ガスバーナーの前に折った紙を置き、物質に息を吹きかけ、物質をガスバーナーの炎に吹き入れる。ただし、**物質を乳鉢と乳棒ですりつぶす。**粒の大きさを測ることが困難であったため、500回混ぜたものと1000回混ぜたものと比べた。

(予想・仮説) 物質(食塩、ミョウバン、炭酸ナトリウム)を乳鉢と乳棒ですりつぶす。**細かくすることで、空気中の酸素と触れやすくなり、よりはっきりと炎色反応を示すだろう。**

(結果) 塩化ナトリウム(食塩)を吹き入れるとオレンジ色の炎色反応が起きた。ミョウバンを吹き入れるとうすい紫色の炎色反応が起きた。炭酸ナトリウムを吹き入れるとオレンジ色の炎色反応が起きた。どの物質も500回よりも1000回の方が分かりやすく、色が濃く、大きな炎が出た。

(考察) 仮説の通り、500回よりも1000回の方が分かりやすく、色が濃く、大きな炎が出たことから、**物質を乳鉢と乳棒ですりつぶし、細かくすることで、空気中の酸素と触れやすくなり、よりはっきりと炎色反応を示すことがわかった。**



4-2-D 混合物質を炎に入れ、燃焼させる。

(実験方法) 実験4-2で使用した、4つの物質を1.0gずつ(銅粉末、食塩、ミョウバン、炭酸ナトリウム)を乳鉢でさらに混ぜて、吹き込む。食塩、ミョウバン、炭酸ナトリウムは1000回すりつぶしたものをを使用した。

(予想・仮説) 銅は緑、食塩は黄色、ミョウバンは紫、炭酸ナトリウムはオレンジ色であるから、色的には混ぜると、黒に近くなるが、黒い炎は現実的に考えづらいので、すりつぶしてはいるが、それぞれの色が独立して炎をあげるのではないかと考える。

(結果) ほとんどオレンジ色が強かったが、黄色、青(紫)、緑が独立して炎をあげていた。

(考察) 青色が実験4-2-Bのミョウバンのうすい紫よりも濃かったことから、多少は色が混ざると考えられるが、**物質ごとに反応し、独立して炎をあげることがわかった。4つの物質を同じ質量で混ぜているのにオレンジ色が強いことから、物質ごとに炎色反応の起こりやすさ(反応速度)に違いがあることがわかった。**

(4-2の反省) 実験後のテーブルは実験に使用した物質が散らかっていた。この実験方法では未反応の物質や反応後の物質が実験テーブルに飛び散ってしまう。よって、物質が散らからず、物質の無駄遣いがない方法にするために、水溶液にして炎色反応を行ってみることにした。

4-3 物質を水溶液にして、燃焼させる。

(実験方法) **物質を水に溶かし、水溶液を作り、スプレーボトルに入れ、ガスバーナーの前で散布する。**

(硝酸カルシウム、塩化銅、塩化カリウム、塩化リチウム、塩化ナトリウム、塩化ストロンチウム)

(予想・仮説) 物質そのままを燃焼させるよりも、水溶液にしたことで反応速度が早くなり、炎が大きく、はっきりと炎色反応がみられるのではないかと。

(結果) 硝酸カルシウム：オレンジ色、塩化銅：黄色、塩化カリウム：オレンジ色、
塩化リチウム：赤色、塩化ナトリウム：オレンジ色、塩化ストロンチウム：紅色

(考察) なぜか銅の反応の色があまり緑にならなかった。原因がわからないので、塩化銅だけでなく、硫酸銅など銅を含むさまざまな化合物で検証が必要である。銅以外は、水溶液を散布したことで、炎が大きく、はっきりと炎色反応がみられた。**スプレーボトルで散布した量により、炎色反応が確認できる時間が変わることがわかった。**

4-4-A 物質をエタノールに溶かして、燃焼させる。

(実験方法) 物質をエタノールに溶かし、溶液を作り、アルミカップに入れ、ライターで点火する

(硝酸カルシウム、塩化銅、塩化カリウム、塩化リチウム、塩化ナトリウム、塩化ストロンチウム)

(仮説) 物質そのままを燃焼させるよりも、溶液にしたことで反応速度が早くなり、炎が大きく、はっきりと炎色反応がみられるのではないかと。

(結果) 硝酸カルシウム：オレンジ色、塩化銅：緑色、塩化カリウム：オレンジ色、
塩化リチウム：赤色、塩化ナトリウム：オレンジ色、塩化ストロンチウム：紅色

(考察) どの物質であっても、点火直後は炎色反応の炎の色が一部に見られるが、ほとんどがオレンジ色の炎であった。これは、**燃え方からアルコールに均一に物質が溶けていないため、アルコールだけが燃えていたのではないかと考えられる。**ただし、アルコールだけで燃焼させると、うすい青色の炎が上がり、オレンジ色ではない。燃焼温度や燃焼の際に結び付く酸素の量などに違いがあると考えられる。**炎が消える直前が一番炎色反応がはっきり見える。**



Ca



Cu



K



Li



Na



Sr



硝酸カルシウム



塩化カルシウム



酢酸



塩化リチウム



塩化銅



塩化カリウム



塩化ストロンチウム

4-4-B 物質をエタノールに溶かして、ろうそくのような芯を作り、燃焼させる。

(実験方法) 物質 (硝酸カルシウム、塩化銅、塩化カリウム、塩化リチウム、塩化ナトリウム、塩化ストロンチウム) をエタノールに溶かし、溶液を作り、アルミカップに入れ、タコ糸で芯を作り、芯にライターで点火する。

(仮説) 芯を作ることで燃焼時間が伸び、炎色反応が見られる時間がさらに伸びると考える。

(結果) 硝酸カルシウム：オレンジ色、塩化銅：緑色、塩化カリウム：黄色、塩化リチウム：赤色、塩化ナトリウム：オレンジ色、塩化ストロンチウム：紅色

(考察) 芯を作ることで、燃焼時間が伸び、炎色反応が見られる時間がさらに伸びた。また、芯の部分で点火直後でも、はっきりと炎色反応が見られた。

しかし、エタノールに引火し、芯が役割を果たさないことが多々あった。

4-5-A 水溶液を白金線・針金・金網につけ、燃焼時間(炎色反応が見られる時間)の違いを調べる。



針金



白金線



金網

(実験方法) 炎色反応についてインターネットで様々な方法で実験されているが、白金線を使っていることが多い。しかし、白金線は値段が高いため、ステンレス製の針金や金網で代用している実験もみられることから、これらの炎色反応の現れ方や違いを調べる。

水 60.0m l をメスシリンダーで測りとり、電子天秤で測った食塩 15.0 g を溶かし、濃度 20.0% の食塩水を作る。(食塩の溶解度は 38.5 g であるから飽和水溶液になっていない。) 白金線、針金、金網にこの水溶液をつけ、ガスバーナーで加熱し、炎色反応が見られている時間と反応の様子を観察する。

(予想・仮説) 白金は王水には溶けるが、化学的に安定な物質であるため、酸化などをせず、物質の燃焼に影響しないため、炎色反応に向いていると考える。そこで、白金が一番大きな炎が観察され、炎色反応が見られる時間が長い。

(結果)

器具	1回目	2回目	3回目	平均(秒)
白金線	68	120	54	80.7
金網	590以上			
針金	360以上			

白金線は(予想)・(仮説)と違い、金網・針金と比べ全く炎色反応が見られる時間が短かった。針金が長く、金網は炎色反応が見られる時間が大分長かった。

(考察) 仮説では白金線が一番時間が長いと考えていたが、実際には金網が一番であった。何で炎色反応の実験を行うかという使う器具の違いよりも、器具に付着する水溶液の量の影響があると考えられる。

4-5-B 水溶液を白金線・針金・金網につけ、物質や濃度の違いによって炎色反応が見られる時間の違いがあるかを調べる。

(実験方法) 水 100.0m l をメスシリンダーで測りとり、電子天秤で測った塩化リチウム 1.0 g を溶かし、濃度 1.0% (0.99%) の水溶液を作る。白金線、針金、金網にこの水溶液をつけ、ガスバーナーで加熱し、炎色反応が見られている時間と反応の様子を観察する。はっきりと炎色反応が確認できるように塩化リチウム(赤色)で行う。

(予想・仮説) 実験 4-5-A と同様に、炎色反応が見られている時間の長さは、金網、針金、白金線の順になると考える。

(結果)

器具	1回目	2回目	3回目	平均(秒)
白金線	21	21	17	19.7
金網	31	25	37	31.0
針金	14	19	12	15.0

やはり、金網が一番炎色反応が見られる時間が長かった。しかし、金網と針金の炎色反応が見られる時間が逆転し、白金線が長く、針金が短かった。そして、その差は実験 4-5-A と比べるとあまりなかった。

(考察) 物質と濃度が変わってもやはり金網が長いことから、器具につく付着する水溶液の量の影響があると考えられる。濃度が薄いとそこに含まれる物質の量も減るため、燃焼時間が短くなるのは当然だが、白金線の値で考えると比例関係ではなさそうである。

実験 4-5-A と比べ、白金線と針金で炎色反応が見られる時間の長さに平均時間で逆転が起きてはいるが、個々のデータで見ると針金も長い時もあるので、両者に差はなく、今回の実験の水溶液の濃度がだいぶ薄いため、含まれている物質の量(質量)が少ないことにより、炎色反応が見られる時間が極端に短くなったので差がなくなったと考えられる。つまり、炎色反応が見られる時間は水溶液の濃度と何か関係があるのではないかと考える。

4-6-A 食塩を使って水溶液の濃度と炎色反応が見られる時間の関係を調べる。

(実験方法) 針金に水溶液をつけ、ガスバーナーで加熱し、炎色反応が見られている時間を計測し、関係を考える。

(予想・仮説) 水溶液の濃度が濃いと炎色反応が見られる時間は長くなるが、比例関係ではない。

(考察) 水溶液の濃度が濃いと炎色反応が見られる時間は長くなる。

濃度が 1.6% 以上は計測が 10 分以上で計測困難であった。濃度 7.7% は部活動下校時刻を超え、60 分以上かかり、炎がオレンジ色であった。

水溶液を付けず、針金だけで加熱しても炎のオレンジ色が継続しないことは確かめているが、水溶液はとくに蒸発しているのに、あまりにも反応が見られている時間が長いので、物理的な針金が炎にあたり、炎の色が変色していると疑ってしまう。

また、実験(反応)後の針金を見ると、付着物が観察された。炎色反応後のナトリウムの酸化物かどうかは確認できていないが、これが炎色反応が見られる時間を長くしているとも考えられる。

今回、実験ごとに新しい針金を準備しているが、理科の基本として、物質ごとに変えて、実験器具は使いまわさないと言われるが、この大切さがよくわかる。

4-6-B 塩化リチウムを使って水溶液の濃度と炎色反応が見られる時間の関係を調べる。(濃度 1.96%~9.1%)

(実験方法) 針金に水溶液をつけ、ガスバーナーで加熱し、炎色反応が見られている時間を計測し、関係を考える。はっきりと炎色反応が確認できるように塩化リチウム(赤色)でおこない、ガスバーナーの炎と針金の反応があるとしてもその色と区別できるようにする。

(予想・仮説) 水溶液の濃度が濃いと炎色反応が見られる時間は長くなるが、比例関係ではない。

(考察) 濃度 4.8%~9.1%の範囲で急に時間が増えている。実験 4-6-A 食塩と同様に、濃度が濃い場合は炎色反応が見られる時間が大分長くなる。

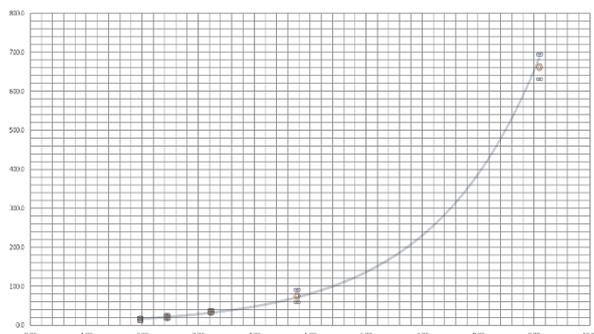
4-6-C 塩化リチウムを使って水溶液の濃度と炎色反応が見られる時間の関係を調べる。(濃度 2.0%以下)

(実験方法) 針金に水溶液をつけ、ガスバーナーで加熱し、炎色反応が見られている時間を計測し、関係を考える。はっきりと炎色反応が確認できるように塩化リチウム(赤色)でおこない、ガスバーナーの炎と針金の反応があるとしてもその色と区別できるようにする。

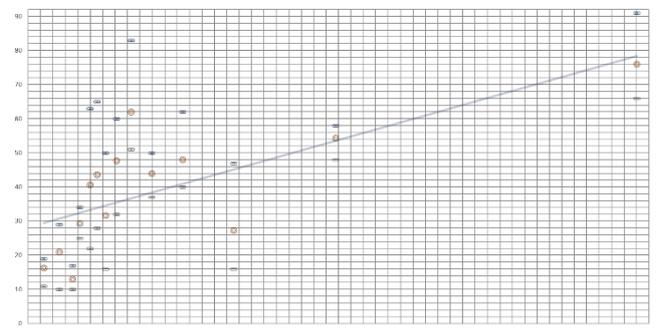
(予想・仮説) 水溶液の濃度が濃いと炎色反応が見られる時間は長くなるが、比例関係ではない。

(考察) 炎色反応が見られる時間は一瞬(1~2数秒)で終わるものではなく、どの濃度であっても、10秒以上見られた。

濃度が0.7%未満の場合、最大値・最小値を含め、炎色反応が見られる時間のばらつきが大きくなった。



4-6-B 水溶液の濃度と炎色反応が見られる時間の関係



4-6-C 水溶液の濃度と炎色反応が見られる時間の関係

5 まとめ

本研究により、以下のことがわかった。

- 物質をそのまま燃焼させると、銅粉末はきれいな緑色になる。ミョウバンや炭酸ナトリウムは食塩と同様に銅粉末と比べると粒が大きいため、反応するまでに時間がかかったり、酸素と触れあわなかったりして、燃焼が起きなかった。
- 物質を乳鉢と乳棒ですりつぶして細かくすることで、空気中の酸素と触れやすくなり、よりはっきりと炎色反応を示す。
- 乳鉢と乳棒ですりつぶした混合物質を炎に入れ、燃焼させると、物質ごとに反応し、独立して炎をあげる。4つの物質を同じ質量で混ぜているのにオレンジ色が強いことから、物質ごとに炎色反応の起こりやすさ(反応速度)に違いがある。
- 物質を水に溶かし、スプレーボトルに入れ、ガスバーナーの前で散布すると、散布した量により、炎色反応が確認できる時間が変わる。
- 物質をエタノールに溶かし、アルミカップに入れ、点火すると、燃え方からアルコールに均一に物質が溶けていないため、アルコールだけが燃える。ただし、アルコールだけで燃焼させると、うすい青色の炎が上がり、オレンジ色ではない。よって、燃焼温度や燃焼の際に結び付く酸素の量などに違いがあると考えられる。また、炎が消える直前が一番炎色反応がはっきり見える。
- 白金線が一番燃焼時間が長いと考えていたが、実際には金網が一番であった。炎色反応の実験を何の器具で行うかという、使う器具の違いよりも、器具に付着する水溶液の量の影響がある。
- 実験後の針金を見ると、付着物が観察された。炎色反応後のナトリウムの酸化物かどうかは確認できていないが、これが炎色反応が見られる時間を長くしている。
- 炎色反応が見られる時間は一瞬(1~2数秒)で終わるものではなく、どの濃度であっても、10秒以上見られた。
- 濃度が0.7%未満の場合、最大値・最小値を含め、炎色反応が見られる時間のばらつきが大きくなった。

6 今後の課題

- カメラの解像度などをあげ、はっきりと色の区別ができるようにする。
- 撮影した画像を色見本などのアプリを参考に、色を細分化する。
- 同じ物質が含まれていても何と結合しているかによって微妙な色の変化があるのではないか。
- プラスチックなど他のものと混合したときにどのような炎が観察できるかデータを収集する。