

金属塩混合溶液における炎色反応の研究

～ 虹色の炎を作る ～

福岡県立鞍手高校普通科

蔵森航 池田然 竹井陸人 松原龍平 坂本希望 島田舞紀 須藤萌咲 山本夏未

指導教員 藤本 直樹

金属イオンの炎色反応を組み合わせ、白色の炎を出す混合溶液の作成を試みた。白色の炎を作るとはできなかったが、炎の中で、それぞれの金属イオンが炎色反応を示す場所が異なることを発見し、混合溶液によって虹色の炎を作り出せる可能性があることがわかった。実験結果から、炎の中の場所と炎色反応の色との関係について考察した。

1. はじめに

昨年の研究で、固形燃料の上に4種類の試薬（塩化リチウム、塩化カリウム、硫酸銅五水和物、塩化ナトリウム）をのせて燃やすことで、炎色反応を組み合わせ、白い炎を作ろうとしたが、安定した炎色を得ることができなかった^[1]。それぞれの試薬が固体だったため、うまく混ざらなかったのが原因と考えられる。

そこで、今回は金属イオンを含む均質な混合溶液を作り、スプレーで炎に吹きかけるという方法で白い炎を作ることに挑戦した。

2. 炎色反応の原理

ある種の金属塩を炎の中に入れて強く熱すると、気化して生じた金属原子中の電子が高いエネルギー状態に励起される。励起状態は不安定なので、励起された電子はしばらくしてもとの基底状態に戻る。励起された電子が低いエネルギー状態に移るときに、二つの状態の間のエネルギー差に相当するエネルギーを光として放出する。この光の波長が可視領域(360-830nm)にあるとき、炎に金属固有の色がついて見える。

表1 金属イオンの輝線スペクトルと色^[2]

	Li	Sr	Ca	Na	Cu	K
波長 nm	670	640 460	620 554	589	510	404 760
色	深紅	深赤	橙赤	黄	青緑	淡紫
	小 ← エネルギー → 大					

3. 化合物の選択と溶液の調整

光には「光の三原色（赤緑青、RGB）」と呼ばれるものがあり、三色をある割合で混合することで白色が得られる。岡山県立倉敷天城高等学校の研究^[3]では、塩化銅(II)、塩化ストロンチウム、塩化リチウムなどをメタノールに溶かしてアルコールランプで燃やす実験を行ったが、青色の炎色を示す金属が見つからなかったとしている。また、論文中でガリウムで青が得られる可能性をあげているが、一般には入手が困難な元素である。

そこで、もう一つの三原色である「色の三原色（シアン、マゼンタ、イエロー、CMY）」の混合で白色を出すことを考え、各色を示す金属塩として硝酸銅(II)、硝酸ストロンチウム、硝酸ナトリウムを選び、基準となる溶液の濃度を、表2のように設定した。

表2 使用した溶液

溶液	化合物名	化学式	濃度
C	硝酸銅	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	2.143g/20ml
M	硝酸ストロンチウム	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	2.124g/20ml
Y	硝酸ナトリウム	NaNO_3	2.109g/20ml

4. 実験と結果

実験 I エタノールに各試薬を溶かした溶液を作り、ガスバーナーの炎に吹きかけた。

結果は、エタノールが燃える際にでる黄色の炎色が出てしまい、試薬が出す炎色がどれもよくわからなかった。

実験Ⅱ 水に各試薬を溶かした溶液を作り、ガスバーナーの炎に吹きかけた。

結果は、図1の写真の通り、試薬が出す炎色をはっきり見ることができた。

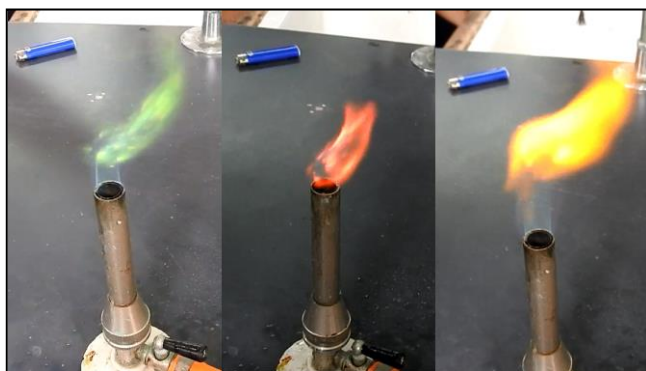


図1 各溶液の炎色反応（左から溶液 C,M,Y）

実験Ⅲ それぞれの炎色反応の写真を撮り、それをコンピュータの画像処理ソフト上で重ね合わせた。各画像の透過度を調整し、炎が最も白く見える割合を調べた。その結果から、3つの溶液の混合比を、溶液 C : M : Y = 6 : 4 : 3.5 とすることにした。

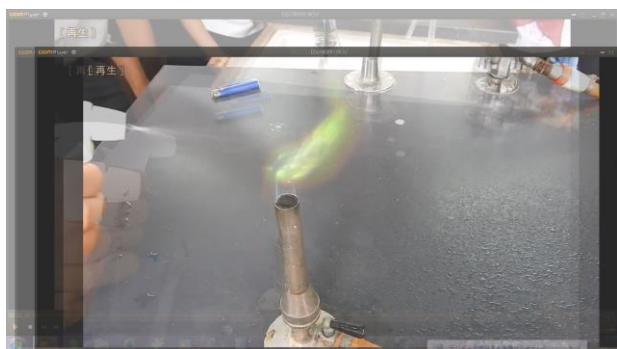


図2 各溶液の写真の合成画像

実験Ⅳ 各色の基準となる溶液を、実験Ⅲで求めた C : M : Y = 6 : 4 : 3.5 の割合で混合した溶液を作り、ガスバーナーの炎に吹きかけた。

結果は、白色の炎にならず、黄色の炎になった。この結果から、合成画像で見るとよりもナトリウムの色が強く出ることが分かった。白色の炎を作るには、溶液 Y の割合をもっと小さくする必要がある。

実験Ⅴ 溶液 Y の濃度を変える前に、溶液 C と溶液 M の割合と、混合溶液の炎の色を確認するために、C : M = 6 : 4 の割合で混合した溶液を作り、ガスバーナーの炎に吹きかけた。

結果は、均一な色の炎にならず、内側が赤色、外側が青緑色の2色の炎ができた。

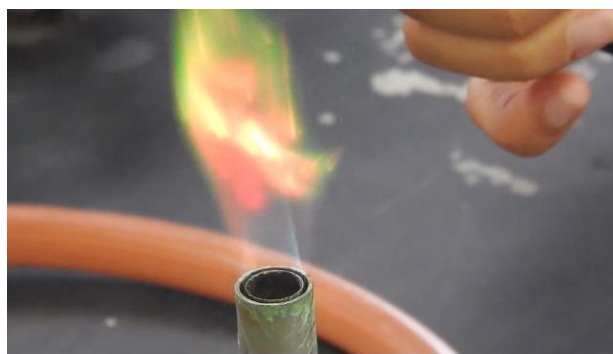


図3 実験Ⅴの混合溶液の炎色反応

5. 考察

均質な混合溶液をガスバーナーに吹きかけても、それぞれの炎色反応の色が混ざった色の炎にならず、それぞれの色が、炎の中の異なる場所に現れることがわかった。

理由として、炎の温度が、場所によって異なっていることが考えられる。炎の温度は内側よりも外側の方が高い。つまり、炎の出すエネルギーは外側ほど大きい。一方、光のエネルギーは赤よりも緑のほうが大きいため、炎色反応に必要なエネルギーは緑の方が大きい。このことから、緑の炎色反応を示す銅(Ⅱ)イオンは、赤の炎色反応を示すストロンチウムイオンよりも、炎の外側で反応が起こると考えられる。

6. 今後の課題

今回発見した原理を利用すると、一つの炎の中にたくさん色をもつ虹色の炎が作れる可能性がある。今後は、いろいろな金属塩の溶液について炎色反応が現れる炎の中の場所と色との関係を調べるとともに、他の溶液と混合する際の最適な濃度を求める必要がある。

謝辞

今回の課題研究にあたり、私たちの研究をご指導してくださいました先生方に感謝いたします。

参考文献

- [1] 「Let's make white fire!!!!」福岡県立鞍手高等学校理数科 (2016)
- [2] key : 雑学辞典 (資料集-科学-元素)
<http://www.7key.jp/data/science/element/index.html>
- [3] 「アルコールランプを用いた炎色反応による白炎の作成」岡山県立倉敷天城高等学校理数科収録第8号 (2008)