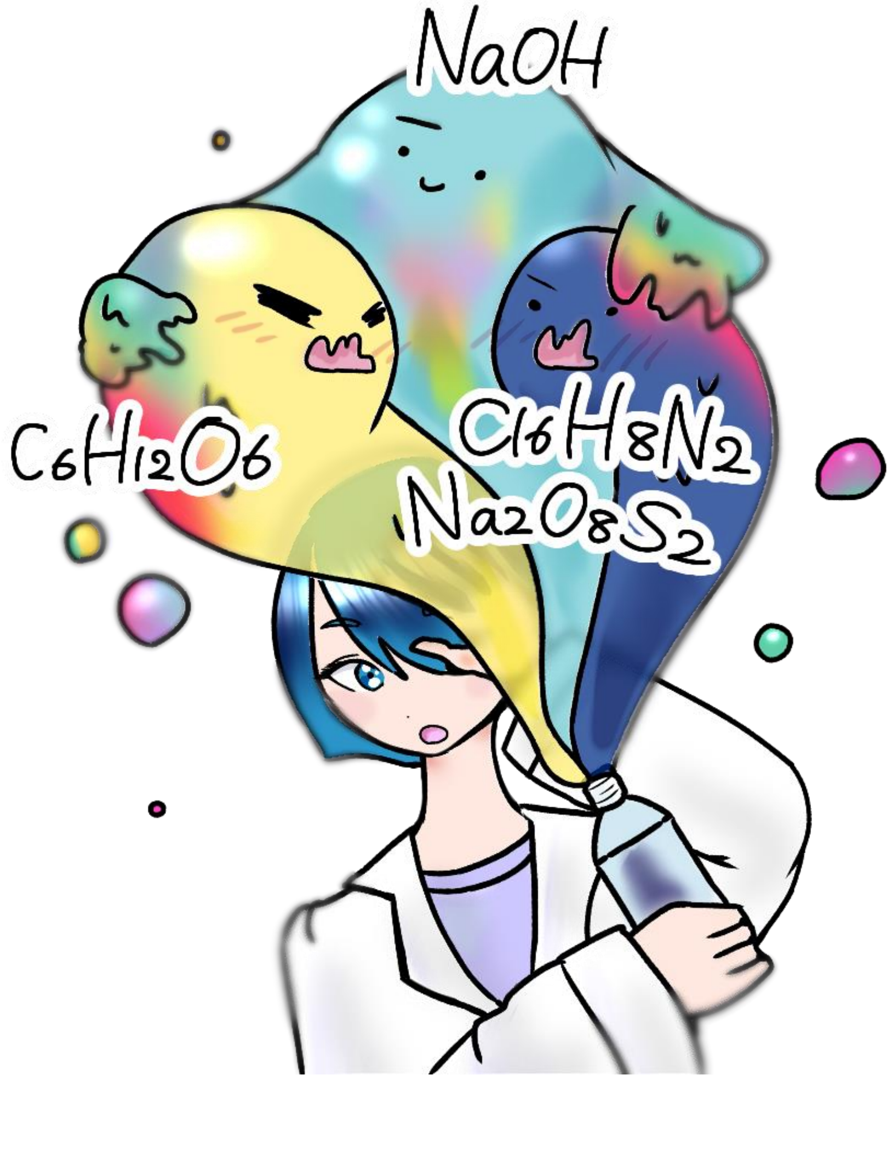
青から始まる交通信号反応を実現しよう！

千葉県立大原高等学校
岡　みずき
指導教員：両角　治徳

研究概要

化学反応によって色が変わる水溶液を見たときに、とても心が動かされた。その中でも特に、インジゴカルミンを利用した交通信号反応は、容器を振ることで緑・赤・黄と次々に色を変え、私を驚かせた。先行研究[1)]の論文を読むと、大気中の酸素による酸化反応と、グルコースによる還元反応の絶妙なバランスによって生じる呈色変化であると知り、実際に溶液を調製して呈色を再現することができた。しかし、インジゴカルミンは、食紅（青色２号）や内視鏡検査の染色に用いられるなど「青色」の色素として知られているが、交通信号反応は、「緑色」から始まる。私はこのことに疑問を感じ、青色から始まる交通信号反応を実現したいと考え研究を始めた。

本研究により、pHとグルコース濃度を調整することで、青から始まる交通信号反応が実現できることを確認した。さらに、呈色変化の速度を遅くすることによって、各色の中間色を目視確認できることも発見した。



１． 背景と目的

インジゴカルミン（以下　IC）を利用した交通信号反応は、容器を振ることで緑・赤・黄と次々に色を変る。これは、大気中の酸素による酸化反応と、グルコース（以下　Glc）による還元反応によって生じる呈色変化である。しかし、ICは、「青色」の色素であるが、交通信号反応は、「緑色」から始まる。私はこのことに疑問を感じ、青色から始まる交通信号反応を実現したいと考え研究を始めた。

２． 実験方法と結果

先行研究は、ペットボトル等の密閉容器を実験者が手で振り、呈色変化を目で確認する方法で行われていた。この場合、データの再現性に乏しい。そこで、本研究は、以下のような工夫をし、詳細かつ再現性のあるデータの収集・解析を行った。（**図１**）

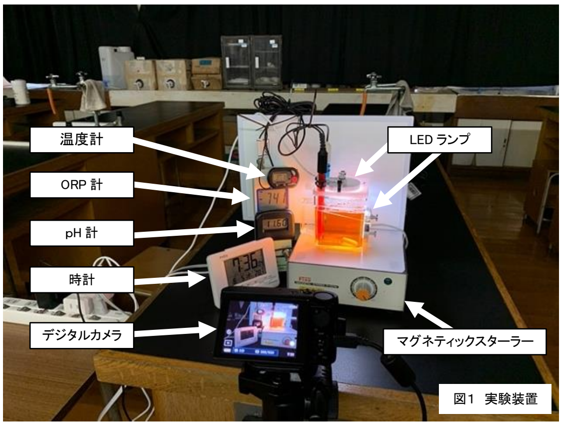


図1　実験装置

① マグネティックスターラーを用いた。
② 計測用のプローブを一体化させた。
③ 呈色をデジタルカメラ撮影した。
④ 部屋を暗くし、LEDライト。
⑤ 呈色は、RGBデータで確認した。

実験A　NaOH、Glc、ICの濃度とORP、pHの関係を調べた。

実験A−1　NaOHaq濃度とORP、pHの関係を調べた。

実験A−2　Glcaq濃度とORP、pHの関係を調べた。

実験A−3　ICaq濃度とORP、pHの関係を調べた。

実験結果

実験A−1　　ORPは、極端に小さく（還元向き）に変化した。（**図２**）
ごく少量で、pHは、約 12～13 付近に変化し、その後安定した。

実験A−2　　ORPは、わずかに小さくなった。pHは、ほとんど変化がなかった。（**図３**）

実験A−3　　ORP・pHともに、ほとんど変化がなかった。（**図４**）

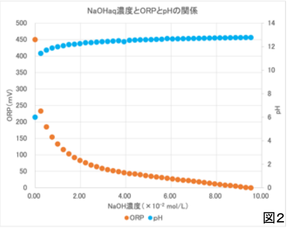


図2

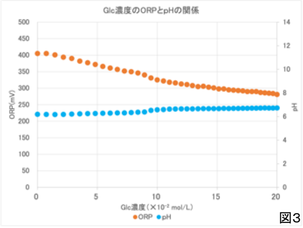


図3

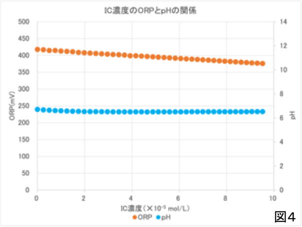


図4

実験Ｂ　２種類の薬品の相互作用をORPとpHを用いて調べた。

実験Ｂ−１　GlcaqにNaOHaqを加えながら、ORPとpHの変化を調べた。

実験結果（**図5,6**）

- Glcが存在することで、ORPが小さく（還元向き）に変化した。
- Glcaqの濃度が大きいほど、pHは小さくなった。

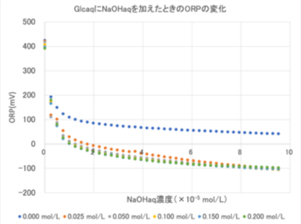


図5

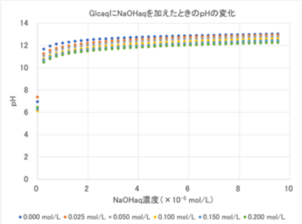


図6

実験Ｂ－２　ICaqにNaOHaqを加えながら、ORPとpHの変化を調べた。

実験結果(**図7,8**)

- ○　ICの濃度が 1.0×10^{-5} mol/L より大きくなると、ORPが小さくなる傾向があった。
- ○　pHは、変化がなかった。

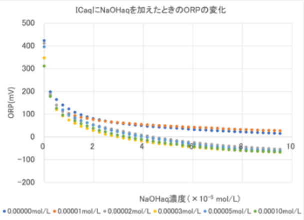


図7

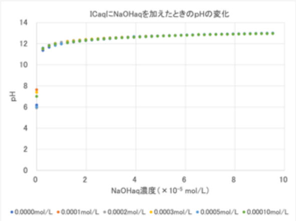


図8

実験Ｂ－３　ICaqにGlcaqを加えながら、ORPとpHの変化を調べた。

実験結果(**図9,10**)

- ○　ORPは、大きな変化はないが、毎回再現性のない実験誤差が生じた。
- ○　Glcの濃度が大きくなると、pHが、微妙に小さくなる傾向があった。

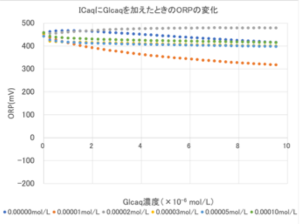


図9

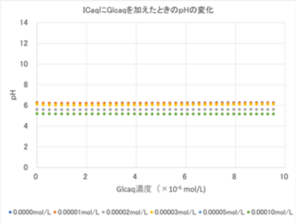


図10

実験A・Bの考察

- ○　おおよそ pH12.0 で、青色から緑色への呈色変化が始まり、pH12.5 を超えると、緑色に呈色すると予想した。
- ○　Glcの濃度が極端に小さいと還元力が小さく、青色または緑色のまま変化せず、濃度が極端に大きいと還元力が大きく、黄色のまま変化しないと予想した。

実験C　ICが緑色に呈色変化をするpHの範囲を調べた。

実験結果(**図11・12**)

- ○　NaOHの濃度が大きくなるにつれて、pHが大きく、ORPが小さく変化した。
- ○　RGB値から
  - pH10.8～18.5　濃青色：値が小さくB(青色)が大きく測定された。
  - pH18.5～12.0　緑青色：R(赤色)が小さくなり始めた。
  - pH12.0～12.2　青緑色：G(緑色)とBが逆転し始めた。
  - pH12.2～　　　　　　　緑　色：Gが優位となり、Rの信号強度が 0 になった。

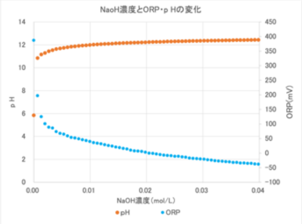


図11

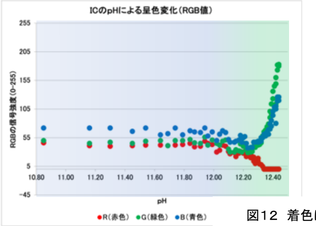


図12　着色はイメージ

実験Cの考察

- ○　青色に保つためには、水溶液を pH12.0 以下に調製すればよいと予想した。

実験D　Glcaqの還元力がICの酸化力よりもわずかに大きくなる濃度を調べた。

実験結果(**図13**)

- ○　Glcの濃度 0.10～0.12 mol/L の間でORPが大きく変化した。

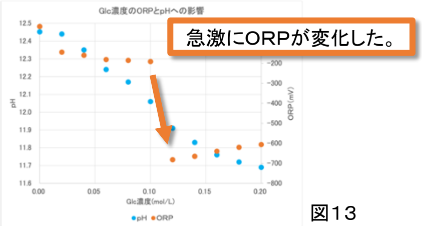


図13

実験Dの考察

○　Glcaq濃度を 0.10～0.12 mol/L の間で調製することで、交通信号反応の呈色変化を穏やかに抑え、確実に観察できると予測した。

実験E　青から始まる交通信号反応を確認する。

使用薬品

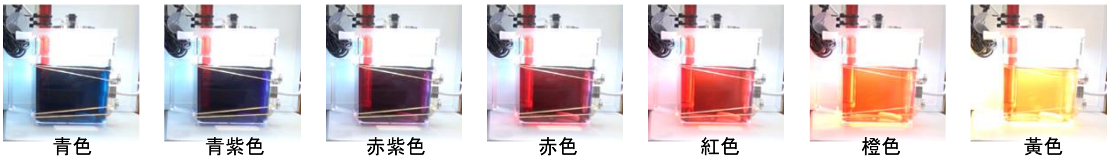
ICaq0.002mol/L を 3.00 mL【実験環境下で呈色変化を観察できる濃度】
Glcaq　5.94 g【水溶液が 0.11 mol/L になる質量】
NaOHaq　2.0 mol/L を 6.00 mL

実験方法

① アクリル容器に水を 300 mL 入れ撮影と撹拌を開始した。
② ORPとpHが安定するまで撹拌し、液温、ORP、pHを測定した。
③ 0.002 mol/L ICaqを 3.00 mL 加え、液温、ORP、pHを測定した。
④ 2.00 mol/L NaOHaqを 6.00 mL 加え、液温、ORP、pHを測定した。
⑤ 粉状のGlcを 5.94 g 加え、液温、ORP、pHを測定した。
⑥ 撹拌を止めて、呈色変化を確認した。

実験結果。（図14）

○　青色から始まり、中間色の観察も可能な「交通信号反応」を確認した。



青色　青紫色　赤紫色　赤色　紅色　橙色　黄色

図14

３．研究の結論

青色から始まる交通信号反応を以下の条件で実現することができた。

○　pH（NaOHaq濃度）

- ICを緑色に呈色変化させる一番の原因は、pHである。Glcの還元力やICの酸化力、触媒力も関係しているため、水溶液はpH12 よりもやや大きい値となるように調製する必要がある。

○　Glcaq濃度

- ICを還元し呈色変化を進ませ、溶液全体のpHを変化させる役割がある。濃度を大きくすると還元力が大きくなり呈色変化が早くなる。本研究では、0.10～0.12 mol/L が最適と結論づけた。

○　ICaq濃度

- ICは、呈色する役割だけでなく、還元されることで空気中の酸素をGlcをグルコン酸イオンに変える触媒の役割もあるが、本研究では、目視確認のため、0.00002 mol/L が適当と結論づけた。

４．まとめと考察、今後の課題

本研究によって、「青から始まる交通信号反応」に必要な条件を知ることができた。現在、各物質の存在比や理論的な説明ができるように研究を進めている。

また、交通信号反応におけるICの分解[3)4)]の原因を特定し、繰り返しの回数を増したいと考えている。

５．文献

1）木村朋恵,インジゴカルミンを用いる酸化還元反応と化学教材への応用,横浜国立大学教育学部紀要,2018
2）高木春光,交通信号反応で酸化還元を見せる（実験の広場−5 分間デモ実験）,化学と教育（56,10）,496,2008
3）越智沙也香,インジゴカルミンの破壊要因と視覚的定量化(中・高ポスター発表),日本理科教育学会,536,2014
4）戸谷義明,信号反応におけるインジゴカルミンの分解要因の調査,愛知教育大学研究報告,自然科学編 (65), 37, 2016