

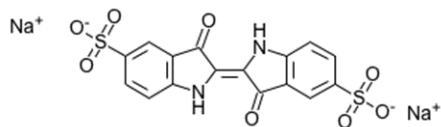
信号反応とゲーミング反応の比較

奈良県立奈良北高等学校 科学部2年 森村亮太 山崎暖己

【キーワード】インジゴカルミン 信号反応 ゲーミング反応 酸化還元反応 pH 値

1. はじめに

インジゴカルミンは、やや紫がかった青色に着色することができる着色料である。青色2号として食品添加物としても知られている。インジゴカルミンには塩基性の条件下で還元糖によって還元されると緑色から赤色に変色し、更に還元されると黄色に変色する性質がある。この性質を利用して一般的に信号反応と呼ばれる化学マジックが行われている。私たちは信号反応について好奇心を抱き、この反応の実験を行っていた。その際に参考文献2)内でゲーミング反応と呼称される溶液の変色の仕方がグラデーション状になるという反応を知った。この反応についての論文が存在しなかったことから、二つの反応の差異、およびメカニズムについての研究を行うことにした。



(図1)インジゴカルミンの構造式

2. 実験

実験0 信号反応とゲーミング反応

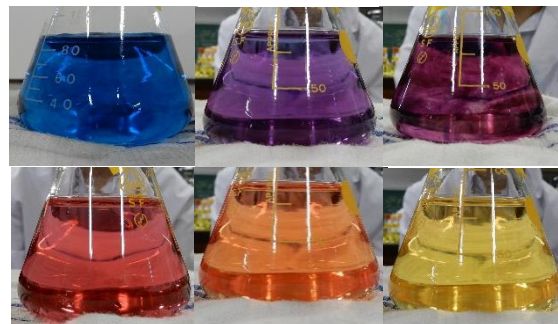
目的 二つの反応の条件をそろえ、比較実験を行う。

方法 信号反応は純水 80mL に NaOH 0.8g を加えた後、グルコース 1.2g を加える。最後に 1%インジゴカルミン水溶液 1mL を加え、反応を観察する。ゲーミング反応は NaOH 以外の条件を信号反応と同じとし、NaOH を 0.2g に変えて実験する。ゲーミング反応の反応を速めるため、どちらも反応温度を 40℃とする。

結果 信号反応は緑色、赤色、黄色の順に変色した(図2)のに対し、ゲーミング反応は最初に色が青色になり、その後紫色などを挟んで赤色、黄色に変色した(図3)。



(図1)信号反応の様子



(図3)ゲーミング反応の様子

実験1 NaOH濃度による変化

目的 二つの反応のが変化する境目となる NaOH 濃度の特定。

方法 二つの反応の差異である NaOH 濃度を細かく分け (NaOH を 0.8g~0.1g, 0.1g 刻み) それぞれ観察する。

結果 NaOH 濃度に応じて反応が変化した。

NaOH (g)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
NaOH濃度 (mol/L)	0.25	0.22	0.19	0.16	0.14	0.094	0.063	0.031
pH	13.4	13.34	13.28	13.2	13.1	12.98	12.8	12.5
反応	S		S ? G ?			G		

(表1)NaOH 濃度と反応の関係性

(S : 信号反応 G : ゲーミング反応)

実験2 反応中の pH の変化

目的 NaOH 濃度が反応にかかわることから、pH 値が反応中変化するかを調べる。

方法 反応中の pH 値を pH メーターで計測する。

結果 反応中はほぼ pH 値は変化しなかった。0.1 程度の低下であった。

実験3 反応温度とグルコース濃度による変化

目的 グルコース量を減らし、反応温度を低下させることで反応速度を遅くさせ、反応を観察をしやすくする。

方法 グルコース濃度や反応の際の温度を変化させて実験を行う。

結果 二つの条件で反応速度は変わったが、NaOH 濃度は同じであるにもかかわらず反応自体が変化した。

温度	Glu(g)	反応	温度	Glu(g)	反応	温度	Glu(g)	反応	速 ↓ 遅
40°C	1.2	G	25°C	1.2	G	5°C	1.2	G	
40°C	0.6	G	25°C	0.6	?	5°C	0.6	?	
40°C	0.3	G	25°C	0.3	?	5°C	0.3	S	
40°C	0.15	G	25°C	0.15	S	5°C	0.15	S	

速 ←————→ 遅

(表2) 実験3の結果

実験4 異なる還元剤を用いる

目的 異なる還元剤でも反応は起きるのかを確認する。

方法 フルクトース、マルトース、チオ硫酸ナトリウム、シュウ酸、ホルマリン、アセトアルデヒドを用意しそれぞれをグルコースの代わりに加えて反応を観察する。

結果 還元糖のみが反応し、ほかの還元剤は反応しなかった。

還元剤	S	G
フルクトース	○	○
マルトース	○	○
チオ硫酸ナトリウム	×	×
シュウ酸	×	×
ホルマリン	×	×
アセトアルデヒド	×	×

(表3) 実験4の結果

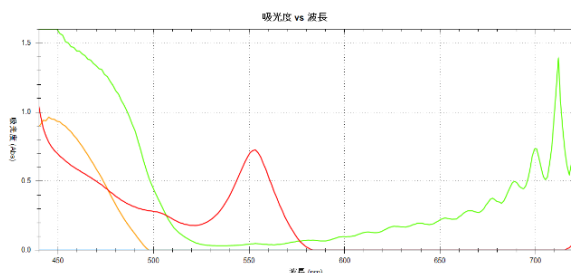
(S : 信号反応 G : ゲーミング反応)

実験5 吸光度の測定

目的 反応の観察に客観的なデータを入手する。

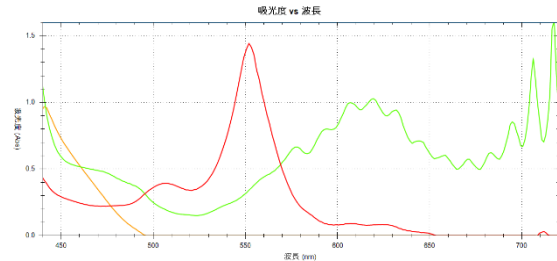
方法 反応中の溶液の吸光度の経時変化を測定する。

結果 以下のグラフの通り、最初の色(酸化型)から赤色に変色する過程が異なるが、赤色から黄色(還元型)にかけての反応はほとんど同じものであることが分かった。



(図4) 信号反応の吸光度グラフ

(緑 : 緑色、赤 : 赤色、橙 : 黄色)



(図5) ゲーミング反応の吸光度グラフ

(緑 : 青色、赤 : 赤色、橙、黄色)

※(株)ナリカ製スペクトロメーターSMを使用

3. 考察

- ゲーミング反応は信号反応よりも反応速度が遅い。これは NaOH 濃度が原因していると考えられる。
- 信号反応とゲーミング反応が起きる境界は pH 値において pH13 と pH13.39 の間にある。境界ははっきりとしているわけではなく、境界部分では二つの反応が混ざったような反応が起こる。
- インジゴカルミン緑色になる pH の領域で、ゲーミング反応が起こるのではないかと考える。また、グルコースを加えることにより、インジゴカルミンの変色域がずれるのではないかと考える。
- 反応中に pH 値はほとんど変化しないので、OH⁻が反応に直接関与していないように見えるが、関与しているはずである。
- 反応温度やグルコース濃度によって反応に変化が起こるため、反応温度やグルコース濃度も反応速度だけでなく、反応を変化させる大きな要因であると考えられる。
- 信号反応とゲーミング反応は初期の色(酸化型)～赤色への変色過程の吸光度変化が異なるので、異なる反応であると考えられる。
- 信号反応とゲーミング反応は赤色～黄色(還元型)への変色過程の吸光度変化はほとんど同じであるので同じ反応であると考えられる。
- これら二つの反応を起こすことができない還元剤が存在し、私たちが今まで行ってきた実験では糖を含まない還元剤が該当している。グルコースは還元剤として以外にも反応に何か役割があるのだろうか。

4. 今後の展望

スペクトロメーター等を活用し、信号反応とゲーミング反応の違い、そしてゲーミング反応のメカニズムの解明に向けて研究を行っていききたい。

5. 参考文献

- 1) 魅了する科学実験 01 カメレオンの！信号反応
- 2) ラジオライフ 2022 年 9 月号三才ブックス
新課程ア理科 魅惑のゲーミング反応
- 3) Hiyoshi Review of Natural Science Keio University No. 59, 21-33 (2016) インジゴカルミン水溶液中の信号反応および分解退色 小島りか・大場茂
- 4) Bulletin of Aichi Univ of Education, 65 (Natural Sciences), pp37-45, March, 2016
信号反応におけるインジゴカルミンの分解要因の調査 戸谷義明
- 5) Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi Vol. 46, No. 1, 34~36 (1999) [研究ノート] (34) DPPH ラジカル捕捉能を有するカラメル調製法 戸高大介・竹中陽子・竹中哲夫