

信号反応の研究

2年3組 中平 真央 2年4組 岩田 栞莉 2年4組 清水 光
指導者 重松 聖二

1 課題設定の理由

食用色素であるインジゴカルミンを用いた酸化還元反応は、時間の経過と共に溶液の色が緑色から赤色、そして黄色と、次々と色が変わるため、信号反応とも呼ばれている興味深い反応である。この信号反応は可逆反応であるため、酸化と還元を繰り返すと色変化が繰り返される。酸化還元反応の代表的な反応であることを聞いて実際にやってみて関心を持った。しかし、信号反応の色変化に関する先行研究は少なく、詳しいことを知ることができなかった。そこで、信号反応における色変化に伴って起こっている反応について調べてみることにした。

2 仮説

信号反応において、様々な条件を変えながら色変化にかかる時間を調べ、色変化に伴って起こっている反応について考察することにした。インジゴカルミンを還元するのに用いるグルコースの量を増やしたり、反応液の温度を高くしたりすると、反応速度が速くなり、色変化にかかる時間を短くすることができると思った。

3 実験・研究の方法

(1) 信号反応に関する文献調査

ア インジゴカルミン

やや紫がかった青色に着色することのできる着色料で図1の構造式を持つ。食品衛生法では青色2号として食品添加物に指定されている。熱や光、塩基に弱く、還元されやすい。pH=13以上では黄色になる。

イ 信号反応

図2において、緑色のインジゴカルミンをグルコースなどで還元すると、赤色の中間物質を経由して、黄色のロイコインジゴカルミンになる。このときグルコースは酸化され、グルコン酸に変化する。この溶液を攪拌し、空気中の酸素によって酸化していくと黄色から赤色、そして緑色に変化していく。

ウ グルコースの還元剤としての反応

信号反応において、グルコースを酸化しやすくするため、水酸化ナトリウムを加えて塩基性にし、アルデヒド型のグルコースを多くしている。その後、図3のようにグルコースは酸化され、グルコン酸に変化する。

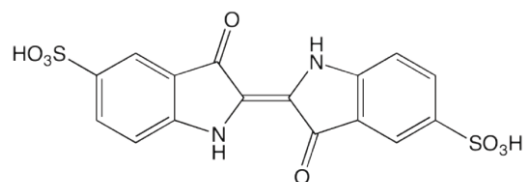


図1 インジゴカルミンの構造式

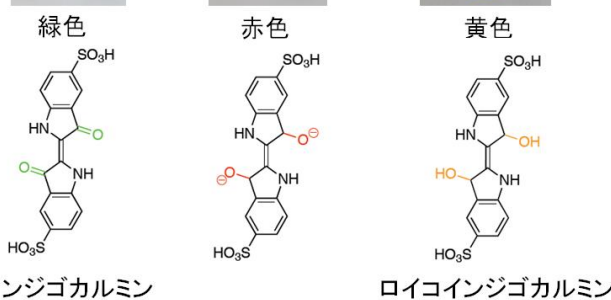
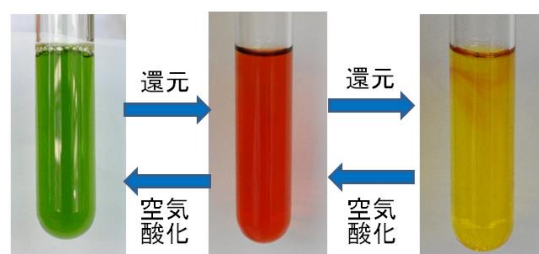


図2 信号反応の原理

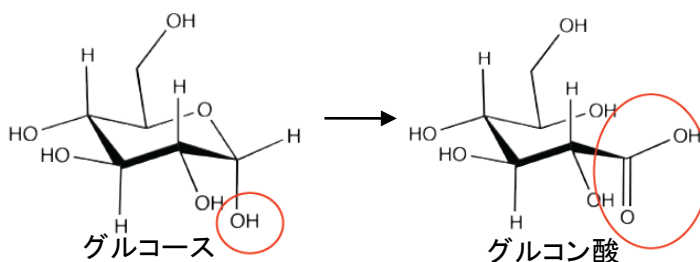


図3 グルコースの酸化

(2) 実験方法

ア 水 50mL に水酸化ナトリウム 0.5 g とグルコース 0.5 g を溶かしたものを溶液Aとする。

イ 水10mLにインジゴカルミン0.1 g を溶かしたものを溶液Bとする。

ウ 図4のように、三角フラスコに溶液A 50mLと溶液B 1 mLを加えた後、攪拌子を入れ、マグネティックスターラーを用いて一定速度で攪拌して酸化する。緑色に変化してから30秒後に攪拌を止め、ストップウォッチを用いて、緑色から赤色までの反応時間、赤色から黄色までの反応時間をそれぞれ測定する。その際、図2の色見本を三角フラスコの横に用意し、よく見比べながら色見本と同じ色になった時間を測定する。



図4 実験装置

(3) グルコースの質量と反応時間の関係

(2)の実験後、溶液Aを作るときに用いるグルコースの質量を1.0 g、1.5 g、2.0 gとしたときの反応時間を測定する。

(4) 反応液の温度と反応時間の関係

(2)の実験において、反応液の温度を室温より、プラス10℃、プラス20℃で実験を行った時の反応時間をそれぞれ測定する。

(5) 反応回数と反応時間の関係

(2)の実験において、反応回数を増やした時の反応時間をそれぞれ測定する。

(6) 水酸化ナトリウムの量と反応時間の関係

(2)の実験において、水酸化ナトリウムの量を増やした時の反応時間をそれぞれ測定する。

(7) 反応に用いる糖の種類と反応時間

(2)の実験において、還元剤として用いたグルコースの代わりにフルクトースやマルトースを用いた場合の反応時間について調べる。

(8) 反応に伴う糖濃度の変化

反応前後で反応液の糖濃度を尿糖試験紙(図5)を用いて測定し、糖の減少量を調べる。

4 結果と考察

(1) グルコースの質量と反応時間の関係

信号反応に用いるグルコースの質量と反応時間の関係を表1、図6に示す。

いずれの場合も赤色から黄色に変化するのにかかる時間の方が長いことが分かった。また、加えるグルコースの質量が大きいほど反応時間が短くなることが分かった。

インジゴカルミンの量は変えずに行ったので、グルコースの質量が大きいほど、還元反応が良く進行し、反応速度が速くなったと考える。

表1 グルコースの質量と反応時間

グルコース	緑色→赤色	赤色→黄色	合計時間
0.5g	124	346	470
1.0g	65	155	220
1.5g	52	92	144
2.0g	43	78	121



図5 尿糖試験紙

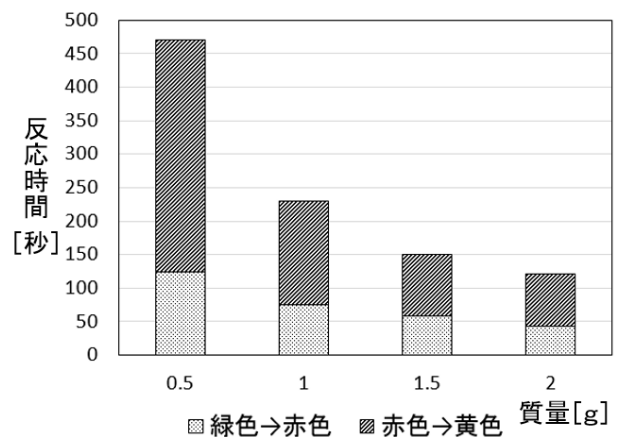


図6 グルコースの質量と反応時間

(2) 反応液の温度と反応時間の関係

反応液の初期温度を室温、プラス 10℃、プラス 20℃で実験を行った。一般的に反応速度は 10℃上昇するごとに、2～3 倍になると言われるが、大幅に反応時間が短くなった。温度を上げたことで活性化エネルギー以上のエネルギーを持った分子が増えたことが考えられる（表 2・図 7）。

表 2 反応液の温度と反応時間

温度	緑色→赤色	赤色→黄色	合計時間
15℃	124	346	470
25℃	70	165	235
35℃	42	78	120

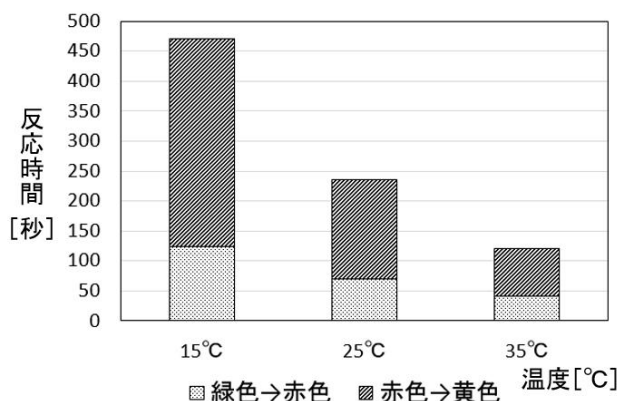


図 7 反応液の温度と反応時間

(3) 反応回数と反応時間の関係

反応回数が増えるごとに、反応時間が短くなることが分かった。信号反応は可逆反応なので、反応にするインジゴカルミンの mol 数は変わらないはずである。しかし、色変化の回数を重ねると表 3、図 8 のように、色変化の時間が短くなった。

これは反応に伴い、何らかの原因でインジゴカルミンの mol 数が減少したと考えられる。

文献調査でインジゴカルミンは塩基性に弱いとあった。グルコースが還元剤としてはたつきやすいようにするために入れている水酸化ナトリウムにより反応液は強塩基性になっており、このため、インジゴカルミンが分解して少なくなり、反応時間が短くなったと考えた。

表 3 反応回数と反応時間

反応回数	緑色→赤色	赤色→黄色	合計時間
1回	124	346	470
2回	107	294	401
3回	81	229	310

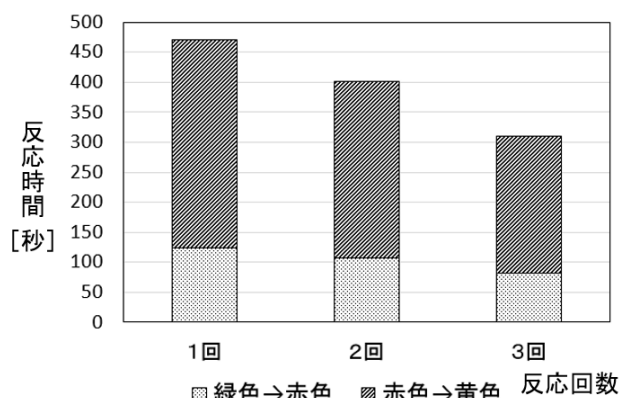


図 8 反応回数と反応時間

(4) 水酸化ナトリウムの量と反応時間の関係

表 4、図 9 のように、加える水酸化ナトリウムの質量が大きいほど反応時間が短くなることが分かった。これは塩基性が強くなり、アルデヒド型のグルコースが増加したことと、多くのインジゴカルミンが分解して量が少なくなったことが原因と考えた。

表 4 NaOHの量と反応時間

NaOH	緑色→赤色	赤色→黄色	合計時間
0.5g	124	346	470
1.0g	101	282	383
1.5g	76	238	314
2.0g	54	180	234

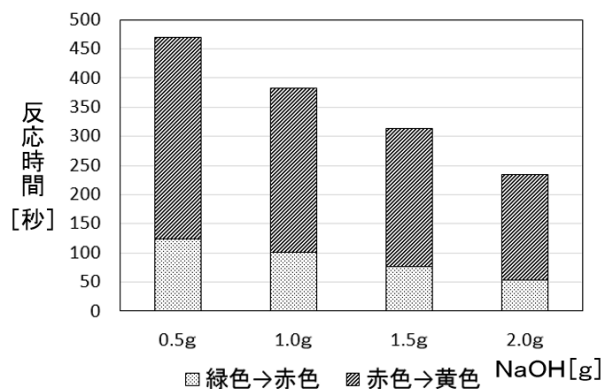


図 9 NaOHの量と反応時間

(5) 反応に用いる糖の種類と反応速度

還元剤として用いたグルコースの代わりに、グルコースと同様に還元性を持つ下記の還元糖を用いて実験を行った。表5、図10のように、還元を用いる糖の種類によって反応時間が異なることが分かった。中でも、フルクトースは最も反応時間が短くなった。このことより、フルクトースが最も還元力が大きいと考えられる。

表5 還元糖の種類と反応時間

還元糖	緑色→赤色	赤色→黄色	合計時間
グルコース	124	346	470
フルクトース	58	136	194
ガラクトース	156	451	607
マルトース	258	648	906

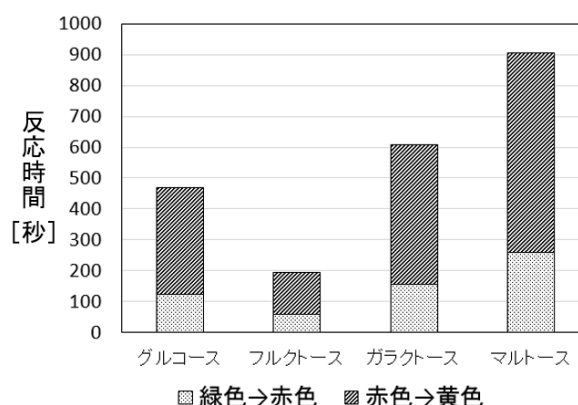
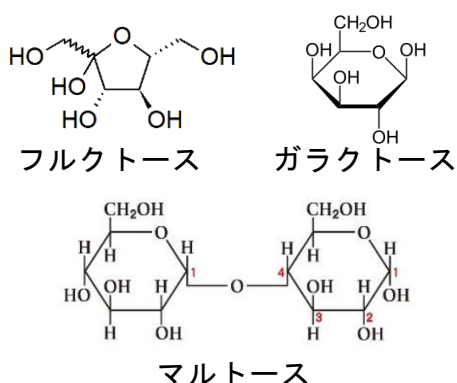


図10 還元糖の種類と反応時間

(6) 反応に伴う糖濃度の変化

反応前後の糖濃度を、尿糖試験紙を用いて測定し、糖の減少量を調べた。

図11のように、反応前は+~++の間であったが、反応後は±~-の間に変化しており、信号反応によって糖が還元剤としてはたらいで減少することが確認できた。

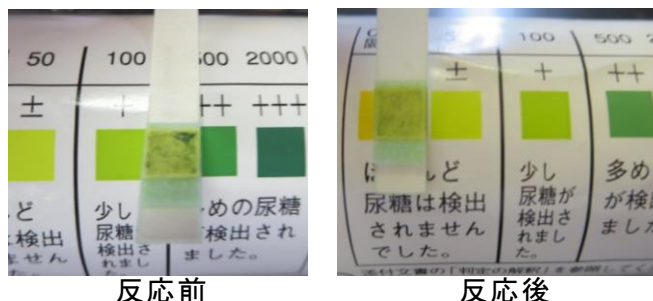


図11 尿糖試験紙による糖濃度の変化の測定

5 まとめと今後の課題

信号反応において、様々な条件を変えながら色変化にかかる時間を調べ、色変化に伴って起こっている反応について考察した。グルコースや水酸化ナトリウムの質量を増やしたり、反応液の温度を高くしたりすると、反応速度が速くなり、色変化にかかる時間が短くなることが分かった。また、反応回数が増えるごとに、インジゴカルミンが分解し、反応時間が短くなることが分かった。さらに、グルコースの代わりにフルクトースを用いると、反応時間が短くなることが分かった。

色変化に関心を持って取り組んだ研究であったが、塩基性でなければ見ることのできない信号反応において、その塩基によってインジゴカルミンが分解されるという皮肉なことも知ることができ、改めて化学反応に親しみを持つことができた。今後は、反応時間を短く保ちながらも何度も色変化を見ることが出来る条件について検討したい。

参考文献

- ・「フラスコの中の交通信号」 広島大学大学院工学研究科エネルギー化学研究室コース
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/wakuwaku/PDF/03.pdf>