

紙の色と光の色の違いによる燃え方

2607 魚住真帆 2514 草野結香 2611 小栗杏日 2622 小林実礼 2636 松岡美美

要旨

私たちの実験の目的は黒色を除いた画用紙の色と光の色の組み合わせのうち、一番燃えやすい組み合わせを調べることである。

波長が短い光ほどエネルギーが大きい…①

反射する光のエネルギー量が多いと吸収するエネルギー量が少なくなる…②

また、画用紙が吸収した光のエネルギーが画用紙に蓄えられるエネルギーだと定義した場合、①、②より、温度上昇と波長に相関があると考えた。よって、赤色の画用紙が一番燃えやすいと仮定した。凸レンズを用いてプロジェクターの光を集め画用紙に照射し、画用紙の温度上昇を調べた結果、光の三原色である赤、緑、青の温度上昇が大きいという結果を得た。各画用紙の光の吸収率を算出したところ、温度上昇と吸収率には正の相関がみられたため温度上昇は光の吸収率に依存すると考えた。ただ、画用紙の色を変える実験で計測を2回行ったが、室内の気温の変化などにより実験結果が大きく変わってしまった。今後は実験をする際に外部からの影響を受けにくい装置を作成し、一定の条件下で実験を行う。光の色を変える実験では、プロジェクターの光を分光し光の色の違いにおける温度上昇の変化を調べる。

1. 目的

小学校の理科の授業で行った、「ルーペで太陽光をあつめ黒色の画用紙を燃やす」という実験を発展させ、「紙の色」と、「光の色」の組み合わせのうち、一番燃えやすい組み合わせを調べる。少ない光量でより多くのエネルギーを作り出すことができる光の色と素材の色の組み合わせが分かれば、太陽光発電のソーラーパネルの色や、植物工場の光の色を変え作り出すエネルギー量を調整しやすくと考える。

光子のエネルギーの公式

$$E = (h \times c) \div \lambda \dots (1)$$

E [J] : エネルギー

h [J · s] : プランク定数 (6.63×10^{-34})

c [m/s] : 光速 (3.0×10^8)

λ [m] : 波長

(1)式より、波長の短い光ほどエネルギー量が多い。波長と1光子当たりのエネルギー量の関係を表したグラフが図1である。

2. 仮説

「紙が吸収した光のエネルギーは紙に蓄えられる」と定義し、「紙に蓄えられたエネルギーが大きいほど燃えやすい」と仮定した。

[1] 一番燃えやすい画用紙の色を調べる実験

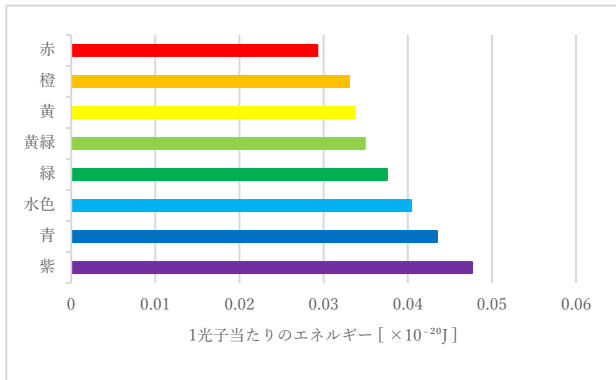


図1 波長ごとの1光子当たりのエネルギー量の関係

画用紙は反射する光のエネルギー量が多いと吸収するエネルギー量が少なくなるため、温度上昇と波長には正の相関があると仮定した。(図2)

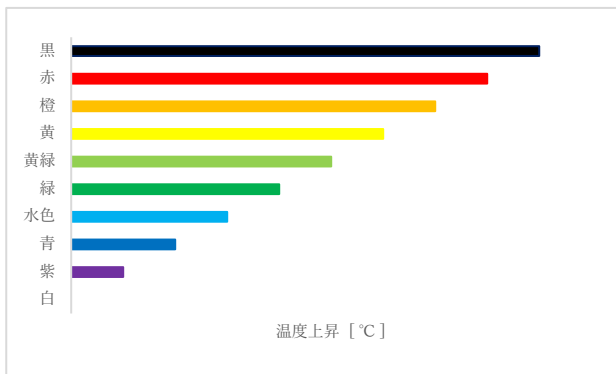


図2 波長による温度上昇 (仮説)

よって、一番燃えやすい紙の色は黒を除けば、可視光線の中で最も波長の長い赤だと考えた。

[2] 一番燃えやすい光の色を調べる実験

[1]と同様に、光子のエネルギーの公式(1)より波長の短い光ほどエネルギー量は大きくなる。よって、一番燃えやすい光の色は可視光線の中で最も波長の短い紫だと考えた。(図1)

3. 実験

実験 3-1 太陽光を光源とした時の紙の色による画用紙の燃えやすさを調べる実験

□ 目的

画用紙の色を変えることで、一番燃えやすい画用紙の色を調べる。

□ 実験器具

- ・色画用紙 (黒、白、赤、ピンク、黄、黄緑、緑、紫)
- ・ストップウォッチ
- ・ルーペ

□ 実験方法

① 図3のように組み立てる。

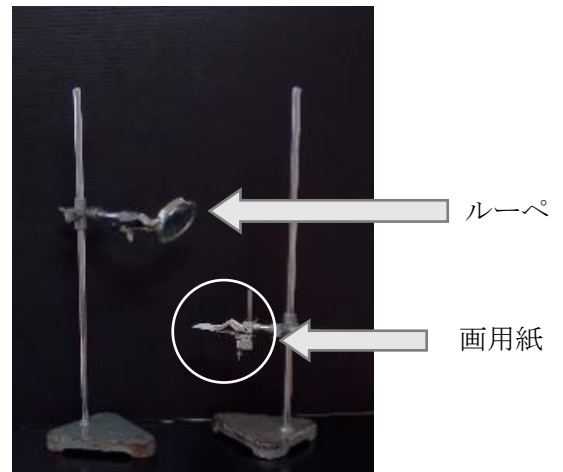


図3 実験 3-1 実験装置

- ② 凸レンズのルーペを用いて日光を集め、その焦点を紙に当てる。
- ③ 煙が出るまでの時間を測る。
- ④ ①から③までの作業を画用紙の色を変えながら繰り返す。

□ 結果

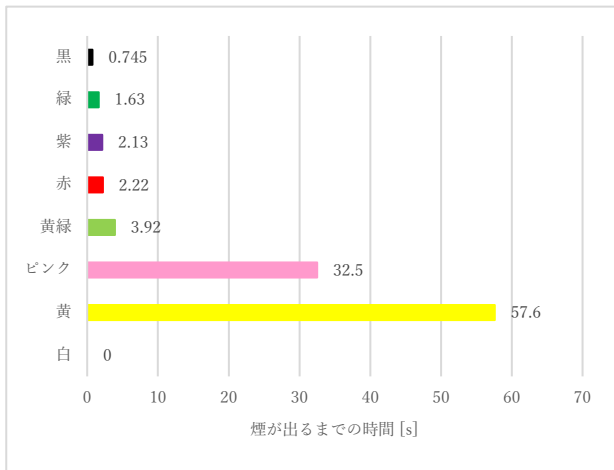


図4 実験3-1 煙が出るまでの時間

□ 考察

赤色の紙が一番燃えやすいという仮定は証明できなかった。しかし、濃い色の紙は淡い色の紙と比べて燃えやすいことが分かった。よって、波長の長さではなく紙の色の濃さが結果に影響していると考えた。

しかし、太陽の光量は日によって異なること、実験中に太陽が移動してしまうことから太陽を光源とする実験で一定の条件下で実験を行うことは難しい。そこで、光源をプロジェクターとすることで、光源と画用紙の距離が等しい、かつ一定の光量を得られるのではないかと考えた。以下、画用紙の色による燃え方の違いを調べる場合は光源をプロジェクターとして実験を行う。(実験3-3)

実験3-2 太陽光を光源とした時の光の色による画用紙の燃えやすさを調べる実験

□ 目的

光の色を変えることで、一番燃えやすい光の色を調べる。

□ 実験器具

- ・色付きフィルター(赤、黄、緑、青)
- ・画用紙(黒)
- ・ストップウォッチ

- ・ルーペ

□ 実験方法

ルーペの表面に色付きフィルターを張り付けて、実験3-1の①から③を繰り返す。なお、フィルターの色の種類が少なかったため、今回検証した光の色は赤、黄、緑、青のみである。

□ 結果

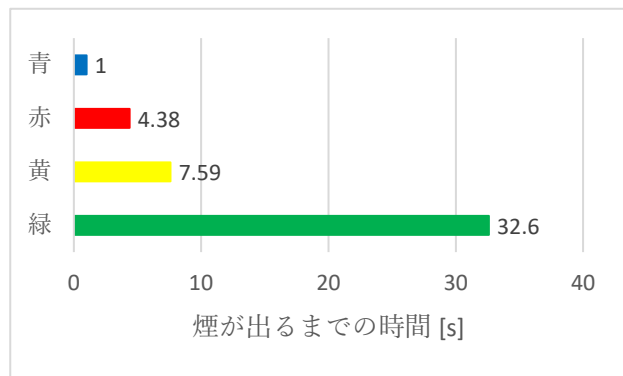


図5 実験3-2 煙が出るまでの時間

□ 考察

波長が可視光線の中で一番長い赤色が二番目に燃えやすかったこと、赤色よりも波長の短い緑色が煙が出るまでの時間が長かったことから、光の波長と紙の燃えやすさには仮説で立てたような光の波長が短いほど画用紙が燃えやすいという関係は成立しないと言える。また、色付きフィルターを通った太陽光に含まれる光の成分を分光器を用いて調べたところ、光の成分の強弱の違いはあるが、ほぼ全ての色が含まれていた。このことから、フィルターを通した光は複色光であり、含まれている光の成分の割合の違いにより、光の色の違いが生まれることが分かった。

今後は、特定の波長の光のみを選択的に透過させるガラスフィルター(図14)を用いて、プロジェクターの光を分光し、光の波長ごとの温度上昇を調べる。

実験 3-3 プロジェクターを光源とした時の紙の色による画用紙の燃えやすさを調べる実験

□ 目的

プロジェクターを光源とした時、画用紙の色を変えることで、一番燃えやすい画用紙の色を調べる。

□ 実験器具

- ・色画用紙
(黒、白、赤、橙、黄、黄緑、緑、水色、青、紫)
- ・プロジェクター
- ・サーモグラフィー
- ・ストップウォッチ
- ・ルーペ

□ 実験方法

- ① 器具、材料を図 6、図 7 のように設置する



図 6 実験 3-3 実験の様子

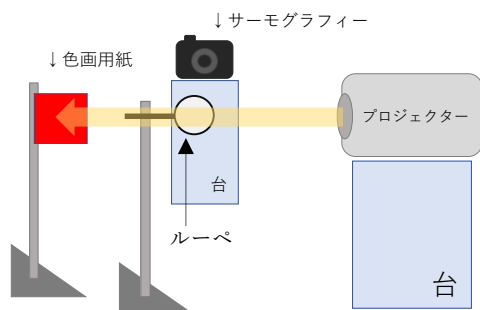


図 7 実験 3-3 実験の簡略図

- ② ルーペを用いて、プロジェクターの白い光を画用紙の中心に集める

- ③ 3 分間の温度上昇をサーモグラフィーで計測し、最高温度を記録する

□ 結果

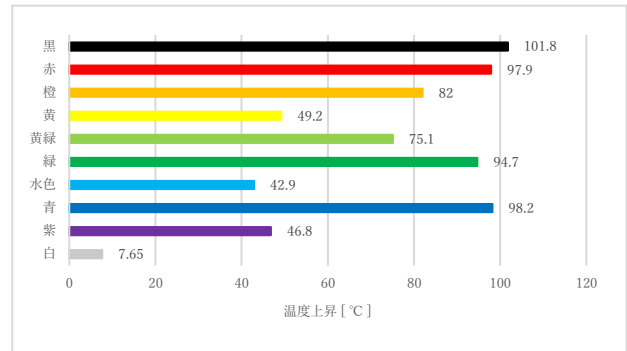


図 8 実験 3-3 各画用紙の温度上昇 (波長の長い順)

画用紙の色の波長と温度上昇には仮説で立てたような画用紙の色の波長が長いほど燃えやすいという関係がみられなかった。また、光の三原色(赤、緑、青)の温度上昇が大きいことが分かった。

□ 考察

光の三原色の温度上昇が大きいことに着目し、画用紙の色の RGB 値(※)が温度上昇に関係しているのではないかと考えた。よって、光の吸収率と画用紙の温度上昇の関係を調べることにした。

※ RGB 値とは

「赤(R)」「緑(G)」「青(B)」の「光の三原色」から構成される色の表現方法であり、各色 0~255 の 256 段階で表したもの。

実験 3-4 画用紙の RGB 値を調べる実験

□ 目的

各色画用紙の RGB 値を調べ、吸収率(※)を求める。

※ 光の吸収率の求め方

$$\{(255 \times 3 - \text{RGB 値の和}) \div 255 \times 3\} \times 100 = \text{吸収率} [\%] \dots (2)$$

□ 実験方法

『色しらべ』という RGB 値を計測するスマートフォンアプリケーションで色画用紙ごとに7回測定し平均値を求めた。黒は全ての色の光を吸収し、白は全ての色の光を反射するため黒の場合は全て0、白の場合は全て255となるはずである。実際に測定した結果、黒の場合は全て0、白の場合は全て255となった。よって黒は各色をすべて吸収、白は各色をすべて反射している。このことから『色しらべ』が計測した RGB 値は正しいといえる。

□ 結果

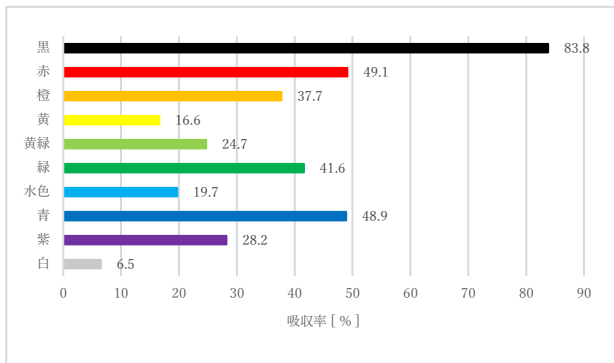


図9 実験3-4 各画用紙の吸収率
(波長の長い順)

吸収率が大きい順に黒、赤、青、緑、橙、紫、黄緑、水色、黄、白となった。

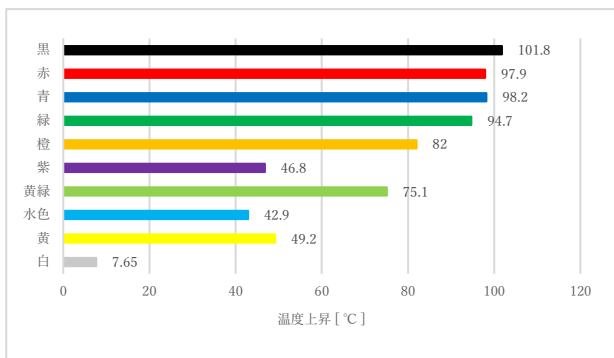


図10 実験3-3 温度上昇 (吸収率の高い順)

図8のグラフの縦軸を画用紙の色の吸収率が大きい順に並べると、温度上昇と吸収率にはおおよそ正の相関があることがわかる。しかし、青、黄緑、黄の3色は温度上昇と吸収率を比例

関係とするには温度上昇が大きい。そこで、実験3-5ではより多くのデータを集め、結果の精度を上げることにした。

実験3-5 プロジェクターを光源とした時の紙の色による画用紙の燃えやすさの実験

□ 目的

実験3-3と同じ

□ 仮説

黒と白を除けば、温度上昇は赤が一番大きく、黄が一番小さい。

□ 実験方法

実験のデータの信頼性を高めるために実験回数を増やし、実験3-3では3分だった光を紙に当てる時間を2分とした。その他は実験3-3と全く同じ手順である。

□ 結果

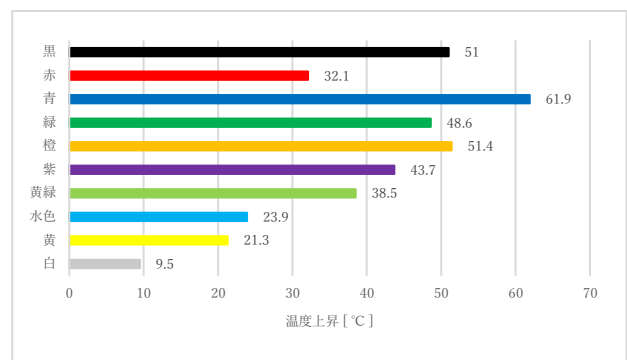


図11 実験3-5の温度上昇 (吸収率の高い順)

赤の温度上昇が一番大きくはならなかったが、黄の温度上昇が一番小さくなった。

□ 考察

今回の結果が実験3-3の結果とは黒、赤、水色の温度上昇が異なる結果になった。その理由として、実験を行った時の室温や装置に当たる風の量など、実験を行った環境が変化してしまったためであると考えられる。また、黒、赤、水色

の実験においてサーモグラフィーの計測部が画用紙に光が当たっている中心部に入っておらず正確なデータを得ることができなかった。したがって今回の結果を用いて温度上昇と吸収率の関係性を導くことはできない。今後は、気温や外部からの風などの影響を受けないような工夫し実験を行う。

4. 全体の考察

実験手順がより正確な実験 3-3 の温度上昇と実験 3-4 の吸収率の相関図を作成し、関係式を求めた。なお、横軸を温度上昇 Δt 、縦軸を吸収率と y とする。

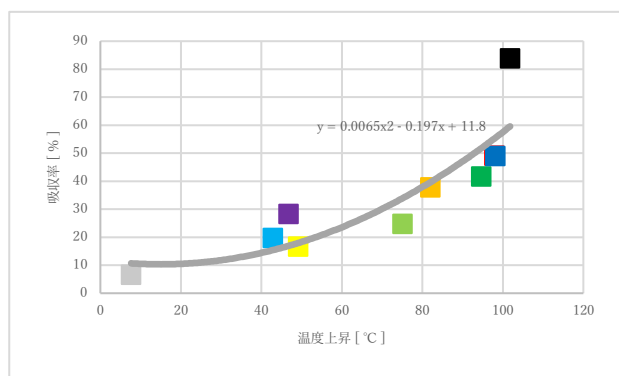


図 12 二次関数に近似した時のグラフと関係式

二次関数とすると、 $y = 0.0065t^2 - 0.197t + 11.8$ という関係式を得られた。

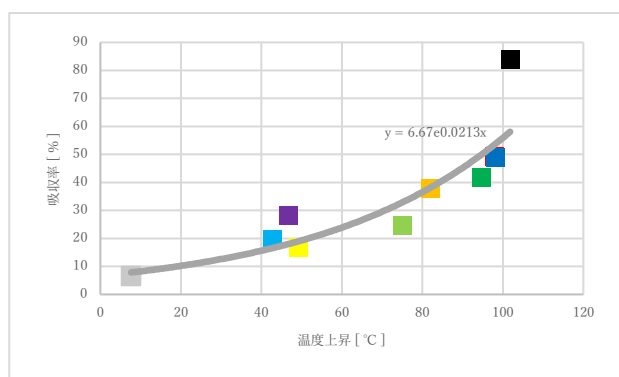


図 13 指数関数に近似した時のグラフと関係式

指数関数とすると、 $y = 6.67e^{0.0213t}$ という関係式を得られた。

二次関数と指数関数のグラフに差があまりなかったため、どちらのグラフも候補として挙げておく。これらの関係式より温度上昇と吸収率には正の相関があると分かる。

5. 展望

[1] 画用紙の色を変え、一番燃えやすい色を調べる実験

温度上昇と吸収率がどのような関係になっているのかをより明確に調べるために、実験の結果が外部からの風や実験時の外からの光の影響を受けないように行う。具体的には、実験装置の周りを囲いで覆い、実験の条件を等しくする。また、気温によって実験のデータに違いがみられたため、室温を一定にして実験を行う。

[2] 光の色を変え、一番燃えやすい色を調べる実験

特定の波長の光のみを選択的に透過させるガラスフィルター(図 14)を用いて、プロジェクターの光を分光し光の波長ごとの温度上昇を調べる。



図 14 ガラスフィルター

6. 謝辞

ご指導いただきました千藤先生を始めとする物理担当の先生方ありがとうございました。

7. 参考文献

- ・改定 物理 可視光線の光と色の関係
- ・改定 物理 光の粒子性
- ・東邦大学 生物分子科学科 可視光線
https://www.toho-u.ac.jp/sci/biomol/glossary/chem/visible_light.html
- ・色と RGB 値と 16 進数について | フルカラーの取り扱い

<https://www.howisit.jp/2017/01/24/control-color/>

- 「色しらべ」

<https://apps.apple.com/jp/app/%E8%89%B2%E3%81%97%E3%82%89%E3%81%B9-%E3%82%AB%E3%83%A1%E3%83%A9%E3%81%A7%E8%89%B2%E3%81%AE%E6%83%85%E5%A0%B1%E3%82%92%E6%8A%BD%E5%87%BA-%E9%85%8D%E8%89%B2%E3%81%AE%E8%A7%A3%E6%9E%90/id1160206848>