

# 紙の色と光の色の違いによる燃え方

3506 魚住真帆 3513 草野結香 3611 小栗杏日 3623 小林実礼

## 要旨

私たちの実験の目的は黒色を除いた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

紙が吸収した光のエネルギーが紙に蓄えられるエネルギーだと定義した場合、①②より温度上昇と波長に相関があると考えた。

紙の色を変える実験では、赤色の画用紙が一番燃えやすいと仮説を立てた。凸レンズを用いてプロジェクターの光を集め紙に照射し紙の温度上昇を調べた。その結果、光の三原色(赤、緑、青)の温度上昇が大きいという結果を得た。各紙の光の吸収率を求めたところ、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。

光の色を変える実験では、バンドパスフィルタに通したプロジェクターの光を集め紙に照射し、紙の温度上昇を調べた。その結果、11xあたりの温度上昇は615-645nm(赤)、425-495nm(青)、500-555nm(緑)の順に大きくなり、紙の実験と同様、光の三原色の温度上昇が大きいという結果を得た。

以上より、青色の紙に500-555nmの光を照射させたときに、紙の温度上昇が最も大きくなるという結論に達した。

## 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できると考えた。

## 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] 一番燃えやすい紙の色を調べる実験  
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 ( $6.63 \times 10^{-34}$ )

c[m/s] : 光速 ( $3.0 \times 10^8$ )  $\lambda$  [m] : 波長

(1)式より、波長の短い光ほど1光子当たりのエネルギー量は多い。

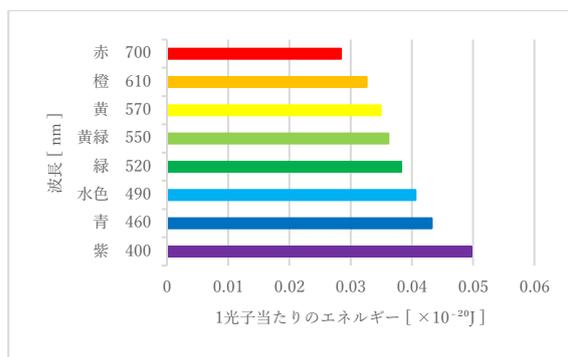


図1 波長ごとの1光子当たりのエネルギー量の関係

紙は反射する光のエネルギーが多いと吸収するエネルギー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)

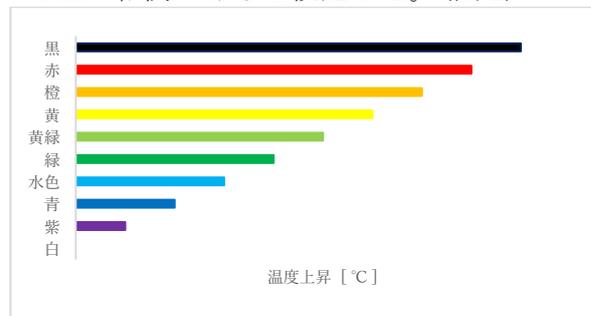


図2 波長による温度上昇(仮説)

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1光子当たりの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. 紙の色による温度上昇を調べる実験

太陽光を光源として実験を行ったが、日付や時間によって光量が大きく変わっていた。そこで、一定の光量が得られるプロジェクターを光源として実験を行うことにした。

### 実験 3-1 プロジェクターを光源とした時の紙の色による温度上昇を調べる実験

#### □目的

プロジェクターを光源とした時、紙の色を変えることで一番燃えやすい紙の色を調べる。

#### □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、ストップウォッチ、ルーペ

#### □実験方法

①器具材料を図3、図4のように設置する



図3 実験 3-1 実験の様子

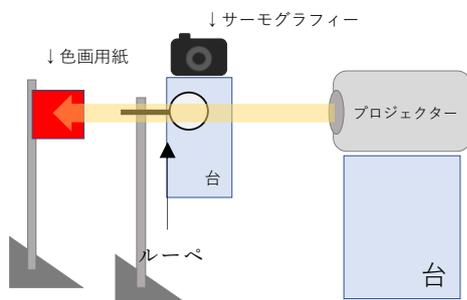


図4 実験 3-1 実験の簡略図

②ルーペを用いて、プロジェクターの白い光を紙の中心に集める

③3分間の温度上昇をサーモグラフィで計測し、最高温度を記録する

#### □結果

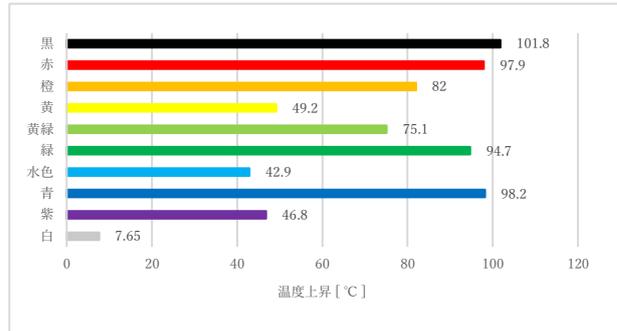


図5 紙の色による温度上昇の違い(波長の長い順)

紙の色の波長と温度上昇には仮説で立てた紙の色の波長が長いほど燃えやすいという関係はみられなかった。また、光の三原色である赤、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紙の色のRGB値(※)が温度上昇に関係していると考えた。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段階で表したものの。

### 実験 3-2 紙の色のRGB値を調べる実験

#### □目的

紙の色のRGB値と吸収率(※)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するため0、白は全ての色の光を反射するため全て255となった。よって、『色しらべ』が計測したRGB値は正しいといえる。

□結果

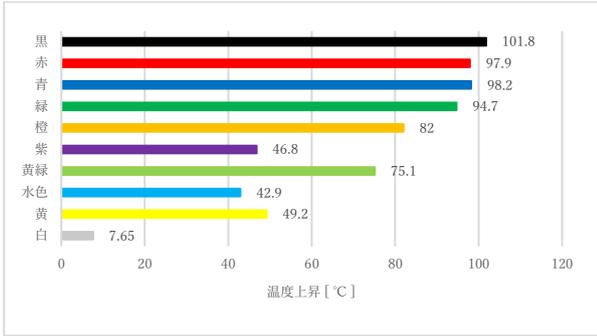


図 6 紙の色による温度上昇の違い（吸収率の高い順）

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。

□実験 3 の考察

実験 3-1 の温度上昇と実験 3-2 の吸収率の相関図を作成し、近似線を求めた。なお、温度上昇を  $\Delta t$ 、吸収率を  $y$  とする。

二次関数： $y = 6.5 \times 10^{-3} t^2 - 0.197t + 11.8$

指数関数： $y = 6.67e^{0.0213t}$

どの関係式が正しいかはまだ確かではないが、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。

4. 光の色による温度上昇を調べる実験

実験 4-1 プロジェクターを光源とした時の光の色による温度上昇の実験

□目的

光の色を変え、燃えやすい光の色を調べる。

□仮説

仮説[2]の通りである

□実験器具

色画用紙(黒)、プロジェクター、サーモグラフィ、ストップウォッチ、ルーペ、温度計、バンドパスフィルタ

※ バンドパスフィルタとは



特定の波長の光のみを選択的に透過させる。以下、フィルタと呼ぶ。

これを用いて、プロジェクターの光から調べたい波長の光を取り出し、温度上昇を調べる。

品番	透過する光の波長域[nm]
TB-P470	425-495
TB-P505	480-550
TB-P525	500-555
TB-P550（可視光）	410-690
TB-P590	560-600
TB-P635	615-645

□実験方法

器具、材料を図 8、図 9 の通りに並べる。可視光以外の波長の光を取り除くため、可視光だけを透過する 410-690nm のフィルタの後に、調べる波長のフィルタをセットした。



図 8 実験 4-1 の様子

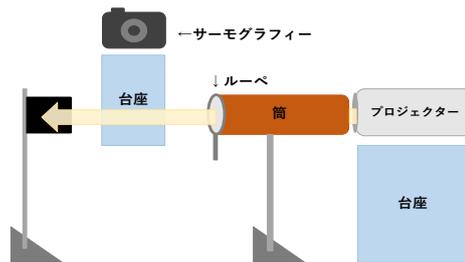


図 9 実験 4-1 実験の簡略図

外部からの光の影響を受けないように実験を行う部屋の明かりを消し外部からの光を遮断する。また光がプロジェクターからフィルタを通り、ルーペを透過するまで外部からの光の干渉を受けないようにするためにその光の通り道を筒で覆った。筒の内部には、黒画用紙を貼っている。(図 10)(図 11)

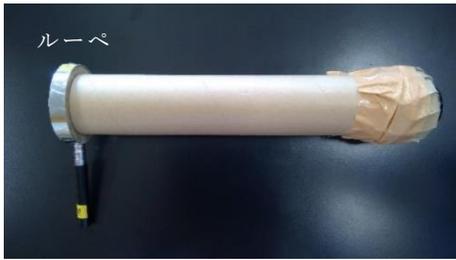


図 10 実験 4-1 筒

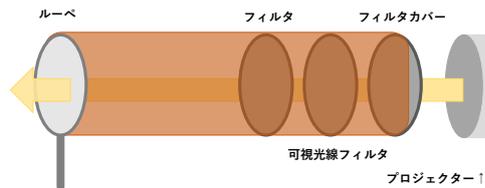


図 11 筒の簡略図

□結果

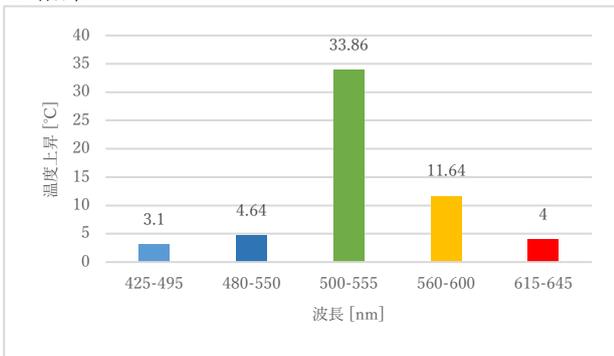


図 12 光の色の違いによる温度上昇

500-555nm の波長の温度上昇が一番大きくなった。仮説のような光の波長が短いほど温度上昇が大きいう結果にはならず、波長と温度上昇には負の相関が見られなかった。

実験中フィルタを透過した光量に違いが見られた。

□考察

各フィルタを通した光量と紙の温度上昇に関係があるのではないかと考えた。よって、フィルタごとの光量を測定する。

実験 4-2 プロジェクターを光源とした時のバンドパスフィルタを通過する光量を計測する実験

□目的

各フィルタの透過光の光量を測定する。

□仮説

実験 4-1 の時、温度上昇が大きかった色ほど光量も多い。

□実験器具

プロジェクター、ルーペ、ルクス計、1m 定規、バンドパスフィルタ(実験 4-1 同様)  
 ※ルクス計=照度を計測する装置。単位はルクス [lx]  
 ※ルクス = 1 m<sup>2</sup> の面が 1 [lm (ルーメン)] の光束で照らされるとき

の照度。  
 ※照度 = 単位体積当たりの光束 (ある面を単位時間に通過する光の量) の量のこと。

1lx=1 [lm/m<sup>2</sup>]

1lx=1 [lm/m<sup>2</sup>]



図 13 ルクス計

□実験方法

器具、材料を図 14、図 15 の通りに並べる。



図 14 実験 4-2 の様子

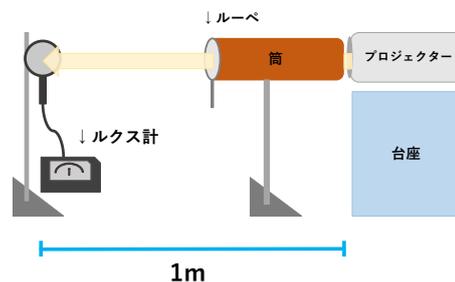


図 15 実験 4-2 実験の簡略図

器具は変更するが引き続き実験 4-1 と同じ条件で実験を行う。ただし、照度の計測位置を焦点にした際、計測可能値を超えていたため光源からの距離を 1 m 地点に固定し計測した。…③

□結果

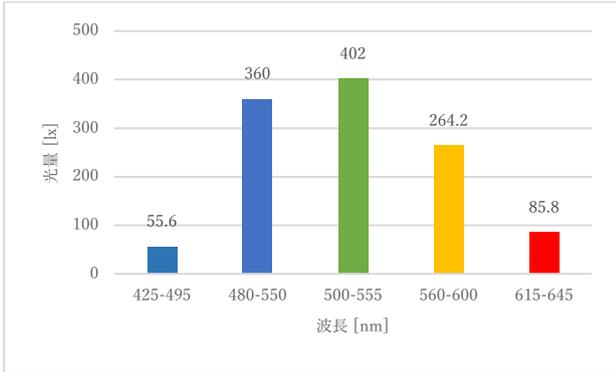


図 16 波長ごとの光量

これらの結果から波長と温度上昇の関係を調べるため、1lxあたりの温度上昇を求めた。

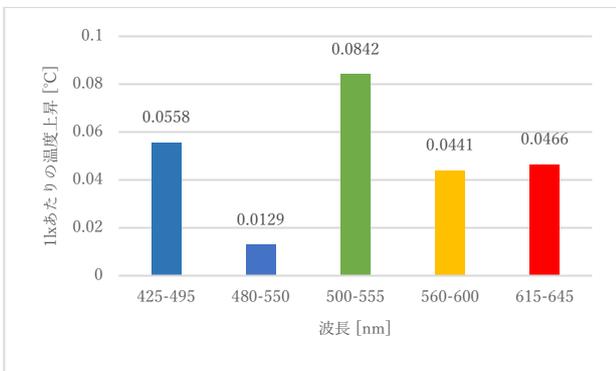


図 17 1lxあたりの温度上昇

温度上昇(図 12)と 1lxあたりの温度上昇(図 17)には相関が見られなかった。1lxあたりの温度上昇は 615-645nm(赤)、425-495nm(青)、500-555nm(緑)の順に大きくなり、紙の実験同様、光の三原色の温度上昇が大きくなった。

また、「温度上昇」「光量」「1lxあたりの温度上昇」の最大値を 100 とし、それぞれの波長の比率を求めた。

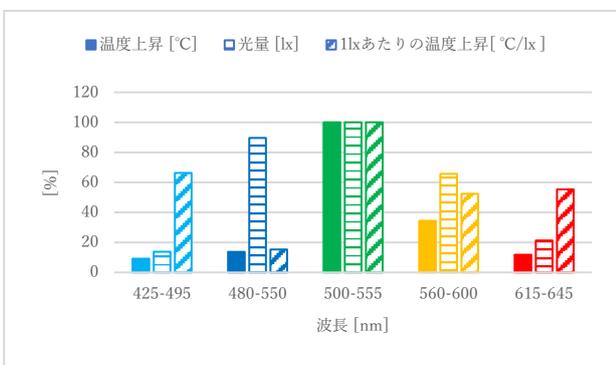


図 18 光の実験における「温度上昇」「光量」「1lxあたりの温度上昇」の比較

□考察

プロジェクターの光は光の三原色を組み合わせているので 615-645nm(赤)、500-555nm(緑)、425-495nm(青)の温度上昇が大きくなったと考えられる。

③において、光源からの距離が 1m の地点で計測をしたが、光量と距離には比例関係があるかどうか立証できていない。したがって、光源からの光量と光源からの距離に比例関係があるのかどうか検証していきたい。

5. 紙の色と光の色の組み合わせによる温度上昇を調べる実験

□目的

これまでの結果を踏まえて、紙の色と光の色の組み合わせによる温度上昇を調べる。

□仮説

画用紙は、実験 3-1 において、黒色を除いて温度上昇(図 5)が最大であった青色、最小であった水色を用いる。

光は、実験 4-1 において、1lxあたりの温度上昇(図 17)が最大であった 500-525nm、最小であった 480-550nm を用いる。

以上より、温度上昇が最大となるのは、青色の画用紙に 500-525nm の波長の光を照射したときであり、最小となるのは、水色の画用紙に 480-550nm の光を照射したときである。

□実験器具

色画用紙(水色、青)、プロジェクター、サーモグラフィ、ストップウォッチ、ルーペ、バンドパスフィルタ(TB-P505、TB-P525)

□実験方法

実験 4-1 においての紙の色を変更した。

□結果

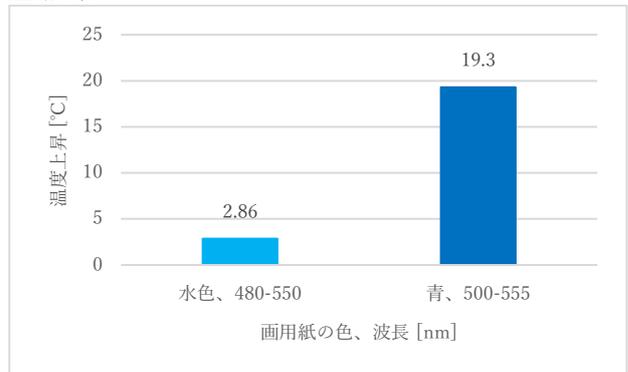


図 19 紙の色と光の色の組み合わせによる温度上昇

仮説通り、水色の画用紙に 480-550nm の光を照射したときよりも、青色の画用紙に 500-525nm の波長の光を照射したときの方が温度上昇が大きくなった。

「canon global テクノロジー プロジェクター」  
<https://global.canon/ja/technology/projector2021s.html>

#### 【参考】

(図 5)

- ・青、プロジェクターの光 98.2℃
- ・水色、プロジェクターの光 42.9℃

(図 12)

- ・黒、500-555nm 33.86℃
- ・黒、480-550nm 4.64℃

#### □考察

温度上昇が最大または最小になると予想した組み合わせの実験を行い、比較した。しかし、他の組み合わせのほうが温度上昇が大きくなる可能性も否定できない。

#### 6. 展望

- ・実験時の室温が温度上昇に作用するのか確かめる。
- ・全ての紙の色と光の色の組み合わせの温度上昇を調べる。
- ・同じ色の紙と光の組み合わせならば、光はすべて反射され、温度上昇は 0℃なのかを調べる。

#### 7. 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。

#### 8. 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.tohou.ac.jp/sci/biomol/glossary/chem/visible\\_light.html](https://www.tohou.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%9E90/id1160206848>

「リアル望遠鏡を作ろう！」

[https://global.canon/ja/technology/kids/experiment/e\\_05\\_01.html](https://global.canon/ja/technology/kids/experiment/e_05_01.html)