

第16回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0538

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : 簡易紫外線測定機による日焼け対策の検討～フォトクロミズムを利用した実験を通して～

学校名 : 東京都 国立筑波大学附属中学校

学年 : 2年生

代表者名 : 芦ヶ原 智之

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

簡易紫外線測定器による日焼け対策の検討

～フォトクロミズムを利用した実験を通して～

筑波大学附属中学校 2年4組19番

芦ヶ原智之

1. はじめに

この夏休み、炎天下の中で長時間、外でテニスをしたためか例年の私よりも肌が黒く焼けてしまった。日焼けを防ぐにはできるだけ日に当たらないようにするのだろうか、くらいのことしかわかっておらず、実のところ、日焼け止め剤も面倒で付けたり付けなかったりしていた。そこで、日焼けやその対策についてしっかりと理解し、少しでも日焼けを防ぐ方法を調べてみることにした。

2. 研究目的

日焼けをしないためには①外に出ない②服を工夫する③日焼け止め剤を塗る、の3つの対策が考えられる。①から③のうち、①は現実的ではないので、この研究では②と③に関する下記の2つの実験を行い、今後の自分の日焼け止め対策に生かしていく。

実験1：衣服の生地の違いによる日焼け具合

実験2：日焼け止め剤の種類と効果

3. 事前準備

3. 1. 日焼けとは

日焼けは太陽光線に含まれる紫外線（UV）を皮膚に浴びることで起こる肌の炎症のことである。紫外線には波長により UV-A、UV-B、UV-C の三種類あり、実際に私たちが浴びているのは UV-A と B のみである。これら紫外線を浴びると、日焼けするだけでなく、慢性的にシワやシミ、皮膚がんにかかりやすくなるなど体に害を及ぼすため、紫外線を肌に浴びる量を減らすことは重要である。しかしながら、全く紫外線を浴びない、ということはビタミン D 不足につながり、紫外線のある程度浴びることは、健康を維持するために必要であることにも注意する必要がある（参考資料1）。

3. 2. 紫外線の強度測定方法

紫外線の強さを測るために、数万円する紫外線測定器は買えないので、一枚100円程度で手に入る「UV CHECKER」（写真1）を使用することにした。このカードの円形部分に紫外線を当てると、紫外線の量に応じて白色から赤色に変色する。これは、フォトクロミズムという、「光の作用により単一の化学種が、分子量を変えずに色の異なる二つの異性体を可逆的に生成する現象」を利用している（参考資料2）。

表1に、その色の変化を示す。一番左上が太陽光に直接あてた場合で、その後日陰に置いてだんだん色が薄くなっていく様子をデジタルカメラで撮影した。撮影に使ったデジタルカメラはソニーの NEX-5N で、絞りやシャッタースピードはオートなので画像全体の明るさは撮影するごとに多少変化するが、色温度（ホワイトバランス）は設定を固定した。カードを撮影する際は、太陽光が直接当たらない日陰（室内）に移動して行った。

目視での色の濃さのみで紫外線量を比較することは困難なため、画像の輝度情報を利用することにした。デジタル画像の各画素は Red, Green, Blue の3つの色で構成されているので、撮影した UV

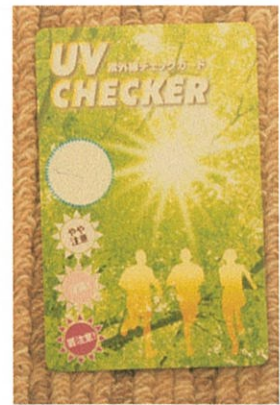


写真1 UV CHECKER

たがって、指標 X は、同じ環境での実験であれば、撮影された画像の明るさに左右されず、紫外線量を比較可能と考えられる。

3. 実験 1

3. 1. 実験目的・方法

目的：

自分の持っている衣服の紫外線の通り具合を調べる

方法：

- ① 紫外線の通り具合を調べたい衣服を準備する。今回はテニスウェア 2 着、T シャツ 1 着、そして参考のため通学に使っているワイシャツ 1 着の計 4 着とした。
- ② 準備した衣服に UV CHECKER を入れ、1 分間太陽に向ける (図 1)。
- ③ その後 UV CHECKER を取り出し、日陰にてできるだけ迅速に写真を撮る。
- ④ 撮影した UV CHECKER の RGB 値から指標 X を求め、紫外線の量を比較する。

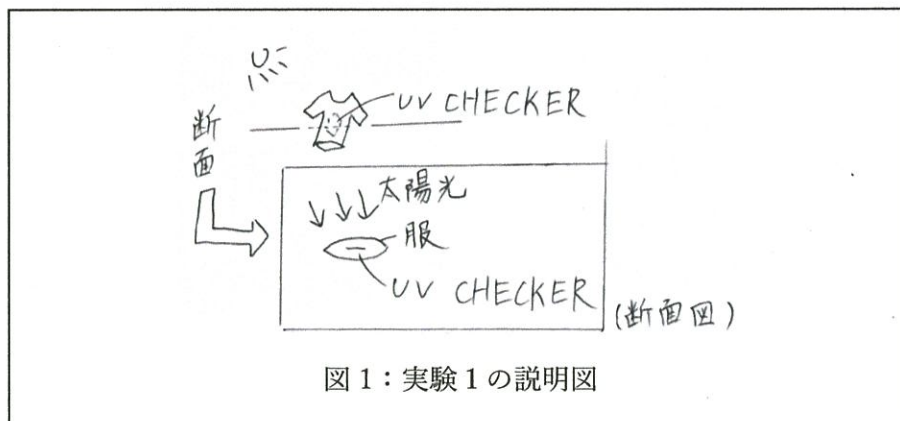


図 1：実験 1 の説明図

3. 2. 予想

事前の調査で、ポリエステルやレーヨンなどの化学繊維は紫外線を吸収することは知っていたが、生地が厚いほど紫外線の通り具合は少なくなり、薄いほど多くなるだろうと考えた。綿の T シャツが最も厚いので最も紫外線を通さず、ワイシャツが最も薄いので最も紫外線を通すと予想した。

3. 3. 結果

シャツ A からシャツ D までの計 4 つのシャツについて、それぞれ UV CHECKER の画像の RGB 値と指標 X を求めた。その結果が表 2 である。

シャツ A と B はともにポリエステル 100% の素材だが、B のほうが紫外線の通り具合が少なかった。シャツ C は生地が他のシャツよりもかなり厚かったが、紫外線の通り具合はポリエステルのシャツ B と同程度にとどまった。そして、シャツ D は、4 つの中で最も紫外線をよく通した。

結果として、紫外線の通り具合は、

$$\text{シャツ D} > \text{シャツ A} > \text{シャツ C} = \text{シャツ B}$$

となった。

実験日：2021年8月11日




	シャツ A	シャツ B	シャツ C	シャツ D
シャツの写真	 部活の ユニフォーム			 学校の制服
素材	ポリエステル 100%	ポリエステル 100%	綿 100%	ポリエステル 65% 綿 35%
UV CHECKER				
R (領域平均)	68.5	67.4	67.1	66
G (領域平均)	62.8	62.9	62.5	53.7
B (領域平均)	62	58.8	57.4	49.3
X	5.7	4.5	4.6	12.3

表2 シャツによる紫外線の通し具合

3. 4. 考察

まず、予想に反して、シャツ C の生地が厚かった（シャツ B の 2 倍以上）にも関わらず、紫外線の通し具合がポリエステルのシャツ B と同程度にとどまったのは、綿の「紫外線を通しやすい」という特性が大きく効いているからであろう。それほど綿は紫外線を通し、ポリエステルは吸収するということが確認できた。

同じポリエステルで生地の厚みもほぼ同じシャツ A と B で A のほうが多く紫外線を通した。シャツ A の UV CHECKER の画像をよく見ると一定間隔で赤い点が観察され、生地に通風孔があることが判明した。その孔を紫外線が通過していたのである。生地の編み方や構造にも影響されることがわかった。

また、シャツ D は生地にポリエステルが 2/3 使われているにもかかわらず、4 つの中で最も紫外線をよく通した。シャツ D の生地はかなり薄いので、繊維の特性が反映される以前に光がすり抜けてしまうのだろう。

4. 実験 2

4. 1. 実験目的

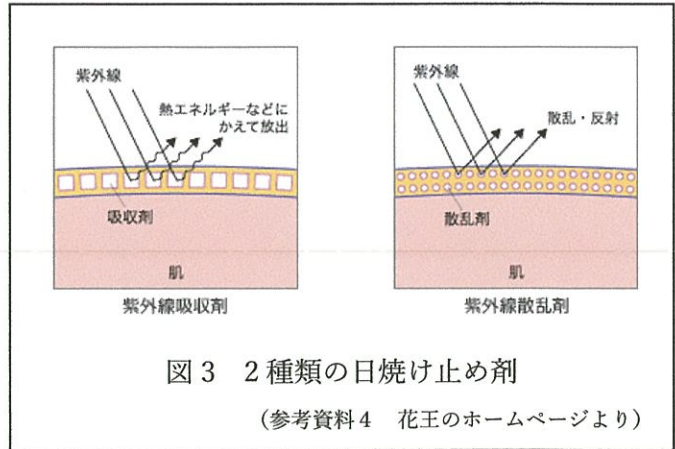
種類の異なる日焼け止め剤について、紫外線をブロックする効果が時間的にどのくらい持続するかを調べる。

4. 2. 日焼け止め剤の種類

日焼け止め剤には、紫外線散乱剤と紫外線吸収剤の 2 種類がある。

紫外線散乱剤は、物理的な仕組みで紫外線を散乱、反射させ、紫外線をカットする。主な成分に、酸化チタン、酸化亜鉛がある。

紫外線吸収剤は、化学的な仕組みでエネルギーを吸収し、熱などのエネルギーに変換して紫外線をカットする。主な成分に、メトキシケイヒ酸オクチル、ジメトキシベンジリデンジオキソイミダゾリジンプロピオン酸オクチル、ジエチルアミノヒドロキシベンゾイル安息香酸ヘキシル、t-ブチルメトキシジベンゾイルメタン、オクチルトリアゾン、パラメトキシケイ皮酸 2-エチルヘキシルがある。(参考資料 4)



自宅に2種類の日焼け止め剤があったので、成分を調べてどの種類に属するのかを確認した。

- (1) 日焼け止め剤 A (ビオレさらさら UV のびのびキッズミルク SPF50+、PA++++：写真2)

本体に書かれた配合成分に、メトキシケイヒ酸エチルヘキシル、ビスエチルヘキシルオキシフェノールメトキシフェニルトリアジンやジエチルアミノヒドロキシベンゾイル安息香酸ヘキシルといった、紫外線吸収剤の成分が確認された。よって、日焼け止め剤 A は紫外線吸収剤タイプとした。



- (2) 日焼け止め剤 B (近江兄弟社メンタムサンベアーズ S クールプラス SPF50+、PA++++：写真3)

説明書に書かれた配合成分に、紫外線吸収剤の成分であるメトキシケイヒ酸エチルヘキシル、ジエチルアミノヒドロキシベンゾイル安息香酸ヘキシルが確認されたとともに、紫外線散乱剤の成分である酸化亜鉛、酸化チタンが確認された。そのため、日焼け止め剤 B は紫外線吸収剤と散乱剤のミックスタイプであることがわかる。



紫外線散乱剤タイプの日焼け止め剤は自作することとし、これを日焼け止め剤 C とする。

4. 3. 実験方法

- ① 3種類の日焼け止め剤 (A：紫外線吸収剤タイプ、B：紫外線吸収剤+紫外線散乱剤タイプ、C 紫外線散乱剤タイプ) を用意する。
- ② 4枚の UV CHECKER を台の上に固定し、その上に透明なシートを乗せる。その透明シートにそれぞれの日焼け止め剤を、UV CHECKER の丸い部分の上に塗る (図2、下から順に、台、UV CHECKER、透明なシート、日焼け止め剤を重ねる。また、明るさの基準として3種類の日焼け止め剤とは別に UV CHECKER のみも用意する)。なお、透明なシートによって紫外線の強

さが変わらないことは調査済み。実際に使用した器材は写真4に示す。

- ③ 20分ごとに透明なシートをめくり、UV CHECKERを日陰で写真を撮る。
- ④ 撮影したUV CHECKERのRGB値から指標X1、X2、X3を求め、それぞれ基準の指数X0との割合を比較してまとめる。

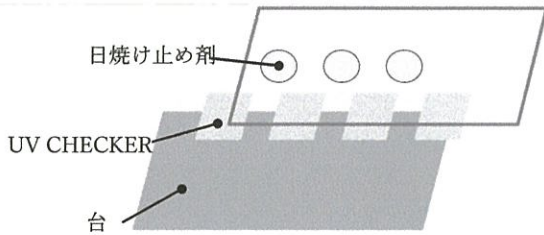
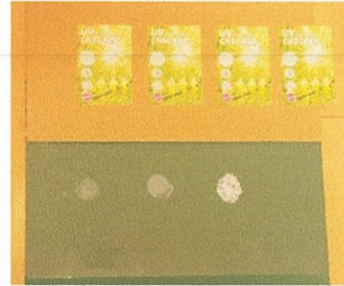


図2 実験2の実験方法



写真上部：ボードに固定された4枚のUV CHECKER
写真下部：緑の台上の日焼け止め剤のついた透明シート

写真4 実験2で使用した器材

4. 4. 予想

吸収剤が中心の日焼け止め剤Aは化学反応を起こして紫外線をカットしているため、一定時間経つと効果が弱まり、散乱剤が含まれる日焼け止め剤は長い時間効果をキープすると考えられる。一方、散乱剤が入っている日焼け止め剤は物理的に紫外線をカットしているため、長い時間効果を持続すると考えられる。

4. 5. 日焼け止め剤自作

紫外線散乱剤タイプの日焼け止め剤が自宅になかったので、自作することにした(参考資料5)。

4. 5. 1. 材料

まず、自作の日焼け止め剤を作るにあたって、以下の材料を使用した(写真2)。

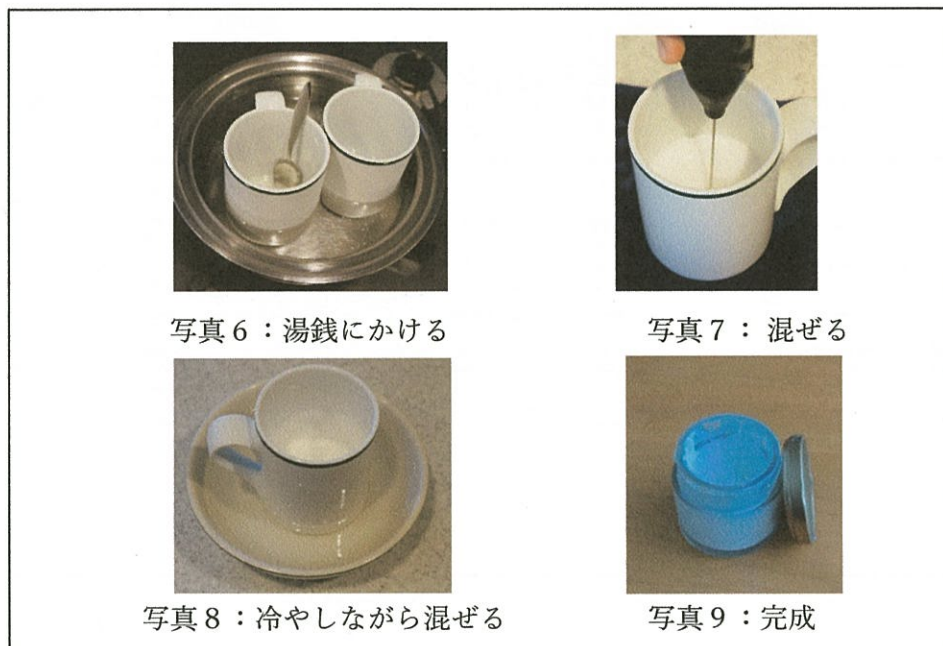
材料1

- | | | |
|---|-----------------|-----------------|
| [| ホホバオイル 10g…① | 精製水 45g…④ |
| | シアバター 5g…② | 微粒子酸化亜鉛 3g…⑤ |
| | オリーブ乳化ワックス 3g…③ | 超微粒子二酸化チタン 3g…⑥ |

4. 5. 2. 作り方

- (1) 2つの耐熱容器(ここではマグカップ)に材料1と精製水をそれぞれの容器に入れ、湯銭にかけ、60°Cまで温める(写真6)。精製水は温める際に蒸発し、量が減るため、合わせる時に再度計量する。
- (2) 2つの容器を湯銭からおろし、材料1の入った容器に精製水を入れ、ミルクフォーマーでよく混ぜる(写真7)。
- (3) 酸化亜鉛と二酸化チタンを加える。
- (4) 3~4分混ぜ、底を冷たい布や水の中に入れて冷やしながらさらに1分ほど混ぜる(写真8)。

(5) 冷めたら蓋つきのビンに移して完成 (写真9)。



4. 6. 結果

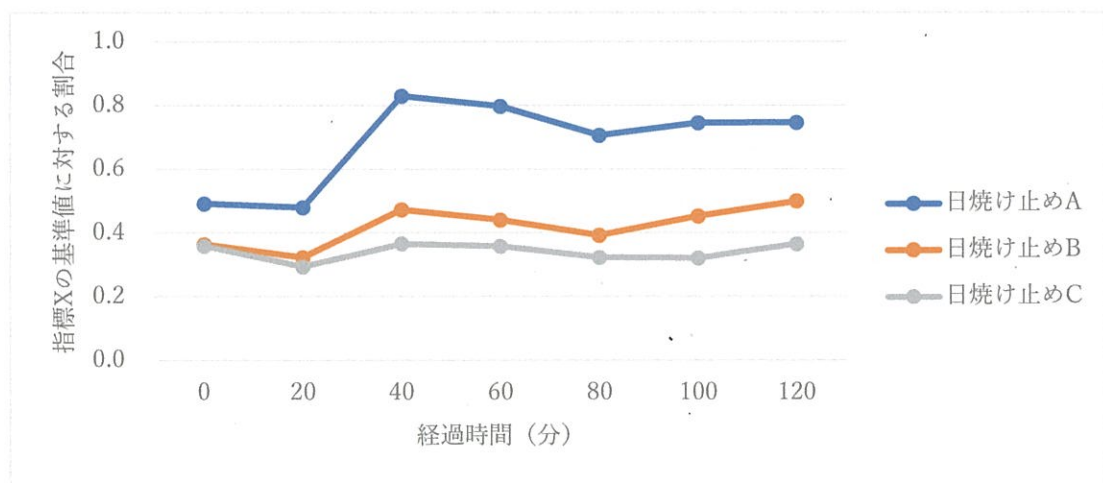
日焼け止め剤無し、および日焼け止め剤 A,B,C について、20 分おきに 120 分まで計 7 回、UV CHECKER の画像を撮影し、画像から読みだした RGB 値と指標 X を表にしたものが表 3 である。日焼け止め剤 A,B,C の指標 X1,X2,X3 について基準値 X0 に対する割合を求め、グラフにしたのがグラフ 1 である。ここでは、日焼け止め剤の量をそろえることが困難だったため、求められた数値の絶対的な値で各日焼け止め剤の性能を比較することはできず、その相対的な時間変化を観察する。

まず、日焼け止め剤 A の X 値を見ると、経過時間 20 分までは値に差は見られなかったものの、経過時間が 40 分になると、基準値 X0 に対する割合が日焼け止め剤 B や C と比較して大幅に上がっている。

次に、日焼け止め剤 B と C を見ると、ほぼ一定の数値を維持しているが、時間が経つと、日焼け止め剤 B の方が基準値 X に対しての割合が高くなっていることが読み取れる。

経過時間		0分	20分	40分	60分	80分	100分	120分
日焼け止め無	UV CHECKER							
	R0	91.9	90.4	94.1	93.0	92.0	93.7	92.1
	G0	72.4	70.0	82.9	82.1	81.8	83.1	79.5
	B0	71.2	70.6	79.5	79.8	80.8	80.2	76.7
	X0	19.5	20.4	11.2	10.9	10.2	10.6	12.6
日焼け止め剤A	UV CHECKER							
	R1	94.5	92.1	92.3	91.0	91.5	92.5	90.6
	G1	84.9	82.3	83.0	82.3	84.3	84.6	81.2
	B1	79.4	76.8	75.4	76.9	80.7	77.7	74.9
	X1/X0	0.492	0.480	0.830	0.798	0.706	0.745	0.746
日焼け止め剤B	UV CHECKER							
	R2	95.8	95.2	95.6	95.0	94.8	95.4	94.5
	G2	88.7	88.6	90.3	90.2	90.8	90.6	88.2
	B2	83.9	83.8	84.0	86.0	87.3	85.2	82.2
	X2/X0	0.364	0.324	0.473	0.440	0.392	0.453	0.500
日焼け止め剤C	UV CHECKER							
	R3	95.6	95.0	96.0	95.2	95.1	95.8	94.7
	G3	88.6	89.0	91.9	91.3	91.8	92.4	90.1
	B3	82.7	83.0	85.4	86.5	87.6	86.5	83.3
	X3/X0	0.359	0.294	0.366	0.358	0.324	0.321	0.365

表3 実験2のRBG値



グラフ1：時間経過に伴う紫外線カット性能の比較

4. 7. 考察

日焼け止め剤 A が経過時間 40 分において大幅に数値が上がっていることから、予想通り、日焼け止め剤 A の効果が薄れていたことがわかる。これは、日焼け止め剤 A が吸収剤の入ったものであることが原因だと考えられる。また、予想外に 40 分という短時間で効果が薄れてしまっているのは、4 年前から使っている日焼け止め剤 A の保存状態が悪く、すでに劣化が始まっているのではないかと考えた。

グラフ 1 より、時間が経つと B の方が C よりも X0 に対する割合が高くなっている理由として、B には散乱剤だけでなく、吸収剤も含まれていることが挙げられる。これより、吸収剤が含まれている日焼け止め剤は時間が経つと劣化し、散乱剤は劣化しないことが確認できた。

5. まとめ

今回の UV CHECKER を利用した紫外線量の測定は、同じ条件で適用すれば、いくつかの比較対象に対して紫外線量の多寡を判定することができた。ただし、違う場所で撮影したり、別の日に撮影したデータ同士を比較しようとするともだまだ安定した判定は難しく、指標 X の定義の仕方のより深い検討が必要である。

実験 1 より、ポリエステル地の生地は、他の生地シャツと比べて、UV カット効果があることが確認された。今回は自分の持っている衣服での比較のみだったが、紫外線の通し具合は生地素材だけでなく、厚みや色、織り方によっても変わってくるようなので、その関係についても調べてみたいと思った。

実験 2 からは、紫外線散乱剤の入った日焼け止め剤の方が効果が長時間持続することがわかった。今回は残念ながらそれぞれの日焼け止め剤の効果の高さの比較はできていないので、指標 X の定義を再検討して紫外線量検出の精度を上げ、それぞれ一定量の日焼け止め剤を比較する方法なども考えてみたい。

これらの実験で得られた知見を生かし、炎天下のテニスで少しでも日焼けを防ぐために今後は以下のことを実践していきたい。

- ・紫外線を吸収しやすいポリエステル地のシャツを着ていく
- ・効果が持続する紫外線散乱剤の日焼け止め剤をつける

特に、自作した日焼け止め剤は自分の肌に合った成分や香りが選べ、普段面倒くさがるの自分でもつけようという気持ちになり、一石二鳥である。また、参考のために調べたワイシャツが思ったより紫外線を通すので、日差しの強い日の通学時には、下にポリエステルの下着を着るなど気を付けようと思った。

【参考資料】

- 1) 環境省 HP 紫外線環境保健マニュアル (http://www.env.go.jp/chemi/uv/uv_manual.html)
- 2) 青山学院大学 機能物質化学研究室 HP
(<http://www.chem.aoyama.ac.jp/Chem/ChemHP/phys3/top/research.html>)
- 3) GIMP HP フリー画像編集・処理ソフト (<https://www.gimp.org/>)

- 4) 花王 HP QA サイトー紫外線散乱剤と紫外線吸収剤の違いー
(<https://www.kao.com/jp/qa/detail/16479/>)
- 5) オレンジフラワーHP 日焼け止めクリームのおくり方
(<https://www.orange-flower.jp/r-cream/cream-17.html>)