

24. 水が青く見えるのはなぜか

静岡県立科学技術高等学校 自然科学部

2 年 金指達也 小長谷祐司 安川雅斗 近藤恵昭

1. はじめに

NHK の「考えるカラス」というテレビ番組で、透明パイプに入れた水を縦から見ると水が青く見えるというのを知り、なぜ水が青く見えるのかその原因を調べたいと思った。海が青く見える要因について田中謙介(2005)は、①水の選択吸収 ②水のレイリー散乱 ③水面での青空の反射 ④海水中の溶存物質による吸収の 4 点に絞ることができ、中でも水が可視領域において長波長の光（赤色）をより強く吸収することで青く見える効果が大いことを示している。つまり「水は非常に薄いながら青色を呈しているのである」と述べている。

しかし、風呂の浴槽の中の水はパイプの水より浅いにもかかわらず青く見えた。その理由は、水が赤色の光を吸収することだけでは説明がつかないため、背景色が関係するのではないかと考えた。そこで、水が青く見える見え方が背景色で異なる理由は何かを、研究することにした。

2. 研究の目的

水の選択吸収について調べ、背景によって色の見え方が異なる原因を追究する。

3. 使用した用具

水を入れる容器として、アクリル製の透明パイプ（内径 4.6cm、長さ 100cm の円筒形：片側を透明アクリル板でふさいだもの）（図 1）、透明パイプの周囲を白い紙で覆ったもの（以下白パイプ）（図 2）、白パイプの周囲を塩ビパイプで覆ったもの（以下遮光パイプ）（図 3）を用意した。



図 1. 透明パイプ



図 2. 白パイプ



図 3. 遮光パイプ

4. 実験Ⅰ：水の水位による色の変化

（1）目的

水量が変化すると、水中を透過した光がどのように見えるか調べる。

（2）装置の説明

パイプを力学スタンドで鉛直に固定する（図 4）。パイプの真下に三脚を用いてデジタルカメラを固定し、パイプの底部を撮れるように位置を調整する。パイプの真上の天井に白い紙を貼り、カメラでパイプの底部を撮影する。

（3）実験方法

透明・白・遮光パイプのそれぞれに水を入れ、水位を 10cm から 100cm まで 10cm 刻みに変え、その都度水の色を撮影した。撮影方法はピントをパイ



図 4. 実験装置

プの底に固定してシャッタースピードを 1/20 秒から 1/320 秒までの 10 段階で変えて撮影し、画像を見比べて色の変化を確かめた。

(4) 結果

結果は図 5 のようになった。どのパイプも水位が 70cm を超えると色づきが確認された。水位 100cm の時の色は透明パイプは水色、白・遮光パイプは緑がかった水色に見えた。また水を満たしたパイプを上から見ると色は濃くなりその違いは顕著となった(図 6)。

(5) 考察

水位が 70 cm ぐらいからしだいに水が青くなり、水位が増すに従って水の色は濃くなることから、水が青く見えるためにはある程度の厚さがなければ

ならないと考えられる。また透明パイプの水の色と白・遮光パイプの色が違うことから、横から入る光も水の色に関係していると考えられた。パイプの上から見た時の方(図 6) が下から見た時よりも色が濃かったのは、上から見た時はパイプの上部から入った光が底面で反射して戻ってきた光を見ているので、下から見たときよりも 2 倍の距離水の中を通ったからだと推測される。

5. 実験Ⅱ：水によるレーザー光の吸収量の測定

(1) 目的

水を入れた透明パイプの上からレーザー光を照射し、水を透過することで光がどの程度吸収されるかを調べる。

(2) 装置の説明

透明パイプをスタンドで鉛直に固定する(図 7)。パイプを鉛直に固定するため、鉛に糸をつけて別のスタンドに吊るし、鉛直線を確認しながら調節した。装置の上部にレーザー光源を取り付け、パイプの下に CdS センサーを設置する(図 8)。CdS

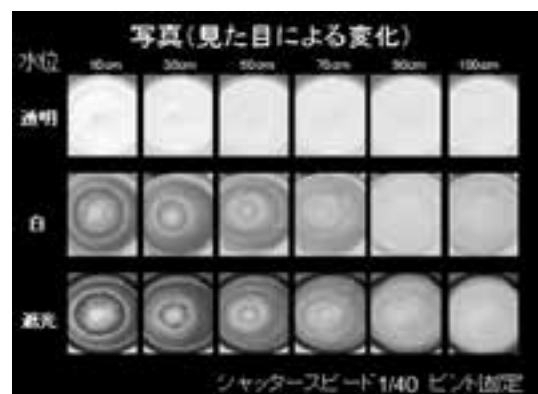


図 5. 水位による水の色の変化(写真)

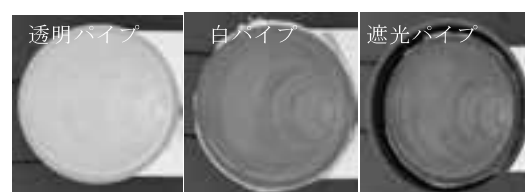


図 6. パイプを上から見た写真



図 7. 装置の全形写真 図 8. 装置の概要図

センサーは光量が増えると抵抗値が小さくなり、逆に光量が減ると抵抗が大きくなる。これを利用して、レーザー光が当たった時のセンサーの抵抗値($k\Omega$)を測定し、光の強度の変化を抵抗値の変化として測定した。センサーの位置は水中を透過したレーザー光がセンサーのセルの中心に当たるように調節するために可動状態で配置した。抵抗値の測定にはデジタルテスターを使用した。測定はレーザー光以外の光による影響が少ない暗室で行った。使用したレーザー光は 3 種類(表 1)である。

(2) 実験方法

- ① 水を入れてないパイプを挟み、アクリル板のみを透過したときの抵抗値を測定する。
- ② パイプに水を入れていき(0～100cm まで 10cm ごと)、各水位ごとに抵抗値を測定する。

表 1. レーザー光の規格

レーザー色	赤	緑	青
波長 (nm)	670	532	405
光出力	1mW 未満	5mW 未満	5mW 未満

③ レーザー光源の種類を変えて、繰り返し実験を行った。CdS センサーのセルが感知する光は、微妙な光の当たり方の変化で抵抗値が変化してしまうので、デジタルテスターで測定する抵抗値は、数回の測定を行い、最小値を採用した。また、パイプのある時とない時の差を抵抗値の変化量とした。

(3) 結果

図9のグラフは水位の変化による光量の変化量を示したものである。横軸にパイプ中の水位、縦軸に抵抗値の変化量を赤、緑、青それぞれについて示した。抵抗値の変化量が光量の変化を表す。赤色レーザー光は水位が増すにつれて抵抗値の変化量が大きく増加する。このことから赤色の光は他の2色よりずっと多く水によって吸収されていることがわかる。緑色と青色のレーザー光は水位が上がってもセンサーの抵抗値の変化量がほとんど上がっていない。この2色は測定の範囲（100cmの水位）ではほとんど吸収されていないことが分かる。3つの色の光を比較すると水によって吸収される量は赤色が最も多く緑色と青色はほとんど吸収されていない。しかしながら青色は緑色より吸収される量が若干だが多いこともわかった。

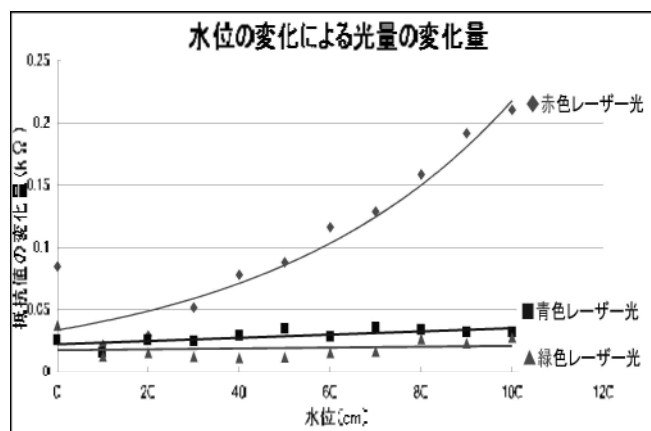


図9 水位の変化による光量の変化量

(4) 考察

3色のレーザー光を使用したところ図9より赤色レーザー光では、水による吸収量が多く、緑色と青色レーザー光では、水による吸収量はわずかであった。グラフに近似線を重ねたところ以下のような近似式が得られた。yは抵抗値の変化量、xは水位である。

赤色： $y = 0.0221e^{0.0247x}$ ・緑色： $y = 4E-05x + 0.0225$ ・青色： $y = 0.0001x + 0.0225$

光度とCdSセンサーの抵抗値の関係は両対数グラフで表されるが、水位100cmまででは緑色と青色の光において、ほとんど傾きのない一次式で表された。このことから水位100cmまででは水は「青色以外の光を吸収する」のではなく「赤色のみを吸収する」ことによって水の色は水色に見えるということが言える。

6. 実験Ⅲ：LEDを使った光の合成色の観察

(1) 目的

水を入れたパイプを上から見た時の水の色をLED光源装置を用いて再現し、3色の光の割合と水の色との関係を調べる。

(2) LED光源装置の照度の測定

暗箱の中で赤、青、緑の3つのLED光源装置の光を照度計に照射し、光源装置と照度計の間の距離と照度の関係を調べる。

(3) 合成光の色の観察

- ① 黒い箱の中に白い紙を貼った物を用意し、(2)の結果から各光源装置の光の照度が同じになるようにして白い紙に3つの光を照射する。
- ② ①の状態から赤のLED光源装置を抜き、青と緑の光を白紙にあて合成光を観察した。
- ③ ①の状態から赤のLED光源装置を徐々に遠ざけていき、100cm水を入れた透明パイプを上から見た時の色が合成光と同じになった位置を確認した。
- ④ ③の状態から青のLED光源装置を徐々に遠ざけていき、100cm水を入れた白・遮光パイプを上から見た時の色が合成光と同じになった位置を確認した。

(3) 結果

結果を表2にまとめた。赤・緑・青を同じ照度にした(①)ところ合成光は白色に見えた。その状態から、赤色の光だけを抜いた(②)ところ合成光は濃い水色(シアン)に見えた。合成光が白く見えた状態から赤色の光の照度だけを落とした(③)ところ合成光は透明パイプのような薄い水色に見えた。その状態から青色の照度だけを落とした(④)ところ合成光が白・遮光パイプのような緑がかった青色にみえた。

(4) 考察

赤色の光を抜いてしまうのではなく、赤色の光量を減らすことによって透明パイプで見たような薄い水色が再現できた。水の水色の濃さは赤色の光量によることがわかった。さらに、赤とともに青色の光を減らすことにより白・遮光パイプで見たような緑がかった水色に見えることも確認できた。このことから透明パイプと白・遮光パイプの水の色の違いは、含まれる青色の光量が異なることで生じていると考えられる。

7. 全体考察

実験Ⅲより赤・緑・青の3色の光を同じ明るさで照射すると白く見えることから、パイプに差し込む光には、赤・緑・青の光は等量含まれていると考える(図10)。

実験Ⅱより、水の中を100cm通った光では、赤色の光は水による吸収量が多く、青と緑はほとんど吸収されておらず、青は緑よりわずかに吸収される量が多いことが分かった。そのことを考慮して吸収された分を白ぬきにして色の割合の仮定図を図11に示した。

実験Ⅰで青く見えたのは、図11の割合で光を見ていることになり、実験Ⅲの結果より緑と青の光量はほとんど同じ中で赤だけが比較的大きく減っているため、水は水色に見えると考えられる。

パイプを上から見ることは、上から入った透過光が底で反射して戻った光を見ていることになるので、光の通った道のり(光路)は200cmとなる。(図12下向き矢印+上向き矢印)したがって、光は同じ割合で100cmのときの2倍吸収されると考えられる。変化量を2倍にした仮定図を図13に示す。

しかし、透明パイプでは色は薄い水色であることから、横から足される光(図12斜め矢印)のため、全体の光量が増え、増えた分を含めて割合をみると、図11と同じような割合になり水色に見えるのだと考えられる。

一方、白・遮光パイプでは横から光を足されないため(図14)、図13の割合で光が見えると推測される。よって緑の光は青の光より割合的に多くなりその差が大きくなった

表2. 合成光の観察

①赤 青 緑	350Lux 350Lux 350Lux	白
②赤 青 緑	なし 350Lux 350Lux	濃い 水色
③赤 青 緑	250Lux 350Lux 350Lux	薄い 水色
④赤 青 緑	250Lux 310Lux 350Lux	緑 がかった 水色



図10. 白色光における色の内訳



図11. 下から見たときの光の割合

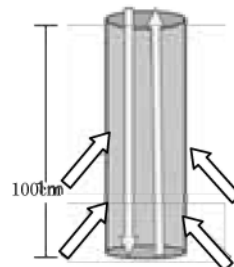


図12. 透明パイプの中を光がとおっている図



図13. 白/遮光パイプの光の割合

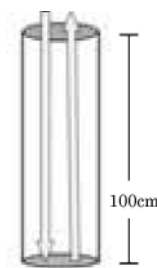


図14. 白・遮光パイプの中を光がとおっている図

ために緑がかった水色に見えるのだと考えられる。

背景色によって色の見え方が異なることの原因は、以上のことから、容器の遮光度によって変化する各色の光量バランスの変化にあると考えられる。横から光が足されて青と緑の差がごくわずかな場合は水色に見える。一方で横からの光の供給がなく青と緑の差が大きくなると緑がかった水色に見えるのではないだろうか。

風呂の浴槽は白い遮光素材であることを考えると、横からの光の供給がなく、底で反射してくる光の光路は水位の2倍であるため、本研究における白パイプを上から見た時のような現象が起きていると考えられる。白パイプと遮光パイプの違いとしては、容器が暗い色をしていると当たった光がパイプの素材に吸収される割合が多くなるために反射光の光量が全体に減ってしまう点にある。また白い方が、光量が減らない上に色が見やすいことで色合いが強調され、より青く見えるとも考えられる。

8. まとめと今後の課題

今回、水が青く見える見え方が背景色で異なる理由は、背景色というよりは、容器側面の遮光度が関係して光量のバランスに変化が起こることが原因であるという結論を得た。特に、パイプに入れた水が青く見えるのは「青以外の光が吸収される」のではなく「赤色が吸収される」ことによるものと考えられる。よくサンゴ礁の周囲にエメラルドグリーンの海が広がっている写真を見かける。海の水が青ではなくエメラルドグリーンに見える理由を、今回の研究結果から推察すると次の様に考えることができる。底が白い砂である浅海では、白パイプ同様に上から入った光が白い海底で反射し戻ってくる。この時、海水中を透過してきた光のうち赤色の光が多く吸収され、青色の光は緑色の光よりわずかに多く吸収される。このため、緑優位な水色（エメラルドグリーン）に見えるのである。一方、濃い青色に見えるところは、水深が深いか海底が白い砂で覆われていないと思われる。そこで、海水に入射した光のほとんどは、海底から反射してこず、光の吸収による効果よりも、田中(2005)の述べている青色の光が起こすレイリー散乱の効果により青色がより濃く見えるのではないだろうか。

今後の課題としては、光の散乱や光の反射の影響、海水と水道水の違いとしての塩分濃度の影響を考えてみたい。また、目に見える色の割合の関係を数値化する方法を工夫したい。

9. 参考文献

- ・横浜康継、野田三千代：「海藻おしば」カラフルな色彩の謎海游舎, 68-69
- ・田中謙介：レーザー光を用いた水の吸収度の測定-水の青色を考える 実験教材, 科学教育研究, 29(3), 240-247, 2005
- ・木山綾華ら：水の色って何色？-エメラルドグリーンを求めて, 日本理科教育学会近畿支部大会要旨, 76, 2010
- ・堀江彩香ら：汚れの数値化についての基礎研究, 静岡県立科学技術高等学校自然科学部, 静岡県小、中、高等学校児童生徒理科研究発表論文集 2011 年度版
- ・光とは何か？NewTon 別冊, ニュートンプレス, 2007
- ・改訂版 光とは何か？NewTon 別冊, ニュートンプレス, 2010
- ・東京書籍 「物理」, p159
- ・Charles L. Braum and Sergei N. Smirnov : WHY IS WATER BLUE?, Journal of Chemical Education, Volume 70, Issue 8, August, 1993
- ・CdS センサーの光感度のグラフ
<http://www.elec.chubu.ac.jp/kuzuya-Lab/research-04/KitLED-V4.pdf>