

彩雲の見方による色の変化

北海道札幌啓成高等学校 理数科 2 班

大井 りみ ワルゼン ベロニカ 今渡 雄基 宋 佳昊

Cloud iridescence, a colorful optical phenomenon which occurs in a cloud and appears in the general proximity of the sun. The cloud iridescence can often be seen at viewing angles around 10 to 20 degrees. However, there were no reproduction studies on cloud iridescence. In order to investigate this phenomenon, the authors investigated by creating artificial cloud in a PET (polyethylene terephthalate bottle) and varying the viewing angle. In addition, the authors set the following hypothesis:

Is the color of the cloud related to the observer's viewing angle and distance?

When the authors duplicated this research, they noticed that when observed from a certain position, certain colors were observed. The aim of this study was to reproduce the iridescent colors and patterns observed in natural clouds in a controlled environment.

As a result, the authors discovered when the artificial cloud was observed at the viewing angle of 10 to 15 degrees, a blueish colors were observed. When 15 to 20 degrees, reddish colors were observed.

背景

彩雲とは太陽の光が雲に当たった際、その雲に色がつく現象のことである。本校の、彩雲の再現に関する先行研究ではペットボトル内で彩雲が観察されたとの記述はあるが実験の条件が不明確であったため再現性がなかった。そこで私たちは彩雲の具体的な条件を探し出し、広大な自然環境でごくまれにしか発生しない彩雲をラボ内で発生させ、かつまた角度に注目し、彩雲の発色について追究した。



図 1 彩雲 (1)

実験 1 彩雲をペットボトル内で再現する実験

実験方法

私たちは断熱膨張の仕組みを利用してペットボトル内に彩雲を発生させた。光源(白熱灯 50W)、雲装置、観測者をこの順に一直線上に配置し(図 2)、光を雲発生装置に当てる。次にペットボトル内に水滴を入れ、ポンプを潰すことで内部を加圧、減圧する。またこの際内部を加圧するため雲発

生装置(図 3 緑のポンプ部分)を用いることにした。以上の操作を水滴の量や圧縮回数を変えて行い、十分に彩雲が発生することができると見込まれる条件を探していく。

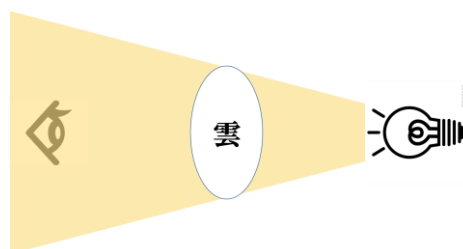


図 2 左から観測者、雲、光源



図 3 雲発生装置
(2) 緑色のポンプ部分



図 4 彩雲発生の様子

結果

実験より水滴が 1mL、加圧回数 20 回で実験を行ったときに彩雲観察に適した蒸気

が作れることが分かった。以後の実験ではこの条件で実験を行うこととする。またラボ内で自然条件である彩雲を模範できることや彩雲の再現に適切な条件を求めることができた。(図4)

実験2 彩雲を見る角度と彩雲の色の関係

実験方法

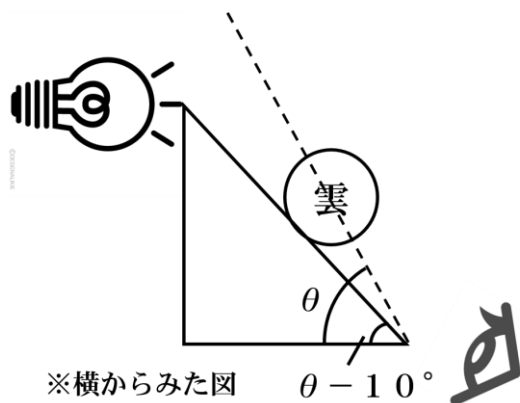


図5 実験2の配置

図5のように雲発生装置や光源を設置し、雲への目線と水平面とのなす角度である θ の値を変えながら、雲発生装置で見られる彩雲の色について調べる。この実験では白熱灯、メジャー、雲発生装置を用いた。光源を雲への目線上に配置すると雲が白色のみ観測されたため、光源への目線と水平面とのなす角度は $\theta - 10^\circ$ と設定した。



図6 雲を見上げる角度を変化させる実験

結果

実験の結果、 $10^\circ \leq \theta \leq 30^\circ$ のとき多様な色が観測でき、 $40^\circ \leq \theta$ のとき白色が観測できた。

実験3 回折と干渉と彩雲の色の関係

実験方法

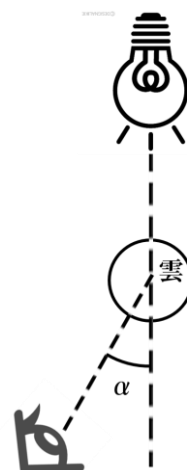
手順1

下図のように雲発生装置や光源を設置し、角度 α を変えながら彩雲の色の变化について調べる。(図8,9)

※タコ糸の一端を分度器の原点に固定して彩雲を観察する角度を変化させる。(図9左下) また、この実験には白熱灯、分度器、タコ糸、メジャー、雲発生装置 (kenis 製)、ImageJ を使用した。

手順2

画像解析ソフト ImageJ で観測した色の分布を調べる (図10,11)。



(上から見た図)

図8 水平面での配置



図9 水平面上の角度を変化させる実験

結果

$\alpha = 10 \sim 15^\circ$ で青系 (R200 G210 B227) の色が観測でき、 $\alpha = 15 \sim 20^\circ$ で赤系 (R240 G140 B125) の色が観測できた。(図12,13,表1) また、赤色から青色へ色が移っていく際に中間色も観測できた。

α	RGB	色
10~15°	(R200 G210 B227)	
15~20°	(R240 G140 B125)	

表 1 観測された色の見取り図

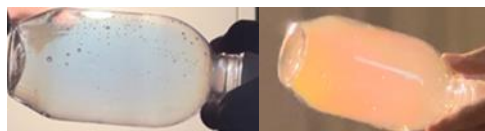


図 10, 11 観測した彩雲の実際の色（左 $\alpha = 10 \sim 15^\circ$ ° 右 $\alpha = 15 \sim 20^\circ$ ）

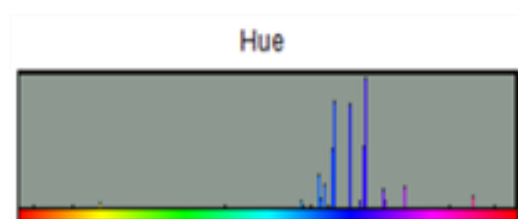


図 12 観測した彩雲の色の分布（ $\alpha = 10 \sim 15^\circ$ ）

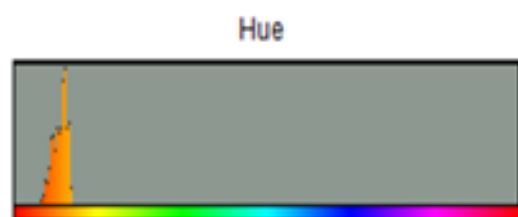


図 13 観測した彩雲の色の分布（ $\alpha = 15 \sim 20^\circ$ ）

考察

実験 2 では、 $40^\circ \leq \theta$ のとき白色が観察されたのは光の全反射が起きたからではないかと考えた。また、観察できた多様な色に規則性がみられなかったため、条件が不足していると私たちは考えた。それを踏まえて、私たちは実験 3 を設計し、その実験結果に従って以下の考察を得た。

彩雲の色が結果の表 1 のように変化したのは、光の波の性質である回折と干渉が影響していると考えられる。また、水滴で光が回折することで下図（図 14）の ℓ_1 が ℓ_2 より長くなり、この長さが青や赤の波長の整数倍となった時にその波長の色が見えると推察できる。また、波長の式 $d \sin \theta = m \lambda$ より、発生させた彩雲の粒子の大きさが均一であると仮定したとき、水滴の大きさが変化することによっても色が変化すると考えることができる。

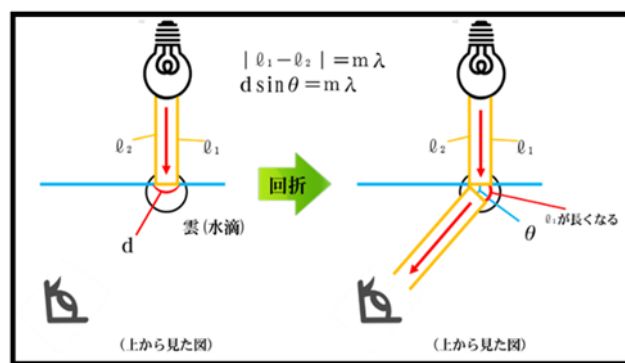


図 14 回折のイメージ図

参考文献

(1) 彩雲の画像

<https://kinarino.jp/cat6/8690>

(2) 雲発生装置

<https://www.kenis.co.jp/onlineshop/product/11430133>

(3) 大気光学現象の出現頻度（鵜山義晃, 2017）

(4) 飛行機からみられる光学現象（山中康裕, 1999）

(5) 彩雲の発生しやすい条件や見つけ方

<https://www.olive-hitomawashi.com/lifestyle/2022/04/post-4352.html>

(6) 彩雲の仕組み：回折、干渉

<https://harenote.com/iridescent-clouds>