

虹の不思議

原口眞衣 長町祐希 高橋知子

【概要】

私たちは虹について興味を持った。そこで、虹の直径を表す式や虹ができる角度の変化について、虹ビーズや屈折率を利用して調べることはできないかと考えたので調べた。実験Ⅰで虹ビーズを使って虹をつくり、虹の直径を表す式を求めると、目と目から地平線に沿って線を伸ばしたときの虹の出ている面と交わる点と虹の端の一点を順に結んだ角が 90 度となる直角三角形で表されていることがわかった。また、実験Ⅱから虹は水滴により屈折・反射してできるが、その水滴を食塩水にした場合には虹ができる角度が水滴のときより小さくなるとわかった。今後は、他の物質でどのような間隔で小さくなるのかを調べ、また、実験Ⅰでの虹ビーズで虹ができる角度と屈折率を用いて求めた角度の誤差がとても大きかったので、その原因を突き止めたい。

We are interested in rainbows. Then we studied changes of the angle at which the rainbow is made and an equation concerning the diameter of the rainbow because we thought that we could study rainbows using “Rainbow beads” and a refractive index. We confirmed the equation represents a right triangle by a rainbow using the “Rainbow beads”. And its 90-degrees’angle is formed by two lines which are connected of the rainbow and your eye, and between the center of the rainbow and any edge of the rainbow in the study I . Also, according to the study II using salt solution instead of water drops or “Rainbow beads”, we understood the higher the concentration, the smaller the angle at which the rainbow is made became than nature rainbow. We will study another material become small how an interval after this. Also, we want to find out the cause because the error between the angle at which rainbow appears with “Rainbow beads” and the angle which we found using a refractive index is big.

【研究動機】

私たちはもともと気象現象として神秘的な虹について興味があり、虹について調べていると、虹と太陽（光源）の距離を測ることはできるのか、それは虹の大きさと関係を表すことができるのか、虹ができる角度は変わることがあるのかななどの疑問が浮かんだ。そこで、それらを虹の直径に関する式や虹ビーズ、屈折率を利用して調べることはできないかと考えた。

【研究目的】

虹の直径に関する式は、虹ビーズで作った虹でも自然の虹と変わらず成り立つか調べる。
また、水滴の代わりに食塩水を用いると、自然の虹が見える角度が変わるのか調べる。

【虹の直径に関する式】

虹の直径＝虹を作っている雨の降っている場所までの距離（目から黒いシートまでの距離）(km) × tan（目と、目から地平線に沿って線を伸ばしたときの虹の出ている面と交わる点と、虹の端を順に結んでできる角度） × 2 …＊

【仮説】

〈実験Ⅰ〉

虹と太陽の距離は測ることが出来る。またその時に測る虹は、虹ビーズで作った虹でも自然の虹とほぼ変わらず、虹の直径に関する式は成り立つと考えた。

〈実験Ⅱ〉

水滴や虹ビーズの代わりに私たちに身近な食塩水を用いると、食塩水でつくった虹は濃度が高くなるにつれて、自然の虹より角度は僅かに

小さくなっていくと考えた

【実験器具】

〈実験 I〉

双眼実態顕微鏡，接眼マイクロメーター

虹ビーズ（ガラス製）を全面に均一に行き渡るように撒き、貼り付けた黒色のシート

懐中電灯（小型），30cm 定規（二本）

15cm 定規（二本），分度器

スタンド（二つ）

〈実験 II〉

霧吹き，水（400ml），食塩，カメラの三脚

パイプ，ガムテープ，大型コンパス，

分度器

【実験方法】

実験 I：

- ① 双眼実態顕微鏡で虹ビーズの大きさを測り、グラフに表してその平均を出す。
- ② 黒色のシートに懐中電灯の光を当て、人工の虹を作る。次に目線と光を固定するスタンドを二つ用いて、二本の定規で表し分度器を使って角度を測る。そして式*が合っているかどうか示す。この時、直径は 15 cm に固定して、高さを変えて合計五回調べる。
- ③ 答えから式*が実際どこから導かれたのかを推測する。
- ④ 屈折率を用いた下図 1,2 のような計算より、具体的な値を代入し、方程式を解いて、その結果をグラフで示す。
- ⑤ グラフにより求めた虹のできる角度と、①,②より調べた虹ビーズで虹が見える角度を照らし合わせる。

※以下図 1、図 2 は、虹ができる際に反射する一つの水滴に注目したものである。入射角を α 、屈折角を β 、虹のできる角度（散乱角）を θ 、またこの水滴の中心と入射光の距離を d 、半径を R とおいた。

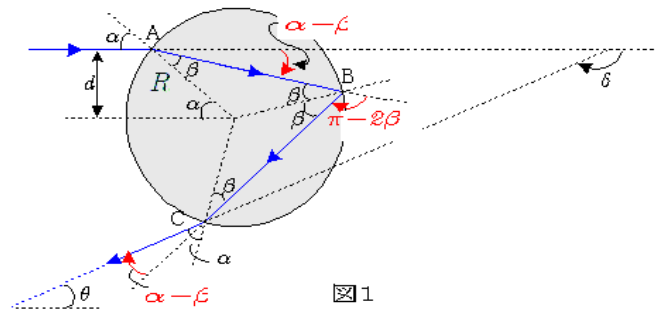


図 1 主虹の光の屈折・反射の仕組み

$$\sin \alpha = \frac{d}{R} \quad \text{屈折の法則より} \quad \sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n} = \frac{d}{nR}$$

$$\text{ふれ角 } \delta = \text{A でのふれ角} + \text{B でのふれ角} + \text{C でのふれ角}$$

$$= (\alpha - \beta) + (\pi - 2\beta) + (\alpha - \beta)$$

$$= \pi + 2\alpha - 4\beta$$

$$\therefore \text{散乱角 } \theta = \pi - \delta = \underline{4\beta - 2\alpha}$$

図 2 主虹の光の屈折・反射の仕組み(式)

実験 II：

- ①-1 カメラの三脚にパイプをガムテープで縛りつけ、パイプの中を太陽の光が通るように向きを合わせ、コンパスの一方の脚を通す。この時、パイプが太陽の方向に向いていることになる。
- ①-2 霧吹きで虹を作り、コンパスのもう一方の脚を虹の外側に合わせる。霧吹き中の液体はそれぞれ水、濃度 10%、20%、30%の食塩水とする。
- ①-3 分度器でコンパスの足の間の角度（＝主虹の角度）を測定する。
- ② 実験 I の方法④と同様にグラフから実験結果と同じであるか調べる。

【実験結果】

実験 I：（1）ビーズの大きさ

縦軸を個数、横軸をマイクロメートル（ μm ）としてグラフを作成したところ、310 個の虹ビーズの中で、それぞれのあたりに何個の虹ビーズがあったかを示す正規曲線を表すことができた。またそれにより、虹ビーズの直径が約 $20 \mu\text{m}$ であることもわかった。

（2）虹の直径を表す式の成立の確認

表1 式*により求めた虹の直径

	目から黒いシートまでの距離 (km)	Tan の値	×	=	虹の直径 (km)
1 回目	0.00034	tan13° (0.23)	×	=	0.0001564
2 回目	0.00029	tan16° (0.30)	×	=	0.000174
3 回目	0.00035	tan20° (0.36)	×	=	0.000252
4 回目	0.000306	tan8° (0.14)	×	=	0.00008568
5 回目	0.000395	tan14° (0.24)	×	=	0.0001896

表1は、実験Iにおいて、シートから目までの距離（高さ）を測り、さらに目から黒いシートに垂線を降ろした点と目、そして虹の外側を結んだときの角度（目・目から地平線に沿って線を伸ばしたときの虹の出ている面と交わる点・虹の端を順に結んでできる角度）を測ったのち、その高さや角度の二つの値を式*に代入することで、求めた虹の直径を表したものである。

式*により求めた虹の直径の値の平均を出し、小数点第七位で四捨五入をすると、約0.0001716km=約17.16cmとなる。約2cmの誤差はあるが、もともと固定していた虹の直径（15cm）に近づいた。角度の面から見ると、虹ビーズでは12°～13°では誤差がほぼなくなり、直径が15cmに限りなく近い虹が見える。

(3) 屈折率により求めた虹ビーズで虹ができる角度

ここでは、水滴と入射光の距離dを変化させ、図1から半径Rを10μmとし、虹ビーズの屈折率を1.51としてグラフを求めた。

実験で私たちが虹ビーズのできる虹の角度であるとして平均を出した12°～13°とは大きく異なり、図3より、虹ビーズでできる虹の角度は約21.95°であることがわかった。

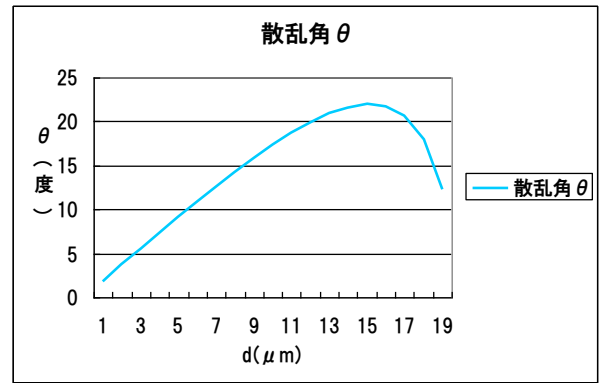


図3 屈折率により求めた虹ビーズで虹ができる角度

実験II (1) 実際に水・食塩水でつくった虹の角度

対照になるものとして、霧吹きの中の液体に水を使って三回実験を行った。すると、表2のように一般的に自然の虹（特に赤色光）ができる角度として知られている42°にほぼ等しくなった。

表2 水の場合

回数	角度
一回目	42度
二回目	43度
三回目	43度

表3 食塩水の場合

食塩水の濃度	角度
10%	約40度
20%	約39度
30%	約33度

(2) 屈折率により求めた食塩水で虹ができる角度

実験Iと同じ方法で屈折率を用いて、虹のできる角度を計算により求めた。実験IIでは、霧吹きによってできる水滴は細雨の水滴とほぼ等しいと思われるので、水滴の半径を0.1mm=100μmとした。

図4より濃度10%の食塩水の場合、屈折率は1.3505なので、虹のできる角度は約39.06°である。そして図5より濃度20%の食塩水の場合、屈折率は1.3684なので、虹のできる角度は約37.20°である。また、図6より濃度30%の食塩水の場合、屈折率は1.38661なので、虹のできる角度は34.82°であることがわかる。

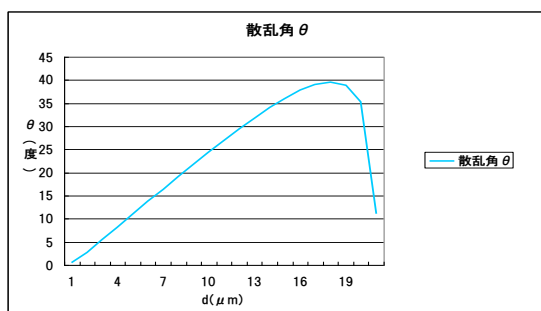


図4 屈折率により求めた濃度 10%食塩水で虹ができる角度

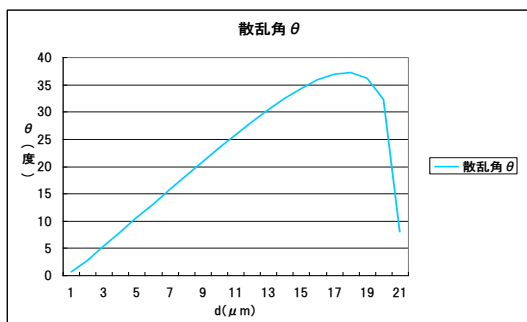


図5 屈折率により求めた濃度 20%食塩水で虹ができる角度

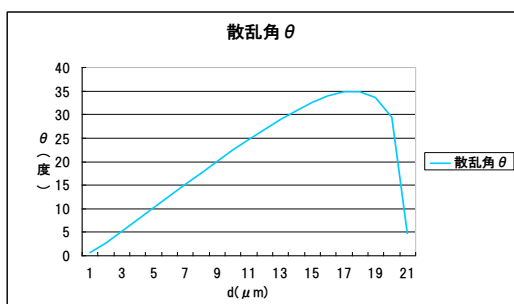


図6 屈折率により求めた濃度 30%食塩水で虹ができる角度

【考察】

実験Ⅰ：結果から、式*は成り立つことがわかる。また式*は、目と目から地平線に沿って線を延ばしたときの虹の出ている面と交わる点と虹の端の一点を順に結んだ角が 90° となる直角三角形で考えているものと思われる。また、虹ビーズで実際に虹をつくった実験での虹のできる角度と、屈折率を用いた計算で求めた虹のできる角度を比較したところ大きく異なっていた。虹ビーズの屈折率が 1.63 であれば、実験で求めた虹ビーズで虹ができる角度の約 12° に近づく。

実験Ⅱ：食塩水の場合に実際に虹をつくった際の虹ができる角度と図4~6から屈折率を用いて調べた虹ができる角度を比較したところ、濃度 10%の食塩水は約 1° 、濃度 20%の食塩水は約 2° 、濃度 30%の食塩水では約 1° の誤差が生じた。両者の誤差は小さいので、実際に虹をつくり測った角度は正確であったと言える。また、図4~6より食塩水では濃度を 10%上げるごとに、虹ができる角度は約 2.4° ずつ小さくなっていくと考えられる。

【結論】

実験Ⅱではほぼ予想通りの実験を行い、その結果も正確であることがわかった。

しかし実験Ⅰでは、実際に虹ビーズで虹をつくったときの虹ができる角度と、屈折率を用いた計算で求めた虹ビーズでの虹ができる角度との誤差がとても大きくなってしまった。原因としては虹ビーズでの虹ができる角度の測定データが少なかったことなどが考えられる。以後はこの原因を調べ、実験で得た値が正確なものに修正できるよう努めたい。

【感想】

この研究を通し、虹についてさまざまなことを学び、理解を深めることができた。実験Ⅱは天候に左右されることが多いので苦労したが、正確な値をとることができた。しかし実験Ⅰでは、実際に測った角度と計算により求めた角度で誤差が大きかった。この部分の検証において、まだ研究途中であるといえる。この研究を通して学んだことを踏まえ、今後さらなる研究に生かしていきたい。

【参考文献】

- <http://tenki.jp/knowledge/detail?id=331>
- <http://www.gifu-net.ed.jp/kyoka/rika/risu-tebiki/32/3nizi.pdf>
- <http://www.gifu-net.ed.jp/kyoka/rika/risu-tebiki/32/3nizi.pdf>
- <http://ww1.tiki.ne.jp/~uri-works/tmp/index.html>
- <http://www.betterseishin.co.jp/download/pd>

f/kussetu.pdf

<http://www.hikari-magic.com/hikari/step2/4.html>

http://www24.atpages.jp/venvenkazuya/math1/trigonometric_ratio6_table1.php

<http://www.ne.jp/asahi/tokyo/nkgw/gakusyu/hadou/rainbow/rainbow-1.htm>

http://www.nmij.jp/~nmijclub/fluidp/docimgs/inoue_20081212.pdf