

スライドショーで動きが停止したら、マウスを1回ずつクリックしてください。

にじ うん 虹 と 暈 (かさ, ハロ)

霧や雲の中の水滴や氷の結晶による太陽の光の反射・屈折によって、彩り鮮やかな気象現象が現れる。
----- 天からの贈りもの

今回のファイルには他者に著作権のある写真が含まれていましたので、Wikipediaのもの以外は省略してあります。

雨上がりの虹と副虹 →
太陽を背にして仰角が42°と50°

主虹の内側と副虹の外側に淡く反射光が見えている。

虹は水滴による反射光範囲の縁取りである。

← 滝の水しぶきによる虹

虹の内と外で明るさが違う。内側には反射光が見える。

(写真はいずれもWikipediaより)

にち うん
日暈 (日がさ)
周りにくっきり見えている虹色の円

どちらも太陽と同じ側に見える。

げん じつ
幻日

虹色のスポット

円の視角半径は 22°
これは屈折角の極小で、その外側に淡く屈折光が見えている。
(内側の明るい部分は太陽)

(写真はいずれも Wikipedia より)

(同じ高度にある左の明るい部分は太陽)

虹でも日暈でも、水滴や氷の結晶からの反射角や屈折角に**極大(極小)値**があることが重要である。極値を持つとき、その角度で屈折光の強度が最大となり、その一方の側には屈折光が全くないという、まさに 際(きわ)だった現象が起きる。色による屈折率の微妙な差によって、色によって、その際(きわ)あるいは 縁(ふち)に、いわゆる

太陽光

反射光なし

42°

虹(主虹)

屈折光なし

太陽

22°

日暈(内暈)

こういう大自然の気象現象が、以下で見るように光の屈折の法則を用いた計算どおりに正確に現れるのは、驚きである。

このあと5枚は、しばらく **用語解説**

光の色と波長

(RGB表現とは全く違う連続スペクトル)

自然光の連続成分 (太陽の熱放射のうち可視光域)

380 770

紫外線 赤外線

400 500 600 700

波長 (nm) (ナノメートル: 1 nm = 10⁻⁹ m)

1000 nm = 1μm(1 **ミクロン**) = 1000分の1 mm 程度

髪の毛~20μm

1 nm = 10⁻⁹ m 最近、**ナノ科学**と言っているのは、この領域のことで、**原子の大きさの10倍程度**の大きさを言う。

屈折

波の伝わる速さが異なる、2種類の媒質の境界で起きる現象

光(波)はいくら細くても幅を持っている。

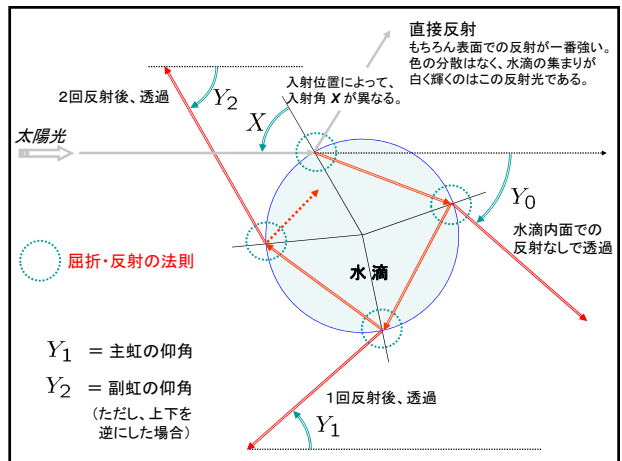
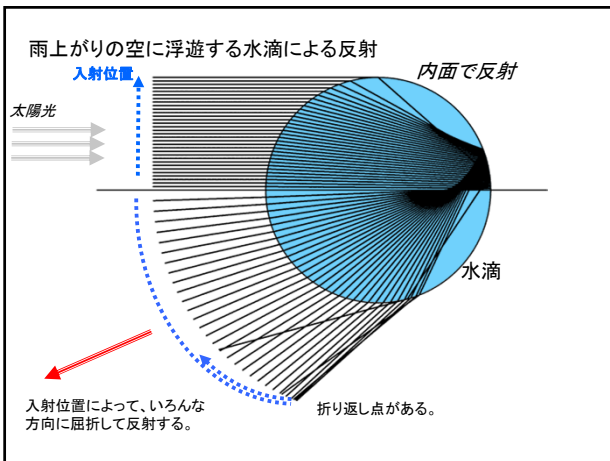
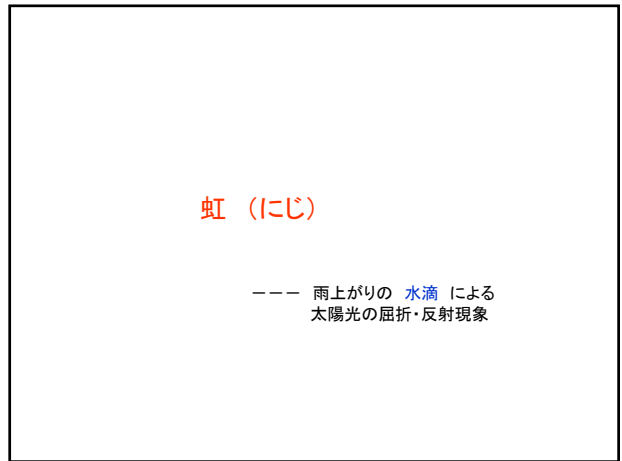
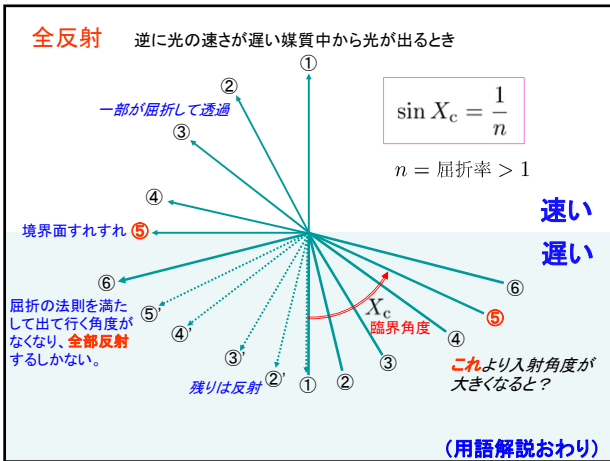
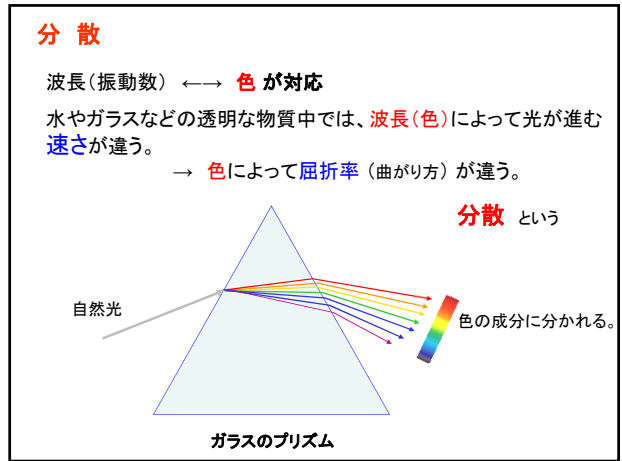
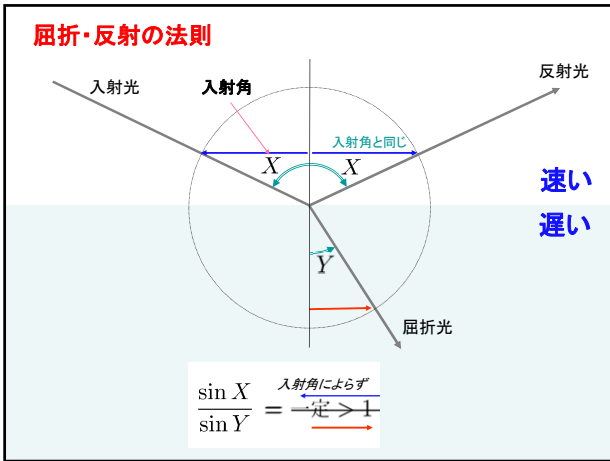
車の前右輪に先に**ブレーキ**がかかったら?

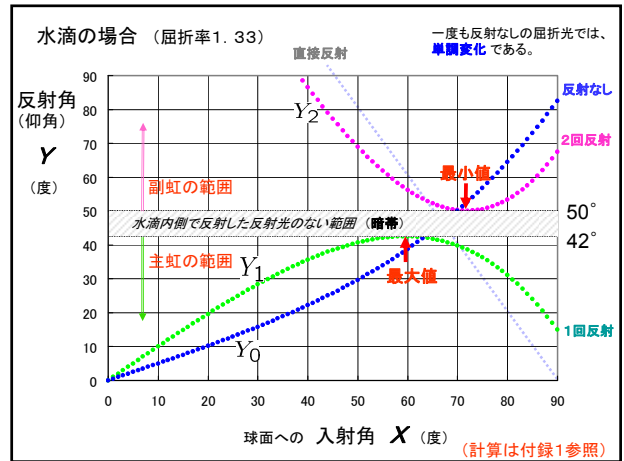
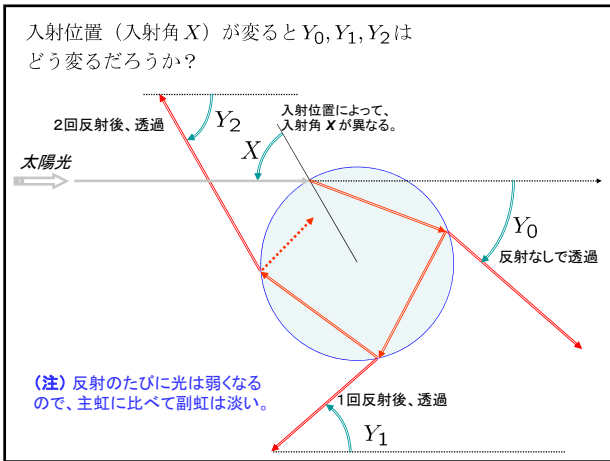
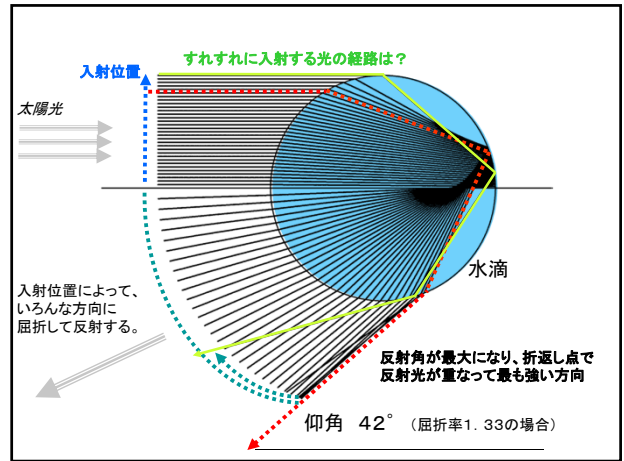
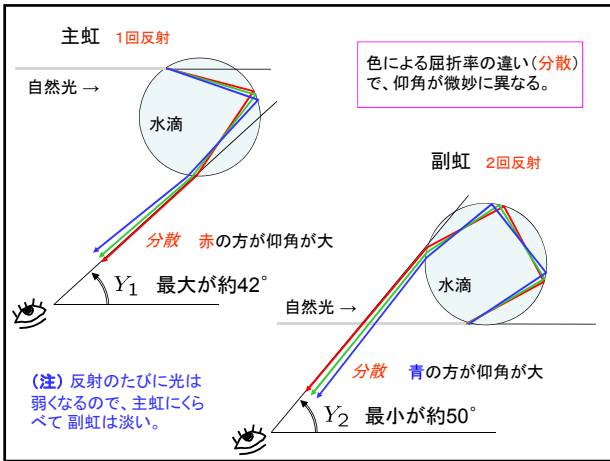
波面

波の伝わる速さが **速い** (空気) / **遅い** (水)

ブレーキがかかる!

屈折

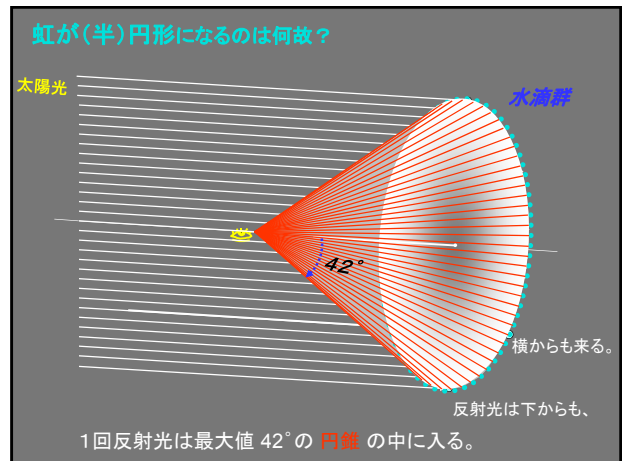


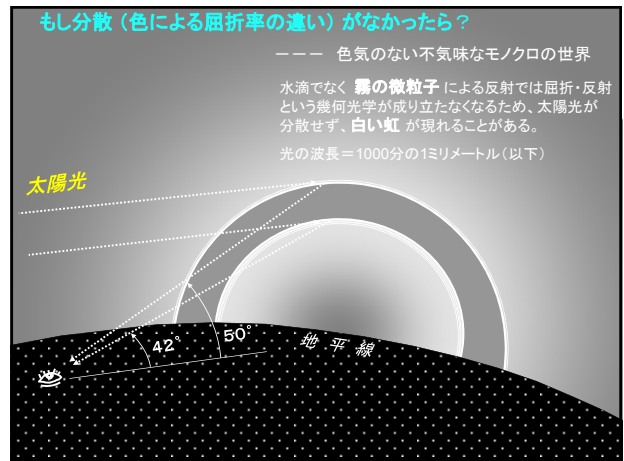
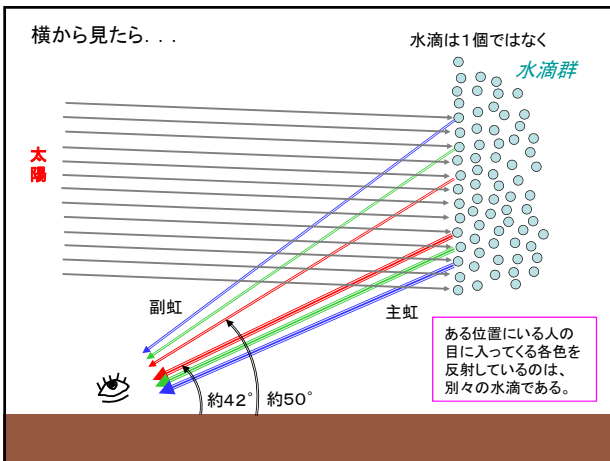
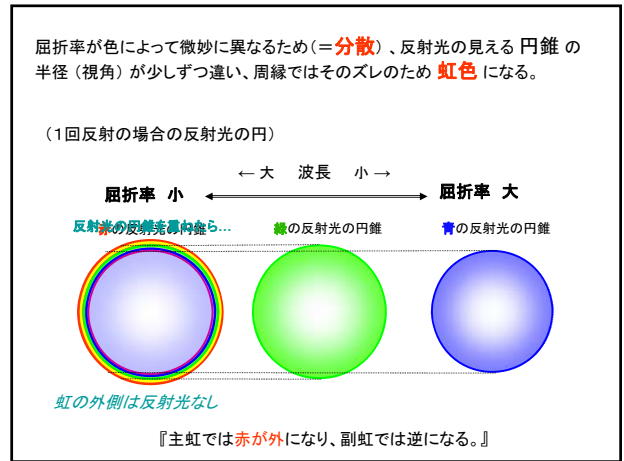
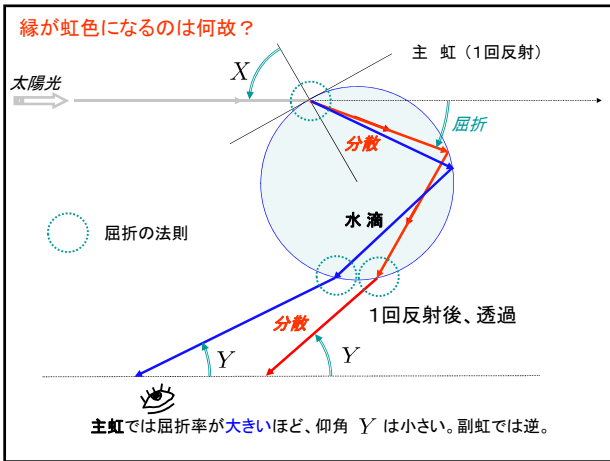
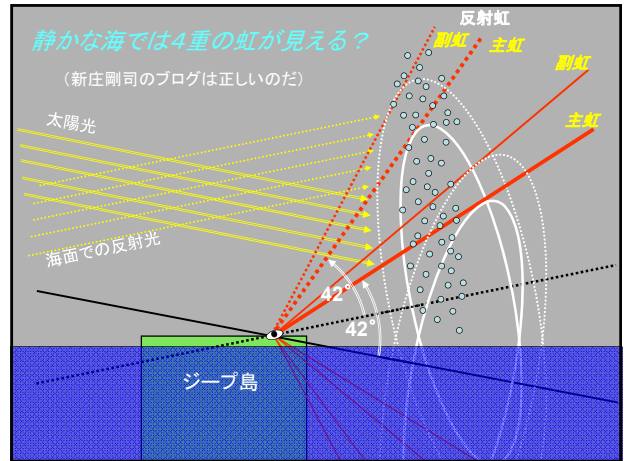
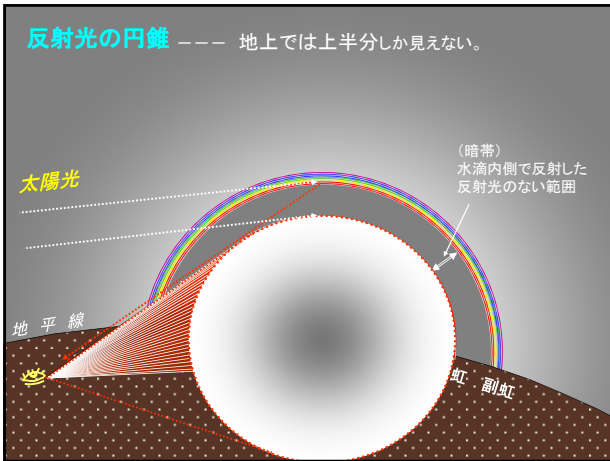


虹(にじ)

水滴の内側で1回または2回反射してから透過する場合は、屈折角が 90° 以上になり、太陽を背にしたときに見られる反射光となる。1回反射の場合は主虹となり、目から見たときの仰角が最大値をもち、赤が外側に来る。2回反射の場合は副虹となり、仰角は最小値をもち色の順序が逆である。主虹(仰角 42°)と副虹(同 50°)の間には、水滴の内側で反射した反射光がやってこない角度範囲が存在する。

反射なしでの透過光は屈折角が 90° 以下で、極値(最大・最小)がない単調変化のため、水滴の場合は際だった現象は見られない。氷の結晶ではこの透過光が 日がさ を作る。





にち うん
げつ うん
日 暈 (日がさ、ハロー、月の場合は **月 暈**)
 --- 雲の中の **氷の結晶** による屈折現象



日 暈 (日がさ)
 周りにくつきり見えている虹色の円
 どちらも**太陽と同じ側**に見える。
 円の視角半径は 22°
 これは屈折角の極小で、その外側に淡く屈折光が見えている。
 (内側の明るい部分は太陽)

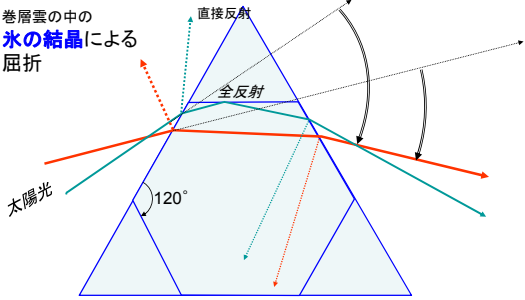
げん じつ
幻 日



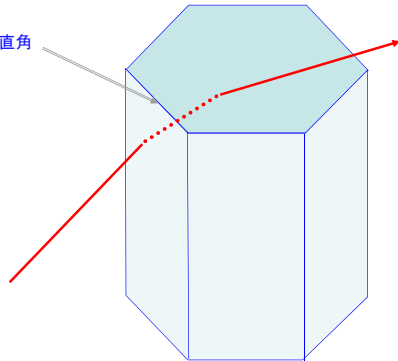
虹色のスポット

(写真はいずれも Wikipedia より) (同じ高度にある左の明るい部分は太陽)

巻層雲の中の **氷の結晶** による 屈折

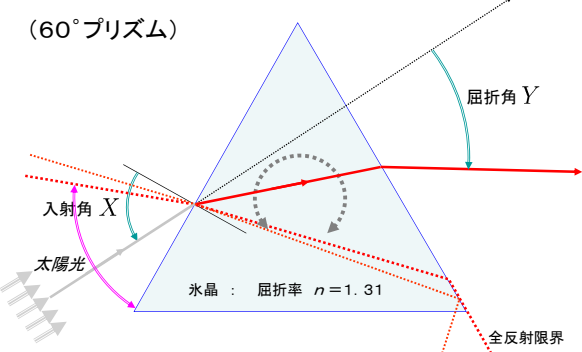


六角柱の氷晶: 120° をなす隣り合う側面での **反射** は、入射角が大きすぎて全反射となり、次の面で透過しても偏向角度 θ が大きくて、ほとんど目立たない。一つおいた次の面で一部が **透過** する場合は、偏向角度が適度に小さいので、観測されることがある。
 このため、六角柱の氷晶は三角 (60°) プリズムの一部とみなして考えればよい。



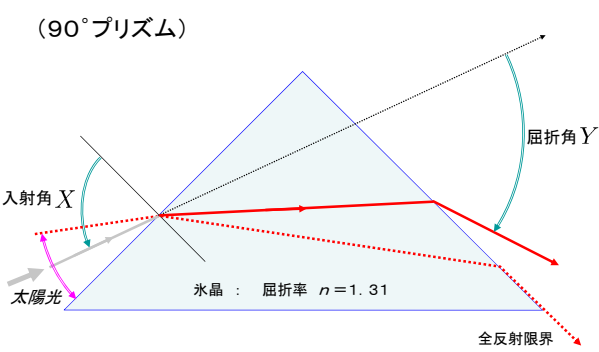
側面から入って上面から出て行く場合(あるいはその逆の場合)は **直角 (90°)** プリズムの一部とみなせる。

(60° プリズム)

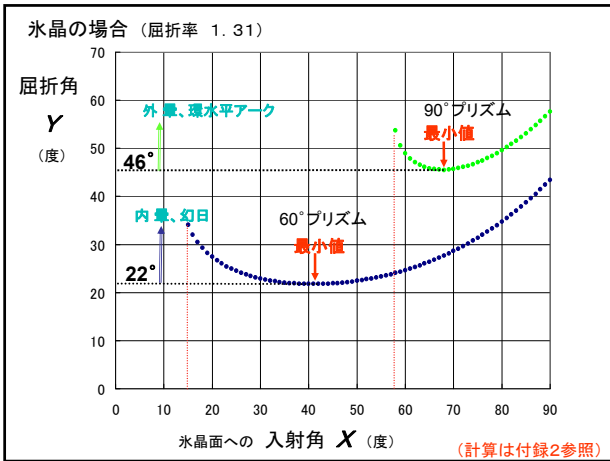


太陽からの入射光は平行で、プリズムの向き(回転角) θ が様々に分布している。図の入射角 X が $14^\circ < X \leq 90^\circ$ の範囲で透過するが、入射方向からの偏向角度(屈折角) Y は、入射角 $X = 41^\circ$ 付近で **最小値 22°** となる。

(90° プリズム)



90° プリズムでは、入射角 $58^\circ < X \leq 90^\circ$ の範囲で透過するが、入射角 $X = 68^\circ$ 付近で、屈折角 Y が **最小値 46°** になる。



日暈 (にちうん、日がさ、ハロー)

巻層雲の中の氷晶の軸の向きが様々に分布しているため、**最小角度 22°**は太陽を中心とした **広がり 22°の円錐**として現れ、**日暈**と呼ばれる。(月の場合は月暈。) 屈折光はこの円錐より**外側**になり、円錐の周縁(内縁)には内側が赤の淡い**虹模様**が見える。46°の外暈は淡くてめったに見られない。(その代わりに、平べったい六角柱の90°プリズム屈折で、**環水平アーチ**と呼ばれる鮮やかな虹が見えることがある。)

太陽や月を覆っている明るい広がり、氷や水滴の表面からの**直接反射**によるもので、これだけが見えることが多いが、これは暈(かき)ではない。

幻日 (げんじつ)

氷晶の六角形の面の方向が落下の際の空気抵抗により水平方向にそろっている場合、太陽光が屈折して目に届く条件をみたすのは、日暈の輪郭の一部分だけとなり、太陽の高度が低い場合には太陽の横(片方または左右)に**紅色のスポット**ができる。

プリズムの方向がそろっているため、屈折光はいわば日暈の半周分を集めた明るさになる。

水平に整列した氷晶群が太陽の下または上にあつて、光が90°の角を通過して屈折してやってくる時には、この幻日と同じ原理で、太陽から46°下または上の外暈の位置に、**環水平アーチ**、**天頂アーチ**と呼ばれる明るい虹状の帯が現れる。

(注)太陽はずっと遠方のため、太陽光線は平行である。

環水平アーチと天頂アーチ

90°プリズム

環天頂アーチ

外暈(淡くて見えにくい)

太陽の上(同時に見ることもある) 内暈

46°前後

46°前後

46°前後

46°前後

太陽の下に

環水平アーチ

氷の結晶が水平にそろっているときには

幻日環(白虹)と太陽柱

同じく氷の結晶が水平に整列しているとき、六角柱結晶の**側面での反射**によって起きる現象であり、太陽と幻日を通る円弧状に現れる。氷の内部を透過しないため屈折による分散がないので、虹色になることはなく、これも「白虹(はっこう)」と呼ばれることがある。

また、平べったい結晶が水平に整列しているとき、上下の**表面での反射**によって**太陽柱**が現れることもある。

日暈、幻日、幻日環 同時に観測されることも多い。

こういう現象の観測によって、雲の中の氷の結晶の様子を知ることができるのである。(写真は Wikipedia より)

(雑学) **広がり 22°ってどれくらい?**

腕をまっすぐに前方に伸ばして手のひらをいっぱい広げたときの、親指と小指の間の幅になります。日暈や月暈はこうやって位置を定めてやれば見えてきます。実際に空に手をかざしてみると、驚くほど大きいでしょう。

なぜかという、太陽や月は意外に小さくて、直径の視角が約 **0.5 度**、腕を前に伸ばして手に持った**5円玉の穴**の大きさくらいなのです。

古代メソポタミアでは、太陽が地平線から地平線まで、天空を横切る距離(角度)が、だいたい **360 度** 並べたくらいであることが知られていました。

地平線 太陽360個くらい

平べったい氷の結晶が大気中を落下するとき、どうして**水平に整列**するのか、不思議ですね。

抵抗を少なくするため、**鉛直**になる方がよさそうにも思えます。しかし、落ち葉なんかをよく見ていると、ほぼ水平姿勢を保ちながら、**ヒラヒラ**と舞い降ります。

これは**風呂で実験**できます。**1円玉**を何個か持って風呂に入り、湯船につかったまま、水面の50cmくらい上から落としてみてください。

たとえ鉛直に落としても必ず斜めにもぐりこみ、サッと水平になろうとします。水中を**鉛直姿勢**で落下するのは、どうやら不安定なようで、わずかでも傾きがあると水の抵抗で倒されてしまい、結局、水平に向かうようです。

10円や100円では、家庭の風呂では距離が浅すぎるらしく、値段のわりにはうまくいきません。銭湯の浴槽なら実験できるかもしれません。

鉛筆のような棒状の結晶は、鉛直姿勢で落ちるようです。

付 録

水滴や氷の結晶による反射角・屈折角の計算です。気になる人だけ、フォローしておいてください。使用するのは中学校程度の幾何学の組み合わせと、三角関数 (sin関数) です。

水滴による反射角

太陽、入射点、球の中心を含む断面で考える。

屈折の法則

反射の法則

二等辺三角形

代換

代換

光の進路の回転角を順番にたしていくだけ。

幾何学遊びはここまで。

$$Y_0 = 2(X - X')$$

$$Y_1 = Y_0 + (\pi - X - X') + (X - X')$$

$$= \pi + 2(X - 2X')$$

$$Y_2 = \pi + Y_1 + (\pi - X - X') + (X - X')$$

$$= 2\pi + 2(X - 3X')$$

(ここまでは中学校の幾何学の応用です。)

以上より

$$Y_0 = 2(X - X')$$

$$Y_1 = -2(X - 2X')$$

$$Y_2 = 2(X - 3X') + \pi$$

となる。屈折の法則は

$$\sin X' = \frac{1}{n} \sin X$$

これから X' を求めて代入すればよい。

一応、数式を書いておきますが、この程度の計算で求められるということだけ、理解しておいてください。三角関数を知っている人なら、それほど複雑な式ではありませんね。

直接反射

もちろん表面での反射が一番強い。色の分散はなく、水滴の集まりが白く輝くのはこの反射光である。

2回反射後、透過 Y_2

入射位置によって、入射角 X が異なる。

太陽光

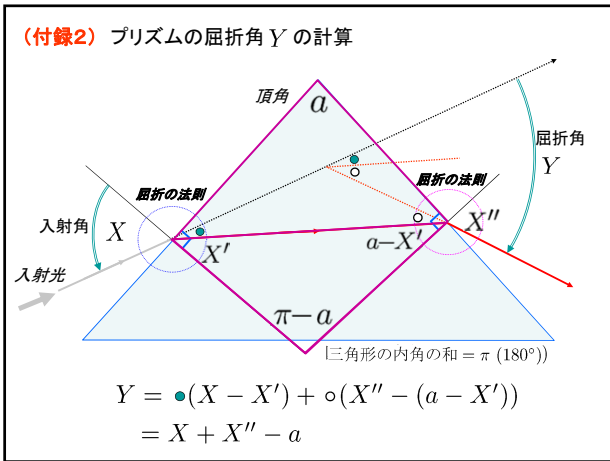
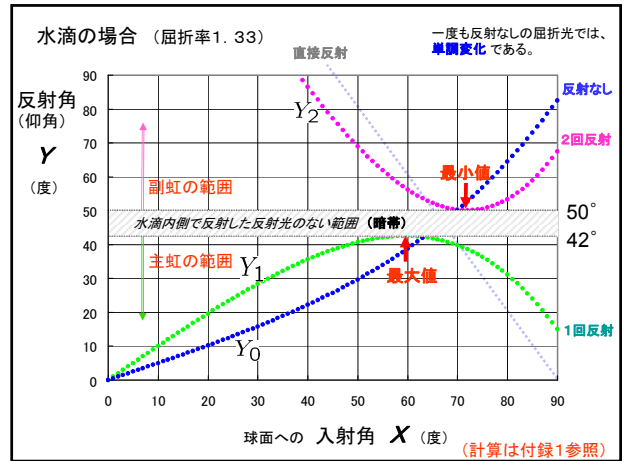
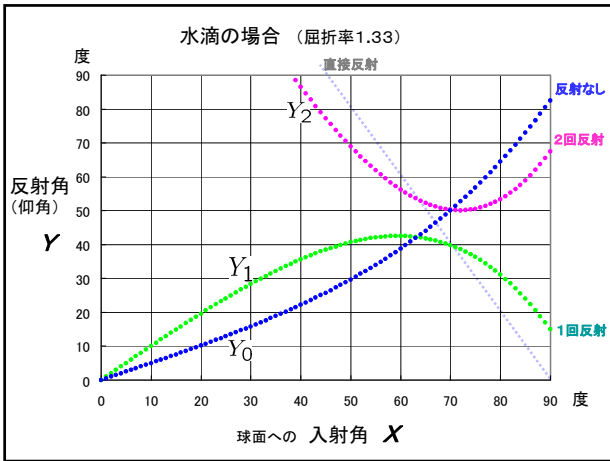
水滴

水滴内面での反射なしで透過 Y_0

1回反射後、透過 Y_1

Y_1 = 主虹の仰角

Y_2 = 副虹の仰角 (ただし、上下を逆にした場合)



プリズムの頂角を $a (= 60^\circ, 90^\circ)$ とし、
2ヶ所の屈折の法則

$$\frac{\sin X}{\sin X'} = n$$

$$\frac{\sin X''}{\sin(a - X')} = n$$

から X'' を求め、

$$Y = X + X'' - a$$

に代入すればよい。

