

空に見られる光の散乱と屈折

光は電磁波の一種で、波でありながら「粒」としての性質もっています。光の持つ波の性質によって、違う物質（媒質）との境では反射と屈折を同時に起こします。光子が媒質中を進む速度は、光と物質の相互作用（吸収と再放出の繰り返し、または分極など）が増加するため媒質の「密度」が高いほど遅くなります。密度がより大きい物質に入ると入射角より小さな角度で屈折し、逆の場合は大きな角度で屈折します。同じ物質では密度の大小は温度の高低に左右されます（図1）。

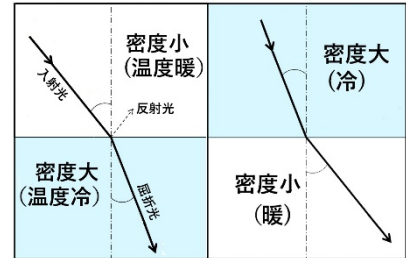


図1 密度と屈折の大きさの関係

（1）空はなぜ青い（光の散乱）

物質を構成する分子や粒子に光が衝突し、四方八方に飛び散る（反射される）現象を散乱といいます。太陽からの光は、空気中の小さな粒（窒素分子や酸素分子など）にぶつくと散乱します。散乱の強さが入射光の波長の4乗に反比例することが知られており、赤い光と青い光の波長の比を約2:1とみなせば、散乱の強さは1:16となり青い光がうんと強くなります。紫の光は空のとても高いところで飛び散ってしまうため、地上からよく見えるのは2番目に飛び散りやすい青の光です。このため、空は青く見えるのです。このような光の波長よりもはるかに小さい粒子による散乱をレイリー散乱と呼びます。この散乱では、散乱波の強さ（図2の矢印の長さ）は方向によって異なり、入射光の方向aと正反対の方向a'で強く直角方向b, b'ではその半分になります。

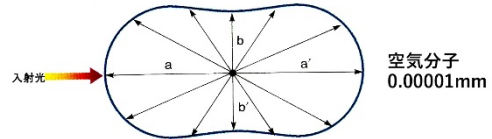


図2 散乱の強さ（斉藤ほか，1995を改）

光の波長と同じくらいか、それよりも大きい粒子（ちり・ほこり・水滴など：数 μ 程度から100 μ 程度の大きさ）によって起こる散乱をミー散乱と呼びます。ミー散乱はすべての波長の光がほぼ均等に散乱され、そのため、散乱された光は白っぽく見えます。ミー散乱による身近な現象としては雲や霧が白く見える、チンダル現象（光の道筋が明るく輝いて見える）、雲や霧の粒子によってヘッドライトの光が広がり、遠くまで見えにくくなることなどがあります。

夕方は太陽が沈み、光が地球の大気を通る距離が昼間に比べて非常に長くなります。長い距離を進む間に青い光は途中で散乱されてしまい、散乱しにくい赤い光が目につくため、夕焼けが赤く見えるのです。

（2）虹

虹は、太陽の光が雨滴の内部で反射したものです。はっきりとした虹は主虹と呼ばれ、その外側に、副虹と呼ばれるうっすらとした虹が見られることがあります（図3）。雨滴にあたると主虹では1回、

副虹では2回、光は反射し、雨滴に入るときと出るときで各1回屈折します(図4)。屈折する角度は波長が短いほど大きく、紫が大きく、赤が小さくというように屈折するため、いろいろな色に分かれます。主虹は、赤が一番外側で紫が内側ですが、副虹は逆に、赤が内側、紫が外側となります(図3)。虹は、太陽－水滴－観察者の位置関係(角度)でみえる色が決まります。人間が見ることができるのは可視光線ですので、主虹はその角度が 40° (紫) から 42° (赤) の間の光だけを見ることができます。太陽の光の方向から $40\sim 42^{\circ}$ の角度であるためには、太陽が低くなければいけないので、虹は、朝方か夕方に見えるということになります。2回反射して出てくる副虹は、太陽－水滴－観測者のなす角度が 51° から 53° となる位置に見られます(図6)。実際には、3回、4回と多く反射した波が出てきますが、3回以上反射した光は極めて弱く見ることはできません。

さて、虹のでき方の説明に、図4や図5のようなものがよく見られますが、これでは上の方に紫が、下に赤色きて、実際の虹と違います。この図から受ける誤解に虹が一つの水滴からつくられるような印象を持ってしまうことです。大切なポイントは、前述したように**太陽－水滴－観察者の位置関係(角度)でみえる色が決まる**ことです。この結果、1つの雨粒からは1つの色のみが観察者の目に届きます。1つの雨粒によって色は分散されますが、**虹は一つの水滴からできているわけではなく、沢山の水滴が集まって構成されています**(図7)。太陽の光と観察者の視線の高さで 42° となる水滴群が観察者に赤い光を届け、 40° となる水滴群が観察者に紫色の光を届けるということです。言い換えると、目に届く赤い光を出す水滴は、紫の光を届かせる水滴より高い位置にある水滴ということになります(図7)。また、太陽高度が 42° 以上になると虹は地平線下となり見えなくなります。雨粒は見る人の正面でなくても、同じ角度なら右側や左側にあってもいいわけで、角度を測る基準となる線を軸にして回転させた円錐上にある雨粒からの光は同じ条件を満たします。このような理由で虹の中の同じ色は円を描きますが、地面より下は切れて見えません。



図3 二重の虹(名古屋市名東区にて)

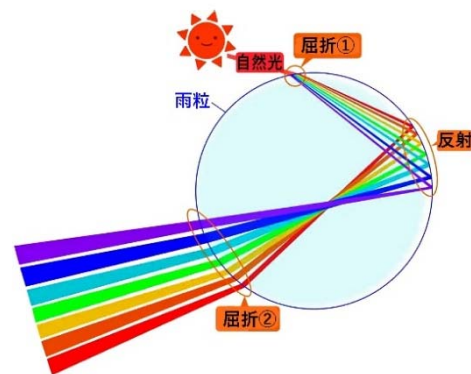


図4 雨滴内での反射と屈折(URL1を改)

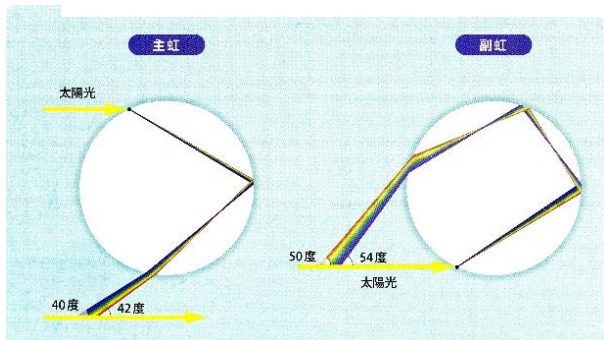


図5 主虹と副虹(武田, 2018)

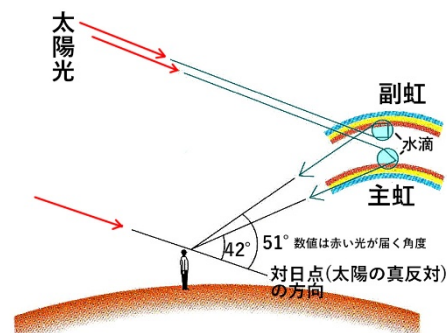


図6 主虹と副虹のみえる角度(斉藤ほか, 1995を改)

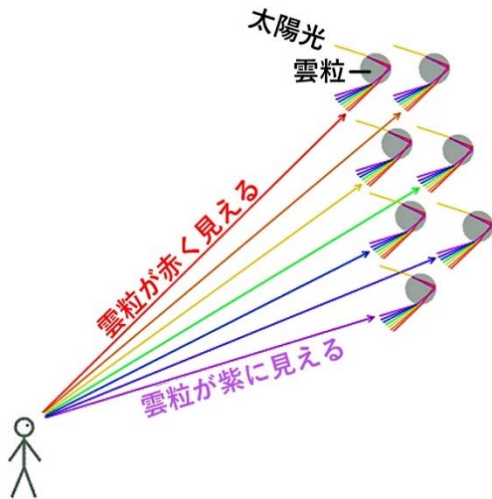


図7 虹をつくる多くの水滴(URL2を改)

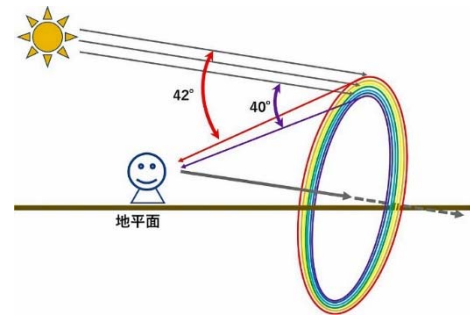


図8 円形に見える虹 (URL2)

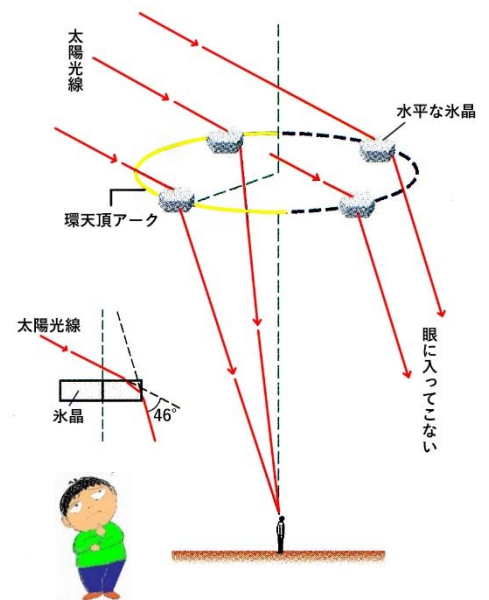
(3) 環天頂アーク^{かんてんちよう}

上空の高い所に現れる氷の粒（氷晶）で太陽光が屈折し、空に逆さまの虹のように見えるものを環天頂アークと呼びます（図9）。私が初めて見たのは、すばる望遠鏡を見にマウナケア山に登っている時で、下側が赤いのが不思議で、同行して頂いていたハワイ観測所の職員の方にお聞きしました。3月で雪



上図9 環天頂アーク（武田, 2018）

右図10 環天頂アークのできる仕組み（斉藤ほか, 1995を改）



が残る環境で、見た時の高度（4000mまでは行っていないとき？）も覚えていません。環天頂アークは地面に平行な六角形の平坦な多くの氷晶に入った太陽光が屈折して見せる現象です。虹と違って太陽のある方向に見えること、太陽から46度以上、上の空に現れるため、目につきにくいなどの特徴があります。メカニズムはむつかしそうです（図10）。

(4) 蜃気楼^{しんきろう}（Mirage）

蜃気楼は、大気中の温度差によって光が屈折し、遠くの景色が伸びたり、逆さまに見えたりする現象です。蜃気楼は主に「上位蜃気楼」と「下位蜃気楼」の2種類に分類されます。

図11 蜃気楼（URL3）→



「上位蜃気楼」は、下層の冷たい大気層と上層の暖かい大気層の境界で光が屈折し、景色が上へ伸びたり反転して見える現象です（図 12）。冷氣層の上へ暖気が入る（移流）、暖気層の下方へ冷氣が入る、放射冷却で暖気層の下に冷氣層が生じる場合などがあります。北極や南極などの寒冷地や、寒暖差が大きい条件で発生しやすいと言われています。単に「蜃気楼」というときは上位蜃気楼を意味することが多いです。

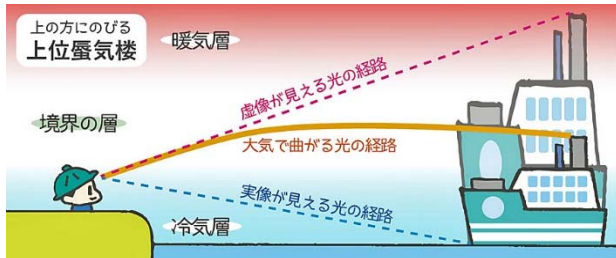


図 12（上二つ） 上位蜃気楼 （URL4）

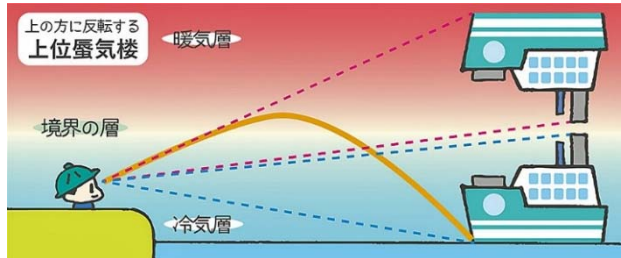


図 13（右） 下位蜃気楼 （URL4）

「下位蜃気楼」は、上層の冷たい大気層と下層の暖かい大気層の境界で光が屈折し（光は、温度が低く密度の高い空気の方へ曲がる性質があります：図 1）。地平線や水平線にごく近い空気中（せいぜい高さ数m）の温度がその上の層より高くなると異常屈折を起こします。遠くの景色が下に反転するタイプが多く、景色が下へ伸びたり、宙に浮いて見える現象で、海辺や砂漠でよく見られます（図 13）。

「逃げ水」は、風がなく晴れた暑い日にアスファルトなどの地面の遠くに水たまりがあるように見える現象です（図 14）。熱せられた道路の表面付近と、上空の冷たい空気との間に密度差ができることで、空の景色が光の屈折によって地面に反射して水たまりのように見えます（図 14）。下位蜃気楼の一種です。日本では、蜃気楼は縄文時代には知られていたそうです。富山湾の東岸にある魚津市は蜃気楼が見える街として有名です。魚津の海岸線からは広大な富山湾の水平線を一望でき、富山市の方角に呉羽山や射水市の方角に新湊大橋などの目立つ目標物があるため、変化に気づきやすく、蜃気楼の観察地と適しているからです。

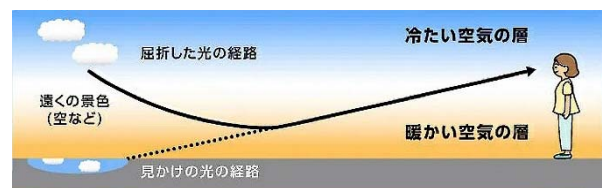


図 14 逃げ水のみえる仕組み（URL5）

主な参考引用文献

斉藤文一・武田康男，1995，空の色と光の図鑑．草思社，183 p．

武田康男，2018，虹の図鑑．緑書房，159 p．

URL 1：<https://hario-science.com/rainbow/>

URL 2：<https://explore-curiosity.com/home/1118>

URL 3：<https://www.info-toyama.com/stories/mirage>

URL 4：<https://www.honda.co.jp/kids/explore/mirage/>

URL 5：https://tenki.jp/suppl/m_seta/2025/04/19/32627.html