

光の性質の学習素材としての気象光学現象

長谷川 能三

大阪市立科学館、中之島科学研究所

概要

虹が水滴に太陽の光が当たって見えることはよく知られているが、そのメカニズムをきちんと理解している人は意外と少ない。また、虹以外にも暈(かさ・うん)や幻日(げんじつ)など、虹のように空に見える気象光学現象にはさまざまなものがあり、そのメカニズムは、光の幾何学的な性質だけでなく、波としての性質が関わっているものもある。きれいで珍しいために興味を引くこれらの現象であるが、光のさまざまな性質を学習する素材としても有効だと考える。そこで、主な気象光学現象のメカニズムについて紹介する。

1. 虹の見えるメカニズム

虹の見えるメカニズムとしては、図1のような解説図が用いられることが多い。確かにこのような経路を進んだ光が虹として見えていることには間違いがないが、これだけでは虹がなぜ見えるかという説明には不十分である。まず、光は水滴全体に当たっているのであるが、なぜ水滴のある1ヶ所に当たった光だけが虹になるのか、また、水滴に当たった光は水滴の表面に当たる度に反射する光も屈折する光も存在する(虹の見えるメカニズムには、全反射は関係しない)ため、光の進む経路は数多く存在する。

そこで、水滴の中で何回反射したか(もしくは水滴の中に入らなかったか)という光の経路毎に、水滴のどの位置に当たった光がどの方向に出ていくか偏角を計算したのが図2である。すると、水滴の表面で反射した光や、水滴の中に一旦入っても次に水滴の内側から表面に当たった時に空気中へ出て行く光は、偏角がある方向に集中する(光がある方向に強く出て行く)ことはない。しかし、水滴の内側で1回反射した光については、光が水滴に当たる場所によって偏角が138度付近で極小となるため、この方向に光が強く出ていくことになる。また、この極小となる偏角は屈折率により異なるため、

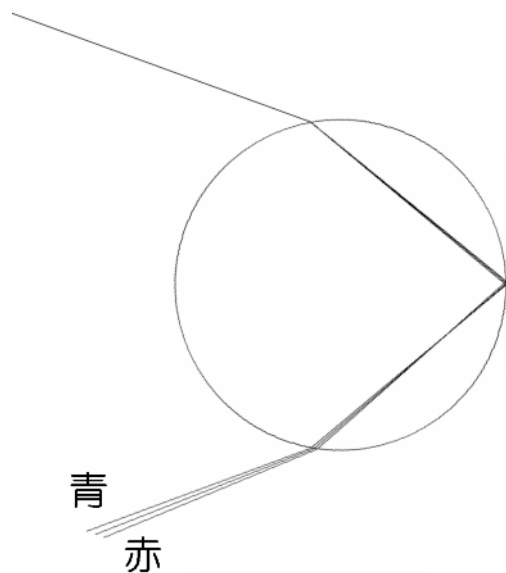


図1. よくある虹の説明図

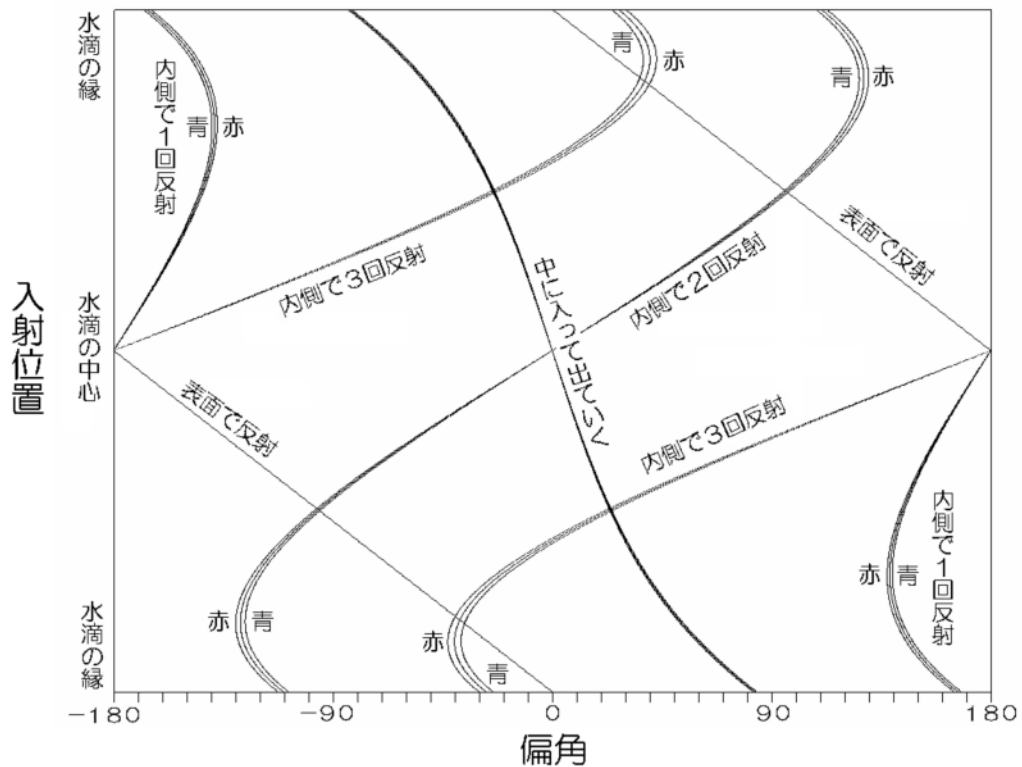


図2. 光の入射位置と偏角

光の色によって強く出て行く方向がわずかに異なり、これが虹となって見えているのである。

同様に、水滴の内側で2回反射する光についても、偏角が127度付近で極大となっており、実際に通常の虹の外側に副虹と呼ばれるもう一つの虹が見られることも多い。さらに、水滴の内側で3回反射する光についても偏角が40度付近で極大となるが、強度がかなり低いこともあり、なかなか虹として観察されることはない。

また、138度の極小偏角を挟んで、わずかに異なる光の経路で同じ方向へ出て行く光があり、干渉する。このため、通常の虹の内側には過剰虹と呼ばれる干渉縞が見えることがある。

2. 氷晶による気象光学現象

「月が暈(かさ)をかぶると雨が降る」などと言われる暈(かさ・うん)は、巻層雲などに月や太陽の光が当たって見られる現象である。

六角柱状の氷の結晶で、ある側面から入って2つ隣の側面から出て行った光によって現われる。この光の経路は頂角60度のプリズムと同じであり、氷の結晶の向きによって偏角はおおよそ22度で最小となる。このため、氷の結晶の向きがランダムな場合には、月や

太陽の周りに、半径約22度の光の環として見られる。最小偏角は光の波長によりわずかに異なるため、暈は内側がやや赤っぽく、外側がやや青っぽく見える。

また、上空の気温や湿度により、氷の結晶は六角板状に広がって成長したり、鉛筆のように細長い六角形の棒状に成長する場合がある。これらの結晶が空気中を緩やかに降下していく場合に、六角板状の結晶は六角形の面が水平に、鉛筆状の結晶は軸が水平になりやすい。このため、六角板状の氷の結晶の場合には、太陽の左右に約22度離れて虹色のスポットとして見え、幻日(げんじつ)と呼ばれる。鉛筆状の結晶の場合には、太陽の上下にタンジェントアークと呼ばれる現象として見られるが、これは太陽の高度によって大きく姿を変えていく。これは、水平面内での軸の方向や軸周りの回転に自由度があるためである。

さらに、氷は屈折率が1.309(波長589.3nm)と低く、1.414以下であるので、頂角が90度でもプリズムの役目をする。六角形の面が水平になっている場合、太陽高度が低いと、六角形の上から入った光が側面から出て行く場合がある(図3)。これは天頂を中心とした虹色の円弧として見え、環天頂アークと呼ばれる。通常の虹とくらべ、虹色の帯が太く、非常に鮮やかに見える場合もある。また逆に、太陽高度が高い場合に六角柱の側面から入った光が六角形の底面から出ていく場合もある。こちらは環水平アークと呼ばれ、高度一定の虹色の帯状に見える。

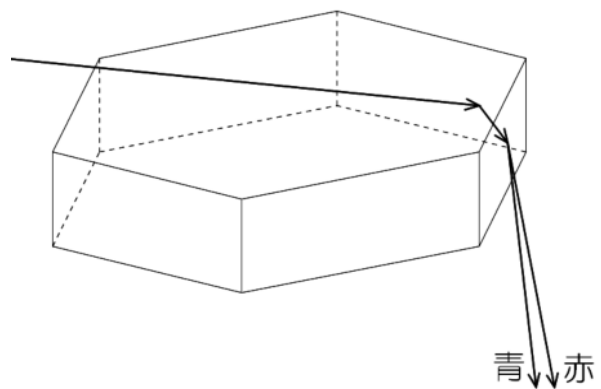


図3. 環天頂アークの光の経路

ここでは主な現象のみを紹介したが、このような氷の結晶によって見える現象は、結晶の向きや角の角度も60度や90度があり、さらに反射も関係した現象もあるなど、非常に種類が多い。ただ、滅多に現われない現象や、非常に淡い現象もあり、光の性質の学習素材としては、上に挙げた「暈」「幻日」「タンジェントアーク」「環天頂アーク」「環水平アーク」あたりで十分だと思われる。

3. 干渉による現象

満月前後の明るい月の前を薄い雲が通ると、月のまわりに色のついた環が見えることがある。太陽の周りにも見えることもあるが、太陽がまぶしいため、減光フィルターを使ったりガラス面に反射した太陽を見るなど十分減光しないと観察が難しい。これらの現象は、光環(こうかん)と呼ばれ、雲の水滴のまわりを通り回折した光が干渉して見える現象である。光の波長によって干渉して強め合う角度が変わるため、色の環として見える。しか

し、水滴のサイズによっても強め合う角度が異なり、水滴のサイズは一定していないため、色はあまり鮮やかではない。

ところが、春のよく晴れた日に色鮮やかな光環が見える場合がある。これは大量に飛散した杉花粉によるもので、雲の水滴と比べると粒径がほぼ一定であるために、色が鮮やかで、太陽のまわりを二重、三重に取り巻いているのが見られる。

4. まとめ

ここで紹介した現象は、気象光学現象の中でも一部であるが、単に幾何光学だけでなく偏角が極大または極小になる方向に光が集中することや、光が波であること、波の性質とはどのようなものであるかと、光のさまざまな性質が関わっている。

しかし、現象の名称が難しいものや、同じ現象がいくつかの名称で呼ばれている場合もあり、取っ付きにくい面もある。また、そもそもメカニズムが難しいこともあり、これらの現象に興味を持って、そこからメカニズムや光の性質の理解へ進むのは難しいと思われる。しかし、逆に光の性質を学習していく上で、その性質が表われている例としてこれらの現象を取り上げることは、興味を増す効果があると思われる。

なお、虹は地域にもよるが年に数回見えれば多い方だと思われるが、このようないろいろな現象を知っていれば、年に合計で十数回～数十回も見ることにも可能である。

[参考文献]

(1) Robert Greenler 著、小口高・渡邊堯 訳

『太陽からの贈りもの 一虹,ハロ,光輪,蜃気楼』(1992)丸善

(2) 綾塚祐二『天空博物館』<http://www.asahi-net.or.jp/~cg1y-aytk/ao/index.html>

(3) 長谷川能三『気象光学現象の出現記録』

大阪市立科学館研究報告 No.12,77 (2002)