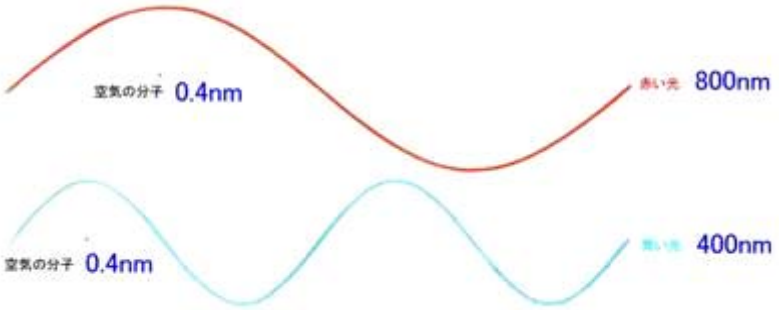
なぜ青い光は散りやすく、赤い光は散りにくいのか

－　空はなぜ青いのかの説明に関連して　－　２００３．１２．３

日本私学教育研究所　馬目　秀夫

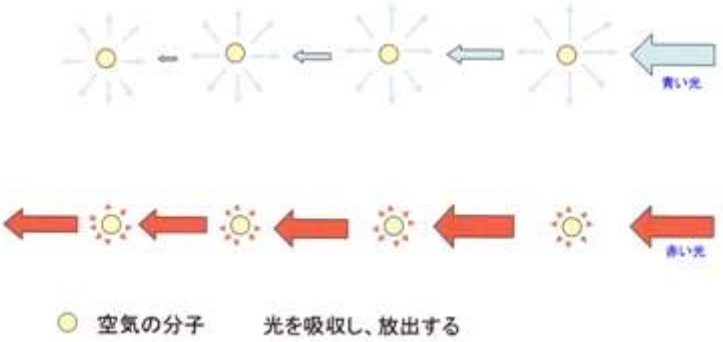
空が青いのは太陽からの光が空気の分子によって散乱されるためである。青い光が赤い光よりもなぜ散乱されやすいのかは大変難しい問題である。よく青い光は波長が短いので粒子にぶつかりやすく、赤い光は波長が長いので粒子を乗り越えやすいからという説明があるが、これは正しくはない。光の波長は空気の分子の大きさに比べて１０００倍くらい大きいので、たとえ、波長の短い光が粒子にぶつかったとしても、海の波に針１本を立てたようなもので、ほとんど影響はない。実際、可視光線の波長は４００～８００ｎｍ、空気分子の大きさは、酸素０．３６４ｎｍ、窒素０．３７８ｎｍ程度である。

図１



波長ではなく振動数が問題である。空気分子（酸素や窒素の分子）の共鳴振動数は紫外線部（２００ｎｍ附近）にある。太陽の光が空気分子に当たると、共鳴振動数附近の光が吸収（基底状態→励起状態）され、すぐ放出（励起状態→基底状態）される。放出される際には四方八方に放出される。これが散乱光である。そのため進行方向の光は弱くなる。

図２



では共鳴振動数以外の光はどうかというと、吸収・放出過程の時間が非常に短いため、エネルギー・時間の不確定性原理により、エネルギー（振動数）に幅がでてくる。計算によると、散乱光の強度I_sおよびその振動数ωと入射光の強度I_iおよびその原子の共振振動数ω_0の間には、次の関係が成り立つ。

$$I_s \propto I_i \quad \omega^4 / (\omega_0^2 - \omega^2)^2$$

このように、入射光の振動数が空気分子の共鳴振動数に等しくないときでも、入射光は原子と反応して、散乱光をつくる。（図３）

図３ａ　　ｂ

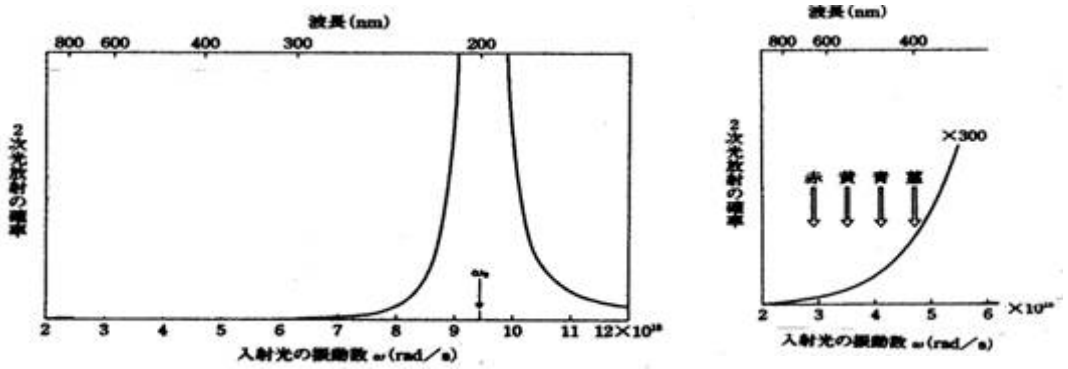


図３ｂは図３ａの５．５×１０^{15}以下の部分を３００倍に拡大したものである。図３ｂで見ると、青色の光の方が赤色の光より１０倍近くも強い強度で散乱されていることが分かる。したがって、空気からの散乱光には青色の光は赤色の光の１０倍近くも含まれ、このため、空は青く見えるのである。

もう一つ、空が青く見える原因がある。それは空気分子が乱雑に配置されているからである。もし結晶のように原子が規則正しく配置されているならば、入射した光はそれぞれの原子からの散乱光が干渉して、透過光と反射光になって屈折の法則と反射の法則に従う特定の方向のみに進み、それ以外の方向には現れないことになる。

以上のように、空が青く見えるのは、空気をつくる分子の共鳴振動数が紫外部にあることと、空気分子が乱雑に配置されているためであるということができる。

光の散乱は、障害物の大きさによって、３つに分けられる。障害物が光の波長に比べて大きい場合は、幾何学的な反射や屈折による散乱であり、障害物が光の波長程度の場合は、回折による散乱である。障害物が光の波長の 10 分の 1 以下の場合がいわゆるレイリー散乱と呼ばれるもので、光の色による依存性が出てくる。前の 2 つのタイプの散乱では色による依存性はない。

空が青いのは、空気の分子による太陽光のレイリー散乱である。

［参考文献］

１「夕焼けの実験」　塚本栄世　高校理科研究　大日本図書　平成９年１月

２「空の色と光の図鑑」斉藤文一・武田康男　草思社　1995年第１刷発行

３「見て・触って・考える　光学のすすめ」光学のすすめ編集委員会 ｵﾌﾟﾄﾛﾆｸｽ社　平成９年

４「太陽からの贈りもの」虹・ハロ・光輪・蜃気楼　Robert　Greenler著　小口高・渡邉堯共訳
丸善株式会社　平成４年７月
５「光と色の１００不思議」左巻健男監修　桑嶋幹・川口幸人編著　東京書籍　2001年8月
６「理論電磁気学」　砂川重信　紀伊国屋書店　1965年　ｐ191～202、ｐ247～248
７「物理学総論２　電磁気・電磁波」大槻義彦著　学術図書出版社　1985年12月　p247~255
８「電磁気学（上）」Ｊ．Ｄ．ジャクソン著　西田稔訳　吉岡書店　1994年5月　p512~522
９「光の物理」光はなぜ屈折、反射、散乱するのか　小林浩一著　東京大学出版会　2002年11月