

特集

太陽の色・星々の色

福江 純（大阪教育大学）＋Tenkyo ML

1. 太陽の色・星々の色

日食講習会その他、金環日食本体については、だいたい打てる手は打ったので、3月に入って、その後の教材化の話などをメーリングリストにポストし始めた（[tenkyo:04466]など）。その一つで、3月4日に話題提供のつもりで、日食／太陽に関わって、最近、しばしば話していることを紹介した（[tenkyo:04480]）。太陽の色の問題である。

以下、次節で、もともとの問題提起の投稿を補足の図などと共に紹介する。また3節で、Tenkyo-MLで流れたいろいろな議論をまとめる。

なお、色の認識には、議論にもあるように、
 (1) 物理的性質、(2) 生理的原因、(3) 心理的要因、(4) 文化的背景、(5) 認識論など、さまざまな側面がある。さらに(6) デジタル処理の問題もある。次節の話は、主に、(1)と(2)に当てはまるものになるだろう。3節の議論でも、注意しながら読んで欲しい。

2. 太陽の色

日食／太陽に関わって、も一つ、最近しばしば話している問題を紹介します。以下、である調です。

+++ 引用はじめ

・太陽の本当の色

続いて、福江が、太陽に関わるサイエンスの話として、太陽の色を説明した（図4）。かつて尋ねた太陽の“専門家”でも太陽の色を黄色と即答する人がいたぐらいだから、一般的に、しばしば、黄色・黄白色とされていて、無理はないかも知れない。しかし、太陽

の色は白色（無色）が正しい。休憩時間に、小学校の先生が、（教科書に書いてあるので）何十年も黄色と教えてきたのですが間違いなのではないかと尋ねてこられた。それは教科書が間違っていますと言ったら、困った顔をされていたので、こちらも困ったが。しかし、太陽の真の色が白色だからこそ、夕焼けの太陽もたいていは白で写るし、雲も雪も白い。
 +++ 引用おわり

1月号の報告記事（『天文教育』24, p100）で上記のような内容を書いた。偉そうなことを書いているが、ぼく自身も以前に書いた教科書（たとえば『そこが知りたい☆天文学』2008年）などでは、“太陽は黄白色に輝く光の玉”などと書いているから、えられた話ではない。ぼくもホンの数年前まではちゃんと考えてこなかった問題である。

太陽が（肉眼で）どんな色に見えるのかについては、いろいろな意見・異論もあろうし、実際、専門家からの異論もあり、これまでも何度も意見交換している。以下、ぼくなり根拠と説明をまとめたので、別の根拠や違う意見などあれば、教えていただきたい。

(1) 感覚的根拠（証拠）

まず、色というモノは感覚なので、感覚的な根拠から述べる。身の回りの事物を見たときに、太陽光のもとで、白いモノは白いということだ。日中の雲も白いし、降ったばかりの新雪も白いし、満月もだいたい白い。

雨滴や氷晶のように、粒子のサイズが光の波長よりも十分に大きければ、あらゆる波長の光を（おおむね）まんべんなく散らす。もともとの太陽の光が白色で、かつ散乱光に色

が付かないからこそ、雲も雪も白い（白く感じる）。“感じる”とは科学的な論証になじまないかもしれないが、（色という）感覚に関しては重要な論拠だと考える。

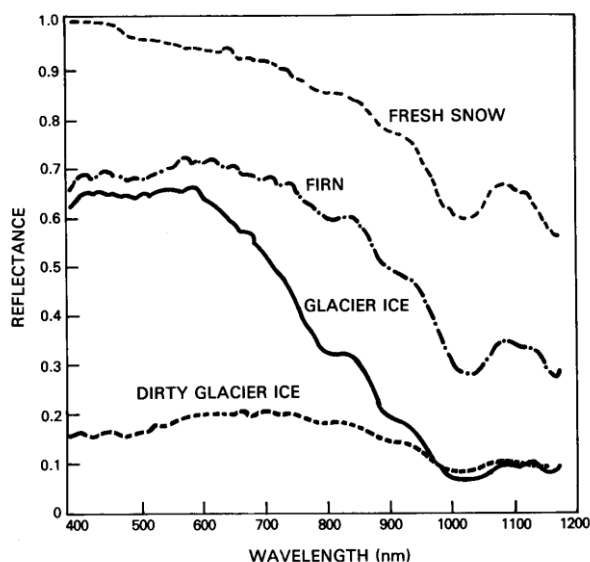


図1 雪や氷の反射率

(<http://www2.hawaii.edu/~jmaurer/albedo/>)
上から、新雪、万年雪、氷河、汚れた氷河。予想よりは大きく、可視域（380nm～780nm 付近）では新雪は1割ほど違う。また氷河の反射率は赤い光で急激に落ちる。

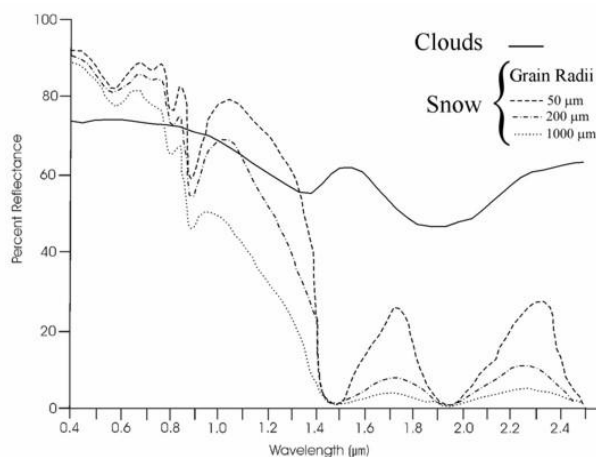


図2 雲やいろいろなサイズの雪の反射率

(<http://www.cps-amu.org/sf/notes/m1r-1-8.htm>)

実線が雲で他はいろいろなサイズの雪。可視域（ $0.4\mu\text{m}$ ～ $0.8\mu\text{m}$ 付近）では雲の反射率はほぼ一定。

エキスキューズ：

ただし、氷の反射では、ほんのわずかに色が付く（散乱が波長に依存する；赤い光の吸収率がわずかに高い；図1、図2）。実際、氷河の中で多数回散乱された太陽の光は青っぽくなる（詳しい説明は、たとえば『光と色のしくみ』p177）。月の表層土（レゴリス）の反射率も、たしか波長依存性が少しある。1回散乱の場合は、その違いはわからないぐらい小さいので、おおむね白い、ということである。

(2) 理論的根拠（証拠）

現在使われている光源色に関する RGB 表色系と、それを用いた天体の色表現については、事務局の塩津さんが詳しく調べ、以前に会誌で何回か連載した（2008 年から 2009 年ごろ『天体色彩学入門』）。詳しくは会誌の記事を読んで欲しいが、そのときの結果では、以下ようになる。

白色の RGB 定義値 = (255, 255, 255)

太陽の表面温度 = 5780 K（の黒体放射）で計算した、

太陽円盤中央の RGB 値 = (240, 230, 229)

太陽円盤端での RGB 値 = (102, 91, 81)

であった。

この結果からわかるように、かなり温度が下がる太陽周縁こそ、少し赤っぽいが、太陽円盤では白色に近い。

また、国際照明委員会 CIE (International Commission on Illumination) の xy 色度図では、6500 K の黒体放射の色を“白”と定義している。この“白”の xy 値は、

$$W(x,y) = (0.3127, 0.3290)$$

である。そして xy 色空間での太陽の色座標も、この白色座標 (0.3127, 0.3290) に近い（図3）。実際、黒体温度で 5000K から 8000K はほぼ白色になる。ただし、これは黒体での計算なので、現実の太陽スペクトル（地上）では、少し値は違ってくるはず。

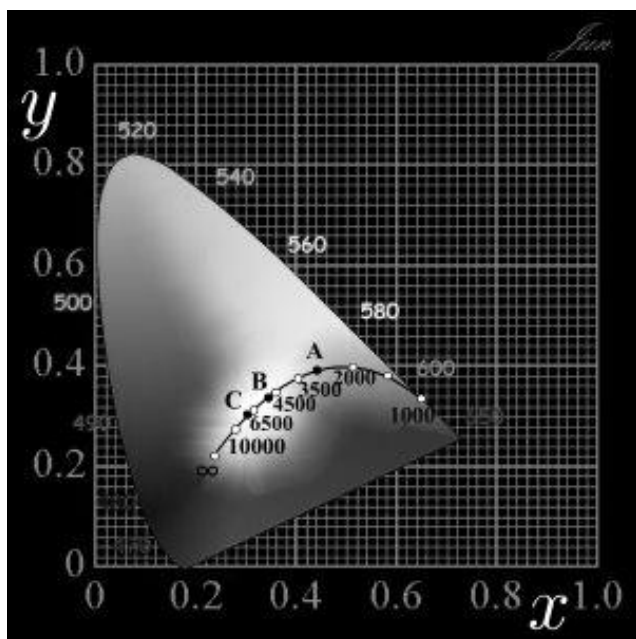


図3 xy色度図の上の色温度軌跡

この色温度軌跡の上で、点Aはタングステン電球の光（色温度2865K）、点Bは太陽の光、点Cは青空からの光（色温度6774K）で、これらの光は国際照明委員会CIEが標準の光として定めたものである。白色光は6500K。

(3) 物理的な説明（解釈）

物理的には以下のように説明できる。太陽の光はさまざまな色に分解できるが、逆に、さまざまな光が混ざって太陽光となっている。たしかに太陽スペクトルのピークは黄色の波長だが（だからこそ、専門家もうっかり黄白色と言ってしまうと思う）、他の色の光も混ざった加法混色の結果、太陽光の色は白色（無色）となる。

これは解釈（説明）で、加法混色の結果、もちろん他の色になることもあるので、根拠ではない。

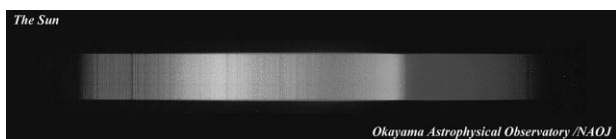


図4 太陽のスペクトル（岡山天体物理観測所）。

(4) 生物学的な説明（解釈）

太陽の光が白色（無色）というのは、実は、生物学的にも理にかなっている。そもそも目に見える光（可視光）は太陽の光がベースになっている。そして太陽の光を受けて、地球上で進化した生命は、目が発生して太陽の光を感じるようになった際に、太陽の光を無色と捉えるように進化したはずなのだ。

実際、すべての光を混ぜなくても、RGBをきちんと混ぜると、それを白色と感じる（だからカラーテレビが存在する）。

なお、これも解釈で、根拠ではない。

ちなみに、人間の色を感じる視細胞（錐体細胞）は3種類あって（図5）、それがRGBの基礎になっているが、分子生物学的には最初は2種類で、その片方がさらに分化したという話を読んだことがある。2種類ではすべての色は再現できなかっただろう。

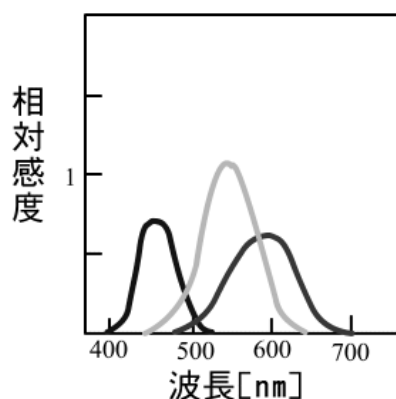


図5 錐体細胞の相対感度曲線

(5) ホワイトコロナ（根拠）

以下は少し専門的なので、いままで詳しく書いたことはないが、もっともいい例は、実は、皆既日食時に肉眼で見えるホワイトコロナである。コロナの色は、しばしば、“乳白色”とか“真珠色”と表現されるが、黄白色と書かれることはないと思う。ほんとうに白く輝いている。これはまさに太陽の真の色に他ならない。

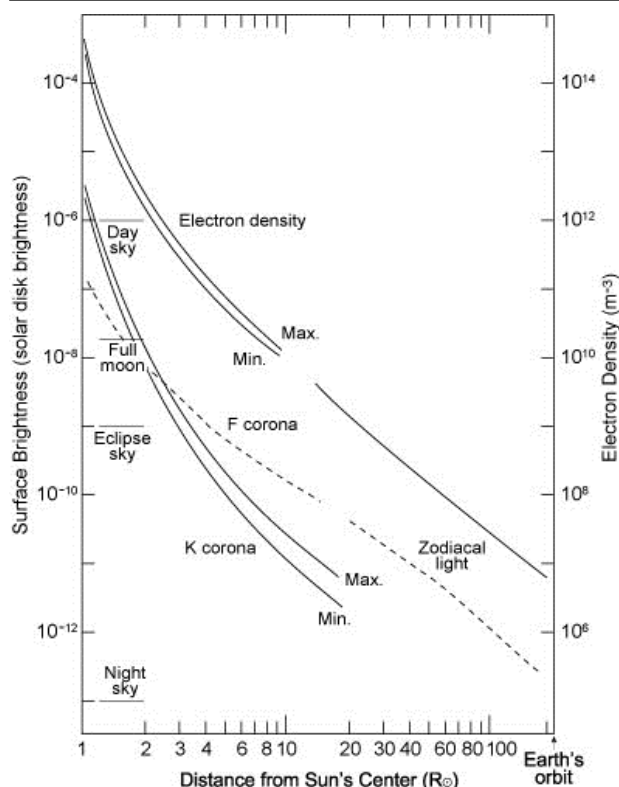


図 6 太陽コロナの明るさ分布と電子密度分布 (http://ase.tufts.edu/cosmos/print_images.asp?id=28)。横軸は太陽半径を単位とした太陽からの距離で、縦軸は太陽面の明るさを単位としたコロナの明るさと電子密度分布（対数であることに注意）。K コロナが肉眼でみえる通常のコロナ。F コロナはダストの散乱で光っているもの（遠方では黄道光に続いている）。輝線の E コロナは描いてない。左側に、日中の空の明るさ、満月の明るさ、皆既日食時の空の明るさなどが示してある。

コロナは 100 万 K もの高温で、コロナ中の水素はほぼ完全に電離していて、電離した自由電子が大量に存在している（図 6）。太陽から放射された光は、この自由電子によって、綺麗に散乱される（専門的には、電子散乱と呼ぶ）。しかも、水や氷の散乱と異なり、電子散乱はまったく波長に依存せず、太陽の光を完全に平等に散乱する。

したがって、ホワイトコロナの色は、薄められた太陽光の色であり、地上で観察したときの太陽の色にもっとも近い色だと思う。

余談：

満月の明るさ（マイナス 13 等）は太陽の明るさ（マイナス 27 等）の約 25000 分の 1 ぐらいだ。日中の地表の明るさはだいたい太陽光の 10 万分の 1 ほどである。地球軌道付近では、太陽光の放射場はだいたい 10 万分の 1 程度に希釈されている。だから ND フィルタで 10 万分の 1 に減光しないといけないのだと思う。詳しくは、会誌 3 月号（本号）の記事参照。

一方で、ホワイトコロナの明るさもだいたい満月程度である（図 6）。

ということは、地球軌道での太陽光の希釈率と太陽コロナでの散乱率が同じくらいなわけだが、物理的には関係ない現象なので、これは偶然の一致だろうと思う。月と太陽の見かけの大きさがほぼ同じであることなど、不思議なことはまだまだ多い。

以上、何らかの参考になれば、また議論が深められれば、深めてもらえば、幸いです。

3. ML での議論

以上までの ML への投稿文（少し補足説明はした）に対して、さまざまな議論が百出した。作花編集委員長が“誰かまとめよ”（[tenkyo:04490]）というご下命があり、福江がまとめることにしたが、こんなに手がかかるとは想定外だった（泣）。

いろいろな問題があって、それぞれに切り分けて並べようかと思ったけど、議論の流れもあり、全般的には無理で断念した。ただし、区別できるものは、前後に少し入れ替えている。また適当に編集し、削れそうな部分は削った。以下、敬称略。

■ 全般的注意点

[tenkyo:04510] 半田@鹿児島大

かなり盛り上がっていますが、この話題は学術的には3つの独立した内容に関連するので、それを明確に意識してから議論しないと混乱の元になります。

1. 物理学的に電磁波のスペクトルがどう変わるのか

2. 人間の肉眼として、それがどう認識されるのか

3. その認識を言語としてどのように表現するのか

1. は物理学の範疇です。大気減光の波長依存性や吸収線強度まで含めた広帯域高分散スペクトルで議論することができます。

2. は医学・生理学の範疇です。これについての専門家は tenkyo にはあまりいないと思います。私が参考になっている書籍は、

金子隆芳『色彩の科学』岩波新書 44
です。人間の肉眼の色彩認識機構を生理学的に説明しているほか、他の動物ではどうかについても紹介しています。

3. は言語学・文化人類学の範疇です。こちらについての専門家も tenkyo には少ないと予想していますが、教育学に近いので2よりは多いかも知れません。私が参考になっている書籍は、

鈴木孝夫『日本と外国語』岩波新書 101
です。タイトルは「日本と」になっていますが、日本語を基準として英語だけでなく世界の文化での色の表現について論じています。

色について論じる場合は、これらの書籍やそれに類したものを一読の上、3者を区分して議論できるだけの理解が必須と思っています。

[福江]

ぼくの方では、ふだんは、

(1) 物理的性質(上の1)、(2) 生理的原因(上の2)、(3) 心理的要因
の3つに分けています。

#詳しくは、栗野他『宇宙スペクトル博物館』といっても、手に入らないか。

…心理的要因には、白黒の模様の円板を回しても色づいて見えるベンハムのこまや、色の対比など、色に関する錯視がある。

(4) 言語など文化的背景(上の3?)、(5) (禁断の) 認識論、なども重要ですね。先入観も文化的背景に含まれるのでしょうか。

ただ、(3) (4) (5) の区別は、ぼくもあまりよくわからないところがあります。

また後で出てくるように、

(6) デジタル処理したデータの問題もあります。

参考図書については、いろいろありますが、金子さんの本が一番しっかりしていますね。

金子隆芳『色彩の心理学』岩波新書

金子隆芳『色の科学』朝倉書店(1995)

も追加しておきます。後者はやや専門的ですが勉強になります。

■ 主に感覚的な議論からスタート

[tenkyo:04486] 浜根@ぐんま天文台

まったくもって感覚的な話ですが、少々。

うちの太陽投影像(直径 1m)を見ている人に「太陽は何色?」と訊くと、経験上、約半数は「赤」と答えます。目の前に「白い」太陽像を見ているのに。物事を見るのに先入観がいかに効いているかというよい見本でしょう。

さて、色指数だけをみると(程度の問題ですが)割合太陽に「似ている」(ソーラーアナログの意味ではありません)見やすい恒星に、カペラとポラリス、プロキオンがあります。

肉眼でも望遠鏡での眼視でも、プロキオン

は「白」といわれれば白かなと思える見え方をしますが、カペラとポラリスは明らかに「黄白色」です。

太陽を遠方、たとえば、10 パーセクの距離から見たら、どんな色に見えるか？というのは検討する価値があるかもしれませんね。そうすることで、他の恒星の見え方と「公正に」比較できるように思います。

尤も、"個人的には"太陽の色は「白」という論拠にかなり納得しています。

[tenkyo:04488] 福江

そうですね、先入観は大きいでしょう。ぼくも含め研究者も、なまじ 600nm あたりにスペクトルのピークがあることをしているため、テキストに、黄白色と書いてしまったりしますし。

>カペラとポラリスは「黄白色」です。

これはそうかも、と思います。暗視の方は、ぼくも不勉強でよくわかりませんが、色の感じ方もずいぶん変わる可能性はあります。そこらへんも、ぜひ、知りたいところです。

[tenkyo:04489] 尾久土

たぶん、太陽が黄色いっていうのは、A 型星を白い星としているせいではないのでしょうか？ 昔から A 型星は、少し青白いなあと思っていたのですが、まあ、天文の世界ではこれを白い星というのだから白にみようと思っていました。そのため、これを白だと思うと、カペラは黄色く見えてきます。

もちろん、暗視の際の色の感じ方に差があるのかもしれませんが。どっちの影響が強いんでしょうかね？ 非常に興味のある話題です。

[tenkyo:04508] 浜根

ふと思い出したのですが、うちでは「昼間の星観察会」をやっていて、ベガやカペラな

どをお客さんに見てもらっています。

ベガは「白」ですが、カペラはお客さんにも「黄白色」に見えるようです。少なくとも「白だ！」と断言できるほどではなさそう。

となると「星の色の見え方」は暗視かどうかではなく、他の要因がありそうな感じです。

[福江]

…この後で議論されている周囲の環境の問題、すなわち色の対比の問題もあるかもしれないです。上記の例では、周囲が青空だと、青の補色の黄色が強くなる、色の錯視が起こっている可能性があります。

■文化的背景や先入観の議論

[tenkyo:04490] 作花

太陽が G 型星とか、表面が 5800K 等の知識の前から黄道と言う言葉はありました（史記か漢書にあったようだが未確認）。黄道、白道という言葉からして、月は白色であるのに比べ、太陽は黄色としたのではないのでしょうか。

[tenkyo:04491] 渡部@大阪市立科学館

国旗の太陽の色について：日本、マラウイでは、太陽は赤く、エクアドル、マケドニア、カザフスタン、キルギス、アルゼンチンなどでは太陽は黄色いではなかったですか？ キリバスでは日の出だから黄色い。ネパールでは太陽は白です。

<http://tospa-flags.com/america-s-1.html>

<http://www.sarago.co.jp/nfhtml/np.html>

[tenkyo:04493] 宮下@成蹊中高

東京では（多分、大阪も）、中学受験をする小学生は、星の色を暗記させられています。そこで、中学校 1 年生に星の授業の前にプロキオンの色を聞くと「黄色」と答えます。

[tenkyo:04494] 石井

「色に関する先入観」ということは白色光コロナに関してもあるようです。過去、日食観測をされた方に「コロナは何色に見えたか？」という質問をすると 多くの方は、“乳白色”とか“真珠色”という具合に答えられるのですが、中には「薄く緑色が混ざっていた」と答える方もいます。

太陽コロナのスペクトルの中には、太陽光の電子散乱以外にごく僅かに鉄の輝線スペクトルが含まれることを知っている方が「白に薄く緑が混ざっているのが、自分には分かる」と主張されるのですね。

電子散乱によるコロナ（Kコロナ）に比べて輝線コロナ（Eコロナ）は輝度としては 100 分の 1 以下なので、ヒトの眼で優位な差が感じられるとは思えないのですが、「私にはそう見えるのだ！」と主張されてしまうと否定のしようが無いところが、色に関する難しい問題ですね。

[tenkyo:04501] 小高@附属天王寺小学校

今回、授業の中で、虫眼鏡の実験をした際に、日光の明るさや色について聞いた時です。子どもたちのうちの何人かは、日光の色を黄色だったと答えました。一緒に実験をしていたのですが、虫眼鏡で光を集めると、とてもまぶしいのですが、白色に私は見えていました。

教科書の写真を見ていると、黄色っぽくも見えています。そういったものからの色のイメージが日光を見たときの色の判断に影響を与えているかもしれません。黄色く見えるというのは、日光の色が黄色いというより、見る側や見る状況の影響が大きいように思えるのですが…。

[tenkyo:04503] 松村@香川大

5 年前の卒論でやってもらったことを思い出しました。その卒論のタイトルは、ずばり「太陽の色」で、そのメインは、高度による大気減光の影響で、“色”がどう変わるかを計算して、検討してもらおう、ということでした。

この時、ついでに、児童書をいくつか見てもらい、イラストでは、太陽がどんな色に描かれているか、も調べてもらいました。その結果は、

赤：6 黄：0 オレンジ：8 白：6 その他：1

ということでした。サンプル数が 21 とあまり多くないので、これ以上は深められていないのですが、黄色がゼロというのはちょっと意外でした。

[tenkyo:04522] 小高@附属天王寺小学校

先に述べた教科書等の写真から思い込みがあるかもしれないという部分については、あると思うのですが、見ている状況により影響されるのではないかとということも大切ではないかと思っています。

虫眼鏡の実験では、黒画用紙に光をあてます。そのとき、画用紙に焦げた色がつきます。また、運動場でしているので、周りは砂です。そういった周りの色に影響されて、白色を黄色と子どもたちの何人かは見たのではないかとも思っています。

何度か話に出てきている言語による色の認識についてです。例として、虹を考えます。虹とレインボーの違いですが、日本の虹は 7 色です。ところが、英語圏のレインボーは 6 色だそうです。虹が出たときに、日本語圏の人には 7 色に見えていますが、同じレインボーを見ている英語圏の人には 6 色にしか見えないそうです。そもそも、虹は 6 色でも 7 色でもありませんから、6 色に見える、7 色に

見えるというのは、虹は7色だという先入観から7色で見ようとしている、レインボーは6色だから6色として見ようとしている結果、そう見えるということです。つまり、言語によって、虹を見るフレームワーク（視点のようなもの）が与えられ、虹を7色や6色として見ることになるそうです。

太陽の色について人がどう見るのかについて考えるときには、言語によって与えられるフレームワークは大切な要素だと思います。

■生理的原因へ議論が進む

[tenkyo:04505] 吉田@広島大学

まず、太陽ってのは高度が高いところではめちゃくちゃ明るいので、普通は直視できませんよね？ がんばって直視（危険ですが）したとしてもまず眼の受容体がすべてサチってしまうのではないのでしょうか。そうすると、色を感じ取ることができず、真っ白に見えるものと思われそうです。

こう考えると、夜の星では微妙な色の違いに気付くということが説明がつく可能性があります。プロキオンが白く見えるのは、少しスペクトル型が若い（F5）のせいかなとか、カペラが黄色いのはG8IIIの巨星が影響しているのかな（カペラはG0IIIとG8IIIの連星）とか想像したりします。

人によって太陽が黄色っぽく見えたりするのは、先入観もあると思いますが、眼の受容体の赤側の感度の問題もあるかもしれません。眼の赤側端の感度は人によって異なり、人によってはH α 線が見えない（6563Åに感度が無い）という話があります。観望会でオリオンのブライトバーを見たときに、赤く見えるという人と、そうでない人に分かれることがあります。もちろん、天体を見慣れていないのでそもそも見方が分からないという人もいます。このような感度の違いが見

え方の違いを生んでいるかもしれません。

しかし、それでも、雪は白いし、晴れた空に浮かぶ雲は白いです。これも、そもそも太陽光が白色であるということ以外に次の可能性が考えられると思います。

1) 雪や雲は空の散乱光（青い光）もいっしょに反射しているために、太陽の直接像よりは青く見えている。

2) 人間が勝手にキャリブレーションしている（つまり、どこかに色のゼロ点を置かねばならないので、雪や雲をゼロ点としている）。

2)の可能性は、「そんなのは結局太陽光をゼロ点としているのと何が違うんだ」と言われればそれまでです。というか、なんでわざわざ雪や雲をゼロ点とするのかに必然性がないような気がします。

で、思いついたんですが、晴れた日の雪や雲のスペクトルはどうなってるんですかね？ 太陽と同一なんでしょうか？ 違うんでしょうか？

[tenkyo:04506] 尾久土

> 1) 雪や雲は空の散乱光（青い光）もいっしょに反射しているために、太陽の直接像よりは青く見えている。

色温度というキーワードで調べてみると、太陽光が白く見えるのは、空の青さが混ざっているせいだと書かれているものがありますね。

自信がないのですが、昔、NDで太陽を見たときに、黄色いなあと思ったことがあります。しかし、アルミ蒸着のソーラーフィルターで見ると白く見えます。もちろん、どっちが本当のNDになっているのか調べてみないとわかりませんが。

[福江]

3月号掲載の原稿に詳しく書いていますが、地上近傍での太陽光の希釈率は約10万分の

1 です。雪や雲は、だいたい同じくらいの光量になっているはずです。一方、青空は、この希釈された太陽光をさらに希薄な大気が散乱しているので、光量的にはもっと落ちそうな気がします。ああ、でも夕焼けの雲は赤いか。う〜ん。

…先の図 6 をみると、日中の青空は太陽面の約 100 万分の 1 なので、やや落ちている程度のようにです。

…また雪や雲の反射率は図 1 と図 2 に示したとおりで、これの太陽のスペクトルを掛ければ、雪や雲のスペクトルになります。実際のスペクトルは、Web や手元の惑星気象学のテキストを調べたのですが、すぐには見つかりませんでした。

■物理的性質再論

[tenkyo:04507] 松村@香川大

> 晴れた日の雪や雲のスペクトルはどうなってるんですかね？

雲や雪を構成する水や氷の屈折率は、可視域では、ほとんど波長に依存しなかったと思います。ということなら、散乱特性は波長に依存しないはずで、雪や氷のスペクトルは、ほとんど太陽と同じ、と言えそうです…

[tenkyo:04511] 伊藤@三重大

> 晴れた日の雪や雲のスペクトルはどうなってるんですかね？

前の職場で、雪氷屋さんや雲屋さんから注文を受けて(?)、地球観測衛星のセンサを作っていました。可視・赤外の地球観測は、天文でいうところの狭帯域測光を行うのですが、限られた枠内でどの波長帯の観測をするかで喧々諤々がありました。

で、雪氷やさんによれば、雪氷の粒径によってアルベド（正確には二方向反射特性）が

変わり、その変動には波長依存性があるそうです。したがって、雪といっても粉雪とぼた雪では色が違うし、太陽高度によっても色が違って見えることになります。彼らは軌道上からそれを検出しようとしているわけです。その変化が肉眼で判別できるかはわかりませんが。

[福江]

水の吸収係数も氷の吸収係数も Web にはいろいろあります。といいつつ、氷はなかなか見つからないですが、水は、

<http://blog.goo.ne.jp/tetsu7191/e/563667f646088e3651faef07f6abf39e>

http://fgmdb.kakuda.jaxa.jp/S_APPL_HTML/6-1-2.html

などにありました。

1 回散乱ではほとんど影響ないと思います。…関連するものとして、地球観測衛星 GOME が測定した太陽スペクトルと地球光のスペクトルを図 7 と図 8 に示します。

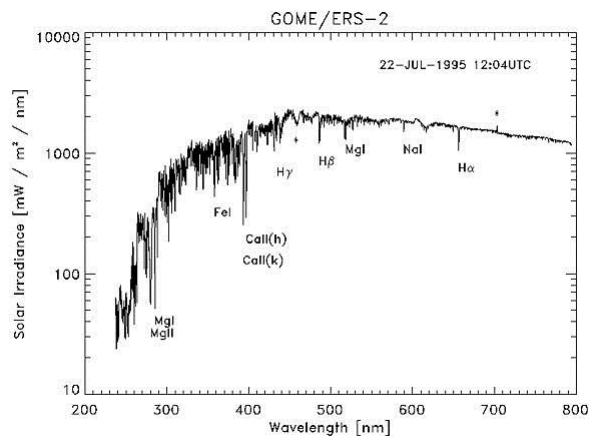


図 7 地球観測衛星 GOME の測定した太陽スペクトル (<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/gomeinst.html>)

横軸は波長で縦軸はスペクトル強度。元素記号はフラウンフォーファー線。

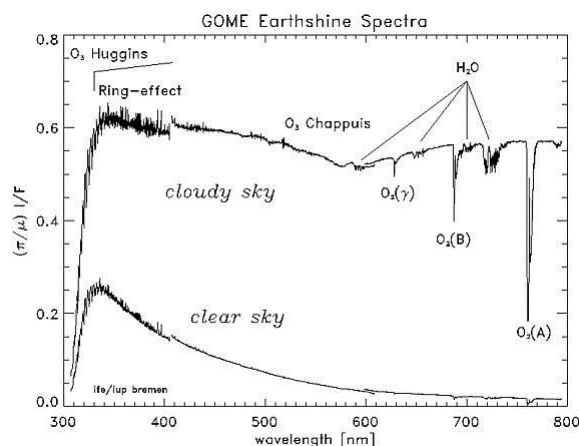


図 8 GOME の測定した地球光のスペクトル
(<http://www.iup.uni-bremen.de/gome/gomeinst.html>)

横軸は波長で縦軸は反射率（反射率は、実際のスペクトル強度 I を太陽スペクトル強度 F で割り、太陽高度のコサイン μ の補正をして定義してある）。Cloudy sky（雲量 100%）の反射率は、可視光では 0.6 から 0.5 ぐらいになっている。

[tenkyo:04514] 佐藤健

子供の頃、カンカン照りの太陽を我慢して直視したことがあります。真っ青に見えたと 60 数年後の今も強く印象に残っています。

「日食網膜症」のことを知った今では追試してみようという勇氣はありませんが…

なお、私の目に自覚できる障害は残りませんでした。幸運でした！

[福江]

以前に『天文教育』の記事でも書いたのですが、ぼくも薄雲を通して太陽を直視してみたことがあります。太陽本体は確実に白にみえました。ただし、太陽の縁付近は、環状に、黄色みを帯びて見えました。これが光輪のような物理的原因によるものか、視細胞が飽和するなどの生理的作用なのか、白黒でも色づいて見える回転円板（ベンハムのこま）のような心理的要因なのかはわかりません。

■認識論（禁断領域）

[tenkyo:04504] 宮脇@桜美林大学

禁断の領域に入ってきましたね。認識問題はむずかしい。

遺伝的な要素よりも色の認識は、民族の文化、環境などによって変わります。太陽高度、気象などいろいろな要因も影響するでしょうね。両親が日本人でも教育をアメリカで受ければ、日本で教育を受けた子どもとは認識が違うようです。色の認識は後天的なもので、生まれつき全盲の子が成熟して目が見えるようになったときに（形の識別とともに）色の識別ができないということを聞いたことがあります。

当然言語による違いも顕著で太陽光でも「赤」と「red」では色彩学的に感覚の波長が異なるので、「red」を「赤」に 1 対 1 に対応しないように「yellow」が「黄色」に対応しないでしょう。たぶん日本の科学の発展過程では専門家などが英語の「yellow」を「黄色」というように単純に翻訳して周りが納得しているのかもしれませんが。子どもも試験では学校や塾で教えられた「黄色」と書くことで自分の感じている（あるいは感じたこともない）色と使い分けているんでしょうね。

一方、高村光太郎は「緑色の太陽」でいろいろ述べているようです。欧米の幼児の絵には太陽が緑色で描かれることがあるそうです。グリーンフラッシュでも見ない限り緑色に見えそうにもありませんが、日本では黄色か赤でしょうね（大人が影響を与えているのかも）。これも教育と関連があり、認識や表現の違いなどによるのかもしれませんが。

ちなみに芸術教育では「緑色の太陽」の問題をいろいろな視点からアプローチしている人たちがいるようです。科学と芸術と対立しているような分野ではありますが、理科教育という観点からなら相互の意見を知る必要が

ありますね。

これも難しいので私は半分お手上げです。

思いついたまま書きましたが、私の中ではいろいろ書いてもまとまらないくらい複雑な問題だと思っています。

科学の文化を強要しても学習者は受容するとは限りませんので、授業ではどうしているかという科学ではこんな表現ですよと色という結果ではなく、(その)色の判断過程を説明するように心がけています(話がまどろっこしくなり、結論だけしか聞いていないので変わらないんですが)。

[福江]

手が出ません(笑)。

■ デジタル処理の問題

以上の物理・生理・心理・文化言語など以外に、デジタル処理の問題もある。

[tenkyo:04508] 浜根

ところで、恒星の色を表現した写真が欲しくて、25cm 反射にデジタル一眼レフカメラをつけて試験的に撮ったことも思い出しました。露出時間を長く(30 秒程度)して、像の中心ではなく周囲で色がわかるようにしてあります。(普通の「観測感覚」で"サチらない"ように撮ると、まったくもって"しょぼい"写真にしかありません。)

プロキオンもカペラもあったので並べて眺めてみました。ホワイトバランスその他を固定してあったはずなのでそのまま比較できると思って見てみると、プロキオンは「白」、カペラはほんの少し黄色が混ざってるかな?という印象でした。単独で見ても、「真っ白」とは言えないレベルです。

色指数では太陽は両者の中間なので、デジタル画像を基にすると「白」と言って構わな

いと思った次第です。

[tenkyo:04512] みやもと@さじ

デジタル一眼での撮影ですが、以下に一覧があります。

<http://www.saji.city.tottori.lg.jp/saji103/GALLERY/consta/consta-index.htm>

デジタル一眼ですので、色の再現の正確性は疑問ですが、相対的な違いはわかると思います。

[tenkyo:04513] 尾久土

この撮影のときのホワイトバランスはどうなっていたんでしょうか? 昼間の太陽光になっていたんでしょうかね。オートになると、何をしているかわかりませんからね。

昼間の太陽光にホワイトバランスを固定して撮影すれば、太陽に比べて黄色い、青いということがよくわかりますね。

[tenkyo:04515] 浜根

ホワイトバランスが気になりますが、色の違いは分かりますね。あと、これは飽和しないように撮ったのでしょうか?

[福江]

いまようやく見ました。興味深いです。星像は有限サイズですがデジタイズの様子はないからサチってるんでしょうね。

関連して。

星のスペクトルから RGB 値を計算するのは簡単で、会誌でも報告しましたが、洛東高校の SPP 授業などでも実施しています。ただし、スペクトル自体は正しいものだとしても、RGB にデジタル化した段階で、かなり丸められているので、肉眼で見る色とは完全には一致しなくなります。また RGB 表色系では純色を完全に再現できません。デジタル一眼の場合も同様な問題は残ります。

[tenkyo:04523] みやもと@さじ

ホワイトバランス、鋭いご指摘ありがとうございます。元画像を見られないので EXIF をちゃんと確認できてないのですが、撮影者の記憶では、特に設定を変えた覚えがないので、オートで撮影しているようですね。

恒星はすぐにサチるので、色の違いと明るさの違いを出そうとすると結構大変です。

[tenkyo:04524] 西浦@東京学芸大

観察ではなく、撮影画像の話も出てきましたので、今頃のこのこと出てきました。都の教員研修で配布する資料について、著作権でぐだぐだ言われないうに、自前で星の写真を撮ろうと時々頑張っていました。

http://astro.u-gakugei.ac.jp/~tenmon/images_j.html

の中頃に、少しだけですが、明るい恒星の画像を置きました。撮影時の各種設定などは、全く気にしていません。基本的には中心部分はサチっているはずですが。

また、Canon 20Da が出たときに、こんなことも試してみました。

<http://astro.u-gakugei.ac.jp/~nishiura/etc/02-pointsource.html>

<http://astro.u-gakugei.ac.jp/~nishiura/etc/03-starcolors.html>

参考にでもなれば幸いです。

[tenkyo:04516] 浜根

- > 1. 物理学的に電磁波のスペクトルがどう変わるのか
- > 2. 人間の肉眼として、それがどう認識されるのか
- > 3. その認識を言語としてどのように表現するのか

私が恒星の色を言い始めた時点では「2」あるいは「3」、特に「3」が関連していたはずですが。（「白」と言えば「白」だが・・・な

どの表現）

そうして、もとはふと太陽を見た人が「何色」に「見る」のだろうかという疑問があったわけで、ここでの「見る」が意味しているのは、生理的な知覚作用ではなく、心理的な知覚とその表現法（知覚心理学・認知心理学・文化人類学）の両者を含む「認識する」という心理的な活動だろうと思います。

したがって、「太陽や恒星の色の見え方」調査ということを考える場合には、ほとんど「3」に尽きるようにも思います。「恒星を見る」というインプットに対し、「色を言う」というアウトプットがどのように現れるのか、はたまた同一の恒星を見たとき、言語的な色表現のスペクトルがどのように現れるのか、に興味があり、物理的な「恒星の色」という「絶対座標」を設定することにはあまり興味が無い・・・というのが、少なくとも私の感覚です。（感覚的で申し訳ない・・・）

むしろ、興味関心を持つとすれば、「色を言う」ことにより色を指定された恒星が物理的にどのようなスペクトルの星なのか、という方でしょうか。

・・・

以上、ML でアナウンスしたとおり、2012 年 3 月 10 日（土）までの議論はできるだけ取り入れた。まだまだいろいろな議論や異論があると思うし、いろいろな切り分け方や見方も必要だ。いろいろな立場から、議論を深めていただければと思う。