

太陽スペクトルの教育利用

瀨根寿彦 (県立ぐんま天文台)

はじめに

太陽は日常生活に密着した存在であるとともに、学校教育における天文学習においては最も観察しやすい対象である。また、昼間に観察しやすい恒星であるために、公開天文台、科学館、博物館などの社会教育施設で太陽望遠鏡を備えているところが少なくない。そこでは、白色太陽像の直接投影やH α 像などのディスプレイ展示が来館者の目を楽しませている。また、スペクトル投影により鮮やかな虹色を見せている館もある (図1)。

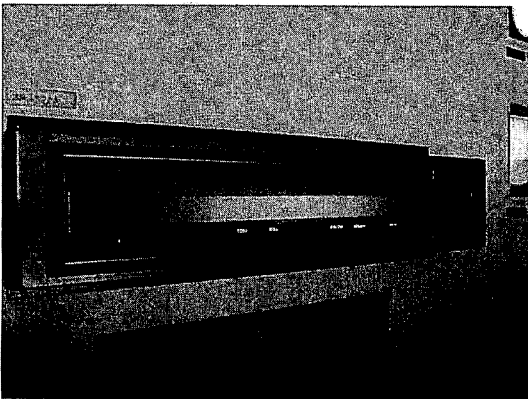
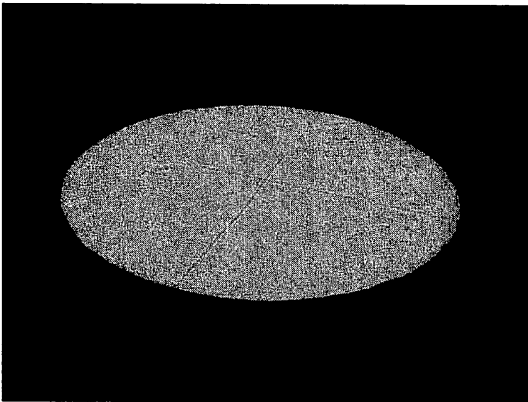


図1：ぐんま天文台における太陽展示。
直接投影像 (上)、スペクトル投影像 (下)

このような太陽展示はそれだけでも印象深いものであろうけれども、教育という観点から見れば、見せるだけではいかにももったいない。このことは特にスペクトル展示についていえる。なぜなら、太陽スペクトルによって如実に示される「分光」という光の分析手法は、現代天文学の代表的かつ重要な研究手法であるからである。

天文教育に限らず、広く教育という観点から見れば、手に入れることのできるほとんど唯一の天体の情報源である光を分析するこの分光という手法が、科学の方法を提示するに優れたものであることを本稿で示したい。

化学組成の推定

太陽スペクトル展示では紫から赤色まで鮮やかな虹色が示される他に、フラウンホーファー線として知られる吸収線が多数見られる (図2)。おおざっぱに言って、このような太陽スペクトル展示を使って伝えることができるものとして、化学組成の推定法、表面温度の推定法の2つが挙げられる。もちろん、他にもいろいろな情報 (運動速度場、磁場強度、振動周期など) が得られるが、この2つが理解できれば初歩的理解としては十分であろう。

上記2つの中で、最も分かりやすいのが化学組成の推定法であろう。基礎になるのは、原子や分子は光に関してそれぞれ特有の性質をもつということである。すなわち、原子や分子には光を吸収したり放出したりする性質があり、その種類によって吸収・放出する光の波長 (色) が決まっている、言い換えれば原子や分子は「光の指紋」をもつ、という実験事

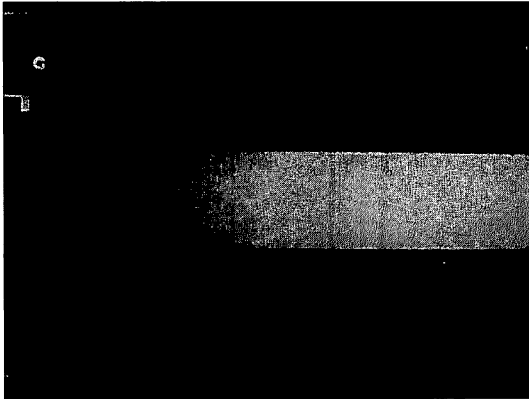


図2：フラウンホーファー線。(ぐんま天文台のスペクトル投影像をデジタルカメラで撮影)

実である(図3)。教育的には、この事実を用いてスペクトルから何がわかるかということを示せばよい。

言うまでもなく、フラウンホーファー線は、太陽大気中の原子・分子が示す吸収線であり、ここから丹念に「光の指紋」を取り出すことにより、太陽大気に含まれる原子・分子の種類が判明する。さらに、吸収線の濃度からそれぞれの存在度も判明する。よって、太陽大気の化学組成(種類と量)が分かるということになる。非常におおざっぱな説明ではあるが、このような推論法を示すことによ

り、科学的にものごとを考えるとということがどういうことかということ、身近な太陽という実例をもって示すことができるであろう。

実をいうと、上の推論には大切な仮定が暗黙のうちに含まれている。それは、地上実験で示された原子・分子の性質は太陽においても保たれているという仮定である。物理学においては、この仮定は全宇宙に対して適用されている。すなわち、地上で成り立つ物理法則は宇宙のどこでも成り立っている、したがって科学的に見れば地球は特別な存在ではないと考えるのが、現代科学の根底にある思想なのである。地上界と天上界とを分けて考えていた中世までとは全く異なる思想であることに注意されたい。

表面温度の推定

さて、次は表面温度の推定である。物体が発する連続スペクトルはその物体の温度のみによって決まり、温度が高いものほど光量の最も多い波長が短くなる(黒体輻射)。恒星の表面から発する連続スペクトルは、基本的にはその表面温度によって波長分布が決まると考えてよい。吸収線や輝線はその上に乗って

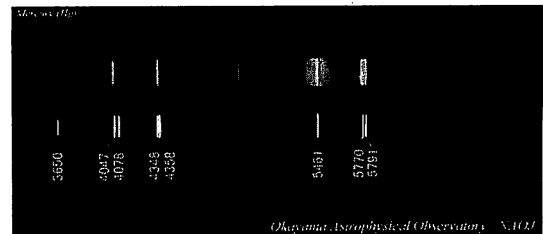
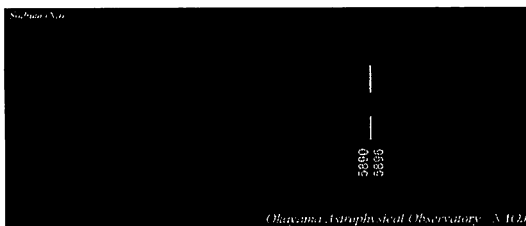
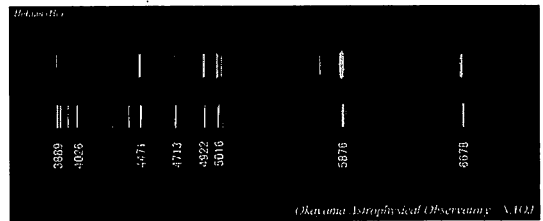
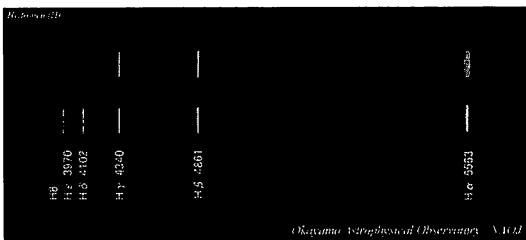


図3：いくつかの元素のスペクトル。(左上) 水素、(右上) ヘリウム、(左下) ナトリウム、(右下) 水銀。(宇宙スペクトル博物館より)

いるのである。

黒体輻射を仮定すると、スペクトルを観測して恒星の表面の温度が推定できることになる。太陽についてもこれが当てはまり、太陽スペクトルの分析から太陽の表面温度が分かることになる。その結果、太陽の表面温度はおおよそ5500℃とされている。実を言えば、「光の指紋」から精密に温度の推定ができるのであるが、これを高校までの教育の場で述べるとすれば高度な応用例として示すことになろう。

以上2つの例から、太陽大気の化学組成と表面温度がスペクトルの分析からわかるという科学の手法を太陽スペクトル展示を利用して示すことが、順序だてて説明すれば難しいことではないことがお分かりいただけるであろう。ミソは、理屈をこねるのではなく、実験でわかっている事実を示し、それをいかに応用するかを示す点にある。

大口径望遠鏡が必要な理由

分光の手法が適用できる天体は太陽に限らない。恒星にも使える。ただし、決定的な違いとして、利用できる光量の違いがある。恒星から届く光量は太陽のそれと比べれば圧倒的に少ない。これは、太陽ではその光を何万色にも分けられるが、恒星についてはそれが難しいことを意味する(図4)。色分けが少なければ、たとえば吸収線や輝線を見分けるのが困難になり、それだけ得られる情報が少なくなる。

この問題を解決するには、望遠鏡の口径を大きくして得られる光量を増やすか観測時間を長くするという2つの方法が考えられるが、後者は観測効率の観点から望ましい方法ではない。

多くの場合、望遠鏡の口径についてなされる説明は、口径が大きいほど一度にたくさんの光が集められるので暗い天体が見えるようになり、したがって宇宙の遠いところまで見

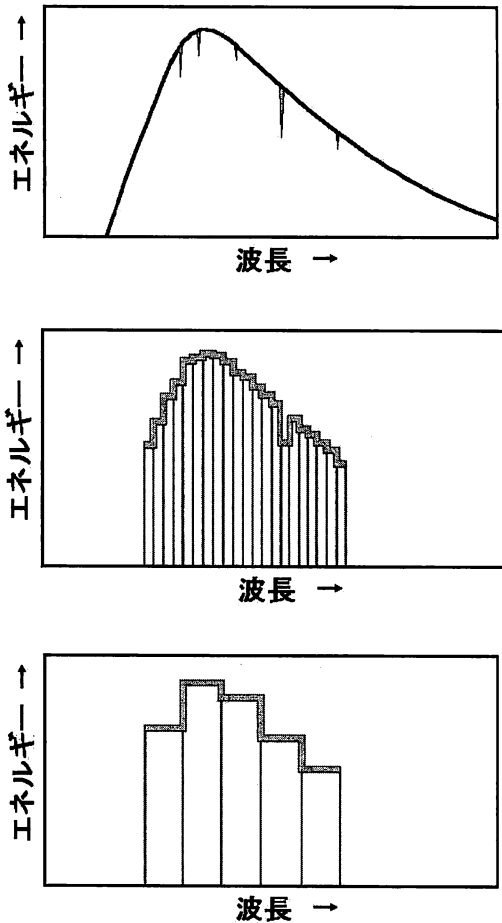


図4：光量によるスペクトルの細かさの違い。

(上) もとのスペクトル。

(中) 光量が多い場合：色分けを細かくし、吸収線・輝線などの見分けができる。また、特定の波長(色)を観測すれば観測領域(たとえば、恒星大気の高さの異なる部分)を絞り込むことができる。

(下) 光量が少ない場合：色分けが粗くなり、吸収線・輝線などの見分けができない。

ることができるというものである。もうひとつ付け加えて、大口径にすれば細かい部分まで見えるようになるという場合もあろう。遠いところまで見通すことができるということはそれ自体きわめて重要である。また、一般向けの説明として最もわかりやすいものであ

ろう。しかし、科学に関する教育効果を望むなら、最も大切なことは、光量が増えればより細かいスペクトルが得られ、天体の詳細な情報を手にすることができるということを伝えることである。スペクトルから何がわかるかを学んでいけば、学習者はこのことをすんなり理解できるはずである。

最後に、重要なことであるにもかかわらず、しばしば誤解されていることについて解説する。

恒星の絶対光度の推定法

スペクトル型によって恒星の表面温度が分かり、したがってその絶対光度が分かるので、見かけの明るさからその恒星までの距離が分かるという理解は、スペクトルによる恒星までの距離推定法の認識としては誤りである。なぜなら、表面温度が同じでも恒星の半径が異なれば絶対光度も異なるからである。このことはHR図においてたとえば晩期型星と赤色巨星を比べてみれば明らかであろう。

では、どのような手法を用いれば恒星の大きさを推定し絶対光度を定められるのであろうか。

O, B, A, …というスペクトル型分類はハーバード分類と呼ばれ、恒星の表面温度と対応づけられるものである。これとは別にMK分類という分類法が存在する。これは光度階級をスペクトルの線幅に基づいて6段階に分けたもので、物理的には恒星大気の密度に対応づけられるものである(表1)。たとえば、大気密度が小さいものは超巨星や巨星に当たり、大きいものは主系列星に対応する。

ハーバード分類と光度階級を組み合わせた分類法をスペクトル型の二次元分類という。ハーバード分類では同じグループに入る恒星でも、光度階級が異なれば絶対光度が異なる。表面温度だけでなく大気密度までわかれば、理論を用いて恒星半径が推定でき、したがって絶対光度がわかる。このように、恒星の絶対光度はこの二次元分類を用いて初めて推定できるのである。

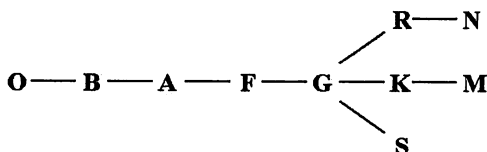
表1：ハーバード分類と光度階級（MK分類）

ハーバード分類

型	スペクトルの特徴
O	電離ヘリウム
B	中性ヘリウム
A	水素線最強、電離金属線が現れる
F	水素線が弱くなる。カルシウムHK線が強くなる
G	水素線は目立たず、HK線が強い
K	HK線が強く幅広い、様々な金属線が重なり合う
M	酸化チタンの暗帯が目立つ
R, N	炭素、シアンの暗帯が目立つ
S	酸化ジルコニウムの暗帯が目立つ

MK分類

光度階級	
I	超巨星
II	輝巨星
III	巨星
IV	準巨星
V	主系列星
VI	準矮星



分岐は化学組成の違いによる

おわりに

近年、スペクトルの教育利用を図る動きが活発になってきている。これまで見てきたように、スペクトルの解析には物理的な思考が必要であり、また科学的世界観が暗黙のうちに入っていることから、天文教育のみならず科学教育の観点からも、この動きは歓迎されるものである。

太陽は光量が豊富であり、手作りのスリットとプリズムや回折格子（CD や LD の断片でも良い）を用いて容易に美しく分光できる。学習者の目の前で太陽光を分光して、太陽の白色光は無数の波長（色）の光が混合したものであることを示し、その混ざり具合を調べれば様々なことがわかるということを伝えるのは、さして難しいことではないであろう。より詳細な観察をしたければ、公開天文台や科学館などの施設に出かけてそれを行うことができる。

分光は天文学のみならず物質科学においても重要な分析手法である。自然認識を深める生きた教材としてだけでなく、学習者に分光そのものの重要性を認識させる教材としても、自然の光、太陽スペクトルを活用しない手はない。

拙文が今後のスペクトルの教育利用を考える上で参考になれば幸いである。

謝辞

初稿を清水実氏（ぐんま天文台）にチェックしていただいた。ここに謝意を表したい。

参考文献

- [1] 栗野諭美、定金晃三、他 「宇宙スペクトル博物館」 CD-ROM
- [2] 国立天文台編纂 理科年表 平成 11 年