

## 連載

## 天体色彩学入門【4】

## 色彩学を用いたサイエンスデザイン その4

## ～輝線星雲の色～

芝田 たける・福江 純（大阪教育大学大学院）

## 1. スペクトルの色

本連載で、第1回（『天文教育』2008年1月号）は色彩科学の基本的なところからsRGB規格やxy色度図について説明した[1]。第2回（同2008年3月号）は天体を1点としてみたときの色について調べた結果を紹介し、黒体放射や実際の星のスペクトルを用いたxy値およびRGB値などを示した[2]。そして、第3回（同2008年5月号）は拡がりをもった天体の色について、周縁減光効果なども含め解析した結果を紹介した[3]。これまでは主として連続スペクトルをもった天体について調べたものだったが、今回は輝線スペクトルをもった天体の代表として、輝線星雲の画像を着色する方法について紹介したい。

まず、輝線星雲の画像を着色する方法を紹介する前に注意すべき点がある。それは第1回の5章でも触れたことだが、スペクトルの純色はsRGB規格では完全には再現できないということである（図1）。すなわち、図1からわかるように、sRGBで表現できる色はxy色度図の一部であって、xy色度図で釣鐘状の外周部分をとっているスペクトル軌跡は含まれていない。そして、青色（左下）や赤色（右端）はスペクトル軌跡近傍まで表現できるが、緑色（上部）はsRGB領域から大きく外れている。そのため、520nm/緑色近辺の純色では再現性はより悪くなるだろう。

機器によってはsRGB領域よりも広い再現域をもち、スペクトルの色も再現できるものもあると聞く。しかし、パソコンなど情報機器で共通して再現できる規格として定められているのは、今のところsRGB規格である。

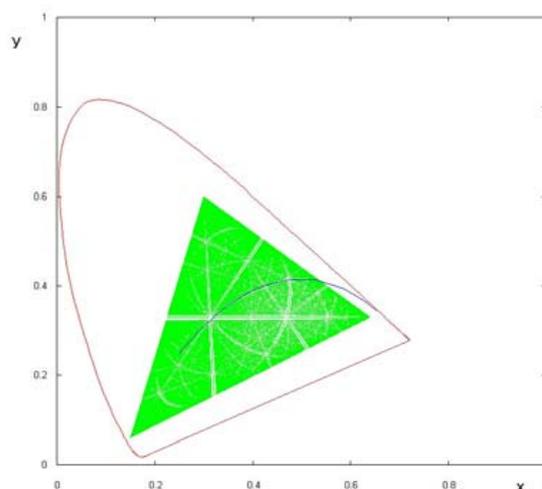


図1 xy色度図（釣鐘状の領域）とsRGB領域（三角形の領域）

将来的にはsRGB規格より広い再現域をもつ規格が共通規格として定められ、スペクトルの色がどのパソコンでも再現できるようになるかもしれない。

当面、現在の段階では、sRGB規格を用いてスペクトルの色を近似的に再現することを考えたい。スペクトルの本当の色は再現することができないが、輝線星雲の色を考えるとときにはどうしてもスペクトルの色を外すわけにはいかない。そこで今回は、スペクトルの色をsRGB規格で近似したRGB値を算出した。計算結果の一部を表1および図2に示す。

可視光域が380～780nmなのに対し、sRGB規格で表現できる波長域は、計算によると465～740nmとなった。また、輝線星雲のスペクトルにおける主な輝線Hβ線（486nm）、[OIII]線（501nm）、Hα線（656nm）のxy値とRGB値は、表2のようになった。

表 1 波長ごとの純色の RGB 値

波長 (nm)	RGB値
465	(0,85,255)
468~510	(0,255,255)
530	(0,255,217)
550	(0,255,0)
570	(250,255,0)
590	(255,125,0)
620~740	(255,0,0)



図 2 sRGB 領域で表現できるスペクトル

表 2 輝線星雲で観測される主な輝線の xy 値と RGB 値

$\lambda$ (nm)	x	y	R	G	B
501	0.0063	0.5631	0	255	255
486	0.0640	0.2175	0	255	255
656	0.7287	0.2713	255	0	0

また、輝線それぞれの xy 値を xy 色度図に示すと図 3 のようになる。

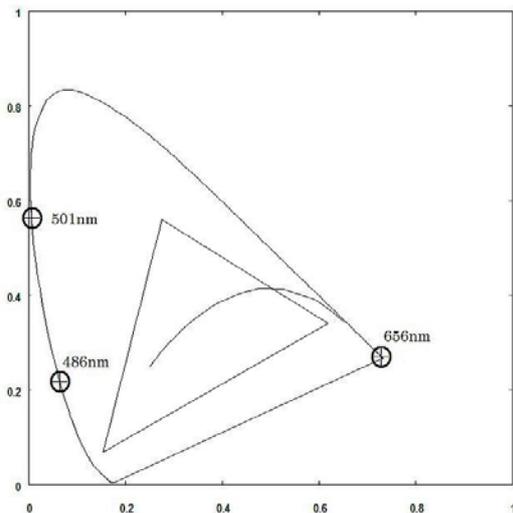


図 3 xy 色度図上における輝線星雲で観測される主な輝線の位置

## 2. 輝線星雲の画像作成方法

スペクトル（純色）の RGB 値がわかったところで、いよいよ天体色彩学に則った輝線天体の“真性カラー画像”の作成方法を紹介します。今回は輝線星雲の代表ともいえる、こと座のリング星雲 M57 を例に話を進めていく。M57 は学校の教科書にもよく紹介されている（3 節参照）。そのとき最も使われている画像は、やはりハッブル宇宙望遠鏡（HST）が撮像した画像である（図 4）。

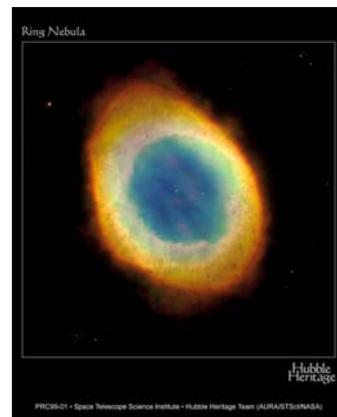


図 4 HST が撮像した M57

HST のホームページには、M57 の着色画像は、[N II] の波長 658nm を (255,0,0)、[O III] の波長 500nm を (0,255,0)、[He II] の波長 469nm を (0,0,255) として画像を作成したと紹介している。もちろんこれも、第 1 回の冒頭で紹介したキャッツアイ星雲と同じように、星雲の構造をわかりやすく、そして美しく表現するために、実際の色とは違う着色がなされている。

まず、撮る星雲（M57）のスペクトルデータを手にした（図 5）。そして、スペクトルの中で、よく目立ち、見え方に強く影響する輝線をいくつか選択し、その輝線を波長域とする狭帯域フェイルターで天体を撮像する。M57 の場合は、図 5 からわかるように、500nm (OIII) と 656nm (H $\alpha$ ) 付近にピークがあるので、OIII 線フィルターと H $\alpha$  線フィルターで撮像を行った（図 6）。

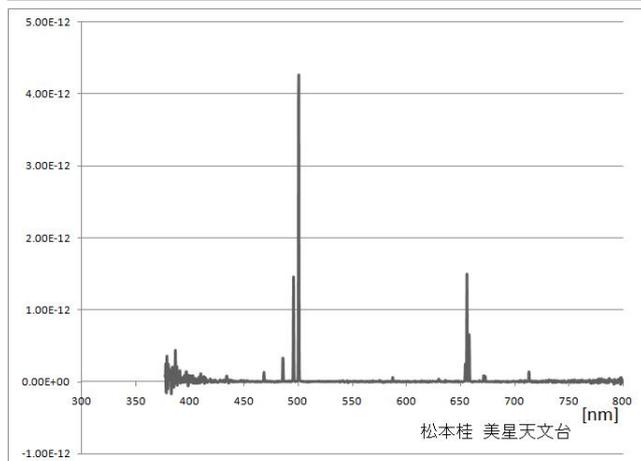


図5 M57のスペクトルデータ（美星天文台の101cm望遠鏡で取得。2008年4月11日。観測者：松本 桂、綾仁一哉）

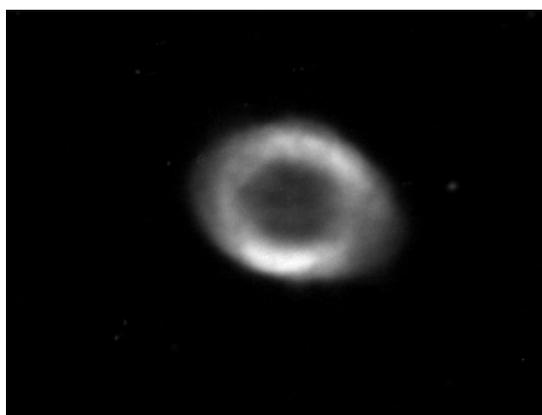


図6 OIIIフィルターで撮像したM57のイメージ（大阪教育大学天文台の51cm望遠鏡で取得。2008年9月20日。観測者：松本 桂）

それぞれのフィルターで撮像した画像はグレースケールなので、続いて着色する色と強度を決める。まず、500nmのRGB値は(0,255,255)、656nmのRGB値は(255,0,0)であるが、図5より500nmと656nmの波長では、強度がおおよそ2:1であることがわかる。したがって500nmはRGB値(0,255,255)、656nmはRGB値(125,0,0)で着色した。着色する際にはAdobe Photoshopを使用し、それぞれの画像のレイヤーを作成し「乗算」という方法で着色した。この方法で着色すると下の画像の色情報に上のレイヤーの色が掛け合わさって暗くなる。H $\alpha$ フィルター画像に

(125,0,0)を乗算で着色すると、

最も白い部分(255,255,255)  $\rightarrow$  (125,0,0)

最も黒い部分(0,0,0)  $\rightarrow$  (0,0,0)

となった(図7)。また、OIIIフィルター画像にも同様に(0,255,255)着色をした(図8)。

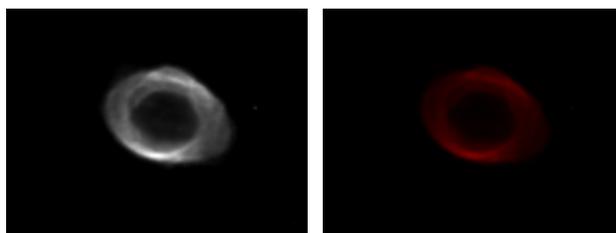


図7 H $\alpha$ フィルターで撮像した画像を「乗算」で着色したもの

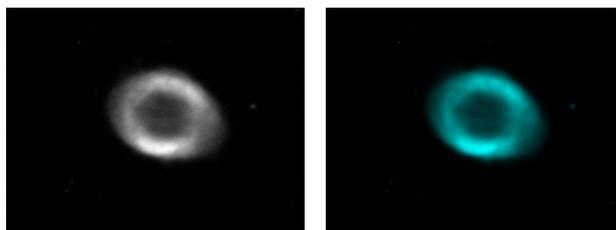


図8 OIIIフィルターで撮像した画像を「乗算」で着色したもの

そして最後に、星雲のそばに写っている星を頼りにそれぞれの画像を重ね合わせ合成する。その時もAdobe Photoshopを使用し、レイヤーで「覆い焼き(リニア)」という方法で合成する。覆い焼き(リニア)とはカラー情

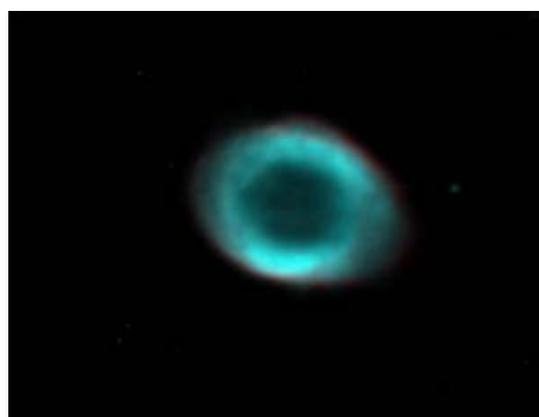


図9 天体色彩学でサイエンスデザインされたM57画像

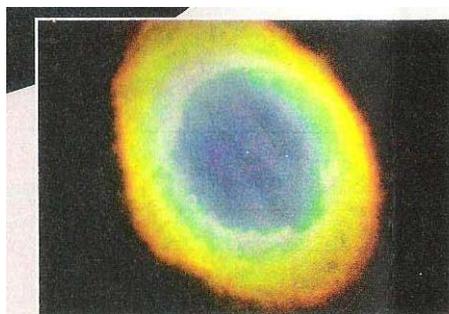
報に基づき、基本色（下画像の色）を明るくして明るさを増し、合成色（上の画像の色）を反映する方法である。今回は  $H\alpha$  フィルター画像に OIII フィルター画像を覆い焼き（リニア）で合成した。作成した M57 の画像は図 9 のようになる。

実際に M57 を望遠鏡でのぞいたときに見える色合いと似た天体の姿になったのではないだろうか。

### 3. 学校教育で使われている天体画像

現行の学習指導要領では、恒星以外の天体について詳しく学習するのは中学校の第 2 分野からである。ただし現行では太陽系外の天体については学習しないのが普通で、星雲や銀河については補足・発展として掲載されている場合が多い。そこではどのようなカラー画像が使われているのか、5 社（東京書籍株式会社、大日本図書株式会社、学校図書株式会社、教育出版株式会社、新興出版社啓林館）の教科書を調べてみた。

まず、本稿前半で画像作成した M57 について各教科書を調べた。すると啓林館と東京書籍の 2 社が M57 のカラー画像を掲載していた。啓林館のカラー画像（図 10）はおそらく図 4 の HST の画像と同一のものと思われる。図 10 は、画像の下に簡単な天体の説明



こと座のリング星雲(約2600光年)  
中心付近の星が放出したガスが、球状に広がっている。

図 10 啓林館教科書に掲載された M57 の画像とその説明

が書いてあるのだが、天体画像の色についての記述はまったくない。

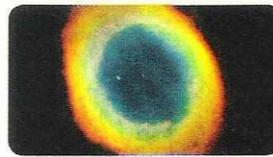
東京書籍の教科書にも発展として「恒星の一生」という枠があり、そこで M57 の画像が掲載されている（図 11）。おそらくこれも図 4 の HST の画像と同一のものと考えられる。これも星雲の簡単な説明は書いてあるが、画像の色についての記述は書かれていない。



わし星雲(へび座) このような冷たいガスの巨大な雲の中で、恒星が生まれる。



オリオン大星雲 うまれたばかりの恒星の集団がふくまれている。



リング星雲(こと座) 恒星が、外周部のガスを宇宙空間に放出したようす。



かに星雲(おうし座) 恒星が寿命を終え、超新星爆発を起こしてふき飛んでいくようす。

図 11 東京書籍教科書に掲載された M57 など星雲の画像とその説明

また、以前に太陽の色について紹介したが、現行の教科書に掲載されている太陽の画像についても調べてみた。5 社のうち 4 社が太陽画像として「ようこう」が撮像した X 線画像や可視光で撮像した画像を載せている。例として、東京書籍の中学校教科書の太陽画像について取り上げると（図 12）、これらは三つの波長域で撮像されたと書いてあるが、どのように着色したかは書かれていない。

それぞれの画像について詳細に説明すると、左図は可視光で太陽を撮像したと書いてあるが、可視光で減光フィルターを使用して太陽を撮像すると普通は白っぽく見える。しかしこの図は、可視光で撮像した白黒の画像に橙で着色してあるようだ。次に、中央の紫外線で撮像したという画像だが、紫外線域は人間



図 12 東京書籍教科書に掲載された太陽の画像とその説明

には見えないので着色は本来不可能である。しかしこの画像は、紫外線の強度に合わせて橙で着色してある。最後に、右図は水素の輝線で撮像した画像だが、水素輝線 ( $H\alpha$  波長 655nm) は波長の色として人間には赤色に見えるので、この画像は本来赤っぽくなるはずである。しかし、これも橙で着色されている。こうした太陽画像の着色の傾向は、文部科学省認可の教科書 5 種類すべてにいえることである。

こういった天体画像が多く載せられているのは、教科書会社が天文分野におけるサイエンスデザインを意識していないからといえるだろう。しかし、同じ教科書でも生物分野で扱われる細胞の顕微鏡写真には、必ず本文もしくは図の説明に染色した画像であることが説明されている。おそらく生物分野では、サイエンスデザインに基づき、本来の色とは異なった着色画像を用いる場合、どのような着色をしたのかということをきちんと説明することが当たり前となっているようである。

#### 4. まとめ

今回は天体色彩学を用いたサイエンスデザインに基づいて、星雲の画像を作成する方法と、それに関連して、現行の中学校教科書では星雲がどのように扱われているかを紹介した。平成 20 年に公表された新学習指導要領において、第 2 分野の天文分野では太陽系より外の天体现象についても取り扱うことが明記

された。このことにより、今まで以上にカラー天体画像が多く教科書に登場することとなるだろう。しかしそれらの画像を利用するには、画像の「色」について注意しなければならないということを、教材を使う側はよく理解しておいて欲しいと考える。

#### 謝辞

大阪教育大学の松本 桂さんには、美星天文台や大阪教育大学天文台で M57 のスペクトルデータや撮像をしていただいたこと、また島田岳朗くんには画像処理をしていただいたことをこの場を借りて感謝します。

#### 参考文献

- [1] 芝田たける・福江 純, 2008, 天文教育, 20, No 1, 25
- [2] 芝田たける・福江 純, 2008, 天文教育, 20, No 2, 15
- [3] 芝田たける・福江 純, 2008, 天文教育, 20, No 3, 38
- [4] 日本規格協会、2006、『JIS ハンドブック 2006 61 色彩』、日本規格協会
- [5] The International Color Consortium 2007 年 10 月 1 日 <http://www.color.org/>
- [6] 新興出版社啓林館 中学校理科教科書『未来へひろがるサイエンス』
- [7] 東京書籍株式会社 中学校理科教科書『新しい科学』

芝田 たける (大阪教育大学)

tssdcolor2006@gmail.com

福江 純 (大阪教育大学)

fukue@cc.osaka-kyoiku.ac.jp

編集部註：カラー画像を掲載した原稿を『天文教育』の Web サイトに掲載してあります。

<http://tenkyo.net/kaiho/kaiho96.html>