

投稿

アクロマート屈折望遠鏡を超色消しにする方法

～中学・高校の天文部を惑星観測へいざなおう!!～

竹内彰継、山脇貴士（米子工業高等専門学校）

1. はじめに

屈折望遠鏡は反射望遠鏡に対して、①コントラストの高い画像が得られる、②筒内気流が発生しないのでふたを開けてすぐに観測できる、③光軸がずれにくく初心者向けである、などの利点を持つ。しかし、色収差が発生するという弱点がある。そのため、『超色消しレンズ』が開発されているが、口径が 15cm ともなると極めて高価となり、とても手が届かない望遠鏡となっている。

ところで、人間の目は青い光を感じにくいいため、一般にアクロマートレンズは色収差を青側に寄せた設計となっている[1]。一方、火星、木星、土星は青側の光が相対的に弱い。このことから、アクロマート屈折望遠鏡でも赤、緑、青のフィルターで別々に惑星を撮像し、それらを PC 上で RGB 合成すれば超色消し画像が得られると考えられる。

そこで、口径 15cm、焦点距離 120cm の安価なアクロマート屈折望遠鏡で木星を撮像し、上述の方法を試してみた。すると、口径 25cm のシュミットカセグレン望遠鏡にも匹敵する超色消し画像が得られた。さらに、口径わずか 8cm、焦点距離 91cm のアクロマート屈折望遠鏡でも、口径 30cm の反射望遠鏡を用いた熟練眼視観測者のスケッチと同等の木星画像が得られた。

現在、小口径アクロマート屈折望遠鏡は非常に安価に販売されており、天体観測の入門機となっている。本稿では、アクロマート屈折望遠鏡で超色消し惑星画像を得る方法について解説し、その天文教育への応用について考える。

2. アクロマートを超色消しにする方法

2.1 アクロマートを超色消しにする原理

図 1 に口径 15cm、焦点距離 120cm のアクロマートレンズの色収差・球面収差図を示す[2]。人間の目は青い光を感じにくいいため、一般にアクロマートレンズは色収差を青側に寄せた設計となっている。具体的には、図 1 のように C 線と F 線での焦点を一致させ、d 線で球面収差とコマ収差を補正している。そのため g 線の焦点位置が大きくずれ、早期型星を見ると強烈な青ハロが発生する。

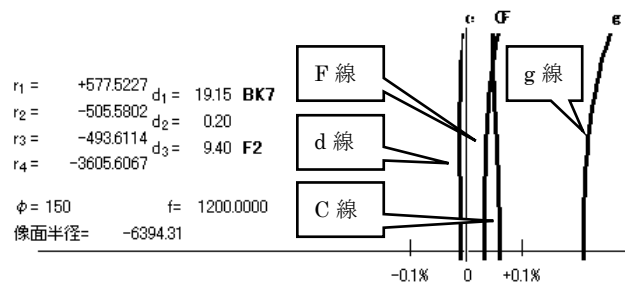


図 1 口径 15 cm、焦点距離 120cm のアクロマート屈折望遠鏡の色収差・球面収差図

一方、火星、木星、土星は青側の光が相対的に弱い。したがって、青側の色収差の影響も相対的に弱くなるので、アクロマートレンズでも赤 (R)、緑 (G)、青 (B) のフィルターを装着し、別々にベストフォーカスで惑星を撮像して、それらを PC 上で RGB 合成すれば超色消し画像が得られると考えられる。

2.2 超色消しにするための RGB 撮像

実験では口径 15cm、焦点距離 120cm のアクロマート屈折望遠鏡を用いて木星の撮像を行った (図 2)。最近このクラスの望遠鏡は非常に安価に販売されている。しかし、青側の

色収差が強烈にあらわれるため、撮像ではなく、主に天体観望会で一般の方々に星を見ていただく目的で使われている。

ところで、木星を撮像するには、焦点距離 120cm では短すぎるので、タカハシのバーローレンズで焦点距離を 2 倍にのばした。また、撮像では、Astronomik 社の RGB フィルターを装着し、RGB 画像を別々にベストフォーカスで撮像した。

このとき、Astronomik 社の B フィルターは透過波長帯が比較的広いので (図 3)、B 画像の撮像ではさらに Baader 社の UHC-S フィルターを重ね (図 4)、4500 Å 以下の波長をカットし、青側の色収差の低減に努めた。



図 2 実験に用いた口径 15cm、焦点距離 120cm の安価なアクロマート屈折望遠鏡

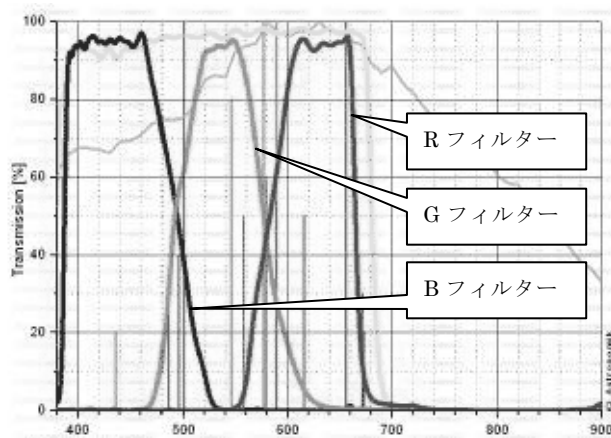


図 3 Astronomik 社の RGB フィルターの分光透過率[3]

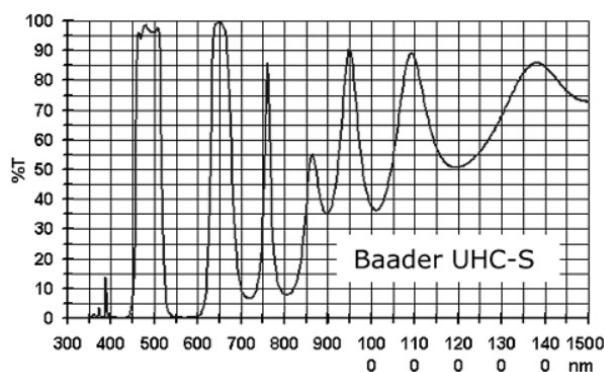


図 4 Baader 社の UHC-S フィルターの分光透過率[4]

2.3 超色消しにするための画像処理

木星の撮像には ZWO 社の CMOS カメラ ASI120MM を使い、露光時間は 0.03 秒、フレーム転送レートは 30fps で、RGB 各 3 分間撮像し、AVI ファイルとして保存した。

次に、動画ファイルをスタックして 1 枚の画像にするソフト『AutoStakkert2』で画像をスタックした。AutoStakkert2 には画像の良否を判定する機能があり、今回は良像 30% のみを使用した (図 5)。なお、スタックされた画像は Tiff ファイルとして保存した。

続いて、画像にウェーブレット処理を行い惑星面などの淡い模様を強調するソフト『RegiStax』で、スタックされた画像にウェーブレット処理を施した。このとき、ウェーブレットフィルターは、RG 画像では Gaussian を、B 画像では Default を選択した。ウェーブレットフィルターとして Gaussian を選ぶと写真的な自然な仕上がりとなるが、Default を選ぶと濃淡をやや強調した仕上がりとなる。実は、色収差のため、B 画像は RG 画像と比較してピントが甘くなっている。そこで、B 画像では Default を選び、画像の濃淡をやや強調することで色収差の影響をさらに少なくした (図 6)。

ところで、今回の撮像では RGB の各画像を得るのに約 10 分もの時間をかけた。木星は自転が速いため、撮像に 10 分も時間をか

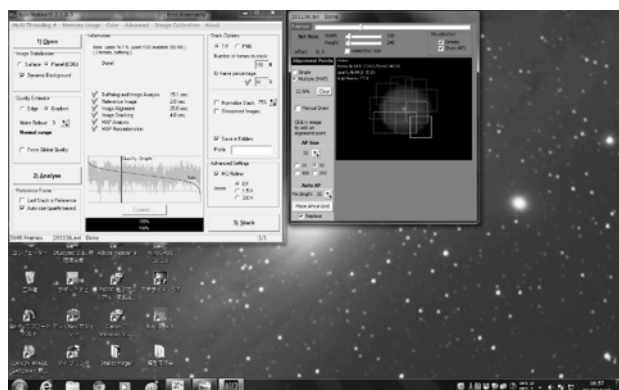


図5 AutoStakkert2で、撮像された画像のうち良像30%だけをスタックした。

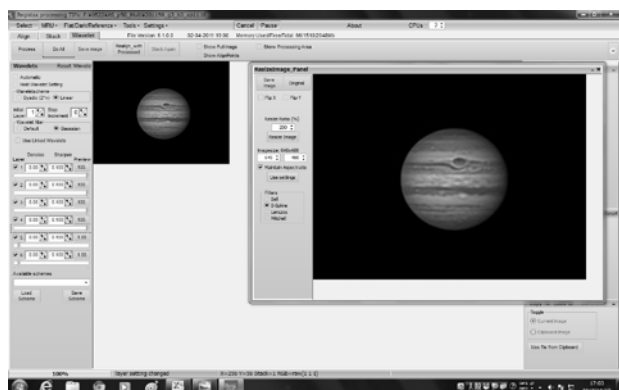


図6 RegiStaxで、スタックしたRGB画像にウェーブレット処理を行った。

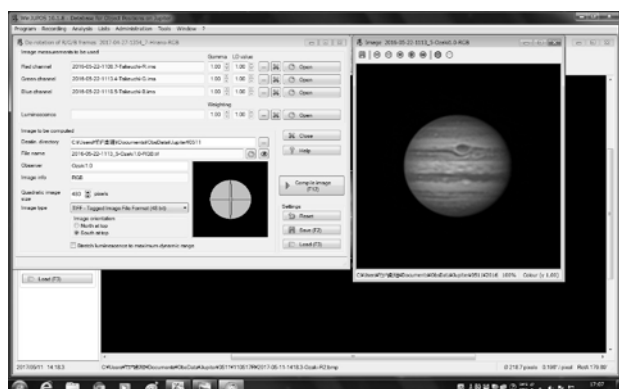


図7 RGB各画像は撮像時間が違うので、WinJUPOSでその間の木星の自転を補正（デローテーション）してRGB合成を行った。

けていると模様が結構移動してしまう。そこで、惑星画像を高度に処理するソフト『WinJUPOS』で自転補正（デローテーション）を行い、木星のRGB各画像の中央経度をそろえてからRGB合成を行った（図7）。



図8 比較のためにカラーCCDカメラで撮像した木星画像。強烈な色収差によりぼやけた画像となっている。

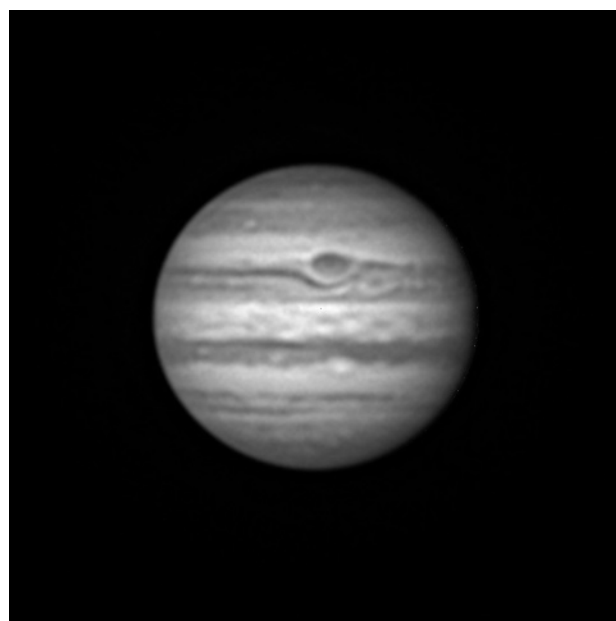


図9 本稿の方法で超色消しにした木星画像。ほとんど色収差を感じないシャープな画像となっている。

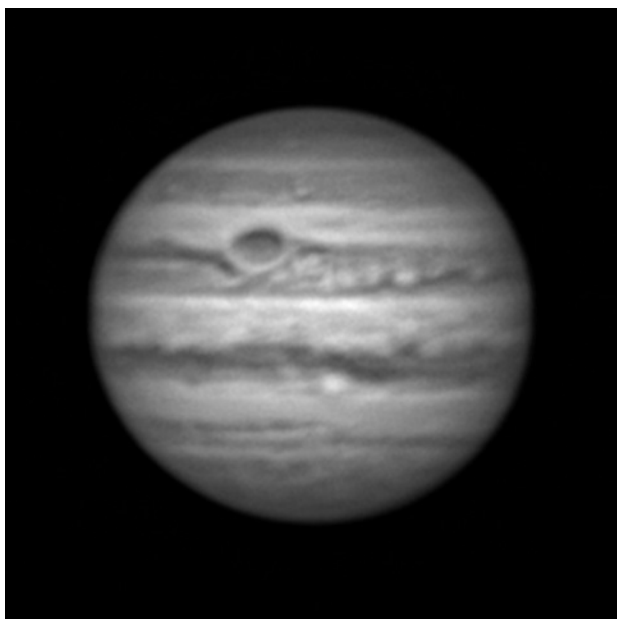


図 10 比較のため 25cm シュミットカセグレン望遠鏡で撮像した木星画像。

2.4 超色消しにする方法で得られた画像

以下、本稿で解説したアクロマート屈折望遠鏡を超色消しにする方法で得られた木星画像の評価を行う。

まず、図 8 に本実験で用いた口径 15cm、焦点距離 120cm のアクロマート屈折望遠鏡にカラー CCD カメラを装着して撮像した木星画像を示す。予想通り、強烈な青ハロが発生して、非常にぼやけた画像となっている。

図 9 は本稿の方法で超色消しにした、図 8 とほぼ同時刻の木星画像である。図 8 と比較して、ほとんど色収差を感じないシャープな画像となっており、予想通り「超色消し画像」が得られていることがわかる。

また、図 10 は口径 25cm のシュミットカセグレン望遠鏡で撮像した木星画像である。図 9 と図 10 の比較から、本稿の方法で得られた木星画像は、屈折望遠鏡の高コントラストもあって、より大口径の 25cm のシュミットカセグレン望遠鏡にも劣らない画像となっていることがわかる。

ところで、最近の木星観測者は地球大気による色分散を補正するため、望遠鏡の焦点前面に薄いウェッジプリズムを入れて撮像している[5]。しかし、本稿の方法では RGB 画像を別々に撮像し、後で RGB 合成するため、地球大気による色分散は自動的に補正されており、そのような煩雑な処理を行う必要はない。

以上のことから、本稿の方法は、アクロマート屈折望遠鏡でも超色消し惑星画像が得られる非常に有効な手段であるといえる。現在、小口径アクロマート屈折望遠鏡は非常に安価に販売されており、天体観測の入門機となっている。そのため、本稿の方法を用いれば、中学、高校の天文クラブでも惑星の撮像観測が容易に行えるようになると思われる。

3. 超色消し惑星画像の天文教育への応用

本稿の方法を用いると、アクロマート屈折望遠鏡でも超色消し惑星画像が得られることがわかった。しかし、実験を行ったのは口径 15cm の大口径のアクロマート望遠鏡であり、どちらかという特殊な望遠鏡であった。

一方、天体観測の入門機となっているのは小口径アクロマート屈折望遠鏡である。そこで、口径 8cm、焦点距離 91cm の小口径アクロマート望遠鏡ではどの程度の惑星画像が得られるか調べてみた。

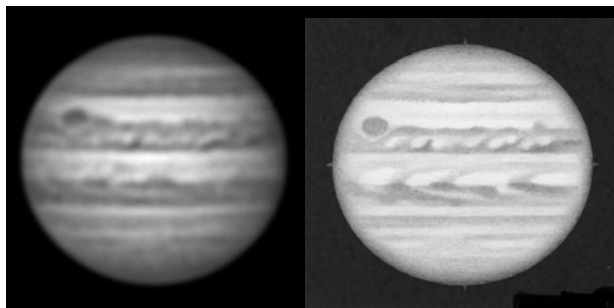


図 11 左は口径 8cm のアクロマート望遠鏡で得た木星画像、右はほぼ同時刻に口径 30cm の反射望遠鏡で熟練眼視観測者が描いた木星スケッチである。

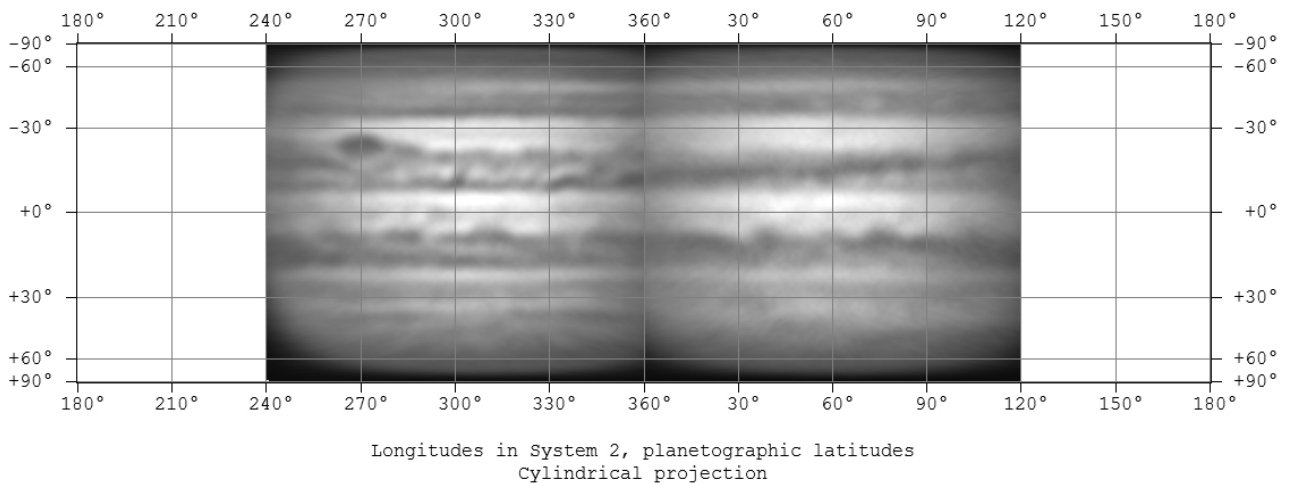


図 12 図 11(左)の画像に裏側の画像も加え、WinJUPOS で展開図にしたもの。

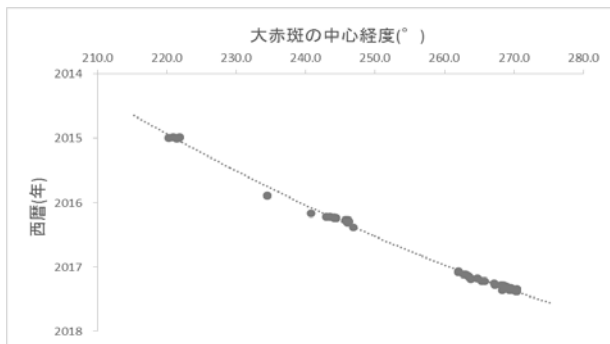


図 13 木星の大赤斑の中心経度の時間変化。小口径アクロマート望遠鏡でも大赤斑の経度の加速度的増加がとらえられている。

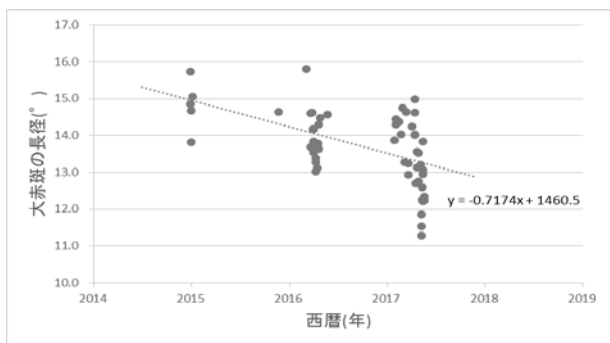


図 14 木星の大赤斑の長径の時間変化。誤差は大きいですが、小口径アクロマート望遠鏡でも大赤斑の縮小がとらえられている。

図 11 (左) は口径 8cm のアクロマート望遠鏡で撮像し、本稿の方法で超色消しにした木星画像である。一方、図 11 (右) は、ほぼ同時刻に、口径 30cm の反射望遠鏡を用いて熟練眼視観測者が描いたスケッチである[6]。明らかに、両者の精細さはほぼ同等である。ここまでの画質が得られれば、木星面の変化も容易にとらえられる。

図 12 は、図 11 (左) の画像に裏側の画像も加え、WinJUPOS で展開図にしたものである。このような展開図で木星の模様を経緯度を読み取れば、そのドリフトチャートを作成することができる。

図 13, 14 はその一例で、前者は木星の大赤斑の中心経度の、後者は大赤斑の長径の経年変化である。近年木星の大赤斑は縮小傾向にあり、さらにその木星面上での経度は加速度的に増加しつつあるが[7]、本稿の方法を用いれば、わずか 8cm のアクロマート望遠鏡でもその様子をとらえることができる。

以上のことから、本稿の方法を用いれば、天体観測の入門機である小口径アクロマート望遠鏡でも、木星の模様の変化の追跡が十分可能であることが示された。したがって、この方法は中学、高校の天文クラブに惑星の撮像観測への道を開く強力な手段になると考えられる。

4. まとめ

屈折望遠鏡は反射望遠鏡に対して、コントラストの高い画像が得られる、筒内気流が発生しないのでふたを開けてすぐに観測できるなどの利点を持つが、色収差が発生するという弱点がある。しかし、アクロマート屈折望遠鏡でも赤、緑、青のフィルターで別々に惑星を撮像し、それらを PC 上で RGB 合成すれば超色消し画像が得られると考えられる。

そこで、口径 15cm、焦点距離 120cm の安価なアクロマート望遠鏡で木星を撮像し、上述の方法を試してみた。すると、口径 25cm のシュミットカセグレン望遠鏡にも匹敵する超色消し画像が得られた。さらに、口径わずか 8cm、焦点距離 91cm のアクロマート望遠鏡でも、口径 30cm の反射望遠鏡を用いた熟練眼視観測者のスケッチと同等の木星画像が得られた。

以上のことから、本稿の方法を用いれば天体観測の入門機である小口径アクロマート望遠鏡でも、木星の模様の変化の追跡が十分可能であることが示された。現在、小口径アクロマート望遠鏡は非常に安価に販売されている。そのため、この方法は中学、高校の天文クラブに惑星の撮像観測への道を開く強力な手段になると考えられる。

文 献

- [1] 吉田正太郎著, (2005)『天文アマチュアのための屈折望遠鏡光学入門』, 誠文堂新光社, pp.214-216.
- [2] 友柚工房のホームページ,
<http://www7a.biglobe.ne.jp/~tomoyu/hgopt/co22.htm>
- [3] Astronomik 社の RGB フィルターの分光透過率,
<http://www.kyoei-osaka.jp/SHOP/astronomik-lrgb2c-317.html>
- [4] Baader 社の UHC-S フィルターの分光透

過率,

<http://www.kyoei-osaka.jp/SHOP/baader-buh3-uhcs317.html>

- [5] 『月刊天文ガイド 2016 年 7 月号』, 誠文堂新光社, p.81.
- [6] 月惑星研究会のホームページ,
<http://alpo-j.asahikawa-med.ac.jp/>
- [7] 堀川邦昭, (2015)『眼視による木星面模様の位置測定について』, 天文月報, vol.108, pp.183-189.