

特集2

 $H\alpha$ 太陽の魅力と $H\alpha$ 太陽望遠鏡の最新動向

塩田 和生（平塚博物館太陽分科会）

1. はじめに

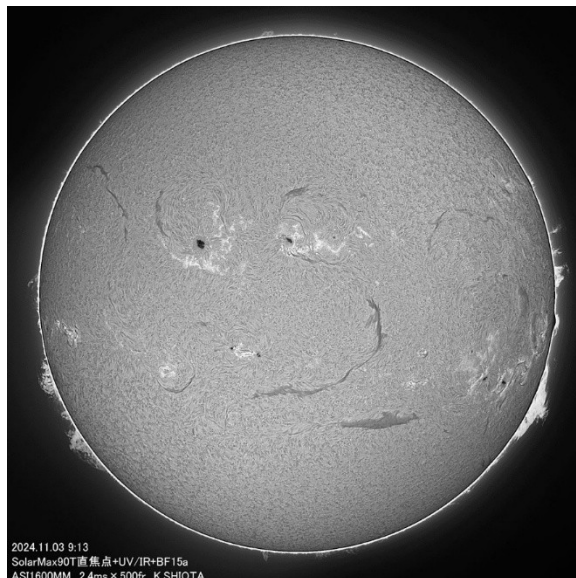
現在の太陽活動(25期)は、当初24期並みの弱いピークになるだろうという予測されていましたが、2024年8月には月平均相対数が200を超えるなど24期の約1.5倍の活発さになり、大きな黒点が出たり、大きなフレアが発生して日本でオーロラが見えたりと、関心が高まっています。

一方新しい太陽観測機材や、デジタル技術の進歩で、アマチュアができる太陽観測の対象が広がってきています。特に、 $H\alpha$ 太陽望遠鏡を使うことで可能になる彩層の観測は、黒点だけを観測対象にする光球の観測よりはるかにダイナミックに変化に富む太陽の姿を観測できる点が魅力です。

この投稿では、2025年4月12日に関東支部会でお話した「 $H\alpha$ 太陽の面白さと、 $H\alpha$ 太陽望遠鏡の最新動向」の概要を紹介します。

2. $H\alpha$ 太陽観測の面白さ

私が最初の太陽望遠鏡を入手したのは、定年間近の2009年のことでした。それまでは、学生時代以来断続的に続けていた黒点観測が中心でしたが、定年後には観測頻度を上げられるはずと思い、少し高価でしたが口径9cmの $H\alpha$ 太陽望遠鏡 SolarMax90T を購入して、光球+彩層の観測を始めました。定年を迎えた時期は太陽活動の極小期で、無黒点の日が多く白色光では面白みがない状態が続きましたが、 $H\alpha$ 望遠鏡では無黒点の日でもプロミネンスやダークフィラメントがほとんど毎日眺められ、太陽望遠鏡を買ってよかったと感じました。そして、太陽活動が活発になってくると、大きなプロミネンス、活動領域の複雑な構造、長大なダークフィラメント、稀にギラギラ輝くフレアなどが眺められ、彩層のダイナミックな姿に魅了されるようになりました。

図1 $H\alpha$ 太陽望遠鏡で撮影した太陽全面像

2024.11.3 SolarMax90T+ASI1600 で撮影
縁から飛び出しているプロミネンスや彩層はディスク部分より暗いが、画像処理で明るく強調した

彩層は、皆既日食の際には減光フィルターを使わなくても見えますが、日食時以外には彩層より10万倍ぐらい明るい光球の光に邪魔されて見えません。そのため、特殊な望遠鏡を必要とするので、彩層の模様の多彩さやダイナミックさを実際に見た人は少ないと思います。そこでどのような面白い模様が見えるかを知っていただくために、まず私が撮り溜めた $H\alpha$ 太陽の画像の中から代表的な作例を紹介します(図2～図5)。

図2は、彩層の模様の多彩さが分かる画像で、幅や長さが異なる黒い筋はダークフィラメント、所々に見える明るい領域は黒点付近の活動領域のプラージュです。また縁のあちこちに見える突起はプロミネンスです。図3は、黒点周辺の活動領域で複雑な構造が見えます。図4はフレアとポストフレアループの $H\alpha$ 画像、図5はプロミネンスの画像の例です。

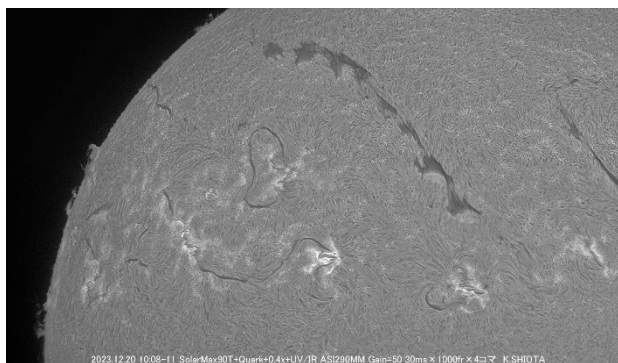


図 2 様々な模様が見える H α 太陽の拡大

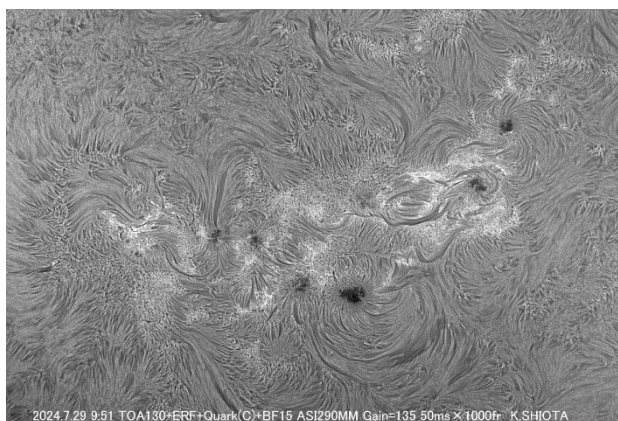


図 3 大きな黒点の周辺の活動領域

3つの大きな黒点群が密集した領域の H α 画像で、明るい域（プラージュ）や複雑に連なるダークフィラメント、一面の草むらのようなフィブリルなどが見え、磁場の影響が感じられる眺めです。

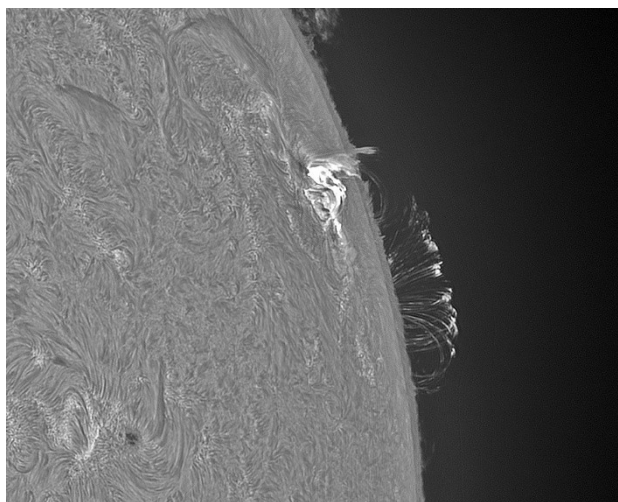


図 4 フレアとポストフレアループ

中央少し上の明るい部分は発生中の中規模フレアで、縁から飛び出しているループの連なりはフレア発生後に見られるポストフレアループです。

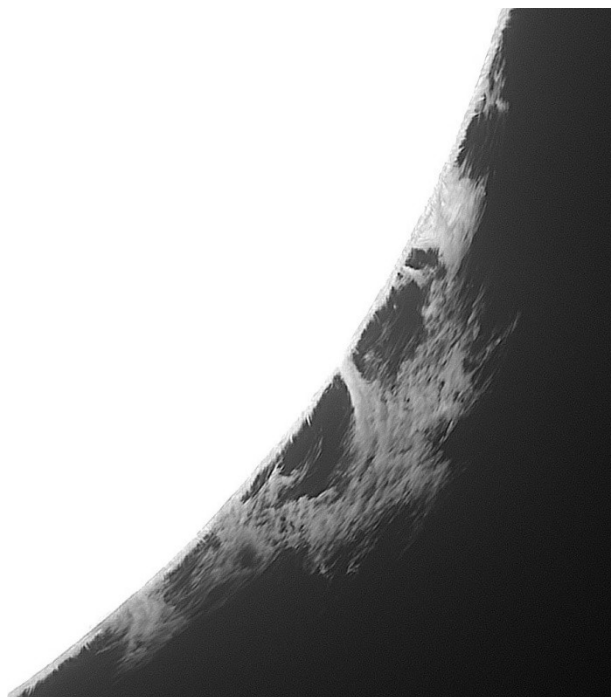


図 5 大きなプロミネンス

プロミネンスには大きさ・形状や寿命が異なる様々なタイプがあります。このプロミネンスは寿命が長い静穏型で、大きく目立つものでした。

3. 太陽望遠鏡の原理

前節で紹介したような彩層の模様は、彩層の明るさが光球の 10 万分の 1 程度しかないので、普通の望遠鏡では見ることは出来ません。しかし、光球の光が連続スペクトルであるのに対して、彩層は幾つかの輝線スペクトルで光っているので、例えば H α 光のような特定波長のスペクトル光だけを透過するフィルターを使えば、彩層の模様を観測することが出来るようになります。

3.1. 彩層を見るために必要なフィルター特性

では、H α 光で彩層を見ようとする場合、どのような特性のフィルターを使えば模様がはっきり見えるのでしょうか。H α 光で光っている星雲を撮影する場合は、半値幅が数 10 Å の狭帯域フィルターが用いられますが、太陽ディスク上の彩層の模様を見るには、もっと狭帯域のフィルターを使う必要があります。その理由は、星雲は輝線スペクトルで光っていて輝線波長の近傍は暗いのに対

して、太陽ディスク上の彩層では輝線波長の近傍は光球の連続光で明るいためです。図 6 に、 $H\alpha$ 波長付近の太陽スペクトルの強度分布を示しますが、吸収線の底(コア)部分の光だけを通すような特性が求められ、少なくとも半値幅が $1\text{\AA}$ 以下、できれば $0.5\text{\AA}$ 以下のフィルターが望ましい特性です。

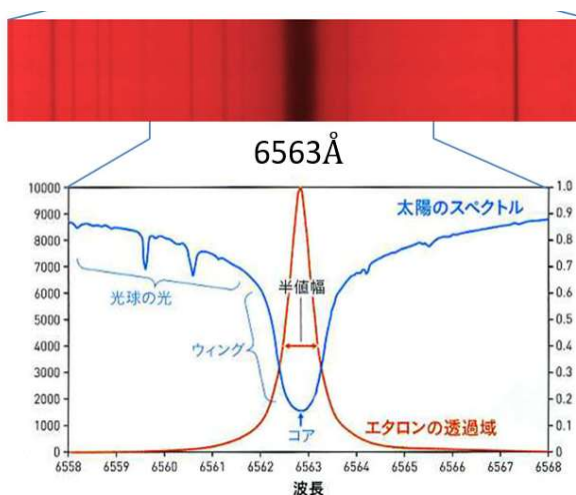


図 6 $H\alpha$ 吸収線と $H\alpha$ フィルター半値幅の関係
 $H\alpha$ 吸収線は太陽スペクトルの中では太い方ですが、それでも幅は $1\text{\AA}$ 以下です。太陽望遠鏡はコア部分の光を見ることで彩層の様子が観測できるようにした装置です。

これまで市販されている太陽望遠鏡に組み込まれていた $H\alpha$ フィルターの半値幅は、シングルエタロンで $0.7\text{\AA}$ 程度、高価なダブルスタックエタロンで $0.5\text{\AA}$ 程度です。一般に、特定の波長だけを通すフィルターは干渉フィルターで実現できますが、半値幅が $1\text{\AA}$ 以下になると干渉フィルターで実現するのは難しくなり、以下に述べるような特別な方法で実現しています。

3.2 $1\text{\AA}$ 以下の半値幅を実現する技術

$1\text{\AA}$ 以下の半値幅が必要な彩層の観測はプロの天文学者の間では 1924 年に米国のヘールが発明したスペクトロヘリオグラフや、1930 年にフランスのリオが発明したリオ・フィルターなどで行わ

れていました。ただ、スペクトロヘリオグラフは構成が複雑で運用が容易でないこと、リオ・フィルターは良質な方解石の結晶が必要で高価なこと、等の理由で、アマチュア向きではない方法でした。

しかし、1975 年代にデイスター社からエタロンを使った $H\alpha$ フィルターが市販されたことで、彩層の観測がアマチュアにも手が届くものになり、その後コロナ社やラント社からもエタロンを使った太陽望遠鏡が市販され、同口径の望遠鏡と比べると数倍の価格でしたが、太陽観測のベテランに徐々に普及していきました。

更に最近ではデジタル化で使いやすくなった小型のスペクトロヘリオグラフも普及し始め、4/12 の関東支部会で山崎明宏さんが紹介されました。

3.3 エタロンを使う太陽望遠鏡の原理

太陽望遠鏡の原理を理解するには、そのキーパーツであるエタロンの原理を理解することがキーになるので、その解説から始めます。

エタロンには、両面を平行に研磨した基板に反射膜を成膜したソリッドエタロンと、2 枚のガラス基板の反射面同士を空気層を介して固定したエアーギャップエタロンの 2 種類がありますが、どちらも 2 つの対向する反射面の多重干渉を利用した波長フィルターです。

図 7 はエアーギャップエタロンの原理図で、エタロンに入った光は 2 つの反射面で繰り返し反射と透過を繰り返しながら少しずつ出射していきます。反射・透過して出射側に出ていく光は干渉を起こし位相が揃う波長の光だけが強調されます。その結果、出射光は図 8 のように、櫛歯状の周期的な透過ピークを持つ透過特性になります。

エタロンを使う太陽望遠鏡では $H\alpha$ 波長の透過ピークだけを使いたいので、櫛歯状の透過ピークの中の $H\alpha$ 波長に一致しない光をカットする必要があります。そこでまず、 $H\alpha$ 波長の近傍で $H\alpha$ 波長以外の光をカットするブロッキングフィルター (BF) を併用します。しかし、眼や CMOS センサーなどが感度を持つ紫外～可視～赤外域まで

の櫛歯波長全部をカットできるBFを作るのは難しいので、BFがカットできないH α 波長から離れた波長の光をカットするエネルギー遮断フィルター(ERF)も併用することで、図9のようにH α 波長光だけを透過するフィルターを実現しているのがH α 太陽望遠鏡です。

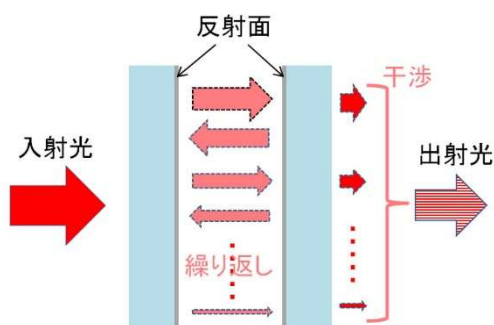


図7 エタロンの原理

エタロンに入射した光は、2つの反射面で反射と透過を繰り返して出ていくが、各出射光は干渉して位相が揃う波長だけが強調される。

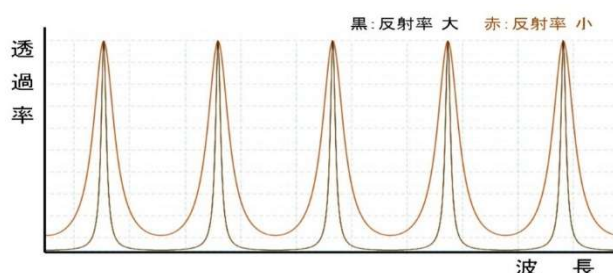


図8 エタロンの透過率の模式図

出射光は干渉で等間隔にピークが出るが、2つの反射面の反射率が高いほどピーク形状は急峻になる(反射率が80%と50%の場合の計算値です)。

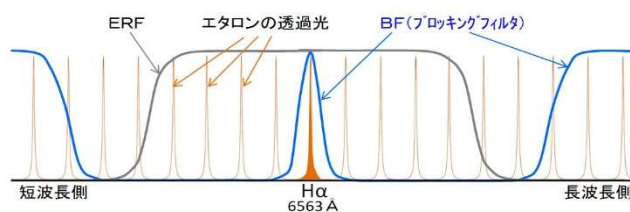


図9 エタロンを使う太陽望遠鏡の原理

エタロンとBFとERFを組み合わせることで、たくさんあるエタロンのピークの内のH α 波長のピークの光だけを透過させる。

3.4 太陽望遠鏡の見え味がばらつく要因

以上が太陽望遠鏡の原理ですが、様々な太陽望遠鏡を持ち寄って比較観望を行うと、カタログに記載された半値幅が同じでも実際に見える模様のコントラストには結構差があることを経験します。なぜ差が出るのかを解説した文献は少ないのですが、色々調べた結果では以下のような話ではないかと思われます。

まず、エタロンの櫛歯の形状は図8のように2つの反射面の反射率を高くすれば急峻になりますが、図8は反射面の面精度が $1/100\lambda$ 程度と非常に高い場合の計算値です。実際の反射面の面精度は、基板ガラスの面精度の不完全さや蒸着膜を厚くして反射率を高くすると反射面に細かな凹凸が出やすくなる影響で、櫛歯の急峻さは計算値より悪くなります。そのため、設計通りの半値幅を実現するのは容易ではなく、コストを抑えるために製造ばらつきをある程度許容しているようです。また、BFもH α 波長近傍の櫛歯波長における透過率が完全に0になるように作るのは容易ではなく、H α 以外の波長の太陽スペクトルの光の強度はH α 吸収線のコア部分の数倍強いので、BFの特性次第で光球の光がかなり混ざった画像になってしまい、彩層の模様のコントラストが低下することになります。

4. 太陽望遠鏡の製品動向

4.1 アマチュア用太陽望遠鏡の種類と特徴

アマチュア用の太陽用のH α フィルターには、マイカの両側に反射膜を付けたソリッドタイプエタロンと、反射膜を付けた2枚のガラスを平行に向い合わせたエアギャップエタロンの2種類があります。1975年にはじめてアマチュア用の太陽フィルターを商品化した英国のデイスター社(後に米国に移りました)のエタロンはソリッドタイプで、1997年代と2007年代にエタロン内臓の太陽望遠鏡を商品化した米国のコロナ社とラント社のエタロンはエアギャップエタロンです。

ソリッドエタロンは、面精度の良いマイカを使え

ば反射率を上げても反射面の面精度は変わらないので、半値幅の狭いフィルターを作りやすいという特徴があります。しかし気温が変化するとマイカの厚みが変化して、透過波長がわずかに変化して $H\alpha$ 波長からずれるので、エタロンを温調する必要があります、エタロンのサイズを大きくできないので接眼部に配置するフィルターになっています。エタロンを接眼部に置くということは、組み合わせる望遠鏡は口径の大小も含めて自由に選べるという特徴につながりますが、接眼部に入ってくる光は収束光束になるので、平行光が入射した時に最小になるエタロンの半値幅を広げないように、F 値が 30 以上になるようにして使う必要があるという制約がついてきます。

一方、エアーギャップエタロンは温度変化が極めて小さなスペーサーを使うことで、気温が変化しても温調しなくてもいいフィルターとして使えるので、対物レンズの前や鏡筒の途中にエタロンを配置する構成に出来、F 値が明るい望遠鏡でも使うことができるという特徴があります。しかし反射面の反射率を高くするために蒸着膜を厚くすると凹凸が生じやすくなり、半値幅が広がりやすいという問題があります。

4.2 個体差の問題

ということで、ソリッドエタロンとエアーギャップエタロンは、それぞれ異なる長所と短所があるので、観測目的や予算などによって選択が違ってきて、デイスター、コロナド、ラントの 3 社が並立して、それぞれ口径や半値幅の異なる太陽望遠鏡や $H\alpha$ フィルターをラインナップしている状態が、ここ 20 年ほど続いていました。ただ、米国製の太陽望遠鏡は個体ごとの性能差が大きいことが悩ましかった点で、太陽望遠鏡を買いいたい人からどの機種を買えばいいですかと相談されたときに、何を見たいかと使える予算で機種を絞ってから、その機種の太陽望遠鏡を複数本見比べて見え味のばらつきを確認して、購入する個体を決めるようにしてくださいと言わざるを得ないという、もどかし

い状態でした。

デイスターの $H\alpha$ フィルター コロナドの太陽望遠鏡 ラントの太陽望遠鏡



図 10 市販されている太陽望遠鏡の例

デイスターは接眼部に取り付ける $H\alpha$ フィルターを販売し、コロナドとラントは様々な口径のエタロン内臓の太陽望遠鏡を販売している。Acuter と SkyWatcher は最近太陽望遠鏡に参入した中国メーカーです。

4.3 最近の動向：中国メーカーの参入

以上述べたように、少し前までは太陽望遠鏡は米国の 3 社だけが供給している製品分野でしたが、昨年中国の望遠鏡メーカー 2 社が相次いで太陽望遠鏡を商品化し、市場参入してきました。中国メーカーがアピールしている製品の特長は、より半値幅の狭いフィルター特性を安価に実現したという点です。その話を知ったときは、中国メーカーが本当にそのようなフィルターを実現できる実力をつけたのか、また設計性能は良くてもその性能をばらつき無く安定に生産できているのかが、まず気になりました。そうした折、天文ガイドの編集部から中国製太陽望遠鏡のテスト記事を書いてほしいとの依頼をもらい、Acuter のフェニックス(口径 40 mm、公称半値幅 = $0.6 \text{ \AA}$ 以下)と SkyWatcher のヘリオスター(口径 76 mm、公称半値幅 = $0.5 \text{ \AA}$ 以下)の 2 機種のテストを行いました[1][2]。口径 40 mm の太陽望遠鏡で同じ日に同じカメラで写した $H\alpha$ 太陽像を比較した結果が図 11 で、これを見ると同じシングルスタックでは中国製の太陽望遠鏡は既存の米国製太

陽望遠鏡より明らかにコントラストが良い太陽像が得られていることが分かります。

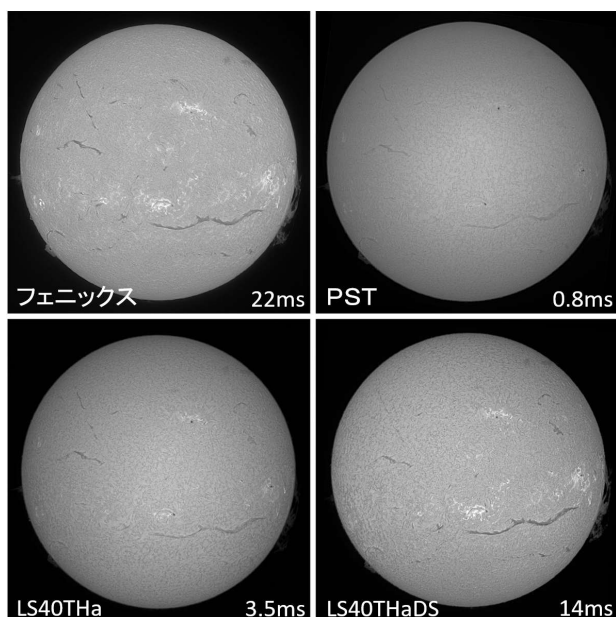


図 11 口径 4cm の太陽望遠鏡の見え方比較
同じ日に同じカメラ (ASI1600MM) を使って撮影し
同じ画像処理した結果を並べたもの (右下はシャッ
ター速度で、小さいほど明るいことを意味する)。

米国製はエタロンを 2 つ使う高価なダブルスタックにして、ようやく中国製と同等のコントラストになるレベルです。76 mm の太陽望遠鏡でも、中国製は米国製より高コントラストな見え味であることが確認できました。しかも、中国製の太陽望遠鏡はどちらの機種も、天文ガイドの記事用に借用した個体以外にも何本か眺めて見た結果、ばらつきが非常に小さなことも確認出来ました。

このような結果になったことは少し意外でしたが、エタロンの原理から考えると、中国製が高性能でばらつきが少ないのは、エタロンの製造技術が米国のメーカーより優れているためではないかと思われま。今後、米国の太陽望遠鏡メーカーも巻き返しを図るのではないかと期待されるので、彩層を観測したい人には選択肢が増えていくだろうと思います。

5. 既存太陽望遠鏡の活用方法

ということで、これから太陽望遠鏡を買おうと考えている人には、当面は中国製の太陽望遠鏡の中で予算などを踏まえて機種を選択されることがおススメです。一方既に米国製の太陽望遠鏡を持っている人は、あえて追加出費をしてまで買い替えるか、既存の機材を工夫して使いこなすかの、2 つの選択肢になるだろうと思います。そして、既存の機材を工夫して使いこなす方法に関しては、2 年前に佃安彦さんが考案された混合ダブルスタックという方法を使えば高コントラストの彩層像に出来るので、以下にその方法について解説します。[3]

5.1 従来のダブルスタック太陽望遠鏡と混合ダブルスタック法の違い

従来、エタロンを 1 つだけ組み込んだ太陽望遠鏡 (シングルスタック) では彩層の模様のコントラストが物足りないと感じる人向けに、コロナドやラントからエタロンを 2 つ使うダブルスタック太陽望遠鏡が販売されていました。高価なエタロンを 2 つ使うので出費はかさみますが、使っている人もかなりいました (ただし、太陽全面の模様のコントラストを均一にするための調整は結構大変だと感じている方が多いようです)。一方、大口径化して微細構造を見たい人は、様々な望遠鏡と組み合わせるデイスターの H α フィルター (Quark など) を使っている人もいました。

佃さんの方法は、上記のように既に普及しているシングルスタックの太陽望遠鏡と Quark を組み合わせて使うという方法で、図 12 のようにシングルスタックの太陽望遠鏡の BF の代わりに、Quark を取り付けるという方法です。佃さんは、この方法を混合ダブルスタックと名付けて、太陽観測仲間への普及に努めておられます。

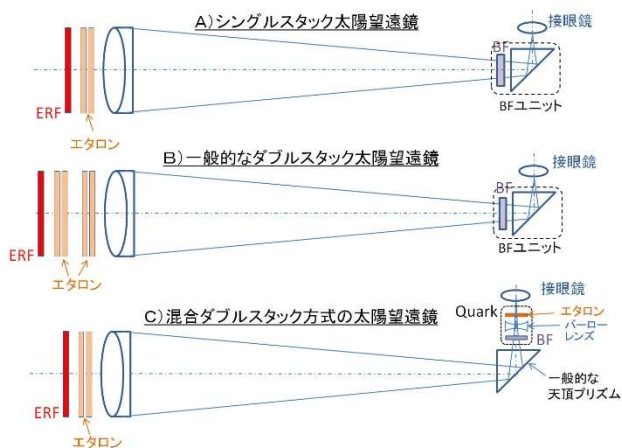


図 12 ダブルスタック化の模式図

上はエタロンを1つ使うシングルスタックで、中は同じエタロンを2つ使うダブルスタック、下は異なるタイプのエタロンを2つ使うダブルスタック

混合ダブルスタックは、異なるメーカーのパーツを組み合わせる方法なので、メーカー保証の対象外になり、自己責任で使わないといけない方法ですが、佃さんのシステム（ラントのLS80THa+Quark）でも、私のシステム（コロナのSolarMax90T+Quark）でも、非常にコントラストの高い彩層像が得られていて、従来のダブルスタックよりも彩層の構造が良く見える画期的な方法です。

何故、混合ダブルスタック法が従来のダブルスタック法より彩層構造が良く見えるのかの理屈は、H α 波長の両隣の櫛歯波長の光をカットする機能の差だと思われます。従来のダブルスタック法では、同じタイプのエタロンを使うので、H α 波長の半値幅は狭くなりますが、その他の櫛歯光は細くなるものの消えないで残るため、BF が両隣の櫛歯波長の光を少し漏らすような特性になって、両隣の櫛歯波長の光（光球の光になります）が重畳されてコントラストが低下します。しかし、異なるタイプのエタロンは櫛歯の波長間隔が異なるため、2つ使うことで H α 波長の半値幅は狭くなると同時に、その他の櫛歯波長の光もほぼ完全に消すことができるためです。

エタロンや BF の正確な分光特性はメーカー

が公表していないのですが、様々な情報を総合してエタロンや BF の分光特性を推定しシミュレーション計算を行ってみると、H α 吸収線のコア部分からの光と両隣の櫛歯波長から漏れる光球の光の割合は、シングルスタックでは 100:110 程度、一般的なダブルスタックでは 100:40 程度であるのに対して、混合ダブルスタックでは 100:5 程度という結果になり、混合ダブルスタックの有効性が、定量的にも確認できました。

6.まとめ

現在は太陽活動の第 25 期のピークで、彩層で起こるダイナミックな現象が頻発しているので、H α 観測を始めるのに好適な時期です。

H α 太陽観測に必要な太陽望遠鏡は、近年口径や半値幅のバリエーションが増え、予算や目的に応じて選択できるので、H α 太陽の観測や撮影は誰でも容易に楽しめる時代になってきています。

特に、中国製太陽望遠鏡は性能が高く、品質も安定していて、今後太陽望遠鏡の購入を検討されている方には有力な選択肢になりそうです。

一方、既にある程度の口径の太陽望遠鏡を持っている人には、新しい混合ダブルスタック方式という方法で見え味の向上を図ることが選択肢になりそうです。（ただし、メーカー保証がない使い方なので、自己責任になります）

文 献

- [1] 塩田和生(2025)「H α 太陽望遠鏡『フェニックス』」,天文ガイド, 61(3) :38-43.
- [2] 塩田和生(2025)「H α 太陽望遠鏡『ヘリオスター』」,天文ガイド, 61(4) :52-57.
- [3] 塩田和生(2025)「混合ダブルスタック方式の効果と原理」,天文ガイド, 61(5) :39-45.

塩田和生