

太陽彩層速度場観測望遠鏡の製作

Development of the Solar Chromospheric Velocity Field Imager

竹内 彰継**、山脇 貴士***

Akitsugu TAKEUCHI, Takashi YAMAWAKI

概要

京都大学飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡 (DST) は世界でも屈指の性能を誇る太陽望遠鏡である。しかし、同じく飛騨天文台にあるフレアモニター望遠鏡 (FMT) は小型ながら DST に匹敵する成果をあげている。一方、最近の天文アマチュア向け光学機器の性能向上はめざましく、FMT と同等の性能の望遠鏡なら市販のアマチュア向け光学機器を組み合すだけでさらに安価に作れてしまう。そこで、平成17年度科学研究費補助金 (基盤研究C) の交付を受け、本校に FMT と同等性能の「太陽彩層速度場観測望遠鏡」を設置したのでそれについて報告する。

1. はじめに

京都大学飛騨天文台にはフレアモニター望遠鏡 (以下 FMT) と呼ばれる望遠鏡が設置されている (図1)。これは口径 6 cm の望遠鏡 6 本をひとつの架台に同架したもので、特にそのうち 3 本は H α 線の線中心、青側ウイング、赤側ウイングに調整されたファブリ・ペロ型 H α フィルタを搭載しており、彩層の速度場が観測できるようになっている。

最近、彩層の速度場観測という FMT の特長を活かした研究が数多くなされており、FMT は小型ながら飛騨天文台の主力機であるドームレス太陽望遠鏡 (DST) に匹敵する成果をあげている (Morimoto & Kurokawa 2003)。一方、近年のアマチュア天文家向け望遠鏡の性能向上はめざましく、FMT と同等性能の望遠鏡なら市販の機器だけで安価に製作できてしまう。そこで、米子高専に FMT と同等性能の太陽彩層速度場観測望遠鏡を設置し、研究・教育に利用するという目的で科学研究費補助金 (基盤研究C) を申請したところ平成17年度年度採択された。

以下、米子高専に設置する太陽彩層速度場観測望遠鏡の構成、H α フィルタの透過波長の温度依存性、テスト観測の結果、研究・教育への利用について記述する。

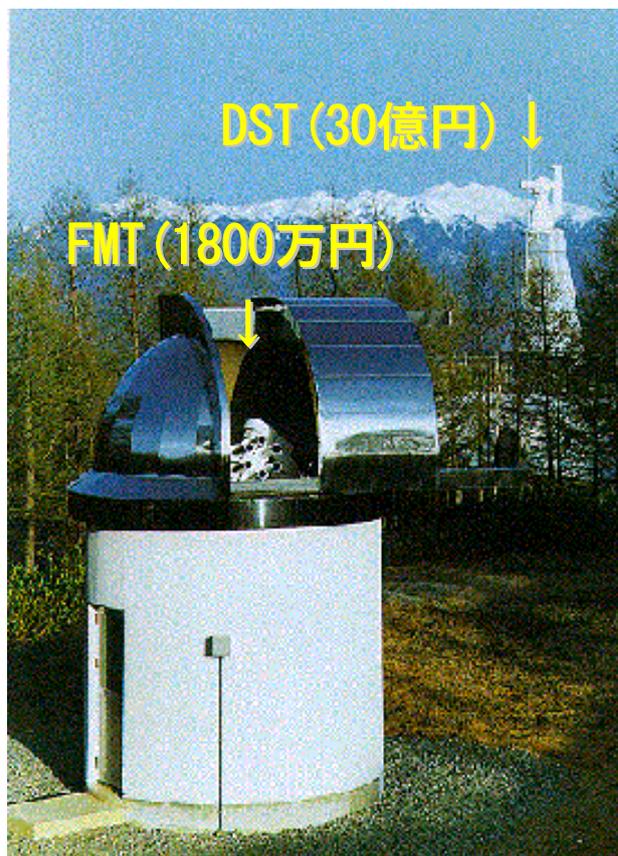


図1. 京都大学飛騨天文台のFMT。FMTは小型ながらDSTに匹敵する成果をあげている。一方、FMTと同等性能の望遠鏡なら市販の機器だけでさらに安価に製作可能である。そこで、米子高専にFMTと同等性能の太陽彩層速度場観測望遠鏡を設置した。

* 原稿受理 平成18年10月1日

** 一般科目

*** 技術教育支援センター

2. 太陽彩層速度場観測望遠鏡の構成

本校に設置する太陽彩層速度場観測望遠鏡では、半値幅が狭い (0.3\AA) ファブリ・ペロ型 $H\alpha$ フィルタを利用し、 $H\alpha$ 線の線中心、青側ウイング、赤側ウイングの光の強度を測定し、 $H\alpha$ 線の視線速度、線強度、線幅を推定する(図2)。このとき、望遠鏡は口径80mm、焦点距離910mmのアクロマート型屈折望遠鏡3本を単一赤道儀に同架したもので、それぞれ $H\alpha$ フィルタと冷却CCDカメラを搭載している(図3)。

現在、 $H\alpha$ フィルタとしてはソーラー・スペクトラム社とコロナド社の2社が形式の異なったフィルタを製造・販売している(図4)。ソーラー・スペクトラム社のフィルタは、望遠鏡の接眼部に取り付け設定温度を変えて透過波長帯をシフトさせる従来型で、望遠鏡のF数を30以上にする必要があるとかフィルタのムラが出やすいとかいう弱点がある。一方、コロナド社のフィルタは望遠鏡の対物レンズの前面に取り付ける形式で、フィルタのムラの影響はほとんどなくF値も任意に設定できるという利点がある反面フィルタの半値幅が広く透過波長帯をシフトさせることが困難という弱点がある(表1)。本校に設置する太陽彩層速度場観測望遠鏡では透過波長帯がシフト可能であることとその半値幅の狭さが最重要ポイントであるため、本望遠鏡ではソーラー・スペクトラム社の $H\alpha$ フィルタを使うことにした。



図3. 本校に設置した太陽彩層速度場観測望遠鏡。H α フィルタと冷却CCDカメラを搭載した屈折望遠鏡3本を単一赤道儀に同架している。

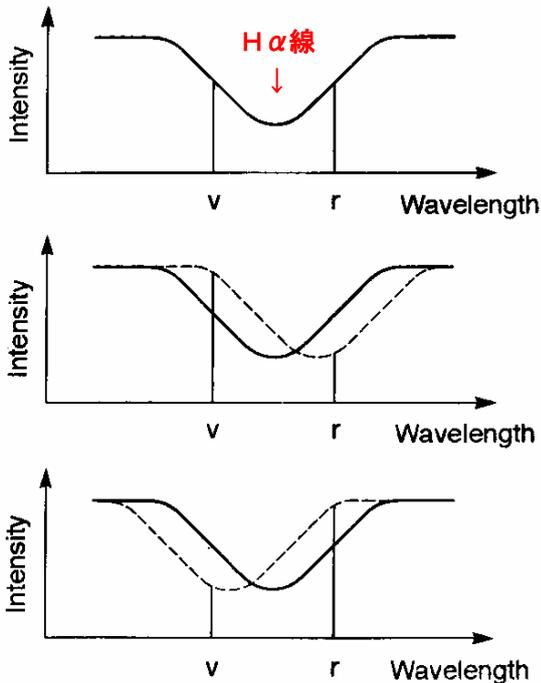


図2. 速度場測定の原理。H α 線の線中心、青側ウイング、赤側ウイングの光の強度を測定し、H α 線の視線速度、線強度、線幅を推定する。

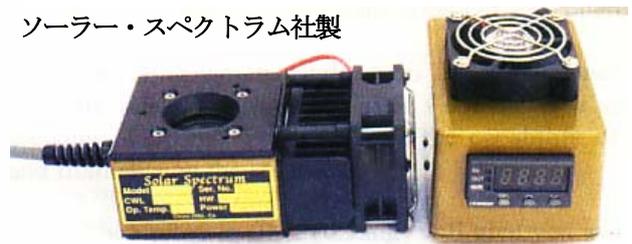


図4. 現在市販されているH α フィルタ。上はコロナド社のもの。下はソーラー・スペクトラム社のもの。

表1. コロナド社とソーラー・スペクトラム社のH α フィルタの比較

比較項目	コロナド社		ソーラー・スペクトラム社	
中心波長のシフト	フィルタの傾き	×	温度設定	○
フィルタの半値幅	広い	×	狭いフィルタあり	○
取り付け部分	対物レンズ前面	△	接眼部	△
画像のムラ	少ない	○	有り*	△
F値の制限	無し	○	有り (F>30)	×
総合判定	×		○	

* 以前はフィルタのムラが重大な問題であったが、現在はCCDカメラで撮像するため、ムラの除去はそれ程困難ではなくなった。

3. H α フィルタの透過波長帯の温度依存性の測定

ソーラー・スペクトラム社のH α フィルタは多層膜干渉フィルタの一種である。したがって、その透過波長帯は多層膜の厚みと屈折率によりきまっている。一方、多層膜の厚みは温度により変化するため透過波長帯も温度により変化することになる。これがH α フィルタの透過波長帯シフトの原理である。

本H α フィルタはこの原理を利用して透過波長帯をシフトさせるため、内蔵の加熱装置（ヒーター）と冷却装置（ペルチェ素子）により0.1 $^{\circ}$ Cの精度で温度管理ができるようになっている。一方、本太陽彩層速度場観測望遠鏡で正確に速度を測定するためにはH α フィルタの透過波長帯の温度依存性を知っておく必要がある。そこで、透過波長帯の中心波長 λ (Å)とフィルタ温度 T ($^{\circ}$ C)の関数関係の測定を行った。

測定においてはH α 線とその青側ウイング、赤側ウイングにそれぞれ1本ずつある地球大気の水蒸気による吸収線を利用した(図5)。具体的には望遠鏡の視野内に太陽の中心を入れ、フィルタの温度を1 $^{\circ}$ Cずつ変化させて画像の光の平均強度を温度の関数として表示した(図6)。ところが、これはH α 線付近のスペクトルでもある。そこで、この図上でH α 線中心や上述の水蒸気による吸収線の位置を同定し、波長と温度の関係式を求めた。以下にその結果を示す。

H α 線青側ウイング用フィルタ

$$\lambda = 0.089(T - 70) + 6562.8 \text{ (Å)} \dots \text{①}$$

H α 線中心用フィルタ

$$\lambda = 0.11(T - 42) + 6562.8 \text{ (Å)} \dots \text{②}$$

H α 線赤側ウイング用フィルタ

$$\lambda = 0.10(T - 18) + 6562.8 \text{ (Å)} \dots \text{③}$$

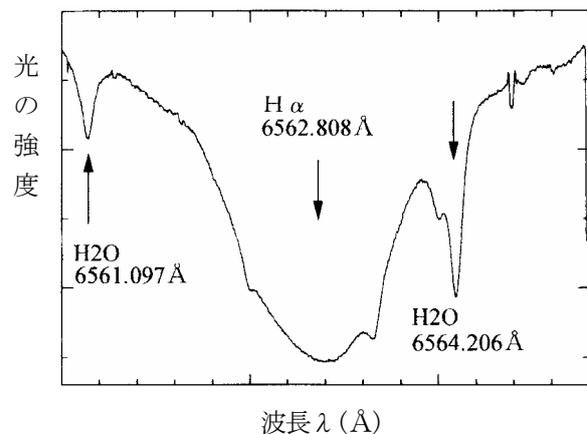


図5. H α 線付近のスペクトル。H α 線の青側、赤側ウイングには地球大気の水蒸気による吸収線がある。

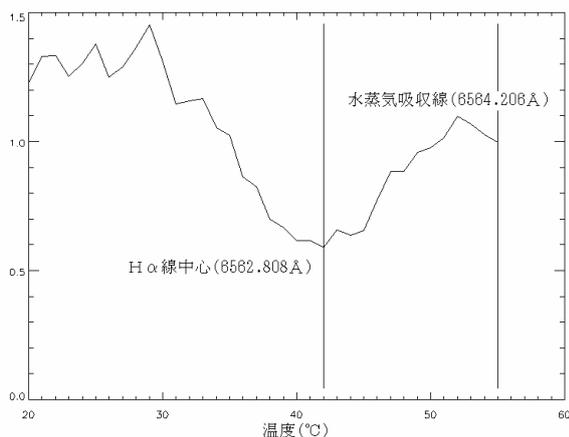


図6. H α 線中心用フィルタ画像の光の平均強度の温度変化。これはH α 線付近のスペクトルでもあり、一見して図5と極めて良く類似していることがわかる。この図上でH α 線中心やウイングにある水蒸気の吸収線の位置を同定し、波長と温度の関係式を求めた。

4. 太陽彩層速度場観測望遠鏡によるテスト観測

H α フィルタの透過波長帯の温度依存性が求まったことから、本望遠鏡による彩層速度場の測定が可能か調べるために2006年8月29日(火)にテスト観測を行った。この日は太陽活動極小期にもかかわらず大型の黒点が見られ、その周囲ではたびたびサージの噴出が見られた。

観測ではH α 線中心用、青側ウイング用、赤側ウイング用フィルタの温度をそれぞれ42°C、65°C、23°Cとした。このように設定するとH α 線中心用フィルタはちょうどH α 線中心(6562.8Å)の光を、青側ウイング用フィルタはH α 線-0.5Åの光を、赤側ウイング用フィルタはH α 線+0.5Åの光を透過させていることになる。なお、それぞれのフィルタの透過波長帯の半値幅は0.3Åであるため、それぞれのフィルタの重複は無視できるものと考えられる。

図7に黒点付近の画像の例を示す。H α 線中心用フィルタの画像には黒点を取りまく多数のファイブリルが写っているが、青側、赤側ウイング用フィルタの画像にはファイブリルの根元やスピキュールが写っており、H α 線特有の写真が撮像できていることがわかる。

さらに注目すべきは黒点付近に存在するサージの見え方である。このサージは明らかに青側ウイングと赤側ウイングでは大きさが異なっており、赤側ウイングでより大きく見えている。これはサージ上でH α 線が赤側にシフトしている(観測者から離れる方向に動いている)ことを示すものである。

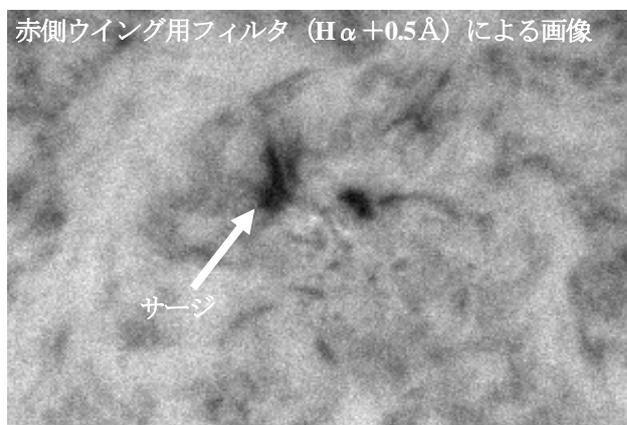
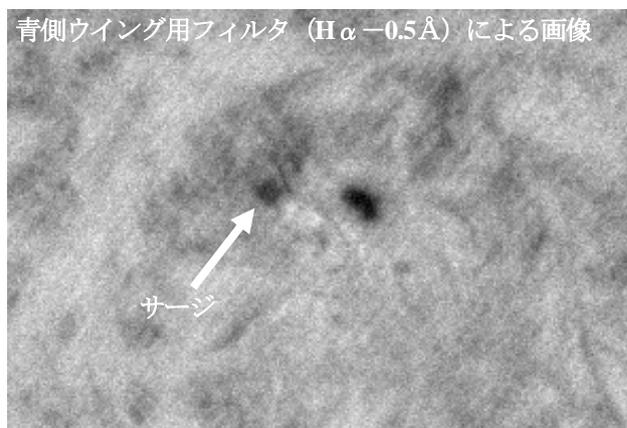
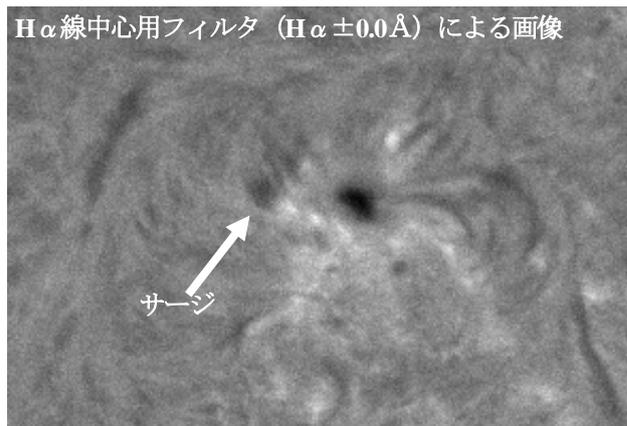


図7. 黒点付近の画像の例。黒点付近にサージがあるが、このサージは明らかに青側ウイングより赤側ウイングでより大きく見えている。これはサージ上でH α 線が赤側にシフトしている(観測者から離れる方向に動いている)ことを示すものである。

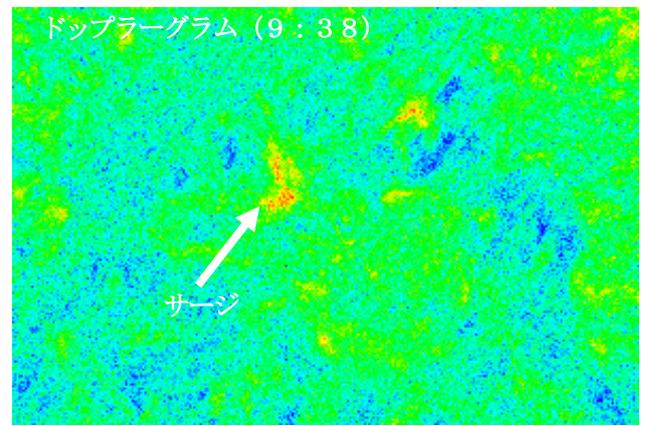
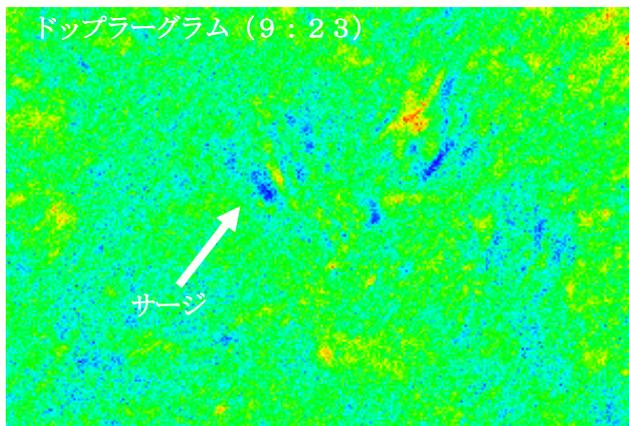
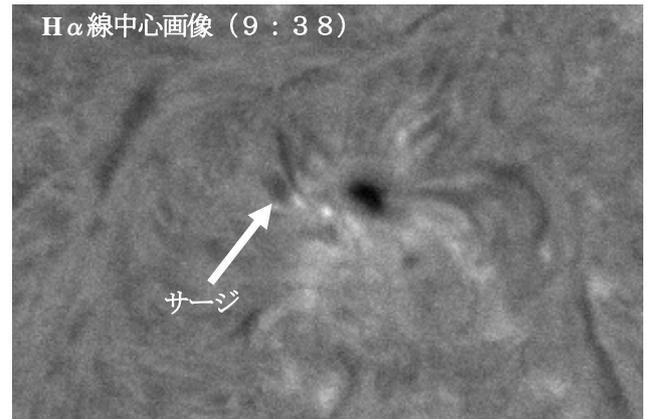
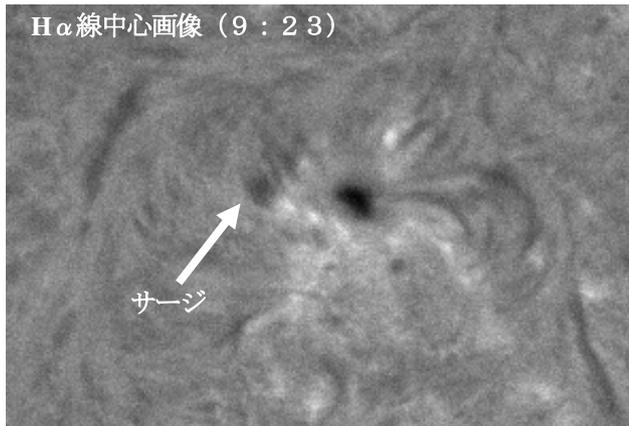


図8. サージのドップラーグラム。観測者に向かって来るものを青色、観測者から離れて行くものを赤色、静止しているものを緑色で表している。H α 線中心画像ではほとんど変化が認められないが、ドップラーグラムでは9時23分には青色だった（上昇してきた）サージが9時38分には赤色になっている（落下していく）のがわかる。

そこで、視線方向への運動を強調するためにドップラーグラムを作ってみた(図8)。ドップラーグラムとは青側ウイング用フィルタで得られた画像から赤側ウイング用フィルタで得られた画像を引き算したもので、ここでは視線方向の動きをわかりやすくするために観測者に向かって来るものを青色、観測者から離れて行くものを赤色、静止しているものを緑色で表した。するとH α 線中心画像ではサージの変化はほとんど認められなかったが、ドップラーグラムでは9時23分には青色だった(観測者に向かって上昇してきた)ものが9時38分には赤色になっている(観測者から離れて落下していく)のがわかった。

これにより、本太陽彩層速度場観測望遠鏡で彩層物質の視線方向の運動が観測できることが示された。今後は速度の数値化の方法を確立し、太陽プロミネンスの振動・波動現象の研究(Terradas et al., 2002; Tsubaki & Takeuchi, 1986;)に利用していきたい。

5. まとめ

京都大学飛騨天文台にあるフレアモニター望遠鏡(FMT)は小型ながら飛騨天文台の主力機ドームレス太陽望遠鏡に匹敵する成果をあげている。一方、FMTと同等の性能の望遠鏡なら市販のアマチュア向け光学機器を組み合わせただけで安価に作れてしまう。そこで、平成17年度科学研究費補助金(基盤研究C)の交付を受け、本校にFMTと同等性能の「太陽彩層速度場観測望遠鏡」を設置した。テスト観測の結果本望遠鏡は十分な性能を示すことがわかった。今後は本望遠鏡を用いて太陽プロミネンスの振動・波動現象の研究を行いたい。

参考文献

- Morimoto, T., & Kurokawa, H. 2003, PASJ, 55, 503
 Terradas, J., Molowny-Horas, R., Wieher, E., Balthasar, H., Oliver, R., & Ballester, J. L. 2002, A&A, 393, 637
 Tsubaki, T., & Takeuchi, A. 1986, Sol. Phys., 104, 313