

小望遠鏡を用いた太陽の差動回転の検出*

(第7回科学部研究報告)

Detection of the solar differential rotation using a small telescope
(The 7th Report of the Science Club of Yonago National College of Technology)

和田 泰治****, 大島 功也****, 堀江 麗***,
Taiji WADA, Katsuya OHSIMA, Rei HORIE,

村尾彰郁***** 小谷 可偉** 竹内 彰継*****
Akifumi MURAO, Kai KOTANI Akitsugu TAKEUCHI

概要

太陽の差動回転とは太陽の自転の角速度 ω が赤道から両極に行くにつれて遅くなる現象のことである。この差動回転は通常大型太陽望遠鏡と分光器を用いて調べられる。それは、太陽のリムの物質の視線速度の緯度変化の観測が必要だからである。しかし、リムの物質の視線速度なら本校の望遠鏡に $H\alpha$ フィルタ(半値幅 0.3\AA)を装着すれば観測可能となる。そこで我々は小望遠鏡と $H\alpha$ フィルタだけでの差動回転の検出を試みた。その結果、我々は太陽の差動回転の検出に成功し、文献とほとんど一致する結果を得た。

本研究における観測手法は非常に手軽であり、短期間に何度でも行う事が出来る。そのため、太陽サイクルごとの差動回転の変化などを調べる事も容易となる。

1. はじめに

太陽の差動回転とは太陽の自転の角速度 ω が赤道から両極に行くにつれて遅くなる現象のことである。この差動回転は通常大型太陽望遠鏡と分光器を用いて調べられる。それは、太陽のリムの物質の視線速度の緯度変化の観測が必要だからである。しかし、リムの物質の視線速度なら本校の $H\alpha$ フィルタ(半値幅 0.3\AA)でも充分観測可能である。そこで本研究では小望遠鏡と $H\alpha$ フィルタだけでの差動回転の検出を試みる事にした。なお、この研究は2009年日本天文学会春季会ジュニアセッションにて発表したものである。

2. 観測

2. 1. 観測装置

本研究では本校の太陽彩層速度場観測望遠鏡(図1)を用いて観測した。本望遠鏡の仕様は以下のとおりである。



図1. 本校屋上にある太陽彩層速度場観測望遠鏡、本研究では中央の望遠鏡のみを用いた。

* 原稿受理 平成21年10月1日

** 機械工学科学生

*** 電気情報工学科学生

**** 電子制御工学科学生

***** 物質工学科学生

***** 一般科目

望遠鏡	ビクセン社製 アクロマート屈折望遠鏡 (D=80mm, F1=910mm 口径 30mm に絞る)
赤道儀	タカハシ製 J P型赤道儀 (駆動装置 PD5-XY)
H α フィルタ	ソーラスペクトラム社製 (半値幅 0.3Å)
冷却 CCD カメラ	ビットラン製 BJ-41L

2. 2. 観測方法

我々は 2008 年 10 月 19 日 (日) に本校の太陽彩層速度場観測望遠鏡 (図 1) で太陽の H α 撮像を行った。観測では図 1 の中央の望遠鏡だけを用い、口径を 30mm に絞り F30.3 とした。そして H α フィルタの温度を変化させ H α ± 1.2 Å、H α ± 0.8 Å、H α ± 0.4 Å、H α ± 0.0 Å の各波長で太陽画像、ダーク、フラット、フラットダークをそれぞれ 10 コマずつ撮像した。なお、太陽画像とダークの露光時間は 0.02 秒、フラットとフラットダークの露光時間は 5.0 秒とした。

3. 解析

解析には画像処理言語 IDL を使用し、太陽画像は 1360 \times 1024 ピクセルのものを使用した。太陽画像は各 10 コマのうち最もシーイングが良いものをその波長解析用画像に選び、ダーク、フラット、フラットダークは 10 コマを平均して解析用画像のダーク、フラット処理を行った。

我々はまず、H α ± 1.2 Å、H α ± 0.8 Å、H α ± 0.4 Å、H α ± 0.0 Å での太陽中心の明るさから太陽の平均的な H α 線プロファイルを次式より求めた。

$$I(\lambda) = I_0 - I_c \exp\left\{-\frac{(\lambda - \lambda_c)^2}{\sigma^2}\right\} \quad \dots \quad \textcircled{1}$$

ここで、 I_0 は連続光レベル、 I_c は H α 線の深さ、 $\lambda_c = 6562.8$ Å、 σ は線幅である。

続いて、H α -0.8 Å の画像 (図 2 A) から H α $+0.8$ Å の画像 (図 2 C) を引き算し、ドップラーグラムを作成した (図 3)。

図 3 では白い部分は我々から遠ざかる部分を、黒い部分は近づく部分を表しており、前述の式を利用してその明るさを速度に変換してある。ドップラーグラムの成分の速度への変換は②、③式を用いて行った。

$$\Delta \lambda = \frac{I_D}{4I_c \frac{\lambda_0}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{\lambda_0^2}{\sigma^2}\right\}} \quad \dots \quad \textcircled{2}$$



図 2 A. H α -0.8 Å での画像。



図 2 B. H α ± 0.0 Å での画像。



図 2 C. H α $+0.8$ Å での画像。

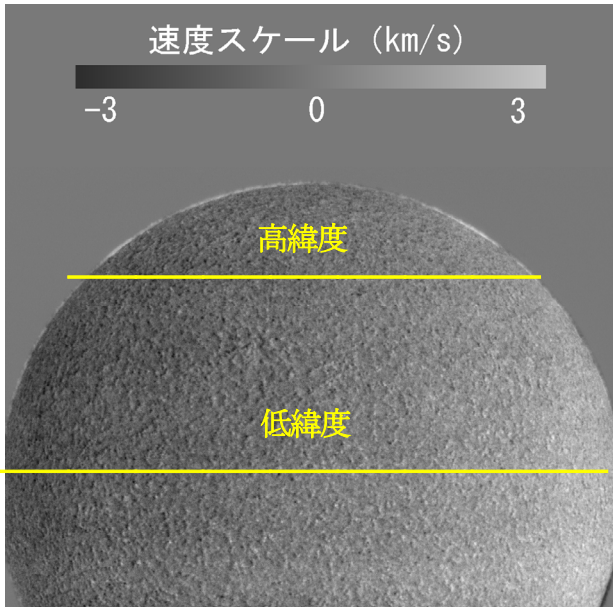


図3. ドップラーグラム。白い部分は我々から遠ざかる部分を、黒い部分は我々に近づく部分を表している。

②式で、 I_D はドップラーグラムの強度、 $\Delta\lambda$ はドップラー効果による波長のずれ、 $\lambda_0=0.8\text{\AA}$ である。ここで得られた $\Delta\lambda$ を用いて、次の式から速度 v を計算した。

$$v = \Delta\lambda \times \frac{c}{6563} \quad \dots \quad \textcircled{3}$$

ここで c は光速である。この計算をプログラム上でループさせ、1ピクセルごとに解析を行った。

図4A、Bはそれぞれ図3のドップラーグラムの低緯度部分、高緯度部分を抜き出した断面図であり、図4Cはそれらを比較したものである。

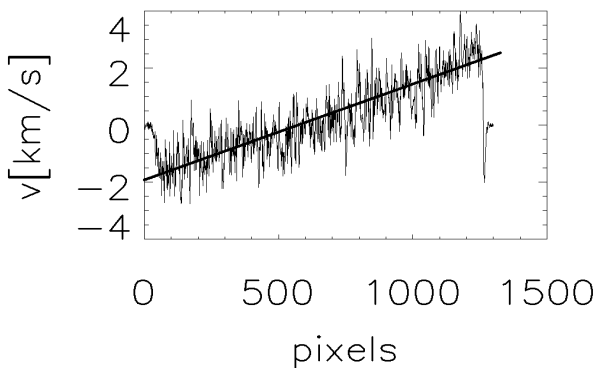


図4A. ドップラーグラムの断面図（低緯度）。

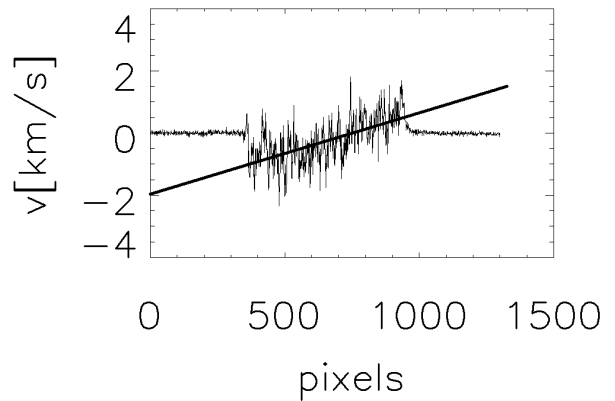


図4B. ドップラーグラムの断面図（高緯度）。

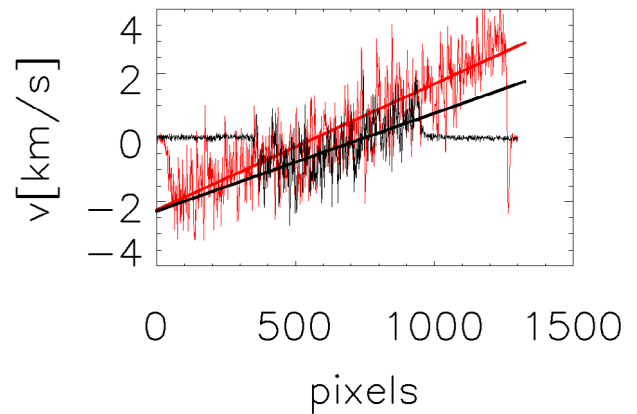


図4C. ドップラーグラムの断面図の比較。赤が低緯度成分、黒が高緯度成分である。明らかに速度勾配が違うが、この速度勾配が自転の角速度 ω を表しており、低緯度の方が高緯度より自転の角速度が大きいことが分かる。

図中の直線は最小自乗法でデータに直線をあてはめたものである。これら直線の傾きは太陽角速度 ω を表すもので、明らかに低緯度部分（太陽の中心付近）の傾きのほうが高緯度部分（太陽の極付近）より大きくなっており角速度 ω が高緯度になるほど遅くなっているのが分かる（図4C）。そこで、角速度 ω の緯度変化を調べた。

図5が我々の解析結果（角速度 ω の緯度変化）であり図6が文献からの引用である。我々が得た角速度 ω は明らかに高緯度ほど遅くなっており、しかも文献の値と非常によく似た結果である。

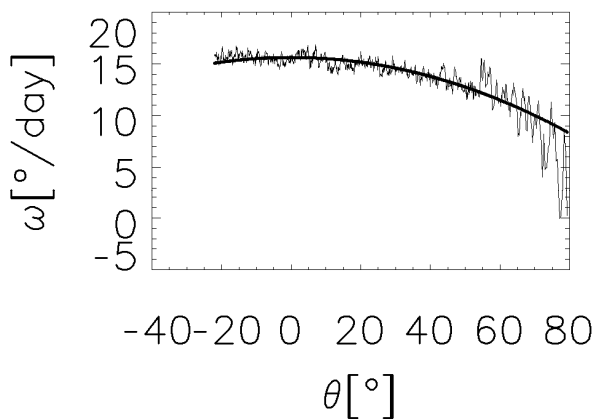


図5. 自転の角速度 ω の緯度 θ 変化。図中の曲線は最小自乗法で2次曲線をあてはめたもの。明らかに緯度 θ が大きくなるほど自転の角速度 ω が小さくなっている。

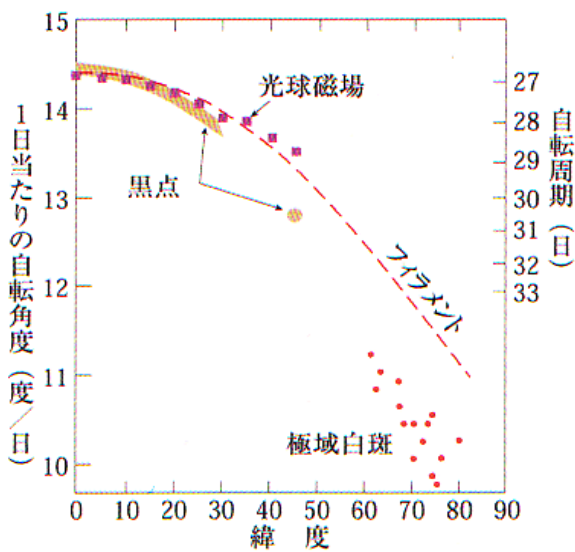


図6. 自転の角速度の緯度変化（文献）。

本研究で得られた自転の角速度 ω は文献値とよく一致しているが、ほんの少しだけ大きい。これは、太陽の平均的な $H\alpha$ 線プロファイルを求める際に生じた誤差と考えられる。しかし、本研究における観測手法は非常に手軽であり、短期間に何度でも行う事が出来る。そのため、太陽サイクルごとの差動回転の変化などを調べる事も容易となる。

図5のデータに2次曲線をあてはめたものから作成した太陽の角速度の分布図を図7に示す。これは角速度

の違いをカラースケールで表したもので、緯度ごとに変化する角速度の様子が非常によくわかる。

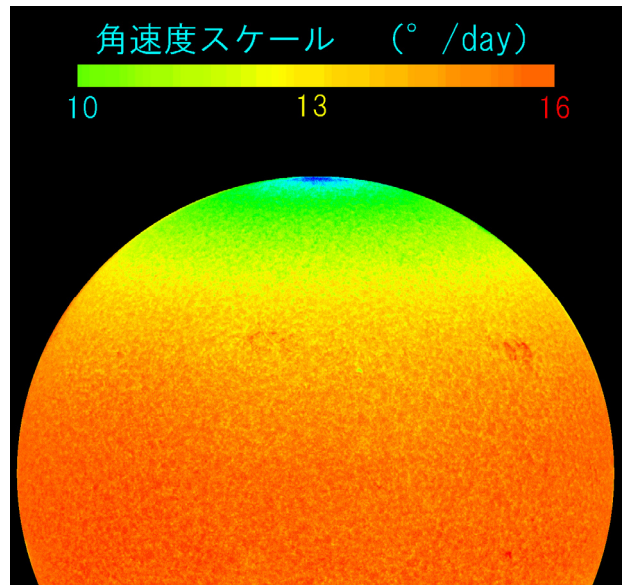


図7. 角速度分布図。角速度の分布をカラースケールで表したもので、赤→黄→緑→青の順に角速度が遅くなっており、赤道ほど自転の角速度が大きくなっていることが一目瞭然である。

4. まとめ

我々は小口径望遠鏡と $H\alpha$ フィルタだけで太陽の差動回転を検出し、しかも文献とほとんど一致する結果を得た。我々の観測は非常に手軽であり、 $H\alpha$ フィルタで撮像した画像の波長をずらして撮像したフラットとダークと太陽画像があれば、プログラムを実行するだけで誰でも本研究同様のデータを得ることができるため、 $H\alpha$ フィルタと冷却 CCD カメラさえあれば観測地域、観測時間、天文台などの使用申請といった制限が全くない。

今後もこのような観測を続けて差動回転が太陽サイクルを通して変化するのかなどを調べていきたい。

参考文献

写真集太陽—身近な恒星の最新像— 柴田一成・大山真満 共著 2004年 裳華房出版