

2022年2月6日

太陽 H α 光のドップラー効果画像の作成

藤岡宇太郎

1. 最初の試み

太陽分光器の H α 吸収線を見ていると前にも言ったように、所どころ分散方向に広がっているところが見られます。視線方向の速度によるドップラー効果とと思われますがこれをカラー画像化してみました。

処理に使用している INITI というソフトでは数値で指定すると目的の波長 (H α) から離れた波長の画像を得ることができます。

今回は H α 中心から ± 8 ピクセル離れた 2 つの画像を得それを R、B チャンネル割り当てました G チャンネルには R と G の平均値を割り当てています (H α センターの画像は使用していません)。8 ピクセルは 0.5 \AA に相当します。

このようにすると R、B 同じ明るさの時は結局 G も同じ明るさになり無彩色になります。R 画像のほうが明るいとき赤っぽく、B 画像のほうが明るいとき青っぽくなることになります。

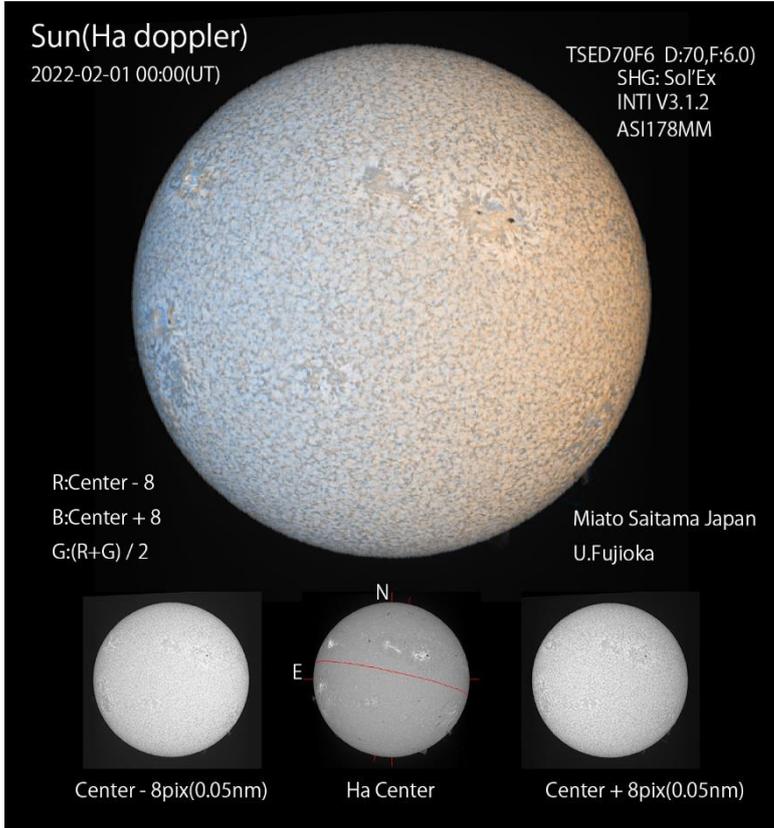
はじめは何も考えずセンターから長波長 (+) 側を R、短波長 (-) 側を B に割り付けましたが出来上がったものを国立天文台の画像と比較すると赤、青が逆になってしまいます。

どうもこれは吸収線がたとえば赤側 (+) に移動すると明るくなるのではなく暗くなってしまうためではないかと考え、逆に割り付けてみました。この辺はもう少し原因を検討する必要があります。

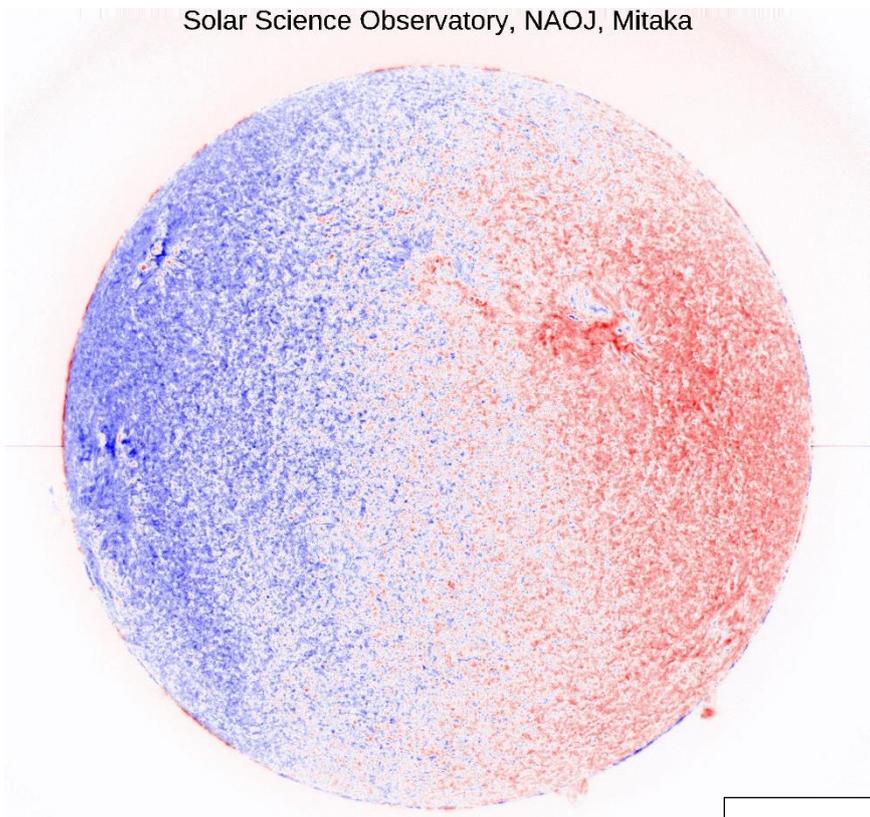
得られた画像は全般的に太陽の自転の影響で西側が赤っぽく、東側が青っぽくなっていますが黒点の周辺では赤青が混じり合っているところがあるのが興味深いです。

今回は合成を AA7 で行いましたが、INITI では波長幅を指定するだけカラーのドップラー写真が得られる機能があるのに後で気が付きました。ただしこれで処理すると赤青は逆になります。

下図は、2月1日の作成画像と同じ日の国立天文台の画像です。



Solar Science Observatory, NAOJ, Mitaka



H α 0.5Å Doppler 2022-02-01 00:45:23 UT

Credit: NAOJ

2. さらに改良

先日作成したドップラー画像は SolEx のサイトで紹介されていた方法で作成しました。

確かに視線速度の向きで色が変わっていますが、国立天文台の画像とは趣が異なっています。一番の違いは私の画像では視線速度がゼロのところは無彩色になりますが階調を持っている点です。NAO のものはこの部分は階調がなく白になっています(空も白になっています)。このような画像ができないか試してみました。

使うのは前と同じで、 $\text{Ha}+0.5 \text{ \AA}$ (ImgR)と $\text{Ha}-0.5 \text{ \AA}$ (ImgB)の画像です。前の場合は R チャンネルに ImgB、B チャンネルに ImgR、G チャンネルに $(R+B)/2$ を割り付けましたが今回は

R チャンネルに $1 - (\text{ImgR} - \text{ImgB})$

B チャンネルに $1 - (\text{ImgB} - \text{ImgR})$

G チャンネルに $(R+B)/2$

を割り付けました。

R,B の画像の差を計算している部分は R,B をひっくり返したのですが、この部分が負の場合は1から差し引くと結果が1を超えてしまうので飽和してしまい結果は1になります。結局上の計算は $\text{ImgR} - \text{ImgB}$ の正の部分を白黒(?)反転したものを R チャンネルへ、負の部分(の絶対値)を反転したものを B チャンネルに割り付けたことになります。

画像演算は PI(Pix Insight)を使いました、AA(Astro Art)でも演算機能はあるのですが演算が正規化実数で行われるのか不明だったので使いませんでした。

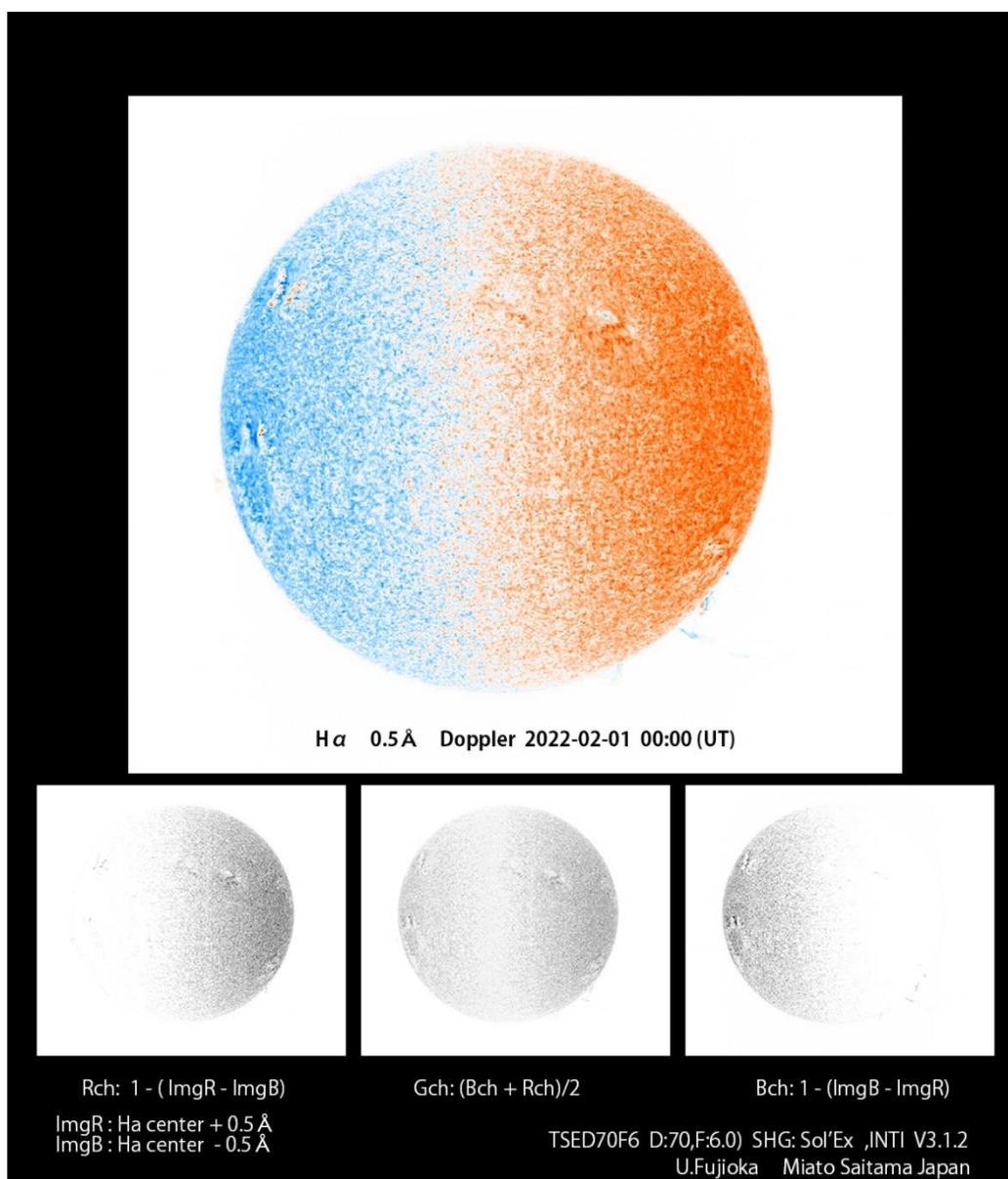
出来上がった RGB 合成は PI でのやり方を知らないので AA を使いました。

処理した結果は色合いは異なるものかなり NAOJ に近づいたものになりました。光球部分はそれでも結構ありますが、周囲のプロミネンスはだいぶ様子が違います 撮影時刻が 45 分ほど異なっていますのであるいはその間に変化したのかもしれませんが、もう少し別のデータでも試してみたいと思います。

また中央北から南にかけて白くなっています。もちろんこの部分は太陽自転軸の傾きの影響はあるものの、もともと視線速度の少ない部分です。

ただ INTI というソフトに起因する問題も含まれていると思っています。それは H α のセンターの同定方法の問題です。通常ドップラー効果を正確に測ろうと思えば視線速度のない地球大気中の物質による吸収線を基準にして変位を測定する訳ですが INTI では簡便に吸収線の真ん中を H α の位置としているものと思われます。

撮影時に赤経方向に太陽像をスリットでスキャンしながら撮影していますが一番太陽像の大きくなる中央部分で H α の位置を決めていると思います。この位置が H α の基準になりますのでこの部分に視線速度があると正しい結果は得られないことになります。簡便な方法ですのでこれは仕方がないと思っています。



付録:

A. 浅井のコメント(2022年2月6日)

もし、ドップラー効果が太陽の自転だけ(対地球の自転速度: 1.86km/s)の場合に赤道の端ではどのくらいの大きさになるか計算してみたら、 $H\alpha$ 線の波長 6563Å のうち、ずれは 0.04Å となりました。0.05Å と近い値ですね。ドップラー効果を引き起こす要因としては、定常的には他にも表面の対流などがあるとのこと。研究者は、ドップラー効果の値を測定して、逆にフレアーの速度など求めているようです。

また、下記サイトの論文は Fe 線で $H\alpha$ 線ではありませんが、0.05Å と 0.1Å で、描画しております。

<http://www.hino.meisei-u.ac.jp/phys/astrolab/stu/2010/sun.pdf>

B. 筆者の回答(2022年2月7日)

今回は数字自体は私の意図したとおりの記述になっていました。ただ写真キャプションでは nm 単位 (10^{-9}m) なのに対しメール本文では Å ($10^{-8}\text{cm}=10^{-10}\text{m}$) で表しているのが誤解を招きました。

工業の世界では SI 単位で統一されていますが、科学の世界ではこれまでの単位系が混在しています。特にスペクトルの世界では Å がよく使われます。私は Å という文字が機種依存文字ではないかと思えるだけ使わないようにしています。

実際の処理は前にも述べたように $H\alpha$ センターから $\pm 8\text{pix}$ 離れたところの画像を使用しています。ピクセル値と波長の関係は分光器を製作したときに実測しておりその値は 0.0063nm/pix ですので、使った画像は波長では $0.0063 \times 8 = 0.05\text{nm}$ (0.5\AA) 離れた画像ということになります。

0.5Å にしたのは国立天文台のサイトに” $H\alpha$ 線 $\pm 0.5\text{\AA}$ 全面像”という画像と” $H\alpha$ 線 $\pm 0.5\text{\AA}$ 速度場像”という画像がありこれと比較してみたかったためです。

[国立天文台 太陽観測科学プロジェクト 三鷹太陽地上観測 \(nao.ac.jp\)](http://nao.ac.jp)

得られた画像は確かに全般的には東が青く西が赤くなっています。私は単純にこれは自転の影響と思っていました。ただ浅井さんが言うように自転の影響では最大で 0.04 \AA の偏差にしかならないのにどうしてこのような画像が得られるか、新たな疑問が出てきました。だれかわかる人がいれば教えてください。

今回の分光器分光器で得られる Ha 線の黒線（吸収線）の幅は画面上で 10pix 程度（波長で 0.06 nm (0.6 \AA)) です。8pix といえば黒線から線幅の半部くらいの場所の画像を得ていることとなります。特に意味がありませんが $\pm 4 \text{ pix}$ (0.25 \AA) の画像で処理したものを添付します。

前にも報告しましたが、黒点の周辺などで局所的には黒線をはみ出して黒い部分が見えるところもあります。このようなところは今回の画像ではっきり出てくることでしょう。

C. 浅井の返事（2022 年 2 月 7 日）

説明ありがとうございます。理論的には、自転によるドップラー効果は中央では ZERO で端へ行くほど大きく (0.4 \AA) なります。詳しいことはわかりませんが、ずれのピークが 0.4 で 0.5 でも 20%の差なので、描画できるのかも知れません。