

投稿

Seestar S50 による太陽黒点の観測法

～画像の傾きを直し、黒点数を計測する～

三品 利郎（天教関東支部）

1. はじめに

今年 8 月には月平均の黒点数(相対数)が 23 年振りに 200 を越えたと 9 月 5 日に Spaceweather.com が報じた[1]。また、スマートフォンと連携して天体を自動導入し撮影できる Seestar S50 を購入したことをきっかけに太陽の黒点観測を始める人もいることであろう。他にもスマート・テレスコープ或はスマート望遠鏡と銘打った製品がある。このような製品を使えば簡単に太陽を撮影し、黒点数の計測ができる。そこで、伝統的な黒点相対数 R (Relative sunspot number) を計

算する方法を紹介する。

2. 黒点観測の流れとツール

表 1 に黒点観測の流れと使用ツールを示した。本稿ではステップ 2 から 7 を解説する。もしも、南中時刻に太陽を撮影できれば、経緯台であっても、画像の上下が子午線方向なので太陽の北極方向角だけ画像を回転させれば良い。なお、WinJUPOS は Windows 又は Linux with WineHQ で動作するツールであり、タブレット端末には対応していない。

表 1 黒点観測の流れと使用ツール

ステップ	使用ツール	概要
1 撮影	スマート望遠鏡 とスマートフォン	スマート望遠鏡で太陽を撮影し、画像はスマートフォンからパソコンへ移す。
2 画像の傾き角を計算	EXCEL と WinJUPOS 又は国立天文台の「こよみの計算 CGI 版」	観測地での太陽の南中時刻、観測時刻での太陽の高度と方位、及び北極方位角は、「国立天文台暦計算室」[2]の「こよみの計算 CGI 版」と「暦象年表」で求めるか WinJUPOS の天体暦で調べる。太陽の北極方向角は天文年鑑[3]にも掲載されている。
3 画像の傾きを修正	WinJUPOS、又はレタッチソフト(例 Irfan)	WinJUPOS には 1°単位で画像を回転する機能がある。レタッチソフトで画像を回転する方法もある。
4 太陽面の赤道表示	WinJUPOS	画像の測定機能を使い、赤道、中央子午線や 10°ごとの緯度経度線を表示できる。
5 黒点数を計測	WinJUPOS	WinJUPOS で赤道線を表示し、北半球、南半球ごとに、黒点群と全体の黒点数を計測する。
6 データ集計	EXCEL など	日ごとの値を集計して毎月の平均値を計算する。
7 データのグラフ化	EXCEL など	例えば、毎月の平均値を折れ線グラフにすることで、期間の黒点相対数の変化を可視化できる。

3. 画像の傾き計算の入力データ

表 2 に、国立天文台「暦計算室」から計算に必要なデータを入手できる計算機能をまとめた。「太陽の高度と方位」と「日の出入り・南中時」は観測時間のほかに観測値の緯度経度を入力して計算する。緯度経度は、度の 10 進法による小数点表記でも 60 進法による度分秒表記でもよい。

表 2 計算項目と暦計算室の計算機能

計算項目	計算機能
方位角	「こよみの計算 CGI」で「太陽の高度と方位」
南中時刻	「こよみの計算 CGI」で「日の出入り・南中時」
赤緯	「暦象年表」で「太陽の地心座標」
北極方位角	「暦象年表」で「太陽の自転軸」

4. 画像の傾き計算方法

本稿では球面三角形の正弦定理[4]を使って計算方法を紹介します。

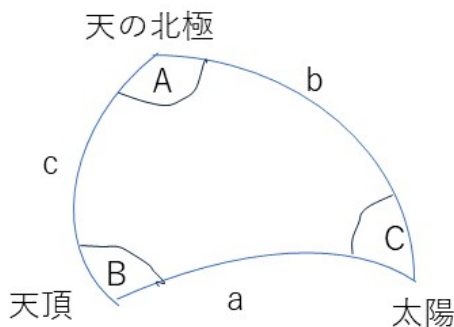


図 1 球面三角形

図 1 で、A は時角、a は頂距、B は方位角、b は極距、C は画像の北極方向角、c は余経度である。それぞれ次の様になる。

a: 頂距=90°-観測時刻の太陽の高度

A: 時角=(太陽の南中時刻と観測時刻の差)*0.25 (分単位の時間に、0.25°/分を乗ずる。)

b: 極距=90°-観測時の太陽の赤緯

B: 観測時の太陽方位角

c: 余経度=90°-観測地の緯度

C: 画像の北極方向角

正弦定理によると、

$$\sin(a)/\sin(A)=\sin(b)/\sin(B) \\ =\sin(c)/\sin(C) \text{ となる。}$$

国立天文台「暦計算室」で表 2 のように、WinJUPOS は「天体暦」で、観測時の太陽の赤緯と方位角と太陽の北極方位角を求めることができる。そこで、

$$\sin(b)/\sin(B)=\sin(c)/\sin(C)$$

即ち、 $\sin(C)=\sin(c)*\sin(B)/\sin(b)$ ----式(1)

$$C=\arcsin(\sin(c)*\sin(B)/\sin(b)) \text{ となる。}$$

従って、

画像の北極方向角

$$=\arcsin(\sin(\text{余経度})$$

$$*\sin(\text{太陽方位角})/\sin(\text{極距}))$$

に各値を代入して計算する。

そして、

$$\text{画像の回転角}=\text{画像の北極方向角}$$

$$+\text{太陽の北極方向角となる。}$$

5. 計算の例

暦計算室で必要なデータを求め太陽画像の回転角を計算する。暦計算室のページには図 2 のようにメニューが並んでいる。図 3 は、2024 年 2 月 26 日、12 時 11 分に Seestar S50 で撮影した太陽である。画像の左下には、Seestar のロゴの下に撮影年月日と時刻が書き込まれている。観測場所は横浜、緯度 35 度 26 分、経度 139 度 39 分、高度 5m とする。

暦計算室で「こよみの CGI」を開き「観測日時」と「観測地の緯度経度と高度」を入力する。そして左側に表示されるメニューの「太陽の高度と方位」の横にある「Go」ボタンをクリックすると、観測時の方位角、185.9°が表示される。



図 2 暦計算室



図 3 太陽 (2024 年 2 月 26 日)

次に、「日の出入り・南中時」の「Go」をクリックすると、南中時刻は 11 時 54 分 24 秒となる。観測時刻は南中を過ぎている。

続いて、図 2 のメニューの下の方にある「暦象年表」を選び「太陽の地心座標」を開いて、観測日時を入力する。ここで Seestar S50 で

は分までしか表示されないもので、12 時 11 分 30 秒と入力して直ぐ横の「表示」ボタンをクリックすると赤緯は $-8^{\circ}47'58.51''$ となる。

さらに、一旦暦象年表のページに戻り、「太陽の自転軸」を開き観測日時を入力して「表示」をクリックすると図 4 の図面が表示され、太陽の北極方位角 $P=-20.71$ がわかる。天球の北より東に傾けば「+」、西に傾いていれば「-」となる。

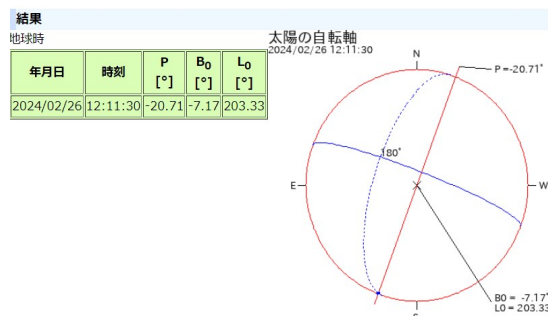


図 4 太陽の自転軸

表 3 に式(1)へ代入するデータをまとめた。

表 3 2024 年 2 月 26 日の太陽データ

No.	項目	値
1	撮影日	2024/2/26
2	撮影時刻	12:11
3	撮影地の緯度、高度	$35^{\circ}26'$ 、5m
4	撮影時の太陽方位	185.9°
5	観測時の太陽赤緯	$8^{\circ}47'58.51''$
6	撮影時の太陽北極方向角	-20.71
7	太陽の南中時刻	11:54:24

以下では少数第 2 位までを使って計算する。
 余経度= $90^{\circ}-35^{\circ}26'=54^{\circ}34'=54.57(10 \text{ 進法})$

$$\begin{aligned} \text{極距} &= (90^{\circ} - (-8^{\circ}47'58.51'')) = 98^{\circ}47'58.51'' \\ &= 98.80 \text{ (10 進法) となる。} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{画像の北極方向角} &= \arcsin(\sin(54.57^{\circ}) \\ &\quad * \sin(185.9^{\circ}) / \sin(98.80^{\circ})) \\ &= \arcsin((0.82) * (-0.10) / (0.99)) \\ &= -4.86^{\circ} \text{ となる。} \end{aligned}$$

画像の北極方向角の符号は、太陽の北極方向角と揃える。そして、

$$\text{画像の回転角} = -4.86 + (-20.71) = -25.57^\circ$$

となる。画像を回転させる向きは「+」の時は時計回り、「-」なら反時計回りになる。Irfanは、「-」の回転角が反時計回りになる。

三角関数を EXCEL で計算する際は、角度をラジアンで入力し、逆三角算数、arcsin の出力もラジアンである。そこで、度をラジアンに変換する関数(RADIANS)、ラジアンを度に変換する関数(DEGREES)を使う。

画像の回転は、画像を任意の角度で回転する機能があるレタッチソフトで行うか、WinJUPOS の 1° 刻みで画像を回転させる機能が使える。



図 5 Irfan で回転させた太陽

図 5 は Irfan というフリーソフトで回転させたものである。図 5 の画像から太陽の部分を切り抜き保存しておく。その画像を用いて黒点数を計測する。黒点数の計測には後述する WinJUPOS を使うと太陽の赤道線や 30°

或は 10° の経緯度線が表示できる。

6. 黒点数の計測

6.1 数え方

太陽面には、他の黒点と離れ独立した領域に黒点群が現れている。これらを黒点群とする。1 個単独のものから 2 個の黒点が東西に並んだもの(双極性黒点)を始め、多数の黒点が東西 15°以上もの広がりをもって集まっているものまで、様々な形態と規模に黒点が集まった黒点群がある。小さな黒点が 1 個だけ見えるもの(単極性黒点)も黒点群である。

黒点群内には、半暗部を伴う黒点や、半暗部を伴わない黒点や暗部のない半暗部のみものもある。OAA 太陽課の小倉登氏に以下の計測の仕方をご教授していただいた。

6.2 黒点群、黒点数と相対数

黒点群が太陽面に北半球、南半球ごとに、幾つあるかをまず数える。これを g とする。次に、個々の黒点を全て数え、これを f とする。もしも太陽面に小さな黒点(単極性黒点)が 1 つだけしか見えなければ、 $g=1$ 、 $f=1$ となるが、通常は、例えば $g=3$ 、 $f=5$ のように g よりも f の値が大きい。経験則として g を 10 倍して f と加算した $10 \times g + f$ に観測者による係数 K を乗じた、 $K \times (10 \times g + f)$ を R 、相対数と呼ぶ。これらを表 4 に整理した。

f の数え方には 3 通りある。

- (1) 黒点群内の暗部のみを数える方法
- (2) 黒点群内の暗部と半暗部の両方を数え、暗部のない半暗部は数えない方法
- (3) 黒点群内を暗部と半暗部の両方を数え、半暗部のみも数える方法

どの数え方でも良いが、同じ数え方を継続することが重要である。日によって(1)の方法或は(3)の方法と数え方を頻繁に変えるのは好ましくない。

表 4 黒点群数と全黒点数

記号	意味	数え方
g	黒点群数	太陽面に見える複数の黒点が経度で 10°から 15°程度の範囲に集る群の数、東西に並んだ双極性黒点群の数、単極性黒点 1 つだけでも 1 群と数える。
f	黒点数	黒点群の中の小さな黒点、及び単極性の黒点の全てを数える。
R	相対数	$R=K \times (10 \times g + f)$ K は観測者ごとの統計上の係数。

表 5 黒点群のチューリッヒ分類

型	内容
A	小さい(単極性黒点)半暗部のない黒点 1~数個のもの
B	東西 2 箇所程度(双極性)に黒点が分かれる半暗部のない黒点群
C	双極性の黒点でその一方は半暗部を持つ
D	双極性の黒点群で前後二つの主黒点どちらも半暗部を持つ、太陽面経度で 10°以内。
E	より大きな双極性の黒点群で半暗部を持つ二つの主黒点は複雑な構造、経度は少なくとも 10°以上
F	非常に大きな双極性でさらに複雑な黒点群、経度は 15°以上
G	大きな双極性の黒点で二つの主黒点の間に小黒点が存在しない、経度は 10°以上。
H	半暗部を持つ単極性黒点、多少の小黒点を伴う、経度 2.5°以上。
J	半暗部を持つ単極性黒点、経度 2.5°未満

6.3 チューリッヒ分類

黒点群の分類として、理科年表[5]、天文年鑑[6]に「チューリッヒ分類」が紹介されている。

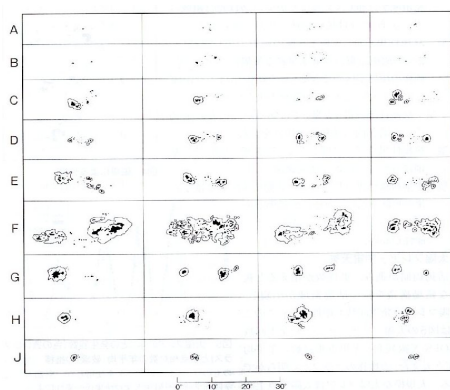


図 6 チューリッヒ分類(出典:天文年鑑 2024 p. 221)

また、国立科学博物館のホームページ[7]でも紹介されている。「チューリッヒ分類」を

表 5 及び図 6 として掲載する。なお、H と J の分類は、太陽の画像にグリッドを重ね合わせ「経度」で計るので経度としている。

7. 観測地の緯度経度の調べ方

本稿では国土地理院の電子地図[8]を使う方法を紹介します。国土地理院のトップページ

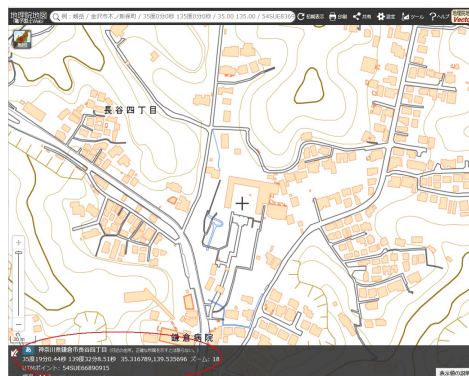


図 7 鎌倉の大仏周辺(国土地理院)で「地理院地図を見る」を選択すると、日本

地図が現れる。観測地を中央にして拡大し、画面左下の「矢印」をクリックすると「中央の十字の位置」に該当する緯度経度と標高が図7の楕円で囲んだ箇所に表示される。

8. WinJUPOS について

WinJUPOS という惑星画像解析用のツール(フリーソフト)は太陽も対象である。図8はJUPOS.orgのトップページ[9]である。四角で囲んだ箇所にダウンロードがある。因みにJUPOSはヨーロッパのアマチュアが中心となる木星観測のプロジェクトである。

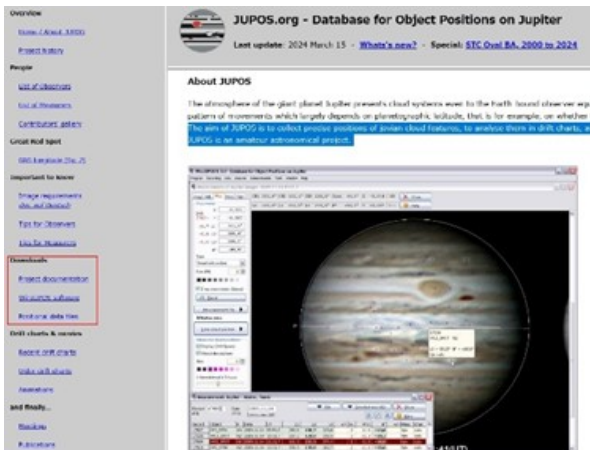


図8 JUPOS.orgのトップページ

9. WinJUPOS の操作の概要

まずユーザインターフェースについて簡単に説明する。選択した機能のペインを開くと、各ペインは処理のステップに合わせて複数のタブで構成されている。タブには、右向きか下向きの▼がついたボタンが複数ある。そのボタンを左クリックするとドロップダウンリストが現れ処理を選択できる。

現在のバージョン 12.3.11 は日本語に対応しており、ヘルプも日本語で読める。WinJUPOS を起動し「Program」のドロップダウンリストから「Language」で日本語を選ぶ。同じく「Program」のドロップダウ

ンリストから「太陽」を選択しておく。

WinJUPOS を起動して開いたウィンドウのメニューバーには、「Program (プログラム)」、「Recording、(記録)」、「Analysis (分析)」、「Tools(ツール)」機能のグループが表示されており、その表示を左クリックするとドロップダウンリストが現れる。そのドロップダウンリストから使う機能を選択して操作のダイアログを開く仕組みになっている。

10. WinJUPOS の使い方

10.1 太陽の天体暦

WinJUPOS の「プログラム」のドロップダウンリストで、「太陽」が選択されていることを確認したら、「ツール」から「天体暦」を選ぶ。太陽の「天体暦」のダイアログが開いたら、「地理緯度」と「地理経度」を入力し▼をクリックして観測地の緯度経度を保存する。次に「日付」と「時間」を入力する。上が「現地時間」、下が「万国標準時」(UT)である。「現地時間」の方に入力すると UT は自動計算される。

左側に(日付の分点)、「赤経」、「時間角」、「赤緯」が表示されている。赤緯の十進表示の方が計算に使やすい。右側には、「方位角」、「子午線通過」、「北極方向角」が表示されている。「北極方向角」は「赤道(赤道座標)」と「水平(地平座標)」の2種類がある。「水平」は画像の回転角と同じであるので、この角度で画像を回転させれば良い。但し、0~360°で表示される。また、EXCELで計算した値とは、計算に使う数字の桁数に起因すると思われる0.5°程度の差異がある。私は、「方位角」や「子午線通過」などのデータも記録しておくため、EXCELで計算した値を使い、「水平」の北極方向角を参考にしている。

10.2 太陽面の赤道表示

「記録」のドロップダウンリストから「画像測定」を選択すると「測定」のペインが開く。そして、「画像を開く」のボタンをクリックして、太陽の画像を読み込ませ、観測日付と時刻 (UT) を入力する。「地理経度」と「地理緯度」には観測地の経度緯度を入力する。その際に▼をクリックして、「天体暦」のダイアログで保存した観測地の緯度経度を呼び出すことができる。観測者には氏名のイニシャルの様に簡単でわかり易いニックネームを入力する。

次に「調整」のタブを開いて「画像」のドロップダウンリストで「画像のリセット」を行う。次に「アウトラインフレーム」のドロップダウンリストで「自動検出」を行うと太陽の画像の輪郭に「アウトラインフレーム」が合う。そして「アウトラインフレームの赤道を水平に回転させる」をクリックする。赤道表示させた画像が図 9 である。

10.3 画像の回転

SeestarS50 で撮ったままで、回転させていない画像を使う場合は、WinJUPOS で 1°刻みに画像を回転させることができる。

「調整」のタブを開いた状態で L を押下すると左に 1°、R を押下すると右に 1°画像が回転する。Ctrl と L を同時に押下すると左に 10°、Ctrl と R を同時に押下すると右に 10°画像が回転する。画像と一緒に「アウトラインフレーム」と「赤道線」も回転するので、画像を回転させたら、「アウトラインフレーム」のドロップダウンリストから「アウトラインフレームの赤道を水平にする」を指定して赤道線を水平にする。その状態が図 9 である。「追加のグラフ」のドロップダウンリストから 10°の経緯度線などの表示を選択することができる。

10.4 ims オブジェクトを保存

赤道線を表示させた状態で、北半球、南半球ごとに前述した要領で黒点を数えてゆく。黒点を数え終わったら、画像のタブに戻り、保存をクリックする。オブジェクト名は自動生成され、「日付-時刻(UT)-観測者.ims」と設定される。この.ims 形式のオブジェクトを再び読み込むと調整で回転させた画像と「アウトラインフレーム」が表示される。

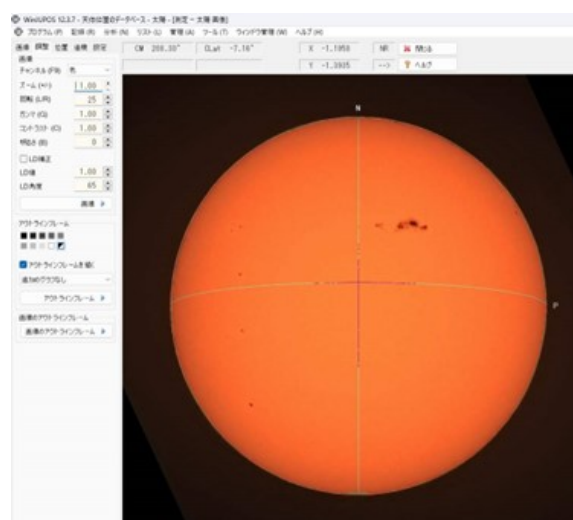


図 9 太陽面の赤道表示

11. データの集計

私は、図 10 の EXCEL シートを使って画像の回転角の計算、日毎の相対数の計算、及び一ヶ月の相対数の平均値を計算している。

図 10 の EXCEL シートは、観測集計部 (E 列から N 列)、画像の回転角の計算部 (O 列から U 列)、計算に使用するデータの入力部 (V 列から AB 列) の三つの部分で構成して、段階的に画像の回転角を計算し、O 列が画像の回転角になるようにしてある。

観測集計部は、日ごとに北半球の g と f 南半球の g と f を入力すると、全面の g と f 及び相対数 R を計算するように I 列から K 列の各セルに計算式を設定してある。

表の下の行のセルは、一ヶ月の合計と平均

の計算・表示に使っている。その下にコメント欄、機材記入欄がある。シートの余白は、備忘録として使っている。集計シートの雛形が欲しい方はメールで連絡してほしい。

図 10 集計シートの例

12. データをグラフ化

10年、15年と観測を継続すると11年周期のグラフを描くことができる。図11は、私が観測した黒点の相対数の月間の平均値を2024年1月から8月までの期間でグラフにしたものである。図11からは短期の傾向を読み取ることができる。

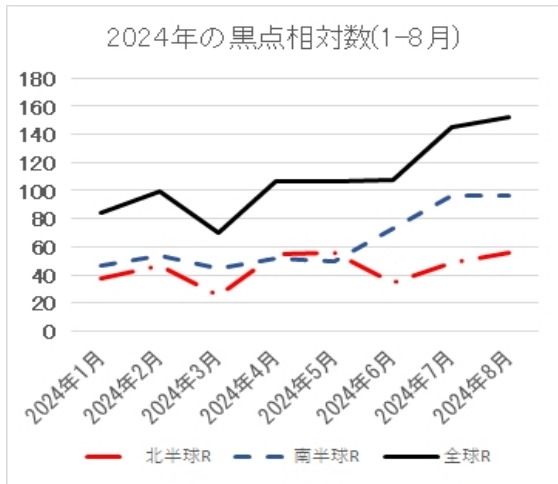


図 11 黒点相対数月平均

図11を見ると2024年の1月から8月にかけては、南半球の方が北半球よりも黒点相対数が大きくなっている。全球の相対数は7月に140を越え、8月は150を越えた。

謝 辞

太陽黒点の計測方法や分類をご教授いただいた OAA 太陽課の小倉登氏に篤く御礼申し上げます。

文 献

[1] Spaceweather.com 2024年9月5日
<https://www.spaceweather.com/archive.php?view=1&day=05&month=09&year=2024>

[2] 国立天文台 暦計算室
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/top.html>

[3] 天文年鑑編集委員会(2023), 『天文年鑑 2024年版』, 誠文堂新光社, p.121.

[4] 廣野康平(2020), 『天文航法のABC』, 成山堂書店, pp.73-79.

[5] 国立天文台(2023)『理科年表 2024』, 丸善出版株式会社, p.101.

[6] 天文年鑑編集委員会(2023), 『天文年鑑 2024年版』, 誠文堂新光社, p.221.

[7] 国立科学博物館 チューリッヒ分類
https://www.kahaku.go.jp/research/db/science_engineering/sunspot/zurich.html

[8] 国土地理院トップページ
<https://www.gsi.go.jp>

[9] JUPOS.org
<https://jupos.hier-im-netz.de/index.htm>



三品 利郎