

投稿

Seestar S50 の画像を天の北極に向ける

～画像の傾きを計算する～

三品利郎（天教関東支部）

1. はじめに

Seestar S50 はスマートフォンと連携して天体を自動導入・撮影できる。他にもスマート望遠鏡、あるいはスマート・テレスコープと呼ばれる製品がある。このような製品を使えば、太陽、月や星雲星団が簡単に撮影することができる。

ところが、経緯台であるため、画像の上が天頂方向になっている。画像の天の北極方向は、計算しないとわからない。そこで、画像の天の北極の計算方法を示し、画像を回転させて画像の上を天の北極に向ける方法を示す。

2. 球面三角形の正弦定理を使った計算

正弦定理と余弦定理がある[1]。本稿では正弦定理を使って計算する。

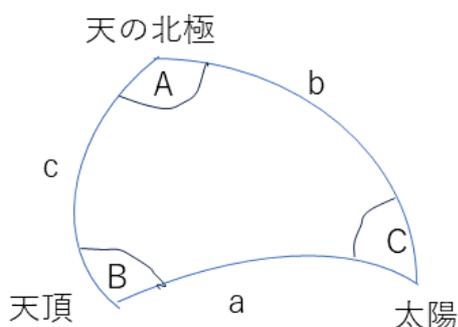


図1 球面三角形

図1で、Aは時角、aは頂距、Bは方位角、bは極距、Cは画像の傾き、cは余経度である。それぞれ次のようになる。

- a : 頂距 = 90° - 観測時刻の天体の高度
- A : 時角 = (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° - 天体の赤緯

B : 観測時の天体方位角

c : 余経度 = 90° - 観測地の緯度

C : 画像の傾き

正弦定理によると、

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

となる。

観測時刻の天体の赤緯と方位角がわかる場合は、

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

即ち、

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

$$C = \arcsin(\sin(c) * \sin(B) / \sin(b)) \text{ ----公式(1)}$$

を使う。

観測時刻の天体の高度と時角または南中時刻がわかる場合は、

$$\sin(a)/\sin(A) = \sin(c)/\sin(C)$$

即ち、

$$\sin(C) = \sin(c) * \sin(A) / \sin(a)$$

$$C = \arcsin(\sin(c) * \sin(A) / \sin(a)) \text{ ----公式(2)}$$

を使う。

3. 観測時刻の天体の赤緯と方位角で計算

市販の天文シミュレータソフトの「ステラナビゲータ」、あるいは、フリーソフトの「CA2」[2]、「SkyChart」[3]や「Stellarium」[4]などで、観測時刻に合わせておき、撮影した天体の情報を表示させると観測時刻での赤経と方位角を知ることができる。太陽、月と惑星については、惑星画像解析用のフリーソフト「WinJUPOS」[5]で太陽や月の北極方向角、惑星の自転軸の方向角も調べることがで

きる。

特に太陽の場合は、球面三角形の正弦定理を使って画像の傾きの角度を計算し、その角度と北極方向角の分だけ画像を回転して、太陽の北極を上にするるとともに太陽面の赤道線を画像に重ねて表示することができる。黒点の観測には重宝する。

注意することは、太陽や月の北極方向角は、反時計回りが「-」で、惑星の自転軸方向角は、反時計回りが「+」になることである。

4. 公式(1)での計算と回転の例

図 2 は Seestar S50 で撮影した ET (NGC457) と月である。

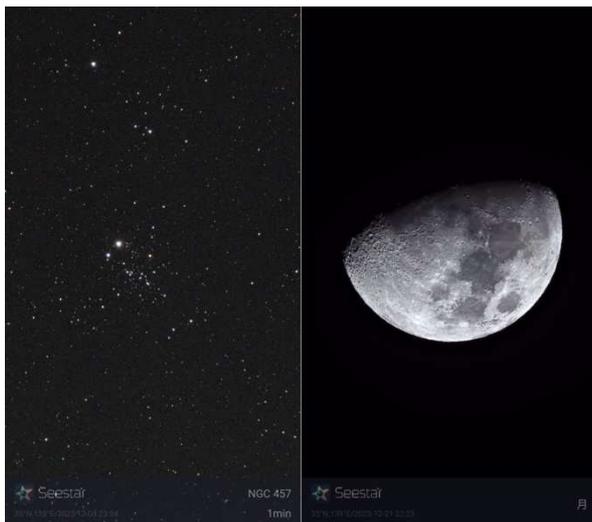


図 2 Seestar で撮影した画像

ET の撮影日時は 2023 年 12 月 8 日 23 時 54 分、月は 2023 年 12 月 21 日 22 時 23 分である。Seestar S50 が画像の左下に書き込まれた時刻は分までで秒が省略されている。ツールに入力するときも 23 時 54 分、22 時 23 分と秒を省略した。

ET は「ステラナビゲータ 12」を使い赤緯と方位を調べた。月は、赤緯と方位と北極方向角を「WinJUPOS」で調べた。その値を正弦定理の公式(1)に代入して画像の傾きを

EXCEL で計算した。その際に、EXCEL の三角関数は引数も、逆三角関数の戻り値もラジアンである。そのため度からラジアンへの変換関数 RADIANS とラジアンから度への変換関数 DEGREES 関数を使う。

表 1 に日付、時刻と観測地の緯度と余経度、ツールで求めた天体の赤緯、方位、極距と月の北極方向角を示した。方位は真南が 0°で表示されるので月の場合は真南を 180°になるように変換して、計算結果は反時計回りが「-」になるようにした。

公式(1)の計算結果が「画像の傾き」である。

表 1 計算に使う値と公式(1)の計算結果

項目	ET	月
ツール	ステラナビゲータ 12	WinJUPOS
日付	2023/12/8	2023/12/21
時刻	23h54m	22h23m
緯度	35.368°	35.368°
余経度	54.632°	54.632°
赤緯	58.408°	8.183°
極距	31.592°	81.817°
方位	140.12°[NW]	72°[WSW] 計算には、 +180°した 252°を使う
画像の傾き	86.434°	-51.58°
北極方向角	無し	-20.52°

画像の傾き = $\arcsin(\sin(\text{余経度}) * \sin(\text{天体の方位}) / \sin(\text{極距}))$ に値を代入すると、ET の方は、

$$\begin{aligned} & \text{画像の傾き} \\ &= \arcsin((\sin(54.632^\circ) * \sin(140.12^\circ) \\ & \quad / \sin(31.59^\circ)) = 86.434^\circ \end{aligned}$$

となり、月の方は、

画像の傾き

$$= \arcsin((\sin(54.632^\circ) * \sin(72^\circ)) / \sin(81.817^\circ)) = -51.58^\circ$$

となった。

ETは反時計回りに86.434度、画像を回転し、月は北極方向角が-20.52度なので、72.10度、画像を反時計回りに回転する。画像の回転はフリーソフトの「Irfan」[6]を使った。回転した画像を図3に示す。画像を回転させる際には入力する角度の「+」、「-」と回転の向き（時計回り/反時計回り）の対応に注意する。



図3 回転した画像

5. 観測時の天体の高度と時角で計算

本稿で紹介したソフトウェアは時角 (hour angle) も表示される。時角がわかれば公式(2)が使える。

時角は角度表示のものも有れば時分秒の時間表示のものもある。時間表示は公式(2)に代入するために角度に変換しておく。

「国立天文台の暦計算室」[7]の「こよみの計算 CGI 版」を使うと太陽、月と五惑星の観測日の南中時刻と、観測時刻の高度が求められる。南中時刻と観測時刻の差から時角が計算できる。

6. 公式(2)での計算の例

2023年12月21日の月を使って、「こよみ計算の CGI 版」、及び「WinJUPOS」で求めた値と公式(2)を使った計算結果である「画像の傾き」を表2とした。

「こよみの計算 CGI」は時刻の入力が分単位のため、WinJUPOSの入力も分単位とした。時角は南中前を「+」南中後を「-」として月の北極方向角と符号の向きを揃えた。

表2 計算に使う値と公式(2)の計算結果

ツール	WinJUPOS	こよみの計算 CGI
日付	2023/12/21	2023/12/21
時刻	22h23m	22h23m
緯度	35.368°	35.368°
余経度	54.632°	54.632°
南中	18h59m	18h58m
時角	-50.126°	-51.25°
高度	37°	36.9°
頂距	53°	53.1°
画像の傾き	-51.59°	-52.68°
北極方向角	-20.52°	-20.325°

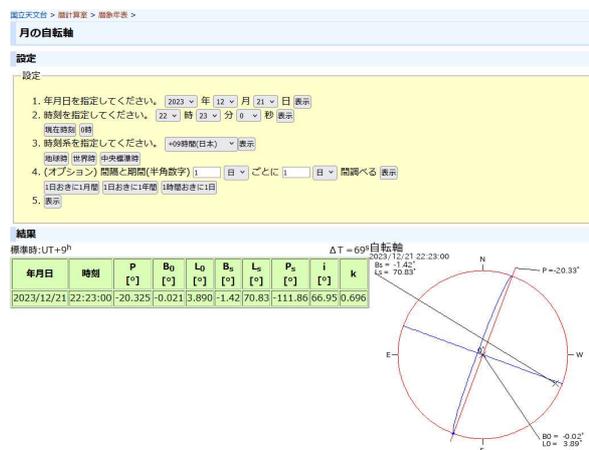


図4 「暦象年表」より月の北極方位角 (出典:国立天文台 暦計算室)

公式(2)の計算結果が画像の傾きである。

WinJUPOS と「こよみの計算 CGI」との差は、 1.09° である。

「こよみの計算 CGI」の方の北極方向角は、図 4 に示した「暦象年表」[8]の「月の自転軸」で計算できる「自転軸の向き(P)」を用いた。太陽や五惑星の自転軸の傾きも「暦象年表」で計算できる。

画像の傾き = $\arcsin(\sin(\text{余経度}) * \sin(\text{時角}) / \sin(\text{頂距}))$ に値を代入すると、WinJUPOS の方は、

$$\begin{aligned} \text{画像の傾き} \\ = \arcsin((\sin(54.632^\circ) * \sin(-50.126^\circ) \\ / \sin(53^\circ)) = -51.59^\circ \end{aligned}$$

となり、こよみの計算 CGI の方は、

$$\begin{aligned} \text{画像の傾き} \\ = \arcsin((\sin(54.632^\circ) * \sin(-51.25^\circ) \\ / \sin(53.1^\circ)) = -52.68^\circ \end{aligned}$$

となった。

$$\begin{aligned} \text{WinJUPOS を使って計算したものは、} \\ -51.59^\circ - 20.52^\circ = -72.11^\circ \end{aligned}$$

の回転となる。

$$\begin{aligned} \text{こよみの計算 CGI の方は、} \\ -52.68^\circ - 20.325^\circ = -73.01^\circ \end{aligned}$$

の回転となる。

WinJUPOS とこよみ計算 CGI との差は 0.9° となる。この程度の差は、月の画像の傾きを直すという目的であれば許容できるであろう。

7. まとめ

スマート望遠鏡で撮影した画像の上方向を天の北極に向けるためには、観測時刻での天体の赤緯と方位、または、天体の時角と高度を知ること、球面三角形の正弦定理を使って計算ができる。

市販、あるいはフリーソフトの天文シミュ

レータソフトを使うと、撮影した天体の撮影時刻での、赤緯と方位、時角と高度がわかる。太陽、月と五惑星なら「国立天文台 暦計算室」の「こよみの計算 CGI」が使える。

それらのツールで調べた値を正弦定理による公式(1)または公式(2)に代入して計算すれば良い。

文 献

- [1] 廣野康平(2020), 『天文航法の ABC』, 成山堂書店, P73-79
- [2] C2A のページ
<http://www.astrosurf.com/c2a/english/>
- [3] SkyCHART のページ
[https://www.ap-i.net/skychart//en/start.](https://www.ap-i.net/skychart//en/start)
- [4] Stellarium の日本語ページ
<https://stellarium.org/ja/>
- [5] JUPOS.org のページ
<https://jupos.hier-im-netz.de/>
- [6] IrfanVIEW のページ
<https://www.irfanview.com/>
- [7] 国立天文台 暦計算室
<http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/top.html.ja>
- [8] 国立天文台 暦計算室 暦象年表
<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/cande/>



三品 利郎