

スマート望遠鏡は、機材や天体観測の知識がないビギナーでもすぐに使え、 図鑑のように天体が観察できる、2020年代に普及し始めた新世代の望遠鏡です。 天文ファンでなくてもすぐ使える!のがポイントです。 そして、この望遠鏡の特性を生かす実践が各地ではじまっています。 また、取り扱うノウハウも蓄積されはじめています。

・そうした実践、ノウハウをハンドブックにしてスマート望遠鏡をもっともっと ・使っていただこうとこの本を作りました。ご活用ください。

大阪市立科学館 学芸員 渡部義弥・

		t t	らくじ				
まんが	スマート望遠鏡ってなんだ?			スマート	望遠鏡で天文研究	· 汉門	
これが見	まれる撮れるスマート望遠鏡			30	太陽の動きから	61日の長さを測る	· · · ·
2	月のクレーターを見て、撮って、	楽しもう		32.	太陽の大きさを	調べて地球の軌道	を考えよう
4	太陽の黒点を見て、計測までしよ	う		33	画像解析ソフト	- 「マカリ」で天文	学 ·
6	見栄えのする天体4選			34	太陽黒点の温閉	朝定	
10	写真映えする天体4選			37	プラネタリウム	ュソフトの紹介	
14	四季のおすすめ天体マップ		· · · ·	38	彗星の光度観測	Ŋ	
18	用語集~スマート望遠鏡で観察す	るための知識		42	木星や土星の質	量を調べる	
20 ⁻	スマート望遠鏡の特徴と言葉			46	変な星、星の事	評さがし	
21.	土星や木星は楽しめる?			50	Stellariumで構	図を決める	
	月今一一十二十二十、			51	月による恒星的	を楽しもう	
大平観日		1. A. A.	· · · ·	52	TIPS①フードと	フィルター	· .
22				53	TIPS2生成AIに	助けてもらおう	
24.	大体観光云での工生う具						
26	大体観望会の実践別し			~~~~	全定現の理実期第 /	く・サポート情報	
27	天体観望会の実践例2)			54	いろいろなスマ	?ート望遠鏡と入手	去
28	SNS活用 全国一斉観察の奨め			56	困ったときの情	報の入手先	· · /
		•	•	•	•		





作 高畠規子 構成・コンテ なつき おしまい☆ 作画 高部哲也

1.月のクレーターを、見て、撮って、楽しもう

1.はじめに

この章では、Seestar S50 を例にして、 月を観察したり、撮影して楽しむ方法を 解説します。他のスマート望遠鏡でも同 様ですが、操作法は各望遠鏡のマニュア ルやチュートリアルをご参照ください。

2.Seestar S50 で月を画面に入れる

Seestar アプリは、望遠鏡を月に向け るとき、次のように行います。

- (1) その時に月がいる方向に望遠鏡を向 け、いったん止まる
- (2)まず左へ、次に右に望遠鏡を振って、明るい像が入るとそれを月として画面に置くようにする
- (3) 月が入っているか確認を求める



図1 Seestar の月の探し方

月を探して望遠鏡を左右に振る動作は 1回しか行われないため、水平が1.5°以 上傾いていたり、コンパスがズレていた りすると、月を探すことができません。

そのため、Seestar のこのような月の 探し方を理解して、(1)の時に月とは違う 方向に向けたら、Seestar が月を探して いる最中に Seestar 本体を持ち上げて月 のやや右側に向けると、月を見つけやす くなります。

なお、日中や、日没後まもない頃の月 を探すときは、Seestar が空と月の区別 ができず、月を見つけられません(スマ ート望遠鏡が苦手な部分です)。そのとき は「月を探す」を中断しアプリ内のジョ イスティック(図2)を使い操作します。

3.「太陽系モード」の使い方

太陽系天体での操作画面は共通です。



図2 太陽系モードのアプリ操作画面

全画面表示:

アイコンなどを表示しない、天体だけ の画面にする。

ターゲット補正:

天体を画面の中央にし続ける。

明るさ調整:

2 つの方法がある。1 つはオートに対 して+/-で調整。もう1 つはシャッタ ー速度とゲイン(感度)を指定する。 Raw ビデオを撮影:

ビデオ撮影時は、通常はmp4ファイル を保存する。Raw を選択するとさらに AVI ファイルを保存する。AVI ファイ ルは「ビデオスタック」に使用できる。 拡大表示:

1x、2x、4x がある。デジタルズームで、

1x のときの画面を拡大表示する。 撮影モード:

タイムラプス、写真、ビデオがある。

4. 月の表面を観察する



図 3 x1、x2、x4 表示の月

月面のあちらこちらにあるクレーターな どを観察するときのコツとしては、x2や x4 を使って拡大せず x1 表示のままで、 ターゲット補正を 0N に(月を望遠鏡の中 心に)し、スマホ画面をピンチインやピ ンチアウトで拡大したり、またスライド させて見る場所を変える方が良いです。 そうすることで、望遠鏡は、常に月を中 央に追尾しています。



図4 スマホ画面の操作

天体観望会で、月を全画面表示させた タブレットを参加者に渡して自由に操作 させてあげると、年齢によらず大喜びし てもらえます。

5. 月の表面を撮影して楽しむ

月を撮影するときには、大気の揺れに よるボケが気になります。

「写真」で撮影した画像をシャープ処 理する方法があります。他に Raw ビデオ を 3~5 秒撮影し、Seestar アプリでビデ オスタックして、よりキレイにすること ができます。



図5 ビデオスタックの手順

撮影したビデオファイルは Seestar 本 体に保存されます。Seestar に接続した まま、アプリのホームページの「マイア ルバム」(図5左上)で「Seestar」側を 開き、月のフォルダーを見ます。保存さ れたファイルのうち、Raw ファイルは左 上に Raw の文字があります。(図5右上) これをタップして再生すると、画面の右 上に「スタック」の文字が表示されます。 (図5右中) これをタップするとスタ ックが始まります。作成された画像をシ ャープ処理すると、キレイになります。

なお、x1 で撮影したビデオをスタック するのに2分弱かかります。これが x2や x4 で拡大撮影したビデオファイルでは1 分弱で済みます。観望会の最中にビデオ スタックして表示したいときは、拡大し て撮影すると良いでしょう。

(甲田)

2.太陽の黒点を見て、計測までしよう

1. はじめに

この章では、Seestar S50 で撮影した太 陽の画像を太陽の北極を上にする方法と、 18 世紀から続いている伝統的な黒点数の 計測方法を簡単に紹介します。

2. 黒点とは何か

黒点の正体は目に見えない磁場であり、 図1は黒点群を形成する一対の半暗部を 持つ黒点及び単極性の黒点と磁場(磁力 線)の様子の模式図です。磁力線は太陽面 から外へ伸びて再び太陽面に戻ります。 磁力線が集まる強い磁場があると熱が妨 げられ、太陽面は 6000℃であるのに対し て、4000℃と温度が下がるので暗く見え ます。大きく複雑な形をした黒点群では、 磁場の形が乱れ磁力線が複雑に絡み合い、 時々クシャミをします。それがフレアと 呼ばれる爆発現象です。



図1 黒点群と磁力線の様子

昨年の五月五日に Seestar S50 で撮影 した太陽が図 2 です。複雑な形をした黒 点群が南北両半球に現れました。これら の黒点群でフレアが頻発し北海道では低 緯度オーロラが見えました。



<u>図 2 2024 年 5 月 5 日の太陽</u>

3. 太陽の北極を画像の上にする方法

Seestar S50 は経緯台なので、画像の上 が天頂方向になります。天の北極、太陽の 北極と天頂の関係を図3に示しました。



図3天の北極、太陽の北極と天頂

画像の上の太陽の北極にするための 回転角=画像の北極方向角C+太陽の北 極方向角Pとなることが分かります。

3.1 球面三角形の正弦定理

Cで示した画像の北極方向角は、球面三 角形の正弦定理で計算できます[1]。Pで 示した太陽の北極方向角は国立天文台 「暦計算室」[2]で求められます。

画像の北極方向角の計算を説明します。

正弦定理により図4から, sin(a)/sin(A)=sin(b)/sin(B) =sin(c)/sin(C)となります。



A:時角 a:J頁距 B:方位角 b:極距 C:画像の北極方向角 c:余経度

図4球面三角形

図4のabcABCの各記号は以下です。 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 を掛ける)

b:極距=90 度-観測時の太陽の赤緯

B:観測時の太陽方位角

c:余経度=90 度-観測地の緯度

C:画像の北極方向角

そして、C:画像の北極方向角は sin(b)/sin(B)=sin(c)/sin(C)から C = arcsin(sin(c)*sin(B)/sin(b))とな ります。式を書き直すと、

画像の北極方向角

=arcsin(sin(90 度-観測地の緯度))

<u>*sin(観測時の太陽の方位角)</u>

<u>/sin(90度-観測時の太陽の赤経)</u>—式(1) となります

3.2 国立天文台「暦計算室」

式1に入力するデータ項目と暦計算室 の計算機能を表1にまとめました。観測 地の緯度は、国土地理院の電子地図やス マホのコンパスアプリで求められます。 暦計算室と電子地図で求めたデータから 式(1)で計算します。計算はEXCELでも出 来ます。EXCELの場合は入力する角度も計 算される角度もラジアンなので、ラジア ンを度に変換する関数(DEGREES)と度を ラジアンに変換する関数(RADIANS)を使 います。

表1 入力データと暦計算室の機能

入力データ	計算機能
太陽の方位	「こよみの計算 CGI」で「太陽の
角	高度と方位」
太陽の赤緯	「暦象年表」で「太陽の地心座標」
北極方向角	「暦象年表」で「太陽の自転軸」
<u> </u>	

<u>こうして求めた、画像の北極方向角C</u> +太陽の北極方向角 P=画像の回転角に なります。この角度で画像を回転させれ ば、太陽の北極を上に向けられます。

4. 黒点数の計測

他の黒点と離れ独立した領域に現れる ものを黒点群と呼びます。太陽の北半球、 南半球ごとに、黒点群を数えgとします。 次に、個々の黒点を全て数えfとします。 もし、太陽面に小さな黒点が一つしかな ければg=1、f=1 となります。通常は、g=3、 f=5 のようにg \leq f になります。経験則と してgを10倍してfと加算した10×g+f に観測者による係数Kを乗じたものが相 対数Rです。つまり、R=K×(10×g+f)と なります。そして日々これを計測します。 さらに詳しく知りたい方は、文献[3]を ご覧下さい。ネットで閲覧できます。

5. 文献

[1] 廣野康平(2020)、『天文航法の ABC』、成山堂書 店、P73-79

[2] 国立天文台(1994)、『国立天文台 暦計算室』 http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/top.html.ja
[3] 三品利郎(2024)、『SeestarS50 による太陽黒点 観測法』、天文教育 191 号 Vol.36 No.6、P19-26 https://tenkyo.net/kaiho/kaiho191.html

(三品)

3. 見栄えのする天体 4 選

1. はじめに

スマート望遠鏡を使った星雲や星団 (→6節)の観察は、基本的には撮影(ス タッキング→7節)して天体像を明るく して行うのが好ましいです。それでもい くつかの明るい天体は、撮影前のプレビ ュー画面で観察したり、短い時間の撮影 で十分に見られます。この章では、 Seestar S50を使った、プレビューでも 観察できる天体を紹介します。

2. 春・ヘルクレス座球状星団 M13

ヘルクレス座の右腰に位置する M13 球
 状星団は、日本から見られる球状星団(→
 6. 用語集)の中で最も明るいです。

1714年にこれを発見したエドモンド・ ハレーは「空が穏やかで月の無い夜、肉 眼でも見える」と記しています。望遠鏡 で観察した W. ハーシェルは「最も美しい 星団」と称えています。[1]



図1 ヘルクレス座球状星団 M13 の位置

球状星団は、数十万個の恒星が球状に 集まっている天体です。M13 はプレビュ ーでも色とりどりの星が集まっている様 子を観察できます。数分かけて撮影する と、中心部は明るく飽和しますが、周辺 が広がって大きな球状星団であることが 分かります。

球状星団は一般に年老いた星が多いと いいますが、M13の年齢は26億歳ほど。 [2] 年老いた赤い星と、若い青白い星の 両方が観察できます。



図2 プレビューと6分撮影でのM13

3. 夏・リング星雲 M57



図3 こと座M57の位置



図4 プレビューと3分撮影でのM57

夏の天の川近くには惑星状星雲(→6. 用語集)がたくさんあります。中でも有 名なのが、こと座の「リング星雲」M57 です。明るい星雲で、望遠鏡を使って肉 眼で見たとき、条件が良いと中心の穴が 見えます。見た目の姿から「ドーナッツ 星雲」の愛称もあります。

スマート望遠鏡で M57 を見ると、プレ ビューでちょうど良く観察できます。撮 影すると、明るいためにすぐに白トビし てしまいます。

惑星状星雲は太陽程の質量の恒星がそ の寿命の終りに周辺にガスを吹き飛ばし たものです。中心核が白色矮星になり、 そのエネルギーで発光しています。

スマート望遠鏡でも M57 の中心の白色 矮星はなんとかわかります。[3]



図 5 M57 の中心に見える白色矮星

M57 を拡大して表示して観察すると、 リングの外側が窒素のオレンジ色、内側 が酸素の緑色、内部がヘリウムの青色で 光っている様子が分かります。このよう な色の違いが観察できるのがスマート望 遠鏡の強みです。

4. 秋·二重星団

二重星団はカシオペヤ座とペルセウス 座の境界近くにある、散開星団(→6.用 語集)が2つ並んでいるものです。NGC869 とNGC884の番号があります。それぞれ恒 星として名前が付けられたことからh+ χ (エイチ・カイ)星団とも呼ばれます。



図6 二重星団の位置



<u>図7 プレビューと3分撮影の二重星団</u> 東側の NGC869(h) は 7460 光年の距

離にあり、実際の直径は33光年です。青 白い明るい星がほとんどですが、オレン ジ色の星もあります。[5]

西側の NGC884 (χ) は 7640 光年の距離で、NGC869 と数百光年しか離れていません。それぞれの星団が実際に近くに並んでいるのですね。[6]

二重星団を見ると、星の密集度が違う ことが分かります。散開星団それぞれが このように個性があっておもしろいです。

散開星団の星の密集度を評価したシャ プレイ分類があり、a (まばら)からg(密 集)まで7段階で分類されます。それに よると、NGC869はf、NGC884はeとされ ます。[7]

5. 冬・オリオン大星雲 M42・M43

オリオン座は明るい星から成る、冬の 星空で特に目立つ星座で、その腰の剣に 位置し、肉眼でも雲のように見えるのが オリオン大星雲です。散光星雲(→6. 用語集)では最も明るい天体です。

そこは、今恒星が誕生しつつある場所 で、「星のゆりかご」とも呼ばれます。



図8 オリオン大星雲の位置



図9 大星雲のプレビューと6分撮影

恒星は星間ガス(主に水素ガス)が集 まって誕生します。オリオン大星雲は、 中心部で誕生した 300 個ほどの恒星のエ ネルギーを受けて光って見えます。

中心部の星のほとんどはガスに隠れて 見えませんが、一部が「トラペジウム」 の4重星として見ることができます。中 心部は明るく、撮影するとすぐに白トビ してしまいますが、スマート望遠鏡のラ イブビューで拡大すると4重星を見るこ とができます。(図10ではハッキリしま せんが、スマート望遠鏡のスマホアプリ 画面ではトラペジウムが確認できます)



図10 トラペジウムと M43

またプレビュー画面で中心部を拡大表 示して、明るい星雲と暗黒星雲が複雑に 入り組んでいる「暗黒湾」、中心部で2光 年に及ぶ帯状の電離ガスから成る「バー」 など、星雲の複雑な様子を観察すると楽 しいです。(→12節)

6.文献

[1] https://ja.wikipedia.org

/wiki/M13_(天体)

- [2] https://people.smp.uq.edu.au /HolgerBaumgardt/globular/
- [3] https://ja.wikipedia.org /wiki/環状星雲
- [4] https://ja.wikipedia.org /wiki/二重星団
- [5] https://en.wikipedia.org
 /wiki/NGC_869
- [6] https://en.wikipedia.org
 /wiki/NGC_884
- [7] https://en.wikipedia.org
 /wiki/Perseus_(constellation)
- [8] https://ja.wikipedia.org /wiki/トラペジウム (甲田)

4. 写真映えする天体 4 選

1. 春の天体·子持ち銀河 M51

北斗七星の近く、りょうけん座の M51 銀河 は、まるで子どものように小さな伴銀河のある 面白い銀河です。昔の天体写真は南を上にして いたことで「子連れ銀河」と呼ばれていました。 渦巻き銀河を、渦巻きの様子が分かる正面か ら見えるものを「フェイス・オン銀河」、横か ら見た凸レンズのように見えるものを「エッ ジ・オン銀河」と呼びます。M51 はフェイス・ オン銀河の代表選手です。他に、この近くにお おぐま座 M101・回転花火銀河もありますが、 こちらはやや大きく、暗いです。

横から見た「エッジ・オン銀河」としては、 アンドロメダ座 NGC891 が知られています。

Seestar S50の写野

Seestar S50で撮影

6分

おおぐま座 η

3分

12分

背景は Stellarium を利用

2. 夏の天体·亜鈴状星雲 M27

_ぎつね座1(

通常撮影、2分

通常撮影、12分

夏の大三角の真ん中、はくちょう座のくちば しの星アルビレオ近くのこぎつね座にある M27 は、とても明るい惑星状星雲で、スマート望遠 鏡でも簡単に写ります。また水素の赤い色と、 酸素の緑色でカラフルに見えてキレイです。

惑星状星雲は、太陽サイズの恒星が、その寿 命の終り頃に周辺にガスを放出し、中心核が白 色矮星になって、それが放つ紫外線のエネルギ ーでガスが光って見えるというものです。M27 では中心星も写って確認できます。

惑星状星雲はガスが元の星の自転方向に放出 されるため、極方向に穴の空いたタマネギの皮 のような構造をしています。こと座リング星雲 は極方向から見た姿、M27 は赤道方向から見た 姿です。鉄アレイの形に見えることで「亜鈴状 星雲」というニックネームで知られています。



3. 夏の天体・三裂星雲 M20

夏の天の川近くには、スマート望遠 鏡で撮るとカラフルに写るキレイな 天体がたくさんあります。

さそり座の西どなり、いて座の西側 の赤い星雲「干潟星雲 M8」の北に、 星雲が暗黒星雲で 3 つにわかれて見 える「三裂星雲」があります。

赤い星雲は「HII 領域」といわれ水 素ガスの塊が、内部で誕生した恒星の 紫外線で発光しているもので「輝線星 雲」の一種です。

三裂星雲の北側部分は青白い色を しています。これは三裂星雲内で誕生 した恒星の光を反射しているもので 「反射星雲」といいます。

ただし、青い光は大気中の水分に吸 収されるため、青い星雲は湿度が高い ときは写りにくいです。空気の乾燥し た夜に撮影してみましょう。



通常撮影、24分



4. 秋の天体・アンドロメダ銀河 M31・M32・M110

秋の天体で最も有名なのがカシオペヤ座の近くにあるアンドロメダ銀河でしょう。中心部は暗い空では肉眼でも見え「アンドロメダ大星雲」と呼ばれました。 M31 は北半球で見られる銀河で最も近く、250 万光年ほどの距離です。そばに 見える M32 と M110 は、M31 の実際の近くにある伴銀河です。

見かけの大きさは、暗い部分も含めると満月の 6 倍の大きさになり、Seestar S50 のようなスマート望遠鏡の写野に収まりません。右の画像のように構図を工 夫するか、下の画像のように組み合わせ(モザイク)することになります。

スマート望遠鏡のような小型望遠鏡では、M31の恒星は確認できませんが、この中に見いだされた変光星を使って距離が推定されて、天の川銀河(銀河系)の 外にあることが分かり、"宇宙"が広がった、天文学史の記念となる銀河です。



5. 四季のおすすめ天体マップ









6. 用語集~スマート望遠鏡で観察するための知識

天体観察には、様々な専門用語が登場しま す。よく登場する言葉を紹介しておきます。

少しなれるとスマート望遠鏡での観察が 一段と楽しくなります。英語での表記も書 いておきます。

1. 星雲 nebula

スマート望遠鏡で見ると、カラフルで、 個性的な形をした姿が楽しめるのが星雲で す。 光 っ て 見 え る 散 光 星 雲 (diffuse nebulae) と 暗く 見 え る 暗 黒 星 雲 (dark nebula)にわけられます。

散光星雲の中で赤や緑の光を出す輝線星 雲(emission nebula)。青っぽく光る反射星 雲(reflection nebulae)があります。

輝線星雲はいうならば宇宙のネオンサイ ンで、発光源は高温の星です。

生まれたばかりの星のまわりは水素ガス による赤っぽい星雲(HII領域)が、死に ゆく星のまわり酸素やヘリウムガスによる 緑や青の環のような星雲があります。

後者は惑星状星雲(planetary nebula)といわれ、スマート望遠鏡の星雲の色がよく 見える特徴とマッチし、大変見栄えがする 種類の天体です。

2. 星団 star cluster

星団は、星雲の中で一緒に生まれた恒 星がバラバラにならずにいる状態です。

数百~1万個程度の若い恒星が集まっ た散開星団 (open cluster) と数十万~ 100 万もの老いた恒星が集まった球状星 団 (globular cluster) に分けられます。

星団は従来の双眼鏡や望遠鏡でも見ご たえがありますが、母体となった星雲と 一緒の姿を楽しめるのがスマート望遠鏡 のいいところです。

3. 銀河 galaxy

銀河は、スマート望遠鏡が得意とする天 体です。肉眼で見える銀河はほとんどない のですが、スマート望遠級では渦を巻いた り、いくつもの銀河が群れていたりする姿 を、大都会の真ん中でも楽しめます。

その銀河は、数百億とか数兆という恒星 や多数のガスや塵が集まった天体の大都会 です。私たちが住む太陽系も天の川銀河(銀 河系)という銀河の中にいます。

4. DSO(ディープスカイ・オブジェクト)

星雲や星団、銀河などをまとめて、DSO と呼ぶことがあります。学術用語ではなく、 天文ファンが使っていた言葉でしたが、ス マート望遠鏡の登場で、誰もがDSOを観察 して楽しめるようになりました。

5. M、NGC、IC 番号

Mは、18世紀のフランスの天文学者メ シエ(Messier)が望遠鏡での観察で見つ けた DSO に番号をふったものです。100 個あまりあり、明るく観察しやすい DSO のリストとしてよく登場します。

NGC は、19 世紀末にアイルランドのド ライヤーが作った7840 個のDS0 のカタロ グです。銀河が多数含まれ、またメシエ がフランス (パリ) で観察できなかった 南天の天体も網羅されています。IC はそ の補足版です。スマート望遠鏡で観察し やすい天体はほとんどがNGC やIC に掲載 されており、これらの番号をスマート望 遠鏡に指示して観察することができます。

6. 星雲、星団、銀河のニックネーム

主要な星雲や星団、銀河はほぼ Mか NGC、 IC の番号が振られていますが、赤色系の 輝線星雲(HⅡ領域)は「Sh2」というカ タログ番号が振られていることがありま す。また、各 DSO の番号はわかりさえす れば検索するには便利なのですが、なじ みにくいのが欠点です。たとえば、オリ オン大星雲は NGC1976 ですが、あまりこ の番号で呼ぶことはありません。M42 で 呼ぶか、オリオン大星雲というでしょう。

また M57 というよりリング星雲、ドー ナツ星雲などが形もイメージしやすく分 かりやすいです。

こうしたニックネームは天文ファン向 けの本や図鑑、Web サイトで使われてい て、そのまま、スマート望遠鏡の操作ア プリの天体リストにも使われています。 少し知っておくと、図鑑にある天体を観 るということが手軽にできます。オリオ ン座にある輝線星雲と暗黒星雲のいりま じったNGC 2024「火炎星雲(Flame Nebula)、 炎の樹」などは最たるものです。



図.スマート望遠鏡でとらえた「火炎星雲」

7. アステリズム asterism

星の特徴的なならびで、星団や正式な 星座でないものをアステリズムといいま す。これも DSO 同様学術用語ではなく、 天文ファンの使う言葉ですが「夏の大三 角」「北斗七星」のように小学校の理科で 学習に使われるアステリズムもあります。 小さなアステリズムは、スマート望遠 鏡で観察するにも向いています。例えば、 夏の大三角の中にあるこぎつね座の「コ ートハンガー」など、スマート望遠鏡の 操作メニューに入っているものも多くあ り、試しに向けてみるとよいでしょう。

8. 天体の位置を示す座標 赤経・赤緯

天体の位置を示す座標としてよく使わ れるものに赤経・赤緯があります(α と δ または RA、DEC とも表記)。これは、地 球の経度・緯度と相似で、天の赤道を基 準にするので、「赤」の字が入ります。

赤道座標で、北極星付近にある天の北 極は、赤緯90度。オリオン座は赤経6時、 赤緯0度、にあります。記号では、 α =6h, δ =0°と表します。

スマート望遠鏡では、ややマニアック な機能になりますが、この座標を入れて 天体に向けられるものがあります。メニ ューにない天体に向ける時や(→21節)、 天体がない場所を中心に、複数天体を一 度に見たい時などは便利です(→22節)。

なお、赤経(α)の6「時(h)」は360 度を24時で示したものです。真南の天体 の赤経が、日周運動で1日で24時間分ぐ るりと回転するのにあわせて「時」表現 になっています。5.四季のおすすめ天体 で登場したいくつかの冬の空のアステリ ズムの位置を赤経・赤緯で紹介します。

・クリンゴン戦艦

 $\alpha = 4h 49.9m \delta = +10 59'$

- IC37 (I See '37')
 - $\alpha = 6h \ 09.8m \ \delta = +13 \ 57'$
- ・ミニかんむり座 α= 7h 29.4m δ=+21 41'
- ・おおいぬ座τ星団
 - α = 7h 19.7m δ=-24 59' (渡部・甲田)

7.スマート望遠鏡の特徴と言葉

最初のまんがで登場したように、スマ ート望遠鏡には、天体観察を格段に楽に する2つの大きな特徴があります。天体 の自動導入と自動追跡、暗い天体も都会 で見えることです。

スマホと同じで詳しいことは知らなく ても活用はできますが、気になる方、説 明したい方のために、これら機能とそれ を表す言葉をご紹介しましょう。

1. 天体の自動導入、自動追跡、

プレートソルブ (Plate Solve)

スマート望遠鏡は、望遠鏡を置いて電 源を入れ、見たい天体をスマホから入力 するだけで、その天体の方向に向きます。

それを実現するのが「プレートソルブ (ソルビングとも言う)」です。

望遠鏡がその場その場で写真を撮影し、 自分がどちらを向いているかを判断しな がら、ねらった方向を向くようにするも のです。

見たい天体をとらえると、望遠鏡は、 天体の移動を計算しながら追跡しつづけ、 さらにプレートソルブでそれを補正し天 体を望遠鏡の視野の中にとらえ続けます。

ちなみにこのプレートソルブは写真に 写された星の位置関係に相似する星図上 の座標を統計的に推定する技術(手法)で す。開発時には 99.84%の精度で正確に 座標を特定することに成功しています。

なお、プレートは写真の1枚を、ソル ブは計算結果を示します。

2. 暗い天体も都会で見える

① ライブスタック(Live Stack)

「ライブスタック(スタッキングとも言う)」とはカメラで天体を写す際に、短時

間露出で撮影した画像を重ねることで暗い星、淡い星雲を明確化する技術です。

星空観望会で電視観望をする際に活用 されています。モニターやプロジェクタ ーに映し出された天体が、ライブスタッ クで画像を重ねていくごとに明確になり 色がはっきりしてくる様は見ているだけ で楽しいものです。

スタックというのは「積み重ねる」とい う意味、ライブは音楽のライブと同じで、 その場でといった意味になります。

光害カットフィルター(LP フィルター)

ライブスタックの他に、天体の光だけ 通し、空に反射する街の光などを遮断す るフィルターを使うことがあります。

都市部などでは街灯や看板などの街明 かりが空全体を光らせ、それによって夜 空に見える星の数が減っています。これ が「光害(ひかりがい)、light pollution (LP)」です。

天体からやってくる光は、この街明か りの光が混ざった状態になっているので、 そのうち光害の光の成分(波長)だけを通 さないフィルターを使うことで天体を強 調して写すことができるようになります。 これが光害カットフィルターです。

また、特定の2つの帯域の波長のみを 透過するようなフィルターがあり、これ をデュアル・バンドパス (DBP:Dual Band Pass)・フィルターと言います。スマート 望遠鏡に内蔵、もしくは装着可能な機器 があります (→24 節も参照)。

デュアル・バンドパス・フィルターは、 実は光害の成分は透過しないので、光害 カットフィルターとしての機能もあわせ もっています。

(南口・渡部)

8. 土星や木星は楽しめる?

1. スマート望遠鏡は惑星が苦手?

スマート望遠鏡は、おおむね惑星観察 は苦手です。それは、倍率が低いためで す。では、土星や木星は楽しめないか? というと、ある程度はがんばれます。そ れがどの程度か Seestar S50 を例にして みてみます。なお要望が多いのか、アプ リバージョンアップごとに手数をかけな いでも楽しめるようになっています。

2.金星の満ち欠け

金星は半月形から三日月形になる頃は 視直径が大きくなってくるため、スマー ト望遠鏡でもその形の変化が分かります。 4 倍表示したり、スマホ画面をピンチア ウトして拡大すると、なお形が分かって 興味深いです。



図1 金星、明るさ調整



図2 金星、画面をピンチアウト拡大

3.木星は4大衛星と、ビデオスタック

木星は明るく大きいので、明るさを調 整することで、4大衛星の位置や運動を、 木星本体は Seestar では Raw ビデオで撮 影してビデオスタックすることで縞模様 や大赤斑を確認することができます。





図5 ビデオスタックした木星

4.土星は拡大してスクリーンショット

土星はリングが魅力的ですが、視直径 が木星より小さいため撮影が難しいです。 拡大して Raw ビデオをスタックする他、 画面をピンチアウトすると楽しめます。



図6 ピンチアウトで拡大した土星



図3 Seestar S50 の1倍表示での惑星の大きさ(両端の白線は写野、星図ソフト Guide9 で作成) (甲田)

9. 大画面で天体観望会

1. 大画面で行う天体観望会

スマート望遠鏡を使った天体観望会で は、大画面のモニターやプロジェクター を使用して参加者全員で同時にスマホの 画面を見せる方法があります。

スマート望遠鏡の技術・機能とは異な るところもありますが、使用する環境や 機材に合わせて使い方を決めてください

2. 大画面モニターに表示させる(有線接続)

テレビのモニターやプロジェクターに スマホの画面を表示させることでライブ スタックの様子を参加者と楽しむことが できます。

有線で接続する場合はHDMI変換アダプ ターとHDMIケーブルを使うのが一般的で す。

モニターによっては無線で接続する機 能を備えているものがあります。iOS スマ ホの場合は AirPlay という機能、 AndroidOS スマホの場合は GoogleCast と いうアプリを使うことで外部のモニター への出力が可能になります。



図1 iOS の場合の画面共有操作



図2 AndroidOS の場合の画面共有操作

3. 大画面モニターに表示させる(無線接続) 注意点として、スマホ上のアプリは縦 長画面で使用することを想定しているこ とが多いのに対して、大画面モニターや プロジェクターは横長画面が多いという ことです。アプリが横長画面に対応して

いない場合は余白が多くなり、期待する ような拡大効果を得るには想定以上の大 画面が必要になる場合もあります。

4. オンライン会議で表示する(Zoom)

スマート望遠鏡のこれまでにない活用 方法の一つとして、撮影している画像を オンライン会議で共有させることがあり ます。夜間外出ができない生徒や離れた 場所にいる生徒が天体観望会にオンライ ン参加してもらうことができます

これを実現する方法には、スマホを Zoom 会議に参加させる方法と Zoom 会議 に参加する PC にスマホ画面をミラーリン グするソフトを使う方法の二通りがあり ます。

スマホをZoomに参加させる場合はスピ ーカー、マイクのサウンド設定を Off に する必要があります。また、インターネットにつながっている WiFi に「ステーションモード」で接続していない場合はデータ通信モードでの Zoom 参加になります。 費用面の注意も必要です。

ミラーリングソフトを使うことにより、 スマホの画面が一つのウィンドウとして 表示されます。Zoom 会議の中でこのウィ ンドウを共有することでスマート望遠鏡 を操作するスマホの画面がZoom 会議参加 者と共有できます。



なお、Zoom でスマホの画面を共有 するためには、いくつかの条件があ ります。

・Zoom 会議に参加しているパソコ ンはインターネットに接続している 必要があります。

 ・スマート望遠鏡、操作用スマホ、 パソコンは同一ネットワーク(LAN)に属している必要があります。
 スマート望遠鏡は「ステーションモード」という方式でPCが接続しているネットワークに参加し、スマホも同じネットワークに接続します。 ・ステーションモードが実装されていないスマート望遠鏡 (eVscope, EQuinox等)の場合はスマホと PC を USB ケーブルで接続する方式に対応しているミラーリングソフトを使用する手があります。

ミ ラ ー リ ン グ ソ フ ト に は ApowerMirror(有償),LetsView(無償)な どいくつもあります。予算や使い勝手の 好みで決めるとよいでしょう。

また、2で述べた大画面出力を応用して HDMI 映像信号のキャプチャ機器(配信用の ATEM など)を使う手もあります。

5. スマホの画面を配信する

天体観望会でスマート望遠鏡を操作し ているスマホの画面を YouTube などの動 画配信プラットフォームにライブストリ ームとして配信することも可能です。

不特定多数の星に興味を持っている人 たちにリモートで天体観望会に参加して もらうことができます。OBS Studio とい う配信ソフトが無料で広く使われていま す。使い方の情報はネット上で検索する とたくさん見つかります。動画を撮った 経験があれば決して難しい設定や操作で はないのでぜひトライしてみてください。



図 4 スマート望遠鏡の画面 YouTube 配信している例 (Seestar と Dwarf) 天リフビデオより

(南口)

10. 天体観望会でお土産写真

1. 天体観望会のお土産写真、今昔

天体観望会では以前から、参加者に"天 体写真"そのものや、しおりにしたものな どを参加記念のお土産として配布する、 といったことが行われてきました。しか し、あらかじめ、参加者人数分を用意する のは大変ですし、たいてい、望遠鏡で見え たものと天体写真とは、大きく様子が異 なるため"記念"になるか?というとそう とも言えませんでした。

これが、誰もが携帯電話やスマホ、とい う名のカメラを持ち歩くようになると、 見たものを持って帰りたいという気持ち が自然に沸いて、小規模で時間の余裕が ある観望会では、直接、望遠鏡の接眼部に スマホのレンズを合わせて、撮影をさせ てくれる場合が出てきました。これは確 かに"記念"になりますし、多くの人が喜 びます。とはいえ、そもそも上手に撮るこ とは難しく、大人数の場合は時間がかか りすぎて不可能です。

ところがここで、天体写真をその場で 作り上げて見せてくれるスマート望遠鏡 の登場です。参加者が見たものは、すでに "画像"になっています。となれば、あと はどうやって同じものを持って帰っても らうか?を考えるだけ…。さあ、あなたな らどうしますか?

2. お土産写真の配布方法

[画面を撮影]

スマート望遠鏡を、比較的画面の大き なタブレットで操作していたり、第9節 でご紹介したような方法で、大画面モニ ターで見せている場合には、参加者自ら が、その画面を撮るのが最も簡単です。な るべく正面から撮ることで、そこそこ、き れいな画像を得ることができます。

しかし、操作者の端末に保存された画 像が共有できれば、よりきれいな見たま まのお土産写真を配布することができま すね。次に、画像を直接送る方法をご紹介 しましょう。

[画像を直接相手に送る]

iOS 端末同士、あるいは Android 端末同 士の場合は写真を送ることはとても簡単 です。

iOS 端末の場合は、"AirDrop"、 Android 端末では、"Quick Share"という 標準機能を使います。よく似た手順なの で iOS で説明します。Android の場合は、

() 内の単語で読み替えてください。

まず、受け取り側の端末では、〈設定〉 から、〈一般〉→〈AirDrop〉を開き、〈すべ ての人(10分間のみ)〉を選択しておきま す。(Androidの場合は、〈設定〉では 〈Quick Share〉が表示されない端末もあ るので、検索して設定画面を開き、〈共 有を許可するユーザー〉で〈全ユーザー

(10 分間のみ) >を選択します)

次に、送信元の端末で送りたい画像を いくつか選択し、共有ボタンで示される アイコンから〈AirDrop〉(〈Quick Share〉) を選択します。すると、先ほど設定した 受け取り端末が、共有相手として表示さ れますのでタップして選択すると、受信 側の端末で受け入れるかどうかを聞くボ タンが表示されるので、受け入れる

(<u>承諾する</u>)を選ぶと、画像を受信 することができます。

しかし、iOS 端末と Android 端末の間で 直接やり取りするには、どうしたらよい でしょう? 2025 年 3 月時点では、そのよ うな標準機能はありません。そんなとき に便利なのが、次にご紹介する方法です。

[画像をアルバムで共有する]

① "Google フォト"の利用

もっとも一般的なのは、多くの人が持っ ている Google アカウントを利用する方 法でしょう。

まず、制御端末に、"Google フォト"ア プリをインストールします。アプリを立 ち上げると、端末と Google アカウントが 紐づけされていた場合は、それまでに撮 った写真が表示されています。右上の<+> マークをタップして、プルダウンメニュ ーから<アルバム>を新規作成します。

<タイトルを追加>欄をタップして、ア ルバムタイトル (「20xx 年 xx 月 xx 日観望 会」などわかりやすいもの)を付け、右上 の3点リーダーから、〈オプション〉を開 き、<リンクの共有>を on にします。細か い設定が開くので、〈共同編集〉は off に しましょう。(不適切な写真のアップや、 必要な写真の削除などをふせぐため。) 〈リンクをコピー〉でURLをコピーし て、適当なブラウザに貼り付けて、正し くアルバムが開くことを確認します。こ れで、基本的な事前準備は終わりです が、QRコード作成サイト(例: https://www.cman.jp/QRcode/) などを 利用して、URLをQRコード化し、印刷し て用意出来たら、なおいいでしょう。

観望会当日は、アプリを開いて、HOME 画面の下部メニュー一覧から<コレクシ ョン>→<アルバム>と進んで、作成したア ルバムを選び、その日の天体写真を追加 します。あとは、参加者に用意した<QR コ ード>を読み取ってもらうだけで、お土産 写真を共有する(配布)ことができます。 ② 一般のアルバム共有サイトを利用

他にも写真共有サービスはいろいろあ ります。今回は、一例として、受信側 は、登録もアプリも不要で、アルバム自 体も40日で削除されるなど、一時的な 利用に適している"30daysAlbum"をご 紹介します。

送信側は、まず、**"30daysAlbum"**サイ ト(https://30d.jp/)にアクセスし て、〈アルバムを作成〉ボタンから、無料 ユーザー登録します。次に、制御用端末 に**"30daysAlbum"**アプリをインストー ルします。ログインして、右上の〈+〉マ ークから、〈新しいアルバムを作成〉しま す。適切なタイトルを付け、〈合言葉〉を onにして設定します。

この後の写真をアップロードする手順 は、Google フォトと同じです。共有す るためには、3 点リーダーから、〈アルバ ムを共有する〉を選択して、〈QR コードで シェア〉を選んで、参加者に「合言葉」 とともに示すだけです。もともと閲覧用 の共有アルバムなので、セキュリティを 気にする必要もありません。

3. お土産写真の効果

以上のように、観望会で見たままの天 体のイメージが画像で作成されるスマー ト望遠鏡でのお土産写真の配布はとても 簡単です。

参加者のスマホに天体写真が残れば、 参加者のよい思い出になるだけなく、参 加者自身が周りの人に見せて、次回の参 加を呼びかけたり、その天体の話をした り、と天文普及に一役買ってくれるかも しれません。

ちょっとだけ、事前準備に手間をかけ て挑戦してみませんか?

(高畠)

11. 天体観望会の実践例①

1. 星雲や星団も大切だから見せたい

大阪近郊にある伊丹市のような市街地 では、観望対象は月や惑星や1等星、明 るい二重星といった天体に限られます。

しかし、星雲や星団などの望遠鏡でこ そ観察できる天体の観察体験は、宇宙の 姿を知る上でも重要です。ただ、オリオ ン大星雲などの明るい星雲ですら、非常 に淡く、視認が難しいのが現実です。

2. スマート望遠鏡「Seestar S50」の併用

そこで、電視観望ツールである<u>Seestar</u> <u>S50を併用</u>しています。撮影しスタック 状態をリアルタイムで見ることができる ため、タブレットやモバイルモニター、 プロジェクターを通してスクリーンに拡 大出力し、その横で<u>同じ天体を望遠鏡で</u> <u>眼視観察</u>してもらいます。(図1)

オリオン大星雲のガスの広がりがどの ようになっていて、それを望遠鏡で実際 に見た時に、どのように見えるのかを初 心者でも分かりやすく観察できます。「ち ゃんと4つ星がある!」「モヤモヤした のが広がってる!」「あー、これを見て るんですね」といった声が上がることも あります。あくまで Seestar は補助的な 設備であり、<u>主役は望遠鏡による眼視観</u> 察です。



図1. ふつうの望遠鏡とスマート望遠鏡の併用

3. 応用編

2024 年 10 月に、 関西方面では久し ぶりに肉眼でも見 える彗星となった 「紫金山・アトラス 彗星(C/2023 A3)」 が話題になりまし た。SNS上でも盛り 上がり、普段から天



図2. 設置の工夫

文に興味のない方でも見てみたいと感じ た方も多かったでしょう。その後の観望 会で、Seestar S50 で去っていく彗星を 導入し、惑星観望の横でタブレットに映 し出し、リアルタイムな画像を見てもら

うことができま した。

市街地では、暗 くなった彗星を 望遠鏡で導入す ることや観察す ることは難しく なった頃でも、尾 が伸びている彗 星像を見てもら うことができ、参 加者からも好評

でした。インター



図 3. C/2023 A3 彗星

ネットを通じて<u>日々最新のデータがスマ</u> <u>ホのアプリに自動的に反映</u>されるため、 以前のように事前学習をして星図を打ち 出しておく作業も不要になりました。 さらに望遠鏡本体からスマホへの接続は <u>Wi-Fiを使用するため、夜間で足元が見</u> づらい環境でも配線が不要で助かりま <u>す。</u>

(丸川)

12. 天体観望会の実践例②

1. スマート望遠鏡を実際に天体観望会で 使ってみました。

筆者が所属する川越天文同好会は、公 民館の企画で天体観望会(望遠鏡などを 使って天体を見てもらう会)を行ってき ました。その中で3回ほどスマート望遠 鏡を使ってみたので、ご報告します。

2. 目立たなかったスマート望遠鏡、スマホ 画面より、直接のぞく方が人気

私たち同好会の天体観望会では、会員 自前の天体望遠鏡を各種持ち寄って行っ ています。個人持ちなので様々な望遠鏡 が登場します。

写真は公民館で行った「親子星空観察 会」の様子です。このときはスマート望 遠鏡として、eVscope2、と Seestar S50 と Dwarf3 を使用しました。この中で一番 大きな eVscope2 は右上の写真に写って いますが、他の天体望遠鏡(図左上)よ り小型ですので目立ちませんでした。

また、スマート望遠鏡ではスマホの画 面で観察しますが、直接のぞく望遠鏡に は臨場感に敵わなかったのか、あまり感 動した場面には遭遇しませんでした。

3. スマート望遠鏡を動かすと大注目

部屋に戻ってのガイダンスの時に最新 の器材を解説する場面があり Seestar S50を動作させました。

結果は<u>筐体が運動して対象に向く動作</u> <u>が大受けし、親も子も感激の声を上げて</u> <u>いました。</u>これは望遠鏡にスマホをおし あてて行う写真撮影(人気です)より、 さらに感動が大きいように見受けられま した。なお、スマート望遠鏡への参加者 の感想は次の通りです。①eVscope2 は、 以前からある天体望遠鏡と感じているら しく、ディスプレイに写し出される天体 は天体として興味は十分にある手応えで した。②Seestar S50、Dwarf3 は、小型 のため参加者は天体望遠鏡と感じておら ず、また、スマホの画面に映し出される 天体は小さくもあり、ただ TV 映像を手元 で見ているように感じているようでした。

4. 感想

ということでスマート望遠鏡を観望会 に使用するのは、それなりのアイディア を持って行う必要があるように思います。 観察者の受けを分析すると、やはり天 体望遠鏡で見る臨場感は生の迫力があり、

> ディスプレイとは違う真実性 があります。

また、天体望遠鏡の後ろに 並んで、観察するまでの間に 自分のスマホでこれから見る 天体を見れないものかと思い ますが、各人のスマホに専用 アプリを入れてとは案内しづ らく、いくつも機種があると 煩雑になるため実行していま せん。 (谷川)



13. SNS 活用 全国一斉観察の奨め

1.スマート望遠鏡と SNS の相性は非常によ く、うまく活用することで観察の幅が広がり ます

スマート望遠鏡は、光学系、センサー、 撮影条件を揃えて天体撮影を行うことが 容易になります。ユニステラ社の eVScope シリーズではそのアプリを通じて国際的 な天体観測イベントに参加することがで きます (→文末ミニコラム)。

SeestarS50 や Dwarf3 は日本国内だけ でもユーザー数が非常に多く、日本人有 志で独自の観測キャンペーンを立ち上げ て活用している事例も出てきています。

いくつかを紹介しますので、ぜひこの ようなキャンペーンへの参加や新しい企 画を立ち上げてスマート望遠鏡の新しい 可能性を広げていきましょう!

2.かんむり座 T 星(T Crb)観測キャンペーン

日本変光星研究会の今村氏と ZWO 社正 規代理店の星見屋が協力して立ち上げた 再帰新星であるかんむり座 T 星をスマー ト望遠鏡で撮影、測光データ蓄積するプ ロジェクトです。Seestar や Dwarf での撮 影条件を定めているだけで、得られたデ ータをグラフ化して新星爆発前から爆発 までの光度を記録していきます。

2024 年 5 月から観測データの受付を開 始し、2025 年 1 月末には 1,000 件を超え る報告が蓄積されています。





図 2 かんむり座T星観 <u>測キャンペーンサイトの</u> <u>QR コード</u>

3.月面衝突閃光観測キャンペーン

星見屋が平塚市博物館の藤井氏に依頼 して立ち上げていただいた、流星群の極 大日前後を狙って月面の暗い部分に流星 が落ちて光る現象を撮影しようというキ ャンペーンです。



図<u>3</u>流星観察会月 面衝突閃光協働観測キャ ンペーンサイトのQRコー ド

比較的小口径なスマート望遠鏡ではま だ観測実績は上がっていませんが、この キャンペーンから働きかけた京都大学 OASES 観測システムでは観測に成功した 事例も出てきています。



図 4 京都大学 OASES 観測 システムによる月面衝突 <u>閃光観測結果報告の</u> QR コ <u>ード</u>

この観測によって流星群の元となって いる彗星のダストトレイルの軌道予測に ついて新しい知見が出てくるかもしれま せん。月面衝突閃光を予測する天文学者 も出てきています。このキャンペーンは 流星群、月齢などの条件に合わせて今後 も開催されます。

4. 地球接近小惑星 2024MK 観測キャンペーン(終了)

NEA (地球接近小惑星)として 2024 年 6 月に発見された 2024MK の地球最接近時 (6 月 29 日)の動きを SeestarS50 で捉え よう、という観測キャンペーンです。

準備期間 10 日足らずにもかかわらず、 また当日は西日本全域で曇天という悪状 況でも 34 名の観測報告、21 名の撮影デー タ提供をいただくことに成功しました。

この結果は観測を働きかけてくれたフ ランスのコート・ダジュール天文台の紅 山仁博士に報告しており、今後の研究に 活用されるでしょう。



図 5 Seestar で地球接近 小惑星 2024 MK を観測して みよう!サイトの QR コード



図 6 14名の同時観測 者が撮影した 2024 MK の軌跡を比較明合成し た写真 地球からの距離が近い ため観測地点によって 軌跡が異なることがわ かる

5.これからのキャンペーンの可能性

スマート望遠鏡によって天文イベント の観察は非常に簡単になりました。

惑星が月に隠される惑星食や急に明る く尾を引くようになった彗星、銀河の中 に発見された超新星など、天文台が案内 告知する天文イベントは晴れてさえいれ ば、スマート望遠鏡では対象をスマホ上 ミニコラム:eVscopeの科学モード

ユニステラ社 (Unistellar)のスマ ート望遠鏡 eVscope などでは、操作ア プリの中に「科学」というボタンがあ り、ユニステラ社と提携している米国 SETI 研究所が提唱するキャンペーン 観測への参加につながっています。参 加は無償ですがユニステラ社のスマ ート望遠鏡のシリアル番号をいれて の会員登録が必要です。登録すると、 小惑星や超新星、系外惑星などのテー マの観測の誘いがあり、ガイドに従っ てキャンペーン観測を行います。

観測したデータをネットアップロ ードして提供すると、結果が論文にな ると観測協力者として論文に名前が 掲載されたり、資料が見られたり、研 究者や世界中の参加者との交流にも つながります。

(渡部)

のアプリから指定するだけで導入、撮 影可能になります。

天文イベントの予報データ、あるいは 発見された新天体が公報されているとい うことは大学や研究機関は観測データを 求めている、ということです。SNS 上には スマート望遠鏡でこれらを観測しようと する人が必ず情報発信しています。この ような人たちと連絡を取ることで共同観 測へのドアが開かれます。

観測に参加する団体、グループ、個人と SNS上で連絡を取り合い、リアルタイムで 観測の情報を交換し合うのも非常に盛り 上がります。

学術的な意味だけでなく、遠く離れた 場所で同じ天体を見続けている仲間がい る、それを感じることができるのも全国 一斉観察の楽しみの一つです。

(南口)

14.太陽の動きから1日の長さを測る

1. 「1日の長さ」を測るには

太陽は、私達の生活に密接に関わる天 体です。太陽の望遠鏡での観察は、黒点 が見えたり、地球大気での縁の揺らぎが 見えたり、面白いです。ここでは、一歩 を進めて、太陽の動きから「1日の長さ を測る」ことに挑戦してみましょう。

「1日の長さが24時間」は誰でも知っ ていますが、そもそも1日とは何でしょ うか。それは地球が1回自転する時間で す。そのため、地上から見ると太陽(や 星々)は動いて、1日で元の場所に戻っ てきます。なので、1日の長さを測るに は、例えば、東の水平線の見える場所に 行き、太陽が昇って再び昇る時間をスト ップウォッチで測れば良さそうです。た だ、これはとても時間が(24時間!)か かり大変です。代わりに、太陽が空の上 を動く速さから、1日の長さを測れない か考えてみましょう。地上から見た2次 元の空の上(天球)での、2点間の見か けの距離や、天体の見かけの直径は、角 度で測れます。この天体の見かけの直径 を視直径と言います。太陽の視直径はお およそ 0.53 度です (図 1)。この太陽の 視直径を使うと、太陽が1分間で空の上 を動く角度(速さ)を観測から測れま す。すると「太陽が私達の周りを1周

(360 度)するのにかかる時間」を計算 でき、それが1日の長さになりそうな気 がします。この様にして、1日の長さを 測ることに挑戦してみましょう。



2. やってみよう

ここでは Seestar S50 を使う場合につ いて説明します。

2.1 太陽の動く様子を撮影しよう

Seestar アプリのメインメニューの 「太陽系」から、太陽を選択して、太陽 を望遠鏡の視野の中心に収め、ピントを 合わせます(アプリの指示に従ってフィ ルターを取り付けるのを忘れずに!)。 この状態では、Seestar は太陽の動きに 合わせて本体を動かし、太陽を追いかけ てくれています。次に、左上のマーク を押して、メインメニューから「風景」 モードに切り替えます。 すると Seestar は太陽の追跡を止め、望遠鏡を現在の位 置で固定します。太陽がゆっくりと画面 の中を動くのが見えるでしょうか。太陽 が朝東から昇り、夕方西に沈む、すなわ ち、太陽が空を動いていくことを私達は よく知っています。当然、今この瞬間も 太陽は動いているのですが、なかなか実 感するのは難しいです。しかし、望遠鏡 で拡大してみると、この瞬間も太陽が動 き続けているのがよく分かります。太陽 が1分間で、どの位おおよそ動くかを確 認した上で、太陽の画面上での位置を調 整しておきましょう。その上で、ストッ プウォッチ等で計って、1分間前後の太 陽の画像を撮影しましょう(図2)。



2.2 画像上の太陽の大きさを測ろう

1分間隔で撮影した2枚の画像を、同 じ倍率で印刷しましょう。その画像で、 太陽の直径を定規等で測って下さい。正 確な直径を出すために、太陽の中心を求 めるために中学数学で学ぶ幾何の知識を 使ったり、いくつかの異なる方向で直径 を測って平均を取ったり、色々工夫して みてください。その上で、太陽の視直径 が約0.53度であること利用し、印刷し た画像上の1 cm が空の上での何度の角 度に対応するのか、(変換係数 a [度 /cm])=0.53度÷(画像上の太陽直径 [cm])を計算してみて下さい。

2.3 画像上の太陽の移動距離を測ろう

次に2枚の画像間での太陽の移動距離を 測ります。方法はいくつもありますが、例え ば、透明なクリアファイルを使うのが1つ です(図3)。撮影した画像(1枚目)をそ れぞれクリアファイルにしっかり角まで挟 み、目立つ黒点を1つ選んで(黒点がない 場合は太陽の中心の)位置をクリアファイ ルに油性ペンで印をつけて下さい。撮影し た画像(2枚目)に入れ替えて、上で選んだ のと同じ黒点を選び、印をつけて下さい。2 つの印の間の距離を定規で測って下さい。2 これが画像上での1分間での太陽(黒点) の移動距離 b [cm/分]になります。



図3画像上の太陽の移動距離の測定

2.4 天球上での太陽の1分間での移動角度 から、1日の長さを計算しよう

ここまでで(太陽の天球上での1分間で

の移動角度 c [度/分]) = (変換係数 a [度 /cm])×(太陽の移動距離 b [cm/分])を計 算できました。さて、いよいよ、(太陽が私 達の周りを 360 度回転するのにかかる時間 d [分])=360 度÷(太陽の天球上での1分 間での移動角度 c [度/分])を計算してみま しょう。出てきた d の単位は分 (minute)な ので、60 で割って時間(hour)の単位にする と分かりやすいです。

3. 結果から考えてみよう

自分で測った「太陽が私達の周りを 360 度回転するのにかかる時間」はどうなった でしょうか。1日、つまり、24時間になっ たでしょうか。「悪くはないけど 24時間と は言い難い」結果が得られることが多いで しょう。どうして、今回の方法で測った1日 の長さは不正確なのでしょうか。考えると、 例えば、以下の様な可能性がありそうです。

- 2 枚の画像の撮影間隔が正確に1分間で はないかもしれない。
- 太陽の直径や移動距離の測定が正しく ないのかもしれない(印刷画像を使う代わりにマカリ等の画像解析ソフトを使うと、より正確にできそうです)。
- 太陽の視直径が実は 0.53 度ではないも かもしれない(実は太陽と地球の間の距 離は時期で変化します。理科年表等で調 べてみましょう)。
- そもそも今回の1日の定義(太陽が私達の周りを360度回る時間)が正しくないのかもしれない(ここを是非よく考えてみて下さい!)。などなど…

他にも色々な可能性を考えてみて、これら の原因が、どの位測定結果に影響を与えて いるのかを、行なった計算を元に考えてみ て下さい。その上で「できるだけ正確に」1 日の長さを測ること、あるいは、測定した値 に適切な補正を行うことに挑戦すると面白 いかもしれません。

(内山・小林)

15.太陽の大きさを調べて地球の軌道を考えよう

前の節では、太陽の動きから1日の長 さを求めました。ここでは太陽の大きさ から地球の軌道について考えましょう。 惑星の運動はケプラーの法則に従ってい るのは知っていると思います。その第一 法則は、惑星は太陽を焦点のひとつとす る楕円軌道上を動くというものです。そ こで、太陽の大きさを測定して、楕円の形 状を示す離心率 e を求めよう。



図1は楕円を示します。0を楕円の中 心、Sを焦点とします。ここで

とします。焦点Sに太陽がある場合は、 Aに地球が来るとAは近日点となり、逆 にCに地球が来ると遠日点となります。 近日点では太陽は大きく見え、遠日点で は太陽は小さくなります。





その関係を図示したものが図2になり ます。ここで太陽の大きさを視直径とし ます。L1, L2, R1, R2を

- L1 = SA(近日点距離)
- L2 = SC (遠日点距離)
- R1: 近日点の太陽の視直径

とします。視直径は距離に反比例し、

$$\frac{L2}{L1} = \frac{R1}{R2}$$

の関係となります。ここで離心率を e=c/a とすると、a,c は

$$a = \frac{(L2 + L1)}{2}, c = \frac{(L2 - L1)}{2}$$
となり、ここから e を求めると
$$e = \frac{(L2 - L1)}{(L2 + L1)} = \frac{\left(\frac{L2}{L1} - 1\right)}{\left(\frac{L2}{L1} + 1\right)}$$

$$= \frac{\left(\frac{R1}{R2} - 1\right)}{\left(\frac{R1}{R2} + 1\right)}$$

となります。そこで近日点と遠日点の太 陽を Seestar で撮影し、視直径を求めま しょう。近日点は1月上旬、遠日点は7月 上旬です。調べると地球の離心率は 0.0167ですが、実際に求めてみよう? では太陽までの距離を求めるには



図3半月を利用し太陽までの距離を計る

と半月となる位置での太陽と月のなす角度 を求めます。では月までの距離は? (野澤)

R2: 遠日点の太陽の視直径

16. 画像解析ソフト「マカリ」で天文学

1. 「マカリ」とは?

この冊子でしばしば登場する「マカリ」 は、国立天文台がフリーで配布[1]してい る PC 用の天体画像解析ソフトです。 Windows で使用できます。

- 機能: 天体画像から、画像の明るさ分 布や大きさなどを測定可能
- 用途: プロの天文学者が使うツール
 と遜色ない機能を持ち、「天文学の研究」をぐっと身近に
- 対象: 中学生の自由研究から高校科
 学部での取り組み、アマチュアの天文
 研究まで様々

2.「マカリ」とスマート望遠鏡でできること

スマート望遠鏡との組み合わせ事例を まとめたものはこの冊子が最初ですが、 撮影した画像から何ができるかは、『あな たもできるデジカメ天文学』(2015、恒星 社厚生閣)(図1)や、WEBサイト「マカ リ超入門編」[2]などにまとまっています。 また、無料のワークショップなども時々 開催されています。[3]



図 1. あなたもできるデジカメ天文学

「マカリ」のような画像解析ソフトを 使うと、画像を眺めるだけでは見えてこ ない、天体の姿がみえてきます。また、 測定データを解析することで、「太陽に金 がある」「天体の年齢」「爆発しそうな天 体かどうか」といった、まさに天文学者 が調べているようなことがわかります。

スマート望遠鏡と組み合わせると、た とえば高校の教科書で知識だけ教わるこ とを学校で実践できます。参考までに「あ なたもできるデジカメ天文学」の目次か ら見てみましょう。

- ・月の大きさはどれくらい変る?
- ・惑星の動きを捉える
- ・日周運動をはかる
- ・オリオン大星雲の明るさ分布
- ・黒点の動きと太陽の自転周期
- ・月食から月の距離がわかる!
- ・ガリレオ衛星の動き
- ・彗星の画像解析
- ・変光星の光度変化
- ・色等級図の作成

「マカリ」は軽いソフトで、削除も簡単 です。まずは試してみてください。

参考文献

1]「マカリ」のダウンロード先: https://makalii.mtk.nao.ac.jp/ [2]「マカリ超入門編」: https://paofits.nao.ac.jp/MklDocumen ts/manual/makalii_man.pdf [3] PAOFITS WG https://sites.google.com/view/paofit s/

(甲田・渡部)

17.太陽黒点の温度測定

1. はじめに

太陽の観察は、昼間の授業時に実施で きる数少ないテーマです。スマート望遠 鏡に専用フィルタを用いれば、太陽の自 転によって黒点の位置が変わっていくこ とや形の変化を簡単に観察することがで きます。黒点が黒く見えるのは、周囲の太 陽表面(光球面)にくらべて温度が低いか らです。この温度の違いを測定してみま しょう。

2. 太陽の構造と黒点

太陽のエネルギー源は、水素の核融合 です。この反応で発生したエネルギーが、 内部から宇宙空間へ出ていくことで輝い て見えます。熱の伝わり方は、温度勾配や 圧力によって異なります。中心近くでは

「放射」、表面近くでは「対流」という方 法で伝わっていきます。光球面からは、電 磁波として、さまざまな波長でエネルギ ーが宇宙空間に出ていきます。電磁波は 「黒体放射」とよばれる放射で説明でき ます(プランクの式)。この放射は温度に 依存します(図1)。もっとも強いエネルギ ーを放出する波長(ウィーンの変位則)、 放出される総量(ステファン・ボルツマン の式)も温度に関係するのです。

太陽は強い磁場を持っています。地球 と同じように両磁極から磁力線がのびて います。光球は気体(プラズマ)からでき ているので、太陽の自転は赤道に近いほ ど速い「差動回転」が生じます。これによ って、太陽磁場が引きずられるように変 形し、磁場が強くなる場所が発生します。 そこでは、内部からの熱が外に出にくく なり、温度が低く観測されるようになり ます。これが黒点として見えているので す。磁場と自転周期から、太陽黒点は約11 年周期で増減し、磁極もその周期で反転 することが知られています。2025年は、 黒点の数が増大する「黒点の極大期」に近 いので、観察が楽しみな時期と言えます。



図1 温度による黒体放射のエネルギー分布 斜線部分が可視光線の波長域を表している

3. 太陽表面の明るさ分布

Seestar S50 などに付属している減光 フィルタは、短波長の吸収が大きいため、 太陽が赤っぽく写ります。RGBのカラーバ ランスが崩れているということです。そ こで、簡単に得られる JPEG 形式画像の「輝 度値」を測定することにします。画像解析 ソフトのマカリのグラフツールを使いま す。グラフの設定ウィンドウの縦軸タブ を『輝度』にしておくと、RGB すべてを足 し合わせたグラフを描くことができます (図 2)。

光球面の輝度変化を調べると、周縁部 で急激に小さくなっていく様子が見られ ます。これは太陽が気体である証拠の「周 縁減光」とよばれている現象です。光球面 の中心近くでは、より深い場所の温度が 高い黒体放射を見ていますが、周縁部は 温度が低い浅い部分を見ているために起 こる現象です。したがって、黒点の温度を 調べる時には、周縁減光による効果が出 にくい場所が望まれます。



図2 光球の輝度分布

4. 温度測定の考え方

光球面も黒点も黒体放射であるとする と、その明るさの総量 Eは、絶対温度 Tを 用いて、次のステファン・ボルツマンの式 で近似できます。

$$E = \sigma T^{4} \cdot \cdot \cdot (1)$$

$$\sigma = 5.670400 \pm 0.000040 \times 10^{-8} \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}]$$

ここで、光球面の明るさ *Lp*、温度 *Tp* と し、黒点のそれを *Ls、Ts* として比をとる と、以下のようになります。

$$\frac{L_p}{L_s} = \frac{T_p^4}{T_s^4} \qquad \cdot \cdot \cdot (2)$$

太陽の表面温度は、5780 K という値が 知られていますので、これを Lpとして採 用すると、測定した輝度値から黒点の温 度を推定できるようになります。4 乗根を 求めるには、電卓や表計算ソフトを使え ばよいでしょう。

5. 実際の温度測定例

マカリのグラフツールで、黒点とその 周囲の光球面を含めたグラフを作り、そ の値をテキスト出力します(図 3)。



図3光球面と黒点の輝度測定

ファイルは CSV 形式なので、エディタで 値を見ることもできますし、表計算ソフ トで開くこともできます。たとえば、エ クセルで読み込むと表1のようになりま す。

表1 測定結果の例

X座標	Y座標	輝度	R	G	В
588	688	130.764999	254	93	2
589	688.3	130.720398	254.470963	92.7354813	1.73548388
590	688.5	130.599548	253.94194	92.9419327	1
591	688.8	130.130829	253.412903	92.4129028	1
592	689.1	129.764999	253	92	1

先に述べたように、フィルタによって カラーバランスが崩れているので RGB の 値は使いません。測定した方向は、画像表 示の x 軸方向と少し傾きがありますが、 表1の x 座標と輝度のグラフを作ってみ ると図4のようになります。



ここで、Tp = 5780 K を示す輝度はどこ でしょうか。図 4 では右側の光球面は周 縁減光のため、少し低い値となっていま す。そこで、図 4 の左側の x = 600 前後 のカウント値の平均を求めて Lpの値と考 えます。表計算ソフトで、(2)式を使って 輝度の値を温度に変換すると表 2 のよう になり、温度のグラフは図 6 となります。

表2 輝度から温度への変換例

X座標	Y座標	輝度	温度
588	688	130.764999	5788
589	688.3	130.720398	5788
590	688.5	130.599548	5787
591	688.8	130.130829	5781
592	689.1	129.764999	5777
593	689.3	128.477005	5763
594	689.6	130.363007	5784
595	689.9	131.168015	5793
596	690.1	131.063995	5792
597	690.4	130.135376	5782



黒点暗部が約4000 K、半暗部が約5200 Kと、一般に知られている値に近い結果と なりました。画像演算ソフトによっては、 べき乗根の計算が可能なものもあります ので、黒点周辺の温度2次元マップなど も作れるでしょう。

また、波長特性がフラットなNDフィル タを使うと、この方法を拡張して、周縁減 光の波長による相違なども求められます。 さらに、減光の傾きを比較することによ って、太陽大気(彩層)の光学的な情報を 得ることができます。

6. 文献

[1] マカリの Web site
http://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja
[2] 太陽の諸量
国立天文台編、『理科年表』、丸善
[3] マカリの使い方に関すること
鈴木文二・洞口俊博(2015)、『あなたもできるデジ カメ天文学―"マカリ"パーフェクト・マニュアル』、
恒星社厚生閣

7.補 遺

黒体放射に関する法則の中で、包括的 で重要なのは、黒体放射に関するプラン クの式です。光速度 c、波長 λ とすると、 その光の振動数は v です。プランク定数 h、 ボルツマン定数 k_B を用いると、ある振動 数におけるエネルギーE(v, T)は、以下の ように表されます。これを使って図 1 の グラフが書かれています。

$$E(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_BT}}-1} \quad \cdot \quad \cdot \quad (3)$$

ウィーンの変位則は、黒体放射の極大 となる振動数 ν_{max} は Tに比例するという ものです。Tを定数として(3)式を ν で微 分したとき、0(極大)となることを考えま す。

$$e^{\frac{h\nu}{k_BT}} - 1 - \frac{h\nu}{3k_BT}e^{\frac{h\nu}{k_BT}} = 0 \quad \cdot \quad \cdot \quad (4)$$

ここから、

v_{max} ≈ 5.9 × 10¹⁰T ・・・(5)を導き出すことができます。

ー方で、ステファン・ボルツマンの式は、 すべての振動数(波長)の *E(v,T)*を足し 合わせた総エネルギー*E*です。厳密には観 測波長範囲で積分しなければなりません。

$$E(T) = \int_0^\infty \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \cdot \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{k_BT}} - 1} d\nu = \sigma T^4 \cdot \cdot \cdot (6)$$

(鈴木)

18.プラネタリウムソフトの紹介

1. プラネタリウム機能を持つソフトやアプリ

プラネタリウムは好きな時、好きな場 所の星空を再現することができますが、 それを PC やスマホで表示できるソフトや アプリがあります。

特にスマホアプリは、スマート望遠鏡 を使う時のアシスタントとしても使えま す。どんな天体や星座の見え方もシミュ レーションできます。

2. Stellarium

対象 OS:Linux、MacOS、Windows、Web、 iOS、Android

世界中で使われているフリーのプラネ タリウムソフトです。PC とスマホのどち らでも使えるのがポイントで、個人の利 用から天文研究者まで利用できる様々な 機能が盛り込まれています。

恒星だけでな く、多くの天体 像ので、単本できる ので、単体使えま す。 メラできるので 、 メラできるので 、 スマート 習に を 見 利 で 、 (→22 節)



3. ステラナビゲータ

対象 OS: Windows

日本のアストロアーツ社が制作・販売 する純国産の天文ソフトで、有料ですが、 日本の天文ファンの定番ソフトです。

地上から見た星空の他、空や天体の運

動の学習的表示、過去や未来の天文現象 の正確に再現、太陽系内の任意の場所で 見る景色など、様々な表示ができます。望 遠鏡の視野やカメラの写野も表示でき、 19、20節の研究実践にも活用されるなど、 様々な使い方のできるソフトです。

4. SkySafari

対象 OS: MacOS、iOS、Android

数あるスマホ用プラネタリウムアプリ の中でも使いやすく、SkySafari Plus (望 遠鏡制御機能付き)、SkySafari Pro (研究

用にデータベー スが充実)と種類 があります。どち らも有料です。

オススメは SkySafari Plus で、スマホで手軽 に星空を表示で きるほか、望遠鏡 の視野やカメラ の写野が表示で きます。



5. Mitaka

対象 OS:Windows

国立天文台の"4次元デジタル宇宙プ ロジェクト"で制作した宇宙シミュレー ションソフトです。無料で利用できま す。地球から出発して、太陽系、銀河 系、さらに宇宙の果てまで、実データに 基づいたシミュレーションが可能。スマ ート望遠鏡に利用できる機能はありませ んが、教育現場で活用してみてはいかが でしょうか。

(田中・甲田)

19.彗星の光度観測

1. はじめに

肉眼でやっと見えるくらいの明るさの 彗星が、スマホであっけなく撮影できる ようになってきました。地上風景と長い 尾を引く彗星の組み合わせは、美しい画 像を提供してくれます。さらに、スマー ト望遠鏡を使うと、明るさなどの彗星の 物理量を測定することができます。

2. 彗星とは何だろう

彗星は太陽系外縁部の「エッジワース・ カイパーベルト」や「オールトの雲」から、 太陽系内部に入ってきます。正体は、直径 が数 km 程度の『汚れた雪玉』です。彗星 の本体のことを「彗星の核」と呼んでいま す。核をつくる氷の成分は、H₂0、CO₂、CO などです。汚れの成分は、ケイ酸塩ダスト (塵)と有機物分子です。氷の昇華によっ て、ダストと有機物分子が核から放出さ れて「コマ」をつくります。「彗星の明る さ」とは、このコマの明るさを表していま す。コマの可視域スペクトル例を図 1 に 示します。



ガスとダスト(点線)の強度比は彗星によって異な るため、模式的な図です。四角で囲んだものは尾の 成分です。

3. カラーCMOS は何を見ているのだろうか

スマート望遠鏡に使われているイメー ジセンサの CMOS チップは、RGB の 3 色の 感度域を持ちます。さらに、通常は UV/IR カットフィルタを備えていて、人間の目 で見える波長域に合わせるように調整さ れています。図 2 は、Seestar S50 の仕様 から推定した特性です。



図2 CMOS 分光感度とフィルタ透過特性 左:CMOS 分光特性(IMX462)、 右:UV/IR カットフィルタの透過特性(ZWO)

図1と合わせてみると、Rはダストから の光の寄与が大きく、Gはガス(C₂)からの 光を多く取り込んでいる様子がわかりま す。また、Bにはいろいろな成分が含まれ ていることがわかります。

4. 彗星の測光原理

4.1 彗星測光の特殊性

明るさの解っている恒星(比較星)と彗 星を比較することによって求めます。 (図 3)。



図3 彗星と恒星の画像相違 (左)撮像結果、(右)明るさの 3D 図

ところが、恒星は点光源ですが、彗星は 面光源です。また、恒星は少し離れた空の 明るさ(sky)を円環状に測定して引き算 すれば、明るさが求められますが、彗星は、 どこの sky をとればよいのでしょうか。 マカリのグラフツールを使って、彗星と 恒星の明るさの断面(プロファイル)を描 いてみると、図4のようになります。



図4のx軸は、画像上のピクセル単位 で表しています。彗星、恒星ともskyの カウント値は約5000です。彗星はコマ中 心から30~40ピクセルまで、ゆるやかな スロープを描いて落ちています。一方で、 恒星は半径5ピクセル内に収まっている ことがわかります。

4.2 彗星測光の問題点

コマの大きさは、地球との距離(地心距 離)によって、撮影される大きさが異なり ます。つまり、同じアパーチャサイズで測 定すると、地心距離による影響を系統的 に受けます。これを解消するためには、地 心距離に応じてアパーチャサイズを変え ることです。彗星コマの実距離を考えて、 常にコマの測定領域を等しくするのです。

また、コマの周縁部は非常に淡いため、 skyの影響を強く受けます。背景が明るい 都会地では顕著になるでしょう。そして、 彗星は高度が低い時に観測されることが 多いため、大気吸収の影響を強く受けま す。この吸収はレーリー散乱と考えてよいので、短い波長ほど不定性が大きくなります。したがって、RGBのうちRが一番有利ということになります。

しかし、以上述べたことを常に考えて いると、とても彗星の測光に手をつけら れません。図4のコマのプロファイルの 裾にあたる部分の強度は弱いため、地心 距離が大きく変化するような場合をのぞ いて、アパーチャサイズを固定しても、大 きな誤差は生じません。skyの明るさの効 果も同様です。高度については、比較星を なるべく彗星高度に近いものを使うこと で、誤差を小さくすることができます。比 較星としては、太陽に似ているスペクト ル型(G型)の恒星を使うとよいでしょう。

5. 彗星の測光手順

ここでは、Seestar S50、マカリ (→16 節)、エクセル、およびステラナビゲータ (→18 節)を用いて測光する例を示しま す。

5-1 写野角の設定

ステラナビゲータの「観測」-「写野角」 メニューを開きます。レンズの焦点距離 には、250mm と入力します。カメラは ZWO、 ASI462MC を選択してください。デフォル トが横位置なので、視野フレームを回転 させて縦位置にしておきます(図 5)。



図5 ステラナビゲータの視野角設定

5-2 比較星の探索

撮影した場所、日付・時刻の彗星位置に 視野角フレームを移動させます。彗星を 囲むような位置にある恒星で、尾の影響 がないと思われる恒星を選びます。恒星 をマウスで左クリックすると、恒星名や 光度、位置などの情報が得られます(図 6)。 デフォルトの光度は、ほとんどが V 等級 ですが、ステラナビケータの恒星表示設 定の「恒星データ」-「拡張データ」を

『USNO-A2.0』にしておくと、R 等級、B 等級を調べることができます。この RVB は、 RGB とは少し感度域が異なりますが、彗星 測光の精度ならば代用して構わないでし ょう。こだわる方は、『GAIA RGB』がデー タ公開されていますので、Web からアクセ スすることも考えられます。



図6 比較星の選定

5-3 画像の読み込み

カラーのFITS形式画像をマカリで読み 込むと、グレースケール画像、カラー画像 の選択があるので、これを前者にチェッ クを入れます。次に、RGBのどのプレーン を選択するかを選びます。Rが第1プレー ンで、G、Bと続いています(図7)。読み込 んだら、星図と対照しやすいように、「画 像演算」メニューで、上下反転させて表示 させましょう。



図7 カラーFITS の読み込み

5-4 測光の準備

選定した比較星が飽和していないか、 グラフツールを使って、チェックします。 撮像した彗星のプロファィルから、どの 程度のコマ半径(恒星径)まで測るかを決 めます。

「測光」-「開口測光」を選び、『半自動』、 『重心を探す』にチェックを入れます。 「恒星径」だけ注意して、「スカイ内径」、 「スカイ幅」、「重心検索」は適当にして構 いません(図8)。彗星を測光し、彗星の尾

の影響がないと思われる近くの sky を 3 箇所くらい測光します。次に比較星を測 光します。最後に、測光値をテキスト出力 します。



5-5 光度測定

テキスト出力は、csv 形式ですので、エ クセルで直接読み込めます。Obj 総カウン トだけに注目しましょう。sky 総カウント の平均値(sky_mean)を計算し、彗星、恒星 から引き算します(sub_sky)。この値をポ グソンの式を使って等級に換算します。 このとき、比較星の計算結果がカタログ 値に近くなるように、スケール(m₀)を調整 します。実践例では、22.4 が最適でした (図 9)。

 $m = m_0 - 2.5 \cdot \log(sub_sky)$

トータルの誤差は、比較星の計算結果で 推定できます。標準誤差で約 0.1 等とい う結果でした。ちなみに、3 つの比較星の 測定結果とカタログ値の相関を見ると、 図 10 のようになります。彗星の光度は外 挿されているので、もう少し明るい比較 星があれば良かったという結果でした。

このようにして、彗星の半径 15 ピクセ ルアパーチャの等級は、約 7.0 等と求め られました。



参考までに彗星を★で示してある

ここで紹介した手順は、比較星の sky を その近くの円環領域ではなく、彗星の sky 測定領域と同一のものとして計算してい ます。それでも、大きく破綻してはいませ ん。これは、Seestar S50の視野が角度約 1度なので、空の明るさがほぼ均質だった からだと考えられます。異なるフレーム で比較星を選択すると、誤差は大きくな るでしょう。また、今回のように彗星の明 るさによっては、比較星のデータを外挿 することになるため、CMOS チップの直線 性などが問題になってくるかもしれませ ん。

彗星の光度観測アーカイブは、Comet Observation database (COBS)に、世界中 の観測が集まっています。自分の観測の 精度を確かめ、自信がついたら登録して 報告してみたらいかがでしょうか。

6. 文献

```
[1] マカリの Web site
http://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja
[2] ESO GAIA のアーカイブ Web site
https://www.gaia-eso.eu
[3] COBS の Web site
https://www.cobs.si/home/
[4] 彗星全般に関すること
鈴木文二 他(2024)、『改訂版 彗星の科学』、恒星
社厚生閣
[5] マカリの使い方に関すること
鈴木文二・洞口俊博(2015)、『あなたもできるデジ
カメ天文学―"マカリ"パーフェクト・マニュアル』、
恒星社厚生閣
```

(鈴木)

スマート望遠鏡活用ハンドブック 41

20.木星や土星の質量を調べる

1. 調和の法則は宇宙体重計

17世紀、ドイツのヨハネス・ケプラー が見いだした惑星の運動に関する3法則 (ケプラーの法則)の3つめ、「調和の法 則」はご存じか。「惑星の軌道半径の3乗 と、公転周期の2乗の比は、全ての惑星 について一定」というとてもシンプルな 関係は、ケプラーの師匠ティコ・ブラーエ による、当時世界最高精度の惑星位置デ ータを用いて、気が遠くなるほどの試行 錯誤を経て見いだされました。

この関係の意味するところは、それか ら約70年後、イギリスのアイザック・ニ ュートンによって示されました。惑星の 軌道半径をa(m)、公転周期をP(秒)と すると、以下の関係が導かれます(①式)。 G は万有引力定数($6.674 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$)、 M は回転中心天体(惑星にとっては太陽) の質量(kg)です。

$$\frac{a^3}{P^2} = \frac{GM}{4\pi^2} \quad \cdots \text{(1)}$$

これを変形すると②式のようになり、 ある質量 M(kg)の天体の周りを回る天体 の公転周期 P(秒)と軌道半径 a(m)が わかれば、質量 M を知ることができます。

$$M = \frac{4\pi^2 a^3}{GP^2} \cdots \textcircled{2}$$

この関係を用いると、惑星とその衛星 の観測を続けることで、惑星の質量を求 めることができます。地球から遠く離れ た天体の体重測定が、光学観測をするだ けでできるなんて面白いですね。

2. Seestar で惑星観測をしてみよう

それでは、早速 Seestar で惑星を観測

してみましょう。明るくて衛星もよく見 える木星を観測してみます。起動してス マホと接続し、メニュー画面の「太陽系」 →Jupiterの「GOT0」と進みます(図1)。



図1 木星の導入

すると簡単に木星が導入されます(図 2)。Seestarのオートフォーカス(AF)は 惑星のような明るい天体に対しては苦手 で一旦3等星くらいの恒星を導入してAF をかけるとよいのですが、衛星の位置が わかればいいので、手動で調整すればい いと思います。Lightness Adjustで明る さも調整できますが、木星のガリレオ衛 星でしたら簡単に写るので特に調整は不 要でしょう。シャッターボタンを押すと コントロールボタンなどがないJpeg 画像 がスマホに保存されます。



図2 Seestar 画面の木星、右は拡大したもの 次に木星と衛星の距離を調べます。こ

の画像をマカリ(→16節参照)で開き、 「グラフ」機能で木星の中心から衛星ま での距離をピクセル単位で測ります(図 3)。木星の衛星の公転面は地球の公転面 とほぼ一致しているので真横から見てい ることになり、そのまま測ってしまって 差し支えありません。エクセルなどに日 時と各衛星の距離を記録しておきます。



図3 衛星の距離をマカリのグラフ機能で測定

3. 土星観測にもトライ

土星の衛星も Seestar を使えば簡単に 観測できます。ただし、距離が遠い分、暗 いのでちょっとした工夫が必要です。

普通に太陽系モードで撮影すると、な んとなく環があるのかなという程度で写 ります(図4左)。



図4 Seestar の太陽系モードと星雲星団モード ここで画面左上の~を押して太陽系モ

ードを終了。次に星雲星団モード(図1参 照)を選択します。観測天体を指定する画 面になるので「スキップ」を選択します。 すると現在の視野のまま星雲星団モード になります。このモードでは、太陽系モー ドより広い範囲の明るさ調整ができます。 「調整」→「±」(明るさ)として、土星 の衛星が見えるように調整をします(図4 右)。図の左上の白枠部分は、土星部分を 拡大したものです。太陽系モードでは見 えなかった土星の衛星が見えてきました。

土星と衛星の距離を調べましょう。土 星の公転面は地球とほぼ同じですが、土 星の環や多くの衛星の軌道傾斜は26.7度 もあります。そのため、土星の公転周期30 年の半分の15年周期で環の消失現象が見 られます。環の消失が起こる2025年は衛 星軌道を真横から見込むことになり、衛 星の距離を測るのに木星のように、土星 の中心から衛星までの距離を測ってもあ まり差し支えありませんが、それ以外の 時期は、図5の様に環が水平になるよう に画像を回転させ、土星の中心を通る垂 直線からの距離を衛星の距離(図中のr) として測定します。

具体的には図4左のような環がわかる 画像を用いて水平にするための角度を求 め、4図右のような衛星の写った画像を、 求めた角度で回転させます。マカリで画 像を開き、「画像演算」→「回転」と選択 します(図6)。次に、グラフ機能で図5の 要領で、土星と衛星の距離を測定します (図7)。



図5 土星と衛星の距離の測定(文献[1]より)

スマート望遠鏡活用ハンドブック 43



図6 マカリによる画像の回転



図7 土星と衛星の距離の測定

4. どの衛星がどれ?

このように、継続的に観測を行えば、衛 星が惑星の周りを回る様子がわかるよう になってくると思います。すると、前日の 画像のこの衛星と、今日のこの衛星は同 じものだな、と当たりが付くようになり ます。ただ、惑星に近い衛星、例えば木星 のイオは木星の近くをたった約 1.8 日で 公転している上に木星と重なることも多 いので、このような衛星は画像からだけ では特定するのは難しいでしょう。

そこで、「答え合わせ」ではないですが、 補助的に天体シミュレータを使って、観 測された衛星を特定しながら研究を進め れば間違いが少なくなるでしょう。

天体シミュレータは AstroArts 社のス

テラナビゲータが有名ですが、有料ソフ トですので、ここでは、国立天文台 4 次 元デジタル宇宙プロジェクトが開発、頒 布している Mitaka[2]を利用します。 Mitaka はフリーウェアです。

Mitaka を起動すると、当日の午後8時 の東京都三鷹市から見た星空の様子が表 示されます。「時刻」→「時刻の設定」で 目的の時刻に設定し、「視線ターゲット」 → (ここでは)「木星」とすると、木星が 画面の中心にセットされます。次にマウ スのホイールを前に回転させ(または PageUpボタン)、どんどんズームアップし ます。すると、主な衛星とその名前が表示 されます(図8)。



図8 Mitaka による衛星名の表示(左)と Seestar で観測された同時刻の木星と衛星(右)

5. いよいよ質量解析

この様にして観測を行い、データを蓄 積していきます。そして、いよいよ惑星の 質量を求めていきましょう。衛星別に日 時と惑星からの距離を取ったデータを元 にして、横軸に日時、縦軸に惑星からの距 離を取ったグラフをつくります。エクセ ルではデータ範囲を指定し「挿入」→グラ フメニューの「散布図」を選択します。こ の様にして図 9 のグラフができました。 ここから、文献[1] (髙橋啓悟、2025)の土 星観測研究から説明を進めていきます。



図9 土星の衛星、タイタンの位置変化

衛星の軌道を円軌道と仮定すると、惑 星の周りを等速で公転しています。する と、横軸に時間を取った位置変化はサイ ンカーブのような曲線を描くことになり ます。図9のデータに対してサインカー ブフィッティングしたグラフが図10です。 観測データがとてもきれいにサインカー ブに乗りました。



図 10 サインカーブフィッティングしたタイタン の位置変化

このグラフの山から山、谷から谷の時 間が衛星の公転周期、衛星が最も惑星か ら離れたカーブの振幅が軌道半径になり ます。

さて、惑星の質量を求める②式に代入 するためには、軌道半径の単位は m で なくてはなりません。SeestarS50の画像 は横 1080×縦 1920 ピクセル、視野は縦 0.72 度×横 1.28 度です。すると、1 ピク セルあたりの角度は 6.67×10⁻⁴ 度となり ます。軌道半径のピクセル数にこの数字 をかければ、衛星の軌道半径を角度 θ で 表すことができます。地球と惑星の距離 をR、衛星の軌道半径をaとすると、三角 関数を用いて③式のように表すことがで きます。

$r = R \cdot tan \theta \cdots 3$

では、地球と惑星の距離 R はどのよう にして求まるでしょう。文献[1]の研究で は撮影された衝を含む土星の座標の変化 から導けないかと色々と試行錯誤をした のですが、なかなかよい結果が出ず、結局 ステラナビゲータ (→18 節参照)のデー タを使わせてもらいました。そこから求 まったタイタンの軌道半径 a=1.24× 10^{9} (m)、公転周期 P=15.94 (日)=1.377× 10^{6} (秒)とともに②式に代入すると、土 星の質量は5.95× 10^{26} (kg)と求まりまし た。他にもレア、ディオネ、イアペタスに ついても解析を行い、全体の平均は5.80 × 10^{26} (kg)、文献値と比較した誤差率 2.01%という結果になりました。

このように、地道ですが観測を続ける ことで惑星の質量を求めることができま す。紹介した研究では、土星の距離は天体 シミュレータの値を参照しましたが、こ の部分も工夫して自力で求められたら素 晴らしいです。

Seestar を使うと 1 回の観測は慣れた ら 20 分ほど。従来に比べると驚くほど手 軽に研究を進めることができます。興味 を持ったらぜひやってみて下さい。

6. 文献

[1] 高橋啓悟(2025)、『土星の質量の算出』、 慶應義塾高等学校卒業論文

[2] Mitaka

https://4d2u.nao.ac.jp/mitaka/

(松本)

21.変な星、星の事件さがし

1. はじめに

Seestar のような手頃な価格のスマー ト望遠鏡が登場したことで、誰でも簡単 に天体観測が楽しめる時代になりました。 天体観測といえば、月や惑星、彗星、星雲、 星団、銀河など、美しい天体の撮影を思い 浮かべる人が多いでしょう。

しかし、忘れてはならないのが「恒星」 の存在です(当然星団も恒星ですが)。一 見すると地味に思える恒星の中には、図1 のように、時間とともに明るさが変化す る「変光星」と呼ばれる星があり、その変 化には宇宙のさまざまな謎が隠されてい ます[1]。

スマート望遠鏡を使って、遠い宇宙で 起こる変化や事件を観測し、天文学の扉 を開いてみませんか?



<u>図1</u>くじら座の「ミラ」の変光。左は極小期 (約9等)、右は極大期(約3等)。 画像上が北。観測は Seestar S50を使用。

2. 星の事件を観測してみよう

2.1 ターゲットは突然明るくなる星!

変光星の中には、普段は暗くて静かに していた星が、ある日突然明るくなるこ とがあります(図 2)。このような急激な 変化を目の当たりにすることは、変光星 観測の楽しみや驚きの一つと言えるでし ょう。

本書では突然明るくなる天体の代表選手として「矮新星」という種類の天体をタ

ーゲットにしたいと思います。



<u>図2</u>はくちょう座SS星の変光。左は静穏期(約 12等)、右はアウトバースト期(約9等)。 画像上が北。観測は Seestar S50を使用。

2.2 矮新星ってどんな天体?



図3 矮新星の想像図。

矮新星は、白色矮星と低温の赤色星からなる連星系の一種です(図3)。赤色星から流れ込んだガス(質量移動)によって、白色矮星のまわりには降着円盤というものが形成されます。矮新星の事件は、この降着円盤に一定量のガスが溜まり、円盤の物理状態の変化によって、急激に円盤全体が明るくなると考えられています(まるで一定の水が溜まるとカコンと音を立てる鹿威しのようですね)[2]。このような突発的に明るさが増す事件(活動現象)は、天文学では「アウトバースト」と呼ばれています。

2.3 観測の準備をしよう

初心者の方はまず、矮新星の中でも夏 季シーズンは「はくちょう座 SS 星 (SS Cyg)」、冬季は「ふたご座 U 星 (U Gem)」 という星に望遠鏡を向けてみるのがおす すめです。これらの天体の基本データは 表1のとおりです。

<u>表1 はくちょう座 SS 星 (SS Cyg)、ふたご座 U</u> <u>星 (U Gem)の基本データ。</u>

	SS Cyg	U Gem
赤経(RA)	21h 43m 42s	7h 56m 35s
赤緯(DEC)	+43° 42′ 2″	+21° 56′ 8″
変光幅	約7等-約11等	約8等-約14等
活動周期	約 40 日	約 100 日

※赤経・赤緯は 2025 年分点で記載しています (2000 年分点ではありません)。

スマート望遠鏡で変光星の観測を行う 場合、アプリ内で天体検索をしてもヒッ トしないことがほとんどです(アプリが 変光星カタログを有していないため)。そ こで、任意の天体の座標(赤経・赤緯)を アプリに登録し、観測(自動導入)がスム ーズに行えるように準備をしておきまし よう。本書では Seestar を例に図4のよ うな手順で SS Cyg やU Gem を登録してく ださい。

なお、SS Cyg の活動(アウトバースト) 周期は約40日として知られています。一 度、明るくなるとおよそ10日で元の明る さに戻ります。一方でU Gem は概ね100 日ごとにアウトバーストが発生し、およ そ2週間で元の明るさに戻ります。



図 4 Seestar アプリにおける任意の天体(座標
 / 赤経・赤緯)の登録手順。本アプリの座標系は
 2000 年分点ではないことに注意。

2.4 いざ!観測してみよう

2.4.1 導入と観測の設定

いざ観測をするときは(Seestar の場 合)、登録した天体を My Favorites から 選び、次に「観測する」というボタンを押 すだけです(図 5)。あとはスマート望遠 鏡が自動で目的の天体を導入してくれま す。このとき、観測高度は少なくとも 10 ~20°以上で行うと良いでしょう。あま り低い高度で撮ると、大気の影響を強く 受けて天体が暗く写ってしまうためです (これを大気減光と言います)。



図5 登録天体を導入する手順(Seestarの場合)。

撮影の設定については、初心者の方は それほど深く考える必要はありません。 例えば露出時間はスマート望遠鏡でよく 使われる10秒~15秒で良いでしょう。ス タックは最低でも1~3分も行えば十分で す。空の暗さにもよりますが、静穏時が約 12等のSS Cygであれば口径3~5cmでも 十分撮影できる明るさです。一方で静穏 時が約14等のUGemは光害の強い地域で は写らない可能性が高いです。しかしど ちらの星も、アウトバーストを起こせば 約7~8等にまで明るくなるので、事件が 発生すれば多少光害の強い地域でも十分 撮影することができるでしょう。 なおスマート望遠鏡に内蔵されている 光害カットフィルター(Duo-band 等)は 使わなくて良いです。オリオン大星雲な ど輝線星雲という種類の天体の撮影では 威力を発揮しますが、恒星の撮影ではあ まり高い効果は得られません。さらに将 来的に観測したデータから明るさを測定 (測光)したい場合においても、光害カッ トフィルターの使用は推奨しません。

2.4.2 どれが目的星かな?

スマート望遠鏡で無事観測がはじまる と、写し出される画像を見て、どの星が目 的の矮新星なのか、わかるでしょうか? 図6(左)はSeestar S50でSS Cygを観 測した画像です。実はこの画像だけを見 て、すぐにSS Cygがどの星なのかわかる 人はそう多くありません。ではどうすれ ば良いのでしょうか?



図6 【左】Seestar S50 で観測した静穏時の SS Cyg の画像 (10 秒露光 18 枚スタック/2023 年 9 月 12 日 21 時 42 分頃撮影)。【右】Stellarium で表示 した同日時の比較用星図。中央のマークが SS Cyg を表している。

多くの場合、図6(右)のような他の星 図と比較して、目的星を探す(同定する) ことになります。慣れないうちは最初と ても苦労するかもしれません。ポイント は明るめの星を目印にして比較、併せて 特徴的な星の並びを自分の中で作って比 較してみましょう。地味な作業に思える かもしれませんが、実は観測系の天文学 者も同じようなことをしています。

ところで、比較用の星図は何を参考に すれば良いのでしょうか?ここで役立つ のが本書の 18、22 節で紹介している 「Stellarium」というフリーソフトです。 本節ではまず変光星観測にも使えるよう に(表示できる星数を増やすために)、恒 星カタログ(星表)の拡張を行いましょう。 具体的な手順は図7をご覧ください。



図 7 Stellarium の星表の拡張手順。デフォルト では約 10 等までの星しか表示されませんが、星表 を拡張すると約 17~18 等までの表示が可能(拡張 星表は NOMAD がダウンロードされます)。

続いて以下に、観測画像と見比べるた めの比較用の星図(ファインディング・チ ャート)を作る手順を紹介します:

- (ア)コラムにあるとおり、まずスマート
 望遠鏡の撮影範囲を表示するための
 設定を行っておきます。
- (イ)次に図 8 に従って、①時刻の一時停止ボタンを押し、②日時設定ボタンを押して任意の観測日時を入力し、
 ③天体検索ボタンを押して SS Cyg かU Gem を検索します。すると任意の天体が画面の中央に表示されます。
- (ウ)最後に④撮影範囲表示ボタンを押す と図6(右)のように拡大表示された 星図があらわれます。



図8 Stellariumで比較用星図を表示する手順。

スマート望遠鏡の多くは経緯台式のた め、観測される画像は多かれ少なかれ視 野回転が生じています。つまり画像の上 が必ずしも北ではありません。そのため 比較用の星図は視野回転を考慮して(地 平座標系で)作成する必要があります。 Stellarium を利用するにはパソコンが必 要ですが、先に述べた視野回転にも容易 に対応することができます。

3. より学術的な観測への誘い

SS Cyg やU Gem は、観測を日々続けて いれば、必ずや星の事件(アウトバースト) に巡り合える日がくるでしょう。アウト バーストを見つけたときの「喜び」は、コ ツコツと観測を続けた人にしか味わえま せん。この体験を通して、さらに発展的な 観測に興味を持った方は、本書の13節で 紹介されている「反復新星かんむり座 T 星」 の爆発監視キャンペーンに是非ご参加く ださい[3]。

4. 主な参考資料

- [1] 日本変光星研究会[編] (2009)、『天体観 測の教科書 変光星観測』、誠文堂新光社
- [2] 尾崎洋二 (2002)、『星はなぜ輝くのか』、 朝日選書
- [3] 日本変光星研究会『反復新星かんむり座 T 星の爆発を監視しよう!』、 https://www.ananscience.jp/variable star/?page_id=624

(今村)

22. Stellarium で構図を決める

スマート望遠鏡で撮影したい天体を探 したり、構図を考えるときに、フリーの プラネタリウムソフト Stellarium (→18 節参照)を使うと便利です。Stellarium は天体の画像を表示したり、撮影写野を 表示することができます。ここで、スマ ート望遠鏡の撮影写野を表示する方法を 紹介します。

1. 望遠鏡視野プラグインに追加

Stellarium画面の右上に「望遠鏡視野」 プラグインのパネルが表示されています。 スパナアイコンをクリックして「設定」 を開きます。



「CCD」と「望遠鏡」に多くのデータが 登録されています。ここにスマート望遠 鏡のデータを追加します。ここでは Seestar S50を例とします。

「CCD」に望遠鏡のセンサーサイズを入 力します。Seestar S50 は次の通り。

Resolution x: 1080 Resolution y: 1920 Chip width: 3.20 mm

Chip height : 5.60mm



次に「望遠鏡」に追加します。 焦点距離:250.00mm 口径:50.00mm



Seestar S50 は経緯台なので、3 つのチ ェックボックスはチェックしません。

2. CCD のフレームを表示

「CCD フレームを表示」ボタンを押す と、撮影写野が画面中央に赤い四角で表 示されます。「コントロール」下の表示か ら、「センサー」と「望遠鏡」を選びます。



3. CCD や望遠鏡のデータを保存する

「望遠鏡視野」プラグインで、CCD や 望遠鏡のリストを整理したり追加したと き、そのデータを保存しておきたいもの です。このデータは以下にあります。 C:¥User¥(ユーザー)

¥AppData¥Roaming¥Stellarium このフォルダーを丸ごと保存しておき、 Stellariumをアップデートしたときなど 上書きコピーすることで、以前のデータ を引き続き使うことができます。

23.月による恒星食を楽しもう

1. 月による恒星食(星食)とは

「月は27日余りで天球を一周している。 その運行の途中、背後にある星を隠す現 象が見られることがある。この現象を星 食という。」[1]

月は1時間で月の直径分を移動します。 そのコースの途中にある恒星や惑星を隠 す現象があり、これをリアルタイムで観 察すると、月が移動していることが実感 できる、とてもおもしろい現象です。

「月による恒星食」は「星食」と略し、 他に「惑星による恒星食」や「小惑星に よる恒星食」などもあります。

2. 星食の情報を得る

明るい恒星や惑星を隠す星食は天文年 鑑などで詳しく紹介されています。



3. スマート望遠鏡に向いている現象

「月による恒星食」では、月齢が 2~ 14頃に月の暗い側から恒星を隠す「暗縁 潜入」と、月齢が 16~28頃に月の明るい 側で隠す「明縁潜入」があります。恒星 は月に比べて暗いので、恒星が十分に確 認できる程に明るくして観察します。そ のため、「暗縁潜入」の現象が観察し易い です。

3. Seestar で星食を観察する

現象の起る1時間ほど前にSeestarを 月に向けます。次にジョイスティックを 使って写野から月をズラして月の明るい 部分を写野の端に置きます。この時は、 x2やx4の拡大表示すると良いでしょう。

次に明るさを調整し、月の縁と恒星が 確認できるようにします。このとき、露 出時間は 30ms にし、ゲインを上げるのが 良いでしょう。



図2 2024 年 4 月のふたご座 v 食の様子



筆者の経験では、7 等星までは十分に 明るく観察できました。

この方法を使えば「小惑星による恒星 食」も観測できるかもしれません。

6.文 献

[1] 星食観測 Handbook https://astro-limovie.info/jclo/ (甲田)

24.TIPS① フードとフィルター

1. フードをつける

Seestarにはフードがありません。フー ドがないと、画面の一部が白っぽくぼや けるハレーションや、実際には存在しな い丸い光の影ゴーストが写り込んだり、 コントラストが低下したりすることがあ ります。これらは、街灯や部屋の明かり、 あるいは月などの明るい光が対物レンズ に横から当たるために起こる現象です。 付属の三脚は背が低いので、思わぬ光の 影響を受けているかもしれません。

これを防ぐには、フードが有効です。幅 4cm ほどの帯状に切断した黒い厚紙(黒ケ ント紙など)を丸めて、対物レンズの先に 差し込んで完成です(写真上左)。Seestar は、レンズの外径と、対物レンズの先の内 径が、ほぼ同じです。そのため、視野がけ られやすいので、あまり長いフードはお すすめできません。

2. フィルターをつける

Seestar は対物レンズの先にフィルタ ーネジがありません。そこで、フィルター が使えるように対物レンズの先に差し込 むプレートを厚紙で作ってみました。

中央に 50mm の穴をあけた 100x60mm の 厚紙を 3 枚両面テープで貼り合わせて強 度を持たせ、フードと同様に対物レンズ の先の内径に合わせた短い筒を厚紙で作 りとりつけます。これでフィルタープレ ートの出来上がりです(写真上右)。

フィルターは、このプレートの大きさ に合わせて切断し中央に穴をあけた厚紙 (写真下左)に挟み込み、ダブルクリップ でしっかりとフィルタープレートに固定

して使用します(写真下右)。

ただし、このような<u>標準以外の太陽フ</u>

<u>ィルターの使用はメーカー仕様外ですの</u> で、個人責任でお願いします。特に太陽観 測中に外れると損傷の恐れがあります。

このようなフィルタープレートを作っ ておくと、太陽フィルター以外にも、回折 格子や偏光シートも取り付けることも容 易です。また、49mm→52mm などのフィル ター取り付け用ステップリングを厚紙に ねじ込んで取り付けておくと、光害カッ トフィルターなど市販のカメラ用 52mm 径 フィルターを取り付けることも可能です。

まだ、試せていないのですが、この方法 でNDフィルターを取り付けると、明る い恒星も測光できるかもしれません。



写真 上左:フードを取り付けたようす
 上右:フィルタープレートを取り付けたようす
 下左:シート状のフィルターを挟み込む厚紙
 下右:バーダープラネタリウム社の太陽観測用の
 アストロソーラーフィルターを取り付けたようす

(岸本)

25. TIPS② 生成 AI に助けてもらおう

1. スマート望遠鏡での観望会の準備

従来の天体観望会では、肉眼で探せる天 体が対象でした。ところがスマート望遠 鏡では星雲や銀河など、様々な天体がタ ーゲットになりしかも一つの観望会で多 数の天体を紹介できます。何をどう選ん だらいいのか困ってしまうほどです。

2. 生成 AI の助けを借りよう

そこで、これらの天体の観望情報をPC やスマホから手軽に使える生成 AI、 ChatGPT、Copilot、Gemini などを使って 出す方法を試してみました。上が質問文 (プロンプト)。下が結果ですがいかがで しょう。他にも案内文作成にも使えます。

スマート望遠鏡で観望会を開きます。そのようなものを見せるのがいいか、おすすめ天体 を10個程度リストアップしてください。 ピックアップの基準は、下に挙げるスマート望遠鏡の仕様から計算した画角に対して対象 の見かけの大きさを比較し、はみ出さないものとします。 なお、月、惑星は対象外とします。 また、リストアップした天体の見どころ、特徴、覚えて帰ってほしいことなどもリストに 加えてエクセルのシートに書き出してください。 日時:2025年5月5日18:00~20:00 場所:東京都□□□□□□中学校校庭 スマート望遠鏡と仕様:SeestarS50は口径50 mm焦点距離250 mm センサーは SonyIMX462,1/2.8 インチ、1080X1920、ピクセルサイズは2.9 μ m 想定参加者:中学生とその保護者

以下に、2025 年 5 月 5 日 18:00~20:00 (東京都大田区付近) での観望会におすすめの天体を 10 個リストアップしま

い。 ずれもスマート望遠鏡 (Seestar S50:口径 50mm、焦点距離 250mm、Sony IMX462(1/2.8 インチ)センサー 1080×1920 ピクセル ピクセルサイズ 2.9μm) で撮影・視野に収まる(およそ 1.3°×0.7°程度の視野) 目安の天体です。 月や惑星は対象外とし、主に春から初夏にかけて夜空に見えやすい球状星団や銀河、惑星状星雲を選びました。 市街地の夜空での観望会ですので、比較的明るめ・コンパクトな天体を中心にしています。

選定した天体一覧 (Excel に書き出す想定の内容)

天体名	種類	星座	見かけの大きさ (概略)	明るさ (概略)	見どころ・特徴	覚えて帰ってほしいこと
M3	球状星団	りょうけん 座	約 18′	6.2等	非常に密集度の高い球 状星団。中倍率でも星が ぎっしり詰まっている のがわかる。	銀河系の外側ハローに存在 する古い星団。こうした球状 星団は星の進化を学ぶ上で 重要な手がかりとなる。
М5	球状星団	へび座	約 23′	5.6等	比較的明るく、視直径も 大きめで見栄えが良い 球状星団。条件が良けれ ば周辺の星が分解しや すい。	球状星団の中でも特に美し いと称えられることが多い 天体。肉眼では見えなくて も、望遠鏡を通すことで古い 星の集団を直接見られる。
M13	球状星団	ヘルクレス 座	約 20′	5.8等	"ヘルクレス座大球状 星団"とも呼ばれる有 名な球状星団。中心部が 非常に明るく、晴れた夜 には小口径でも見応え 十分。	北天を代表する球状星団で、 視野いっぱいに星が詰まっ ている様子は圧巻。古い星々 が互いに重力で結びついた 姿を想像してほしい。

(南口)

スマート望遠鏡活用ハンドブック 53

26. スマート望遠鏡と入手法

1. スマート望遠鏡の特徴

この冊子で対象としているスマート望 遠鏡は、ユニステラ社の ODYSSEY (オデッ セイ)シリーズ、eVscope2 (イーブイスコ ープ)と eQuinox2(イクィノックス),バ オニス社のベスペラ(VESPERA PRO、 VESPERAII)、ZWO (ゼットダブルオー)社 の Seestar (シースター)シリーズ、 DWARFLAB (ドワーフラボ) 社の DWARF3(ドワーフ)です。(それぞれの入手方法は 裏表紙ウラ参照)

これらは全て、望遠鏡をだれもが簡単 に使いやすいように次の特徴を持ってい ます。(→7節参照)

- ① 自動導入·自動追尾経緯台
- プレートソルブ (PlateSolve)による 導入補正
- ③ ライブスタック(LiveStack)によるリ アルタイム画像処理
- ④ スマホによる直感的な操作
- ⑤ アプリの更新による機能追加

なお、市場にはこれらの機能を持たな い「名前だけのスマート望遠鏡」が多く販 売されています。それらでは、この冊子に あるような実践ができないか、かんたん にできなかったりします。

間違って購入しないようご注意くださ い。

2. スマート望遠鏡の始まり

2019 年クラウドファンディングサイト に望遠鏡、自動導入架台、天体撮影用カメ ラを一体化させた「スマート望遠鏡」プロ ジェクトがいくつも立ち上がりました。 どれもが簡単に使えることをキーワー ドに、「今までにない星空体験を星に興味 があるけれども望遠鏡の使い方がわから なかった人たちに提供する」ことをアピ ールしていました。



図1.実現しなかったスマート望遠鏡プロジェクト「Hiuni」

しかし、製品化の難しさや 2020 年~2023 年ごろの"コロナ禍"もあり、この 中で製品の提供まで実現したのはイーブ イスコープ(以下 eVscope)プロジェクト のみでした。



図2. 最初のスマート望遠鏡プロジェクト「eVscope」

口径 114 mmの反射望遠鏡のスマート望 遠鏡 eVscope は広く一般の市民が科学に 親しむ「市民科学」を普及すべく、プロの 天体観測ネットワークへの参加も可能で、 スマート望遠鏡の代名詞にもなっていま した。

eVscope は eVscope2、eQuinox2 と進化 してアマゾンで入手可能です。(裏表紙ウ ラ参照)

3. 様々なスマート望遠鏡の発表

eVscope に続いて様々なメーカーから スマート望遠鏡のプロトタイプが制作、 発表されました。望遠鏡の大型化、カメラ センサーの高性能化を目指した バオニ ス社の「Hyperia(ハイペリア)」などが注 目を浴びましたが、2025 年 3 月時点では 製品のリリースには至っていません。



<u>図 3 口径 150 ㎜のスマート望遠鏡「Hyperia」</u>

ビクセン社取扱のセレストロン (Celestron)社製 Origin(オリジン)も大 口径スマート望遠鏡の一つです。これは 市場の評価はこれからです。



図4 セレストロン社製「オリジン」

4. スマート望遠鏡の低価格化と小型化

2022 年ごろから低価格で小型化された スマート望遠鏡が続々と発表され、普及 が進んできました。

口径5センチの屈折望遠鏡のVespera、 3センチのDWARFIIなどです。DWARFIIは 望遠鏡と広角レンズを備えたデュアル光 学系を持つスマート望遠鏡の先駆となり ます。2025年には口径3.5センチの DWARF3が後継機種としてリリースされて ミニコラム:アプリの更新

スマート望遠鏡は、天文用望遠デジ カメ+天体に向ける電動架台+コン ピュータ+ソフトが一体になり、それ をスマホやタブレットのアプリで無 線コントロールする製品です。

本体にもコントローラにもソフト、 アプリが使われているので、改良によ って、観測用カタログに新天体が加わ るなどのほか、望遠鏡そのものの機能 を向上させることができます。実際数 か月でどんどん改良されているのが 現状で、同じ望遠鏡かというくらい性 能が向上することもあります。

一方、観測しようとしたらバージョ ンアップでまたされ閉口したり、操作 画面の大幅変更などによって従来の マニュアルややり方が通用しなくな ったり困ることもあります。情報収集 は、次の26節を参照ください。

(渡部)

います。

2023 年天文機器メーカーの ZWO 社から Seestar S50(口径 5 センチ)がリリースさ れました。ハードウェアの完成度も高く、 普及に弾みがつきました。2025 年さらに 小型化の進んだ Seestar S30(口径 3 セン チ)がリリースされました。

5. スマート望遠鏡のこれから

スマート望遠鏡は歴史も浅く、これか らも改善が重ねられていくと予測されま す。

手軽に星空に親しむことができるツー ルとしてだけでなく、これまでにない使 い方を模索していくことのできるスマー ト望遠鏡で新しい楽しみ方を見つけてい きましょう。

(南口)

27.困ったときの情報の入手先

1. はじめに

スマート望遠鏡はかんたんに使えます が、観望会や観測などしっかり使いたい ときは事前に予行演習や準備を重ねてお くことは必要です。そんな中でできるは ずなのにやり方がわからない、などで正 しい情報を知りたくなる時があります。

最も信頼のおける情報は「<u>購入した販</u> 売店もしくはメーカー正規の問い合わせ 先」から入手しましょう。

インフルエンサーや個人ブログなども 情報源になりえる場合もありますが、す でに古くなってしまった情報もしく主観 に基づいた一方的な評価に影響されない ように注意しましょう。

ここでは、2025年2月時点で入手可能 なスマート望遠鏡について、情報を整理 します。

2. メーカー、販売店一覧

次ページ表にメーカーと販売店、およ びその URL を QR コードでまとめました。

ここには、自動導入・導入補正・自動追 尾・ライブスタック・フィルターチェンジ ャー・オートフォーカスなどの「スマート 望遠鏡」を名乗るにふさわしいものを掲 載しています。

3. 問い合わせを行う際に気を付けること 3.1 自らを明らかにする

購入したショップやメーカーに問い合わ せを行う際、自分が問い合わせをおこな う正規の権利を有していることを示すこ とは、スムーズなサポートを得るために 有効です。問い合わせ前には購入時期、シ リアル番号、保証書の有無などを明らか にしておきましょう

3.2 問い合わせ内容を正しく伝える

知りたいことだけを簡潔に問い合わせた だけでは、期待している内容の回答が得 られる可能性は少なくなります。質問す るに至った背景、行った操作、期待してい る結果や現状直面している問題、表示さ れるメッセージなどをスクリーンショッ トなどと合わせて伝えることで回答する 側も問題を正しく把握できます。回答の ための時間と労力を削減することもでき、 質問する側も早く幸せになれます。

特に不具合と思われる問題を報告する場合は、その再現手順を正しく伝えることが有効です。

結果的に、問い合わせの際には丁寧に 状況を伝えることが早く問題を解決する ことにつながることを忘れないでくださ い。

4. SNS の活用

SNS のユーザーグループに参加して同 じ機種を使用している人達から知見をも らうことも有効です。メーカー公式のも のもあります。この場合も再現手順を明 らかにして問題点を丁寧に伝えることは 建設的な会話のために有効です

5. 注意点

どれだけ丁寧な準備をしていても、当 日本番では期待通りに動かないことはあ ります。そんな時は問題解決には時間を かけずに予備プランに切り替えてその場 をこなすことになります。

発生した問題はその時の操作手順をメ モしておくなどの方法で後日問い合わせ を行いましょう。

(南口)

表. スマート望遠鏡の正規入手先

ここに記載した機種は本冊子の実践をおおむね行うことができます。市場にはできない機種も販売されているので注意してください。

機種	メーカー	日本代理店	購入可能なショップ	URL
ODYSSEY	Unistellar		直営ウェブショップ	https://www.unistellar.com/ja/
ODYSSEYPro	(ユニステラ)	ヨドバシカメラ	ヨドバシカメラ	https://www.yodobashi.com/?word=unistellar
EQUINOX 2		Glimpse	アマゾン	https://www.amazon.co.jp/s?k=Unistellar
EVSCOPE 2				
VESPERA	Vaonis	サイトロンジャパン	シュミット	https://www.syumitto.jp/SHOP/1154161/list.html
	(ビュナーマ)	サイトロンジャパン		https://www.amazon.co.jp/stores/page/ABE547FB-5544-42B1-BF1B-
VESPERAI	(') / / _ /)		5 4 7 2	CEDC9FDDC0B6/search?terms=VESPERA
VESPERAPro				
Societor S50	zwo	ビクセン	ビクセンオンラインストア	https://www.vixen-
Seesiarsou				m.co.jp/item list.html?siborikomi clear=1&keyword=seestar
Sector S20	(ボーバブルナー)		マ マバン.	https://www.amazon.co.jp/stores/page/EDA7CF34-7664-41DB-
Seestarssu	(ビットタブルオー)		5 4 7 2	A488-87E2FED31846
			協栄産業	https://www.kyoei-tokyo.jp/shopbrand/ct1609/
			星見屋	https://hoshimiya.com/?mode=grp&gid=3033109
Dwarf3	DWARFLAB (ドワーフラボ)	星見屋	星見屋	https://hoshimiya.com/?mode=grp&gid=3033109

※アマゾンのURLも示していますが、アマゾン内で機種を検索して、結果を確認してもよいでしょう

Unistellar直営サイト	シュミット Vaonis製品サイト	ビクセンオンライン SeestarS50,S30サイト	星見屋 スマート望遠鏡サイト

URLは2025年3月12日時点のものです。

****	臣仁	+ 1	1	$\rightarrow + $	비동
者石一		AL		スカ	IIIE
	50	000	~		까저

名前		所属
今村	和義	阿南市科学センター
内山	秀樹	静岡大学
岸本	浩	元兵庫県立高等学校教諭
甲田	昌樹	NPO法人 星のソムリエ機構
小林	成吾	静岡大学
鈴木	文二	渋谷教育学園幕張中学高校
高畠	規子	科学成果普及機構/明星大学
高畠	規子、な	つき、高部 哲也
高部	哲也	デザイン工房 哲也
谷川	政敏	川越天文同好会
田中	里佳	かわさき宙と緑の科学館
野澤	恵・	茨城大学
松本	直記	慶應義塾高等学校
丸川	章	伊丹市立こども文化科学館
三品	利郎	月惑星研究会/東亜天文学会
南口	雅也	星見屋
渡部	義弥	大阪市立科学館

21 14. 24 1, 3, 4, 5, 6, 8, 16, 18, 22, 23 14 17, 19 10 まんが 装丁デザイン 12 18 15 20 11 2 7, 9, 13, 25, 26, 27 編集, 6, 7, 16, 26

担当節

協力 etel-coreメーリングリスト参加者 阿部 新助、井阪 あゆみ、石井 馨、川角 智、木村 かおる 久木田 竜一、篠原 秀雄、沼尻 裕、松岡 義一、渡邉 耕平 ほか

> 編集 渡部義弥(大阪市立科学館 学芸員) 発行 大阪市立科学館 〒530-0005 大阪市北区中之島4-2-1 電話 06-6444-5656 www.sci-museum.jp 2025年3月発行 印刷 前田印刷株式会社 大阪支店 大阪市西区西本町1丁目3-10 信濃橋富士ビル10F

本冊子は、 一般財団法人 全国科学博物館振興財団の助成を得て作成しました。