



ほし
と
たいよう

目次

夜空の星はどんな星？	----- 3
星はどうして光っているの？	
星の誕生	
星の内部で起こっていること	
星の名前：固有名	
星の名前：バイエル符号	
・フラムスチード番号	

どんな色の星があるの？	----- 11
星の色からわかること	
光のスペクトル	
HR 図	

星にも寿命があるの？	----- 17
恒星の質量と寿命の関係	
星の最期の姿	
白色矮星	
超新星爆発	
中性子星	
ブラックホール	

変光星ってなんだろう？	----- 25
食変光星	
脈動変光星	
ベテルギウスの最期	
セファイド変光星：距離の指標	
Ia 型超新星：距離の指標	

太陽はどんな星？	----- 32
太陽の表面	
彩層の様子	
熱い太陽コロナの謎	
さまざまな波長で見た太陽	
現れたり消えたりする黒点	
チューリッヒ分類：黒点の分類	
黒点数の変動	

信州の観測者たち	----- 40
三澤勝衛	
田中静人	
五味一明	
古畑正秋	
藤森賢一	

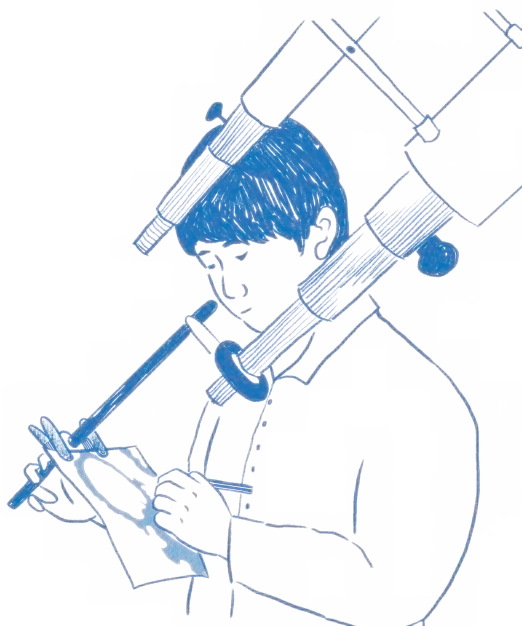




photo by 大西浩次

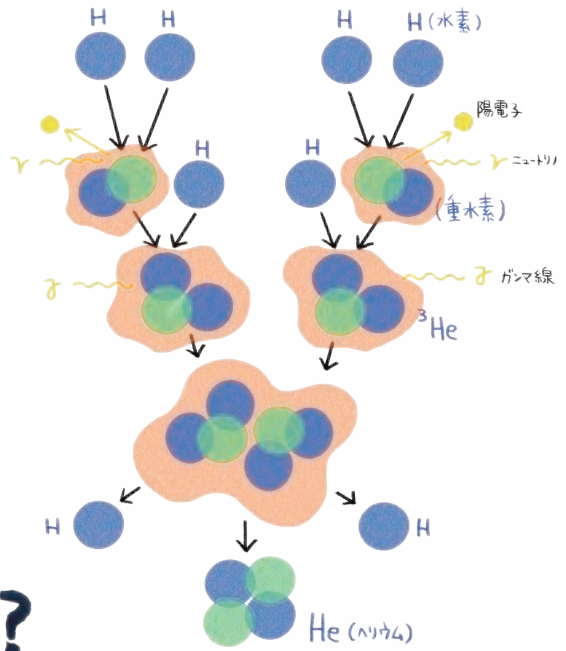
夜空 の 星 は ど ん な 星 ？

夜空に見えるほとんどの星は、「恒星」という自ら光を出している星です。肉眼で見える恒星の数は全天で6000～8000個。そして、天の川には目で見えない星を含めて1000億以上もの星が集まっています。



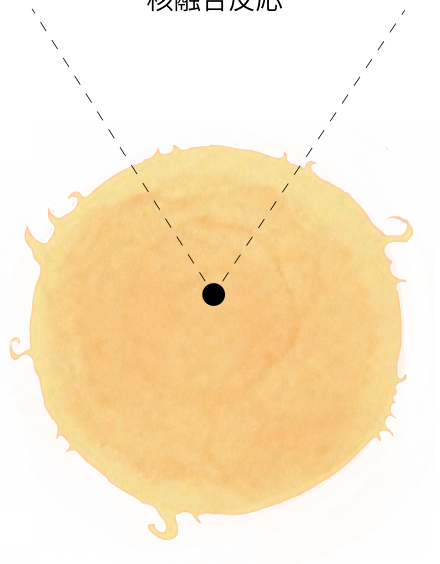
天の川の星々（いて座付近） / Credit:ESA, NASA & Akira Fujii

星は どうして 光 っているの？



核融合反応

恒星は、主に水素ガスでできた球形の天体です。中心部では、水素原子同士がぶつかる核融合反応が起こり、ものすごい光や熱を出しています。実は太陽も、夜空の星と同じ恒星です。





重力収縮と核融合反応の始まり

宇宙空間で、星間ガスやチリなどが濃く集まった場所は星間雲と呼ばれています。星間雲の中に密度が高い部分ができると、自分自身の重力によって収縮をはじめます（重力収縮）。収縮すると、中心部の密度と温度はどんどん高くなります。そして 1000 万度に達すると、核融合が始まります。これが星の誕生です。内部の熱による膨張と、重力による収縮のバランスが保たれ、安定して輝き続ける状態となり、この段階に入った星は特に「主系列星」と呼ばれています。



Pillars of Creation (NIRCam Image)
Credits: NASA, ESA, CSA, STScI; J. DePasquale, A. Koekemoer, A. Pagan (STScI)

星の内部で起きていること

核融合反応、元素合成

軽い原子どうしがぶつかり原子核がくっついて（融合）、より重い原子に変わる反応を「核融合反応」といいます。できあがった重い原子は、このときごくわずかに質量を失う代わりに、非常に大きなエネルギーを生み出します。恒星の内部では、核融合反応により水素がヘリウムに変わります。水素がなくなると、今度はヘリウムをもとにした核融合反応が起こり、酸素や炭素が作られます。ヘリウムがなくなると、酸素・炭素をもとにネオン、マグネシウムが作られ、さらに重い元素の原子核が合成されていきます。

星の 固有名 前

明るい星や目立つ星には、固有名がついています。はくちょう座のデネブは、アラビア語で「尾」という意味です。日本では七夕の織女星（おりひめ星）として知られること座の1等星の固有名はベガといます。主な星の固有名は、星座早見盤などを使うと調べることができます。

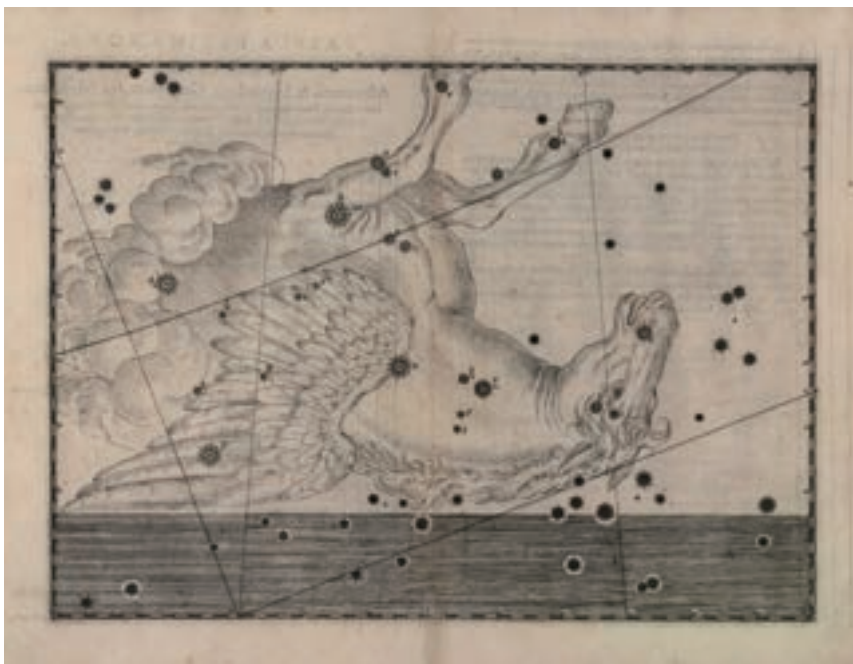


アッ・スーフイーの天文書に描かれたはくちょう座
Photo: © Bodleian Libraries, University of Oxford

星の名前

バイエル符号・フラムスチード番号

望遠鏡でしか見えないような暗い星には固有名がないことも多く、そのような星を表すときは、1等星のような目立つ星から順にギリシャ文字・アルファベットを振る「バイエル符号」や、西から順に番号をつける「フラムスチード番号」など、どの星座の何番目の星かを示す方法が用いられます。



ヨハン・バイエル著『ウラノメトリア』に描かれたペガサス座
Credit:ETH-Bibliothek Zürich, Alte und Seltene Drucke

どんな 色 の 星 が ある の？

夜空をよく見てみましょう。さそり座のアンタレスやオリオン座のベテルギウスは赤っぽい色、おとめ座のスピカは青白い色、こと座のベガやはくちょう座のデネブは白っぽい色、ぎょしゃ座のカペラは黄色っぽい色をしています。明るい星なら、望遠鏡を使わなくても自分のそのまの目（肉眼）で観察できます。



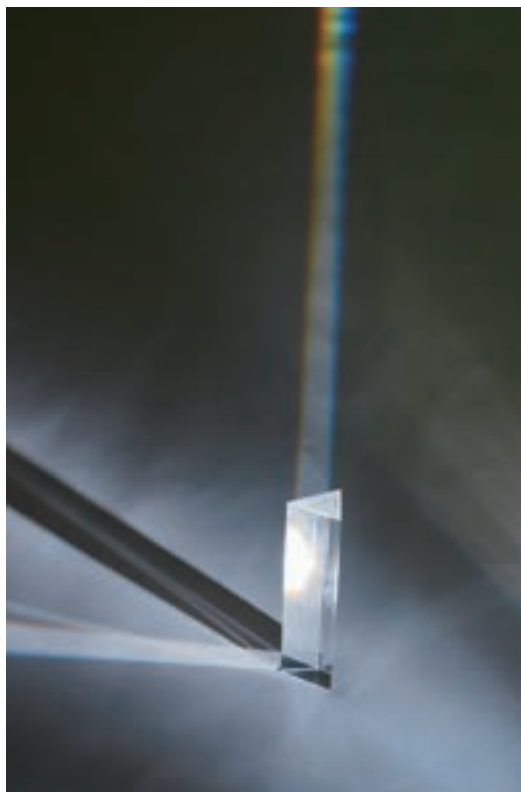
提供：なよろ市立天文台

星の色がわかること

色のちがいは、星の表面温度のちがいです。表面温度が2万度以上の高温の星は青白く見え、3000度くらいの低温の星は赤い色に見えます。遠い星まで温度計を持って行って測ることはできませんが、色比べをすると温度比べができるということです。



光 の スペクトル



太陽の光や蛍光灯の光をプリズムに通すと、虹が現れます。プリズムは、もともと混ざっているいろいろな色の光を、振り分けることができるのです。分けられた光の色は、赤・橙・黄・緑・青・藍・紫の順に並んでいます。これを「(連続) スペクトル」と呼びます。色の違いは波長の違いです。目に見える光(可視光)の中で波長の長いほうは赤く見え、短いほうは紫に見えます。

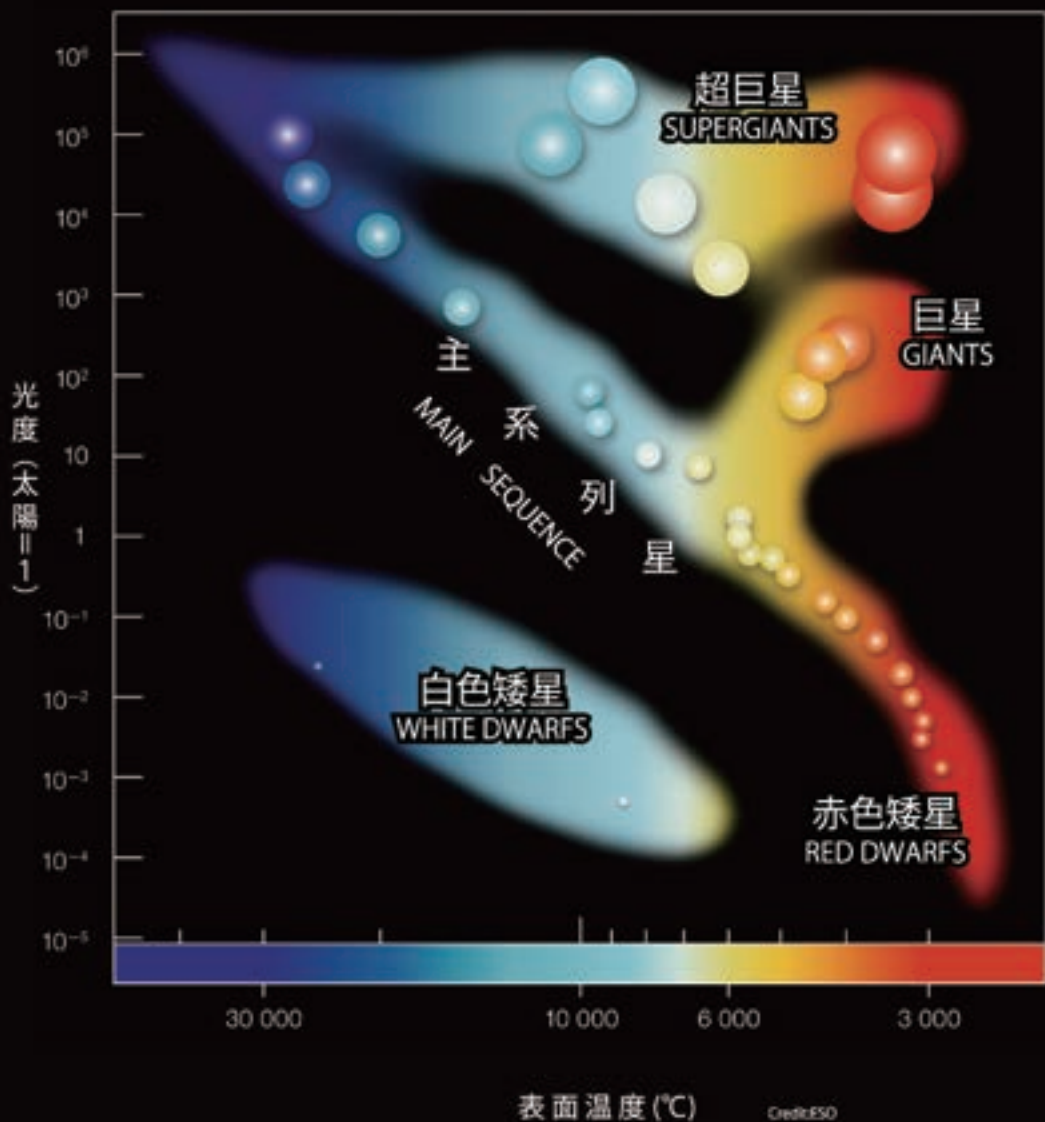
Hertzsprung - Russell Diagram

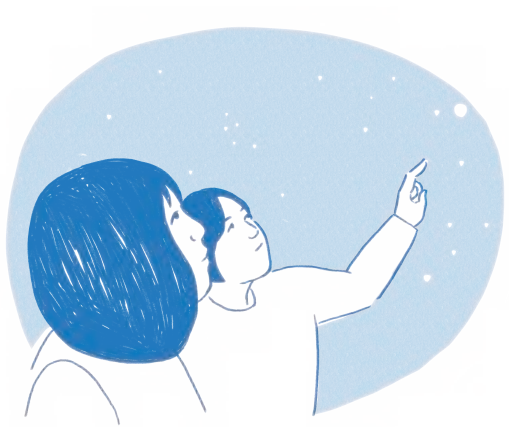


ヘルツシュプリング・ラッセル図（HR図）は、縦軸に光度（絶対等級*）、横軸に表面温度（スペクトル型*）をとった恒星の散布図で、恒星の性質や進化を知るのに大変役立つグラフです。

※絶対等級：天体を 10 パーセク（10pc=32.6 光年）の距離から見た場合の見かけの等級。
※スペクトル型：星のスペクトルの特徴を分類したもの。温度による色の違いに加えて、星の化学組成によって現れる吸収スペクトルの種類と強度によって定義される。

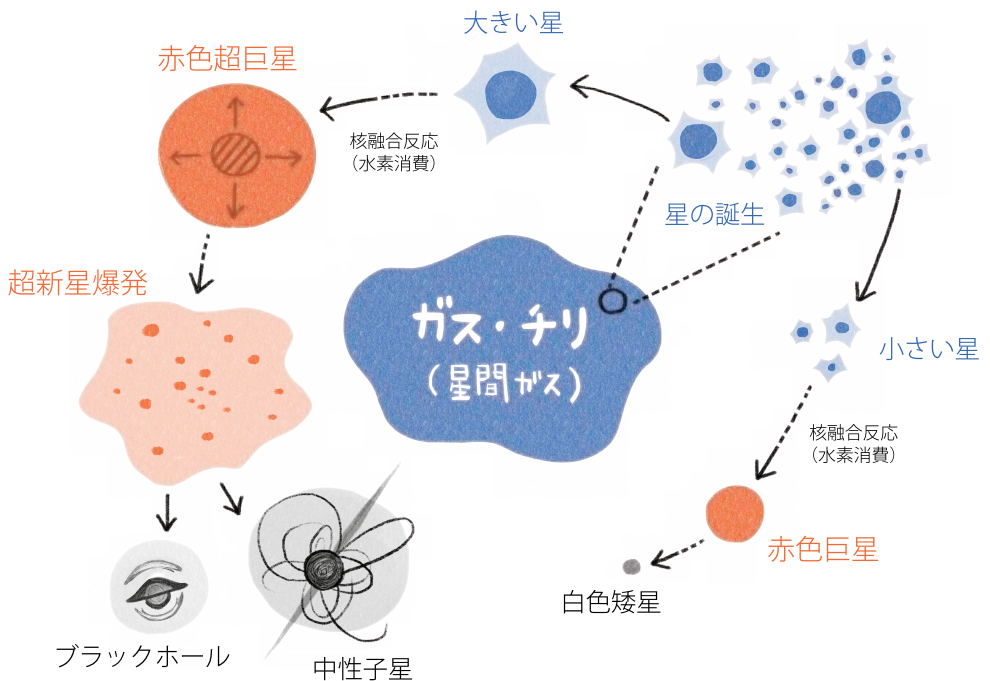






星の寿命があるの？

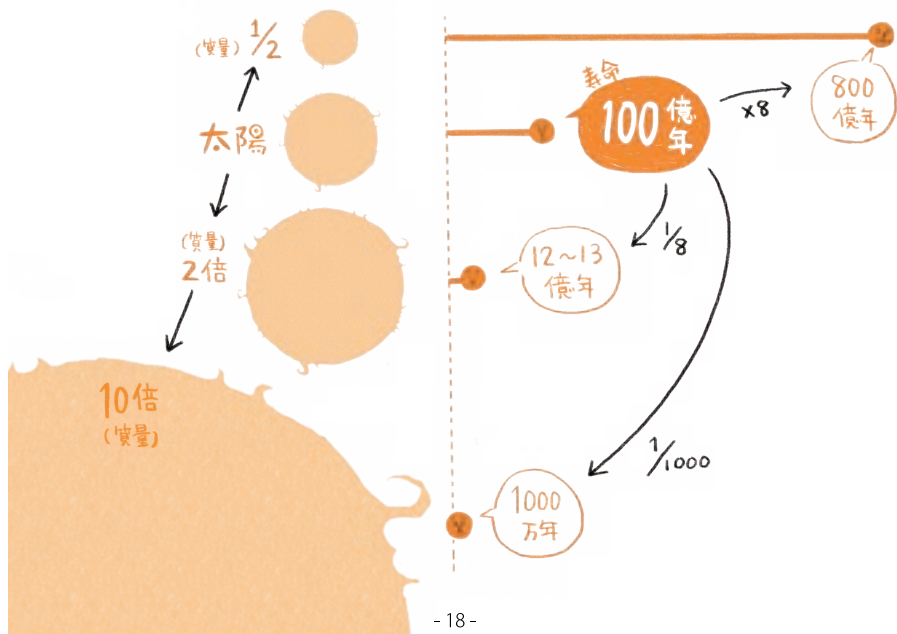
太陽の寿命は 100 億年程度です。人間の一生と比べる非常に長いので、ずっと輝いているように思えます。しかし、燃料である水素を使い果たし、やがて一生を終えるときがやってきます。恒星の運命、つまり寿命や進化の過程、一生の最後の姿を決めているのは「質量」です。



恒星の質量と寿命の関係

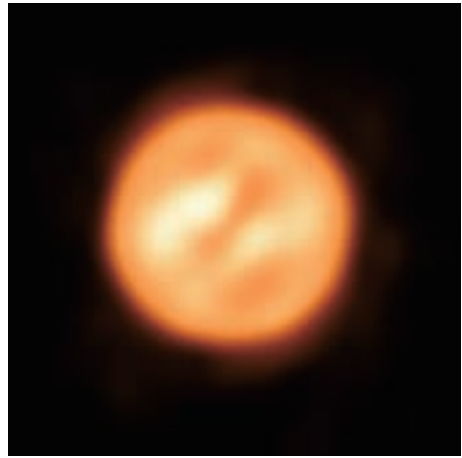
重い星は重力が強くなり、恒星内部で圧縮され温度が高くなります。温度が高いと核融合反応が激しくおきるので、水素をどんどん消費してしまい、寿命が短くなります。

反対に、質量が小さい恒星は内部の温度が低く、核融合反応も激しくありません。水素を消費しづらく、寿命は長くなります。恒星の寿命は、質量の2乗～3乗に反比例しています。



星の最期の姿

質量によって異なる運命



アンタレス Credit: ESO/K. Ohnaka

主系列星は、収縮と膨張がつりあい、安定して光っています。しかし、水素を使い果たすと核融合反応が止まり、膨張する力がなくなります。水素から作られたヘリウムが中心部にたまって収縮し、中心の温度が上がると、今度はヘリウムの核融合反応が始まります。外側で層になっている水素は、中心部の温度が上がって膨張し、膨張すると星の表面温度は下がります。このような段階を迎えた星を「赤色巨星」といいます。

その後の進化は質量によって異なります。

矮星

太陽と同じくらい
の星の運命



惑星状星雲「IC 4593」

Credit: X-ray: NASA/CXC/UNAM/J. Toalá et al.; Optical: NASA/STScI

赤色巨星の外層は、中心からの距離が遠く重力が弱いため、徐々にガスが流出していきます。周囲に放出されたガスが星に照らされて輝き、惑星状に見えることから「惑星状星雲」と呼ばれます。外層を失った恒星は核融合反応が止まった核の部分だけを残して一生を終えます。核は収縮により地球程度の大きさになり、高密度の天体「白色矮星」となります。その後、白色矮星は熱放射によりゆっくり冷えていき、最終的には光と熱を完全に失った黒色矮星に変化していくと考えられています。

超新星爆発

太陽の8倍以上の星の運命



かに星雲 NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University)

重い星の場合、核融合反応がさらに進み、次第に重い元素が作り出されます。中心で鉄がつけられると核反応が終わり、自身の重力を支えられなくなります。そして、一気に収縮する「重力崩壊」が起こります。重力崩壊が起こると莫大なエネルギーが解放され、恒星全体が吹き飛びます。これが「超新星爆発」と呼ばれる現象です。

星の内部で作られた元素は、このとき周囲にまき散らされます。また、超新星爆発のエネルギーによって、もっと重い元素*も大量に合成されます。

※鉄より重い元素が合成される。

中性子星

太陽の10〜20倍の星のその後



NASA and ESA; Acknowledgment: J. Hester (ASU) and M. Weisskopf (NASA/MSFC)

質量が太陽の 10 ～ 20 倍程度の恒星は、超新星爆発のあと、重力崩壊で押しつぶされた直径 10km 程度の中心核が残ります。これは非常に強い重力のために原子核に電子が吸収されて星のほとんどが中性子からなっている天体で「中性子星」と呼ばれます。直径 10km 程度でも、質量は太陽と同じ程度という非常に高密度の星です。

中性子星は高速で自転し、電波パルスを出す天体「パルサー」や強い磁場を持つ天体「マグネター」として観測されています。

ブラックホール

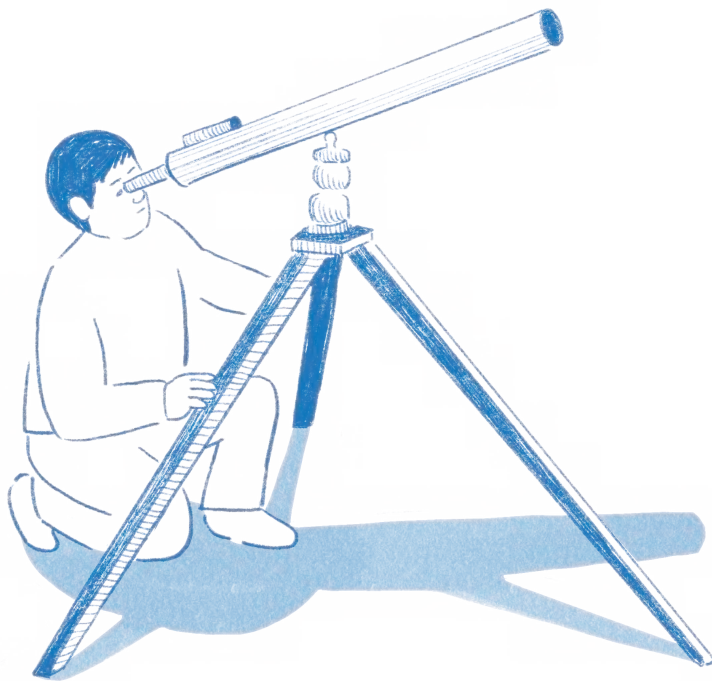
太陽の30倍以上の星のその後

超新星爆発のあとに中性子星になってもその重力を支えることができずに、重力崩壊がさらに進むと、極限まで収縮した「ブラックホール(恒星ブラックホール)」となります。

ブラックホールからは秒速 30 万 km の速さの光でさえも脱出不可能です。そのため、ブラックホールの内側で何が起きているかを知ることはできません。このことからブラックホールの境界を「事象の地平面 (event horizon)」と呼びます。



Credit: Sophia Dagnello, NRAO/AUI/NSF



変光星 ってなんだらう？

明るさが変わる星を「変光星」といいます。現在、220万個以上*の変光星が見つかっています。何気なく見ている星空には、いくつもの変光星が光っているのです。ただ、明るさが劇的に変わるようなものは多くなく、簡単には気が付きません。わずかな変化を調べるために、継続的な観測を行うことがとても大切です。長年、多くの研究者やアマチュア天文家が観測を続けています。

※AAVSO（アメリカ変光星観測者会議）がまとめている VSX（The International Variable Star Index）に登録されている数。2023年6月時点。



良変光星

ペルセウス座のアルゴルという星は、肉眼で見ても（望遠鏡で見ても）ひとつにしか見えませんが、実は明るい星と暗い星の2つからなる連星です。明るい星の前に暗い星がくると光が遮られ、わずかに暗くなります。このような明るさの変化が繰り返し起こることで、2つの星が互いの周りをぐるぐる回っている様子がわかります。

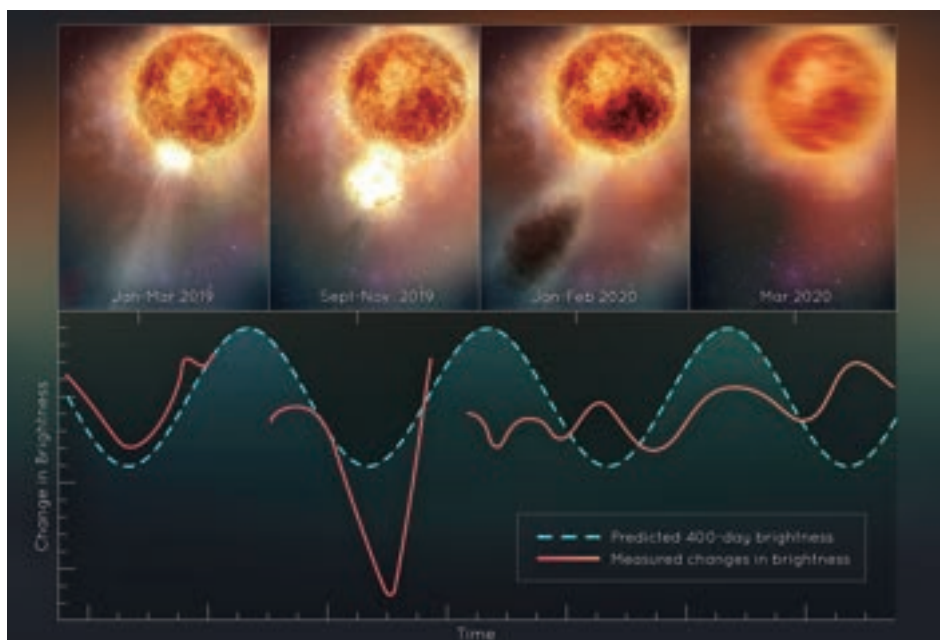
脈動変光星

星自身の膨張と収縮により明るさが変化する変光星を「脈動変光星」といいます。くじら座オミクロン星は、ラテン語の「不思議な星」という意味のミラという固有名があり、望遠鏡や観測機器がなかった時代から観察されている変光星です。約 330 日の周期で 10 等級から 2 等級まで明るさが変化します。暗いときは見えませんが、明るいときには赤っぽく光る様子を肉眼で見ることができます。



ベテルギウス の最期

ベテルギウスは、星の一生の最終段階を迎えた赤色超巨星で、いずれ超新星爆発を起こす大質量星です。近年の研究では、10万年以上先と予測されています。2020年初め、大減光がみられ、超新星爆発の予兆かと注目されましたが、星から放出された大量の塵によって減光しことが明らかになりました。



ベテルギウスで起こった表面質量放出（イメージ）と変光の様子（グラフ）
Credit : NASA, ESA, Elizabeth Wheatley (STScI)



photo by 大西浩次

セファイド 変光星

距離の指標

ケフェウス座デルタ星に代表されるような、絶対等級の比較的大きい周期的脈動星をセファイド変光星といいます。変光範囲は 0.1 ～ 2 等級、周期は 1 ～ 50 日程度、スペクトル型が F (極大期) ～ G-K 型 (極小期) に変化します。

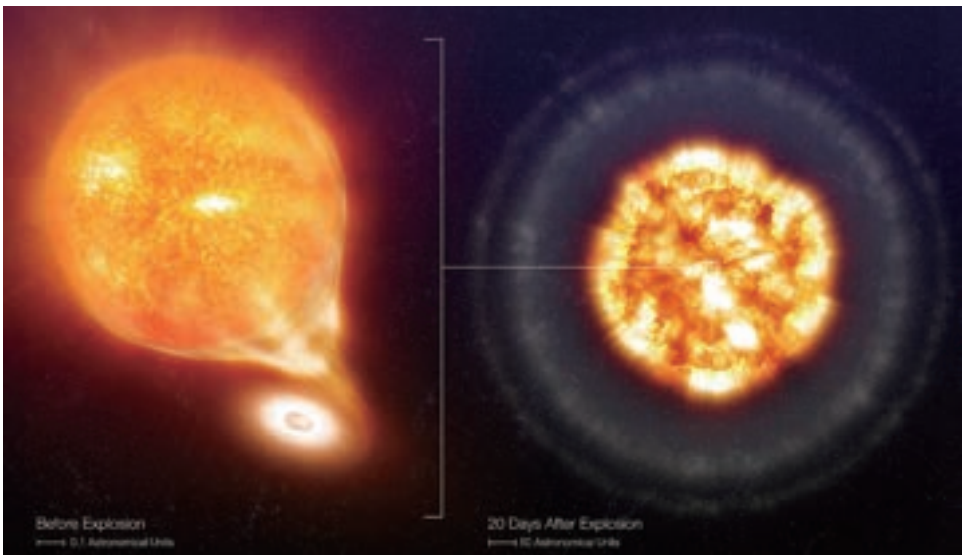
セファイド変光星は、変光周期が長い星ほど絶対等級が明るいという性質があり、この関係を用いると、距離の測定が可能です。年周視差*などで正確に測ることの出来ない数千光年以上の距離を知ることができます。

※年周視差：地球の公転を利用し測定される星の見かけの位置の変化。
年周視差が 1 秒角 (1/3600 度) となる距離が 1 パーセク (3.26 光年) と定義される。

Ia型 超新星

距離の指標

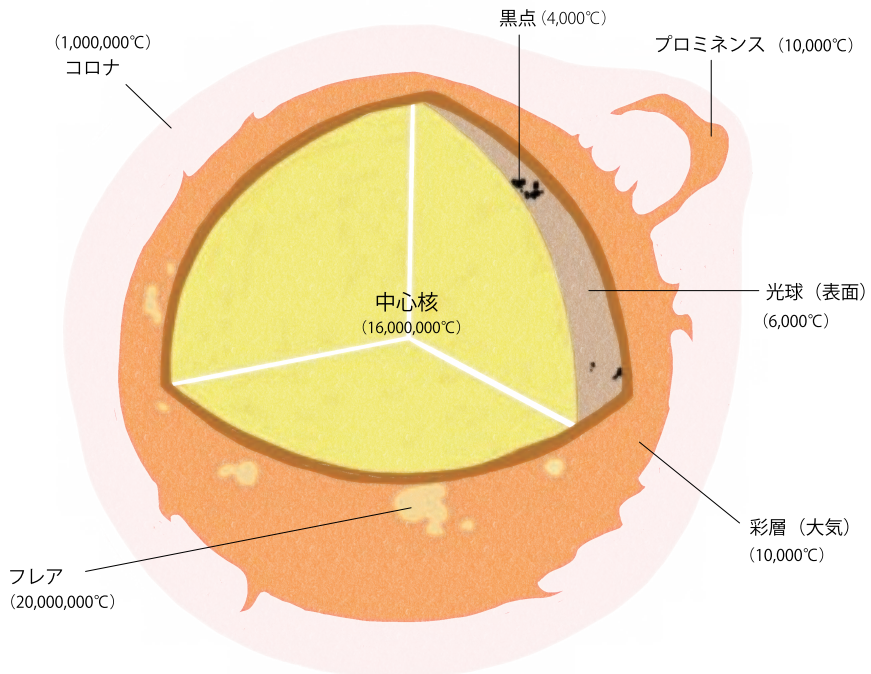
超新星とは星の最期に起こす爆発現象のことです。その中でもIa型超新星は、白色矮星と巨星などの連星が、その相互作用によって引き起こす爆発です。増光の最大値（絶対等級）がほぼ一定であることが経験的に知られており、これを利用し距離を知ることができます。たいへん明るく、遠くにあっても観測できるので、遠方銀河の距離の指標によく用いられています。



Ia型超新星爆発前と後の様子
イメージ Credit:ESO

太陽 はどんな 星?

太陽の表面温度は 6000 度。もしほかの星と同じように遠くで光っていたら黄色い星に見えるでしょう。太陽も恒星ですから、主に水素ガスできており、中心部では核融合反応が起こっています。中心部の温度は 1600 万度です。



太陽の表面

水素ガスの球体として私たちが見ている太陽の表面を「光球」といいます。光球には、所々まわりよりも温度が低いために暗く見えるところが現れます。これを「黒点」と呼んでいます。反対に温度が高く、明るく白っぽく見える模様を「白斑」といいます。太陽の活動が活発なときには黒点や白斑はたくさん見られます。



撮影：大西拓一郎

彩層の様子

水素原子が出す赤い光、 $H\alpha$ 線（波長 656.28nm）で見ると、光球を覆う「彩層」の様子を観察できます。暗いすじ模様「ダークフィラメント」や炎のように飛び出した「プロミネンス（紅炎）」が見られます。プロミネンスは、彩層から突出し、数万 km の高さに達しています。プロミネンスの根元の光球面には黒点があります。また、黒点の周囲には「プラージュ」と呼ばれる明るい領域がみられます。



提供：長野市立博物館

熱い太陽 コロナの謎

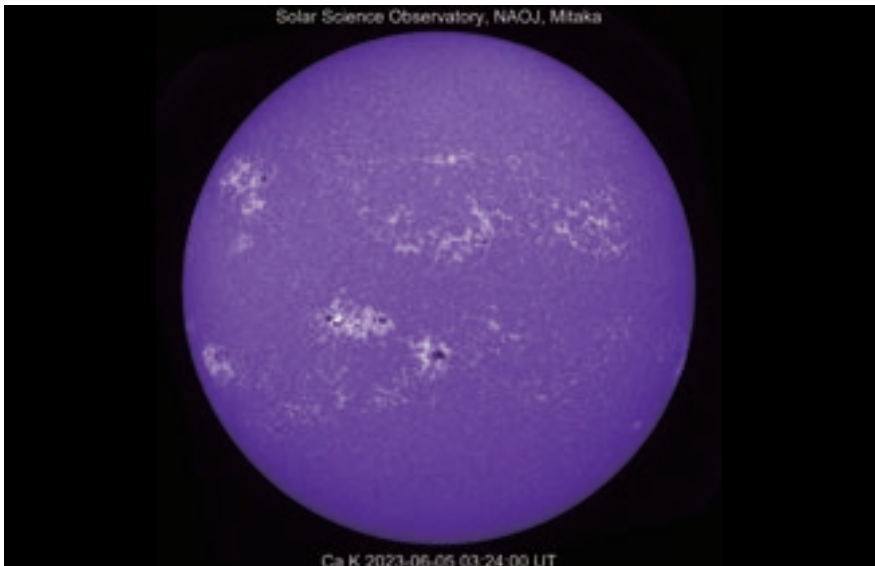
彩層のさらに外側に広がる領域を「コロナ」といいます。皆既日食中だけでなく、コロナグラフという装置を使って観測できます。コロナの温度は 100 万度で、内側の光球・彩層よりも高温です。その理由は長年の謎となっており、現在は「ナノフレア説」と「波動加熱説」の 2 つの説が有力視されています。



乗鞍コロナ観測所 10cm コロナグラフで撮影した太陽コロナ / 提供：国立天文台

波長で見えた太陽 さまざま

白色光で観察すると、光球面の黒点・白斑が見えます。H α 線では、彩層の様子が観察でき、プロミネンスやダークフィラメントなどがみられます。カルシウムK線 (393.4nm) で観察すると、白色光で見る光球面と H α 線で見える彩層面の間を見ることができます。発生前の黒点の活動や、白色光や H α 線では収束してしまったように見える活動領域も見ることが出来ます。



CaK 線全面画像 (三鷹キャンパス、太陽フレア望遠鏡) / 提供：国立天文台

現 れ 消 え る 黒 点

毎日観察すると、黒点の位置が東から西へ移動していくのが分かります。太陽が自転しているからです。太陽の自転周期は約 25 日です。

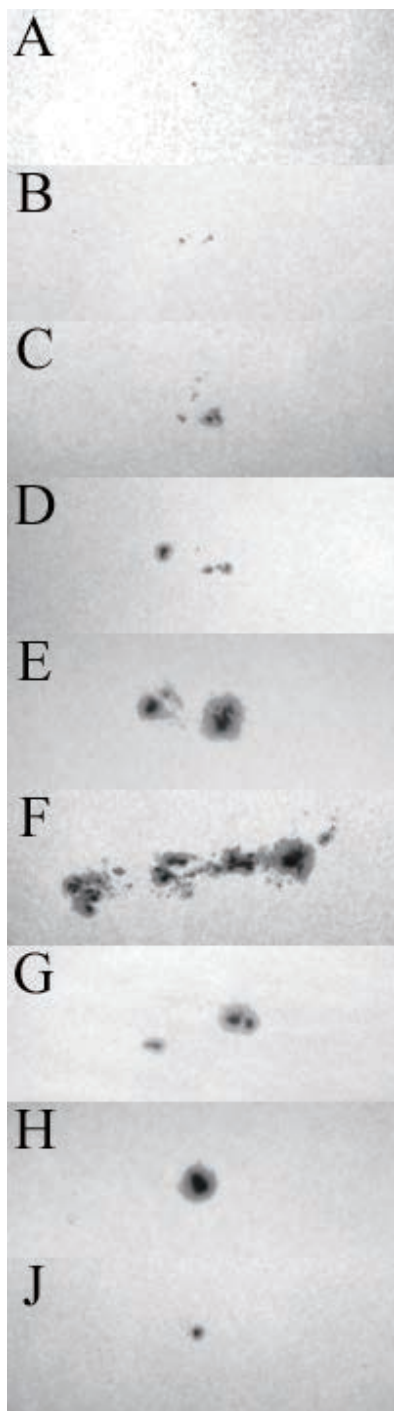
また、数日間で消滅したり形や数が変わったりするものもあります。黒点は、太陽の内部で発生した磁力がはみ出し、ガスの対流が起こりづらくなって温度が低くなったところに見られます。太陽磁場は、非常に複雑で刻々と変化しているのです。

チューリッヒ 分類 タイプ

黒点の分類

チューリッヒ天文台のワルトマイヤーが考案した黒点群の分類方法は、A～J（Iは除く）の9つの型があります。単一のもの、対になっているもの、集団になっているものなど区別します。

提供：国立天文台（三鷹キャンパス・20cm 赤道儀）

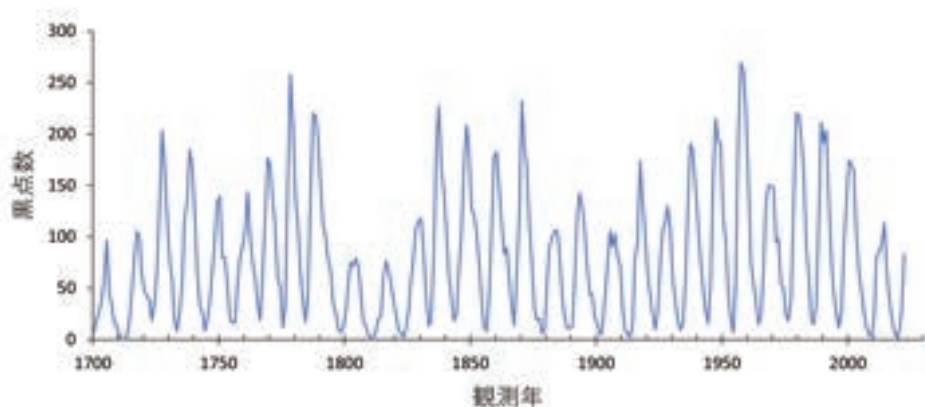


黒点の数の変動

日々変化する黒点を調べ、黒点群数の推移を見てみると、11年の周期で増減していることが分かります。黒点の多いときは、太陽活動が活発なときです。大規模フレア*が発生することもあります。反対に、太陽活動が弱まり、黒点がほとんど観測されなかった時期もあります。1645～1715年は、マウンダー極小期と呼ばれ、地球上も寒冷な気候だったことが知られています。

※フレア：太陽表面で起きる爆発現象。

主に黒点付近の磁場のエネルギーが、急激に解放されることによって発生する。



Source: WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels

信州の 観測者たち

天文学の中でも、変光星観測と太陽観測は、アマチュアによる貢献が顕著な分野です。

長野県にはこれらの観測が長年行われてきた歴史があり、国内有数の資料の蓄積があります。



給料のほかに
は本に費す

23才(1901)小学校本科正級検定合格!

21才(1905)小学校本科正級検定合格!

19才(1903)小学校本科正級検定合格!

31才(1915)
地理免許
取得!

1918年 松本商業学校
教諭

1920年 諏訪中学校
(現 諏訪学院高校)

へ進任し地理の授業
を担当す

天文学、読書

地理進化 米国
学者 魏格ナー
の仮説に賛成

博物科動物の
免許取得!



三澤 勝衛
MISAWA
KATSUE

1885-1937

重級郡三木村会
の 農家に生まれる

松本高等小学校の校長に就任

18才(1902)松本補用代用委員

15才(1899)上木内郡木山高等小(校長)

11才(1895)重級郡重高尋常小(卒業)

風土論

風土は自然の
大地の表面に大空の一面に 海原を
加へた社会の一面の風土に
正しく定まることである。その
風土は、その風土が生かす環境である

1922年 科学会 発表



120余の
論文

- 1922 「諏訪盆地の地質学的考察」
- 「その地質学的考察について」
- 1926 「諏訪盆地の文化」
- 1929 「八ヶ岳大山山麓の環境型」
- 1931 「諏訪盆地の環境型」

1934年 左目失明
右眼眼病中止
1937年 逝去



Copyright
© Misawa Katsue



1926年 太陽を以てして観望

「望遠鏡が壊れたら、明日には使えなくなる。望遠鏡が壊れたら、明日には使えなくなる。望遠鏡が壊れたら、明日には使えなくなる。」



星の光の輝きを観望の面白さを知り始める

農業と生業に力を入れた 太陽観測

65年前

1941年
古田正秋は「太陽の位置観測」の論文を発表し、研究報告

2000年 12月31日
太陽観測を辞める。

1925年
500円
日本光学工業株式会
21才

1925年
古田正秋
松本高校時代

1905年
長野県佐久郡
望月町(現佐久)に生まれる



田中 紳一 TANAKA SHIZUO

1905-2003

Drawing
Suzuko Waka



五味一明の自宅
天文台

「大発見」
「観測」



神田茂
夫妻

半信のやりとり
指導の目的
熱心の発露
毎夜観測



変光星
観測



1936年
6月19日
皆既日食
観測



星図の望遠鏡
20cm口径

小生の時
同好会仲間

1979年
「天文」
「天文」
「天文」

AAVSO
観測



諏訪天文同好会

茶野市
市立天文台

1943年
満州
皆既日食
観測



1961-1986年
諏訪天文同好会
会長としての活躍

- 1961 日本天文学会
- 1990 日本天文学会
- 1995 日本天文学会

戦時中
上野公園
東京大学
天文台



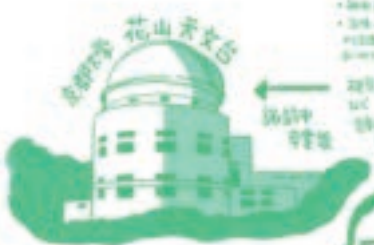
1970年



1911-2000

五味一明
GOMI KAZUAKI

1935年
東京帝国大学
理学部
天文学科
入学



三澤の紹介で山本に誘われ
花山天文台で修業した



1936年
旧札幌高等学校
入学

三澤の紹介で山本に誘われ
花山天文台で修業した

北海道
食日取
10年以内
の間に
100kg以上
の体重増加
が認められた



1925年
札幌中学校入学
宇宙・銀河
の不思議
に興味を
持つ



全天18枚の
星図を
1冊に1冊
にまとめた

1938年
大学卒業後
ハーバード大学
天台助手

すでに
出版して
いた

1冊1冊
の星図を
1冊に
まとめた

古畑 正秋
FURUHATA
MISAO



銀河群集
(銀河の集まり)
の発見

1912 - 1988

・光電管発光の考案者
・夜天光研究の権威

銀河群集
の発見



1941年
1958年
1968年
1973年

1941年
1958年
1968年



Drawing
sasaoka nika

眼鏡の作り直し
反射望遠鏡の
自作開始



小学生



竹由星船先生(以陽望遠鏡)
今年正月先生(陽望遠鏡)の
修理が完了
夜一校舎で陽望遠鏡を
見せられた。宇宙に憧れた

山本一清
(京都府中)



陽望遠鏡の
太陽望遠鏡の
製作
陽望遠鏡の
製作

1957年 陽望遠鏡の完成

1958年
陽望遠鏡の
完成



陽望遠鏡の
完成

1945年

陽望遠鏡
神秘的
魅力!

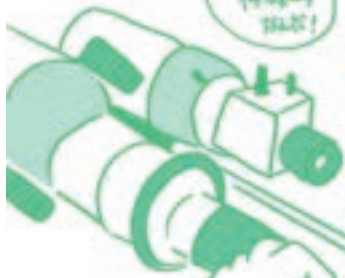
1947年

中学に入学
星望遠鏡の
穴の位置を
見つけた

1953年 太陽観測

天文学会
日本天文学会入会

陽望遠鏡の
製作
陽望遠鏡の
製作



長野県
諏訪市
生まれ

2023年で
70年
太陽観測

1934-

藤森賢一
FUJIMORI
KENICHI

1963年 陽望遠鏡の完成



陽望遠鏡の
完成

1964年

AAVSO (Amateur Variable Star Observers Society)
資料交換会 (観望望遠鏡の会)

1965年

陽望遠鏡の
完成

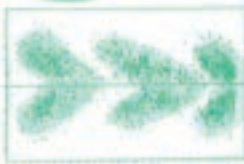


1971年 陽望遠鏡の完成

太陽望遠鏡!!

1975年

陽望遠鏡の
完成



1981年

陽望遠鏡の
完成

2017年

天文功労賞
(天文学会)

陽望遠鏡の
完成

Drawing
Sakurako Wada

参考文献等

The European Southern Observatory(ESO) ホームページ
<https://www.hq.eso.org/public/>

桜井隆, 小島正宜, 小杉健郎, 柴田一成 編 (2009), 『太陽 (シリーズ現代の天文学; 第 10 巻)』, 日本評論社

続日本アマチュア天文史編纂会編 (1994), 『続 日本アマチュア天文史』, 恒星社厚生閣

国立天文台 太陽観測衛星「ひので」SOLAR-B ホームページ
<https://hinode.nao.ac.jp/>

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 ホームページ
<https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/solarobs.html>

天文年鑑編集委員会編 (2022), 『天文年鑑 2023 年版』, 誠文堂新光社

長野市立博物館 (1988), 第 20 回企画展 「時と太陽の物語 - 日時計から原子時計まで -」

名古屋大学「太陽・太陽風 50 のなぜ」ホームページ
https://www.isee.nagoya-u.ac.jp/50naze/solar_wind/index.html

日本アマチュア天文史編纂会編 (1987), 『日本アマチュア天文史』, 恒星社厚生閣

野本憲一, 定金晃三, 佐藤勝彦 編 (2009), 『恒星 (シリーズ現代の天文学; 第 7 巻)』, 日本評論社

畑英利 (1985), 『信州の星空 星降る里の天文文化』, 銀河書房

企画展

「観測者たちを夢中にさせる星々の魅力」

発行日 2023 年 6 月 30 日

発行者 NIHU 広領域連携型基幹研究プロジェクト
国立国語研究所ユニット 「地域における市民科学文化の再発見と現在」

企画・制作 茅野市八ヶ岳総合博物館
長野市立博物館

デザイン・編集 株式会社 SASAMI-GEO-SCIENCE
印刷 ラクスル株式会社

printed in JAPAN

本書の無断転写、転載、複製を禁じます。

