

STELLAR NO.34 LIGHT

ステラーライト



月の立体視。左目で左の月を、右目で右の月を見ると立体的に見える、全体的には球体であることやクレーターの凹凸がわかる。観望会などではクレーターの影の錯覚で立体的にみえる感じもするが、立体視では満月（影ができない）でも立体感が生まれる。

ついに見たぞ、皆既日食!!

皆既日食の連続撮影。イースター島・アナケナビーチ・アフナウナウのモアイの前で。南半球なので、日周運動は右（東）から北の空を通過して、左（西）へ。

CONTENTS

台長室から

特別寄稿

天体列伝

事業報告

観測報告

天文授業サポート事業

眼視から写真、CCDへ

はやぶさ回収ミッションに参加して

イトカワ ～寄せ集めの小惑星～

昼間の星の観望会での金星観察

丸くてでこぼこな月 ～月の立体画像～

Wolf-Rayet (ウォルフ・ライエ) 星

皆既日食を追いかけて ～2010年7月 イースター島 皆既日食～

望遠鏡メンテナンス事例紹介 ～群馬県立太田高校の場合～

GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

県立ぐんま天文台

台長室から 眼視から写真、CCDへ

台長 古在 由秀

最近では、カメラのない家庭は少ないであろう。ところが、4、50年前までは、カメラはとても高価なもので、自前で持っている人はごく少なかった。その頃は、写真は写真屋さんに行き、撮ってもらったし、学校の遠足などでは、専属の写真屋さんがついてきて、集合写真を撮っていた。カメラは特別な人の扱うものであった。従って私なども、子どもの頃の写真は少ないのである。

ピンホール現象はかなり昔から知られていたらしいが、フィルムとか乾板に写す写真機が出来たのは、19世紀に入ってからである。そのカメラがオランダ船で日本に入ってきたのは1840年頃で、幕末の時代の坂本竜馬の写真は、よく見かける。しかしその頃は、カメラの性能も乾板の感度も悪く、昼でも数分の露出時間が必要だったらしく、坂本竜馬は写真では杖によりかかり、身体を支えている。

写真技術は天文観測にも19世紀の半ばから導入された。写真導入以前は、惑星などは望遠鏡を覗きながら観測者がスケッチしたのだが、その手間が省け、客観的な記録が残るようになった。また、望遠鏡を目的の天体に固定しておけば、露出時間を長くして、光を蓄えることが出来るので、暗い天体までの観測が可能になり、天体の分光観測も容易になった。

しかし、写真の露出時間が足りなかったり、長すぎたりするのが分かるのは、乾板を現像してからで、役に立たない写真もできる可能性があった。また、その処理の最中に失敗をすると、せっかくの写真も無駄になってしまうことがあった。写真観測は、このような事後処理の後に完了したのである。

こういう事態が一変したのが、デジタルカメラにも付いているCCDの導入である。そもそもその感度は、乾板に比べて10倍もよいから、口径が3倍の望遠鏡を使ったのと同じ効果がある。また、露出の途中でも画面で写真を見ることが出来るから、露出時間に悩むことはなくなったし、結果は直ぐに計算機のメモリーに記憶される。もちろん、より暗い天体まで観測出来るようになったし、同じ明るさの天体だと、露出時間を短くてすむようになり、一晩でたくさんの天体観測が可能になったのである。

とは云っても、CCDが導入された今でも、天体を目で見る眼視観測は楽しいものであり、ぐんま天文台でも眼視観測のために特別な装置を用意している。

特別寄稿 はやぶさ回収ミッションに参加して

2010年6月13日深夜（現地時間23:21）、オーストラリアウーメラ砂漠にて私達は“はやぶさ”（MUSES-C）の大気圏突入を観測しました。

2003年5月9日にM-Vロケット5号機で打ち上げられた“はやぶさ”は7年の時間をかけて小惑星イトカワに降り立ち地球に戻ってきました。途中幾度もトラブルに見舞われ（リアクションホイールの故障、燃料漏れ、通信途絶、等々）ながらも、人間でいえば満身創痍となりながらも地球まで帰還しました。

冬のオーストラリアの夜は寒く、周囲には焚き火をしながら“はやぶさ”の帰還を待つ現地のおそらく宇宙マニアの方々。天の川が煌く夜空を寒さに震えながら見上げてみると北西の空に青い光が見えました。光はどんどん強くなり大きな火の玉となると砕け始め、周囲に影を落とすくらい強い光となり、次第に青から赤へと変化しながら天頂へと飛び去っていきました。今でも、思い浮かべることの出来る素晴らしい光景でした。

私は1999年6月からこの“はやぶさ”ミッションに関係しました。当時はとても無理なミッションだとは思えませんでした、成功すればロケットだけではなく衛星の仕事も出来るようになるかも？という期待をもってやりました。

当時の設計担当者の一人で、今は故人となられた方には何度も意見を伺い試行錯誤しながら製造を進めていきました。製造途中で新たに追加されていく加

工、いままで使ったことのない接着剤やネジのゆるみ止め、まったく新しい断熱材等々回収カプセルは新しい技術が目白押しでした。

機構部品も大きさ、質量ともに制約が厳しいため新しい機構が随所に使われていてその為だけに専用の工具を手配しなければいけないこともしばしば…。最終組み立て直前になっての軽量化のためにネジの材質変更とその余波で工具の変更も…。

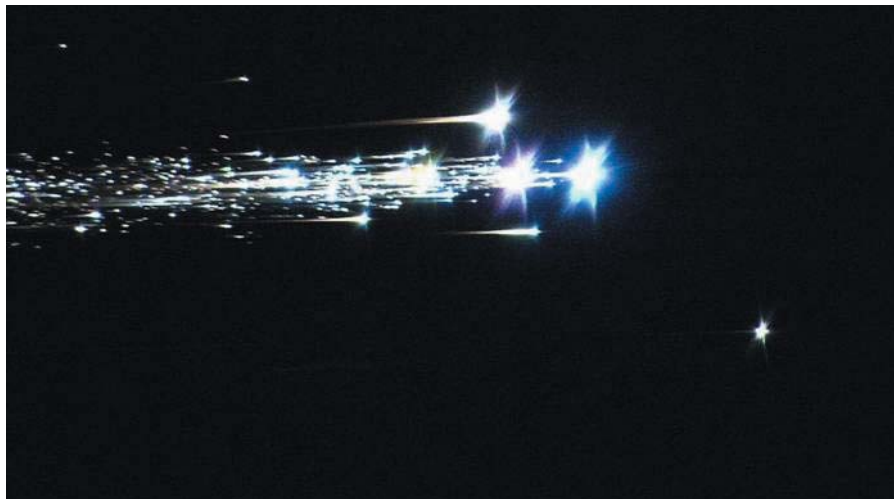
私の現地での任務は、カプセルを日本まで安全に運搬可能な状態に分解、収納することでしたが、何しろ7年も経過しているので記録と記憶を呼び戻して準備に走り回り、現地では一切余裕のないスケジュール（なにせ、食事の時間もなかなか取れないこともありましたが）で非常に忙しい毎日でした。しかし7年もの宇宙の長旅を経て、自分が組み立てたカプセルに再会したときの感動は、まさに言葉には言い尽くせないものがありました。

この度、当社から群馬県に寄贈させていただいたカプセルのレプリカがぐんま天文台に常設展示されることになりました。多くの天文ファンの皆様と少しでもこの感動を分かち合うことができましたら幸いです。

（株）IHIエアロスペース
生産センター 製造グループ 益田 克之



筆者。手にしているのは“はやぶさ”ミッションのスタッフジャンパー



はやぶさ再突入の様子。右下の輝点がカプセル（提供 NASA）



天体列伝 イトカワ～寄せ集めの小惑星～

探査機「はやぶさ」は、太陽の周りの60億km、7年余の旅路の末、小惑星25143イトカワ¹（図1, 3～5）に着陸し、その“かけら”を採取し、懷に抱いて運び、自らの製作者である人間に届ける使命を人類史上初めて果たしました。この「はやぶさ」の姿は、感動を呼びました。これに加えて、これまでどの探査機も訪れたことのない、差し渡し1kmに満たない小型の小惑星を時間をかけてじっくり調べることも「はやぶさ」の大きな目的の一つでした。

「はやぶさ」は2005年9月下旬からおよそ2か月の間、イトカワと並走（ランデブー）して科学探査を行いました。8種類のフィルターを備えた可視カメラ（AMICA）²、近赤外線分光器（NIRS）、蛍光X線スペクトロメーター（XRS）、レーザー高度計（LIDAR）を使った観測から、イトカワの形状、大きさ、質量、重力分布、表面物質の組成や分布、岩石の形状やレゴリス³の分布などが明らかになると同時に、新たな謎や探究方法に対する課題が出てきて、太陽系研究の世界に活気をもたらしています。

その前に、「はやぶさ」はイトカワを周回せず並走したのでした。「はやぶさ」とイトカワがそれぞれの公転軌道上で出会うようにして観測したのです。こうすると、周回軌道に入るより燃料消費も制御の複雑さも回避できます。なお、並走していてもイトカワが自転しているので、イトカワの全体を見ることが出来ます。また「はやぶさ」も、「ホームポジション」と呼ばれるイトカワから7kmの地点から適宜移動してイトカ

ワを見つめる角度（太陽光の当たり具合）を変えていました。

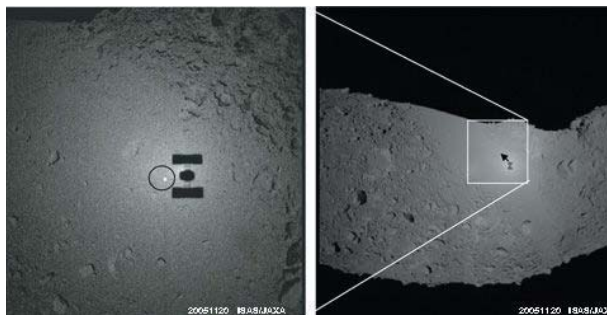


図2 イトカワに接近する「はやぶさ」の影。左写真で○で囲まれたものは、着陸点を示すために打ち込んだターゲット。

大きさ、体積、質量、密度、自転周期

大きさ	主 軸：535m、294m、209m (±1m) 取り囲む直方体：550m×298m×224m (±1m)
体積	$1.84 \times 10^7 \pm 0.092 \times 10^7 \text{ m}^3$
質量	$3.51 \times 10^{10} \pm 0.105 \times 10^{10} \text{ kg}$
平均密度	$1.9 \pm 0.13 \text{ g/cm}^3$
自転周期	$12.1324 \pm 0.0001 \text{ hours}$

イトカワの大きさ、質量と密度は表1のように求められました。

大きさと体積は、3通りの独立な3次元形状モデルから求められました。一つは輪郭をたどって形を掴む方法で、最も早く簡単に作れますが、凹みの再現ができません。2つ目は立体視する方法です。見る位置を少しずらして撮った2枚の写真を上手に見ると立体的に見えるあの方法です。そして3つ目は太陽光の跳ね返り具合を仮定して、表面の明暗をもとに形をつかむ方法です。これらの結果がほぼ一致したので、得ら

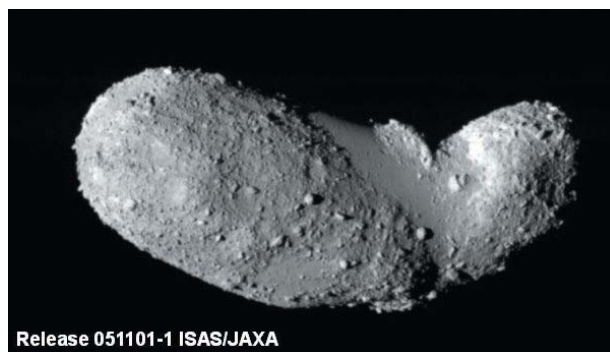


図1 小惑星イトカワ（小惑星25143）。東経90度方向より。上が南極、下が北極。

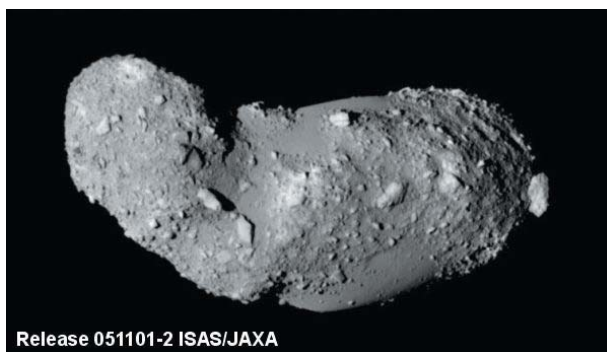


図3 小惑星イトカワ（東経270度方向より）。上が南極、下が北極。

¹ 25143はイトカワの小惑星番号です。

² 航法に使用するときは、光学航法カメラ（ONC）と呼ばれます。

³ 衝突などによって細かく砕かれた岩石。砂粒や細粒のようなもの。

れた値でまず間違いないだろうと考えられます。

質量は、4通りの方法で独立に求められました。これも誤差の範囲内で結果が一致しています。周回するのであれば、その軌道の変化から重力分布を知り、質量を測定できます。しかし、「はやぶさ」は並走したのでこの方法は使えません。そこで、まず2つの方法では、イトカワが質点である（大きさがあることを無視できる）と見なせるような（ホームポジションよりも遠い）ところで、地球からの距離やイトカワに対する高度変化を使って重力場（重力の強さの分布）を間接的に計測しました。別の2つの方法では、イトカワまで100m程度までうんと近づいたりそこから遠ざかったりするときに、太陽輻射圧（太陽光の圧力）、探査機の推進器の推力、そしてイトカワの形状効果を考慮して重力場を求めています。こうして算出された重力場から、表1の質量が求められました。体積と質量がわかれば平均密度がたちどころにわかります。



図4 小惑星イトカワ（東経0度方向北側より）。

なお、大きさ（550 mぐらい）と自転（周期、軸の向き）については、「はやぶさ」到達前から、地上観測によって良い精度で値がわかっていました。何も知らないで「はやぶさ」をイトカワへ旅立たせたわけではないのです。

表面組成～内部構造その1～

NIRSとXRSを使った観測によると、イトカワの表面は、平均としては、「LLコンドライト」と呼ばれる種類の隕石に似た鉱物組成と化学組成の物質に覆われていました。⁴隕石は小惑星がその起源であると考えられています。

ところで、この隕石の鉱物粒子密度（鉱物だけの密度）は 3.56 g/cm^3 です。これに対してイトカワの平均密度は 1.9 g/cm^3 です。この密度の違いは、イトカワに隙間（空隙）があるためと仮定して「空隙率」を求め

ると約47%になります。現実の隕石には鉱物と鉱物の間に微小な隙間があって、鉱物粒子密度と隕石全体の（平均）密度には違いがあり、隕石全体の密度の方が小さくなります。この隕石の密度がイトカワを作り上

げている岩石の密度と同じと仮定すると、鉱物間の微小な隙間の寄与を差し引いた「正味の空隙率」が40%と求まり、これは、大きさが揃った（丸い）石を容器に詰めたとときの空隙率とほぼ同じです。

小惑星の内部に隙間があるとなると、小惑星の内部構造には、ひびが入っているか、スカスカであるという2つの可能性が浮上します。ひびが入っている場合には空隙率がもっと小さくなるとされているので、約40%という値は明らかにスカスカであることを示しています。

表面の岩石

AMICAを使った観測では、かつてない高精細な画像が多数得られ（図6,7）、最も分解能の高い画像では6mmの大きさまで判別できます。このような

画像を分析するのは、フィールドで地層や岩石などの露頭観察をするようなものです。

画像分析から、イトカワの表面はその80%をごろごろした岩塊が占め、他の小惑星に見られる細かい物質（レゴリス）に覆われた部分が少ないことがわかりました。しかも、重力分布を見ると、レゴリスは最も低い位置に集まっています。何らかの機構でイトカワ表面を移動して“低地”に集積したものと考えられ、その主要因は、イトカワを壊さない程度の、小さな天

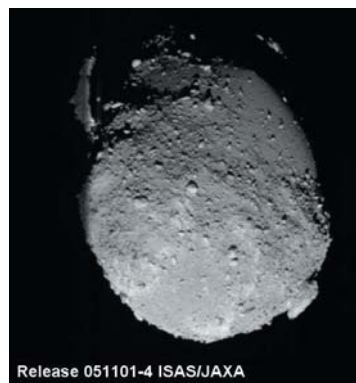


図5 小惑星イトカワ（東経180度方向より）。

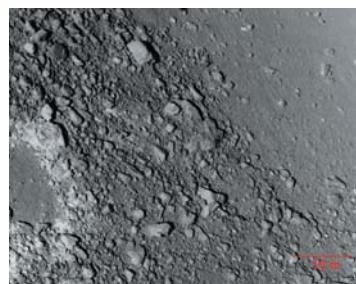


図6 イトカワの表面

⁴ この観測結果が、後に、カプセル内にあった微小な砂粒がイトカワ由来のものであるとされた根拠になりました。

体の衝突による震動であろうと言われています。小さい小惑星なので、天体衝突があると容易に全体がぶるっと震え、細かい物質がころころと斜面を転げ落ちて低地に集まるという理屈です。

表面の大部分を覆う岩塊の大きさはさまざまで、丸みを帯びていたり角張っていたり、段々になっていたり、と悩ましいほどの“露頭観察”ができます。大きさが約50mほどでイトカワの大きさの10分の1を超えるものや、これには及ばないものの大きな岩塊が複数あります。

ところで、画像を見ると、月や火星、他の小惑星でお馴染みの地形、「衝突クレーター」がほとんど無いように見えます。よく調べてみるとちゃんとあるのですが、他の天体のクレーターに比べると浅いものばかりで、岩塊がごろごろしていることと合わせて、イトカワの地形の大きな特徴になっています。なぜ浅いクレーターばかりなのか、この謎はまだ完全には解けていません。

巨大な岩塊に戻ると、衝突クレーターができる場合、さまざまな大きさの岩塊が生じ、大きなものほどクレーターの近くに見られます。重力に逆らって遠くまで飛ばされることがないからです。そして、最大級の岩塊の分布は、月や火星、他の小惑星ではクレーターの大きさと良い関係があると経験的にわかっています。

イトカワの最大級の岩塊の場合、これに対応する衝突クレーターは見つかっていません。というより、見つかるわけがありません。なぜなら、このような岩塊が生じるようなクレーターはそれ自体がイトカワよりも大きくなければならないからです。では、50mほどの岩塊や他の大きな岩塊はどのようにして生じたのでしょうか。

ラブルパイル～内部構造その2～

大きな岩塊、それはイトカワ以前に存在した小惑星で作られたと考えられています。

しばしば小惑星は太陽系形成期の生き残りと言われますが、必ずしもそうではありません。大きさや個数、衝突時の壊れやすさなどによりますが、直径数kmのもので10億年程度、数百mのもので数千万年程度で他の天体と衝突して破壊されるという研究報告があります。

ただ、破壊されておしまいではなく、破片が互いの重力で引きつけ合って再び小天体～小惑星になるという過程もあり、このような天体を「ラブルパイル」と呼んでいます。その特徴としては、“柄に似合わない”大きな岩塊がある、寄せ集めなので隙間だらけである、などが挙げられます。

これはイトカワの特徴であり、イトカワはもっと大きな小惑星が衝突して破壊された後、それが引きつけあってできた第2世代以降の小惑星と考えられます。ただし、大きな岩塊が、元の小惑星にあった衝突クレーターの起源なのか、衝突破壊の過程でできたのか、別の成因なのかは、まだ不明です。

どのような過程でできたにせよ、イトカワは、LLコンドライトと呼ばれる種類の隕石と似た組成の小惑星の中で「ラブルパイル」であることが判明した最初の小惑星です。さらに、km以下の大きさの小惑星としても「ラブルパイル」であることが初めてわかった天体です。

「はやぶさ」が訪れる前は、イトカワがラブルパイルであることは明確に予測されていませんでした。大きな(1つの)岩の塊で、むき出しの表面にクレーターが穿たれているのではとも思われてもいました。こんな小さな天体が寄せ集め天体であるとは想像できなかったのです。

現実とは違いました。この成果は、小惑星探査機「はやぶさ」があつてこそのものです。

(注) 画像はすべて「宇宙航空研究開発機構 (JAXA)」によるものです。

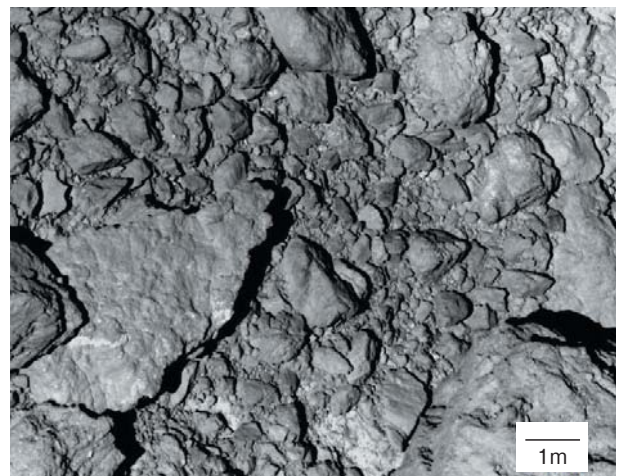


図7 イトカワの表面



事業報告 昼間の星の観察会での金星観察

見え方の変化する星

金星はたいへん明るい星で、肉眼で金星が見える時期になると必ず、「あの明るい星は何ですか」「UFOですか」といった電話での問い合わせが天文台にあるほどです。明け方の東の空に輝いて見える時は「明けの明星」、夕方の西の空に輝いて見える時は「宵の明星」とも呼ばれますが、毎日見えるわけではなく、見える場合も明け方か夕方のいずれか片方のみとなります。

金星は地球とほぼ同じ大きさの丸い惑星ですが、望遠鏡で観察すると丸くない形に見えることが多いです。丸く見えない理由は月と同じで、太陽の光が当たる部分だけが輝いて見えるからです。また、月と異なり、太陽のまわりを公転することによって地球からの距離が大きく変わるので、地球に近い時は大きく、地球から遠い時は小さく見えます。図1をご覧ください。

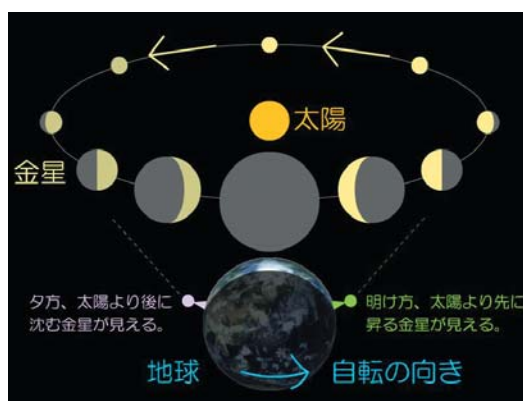


図1 金星の見え方の変化

中学校理科での学習

金星の見かけの大きさや形が変化することは、中学校3年の理科で学習することとなっています。しかし望遠鏡を使って金星の形を観察している学校は、ほとんどありません。

学校で観察があまり行われてない理由として、金星を観察しやすい明け方や夕方には授業を行っていないこと、日中の金星を天体望遠鏡に導入するのは難しく、操作に慣れている教員が少ないこと、天候に左右されること、金星を観察できる日は限られていることなどが挙げられます。

金星の見え方は約584日周期で変化するため、金星を観察しやすい時期は毎年変わるうえ、年によって

は夕方に観察できる日が無いこともあります。このため、全ての生徒が金星を観察できるようにするには、学習計画を毎年工夫し、年によっては2年生のうちに観察を済ませておくことが必要になります。

天文台での金星観察

ぐんま天文台では、金星の観察に適した平成22年度のうちに多くの方に金星を観察していただくため、金星を観察する機会を設けるとともに新聞等を通じて積極的に広報を行いました。

ぐんま天文台での金星の観察は、毎週土曜日、日曜日と祝日の昼間(午前11時半～正午)の「昼間の星の観察会」の中で行いました。昼間に星を観察するにはそれなりの設備と技術が必要ですが、正午頃であれば金星が「明けの明星」として見える日も「宵の明星」として見える日も観察でき、観察の機会が増えます。

観察会を実施した日には午前中の来館者のほとんどがこれに参加し、昼間に星が見えることや金星が丸く見えないことに驚かれていました。「金星を見に天文台に来ました。」という方もいらっしゃいました。



図2 観察会の様子

今後は

平成23年度は冬以降に夕方の西の空で金星が見えるようになるものの、金星の満ち欠けが観察しやすくなるのは平成24年の春以降となります。このため、金星よりは観察しにくいですが、水星の満ち欠けを観察できる機会を設けたいと考えています。また、平成24年6月には金星の太陽面通過もあります。金星観察の機会が再来したら、またイベントや広報を展開したいと考えています。

(観測普及研究員 大林 均)



事業報告 丸くてでこぼこな月 ～月の立体画像～ いつか、施設のかけ橋から、人のかけ橋へ

その話をいただいたのは昨年(2019年)の5月でした。私自身は天文学校が終わってほっとしているところでしたが(33号参照)、参加者(以下、学校生)のみなさんは天文学校の内容に刺激を受けたらしく、その後に自主勉強会を開催されていました。これにあわせるように「銀河進化論(塩谷泰宏、谷口義明著、プレアデス出版)」という教科書の輪講が始まることになり、自主勉強会やこの輪講の参加者のYさんからいただいた話が結局このイベントとなったのでした。

その話というのは、東京でのイベント(東京国際科学フェスティバル、Tokyo International Science Festival、TISF)への参加でした。「東京」と冠があるのですが、群馬の施設が参加することにも調整をつけていただいた上でのお話でした(実は、別な具体案までいただいたのですが、こちらは近未来の課題となりました)。前年のパンフレットを拝見すると多くの施設の多様な催しがまるでテレビ番組表のように掲載されていました。

当初考えたのは、東京と群馬という距離を逆手にとって何かできないかということでした。その線であらうと思いついたのが月の立体視でした(立体視の原理は図1を参照)。月まで38万kmもの距離があろうとも、東京・群馬の直線距離、わずか約100km、が

あれば、立体視が現実的であることは計算や文献でわかりました。参加者には二人が組になってもらい、片方の人が東京で、もう片方の人が群馬で同時に月を撮影して組み合わせれば月が立体的にみえる。群馬県が進めるDC(注)の方向にもあう。しかし、残念ながらイベント申請の期限までに連携施設を模索するなどの準備時間がないことは自明でした。また、イベント時間の夕方は天候が不安定で、さらに東京と群馬の二地点が両方とも晴れるのはTISFが開催される9～10月の頃はリスクが高い。そこで、単独開催にするため「時間差攻撃」を使うことにしました。地球は24時間で一回転、つまり赤道では地表は24時間で40000km動くので、1時間で1600kmも動きます。ですから、1時間の時間差をおいて撮影すれば問題なく立体感が生まれ(表紙画像参照)、クレーターのどこも立体的に見えますし、月は球体であってお盆のように平らではないこともわかります。しかし、あちこちに文献はあっても、ぐんま天文台の機材でできることを実証しないと実施できないので、短い申請期限までに梅雨の晴れ間で実証画像がとれるか、相当やきもきしたことを思い出します。

当日は3連休の中日、9月19日、曇り曇り曇り、しばし晴れ間、また曇り、といった天気でしたが、なんとか134名(県外73名)の全員の方が撮影できました。立体視用の画像の印刷に非常に時間がかかったのは想定外でしたが、それでも学校生は健気なまでフォローしてくれました。あとは参加者の方が立体視をする過程で天体の世界を見つめる感覚に慣れ、いつしかは月の表面の地形や成り立ちなどにも思いをはせていただければと思うところです。他の反省点として、月の地形を研究した「かぐや衛星」(31号記事参照)の成果などをじっくりお伝えできなかったことがあげられます。

月の立体視はぐんま天文台では初めての試みでしたが、素材としては申し分ないもののようです。今回はぐんま天文台だけの単独開催でしたが、本来は多地点での同時撮影が理想的です。これは天文台どうし

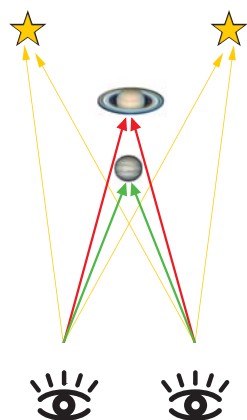
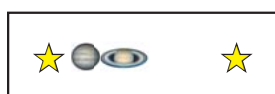


図1 立体視の原理。肉眼では左右の目でみた微妙に異なる画像を脳内で距離に焼き直し立体感を感じている。左の状況では、左目、右目ではそれぞれ下のような光景がみえ、これが脳内で合成されて立体感が生まれている。10cmほど離れた左右の目では600m先まで立体感がわくとされる。単純計算では100km離れば60万km先まで立体感が得られることになる。



左目で見える光景



右目で見える光景

の協力連携が前提ですが(すでに多面的に意識的に進められてきましたが)、さらに大きな財産として、多地点での参加者どうしのつながりができます。それがどう発展するか具体的な想定は困難ですが、このイベントを通して、広い日本、広い世界、そんな世界をつなぐ懸け橋ができる日がいつか来てくれないもの

かと思うこのごろです。

(観測普及研究員 長谷川 隆)

注: DC (デスティネーションキャンペーン) とは、JRグループ6社と地域(地方公共団体や県民・企業等)が一体となって取り組む、全国から誘客を図ることを目的とした国内最大規模の大型観光キャンペーンです。対象地域(デスティネーション: 目的地・行き先という意味)の観光資源を掘り起こし、JRグループの宣伝媒体を活用した集中的な宣伝を日本全国で展開します。



観測報告 Wolf-Rayet (ウォルフ・ライエ) 星

はじめに

大質量星は、そのエネルギーの大きさから銀河のエネルギー収支や星間物質に非常に大きな影響力を持ちます。また、星からの質量放出は銀河の化学進化やダストの形成などにも重要な影響を与えます。大質量星の進化は理論・観測両面から研究されてきましたが、未だその理解は十分であるとは言えません。そこで中小口径望遠鏡に最適化された可視～近赤外線装置を用いて、系統的に大質量星のスペクトルを取得・分類を行い、今後の詳細研究のデータベースを構築するという計画を進めています。その一つとして核崩壊型超新星の母天体であるWC型Wolf-Rayet (ウォルフ・ライエ: WR) 星の探索を行っています。

1 Wolf-Rayet星とは?

Wolf-Rayet星(WR星)とは、大質量星の水素の外層が恒星風によって吹き飛ばされ、高温の恒星内部が露出した星と考えられています。大質量星の一生の最終段階であり、超新星爆発を経て、その一生を終えます(図1)。観測の特徴は、幅の広いヘリウム、窒素、炭素などの輝線スペクトルで、これは大気の運動

速度が非常に大きい、つまり恒星風が非常に強いことを意味しています。

WR星は、主に可視光の輝線強度によって、いくつかのタイプに分類できます。窒素の輝線が強いものをWN型、炭素の輝線が強いものをWC型、酸素の輝線が強いものをWO型と言います。さらに各元素の輝線で様々な電離の輝線強度の比によって、サブクラス(NやC,Oの後につく数字)に分類されます。高電離の輝線が強いものほど早期型で、サブクラスの数字が小さいものになります。Conti等の恒星進化のシナリオによれば、太陽質量の約25倍以上の重たい恒星は主系列から離れ、後主系列星期を経る際にWR星の形態を通過し、やがて超新星爆発を起こします。

WR星の観測的発見からは150年ほどで、これまでに恒星風のメカニズムや質量放出の推定、また様々な恒星の進化モデルとの比較などがなされてきました。また近年には近赤外線による広域探査も行われるようになってきましたが、その素性の解明にはまだ未解決の問題も多くあります。初期質量によって進化過程はおおよそ決まりますが、星風による質量放出率は金属量などが原因で異なり、WR星を含む大質量星の後期進化についてはまだ謎が多くあります。また、銀河系内で観測・同定されているWR星の数が、モデルと一致しないという事実もあります。銀河系内の星や金属量の分布などを考慮すると、系内におよそ3,000個のWR星が存在すると推定されますが、実際に検出されているのは約300個に過ぎません。さらに、WR星の終焉とされている超新星爆発は、1～3個/100年と予想されますが、実際にはここ1000年間に銀河系内で確認されている超新星はわずか5個しかありません。

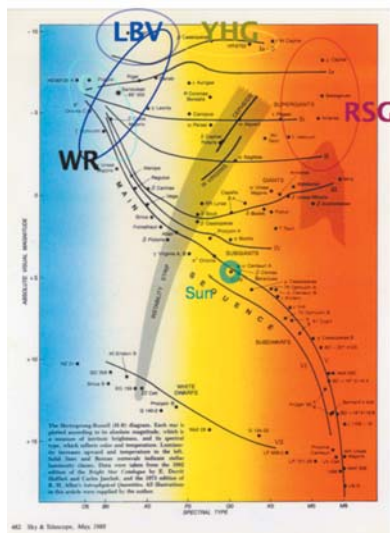


図1 HR(ヘルツシュプルング・ラッセル)図における大質量星の分布。

2 近赤外分光観測の有効性と観測システムの構築

観測される数が少ない原因として、大質量星は減光の大きな領域で誕生することが多く、さらに大質量ゆえに寿命が短く、一生を埋もれたまま過ごすため、可視光では観測される確率が低くなる、つまり、大きな減光によって埋もれて見えていない可能性が考えられます。このようなWR星を見つけ出すには、波長が可視光より長く、減光に強い赤外線による探索が有効になります。

まず、可視光の輝線によってサブクラスが決められている天体について、赤外線輝線でも同等にサブクラスを同定できるかどうかを検証し、有意にそれが可能であることを示しました。さらに、3階電離した炭素イオンが放射する輝線 (CIV: $2.076\mu\text{m}$) と近赤外線Ksバンド ($2\sim 2.3\mu\text{m}$) の強度比を使うと、早期型WC型WR星を効率的且つ高い精度でピックアップできることもこれまでの観測データを調べてわかりました (図2)。多くの星はこの比がおよそ0.13になるのに対し、早期型のWC型WR星はCIV輝線が強いため、有意に大きな値になるのです。逆に多くの星が一定値を取るという特性を利用すると、観測される領域の空間的な「減光量」も推定できることもこの手法の大きな特徴の一つです (減光量が大きくなると [CIV/Ks] の値が小さくなる)。

このような結果を受けて、我々は検出効率の高いこれまでにないフィルターシステムの構築を行いました。このフィルターと大きなフォーマットの赤外線カメラを組み合わせることで、空間的な分光イメージを撮ることができます。分光は通常個々の天体について行われますが、この手法では広い領域 (にある天体) を一度に調べることが出来、格段に高い観測効率を実現さ

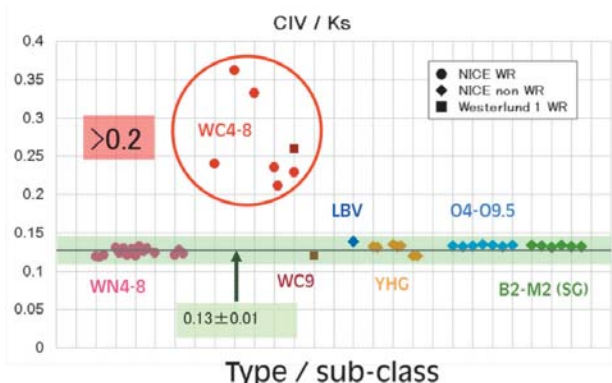


図2 タイプやサブクラスの異なる天体のCIV/Ks輝線強度比。

れます。現在、このCIVフィルターはぐんま天文台近赤外線カメラ、およびチリ・アタカマにある東京大学所有の1m望遠鏡 (mini TAO) 搭載近赤外カメラ (ANIR: Atacama Near-InfraRed camera) に搭載されています。

3 観測

試験的な観測は、2009年6月ANIRを使って始められました。対象天体は、比較的減光が大きく (可視で約30等級!)、可視では詳細な分類が困難な銀河中心方向の星形成領域 [Quintuplet (通称: 五つ子星団)]、[いて座A* (Sagittarius A*) : 図3] です。この領域は大質量星形成が盛んであり、WR星の存在も期待されている場所です。Quintupletでは、WR星と同定されている17天体を、SgrA*ではWR星と同定されている42天体のうち20天体について解析を行いました。ここで、 $2.07\mu\text{m}$ (CIV) と $2.15\mu\text{m}$ (Ksバンドの中心波長) の波長の違いによる減光量の補正を行っています。これまでの観測で星の同定やタイプはある程度わかっていたましたが、詳細なサブクラスは厳密には確定していませんでした。この結果、Quintuplet、SgrA*ともにある天体のCIV/Ks比が有意に大きな値を示すことがわかり、これはWC8より早期型のWR星であることが示唆される結果です (図4-1,2)。大質量星クラスター内のWR星の比率 (WR星/WO型星およびWC型/WN型) は、クラスターの年齢とも密接に関係しますが、銀河中心領域の場合、今回の結果は

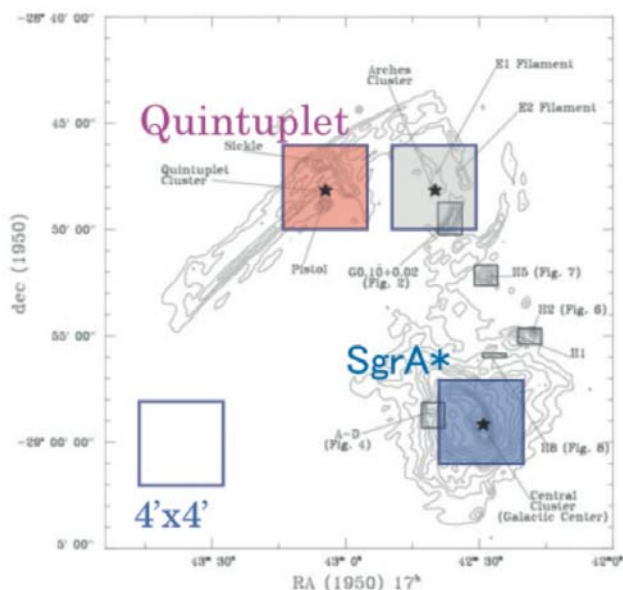


図3 銀河中心方向の観測領域。

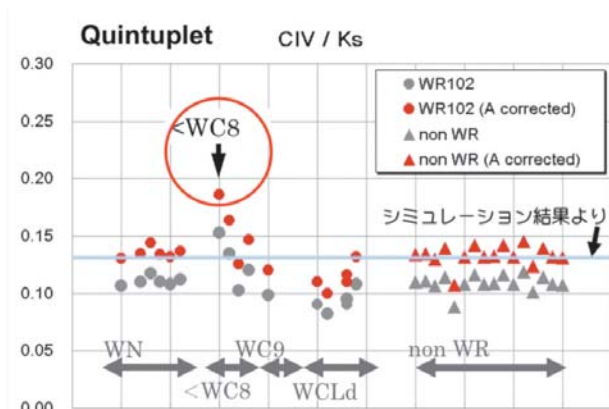


図4の1 五つ子星団領域で観測された天体のCIV/Ks輝線強度比（縦軸）。横軸は異なる星のタイプ、サブクラス。

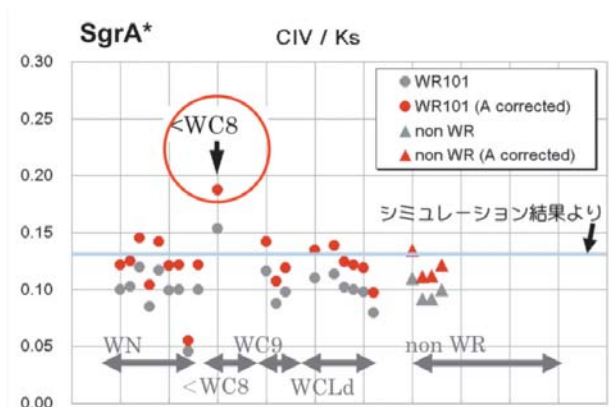


図4の2: いて座A*領域で観測された天体のCIV/Ks輝線強度比。縦軸、横軸は図4の1に同じ。

妥当な値です。つまり、この手法が早期型のWR星のピックアップに有効な手段であるという証明になりました。

次に本格的な探索として、系内大質量星形成領域W51の観測をぐんま天文台で行いました（図5）。この領域は過去に多くの観測がなされており、1) 活発な星形成、2) 減光量が多い、3) YSOから大質量星まで質量・年齢において多種多様の星が存在する、などの理由から、埋もれた大質量星の存在が期

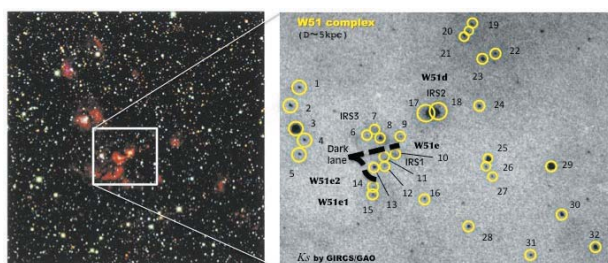


図5 W51の観測領域（左：国立天文台岡山天体物理観測所の近赤外線カメラで得られた近赤外線画像）。

待されている領域です。また、2009年に引き続きANIRでの観測も継続しています。天の川銀河と異なった環境での大質量星の誕生・進化を調べるために、大マゼラン雲の中でも特に星形成が活発な30 Dorという領域を観測しています（図6）。ここは赤外線天文衛星あかりで遠赤外分光観測が行われており、大質量星のトレーサーとなる輝線（2階電離酸素 [OIII] $88\mu\text{m}$ ）でのマップが得られています。またNASAスピッツァー宇宙望遠鏡での中間赤外線で、大質量星によって暖められていると考えられているホットダストの分布も得られています。この領域にはWR星のような大質量星が埋もれて存在していると期待されます。以上これらの領域については、現在詳細で丁寧な解析を進めています。

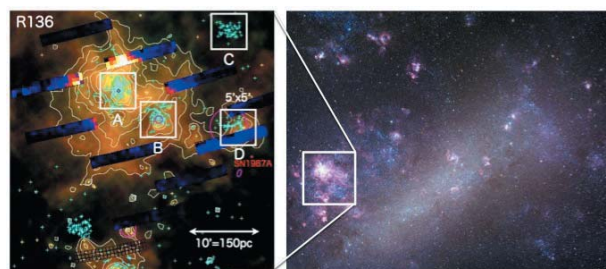


図6 LMC/30 Dorの観測領域。四角がANIRで観測された領域。背景のマップはスピッツァーによる中間赤外 $24\mu\text{m}$ イメージ。短冊状の部分があかり／遠赤外フーリエ分光器による観測領域。

4 今後の展開

本研究はWC型WR星（初期質量の上限に近い天体）のピックアップを第一目的とした観測が主体です。今後はさらに多くの星を見つけ出すべく、他の大質量星形成領域の観測を継続していく予定です。さらに、この手法で見つかった天体について詳細な分光観測を行い、その性質や他のタイプ、異なるサブクラスの天体との比較も計画しています。これにより、大質量星の形成や進化、さらにそれらを含む星形成領域について、新しい知見が明らかになることでしょう。さらに長期的は、このような天体を含む領域のモニタリング観測を継続することで、世界に先駆けていち早く超新星を発見できるかもしれません。

（観測普及研究員 高橋 英則）



皆既日食を追いかけて ～ 2010年7月 イースター島 皆既日食～

2009年7月22日、私は中国の上海から西へ400kmほど入った安徽省銅陵市郊外にいた。生まれて初めての皆既日食を見るために。だが梅雨前線の影響で、旅行中のこの日だけ曇られた。失意の帰国。笑顔を取り戻すのにどれだけ時間を費やしただろう。「このままでは納得できない…。」秋風が吹く頃、イースター島皆既日食撮影への挑戦を決意した。

現地時間7月9日22時26分、空路で約2万km(=地球を半周)を超える移動の末に、イースター島マタペリ国際空港に降り立った。小雨がぱらつく中、雲の切れ間から南十字星が見え隠れしていたが、心はすでに皆既の瞬間へと飛んでいた。宿に着き、すぐに機材を組み立て、動作確認。自作減光フィルターの一部を破損していたが、予備部品で修復。その他は異常無し。

7月10日、島内観光を兼ねて、他のツアー参加者(のちにチーム・イースターと呼ぶようになる仲間たち)とともに観測場所の下見を実施。最終的に選ばれた場所は、島北部のアナケナビーチ。アフ・ナウナウのモアイ像の前。皆既の瞬間、モアイの列の真上に黒い太陽が輝くのはこの地点だけだ。皆既帯の中心線に近いので、皆既の継続時間も長い。ロケーションは申し分ない。問題は天候…。現地は雨季。晴天に恵まれる可能性は元々低い。一瞬雲が薄くなり、小雨の中で太陽の輪郭が見えた。カメラを構えて構図を確

認し、シャッターを切った。「晴れてくれ…。」前年の悪夢が脳裏をよぎる。

7月11日、皆既日食当日。未明3時に起床。夜半までの土砂降りが、いくらか小やみになっていた。「大マゼラン雲…。晴れ間だ。」アナケナビーチへ移動。強風が吹き荒れ、時折ス

コールに見舞われる中、撮影機材を組んだ。空が白み始め、はちぶんぎ座の星々が消えかかる寸前に赤道儀(天体の動きを正確に追うための望遠鏡の機械部分)のセッティングをどうにか完了。やがて東の地平線に太陽が顔をのぞかせた。久々に見る太陽の輝き。我々の背後に大きな虹のアーチが架かった。「行ける!!」

第1接触。いよいよ始まった。地元の人たちが私のビデオカメラの後ろに列を作り、モニターに映る欠けた太陽の姿を代わる代わる撮影していく。面白い光景だ。時折薄雲に隠されながらも順調に欠けていく太陽の姿に、興奮と緊張が高まっていく。やがて風がやみ、鳥のさえずりも途絶えた。そして第2接触。減光フィルターを外すと、レンズの向こうに美しいベリリービーズ(月面のクレーターの谷間から光が漏れ、数珠玉のように光が連なって見える現象)が見えた。その光の粒が見る見るうちに消え去り、最後の光が残った。ダイヤモンドリングだ。夢中でシャッターを切る。ダイヤの輝きが消えたその場所に、立派なプロミネンスが姿を現した。そして初めて見る真珠色のコロナの光芒。シャッタースピードを変えながら連続撮影。ビデオカメラも順調に動いている。



図2 プロミネンス
ダイヤモンドの輝きの向こうに、美しいプロミネンスが隠れていた。



図1 ダイヤモンドリング(第2接触)
月面のクレーターの谷間から漏れた最後の光が見せる輝き。すでにコロナやプロミネンスが見えている。



図3 皆既中のコロナ
内部コロナから外部コロナまで露出時間を変えて撮影した画像を合成し画像処理

が、皆既の始まりからおよそ2分後、大きな雲のかたまりが黒い太陽を隠してしまった。悲鳴にも似た声

が飛び交う。気持ちは私も同じ。だがじっと待つしかない。とうとう第3接触を迎えた。2度目のダイヤモンドリングは薄雲の中。雲が過ぎ去ったのはその直後だった。

皆既継続時間4分41秒のうち、撮影できたのは半分以下。確かに悔しさは残った。しかし、やり終えた満足感のほう遥かに大きかった。まだ欠けている太陽を眺めながら、こみ上げる涙を抑えることができなかった。

7月15日、酷暑の日本に帰国。感動を共にしたあの仲間たちとの出会い、そして挑戦することの意味を再確認したあの夏を、私は一生忘れない。

(指導主事 新井 寿)



鏡の環境

ぐんま天文台の150cm望遠鏡では、望遠鏡の精度を最大限保つため、また使用条件の判断のため、観測ベースやドーム内の気温、大気圧などの気象情報を随時測定しています。気象データは一時間毎に記録され、2000年から今日までの記録が保存されています。

図1は2000年2月24日から2010年12月31日迄の約10年間の気温の記録です。毎年、8月頃に年間最高気温のピークを迎え、1月半ば頃に最低気温を記録します。10年間なので10個の山と谷がありますが、よく見ると正弦波的な変化ではなく、最高と最低のピー

クの間は、ほぼ一直線に変化していきます。これは1日当たりの変化率が常にほぼ一定であることを意味しています。夏場でも最高気温が摂氏30度を越えることは稀で、真冬でも氷点下10度を下回ることは減多にありません(※1)。特に、真夜中前後に記録する冬場の最低気温は、高山村の集落ほど低くならず、冬の天文台は意外に穏やかな気候だと言う事ができるかもしれません。ただし、冬季の北風は非常に強く、台風が直撃した時に匹敵する強風が吹く事も珍しくありません(※2)。

湿度の記録を見ると、10月下旬から12月半ばにかけて乾燥した日が多く、観測に適した夜がこの時期に多いと言う経験と一致しています。一方、5月頃から9月末にかけては湿度が高く、天体観測には絶望的な日々が続きます。夏休みに天体観望ができるのは、かなり幸運に恵まれた場合だと言えますが、日中でも30度をまず越えることは稀なので、爽やかな高原の空気の中での避暑には絶好の環境だと言えます。

ところで、この150cm望遠鏡の主鏡には温度センサーが取り付けられており、常時監視・記録をしています(図2)。これは望遠鏡を使う際に「結露」しないかどうかを確認するためです。望遠鏡周辺の気温(ドーム内温度)より主鏡の温度が低かった場合は

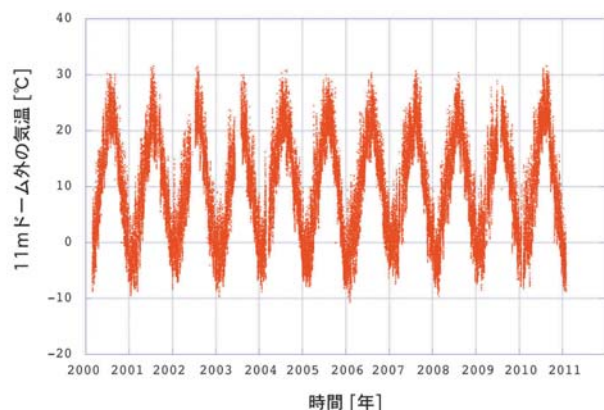


図1 2000年からの気温の変化



図2 鏡の温度をモニターした測定器具

もちろん、主鏡温度のほうが高くて湿度との関係で主鏡が結露してしまうことがあります。一旦結露してしまうと、観望・観察ができなくなるだけでなく、さらに汚れが付着する危険性があり、絶対に避けなければなりません。

前述の温度記録と主鏡温度を同時に見たのが図3です。これを見ると、両者の温度が同じではないことがわかります。観望会や観測のためにドームスリットを開けた後、外気温に追従して主鏡温度も下がってきますが、すぐに同じ温度になる訳ではなく、数時間の遅延があることがわかります。また、夜が明けて日中気温が上がっても主鏡はすぐに温まらず冷えたままで、結露の危険性がある

ことを意味しています。これは900kgもあるガラス製の主鏡の熱容量が大きく、冷えにくく、温まりにくいからです。天候などの気象条件ももちろんですが、このような機械的な条件も望遠鏡の使用には非常に重要になってくるのです。

(観測普及研究員 高橋 英則)



図3 2007年4月ころの鏡の温度、鏡の周囲の温度、結露する温度

※1：ちなみに記録されている最高気温は、2001年7月23日午後1時で33.7度、最低気温は2006年2月4日午前4時で-10.7度です。

※2：最大瞬間風速の最高記録は20.4m/s (2008年2月23日)



天文授業サポート事業 望遠鏡メンテナンス事例紹介 ～群馬県立太田高校の場合～

平成20・21年度にぐんま天文台が実施した学校の天体望遠鏡の所有と利用に関する調査の結果によると、回答を得た小学校の79%、中学校の87%、高校の69%が天体望遠鏡を所有していました。ただ、所有している学校のうち、実際に利用しているのは小学校ではわずか17%、中学校は69%、高校は18%で、望遠鏡はあっても利用されていないのが実態でした。その理由は、「天体望遠鏡が故障や破損、部品不備などで使える状態でない」、あるいは「使えるのか分からない」が最も多く「利用する時間や機会がない」、「操作の仕方が分からない」と続きました。天体望遠鏡のメンテナンスなど支援することで、今後有効に利用できる可能性が高いことがうかがえます。



そこで、ぐんま天文台では、天文授業サポート事業の一環として、学校所有の天体望遠鏡のメンテナンスを平成21年度から実施しています。天文台の支援により天体望遠鏡の利用が進み、少しでも多くの児童・



生徒が実際の天体の姿に触れる機会が増えればと考えます。その成果の一つとして、ぐんま天文台の支援がきっかけで、天体望遠鏡が大いに活用されている群馬県立太田高等学校（以下太田高校）の事例を紹介します。

太田高校の天体望遠鏡は屋上のドーム内に設置されています。30cmのカセグレン式反射望遠鏡に15cmと9cmの屈折式望遠鏡が同架され、これらがモーター駆動（赤経のみ）のドイツ式赤道儀に積載されています。

最初に担当の先生から聞いた話では、しばらく使われていなかったらしく、動くかどうかさえわかりませんでした。伺ってみると、かなり埃をかぶり薄汚れていました。しかし、望遠鏡のふたを外してみると、中は意外ときれいで、屈折式望遠鏡のレンズも汚れているだけでした。赤道儀もきちんと動作したので、「これなら復活できる!」と確信しました。

後日改めて訪問し、調整を開始しました。30cm主望遠鏡の光軸調整、15cm望遠鏡、9cm望遠鏡のレンズ清掃、3つの望遠鏡とファインダーの指向調整、赤道儀のクランプ部調整、アイピースの清掃などを経て、望遠鏡は無事、観望できるようになりました。天体気象部の部員たちはその見え味にいたく感動したようでした。

その後、天体気象部ではこの望遠鏡を使って小学生を対象にした観望会をする計画を思い立ちました。自分たちの感動を他の人にも伝えたいのでしよう。担当の先生から観望会支援の依頼があり、お手伝いさせていただくことになりました。

昨年度の観望会は、初めてということもあり、準備や当日の運営の段取りにかなり苦労したようでした。部員の技能や知識は未熟で、天体を導入はもちろん、天体の説明もまだまだでした。しかし、見る機会の少ない天体の姿に触れられた参加者には好評でし

た。そのためか、観望会が終わった後の部員たちには、今後に向けての情熱が感じられました。課題は多くありましたが、ぜひ頑張ってほしいと思いました。

そして2年目の今年も観望会が開催されることになり、今年も支援できる機会をいただきました。今年の観望会は広報にも力が入り、参加希望者はなんと昨年度の倍になりました。昨年度の経験が生かされ、内容も驚くほど進歩していました。天体の説明のポスターが充実し、それに伴って部員たちの知識も身に付き、参加者に説明できる内容が格段に増えていました。特に木星の衛星の説明は参加者に好評でした。また、天文クイズにかなり力を入れており、子どもたちを楽しませるための企画は高校生ならではの発想でした。実際、クイズはかなり好評でした。夜の活動が制限される学校の部活動では、どうしても十分な観測経験が積めず望遠鏡操作技能はもう一步なため、必要に応じて天文台職員が導入を支援しましたが、今後観測経験を積めば、観望会の支援はほとんどいなくなるかもしれません。ぜひ、太田高校天体気象部の伝統として、今後も継続し、地域の行事として根付いてほしいと思います。

このような立派な観望会を開催した太田高校天体気象部の部員と担当の先生の情熱に敬意を表します。そして、このような素晴らしい取り組みに、ぐんま天文台が関われたことを大変うれしく思います。これからもっと天文の素晴らしさを知ってもらえるように、学校の天体望遠鏡の有効利用を支援したいと考えます。

（指導主事 倉林 勉）



写真提供：群馬県立太田高等学校

天界四季折々

やっと春がやってきました。春眠暁を覚えずという通り、春は暖かくて気分はなごみますが、実は天体観測にはつらい時期です。原因の一つは、読んでおられるみなさんのなかにも苦しんでいるかたがある、あの花粉です。ほかにも黄砂や春霞で空の透明度ががたんと落ちます。天文台で見えていても、厳寒の極みの頃の空は宇宙空間にとびでたかのよう
に青い色をしています。ちょっと寒さがゆるみ始めたとともに青さが薄れていくのがわかります。どうやら今年のハイシーズンは終わりですが、観望会はまだまだ続きます。これからは土星が主役、昨年よりは環が見やすくなっていることでしょう。また、夜遅くに起きておられる方は5月10日ころからしばらく、水星、火星、木星が明けの明星（金星）の近くに集まっているのが見えることでしょう。

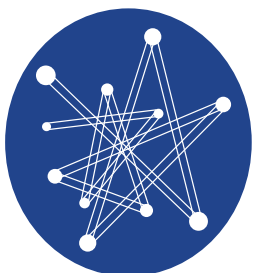
★天 界 案 内

5月10～20日頃	惑星集合（水星、金星、火星、木星、明けがた東の低空）
6月2日	部分日食（きわめて軽微）
6月16日	皆既月食
8月13日	ペルセウス座流星群極大（ただし満月直前）
10月9日	りゅう座流星群極大
12月10日	皆既月食
12月14日	ふたご座流星群極大（ただし月明かりあり）

★主な観望天体

惑星	土星（4月～）
星団	M13（球状星団）、M67（散開星団）、M11（散開星団、6月下旬～）
惑星状星雲	M57、M27（6月～）
銀河	M51、M81、M82など

注：Mは「メシエ天体カタログ」の頭文字で、108天体がリストされています。



GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

県立ぐんま天文台

発行日 ■ 2011年3月

発 行 ■ 県立ぐんま天文台

電 話 ■ 0279-70-5300

F A X ■ 0279-70-5544

所在地 ■ 〒377-0702 群馬県吾妻郡高山村中山6860-86

ホームページ ■ <http://www.astron.pref.gunma.jp/>

※広報誌のバックナンバーは上記ホームページからお取りいただけます。

※広報誌や天文台の利用について、ご意見をお寄せください。