

# STELLAR NO.37 LIGHT

ステラーライト



CONTENTS

「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」の展開

「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」の観測結果

事業報告「金環日食イベント報告」

天体列伝 R Hydrae (うみへび座 R星)

平成23年度天文学校「系外惑星の動きを確かめてみよう」

私と天文学

GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

県立ぐんま天文台



# 「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」の展開 ～ 安全な観察と、感動の共有のために ～

## 1. 話題を呼んだ金環日食

昨年5月21日（月）の早朝、日本国内で金環日食・部分日食が起きました。金環日食が見られると予報された地域（金環食帯）が、九州南部から四国、近畿、東海地方を経て、関東、東北南部へと、日本列島の太平洋側を横断するような形であったため、日本の人口の実に3分の2にあたる人々が観察できると考えられ、大きな話題になりました。テレビや新聞などで連日のように取り上げられていましたから、当時の過熱ぶりは皆さんの記憶にも深く残っていることでしょう。

金環日食は、国内では25年ぶりの現象でしたが、前回観察できたのは沖縄県の一部だけでした。そして今回を見逃すと、次回は18年後の平成42年（2030

年）、ただし北海道のみです。群馬県内など関東地方に限れば天保10年（1839年）9月8日以来で、次回は2386年10月24日です。自分が住んでいる場所に居ながらにして今回のような日食を観察できるチャンスは、まさしく一生に一度と言えるものだったわけです。弥が上にも盛り上がりますよね。

## 2. 日食に寄せる期待と心配

刻々と変化していく太陽の姿。宇宙の中で、太陽－月－地球（自分）が一直線になる。神秘的なリング状の太陽を見ることができるのは、長くてもわずか数分間。そんな非日常的な現象を目の当たりにできるチャンスです。子どもから大人まで、息を呑むような瞬間



を体験し、大きな感動を味わってほしい。そして宇宙や星の世界への興味や関心を更に高めてもらえれば……。そう願いました。

しかしその反面、いささか心配もありました。「ところで、金環日食って何?」という一般の方々の疑問の多さ。そして、2009年7月にトカラ列島や小笠原方面で起こった皆既日食がまだ記憶に新しいためでしょうか、「日食の最中は真っ暗になるんだよねえ。」や「部分食の時だけ日食グラスが必要で、金環の最中は裸眼で大丈夫。」といった間違った情報や認識が大人たちの中にも少なからずあったのです。中には「ロウソクのすすや墨汁を付けたガラス板を用意すればいい。」や「サングラスでいいよね。」などもありました。これでは最悪の場合、失明してしまう恐れがあります。加えて、今回の金環日食が起こった月曜日の朝7時半ごろという時間帯は、まさに休み明けの出勤・登校の真っ最中。路上で脇見をしながらの観察では交通事故につながる懸念もありました。“これでは子どもたちの健康や安全を守れない。日食観察を呼び掛けるだけでは駄目だ!!何か方法を考えなくては!!”

### 3. 「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」の立ち上げ

子どもたちは好奇心が非常に旺盛で、時として大人が予想もしないような行動に出ることもあります。これは、子どもたちのもつ大きな魅力の一つですが、反面、正しい知識や判断力をもっていないと、重篤な事故につながる危険性もはらんでいます。子どもたちに日食の感動を味わってもらいながら、なおかつ安全な観察方法を知らせることで事故も防ぎたい。そのためには、安全な観察方法や危険性を理解している大人の指導・監督の下、安全な場所で観察するのが確実です。かと言って、当日、天文台職員による対応は不可能です。そこで考えたのが、今回実施した「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」です。基本的な目的や取組の内容および方針は以下のとおりです。

①群馬県内の小学校、中学校、高等学校、特別支援学校の児童生徒および教職員を対象とした参加型



企画とする。

- ②通常よりも早めに登校し、日食の安全な観察について理解をしている教職員の指導・監督の下、学校の敷地内で観察する。これにより子どもたちの安全確保と、友だちとの感動の共有、思い出作りにつなげる。
- ③共通テーマを設定することにより、単に「見て楽しむ」だけではなく、科学的な目的をもった「観測」とすることで、子どもたちの観察力・集中力を高め、思考力や判断力の育成につなげる。
- ④「ピンホール式日食投影しおり」を参加申込人数分、無償で提供し、最低限の観察手段を提供・保障するとともに、観察への意欲を高める。
- ⑤各校または担当教員のメールアドレスを登録してもらい、安全な観察方法や観察道具・機器の使い方、楽しみ方等について情報提供したり、学校からの質問に対して回答したりするためのメールマガジンを発行し、教職員の日食観察に対するスキルアップを図る。
- ⑥市町村や近隣の学校で合同開催する教員研修や、

学校が企画する全校集会などでの学習会に、求めに応じて講師を派遣する。

- ⑦参加校間でも情報交換ができるように、参加校名をぐんま天文台webページに紹介する。
- ⑧観測後に各校から寄せられたデータをまとめ、webページで公開することで、参加者が成果を実感できるようにする。また寄せられた全観測データを各校にそのまま提供し、授業や自由研究などの場面で活用できるようにする。
- ⑨「天文教育研究会」や「日本天文学会」等の学会で成果を発表し、群馬県の子どもたちの取組を全国に発信する。

学校とぐんま天文台との協働により、調査・考察したり、情報交換をし合ったりすることを通して、子どもたちの宇宙や自然現象への関心を高めたり、考察力や表現力を高めたりすることにつなげたい。そして子どもたちの安全を確保しつつ、相互に連携しあい、主体的に観測に参加してもらうことに最大のねらいがありました。主人公はあくまでも“子どもたち”であり、ぐんま天文台はそのお手伝いをさせていただくという立場です。

#### 4. 共通テーマは「“金環”が見られる北限はどこ？」

日食観察を手軽かつ安全に楽しめる方法の一つに“ピンホール式投影法”があります。3年前の日食のときも各地で紹介されていましたが、“手軽で安全”の部分だけが一人歩きしてしまい、分解能（どれだけ細部までくっきり見えるか）については触れられません。ピンホールによる投影像は、レンズで結像させたものに比べるとぼやけたものです。加えて、群馬県は今回の金環日食では北限界線に近く、「果たしてピンホールで金環の状態が判るのか？」という疑問がありました。また、望遠鏡を使ったり日食グラスで直視したりなど、観察方法によって金環の状態が判るかどうかの違いが出るはずだと予想はできましたが、それがどの程度なのかは不明でした。このような視点で調査を実施した例は、過去に無かったのです。

更に、国立天文台やNASA（アメリカ航空宇宙局）

をはじめとする関係機関から、今回の金環日食に関する予報が出されていましたが、予報に使用しているデータの違いや不確定性などもあって、限界線の予報位置に差がありました。本当の限界線はどこだったのか、実際の観測で明らかにする意義があったのです。

金環食帯の中心線から離れていた群馬県は、金環の状態を楽しめる時間は確かに短い。しかし、限界線に近いからこそできる観測もあるのです。そして、今回の金環日食でそれを観測できたのは、関東地方では群馬県だけだったのです。

#### 5. 参加校への支援

小学校70校、中学校34校、高等学校14校、大学2校、団体1、合計3万4千人を超える児童生徒・学生および教職員の方々の参加申し込みをいただきました。これらの学校にははもれなく参加人数分の「ピンホール式日食投影しおり」を提供したほか、安全な観察方法や留意点などについてメールマガジン形式で情報提供をしました。特にいろいろな観察方法の紹介は好評で、当日も実際に活用していただいたようです。ある学校から寄せられた質問への回答内容について、参加校全体で共有できるようにした点も喜んでいただきました。市町村理科部会主催の研修会や、



【今回の金環日食の北限界線】  
”この線よりも南側では金環日食になる”という予報の線

近隣の学校の先生方が集まったの事前学習会、児童生徒を対象とした学校での特別授業など、9件の要請にも応じました。

## 6. さて、結果は？

こうして企画を運営してきた訳ですが、何と云っても気がかりだったのは当日の天候でした。直前1週間は、二転三転する天気予報とのにらめっこ。“頼むから、せめて金環の瞬間だけでも晴れてくれ!!” 当日天文台で日食の撮影を担当することになっていた私は、前日の晩から泊り込みで準備したのですが、準備を終えて寝袋に入っても、結局一睡もできないまま朝を迎えたのでした。

夜が明けて……天文台上空には薄雲がややありましたが、天候は回復傾向のようでした。それでも雲が多めです。“他の地域はどうだろう？晴れているだろうか。” 6時前から撮影を開始し、7時半過ぎ、いよいよ金環の時を迎えました。ぐんま天文台ではわずか1分間。そして9時過ぎ、撮影を終了しました。

“どうだったかなあ…” 果たして、既に複数の参加校から観測結果の報告がメールで届いているではありませんか。その後も続々と報告が届きます。そして数日後、全参加校が晴天に恵まれ、観測に成功し

たことがわかりました。嬉しかったのは、怪我をした児童生徒が一人もいなかったことです。当日の子どもたちの様子を撮影した画像もたくさん届けられました。子どもたちの歓声が聞こえるようです。“この笑顔のためにやってきたんだよな…”

さて、では観測結果はどうだったのでしょうか？それについては、この後に続く記事「「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」の観測結果 ～ 金環になった？ ならなかった？ ～ (濱根観測普及研究員)」をご覧ください。

## 7. 御礼のことば

この企画を実施するに当たり、群馬県教育委員会事務局の義務教育課、高校教育課、特別支援教育室や各教育事務所、各市町村教育委員会の方々より多大なご協力やご支援をいただきました。そして何よりも、この企画の趣旨に賛同し、子どもたちの安全と感動の共有のために、事前準備や当日早朝からの対応、結果報告等にご尽力くださいました各参加校の教職員の皆様、本当にお世話になりました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

(指導主事 新井 寿)



日食観測ネットワーク参加校での様子



## 「群馬県一斉・日食観測ネットワーク」の観測結果 ～ 金環になった？ ならなかった？ ～

### 1. 金環になるか、ならないか

2012年5月21日の早朝、日本全国で日食が起きました。天候に恵まれた地域では、「金環日食」や「深い部分日食」が見られました。この金環日食になるか深い部分日食になるかの違いはどうして起こるのでしょうか。

金環日食では、見かけ上、月が太陽よりやや小さいために太陽にすっぽり入り込み、太陽の縁がはみだして環のように見えます。月と太陽が一番重なったときに、それぞれの中心がぴたりと合っていれば環のどこをとっても幅は同じです。中心がずれていると環の幅が広いところと狭いところができます。中心がずれすぎると環が切れてしまい金環日食になりません。太陽に比べて月はずっと地球に近いので、地上のどこから見上げるかによって太陽に対する月の位置が違って見えます。このため、上記のように月と太陽の重なり方が違い、金環日食になるか深い部分日食になるかの差となるのです。

そういうわけで、月と太陽の見かけの大きさを知っているだけでなく、ある場所から見上げた空（天球）での月と太陽の動きを知っていて初めて、日食になるかならないか、なるとすればどのような日食になるかを予報できることとなります。そうして、今回の日食では群馬県を「北限界線」が通っていることがわかりました。北限界線とは、金環日食になる地域と深い部分日食になる地域との南北にある境界線のうち、北にあるものを指します。金環になるかならないかという地域が県内に細長く存在するという予報は、群馬を特別な場所にする事になりました。

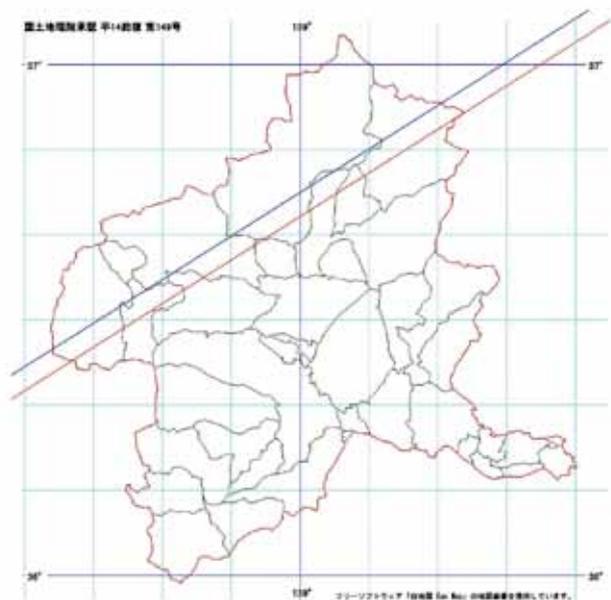
### 2. ふたつの限界

実は、日食を予想するには月と太陽の動きを知っているだけでは不十分で、もう少し情報を持っていないと限界線の予報ができません。それは月の地形や重心の位置、太陽の大きさ、観測点の標高などです。月の地形はでこぼことした輪郭を形作ります。輪郭が丸

ければ切れてしまう環が、凹んだ場所ではつながるかもしれません。月の重心は月のまん中（幾何学中心）にありません。ですから、月の重心が太陽の中心と重なっても等幅の環になるとは限りませんし、環になると思っていたのに切れてしまうかもしれません。

こういうことがあるので、どのようなデータを使い、どのように予測するかによって複数の予報が出てきます。ここでは、NASAによる予報と、相馬氏と早水氏による予報を挙げておきましょう（下図）。

青線がNASAによるもの（以下、「NASA予報」）、赤線が相馬氏と早水氏によるもの（以下、「S-H予報」）です。それぞれの違いは、月の平均の形（滑らかな輪郭）をとるか厳密に地形を考えるかなどにあります。赤線のような予報ができるようになったのは、日本の月探査機「かぐや」の観測により正確な地形データが得られたからです。



### 3. どちらが「もっともらしい」か？

複数の予報があるとなれば、どれが「正しい」のかと誰もが思うでしょう。けれども、採用するデータの

精度や予測に用いる方法によって結果が少しずつ異なるので、必ずしも“正しい”という言い方が正しいとは限りません。ここでは、どの予報が“もっともらしい”かという問いに直しておきましょう。

では、NASA予報とS-H予報では、どちらがもっともらしい北限界線を予測しているのでしょうか。これを調べるためには、観測が必要です。金環日食と深い部分日食との境目はどこ？この観測を行うには、人が住んでいる地域を限界線が通っている場所が適しています。群馬県が特別な場所だという理由です。

#### 4. 観測方法による限界は？

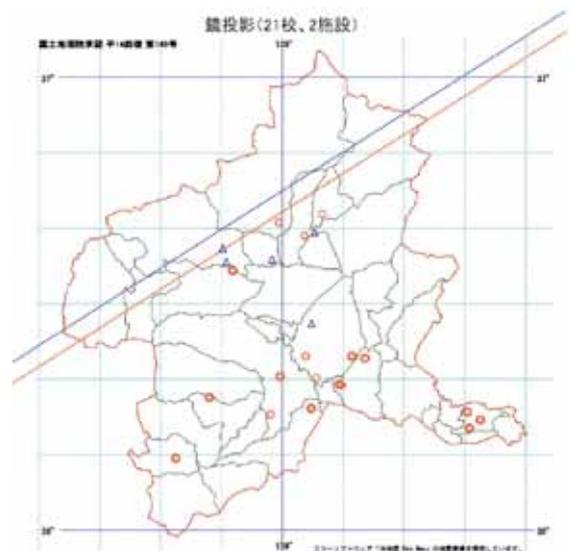
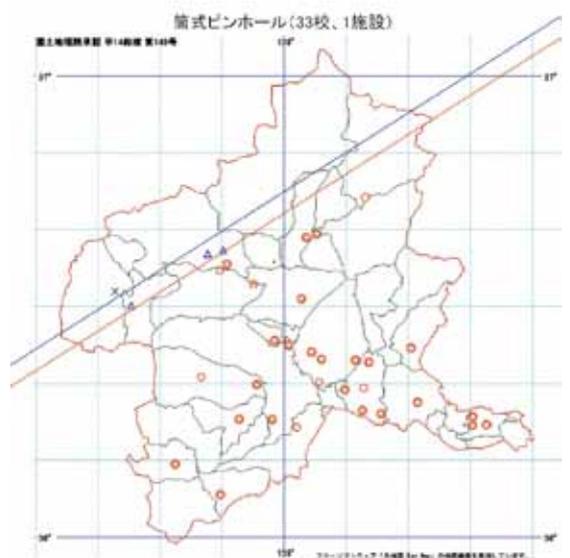
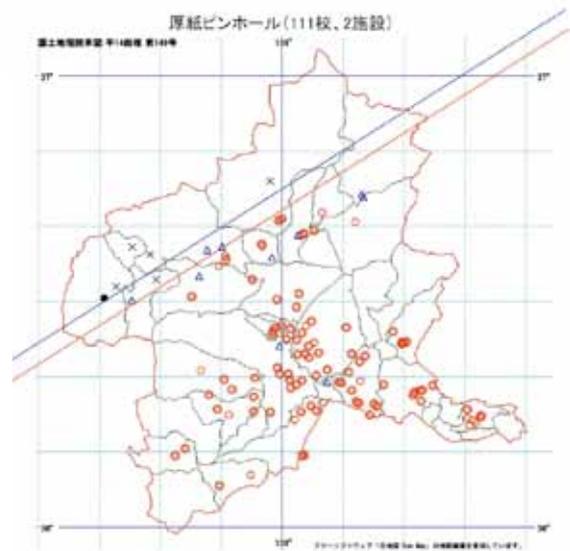
観測を行うには、何らかの器具を用います。日食の場合には、ピンホール（小穴の空いた板）、日食観察グラス、望遠鏡が代表的なものでしょう。金環になるかならないかを観測するには、輪郭を明瞭に観測できる方が良いのですが、使用する器具によって“明瞭さ”（分解能または解像度）に違いがあります。ピンホールでは日食グラスよりも限界線から離れたところで見極めができなくなり、日食グラスでは望遠鏡よりも見極めがしにくいだらうと想像できます。けれども、その程度は誰も知りません。

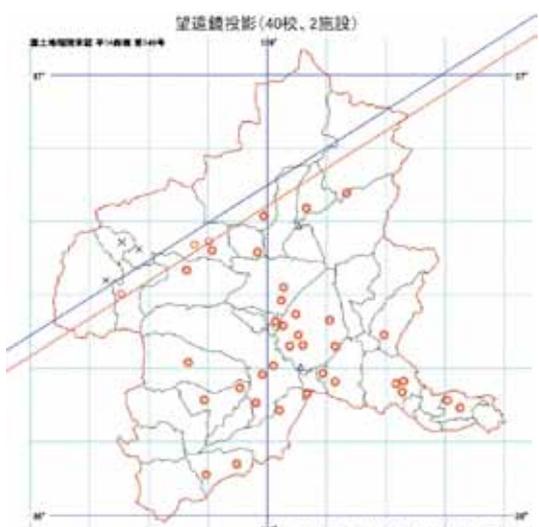
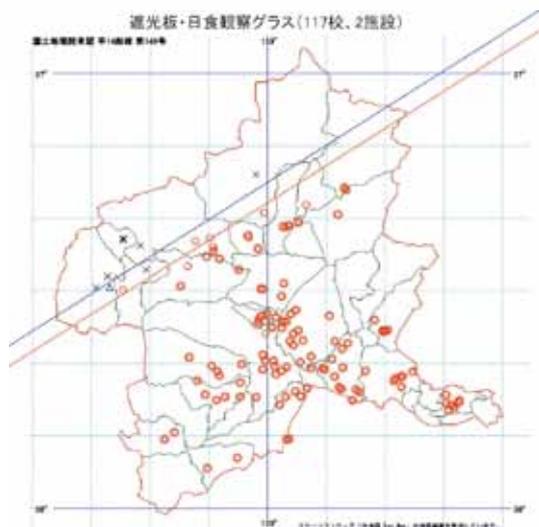
#### 5. 北限界線はどこに？観測方法による違いは？

こうなると、北限界線をいろいろな方法で調べてみよう、そうすれば、北限界線の位置と、それぞれの観測方法の検出限界との両方がわかるだろう、ということになります。誰もが、特に子どもたちが安全に日食を観察・観測できるようにと企画した「群馬県一斉日食観測ネットワーク」の科学的なテーマはこれだ！ということになりました。参加各校での観測データを集約すれば、つまり力を合わせれば、単独では調べられない観測ができるのです。

幸いなことに、日食当日の群馬は、一部地域を除いて晴天に恵まれました。ぐんま天文台に寄せられたデータを一目でわかるようにしたのが、次の5つの図です。

「厚紙ピンホール」は厚紙に空けた小穴に太陽光を通して投影する方法、「筒式ピンホール」は筒の一方の端に小穴を空け他方の端に太陽を投影する方法、「鏡投影」は1～数cm程度の大きさの鏡で太陽光





- 明らかに金環になった
- おそらく金環になった
- △ 金環になったかどうか判断できなかった
- × 明らかに金環にはならなかった
- 天候不良で観測できなかった

を反射して壁などに太陽像を投影する方法、「遮光板・日食観察グラス」は十分に減光して肉眼で太陽を見る方法、「望遠鏡投影」は望遠鏡で作った太陽像を投影板に映す方法です。予想では、この順に“明瞭さ”が増していっくだろう、したがって、この順に限界線の位置を絞り込むことができるはずだと考えられました。結果は、図から読み取れるように予想通り。金環になったと判別できた地域が上に挙げた順に予測された限界線に近づいています。

では、NASA予報とS-H予報のどちらの限界線に近づいているのでしょうか。どうやらS-H予報の限界線の方が実際の限界線に近いように見えます。図では標高の影響を入れていないのでその補正をする必要がありますが、補正を入れても大差ないでしょう。ただ、S-H予報が“もっともらしい”ように見えても、それが「かぐや」のデータを使用して月の輪郭を精度よく描き出したことによるのか、他の要素が効いているのかは判然としません。予測方法全体として、今回の日食についてはより“もっともらしい”ものであったということです。

日食は毎年世界のどこかで起こっています。日食予報の精度向上のためには、これからも今回と同様の予報と観測を行っていく地道な営みが必要です。そのことを群馬の子どもたちが参加・協力した「観測ネットワーク」で示すことができたのだと思っています。

(主幹(観測普及研究員) 濱根寿彦)



## 事業報告「金環日食イベント報告」

2012年5月21日(月)の早朝、日本の広い範囲で金環日食が見られました。ぐんま天文台では、この金環日食に合わせて、様々なイベントを開催しました。

### ①金環日食を楽しもう

金環日食直前の5月19日(土)・20日(日)に「金環日食を楽しもう」と題して、日食観察装置の製作や日食についての説明会を開催しました。

日食観察装置はボール紙製で、簡単に作ることが

できます。ピンホール式の観察装置で、小さな穴を通った太陽の光が、後ろにあるスクリーンに映って、太陽が欠けている様子が観察できるものです。穴は複数あけることができ、好きなデザインに穴を並べて、太陽を映すことができます。天文台ではプレートとしてぐんまちゃんの顔や星型のデザインを用意しましたが、好みのデザインで穴をあけている人も多くいました。2日間でおおよそ200名の人が製作しました。このイベントでは、全面的に天文台ボランティア



観察会の風景 (その1)



望遠鏡で投影板に写された日食の瞬間



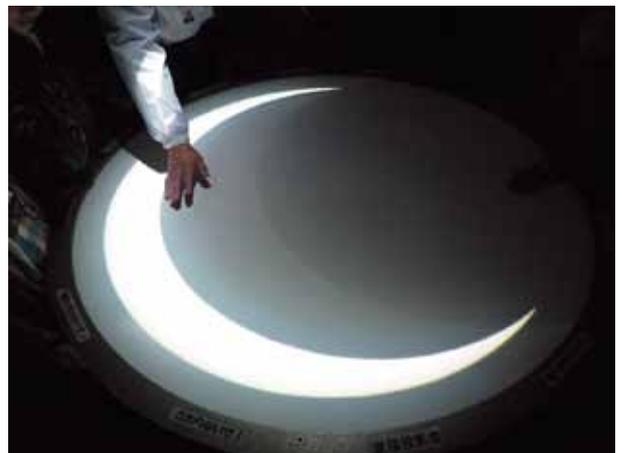
木漏れ日の方法による日食の観察



観察会の風景 (その2)



木漏れ日の方法による日食の観察の様子



天文台太陽望遠鏡により投影された日食

アの皆さんにご協力いただきました。

また、説明会では、初心者を対象に、日食が起こる仕組みや、今回の金環日食の見え方などを中心に解説しました。特に安全に観察する方法について具体的に解説しました。両日ともほぼ満員で、今回の日食が注目されていることがうかがえました。

## ②金環日食観察会

金環日食当日は月曜日で通常は閉館日ですが、特別に早朝より開館しました。天候も夜明けから薄雲程度になり、金環日食のころにはほぼ晴天となりました。

ぐんま天文台での日食観察のメインは太陽望遠鏡による直径1mの投影像です。普段から晴天時には太陽を投影していますが、少々場所が狭く、大勢の人で見るには不向きです。そこで、この日は多くの人に来て大丈夫なように、投影レンズ横にビデオカメラを取り付け、プロジェクターを使って2階展示コーナーの壁に大きく投影できるようにもしました。直径1mの直接投影像はさすがに迫力があり、金環日食直前のベイリー・ビーズもばっちり観察できました。金環日食になった瞬間は、見ていた人から歓声や拍手が起こりました。また、ここは古在名誉台長の解説付き。他よりもちょっと贅沢な日食観察となりました。

さらに、観測広場には10cm屈折式望遠鏡を5台用意し、こちらでも直径30cm程度に拡大して投影できるようにしました。通常は、太陽投影板に投影しますが、この場合太陽はあまり拡大できず、また、観察するには投影板をのぞきこむ必要があるため、多くの人が観察するにはあまり適していません。そこで、天頂プリズムを使って太陽光を水平方向に導き、白色の立て看板に投影しました。この方法では、太陽を直径30cm程度まで拡大でき、しかも一度にたくさんの方が観察できます。欠けていく太陽の形だけでなく、黒点や月の表面の凸凹もわかるくらいしっかりと投影できました。当日は意外にも観測広場で見る人がほとんどで、この投影方法は大好評でした。

また、本館北側にはピンホールや木漏れ日、鏡、日食観察メガネなどを使って観察できるコーナーも天文台ボランティアの皆さんが用意してくださって、いろいろな方法で金環日食を観察できました。意外な方法で観察できることに驚いている人がたくさんいて、科学のおもしろさの一端を感じてもらえたことと思います。

当日は早朝から報道陣も詰めかけ、ぐんま天文台から生中継も行われました。早朝にもかかわらず、一番多い時には500人くらいの方が天文台へ日食を観察しに来てくださいました。(指導主事 倉林 勉)



## 天体列伝 R Hydrae (うみへび座 R星)

### 1. AGB天体と質量放出

うみへび座にあるR星(R Hydrae = R Hya)はミラ型変光星のひとつである。390日ほどの周期でおおよそ4等級から10等級の間で見掛けの明るさを変化させる。低温度の赤色巨星で、H-R図の上ではAsymptotic Giant Branch(漸近巨星枝)に位置するため、AGB天体とも呼ばれている。太陽と同程度の質量を持つ中小質量の恒星が進化した最末期の段階にあると考えられている。R Hyaの場合、質量は太陽の2倍程であるにもかかわらず、直径は太陽の450倍近くに膨れている。表面温度は2800K弱と、太陽よりも遥かに低温であるため赤く見えるが、巨大な外形のために明るさは太陽の1万倍を越える。距離は400光年程度と見積もられており、この明るい巨星も地球

から見れば、それほど目立つ天体ではない。AGB天体の中心には、核反応の燃えかすである炭素と酸素でできた芯が存在し、その芯をやはり核反応で生成されたヘリウムの層が囲う。その周囲は水素を豊富に含む巨大な外層でさらに覆われ、その最も外側の部分が星の表面として観測される。この外層は非常に大きく広がっており、その体積は膨大なものになっているが、AGBに進化する以前より質量が増えたわけではないので、その密度は非常に小さくなる。中心で水素の核融合によってエネルギーを発生する主系列星と呼ばれる若い時期(太陽は現在この進化段階にある)に比べて、直径は数百倍の大きさまで膨張しているため、その広がった外層の密度は主系列星だった時の数百万分の一以下になる。星の外側にある大気は著しく

希薄になる一方、そこにある物質を引きつけ、ひとつの星としてまとめている重力も星の表面付近では非常に弱くなる。万有引力の法則にしたがい、中心からの距離の自乗に反比例するからである。半径が百倍以上に膨張すると言うことは、表面での重力が数万分の一以下になることを意味する。

極めて希薄で重力の弱くなったAGB天体の外層大気は不安定で、膨らんだり縮んだりする。この振動を脈動と呼ぶ。脈動の結果、見掛けの明るさも大きく変化し、ミラ型変光星として観測されるようになる。膨張時に外へ向かう物質を引き止める重力が非常に弱くなっているため、大気中の物質の一部は膨張したまま戻らずに宇宙空間に放出されてしまう。これを質量放出現象と言う。AGB天体では一般的に見られる現象であり、その後の星の進化を決定づけることになる。放出される質量は、一年当たりでせいぜい太陽質量の数百万分の一程度である。しかし、それが数百万年継続すると星全体が消失する。これが恒星の死である。中心の芯が白色矮星として残るが、外層のほとんどは宇宙空間に還って行く。百万年単位の時間スケールも数十億年から百億年を越える中小質量星の総寿命から見ればほんの一時に過ぎない。やはりAGB天体は進化最末期の恒星であると言えるだろう。

質量放出の結果、AGB天体の周囲には放出された物質が、暫し漂うことになる。大気から離れた放出物質は低温になり、固体物質が析出する。星周ダストの形成である。星周にあるダスト粒子は星からの放射を吸収して温まり、その結果として赤外線を放出する。このため、AGB天体では、星周ダストからの赤外線放射が観測されることが多い。特に、質量放出を継続中の天体では、放出現象によって形成されたばかりの比較的温かいダストからの赤外線放射が強く観測される。

## 2. 質量放出の継続

R Hya は、典型的なミラ型変光星であり、相応の質量放出が見込まれる天体である。しかし、当然期待される比較的温かい星周ダストによる赤外線放射は、何故かあまり強く検出されていない。星周ダストのない裸のAGB天体なのだろうか。世界初の赤外線天文衛星IRAS (InfraRed Astronomical Satellite) の観測は意外な結果を示していた。IRASの観測データをダストに囲まれたAGB天体の数値モデルを用いて解析していた時に非常に不思議に思った。

沢山のAGB天体についてIRASの観測データを解

析した結果、面白いことがわかってきた。質量放出をしているAGB天体には、そこそこの質量放出を行っている天体と、激しい質量放出を行っている天体の二種類があることは、それまでも知られており、進化が進むにつれて放出率が次第に増えていくものと考えられていた。しかし、IRASの観測データはその二つが全く別の性質を持つ異種のもので、連続的な質量放出の変化では説明できないことを示していた。さらに詳細なデータ解析を行うと、質量放出はAGBの進化段階で常に発生しているのではなく、間欠的に発生し、比較的短期の質量放出を繰り返しながら、最終的に激しい放出を起こすらしいことが見えてきた。それまでの常識を覆す発見である。常に質量放出が継続していても構わないようである。R Hya は放出が停止した天体なのだろうか。

実は、R Hya の赤外線データのより注意深い分析から、質量放出が継続している時に形成される温かいダストからの赤外線は強くないものの、もっと低温のダストからと思われるより波長の長い赤外線の強度が目立って強くなっていることに既に気がついてきた。これこそが、まさに前述の解釈を支持する観測的特徴だったのである。水が一定の温度で氷になるように、AGB天体から放出された物質は外に離れて温度が下がるにつれ、星から特定の距離の、ある一定の温度になったところで固体物質を析出させる。したがって、放出現象が継続していると、この付近にある比較的高温のダスト粒子からの赤外線放射が強くなる。しかし、放出が停止もしくは非常に弱くなると、原材料の供給が停止する。そうすると、析出温度にある高温のダスト粒子は新たに形成されなくなり、そこからの赤外線は発せられなくなる。

一方、過去に形成されたダストは外に流れて行き、温度は徐々に下がって行く。このため、ダスト粒子の形成時に優勢だった赤外線は放出しなくなるが、低温のダストからはより波長の長い赤外線が放出され続けることになる。R Hya の赤外線データは、質量放出を数百年程度停止していたとするモデルで非常にうまく再現できることがわかった。

質量放出現象が間欠的であれば、全ての観測結果を合理的に説明できる。時を同じくして、AGB天体の構造進化に関する理論的な研究からも、質量放出現象が不連続な発展をすることが全く独立に提唱されるようになってきた。この理論からは質量放出率の変化に対応して、数百年から数千年程度の明るさの変化

が同時に見られることが示されている。R Hyaには、400年近くわたる光度変化の観測記録が存在する。そこには理論モデルが示すような著しい変動が見えている。また、このような変動が起きている時だけに現れると理論が予測するテクネシウムと言う物質が R Hyaで検出されたとの分光観測の報告も出てきた。

どうやら、AGB天体の進化では、間欠的な質量放出の変化が起こっていることは間違いないようである。その証拠を雄弁に示す天体が R Hya だったのである。

### 3. 星周ダストの空間分布

放出されたダスト粒子が外側に広がって行けば、過去に放出された物質ほど、低温で星から離れた位置に分布しているはずである。そのような視点で、衛星観測による波長の長い赤外線での R Hya の周りの空間構造を調べてみた。案の定、広がった低温ダストからの放射成分が検出された(図1)。これで不連続な質量放出を伴ったAGB進化は確定的になったと確信した。ただ、ここで検出した低温ダストの分布が、予想よりかなり大きいことは気になっていた。しかし、恐らくは赤外線衛星による観測の空間解像度が貧しいせいだとあまり深刻には受け止めていなかった。波長の長い赤外線での細かな空間構造を計測することは当時非常に困難だったのである。

最近のスピッツァー宇宙望遠鏡 (Spitzer Space Telescope) による高解像度の赤外線画像が得られるようになると、R Hyaの外周にはやはり低温のダストによる赤外線放射が大きく広がっていた(図2)。ところが、その形態の詳しい分析などから、それは過去の放出による単純な低温ダストによるものではなく、放出された物質が宇宙に広く漂う星間物質との相互作用を起こしている現場を見ているのだということがわかってきた。かつての予想とはだいぶ異なっている。どうやら、現実には想像よりも遥かに複雑だったのである。

その結果、間欠的な質量放出現象は否定されたのであろうか。そうではない。最新の研究からは、変化の激しい不連続な質量放出はAGB天体の進化において一般的な現象であり、恒星進化の理解にとって益々重要なものであると考えられるようになってきている。超大型の観測機器を用いた観測などから、R Hya では220年程前に質量放出は著しく弱くなった。完全に停止したのではなく、それ以前の1/20以下の放出量に

なったのであると考えられている。より詳細な状況が明らかになってきたのであり、間欠的な質量放出の基本的な描像はむしろ普遍的なものとして理解されるようになったのである。

AGB天体での不連続な質量放出は、このようにして明らかにされ、今日では常識となっている、AGB天体の進化の理解は、太陽の生涯を理解することであり、宇宙全体の進化の基本的問題を理解することでもある。R Hyaは、そのような研究において要となる非常に重要な役割をはたしてきた。今後もその立場が変わることは決してないであろう。肉眼では目立つ天体ではないが、150cm望遠鏡で観望するこの天体の赤い色は何とも印象的なものである。大型望遠鏡を通じて是非その不思議に思いを馳せていただきたいと思う。

(観測普及研究員 橋本 修)

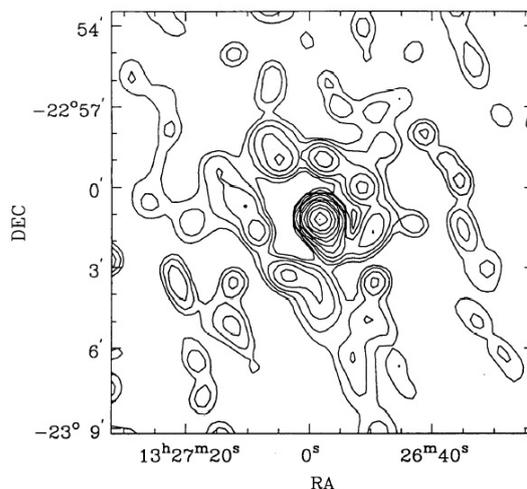


図1 赤外線天文衛星(IRAS)の観測による波長60ミクロンで見たR Hya星周にある広がった低温ダスト(Hashimoto et al. 1998, Astron. Astrophys. 329, 213)

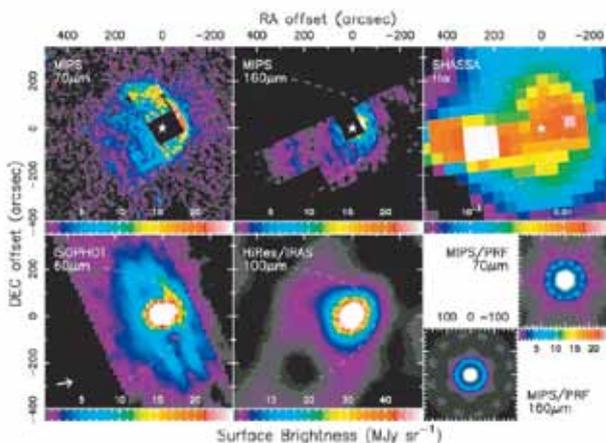


図2 スピッツァー宇宙望遠鏡が赤外線で見えたR Hya外周のダストと星間物質の相互作用の現場(Ueta et al. 2006, Astrophys. J. 648, L39)



## 平成23年度天文学校「系外惑星の動きを確かめてみよう」

天文学校は、一般対象で天体研究を体験する講座で、平成12年から開催しています。平成23年度は12回目で、かなり参加者も経験を積んできたことから、過去の参加者が中心になって開催してみることにしました。ただ、初めてのやや大胆な試みでもあるので、テーマはリスクの少ないものにしました。それが（太陽系外の）恒星をまわる惑星の検出をめざす観測です。何光年と先の星のまわりをまわる惑星ですから自分でみつけるのは簡単ではないし確実でもないので、過去にすでに惑星が検出されているものの追確認としました。

### 系外惑星

系外惑星は太陽系の外にある星のまわりをまわる惑星のことです。1995年に最初の惑星が報告され、以後その個数は飛躍的に増えました。昨年一年の間にも、ケプラー宇宙天文台（宇宙空間にあるハッブル宇宙望遠鏡のような望遠鏡で、系外惑星を探す、なんと専用の、望遠鏡です。こと座の一角をずっとモニターしています）で1000個もの惑星（とその候補）が検出されました。その中には太陽と地球のような環境にあり、地球外生命が居住可能な状況にあるとされる惑星も複数発見されています。

太陽と地球は直径で100倍、表面積で10000倍も違いますから、地球が太陽と同様に自分で光っていたとしても、うんと遠くから見ると太陽の光の1/10000のわずかな光にしか見えません。また太陽と地球は1億km以上離れていますが、何光年という距離から見たら離れていることはわかりません。ですから、何光年と離れた星の惑星は直接みつけることは今の技術でも容易ではありません。惑星をみつけるには主に二つの方法があります。1) 地球が太陽にひっぱられて一年で太陽を一周回るように太陽も反動で逆にわずかながら一年で微動し、それに応じて速度も変わるので、その微妙な速度差を見つけ出す。2) 何光年も先の星からみていて、偶然地球が太陽の前

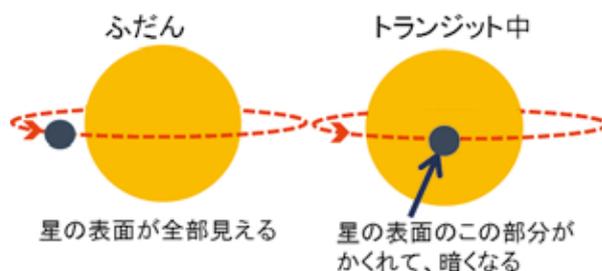


図1 トランジット法の原理。黄色の星のまわりをまわる惑星（青）が星の前に来ると星の表面が一部見えなくなり、星は暗くなったように見える。



図2 観測した天体WASP43

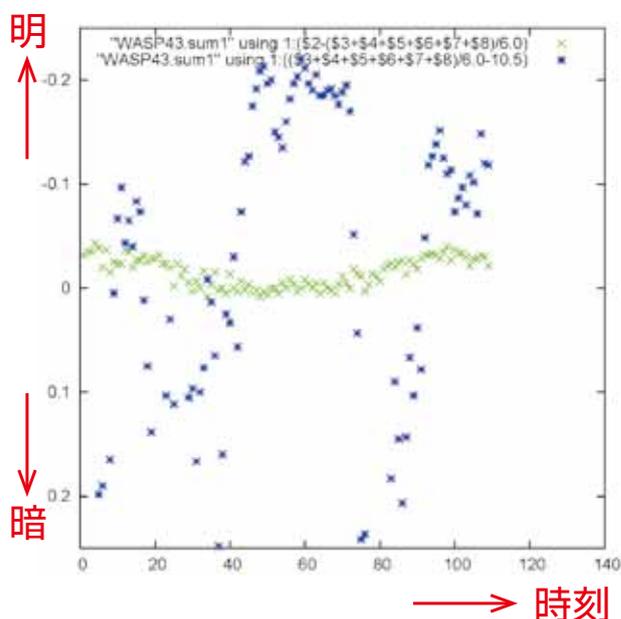


図3 観測対象の星の明るさの変化

を通り過ぎることがあれば、地球は太陽の表面の一部をかくすので、太陽が暗くなって見える（金星の日面通過も同じことが起きています。せいぜい2～3%程度の明るさの違いですが）。これは通過することを利用する、という意味でトランジット法とよばれます（図1。むろん星の明るさ自身に変化している可能性もありますが、そのような星は他にもたくさんあるので、それと同様な変化をするかどうかで判定でき、逆にトランジットでおきる星の明るさの変化もそれらしかどうかという判定もできます）。後者の方法では偶然星の前を通過する惑星しか検出できませんが、どのくらいそのときに暗くなるかで惑星の半径（主星に対する）がわかり、運動のデータもあわせると岩石が主の密度の高い惑星かガスが主の密度の低い惑星か区別の手掛かりになるのが魅力です。

## 何を観測しようか

天体の観測が一番楽しいのはどの天体をどうやって観測するか計画を立てるときだといいです。天文学学校でもそれをみなさんで自発的にエンジョイしてもらいました。天文学学校の観測日にトランジットが起きないと意味がありませんのでそのような星をデータベースから選びました。明るさの変化がほとんどなければ、検出できないかもしれないので、大きく変化することも基準でした。その結果がWASP36とWASP43（図2）です。

明るさの変化と一口に言いますが、2%の明るさの変化を拾うことは、基本的に忠実に普通にやれば不可能ではありませんが、やさしくありません。一番の要因は天気の変動です。快晴でなければ、空の透明度は20%程度の変化はしょっちゅうで、それに伴って、本来明るさの変わらない星ですら、観測される明るさは変わって見えます。ですので、WASP36といっ

たターゲットの星だけを見ていると本当に明るさが変化したのか天気のせいなのかはわかりません。そこで明るさが変わらない星の明るさをモニターし、その星の何倍明るく見えるか「比」を計算します。ターゲットの星の明るさが変わらなければ、この比はいつも同じです。この比が変われば、ターゲットの明るさが本当に変わったのです。このモニターされる星はたくさんある方が安心できるので、望遠鏡を向ける方向はモニターに使える星がたくさん入るようにしました。

観測は2月に観測体験時間(\*)の枠とそれを延長して行いました。なんとか晴れ、参加者の8名で画像を解析しました。その結果が図3です。青の点は明るさの基準に使った星（星の本来の明るさの比は一定）について測定されたみかけの明るさの比で、各時刻の晴れ具合の影響を受けて20%程度変化しています。この基準星のみかけの明るさに対してWASP43のみかけの明るさを示せば（緑）、WASP43の本来の明るさが変わらない場合は、同じ明るさとして見え、グラフでは本来は真横に緑の点が並びます。観測の最初ではWASP43は明るいですが、暗くなり始め、1時間強その状況が続き、再び明るくなっていました。暗くなっていた時間帯は予報通り、惑星が通過していたものと思われます。

このテーマはタイムリーで、そのあとに日本天文学会出版の『天文月報』で特集記事があり、10～20年後の系外惑星の観測からわかる夢物語をじっくり予習しました。

（観測普及研究員 長谷川 隆）

(\*) 18から22時の間、望遠鏡を占有して利用できる枠です。詳細は、<http://www.astron.pref.gunma.jp/guidance/obsexp.html>をご参照ください。



## 私と天文学

天文学が対象にするものは、天体の「いれもの」としての宇宙、そして宇宙に「入れられている」天体たち(\*)である。私が天文学を始めたころはマーガレット

ゲラーたちが「宇宙の大規模構造」をようやく立体的にわれわれに示したころであった。いれものとしての宇宙の中にどういうふうに天体が詰まっているかがわ

かってきたのである。もっとも、そのころはまだ数億光年の範囲のことであり、百億光年にも広がる「いれもの」の中にどういうふう天体が詰まっているかはわかっていなかった。「宇宙のはてまではまだだいぶやることがあるな」という感覚でまったく自然体で吸い寄せられたような学生時代であったと思う。自然科学とりわけ天文学のような「霞を食らう」方面を目指すことは、まだめづらしかった一方、比較的許された時代だった。

当時は30年もしない間に宇宙の観測できるはてにほぼ手が届くことになるとは想像もしなかった。ただ、宇宙の大規模構造というものをテーマにしながらも、入れ物よりは中身の天体の進化に興味があった感覚は今でもよみがえる。当時日本でははやらなかったが、cosmogonyという言葉がそれを一言で表していることを知って、そういうことを考えることは決して間違っていないと勇気づけられた（つまり、先を越されていたのではあるが）。

「宇宙のはては」で始まったとしても、観測を主とする天文学者は彼が勤める天文台が所有する望遠鏡の性質にしばられる。30mではなく30cm望遠鏡で宇宙のはてを研究するのはとてつもなく難しいことだ。一方で、自分の中で、テーマの継続性があることも大切なことである。ぐんま天文台にきて、目の前の、正直、小さな望遠鏡をみて、「宇宙のはては」は無理でも、進化ということなら星をプローブにしてやれるだろうと思った。今でいう「銀河考古学」の分野である。今であれば、新しい「サーベイ（全天あるいはそれに近い非常に広い部分の空の探査）」は同時に天体の測光（天体の明るさを測定すること）を意味するが、当時のサーベイは写真乾板だったから、こんな天体があるということはわかっていても明るさはわからない。それを測ることで銀河の天体の年齢構成などの研究ができた。自分が過ごした時代でありながら、まだそういう時代だった（ということを用意するような歳になった）。乱暴に分ければ、天体の観測はこうやって天体の画像から天体を見出したり明るさを測定する観測と、スペクトル（虹はその一部分だ）から天体の我々に対する速度などを調べる分光観測にわかれる。最近ようやく、前者から後者にたどりついた。天

文学者の賞味期限は長くはない。あと数年でこころへんまで形にすることが仕事の一つであると思う。

こうやって過ごしてみても、痛感することがある。たしかに分光観測は速度がわかったりして、意味は即座にクリアカットになる。往々にしてサーベイや測光観測はすぐには答えがでない。どちらがいいか。所詮好みでしかないが、私は後者が好きである。前者はどうせ秀才が群がれば少々の課題は解ける。しかし、往々にして、この天体は面白い課題を含んでいる、という原点がわかるのは、サーベイや測光観測なのである。キューサーにしても、スペクトルから赤方偏移を調べるところはいずれ秀才がかたづけられる話であるが、3C273が面白い、というか、異常であることに気づかなければ人類が最初に知るキューサーにはならなかった。ただし、天体の数は星の数「以上」である。その中でこれは「面白い」というのを見抜くにはセンスや運がある。それが自分にとっての試金石になる。逆にこれがない瞬間ほどつまらないものはない（そういうことを気にしていると、「君のやることはちょっと独特なんだよなあ」とやんわり言われるのではあるが、それは天文学者としてはそう生まれついたから仕方ないことと思っている。公開天文台のスタッフとしては、それだけで押し通していいとはつゆ思わないが）。

ぐんま天文台に勤めるにあたり、面接があった。教育や普及とはどういうことか、聞かれたら、背中をみせることだ、と答えるつもりだった。相手にもよるが、なんでも手取り足取りすればいいとは思っていない。答えがわからないものに対して向き合う姿勢をとることである。答えがわかっているものでは最後の教育にはならない（もっとも、普段みなさんとお目にかかるときはほとんどの場合、答えがわかっているのだが、それでもうんと遠くになってしまった宇宙の天体たちと向き合う感覚をつかむためのお手伝いを心がけ、来館者にとっては自明でない問題とそのヒントを伝えることにしている）。

（観測普及研究員 長谷川 隆）

(\*) 天体のことをさすつもりで、よくうっかり「星」といってしまうけれども、むろん天体は星だけではなく星の集合体である銀河であったり、星と星の間の決して真空ではない空間にある星間物質であったりする。科学を話すものとして、これに限らず、もう少し言葉の使い分けはシビアであるべきだと思うことがある。

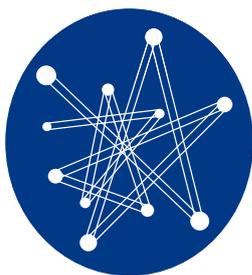
# 天界四季折々

## ★これからの主な観望天体

- 惑星：木星  
恒星：ベテルギウス、リゲル、アルデバラン、カペラ、ポルクス、プロキオン、シリウス、アンドロメダγ (二重星)  
星団：h-χ、M37  
惑星状星雲：NGC2392 (エスキモー星雲)  
星形成領域：M42 (オリオン大星雲)  
銀河：M31 (アンドロメダ銀河)、M33

## ★観望マメ知識

- 惑星：太陽系の天体で地球もそのひとつ。みな太陽のまわりをまわっており（公転）、その軌道の内側から順に、水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星となる。2006年までは海王星の外をまわる冥王星も惑星と分類されたが、現在では準惑星という分類になっている。可視光では、太陽の光を反射して光っているといっよい。木星から外の巨大惑星には環があるが、観望会では土星の環しかみえない。
- 恒星：太陽と同様、みずから光る星。1等星は、ほとんどが数百光年以内である。望遠鏡でみると二つ以上見えるものが重星であるが、単に同じ方向に見えるが距離はまったく異なることもある。
- 星団：恒星の集団。あえて大きく分ければ、古い星の大規模（典型的には数十万個）集団の球状星団と、若い星の小規模集団の散開星団となる。散開星団は天の川沿いにあり、夏でも冬でも見られる。
- 惑星状星雲：星の一生の最後のステージである。太陽系の惑星とはまったく関係がない。
- 銀河：恒星の大集団で、他に水素や一酸化炭素のガス、暗黒物質などを含む。星団は銀河の中に含まれ、階層構造としては銀河は上記の諸天体を含んだ一ランク大きな階層になる。
- 1 光年：光が1年かけて進む距離。光速は毎秒30万kmで1年の秒数をかけると、約10兆km。
- 等級：天体の明るさを示す。数字が1つ大きくなるごとに約2.5分の1の明るさになる（暗くなる）。こと座のベガ（織姫星）は（ほぼ）0等級で、これを基準に明るさは測られる。



GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY  
県立ぐんま天文台

発行日 ■ 2013年1月  
発行 ■ 県立ぐんま天文台  
電話 ■ 0279-70-5300  
FAX ■ 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。