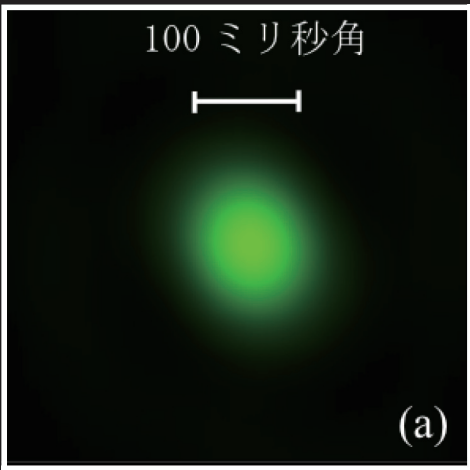
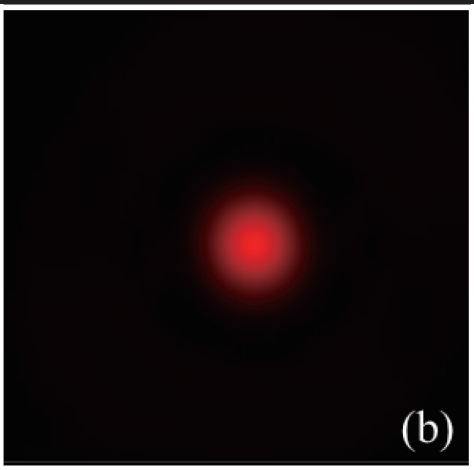
2013 年 10 月 15 日発行 (毎月 15 日発行)　ISSN 0917-6918

Monthly News on Astronomy from Nishi-Harima Astronomical Observatory

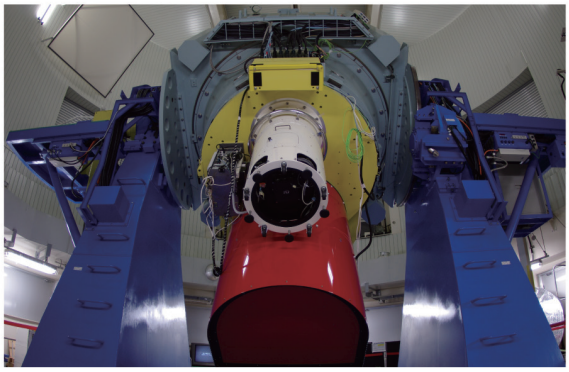
宇宙 NOW

No.283
2013 10





上段左）ベテルギウス@ 515.5nm
上段右）ベテルギウス@ 632nm
下段左）オリオン座とベテルギウス（赤丸）
下段右）なゆた望遠鏡と VTOS



パーセク：	白樺、最期の一本	鳴沢 真也
おもしろ天文学：	望遠鏡の時計	坂元 誠
from 西はりま：	なゆた望遠鏡の VTOS が異常に広がった ベテルギウスの形を捉えた！	圓谷 文明、他
AstroFocus：	地球の酸素大気、30 億年前にはできていた？	高橋 隼

兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 天文科学センター

白樺、最後の一本

鳴沢 真也

Essay　PARSEC
パーセク　～西はりま天文台エッセイ～

「カサカサ　カサカサ」
どことなく佐用川に流れ込む小川の流れにも聞こえる音。午後の心地よい風が、色付いた葉を揺らしている。私の職場の窓から、一本の白樺の木が見える。

1990 年にオープンしたキラキラランド。開園当初は、敷地内にたくさんの白樺が植えられていた。ところが、一本、また一本と枯れてしまった。弱りながらも、なんとか持ちこたえていた何本かも、台風の強風で倒れてしまった。そして、ついに最後の一本だけが残っているのだ。

白樺と言えば、私は故郷の信州を思いだす。実家から車で３０分も山間部を目指してドライブすれば､確実に白樺の木を見ることができる。もちろん長野県の県木である。北海道をイメージする人も多いと思う。それが大撫山に植えられていて、ここに勤めた当初は、戸惑いにも似た驚きを感じたものだ。

自生している白樺の西端は、福井県らしい。なぜ、キラキラランドに白樺を植えたのであろうか？　それなりの予算もかかったであろう。当時のいきさつはまったく知らないし、白樺を選択した方々のチャレンジ精神には、一定の敬意をはらうが・・・。それにしても、なぜ？という疑問が残ってしまう。

最後の一本。なんとか残るのだろうか。この一本が西はりま天文台そのものの象徴にならなけらばいいのだが。そんな思いが心をよぎる。

「カサカサ　カサカサ」風に負け、黄色い葉が何枚か散っていく。

（なるさわ しんや・天文科学専門員）

今、残された１本

開園当初は一面に植えられていた

ちょっと「コア」な天文学を楽しく！

おもしろ天文学

望遠鏡の時計

坂元 誠

図２　星の描く軌跡は赤道付近になるほど長い

今回は望遠鏡の時計について話をしたいと思います。

「なにも時計付き望遠鏡でなくても、腕時計があれば時刻はわかるじゃん」

なんて思っていませんか？

天体望遠鏡自身にとって時計はなくてはならないものなのです。人間でいえば、呼吸や体温を制御する自律神経のようなものです。

1. なぜ、時刻は望遠鏡に必要か

太陽は天球上を、東から西の方向に１日で１周します。星座たちはそれよりも１日４分ほど速く、月は 50 分ほど遅れて移動していきます。惑星は少しずつ速度を変えながら星座の中を漂っていきます。天体は刻一刻とその場所を移動させているのです。とはいえ、夜空を見渡してもそのような動きは実感できません。私たちの肉眼ですぐに感じることができるような速さではありません。

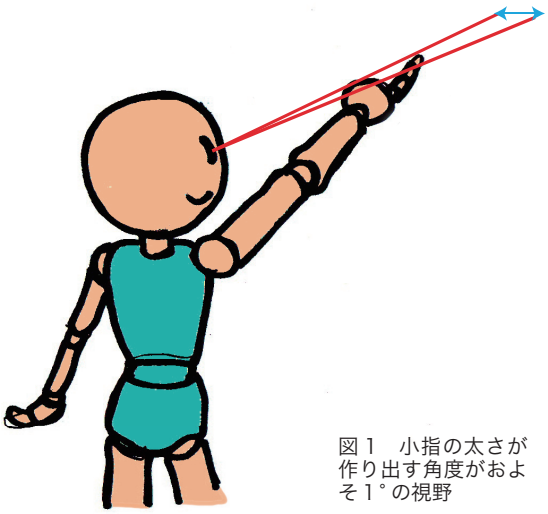


図１　小指の太さが作り出す角度がおよそ１°の視野

しかし、天体望遠鏡でのぞくということは、まさに針の穴から天をのぞくようなものです。腕を伸ばしたときの小指一本分よりも狭い範囲、角距離でいうと 1° よりも狭い空間をみているといってもいいでしょう（図１）。なお、見渡せる範囲を視野といいます。狭い視野の中では天体の動きは無視できるようなものではありません。

ある時刻における月の位置を計算し、その座標だけを頼りに望遠鏡を月に向けたとしましょう。このとき、月がたまたま天の赤道上にあると仮定します。時計の時刻はどれだけの正確さを要求されるでしょうか。

ここで、天の赤道を仮定したのは、日周運動による空間上の移動量は天の赤道からどれだけ離れているかによって変わるためです。天の赤道でもっとも大きく、天の北極、南極に近づくにつれて小さくなるので、天体によっては地上から見た移動量が大きく変わることに注意してください。日周運動による星の軌跡を撮影すると一目瞭然ですね（図２）。

月の見かけの大きさは 30 分角（=0.5°）ですが、少し余裕を持って 1° の視野を確保する

としましょう。天の赤道上で 1 ° の角距離は、日周運動 4 分間分に相当しますので、時計が 3 分ずれていれば月はまったく視野の中にいない、ということになります（図 3）。

なゆた望遠鏡の接眼装置視野は 10 分角程度ですので 20 秒、分光器での観測では高い導入精度が求められ、0.1 秒ずれていれば星はその視野には入ってきません。

このように現在の大型望遠鏡に与える時刻は、人が腕時計を見ながらセットできるレベルではないことがわかります。かつては電波時計から受ける時刻を頼りにしていましたが、今はほとんどが GPS から時刻を取得しています。

なゆた望遠鏡の時刻装置（図 4）も GPS の持つ原子時計から時刻情報を受けており、誤差 1 μ（100 万分の 1）秒以内の精度を誇ります。

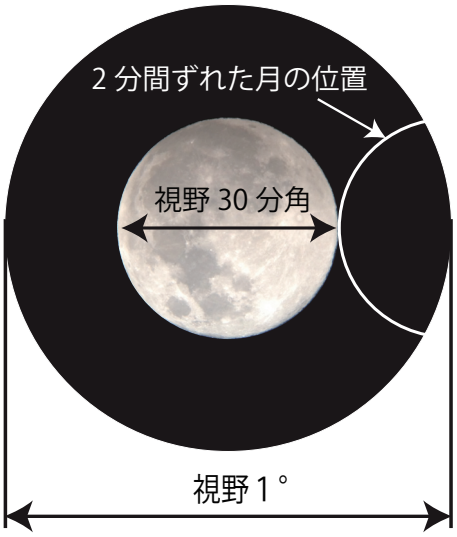


図 3　視野 1 ° の望遠鏡で月をみたときのイメージ

図 4　なゆた望遠鏡の時刻装置

2. なぜ、時間は望遠鏡に必要か

時刻が正確であればその時の天体の位置を正しく計算できます。では、時刻とは別に必要となる “ 時間 ” とはどのようなものでしょうか。時間は刻まれた時刻と時刻の間隔です（図 5）。

天体は刻一刻と場所を移動させているのは先に書いたとおりです。望遠鏡は天体を導入した後、天体の移動量に合わせて望遠鏡を動かして追いかけていかなければなりません。このとき、望遠鏡の歯車の回転量が一定の速さで回転しなければどうなるでしょうか。視野の中にある星はふらふら動いて見えるはずです。それは本来、目的の天体があるべき位置を通り過ぎたり、到達しなかったりすることになるからです（図 6）。

ここで、モーターの回転速度の安定性が問題になります。実は単純なモーターは、その安定性が非常に低いのです。乾電池から取ることのできるような直流電源を用いる直流モーターは電圧の安定性に依存しています。一方、家庭用コンセントから取ることのできる交流電源を用いる交流モーターは電源の 60Hz（東日本では 50Hz）という周波数に依存しています。この交流電源の周波数は発電機のタービンの回転速度によって作り出されるものなので、精度を求

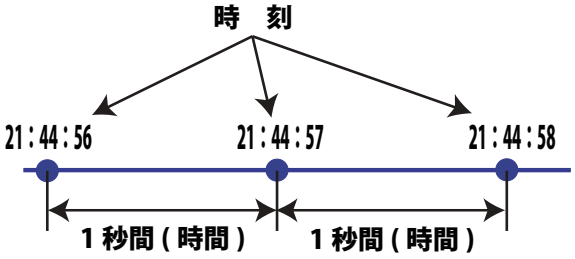


図５　時刻と時間の関係

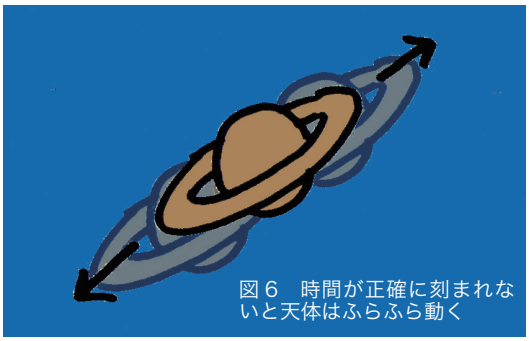


図６　時間が正確に刻まれないと天体はふらふら動く

めるものには不向きです。

そこで、一定速度を得るために、速度制御モーターというものがあります。直流、交流とも方式は幾つもありますが、精度良くコントロールしようとするものは、基本的に回転速度が一定になるように連続的に素早くスイッチを ON/OFF していると考えて頂いて良いでしょう。このとき、スイッチの ON/OFF を行うタイミングが精度の決め手となるわけです。最終的にはここに正確な時間が供給されることになります。

GPS からは 1 秒ごとに正確な時刻が供給されますが、1 秒間をより多く分割した正確な時間は作り出さなくてはなりません。視野の中で星がふらついて見えないようにするためには少なくとも 0.1 秒毎の信号が必要となるでしょう。

この細かい時間を作り出すのに、現在では多くの望遠鏡で水晶発振器を用いています。いわゆるクォーツ時計です。

なゆた望遠鏡の時刻装置でも水晶発振器を用いていますが、0.02 秒の信号を発信しています。しかも、水晶発振の最適な性能を発揮させるべく、恒温槽（一定の温度に保った容器）に収めています。水晶発振器の温度が大きく変化したら、発信する周波数も影響を受けるのです。

なお、速度制御モーターが登場する以前の大型望遠鏡では、おもり式時計が使われていました。近くでは神戸市立青少年科学館の望遠鏡「たいよう」の観測室におもり式運転時計が展示されています。

3. 大型望遠鏡は高性能の時刻装置がなくては動かない

今、世界の主力望遠鏡は 8m クラスですが、口径 6m 以上のものはいずれも経緯台式架台を採用しています。これは赤道儀式は、機械的な限界から技術的に大型化できないためです。

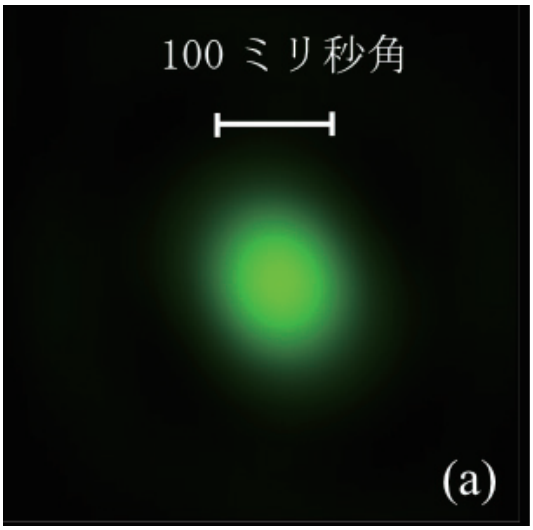
一方、経緯台式は、機械的な負担が少ない代わりに駆動軸を加減速させつつ同時に動かしてやる必要があります。単に正確な時刻、時間を供給するだけの時刻装置では十分な役割を果たしません。複数のコンピューターやモーターが同時に動くように、それぞれに対してズレなく時の刻みを送ってやる必要があるのです。星の導入、追尾はもちろん、複雑な機構すべてが命令に対して同期して動くようにしなければならないのです。最初に望遠鏡の時計は人間の自律神経のようなものだと書きましたが、その理由はここにあります。

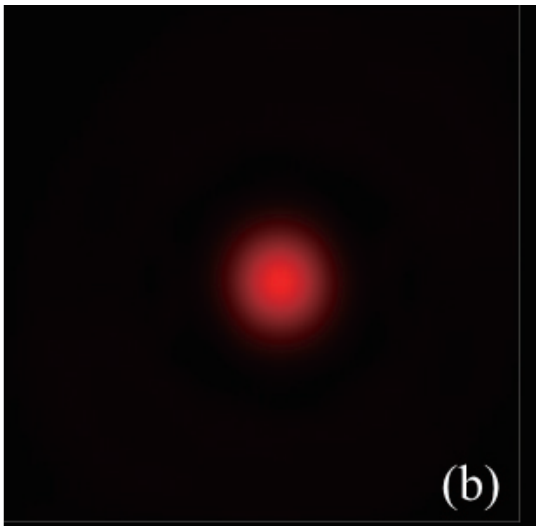
なお、なゆた望遠鏡の時刻装置では各部へ送られる指令時刻のズレは 200 万分の 1 秒以下となっています。

もちろん、望遠鏡の高い精度を実現するためには正確な時計さえあれば良いというわけではありませんが、時計も不可欠な重要なる装置なのです。

（さかもと まこと・天文科学専門員）

なゆた望遠鏡の VTOS が異常に広がった ベテルギウスの形を捉えた！





2012 年 11 月号の「from 西はりま」で VTOS という観測装置を観測に向けてバージョンアップしていることを紹介しました。その直後、北見工業大学と兵庫県立大学西はりま天文台（圓谷、坂元）、北海道大学との共同研究として行われた観測から、オリオン座の１等星ベテルギウス（距離 643 光年）が過去に観測されてきた大きさの２～３倍に広がっていることが明らかになりました。ベテルギウスは直径が太陽の 1000 倍近く、太陽系で言えば木星の軌道まで入ってしまうほどの超巨大な星で、膨張・収縮によって明るさを変える脈動変光星です。それは非常に不安定な状態にあって、近いうちに超新星爆発を起こすだろうと考えられています。

VTOS（可視ターゲット観測装置）は、可視光で大気揺らぎの影響を取り除いて天体の詳細な姿を撮影する装置です。2005 年に国立天文台から西はりま天文台に移管されて以降、改造と機能向上を圓谷と坂元とで続けてきました。観測にも継続して使用されています。

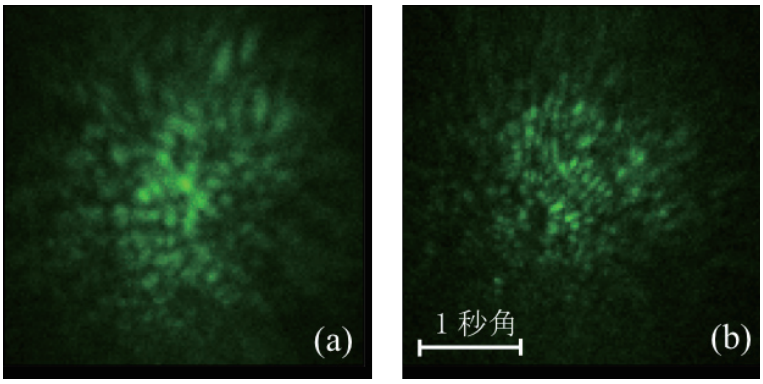
今回の結果は昨年取得された幾つかの観測データから、オリオン座の赤色超巨星ベテルギウスについて北見工業大学が解析して発見されました。赤、緑、青の波長で撮影されたデータのうち、特に緑色で見たベテルギウスが歪（いびつ）で大きく広がっていました。その直径は 1972 年～ 2010 年に可視光・赤外線で測定されている大きさの２～３倍にもなっていたのです。太陽系で言えば星の広がりが木星軌道から土星軌道まで変化したことになります。なぜ緑色でみた形状だけ大きくいびつなのか、その原因を探ることでベテルギウスで起こっていることへの理解が進むことが期待できます。

今回、このような発見ができたのは、なゆた望遠鏡と VTOS によって可視光域で 0.1 秒角（100 ミリ秒角）以下の角度を見分ける高空間分解能観測が可能であることによります。可視光でこれを上回る分解能で観測できる望遠鏡は数えるほどしかなく、今後もなゆた望遠鏡を使ったより多角的な観測と分析が必要となるでしょう。

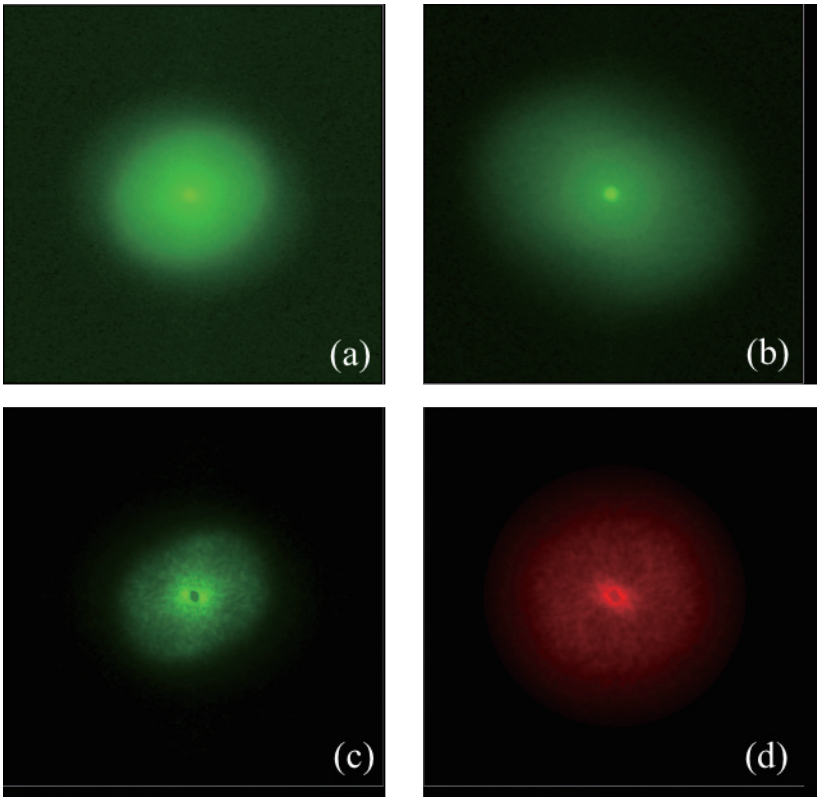
（つむらや ふみあき・講師）

圓谷 文明、三浦則明、他研究グループメンバー

ベテルギウスの自己相関像 :(a) 緑色波長帯、(b) 赤色波長帯。これらの像の径は元の天体像の 2 倍となっている。この像からも、緑色波長帯での像は大きく拡がっていると共に、円形ではなく楕円形に近いことがわかる。自己相関像は天体の姿の左右を平均した対称形になり、天体の広がりやいびつさといった大まかな形状を知ることができる



VTOS で取得される画像「スペックル像」の例 (緑色波長帯)、数千フレームのうちの一つ。露出時間は 1/100 秒以下である。散らばった個々のスペックル (斑点) は望遠鏡本来の性能で見た天体像に相当する。広がりを持つベテルギウス (a) 中のスペックルは、同様に撮影された理想的な点像であるオリオン座のガンマ星 (b) のものよりも大きいことがわかる。スペックルの分布パターンは大気ゆらぎの影響で刻々変化する。このため画像を単純に足し合わせ（長時間露光に相当）しても、なゆた望遠鏡の性能に比べて大きくぼやけた画像になってしまう。これは望遠鏡本来の性能に対応する画像情報が大気揺らぎの影響で消失してしまったことを意味する



「スペックル像」データにフーリエ変換という処理を施して二乗してから足し算すると、その平均変換画像（パワースペクトル）には望遠鏡本来の性能までの画像情報と大気揺らぎ情報の両方が残っている。(a) はベテルギウス、(b) はオリオン座ガンマ星の観測像（理想的な点像）から得られた平均パワースペクトル。(a) はベテルギウスと大気ゆらぎ成分の両方を含んでおり、(b) は大気ゆらぎの成分だけを含んでいる。(a) を (b) で割ってやると大気揺らぎの影響が除去されたベテルギウスそのもののパワースペクトル (c) が得られる。 (d) は同様の処理で得られた赤色波長帯でのパワースペクトル。パワースペクトルをもう一度フーリエ変換（または逆フーリエ変換）すると、今回発表した自己相関像が得られる

参照：天文学会秋季年会での三浦 則明氏（北見工業大学教授）によるプレス資料

地球の酸素大気、30 億年前にはできていた？

高橋 隼

現在の地球の大気には、体積にして 21% 程度の酸素が含まれています。しかし、地球が生まれた約 45 億年前からこれほどの量の酸素大気が存在していたわけではありません。酸素は光合成をする生物によって作られたと考えられています。実際、（少なくともほとんど）生物のいない他の太陽系内惑星には酸素大気はほとんどありません。逆に言えば、とある惑星に酸素大気が見つかれば、光合成をする生物が住んでいるかも！と期待できるわけです。そんなわけで、酸素大気は地球外生命探査の重要なターゲットになっています。

さて、地球の酸素はいつ頃できたのでしょうか？ 定説では、約 23 億年前の「大酸化事変」で、大気中の酸素が劇的に増加したとされています。それ以前のほとんどの時期は、現在の 10 万分の 1 以下の量だったと考えられています。しかし、最近 Crowe らは、雑誌 Nature で、約 30 億年前に予想よりも多くの酸素が大気に存在していたらしいと発表しました。彼らは南アフリカにある約 30 億年前の地層のクロム同位体を分析しました。土壌が酸素に曝されると、クロム 23 という重めの同位体が多く水に流し出されます。結果的にクロム 23 に乏しい土壌が残され、流れた先の海底はクロム 23 に富むと考えられます。このような性質を利用して彼らが導いた、最も確からしい酸素量は現在の 1 万分の 3 程度。これは予想の 30 倍以上です。光合成で酸素を生み出す藍藻（らん）は大酸化事変の数億年前 (26-7 億年前) には存在していたと言われていました。今回の発見が本当であれば、藍（らん）藻の歴史はさらに 3-4 億年さかのぼることになります。

（たかはし じゅん・天文科学研究員）

採取したドリルコア（出典 : Crowe 他 2013, Nature）

調査場所のひとつ（出典 : Crowe 他 2013, Nature）

スタッフ活動日記　９月

本田 敏志

★１日（日）今日も雨、最近天気が悪く、しばらく星を見ていない。

★２日（月）４日まで休園期間、台内の掃除などを行う。

★４日（水）大雨、天文台周辺の町では避難勧告が発令された。

★６日（金）昼間、多数の団体さんが来台、伊藤センター長、石田副センター長、鳴沢専門員が時間差で望遠鏡を案内。

★７日（土）７日まで高校生の実習観測、高橋研究員が対応、天気が悪く明るい星を一つだけなんとか観測できた模様。

★８日（日）やっと晴れる、いるか座新星のデータを取得。新井研究員が研究会参加のためイタリアへ出発。

★９日（月）VTOS でベテルギウスを観測した結果についての記者発表があった、圓谷講師、坂元専門員らによる研究。本田は観測後仙台へ向かう。

★10日（火）12日まで東北大学で日本天文学会秋季年会が開催、伊藤センター長、高木、森鼻研究員と本田が研究発表。

★14日（土）友の会例会、残念ながら今回の３連休は天気が悪いようだ。伊藤さん（神戸大）、イマムラさん（オレゴン大）来台。

★15日（日）講演会で元素の起源と宇宙の化学進化について紹介、台風による大雨の中来て下さった方に感謝。

★16日（月）敬老の日、台風のため大雨、各地で大きな被害がでる。西はりま天文台は一部雨漏りなどあったが、幸い大きな被害は無し。

★17日（火）台風一過、風は強いが久々にいい天気。プロジェクト学習のため附属中学へ。

★18日（水）穏やかな天気で絶好のお月見日より。観望会では星のスペクトルや研究観測の様子も見てもらった。

★19日（木）仲秋の名月、兵庫県立大学天文部（HIMITSU）の皆さんも 60 センチ望遠鏡で観測。

★21日（土）今週の３連休は天気が良さそう、観望会も盛況でサイエンスティーチャ大忙し。鳴沢専門員 JAXA（臼田）へ出張、その後 26 日まで北京の世界宇宙会議へ。

★22日（日）今夜も大勢のお客様が来られ、月をなゆたと小型望遠鏡で見てもらった。

★23日（月）秋分の日、今日も快晴。いるか座新星のスペクトルを直視分光器で見てみると水素の赤い輝線が良く見えた。

★24日（火）休園日、京都大学松尾さん来台、将来の大型望遠鏡による系外惑星の観測についてセミナー。

★25日（水）27 日まで兵庫県立大学の観測実習、この日は雲が多かったが、なゆた、60 センチ、小型望遠鏡を使って観測。

★26日（木）今日も雲が多い天気だが、観測実習の解析用データは一部取得できた。学生の皆さんは慣れない作業に苦戦するも、結果を出すことができたようだ。

★29日（日）鳴沢専門員と観望会対応、全天うろこ雲のため雲の隙間から明るい星を何とか見てもらう。

★30日（月）今夜も雲が多く、自然学校の観望会は明日以降に延期となった。

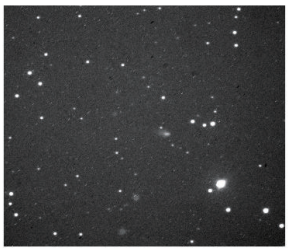
11 月 3 日（日）天文講演会のお知らせ

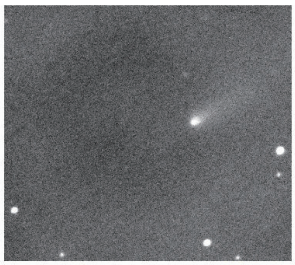
「巨大彗星になるか？ アイソン彗星」

講師：吉田 誠一 先生（彗星研究家）

長い尾を伸ばした雄大な大彗星は、昔から、多くの人を虜にしてきました。
2013 年の秋、久しぶりに、日本からも見られる大彗星「アイソン彗星」がやってきます。歴史に刻まれた数々の大彗星と比べても、アイソン彗星の条件はたいへんに良く、一生に一度の、素晴らしい光景が見られると期待されています。講演では、アイソン彗星とはどのような天体なのか、最新情報を含めて紹介します。

【日時】
11 月 3 日（日）16:00 ～ 17:30
【場所】
天文台南館 スタディルーム
【お問い合わせ】
天文台 0790-82-3886


2013年2月10日


2013年8月29日

なゆたがとらえたアイソン彗星

アイソン彗星接近に伴う、天文台公園の早朝特別開園のお知らせ

史上最大の彗星になるかもしれないと言われているアイソン彗星。肉眼でもはっきり見える見頃は 11 月下旬から 12 月上旬の夜明け前になります。アイソン彗星の観察を希望される方に向けて、西はりま天文台は下記の日程で早朝開園を行い公園敷地を開放します。

【日時】
11 月 23（土）、24（日）、30 日（土）
12 月　1（日）、 7（土）、 8 日（日）
いずれも早朝 5 時
【ご注意】
なゆた望遠鏡等でのご案内（観望会）はありません。観望会でのアイソン彗星観察は来年 1 月です。
特別開園日でも天文台への入館はできません。天文台の開館は午前 9 時です。
上記日程以外では早朝の入園はできません。通常の開園は午前 9 時です。

西はりま天文台 インフォメーション

11/9 第 141 回 友の会例会　※友の会会員限定

日時：11 月 9 日（土）18：30 受付開始、19：15 ～ 24：00
内容：天体観望会、テーマ別観望会、クイズ、交流会など
　テーマ別観望会
　A: サテライトで秋の銀河を撮ろう
　B: 60cm で超マニアックな天体を見よう
　C: なゆたで星雲・星団を見よう
　アイソン彗星特別観望会（AM4:30 ～ 5:30）
費用：宿泊 大人 500 円、小人 300 円（グループ棟の場合）
　※今年度は友の会から宿泊料金の助成があり、シーツ代込の料金です。
　朝食 500 円 (希望者)
申込：申込表 (右表) を参考に、必ず、お電話にてご連絡ください。
　電話：0790-82-3886
　受付時間帯：午前９時～午後５時

例会参加申込表

会員 No.　（　　）　氏名（　　）
宿泊棟　家族棟ロッジ ／ グループ用ロッジ

	大人	小人	合計
参加人数	( )	( )	( )
宿泊人数	( )	( )	( )
シーツ数	( )	( )	( )
朝食数	( )	( )	( )

	男性	女性
部屋割り	( )	( )

グループ別観望会の希望　( )

＃ 11 月の友の会例会は、会員限定「アイソン彗星特別観望会」を実施するため、今回に限り受付方法を電話のみに限定させていただきます。
　グループ棟（20 名毎に大部屋を共有）
　受付開始　１０月１日（火）
　締切　　１０月２６日（土）
　定員　　１００名（先着順）
ただし、定員に達したときには期日前でも受付を終了する場合があります。

＃家族棟については 10 月 15 日現在、受付を終了しております。

友の会例会、お申し込みのキャンセルについて

例会のお申し込みの締切は、グループ用ロッジの場合、通常 1 週間前の土曜日です。天気の具合もありますが、基本を守っていただき、
直前のお申し込みや、やむを得ない場合を除いてのキャンセルは控えていただくようお願いいたします。

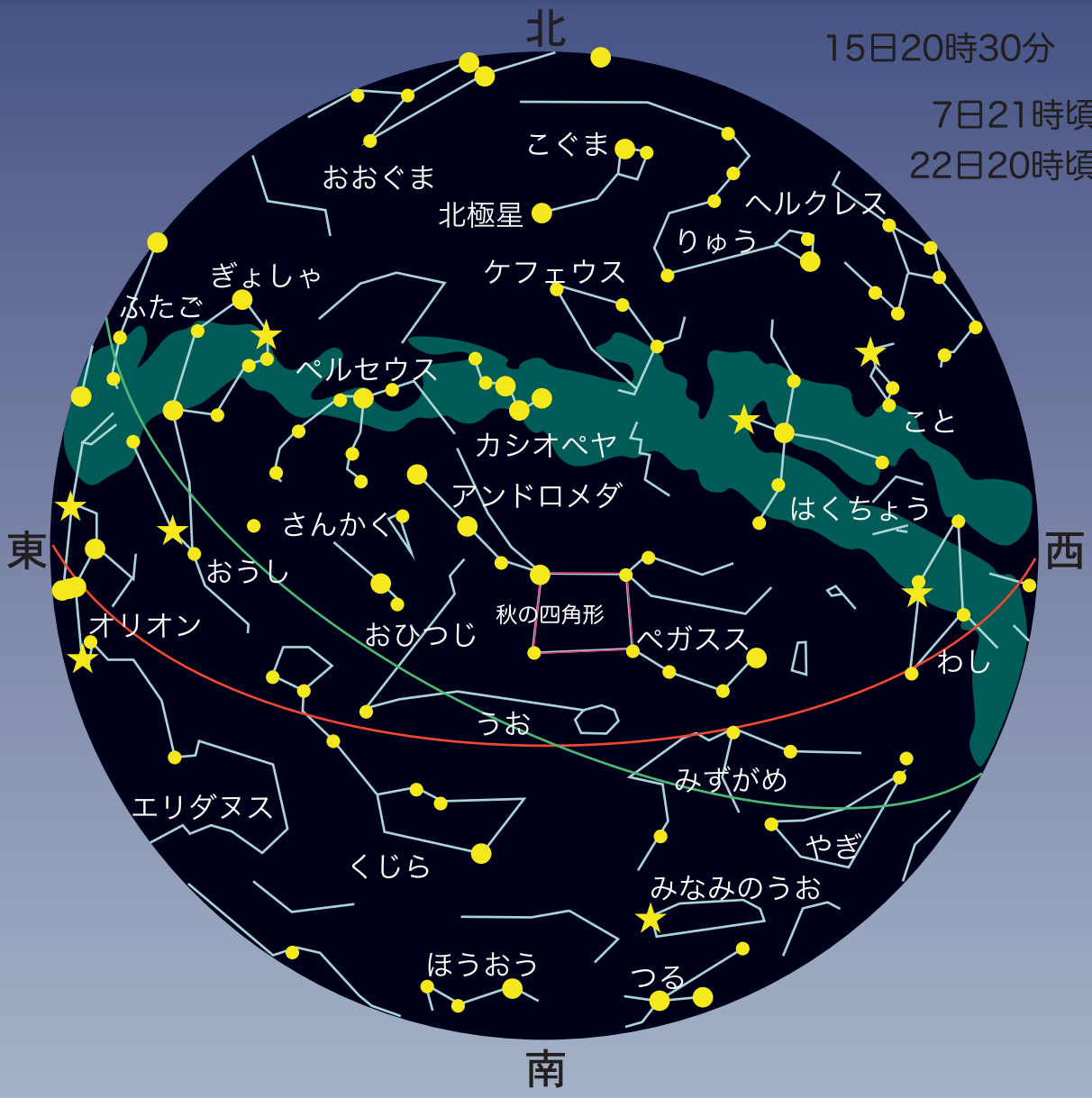
なお食事のお申し込みをされた場合、
３日前までは無料、２日前 20%、前日 50%、当日 100%のキャンセル料
をいただきますのでご了承ください。

＃友の会会員の特典のお知らせ

友の会の方は来園時に会員カードご提示で
　☆『喫茶　カノープス』の飲食代　10% OFF
　☆ ミュージアムショップ『twinkle』でのお買い物 1000 円以上で　10% OFF
になります。ぜひご活用ください。

ほしぞら
星空

2013年11月



11月のみどころ

いよいよアイソン彗星がやってきます。見頃は11月下旬から12月上旬にかけて。明け方、日の出前に東から上ってくるところを見ることになるので、この星空案内図は役に立ちません。ご注意を。

夜空から土星がいなくなって、観望会のスターが不在となっています。木星が観望会で見られるようになるのは12月に入ってから、今しばらくの辛抱です。

今月号の表紙

VTOSが捉えたベテルギウスの姿

9月に行われた日本天文学会秋季年会で発表された、なゆた望遠鏡＋VTOSによるベテルギウスの姿（自己相関像）。2005年以来、北見工業大学、兵庫県立大学、北海道大学が続けてきた可視光域における高空間分解能イメージングの研究で得られた成果です。

関連記事6～7ページ。

宇宙NOW No.283 2013年10月15日発行　発行：兵庫県立大学 自然・環境科学研究所 天文科学センター　定価200円
〒679-5313 兵庫県佐用郡佐用町西河内407-2 TEL:0790-82-3886(天文台) 0598(管理棟) FAX:82-3514 Email : harima@nhao.jp