

会報

Vol.35

astron

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

戌

亥

子

丑

午

未

申

酉

あすとろん 第35号 目次

光と影	西村昌能	1
おごそかに北極星を仰ぐかな	福澄孝博	9
第17回講演会、第9回通常総会、懇親会の報告	西村昌能	12
重力波がひらく新しい宇宙像	田中貴浩	18
ベテルギウスが爆発するって聞いたけど 超新星って何？	永田駿介	24
アメリカ大陸最古の太陽観測所	北井礼三郎	33
アストロトーク 初夏の星空	作花一志	38
高松塚・キトラ天文図と東アジアの古星図 2	宮島一彦	42
お知らせ	事務局	

表紙画像 月火土アンタレス
 編集子作成 ステラナビゲータ使用

裏表紙画像 札幌のライラック
 福澄孝博氏撮影 p9の記事参照

気象光学現象への誘い5 ～光と影～

西村昌能（元京都府立洛東高等学校）

はじめに

気象光学現象への誘いも最後の回になりました。さて、光のあるところには、必ず影があります。今回は光と影を紹介いたしましょう。

ヤコブの梯子

厚い雲が上空の強い風に流されて隙間を作り、雲が切れることがあります。真夏より秋や冬にそのような条件が現れることが多いようです。時刻によっては、その隙間から太陽の光がこぼれてくることがあります。隙間の大きさによっては、演劇のスポットライトのような光線が見え、厚い雲で暗くなった中に明るい光が伸び、何か神々しい雰囲気になります。この光景を「ヤコブの梯子」と呼んでいます。英語では“Jacob’s ladder”といいますが、ヤコブはキリスト教のあのヤコブのことです。ヤコブは双子の兄エサウより先に長子の祝福を受け、そのためにエサウから命を狙われて



逃げる途中で夢を見ました。旧約聖書の28章「ヤコブの亡命」には、「・・・彼はその所の石を取って枕とし、そこに伏した。すると、夢を見た。なんと、大きな梯子が地に突っ立って、その頂が天にとどいていた。そしてよく見ると、神の使いたちがそれを上り降りしていた。また、よく見ると、ヤハウエが彼のかたわらに立って、こう言うのであった。・・・」[1]とあります。ですから「天使の梯子・天使の階段」とも言います。「光の魔術師」レンブラントの絵画技法から「レンブラント光線」ともいわれています。科学的には、単に「光芒」といいます。

写真1 2004年11月28日10時頃

洛東高校地学準備室から見たヤコブの梯子 山科盆地に日があたる。

薄明光線と反薄明光線

太陽が地平線に隠れる時、太陽からの光芒がまるで旭日旗のように見ることがあります。これを薄明光線といいます。



写真2 薄明光線 2008年4月3日18時02分



写真3

左 京都市伏見区淀付近のサイクリングロードにて。薄明光線がきれいにみえた。
右 『福神江の鳴もうて』（落合芳樹、1869年）。恵比寿さまと大黒さまが千両箱を背負った馬をつれて江の島を訪れるという図。江の島の後ろから旭日が昇る[2]。

薄明光線は、地平線下に太陽があり、積乱雲のような背の高い雲が太陽の前にある時に見られます。雲の隙間から太陽光線が伸びていくのです。当然、雲の影も伸びていきます。写真2のように太陽が地平線の上にある時も薄明光線ということがありますが、そうすると薄明の意味がわからなくなりますが、慣例的な言葉として下さい。

平行光線の太陽光線が天球に投影されると放射状に広がったように見えます(写真2)。ですから薄明光線は太陽の反対側に伸びていきます。よく考えると天球に広がった光線は太陽の反対側(対日点)に収斂していきます。つまり、太陽の反対側にも薄明光線と同じ光景が見られるのです。この現象を反薄明光線といいます。

写真4は、夏の終わりの夕方に見られた反薄明光線です。太陽は西の山々に隠れましたが、東側に薄明光線と同じような光芒が見えたのです。このような時は太陽を大きな積乱雲が隠しているのです。雲の隙間からこぼれた光線と影が伸びたのです。



写真4 反薄明光線 2006年9月8日 18時09分 山科区にて東空に見えた夕方の反薄明光線 西側には大きな積乱雲があった。太陽はその積乱雲に隠れていた。山の向こう側は滋賀県、琵琶湖方面。

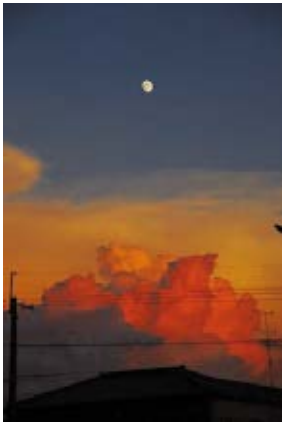


写真5 2008年8月13日の日没頃に東空に見られた光景手前の赤い雲は雄大積雲、後ろの明るい雲は積乱雲の頂上で、写真6につながる。青い空に月が見えていた。

薄明光線と反薄明光線は両者相まって面白い光景をみせることがあります。2008年8月13日18時48分頃に東空に雄大積雲が現れ、夕日に照らされて赤く見えました(写真5)。この頃、夕立・雷雨が多く、どんな雲が発生しているのか気になっていたのです。雄大積雲の後側は積乱雲に成長して左右に大きく広がっていましたが(写真5、6)。この雲をよく見ると左側が暗く見えます。もっとよく見ると空の左側が暗いではないですか。夕日が当たっていない証拠です(写真6)。これは、反薄明光線であることに気づき、すぐさま西空に目を向けました。ちょうど地平線下に

気象光学現象への誘い 5 ～光と影～

没した太陽からの光線が西から東に延びています（写真7、薄明光線）。西空の地平線には大きな背の高い積乱雲の様な雲が存在し、夕日の太陽光線を半分隠しているのです。



写真6 夕方、東空の反薄明光線



写真7 夕方、西空の薄明光線



写真8 飛行機雲の影
2007年3月14日15時40分
ころ。この日は、写真に
ある22度ハローや外接
円弧とパリーアークの
他、環天頂アークも見え
ていた。

写真8を見て、飛行機雲の影が雲に映っているのがわかりますね。では、影が映っている雲と飛行機雲とどちらがより高いと思いますか？ 写真9は、下層の雲に映る飛行機雲の影をその飛行機から見たものです。ジェット機は成層圏を飛んでいます。成層圏には雲はありません。ですから写真8は、そのような気象光学現象が見られる中層の高層雲に上空の飛行機雲の影が落ちていると考えるべきです。飛行機雲より上層の雲に影が映っていると見えるのは、錯覚です。写真8の太陽の右側の飛行機雲の影は右に、左の雲の影は左に落ちているのがその証拠です。

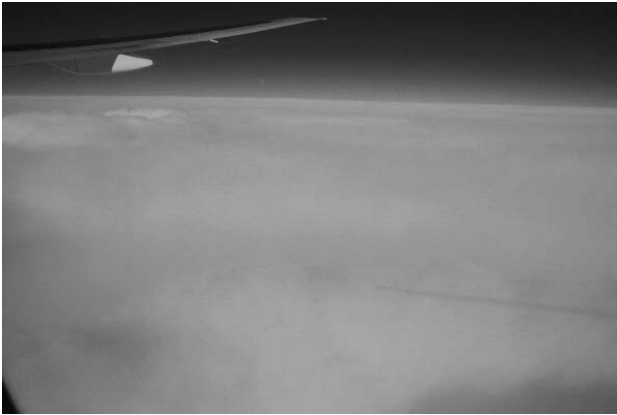


写真9 雲に落ちる飛行機雲の影 2006年12月7日 9時04分
飛行機の影には光環も見えている。



写真 10
壮大なマウナケア山の影
栗野諭美さんがすばる望遠鏡のそばで撮影。

背の高い雲はその影を天球に伸ばしていきました。山々の影も山頂から見ると例えば影富士のように伸びていきます。写真 10 は、マウナケア山の影、つまり影マウナケアです。

さて、これより大きな影はなんでしょう。そう、地球の影です。地球は球体ですから、太陽が地平線下であれば、大気に地球本体の影が映るのです。これは地球影と呼ばれるものです。晴れていれば、いつでも見えます。地球影のすぐ上に、赤色のゾーンがみえます。これはビーナスベルトと呼ばれる夕焼けの大気への投影（レーレイ散乱）です。写真 11 の地球影上部にビーナスベルトがみえています（写真 10 にも見えています）。



株式会社 西村製作所

代表取締役 西村 光史

〒601-8115

京都市南区上鳥羽尻切町 10 番地

TEL 075-691-9589

FAX 075-672-1338

<http://www.nishimura-opt.co.jp>

【事業内容】望遠鏡・天体観測機器製造



CHUO

天体観測機器・光学機器 設計/製作



豊かな想像力と確かな技術力

有限会社 **中央光学**

〒491-0827 愛知県一宮市三ツ井 8-5-1

TEL:0586-81-3517 FAX:0586-81-3518

<http://www.chuo-opt.com>

「準衛星」2016 HO₃ の発見

地球と共に太陽の周りを公転する小天体。地球の周りを回るように見えるが力学的な運動中心は太陽であり、真の月とは本質的に異なる。

<http://www.astroarts.co.jp/news/2016/06/222016ho3/index-j.shtml>

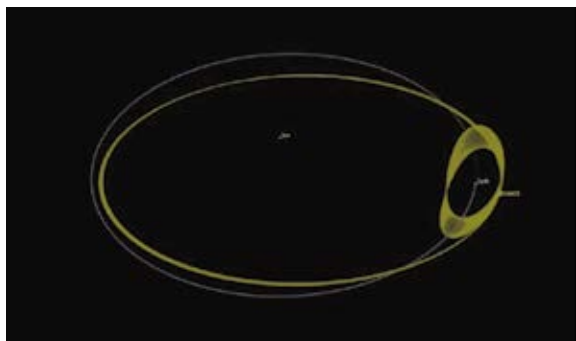




写真11 地球影 画像は八幡市から西の方角。地平線付近が薄暗くなっているのが地球の影（地球影）。

夜明け前の2007年12月5日6時40分ころ撮影

7時0分には日の出とともに太陽柱が観察された。

地球影は時刻とともに地平線から高く上がってきます。そして、空が完全に地球の影に支配された時を私たちは夜というのです。もし地球影の伸びる方向に月が来たなら、その月は満月で、地球の影が月に映った時、月食といいます。

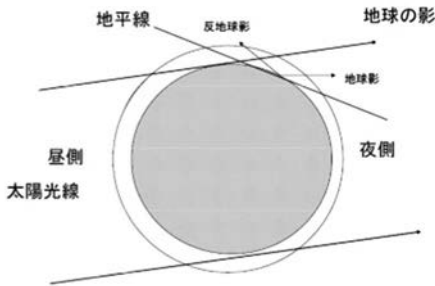


図1 地球影と反地球影（西村作図）

図1は地球影を説明するものです[3]。図を見て、私は太陽側にも地球の影が見える可能性があると思いました。太陽側でもビーナスベルトが見えますが、その下にほんのすこしだけ地球の影が見えそうなのです。この現象を私は密かに、反地球影と名付けましたが、まだ、しっかり確認できてはいません。

しかし、地球影は太陽の反対側から北側・南側の両方から太陽の沈んだ方向へ伸びていくことは観察されています。反地球影は、ビーナスベルトに重なって見えなくなることが多いと考えています。ビーナスベルトがあまり見えない状況では、反地球影が見えるのではないかと、夕方の西空を眺めています。

気象光学現象への誘い 5 ～光と影～

写真 12 と 13 は、第 61 回花山天文台天体観望会（5 月 12 日）の日没時に 45cm 望遠鏡の大ドームから見た南方向（写真 12）と西空（写真 13）の様子です。南側にも地球影がみえています。西側の写真は、愛宕山の左肩に太陽が沈んだあとの様子です。ビーナスベルトの下に南側に続く地球影が見えています。薄明光線も画像に見られますが、すこし前には、この時期には珍しい太陽柱が見えていました。



写真 12（2016 年 5 月 14 日 18 時 52 分）



写真 13（5 月 14 日 19 時 05 分）

文献

- [1] 「聖書」p108 責任編集 前田護郎 中公バックス 世界の名著 13
中央公論社 昭和 53 年発行
- [2] <https://ja.wikipedia.org/wiki/旭日旗>
- [3] 西村昌能 2008 「地球影と反地球影」京都地学 第 27 号 p26-p27

おごそかに 北極星を仰ぐかな

福澄孝博（北海道大学大学院工学研究院）

はじめに

先号のあすとろん、裏表紙、糸永さんの美しい桜の写真に触発されて、「北の街も花盛り」よろしく、ライラアック[リラ]：札幌市の木の写真を撮ってみた（@5月22日、大通公園ライラックまつり会場）。ま、これだけだとなんなので、少々賑やかしにと、北の星[空]あれこれについて綴ってみたのでご覧いただければ。

1 北極星が高い！

なんといってもさすが北の街、北極星が高いのである。因みに本稿のタイトルは札幌農学校恵迪寮明治四十五年度寮歌「都ぞ弥生」の一節であるが、まさに『仰ぎ見る星』である（上方通過の北斗に至っては、首が痛い）。同じく旧制高校の歌、第七高等學校造士館大正四年第十四周年紀念祭歌の一節「北辰斜にさすところ」と好対象である：こちらでは、前口上で「仰げば北斗、爛々として」と北斗七星の方を見上げるのである。

ご参考までに：第七高等學校は今の鹿児島大学教養部、北辰とは北極星のこと。

2 北の空、赤い！！

オーロラの話ではない。札幌で、曇天の日に夜空を見上げるとよく解るのだが、空全体が赤っぽいのだ。理由は低圧ナトリウムランプ。高速道路トンネルに使われている、あのオレンジ色のやつだ。トンネルで使われるのと同じ理由で、吹雪で視界が悪いときも遠くまでよく光が通り照らされるので、視界が確保できることから街灯に広く使われている：ナトリウムのオレンジ色は粒子に散乱されにくい。雲は不気味にオレンジに光り、「光害（光漏れ害）対策」などは考慮されておらず、北の街、夜空は悲しいほどに星が見難いです：郊外に少し外れると流石に暗いのだが。

※ここでちょっと休憩(笑)

次の写真、いったい何の写真だかお分かりになりますか？

[ヒント?]北の街では今頃から良く見られる光景なのですが…

答えは、p37で。



3 北の、星の風習も少し

今の季節、七夕行事にちなんで、北海道ならではの七夕に行われる風習もお知らせしよう。「ローソクもらい」だ。子ども達が「ローソク出せ出せよ。出さねばかっちゃぐぞ」などと歌いながら（地域により歌詞が微妙に違う：かっちゃぐ、は北海道弁で“引っ掻く”のこと）近所を回り、ローソクやお菓子を貰って歩く、というもので、青森のねぶたの準備に起源を持つ（入植者が伝えた）らしい。他にも「佐渡で行われていた」と文献にあるらしいのだが、佐渡での現存は今のところ確認されていない。

4 そして、私の活動

さて、私は現在北大で博士研究員として勤めているのだが、その他にも北大総合博物館のボランティアとして6年前からその運営（のお手伝い）に



写真1：総合博物館
正面(旧理学部本館)

携わっている。担当している分野の1つが、花山でもおなじみ、Mitaka を使った、「宇宙の4Dシアター」である。北大の4D公演の特徴は、パイロット（Mitaka を操作する人）とナビゲーター（前で案内する人）に別れていること、多くのプログラムで二人での掛け合いのナビゲーターになっていること、である。既にいくつか、オリジナルなプログラムも用意しているが、特に後者の特徴はあちこちで「掛け合いとは珍しいですね。面白いですね」と興味がられて好評だ（一人だけでナビゲートする番組も中にはある）。残念？ながら現在博物館は耐震工事で休館中だが、来る7月26日にリニューアルオープンすることも発表された（HPではカウントダウンも設けられている：蔵出し映像付）。今回再開するにあたり6～9月の夏季期間中（北の大地の、なんと夏の短いことよ）は新たに金曜日21時まで開館延長されるのだが、まだ構想段階ながらも「観望会と4Dを組み合わせたイベントも楽しいよね」、と話しているところだ。実現できればまさに愉快な一夜[ひとよ]となろう（流石に毎週、とはいかないだろうが）。北海道はなかなか遠くて…と考えられるかもしれないが、皆さんが訪問できるチャンスも各段に増えるというもの、機会あれば、是非覗いていただききたいものである。

See you in 北の大地!



写真2：北の大地からもう一つ、北大のシンボルマークでもあるオオバナノエンレイソウ

第 17 回講演会、第 9 回通常総会、懇親会の報告

西村昌能 (NPO 花山星空ネットワーク)

1) はじめに

5 月にしては、かなり暑い日がやってきました。30℃を超える快晴の日でしたが、176 名ものたくさんの方が、会場に来て下さいました。あまりにも講演会に参加申込された方が多かったので、当初予定の会場を広い理学部 6 号館 4 階の教室に変更しました。



写真 1 広い会場を埋め尽くす参加者の皆さん

まず、柴田副理事長から挨拶がありました。その中で、「良い話として岡山新望遠鏡の動きと悪い話として、資金難で、花山天文台も苦しくなっているの、援助の方をよろしく願いいたします。もう一つ、良いニュースでは、本日の講演者である土井隆雄さんが早速、NPO 法人に入られたのです (拍手)。」

黒河理事長の挨拶が続きました。「今年は NPO 創立 10 周年になります。平成 18 年 4 月 27 日、法人として、平成 19 年 6 月には、NPO 法人格取得の 10 周年になります。10 周年の記念に、来年のアメリカ日食をオレゴン州セイラム市で観測を計画しています。」

続いて青木さんが、京都千年天文学街道ツアーの説明を行いました。

2) 講演会

柴田先生から講師の土井隆雄さんの紹介をしていただきました。「土井さんは、東大の工学部航空宇宙学科で工学博士取得、宇宙開発事業団宇宙飛行士認定を取得され、2回の宇宙滞在の間に、ライス天文学博士課程修了で理学博士を取得された方です。日本人で初めて船外活動をされた総理大臣賞を受賞されています。また、アマチュアとしても有名で、超新星を2個発見されています。日本天文学会の表彰を2回受けられていますが、そのうち一回は表彰式に出られませんでした。それは宇宙におられたからです。今年から京都大学宇宙総合学研究所ユニット特定教授に就任されました。私(柴田)と同じ年で任期も同じです。最強のパートナーを得ることができました。」



写真 2 最初の講師の土井隆雄さん

講演 「宇宙をめざせ」 土井隆雄さん

「京都に来る前はウイーンにいました、古い都で京都と共通点もあります。ウイーンの前は20年以上も宇宙ミッションの仕事をしていました。私は、中学生の頃から星が好きで、アマチュアで天文観測をしてきました。花山天文台は、アマチュア天文家の聖地ですからしっかり守っていかねばなりません。」と挨拶をされてから、優しい口調のゆっくりとした語りで会場を魅了されました。講演の詳しい内容は土井さん自身から次号で報告をしていただきます。

たくさんの質問も出ました。

第 17 回講演会、第 9 回通常総会、懇親会の報告

質問：宇宙から見ると太陽はどのように見えますか？何色ですか？

答え：太陽は真っ白に輝いています。

質問：ソユーズはパラシュートで着陸するそうですが、宇宙船は？

答え：ソユーズは、3つの部分からできていて、丸い帰還船がシベリアに着陸します。パラシュートが開きますが、その時、10G の力が働きます。強い加速度が体にかかりますから、これが問題です。

質問：宇宙ステーションと地球環境の違いは何ですか。

答え：ステーションの中は地上と同じようにしています。酸素濃度も地上と同じ、湿度だけは 30% で、1 気圧です。

質問：宇宙での出産やこどもの成長は？

答え：研究中です。

質問：病気になったらどうしますか？

答え：まず、病気にならないよう健康管理を徹底的にします。体を鍛えて健康にするのです。しかし、宇宙にいても風邪をひいたり、頭痛になることもあります。その時は、地上から医師が指導して強力な薬を飲みます。大きな怪我をすると、宇宙飛行士が手術をします。それが無理な怪我なら、緊急に 6 時間で地球に帰還するプロトコルがあります。

質問：有人火星探査は？

答え：十分、可能だともおもいますが、2年から3年かかるので、壊れない機械システム。長時間の放射線被曝や無重力問題の解決。回転で模擬的な重力を作る工夫だとか。最大のネックは、宇宙服の重さです。現在の宇宙服の重さは 130kg で、月では、20kg 相当になります。これなら実用ですが、火星では 40kg になります。重くて使えません。技術的なもので克服できると考えています。アメリカは 2030 年に火星探査を考えています。

質問：宇宙服を着るのに、どれくらいの時間がかかるか？

答え：スライドにあったオレンジ色のものは自分で 10 分くらいで着られます。しかし、白い船外服は、時間がかかります。下半身を着て次に上半身に潜り込むのですが、クルーが助けてくれて 30 分かかります。

司会者が変わり、作花理事。

講演 重力波がひらく新しい宇宙像

「田中貴浩先生です。京大大学院理学研究科教授 物理・宇宙物理学専攻 天体核研究室 天体核研究室は昔から京大で一番優秀な方が集まるところでした。」



写真3 素敵な笑顔の田中先生

「スライド2枚で一般相対論がわかる。」とのっけから軽妙な語り口で、難しいことを、すらすらドンドン、聴衆に微笑みながら伝えられていかれました。スライドには、ご自身が書かれた説明図があり、これが、より難しいはずの講演を楽しいものにしていました。

田中先生にもたくさん、質問ができました。

質問：重力波観測装置は世界中で建設しているが、東大の村井名誉教授の測地の話を聞くと毎日、地面は揺れていると聞くが？

答え：地面は動いている。ゆっくりとした動きは良いが、10hz くらいのものは宇宙に置くと観測できるようになる。

質問：重力は求心性なものだと思うのですが。

答え：音や光が伝わる性質を空間は持つ。一般相対論ではものがあるとき空が曲がる。その曲がり具合が伝わるのです。

質問：新しい観測装置をアメリカがインドに作るというが、南半球に作れば、良いのに。オーストラリアという考えもあったが、こうなったのは？

第 17 回講演会、第 9 回通常総会、懇親会の報告

答え：お金の問題です。

質問：TAMA と KAGURA とはサイズは違う。

答え：TAMA もやるのでは。観測ではないと思いますが。

質問：地球をつんつんしたら、重力波が生まれのか？

答え：君が地球でびよんびよんしても出るが、大変弱い。

質問：超弦理論と重力波との関係は？

答え：超弦理論から宇宙の説明ができていない状況です。重力波を詳しく観測してくると一般相対論のほころびが見えてくる。

質問：太陽からの重力波の検出は？

答え：太陽から遠く離れたところで波になるのです。波長もパーセクくらいの波で振幅も大きくない。重力波はコンパクトな天体で動いていないとでない。

作花：最初の観測から数年経つとたくさん、普通に見つかるでしょうね。

答え：1年に何個も観測できて、統計的に研究ができるようになるでしょう。

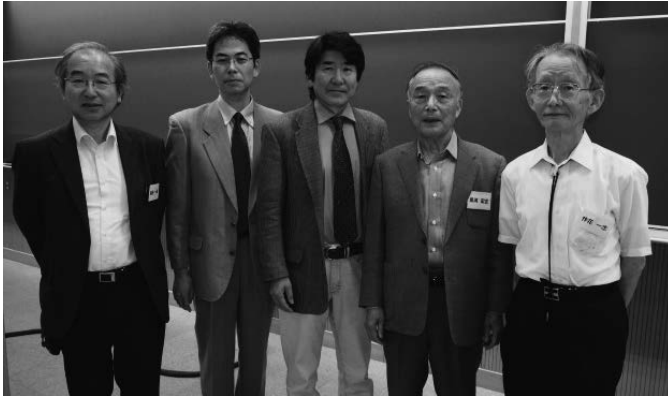


写真 4 講演会を終えて記念写真 左から 柴田副理事長、
田中貴裕先生、土井隆雄先生、黒河理事長、作花理事

さて、休憩を挟んで 16 時 30 分から第 9 回通常総会が開催されました。黒河理事長の挨拶と NPO の活動報告がありました。

正会員 375 名で総会の成立はその 1/2 の 188 名の出席または委任状が必要です。今回の総会出席者は 66 名、委任状提出者が 177 名で総会成立し、議長として上善氏にお願いすることが決定されました。また、議事録署名人が、上善議長、黒河理事長、柴田副理事長とすることも承認されました。

議事

第 1 号議案 平成 27 年度事業報告・会計収支報告・会計財産目録・会計貸借対照表

監査報告は西川宝監事から行なわれました。

第 2 号議案 平成 28 年度事業計画書・会計収支予算書

柴田副理事長から、事業計画の天文台野外コンサートは 10 月 15 日になりましたとの補足がありました。会計収支予算書の説明で、今年度は「子ども飛騨天体観測教室」に対する子ども夢基金からの助成金をもらえなくなった分と、アメリカ日食の準備金で収入合計と支出合計の差が-90 万円になっているが、これまでの貯金があるので大丈夫である、との説明がありました。

全ての議案が採決の上、承認されました。

続いて、理学部セミナーハウスに移動して懇親会になりました。参加者は 60 名でした。懇親会の前に、全員で記念写真を撮りました。総会では、講演会講師の土井隆雄さん、田中貴裕さんも参加され、スピーチがありました。

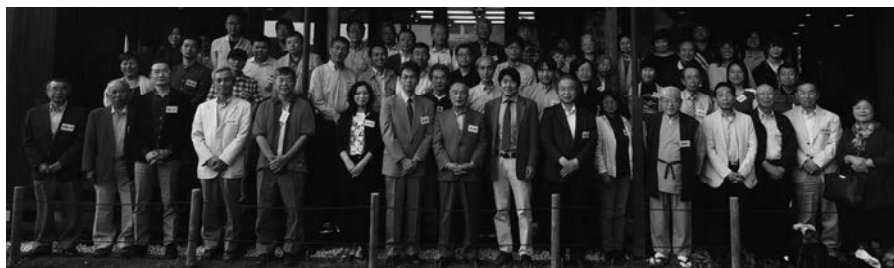


写真 5 懇親会開始前 理学部セミナーハウスにて

重力波がひらく新しい宇宙像

田中貴浩（京都大学大学院理学研究科）

重力波って何なの？

2016年2月11日に米国の重力波観測装置 LIGO が初の重力波直接検出を報告しました。アインシュタインによる一般相対論と呼ばれる重力の理論の定式化が完成したのが 1915 年、その理論の帰結として重力波の存在が予言されたのが 1916 年だと言われています。重力波の予言から 100 年の歳月を経て、ようやく人類はその直接検出に成功しました。検出は 2015 年 9 月 14 日であったので、GW150914 と命名されました。

まずは、重力波が何であるかを解説したいと思います。重力波とはその名のとおり「重力」の「波」です。しかし、理科の時間に習うニュートンの万有引力の法則では、「二つの物体は互いの質量に比例して、距離の二乗に反比例した力で引き合う」と述べるだけです。こんな力が波として伝わると言われても、意味がさっぱりわかりません。電気や磁石の理論である電磁気学における波、すなわち、光についても同じく、意味のわからない説明ができます。磁石と磁石を近づけると磁気力がはたります。静電気を持ったプラスチックと髪の毛が引き合うのは電気力のせいです。このような磁気や電気力が波となって伝わるのが光です。しかし、この説明ではさっぱりわかりません。

「光が波である」という説明が腑に落ちない理由は、ここで磁気や電気力を物体間に直接はたらくものと捉えるからです。本当は磁石や電気を帯びた物質が、そのまわりの電場や磁場といった量を変化させると捉えるのが正しい考え方です。その様子は、「柔らかい膜の上に物を置くと、膜がたわみ、そばにある物も膜の勾配によって力を受ける」という現象に類似しています。電場や磁場の場合、この膜の役割をするものは、電場や磁場、あるいは、ポテンシャルなどと呼ばれます。このような膜のたわみのようなものなら、それが波として伝播するのも合点がいかないでしょうか。あたかも水面に石を投げ入れたときに水面に立つ波のようなものです。ここで、重要な類似点は、膜も電場や磁場も自分の周りの影響で変化するという点です。膜の上に物を突然置いたとき、膜全体が瞬間的にたわんだ状態になるわけではありません。最初の瞬間にたわむのは物を置いた極周辺のみであって、それが波となって伝わり、膜がたわんだ最終的な状態に落ち着きます。このような力を「近接相互作用」と呼びます。

ニュートンの万有引力の法則においても、ポテンシャルを考えることはできます。しかし、ニュートン重力におけるポテンシャルは各瞬間の物質の配置だけで完全に決定されます。そのような理論では波は発生しません。重力の波が出現するには、電磁気学と同じような近接相互作用の理論である必要があります。そのような近接相互作用の重力理論の代表格としてアインシュタインによって提唱された一般相対論があります。

一般相対論って、何？

アインシュタインが一般相対論を現在知られる形で最初に呈示したのは1915年だといわれています。この理論の発想の根底には「等価原理」という観測的事実があります。「等価原理」は、「重力以外の力がはたらかない状況では、あらゆる物質の運動が同じである」ということを指します。重力が「等価原理」を満たすという顕著な性質は他の力とまったく異なり、とても不思議です。

「等価原理」を説明するためにアインシュタインは曲った時空というアイデアを提案しました。曲っていない空間はユークリッド空間と呼ばれます。ユークリッド空間の幾何を中学、高校で学ぶのは、それが現実の世界によく合うからです。しかしながら、曲った空間を考えることも可能です。その簡単な例としては球の表面が挙げられます。たて、横、高さのある私たちの3次元空間はほとんど曲っていないので、曲った3次元空間を想像するのは困難です。そこで、ひとつ方向をサボって、2つの方向しかない2次元の球面を考えましょう。球面の上に張り付いた2人の観測者を想像します。球面を地球儀だと思ったときに赤道面上から2人の観測者がまっすぐ北極を目指したとすると、赤道面を出発する際には2人の観測者は並行に移動をはじめることになります。この2人は各々直進しているにもかかわらず、やがて北極で会うことになります。この様子は、重力がはたらいて引きあう二つの物体の運動に似ています。

アインシュタインが曲った時空を用いて重力を記述した方法はとても簡単です。“重力がはたらく” = “時空が曲ること”と考えます。重力以外の力がはたらかない物体は単に曲った時空上を直進します。すると、物体が何でできていようが同じように運動することは当然です。重力はもはや存在せず、単に、物体は直進を続けているだけで、直進はどういう物体にとっても同じという理屈です。しかし、時空が曲っているせいで、直進しているだけの2つの物体の間隔は自然と引きあうという具合です。(一般相対論に興味を持って頂いた方は[1]も御覧下さい。)

重力波に話を戻しますと、この時空の曲がりや波となって伝わるものが重力波です。電磁波の場合には電場や磁場といった少々得体の知れないも

重力波がひらく新しい宇宙像

のが波となったものが光だという話でしたが、それに比べれば時空の曲りの方が直観的にわかりやすすくないでしょうか。水面の曲がりやが伝わった水面に立つ波のように。

重力波を捉える

重力波を直接観測するには、波立つ時空を捉えることです。波立つ時空上に置かれた二つの物質の運動は、でこぼこな面の上を直進する2人の観測者の運動のようなものです。2人の観測者は間の距離はでこぼこのせいで近づいたり離れたります。この距離の変化を捉えることが、重力波検出です。

この距離の変化ですが、今回検出された重力波の場合その振幅は最大で 10^{-21} しかありませんでした。これは地球と太陽の距離が、原子の大きさ1個分程度変化したに過ぎません。このような微小な距離の変化を検出するには強力なレーザー光線と、光の干渉現象を用います。光は電場や磁場の作りだす波だと説明しました。この波がきれいにそろった状態がレーザー光線です。図1のようにレーザー光線は半透過の鏡によってふたつの方向に分けられます。二つに分けられたレーザーは折り返されて再び重ね合わせられます。このとき波の山と山同士が重なり合えば強め合い、逆に山と

谷が重なると弱め合うこととなります。レーザーの入射方向とは90度回転した方向へ出てくるレーザー光線については、山と谷が重なるようにしておけば、こちらの側へ漏れ出てくる光はなく、レーザーは全て入射方向へと戻っていくこととなります。しかし、重力波の到来のせいで鏡の間の距離が変化すると、これまで光が漏れ出していなかった方向に光が漏れ出てきます。非常に強力なレーザー光を使うことで、鏡の間の距離

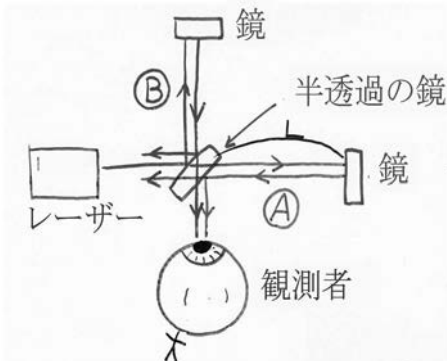


図 1

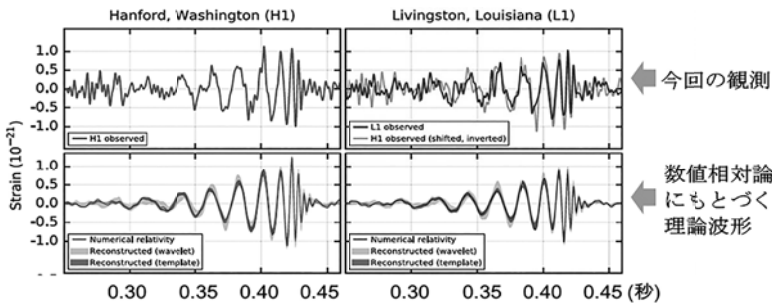
のわずかな変化をも捉えることが可能になります。実際の装置には、重力波に対する感度を高める様々な工夫がされていて、ここまで単純ではありませんが、おおよその原理はこれで理解することができます。

重力波の初検出

冒頭に述べました GW150914 を検出した LIGO はアメリカが建設した重

力波検出装置です。腕の長さが 4 キロメートルもあるレーザー光の干渉を測る装置です。4km の腕をもってしても、今回の重力波イベントにおける腕の長さの変化は、原子核の大きさ程度に過ぎません。LIGO は 2 台の検出器を持っており、2 台の間は 3000 キロメートル離れています。この 2 台の検出器で同時に信号を検出することで確かに重力波がやってきたことを確かめました。その波形は図 2 の上段のようなもので、見た目にも信号らしいものが来たことがわかります。このことから、信じ難いような微小な距離の変化を人類が捉えることに成功したということがまずはわかります。そして、2 台が同時に検出したことから、宇宙を伝播してきた重力波が引き起こした信号だと確信することができます。

重力波の直接検出以前にも重力波の存在を示す観測事実は存在しました。それはパルサーと呼ばれるパルス状の電波を出す天体の観測がもたらしたものでした。パルサーは超新星爆発の後に芯の部分に残る高密度天体である中性子星だと考えられています。太陽質量程度の物質が半径十数キロメートル程度にまで押しつぶされており、巨大な原子核と形容されます。パルサーのパルス周期は非常に規則正しく、その周期の変動からパルサーの視線方向の運動がわかります。連星を成すパルサーの場合、パルス周期の解析から、連星の公転周期、軌道の扁平度、連星のそれぞれの質量も見積もることができます。このようなパルサー連星を長い間観測すると公転周期の変化が見えてきます。観測された変化率が、一般相対論に基づく重力波放出によるエネルギー損失による変化率と極めてよく一致することから、重力波が確かに放出されていることが確かめられました。重力波放出でエネルギーを失うと連星が近づき公転周期が短くなるというのは、人工衛星が大気との摩擦でエネルギーを失うと落下してくるのと同じような話です。このように重力波が放出されていることはわかっていたいましたが、その重力波が遥か彼方からきちんと伝播してくるかは確認されていませんでしたが、今回はじめてそれが実証されました。



The Physical Review Letters 116, 061102(2016)より

図 2 (文献[2]より)

図 2 の下段は 2 つのブラックホールが合体で放出される重力波の理論波形です。一般相対論の方程式は簡単に解ける形をしていないのですが、近似計算の手法の発展と、コンピュータを用いた数値計算によって重力波の波形を十分正確に予測できるところまで理論が発達してきています。この理論波形との一致から、初検出された GW150914 というイベントがブラックホールの合体であることがわかります。重力波の振動周期は少しずつ短くなり、やがて急激に信号が弱くなっています。このような信号は連星が重力波を放出することでエネルギーを失い、徐々に近づき、最終的に合体する際に生じる典型的な信号と考えられています。周期の変化の速さから連星のおよその質量がわかります。同じ周期ならば重いものの方が速く周期が変化します。このことから GW150914 はおよそ太陽質量の 60 倍程度の質量を持つ連星であるとわかりました。普通の星を考えると、今回観測されたような短い周期の重力波を放出するまで連星が接近するよりずっと以前に星の表面が接触して合体してしまいます。観測された周期に達するまで合体しないで連星を保つ天体はブラックホール以外には考えられないのです。

ブラックホールは星が潰れてしまった後にできた、時空にポッカリ空いた穴のようなものです。ブラックホールに吸い込まれたら最後、戻ってくることはできません。そんな天体が現実存在することを示唆する観測は、実はこれまでもありました。ブラックホールと連星をなす伴星からガスが降り積もり輝く様子を X 線等で観測し、ブラックホールに達しないとされている天体は数多くあります。それらはブラックホール候補天体と呼ばれています。しかし、今回の信号はブラックホールの連星合体としての理論予想に重力波の波形が見事に一致したという点で、これまでとは少し質の違う存在確認がされたこととなります。

このような連星の合体の瞬間が捉えられたというのが、信じられないくらいラッキーなことではなければ、同じようなブラックホール連星がこの宇宙にかなりたくさん存在していることを今回の初重力波検出は示唆しています。現在の星とは異なり、あまり多くの重元素ができる前の宇宙初期に生成された星がこういった大質量ブラックホールの起源ではないかという考えや、もっとさかのぼった宇宙初期に作られたのではないかという考えなど、様々な説が現時点では可能です。いずれの説を採用しても、ブラックホールが我々の宇宙にかなり大量にあるという点では共通しています。

重力波天文学の今後

今回は LIGO が重力波初検出の栄誉を得たわけですが、LIGO 計画の予算が最初についたのは 1992 年でした。最初のデータ取得が 2001 年ですか

ら、それから数えても 15 年ほどかかったという計算になります。日本でも現在 KAGRA という腕の長さが 3 キロメートルの重力波観測装置が建設され、LIGO に追いつこうと努力がなされている最中です。KAGRA がスタートしたのは 2009 年のことですから、そう簡単に追いつくことが難しいことは容易に想像できると思います。しかし、日本はこれまでに TAMA300 に代表されるように小規模の重力波検出装置の建設を複数手がけており、その経験が活かされることを期待しています。日本以外にもフランスとイタリアによる Virgo、LIGO のコピーをインドに建設するという LIGO-India という具合に重力波観測網の充実が予定されています。今回は 2 台による観測で、その相対的な信号の到達時刻のずれ、強度の比などから重力波の到来方向を推測していますが、600 平方度程度の天球上の大きな領域内に重力波源がある確率が 90% という程度にしか方向を絞り込むことができていません。これでは、重力波源で何が起きているのかを、重力波以外の別の手段で確かめようにも、どこに望遠鏡を向ければよいのかかわからないという状況が起きている。しかし、近い将来、複数の検出器で重力波到着時刻の差を測ることで、到来方向の決定精度が飛躍的に向上し、対応する天体現象を同定できる日が来ると期待しています。

また、今回の観測はブラックホール連星でしたが、当初より、最も存在が確からしい重力波源として、中性子星連星が筆頭に上がっています。中性子星連星の合体はガンマ線バースト(高エネルギーの光で短時間非常に明るく輝くバースト現象)の内、2 秒以下の短い継続時間をもつ種族の起源ではないかという説が有力です。重力波とガンマ線バーストの同時観測によって、長い間謎とされてきたガンマ線バーストの理解が飛躍的に進展する日が目前に迫っているのかもしれない。

今、まさに、はじまったばかりの重力波天文学ですが、さらに重力波検出装置を宇宙に打ち上げて、地上では観測できない低周波の重力波を観測する計画もあります。この計画が実現されると、銀河中心にあるとされる巨大ブラックホールがどのように合体成長してきたかが解き明かされると考えられています。今後のめくるめく重力波天文学の発展に御期待下さい。

参考文献

- [1] 田中貴浩「一般相対論 その世紀と現在」パリティ 2015 年 4 月~2016 年 3 月まで 12 回連載
- [2] The Physical Review Letters 116, 061102(2016)

ベテルギウスが爆発するって聞いたけど超新星って何？

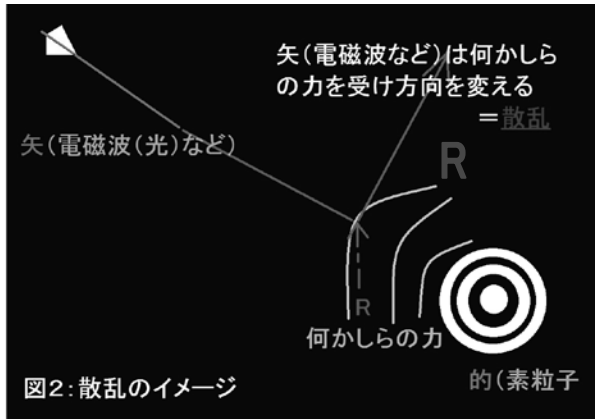
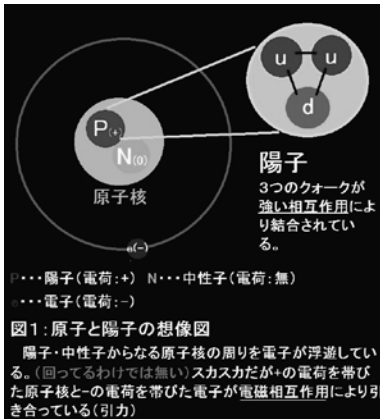
永田駿介 (NPO 花山星空ネットワーク)

ベテルギウスが超新星爆発するかもしれないと少し前からニュースなどでも取り上げられています。ですが、超新星爆発とは何のことでしょうか？今回は少し詳しく超新星爆発について説明しようと思います。

超新星は主に2つに分けられます。1つは「重力崩壊型」でベテルギウスはこれにあたります。とても質量の大きい（だいたい8太陽質量^{*1}以上）星がその一生を終える時自分の重さに耐え切れず大爆発を起こすというものです。もう1つの「核爆発型」は連星系の天体の爆発で、主系列星や赤色巨星のガスが白色矮星に降り積もり、白色矮星が重さの質量限界（チャンドラセカール質量限界）を迎え爆発するという「単独白色矮星説 Single Degenerate : SD 説」と白色矮星同士が衝突するという「二重白色矮星の合体説 Double Degenerate : DD 説」の2つの説があります。どの重さの星がどのように死ぬのかは以前あすとろんに記事を書いているのでそちらをご覧ください。また、本記事では重力崩壊型にスポットを当てて説明していきたいと思います。

超新星の説明をする前に一つ、あまり馴染みのない粒子について簡単に説明します。実はこの粒子、超新星ではかなり重要で、これが無いと超新星爆発は起こらないかもしれないのです。（詳しくは後ほど）その粒子は「ニュートリノ」という素粒子です。まず素粒子って何のでしょう。私は今Macbookを使用してこの記事を作成しています。このMacbookを分解するとCPU、メモリ、SSDなど各パーツに分解できます。その各パーツもネジ1本に至る（最小のパーツ）まで分解することができます。それと同じようにこの世にあるもの全て、分解することができます。人の体も各臓器や骨に分解でき、それを構成する細胞・・・など徐々に分解できるはずです。Macbookを構成するネジなどのパーツも人の体も分解していくとどちらも最終的に原子になります。あくまでイメージ図ですが図1が原子です。真ん中にある原子核の周りを電子が浮遊しており、原子核は陽子と中性子から構成されています。単純な作りですが、電子、陽子、中性子の数が変わることによってさまざまな原子を作り出します。電子はマイナスの電荷を、陽子はプラスの電荷を、中性子はどちらでもない中性の電荷を持っており、電子と陽子は同じ数で電氣的に中性となります。この電子、陽子の数が原子番号です。陽子、電子の数が1なら原子番号1の水素となり2ならヘリ

ウムとなります。



では、原子を構成する電子、陽子、中性子をさらに分解してみましょう。陽子・中性子は3つの「クォーク」という素粒子に分解できます。これ以上は分解できません。電子は「レプトン」という分類の素粒子そのものですのでこれ以上分解できません。ここで素粒子という言葉がようやく出てきましたが素粒子とはこれ以上分解できない物質を構成する最小単位のことを指します。

素粒子はとてつもなく小さいです。大きさはわかりません。ただし計算上大きさがゼロでも問題が無いのでそもそも大きさという概念がありません。それくらい小さいのです。それよりも重要なのは「散乱断面積(記号: σ)」と呼ばれるものです。わかりやすく説明するために弓道を思い浮かべてください。放された矢は一直線に的に向かって飛んでいきます。これを電磁波(光)などだと思ってください。的は素粒子です。普通なら矢は的に当たりますが的からは何かしらの力が出ていてある一定の距離(R)になったらその力で矢は方向を変えてしまう事とします。同じように素粒子から出る電磁気力や重力などさまざまな力によって電磁波(光)はある一定の距離(R)になったら方向を変えます。(図2参照)これが散乱です。この時の散乱の効率を表すために、 π を円周率として以下の式が与えられます。

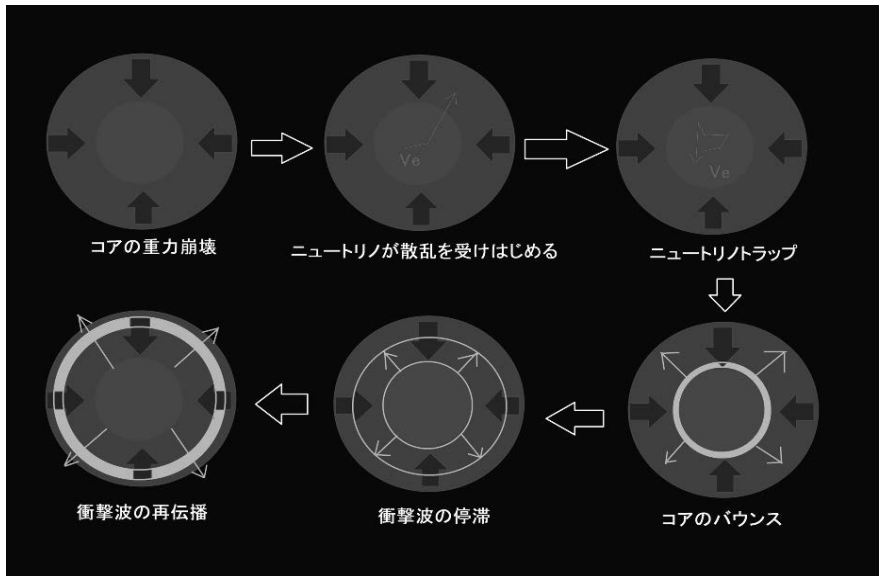
$$\sigma = \pi R^2$$

これが散乱断面積です。これが大きいと散乱されやすい、小さいと散乱されにくいという事になります。

ベテルギウスが爆発するって聞いたけど超新星って何？

さて、ニュートリノに話を戻します。ニュートリノも素粒子の一つで電子と同じ「レプトン」に分類されます。クォークは強い相互作用と呼ばれる粒子間に働く特殊な力によって結びつき陽子を形成します。電子(-)と原子核(+)は電氣的に引き合う力によって結合します。磁石がNとSではくっつき、NとNでは反発し合うという感じのイメージです。これを専門用語では電磁相互作用といいます。しかしニュートリノは電荷を持ちません。ですので電磁相互作用は起こらず、また、強い相互作用も起こらないので身の回りにある物質を構成する事ができません。ただしニュートリノは小さいながらも質量があります。地球上にいる私たちは地球の重力によって地球に引っ張られているので立っている事ができます。地球の重力が効かない宇宙にいる宇宙飛行士たちは立っている事ができず浮いています。それと同じように質量のある粒子はお互い引っ張られます。これを「重力相互作用」と呼ぶのですがニュートリノの質量は非常に小さいのでこの作用はほとんど働きません。ニュートリノは「弱い相互作用」と呼ばれる弱い力で反応します。しかし「弱い相互作用」は素粒子レベルまで近づけないとはたきません。

つまりニュートリノは、先ほどの散乱断面積が非常に小さいという事になります。そこまで近づく事は滅多になくニュートリノは物質の間を通り抜けてしまいます。ですがこれから紹介する超新星爆発前での星の中心部はとてつもない環境です。普通はいかなる物質もすり抜けてしまうニュー



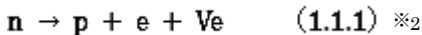
トリノがどうなるのでしょうか？超新星爆発のメカニズムを順を追ってみていきましょう。

1. コアの不安定化

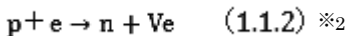
超新星爆発は中心部「コア」が不安定になり 重力崩壊することによって起こります。星の重力エネルギーと内部エネルギーの関係を表す「ビリアル定理」から星の全エネルギーを求める事により星が安定して存在できる臨界値を求める事ができますが非常に難しい計算をするので今回はある一定の値を超えたら不安定になると覚えてください。星を不安定にさせる要素として「電子捕獲反応」と「光分解」があります。

1-1 電子捕獲反応

中性子(n)はベータ崩壊という放射性崩壊を起こします電子=e。 陽子=p。ニュートリノ=Ve。 とすると



という風に中性子が崩壊して陽子、電子、ニュートリノになります。この逆反応は普段ではまず起こりません。ですが、超新星爆発前の星のコアは密度が非常に高いです。そのような環境下では逆の反応



が可能となります。電子が捕獲されるので電子の数がどんどん減っていきます。

晩年期の～10 太陽質量の星のコアは高密度です。密度がある程度高くなると電子の縮退という現象が起き、その圧力（縮退圧）でコアが支えられています。当然縮退する電子が減ればコアは不安定になり、重力崩壊への道を辿っていきます。

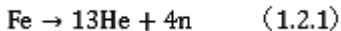
8～10 太陽質量の星は核融合（光分解の項で説明）で酸素(O).ネオン(Ne)、マグネシウム (Mg) の核を形成します。質量がそこまで重くないので鉄まで作る事ができません。ですがこのような電子捕獲反応のお陰で重力崩壊が起こり超新星爆発が起こると考えられています。このような超新星は「Electron capture supernova: ECSN」と呼ばれています。

1-2 光分解

星は核融合反応を起こしています。水素が核融合しヘリウムに・・・ヘリウムが炭素になり・・・と続けていくと最終的に鉄まで作る事ができます。水素は風船に入れたら浮きます。ですが鉄の塊を持ち上げようと思ったらフォークリフトを使わなければなりません。つまり核融合をするにつれ、重たい元素を作っているという事です。一つ注意しなければならないのが、「全ての星が鉄まで作る事は出来ない」という事です。核融合が起こる条件は「高温」です。元素によって核融合に必要な温度条件は異なり、重い元素程、より過酷な条件が求められます。以前あすとろんで説明しましたが星にも重い星や軽い星があります。星のそもそもの質量が軽ければ中心部の温度は上がらず、次の核融合が始まる事なく冷えていきます。前項で8-10 太陽質量の星が鉄のコアを作る事ができないのはこれが理由です。

12 太陽質量以上の星のコアは超高密度で収縮していきます。すると密度が上昇し温度も上昇します。すると先程述べた通り次の核融合が始まり、さらに重力収縮を起こし・・・と言う風に一連の反応を繰り返していきます。この時重力と圧力の平衡状態は保たれているので超新星爆発の引き金となる「重力“崩壊”」はまだ起こりません。

では 12 太陽質量~の巨大な星が鉄のコアを作ったとします。鉄は元素の中で最も安定しているのでこれ以上核融合が起こる事はありません。しかし、中心部の温度は相変わらず高温です。10¹⁰ 度(=100 億度)に達すると今までせっかく作ってきた元素が高温すぎて崩壊してしまいます。例として鉄の光分解を下式に表します。は鉄を Fe、ヘリウムを He、中性子を n とすると、



となり、せっかく核融合で作った鉄が、ヘリウムと中性子に分解される事がわかります。この光分解が起こる際、多くの熱が奪われます。そのまま冷えていけば今まで中心から外に向かってかかっていた力がなくなり、星は中心部が空洞になったと言っても過言ではありません。ジェンガを思い浮かべてください。真ん中 1 本で支えていたブロックを抜こうとした瞬間、総崩れが起き負けてしまいます。それと同じです。大質量星のコアも中心からの力がなくなるとコアが不安定となり重力崩壊を起こします。

2. ニュートリノトラップとコアの安定化

冒頭のニュートリノの話を出してください。「散乱断面積が非常に小さく“通常密度”では他の粒子とは反応しない」と説明しました。ここ

で重要なのは“通常密度”ということです。超新星のコアは重力崩壊が始まると瞬く間にコアは超超高密度になります。ニュートリノは高密度になるほど散乱を受けやすくなります。散乱を受けるとジグザグに粒子は動きますが、1回の散乱を受けるまでに進む距離を「平均自由行程」と呼びます。

超新星のコアでニュートリノは大体 10^{10}gcm^{-3} から散乱を受けるようになります。これは1万トンの物質が角砂糖1個の中に詰まってるくらいの高密度です。その時の平均自由行程 l_{mfp} は σ を断面積、 n_A を原子の数密度、 Y_e を1核子あたりの電子数、 A を質量数（原子核中の陽子と中性子の和）とすると以下の式で求められます。

$$l_{\text{mfp}} = \frac{1}{\sigma n_A} = 6 \times 10^7 \text{ cm} \left(\frac{\rho}{10^{10} \text{ gcm}^{-3}} \right)^{-\frac{5}{3}} \left(\frac{Y_e}{26/56} \right)^{-\frac{2}{3}} \left(\frac{A}{56} \right)^{-1} \quad (2.1)$$

超新星爆発時のニュートリノは単に散乱を受けるだけでは止まりません。コアは重力崩壊し中心部はさらに高密度になります。コアの密度が $10^{11} \sim 10^{12} \text{cm}^{-3}$ に達した時、ニュートリノはどうなってしまったのでしょうか？

ニュートリノが散乱を受け初めた頃は散乱を繰り返しながら出てきます。それを拡散タイムスケール t_{diff} で表し以下の式（密度は 10^{11}cm^{-3} で計算）で求められます。

$$t_{\text{diff}} = \frac{3R^2}{l_{\text{mfp}} c} = 300 \text{ ms} \left(\frac{\rho}{10^{11} \text{ gcm}^{-3}} \right) \left(\frac{Y_e}{0.48} \right)^2 \left(\frac{A}{60} \right) \quad (2.2)$$

コアが重力崩壊する時間はダイナミカルタイムスケール t_{dyn} と呼ばれ以下の式で求められます。

$$t_{\text{dyn}} = \frac{1}{\sqrt{G\rho}} = 100 \text{ ms} \left(\frac{\rho}{10^{11} \text{ gcm}^{-3}} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

密度が 10^{11}gcm^{-3} に達した時、拡散タイムスケール（300msce）がダイナミカルタイムスケール（100msce）より長いことがわかります。これは事実上「ニュートリノがコアの内部に閉じ込められた」という事になります。この現象を「ニュートリノトラップ」と呼ばれています。

その後、重力崩壊は原子核密度に達するまで続くと考えられています。

ベテルギウスが爆発するって聞いたけど超新星って何？

そこまで高密度化が進むと核力（強い相互作用）でコアを支える事ができるようになります。するとコアは再び安定になり重力崩壊は止まります。

3. コアのバウンスと衝撃波の発生

ここでコアの構造について説明します。超新星のコアは「内部コア」と「外部コア」の2つの成分に分ける事ができます。内部コアは遅い速度（亜音速）で、外部コアは早い速度（超音速）で収縮しています。

前項で「コアが安定する」という風に説明をしました。厳密には安定になるのは“内部コアだけ”です。つまり外部コアは無関係に収縮を続けます。すると2つのコアの境界付近で外部コアが跳ね返ります。これを「コアのバウンス」と言います。すると衝撃波が形成され、それが星の外層まで到達すると超新星爆発が起こります。しかし、衝撃波が星の外層まで到達するには「光分解による吸熱」「ニュートリノ放出」などの多くの障害があります。これらにより衝撃波は数百 km くらいのところで停滞してしまうと考えられています。停滞した衝撃波は「定在降着衝撃波 (standing accretion shock:SAS)」と呼ばれています。

4. 中性子化バースト

先程、「ニュートリノ放出」という言葉が出てきましたがもう少し詳しく説明したいと思います。

コアは中心ほど高密度です。外層に行くほど密度は低くなります。つまりどこかにニュートリノが散乱される、されないの境界があるはずですが、ニュートリノが最後に散乱される領域を「ニュートリノ球」と呼びます。

ニュートリノ球は外部コアにあります。つまり衝撃波が発生してからニュートリノ球を通過するのに若干時間があり、その間は散乱を受けているためすぐに放出されることはありませんがニュートリノ球を出た瞬間光度^{*3}が急激に増光します。また原子核の分解は散乱体である原子核そのものを減らします。散乱体がなくなればニュートリノの進行を障害するものも少なくなるので増光に寄与します。この時のエネルギーは 10^{53}erg でこれは爆発時の重力エネルギーとほとんど同じです。つまり解放されるエネルギーは殆どがニュートリノ放出に費やされてしまいます。この現象を「中性子化バースト」と呼びます。現段階では陽子の割合がまだ多いですがニュートリノが抜けていくことによりさらに中性子化が進みます。最終的にできるのが「中性子星」で、現段階では「原始中性子星」とよばれています。

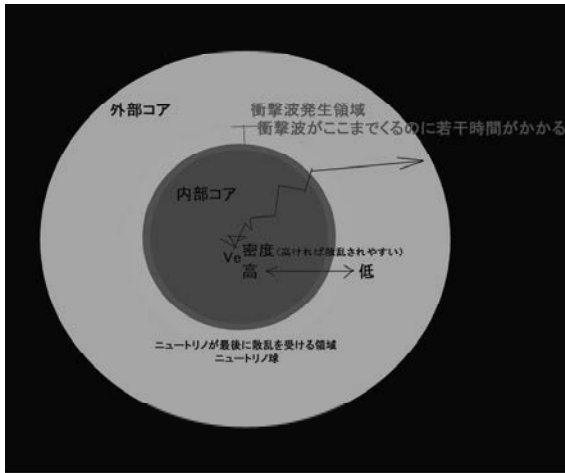


図3-1 ニュートリノの散乱イメージ

5. 衝撃波の復活と今後の研究

前項で衝撃波は数百 km のところで停滞すると説明しました。ではどうやって超新星の衝撃波は復活するのでしょうか？

最も有力なのは「ニュートリノ加熱メカニズム」と呼ばれるものです。先程ニュートリノは 10^{53} erg ものエネルギーを持ち出すと説明しました。ほとんどはそのまま星から逃げていきますがその中の1部が物質に吸収されることにより物質を加熱し、衝撃波にエネルギーを注入することができるのではないかと考えられています。事実上、ニュートリノのエネルギーのうち1%が物質を加熱するのに使われれば爆発が起こると考えられています。

これは非常に難しいニュートリノ輸送シュミレーションを計算しなければならぬ問題で現在でも「スーパーコンピューター“京”」などを用いて世界各国で研究が進められています。しかし多次元での爆発の再現はまだできていません。球の非対称性や自転速度、磁場の影響など考慮されていない点も多々あり今後の研究が期待されます。

今回議論した内容でも超新星爆発の分野は日々進化しているので定説が変わってくるかもしれません。また研究者により考え方が異なる部分があるのも事実です。超新星は太陽や惑星とは違ってただ望遠鏡を向ければ見える天体ではなく、突発的に現れるため超新星爆発の解明には「超新星を見つける」ことが第一歩と言えます。一言で超新星といってもいろいろなタイプがありサンプル数が少ないのも現状です。今日も私たち超新星研究者は、第一歩の超新星を見つけ出す「探索面」、分光や測光などの観測を行う「観測面」、コンピュータシュミレーションや数値計算を行う「理論面」な

ベテルギウスが爆発するって聞いたけど超新星って何？

どさまざまな視点から超新星爆発の謎の解明に挑んでいます。

※1 太陽質量・・・太陽の何倍の質量であるか表す単位。

$$1 \text{ 太陽質量} = 1.988 \times 10^{30} \text{ kg}$$

※2 この時のニュートリノは厳密には反ニュートリノである。

※3 光度・・・単位時間に放出されるエネルギーを表す物理量。
W,erg/s で表す。

謝辞

日頃より理論面で不明な点を丁寧にご指導を頂き、本記事を執筆するうえでも大変お世話になりました京都大学大学院理学研究科・宇宙物理教室の野津翔太さんへ心から感謝いたします。

本原稿を執筆するにあたり京都大学の野上大作先生、前田啓一先生には細部にわたるご指摘、ご指導を賜りました。心より感謝いたします。

最後になりましたが普段私が超新星の研究をできるのは当 NPO 会員の永田利博さん、林敏夫さん、東亜天文学会の板垣公一先生ほか多くの方のご指導のお陰だと心より感謝しております。本当にありがとうございます。まだまだ何もわからない不束者ではありますが変わらぬご指導のほどよろしくお願い申し上げます。

参考文献

恒星	野本憲一著
重力崩壊型超新星爆発の物理	固武慶・鈴木英之著
重力崩壊型超新星爆発の ニュートリノ加熱メカニズム	原田了著
重力崩壊型超新星の爆発メカニズム	住吉光介著
核物理と天文数値シミュレーションの連携	
重力崩壊型超新星爆発シミュレーションと親星依存性	諏訪雄大著
天文学辞典	岡本定矩著

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9F%BA%E6%9C%AC%E7%9B%B8%E4%BA%92%E4%BD%9C%E7%94%A8>

<http://www.qualiam.net/story8.html>

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AF%E3%82%A9%E3%83%BC%E3%82%AF>

アメリカ大陸最古の太陽観測所

北井礼三郎（NPO 花山星空ネットワーク）

2015 年 9 月に南米ペルーの ICA 大学を訪問する機会がありました。その際、アメリカ大陸で最古の太陽観測所がペルー国内にあるとペルー国立地球物理学研究所のホセ・カナメ・イシツカさんから聞きました。幸いにも、ホセさんの案内でその場所を訪れることができました。

1. カスマの町

その太陽観測所の遺跡は、ペルーの首都リマから北方 370 kmほどに位置する Casma(カスマ)という町の近くの砂漠の中にありました(図 1 参照)。ペルー国の太平洋沿岸部はほぼ砂漠となっており、アンデス山脈から流れ出る河川に沿ってのみ農業が可能で、町もその河川沿いにあるのが一般的です。カスマの町もカスマ川の流域中央部に位置します。首都リマからほぼ海岸沿いにパンアメリカン高速道を数時間辿ったところでは



図 1. ペルー国中央部の地図。チンボテ近くのマークのところがカスマ。



図 2. カスマ川流域とチャンキーヨ遺跡の位置 (丸印)。
グーグル・アース。

2. Chankillo (チャンキーヨ) 遺跡訪問

パンアメリカン高速道をカスマの町の近くまでゆき、右に折れて砂漠の中を進んだところに、目的の遺跡があります(図 2 参照)。チャンキーヨ遺跡というところです。グーグル・アースで図 2 の丸印(南緯 9.507086、西経 78.265296)付近を拡大して見ると、砂に埋もれた遺構のようなものが見えます。

この地は砂漠の末端部ですが、そこには中央に南北に延びた小山があり、その峰上に 13 基の塔が並んでいます。この小山の東および西に正方形や長方形の遺構がいくつか見られます。この 13 基並んだ塔が、約 2300 年前に築造されたアメリカ大陸最古の太陽観測所といわれているものです。図 3 をご覧ください。この写真は、西側の平地から山上の塔の列を写したものです。訪れた日は秋分に近い日で、夕日が差していました。人物の影の方向は塔列のほぼ中央を指しています。撮影地点は、現地にある案内板では「観測地点」と書かれている場所の近くです。どうも、西から見たときの太陽の日の出方向、あるいは東から見たときの太陽の沈む方向をこの塔の配置から見ていたのではないかという印象を持ちました。



図 3. チャンキーヨの 13 基の塔列。塔を眺めている後姿がホセ・イシツカさん。

3. Science 論文

この遺跡については、科学的な研究がおこなわれて 2007 年米国サイエンス誌に発表されています。著者は、Ivan Ghezzi (ペルー国立文化財研究所) と Clive Ruggles (英国ライセスター大) の二人です。彼らは、遺構の中で構造物に突き刺さっていた木材を使って年輪年代法で建造された時代を推定しました。また木材片、植物の種、繊維を多数採取して、炭素 14 年代測定法を用いてこの遺跡の築造年代を推定しました。二つの方法で得られた年代は一致して、今から 2300 年前という結果が得られました。紀元前 300 年ころになります。さて、この 13 基の塔はどのような目的で築造され、使用されたのでしょうか。著者たちは、季節ごとに変化する太陽の出入りの方向を指し示していると考えました。実際、この地で紀元前 300 年頃の日の入りを塔の配置と照らし合わせてみると、図 4 のようになるそうです。一年を通じて、日の出あるいは日の入りの方向が塔列の端から端まで一往復する形です。これを目安とすると、季節の移り変わりが分かりそうです。アンデスの雪解け水が来る季節を知って種蒔きの準備にいそんでいたのでしょうか。

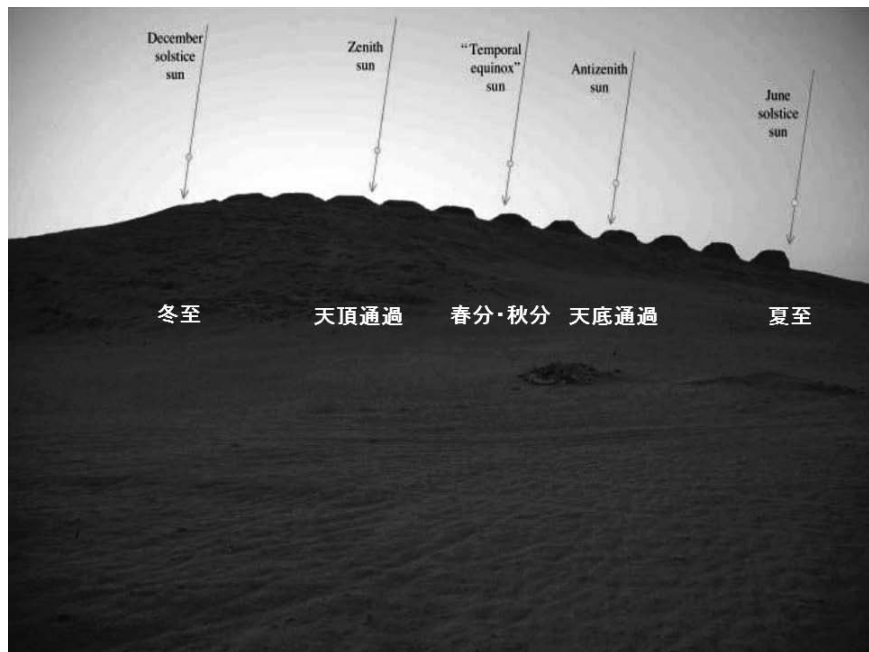


図 4. 紀元前 300 年ころの日の入り方向。Gezzi&Ruggel (2003) 図 5 に加筆。

4. 残る不思議さ

Science の論文は的を射たものと思われます。紀元前 300 年頃という、日本では弥生時代です。中国では戦国時代、ローマでは共和制の時代の頃になります。ギリシャ天文学ではアリストテレス没後、トレミーが活躍を始める前までの期間になります。この頃に、旧大陸と交渉がなかったアメリカ大陸で太陽の動きを把握していたというのは、やはり驚くべきことであろうと思います。どの大陸であろうと、定住農耕を人類が始めると季節のサイクルが最大関心事となって天文学が発展してゆくのでしょうか。

このチャンキーヨの塔列について一つ不思議に思うことがあります。なぜ塔が 13 基なのかということです。春分、夏至、秋分、冬至、天頂通過、天底通過といったエポックの日の出入りを示すためだけならば、半数程度の塔を作れば十分だと思われます。ホセ・イヅカさんとこの点を議論していて、塔と塔との間隙が 12 個あり一年で太陽が一往復するので半月の単位を示すのだろうかとか、月の動きを示すのだろうかとか、様々に説は出ましたが結局分かりません。また Science 論文によると、それぞれの塔

には塔上に登れるように南北 2 か所に石段がついているそうです。塔の上に登って、何か祭典でもしたのでしょうか。これも不思議な点の一つです。

ペルーには、有名な遺跡がたくさんあります。ナスカ、マチュピチュ、クスコ等々不可思議さに富む遺跡がよく知られています。このチャンキョ遺跡の周辺にも、別の遺跡が砂漠の砂に埋まっています。グーグル・アースでみると幾何学的な模様が浮き上がって見えます。ペルー国には古代の文明を砂の下に秘めた未発見の遺跡がまだまだあるのではないのでしょうか。

文献

Ivan Ghezzi and Clive Ruggles: Science, Vol 315, pp1239-1243, (2007)

p9 クイズの答え

「近所の小学校のプール」、こちらではこのように、温室のように覆って使うんですね。シーズ
ンオフにはカバーを外します。

アストロトーク 初夏の星空

作花一志（京都情報大学院大学）

6月19日のアストロトークではヘルクレス座、てんびん座、さそり座、いて座の星座物語と主な天体についてお話ししました。

正義度を測るてんびん

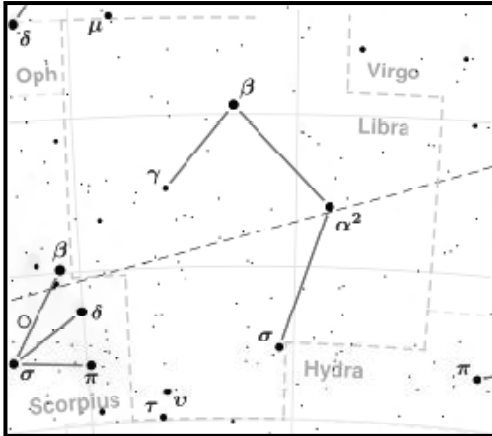
かつてこの地上は、山には穀物や果物が実り、川にはミルクや酒が流れ、人間は農作しなくてもいつも満ち足りて、何不自由なく暮らしていました。また正義と信仰がいきわたり、権力を振り回す者もいなく、法律なんてものも不要でした。神々はこの世で人々と一緒に暮らしていました。このような平和で平等な時代は「金の時代」といわれています。ところが時はうつり「銀の時代」「銅の時代」となるにつれ、人間は互いに武器を持って、大地を取り合う醜い争いを繰り返すようになりました。これを見てうんざりした神々は次第に天へ引き上げてしまいましたが、ただひとりこの世に留まった神がいました。その名はアストライア、ゼウスの娘、正義の女神です。彼女は人々に正義を説き、悪を退け、悩めるものを救ってまわりました。そのとき人間の正義を測るため使われた道具が天秤です。しかし、そのアストライアさえもついに人間社会の悪にあいそをつかして天に去って行ってしまいました。

ちなみに現代は「鉄の時代」で、人間は最後の神さえ追い出



してしまい、この大地をわがもの顔で私物化しています。

なにやら、いわくありそうな話ですね。



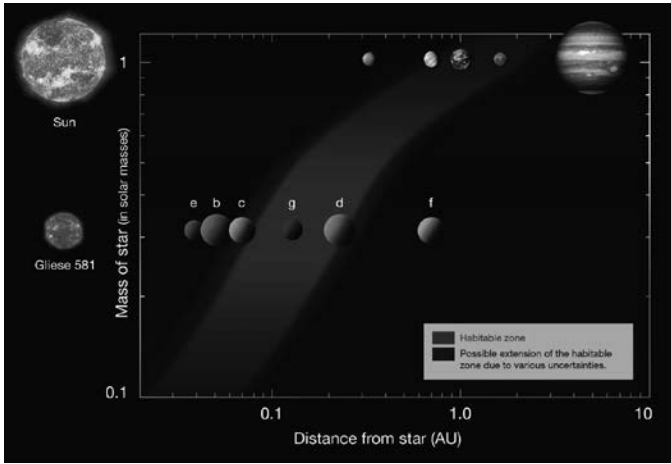
○は散開星団 左右に走るほぼ水平な破線は黄道。

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%81%B5%E3%81%9F%E3%81%94%E5%BA%A7>

てんびん座には明るい星はありませんが、 β 星の北にグリーゼ 581 と いわれる赤色矮星があります。主星は太陽の 3 分の 1 くらいの質量しかありませんが、惑星を 6 個 (b,c,d,e,f,g) も持つといわれています。f と g は不確かですが、太陽に次ぐ子だくさん星かもしれませんね。これらの惑星には液体の水が存在できるのでしょうか？太陽系の場合は地球とせいぜい火星だけですが、グリーゼ 581 の発するエネルギーは太陽の 1% くらいなので、そのような範囲はずっと内側に限られます。6 個のうち g と d がその可能性範囲内です。水があれば生命が生まれるかも？今後の詳しい観測が楽しみです。

6 個の惑星諸量

名称	質量 (地球質量)	公転周期 (日)	備考
b	16	5.3	質量最大
c	5.3	12.9	
d	5.9	66.7	
e	1.9	3.2	
f	7	433	?
g	2.2	32.1	?



上は太陽の
下はグリーゼ
581の惑星配置。
斜めの範囲は
生命存在可能帯。

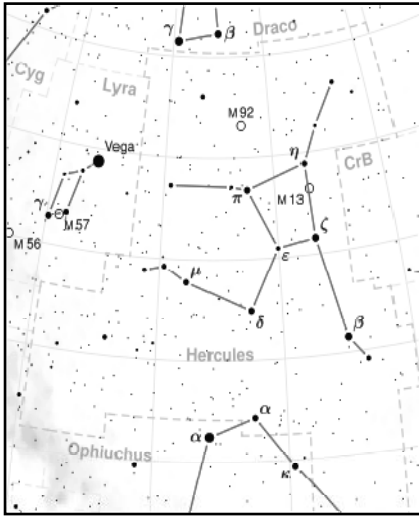
今てんびん座に輝いている火星についてはアストロトークの後半、青木氏が4Dシアターで詳しく解説しました。

悲劇の英雄 ヘルクレス

ギリシア最大最強の英雄ながら、その一生は不幸不運の連続でした。彼の父はオリンポスの主神ゼウスですが、母はペルセウス（ペルセウスもまたゼウスの子）の孫の妻アルクメーネでした。ケイロンのもとで武芸百般を修め長じてギリシアの英雄となりますが、ヘラの呪いがつきまとい発狂して妻と子を殺してしまいます。その償いのため、人食いライオン退治（しし座）や毒蛇退治（うみへび座）地獄の番犬の生け捕り（おおいぬ座）などの12の難題を命がけでこなします。その他にもギガ



ントマキアといわれる神々と巨人族の宇宙の支配権をめぐる大戦争でも活躍し巨人族を撃退します。



それらの難題をやっとし終えた頃、ケンタウルス族の悪者ネッソスの計略にかかりヒュドラの猛毒に当たってしまうのです。毒が回ってきて自分の最期が近いことを知ったヘルクレスは自分自身の火葬の準備を始めます。オイタ山に登り山頂に薪を積んでその上に横たわり、友人ピポクテテスに火をつけるよう頼みます。ピポクテテスはためらいながらもヘルクレスの苦しみを見かねてやっとの思いで火をつけた時、稲妻雷鳴とともに空から4頭立ての馬車が現れ、彼を天に運んで

いきました。ゼウスは最後になって初めて父親らしいことをしたわけです.....でも遅すぎましたね。

ヘルクレス座にも明るい星はありませんが、有名な球状星団 M13 があります。数十万個の星がぎっしり詰まっている姿は双眼鏡でも見られますが、やはり大望遠鏡で見ると圧巻です。



[講演録]

高松塚・キトラ天文図と東アジアの古星図 2

宮島一彦（中之島科学研究所/同志社大学）

今回は中国・朝鮮の古墳天文図について述べていきます。

墓の内部の部屋に壁画や天井天文図を描く例は世界各地に見られます。

図5は1973年に訪れたエジプト・王家の谷のセティ1世の墓の内部です。写真左上の部分にも図6のような星座絵が描かれています。これは天の北極周辺の周極星座(地平線下に沈まない)を描いたものです。カバが持っている動物の脚が今のこぐま座に当たります。歳差現象により、現在の北極星であるこぐま座 α 星は、当時は北極星でなく、この絵の中央が天の北極です。牛の星座がほぼ現在のおおくま座にあたります。

図7は中国・秦の始皇帝の陵です。司馬遷の『史記』によるとこの地下数十mまで掘り下げて地下宮殿が作られ、「上は天文を具(そな)え、下は地理を具えた」といいますから、天井部分には星が描かれているのですが、まだ発掘調査が行われていません。川や海には水銀が流されたそうです。これらは生前の世界を墓の内部に再現したものでしょう。高松塚やキトラ古墳も同様と思われる。ただし、キトラの場合には、高松塚にあるような人物像壁画がなく、代わりに十二支神像が描かれています。高松塚やキトラ古墳に比べると、上に述べたセティ1世や始皇帝の墓はずっと巨大です。

中国や高句麗の古墳内部には、星が描かれているものが多くあります。もともと、中国でも、元代以降の古墳には描かれていませんし、朝鮮半島の諸国でも百済・新羅やその後の高麗・朝鮮の古墳には描かれていません。

図8は唐・懿徳(いとく)太子の陵墓です。高宗と妃の武則天(ぶそくてん=則天武后)を合葬した乾陵(けんりょう)の周囲の陪塚(ばいちょう)の一つで、懿徳太子は二人の孫で、武則天に殺された人です。この古墳はキトラ古墳などに比べそれほど大きくはありませんが、地下の前室と後室ははるかに大きく、図9のように天井に星・天の川・日月などが描かれています。付近にある章懐(しょうかい)太子(2人の次男)・永泰公主(えいたいこうしゅ、同・孫)の陵墓もほぼ同様です。いずれも、700年前後の造営とされるキトラや高松塚より僅かに遅い、700年代前半の造営です。ただ、これらの天井天文図には、具体的な星座がほとんど認められません。

図10は唐滅亡後、宋が天下を統一する前の、五代十国と呼ばれる分裂の時代、呉越国という地方政権の王・銭元瓘(せんげんかん)の石室天井に刻まれた星図で、西暦900年代のもので、中央に勾陳(こうちん)・華蓋(かがい)・北斗、

周囲に二十八宿が刻まれています。正妃・次妃の墓でも類似のものが発見されています。

図11は、五代十国を統一した宋王朝を北から圧迫した遼の支配域にあった宣化(北京の近く)の豪族・張世卿(ちょうせいけい)の墓の天井です。中央の蓮の絵は天の北極または北極星の象徴とする説もあります。これを二十八宿がぐるりと取り巻いており、日月惑星との解釈もある大きな星が9つ描かれ、さらにその外には西方から伝わった黄道十二宮の絵があります。近傍には一族の墓がいくつもあり、その半数くらいに同様の天文図が見つかります。

高句麗の古墳天文図の例を2つあげます。図12は真坡里(チンパリ)4号墳で6世紀前半のもので、公表されている写真と同定図とは互いに裏返しの関係になっており、向きも90度違っていますが、写真では星が分かりにくい(金箔で表されています)、その関係に気づかず紹介されるので、注意が必要です。北斗七星と二十八宿に同定されていますが、妥当かどうか疑問です。

もう一つの図13は徳花里(トグファリ)2号墳で、これも6世紀のもので、8角形の穹隆(きゅうりゅう=ドーム)形天井のぐるりに二十八宿が描かれ(半分ほどが失われています)、南北には大きくそれぞれ南斗六星と北斗七星が、東西にはそれぞれ太陽と月が描かれています。

高松塚・キトラ古墳に描かれている星座も、これら、中国や高句麗の古墳天井に描かれているのと同じ、中国伝統の星座です。

中国では3000年以上前の殷(商)の時代から天文・暦法が発達していました。図14は洛陽郊外にある、後漢から三国の魏にかけての霊台(天文台)の遺跡です。西洋で国立天文台が設立されて国家公務員の天文学者が活動するのは1600年代からですが、中国では古代・秦のころから太史局という天文暦法をつかさどる役所があり、天文役人が観測や暦の計算に従事していました。

次の図15は春秋時代末期の曾という地方の小国の王の墓から見つかった漆塗りの箱のふたで、両側に竜・虎の絵があり、その内側に二十八宿各宿の名称を表す文字がぐるりと書かれています。先に述べたように、高松塚天井に描かれていた星座です。この二十八宿は意外なところにも見られます。この図16は祇園祭の長刀鉾(なぎなたぼこ)天井に描かれているもので、江戸時代のもので、役行者山(えんのぎょうじゃやま)の隅金具にも見られます。

前漢・武帝の時の太史令(太史局長官)司馬遷(BC145?~86?)が編纂した『史記』の「天官書」という巻は中国の星座と星占いについて書かれたものです。天官書という言葉に対して唐代に付けられた注に、

星座に尊卑あり。人の官曹列位の若(ごと)し。故に天官と曰(い)う。
とあるように、中国の星座は官僚制社会を反映したものです。

『晋書』『隋書』の「天文志」という巻には三国の呉から三国を統一した

晋にかけての太史令・陳卓(ちんたく)が、「巫咸(ふかん)」「石申(せきしん)」「甘徳(かんとく)」という天文学者・占星術家に結び付けられる3系統の星座を整理統合して1464星(『晋書』の数字。『隋書』では1565星) 283星座の体系とし、星図を作ったとあります。

隋代の人と考えられる丹元子の「歩天歌」、唐代の「玄象詩」はこれらの各星座の星数・形状・位置関係を詩に詠んだもので、現存する中国の星図にはほぼこれらの記述に合致する星座が描かれています。図17は南宋の淳祐7年(1247)に石に刻まれた天文図で、『渾天壹統星象全図』など後代の星図はほとんどがこの星図に準拠して描かれました。ほかに重要な星図として、北宋末の『新儀象法要』所収の星図があります。

朝鮮半島の諸国でも中国の天文学を受容しました。長く続いた朝鮮半島の三国時代、新羅では西暦647年に瞻星台(せんせいだい、図18)が建てられ、多くの天文現象の記録が残っています。百済の僧・観勒(かんろく)は日本に天文暦法を伝えました。高句麗には石に刻まれた星図がありましたが、唐と新羅の連合軍によって都の平壤が陥落した時、大同江に沈んで失われました。

朝鮮王朝を建国した太祖・李成桂(テジョ・イソンゲ)の時、その石刻星図の拓本を献じたものがあり、太祖の命により、その拓本をもとにして、新しい観測によって修正して「天象列次分野之図」が石に刻まれました。歳月を経て摩耗したため、肅宗(スクチョン。韓国歴史ドラマ「トンイ」の時の王)により再刻されました(図19)。これらの拓本は日本にももたらされたらしく、江戸時代の渋川春海(しぶかわはるみ1639~1715)の「天象列次之図」「天文分野之図」などに大きな影響を与えました。

これらの星図には中国の星座体系が示されており、日本でも中国の星座が用いられてきましたが、渋川春海は中国星座に属さない星を結んで、日本の社会を反映させた星座を61個作り、これらを含む星図を『天文瓊統』(てんもんけいとう、1698)に「天文成象」と題して収録し、翌年、星図だけを独立させて、息子の昔尹(ひさただ)の名で出版しました。

図の説明

5. 古代エジプト王家の谷・セティ1世の墓の内部。“ISIS”Vol.14,1930より。
6. 同・天井天文図。図5の左上部分。1973年、筆者撮影。
7. 中国西安郊外・秦・始皇帝陵。1987年、筆者撮影。
8. 西安郊外・唐・懿徳太子陵全景。1987年、筆者撮影。
9. 同・後室天井の天文図。1987年、筆者撮影。
10. 杭州・五代十国呉越・銭元瓘墓の天井天文図。『中国古代天文文物図集』より。

11. 宣化・遼代の張世卿の墓の天井。『宣化遼墓 下』より。
12. 高句麗・平壤・真坡里4号墳内部の天文図。『高句麗文化展』より。
13. 同・平安南道・徳花里2号墳天井天文図。『高句麗文化展』より。
14. 中国洛陽郊外・発掘中の漢魏城霊台跡。1980年筆者撮影。
15. 春秋時代・湖北省随県・曾侯乙墓出土の漆塗りの箱のふたに書かれた二十八宿名。『随県曾侯乙墓』より。
16. 京都祇園祭・長刀鉾天井の二十八宿。筆者撮影。
17. 中国蘇州・淳祐石刻天文図。2002年、筆者撮影。
18. 韓国慶州・瞻星台。1996年、筆者撮影。
19. 韓国ソウル古宮博物館・天象列次分野之図の初刻と再刻(いずれも複製)。2013年、筆者撮影。



Fig. 2. Hypogeum hall of San Lú. Showing astronomical ceiling direction. (Library of Metropolitan Museum, New York).

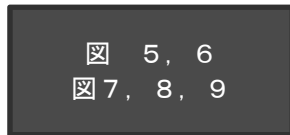
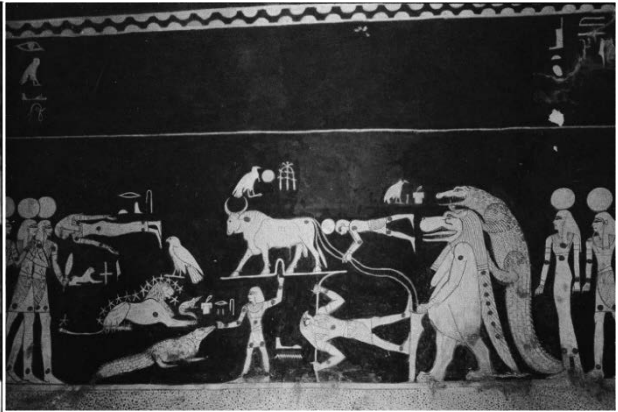




図 10, 11

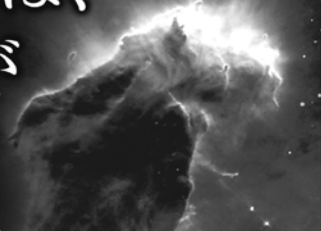
図 12, 13

図 14, 15



図 16、17
図 18、19

プラネタリウムのなかでは、
おおきな宇宙への夢が
育っています。



コニカミノルタ プラネタリウム株式会社

東京事業所 〒170-8630 東京都豊島区東池袋3-1-3

TEL (03)5985-1711

大阪事業所 〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町2-3-10 西本町インテス11階

TEL (06)6110-0570

東海事業所 〒442-8558 愛知県豊川市金屋西町1-8

TEL (0533)89-3570

URL: <http://pla.konicaminolta.jp>

HERO

ソフトウェア開発で社会に貢献しています。

株式会社ヒーロー

代表取締役 岡村 勝

〒532-0011 大阪市淀川区西中島6丁目6-6 NLC新大阪11号館7階

【事業紹介】

・ソフトウェア開発

制御・組込系：家電・情報端末分野の身近な機器を最新技術でより便利に

情報統合系：コンサルテーションから設計開発、運用、保守まで提供

アミューズメント系：開発サポートツールからアミューズメントプログラムまで

・技術者派遣（流通分野、SNS 分野に特化）

・製品販売 ～京都大学花山天文台 星座早見盤～



<http://www.herojp.co.jp>

天文宇宙検定



第6回

試験日 2016年10月9日(日)

実施エリア▶北海道・東京・名古屋・大阪・福岡・沖縄

受験料▶1級：6,200円 2級：5,700円

3級：4,600円 4級：4,100円 (税込)

※併願・ペア・団体割引あり

詳細は Web で▶ <http://www.astro-test.org/>

主催：(一社)天文宇宙教育振興協会

協力：天文宇宙検定委員会 (株)恒星社厚生閣

協賛：京都産業大学 (株)セガトイズ (株)ビクセン 丸善出版(株)

後援：千葉工業大学 (公財)日本宇宙少年団 (一財)日本宇宙フォーラム

〒160-0008 東京都新宿区三栄町8

TEL 03-3359-7371 FAX 03-3359-7375

<http://www.astro-test.org/>

(一社)天文宇宙教育振興協会

事務局からのお知らせ

6月末の豪雨は九州を襲いましたが、関西では今のところ比較的平穏な梅雨空が続いています。7月に入って、小笠原高気圧が前線を日本海まで押し上げていますが、このまま梅雨が明けてくれるのでしょうか？ 少し早すぎるような気がしますので、また、前線は下がって来るのでしょうか？ いずれにしても、祇園の前祭の山鉾巡行が終わる頃には、鯨の尾のような高気圧がしっかりと日本列島を覆って欲しいものです。

今年は花山星空ネットワークが2006年4月に産声を上げて以来10年目となりますが、花山天体観望会もお陰様で、今年の4月24日の「太陽」で第60回、5月14日の「月と木星」で第61回と、回を重ねております。

この後も以下のように、盛夏から秋にかけて、天候の変化に一喜一憂しながら、天体観望と花山・飛騨両天文台周辺の自然を楽しんで頂くイベントを、次々と用意していますので、是非皆様方の積極的なご参加をお願い致します。(7/1記)

7/23 (土) : 第62回花山天体観望会「火星と土星」

7/30 (土)～8/1 (月) : 第10回子ども飛騨天文台天体観測教室

8/20 (土) : 第63回花山天体観望会「土星と夏の星座」

9/24 (土) : 第64回花山天体観望会「星雲と名曲」

10/8 (土)～10/10 (月・祝日) : 第7回飛騨天文台自然再発見ツアー

10/23 (日) : 第65回花山天体観望会「太陽」

編集後記

今回は記事数は少ないですが、今年2月に発見された重力波の記事が載っています。5月に行われたNPO講演会で語られた内容です。「あすとろん」は本NPOの活動を紹介し、また会員間の理解を深めるために発行されている季刊誌です。今後さらに内容を充実していくために、会員の皆様から天文ニュース、普及活動報告、思い出の星空、天文書・ソフト、和歌・俳句・川柳、天体写真・イラストなど投稿、また掲載された記事へのご意見などをお寄せくださるようお願いいたします。

次号の原稿締め切り日は**9月10日**で、投稿に関しては、なるべくテンプレート(Word)を<http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/hosizora/astron.html>からダウンロードして、エディタに書いたテキスト文をそこにコピー貼り付けて作成してくださいようお願いいたします。原稿作成のお問い合わせや送付先は

astron@kwasan.kyoto-u.ac.jpです。

編集子

札幌のライラック



NPO法人花山星空ネットワークへの入会方法

住所・氏名・連絡先電話番号を電子メール または電話でお知らせ下さい。

電子メール：hosizora@kwasan.kyoto-u.ac.jp 電話：075-581-1461。

入会申込書と会費の振込用紙を郵送いたします。

- (1) **正会員** (一般) ・入会金 2,000円 ・年会費 3,000円
(学生) ・入会金 1,000円 ・年会費 2,000円
- (2) **準会員** ・入会金 1,000円 ・年会費 2,000円
- (3) **賛助会員** 年額1口以上 (1口30,000円)

発行人 NPO法人花山星空ネットワーク

〒607-8471 京都市山科区北花山大峰町 京都大学花山天文台内

Tel 075-581-1461 URL <http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/hosizora>

印刷所 株式会社あおぞら印刷

〒604-8431 京都市中京区西ノ京原町15

2016年6月30日発行

定価：400円