

# うちゅう 2

2025 / Feb.  
Vol. 41 No. 11

2025年2月10日発行(毎月1回10日発行)

ISSN 1346-2385



企画展「万博で夢見たサイエンス展」開催中です

## 通巻491号

- |                              |                            |
|------------------------------|----------------------------|
| ② 星空ガイド(2-3月)                | ⑭ 窮理の部屋「ウランマ効果と双子のパラドックス8」 |
| ④ パンデグラフ加速器～物質の構造と起源～        | ⑮ 標高の改定                    |
| ⑩ 日本で最初のプラネタリウム解説            | ⑰ インフォメーション                |
| ⑫ ジュニア科学クラブ                  | ⑱ 友の会                      |
| ⑬ コレクション「銅鑼：アイダ『蓬萊羅漢』GR-40S」 | ⑳ 展示場へ行こう「博学連携コーナー」        |

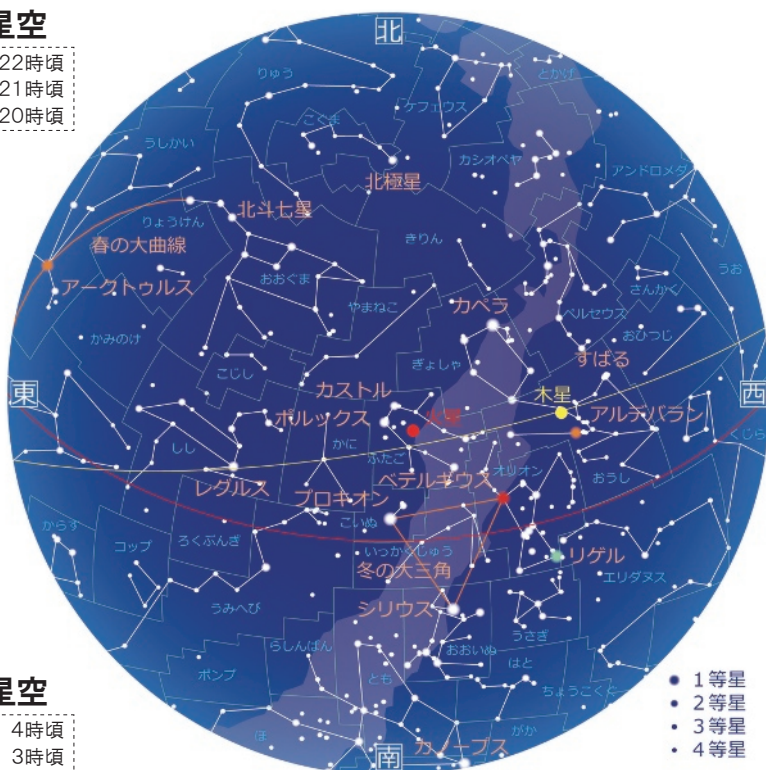


大阪市立科学館  
OSAKA SCIENCE MUSEUM

# 星空ガイド 2月16日～3月15日

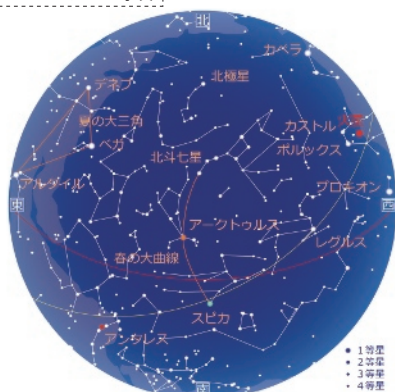
## よいの星空

2月16日22時頃  
3月 1日21時頃  
15日20時頃



## あけの星空

2月16日 4時頃  
3月 1日 3時頃  
15日 2時頃



〔太陽と月の出入り(大阪)〕

| 月 | 日  | 曜 | 日の出  | 日の入   | 月の出   | 月の入   | 月齢   |
|---|----|---|------|-------|-------|-------|------|
| 2 | 16 | 日 | 6:42 | 17:41 | 21:12 | 8:23  | 17.6 |
|   | 21 | 金 | 6:37 | 17:46 | 1:05  | 10:46 | 22.6 |
|   | 26 | 水 | 6:31 | 17:51 | 5:29  | 15:44 | 27.6 |
| 3 | 1  | 土 | 6:27 | 17:53 | 7:07  | 19:19 | 1.1  |
|   | 6  | 木 | 6:21 | 17:58 | 10:02 | 0:10  | 6.1  |
|   | 11 | 火 | 6:14 | 18:02 | 15:07 | 4:41  | 11.1 |
|   | 15 | 土 | 6:08 | 18:05 | 19:03 | 6:27  | 15.1 |

※惑星は2025年3月1日の位置です。

## カノープス探しにチャレンジ

星座を作る星の中で、シリウスに次いで二番目に明るい星であるカノープス。しかし、大阪では南の地平線のギリギリのところで見えるために、見たことがない！という方も少なくないでしょう。

カノープスを見るためには、まずは南の地平線近くが広く見渡せるところを探しましょう。そんなところが見つかったら、次に冬の大三角を探します。冬の大三角が見つかったら、大三角が南の空に見えてくる頃にプロキオンとベテルギウスを結んだ線を大体二等分した点と、シリウスを結んだ線をぐっと下の方へ伸ばします。するとやや明るい赤っぽい星にぶつかります。その星がカノープスです。



冬の大三角を使った探し方

## 見ると長生きできる星？

カノープスは本来、シリウスのように明るい白っぽい色をした星ですが、日本から見ると地平線のギリギリのところで見られるため、大気の影響でやや明るい赤っぽい星として見えています。そのため、七福神の一人で酒好きの赤ら顔の神様「寿老人」に見立てて、見ると長生きができる星、寿星とも呼ばれるようになりました。大阪よりも緯度が低く、カノープスを観察しやすい場所である鹿児島県枕崎市には寿星にちなんだ、お年寄りの長寿を願う「寿星踊」が伝わっています。二代目歌川広重による浮世絵(諸国名所百景 薩州枕崎海門ヶ嶽寿星踊)にはその様子がユーモラスに描かれています。



©The Trustees of the British Museum

## 野村 美月(科学館学芸員)

### [こよみと天文現象]

| 月 | 日  | 曜 | 主な天文現象など                           |
|---|----|---|------------------------------------|
| 2 | 17 | 月 | 月とスピカが並ぶ                           |
|   | 18 | 火 | 雨水(太陽黄経330°)<br>月が最遠(10時・404773km) |
|   | 20 | 木 | 金星が近日点通過                           |
|   | 21 | 金 | ●下弦(3時)                            |
|   | 28 | 金 | ●新月(20時)                           |

| 月 | 日  | 曜 | 主な天文現象など                |
|---|----|---|-------------------------|
| 3 | 3  | 月 | 木星が東矩                   |
|   | 4  | 火 | 水星が近日点通過                |
|   | 5  | 水 | すばる食(22時10分すぎ～翌0時10分月没) |
|   | 7  | 金 | ●上弦(2時)                 |
|   | 8  | 土 | 水星が東方最大離角               |
|   | 9  | 日 | 月と火星が接近                 |
|   | 12 | 水 | 土星が合                    |
|   | 14 | 金 | ○満月(16時)<br>アメリカなどで皆既月食 |

## バンデグラフ加速器 ～物質の構造と起源～

大阪大学 松多健策、福田光順、三原基嗣

16世紀ごろ、**錬金術師**は、鉛などの平凡な金属から金を作ろうとしました。錬金術の研究は化学をたいへん発展させましたが、元素を別の元素に変換することはついにできませんでした。原子の外縁部にある電子を組み替える化学反応では元素を変えることはできないのです。しかし、原子の中心にある原子核に届くほど高いエネルギーを持つ粒子を衝突させれば、元素を変えることができるのです。このような高速の粒子を作り出す装置は**加速器**と呼ばれ、これを用いることで、今日、原子内部を調べられるばかりか、**元素の人工変換**すらもできるのです。

加速器にはいろいろな種類がありますが、基本的にどれも電気力を使ってイオンを加速し、高エネルギー粒子を作っています。その一つが科学館4階に展示されている戦前大阪大学で作られた図1の**コッククロフト・ウォルトン加速器**であり、また2016年まで大阪大学で使われ、昨年展示に加わった米国HVEC社製**バンデグラフ加速器**です。ここでは、バンデグラフ加速器の仕組みなどを紹介します。

### 1. 物質の構造

古代ギリシャのデモクリトスは、物質は粒子からできていると考え、物質の最小単位を、これ以上分割できないものという意味で**アトム(原子)**と名付けました。例えば18gの水の中には、水の性質を持つ最小単位である水分子が、1兆個のそのまた1兆倍ほど(詳しくはアボガドロ数 $=6 \times 10^{23}$  個)あります。今日では、水分子は、酸素原子(O)の周りに水素原子



図1. バンデグラフの加速管、後の装置はコッククロフト ウォルトン加速器

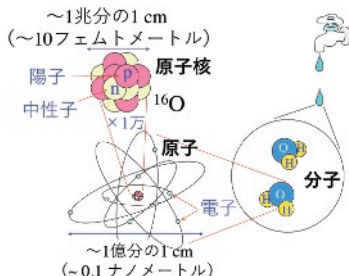


図2. 物質の構造

(H)2個が105度の2方向に結合してできていることが分かっています。19世紀末になり、**電子**が発見されると、原子は**電子**や**原子核**といった電気を帯びた粒子からできていることがわかりました(図2)。

原子の構造は、長岡半太郎のモデルのように中心に正の電気を持つ重い原子核があり、その周りを負の電気を持つ軽い電子が原子核に引かれながら飛び回っています。このモデルは、1911年、図3の様なラザフォードの実験で確かめ

られましたが、長岡の土星モデルとは少し違い、原子核は原子の大きさの約1万分の一程度しかないことがわかりました。あたかも太陽の周りを小さな惑星が周回する太陽系さながらの構造です。1932年、原子核は正の電荷を持つ**陽子**と電荷を持たない**中性子**からできていることがわかりました。陽子の数(原子番号)で元素が決まり、ほぼ同数の中性子と共に互いに核力で結合しています。同じ元素で中性子数だけ異なるものを**同位元素**と呼びます。

## ラザフォードの実験

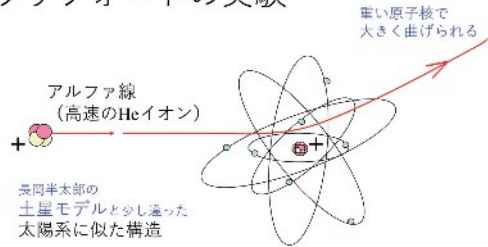


図3. 原子の構造とその調べ方

## 2. バンデグラフ加速器の仕組み

それでは原子の構造を調べたり、原子核の中の構造まで調べるにはどうしたらいいのでしょうか？それには化学反応や化学反応を用いた電池で得られる電気エネルギーでは足りず、**高エネルギーの粒子**が必要です。元々化学反応は原子の外縁にいる電子が組み換わって起きる現象です。この時に得られる化学エネルギーでは、**電子を組み換えること**しかできません。しかし、電池よりもずっと

高い電圧を発生させ、電気を帯びた粒子を電気エネルギーで加速すれば、高エネルギー粒子が得られ、電気的反発力に打ち勝って原子核の内部にまでも届けることができます。そのために発明された高電圧装置が、コッククロフト・ウォルトン装置や**バンデグラフ起電機**(図4は小型の装置)です。

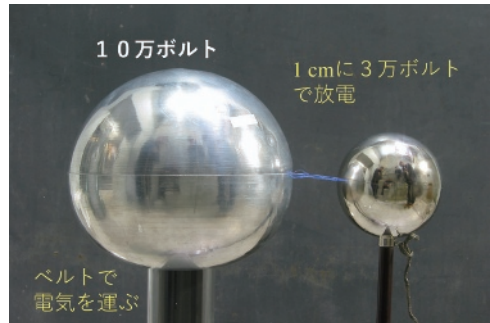


図4. 小型バンデグラフでの高電圧の発生実験

コッククロフト・ウォルトン装置は交流をトランスで高電圧に変換して、直流に変換し、コンデンサを積み上げて高電圧にします。歴史上、この装置が最初に元素の人工変換に成功しましたが、**バンデグラフ**はさらに高い電圧を得ることができます。

バンデグラフ加速器では、加速に使われる高電圧は、図5の様に**絶縁ゴムベルト**で電気を運んで得られます。大阪大学のバンデグラフは縦型で、下部で電気をベルトに載せて運び、上部の**ターミナルシエル**と呼ばれる高電圧部分にこの電気を貯めて、およそ**500万ボルト**の高電圧が得られます。内部を真空にした**加速管**に高電圧をかけ、電気を帯びた正イオンを電気の力で加速し、高いエネルギーにします。この大阪大学理学部にあった米国HVEC社製バンデグラフの加速管が科学館4階に展示されています(図1)。この加速管は、絶縁ガラスの円筒を両端から穴あきの金属電極で挟んだ構造が、およそ100段重ねられ、それぞれの電極に均等に約5万ボルトの電圧がかけられます(**高耐圧抵抗**で分割)。高電圧による放電を避けるため、バンデグラフは20気圧の絶縁ガス( $N_2$ ,  $SF_6$ ,  $CO_2$ の混合気体)の入ったタンク内で運転されます。

粒子の種(イオン)は加速管上部にある**イオン源**で作ります。イオンを作るには、**プラズマ**と呼ばれる状態を作ります。高温の気体分子が衝突すると、**電離**して正イオンと電子が混合したプラズマになります。ロウソクの炎もその例です。これを作り出すには、例えば、薄い気体中で放電を起こします。それにより、気体分子が電離しイオンになります。こうして作られたプラズマに電圧をかけてイオンを引き出し、イオン源から**加速管**に導きます。 $H$ (水素)、 $^2H$ (重水素)、 $^3He$ (ヘリウム-3)、 $^4He$ (ヘリウム-4)などを加速することができます。

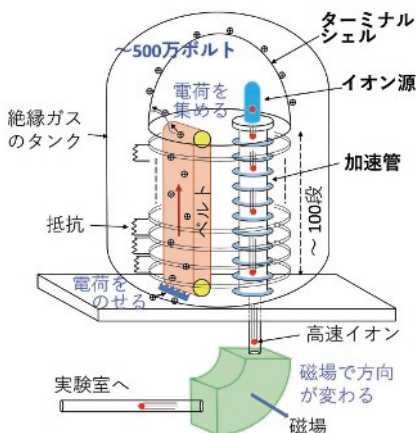


図5. バンデグラフ加速器の仕組み

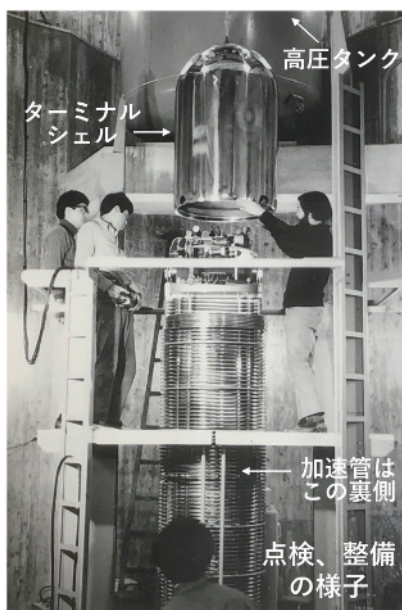


図6. バンデグラフ内部

### 3. 元素の人工変換とニホニウム

冒頭に出てきた**錬金術**との関係を少しお話しします。加速器で作られた高速の正イオンは原子核との反発に打ち勝って原子核の中に入り、原子核反応を起こします。例えばバンデグラフ加速器からの $^2\text{H}$ (重水素)が $^{16}\text{O}$ (酸素)に衝突すると、中性子を放出して $^{17}\text{F}$ (フッ素-17)に変わります(図7)。 $^{17}\text{F}$ は天然の $^{19}\text{F}$ の**同位元素**(陽子数は同じで中性子数が異なる元素、左肩の数字は合計数)ですが、1分でベータ線を出して $^{17}\text{O}$ (酸素-17)に壊れます。

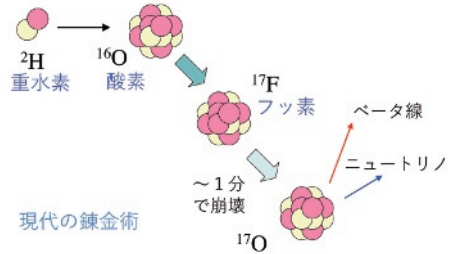


図7. 元素の人工変換

もっと高いエネルギーの加速器を用いれば、鉛から金を作れることもできますが、アボガド数( $6 \times 10^{23}$ )には遠く届かず、お金儲けにはなりません。また、天然にない新元素も作れます。森田浩介らのグループは、理化学研究所の加速器で、亜鉛( $\text{Zn}$ )の原子核をビスマス( $\text{Bi}$ )に衝突させて113番元素(原子番号113)を合成し、2016年**ニホニウム(Nh)**と名付けました。原子番号92ウラニウム( $\text{U}$ )より重い**超ウラン元素**は、例外を除き天然には存在せず、すべて人工的に作られたものです。

一方で、天然に存在する元素は、宇宙の初め、**ビッグバン**で合成された軽い元素や、その後、恒星の中で合成されたものです。図8の様に、恒星の中では、高温高密度の環境下で、水素がゆっくりと核融合しヘリウムが作られます。そして、太陽質量の10倍程度もあるような巨大な恒星内においては核融合反応が鉄原子核の合成まで進み、その後、潰れて**超新星爆発**を起こして、急激に重い元素が合成され、爆発により宇宙にばら撒かれます。太陽程度の大きさの恒星の寿命は百億年ほどありますが、太陽質量の10倍もあるような巨大な恒星では、一千万年程度の寿命で急速に核融合反応が進みます。

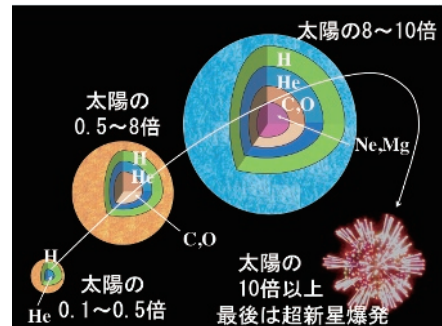


図8. 恒星内での元素合成

### 4. 原子核の構造の研究

加速器を用いて生成した高エネルギーの荷電粒子をぶつけて**原子核反応**を起こしたり、放射線を出す同位元素を生成し、ベータ線など放出される放射線を観測してその原子核の構造を調べることができます。**放射性同位元素**は短時間で崩壊し

安定な原子核に変わるので、天然にはありませんが、宇宙での元素合成では重要な役割を果たしました。

図9の様に、原子核は、球形のものばかりではなく、むしろ、レモンの様に長く伸びたり、みかんの様に平たく**変形**している場合が多く見られます。形を調べることで、構造がわかります。原子核は電荷を持っているので、変形した核では、電気的な偏りができます(**電気四重極モーメント**といいます)。また、原子核内を運動する陽子や中性子は、回転の勢い(**角運動量**)があり、その運動が作る電流により小さな磁石(**磁気モーメント**)になります。これを調べれば、核内での陽子や中性子の運動の様子もわかってきます。

これら磁気モーメントなどは図10の様に外部の磁場から力を受けて、コマのように首振り運動をします(**歳差運動**)。余談ですが、地球も赤道が少し膨らんでいるため月などから偏った力を受けて2万6千年周期で首振り運動し、地軸の方向は北極星からずれてゆきます。原子核はずっと小さいので、1マイクロ秒以下の周期です。この歳差運動の周期を**核磁気共鳴法**で測定すれば磁気モーメントや電気四重極モーメントが極めて精度良くわかります。水素の核磁気共鳴を応用した**MRI**は、医療ではなくてはならない技術です。

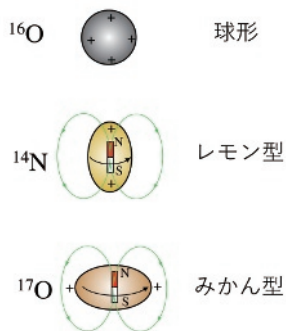


図9. 原子核の形

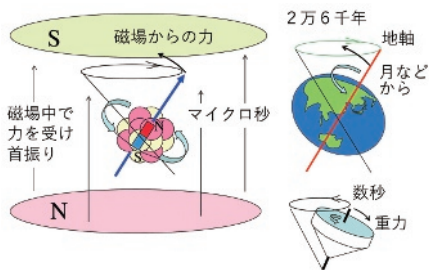


図10. 核磁気共鳴

## 5. 物質科学の研究と微量元素分析

磁気モーメントは、例えるなら小さな方位磁石のように、その場所の磁場を知らせてくれます。**放射性同位元素**を結晶内に埋め込み、放射性同位元素からのベータ線の方向を見ながら核磁気共鳴を行うと、**共鳴周波数**から**結晶内部の磁場**が精密にわかります。こうして物質内部の磁場や電場を調べられます。また、埋め込んだ元素の結晶中での動きもわかります。図11のように、ICなど電子部品の材料となるケイ素(**シリコン:Si**)などの**半導体**中

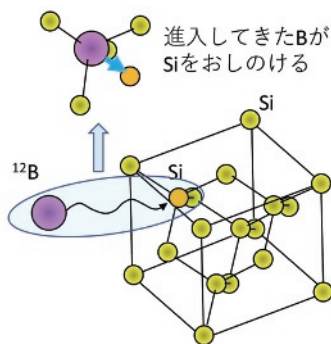


図11. Si中のB

の重要な微量成分、**ホウ素(B)**の振る舞いを放射性の $^{12}\text{B}$ で調べています。

銅(Cu)やアルミ(Al)の単結晶中でホウ素(B)や窒素(N)などがどの**結晶内位置**を占めるのかといった研究も行いました。

図12は、特性엑스線による微量元素分析の例です。ヒ素(As)などの含有率から、作物の産地を特定しました。

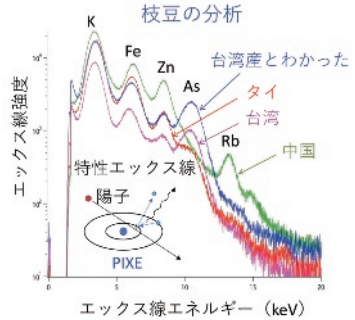


図12. 枝豆の微量元素分析

## 6. 自然界の力の性質、対称性の研究

自然界で、粒子間に働く力は4つあります。原子中の電子の組み換えで起こる化学反応は**電磁気力**で起きます。モーターに限らず、エンジンや筋肉による力、摩擦など、普段目にする現象はたいてい電磁気力によるものです。**重力**は極めて弱いけれど、地球は極めて重いのでその重力は実感できます。あと2つは**強い力**と**弱い力**ですが、原子核のごく近くでしか働きません。

さて、例えば、時間の進む向きを反転してもニュートンの運動方程式は同じです。鏡で空間座標を反転しても同じです。ところが、弱い力で起きる**ベータ崩壊では空間反転するとベータ線の放出方向は同じになりません**。弱い力では、他の力とは違って、空間反転に対して対称ではないのです。

さて、陽子と中性子の入れ替えではどうでしょう？例えば $^{12}\text{B}$ の陽子と中性子を入れ替えると $^{12}\text{N}$ になります。これらが同じ構造を持つことは磁気モーメントでも確かめられています。上記の特殊な性質を持つ弱い力でも同じになるのでしょうか？大阪大学バンデグラフの精密実験で、陽子と中性子を入れ替えた $^8\text{B}$ と $^8\text{Li}$ の対、 $^{12}\text{B}$ と $^{12}\text{N}$ の対のベータ崩壊でも角運動量とベータ線の方向との関係は同じになり対称であることがはっきりしました。

バンデグラフは、50年間幅広い分野の実験研究に利用されてきましたが、2016年その役目を終え、その加速管などの部品が2024年科学館に展示されました。

**著者紹介** 松多健策(まつた けんさく)、福田光順(ふくだ みつなり)、三原基嗣(みはら もとつぐ)



阪大物理の退職准教授。併任教授、助教の3名。ここで紹介したバンデグラフ(～2016年)のほか、理研の超伝導リングサイクロトロン、量子医科学研究所のシンクロトロン、イギリスやカナダ等の加速器を使って、原子核の構造や物質科学の幅広い実験研究を行っています。

## 日本で最初のプラネタリウム解説

### 電気科学館の開館前特別投影

日本で最初のプラネタリウム施設である大阪市立電気科学館は、1937(昭和12)年3月13日にオープンしました。開館時のプラネタリウム投影は、どのようなものだったのでしょうか。当時の資料から見ていきましょう。

ドイツから輸入したプラネタリウム投影機、カールツァイスⅡ型は、1937年初めから組み立てが始まり、2月20日に完成しました。3月に入ると視察や来賓の迎え入れと並行して、いよいよ本格的な開館準備に入りました。その中で、3月4日に東久邇宮稔彦王殿下がご視察で電気科学館に来館された際に、約40分間のプラネタリウム投影も行われたのですが、これが記録に残る日本で最初の本格的な投影と考えられます。解説は京都帝大の山本一清教授が担当しました。現存する概要書によると、投影は次のような構成です。

- ① 太陽系の惑星図の投影
- ② 3月3日の夜の空の投影
- ③ 3月4日の日の出から日の入りまでの日周運動と、太陽の説明
- ④ 惑星の紹介
- ⑤ 3月4日の星空の紹介
- ⑥ 興味深い天体の写真を投影して紹介

全体構成としては、おなじみの日の出入りの演出はないですが、現在でも通用する標準的な内容と言えます。冒頭①の惑星図の投影は、夜の暗闇に目を慣らすためのもので、細かい配慮が感じられます。

### 開館直後のプラネタリウム

3月13日、いよいよ電気科学館がオープンしました。プラネタリウムの投影は1日5回、各回の投影時間は45分間でした。

開館時のプログラム構成は、大阪の宵の空の紹介、太陽の公転運動と季節変化、月の満ち欠けと公転運動、北極の星空と白夜、南半球で南天の星空の紹介、彗星と流星の紹介、という流れで、大変盛りだくさんの内容です。

さて、実際の解説の様子ですが、残念ながら

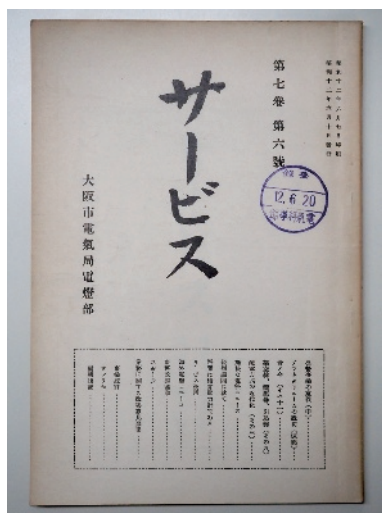


写真1:『サービス』1937年6月号の表紙

当時の音声記録は残っていません。でも、解説をそっくりそのまま文章にした記録が、電気科学館を運営していた大阪市電気局電灯部の社内報『サービス』（1937年7月号）に掲載されています（写真1、2）。「プラネタリウムの説明（速記）」という記事で、4月15日の第4回投影とのことから、開館から約1カ月後となります。解説を速記でそのまま記録し、文字に起こしたようです。

## プラネタリウムの解説ナレーション

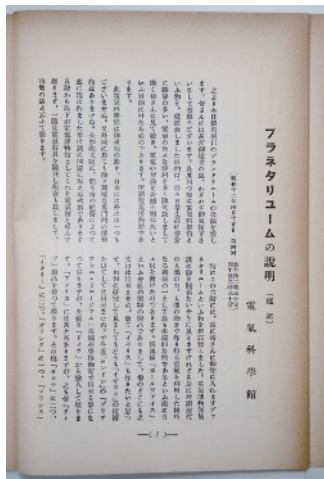


写真2:「プラネタリウムの説明」の冒頭部分

では、「プラネタリウムの説明（速記）」のごく一部を紹介します。投影当日の夕方、西空に見える冬の星座の解説部分です。漢字の旧字体は新字体に、かな遣いは現代かな遣いにしています。プラネタリウムで、解説者がポイント(矢印)を操作しながら話している姿を想像しながら音読すると、解説気分が味わえます。

「この三つ星のこの辺を我々がオリオン星座と呼んでいる部分であります。星座というのは、ちょうど地上を区分して大阪府、奈良県、兵庫県、というふうに唱えているように、空をいくつかの星座に分けて呼んでいるのであります。例えば、オリオンはここ。牛はここ。ぎょしゃはここ。ふたごはここ。こいぬはここ。おおいぬ、かに、しし。北斗七星のある辺はおおぐま。それからここに北極星がありますが、これだけの部分

がこぐま、という具合に、全天に約90ほど星座の名前を付けています。こうしておきますと、空のどの部分ということが便利でよろしいが、これはあまり学術的には大して意味はありません。通俗的の空の話というにはちょっと面白いのであります。」

いかがでしたか。星座の解説パートはもう少しあるのですが、前述のように45分間に多くの内容を盛り込んでいる関係か、星をたどって星座の形を丁寧に説明するような感じではありません。また、全体の印象としては、観覧している人々への問いかけがなく、講演的な感じがします。

電気科学館開館時の投影をご紹介します。開館直後は、一つのテーマを詳しく紹介する「テーマ解説」や、投影が夕方の日没から始まり、翌朝の日の出で終わる演出は見られません。この演出が誕生するのは、開館から半年後くらいようです。

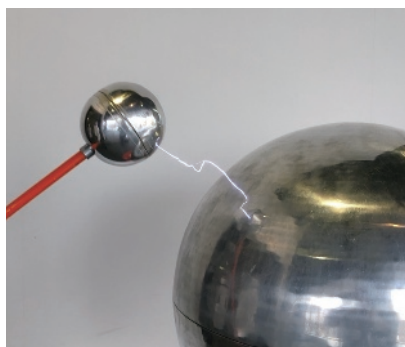
嘉数 次人(科学館学芸員)

# ジュニア科学クラブ 2

★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★★

## ビリッとびっくり！ 静電気

あまりうれしくない冬の風物詩・静電気。とつぜん起こるパチッとした火花でイヤな思いをすることも多いですが、うまくつきあえば、とっても楽しく遊べるものです。静電気の力で、ものをくっつけたり、浮かせたり！ 身長ちかくもある特大のバンデグラフ起電機という装置をつかって、バチバチと火花を起こします！ 静電気をいたくないよう上手に逃がすにはどうしたらいいかも、ご紹介します。



うえば たかひろ(科学館学芸員)

## ■2月のクラブ■

2月16日(日) 9:45 ～ 11:30

◆集 合：サイエンスステージ(展示場3階)

9:30～9:45の間に来てください

てんじ場入口で会員手帳を見せてください

◆もちもの：会員手帳・会員バッジ・実験教室の方は定規・ハサミ

◆内 容：9:45～10:30 サイエンスショー見学(全員)

10:30～11:30 実験教室(会員番号51-100)

10:30～11:30 学芸員の展示解説(会員番号1-51)

・途中からは、入れません。ちこくしないように来てください。

※最新の情報は、科学館公式ホームページ(<https://www.sci-museum.jp/>)をご覧ください。

このページはジュニア科学クラブ(小学校5・6年生を対象とした会員制)のページです。



ど ら      ほうらい ら かん  
**銅鑼：アイダ「蓬莱羅漢」**  
**GR-40S**

資料登録番号  
 2007-02

2007年に入手した、直径1mの青銅製の銅鑼です。

展示場2階「音がきこえる」エリアの「いろいろな楽器」にあります。普段は触れないように結界しています。が、実際には、お客様が触ってしまい、当時、写真のようにピカピカだった表面に、今では緑青が浮いています…(;\_;)

銅鑼には、音程が出せるゴング(Gong)と、複雑な低音の響きが特徴的なタムタム(Tam-tam)がありますが、これはタムタムです。

大きなタムタムの音を間近で聞いたことがありますか？

この銅鑼には、黒いフェルトが先端を覆う、専用のバチ(マレット)が付属しており、銅鑼の中央を叩くと…グオワァ~~~~~ンと、すごい音が響き渡ります。大型船が音響信号設備として使用するのも頷けます(展示ではバチは非公開)。

音はモノの振動です。

銅鑼を叩くと、丸い形状と凸凹の表面の効果で、多波長の振動が生じます。音がしている時、銅鑼の表面を触るとビリビリします。

そして音が聞こえるのは、モノの振動が空気の振動として伝播し、耳の中の鼓膜を震わせるからです。銅鑼が鳴っている時、自分自身の体もビリビリ震えていることに気づきます。空気の振動を体が感じているのです。

機会があれば、不思議な音色と非常に長い余韻の銅鑼を体験してください。



石坂 千春(科学館学芸員)



窮理の部屋 209

## ウラシマ効果と双子のパラドックス8

### 双子のパラドックス

相対論では、運動する物体の長さが縮んだり、時間経過が遅くなったりします。日常では考えられないことや、一見矛盾しているのではないかとと思われることがしばしば起こります。その有名な話が双子のパラドックスとして知られている枠囲みの問題で、答えは(1)が10年、(2)が6歳となります。

この問題の不思議なところは、双子の兄と弟が再会したとき、歳が違っていることです。歳の違う双子なんて世の中に存在できるのでしょうか？

そしてロケットに乗った弟から見れば、兄と地球は0.8cで遠ざかり、そしてある時点から(自分がA星に到着したところから)0.8cで近づきます。ここでcは光速のことですが、弟から見れば自分は止まっていて、地球と兄が動いているように見えるのです。お互いが等速度で運動していますから、基準系は地球にとってもロケットにとってもどちらでもいい、それが相対論というものです。弟から見れば兄と地球の時の刻みがゆっくりになるはずですが、ところが、再会してみると自分の方が若い。これは矛盾しているのではないか！ということです。

おかしいことが起こり、しかも矛盾しているように見えますが、おかしくもなく、矛盾もないということを問題を解きながら考えていきましょう。(1)は実は相対論とは関係なく、小学校の問題です。片道4光年の距離を0.8cで飛ぶのですから、片道に費やす時間は、4光年÷0.8cで、5年。往復ですから10年が答えになります。

(2)の問題は、ローレンツ変換の式 $x' = \gamma(x - vt)$ ……①、 $t' = \gamma(t - vx/c^2)$ ……②、ここで $\gamma = 1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ を思い出して……なんてやっていると時間がかかります。やるべき計算は、 $5^2 - 4^2 = 9 = 3^2$ だから片道3年、往復はその2倍の6年。だから6歳。これで終わりです。でもこの計算方法、いったいなんなんでしょう？

双子の弟が光の80%の速さの出せるロケットで地球から4光年離れたA星へ行き、到達したら直ちに地球に戻ります。  
(1) 地球に残った双子の兄は何年弟の帰還を待つでしょうか。  
(2) 弟は、地球に帰還したとき幾つ歳をとっているでしょうか。

## 時空図

図1は時空図と呼ばれる兄の座標系から見た弟のロケットの軌跡です(地球の自転、公転は無視しています)。時空図は相対論によく出てくる図で、横軸が空間、縦軸が時間になっています。空間は3次元あるはずですが、ロケットは直線上を運動するのでここでは空間は1次元( $x$ )で表され、 $y$ と $z$ は省略されています。時空図の特徴は $c=1$ という単位を取ることです。ここでは横軸の単位を光年、縦軸の単位を年にとっています。すると時空図上では、光は $45^\circ$ の傾きを持つ直線で表されることになります。物体は光速を超えて運動できないので、その軌跡は $45^\circ$ より大きな傾きを持つ直線、または曲線になり、世界線と呼ばれます。

ロケットの出発を原点 $O$ にとり、ロケットは5年かけて4光年離れたA星に到達し、10年で再び地球に帰還します。図上の $OAB$ がロケットの世界線です。兄の座標系を $S$ 系、弟の座標系を $S'$ 系と呼び、例えばロケットがA星に到達したという事象は $A(t_A, x_A)_S$ とか $A(t'_A, x'_A)_{S'}$ のように $S$ 系でも、 $S'$ 系でもどちらでも表すことができます。 $S$ 系では $A$ は $A(5, 4)$ で表されますが、 $S'$ 系ではどう表されますか?というのが(2)の問題です。 $(t_A, x_A) = (5, 4)$ を①②式に放り込めば、 $\gamma = 5/3 = 1.666\cdots$ を計算して求め $(t'_A, x'_A) = (3, 0)$ と求まります。実は①は使う必要がなく、 $S'$ 系では空間座標の原点をロケットに置いているのですから、常に $x' = 0$ なのです。

でも、こんな計算をするのは得策ではありません。①と②を使って $t'^2 - x'^2$ を計算すると $t^2 - x^2$ になっていることを確認できると思います。 $S = t'^2 - x'^2 = t^2 - x^2 \cdots \cdots ③$

( $c=1$ の単位で)は4元不変量 $S$ と呼ばれ、この不変量 $S$ はどの系で計算しても同じ値になります。 $S$ が不変であることは、光速 $c$ がどの系でも不変であることと等価です。そしてローレンツ変換①②は、実は③から導かれるのでした。 $5^2 - 4^2 = 9 = 3^2$ というマジックのような計算は、不変量の式③を使った計算でした。

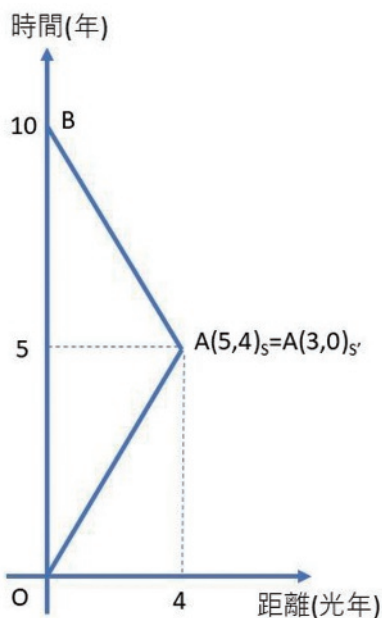


図1  $S$ 系(地球)を基準にした時空図。 $A$ は $S$ 系の時空座標だけでなく、 $S'$ 系の軸座標でも表されている。

大倉 宏(科学館学芸員)

## 標高の改定

### 標高

日本で一番高い山は富士山で、標高は3776mです。標高とは、基準面からの高さのことで、山の高さだけでなく、私たちの生活のあらゆる場面に関わっています。道路や橋梁の設計には正確な標高データが必要ですし、農業用水を田畑に行き渡らせるためには、詳細な高低差が分からないといけません。近年では、ドローン物流を行うためにも、各地の正確な標高情報が求められています。

ところでそもそも標高とは、いったいどこから測った高さのことなのでしょう。

### 日本水準原点

日本では標高の基準は、測量法により、東京湾の平均海面の位置を0mと定められています。

実用的には、日本水準原点と呼ばれる基準が、国会議事堂に隣接する、国会前庭の中に置かれています。ここの標高が、1891年(明治24年)に24.500mと定められました。その後、1923年の関東大震災、2011年の東日本大震災の地殻変動の影響を踏まえて、水準原点の標高が24.3900mと改定され、これが日本の標高の基準になっています。各地の標高は、ここを基準に測られています。



図1. 日本水準原点

標高の測定は、次ページの図3のように、2地点に標尺と呼ばれる棒状のものさしを垂直に立てて、レベルと呼ばれる望遠レンズがついた機器で2つの標尺の目盛りを読み、その差から高低差を求めます。この測定を繰り返していくことで、各地の標高を求めることができます。

日本全国には水準点と呼ばれる基準点が設けられています。水準点は、精度の高い標高の基準点で、国道などに沿って約2kmごとに設置されています。国土地理院の管轄する水準点は、全国で約16,000点あります。



図2. 水準点

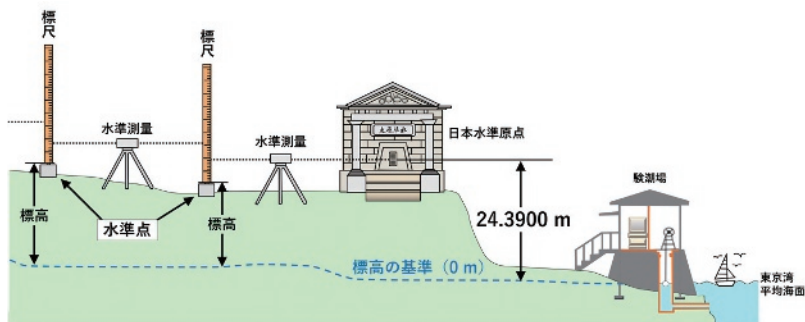


図3. 水準測量(出典:国土地理院ウェブサイト <https://www.gsi.go.jp/sokuchi/kijun/suijun-survey.html>)

なお、同様の基準点として、三角点というものがあります。こちらは水平位置の基準点で、緯度・経度が正確に求められている点になっています。

また最近、GPS衛星や日本のみちびき衛星など、人工衛星の電波を受信して高さを求める電子基準点が設置されています。衛星による測位システムを総称してGNSS(全球測位衛星システム)と呼んでいます。

電子基準点は測量の基準点として用いられるだけでなく、継続的に電波を受信することで、地殻変動をとらえることにも利用されています。



図4. 電子基準点(富士山頂)

## ジオイド

図5のような水平な地上面があったとします。すると、標高はどこでも同じでしょうか。実はそうではありません。もし地下に重い物質があるとそちらの方向に引っぱられるため、水は流れて行ってしまいます。

地形や地下の物質の影響のため、地球の重力の分布は一様ではありません。そのため幾何学的に平らであっても、標高が同じとは限りません。水が流れない基準面を考え、これをジオイド面と呼んでいます。標高とは、このジオイド面からの高さということになります。

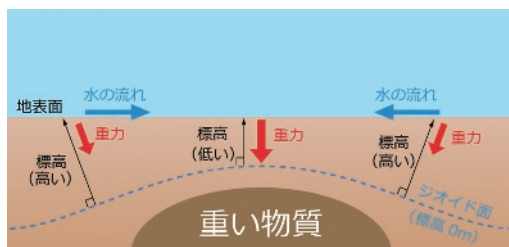


図5. ジオイド面(国土地理院ウェブサイトの図を元に描画 [https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo\\_geoid.html](https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo_geoid.html))

## 標高成果の改定

国土地理院で行っている基本測量で得られた成果品(地図)のことを、測量成果と呼んでいます。

国土地理院ではこの4月1日に、全国の標高成果の改定を行います。この改定で、標高の決定は衛星測位を使った方法に移行することになります。

今までの標高は、日本水準原点を基準にして、標高の測定を繰り返して求められたものでした。電子基準点の標高についても、近くにある水準点からの相対的な高さを測ることで、定められています。

しかし、全国の水準測量には10年以上の年月を要するため、その間にも地殻変動によって標高は変化していきます。また水準測量は、日本水準原点を基準に、測定を繰り返していきます。すると、日本水準原点から離れるに従い誤差が蓄積されてしまうため、北海道や九州などでは誤差が大きくなってしまいます。

そのため今後は、電子基準点で得られた標高の方を基準とし、こちらで得られた標高をもとに、各地の水準点の標高を定めることになりました。

しかし、単純に電子基準点の標高を用いることはできません。それはGNSS衛星から求まる高さは、地球の重心からの幾何学的な距離となり(図6の楕円体高に相当)、各地の重力の影響が考慮されていないためです。そのため、これを基準に標高を定めると、場所によっては標高の低いところから高いところに水が流れるということになりかねません。

国土地理院では、航空機などを用いて、日本全国の重力の分布を調べました。これをもとに、標高の基準となるジオイドモデルが構築されました。日本全国の正確なジオイド高のモデルが作られたことから、GNSS衛星から直接標高を求めることが可能になったのです。

2014年には、三角点の標高成果が改定されました。これは、衛星測位システムの登場により不整合の生じた三角点の標高を改定したものでした。この際、南アルプスの間ノ岳の標高が、1m高い3190mに改定され、奥穂高岳と並んで標高が日本3位タイとなりました。今回の標高成果の改定でも、あるいは標高が改定される山岳が出るかもしれません。

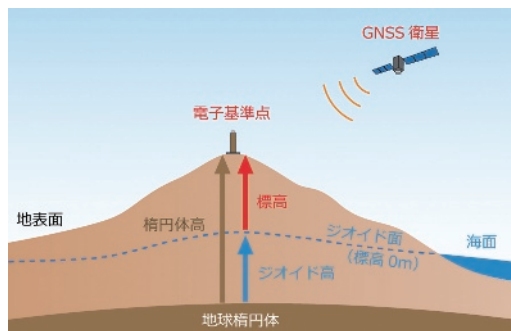


図6. ジオイド高と標高の関係(国土地理院ウェブサイトの図を元に描画 [https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo\\_geoid.html](https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo_geoid.html))

江越 航(科学館学芸員)

## 3月末までの 科学館行事予定

| 月 | 日   | 曜 | 行 事                                          |
|---|-----|---|----------------------------------------------|
| 2 | 開催中 |   | プラネタリウム「オーロラに逢いにいこう」(～3/2)                   |
|   |     |   | プラネタリウム「HAYABUSA2 ～REBORN」(～3/2)             |
|   |     |   | サイエンスショー                                     |
|   |     |   | 企画展「万博で夢見たサイエンス展」(～4/6)                      |
|   | 13  | 木 | 中之島科学研究所コロキウム                                |
|   | 15  | 土 | 天体観望会「木星と火星を見よう」(申込終了)                       |
|   | 16  | 日 | 特別サイエンスショー「爆発ステージ！」(15:00の回)                 |
| 3 | 1   | 土 | スペシャルナイト「月の石ナイト」                             |
|   | 2   | 日 | We are, 科学デモンストレーターズ(詳しくは科学館公式ホームページをご覧ください) |
|   | 4   | 火 | プラネタリウム「月世界への道」(～6/1)                        |
|   |     |   | プラネタリウム「ブラックホールを見た日～人類100年の挑戦～」(～6/1)        |
|   | 8   | 土 | 天体観望会「月・木星・火星を見よう」(2/24 <b>必着</b> )          |
|   | 13  | 木 | 中之島科学研究所コロキウム                                |
|   | 16  | 日 | プラネタリウム特別投影「春休みの天体観察」(10:10の回)               |
|   | 22  | 土 | 電気記念日スペシャルイベント2025                           |

### サイエンスショー 開演時刻

各回の演目は館内掲示・ホームページでご確認ください。

土・日・祝休日は複数の演目を演示しています。

|                   | 11:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| 平日                | —     | —     | ○     | —     |
| 土・日・祝休日、3/18～4/11 | ○     | ○     | ○     | ○     |

所要時間：各約30分間 会場：展示場3階サイエンスステージ ※各回先着90名

★2/16(日)15:00の回は特別サイエンスショー「爆発ステージ！」を開催します。

3/22(土)は「電気と光のスペシャルサイエンスショー」を開催します。



KONICA MINOLTA

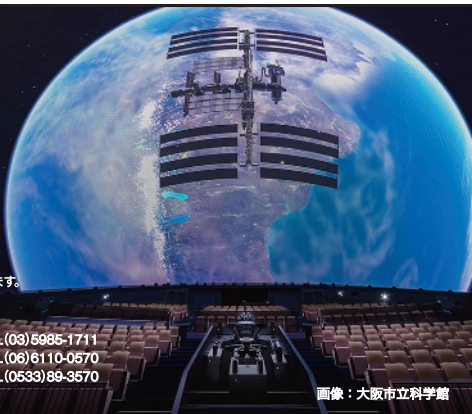
## 私たちは「宇宙」を 作っている会社です。

— プラネタリウム生誕100周年 —

最新の光学・デジタル プラネタリウム機器の開発・製造から、  
独自の番組企画・制作・運営ノウハウに至るまで、  
プラネタリウムという“スペース”の可能性を追求し続けてまいります。

**コニカミノルタ プラネタリウム株式会社**

本社・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 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://www.konicaminolta.jp/planetarium/>



画像：大阪市立科学館

# プラネタリウム 開演時刻

| 土日祝休日 | 10:10  | 11:00 | 12:00    | 13:00    | 14:00 | 15:00    | 16:00 | 17:00 |
|-------|--------|-------|----------|----------|-------|----------|-------|-------|
| 2月    | ファミリー★ | オーロラ  | HAYABUSA | ファミリー    | オーロラ  | HAYABUSA | オーロラ  | 学芸員SP |
| 3月    |        | 月世界   | ブラックホール  |          | 月世界   | ブラックホール  | 月世界   |       |
| 平日    | 9:50   | 11:00 | 11:55    | 13:00    | 14:00 | 15:00    | 16:00 |       |
| 2月    | 学習投影   | ファミリー | 学習投影     | HAYABUSA | オーロラ  | HAYABUSA | オーロラ  |       |
| 3月    |        | ファミリー |          | ブラックホール  | 月世界   | ブラックホール  | 月世界   |       |

所要時間：各約45分間、途中入退場不可

★3/16(日)10:10の回は小学校高学年向けの「春休みの天体観察」を特別投影します。  
※スケジュールは変更する場合があります。最新の情報は科学館公式ホームページをご覧ください。

- オーロラ：オーロラに逢いにいこう ● HAYABUSA：HAYABUSA2 ～REBORN
  - 月世界：月世界への道 ● ブラックホール：ブラックホールを見た日～人類100年の挑戦～
  - 学芸員SP：学芸員スペシャル
  - ファミリー：ファミリータイム(幼児とその保護者を対象にしたプラネタリウム・約35分間)
  - 学習投影：事前予約の学校団体専用(約50分間)
- ☆プラネタリウム投影中、静かに観覧いただけない場合はプラネタリウムから退出していただきます。  
観覧券の返金・交換はできませんのでご了承ください。

## スペシャルナイト「月の石ナイト」

月の石の科学館展示にちなんで、月の石の価値をさらに知るイベントを実施します。宇宙物質のスペシャリスト、立命館大学の土山 明教授の講演と月着陸船アポロ11号の全天映像で思いを遥か月世界にはせてください。

■日時：3月1日(土) 18:30～20:30 (開場18:00)

■場所：プラネタリウム ■対象：どなたでも ■定員：250名

■参加費：1,500円(大人こども同額)

■申込方法：科学館公式ホームページからのWeb販売、または科学館チケットカウンターにて前売券をお求めください。(先着順・定員になり次第販売を終了します)



## 中之島科学研究所 第150回コロキウム

中之島科学研究所の研究員による科学の話題を提供するコロキウムを開催します。

■日時:3月13日(木) 15:00~16:45 ■場所:研修室 ■申込:不要 ■参加費:無料

■テーマ:中国天文学史と朝鮮の古星図

■講演者:宮島一彦(研究員)

■概要:中国では古くから天文学が発達しました。中国独自の星座体系を描いた蘇州石刻天文図は現存世界最古の本格星図で、その伝統にしたがう朝鮮王朝時代の天象列次分野之図はそれに次いで古いものです。この新情報についてご紹介します。

## 天体観望会「月・木星・火星を見よう」

科学館の大型望遠鏡を使って、月や木星や火星を観察してみましょう。月のクレーターや木星の縞模様をご自身の目で確かめてください。そして火星の北極の氷も見えるかチャレンジしてみましょう。※天候不良時は、天体に関するお話をします。

■日時:3月8日(土) 19:30~21:00 ■場所:屋上他 ■対象:小学1年生以上★

■定員:50名(応募多数の場合は抽選) ■参加費:無料

■申込締切:2月24日(月)17:00 **必着**

■申込方法:往復ハガキに、住所・氏名・年齢(学年)・電話番号、一緒に参加希望の方の氏名と年齢(学年)を記入して、大阪市立科学館「天体観望会3月8日」係へ  
または、科学館公式ホームページの専用webフォームより申し込み

★小学生の方は、必ず保護者の方と一緒に申し込みください

※友の会の会員は、友の会事務局への電話で応募できます(抽選は行います)。

## ジュニア科学クラブ2025 の募集

小学校新5・6年生のみなさん! 月1回のクラブに参加して、科学をもっと楽しんでみませんか。学芸員による宇宙や星の解説や、理科の実験・工作などが盛りだくさんです。

■対象:2025年4月から小学校5・6年生になる人

■活動期間:2025年4月~9月(計6回)または10月~2026年3月(計6回)

■定員:各50名(応募多数の場合は抽選)

■会費:4,000円 ■申込締切:3月13日(木)ただし秋冬組は別途

※活動日時や申込方法等、くわしくは科学館公式ホームページをご覧ください。

大阪市立科学館 <https://www.sci-museum.jp/>

電話:06-6444-5656 (9:00~17:30)

休館日:毎週月曜日(2/24は開館)、2/25

開館時間:9:30~17:00 (プラネタリウム最終投影は16:00から)

所在地:〒530-0005 大阪市北区中之島4-2-1



## 友の会 行事予定

最新情報は、科学館ホームページ・友の会会員専用ページでご確認ください。

| 月           | 日  | 曜 | 時間          | 例会・サークル・行事  | 場所       |
|-------------|----|---|-------------|-------------|----------|
| 2           | 15 | 土 | 12:10～13:45 | 英語の本の読書会    | 工作室+Zoom |
|             |    |   | 14:00～16:00 | 友の会例会       | 研修室+Zoom |
|             | 16 | 日 | 14:00～16:00 | りろん物理(場の理論) | 工作室      |
|             | 22 | 土 | 14:00～16:00 | うちゅう☆彗むちゅう  | 工作室+Zoom |
|             | 23 | 日 | 10:00～12:00 | 天文学習        | 工作室+Zoom |
|             |    |   | 14:00～16:30 | 科学実験        | 工作室      |
| 3           | 8  | 土 | 11:00～16:30 | りろん物理       | 研修室      |
|             | 9  | 日 | 13:30～15:00 | 化学          | 工作室      |
|             |    |   | 15:30～16:30 | 光のふしぎ       | 工作室+Zoom |
|             | 15 | 土 | 12:10～13:45 | 英語の本の読書会    | 工作室+Zoom |
|             |    |   | 14:00～16:00 | 友の会例会       | 研修室+Zoom |
|             | 16 | 日 | 14:00～16:00 | りろん物理(場の理論) | 工作室      |
|             | 22 | 土 | 14:00～16:00 | うちゅう☆彗むちゅう  | 工作室+Zoom |
|             | 23 | 日 | 10:00～12:00 | 天文学習        | 工作室+Zoom |
| 14:00～16:30 |    |   | 科学実験        | 工作室         |          |

友の会サークルは、会員が自主的に学習し合う集まりです。  
 科学館内が会場のサークルは、参加申込は不要です。記載の日時に会場にお越しのうえ、世話人に見学の旨お伝えください。テキスト代など実費が必要なものもあります。初めて参加される場合は、まずは見学をおすすめします。



### 2月の友の会例会

友の会の例会では、学芸員による「今月のお話」の他、会員同士での科学に関する話題の発表があり、科学の話題に触れて会員同士の交流を深めるチャンスです。科学館研修室での参加の他、Zoomを利用したオンライン参加も可能です。

19:00からはZoomを利用した、交流会(おしゃべり会)も開催いたします。

■日時:2月15日(土)14:00～16:00

■会場:科学館研修室、Zoom

■今月のお話:「低緯度オーロラ」西野学芸員

プラネタリウム「オーロラに逢いにいこう」では、美しいオーロラの光をご覧いただきながら、その科学を解説しています。また、最近話題になった低緯度オーロラについても取り上げています。この低緯度オーロラとはどのようなものか、日本で観測された写真などとともに紹介します。

友の会入会は随時受け付けています。年会費3000円、入会資格は中学生以上です。

詳しくは科学館ホームページ、友の会ホームページをご覧ください。



## 友の会例会報告

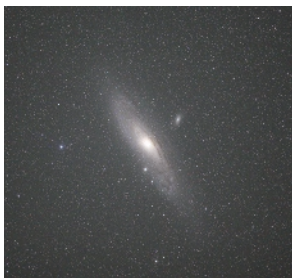
1月の友の会の例会は、18日に開催しました。メインのお話は嘉数学芸員による「橋本宗吉とエレキテル」のお話でした。休憩を挟んで、乾さんから「2025のおはなし」、飯山学芸員から「アトラス彗星の情報」、山田さんから「人工知能のお話」がありました。参加者は、科学館会場で36名とZoom参加が16名と合計52名でした。

夕方には友の会会員専用観望会があり、木星や火星を観察しました。25名の参加がありました。

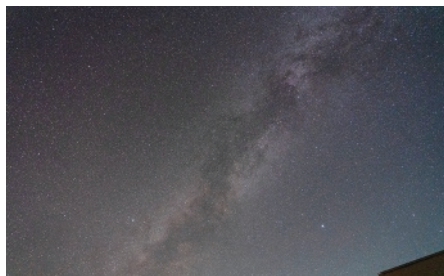


## 友の会合宿での天体写真

昨年11月の友の会合宿天体観測会で会員の皆さんが撮影した天体写真の一部をご紹介します。



オリオン大星雲(福井さんNo. 6937) アンドロメダ銀河(本田さんNo. 5414) M33(本田さんNo. 5414)



ツチンシヤンアトラス彗星(藤原さんNo. 3162)

夏の大三角と天の川(藤原さんNo. 3162)

## 大阪市立科学館 友の会事務局

<http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~tomonokai/>

電話:06-6444-5184 (開館日の9:30~17:00)

メール:tomo@sci-museum.jp

郵便振替:00950-3-316082 加入者名:大阪市立科学館友の会



## 博学連携コーナー

展示改装に伴い、展示場1階は「みんなのサイエンス・ラボ」というテーマのフロアになりました。このフロアは様々な企画展や、大学や企業との連携展示など、旬のトピックスや最新の科学をより臨機応変に提供できる場所になっています。またワークショップなどを開催して、来館者が学芸員やボランティアスタッフとより積極的にコミュニケーションできるようにもなっています。

この一角に、「博学連携コーナー」というコーナーがあります。ここは大学で行われている研究を展示するコーナーで、普段あまり触れる機会のない最新の研究成果を知ることができます。博学連携コーナーは館内の改修に合わせて、2019年3月末から展示を開始しました。当初は4階にありましたが、今回のリニューアルの際に1階に移動しました。

博学連携コーナーでは主に、大阪大学の理学研究科に協力いただき、各研究室で行われている研究内容を紹介しています。大阪大学大学院理学研究科には、数学・物理学・化学・生物科学・高分子科学・宇宙地球科学の6専攻があり、3専攻ずつ、概ね半年交代で展示しています。研究成果をパネルや映像で紹介しているほか、実際の研究現場で使われている機器や、場合によっては、自分で実験できる装置を展示することもあります。

なお、このコーナーを大阪大学側で担当している理学研究科庶務係は、「大阪市立科学館との博学連携の推進と部局発の公開講座モデルケースの構築」という業績で、令和6年度の大阪大学賞を受賞しました。私も受賞に貢献できたことをたいへん嬉しく思うとともに、これを機にさらに充実したコーナーにさせていきたいと思っています。



写真1. 博学連携コーナー



写真2. 大阪大学賞

江越 航(科学館学芸員)

学芸員の展示場ガイド

「学芸員の展示場ガイド」では、サイエンスガイドの方といろんな展示を動画で紹介しています。ホームページからアクセスできますので、ぜひご覧ください！