

# うちゅう 10

2024/Oct.

Vol. 41 No. 7

2024年10月10日発行(毎月1回10日発行)

ISSN 1346-2385



## 通巻487号

大盛況の展示場の様子(3階)

- ② 星空ガイド(10-11月)
- ④ 日本酒づくりとサイエンス
- ⑩ ジェームズウェブ宇宙望遠鏡とユークリッドが見つめる深宇宙
- ⑫ ジュニア科学クラブ
- ⑭ 鉱物の名前になった元素の発見者たち(3)
- ⑯ 窮理の部屋「2022年ノーベル物理学賞(最終回)」
- ⑰ インフォメーション
- ⑳ 友の会
- ㉔ 展示場へ行こう「足あととウェブ」

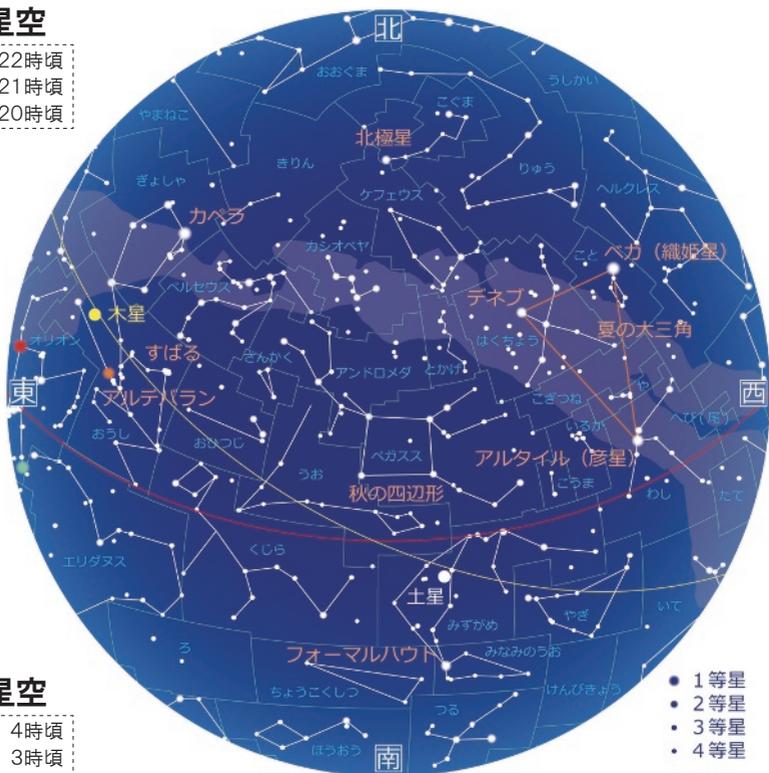


大阪市立科学館  
OSAKA SCIENCE MUSEUM

# 星空ガイド 10月16日～11月15日

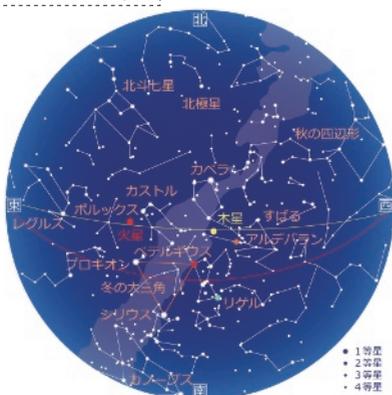
## よいの星空

10月16日22時頃  
11月1日21時頃  
15日20時頃



## あけの星空

10月16日 4時頃  
11月1日 3時頃  
15日 2時頃



【太陽と月の出入り(大阪)】

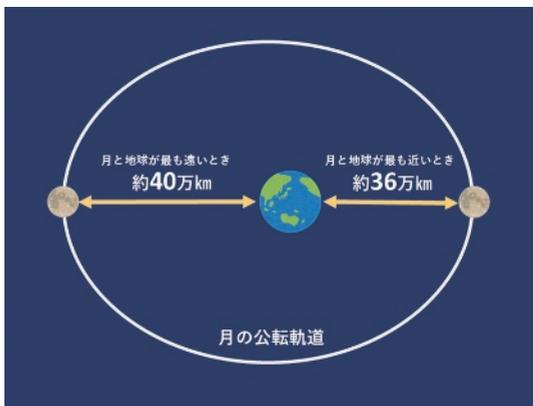
月	日	曜	日の出	日の入	月の出	月の入	月齢
10	16	水	6:04	17:22	16:36	4:11	13.3
	21	月	6:08	17:16	20:00	10:25	18.3
	26	土	6:12	17:10	0:10	14:16	23.3
11	1	金	6:18	17:04	5:52	16:40	29.3
	6	水	6:23	16:59	10:50	20:12	4.6
	11	月	6:27	16:55	14:04	0:40	9.6
	15	金	6:31	16:53	16:10	5:27	13.6

※惑星は2024年11月1日の位置です。

### スーパームーンってどんなムーン？

10月17日の満月は2024年に見られる満月の中では一番大きく見える満月です。このような満月を「スーパームーン」と呼ぶことがあります。スーパームーンは天文学の用語ではなく、もともとは星占いで使われていた言葉だと言われています。最近ではネットニュースなどでよく取り上げられているため耳にしたことがある方も多いでしょう。

ところで、どうして月は大きく見えたり小さく見えたりするのでしょうか。これは、月そのものが大きくなったり小さくなっているのではなく、月が地球に近づいたり遠ざかったりしているのが原因です。月は地球の周りを公転していますが、その軌道は真円ではなく楕円形です。そのため、地球と月の間の距離は一定ではなく、地球に対して月は近づいたり遠ざかったりしているのです。なので、スーパームーンはその年に見られる満月の中で最も地球に近いところにある満月とも言えます。



月の公転軌道(イメージ)

また、地平線近くに輝く月は、空の高いところで輝く月に対して非常に大きく感じることがあります。しかしこれは錯覚であり、同じ日の月の見かけの大きさはほとんど変わっていません。(数時間のうちに月が一気に遠ざかっているわけではないのです。)このような錯覚が起こる原因については諸説ありますが、はっきりとした理由はわからず、現在も議論が続いています。

### 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
10	17	木	○満月(20時) 2024年で一番大きく見える満月
	20	日	土用の入り
	21	月	月と木星がならぶ この頃オリオン座流星群が極大
	23	水	霜降
	24	木	●下弦(4時)
	31	木	明方に月とスピカがならぶ

月	日	曜	主な天文現象など
11	1	金	●新月(22時)
	3	日	夕方に月と水星がならぶ
	4	月	明け方に月とアンタレスが接近
	5	火	月と金星がならぶ
	7	木	立冬
	9	土	●上弦(15時)
	11	月	月と土星が接近 メキシコ沿岸で土星食

## 日本酒づくりとサイエンス

酒ミュージアム(白鹿記念酒造博物館) 学芸員 宮丸 晶

### 1. はじめに

兵庫県の西宮市から神戸市にかけて瀬戸内海沿いに広がり、日本一の酒どころとして知られる地域を「灘五郷」と呼びます。その中でも東部の「西宮郷」に位置する博物館が酒ミュージアム(白鹿記念酒造博物館)です。清酒「白鹿」醸造元の辰馬本家酒造株式会社によって昭和57(1982)年に設立されました。明治の木造蔵を利用した「酒蔵館」では酒造りの工程を学ぶことができるほか、「記念館」では四季折々の企画展をはじめとする美術工芸品や歴史史料の展示を開催しています。本稿では昔から日本人の食文化を豊かにしてきた日本酒について、灘の酒造りに例に科学の視点を交えてご紹介します。



図1. 酒ミュージアム 酒蔵館外観

### 2. 日本酒ができるまで

#### ① 原料処理(精米・洗米・浸漬・蒸米)

日本酒の原料は米です。酒造りでは様々な工程を経て米に含まれるでんぷんをアルコールに変えていきます。酒造りで使用する米は酒米(酒造好適米)と一般米に分けられ、代表的な酒米に「山田錦」があります。兵庫県生まれの品種で、一般米に比べて粒が大きく、心白があるのが特徴です。心白とは酒米の中心にある白く曇った部分(図2)のことです。心白の部分は周りよりもでんぷんの粒の密度が低く、隣り合う粒の間に様々な大きさの隙間があります。そのため、心白の部分に入射した光がその隙間で乱反射して私たちの目に届き、白っぽく見えます。なぜ心白の存在が酒造りにおいて重要なのかは、後ほどご紹介します。



図2. 山田錦の玄米  
白く曇った心白がある

ここからは工程順にご説明しましょう。まずは、米を削る工程(精米)です。米の外側部分には脂肪やたんぱく質が含まれており、それらから派生する物質は酒に雑味をもたらし、香り成分(エステル等)の生成を阻害する原因になります。そのため、玄米をそのまま使うのではなく、外側を削った米を使うことで品質の良い酒を造ることができます。例えば大吟醸酒と呼ばれる日本酒は、玄米の外側を50%以上削った米

を原料に使っています。

続く洗米行程では、削った米についた糠を洗い落とし、浸漬工程では米を水に漬けて吸水させます。米の品種や精米歩合(外側を削った後に残った米の割合)、水温などの様々な要因で吸水の割合が変化するので、浸漬時間を注意深くコントロールしなければなりません。

米が適度に水を吸ったところで、蒸米工程に移ります。蒸すことで米に含まれるでんぷんが $\alpha$ 化され、糊状になります。蒸し具合がとても重要で、程よく硬さが残り、かつ次の工程で麹菌が米の内部へ菌糸を伸ばしやすい「外硬内軟」の蒸米を作るため、吸水率と蒸す時間を工夫しています。

昔は甑こしきという道具の中に吸水させた米を入れ、お湯を沸かした釜の上に乗せることで蒸していました。現在は米をベルトコンベアに乗せ、蒸気の中を移動させながら蒸すという連続蒸米機が主に用いられています。この工程では米の蒸し具合を確認するため、蒸したての米を少量取って板に押し付けて練ることで「ひねりもち」を作ります。この作業で用いられる木製の道具「ぶんじ」(図3)は、今も昔も変わらず酒造りの現場で活躍しています。



図3. ぶんじを使ってひねりもちを作る

## ② 製麹せいこう

蒸し上がった米は32℃前後まで冷やされ、麴室こうむるまたは製麴機へ運ばれます。ここで活躍するのが、黄麴菌(*Aspergillus oryzae*:アスペルギルス・オリゼー)です。カビの一種で、平成18(2006)年に日本醸造学会によって日本の「国菌」として認定されました。種麴(麹菌の孢子)を蒸米に振り掛けて2日間かけて増殖させ、米麴(図4)を作ります。麴菌は米の内部へ菌糸をのびし、放出する酵素の力で米のでんぷんをブドウ糖に分解(=糖化)(図5)します。でんぷんの粒の間に隙間が多いほど菌糸が入り込みやすいため、①でご紹介したように心白のある米を原料に使うことで強い糖化力を持つ米麴を作ることができます。



図4. 米麴



図5. 麹菌による糖化

ちなみに、私たちが食事をする際に米をしばらく噛むと甘くなるのは、この糖化反応と同じ原理です。米のでんぷんを糖に分解する消化酵素アミラーゼは人間の唾液に

も含まれます。はるか昔、麴菌が使われるようになる前まで日本酒の歴史を遡ると、原料の米を口で噛んで造る「口噛み酒」という実に原始的な酒に行きつきます。

### ③ 酏(酒母)造り

米麴ができれば、次は酏を仕込みます。蒸米、米麴、水を混ぜ合わせてすりつぶし、酒造りに欠かせない清酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*: サッカロマイセス・セレビシエ)を培養する工程です。酵母は、ブドウ糖をアルコールと二酸化炭素に変換(=発酵)(図6)するという働きがあります。酏造りにおいて重要なのは、酏を酸性に保つことです。清酒酵母は酸に強く、他の微生物や雑菌が生きられない酸性条件下でも活動することができます。そのため、酏を酸性に保つことで雑菌による汚染を防止し、清酒酵母を育てることができるのです。

酏は、主に「生酏」「山麴酏」「速醸酏」の3つに分けられます。生酏と山麴酏は酒蔵の中に生息する天然の乳酸菌を取り込み、その乳酸菌が作り出す乳酸を用いて作られる酏です。生酏の特徴的な製法として図7のように半切桶の中に原料を入れ、櫂という長い棒ですりつぶす山卸しがあります。山卸しを廃止して作業を省力化したものが山麴酏で、嘉儀金一郎郎によって明治42(1909)年に開発されました。

一方、明治43(1910)年に江田鎌治郎によって考案された速醸酏は、天然の乳酸菌による乳酸の生成に頼らず、醸造用乳酸を添加して作られる酏です。仕込みの最初から酸性にすることで酵母の育成日数を短くできるうえ、安定した品質の酏が得られます。現在は、ほとんどの酏がこの製法で作られています。



図6. 酵母による発酵



図7. 酏造りの様子(酒蔵館展示)

伝統的な酒造りでは、乳酸によって他の微生物や雑菌が淘汰された後、酒蔵に住みついている酵母(蔵つき酵母)が増殖するのを待つという方法が用いられていましたが、自然の力に頼るため酒質が安定しづらいという特徴がありました。科学技術の進歩とともに酵母に関する研究が進み、様々な優良酵母が発見・分離されることで、酏造りにおいても安定して酵母が供給できるようになりました。例えば日本醸造協会が培養して全国の酒蔵に頒布している「きょうかい酵母」は、きょうかい1号、2号…というように番号がつけられ、それぞれに特徴があります。また、発酵の際に発生する二酸化炭素の泡が醪の液面にできず、醪がタンクからあふれる心配がないなど様々なメリットのある「泡なし酵母」も開発され、きょうかい601号、701号…というよ

うに番号の後ろに「01」をつけて頒布されています。ちなみにきょうかい1号は、明治39(1906)年に灘五郷のうち神戸市に位置する「魚崎郷」にある櫻正宗(櫻正宗株式会社)の酒蔵で造られた酏から分離された酵母です。

#### ④ 醪仕込みもちみ

酏ができたら米麴と蒸米、水を加えて醪を仕込み、酵母による発酵を促していきます。しかし一度に大量の原料を加えると酸性度が下がり、雑菌が繁殖する恐れがあります。そのため、段階に分けて仕込みを行います。一般的には、初日に原料を加える「初添」、翌日は酵母の増殖を待つため仕込みをしない「踊り」、その翌日に再度原料を加える「仲添」、さらにその翌日に原料を加える「留添」に分かれます。この場合は三段階に分けて仕込みが行われることから、三段仕込みと呼ばれます。その後酵母による発酵が進み、20日～1か月程度で酏が完成します。

醪仕込みでは、一つのタンクの中で糖化と発酵の2つの反応が同時に起こります。これがまさに日本酒独自の製法であり、並行複発酵と呼ばれます(図8)。他の酒類を例に挙げると、ワインの原料であるブドウには元々ブドウ糖が含まれています。この場合は糖化のプロセスがないことから、単発酵と呼ばれます(図9)。ビールは日本酒と同じく糖化と発酵を経て作られますが、日本酒のように一つのタンクの中で同時に反応させるのではなく、それぞれ別の工程で順番に反応させていくことから単行複発酵と呼ばれます。ちなみに、清酒酵母・ワイン酵母・ビール酵母というように、それぞれの酒を造るのに適した酵母が用いられています。



図8. 日本酒の製法(並行複発酵)

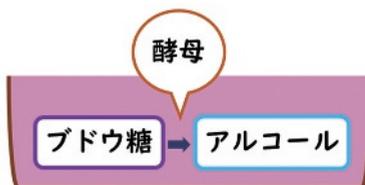


図9. ワインの製法(単発酵)

また、醪仕込みの工程において発酵の状況を知るための重要な指標の一つに、醪のポーム度があります。ポーム度とは比重を表し、ここでは醪と水の密度の比を計測します。具体的には、蒸米のでんぷんが麹菌の働きで糖化されると、糖は水よりも比重が大きいため醪のポーム度は上がり、発酵が進んで糖が酵母によってアルコールに分解されると下がります。このように、ポーム度の増減は醪の中で起こっている糖化と発酵のバランスを知るための判断材料として役立ちます。ちなみに日本酒のラベルに記載されていることがある日本酒度というのは、ポーム度に-10を掛けた値です。マイナスの値が大きいほど糖の含有量が多いということになるので甘口、というように味わいの参考になります。

### ⑤ 上槽じょうそう(搾り)・火入れ・貯蔵

醪ができれば、自動圧搾機で酒と酒粕さかぶくろに分離します。昔は醪を酒袋かふねに詰め、槽と呼ばれる大きな道具に入れ、石の重さを加えてしぼっていました。しぼったばかりの酒にはタンパク質や酵母などが残存しているため、タンクの中で静置して沈殿させてから濾過します。生酒や生貯蔵酒と呼ばれる酒はそのまま貯蔵し、その他の酒は火入れ(加熱殺菌)をしてから貯蔵します。火入れと言っても沸騰させるわけではなく、60℃～65℃程度まで加熱します。腐造の原因となる火落菌などを殺菌し、残存酵母を失活させることで酒を安定して熟成・貯蔵することができます。

このように、日本酒は麴による糖化と酵母による発酵という2つの反応を組み合わせさせて造られます。昔は微生物の存在を知らずに酒造りが行われていましたが、1674年にレーウエンフックによって顕微鏡が、1866年にパスツールによって低温殺菌法が発明されると、明治時代以降に日本にも伝わり、酒造りのプロセスが科学的に解明されていきました。また、木製の酒造道具を使って全て人の手で行われていた作業も時代の流れとともに機械化が進みましたが、酏や醪のボーメ度を測定して加水量や温度の調整を行うなど、現代の酒造りにおいても杜氏の経験的知識が活かされています。

## 3. 灘の酒造りを支える水

ここまで基本的な酒造りの工程を見てきましたが、灘の酒造りを語るうえで欠かせない「宮水」についてご紹介します。宮水は、六甲山に降り注いだ雨が3本の伏流水となって西宮市内まで流れ、地下で交わることでできます。かつて海だった場所を流れる「法安寺伏流」「札場筋伏流」の2本は、ミネラル分や鉄分を含みます。一方、「戎伏流」は砂が多い地層を流れるため空気を多く含み、鉄分を酸化鉄として除去することができます。これらの伏流水が交わることで、酵母の増殖を促すリンやカルシウムをはじめとするミネラル分が豊富、かつ酒質に悪影響を及ぼす鉄分が少ないという酒造りに最適な水質を実現しています。3本の伏流水が交わるという条件から非常に限られた場所でしか採れないため宮水は灘の他の酒蔵からも多くの需要があり、水樽に詰めて大八車(図10)で港まで運ばれたのち、船で出荷されていました。



図10. 大八車(酒蔵館展示)

## 4. 吟醸香を構成する化合物

日本酒の味わいを構成する要素の一つに、香りがあります。吟醸香とも評される日本酒の独特な香りは、有機酸(酸性の有機化合物)、エステル、アルコールなどの様々な種類の分子で構成されています。

有機酸に着目すると、清酒中に最も多いのがコハク酸で、次いでリンゴ酸やクエン酸などが挙げられます。有機酸の中でも揮発性のあるものは香りの構成要素になります。清酒中にどの程度有機酸が含まれているのかを示した値を酸度といい、味わいに関わるため日本酒度と並んでラベルに記載されていることがあります。

エステルは、酸とアルコールの反応で生じる化合物です。独特な芳香を有するものが多く、微量であっても日本酒の香り成分として重要な役割を果たします。例えば、カプロン酸とエタノールの反応で作られるカプロン酸エチルは、リンゴやパイナップルのような香りがします。また、バナナやメロンのような香りのする酢酸イソアミルも吟醸香の構成成分です。他の酵母に比べてカプロン酸エチルと酢酸イソアミルの生産性が高いという特徴を有する高エステル生成酵母(きょうかい1801号)なども開発されており、香り高い大吟醸酒を造るためにこの酵母を使用する酒蔵が多いようです。有機酸の酸味や糖の甘み、エステルやアルコールが生み出す香りなどの様々な要素が織りなす独特な味わいを感じながら日本酒を飲んでみていただければと思います。

## 5. おわりに

酒蔵では今年も酒造りが始まっています。10月24日(木)には新酒の完成を告げる緑色の酒林が酒ミュージアム記念館の軒下に吊り下げられ、年が明けると各酒蔵の敷地内でお酒の試飲や販売を行う「蔵開き」も開催されます。これからの季節、活気にあふれる酒蔵のまち西宮にお越しいただき、是非当館にも足を運んでいただければ幸いです。



図11. 酒蔵館の酒林  
(2023年11月2日撮影)

### 【参考図書】

- ・『光琳テクノブックス(1) 麴カビと麴の話』、小泉武夫著、1984。
- ・『改訂 灘の酒 用語集』、灘酒研究会発行、1997。
- ・『日本酒学講義』、新潟大学日本酒学センター編、ミネルヴァ書房、2022。

### 著者紹介 宮丸 晶(みやまる あき)



酒ミュージアム(白鹿記念酒造博物館)学芸員・広報担当。同館公式Instagramの中の人。大阪市立大学(現大阪公立大学)理学部化学科を卒業後、大阪市立科学館学芸スタッフを経て、2023年7月より現職。

## ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡と ユークリッドが見つめる深宇宙

### 1. ジェームズウェッブ宇宙望遠鏡がとらえた最遠の銀河

宇宙の黎明期を見つめるジェームズウェッブ宇宙望遠鏡が、赤方偏移 $z=14.32$ 、ビッグバンから2億9000万年！という超深部宇宙の銀河を見つけました。今までで最遠の銀河です。まだ分光観測による確認はされていませんが、もし本当に生まれたての銀河だったら、銀河の生い立ちに迫る大発見です！



図1. JWST超深部系外銀河探査で見つかった最遠銀河JADES-GS-z14-0  
©NASA, ESA, CSA, STScI, et al.

★原典：<https://blogs.nasa.gov/webb/2024/05/30/nasas-james-webb-space-telescope-finds-most-distant-known-galaxy/>

## 2. 市民天文学“銀河を分類しよう！”参加者募集中

宇宙の三次元マップを作るべく観測を頑張っている宇宙望遠鏡ユークリッド(月刊うちゅう2023年10月号)。

銀河がいつ、どのように形態を変えてきたかを知るのも重要な観測目標ですが、そのためには、その銀河がどんな形態なのかを、まず分類する必要があります。

最初の観測データでさえ何万個もある未分類銀河を仕分けて“銀河の形態図鑑”を作るにはAIが威力を発揮します。ただしAIの精度を上げるには、人間が教師データを与えなければいけません。

現在、世界中で40万人を超えるボランティアの方が参加していますが、今後も増え続けるデータに対処するため、増員が求められています。

まだ、誰も見たことのない銀河の、最初の目撃者になれるかもしれません。

あなたも銀河分類プロジェクトに参加しませんか？



図2. “銀河形態図鑑”の一例 ©ESA/Euclid/Euclid Consortium/NASA

★原典：[https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Euclid/Euclid\\_Galaxy\\_Zoo\\_help\\_us\\_classify\\_the\\_shapes\\_of\\_galaxies](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Euclid/Euclid_Galaxy_Zoo_help_us_classify_the_shapes_of_galaxies)

石坂 千春(科学館学芸員)

# ジュニア科学クラブ 10



## 炎のアツイ科学

富士山の麓に河口湖という湖があり、その近くの天上山はロープウェイで登れるのだそうです。この天上山は昔話カチカチ山の舞台だと言われています。

「あのカチカチという音はなんだろう？」と言うタヌキに「あれはカチカチ山のカチカチ鳥が鳴いているのさ」とウサギが答えます。本当は何かと何かをぶつけたときの音なのですが皆さんはその正体を知ってますか？実は火がおこるときの音だったのですが、どうして火がおこったのでしょうか？



おおくら ひろし(科学館学芸員)

### ■10月のクラブ■

**10月20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バッジを見せてください

◆もちもの: 会員手帳・会員バッジ・実験教室の方は必要なもの

◆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1-50)

10:30~11:30 学芸員の展示解説(会員番号51-100)

・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。

ここから2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。



10・11月の実験教室

## チタンの色を変えてみよう

今回の教室を担当するのは、きょうとこうげいせんいだいがく京都工芸繊維大学 科学・ものづくり教育普及プロジェクト“ぽっけ”のみなさんです。

チタンはうでどけい腕時計やメガネなどに使われている金属です。チタンと酸素が結びつくと表面にうすいまく膜ができます。この膜があることで、チタンの表面が色づいて見えます。膜の厚さがちがうと、色の見え方もちがいます。チタンにたくさんの酸素が結びつくと膜は厚くなります。逆に少ししか酸素が結びつかないと膜はうすくなります。



このしくみをつかって、オリジナルのカードを作ってみましょう。

### どんなことをするの？

水に電気を流すと、水素と酸素に分けることができます。そこにチタンの板を入れて、チタンと酸素を結びつけて表面の色を変えてみましょう。さらに、電気の大きさも変えて、できる膜の厚さを変えてみましょう。膜の厚さを変えるとチタンはどんな色に変わるでしょうか？

### みなさんが持ってくるもの

○筆記用具

京都工芸繊維大学 科学・ものづくり教育普及プロジェクト“ぽっけ”

## 鉱物の名前になった元素の発見者たち(3)

京都薬科大学 名誉教授 桜井 弘

### ポロニウムとラジウムを発見したキュリーとスクロドウスク石

時は1898年4月14日、ピエール(1859-1906)とマリ・キュリー(1867-1934)夫妻(写真1)はピッチブレンド(瀝青ウラン鉱)(写真2)の分析にかかった。100グラムの試料を乳棒と乳鉢ですり潰す作業に着手し、わずかではあったが放射性元素を発見した。1898年7月、キュリー夫妻はポロニウム(Po)と名づけた新元素を発見したことを連名で論文発表した。続いて12月には、強い放射線を発するラジウム(Ra)と命名した新元素の存在についても発表した。しかし、夫妻の発表に学会から疑問が寄せられた。物理学者たちは新元素の放射線がどのようなメカニズムで生じるのかが不明であり、一方、化学者たちは新元素であれば原子量が明らかでなければならぬと主張した。これらの問題を解決するには、純粋な新元素がもっと多量に必要である。夫妻はそれに挑む決意をした。苦労の末、オーストリアのボヘミア・ザンクト・ヨアヒムスタール鉱山からピッチブレンドを無償で提供を受けることができ、また医学部の解剖学教室として使われていた古い部屋を借りることができた。想像を超える苦難の中、1902年ころには夫妻は、11トンのピッチブレンドを処理して約1

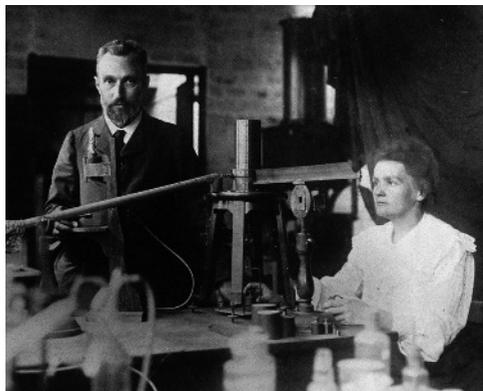


写真1. 実験中のマリとピエール・キュリー夫妻  
([https://en.wikipedia.org/wiki/Marie\\_Curie](https://en.wikipedia.org/wiki/Marie_Curie))



写真2. ピッチブレンド  
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/閃ウラン鉱>)

グラムの純粋ラジウム塩を得た。1899年から1904年にかけて32の研究発表をした。<sup>1)</sup> その結果、学会の人々は放射能や放射性元素への認識を深めていった。夫妻の研究成果は新元素の発見のみならず、放射性元素の同位体発見につながり、ラジウム崩壊によるヘリウム発生の発見、元素変換説などがもたらされ、「元素は不変」という概念から「元素は壊変する」というパラダイムシフトをもたらし、原子物理学は未踏の進歩を遂げた。<sup>2, 3)</sup>

1924年に、ウランの産出地であったコンゴ民主共和国のシャバ州で、アルフレート・ショーブ(1881–1966)が発見した鉱物は、マリ・キュリーの業績を讃えて旧姓のスクロドフスカに因んで「スクロドウスク石(sklodowskite)」(写真3)と命名された。化学式 $Mg(UO_2)_2(HSiO_4)_2 \cdot 5H_2O$ を持つ放射性のウラン鉱物で、マグネシウムを含む明るい黄色の結晶である。

ショーブは、すでに1921年にコンゴ民主共和国のカタンガ州で発見したウランと鉛を含む放射性の鉱物には、マリの夫であるピエール・キュリーの業績を讃えてキュリー石(curite,  $Pb_3(UO_2)_8O_8(OH)_6 \cdot 3H_2O$ ) (写真4)と名づけていた。

[引用文献とノート]

- 1) メンデレーエフが1903年に改訂した71元素からできた周期表には、Ra(当時はRdと書かれていた)の原子量が書かれているが、Poの原子量は書かれていない。まだPoの充分量を得ることができず、原子量を決めることができなかったのであろう。(桜井弘: 元素周期表の誕生、現代化学、2019年1月号(No.574)17–22頁)。
- 2) ウィークス/レスター著、大沼正則監訳『元素発見の歴史3』、朝倉書店(1990)。
- 3) D.N.トリフォノフ、V.D.トリフォノフ著、阪上正信、日吉芳朗訳『化学元素 発見のみち』、内田老鶴圃(1994)。
- 4) 日本語の鉱物名は主に、加藤昭著『鉱物種一覽 2005.9』、小室宝飾(2005)を参考にした。



写真3. スクロドウスク石(黄色の部分)  
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Sklodowskite>)

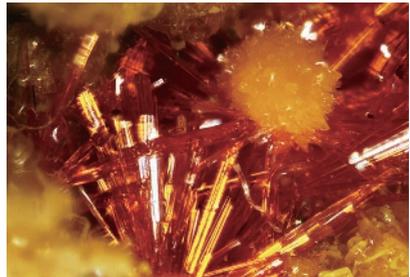


写真4. キュリー石  
(<https://en.wikipedia.org/wiki/Curite>)



窮理の部屋 206

## 2022年ノーベル物理学賞(その9、最終回)

### 装置を $\theta$ 傾けたときの相関関数S(その2)

お互いに平行な偏光面を持つエンタングルメント(量子もつれ)した2つの光子がOsakaとTokyoに向かったとします。OsakaとTokyoにはそれぞれ検出器(偏光板)があり、偏光板を通ってきたかどうかで

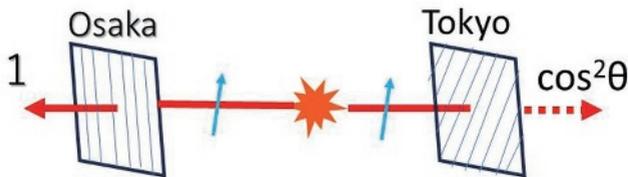


図1:エンタングルメントした光子がOsakaとTokyoに向かい検出される。確率の詳細は、6月号のその8に。

光子の状態を測定するとします。そして、Tokyoの偏光板tはOsakaの変更板oに対して  $\theta$  傾いているとします。Osakaに向かった光子が偏光板oを通り抜けたとき、Tokyoへ向かった光子がtを通り抜ける確率は  $\cos^2 \theta$ 【6月号では  $\cos 2 \theta$  と書かれていましたが  $\cos^2 \theta$  が正しいです】で、 $\langle ot \rangle$  は  $\cos 2 \theta$  になります。

もしCHSH流にOsakaに2枚(oとo')、Tokyoにも2枚(tとt')の偏光板を置かれていて、ot、to'、o't'、t'oのなす角をそれぞれ  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  とするとSは

$$S = \cos 2 \theta_1 + \cos 2 \theta_2 + \cos 2 \theta_3 - \cos 2 \theta_4 \text{ と表されます。}$$

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$  は独立に選べますが、 $\theta_4$  は  $\theta_4 = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3$  なので、 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  を選べば自動的に決まります。もし  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 22.5^\circ$  に選べば  $S = \cos 45^\circ + \cos 45^\circ + \cos 45^\circ - \cos 135^\circ = 2\sqrt{2}$  とSは最大になります。つまり量子力学の理論値は、ベルの不等式  $|S| \leq 2$  を満たさ

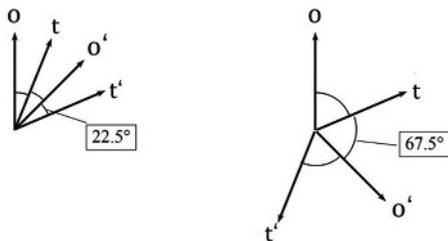


図2:  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 22.5^\circ$  に選ぶとSは最大値  $2\sqrt{2}$  となり、 $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 67.5^\circ$  に選ぶと最小値は  $-2\sqrt{2}$  となる。

ないことがあるのです。

### 実験は量子力学を支持

ベルの不等式は数学的には常に $|S| \leq 2$ です。量子力学の予言するように $|S| > 2$ になるかどうかは、実験的に確かめるべきことです。1969年、受賞者のひとりのクラウザーらはこの光子の偏光を用いた実験で $|S| > 2$ になることを示しました。

この実験は繊細で当時では難しいものでした。重要な実験なので、何人もが追試し、ある人は $|S| > 2$ の結果を得、ある人は $|S| \leq 2$ の結果を得ました。 $|S| > 2$ の結果に対し、OsakaサイトとTokyoサイトの距離が不十分ではないかと疑義が出されました。片方の測定がもう片方に影響を与える可能性があるのではないか？ということでした。

実際、FAX実験では、Osakaサイトの印字とTokyoサイトとでは実は時間差があり、おばちゃんたちは連絡を取り、先に印字された結果とどのFAXを使ったかを相手に伝えていたのでした。そしてその情報を利用して、驚くような結果が出るようカチャカチャ不正操作していたのでした。

1982年のアスぺラの実験は、光子を短パルス化し、検出を高速化してこのような抜け穴を塞ぎました。そして測定された $S$ は量子力学の予想(理論値)をよく再現していることを示し、決着をつけました。

アインシュタインが亡くなったのは1955年で、ベルが不等式を提出したのが1964年ですから、アインシュタインは不等式の存在も実験結果も知りませんでした。もし、アインシュタインが生きていたら、彼はどう言ったでしょう。

### 結語

長い連載も終わりに近づいています。結論はあつけないものだったかもしれません。あるいは、それがどうしたの？と思う人もいるかもしれません。なんだかよくわからない不等式が成り立たないことにどんな意味があるのか？それだけでノーベル賞なのか？と訝しんだ方もいらっしゃるかもしれません。

アインシュタインは、観測とは独立に存在し、測定しようがしまいが確定した値を持つ物理的実在があると考えました。ベルの不等式はそのような存在を暗に(というより

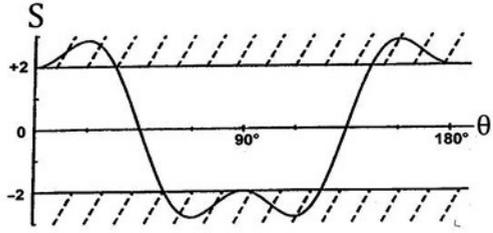


図3:  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta$ として、 $\theta$ を変えていったときの $S$ の変化。量子力学の計算では広い範囲で $|S|$ は2を超えてしまう。

頭わにでしょう)仮定しています。24年2月号(その6)の記事でSを計算するとき、 $o$ 、 $o'$ 、 $t$ 、 $t'$ のそれぞれに-1か1が割り当てられた表を用いて説明しました。でも、それは事実ではないのです。 $o$ を測定したとき $o'$ は測定していません。 $t$ を測定したときは $t$ は測定されていません。表には $ot$ 、 $ot'$ 、 $o't$ 、 $o't'$ の4つの値があたかも存在したかのように記されていますが、測定して確定したのはこのうちの1つだけなのです。

観測しようがしまいが、物理的実在が存在することを前提とするベルの不等式が、破れたということは、観測するまで物理量は確定しないという奇妙な量子力学の言を信じるしかないということです。現在のところ量子力学の理論と矛盾するような観測はありません。量子力学は、観測と何か、物理的実在とは何かに対して深い問いを我々に突き付けています。

量子力学の「状態」は我々が日常使う状態とはかけ離れているので、ここでは「量子状態」と呼びましょう。量子状態はいくつもの量子状態の重ね合わせで表され、測定されるとひとつの量子状態に収束します。驚くべきことに量子状態は実数で表すことは不可能で虚数成分を持つ複素数です。現実世界に複素数の物理量など存在しません。量子状態は観測できる量ではないのです。量子力学は、量子状態から物理量(=測定値)を計算する処方箋を与えますし、量子状態が時間的にどう変化するかも記述する理論です。

23年7月号(その3)で奇妙な入れ替えの話をしました。今、そっくりな白いボールが左右に2つ置かれていたとします。2つを入れ替えても区別はつかないというのは嘘で、わずかな傷とか質量の変化から入れ替えられたことに気づきます。ところが、電子2つ、あるいは光子2つを入れ替えたらどうでしょう？量子力学の世界では、原理的に入れ替えに気づけないのです。我々は、2つの電子、2つの光子の量子状態にエンタングルメント(量子相関)というものがあることを見ました。入れ替え識別が不可能であるからこそエンタングルメントが起こります。ベルの不等式の破れは、まさにエンタングルメントした光子で確定しました。最近、量子技術として量子コンピュータや量子通信というワードがニュースに登場します。その技術の核になるのがエンタングルメントです。エンタングルメントした状態は壊れやすい状態だと言われています。ところが2019年に中国が打ち上げた墨子衛星を使ってツァイリナーらが量子通信に成功したという報道があり、世界中の科学者が驚きました。

このような状況をアインシュタインやシュレーディンガーはどう考えるか、それは無理というものではありますが、聞いてみたいものです。

大倉 宏(科学館学芸員)

11月末までの **科学館行事予定**

月	日	曜	行 事	
10	開催中		プラネタリウム「探れ！天の川の姿」(~12/1) プラネタリウム「まだ見ぬ宇宙へ」(~12/1) サイエンスショー リニューアルオープン企画展「日本の科学館は大阪から」(~11/24)	
		19	土	全国一斉オンライン講演会(詳しくは科学館公式HP参照)
		27	日	みんなで宇宙線空気シャワーをVR技術で3D映像体験(10/17締切)
11	2	土	楽しいお天気講座「いろんな雲を観察しよう」(10/22 <b>必着</b> )	
	9	土	天体観望会「月と土星を見よう」(10/29 <b>必着</b> )	
	14	木	中之島科学研究所コロキウム	

**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
	ファミリー	天の川	宇宙へ	ファミリー	天の川	宇宙へ	天の川	学芸員SP
平日	9:50	11:00	11:55	13:00	14:00	15:00	16:00	
	学習投影	ファミリー	学習投影	宇宙へ	天の川	宇宙へ	天の川	

**所要時間:各約45分間、途中入退場不可**

**※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。**

- 天の川:探れ！天の川の姿 ● 宇宙へ:まだ見ぬ宇宙へ
  - 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。

星の輝きで伝えることがある  
五藤光学研究所 ■ 全天候デジタル配給作品

# MMX

火星衛星探査計画

監督・脚本:上坂浩光 ナレーター:中川慶一 音楽:酒井義久 監修:白井寛裕/橋 省吾  
協力:JAXA 火星衛星探査機プロジェクトチーム 制作・著作:MMX製作委員会  
© LIVE / 五藤光学研究所 / 科学技術広聴財団 / 神戸市立青少年科学館 / ALLSTAFF CO.,LTD.

GOTO

## 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表示しています。

	11:00	13:00	14:00	15:00
平日	—	—	○	—
土・日・祝休日	○	○	○	○

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

### みんなで宇宙線空気シャワーをVR技術で3D映像体験

宇宙から宇宙線という目に見えない粒子が絶えず降り注いでいます。時には1000億個もの粒子が一斉に降り注ぐこともあり、宇宙線空気シャワーと呼ばれます。宇宙線に関する講義を聞いていただき、科学館の展示場で宇宙線を観測する装置を見学します。そしてヘッドマウントディスプレイをつけて宇宙線空気シャワーの3D映像体験をしてもらいます。

- 日時:10月27日(日) 13:30~16:00
- 場所:研修室
- 対象:中学生以下と保護者15組(小学5年生以上は本人のみの参加も可能です。)
- 定員:15組(最大人数24名)
- 参加費:無料
- 申込締切:10月17日(木) **締切**
- 申込方法:科学館公式ホームページをご覧ください。

### 楽しいお天気講座「いろんな雲を観察しよう」

空に浮かぶ雲にはどんな種類があるのでしょうか?雲のパネルを作って、いろいろな雲を学びましょう。実際に外に出て、雲を観察してみましょう。気象予報士がお話します。

- 日時:11月2日(土) 13:30~15:30
- 場所:工作室
- 参加費:500円(1名につき)
- 対象:小学3年生~中学3年生
- 申込締切:10月22日(火) **必着**
- 定員:18名(応募多数の場合は抽選)
- 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「いろんな雲を観察しよう」係へ
- 主催:一般社団法人 日本気象予報士会関西支部、大阪市立科学館



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

## 天体観望会「月と土星を見よう」

月を望遠鏡で観察すると、クレーターを見つけることができます。また、土星は望遠鏡を使えば環を観察することができます。科学館の大型望遠鏡を使って、月や土星を観察してみまよう。

※天候不良時は、月や土星に関するお話をします。

■日時：11月9日(土) 18:30～20:00

■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：10月29日(火)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11月9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)。

## 中之島科学研究所 第146回コロキウム

中之島科学研究所の研究者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：11月14日(木) 15:00～16:45 ■場所：研修室 ■申込：不要 ■参加費：無料

■テーマ：量子のふしぎ

■講演者：大倉宏(研究員)

■概要：ミクロの世界は粒子と波との二重性があると言われ、波のように伝搬し、粒子として観測されます。「同じ」粒子がお互いに強く相関しあいながら伝搬し、そして観測される時どんなことが起こるかを紹介します。

## 楽しいお天気講座「空気のふしぎな実験」

空気には重さがあるかな??空気のふしぎな実験をやってみよう!天気予報でよく使われる気圧とは何か、実験を中心に気象予報士がお話します。

■日時：12月7日(土) 13:30～15:30 ■場所：工作室 ■参加費：500円(1名につき)

■対象：小学3年生～中学3年生

■申込締切：11月26日(火)**必着**

■定員：18名(応募多数の場合は抽選)

■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「空気のふしぎな実験」係へ

■主催：一般社団法人 日本気象予報士会関西支部、大阪市立科学館

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(10/14、11/4は開館)、10/15、11/5

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
10	12	土	11:00~16:30	りろん物理	研修室
	13	日	14:00~15:30	化学	工作室
			16:00~17:00	光のふしぎ	工作室+Zoom
	19	土	15:30~17:00	英語の本の読書会	工作室+Zoom
			18:00~19:30	友の会ナイト	プラネタリウム
	20	日	14:00~16:00	りろん物理(場の理論)	工作室
	26	土	14:00~16:00	うちゅう☆彗むちゅう	工作室+Zoom
27	日	10:00~12:00	天文学習	工作室+Zoom	
		14:00~16:30	科学実験	工作室	
11	2	土	9:30集合	友の会合宿天体観測会	工作室集合
			18:00集合	星楽(せいら)	次ページ記事参照
	9	土	11:00~16:30	りろん物理	研修室
	10	日	14:00~15:30	化学	工作室
			16:00~17:00	光のふしぎ	工作室+Zoom
	16	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
			18:30~20:00	友の会専用観望会	屋上他
	17	日	14:00~16:00	りろん物理(場の理論)	工作室
	23	土	14:00~16:00	うちゅう☆彗むちゅう	工作室+Zoom
24	日	10:00~12:00	天文学習	工作室+Zoom	
		14:00~16:30	科学実験	工作室	



### 友の会ナイト

10月の友の会の例会は、時間・場所を変えて、プラネタリウムの投影を交えて行なう、「友の会ナイト」になります。また、毎月の例会と違い、Zoomでの配信は行いません。友の会会員専用のプラネタリウムの投影をお楽しみください。

■日程:10月19日(土) 18:00~19:30 ■会場:プラネタリウム

■定員:250名(要申込) ■対象:友の会の会員とご家族

■参加費:無料(アンケートにご協力いただきます)

■申し込み方法:右の2次元コード、もしくは友の会会員専用ホームページのリンクから、友の会ナイトの申込フォームへ行き、必要事項をご記入の上お申し込みください。あるいは、友の会事務局までお電話にてお申し込みください。

※会員と同居のご家族の方も参加していただけますが、4人程度まででお願いします。

※夜間の行事のため、中学生未満は保護者が同伴してください(こども向けの投影はありません)。





## サークル星楽(せいら)

サークル星楽は、電車で奈良県宇陀市まで向かい、日帰りで天体観望を行います。

■日時:11月2日(土) 18:00～

■集合:近鉄三本松駅前

■申込:サークル星楽のホームページ <https://circleseira.web.fc2.com/> (推奨)

または、世話人さんへ電子メール(circle\_seira@yahoo.co.jp)にて。

■申込開始:10月2日(水)

■申込締切:10月30日(水)

■備考:参加費は不要(無料)です。天候不良時は中止します。最終電車までに解散しますが、早く帰ることも可能です。詳しくはサークル星楽のホームページをご覧ください。



## 友の会例会報告

9月の例会は21日に開催しました。メインのお話は、野村学芸員から「九州の星のお話アラカルト」でした。休憩の後、飯山学芸員から「ツチンシャン・アトラス彗星の情報」、博物館実習生の廣瀬さんより「雲ってすごい!」、瀬川さんより「目に見えない生物を見つけてみよう!」、渡部学芸員から「大阪万博に火星の石が展示される」の話題紹介がありました。その後会務報告がありました。参加者は科学館会場に28名と、Zoomで22名の合計50名でした。



## 友の会会員専用天体観望会

科学館の屋上で、土星や月を観察しましょう。

■日時:11月16日(土) 18:30～20:00(18:30～19:30の間にご入館ください)

■会場:屋上 ■定員:なし ■申込み:不要

■天候が悪く月が見えそうにない場合は中止します。天候判断は当日16:00です。

■当日スケジュール

16:00 天候判断

18:00 望遠鏡準備(望遠鏡組立等お手伝い頂ける方はこの時間にお越しく下さい)

18:30 観望会開始(19:30までの自由な時間に職員通用口から入館してください)

19:30 入館終了

20:00 観望会終了・片付け

開催が中止かわかりにくいお天気の場合は、当日16時以降、友の会会員専用HPでご確認いただくか、科学館までお電話でお問い合わせください。

※観望会の受付や参加者の誘導、望遠鏡の組立・操作等、観望会の運営にお手伝いいただける方は、科学館の飯山学芸員か、友の会事務局までお申し出ください。

## 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



## 足あとウェーブ（展示場2階）

8月1日にリニューアルオープンした展示場には新しい展示物がいくつも導入されました。

2階「みんなでたのしむサイエンス」の「音がきこえる」エリアに登場した「足あとウェーブ」も、そんな新しい展示の一つです。

実はこの装置は展示改装のモットーとした「本物、実物、生の現象」には当たりませんが、どうしても導入したかったものです。

この展示の製作上の名前は「床面インタラクティブ映像」といいます。その名のとおり、お客さんが歩くとセンサーが足の位置を読み取り、コンピュータがリアルタイムで波紋を計算して描きます(図1)。この波は物理的に正確に計算されていて、反射、回折、干渉が起こります。実は、回折と干渉に特化した裏モードもあります(図2)。さらに、波とともに音も出ます。波のパターンは3種類、音は9種類あり、40秒ごとに切り替わります。皆さんも、2階「足あとウェーブ」で波と遊んでみてください(ただし、とても人気で人口密度が高いですから、人とぶつからないようにご注意ください)。

石坂 千春(科学館学芸員)

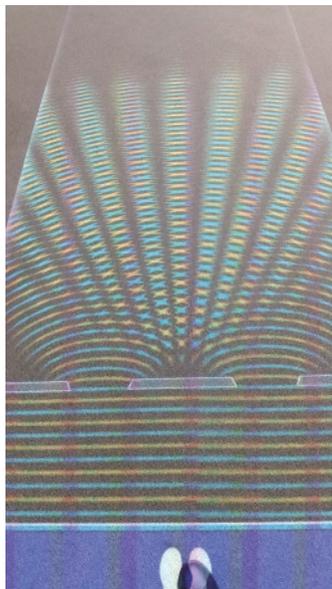


図1(左)  
足あとウェーブ

図2(右)  
裏モード