

2023年のプラネタリウム一般向け番組制作

弘田澄人*・内藤武*・三浦飛未来*・田中里佳*・村上ひろ子*

Planetarium general public show production in 2023.

Sumito Hirota*, Takeshi Naito*, Hibiki Miura*, Satoka Tanaka* and Hiroko Murakami*

はじめに

川崎市青少年科学館（以下「科学館」という）は、1971年に開館して以来、プラネタリウム一般向け投影の番組を自主制作し、職員の生解説により投影している。

一般向け投影は原則として毎月テーマを変え、その都度担当者を中心として関連する資料の収集、調査を経て番組の構成を検討し、演出プログラムの作成、映像の組込み等を行っている。

ここでは2023年1月から12月までに投影した一般向け番組の概要を報告する。

「暦ができるまで」

(1) 投影期間

2023年1月

(2) 内容

現代で使われている暦は星空と関わりがある。暦が生まれた経緯と現在の暦に至るまでの歴史を紹介する。暦を作る上で観測されていた天体の動きを宇宙空間の視点から解説する。

(3) 資料収集、調査研究の成果

渡辺(1977)によれば、昔の人は暦(こよみ)について『コ』は詳細の意、『ヨミ』は数を数えることを意味し、歳月を細やかに数えることとして捉えていたことがわかった。また、廣瀬(2017)では、太陽の位置や動きを読む「日読み(かよみ)」が転じて「こよみ」という言葉になったと考察されている。

(4) 番組の構成

①中国の暦と木星

現在の暦が普及する前、中国では木星の天球上での動きを元にして年を数えて記録する方法「歳星紀年法」が使われていた。歳星紀年法は木星が約12年間で天球上を一周することから、天の赤道に沿って天球を

12等分し、その12等分された領域を木星が1年ごとに移動していく様子から作られた。その後、天球上を木星の逆方向に移動する鏡像的な仮想の天体「太歳」という概念が生まれ、太歳が移動していく領域を「十二辰」と呼んだ。この太歳の天球における位置に基づく暦「太歳紀年法」が使われるようになる。太歳が領域を移動する順番に、十二辰を北から「子」をはじめとして生き物を方位に割り当て、これが十二支の始まりとなった。

②太陰暦と太陽暦

暦は人類が狩猟から農耕へと生活様式が変化し、農耕をする上で季節を知る必要があったため誕生したとされている。その暦を作る上で天体を利用した。

最古の暦と言われる太陰暦は月の満ち欠けを基に作られた暦である。月が同じ形に戻るまでの29.5日を1朔望月として12回繰り返した期間を1年とした。

一方で古代エジプトの人々は日の出直前にシリウスを観測することで、ナイル川の氾濫の時期を察知していた。その後、太陽が一定の速さで星座の星の中を動いていくことに注目し、太陽暦が誕生した。

③星空の中を動く天体

天体が星空の中を一定の時間で動いていくのは、宇宙空間での天体の運行によるものである。

月は地球の周りを約29.5日かけて公転しているため、月の満ち欠けも約29.5日かけて変化する。

地球もまた太陽の周りを1年かけて公転しているため、太陽や星座の星の見え方は1年かけて変化する。一方、同じ太陽系の惑星である木星は約12年かけて公転しているため、地上から観測すると星空の中を約12年かけて巡っていく。

*川崎市青少年科学館（かわさき宙と緑の科学館）Kawasaki Municipal Science Museum

(5) 演出上の工夫等

各方位の十二支の配置を表す際に、枳形山展望台にある十二支のオブジェの写真を使用した。

木星が約 12 年かけて天球上を一周する様子を再現する際に、位置変化を分かりやすくするため木星の軌跡を残し西暦を表示した。エジプトでシリウスが夜明け前の空で見えてくる演出を紀元前 3000 年前の現地に設定し再現した。

「宵の明星・金星」

(1) 投影期間

2023 年 2 月

(2) 内容

この時期、夕方西の空に見える金星を取り上げ、探査機による観測などから分かった素顔を紹介する。

(3) 資料収集、調査研究の成果

画像資料として、金星探査機である日本の「あかつき」、アメリカの「マゼラン」、旧ソビエトの「ヴェネラ」の画像を用い、金星の雲や表面の地形等を紹介した。

(4) 番組の構成

①導入

美の女神ビーナスの名を持ち、宵の明星、明けの明星とも呼ばれる金星は真夜中に見ることはできない。それは、地球と金星の軌道が関係しているようだ。

②金星の特徴

太陽、金星、地球の位置関係を宇宙空間の視点で見ると、金星は内惑星であり、地球から見て太陽の反対側に来ることはない。また、位置関係によって満ち欠けして見える。

金星は地球からの距離が近く、大きさも地球と同じくらいなので、地球の双子の星とも呼ばれる。

③金星の探査

金星に近づき、探査機「あかつき」の軌道を示す。あかつきが捉えた金星表面は厚い雲に覆われている。金星にはスーパーローテーションと呼ばれる強い風が吹いており、あかつきの探査によりこの謎の解明が期待されている。

④金星の素顔

あかつきは金星の表面しかとらえられないが、アメリカの「マゼラン」はレーダーを使い、地形の観測を行った。また、旧ソ連の「ヴェネラ」は着陸に成功したが、金星の過酷な環境のため極めて短時間しか観測できなかった。

⑤まとめ

金星と地球の環境の違いは大きな謎である。今後、ヨーロッパ、アメリカでも金星探査機の打ち上げが計画されている。これからの金星探査によって謎の解明が進み、同時に地球進化の解明にもつながるだろう。

(5) 演出上の工夫等

探査機「あかつき」の軌道を表示し、楕円軌道を描いて金星を観測する様子を解説した。

金星に探査機「マゼラン」のデータを基にしたテクスチャを用い、雲に隠された金星表面の様子を表現した。

「メシエ天体の世界」

(1) 投影期間

2023 年 3 月

(2) 内容

ハレー彗星探索をしていたジャルル・メシエは、彗星に似た別の天体を発見した。宇宙にはそのような天体が多数存在し、彗星と間違えやすい天体としてリスト化していた。そのリストがメシエカタログとして公開され、現在まで使用されている。

(3) 資料収集、調査研究の成果

廣瀬 (2016a)、廣瀬 (2016b)、中山 (1983)、藪内 (1964)から、メシエカタログが作成された経緯や発表媒体、カタログ発行以降に発展していった天文学について調査した。

藤本 (1981)、小暮 (2015) から、後の天文学者がメシエカタログを使って観測していくなかで、望遠鏡の性能もよくなり、星雲とされていたものが恒星の集まりであり、我々銀河系の外にある天体であることが分かるようになった。

(4) 番組の構成

①導入

星雲星団の中に M 番号が付いているもの

がある。M は 18 世紀に活躍した天文学者シャルル・メシエの頭文字で、メシエカタログとしてまとめられている。なぜメシエはそのようなカタログを作っていたのか。

②メシエとその時代

1758 年、メシエはハレーが回帰すると予言していた彗星（現在ではハレー彗星として知られている）を探索していた。おうし座の中に彗星らしき天体を発見したが、数日にわたる観測の結果、残念ながら彗星ではなかった。

1759 年によくハレー彗星を発見できたが、既に別の人物が発見した後だった。

③メシエカタログの作成

メシエはその後も彗星探索を続けた。生涯で 20 個の彗星を発見し、12 個にはメシエの名を冠したメシエ彗星と名付けられた。

彗星探索中、彗星と見間違えるような天体のリストをまとめていった。これがメシエカタログで、最終的に 110 個の天体リストとなった。

このメシエカタログは天文学者らに活用され、その後の天文学者の観測に役立てられた。

④メシエ天体いろいろ

メシエ天体には散光星雲、惑星状星雲、散開星団、球状星団。そして銀河がある。

彗星に見間違える天体のリストとして発表されたメシエカタログ。それを使用してハーシェルが宇宙の姿を凸レンズ型と考えた。19 世紀にはロス卿が星雲とされた天体の中に渦巻き型のものを発見し、星の集団ではないかと考えた。20 世紀にハッブルが渦巻き型の天体が銀河系の外側に存在することを突き止めた。

メシエカタログをきっかけとして現代の宇宙の姿、そして拡がりが増えてきた。

⑤まとめ

メシエが彗星探索で使用したのは 10cm の望遠鏡。そのような小さな望遠鏡でも見える天体のリストとして現在も多くの人々に使われている。夜空でメシエ天体を探してみたいだろうか。

(5) 演出上の工夫等

1758 年 8 月～1759 年 4 月まで年周運動をしていき、地上からのハレー彗星の見え方を再現した。

「電波で見る宇宙 野辺山からアルマへ」

(1) 投影期間

2023 年 4 月 1 日～4 月 28 日

(2) 内容

宇宙は真空ではなく、星や惑星の材料となる星間物質が広がっている。宇宙からのわずかな電波をとらえる電波望遠鏡により、星間分子からの電波をとらえることで、恒星や惑星の材料となる分子について知ることができる。

(3) 資料収集、調査研究の成果

天の川に沿った水素分子分布は、電波で観測された一酸化炭素分子 (CO、水素分子と一定の比率で存在する) の分布画像を用いて表示した。

野辺山宇宙電波観測所では、おうし座の暗黒星雲 TMC-1 に直線炭素鎖分子 C-C-S を初めて発見した。1984 年に未同定のスペクトル線として観測されたシグナルが、鈴木、齋藤 (1987) らによって 1987 年に同定され、以降の星間分子の発見へとつながる成果となった。

アルマ望遠鏡により発見された星間分子として、アミノ酸の材料となりうる構造をもつプロピオン酸アミド (いて座 B2 星形成領域に発見) とイソシアン酸メチル (へびつかい座、原始多重星系 IRAS 16293-2422 に発見) を取り上げた。

(4) 番組の構成

①電波望遠鏡で宇宙からの電波をとらえる

長野県にある野辺山宇宙電波観測所には、直径 45m の電波望遠鏡 (パラボラアンテナ) がある。宇宙からの弱い電波をとらえるためには、大きなアンテナでたくさんの光を集める必要がある。しかし大きなアンテナを作るには限界があり、別の方法でより高い性能を発揮している電波望遠鏡がある。南米チリのアルマ望遠鏡 (ALMA, Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) は、直径 12m と 7m のアンテナを合わせて 66 台並べ、一つの巨大な望遠鏡として使う技術 (干渉計) を用い、高い感度、分解能での電

波観測を行っている。

野辺山 (標高 1,350m) も、アルマ望遠鏡のあるアタカマ砂漠 (標高 5,000m) も、高所で水蒸気が少なく、観測に適した場所である。このような理想的な場所から星空を見上げると、明るく輝く天の川の中に、黒くて暗い部分があることがはっきりと感じられる。

②宇宙は真空で何もない場所か？

天の川の中の、黒くて暗い部分は暗黒星雲と呼ばれている。何もない場所というわけではなく、むしろまわりの宇宙と比べてものが集まっている場所である。

私たちの身体をはじめ、身の回りを作っているものは、原子という小さな粒が集まってできている。一番小さい原子は、水素原子である。宇宙空間は、何もない真空ではなく、 1cm^3 あたり水素原子が1個あるかどうかという密度だが、暗黒星雲には 1cm^3 あたり100~1000個集まっている。まわりと比べて原子や、原子がつながってできた分子がたくさんあるため、光をさえぎり暗く見えている。

オリオン座にある馬頭星雲を電波で観測すると、馬の頭のような形をした暗黒星雲が逆に明るく輝いているように見える。ここから発される電波を調べることで、暗黒星雲にどのようなものが含まれているかを知ることができる。

③暗黒星雲で見つかる分子

暗黒星雲には水素がたくさんあり、天の川に沿って電波で明るく輝く水素の帯が広がっている。さらに、水素以外の原子や分子が含まれていることが電波観測で明らかになっている。野辺山宇宙電波観測所では、1984年、おうし座にある暗黒星雲にC-C-Sという直線炭素鎖分子が含まれることを初めて発見した。野辺山ではこれまでの観測でほかにも15種類の分子が新しく発見されている。

④星間分子の世界

宇宙空間の分子雲で見つかる分子を、星間分子という。星間分子は281種類 (2023年2月6日時点、List of Observed Interstellar Molecules, <http://molecules-in.space/>) が発見されており、恒星や惑星の材料となるもの

たちである。

例えば私たちの太陽系は、中心に輝く太陽は自ら光り輝く恒星であり、主に水素でできている。太陽系の質量の99.8%以上は太陽であり、大部分が水素ということになる。地球をはじめとした8つの惑星や、準惑星、小惑星、彗星などは、その他の1%に満たないものでできている。宇宙全体で見たとき、惑星や私たちは水素以外のごくわずかなものから生まれた。電波で見つかった様々な星間分子も、これから生まれる恒星のまわりで惑星や小惑星の材料となると考えられる。

アルマ望遠鏡による最新の観測成果では、さらに複雑な分子も発見されている。いて座の星形成領域やへびつかい座の原始星の周りに、酸素や窒素を含み、アミノ酸の材料になりうる分子が発見されている。アミノ酸は私たちの身体を作るたんぱく質の材料になるものである。

宇宙にただよう星の材料を電波の目で調べることで、私たちがどのように生まれてきたかの起源にせまることができるかもしれない。

(5) 演出上の工夫等

宇宙が真空ではないことを示すため、一辺1cmの立方体の中にいくつ原子が存在するか、立方体の枠組みの中に原子に模した球体を入れ、その数を変化させることで密度の大小が視覚的に伝わるよう工夫した。

天の川の暗黒帯を強調するため、ステラドームにて、Gaia DR2のデータを反映した天の川を投影した。

Molecules (分子) とウシの鳴き声のモ〜を掛け合わせ、おうし座から発見された分子C-C-Sが登場する際に、牛の鳴き声を鳴らした。

星間分子の3DモデルをMolView (<https://molview.org/>) を用いて作成し、おうし座の分子雲や、いて座、へびつかい座の原始星など、分子が発見された天体の方向から分子モデルが登場するような演出をおこなった。

「月探査最前線」

(1) 投影期間

2023年4月29日~5月31日

(2) 内容

アポロ計画による月面着陸から約半世紀を経て、再び、人類が月へ向かう計画が進んでいる。これまでの月探査の歴史を振り返り、今後展開されるアルテミス計画や月ゲートウェイ計画について解説する。

(3) 資料収集、調査研究の成果

NASA が公開しているアポロ計画、アルテミス計画に関連する画像資料を収集した。アルテミス計画に関しては、リアルタイムで進んでいるため、NASA 公式サイトを随時確認しての作業となった。将来的に月面着陸船として使用される SpaceX 社の StarShip の打ち上げは、主に同社によるインターネット配信を情報源として、解説内容に反映させた。

(4) 番組の構成

①地上から見上げた月

月の表面には明るい「高地」と暗い「海」が見える。高地は月面の 80%を占め、形成年代は 38 億年より古く、白い斜長岩からなり、クレーターが多数みられる。一方、海は比較的新しい玄武岩溶岩の平原である。形成年代が新しいためクレーター数が少ない。

②月を目指す時代

20 世紀後半、ソ連のルナ 2 号が初の月面着陸に成功。アメリカは 1960 年代に有人月面探査計画アポロ計画を進め、全長 100m を超える大型ロケットサターン V を開発した。アポロ 11 号の打上げ日に遡り、その後の軌跡を辿って、月まで向かうこととする。

アポロ 11 号を乗せたサターン V ロケットは 1969 年 7 月 16 日にアメリカケネディ宇宙センターから打ち上げられた。

月周回軌道上で、着陸船イーグルが分離し、1969 年 7 月 20 日に静かの海へ着陸した。アポロ計画では月の石を 300kg 以上地球に持ち帰っている。

③月の環境

月面では、日の当たるところの温度は 100°C を超え、日陰は -170°C となり、温度差は 300 度近い。表面はレゴリスと呼ばれる小天体の衝突などでできた細粒の砂で覆われ、重力は地球表面の約 6 分の 1 しかない。大気がないため昼間でも空は暗く星が見え、

星は瞬かない。星空の中に地球の姿が、地球から見た月の約 4 倍の視直径で見える。地球の引力による潮汐固定のため、月面から見た地球は、時間が経過しても空での位置が変わらない。

④再び月へ

アポロ計画以降、有人宇宙探査は実施されなかったが、2020 年代に入り、再び人類が月へ向かう計画が進められている。国際協力有人月探査計画アルテミスでは、すでに月面着陸に向けてのミッションが行われている。アルテミス I では、2022 年 11 月、NASA はアルテミスで使用するロケット「SLS」初号機を打ち上げ、オリオン宇宙船が無人で月を周回し、地球帰還に成功した。

アルテミス II では、2024 年に有人月周回が計画されている。4 人の宇宙飛行士が搭乗し、月の裏側を回る予定である。2025 年に実行予定のアルテミス III では、乗組員が月へ向かう途中でオリオン宇宙船から乗り換えて月面へ着陸する計画である。

2020 年代後半になると、月面基地開発の計画がある。月面基地はレゴリスや月の地下に存在する氷を利用して、建材やロケット燃料、呼吸に必要な酸素を得る計画である。また、月を周回する宇宙ステーション「月ゲートウェイ」も建設が始まる。月面への中継基地のみならず、将来的には火星へ向かう際の宇宙船の乗り換え拠点としての使用も想定されている。

⑤月との関係

かつて地上から見上げるだけであった月は、探査の目的地から、人類がさらに遠くの宇宙へ向かうための拠点に立ち位置が変化し、近い将来深宇宙への扉となる。私たちと月との関係は変化しながらも続いていく。

(5) 演出上の工夫等

サターン V の打ち上げの際は、当時の音声を再生し、カウントダウンに合わせて、ロケットの画像を拡大縮小するとともに上方へ移動させ、実際に宇宙へ飛んでいく臨場感を演出した。月着陸船イーグルの着陸時においても、イーグルの画像を使い月面への到着を演出した。

月面において、空で地球の位置が時間変化しないことを表現するため、時間を進め

て月から見た星空の様子を観察する時間を設けた。

「梅雨も星空を」

(1) 投影期間

2023年6月

(2) 内容

梅雨の時期は天気恵まれず、星空を観察するのは難しい。しかし、雨の降る時期の星空の楽しみ方、悪天候のときだからこそ見られる天文現象を紹介し、梅雨時期も星空を見上げてもらうことにつなげる。

(3) 資料収集、調査研究の成果

梅雨と天文にまつわる句や季語を調査した。そもそも梅雨という言葉は日本の歴史の中でも新しい言葉とされ、季語として「梅雨」が入った唄は比較的最近作られたものである。

梅雨や悪天候時に見られる気象現象を調査し、暈、月虹、光環を取り上げた。気象現象の写真は科学館職員が撮影したもの他に、ぐんま天文台、石垣島天文台で撮影された写真を使用した。

(4) 番組の構成

①梅雨の仕組み

梅雨は東アジアの6月～7月の期間におきる気象現象のこと。この時期は北から冷たい湿った空気をもたらすオホーツク海高気圧と南から暖かく湿った空気をもたらす太平洋高気圧が停滞する季節である。東アジア上空は雲が発生し停滞しやすくなり、長期間雨をもたらす。

②梅雨を詠った句と季語

俳句や川柳のなかには、梅雨の空を味わっている様子が唄われているものもある。今回の番組内では2つの唄を紹介した。

一つは新古今和歌集から、「五月雨の雲の絶え間をながめつつ窓より西に月をまつかな」を紹介した。西に傾いた月がやっと雲間から顔を出すのを待つことを、普通なら東の空に見るはずの月の出に見立てて興じたものとされている。

もう一つは、現代俳人の一人である鷹羽狩行氏の唄った「暈という美しきもの梅雨の月」(鷹羽, 1996) を紹介した。梅雨の月に

暈という美しいものが見えていることを表現している。参考として公益社団法人俳人協会に意見をいただいた。

③悪天候前後の天文現象

星空を楽しむうえで邪魔なものとして扱われがちな雲や雨が、むしろ星空を楽しむ一興になることがある。

今回は3つの気象現象を取り上げた。まず、暈という薄雲に太陽または満月に近い時の光がかかると見られる輪のような光である。これは上層雲中に含まれる氷晶によって光が屈折することで生じる。次に、満月に近い時の雨上がりで見られる月虹。雨上がりの大気中の水滴によって屈折、反射することで様々な色に分かれて見える現象。そして薄く広がった巻積雲や高積雲によって、光が回折することでもたらされる鮮やかな環のような光、光環を取り上げた。

(5) 演出上の工夫等

情報通信研究機構 (NICT) が提供している、気象衛星ひまわりの撮影した動画を使用した。

梅雨時期をリアルに演出するため、雲の描写を取り入れるとともに雲が流れるように設定した。また、曇り空のシーンでは見える星の数を明るい星に限定して投影した。解説者ごとに雲の演出を工夫できるよう曇り空のパターンを複数用意した。ステラの虹や気象現象の写真は見えやすいようにコントラストをあげた。

「地底から宇宙を見る」

(1) 投影期間

2023年7月

(2) 内容

1987年に大マゼラン雲の中で起こった超新星爆発。その爆発前に放出されたニュートリノが地底にある観測施設・カミオカンデで観測していた。なぜ地上ではなく地底で観測できたのか、そして、地底での観測で何が分かるのかを紹介する。

(3) 資料収集、調査研究の成果

ノーベル賞を受賞した梶田氏へのインタビュー記事(梅本, 2016) から、さまざまな観測機関が連携するマルチメッセンジャー

天文学の活用について分かった。

画像資料は KAGRA 大型低温重力波望遠鏡の HP から著作物の利用許諾申請を行った。

(4) 番組の構成

①導入

夜空に見える天の川の全景を見に宇宙へ出ると、数千億個の恒星がレンズ状に集まった天の川銀河の姿が見える。天の川銀河の近くにある千切れた雲のように見えるのが大マゼラン雲と小マゼランで、それぞれ数百億個の恒星が集まる銀河である。

②ニュートリノ

大マゼラン雲へ接近すると、間もなく最期を迎えると思われる青色巨星が見える。爆発を起こす前に南半球側から地球へと戻るが、そのまま地底を通り抜け日本の岐阜県にある観測施設カミオカンデの中に到着する。

カミオカンデの中は水で満たされていて、その水の分子とニュートリノが衝突する際に発生する光でニュートリノの存在を検知できる。青色超巨星から出ていたニュートリノを 11 個検出できていた。

ニュートリノが地球に到達した数時間後、地球の南半球から大マゼラン雲を見ると超新星爆発が起こった。つまり、ニュートリノを観測することによって超新星爆発の予言が可能となる。

③重力波

超新星爆発前にはニュートリノが放出されるが、それ以外にも時空の歪みが発生する。その歪みを重力波と言い、水上に浮かんだ舟が動くときに起こるさざ波のように空間へ広がる。重力波の存在はアインシュタインも予言していたが、微かな変化の為に観測するのが難しかった。

環境の変化が少ない地底に重力波望遠鏡 KAGRA が建設され、重力波を観測できるようになった。

重力波を調べると宇宙の膨張がどのように起きたか、宇宙の進化にどのような影響があるのか等、これまで分からなかった宇宙の謎が解明されることが期待される。

④マルチメッセンジャー天文学

ニュートリノや重力波を検出し単独で研究するだけでなく、それらと電波、そして光学望遠鏡での観測データを総合的に解明していくマルチメッセンジャー天文学が始まっている。

(5) 演出上の工夫等

大マゼラン雲から地球へ戻る際、ニュートリノが進んだであろう経路に沿って、地球の南半球表面から地底を通り抜けカミオカンデに到着するといったダイナミックな演出を行った。

「世界の海辺から ～南半球の星空～」

(1) 投影期間

2023 年 8 月 1 日～8 月 27 日

(2) 内容

夏の海辺から見上げた星空をテーマに、海を渡って南半球の星空を見に行く。地球上の場所の変化と共に移り変わる星空を体験し、日本からは見ることのできない南天の星座について知る。

(3) 資料収集、調査研究の成果

日本最南端のプラネタリウムである「いしがき島 星の海プラネタリウム」を訪問し、八重山諸島に伝わる星の名前について伺った。また、現地で実際にさそり座を見ることが、緯度の変化による星座の見え方の変化を実感し、投影に活かした。

(4) 番組の構成

①日本の海辺からの星空

神奈川県最南端にあたる三浦半島城ヶ島(北緯 35 度)は、島の南側が相模灘に面している。ここを出発点とし、海をわたった先の海辺で見る星空の旅へと出かける。

まずは日本最南端、波照間島(北緯 24 度)へ。川崎や城ヶ島と比べて、北極星の高さが約 10 度低くなり、南中時のさそり座が 10 度ほど高くなる。緯度の変化によって星空の見え方が変わる。波照間島、石垣島を中心とした八重山諸島では、さそり座のアンタレスを、酔っぱらったおじい星と呼ぶなど、見える星は同じでも、地域によって独自の文化や物語があることを伝える。

②赤道をこえて南半球へ

船に乗ってさらに南へ向かい、赤道上へ。

さそり座はさらに高く、南中時には 60 度ほどになる。さそり座について、ポリネシアの島々に共通した神話である「マウイの釣り針」を紹介し、日本で呼ばれる「つりばり星」との共通性についてふれる。

③ニュージーランドでの星空

さらに南へ進む。途中、波が高くなり、船上から見上げた星空も船の動きに合わせて上下左右に揺れる。ニュージーランド南島(南緯 46 度)へ到着し、南半球からの星空を見上げる。

南半球から見られる星座のうち、海にちなんだ生き物(とびうお、かじき、みずへび)、南国の珍しい生き物(カメレオン、はえ)、美しい鳥(ふうちょう、くじゃく、きよしちょう)や航海に関連する道具(はちぶんぎ、ぼうえんきょう、レチクル)などを紹介する。北半球で見られるような、神話と共に語られる星座たちとはちがいで、15~16 世紀頃の大航海時代に作られた比較的新しい星座が多いという背景についてもふれる。

天の南極の位置や、日本から見るできない空の範囲を示し、場所により見ることのできる星空が変化することを知る。

④海をわたって日本へ帰還

ニュージーランドから日本まで、約 9,000 km の移動に合わせて、移りかわっていく星空を見ながら川崎へと戻る。夏海辺で星空を見上げ、海の向こうで同じように見上げている人たちと星空を共有しよう。

(5) 演出上の工夫等

赤道を超えて南半球に入ったところから海が荒れ、星空が揺れ動く様子を、光学式投影機の動きをコントロールして表現した。具体的には、緯度と経度を直線的に変化させながら(南緯 0 度、東経 139 度(赤道上)→南緯 45.9 度、東経 175 度(ニュージーランド))、時間をジグザグに前後させることで、揺れを表現した。

日本から見るできない空の範囲を、帯状のマスクを赤経方向に沿って表示し、天の南極のまわりに円状に広がる範囲がわかるよう工夫した。

海辺で星空を見上げている雰囲気が出るよう、砂浜や荒れた外海でそれぞれ種類の異なる波音を BGM とし、臨場感を高める

工夫を行った。

「宇宙に生命を探す」

(1) 投影期間

2023 年 9 月

(2) 内容

広い宇宙の中で生命がいるのは地球だけなのだろうか。交信可能な宇宙文明の数を推定する「ドレイクの式」を紐解いて、系外惑星における宇宙で生命が存在する条件を探る。

(3) 資料収集、調査研究の成果

主に天文学辞典に掲載された内容、NASA の公式サイトに準拠し内容を組み立てた。

(4) 番組の構成

①宇宙に生命はいるのか?

1961 年にアメリカの天文学者ドレイクにより、交信可能な地球外文明の数を推定する式 $N=R_* f_p n_c f_i f_e L$ (ドレイクの式) が提唱された。この式を解くために必要な数値とは何だろうか。

②ドレイクの式と系外惑星

R_* は天の川銀河で 1 年間に生まれる恒星の平均数を示す。天の川銀河では、1 年あたり 10 個の恒星が誕生するとされる。

f_p は惑星系を有する恒星の割合である。ドレイク自身は半数程度と考えた。現在、4000 個以上の系外惑星が発見されている。1995 年、地球から約 50 光年離れたペガサス座 51 番星の周りに初の系外惑星が発見された。中心星のまわりをわずか 4 日程度で公転する天体がある。この惑星は、木星のようなガス惑星が中心天体の至近距離を公転するもので、その特徴からホットジュピターと名付けられた。

n_c は 1 つの恒星の周りの惑星系で生命の存在が可能となる惑星の平均数を示す。ホットジュピターは地球とは環境が大きく異なり生命の存在は難しいとされる。初期の観測では惑星によって中心天体が揺さぶられる様子をスペクトルの変化から求めるドップラー法が使われていたが、この手法ではホットジュピターしか見つけられなかった。

2009 年に打ち上げられたケプラー宇宙望

遠鏡は、惑星が中心天体の手前を通ることで光が減少することを観測するトランジット法により、地球に近いサイズの惑星も発見されるようになる。そのうち、中心星からの距離がほどよく、地球と同サイズのものは 20 個程度見つかった。そのうちの 1 つが、2011 年に発見されたはくちょう座方向にあるケプラー-22b は中心星から約 0.85AU の位置を 290 日かけて公転する地球より少し大きなサイズの天体である。仮に大気があれば平均気温が 22°C と見込まれ、液体の水が存在する可能性がある。

③ハビタブルゾーンと生命

中心からの距離がほどよく液体の水が存在する範囲を「ハビタブルゾーン」と呼ぶ。太陽系では、ハビタブルゾーンにある天体は地球のみである。地球は太陽からの距離が程よく、大気も存在し、生命が豊かな星となっている。一方、金星は、400 度を超える灼熱の世界である。火星は、平均気温は -50 度。空気が薄く乾燥して海は存在しない。

④未知の値が多いドレイクの式

高度な文明を持つ生命が生まれるには、天体の位置以外のさまざまな要素が必要である。ドレイクの式の f_i は、惑星で生命が発生する割合を示す。環境が整った場所で、生命が発生する確率はまだ不明な点が多い、 f_i その生命が知的生命体にまで進化する割合、 f_c 知的生命体が星間通信を行うほど高度な技術を獲得する割合などの各要素も不確定なものばかりである。そして、最後の数値 L は、高度文明が星間通信を行い続ける期間である。これは、我々人間が文明を維持できる期間と言い換えることもできる。

⑤まとめ

全ての項にドレイク自身が採用した値を代入すると、我々が出会える地球外文明の数は 10 個となった (天文学辞典)。そもそもドレイク方程式が提唱された時点では系外惑星は見つかっておらず、各々の数値は天文学発展とともに変化する。系外惑星は日々発見されており、今後も生命の存在が期待できる星の数は増えていくだろう。

(5) 演出上の工夫等

プラネタリウムにおいて、数式は扱わない場合が多いが、今回はドレイクの式そのものを扱うため数式を項目ごとに表示した。ドレイクの式はかけ算であるため、小学生でも理解しやすいように、文字の間に「× (かける)」を表示し、言及している項目に枠をつけて強調表示することで、理解の手助けとした。

また使用ソフト「ユニビュー」で宇宙を移動中に、系外惑星に印をつけて強調表示することで、発見された系外惑星の数を直感的にイメージしやすいようにした。

「もう一度見たいあの番組」

(1) 投影期間

2023 年 10 月

(2) 内容

プラネタリウム誕生 100 周年記念企画として開催した企画展「プラネタリウムの舞台裏」にて過去の一般番組から人気投票を行い、得票数の多かったテーマを取り上げた。

(3) 資料収集、調査研究の成果

企画展の際に過去の一般番組一覧を作成し、展示した。来場者にアンケートを行い、過去の番組から見てみたいものを選んでいただいた。

退職した職員への聞き取りや、当時のプラネタリウムリーフレット等から番組内容を再構成したが、現在のプラネタリウムの機能を活かしたアレンジを行った。

(4) 番組の構成

①導入

科学館は 1971 年 8 月に開館し、以来 50 年以上にわたって番組を自主制作してきた。企画展での人気投票上位 3 位をカウントダウン形式で紹介する。

②第 3 位「星空の大時計」

時間とともに星はめぐっていく。時間によって星の見え方が違うから、そこから時間の経過も分かる。

北極星を中心に回るカシオペア座や北斗七星は高さ (角度) で時間の目安になる。

③第 2 位「星空の運動会」

時間とともに夜空を巡る星々は 1 日 (24

時間)後に元の位置に戻る。では、星、太陽、月が競争したら1番早いのはどれだろう。

太陽、月、おおいぬ座 α 星(シリウス)が子午線上に並ぶ位置から1恒星日(23時間56分)時間を進めると、恒星は元の位置に、太陽は約1度東にずれ、月はさらにずれて形も変わる。

④第1位「芭蕉の見た星空」

江戸時代の俳人、松尾芭蕉の「奥の細道」をたどり、俳句に詠まれた星空を再現する。

新潟で詠んだとされる「荒海や佐渡に横たふ天の川」を取り上げ、詠まれた日付と場所を検証し、その時の天の川と佐渡の見え方を再現する。

⑤スポットライト

上位3位以外の番組も、時期ごとに改めて1作品紹介した。

第4位「ようこそハレー彗星」

1985年から1986年にかけて地球に接近し大きな話題となったハレー彗星を再現した。

第7位「火星大接近」

6万年ぶりの大接近とまで言われて話題となった2003年8月の火星接近時の視運動を再現した。

第9位「かわさきで見る173年ぶりの金環日食」

科学館リニューアル直後の2012年5月に起きた金環日食の様子を再現した。

(5)演出上の工夫等

リニューアル前に番組投影に使われていたスライドをデジタル化して使用し、BGMも当時と同じものを使う等、昔ながらの雰囲気を出した。

一方、プラネタリウムの機能を活かす演出として、時間や場所の設定、天体の軌跡の投影など、現在の投影機だからこそできる演出を追加、変更するなど、現代版へのアレンジを行った。

「氷惑星の世界」

(1)投影期間

2023年11月

(2)内容

月は地球の衛星だが、質量や互いの距離のバランスは満ち欠けや日食などの天文現象、さらには潮汐や昼夜、季節変化など、地球環境にも大きく影響している。月の素顔を紹介するとともに、地球との関係について解説する。

(3)資料収集、調査研究の成果

天王星の環は1977年3月に天王星による掩蔽現象により偶然発見された。カイパー空中天文台により掩蔽前後での減光が観測され、環の存在が明らかになった。日本では、富田弘一郎が堂平観測所で観測を行い、環の存在を示唆するデータが記録されていたが、解析を後回しにしてしまったため、発見には至らなかった。

(4)番組の構成

①導入

宵空に木星と土星が明るい。近くには天王星と海王星がある。

天王星は5.7等、海王星は7.7等。望遠鏡でも淡い色が分かるくらいで表面の様子などは分からない。それぞれの惑星の近くに行ってみよう。

②火星へ

太陽系には8個の惑星。目的地に向かう前に近くの惑星を見ておこう。

まずは火星へ。

火星は地球型惑星(岩石惑星)のひとつ、地球の半分の大きさ。薄い大気があり、地中に水があると考えられる。

③木星へ

木星は木星型惑星(巨大ガス惑星)のひとつで、太陽系最大の惑星。直径は地球の約11倍。表面の縞模様と渦巻きが特徴。水素とヘリウムのガスからなり、内側に金属水素、中心は岩石と氷の核がある。たくさんの衛星と薄いリングを持つ。

④天王星

天王星は1781年3月13日、ハーシェルが発見。1977年、天王星による掩蔽の観測から環が発見された。

木星型惑星ではあるが、大気は少なく、水、アンモニア、メタンなどの氷が大部分を占め、中心に岩石の小さなコアがある。

自転軸が横倒しとなっているのは形成後に巨大天体との衝突があったためという説がある。

衛星も大部分は氷と岩石からなると考えられている。

⑤海王星

海王星は1846年、アダムズ、ルヴェリエがそれぞれ独立に計算によって存在を予言、ガレが観測で発見した。

天王星同様、大部分が水、アンモニア、メタンの氷からできており、中心には岩石からなる小さなコアがあると考えられている。外層大気は水素とヘリウムを主成分とするが、これらが主成分である木星や土星とは異なり、海王星の総質量に占める水素とヘリウムの割合は少ない。

天王星と海王星の組成および内部構造は似ているため、木星、土星とは区別し、巨大氷惑星と呼ぶことも多い。

最大の衛星トリトン は1846年に発見された。海王星の自転方向とは逆向きに公転し、捕獲された衛星と考えられている。窒素と塵を吹き出す氷の火山など、地質活動が見られる。

⑥まとめ・氷惑星と太陽系の形成

天王星と海王星は氷惑星としてガス惑星と区別されるようになった。

あらためて太陽系を概観すると太陽からの距離によって性質が分かれることに気づく。太陽に近い地球型惑星とその外側にある木星型惑星、その境界にスノーラインがあると考えられる。

惑星が形成される際、スノーラインの内側では水が気体となって岩石だけが惑星の材料になった。(地球の水は後から隕石などによってもたらされた)

スノーラインの外側では岩石に加えて固体の水(氷)が材料物質となり、大きな質量を持つため、周囲のガスを集めて巨大ガス惑星へと成長した。ただ、天王星、海王星は材料物質が少なく、公転に時間がかかり十分なガスを集めることができず、氷が大部分を占める惑星となった。

より詳しい惑星形成の仕組みについては、太陽系の化石、小惑星に手がかりがあるとされる。小さなものから大きなものまで、太陽系の探査から地球の歴史を紐解こうとしている。

(5) 演出上の工夫等

光学式プラネタリウムでは天王星と海王星は投影できないため、デジタルプラネタリウムで2天体を大きくして表示した。

「太陽系のタイムカプセル」

(1) 投影期間

2023年12月1日～12月28日

(2) 内容

はやぶさ2が持ち帰った小惑星リュウグウのサンプル分析結果を紹介し、リュウグウがかつて水(氷)の豊富な場所で形成されたこと、かつての太陽系の姿は今の惑星の並びとは大きく異なっていた可能性があることを示す。

(3) 資料収集、調査研究の成果

はやぶさ2のカプセル帰還時の全天周実写動画は、2021年に宇宙科学研究所(JAXA)が制作・配付した素材を使用した。

はやぶさ2のリュウグウタッチダウンの様子や、持ち帰られたカプセルとサンプルの画像は、JAXA デジタルアーカイブスにて公開されている動画、画像を使用した。

一連のサンプル分析結果や、そこから示唆されるグランド・タック・モデルを支持する結果については、JAXA 地球外物質研究グループや、分析チームの一つが所属する海洋研究開発機構(JAMSTEC)のウェブサイトを参照した。

(4) 番組の構成

①はやぶさ2の持ち帰った玉手箱

小惑星探査機はやぶさ2は2014年12月に打ち上げられ、小惑星リュウグウの表面からサンプルを採取することに成功した。サンプルをいれたカプセルは、3年前の2020年12月6日に地球へと帰還した。オーストラリアのウーメラ砂漠にカプセルが火球となって帰還した際の様子を、実写の全天周動画(JAXA提供)で体験する。

サンプルの入ったカプセルは、いわばリュウグウ(竜宮城)から持ち帰られた玉手箱である。玉手箱は日本へと運ばれ、JAXA相模原キャンパスのクリーンチャンバ内で開封された。玉手箱の中には、約1cm～数

mm の黒い小石状のサンプルが約 5.4g 入っていた。

②小惑星リュウグウへ

地球から離陸し、太陽系を俯瞰する。小惑星は火星と木星の間に多く分布し、直径数百 km～数百 m のものがおよそ数百万個見ついている。これらもみな惑星と同じように、太陽の周りをまわる太陽系の仲間である。その中で、リュウグウは地球に近い軌道をもつ地球近傍小惑星 (アポロ群) の一つである。リュウグウの近くまで行き、そろばん玉のような形をした小惑星のまわりをまわる。

③サンプルの分析結果からわかってきた小惑星リュウグウの姿

リュウグウのサンプルの分析結果から、リュウグウがどのような小惑星なのかがわかってきた。

1) 炭素を多く含む。岩石の黒色は炭素由来の色であり、身近なものでいう炭や鉛筆の芯などと同じである。探査に向かう際、リュウグウは炭素に富む C 型小惑星として選ばれたが、実際のサンプル分析結果としても炭素を含む性質が示された。

2) 炭素だけではなく、複雑な有機物が含まれていた。中でも、タンパク質のもとになるアミノ酸が 23 種類発見された。必須アミノ酸として知られるバリン、ロイシン、イソロイシンや、グルタミン酸、アスパラギン酸などの旨味成分として知られるものも見つかった。これらは牛乳、肉、大豆、アスパラガスなどの身近な食品にも含まれ、うまみ調味料の原料でもある。地球上にあるのと同じような、複雑な有機物が作られる環境が宇宙にもあるということがわかってきた。

3) 水がたくさん含まれていた。ただし、液体の水ではなく、水のもととなるもの (水酸基、-OH) として岩石中に含まれている。かつてリュウグウが、水がたくさん存在する環境にあったということを示している。

これらの分析結果に加えて、さらに詳しい分析 (水素と窒素の同位体比) の結果、リュウグウの母天体が現在のような地球近傍ではなく、海王星よりも外側の太陽系外縁部でできたものであることがわかってきた。

④太陽系の形成時の姿

太陽系を俯瞰し、小惑星リュウグウの現在の位置から、かつて存在したと考えられる外縁部へ、軌道の変化をさかのぼって見る。惑星の中でも、天王星、海王星らの外側の惑星は氷惑星として知られており、主に水やアンモニアの氷でできている。リュウグウはかつて、これらの氷惑星よりも外側にあったと考えられる。

火星軌道と木星軌道の間には、宇宙空間において水が気体で存在するか、氷で存在するかの境界線 (スノーライン) がある。これより内側では、水は気体としてしか存在できないため、現在地球上にあるような水の起源にはなれない。

最近の他の研究結果では、太陽系形成時の木星の位置は、今の位置 (太陽から 5.2 au) よりも内側 (3.5 au→1.5 au) にあったとする説がある。木星のような巨大な惑星が外側から内側へと移動することで、外縁部の氷を含んだ微惑星も内側に取り込まれたという説 (グランド・タック・モデル) がある。太陽系内での天体の大移動に伴い、氷をたくさん含んだ小惑星が内側へと移動し、現在の地球の水の起源となったと考えることができる。

しかし、太陽系の成り立ちについてはまだわかっていないことが多く、紹介したのも一つの説に過ぎない。

浦島太郎は玉手箱を開けたら一気に年をとってしまったが、私たちは小惑星リュウグウからの玉手箱を開けることで、若返った過去の太陽系の姿を垣間見ることができた。

小惑星は太陽系の過去の姿をとどめた、まさに太陽系のタイムカプセルである。探査がさらに進むことで、太陽系の成り立ちがより明らかになってくることが期待される。

(5) 演出上の工夫等

小惑星のサンプルを送り届けたカプセルを、リュウグウからの玉手箱とみなし、カプセルの開封後に公開されたサンプルの画像と共に、玉手箱が開くイラストを投影して雰囲気を高めた。

リュウグウのサンプル分析の結果見つかった炭素やアミノ酸について、地球上の身近なものにも含まれていることを示すため、炭や鉛筆、含まれている食品などのイラスト

トを投影した。

リュウグウや木星の、太陽系内での軌道位置の変化を示すため、軌道を示すリングの画像を太陽系内の黄道面に沿って拡大、縮小し、視覚的に位置の変化がわかるようにした。

番組制作にあたっての参考文献

- 青木信仰, 1982. 時と暦. 293 pp., 東京大学出版会, 東京.
- 藤本光昭 (編), 1981. 銀河と宇宙. 246 pp., 恒星社, 東京.
- 橋本敬造, 1987. 顯項暦元と歳星紀年法. 東方學報, (59): 323-343
- 廣瀬 匠, 2016a. 星の都の物語 パリに天文学の足跡を訪ねて第3回カタログの誕生. 月刊星ナビ, (191): 48-53.
- 廣瀬 匠, 2016b. 星の都の物語 パリに天文学の足跡を訪ねて第4回最高の彗星ハンター. 月刊星ナビ, (192): 48-53.
- 廣瀬 匠, 2017. 天文の世界史. 256 pp., 集英社, 東京.
- 宮地竹史, 2020. 沖縄の美ら星. 135 pp., 琉球プロジェクト, 沖縄.
- 中山茂 (編), 1983. 天文学人名辞典. 356 pp., 恒星社, 東京.
- 小暮智一, 2015. 現代天文学史 - 天体物理学の源流と開拓者たち. 634 pp., 京都大学学術出版会, 京都.
- 齋藤修二, 1987. 星間分子の化学. 化学と教育, 35 (4): 305-308.
- 友利始夫, 2023. 石垣島で星を観る. 175 pp., 南山舎, 沖縄.
- 梅本真由美, 2016. ノーベル賞の梶田隆章さんにきく! 重力波とニュートリノ振動. 星ナビ, (191):28-35.
- 渡辺敏夫, 1977. こよみと天文. 216 pp., 恒星社, 東京.
- 藪内 清 ほか, 1964. 天文学の歴史. 301 pp., 恒星社, 東京.
- 倉橋 厚, 1985 おもしろ気象学 春・夏編. 189 pp., 朝日新聞出版, 東京.
- 荒木健太郎, 2021, すごすぎる天気の本. 176 pp., KADOKAWA, 東京.
- 荒木健太郎, 2022, もっとすごすぎる天気の本. 176 pp., KADOKAWA, 東京.
- 鷹羽狩行, 1996. 暈という美しきもの梅雨の

月. 狩:俳句雑誌, 19(6): 7.

インターネット情報

- セイコーミュージアム 銀座, 暦の変遷 https://museum.seiko.co.jp/knowledge/relation_02/ (accessed on 2023-Jun.-1)
- NASA Multiwavelength Milky Way Product Page https://asd.gsfc.nasa.gov/archive/mwmw/mm_w_product.html (accessed on 2023-Dec.-21).
- https://alma-telescope.jp/news/organicmolecule-202110?doing_wp_cron=1676458107.8107430934906005859375 (accessed on 2023-Dec.-21).
- https://alma-telescope.jp/news/methyl_isocyanate-201706 (accessed on 2023-Dec.-21).
- NASA Artemis <https://www.nasa.gov/specials/artemis/> (accessed on 2023-Dec.-05)
- NASA Destinations <https://www.nasa.gov/humans-in-space/destinations/> (accessed on 2023-Dec.-05)
- SpaceX 社公式サイト Starship <https://www.spacex.com/vehicles/starship/> (accessed on 2023-Dec.-05)
- 国土交通省 気象庁 ひまわりによる観測事例「2016年6月28日の梅雨前線」 <https://www.mhi.go.jp/himawari/20160628/> (accessed on 2023-Apr.-28)
- NICT-情報通信研究機構 ひまわり8号リアルタイム Web-Himawari-8-NICT (accessed on 2023-Apr.-28)
- 日本天文学会天文学辞典 <https://astrodic.jp/> (accessed on 2023-Dec.-05)
- JAXA コラム—宇宙開発の現場から— <https://iss.jaxa.jp/column/norisan/vol8.html> (accessed on 2023-Dec.-05)
- NASA ケプラー宇宙望遠鏡 <https://science.nasa.gov/mission/kepler> (accessed on 2023-Dec.-05)
- JAXA デジタルアーカイブス <https://jda.jaxa.jp/> (accessed on 2023-Dec.-05)
- JAXA 地球外物質研究グループ <https://curation.isas.jaxa.jp/> (accessed on 2023-Dec.-21)
- JAMSTEC 広報サイト <https://www.jamstec.go.jp/j/pr/> (accessed on 2023-Dec.-21)