

## 特集

## 筑波大学附属視覚特別支援学校と

## Light House でのインクルーシブ天文教育報告

長澤 越志 (Curascopium)

## 1. はじめに

本文書を通して、田中優作を筆頭とし、カリフォルニア大学バークレー校の学生が中心となって立ち上げた団体の Curascopium が行ってきた天文教育活動の報告をします。

はじめに、Curascopium の活動目的として、天文学・宇宙を通してこの世界の不思議な現象や事象に興味と好奇心を持ってもらい、視覚障がいの有無関係なく楽しむことができる機会を提供することにあります。それを行うにあたって、「教育」と「エンターテインメント」という二つの分野を設け、イベントに応じてその二つの分野の焦点を調整しています。本稿では Curascopium が主に「教育」に重きを置いて行った活動である、筑波大学附属視覚特別支援学校での天文学授業と米カリフォルニア州 サンフランシスコの LightHouse での天文教育イベントに軸を置いて報告します。

## 2. 筑波大学附属視覚特別支援学校での天文授業

この項目では、2023年11月に筑波大学附属視覚特別支援学校で行った天文学の授業に関して、主にトピック、内容、模型とワークショップ、授業を受けた学生の感想を記載します。

## 2.1 プロジェクトの概要

まず、筑波大学附属視覚特別支援学校（以下「附属」と略します）における天文授業は Curascopium にとっての最初の天文教育プロジェクトでした。それは団体が掲げるゴールの一つである「視覚障がい者が宇宙を楽し

める場を実現したい」という想いを体現したイベントでもありました。

その際に、当校で地学基礎の教諭をしている柴田直人氏を中心として、本イベントの取り決めを行い、普段行われている地学基礎の授業の一環として特別授業を行うことになりました。対象者は10名の高校二年生で、内4名が全盲（附属では「点字使用者」という表現を使用）、残りの6名が弱視（附属では「墨字使用者」という表現を使用）でした。当日は二コマ分（一コマ50分とします）の時間を使い、授業を行いました。

今回の授業で私たちが重要視していたテーマとして、「インタラクティブで相互性のある参加型の授業の実現」と「多様な選択への気づきの機会の実現」がありました。

最初のテーマとしては、日本教育様式の典型例の一つにある受動的な授業体制ではなく、その場にいる人がディスカッションに参加することで創発を促し、能動的な学びや探究に繋がると考えました。これは米教育機関でも伝統的に行われている参加型の授業体制を参考にしています。

そして二つ目のテーマとしては、視覚障がいを抱えつつも天文研究を行なっている人々の話を紹介することで、視覚障がいを抱えていることで従来では社会的に限定されていた、将来の職業や仕事の選択肢以外にも選択はあることの、気づきを得る機会を実現したいと考えました。

## 2.2 授業の概要

附属の地学基礎のクラスで行う授業のテー

マとして「17世紀のガリレオ・ガリレイが始めた、望遠鏡を使用した宇宙観測により導かれた『天動説から地動説のパラダイムシフトの一部』を体験すること」としました。柴田氏による普段の附属での地学基礎では、太陽系の各天体の大きさを体験する授業、太陽の日周運動を観察する授業、月の満ち欠けの授業、望遠鏡の授業などが行われていました。これらのトピックは、「恒星と惑星と衛星の運動」と「その天体現象の観測」に集約されます。

そこで地学基礎の教科書では詳細に説明されないが、この二つのトピックに直接関わる上述したテーマを授業内容とし、普段の授業で学んだ内容を活かす形としました。

### 2.3 授業の構成と内容

今回の授業では、普段の地学基礎の授業での学びを活かし、実際に体験を得られる形にするために「ガリレオの視点に立って宇宙を眺める」という点に重きを置きました。

そこで授業の構成は、(1) 天動説と地動説の違い、(2) 17世紀にもたらされた望遠鏡の能力と望遠鏡を覗いて見える世界の実感、(3) ガリレオ衛星の発見と惑星の衛星という新概念、(4) まとめ～地動説への誘いとし、ガリレオの体験の流れに沿って順を追える形にしました。

#### (1) 天動説と地動説の違い

授業を行うにあたって、テーマでもある、天動説と地動説という二つの異なる地球を取り巻く宇宙系の視点を、認識することをスタートとしました。

天動説モデルとして、紀元後のエジプトの天文学者である、クラウディオス・プトレマイオスによって自著「アルmagest」に数学的幾何学的に記されたモデルを参照しました(図1参照)。

それに対し地動説モデルとして、観測記録を元にガリレオによって推測された自著「天文対話」に掲載されているモデルを参照しました(図2参照)。

しかし実際に授業する際に、この二つのモデルを紙面で視覚として確認できない学生もいるため、その克服が一つの課題にありました。

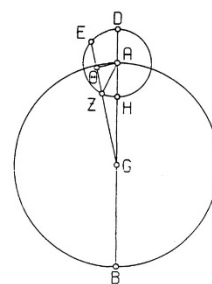


図1 プトレマイオスによる天動説モデル[1]

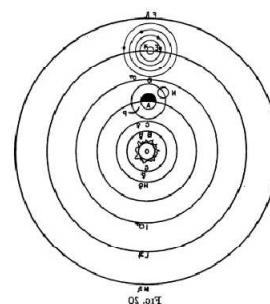


図2 ガリレオによる地動説モデル[2]

#### (2) 17世紀にもたらされた望遠鏡の能力と、望遠鏡を覗いて見える世界の実感

ここでは17世紀以前は天動説モデルが人々の宇宙として認識されていた社会の中で、ガリレオが独自に改良を施した天体望遠鏡を用いて天体を観測したことで、それまで当たり前とされていた事が実際は違うことが分りはじめた時期に焦点を当てています。

望遠鏡によってもたらされた事実の一つとして、今までは表面が円滑な球体だと信じられていた月が、実は月面はクレーターで凸凹としていて、完全球体ではないことがわかつ

たことです。ガリレオによってその様子がスケッチを通して描かれています(図3参照)。

それまで信じられていた月像と、ガリレオの観測によって明らかになった月像の違いを、写真を通して確認することで、望遠鏡が当時もたらしたその能力の凄さを実感することを晴眼者は行なっています。その一方で、望遠鏡を通してどのように見える世界が変化するかを視覚以外の感覚・直感で伝えることが、この項目での課題となりました。

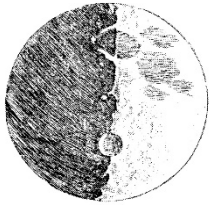


図3 ガリレオによる月のスケッチ[3]

### (3) ガリレオ衛星の発見と衛星という新概念

月や星々をはじめ様々な天体を観測し、それまでは語られていなかった宇宙の側面を覗いていたガリレオがある時に、木星の周りに一列上に並ぶ幾つかの光る天体の発見の時期にここでは焦点を当てます。

その様子をガリレオは自著「星界の報告」でスケッチとして残しています(図4参照)。その後の定点観測を通して、これらの光る幾つかの天体は数を増やしたり減らしたり、それぞれの位置を、木星を中心に一直線に沿って変化させていることなどがわかり、それが木星の周辺を公転する衛星ということがわかりました(図5参照)。

図4と図5の関連性は、視覚を通して世界を認識している晴眼者にとっては、直感的に理解しやすい反面、視覚を介さない場合、この二次元平面上を移動する天体と、三次元空間を移動する天体の関連性を直感的に理解するのは難しい、というのがこのプロジェクト

に協力していただいた京都大学名誉教授の嶺重慎氏による指摘でした。

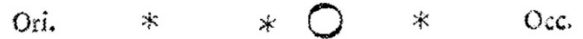


図4 ガリレオによるガリレオ衛星のスケッチ[3]

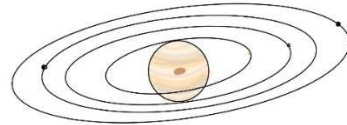


図5 ガリレオ衛星が木星周囲を公転する様子

### (4) 地動説への誘い

(1) から (3) までのガリレオの天体観測は、宇宙モデルが天動説から地動説へ移行していくまでの第一歩であったことをこの授業を締めくくる総括としました。ここでは具体的な内容を解説するのではなく、ダイジェストとしてガリレオ後の現在に至るまでの、科学者によって説かれる地動説への流れを主に紹介する形としました。

## 3. 課題の解決策と模型とワークショップ

授業を行うにあたって、全盲の学生と弱視の学生の両方が同時にガリレオの視点になって、宇宙を観測することを基軸とすることで浮上してくる項目2.3の(1)から(3)におけるそれぞれの課題を確認しました。

この項目ではそれぞれの課題に対して、どのような解決策を提示し、模型やワークショップとして形に落とし込んだかを説明します。

### 3.1 天動説と地動説の模型

附属での柴田氏による地学基礎の授業では、普段から太陽系の点図が使われていました(図6参照)。

この図面は学生が、太陽系では太陽が中心にありその周りを、地球を含めた8つの惑星

が公転していることを知るために使われた点図でもあるので、親しみをもっており、最初に地動説モデルとして認識するために使用することができました。

最初に地動説モデルとして学生がすでに知っている宇宙モデルを認識した上で、17世紀までは図面の中心にあるとされていたのは地球で、太陽は他の惑星のように地球を公転する天体として考えられていたと話すことで、天動説モデルを伝えることができました。

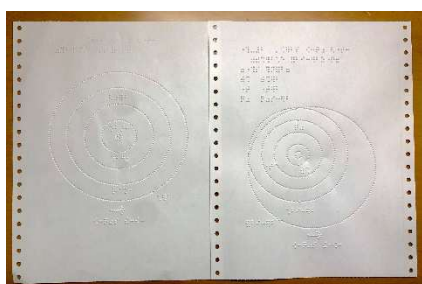


図6 柴田氏が提供する太陽系の図面[4]

### 3.2 望遠鏡の能力の凄さを実感するワークショップ

項目 2.3 の (2) で確認した通り、視覚に依存する望遠鏡の能力の凄さを、視覚的直感以外で体感することに課題がありました。それらの課題点を解決したワークショップをここで紹介します。

#### (1) 音を使って望遠鏡を覗く模擬体験

普段の地学基礎の授業で望遠鏡に関する説明はされていたため、授業では望遠鏡を覗くことで見える世界がどう変わるのか、つまり望遠鏡の能力を実感することに重きを置きました。

そこで目で見る光の性質が波であることに着目して、共通の性質を持つ音を使ってワークショップを設計しました。

望遠鏡では対象とする天体の光の焦点を拡大したい場所に合わせることで、より詳細な情報を見ることができます。今回のワークショップでは、二つの音源を用意しました。一

つは主音源（カノン）とは別にノイズが強調されている音源、二つ目は主音源の音量は変わらず、ノイズが軽減されている音源です。望遠鏡とは厳密的には仕組みの違いがありますが、二つ目の音源でチューニングして主音源が強調され、はっきりと聞こえるようにした様子が、望遠鏡を通して天体を見ている様子を疑似的に表していると説明しました。

#### (2) 模型を触って体感する望遠鏡の世界

次に望遠鏡以前に人々が信じていた月像と、ガリレオが実際に観測して分かった月像を比較して感じるために、模型を用意しました。



図7 直径 12mm のビーズ球

一つ目の模型として、直径 12mm 程のビーズ球を使用しました（図 7 参照）。これはビーズの表面の円滑さは、当時の人々が信じていた月面の円滑さを表しており、ビーズの大きさは人々が裸眼で見えていた月の相対的な大きさを表しています。

二つ目の模型として、直径 10cm 程の月の 3D 模型を使用しました（図 8 参照）。この模型は、実際に宇宙航空研究開発機構（JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency）の月探査「かぐや」衛星が入手した月面標高データのスケールを十倍増しにして作成されたものです[5]。この模型の意図は、実際にガリレオが観測した通り、月の表面はクレーターなどで表面が凸凹している様子を触覚で感じること、模型の大きさが望遠鏡で拡大された月の大きさであることを表現していることにあ

ります。



図 8 直径 10cm 程の月 3D 模型

ガリレオの時代は限界がありましたが、今現在の望遠鏡の性能だとさらに高い解像度で細かい情報を見ることができるので、その様子を実感するために、もう一つ模型を用意しました。拡大されたクレーターの石膏模型です(図 9 参照)。

同じく月探査「かぐや」で得た月面情報を用い、3D プリンターで型を作り、そこに石膏を流し込み作ったものです。

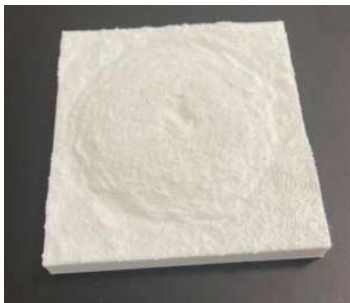


図 9 月面クレーターの石膏模型

### 3.3 ガリレオ衛星の発見と軌道とその模型

この項目ではガリレオが天体観測を通して、ガリレオ衛星の発見に至るまでの過程を、項目 2.3 の (3) で取り上げた課題点を踏まえつつ、模型・ワークショップ化したものを紹介します。

#### (1) ガリレオ衛星のスケッチを時系列化

図 4 に取り上げたように、ガリレオは自著「星界の報告」で自身の観測記録を、スケッチを織り交ぜながらまとめています。そこに

は、ガリレオ衛星発見時のスケッチが幾つか描かれています。それらを幾つか切り抜き、時系列に並べ、点図化することで実際に触って時系列を追うことができました(図 10 参照)。

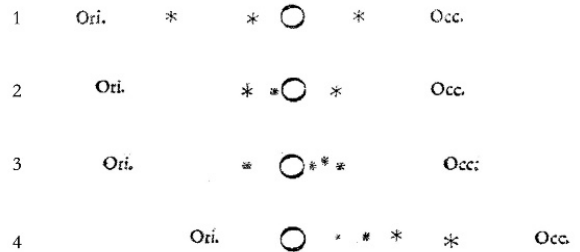


図 10 ガリレオ衛星スケッチ時系列図面 [3]

木星を中心に周りの点として描かれているガリレオ衛星を追うことで、点の位置の時間変化と数の増減変化を確認することができました。

#### (2) ガリレオ衛星軌道図面

次にガリレオが観測を重ねることで、ガリレオ衛星が木星の周囲を周回する衛星だと気づいて浮かび上がってきた様子を表した、ガリレオ衛星軌道図面を用意しました(図 11 参照)。

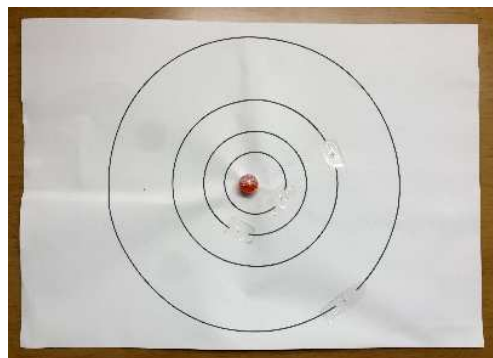


図 11 ガリレオ衛星軌道図面

ガリレオの時代では、ガリレオ衛星の大きさや軌道半径の大きさなどは正確には分かりませんでした[3]。しかし、現在ではそれらの値も知られているので、そのデータに基づいて、図面を設計しました。その時に参考にし

たのが、柴田氏が地学基礎の授業で使用している太陽系の大きさスケール比率です（表 1 参照）。

表 1 太陽系 100 億分の 1 比率の木星系 [6]

天体	模型教材	
	直径サイズ	位置
木星	12 mm	中心
イオ	約 0.35 mm	4.0 cm
エウロパ	約 0.30 mm	6.7 cm
ガニメデ	約 0.50 mm	10.7 cm
カリスト	約 0.50 mm	18.8 cm

### (3) 光と陰と音を使ったワークショップ

最後に項目 2.3 の (3) で確認した嶺重氏に指摘を受けた課題を解決するべく、上の二つの図面を同時に感じることができるワークショップを作成しました。それが、この光と陰と音を使ったワークショップです(図 12 参照)。

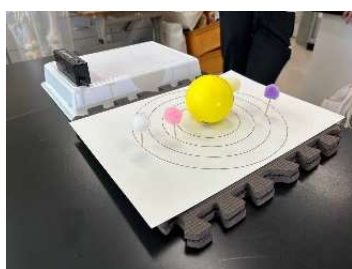


図 12 光と陰と音を使ったワークショップ

まずガリレオ衛星の軌道を図面化した用紙にプラスチックのクッションを固定し、中心に木星を模した爪楊枝を刺したスポンジボールを固定し、各軌道上に同じく各衛星を模した爪楊枝を刺したクッションボールを配置します。これが木星系で、各衛星の模型の配置は手動で軌道上に沿って変えることができ、

図 11 の図面の特徴を表しています。

次に図面の片方に光源（自転車用のライトなど）を配置し、図面を挟んで反対側に、台と光度で出力される音が変わる感光器を設置し、感光器を台の水平面に沿って移動できるようにします。そのように配置することで、光が照らされると、各模型の反対側には陰ができ、その陰に沿って感光器を動かすことによって、光を直接受けている時と陰に差し掛かった時の出力される音の変化を感じることができます。それで音が低く変化した回数が映し出される陰の数と一致し、これが図 10 のガリレオのスケッチの特徴を表します。

このようにして、二次元平面に映し出されるガリレオ衛星と、三次元平面に存在するガリレオ衛星の位置関係の特徴を、同時に表すことができました。

## 4. 授業の結果

授業を一通り終え、後ほど学生から授業を受けての感想をもらいました。内容で共通していたことが、授業の内容がよく理解できたこと、宇宙を感じることができたということにありました。例えば、「（音を使って）月を望遠鏡で見たとそうでないときの比較が面白かったです。」と音を通して望遠鏡の能力を体感できたり、「言葉だけではなく、月の凹凸やガリレオ衛星を触ることでより理解することができました。」と模型の有用性が測れたり、「（光と陰と音を使ったワークショップ）を木星だけでなく他の惑星の衛星にも用いて見え方を観測したい。」など惑星系の理解を促すことができました。

これらの授業を通して、意図して作成・デザインした模型やワークショップは、課題解決のために必要な要素であり、情報発信者が意図している特定のメッセージを伝える上でとても有効的であることがわかりました。この結果はこれからの支援教育だけでなく、一

般教育の場においても、十分に活かせる要素の一つであると言えるでしょう。

### 5. サンフランシスコ LightHouse での天文ワークショップ

附属での授業とは別に、Curascopium は 2024 年 5 月に、米カリフォルニア州サンフランシスコにある視覚障がい者と聴覚障がい者を支援する NPO 法人である LightHouse にて、天文ワークショップを行いました。

本イベントは視覚障がい者を対象とするゲームイベントが行われ、その一環として天文ワークショップが設置されました。参加者は 9 歳から 60 歳以上と、多様な年齢層や社会的背景を持つ人々が参加しました。

#### 5.1 ワークショップの内容

今回のイベントの参加者は特別天文学に特化しているわけではないため、簡単に身近な宇宙を感じられる太陽系に焦点を絞り、その中でも日常生活ではあまり体験することのない、宇宙の大きさを体験するためのワークショップ作りをしました。

内容を簡単にするために、天体を 4 つに絞り、地球、月、火星、木星としました。体験要素として、大きさの比較と重さの比較を選択し、それぞれに相応する模型を作成しました（表 2 参照）。

表 2 4 つの天体の大きさ・重さの比率 [6]

天体	模型教材	
	大きさ比率	重さ比率
月	1	1
地球	4	80
火星	2	8
木星	45	24000

#### (1) 天体の大きさ比較

表 2 の大きさ比率を参考に、月、地球、火星は紙粘土を使用し、それぞれの比率に合わせて模型を作成し、木星は大きく膨らむ風船を使用して比率の大きさまで膨らませ、模型を作成しました（図 13 参照）。



図 13 4 つの天体の大きさ比較模型

#### (2) 天体の重さ比較

同様に、表 2 の重さ比率を今度は参考に、月、地球、火星、木星の重さを表現した模型を準備しました（図 14 参照）。月や地球、火星を紙粘土と油粘土で作成しましたが、月の重さを 1g と設定しましたが、その場合木星の重さは比率によると 24kg 必要なところ、実際は 24kg の模型は準備できず、5kg のボウリング玉となりました。



図 14 4 つの天体の重さ比較模型

#### 5.2 ワークショップを終えて

当日ワークショップには、約 30 名の人々が集まり、地球の身近な宇宙の大きさなどに想いを馳せることができ、中でも「楽しかった」という感想をたくさんいただくことができました。重さのワークショップに関しては、参加者が重さのスケールの違いを感じるこ

ができた一方で、比率に合わない結果となったので、それは次のイベントに向けての課題となりました。

## 6. おわりに

2023年初頭に発足した Curascopium で行ってきた天文教育活動を経て、様々な学びを得ると同時に課題の発見がありました。それらの課題に対し、あらゆる試行錯誤が教育関係者や企業関係者によって講じられています。Curascopium もその波に乗り、引き続き活動を通し、教育面とエンターテインメント面の両方において、視覚障がい者と晴眼者が同時に宇宙を楽しめる場を提供すべく、活動していきます。活動の経過報告は Curascopium のホームページ (<https://curascopium.org/ja>) で随時行います。

## 7. 謝辞

最後に Curascopium の活動のために、支えてくださった全ての協力者に、この場を持って感謝の意を示させていただきます。

## 文 献

[1] Ptolemy, C. (~150 CE) ‘Almagest’.

[2] Galilei, G. (1632) ‘Dialogue Concerning the Two Chief World Systems - Ptolemaic & Copernican’.

[3] Galilei, G. (1610) ‘Sidereus Nuncius’.

[4] 柴田直人(2023)『太陽系点図面』

[5] JAXA『月周回衛星かぐや (SELENE) 教材提供サイト』

<https://edu.jaxa.jp/contents/kaguya/download/>

[6] 柴田直人 (2010) 『盲学校 (視覚障害特別支援学校) における天文分野の指導事例～教材工夫について～』ユニバーサルデザイン (UD) 天文教育研究会集録

[https://tenkyo.net/wg/ud2010/proceedings/Shibata\\_N.pdf](https://tenkyo.net/wg/ud2010/proceedings/Shibata_N.pdf)



長澤 越志

\* \* \* \* \*