ポスター発表

中高生向け天文研究マニュアルの作成について

山田　隆文（奈良県立青翔中学校・高等学校）

Creating Astronomical Research Manual for High School Students

Takafumi Yamada (Nara Prefectural Seisho Junior and Senior High School)

Abstract

At Seisho High School, there is a class called "Super Research Science" where students divide into groups and conduct research pertaining to themes they have decided upon themselves. Making full use of the seven years of experience in charge of Astronomy as a subject; the author compiled a research manual specific to the context of club and classroom summarizing important considerations for performing observational research. In this paper, we introduce the background leading to the creation of the manual and discuss its outline.

1. はじめに

青翔高等学校では、生徒が班に分かれ、自ら設定したテーマに基づいて研究を行う「スーパー探究科学」という科目が、第１学年から第３学年まで各２単位で開講されている。筆者は、本科目のうち地学とりわけ天文の研究を希望する生徒を７年間にわたり受け持ってきた。天文を研究テーマに選ぶ生徒は、宇宙に対するロマンや憧れを抱く者が多く、天体に関する知識は持っていても、実際に天体観測の経験がある者はほとんどいなかった。そこで生徒の研究活動の指針とすべく、今までの指導の経験を生かしたマニュアル冊子『中高生のための天文研究入門』を作成することにした。これには、課題研究やクラブ活動において、天文分野の観測研究を行うにあたり重要なことをまとめた。本稿では、マニュアル作成に至る経緯とその概要について紹介する。

2. マニュアル作成の経緯

青翔高等学校で天文の研究活動を７年間続けるにあたり、生徒達から様々な意見・感想が出てきた。まず、研究テーマ決定時においては、「第２希望で天文班になったし、授業でも地学を選択していないので、これから何を勉強したらいいか困っている。」という生徒が少なからず存在する。この様な生徒の参考になる書籍としては、『天文宇宙検定２級公式テキスト』((株)恒星社厚生閣）以外は思い浮かばない。また、地学を選択している生徒の中にも、「地学基礎の教科書には具体的なことが書かれていないので、テーマを見つけるのは難しい。」という生徒もいる。例えば、星の等級については教科書に載っていても、どの様にすればそれが測定できるかは掲載されていないので、研究のイメージが描けないということである。また、観測やデータ処理時においても、「天文台の望遠鏡や冷却ＣＣＤカメラの仕組みが複雑すぎて分かりづらい。」や、「『Makali'i』（国立天文台・(株)アストロアーツ）や『BeSpec』（川端哲也氏）の操作がなかなか覚えられないので、マニュアルが欲しい。」などの意見が出てきた。なるほど、観測においては天文台の職員の方の説明をメモする形をとっており、『Makali'i』も機能が豊富なために必要な処理を行うのに戸惑うようである。

そこで、授業やクラブ活動において天文分野の観測研究を行う中高生のために、テーマの決定から観測・データ処理の仕方、学会での発表の仕方までまとめたマニュアルを作成することにした。幸いなことに、本事業に対して「第 54 回下中科学研究助成金」をいただいたので、これを印刷・製本資金とした。

3. マニュアルの概要

２で述べたような生徒の意見を踏まえ、以下の①～⑤の特徴を持たせた冊子を作成した。

① 内容は、１．天文学入門　２．天体観測入門　３．学会発表入門　の３部構成とし、レベル的には普通に高校１年生が独力で理解できるものとした。

② 本文は、先生と生徒達との対話形式とし、本校生徒が描いたイラストも多用し、読みやすさを重視した。また、「○○のノート」といったまとめのコーナーも設けた。

③ 天体観測入門では、『Makali'i』や『BeSpec』を用いて、測光観測や分光観測のデータ処理をマニュアル片手に行える様な工夫をした。

④ 冊子の作成に先立ち、「公開天文台の教育利用に関するアンケート（2016）」を実施し、その結果を「中高生の観測を受け入れ可能な公開天文台リスト」として掲載した。本アンケートに対しては、約 50 施設から回答を頂き、そのうち約３分の２の施設が教育利用の受け入れが可能であること、撮像観測装置を有する施設は９つ、分光観測装置を有する施設は３つ存在することがわかった。

⑤ 学会発表入門では、天文分野の研究に限らず、発表スライドやポスター作成法や発表の注意点を説明した。また、今年３月に開催された「CAP2018 in FUKUOKA」で生徒が英語でポスター発表を行った経験を生かし、国際学会での発表も視野に入れ、天文英語も充実させた。

この様な特徴を持たせた冊子だが、本校で実際に活用したのが今年度からであるため、内容についてのフィードバックはこれから行う必要がある。ただ、生徒の意見や感想を集めるにしても、本校だけでは限界があるため、他の中学校や高等学校の協力を得たいと考えている。ご協力をお願いできる学校があれば、下記までご一報いただきたい。

電子メール taka-yamada@nps.ed.jp

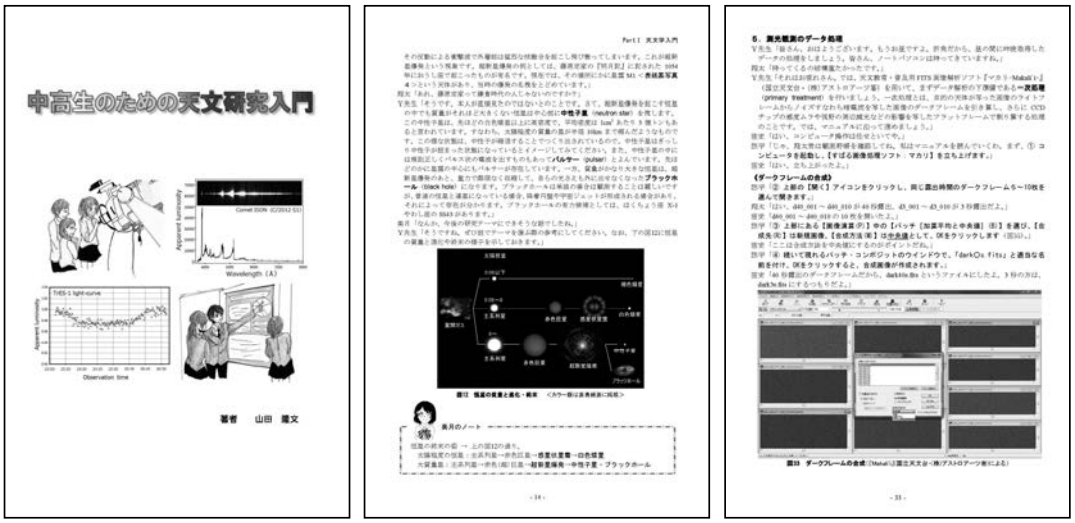


図　作成した冊子（左：表紙、中：天文学入門、右：天体観測入門）

謝辞

本書作成にあたり、内容に関してご助言を頂きました大阪教育大学の福江純先生、松本桂先生、岡山県美星天文台の綾仁一哉台長、前野将太様に感謝を申し上げます。また、青翔高等学校の先生方は勿論のこと、生徒の皆さんにも大変ご協力頂きました。この場をお借りして、お礼を述べたいと思います。なお、「公開天文台の教育利用に関するアンケート（2016）」にご回答いただきました施設の皆様、ご協力有り難うございました。

国立天文台定例観望会～雨でも楽しめる観望会に～

三浦 飛未来（明星大学）、石川 直美（天文情報センター）、縣 秀彦（国立天文台）、展示班一同

NAOJ Mitaka Stargazing ~ Stargazing program to be able to enjoy because of rain~

Hibiki Miura (Meisei University),Naomi Ishikawa(Public Relations Center),Hideiko Agata(NAOJ),Exhibition team

Abstract

NAOJ stargazing event, "Enjoy the starry night", is one of the most suitable events for experiencing the "natural universe". However, as the sky is not always clear enough to show the stars to us, we have to concern about the weather condition for sure. In order to organize a satisfying stargazing event even in the worst weather condition, the staff of NAOJ stargazing event made several contents and improved them day by day.

This time, I introduced these contents to the audience and had discussions about this topic as well.

1. はじめに

「星空を楽しむ」観望会は「生の宇宙」を感じるにはもってこいのイベントです。しかし、観望会はいつでも晴れるわけではありません。観望会を行う側は、常に天気と相談しなければなりません。そこで国立天文台定例観望会では悪天候の場合でも観望会を楽しんでいただけるようなコンテンツを作り、日々工夫と改良を重ねています。

今回はそのコンテンツを紹介するとともに、悪天候時のコンテンツや工夫についての意見交換を行いました。

2.1 国立天文台定例観望会とは

国立天文台定例観望会は国立天文台天文情報センターが主催し、主に学生スタッフが中心となって運営している一般の方向けの観望会です。東京都三鷹市の国立天文台三鷹キャンパスで開催されており、現在は毎月第二土曜日前日の金曜日と第四土曜日の計 2 回開催されています。1996 年 4 月 12 日から始まり、今年の 4 月で 22 周年を迎え、累計参加者数はのべ 6 万人を超え、多くのお客様と宇宙との懸け橋になってきました。

晴れた場合、定例観望会ではその日の観望天体についての解説をおこなった後、口径 50cm 公開望遠鏡で観望を行い小口径の望遠鏡で他の天体を見る流れになっています。その他、ポスター展示・Mitaka を用いたモニターでの解説・星空解説等もおこなっており、待ち時間も楽しめる工夫をこらしています。

2.2 観望会の流れ[1]

（1）解説

観望会では初めに当日の観望天体の解説を講義室で行います。解説は 1 回 10～15 分で担当する人は毎回異なり、担当者は解説資料と配布資料を作ります。ですから、一つとして同じ資料も観望会はありません。

（2）50cm 公開望遠鏡

当日晴れた場合は図 1 の 50cm 公開望遠鏡へ移動しその日の観望天体を観察します。天体を見るまでの間は星空解説を行い、待ち時間も楽しんでいただけるようになっています

（3）小望遠鏡

50cm 公開望遠鏡での観望終了後、ドーム周辺に設置している小望遠鏡での観望をお楽しみいただけます。小望遠鏡は時間無制限となっており、その日の観望天体以外の天体を導入して観望をおこなっています。

図 1　50 公開望遠鏡で観察する様子

2.2　展示班とは

定例観望会は望遠鏡の稼働が難しい曇りの日や雨の日でも開催され、そんな日でも来場してくださるお客様が一定数いらっしゃいます。せっかく来てくださった方が少しでも楽しめるよう、講義内容・時間を増やしたり、雨の日限定のコンテンツを用意するなどして対応しておりましたが、小学生未満の小さなお子様を満足させることが特に難しいことが長年の課題でした。そこで、望遠鏡が覗けない日でも小さなお子様とその保護者の方が少しでも楽しんでいただけるようなコンテンツの作成を目的とし、2015 年に有志で「展示班」を発足させました。現在は 14 名で活動しています。

3.1　どこでも宇宙をのぞこう

片側に天体の見えるフィルムを貼った筒を二つ組み合わせ双眼鏡型にしたもので、双眼鏡を明かりのある方向へ向けてのぞくと天体が見えるようになっている。どこでも楽しめるということから「どこでも双眼鏡」という名前に改名しました。図 2 は「どこでも双眼鏡の完成品です。

図 2　双眼鏡の完成品

(1)目的

このコンテンツでは、どの年齢の方でも雨の日の観望会で室内でも楽しむことができ、お客様全体の満足度をあげることが一番の目的です。更に、スタッフの人員を割かずとも楽しむことができる・スタッフのお客様対応の負担軽減もかねています。

(2)実用化までのプロセス

1.画像の選択

連想しやすい・分かりやすい・きれいな天体を選択

・なじみのある月

・見た目が美しいオリオン大星雲・三裂星雲

・木星・土星などの惑星

2.双眼鏡の製作

・同じ天体を撮ったリバーサルフィルムを各 2 枚ずつ・特大コピー紙のロール 2 つ・減光するための紙・グルーガンを用意

・フィルムをそれぞれロールの片側にテープ等で固定

・ロールをのぞきつつフィルム側に外側から紙を貼り、見え方を調整する

・二つのロールを同時にのぞいたとき、天体の向きがそろうようにロールをグルーガンでくっつける
3.観望会でのデモ
悪天候時に限らず室内に常時展示
4.デモンストレーションでのお客様の反応や課題
・課題
　子どもがのぞきながら歩き回ったり、明かりのある方向に向けず「見えない」という声があったことから、注意書きと使い方を記載した張り紙を作成しました。その場にいた親御さんが張り紙を見て子どもに喚起してくれるようになりました。
・目的達成度合い
　参加した子どもの反応は好印象。子どもが見ることで親御さんものぞいて楽しむきっかけになっている。また、夏休みの工作にしたいとい声があり作り方を載せたシートを作成しました。今では、常連の子どもの中には双眼鏡の種類を覚えている子もおり、知名度が上がってきていると感じています。

3.2　オリジナル星座を作ろう

　可視光と赤外線の同一領域の画像を用意し、ワークシートに印刷した赤外線の画像の上で星を結んで好きに星座を作ってもらい、星座の名前やオリジナルのストーリーなどを考えてもらうプログラム。領域が可視光線でどのように見えるかを種明かしし、可能であれば波長の違いなども説明し、教育的要素も含めたものになっている。

(1)目的
　子どもが雨の日の観望会で室内でも楽しめるコンテンツを用意し、「楽しかった」という思い出を通じて少しでも天文学への興味関心を持ってもらうことが最も理想と考えています。そんな思いからこのプログラムは生まれました。また、子どもが楽しめることで保護者の方の満足度も上昇し、結果として天文学へ好印象をもってもらえることも期待しています。
　副次的な目的としては、異なる波長での天体の見え方の違いを「驚き」をもって学んでもらうことで、天文学へのさらなる科学的な興味を持たせることも含めています。
ちなみに、我々はこのプログラムのことを「MY 星座」と呼んでいます。

(2)実用化までのプロセス
1.画像の選択
以下の四つの条件をもとに可視光・赤外線両方の画像がある領域を選択
・可視光で恒星がはっきり見える(星空で埋も
れない程度に等級が大きい)
・ガス、塵がある程度付随している
・なるべく誰もが知っている天体の領域にする
・比較してみて驚きを感じてもらえるような
コンテンツにする
2.星座作成用ワークシートの作成
3.観望会でのデモ
天候にかかわらず観望会の最後の 30 分程度、オリジナル星座のブースを設けて課題洗い出しのためのデモンストレーションをおこないました。
4.デモンストレーションでのお客様の反応や課題
・課題
　星座を書き始めるまでの時間などに個人差があり、他の観望会のコンテンツの進行に影響を与

えることが実施で明らかとなりました。これは、スタッフがうまく誘導したり保護者の方に促してもらったりすると比較的スムーズに進むため、対応可能。スタッフの実施慣れも必要なようです。

・目的達成度合い

参加者の 9 割以上が子どもで、参加した子どもの反応はおおむね好印象。絵を書くという単純な作業でも楽しんでおり、 親子で楽しそうに参加する姿も見られました。しかし、波長によって見え方が違うという説明は子どもよりも保護者の反応が良く、予想以上に大人も楽しんでくれるようでした。逆に言えば子どもには少し難しかったようです。また、子連れではない大人のお客様も参加してくれました。図 3 は実際にお客様に描いていただいた作品です。

図 3　実際に描いてもらった MY 星座

4. 今後の展望

どこでも双眼鏡では、観望会スタッフの補助がなくとも成立するような方法を確立し、継続してどこでも双眼鏡の修理・点検を行います。発表以来も、どこでも望遠鏡の使い方シートを掲示し経過を観察したところ、スタッフがいなくてもシートを見た親御さんがサポートしてくれることが多くなりました。かなり良い結果がでていると感じています。

MY 星座は現段階ではまだ試験段階であるため、将来的に定例観望会の雨天時恒例行事にし、スムーズな運営が行えるようにすることが目標になっています。そのため現在は運営リストを製作中です。それと同時に MY 星座シートのバリエーションを増やすことも視野に入れて活動していきます。

2018 年 11 月 25 日に開催される「星マルシェ」というイベントに参加してきます。星マルシェでは国立天文台定例観望会の宣伝とともに展示班のコンテンツである、どこでも双眼鏡の展示と MY 星座を天文情報スペースで実施してきます。是非、お越しください。

5. ポスター発表を通して

今回のポスター発表を通して。遠方から来た方が定例観望会のことを知ってくださり、展示班の活動に興味をもってくださった方がいらっしゃったことは非常に光栄でした。中にはポスターの写真を撮って帰る方もいらっしゃいました。

見ていただいた方とは「本当に科学的教育知識の植え付けが達成できているのか」など我々のコンテンツに関して沢山の意見・コメントをいただきました。教育的意味を含めるなら今後どのような工夫が必要とされるか考えさせられました。

また、他の皆さんがどんな工夫をしているか、どんなコンテンツをもっているのかという意見交換もできました。いただいた意見・コメントを展示班に持ち帰り今後の発展のためにも参考にしています。

最後にポスターの作成にかかわった皆様・展示を見に来てくださった方々に心より感謝申し上げます。

参考文献

[1] 国立天文台三鷹定例観望会 HP　定例観望会について
https://prc.nao.ac.jp/stargazing/about.html

学校プラネタリウムを利用した天文クラブ交流会の実施

松本直記（慶應義塾高校）、相川弘二（東京都市大学付属中学高校）、
石田光宏（横浜サイエンスフロンティア高校）

Implementation of Astronomy Club Exchange Meeting using School Planetarium

Naoki Matsumoto (Keio Senior High School), Koji Aikawa (Tokyo City Univ. Jr & Sr High School), Mitsuhiro Ishida (Yokohama Science Frontier High School)

Abstract

Using a school planetarium, an exchange meeting of astronomical clubs in which students perform is planned and implemented. In addition to exchanging students with each other, professional planetarian was invited to improve the performance technique. Professional planetarian gave guidance on student performance and model performances.

1. はじめに

慶應高校にある 8m ドーム･五藤光学 GS-8 初号機のプラネタリウム環境を用いて、高校天文クラブによるプラネタリウム上演を軸とした交流会を企画し実施した。複数の高校が交流することでプラネタリウム上演の意欲を高めるとともに、上演技術の向上も目的とした。また、より高いレベルに触れられるように、プロのプラネタリアンの指導及び模範上演もプログラムに含めた。

2. 背景

筆者のひとり、相川は、「青春☆プラネタリウム」の立ち上げに関与していた。「青春☆プラネタリウム」とは、「はまぎんこども宇宙科学館」の施設で高校生が自らプラネタリウムを操作し、自ら書いたシナリオを上演する教育プログラムである。高校生のプレゼンテーション能力の育成を図ることを目的として 2009 年から開催され、今年度で 10 回目となる。このプログラムに参加し、プラネタリウムの機器操作や上演を行う天文系クラブが横浜市を中心に複数校存在している。ただし、各校の天文クラブどうしは平常の交流が希薄で互いに刺激を与え合う機会がほとんどなかった。

3. 講師

この交流会では、同世代の高校生が行う各校の上演を間近に見てお互いに刺激を与え合うだけでなく、上演技術の向上も目的とした。そのため、講師としてプロのプラネタリアンを招聘した。講師には各校の上演後にコメントして指導して頂き、また最後に模範上演を行って頂くこととした。講師は木村かおるさん（科学技術振興財団）にお願いをした。木村さんは 2001 年に閉館した渋谷の五島プラネタリウムで解説員を務められていた方である。

図 1　講師の木村かおるさん

4. プログラム

交流会は 2015 年にみなと総合、慶應の 2 校で開始され、2016 年は横浜サイエンスフロンティアも加わり 3 校になった。この年は施設見学と松本・相川によるプラネタリウム上演が行われた。ここでは 2017 年実施のプログラムを紹介する。
実施日 2017 年 7 月 7 日（金）

参加校（生徒数）：慶應高校地学研究会（4 人）、横浜サイエンスフロンティア高校天文部（15 人）、みなと総合高校天文部（8 人）

サイエンス 15:00 着　16:30 までプラネ操作練習（慶應高生徒が指導）

みなと総合 16:30 着　上演者のみ操作練習

－　16:30～17:30　慶應高校施設見学　－

各校上演 12 分＋木村さんによる指導 3 分

17:30～45　　みなと総合

17:45～18:00 サイエンス

18:00～15　　慶應

18:25～55　木村さんによる模範上演

19:00　まとめ・解散

図 2　プラネタリウムでの練習風景

図 3　校内施設見学の様子

5. 生徒の感想より

他校の上演について

演出の手法など新鮮だった　　操作のしかた、見せ方など参考になる　　原稿を覚えるのではなくアドリブで上演していたのに驚いた　　内部の活動だけでは絶対得られない気付きがあった

自分たちの上映

他の上映を見て欠けているものに気がついた
他校の上演が上手でショックを受けた
アドバイスを貰えるととても参考になる、嬉しい

模範上演について

間の取り方、発声のしかた、抑揚のメリハリなど、とても参考になった　　同じような内容でも、しゃべり方で伝わり方が変わるのを実感した　　ポインターの使い方や声かけで視線誘導を意識するのが大切とわかった　　自分が改善すべき点、詳しく理解していない点が明確になった　　ストーリーを組み立てることの重要さがわかった　　自分もやってみたい、また聞きたい、星のことをもっと知りたい、そう思える上映だった

全体の感想

今後の投影で、今日学んだことを活かしたい　　とても濃い時間だった　　聞き手の立場に立ってわかりやすく伝える必要性を感じた　　宇宙に興味を持って貰えるような投影をしたい

6. まとめ

生徒の感想からは、他校の上演を間近に見ることでの刺激の与え合いの様子が見受けられる。また、専門家からの指導、模範上演も良い刺激となったことが伺える。プラネタリウム上演という高校クラブ活動の題材について、なかなか一般的ではないため普段はクラブ単独で行っていることが多い。そこに、他校との交流や専門家の指導･実演を導入することによって、技術向上の動議付けを与えられたと考えられる。さらにお互いの学校どうしの交流につなげていくきっかけになると考えられる。

なお、2018 年交流会は本年 7 月 20 日に行われた。今年度の交流会は、参加校 5 校、参加者は 50 人を越える盛況となった。アンケート分析などを行い、教育評価などの詳細は今後報告する予定である。

Mitaka を用いた天文教育：銀河系の学習の検討

松村雅文（香川大学教育学部 及び 附属教職支援開発センター）

Astronomy Education with Planetarium: Study of the Galaxy with Mitaka

Masafumi Matsumura (Faculty of Education & Center for Educational Development and Support, Kagawa University)

Abstract

Astronomy education can be improved significantly with modern digital planetariums and related software. We have been studying possible usages of the Mitaka-system, which is the software developed by NAOJ, in school classes and also in museums. As one of the series of our study, we consider possible usage of Mitaka when learning the Galaxy in classes.

1. はじめに

現在は光学式からデジタル式のプラネタリウムへの過渡期であり、これに伴い、通常のパソコンでも使える優秀なソフトが公開されている。このため、デジタル式プラネタリムや関連ソフトを用いて、天文学習の新たな展開が可能である。国立天文台で開発されたソフト Mitaka（加藤恒彦氏の稿を参照）は、元来、研究者のアウトリーチ用だが、プラネタリウム・ソフトの機能を有し、かつフリーであるため、学校やプラネタリウム館などでも、より広く使える可能性があり、実際に使われ始めている。そこで我々は、天文学習のために Mitaka をどのように用いるのが良いのか、その原理を考察し（松村 2016）、金星の学習に関する研究を行ってきた（松村 2017）。2018 年 2 月には“Mitaka 3D ポータブル”を納入した。今後、今までの考察を香川大学教育学部附属中学校などの実際の教育現場で検証する予定である。

中学校の現場での銀河系または銀河の学習は、月・太陽・恒星などの学習に比べると、あまり注目されていない。銀河系は、中学校理科では「恒星の集団としての銀河系の存在」（学習指導要領による）として最後に扱われるに過ぎず、銀河は、教科書の“発展”の項目として扱われている場合があるが、学習指導要領では触れられていない。しかしながら、銀河系や銀河は、宇宙全体を認識するのに重要な天体であり、更に宇宙全体の認識は、自然における地球や人間の存在を考えるうえで必要不可欠である。つまり、これらの天体の学習について、その意義をより明確にし、より的確に行う必要があると言えよう。

今まで、銀河系の学習に関しては、例えば、次のような研究が行われている：

Friedman（2008）は、銀河面に限定した２Ｄのモデルを用いて学習活動を展開した。このモデルでは、銀河系を 18mの直径に縮小し、この中で〔星形成 → 星 → 星の死（超新星爆発など）〕といった一連の現象をスケール感とともに学ぶ試みがなされた。これは、今日の天体物理学が扱う色々な現象が学べるという意欲的なものであったが、内容が多すぎる等、今後の改良が必要であるとされた。生徒たちの反応に関しては、このモデル（銀河系の直径は 18m）では、太陽系は髪の毛の太さ程度の大きさであることが関心を引いたという。一方、この学習の後でも、“太陽系は銀河系の中にあること”が認識できなかった生徒がいたと報告されている。

苅谷と縣（2010）は、地球と天の川銀河の位置関係に関する中学生の認識を調査した。この結果、“地球は銀河系の中にある”と正しく認識できている中学生は、14～32%程度であったという。

これらの先行研究（Friedman 2008、苅谷と縣 2010）で、太陽系（つまり地球や人間）が銀河系内にあることが認識できないケースがあると報告されていることは、銀河系の学習の特性

（困難さ）の一つを表していると考えられる。太陽系の学習では、同様の報告はなされていない。この理由の一つは、銀河系の学習では、「客体（銀河系）の中に主体（太陽系や人間）がいること」が判りにくいからではないだろうか。銀河系がどこか私たちから遠く離れた場所にあると思って学習してしまったなら、銀河系の学習の意義は薄まるだろう。もう一つの理由としては、銀河系の幾何学的な形状（円盤とハローの２成分）と地球からの天の川の見え方の把握が必ずしも容易ではないことが考えられる。ここでは、銀河系の幾何学的な形状の把握において Mitaka がどのように使えるかという問題意識を持って、Mitaka の使い方も含めて考察を行った。

2. Mitaka を使った銀河系の幾何学的な形状把握

Mitaka では、幾つかのカタログを用いて天体の表示が行われており、デフォルトでは重なって表示されるが、目的に応じて必要なものだけを表示させることが可能である：

(1) 太陽系近傍の恒星は、”The Hipparcos and Tycho Catalogues” (ESA, 1997) 等を基に表示されている。そこで、銀河系全体が見えるスケールに設定し、恒星のみの表示にすると、太陽系近傍（およそ数 kpc）の恒星が、太陽をほぼ中心とした楕円体状に分布していることが判る。これは、学習指導要領の「恒星の集団としての銀河系」をそのまま表現したものであるが、星間減光のため、今日知られている銀河系の大きさよりもかなり小さい。恒星のみから、今日知られている銀河系をイメージするのは困難であると思える。歴史的には、20 世紀初めのカプタインによる銀河系のイメージに近い。

(2) Mitaka で、球状星団の３次元分布のみを見ることもできる。球状星団のデータは、Harris (1997, VizieR Online Data Catalog, 7202) による。球状星団のみの表示にすると、球状星団は、太陽系から離れた所（銀河系中心）を中心としてほぼ球対称に広がっていること（ハロー成分）が判り、シャプレーによる銀河系のモデルが体感できる。このことによって、太陽系が銀河系中心にはないことを理解することができる。

(3) Mitaka には、渦状構造を含む円盤成分のデータが入っており、これのみの表示も可能である。観測的に、渦状構造は水素 21cm 電波輝線により明らかにされた（オールト 1958）が、Mitaka の円盤成分は、理論モデルを基にしている（マニュアルによる）。

このように、銀河系を認識するまでの天文学史上の経緯のかなりの部分を、Mitaka で追体験できることが判った。なお、歴史的な経緯については、ベレンゼン他（1980）などで紹介されている。理想的には、中学校等の学校現場でもこれの歴史的な経緯も含めて紹介できれば良いだろうが、時間的および内容的な制約があり、このまま用いることはできない。Mitaka で表示する天体の種類を変えることで、銀河系の幾何学的な形状の把握についての学習は、より深まると期待されるが、実際に何を目指すのが最も適当なのか、またそのためには何をどのように扱うのが適切であるのか等、まだ検討が必要である。

謝辞　本研究は、JSPS 科研費 JP16K00969（研究課題名「デジタル式プラネタリウムにおける天文教育手法の開発：学習投影の現状を踏まえて」、基盤研究(C)、2016～2019 年度）の助成を受けたものである

参考文献*

Friedman, R.B., 2008, Astronomy Education Review 7, 176
ベレンゼン、R. ほか 、高瀬文志郎・岡村定矩訳『銀河の発見』1980
苅谷麻子、縣 秀彦、2010、天文教育 Vol.22, No.4, p.34
松村雅文、2016、第 30 回天文教育研究会集録、225
松村雅文、2017、第 31 回天文教育研究会集録、166

*ここでは、1958 年以前の歴史的な文献と、カタログに関する文献は省略した。

天文教育と地域貢献

穂積　正人（兵庫県立舞子高等学校）

Astronomy　Education and Regional Contribution

Masato Hozumi(Maiko High School in Hyogo)

Abstract

We Astronomy Meteorology Club in Maiko H.S. have been doing our best both within and outside the school. For example, an astronomical and sun observation, and photometric observation of a variable star for research. Moreover, we hold planetarium events and show with "Mitaka", the software for visualizing the known Universe with up-to-date observational data and theoretical models, in Kobe regularly, which are for our community. We've shown our research in Junior Session by Astronomical Society of Japan, science fair in Hyogo etc.

１．はじめに

「はやぶさ２」の「りゅうぐう到着」や火星大接近など天文に関するニュースが、多く報じられています。本校天文気象部では、「みんなで楽しむ天文・宇宙」を意識した教材開発や天体観測だけでなく、地元で観望会を開催し、天文教育の普及だけでなく、地域貢献事業として取り組んでいます。また、研究として太陽観測・変光星の測光観測などを行い、日本天文学会ジュニアセッション・兵庫県サイエンスフェアなどで発表を行っています。

写真 1　観望会ポスター

２．　観望会

校内だけでなく、小学校・公園・商業施設・コミュニティーセンターにて実施しています。今年度になり、小学校１校、商業施設２か所、地元のボーイスカウトから活動の一環にと、依頼があり、観望会を実施する機会が増えました。すべて、今まで開催していた団体からの紹介です。たいへん光栄なことです。主な内容は**①Mitaka の上映，②プラネタリムの上映，③月・惑星・恒星の観察，④小型望遠鏡の製作，⑤昼間：太陽の観測（黒点やプロミネンスの観測），⑥昼間の星の観測**などを場所・お客様の年齢・天候等を配慮しながら行っています。場所による違いを検証してみます。

①　　小学校での観望会

4 年生以上で、星座や太陽系の分野を学習するが、実際に夜空を見せるためのノウハウがないと、小学校の先生がよく言われます。実際、望遠鏡はあるのですが、理科室の奥で眠っており、使い方がわからないとか、この辺（神戸や明石市内）では、見えないのであきらめているとか。また、大きな問題としては、先生方の勤務頽勢であり、暗い夜道を児童が学校へ来ることに抵抗がある。など、観望会開催の難しさを挙げられます。そのため、実際に行われている学校では、学校主催ではなく、保護者会（PTA）主催で開催されているケースが多く、参加形態

写真 2　小型望遠鏡製作

も自由参加とされている学校が多いように思います。我々が訪問して、実際に望遠鏡を覗いてもらうと、子どもだけでなく、保護者からも「すごい」「こんなに見えるんですね」など感嘆と驚きの声があがります。

②　商業施設

商業施設の多くは、集客のためには、どうしたらよいかがねらいになっているように思います。そのため、観望会では、望遠鏡での観察だけでなく、何か、ワークショップを組み合わせて、子どもたちだけでなく、親（保護者）と共に来て、観望会前後には、他の店舗を利用していただきたいのが目的のようです。そのための企画を考えていくと、大変喜ばれました。今までには、「小型望遠鏡（コルキット）製作」「万華鏡製作」「星座版製作」などで、申込受付やお金の扱いは、施設側が行ってくれることが多く助かります。また、会議室なども用意していただき、ワークショップがやりやすい環境を整えてくれます。その後、暗くなった室外に移り、望遠鏡で天体の観察を行います。小型望遠鏡製作風景とそれを使って（写真２・３）

写真 3　作った望遠鏡で

③　公園

公園の場合は、集客をどうするかが大きな問題になります。駅と商店街や住宅の途中にある公園であれば、通行者が立ち寄ってくれるかもしれませんが、離れた公園の場合、PR を工夫する必要があります。

写真 4　3D 宇宙旅行

３．Mitaka　による　３D「宇宙旅行」の上映

国立天文台の Mitaka を持ち運び可能にして、３D のカラー映像を見ることにより、目の前に迫ってくるような迫力のある映像をご覧いただけます。　解説や操作は、主に**「星空案内人」**の資格を持った生徒が行います。原稿は、小さな子どもにもなじんでもらえるように、わかりやすい言葉で、難しいことばはできるだけ避けて作りました。観客に呼びかけるような・問いかけるような箇所を用意し、観客の反応を感じ取れるようにしました。原稿を読むとき、抑揚をつける。星や星座の固有名詞を読むときは、聞き取りやすいように、前後に少し間をおいて読む。操作は手動のため、回転・前後・ズーム等の動きが、スムーズになるように工夫しました。

４．星空案内人＠（星のソムリエ）の資格取得

部員の知識・技術向上のため、はりま宇宙講座に参加して、「星空案内人@」の資格を取得しています。1 年生で「準案内人」、２年生で「案内人」の資格取得することにより、自信と知識を持って観望会に臨んでいます。星空案内人認定証（写真４）

５．研究発表

日本天文学会ジュニアセッション・星空案内人シンポジウム・兵庫県サイエンスフェアなどの研究会で発表を行っています。

６．まとめ

部員の知識技術の向上のため研究観測を行います。また、観望会（昼間は、太陽観察会）を開催するとことにより社会性の研鑽に努めていくとともに、地域貢献事業の一つとして取り組み、天文教育の普及にもつながると考えています。

暦に隠された規則性の発見と楽問のすすめ

森本　宏志（山口大学）

To find out the Secrete Patterns in Calendar and an Encouragement of Learning for fun

Hiroshi Morimoto (Yamaguchi University)

Abstract

It is the very fun for scientist to find out the secrete patterns in phenomena that seem to be chaotic at a glance.　For example, I will show you the secrete excellent patterns in the order of large and short months in the Gregorian calendar, and how to use the pattern to make it easy to understand the subject.

1. はじめに

一見デタラメな事象の中に、隠された規則性や美しい関係性を発見し、それを知恵として活用することは、サイエンスを学び、研究することの醍醐味であり、学問の楽しみの原点である。

ここでは、明治以降日本でも採用されている太陽暦の一種であるグレゴリオ暦における「大の月」と「小の月」の並びに潜む規則性を例に説明する。

2. グレゴリオ暦の大小月の並びに隠された規則性と美しい関係性

日本でも明治時代に導入されたグレゴリオ暦は太陽暦の一種であり、ローマ皇帝ユリウス・カエサルに由来するユリウス暦を改良したものである。グレゴリオ暦での大小月の並び方はユリウス暦と同一であり、各月の大小は毎年同じで一定している。

しかし、その並び方は、恣意的で、一見デタラメで、規則性や関係の美しさはなさそうに見える。そのため、各月の大小を記憶するため、「西向くサムライ、小の月」などといった語呂合わせなどとつかって、特段の規則性や関係性を意識することなく記憶する人がほとんどであろう。

ところで、同じ暦の並びでも曜日の並びについては、一定の科学的知識と音楽的な調和と遊び心に基づいて定められたことが知られている。曜日の並びも一見デタラメにみえるが、実はかつて主流だった天動説に基づく地球と太陽系天体との距離の順という科学知識と、音楽的にも美しい共鳴関係という調和（ハーモニー）を考慮して定められたものという説が知られている。

それに対して、大小月の並びにおいては、そのような意図的な「規則性」や「関係性」は、少なくとも一般には知られていないようである。

ところが、今回、グレゴリオ暦の大小月の並びに隠された規則性や関係性がないか、あらためて検討したところ、楽器鍵盤との対応関係を手掛かりに音楽ばかりでなく、天文学、物理学、医学や心理学も関連する面白い関係性を見出すことができた。

以下では、その関連性の発見と検証、およびその知識の活用や応用による知識ネットワークの広がりを追体験してもらい、サイエンスの面白さを感じてもらうことを試みたい。

3. グレゴリオ暦の大小月のパターンの視覚化と類似性の発見のプロセス

１）図１の上段に、グレゴリオ暦での１月から１２月までの大小月の並びを示す。「にしむくサムライ」に当たる５つの月が小の月、残り７つの月が大の月である。これを見ただけでは、大小月の並びのパターンを意味付けすることは難しそうである。

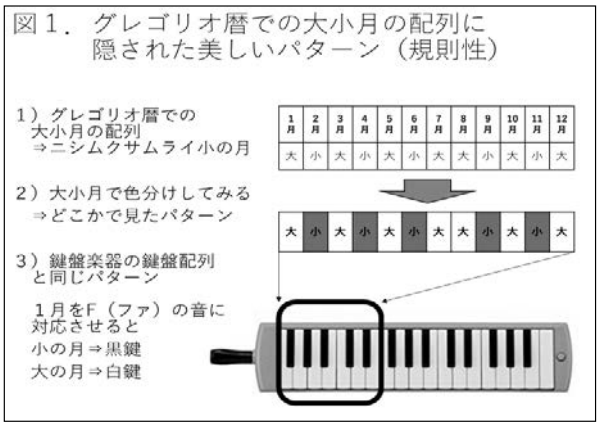
２）次にパターンを視覚化するため、小の月に色を付けてみたものが、図２の中段の図である。すぐにはわからないが、しばらくぼんやり眺めてみると、音楽を多少とも嗜んだひとにはお馴染

みのパターンがみえてくる。
そう、鍵盤楽器の鍵盤配列である。

3）図1の下段には、多くの人が小学校で一度は使ったことのある 32 キーの鍵盤ハーモニカの写真を示す。

ここで、左端で1月を F（ファ）のキーに対応させ、以下、左から右へ順に各月を１２のキーに対応させてみる。

すると、小の月にあたる５つの数字は黒鍵（派生音）に、一方、大の月にあたる７つの数字は白鍵（幹音）にきれいに分かれて対応することがわかる。



4. 1月をF（ファ）とする以外で黒・白鍵が大小月の区別に対応する場合はあるか

上記で、1 月を F（ファ）とした場合、黒・白鍵が大小月の区別に対応することが分かったが、1月を他の音に割り当てても同じことはおこるのだろうか（F=1 月が唯一の解か否か)。

図 2-1 および図 2-2 では、1 月を 1 オクターブ 12 キーの各キーに割り当てたときの黒・白鍵と大小月の対応を網羅的に検討している。

これをみると、1月を F（ファ）以外のキーに割り当てた場合は、黒・白鍵が大小月の区別が一致しないことがわかる。よって、黒・白鍵が大・小月の区別に一致するのは「F＝1月」とする場合のみである（唯一解)。

5.「鍵盤配列と対応」することによってわかる「大小月の配列の美しい性質」

一見複雑なことでもその本質をとらえた比喩表現や、モデルを得ることによって理解が進むことも多い。ここでは、まず「鍵盤配列」に関係する基本的事項をレビューし、それを「カレンダー」に当てはめて確かめるという方策により大小月配列に隠された美しい性質を探ってみる。

さて、数理的に美しい関係といえば、フィールズ賞メダルにも刻まれたアルキメデスの墓標に記されたという図形の体積比（円柱：円錐：球＝3：2：1）や、木星のガリレオ衛星の公転周期にみられるラプラス共鳴（イオ：エウロパ：ガニメデ＝1：2：4）などの簡単な整数比関係や、対称性などがあげられるが、鍵盤やカレンダーではどうであろうか。

実は、鍵盤配列には対称性があり、鍵盤配列の対称の中心となるキーが２つある。

そのキーとは、D（レ）と G♯／Ab（ソ♯／ラｂ）である。

これは、「F＝1月」とするとき、D は１０月、G#/Ab は４月に対応する。つまり、大小月の配列も、4 月と 10 月を中心として対称な並びになっていることがわかるのである！！

4 月と 10 月といえば、年度の区切り、大学でいえば前期後期の区切り。これらが大小月の対称の中心となっているというのも面白い関係ではある。

6. 大の月、小の月に対応する黒鍵・白鍵配列の音楽的意味とピタゴラス音律

ピタゴラスといえば、三平方の定理や「万物の根源は数である」といった言葉が有名であるが、実はピタゴラスは音楽の基礎理論にも深く関わっている。現在１オクターブ（振動数が１：２となる関係）を 12 半音で分割した音律を使うことが多いが、オクターブを 12 分割する基礎となったのがピタゴラス音律である。音楽は音と音とのハーモニーが基礎となるが、これは物理学的には共鳴現象に対応し、音と音の周波数の比が簡単な整数比になるほどハーモニーが生まれやすい。ピタゴラスは、周波数１：２のオクターブ関係（完全８度=12 半音と周波数２：３（完全５度＝７半音）の共鳴関係を繰り返し使い、各オクターブを 12 に分割するピタゴラス音律をつくった。F の音から始めると「F⇒C⇒G⇒D⇒A⇒E⇒B⇒F#⇒C#⇒G#⇒D#⇒A#（⇒F)」という

ふうにオクターブを分割する（５度圏）。（ただし、A#と２：３関係になる音と F とは完全には一致せず、そのギャップをピタゴラス・コンマと呼び、これを解消する方法の一つとして平均律がある）。注目すべきは、F から続く７音が白鍵に相当するダイアトニック・スケール（全音階）の幹音、F#から続く５音が黒鍵に相当するペンタトニックスケールからなる派生音からなる点である。

幹音のうち F(ファ)と B（シ）の組み合わせは、トライトーン（３全音：いわゆる「悪魔の音程」）とよばれる不協和音を生じるが、これらを除いた５つの音（ヨナ抜き音階）は不協和音のないペンタトニックスケールを構成する。そして、このペンタトニックスケールの音階は、黒鍵だけをもちいた音階と一致するのである。

これは、黒鍵に対応する「小の月」の並びは、不協和音のないペンタトニックの音階に対応する美しい配列であり、白鍵に対応する「大の月」のならびは、調性音楽の基礎となる全音階に対応する美しい配列であるということも意味するのである。

7. 音と光と共感覚・・・F を基準とするオクターブと可視光線の面白い関係

音の１オクターブは、周波数１：２となる音の範囲であるということはよく知られているが、可視光線は、電磁波うちある特定の１オクターブの範囲に過ぎないということを知るひとは意外と少ないようである。光も音も伝える媒体は違えど、同じ「波」である。

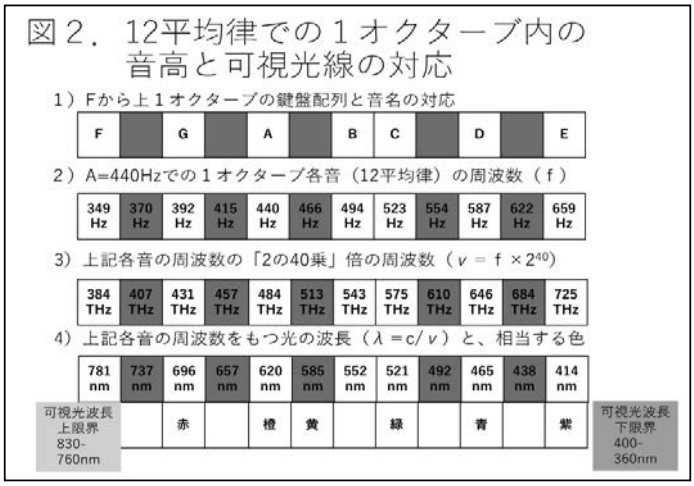
実は、可視光線は、周波数で考えると、ほぼ１オクターブの範囲に収まる。とすれば、可視光線は、音の１オクターブと倍数関係で関連付けが可能であり、ある種の共鳴関係を想定できる。

その場合、可視光線の下限界、上限界に対応する音はなんであろうか。逆に、ドレミファソラシド(CDEFGABC)にあたる色はなんであろうか。

図 2 の 2)では、A4=440Hz としたときの１オクターブ 12 平均律の各音の周波数（Hz）の計算値を示す。

これをもとに 3)で各音の「2 の 40 乗」倍を計算すると、偶然にも、可視光線の周波数域にほぼ重なることがわかる。

4)で、3)に相当する周波数を光の波長に換算し対応する色を割り当てると、F3 が可視光波長の上限界（赤外方向）に対応し、その 1 オクターブ上の F4 が可視光波長の下限界（紫外方向）が対応することがわかった。



つまり、F を基準とするオクターブの範囲は、可視光線１オクターブと倍数関係にあることがわかる。なお、モーツアルトやストリャービンなどの音楽家のなかには音に色を感じるという「共感覚」の持ち主が存在するようであるが、これともなんらかの面白い関係が見いだせるかもしれない。

8. まとめ

・「1 月＝F(ファ)」とするとき、グレゴリオ暦の大小月の並びと楽器鍵盤の白鍵・黒鍵の並びが完全に対応し、それ以外では両者は対応しない。

・大小月の並びには対称性があり、対称の中心は 4 月と 10 月であることが、鍵盤との対応関係を知ることにより容易にわかる。

・可視光線に相当する電磁波の１オクターブの範囲（赤～紫）は、F から始まる音の１オクターブに対応する。これは、「共感覚」と呼ばれる現象となんらかの関係があるかもしれない。

9. おわりに

今回は、これまで知られていないグレゴリオ暦の大・小月の並びと楽器鍵盤の白鍵・黒鍵の対応関係の探索を例に、一見不規則でデタラメにみえる現象をよく検討することで、意外なバターンの類似性や美しい規則性がみえてくることがあり、その知見を活用すると、これまで気づかなかった関連性や意味や活用法がみえてくることの面白さと楽しさを共有することを試みた。

この楽しさは、サイエンスを学び、または研究する過程での面白さや楽しさと相通じるものがあると考える。

今回は、楽器鍵盤配列という一般の人でも比較的よく親しんだことのあるモデルとの対応であったが、その楽しさの本質はよい比喩やよいモデルを見つけることで複雑なことをシンプルにエレガントに理解できるようになることにあるようにおもう。それは鍵盤モデルでも、量子力学でのディラック方程式のような数理モデルでも、楽しさ面白さ美しさの本質は変わらないであろう。

参考文献

1）片山真人,「暦の科学」, 2012, ベレ出版

2）ジャクリーン・ド・ブルゴワン著（池上俊一監修南條郁子訳),「暦の歴史」, 2001, 創元社

3）岡田芳朗ら編,「暦の大辞典」, 2014, 朝倉書店

4）岩宮眞一郎ら編,「音の百科事典」, 2005, 丸善

5）林靖章ら編,「新編音楽中辞典」, 2002, 音楽之友社

質疑応答

Q1：フィールズ賞」というのはなんですか？

A1：「数学のノーベル賞」とも呼ばれる賞で、国際数学者会議(ICM)が４年に１度、顕著な業績をあげた 40 歳以下の数学者に授与されるものです。

Q2：曜日の並びと天動説の関係については、従来から知られていたことだそうですが、これも興味深かったです。

A2：これについては、成書や国立天文台のＨＰにも歴史的由来を踏まえた説が紹介されています。今回発表の際に提示した図と説明は、プトレマイオス時代の天動説での太陽系天体の並びの認識と、１オクターブの構成音の共鳴関係を結びつけて曜日の順序を決定したという本質部分がわかりやすいように説明を再構成したもので、歴史的な説明とは異なります。

Q3：ここでいう大小月というのはなんのことですか。

A3：明治以降、現在まで日本で採用されているグレゴリオ暦では、1 年は１２ヶ月からなりますが、そのうち、ひと月が 31 日からなる月を「大の月」、ひと月が 31 日より少ない月を「小の月」と呼ばれているかとおもいますが、その「大の月」と「小の月」の並びのことです。なお、グレゴリオ暦では、「大の月」「小の月」の並びは毎年同じですが、明治以前は毎年その並びが変わっていたようです。

Q4：大小月の並びの規則性と鍵盤の配列の並びの関係は本当に意外で、面白いですね。

A4：そうですね。知人にこの話をすると、みんな興味をもってくれました。実はこの関係に気づいたのは、約８年前に音楽療法と青年期以降の音楽習得に関連して研究をおこなった際の副産物です。その後、暦の歴史や天文学関連の文献をいろいろあたってみましたが、この関係について言及されたものはありませんでした。音楽療法学会かどこかで発表しようかなとも思っていましたが、なかなか適切な機会を見出せず、今日まで埋もれさせていました。

なお、今回の発表にあたり、あらためて文献調査をする過程で、ウィキペディアをみたところ、「月の大小」という項目の中の「月の大小の覚え方」という項目の最後に、「ピアノなどの鍵盤楽器で、ヘ（F）の音を 1 月とみなせば、白鍵が大の月、黒鍵が小の月になる。」という記述をみつけた時は、ちょっとショックでした。（もっとも、そのことに関連する意味合いについての考察や、参考文献の記載はなし。）

Q5：今回作成された図表を頂いて使ってもいいですか。

A5：今回の研究会の集録に掲載等された後であれば、出典等明記していただければ結構です。

ケプラー方程式による惑星の会合計算を試してみる

佐々井祐二（津山工業高等専門学校）

Trial of Conjunction Calculation of Planets Using Kepler's Equation

Yuji Sasai (National Institute of Technology, Tsuyama College)

Abstract

We wish to introduce a method of planetary orbit calculation for the purpose of furthering Kosen students' astronomy education. In the following study, we will attempt to calculate planetary orbits and the conjunction of planets using Kepler's equation.

1. はじめに

2018 年 7 月 31 日には火星が地球に最接近した。会合周期は約 2 年 2 ヶ月ではあるが，近日点側と遠日点側とで違いがある。これはケプラーの第２法則（面積速度一定の法則）から定性的には理解できるが，初学者にとってはどうやって計算するのかと疑問に思う所である。惑星の軌道計算は，天文に興味のある高専学生にとって有効だと考える。そこで高専学生の教育も兼ねて，ケプラー方程式を用いて，惑星の軌道と会合を計算したい。研究会では準備として，主に数値シミュレーションの方針を紹介する。

高校「地学」教科書に載っている方法

図１のように，火星と地球は太陽を中心とする円軌道上を運動するとし，その公転周期

地球の公転周期　$E = 365$ 日

火星の公転周期　$P = 687$ 日

を用いる。地球と火星の角速度の差に会合周期 S を掛けると，火星に対して地球の進んだ角が 360° となるから，公転周期は以下のように計算できる。

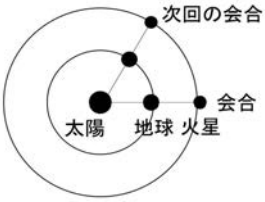


図１　火星との会合

$$\left(\frac{360^\circ}{E}-\frac{360^\circ}{P}\right)\times S = 360^\circ \quad \therefore \ \frac{1}{E}-\frac{1}{P}=\frac{1}{S}$$

$$\therefore \ S=\frac{EP}{P-E}=\frac{365\times 687}{687-365}\cong 779\text{日}\cong 2\text{年}1.6\text{ヶ月}\cong \text{約}2\text{年}2\text{ヶ月}$$

実際の会合

図２（データは[1]を参考）のように，地球と火星の実際の会合周期は近日点付近で 2 年 2 ヶ月余り，遠日点付近で 2 年 1 ヶ月余りのようにかなり違う。プラネタリウムソフトで火星との会合の様子もシミュレーションできる便利な時代である。また，惑星の軌道計算について，大学の天文系学科では，書籍を読めば分かることについては教育しないとも聞く。しかし，身近な惑星の軌道計算を試すことは意味があるだろうし，天文に興味を

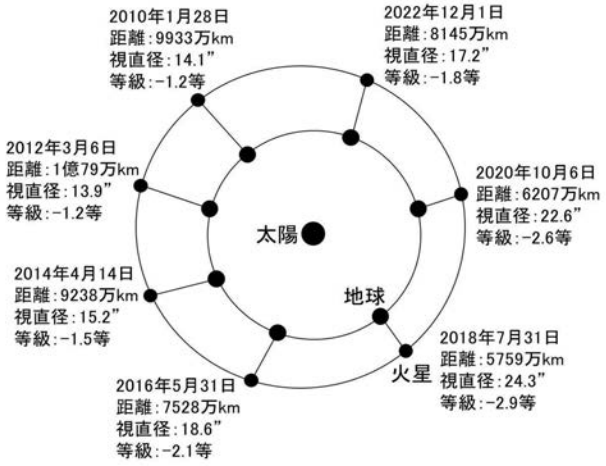


図２　最接近時の地球と火星

持っている高専３年生への探求テーマとして良いのではないかと考えている。

2. 軌道平面上の惑星の位置

惑星 P は，焦点 F に静止している太陽の周りで楕円軌道を描くとする。図３のように楕円の中心を O，軌道長半径 OA を a，軌道短半径を b とする。点 A は惑星の近日点，点 A は遠日点である。軌道短半径 b の代わりに離心率 e

$$e=\sqrt{1-b^2/a^2}$$

を用いることができる。焦点 F を原点とした惑星 P の軌道平面上の位置ベクトルを $\boldsymbol{r}=(x, y, 0)$ とする。惑星が反時計回りに回転しているとして ∠AFP を真近点角 f として，極座標では太陽からの距離 r とともに用いる。

楕円の外側に半径 a の補助円を描いている。y 軸と平行で点 P を通る直線が補助円と交わる点を P′とする。∠AOP′を離心近点角 u とする。この表記法で，惑星 P の座標は

$$x=a\cos u-ae=r\cos f$$
$$y=b\sin u=r\sin f \tag{1}$$

$$r=\sqrt{x^2+y^2}=a(1-e\cos u)$$

で与えられる。

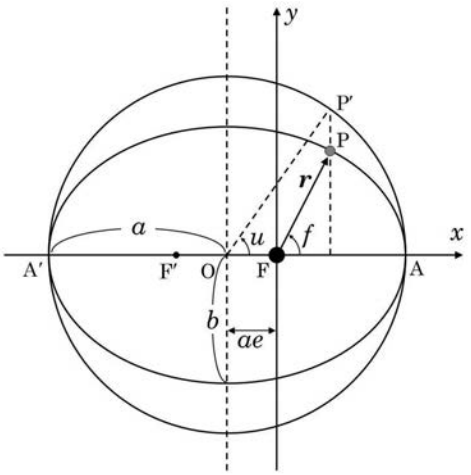


図３　楕円軌道

3. ケプラー方程式 [2][3]

ケプラーの第２法則によると，惑星が一定時間に掃引きする軌道面の面積は常に一定である。これを真近点角 f と時間 t の関係として表現するものがケプラー方程式である。

惑星の質量を m とする。図４のように点 P の惑星が Δt 後に点 P′へ移動してできる扇形 PFP′′ の面積 ΔW は

$$\Delta W=\left|\frac{\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{v}\Delta t}{2}\right|=\frac{1}{2}r^2\Delta f$$

となる。惑星の角運動量 を L とし，上式を考慮すると，面積速度は

$$\frac{dW}{dt}=\left|\frac{\boldsymbol{r}\times\boldsymbol{v}}{2}\right|=\frac{L}{2m}=\frac{1}{2}r^2\frac{df}{dt}=const.\equiv c \tag{2}$$

となり，角運動量 L の保存を確認できる。時間 t で積分すると

$$W=c(t-t_0)$$

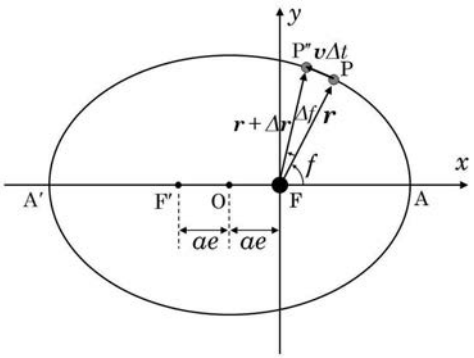


図４　楕円軌道と xy 座標

となる。時間 $t = t_0$ のときに，惑星は近日点 A 上にある。 $t-t_0$ が惑星の公転周期 T となるとき，W は楕円の面積となるから $W = \pi ab$ である。次に，惑星の平均角速度として平均運動 $n = 2\pi/T$ を導入すると

$$c = \frac{\pi ab}{T} = \frac{nab}{2} \qquad \therefore\ L = 2mc = mnab \tag{3}$$

通常は，式(2)の真近点角 f の時間微分を離心近点角 u の時間微分に変換して，ケプラー方程式を導出するが，ここでは式(1)により，惑星の角運動量 L を離心近点角 u で表す方法をとる。従って，図４でなく図３の離心近点角 u を考えることになる。式(1)から，角運動量ベクトルを計算し，その大きさ

$$L = \left|\boldsymbol{r} \times m\boldsymbol{v}\right| = mab(1 - e\cos u)\frac{du}{dt} \tag{4}$$

を得る。式(3)と(4)から得られる式を時間 t で積分して

$$(1 - e\cos u)\frac{du}{dt} = n \qquad \therefore\quad \text{ケプラー方程式} \quad u - e\sin u = n(t - t_0)$$

を得る。ここで，平均近点角 $n(t - t_0)$ は，惑星が平均角速度 n で回転するとしたときの時間 t における仮想的な角度であり，これと離心率 e を既知としてケプラー方程式を解き，厳密な離心近点角 u を求める必要がある。

4．計算方法 [2][3]

軌道平面上の位置

惑星軌道の離心率 e ，長半径 a，公転周期 T ，近日点通過時刻 t_0（ユリウス日）を与える。ケプラー方程式は通常は解析的に解けないので，ニュートン法で数値的に解き，時刻 t における離心近点角 u を求める。時刻 t の離心近点角の初期値として平均近点角 $n(t - t_0)$ を与え，ケプラー方程式を満足する離心近点角 u を求めるという考え方である。

① $u_0 = n(t - t_0)$ ，また，$F(u) = u - e\sin u - n(t - t_0)$ と置く。

② 次のルーチンを繰り返して，収束解を得る。

$$u_{n+1} = u_n - \frac{F(u_n)}{F'(u_n)}$$

5 回程度で容易に収束する。次に，離心近点角 u を式(1)に代入して，時刻 t における軌道上の惑星の座標 $(x, y, 0)$ を得る。

３次元座標系での位置

図５の X–Y 平面を黄道面とする。軌道面が X–Y 平面と成す角（軌道傾斜角 I），春分点から昇交点までの角（昇交点経度Ω），昇交点から近日点までの角度（軌道面での楕円の向きを決める近点引数ω）を用いる。

回転行列を R とし，軌道面上の惑星の座標 $(x, y, 0)$ を

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = R_3(-\Omega)R_1(-I)R_3(-\omega)\begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix}$$

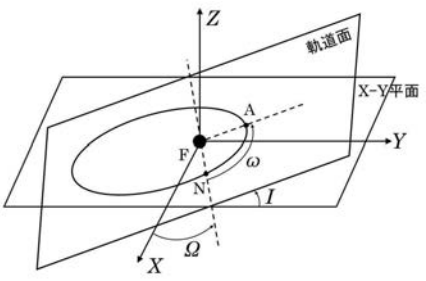


図５　３次元空間における軌道

により回転させることで，３次元座標系における惑星の座標 (X, Y, Z) を得る。

地球と火星の会合

日ごとの地球と火星の３次元座標を計算し，両惑星間の最少距離から，会合を判断する。

5．おわりに

ケプラー方程式から惑星の会合を計算する方法についてまとめた。研究会の後，十進 BASIC により数値シミュレーションを行った。地球は 2010 年 1 月 3 日の近日点，火星は 2009 年 4 月 21 日の近日点を起点とし，理科年表 2010 の軌道要素により，地球と火星が軌道上を進んでいくシミュレータを作成した。その実行例が図 6 である。日ごとの計算ではあるが，火星最接近 2018 年 7 月 31 日（距離 0.385au [4]）における計算結果は 0.3857au となった。

今後は軌道計算の本校学生への指導を行いたい。また，本シミュレータのブラッシュアップに加え，将来的には３体問題として考察を進めて行きたい。

謝　　辞

本取組は科学研究費補助金（17K01002）を受けて行ったものであり，ここに謝意を表します。

参考文献

[1] 国立天文台 Web ページ「火星とは」，https://www.nao.ac.jp/astro/basic/mars.html
[2] 福島登志夫 編，シリーズ現代の天文学 13 天体の位置と運動，日本評論社
[3] 長沢 工 著，天体の位置計算，地人書館
[4] 国立天文台 Web ページ「天象」，
http://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/phenomena_f.cgi

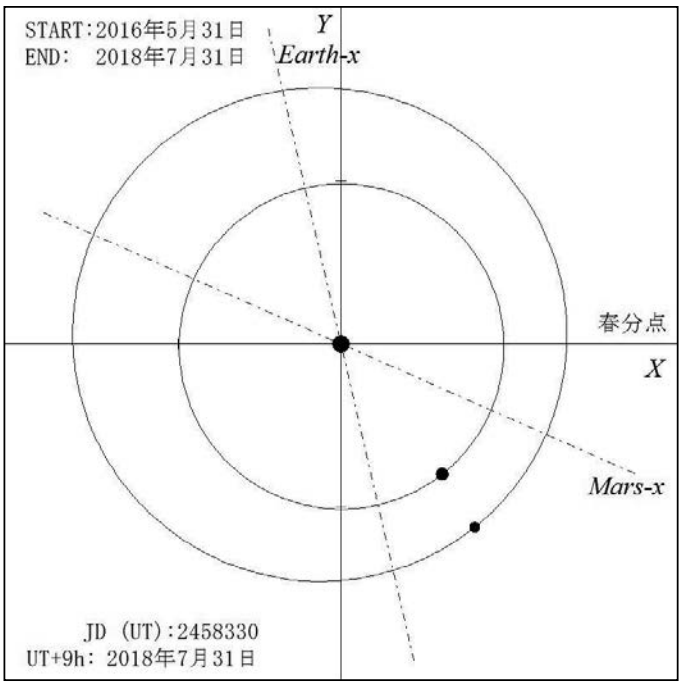


図６　地球と火星の軌道シミュレーション（中心から順に，太陽，地球，火星）

GAIA DR2 による星空生成と科学ライブショーでの活用

野本　知理（千葉大学）

Sky map generation from GAIA DR2 and their applications to science liveshow

Tomonori Nomoto (Chiba University)

Abstract

A sky-map generator that can simulate starry sky image at various place, time, with various velocities were developed using GAIA DR2 and the Hipparcos catalogues. Using GAIA DR2, sky simulation including milky-way was enabled with aberration and Doppler effects that are characteristic effects for spaceships moving at the close speed to the light speed. The applications of the generated images and movies in the science live show "UNIVERSE" in science museum, Tokyo are also presented.

1. はじめに

ESA の位置天文衛星、GAIA の観測成果である GAIA Data Release 2 (DR2)[1]が、2018 年 4 月に公開された。DR2 では赤経・赤緯だけでなく年周視差と固有運動、また 2 つの波長での等級、視線速度などの値が加わり、星の位置の 3 次元可視化のために必要なパラメータが概ね揃うことになった。筆者はこれまで、ヒッパルコス星表[2]に基づいた星空生成・恒星間航行シミュレーションソフトウェア「HippLiner」の開発を行い、東京北の丸、科学技術館の科学ライブショー「ユニバース」での活用を行ってきた[3,4]。今回、DR2 公開に伴い、DR2 のデータを使用して任意の位置・速度・時代の星空を生成するプログラムを開発し、恒星間飛行映像・固有運動シミュレーションによる科学ライブショーを行っているので報告したい。

2. GAIA DR2 による星空生成

ヒッパルコス星表と違い、DR2 では天の川をも再現可能な数の星が含まれているため、より現実に近い星空再現が可能となる。今回のプログラムでは任意の位置、任意の時代における星空、および光速に近い速度で航行する宇宙船からの星空を再現する。

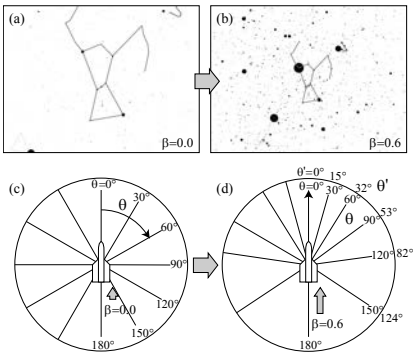


図1:(a)静止時と(b)光速の 60%でオリオン座方向に航行するときの見え方。(c)静止時に星が到達する方向 θ に見える星が、(d)光速の 60%で航行する際には θ'の方向に見えるようになる。

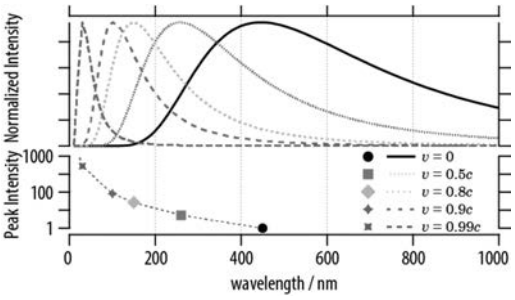


図2:ドップラー効果による黒体輻射のスペクトル変化の例。光速に近づくと共に、静止時 6500K だった温度があたかも上昇したようなスペクトル形となり、またピーク強度も静止時より上昇する。

光速に近い速度で進む宇宙船からの星空を再現するには、光速が有限であることに由来する光行差とドップラー効果という２つの効果を再現する必要がある[5]。光行差は光速に近づくにつれて星が前方に見えるようになる効果である。進行方向と見ている星がなす本来の角度 θ 、宇宙船の速度と光速の比を$\beta = v/c$としたとき、$\beta = 0.6$のとき実際に星が見える方向θ'の関係[4]を例として図１に示した。

ドップラー効果については、SF 作品で未だ時折言及されることがある虹のようなスターボウになることはありえない。星のスペクトルとして黒体輻射を仮定した場合、速度βにおけるスペクトルも黒体輻射と同様のスペクトル形となり、近づく方向の星のスペクトルは高温側にシフトして青っぽく、明るくなったように、遠ざかる方向の星のスペクトルは低温側にシフトして赤っぽく、暗くなったように見える（図２）。

今回の画像生成では、星のスペクトルを黒体輻射と仮定して CIE XYZ(1931)等色関数を乗じ、XYZ 色空間を経由して算出した色を用いて描画を行った。DR2 に有効温度が記載されていない星については、2 つの等級(BP, RP)の差と有効温度の関係について近似曲線を求めて温度を概算した（図３左）。このため、今回描画に使用した星は DR2 に含まれる約 17 億個の星のうち、BP,RP が記載され(14 億個)、かつ年周視差が正の値をとる 9 億個程度となる。また、DR2 に含まれていない明るい星についてもヒッパルコス星表に基づき、色についても Johnson B, V 等級と有効温度の関係[6]から推測した。（図４）

以上のような効果を踏まえて図５のようなスキームで全天球画像を生成した。すなわち、現在位置や固有運動、光行差を反映した星の位置を計算した後、生成画像の各ピクセルに対応する範囲に見える星のスペクトル強度をすべて足し合わせ、XYZ 値を算出して各ピクセルの明るさと色を計算する。その後、8bit 256 階調では飽和してしまう明るさの星について円盤で置き換え、面積変化で明るさを表現する。なお、不自然に見えるほどまで円盤が大きくならないように、一定以上の明るさでは面積ー明るさの関係を比例させず、また面積の上限も設けている。

以上の画像生成を行うにあたって、DR2 の 17 億個のデータは単精度で扱っても 50GB を超えるために、リアルタ

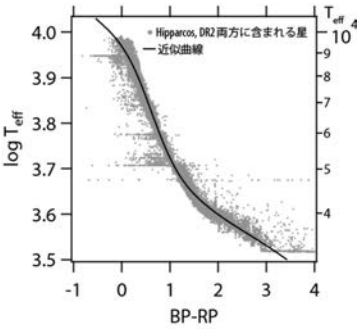


図３：Hipparcos, DR2 両方に含まれ、かつ DR2 に有効温度 Teff の記載がある星の Teff と BP-RP の関係のプロットと近似曲線。

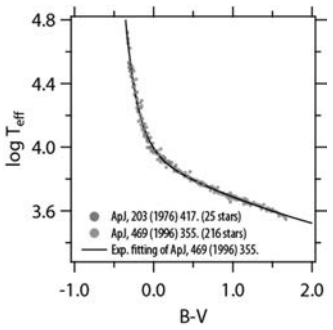


図４：Johnson B-V と T_{eff} の報告値[6]と今回使用した近似曲線。外挿しても不自然にならないように、既存の多項式を使用せず指数関数で近似した。

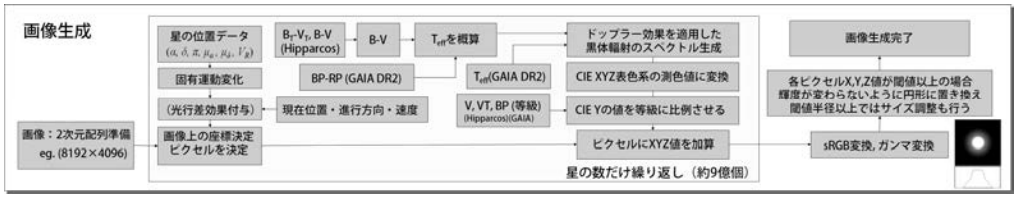


図５：今回作成したプログラムにおける星空生成スキームの概要。９億個の星の各々について、正距円筒図法の画像上の対応する位置を求め、星の有効温度・等級に対応する輝度を当該ピクセルに加算していった後、輝度が飽和するピクセルについて円盤で置換することで生成した。

イム描画を行うのは容易ではない。ゆえに今回は、恒星間飛行や時間変化の動画として書き出して使用した。今回ライブショーで用いた動画の書き出しにおいては PCIe 接続の SSD と 64GB メモリを搭載した Core i7 6700K 搭載機にて正距円筒図法の全天球画像（8192×4096 ピクセル）1 枚あたり 400 秒程度掛かる。30 フレーム/秒、20 秒分(600 枚)の動画書き出しにはマルチスレッド計算で約 11 時間掛かった。

3. 科学ライブショー「ユニバース」における活用

科学ライブショー「ユニバース」は毎週土曜日、東京、科学技術館のシンラドームにて行っている科学ライブショーである。「ユニバース」ではドームシアターに表示される全天周３Ｄシミュレーション映像を使用して、研究者が最新の科学の話題について観客に直接届ける形式となっており、筆者もこれまで案内役として「HippLiner」のドーム版を使用したリアルタイム３Ｄシミュレーションを見せてきた。今回、動画として書き出した DR2 の星空についてもライブショーでの活用を行った。ライブショーにおいては星座の形をテーマに、次のように 3 種類のシミュレーション結果を演示しながら解説を行っている。

他の恒星から見た場合の星座の形

最も近い恒星としてケンタウルス座 α 星からの星空を紹介する。はじめに、地球からケンタウルス座α星まで移動するムービー（光行差等は入っていないもの）を見せ、ケンタウルス座 α 星から見た星座の形が地球から見た形から変化していく様子を示すことで、星座は地球から見た星の配置を基に結んだだけであり、他の星から見るとその形が異なることを説明する。また、進行方向に近い南十字座など形はそれほど大きく変化しないのに対し、側方となるベガやアルタイルは大きく動いて見えること、シリウスはベテルギウスの近傍に見えるようになることなどの紹介もクイズ等を交えながら紹介を行う。

時代による星座の形の変化

いつも止まっているように見える星も実際には長い時間をかけて動いていることを紹介する。最初に、現在使用されている多くの星座が決定された古代ギリシアのヒッパルコスの時代までさかのぼり、当時と現在で見ている星座の星の位置がほとんど変わっていないことを示す。次に、より過去、人類誕生の頃まで時代をさかのぼる。40 万年ほど前まで連続的に変化していくと星が移動していく様子が見えるため、過去の星空は現在とは大きく違った様子であったことを示すことができる。また、固有運動によりヒヤデス星団が近づいてくる様子も確認できるので、散開星団の成り立ちについての解説も行っている。

光速に近い速度の宇宙船からの星空

最後に、光速に近い速度の宇宙船から見た星空を紹介する。SF 作品とは異なり、現実の物理法則では原理的に光速度を超えることができないことを紹介し、その際、光速に近づけば近づくほど光行差とドップラー効果により見える星空が大きく変化していくことを示す。また、相対論効果により宇宙船内の時間が遅れることも示す。現在のライブショーではアルデバランまで光速の 80%の速度で向かった場合の様子を見せる場合が多いが、複数の選択肢から選べるようにする予定である。

今回 DR2 を使用してシミュレーションを行った結果、光速に近い速度の宇宙船から見た場合、天の川がどのように見えるかについてもはじめて示すことができた。銀河面に比較的近い方向に向かう際（ベガやアルタイルなど）は光行差によって縮小された帯状の天の川が観測される一方、銀河面と垂直方向に移動する際には異なる様子となることがわかる（図６）。

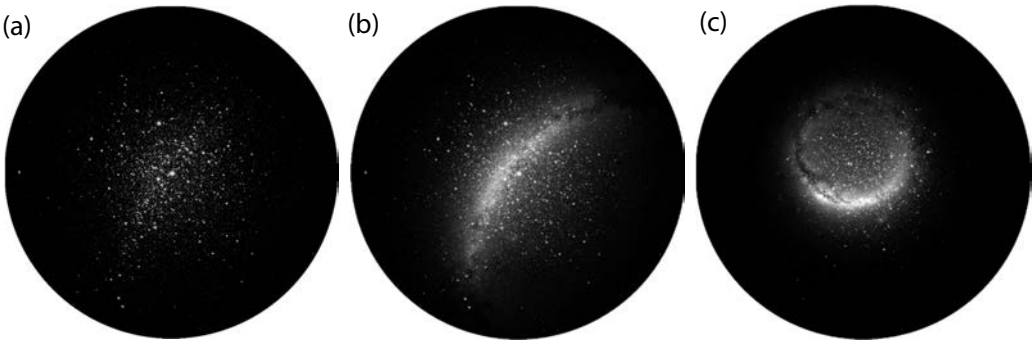


図６：(a, b) アルデバランに β=0.8 で航行中の星空についての星表による違い（等距離射影方式，視野角 180°)。ヒッパルコス星表のみを使用した場合(a)には見えなかった天の川が、DR2 を使用した場合(b)には見えるようになる。(c) は赤経 180° 赤緯 0° 方向へ航行した場合の星空。

4. まとめ

以上のとおり、今回 GAIA DR2 のデータを使用して任意の時間、位置、速度条件で見た星空を生成するプログラムを開発するとともに、恒星間飛行や時間変化のシミュレーション結果を全天球映像として書き出し、科学技術館シンラドームの科学ライブショー「ユニバース」におけるコンテンツとして活用することができた。これまで書き出した全天球画像の一部については Web サイト(http://T.NOMOTO.org/AllSkyHipp2GAIA/)や YouTube でも公開を行っている。プログラム本体についても今後の公開を検討している。

参考文献

1. Gaia Data Relsase 2 (https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/data-release-2), processed by Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC)
2. ESA, The Hipparcos and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, 1997.
3. T. Nomoto, "Interstellar spaceship simulator for astronomical education and communications", "Global Hands-On Universe 2007 For Win-Win Relations between Science Research and Education", Edited by T. Handa and M. Okyudo, Universal Academy Press,Inc. Tokyo, Japan, ISBN 978-4-904164-05-1, pp. 147-151, 2008.
4. 野本知理, 半田利弘「太陽系近傍恒星位置 3 次元可視化ソフトウェア HippLiner を用いた科学館での演示」日本天文学会 2002 年春季年会 Y17b. 2002.
5. J. M. McKinkey and P. Doherty, "In search of the "starbow": The appearance of the starfield from a relativistic spaceship", Am. J. Phys. 47 (1979) 309.
6. P. J. Flower, “Transformations from Theoretical Hertzsprung-Russell Diagrams to Color-Magnitude Diagrams: Effective Temperatures, B-V Colors, and Bolometric Corrections”, Astrophysical Journal, 469 (1996) 355.

「長野県は宇宙県」のこれまでの活動と今後

衣笠　健三（国立天文台野辺山宇宙電波観測所）ほか、「長野県は宇宙県」連絡協議会

Activities of “Nagano Prefecture is the Astro-Prefecture” until now and in future

Kenzo Kinugasa (Nobeyama Radio Observatory, National Astronomical Observatory of Japan), on behalf of “Nagano Prefecture is the Astro-Prefecture” Liaison Council

Abstract

Some Activities of “Nagano Prefecture is the Astro-Prefecture” started in earnest two years ago. We initiated a regional cooperation in the entire prefecture and are conducting these activities in cooperation with professional and amateur astronomers, local government officials, tourist agents and so on. We introduced the activities until now and in feature.

1．はじめに

長野県は、以下に列挙する特徴が示すように、宇宙に最も近い県と言えます。

① 日本の屋根‥平均高度と平均居住高度とも日本で最も高い
② 美しい星空‥阿智村、南牧村など多くの自治体の観光資源
③ 多くの天文観測研究施設‥国立天文台野辺山、東大木曽、JAXA 臼田など多数
④ 多くのプラネタリウムと公開天文台
⑤ 高い航空宇宙技術‥信州大学ぎんれいプロジェクトなどの幾つかの宇宙プロジェクト
⑥ 油井亀美也宇宙飛行士の出身地‥川上村出身　原体験は年少の頃に見た星空

さらに、高見沢今朝雄さんを代表にアマチュア天文活動が活発であること、江戸時代からの天文資料も多く、江戸時代から現代に至るまで、まさに「長野県は宇宙県」と言っても過言ではないでしょう。

2.「長野県は宇宙県」のこれまでの活動

「長野県は宇宙県」という言葉は、2015 年の夏頃、国立天文台野辺山観測所にて言い出した言葉です。その後 2016 年の春に、油井宇宙飛行士のミッション報告会の時に当時の斎藤野辺山所長から長野県知事へ、そして、2016 年の夏に県知事が木曽を訪れた際に県知事から小林木曽所長へこの言葉が伝えられました。このことが組織として活動を始めるきっかけとなりました。

まず、木曽観測所と野辺山観測所にて会合を持ち、県知事とのやりとりなどを含めて、「長野県は宇宙県」としての組織化を考え始めたのです。これまでの活動について表 1 にまとめましたが、以下に主なものについて説明します。

図 1. 第 1 回『長野県は宇宙県』ミーティングの約 100 名の参加者にて実施

(1) 「第 1 回『長野県は宇宙県』ミーティング」

2016 年 11 月 23 日に「第 1 回『長野県は宇宙県』ミーティング」(図 1)を開催しました。縣さんを発起人として、県内の天文関係者に呼びかけたところ、当初の予想を大きく上回るほどの申し込みがあり、最終的には約 100 名の方が参加さ

れました。県内だけでなく、関西や関東からも参加があり、天文学者、科学館や公開天文台などの職員、天文同好会の方々、行政職員、さらには報道関係者などが参加され、関心の高さが伺われました。というのも、長野県内は各地域を超えた全県的な繋がりがあまりなかったことと、他県にもあまり見られない県レベルの産学官連携の天文コミュニティにも話題性があったようです。

ミーティングでは各施設での活動を紹介しつつ、情報共有を行いました。最後には、以下の松本宣言が承認され、本格的な活動を始めることとなりました([1]参照、図 2)。

松本宣言

「長野県がもつ「宇宙に近い」というすばらしい資産を多くの人たちと共有し、 その魅力を広く伝えていくことにより、長野県の地域振興、人材育成、観光、天体観測環境維持に 寄与することを目的とする。また、参加する団体・個人は、 この目的のために、お互いの特徴を認めつつ、協力をし活動する。」

図２．「長野県は宇宙県」ロゴ

(2) 「第２回『長野県は宇宙県』ミーティング」

第 2 回目のミーティングは、体制の強化と具体的なの活動に向けてのステップにしようと、長野高専にて 2018 年 2 月 3 日に実施しました([2])。メーリングリスト等にて呼びかけ、80 名の方々に参加いただきました。午前中には、長野高専の大西さん主導で、「長野県星空マップ」製作ワークショップ(図 3)を実施し、参加者のおすすめ星見スポットなどを列挙しました。午後は、縣さんが「『長野県は宇宙県』未来予想図」と題した講演(図 4)をして頂き、宇宙県の将来像について語っていただきました。その後、「宇宙県」全体と「信州デスティネーションキャンペーン」、それぞれの活動報告、そして夜空の暗さ測定の現状報告などをして頂きました。最後に、体制についての変更をし、会長を大西さんとして活動していくことを決定しました(図 5 参照)。

図 3. 長野県星空マップ製作ワークショップ

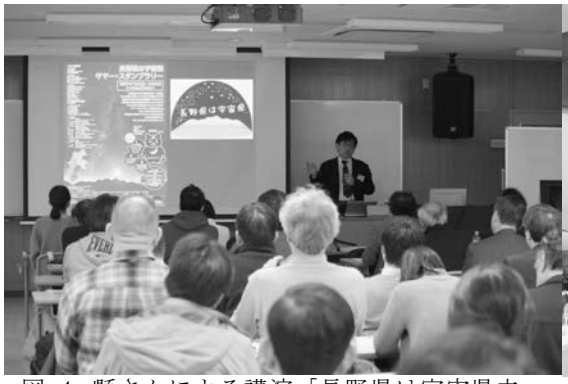


図 4. 縣さんによる講演「長野県は宇宙県未来予想図」の様子

図 5. 第 2 回「『長野県は宇宙県』ミーティング」終了後の懇親会での集合写真

(3)「長野県は宇宙県」スタンプラリー

「長野県は宇宙県」連絡協議会では、2017 年と 2018 年に、長野県内の天文関連施設や天文イベントをつないだスタンプラリーを実施しています。これは、「長野県は宇宙県」を県内外の多くの方々に周知していただくため、そして、長野県内における天文・宇宙関連のさまざまな活動や星空環境を広く知ってもらうことを目的としたものです。

詳細な説明は、[3]にまとめましたので、そちらをごらんください。

(4)長野県星空継続観察

第 2 回「長野県は宇宙県」ミーティングにて、報告があった夜空の暗さ測定について、長野県全体で系統的にやりたいという意見があったので、それを具体化することで、2018 年 7 月 7 日に塩尻にて実施しました。野辺山と木曽観測所、県内でこれらの活動を実施している方々や長野県水大気環境課の方、さらに、星空公団の方々が集まって、長野県内での夜空の明るさ測定をどうしていくかについて議論をしました。その結果、多くの方々の協力により、長野県内のたいへん多くの地点での測定を系統的に実施することができました。今後、これらをどのように継続していくのかが課題となりそうです。

こちらも詳細については、[3]にまとめています。

(5)その他

「長野県は宇宙県」という言葉とその活動は、様々な波及効果をもたらしていそうです。

まずは、講演会や新聞や雑誌の取材などを依頼されることが多くなったことです。最近では、JR 東日本の「トランベール」にて他のテーマの中ですが、「長野県は宇宙県」についてお話しさせていただいています。また長野県の八十二文化財団が発行している機関誌「地域文化」では「長野県は宇宙県」特集を組んで頂き、油井宇宙飛行士と大西さんの対談、渡部国立天文台副台長や衣笠執筆の記事などを掲載して頂きました([4]、図 6)。

一方で長野県内の天文関係者の交流が深まったことから、長野県天文愛好者連絡会(仮称)が 2017 年 11 月 23 日の松本あがたの森でのミーティングにより、組織されました。さらに、長野県プラネタリウム協議会からも応援を頂くなど、相互交流が進んでいます。

図 6. 「長野県は宇宙県」の特集が組まれた雑誌「地域文化」

表 1. 「長野県は宇宙県」これまでの主なイベント及び活動

2015 年 7 月	野辺山観測所内にて発案
2016 年 3 月	川上村油井宇宙飛行士報告会「亀の恩返し」(野辺山所長と阿部長野県知事)
2016 年 5 月	長野県プラネタリウム協議会にて紹介
2016 年 7 月	阿部知事、木曽観測所訪問 (木曽所長と阿部知事)
2017 年 7 月	野辺山、木曽両観測所より天文観測研究施設会議開始
2016 年 9 月	長野県庁を訪問
2016 年 11 月	第 1 回「長野県は宇宙県」ミーティング@信州大松本キャンパス

ホームページ開始
2016 年 12 月　SNS(Facebook、twitter)開始
2017 年 2 月　ロゴ決定
2017 年 3 月　天文学会などにて報告
2017 年 4 月　「長野県は宇宙県」サマースタンプラリーイベント準備開始
2017 年 5-6 月　スタンプラリークラウドファンディング実施
2017 年 7-8 月　スタンプラリー実施
2017 年 11 月　長野県天文愛好者連絡会(仮称)発足
2018 年 2 月　第２回「長野県は宇宙県」ミーティング@長野高専
2018 年 4 月　長野県は宇宙県」スタンプラリー2018 準備開始
2018 年 7 月　長野県星空継続観察ミーティング in 塩尻
2017 年 7-11 月　長野県は宇宙県」スタンプラリー2018 実施

3.「長野県は宇宙県」のこれから

「長野県は宇宙県」連絡協議会は、長野県内外から多くの賛同を頂き、活動を進めています。トップダウンの体制ではなく、ボトムアップの活動を継続的に実施していきたいと考えています。そのための課題として、継続的なミーティングの開催、「長野県は宇宙県」ブランドの確立、長野県との観光、環境などとのタイアップなどが挙げられます。

ミーティングなどを通して、現在芽生えつつある今後の活動のテーマをいくつかご紹介します。①長野県内の夜空の暗さ測定(進行中)、②長野県星空マップの作成(星空スポットの紹介)、③星空案内人などの育成と活用、④長野県内の星空データの収集と活用、⑤長野県内の天文歴史調査など。

今後とも、応援よろしくお願いします。

参考文献

[1] 「長野県は宇宙県」連絡協議会 HP （http://www.nro.nao.ac.jp/~uchuuken/index.html ）
[2] 第 2 回「長野県は宇宙県」ミーティング HP （ http://uchuuken.jpn.org ）
[3] 「みんなで楽しむ『長野県は宇宙県』」,2018, 衣笠健三他
[4] 「地域文化」No.125 (2018 年夏号),公益財団法人八十二文化財団

ワークショップ用天文工作キット・解説パネル・模型の事例紹介

『12 星座の見頃の季節早見盤』『地球と月のメジャーボックス』

『星座の奥行き比較パネル』

大江　尚子（宙座工房 TeruTeruZa）

Case report of astronomy craft kits, explanation panels, and models: Quick-looking chart of the best season of 12 constellations, Measure box of the Earth and Moon, and Constellation depth comparison panel

Naoko Ohe (SORAZA-studio TeruTeruZa)

Abstract

In my studio, I have been conducting creative activities aiming at popularization of astronomy through "Monozukuri with motifs stars and sky". For instance, I recently produced handmade panels for explaining astronomy, and astronomy craft kits to be used in workshops. Here, as a case of astronomy outreach tools, I explain my new work and also the improved previous works.

1. はじめに

私の工房では「宙のある生活を」テーマに「星と宙のものづくり」による天文普及を目指して制作活動と作品の発表を行っている。[1][2]最近はワークショップ用の工作キットや、体験型の天文解説パネルの制作にも取り組んでいる。[3]これらを制作するようになった経緯について述べ、次に新作及び改良版の制作物を、解説ツールを用いた天文普及活動の事例として報告する。

2.「ワークショップ用天文工作キット」及び「体験型の天文解説ツール」

2-1［経緯］：「天文解説」はどうしても「伝える人→聞く人（受け身）」になりがちだ。ビギナーの方々に主体的に天文の話題に向き合ってもらうにはどうしたらよいか？を常々模索している。

パソコン等の機器のないイベント会場で天文解説をする度に、ビギナー向けの「見てわかりやすい」「興味を引く」解説ツールの必要性を感じ、自己流でパネルや模型を制作して用いてきた。

また天文工作ワークショップの講師を務める機会が増えた。科学的な要素を盛り込んだ工作は好評で、「ニーズ」があり、笑顔を広げ、「体感的にわかる楽しさ」を届けられることを実感した。

そこで、これらのニーズに応える形で天文学の科学的な豆知識を盛り込んだ「天文工作キット」及び「天文解説パネルと模型」などの普及ツールの制作に力を入れて取り組むようになった。

2-2［工作ワークショップ］：工作キットには天文豆知識を込めることにこだわり、簡単に作れて身に付けられるキーホルダーや実用グッズをデザインしている。「自分で作る」ことで参加者が主役となって「科学的な話題」に向き合う形になり、より理解が深まるようだ。何より「天文の楽しい思い出」が作られる。参加者が工作したグッズを持ち帰り、身に着け、日常的に用いることで興味が持続する効果も期待できる。また家族や友人に見せて「天文豆知識を説明したい」と思うことで、「作りながら理解する」ことへの意欲も高まるようだ。その為、工作したグッズが「持ち主が天文解説できるツール」となるように、ミニ天文解説文も一緒に渡している。

2-3［体験型の天文解説ツール］：主にイベント会場で使用する天文解説パネルと模型である。

「天文解説パネル」は、当初は「紙芝居」のイメージで「見てわかりやすい」パネルを目指していた。だが「眺める」ツールでは説明できる内容に限界があり、参加者は受け身のままだ。そこで「飛び出す絵本」のイメージで、紐が伸びる、回転するなど「触って確認できる」ように加工したところ、参加者が面白がって動かし、主体的に楽しんで理解してもらえるようになった。

「模型」は特技を活かして私が毎年制作・発表[4]している天文解説用のハンドメイド作品だ。（例：図 3、図 4）「かわいい作品」に仕立てることで手に取って興味を持ってもらえる。[1][2]

これらの「触ってわかりやすい」「動かして面白い」解説ツールの制作によって活動の幅が広がり、その後のユニバーサルデザイン天文を意識した制作活動につながった。[5]（例：図 8）

以下、工作キット及び解説ツールの具体例を 3 点紹介する。

3.『12 星座の見頃の季節早見盤』（天文工作キット（ペーパークラフト））

3-1 [経緯] ：「黄道 12 星座」は「誕生星座」として一般の方々にも馴染みが深い星座だ。だが「自分の誕生日の時期には、夜空で誕生星座を見ることはできない」ことを知らない方はとても多い。（私もビギナー時代に誕生月に観望会へ行き、自分の誕生星座は「今の時期は見えない、見頃は過ぎている」と知らされて驚いた経験がある。）イベント会場等での天文解説時に、驚く方々にその度に口頭で【あなたの誕生星座の夜空での見頃の季節（春夏秋冬）】を説明していたが、“話が早い”ように『12 星座の（夜空での）見頃の季節早見盤』を制作した。（図 1、図 2）

3-2 [形状] ：2018 年夏版は A5 サイズの厚紙 1 枚だ。表面に上の盤と下の盤、裏面には解説を印刷した。ハサミで上下の盤を切り抜き、中央に穴をあけ、重ねて穴を金具で留めて完成だ。

工作ワークショップでの使用も想定して、ハサミがあれば制作できるようにデザインした。（図 1）中央の留め具は販売用キットには割ピンを付属したが、ボタンと細いヒモなど身近なものでも代用できる。今回は大人向けに英語表記のデザインだが、今後日本語版も制作予定だ。

3-3 [使い方] ：(1) 上の盤の矢印 A（赤色）を下の盤の 12 か月（上・中・下旬）の目盛りに合わせる（例：7 月下旬）　(2) 上の盤の反対側の矢印 B（黄色）が（1）の時期の 20 時に南の夜空で見頃（南中）の 12 星座を示す（例：夏の星座・さそり座）（図 2）

3-4 [効果] ：一覧表でも説明はできる。だが「回転する」→「矢印の先に示される」という「早見盤型」にしたことで興味を持って覗き込んで楽しそうに話を聞いてもらえる効果があった。2018 年夏にこのペーパークラフトを拡大コピーした体験型の「回転する早見盤パネル」も制作し、イベント会場に飾って解説に用いたところ、来場者が盤をくるくる回して遊びながら自分と家族や友人の誕生星座の見頃の季節を確認するなど、会話が広がるコミュニケーション促進ツールとしても活躍した。また「自分に関わる事」として捉えやすい身近な 12 星座の話題をきっかけに、（暗い星が多く都会では見つけにくい星座も含めて）「実際の四季の星空」に関心を持って夜空を見上げる楽しさや「天文視点の 12 星座」の面白さに興味を持ってもらえる機会となった。

3-5 [模型] ：応用例としてハンドメイド作品・布とビーズ刺繍の『12 星座の見頃の季節早見盤カップ＆ソーサー』（図 3、図 4）も制作・発表[4]した。早見盤を立体的に、カップ＆ソーサー型という“ユーモア”を盛り込んで仕立てたことで、面白がって興味を持ってくれる方が多い。

4.『地球と月のメジャーボックス』　（ワークショップ用天文工作キット）

4-1 [経緯] ：『地球と月のリールキーホルダー』[2]という工房の人気グッズのアイデアをベースに、安価で身近な素材で簡単に制作できるワークショップ用工作キット（図 5、図 6）を考案した。長さ 150ｃｍの巻き尺メジャー・かぶせ式の箱・工作用シール（図 7、表 1）で作る“地球と月のスケール模型”だ。【地球と月のサイズ】と【地球から月までの距離】を確認できる。

4-2 [設定] ：(1)【地球の直径は月の直径の約 4 個分弱（約 3.7 個分）】(2)【地球から月までの距離は地球の直径の約 30 個分】という“わかりやすい例え”を用いて、キットでは「地球の直径：約 5ｃｍ、月：約 1.4cm、地球と月の距離：約 150ｃｍ」と設定している。

4-3 [形状] ：箱の蓋Ａに地球シール、下の箱Ｂに月シールを貼る。Ａの内側にメジャー本体を強力両面テープで貼り、Ｂの内側の縁にメジャーの先端が 0ｃｍとなるように粘着テープで貼る。シールの土台には作業順に番号がふってある。箱はかぶせ式なので収納と保管にも便利だ。

4-4 [使い方] ：(1) 地球（5ｃｍ）と月（1.4ｃｍ）のシールでサイズを比較できる (2) 片手にＡ（地球）片手にＢ（月）を持って両手を広げる。メジャーを端まで伸ばすと地球から月までの平均距離（地球の直径 5ｃｍ×30 個分＝150ｃｍ）に相当する長さを確認できる。

4-5 [効果] ：身近な月のサイズや距離を体感することで宇宙の広がりを意識してもらえた。

図 1『12 星座の見頃の季節早見盤』制作中

図 2『12 星座の見頃の季節早見盤』完成

左：図 3『12 星座の見頃の季節早見盤カップ＆ソーサー』矢印を皿の目盛に合わせる
右：図 4『12 星座の見頃の季節早見盤カップ＆ソーサー』持ち手が皿の 12 星座を示す

図 5『地球と月のメジャーボックス』表側

図 6『地球と月のメジャーボックス』内側

左：図 7『地球と月のメジャーボックス』工作用シール

＜工作用シールのデザイン＞
※作業順に番号がふってある
①「地球」の画像（5cm）と直径
②「月」の画像（1.4cm）と直径、
及び「地球の直径は月の直径の
約 4 個分弱」の図
③「地球と月のサイズ」及び
「地球から月までの距離」
に関する日本語の解説
④「月までの距離は地球の直径の約
30 個分」の図

右：表 1　工作用シールの解説

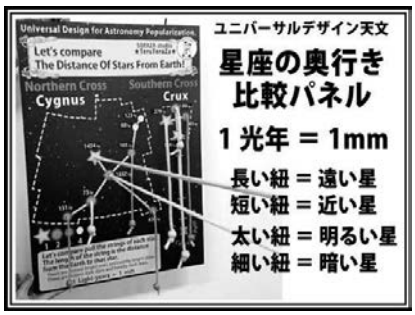
5.『星座の奥行き比較パネル』　（体験型の天文解説パネル）

5-1 [内容] ：「地球から星座の主な星までの距離」を「紐の長さで比較」できるよう、パネルに星座を描き、星の位置に穴をあけ紐を通した解説ツールの改良版を制作した。（図 8、図 9）

「星までの距離＝紐の長さ」は「1 光年＝1mm」換算とした。地球から見て「長い紐＝遠い星、短い紐＝近い星」「太い紐＝明るい星、細い紐＝暗い星」を表す。紐の太さ（及びビーズの大きさ）と色の違いで 1 等星～4 等星を判別できるユニバーサルデザイン仕様がこだわりだ。

5-2 [経緯] ：「星座の奥行き」を体感できるようにと 2015 年より制作を始め、予想以上の反響があった。視覚障害者の方々が「触って確認できる」ツールとなる可能性に思い至り、ユニバーサルデザイン天文研究会[5]でのワークショップ実施を機に、多くの方々のアドバイスとフィードバックを得ながら改良を重ねた。皆で協力して作りあげたユニバーサルデザインのコンテンツだと考えている。CAP2018[6]では英語版を海外の方々に向けて紹介した。またこのアイデアを活用してもらえるようにパネルの制作ワークショップの実施と制作手順の公開も行った。[7]

5-3 [効果] ：「紐を伸ばして楽しい」「見て・触ってわかりやすい」ことは世界共通のようだ。年齢差、障害の有無、言語の壁を超えた「皆で楽しむ」コミュニケーション効果を実感している。



左：図 8『星座の奥行き比較パネル』（※英語版）　A2 サイズで扱いやすく持ち運びしやすい

左：図 9『星座の奥行き比較パネル』を用いた解説の様子（※画像は CAP2018 ポスター会場）

6. おわりに

上述の紹介例は天文普及活動の実践の中で必要に応じて制作したものだ。自分のビギナー時代の体験を踏まえ、どうやったら伝わるか？コミュニケーションが促進されるか？を考え試行錯誤する内に、「動いて面白い」「触って確認できる」「軽くてかさばらずに持ち運びできる」普及ツールの制作に至った。自己流の方法だが、星の見えない時間や機器のないイベント会場等でも参加者が主体的に「天文学的な面白さ」を楽しむ機会や「知る喜び・わかる楽しさ」を提供できることに気付いた。私の草の根活動が隙間を埋める形で天文普及に多少でもお役に立てれば幸いだ。

天文学や星空に関して「伝えたいこと」がある度に「まずは作ってみる」ことで時に失敗もしながら「アイデアを形に」してきた。今後もトライアンドエラーを繰り返しながら、天文の話題で笑顔が広がる「宙のある生活」をお届けできるよう、普及ツールの開発と制作に努めたい。

参考文献および註

[1] 大江尚子（2016）第 30 回天文教育研究会集録 口頭発表「サイエンスカフェの経験を生かした天文クラフトによる天文普及活動」

[2] 大江尚子（2016）第 30 回天文教育研究会集録 ポスター発表「「身に着けて宇宙を話題にできる」グッズを用いた天文解説の事例報告」

[3] 大江尚子（2018）第 32 回天文教育研究会集録 口頭発表「自分の天文普及活動を「プロジェクト化」する～「星と宙のものづくり」5 年目の実践と今後の可能性」」

[4] 博物ふぇすてぃばる！「ガクモンからエンタメ」（2018 年 7 月）http://hakubutufes.com/

[5] 第 3 回ユニバーサルデザイン天文研究会（2016 年 9 月、主催　国立天文台）

[6] CAP2018（世界天文コミュニケーション会議 2018）（2018 年 3 月、国立天文台、IAU）

[7] 六本木天文クラブ 星空内人養成講座フォローアップ講座（2018 年 6 月）

分野・多機関連携プロジェクトの広報とマネージメント

永井　智哉、矢田　雅哉（筑波大学計算科学研究センター／計算基礎科学連携拠点）

Management and public relations in the multi-fields and organizations cooperation research project

Tomoya Nagai and Masaya Yata (Center for Computational Sciences, University of Tsukuba / Joint Institute for Computational Fundamental Science)

Abstract

JICFuS (The Joint Institute for Computational Fundamental Science) is a joint research institute, established in February 2009 by the cooperation of three leading institutions in computational fundamental sciences using supercomputers — the Center for Computational Sciences (CCS) of the University of Tsukuba, the High Energy Accelerator Research Organization (KEK), and the National Astronomical Observatory of Japan (NAOJ). In December 2014, the total number of member institutions increases to eight, as five more institutions participated. JICFuS operates Priority Issue 9 to be Tackled by Using the Post-K Computer—"Elucidation of the Fundamental Laws and Evolution of the Universe", and has been pursuing theoretical computational research in fundamental physics, concentrating on particle, nuclear physics, and astrophysics. I introduce activity of the management and public relations of this project.

1. はじめに

計算基礎科学連携拠点（JICFuS）は、スーパーコンピュータを使った計算基礎科学を精力的に進める国内 8 機関により構成されている。2009 年 2 月、筑波大学計算科学研究センター、高エネルギー加速器研究機構、国立天文台の 3 機関により立ち上げられ、2014 年 12 月に 5 機関が加わった（図 1）。

本拠点は、これまで「京」など国内のスーパーコンピュータを活用して HPCI 戦略プログラム分野 5「物質と宇宙の起源と構造」を推進。素粒子・原子核・宇宙研究および計算基礎科学推進体制構築を行い、ACM ゴードン・ベル賞を受賞するなど多大な成果をあげてきた。2015 年度から新たにポスト「京」重点課題（9）「宇宙の基本法則と進化の解明」が始まり、さらなる研究成果の創出を目指している。本拠点およびプロジェクトでこれまでに行ってきた広報およびマネージメントについて、多分野・多機関連携における特徴的な活動について紹介する。

図 1　計算基礎科学連携拠点構成・協力機関

2. ポスト「京」重点課題（9）「宇宙の基本法則と進化の解明」概要

素粒子から宇宙までの異なるスケールにまたがる現象の精密計算を実現し、大型実験・観測のデータと組み合わせて、多くの謎が残されている素粒子・原子核・宇宙物理学全体にわたる物質

創成史の解明を目指している。2021 年頃のポスト「京」運用開始に向けて、課題の解決を可能にするシミュレーションコードの開発を行っている。(図 2)。具体的には、以下 3 つのサブ課題を設定し、独立に研究を進めつつ、問題解決の手法や最適化などについて相互に協力して推進している。サブ課題間の定期的な研究報告会を設けて連携を密にしている。

サブ課題 A
　究極の自然法則と宇宙開闢の解明
サブ課題 B
　物質創成史の解明と物質変換
サブ課題 C
　大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明

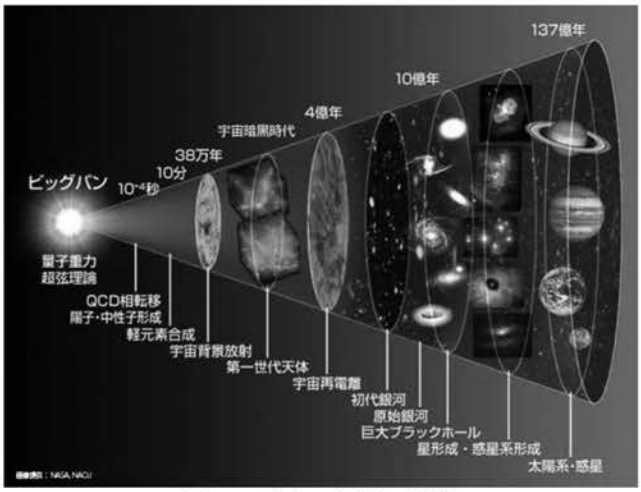


図 2　宇宙の歴史・進化

3. 計算科学推進体制の構築

本拠点では基礎科学分野の計算資源の効率的な運用、人材育成、研究ネットワークの構築、分野を超えた連携などを進め、計算科学技術推進体制を構築することも目的としている。具体的には以下の活動を行っている（図 3)。

- スーパーコンピュータ「京」だけでなく、基礎科学分野で共同利用に供されているスーパーコンピュータを含めた全体の共同利用スキームの構築
- 計算機の効率的利用を推進するために、計算機科学分野と協力してアルゴリズム開発やプログラム効率化の支援、結果を効率的に活用するデータグリッド開発・整備・運用
- 基礎科学分野の研究や計算科学に関するスクール開催・人材育成、国内外の研究ネットワーク強化や分野を越えた人的ネットワーク強化のために研究会やシンポジウムを定期的に開催、ビジター制度を整備し、人材交流を促進

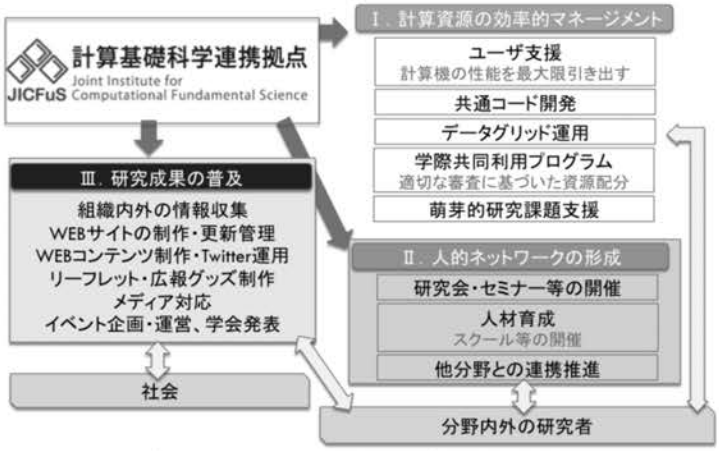


図 3　計算基礎科学連携拠点の計算科学推進体制の構築

4. 計算基礎科学連携拠点での広報

本拠点は、計算基礎科学の重要性に対する理解度、本拠点に対する信頼度向上、計算基礎科学と本拠点の知名度向上というコンセプトに基づき、分野内外の研究者および学生、政府、国民などを対象に広報マネージャー（専任者）を中心として広報活動を行っている（参考文献 1、2)。活動方針は、

- 本拠点に関わる研究者の広報広聴活動を支援
- ステークホルダー（利害関係者）への情報提供を行うため、WEB 等コンテンツの作成
- 情報収集を積極的に行って、連携拠点内部の研究者に還元する仕組みの作成
- 知名度、理解度、信頼度を測る方法検討・実施

としており、具体的には主な活動として、1.広報戦略の立案、2.WEB サイトの制作・更新管理、3.WEB マガジン「月刊 JICFuS」、研究会等の報告記事、4.Twitter 運営、5.イベント企画・運営、6.量子色力学カードゲーム作成・実施（図 4、参考文献 3)、7.ユーザ支援ページの制作、8.リーフレット等制作、9.メディア対応、10.重点課題 1-9 やスーパーコンピュータ「京」がある理研計算科学研究センター（R-CCS）との広報連携を行っている。中でも、量子色力学カードゲームは QCD の性質のうち色荷に着目したもので、教育や販売目的でもなく本拠点と基礎科学の広報および理解増進の目的で作られ、娯楽を通した新しい手法となっている。2011 年 9 月に Ver.1 が完成し、現在の Ver.2 は、2012 年 9 月から配布やゲームを実施しており、KEK や理研 R-CCS 一般公開、サイエンスアゴラなどに出展し、年間 3000 人ほど、累計 1 万 3000 人以上が体験している。

5. 計算基礎科学連携拠点のマネージメント

本拠点では、拠点長（課題責任者）と運営委員会（2-3 ヶ月に 1 回の会議とメーリングリスト）によるプロジェクト運営と研究者の研究活動専念のためにプロジェクトマネージャー（専任者）が以下のようなサポートを行い、多機関によるバーチャルな組織での研究開発課題推進と計算科学推進体制構築のプロジェクトを円滑に進めている。

- 文部科学省、「京」を運用する理研 R-CCS・HPCI 運用事務局である高度情報科学技術研究機構（RIST)、他ポスト「京」重点課題事務局等との連絡・とりまとめ・調整
- 予算、人事管理、研究開発課題や研究体制の構築、報告書を含めた資料とりまとめなどプロジェクトのスムーズな遂行

6. まとめ

分野・多機関連携プロジェクトでの広報やマネージメントの課題であり特徴は、分野が様々であると研究手法や成果報告の仕方など文化・常識が違うことや、各大学・機関などの運営・経営方針が様々な中で、共同プロジェクトの戦略を持ち、プロジェクトマネージメントをしなければならないところにある。そのために分野が異なる研究者間や参加機関間のコンセプト共有が重要であり、プロジェクトは統一的な部分と個別部分を分けて考え推進することが必要である。

参考文献

1）吉戸智明 ほか：日本天文学会 2012 年春季年会, Y04b, 2012 年 3 月
2）計算基礎科学連携拠点（JICFuS）ウェブサイト http://www.jicfus.jp/jp/promotion/pr/
3）矢部あずさ ほか：日本天文学会 2012 年秋季年会, Y07b, 2012 年 9 月
4）永井智哉：第 28 回天文教育研究会 2014 年天文教育普及研究会年会, p203, 2014 年 8 月

教具を使った天文教室実践

船越　浩海（生涯学習センターハートピア安八・天文台）

Practice of astronomy classroom using astronomical teaching tools

Hiromi　Funakoshi　(Lifelong learning center Heartopia Anpachi astronomical observatory)

Abstract

I report on the practice of making astronomy teaching in the workshop, correspondence that I have done as a learning aid such as "moon phases", "shapes of Venus", "planetary movements" in The Heartopia Anpachi astronomical observatory.

１．はじめに

ハートピア安八は、2003 年 3 月に開館した図書館、児童館、天文施設、歴史民俗資料館、研修室等を併設した生涯学習センターで、東海道新幹線岐阜羽島駅から、車で１０分程の岐阜県安八町に位置する。（図１参照）

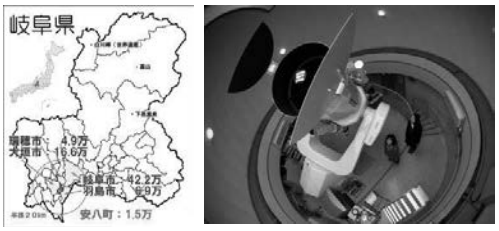


図１ハートピア安八天文台の位置と望遠鏡

口径 70cm 反射望遠鏡が設置された天文台では、夜間、昼間の天体観察や観測だけでなく、出前の天文教室、観望会、工作教室やミニ企画展、講演会なども行っている。学校向けの学習観測支援では、小学生から大学生まで、そして教員研修会も重要な活動である。

月と星の学習では、プラネタリウムのほか、研修室での実験実演を合わせて行い、理解の促進を図っている。特に月の満ち欠けについては、プラネタリウム内での２次元的な説明だけでは、理解を深めることが困難と考え、必ず研修室での実演実習を、オリジナル教具を使いながら行っている。

この実践研究報告では、「月の満ち欠け」、「金星の形」、「惑星の運動」など、学習補助として行ってきた対応、工作教室での天文教具づくりの実践を報告する。

２．天文教具を使った学習支援（月と金星）

①学校授業対応（月の満ち欠け）

月の形、満ち欠けについては、２次元の資料では理解が難しいため、研修室での実験と実演を行い、児童の理解が深まるようにしている。また、子どもたちの興味と関心を惹くため、地球帽子や地平線仮面、パネル、理解を助けるための幾つかの小道具も大切である。さらに、月と地球の大きさ比べや、月が地球を回るようすなども、模型や教具を使うことにより、「公転」などの言葉を使わずに、見たままの直感で理解を深めることができる。

図２ 月の公転を意識した月の満ち欠けの実演

図２は教室での月の満ち欠けの実演で、児童が地球帽子をかぶり、地球になりきって月の形を観

察する。小学生としては少し詳しい学習内容でもあるが、できるだけ多くの子どもたちを実習に参加させ、自ら考え（答え）が出せるようしている。

図３は星と月の単元（4 年生)、太陽と月の形（6 年生）で用いる教具とパネルである。小学校に出前教室に出向く際の七つ道具である。また、時間のある場合は、発展的内容として図４に示した月の形と位置が分かる立体模型のペーパークラフトを作り、どんな形の月がいつ頃の没のか（沈むのか)、夕方日没時には、月は形によって、どの方向に見えるのか（見えないのか）などを、確かめている。これを使うと、満月が昇るのは必ず日没の頃で、一晩中空に出ていることなども簡単に理解ができる。

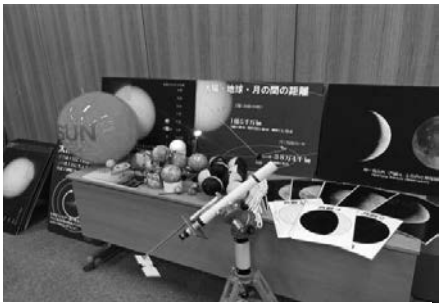


図３ 小学校出前教室(授業)七つ道具

月の満ち欠けは、立体的な把握ができないと理解が困難なため、なるべく具体的なモデルを用いて実習を進め、自然に立体認識ができるように工夫している。これらの学習は、プラネタリウムを必要としないので、出前の学習補助（授業）として注目されている。

３．天文工作教室での教具作成

ハートピア安八天文台・プラネタリウムで行う学習支援で使用する教具の多くはオリジナルの教具である。そのうちのいつかを、天文工作教室の題材としている。また、既製品のキットもオリジナル品と組み合わせて、特色を出している。

① 月のマルチ三球儀

図４は、少し珍しい地球中心の地球・月・太陽の三球儀である。月が地球の周りを周転しつつ、月の昼夜（明暗）の向きが常に太陽方向になるように作られている。地球から見た太陽と月の離角（位相）によって、地球から見た月の形が変わることが分かる。これを観察地の緯度（北緯 35°）になるように、三球儀全体を傾けると、目からうろこで月の形と位置の関係が分かるようになる。

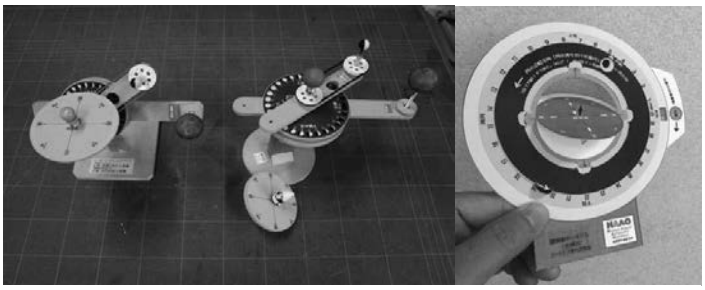


図４ 月の形と位置が分かる立体模型とペーパークラフト

②月の形と位置の立体早見盤（ペーパークラフト）

図４（右）は、①の三球儀を簡単な工作になるように、ペーパークラフトにしたものである。ミシン目加工してあるので、両面テープだけで組み立てられる。これも分かりやすいと好評を得ている。

③約 30 億分の 1 の太陽系模型

図５は、発泡スチロールを使った約 30 億分の 1 の太陽系模型である。無地の発泡スチロール球を、アクリル絵の具で彩色させ惑星を作る。土星の輪は、OHP シートに印刷してリングとしている。台座には、同一縮尺の太陽の一部をプリントしている。黒点は地球などと直接大きさ比較ができ、地球よりも大きい黒点に驚く参加者もいる。台座のシートには惑星の基本的なデータや、30 億分の 1 の太陽からの距

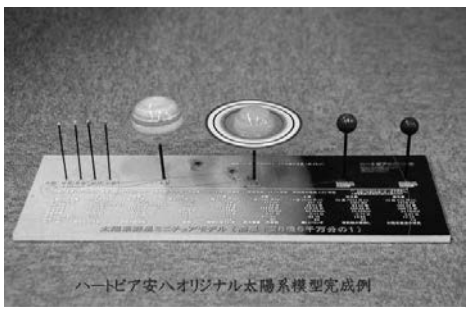


図５ 30 億分の 1 太陽系模型

離が記されているので、太陽系のスカスカ加減が想像しやすい。

④火星遊星儀

2018 年 7 月 31 日は、15 年ぶりの火星大接近であった。この火星の接近に合わせて、火星の接近にはなぜ大接近、中接近、小接近があるのか？何年ごとに接近するのか？などが分かる、図６に示した小型の火星遊星儀を作成した。部品数を減らす工夫をして、キットの作成を可能にして、工作教室を行った。

⑤スピカ望遠鏡赤道儀セット

市販の望遠鏡キットに三脚赤道儀を加えて、天体望遠鏡工作教室を行った。図７は完成した様子である。スピカ望遠鏡用の太陽投映板も作成している。

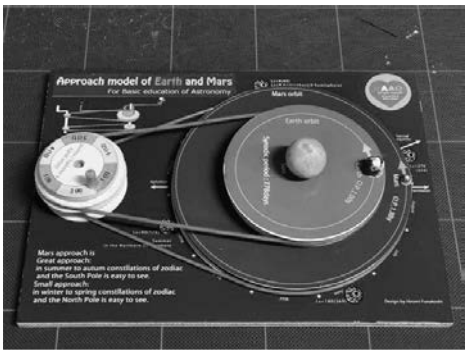


図６ 火星の大～小接近が分かる遊星儀

４．おわりに

工夫次第でいろいろと作成できるのが、オリジナル教具のいいところである。日頃の教育支援活動の中から、「あともう一歩分かりやすくするためには、」という思いから
アイデアが出てくる。しかし、永遠にゴールはなく、しばらくすると、改良点が見つかってくる。また、学校現場でのニーズや使い勝手などについては、調査ができていない
状況である。現役の学校現場の先生との共同研究ができればとも思っている。
ぜひ、貴重なご意見やご感想をいただけたら幸いである。

図７ スピカ望遠鏡用赤道儀工作