

日本天文学会 2021 年春季年会

# JUNIOR SESSION

第 23 回 ジュニアセッション予稿集



2021 年 3 月 20 日  
オンライン開催

日本天文学会 2021 年春季年会

## 第 23 回 ジュニアセッション予稿集

2021 年 3 月 20 日

## 日本天文学会 第23回ジュニアセッションへようこそ

公益社団法人 日本天文学会

会長 梅村雅之

日本天文学会ジュニアセッションは、2000年から始まり今回で23回目となりました。今年、50件の申し込みがありました。今回は、コロナ禍にあつて、皆さん大変なご苦勞をされたことと思います。困難な状況の中、これだけの数の申し込みを頂いたことは大変嬉しく思いますし、皆さんの情熱と努力に心より敬服いたします。ジュニアセッションは、日本天文学会が行う活動の中でも、若者たちへの天文学の教育と普及を行う大事な活動の一つです。ジュニアセッションは、中学生や高校生の溢れる想像力で、天文学に関わる独創的な研究を発表する場であるばかりでなく、天文学会年会を通じて最先端の研究を知ってもらう貴重な機会にもなっています。

近代天文学は、1609年にガリレオが初めて望遠鏡観測を行ったときに始まったと言っても良いと思います。かつて、宇宙は地球を中心に回っていました。この天動説は16世紀まで長きにわたり信じられていましたが、1543年に、これに異を唱えたコペルニクスの「地動説」の著書が出版されました。天文学史上、最も重要な発見の一つとされる地動説は、その後、ガリレオの宗教裁判を始め幾多の迫害を受けながらも、1世紀半に及ぶ年月を経て、1687年、万有引力（ニュートン力学）の発見に結実しました。自然科学において、真実でないものは、いつか必ず綻びが生じるということが、この歴史から学んだ教訓です。科学は仮説と実証により、進歩し成熟してきました。精緻な実証がなければ、宇宙はいまだに、地球の周りを回っていたかもしれません。2009年、国際天文学連合（IAU）は、ガリレオの初の望遠鏡観測から400年を経たこの年を世界天文年としました。そして、世界共通企画の一つとして、美しい夜空を取り戻すための「光害（light pollution）」の実態調査が掲げられました。美しい夜空を取り戻すということは、世界のエネルギー政策、地球環境問題対策と直結したものです。

コロナ禍は、人類が直面している危機ではありますが、アメリカでは二酸化窒素量が何十年かぶりの減少となり、インドでは数十年ぶりにヒマラヤが見え、ベネチアでは水路の透明度が上がり、中国のPM2.5も減りました。新型コロナへの世界的な緊急対応で、囂らずも、地球環境が大きく改善したのです。新型コロナによる環境改善で、『地球は息を吹き返した』とも言われています。欧州では、ポストコロナ時代の経済復興に加えて、環境問題も盛り込んで一緒に解決していこうという「Green Recovery」という取り組みが提言されています。天文学の光害対策は、いわば「Sky Recovery」です。2015年の国連サミットで採択されたSDGs（Sustainable Development Goals：持続可能な開発目標）の17の目標には、「13. 気候変動への具体的な対策を」、「14. 海の豊かさを守ろう」、「15. 陸の豊かさを守ろう」が掲げられていますが、加えて、「空の豊かさを守ろう」ということを是非掲げたいものです。天文学の課題に取り組んでこられた皆さんが、今後空の豊かさを守るという意識をもってもらえれば、皆さんの将来にとって、地球そのものの環境改善にもつながっていくものと思います。

皆さんが、このジュニアセッションを通して、天文学の造詣を深めると共に、自然環境への意識も高めていただければ開催者としても望外の喜びです。

日本天文学会 2021 年春季年会

## 第 23 回 ジュニアセッションプログラム

主催：日本天文学会

共催：日本天文教育普及研究会

**【口頭セッション】** : 2021 年 3 月 20 日 (土祝) 9:30~11:26, 13:30~15:38  
会場：オンライン

**【ポスターセッション】** : 2021 年 3 月 20 日 (土祝) 11:26~13:30  
ポスター会場：オンライン

発表へのコメントは、インターネットで受け付けています。

<https://forms.gle/tQBAJ6LRpVv448h1A>

コメント受付



### 【2021 年 3 月 20 日 (土祝) のスケジュール】

9:30 開会あいさつ、諸注意

9:45 口頭講演 (各講演 5 分 + 質疑 3 分)

座長：西 健一郎 (鹿児島市立鹿児島玉龍高等学校)、馬場 俊介 (国立天文台)

A 宇宙探査・開発	: 02、03	9:45 ~ 10:01
B 装置・観測方法	: 04、05、07	10:01 ~ 10:25
C 位置天文・星空環境	: 08、10、14	10:25 ~ 10:49
D 流星・小惑星	: 16、17、19	10:49 ~ 11:13

11:13 ~ 11:26 ショートプレゼンテーション (各講演 1 分)

01、09、12、13、15、27、28、30、35、44、45、47、49

11:26 ~ 13:30 ポスターセッション、昼食

13:30 口頭講演 (各講演 5 分 + 質疑 3 分)

座長：直井 雅文 (埼玉県立浦和高等学校)、服部 誠 (東北大学)

E タイセッション	: 21、22、23、24、25、26	13:30 ~ 14:18
F 太陽・月・惑星	: 31、32、34、36	14:18 ~ 14:50
G 系外惑星・恒星	: 37、38、40	14:50 ~ 15:14
H 星雲・星団・銀河	: 42、43、46	15:14 ~ 15:38

日本天文学会では、天文学辞典をオンラインで公開しています。  
みなさんの研究成果を発表する際に、ぜひご活用ください。

<https://astro-dic.jp/>

天文学辞典



# 目次 Contents

## A 宇宙探査・開発 Space Mission / Development

### 01S 眼視観測による国際宇宙ステーションの軌道速度の手法による比較 10

東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部：

小林 宇宙、深堀 貴雄（高2）、宮崎 珠実、日下部 秀太（高1）、久保 公貴（高3）

【東京工業大学附属科学技術高等学校】

### 02T 小型望遠鏡を用いたスペースデブリの観測と軌道算出 11

福岡工業大学附属城東高等学校科学部：

北里 虎大、梶崎 天翔、村田 陸斗（高2）【福岡工業大学附属城東高等学校】

### 03T 小型望遠鏡からの「はやぶさ2」 12

梶崎 天翔、北里 虎大（高2）【福岡工業大学附属城東高等学校】

## B 装置・観測方法 Instrument / Method

### 04T 日中における天体観測の精度の追求 13

石川県立七尾高等学校 SSC：

荒邦 早紀、小倉 千愛（高2）、町駒 陸（高1）【石川県立七尾高等学校】

### 05T 測光用フィルターの劣化調査 Vol.2 14

柴田 光輝、川瀬 皓介（高2）米原 紗希、佐野 滉太（高1）【愛知県立一宮高等学校】

### 06P 自作プラネタリウムの製作について 15

星野高等学校天文部：

久米 真凜、阿部 さくら、吉澤 智樹、星月 亜美、福澤 佳音、大庭 七海、佐藤 貴臣、小島 聖矢、樋口 達也、佐藤 蒼透（高2）、

諏澤 結季、宮崎 祐希、大森 万凜、宮原 芽果、小川 穂夏、田中 心結、藤井 翔太、鈴木 圭吾、

諸口 徳人、高橋 拓希、佐藤 凜（高1）【星野高等学校】

### 07T $\mu$ 粒子の寿命測定 16

高梨 美佳、高橋 夢玖、宮原 杏奈（高2）【山形県立米沢興譲館高等学校】

T: 講演 (5分間) + 質疑 (3分間)  
S: ショートプレゼンテーション (1分間)  
P: ポスターのみ

## C 位置天文・星空環境 *Position Astronomy / Sky Condition*

- 08T** 薩摩暦について 17  
鹿児島県立鹿児島中央高等学校科学部天文班：  
柿内 葵 (高2)、末吉 宝太郎 (高1) 【鹿児島県立鹿児島中央高等学校】
- 09S** 圭表儀の補助観測器具「景筐」に貼られた「青紙」のはたらき 18  
科学部天文班：  
斎藤 花音 (中2)、伊藤 慎之助、百瀬 健太郎、岡村 結哉、池田 伊吹、清水 瑛貴 (中1)  
【塩尻市立丘中学校】
- 10T** 圭表儀の補助観測器具「景筐」・「景符」の役割 19  
科学部天文班：  
市川 朔豊、水本 陽菜、小澤 優月 (中2)、山田 涼惺、佐々木 瑠偉 (中1) 【塩尻市立丘中学校】
- 11P** デジタルカメラの写真から算出する月までの距離の誤差要因 20  
ハートピア安八ジュニア天文倶楽部：  
伊藤 大朗 (高2) 【岐阜県立岐阜高等学校】
- 12S** 「ひかりのまち・函館」の夜空の明るさ 2011-2020-函館は夜景も星も美しい?- 21  
遺愛女子中学校・高等学校 地学部：  
米澤 奈々珈、阿部 千晶 (高1) 【遺愛女子高等学校】、  
石川 凜、奥山 摩耶、森田 結菜 (中3)、佐藤 ユリ (中1) 【遺愛女子中学校】
- 13S** デジタル一眼レフカメラを用いて夜空の明るさの変化を探る 22  
立川高校天文気象部：  
大磯 佳苗、鈴木 遥夏 (高2) 【東京都立立川高等学校】
- 14T** SQM-Lを用いて奈良県内の夜空の明るさを測定する 23  
秋山 恵里、ハンセン アラフェナ 莉己、藤本 萌子、山本 采良紗 (中3) 【奈良県立青翔中学校】

## D 流星・小惑星 *Meteors / Asteroids*

- 15S** 双子座流星群の眼視観測 24  
七高天文部：  
鈴木 詩織、吉田 光将、水野 侑紀、土肥 大桜、滝川 琴葉（高2）、  
高橋 直純、柳原 和史、斎藤 岳翔（高1）【東京都立墨田川高等学校】
- 16T** 流星を探れ 25  
福岡工業大学附属城東高等学校科学部：楠根 涼（高1）【福岡工業大学附属城東高等学校】
- 17T** 目視と比較した無人での流星電波観測データの信頼性 26  
國學院天文部流星班：  
佐藤 瑞己、川邊 淳之介（高2）、武石 暖大（高1）【國學院大學栃木高等学校】、  
山根 史也（中3）、藤田 純羽、岡部 世奈（中1）【國學院大學栃木中学校】
- 18P** 電波観測によるペルセウス座流星群のアンテナの向きの比較 27  
高橋 航紀、室田 響紀、市川 凛太郎、守谷 琉翔、中島 和樹（高1）【新島学園高等学校】
- 19T** 流星電波観測による主要流星群の経年変化の研究 28  
米子工業高等専門学校科学部：  
小林 克憲（高専2）、田原 凜、益田 祐希、村中 航平、吉田 健吾（高専1）  
【米子工業高等専門学校】
- 20P** 小惑星デヨペヤ(184)の光度曲線と3Dモデルの検証 29  
原 琴音、小板橋 里織（高2）【新島学園高等学校】

## E タイセッション *Thai Session*

- 21T** The study of measurement methods of twinkling stars 30  
Aitsaree Chotirouangnapa (Grade 11 equivalent) 【Prommanusorn Phetchaburi School】
- 22T** The Study of Factors Affecting the Brightness of Venus 31  
Kwunpee Onnorm (Grade 11 equivalent) 【Demonstration school of Phuket Rajabhat University】
- 23T** A Study of Nuclear Reaction of Hypergiant Stars  
Based on Their Photographed Spectral Lines 32  
Thirakorn U-pantha (Grade 12 equivalent) 【Khoksawangkhumwittayanusorn School】
- 24T** The Study of Stellar Population in Open Star Clusters 33  
Aiyarin Wutthiasthiyanond (Grade11 equivalent) 【Prommanusorn Phetchaburi School】
- 25T** The study of determining and comparing open and globular clusters ages  
by HR-diagram 34  
Chalisa Srikum (Grade 10 equivalent) 【Varee Chiangmai School】
- 26T** Determination of the Hubble Constant using Supernova Ia 35  
Prin Duangsuwan (Grade 10 equivalent) 【Varee Chiangmai School】

T: 講演 (5分間) + 質疑 (3分間)  
S: ショートプレゼンテーション (1分間)  
P: ポスターのみ

## F 太陽・月・惑星 *The Sun / Moon / Planets*

- 27S** 70年間にわたる黒点観測データの分析から太陽の活動を探る 36  
立川高校天文気象部：  
浜島 悠哉 (高3) 【東京都立立川高等学校】
- 28S** 太陽の黒点相対数と磁気嵐の関係4 37  
巢鴨中学校 地学班：  
河南 佳吾、小林 倫登 (中3) 【巢鴨中学校】
- 29P** 太陽活動領域の観察研究 38  
富澤 佑介、斎藤 綾乃 (高2)、大谷 由貴菜 (高1) 【駿台学園高等学校】
- 30S** 半影月食のRGB分析 39  
國學院大學栃木高等学校天文部 RGB班：  
堀米 琴音、熊倉 有希 (高3)、井原 翼、山中 陸叶 (高2)、徳永 祐太 (高1)  
【國學院大學栃木高等学校】
- 31T** 月夜の偏光 40  
月夜のカンガルー：  
谷口 愛梨、森川 瑠水 (高2) 【順天高等学校】
- 32T** 電波望遠鏡を使用した月の電波観測 41  
堤 一華、平沼 篤、松好 郁美、山下 航矢 (高2) 【奈良県立青翔高等学校】
- 33P** ≪金星の謎≫ スーパーローテーションに迫る Part3 42  
～金星の雲頂の高さと温度の分布の関係～  
山田 結 (中等3) 【茨城県立並木中等教育学校】
- 34T** 火星の雲の出現傾向に関する研究 43  
サイエンス部天文班：  
岩元 伶樹、上山 桃佳、川口 凛華 (高2) 【鹿児島市立鹿児島玉龍高等学校】
- 35S** 木星スペクトルにおける緯度による差の検出 44  
守屋 佑真、関延 凌 (高2)、田尻 尚大、脇谷 悠 (高1) 【埼玉県立浦和西高等学校】
- 36T** 木星の閃光現象についての研究 45  
サイエンス部天文班：  
野口 知香 (高2)、原口 真緒、下茂 ゆう菜 (高1) 【鹿児島市立鹿児島玉龍高等学校】

## G 系外惑星・恒星 *Extrasolar planets / Stars*

- 37T** 系外惑星の表面温度の推定と観測値との比較 46  
中澤 悠、村上 佳穂、山口 瑞月（高2）【大阪府立北野高等学校】
- 38T** 系外惑星の大気存在条件の検証 47  
反保 凜太郎、福田 創太郎、小関 郁弥、佐藤 優、平田 大翔、松前 律希、三田村 龍志、宮本 直明、  
山本 瑠華（高2）【大阪府立北野高等学校】
- 39P** 変光星ミラの光度解析 — スカイモニターの全天画像を用いて — 48  
長澤 春香（中等6）【神戸大学附属中等教育学校】
- 40T** ペガサス座 DY の測光観測 49  
天文気象部：  
垂井 麻亜子、大島 瑞希（高1）、吉畑 春希（高2）【兵庫県立舞子高等学校】
- 41P** てんびん座 $\beta$ 星の減光の解明 50  
米村 優輝（高3）【中央大学附属高等学校】

T: 講演 (5分間) + 質疑 (3分間)  
S: ショートプレゼンテーション (1分間)  
P: ポスターのみ

## H 星雲・星団・銀河 *Nebulae / Star Clusters / Galaxies*

- 42T** NGC2024 分子雲の電波観測による星形成の調査 51  
笹 侘夷、加藤 丈人、稲垣 智華、水野 七渚子、足立 心愛、黒木 あやめ、宮崎 晴 (中3)  
【名古屋大学教育学部附属中学校】
- 43T** 分子雲による星間赤化 52  
齋藤 洸花、松山 文香 (高2)、服部 真吾 (高3)、畠山 琳太郎、野々山 一颯、尾崎 未侑 (高2)  
【名古屋大学教育学部附属高等学校】
- 44S** 二色図からみる暗黒星雲が周りの星に与える影響 53  
銀河学校 2020:  
齊藤 龍輝 (2020年卒)【日本大学豊山高等学校】、泉 理穂 (高2)【筑波大学附属高等学校】、  
木村 萌恵 (高2)【東京都立日比谷高等学校】、朝比奈 真乙 (高1)【浦和明の星女子高等学校】
- 45S** 天の川銀河とアンドロメダ銀河の衝突予想 54  
もし天 2020 & ロマンだ班:  
阿部 凧沙 (中等4)【仙台市立仙台青陵中等教育学校】、胡子 真輝 (高2)【サレジオ学院高等学校】、  
佐々木 楓華 (高2)【岩手県立大船渡高等学校】、宮崎 春人 (高2)【クラーク記念国際高等学校】
- 46T** 輝線に見るセイファート銀河の特徴 55  
阿部 空也、家島 蔵之助、谷井 卓起、藤本 完 (高2)【奈良県立青翔高等学校】
- 47S** 相互作用銀河は AGN のつぼみか 56  
もし天 2020 JALxyxy 班:  
岡田 賢 (高専2)【明石工業高等専門学校】、小川 真結 (高1)【宮城県仙台第二高等学校】、  
田島 紫乃 (高1)【静岡雙葉高等学校】、森永 千晴 (高1)【九州国際大学付属高等学校】
- 48P** 宇宙膨張と重力による収縮の境界を密度から探る～宇宙膨張 VS 重力～ 57  
もし天 2020 (OaO):  
管野 瑠海 (高1)【昭和薬科大学附属高等学校】、木村 萌恵 (高2)【東京都立日比谷高等学校】、  
篠田 賢佑 (高2)【函館ラ・サール高等学校】、橋沼 宗慶 (高2)【宮城県仙台第二高等学校】

## I その他 *Others*

- 49S** 科学技術を体感で理解するスゴロクの製作 58  
-小惑星探査機はやぶさ2を題材としたスゴロク「スゴはや2」-  
東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部:  
宮崎 珠実 (高1)、久保 公貴 (高3)、小林 宇宙、深堀 貴雄 (高2)  
【東京工業大学附属科学技術高等学校】
- 50P** 図鑑等に描かれたブラックホール想像図の科学的正確性の検証 59  
吉山 琉太、浦口 悠夏、西田 汐里 (高3)【大阪府立北野高等学校】

## 眼視観測による国際宇宙ステーションの軌道速度の手法による比較

東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部：

小林 宇宙、深堀 貴雄（高2）、宮崎 珠実、日下部 秀太（高1）、久保 公貴（高3）  
【東京工業大学附属科学技術高等学校】

### 要 旨

国際宇宙ステーション (ISS) は、地球の上空約400キロメートルを1周約90分で周回する、肉眼で見ることが出来る有人人工衛星である。科学部では、2020年11月からの野口聡一宇宙飛行士の搭乗中、夕方に日本列島を縦断通過するときにISS眼視観測イベント『アストロ・ノグチ目撃ミーティング』[1]を主催し、『いつもの観測』(ISSの目撃)、『精密観測』(子午線通過時刻の眼視観測)の二種類の観測について報告を集めている。それぞれの観測につきISSの軌道速度の計算を行い、分単位の日撃情報からも軌道速度を計算することができた。

#### 1. 目的

『いつもの観測』と『精密観測』の報告より、それぞれISSの軌道速度を求め、比較を行う。

#### 2. 軌道速度の計算方法

2012年に科学部が行った眼視観測[2]の計算方法を改良した。観測点A, BとISSの位置関係は図1の通りである。A, Bの子午線通過直下点をP, Qとおき、その緯度 $\Phi^\circ$ を、A, Bの子午線通過時刻とTwo-Line Elements(TLE)[3]より求めた。P, Qの経度 $\lambda^\circ$ はA, Bの経度と等しい。球面三角の球形に対して、回転楕円体の地球が持つ高緯度地域での誤差を小さくするため、P, Qに、赤道とグリニッジ子午線が交わる点Zを加えて球面三角を構成し、P, Q間のISSの移動角 $\theta^\circ$ を式1より計算した。観測時のTLEによる軌道長半径6798 kmを用いて求めた軌道周長L kmから、 $\theta$ を距離に換算し、軌道速度v km/sを式2より計算した。

$$\cos\theta = \cos(\Phi P) * \cos(\Phi Q) + \sin(\Phi P) * \sin(\Phi Q) * \cos(\Delta\lambda) \quad (式1)$$

$$v = ((\theta^\circ / 360^\circ) * L) / (tA - tB) \quad (式2)$$

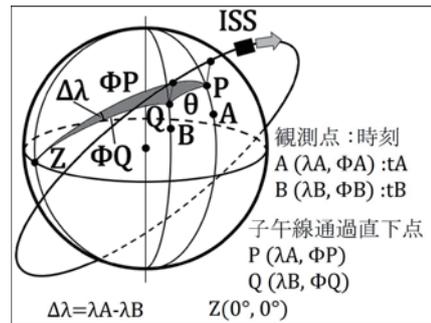


図1 ISSの軌道と観測点

#### 3. 観測方法及び結果

2020年11月21日17時37分前後のISSの日本列島縦断通過について、二種類の観測方法より軌道速度を求めた。計算に用いるTLEは以下の通りである。

1 25544U 98067A 20325.96286668 .00016717 00000-0 10270-3 0 9022

2 25544 51.6414 292.7278 0001625 62.4493 297.6822 15.49036388 16316

【観測1：いつもの観測】 目撃の方角(四方位、天頂)、時刻(分単位)、都道府県、都市(任意)の報告からISSの北上を実感させるイベントである。16都道府県から31件の目撃報告があった。全ての目撃報告と結果は、イベントサイトに掲載している(図2)。このうち、子午線に沿った「南」「北」「天頂」の報告を抽出し、さらに、観測点が都市単位までわかる報告を採用して軌道速度を計算した。観測点の経緯度は報告された都市の中心地点の値を採用した。ここでは、最も遠い二地点の組み合わせの軌道速度を示した(表1)。

【観測2：精密観測】 観測者は、ISSの子午線通過時刻(秒単位、GPSまたは電波時計による)、観測点の経緯度(GPSまたは地理院地図による)を報告する。東京都より2件の観測報告があり、計算を行った(表1)。



図2 ISS目撃報告一覧

表1 2020年11月21日の二種類の観測方法による各報告とISSの軌道速度

観測種別	記号	子午線通過時刻t	観測点 [°]		軌道速度v [km/s]
			経度λ	緯度Φ	
いつもの	京都1	17時36分	135.5111' E ※	35.0082' N ※	6.3±3.3
	北海道1	17時38分	142.3217' E ※	44.8476' N ※	
精密	東京1	17時37分34秒	139.6214' E	35.6227' N	5.63±0.96
	東京2	17時37分37秒	139.7469' E	35.6441' N	

※観測点の経緯度は報告された都市の中心地点の値

#### 4. まとめ

軌道速度の参照値は、人工衛星の運動方程式より求めていたが、今回、TLEを用いて求めた軌道速度7.66 km/sを参照値とした。観測結果は、『いつもの観測』は、6.3±3.3 km/s、『精密観測』は、5.63±0.96 km/sとなった。いつもの観測も、軌道速度を求められたが、分単位での測定のため誤差範囲が大きくなることがわかった。精密観測は、基本的に誤差範囲が小さく正確な値が得られるが、今回の値は参照値と26.5%離れており、子午線の設定に問題があったと考えている。次回の観測では、子午線の設定に工夫を取り入れたい。

#### 5. 参照

- [1] 東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部. “野口宇宙飛行士応援：きぼう、みつけた!”, [https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci\\_club/ISS-WatchNet2020.html](https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/ISS-WatchNet2020.html).
- [2] 北川翔太, 新井雄太. “眼視観測による国際宇宙ステーションの軌道速度の測定”, 第14回 ジュニアセッション 講演予稿集, 2012, p. 136-137.
- [3] NASA. “Human Space Flight (HSF) – Realtime Data”. <https://spaceflight.nasa.gov/realdata/sightings/SSApplications/Post/JavaSSOP/orbit/ISS/SVPOST.html>. (参照 2020-11-21).

## 小型望遠鏡を用いたスペースデブリの観測と軌道算出

福岡工業大学附属城東高等学校科学部：

北里 虎大、梶崎 天翔、村田 陸斗 (高2) 【福岡工業大学附属城東高等学校】

### 1. 要旨

現在スペースデブリ（以下デブリ）が世界的な問題となっている。本研究では、デブリをデータベースに多数登録するために、小型望遠鏡でデブリを観測し、その画像から軌道を算出することを目的とした。軌道を算出するためには、軌道要素6種類を算出する必要がある。現在算出に用いられている数式は難解なことから高校数学を応用した簡単な数式で構築することにした。先行研究で昇交点赤経・軌道傾斜角を算出し軌道を出した。今回は位置を特定するため残り4つのうち3つの算出に挑戦した。観測した画像のデータから、構築した数式に代入、軌道要素の真値と比較した結果、近地点引数は誤差が生じたが、平均運動・離心率では僅かな誤差で算出することに成功した。

### 2. 動機・先行研究・目的

近年デブリ問題が深刻化している。そこで小型望遠鏡でデブリを撮影し、軌道要素を高校数学の数式のみで軌道算出を行った。先行研究では、未登録デブリを効率的に観測するために、モデル軌道を算出し、モデル軌道上にモデルデブリを2.5° 間隔に配置して観測を行った。また、高校数学のみで数式を構築し、デブリの軌道要素である軌道傾斜角・昇交点赤経の算出に成功した。今回はまだ算出を行っていない軌道要素に関して、高校数学のみで構築を行って算出することを目的にした。

### 3. 研究方法

観測に使用した機材

望遠鏡...ボーグ 101ED、赤道儀...ビクセン SXP

冷却 CCD カメラ...QHY9

使用ソフト...heavensat2.4、ステラショット

観測手順

- 1.望遠鏡にレデューサー・カメラを取り付け、モデルデブリに望遠鏡を向けて固定撮影を行う。
- 2.観測したデブリを未登録デブリと仮定し、デブリの追尾撮影を行い、時間差のある複数枚の画像を撮影する。

地心距離について

先行研究で行った軌道算出では、地心赤経・赤緯を算出する際に必要である地心距離を、静止軌道の値である42160kmで代用して算出を行ったが、今回、より正確な値を算出するために、ケプラーの第三法則を用いたフィードバック作業で修正を行った。

最初にデブリの地心距離を42160kmと仮定して、地心座標（赤経・赤緯）の算出を行った。デブリの軌道を真円とみなして地心座標の約1時間の変化から、デブリの角速度、周期を予測し、ケプラーの第三法則で静止衛星と比較してデブリの軌道半径を決定する。

この軌道半径と地心距離を比較して一致していなかった場合は地心距離を修正して座標計算からやり直し、両者が一致するまでこの修正作業を行った。この距離をこの区間の中央の時刻の距離とする。

軌道要素の算出

地心距離の修正作業を3区間で行えば軌道上の3点の座標を決定できると考えた。現在一般的に用いられる数式は大学数学を応用した難解な数式であるため、

多くの人に広めるために高校数学だけを用いた方法の構築を試みた。まず地球の中心を原点としたx,y平面と考え、位置が確定した3点からの距離がすべて等しい点の座標を算出した。この点が今回観測したデブリの楕円軌道の中心の点となる。この時点で楕円軌道の軌道長半径が決まり平均運動が決定し、離心率の算出もできる。この値は非常に小さかったので軌道の形はほぼ真円とみなしてよいことが分かった。

最後に、地球の中心とデブリの軌道円の中心を線で結んで近地点を求め、近地点の座標（近地点引数）を算出した。

### 4. 結果

約1時間の継続観測で1点の距離決定ができることがわかったので、最北点で発見したデブリ像を見失わないようにしながら、NORADのデータベースに登録されていないデブリと仮定したデブリを約4時間におたつて追跡撮影することに成功した。

そこで撮影して得られたデータを構築した数式に代入して、軌道要素の算出を行ったところ、タイタン3Cの既知デブリ、NORAD番号33509であることが分かった。比較を行った結果、近地点引数に関しては、私たちが算出した値と真値では大きくずれが発生したものの、先行研究で構築した数式によって算出することが出来る軌道傾斜角・昇交点赤経、そして本研究で構築した数式によって算出した平均運動・離心率に関しては、真値に非常に近い値を算出することに成功した（表1）。

表1 33509の真値と算出値の軌道要素の比較

	軌道傾斜角	昇交点赤経	離心率
算出値	3.5°	303.4°	0.004
33509	3.5°	303.3°	0.004

	平均運動	近地点引数
算出値	1.03	59.01°
33509	1.02	86.34°

### 5. 考察・結論

近地点引数に関して大きく誤差が発生した。その原因は、近地点引数の算出を行った際楕円軌道を真円で近似した点に問題があったと考えている。また、1時間ごとの距離算出を行った点も問題があったと考えている。しかし、今回構築した数式によって算出した平均運動・離心率の値は真値とほぼ等しい値を算出することに成功した。

このことから、私たちが構築した一部の数式に関して、正常に働いていると考えられる。また、ケプラーの第三法則を用いたフィードバック作業を行う方法は軌道要素をより正確な値に近づける方法として有効だと考えられる。

### 6. 今後の展望

残りは、近地点引数・近地点離角のみとなった。これらについても高校生が理解できるような簡単な数式を引き続き、構築して算出を行っていく。また、より多くの方にデブリについて知ってもらおう活動を行っていく。

## 小型望遠鏡からの「はやぶさ2」

梶崎 天翔、北里 虎大 (高2) 【福岡工業大学附属城東高等学校】

### 1. 動機

2014年12月3日に種子島宇宙センターから小惑星リュウグウを目指して「はやぶさ2」が飛び立っていった。2019年2月22日にリュウグウに着地。サンプルを採取し、6年後の2020年12月6日に地球に帰還した。そこで私たち城東高校科学部では「はやぶさ2」が帰還するところを科学部の機材を用いて撮影を試みた。

### 2. 目的

撮影することを考えていた際に、「リュウグウ&「はやぶさ2」おかえり観測キャンペーン」というサイトを見つけた。

サイトには「はやぶさ2」の観測の方法も書かれてあった。また、「はやぶさ2」が撮影できた際に撮影報告をすることができる。

しかし、撮影方法において、『口径20cm前後の天体望遠鏡+冷却CCDカメラや高感度のデジタル一眼レフカメラ』と書かれており、城東高校科学部には口径10cmの望遠鏡しか所持していない。

そこで私たちは口径10cmの望遠鏡で「はやぶさ2」の撮影を行って「はやぶさ2」写真に収めることを目的とした。

### 3. 研究方法

既存の撮影方法では私たちの持ち合わせの機材で「はやぶさ2」を撮影することは難しい。そこで、独自の撮影方法で「はやぶさ2」を撮影することを試みた。

まず、恒星時追尾を用いて「はやぶさ2」を追いかけることにした。

しかし、「はやぶさ2」の良く見える時間帯である25時前後から「はやぶさ2」のスピードが速くなるため、恒星時追尾では間に合わなくなる可能性があった。

私たちはJAXAから送られてきた赤経・赤緯を「ステラナビゲータ11」を用いて表示させた上で、恒星時追尾中に恒星時の0.1倍刻みの速さで望遠鏡を8方位のうち、いずれかの方向に動かすことによって見えないであろう「はやぶさ2」を捕捉できるのではないかと考えた。

そこで、1分ごとの座標の量に加えて、赤経と赤緯ごとの速度を割り出して、撮影をすることとした。

そのため、25時から26時の間は恒星時追尾の上から手動微動で望遠鏡を操作し、調整することとした。これを行うことにより、「はやぶさ2」の像をできる限り小さく、点に近づけられるのではないかと考えた。

#### 比較画像(恒星)

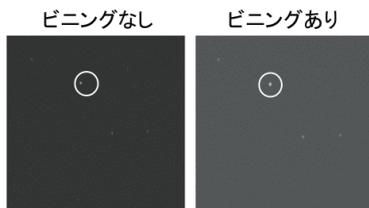


図1 ビニングなしとありの比較したもの

また、望遠鏡の口径が小さいと視野角は広いが、欠点として集光力が低いことがあげられる。集光力がない場合、「はやぶさ2」が映らない。

そこで、この欠点を補うために「ビニング」を用いて撮影を行うこととした。ビニングとは、隣り合うピクセルをひとまとめにして、画質を下げる代わりに、S/N比を上げる方法である。(図1)

### 4. 結果

「はやぶさ2」が通った軌道を2枚の写真に収めることに成功した。また、「はやぶさ2」の撮影報告に載ることもできた。(図2)

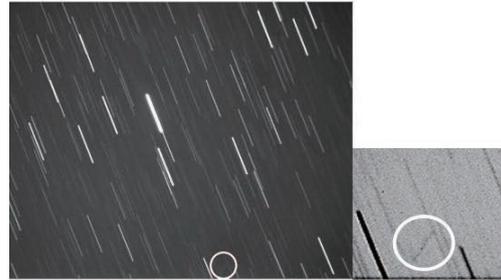


図2 場所:福岡県飯塚市/露出時間:60秒  
時間:2019年12月6日25時10分  
左:補正前/右:補正後

ほとんどの星は左上から右下へ動いているが、白丸の中に右上から左下に流れているものが「はやぶさ2」である。

### 5. 考察

・ビニングを用いたことにより、集光力を上げることができた。このことから、小型望遠鏡でも観測できることが示唆される。つまり、小型望遠鏡を用いた観測も幅広く行える可能性があるため、研究の幅を増やせるのではないかと考えられる。

・移動方法が制限されている望遠鏡や恒星時追尾が間に合わない望遠鏡の場合であったとしても、本方法で行っているやり方により小型望遠鏡でも「はやぶさ2」や等級の低い恒星、デブリ等を撮影できるのではないかと考えられる。

・複数人で観測ができる環境であれば、恒星時追尾の上から手動微動で補正をかけることで、より複雑な処理を行いやすくなるのではないかと考えられる。

### 6. まとめ

「はやぶさ2」の撮影で小口径の望遠鏡を用いることは難しいと思われたが、ビニングや独自の追尾方法を用いたことで、推奨口径よりも小さな口径の望遠鏡であったとしても撮影できることが分かった。

また、この独自の方法により、多くの人があきらめていた観測を可能にする希望を見いだせた。

今後もこのような機会があれば小口径の望遠鏡であったとしても工夫していろいろなものを撮影していきたい。

## 日中における天体観測の精度の追求

石川県立七尾高等学校SSC：

荒邦 早紀、小倉 千愛（高2）、町駒 陸（高1）【石川県立七尾高等学校】

### 要旨

日中の天体観測で植毛紙を用いてフードを延長する実験を行った。恒星については、フードを延長すると観測しやすくなることが明らかになった。また、コンピュータ制御望遠鏡を用いた場合、 $-2$ 等星より明るく、かつ太陽との離角が $60^\circ$ 以上の天体であれば、スマートフォンのカメラで撮影可能であることがわかった。

### 1. 研究の背景と目的

天体観測は通常夜行うものであり、昼間は太陽や月などに限定され、積極的に日中の天体を観測するという研究は見られない。日中における天体観測が難しいとされる原因は、天体と周りの空の明るさの差が小さいため見えず、それにより天体の視野への導入が困難であるためである。この点を解決すること、すなわち、(1) 天体を視野に導入することと、(2) 天体と周りの空の明るさの差を強調することができれば、昼間でも天体を観測できる。(1)は「望遠鏡をコンピュータ制御する」ことにより、(2)は「CCDカメラを使用する」ことにより可能となる。

高校生の部活動の活動時間は昼間である。そのため、日中に天体の観測が出来れば活動の幅を広げることができる。また、日中の観測は夜間の街の光（光害）と関係がないため、全国で同じ条件のもとでの観測が可能になる。このことを利用すれば、全国の天文部で観測結果を共有し、解析するなど、新しい研究テーマにつながる手法が開発できるかもしれない。

これまでの私たちの研究では、太陽との離角が $40^\circ$ 以上で、等級が4等星よりも明るい天体であれば、日中であっても観測が可能であることが明らかになっている（荒邦ら、2020）。さらに観測しやすくする方法を探るため、研究を行った。

### 2. 実験

#### (1) フード延長実験

筒状にした黒画用紙でフード（望遠鏡対物レンズ側に接続する筒）を延長し、10cm伸ばすごとに動画を10秒間撮影した。撮影した動画の中で天体の光が最も強く見えた時の画像を抽出した。この静止画について、

AstroImageJを用いて開口測光分析を行った。この分析結果の空の輝度と天体の輝度の差の値を天体画像の明瞭さと定義した。この差の値が大きいほど天体の画像は見えやすくなる。各天体の結果について図1にまとめた。撮影したすべての天体でフードなし（0cm）よりフードありの場合で画像が明瞭になった。ただし、最も明瞭になった長さは、天体により異なった。

#### (2) 植毛紙を用いたフード延長実験

内面反射による迷光の影響をなくすため、植毛紙を用いて(1)と同様の実験を行った。植毛紙の筒の長ささと天体の画像の明瞭さを、図2にまとめた。アークトゥルスとカペラでは、40cmで明瞭さが減少した後、50cmで最も明瞭に見えた。一方、金星と木星では、フードなしで最も明瞭で、筒を長くするにつれ、明瞭さは減少していった。

#### (3) スマートフォンでの撮影

スマートフォンのカメラ機能を用い、天体望遠鏡で画像を撮影した。その静止画について、天体の画像が確認可能か否かをディスプレイ上で目視により評価し、2グループに分類し、図3にまとめた。確認可能だったのは、 $-2$ 等級より明るく、かつ太陽との離角が $60^\circ$ 以上の3件であった。

### 3. 今後の展望

内面反射を抑えることができる植毛紙の筒のほうが、日中の天体観測に適していることがわかった。今後は植毛紙を用いたフード延長実験の事例数を増やし、日中の天体観測に最適なフードの長さを明らかにしたい。スマートフォンで撮影可能な条件もあわせて明らかにすることで、高い精度で、また簡単に日中に観察・撮影できる方法をまとめたいと考えている。

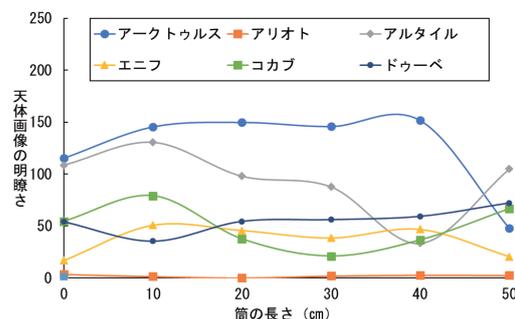


図1 筒の長ささと各天体の画像の明瞭さとの関係

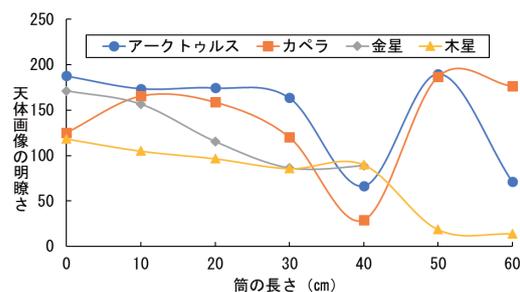


図2 植毛紙の場合の筒の長ささと各天体の画像の明瞭さとの関係

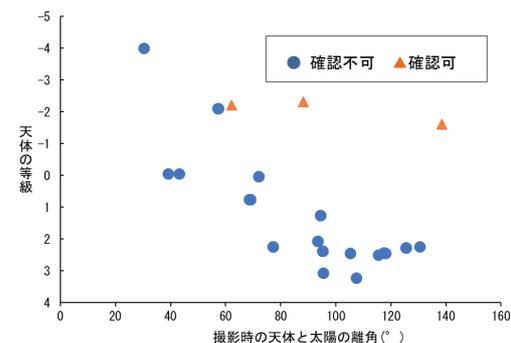


図3 撮影した天体の太陽との離角と等級との関係

## 測光用フィルターの劣化調査Vol.2

柴田 光輝、川瀬 皓介 (高2) 米原 紗希、佐野 滉太 (高1) 【愛知県立一宮高等学校】

### 要 旨

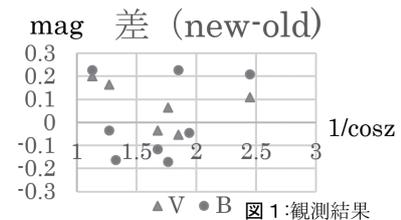
我々が15年にわたって使い続けてきたジョンソン測光用フィルターであったが、劣化している可能性が高いと考えた。このままでは透過性に狂いが生じて、天体の測光観測への悪影響が懸念される。そこで、2019年に購入したフィルターを借り、古いフィルターで測光観測と分光実験を行い、その差異を調べた。

### 1. 観測方法

望遠鏡「セレストロンC8」と新しい測光用V・Bフィルター（バーダー）と古い測光用V・Bフィルター（ジョンソン）を用いて、8個の標準星を撮影。高度が違う標準星のうち、最も天頂に近い2つを基準星として他の6個の星を測光した。

### 2. 観測の結果と考察

天頂離角Zが大きいほど誤差が大きく、Zが大きいと誤差はB>Vとなるという仮説を立て、測光結果を散布図（図1）にまとめた。しかし、図1の散布図はそのような誤差を示さなかった。

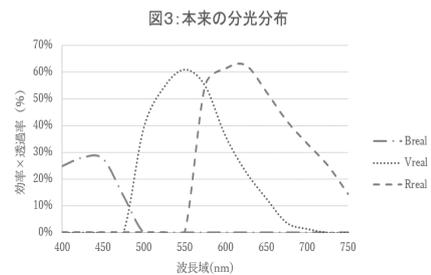
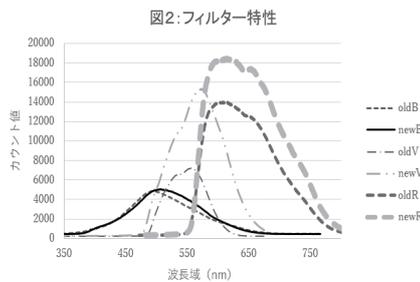


### 3. 実験方法

観測では見られなかった新旧フィルター間の差異を調査するために、裸電球を標準光源として、観測で使ったフィルターを用いて分光した。最初は自作のスリットと回折格子を用いて分光したが、上手くいかなかったので、SBIG社製SGS分光器で再度分光実験した。加えて、水銀ランプとナトリウムランプもSGS分光器で分光した。このとき、観測では使用できなかった旧Rフィルターも加えた。

### 4. 実験の結果

得られた画像を、マカリのグラフ機能とExcelを用いてグラフを作成した（図2）。同様に水銀、ナトリウムのグラフを作成して、輝線情報に基づいて横軸のピクセル距離を波長へと変換した。この図から古いフィルターは新しいフィルターに比べ、透過率がVフィルターは約39%、Bフィルターは約95%、Rフィルターは約71%になっていることが分かった。



### 5. 実験の考察

カメラ特性とフィルター特性から本来あるべき分光分布を作成し（図3）、両図を比べてみると、RVBそれぞれのピークが起こる波長域に差がみられたが、そのピークの高さはかなり近い数値を示したため、測光観測と比べ、より正確な劣化具合を知ることができた。

### 6. 今後の展望

測光観測に関しては、フィルター自体の欠陥や観測方法の不備、データが不適當であったことなどが原因でよい結果が得られなかった。しかし、分光実験においては観測に比べ、より正確なフィルター特性が得られたと思われる。今回の研究をもとに今後も様々な問題を改善していき観測を進め、過去のデータ較正にも生かしていきたい。

### 7. 使用ソフトと参考文献

- ・ 彗星観測ハンドブック 2004
- ・ RegiStax6
- ・ SBIG STシリーズ 量子効率表
- ・ バーダー「UBVRI」光電測光用フィルター透過特性グラフ
- ・ すばる画像処理ソフト『マカリ』
- ・ SharpCap3.0
- ・ ZWO社 ASI224MC 感度特性表

## 自作プラネタリウムの製作について

星野高等学校天文部：久米 真凜、阿部 さくら、吉澤 智樹、星月 亜美、福澤 佳音、大庭 七海、佐藤 貴臣、小島 聖矢、樋口 達也、佐藤 蒼透（高2）、諏澤 結季、宮崎 祐希、大森 万凜、宮原 芽果、小川 穂夏、田中 心結、藤井 翔太、鈴木 圭吾、諸口 徳人、高橋 拓希、佐藤 凜（高1）【星野高等学校】

### 1 はじめに

私たちは昨年「折りたたみ式プラネタリウムの作成について」を発表した。今まで作ってきたプラネタリウムをより良くするために作ったプラネタリウムであったが、作成するうちに多くの問題点が発見された。これらを改善すべく、私たちは新たにプラネタリウムを製作することにした。

### 2 折りたたみプラネタリウムの問題点

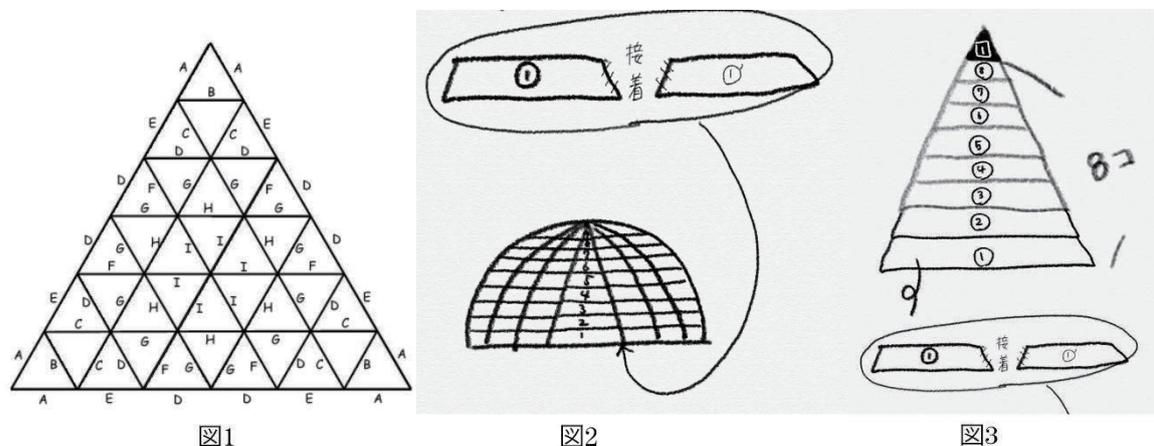
- ・素材が重く、設営が難しいこと。
- ・素材が高価なこと。

### 3 改善内容

- ・素材を軽く、安い段ボールにした。
- ・土台を大きくして安定化を図った。

### 4 ドーム模型の製作

ドームの製作にあたり2つの模型を作り、強度を比較した。



#### 模型 1

ドームの表面を8種類の三角形で覆い尽くしたジオデシックドームと言われる構造（図1）完全な半球に近くなるが、強度を得るためには正確に作らなくてはならない。

#### 模型 2

ドームを18分割した三角形をさらに8つの台形と1つの二等辺三角形に分割したもの（図2、図3）単純で組み立てが容易で接着面が少ないため光漏れが少ないが模型1同様に強度に欠ける。

### 5 まとめ

2通りの模型を作ったが、模型1では凹みややすく強度を得るには正確なサイズにする必要があったり、模型2では接着に必要な部分を最低限にしたことで光漏れは最小限に抑えられたものの、それにより強度が低くなってしまったりと多くの課題が見つかった。これらの課題に取り組みジュニアセッション当日のポスター発表ではここまでの内容と改善すべき点を模索していきたい。

参考（インターネットサイト）

desert domes (<http://www.desertdomes.com/formula.html>)

# μ粒子の寿命測定

高梨 美佳、高橋 夢玖、宮原 杏奈（高2）【山形県立米沢興譲館高等学校】

## 要旨

μ粒子を測定し正確に寿命を求めることを目的とし、研究を行った。測定にはシンチレーション検出器を、寿命の導出にはpythonを用いた解析プログラムを使用した。寿命を導出した結果、寿命は $\tau=1.07\pm 0.21 \mu\text{s}$ であった。導出した寿命は先行研究の誤差の範囲に収まらなかった。要因として解析プログラムの問題、データ量の不足、μ<sup>-</sup>粒子による影響があげられる。

### 1. 背景・目的

宇宙に関する研究をしたいと考えていた時に宇宙線に興味を持った。宇宙線とは宇宙から降り注ぐ高いエネルギーをもった放射線である。本研究ではシンチレーション検出器を用い、自分たちでμ粒子を測定し寿命を導出することを目的とする。

### 2. 原理

μ粒子は宇宙線にふくまれる粒子の一つで、地表でも観測することができる。また、不安定な素粒子であるために約2.2μsで崩壊する。この際寿命は、測定されたμ粒子の全体の数がe<sup>-1</sup>倍となるまでにかかった時間と定義される。

### 3. 測定方法

4枚のシンチレーション検出器を使用し図1のように配置した。図2のようにシンチレーション検出器に入射したμ粒子が検出器付近で減速し、崩壊するまでの時間を測定した。その後μ粒子が崩壊したとみられるイベントを選別し、寿命の導出を行った。



図1：シンチレーション検出器の配置写真

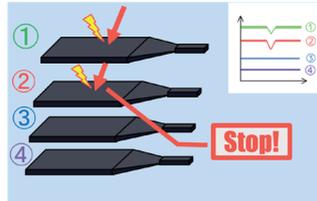


図2：μ粒子が入射し、その後停止する様子

### 4. 結果

本研究では2020年11月30日から2020年12月25日までの26日間のデータを使用し、解析した結果は図3のようになった。縦軸が崩壊したμ粒子の数、横軸が時間を表している。求められた寿命は

$$\tau = 1.07 \pm 0.21 \mu\text{s}$$

であるのに対し、先行研究[1]の値は

$$\tau = 2.1969811 \pm 0.0000022 \mu\text{s}$$

となっており、本研究で導出した寿命との差は誤差の範囲に収まらなかった。

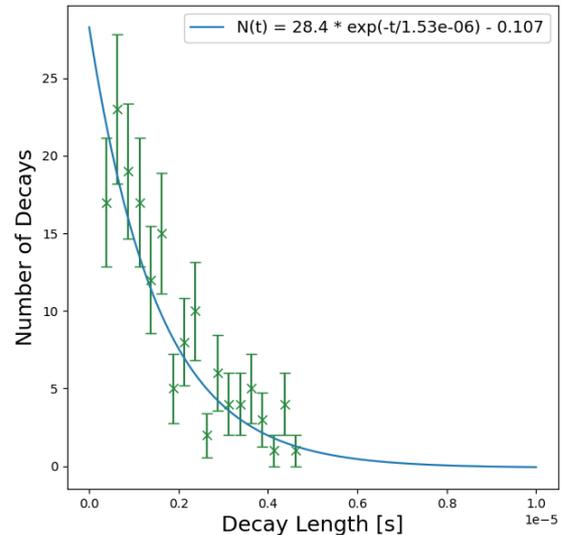


図3：26日分のデータを用いた際の解析結果

### 5. 考察

本研究で導出した寿命が先行研究[1]の値よりも短く導出された原因として、今回解析に使用した解析プログラムに問題があったことが考えられる。また、物質中でのμ<sup>-</sup>粒子の崩壊のプロセスの違いも、寿命が短く導出された要因として考えられる。

### 6. 結論

本研究の目的は自分たちでμ粒子を測定し、その寿命を導出することであった。導出された値は約1.0 μsであり先行研究[1]の値と大きく異なった。考察であげた要因の改善を行うことでより正確な寿命を求められると考えられる。

### 7. 展望

プログラムが適切でなかった可能性を踏まえ、今後の研究ではプログラムの改善を行い、解析をする予定である。また、考察でも述べたように、μ<sup>-</sup>粒子は崩壊のプロセスが通常とは異なる可能性があり、実験値に影響を与えていると考えられる。そこで今後の展望として、電荷の違いによる影響を調べるため、μ<sup>-</sup>粒子とμ<sup>+</sup>粒子の寿命と割合を導出することを目的として研究を行っていきたい。

### 8. 参考文献

[1] P.A. Zyla et al. (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020).  
[2] 奈良女子大学理学部物理学科高エネルギー物理研究室 奥田真利子「負電荷ミュー粒子と正電荷ミュー粒子の測定方法」 2019/02/08

---

## 薩摩暦について

鹿児島県立鹿児島中央高等学校科学部天文班  
柿内 葵（高2）、末吉 宝太郎（高1）【鹿児島県立鹿児島中央高等学校】

---

### 要 旨

薩摩藩でかつて使用されていた薩摩暦と呼ばれる独自の暦と、当時の観測技術を調査して、当時の観測機器により天体観測を行うことを目的とした研究である。

#### 1. はじめに

私たちが在籍している鹿児島中央高等学校は、江戸時代、明時館と呼ばれる天文観測所が存在した天文館の近くにある。私たちは、薩摩暦と呼ばれる薩摩藩（現在の鹿児島県、宮崎県の一部）でのみ使われていた暦があると知り、どのような暦であるか、当時の別の地域の暦や現在の暦とは何が違うのか、当時はどのようにして観測していたのかが気になり、研究することにした。

#### 2. 先行研究

薩摩暦は鎌倉時代から使用されていたとされるが、詳しい事はよくわからず、正式な記録が残っているのは江戸時代からである。薩摩暦は月の満ち欠けを基準とした太陰暦の一種である。江戸時代に唯一改暦を免れた地方暦であり、その当時、他の地域で使用されていた暦とは違う点が多々存在する。特筆すべきは、その当時の他の暦よりも正確である点で、その正確性を示すような逸話が数多く残っている。しかし、明治維新と同時に多くの資料が燃やされ、資料はほとんど残っていない。

#### 3. リサーチクエスト

薩摩暦はどのような暦で、正確な観測はどのような観測技術により行われたのか。また、その観測技術はどこから伝わったのか。

#### 4. 研究方法

現存する資料を使用して、薩摩暦とは何かを調べる。また、中国やその他の地域の暦との類似点から、観測技術がどこから伝来したのかを調べることで、当時の観測方法を明らかにする。

#### 5. 現在までに分かっている事

薩摩暦は観測が正確であったことから、江戸でも使用されて、天体観測に役だったと記述されていた（伊藤，2005）。また、その日に行ってもいい事や悪い事の記述も残っており、現代のカレンダーと似たような役割を担っていたと考えられる。

#### 6. 今後の展望

今後は、どこから天体観測の技術を入手したのか、また、その記録と同じ日、同じ時刻に本当に日食や月食などの天文現象は起こったのかを調べ、当時の観測方法で観測して、現代に薩摩暦をよみがえらせるのを最終目標とする。

#### 7. 参考資料

- ・伊藤節子，薩摩暦の歴史（於：鹿児島歴史資料館黎明館），2005.6.25
- ・日月食用データベース 国立天文台暦計算室，  
<https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/eclipsedb.cgi>

## 圭表儀の補助観測器具「景筐」に貼られた「青紙」のはたらき

科学部天文班：

齋藤 花音（中2）、伊藤 慎之助、百瀬 健太郎、岡村 結哉、池田 伊吹、清水 瑛貴（中1）

【塩尻市立丘中学校】

### 1. はじめに

景筐は、江戸時代に幕府天文方が太陽の南中高度を観測するために使用した圭表儀の補助器具である。私たちは、景筐が太陽像を映すスクリーンの役割をしていると考え、その検証に取り組んできた\*<sup>1</sup>。今年度は、景筐の斜めの「影板」に貼られた青紙について、像を鮮明に映す仕組みを明らかにするための実験と考察を行った。その結果を報告する。

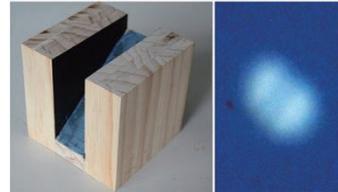


図1 復元した景筐（左）と影板に映る太陽と横梁の像（右）

### 2. 昨年までに明らかになってきたことの確認と再実験

#### (1) 青紙の濃さと、見やすさについて

「景筐」の「影板（スクリーン）」に貼られていた青紙の色の濃さを推定するために、和紙を藍の染色液につける時間を変え、大勢の人に太陽像が明瞭に見える濃さを選んでもらった。結果、異なる和紙でも、像の見やすさのピークがあることは共通していることがわかった(図2)。

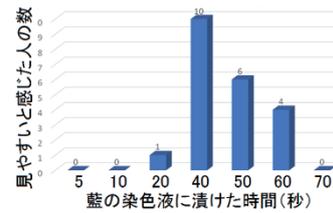


図2 青紙の濃さと太陽像の見やすさ(手すき和紙(薄))

#### (2) Makali i による太陽・横梁の像の光度分布測定

測定の結果から、白い紙では、横梁の像が明るくなるのに対し、青紙の場合は、暗く明瞭に映ることが明らかになっている(図3)\*<sup>1</sup>。

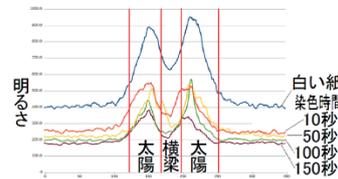


図3 太陽・横梁像の輝度の分布

### 3. 紙の繊維による光の反射について

以上の結果から、横梁の像の鮮明さの違いには、和紙を構成する繊維の反射が関係していると考えた。そこで、プラスチック棒を紙の繊維に見立て、それを束ねて和紙の模型を作った。一方は青い水性ペンで「染色」して青い紙に見立て、もう一方は透明なままで、白い紙に見立てた。そこに細く絞った懐中電灯の光を当てて光が周囲に広がるかを調べた。その結果、プラスチック棒の束の一部だけに白色光を当てた時、青く塗った棒は当たったところだけが明るくなったが、透明な棒は、光を当ててないところにも反射光が広がり明るくなった。(図4)

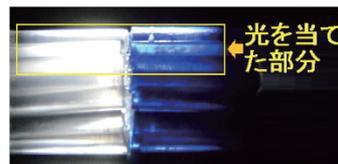


図4 プラスチック棒に白色光を当てる  
左：透明 右：青く塗ったもの

次に、内部で光がどのように、どんな方向に反射しているか調べるために、緑色の細いLED光を当てて調べた。結果、染めてない棒は光を当てたところから反射を繰り返して、様々な方向に光が広がっていった。一方、青く塗ったものはLED光の広がりがほとんど見られなかった。(図5)

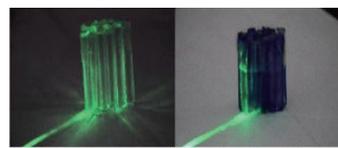


図5 プラスチック棒に細いLED光(緑色)を当てる  
左：透明 右：青く塗ったもの

これらのことから、青紙を使うと、太陽光が周りに広がらず、横梁の像が光らずに暗いままとなるため、像が見やすくなることがわかった。

### 4. まとめと今後の課題

青く染めた紙は染めてないものより光を吸収するはたらきがあり、太陽像と横梁の像を鮮明にして見やすくする効果があることがわかった。今後は、実際の和紙の繊維でもプラスチック棒のモデル実験と同じような反射が起きているのかを確かめるとともに、表1のように、様々な種類の和紙で青紙を作って、スクリーンとして適した紙やその条件を探していきたい。

表1 青紙に適した和紙を探す

紙の種類	染色したときの特徴	適性
ロール障子紙 灰煮(楮)	紙は厚い。染色液の色が入り切っていない。	C
灰煮雁皮紙 中肉	つるつるしている。けぼたない。ムラはない。	A
石州 雁皮紙 四ツ判	つるつるしている。けぼたない。紙本来の模様が浮き出る。	B
晒し雁皮紙 中肉	つるつるしている。けぼたない。色が入り切っていない。	B
八女 肌裏紙 薄口(楮)	とても薄い。破れやすい。つるつるしている。	D

### 5. 参考文献

1. 圭表儀の観測における補助器具「景筐」の役割, 丘中学校科学部天文班, 2020年, 日本天文学会ジュニアセッション予稿集

## 圭表儀の補助観測器具「景筐」・「景符」の役割

科学部天文班：

市川 朔豊、水本 陽菜、小澤 優月(中2)、山田 涼惺、佐々木 瑠偉(中1) 【塩尻市立丘中学校】

### 1. はじめに

江戸時代の寛政改暦に用いられた観測器具「圭表儀」の補助器具「景筐」「景符」の仕組みや役割について、寛政暦書の記述と、私たちが6年間継続してきた観測方法を比較することで明らかにしようと取り組んできた。昨年度の活動に、今年度新たに明らかになったことを加えて報告する。

### 2. 圭表儀、景符、景筐について

圭表儀は、太陽の南中高度を求めるための器具である。圭にできた表の影の長さ(実際には横梁の真下から横梁の影までの距離)を測り、観測を行う(図1)。

景符は、圭表儀の補助器具で、圭にぼやけて映る横梁の影を、ピンホールカメラの原理で細くくっきりさせ、観測精度を高めるはたらきをする。

景筐について、先行研究<sup>\*1</sup>では、「45°の面を持ち、景符が太陽光線に対して垂直になっているか確認するための器具」とされているが、私たちは、図2のように、太陽光線に対して垂直な面を持つスクリーンのような役割をするものだと考えた。どちらの解釈が適切であるのかを、寛政暦書<sup>\*2</sup>を元に調べた。

### 3. 寛政暦書の記述から

寛政暦書には、当時の暦法や器具について漢文で記述され、器具の図も描かれている。これを現代語訳して、役割や使い方についての記述を調べた。今年度は圭表儀について記述されている箇所を全文を現代語訳した。以下では訳文で記す。

寛政暦書の景筐の項には、「斜めの面は景符と同じ角度、太陽の光に垂直にする」という意味の文が書かれており、用法の項には、「ここで景筐を景符の下に置き、近づける。するととても鮮明な横梁の影が見える」との記述があった。これらの記述から、景筐は太陽像や横梁の像を鮮明にするためのスクリーンとして使用されていたことが明らかになった。

### 4. 景符の復元製作

寛政暦書に記された寸法どおりに景符と景筐を復元し、観測に使用した(図3)。暦書に「景符にて日の影を取るには、手際良く行わなければならない」とある。そのため、観測の準備としての「まず景符を今日の太陽の高度に当て」も、素早く行わなければならない。場合によって、日光が当たっていない状態で行う必要がある。このことから、景符を太陽の方向に向ける用途は景筐にはないと考えられる。私たちは、景符の小象限という弧状の部分、その日の南中高度に合わせるための分度器ではないかと考え、復元した景符には目盛りをつけた(図3上右)。

### 5. 景筐の復元製作

暦書の絵図(図3左)から、斜めの影板の部分が45°ではないことがわかる。これは、影板の角度を観測地点の緯度と同じ角度にしておくことで、最も南中高度が低くなる冬至にも、景筐と太陽の入射角度が垂直から大きく外れない状態で使い、様々な南中高度に対応するためだと考えた(図4)。この推定を元に復元した景筐は、暦書の絵図によく似ており(図3下)、景筐の形状は、ピンホールのつくる太陽像を映すスクリーンとして適する形に設計されていたと考えられる。

### 6. 寛政改暦と丘中天文班の観測法の比較による検証

寛政暦書の圭表儀用法の項を語訳したものを参考に、丘中天文班の観測法と比較した。丘中天文班の観測法は6年前の先輩が独自に考え出したものである。比較すると、景符を太陽に垂直に向ける方法(天文班:景符の金属板で日光を横梁の方向に反射。寛政暦:小象限(分度器)を使って合わせていたと推測)は異なるが、他の手順はほとんど差がなく、同じ点を工夫していたことがわかった。

### 7. 結論と今後の課題

景筐のスクリーンとしての役割だけでなく、観測の具体的な手順も明らかにすることができた。今後は復元した景筐、景符を観測に使用し、精度の向上にどの程度役立っていたかを、1年間かけて確かめていきたい(図5)。また、それ以外の補助器具も復元し、役割や観測法を明らかにしたい。

### 8. 参考文献

1. 古観測機器「圭表」の3DCG復元, 柳澤洋文, 2012年, 天文教育 Vol. 24 No. 1
2. 寛政暦書 35巻【19】【22】, 渋川景佑, 1844年, 国立国会図書館デジタルコレクション

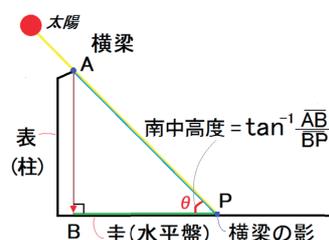


図1 圭表儀の仕組み

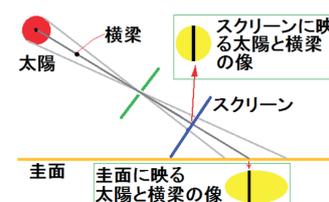


図2 日光に垂直なスクリーン  
横梁の像を太陽像の中心に合わせることで正しい観測位置を得る

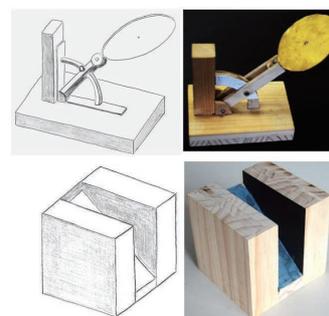


図3 景符と景筐の復元製作  
上:景符 下:景筐  
左側は暦書の図(模写)  
右側は復元したものの

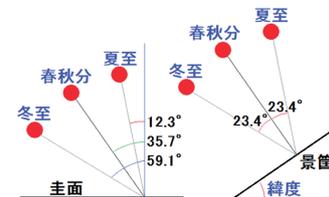


図4 景筐の角度の推定  
江戸浅草天文台の緯度について

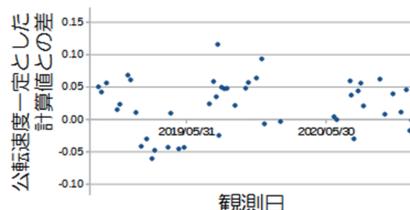


図5 圭表儀の精度確認観測  
波型の変化が現れるかを確かめていく

## デジタルカメラの写真から算出する月までの距離の誤差要因

ハートピア安八ジュニア天文倶楽部：  
伊藤 大朗（高2）【岐阜県立岐阜高等学校】

### 要旨

約5年前にアジア太平洋地域において皆既日食を伴う日食が観測された。当時私はそのデータを用いて月までの距離の算出を行った。月日が流れ、知識量が当時に比べて格段に成長し再度この問題に挑みたいと思い研究を行った。異なったアプローチをいくつか行い、その結果、撮影データの同時性に疑念があるという結論に至った。

#### 1. 目的

月までの距離の算出値の誤差要因を考察する。

#### 2. 部分日食の2点観測

2016年3月9日の日本とタイの2地点で撮影された日食写真を使用する。日本における撮影地(以下J)は東京都小笠原村母島で牧野亜紀氏撮影の画像をお借りした。タイにおける撮影地(以下T)はパタニ県でタイ国立天文台(NARIT)の日食撮影キャンペーンでのHakam Chedo氏撮影の画像をお借りした。

#### 3. 算出方法及び結果

##### a. 算出方法

##### イ. 視差 $P(^{\circ})$ の算出

図1のような日食画像の重ね合わせを行い、見かけ上の月の中心のずれをPaint.netにてピクセル単位で測定しその10回の平均値をとり式1に代入する。  
カメラの画角 $(^{\circ})$ :データの横幅の半分(px)= $P(^{\circ})$ :見かけ上の月の中心のずれ(px)  
…式1

対応する値を代入して  $1.61:2,144=P:859.75$  より $P=0.645(^{\circ})$ を得た。

##### ロ. 日本、タイの二点間距離L(km)の算出

地球の中心を原点とし、2観測点(日本、タイ)の三次元座標をとる。その観測点間の距離を三平方の定理より導く。これによって得られた値は  $L=5,444\text{km}$ である。

##### ハ. 正弦定理での解法

前発表では、Earth viewというツールを用いて、月から見た日本、タイの見かけの距離を計測し、正弦関数を用いて月-地球間距離を算出したが、この方法には正弦関数の適用に必要な条件である直角三角形が成立していないということや、月の中心からどこまでの距離を求めているのかが分からないといった問題があった。

そこで $\Delta MJT$ で正弦定理を利用し、次のイ~ホの手順によって図2に示したMJの長さ、つまり月までの「測心距離」を求める。

イ. 3-a-ロで求めた2観測地点の三次元座標を用いて当該2点を通過する直線TJの方程式を導く。

ロ. 地球(真球と仮定し、半径は6,371.012(km)とする)の図3に掲載したJにおける接平面Sの方程式を導く。

ハ. 3-b-イ、ロよりの成す角 $c$ を算出する。

ニ.  $c$ にこのときの月の高度 $h$ を足し、 $\Delta MJT$ を決定する

ホ.  $\Delta MJT$ に対して正弦定理を適用する。

このようにしてMJは、421,219kmという結果となった。

#### 4. 考察

今回の算出値は真の値である354,111(km)から乖離した。そこで次のイ~ハに起因する影響を検証する。

イ. 有効数字不足に起因するパタフライ効果の検証。

ロ. 撮影の同時性に起因する視差値における誤謬の検証。

ハ. 視差や二点間距離の計算ミスや、論理破綻の検証。

上記のイにて検証した結果、安全側に見ても1000(km)以内の差に収まっていた。また、上記のロにて真の値を用いて視差を逆算した結果、 $0.767^{\circ}$ であることが分かった。これは約30秒の撮影時刻の差に起因するものである。

ハにおいては現在検証中である。

#### 5. 結論

現段階における結論は、研究に用いたデータの同時性に疑念が残るといったもので、その時刻の差が約30秒である可能性があるというものに帰着した。

#### 6. 参考文献及び謝辞

誠文堂新光社「天文年鑑2020年版」p.205 アstroアーツ「ステラナビゲータ10」

前研究:日本天文学会第19回ジュニアセッション

「デジタルカメラの部分日食写真から求める月までの距離の誤差要因と精度」

以前より本研究活動にご協力いただいたハートピア安八天文台の船越浩海様、撮影データを提供して下さった、牧野亜紀様、Hakam Chedo様にはこの場を借りて深く御礼申し上げます。

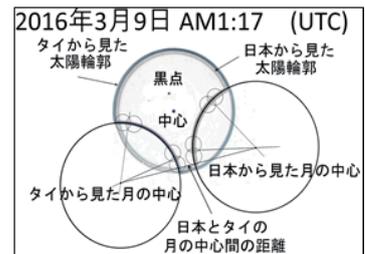


図1 日本とタイの撮影データの重ね合わせ

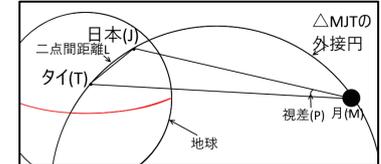


図2 日本・タイ・月の位置関係

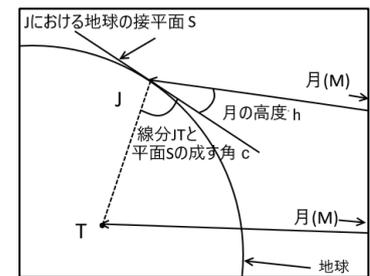


図3  $\angle J$ の算出

## 「ひかりのまち・函館」の夜空の明るさ2011-2020-函館は夜景も星も美しい？-

遺愛女子中学校・高等学校 地学部：米澤 奈々珈、阿部 千晶（高1）【遺愛女子高等学校】、  
石川 凜、奥山 摩耶、森田 結菜（中3）、佐藤 ユリ（中1）【遺愛女子中学校】

### 要旨

SQML, SQMLE (スカイクオリティ・メーター) を用いた夜空の明るさ調査を2011年から継続してきた。2015年には「函館周辺星空マップ」を作成し、函館周辺の夜空を0.5等ごと6段階に区分してマップに表したが、その後、函館周辺の夜空の明るさは変化したのか、現在の観測者になってから2年間の結果を、過去の先輩たちの結果と比較検討する。

### 1. はじめに

夜空の明るさは大気中に漂う微粒子に地上からの灯火が反射して生じる明るさである。愛知県立一宮高校の「全国一斉夜空の明るさ観測」に参加して2011年から観測を続けてきた。使用しているユニードロン社製SQMLは、単素子フォトダイオードを使用した観測機器で、スイッチを押すと20°の範囲について1平方秒角あたりの夜空の等級を表す。学校の体育館テラスに設置したSQMLEで5分毎の自動観測を継続し、部員が自宅で定点観測を行ってその結果を集計したほか、2015年までは部員による移動観測も実施して函館周辺のデータを収集し「星空マップ」を作成した。

### 2. 観測方法

**定点観測**：部員の自宅での観測は、下弦から上弦の月明かりのない時期に、薄明終了後1~2時間以降、22時までの間に行った。天頂に向けてスイッチを押す5回の測定値の中央値を記録し、時刻、雲量も記録した。学校で自動観測を行っているSQMLEの値をもとに、10分毎の変化率をもとめ、個体差を補正したうえで21時の値に補正した。気象台のデータも参考にして雲量が少ない（4以下）晴天日の結果をまとめた。

**写真測光**：9月~10月の観測期間に各定点付近でEOS KissX50で天頂付近を撮影し画像処理ソフト・マカリを用いて夜空の等級を算出した。

### 3. 結果

2019年~20年の観測結果（無積雪期・晴天日）最高値と平均、写真測光の結果を表1に示す。昨年（2019年）の結果では全体に明るくなった観測点が多かったが、2020年は全体に暗くなっている。2020年のLEの観測値とpm2.5の値との相関をとると、2019年のような弱い相関は認められなかった（グラフ1）。

LEの観測した10分毎の値を薄明終了から24時までグラフ2にあらわした。2020年10月の値は、2018年9月胆振東部地震後の節電期間に近い値になった。

表1 2019-20 夜空の明るさ観測結果

星空マップ区分		18~		18.5~		19.5~			
	観測点	遺愛LE	時任町	本通	湯の川	桔梗	七飯大川	七飯鳴川	大野向野
2019	最高値	18.71	18.61	18.23	18.66	19.43	19.61	19.97	19.89
	平均値	17.84	18.32	17.69	18.36	19.09	19.10	19.59	19.67
2020	最高値	18.92	18.55	18.92	18.88	19.60	鳴川へ	19.89	—
	平均値	18.32	18.30	18.35	18.69	19.26	移転	19.56	
	写真測光	18.71	19.1	18.08		19.67		20.17	

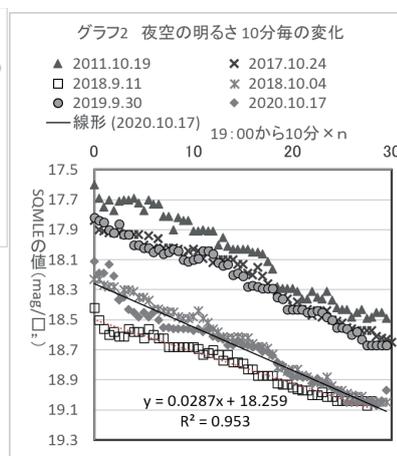
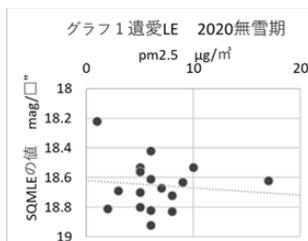
### 4. 考察

**LEの周辺環境の変化**：本校の本館（国の重要文化財）改修工事が進み、設置場所の横に高さ4m以上の壁ができ、休校中の3月ごろから視野を遮るようになった。6月初旬に北側へ移設し、9月には足場を利用して約3m上方に再移設した。20°の視野は確保できているが、壁に囲まれた形になり、全体に0.2等以上暗くなった。工事以前、SQMLは20°より広い範囲からの光を受けていたと考えられる。

**部員の観測方法の変化**：昨年は各観測点が周囲の灯火の影響を受けやすく明るい結果になっていたが、今年度はそれぞれ影響の少ない地点で観測を継続するようになった。本通では10月以降さらに観測場所を数m移動し、その後0.4等以上暗くなった。定点全体で値が暗くなっているため、夜空の明るさの変化も含まれると考えられるが、SQMLが周囲の光の影響を受けやすいことが確かめられた。

**夜景の町は暗くなったのか**：新型コロナウイルス感染症対策のための「自粛期間」に部員が各自の自宅で観測した値は、それまでの値より暗くなった。この期間は明るい商業施設が消灯するなど、街の中でも変化が見られた。しかし、各観測点の最高値は10月~11月に観測されている。これが街の経済活動の変化によるものか、天候や大気の状態によるものなのか、さらに検討したい。

**参考文献**：「ひかりのまち・函館」で星空マップをつくる（2016）「ひかりのまち・函館」の夜空の明るさ2019（2020）遺愛女子中学校・高等学校地学部 日本天文学会ジュニアセッション講演要旨、北海道の大気環境（北海道）、デジカメ星空診断 星空公団<https://dcdock.kodan.jp/>、夜空の明るさ学習会資料（2015）星空公団。



## デジタル一眼レフカメラを用いて夜空の明るさの変化を探る

立川高校天文気象部：  
大磯 佳苗、鈴木 遥夏（高2）【東京都立立川高等学校】

### 要旨

夜空の明るさは時刻によって変わるほか、街明かりや天候なども原因となり変化する。本研究では、天文気象部の先輩が製作した視程の観測装置を使って、毎日夜空を定時撮影し、デジタル一眼レフカメラの画像を解析することにより、夜空の明るさがどのような条件で変化するかを調べた。

### 1. はじめに

天文気象部では夜間観測を行っているが、街中にある本校の屋上から見える夜空は明るく、見える星は少ない。日々の観測から天頂付近は星が良く見えるが、地上付近は非常に明るく、街明かりが大きな影響を与えていると感じる。また、徹夜観測の時には午前2時から3時ごろに最も暗くなることを経験した。そこで、本研究では夜空の明るさを探るため、まず目視を用いて地域による星の見え方の違いを観測したが、比較が難しかった。次に、SQMを用いて観測したが、観測範囲や定時観測の面で難しさがあつた。そこで、本部の先輩が開発した視程の観測装置(図1)を活用し、画像から夜空の明るさを調べる方法を思いついた。



図1 視程の観測装置

### 2. 目的

デジタル一眼レフカメラの定時撮影による画像から、夜空の明るさがどのような条件で変化するかを調べる。

### 3. 方法

本部長が開発した視程の観測装置を使用して西側（八王子方面の町や多摩丘陵、富士山の見える方向）の夜空を毎日1時間おきに撮影する。撮影画像(jpeg)をグレースケール化し、Pythonプログラムで高度と明るさの値の関係を表すグラフを作成して、明るさの変化の特徴とその要因を分析する。

装置：一眼レフカメラNikonD3400とRaspberry Piを固定し、定時撮影のプログラムを組む。

撮影：2020/12/26から毎日18時～翌6時に1時間毎に撮影

(iso800 f5.6 露出時間1秒 焦点距離55mm)

分析：1) 画像をグレースケール化(※)し、縦100pxごとに横長の短冊状に区切る

(※OpenCVより、RGB[A] to Gray:Y←0.299·R+0.587·G+0.114·B)

2) 区切った領域(高度)ごとにピクセル値の平均を求め、これを明るさの値とみなす

3) 各時刻の高度ごとの明るさの値をグラフにし、1日分をまとめる

4) 高度による明るさの違いや時刻による明るさの変化と、天候・月齢などとの関連を分析する。

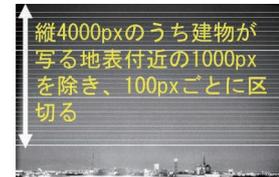
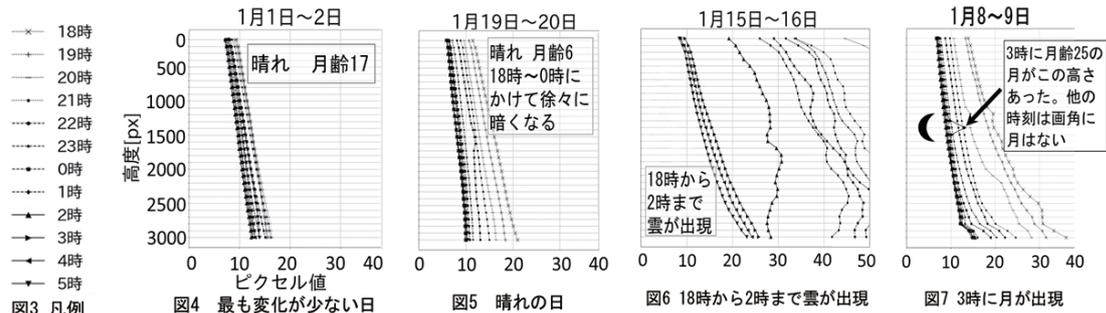


図2 撮影画像の区切り方

### 4. 結果と考察



上の図は顕著な特徴がみられた日のグラフである。縦軸は画像と対応した高度を示し、横軸は明るさの値を示す。全体的に地表に近いほど明るい傾向が見られ、晴れの日(例：図5 月齢6)は概ね18～0時にかけて徐々に暗くなり、0～5時の値はあまり変化しない傾向が見られた。図3の日は月齢17で満月近かったが、32日間の観測中で一晩を通して最も明るさの変化が小さく、暗い空であった。年始で街明かりが減ったことが影響したと考えられる。

図5は月齢2であったが雲が出現した時間に明るさが増しており、街明かりの反射が影響していると考えられる。

図6では月齢25の月が画角に入った3時に、部分的に明るさが増していることがわかる。雲があった時間を除くと、他の時間帯は月による明るさの増加は認められない。画角に明るい月が入る機会がまだ無いため、今後も継続撮影し、月齢による明るさへの影響を明らかにしたい。

### 5. まとめと今後の課題

夜空の定時撮影を継続し、画像から明るさの時系列の変化や高度による違い、雲や月の影響との関連を分析した。今後は、今回の富士山方面(西側)に加えて、本校から見渡せる明るい都心方面(東側)の撮影も開始し、比較する。また天頂方面についても調査し、天候や月齢、季節、湿度、街明かり等による明るさの影響を探りたい。

### 6. 参考文献

\*東京都立立川高等学校天文気象部『視程の新たな観測方法の開発とその分析～観測装置を自作・改良し、50年間続いた視程観測を再開してその傾向を探る～』(2020、第9回高校高専気象観測機器コンテスト)

## SQM-Lを用いて奈良県内の夜空の明るさを測定する

秋山 恵里、ハンセン アラフェナ 莉己、藤本 萌子、山本 采良紗(中3)【奈良県立青翔中学校】

### 要旨

元より天体観測が好きだった私たちは「光害」という言葉を知り、自分達の居住地の夜空の明るさが気になり、SQM-Lを用いて調べた。その結果、SQM-L値は、月齢によって2等級程度変化すること、コンビニエンスストアが並んでいる地域では夜更けとともに空が暗くなることがわかった。

### 1. はじめに

光害とは人工光が周辺の環境に悪影響を及ぼす公害の一種である。今回、奈良県内の3か所の地域(香芝市、御所市、田原本町)と本校の夜空の明るさを測定し、周辺の環境を考慮して、比較、考察することにした。

### 2. 観測方法

周辺に測定に影響を及ぼすような光源がない場所で、雲がない日に、SQM-Lを用いて19:30から23:00まで30分おきに測定した。測定地点は図1の通りで、測定日は2020年10月から11月にかけての約10日間である。測定したデータは「Microsoft Excel」を用いて集計し、グラフを作成して考察を行った。



図1 測定地点

### 3. 観測結果

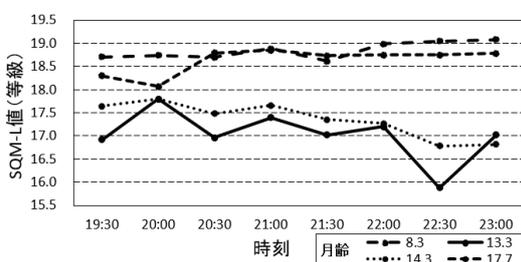


図2 御所市における月齢別のSQM-L値

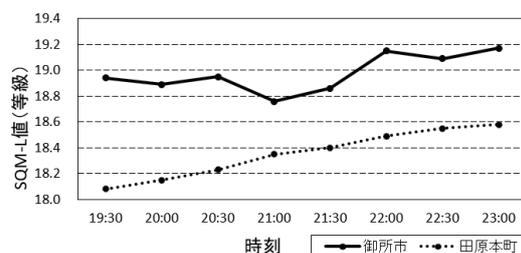


図3 御所市と田原本町のSQM-L値の比較

【結果1】 図2より、満月に近い月齢、13.3、14.3の時は数値が小さく、満月から離れるほど、数値が大きくなった。

【結果2】 図3より、どの時刻においても、田原本町より御所市のほうが数値が高くなった。(=御所市のほうが夜空が暗い)

### 4. 考察

【結果1】において、月齢が小さい日は、数値の変動が安定して、値が大きかったのは、月面の発光面積が少ないからと予想した。満月時はその逆で数値の変動が大きかった。その原因として、当初は天候が原因かと考えたが、月齢が大きいほど発生している現象なので、単純に天候だけの原因とは言えない。

【結果2】において、田原本町は時間が経過するにつれて夜空が暗くなっているのに対し、御所市では規則性は見られなかったこと、御所市では測定開始から終了時までの上がり幅が小さかったことは、場所が原因ではないかと推測した。なぜなら、測定値付近に、田原本町ではコンビニエンスストアやハイツが並んでいるのに対し、御所市では民家や建物が少ないからである。

### 5. 今後の展望

今回測定した場所は、どちらも県全体の1割未満と比較的世帯数が少ない地域であったため(下表)、次回は世帯及び建物が多い(県全体の1割以上)と1割未満の市町村と比較を行いたい。

【結果1】の考察が確証を得ていないため、測定データ数を増やすとともに、より深く調べて原因を究明したい。

表 奈良県内の市町村の世帯数(抜粋)

	世帯数	県全体に対する世帯数割合
奈良県	601,073	1.00
田原本町	13,117	0.02
御所市	12,070	0.02

### 6. 参考文献

光害対策ガイドライン

[http://www.env.go.jp/air/life/hikari\\_g](http://www.env.go.jp/air/life/hikari_g)

SQM-L 国際光器

<http://www.kokusai-kohki.com/products/sqm.html>

天文薄明終了時刻 計算サイト

<https://www.hoshi-lab.info/env/solar-j.html>

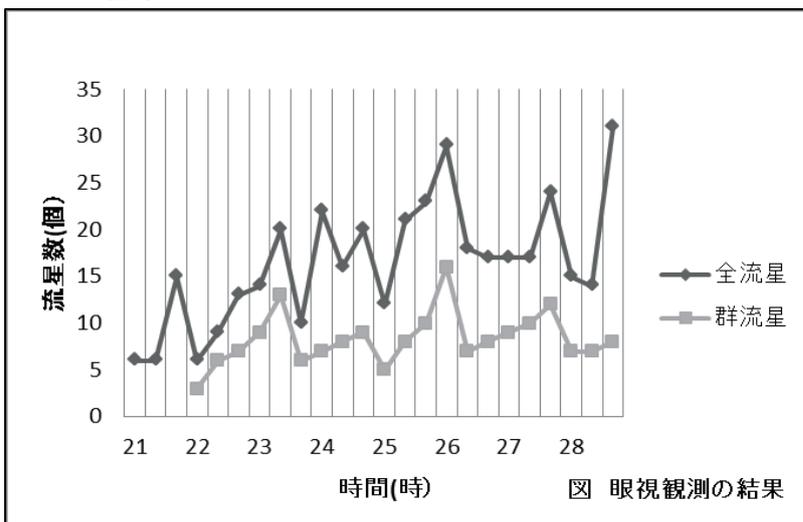
## 双子座流星群の眼視観測

七高天文部：鈴木 詩織、吉田 光将、水野 侑紀、土肥 大桜、滝川 琴葉（高2）、  
高橋 直純、柳原 和史、斎藤 岳翔（高1）【東京都立墨田川高等学校】

### 1. はじめに

天文部として科学的な観測を行い、自然科学に興味を持つことを目的とし、双子座流星群の眼視観測を行った。眼視観測は2020年12月12日から13日にかけて、群馬県高崎市にてグループ計数観測（四人一組の眼視観測で出現時間、群散の区別、星座を記録）を行った。極大予想日の前日であったが、390個の流星を記録した。並行して同地域（群馬県渋川市）で観測していた電波観測と比較した。

### 2. 結果



図は、眼視観測で一時間ごとに計測された流星数を表すグラフである。(21時から23時にかけて群流星のグラフがないのは雲が多く散在流星と群流星の判別ができなかったためである。) グラフから、双子座流星群のピークは25時40分から26時40分であったといえる。今回の観測では光度の

データをとらなかったので、観測条件の違いを補正したCHRやZHRを算出することができなかった。そのため、他団体とのデータ比較ができず課題が残った。

### 3. まとめ・考察

部員の観測経験が0から数回と少ないために次の問題が生じた。長時間の観測で集中力が途切れたこと、各部員に視力差があることなどがデータに影響した。さらに流星の出現が増えたピーク時、観測者の報告数が多くなり、記録が追い付かず、観測者も見えた流星全てを報告できなかった。その上、光度の違いを正しく認識していなかったため流星の光度がどれくらいなのか判断できなかった。そのため、報告内容に最微光星や高度などの必要なデータが取れなかった。都会の空と見え方が異なったので、光度が何等なのかわからなかった。これらのことが原因で精度が低くなった。また電波観測と比較すると、ピークにズレがあった。これは中継している放送局などが異なり、眼視観測との間でタイムラグが発生したことなどが考えられる。今後は継続的にペルセウス座流星群・双子座流星群の眼視観測と、電波観測も行っていきたい。また今回の課題を踏まえ、必要なデータを取れるようにもっと勉強しようと思う。

4. 参考資料 流星電波観測国際プロジェクト <https://www.amro-net.jp/>

## 流星を探れ

福岡工業大学附属城東高等学校科学部：  
楠根 涼（高1）【福岡工業大学附属城東高等学校】

### 1. 要旨

ふたご座流星群の極大日に、周りに明かりがない場所で魚眼レンズを使って流星の軌跡を撮影し、撮れた写真をもとに、輻射点を出す。それをもとに流星が大気に突入した向きと速さを計算し、流星の起源を考えた。

### 2. 動機・先行研究・目的

私は小さい頃から宇宙が好きで、中でも星を見ることが好きだったのだが、高校生になって科学部に入りそこであった夏の合宿で、彗星や流星の撮影、観測方法を学び、そこで自分でペルセウス座流星群の撮影を試みたいと思いこの研究を始めた。

8月のペルセウス座流星群を撮影し、3つの流星を撮影出来たが、そのうちペルセウス座流星群は2つだけであったため正確な輻射点が分からなかった。

今回は前回より多くのふたご座流星群を撮影し、ペルセウス座流星群より正確な輻射点を求めること、そして流星の発光距離・方向・速度を出すことを目的とした。

### 3. 研究方法

1. 魚眼レンズを使って街灯などの町明かりの少ない場所で撮影をする。

カメラの設定は

高いISO感度で撮影をする (ISO3200~)

絞り (F) を小さくする (~F4)

露出時間を長くする (設定によるが4~30秒)

今回のカメラの設定は以下の通り行った。

ISO感度 ISO6400

露出時間 5秒

絞り値 F4

使用機材

一眼レフカメラ Canon EOS 6D

魚眼レンズ SIGMA 12mm Fish Eye

タイマー付きリモートコントローラー SHOOT

2. パソコンで流星が写っている写真を選別する。

3. 撮れた流星の写真にステラナビゲータや星座の本などをもとに、3Dペイントなどで星座線を引いていく。

4. 星図にステラナビゲータなどを使い星座線を引き、星座線を引いた写真をもとに、実際に流星が流れた場所に線を引く。

5. 4で出した線を伸ばして交わった所に点を入れ、輻射点を出す。

6. ステラナビゲータで写真や星図をもとに、始点・終点・輻射点の場所を調べ、方位角・高度を出す。

7. 6で出した高度をもとに、方眼用紙に始点・終点・輻射点の角度を分度器と定規を使って線を引く。そ

して、輻射点の平行線を引き、垂直断面図を描く。

8. 垂直断面図をもとに距離を出す。

7で書いた図で、始点の線と輻射点で交じわっているところに、横に方眼用紙の端まで真っすぐな線を描く。引いた線と始点・終点・輻射点の角度を測ったところまでを定規で測り、同じ長さで方眼紙の下側に目印を入れる。始点の高度を100kmと仮定して、垂直断面図を書く。

9. 8で出した距離をもとに平面図を書く。

グーグルマップや地図などを使って、距離をもとに縮尺に合わせて線を引き、平面図を書く。

10. 8で出した距離と時間で流星の速さを出す。

流星が流れた時間を1秒と仮定し、距離と時間を割り、流星が流れた速さを求める。

### 4. 結果

2020年12月12日の21時から13日の6時まで観測を

行った。そこで4枚、流星を撮影することが出来た

(図1)が、そのうちの1枚はふたご座と違う方向であったため、ふたご座流星群ではないと考え、3枚の流星で輻射点を求める作業を行った。結果三つの線が小さい三角形を作るように交わったので、この中心を輻射点と考えた。



図1を撮影した時間

2020年12月12日

22時09分44秒

図1 観測した流星の画像

### 5. 考察・結論

輻射点を決めたことにより、流星の突入速度の向きは、地球の公転速度の向きにほぼ垂直であることが分かった。

また、発光点を100kmと仮定したときの、流星の速度が45km/sであり、地球の第二宇宙速度である11.2km/sより大きくなった。

この2つのことから、地球の引力により流星が落ちたのではなく、もともと大きな速度で運動していた流星が地球に衝突するように突入したと考えられる。

### 6. 今後の展望

流星の正確な距離や時間を出すために以下のことを行っていきたい。

- ・ステレオ撮影で正確な始点の位置を出す。
- ・流星の発光時間を計測し実際の時間を出す。

これにより流星群の母天体を突き止めていきたい。

## 目視と比較した無人での流星電波観測データの信頼性

國學院天文部流星班：

佐藤 瑞己、川邊 淳之介（高2）、武石 暖大（高1）【國學院大學栃木高等学校】、  
山根 史也（中3）、藤田 純羽、岡部 世奈（中1）【國學院大學栃木中学校】

### 要 旨

2020年はくちょう座流星群を捉えた電波観測の画像データと、約100km離れた地点で撮影した動画とを比較して流星電波観測の精度を検証。電波観測と動画で流星が一致する確率は約35～65%、5時間で平均48%と決して高くはなかった。それぞれの観測した流星の“個数”は観測精度にかかわらず電波観測と動画でおおよそ一致することを確認した。

#### 1. 目的

本校屋上(N36.36455, E139.703537、標高81.4m)の流星電波観測の精度及びそのデータの信頼性を検証する。

→電波を利用した無人観測が実用的かどうか判断し、このような状況での研究の継続に役立てる。

#### 2-1. 方法：電波観測

- ・流星観測用の電波（福島県福島市より：50.027MHz）を無線機（八重洲社製FT-726）で受信した。
- ・流星が当該電波を反射、観測ソフト“hrofft”で受信された電波の周波数の変化を画像データ化した。

#### 2-1. 方法：動画撮影

- ・SONY α 7s 3台をそれぞれ三方向に自動ガイドで22:30～翌1:30までの5時間撮り続けた。
- ・杉本 智様より那須天文台(N37, 092299, E140.048406、標高591.6m)にて撮影されたものをお借りした。

#### 2-3. 方法：解析

2020.8/19はくちょう座流星群を観測した動画（30min/本、20h30m07s~01h32m17s×3）を視聴、流星をカウント  
同日同時間帯の電波観測データから流星の反応を確認、カウント

↓

同時刻に双方で観測された流星を調査、カウント

（撮影された流星）のうち（電波でも捉えられた流星）が占める割合（一致率）を30minごとに算出、集計した。

#### 3. 結果

「撮影された流星の個数」を{A}、「電波で観測した流星の個数」を{B}

「双方に確認された流星の個数」を{A∩B}とすると、一致率は表1の通り。

→0時～0時30分が最も高い(64%)、約35～65%、5時間で48%

目視で捉えられる流星のうち

およそ半数が電波でも観測できる（観測精度は約50%）。

（電波で捉えた流星）の一致率も算出(表2)

→ {A} 同様0:00～0:30が突出して最高、平均53%

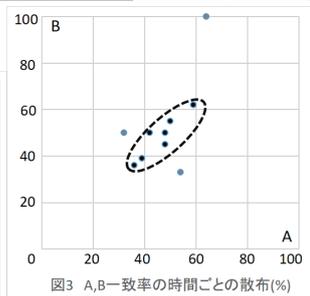
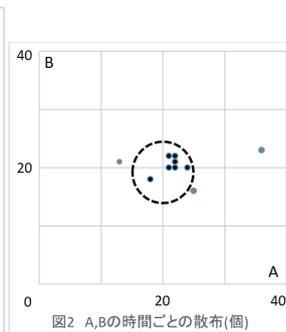
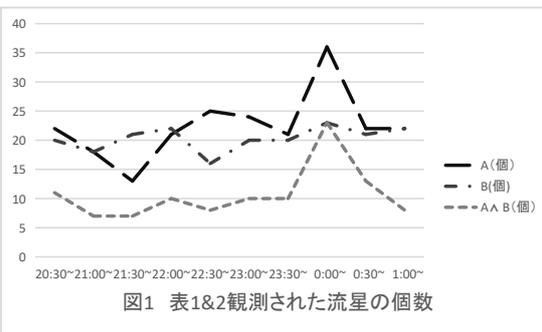
電波観測もおおよそ50%前後の精度で観測できている。

補足：2020年はくちょう座流星群のピークは0:00～0:30と推察(図1)

	A(個)	A/B(個)	一致率	B(個)	A/B(個)	一致率
20:30~	22	11	50%	20	11	55%
21:00~	18	7	39%	18	7	39%
21:30~	13	7	54%	21	7	33%
22:00~	21	10	48%	22	10	45%
22:30~	25	8	32%	16	8	50%
23:00~	24	10	42%	20	10	50%
23:30~	21	10	48%	20	10	50%
0:00~	36	23	64%	23	23	100%
0:30~	22	13	59%	21	13	62%
1:00~	22	8	36%	22	8	36%
SUM	224	107	48%	203	107	53%

表1 動画流星の一致率

表2 電波流星の一致率



#### 4. 考察

図2, 3(横軸A、縦軸B)にあるように例外(20:30～、21:30～、22:30～)を除いたほとんど(破線囲み)がA、Bで一致→“個数”に関して言えば、電波観測でも目視観測の結果を補えるほどの信頼性のあるデータを得られる。

例外の原因：動画の処理速度・再生環境、目視による記録ミス ←動画を繰り返し観て確認が必要

電波観測単体でなく、これまでと同様目視での観測と並列で運用するのが望ましい。

#### 5. 謝辞

はくちょう座流星群を撮影した動画を提供してくださった 杉本 智 様、誠にありがとうございました。

電波観測の方法、電波の発信元などは 杉本 弘文 様の運営するHP [www.5f.biglobe.ne.jp](http://www.5f.biglobe.ne.jp) を参考にさせていただきました。

## 電波観測によるペルセウス座流星群のアンテナの向き比較

高橋 航紀、室田 響紀、市川 凜太郎、守谷 琉翔、中島 和樹（高1）【新島学園高等学校】

## 要 旨

アマチュア無線機と比較的安価なソフトウェア無線(SDR: software-defined radio)を使用して、アンテナの向きを水平方向と天頂に向けた流星電波観測で観測できる流星数を検討した。アンテナが水平方向に向けた観測より、天頂に向けた流星観測の方が流星数を多く観測した。

## 1. はじめに

比較的安価なソフトウェア無線(SDR)で流星観測への応用が可能か検討し、2020年度の群馬県理科研究発表会で同等の結果を得ることを発表した。今回はアマチュア無線機とSDR無線機を使用して、アンテナの向きで観測できる流星数に違いが生じるか検討した。流星の観測は2019年のペルセウス座流星群で行った。

## 2. 方法

流星の電波観測は福井県立大学から出ている50MHzの電波を使用して観測した。アマチュア無線の無線機iCOM.R8500を受信専用機(以下iCOM無線機)として使用し、50MHzの2素子アンテナを福井県に向けて水平に設置した。また、SDRplay社のRSP2 SDR受信機(以下SDR受信機、大きさ約10cm角)とLNA(Low Noise Amplifier ローノイズプリアンプ)を使用し、50MHzアンテナを天頂(垂直)に向けて設置した。アンテナと無線機までのケーブルは同じものを使用した。SDR無線機を受信ソフトはRSP2専用のSDRソフトSDRunoを使用した。無線機からの音をコンピューターに繋ぎ、観測ソフトMROFFTで10分ごとの画像として保存した。この画像をソフトHROViewでカウントして10分間の流星数とした。

流星電波観測は2019年8月6日から8月20日のペルセウス座流星群で行った。



写真1 RSP2 SDR受信機

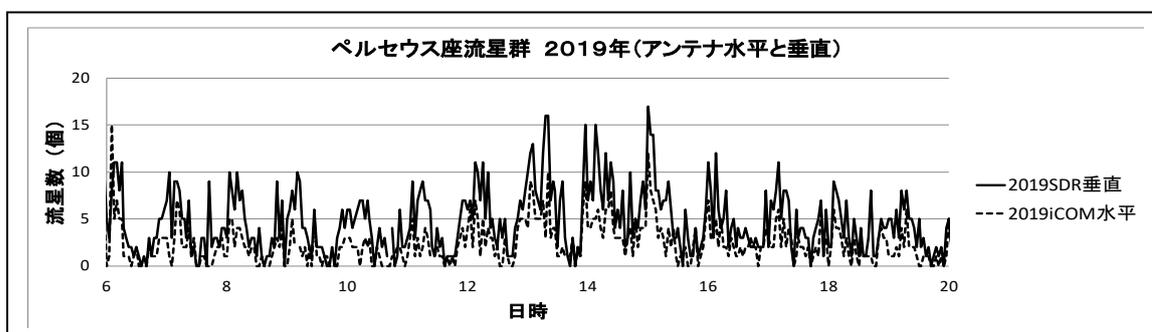


図1 ペルセウス座流星群の流星数変化

## 3. 結果

図1はアンテナが水平のiCOM受信機とアンテナが垂直方向のSDR受信機の10分ごとの画像から得られる流星数を1時間ごとに集計したグラフを示す。流星数は10分ごとに観測したROFFTの画像を目視で10dB以上のエコーをカウントした。その結果を1時間ごとに集計した。

## 4. 考察

図1より水平アンテナより垂直アンテナの方が観測した流星数が多い結果を得た。流星数の日ごとの流星数の変化の仕方は、水平垂直のアンテナともにほぼ同じ傾向を示している。図2に8月11日から8月14日までの各時間の流星数を集計して、1日の変化で比較した。アンテナが水平のときに比較して垂直の流星数は、すべての時間で2倍程度観測されている。この増加分は、垂直のアンテナのみにエコーが観測された。

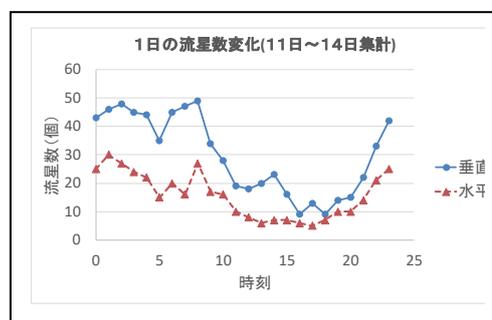


図2 1日の流星数変化(11日～14日集計)

## 5. まとめ

2020年度の群馬県理科研究発表会でiCOM無線機とSDR無線機で観測できる流星数は、アンテナが両方水平の場合同数であった。アンテナの向きを水平と垂直にして観測したときの流星数の差はアンテナの向きによる影響である。アンテナが垂直の方が水平より流星の観測数が2倍程度増加した。今後、流星の観測数の違いが生じた理由を検討する。

## 6. 謝辞

群馬県立ぐんま天文台の主幹・西原英治先生にご指導をいただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

## 7. 参考

- (1) 流星電波観測国際プロジェクトのホームページ [http://www.amro-net.jp/hro\\_index.htm](http://www.amro-net.jp/hro_index.htm)
- (2) SDRplay社製 RSP2 SDR受信機 <http://icas.to/lineup/rsp2.htm>

## 流星電波観測による主要流星群の経年変化の研究

米子工業高等専門学校科学部 : 小林 克憲 (高専2)、  
田原 凜、益田 祐希、村中 航平、吉田 健吾 (高専1) 【米子工業高等専門学校】

### 要 旨

ペルセウス座、ふたご座、しぶんぎ座流星群を数年にわたり電波観測した結果、ペルセウス座としぶんぎ座流星群については、定常的にピーク付近でロングエコー率も増加していることが示された。

### 1. はじめに

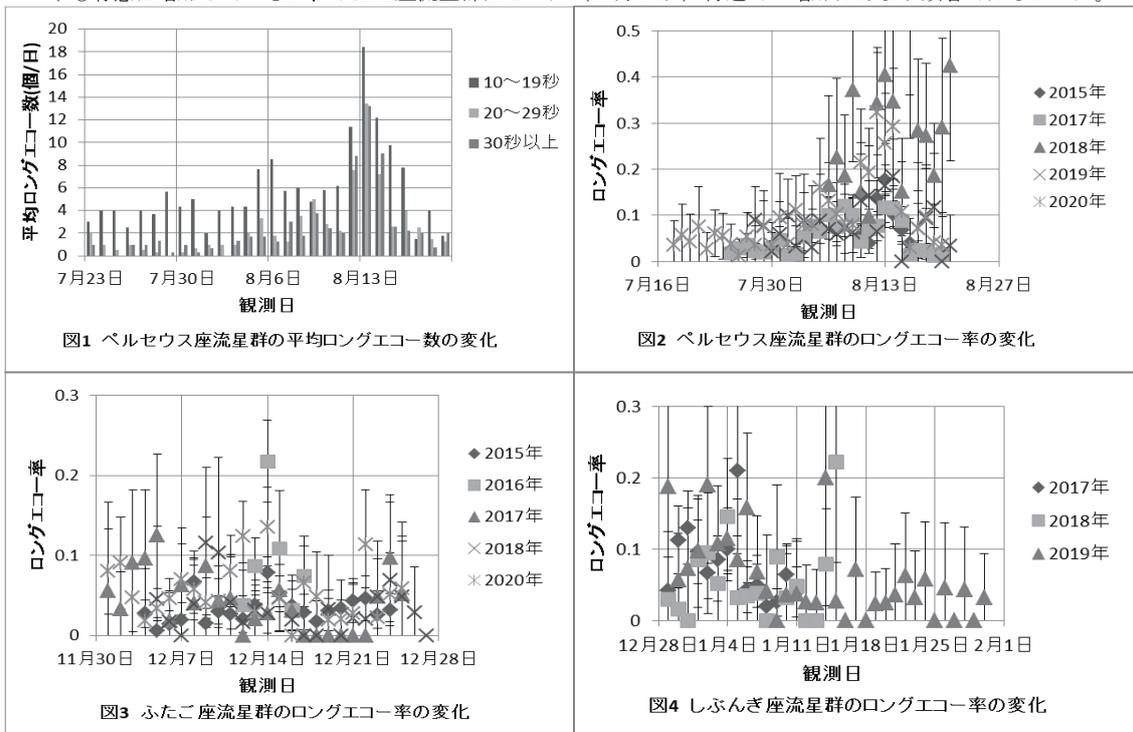
米子高専科学部は、2015年にペルセウス座とふたご座流星群の電波観測を行い、流星群のピーク付近では流星数のみならず継続時間が10秒以上のエコー（これを「ロングエコー」と呼ぶ）の割合も増加することを報告した[1]。しかし、単年の観測では増加が定常的なかはわからなかった。そこで、ペルセウス座、ふたご座、しぶんぎ座流星群を数年にわたり電波観測し、ロングエコーの経年変化に注目して解析を行った。以下その結果について報告する。

### 2. 観測と解析

私達はペルセウス座流星群を2015年、2017～2020年の5年間、ふたご座流星群を2015～2018年、2020年の5年間、しぶんぎ座流星群を2017～2019年、2021年の4年間にわたって観測し、継続時間が9秒以下、10～19秒、20～29秒、30秒以上のエコーに分類して1日あたりの発生数を計数した。なお、2021年のしぶんぎ座流星群は現在解析中である。

### 3. 結果と考察

図1にペルセウス座流星群の1日あたりのロングエコー数の5年間の平均値を示す。ペルセウス座流星群がピークとなる8月13日付近でロングエコーも増加していることがわかる。そこで、図2, 3, 4にペルセウス座、ふたご座、しぶんぎ座流星群のロングエコー率のピーク付近での変化を示した。なお、エラーバーは、ポアソン分布を仮定して、 $2\sigma$ の範囲を示した。図よりペルセウス座としぶんぎ座流星群はピーク（それぞれ、8月13日、1月4日）付近でロングエコー率も有意に増加しているが、ふたご座流星群はピーク（12月14日）付近での増加はあまり顕著ではなかった。



### 4. まとめ

ペルセウス座としぶんぎ座流星群については、定常的にピーク付近でロングエコー率も増加していることが示された。学会ではロングエコーの継続時間ごとの経年変化についても議論する予定である。

### 5. 参考文献

[1] 米子高専科学部(2016)『流星電波観測によるロングエコー率の分析』,第18回ジュニアセッション予稿集,pp.170-171.

## 小惑星デヨペヤ(184)の光度曲線と3Dモデルの検証

原 琴音、小板橋 里織 (高2) 【新島学園高等学校】

### 要旨

小惑星の形状と小惑星の光度曲線について観測している。小惑星のモデルが研究され、3Dデータがホームページ<sup>(2)</sup>に公開されている。このデータを使用して3Dプリンターで小惑星を作成した。今回は小惑星デヨペヤ(184)について検討した。作成した3D小惑星に光を当てて光度曲線を求め、実際に望遠鏡で観測して求めた光度曲線と比較検討を行った。2つの光度曲線は良い一致を示し、小惑星の3Dモデルが実際の小惑星の形状を表していることが分かった。また、光度曲線の形より小惑星の自転軸の傾きや自転方向を検討することができた。

### 1. はじめに

2020年3月の日本天文学会ジュニアセッションでは、探査機やレーダー観測によって形状が分かっている小惑星の光度曲線を観測して、小惑星の形状と光度曲線との関係について発表した。

### 2. 目的

ホームページ「3D Asteroid Catalogue」<sup>(1)</sup>の小惑星3Dデータを使用して3Dプリンターで小惑星を作成した(今後3D小惑星と呼ぶ)。3D小惑星の光度曲線と実際の小惑星の観測で得られた光度曲線を比較して、3Dモデルの検証と自転軸の傾き、自転方向の検討を行った。

### 3. 方法

小惑星の光度曲線は、西村製作所の40cmF5ニュートン式反射望遠鏡と冷却CCDカメラ、Rフィルター、コマコレクターを使用して撮影を行った。画像はダーク・フラット補正を行った後にAstroImageJとマカリで測光した。観測は、2019年1月～2月に4日間、2020年3月に3日間行った。

3D小惑星はホームページ「3D Asteroid Catalogue」のデータを使用して3DプリンターダビンチProで出力した。3D小惑星の光度曲線の観測は、LEDライトを太陽として3D小惑星に光を当てて、カメラ(地球の観測者)で撮影することにより行った。撮影したRAWデータは通常の日体観測と同様に測光した。光度曲線は、自転軸を観測者のカメラから見て左右に傾けたものと、観測者方向の前後に傾けたものについて観測した。また、3D小惑星の自転は地球と同じ順行の方向に5度ずつ1周期分回転させた。

### 4. 結果

地球と小惑星デヨペヤ(184)の軌道の模式図(図1)に示すように、90度位相の違う光度曲線を観測できた。観測結果を図2に示す。「3D Asteroid Catalogue」には2種類のモデルがあり、2種類の3D小惑星について光度曲線を求めた(図3～図6)。各図の光度曲線は、各曲線が確認できるように上下にずらしている。

### 5. 考察

3D小惑星の光度曲線図3と図5は、左右の傾きの結果でほぼ同じ形をしている。観測者に対して自転軸が左右に傾く変化では、観測者から見た時の小惑星の面がほぼ同じになっているため光度曲線に変化が現れないと考えられる。図4と図6は観測者に対して自転軸が前後に傾いた時の結果で、光度曲線に変化が現れた。前に傾いたときは小惑星の上側が見え、後ろに傾いたときは下側が見える変化が起こるため、光度曲線に変化が表れた。

本校の観測結果とモデル1とモデル2の光度曲線を比較すると、モデル2の光度曲線と良い一致をすると考えられる。図5は自転の方向が地球と同じ順行で観測した結果である。図2と比較すると図5を逆行の光度曲線にするとさらに良く一致すると考えられる。小惑星デヨペヤは逆行の自転であると予想することもできる。

図2は位相が90度異なる光度曲線であるが、曲線に大きな変化がないため自転軸の傾きは小さいと考えることができる。

### 6. まとめ

今回使用した3Dデータのモデル2は実際の小惑星の形状をよく表していることがわかった。このデータを使用して3Dプリンターで作成した小惑星の光度曲線から、自転の方向や自転軸の傾きを予想できると考えられる。

### 7. 謝辞

群馬県立ぐんま天文台の主幹・西原英治先生にご指導をいただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

### 8. 参考

- (1)「3D Asteroid Catalogueホームページ」  
<https://3d-asteroids.space/asteroids/>
- (2)「小惑星の可視観測から何がわかるか」  
安部正真 JAXA  
[http://www.toybox.rgr.jp/mp366/lightcurve/workshop/workshop2010/2010\\_Abe.pdf](http://www.toybox.rgr.jp/mp366/lightcurve/workshop/workshop2010/2010_Abe.pdf)



写真1 3Dモデルと3D小惑星

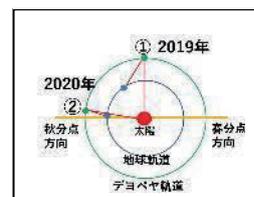


図1 軌道の模式図

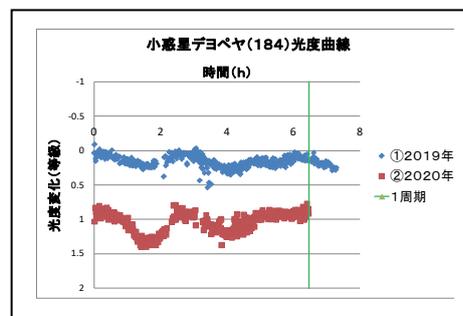


図2 小惑星デヨペヤ(184)の光度曲線

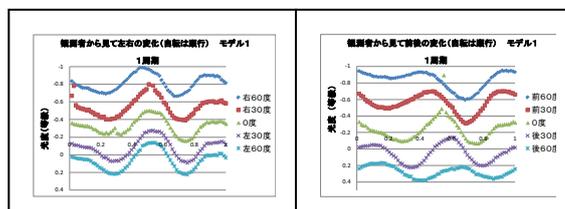


図3 モデル1(左右変化)

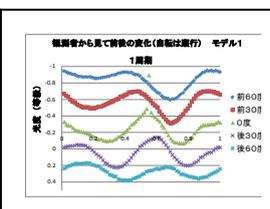


図4 モデル1(前後変化)

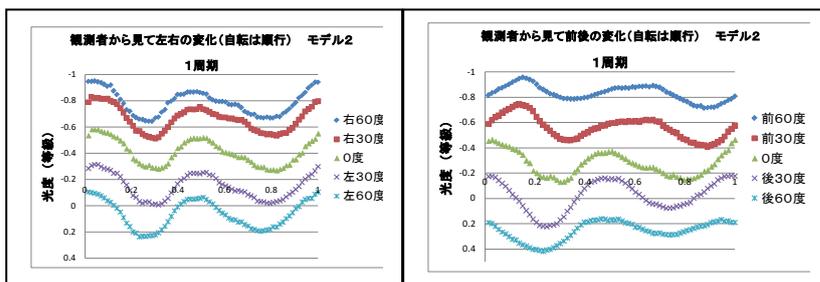


図5 モデル2(左右変化)

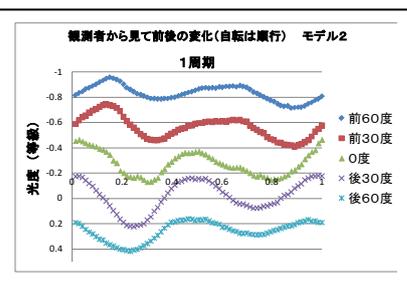


図6 モデル2(前後変化)

**The study of measurement methods of twinkling stars**

Miss Aitsaree Chotirouangnapa (Grade 11)  
[Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

**Abstract**

The purposes of this research are (1) study the measurement methods of twinkling stars and (2) study the relationship between the blinking and altitude. In this work, the blinking means the standard deviation of stars' brightness values. The observation data are taken by a DSLR camera with the 8" Schmidt Newtonian telescope at Prommanusorn Phetchaburi School in Thailand. We compare the standard deviation of the brightness from each method and create the graph between the blinking and altitude. In this study, there are three measurement methods. The first one is long exposure shot and slightly move camera. The second one is record video. And the last one is record video with Differential image motion monitor method (DIMM). The results show that the best measurement method is recording the video with the DIMM method. And the blinking inversely proportion to altitude.

**Introduction**

The first one is long exposure shot and slightly move camera at two second intervals. The second one is record video at the same duration. And the last one is record video with the DIMM method. The DIMM method is seeing measurement. It consists of instrument that used to cover the aperture of the telescope. This instrument has two small holes. It can simulate the seeing conditions. When focal plane is shifted, two virtual spots of the star will be appeared. Their time-averaged motion is proportional to the astronomical seeing.

**Method**

Part 1: the best measurement and the best precision methods.

1. Taking photos and recording videos with three methods, long exposure shot, record video, and DIMM method.
2. Measuring the brightness of the star from each method. In the DIMM method, measuring the gap between stars were also considered.
3. Calculating the blinking represented by the standard deviation (SD) of the data then comparing them to find the best measurement methods.

4. Calculating the precision represented by the SD of SD then compare them to find the best precision methods.

Part 2: the relationship between the blinking and altitudes.

1. Choosing the clearly visible stars with altitude in range  $10^{\circ} - 80^{\circ}$ .
2. Collecting data 10 times of each star at different times and transcript altitude.
3. Measuring and calculating the blinking of each star.
4. Finding the relationship by plotting a graph.

**Result**

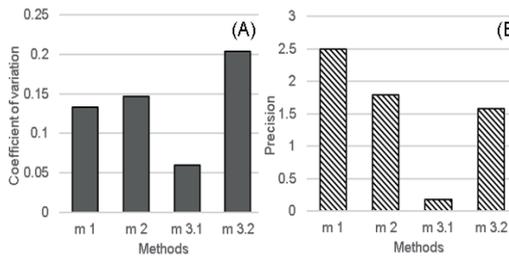


Fig 1: (A) coefficient variation of each methods.  
(B) precision of each methods

M1: taking photos method. M2: record videos method.  
M3.1: DIMM method analyzed the distance between stars.  
M3.2: DIMM method analyzed the brightness.

From the Fig 1, (A) This graph shows obviously methods. The best of obviously is M3.2 (record videos with the DIMM method and analyze the brightness.) (B) This graph shows stability of methods. The best stability is M3.1 (record videos with the DIMM method and analyze measure distance between stars.)

From the Fig 2, (A) This line graph shows trend as this equation  $y = -0.6941x + 36.927$ ,  $R^2 = 0.8657$ . (B) This line graph shows trend as this equation  $y = -0.5597x + 26.591$ ,  $R^2 = 0.5709$ .

**Conclusions and Discussion**

The best blinking measurement method is the DIMM method. According to the results, the DIMM method can obviously measure the changing in brightness of the twinkling stars. Moreover, this method can also measure precisely comparing with other methods.

The relationship between blinking and altitudes is inversion. When the altitude increases, the blinking will decrease. Because the air mass is larger when the altitude is lower. Thus, these results are relating to air mass.

**Acknowledgments**

I would like to thank Mr. Taweerak Thunphuttha my advisor and Mr. Matipon Tangmatitham, the National Astronomical Research Institute of Thailand (Public organization) for supporting the project.

**References**

Matipon Tangmatitham. (2016). Operational Analytical Study Guide. (3 Ed.). Chiang Mai: National Astronomical Research Institute of Thailand (Public organization).  
Piyawat Butsombat. (2016). Study of Factors Affecting the Trend of Stellar Flash Rate. The 1<sup>st</sup> Thai astronomical conference (student session). National Astronomical Research Institute of Thailand (Public organization).  
Ioannis Nestoras. (2009). The Theory Behind Seeing-GR and DIMM. Retrieved 29 October 2019, from [https://www.astro.auth.gr/~seeing-gr/seeing\\_gr\\_files/theory/node14.html](https://www.astro.auth.gr/~seeing-gr/seeing_gr_files/theory/node14.html)

## The Study of Factors Affecting the Brightness of Venus

Miss Kwunpee Onnorm (Grade 11)

[Demonstration school of Phuket Rajabhat University, Phuket, Thailand]

### Abstract

The purpose of this research is to study the factors affecting the brightness of Venus. In this work, the data was observed between January 3<sup>rd</sup>, 2020 - May 6<sup>th</sup>, 2020 by refracting telescope and using CCD camera to record photographs. The light metering was performed by the photometry method. The results of daily light photometry were graphed to correlate with factors expected to influence brightness of Venus including distance from the Earth and illumination. The database was analyzed by the Stellarium program. The distance from the Earth is the factor that affect on brightness of Venus. Venus is the brightest, when Venus's orbit lies closer to the Earth because Venus has the more apparent diameter along with having appropriate illumination.

### Introduction

Venus is so bright that it becomes the third brightest object in the sky after the Sun and the Moon. Venus looks like a moon-like crescent which allows observers through the telescope. Therefore, when you were observing Venus daily, Venus may change its brightness every day, so the researcher is interested on the factors that affect the brightness of Venus, including distance from the Earth and illumination.

### Methodology of research

#### 1. Data Collection

1.1 Determine the location and range data by selecting data collection after an hour of sunset. The storage facility is the South West Meteorological Department Phuket, which collects data from January 3<sup>rd</sup>, 2020 to May 6<sup>th</sup>, 2020

1.2 Observation was recorded by the Meade LX85 SERIES 5 refracting telescope, lens diameter 120 mm, focus length 700 mm, and recording with CCD camera model ASI224MC. It was controlled through the MaxIm DL 5 program by recording 4 frame types. Light and Dark images have exposure time of 0.0004 seconds for each image.

#### 2. Data analysis

2.1 Analyze the photometry by performing photometry metering in the Iris program, then consider the similar brightness values of each day while considering the brightness trend from the previous day and analyzed for an average.

2.2 Collect data on factors that affect the brightness of Venus, including distance from the Earth and Illumination using daily database from Stellarium program.

2.3 The mean daily brightness of Venus graphed their correlation with factors studied in Microsoft excel. Then determined the trend of brightness of Venus with the factors studied.

### Result and Discussion

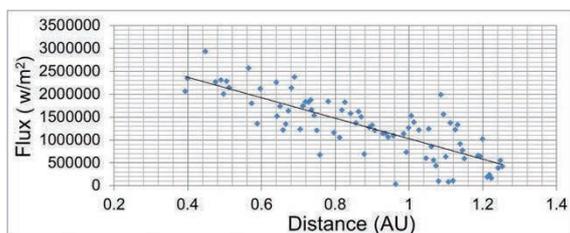


Fig 1. Distance from the Earth.

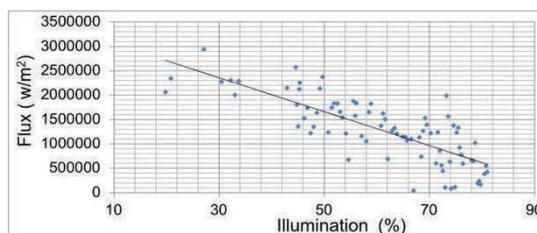


Fig 2. Illumination

### Conclusions

The brightness of Venus was influenced by two factors. For the first factor, distance from the Earth affects the brightness of Venus, when Venus moves closer to the Earth, Venus becomes brighter (shown in Fig 1) and the distance from the Earth effects the apparent diameter of Venus, with the brightness of Venus likely to increase as Venus becomes more apparent in diameter. Moreover the distance from the Earth related to the elongation, elongation is less when Venus moves closer to the Earth. The second factor is Illumination, Venus' brightness increases as Venus has lower illumination (shown in Fig 2). Illumination of Venus is related to the elongation. When considering various factors found that the brightness of Venus each day has changed. It is influenced by the above two factors including distance from the Earth, illumination and the apparent diameter. The Venus is the brightest when Venus lies closer to the Earth because Venus has the more apparent diameter along with having appropriate illumination.

### Acknowledgments

I would like to thanks Mr. Nattapong Songumpai, Mr. Smanchan Chandaiam Astronomy Public Outreach Officer, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization) and my family for their encouragement.

### References

Romanized Title [SOLAR SYSTEM (3<sup>rd</sup>)]. Chang Mai: National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization) and Matipon Tangmatitham. (2016) Romanized Title [Astronomy Workshop Study Guide]. Chang Mai: National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization)

## A Study of Nuclear Reaction of Hypergiant Stars Based on Their Photographed Spectral Lines

Miss Thirakorn U-pantha (Grade 12)

[Khoksawangkhumwittayanusorn School, Ubon Ratchathani, Thailand]

### Abstract

This study aimed to discover the elements of hypergiant stars and their ratio of hydrogen and helium abundances based on their spectral lines which were photographed by the telescope at the observatory in Nakhon Ratchasima. The results showed that O-, B-, A-, F-, G-, and M-type stars had the same elements including H, Na, Fe and He. However, Mg could be found only on the surface of A-, F-, K- and M-type stars. Moreover, it was found that the ratio of hydrogen and helium abundances of O-, B-, A- and F-type stars was more than 1. Among those stars, A-type stars had the highest of that ratio which was 2.97. Unlike those stars, the ratio of hydrogen and helium abundances of K- and M-type stars was less than 1 and K-type star had the least of that ratio which was 0.83.

### Introduction

The stars are classified according to their spectral lines into 7 types: O, B, A, F, G, K and M [1]. In addition, luminosity classes of stars are subdivided into 8 classes: Hypergiant, Supergiant, Bright giant, Giant, Subgiant, Main sequence, Subdwarf and White dwarf [2]. In this study, the elements of all types of stars whose luminosities were within the hypergiant class were studied and chosen using the purposive sampling technique.

### Materials and Method

1. The spectral lines of the hypergiant stars which had been chosen by the telescope at the observatory in Nakhon Ratchasima were photographed.
2. The photographs were processed and their noise was reduced using ISIS software. Then, the processed photographs were analyzed using Visual Spec in order to explore the stars' elements and their ratio of hydrogen and helium abundances. After that, the elements of those stars were compared.

### Results and Discussion

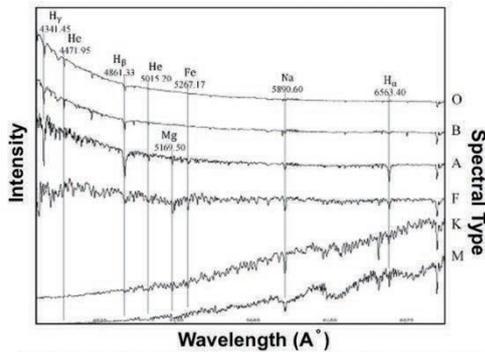


Figure 1: The relation between the intensity and wavelength of each type of stars

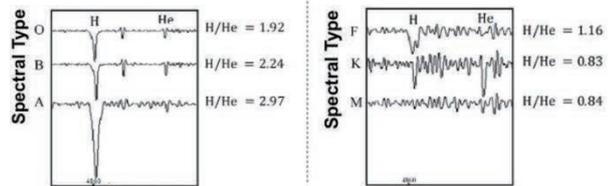


Figure 2: The position of hydrogen and helium absorption lines and the ratio of hydrogen and helium abundances of each type of stars

Figure 1 shows that there are eight wavelength positions of absorption features gained by using Visual Spec which calculated wavelengths in Angstroms. The wavelength positions included  $H_{\alpha}$  (6563.40  $\text{\AA}$ ), Na (5890.60  $\text{\AA}$ ), Fe (5267.17  $\text{\AA}$ ), Mg (5169.50  $\text{\AA}$ ), He (5015.20  $\text{\AA}$ ),  $H_{\beta}$  (4861.33  $\text{\AA}$ ), He (4471.95  $\text{\AA}$ ), and  $H_{\gamma}$  (4341.45  $\text{\AA}$ ). Among those, the six wavelength positions of absorption features including  $H_{\alpha}$  (6563.40  $\text{\AA}$ ), Na (5890.60  $\text{\AA}$ ), Fe (5267.17  $\text{\AA}$ ), He (5015.20  $\text{\AA}$ ),  $H_{\beta}$  (4861.33  $\text{\AA}$ ), and He (4471.95  $\text{\AA}$ ) can be found in spectral lines of all types of stars. However, the wavelength position  $H_{\gamma}$  (4341.45  $\text{\AA}$ ) can be found only in the spectral lines of O-, B- and F-type stars. Furthermore, the wavelength position Mg (5169.50  $\text{\AA}$ ) can be found only in the spectral lines of A-, F-, K- and M-type stars.

According to Figure 2, the full width at half maximum (FWHM) ratio of hydrogen and helium abundances of O-, B-, A- and F-type stars was more than 1. Among those stars, A-type stars had the highest of that ratio which was 2.97. Unlike those stars, the ratio of hydrogen and helium abundances of K- and M-type stars was less than 1 and K-type star had the least of that ratio which was 0.83.

### Conclusions

The study revealed that O-, B-, A-, F-, G-, and M-type stars had the same elements including H, Na, Fe and He. Moreover, Mg could be found only on the surface of A-, F-, K- and M-type stars. This finding was in accordance with a study conducted by Aurora Y. et al. who studied the spectral lines of different types of stars. Regarding their study, it was found that Mg was the element of A-, F-, G-, K- and M-type stars only. It also showed that the ratio of hydrogen and helium abundances of O-, B-, A-, and F-type stars was more than 1. Unlike those stars, the ratio of hydrogen and helium abundances of K- and M-type stars was less than 1.

### Acknowledgments

I would like to express my special thanks of gratitude to my teacher, Mr. Supachai Channgam, who gave me the wonderful opportunity to do this project and also helped me in completing the project. Also, I would like to extend my gratitude to Mrs. Kotcharat Channgam for improving my English presentation skills and giving me with a lot of good advice about writing and speaking in academic English. Moreover, I am also grateful to Mr. Samarncham Chan-iam, the National Astronomical Research Institute of Thailand (NARIT) and the Institute of the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST) for their wonderful support of the project.

### References

- [1] Wikipedia. (2018). Stellar classification. Retrieved December 24, 2019, from [https://simple.wikipedia.org/wiki/Stellar\\_classification](https://simple.wikipedia.org/wiki/Stellar_classification)
- [2] LESA. (2017). stars. Retrieved December 24, 2019, from <http://www.lesa.biz/astronomy/star/starbirth>

## The Study of Stellar Population in Open Star Clusters

Miss Aiyarin Wuttiasthiyanond (Grade11)  
 [Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

### Abstract

The purposes of this research to study the spectrum type ratio of star and Initial Mass Function (IMF) of open clusters. In this work, the databases were taken from SAOImageDS9 and SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). This data contains apparent magnitude in B and V filter. We create the color-magnitude diagram (CMD) to select only main-sequence stars. The relationship between the number of stars and the stellar masses in term of solar mass is described by power law. The results show that the ratio of stellar spectrum types of the open cluster in the view facing out the center of the galaxy has the ratio of F-type stars more than the other side. And from the analysis of the IMF shows that the open clusters in the view toward the center of the galaxy have more massive stars than the other side. This indicates that the Milky Way galaxy in the view facing its center is denser than the other side.

### Introduction

The star cluster in the view facing means the cluster with galactic longitude coordinate in range  $0^\circ - 90^\circ$  E and W. Likewise, the other view means the cluster with galactic longitude coordinate in range  $90^\circ - 180^\circ$  E and W. We use the magnitude in V filter and color index to construct the CMD and find the stellar mass from the mass-luminosity relation. In this study, we are interested in studying the different population proportions of each type of stars and the initial mass function of the open clusters in each viewpoint.

### Materials and Method

#### PART 1: The ratio of spectrum type

1. Grouping open clusters using the galaxy's longitude coordinate system and choosing which side of each clusters are.
2. Collecting information about apparent magnitude in B and V filter of the stars in each open cluster from SAOImageDS9 and SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg).
3. Plotting CMD of each open cluster and selecting only main sequence stars.
4. Determine the mass of each stars in term of solar mass by using the criteria for classification of the spectra from the color index.

#### PART 2: Initial Mass Function

1. Calculating the stellar mass of each star using the mass-luminosity relation.
2. Dividing the mass into 7 equal periods.
3. Counting the number of stars in each period and calculating the average mass for each view.
4. Dividing the stellar mass in each period by the number of stars in that period.
5. Plotting the logarithm graph to find the relationship between the number of stars and the stellar masses in term of solar mass.

### Result

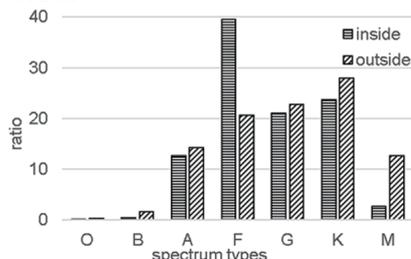


Figure 1: comparing the ratio of each spectrum type.

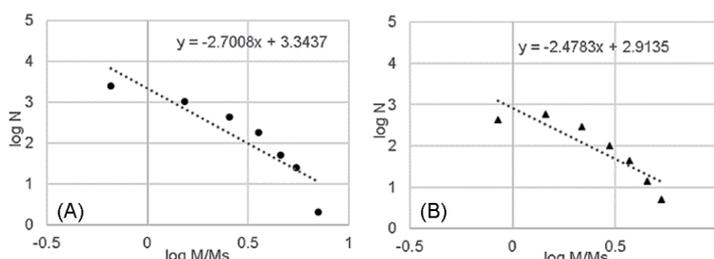


Figure 2: (A) power law of the view facing out the center of the galaxy. (B) power law of the view facing the center of the galaxy

From the Figure 1, the open clusters in the view facing out the center of the galaxy has the ratio of F-type stars more than the other side. According to Figure 2, the equation of (A) is  $y = -2.7008x + 3.3437$  and the equation of (B) is  $y = -2.4783x + 2.9135$

### Conclusions and Discussion

#### PART 1 The ratio of spectrum type

The star cluster in the view facing the center of the galaxy has the ratio of spectral type O B A F G K and M as follow 0.26, 1.51, 14.19, 20.68, 22.77, 27.93, and 12.59, respectively. And the other view has the ratio of spectral type as follow 0.07, 0.41, 12.57, 39.55, 21.05, 23.73, and 2.61, respectively. The ratio of spectrum types of the stars in the view facing out the center of the galaxy has the ratio of F-type stars more than the other side.

#### PART 2 Initial Mass Function

According to the analysis of the power law, the IMF of each side are obtained. From the graph in Figure 1, the IMF of the open clusters in the view facing out and in the center of the galaxy are  $y = -2.7008x + 3.3437$  and  $y = -2.4783x + 2.9135$ , respectively. We get the relationship between the number of stars with mass M ( $N(M)$ ) and the size of mass M as follow  $N(M) = 940 \times M^{-2.4783}$  for the view facing the center of the galaxy and  $N(M) = 2206 \times M^{-2.7008}$  for the view facing out the center of the galaxy. Consequently, the densities of the massive stars in the cluster in the view facing the galaxy is greater than the cluster in the view facing out the galaxy. This indicates that the open cluster in the view facing the center of the galaxy have more massive stars than the other side.

### References

- [SIMBAD Astronomical Database - CDS \(Strasbourg\)](http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/). Retrieved 15 January 2020. From <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>  
 Zombeck, M. V. (2007). *Handbook of space astronomy and astrophysics*. Cambridge University Press.  
 Matipon Tangmatitham. (2016). *Operational Analytical Study Guide*. (3 Ed.). Chiang Mai: National Astronomical Research Institute of Thailand (Public organization).

**The study of determining and comparing open and globular clusters ages by HR-diagram**  
 Miss Chalisa Srikum (Grade 10)  
 [Varee Chiangmai School, Chiangmai, Thailand]

**Abstract**

This research aimed to calculate the age of open and globular clusters and compare them with each other. In this research, B and V filters observation was conducted using 0.7-meter Thai robotic telescopes in Springbrook, Australia and Sierra, America. From the observation data, HR-diagrams of open and globular clusters were compared with standard HR-diagrams.

**Introduction**

Hertzsprung – Russell diagram (HR diagram) is a diagram that can determine the age of the cluster. Stars spend most of their lives in the main sequence. Stars which become red giant will move out of the main sequence to the upper right called the turnoff point. The turnoff point can help estimate the age of clusters.

**Material and methods**

First, take photographs of globular and open clusters using NARIT's robotic telescopes by B and V filters. Secondly, the data were taken into AstromageJ program and Aperture Photometry Tool program to find dimensionless of each star. After that, find the reference star's magnitude from SAOImage DS9 program. The diagram is created with X-axis as B – V filter value and Y-axis of V filter magnitude, that we call HR-diagram. From HR-diagram, compared the turnoff point with the stellar classification table to find the star's mass. And then, we can calculate the age of clusters using the following equation,

$$T = 10^{10} (M/M_{\text{sun}})^{-2.5}$$

T = the cluster's age      M = star at turnoff point mass       $M_{\text{sun}}$  = the Sun's mass

Plotting an isochrone is another way to find cluster's age using the information from CMD 3.3 input form database.

**Result and Discussion**

After creating diagrams, B-V values were compared with stellar classification table to find the mass and calculate into an equation. The results are shown in the table. Then the results are compared with other researchers' results to find error of this research.

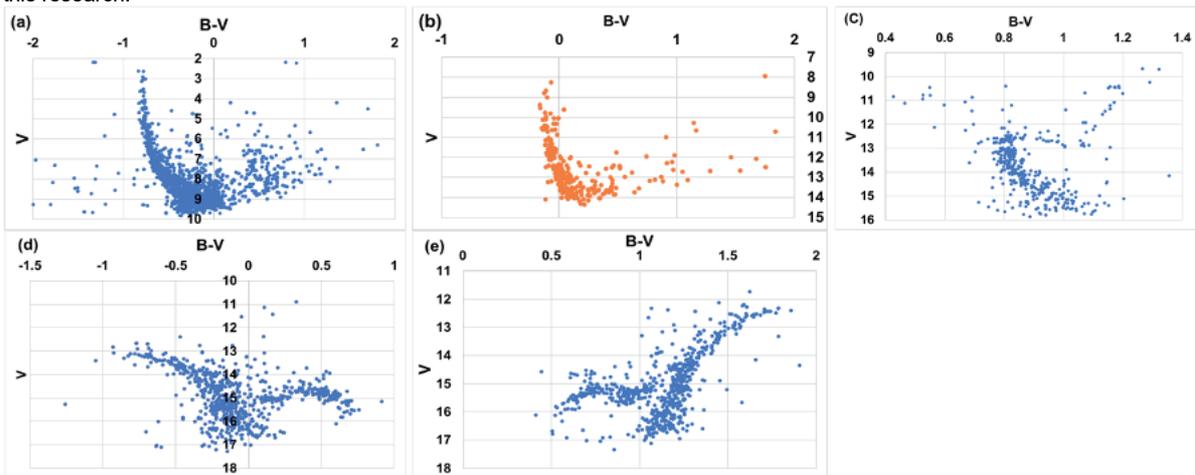


Fig 1. Show HR-diagrams (x-axis as B-V filter value and Y-axis of V filter magnitude) of (a) NGC 3766 (b) NGC 4755 (c) M67 (d) M5 and (e) M3

Table 1. Compared ages of each open clusters

Clusters	Reference	Calculation	Calculation error	Isochrone
NGC 3766	30 million	5 - 10 million	66.7 %	30 million
NGC 4755	7 - 15 million	16 million	45.5 %	15 million
M67	3 - 7 billion	1.3 - 1.7 billion	53.0 %	4 - 5 billion

**Conclusion**

The way to calculate the open clusters' ages still gives a lot of error. As the result of globular cluster diagrams, they are needed to be compared with other researcher diagrams. Globular cluster diagrams are needed to be compared. M3 has the age of 10 billion years old and M5 is 13 billion years old. There are some open clusters which is really old such as M67.

**Acknowledgement**

I would like to take this opportunity to express my grateful gratitude to my advisor, Mr. Sarawut Pudmale, Miss Phatcharida Yangyuenjaroensuk and Miss Pranita Sappankun, Varee Chiangmai school, NARIT, and my family.

**Reference**

J'org Sanner et al. (2001). Photometric and kinematic studies of open star clusters III. NGC 4103, NGC 5281, and NGC 4755. Germany: Sternwarte der Universit'at Bonn

## Determination of the Hubble Constant using Supernova Ia

Mr. Prin Duangsuwan (Grade 10)  
 [Varee Chiangmai School, Chiangmai, Thailand]

### Abstract

Supernova Type Ia is considered a standard candle because the absolute magnitude can be approximated. Supernovae that are included in this research is SN2012fr and SN2020hvf which the photos that are taken will be analyzed by AstrolmageJ. The output of the program is the apparent magnitude which can be used to calculate the distance and combine it with the recessional velocity in order to determine the Hubble Constant.

### Introduction

Big bang theory is all about how the universe started. It is the most reliable theory that scientists rely on in the present. This is because it has lots of evidence such as Supernovae type Ia. It is considered a standard candle because the absolute magnitude can be approximated which is about -19.3 mag. The absolute magnitude of it can be used to calculate the distance which leads to the Hubble constant.

### Material and methods

First, supernova type Ia were taken by NARIT Thai Robotic Telescope (PROMPT8, 0.6 meter robotic telescope at Cerro Tololo Inter-American observatory (CTIO) and 0.7 meter, Gao Me Gu in kumming china). The photos were taken every day continuously. Second, the photos were analyzed by AstrolmageJ to find the apparent magnitude of the supernova type Ia from the flux as shown as:  $m - m_{ref} = -2.5 \log(\frac{F}{F_{ref}})$  The apparent magnitude of supernova Ia that were taken each day will be created as a graph of the relationship of apparent magnitude and Julian date. Third, the exact absolute magnitude was calculated by the peak of the relationship of apparent magnitude and Julian date with:  $M_{max} = a + b[\Delta m_{15} - 1.1]$  Next, the distance of supernova Ia can be calculated from the information above by:  $m - M_{max} = 5 \log(d) - 5$  After that, The Open Supernova Catalog database was used to find the recessional velocity [4]. Finally, the Hubble Constant was calculated by the relationship of recessional velocity and distance

### Result and Discussion

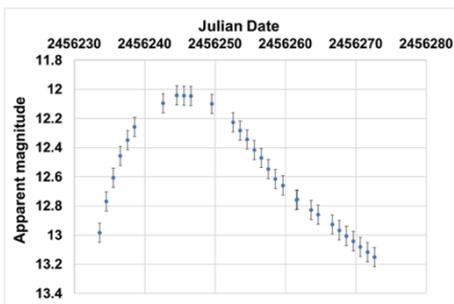


Fig 1. Showing the relationship of the apparent magnitude and Julian date of SN2012fr

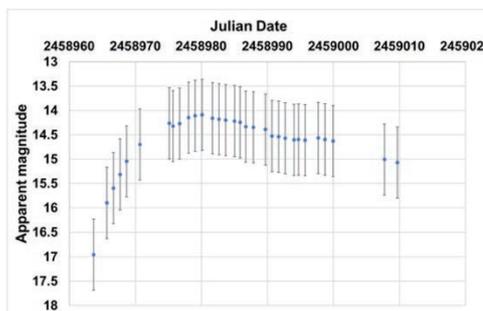


Fig 2. Showing the relationship of the apparent magnitude and Julian date of SN2020hvf

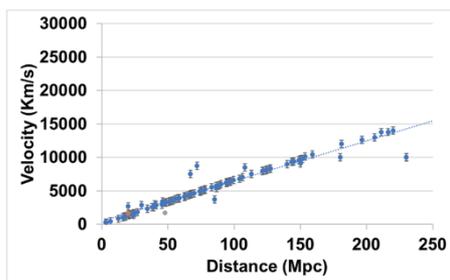


Fig 3: Relationship of velocity and distance

The photos were taken and analyzed each day which is shown in figure 1 and 2. The peak of the graphs were used to calculate the maximum absolute, which is -19.18 mag and -19.08 mag for SN2012fr and SN2020hvf respectively. The distance that was calculated was 17.52 Mpc and 1750.19 Mpc for SN2012fr and SN2020hvf respectively. The Hubble constant that was determine by the slope of figure 3 was 59.935 km/s/Mpc.

### Conclusion

The Hubble constant that was determined is 59.935 km/s/Mpc. According to NASA, the present Hubble constant is 73.8 km/s/Mpc so it's an 18.79% error.

### Acknowledgement

I would like to express my deepest appreciation to NARIT. I would like to thank my advisor Sarawut Pudmale, Mr. Jessada Keeratibharat and Ms Pranita Sappankum who helped me make this project possible

### Reference

Sabour, Mohamed. (2009). Determination of the Hubble Constant using Cepheids. (Astronomy). Bucharest. Astronomy Department, Faculty of Science, Cairo University.  
 Christopher R. Burn. (2011). The Carnegie Supernova Project: Light curve fitting.(Astronomy).America.Observatories of the Carnegie Institute for science.

# 70年間にわたる黒点観測データの分析から太陽の活動を探る

立川高校天文気象部：  
 浜島 悠哉（高3）【東京都立立川高等学校】

## 要旨

立川高校天文気象部の黒点観測記録から黒点の自転周期を計算し、差動回転の傾向を分析した。また、太陽活動の新たな指標として黒点の面積に着目し、黒点相対数との関係を調べた。その結果、本校の観測記録からは差動回転の傾向がみられ、黒点相対数と黒点面積には相関があることがわかった。

### 1. はじめに

本校天文気象部では、1947年から70年以上にわたって黒点観測を行ってきた。観測が途切れた時期もあったが、現在も部員が交代で観測を行っている。2015年には、先輩方が約5500日分のデータをまとめて連続グラフを作成し、公共観測機関と概ね一致することを明らかにした(\*1)。また、2016年には、黒点の移動をもとにした太陽の差動回転に関する研究を始めた(\*2 ※差動回転とは緯度によって太陽表面の自転速度が異なることである)。本研究では、太陽活動を表す新たな指標として、黒点面積と黒点相対数の関連について分析し、差動回転については先行研究に新たなデータの追加と見直しをして、詳細な分析と考察を行った。

### 2. 方法

#### 【黒点の移動から自転周期を調べる】

黒点の自転周期を以下の方法で求めた。本研究では先行研究の53件に加え、25件のデータを追加した。また、過去の計測データを見直し、精査した。

- 1) スケッチから数日間追跡できる黒点群を選び、太陽面経緯度図を用いて1日当たりの経度変化を読みとる。式Aにより自転周期を求めた。
- 2) 黒点の太陽面上の平均緯度 $\phi$ と自転周期の関係を、最小二乗法、及びRANSACという外れ値を考慮した手法で求め理論値と比較した。理論値 $T_s$ は、理科年表の対地球自転周期 $T_{sr}$ の式に地球の公転周期 $T_E$ を考慮した式Bで求めた。

$$\text{式A： 自転周期[日]} = \frac{360^\circ}{(1\text{日あたりの経度変化}^\circ / \text{日}) + \frac{360^\circ}{365\text{日}}}$$

$$\text{式B： } T_s = \frac{1}{\frac{1}{T_{sr}} + \frac{1}{T_E}} \quad \text{但し、 } T_{sr} = 26.9 + 5.2\sin^2\phi$$

#### 【黒点相対数と黒点面積の関係】

- 1) 画像データから黒点を検出し、面積を求めるプログラムを作成する。国立天文台HPから太陽の白色光全面画像(1997~2019年)約5000件を入手し、明るさの不連続な変化を輪郭として黒点の検出を行うプログラムをPythonで作成した。
- 2) 1)で得られた黒点の面積と本校の黒点相対数をグラフ化して比較し、関係について調べた。

### 3. 結果と考察

#### 【黒点の移動から自転周期を調べる】

黒点の平均緯度と自転周期の関係を最小二乗法で求めた推定曲線のグラフ(図1)では、概ね差動回転の傾向を示した。しかし、RANSACを用いた推定曲線のグラフ(図2)では太陽の自転周期は赤道付近で最小になっておらず南半球側にずれが見られた。今後は観測データを北半球と南半球に分け、南北の違いについて分析していきたい。

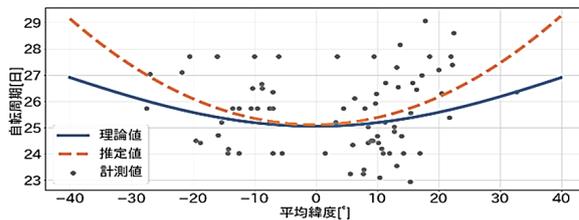


図1 平均緯度と自転周期の関係(最小二乗法)

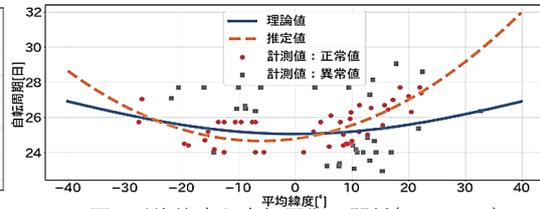


図2 平均緯度と自転周期の関係(RANSAC)

#### 【黒点相対数と黒点面積の関係】

黒点の面積と、本校の黒点相対数を月平均で比較したところ、増減の傾向はほぼ一致した(図3)。また、黒点の面積と相対数には強い正の相関が見られた(相関係数0.92)。作成したプログラムを応用し、本校のスケッチをスキャンして面積を求めることも検討したが、黒点以外の書き込みが検出され、非常に難しかった。

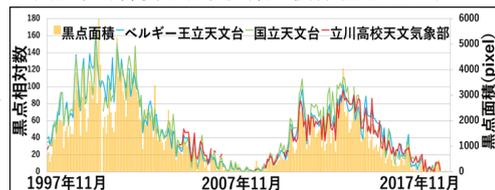


図3 黒点面積と黒点相対数の比較

### 4. 今後の展望

黒点面積について、我々のスケッチから求めるには困難があったため、フィルタを用いた可視光画像を撮影して測定する方法を検討している。今後、日々の観測に追加していきたい。また、近年は観測衛星などの情報を毎日Webで入手できる時代であり、手でスケッチをすることの意義が問われているが、本部ではスケッチ観測を今後も継続すると同時に、撮影画像やwebデータの活用も含めて研究を進めていきたい。

### 5. 参考文献

国立天文台HP ([https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/db\\_cal.html](https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/db_cal.html))、理科年表 2019

\*1 本校 野坂敦史「70年間に及ぶ太陽黒点観測の成果」日本天文学会2015年春季ジュニアセッション09

\*2 本校 樋口陽光「黒点の移動から太陽の自転周期を求める」日本天文学会2016年春季ジュニアセッション32

## 太陽の黒点相対数と磁気嵐の関係 4

巣鴨中学校 地学班  
河南 佳吾、小林 倫登（中3）【巣鴨中学校】

## 1. はじめに

我々は毎週水曜日の昼休みに屋上で太陽黒点を観測している。そこから我々は黒点や磁気嵐などの事象に興味を持ち、第21回ジュニアセッションにてサイクル21の太陽の黒点相対数と磁気嵐の関係を日単位でグラフ化しまとめた。今回新たにサイクル24が終了したためまとめることにした。そこで観測所や研究所による観測データにもとづいて太陽の活動周期のサイクル24にあたる2009年1月から2020年12月まで、グラフを作成し、両者の関係を調べることにした。

## 2. 目的

第21回ジュニアセッションにてサイクル21では黒点相対数と磁気嵐の発生数には関係があったためサイクル24でも同じことが言えるのか調査する。

## 3. 方法

- 1) サイクル24の該当期間の日別の太陽の黒点相対数を、Solar Influences Data Center (SIDC) から入手した。
- 2) 磁気嵐の発生日時を気象庁地磁気研究所のウェブサイトから入手し、そこから1日あたりの発生回数を求めた。
- 3) 求めたデータから磁気嵐の発生回数と黒点相対数の30日移動平均のグラフを作成した。なお、ここでは30日分の各データを平均した。

## 4. 結果

サイクル24では、黒点相対数と磁気嵐の関係は、図1のように変化した。

## 5. 考察

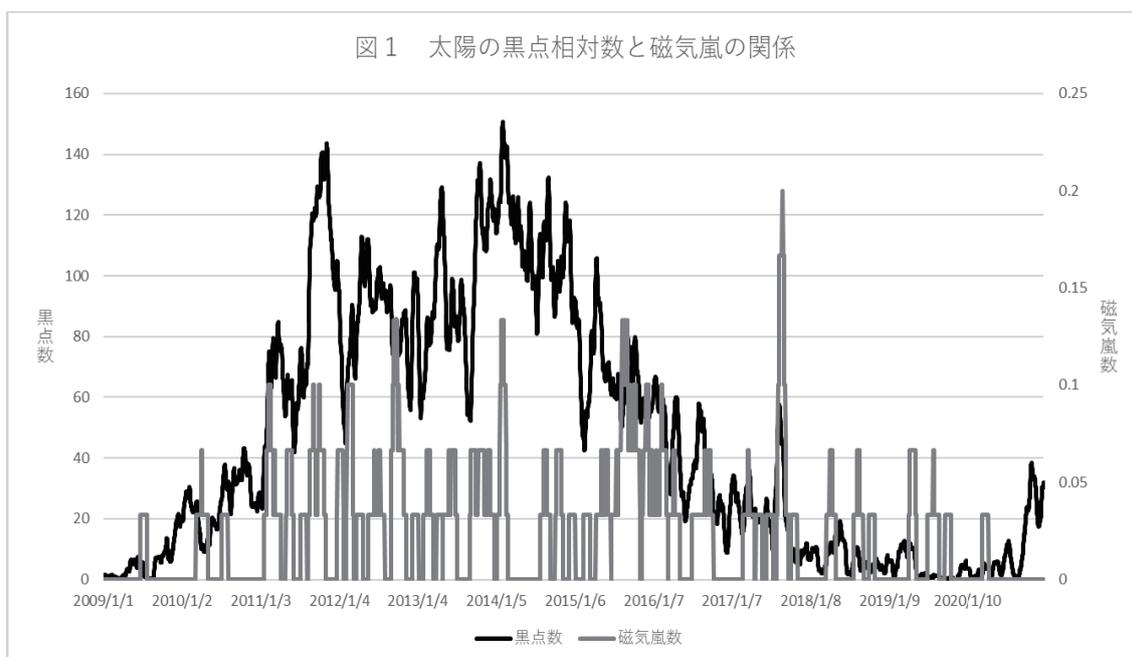
- 1) サイクル24内にて2011年に黒点相対数が上昇し、その後一度減少したが2014年に再び黒点相対数が増加しピークになりその時には磁気嵐も共に増加した、また2017年に磁気嵐がピークになり、黒点相対数もまた周りより増加していた。このことからサイクル24もまた発生数に関係があることが言えた。
- 2) 第21回で出た結果と比べるとサイクル24の黒点相対数の最高値が約150、磁気嵐の最高値が約0.2に対し、サイクル21の黒点相対数の最高値は約300、磁気嵐の最高値は約2.5となっておりサイクル24の黒点相対数の数も磁気嵐の数も全体的に減少していることから、サイクル24は太陽の活動がサイクル21に比べ、活発ではないと言える。

## 6. 今後の課題

今回は黒点相対数が一度減少した後再びピークになっている。同じ様なことが他のサイクルでも起こるのか今後調べていきたいと思う。

## 7. 参考資料

- ・SIDC <http://www.sidc.be/sunspot-data/>
- ・気象庁地磁気観測所  
<http://www.kakioka-jma.go.jp/obsdata/obsdata.html>



## 太陽活動領域の観察研究

富澤 佑介、斎藤 綾乃、箭内 宏 (高2)、大谷 由貴菜 (高1) 【駿台学園高等学校】

### 要 旨

駿台学園天文部では、昨年度に製作した衛星電波受信アンテナによる太陽電波観測装置を使用して、いろいろな方法で太陽電波の観測実験を行った。まず最初に、衛星電波を利用して、アンテナのビームパターンの測定を行った。また太陽電波の観測の際には、天頂方向と地面の方向の電波強度観測をセットで同時に行った。さらに、観測データには各種の特徴的な雑音が入っていることがわかったので、これらを除去する方法を考察した。

#### 1. はじめに

昨年度のジュニアセッションで、衛星アンテナを利用した太陽電波観測装置およびデータ記録装置の製作について報告した。これは、市販の衛星放送受信アンテナと受信ブースターを使用して受信した電波を、検波回路とAD変換素子を通してデジタル信号とし、ラズベリーパイパソコンに取り込んで記録するというものであった。前回の試験的な観測では、衛星電波の強度として10mV程度の出力が得られている。ただし、信号にはいろいろな種類の雑音が入っており、今回はこれらの雑音の除去が残された課題となっていた。

#### 2. 50Hz の雑音信号の除去

電気回路を連結する結線から50Hzの雑音信号が入り込むので、結線はできる限り短くし、また回路全体をブリキ製のケースに収納した。その結果、雑音振幅は2mV程度まで減少した。また測定データは1m秒単位で取得したものを100個平均するようにして、50Hz雑音はほぼ消去された。

#### 3. パルス状の外部雑音とその除去

実際に電波観測を行ってみると、不規則なパルス状の雑音電波が混入していることがわかった。これまでのところ2種類のパルス雑音が認められ、一つはほぼ30秒周期で発生(図1)、もう一つはほぼ3分の1秒周期であった。いずれも不定期に発生し、原因は不明である。

これらのノイズについては、記録した太陽電波をNumbersなどの表計算ソフトを用いて観察し、ノイズを手動で取り除いた。今回は測定値が1.4mV以上の記録をノイズと見做し、削除を行った。

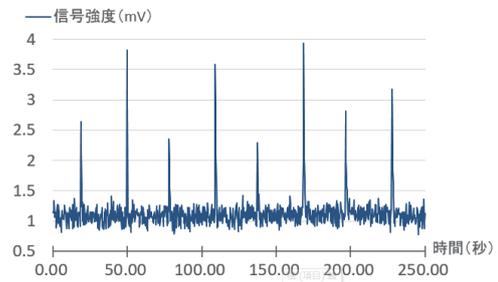


図1 電波観測によって得られたデータ

#### 4. アンテナのビームパターンの測定

衛星放送受信用アンテナの受信感度の角度分布(ビームパターン)を、放送衛星電波を利用して測定した。アンテナは望遠鏡の赤道儀架台に設置してあるので、赤道儀の赤経回転を早送りすることによって測定した。結果は右図のようになった。図2のように、ビームの半値幅は約5°であった。

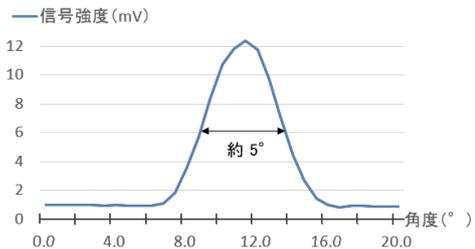


図2 アンテナのビームパターンの測定

#### 5. 太陽電波の観測例

月 日	天頂	地面	太陽	黒点
2月 1日	0.75	1.24	1.14 - 1.20	なし
2月 6日	0.74	1.15	1.06 - 1.14	なし
2月 8日	0.73	1.16	1.09 - 1.17	なし
2月13日	0.66	1.08	1.00 - 1.02	なし

表1 太陽電波の観測例。

2月に入ってからの太陽電波観測例は、左の表のようであった。パルス状雑音を除いた後の測定値のばらつきの標準偏差は、どれもほぼ0.11mVであった。

また、天頂方向の強度に対する地面の強度は0.41~0.49mV、太陽の強度は0.32~0.45mVである。

#### 6. 今後の課題

今回の観測はすべて太陽黒点が認められない状況で行われたので、太陽の受信強度は地面の受信強度よりも小さかった。今後も観測を続けて、黒点や活動領域の認められる状況で観測を行い、今回と比較する必要がある。

## 半影月食のRGB分析

國學院大學栃木高等学校天文部RGB班：

堀米 琴音、熊倉 有希（高3）、井原 翼、山中 陸叶（高2）、徳永 祐太（高1）

【國學院大學栃木高等学校】

### 要 旨

私たち天文部は2020年11月30日に本校天体ドームにてIRフィルターを外し改造したEOS 6Dカメラを西村製15cm屈折望遠鏡に接続して半影月食の撮像(約10分おき)を行った。撮像した画像を『ステライメージ8』を使用し、RGBそれぞれの光量の測定を行い、グラフ化した。その結果、半影月食では光量が約10倍の範囲内で推移することが分かった。

#### 1. はじめに

私たちは、2020年11月30日に半影月食のRGB測定を行った。我々は過去に皆既月食の分析を行ったが、半影月食の光量変化の研究は前例が少ないので、比較を試みた。

#### 2. 方法

改造カメラ(CANON EOS 6D)をニシムラ屈折15cm望遠鏡に接続して半影月食を撮像し、カラー画像を出力した。その後、画像編集ソフト『ステライメージ8』を用い、月全体の光度を測定しRGBの三色に分け、それぞれのピクセル値を下記の方法で求め(露出1秒換算)、分析した。

- 1 月食を含む画像全体のピクセル数(a)  
月食を含む画像のピクセル値の合計(b)  
月食を含まない画像のピクセル数の合計(c)  
月食を含まない画像のピクセル値の合計(d)
- 2 1より、スカイ領域のピクセル値の平均(e)を求めた( $e=d/c$ )
- 3 1と2の値から天体部分のみのピクセル値の平均(f)を求めた( $f=b-e \times a$ )
- 4 RGB別の(f)を求め、それぞれ相対値に直しグラフ化した。

#### 3. 結果

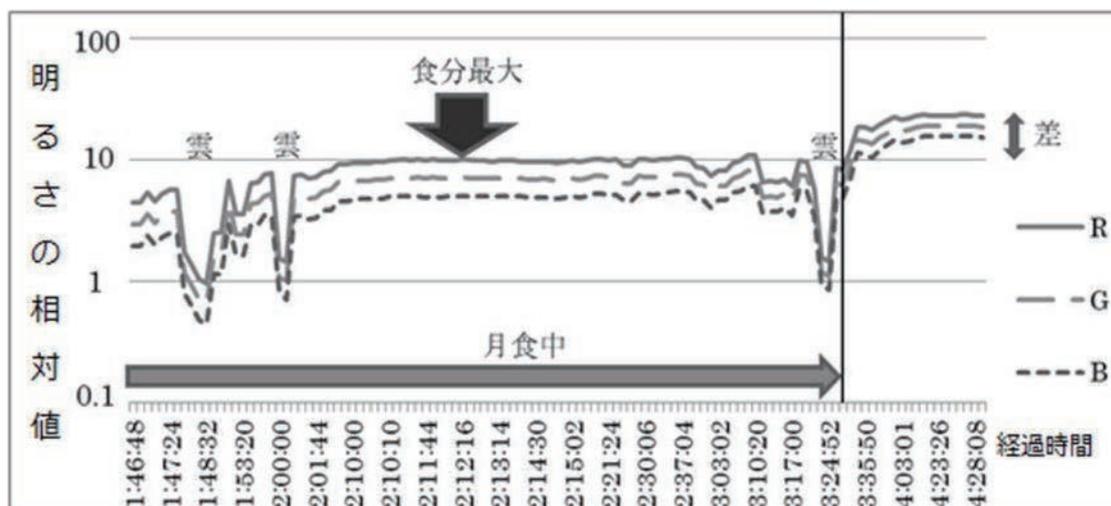


Fig. 1 11月30日の半影月食におけるRGB別明るさの相対値の変化

縦軸は月の明るさの相対値、横軸は月食開始時刻を0:00:00(h:m:s)とした経過時間を示している。

収集したデータより今回の半影月食の明るさの相対値の変化のグラフ(Fig. 1)を作成した。雲の影響もあり少しデータが乱れてしまった部分もあった。

#### 4. 考察

作成したグラフ(Fig. 1)より、食分が最大の時の明るさ相対値と月食終了時の明るさ相対値の差が約2倍となっていた。また、半影月食では光量の減少が通常時の月の光量の約10倍の間に留められていた。2020年3月に我々が皆既月食を測定したときは約10000倍の差があったが、半影月食では光量の差はわずかだとわかった。

#### 5. まとめ

この度の研究で半影月食での光量の減少度合いを発見することができた。今後の展望としては、月全体ではなく月の場所ごとの明るさがどのように変化するのか研究したいと思った。

#### 6. 謝辞

測定方法のご助言をくださったアストロアーツ社様、ありがとうございました。

## 月夜の偏光

月夜のカンガルー：

谷口 愛梨、森川 瑠水（高2）【順天高等学校】

### 要旨

昼の空と同様に、月は太陽の光を反射しているので、満月や半月、三日月が偏光しているのではないかという仮説を検証していく。特に偏光板とプラスチック板を組み合わせるフィルターを作り、実際にどの月も偏光していた。その偏光の度合いを色調の変化で定量的にまとめた。

### 1. はじめに

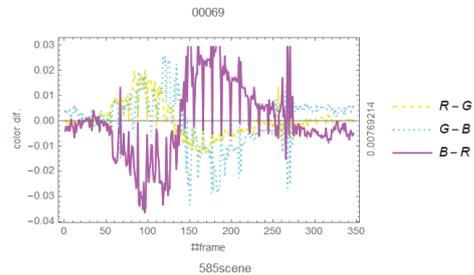
よく晴れた空を見上げて目を凝らすと黄青のクロスが見える。同様に、モニターを集中してみると、同じような黄青のクロスが見えてくる。これは偏光を見ているということらしい (1)。日中、偏光板を使って空を観察すると、最大の偏光は太陽から90度程離れたところで観測された (偏光板の明暗の差が最大となる)。晴れた夜に月を偏光板でかざして360度回転させ明暗の変化を観察したが、明暗は見られなかった。しかし、薄いプラスチック板と偏光板をずらして接着させたフィルターをかざして観察してみると、緑っぽく見える角度と赤っぽく見える角度があることが分かった。プラスチック板は分子が一方に並んでいるため、縦方向と横方向で屈折率が異なることが知られている。この性質が色を生み出す原因となっている (2)。これが最も顕著なのが、45度ずらしてフィルターを作った時であった。このことから特に偏光していると色調の変化を伴い、逆に色調の変化があれば偏光していると考え、色調の変化から偏光の度合いを解析し数値化する方法を考えた。



図1 フィルターをつけたカメラ

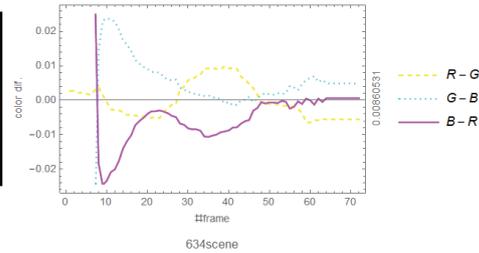
### 2. 実験方法

透明プラスチック板を偏光板で挟み、45度傾けて望遠カメラ (Panasonic DMC-FZ70) のレンズにフィットするように設置した (図1)。偏光の色調の変化を数値化するためこのカメラを180度回した動画 (MTS形式) を撮影し、その動画をGIFに変換 (Convertioを使用) した後、各フレームをJPG画像にした。そしてフレームごとにR (赤) G (緑) B (青) の強さを測った (Mathematicaを使用)。



### 3. 結果

結果は (図2) のようになった。このうち、満月は2020年2月10日に撮影、下弦の月は2月15日に、上弦の月は12月21に、三日月は2021年1月に撮影したものである。



### 4. まとめ

夜の月の偏光を偏光板にプラスチック板を45度ずらして作成したフィルター (図1) を使って、月の偏光が色調の変化によって確認できた。この違いはカメラに入る電灯などの光によって、RGBの強さが左右されてしまうからだと推測する。RGBの曲線にブレがある原因は、フィルターが一樣に回せていないからである。人力ではなくモーターを付ける装置を作るなどの方法で観察する。2枚の偏光板を重ねて光が透過しないようにしておいて、その間にセロハンテープを挟むと明るくなって様々な色が見える。これは色によって偏光方向の変化具合が違うからだと考えられる。

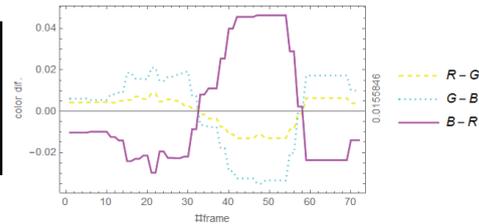


図2 横軸をフレーム数・回転の数、縦軸をRGBの強さで表した

### 5. 参考文献

- (1) [https://www.excite.co.jp/news/article/Tocana\\_201507\\_post\\_6863/](https://www.excite.co.jp/news/article/Tocana_201507_post_6863/)
- (2) <https://kiih.jimdofree.com/偏光とポリプロピレン>

## 電波望遠鏡を使用した月の電波観測

堤 一華、平沼 篤、松好 郁美、山下 航矢（高2）【奈良県立青翔高等学校】

### 要 旨

我々はBSアンテナを用いた簡易電波望遠鏡により、月齢による月の電波強度の変化を調べた。今回我々は満月と半月、三日月の電波観測を行い、それらの電波強度から月の表面温度を推定した。結果、月の電波強度は月齢よりも月の高度や雲量に左右されることが分かった。

#### 1. はじめに

我々がこの研究を始めようとしたきっかけは、簡易電波望遠鏡で太陽や銀河系の電波を観測した先行研究は見られるが、月の電波を観測した論文が見当たらなかったため、この研究を行うことに決めた。

#### 2. 目的

我々の研究の目的は、BSアンテナを用いた簡易電波望遠鏡により、月齢による月の電波強度の変化を調べることである。また、電波強度から月の表面温度を推定することである。

#### 3. 方法

- (1) アンテナ・ブースター・検波器・テスターを接続し、テスターの電圧を「V」に合わせた。
- (2) アンテナを空へ向けたとき、電圧の値が0.20V程度になるように検波器のゲインで調節を行い、安定したときの値を5秒おきに10回読み取り、その平均値（Vsky）を求めた。
- (3) アンテナを月に向け、テスターの示す値を5秒おきに10回読み取り、その平均値（Vmoon）を求めた。
- (4) アンテナを段ボール（電波吸収体）で覆い、テスターの示す値を5秒おきに10回読み取り、その平均値（Va）を求めた。
- (5) 測定時の気温（Ta（℃））を測り、以下の公式を用いて月の見かけの温度を求めた。

$$T_{\text{moon}} = \frac{V_{\text{moon}} - V_{\text{sky}}}{V_{\text{a}} - V_{\text{sky}}} (T_{\text{a}} + 273)$$

#### 4. 結果

結果は下記の表のようになった。

表 月齢と電波強度・月の表面温度の関係

	2020/12/28 18:36	2021/1/18 18:28	2021/1/21 18:23	2021/1/25 18:14
月の形(月齢)	小望月(13.4) 	三日月(4.9) 	半月(7.9) 	十日夜の月(11.9) 
気温Ta(℃)	8.0	2.0	7.0	9.0
高度(°)	37.1	38.4	65.3	53.5
電波強度 $\frac{V_{\text{moon}} - V_{\text{sky}}}{V_{\text{a}} - V_{\text{sky}}}$	0.109	0.272	0.270	0.245
Tmoon(℃)	30.6	75.1	75.7	69.1

#### 5. 考察

表の  $\frac{V_{\text{moon}} - V_{\text{sky}}}{V_{\text{a}} - V_{\text{sky}}}$  より月の電波強度は、月齢の大きさとの顕著な関係が読み取れなかった。

このようになった理由としては、日によって月の高度が異なっていたこと、12/28と1/25は月の一部に雲がかかっていた為だと考えている。このことから、月の電波強度は月齢よりも月の高度や雲量に左右されるのではないかと考えた。

#### 6. 謝辞・参考文献

今回の研究を行うにあたり、兵庫県立大学西はりま天文台の高山正輝様、兵庫県佐用町の時政典孝様には観測機材のご提供を頂きました。ありがとうございました。

「高校生天体観測ネットワーク」 <http://www.astro-hs.net/h>

「月齢カレンダー」 <http://koyomi.vis.ne.jp/moonage.htm>

《金星の謎》 スーパーローテーションに迫る  
 Part3 ～金星の雲頂の高さと温度の分布の関係～  
 山田 結 (中3) 【茨城県立並木中等教育学校】

要旨

金星のスーパーローテーションがなぜ発生するのか調べるため、今回は雲頂の高さと表面温度を定量的に比較した。その結果、月ごとと変換座標のy座標ごとに見た各計算値の分布がよく似ていて、なんらかの関係が見られたが、画像上のx座標は、IR2とLIRの計算値には関係ないという考察が導かれた。次回は、より細かな動きが分かる1週間連続のデータで分析し、雲頂の高さや表面温度の数値の変化を推測したい。

1. 研究の動機

金星のスーパーローテーションは、金星の自転(243日で1周)を追い越すように、自転速度の60倍もの高速で流れている、自転周期に見合わない強風である。本を読んでいる時にこの風に興味を持ち、この風の発生理由を研究することにした。

2. 研究に使用したカメラ、データについて

今回の研究では、下記のURLの、金星探査機「あかつき」搭載のカメラのデータを使用した。

- ・JAXA DARTS 金星探査機「あかつき」科学データアーカイブ

「<http://darts.isas.jaxa.jp/planet/project/akatsuki/index.html.ja>」

また、金星の雲頂の高さと表面温度を観測するため、それぞれ2μmカメラ(以下、IR2)の観測波長2.02μmと、中間赤外カメラ(以下、LIR)の観測波長10μmを使用した。その中で、4月から9月の、月の初めのデータを分析した。なお、雲頂の高さと表面温度を定量的に調べるため、IR2とLIRの画像データに1～3の操作を行った。

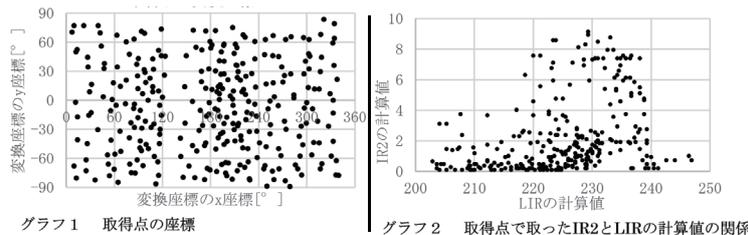
1. IR2, LIRのグレイスケール画像においてランダムに50箇所の点を取る(以下、取得点)。ただし、IR2とLIRの全ての取得点は同じ位置である。
2. 各取得点のピクセル位置(xy座標)を緯度と経度に変換する(以下、変換座標)。
3. 各取得点のピクセル値を、IR2の場合は高度、LIRの場合は表面温度に変換する。

3. 仮説

金星の大気対流によって、表面温度が高いほど雲頂の高さも大きくなり、表面温度が低いほど高さも小さくなる。

4. 分析の方法

雲頂の高さと表面温度を定量的に比較するため、各画像の計算値を用いて関係を探った。その時、作成したグラフの点を月別、変換座標のx座標別、y座標別に分類し、変換座標や時期、IR2とLIRの計算値の関係も調べた。



5. 分析の結果、考察

【点のLIRとIR2の関係と、変換座標】

取得点の座標をグラフ1に、IR2とLIRの計算値の関係をグラフ2に示す。

- ・取得点は全体的にばらけていたので、各計算値のばらつきは取得点の座標の偏りが理由ではないといえる。

【月別、変換座標のy座標別のLIRとIR2の関係】

月ごとと変換座標のy座標別に見た、各計算値の分布はよく似ていたもので、表1にまとめて示す。ただし、時期と変換座標のy座標がそれぞれ示す範囲は一致していない。例えば、4月の点の分布が、変換座標のy座標90～30の範囲に一致してはいない。

表1 月ごとと変換座標のy座標ごとに点を色分けしたグラフでの点の分布傾向

点の分布傾向	特徴	範囲
①	LIRの計算値：全て235以下 IR2の計算値：4以下	時期：4月 変換座標のy座標：90～30
②	LIRの計算値：全て235以下 IR2の計算値：3以下	時期：5月～7月 変換座標のy座標：30～-30
③	LIRの計算値：ほぼ220以上 IR2の計算値：ばらけている	時期：8月～9月 変換座標のy座標：-30～-90

- ・月別と変換座標のy座標別の変化の様子が推測できると考えられるが、分析量の少なさから、その正確性は低いと考えられる。

【変換座標のx座標別のLIRとIR2の関係】

- ・変換座標のx座標の違いで見た、グラフ上の点の位置の分布はほぼ変わらなかったもので、変換座標のx座標は、IR2とLIRの計算値には関係していないと考えられる。

6. まとめと今後の課題

- ・月別と変換座標のy座標別に見た各計算値の分布がよく似ていた。今後はこれが偶然かどうか確かめたい。
- ・画像上のx座標は、IR2とLIRの計算値には関係ない。
- ・より細かな動きが分かる1週間連続のデータで分析し、雲頂の高さや表面温度の数値の変化を推測したい。

# 火星の雲の出現傾向に関する研究

サイエンス部天文班：

岩元 伶樹、上山 桃佳、川口 凜華（高2） 【鹿児島玉龍高等学校】

## 要旨

火星の雲の発生場所の分布図を作成し、火星の雲の出現傾向の調査とその原因の考察、雲の発生場所予想を行った。

### 1. 研究の背景

一昨年先輩方の研究で、北極冠付近に極雲が、南極冠付近で春～夏の季節に極雲が発生するということが分かった。この研究を参考に、私たちは雲の発生傾向を調査し、今後どの時期にどの場所で雲が発生するかを予測することを目的とし、研究を行った。

### 2. 研究方法

月惑星研究会での観測データをもとに過去10年の火星の雲の発生場所を調べ、Ls（火星中心黄経ともいい、火星の季節を表す指標として用いられる）ごとにその分布図を作成し、雲の発生傾向について考察した。以下の説明では太陽に一番近いLs270を便宜上夏とし、Ls0を春、Ls90を冬、Ls180を秋とする（図1）。分布図にはNASAのメルカトル図法の地図を使用した。

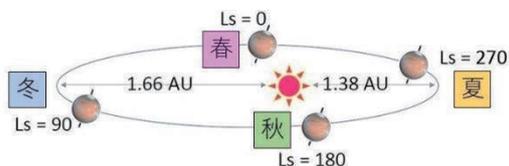


図1 Lsと火星の位置の関係

### 3. 結果と考察

1)作成した分布図から考察したところ春・冬(Ls0~179)では南極冠に雲が4回しか観測されなかったのに対し秋・夏(Ls180~359)は19回も観測された。これは春・冬は北半球が太陽の方に傾いており秋・夏は南半球が太陽の方に傾いているため、秋・夏は南極冠の氷が溶けやすく周囲に多く雲が発生すると考察した。

表1 Lsごとの雲の発生数及び出現率

Ls	雲	火星	出現率
春(0~89)	149	2202	6.8%
冬(90~179)	295	3571	8.3%
秋(180~269)	59	3212	1.8%
夏(270~359)	44	1049	4.2%

2)次に観測された雲の数を観測された火星の数で割り、Lsごとの雲の出現率を計算し表1にまとめた。春・冬を合計した雲の出現率は7.7%、秋・夏を合計した出現率は2.4%となり、秋・夏に比べ春・冬の出現率が高くなった。これは極冠の大きさが関係している。極冠の露出している部分の直径が北極冠は約1100 kmであるのに対し、南極冠は約420 kmと北極冠がはるかに大きい。よってそれぞ

れの極冠から発生する水蒸気の量も北極冠の方が多くなる。そのため、北極冠が太陽の方へ傾く春・冬の雲の出現率が高くなると考察した。

3)分布図をまとめたところ、山地、盆地、平原で多く雲が観測された。山地に雲が多く発生したのは、極冠で発生した水蒸気が山などの斜面を昇って冷やされたことにより雲になるからだとして考察した。盆地に多く発生したのは、昼間暖められた空気が周囲を高地に囲まれているため空気が入れ替わることなく盆地にとどまり、夜に放射冷却によって空気が冷やされ放射霧となり滞留するからだとして考察した。平原に多く発生したのは、周囲に高地があるため、盆地と同様に放射霧が滞留するためだと考察した。4)次に火星が接近する2022年の雲の発生場所を予想した。最接近は12/1で、その一ヵ月前後の11/1~12/31の雲の発生場所を予想した。北極冠、南極冠、オリンポス山、タルシス山地、アキダリア平原、クリュセ平原、エリシウム山に雲が発生すると予想した。

### 4. 結論

- ・季節による太陽への傾きと、極冠の大きさの違いが原因で季節ごとに雲の発生傾向がみられた。
- ・地形的特徴が雲の発生に関係していた。
- ・次の火星最接近時の雲の発生場所を予想した。
- ・今後は、H<sub>2</sub>Oの雲とCO<sub>2</sub>の雲の発生傾向や見た目の違いについての調査、雲の発生と気流・大気の循環の関係性についての調査、2022年以降の雲の発生場所の予想に挑戦したい。

### 5. 参考文献

- ・JAXA 2014 火星と気候の問題  
<http://ssl.tksc.jaxa.jp/pairg/member/ima/mars.pdf>
- ・NASA Interactive Mars Date Maps  
<https://marsoweb.nas.nasa.gov/globalData/>
- ・吉岡美紀 2003 北極冠と南極冠-平塚市博物館  
[https://hirahaku.jp/hakubutsukan\\_archive/tenmon/00000025/70.html](https://hirahaku.jp/hakubutsukan_archive/tenmon/00000025/70.html)
- ・月惑星研究会:ALPO-Japan  
<http://alpo-j.sakura.ne.jp/>

### 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、月惑星研究会から多くのデータを使用させていただきました。厚く御礼を申し上げ、感謝する次第です。

## 木星スペクトルにおける緯度による差の検出

守屋 佑真、関延 凌 (高2)、田尻 尚大、脇谷 悠 (高1) 【埼玉県立浦和西高等学校】

### 1.本年度の研究

昨年度の研究<sup>1)</sup>で赤外域の波長の観測を行い、一定の成果を得た。その次の段階として、木星のスリットスキャンを予定しているが、そのためには木星の拡大像が必要となる。今年度はその技法の確立を目的とし、可視光域において木星の拡大像によるスペクトルの撮像を行った。それによって木星の縞模様に対応した複数のスペクトルの取得が可能となり、本研究ではその比較に取り組んだ。

### 2.観測について

(1)観測日時及び観測天体:2020年11月17日,11月21日の18時~20時30分頃 木星・月

(2)観測場所:本校屋上

(3)観測機材(図1):望遠鏡 FS-60Q(口径60mm,焦点距離600mm),TCA-4(アイピース LV20mm),分光器 VEGA(スリット幅 10 $\mu$ m 昭和機械製作所),コリメートレンズ (TAMRON 口径30.5mm 焦点距離25mm),冷却 CCD カメラ(ATIK TITAN CCD Camera)



図1 観測機材

### (4)使用ソフト

撮像:Artemis Capture 画像処理:Stella Image8

解析:Makali'i, Microsoft Excel

### 3.解析方法

観測で撮像した画像を Stella Image8 にてダーク処理、スカイ処理を施した 30 枚の画像を加算平均して解析用のスペクトル画像(図2)を作成した。



図2 解析用のスペクトル画像

その画像に認められる木星の縞模様に対応する、明部 3つ、暗部 2つの5つの部分(図2の解像度では明暗差は判別不能)を、Makali'i を用いてピクセル位置ごとの輝度値<sup>\*1</sup>を数値化、そのデータを基に Excel 上で以下の手順で解析を行った。<sup>\*2</sup>

(1) 理科年表<sup>2)</sup>を参照し、Makali'i で得た数値データのうち、輝度値の小さな部分に対応する吸収線を割り当てることにより、ピクセル位置と波長の関係式(二次関数)に近似させ、全体の波長付けを行う。

(2)図2から取り出したデータ5つ及び月の波長と輝度値の

グラフを作成する。

(3)月には大気が存在しないため、月のスペクトルは木星表面に当たる太陽光と同等と考え、木星表面のみの吸収を検出するため(2)で作成した木星の各グラフのデータを月のデータで割る。

(4)更に木星の縞模様の明暗の差を取り除くため、(3)の各グラフのデータをそれぞれの最大値で割る。

### 4.解析結果・考察

図3

木星暗部

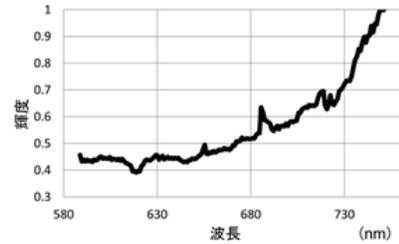
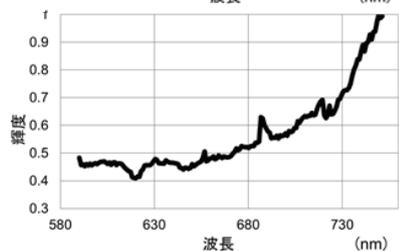


図4

木星明部



上の2つのグラフは、現段階で得られた明暗2つの領域に3の処理を行ったものである(図3,4)。これらを見る限り明確な差は見られないが今後さらに解析を進めたい。

今回の観測では、木星の拡大像でのスペクトルの撮像はできたが、スリットと木星の縞模様が直交する向きに観測機器を調整することは十分に行えなかった。また、露出時間も適切であったかどうか再検証の余地がある。

### 5.今後の課題

4で触れたように、スリットと木星の縞模様が直交する向きに観測機器を調整する精度を高める必要(スペクトル像の明暗部がスリット高方向にずれることなく追尾できるように調整する等)がある。また、可視光域でのより正確な観測に加えて、今回行えなかった赤外域の観測、さらに可視光域および赤外域でのスリットスキャンを行いたい。

### 6.参考文献

1)木星・土星の近赤外分光観測によるメタン吸収帯の検出 [永野 涼子(浦和西高校)、日本天文学会ジュニアセッション(2019)]

2)理科年表 国立天文台編(2019)

\*1 本稿では、カウント値を輝度値とした。

\*2 途中段階のグラフは紙面の都合により割愛した。

# 木星の閃光現象についての研究

サイエンス部天文班：

野口 知香（高2）、原口 真緒、下茂 ゆう菜（高1）【鹿児島玉龍高等学校】

## 要旨

木星ではたびたび閃光現象と呼ばれる発光が観測される。私たちは、観測した木星のデータを使用して閃光現象の検出に挑戦し、観測頻度についての考察を行った。

### 1. 研究の動機

2020年7月2日と8月21日に、関東で火球が観測された。そこで、惑星に天体が衝突するときにかかる現象である閃光現象に興味をもち、研究することにした。

### 2. 研究方法

#### 1) 観測に使用した機材

鏡筒：CELESTRON C8-XLT

（口径203mm、焦点距離2032mm）

赤道儀：高橋製EM-11Temma2M

カメラ：ZWO ASI29MC（非冷却CMOS）

#### 2) 方法

パソコンとCMOSカメラで動画を撮影し、RegiStax6.1を用いてフレームごとに閃光現象を探した。また、過去の閃光現象の動画や写真を集め、衝突痕に着目し検出を試みた。

### 3. 結果

閃光現象を観測することはできていない。  
（現在調査中）

### 4. 考察

#### 1) 衝突痕について

過去に起こった閃光現象のデータをインターネットから収集し、考察したところ、木星の衝突痕の特徴について以下のことがわかった。

- ・暗い影になる
- ・ある程度の期間が経つと消滅する
- ・形が変化する



図1 2009年に木星で観測された衝突痕  
（白丸内の黒い部分）（NASA imagesから引用  
<https://www.nasa.gov/centers/goddard/multimedia/largest/impact2009.html>）

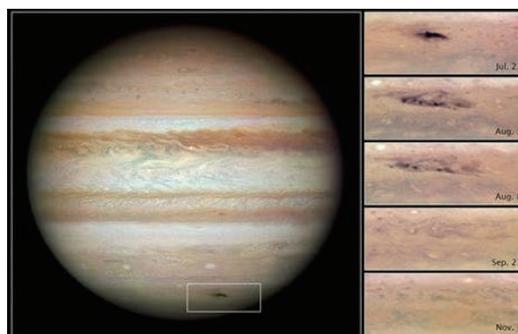


図2 木星の衝突痕の変化

（NASA imagesから引用

[https://www.nasa.gov/mission\\_pages/hubble/science/jupiter-strike.html](https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/science/jupiter-strike.html)）

#### 2) 閃光現象の頻度について

10m程度の大きさの天体の衝突は、地球では10年に1度程度の頻度で発生するが、木星は天体の質量が大きく重力場が大きいため、1か月に複数回ほど発生しているといわれている。しかし、閃光現象はこれまでに数回しか観測されていない。私たちは、これを閃光現象が見逃されているからではないかと考えた。実際に2009年の閃光現象の際も、閃光現象自体は観測されず、その衝突痕から発生が明らかになった。長時間の木星の観察が行われ続ければ、さらに多くの閃光現象が観測されるだろう。

### 5. まとめ

現在閃光現象を観測することはできていない。木星の衝突痕には、暗い影になる、数週間程度で消滅する、形が変化するという特徴があることがわかった。閃光現象の観測される頻度が低いのは、常に木星が観測されているわけではないので見逃しがあるからではないかと考察した。今後は木星の観測を中心とした観測を継続し、閃光現象の検出に挑戦したい。

### 6. 参考文献

- ・Astroarts天文ニュース（2009年7月22日号）  
「木星に新しい模様が発生、小天体が衝突？」  
[https://www.astroarts.co.jp/news/2009/07/22jupiter\\_impact/index-j.shtml](https://www.astroarts.co.jp/news/2009/07/22jupiter_impact/index-j.shtml)
- ・鷹宏道（2020.2.10） 恒星社厚生閣  
「木星・土星ガイドブック」

## 系外惑星の表面温度の推定と観測値との比較

中澤 悠、村上 佳穂、山口 瑞月 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

### 要 旨

Jupiter's temperature is higher than the one estimated assuming only the energy injection from the sun. This fact implies that Jupiter has an internal heat source due to its large mass. Exoplanets with larger mass than Jupiter are expected to have larger internal heat sources. In this study, we estimated exoplanet temperatures considering energy injection from suns and compared them with the measured ones.

#### 1. 背景・目的

木星の表面温度は、太陽から受けるエネルギーから予想される温度よりも、観測値の方が数十度高いことが知られている。これは内部熱源の存在を示唆する。すなわち、木星の誕生時に解放される重力エネルギーが大量の熱に変換され、それがまだ冷えていないと考えられている。

1995年の系外惑星の発見以降 (Mayor & Queloz 1995)、木星の数十倍の質量を持つ系外惑星が数多く見つかった。これらの惑星は、誕生時に解放する重力エネルギーが木星より大きく、より大きな内部熱源を持つと予想できる。この予想に基づき、系外惑星を表面温度と質量の観点から考察した。

#### 2. 方法

惑星の表面温度  $T$  は惑星全体に入射する恒星のエネルギーと惑星表面から放射されるエネルギーの釣り合いから  $T_{\text{planet}} = T_{\text{star}} \sqrt{(R_{\text{star}}/2r)}$  . . . . (1)

と表せる。ここで  $T_{\text{star}}$ 、 $R_{\text{star}}$ 、 $r$  はそれぞれ、主星の表面温度、主星の半径、恒星と惑星の距離である。 $R_{\text{star}}$  は、主星の絶対等級  $M_V$  と温度  $T_{\text{star}}$  から推定できる。星の光度  $L$  はステファン・ボルツマンの法則を用いて  $L = 4\pi\sigma R_{\text{star}}^2 T_{\text{star}}^2$  . . . . (2)

と表されるので、星の半径  $R_{\text{star}}$  は、 $M_V$  と  $T_{\text{star}}$  を用いて以下の関係式から求められる。

$$M_r = M_{r\odot} \cdot 5 \log (R_{\text{star}}/R_{\odot}) - 10 \log (T_{\text{star}}/T_{\odot}) \quad \dots \dots (3)$$

ここで、 $M_{r\odot}$ 、 $R_{\odot}$ 、 $T_{\odot}$  はそれぞれ太陽の絶対等級、半径、絶対等級である。

系外惑星のデータベース The Extrasolar Planets Encyclopedia (<http://exoplanet.eu/catalog/>) に登録されている 4000 個以上の系外惑星の中で、 $T_{\text{planet}}$ 、 $T_{\text{star}}$ 、 $R_{\text{star}}$ 、 $r$  が測定されているものは 13 個あった。これらの天体について (1) 式を用いて系外惑星の表面温度を計算した。また、 $T_{\text{planet}}$ 、 $T_{\text{star}}$ 、 $r$  は測定されているが、 $R_{\text{star}}$  が不明な系外惑星が 8 個あった。これらについては、(3) 式を用いて  $R_{\text{star}}$  を推定した上で、表面温度を計算した。最後に、計算で求めた表面温度と観測値を比較した。

#### 3. 結果

図1は、横軸に計算で求めた表面温度、縦軸に観測値をプロットしたものである。調査した 21 個の惑星のうち、17 個は観測値が計算値より高く、その差はおおよそ 1000-2500 K 程度であった。4 個は観測値が計算値とほぼ一致した。

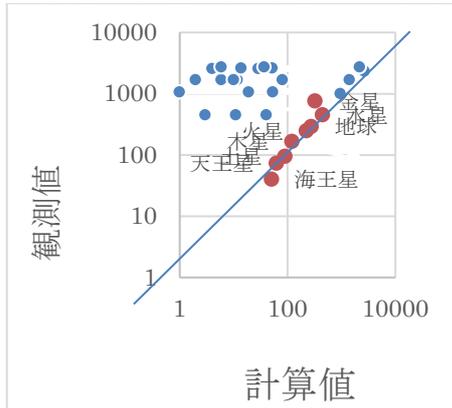


図1 惑星の表面温度の計算値と観測値の比較。小さい点は系外惑星、大きい点は太陽系内の惑星を示す。直線は計算値 = 観測値の場合を表す。

#### 4. 考察

恒星から入射するエネルギーと惑星表面から放射されるエネルギーの釣り合いを仮定して、21 個の系外惑星で表面温度を計算し、観測値と比較した。その結果、[1]観測値が計算値より 1000-2500 K 高いグループ、[2]観測値と計算値がほとんど同じグループが存在することがわかった。また [1] グループの惑星は木星質量の数十倍の質量であるのに対し、[2] グループは質量が比較的小さかった。[1] グループは、誕生時のエネルギーが内部熱源として残っているため高温になっていると考えられる。

#### 参考文献

Mayor & Queloz "A Jupiter-mass companion to a solar-type star" Nature, 378, 355-359 (1995)  
 福江純・沢武文・高橋真聡 編 (2020年) 『極・宇宙を解く』 恒星社厚生閣  
 渡部潤一・井田茂・佐々木晶 編 (2008年) 『太陽系と惑星 (シリーズ現代の天文学)』 日本評論社

## 系外惑星の大気存在条件の検証

反保 凜太郎、福田 創太郎、小関 郁弥、佐藤 優、平田 大翔、松前 律希、三田村 龍志、  
宮本 直明、山本 瑠華 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

### 要旨

系外惑星の大気保持には質量、有効温度、半径の大きく3つの要因があることが考えられる。この3点について、実際の観測データをもとに惑星の分布図を作成し、理論的条件の正当性を検証した。

### 1. 研究の背景

火星は地球とよく似た惑星だが、地球より大気ははるかに希薄である。このように、同じ太陽系の惑星であっても大気のに差が生じている。そこで、大気保持の条件を確かめるため、私たちは系外惑星に注目し、系外惑星のデータベースを用いて、大気が見つかっている惑星の特徴を調査した。

### 2. 研究方法

大気が存在するための必要条件は、

(気体分子の持つ熱エネルギー(単原子分子理想気体) < (重力エネルギー)、すなわち

$$\frac{3}{2}kT < G \frac{Mm}{R} \quad \dots [1]$$

( $k$ :ボルツマン定数, $T$ :惑星の有効温度, $G$ :万有引力定数, $M$ :惑星の質量, $m$ :気体分子の質量, $R$ :惑星の半径)である。私たちはこの式から、惑星の質量、有効温度、半径が大気存在に影響を与えているのではないかと考えた。そこで、系外惑星のデータベースThe Extrasolar Planets Encyclopedia(<http://exoplanet.eu/catalog>)を用いて、質量、半径、軌道長半径、恒星の半径、恒星の表面温度の情報から、500個の惑星で質量、有効温度、半径について、縦軸に全母数に占める割合をとったヒストグラムを作成した。また、大気を検出されている約80個の天体についても同様のヒストグラムを作成した。両者を比較し、各条件が大気存在に影響を与えていることの確かさを考察する。

### 3. 研究の結果

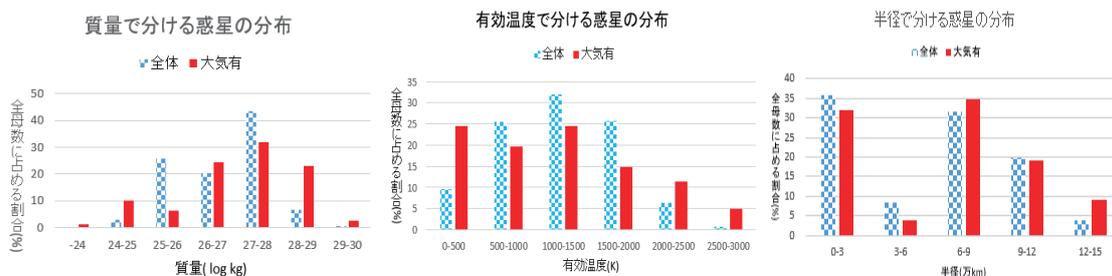


図1 質量で分ける惑星の分布

図2 有効温度で分ける惑星の分布

図3 半径で分ける惑星の分布

図1より、全体の分布と比べ、大気を検出されている天体のみの分布のほうが質量が大きい階級に偏っていることが読み取れる。図2より、全体の分布と比べ、大気を検出されている天体のみの分布のほうが有効温度が低い階級に偏っていることが読み取れる。図3では、全体の分布と、大気を検出されている天体のみの分布に大きな差異は無かった。

### 4. 考察

[1]では、惑星の質量が大きいほど大気が存在するための必要条件は広がる。図1で、大気が出された天体が質量の大きい階級に偏っていることから、確かに質量の大きい天体のほうが大気を有しやすいといえる。

また[1]では、有効温度が低いほど大気が存在するための必要条件は広がる。図2で、大気が出された天体がある有効温度が低い階級に偏っていることから、確かに有効温度が低い天体のほうが大気を有しやすいといえる。

しかし、半径については、[1]では半径が小さいほど大気が存在するための必要条件は広がるが、図3からは全体と大気が出されている天体とで大きな違いは見られなかった。

以上から、現在の系外惑星の観測結果と、理論的に考えられた大気存在の必要条件が、質量と有効温度の点では一致することが確かめられたが、半径の点では一致が見られなかった。

研究の課題としては、気体が出されている天体の数が少ないことから、実際の分布とは異なる可能性があり、新たに気体がある系外惑星が検出されることで、分布が大きく影響を受ける点がある。また、観測方法によって特定の条件の惑星が見つけられやすいことも問題として挙げられる。今後、より多くの系外惑星で大気が出されれば、母数が大きくなり、より正確な分布を得ることができよう。また、観測方法による条件の検出されやすさも吟味したい。

## 変光星ミラの光度解析 —スカイモニターの全天画像を用いて— 長澤 春香（中等6）【神戸大学附属中等教育学校】

### 要 旨

本研究はミラの光度変化を解析した。解析結果からミラの周期は321日(±7日)と推定できた。これは文献調査や他の観測結果とほぼ同じ値である。スカイモニターの画像を用いた解析は有効だと考えられる。

### 1. 研究動機

私は、星に関する研究をしたいと思い、本研究では長期周期の変光星の解析しようと思った。

変光星とは、明るさが変化する恒星であり約2万個見つかった。ミラは有名な変光星の1つであり、脈動変光星のミラ型変光星と分類される。

### 2. 方法

西はりま天文台がインターネット上で公開している、毎晩約1分おきに空の様子を撮影した画像(図1)を用いた。

天体画像処理ソフトウェア **StellarImage8**で解析をした。

1日分の画像で、天候が良く、月明かりがない画像15枚分解析した。

1画像ずつ解析をし、得られた光度をグラフ化した。

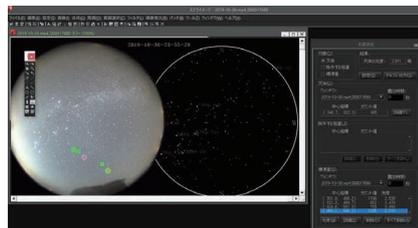


図1 解析の様子

### 3. 結果

図2は解析した結果のグラフである。

2019年の極大日は10月23日(±2日)、

2018年の極大日は12月6日(±7日)、

周期は321日(±7日)と推定した。

### 4. 考察

この結果は文献調査の周期より少し短い、誤差範囲だと思われる。

AAVSO (アメリカ変光星観測者協会)が公開しているライトカーブとおおよそ同じ形だった。

スカイモニターの全天画像を用いてわかったこと

- ・今回用いた画像では、最大でも6等星の星までが認識出来る。

ミラは極小時は約10等星になると予想されているため、極小時や極小値前後の光度変化は測定出来ない。

- ・月明かりの影響が大きい。

特に満月や満月に近い時は、月以外見えない画像になってしまう。

約1ヶ月に少なくとも10日分は画像が得られない。

- ・光度が暗いほど、誤差(標準偏差)が大きい。

おそらく光度が暗いときは、調べたい星のカウント値の少しの変化が光度に影響するからだと考えられる。

### 5. 謝辞

研究テーマの相談やグラフのアドバイスをしてくださった 神戸大学 人間発達学科自然環境論コース 伊藤真之教授、スカイモニター画像の利用について対応してくださった 西はりま天文台 シュテファン・バール研究員、論文の指導をくださった 西澤先生、米田先生に感謝を申し上げます。

### 6. 参考文献

- ・みやぎ総文2017 智弁和歌山高校-「みらいぶ」高校生サイト <https://www.milive.jp/live/2017sobun/g208/>
- ・AAVSO ホームページ <https://www.aavso.org/visionmission>
- ・西はりま天文台のスカイモニター <https://www.youtube.com/channel/UCdX7abKP6Xw7LrlnJPMLhKw/feed>
- ・小川雄一『天文年鑑2020年版』誠文堂新光社、2019年
- ・山川史郎『小学館の図鑑NEO 星と星座』小学館、2010年
- ・藤井旭『藤井旭の天文年鑑 2018年版』誠文堂新光社、2017年 他

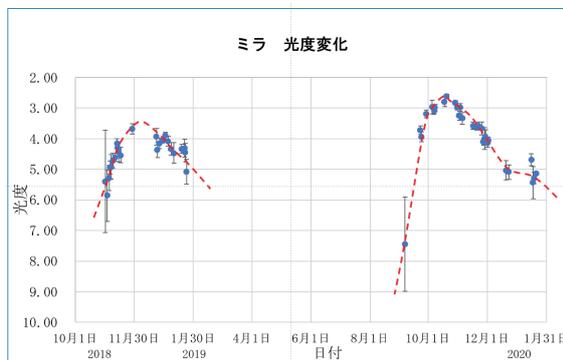


図2 解析結果のグラフ

## ペガサス座 DY の測光観測

天文気象部：垂井 麻亜子、大島 瑞希（高1）、吉畑 春希（高2）  
【兵庫県立舞子高等学校】

## 要旨

脈動変光星の特徴である、膨張・収縮により、明るさが変化することを測光観測から確認する。

## 1. はじめに

私たちは2020年9月25日から26日にかけて兵庫県立西はりま天文台にて、ペガサス座DYの測光観測を行った。これは、見かけの明るさが時間とともに変化する脈動変光星である。

## 2. 先行研究

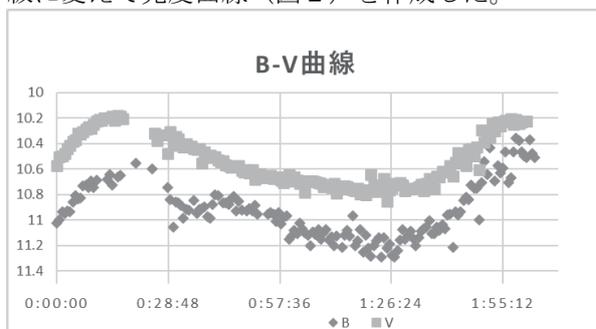
2年前に、先輩が、ペガサス座DYの測光観測を行い、B-Vの色指数を求めるまで行っています。今回は、脈動変光星の特徴である、膨張・収縮が、明るさの変化に影響しているのかを調べることにしました。

## 3. 観測・撮影の方法

兵庫県立大学西はりま天文台 60 cm望遠鏡に CCD カメラ(SBIG STL 図1)を使用し、2色測光観測を行った。Vバンド、Bバンドフィルターを使用して、露出時間15秒で交互に撮影を行った。得られた画像データはFITS形式のため、国立天文台の画像解析ソフト「マカリ (Makali'i)」を利用してスペクトル画像を平均化し、ダーク補正およびフラット補正を行い、一次処理をした。次に二つの比較星とペガサス座DYの明るさを求めるため、カウント値を求め、ポグソンの式を用いて、等級に変えて光度曲線(図2)を作成した。



図1 CCDカメラ



	極大	極小
B等級	10.4	11.1
V等級	10.2	10.8
B-V	0.2	0.3
温度 (° K)	8000	7300
Tの4乗比	1.46	1
明るさの比	1.74	1

図2 光度曲線と極大・極小

## 5. 考察

ペガサス座の変光は、星の膨張・収縮により表面温度が変化し、そのため、明るさ(等級)が変化すると考えられる。B-Vの色指数は表のようになった。色指数とは短い波長(Bバンド)から長い波長(Vバンド)を引いた値のことで、その値が小さければ小さいほど高温で青い。また大きいほど低温で赤い。色指数と表面温度の関係より表面温度を求める。明るさは、シュテフィン・ボルツマンの法則より、半径の2乗、温度の4乗に比例することから、明るさの比は、ポグソンの式により、1.74であることがわかる。これらから、半径の比は、 $1.74 \div 1.46$ の平方根より、1.09となる。極大と極小のときの半径が10%ほど変化することが考えられる。

## 6. 感想

今年度は、コロナ禍のため、6月以降の授業となり、1年生を含め、部活動の時間も限られた。活動制限のある中で、合宿による、観測も2回しかできず、その上、天候にも恵まれなかったため、限られた時間のなかでのデータとなったことが残念である。

## 7. 謝辞

最後に今回の研究は兵庫県立大学西はりま天文台研究員の大島誠人様よりご指導頂きこの場を借りてお礼申し上げます。

## てんびん座β星の減光の解明

米村 優輝 (高3) 【中央大学附属高等学校】

### 要 旨

てんびん座β星(β Lib)は同星座のなかでも最も明るい恒星であるが、古代の観測記録から、かつてこの星は現在と比較すると減光していた可能性がある。そこで、この現象の原因を明らかにするために変光の原因となり得る4つの仮説を立てた。そして、それらの仮説を検証するために実際にこの星の分光観測を行い、その性質を探った。また、研究機関が一般公開しているデータも使用し、様々な手法でこの現象の原因を考察した。

#### 1. はじめに

てんびん座β星(β Lib)は実視等級2.62等でスペクトルタイプB8V型の恒星であり、古代からギリシャやローマの天文学者たちによる観測記録(アルマゲストなど)が残されている。しかし、その観測記録からβ Libが現在よりも明るかった可能性が指摘されている。これは、β Libの明るさが長い年月のなかで減少した可能性を示唆している。しかし、この現象に関する研究はこれまでにほとんど行われておらず、詳細な原因は未だに不明である。そこで本研究ではβ Libの減光の原因を明らかにすることを目的とした。

#### 2. 仮説

本研究では、この現象を説明することができる4つの仮説を考えた。本要旨ではそのうちの2つを示す。

##### 1. 大規模な恒星風の質量放出による変光

高光度青色変光星(Luminous Blue Variable)やBe(γ Cas)型星などの特殊な変光星の可能性。

##### 2. ブラックホールなどによる質量減少

β Libがブラックホールと連星の関係にあった場合、これに質量を奪われ、減光した可能性。

#### 3. 研究方法

仮説の検証を行うため、中央大学理工学部6号館屋上(東京都文京区)にてβ LibとB型標準星HR5501の分光観測を行い、連続スペクトルのデータを得た。また、一般に公開されているX線のデータを使用し、β LibのX線データと、代表的なブラックホール連星で強力なX線源、はくちょう座X-1(Cyg X-1)のものを比較した。

#### 4. 結果

##### 4-1. 分光観測

分光観測によってβ Libのスペクトル(図1)とB型標準星HR5501のスペクトル(図2)を得た。両図ともに縦軸は放射エネルギー(flux density (erg/cm<sup>2</sup>/s/Å × 10<sup>-11</sup>)), 横軸は波長(Å)を示す。2つのスペクトルは酷似しており、ほぼ同じ位置に水素のバルマー系列の吸収線が確認できる。また、輝線はどちらにも確認できない。

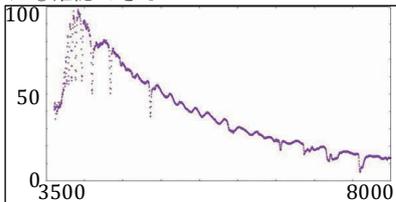


図1 β Libのスペクトル  
2020年7月2日 20時25分  
31秒  
~20秒露光

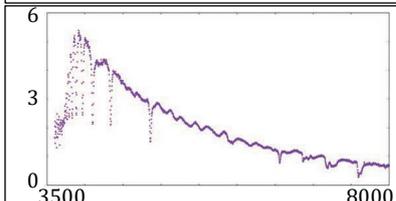


図2 標準星HR5501のスペクトル  
2020年7月2日 20時49分11秒  
~90秒露光

##### 4-2. X線調査

β LibのX線画像(図3)と、Cyg X-1のX線画像(図4)を入手した。Cyg X-1のものでは、画像の中央に強いX線が放射されているのが分かるのに対し、β Libのものでは、恒星の存在する画像の中央にX線の放射が確認できなかった。両図ともにドイツのX線天文衛星ROSATによる観測データ、RASS(ROSAT All-Sky X-ray Survey Broad Band)より引用した。

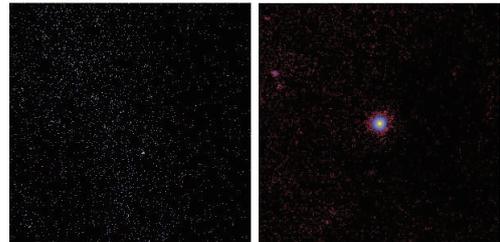


図3 β LibのX線画像 図4 CygX-1のX線画像

#### 5. 結論

観測結果からβ Libが高光度青色変光星やBe型星である可能性と、ブラックホールの影響を受けた可能性は低いことが分かった。しかしながら、Be型星が数十年の規模でB型星やBe殻星といった状態に変化する可能性があることなどから、約2000年前にβ LibはBe型星であった可能性を完全に否定すべきではない。

#### 6. 今後の展望

今回の研究で得られたスペクトルのデータはβ Libと標準星HR5501ともに全ての仮説を検証するには不十分であるため、今後は長期間にわたって観測を行い、これらの仮説だけでなく他の2つの仮説もより詳細に検証する。

#### 7. 参考文献

- [1] Young, C. A. (1895). Manual of astronomy: a text-book. Ginn and Company.
- [2] プトレマイオス (藪内清訳)(1982) 『アルマゲスト』, 恒星社厚生閣
- [3] Hirata, R. (1995). Interpretation of the long-term variation in late-type active Be stars. Publications of the Astronomical Society of Japan, 47, 195-218.

#### 8. 謝辞

本研究では、中央大学理工学部物理学科宇宙物理研究室の坪井陽子教授、同研究室の皆様にご協力を頂き、観測・解析のご指導を頂くとともに、中央大学附属中学校・高等学校の田島丈年先生、三輪貴信先生、北海道大学の伊藤早織博士に研究方法や論文作成などのご指導を頂いた。ここに深謝の意を表す。

#### 9. キーワード

てんびん座β星, 爆発型変光星, 高光度青色変光星, Be型星, アルマゲスト,

## NGC2024 分子雲の電波観測による星形成の調査

笹 伶夷、加藤 丈人、稲垣 智華、水野 七渚子、足立 心愛、黒木 あやめ、宮碕 晴 (中3)  
【名古屋大学教育学部附属中学校】

### 概要

星形成が活発に行われている分子雲であるNGC2024に対して行われた電波観測のデータ解析を行い、分子雲の性質を調べ、星が生まれる領域の特徴を調査した。NGC2024の星形成効率と分子雲密度を求めることができた。

### 1 はじめに

星と星の間には、星間物質と呼ばれる希薄なガスが存在し、それらが集まった雲が重力によって収縮して星が形成される。この雲は分子雲と呼ばれ、分子雲内での星形成を探ることで、太陽などの恒星の起源や未来の姿を推測することができる。

本研究では、NGC2024 (図1[1])の星形成効率と分子数密度を求める。星形成効率とは、星形成領域の全質量の内、その領域で形成された若い星の質量が占める割合を表す量である。

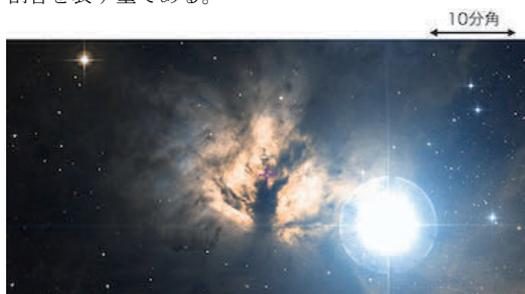


図1 NGC2024(可視光)

### 2 データ

解析には、野辺山宇宙電波観測所の45m電波望遠鏡の観測値と、位置天文衛星Gaiaの観測データであるGaia EDR3[2]のカタログ、太陽系外の天体データベースであるSIMBAD[3]を用いる。

### 3 解析

#### 3.1 NGC2024の星形成効率

NGC2024の星形成効率を求めるためにはNGC2024全体の質量と、そこで形成された若い星の総質量が必要である。

##### 3.1.1 NGC2024全体の質量

NGC2024全体の質量を求めるために、NGC2024に存在する水素分子の数と、水素分子の1個あたりの質量[4]、質量換算係数を用いる。質量換算係数とは、NGC2024に存在する全水素分子の質量を、多元素の質量を含むNGC2024全体の質量に換算する係数である[5]。

NGC2024に存在する水素分子の数を求めるには、電波望遠鏡で観測した画像の単位ピクセルあたりの面積と、単位ピクセルの面積を持ち、高さが無限の四角柱の中に存在する水素分子の数を表す柱密度の総和が必要である。

単位ピクセルあたりの面積は、NGC2024までの距離から求められる。

NGC2024に存在するそれぞれの星までの距離は、年周視差(Gaia EDR3)の逆数で求められる。その距離について正規分布を仮定し、ガウスフィッティングする。

NGC2024に存在する水素分子の柱密度の総和を求め

るには、NGC2024に存在する一酸化炭素が放出した電波強度と、Xファクターを用いる。水素分子が放出する電波強度はそれを放出する水素分子の数に比例し、その比例定数がXファクターである[6]。

結果、NGC2024全体の質量は $1.5 \times 10^4 M_{\odot}$ となった。

##### 3.1.2 若い星の総質量

NGC2024に存在する若い星の総質量は分子雲内に存在する若い星の数と星の平均質量から求まる。

NGC2024に存在する若い星の数を求めるためにSIMBADから得た若い星のデータの内、若い星と同等されている天体の数を数える。

結果、NGC2024に存在する若い星の総質量は  $1.6 \times 10^2 M_{\odot}$ となった。

##### 3.1.3 NGC2024の星形成効率

3.1.1、3.1.2で得られたNGC2024全体の質量と、NGC2024に存在する若い星の総質量からNGC2024の星形成効率は1.1%となった。

### 3.2 NGC2024の分子数密度

NGC2024の分子数密度を求めるためには、分子雲の体積と、NGC2024に存在する分子の数が必要である。NGC2024の体積は、NGC2024を球に近似して求める。また、NGC2024に存在する分子の数を求めるにはNGC2024全体の質量と宇宙の平均分子量が必要である。よって、NGC2024の分子数密度は $1.8 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ となった。

### 4 考察

NGC2024では、分子数密度 $1.8 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ で集まることで星が形成されていることがわかった。銀河の平均密度が $10 \text{ cm}^{-3}$ 以下であることから、星を形成するためには、大量のガスを非常に高密度に圧縮する必要があることがわかった。今後は、この星形成の特徴が、NGC2024固有のものか、ほかの多くの分子雲でも同様であるのかを調査していきたい。また、複数の分子雲での解析を行い、星形成効率を決定する要因を調査していきたい。

### 5 参考文献

- [1] <https://sky.esa.int>
- [2] <https://gea.esac.esa.int/archive/>
- [3] <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [4] 国立天文台編 (2016), 「理科年表 平成 29年」丸善出版
- [5] Katia M. Ferriere, 2001, Rev. Mod. Phys. 73, 1031
- [6] Alberto D. Bolatto, Mark Wolfire, and Adam K. Leroy, Rev. Astron. Astro-phys. 2013, 51:207-268

## 分子雲による星間赤化

齋藤 洸花、松山 文香 (高2)、服部 真吾 (高3)、畠山 琳太郎、野々山 一颯、尾崎 未侑 (高2)  
 【名古屋大学教育学部附属高等学校】

### 1. はじめに

私たちが普段何気なく目にしている夕日。実は、似た現象が宇宙空間でも起こっている。星の光はその前面に存在する分子雲を通過する際、波長の短い光が散乱されるため、波長の長い赤い光が相対的により強く見える(星間赤化という)。私たちは、距離のわかっている多くの星に対しこれを解析し、視覚化した上で、分子雲の三次元的な分布を調べることを目標としている。

### 2. 解析:SDSSによる地上観測と宇宙望遠鏡Gaiaのデータを元に作成

#### 1) 解析する領域の決定

星間赤化の振る舞いを調べるためには、まず分子雲が存在し星間赤化が期待できる場所(on点)と、そうでない場所(off点)の2種類の場所を調べた。そこでESA sky[2]を使って、それぞれの場所の中心座標を決定した。

#### 2) データベースのマッチング

2-1で決めた中心から0.1度の範囲を解析する。インターネット上のサービス[2]から得た2つのデータ(SDSS, Gaia)は観測装置が異なるため、天体の座標データに誤差が生じる。そのため、データにおいて座標のずれが2秒角以内であれば同一の星とみなした。これについてSDSS (DR12) から求まるg, r, iバンド(波長帯)での明るさとGaia (EDR3) から求まる距離の値を用いる。

#### 3) データのグラフ化

グラフの青い点を on 点にある星、赤い点は off 点にある星として、二色図を作った(図1)。グラフの縦軸と横軸は、それぞれ2-2で得たgバンドとrバンドの等級の差と、rバンドとiバンドの等級の差で、天体の色を示す。なお、このグラフは右上に行くほど赤化の度合いが強いことを表し、on点にある星の多くは、off点の星に比べ赤化を受けていることがわかる。しかし表面温度が比較的高い主系列星は左下に帯状に分布し、星間赤化によってグラフ上を移動する方向とほぼ一致し、赤化量を推定できない。そこで、M型星に対応するr-iが0.8等級以上の星を対象を絞った。off点にあるM型星の二色図上での分布から、g-rの基準値を1.4と見積もり、各星について基準値からのズレを赤化量として見積もった。

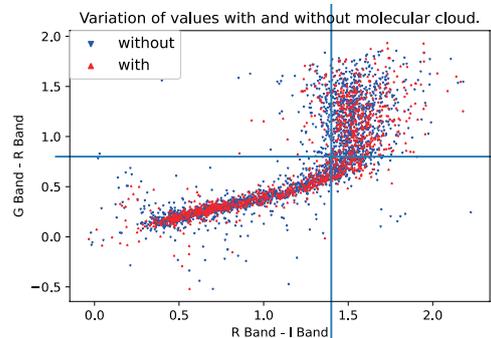


図1 SDSSデータをもとに作成した二色図。

#### 4) 減光マップの作成

2-1で決定したそれぞれの領域を小さな正方形に分割し、on点の各正方形について、赤化量の平均値を求め、2次元のマップを作成した。

### 3. 展望

今後は、作成した減光マップと電波画像との比較や、分子雲の分布の調査など、今回解析したデータに基づいた研究を行って行きたい。

### 4. 謝辞

本研究を進めるにあたりご指導ご協力いただいた、名古屋大学大学院理学研究科の立原研悟准教授と本校教員の大羽徹先生に感謝いたします。

### 5. 参考文献

- [1] CDS XMatch Service. <http://cdsxmatch.u-strasbg.fr/>.
- [2] ESASky. <https://sky.esa.int/>.
- [3] Kraus, A. L. & Hillenbrand, L. A. The Stellar Populations of Praesepe and Coma Berenices. The Astronomical Journal 134, 2340-2352 (2007).

## 二色図からみる暗黒星雲が周りの星に与える影響

銀河学校2020:

齊藤 龍輝 (2020年卒) 【日本大学豊山高等学校】、泉 理穂 (高2) 【筑波大学附属高等学校】、  
木村 萌恵 (高2) 【東京都立日比谷高等学校】、朝比奈 真乙 (高1) 【浦和明の星女子高等学校】

### 要旨

可視光による観測で影のように暗く見える領域である暗黒星雲は周辺にある星にどのような影響を与えるのかということについて、暗黒星雲DOBASHI4798をTomoe Gozenで観測し、そのデータから二色図を作成して考察した。本研究では暗黒星雲の影響を受けている星が少なかったため暗黒星雲の影響を直接評価することには至らなかったが、観測範囲内の星は主に赤っぽくない主系列星であったということがわかった。

### 1.はじめに

暗黒星雲とは背後の天体からの光が遮られるために可視光による観測で黒く見える領域のことを言う。銀河の中心や円盤に沿って分布し、円盤から少し離れた領域にも円盤から噴き出たように分布している。暗黒星雲は背後にある星の光を遮り、暗黒星雲によって星の色が変わる可能性がある。本研究では暗黒星雲 DOBASHI4798 を含む領域を複数のフィルタで観測、理論的に計算された星の色（等時曲線）と比較することで星の色の変化を調べた。

### 2.観測・解析

観測日時：2020-02-19 12:04-12:30 対象：天体暗黒星雲DOBASHI4798 撮像観測：フィルタg', r', i'バンド  
観測機器：望遠鏡 東京大学木曾観測所シュミット105cm望遠鏡・カメラTomoe Gozen  
画像処理ソフトマカリを用いて撮像したデータのダーク処理フラット処理を行った。開口測光で暗黒星雲周辺の星の等級を測った。

### 3.結果

暗黒星雲DOBASHI4798の観測データからマカリで星を測光し、明るすぎて正しく測光出来ない星を除いて二色図を作成した。(図1)

### 4.考察

暗黒星雲の周りの星々の色と一般的な星々の色を比較する為に、いくつかの年齢の星々の等時曲線を作成し、二色図に重ね合わせた。ダスト減光を全く入れなかった等時曲線に対して二色図が全体的にずれていたため、星間ダストによる減光で全ての星の等級を一律に変化させることで等時曲線と二色図が重なると考えた。二色図と等時曲線の重ね合わせ方は二通りが考えられる。

(1)二色図と等時曲線の傾いた直線部分を重ねる方法。ダスト減光が3等級で100万歳の等時曲線の傾いた直線部分を重ねるとほぼ二色図に重なったが近似直線の傾きがやや異なった。(図1)

(2)二色図の近似直線と等時曲線の傾いた直線部分の近似直線のy切片を合わせる方法。ダスト0等級10億歳のg'-r'が2以下の部分の近似直線を作ると二色図の近似直線は傾きの近似はほぼ揃うがy切片が異なる。この二つの近似直線のy切片を合わせるためにダストの影響を入れると5.48676等級分になった。

以上(1)(2)よりダストや星の年齢を考慮して等時曲線をずらすと二色図に重なることが分かったが、その原因を特定するまでには至らなかった。

また、観測データに等時曲線の縦軸が2以上の所（以下縦の曲線部分とする）がなかったことについては等時曲線の縦の曲線部分のもとと数が少ないこと、また今回観測した星の数が少なく観測が不十分ではっきりとはわからなかった。それ以外に考えられる事は、縦の曲線部分の星は赤くて暗い主系列星であるが、観測データからは縦の曲線部分の星が見つかっていないため、今回観測した星は主に赤っぽくない主系列星であるということである。

もし(1)より今回のデータが100万歳であり、3等級のダストがかかっているとすると、赤くて暗い主系列星がなかった理由も説明できる。また観測した領域の中では暗黒星雲の影響を受けている可能性のある星が数点みられたが数が不十分であり、暗黒星雲による影響の議論に至らなかった。

### 5.結論と展望

結論：今回の観測結果からは、暗黒星雲の影響を受けている星は少なく、暗黒星雲が周りの星に具体的にどのような影響を与えているかはわからなかった。しかし、暗黒星雲の周りの星はダストの影響を受け、多くの星が赤っぽくない主系列星であることがわかった。

展望：暗黒星雲による影響の有無を議論する為には暗黒星雲の影響を受けている星の数を増やすことが重要である。そのために、より露光時間の長い観測データ、又はより長波長（赤外線）の観測データを使用する事が考えられる。

### 6.謝辞

本研究を進めるにあたって多大なる助力を頂いた、東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター大澤亮先生、高橋英則先生、NPO法人 Science Station、東京大学木曾観測所の皆様に深く感謝申し上げます。

### 7.参考文献 10億歳の星の等時曲線 [http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd\\_3.3](http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd_3.3)

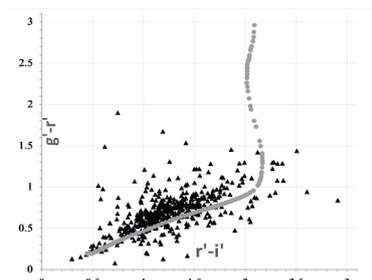


図1：100万歳等時曲線三等級入りと二色図

▲...二色図 ●...100万歳の等時曲線三等級入り

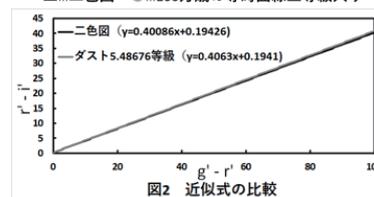


図2 近似式の比較

## 天の川銀河とアンドロメダ銀河の衝突予想

もし天2020 & ロマンだ班：

阿部 凧沙 (中等4) 【仙台市立仙台青陵中等教育学校】、胡子 真輝 (高2) 【サレジオ学院高等学校】、  
佐々木 楓華 (高2) 【岩手県立大船渡高等学校】、宮崎 春人 (高2) 【クラーク記念国際高等学校】

### 要 旨

アンドロメダ銀河の分光観測から視線速度を求め、天の川銀河と、どのように衝突するのかを調べた。また銀河の距離と星形成率の関係を調べることで、アンドロメダ銀河と天の川銀河の衝突によって生命が発生する惑星の数に変化はあるのか考察した。

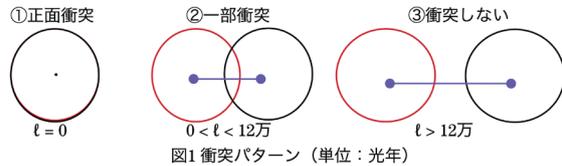
#### 1. 研究動機

私達は天の川銀河とアンドロメダ銀河が衝突することを知り、天の川銀河が将来どうなるか疑問に思った。特にいつ、どのように衝突し、その後衝突が進むとどうなるのかに興味を持ち、研究を行った。

#### 2. 研究方法

【いつ衝突するか】仙台市天文台のひとみ望遠鏡を用いてアンドロメダ銀河の分光観測を行い(表1)、視線速度を求めた。求めた速度と力学的エネルギーの保存則から衝突までの時間を計算した。[1][2]

【どのように衝突するか】銀河の中心から半径6万光年の球を考え、球同士が重なったとき、すなわち最接近時の中心同士の距離  $\ell$  が12万光年となったときを衝突と定義した。それをもとに衝突の仕方を(図1)の3パターンに分類した。



【衝突が進むとどうなるのか】先行研究[3]から相互作用銀河の銀河間距離  $\ell$  と  $H\alpha$  の光度を調べて星形成率  $R$  を計算し[4]、その関係を調べた。次にドレーク方程式を参考にして[5][6]「&ロマンだ方程式」 $N = kR(0.029 \leq k \leq 7.04)$  を作った。&ロマンだ方程式を用いて生命が発生する惑星の数  $N$  と銀河間距離  $\ell$  との関係を調べた。

#### 3. 結果

分光観測で得たアンドロメダ銀河のバルジ付近のスペクトルから、鉄の吸収線の波長を同定した(図2)。ドップラー効果による波長のずれから、太陽系から見た視線速度が570km/sと求まった。これを天の川銀河の中心から見た視線速度に直すと392km/sであった。

#### 4. 考察

観測で得た視線速度を用いて以下の量を計算した。

【いつ、どのように衝突するか】計算の結果約16億年後に衝突することがわかった。観測で得た視線速度を用いて天の川銀河とアンドロメダ銀河の最接近時の距離  $\ell$  を計算した結果  $\ell = 11.5$  万光年となり、「2. 一部衝突する」という結論に至った(図1)。

【衝突するとどうなるか】&ロマンだ方程式を用いて銀河間距離  $\ell$  と惑星の数  $N$  の散布図を作った(図3)。相関係数  $r = -0.31$  より、弱い負の相関関係がある。つまり、衝突が進むと生命が発生する惑星の数が増える可能性があるということがわかった。

#### 5. 参考文献

- [1] van der Marel et al. (2012)
- [2] van der Marel et al. (2018)
- [3] Jin et al. (2019)
- [4] Kennicutt (1998)
- [5] Steve et al. (2020)
- [6] 天文学宇宙検定 公式テキスト2019~2020年版 2級 銀河博士

表1 観測の詳細

使用望遠鏡	仙台市天文台ひとみ望遠鏡
観測方法	分光観測
低分散 (中心波長 6000Å)	4.80°, 1.35°スリット
中分散 (中心波長 6500Å)	4.80°, 1.35°スリット
積分時間	480秒
観測日時	12/20 20:00-12/21 2:00, 12/24 20:00-12/25 24:00

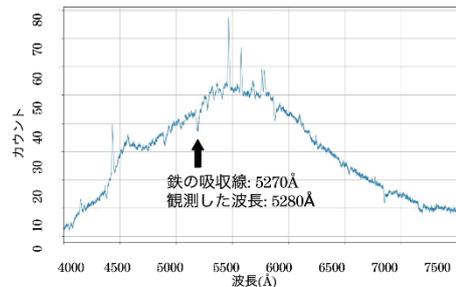


図2 観測したバルジ付近でのスペクトル

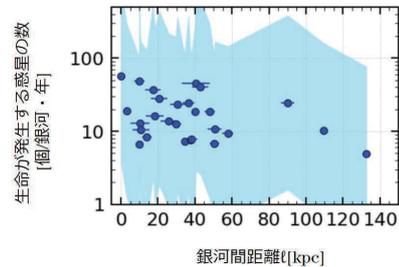


図3 惑星の数と銀河間の距離の関係

## 輝線に見るセイファート銀河の特徴

阿部 空也、家島 蔵之助、谷井 臯起、藤本 完 (高2) 【奈良県立青翔高等学校】

### 要 旨

岡山県美星天文台で、10個のセイファート銀河の低分散分光観測を行った。取得したスペクトルデータを分析し、それらに見られるH $\alpha$ 、H $\beta$ 、He II、[N II]、[O III]、[S II]等の輝線の幅や強さから、セイファート銀河内における元素の分布のモデル化やセイファート銀河の再分類を行った。

#### 1. はじめに

セイファート銀河とは、1943年にC.Seyfertが発見した活動銀河の一種である。セイファート銀河は、大多数が渦巻銀河で、1974年にE.KhachikianとD.Weedmanが、中心核のスペクトル中の輝線の幅が広い1型と輝線の幅が狭い2型に分類した。今日では、1型と2型の間中間的なセイファート銀河は1.5型と呼ばれ、キューサーやブレーザーなども含めた活動銀河核統一モデルが提唱されている。

高校生の先行研究としては、岡山県立玉島高校(2010)や本校平成29年度(2017年度)卒業生が、分光観測により様々な活動銀河核に表れる輝線の特徴について研究を行っているが、我々は対象をセイファート銀河に絞り、一步踏み込んで輝線の幅や強度について量的に捉えたいと考えた。

#### 2. 目的

我々の目的は、同定した1型・2型の輝線の特徴の違いからセイファート銀河中心核付近の構造を明らかにすること。また、文献により分類が異なる為、我々が取得したスペクトルを用いて、セイファート銀河を分類し直すことである。

#### 3. 方法

岡山美星天文台にある口径101cmカセグレン式反射望遠鏡、分光器、冷却CCDカメラを使用して、セイファート銀河と考えられている下表の10個の銀河の低分散分光観測を行った。さらに、これらの天体の観測データをすばる画像処理ソフト「Makali'i」や分光データ解析ソフト「BeSpec」(川端哲也氏)を用いて処理し、「Microsoft Excel」を使用して各輝線の幅(FWZI)を測定した。

#### 4. 結果

各セイファート銀河についての輝線幅を下表に記す

#### 5. 考察

我々の観測から、以下の2点の考察を得た。

- (1) 下図に示すとおり、銀河核中心部にはHやHe、銀河核外縁部にはO・N・Sといった元素が多いと言える。
- (2) 観測データからセイファート銀河を再分類した結果、型の変化したものも見られることから、銀河中心部の分子トラスの濃度は一定ではなく、ムラがある可能性があると考えた。

表 観測データから求めた各銀河の輝線幅 (FWZI)

銀河名	型	観測日	輝線幅					
			He II	H $\beta$	[O III]	H $\alpha$	[S II]	
NGC2782	-	1	2020.04.10	-	-	-	70.6	36.4
NGC3516	1.5	1	2020.04.10	-	50.0	28.1	139.2	24.0
NGC4151	1.5	1.5	2016.12.09	114.4	122.6	48.2	279.8	32.2
			2020.04.10	96.5	130.5	44.1	272.8	32.2
NGC5548	1.5	1	2020.04.10	16.5	107.6	36.3	258.0	43.0
			2019.11.16	115.1	109.4	36.3	220.0	18.5
NGC7469	1.2	1	2020.09.05	-	-	-	197.0	23.2
			2020.09.05	118.4	98.7	44.2	212.6	27.8
			2020.09.05	123.7	86.5	56.2	239.6	23.1
			2020.09.05	124.4	107.6	40.2	221.4	18.5
			2020.09.05	127.7	82.9	40.2	219.2	18.5
NGC3227	1.5	1.5	2020.04.10	84.4	96.1	44.1	159.3	27.6
NGC4051	1.5	1.5	2020.04.10	84.0	72.3	40.1	155.4	32.2
NGC1275	2	1.9	2016.10.21	45.6	69.7	44.5	148.6	25.0
			2019.11.16	58.2	57.3	60.2	131.5	23.9
NGC4258 (M106)	1.9	1.9	2020.04.10	-	-	26.5	36.4	28.7
NGC1068 (M77)	2	2	2016.10.21	78.4	54.7	72.3	136.7	44.4
			2019.11.16	71.4	44.1	67.8	116.0	32.2
			2020.09.05	-	49.4	-	-	-
			2020.09.05	68.1	53.8	68.2	138.9	41.4
			2020.09.05	72.8	51.2	64.1	132.0	36.8
			2020.09.05	78.1	55.6	72.4	143.0	31.0

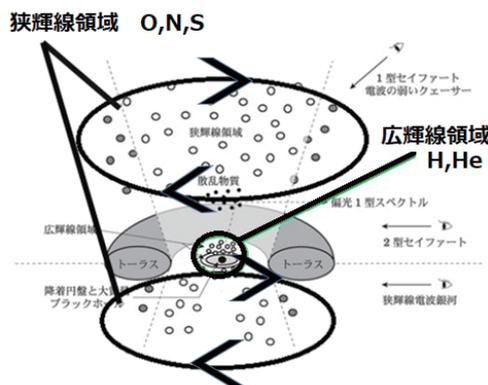


図 活動銀河核中心部のモデル (谷口義明ら「銀河 I - 銀河と宇宙の階層構造」 p. 141より引用)

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、大阪教育大学の福江純先生、松本桂先生及び美星天文台の前野研究員、伊藤研究員にご指導、ご助言をいただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 相互作用銀河はAGNのつぼみか

もし天2020 Jalxy班：

岡田 賢（高専2）【明石工業高等専門学校】、小川 真結（高1）【宮城県仙台第二高等学校】、  
田島 紫乃（高1）【静岡雙葉高等学校】、森永 千晴（高1）【九州国際大学付属高等学校】

### 研究の要旨

AGNがある条件や生成過程の特徴をつかむため、相互作用銀河の観測を行い、相互作用銀河中のAGNの割合と全銀河中のAGNの割合を比較することで「相互作用の度合いが強い程AGNの割合が高い」という推測を立証する。

#### 1. 目的

銀河中心にある超巨大ブラックホールは多量の物質を引き寄せて吸い込む。物質が吸い込まれるときに、一部がエネルギーを放出し、AGN（活動銀河核）として観測される。

引きよせる過程で物質の受ける力が遠心力の影響より小さいと吸い込まれない。しかし、物質の持つ角運動量が減少するとブラックホールに吸い込まれやすくなる。角運動量の減少の要因として、銀河同士の強い相互作用や銀河同士の衝突が挙げられると推測される。そのため、相互作用銀河の観測を行い、相互作用銀河中のAGNの割合と全銀河中のAGNの割合を比較することで相互作用銀河ではAGNが生まれやすいという推測を立証することを目的とする。

#### 2. 仮説

1. より「銀河同士の衝突や近接などの相互作用で十分に物質の角運動量が落とされたとき、AGNは形成される」と推測する。AGNを持つ相互作用銀河は強い相互作用によって形を乱されたものが多いはずだ。結論で「銀河全体の中でAGNを持つものの割合<相互作用銀河の中でAGNを持つものの割合」ということを確かめたい。

#### 3. 研究方法

ひとみ望遠鏡を使って観測時間内で観測できる分の相互作用銀河を観測する。その中からAGNを持つものの割合調べる。また、比較のために全銀河中のAGNの割合を、既に発表された論文を用いて調べる。

相互作用の程度は、Makali'iを用いて撮像した銀河の画像を180度反転させ、反転前後の画像を引き算し、銀河の形が歪かどうか・非対称的かどうかを見る。余った部分の面積の割合と、明るさの割合を、元の銀河と比較する。また、比較対象として相互作用銀河ではない銀河に対しても同様の観測・解析を行い、相互作用銀河の場合と結果を比較する。

#### 4. 結果

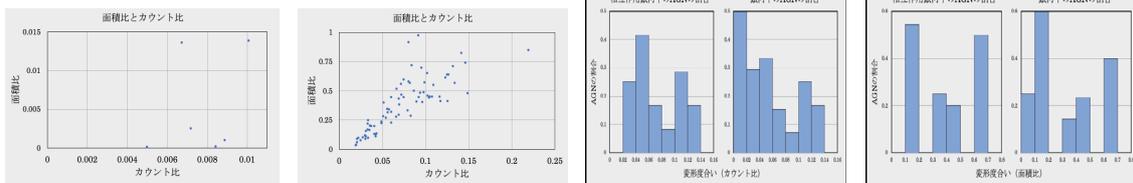


図1 面積比とカウント比1 図2 面積比とカウント比2 図3 カウント比とAGNの割合 図4 面積比とAGNの割合

観測したデータ(図1)は天体数が少なかったため相関関係を説明できなかった。そのため、The STScI Digitized Sky Surveyの画像を使って同様の解析を行った結果から、カウント比、面積比を軸に取ったものが(図2)、それぞれの値を一定値ごとに分けその中のAGNの割合を、相互作用銀河、全ての銀河それぞれで表したものが(図3)(図4)である。

#### 5. 考察

全銀河中のAGNの割合は1%(Blanton et al., 2003; Ueda et al., 2014)である。また、相互作用銀河中のAGNの割合はまだ分からない。図1から図4を考察したものから、結論を導き出したい。

図2より、カウント比と面積比の比較からは比例関係が見られる。図3より、普通の銀河でもAGNを作る機構が存在する。乱れが少ない銀河のAGNはバー構造に由来するのではないか。図3より、カウント比が0.2以下のものは全て楕円銀河だった。このことから、昔銀河同士の衝突が起こった可能性があると考えた。また、面積比とAGNの比較から0.06を超えている銀河は相互作用銀河で、角運動量の減少が形成に関わった可能性がある。グラフがU字型になっているがそのくぼみの理由が分からない。しかし、必ずしも相互作用がAGNの要因ではないことが分かる。

#### 6. まとめ

仮説では「相互作用の度合いが強い程AGNの割合が高い」としていたが、完全に立証する事が出来なかった。

結果より相互作用の度合いが強い程AGNの割合は高かったが、仮説に基づく予想としては、図3, 4が右上がりのグラフになるはずの図3, 4がU字型のグラフになり、予想とは異なる部分がある。

## 宇宙膨張と重力による収縮の境界を密度から探る ～宇宙膨張 VS 重力～

もし天2020 (OaO) : 管野 瑠海 (高1) 【昭和薬科大学附属高等学校】 木村 萌恵 (高2) 【東京都立日比谷高等学校】 篠田 賢佑 (高2) 【函館ラ・サール高等学校】 橋沼 宗慶 (高2) 【宮城県仙台第二高等学校】

### 要旨

宇宙は膨張しているが、銀河は膨張せず自身の重力によってまとまっている。対して、銀河団はまとまりきっていないものも観測されている。一つの構造としてまとまっていられるかどうかの境界は、宇宙膨張の効果がみられる境界と同じであると考えられる。そのため、銀河団内に宇宙膨張の効果がみられる境界があると考えた。銀河団及びその周辺が一樣な球であると仮定してその密度を観測によって求め、銀河団としてまとまっていられる限界の距離すなわち宇宙膨張の効果が重力の効果を上回る規模を考察した。

### 1. 研究動機

宇宙規模では膨張が起こっているにもかかわらず、銀河同士などの比較的小さい規模では膨張の効果がみられず衝突することがある。そこでより大きな規模である銀河団では膨張の効果が現れるのではないかと予想した。これを検証するため、重力が宇宙膨張を振り切って銀河団としてまとまっていられる場合と、宇宙膨張が重力を振り切って天体同士が離れていく場合を分ける境界を調べようと考えた。

### 2. 観測

観測機器：仙台市天文台のひとみ望遠鏡 撮像観測  
フィルター無し (レミナンス)

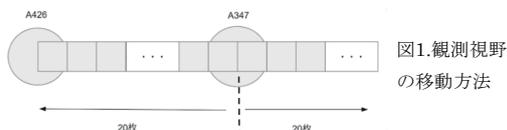
積分時間：60秒

観測天体：ペルセウス座・うお座超銀河団に含まれる  
銀河団A347近傍

観測日時：2020年12月21日 18時30分～21時  
12月24日 18時～19時30分

### 3. 方法

(1) 図1のようにA347の中心から、隣接する銀河団A426の中心まで視野を移動させて20枚撮像する。また、A347からA426とは反対側へ同様に20枚撮像する。



(2) 撮像した1枚あたりの銀河の個数を数え、銀河団の中心から撮像した地点を半径とする球内の銀河の平均密度を求める。これに銀河の質量<sup>\*1</sup>をかけて銀河団の平均密度<sup>\*2</sup>を求める。ここでは、銀河間のダークマターや銀河間ガスの質量を、銀河の総質量の9倍と仮定した。(つまり、銀河団の中心から観測した領域までを半径とする球形領域内の物質の総質量=1つの銀河の質量×その球体内の銀河の個数×10)

\*1：標準的な大きさの銀河である天の川銀河の質量 (銀河内のダークマターを考慮)

\*2：銀河団の中心から、撮像した部分までを半径とする球の総質量/体積

(3) エネルギー保存則を用いて、膨張による運動エネルギー<sup>\*3</sup>と重力による万有引力のエネルギー<sup>\*4</sup>の方程式を立てる。(式1、式2)

\*3：式のvにハッブル則 $v=Hr$ を代入する。

\*4：式を平均密度 $\rho$ を用いて表し、②で求めた平均密度を代入する。

(4) 式より、膨張による運動エネルギーの方が大きくなると考えられる銀河団の中心からの距離を求める。

$$\text{式1. } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{r} \quad \text{式2. } M = \frac{4\pi r^3}{3}\rho$$

(r：任意の天体の、銀河団の中心からの距離)

### 4. 結果

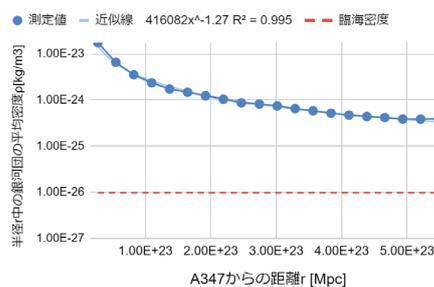


図2. 銀河団の中心からの距離と銀河団の平均密度分布 (銀河間のダークマター考慮) の関係

今回の観測から得られた結果は図2の通りである。なお、グラフ上の赤線は、宇宙の臨界密度<sup>5)</sup>を示す。  
\*5：宇宙空間全体の平均密度のこと。ある領域がこの密度より大きければ収縮し、小さければ膨張する。

### 5. 考察

図2より、銀河団の中心から570Mpcの距離 (近似線と臨界密度の線の交点) で境界が現れると考えられるが、ペルセウス座・うお座超銀河団の大きさは30.66Mpcである。ゆえに、観測領域内では宇宙膨張より重力の影響の方が大きく、収縮するといえる。

ただし、解析をする際、いくつかの仮定を導入したため、以下の物理量について実際の量と誤差が生じている可能性がある。表1は、各場合での結果に与える影響についての考察である。

表1. 考えられる誤差

銀河の個数	仮定<実際	仮定>実際
各銀河の質量	仮定<実際	仮定>実際
ダークマターの質量	仮定<実際	仮定>実際
その結果どうなるか?	境界が遠くなる	境界が近くなる

### 6. まとめ

今回の観測領域の大きさが銀河団の一般的な例であると考えられるならば、銀河団同士の規模でも宇宙膨張よりも重力の効果の方が大きく、宇宙膨張による効果が現れてくるのは超銀河団よりも大きい規模であると言えるだろう。

### 7. 謝辞

本研究を進めるにあたりご協力いただきましたもし天関係者の皆様に感謝申し上げます。

## 科学技術を体感で理解するスゴロクの製作 -小惑星探査機はやぶさ2を題材としたスゴロク「スゴはや2」-

東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部：  
宮崎 珠実（高1）、久保 公貴（高3）、小林 宇宙、深堀 貴雄（高2）  
【東京工業大学附属科学技術高等学校】

### 要 旨

科学部では、天文学の科学技術プロジェクトを題材にし、科学技術コミュニケーションプロジェクトを行っている。小惑星探査機はやぶさ2 [1]を題材とした「スゴはや2プロジェクト」[2]では、2017年11月にスゴロク「スゴはや2」を製作し、改良を続けてきた。はやぶさ2の科学的・技術的要素を取り入れ、スゴロクのしかけによる難度とその達成によりミッションのおもしろさやレベルの高さを体感で、子供にもわかりやすく伝える方法を考え出した。

#### 1. 目的

はやぶさ2の科学的・技術的要素を可能な限り正確に取り入れ、小学生以上を対象とするスゴロクを製作する。スゴロクの難度や達成感により、はやぶさ2のミッションの科学的価値や意義・ハイレベルな技術を直感的に体感できるしかけマス「ミッションマス」を製作し、苦勞の共有や好感で「難しい・わからない」という先入観の回避を目指す。

#### 2. ミッションマスの製作方法

スゴロク「スゴはや2」では、ルート上にははやぶさ2の行程を展開し、ミッションを体験できるしかけマスを時系列に配置して、その旅の一覧を可能にした。しかけマスには、ミッションの科学的・技術的要素を取り入れ、ミッションの難しさにフィットするスゴロク手法を組み合わせた。ミッションの難度をスゴロクのしかけの難度に置き換え、クリアする達成感により「スゴイ」と体感できるようにした。

#### 3. 製作したミッションマスの例「地球スイングバイ」

スゴはや2では、打ち上げから地球到着まで、8つのミッションマスを設置している。ここでは、その一つ、ミッションマス「地球スイングバイ」を図1に示す。スイングバイは、惑星の重力圏に入り、その公転速度を利用して、エンジンをほとんど使わずに探査機の「軌道を変え」、「加速（・減速）」を行う航法である。スイングバイの成否の判断に、専門家は、加速・減速の指標として $\Delta V$ （デルタブイ）を使用しているが、子供にも一般にも馴染みがない言葉、内容である。また、スイングバイは「スイングバイの軌道に探査機を乗せて、所定の加速を得る」航法ともいえる。「地球スイングバイ」のミッションマスに科学的・技術的要素を取り入れるにあたり、私たちは、スイングバイを軌道選択の一種と捉え、はやぶさ2がスイングバイの間、その軌道上の各点で「所定の時刻・位置で決められた方向に、決められた速さで通過する」と規定し、プレイヤーの子どもにとってイメージしやすい言葉の「スピード」と「ほうこう」で表現することにした。この2つの要素が揃う時、スイングバイは成功し、どちらかが欠ければ、本来の軌道から逸れて、修正にも時間がかかる。これを表現するため、サイコロの出目に「スピード」と「ほうこう」の成否を組み合わせ、出目によりルートが分岐し、成功の場合は最短ルートを、それ以外では長いルートをたどるようにした。

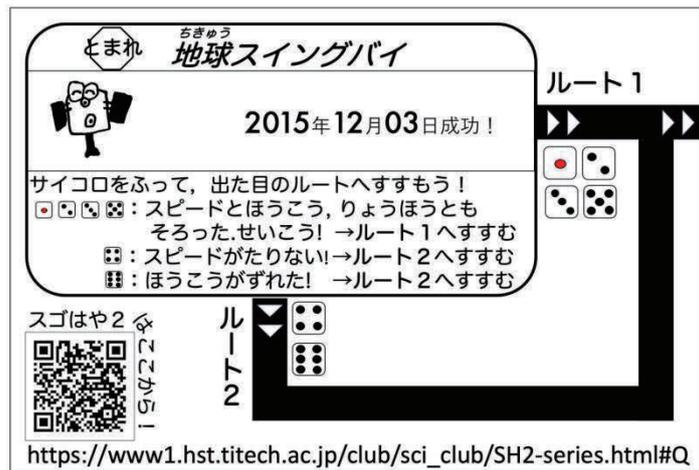


図1 ミッションマス「地球スイングバイ」(イメージ)

#### 4. まとめ

対象とする子供たちにとってイメージしやすい表現を用いて、スイングバイの際のはやぶさ2の精密な軌道修正や、リスクなどの体感を可能にできたと考えている。しかし、最初に製作した「地球スイングバイ」ではスイングバイの要素のうち「軌道を変える」ことは説明できているが、 $\Delta V$ が示す「加速」については表現できていなかった。そこで、最新のスゴはや2・パーフェクト版では、新たに「かそくせいこう」のマスを追加予定である。スゴロク「スゴはや2」は、図1のQRコードよりダウンロード可能である。

#### 5. 参照

- [1]宇宙航空研究開発機構。“HAYABUSA2 PROJECT”. <http://www.hayabusa2.jaxa.jp/>.
- [2]東京工業大学附属科学技術高等学校科学部。“Project Sugo-Haya2”. [https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci\\_club/sugo-haya2.html](https://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/sugo-haya2.html).

## 図鑑等に描かれたブラックホール想像図の科学的正確性の検証

吉山 琉太、浦口 悠夏、西田 汐里 (高3) 【大阪府立北野高等学校】

### 要 旨

Black holes are hardly observed directly, while they are written in imaginary figures. On the other hand, research on black holes has been advancing. We verify whether these descriptions are scientifically accurate.

#### 1. 目的

ブラックホールは観測が困難なため、実際の姿・写真は取られたことがなかったが、近年のブラックホールの研究はめざましい発展を遂げ、2019年4月に直接撮像に成功した (EHT collaboration, “First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole”)。しかし撮像されたのはブラックホールのごく近傍であり、降着円盤やジェットを含めた全体を撮像するには至っていない。そのため、一般の人々がブラックホールを理解しやすいよう、これまで多くのブラックホールの想像図が作られてきた。本研究では、ブラックホール理論に基づき、これらの想像図の科学的正しさについて検証する。

#### 2. 分析・考察

図鑑やインターネットからブラックホール想像図を調査した。極めて抽象的に描かれた想像図が多い中、比較的具体的にブラックホールが描かれている3つの資料、(a)『学研の図鑑 宇宙』(学習研究社、2001年)、(b)『21世紀子ども百科 宇宙館』(小学館、2001年)、(c) 日本経済新聞のインターネット記事「ブラックホール、どんな天体? 3つのポイント」(2019年4月11日付)に掲載されているブラックホールの想像図を検証対象として選び、科学的に正しいかどうかを検証した。考察するポイントとして、今回は「降着円盤」「重力レンズ効果」「ジェット」に注目した。

降着円盤は、内側にいくほど高温になり、波長の短い光が放射される。(a)(b)の図は、降着円盤は全て白色で描かれており、波長の違いを意識して描かれていなかった。(c)は可視光が出ている部分を赤色、それより内側を白色で描いていると思われる。一方で(c)は、黒い球体(ブラックホール)と降着円盤が接触しているように描かれていた。ブラックホールが回転していない場合、降着円盤の最内縁半径はシュバルツシルト半径の3倍なので、最内縁とブラックホールの間に隙間が空いているはずである。回転している場合はエルゴ領域が存在するため、ブラックホールの形は降着円盤の方向に膨らむはずである。よって(c)は、ブラックホールと降着円盤の距離の点で正確でない。一部の光が強力な重力によって歪められる重力レンズ効果については、3つ全てで描かれていなかった。ジェットは、カー・ブラックホールにおいて、らせん状にねじれた磁場に巻きついた物質が光って見えていると考えられている。(a)(b)の図にはジェットが描かれているが、らせん構造は描かれていなかった。

2001年に描かれた図鑑の想像図に関しては、当時の科学的知見を結集してもっとも確からしい図として描かれたと考えられる。しかし現代から振り返ってみれば、ジェットのらせん構造が描かれていないなどのやや不正確な点が見られる。一方、2019年に発行された図鑑(『小学館の図鑑NEO [新版]宇宙』小学館、2019年)のブラックホール想像図では、ジェットに明確にらせん構造が描かれている。時代とともに変化する想像図から、ブラックホール研究の進展を読み取ることができる。

#### 3. まとめ

図鑑やインターネットからブラックホール想像図を調査し、3つの資料について科学的正しさを検証した。降着円盤については、その温度構造による波長の違いを意識して描かれたものは少なかった。重力レンズ効果についてはどの資料でも描かれていなかった。ジェットについては、20年前の図鑑で描かれていなかったらせん構造が、最近の図鑑では描かれるようになっていた。

#### 参考文献

- 「重力とは何か」大栗博司、幻冬舎新書
- 「ブラックホールに近づいたらどうなるか?」二間瀬敏史、さくら舎
- 「ブラックホールと高エネルギー現象」小山勝二・嶺重慎[編]、日本評論社、シリーズ現代の天文学
- 「学研の図鑑 宇宙」(2001年)、学研
- 「21世紀子ども百科 宇宙館」(2001年)、小学館
- 「ブラックホール、どんな天体? 3つのポイント」日本経済新聞[2019年4月11日付]
- 「小学館の図鑑NEO [新版]宇宙」(2019年)、小学館

## 表紙写真の説明

### 木星と土星の最接近（2020年12月21日）

2020年12月、木星と土星がとても近づいた状態で観察できました。日本から見て最も近づくようすが見られた21日夕方には、満月の見かけの直径の約4分の1（7分角）まで近づきました。望遠鏡の同じ視野に、土星の環と縞模様のある木星、そして木星のガリレオ衛星が見えるという奇観でした。この2つの惑星がこれほど近づくのは1623年以来ですが、その時には太陽からの離角が小さく、夜空で観察することはできませんでした。望遠鏡が発明されて以降の最接近と言えます。

撮影日時：2020/12/21 18:50 (JST)

撮影場所：国立天文台三鷹キャンパス

望遠鏡：50cm 公開望遠鏡（焦点距離 6000mm/F12）

カメラ：Sony α7S

露出：1/30 秒

感度：250

画像処理：Photoshop

撮影者：長山 省吾、佐藤 幹哉、石川 直美、内藤 誠一郎（国立天文台）

クレジット：国立天文台

## ジュニアセッション実行委員会・世話人

実行委員 山村 一誠（実行委員長）、石川 直美、大西 浩次、篠原 秀雄、内藤 博之、山岡 均

世話人 縣 秀彦、浅見奈緒子、飯塚 亮、石田光宏、小倉和幸、小野智子、小菅 京、佐藤太基、鈴木文二、谷川智康、永井智哉、西村昌能、船越浩海、畠 浩二、松本直記、吉川 真

天文学辞典



誌面構成 中田 彩子

印刷 株式会社 明友社

日本天文学会では、天文学辞典をオンラインで公開しています。  
みなさんの研究成果を発表する際に、ぜひご活用ください。

<https://astro-dic.jp/>

発表へのコメントは、インターネットで受け付けています。  
<https://forms.gle/tQBAJ6LRpVv448h1A>

コメント受付



天文学辞典



日本天文学会では、天文学辞典をオンラインで公開しています。  
みなさんの研究成果を発表する際に、ぜひご活用ください。

<https://astro-dic.jp/>