

日本天文学会 2026 年春季年会

第 28 回 ジュニアセッション予稿集

2026 年 3 月 7 日

日本天文学会 第28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 太田 耕司

2026年のジュニアセッションでは、69件の発表がある予定です。ここ5年程では最も発表数が多くなりました。このところ毎年60件前後ですので、だいたいこの位の数の発表が定着してきているのかもしれませんが。今年の皆さんの参加を大変嬉しく思います。

これまで何度かジュニアセッションに出席しましたが、研究課題のユニークさ、熱心な取り組み、念入りな発表の準備等に、いつも大変感心させられています。高等学校までの学習は基本的には教科書に沿って行われていますので、何故このような勉強をするのかわからなくても、或いはそんなことを考えなくても、学習は進みます。学校での試験も学習内容の理解度を見るため、答も既にあるのが普通です。もちろんこういった学習も大切です。しかし、それだけでいいのかな？という感じもします。私の場合、天文学の研究・教育に携わっているわけですが、日頃思うのは、研究すべき問題・課題が何かを明確にすることが非常に重要だなあという点です。まず問題を顕在化することが第一歩だと思われまふ。何もないところに煙をたてるようなもので、これがなければ何も始まりません。でも、問題や課題は考えようによってはいくらでも見つかります。そこで、どの問題がどう重要なのか？に思いをめぐらせます。問題の設定の仕方も大切でしょう。妙な設定の仕方をするとなんか答えがなかったり、迷路に迷い込んだりしそうです。研究の重要性はその研究課題の重要性でほぼ決まるということはよく言われることだと思います（そんなことは意識せず、とにかく興味のあることに邁進するというのもありだと思います）。しかし、一方で、重要性はあるがそれを解く手段がないとそれはそれで困ります。手段・アプローチをどう実現するかも考えないといけません。このようなプロセスを経て具体的な研究を進めることになり、その進め方にもいろいろな工夫や学習等が必要になります。このような、問題を自分（たち）で見つけて設定するプロセスは高等学校まででは（大学でもそうかもしれませんが）あまり意識的に経験しないことが多いような気がします。普通、課題は与えられることが多いのではないかと思います。

ジュニアセッションの発表を見ていると、問題やその設定にユニークさを感じます。そしてその解明に向かっていろいろな努力を重ねてきた姿が見えて、大変頼もしく感じます。問題を顕在化させ、設定し、解明し（できない場合もありますが）、今後どうするのか等々自分（たち）で考え実践する体験は極めて大切だと思います。課題は天文学だけではなく、他の科学分野でもあるし、或いは社会課題だってあります。それを見つけて自分なりに取り組む経験は、今後の人生においてとても役に立つだろうと思います。むしろ、日本天文学会のジュニアセッションでは天文に関連した内容での発表になりますが、その経験には普遍性があって、皆さんの後々の人生に活かされるものとなるでしょう。そういった経験をすることがジュニアセッションの真の目的なのだろうと、私は勝手に思っています。（妄言多謝）

第 28 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
後援：日本学術会議

【口頭セッション】 : 2026 年 3 月 7 日 (土) 9:30~11:30、13:30~15:30
会場：京都産業大学 + オンライン

【ポスターセッション】 : 2026 年 3 月 7 日 (土) 11:30~13:30、15:30~16:30
ポスター会場：京都産業大学

コメント受付

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/opPx6vtAnPXVebvR9>



【2026 年 3 月 7 日 (土) 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3分または4分 質疑は1講演1分で、数講演分まとめて行います)

座長：山岸 光義 (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)

鈴木 文二 (渋谷教育学園幕張中学校、渋谷教育学園幕張高等学校)

- A 星空環境 : 01、02
- B 位置天文 : 03、04
- C 月・太陽 : 06、08、11、12、13、14
- D 流星・彗星・小惑星 : 15、16、17、21
- E 宇宙開発 : 23、24、25
- F 装置・観測方法・データ解析 : 27、34
- G その他 : 講演なし

I 分講演 (05、09、10、18、19、22、28、37、39、54、56、63、66)

11:30~13:30 ポスターセッション、昼食

13:30 口頭講演(各講演3分または4分 質疑は1講演1分で、数講演分まとめて行います)

座長：秦 和弘 (名古屋市立大学大学院理学研究科)

可長 清美 (東京都立立川高等学校)

- H タイセッション : 40、41、42、43、44、45、46
- I 惑星 : 47、48、50
- J 系外惑星 : 51、52、53
- K 恒星 : 55、57、58、59、60、61
- L 星雲・星団・星形成 : 62、64、65、67、68
- M 銀河 : 69

15:30~16:30 ポスターセッション

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/>



目次 Contents

A 星空環境 *Dark Skies*

- 01T** 天気によって夜空の明るさは変動するのか **12**
埼玉大学科学者の芽育成プログラム：長野 聡（中2）【練馬区立石神井東中学校】
- 02T** 一眼レフカメラを使用した地球照観測による地球のボンドアルベドの測定 **13**
井口 智晴（高2）【兵庫県立明石北高等学校】

B 位置天文 *Astrometry*

- 03T** 自作の四分儀を用いた緯度・経度の測定から地球の円周を求める **14**
長野工業高等専門学校 天文部：
藤田 乃亜、塚田 耕大（高専3）、若井 由衣、上田 成花（高専2）、
上本 衣都、笹澤 愛花、佐藤 陽、下島 周、高橋 恵來（高専1）【長野工業高等専門学校】
- 04T** 視差を用いた月までの距離の計算とそれを応用した立体星座カードの制作 **15**
小林 美琴（中1）【津島市立暁中学校】

C 月・太陽 *Moon / The Sun*

- 05S** 月食時の月の明るさの謎を追う **16**
サイエンス部2年天文月食班：
高松 陽南子、有村 拓真、大竹野 弘夢、川崎 翔大、横山 涼世（高2）【鹿児島県立国分高等学校】
- 06T** 2025年9月8日皆既月食におけるターコイズフリンジのRVB色彩調査 **17**
愛知県立一宮高等学校地学部月食班：
朝倉 花怜、鈴木 沙悠、福川 真彩、森本 月那、安田 理紗子（高1）【愛知県立一宮高等学校】
- 07P** 日傘の色による紫外線の量と温度の変化 **18**
佐藤 尊、森田 幸樹、酒井 奏、古林 奨大（高2）、野崎 紗芦、勅使河原 路華、濱田 梨緒、三橋 くるみ、
山名 梨湖、山内 彩瑛、関 夢香（高1）【星野高等学校】
- 08T** 自作簡易アンテナを用いた21cm線太陽電波観測 **19**
電波天文班：齊藤 月渚、羽澤 碧真、日高 未花（高2）【宮崎県立宮崎北高等学校】
- 09S** 太陽黒点自動解析システムの作成 **20**
名古屋市立桜台高等学校 天文部：鈴木 康平、野間 大夢（高2）【名古屋市立桜台高等学校】

T：講演（3分間または4分間）
S：講演（1分間）
質疑（1分間）はまとめて行います。
P：ポスターのみ

10S 黒点群の面積と太陽フレアの規模の関係について 21

武蔵高等学校中学校太陽観測部：

川嶋 諒太、赤穂 光剛、片倉 景道（中3）、星野 英慈（中2）、高橋 雄祐、山田 想祐、吉村 元甫、
小林 礼旺、笹岡 凧（中1）【武蔵中学校】、
石川 貴也、岸田 悠吾、鈴木 董也、血海 翔大、山田 隼士（高1）【武蔵高等学校】

11T 太陽活動現象におけるフレアとCMEの関係性 22

血海 翔大（高1）【武蔵高等学校】

12T 11年分の自校撮影太陽画像で調べる太陽差動回転の特徴 23

名古屋高等学校地球科学部・名古屋中学校自然科学部：

山内 朝日、足立 勝（高2）、吉元 敬博、足立 健人、小林 幸史（高1）【名古屋高等学校】、
溝神 幸文（中2）【名古屋中学校】

13T 太陽の周縁減光における波長依存性についての観測的研究 24

天文部：

櫻井 優輝、江口 真由美、小倉 遙河、小泉 翔愛、佐々木 健人、寺原 直希、中根 陽輝（高2）、
渡部 風香（高1）【川口市立高等学校】

14T 太陽活動極大期におけるフォーブッシュ減少の観測 25

秋田高等学校理数科宇宙線班：

池本 泰斗、竹村 心那、目黒 ことみ、渡部 夏子（高2）【秋田県立秋田高等学校】

D 流星・彗星・小惑星 *Meteors / Comets / Asteroids*

15T 国立天文台ライブ配信における流星の観測 26

森口 圭吾（中2）【川口市立高等学校附属中学校】

16T マウナケア山頂すばる望遠鏡ライブ配信を使用した、ペルセウス座流星群の観測と予測 27

若狭 千輝（中2）【呉市立阿賀中学校】

17T 流星の自動観測装置の製作と流星群の分析～火球とクラスターについて～ 28

天文気象部：

水澤 資人、西 梨杏、大谷 勇人、奥出 理人、村田 圭総（高3）、大浪 弘貴（高2）【東京都立立川高等学校】

18S ペルセウス座流星群眼視観測データの傾向分析 29

天文気象部：荻島 侑大、大浪 弘貴、藤井 凜（高2）【東京都立立川高等学校】

19S 流星分光観測装置の製作と分析 30

天文気象部：

田中 蔵之介、高橋 大佑、中嶋 秀利、林道 遥嵩（高1）、
大浪 弘貴、荻島 侑大（高2）【東京都立立川高等学校】

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/opPx6vtAnPXVebvR9>

コメント受付



20P	C/2025 A6 レモン彗星の画像解析	31
	郭 亦蕾、加藤 千翔、川村 楓（高2）、椎野 桜介、石橋 叶（高1）【駿台学園高等学校】	

21T	小惑星 43Ariadne の測光観測	32
	天文気象部：岩見 樹、戸田 大貴（高2）、小林 風花、地白 美月、千葉 都萌（高1）【兵庫県立舞子高等学校】	

22S	鉄球と砂を用いたクレーターの特徴解析～衝突パラメータの逆推定に向けた実験研究～	33
	高槻高等学校 課題研究 物理5班： 荒川 昭、鬼頭 滉介、濱田 翔大、水口 颯人、山西 響花（高2）【高槻高等学校】	

E 宇宙開発 *Space Development*

23T	シミュレーションによるスペースデブリ除去方法の考案	34
	赤木 悠理花、道下 知歩、姚 瑶（高2）【茨城県立日立第一高等学校】	

24T	大気圧適応型エンジンの冷却解析	35
	藤原 宏大（高2）【京都市立堀川高等学校】	

25T	SDGs 研究／宇宙での核融合発電実現を目指して	36
	衛星型核融合発電研究班：村井 蒼天、吉原 和希（高2）【神奈川県立横須賀高等学校】	

F 装置・観測方法・データ解析 *Instruments / Methods / Analyses*

26P	太陽像を用いた大気ゆらぎの評価方法の開発と統合的解析	37
	科学探究部天文班：落合 咲輝、島野 淳（高1）【東京都立富士高等学校】	

27T	CNN を用いた Tomo-e Gozen データからの銀河抽出と分布解析	38
	銀河学校 B 班： 佐藤 功基（高専4）【長野工業高等専門学校】、大野 智輝（2025年卒）【麻布高等学校】、 堀 航士朗（高3）【武蔵高等学校】、齋藤 元（高3）【東大寺学園高等学校】、 秋田 心菜（高3）【愛知県立旭丘高等学校】、森永 悠星（高2）【大智学園高等学校】、 伊藤 弘也（高2）【長野県松本深志高等学校】、寺原 直希（高2）【川口市立高等学校】、 浅田 一樹（高2）【東京都立日比谷高等学校】	

28S	深層学習を用いた相互作用銀河の形態分類と特徴量表現の解析	39
	山谷 剛瑠（高専3）【福島工業高等専門学校】	

T：講演（3分間または4分間）
S：講演（1分間）
質疑（1分間）はまとめて行います。
P：ポスターのみ

29P 3Dプリンタとスマートフォンのカメラを用いた天体の簡易分光器の制作 **40**

長野県松本深志高等学校 地学会 分光班：

伊藤 弘也、小林 剛士（高2）、野口 真之介、望月 真悠子、百瀬 弘基、代田 紗希（高1）

【長野県松本深志高等学校】

30P 設置角度と色の違いによるソーラーパネルの発電量の考察 **41**

関口 莉央、相原 和奈、神尾 春菜、小泉 凛桜、鈴木 莉心、廣澤 美佳莉（高2）、

青木 美希、伊島 彩恵、小林 夢愛、冨田 璃瑚、中沢 結香、松井 姫香（高1）【星野高等学校】

31P 望遠鏡を作って宇宙を覗こう **42**

星野高校天文部：

栗原 蒼二郎、岡本 脩吾、川杉 博丈（高2）、遠藤 笙、大底 祐輝、大野 真誠、長澤 勝己、成毛 晴輝、

真野 壮汰、吉田 雅隆、橋詰 航雅（高1）【星野高等学校】

32P より丈夫なプラネタリウムを作るために **43**

科学部天文学班：

米山 椋乃（中等5）、眞岩 更沙、岩崎 永真、和田 紗彩（中等4）、伊藤 咲郁、小舘 茉央（中等2）

【神奈川県立平塚中等教育学校】

33P 両面テープを用いたプラネタリウム用エアドームの作成 **44**

成蹊高等学校 天文気象部：

相澤 日向、内山 こころ、根岸 陽向、山形 菜々美（高2）、石井 瑞希、能美 輝（高1）【成蹊高等学校】

34T プラネタリウムにおける日周運動および年周運動の再現 **45**

自然科学部天文班：

原田 慶紀、小島 彩、戸田 陽己、田中 文（高専2）、村岡 諒、吉野 晴貴（高専1）

【神戸市立工業高等専門学校】

G その他 Others

35P VR化と競技化によるプラネタリウムの普及 **46**

ほしとも・めいほく プラネタリウム班：

渡辺 梨緒、山内 愛結、山本 大志、尾玉 将太、小野 浩太郎、畑 杜真、岸本 悠叶（高1）、井口 智晴、

落合 夏菜（高2）【兵庫県立明石北高等学校】、山崎 航輝、中戸川 直道（高2）【六甲学院高等学校】、

中島 こころ（高専2）【明石工業高等専門学校】、谷 和磨（高3）【明石市立明石商業高等学校】

36P 折り紙を用いた学校における天文教育 **47**

明石北高等学校科学探究部天文研究班：

井口 智晴（高2）、尾玉 将太、小野 浩太郎、岸本 悠叶、畑 杜真、山内 愛結、山本 大志、渡辺 梨緒（高1）

【兵庫県立明石北高等学校】

コメント受付

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/opPx6vtAnPXVebvR9>



37S	天文学における絵画の正確性	48
	橋本 勇信、盛重 舞衣、渡邊 悠人、根岸 奏太 (高2) 【大阪府立北野高等学校】	
38P	天体と地震発生の関係性	49
	細谷 蒼天、昆 承太郎 (高2)、相澤 奏来 (高1) 【東北学院榴ヶ岡高等学校】	
39S	潮汐と地震の相関性について	50
	白井 佑輝、佐野 日向、田原 大暉 (高2) 【大阪府立北野高等学校】	

H タイセッション *Thai Session*

40T	Determination of the solar limb-darkening coefficient through the analysis of intensity profiles derived from solar imaging data	51
	Jirachai Jariya (Grade 11) 【Triam Udom Suksa School】	
41T	Interactive Website for Visualizing Habitability in Exoplanetary Systems	52
	Krit Promsanuwong (Grade 12) 【Thoengwittayakhom School】	
42T	Simulation of Contact Binary Star Systems to Study Light Curve Characteristics	53
	Pawarisa Khantikij, Sisunan Pranimitr (Grade 11) 【Prommanusorn Phetchaburi School】	
43T	Distance Analysis of Supernova Type Ia SN2024unx	54
	Pinyaphat Rungruang, Prim Krisanamis (Grade 10) 【Varee Chiangmai School】	
44T	A comparative study of stellar population in the open clusters of the Auriga constellation	55
	Chayada Kulchanapakorn, Navinda Lertpenmetha, Mingkamol Waiwattana (Grade 12) 【Engineering Science College】	
45T	The Determination of Open and Globular Clusters Age Using Isochrone and Horizontal Branch Morphology	56
	Alexandre Fatong Charles Jault (Grade 11) 【Varee Chiangmai School】	
46T	Dark Matter Distribution and Its Impact on Galaxy Cluster Properties: A Weak Lensing Approach	57
	Ekkawee Tangsailertkul, Suphakon Khamfuea (Grade 12) 【Kamnoetvidya Science Academy】	

T: 講演 (3分間または4分間)
S: 講演 (1分間)
質疑 (1分間) はまとめて行います。
P: ポスターのみ

I 惑星 *Planets*

- 47T** 硫酸 Mg による塩類風化の特徴～火星の岩石に割れ目ができた一因～ **58**
大田区立蒲田中学校科学探究部火星班：
檜山 翼、草間 鍊 (中3)、谷本 悠真、城 恵吾 (中1) 【大田区立蒲田中学校】
- 48T** 木星の南赤道縞は消失するのか？ **59**
サイエンス部2年天文惑星観測班：
花木 愛彩、西 愛実、池田 ゆきな、上村 瑞樹、上村 海空 (高2) 【鹿児島県立国分高等学校】
- 49P** 木星大気の大気別濃度分布の解析 II **60**
山田 梨紗 (高3) 【南山高等学校】
- 50T** メタンバンド画像で明かす木星表層部 **61**
地学部：
山本 琥太郎、角田 篤哉、櫻井 遙、山口 湊人、吉田 十彩、滝村 史緒、高梨 真結 (高2)、
中尾 祐斗、永井 美宇、近藤 あかり、松井 蓮、河野 水都 (高1) 【埼玉県立浦和西高等学校】

J 系外惑星 *Exoplanets*

- 51T** トランジット法による系外惑星の検出 **62**
科学部天文班：井手口 慶心、藤原 美央、樋口 華、山手 舞花 (高2) 【兵庫県立三田祥雲館高等学校】
- 52T** 系外惑星 TOI-2046b のトランジット観測とソフト HOPS での解析 **63**
野中 僚太、田島 圭、井上 七輝、浅沼 瑞希、森 響 (高2) 【新島学園高等学校】
- 53T** ハビタブル惑星の大気特性に関する比較研究 **64**
北野高校物理班：小松 厚友、飯盛 彩香、岡野 桂介 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

K 恒星 *Stars*

- 54S** 食変光星の変光シミュレーション **65**
東北公益文科大学 ジュニアドクター鳥海塾 山本研究室：木村 直仁 (中等4) 【新潟県立村上中等教育学校】
- 55T** 恒星光度曲線のモデルフィッティングによる黒点の情報推定 **66**
上野 詠名 (高1) 【クラーク記念国際高等学校】

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/opPx6vtAnPXVebvR9>

コメント受付



56S シミュレーションによりかんむり座 T 星の光度変化を追う **67**

高賀 寧子 (小 6) 【岐阜市立長良小学校】、曾我部 文麗 (中 2) 【岐阜市立岐阜西中学校】、
古方 伶旺 (中 3) 【岐阜東中学校】

57T HADS 型変光星の脈動における周期的な半径、温度、光度の変化について **68**

もし天 2025 V.A.R.I.A.B.L.E. 班：

阿部 皐月 (高 2) 【岩手県立盛岡第三高等学校】、近藤 由野 (高 2) 【不二聖心女子学院高等学校】、
中森 萌 (高 2 相当) 【広島インターナショナルスクール】、山田 夢人 (高 2) 【茨城高等学校】

58T Gaia DR3 を用いた古典的セファイド変光星の周期-光度関係の導出 **69**

GOH TUNG WEI (高 1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、
飯田 響生、竹内 悠 (高 1) 【愛知県立明和高等学校】、
丹羽 玲奈、山崎 杏菜 (中 3) 【名古屋大学教育学部附属中学校】

59T VERA 石垣島観測局 20m 電波望遠鏡を用いた未発見の 22 GHz 水メーザーの探索 **70**

美ら星研究体験隊 2025：

柴田 浩志郎 (中等 4) 【神戸大学附属中等教育学校】、
有賀 千尋 (高 2) 【山梨英和高等学校】、栗原 佳大 (高 3) 【三重県立四日市高等学校】、
櫻井 稀 (高 1) 【愛知県立豊田西高等学校】、佐藤 希望 (高 3 相当) 【所属なし】、
品川 優香 (高 2) 【立正大学付属立正高等学校】、下平 竜佑 (高 2) 【麻布高等学校】、
田中 舞帆 (高 2) 【兵庫県立姫路西高等学校】、寺原 直希 (高 2) 【川口市立高等学校】、
中田 瑛斗 (高 1) 【郁文館高等学校】、弘中 美海 (高 2) 【福岡県立筑紫丘高等学校】、
山谷 剛瑠 (高専 3) 【福島工業高等専門学校】、林 楽洋 (高 1) 【渋谷教育学園幕張高等学校】、
井上 紫、塩澤 樹季 (高 1) 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、
北越 春乃、白保 夢叶 (高 1)、内原 妃茉莉、東 友優、富本 日和 (高 2) 【沖縄県立八重山高等学校】

60T オリオン座方向の逃走星の成因への新たなシナリオの提案と観測的検証 **71**

もし天 2025 REVOLVER HEAD 班：

莉込 青星 (高 2) 【北海道札幌東高等学校】、小山 杏奈 (高 1) 【新潟県立中条高等学校】、
皿海 翔大 (高 1) 【武蔵高等学校】、松浦 ウダイ (高 1) 【山形県立山形東高等学校】

61T 分光観測による激変星 QR And のジェットの世界速度算出 **72**

米川 将馬、奥田 隼史、木下 彩、棚橋 浩佑 (高 2) 【奈良県立青翔高等学校】

L 星雲・星団・星形成 *Nebulae / Star Clusters / Star Formation*

62T 星団の色等級図の作成と検証 **73**

名古屋市立桜台高等学校 天文部：

安部 清華、大八木 康太郎、中村 晃紀、横道 健吾 (高 2) 【名古屋市立桜台高等学校】

63S Gaia DR3 を用いたプレアデス星団メンバーの同定 **74**

— ガウス混合モデルを用いたクラスタリング解析 —

桑原 大揮 (高 1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、渡邊 陽音 (高 1) 【愛知県立明和高等学校】

T：講演（3分間または4分間）
S：講演（1分間）
質疑（1分間）はまとめて行います。
P：ポスターのみ

64T 可視光観測での星の数をもとにした M42 周辺の星間減光マップの作成 75

銀河学校 2025A 班：

小野 智遥（中等 6）【東京大学教育学部附属中等教育学校】、
小林 剛士（高 2）【長野県松本深志高等学校】、城 悠斗（高専 4）【豊田工業高等専門学校】、
谷 和佳奈（高 3）【愛知県立旭丘高等学校】、長田 知樹（高 2）【灘高等学校】、
西岡 大騎（高 2）【岡山白陵高等学校】、樋渡 風駕（高 2）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、
松葉 絢音（高 3）【筑波大学附属高等学校】、森 啓太（高 3）【鹿児島県立楠隼高等学校】、
渡部 葉名（中等 6）【神戸大学附属中等教育学校】

65T SH 2-112 におけるアンモニア分子輝線の観測 76

北杜市立甲陵高等学校 科学部：天野 光悠、水野 瑛斗（高 2）【北杜市立甲陵高等学校】

66S 相互作用銀河 M51 の分子雲と星形成 77

高田 侑季（高 1）【名古屋大学教育学部附属高等学校】、
加藤 由紀穂（高 2）、荒井 志乃、秦野 和（高 1）【愛知県立明和高等学校】、
桑山 すみれ、坂野 瑞季、中島 誠太（中 2）、別所 那名子（中 1）【名古屋大学教育学部附属中学校】

67T 銀河同士の相互作用が星形成に及ぼす影響について 78
～相互作用する 2 銀河の質量比から探る～

もし天 2 0 2 5 Stellar Children 班：

石本 惺大（高 2）【水城高等学校】、井上 紫（高 1）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、
宇都宮 朱純（高 2）【群馬県立高崎女子高等学校】、酒井 伸太郎（高 1）【灘高等学校】

68T 帯電原始星における種磁場増幅と二重層効果によるプラズマ中和抑制の可能性 79

今井 拓心（高 2）【宮城県仙台二華高等学校】

M 銀河 *Galaxies*

69T NGC 3184 のダークマター質量の推定：
公開データを用いたプログラミングによる銀河回転運動の解析 80

滝田 海理（高 2）、蟹江 皓貴、森島 大晴、阿比留 康介（高 1）【名古屋大学教育学部附属高等学校】

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/opPx6vtAnPXVebvR9>

コメント受付



天気によって夜空の明るさは変動するのか

埼玉大学科学者の育成プログラム：
長野 聡(中2)【練馬区立石神井東中学校】

要旨

本研究では、夜空の明るさが天気によってどのように変化するかを調べるため、照度計(SQM)を用いて測定を行なった。埼玉大学屋上の自動観測データおよび自宅周辺での観測をもとに、天気の違いとSQMの測定値を比較したところ、気象要素が夜空の明るさに影響を与えているとわかった。

1. 目的

本研究では、気象要素と観測場所の違いに着目し、夜空の明るさが異なる要因を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

夜空の明るさは照度計(SQM)を用いて測定した。SQMを用いて得られる値は等級で得られるため、数値が大きいほど夜空が暗く、小さいほど明るいことを示す。

2-1 場所ごとの夜空の明るさの調査

東京都練馬区の自宅周辺で(7月~1月までの計98日間)19時頃から25時頃に夜空の明るさ(SQM値)の測定を行ない、時間・緯度経度・気温・湿度・雲量・天気を記録した。これらのデータをマップに入力し、夜空の明るさを可視化した。

2-2 SQMの定点測定データのデータと定点気象観測データの比較

埼玉大学の屋上で1分おきにSQM値を測定した。このデータと、埼玉大学屋上で観測している気温、湿度、気圧のデータを比較したグラフをVisual Studio Codeを使って作成した(図1)。

3. 結果・考察

3-1 場所ごとの夜空の明るさの調査

自宅から半径約2km圏内のSQM値を測定した。その結果、駅前など人通りの多い場所ではSQM値が低くなり、公園ではSQM値が高くなるのがわかった。さらに、公園に着目すると、公園によってSQM値の違いが見られた。

表1より、2つの公園のSQM値の差は、25時頃が0.15、22時頃が0.73であり、25時の方が差が小さくなった。これは、人の活動が少ない時間には光害の影響が小さくなったためと考えられる。その一方、SQM値を比較すると人の活動が少なく、暗くなるはずの25時の方が空が明るい結果が得られた。これは、雲量の増加によって人工光が反射・拡散され、夜空が明るくなったと考えられる。

3-2 SQMの定点観測データのデータと定点気象観測データの比較

同じ場所におけるSQMの観測データと気象観測のデータを示すグラフ(図1)より、気象要素、特に湿度による夜空の明るさの違いが見られた。湿度が高い日にはSQM値が低く、湿度が低い日にはSQM値が高くなる傾向がわかった。他の日でも同様の傾向がみられたため、湿度とSQM値は関係があると考えられる。

4. 結論

本研究から、①人が活動している場所や時間は光害が多く夜空が明るくなること、②夜空の明るさは湿度によって変化することがわかった。特に湿度が高い日には人工光が雲に反射・拡散されることで、夜空が明るく観測される傾向がみられた。

5. 今後の課題

本研究では、月齢の影響について十分に考慮できていないため、今後は雲量や月齢とSQM値との関係をより詳しく調べたい。さらに、夜空の明るさを指標の一つとして天気の変化を捉え、雷の発生予測に関する研究へと発展させたい。

6. 参考文献

- [1] 柴田吉輝, 「埼玉大学望遠鏡・観測装置制御系『SaCRAシステム』の開発」, 平成28年度 埼玉大学修士論文.
- [2] 国立天文台, 「今日のほしぞら」, <https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/skymap.cgi/> (2026年1月13日閲覧)
- [3] 気象庁, 「アメダス(表形式) : 練馬」<https://www.jma.go.jp/bosai/amedas/> (2026年1月13日閲覧)

7. 謝辞

観測データの提供とご指導をいただいた埼玉大学の大朝由美子先生、研究室の学生の皆様および埼玉大学科学者の育成プログラムの関係者の皆様に深く感謝いたします。

表1: 2つの公園の比較

場所	時間	雲量	SQM値	平均値
石神井公園草地広場	0:45:00	6	10.30	10.15
石神井公園草地広場	0:46:00	6	10.00	
長光寺橋公園	1:05:00	7	10.20	10.00
長光寺橋公園	1:06:00	7	9.80	
長光寺橋公園	1:07:00	7	10.00	
石神井公園草地広場	22:15:00	0	9.90	10.47
石神井公園草地広場	22:16:00	0	10.50	
石神井公園草地広場	22:17:00	0	11.00	
長光寺橋公園	22:36:00	0	10.90	11.20
長光寺橋公園	22:38:00	0	11.50	

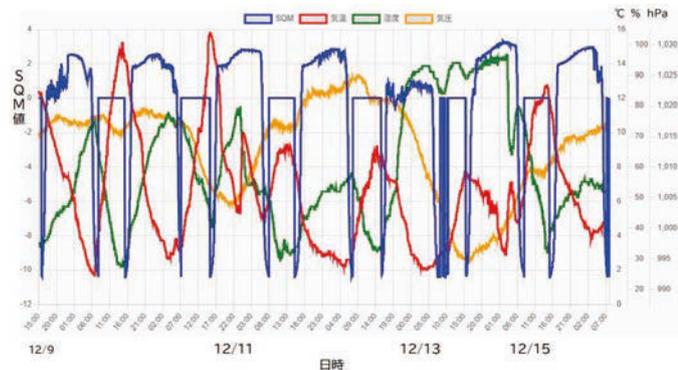


図1: 12月2週目の気象要素とSQM値の定点観測値の比較

一眼レフカメラを使用した地球照観測による地球のボンドアルベドの測定

井口 智晴 (高2) 【兵庫県立明石北高等学校】

要 旨

地球の気候に大きな影響を与える地球の反射率 (ボンドアルベド) を測定する方法として、近年、地球照を用いた手法が再注目されている。本研究では、広く普及している一眼レフカメラを用いてボンドアルベドの測定を行い、本手法のシズンサイエンス的視点での発展を目指す。

1. 研究背景・目的

地球の気候を左右するボンドアルベド (天体に入射した太陽光の総量に対して、あらゆる方向に反射・散乱された光の総量の割合) は通常、人工衛星による観測で求められるが、近年、月の陰側が光って見える地球照という天文現象 (図1左) を用いた方法が再注目を集めている。本現象は地球の反射光が月を照らす (図2) ことによって発生するため、月の明部との明るさの比から、地球のボンドアルベドを求めることが可能である。この方法は、20世紀初頭にフランスの天文学者、アンドレ・ダンジョンによって確立されたものであるが、近年は研究施設の大望遠鏡を用いた研究 (参考文献 1, 2, 3) も行われている。

本研究では、小型の観測装置、具体的には一眼レフカメラを用いた測定方法を確立することで、一般市民による地球照観測体制を構築することも目指す。この手法により、サンプル数を大幅に増やすことが可能となるため、観測地点による天気の問題や (世界的なネットワークの構築により) 観測時間の制約を解消し、さらには市民の気候変動への関心を高めるきっかけにもなり得ると考えている。

2. 方法

先行研究 (参考文献 2, 3 / 以下、先行研究) に基づき以下の検証を行った。

- さまざまな月位相における、幾何学アルベド (p^*) の測定
 - 月の明部と地球照部分、それぞれが明瞭に映る露光時間の異なる2枚の月の写真を撮影し、明部と地球照、それぞれの明るさを測定する。また、月面の外側の空の明るさもそれぞれ測定し、バックグラウンドとして明部・地球照の測定値から引いたうえで (図1)、測定した値を露光時間で割ることで、1秒当たりの光量とする。
 - 先行研究の式に、得られた光量比の値および月の位相に基づく補正値を代入し、 p^* の値を算出する。
 - さまざまな位相角 θ (太陽・月・地球の角度 / 図1) で幾何学アルベドを算出する (最終的にこれらの値からボンドアルベドを算出する)。
 - 先行研究のデータと比較する。
- 画像の一次処理 (ダーク補正・フラット補正) の必要性の検討
同日の一次処理実施前後の画像、各5セットから光量の比を算出し、t検定および代表値の吟味を行った。
- 大気補正の必要性・手法の検討
月の明部と地球照で光の波長分布が異なり大気による減光量が異なるため、それぞれに対して大気補正が必要であることが先行研究で示されている。
 - 同日の異なる時間に撮影した画像のセットから、先行研究に基づき大気減光係数を決定し、減光前の明るさを算出する。
 - (1)の手順より大気補正を行った値と、補正前の値、それぞれからアルベドを算出し、t検定により有意差があるかを判断する。
 - 複数日の観測から、大気減光係数の観測日による変化を調べる。

3. 結果・考察

- 位相角 θ と p^* 値について、先行研究と同様の傾向が確認できたが、値がやや低くなった (図3)。大気減光による影響と思われる。
- 一次処理前後の光量比についてt検定を行ったが、有意差は見られない ($p \geq 5\%$) という結果になった。しかし、処理により p^* 値の分散が小さくなることが確認されたため、一次処理の必要性が認められた。
- 日によっては大気減光係数が負となる (高度低下に伴い増光している) ケースもあり、値が不安定であったが、全データを同日に撮影したものととして扱い算出したところ、0.469という値が得られた。これを適用した結果、 p^* の値がより先行研究に近づくことが確認された (図3)。

4. まとめ・今後の展望

先行研究と同様の手順を踏むことで一眼レフカメラのような小型観測装置を用いた観測においても、系統誤差を軽減できることが分かった。引き続きデータの収集・分析を進めボンドアルベドの算出に取り組みたい。手法確立後はより手軽なスマートフォン等の観測機器の利用も試み、シズンサイエンス的プロジェクトに発展させたい。

5. 謝辞

研究について指導・助言いただいた高橋隼先生 (兵庫県立大学西はりま天文台)、伊藤真之先生 (神戸大学) に感謝します。本研究はJST次世代科学技術チャレンジプログラムの支援を受けROOTプログラムの枠組みで実施しています。

参考文献

- [1] P. R. Goode, et al. Geophysical Research. 2021, Volume 48, Issue 17
- [2] J. Qiu, et al. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2003, Volume 108, Issue D22
- [3] Pallé, E. et al. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2003, Volume 108 Issue D22

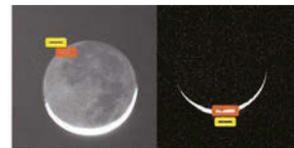


図1 明部、地球照、空の明るさ測定位置のイメージ

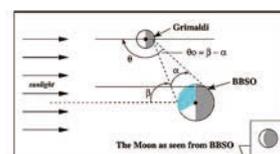


図2 地球照の原理 (参考文献2より)

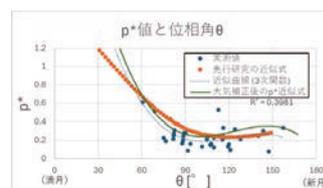


図3 p^* 値と位相角 θ の関係

自作の四分儀を用いた緯度・経度の測定から地球の円周を求める

長野工業高等専門学校 天文部：

藤田 乃亜、塚田 耕大（高専3）、若井 由衣、上田 成花（高専2）、
上本 衣都、笹澤 愛花、佐藤 陽、下島 周、高橋 恵来（高専1）【長野工業高等専門学校】

要 旨

自作の四分儀を用いて観測点の緯度・経度を求め、2地点での測定結果から地球の大きさを求めることを目標とし、そのために恒星の子午線観測を行った。9個の恒星の南中高度・南中時刻の測定から観測点の経度・緯度を求めた結果、既知の値との差が緯度で0.1度、経度で0.2度の範囲で求められた。今後、2地点での緯度・経度を測定し、2地点の緯度・経度の差とその距離から地球の大きさを求めることを目指す。

1. 研究の背景

地球の円周の導出には、2地点間の緯度・経度差とその間の弧長が必要である。私たちは、約50kmの短い基線長で、地球の円周を有効数字2桁程度の精度で求めることを目標に、四分儀を設計・自作した。しかし昨年度の研究^[1]で算出された円周は、真値(約40,000km)に対し約30%の誤差が生じた。一方で、北極星の日周運動を正確に捉えられたことから、四分儀そのものの工作精度は十分であり、誤差の主因は器械の設置精度等に起因する系統誤差であると推測した。

本研究では、観測精度の向上を目的に、複数の恒星を用いた子午線観測を行った。具体的には、恒星の高度が最大となる南中時刻を測定することで観測点の経度を、その時の南中高度から緯度を測定し、それぞれの測定精度を検証した。最終的には、これら2地点での子午線観測の結果を統合し、地球の円周をより高い精度で決定することを目指す。



図1 自作した四分儀

2. 観測および解析方法

(I) 四分儀を用いた測定：昨年度製作した、0.01度まで読取り可能なダイアゴナル目盛付きの四分儀を使用した。測定手順を以下に記す。① おもりを用いて器械を水平に設置し、望遠鏡で恒星を視準する。② 視準時の高度および時刻（電波時計）を記録する

(II) 子午線観測：恒星の日周運動に伴う高度変化を、自作の四分儀を用いて複数回観測した。観測対象はオリオン座と冬の大三角の9つの恒星とし、長野工業高等専門学校(北緯36.68度、東経138.23度)にて観測を行った。

(III) 解析：恒星の高度・時刻の観測セットを、二次式： $y = a(x - p)^2 + q$ でフィットした。ここで、 p が南中時刻、 q が南中高度となる。得られた南中時刻から、経度を式： $\lambda (^\circ) = (\alpha - \theta) \times 15$ より求める。ここで、 λ は経度、 α は赤経、 θ は南中時刻 p におけるグリニッジ恒星時である。同様に緯度を、式： $\varphi (^\circ) = \delta + (90 - q)$ から求める。ここで、 φ は緯度、 δ は恒星の赤緯である。赤経・赤緯とグリニッジ恒星時は、国立天文台暦計算室のデータ^{[2][3]}を参照した。

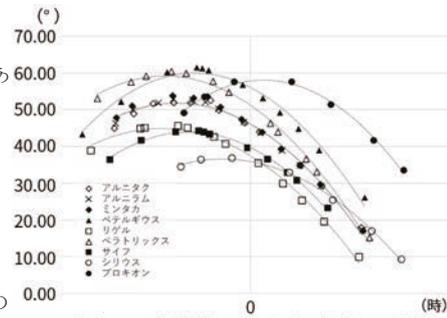


図2 二次関数で表した高度の変化

3. 結果の整理

南中の前後数時間にわたり高度観測を行い、最小二乗法を用いて高度の変化を二次関数でフィットした。また、恒星の南中が1日に約4分ずつ早くなることを考慮して時刻補正を行い、複数日の観測結果を統合した(図2)。各恒星の南中高度・南中時刻をもとに計算した緯度・経度の値の平均は、緯度： 36.58 ± 0.26 度、経度： 138.03 ± 0.51 度となった(表1)。

4. 考察・今後の課題

既知の測定値と既知の値(138.23度)との差は -0.20 ± 0.51 度であり、南中時刻に換算すると -49 ± 124 秒の誤差に相当する。また、緯度の測定値と既知の値(36.68度)との差は 0.10 ± 0.26 度であった。観測データは南中後の測定点が多く、南中前後で非対称な分布となっていた。このことが南中の決定精度を低下させ、緯度経度の測定誤差に影響したと考えられる。この誤差は、南中より前の観測回数を増やすことで低減できると考える。

別の地点において同様の観測を行い、2地点間の緯度差・経度差と、それぞれの東西距離および子午線距離から地球の円周を求めることができる。今後も四分儀を用いた観測を継続し、比較的短い基線長(～100km)でどこまで正確に地球の円周が測定できるか挑戦したい。

参考文献

- [1] 自作の四分儀を用いて地球の円周を求める, 長野高専天文部, 2025年ジュニアセッション予稿集
- [2] 恒星の出入りと子午線通過, 国立天文台暦計算室, https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/rises_et_rhip.cgi (2026/01/10閲覧)
- [3] グリニッジ恒星時, 国立天文台暦計算室, <https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/gst.cgi> (2026/01/10閲覧)

表1 経度の計算結果

No.	恒星名	HIP	南中時刻	赤経	グリニッジ恒星時	経度
1	ベテルギウス	27989	2026/1/9 22:27:48	5h 55m 10.29s	20h 44m 11.746s	137.74
2	リゲル	24436	2026/1/9 21:45:23	5h 14m 32.27s	20h 01m 39.778s	138.22
3	ベラトリックス	25336	2026/1/9 21:51:36	5h 25m 07.87s	20h 07m 53.799s	139.31
4	サイフ	27366	2026/1/9 22:21:09	5h 47m 45.39s	20h 37m 31.654s	137.56
5	アルニタク	26727	2026/1/9 22:13:16	5h 40m 45.52s	20h 29m 37.359s	137.78
6	アルニラム	26311	2026/1/9 22:08:04	5h 36m 12.81s	20h 24m 24.504s	137.95
7	ミンタカ	25930	2026/1/9 22:04:34	5h 32m 00.40s	20h 20m 53.930s	137.78
8	シリウス	32349	2026/1/9 23:15:24	6h 45m 09.25s	21h 31m 55.566s	138.31
9	プロキオン	37279	2026/1/10 0:12:18	7h 39m 18.54s	22h 28m 58.913s	137.58

視差を用いた月までの距離の計算とそれを応用した立体星座カードの制作

小林 美琴 (中1) 【津島市立暁中学校】

要旨

カメラ間の経度差の距離と同時刻の月の視差を用い、地球から月までの距離を、三角関数を用い導き出した。さらに、その方法を応用し星までの距離から視差を求め、アナグリフ方式による立体星座カードを制作した。

月までの距離を求める

1-1. 使用機材

安八町側: ZWO SeestarS50 [焦点距離250mm、撮像サイズ5.6mm×3.2mm解像度1920×1080px]

板橋区側: タカハシ屈折望遠鏡FC100 [焦点距離800mm、キャノンEOS60D、センササイズ22.3×14.9mm]

1-2. 方法

(1) 視差を出す基点として月と土星を同一視野に入れて同時刻に撮影した画像を利用する。

(2) 同時刻に板橋区から撮影した画像データ (以下、板橋区画像) を船越浩海先生にご提供頂く。

(3) 画像サイズが異なるため、SeestarS50で撮影した画像に合わせるよう、板橋区画像のサイズを調整し、月の陰影に重ね合わせる。

(4) 視差を計測し、月までの距離を導き出す。

1-3. 結果

岐阜県安八町 (北緯35.335度 東経136.663度) と板橋区 (北緯35.763度 東経139.679度) から同時刻に撮影した月の合成画像 (以下、視差画像) を図1に示す。



図1 視差画像

1-4. 考察

(1) 撮影した2点間の経度差の距離 (以下、2点間距離) を求める。同緯度とし高精度計算サイト (以下、計算サイト) に入力したところ273.852958kmであった。

(2) 月の視差を求める。

図2のように月の視差 (以下

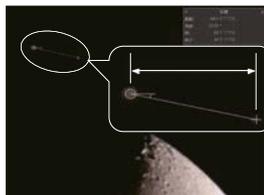


図2 視差を計測する様子

視差) を水平に計測した。

① 1px当たりの幅 (mm)

$$0.00296\text{mm}/\text{px} = \text{センササイズ} 3.2\text{mm} \div \text{画像サイズ} 1080\text{px}$$

② 視差の単位pxをmmへ変換する

$$\text{視差} 0.18667\text{mm} = \text{センササイズ} 0.00296\text{mm} \times \text{視差} 63\text{px}$$

計算結果は、視差63pxは、0.18667mmであった。

③ 視差の単位mmを度に変換する

計算サイトの三角関数の計算を用い、視差 (mm) の1/2を直角三角形の底辺とし視差を求める。

$$\text{底辺} 0.09333\text{mm} = \text{視差} 0.18667\text{mm} \div 2 \quad \text{SeestarS50焦点距離} 250\text{mm} \text{を高さとして、視差の} 1/2 \text{は} 0.02139\text{度} \text{となり視差は} 0.04278\text{度} \text{となった。}$$

(3) 視差1/2の0.02139度 (頂角) を使い月までの測心距離 (斜辺) を求める

計算サイトの三角関数の計算を用いて求めた。

$$\text{底辺} 136926479\text{mm} = 2\text{点間距離} 273.852958\text{km} \div 2$$

$$\text{月までの測心距離} = 366767359703\text{mm} = 366767\text{km} (\text{約} 36.68\text{万km})$$

(4) 計算結果の精度を検証する

月までの距離の計算値は、約36.68万kmであった。計算精度の確認のため、ステラナビゲーター12 (天文シミュレーションソフト)。以下、ステラナビで撮影日時の月までの測心距離を調べたところ36.86万km (誤差0.5%) であり遠方対象物までの距離を正確に計算できていた。

立体星座カードの制作

2-1. 制作方法

(1) ステラナビを使用し星の距離と等級を調べる。

(2) ステラナビで星座線を結ぶ星 (以下、星座星) の距離に応じた視差を計算する。

(3) アナグリフ方式で左右の画像を合成し専用メガネで見ることで立体的に見る。左目を赤、右目をシヤンのフィルムを用いる立体星座カードを制作した。

2-2. 結果

ステラナビを用い星座星の等級と距離 (光年) を調べた結果を表1にまとめた。

2-3. 考察

(1) 視差を計算する。 (いるか座の例)

① 距離 (光年) の最大と最小との差が、立体感が強調される20mmの場合の1光年当たりの比

$$1\text{光年当たりの比} 0.07645 = 20\text{mm} \div (\text{最大距離} 359\text{光年} - \text{最小距離} 97.4\text{光年})$$

② 距離 (光年) の最大と最小の差が20mmの場合の星座星の比 (いるか座 α 星の場合)

$$\text{距離差} 20\text{mm} \text{時の比} 18.43 = 241\text{光年} \times 1\text{光年当たり比} 0.07645$$

対象の「星座星における距離 (光年) の最大値と最小値の差が20mmの場合の比」を表1に記した。また、星座カード制作時は、GIMPでのピクセル差の最大が左右差20が最も立体感を認識しやすかった。そのため「距離差20mmとした場合の星座星の比」の左右10になるよう置き換えた。距離と赤青の星座星の配置を表2に示す。

星座カードの制作には、ステラナビで取得した星座画面と等級サイズ、及び前述の比を用いた。近い場合は左に青、右に赤、遠い場合は左に赤、右に青になるよう星座星を配置し、赤青の重なる部分は光の三原色を応用し、白を配色し図3のように制作した。

表1 いるか座の星座星データ

バイエル符号	等級	サイズ (等級を四捨五入)	星座星までの距離 (光年)	距離 (光年) の最大値と最小値の差が20mmの場合の星座星の比
α	3.77	4	241.0	18.43
β	3.64	4	97.4	7.45
γ	4.27	4	101.0	7.72
δ	4.43	4	203.0	15.52
ϵ	4.03	4	359.0	27.45

表2 アナグリフ遠近と配色

色	距離	星座星の赤青のズレ (比)
遠	↑	赤左10, 青右10
		赤左5, 青右5
		白0
		青左5, 赤右5
近	↓	青左10, 赤右10

○青 ●赤 ○白

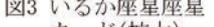


図3 いるか座星座星カード (拡大)

3. 結論

視差から月までの距離が導き出せた。また、制作した星座カードを専用メガネで覗くと近い星座星は手前に遠い星座星は奥側に認識できた。以上より視差と距離には反比例の関係がある。

4. 謝辞

板橋区立教育科学館研究員船越浩海先生には、撮影画像をご提供頂きました。生涯学習センターハートピア安八天文担当加藤祥吾先生にはご指導を頂きました。ありがとうございました。

参考文献

・カシオ計算機株式会社「高精度計算サイト」
<https://keisan.site/>

月食時の月の明るさの謎を追う

サイエンス部2年天文月食班：

高松 陽南子、有村 拓真、大竹野 弘夢、川崎 翔大、横山 涼世（高2）【鹿児島県立国分高等学校】

要 旨

2025年9月8日皆既月食を観測した。反射望遠鏡デジタル一眼レフカメラの直焦点撮影を実施した。また皆既食時の月の明るさについてはダンジョンスケールで判定した。

1 はじめに

先輩達が2021年と2022年の月食を観測し、皆既食時の月の明るさに月食ごとで違いがあり、その原因が成層圏エアロゾルの分布状態によることを明らかにした。私たちは先輩達の研究を引き継ぎ、2025年9月8日未明に起こった皆既月食の観測を行った。皆既食時の月の明るさは暗めで、その原因について調べたいと思い、研究を始めた。

2 研究方法

1) 観測に使用した機材

タカハシ MT-160（口径160mm, 焦点距離1000mm）反射、赤道儀：タカハシ EM200TemmaPC-Jr. 自動追尾カメラ：Canon EOS 60D（非改造）直焦点撮影、撮影枚数：546枚

2) 方法

- ・撮影については、上記機材で部分食開始～皆既食～部分食終了時まで実施し、月食の撮影をすることができた。
- ・皆既食時の明るさについては、皆既食最大時の時刻で観測者が目視により月の明るさを判断した。参考にしたのは国立天文台のダンジョンスケール[1]を元に実際の月と見比べることで月の明るさを判定した。
- ・SNSのInstagramを使って国内を中心に皆既食時の月の明るさを目視で計測するキャンペーンを実施した。国立天文台のダンジョンスケールと見比べて肉眼で食の最大時の明るさを判定してもらった。同時に写真を撮影してもらいそのデータも送信してもらった。海外にも観測依頼をしたが、今回はデータを入手できなかった。
- ・観測の結果から、皆既食最大時の月の明るさの原因をエアロゾル分布と比較しながら考察した。また直近で火山の大噴火が影響していないかを合わせて調べた。

3 結果と考察

- ・撮影結果から3:13頃が食の最大時刻で、月が最も暗かった（図1）。
- ・皆既食の前後でターコイズフリンジが観測された。
- ・皆既食最大時刻における月の明るさ判定は全国から26人の報告があり、ダンジョンスケール $L=1.85$ の平均値となった。やや暗めであった。
- ・ $L=0, 1$ が過去に観測された月食時にはいずれも直近で火山の大噴火による成層圏エアロゾルの影響が大きかったことが分かっている。今回の月食がやや暗かった原因を考察したところ、月食の約1ヶ月前に成層圏まで噴煙が到達する大噴火を起こしたインドネシアのレトピ火山の活動に原因があるのではないかと考察している。



図1 2025年9月8日皆既月食の写真（数値は撮影時刻）

4 まとめと今後の課題

- ・2025年9月8日の皆既月食は暗めだった。その原因はインドネシアのレトピ火山火山の大噴火によるエアロゾル濃度の上昇に起因すると考えられる。
- ・レトピ火山大噴火によりまき散らされたエアロゾルの移動・拡散の様子を詳しく調べる必要がある。
- ・2026年3月3日皆既月食を観測して、皆既食時の月に明るさに変化が見られるか否かを調べる。

5 謝辞・参考文献

今回の月食時の月の明るさ判定について観測報告をしていただいた全国26人の皆さまに感謝いたします。

[1] 国立天文台(2011)月食ごとに異なる色～皆既月食ごとに異なる色の尺度の詳細と色の見本～

<https://naojcamp.nao.ac.jp/i/phenomena/20111210/about/brightness3.html>

2025年9月8日皆既月食における ターコイズフリンジのRVB色彩調査

愛知県立一宮高等学校地学部月食班：

朝倉 花怜、鈴木 沙悠、福川 真彩、森本 月那、安田 理紗子（高1）【愛知県立一宮高等学校】

要 旨

私たちは、月食時にみられるターコイズフリンジという現象に興味を持ち、その色彩を明らかにすることを目的として研究を開始した。2025年9月8日皆既月食の観測データをもとに、地球本影の中心から測光地点までの角距離とRVB値の関係をグラフにまとめ、そのグラフと予備計算を比較することでターコイズフリンジの位置を予測した。

1. 研究背景

本校先輩の先行研究を引き継ぎ、ターコイズフリンジという現象について興味を持った。ターコイズフリンジの色彩は実際にターコイズ色をしているのかを解明することを目的とし、本研究では月食時の地球本影境界付近の色彩を調査することで、ターコイズフリンジの位置をR/V、V/B比の値変化で示した。

2. 方法

（撮影方法）

現象が深夜であったため、StellaShot3のスケジュール撮影機能を用いて撮影を行った。

場所：愛知県立一宮高校屋上

機材：ZWO社ASI-290MM、パーダーRVBフィルタ、
タカハシFS-Q106(f530mm)

時間：2025年9月7日22時17分から2025年9月8日4時54分

（測光手順）

- 1 画像を、Stellalimage10を用いダーク、フラット処理
- 2 月食画像⇒満月画像を行い月面の模様を消す
- 3 スバル画像処理ソフトMakali'iを用い月面上の約20点を開口測光
- 4 Microsoft ExcelとStellaNavigatorを用い、測光した点の明るさを露出1秒ピクセル平均とし、本影中心との角距離とで散布図(図1)を作成

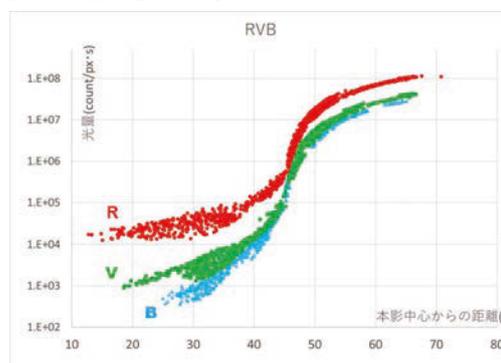


図1 月の明るさ

3. 結果・考察

- ・45'までの範囲では、 $R>V>B$
→Rの大きい本影内部であると考えられる(本影の大きさ44.0')
- ・45'～50'の範囲では $R>V\approx B$
→明るさが急激に変化し、V,Bの割合が増加したことから、この範囲で本影から半影に切り替わった
- ・図2の49'～52'は、事前計算と同じ推移がみられる
→この範囲でターコイズフリンジが観測されたと考えられる
- ・先行研究[3]で示されたターコイズフリンジの範囲は41.5'～43.5'で、図2のグラフと似た推移をしている
→この範囲でターコイズフリンジが観測された可能性
- ・シミュレーションでは本影の中心から端までは40.6'
→光は大気で散乱、屈折するためターコイズフリンジが41.5'～43.5'となるのは考えうる。

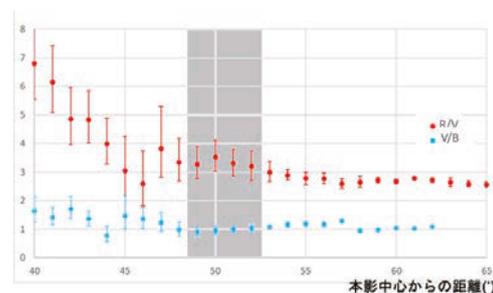


図2 R/V,V/Bの値

4. 今後の展望

- ・カメラの感度、人の目の感度をもとにデータを補正し、肉眼で実際にターコイズの色彩に見えるのか調査
- ・2026年3月の皆既月食においても観測を行いデータを比較
→研究の精度向上や大気の影響の差がターコイズフリンジにどのような影響を与えるのか調査する。
- ・今回得られたデータをもとにした、RVBの比をペイントソフトに打ち込み地球本影の色彩模式図を作成
→視覚的にターコイズ色をしているのかについて調査する。

参考文献

- [1] Atmospheric extinction properties above Mauna Kea from the Nearby SuperNova Factory spectro-photometric data set <https://arxiv.org/abs/1210.2619>
- [2] ターコイズフリンジの色彩に迫る2022 <https://www.asj.or.jp/jsession/2023haru/files/12T.pdf>

日傘の色による紫外線の量と温度の変化

佐藤 尊、森田 幸樹、酒井 奏、古林 奨大(高2)、野崎 紗芦、勅使河原 路華、濱田 梨緒、三橋 くるみ、山名 梨湖、山内 彩瑛、関 夢香(高1)【星野高等学校】

要旨

本研究では、紫外線強度計、放射温度計、色付きナイロンを用いて太陽光によるナイロンの色ごとの温度と紫外線を計測した。実験の結果を元に、日傘の最適な色を調査した。

1. はじめに

近年ニュースなどで、紫外線の量や気温が上昇しているとよく話題になっている。それに伴い季節を問わず、日傘の需要が高くなっている[1]。実際街中では日傘を使っている人が増えていて、ベージュや紺など多様な色が見られている[2]。その中でも黒と白は特に多く見られ、実際にオンライン上でも黒と白の日傘が多く売られている。そこで私たちは日傘の色に注目し、日傘の色によって日傘としての性能に差が生まれるのか、そして白や黒が多く使われる理由を疑問に思い、調査を始めた。

2. 実験方法

本研究では、さまざまな色のナイロンを用いた[3]。そしてこの製品のチェリーピンクをマゼンダ、蛍光晒を白、ライトベージュをベージュ、ライトグレーをグレー、ネイビーを紺、ターコイズをシアンとして代用している。ナイロンは傘によく使われる素材だ[4]。紫外線を測る紫外線強度計は「紫外線強度計 CENTER 532」を、表面の温度をはかる放射温度計は「73010/放射温度計 Bレーザーポイント機能付」を用いた。紫外線を測定する際、ナイロンを窓に貼り付けて、紫外線強度計をそこに近づけ、計測した。この際、窓を防ぐほどの紫外線はナイロンも貫通できないので、考慮しない。温度の測定では、日が当たる机の上に断熱用にダンボールを、その上にナイロンを置いた。そして、3分間後に、放射温度計とナイロンとの距離を全て等しくしてナイロンの表面を計測する。図1のような実験を繰り返し、一回の実験ごとにナイロンを日陰に戻し、測定前の温度になるまで熱をさました。

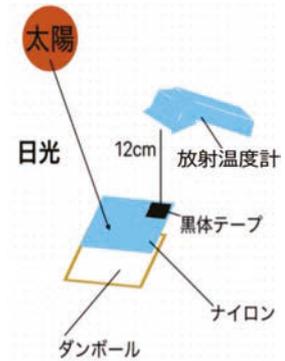


図1 放射温度計での計測の様子

放射率は、物体ごとの赤外線の放射のしやすさだ。色ごとに異なり、0~1で表される。放射温度計は、物体から出ている赤外線からその温度を測るもので、放射温度計の放射率設定を測定時に測定する物体と同じ値の放射率に設定することで値が正確に出る。使った放射温度計の放射率の設定は常に0.95に設定されており、放射率に大きな差がある色のナイロンには放射率0.95の黒体テープを貼り放射率を同じ値にして、その場所を測った。計測は20回行い、誤差を減らした。時間帯は13:00~15:00の間であり、快晴の日に限って行った。

3. 結果

表1、2の平均値は、20回行った測定の前平均値である。それらを色ごとに比較して、それぞれの標準偏差を出した。そしてそれを使い、偏差値を求めた。偏差値を求める際、(個々の値-平均値)/標準偏差*10+50という一般的な偏差値の求め方を使った。

偏差値という値にしたのは、他の色との違いをわかりやすくするためだ。この偏差値は個の値が大きいほど偏差値も大きくなるので、偏差値が低いほど日傘に向いている色ということだ。

4. 考察

紫外線では色が濃く染められていた、イエロー、黒、紺や全て色の光を反射する白の紫外線が少なく、淡く染められていた、シアン、グレー、マゼンダ、ベージュを通る紫外線の量が多かったので紫外線を防ぐにはおおよそ色の濃さが関係していると考えた(表1)。

温度では、白、黄色、ベージュの比較的明るい印象がある色の温度が小さくなり、シアン、グレー、マゼンダの先ほど紫外線の量が多かった組が中間に位置し、黒、紺の暗い色が1番温度が高いという結果になっている(表2)。そこから温度はそれぞれの色がどれだけ光を反射できるかが関係していると考えた。1番紫外線を通したベージュの温度があまり上がらないという結果になったのは、染料の性質が原因と予想する。

5. まとめ

今回の研究では放射温度計と紫外線強度計を用いて、温度と紫外線の量がナイロンの色によってどのような変化があるかを調べた。結果としては最も温度上昇を抑えるのが白色であり、最も紫外線を通さない色が黒色であった。

参考文献

- [1] 東洋経済 <https://toyokeizai.net/articles/-/876949> (2025年12月16日)
- [2] ウェザーニュース <https://weathernews.jp/news/202407/230125> (2026年1月14日)
- [3] 布生地専門イワキYahoo!店 <https://store.shopping.yahoo.co.jp/iwaki-shouten/ne00152204-cut.html> (2025年12月22日)
- [4] Huifeng Unblerra https://www.hfumbrella.com/ja/the-abcs-of-umbrella-fabrics?srsltid=AfmBOoqGbCcZKCVJPsPdnqGEqigxTVkUy-ZxjBi6-vn3R_thJjDF9hD9 (2026年1月14日)

表1 紫外線の量平均値と色ごとの偏差値

色	黄色	シアン	グレー	マゼンダ	黒	白	ベージュ	紺
平均値	25μW/cm	49μW/cm	46μW/cm	49μW/cm	2μW/cm	9μW/cm	81μW/cm	21μW/cm
偏差値	45.8	55.8	54.6	55.8	36.3	39.2	69.2	44.2

表2 温度の平均値と色ごとの偏差値

色	黄色	シアン	グレー	マゼンダ	黒	白	ベージュ	紺
平均値	33.9°C	35.4°C	34.9°C	34.6°C	36.9°C	33.2°C	34.2°C	36.3°C
偏差値	41.4	54.3	50.0	47.4	69.0	35.3	44.0	62.1

自作簡易アンテナを用いた21cm線太陽電波観測

電波天文班：

齊藤 月渚、羽澤 碧真、日高 未花（高2）【宮崎県立宮崎北高等学校】

要旨

2025年は太陽極大期のピークである。太陽フレアは通信障害や人工衛星への影響など深刻な問題になっている。一方我々は、自作銀河電波望遠鏡で天の川銀河の電波観測をしていた。そこで自作銀河電波望遠鏡を太陽観測に転用し、安価で簡易的に太陽フレアを予測したいと考えた。そして太陽電波スペクトル図を取得し、解析を行った。

1. はじめに

2025年は太陽活動極大期を迎えた。太陽には約11年の周期があり、活発な極大期と静穏な極小期を繰り返している。太陽活動極大期には黒点数が増加し、太陽フレアの発生が活発になる。太陽フレアが発生すると、通信障害や人工衛星の墜落につながってしまう。

一方我々は、谷敷怜空氏の「自作卓上ホーンアンテナとタイトルソフトウェア無線機を用いた中性水素21cm輝線の検出」[1]を参考に銀河観測用の自作電波望遠鏡を作成した。銀河観測では中性水素21cm輝線を観測する。中性水素21cm輝線の周波数は1420.405MHzである。自作電波望遠鏡を用いて、天の川銀河の電波観測を行い、そのスペクトル図を得た（図1）。中央の点線は中性水素21cm輝線の正確な周波数を表している。ピークが点線より左にずれていることから観測域が地球から遠ざかっていることがわかる。

また国立天文台・野辺山では、2011年10月4日に、復元した日本における電波望遠鏡1号機を用いて1.4GHzで太陽電波を受信することに成功した[2]。1.4GHz帯で太陽電波観測に成功していることから同じ周波数帯である銀河観測用電波望遠鏡を用いても太陽電波の観測ができるのではないかと考えた。

そこで、銀河観測用の電波望遠鏡を太陽観測に転用して、太陽フレアを観測・予測したいと考えた。

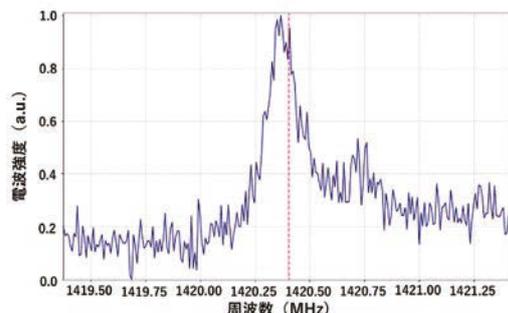


図1 ヘルクス座周辺の天の川銀河電波スペクトル図
(2025年10月14日18時21分)

2. 観測方法

(1) 太陽スペクトルを取得

アンテナと受信部をパソコンにつなぎ、電源をいれる。アンテナを太陽方向に向ける。SKAOの浅山信一郎氏が作成した「SKAアプリ」を用いて観測する。取得したスペクトル図を保存する。

(2) 太陽電波の数値データを取得

終端器を接続した受信部をパソコンにつなぎ電源をいれる。「SKAアプリ」と同様の浅山信一郎氏が作成したスプリクトを用いて、ゲイン（感度）の調整をする。また受信部のノイズ成分を検出し、終端器を外す。その後アンテナを接続し、太陽方向に向けて観測する。観測データから検出したノイズ成分を取り除くために高速フーリエ変換（FFT）し、数

値データを取得する。

2025年12月2日16時15分から約15分間で合計10回のデータを取得する。取得したcsvファイルの数値データから平均値と標準偏差を求め、Excelでグラフ化した。

3. 結果と考察

(1) 太陽スペクトルを取得

広い周波数で電波強度の強い電波を検出した（図2）。

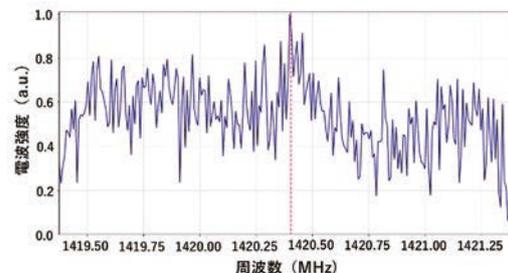


図2 1.4GHz帯太陽電波スペクトル図
(2025年10月15日16時13分)

(2) 太陽電波の数値データを取得

観測時刻の太陽は天の川銀河と重なっていたため、太陽からの電波と天の川銀河の電波を同時に取得したと考えられる（図3）。

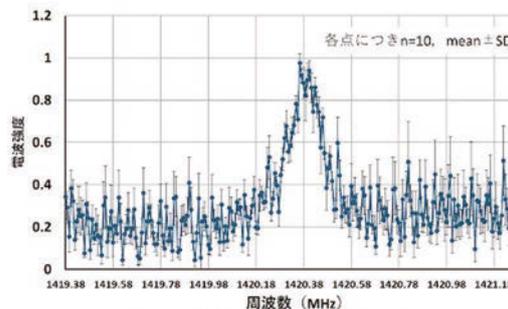


図3 1.4GHz帯太陽電波の平均スペクトル

4. まとめ

銀河観測用のアンテナで1.4GHz帯太陽電波を取得することができた。

参考文献

- [1] 谷敷怜空, 自作卓上ホーンアンテナとソフトウェア無線機を用いた中性水素21cm輝線検出, https://www.asj.or.jp/jp/activities/geppou/item/117-5_315.pdf (2025年11月29日閲覧)
- [2] 国立天文台, 野辺山観測所, <https://www.nro.nao.ac.jp/news/2011/1004-taiyo.html> (2025年11月29日閲覧)

太陽黒点自動解析システムの作成

名古屋市立桜台高等学校 天文部：
鈴木 康平、野間 大夢（高2）【名古屋市立桜台高等学校】

要 旨

一般的に、太陽黒点の解析では撮影画像を目視で確認し、黒点群や黒点数を見積もる方法が用いられている[1]。しかし、この方法には、観測者による主観の影響を受けやすいことや解析の効率に課題がある。そこで、我々はプログラミング言語「Python」を用いて、客観的なアルゴリズムによる黒点の識別と温度や面積などの計測自動化による高効率な解析を行うことができるシステムの作成を行った。

1. 目的

目視による太陽黒点の解析には客観性が低く、効率も低いという課題がある。そのため、我々はプログラミング言語「Python」を用いて、黒点の識別を行い、さらに位置、温度、面積を自動的に計測するシステムを作成することを目的に研究を行った。

2. 撮影方法

MAKSY60という反射屈折望遠鏡に10万分の1の減光フィルターを取り付けEOS8000Dという一眼レフカメラで直焦点撮影した。カメラの典型的な設定はISO感度100、露光時間1/100sである。本研究においては、2024年度に先輩が撮影した画像をテストデータとして使用した。

3. 黒点ピクセルの抽出とグループ化

Pythonを使用して、「黒点ピクセルの検出」と「黒点ピクセルのグループ化」を行う。図1は、写真から得られた太陽の明るさを表したものであり、図1の直線AB上の数値を縦軸、x座標を横軸にとったものが図2である。値が連続して増加または減少している部分で変化の量が大きい部分を黒点として識別する。図3は、この方法で図1から黒点のみを取り出した図である。黒点部は濃色で示されている。図1と比較すると正しく黒点が抽出されているのが分かる。しかし、この段階ではどの黒点ピクセルが同じ黒点に含まれているかは把握できていない。そのため、塊としての黒点を認識するために、隣接する黒点ピクセルをグループ化する。図4は図3からグループ化され自動的に切り出された黒点部である。

4. 黒点からの情報抽出

図4のようにそれぞれの黒点の認識ができれば、それらの面積、最低温度、重心座標を抽出できる。面積には黒点のピクセル数の合計を使用しているが、太陽は球面であるため端にあるピクセルは本来の面積より小さく見えてしまう。そのため、端にあるピクセルは本来の面積になるよう補正を行っている。黒点内の最低温度は、太陽の表面温度を6400Kと仮定し、太陽の中心の明度と黒点内で最も小さい明度を用いて計算する。重心座標は、黒点ピクセルの座標の平均を取ることで算出する。これらの値を図4のような切り出した画像と共にエクセルファイルに出力する。分析したい複数枚の太陽画像をフォルダに置き、プログラムを実行すると複数日連続で処理され、抽出された黒点画像と情報がまとめられる。黒点の情報抽出を手作業で行った場合は1枚の画像につき2、3分以上の時間を要するが、作成したシステムを利用した場合、我々の環境では1枚につき3秒程であり、効率が非常に高いシステムであると言える。

5. まとめと今後

黒点の検出と情報の抽出を効率良く行えるシステムは一通り完成し、大量のデータを解析する環境が整った。ただ、現在の温度や座標の計算アルゴリズムは太陽が球体であることを考慮できていないため、その点を考慮したより正確なアルゴリズムを実装したい。そして、これまではシステムの作成を中心に進めてきたため、数日分のデータしか解析できていなかったが、今後は100個以上の黒点の出現から消失までの解析を行い、時間変化と黒点情報のグラフを作成することで黒点の変化の法則性について考察していきたい。

参考文献

[1] 天文学辞典「黒点相対数」 <https://astro-dic.jp/relative-sunspot-number/> (2026年1月14日閲覧)

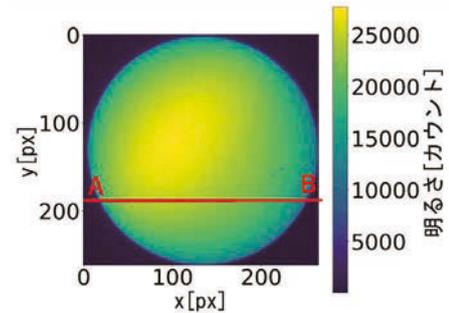


図1 写真から得られた太陽の明るさ

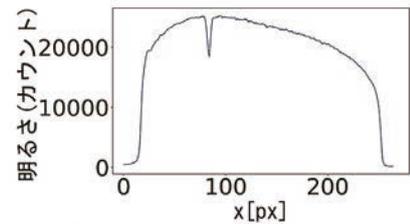


図2 図1の直線上の明るさ

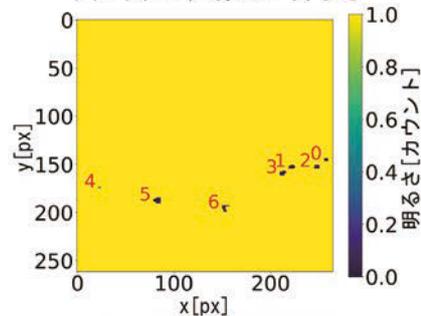


図3 図1の黒点抽出後

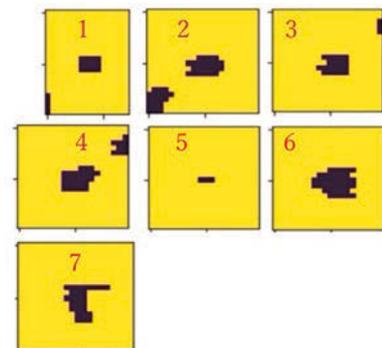


図4 図3からグループ化した黒点

黒点群の面積と太陽フレアの規模の関係について

武蔵高等学校中学校太陽観測部：

川嶋 諒太、赤穂 光俐、片倉 景道（中3）、星野 英慈（中2）、高橋 雄祐、山田 想祐、吉村 元甫、小林 礼旺、笹岡 風（中1）【武蔵中学校】、石川 貴也、岸田 悠吾、鈴木 董也、皿海 翔大、山田 隼士（高1）【武蔵高等学校】

要 旨

本研究は、黒点と太陽フレアの関係について、黒点群の面積に注目して、黒点群の面積と太陽フレアの規模の関係を調査した。関連して調査した黒点群の黒点数と太陽フレアの規模の関係から、黒点群の黒点の数密度と太陽フレアの規模の関係を調査したところ、両者の間に関係性が見られた。

1. 背景

黒点は、太陽内部から浮上してきた磁束管が光球に浮上することで、対流によるエネルギー輸送が妨げられて温度が下がるため暗く見える現象である。太陽フレアは太陽表面において最も大きな爆発現象で、光球から浮上した磁束管による磁気リコネクションという機構で磁気エネルギーが放出される現象である。黒点と太陽フレアは関係が深いと考えられており、さらに、両者の関係を調べるため、黒点群の面積に注目して、黒点群の面積と太陽フレアの規模の関係を調査する。また、関連して、黒点群の黒点数と太陽フレアの規模の関係も調べる。

2. 方法

対象としたのは、2013～2015年に観測された黒点群とそれに伴う太陽フレアである。黒点群の面積は、太陽表面の座標上の緯度×経度の計算をして求める。この方法では、実際の黒点群の面積とは値が異なってしまうものの、それによる誤差は系統的で、今回の研究の結果を変えるとは言えないため、本研究を遂行するための適切な近似である。太陽観測部の黒点スケッチに記録されている黒点群について、発生した太陽フレアを宇宙天気予報 [1]、Space Weather Live [2] から取り出し、複数回の太陽フレアを観測した黒点群についてはフレア規模が最大であった際のデータを扱った。最大規模の太陽フレアを発生させた日の黒点群の面積を、黒点スケッチに記載されている黒点群の緯度経度のデータから求める。また、黒点群の座標は、太陽面経緯度図を用いて算出したが、太陽面経緯度図では、緯度が高くなるほど1度あたりの経線の長さが短くなるため、緯度ごとに黒点群の面積を補正した。尚、経度についての補正は考えない。

3. 結果

黒点群の面積と太陽フレアの規模の関係を図1、黒点群の黒点数と太陽フレアの規模の関係を図2に示す。また、黒点群の面積と黒点数から黒点の数密度を算出した。それについて、黒点の数密度と太陽フレアの規模の関係を図3に示す。また、図1～3はいずれも太陽フレアの規模について、C1を1、M1を10、X1を100とした対数値で表した。

4. 考察

規模の大きいM、Xクラスの黒点群は、黒点群の面積が大きいことから、磁力線の浮き出ている部分が大きいと考えられ、黒点の数密度が低いことから、浮き出ている磁束管の幅が太くなっているため、磁場が複雑で、磁気リコネクションが発生しやすい環境になっているため、規模の大きい太陽フレアを発生させていると考えられる。

5. 結論

今回の研究で、黒点と太陽フレアの関係について、黒点の数密度が低いと発生する太陽フレアの規模が大きいという関係性を出すことができた。

今回MクラスとXクラスの太陽フレアを発生させた黒点群が少なかったため、さらに多くの年についても調べ、精度の高い考察をしたい。また、黒点群の面積についても、経度による補正を無視し、また、今回の方法では正確な面積とはいえないため、黒点群の面積の算出方法についてさらに検討していきたい。

参考文献

- [1] 国立研究開発法人情報通信研究機構,宇宙天気予報,<https://swc.nict.go.jp/> (最終閲覧日 2026年1月3日)。
[2] Prasec vzw,Space Weather Live,
<https://www.spaceweatherlive.com/en.html> (最終閲覧日 2026年1月3日)。

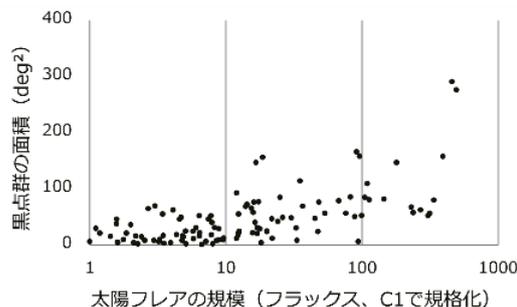


図1 黒点群の面積と太陽フレアの規模の関係

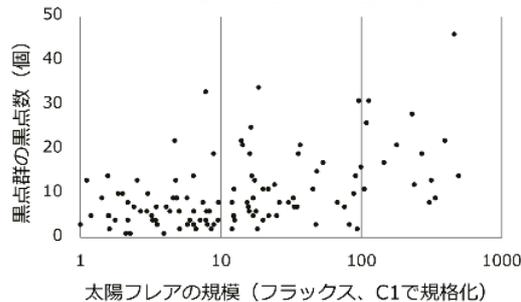


図2 黒点群の黒点数と太陽フレアの規模の関係

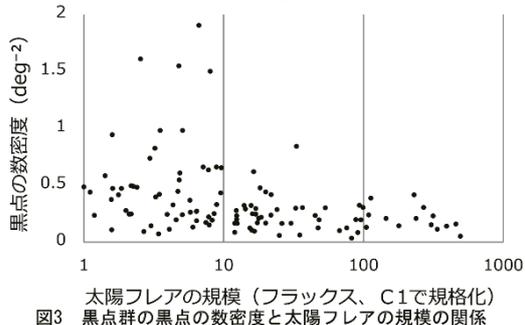


図3 黒点群の黒点の数密度と太陽フレアの規模の関係

太陽活動現象におけるフレアとCMEの関係性

皿海 翔大 (高1) 【武蔵高等学校】

要 旨

本研究では、フレアをベースに同一の磁気現象によって発生したフレアとCMEの対応関係を調査した。大規模で長寿命なフレアほどCMEを伴いやすく、両者のエネルギー間にはべき関係がみられ、一般的にCMEが卓越していることが判明した。また、CMEエネルギーはフレアピークフラックスによって上限がある可能性を示唆した。

1. 背景・目的

太陽面での磁気エネルギーの解放現象として、主にフレアとコロナ質量放出(Coronal Mass Ejection; CME)が知られている。両現象で解放するエネルギー量は典型的には同程度であるとされているが、CMEを伴わないフレアやその逆も多い。両現象では引き起こす宇宙天気被害が異なり、その予測が求められている他、これらの現象を探索することによって恒星における磁気現象の解明へと繋がると思われる。

本研究は、アーカイブデータを組み合わせフレアとCMEのより詳細な関係を明らかにすることを目的とする。

2. 方法

2006年11月から2024年12月に発生したC8クラス以上のフレアの時間及びフラックスをひのでフレアカタログ[1]より取り出し、それに伴って発生したと考えられるCMEの運動エネルギーをSOHOのCMEカタログ[2]から取り出して対応させた。同一現象であるかは時間とカタログの動画上での放出位置の一致から判断した。

フレアエネルギーは時間変化を線形に近似して求めた。近似は対数スケールでの傾向解析に支障はないと考える。

$$\text{フレアエネルギー(erg)} = \frac{1}{2} \times (\text{ピークフラックス(erg/s)}) \times (\text{フレア時間(s)}) \times \{4\pi \times (1\text{au/cm})^2\}$$

3. 結果

3-1. CMEを伴う割合

はじめに、フレア統計別にCMEを伴った割合を表にまとめた。ピークは黒点による輝度損失[3]が最大の月の前後6ヶ月とした。表aから時期別には統一的な傾向は見られず、表b, cから大規模で長寿命なフレアはCMEを伴う割合が高いことが判明した。

3-2. フレアとCMEエネルギーの関係

次に、CMEを伴ったイベントについて、フレア各パラメータとCMEエネルギーを比較して図にまとめた。

図a, bのフレアピークフラックスと経過時間は、それぞれ図中の左上、右下の領域を制限しているようにみられた。

また、図cからフレアエネルギーとCMEエネルギーについて比較的良好な相関が認められて、両数の関係は比例関係より有意に急激に増大する、指数1.5ほどのべき関係であることが判明した。

4. 議論

4-1. CME発生率について

表aで時期別に統一的な傾向が見られなかったことは、24周期で南北半球のピークがずれた影響が考えられる。

また、表b, cから大規模で長寿命なフレアをつくる磁場の形状はCMEを発生させるものと類似していると考えられる。

4-2. フレア-CMEエネルギーの関係について

CMEがエネルギー的に卓越するのは、磁気現象で放出される物質が大局的に効率よく加速されることを表していると考えられる。

べき関係は、フレアでは磁気再結合が局所的な一方、CMEではロープ全体が関与し、 B^2L^3 スケール則から、大きな活動領域でCMEに寄与するエネルギーが相対的に増加するためと考えられる。

4-3. 制限領域について

図aのピークフラックスによる領域制限はフレアフラックスによる最大効率のCMEエネルギーへの変換を表していると考えられる。

他方、図bのフレア時間による制限は本研究でC8以上のイベントを扱ったことによるバイアスである可能性が高い。

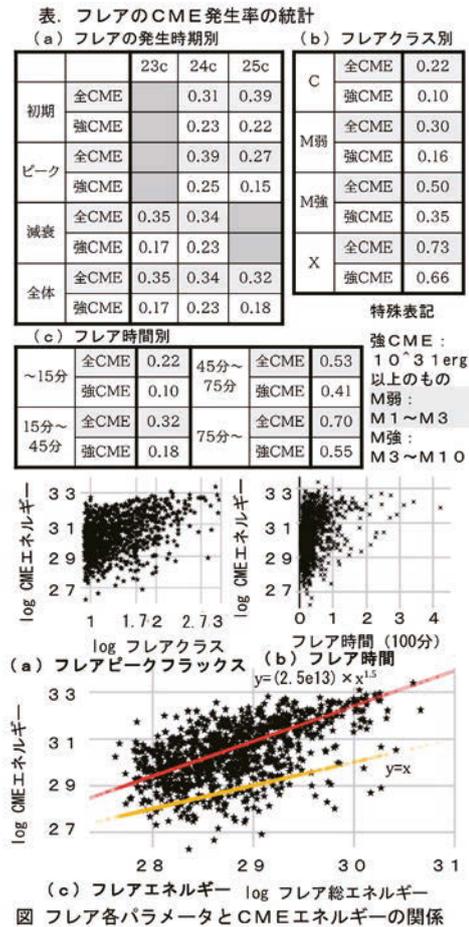
5. 結論

大規模で長寿命なフレアほどCMEを伴いやすく、CMEエネルギーは同一イベントのフレアエネルギーに対して有意に急激な増加(指数 ≈ 1.5 のべき関係)を示すことを指摘し、その過程への考察を施した。また、フレアフラックスによってCMEエネルギーに制限がかかる可能性を示唆した。

謝辞：本研究は、ひのでフレアカタログ[1]、SOHO CMEカタログ[2]を使用して実施されました。

主要参考文献

- [1] Hinode Flare Catalogue, https://hinode.isee.nagoya-u.ac.jp/flare_catalogue/, ISAS & ISEE (2025/12/25閲覧)。
- [2] SOHO CME Catalogue, https://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/, ESA & NASA (2025/12/25閲覧)。
- [3] 新黒点望遠鏡黒点面積データ, https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/db_sunspot.html, NAOJ(2025/12/29閲覧)。
- [4] シリーズ現代の天文学10「太陽」, 桜井 隆ら, 日本評論社, 2018。



11年分の自校撮影太陽画像で調べる太陽差動回転の特徴

名古屋高等学校地球科学部・名古屋中学校自然科学部：
山内 朝日、足立 勝（高2）、吉元 敬博、足立 健人、小林 幸史（高1）【名古屋高等学校】、
溝神 幸文（中2）【名古屋中学校】

要 旨

自校天文台で撮影した2015年～2025年までの白色太陽デジタル画像を用いて、黒点の角速度と緯度との関係を二次曲線に近似した。年度ごとの二次曲線のとがり具合とその年の太陽活動度との関係をグラフ化した。グラフは一次関数に近似したが、太陽活動度の低い時期は黒点の角速度の測定が困難で、データ数が少なくなり、信頼性に欠ける。

1. はじめに

名古屋高等学校地球科学部・名古屋中学校自然科学部は2014年より夏休みの時期の「ひので衛星といっしょに太陽を観察しよう」に12年連続で参加し、太陽の写真撮影を行い、撮影データを利用させてもらえる環境にあった。2025年にはデジタル画像のピクセルのxy座標から表計算ソフトで黒点の緯度経度を算出する手法を考案し、黒点の角速度を精度よく求めることができるようになってきている。

本研究では、2015年～2025年の間に本校天文台で撮影した太陽画像から差動回転の年度ごとの特徴をそれぞれ2次関数に近似した。グラフのとがり具合を表す係数と太陽の活動度の指標である黒点相対度数との関係をグラフにして関係を探った。

2. 方法

以下の手順で行った。

- 本校天文台で撮影した太陽画像からある程度連続した日付のセット（間隔が0日～4日程度）を集める。
- 黒点に通し番号をつけ、国立天文台のデータ（文献 [1]）を利用して、黒点毎に対恒星角速度を出す。
- 年毎に座標平面上に(x=(緯度)°)、(y=(角速度)-14.18439716312057(カリントン周期°/日))の形でプロットし、 $y=ax^2+b$ に近似する（図1）。
※ カリントン周期は文献 [2] を利用。
- x^2 の係数aとベルギー王立天文台が公開する月毎の黒点相対度数（文献 [3]）を座標平面上に(x=相対度数、y=a)の形でプロットし、比較する。

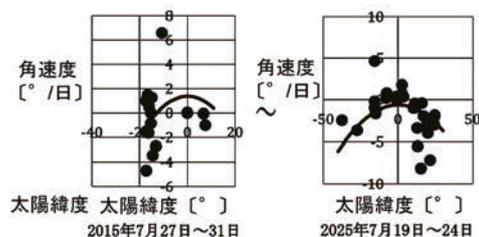


図1 黒点の対恒星角速度と出現する太陽緯度との関係

3. 結果

- 2015年7月27日～31日（画像5枚、黒点7個）：近似曲線 $y=-0.00830264x^2+1.369193679$ 相対度数 65.8
 2016年7月19日～21日（画像2枚、黒点3個）：近似曲線 $y=-0.011714921x^2+0.23236111$ 相対度数 32.4
 2017年8月4日～5日（画像2枚、黒点2個）：近似曲線 $y=-0.013865072x^2+0.537589332$ 相対度数 32.6
 2018年～2021年は同一黒点を追跡できる画像の組み合わせなし
 2022年8月22日～24日（画像2枚、黒点2個）：近似曲線 $y=-0.003811453834x^2+1.3267752612022$ 相対度数 74.6
 2023年7月20日～24日（画像2枚、黒点7個）：近似曲線 $y=-0.002053961x^2+0.003862295$ 相対度数 160.0
 2024年8月20日～25日（画像5枚、黒点15個）：近似曲線 $y=-0.008799505x^2+0.263852856$ 相対度数 216
 2025年7月19日～24日（画像6枚、黒点21個）：近似曲線 $y=-0.003437296x^2+0.620346502$ 相対度数 125.5

4. 考察

図2のように、係数aと黒点相対度数の間には正の相関がみられた。太陽の活動が活発であるほどaが0に近づき、差動回転の差動がなくなっている。しかし、年度によっては黒点が2個であったり画像が2枚ほどしかなかったりしたため、係数aに有意性がない。これは、太陽の活動が活発ではないときは黒点の数が少なく、データをとりにくかったことが原因であると考えられる。

5. まとめ・展望

11年間の太陽黒点画像から太陽の差動回転の差動の大きさと太陽活動度の指標である黒点相対度数の関係を見出そうと試みたところ正の相関が見られた。しかし、太陽の低活動期は黒点の数が少なく、差動の大きさが特定できなかったため、信頼性に欠ける。本校の観測画像だけではデータ不足であるため、観測態勢を拡充するか国立天文台など他機関の画像を使わせてもらって、関係を検討したい。

参考文献

- [1] 太陽の自転軸、国立天文台、https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/cande/sun_spin.cgi（2026年1月9日閲覧）
- [2] こよみ用語解説、国立天文台、<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/faq/ephemeris.html>（2026年1月9日閲覧）
- [3] Monthly mean total sunspot number [1/1749 - now]、Sunspot Index and Long-term Solar Observations、Royal Observatory of Belgium、<https://www.sidc.be/SILSO/home>（2026年1月15日閲覧）

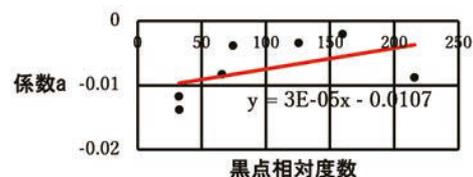


図2 係数aと黒点相対度数の関係

太陽の周縁減光における波長依存性についての観測的研究

天文部：櫻井 優輝、江口 真由美、小倉 遙河、小泉 翔愛、佐々木 健人、
寺原 直希、中根 陽輝（高2）、渡部 風香（高1）【川口市立高等学校】

要旨と研究背景

我々は、学校で所有している分光器を活用した研究に取り組んでいる。太陽には周縁減光と呼ばれる、中央部から周縁部に向かって暗くなる現象がある。ここで、私たちは太陽のスリットスキャン分光観測を可視光領域について行い、周縁減光に波長依存性があることを確認した。また、得られた結果から黒体放射に関する法則に基づいて太陽中央部の波長ごとの温度を求め、その見通せる深さについて理論的に考察した。

1. 観測・解析方法

場所:埼玉県川口市 川口市立高等学校屋上
日時:2026年1月6日 10:11:17~10:13:36(JST)
望遠鏡:屈折望遠鏡 (口径60mm
焦点距離330mm SharpstarED60)
減光フィルター:ND1000+ND8
分光器:低分散分光器 VEGA
(昭和機械製作所)
カメラ:ZWO ASI 178MM

太陽の日周運動を利用してスリットスキャンすることによって得られた直径部分のデータを約2秒ごとに70分割した領域で、スペクトルの平均強度を350nmから700nmまで50nm毎に求めた。その後、それぞれの波長におけるスペクトル強度の最大値を1として周縁減光の割合をグラフに表した。次に、太陽の周縁部と中央部の輝度比からプランクの公式[1](図1)を利用して、波長ごとに太陽の中央部の温度を算出した。さらに、太陽の温度と深さの関係を表した先行研究論文[2](図2)を用いて、観測できる波長ごとの太陽の中央部の見通せる深さを導出した。

プランクの公式

$$B_{\lambda}(T) = \frac{(2hc)^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}$$

↓ $\frac{1}{I_0}$ が $\frac{B_{\lambda}(T_0)}{B_{\lambda}(T)}$ に相当するものとする

$$\frac{1}{I_0} = \frac{B_{\lambda}(T_0)}{B_{\lambda}(T)} = \frac{\frac{(2hc)^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT_0)} - 1}}{\frac{(2hc)^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}} = \frac{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}{e^{(hc/\lambda kT_0)} - 1}$$

$B_{\lambda}(T)$ = 温度 T (K)、波長 λ (m) における分光輝度
 T = 中央部の温度
 T_0 = 周縁部の温度
 $h = 6.62607015 \times 10^{-34}$ J·s (プランク定数)
 $c = 2.99792458 \times 10^8$ m/s (光の速さ)
 $k = 1.380649 \times 10^{-23}$ J/K (ボルツマン定数)

図1 プランクの公式とその定数

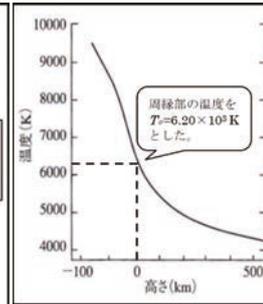


図2 太陽の温度と深さのグラフ

2. 結果

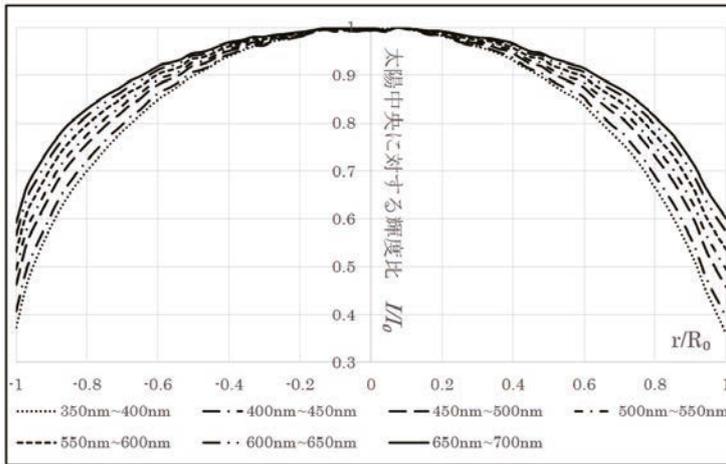


図3 太陽の半径比(r/R_0)と可視光領域の各波長のスペクトルの相対強度(I/I_0)のグラフ

温度 ($\times 10^3$ K)	深さ (km)
6.20	0
階級値 [nm]	
6.77	675
6.80	625
6.84	575
6.88	525
6.88	475
6.92	375
6.95	425

図4 波長ごとの見通せる深さと温度の模式図

3. 考察・今後の展望

結果より、太陽の中央から周縁に向けてスペクトル強度の減衰があり、短波長になるほど周縁減光が大きくなるという波長依存性が見られた。スペクトル強度の減衰があったのはシュテファン・ボルツマンの法則によるもの、波長依存性が見られたのはウィーンの変位則によるものだと考えられる。またプランクの法則より、波長が短くなるほど温度が高くなり見通せる深さが増すこともわかった。発表当日までに近赤外領域の観測及び解析を実施し、結果を公表したい。

参考文献

- [1] 天文学辞典 <https://astro-dic.jp/>
- [2] Gingerich, Noyes, Kalkofen and Cuny, Solar Physics 18,347(1971)

太陽活動極大期におけるフォーブッシュ減少の観測

秋田高等学校理数科宇宙線班:

池本 泰斗、竹村 心那、目黒 ことみ、渡部 夏子(高2)【秋田県立秋田高等学校】

要旨

本研究では、簡易宇宙線検出器CosmicWatchを用いて、秋田・仙台・東京の3地点で宇宙線を同時観測し、計測環境の異なる地点間で同様の変化が観測できるかを検証した。また、2024年に同様の検出器を1台のみ用いて計測した秋田での観測データも利用した結果、Mクラスの太陽フレア発生時に計測データ上では宇宙線検出数の明瞭な減少は確認されなかったが、Xクラスの太陽フレア発生時に宇宙線検出数の有意な減少が確認された。このことからXクラスの太陽フレアに伴うコロナ質量放出によってフォーブッシュ減少が発生すると推察された。

1. はじめに

地球に飛来する高エネルギー粒子である銀河宇宙線は太陽活動の影響に作用される。フォーブッシュ減少(Forbush Decrease、以下FD)は特に太陽フレアやコロナ質量放出(Coronal Mass Ejection、以下CME)の発生に伴う磁場の乱れが障壁となり、地球に到達する宇宙線量が一時的に減少する現象である¹⁾。2025年は太陽活動が「極大期」を迎え²⁾、大規模な太陽フレアやそれに伴うFDが発生する可能性が高いと判断した。また、先行研究³⁾でも複数地点での簡易検出器で同時にその現象を捉え、比較検証した例は少ない。本研究では、計測環境の異なる複数地点のデータを比較し、太陽フレアの規模を表すX線強度と、宇宙線量の相関関係を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

CosmicWatchを3地点に設置し、2025年6月21日から12月9日の計測期間において24時間連続で宇宙線到来数を計測した。また、データ数の確保のため2024年1月1日から12月31日での秋田のデータを利用した。得たデータはPythonを用いて1時間ごとの解析を行った。太陽活動の指標にはX線強度のデータ⁴⁾を使用した。CosmicWatchでは環境放射線がノイズとなるため、いずれの地点でも2台の検出器を上下に配置し、垂直方向からの放射線のみを検出するCoincidence法を採用した。また、FDは宇宙線量の相対的減少現象であるため、宇宙線検出数の絶対値ではなく、その時間変化に着目した。

3. 結果と考察

太陽フレアのクラスは強い順にX、M、C、B、Aに分類され、本研究では、Mクラス($10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ W/m}^2$)とXクラス(10^{-4} W/m^2 以上)の太陽フレア発生時の検出数を使用した。この予稿では、Mクラスのものとして図1に2025年10月9日の仙台、Xクラスのものとして図2に2025年12月1日の秋田の観測結果を示す。太陽フレアと宇宙線検出数変化の比較のため、上段に原因(太陽フレアのX線)、下段に結果(宇宙線数)を配置し、時間軸を協定世界時(UTC)にそろえることで、両者の相関関係を比較しやすくした。図1、図2の枠で囲んだ部分が太陽フレア発生時のデータである。

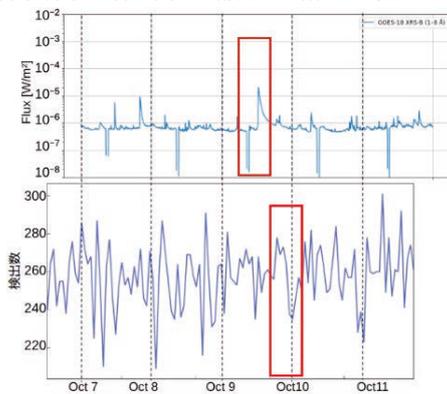


図1 X線強度(上)、仙台における検出数(下)の経時変化

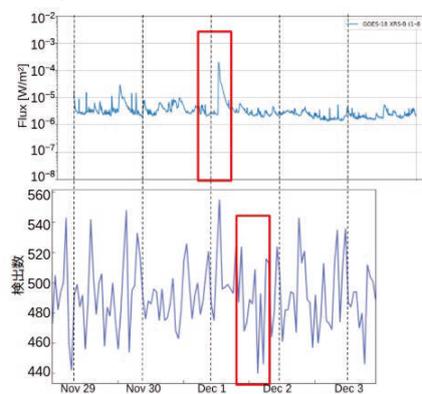


図2 X線強度(上)、秋田における検出数(下)の経時変化

本研究では、先行研究³⁾で示されたような、太陽フレア発生後約1日を遅れて現れ、数時間以上持続した宇宙線強度の減少が確認され、その後数日かけて回復する挙動をFDの判断基準とした。我々の観測では、Xクラスではこの基準を満たす変化が確認されたが、Mクラスでは減少の振幅が小さく、持続的な低下や回復過程は確認されなかった。3地点で同様の計測方法を用いたため研究環境の不備は考えにくく、他の複数の計測日でも類似した傾向が見られた。2024年に発生したXクラス太陽フレア39事例のうち、8事例においてFDが観測された。よって、X線強度がMクラス以下の太陽フレアに伴うCMEは比較的小規模であることが多く、それに起因するFDは振幅が小さいため、地上観測では検出が困難である一方、Xクラスの太陽フレアに伴うCMEではFDが顕著に観測される可能性が高いと考えられる。

4. 参考文献

- [1] Hilary V. Cane, CORONAL MASS EJECTIONS AND FORBUSH DECREASES, 『Space Science Reviews』, 93(2000), 55-77.
- [2] NASA, 「NOAA: Sun Reaches Maximum Phase in 11-Year Solar Cycle」, 2024 (2024年10月16日更新版)
<https://science.nasa.gov/science-research/heliophysics/nasa-noaa-sun-reaches-maximum-phase-in-11-year-solar-cycle/>
- [3] 金野百合子・小林美登里・塚本葉月・牛田舞羽・倉科采佳・福岡菜々香・松永瑞紗・林忠誉・田中香津生, 2024年5月におけるフォーブッシュ現象効果の観測について、加速キッチン宇宙素粒子探求レポート, 2024年
<https://accel-kitchen.com/cosmicray/> (2025年4月14日公開).
- [4] National Centers for Environmental Information (NCEI),
https://data.ngdc.noaa.gov/platforms/solar-space-observing-satellites/goes/goes18/12/data/xrsf-12-avg1m_science/ (2026年1月15日最終閲覧).

国立天文台ライブ配信における流星の観測

森口 圭吾 (中2) 【川口市立高等学校附属中学校】

要 旨

本研究は、国立天文台ハワイ観測所による流星のライブ配信を使用し、ペルセウス座流星群の解析を行い、ダストトレイルや放射点、流星の色についての考察を行った。

1. 動機

インターネットで国立天文台のライブ配信を使い、簡易的に流星の研究ができるのではないかと考え本研究をするにあたった。

2. 研究方法

ハワイ現地時刻 8月12日、8月13日、8月14日の計3日間のデータを使い、以下の3つを調査した。

- (1) 流星が写っていない画面をスクリーンショットし印刷しておき、そこに写った流星の軌跡、時刻を記入し、その数、時刻に規則性があるのかを調べた。
- (2) 日本流星研究会 HP[1]からダウンロードしたペルセウス座流星群の流星観測用星図を使い放射点を求めた。
- (3) 明るい流星は緑色に見えた。この理由について考察する。

3. 結果と考察

(1) 図1は8月12日、図2は8月13日の時間ごとの流星の出現数である。8月12と8月13日の流星の出現数には4つ山(赤丸の部分)があった。この結果より地球は4つのダストトレイルを通過したことが考えられる。また極大日といわれていた8月13日より8月12日の方が時間ごとの流星の数は多かった。それは日本とハワイの時差の関係から19時間の時差があるため日本時間の13日はハワイ時間だと12日であった。よってハワイの極大日は12日だと考えられた。また極大日を過ぎると時間ごとの流星総数は増減しながら全体として減少した。

(2) 図3は国立天文台のライブ配信で流れた流星を流星観測用星図にプロットし放射点を求めた図(ペルセウス座流星群以外と思われるものは除いてある)である。この図からペルセウス座流星群の放射点は広がりを持っていると分かる。その原因としてダストが宇宙空間で太陽風や重力によりダストトレイルが膨らんでしまったことが考えられた。

(3) また流星が緑色に光った。このことに関してペルセウス座流星群の流星は地上100キロ付近から光る。そこでは空気が薄いため酸素分子の波長(557nm)である禁制線の光が発せられる。その光は燐光と同じ現象になる。そして[2]によると燐光は通常の光である蛍光よりも長く光るとのことだった。また酸素の発光は緑色である。そのため流星が緑に光った原因はナトリウムやマグネシウムよりも酸素が長く光るためだと分かった。

4. 今後の展望

観測年や観測地点を変えたりしたときも放射点の広がりが見つかるのか調べたい。またペルセウス座流星群ではない流星の放射点がきりん座の近くにあったので新しい流星群かどうか調べて見たい。

5. まとめ

国立天文台のライブ配信を使い、ダストトレイルの存在や放射点の広がり、流星に色がつく理由などを確認することができた。

6. 参考文献

- [1] 日本流星研究会 流星観測用星図 <https://www.web-nms.com>
- [2] Canon Global 自然界の光 https://global.canon/ja/technology/s_lab/light/001/07.html

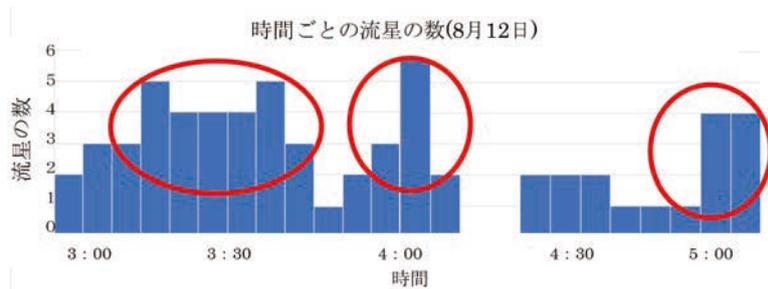


図1 8月12日 時間ごとの流星の数

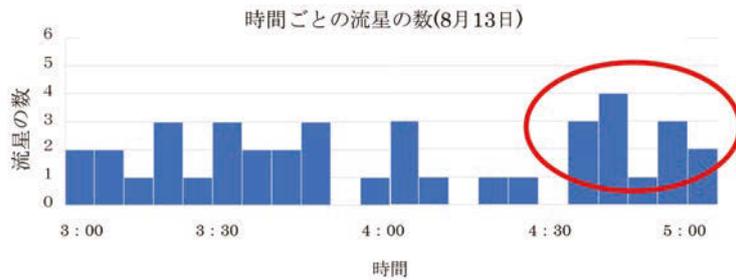


図2 8月13日 時間ごとの流星の数

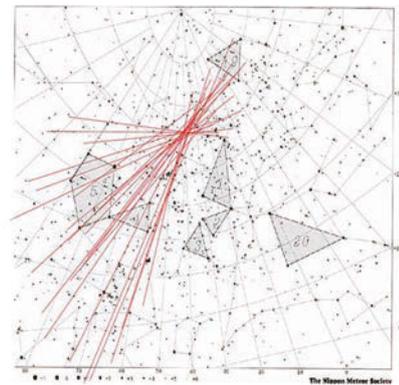


図3 ペルセウス座流星群の放射点

マウナケア山頂すばる望遠鏡ライブ配信を使用した、 ペルセウス座流星群の観測と予測

若狭 千輝(中2)【呉市立阿賀中学校】

要旨

マウナケア山すばる望遠鏡ライブ配信[1]を利用し、ペルセウス座流星群を観測した。2024年には極大日[2]104個、2025年には極大日43個の流星が観測できた。観測結果から、最大等級(最も暗い)と流星数は比例に近い関係にあることが考えられたため、それを利用して2026年8月13日のペルセウス座流星群の流星数は134個と予想した。

1. 研究動機と目的

2024年に、科学研究で、マウナケア山頂すばる望遠鏡のライブ配信を用いてペルセウス座流星群を観測した。極大日にはパソコン画面上で、104個の流星の軌跡を確認し、軌跡を延長することで、放射点を特定できること、また、軌跡の向きの違いから流星群と散在流星群を区別できることを確認した。2025年も同様に、流星群の観測を行ったが、観測条件はほぼ同じだったにもかかわらず、流星数は43個にとどまった。流星数の違いは月齢にあると考え、空の明るさとこれら2年分のデータを基に、未来の流星数を予測することを目指そうと思った。

2. 仮説

2024年と2025年の流星数には天気や観測場所、放射点の位置・方角はほぼ同じだったにもかかわらず、大きな差があった。この要因は月齢による空の明るさの違いと考えられ、空が暗いほど見える流星数は多くなると予想できる。空の明るさを見えた星の最大等級で表すと、流星数と見えた星の最大等級には比例に近い関係があるのではないと考えた。

3. 方法

マウナケア山頂すばる望遠鏡のライブ配信映像を用い、流星を目視で観測した。流星が出現した時間ごとに、1時間につき1枚の観測記録用紙に流星軌跡と流れてくる方向を記録した。記録した軌跡を延長し、放射点の位置を推定した。観測は、ペルセウス座流星群の極大日の日本時間20~22時(現地時間1~3時)を中心に行い、2024年と2025年を比較し、流星数を比較した。空の明るさを見えた星の最大等級で表し、観測した流星数との関係を見いだした。なお、星の等級は等倍ではなく、5等級ごとに100倍の明るさになるため、対数を用いた[3]。

4. 結果

観測した流星軌跡の数は、2024年では観測できた流星軌跡の数が104個で、2025年に観測できた流星軌跡の数が43個だった。2024年と2025年を比較すると、天気や観測場所、放射点の高度・方角はほぼ同じだったが、月齢や月の入出が違いため、見えていた星の最大等級が違う。

5. 考察

観察を続けたところ、放射点の位置が3時間で、約45度移動したため、放射点は、1時間につき約15度移動することが分かった。そのため、流星群を作るチリも地球の公転軌道上で移動しないことが分かった。また、ペルセウス座流星群の母天体のスィフトタートル彗星は太陽系の一部であることから地球から観測した見かけの位置は毎年同じであるといえる。

また、2024年に観測できた最大等級が6等級だった。2025年には観測できた最大等級が4等級だった。最大等級と観測できた流星数をグラフにすると図1のようになったため、最大等級と流星軌跡の数は比例に近い関係にあるといえる。

2026年の8月13日は、月齢が0、新月の予報である[4]。この時観測できる最大等級が人間が観測できる限界の6.5等級になると考えられるため、観測できる流星軌跡の数は134個になると予測できる。

6. まとめと今後の課題

本研究では、ペルセウス座流星群を2024年と2025年の極大日に観測し、2026年には流星が何個程度見られるのか予想することができた。しかし、本研究では空の明るさを決める月齢が0の場合であり、新月でない時は月の入や月の出を考慮する必要がある。このことから、月齢と流星数の関係を明らかにする事を課題にしたい。

参考文献

- [1] マウナケア山すばる望遠鏡ライブ配信, <https://www.youtube.com/watch?v=6g4Fh8K-MhYs> (2026年1月10日閲覧)
- [2] 主な流星群 | 国立天文台(NAOJ), <https://www.nao.ac.jp/astro/basic/major-meteor-shower.html> (2025年12月20日閲覧)
- [3] 極・宇宙を解く—現代天文学演習 編著 福江 純・沢 武文・高橋真聡 恒星社厚生閣(2020年)
- [4] 石田 智 星空年間2026(発売日2025) 編著 石田 智 株式会社アストローツ

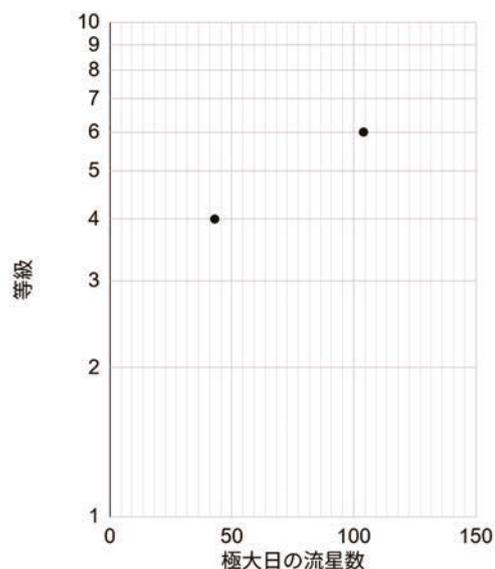


図1 観測できた最大等級と流星数

流星の自動観測装置の製作と流星群の分析～火球とクラスターについて～

天文気象部：

水澤 資人、西 梨杏、大谷 勇人、奥出 理人、村田 圭総（高3）、大浪 弘貴（高2）【東京都立立川高等学校】

要 旨

流星を常時観測するため、2023年にビデオと電波を用いた流星の自動観測装置と検知プログラムを独自に開発した。2年余り、様々な流星群の分析を行った中、本研究では2025年に観測した火球と流星クラスターについて報告する。

1. 研究背景

流星の分析は高層大気や、宇宙空間の彗星・小惑星を観測することにつながる。本部は約70年前からペルセウス座流星群、13年前からふたご座流星群を眼視で観測してきた。アマチュアの観測ネットワーク「SonotaCoNetwork^[1]」や平塚博物館の藤井大地氏は、複数台のビデオによる流星群の観測も行い、同時流星と判別できた流星の対地軌道や日心軌道を計算してその結果を公開している。

2. 研究目的

我々は、毎日流星観測を実施したいとの思いから、2023年に安価な防犯ビデオ5台で全天を網羅し、観測データを蓄積する独自の装置を考案した。更に膨大なデータから機械学習により流星を自動検出するプログラムを開発し、2年をかけてリアルタイムでモニタリングできるシステムを構築した。また、電波観測データも機械学習で検知できるようにし、流星の観測領域^[2]を3D化する研究により流星の道程と詳細な分析を目指した^[3]。

3. 研究方法

開発したビデオ観測装置と2局の電波を受信する電波観測装置を用いて様々な流星群を観測し、データの比較、軌道特定などの分析を行う。

4. 結果と考察

(1) 観測装置の製作と自動観測システムの開発、Webによるモニタリング

2025年には、日射によるカメラの劣化を防ぐため、タイマー制御とスマホによる遠隔操作で自動開閉する日除けを製作した(図1)。また、本部の先輩が2024年に本校の気象データや黒点及び視程の撮影データを一元化するために開発したWebUIを改良し、流星の検出結果も搭載してDiscordによる観測結果のリアルタイム通知と外部への公開を可能にした(図2)。



図1 日除け装置の製作

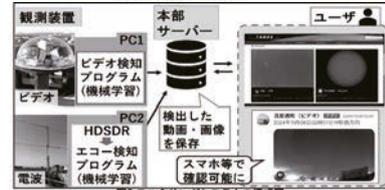


図2 モニタリングシステムの構成図



図3 流星クラスターの対地軌道

(2) ペルセウス座流星群の流星クラスター現象の分析

8月14日、青森上空で1秒未満に約20個の流星が流れ、北海道と青森で撮影された映像を比較明合成し、分析した。北海道では本校と同じカメラを使用していたため、本研究と同じ手法で歪み補正を行い、天球での位置座標を示すWCS情報を各画像に書き込んだ。ペルセウス座流星群初の大規模クラスターと考えられるため、軌道決定、群判定を行った結果、本流星群由来だとわかった(図3)。

(3) 鹿児島で観測された大火球の分析

8月19日、種子島沖で大火球が発生した。衝撃波が鹿児島周辺で観測されHi-net^[4]の連続波形データに記録されていた。衝撃波の到達時刻から衝撃波の発生源を逆算し、長沢・三浦(1987)^[5]の方程式を用い軌道決定を行った。この推定軌道と、藤井大地氏が計算したビデオ観測による軌道を比較したところ、両者の結果はおおむね一致した(図4)。



図4 衝撃波からの推定経路とビデオからの対地経路

大火球観測の数時間後に長野県南部で別の流星が観測され、これは長野県の合宿先と本校屋上で観測された。二地点からの軌道決定の結果、Dsh値^[6]は0.14を示したため、これらは同一の母天体から分裂した可能性があると考えた。

(4) 2025ふたご座流星群について

12月15日、ふたご座流星群極大に合わせて眼視観測を行い、ビデオ、電波観測と比較した(図5)。眼視とビデオは25時に最多となり、ビデオは1時間に120個を捉えた。同時間に電波は減少しており、天頂効果が影響したと考えられる。また、電波の観測数の少なさは感度や指向性の調整に課題があると考えられる。

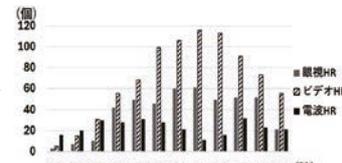


図5 2025年12月14から15日の流星数

5. まとめと課題

独自の装置やシステムを改良し、観測データの一元管理システムを構築した。世界に10例ほどしか報告されていない流星クラスターについて、独自のプログラムで軌道を算出し、ペルセウス座流星群由来であることをいち早く判定した。また、鹿児島で観測された大火球の軌道を衝撃波から特定し、関連する流星の発見に成功した。今後は検知プログラムの精度を高め、このシステムを他校にも紹介し、広域で空を見張る流星観測ネットワークを作りたい。

参考文献

[1] sonotaco.jp [2]内海洋輔(2002).『HRO流星レーダーの観測領域の計算』 [3]立川高校天文気象部(2024).『流星の自動観測システム「TenGu」ver2.0の開発』第12回高校・高専気象観測機器コンテスト [4]防災科学技術研究所.『Hi-net 高感度地震観測網』 [5]長沢工,三浦勝美(1987).『地震計記録から決定した1987年9月11日の大火球の経路』.『東京大学地震研究所彙報第62巻第4号』 [6]Southworth, R. B., & Hawkins, G. S. (1963), Statistics of Meteor Streams. Smithson. Contrib. Astrophys.

ペルセウス座流星群眼視観測データの傾向分析

天文気象部：

荻島 侑大、大浪 弘貴、藤井 凜（高2）【東京都立立川高等学校】

要旨

一昨年、本校天文気象部が観測した、1969年からの過去約25年分の紙面データを発見したため、直近14年間に記録したデータと合わせて記録をデータ化し、分析した。ピーク時のZHR、太陽黄経ごとにまとめたHR、光度比の分析及び人数補正値の検証等を行い、ペルセウス座流星群の傾向分析及び本校の観測記録の評価を試みた。

1. 研究背景・目的

本校天文気象部では1953年よりペルセウス座流星群の眼視観測を始めたとの記録がある。直近14年間は長野県の入笠山で観測を行い、群散判別・位置・時間・等級・痕の有無等を記録している。一昨年に1969～2002年の記録用紙を発見したが、詳細な分析がなされていなかったため、約1万個の流星の記録をデジタルデータ化し、長年にわたる記録からペルセウス座流星群の傾向を分析したいと考えた。

2. 研究方法と結果

(1) 年代ごとの観測総数とピーク時のZHRによる分析

現在は4名1組で四方向を向いて観測しているが、過去には7～10名近くで観測する年もあり、観測場所は9回変わった。天候や月齢により条件は異なり、一晩の観測総数が最大で600を超える年もあった(図1)。また、ピーク時のZHR(天頂出現数…理想的な条件で見える数)[1]をグラフ化したところ、200を上回る大きな値が複数出たため、個別の要因を分析したが、原因を完全に明らかにすることはできなかった。

(2) 放射点高度を用いて補正したHRと太陽黄経との関係

(1)を踏まえ、全ての年と時間帯のHRを放射点高度のみを用いて補正し、その値を太陽黄経ごとにまとめた(図2)。太陽黄経140.3°で流星数はピークを迎え、141°を超えると流星数は一気に減少する様子が読み取れた。

(3) 光度比の検証

本校の観測データから光度比を算出した。光度比とは流星群の明るさを示す指標である。ペルセウス座流星群では、NMSおよびIMOの公表する光度比は2.6である。本校で観測された等級ごとの流星数を実測値、本校で観測された-2等級の流星数を基準として、1等級ごとに2.6倍した値を理論値としてグラフにした(図3)。その結果-2～2等級では理論値と実測値は同じように増加し、この範囲での光度比は2.65であった。しかし、3等級より暗い流星数の実測値は理論値よりかなり少なくなっており、これは3等級以上の暗い流星は肉眼での補足が難しいためだと考えられる。

(4) 人数補正値の検証

1人当たりのHR及びZHRを算出する際、4人での観測ではグループのHRを2.9で割るとされている[1]。この値の検証を、2025年ふたご座流星群の観測にて行った。「グループのHR/実際に一人が観測した流星数」の平均は2.9となり、この人数補正値と一致したため、この補正値2.9は本校の観測に適していると考えられる。1人の実際のHRと、グループのHR/2.9をグラフ上に重ねたところ、概ね一致した(図4)。

3. まとめ・今後の展望

本校の観測記録から、ペルセウス座流星群のピーク傾向、光度比及び人数補正値の検証を行った。今後は他の人数時の人数補正値の検証や流星観測の精度向上に繋げていきたい。

4. 謝辞

分析手法についてご指導いただいた国際流星機構(IMO)の小川宏さんをはじめ、IMO、NMSの皆様へ感謝申し上げます

5. 参考文献

[1]『流星眼視記録観測マニュアル』日本流星会事務局(2005) [2]『流星 I 観測の実際』斎藤馨児, 長沢工. 恒星社厚生閣(1984) [3]『流星 II 解析と理論』斎藤馨児, 長沢工. 恒星社厚生閣(1984) [4]『天文年鑑 1989』～『天文年鑑 2002』誠文堂新光社 [5]FAS 府中天文同好会HP「太陽黄経計算 ver.2」

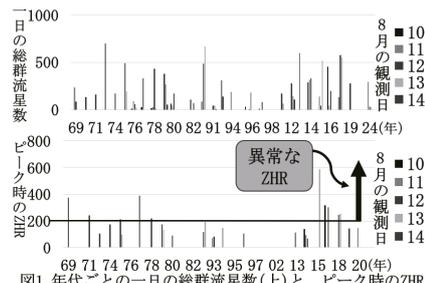


図1 年代ごとの一日の総群流星数(上)と、ピーク時のZHR

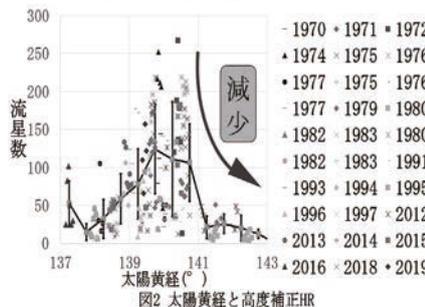


図2 太陽黄経と高度補正HR

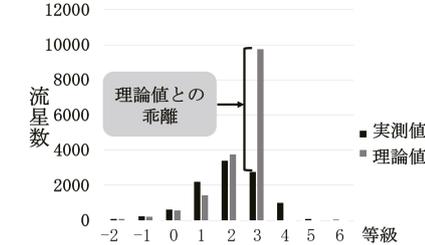


図3 観測された流星の等級と流星数(35年分)

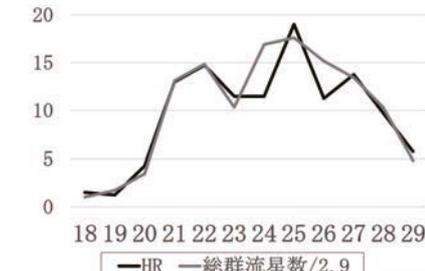


図4 実際のHRと人数補正をした群流星数

流星分光観測装置の製作と分析

天文気象部：

田中 蔵之介、高橋 大佑、中嶋 秀利、林道 遥嵩（高1）、大浪 弘貴、荻島 侑大（高2）【東京都立立川高等学校】

要 旨

流星を常時観測するため、2023年に本部の先輩が防犯カメラを用いた流星の自動観測装置と検知プログラムを独自に開発した。本研究ではこれらを応用して分光観測を行い、画像を解析する補正ソフトの開発を行って、流星の組成やその母天体の分析を目指した。

1. 研究背景

本校天文気象部では1953年より眼視による流星群の観測を行ってきた。2023年には常時観測するために、先輩が5台の防犯カメラと電波による流星の自動観測システムを開発し、それらを用いて流星の経路や軌道等を分析した。本研究ではこの装置を応用し、新たに高感度のカメラに回折格子を取り付け、流星を分光観測して、その組成を分析しようと考えた。これは高層大気や流星の元となる彗星・小惑星を観測することに繋がると考えられる。

2. 研究目的

流星分光観測システムを構築して流星の成分を明らかにし、母天体の彗星・小惑星の推定に繋げることを目指す。

3. 研究方法

高感度なRaspberry Piカメラモジュール(IMX462)と防犯カメラ(Atomcam2)に回折格子を取り付けた、流星分光観測装置を製作し(図1,2)、アクリルドームで防水対策、乾燥剤とアルミシートで結露対策を行った。またPythonを用いて分光画像の補正ソフトを開発し、分析の効率化を図った。



図1 ビデオ観測装置と分光観測装置 図2 分光観測装置の拡大図

4. 結果・考察

(1) 観測システムの構築

約一か月間、分光観測を行い、計8個の流星のスペクトルを得ることに成功した。そのうち、散在流星が1つ、おうし座南流星群の流星が4つ、ふたご座流星群の流星が2つ、さらに比較的珍しいエリダヌス座の流星群の流星が1つであった(図3)。



図3 観測画像(補正済)

(2) 流星の成分の分析

分光観測で得られた画像に歪み補正、スカイ減算、ダーク減算を開発した画像補正ソフトを用いて行い、解析は分光解析ソフトウェアRSpec^[1]を用いて、流星に含まれるナトリウム、マグネシウム、鉄の金属組成比を調べ、三角図にプロットした(図4)。また、分光観測で得られたふたご座流星群の流星の観測動画をフレーム分解し、各フレームについて上記と同様の手法を用いて、流星に含まれるナトリウム、マグネシウム、鉄の高度別の相対輝度変化を調べた(図5)。高度に関しては、SonotaCo Network^[2]のデータと本校でのビデオ観測から発光高度と消失高度を算出した。その結果、成分によって高度別の発光の仕方に違いがあることが分かった。

(3) 三大流星群の発光の仕方

三大流星群である、しぶんぎ座流星群、ペルセウス座流星群、ふたご座流星群について、各流星群の極大日に先行研究^[3]で製作されたビデオ観測装置を用いて観測されたデータから流星の相対継続時間と相対輝度について調べた(図6)。どの流星群についても相対継続時間0.7付近で発光極大を迎えることが分かった。ペルセウス座流星群については最後に急激に増光するという典型的な発光の仕方をしていることも確認できた^[4]。

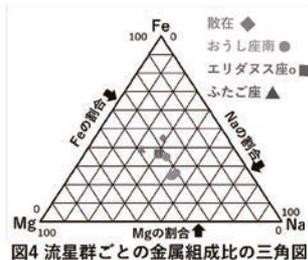


図4 流星群ごとの金属組成比の三角図

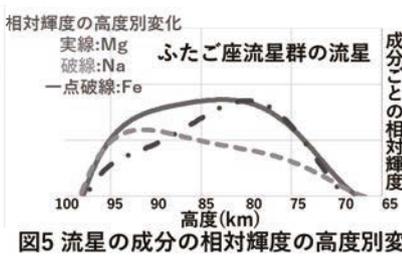


図5 流星の成分の相対輝度の高度別変化

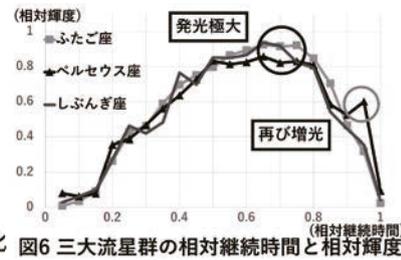


図6 三大流星群の相対継続時間と相対輝度

5. まとめ・今後の展望

流星分光観測装置と画像補正ソフトを開発し流星の組成を分析することができた。今後は眼視、ビデオ、電波、分光の4手法での観測を継続し、データを蓄積して流星の起源に迫っていきたい。

参考文献

[1]RSpec [2]sonotaco.jp [3]都立立川高等学校天文気象部 『流星の自動観測システム「Tengu」ver.2.0の開発』 第13回高校・高専気象観測機器コンテスト [4] 斎藤馨児・長沢工(1984). 『流星 I 観測の実際』 恒星社厚生閣

C/2025 A6 レモン彗星の画像解析

郭 亦蕾、加藤 千翔、川村 楓（高2）、椎野 桜介、石橋 叶（高1）【駿台学園高等学校】

要 旨

2025年の天文学会ジュニアセッションで、紫金山・アトラス彗星の解析の発表を行ったが、本年は新たに Lemmon 彗星 (C/2025 A6) が出現したので、前回と同様にデジタルカメラのカラー写真の解析を行い、両者の比較を行った。

1. はじめに

2025年の発表では、駿台学園の天文部員がデジタルカメラで撮影した紫金山・アトラス彗星のカラー画像を、テキスト形式の画像ファイル（.ppm 形式）に変換し、簡単な Python プログラムを使用して r, g, b の3色に分解して比較検討した。今回も同様な解析を行ったが、今回の天文部員の Lemmon 彗星の撮影画像には良好なものがなかったため、前回の研究で使用した写真と近い写りの写真をインターネットで探し、許可を得て使用した。

2. 使用写真

前回の画像と類似した画像として、有限会社スターゲイズ社のホームページより、右図の写真（図1）を利用させていただいた。この写真は、10月30日に神奈川県平塚市にて、135mm F/2.5 + APS-Cのデジタル一眼レフカメラで撮影されたものである。



図 1.使用した写真

3. 画像解析方法

画像の解析方法は前回と同様で、まず画像処理ソフト gimp を使用して、テキスト処理が可能な .ppm に変換し、これを Python プログラムを用いて r, g, b それぞれの画像に分解する、という方法である。

4. r, g, b それぞれの画像と前回（紫金山・アトラス彗星 (C/2023 A3) との比較

r, g, b に分解した画像は以下の通り、図2が紫金山・アトラス彗星、図3が今回の Lemmon 彗星の分解画像である。

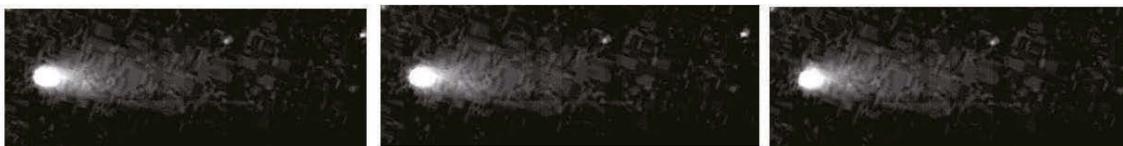


図 2. 前回分析した紫金山・アトラス彗星の写真。左から順に、r,g,b の値のみをそれぞれ出力したもの。



図 3. 今回分析対象とした Lemmon 彗星の写真。左から順に、r,g,b の値のみをそれぞれ出力したもの。

5. 彗星頭部の、各カラーによる違い

今回の Lemmon 彗星は、前回の画像と比較すると green の画像で頭部がコンパクトに輝いているのが特徴的である。また、green の画像では彗星の中心部の外側（前側）に薄くもやが広がっているのが見えるが、red, blue の画像ではほとんど写っていない。

尾の部分については、red の画像で明瞭に頭部の周りの広がりが見られ、green の強かった前回と比較すると違いがある。

6. まとめ

今回も比較的簡単な画像処理プログラムで天体画像のカラー解析を行うことができ、彗星のカラーの特性を検出することができたが、異なる観測の結果の比較の場合、それぞれのカラー写真の特性の違いを考慮しなければならない。例えば、今回の場合は写真全体が赤味がかっているために red の画像で彗星の形がはっきり写った可能性もある。こうした特性の違いを除去するためには、基準になる恒星を選んでその写り方を比較するなどの検討を行う必要があると考えられる。

7. 謝辞

研究を進めるにあたって、一橋大学名誉教授 中嶋浩一先生にご指導、助言をいただきました。また、有限会社スターゲイズ様にはホームページ掲載の画像のほか、画像処理前の元データまで快く提供していただきました。この場を借りて、厚く御礼申し上げます。

小惑星 43Ariadne の測光観測

天文気象部：

岩見 樹、戸田 大貴 (高2)、小林 風花、地白 美月、千葉 都萌 (高1)

【兵庫県立舞子高等学校】

要旨

小惑星 43Ariadne の形状を求めるため、単色測光観測を行い、光度曲線を作成した。そして曲線の光度変化から小惑星 43Ariadne の形状、及び等級を考察した。

1. はじめに

私たちは、過去 10 年間変光星についての測光観測を行ったが、今年は 10 年経過したので久しぶりに小惑星を観測することにした。2025 年 12 月に兵庫県立大学西はりま天文台の協力を経て 2 泊 3 日にわたり、小惑星 43Ariadne の測光観測、データ収集を行い、周期を求め、形状を考えた

2. 観測・解析方法

兵庫県立大学西はりま天文台 60cm 望遠鏡に CCD カメラ (SBIG ST-L) を使用して、単色測光観測を行った。R バンドフィルターを使用し、露出時間を 30 秒で繰り返し撮影を行った。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」を使用してダーク解析、およびフラット補正を行い、一次処理をした。次に小惑星 43Ariadne の明るさを求めるため比較星とともにカウント値を求めた。

3. 結果と分析

小惑星の光度変化を求めるために、光度変化をしない恒星 2 つを同時に観測し、光度の値を恒星の光度の値で割って比率を求めた。次に、2 つの恒星の比率の平均値を求め、光度の値を平均値で割り規格化した。(図 1)

次に、比較星のデータから、ポグソンの式を用いて等級の光度曲線 (図 2) を作成した。

4. 考察・今後

これらのグラフの光度変化から形状を考え、小惑星の模型を作った。グラフ中の光度が下がる地点を無視すると、基本的になだらかな光度変化をたどっている。このことから小惑星の形の基盤は、光度変化の少ない、球状の形をしていると考えられる。次にグラフの光度が下がっている地点を考える。この地点が 2 か所あることから小惑星を 1 周する溝があると考えた。また、この 2 か所間にある間隔は、2 時間の間隔と 3 時間の間隔がある。これにより、溝は球のどちらか一方に偏った場所にあると推測した (図 3)。ライトカーブが少しずつ下がって急に上がったのは、カメラの補正が原因または、観測室のカーテンを開けたままで、漏れた光を感知したようだ。また、天候が悪くなり、1 周期分のデータが取り切れなかったため、周期を求めることができなかったことは、残念である。次回観測する機会があれば取りたい。

5. 謝辞

今回の研究は、兵庫県立大学西はりま天文台研究員の 高橋隼様よりご指導いただき、この場を借りてお礼を申し上げます。

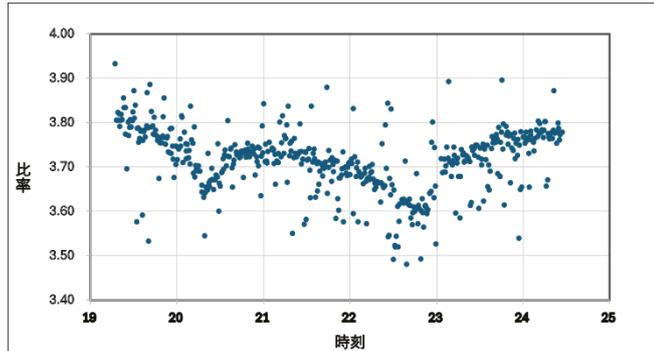


図 1 規格化された比率

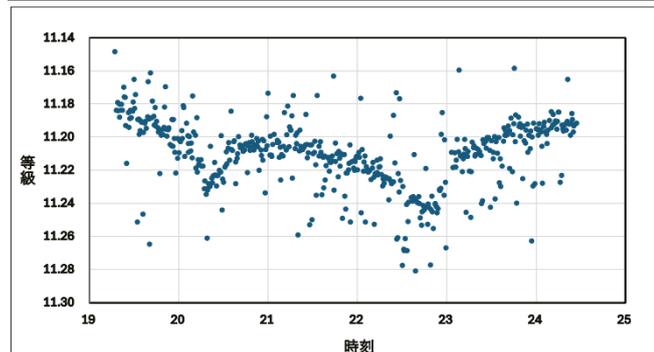


図 2 光度曲線



図 3 予想形状

鉄球と砂を用いたクレーターの特徴解析～衝突パラメータの逆推定に向けた実験研究～

高槻高等学校 課題研究 物理5班：

荒川 昭、鬼頭 滉介、濱田 翔大、水口 颯人、山西 響花（高2）【高槻高等学校】

要 旨

本研究は、クレーター形状から衝突条件を推定することを目標とする。乾燥砂上への鉄球落下実験により、低速衝突クレーターの解析を行った。クレーター径 D と衝突エネルギー $E = mgh$ の間に $D \propto E^\alpha$ のべき乗則が、球が埋没しなかった時に限り成立することを確認した。さらに、放出された粒子が放物運動をすることにより再度堆積したと考え、 θ 方向に飛散した砂の量 $G(\theta)$ 、砂の落下地点 $l(\theta)$ を用いて、堆積高さ分布 $z(l)$ が $z(l) \propto \frac{G(\theta)d\theta}{dl}$ で表されるモデルを構築した。また実験により、リム高さが落下高さに依存しないことが確認された。

1. 目的と背景

クレーターは物体衝突の痕跡であり、その形状は衝突の仕方によってさまざまであることがわかる。そこでクレーター形成の過程を調べることに逆により、クレーターを形成した隕石の特徴を特定することを目的とする。

2. 実験概要

鉄球を様々な高さから粒径 (840~2000 μm) のそろった土の上に落とす。落下によってできたクレーターの直径を測定し、鉄球が埋まったかどうか記録する。また、観測されたクレーターの形成過程を調べるためにハイスピードカメラを用いて、撮影した映像を解析する。特に飛散した粒子の動きに着目した。

3. 結果

図1が示すように、 $D \propto E^\alpha$ のべき乗則が成立した。ここで、 α の値が $\alpha \sim 0.2214 \pm 0.0155$ であった。また、粒子集団は一定の傾きを保って同一直線上を飛散した。同一の鉄球を用いたときにリム高さが落下高さにほぼ依存しない ($h \sim 4.35 \pm 0.29$ mm) ことが確認された。

4. 考察

鉄球が砂面に衝突した後の砂の飛散について考える。まず、ある時刻 t において砂が同一直線上 (図2直線上) に位置しているため、その時の砂の集団の形状が以下の方程式に従っていると仮定する。

$$z = ar + b(t), \quad b(t) = b_1 t + b_0 - \frac{1}{2}gt^2$$

ここで z は高さ、 r は落下地点からの距離である。ここで、 θ 方向に飛散した砂の落下地点 $l(\theta)$ は

$$l(\theta) = r_0 + \left(\frac{b_1}{\sin\theta - a \cos\theta} \right)^2 \frac{\sin 2\theta}{g}$$

とかける。また、 θ 方向に飛散した砂の量はその粒子の持つエネルギーの逆数に比例すると仮定すると

$$G(\theta) \propto \sin^2(\theta - \beta) \quad \left(\sin\beta = \frac{a}{\sqrt{a^2 + 1}}, \cos\beta = \frac{1}{\sqrt{a^2 + 1}} \right)$$

とかける。 $l(\theta) \sim l(\theta + \Delta\theta)$ 間に堆積した砂の高さを求めると

$$z(l) = G(\theta) \frac{d\theta}{dl} \propto \frac{G(\theta)^3}{k(2G(\theta) \cos 2\theta - G'(\theta) \sin 2\theta)}, \quad \left(k = \frac{b_1^2}{g(a^2 + 1)} \right)$$

と表せる。これを、 $\alpha = \frac{\pi}{3}$ として図示すると、図3のような形になるとわかる。衝突による凹み部分の関数化を行い、考察で示した関数とたし合わせることで、最終的にクレーターの形の関数化を行う。

5. 展望

衝突による凹み部分の関数化について考察し、より正確な衝突条件の推定を目指す。

また、球の直径を変化させながらリム高さを測定することにより、リム高さの球の直径に対する依存性を調べる。

参考文献

- [1] LIVE SCIENCE
<https://www.livescience.com> (2026年1月14日閲覧)
- [2] Low-speed impact craters in loose granular media (J.S.Uehara, M.A.Ambroso, R.P.Ojha, and, D.J.Durian)
<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.90.194301> (2026年1月14日閲覧)

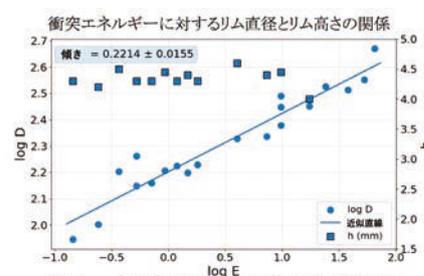
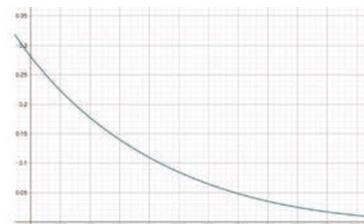


図1. べき乗則の成立を示すグラフ



図2. 粒子の飛散挙動 (ハイスピードカメラ画像)

図3. 砂の堆積高さの分布 $\alpha = \frac{\pi}{3}$ の時のモデル

シミュレーションによるスペースデブリ除去方法の考案

赤木 悠理花、道下 知歩、姚 瑶(高2)【茨城県日立第一高等学校】

要旨

近年増加するスペースデブリの衝突リスクに対し、本研究では、大気圏再突入を利用した除去方法を検討した。低密度物質散布方式[1]による数値シミュレーションを行った結果、デブリの速度と高度が低下し、小型デブリで高い効果が確認された。

1. 研究背景

近年、地球の周囲にはデブリが多く存在しており、現役の人工衛星や国際宇宙ステーションなどと衝突した場合、大きな被害を引き起こす可能性が懸念されている。特に、大きさが10cm以下の小型デブリは追跡が困難である一方、衝突時の影響は無視できない。本研究では、一辺が0.01~10cmの立方体のデブリを対象に、最適な除去方法を考案することを目的とする。

2. 方法

デブリを大気圏に突入させて除去する。本研究では、デブリが大気圏に突入したとき、燃え尽きるものと仮定した。この場合、既存の方法では安全性、汎用性、小型適性が高い低密度物質散布方式[1]と宇宙搭載レーザー方式[2]が有効であると判断した(表1)。本研究ではGoogle Colaboratory上でPythonを用いて低密度物質散布方式についてシミュレーションを行う。低密度物質による摩擦を考慮し、デブリの速度変化および高度変化を解析した。

表1.スペースデブリを大気圏へ落とす既存の方法

	安全性	汎用性	コスト	技術的難易度	大型適正	中型適正	小型適正
ロボットアーム	○	△	×	×	◎	△	×
ハーブーン/ネット	△	△	○	△	○	○	×
低密度物質散布方式	△	○	△	△	×	○	○
微粒子散布方式	×	×	○	×	×	△	○
レーザー(宇宙搭載)	○	◎	×	×	×	○	○

3. 結果

シミュレーションの結果、低密度物質を用いることで、デブリの速度を低下させることに成功した。これにより、デブリの軌道高度が低下した。デブリの一辺を小さくするほど、より速度、高度が低下した(図1)。デブリの一辺の大きさが0.07cmのとき、高度が500km以下まで下がり、デブリが大気圏に到達した(図2)。一方、サイズの大きいデブリでは抗力の寄与が小さく、単独では十分な減速が得られなかった。

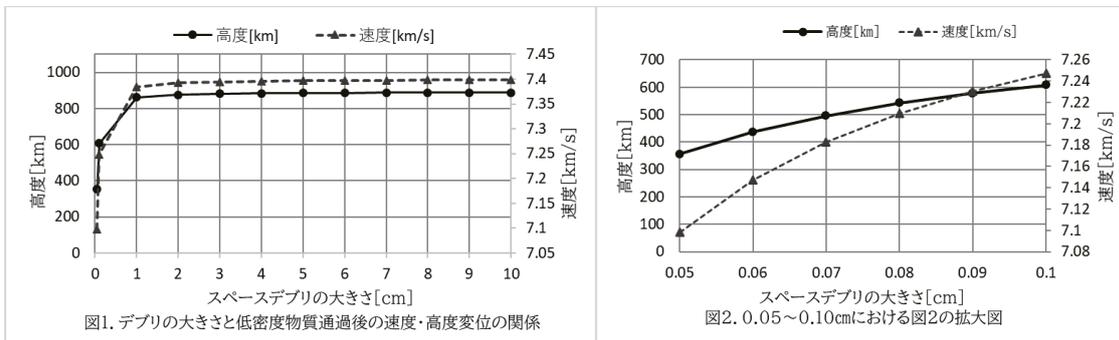


図1. デブリの大きさと低密度物質通過後の速度・高度変位の関係

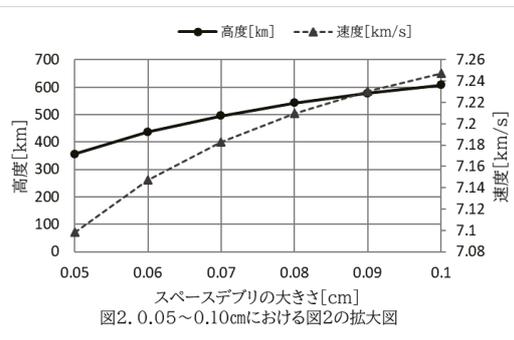


図2. 0.05~0.10cmにおける図2の拡大図

4. 考察

デブリのサイズが小さくなるにつれて速度と高度の減少量が大きくなったことから、低密度物質散布方式は小型デブリに対して高い有効性をもつと考えられる。特に一辺が1cm以下のデブリでは速度低下が著しく、軌道高度の大幅な減少が確認された。これは、効力加速度の基本式([3]7.1の方程式1)より、サイズが小さくなるほど質量が減少し、低密度物質による抗力の影響が相対的に大きくなるためだと考えられる。

5. 結論

低密度物質散布方式を用いた数値シミュレーションにより、デブリの速度低下および軌道高度減少を定量的に示した。本研究は、小型デブリ除去に対する本手法の有効性と限界を明らかにし、将来的な複合的除去技術の基礎的検討を提供するものである。今後は、レーザー照射による初期減速と低密度物質による持続的減速を併用することで、より大きなデブリへの適用が期待される。

参考文献

[1] 低密度物質を用いたスペースデブリの除去方法の研究, IHI技報, https://www.ihico.jp/technology/techinfo/contents/no/_icsFiles/afieldfile/2023/06/17/6423812383de840f10d8fcab1ef83603.pdf (2026年1月13日閲覧)

[2] レーザーアブレーションによるスペースデブリの除去, 大阪公立大学, https://www.omu.ac.jp/eng/mori/research/laser_debris_removal/ (2026年1月15日閲覧)

[3] Hubble Space Telescope and Swift Observatory Orbit Decay Study, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20250010561/downloads/20250010561.pdf> (2026年1月15日閲覧)

大気圧適応型エンジンの冷却解析

藤原 宏大 (高2) 【京都市立堀川高等学校】

要 旨

ロケットエンジンの推力発生機構の一つであるリニアエアロスパイクノズルにて、フィルム冷却が推力に及ぼす影響について汎用流体計算ソフトOpenFOAM中の可圧縮ナビエ-ストークス・状態方程式を用いる流体計算を行った。外気圧条件を変動させて推力と流れ場の計算を行い、冷却材で冷却層を形成した場合に推力が受ける影響を計算した。その結果、より大きい冷却流量、より急峻な角度で冷却流を噴射するほど冷却層の持久性が上昇したが、燃焼ガスの若干の剥離による推力の低下を観測した。

1. 背景

現行のロケットエンジンは外気圧により推力が減衰する欠点がある。ガス流を外気に開放することで気圧の変化に自律適応できるエアロスパイクノズル (図1) は単段型ロケット等での採用が期待されるが、実用化には冷却方式の検討が不可欠である[1]。本研究はとくに膜冷却法について、冷却を導入してもエアロスパイクノズルのアドバンテージを保持しうるかについて研究し、膜冷却の導入可能性を検討した。

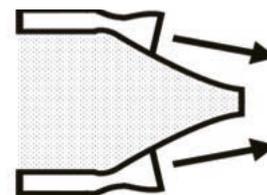


図1 エアロスパイクノズルの図

2. 計算条件

実験I では、燃焼ガスの速度と圧力をそれぞれ強くする2種のエアロスパイクノズルと同条件の従来型ノズルを用いて1気圧～真空条件で計算し、エアロスパイクノズルの設計の正当性を示した。実験IIでは、実験I で優れていたモデルに冷却器を導入し、冷却器の角度、冷却材の質量流量を変動させて実験I と同様に計算した。

3. 計算法

流体計算には汎用流体解析ソフトOpenFOAMを用い、可圧縮性密度ソルバーの中で超音速解析に適すrhoCentralFoamを用いた。ノズルの形状はラバルノズルの設計式を応用 [2] し、プラントル・マイヤー式に基づいてpythonで計算、CADソフトで立体化した。推力は運動量推力と圧力推力の和であり、運動量推力は外気圧に影響されないため、化学関数電卓NASA CEAに各パラメータを代入することで得た。圧力推力は壁面圧力を積分することで得た。[3]

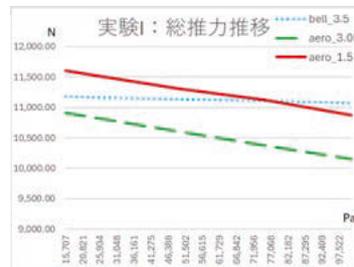


図2 実験I - 機体毎推力

4. 結果

実験IIにおいて、高圧のエアロスパイクノズルは外気圧 0~75kPa の低~中圧帯で従来型ノズルを上回り、外気圧に応じて膨張率が変化する挙動を示した。一方 高速版は推力の推移は類似したものの基礎推力が低下した。(図2)

実験IIでは、冷却流量を増加させ、流入角度を大きくするほど冷却膜が厚くなり、冷却効果の上昇がみられた。(図3) 一方、それにつれて推力値が低下した。(図4) どの気圧帯でも冷却を導入することで推力が減衰したが、減衰率はどの気圧帯でも同様であった。(図5)

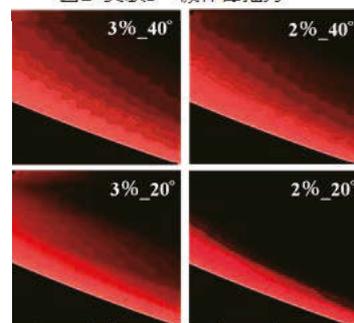


図3 実験II - 冷却膜の可視化

5. 考察

推力について、冷却流が外側に強く張り出すと燃焼ガスが剥離し壁面圧力の低下を招く、フィルム冷却の欠点がLANにおいても観察できた。どの流量においても流入角度が急な機体がもう一方より推力が低下しており、剥離による影響が強く表れた。気圧ごとの推力の推移は、冷却により推力は若干低下したが、特定の気圧で減衰するのではなく、LANの強みの高度補償性は保持しているといえる。

今回の実験では計算安定性のため乱流計算を簡略化しており、より精細な乱流の影響も検証の必要がある。

6. 結論

エアロスパイクノズルは中~高高度帯における圧力推力において、従来型ノズルと比較し優位性を持つ。これにフィルム冷却を導入した場合、冷却効果と推力は従来通りトレードオフの関係を示すものの、特定の気圧帯での顕著な減衰は確認されず、エアロスパイクノズル特有の大気圧適応性は保持しており、検討の価値がある。

参考文献

- [1]CFD Analysis of a Linear Aerospike Engine with Film-cooling- 2019/8- Paul Johnson
- [2]Multidisciplinary Nozzle Approach to Aerospike Design-1997/2- J. J. Korte
- [3]Nasa-tn-1651 Supersonic Nozzle Design - 1948/6 - J. Conred Crown

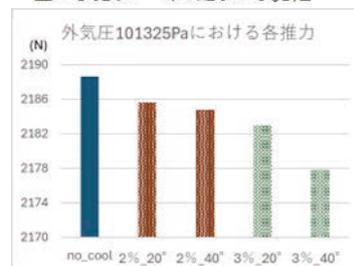


図4 実験II - 機体毎推力

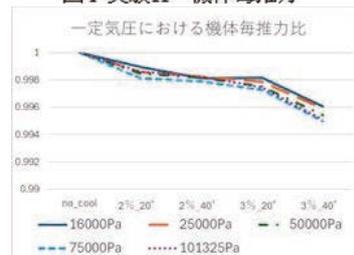


図5 実験II - 推力減衰率

SDGs 研究／宇宙での核融合発電実現を目指して

衛星型核融合発電研究班：

村井 蒼天、吉原 和希（高2）【神奈川県立横須賀高等学校】

1. 目的 SDGs のため核発電を宇宙に築く

人類が必要とする電力を、安定かつ安全、かつ地球の負荷にならないように、核融合型発電システムを宇宙の静止軌道上に築く。

2. 仮説 核融合型ならば安全・高効率

核発電は核分裂型と核融合型がある。[1] 核融合型は、重水素の核融合で得られ、燃料も廃棄物も、核分裂型に比して各段に放射性が低い。また一度起動すれば持続的に反応が継続するために、高効率である。

水素系核融合には、二重水素 D (Deuterium)、三重水素 T (Tritium) を主として、D-T、D-3He、p-11B、D-D が考えられるが、実現容易な臨界温度を考えると図 1 に示す 1 億℃の D-T 型が適している。[2]

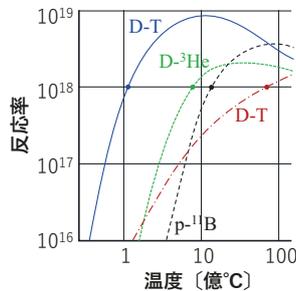


図 1 重水素系の核融合反応臨界温度

3. 研究

I 核融合炉の方式の選定

核融合を起こすためには、燃料となる重水素原子を精密かつ安定して場所を固定しなければならない。このため、核融合炉は、プラズマ状態となった水素原子を固定するために、次の 2 種類が考えられている。

- (1) トカマク型：磁場方式とも呼ばれ、水素プラズマの流れがもたらす電流作用を、強力な電磁石で円形空間に閉じ込める方法
- (2) レーザ方式：燃料となる重水素(ペレット)を球形配置した多数のレーザの焦点に置き、起爆とともに燃料が爆縮して位置が固定化される方法

宇宙空間に構築する上で、(1)は巨大な超電磁石や真空容器、冷却、制御系が非常に複雑であり、重量が大きい。(2)は隔壁でもあるダイバータを定期的に交換しなければならないが、電磁石系よりも軽量である。以上から(2)のレーザ方式核融合炉を採用する。

II 発電の方法の選定

本システムの目的は発電である。地上における核発電では、発熱を高温水蒸気に換え、蒸気タービンを回すことで発電機を駆動する。しかし宇宙に蒸気タービン式の発電機を設置する上で、(a)装置重量、(b)大量の水が必要が課題となる。本研究では、熱電変換素子(ゼーベック効果素子)を用いることとする。

III 本方式による構造

図 2 に本研究が想定する静止軌道上に置く核融合型発電システムの概念図を示す。核燃料はレーザ光群の焦点に設置される。隔壁(ダイバータ)の外側には同心円状に熱電素子群を配置する。装置の大きさは直径 30m 以上の球状となる [3] 隔壁は核融合で生じる中性子(ベータ線)が制御装置やレーザー装置を破損することを防ぐ。隔壁内には液体リチウムを充填しリチウムは中性子と結合して三重水素(T)が発生する。これにより燃料の精製も得られる。

ータ線)が制御装置やレーザー装置を破損することを防ぐ。隔壁内には液体リチウムを充填しリチウムは中性子と結合して三重水素(T)が発生する。これにより燃料の精製も得られる。

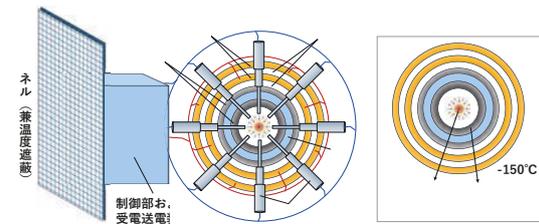


図 2 本研究が想定する静止軌道上の核融合型発電システム[3] (左：全体構造概念図 右：温度勾配図)

IV 発電量と燃料量

目標とする発電量を日本・東京都・23 区の電力需要とした。年間 762 億 kWh であり、毎秒に平均すると 2.416×10^6 Ws すなわち 2.416×10^6 J である。今回用いるゼーベック素子のエネルギー変換効率を 10% とすると、

2 重水素(D)+3 重水素(T)が核融合で放出するエネルギーは 2.8198×10^{12} J なので、一秒間は 1.428×10^5 (mol) すなわち、 9.996×10^5 (g)が必要となる。よって一年間では 3.14(kg)、10 年間では 31.4(kg)必要となる。ただし、自然界には 2 重水素は 0.018%、3 重水素はほぼゼロなので、地上でこれらの燃料を精製することになるが、必要となるエネルギーは、得られる電力の比であれば僅少である。また隔壁内のリチウムも同じモル数を補充する必要がある。リチウムの質量数は 7 なので、一年間で 3.14kg 必要である。

燃料とリチウムの 10 年分の合計は 62.8kg なので、小型ロケットで送れる。なお、今研究では、送電方法については研究対象から除外した。

4. 結論

持続可能な開発(SDGs)として電力発電装置の衛星軌道上への構築を研究した。核融合型、レーザ方式、D-T 融合型とすることで実現可能であると確信した。

重水素燃料の確保は容易であるが、ダイバータなどは交換が必要である。

5. まとめと課題

静止衛星軌道上における D-T 融合型核融合発電システムの実現性を研究した。

今後の課題として、地上への電力輸送方法を具現化、ダイバータの交換方法、炉内部の素材の耐久性、核融合炉の小型化、ゼーベック効果の熱電変換の高効率化などがある。

参考文献

- [1] “核融合最前線,”Newton 別冊, (株)ニュートンプレス, 2024
- [2] 岡野, “核融合炉入門,” 日本エネルギー学会編, コロナ社, 2025
- [3] <https://thebridge.jp/2019/12/general-fusion-closes-65m-of-series-e-financing-pickupnews>

太陽像を用いた大気ゆらぎの評価方法の開発と統合的解析

科学探究部天文班：

落合 咲輝、島野 淳 (高1) 【東京都立富士高等学校】

要旨

本研究では、本校における鮮明な太陽像の観測に適した場所の選定を目的とする。独自プログラムを用い、シーイングおよびシンチレーションの2つの観点から大気ゆらぎを評価した結果、2か所間に有意な差は見られなかった。

1. 序論

東京都中野区にある東京都立富士高等学校において、大気ゆらぎの影響が少ない太陽観測場所を調査した。シーイングは、地上から高い場所や水辺において良好であることが知られている¹⁾。そのため、本校の屋上およびプールサイドにおいて太陽観測を行い、独自に開発したプログラムを用いて大気ゆらぎを数値化した。

2. 観測

各地点において、1,000フレームの同時観測を1日7回、4日間で計56,000フレームの撮影を実施した。観測に先立ち、使用する望遠鏡間に性能差がないことを確認した²⁾。なお、同時に気圧、風向、湿度などの環境要因も収集した。観測装置を表1に示す。

表1:観測機材

観測装置	スペック
望遠鏡 (Skywatcher ソーラークエスト705)	口径7cm(D) 焦点距離500mm
カメラ (ZWO ASI432MM)	最大感度波長580nm(λ) ダイナミックレンジ2bit 露出 1.03msec, 87.4fps撮影 解像度 1608×1104
回折限界 (L)	$L=1.22 \times (\lambda/D)=2.09''$
空間系統誤差	$\delta r = \frac{3.7 - L}{f} = 0.12\%$ (ピクセル 分解能3.7)

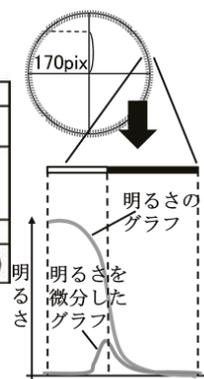


図1:シーイングの解析方法

3. 解析手順

[シーイングの解析方法]

1. 観測した太陽の動画を毎フレーム画像として切り出す。
2. 画像内の太陽ディスクを円と仮定し、ハフ変換を用いて円の中心および半径を検出する。
3. 太陽像の縁付近の明るさをピクセルの並びに沿って取得し、その明るさの変化を微分した値の最大値 (=明るさの変化が最大の点) を「太陽像の縁」と定義した (図1)。
4. 近似した円と実際の太陽像の縁との距離の差から標準偏差を求め、大気ゆらぎの値とした。

[シンチレーションの解析方法]

1. シーイングの解析と同様に各フレームの太陽像の中心を、ハフ変換を用いて検出する。
2. 重心が太陽像の中心と重なる37×37 pixelの正方形において、その領域内の明るさの値を取得し、各フレームの明るさの平均値を出し、その平均値の動画全体の標準偏差を求め、シンチレーションの値とした (図2)。

表2:シーイングとシンチレーションの標準偏差の相関関係

日付	場所	相関係数	相関関係
4/19	LT	-0.494	相関なし
	PL	0.054	相関なし
4/27	LT	0.569	弱い負の相関
	PL	-0.164	弱い負の相関
7/20	LT	0.853	強い正の相関
	PL	0.484	弱い正の相関
8/30	LT	0.528	弱い正の相関
	PL	0.741	強い正の相関

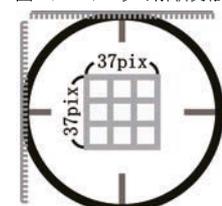


図2:シンチレーションの解析方法

4. 解析結果

3. 解析手順を用いて、観測した太陽像において発生した大気ゆらぎの大きさを求めた。観測される太陽像上の距離R、理論上の大きさ \bar{r} について屋上で $R = \bar{r} \pm 8.26 ["]$ プールサイドで $R = \bar{r} \pm 8.01 ["]$ となった。

また、4月27日、7月20日、8月30日の観測結果について、シーイングとシンチレーションの各1,000フレームにおける標準偏差の相関を調べた結果を表2に示す。

さらに、これらの観測結果において、シーイングと風速の時間変化を比較した結果は図3のようになった。

5. 考察

2地点のシーイングサイズを、ピクセル分解能 (1pix = 3.704") を考慮して比べると、本観測においては観測場所による有意な差はなかった。よって、いずれの地点においても同程度に鮮明な画像が得られると考えられる。

表2より、シーイングとシンチレーションの間の相関係数の平均は0.652であり、弱い正の相関が見られた。7月20日および8月30日の観測では強い正の相関が確認された一方、4月の観測では相関が弱い、または負の相関を示す場合も見られた。これらの結果から、シーイングとシンチレーションには一定の関係性があるものの、強く安定した相関は認められないため、両者を比較しながら総合的に調べる必要があると考えられる。

図3のシーイングと風速の回帰直線から、シーイングと風速の変化には関係性があり、風速が強くなるとシーイングが悪化し、風速が弱い場合にはシーイングが良好となる傾向が見られた。別日も同様であった。したがって、観測場所によらず、風速が弱い日に観測することで、大気ゆらぎの小さいデータが得られると考えられる。

参考文献

- [1] H. Socas-Navarro, et al. 2005, PASP, 117, 1296
- [2] 東京都立富士高等学校 (2025): 「太陽像を用いたシーイングの測定」かがわ総文
- [3] 宮良碧ら他, 天文学に関する技術シンポジウム集録, 第37巻, 2017
- [4] 国立天文台太陽観測科学プロジェクト三鷹太陽地上観測 <https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/solarobs.html>

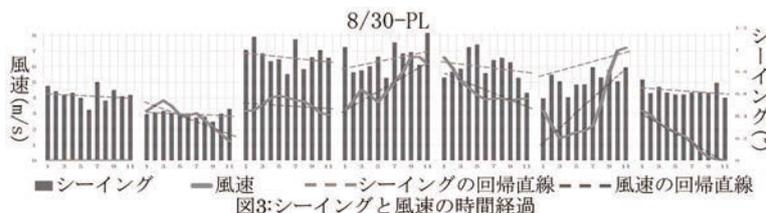


図3:シーイングと風速の時間経過

CNNを用いたTomo-e Gozenデータからの銀河抽出と分布解析

銀河学校B班:佐藤 功基(高専4)【長野工業高等専門学校】、大野 智輝(2025年卒)【麻布高等学校】、堀 航士朗(高3)【武蔵高等学校】、齋藤 元(高3)【東大寺学園高等学校】、秋田 心菜(高3)【愛知県立旭丘高等学校】、森永 悠星(高2)【大智学園高等学校】、伊藤 弘也(高2)【長野県松本深志高等学校】、寺原 直希(高2)【川口市立高等学校】、浅田 一樹(高2)【東京都立日比谷高等学校】

要旨

我々は東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡および広視野観測装置Tomo-e Gozenにより取得された観測データを用い、CNNを活用して銀河を自動抽出することで、既知の宇宙大規模構造の再現を試みた。

1.目的

宇宙大規模構造は、観測技術の発展により明らかにされてきた。本研究では、観測技術の高度化に先立って AI(深層学習)が確立されていた場合、銀河画像のみから宇宙大規模構造の再現は可能かという課題を設定した。そこで、CNNによる銀河の位置検出と、銀河までの距離推定の可能性を検討することを目的とした。

2.観測

日時:2025年3月26日 20:43~21:23(JST)

使用装置:東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡及びTomo-e Gozen

観測領域:銀河が密集しているおとめ座・かみのけ座周辺の銀河密集領域を網羅的に観測した(図1)。露光条件は、過去のTomo-e Gozen観測を参考に0.5s×20枚とし、CMOSセンサー間のギャップを補完するためディザリング観測を行った。図1に示す1ポジションあたりの観測時間は約3分である。



図1 番号をふった範囲を観測した。

3.解析

取得した全画像データを256×256 pixelの単位領域に分割した。ポジション39において、目視により抽出した、銀河を含む130枚の画像と、ほぼ同数の銀河を含まない画像から学習データを作成し、Google Colaboratory上で構築したCNNにこれらを学習させた。第一段階として、観測領域全体について単位領域ごとに銀河の有無を確率スコアで評価し、その結果を可視化する。第二段階として、距離既知の銀河カタログを教師データとして、抽出した銀河の距離をCNNを用いて推定し、銀河の3次元的な分布を調べる。

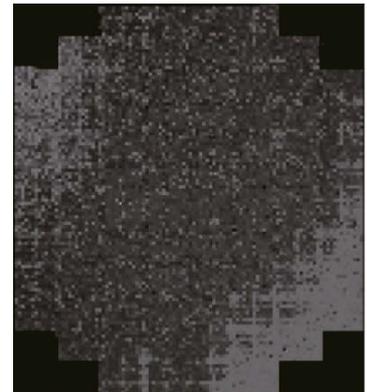


図2 CNNによって銀河を抽出した結果
銀河がある確率が、黒で低く、白で高い

4.結果・考察

結果1:CNNを用いて画像上から銀河を抽出し第一段階の解析を行った結果、右の画像のようになった(図2)。なお、右の画像はポジション3の例であり、今回の解析では銀河がフラットに分布しているなどといった結果が得られた。

考察1:結果から、CNNの精度が悪く、正しく銀河を抽出できていないことがわかった。背景光度と結果で得られた分布に関係性が見られたため、過学習によりCNNが銀河を構造ではなく、背景光度に基づき抽出した可能性が示唆される。そこで、過学習を解消するために、次に示す3つの方法で学習の改善を試み、再度解析を行った。(1)教師データの背景光度を少し揺らし、CNNが背景光度をノイズと認識するようにする。(2)学習回数を減らす。(3)教師データに用いるデータの選別を厳しくする。

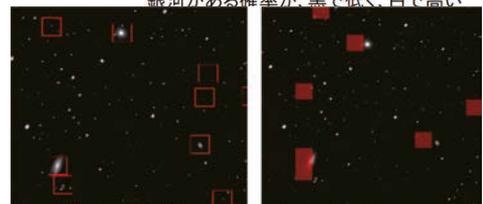


図3 改良した手動抽出データ 図4 改良したCNNの出力

結果2:CNNの精度を検証するため、バルジが明確で、直径が30ピクセル程度を超えているという条件から目視で銀河を抽出した結果(図3)と、改良したCNNにより銀河を抽出した結果(図4)を示す。なお、図4ではCNNの出力が0.8を超えるものに印を付けている。

考察2:図3と図4の比較から、学習の改善により、CNNによる銀河の抽出の精度が上がったと考えられる。

5.まとめと今後の展望

CNNの精度のさらなる向上が課題である。また、本研究では解析で示した、第一段階の天球面上の銀河の分布の推定にとどまったため、今後は第二段階を行い3次元的な分布を推定したい。

6.参考文献

[1]CNNのデータ拡張による過学習防止

<https://zenn.dev/kusunoki576/articles/bbbd470dc3b6ec>(2025年12月28日閲覧)

7.謝辞

本研究にご協力いただいた東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター特任助教の今井正亮先生をはじめとした東京大学木曾観測所並びに銀河学校2025のスタッフの皆様に深く御礼申し上げます。

深層学習を用いた相互作用銀河の形態分類と特徴量表現の解析

山谷 剛瑠 (高専3) 【福島工業高等専門学校】

要 旨

本研究では、相互作用銀河(interaction)を検出するためHyper Suprime-Cam(HSC) [1]アーカイブ画像から畳み込みニューラルネットワーク(CNN) [2]による二値分類器を構築し、相互作用銀河の研究に役立つ検出方法の開発を目指した。

1. はじめに

相互作用銀河は銀河進化を理解する上でとても重要である。一方で大規模サーベイでは対象数が多く、相互作用銀河の探索が課題となる。そこで本研究ではHSC画像から相互作用銀河を自動的に検出するプログラムの開発を目指す。また、相互作用銀河の理解への新たなアプローチとして深層学習を用いた特徴量の抽出を試みた。

2. 研究手法

HSCのiバンドの撮像画像のアーカイブデータをGALAXY CRUISE[3]のカタログに基づいて取得し、非相互作用銀河(non_interaction)・相互作用銀河(interaction)の2クラスに分類した。分類方法は相互作用の投票率 $P(\text{interaction})$ の値に応じて分類し、 $P(\text{interaction}) > 0.79$ の銀河をinteraction、 $P(\text{interaction}) < 0.15$ のものをnon_interactionとして定義した。3層のCNNを用いて二値分類を行いテストデータに対して混同行列と正解率(Accuracy,)各クラス再現率で性能を評価した。また、SHAP値の算出を行った。

3. 結果

CNNの学習曲線と混同行列、SHAP値を右図1, 2, 3に示した。Accuracy=0.894, interaction再現率=0.877, non_interaction再現率=0.908という結果となった。

4. 分析

図1から、学習曲線では訓練損失が低下した一方で検証損失が途中から改善しにくく、訓練と検証の間で学習に差が見られた。これはデータが少ないことによる過学習の可能性を示している。図2の混同行列からは再現率がnon_interactionに偏っていることがわかる。SHAPの出力では銀河中心部および、画像の領域内に写る対象ではない天体による寄与が目立った(図3)。そのため、目的としていた相互作用銀河の形態的特徴である、潮汐尾や銀河の形状の非対称性などがあまり明瞭ではなかった。表面輝度の低い連続的な構造は前処理や対象外の天体の影響によって埋もれやすく、CNNによって捉えにくい可能性があるため、このような構造の強調や分離が今後の課題となる。以上のことを踏まえて、现阶段での課題はサンプル不足に起因する過学習、低表面輝度の連続的な構造の検出の難しさ、対象天体周囲の他天体による影響、の3点であると考えた。

5. 今後の展望

本研究で明らかになった課題を改善するため3つの案を考案した。1つ目は画像の前処理としてセグメンテーションに基づくマスク処理[4]を行い、恒星や背景銀河など対象の銀河ではない天体が分類に影響を及ぼさないようにすることだ。これにより、モデルが対象天体由来の輝度分布を学習しやすくなるため低表面輝度の連続的な構造を検出しやすくなると思った。二つ目はサンプル数不足を解決するため、銀河衝突の数値シミュレーションデータも用いて学習を行うことだ。シミュレーションは時間発展を追うことができるため、様々なタイムフェーズでの相互作用銀河の形状を学習でき、汎化性能が向上が期待できる。3つ目はiバンド以外の撮像画像も学習に用いることである。本研究では計算時間の制約からiバンド画像のみを学習に用いたが、g, r, z, yバンドも併用し、マルチバンドの情報を取り入れることで分類性能の向上を図る。今後は、この3点を実装して効果を検証したい。

謝辞・参考文献

本研究はすばる望遠鏡HSC-SSP公開データ (PDR3) およびHSCアーカイブを用いた。形態分類にはGALAXY CRUISE Season 1 カタログ[3]を用い、Tanaka et al. (2023)[5]を参照した。

[1] Hyper Suprime-Cam, <https://hsc-release.mtk.nao.ac.jp/doc/> (2026年1月6日閲覧)

[2] はじめてのディープラーニング Pythonで学ぶニューラルネットワークとバックプロパゲーション, 我妻幸長 (2018年8月30日出版), SBクリエイティブ株式会社

[3] GALAXY CRUISE Season 1 Data Release, https://galaxycruise.mtk.nao.ac.jp/en/dr_season1.html

[4] Haigh et al. 2021 A&A 645 A107

[5] Tanaka et al. 2023 PASJ 75 986

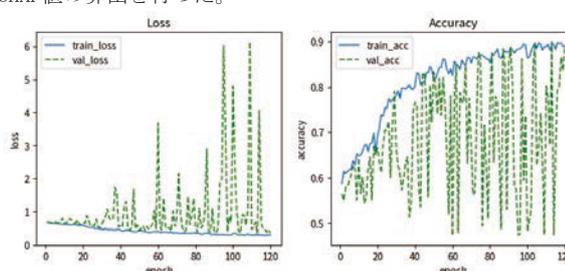


図1：学習における損失と正解率の推移 (train/val)

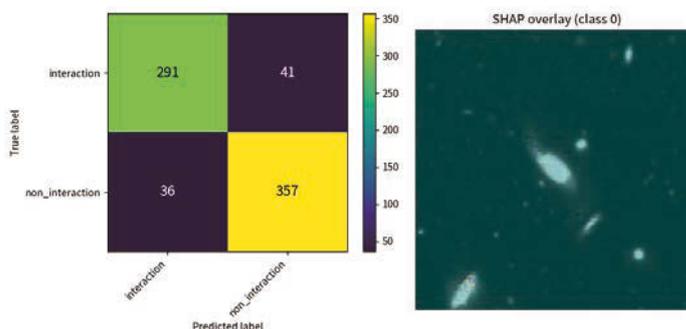


図2：衝突銀河の分類におけるCNNの混同行列



図3：CNN分類器のSHAP値 (クラス0)

3Dプリンタとスマートフォンのカメラを用いた天体の簡易分光器の制作

長野県松本深志高等学校 地学会 分光班:

伊藤 弘也、小林 剛士(高2)、野口 真之介、望月 真悠子、百瀬 弘基、代田 紗希(高1)【長野県松本深志高等学校】

要旨

我々は、3Dプリンタを用いて製作可能な、可視光簡易分光器の開発を行った。本装置はオープンソースハードウェアとして設計を公開し、誰でも製作・運用が可能であることを目指している。

1. 研究の背景

我々の所属する松本深志高校地学会は、口径150 mmの望遠鏡と赤道儀を保有している。しかし、現状では黒点観測や観望といった限られた用途にしか使用されていない。そこで、既存の観測設備で運用可能な分光器を安価に自作しようと試みた。

また、現在天体望遠鏡を保有する高校は全国的には一定数存在しているが、分光観測のできる設備を保有する公立高校は稀である。その原因として、分光器が非常に高価(10万円以上)かつ運用に知識や技術が必要となることが要因として挙げられる。アマチュア天文家においても天体の分光観測を行っている例は少ない。

以上のことから、高校天文台程度での設備環境でも運用可能な「安価かつ手軽な簡易分光器」を目標として制作を開始した。

2. 方法

制作にあたって、撮像にはスマートフォンのカメラを使用し、筐体を3Dプリンタで造形した。分散素子は格子数 1200 lines/mm のガラス製回折格子を使用した。また、コレクターにはScopetech製のKe25接眼鏡を使用した。制作した分光器の構成を示す(図1)。

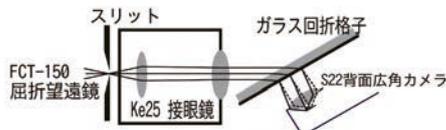


図1 分光器の光が通る道筋

スリット部は2枚のカッター刃を対向させて配置し制作した。本体設計はFreeCADで行い、3Dプリンタで出力した。

また、どのような環境でも観測を可能にするため、撮像から一次解析まで完結させることができるスマートフォン用アプリケーションを独自に開発した。

2.1 画像処理

開発したAndroidアプリケーションでは、OpenCVを用いてスタッキングを行い、TIFF画像形式で端末内に保存する仕様とした。得られた画像をアプリケーションで開くとダーク減算・波長較正・感度較正が行え、最終的には波長-相対強度のCSVファイルが得られる。このようにOpenCVを利用することで、画像の一次処理がスマートフォン内で完結するようにした。

2.2 波長較正

波長較正は、Fraunhofer線、ネオンランプ、蛍光灯などのスペクトルを観測時に撮影し、スマートフォンの画面上で手動で行えるようにした。

2.3 感度較正

まず、スマートフォンのカメラの感度特性を把握するため

に、太陽光を観測した。大気の影響の程度を調べるため、太陽高度が 14° と 31° の2回に分けて観測を行ったが、有意な差異が確認できなかったため、大気補正は行わないものとした。感度較正用の参照スペクトルはTSIS-1 HSRs[2]を使用した。Gaussian blurで波長分解能を揃えたのち、C++を用いたプログラムによって除算し、感度特性を計算した(図2)。

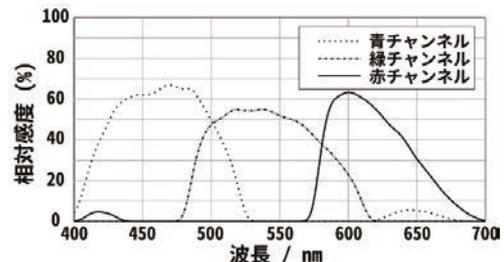


図2 太陽光により算出したそれぞれの感度曲線

3. 結果と考察

2.3で得られた太陽光スペクトルのH α 線の吸収線では、半値幅(FWHM)は1.20 nmであった。このことから、分光器の波長分解能は $R=540$ を達成していると考えられる。また、400 nm から 700 nm までの可視光全域のスペクトルが一度の観測で得られた。

4. まとめ及び今後の展望

$R=540$ という十分な波長分解能を達成し、分光器一台あたりの制作費は約16,000円となった。Shelyak社製Alpy600(波長分解能 $R=600$, 239,000円)などの市販されている分光器[3]と比較すると、分解能は及ばないものの価格を約1/15ほどに抑えられた。また、一次解析まで本システム内で完結させることができ、「安価かつ手軽な分光器」という目標は十分に達成されたと考える。

今後の展望として、実際に天体の科学観測を行い、実用的な性能を持つことを示したい。また、分光観測専用新たなスマートフォンを導入するなど、地学会において継続的な観測を行える体制を構築することが今後の課題である。

5. 参考文献

- [1] 現代の天文学15 宇宙の観測 1[第2版] 光・赤外天文学 日本評論社 (2017)。
- [2] LISIRD TSIS-1 Hybrid Solar Reference Spectrum, https://lasp.colorado.edu/lisird/data/tsis1_hsr_splnm(2026年1月11日閲覧)。
- [3] 国際光器 Shelyak Alpy600, <https://kokusai-kohki.shop-pro.jp/?pid=133167234>(2026年1月13日閲覧)。

6. 謝辞

本研究にあたり、専門的なご助言をいただきました、信州大学全学教育センター・教授 三澤 透先生、信州大学教育・学生支援機構データサイエンス教育推進本部・准教授 松本 成司先生、米国ワシントン大学工学部名誉教授 大内 二三夫先生 に深く感謝いたします。

設置角度と色の違いによるソーラーパネルの発電量の考察

関口 莉央、相原 和奈、神尾 春菜、小泉 凜桜、鈴木 莉心、廣澤 美佳莉(高2)、青木 美希、伊島 彩恵、小林 夢愛、富田 璃瑚、中沢 結香、松井 姫香(高1)【星野高等学校】

要旨

ソーラーパネル、セロハン(赤、緑、透明)を用い、本校の屋上にて光の色の違いによる発電量の変化を測定した。そして、実験の結果をもとに発電出力の変化を比較した。

1. 目的

ソーラーパネルの発電効率は、光の入射角や天候などの環境条件に大きく左右されるとされている。実際に学校の屋上や家の近くで見かける太陽光パネルも、置き方や天気によってどのくらい発電量が変わっているのかは、あまり意識することがない。そこで、光の入射角や条件を変えたときに発電量がどのように変化するのかを、実験を通して確かめてみたいと考えた。また、身近な太陽光発電の仕組みを理解することは、再生可能エネルギーや環境問題について考えるきっかけにもなると考え、本実験を行うことにした。

2. 道具

ソーラーパネル(単結晶、定格出力40W、最大出力動作電圧17.6V、最大出力動作電流2.28A)、デジタルマルチメーター(DC 0-100V、0-20A)、色付きセロハン(赤、緑、透明)、シャント抵抗(50A・75mV)、抵抗負荷(10Ω、定格50W)、分度器(糸とおもりを取り付けた簡易角度計)

3. 実験方法

測定は、1月15日に本校の屋上で測定を行った。測定時の観測地点および時刻から文献値より太陽高度を8.25°、太陽方位を236.43°とした。分度器の中心からおもりをつけた紐を垂らし、その場の重力が示す方向(鉛直線)を基準にして、水平面からの傾斜角(設置角度)を測定した。電圧および電流の測定にはデジタルマルチメーターを用い、ソーラーパネルに抵抗負荷およびシャント抵抗を直列に接続して測定を行った。

本校:星野高等学校 石原キャンパス 埼玉県川越市石原町2丁目71-11、緯度: 35.927273 経度: 139.469613

① パネル角度による測定

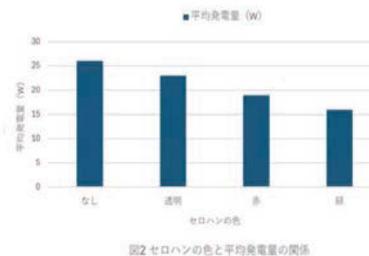
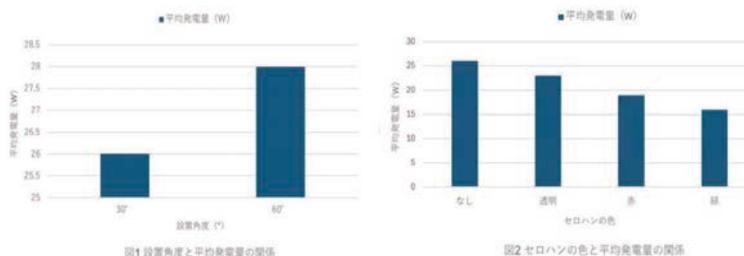
ソーラーパネルの対地角度を30°および60°の2条件に設定し、各角度で5分間測定を行った。測定中の電圧および電流の最大値と最小値を記録し、平均値を算出した。発電出力は、発電出力(W) = 電圧(V) × 電流(A)として求めた。

② セロハンによる測定

ソーラーパネルの対地角度を、①の測定において最も高い発電量が得られた60°に固定して測定を行った。セロハンの条件は、貼付しない場合、透明・赤・緑の各色を1枚ずつ貼付した場合の4条件で5分間測定し、平均発電出力を比較した。

4. 結果

図1より、設置角度30°では平均発電量は約26Wであったのに対し、60°では約28Wとなり、60°の方が大きな発電量を示した。図2より、セロハンを貼付しない場合の平均発電量は約26Wであったのに対し、透明セロハン1枚では約23W、赤色セロハン1枚では約19W、緑色セロハン1枚では約16Wとなった。いずれの色のセロハンを貼付した場合でも、セロハンを貼付しない場合と比べて発電量は低下した。



5. 考察

本実験の結果である、図1、2からソーラーパネルの発電量は光の入射角度および光の色によって変化することが確認できた。色セロハンを用いた実験では、図2よりセロハンを貼付することで発電量が低下し、さらに色によって発電量に差が生じたことが分かる。これは、セロハンが光の一部を吸収・反射することで透過率が低下し、ソーラーパネルに到達する光エネルギーが減少したためであると考えられる。また、色によって透過する光の波長成分が異なるため、ソーラーパネルが効率よく利用できる光の量に差が生じたと考えられる。入射角度を変えた実験では、設置角度60°の方が30°よりも発電量が大きくなったことが図1から分かる。これは、実験時の太陽光に対して、60°の方がパネル面により垂直に近い角度で光が入射していたため、受光エネルギーが増加したことが原因であると考えられる。このことから、太陽光がソーラーパネル正面に近い角度で入射する条件が、最も効率的に発電できるといえる。なお、本結果は予備的な測定によるものであり、測定回数が十分ではない可能性がある。今後は測定回数を増やし、結果の再現性について再検討する予定である。

6. 参考文献

- (1)mapbox <https://www.mapbox.com/> (2026年1月15日閲覧)
 (2)太陽高度(1日の変化) <https://keisan.site/exec/system/1185781259> (2026年1月15日閲覧)

望遠鏡を作って宇宙を覗こう

星野高校天文部: 栗原 蒼二郎、岡本 脩吾、川杉 博丈(高2)、遠藤 笙、大底 祐輝、大野 真誠、長澤 勝己、成毛 晴輝、真野 壮汰、吉田 雅隆、橋詰 航雅(高1)【星野高等学校】

要旨

114mm・焦点距離900mmの主鏡を用いたニュートン式望遠鏡の自作を試みる。鏡筒に塩ビ管を用いるなど望遠鏡の部品の多くをホームセンターで購入可能な材料にする。

1. 目的

ほとんどホームセンターなどで購入できる商品から部品を作り組み立てることで、手軽に自作できる望遠鏡の作成と望遠鏡の構造理解を深めることを目的とする。

2. 方法

[1]材料の種類、寸法(図1)

主鏡(114mm、焦点距離900mm)、副鏡(短径31mm)、塩ビ管(内径125mm)、主鏡→副鏡(700mm)、副鏡→接眼部(200mm)※図1、3、5における破線は塩ビ管

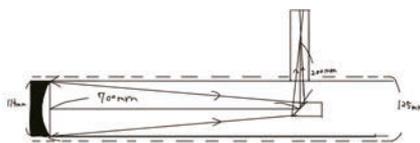


図1 光路および大まかな全体の設計図

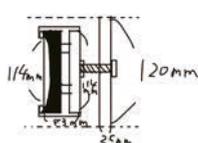


図2 主鏡部の設計図



図3 主鏡部の完成品

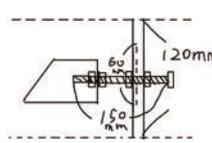


図4 副鏡部の設計図

[2]各部品の作成 ※ボルトとナットの規格はM8

①主鏡部:ボルトを回すことで主鏡も回しながら押して微調整できる機構を作成する。円形に切った木材2枚を用い、一方は塩ビ管に固定し、一方は主鏡セルとして用いた。主鏡セルとナットとボルトは一体化させている(図2)(図3)。

②副鏡部:木材で縦方向の穴によって副鏡を微調整できる機構を作成する。ナットを両方から閉めることでボルトを固定している。木材のナットと副鏡セルのナットを緩めボルトと副鏡セルを回しながら調節すれば前後の調節も可能である(図4)(図5)。

③接眼部:購入した接眼部フォーカサーにアイピースをつける(図6)。

④鏡筒:塩ビ管内部を艶消しし、①～③を取り付けるための穴をあける(図7)。

⑤三脚・架台:木材で①～③を取り付けた④を支えられる三脚・架台を作成する。170×170mmの木材2枚の下に900mmの長さの木を3本接続し、その3本の木の横に支えとしての木を3本接続して三脚を作成する。架台は250×250mmの木材の上に250mmの長さの木の板を垂直に2枚接着する。三脚と架台を接続する。塩ビ管を固定するための板250×150mm、その上に棒150×40mmを250×250mmの板の延長に作成する(図8※単位は全てcm)(図9)。



図5 副鏡部の完成品



図6 接眼部の完成品



図7 鏡筒の完成品

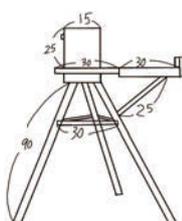


図8 架台・三脚の設計図



図9 架台・三脚の完成品



図10 全体の完成品

[3]部品の取り付け

副鏡部と同様にボルトにナットを2つつけ、ナットとナットで塩ビ管をはきんで両方からしめることで塩ビ管と各部品を固定する。また、③の仮止めとしてガムテープを使用する。

3. 結果

全体の完成品(図10)。主鏡部では正確な調節が困難だった。副鏡部も正確な調節することができなかった。また、2つのナットで両側からしめる固定方法では鏡筒内での作業が困難であり、不安定な状態となってしまってしっかり固定できなかった。三脚・架台では釘、ボンド、木材(廃材)を使用し、材料費(400円)は安く済ませることができたが所用時間にとても多くの時間を費やすこととなった。

4. 考察とまとめ

自作であるので正確な位置の固定に自信がない分、完成後も調節できるような機構を作成したが、正確な調節は困難だった。その理由として、主鏡部の強度と角度の調節できる機構などがなかったため、副鏡部の横方向の調節ができなかったためなどが考えられる。より正確な調節ができるようにこれらの改善点を直していきたいと考えた。

参考文献

[1]株式会社ケンコー・トキナー、天体望遠鏡の基礎知識

https://www.kenko-tokina.co.jp/special/celestial/basic_tele.html(2025年12月7日閲覧)

より丈夫なプラネタリウムを作るために

科学部天文学班：

米山 椋乃(中等5)、眞岩 更沙、岩崎 永真、和田 紗彩(中等4)、伊藤 咲郁、小館 茉央(中等2)

【神奈川県立平塚中等教育学校】

要旨

私たちは文化祭での展示のためにプラネタリウムを制作してきたが、天井部分の耐久性に問題があり、改良する必要がある。

1. 目的

今までのプラネタリウムは天井部分がなく、ドームにゆがみが生じていたため、きれいに投影するために天井部分の制作を試みた。しかし、天井部分には負荷がかかりやすく壊れてしまうということから、より丈夫で半球に近いものを作る方法を考えた。(ドーム本体の底面の円の直径は1.5mで上の空いた天井部分は直径0.9mの五角形)



図1 (天井部分がないプラネタリウム)

2. 方法

図2ように直径約1.5mの半球を12等分にしたパーツの計算式を利用した。天井部分のみが必要なので、上部0.15cmのみを制作した。この時のパーツは二辺の緩いカーブと直線でできた三角形である。この直線と段ボールの折りが平行になるように切り出した。これらのパーツを養生テープで接続した。

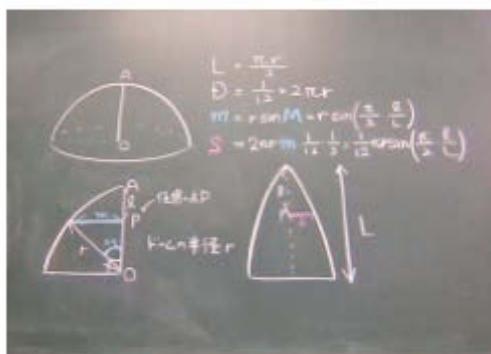


図2 (天井のパーツを求めた計算式)



図3 (作成した天井部分)

3. 結果

図4のような天井部分を作ることに成功した。そして本体と天井部分を接続すると図4のようにほぼ半球を再現することができた。しかし、段ボール同士の少しのすき間から光が漏れ入り、完全に光を遮ることができなかった。そこで、次は小さな穴まで塞げるように改善した。(右、図4)

4. 考察・改善

段ボールの隙間から光が漏れてしまったのは天井部分の重みで本体が少しつぶれてしまったためであると考えられる。隙間を埋めるために、たるんだドーム本体の開口部を紐で外へ引っ張った。これにより、光を遮ることができた。



図4 (完成したプラネタリウム)

両面テープを用いたプラネタリウム用エアドームの作成

成蹊高等学校 天文気象部：
相澤 日向、内山 こころ、根岸 陽向、山形 菜々美（高2）、石井 瑞希、能美 輝（高1）
【成蹊高等学校】

要 旨

文化祭で使用するプラネタリウム用エアドームを、両面テープを接合に用いて作成した。内部をより暗く、収容人数を増やすことを目的とし、より綺麗な星空を投影することを目指した。

1. はじめに

私たちは、これまで文化祭で段ボール製ドームを使用していたが、段ボール製ドーム内部の反射率の高さや収容人数の不足といった問題が生じていた。これらの課題を解決するために、以前のものを再購入だけでは根本的な問題解決に至らないと考え、新たにプラネタリウムを投影するためのエアドームを自作することにした。

2. 製作方法

文化祭で利用する部屋の高さが3mであること、設計の簡単さなどから、高さ1mの直立部と半径2mの半球部に分かれた構造でエアドームを設計した(図1)。設計の際には参考文献[1]に記したサイトを参考にした。

素材にはシボ加工済みの幅605mm、200m巻きの白黒ポリオレフィンフィルム(図2)(以下フィルムと呼称)を使用し、フィルム同士の接着にはセキスイのPEクロス両面テープを使用した。計画当初、圧着機を使用した接着を予定していたが、図面の複雑化や作業の不安定さから断念。のりしろ部に両面テープを貼り、別のパーツの端に重ね合わせる方法を採用した。半円部の接着をする際、平面で作業するとどうしても誤差が重なってしまうため、段ボールなどで曲面を作り、それに沿わせるようにして貼り付けた。

パーツは直立部と半円部が一緒になったものを24個用意して貼り合わせ、天頂部は円形に切ったフィルムを貼り付けた。空気が逃げないようにするため、各パーツの下には50cm程の余白を用意し内側に折り、重りを乗せた。その後、出入口と吸入口と排気口を開け、投影機器からの排熱を外に出す管も通した。出入口は開けた穴よりも2周り程大きいフィルムを内側から貼り、中側からの圧力で塞がるようにし、吸入口は送風機からフィルムで直接繋げ、膨張の効率化を図った。排気口は光が入ってこないように出ていく空気の通り道を曲げるように作った。

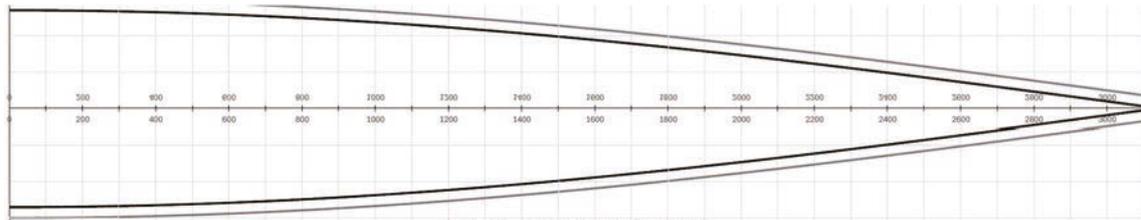


図1. パーツの設計図(半球部)

3. 結果

実際にエアドームを作成し(図3)、いくつかのメリット、デメリットが得られた。メリットの1つ目は多くの人数を収容できるようになったこと。2つ目は段ボールドームの問題点であった光漏れを防ぐことができ、ドーム内部が完全に暗くなったこと。3つ目は天井が曲面となったため、今までより本物の空に近づけたこと。4つ目は段ボール製ドームでは多人数で組み立てる必要があったが、エアドームは重りを置き空気を送るだけで膨らませて使えるため、少人数でも設営が容易になったこと。これによって公演の回転率の向上、質の高い体験の提供、人手不足の解消が成された。

また、デメリットの1つ目は出入りの際、空気が抜けてしまうこと、2つ目はフィルムが薄く圧力がかかっているため傷つきやすいこと、3つ目は送風機や排熱機構の音が大きく、公演や展示に支障が出ることの3つである。

4. 今後の展望

今後の展望としては大きく2つある。1つは、ドームの入り口などの動かす回数の多い部分が材料の特性から伸びてしまうなどして傷つく可能性があることだ。この問題については現状、局所的に補強するという対策しか取れないため再考の余地があるだろう。

もう1つは、人の出入りの後には空気が抜けるため、次の公演までに時間がかかってしまうことだ。これについては、今後送風機と換気口及び排熱ともに最大出力で稼働させ、空気の循環を保ちつつ内部の空気量が安定するように調整したい。

5. 謝辞

この予稿を作成するにあたって、エアドーム製作に協力・監修していただいた合同会社プラネタリウムワークス代表社員唐崎健嗣様にこの場を借りて最大級の感謝を申し上げます。

参考文献

- [1] エアドーム 製作記 製作編 1, 千葉県柏市立富勢西小学校 科学クラブ 日記,
http://zwischen.web.fc2.com/machines/air_dome/air_dome_making4.htm (2025年12月6日閲覧)



図2. ドームの素材

図3. ドームの全体図

プラネタリウムにおける日周運動および年周運動の再現

自然科学部天文班：

原田 慶紀、小島 彩、戸田 陽己、田中 文（高専2）、村岡 諒、吉野 晴貴（高専1）

【神戸市立工業高等専門学校】

要 旨

神戸高専自然科学部天文班では、2021年から、主な活動としてプラネタリウムの作製を取り入れている。本部活動では、部活動の予算内に収まる範囲で購入可能な素材を用いてプラネタリウムを作製することを目標としている。昨年度までに、星を投影するためのドームとその骨組みに加え、北天の投影機が完成している。本年度では昨年度の投影機に南天を追加した全天の投影機と、投影機を回転させる機構（以下、回転機構）の作製、および日本での実際の天体の年周運動の再現を試みた。本講演ではプラネタリウムにおける年周運動の再現方法について発表する。

1. はじめに

本部活動では、昨年度までに北天の投影機を作製した[1]。今年度はそれに加えて投影機の南天部分を作製し、南天と北天を接続して全天の投影機を作製した。また、投影機の回転による実際の天体の年周運動の再現を、電子部品を用いて試みた。

2. 材料

発泡スチロール、ポスターカラー、塩化ビニル管×2個、木製丸棒、木板、接着剤、ユニバーサル基盤、LEDドライバ（OSMR16-W1231 [2365]）、ジャンパ線、ヒートシンク、LED、銅テープ、ACジャック、コンセント

3. 作成手順

3.1. 南天の作製および北天との接続

昨年度と同様の手順で南天を作製し、北天と南天を着脱可能にするためにガムテープで接続して、全天の投影機を作製した。南天の星座の位置には参考文献[2]の88星座を用いた。

3.2. 投影機を回転させる機構の作製

作製した機構全体の写真を図1に示す。本節では回転機構の作製過程を説明する。

3.2.1. 土台の作製

分度器を使用し、塩化ビニル管と木板（水平面）との角度が35度となるように塩化ビニル管（以下、塩ビ管A）を削り、接着剤を用いて木板に固定した。これは日本における実際の天体の見え方を再現するためである。次に、塩ビ管Aを安定させるために、別の塩化ビニル管（以下、塩ビ管B）を適切な長さに切り出し、塩ビ管Bの先端を塩ビ管Aに合うように円形に削り出して、塩ビ管Aの支えとして塩ビ管Bを固定し、安定させた。塩ビ管Aと塩ビ管Bの接点の写真を図2に示す。

3.2.2. 光源の作製

3.2.1で塩ビ管Aを削りだした方法と同様にして木製丸棒の両端を削った。次に、図1のように銅テープを木製丸棒の両側面にお互いが接着しないように貼り付け、木製丸棒先端にヒートシンクとLEDを接着し、ジャンパ線で銅テープとLEDを接着した。このとき、LEDは可能な限り小さく光量が十分なものを使用した。これは、サイズの大きい光源を使用すると、光源自身の影が光を遮り投影の際に影響が出るためである。

3.2.3. 電源の確保

ユニバーサル基盤を使用して、図1のようにLEDドライバとACジャックをジャンパ線で接続した。次に、塩ビ管Aの両側面に、銅テープが露出するように2箇所を開け、ユニバーサル基盤と銅テープをジャンパ線で接続した。このときACジャックとコンセントを接続すると、LEDが発光することを確認した。

3.3. 全天と機構の接続

図3のように全天と機構を組み立てた。このとき、機構と全天を組み立てるために、南天の天頂に半径約1 cmの円状の穴を開け、塩化ビニル管を接着した。投影機の全天部分と機構部分は固定されていないため、投影機の回転が可能となっている。

4. 結果と課題

完成した投影機でプラネタリウムを投影したところ、プラネタリウムとして機能した。今後の課題として、回転の自動化や安定化が挙げられる。また、実際の天体の位置と、投影された天体の位置のずれを減少させるために、投影機の全天部分を薄肉化し、再製作することも検討している。

5. まとめ

プラネタリウムの回転を実装できたので、来年度以降は回転の自動化を実装することを主目的とした。

参考文献

- [1] 前綾乃他（2025）、「身近な素材で作るかんたんプラネタリウム」、第27回日本天文学会ジュニアセッション 34T
 [2] 小学館『小学館の図鑑NEO [新版] 星と星座』



図 1 作製した投影機を回転させる機構の全容の写真。



図 2 塩ビ管Aと塩ビ管Bの接点の写真。



図 3 プラネタリウムの全容の写真。

VR化と競技化によるプラネタリウムの普及

ほしとも・めいほく プラネタリウム班:

渡辺 梨緒、山内 愛結、山本 大志、尾玉 将太、小野 浩太郎、畑 杜真、岸本 悠叶(高1)、井口 智晴、落合 夏菜(高2)【兵庫県立明石北高等学校】、山崎 航輝、中戸川 直道(高2)【六甲学院高等学校】、中島 こころ(高専2)【明石工業高等専門学校】、谷 和磨(高3)【明石市立明石商業高等学校】

要旨

本研究では、没入感の高いVRプラネタリウムを活用した天文講座および全国の高校生による制作・発表イベント「プラネタリウム甲子園」を実施し、星や宇宙への興味・関心および科学技術分野への理解の向上を図った。

天文講座後のアンケート結果を統計的に分析したところ、すべての評価項目において有意な向上が確認され、VRプラネタリウムが天文教育において有効な学習手段であることが示唆された

1. 動機及び目的

宇宙や科学技術は将来の社会に直結する重要な分野であるが、それらに興味を持つきっかけは多くない。そこで本研究では、没入感の高いVRプラネタリウムを活用し、星空を身近に体験できる学習機会を提供するとともに、全国の高校生が制作・発表を行う「プラネタリウム甲子園」を開催し、星や宇宙への興味・関心および科学技術への理解の向上を図ることを目的とする。

2. 方法

【VRプラネタリウムの概要と作成方法】

VRプラネタリウムとは、プラネタリウムを360°の映像として鑑賞できるようにしたものである[1][2]。360°カメラによる撮影、または3Dプラネタリウムソフト「Stellarium」による星空の画面収録を行い、解説や音声を加えて360°形式の映像として作成した(図1)。作成した映像は、YouTubeへの投稿や実際のプラネタリウムへの投影が可能である。

【本研究における活動内容】

・本研究では、VRプラネタリウムを用いて二種類の活動を行った。

①天文講座の実施

本研究では、明石市立二見図書館に開催した天文講座でVRプラネタリウム体験を実施し、VRプラネタリウム体験後にアンケート調査を行った。

②「プラネタリウム甲子園」の開催

全国の高校生を対象に「プラネタリウム甲子園」を開催し、VRプラネタリウム制作を通じた交流と発表の場を設けることを予定している。今後、応募校によるVRプラネタリウムの制作および審査を行う予定である。審査は、YouTube上での投票により行う予定である。



図1 Youtube上で表示した様子

表1 講座実施後のアンケート (n=17)

	平均値 (基準値を3)	p 値
星・天文への理解は高まりましたか	4.00 <small>(未就学児: 4.00, 学生: 4.00, 大人: 4.00)</small>	2.6×10^{-5}
星・天文への興味は高まりましたか	4.65 <small>(未: 4.67, 学: 4.70, 大: 4.50)</small>	2.7×10^{-10}
科学技術への興味は高まりましたか	4.06 <small>(未: 4.33, 学: 3.80, 大: 4.50)</small>	7.5×10^{-5}
プラネタリウムに行きたくなくなりましたか	4.71 <small>(未: 5.00, 学: 4.60, 大: 4.75)</small>	7.8×10^{-11}

3. 結果と考察

17人の方にVRプラネタリウムを体験してもらった。(未就学児3名、学生名10、大人4名)講座後に4項目について5件法のアンケート調査を行った。結果に対し、基準値を3(講座の影響がなかった)とし、1標本t検定を用いて本講座の有効性を検証した。(表1)その結果、すべての項目で $p < 0.001$ となり、講座の有効性が統計的に示された。

特に「星・天文への興味」および「プラネタリウム鑑賞への意欲」が高い値を示したことから、VRによる没入感の高い映像体験が、天文現象を身近なものとして感じさせた可能性が考えられる。また、VRプラネタリウム体験は、年齢を問わず参加者の天文分野への理解および興味を高める効果を有することが示唆された。一方、「科学技術への興味」については他項目と比べると平均値はやや低かったものの、それでも基準値である3を有意に上回っており、VRという技術自体が科学技術分野への関心喚起に一定の効果を与えたと考えられる。

4. 今後の展望

今後もVRプラネタリウムの普及に努めるとともに、「プラネタリウム甲子園」においては制作指導の充実を図り、YouTubeを通じた発信によりさらなる認知向上を目指す。

参考文献

[1]日本プラネタリウム協議会. 自宅視聴型360度プラネタリウムコンテンツの作成について v1.2 [PDF]. 取得先 <https://planetarium.jp/wp-content/uploads/自宅視聴型コンテンツの作成についてv1.2.pdf>

[2]Nomoto, T. (2017). Cube2DM — Image projection converter between cubemap, fisheye, and equirectangular formats [Web page]. 取得先 <https://t.nomoto.org/Cube2DM/>(2026年1月14日アクセス)

折り紙を用いた学校における天文教育

明石北高等学校科学探究部天文研究班：

井口 智晴（高2）、尾玉 将太、小野 浩太郎、岸本 悠叶、畑 杜真、山内 愛結、山本 大志、渡辺 梨緒（高1）【兵庫県立明石北高等学校】

要旨

宇宙や科学技術への関心を高めることを目的として、小中学生を対象に折り紙を用いた体験的な天文学教育を実施し、その学習意欲および教育的効果を検証した。調査の結果、宇宙および理科に対する興味・関心の有意な向上が確認され、折り紙教材が教育手法として有効であることが示された。今後は対象年齢を拡大し、さらなる検証を行う予定である。

1. 動機及び目的

宇宙や科学技術は将来の社会に直結する重要な分野であるのにも関わらず、子どもたちがそれらに興味を持つきっかけは決して多くない。そこで、体験的な学びの機会を提供することで、小中学生の理科・宇宙への関心を高め、更には学習意欲を向上させることを目的とした。本研究では、小中学生を対象として折り紙を活用した天文学教育の実践を行い、その教育的効果を検証した。

2. 方法

2026年1月11日に明石市立二見図書館において、7名の小中学生（小学生6名、中学生1名）に対して講座を行い（図1）、太陽系の惑星を縮尺的に表現した折り紙教材（図2）を導入することでクイズ形式を交えながら各惑星の特徴を紹介した。これにより、受講者が太陽系をより身近に感じられるよう配慮した。過去に実施した講座との比較のため、以前に行った講座から、月の満ち欠けの解説を省略し、惑星間の位置関係についての講座を追加し、比較を行った。さらに、「太陽系散歩」というWEBアプリ（図3）[1]を利用し、太陽系における惑星の位置関係を視覚的に分かりやすく説明した。

講座実施後のアンケートを実施し、宇宙への理解、宇宙への興味、理科への興味、説明の分かりやすさの4つの質問に対して、「効果があった：4、効果がなかった：1」という4件法で調査を行った。

得られた結果に対し基準値を2.5（講座の影響がなかった）として、1標本t検定を行い、今回の講座が真に有効であったかを検証した（表1）。

3. 結果と考察

星・天文への理解では p 値 1.8×10^{-3} 、星・天体への興味で 3.7×10^{-3} 、理科への興味で 6.0×10^{-4} 、説明の分かりやすさで $p < 0.01$ となり、どの値も $p < 0.01$ (***) となっている。よって、今回の講座は有意に効果が見られ、非常に有効であったと言える。

4. 反省と課題

これらの結果から、今後は小学校中学年を主な対象とし、学校の授業内容を踏まえつつも、より一層興味を喚起できる講座内容へと改善していきたい。

また、中学生のデータが1名分のみであるため今後は中学生を対象とした講座を実施し、十分なデータの収集を行う必要があると考える。

今後は、本校の連携校である高丘中学校などで、出前授業の実施を予定している。

参考文献

[1] 天文普及における折り紙教材としての利用, ジュニアセッション予稿集, 第27回, 45ページ, 明石市立天文科学館星の友の会ほしとも学生部: 井口智晴ら



図1 講座の様子



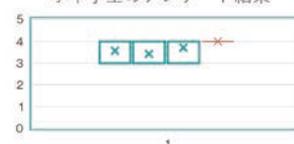
図2 折り紙で作った惑星



図3 webアプリ「太陽系散歩」

表1 右から宇宙への理解、宇宙への興味、理科への興味、説明の分かりやすさ

小中学生のアンケート結果



天文学における絵画の正確性

橋本 勇信、盛重 舞衣、渡邊 悠人、根岸 奏太(高2)【大阪府立北野高等学校】

要旨

歌川広重の連作浮世絵『名所江戸百景』の1つ『永代橋・佃島』には江戸の星空が描かれている。その星の配置などを元に、この絵画がいつ頃描かれたのかを考察した。

1. 『永代橋佃しま』について

制作者:歌川 広重
制作年:1856~1858年
かつて江戸にあった永代橋という橋の下から、佃島を描いた絵である。手前に見える船はこの地域で伝統的に行われている白魚漁の漁船である。[図1]

2. 研究方法

- ・この絵画が描かれた場所をGoogle Earth等を用いて特定する。
- ・絵画内の手がかりから、描かれたおおよその時期を調べ、描かれている星の配置を元に、この絵画が描かれた日時を特定する。



[図1] 永代橋佃しま[1]

3. 結果・考察

・場所について

現在も永代橋は残っているが、江戸時代の頃より約150m下流に位置している。現在の永代橋より150m上流の地点を基準にすると、佃島(現在の石川島公園)は南南西に位置している。よって広重は永代橋から南南西の景色を描いたと考えられる。

・制作時期について

絵画に描かれている情景は白魚漁という、隅田川で行われていた伝統的な漁であり、主に1~3月に行われた。また、この絵画の出版が許可された証である改印は1857年の2月である。これらを踏まえると、この絵画が創作されたのは1857年の1~2月だと考えられる。

・月の形について

月の形から日時を特定するため、月の曲率を計算し、月のどの部分が描かれているかを検討した。その結果、下辺の円を基準にして描かれた円の方が真円に近いと判断できるため、この月は上弦の月と満月の間にあたると考えられる。

・オリオン座について

絵画の左端に着目すると、オリオン座のような形をしている星の集まりがあることが確認できる。今回はこれをオリオン座と仮定して研究を進める。[図2]

これらを踏まえて、1857年の1~2月の間で、絵画に描かれているオリオン座と月の位置関係と近い日時をステラナビゲーターで調べ、1857年の1/5 19:30,1/6 20:00,2/4 20:30の3つに絞った。

次に絵画の月の上端と下端それぞれについて、オリオン座を成すベテルギウス、リゲルと線で結んだときの傾きを算出した。先に示した3つの候補の日時に関しても同様にして傾きを算出し、それぞれ比較した。[表1]結果、3日のうち1/6における傾きが、絵画のものと最も誤差が小さいことがわかった。



[図2]オリオン座と思われる星群

[表1]傾きを求めた結果

	ペー下	ペー上	リー下	リー上
オリジナル	0.654	0.714	1.28	1.19
1/5 19:30	0.324	0.337	0.754	0.745
1/6 20:00	0.470	0.495	1.26	1.226
2/4 20:30	2.171	2.327	-55.56	-78.45

4. 結論

ここまでの結果を踏まえて、『永代橋・佃島』の絵画は、歌川広重が月と現在のオリオン座にあたる群星の位置を意識しながら、1857年1/6 20:00に永代橋から南南西方向の夜空を描いたと考えられる。

参考文献

[1]広重『名所江戸百景 永代橋佃しま』,魚栄,安政4. 国立国会図書館デジタルコレクション <https://dl.ndl.go.jp/pid/1312240>

天体と地震発生の関係性

細谷 蒼天、昆 承太郎（高2）、相澤 奏来（高1）【東北学院榴ヶ岡高等学校】

要 旨

今日の日本では、世界の地震大国として多くの地震が起こっている。その中で月の満ち欠けと地震が関係しているとニュースで知り実際にデータを収集し図にまとめて関係性の有無を考察した。

1. はじめに

巨大地震が月の満ち欠けで予測できるとニュースで知り、巨大地震ではない地震も大潮などが関係しているのか興味を持ったので過去の地震のデータと天体の動きを集め、図を作成した。

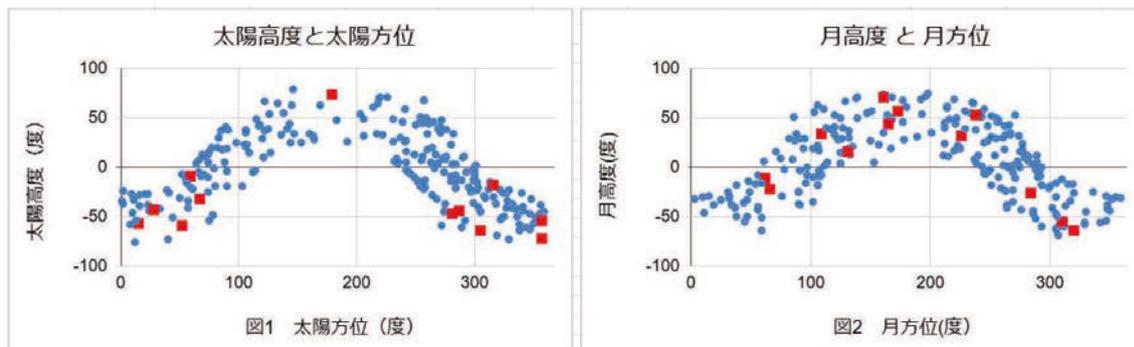
2. 研究方法

2010年1月1日から2025年の7月7日までの範囲で震度5弱以上の地震を調べ、その中から太陽高度、太陽方位、月方位角、高度と方角（東京からの）を、計算サイトを用いて取り上げそれらの関係性を2つのグラフを用いて圧縮し地震と天体の関係性を導き出した。

3. 結果

図1の縦軸を太陽高度、横軸を太陽方位とし、図2の縦軸を高度、月方位角とし散布図を作成した。また、新月・満月を四角、その他を丸で表す。

この図から、震度5弱以上の地震ではそれほど多く的大潮の発生は見られなかった。



4. 考察

結果から図1と図2比較した際、特に関係性は見つけることができなかった。しかし月齢を求めらうで満月や新月の誤差1日のデータが他の月齢に比べて多い傾向にありそれらの数値も照合することで天体と地震発生の関係性について見えてくると推測できるので今後の展望にしたい。

5. 参考文献

過去地震データ <https://earthquake.tenki.jp/bousai/earthquake/entries/level-5-minus/>
「巨大地震」を「月の満ち欠け」で予測できる可能性
<https://wired.jp/2016/10/15/moon-cycles-might-linked/>
太陽高度、太陽方位（計算サイト） <https://keisan.site/exec/system/1185781259>
月高度、月方位（計算サイト） <https://keisan.site/exec/system/1239785915>

潮汐と地震の相関性について

白井 佑輝、佐野 日向、田原 大暉（高2）【大阪府立北野高等学校】

要 旨

本校の先行研究[1]を受けて、海洋潮汐が地震発生にどのような影響を与えているのか疑問に思い、三陸海岸沖で発生した地震について、マグニチュードと発生時刻周辺の潮位変化のデータを集め、グラフに表して相関性を調べた。その結果、潮汐が地震の引き金になる場合について様々な考察をすることができた。

1. 研究背景

地震の予測は人類が長い間目指しているものであり、海洋の急激な変動によって起こる不自然な干潮状態は大地震の前兆だ、などの言い伝えも存在する。この仮説が正しいとすると、日々の海洋変動を引き起こす潮汐と地震には何らかの関係があるのではないかと考えられたため、その真偽を確かめることにした。

2. 研究方法

気象庁の潮位表を用いて、2024年以降に発生した福島県沖の地震141件での小名浜(観測地点)での潮位変化を調べた。地震のマグニチュードと地震発生時の潮位情報をグラフに表し、潮位の高低の特徴や、マグニチュードの関係性について調べた。また、先行研究である、参考文献[2]の論文で定義されていた、月潮汐力の地震を引き起こす剪断応力に占める割合を表す式から、地震発生に潮汐力が関与しうるかの考察も進めた。

3. 結果と考察

(1)地震発生時の潮位の位相に関する考察

1. 研究背景 で述べた仮説が正しいなら、地震は干潮時、つまり低潮位時に起こることが多くなるはずである。図1から、潮位差が負の値をとったものは141件のうち89件であり、約63%の地震が低潮位時に発生していることが分かった。しかし、潮位差が負であっても基準面に近い、つまり潮位差が0に近い場合などもある上に、これだけでは潮位の位相の特徴が読み取りづらい。そこで、潮位波形の極値に対する潮位差の割合を調べてグラフにすることで、極値と地震発生時の潮位の近さを可視化できるようにした。

図2の極値に対する割合の平均値は0.80となったため、潮位が極値に近い場合において地震発生しやすいのではないかとという仮説を立てた。そこで、地球表面の動点Pに働く潮汐力を調べることにした。動点Pと月の中心の距離をR、地球半径をr、地球と月の中心間距離をL、各中心を結ぶ直線から動点Pへの傾きをθ、万有引力を表す式の分子部分をaとし、潮汐力が動点Pのプレートに及ぼす成分をRの関数で表すことで、加わる潮汐力の変化の仕方の特徴を調べた。余弦定理などを用いて計算した結果、動点Pに加わる潮汐力の大きさTは、

$$T = a \sqrt{\frac{1}{R^4} + \frac{L^2 - r^2}{2L^3R^3} - \frac{1}{2L^3R} + \frac{1}{L^4}}$$

と表すことができた。Rの二回微分を調べ、Tの増減の特徴を調べた結果、Rは一次関数的に増減しているとわかった。よって、特定の点で潮汐力の変化が大きくなることはないので、計算結果からは潮位の波形の極地点に近いときに地震が起こりやすいとは判断できなかった。

(2)潮汐力が地震発生に与える影響の考察

参考文献[2]の論文によると、潮汐力と剪断応力の一の変化量の比ξにおけるマグニチュードMの依存性は

$$\xi = 1.24 \cdot 10^{-9+M}$$

と表される。これによるとマグニチュードが大きい地震ほど1日あたりで潮汐力が与える力の割合が大きくなる。しかし、これを利用してマグニチュードが集中している3 ≤ M ≤ 6について対変化率比を計算した場合、その値の範囲は0.00000124 ≤ ξ ≤ 0.00124 となり、潮汐力は剪断応力に比べると微弱な力しか与えていない。にもかかわらず、データ収集の段階で潮位変化の波形、震源地、マグニチュード、発生時間などが酷似した地震が何組も見つかったため、この計算値に違和感を覚えた。そこで、対変化率比のマグニチュード以外の変数による依存性を考えた。詳しい考察には至れなかったが、上式の導出過程で用いたプレートのずれ幅などが変化しやすい値なのではないかと考えられた。

4. まとめ

潮汐の地震への影響について、様々な可能性を考察した。潮位の位相に関する考察は、複数の角度から検討することもできた。今後の展望として、潮汐力の大きさの計算方法について様々な考察をすることができると思う。

参考文献

- [1] 大地震と気圧の相関性の検証 (2025年校内発表)
- [2] 気象庁 潮汐・海面水位のデータ 潮位表 (2026年1月8日最終閲覧)
<https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/db/tide/suisan/index.php>
- [3] 潮汐力と地震発生の特相関係について (2026年1月8日最終閲覧)
https://www.hitohaku.jp/publication/r-bulletin/NH21_095-110.pdf

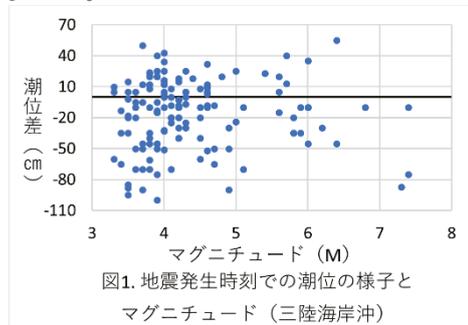


図1.地震発生時刻での潮位の様子とマグニチュード(三陸海岸沖)

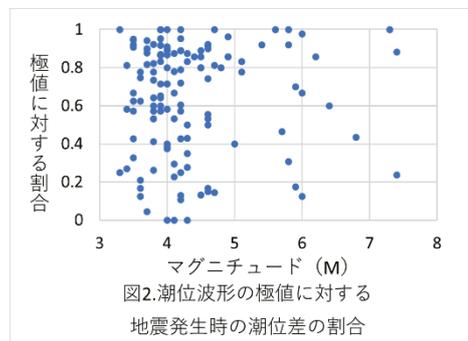


図2.潮位波形の極値に対する地震発生時の潮位差の割合

Determination of the solar limb-darkening coefficient through the analysis of intensity profiles derived from solar imaging data
 Mr. Jirachai Jariya (Grade 11)
 [Triam Udom Suksa School, Bangkok, Thailand]

Introduction

The Sun, as the only star in the solar system, plays a crucial role due to its significant influence and numerous effects on Earth. In studying the Sun, astronomers commonly rely on solar imaging obtained through cameras and telescopes, which enables the study of key features on the solar atmosphere, such as sunspots. Upon closer examination, however, solar images consistently exhibit a gradual darkening toward the edge of the disk, known as solar limb-darkening. This phenomenon reflects the temperature gradient within the stellar atmosphere, providing valuable information for studying not only the Sun itself but also the atmospheric structures of other stars.

Motivated by this, the project focuses on analyzing daily solar images to determine the solar limb-darkening coefficient. The results are intended to serve as a reference and a useful resource for those interested in studying solar and stellar atmospheric properties.

Method and Result

1) Solar images were captured using a NIKON D750 camera attached to a 6-inch Dobsonian telescope. A total of 20 solar images were acquired between April 17, 2025 and May 5, 2025, during the period from 14:00 P.M to 15:00 P.M. local time. Obtained images can be explained by using the diagram shown in Figure 1.

2) The acquired images were analyzed for intensity values using ImageJ. First, the images were converted to grayscale, and the oval selection tool was used to draw a circle around the Sun. Then, the previously installed plugin "Radial Profile Angle" was applied to extract the intensity data from the center of the solar disk to its limb as shown in Figure 2.

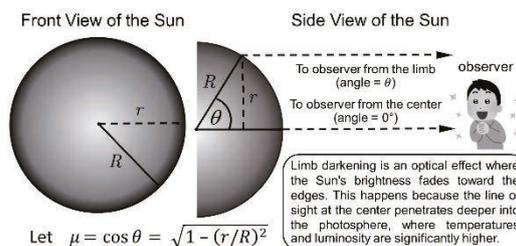


Figure 1. Diagram of a solar limb-darkening

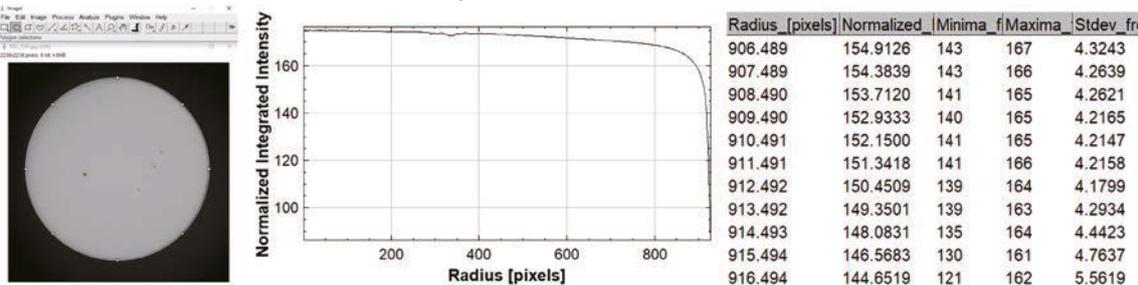


Figure 2. The image of the Sun converted to grayscale with a circle by using oval selection tool (Left), the intensity graph (Center) and intensity values (Right) after applying the radial profile plugin.

3) The obtained intensity values were analyzed by using Microsoft Excel based on the mathematical model proposed by Claret (2014) [1], then linear regression was applied to the linear model and nonlinear regression was applied to the quadratic and logarithmic models based on the least-squares method. The results were then used to generate comparison graphs, which are shown in Figure 3., and to calculate the solar limb-darkening coefficients.

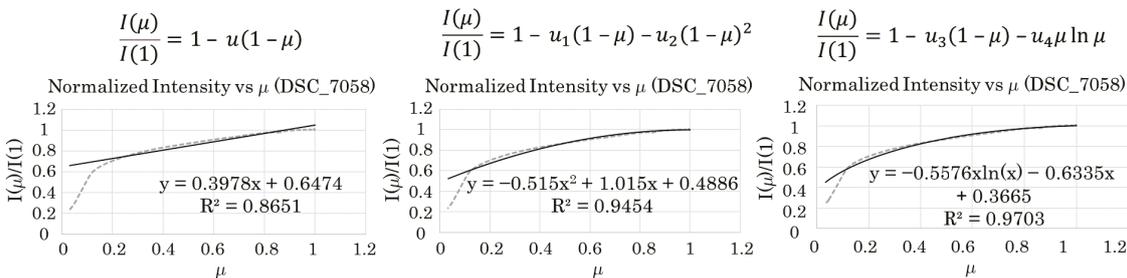


Figure 3. Normalized Intensity vs μ by linear law (Left), quadratic law (Center) and logarithmic law (Right) (photo code: DSC_7058).

Data analysis and Conclusion

The analysis of the Sun's light-intensity profile from photographs using ImageJ and Microsoft Excel shows that the solar limb darkening coefficients can be obtained from regression-based models. The averaged results indicate that, for the linear model, the coefficient u is approximately 0.44. For the quadratic model, u_1 and u_2 average 0.64 and 0.53, respectively. For the logarithmic model, u_3 averages 0.69 and u_4 averages 0.67.

These experimental values may be affected by sources of human error, such as measurement or processing inaccuracies, limitations in the equipment used, or atmospheric and dust interference.

References

[1] A. Claret, D. Dragomir, J. M. Matthews. Theoretical gravity and limb-darkening coefficients for the MOST satellite photometric system. A&A 567 A3 (2014). Retrieved April 15, 2025, from <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201423515>

Interactive Website for Visualizing Habitability in Exoplanetary Systems
 Mr. Krit Promsanuwong (Grade 12)
 [Thoengwittayakhom School]
 Introduction

The habitable zone (HZ) is a general concept in astronomy, yet most modeling tools remain inaccessible to non-specialist users. To address this, I've developed Exoplanet Visualizer (exoplanetvisualizer.com), a browser-based platform that computes HZ boundaries using the Kopparapu et al. (2014) climate model, simulates Keplerian orbital mechanics, and provides stellar context through a Hertzsprung–Russell (HR) diagram. The application sources data via the NASA Exoplanet Archive API and enables exploration of thousands of confirmed exoplanetary systems and interactive investigation of habitability outcomes, lowering technical barriers for both educational and scientific use.

Methodology

Stellar and planetary parameters for thousands of systems were retrieved from Christiansen et al. (2025) NASA Exoplanet Archive via API queries and structured into a unified dataset. Each system includes stellar and planetary parameters such as stellar luminosity, effective temperature, stellar radius, orbital period, and eccentricity. These parameters are processed and rendered client-side using D3.js

Habitable zone limits are computed using polynomial parameterization from Kopparapu et al. (2014) of the effective stellar flux with coefficients provided in Table 1, expressed as

$$S_{eff} = S_{eff\odot} + aT + bT^2 + cT^3 + dT^4$$

Coef.	Maximum Greenhouse	Runaway Greenhouse 0.1 M _⊕	Runaway Greenhouse 1 M _⊕	Runaway Greenhouse 5 M _⊕
S _{eff⊙}	0.356	0.99	1.107	1.188
A	6.171e-5	1.209e-4	1.332e-4	1.433e-4
B	1.698e-9	1.404e-8	1.58e-8	1.707e-8
C	-3.198e-12	-7.418e-12	-8.308e-12	-8.968e-12
D	-5.575e-16	-1.713e-15	-1.931e-15	-2.084e-15

Table 1 Coefficients for Polynomial Fitting
 Where $T = T_{eff} - 5780 K$ denotes the stellar effective temperature offset from solar values and the coefficients are provided by Kopparapu et al. (2014). The corresponding orbital distance for a given HZ boundary is then derived as

$$d = \sqrt{\frac{L_*/L_\odot}{S_{eff}}}$$

The outer HZ boundary, defined by the maximum greenhouse limit, is treated as effectively mass-independent, while the inner boundary is computed for planetary masses of 0.1, 1.0, and 5.0 Earth masses to reflect differing atmospheric heat retention.

Elliptical orbits are simulated by solving Kepler's equation each frame using the Newton–Raphson iterative method (converging in 2–4 iterations). The eccentric anomaly is used to obtain the true anomaly, followed by the instantaneous orbital radius, with Cartesian coordinates subsequently derived via trigonometric relations.

$$E_{n+1} = E_n - \frac{E_n - e \sin E_n - M}{1 - e \cos E_n}$$

Newton–Raphson Update for Kepler's Equation

The site is statically deployed via Vercel and can be freely accessed by any modern browser at URL <https://exoplanetvisualizer.com>

All computations are performed client-side with no backend dependency.

Result

The application generates two-dimensional representations of interactive orbital architectures alongside habitable zones (Fig 1) and a Hertzsprung–Russell Diagram (Fig 2). Computed HZ distances align with established results under identical stellar inputs, confirming validity. Users may also input custom stellar and planetary parameters to visualize hypothetical or newly reported systems under the same framework. All outputs are produced as SVGs

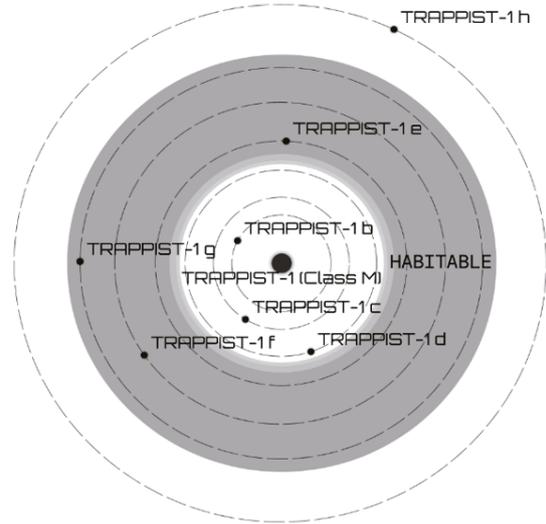


Figure 1 Orbital Diagram of TRAPPIST-1

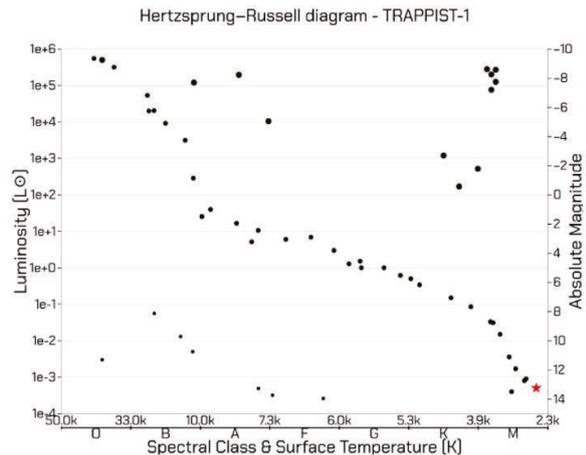


Figure 2 Hertzsprung–Russell Diagram with Target Star

References

Kopparapu, R. K. et al. (2014). *Habitable zones around main-sequence stars*. *Astrophysical Journal Letters*, 787, L29. <https://doi.org/10.1088/2041-8205/787/2/L29>
 Christiansen, J. L. et al. (2025). *NASA Exoplanet Archive: Data and tools*. *Planetary Science Journal*, 6, 186. <https://doi.org/10.3847/PSJ/ade3c2>

Simulation of Contact Binary Star Systems to Study Light Curve Characteristics
 Miss Pawarisa Khantikij (Grade 11), Miss Sisunan Pranimitr (Grade 11)
 [Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi Province, Thailand]

Abstract

We developed a simulation of contact binary star systems using Python to study their orbital dynamics and photometric characteristics. The model integrates 4th-order Runge-Kutta (RK4) methods for orbital mechanics and Eggleton's equation for Roche lobe geometry. Furthermore, we incorporated physical phenomena—gravity darkening, reflection effects, and eclipses—to generate synthetic light curves. The results demonstrate that the model successfully reproduces key features of contact binaries, including Roche lobe overflow and asymmetric light curves due to thermal interactions.

Research Background

Contact binary systems exhibit complex behaviors due to mass transfer and tidal distortion. Understanding their light curves requires modeling not just the geometry but also thermodynamic effects like gravity darkening and reflection. This project aims to simulate these systems numerically to visualize Roche geometry and analyze how physical parameters influence the observed light variations.

Method

We simulated the binary orbit by solving Newton's equations of motion using the RK4 integration scheme. The Roche potential was calculated to define stellar surfaces, determining the Roche lobe radius via Eggleton's approximation (Eggleton, (2006)). To generate light curves, we synthesized the flux from the stellar surfaces considering

1. Stefan-Boltzmann Law: Calculating the luminosity of each individual star.
2. Gravity Darkening: Modulating temperature based on the Mass-Temperature relation.
3. Reflection Effect: Accounting for the mutual irradiation, where the side of the star facing its companion absorbs and re-emits radiation, increasing the temperature of the irradiated hemisphere (Wilson, 1990).
4. Eclipse Mapping: Calculating the projected overlapping area along the line of sight.

The total flux is then synthesized by integrating these local effects across the visible stellar disks. This integrated approach, iterated over a full orbital cycle, produces a comprehensive light curved model that serves as a theoretical template for determining physical parameters such as orbital inclination and mass ratio through comparison with empirical data.

Results and discussion

Figure 1(a) illustrates the potential contours and the resulting contact configuration. The simulation confirms that the synthesized model aligns with the fundamental characteristics of W Ursae Majoris (W UMa) type contact binary systems. The synthesized light curve (Figure 1(b)) reveals distinct features corresponding to the physical model:

- (1) Unequal Minima: The difference in the depths of the primary and secondary eclipses originates from the temperature gradient and the ratio of the stellar radii between the components.
- (2) Continuous Variation: The curve is rounded due to continuous variation between eclipses. This is a result of the non-spherical, "teardrop" shape of the stars (Roche lobe deformation) combined with the gravity darkening effect (Lara & Rieutord, 2012).
- (3) Asymmetry: The reflection effect causes the hemisphere facing the more luminous companion to be internally heated, leading to a non-uniform surface brightness distribution.

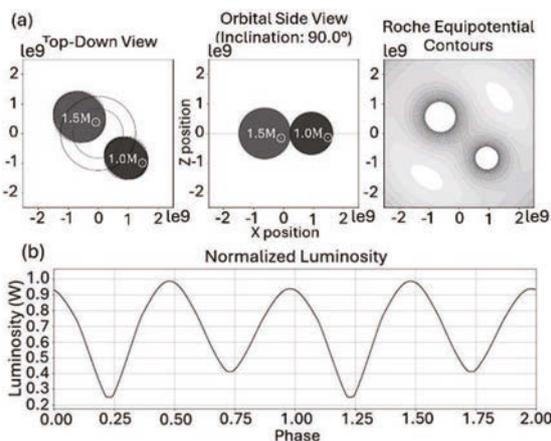


Figure 1: Simulation results based on initial conditions of $1.0M_{\odot}$ and $1.5M_{\odot}$ for the stellar masses, an initial distance of $3.0R_{\odot}$, and an inclination of 90° . (a) Geometric configuration including Top-Down View, Orbital Side View, and Roche Equipotential Contours. (b) Synthetic light curve illustrating phase-dependent luminosity variations.

Acknowledgements

We are grateful for the support received throughout the completion of this project. Special thanks to our advisor, Mr. Taweerak Thunphuttha, for his invaluable guidance and encouragement. Finally, we would like to thank the National Astronomical Research Institute (NARIT) for providing the opportunity to conduct this project.

References

- [1] Eggleton, P. (2006). Evolutionary processes in binary and multiple stars (Vol. 40). Cambridge University Press.
- [2] Lara, F. E., & Rieutord, M. (2012). Gravity darkening in binary stars. *Astronomy & Astrophysics*, 547, A32.
- [3] Wilson, R. E. (1990). Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *Astrophysical Journal, Part 1* (ISSN 0004-637X), vol. 356, June 20, 1990, p. 613-622., 356, 613-622

Distance Analysis of Supernova Type Ia SN2024unx
 Miss Pinyaphat Rungruang (Grade 10), Miss Prim Krisanamis (Grade 10)
 [Varee Chiangmai School, Chiang Mai Province, Thailand]

Abstract

The SN2024unx to determine its distance using the Δm_{15} method and to compare the result with the distance derived from its redshift. Observational data were obtained using the Thai Robotic Telescope. Images were captured daily using an R filter. The apparent magnitude was measured from the flux using AstroImageJ, and the light curve was constructed from daily observations. The absolute magnitude was calculated as -19.037 . Applying the distance modulus formula, the distance to SN2024unx was determined to be 246.831 Mpc.

Introduction

A supernova is a powerful stellar explosion that can occur through different physical mechanisms. One important class is the Type Ia supernova, which originates from a white dwarf in a binary system. This project focuses on Type Ia supernovae because they exhibit a well-defined and nearly uniform peak luminosity, making them highly suitable for calculating cosmic distances. Therefore, they are referred to as “standard candles.”

Methodology

Firstly, Supernova Type Ia SN2024unx were observed using the NARIT Thai Robotic Telescope. The observational data were obtained from the Sierra Remote Observatory in California, USA, with images captured continuously daily. Second, the images were analyzed using AstroImageJ to determine the apparent magnitude of the supernova Type Ia from The Pogson logarithmic magnitude relation. The apparent magnitude of the SN2024unx, recorded daily, was plotted as a graph showing the relationship between apparent magnitude and Julian date. Third, the brightest absolute magnitude was calculated from the peak of this light curve using Phillips relation for Type Ia supernovae. Next, the distance to the SN2024unx was calculated using the information above, based on Distance Modulus Equation.

Results and Discussion

The SN2024unx (RA 02:27:55.070, Dec +37:26:51.83) [1] was observed using the Thai Robotic Telescope. The R filter was used during the imaging process, with an exposure time of 200 seconds (see Figure 1). The collected images were subsequently analyzed using AstroImageJ to determine the apparent magnitude of the supernova. Figure 2 shows the relationship between the apparent magnitude and Julian date, derived from the measured flux.

The brightest absolute magnitude and apparent magnitude of SN2024unx are -19.037 and 17.925 . The apparent magnitude was taken from the peak of the graph shown in Figure 2 Use the brightest absolute magnitude and apparent magnitude to calculate the distance of SN2024unx and the distance derived from the redshift value show in Table 1. From Table 1, the parameters of SN2024unx were obtained from the relationship between apparent magnitude and Julian date. These parameters were used to calculate the distance to SN2024unx, resulting in a value of 246.831 Mpc. This distance was then compared to the distance calculated from the redshift value, which was 192.723 Mpc. From this comparison, the percentage difference was found to be 24.616%.

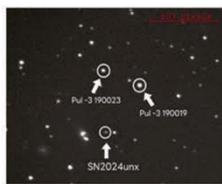


Figure 1: showing SN2024unx and its reference star.

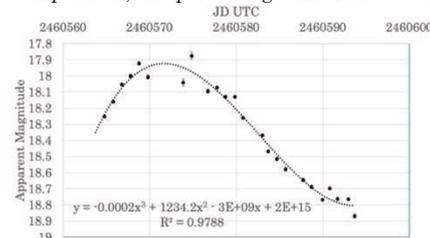


Figure 2: showing the relationship between the apparent magnitude and Julian date of SN2024unx

Table 1 : showing parameter of SN2024unx

Parameter	Value
Apparent magnitude, m	17.925
Decline rate, Δm_{15}	0.650
Constant a	-18.920
Constant b	0.260
Maximum Absolute magnitude, M_{max}	-19.037
Distance from light curve, d (Mpc)	246.831
Redshift, z	0.045
Distance from redshift, dz (Mpc)	192.723

Conclusion

The analysis of the light curve of the SN2024unx successfully demonstrated the use of the Δm_{15} method to estimate its distance. The apparent magnitude at peak brightness was measured to be 17.925, and the brightest absolute magnitude was calculated to be -19.037 using empirical constants. Applying the distance modulus formula, the resulting distance was 246.831 Mpc. This value was then compared to the distance derived from the redshift ($z = 0.045$), which yielded a value of 192.723 Mpc. The percentage difference between the two distance estimations was found to be 24.616%.

Acknowledgements

We sincerely thank NARIT for the observational data from the TRT, our advisor Mr. Sarawut Pudmale for his guidance and support, and Varee Chiangmai School, our families for their assistance throughout this project.

Reference

[1] Supernova working group. SN2024unx. Retrieved from <https://www.wis-tns.org/object/2024unx>.

A comparative study of stellar population in the open clusters of the Auriga constellation

Miss Chayada Kulchanapakorn (Grade 12), Miss Navinda Lertpenmetha (Grade 12)

Miss Mingkamol Waiwattana (Grade 12)

[Engineering Science College, Bangkok, Thailand]

Abstract

The study of open clusters currently plays a vital role in understanding stellar evolution and the characteristics of open clusters. The objective of this study is to compare the evolution and distribution of various types of stars within the open clusters of the constellation Auriga. Data was extracted from images of the clusters M36, M37, and M38 using B and V filters through the Aperture Photometry Tool software. Subsequently, Hertzsprung-Russell diagrams and distribution maps for each stellar type were constructed. While all three clusters share a similar descending trend in the proportions of A, F, K, and G-type stars, the relative abundance of B-type with respect to observed stars varies on the age of the clusters. This corresponds with the estimated ages from the turn-off points, which are 26.6 Myrs (M36), 172.6 Myrs (M38), and 403.4 Myrs (M37). Regarding stellar distribution, M38 has a lower population density at its core than M36 and M37, which may be due to differences in the initial gas clouds, amount of dark matter, and stellar dynamics across different evolutionary stages.

Methodology

We collected data by using planewave CDK700 telescope and analyzed the data using python. The detailed methodology was presented below (Shown in Fig.1.) based on referenced data. [1],[2],[3],[4],[5]

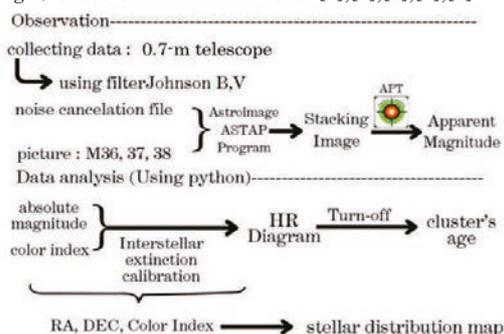


Fig.1. Show the detailed of method.

Results

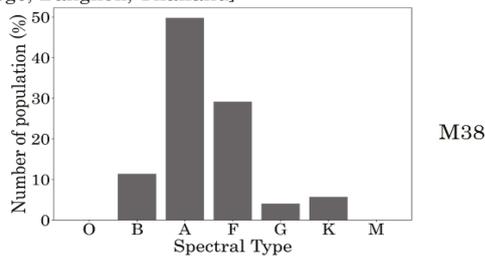
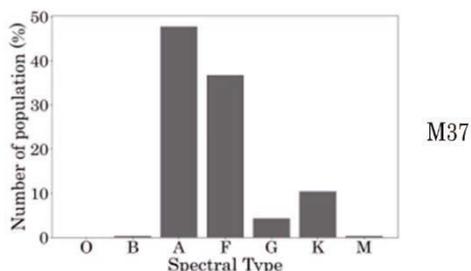
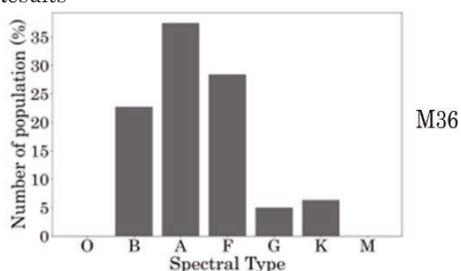


Fig 2. Bar charts showing proportion of each spectral type in M36, M37, and M38

We found that M36 turn off point is at absolute magnitude -2.5 implying its age to be the lowest (26.6 Myrs). The next one is M38 with the turn off point at absolute magnitude - 0.7, implying its age to be 172.6 Myrs. The oldest one is M37, with the turn off point at - absolute magnitude 0, implying its age to be 403.4 Myrs.

Discussion

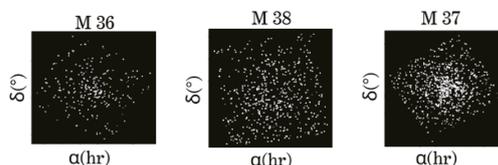


Fig 3. Stellar distribution map (color are based on spectrum) of M36, M37 and M38 open clusters

While A, F, K and G-type stars proportions show similar descending trends across all three clusters, B-type stars proportions depend on the age of the open cluster, as shown in Fig 2. G and K-type stars in all three clusters, and M-type stars in M37, appear off the main sequence. These are likely giants or subgiants, though the stars with high absolute magnitude are likely background stars. However, the discrepancy between A-type stars age and estimated turn-off point age may stem from lower flux density in Filter B images compared to data from other observation days.

Considering the stellar distribution map in two dimensions (Fig.3), M37 is the densest cluster, followed by M38 and M36. While M36 and M37 have a high density of stars at the center, M38 lacks a central peak. This might happen due to two possible reasons: (i) the formation of M38 from several density peaks gas clouds, and (ii) the death of B-type stars in M38 possibly caused by some processes of the stellar evolution, leaving an empty space at the center. It might evolve into a cluster similar to M37 because of mass segregation. Nonetheless, this needs further studies by using mathematical models and eliminating background stars.

References

- [1] Alean J., Deep Sky Corner [Online], <https://www.deepskycorner.ch/index.en>. [12/5/2025].
- [2] Gretchen L., 1970, An atlas of open cluster colour-magnitude diagrams, <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1970PDDO....4....1H/abstract> [12/5/2025].
- [3] Linhart D., et al., 2002, The open star cluster NGC 1960 in the Auriga constellation [Electronic], <http://www.sternwarte-betzdorf.de/presse/catchastar/index.html> [12/5/2025].
- [4] Mamajek E., 2022, A Modern Mean Dwarf Stellar Color and Effective Temperature Sequence, <https://qrcd.org/8fIM> [12/5/2025].
- [5] Espenak F., astropixels [Online], <https://astropixels.com/index.html> [12/5/2025]

The Determination of Open and Globular Clusters Age Using Isochrone and Horizontal Branch Morphology
 Mr. Alexandre Fatong Charles Jault (Grade 11)
 [Varee Chiangmai School, Chiang Mai Province, Thailand]

Abstract

This project explores methods for determining the age of open clusters M35, M37, M67 and globular clusters M3, M53. The Isochrone method was the most accurate method to study the age of open clusters, and the Horizontal Branch Morphology for the globular clusters.

Introduction

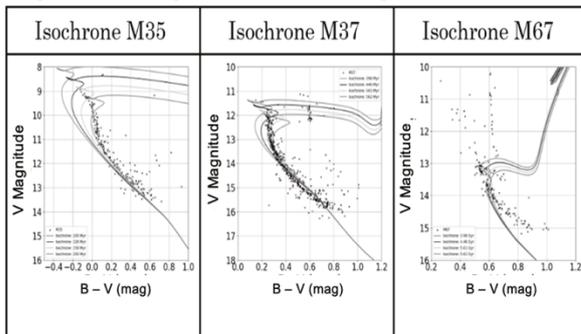
Star clusters are groups of hundreds of stars closely bound together. HR diagrams give information about the life cycle of stars within a cluster. This project explores methods for determining the age of open clusters M35, M37, M67 and globular clusters M3, M53. Isochrones model stars of the same age and metallicity which helps study the age of clusters. Horizontal Branch (HB) Morphology can be used to find the age of clusters using HB population models.

Methodology

Firstly, take photos of the star clusters with B and V filters using the 1-meter diameter telescope at the Thai National Observatory. Secondly, Aperture Photometry Tool is used to measure the apparent magnitude of each star and create HR diagrams. Thirdly, find the age of the clusters using the Isochrone method. Isochrone models are retrieved from MIST database [1]. Another method is the HB morphology method. The Horizontal Branch Ratio (HBR) is calculated and compared with HB population model.

Results and Discussion

Figure 1 : HR diagrams and Isochrones open clusters.

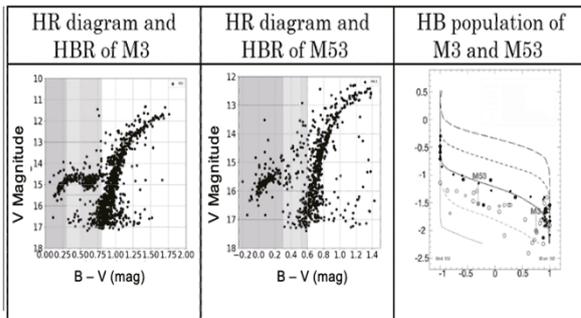


The HR diagrams, as well as the Isochrones for the open clusters are shown in Figure 1. It was found that clusters M37 and M67 show clear turnoff points. Whilst M35 doesn't show a clear turnoff point the age can still be determined from the Isochrone. Table 1 shows the age calculated from the Isochrone method for each open cluster.

Table 1 : Age of open clusters.

Cluster	Age (yrs)	Ref. Age (yrs)	Error %
M35	100-200 M	110-150 M	15.38%
M37	400-550 M	420-520 M	1.06%
M67	4-5.6 G	3.5-4 G	28.00%

Figure 2 : HR diagrams and HB population globular clusters.



The HR diagrams of the globular clusters are shown in Table 3. The HR Diagrams don't show clear turnoff points; therefore, Isochrones can't be used to determine the age. So, the HB morphology method is used to study the age of globular clusters, since the Horizontal Branch is clearly shown in the HR Diagrams. To study the HBR of clusters, blue, red and RR Lyrae type stars must be studied highlighted in Figure 2. Table 2 shows the age calculated from the HB morphology method.

Table 2 : Age of globular clusters.

Cluster	HBR	Age (Gyrs)	Ref. Age (Gyrs)	Error %
M3	-0.36	10.6	11.4	7.02%
M53	0.73	11	12.5	12.00%

Conclusion

From the study of HR diagrams of open clusters M35, M37, M67 and globular clusters M3, M53. It was found that the age of open clusters can be accurately calculated using the Isochrone method. Whilst for globular clusters, it was found that the HB Morphology method was the most accurate for studying the age of globular clusters.

Reference

- [1]. Isochrone Models – MIST. Retrieved from <https://waps.cfa.harvard.edu/MIST/index.html>

Acknowledgement

I'd like to express my greatest gratitude to my advisor, Mr. Sarawut Pudmale for giving advice throughout the project. I would also like to thank NARIT for the usage of the Thai National Observatory.

Dark Matter Distribution and Its Impact on Galaxy Cluster Properties: A Weak Lensing Approach
 Mr. Ekkawee Tangsailertkul (Grade 12), Mr. Suphakon Khamfuea (Grade 12)
 [Kamnoetvidya Science Academy, Rayong Province, Thailand]

Introduction

This research focuses on studying the relationships between dark matter distributions and its relationship with physical properties of galaxy clusters, including redshift z , luminosity distance D_L , and stellar luminosity enclosed within the core. The dark matter distributions were reconstructed through a combination of weak lensing analysis, gas mass beta modelling, and mass-to-light ratio stellar mass reconstruction. These distributions were parameterized using 5 selected dark matter models, from which the best-fitting model was chosen for further analysis. This study has analyzed 56 clusters, spanning a redshift range of 0.2 to 1.3; However, 6 clusters need to be excluded due to the single-cored assumption of the models.

Method and Result

1. The data of galaxy clusters were obtained from the SUBARU telescope [1], NASA source catalogs [2], XMM-Newton [3]. The total mass distribution was constructed using weak lensing analysis, the stellar mass distribution was derived using the mass-to-light ratio method, and the gas mass distribution was modeled using beta-modeling technique.

2. The dark matter distribution was then obtained by subtracting the stellar and gas mass components from the total mass distribution. The dark matter distribution was then parameterized using 5 selected dark matter models, and the best-fitting model, as determined by the R^2 criterion, was chosen for further statistical and data analysis. These processes were carried out using custom Python codes developed by the authors together with the XMM-Newton SAS software [4].

Density Profile	Profile	Average R^2
NFW	$\rho = \frac{\rho_b}{\left(\frac{r}{r_s}\right)\left(1 + \frac{r}{r_s}\right)^2}$	0.8713
gNFW	$\rho = \frac{\rho_b}{\left(\frac{r}{r_s}\right)^\beta \left(1 + \frac{r}{r_s}\right)^{3-\beta}}$	0.9216
Beta-Model	$\rho = \rho_b \left(1 + \left(\frac{r}{r_s}\right)^2\right)^{-\frac{3\beta}{2}}$	0.9559
Burkert Model	$\rho = \frac{\rho_b}{\left(1 + \frac{r}{r_s}\right)\left(1 + \left(\frac{r}{r_s}\right)^2\right)}$	0.8120
Einasto Model	$\rho = \rho_b \exp\left(-\frac{2}{\beta}\left[\left(\frac{r}{r_s}\right)^\beta - 1\right]\right)$	0.8932

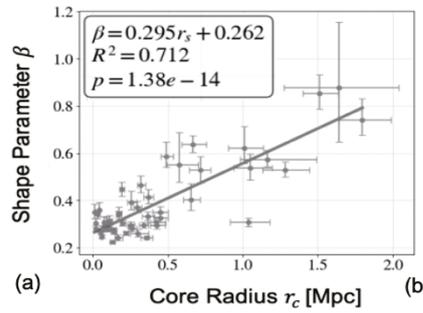
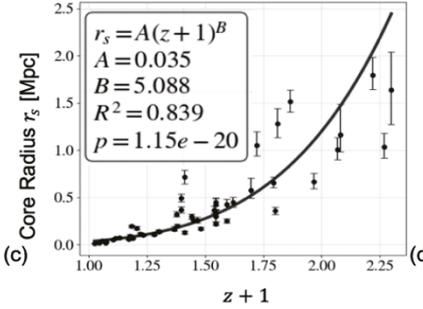
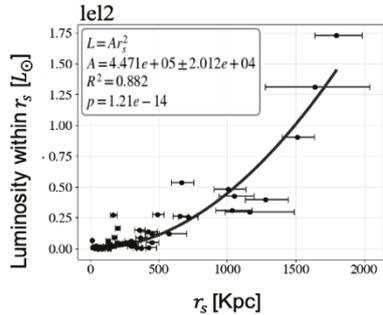


Figure 1. (a) Summarizing 5 dark matter models, (b) relationship between core radius r_c and shape parameter β , (c) relationship between core radius r_c and $z + 1$ (d) relationship between the luminosity enclosed within r_c and r_c



3. The results showed that the beta model provided the best fit (Figure 1a), and the data and statistical analysis of the relationships between the beta-model parameters and the physical properties of the galaxy clusters are presented in Figure 1. (b, c, and d)

Data analysis and Conclusion

The results (as shown in Figure 2) show that the beta-model parameters, the core radius r_c and the slope parameter β , are strongly correlated, with clear linear statistical evidence, thereby reducing the degeneracy of the model. Furthermore, a strong exponential correlation is observed between r_c and redshift plus one $z + 1$. This suggests that more distant (or younger) galaxy clusters exhibit more diffuse dark matter distributions compared to nearer (or older) clusters, reflecting the evolutionary behavior of dark matter within galaxy clusters. In addition, the analysis indicates a lower limit for the core radius, with the minimum r_c value of approximately 35 kpc. Based on these two relationships, the traditional

beta model can be modified into a redshift-based beta model $\rho(r) = \left(1 + \frac{815r^2}{(z+1)^{10}}\right)^{-(0.0154(z+1)^5+0.40)}$, reducing the number of free parameters from three to two. This modification allows the use of redshift alone to estimate the dark matter distribution shape directly, avoiding the need for a complex analysis pipeline. Finally, a positive quadratic relationship is found between the stellar luminosity enclosed within r_c and the core radius r_c , reflecting galaxy cluster evolution: younger clusters tend to be more dynamically active and exhibit stronger baryonic feedback than older clusters. Moreover, this result is consistent with the cosmological principle of large-scale homogeneity.

Selected References

[1] Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archive (SMOKA), NAOJ Science Archive, <https://smoka.nao.ac.jp/>
 [2] NASA/IPAC Extragalactic Database (NED), galaxy cluster data accessed via the Cone Search service, <https://ned.ipac.caltech.edu/conesearch>
 [3] ESA XMM-Newton Science Archive (XSA), XMM-Newton Data Access Portal, <https://www.cosmos.esa.int/web/xmm-newton/xsa>
 [4] Gabriel et al. (2004) The XMM-Newton Science Analysis System (SAS), ASP Conf. Ser. 314, 759.

硫酸Mgによる塩類風化の特徴～火星の岩石に割れ目ができた一因～

大田区立蒲田中学校科学探究部火星班

檜山 翼、草間 鍊 (中3)、谷本 悠真、城 恵吾 (中1) 【大田区立蒲田中学校】

要 旨

硫酸Mg、硫酸Na、硫酸Ca、塩化Naという自然界に多い4種の塩の水溶液に、岩石を部分的に浸し続ける塩類風化実験を行った。その結果、硫酸マグネシウムは、他の塩に比べて、濃度が飽和の1/10の場合でも、割れ目が生じて壊れる傾向が強いことがわかった。他の3種は、岩石表面が削られるように壊れ、割れ目は、ほとんど生じなかった。なお用いた岩石は、宇都宮市産凝灰岩とベトナム産砂岩である。私たちの実験結果から、火星ゲールクレーターの堆積岩に生じている割れ目の成因には、硫酸マグネシウムによる塩類風化が関わっていると考える。

1. 研究の背景と目的

火星のゲールクレーターの地層には、硫酸Mgが多く、割れ目が発達しているものが多く観察できる(図1)。この割れ目の生じた原因については、これまで特に注目されていないようだ。この研究の目的は、硫酸Mgによる塩類風化の程度や破壊の仕方の特徴を、他の代表的な塩と比較して調べることである。そして、この実験結果から、過去の火星上で塩類風化が関わった可能性について考察することである。なお硫酸Mgによる塩類風化の破壊の仕方の特徴を調べた研究は少ない。



図1. ゲールクレーターシャープ山上部で撮影された露頭 平行な割れ目が多数確認できる。NASA/JPL (2021)提供画像

2. 方法



図2 大谷石の浸漬3日後の様子

図3 砂岩 実験前の様子

4 cm×4 cm×15 cmに整形した角柱の大谷石(栃木県宇都宮市産緑色凝灰岩)及び5 cm×12 cm×12 cm程の砂岩(ベトナム産)を、飽和に近い硫酸Mg水溶液に浸し、その変化を肉眼で継続観察し、写真撮影をして、破壊の特徴を調べた(図2)。硫酸Mg水溶液は、時間とともに毛管現象によって、岩石内の隙間を上昇し、岩石内部で乾燥する際に生じる結晶化圧力により破壊していく。つまり塩類風化による破壊が生じる。同様な実験を砂岩でも行い(図3)、大谷石ではさらに硫酸Na、硫酸Ca、塩化Naでも行った。また大谷石では硫酸Mgの濃度を飽和の1/10にした場合も行った。

3. 結果 大谷石と砂岩の場合とも、硫酸Mgでは、割れ目が発生し、その亀裂に沿って破片が生じる壊れ方をした(図4)。他の3種の塩では、割れ目はあまり生じず、表面に析出した結晶によって表面から削られるように壊れた。硫酸Mgの濃度を1/10にした場合(図5)、硫酸Mgと硫酸Naの混合溶液を用いた場合でも行ったが、割れ目が同じように発生した(図6)。

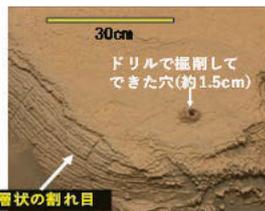


図4 浸漬45日目で大谷石と砂岩に発生した割れ目(硫酸Mg飽和)



図5 7か月程で大谷石に発生した割れ目(硫酸Mg飽和の1/10の濃度)

図6 2か月半程で砂岩上面に発生した割れ目(硫酸Mgと硫酸Naの飽和の混合物)



(NASA/JPL2022提供画像)

図7 シャープ山上部のカナイマと呼ばれる岩石 層状の割れ目が見られる。そしてこの砂岩中には、20%以上の硫酸Mgが含まれている。

4. 考察 硫酸Mgによる凝灰岩と砂岩を用いた塩類風化では、濃度が飽和の1/10の場合でも、他の塩類に比べて、割れ目が生じやすことがわかった。この原因について、私たちは(北田ほか, 2024)で考察した。また、Ruiz-Agudo(2007)は、石灰岩で、私たちと同様な結果を報告している。一方、シャープ山上部のカナイマと名づけられた砂岩にも層状の割れ目が見られる(図7)。そして、この砂岩中には、20%以上の硫酸Mg(総量)が含まれているという分析結果がある(Chipera, 他)。この硫酸Mgは水溶液が蒸発して生じた場合、私たちの研究結果から、この砂岩に生じた層状の割れ目が生じた一因は、硫酸Mgによる塩類風化と考える。

謝辞 この研究を行う上で常にご指導いただいた、蒲田中学校科学探究部の小森信男指導員に、厚くお礼申し上げます。

参考文献

北田はるか・檜山翼・草間鍊(2024):2種類の結晶による大谷石の破壊の仕方の違い, 科学の芽賞2024受賞作品.
Ruiz-Agudo, E. 他(2007): The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates. *Environmental Geology*, 52(2), 269-281 中学生用日本語訳.
Chipera, S.J. 他(2023): Mineralogical investigation of Mg-sulfate at the Canaima drill site, Gale Crater, Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 128(11), 中学生用日本語訳.

木星の南赤道縞は消失するのか？

サイエンス部2年天文惑星観測班：

花木 愛彩、西 愛実、池田 ゆきな、上村 瑞樹、上村 海空（高2）【鹿児島県立国分高等学校】

要旨

木星の赤道縞は北と南に2本ある。このうち南側の赤道縞は、稀に消失することが知られている。前回の消失から既に15年が経過しており、今年から来年にかけて南赤道縞が消失する可能性がある。その可能性を探った。

1. はじめに

私達は一昨年から木星の撮影をしながら、表面で起こる現象の研究を継続している。木星表面で目立つのは大赤斑と2本の赤道縞である。そのうち南赤道縞は3年～15年の周期で縞が消失することを知り、調査を始めた。

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：タカハシ EM200TemmaPC-Jr.、カメラ：Player One Mars-C、拡大レンズ：タカハシ2倍バローレンズ、フィルター：ZWO UV/IRカットフィルター

2) 方法

鏡筒に2倍バローレンズを介してカメラを接続し、カメラはノートPCに接続する。動画撮影を行い、データをHDDに保存する。パソコン上でソフトSharpCapを起動し、撮影時間35秒・静止画枚数2000枚で動画撮影を行った。撮影後動画データをAutoStakkert!でスタックし、処理後の画像はRegiStax6を用いてシャープな写真に仕上げた（ウェーブレット処理）。その後、木星の2本の赤道縞の幅計測には、惑星解析ソフトWINJUPOSを用いた。また過去の木星画像データについては、月惑星研究会のWebページに掲載されているデータを使用させていただいた。

3. 観測結果

2024年～2025年に自分達で8日32枚160箇所2本の赤道縞幅を計測し、月惑星研究会Webページデータから25日25枚125箇所2本の赤道縞幅を計測した。また前回南赤道縞が消失した2009年～2010年では月惑星研究会Webページデータから22日22枚110箇所2本の赤道縞データを計測した。その結果を図1と図2に示す。

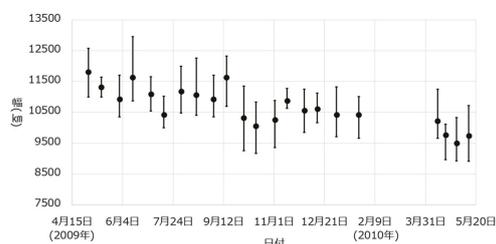


図1 南赤道縞の消失前の幅の変化(2009～2010年)

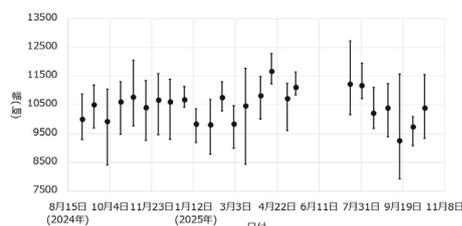


図2 最近1年間の南赤道縞の幅の変化(2024～2025年)

アストロアーツ(2010)によると3～15年の周期で南赤道縞が消失する[1]とされ、前回の最近の消失は2010年5月初旬であった。我々は月惑星研究会のデータをもとに、南赤道縞の幅を計測した。消失前は約11,500kmだった南赤道縞の幅は消失直前で約9,500kmまで縮小した。直近の図2からは約10,500km～約9,500kmで変動していることが分かる。以上のことから南赤道縞の消失はその幅から考察するともうまもなく起きるものと思われる。

また我々は2本の赤道縞の色の変化を2009年～2010年と2024年～2025年で比較を行った。木星の画像データをステライメージで読み込み、RGB分解してマカリでグラフ化し比較を行っている。2010年の南赤道縞の消失は色が全体的に淡化するわけではなく、縞の中央部が先に淡化して縞の両端が消失直前に短時間で消失する経過をたどった。2025年12月下旬現在、南赤道縞はその色に関しては中央部からの淡化はまだ認められない。

4. 考察とまとめ

2010年5月の南赤道縞の消失から約15年経過し、南赤道縞の幅が変動しつつも縮小傾向にあることが分かった。またその色の変化については縞中央部の淡化がまだ発生しておらず、今後の変化を継続して観測したい。仮に南赤道縞が消失した際、その前後の木星表面の他の模様の変化にも注目したい。

5. 謝辞・参考文献

本研究では月惑星研究会の木星撮影データを活用させていただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

[1] アストロアーツ(2010)木星の縞が1本消失? アストロアーツ天文ニュース2010年5月号
<https://www.astroarts.co.jp/news/2010/05/19jupiter/index-j.shtml> (2010年5月19日)

木星大気の緯度別濃度分布の解析 II

山田 梨紗(高3)【南山高等学校】

要旨

木星縞模様は大気成分の分布の差異と考え、緯度別の分光データを解析した。その結果、NH₃は緯度に応じて変化を示した一方CH₄は変動が小さく、一部でのみ高緯度での吸収帯深度上昇が見られた。よって木星の緯度ごとに異なる大気構造があることが示唆されたが、物質によってその異なり方に違いがあることが分かった。

1. 背景・目的

木星大気の特徴としてはっきりと色の分かれた縞模様がある。もし天2023ではこの縞模様を物質の緯度分布差と考え、CH₄・NH₃の偏りを示したが、散乱や雲高の影響が十分考慮されていなかった。そこで本研究では、縞・帯ごとの物質分布差を確かめるために、手法を変え再解析を行った。

2. 観測

今回の研究では、別条件で取得した2種類の分光データを用い、それぞれ独立なデータとして解析した。2023年1月24日、仙台市天文台のひとみ望遠鏡を用いた木星とスペクトル標準星(HR718)のデータと、2025年3月26日、美星天文台の口径101cm望遠鏡を用いた木星とスペクトル標準星(HR4963)のデータである。

3. 研究手法

可視域低分散分光器を用いてスリットを(図1)のように当て、仙台市天文台では20秒、美星天文台では10秒の積分時間で分光観測を行った。データに1次、2次処理を施した後、緯度ごとにスペクトルデータを取得した。その後、吸収帯周辺の連続光強度の代表値を近似直線を用いて求め、吸収帯深度を規格化した。誤差について、規格化に用いた連続光推定値の不確かさが、吸収帯深度にどの程度伝播するかを評価した。

解析に使用した吸収帯波長は、6193 Å付近のCH₄吸収帯と6497 Å付近のNH₃吸収帯である。これは前回研究のデータと比較するため、また地球大気の影響を避けるためである。

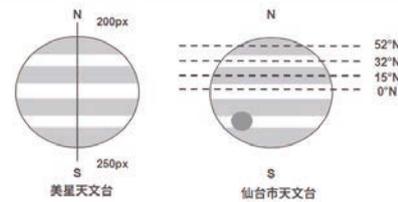


図1. スリット当て位置のイメージ図

4. 結果

仙台市天文台のデータ(図2)では、NH₃に関しては北緯52°での吸収帯深度上昇と、北緯32°付近での弱い減少が見られた。CH₄に関しては極に向かうにつれ、緩やかな上昇が見られた。

美星天文台のデータ(図3)では、NH₃では高緯度での吸収帯深度上昇と、赤道帯での減少が見られた一方、CH₄に関してはほとんど変化が見られなかった。

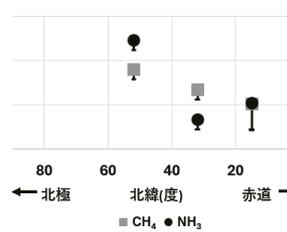


図2. 仙台市天文台のデータ

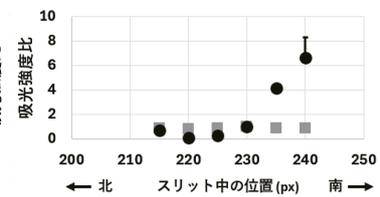


図3. 美星天文台のデータ

5. 考察

NH₃について、どちらの観測データからも、極域から赤道域にかけてNH₃吸収帯の形成に関与する大気構造が変化していることが示唆された。これは先行研究[1]の中間赤外線での観測結果と一致する。

CH₄に関して、赤道近くでは両データでほとんど値が変わらない。雲頂圧、光学的厚さ、散乱特性など複数要因による影響によって変化が相殺されていることや、この領域でCH₄の割合が少ないことが考えられる。一方高緯度では仙台市天文台での観測のみ上昇が見られた。先行研究[3]より極域にはCH₄に富んだヘイズが観測されていることから、サチュレーションの影響や、極域のデータが観測結果に含まれていなかった可能性が考えられる。

本研究に際し、東北大学理学部板由房先生、美星天文台伊藤亮介様、もし天2023の皆様、2024年度星の学校の皆様には多大なるご助力を賜りました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] Sato, Makiko.; Hansen, James. E. "Jupiter's Atmospheric Composition and Cloud Structure Deduced from Absorption Bands in Reflected Sunlight". Journal of the Atmospheric Sciences. 1979, vol. 36, no. 7, p1133-1167
- [2] Irwin, Patric. G. J. et al. "Clouds and Ammonia in the Atmospheres of Jupiter and Saturn Determined From a Band-Depth Analysis of VLT/MUSE Observations". Journal of Geophysical Research: Planets. 2025, vol. 130, no. 1
- [3] 北大ピリカ望遠鏡による木星極域ヘイズの観測
https://sgpeps.org/meeting/archive/148/html/program/pdf/R005/R005-06.pdf, (2025年12月3日閲覧)
- [4] 在田一則, 竹下徹, 見延庄士郎, 渡部重十編著.「地球惑星科学入門 第2版」. 北海道大学出版会, 2016

メタンバンド画像で明かす木星表層部

地学部：山本 琥太郎、角田 篤哉、櫻井 遙、山口 湊人、吉田 十彩、滝村 史緒、高梨 真結（高2）、
中尾 祐斗、永井 美宇、近藤 あかり、松井 蓮、河野 水都（高1）

【埼玉県立浦和西高等学校】

要 旨

メタンバンドパスフィルター(889nm・半値幅8nm)による木星像、木星のスペクトル画像ならびに木星のスペクトル画像より作成した727nm付近のスリットスキャン画像を比較し、木星表層部の構造について検討する。

1. 研究動機

本校地学部は継続的に木星の緯度毎のスペクトルの比較に取り組んでおり、ここ数年の経緯は次の通りである。2021年度は二次スペクトルの除去にR1フィルターの使用が有効と確認、2022年度はスリットビューワの導入により画像精度が向上、2022～2024年度にかけての観測で木星の縞模様を反映したスペクトル画像を安定的に得る技術を確認し、昨年度は、木星のスペクトル画像とスリットスキャン画像を作成、メタンバンドフィルターによる木星像の画像作成方法を確立した。本年度は、課題の残った画像の精度について、機材の変更等を通して条件を整え、改めてメタンバンド画像について比較および検討を行うとともに、より安定した撮影技術の確立を目指すこととした。

2. 観測について

(1)観測期間 2026年1月9日より継続中 (2)観測場所 本校屋上

(3)主な観測機材

①スペクトル画像およびスリットスキャン画像用:FC100DZ鏡筒(タカハシ)、R1フィルター【以下、R1_f】(Kenko、透過域は640nm以上)、2倍バローレンズ(カサイトレーディング)、スリットビューワおよび分光器VEGA(昭和機械製作所)、冷却CCDカメラ(Atik Titan)、波長校正用Ne光源(ナリカ)

②メタンバンド画像用:FL102S鏡筒(Vixen)、LV5mmアイピース(Vixen)、2倍バローレンズ(Vixen)、メタンバンドパスフィルター【以下、CH₄_f】[889nm・半値幅8nm](Baader Planetarium)、SKYRIS(CELESTRON)

(4)使用ソフト

Artemis Capture、iCap2.5、Stella Image9、RegiStax6、Makali`i、Microsoft Excel

3. 撮影

(1)スペクトル画像

①スペクトル画像は、Artemis Captureで撮影する。

②波長付け用にNe光源を重ねた画像についても同様に撮影する。波長付けについては、理科年表^[1]による既知の輝線スペクトルの波長を、撮影した画像のピクセル位置に対応させて得られる関数で行う。使用する既知の輝線スペクトルは以下の1～4である。

1. R1_fによる白熱電球のスペクトル
2. CH₄_fによる白熱電球のスペクトル
3. Ne光源+R1_fによる木星のスペクトル
4. CH₄_fによる木星のスペクトル

(2)スリットスキャン画像

①スリットの向きが赤経線と平行になるように調整する。

②赤道儀の駆動を対恒星時99%とし、スリットを木星が通過する間をArtemis Captureで撮影する。

③(2)②の画像から、特定波長の木星全面像を作成する。

(3)メタンバンド画像

①CH₄_fを装着したSKYRISでiCap2.5により動画(58秒)として撮影したものをRegiStax6で処理し画像に変換する。

②(3)①で得られた画像の南北方向の最大径にあたる部分について、Makali`iによってカウント値を取り出して輝度値とし、さらにその最大値で除算したものを相対輝度値とする。

4. 結果と今後の展望

CH₄_fを用いた889nmのメタンバンド画像については、前回と異なる鏡筒とアイピースを用いたことによって昨年度よりも精度の高い撮影が可能となった。図1、図2の画像をもとに相対輝度値を求めたものが図3、図4となり、CH₄_fの有無による相対輝度値に大きな変化はなかった。明部で木星表層における波長889nmの光の吸収が少なく、木星の明暗の原因は、光を反射する雲の高さによる寄与が大きいと考えることができる。727nm付近のスリットスキャン画像でもCH₄_fによる撮影と同様の傾向が見られるかどうかについては、露出時間や使用機材を変更した撮影を行い、画像処理や波長付けを施し、口頭およびポスター発表に向けて比較および検討を重ねていきたい。

参考文献等

[1]理科年表 国立天文編 丸善出版(2023)



図1 CH₄_fなし木星画像



図2 CH₄_fあり木星画像

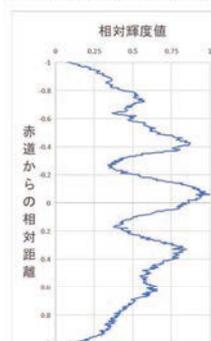


図3 CH₄_fなし相対輝度値

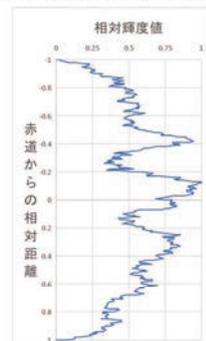


図4 CH₄_fあり相対輝度値

トランジット法による系外惑星の検出

科学部天文班：

井手口 慶心、藤原 美央、樋口 華、山手 舞花 (高2) 【兵庫県立三田祥雲館高等学校】

要旨

私たちは昨年の2月からトランジット観測についての研究を行ってきた。西はりま天文台でWASP-43bの観測を行い、得られたデータを解析した。その結果、減光率 $2.58 \pm 0.09\%$ 、半径比 0.161 ± 0.003 という数値を得られた。また、私たちは校内でのトランジット観測に挑戦している。本発表では西はりま天文台での観測時のデータの解析結果と校内観測プロジェクトの進捗状況の報告を行う。

1. はじめに

系外惑星が公転のたびに主星の前面を通過(トランジット)したとき、惑星は主星面の一部を隠すため、主星の明るさは一時的に減少する。この周期的な光度変化の観測により系外惑星を検出する方法がトランジット法である。

2. 西はりま天文台での系外惑星WASP-43bのトランジット観測及び解析

2025年2月28日、私たちは兵庫県佐用町にある西はりま天文台で系外惑星WASP-43bのトランジット観測を行った。ろくぶんぎ座にあるWASP-43bは地球から約280光年離れた場所に位置しており、木星と半径が同じ惑星である。

機材は天文台からお借りした口径60cm、焦点距離7200mmの反射望遠鏡と冷却CCDカメラSBIG STL-1001Eである。CCDカメラにはVバンドフィルターを装着した。露出時間は30秒である。実際の撮影時間は22時19分から24時51分。比較星として用いる星を3つ入れた状態で266枚の画像を撮影した。(図1)



図1 撮影した画像

今回の画像解析では、すばる画像解析ソフト「Makali'i」を使用した。一次処理をした後、現象時間前後のカウント値の比を平均値で割り、「相対光度」とし、時間変化を調べた。

トランジット観測においては、現象による減光以外に、地球大気の影響(雲の有無や光が通る長さなど)によって、測定した観測対象星の明るさが変化してしまう可能性がある。そこで、観測対象星と同じ角画の中に、対象星とは別の明るさの変化しない恒星を入れて撮影を行った。この星を「比較星」として、対象星の明るさと比較星のカウント値の比を調べることで、大気の影響を打ち消し、対象星の明るさの変化だけに注目することができる。

次に減光率とその誤差を求めた。減光率とはトランジットによって減光した割合であり、トランジット中の相対光度の平均値から求められる。

図2はある比較星を用いた相対光度の時間変化を表したグラフであり、トランジット予報時刻あたりで光度が減少していることがわかる。

またトランジット前後とトランジット中の相対光度の平均値の誤差として標準誤差を用い、その誤差を伝播させ減光率の誤差を算出した。3つの比較星でこの操作を行いその平均をとることで、減光率 $2.58 \pm 0.09\%$ が得られた。

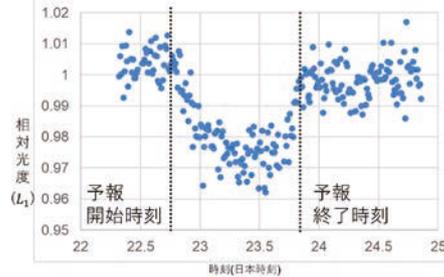


図2 ある比較星を用いた相対光度の時間変化

この減光率を用いて、主星(WASP-43)と惑星(-43b)の半径比を算出した。トランジット法の性質上、減光率が主星と惑星の断面積比と等しくなることを利用し、半径比を計算すると 0.161 ± 0.003 が得られた。

図3に主星惑星半径比の先行研究との比較を示す。先行研究の結果は「NASA EXPLANET ARCHIVE」から引用した。本校が求めた半径比がどの先行研究とも概ね一致していることから、我々の解析により得られた結果が先行研究と矛盾がないことが示された。

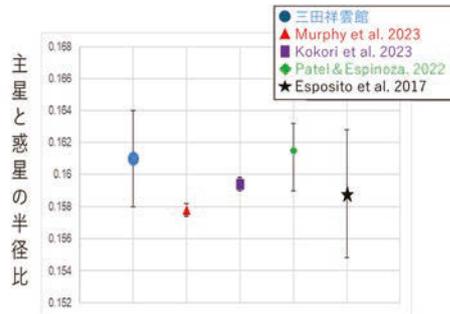


図3 主星惑星半径比の先行研究との比較

3. 三田祥雲館校内でのトランジット観測

私たちは西はりままでのトランジット観測を踏まえ、校内でのトランジット観測に挑戦しようと考えた。

機材は口径28cmのセレストロン天体望遠鏡C11に焦点距離1764mmの冷却CCDカメラST-9EXを付けて行った。赤道儀は五藤赤道儀を使用した。現在、CCDカメラの性能を調査している。トランジット観測では12等級辺りの星を正確に撮影する必要があるため適切な露出の設定を明らかにすることが課題である。

4. 参考文献

- 1) 田村元秀 (2015). 「新天文学ライブラリー 1 太陽系外惑星」. 日本評論社
- 2) 系外惑星データベース
https://www.exoplanetkyoto.org/exohtml/WASP43_bJP.html (閲覧日 2025/10/1)
- 3) NASA EXOPLANET ARCHIVE
<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> (閲覧日 2025/10/1)

系外惑星TOI-2046bのトランジット観測とソフトHOPSでの解析

野中 僚太、田島 圭、井上 七輝、浅沼 瑞希、森 響 (高2) 【新島学園高等学校】

要 旨

系外惑星TOI-2046bのトランジット観測を行った。解析はExoWorlds Spies(1)の解析ソフトHOPSで行い、解析結果をExoClockプロジェクト(2)に報告した。4回の観測で得られた観測結果—計算値 (O-C) は-6.6~2.4分、平均-1.2分となり観測値と計算値に近い値となった。系外惑星の大きさは、4回の観測で得られた惑星と恒星の半径比 (Rp/Rs)より木星半径(Rj)(3)の1.43倍となった。ExoClockプロジェクトに参加することにより、系外惑星の軌道パラメータや解析曲線の精度を上げることに貢献できた。

1. はじめに

系外惑星TOI-2046bの基本パラメータはNASA Exoplanet Archive(4)より、恒星半径は太陽半径の1.21倍、R等級は11.2等級、惑星の公転周期は1.497日である。系外惑星TOI-2046bのトランジット観測を行い、解析ソフトHOPSでO-CとRp/Rsを求め、ExoClockプロジェクトに報告する。このプロジェクトはアマチュアの観測者に観測方法を提供し、観測結果をこのプロジェクトに報告することで系外惑星の研究に貢献できる。

2. 方法

40cmニュートン式反射望遠鏡、CCDカメラ、Rフィルターを使用して60秒露出で撮影した。TOI-2046bの観測日時はExoWorlds SpiesのTransit Schedulerにより求めた。2024年11月19日、11月25日、11月28日、12月4日の4回観測した。トランジットの時間が2.48時間なので、前後のベースラインを取るため観測時間は約4時間行った。観測結果はソフトHOPSで解析しO-CとRp/Rsを求めた。

3. 結果

2024年12月4日の解析結果を図1と図2に示す。図1の●印は観測した測定結果で、実線は観測結果をトランジットモデルでフィッティングした結果と予想された解析曲線 (Expected model) を示している。図2にO-Cの結果を示す。図中の★印が今回の解析結果を示し、そのほかの●印は他の観測者の解析結果である。

表1に4回の観測についてソフトHOPSで解析した結果を示す。表1のO-Cの結果は-6.6~2.4分、平均-1.2分となり、図2の他の観測者のばらつき範囲内であった。表1のRp/Rsの平均は0.121で、ExoClockプロジェクトの値 0.1213 ± 0.0017 に近い数字となった。表1のRp/Rsの平均0.121を用いて、太陽系の大きさ(3)を参考に系外惑星の半径を計算すると木星半径Rjの1.43倍となった。

4. 考察

図1のSTD(標準偏差)は5.874%で値の改善ができる。Rp/Rsは文献値(2)に近い値となった。大きなSTDの画像の除去やトランジット前後のベースラインを長く観測することにより観測精度が向上すると考える。系外惑星は1.43Rjで大きな惑星が約1.5日で公転している。

ExoClockプロジェクトに送られた観測データをもとに解析曲線などの基本パラメータが見直されている。TOI-2046bは2025年9月以降に見直しが行われ、本報告のデータも解析精度の向上に貢献できた。

5. まとめ

系外惑星TOI-2046b を4回観測して、ExoClockプロジェクトに参加することができ、解析曲線データや系外惑星の基本パラメータの精度向上に貢献することができた。

6. 謝辞

群馬県立ぐんま天文台の天文係長・西原英治先生とアストロバイオロジーセンターの特任専門員・日下部展彦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) ExoWorlds Spiesホームページ <https://www.exoworldsspies.com/en/>
- (2) ExoClockホームページ <https://www.exoclock.space/>
- (3) 国立天文台 太陽系天体の半径 <https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/CFC7C0B12FC8BEB7C2.html>
- (4) NASA Exoplanet Archive TOI-2046 <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/TOI-2046>

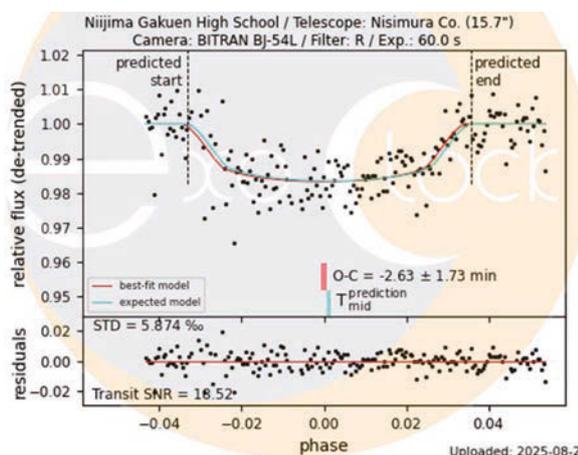


図1 測定結果のライトカーブと解析曲線 (2024年12月4日)

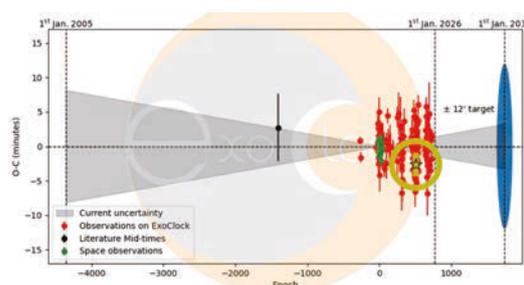


図2 解析結果のO-C (2024年12月4日)

表1 解析結果のO-CとRp/Rs

観測日	O-C(minutes)	Rp/Rs
2024年11月19日	2.37 ± 1.73	0.133 ± 0.0075
2024年11月25日	2.16 ± 1.58	0.115 ± 0.0031
2024年11月28日	-6.59 ± 2.16	0.115 ± 0.0041
2024年12月4日	-2.63 ± 1.73	0.122 ± 0.0033

ハビタブル惑星の大気特性に関する比較研究

北野高校物理班：

小松 厚友、飯盛 彩香、岡野 桂介（高2）【大阪府立北野高等学校】

要旨

今回調査した70個のハビタブル惑星は赤色矮星を公転しているため、スピン—軌道共鳴をしていると考えられる。また、離心率 e が大きな惑星は非同期自転をしており、地球型の穏やかな大気循環をしていると考えられる。

1. はじめに

近年多くのハビタブル惑星が発見されているが、大気特性はまだ十分に理解されていない。本研究では、太陽系惑星との比較を通じて大気特性を評価し、スピン—軌道共鳴などの影響を考慮した大気循環の仕組みを推測することで、系外惑星の居住可能性に関する理解を深めることを目的とする。

2. 研究方法

ハビタブル惑星70個を調査した[1][2]。惑星の圧力スケールハイト H およびエスケープパラメータ λ を算出した。また、主星のHR図を作成し、さらに惑星の共鳴の有無を推測した[3]。公転軌道の離心率 e から共鳴の種類を推定した[4]。平衡温度が不明な場合はポンドアルベド $A=0.3$ と仮定して計算し、惑星質量が不明な場合は惑星半径から推定した[5]。解析にあたり、数値の推定が難解なものは各図から除外した。

3. 研究結果

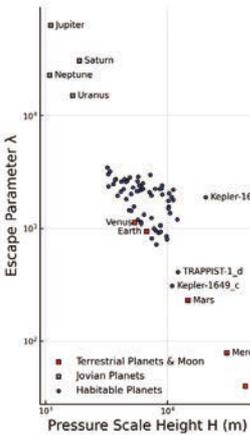


図1. 大気保持能力

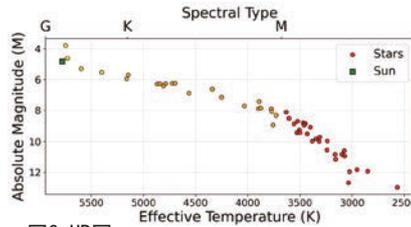


図2. HR図

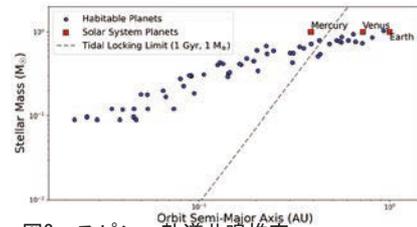


図3. スピン—軌道共鳴推定



図4. スピン—軌道共鳴パターン推定

図1は横軸、縦軸に H 、 λ 、図2は有効温度と絶対等級、図3は軌道長半径と主星質量、点線は地球が10億年かけて共鳴するときの関係、図4は縦軸に e をとったもの。 e の取りうる範囲は半透明にしており、 e の各領域は各共鳴が起こることを表す。

4. 考察

図1より、多くの惑星の H と λ から、地球と似た大気保持能力を有していることが分かる。これらの惑星には液体の H_2O が表面に存在できると考えられる。図2より、多くの惑星の主星は赤色矮星であることが分かる。ハビタブルゾーンは主星に近い距離になるため、図3のように多くの惑星は潮汐力によって共鳴していると考えられる。図4より、半分ほどの惑星は e が大きく、非同期自転をしている可能性が高いと考えられる。つまり、強い潮汐力を受けていながらも、主星からのエネルギーを表面に万遍なく受けることができていると考えられる。

5. まとめ

調査した惑星は液体の H_2O が存在できると考えられ、共鳴している可能性が高い。また、 e が大きい場合、複数の共鳴パターンが存在する可能性が高く、1:1軌道共鳴の場合、惑星は恒常的に同じ面を主星に向けるため、スーパーローテーションが発生していると推定される[6]。一方、1:1軌道共鳴以外の場合は、昼夜サイクルが存在するため、地球型の大気循環が発生していると考えられる[7]。以上のことから、地球に近い大気特性を示すのは、比較的 e の大きい惑星であるといえる。今後は、 e が大きいことによる季節から居住可能性を推測したい。

参考文献

[1] <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> [2] <https://phl.upr.edu/hwc>
 [3] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-8949/2008/T130/014032>
 [4] <https://arxiv.org/abs/1110.2658> [5] <https://arxiv.org/abs/1312.0936>
 [6] <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ab8882> [7] <https://arxiv.org/abs/1306.2418>

食変光星の変光シミュレーション

東北公益文科大学 ジュニアドクター鳥海塾 山本研究室：
木村 直仁（中等4）【新潟県立村上中等教育学校】

要 旨

食変光星の物理的挙動の視覚化は、その学習を大いに助けるだろう。そこで本研究では、二体系の食変光星の運動および光度曲線をルンゲ=クッタ法を使用して数値計算し、現象を視覚化する独自シミュレーションを開発した。

1. 序論

食変光星とは、連星の公転運動によって互いを隠しあうことで変光する星である。観測では一つの変光星として見え、その形状や運動は理論モデルと光度曲線を比較し推測される。この食変光星をはじめとする変光星の光度変化機構の学習において、数式のみでは現象の直感的理解が困難である。特に物理パラメータに対する挙動の可視化は理解を促進すると考えられる。しかし多くの教材ではパラメータを変更した試行は不可能であり、手軽なシミュレーションツールも多くない。そこで学習者が能動的に理解できる食変光星のシミュレーションの研究を進めた。

2. シミュレーションの概要

本研究では、特に二体系の食変光星における光度変化の要因の理解を目的とし、視覚化するシミュレーションを作成した。本シミュレーションは、連星系の幾何学的な配置と、観測される光度曲線を同時に表示することで、両者の対応関係を視覚的に把握できるよう設計されている。

シミュレーション画面には、連星系を構成する2つの星の位置関係を示す配置図と、対応する光度曲線が表示される。ユーザは星の質量や半径、軌道傾斜角などの物理パラメータを操作でき、それに応じて結果が変化する。

3. 方法

(1) 計算モデル

二体の球状の恒星からなる分離型連星を考え、物理パラメータや初速度、初期位置を図1のように与えて二体問題として扱う。

(2) 計算条件

天体の運動はニュートンの運動方程式に従うものとし、他方からの重力のみを受け同一平面上を公転すると仮定した。

(3) 計算手法

時間発展の計算に4次のルンゲ=クッタ法を用い、一定の時間間隔 dt で位置と速度を更新した。

光度曲線は周縁減光を無視し、各ステップに計算した、フラックスの最大値に対する相対値を光度曲線の値とした。

(4) 実装環境

使用言語：JavaScript 使用ライブラリ：Chart.js[1] 実行環境：ウェブブラウザ

4. 使用例

本シミュレーションの使用例として、連星系の軌道傾斜角（図2参照）による挙動変化を調べた。傾斜角を0度から増加させると、連星の重なりが減少し光度曲線において極小が浅くなる様子が確認できた（図3）。

物理パラメータ： $M_1 = 3 M_\odot$, $R_1 = 3 R_\odot$, $L_1 = 200 L_\odot$, $M_2 = 1 M_\odot$, $R_2 = 4 R_\odot$, $L_2 = 50 L_\odot$,

軌道半径 $a = 0.05$ [au], 軌道離心率 $e = 0$, 昇交点経度 $\Omega = 0^\circ$, 近点引数 $\omega = 0^\circ$, $dt = 0.02$ [day]

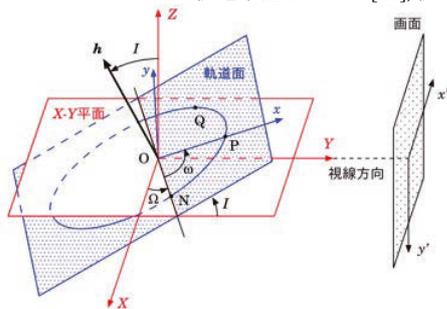


図2. 座標の回転と軌道傾斜角 I

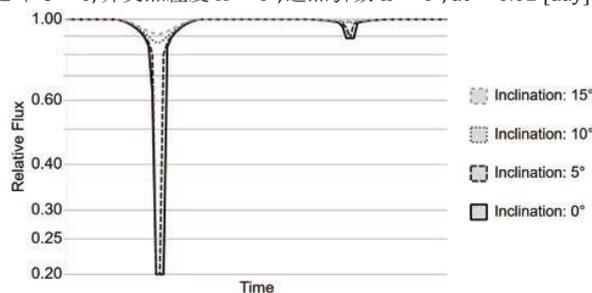


図3. 光度曲線の軌道傾斜角 I による変化

5. 結論

本シミュレーションの使用により、食変光星の学習において概念の理解を促進することが期待される。また、変光星の観測や研究における変光予測やパラメータ探索を支援する手段となりうる。

一方、周縁減光による光度曲線への影響や三重連星系以上の天体については、本シミュレーションでは扱っていない。そのため、今後はより現実的なモデルの作成をしたいと考えている。

6. 謝辞

研究の指導・協力をしていただいた、東北公益文科大学山本研究室の皆様、この場を借りて感謝申し上げます。本研究は東北公益文科大学ジュニアリサーチャー制度の支援を受けています。

参考文献

- [1] Chart.js (JavaScriptグラフ描画ライブラリ), Chart.js Developers, <https://www.chartjs.org/> (2025年12月14日閲覧)
- [2] 福島登志夫, 天体の位置と運動(シリーズ現代の天文学13巻), 日本評論社, 2017, 260p.

恒星光度曲線のモデルフィッティングによる黒点の情報推定

上野 詠名 (高1) 【クラーク記念国際高等学校】

要 旨

本研究では、恒星フレアの発生源となる黒点の情報を推定するため、黒点による光度曲線モジュレーションのモデル構築を試みた。モデル作成、模擬データでの検証・評価を経て、フレア活動が活発なM型連星CR DraのTESSによる観測データにフィッティングを行った。観測データとモデルの光度曲線は概ね一致し、黒点のパラメータの推定に成功したが、マルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC) による解析からはパラメータ推定の限界も示唆された。

1. はじめに

太陽でのスーパーフレア[1]は地球に甚大な影響を及ぼす可能性があるが、発生頻度が低いため、現象の理解を深めるにはスーパーフレアを頻発する他の恒星を調べる必要がある。先行研究から、フレアは恒星表面の黒点と関係していることが示されている[2]。太陽以外の恒星表面は直接観測が困難であるため、本研究では恒星および黒点の情報を仮定し、それに対応する光度曲線のモジュレーションを再現するモデルを構築し、観測データにフィッティングすることで主に黒点情報を推定することを目指した。

2. 方法

- (1) 以下のパラメータを含む恒星および黒点の条件を設定する。
 - ・ 恒星のインクリネーション
(恒星自転軸の視線方向からの傾き)
 - ・ 黒点の緯度・経度、角半径、暗さ
 - ・ 恒星の自転周期
- (2) 光度曲線模擬データを生成し、フィッティングを実施。模擬データの値と最適モデルとの誤差からモデルの精度を評価。
- (3) TESSによるCR Dra (フレア活動が活発なM型連星[3]) の観測データに対し、フレアは除外したうえでフィッティングを実施 (自転周期は先行研究より1.984日として固定[4]) 。
- (4) フィッティングが局所解に陥っていないか確認するため簡易なMCMCを実施。

3. 結果と考察

インクリネーション	緯度	経度	角半径	暗さ
85.7	85.5	211.7	29.1	1

表1. フィッティング後の最適パラメータ

CR Draの観測データと黒点1つを仮定したモデル光度曲線は、良好な一致を示した (図1)。最適パラメータからは黒点の直径約60°、緯度80°と高緯度・大型であると推定されたが、黒点の暗さが1 (恒星表面に対する明るさが0) と、違和感のある数値となった (表1、図2)。MCMCでは収束を確認できたが、パラメータの縮退・尤度の多峰性がみられた。

4. 今後の展望

本研究はフレアと黒点の関係を調べるための準備的段階である。今後はより長期間の観測データを解析し、黒点の成長過程や、黒点面積とフレア発生率の関係を研究したい。また、複雑な波形をもつ光度曲線に対して複数黒点モデルを適用し、パラメータ推定の可能性と限界を評価したい。

5. 謝辞

本研究を行うにあたり、前原裕之先生 (国立天文台)、柴田一成先生 (京都大学/同志社大学)、伊藤真之先生 (神戸大学) にご指導とご協力をいただきました。この場を借りて深く感謝申し上げます。本研究は、JST次世代科学技術チャレンジプログラムの一環であるROOTプログラムの支援を受けて実施しました。

参考文献

- [1] Kazunari Shibata et al., Publications of the Astronomical Society of Japan, Volume 65, Issue 3, 25 June 2013, 49.
- [2] Yuta Notsu et al., The Astrophysical Journal. 2013. Volume 771, Number 2.
- [3] James A G Jackman et al., Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 529, Issue 4, April 2024, Pages 4354–4368.
- [4] J. R. Callingham et al., A&A, Volume 648, April 2021, The LOFAR Two Meter Sky Survey, A13.

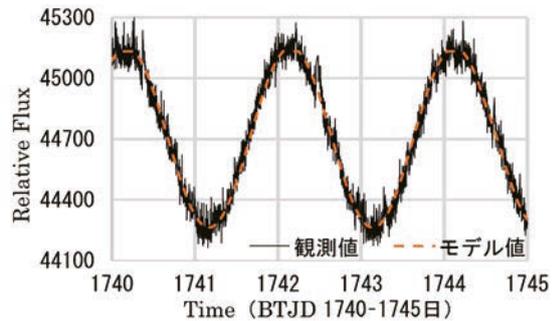


図1. 観測光度 (CR Dra) とモデル光度の比較

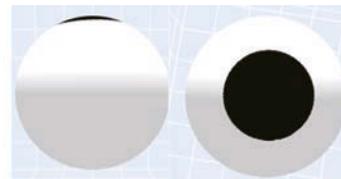


図2. フィッティング後のCR Dra恒星表面推定図
左: 視線方向から見た図 (インクリネーション85°)
右: 黒点がある側の自転軸方向から見た図

シミュレーションによりかんむり座 T 星の光度変化を追う

高賀 寧子 (小6) 【岐阜市立長良小学校】、曾我部 文麗 (中2) 【岐阜市立岐阜西中学校】、
古方 伶旺 (中3) 【岐阜東中学校】

要 旨

かんむり座 T 星 (以下 T 星) を Seestar S50 で観測測光し光度曲線を描くと、曲線は左右非対称であった。その特徴から変光要因には楕円体状変光星の公転に加えて、赤色巨星の表面輝度ムラがあると考えた。モデルを用いたシミュレーションによると、変光要因として巨大黒点などによる表面の輝度ムラに加え、形状がいびつであることが推察された。

1. はじめに

Seestar S50 を用いた日本変光星研究会のキャンペーン「反復新星かんむり座 T 星の爆発を監視しよう」に参加した。T 星は 80 年に 1 度爆発する反復新星だが、これまでに得られた光度変化は連星系の公転による変光である。得られた光度曲線は単純な左右対称でなかったため、その理由を探ることとした。

2. 目的

モデルを使ったシミュレーションで赤色巨星の表面輝度のバラつきを探り、光度曲線の特徴の要因を推察する。

3. 観測機材・方法

3-1 機材・観測方法 Seestar S50 (ZWO 社) で T 星を導入 露出時間 100 秒 (10 秒×10 枚) 前後

3-2 測光方法 観測データを Makali'i で測光 digphoto4 (永井和男氏製作の測光支援ソフト) で等級に変換

4. 観測結果

観測期間 2024.6.21~2026.1.10 観測日数 303 日

図 1 の光度曲線を見ると左右非対称であり、以下の特徴を読み取ることができる。

a. 鋸刃型(曲線が右に倒れる③~④,⑨~⑩) 極小から極大までの日数が極大から極小までの日数より長い

b. 平たい極大 ④ c. 平たい極小 ⑦ d. 極大時の等級変化④⑥⑧

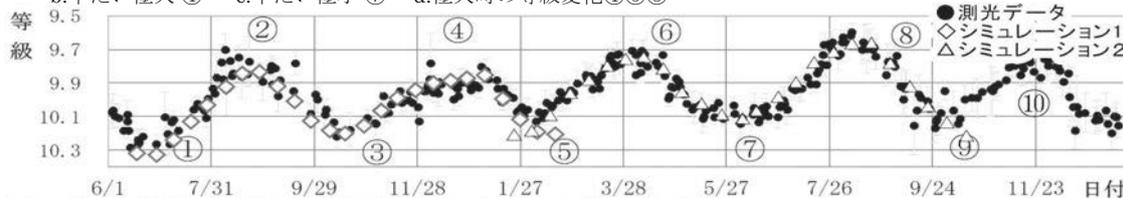


図1 かんむり座 T 星の光度曲線(●印)とシミュレーション結果(◇△印)

5. 考察

赤色巨星自体の表面輝度ムラの要因として、巨大黒点(暗斑)、明斑、周縁減光、重力暗化、照射効果などの影響を想定した。そこで図 2 のような T 星の赤色巨星モデルを作り、視線方向の形状の面積を光度として考えた。表面をブロック分けし、エクセルで輝度ムラを係数(明るい: $k > 1$, 暗い: $k < 1$)として、光度変化をシミュレーションした。

図 1 の◇、△のプロットは、左右非対称な特徴(平たい極大④、平たい極小⑦、極大時の等級変化④⑥⑧)を含めたシミュレーション結果で、測光の光度変化にフィットさせることができた。図 3 は鋸刃型の光度曲線を再現したシミュレーション結果である。鋸刃型は模型の片側 B、C の一部を暗くし、D の一部を明るくすることで再現できた。これらは T 星の光度曲線の特徴が表面輝度のムラによって説明できることを示している。しかし、鋸刃型を再現するには、光度曲線の極大を 90 度から 105 度程にずらす必要があるため、その都度一定期間だけ常に表面輝度を上げなければならず非現実的だ。

そこで、赤色巨星の形状が卵型ではなく、E、F の一部が膨らみ A の部分が引き延ばされた、勾玉のような形状ではないかと推察した。これにより、公転による回転で、90 度からずれた角度で視線方向の面積が最大になると考えた。

6. 結論

赤色巨星の輝度ムラは、巨大黒点など様々な要因で不規則に起こっている。また、形状は勾玉のような非対称形で、極大のピークを遅らせていると推察できる。

今後は輝度ムラだけでなく、赤色巨星の非対称な形状による光度変化を具体的に考察することを課題としたい。

光度曲線の特徴をさらに捉える為に観測を継続し、加えて 80 年越しの爆発の前兆がつかめないと期待している。

7. 謝辞

板橋区立教育科学館研究員 船越浩海先生には様々な場面でご指導、阿南市科学センター 今村和義先生には観測測光などで多くのご助言をいただきました。ありがとうございました。

参考文献 [1] 日本変光星研究会「反復新星かんむり座 T 星の爆発を監視しよう！」

https://www.ananscience.jp/variablestar/?page_id=624 (2026 年 1 月 11 日閲覧)

[2] OpenAI. (2026). ChatGPT (Jan 10 version) [Large language model]. <https://chatgpt.com/>

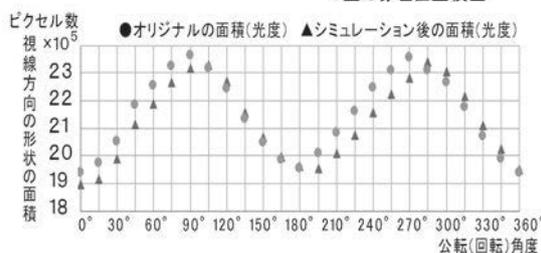
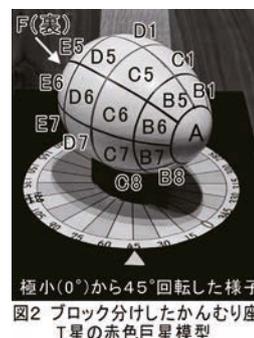


図3 表面輝度の明暗シミュレーションによる鋸刃型曲線の再現

HADS型変光星の脈動における周期的な半径、温度、光度の変化について

もし天 2025 V.A.R.I.A.B.L.E. 班:

阿部 皐月(高2)【岩手県立盛岡第三高等学校】、近藤 由野(高2)【不二聖心女子学院高等学校】、
中森 萌(高2相当)【広島インターナショナルスクール】、山田 夢人(高2)【茨城高等学校】

要旨

私たちは、なぜ脈動変光星が数万周期において同じ変光パターンであり続けることができるのか疑問をもった。そこで、脈動変光星の光度、温度、半径の変化の関係性に注目し、アーカイブデータ^[1]を基にこれを考察した。その結果、半径が縮むと温度は増加する傾向が示された。

1. 目的・意義

本研究では、脈動変光星の一種である、たて座δ型変光星(HADS型)^[6]における変光周期の位相と温度変化や半径変化の関係を明らかにすることを目的とする。そして、それらが持つ位相のずれの有無を調べる。

本研究は、脈動変光星のメカニズムの理解に繋がると考える。また、脈動変光星の周囲の環境がどのようにしているのか、その環境内に惑星が存在する場合にどのような影響を受けるのかといった研究に繋がると考える。

2. 仮説

HADSに分類される恒星は脈動の仕組みが同じであるだろうと考え、変光割合が同じ場合、温度変化の割合及び半径変化の割合は同程度になると仮説を立てた。

3. 研究方法

HADS型変光星の観測をひとみ望遠鏡を用いて行ったが、悪天候の影響もあり恒星大気の補正を含めたフィッティングが困難であったことからアーカイブデータ^[1]から考察した。HADS型の変光星の中から見かけの等級のデータが豊富である5つの天体に注目し、ZTFアーカイブ^[1]からg,r,iバンドにおける等級と時間変化のデータをダウンロードし表にした。その後、表からフーリエ変換を用いて光度曲線を関数化し、星の表面温度の時間経過を計算した。具体的には、SDSSバンドで示されているものを測光系の変換式^[2]を用いてJohnson System^[2]に変換し、出た値を逆温度の定義式を用いて温度を算出し、温度の位相変化をプロットした。また、半径を算出するため逆二乗の法則^[3]を半径について解き、その後、ポグソンの式とプランクの法則の式^[3]、等方輻射場におけるフラックス密度とスペクトル光度の関係式^[3]を用いて半径を算出し、位相を横軸にプロットした。

4. アーカイブデータから得られた結果

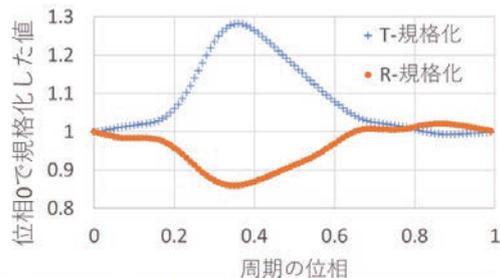


図1: 色温度と半径を周期の位相0の値で規格化したもの

図1は、HADS型変光星V0451 Draにおいて、3で述べた操作から、位相0(これは任意の位相でもよい)で規格化したものである。これにより、天体の明暗時における

半径、温度の変化率を考察することができる。ここでは、最明時の位相は0.38周期であり、最暗時の位相は0.88周期である。ここではスペースの都合上割愛するが、この操作を数回天体に行った。それらはすべて同じ傾向を示し、最明時には温度も高く、また半径は最も小さくなるというものであった。不確かさに関しては、全体的に温度、半径ともに±3%程度であり、その範囲は変化の範囲に比べて有意に少ない程度であった。

5. 考察

表1から、当初の仮説は部分的に棄却される。具体的には、HADS型変光星においては光度が増加する際に温度は増加し、半径は減少する傾向がみられた。一方で、同程度の光度増加においても温度や半径の変化率は異なることが恒星3,4から示すことができ、明るさの変化率は同じ1.58倍なのにもかかわらず、温度の増加率が大きくなると半径の減少率も大きくなることを示している。

表1: 各恒星における最明時と最暗時の明るさ、温度、半径の変化率

恒星	明るさの変化率	温度の変化率	半径の変化率
1: V0451 Dra	1.74	1.28	0.84
2: NP Lgn	1.32	1.16	0.87
3: V0460 And	1.58	1.42	0.66
4: V0417 Boo	1.58	1.22	0.86
5: 2MASS J01462408+4913115	1.91	1.23	0.90

6. まとめと今後の展望

主系列星の内部は比較的安定しており^[4]、脈動を引き起こす機構が安定に存在しうる^[5]。また、複数天体の観測から、一般的に最明時には半径が縮みと温度は高くなると結論付ける。今後の展望としては、金属量^[6]やスペクトル、半径、温度が半径や温度の変化率にどのような影響を与えるのかを解明することがあげられる。

7. 謝辞

本研究において終始適切な助言・指導をくださった、先生方、仙台市天文台の皆様、解析班の皆様、SLAの皆様など、関わって頂いた皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Zwicky Transient Facility, <https://irsa.ipac.caltech.edu/Missions/ztff.html> (2025年12月24日~27日閲覧)
- [2] K. Jordi et al. 2006, A&A, 460, 339-347 (2025年12月25日~27日閲覧)
- [3] 福江純, 沢武文, 高橋真聡編, 『極・宇宙を解く』, 恒星社厚生閣, 2020 (2025年12月27日閲覧)
- [4] 野本憲一 定金晃三 佐藤勝彦 編, 『シリーズ現代の天文学 7 恒星』(第1版), 日本評論社, 2009
- [5] 尾崎洋二, “脈動・対流・自転”, 天文月報 https://www.asj.or.jp/geppou/archive_open/1981/pdf/19810407.pdf (2025年12月29日閲覧)
- [6] 日本天文学会編, 天文学辞典, <https://astro-dic.jp/> (2025年12月22日~27日閲覧)

Gaia DR3 を用いた古典的セファイド変光星の周期-光度関係の導出

GOH TUNG WEI (高1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、
飯田 響生、竹内 悠 (高1) 【愛知県立明和高等学校】、
丹羽 玲奈、山崎 杏菜 (中3) 【名古屋大学教育学部附属中学校】

要 旨

本研究では、位置天文衛星 Gaia の Data Release 3 によって提供されるデータから、プログラミングを用いて古典的セファイド変光星の周期-光度関係を導出した。得られた周期-光度関係から求めた距離は、年周視差の逆数から求めた距離よりも文献値に近く、遠方での高精度な距離推定を実現した。

1. はじめに

古典的セファイド変光星 (CCs) は天体の膨張、収縮に伴い明るさが変化する脈動変光星の一種である。CCs には変光周期と光度に周期-光度関係 (PL 関係) があり、これを利用して天体までの距離を測定できる。本研究では、CCs を使ってより正確な距離が求められるように、天の川銀河の CCs の高精度な PL 関係を導出した。

2. データ

Gaia 衛星 [1] の観測に基づく公開データ Gaia Data Release 3 (DR3; [2]) から CCs の年周視差・ G 等級・変光周期のデータ [3] を取得した。

3. 解析手法

まず、天の川銀河内の全ての CCs のデータを用いて PL 関係 α を導出し、後述する誤差の影響が小さい天体のみを用いて PL 関係 β を再導出した。

3.1. CCs の PL 関係の導出

全ての CCs を用いた PL 関係 α の導出では、年周視差の逆数から導出した距離 d_p (pc)、見かけの G 等級 m_G (mag) と式1を用いて絶対等級 M_G (mag) を導出する。

$$M_G = m_G + 5 - 5 \log_{10} d_p \quad (1)$$

次に、DR3 から取得した変光周期 P (day) と式1で計算した絶対等級 M_G を用いて、最小二乗法を用いた直線フィッティングによって PL 関係 α を求める。

$$M_G = a \log_{10} P + b \quad (2)$$

ここで a と b はフィッティングで得られる定数である。

3.2. 誤差が小さい周期-光度関係の導出

PL 関係 α の導出に用いた M_G は、年周視差の誤差や星間微粒子 (ダスト) による減光の影響を受けているため、正確な値ではない。そのため、正確な M_G が得られている天体のみを用いることにより、PL 関係 α よりも誤差が小さい PL 関係を導出する。まず、年周視差の相対誤差が 20% を超える天体を除外する。次に、太陽からの距離が 2 kpc 以上遠の天体を除外することで、ダストによる減光が大きい天体を除く。ここで、式2の右辺と変光周期 P を用いて、式3のように期待絶対等級 M_α (mag) を計算する。

$$M_\alpha = a \log_{10} P + b \quad (3)$$

この M_α を式1に代入して期待距離 d_α (pc) を計算し、観測距離 d_p との差の絶対値 Δd を外れ値の指標として定義する。外れ値指標 Δd の平均値 μ と標準偏差 σ を計算し、 $\Delta d > \mu + \sigma$ を満たす天体を外れ値として除外する。この操作を除外される天体なくなるまで反復的に実行する (シグマクリップ)。ここで残った天体を最終サンプルと呼ぶ。最終サンプルに対し、外れ値の影響を抑えるため残差の大きいデータ点に対して重みを低下させる直線フィッティングにより PL 関係 β を導出する。

4. 結果と考察

図1は PL 関係 α と PL 関係 β をフィッティングした結果である。背景の灰色の点が全ての CCs、三角形が最終サンプルで、破線が PL 関係 α : $M_G = -1.6 \log_{10} P + 0.29$ 、実線が PL 関係 β : $M_G = -2.1 \log_{10} P - 1.1$ である。

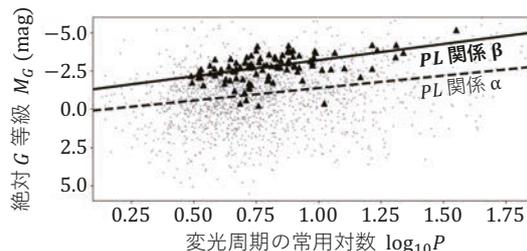


図1 PL 関係 α と β のフィッティング

PL 関係 α と β からそれぞれ式1を用いて導出した距離 d_α , d_β (pc) を文献値と比較する。[4]に従い、個々の CCs の、ダストによる減光量と重元素量を加味した PL 関係から導出した距離を文献値として d_α , d_β との差 δd_α , δd_β (kpc) を計算する。

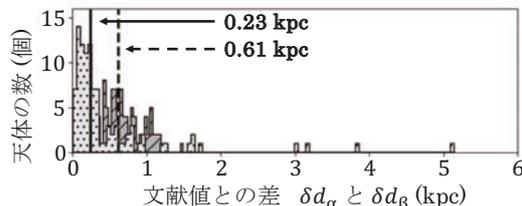


図2 導出した距離の文献値との比較

図2は δd_α と δd_β をヒストグラムに表したものである。図中の斜線で塗られたヒストグラムは δd_α 、点で塗られたヒストグラムは δd_β であり、破線が δd_α の中央値、実線が δd_β の中央値である。図2において δd_β の方が δd_α よりも中央値が小さいため、PL 関係 β から導出した距離の方が文献値に近く、より誤差の小さい PL 関係を導出することに成功したと結論づけられる。

5. 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室の中野 覚矢博士後期課程学生、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生、愛知県立明和高等学校の中村謙之先生にご指導をいただきました。厚くお礼申し上げます。

6. 参考文献

- [1] Gaia Collaboration et al. 2016, A&A, 595, A1.
- [2] Gaia Collaboration et al. 2023, A&A, 674, A1.
- [3] Ripepi et al. 2023, A&A, 674, A17.
- [4] Gaia Collaboration et al. 2023, A&A, 674, A37.

VERA石垣島観測局20 m電波望遠鏡を用いた未発見の 22 GHz水メーザーの探索

美ら星研究体験隊2025:

柴田 浩志郎(中等4)【神戸大学附属中等教育学校】、有賀 千尋(高2)【山梨英和高等学校】、栗原 佳大(高3)【三重県立四日市高等学校】、櫻井 稀(高1)【愛知県立豊田西高等学校】、佐藤 希望(高3相当)【所属なし】、品川 優香(高2)【立正大学付属立正高等学校】、下平 竜佑(高2)【麻布高等学校】、田中 舞帆(高2)【兵庫県立姫路西高等学校】、寺原 直希(高2)【川口市立高等学校】、中田 瑛斗(高1)【郁文館高等学校】、弘中 美海(高2)【福岡県立筑紫丘高等学校】、山谷 剛瑠(高専3)【福島工業高等専門学校】、林 楽洋(高1)【渋谷教育学園幕張高等学校】、井上 紫、塩澤 樹季(高1)【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、北越 春乃、白保 夢叶(高1)、内原 妃菜梨、東 友優、富本 日和(高2)【沖縄県立八重山高等学校】

要旨

未発見の水メーザーを検出することを目指し、VERA石垣島観測局の口径20 m電波望遠鏡を用いた原始星、晩期型星合わせて35天体の観測、及びそのデータの解析を行った。結果、いずれの天体においても未発見の水メーザーは検出されなかったが、既知の水メーザーを2天体で検出できた。

1. 研究の目的

本研究の目的は、既知の星形成領域や晩期型星を対象として、その中にある未発見の22 GHz水メーザー[1]を新しく検出することである。本研究によって新たな水メーザーを検出することは、水メーザーに対する理解だけでなく、恒星の形成、進化のメカニズムへの理解をより深めることにも寄与する。また、位置天文学の観測対象となる天体の数を増やすことにもつながる。

2. 観測

赤外線観測衛星WISEによる先行研究[2]で双極流を持つ可能性が高いと考えられる原始星のリストが作成されている。双極流を持つ原始星は水メーザーを放射している可能性が高いと考え、このリストの中から観測対象を選出した。具体的には、6.7 GHzメタノールメーザーの検出報告の有無などに着目して29天体を選出した。また、他の先行研究[3]で、晩期型星のリストが作成されている。水メーザーは酸素が豊富な晩期型星の周りによく見られるため、このリストの中から観測対象とする6天体を選出した。2025年8月20日から22日にかけて、VERA石垣島観測局20 m電波望遠鏡を用いて、これらの天体の電波観測を行った。

3. 解析

観測で得られたデータから、電波解析ソフトnewstarにより各天体のスペクトルを得た(図1)。そして各スペクトルの中に、強度が突出したピークがないかを目視で確認した。メーザーと疑われる信号がみられた天体のスペクトルにはベースライン補正を行い、その信号の信号雑音比を求めた。

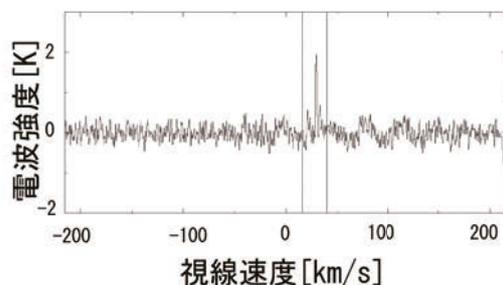


図1 観測されたG059.783+00.065の電波スペクトル

4. 結果

観測した29個の原始星のうち、G030.788+00.203とG059.783+00.065の2天体から水メーザーが検出された。しかし、これらはいずれも既知の水メーザー天体であった[4]。また、これまで水メーザーの検出報告がないG357.553-00.548から、21日に水メーザーらしき電波が検出された。しかし、翌日の再観測の結果、水メーザーではなく、偶然大きくなったノイズが、水メーザーと誤認されていたことが確認された。

5. 考察

今回の観測で一天体あたりにかけた時間は30分であり、そのうちアンテナが天体に向いていた時間は12分であった。この積分時間においても、2つ観測された水メーザーの信号は7以上の高い信号雑音比で検出できた。このことから、さらに積分時間を短くしても水メーザーを検出できる可能性が高い。したがって、今後は一天体あたりの積分時間を短くし、その分より多くの天体を観測することが目的の達成につながると考えられる。

6. まとめ

今回の観測では、いずれの天体においても未発見の水メーザーは検出することができなかったが、既知ではあったが水メーザーを2天体で検出できた。また、その結果から適切な積分時間について考察を行った。

7. 謝辞

本研究は、JSPS科研費ひらめき☆ときめきサイエンス25HT0065(美ら星研究体験隊「新しい星を見つけよう!」)の補助を受けて行われました。この場を借りて深く御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 水メーザー-天文学辞典, 日本天文学会, <https://astro-dic.jp/water-maser/>(2026年1月13日閲覧)
- [2] Zhang, C. et al. 2023, ApJS, 264, 24
- [3] Gigoyan, K., S. et al. 2025, MNRAS, 539, 223
- [4] Maser data base, <https://maserdb.net/>(2026年1月13日閲覧)

オリオン座方向の逃走星の成因への新たなシナリオの提案と観測的検証

もし天2025 REVOLVER HEAD班:

苅込 青星(高2)【北海道札幌東高等学校】、小山 杏奈(高1)【新潟県立中条高等学校】、
皿海 翔大(高1)【武蔵高等学校】、松浦 ウダイ(高1)【山形県立山形東高等学校】

要旨

本研究では、オリオン座方向に存在する逃走星AE Aur、 μ Colの成因について検証した。従来の超新星連星説及び ι Oriによる力学的放出説の課題を踏まえ、分子雲内での星形成時の速度保存による分子雲起源説を新たに考案した。仙台市天文台1.3mひとみ望遠鏡を用いて分光観測を行うことでAE Aurの年齢を約310万年、 ι Oriを約550万年と推定した。これにより、超新星連星説及び力学的放出説が成立するようなバーナードループ及び連星の形成時期に制限を与えたが、分子雲起源説に新たな制約を与えるには至らなかった。これらの逃走星の成因の特定にはさらなる検証が求められる。

1. 背景・目的

逃走星とは、銀河回転に対する固有運動が大きい星のことである。そのうち、オリオン座方向の逃走星であるAE Aurと μ Colについて、その固有運動を遡ると空間的に非常に近くに位置した時期があるとされている。これらの逃走星の成因について、周囲の大規模H II領域(バーナードループ)に関連して、連星系の主星が重力崩壊型超新星を起こし、重力的束縛を失った伴星が逃走星となったとする超新星連星説(Binary Supernova Scenario;BSS)や、周囲の星に関連して ι Oriとの重力遭遇による放出とする力学的放出説(Dynamical Ejection Scenario;DES)が提案されている。(Großschedl,2021)

一方で、BSSがありえればブラックホール連星の従来の形成過程に疑問が生じる、DESの成立には理論上星が非常に高密度な領域が必要となるなど、それに否定的な見解も得られている。

そこで、我々は新たに、バーナードループ内の圧縮された分子雲で形成された恒星が、形成時の速度を保存して銀河回転に対して大きな運動をしているとする、分子雲起源説(Molecular Cloud Origin Scenario;MCOS)を新たに考えた。

本研究では、観測事実から既知の説及びMCOSの検証を行い、それぞれの説に制約をかけることを目的とした。

2. 方法

本研究では、逃走星の年齢からバーナードループ年齢などへの制約をかけることで各説の成立条件を評価する。

そこで、三つの恒星(AE Aur, μ Col, ι Ori A)について、ひとみ望遠鏡(仙台市天文台,口径1.3m)を用いて分光観測を行い、He I(4471Å),He II(4542Å)の吸収線を観測した。なお、 μ Colは天候不良により観測できなかった。

本研究では既知の絶対等級(SIMBAD)と、新たにHe I/He II比を観測することで得られる有効温度(Sara,2006)を用いて、等時線(Choi,2016)から年齢を求めた。なお、吸収線の端点はノイズの標準偏差の2倍以上のズレを持つデータが2個連続し始める点とした。

3. 結果

表1は観測したHe I/He II比である。各行は集計者ごとの測定値を表し、その標準偏差を観測誤差として定義した。この結果から観測天体の有効温度をAE Aurで 31400 ± 460 K、 ι Oriで 30400 ± 790 Kと推定した。

図1は上で求めた有効温度とSIMBADによる絶対等級(AE Aur $4.25 \pm 0.01 L_{\odot}$ 、 ι Ori $5.46 \pm 0.32 L_{\odot}$)を等時線上にプロットしたもので、年齢はそれぞれ、AE Aurは約310万年より若く、 ι Oriは550万年ほどであると推定された。(誤差範囲は等時線の性質上正確には定まらなかった。)

4. 考察

BSSではバーナードループが逃走星より若い。ここからBSSに対して、バーナードループが約300万年より新しいときに成立するという制限をかけた。

また、DESでは ι OriとAE Aurが近接していたときに両星がある必要があり、それが310万年より新しいという制限をかけた。Gaiaの速度推定からは両星が近接していたのは約400万年前と試算されたが、 ι Oriは複重星でその速度の不確か性が大きく、DESの棄却はできていないと考えられる。

MCOSでは、バーナードループの形成が逃走星年齢より古い、逃走星の年齢は上限値しか定められておらず新たな制約はかけられなかった。

これらの制約については、 ι Oriの空間速度の精密測定や分子雲の膨張における理論モデルの強化によって、今後さらに検討されると考える。

5. まとめ

オリオン座方向の逃走星の成因として分子雲起源説という新たなシナリオを提案した。また、逃走星の年齢を等時線から推定し、各シナリオにおけるバーナードループ年齢などについての制限を課した。

謝辞:本研究は東北大学理学部、宮城教育大学、仙台市天文台が主催する「もしも君が杜の都で天文学者になったら2025」において実施されました。ご協力いただいた教員、SLA、天文台職員及びすべての関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Choi, Jieun, et al.(2016). Mesa Isochrones and Stellar Tracks (MIST). I. Solar-scaled Models.
- [2] Gaia Collaboration (2020). Gaia Early Data Release 3 (EDR3).
- [3] Großschedl, J. E., et al. (2021). 3D shape of the Orion A cloud as seen by Gaia and APOGEE.
- [4] Sara R. Heap, et al.(2006). Fundamental Properties of O-Type Stars.
- [5] SIMBAD Astronomical Database. (Strasbourg Astronomical DataCenter).

表1 He IとHe IIの等価幅 注:行は集計者ごと

	ι Ori A			AE Aur		
Hel	0.71	0.91	0.79	0.86	0.93	1.09
HeII	0.33	0.31	0.28	0.20	0.35	0.22
比	0.46	0.34	0.35	0.23	0.38	0.20

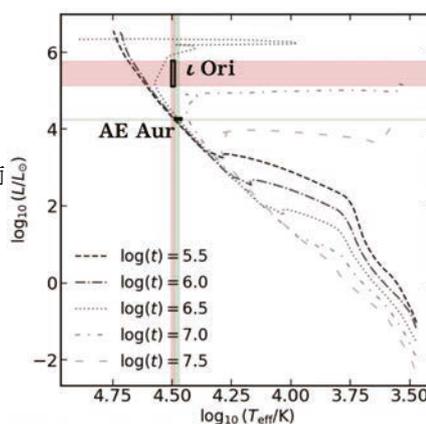


図1 等時線から年齢推定

分光観測による激変星QR Andのジェット velocity の算出

米川 将馬、奥田 隼史、木下 彩、棚橋 浩佑(高2)【奈良県立青翔高等学校】

要旨

本研究では、分光観測の結果から激変星QR Andのジェット velocity を推測することが目的である。降着円盤とジェットそれぞれの由来と考えられるH α 線を観測し、その波長のずれから光のドップラー効果の式を用いて、観測者に対するジェットの視線速度を求めた。また、Deufelら(1999)^[1]によるとジェットは双方向に噴出されていると考えられているが、本研究では、赤方偏移したジェットのH α 線しか観測されなかったため、その要因を考察した。

1. はじめに

激変星QR Andは、白色矮星と恒星からなる食連星で、主星である白色矮星の周りには降着円盤が形成されており、宇宙ジェットが放出されていると考えられている^[2](図1)。Deufelら(1999)^[1]によると、図2に示すように、降着円盤のH α 線(H α)以外に、ジェットの青方偏移したH α 線(S1)、赤方偏移したH α 線(S2)の両方が観測されていた。

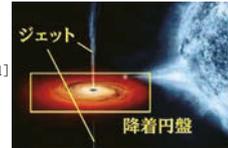


図1 ジェット、降着円盤の概念図
(出典:NASA <https://chandra.harvard.edu/photo/2011/cygn1/>)

2. 目的

中分散分光観測で、降着円盤から発せられるH α 線とジェットから発せられるH α 線を観測し、その波長の変化から、ジェットの視線速度を求める。また、観測日ごとのジェットの視線速度の変化があるかを調べ、変化の特徴を調べたい。

3. 方法

(1)観測 岡山県美星天文台にて QR And の中分散分光観測を行った。

スリット幅は120 μ m、中心波長は6500Åである。

1回目:2025年9月14日 8枚を撮影。2回目:2025年11月8日 5枚を撮影。

(2)データ解析 すばる画像解析ソフト「Makali`i」(国立天文台・(株)アストローツ)を用いて一次処理を行い、光のむらやノイズの除去を行った。その後、分光データ解析ソフト「Be Spec」(川端哲也氏)を用いて図3のグラフを作成し、降着円盤及びジェットのH α 線の波長を読みとった。

(3)ジェットの視線速度をドップラー効果の式($\Delta v = c \cdot \Delta \lambda / \lambda$)

(v :ジェットの視線速度 c :真空中の光速 λ :降着円盤のH α 線の波長

$\Delta \lambda$:降着円盤とジェットのH α 線の波長のずれ)を用いて算出した。

4. 結果

降着円盤のH α 線(H α)・ジェットの赤方偏移したH α 線(S2)のみ観測され、青方偏移したH α 線(S1)は観測されなかった(図3)。波長の測定とジェットの視線速度の算出は観測された2つの輝線で行った。ドップラー効果の式より、9月14日の観測での視線速度の平均は(7.0 \pm 0.3) $\times 10^2$ km/s、11月8日の観測での視線速度の平均は(7.7 \pm 0.4) $\times 10^2$ km/sとなった。この2日の観測から求められた速度の間には、p値0.021(Welchのt検定)から、両者の間に有意な差が認められた。また、軌道傾斜角を55 $^\circ$ として^[3]ジェットの速度を求めると、それぞれ(12.2 \pm 0.5) $\times 10^2$ km/s、(13.4 \pm 0.7) $\times 10^2$ km/sとなった。これらは、白色矮星の脱出速度程度であるため、ジェットは、降着円盤の中心部で白色矮星周辺部から放出されていると考えられる。

5. 考察

Deufelらの研究では、S1、S2の両方が観測されたが、本研究では、S2のみ観測された。この要因として、(1)S1のジェットが伴星に物理的に隠されている。(2)横ドップラー効果により、ジェットのH α 線が双方向どちらのジェットについても、赤方偏移し、S1が降着円盤のH α 線と重なった。の2つの可能性を考えた。しかし、(1)については、赤方偏移する側のジェットが伴星に隠されることがあっても、青方偏移する側のジェットは隠されにくいこと、(2)については、今回のような速度の大きさの場合、横ドップラー効果は無視できることから、新たに、(3)ジェットが双極ではなく、一時的に赤方偏移側のみになったか、青方偏移側の速度がかなり弱まったという可能性を考えた。

6. 今後の展望

観測日ごとの視線速度の変化については考察したが、ジェットの歳差運動の可能性までは検討できなかった。過去のデータの収集や追加の観測からQR Andの歳差運動の可能性を検討したい。

7. 謝辞

大阪教育大学教育学部松本先生、福江先生には研究のご助言を頂き、美星天文台の伊藤様には観測をご指導頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

8. 参考文献

- [1] Deufelら Detailed optical studies of the galactic supersoft X-ray source QR And (RX J0019.8+2156), Astronomy and Astrophysics, v.343, p.455-465, 1999
- [2] 松本 桂, 超・宇宙を解く 一現代天文学演習(福江 純・沢 武文 編), 恒星社厚生閣, pp.142-144, 2014
- [3] Lei Zangら, Light and period variations in the supersoft X-ray source QR And (= RXJ0019.8 + 2156), MNRAS 522, 2732-2738, 2023

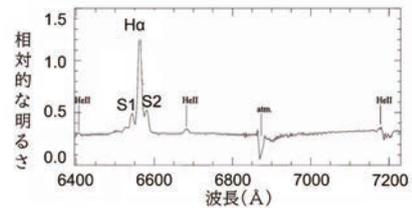


図2 DeufelらによるQR Andのスペクトル
(測定日:1996年10月から12月の15日間)

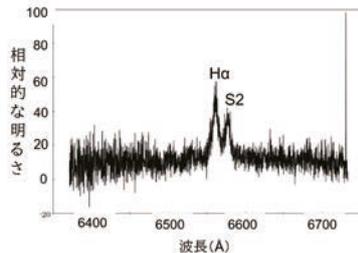


図3 本研究で得られたQR Andのスペクトル
(観測日:2025年9月14日, 11月8日)

星団の色等級図の作成と検証

名古屋市立桜台高等学校 天文部：
安部 清華、大八木 康太郎、中村 晃紀、横道 健吾（高2）【名古屋市立桜台高等学校】

要 旨

我々は、学校の屋上で望遠鏡とカメラを用いて星団の撮影を行い、星団の星々の色等級図を作成した。そして、その色等級図とデータベース値から作成した色等級図を比較検証した結果、主系列星や赤色巨星の分布が正確に得られていることが確認できた。また、複数枚の写真を加算平均処理した画像を用いることによって、より高精度の色等級図を作成することに成功した。

1. 背景・目的

昨年度我々の先輩がプレアデス星団を撮影し、その色等級図を作成したが、相関が弱く正しい観測ができていないことが確認できなかった。そこで我々は、自分たちの撮影画像から作成した色等級図の正確性を検証すること、そしてより精度の高い色等級図を作成することを目的として研究を行った。

2. 研究方法

2.1. 撮影機材・方法

FC76(焦点距離600mm)やSV503(焦点距離448mm)という屈折望遠鏡に一眼レフカメラ(EOS-X5、EOS-8000Dなど)を接続し、直焦点撮影により星団を撮影した。得られた画像をもとに星団の色等級図を作成した。

2.2. 観測値での色等級図の作成

「すばる画像解析ソフトMakali'i」[1]を使用し、撮影したプレアデス星団(SV503 EOS-8000D SS:10s ISO:800)の画像が持つ「r、g、b」の明るさの情報について各星の「g」と「b」の値の測光を行なって、UBV測光システム[2]におけるV等級とB等級を算出し、V等級を明るさ、B等級とV等級の値の差を色指数として、色等級図を作成した。作成方法は「あなたもできるデジカメ天文学」[3]の記述にならった。

2.3. データベースの値での色等級図の作成

我々の観測値から作成した色等級図の正確性を調べるため、2.2で実際に測光した星々のV等級、B等級をデータベースから取り出して色等級図を作成し、二つの色等級図を比較することを考えた。データベースには「SIMBAD」[4]を使用した。

3. 結果

図1は我々の観測値での色等級図、図2はデータベース値での色等級図である。両者を比較すると、主系列星の分布や赤色巨星の存在が共通しているのが分かる。主系列星の分布の幅に関しては、図1、図2ともに同程度になっており、我々の等級の見積り精度は十分高いと言える。図1は天体画像処理ソフト「Siril」[5]を用いて70枚(合計11分40秒)の加算平均処理を施した画像から作成した。1枚の画像で作成した色等級図では分布の幅は数倍程度大きく、我々の撮影環境では、10分程度の加算平均画像によって十分な精度の等級測定ができていたことが確認できた。

図1、図2の違いに関しては、まず、図1でV等級が5より明るい範囲で相関の傾きの急激な減少が見られることが挙げられる。これは白飛びによるものであることが確認できた。次に、分布全体の位置が図1では図2より色指数で0.5程度右にずれている。この原因に関して、我々は色等級図作成において等級算出の際に基準星を設定しているが、基準星を別の星に変えると図1上の全ての星が並行移動することに気づいた。これはUBV測光システム[2]のフィルターと我々のカメラのフィルターの透過波長が異なっているためだと考えられる。したがって、複数の星団を比較するためには同一条件で複数の星団を撮影し、全て同じ基準星から色等級図を作成することが必要であると考えた。

4. まとめ・今後の展望

我々が撮影画像から作成した色等級図は、星団を構成する恒星を分類するのに十分な精度であることが分かった。今後は様々な星団について、基準星を同一の星に設定して色等級図を作成することで、年齢の比較等の発展的な研究を行いたい。

参考文献

- [1]「すばる画像解析ソフトMakali'i」<https://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja/> (2026年1月14日閲覧)
- [2]UBV測光(天文学辞典)<https://astro-dic.jp/ubv-photometry/> (2026年1月14日閲覧)
- [3]「あなたもできるデジカメ天文学」鈴木文二・洞口俊博 恒星社厚生閣
- [4]太陽系外天体データベース「SIMBAD」<https://simbad.u-strasbg.fr/simbad/> (2026年1月14日閲覧)
- [5]天体画像処理ソフト「Siril」<https://siril.org/> (2026年1月14日閲覧)

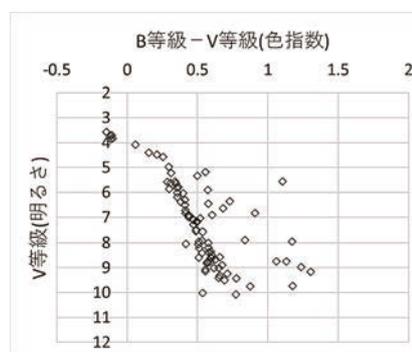


図1. 加算平均処理を施した観測値でのプレアデス星団の色等級図

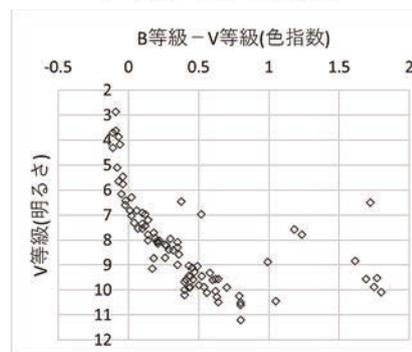


図2. データベース値でのプレアデス星団の色等級図

Gaia DR3 を用いたプレアデス星団メンバーの同定 — ガウス混合モデルを用いたクラスタリング解析 —

桑原 大揮 (高1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、渡邊 陽音 (高1) 【愛知県立明和高等学校】

概 要

本研究では、位置天文衛星 Gaia のデータを基に、クラスタリング解析によってプレアデス星団に属するメンバーを同定した。また、同定した星団メンバーを色-等級図にプロットし、星の進化モデルをフィッティングすることで、プレアデス星団の年齢を推定した。その後、推定した年齢と文献値が整合することを確かめた。

1. はじめに

星団は同じ領域で多数の星がほぼ同時に誕生することで形成される。そのため、星団に属する星は、ほぼ同一の距離と年齢を持ち、共通の運動を示す。本研究では、これらの性質を利用して、クラスタリング解析によりプレアデス星団 (M45) に属する星団メンバーを同定する。クラスタリング手法には、ガウス混合モデル (GMM; [1]) を用いる。GMM は複数の正規分布の重ね合わせによってデータ分布を近似し、いくつかの集団に分類する手法である。

2. データ

本研究では Gaia Data Release 3 [2] によって公開されているデータを使用する。取得するデータの範囲は、M45 のおおよその中心座標である $R.A. = 56.75 \text{ deg}$, $decl. = 24.12 \text{ deg}$ を中心に半径 6 deg の円に含まれる天体とする。この範囲を設定することで、M45 の外縁部に位置する星まで解析対象にすることができる。この範囲から、約103万個の星を取り出すことができた。クラスタリング解析には、星団に属する星の距離と運動方向が一致する性質を利用する。そのため、星の距離を表す年周視差と天球面上の星の運動を表す固有運動のデータを用いる。

3. 解析方法

本研究では GMM を用いたクラスタリング解析によって M45 のメンバーを同定した。それらを縦軸が絶対 G 等級、横軸が G_{BP} 等級 - G_{RP} 等級の色-等級図にプロットした上で、星の進化モデルでフィッティングし、星団の年齢を推定した。

GMM では、データを分割する数を事前に指定する必要がある。以下の条件 (1), (2) を満たすまでデータの分割数を段階的に増加させ、その条件を満たす最小の分割数を採用した。(1) 赤経方向および赤緯方向の固有運動 (μ_{α}^* , μ_{δ}) を軸とする散布図にクラスタリング結果を表示した際に、 $(\mu_{\alpha}^*, \mu_{\delta}) \approx (20.0, -45.0) \text{ mas/yr}$ 付近の星集団が明確に分離していること。(2) 年周視差 ϖ を横軸とするヒストグラムにおいて、 $\varpi \approx 7.5 \text{ mas}$ 付近の星集団が明確に分離していること。(1) と (2) は目視で明確に確認できるグループであり、対応する星を M45 のメンバーとして採用した。

次に、得られた M45 のメンバーを色-等級図にプロットし、PARSEC等時線 [3] という星団の進化モデルと比較する。等時線は色-等級図上で星団の年齢に応じて形状が変わるため、対数年齢 $\log \text{Age} = 7.0-9.0$ を 0.1 刻みで変化させたものをプロットした。等時線と M45 のメンバーが最も一致する $\log \text{Age}$ を求め、その値から M45 の年齢を推定した。

4. 結果

データの分割数を 11 とした際に、前述した条件が初めて満たされた。その結果を図1に示した。図中の白い十字が M45 のメンバーを表す。背景は DSS の可視光撮像である。この解析により、同定された M45 のメンバーの数は 1610 個であった。次に、得られた星団メンバーを色-等級図にプロットし、最もよく一致する等時線とともに示したものを図2に示した。図中の星印が星団メンバーを表し、黒い破線が $\log \text{Age} = 8.4$ のベストフィット等時線を表す。なお、 $\log \text{Age} = 8.4$ は約2億歳に対応する。

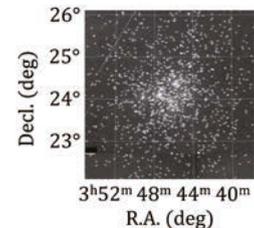


図1. M45の天体画像

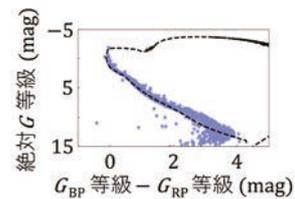


図2. M45の色-等級図

5. 考察と結論

図1より、領域中心で星団メンバーの密度が高くなっているため、GMM によって星団メンバーが適切に同定されていると考えられる。また、図2より、星団メンバーが単一の主系列上に分布するため、共通年齢の星団メンバーが抽出されていることが示唆される。最も一致する等時線の年齢 $\log \text{Age} = 8.4$ は先行研究 [4] によって報告されている M45 の年齢 $\log \text{Age} = 8.2$ にほぼ一致する。本研究と先行研究に差が生まれる原因には、ダストによる星間減光や金属量の影響が考えられる。また、一部の等時線から外れて分布している星は、前景星や背景星の混入、あるいは連星の影響と整合的である。

以上の結果から、プログラミングによって解析を自動化することで、人為的な判断を介さずに、高精度かつ高速な星団メンバーの同定に成功したと結論づけられる。本研究では、M45 の観測データのみを使用した。今後は異なる散開星団のデータにも本手法を適用し、その星団メンバーの同定を行いたい。

6. 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程学生の中野覚氏、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生、愛知県立明和高等学校の中村謙之先生にご指導をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

7. 参考文献

- [1] Pedregosa et al. (2011), Journal of Machine Learning Research. 12, 2825. doi:10.48550/arXiv.1201.0490
- [2] Gaia Collaboration et al. (2023), A&A, 674, A1. doi:10.1051/0004-6361/202243940
- [3] Bressan et al.(2012), MNRAS, 427, 1, 127. doi:10.1111/j.1365-2966.2012.21948.x
- [4] Stauffer et al. (1998), APJL, 499, 2, L199. doi:10.1086/311379

可視光観測での星の数をもとにしたM42周辺の星間減光マップの作成

銀河学校2025A班:

小野 智遥(中等6)【東京大学教育学部附属中等教育学校】、小林 剛士(高2)【長野県松本深志高等学校】、城 悠斗(高専4)【豊田工業高等専門学校】、谷 和佳奈(高3)【愛知県立旭丘高等学校】、長田 知樹(高2)【灘高等学校】、西岡 大騎(高2)【岡山白陵高等学校】、樋渡 風駕(高2)【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、松葉 絢音(高3)【筑波大学附属高等学校】、森 啓太(高3)【鹿児島県立楠隼高等学校】、渡部 葉名(中等6)【神戸大学附属中等教育学校】

要旨

星間減光量の分布を明らかにすることは、天文学の発展において重要である。本研究では銀河系内で代表的な高密度分子雲領域の一つであるM42周辺の星間減光の分布を、東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡に搭載された観測装置Tomo-e Gozenを用いた可視光での観測によって調査した。1観測夜の観測で458,780個の点源を検出し、観測領域において最大で約6等級の減光が観測された。

1. はじめに

分子雲は、地球からの天体観測を妨げる要因となる一方で、星形成が活発に進行する領域でもある。この分子雲の銀河系内の分布を正確に求めることは天文学の発展において重要であり、過去にも様々な手法による研究が行われてきた(Dobashi et al.(2005)[1] など)。本研究では東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡に搭載された観測装置Tomo-e Gozenを用いて可視光での観測を行い、星間減光が大きい代表的な領域の一つであるM42周辺の星間物質の分布を解析することを試みた。

2. 研究手法

M42周辺の約10度×8度の観測領域を1画素1.189秒角の空間分解能、積分時間900秒で撮影し、データとして取り込んだ。これらのデータに対してスターカウント法を用いて減光マップを作成した。

具体的には、半値幅および最大光度がノイズと十分に区別できるものを点源として抽出し、解析を行った。各点源について中心のカウント値から一定距離離れた位置でのカウント値を差し引き、その値をGバンド[2]を用いて実視等級に換算した。次に、8.3ピクセル四方のグリッドで点源の分布マップを作成した。さらに、減光を受けていない領域における点源数を基準として同じ大きさのグリッドで減光マップを作成した。

3. 結果

木曾シュミット望遠鏡を用いた可視光での観測を解析した結果、同一天体の多重検出を除外して458,780個の点源が検出された。これらをもとに1観測夜の観測から広範囲の減光マップを作成し、減光の分布を確認することができた。観測領域内で最大で約6等級に達する減光が確認された(図1)。

4. 考察

3つのバンド(R,B,V)で観測されたデジタル化写真乾板を用いたDobashi et al.(2005)の手法と比較して、

- ・写真乾板の周縁部付近で不連続があるため補正が必要である。
- ・複数のバンドでの観測を統合する際に、異なるソースデータを参照している。

といった先行研究の制約は今回の手法によって補完することができる。

我々が作成した星間減光マップ(図1)は大局的にDobashi et al.(2005)のものと同様に一致しているが、詳細に比較するといくつかの差異が認められた。Dobashi et al.(2005)に対して本研究の減光マップでは銀緯の絶対値が大きくなるにつれて減光量が系統的に大きく見積られる傾向が確認された。

また、3つのバンドを組み合わせたDobashi et al.(2005)に対して本研究の観測では検出された点源数が少なく、減光量

推定における統計誤差を抑えるためにグリッドのサイズを大きく取る必要があった。

今回の可視光観測による星間減光マップの作成に関する今後の課題として以下のことが挙げられる。

- ・大気の影響(雲など)をどれほど受けているのかの検討
- ・系外天体による影響の検討
- ・形成中の星による影響の検討
- ・減光が無いとした領域の妥当性の議論
- ・銀緯方向への依存度の検討

また、今後の展望として以下のことが挙げられる。

- ・減光が無い部分の点源の数は主に銀緯方向の関数であるため、さらに観測する方向を増やすことによってより正確なマップの作成ができるだろう。
- ・可視光を含めた様々な波長での観測によって星間物質の性質がより詳しくわかるだろう。

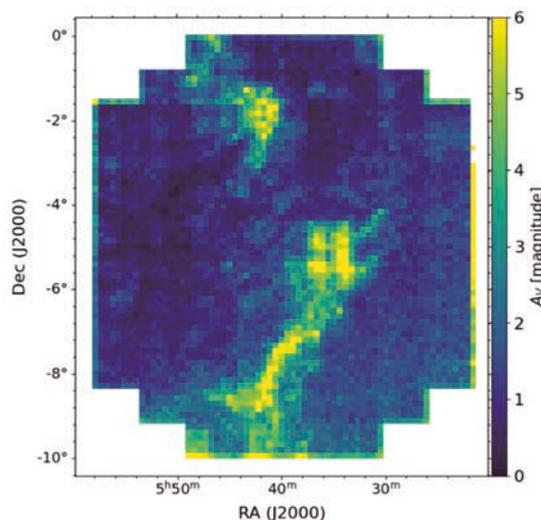


図1 作成したM42近傍の星間減光マップ

謝辞

本研究の実施にあたり、東京大学の山岸光義先生をはじめ、東京大学木曾観測所職員の皆様ならびに銀河学校2025スタッフの皆様には多大なるご協力をいただきました。この場をお借りして深く感謝申し上げます。

参考文献

- [1] Dobashi, K. et al. 2005, PASJ, 57, S1
[2] Gaia Collaboration et al., 2023, A&A, 674, A1

SH 2-112におけるアンモニア分子輝線の観測

北杜市立甲陵高等学校 科学部：
天野 光悠、水野 瑛斗(高2)【北杜市立甲陵高等学校】

要 旨

野辺山天文台にある45 m電波望遠鏡を用いて、散光星雲SH 2-112の観測を行った。アンモニア分子の存在を予測し観測したところ、希薄なアンモニアの存在を推測できた。またそこからアンモニア分子の個数面密度を概算した。

1. はじめに

SH 2-112は非対称な広がりの中で一部に集中して多数のYSO(若い恒星天体)が存在する散光星雲であることが過去の研究にて判明している。そこで、これまでに利用されていないアンモニア分子輝線を用いて調べることにより詳細な分子雲の状態を明らかにする。また、この天体では、星形成が行われていることが示唆されている。本研究は、散光星雲SH 2-112を対象とし、アンモニアの存在からの、同領域における星形成領域の可能性、状態を考察する。

2. 方法

観測

- ・野辺山 45 m電波望遠鏡を用いてsingle point(一点を連続して観測し、データを取得)により、約2.1 kpc離れたSH 2-112を観測する(22 GHz帯を使用)。
- ・分子雲分布[1]より、ガスが濃く存在する、b点/c点を指定する。それぞれの赤経(RA)赤緯(dec)は以下の通りである。

b点(RA:20h33m36s/dec:+45d35m48s)

c点(RA:20h33m48s/dec:+45d40m54s)

- ・解析ソフト newstar を用いてベースラインをひきプロットをする。

解析

- ・アンモニア分子の個数面密度は以下の式で求められる[2]。

$$N(1,1) = 6.6 \times 10^4 \Delta v \tau \text{ Trot} / V \text{ cm}^{-2} \dots \textcircled{1}$$

$$N(1,1) \approx 1.61 \times 10^{14} \times \text{Tpeak} / V(\text{GHz}) \times \Delta v \text{ cm}^{-2} \dots \textcircled{2}$$

V:観測周波数 Δv :ドップラー速度幅

Tpeak:ピーク強度 Trot:分子雲の温度 τ :光学的厚さ

3. 結果

図1、図2はそれぞれb点、c点の観測結果をプロットしたものである。

b点、c点にはピークが見られたため、分子ガスが存在すると推察される。ただ、強度が非常に弱いことから、この分子ガスは希薄であると推測される。

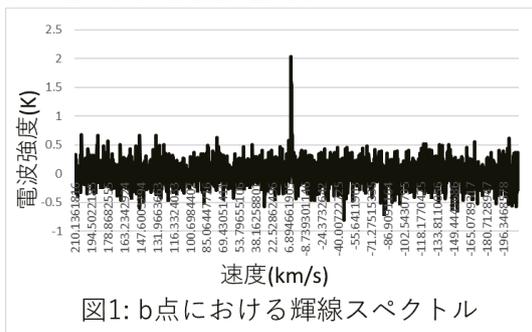


図1: b点における輝線スペクトル

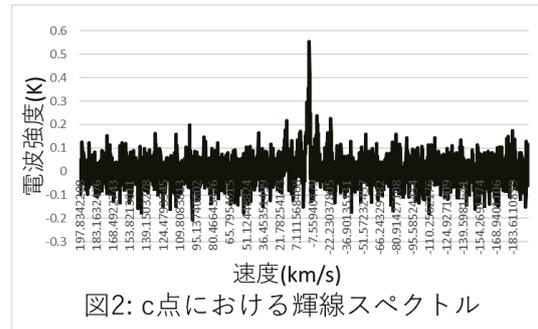


図2: c点における輝線スペクトル

面密度は①を利用することで値が求まる。ただ、今回 Trotが不明なため、②を参照する。

観測周波数(22.0 GHz)とピーク強度(約2.034 K)、線幅(0.823 km/s)を代入して、b点におけるアンモニア面密度を求めると、

計算によって求めた値は $1.2254 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ であった。

4. 考察

一般に、分子雲におけるアンモニア分子平均面密度は $10^{14} \sim 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 程度といわれており、今回の結果は数十分の一程度であるが、観測で電波強度が弱かったこと、値を代替的に近似していることから本結果にも一定の妥当性が認められる。

また、線幅が0.823 km/sであったことから、この天体は十分に星形成が起きうると考えられる。

5. 参考文献

- [1]Neelam, Panwar, et al. Star Formation and Evolution of Blister-type HII Region Sh2-112. The Astrophysical Journal, 2020, December 10.
- [2]Dilda, Jarken, et al. Ammonia observations of Plank cold cores. Astronomy & Astrophysics manuscript no. paper, 2024, January 5.

相互作用銀河 M51 の分子雲と星形成

高田 侑季 (高1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、
加藤 由紀穂 (高2)、荒井 志乃、秦野 和 (高1) 【愛知県立明和高等学校】、
桑山 すみれ、坂野 瑞季、中島 誠太 (中2)、別所 那名子 (中1) 【名古屋大学教育学部附属中学校】

要旨

衝突中の銀河の星形成の特徴を明らかにするために、M51 の分子雲を星形成段階に基づいて分類し、進化のタイムスケールを導出した。その結果、分子雲の星形成は渦状腕と銀河中心部で活発化し、1200 万年で進行することが分かった。さらに、理論計算が導いた銀河の衝突時期と星団の年齢が対応していることから、銀河の相互作用が星形成を活発にすることが示された。

1 目的

子持ち銀河 (M51) は、シミュレーションから伴銀河との2回目の衝突の最中であると考えられている [1]。銀河には星の材料となる分子雲が存在し、活発な星形成が行われているが、銀河の場所ごとの分子雲の進化と星形成の関係は未解明である。そこで、本研究では、衝突銀河 M51 における分子雲進化過程の解明を目的とし、分子雲、電離水素領域、星団のデータを用いて解析した。

2 データと解析手法

分子雲は一酸化炭素から放出される電波で観測できる。今回はビュール高原電波干渉計と IRAM 30 m の分解能 40 pc の電波観測に基づいた分子雲カタログを用いた [2]。電離水素領域は赤色の可視光で観測され、星形成領域に対応する。今回はスピッツァー宇宙望遠鏡の観測データに基づいた電離水素領域のカタログを用いた [3]。星団はハッブル宇宙望遠鏡の観測データに基づいたカタログを用いた [4]。

分子雲半径内における電離水素領域の存在を基準に、電離水素領域が付随しない分子雲 A と付随する分子雲 B に分類した。また、分子雲電波強度に経験的な変換係数 [5] を掛けて分子雲質量を求めた。

3 結果

3.1 分類結果

図1の十字は分子雲 A、円は分子雲 B を示す。全分子雲は 1507 個で、このうち分子雲 B は 594 個で、割合は39%であった。また、分子雲 B は分子雲 A より銀河中心部、渦状腕に多く分布する傾向がある。

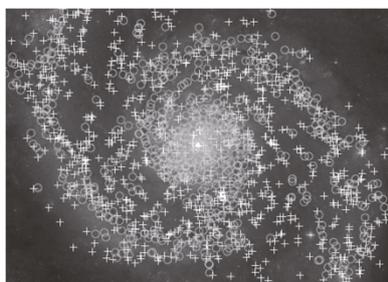


図1 銀河内の分子雲の位置

3.2 質量分布

図2は分子雲の質量のヒストグラムであり、斜線は分子雲B、それ以外は分子雲Aを表す。分子雲Bは分子雲Aより質量が大きい傾向がある。

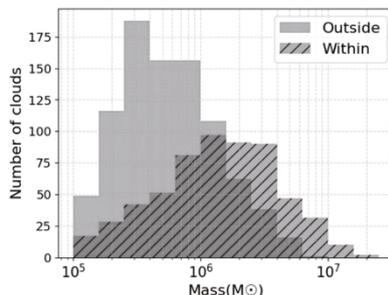


図2 分子雲の質量分布

3.3 星団の付随有無

図3は星団の年齢のヒストグラムで、斜線は分子雲に付随するもの、それ以外は付随しないものを表す。M51の星団は全体で1792個あり、年齢が1000万年未満の星団は1104個、そのうち263個が分子雲に付随する。また、年齢が1000万年未満の星団に付随する分子雲は196個で、割合は13%であった。

4 考察

4.1 星形成が活発な分子雲の特徴

3.1から、星形成が活発である分子雲 B が、銀河中心部と渦状腕に多く分布することが示された。また、3.2から、分子雲 B は質量が大きい傾向が示された。

よって、分子雲は、銀河の物質密集部において活発な星形成を起こしやすいと考えられる。

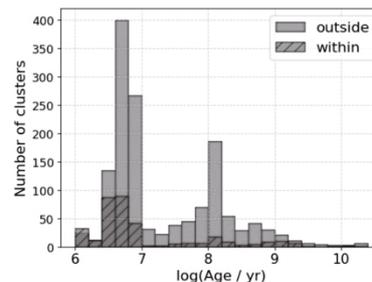


図3 星団の年齢分布

4.2 分子雲進化のタイムスケール

分子雲に付随する年齢が1000万年未満の星団の割合は22%であることから、分子雲が一定の割合で進化すると仮定すると、星団が付随する分子雲 C の期間は約220万年と求められた。また、星団が付随せず電離水素領域だけが付随する分子雲 B' の個数を計算したところ、分子雲 C の個数の約1.5倍であったため、分子雲 B' に滞在する期間は約330万年と求められた。同様に星団も電離水素領域も付随しない分子雲 A' の個数は分子雲 C の約3.2倍と見積もられたため、分子雲 A' に滞在する期間は約700万年と求められた。合計すると約1200万年という期間で分子雲は進化し星形成していると考えられる。

4.3 銀河衝突との関係

M51 と伴銀河の1回目の衝突時期は、数値シミュレーションによって約8000万年前であると求められている [1]。星団の年齢のピークが約1億年前であること (図3) から、伴銀河との1回目の衝突によって星形成が活発になったことが示唆される。また、M51 が2回目の衝突の最中であることを踏まえると、M51 ではまさに大量の星団形成が進行中であると考えられる。

5 まとめ

分子雲は銀河内の物質密集部にて星形成を活発化させることが示された。また、分子雲は合計およそ1200万年の期間で星形成を進めていることを推定した。そして、M51は衝突中であるため、活発な星形成期にあると考えられる。

6 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程学生の出町史夏氏、同研究科の立原研悟准教授にご指導をいただきました。また、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生、愛知県立明和高等学校の中村謙之先生にご協力をいただきました。

7 参考文献

- [1] Dobbs et al. (2010), MNRAS, 403, 625.
- [2] Colombo et al. (2014), ApJ, 784, 3.
- [3] Lee et al. (2011), ApJ, 735, 75.
- [4] Chandar et al. (2016), ApJ, 824, 71.
- [5] Bolatto et al. (2013), ARAA, 51, 1, 207.

銀河同士の相互作用が星形成に及ぼす影響について ～相互作用する2銀河の質量比から探る～

もし天2025 Stellar Children班:

石本 愷大(高2)【水城高等学校】、井上 紫(高1)【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、
宇都宮 朱純(高2)【群馬県立高崎女子高等学校】、酒井 伸太郎(高1)【灘高等学校】

要旨

衝突銀河および相互作用銀河の星形成率を一般銀河と比較し、銀河同士の相互作用が星形成活動を促進することを検証した。また、相互作用している2銀河の質量比(M^*/m^* , $M^* > m^*$)に着目した結果、質量の小さい銀河は質量の大きい銀河に比べて質量比の影響を受けやすく、質量比が大きくなるほど星形成活動を促進する効果は小さくなることが分かった。

1. 背景・仮説

銀河は衝突合体を繰り返して成長してきた。その途中段階である相互作用銀河では星形成が活発になることが知られており[1]、この説の信頼性を確認した。そして相互作用銀河のペアにおいて、重い方と軽い方の星形成率(Star Formation Rate, 以下SFR)と質量比に相関があるという仮説を立て、その検証を研究目的とした。

2. 研究方法

(I) 銀河の恒星質量 M^* とSFRの関係を、Galaxy Zoo[2]で分類された銀河を用いて、相互作用銀河と衝突銀河、他の銀河に分けて示し、 M^* によるSFRの違いを考察した。
(II) SDSS[3]のデータから銀河の赤道座標と赤方偏移を用いて近接する銀河を抽出し、2銀河の恒星質量比(大きい方の質量/小さい方の質量)によるSFRへの影響を相対的に重い銀河と軽い銀河のそれぞれについて解析した。
(I)(II)ともにSFRの値は参考文献[4]を用いた。

3. 結果・考察(I)

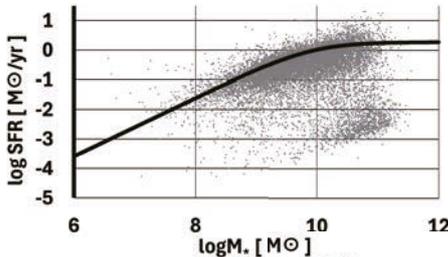


図1 一般銀河の質量とSFRの関係
(曲線は参考文献[5]の式14)

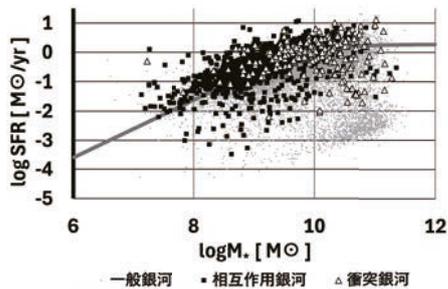


図2 衝突銀河、相互作用銀河と一般銀河のSFR

図1は、SDSSのデータに参考文献[5]から引用した関数を重ねたグラフである。SDSSのサンプルには星形成銀河と静穏(Quiescent)銀河の両方が含まれているが、グラフ中の曲線は星形成銀河に限って性質を推定したものであるため、プロットが曲線よりも下側に偏っていると考えられる。

図2から、一般銀河に比べて衝突銀河および相互作用銀河はSFRが高い値に分布しており、参考文献[1]を支持する結果となった。また、衝突銀河で恒星質量が 10^{10} 太陽質量を超える領域にばらつきが見られるのは、楕円銀河を含む銀河の衝突がデータに含まれているからだと考えられる。

4. 結果・考察(II)

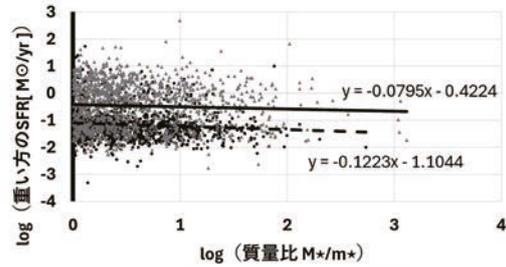


図3 質量比と重い方のSFRの関係

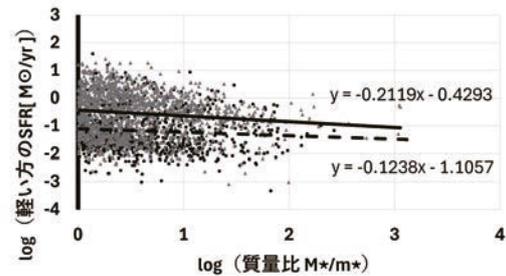


図4 質量比と軽い方のSFRの関係

図3、図4ともに楕円銀河は黒色丸印、渦巻銀河は灰色三角印で表している。直線は渦巻銀河、破線は楕円銀河の傾向を表した近似直線である。2つのグラフから、渦巻銀河より楕円銀河の方が低いSFRであると確認できる。

重い方の銀河では、ともに近似直線の傾きの絶対値が小さく、SFRが質量比の影響を受けにくいとわかる(図3)。

軽い方の銀河のうち、渦巻銀河の近似直線の傾きは、他の直線に比べて絶対値が大きい負の値であること(図4)が読み取れる。第3節では、相互作用銀河ではSFRが増加するという結論が得られたが、相互作用銀河の中で考えると、2つの銀河の規模が異なるほど重い方の銀河の相対的に強い重力によってガスが奪われ、軽い方の銀河の星形成が抑制される効果があるのではないかと考えられる。

軽い方の楕円銀河の式(図4)は、重い方の楕円銀河とほぼ同じであることから、楕円銀河では星形成がほとんど行われておらずガス移動による影響を受けにくいと考察した。

5. 謝辞

本研究に際し、もし天2025スタッフの皆様、仙台市天文台の皆様にご多大なるお力添えをいただきました。

この場をお借りして深く御礼申し上げます。

6. 参考文献

[1] W.Kapferer et al. 2005, A&A, 438, 87
[2] W. Willett et al. 2013, MNRAS, 435, 2835
[3] York, D.G. et al. 2000, AJ, 120, 1579
[4] Brinchmann et al. 2004, MNRAS, 351, 1151
[5] P. Popesso et al. 2023, MNRAS, 519, 1526

帯電原始星における種磁場増幅と二重層効果によるプラズマ中和抑制の可能性

今井 拓心 (高2) 【宮城県仙台二華高等学校】

要旨

本研究では、原始星系の種磁場がどのように形成され成長するかを、原始星の帯電可能性とその維持という観点から理論的に考察した。その結果、帯電した原始星の自転による種磁場に対し、極方向にミリスケールハイト、赤道方向にキロデバイ長程度の厚みを持つ二重層の発生により、ミリガウス程度の磁場を形成可能であることが示された。

1. 前提

原始星形成において磁場は角運動量輸送や形成時間スケールを決定する重要な役割を担うが、種磁場がどのように形成されるかは未解決である。本研究では、形成初期の原始星核が有限の電荷を帯び得る可能性に着目し、自転する帯電原始星による種磁場生成と、その後のダイナモ増幅過程における二重層効果の寄与について検討した。

2. 要求電荷方程式

種磁場 B_{seed} を目標磁場 B_{fin} までダイナモ増幅するために要する時間 $t_{dyn} = \tau_{ed} \ln(B_{fin}/B_{seed})$ [1] と二重層効果、磁気ミラー効果により引き伸ばされたプラズマ中和時間 $t_{pla} = S_{DL} S_m \omega_p^{-1}$ が一致するとして方程式を作る。

種磁場は帯電した原始星が自転することにより形成される。一様帯電球の自転磁気モーメントはその半径 R 、自転周期 P 、総電荷によって決定され、種磁場 B_{seed} も求めることができる。

原始星表面に形成される二重層の厚みを極方向に縮められたスケールハイト eh 、赤道方向に引き伸ばされたデバイ長 $\sigma\lambda_d$ とすると、 $\sigma/\varepsilon \equiv \Lambda$ で定義される無次元の歪み Λ 、保持電荷 Q を用いて二重層をコンデンサーと見立てれば、その静電容量を定義することにより、電位 φ を決定することができる。このとき、系がボルツマン分布であれば、 $S_{DL} = \exp(e\varphi/k_B T)$ であろう [2]。磁気ミラー効果については $S_m = 2 B_{max}/B_{min} = 2R_m$ とする。

以上の式をそれぞれ代入、連立すれば、要求電荷 Q_{req} を定める方程式として次式を得ることができる。

$$Q_{req} = \frac{2\pi R h \sqrt{n_e \varepsilon_0 k_B T}}{\Lambda} \ln\left(\frac{\tau_{ed}}{2R_m} \sqrt{\frac{e^2 n_e}{\varepsilon_0 m_e} \ln\left(\frac{5RPB_{fin}}{\mu_0 Q_{req}}\right)}\right) [C]$$

この式は計10個のパラメータを内包する。特に電離電子密度 n_e 周辺温度 T は鋭敏な時間変数である可能性があるが、次の議論を参照して今回は変数を Λ のみとして Q_{req} を探索する。

上の式は $\ln(a \ln(b))$ という形を含むが、原始星の代表値として $R \sim 3R_{sun}$ 、 $P \sim 5\text{day}$ 、 $\tau_{ed} \sim 10^3\text{yr}$ 、 $T \sim 300\text{K}$ 、 $n_e \sim 30\text{cm}^{-3}$ などを代入し、 $R_m \sim 10 \sim 10^3$ 、 $B_{fin} \sim 10^{-4} \sim 10^{-2}\text{G}$ [3] 程度の範囲を探索すると、対数項はほとんど16程度に収束することがわかる。同様に線形定数も数値として求めれば、最終的に、以下のような数値式が得られる。

$$Q_{req} \sim \frac{10^7}{\Lambda} [C]$$

星が電荷をもつとき、重力よりもクーロン斥力が勝らない最大電荷として $Q_{Nes} \sim 10^2 (M/M_{sun})$ が存在する [4]。ここで原始星の代表質量 $M \sim 0.1M_{sun}$ を考慮すれば、上式から $\Lambda \sim 10^6$ が要求されることがわかる。この値は、極方向にミリスケールハイト、赤道方向にキロデバイ長の厚みを持つ二重層であることを示す。

3. 二重層安定性

二重層はコンデンサーとしてエネルギーと電荷を保持している。これらはおおよそ $U_{req} \sim 10^{-10}\text{J}$ 、 $I_{req} = 10^{-4}\text{A}$ 程度であり、電荷は漏れ続けていることを考慮した。ここで、周辺環境において $U_{acc} \sim 10^{24}\text{W}$ 、 $I_{acc} \sim 10^{16}\text{A}$ であることから、これらの $f = 10^{-20}$ 程度の影響で容易に維持することが可能であることがわかる。

二重層の帯びうる不安定性について、二流体不安定性と電位差自己崩壊について考える。前者はドリフト速度が音速を超えていけば起こりうる不安定性であるが、 $\tau_{ed} \sim 10^3\text{yr}$ 程度の環境では極めて小さいことがわかる。後者については $e\varphi \gg k_B T$ のときに起こりうる不安定性であるが、今回 $e\varphi/k_B T \sim 100$ 程度であるため、起こりうる可能性がある。しかし、先ほど述べた通り、 $I_{acc} \sim 10^{16}\text{A}$ という環境では、小さな綻びはすぐ保管されるであろう。

4. 非線形効果発展及び観測の方針

星形成環境では放射冷却が活発であるため、 $T(t)$ が鋭敏である可能性がある。このとき、 $T \downarrow = n_e \downarrow = \tau_{neu} \uparrow$ という増減関係から、より少ない歪みで要求電荷が満たされる可能性がある。これは今後の課題である。

また、観測の方針としては、初期段階でのミリガウス程度の磁場、またそれによる偏光などが挙げられる。これらをアルマ望遠鏡などで観測することができれば、以上の理論を支持することとなる。

5. 結論

原始星の帯電と二重層効果の寄与は、星形成領域での磁場の生成について、革新的かつ好意的な結果を与えた。

本研究は既存理論への補助的な立ち位置に位置しており、既存理論を否定し完全に別の理論として提唱しているわけではないことに注意されたい。また、二重層の形成及びその維持については未だ決定的な理論は存在しない。

参考文献

- [1] Brandenburg, A. and Subramanian, K. (2005). Astrophysical magnetic fields and nonlinear dynamo theory. *Physics Reports*, 417, 1-209.
- [2] Raadu, M. A. (1989). The physics of double layers and their role in astrophysics. *Physics Reports*, 178, 25-97.
- [3] Crutcher, R. M. and Kemball, A. J. (2019). Review of Zeeman Effect Observations of Regions of Star Formation. arXiv:1911.06210.
- [4] Neslusan, L. and Hajdukova, M. (2019). Long-period comet C/1963 A1 (Ikeya), the probable parent body of pi-Hydrids, delta-Corvids, November alpha-Sextantids, and theta-Leonids. *Astronomy & Astrophysics*, 631, A112.

NGC 3184 のダークマター質量の推定：公開データを用いた プログラミングによる銀河回転運動の解析

滝田 海理（高2）、蟹江 皓貴、森島 大晴、阿比留 康介（高1）【名古屋大学教育学部附属高等学校】

要 旨

本研究では NGC 3184 の視線速度分布と光度分布を解析することでダークマターが作る重力加速度の分布を特定し、ダークマター質量を推定した。ダークマター質量は $1.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ となり、先行研究と無矛盾な結果となった。

1. はじめに

銀河のダークマター質量分布は、銀河の形成過程の詳細な解析につながる。本研究では、典型的な渦巻銀河である NGC 3184 に対して (1) 回転中心と傾き角の決定、(2) ガス・星質量分布の算出、(3) ダークマター質量推定、という手順で解析を行う。まず、銀河の視線速度分布を使うことで銀河の回転中心と銀河の傾き角を求めた。求めた傾き角を用いて、傾き角から回転速度を計算した。次に、銀河回転を円運動と仮定し、空間分解された重力加速度を画像のピクセルごとに求め、それらからガスと星による重力加速度を差し引くことでダークマターによる重力加速度を分離する。ダークマターの円運動と球対称を仮定すると、万有引力は遠心力と釣り合うため、これを利用してダークマターの内包質量を求めた。

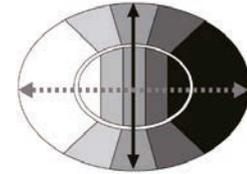


図1 銀河の視線速度の分布

2. 回転中心・傾き角の大きさの特定手法

銀河が円盤状であり、それを斜めから見ることで楕円に見えているとする。銀河が回転しているとして、銀河の中心を回転中心とすると、以下の性質が成り立つ。ここで、図1は銀河の視線速度分布の概念図である。

1. 図1の実線矢印上の視線速度の標準偏差が最も小さい。
2. 図1の点線矢印上の視線速度の標準偏差が最も大きい。
3. 実線矢印と点線矢印がそれぞれ楕円の長軸、短軸である。

以上の性質を用い、長軸と短軸の交点として中心を求めた。同じ仮定を置くと、銀河の回転速度 v は外側でほとんど一定となる。視線速度を v_{Los} 、傾き角を θ とすると、式1より v を求めることができる。

$$v = \frac{v_{\text{Los}}}{\sin\theta} \sqrt{\left(\frac{y}{x \cos\theta}\right)^2 + 1} \quad (\text{式1})$$

ここで、 x, y は銀河中心が原点の直交座標系での x, y 座標である。NGC 3184 はフェイスオン銀河であり、銀河の長軸と短軸の比から θ を精度よく求めることは困難である。よって、 θ の値は v の標準偏差が最小となるものを採用した。

3. ガス質量・星質量・ダークマター質量による速度分布の特定手法

銀河の円運動を仮定することで、ピクセルごとのガス質量と星質量は以下のように求められる。

ガス質量：ガス質量の計算には、The HI Nearby Galaxy Survey (THINGS; [1]) の積分強度図を用いる。これを単位面積あたりの中性水素原子の個数に変換する。

星質量：星質量の計算には質量光度比 [2]を用いる。質量光度比に用いる光度は Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS; [3]) の Iバンド (805 nm) と Vバンド (550 nm) の値を採用した。

速度分布：まず、ガス質量、星質量それぞれを用いて、銀河の画像の各ピクセルに対して、全てのピクセルから受ける万有引力による重力加速度を計算する。 v より、各ピクセルにおける全質量による重力加速度を求めた。これらからガス・星による重力加速度の寄与を差し引くことでダークマターによる重力加速度を求めた。この加速度のうち、半径方向成分だけを取り出すと向心加速度となる。円運動していると仮定したため向心加速度とダークマターによる回転速度 v_d の関係は $a = v_d^2/r$ と表され、これを用いて v_d を求めた。

4. 結果

ダークマターに球対称を仮定すると、半径 r において、回転速度が v_d のときの向心加速度 v_d^2/r と、ダークマターの内包質量 m_d による重力加速度 Gm_d/r^2 が釣り合う。この関係を用いて v_d から m_d を求めた。半径方向の質量分布は図2のようになり、ガスが観測された範囲内のダークマター質量は $1.2 \times 10^{11} M_{\odot}$ となった。これは、先行研究から推定した値と無矛盾な結果である。

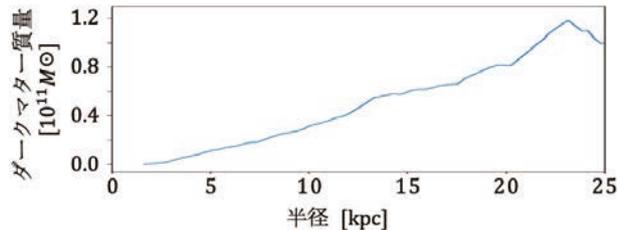


図2 半径に対する累積ダークマター質量

5. 考察

ダークマター質量の半径方向の分布は、理論的には原点付近で非線形に増えた後、線形に増えていくはずであるが、本研究では全体を通して線形な増加であり、外側で値が大きく下がっている。その原因と考えられるのは θ の誤差である。 θ が小さいと、その変化に対して v が大きく変化する。したがって、わずかな誤差が計算結果に大きな影響を与える。

6. 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科博士後期課程学生の中野覚矢氏、同研究科の立原研悟准教授、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生にご指導をいただきました。ここに厚く御礼申し上げます。

7. 参考文献

- [1] Fabian Walter et al. (2008), AJ, 136, 6, doi:10.1088/0004-6256/136/6/2563
- [2] Into & Portinari (2013), MNRAS, 430, 4, 2715. doi:10.1093/mnras/stv
- [3] Kennicutt et al.(2003), PASP, 115, 810, 928, doi:10.1086/3769

memo

memo

memo

表紙写真の説明

ほぼ真横から見た土星の環 / Rings of Saturn seen almost edge-on

撮影日時 : 2025年10月1日 23時09分 (JST)
撮影機材 : 40cm 望遠鏡、2倍バローレンズ、ADC、ZWO ASI 585MC
協力 : 八重山星の会
撮影 : 長山 省吾
クレジット : 国立天文台

Date : 2025 October 1, 23:09 JST
Equipments: 40cm Telescope, Barolow Lens 2x, ADC, ZWO ASI 585MC
Support by : Yaeyama Hoshinokai
Taken by : Shogo Nagayama
Credit : NAOJ

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 (委員長)、浅見 奈緒子、石川 直美、大西 浩次、小倉 和幸、
山田 隆文

世話人 飯塚 亮、小野 智子、小野間 史樹、鈴木 文二、篠原 秀雄、田中 里佳、
内藤 博之、永井 智哉、長島 加奈、西村 昌能、畠 浩二、檜木 梨花子、
船越 浩海、松本 直記、山岡 均、吉川 真、米谷 夏樹 (五十音順)

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/>

天文学辞典

