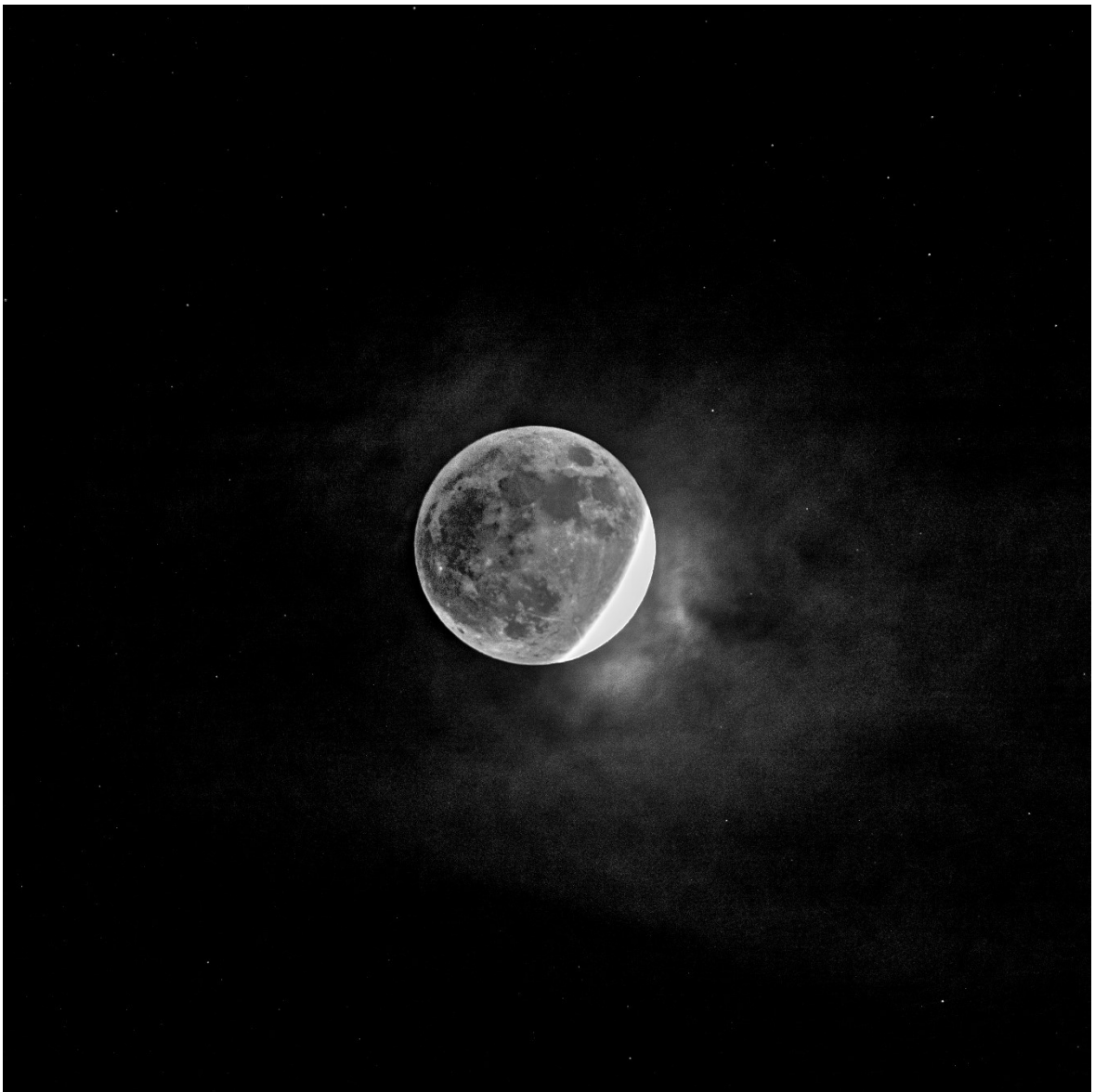


日本天文学会 2022 年春季年会



JUNIOR SESSION

第 24 回 ジュニアセッション予稿集



2022 年 3 月 19 日
オンライン開催

日本天文学会 2022 年春季年会

第 24 回 ジュニアセッション予稿集

2022 年 3 月 19 日



日本天文学会 第24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 山本 智

みなさん、こんにちは！ 日本天文学会を代表して、ジュニアセッションへの参加を心から歓迎します。新型コロナウイルス感染症の蔓延状況に鑑み、昨年引き続きオンラインでの開催となりましたが、今年も60件の発表の申し込みがありました。学校生活、また、日々の生活に様々な制限がある中で苦労も多かったと思いますが、これだけの申し込みをいただいたことは、みなさんの科学、なかでも天文学への興味と熱意と受け止め、大変嬉しく思います。ジュニアセッションでは、ぜひ、これまで取り組んできたことの成果を伸び伸びと発表してください。一方、今年は日本天文学会春季年会の日程が3月2日—5日となり、ジュニアセッションは学期中と重ならないように3月19日の開催となりました。年会とは日が離れていますが、多くの会員の方々にも未来の天文学者の発表を聞いていただき、議論や交流を深めていただければと思います。

ジュニアセッションでの発表にはいつも感心させられます。着想が面白かったり、しっかり実験や調査をして結果をととても深くまとめていたり、また、長い期間の粘り強い観測によるものであったりと、どれもが創造的です。そのような観測、実験、調査などの研究において、一つのまとまった成果を得たとき、あるいは何かを発見したとき、きっとある種の高揚感というか喜びを感じたのではないのでしょうか。「ああ、そういうことか！」という単純な感動であっても、これは自然と向き合ってその一端を明らかにしたことのある人だけしか味わうことのできないものだと思います。もし、みなさんがそのような「わかることの楽しさ」をすでに経験しているなら、もうすでに科学者、天文学者としての一歩を踏み出していると言ってもよいでしょう。

でも、どんなことでもいったんわかってしまえば、それは「過去」のものになります。そして、わからない問題や謎が新しく生まれてくるはずです。そのとき、大切にすべきことは「わかったこと」ではなく、「わからないこと」です。「わからないこと」は素晴らしいことです。それは無限の可能性を秘めているからです。私たちが理解しているのは自然のほんの一部です。これまで人類は広大な知の世界を切り拓いてきましたが、その地平線の向こうには、さらに広大な世界が広がっているということです。それが、天文学に限らず、みなさんが将来活躍する世界です。

「わかることの楽しさ」と「わからないことの素晴らしさ」を胸に、自然との対話をこれからも楽しんでいってくれと嬉しいです。このジュニアセッションが、そのきっかけになってくれることを祈っています。

日本天文学会 2022 年春季年会

第 24 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】 : 2022 年 3 月 19 日 (土) 9:30~11:24、13:30~15:25
会場：オンライン

【ポスターセッション】: 2022 年 3 月 19 日 (土) 11:24~13:30、15:25~16:30
ポスター会場：オンライン

発表へのコメントは、インターネットで受け付けています。

<https://forms.gle/BYY3CrWfS8fKkhvJA>

コメント受付



【2022 年 3 月 19 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 4 分+質疑 1 分、質疑は数講演まとめて実施)

座長：小菅 京 (東京工業大学附属科学技術高等学校)、成田 憲保 (東京大学)

A 位置天文・星空環境	: 02、07	9:45~ 9:55
B 彗星・流星・小惑星	: 10、12、13	9:55~10:10
C 太陽・月	: 16、17、18、19、20、22、23	10:10~10:45
D 惑星	: 24、25、26	10:45~11:00
E 系外惑星	: 27、29	11:00~11:10

11:10~11:24 ショートプレゼンテーション (各講演 1 分)

01、03、05、06、08、11、14、21、28、30、37、41、45、47

11:24~13:30 ポスターセッション、昼食

13:30 口頭講演 (各講演 4 分+質疑 1 分、質疑は数講演まとめて実施)

座長：宮本 英明 (巣鴨中学校/巣鴨高等学校)、
泉 拓磨 (国立天文台/総合研究大学院大学)

F タイセッション	: 31、32、33、34、35、36	13:30~14:00
G 恒星・銀河	: 38、39、40、42、43、44、46	14:00~14:35
H 宇宙探査・開発	: 48、50、52	14:35~14:50
I 装置・観測方法	: 53、54、56、57、58	14:50~15:15
J その他	: 59、60	15:15~15:25

15:25~16:30 ポスターセッション



目次 Contents

A 位置天文・星空環境 Space Mission / Dark Skies

- 01S** 太陽の位置と時刻を用いた、太陽－地球間の距離の新しい算出方法の確立 10
竹野 脩太、稗田 彪雅、ペルー 光詞、前田 姫和、八木 大樹（高2）【兵庫県立龍野高等学校】
- 02T** 日食の継続時間について 11
ハートピア安八天文台ジュニア天文倶楽部：
原田 聡成（中2）【大野町立大野中学校】、尾崎 由基（中1）【安八町立登龍中学校】、
石橋 佑心（中1）【羽島市立竹鼻中学校】
- 03S** 江戸時代の太陽の南中高度の観測法と景符の変遷 12
科学部天文班：
安藤 寧音、中島 颯菜、今村 月乃（中1）【塩尻市立丘中学校】
- 04P** 十字形の横梁を用いた太陽の南中高度・南中時刻の観測 13
科学部天文班：
伊藤 慎之助、池田 伊吹（中2）【塩尻市立丘中学校】
- 05S** Unity を用いた小惑星軌道の安定性の検証 14
浅沼 航志、河南 佳吾（高1）【巢鴨高等学校】
- 06S** デジタル一眼レフカメラと SQM を用いた夜空の明るさ調査 15
立川高校天文気象部：
千葉 愛璃咲、平岡 七海（高2）、門馬 暖大（高1）【東京都立立川高等学校】
- 07T** カラー冷却 CCD を用いた光害の測定 16
森脇 花楓（2年）【お茶の水女子大学附属高等学校】
- 08S** スプライトの発生状況と発生時の気象条件について 17
成蹊高等学校 天文気象部：
橋本 真依、保母 美佐子、渡邊 優海、佐竹 卯月（高2）、
長谷川 創一、浅沼 恵太、西谷 友翔、水嶋 悠人、宇井 俊正、岡田 紘明、吉田 華音、吉田 花音、
青木 千佳、深谷 真奈（高1）【成蹊高等学校】

B 彗星・流星・小惑星 Comets / Meteors / Asteroids

- 09P** VOR と FM 放送を利用したペルセウス座流星群の観測 18
科学部：
古里 太一（高2）【青森県立八戸工業高等学校】
- 10T** 電波流星をめぐって 19
國橋天文部流星班：
佐藤 瑞己、川邊 淳之介（高3）、徳永 祐太、武石 暖大（高2）、
石田 海、片柳 祐星、鹿野 史佳、小平 勘太郎、小宮 里咲、檜山 和幸、横山 藍士（高1）
【國學院大學栃木高等学校】、
伊藤 真徳、岩上 琴音、佐々木 桃寧、野間 凱仁、堀江 悠太（中1）【國學院大學栃木中学校】

T: 講演 (4 分間) + 質疑 (1 分間)
S: ショートプレゼンテーション (1 分間)
P: ポスターのみ

- 11S** 3 大流星群の電波観測によるアンテナの向きの影響について **20**
高橋 航紀、室田 響紀、市川 凜太郎、守谷 琉翔、中島 和樹 (高2) 【新島学園高等学校】
- 12T** 流星群の軌道解析 ～観測から母天体を探る～ **21**
福岡工業大学附属城東高等学校科学部：
楠根 涼、長谷川 明子 (高2)、
寺島 皓生、渡邊 花菜、長谷川 蒼、宮脇 悠河、佐藤 真、黒木 颯士 (高1)
【福岡工業大学附属城東高等学校】
- 13T** 彗星の水含有率から地球の水の起源を探る **22**
もし天 67P_班：
高嶋 英寿 (高3) 【慶應義塾高等学校】、廣瀬 凜 (高2) 【筑波大学附属坂戸高等学校】、
山田 優斗 (高1) 【武蔵高等学校】
- 14S** 小惑星クリームヒルト(242)の光度曲線と 3D モデルの検証 **23**
後藤 璃帆、市川 結愛、栃原 里咲 (高1) 【新島学園高等学校】
- 15P** CMOS カメラを用いた恒星食の観測 **24**
宮崎県立宮崎北高等学校 科学部 地学班：
永田 優奈、猪山 香菜子、岩尾 恒音 (高1) 【宮崎県立宮崎北高等学校】

C 太陽・月 The Sun / Moon

- 16T** 黒点による太陽の差動回転の計測 **25**
武蔵高等学校中学校 太陽観測部：
山田 優斗 (高1) 【武蔵高等学校】、
今津 英翔、小川 泰生、栗原 昊士朗 (中2)、
衣斐 航太郎、遠藤 寛也、木村 空也、星 裕人、本川 佳弥 (中1) 【武蔵中学校】
- 17T** 太陽黒点の温度と面積の関係 **26**
理科研究部宇宙班：
奥村 友陽 (高2)、石崎 蒼真、古賀 大亮、柳本 康汰 (高1) 【大阪府立千里高等学校】
- 18T** 自作電波望遠鏡を利用した太陽フレアの観測 **27**
海城高等学校地学部天文班：
河合 輝彦 (高1) 【海城高等学校】
- 19T** 太陽光と月光の吸収線比較 **28**
榎原 翔太、永澤 蒼弥 (高2) 【横浜市立戸塚高等学校】
- 20T** 月食時の月面の色温度と明るさの関係 **29**
吉田 健吾 (高専2)、松本 一生、水本 和志、森下 央翔、吉田 浩瑛 (高専1) 【米子工業高等専門学校】
- 21S** 部分月食の RGB 分析 **30**
國橋天文部 RGB 班：
井原 翼、山中 陸叶 (高3)、徳永 祐太 (高2)、山根 史也、小林 亮脩 (高1)
【國學院大學栃木高等学校】、
高森 亜門 (中2)、野中 美咲、藤城 里姫 (中1) 【國學院大學栃木中学校】

22T	ターコイズフリンジの色彩に迫る ～2021.11.19 月食における本影境界付近のRVB光量分布～	31
	森 彩香、清水 麻央、佐藤 心海、鷺津 乃英加（高1）【愛知県立一宮高等学校】	

23T	画像処理による月食時の地球の影の境界の抽出と月までの距離測定	32
	国立長野高専天文部： 塩川 真帆蒔（高専3）、小池 萌絵、小林 蒼葉、宮川 夏美、萩原 杏彩（高専2） 【長野工業高等専門学校】	

D 惑星 Planets

24T	火星の土壌が生じた一因についての実験による推定	33
	科学探求部： 廣田 祐希（中2）、木村 遙（中1）【大田区立蒲田中学校】	

25T	25万枚の画像で求めた木星の内部構造	34
	原口 真緒（高2）、松窪 啓介、永坂 希良梨、萩之内 美月（高1）、山元 胡桃美（高1） 【鹿児島市立鹿児島玉龍高等学校】	

26T	木星のスペクトル撮像における二次スペクトルの影響の軽減について	35
	地学部： 脇谷 悠、田尻 尚大（高2）、井上 晴人、桑本 夏向、杉本 遥菜（高1）【埼玉県立浦和西高等学校】	

E 系外惑星 Extrasolar Planets

27T	アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析	36
	黒木 あやめ（高1）【名古屋大学教育学部附属高等学校】、 田川 智也、山田 啓悟（高1）【愛知県立明和高等学校】、 深谷 咲良、丸山 心菜、青木 耀（中3）【名古屋大学教育学部附属中学校】	

28S	今後の系外惑星研究のためのトランジット法の検証	37
	金原 碧、武者 拓真、冬城 奏愛、高橋 洸介、延近 賢悟（高2） 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】	

29T	系外惑星の表面温度の予測値と観測値の比較	38
	國本 祥太郎、小川 武流、北 和寿、島村 拓実、秋山 拓輝、田淵 悠人（高2）【大阪府立北野高等学校】	

30S	系外惑星における公転周期と軌道半径の相関性	39
	足立 未悠、石川 拓真、谷井 心香、津川 太一、福田 捷稀（高2）【大阪府立北野高等学校】	

T：講演（4分間）＋質疑（1分間）
S：ショートプレゼンテーション（1分間）
P：ポスターのみ

F タイセッション Thai Session

- 31T** The study of methods on the Geminids Meteor Shower's (2020) height 40
Thanapat Iampramool (Grade 10 equivalent) 【Varee Chiangmai School】
- 32T** The Study of Distance between the Earth and Moon 41
with an occultation of Mars by the Moon by Lunar Parallax Method
Ploysai Arkkarapongchanaporn (Grade 11 equivalent) 【Demonstration School of Phuket Rajabhat University】
- 33T** The Study of Trojan Motion Using N-body Simulation 42
Kritsakorn Sataratpayoon (Grade 11 equivalent) 【Prommanusorn Phetchaburi School】
- 34T** The Simulation of Interplanetary Motion in Solar System 43
Pimchanok Kesorn (Grade 11 equivalent) 【Prommanusorn Petchaburi School】
- 35T** The study of Hydrogen to Helium ratio and metallic element 44
in the main sequence stars by the Spectroscopy technique
Oliver Phoom Harris (Grade 10 equivalent) 【Varee Chiangmai School】
- 36T** Pulsar Map 45
Kanrawee Chamsaeng (Grade11 equivalent) 【Prommanusorn Phetchaburi School】

G 恒星・銀河 Stars / Galaxies

- 37S** 恒星の青みと赤みの関係性 ～オールドカメラで三色測光～ 46
福岡工業大学附属城東高等学校 科学部：
宮脇 悠河、佐藤 真、黒木 颯土（高1）【福岡工業大学附属城東高等学校】
- 38T** せいめい望遠鏡を用いた脈動白色矮星ペガスス座 394 星の 3 色測光観測 47
岩崎 智也、早川 優菜、藤井 実結（高2）、
荻野 煌、植野 紗麗、梅鉢 由帆、藤井 美月、宮崎 慧優、木原 司貴（高1）
【兵庫県立北摂三田高等学校】
- 39T** ペガスス座 DY の測光観測 48
舞子高校天文気象部：
垂井 麻亜子、小西 綾香、大島 瑞希（高2）、前田 凌英、林 穂乃花（高1）【兵庫県立舞子高等学校】
- 40T** KIC 8462852 の変光の原因をさぐる 3D モデル実験 49
成蹊高等学校 天文気象部：
小宮 希仁、高杉 剛、山崎 圭貴（高2）【成蹊高等学校】
- 41S** γ Cassiopeia の光度変化とスペクトルの関係 50
寺地 港、末吉 一輝、阿部 裕斗、山本 暁登、杉本 翔（高2）、
早川 晴、三瓶 青太（高1）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】
- 42T** 恒星のスペクトル型についての観測的研究 51
川口市立高等学校天文部：
田中 達也（高2）、田中 凜一郎、早川 駿哉、平石 暁志、木村 陽香（高1）【川口市立高等学校】

43T	減算法を用いたおおぐま座 α 星の伴星の観測	52
	田子 優翼、田中 鉄兵(高2)【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】	
44T	ブラックホール連星 SS433 のジェットの変化	53
	森本 千慧、松尾 唯那(高2)【奈良県立青翔高等学校】	
45S	天体の質量とアウトフロー・ジェットの速度の相関について	54
	もし天 2021 ふるーばんぶう班： 塩田 成陽(高2)【広島県立佐伯高等学校】、木本 ひなた(高専2)【奈良工業高等専門学校】、 河野 旺実(高1)【海城高等学校】	
46T	銀河系の厚さの測定	55
	銀河学校 2021： 濱嶋 彩加(高3)【早稲田実業学校高等部】、今野 翼(2021年卒)【仙台城南高等学校】、 二本柳 安珠(高2)【淑徳与野高等学校】、田中 康誠(高3)【西大和学園高等学校】、 恒吉 かずき(中等5)【東京大学教育学部附属中等教育学校】、店網 航輝(高2)【大阪府立佐野高等学校】、 伊藤 大朗(高3)【岐阜県立岐阜高等学校】、早川 さくら(高3)【江戸川学園取手高等学校】、 幸泉 花梨(高3)【神戸女学院高等学部】、伊勢上 さくら(2021年卒)【須磨学園高等学校】	
47S	銀河の形状によって星形成の様子はどう変わるか	56
	もし天 2021 Galaxsea 班： 坂田 和花(高1)【フェリス女学院高等学校】、 末吉 一輝(高2)【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、下河邊 太智(高1)【海城高等学校】	

H 宇宙探査・開発 Space Mission / Development

48T	人工衛星を通じた持続可能な協働学習プロジェクト	57
	立教新座高等学校 観測部： 前橋 秀哉、江口 智浩(高3)、 須崎 溪介、佐藤 功一、勝野 遥成、奥平 樹、白石 佑一郎、岡本 拓己(高2)、 大野 瑛人、齋藤 透、大野 陸人、井置 蹴人(高1)【立教新座高等学校】	
49P	数取器を用いてストレスを可視化する事は可能か	58
	三上 葉づ希(高2)【青翔開智高等学校】	
50T	I-SITERU (アイシテル) In-Situ niTrogEn Regeneration and Utilization	59
	- 火星上の窒素循環システムの構想 - 第 20 回 君が作る宇宙ミッション APOLLO 班： 尾崎 杏華(高2)【山形県立東桜学館高等学校】、本岡 飛明(高2)【京都市立京都工学院高等学校】、 井上 隆太郎(高2)【愛知県立明和高等学校】、谷口 奈奈世(高2)【岐阜県立岐阜高等学校】、 山本 夢(高2相当)【Bloor Collegiate Institute】、吉川 千華(高3)【明治大学付属明治高等学校】	
51P	紙を用いた宇宙船の地球着陸時の衝撃吸収構造	60
	天文部： 田中 心結、鈴木 佳吾、小川 穂夏、藤井 翔太、大坪 佳暖、大森 万凜、宮原 芽果、諏澤 結季、 佐藤 凜、諸口 徳人、高橋 拡希(高2)、 井上 空、笠井 朱莉、佐々木 花、浪江 陵太、刈込 大聖、安藤 名那、山上 胡桃、荒木 慶斗、 梅田 颯太、野澤 瑛人、四元 和哉、市蘭 瑠菜、彦坂 海月、島貫 夏樹、浅倉 大和、澄田 紗弥、 矢崎 鼓虎、小川 有里、関口 みのり、本領 彩、鈴木 莓愛(高1)【星野高等学校】	

T: 講演 (4 分間) + 質疑 (1 分間)
S: ショートプレゼンテーション (1 分間)
P: ポスターのみ

52T 次世代天王星型惑星・氷衛星探査機 UNITE (UraNian planet and Icy satellite Explorer) の概念検討 **61**

第 20 回 君が作る宇宙ミッション ARTEMIS 班:

赤石 悠太郎 (高 2) 【大阪府立三国丘高等学校】、妻沼 朔寿 (高専 2) 【旭川工業高等専門学校】、
河野 旺実 (高 1) 【海城高等学校】、深沢 匠 (中等 4) 【神奈川県立相模原中等教育学校】、
山田 優斗 (高 1) 【武蔵高等学校】、藤野 克彬 (高 2) 【早稲田実業学校高等部】

I 装置・観測方法 Instrument / Method

53T 寛政改暦の観測に用いられた水準器とその使用法 **62**

科学部天文班:

百瀬 健太郎、岡村 結哉、清水 瑛貴 (中 2) 【塩尻市立丘中学校】

54T 星食現象の独自観測・解析システムの構築
～MATLAB による星食現象自動解析プログラム～ **63**

宮崎県立宮崎北高等学校 科学部 地学班:

菊池 慶祐、森岡 怜生、木田 真太郎、濱川 咲笑 (高 3) 【宮崎県立宮崎北高等学校】

55P ウェブカメラ映像の Python プログラムによるスペクトル分析 **64**

大谷 由貴菜 (高 2)、秦樂 翔和、松本 こころ、平沼 桃子、國井 証希、一條 裕紀、野口 隼佑 (高 1)
【駿台学園高等学校】

56T VLBI の民間化を目指した自作電波望遠鏡による中性水素スペクトルの観測 **65**

有井 潤、山東 歩夢、鈴木 大輝、空 佑音、林 慎一郎、林 祐樹、廣田 結子 (高 2)
【和歌山県立向陽高等学校】

57T アクリル重力レンズのフレネルレンズ化 **66**

野田 まりか (高 2) 【金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校】

58T μ^- 粒子による物質の構成元素識別システムの確立 **67**

岩井 柊馬、小川 真結 (高 2) 【宮城県仙台第二高等学校】

J その他 Others

59T 天体を見ることが人の心に与える影響 - 星空で癒されることの探究 - **68**

河越 優花 (高 2) 【西武学園文理高等学校】

60T もしもダークマターがなかったら、どんな宇宙になるか **69**

横須賀高校 Principia-II ダークマター研究グループ:

渡辺 桃加、唐木 京美、黒沼 颯太、森田 晴貴、細川 怜太郎 (高 2) 【神奈川県立横須賀高校】

太陽の位置と時刻を用いた、太陽-地球間の距離の新しい算出方法の確立

竹野 脩太、稗田 彪雅、ペルー 光詞、前田 姫和、八木 大樹（高2）【兵庫県立龍野高等学校】

要旨

太陽-地球間の絶対距離を算出する新たな方法として太陽の位置と時刻を用いるものを確立した。

1. 目的

古代ギリシャの学者であるエラトステネスは、鉛直に立てた棒とその影がなす角を用いて地球の全周長を求めた。私たちも、太陽-地球間の距離を求める新たな方法を確立する。

2. 方法

太陽と地球が平面であると考え、太陽が真横に来た時の時刻と真上に来た時の時刻を用いる方法（図1参照）で計算を行った。この方法ではコンマ何秒の精度でこれらの時刻を求める必要があり球面三角法を原理とした時刻の求め方を参考に python にて計算のスク립トを作成し、時刻を求めた。

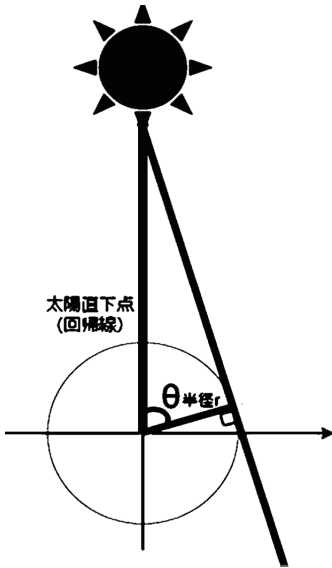


図1 太陽の位置と時刻を用いた方法の模式図

3. 計算式及び結果

θ = 太陽の動き（真横～真上）にかかる時間/1日

太陽の動き（真横～真上）にかかる時間 = 日の出の時間から大気差等を考慮したもの - 南中時刻

太陽-地球間の絶対距離 = 地球の半径 / $\cos(\theta)$

結果 1.33×10^8 (km)

```
while True:
    y=sympy.symbols('y')
    a=sekikeinokatamuki*x +sekikeil
    b=sekiinokatamuki*x +sekiil
    th=t0 + 360.9856474*x +keido
    r=kyorinosyokiti +kyorinokatamuki*x
    k=(0.0024428)/r
    iido=math.radians(ido)
    aa=math.radians(a)
    bb=math.radians(b)
    tthh=math.radians(th)
    rr=math.radians(r)
    kk=math.radians(k)
    f=sympy.cos(y)-((sympy.sin(kk)-
(sympy.sin(bb)*sympy.sin(iido)))/(sympy.cos(bb)*
sympy.cos(iido)))
```

スク립ト一部抜粋

4. 考察

理論の検討及び算出された値を他の方法で算出された値と比較し、この方法は現時点で最も有効なものであるといえる。しかし、十分な精度の値を出すことが現時点では出来ていない。その原因として次のことが考えられる。この方法では計算でもとにする地点の南中高度が90度である必要があるが python のスク립トでは90度の地点の座標を逆算する機能をつけていなかったため、正確に南中高度が90度の地点で計算できていなかった可能性がある。

5. 結論

本研究の目的は太陽-地球間の絶対距離を求め、その値を使い太陽の半径など様々なものを計算することであったが、それができる十分な精度の値を求めることができなかった。太陽の位置関係を用いる方法では、考察で上げた改善を行うことでより精度を上げられると考えられる。

6. 展望

太陽-地球間の距離を十分な精度で算出する。また、そのデータを用いて、太陽の直径などさまざまな値を算出したいと考えている。

7. 参考文献

日の出日の入りの計算 長沢 工(著者)

日食の継続時間について

ハートピア安八天文台ジュニア天文倶楽部：

原田 聡成（中2）【大野町立大野中学校】、尾崎 由基（中1）【安八町立登龍中学校】

石橋 佑心（中1）【羽島市立竹鼻中学校】

要旨

本研究では2019年1月6日の部分日食の写真観測からわかった、日食の前半（日食開始時刻から食分が最大となる時刻までの時間）と後半（食分が最大となる時刻から日食終了するまでの時間）の約9分間の時間差に着目し、過去や未来の日食を調べ時間差の原因を考察した。同じように日食の前半と後半で時間差があるのか、日食のおきた時刻、季節などの関係から日食全体にどのような傾向、規則があるのかを調べ、それらの原因を絞ることができた。

1. 目的

- A. 日食の前半と後半の継続時間に、約9分間の違いが生まれた2019年1月6日の部分日食は特別な日食なのか。
- B. 食分が最大となる時間帯によって、日食の前半と日食の後半にどのような特徴があるのか。
- C. 月の動きと地球の動きに着目した場合、その変化が日食の前半後半の時間差にどう影響してくるのか。

2. 研究概要

A. 2019年12月26日、2020年6月21日の部分日食は曇雨天で継続観測が出来なかったため、国立天文台ホームページの暦計算室からハートピア安八天文台（岐阜県安八町）で見られる過去と未来の日食データを取得し、表1の通り日食の前半と後半の時間の差、継続時間の特徴をまとめた。

B. 表1で過去及び未来の日食についてのデータを基に、横軸に日食の食の最大となる時刻を、縦軸に食の前半と後半の時間差を取り、日食の最大時刻と前半後半の時間差の関係の散布図（図1）を作成し、どのような関係があるか調べた。

C. 図2は春分（秋分）の日に、見かけ上の月の移動距離と地球の円周角を考えた場合、同じ円周角であっても見かけ上の月の移動距離は異なるという結果より、月の相対速度と地球の自転速度との関係をグラフにしたものである。縦線は2019年と2035年の食の開始、最大、終了を表す。月・地球の相対速度の変化、さらに季節による観測地点（日本）の動き、昇交点と降交点による月の影の動きの違いによる組み合わせが、日食の前半と後半との時間の差を作っているのではないかと調べた。

3. 結果

A. 調査したすべての日食で食の前半と後半の時間が異なっており、最大で約12分であった。2019年1月6日の日食は特別ではなかった。

B. 図1に示したように、食の最大時刻によって、日食の前半後半の時間の長さに特徴があり、午前中の日食は後半が長く、正午近くの日食は前半後半の時間差が少なく、午後の日食は前半が長かった。食の最大時刻がほぼ同じ日食であっても前半後半の継続時間の差が大きいものもある。全体として散布図は「斜め蝶型」の特徴を示した。

C. 月の影の速度は、地球の自転により観測点が移動するため、相対速度で考えると朝夕は速く、正午は遅く見える。また、太陽から見た日本の軌跡は季節によって動き方が大きく異なり、月の影も昇交点か降交点かによって動く向きが違ふ。それらの組み合わせによって月の影内の日本の動く距離が前半と後半で変わるため、日食が観測できる時間が異なってくる。図3に夏至と冬至の観測地点の移動と日食時の影を示した。

4. まとめ

日食の前半後半の継続時間はその食分の最大時刻によって、どちらが長いかが決まっており、正午でほぼ等しくなり、正午から遠くほど時間差は大きくなる。そしてその時間差は月・地球の相対速度、季節変化による観測地点の移動経路の変化、昇交点と降交点による月の影の動く向きの違いによって変動する。今回の研究では日食の前半後半の時間差の規則性、それらが生まれるいくつかの要因について迫ることができた。しかし、月の影内の日本の動きが日食の前半後半で変わる詳細については検証できないため、それらが一体どの程度時間差に影響するのかはまだはっきりとはわかっていない。更に新たな規則、要因が見つかるかもしれないので、今後も継続して研究を続けていきたい。

5. 参考文献等

国立天文台 暦計算室 日食各地予報 https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/eclipse_x_s.cgi

【謝辞】ハートピア安八天文台台長 船越浩海先生には研究の様々な場面でご指導・ご助言をいただきました。本当にありがとうございました。

表1 岐阜県安八町ハートピア安八天文台で見られる日食

No.	年月日	種類	食の		時間の差		継続時間
			最大時刻	最大食分	前半-後半		
①	2002/6/11	金環日食	7:37:59	0.422	-0:05:46	1:57:14	
②	2004/10/14	部分日食	11:36:39	0.180	-0:00:08	1:38:00	
③	2009/7/22	皆既日食	11:07:19	0.790	-0:00:59	2:36:43	
④	2012/5/21	金環日食	7:31:43	0.943	-0:11:59	2:38:59	
⑤	2016/3/9	皆既日食	11:01:33	0.232	-0:01:03	1:47:31	
⑥	2019/1/6	部分日食	9:59:43	0.397	-0:08:50	2:45:54	
⑦	2019/12/26	金環日食	15:32:19	0.367	0:07:39	2:08:09	
⑧	2020/6/21	金環日食	17:09:51	0.510	0:06:11	1:58:15	
⑨	2030/6/1	金環日食	17:07:42	0.759	0:09:42	2:22:06	
⑩	2032/11/3	部分日食	15:33:06	0.516	0:09:06	2:24:42	
⑪	2035/9/2	皆既日食	10:02:48	0.958	-0:06:24	2:49:48	

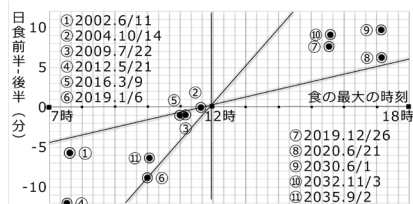


図1 日食の前半後半の時間差と時間帯の散布図

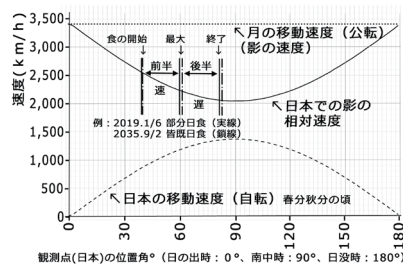


図2 日食の影の移動速度と観測点(日本)の移動速度の変化

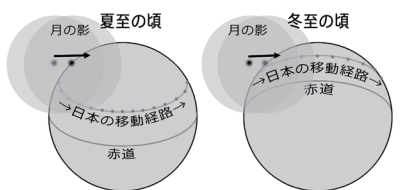


図3 自転による日本の移動の季節変化と日食の月の影(日食時に太陽から見た地球と月の影)

江戸時代の太陽の南中高度の観測法と景符の変遷

科学部天文班：

安藤 寧音、中島 颯菜、今村 月乃（中1）【塩尻市立丘中学校】

1. 要旨

江戸時代の太陽の南中高度の観測法の「復元」を目的として、寛政暦書の記述に基づいた観測を行い、景符の構造がピンホール（貞享暦）、スリット（宝暦暦）、ピンホール（寛政暦）と移り変わった理由について考察した。

2. はじめに（観測と中心極限定理について）

第23回ジュニアセッションでの私たちの圭表儀の観測の発表^{*1}について、国立天文台の馬場俊介先生から「寛政暦書の観測手順で最後に『複数回測定して中心を取れ』という、今の実験でも基本の方法（中心極限定理）が書かれていたのに驚きました。丘中の観測手順ではそういうことはしているでしょうか？」というコメントを頂いた。しかし、私たちはスリット型の景符を使っていたため、1回の観測に1回しか測定できていなかった。そこで、寛政暦書の方法で複数回の測定をして、精度の高い観測ができるかを確かめてみることにした。

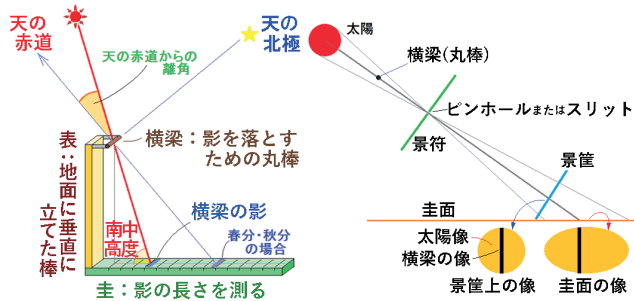


図1 圭表儀の仕組み

左：南中高度を測る仕組み 右：景符と景筒のはたらき
景符で圭面上に太陽と横梁の像を結ばせて、観測精度を高める。

3. 寛政暦書に記載された方法

（前略） 則ち、隠然と見えしその梁影于（よ）り、光点中に於いて此れを取る。景筒を（景）符の下に置き、其れ景に縮迫す。則ち梁影甚だしく頭明に見る也。而して景筒を去り、圭面に墨点を記す。その影また一時（一回）に決定すべからず。ゆえに進退せる景符の光点中の梁影の所を畫（か）く。下書きの墨点数か所、折衷してその晷心を取る。晷心已と正なり。而して後、圭尺を用いてその近傍の畫を査（しら）べ、本日の晷景の丈（尺寸分厘）を、垂線を用いて得る。（後略）（漢文で書かれた暦書の読み下し文^{*1}）

4. 私たちが再現した方法

圭面の上にぼんやりした横梁の影の前に景符を置く。景符のピンホールがつくる太陽像の中に横梁の像が見られたら、景符を圭の長さ方向に少し動かす。すると横梁の像が太陽像の中を動くので、太陽像の中心になったときに、横梁の像の位置に点を打つ。これを、圭と垂直方向に少しずつずらしながら7~10回ほど繰り返す。点を打ち終わったら、点のばらつきの中央となるように、圭の方向と垂直な線を引き、そこから横梁の真下の点までの距離をものさしで測る。



図2 景筒を逆向きにして光を遮り、圭面に横梁の像を明瞭に映す

これまでのスリット型の景符の場合、横梁の像が太陽像の中心にあるかどうかを判断するのが難しかったが、この方法だと測った点が圭面に垂直（横梁の向き）に並ぶことを利用して、正確な位置を判断しやすい。また、景筒に像を映すと鮮明で見やすくなり、また図2のように逆さまにして光を遮ると圭面に映る横梁の像を鮮明にすることができる。

5. 観測結果

結果を図3に示す。図3には、主として公転速度の変化が波の形を描いて現れると考えられる^{*3}。新たな観測法による2021年8月以降の観測では、それ以前より観測値のばらつきが少なくなり、比較的明瞭に変化が現れてきているように見える。今後も観測を継続して確かめていく予定である。

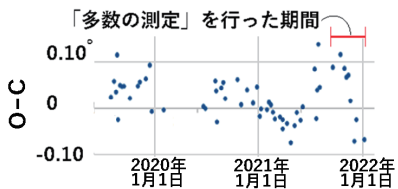


図3 観測結果

O：圭表儀による南中高度の観測値
C：地球の公転について、軌道が離心円で速度が一定であると仮定して計算した値

6. 観測法から景符の形式の変化の歴史を考察する

江戸時代に使われていた景符は、貞享暦(1683年)ではピンホール型だったが、宝暦暦(1755年)ではスリット型が使われ、寛政暦(1798年)になると再びピンホール型に戻っている^{*2}。宝暦暦では、昨年までの私たちの観測法と同じように、より明るい像にするためにスリット型にしたと考えられる。また、寛政暦では、より多くの測定から精度の高い観測値を得ようとしてピンホール型を採用し、その「像が暗い」という短所は、景筒を使うことで解決した^{*1}のだと考えられる。

【参考文献】

- 1 市川朔豊, 圭表儀の補助観測器具「景筒・景符」の役割, 2021年, 第23回日本天文学会ジュニアセッション予稿集
- 2 柳澤洋文, 古観測機器「圭表」の3DCG復元, 2012年, 天文教育普及研究会誌『天文教育』Vol24 No. 1
- 3 長田琉斗, 八尺の圭表儀を用いた太陽の南中高度の観測, 2019年, 第21回日本天文学会ジュニアセッション予稿集

十字形の横梁を用いた太陽の南中高度・南中時刻の観測

科学部天文班：

伊藤 慎之助、池田 伊吹（中2）【塩尻市立丘中学校】

1. 要旨

丘中天文班には 8 尺の大型圭表儀の他に、先輩たちが考案した十字形の横梁を持つ高さ 60cm の「方位高度測定器」も残されている。これを用いて二次式に近似させることで、圭表儀同様に精密な南中高度の測定および南中時刻の測定ができるのではないかと考えて観測と精度の検証を行った。

2. 方位高度測定器の仕組み

景符と呼ばれるピンホールを使って太陽と横梁の像を水平面上に映すのは圭表儀と同様である。横梁が十字形であることと、幅の広い水平板上に像を映す点が異なっている（図 1）。

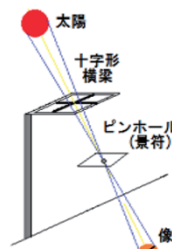


図 1 高度方位測定器の仕組み

3. 方位高度測定器を用いた観測

(1) 観測方法

景符が水平面上に映す太陽像の中心に十字形横梁の像がくるようにし、その交点に印をつける。これを、11 時頃から 12 時 30 分頃まで 5 分ごとに繰り返す（図 2）。観測後に十字型横梁の真下の点から影の位置までを測って、影の長さの変化を調べる。



図 2 観測のようす

(2) 計算方法

方位高度測定器は、圭表儀と異なり 5 分間隔で測るため、影が最も短くなる時の長さや時刻がわからない。そこで観測結果のグラフと最もよく一致する二次関数の式を求め、影の長さの最小値と南中時刻を求めた。表計算ソフトを用いて、二次関数 $y=a(x-b)^2+c$ に逐次近似して求めた。

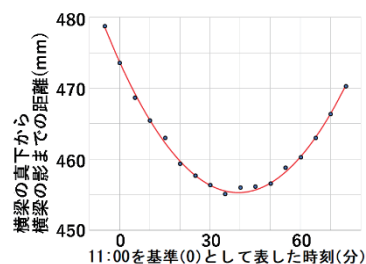


図 3 観測値と二次曲線を重ねる

4. 観測と国立天文台こよみの計算室の計算結果との比較

(1) 観測の結果

2021 年 9 月 24 日の観測について上記の式の a, b, c の値を変え、最小二乗法により逐次近似した結果を図 3 と表 1 に示す。b は 11 時を基準とした南中時刻であることから南中時刻は 11 時 39 分 22 秒と求められる。c の値は最も短くなる時の影の長さであり、そこから南中高度を求めると 52.87° となる。国立天文台こよみの計算室の web サイトを使った結果と比べると、誤差は南中高度が 0.5° 、南中時刻が 50 秒ほどと大きい。これは初めての観測で不慣れだったことに加え、太陽や横梁の像が見えにくいことも原因であると考えた。

表 1 初めての観測の結果

9月24日	南中時刻	南中高度
計算室	11時40分12秒	53.36
四号機	11時39分22秒	52.87

(2) 精度向上のための工夫

精度向上のために、圭表儀でも用いられている景筐という観測補助器具の使用を試みた。結果は表 2 のようになった。南中高度はかなり正確になり、圭表儀の観測結果よりも精度がよくなる場合もあった。しかし、南中時刻はあまり改善せず、3 回の観測全てにおいて 30 秒ほど早い値となっている。そこで、測定器の盤面を調べてみたところ、ゆがみが生じていて、わずかに中央部分が浮き上がっていることが判明した。このことが南中時刻のずれに関係していると考えられる。

表 2 景筐の使用など、改良を加えた観測の結果

12 月に圭表儀の誤差が大きいのは、下げ振り部の不調のため。

11月13日	南中時刻	南中高度
計算室	11時32分23秒	35.89°
四号器	11時31分48秒	35.86°
圭表儀		35.91°
12月4日	南中時刻	南中高度
計算室	11時38分15秒	31.63°
四号器	11時37分57秒	31.58°
圭表儀		31.52°
12月11日	南中時刻	南中高度
計算室	11時41分17秒	30.88°
四号器	11時40分27秒	30.84°
圭表儀		30.82°

5. まとめと考察

- ・高度方位測定器を用いても南中時刻と南中高度を求めることは可能である。
- ・圭表儀と同じく観測に圭筐を用いることでより正確な観測をすることができる。
- ・圭表儀では精度向上のために、観測時に点を 7 から 10 回打って観測を行う。一方、この測定器は横梁の高さが 60cm と小型の装置であるが、20 回またはそれ以上の回数の測定をすることが可能であることから、大型圭表儀と同様の高い精度の観測ができるのだと考えられる。
- ・全ての観測において南中時刻が 30 秒ほど早くなることについては、方位高度測定器のゆがみに関係していると考えられる。

6. 今後の課題

水平部のゆがみを修正できるような機能が付いた装置を製作していきたい。

【参考文献】

松澤シズほか、影の長さの変化の観測から祖沖之の法で太陽の南中時刻を求める、第 21 回日本天文学会ジュニアセッション予稿集

Unityを用いた小惑星軌道の安定性の検証

浅沼 航志、河南 佳吾 (高1) 【巢鴨高等学校】

要旨

ゲームエンジンの物理演算機能を用いて、太陽と木星の重力を受ける小惑星の軌道の力学的な安定性について検証を行った。

1. はじめに

2021年10月16日、NASAの小惑星探査機Lucyが打ち上げられた。この探査機はトロヤ群小惑星やメインベルト小惑星の計8つの小惑星を観測する予定である。これをきっかけとして、小惑星軌道について詳しく調べることにした。

2. 目的

火星と木星との間に存在する多数の小惑星のうち、木星の重力を受けて軌道が安定するトロヤ群小惑星、ヒルダ群小惑星、チュレ群小惑星と不安定になるカークウッドの間隙における小惑星軌道の安定性についてゲームエンジンを用いたシミュレーションにより検証する。

3. 方法

(1) 使用したPC、シミュレーションソフト

使用したPC：NEC VersaPro

- ・プロセッサ：corei3-8145U CPU 2.10GHz
- ・実装 RAM：8.00 GB

シミュレーションソフト：Unity¹⁾

無料でダウンロードできるゲーム制作エンジンで、多数の参考書やサイトがある。

(2) 確認

(2-1) 万有引力による運動の確認

mizu-mi blog²⁾では地球が太陽の周りを円運動や楕円運動の様子をシミュレーションしている。今回は容易に検証可能な円軌道のみで再現を行った。

(2-2) 万有引力による運動の確認(2)

mizu-mi blog³⁾では、月が地球と太陽からの両方の重力を受けて、地球の周りを回る様子をシミュレーションしている。これは同じ三質点系を扱う本研究に似ており、パラメーター（オブジェクトの設定方法）やスクリプト（力の式の記述されたファイル）が公開されていたので参考にした。

(3) 手順

宇宙規模のスケールで計算した後、Unityの規模に合わせてスケールリングする。

(3-1) 太陽、木星のデータ

・太陽と木星の質量、木星の軌道半径と公転周期は理科年表⁴⁾から引用した。

・初期位置：太陽は原点、木星は太陽から 7.783×10^{11} m離れた位置に置く。

・木星の速度：等速円運動を仮定して、向心力=万有引力より初速を求め、太陽と垂直な方向に与えた。

(3-2) 小惑星のデータ

・軌道半径：平均運動⁵⁾ (1周期で平均した公転角速度)の逆比が木星の公転周期と小惑星の公転周期の比になる。小惑星の公転周期からケプラーの第三法則より軌道半径を求めた。

・初期位置：トロヤ群小惑星以外はすべて太陽と木星の直線上の各々の軌道半径の位置に置く。トロヤ群小惑星L4は木星の公転方向に対して前方 60° に位置する。L5は後方 60° に位置する。

・質量：ほぼ正確な値が定まっているイトカワやリュウグウの値を考慮して 1.0×10^{10} kgとする。

・初速：木星と同様に、向心力=万有引力より求めた。

(3-3) スケールリング

Unityでは質量の上限が 1.0×10^9 kgに設定されているため、 10^{-22} 倍にした。大きさは値を参考文献3に近づけるため、 10^{-10} 倍にした。速度を同じ値にするため、重力定数を 10^{12} 倍にした。

4. 結果

今回は、方法(2)までの結果を示す。

確認(2-1)の結果を図1に示す。このようにUnityでは、ほぼ誤差がなく、きれいな円運動をリアルタイムで描けることが分かった。

確認(2-2)の結果を図2に示す。このように月が太陽と地球から重力を受けていることが分かる。つまり、スクリプトは間違っておらず、ゲームエンジンを用いたシミュレーション実験に使用できることが分かった。



図1 太陽と地球の運動の様子 (中心の点が太陽、黒い軌跡が地球)



図2 太陽と地球と月の運動の様子 (うごいていない点が太陽、外側の点が月、中間の点が地球)

5. 考察

軌道計算の精度について考察を加える。ケレスに働く木星からの万有引力に対する太陽からの万有引力の割合を、万有引力の公式 $F = G \frac{mM}{r^2}$ を用いて求めると、約4%であることが分かった。(ケレスは観測がしやすく、質量がほぼ正確に定まっているため計算に使用した。)つまり、本実験で木星の重力による明らかな影響を表すには正確な計算が必要となる。Unityの参考文献2で使用したfloatが32ビットであることを考慮すると、実験結果からUnityは小惑星の木星の重力による軌道のズレを見ることが可能であると推測される。

6. 今後の課題

まずは、手順(3-3)で求めた値を代入し、ゲームエンジンを用いたシミュレーション実験を終わらせたい。さらには、今回は簡単のために省略した木星の楕円運動や、軌道傾斜をUnity上で再現し、定量的な評価を行いたい。また、実際の楕円運動がシミュレーションでできるようになれば、ヒルダ群小惑星が太陽を挟んで木星の反対側、あるいは木星より 60° ほど前もしくは後ろにある力学的に平衡な点、ラグランジュ点L4、L5の内側のいずれかの遠日点を通過することも示したい。

7. 参考文献

- 1) Unity公式サイト <https://unity.com/ja>
- 2) mizu-mi blog | Unityで万有引力による運動の確認 <https://mzmlab.hatenablog.com/entry/unity-planet>
- 3) mizu-mi blog | Unityで万有引力による運動の確認(2)～月も回してみた <https://mzmlab.hatenablog.com/entry/unity-planet-moon>
- 4) 国立天文台 編. 理科年表2021. 丸善出版, 2020年
- 5) 天文学辞典 | 平均運動共鳴 <https://astro-dic.jp/mean-motion-resonance/>

デジタル一眼レフカメラとSQMを用いた夜空の明るさ調査

立川高校天文気象部：
千葉 愛璃咲、平岡 七海（高2）、門馬 暖大（高1）【東京都立立川高等学校】

要旨

天文気象部の先行研究を引き継いで、デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ調査を行い、季節による明るさの変化に着目して分析した。また、SQMを用いて時刻による夜空の明るさの変化を調査した。

1. はじめに

日々の天体観測から、地上付近では街明かりが夜空の明るさに大きな影響を与えていると感じる。本部の大磯ら[1]は、2019年に浜島ら[2]が視程観測のために開発した一眼レフカメラをコンピュータ制御して自動撮影する装置（図1）を夜間にも活用し、夜空の定時撮影を行った。2021年の約1ヶ月間の撮影画像から夜空の明るさが変化する条件を探り、天候や街明かりとの関連を探った。本研究ではこの先行研究を引き継ぎ、約1年間観測を継続して季節や時刻による夜空の明るさの変化を調査した。



図1 観測装置

2. 目的

夜空の明るさが季節や時刻によってどのように変化するかを探る。

3. 研究方法

(1) デジタル一眼レフカメラで定時撮影した画像を分析する

装置：Raspberry PiとNikonD3400

(iso800 f5.6 露出1s 焦点距離55mm)

期間：2021年1月より約1年間 20時から6時まで1時間毎に定時撮影

方向：本校から西側（富士山方面）と東側（都心方面）

分析：Pythonプログラムを用いて図2の方法でグラフ化し、季節や天候と夜空の明るさの関連を調べる。

(2) 撮影画像の保存形式（JPEGとRAW）による違いを比較する。

(3) Sky Quality Meter(SQM)を用いて、方位・仰角による明るさの違いを1時間毎に調べる。

本校屋上で徹夜観測を実施した際に、1時間毎の夜空の明るさ変化をSQMで8方位、仰角10度ごとに測定し、明るさの値を明暗で表して全天の明るさの度合いを可視化する（観測日時：2021年12月13日18時～14日6時）。

4. 結果と考察

(1) 富士山方面を10カ月間、都心方面を9カ月間撮影した画像から作成したグラフを、形状により3段階に分類した。Aは雲や街明かりの影響をほとんど受けておらず、Cはその影響を大きく受けていると推察される。2つの方向の同時期の暗い日の割合が大きく異なることから、都心方面は街明かりが大きな影響を与えていると考えられる。また、富士山方面の1年間の傾向から、夏期に比べて冬季は暗い日の割合が大きく、雲が無い晴れの日が多いことが関連していると考えられる。

(2) 図5より、RAW画像から作成したグラフの変化はJPGと類似した傾向を示した。これはRAW画像の特性ではなく、グラフ化に用いたpythonライブラリの処理に起因する可能性があり、今後とも調べたい。

(3) 図6より、20時から翌3時にかけて徐々に暗くなり、その後は明るくなる傾向が読み取れた。特に6時はSQMの観測値が急激に小さくなっており、薄明のためと考えられる。また、仰角が低いほど夜空は明るい傾向があり、街明かりの影響が推測される。南西側は特に明るい建物があり、測定値が低かった。

5. 今後の展望

今後も観測を継続し、撮影画像を用いた夜空の明るさの分析を更に進める。

6. 参考文献

- [1]東京都立立川高等学校天文気象部 大磯佳苗ほか『デジタル一眼レフカメラを用いて夜空の明るさの変化を探る』2021天文学会ジュニアセッション
- [2]東京都立立川高等学校天文気象部 浜島悠哉 ほか『視程観測機"Clear Sky"』2019 高校高専気象観測機器コンテスト

7. 謝辞

本研究を行うにあたり、本部卒業生の樋口陽光氏、浜島悠哉氏にはプログラムの製作でご指導いただきました。御礼申し上げます。

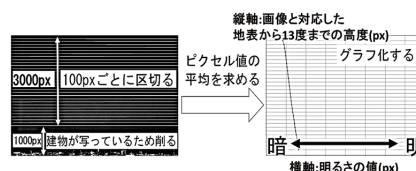


図2 撮影画像から作成したグラフ

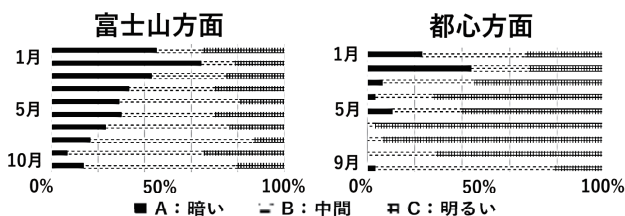


図3 夜空の明るさの季節変化

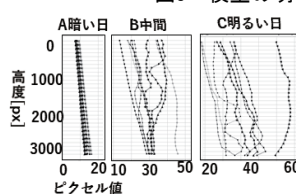


図4 形状による分類の例

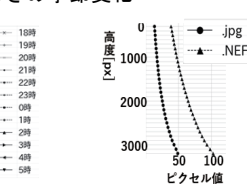


図5 JPGとRAW (NEF) 画像の違い

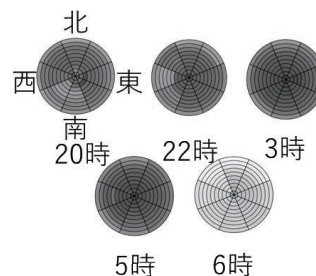


図6 SQMによる全天の明るさの経時変化(12月13/14日)

カラー冷却CCDを用いた光害の測定

森脇 花楓 (2年) 【お茶の水女子大学附属高等学校】

要旨

人工の光によって、都会の夜は明るくなっていて、そのことにより起こる害は光害と呼ばれる。今回はカラー冷却CCDを用いて光害の原因である都会から郊外に出ている光と都会での光の両方について色成分を分析した。

1. 研究動機

東京に住む中で、夜空を見上げて、星が郊外と比べ非常に見えにくいと感じている。そこで、光害を解決したいと考え、光害の原因の都会の光と都会から郊外に出ている光について、東京と東京を見下ろせる富士山の2地点からカラー冷却CCDを用いて撮影し、色成分の時間経過から分析したいと考えた。

2. 研究方法

カラー冷却CCDとして、BITRAN社のBU-50Cを使用した。

冷却CCDの設定を 露光時間120s F値2.4/3.5mm

焦点距離8mm 冷却温度-10.0°C

ホワイトバランスR=0.91 G=1.00 B=1.11に設定する

(1)東京から郊外に出る光について

撮影方法：富士山五合目で2021年9月19日の18時~2時の間、1時間ごとに撮影を行う

分析方法：imageJで下図線部のRGB値をグラフ化

撮影日の条件：天気 晴れ 気温 7.7~12.9°C

湿度 59~76% 撮影方向に東京と横浜

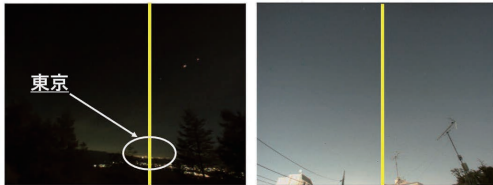


図1 富士山

図2 東京

(2)東京の光について

撮影方法：東京都目黒区で2021年10月8日の18時~0時の間、1時間ごとに冷却CCDで撮影を行う

分析方法：imageJで下図線部のRGB値をグラフ化

撮影日の条件：天気 晴れ 気温 23~26°C

湿度 68~80% 新月

3. 結果

(1)東京から郊外に出る光については図3で示す。

(2)東京の光については図4で示す。

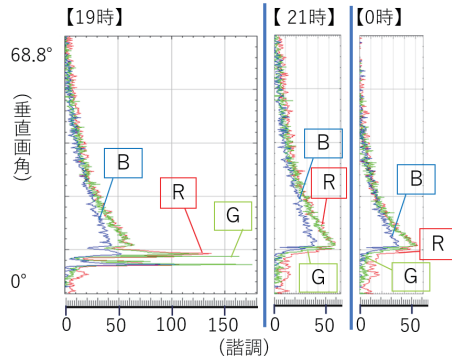


図3 RGB値(1)

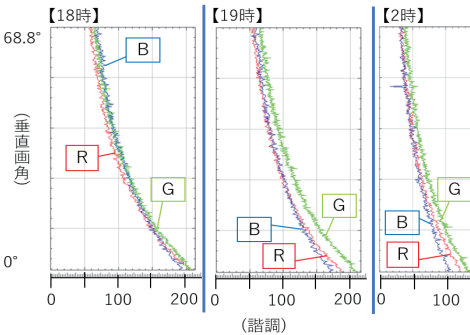


図4 RGB値(2)

4. 考察

(1)東京から郊外に漏れ出る光について

まず、図1の○で囲まれた部分(図3の最下部に該当する)の、東京から直接来る直接光について考える。図3の下部はRGBの順で光が強くなっている。これは、空気はBGRの順で屈折率が高く、光が曲がりやすいため、標高の高い富士山に届く光の量は逆にRGBの順になるため図3の下部がRGBの順になったと考えられる。

また、時間の経過に伴いRの比率が高くなっている。これは、深夜に向かって人の行動が減り、埃などの粒子が地上に下りてくることで光の散乱が大きくなり、ミー散乱の前方散乱がRGBの順に強くなるためと考えられる。

次に、図3上部はRGBの順になっている。これは、太陽が地球の裏側にあることと光源がないことから、都会で散乱した光の割合が高いと考えられる。そして、早い時間では、上空の埃の密度が高く多重散乱が起こり、光強度は同じになる。しかし、地上に埃が落ちていくとミー散乱の前方散乱の違いが大きくなり、RGBの光強度に差が生じる。なので、上空は時間経過とともに光が弱くなってゆき、かつRGBの順になっていると考えられる。

(2)東京の光について

図4では、18時と比較し、19時以降のものは全体的にGの比率が高い。このことは、街灯が点灯することに起因すると考えられる。そして、遅くなるにつれて地表付近のRの比率が高くなるのは先ほどの富士山と同じで、粒子の沈降による光の散乱の影響であると考えられる。

5. まとめ

(1)より、富士山という標高の高い地点では都会から直接届く光と、都会の光が散乱されて届く光が確認され、都会の光は都会ではない空気の澄んだところにまで影響を及ぼしていた。(2)からは空気の澄んでいない都会では光源が大きな原因であり、空気中の粒子の影響も大きそうである。2つから、光害の原因はただ看板や街灯だけでなく、人間活動に伴う埃の影響も大きいと考えられる。

6. 謝辞

本研究を進めるにあたりご指導ご協力いただいた、東京農工大学の高木康博先生、岩井俊昭先生、藤井恒人先生に感謝いたします。

スプライトの発生状況と発生時の気象条件について

成蹊高等学校 天文気象部：橋本 真依、保母 美佐子、渡邊 優海、佐竹 卯月（高2）、
長谷川 創一、浅沼 恵太、西谷 友翔、水嶋 悠人、宇井 俊正、岡田 紘明、
吉田 華音、吉田 花音、青木 千佳、深谷 真奈（高1）【成蹊高等学校】

要 旨

私たち成蹊高等学校天文気象部では、高高度での雷放電発光現象のひとつであるスプライトの発生状況と、発生時の気象条件の解明を試みた。冬季の北陸地方で発生するスプライトは、低気圧やそれに伴う前線の通過時に、エコー頂高度6-8kmで発生する事例を最も多く捉えた。

1. はじめに

スプライトとは、雷雲からの放電現象のひとつで、中間層の発光現象である。雷雲から鉛直上方向の高度50～80kmで窒素分子が発光する。発光時間は100ミリ秒以下と短い。さまざまな種類があり、目視は難しいが、高感度かつ高時間分解能のカメラで撮影することができる。

本校では東京学芸大学と共同で高感度カメラを屋上に設置し、スプライトの観測を行っている。その観測機器と観測データが揃っているなかで、私たち天文気象部もスプライトのことを研究したいと思ったことが、今回の研究動機である。

2. 研究目的

今回の研究では、スプライトの発生条件と、発生時の気象条件を調べることで、本校と学芸大学の共同研究に貢献し、またこれからの研究に役立つ成果を得ることを目的とする。

3. 研究方法

2019年6月～2021年12月の3年間を対象とした。ワテック社製の高感度カメラWAT-902H3 ULTIMATEを屋上に設置し、UFOキャプチャーV2で多数の明度変化現象を記録した。撮影された画像・映像データを、スプライトとそうでない、流星や虫、飛行機の光などに目視で分類した。また、気象条件を調べるために、毎日9時の気象庁天気図から気圧配置型を分類した。併せて気象庁レーダー画像からエコー頂高度を求めた。これらの分類結果を重ねて、スプライトの発生と気象条件の関係を調べた。

4. 結果と考察

図1に、本校で撮影されたスプライト画像の一例を示した。雷光の上方に複数のスプライトが見える。3年間に記録された289日間3624事例の明度変化現象の中から、10日間23事例のスプライトを捉えた。捉えたスプライトはすべて11月～翌年2月の冬季に北陸上空で発生したものであった。

表1に、気圧配置型別のスプライトの発生数、発生率、雲頂高度の分類結果を示した。スプライト発生当日の気圧配置型は、23事例中12事例が低気圧型、7事例が西高東低型、3事例が移動性高気圧型であった。各事例数を分類された気圧配置型の日数で割り、気圧配置型別のスプライト発生率を算出した。スプライト発生率も低気圧型（11%）、西高東低型（8%）、移動性高気圧型（5%）の順となった。これらから、北陸地方を低気圧やそれに伴う前線が通過する際に多くのスプライトが発生する傾向があることが分かった。

レーダー画像の雲頂高度は、6-8kmが17事例（全体の74%）を占め、冬季に日本海で発達する積雲の雲頂高度か、それよりやや高い高度が多い結果が得られた。



図1 スプライトの発生例

気圧配置型 名称	日数	スプライト			雲頂高度		
		発生数	発生日数	発生率	4-6km	6-8km	8-10km
I型：西高東低	88	8	3	3%	1	6	0
II型：低気圧	111	12	6	5%	0	7	5
III型：移動性高気圧	83	3	1	1%	0	4	0
IV型：停滞前線	6	0	0	0%	0	0	0
V型：南高北低	1	0	0	0%	0	0	0
VI型：台風	0	0	0	0%	0	0	0
計	289	23	10	3%	1	17	5

5. 今後の展望

今回は2019年～2021年の3年間のデータのみを調べたが、今後は本校の膨大な発光現象の観測記録をもとに、さらに詳しい研究を進めたい。

謝辞：東京学芸大学自然科学系の鈴木智幸博士には研究指導等大変お世話になりました。深くお礼申し上げます。

VORとFM放送を利用したペルセウス座流星群の観測

科学部：古里 太一（高2）【青森県立八戸工業高等学校】

1, はじめに

流星の電波観測では一般に、1日24時間VHFの電波が発信し続けている無線局の電波を用いて観測する[1]。こうした無線局として50MHz帯のアマチュア無線のビーコン、FM放送局、および超短波全方向式無線標識（VHF omni-directional radio range、以下、VORと略す。）がある[2]。VORは、VHF帯（108.0MHzから117.95MHz）の電波を用いる航空機用無線標識である。これを用いることで標識局を中心として航空機がどの方向にいるかを知ることができる[2]。アマチュア無線の50MHzビーコンとVORの2つで流星の電波観測を行った際、結果として個数には大きな差が生まれたが強い正の相関が見られており、VORも利得の高いアンテナを用いれば50MHzと同等の結果になることが予想出来ている[3]。一方、FM放送に割り当てられている周波数範囲（76.1MHzから94.9MHz）はVORに割り当てられている周波数範囲と50MHz帯のアマチュア無線のビーコンの周波数範囲の間にある[4]。本研究では、FM放送を利用して流星の電波観測を行い、VORで観測した結果と比較した。

2, 研究方法

電離した電子に散乱される電波として、出雲空港で発信しているVOR（113.4MHz）とNHKFM大阪放送局のFM放送（81.1MHz）を利用する。受信機にはソフトウェアデザインラジオ（SDR）とパーソナルコンピューターを用いる。受信した電波は音に変換して画像化する。画像の中から流星によって生じた音の数を数える。VORの観測期間は2020年8月8日から8月17日、FM放送の観測期間は2021年8月8日から8月17日までとなっている。

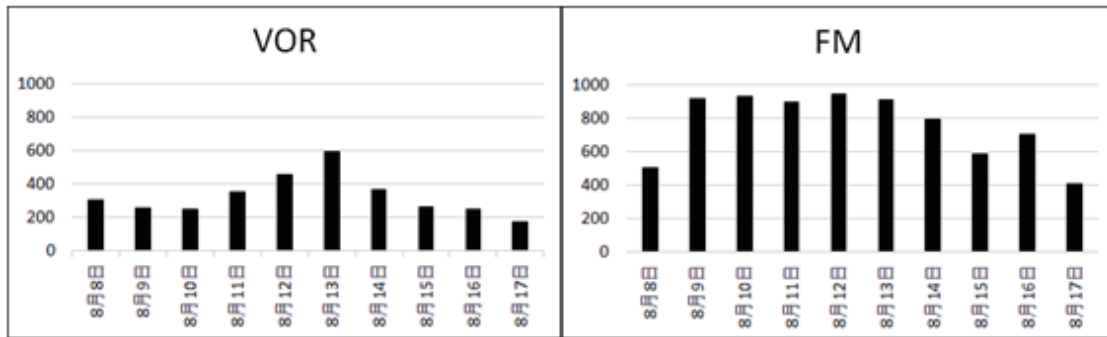


図1 2020年8月8日から8月17日の1日ごとのVORを用いた流星観測数。

図2 2021年8月8日から8月17日の1日ごとのFM放送を用いた流星観測数。

3, 結果と考察

観測期間は異なるものの、図1, 2を見て分かる通り全体的に見て流星の個数はFM放送の方が多くなっている。流星電波観測国際プロジェクト[5][によるとペルセウス座流星群のピーク日は2020年には8月12日と8月13日、2021年には8月13日と8月14日であった。VORは8月13日にペルセウス座流星群のピーク日を迎えていることが見て取れる。しかし、FMは8月9日～13日あたりまでグラフが横並びで明確なピークを見つけることができない。FM放送用のアンテナは他のアンテナに比べ安価で比較的簡単に流星電波観測を始められるという利点も踏まえてVORよりも優れていると感じた。

4. 参考文献

- [1] 流星電波観測とは？（流星電波観測国際プロジェクト），<https://www.amro-net.jp/about-hro.html>
- [2] 超短波全方向式無線標識，<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%85%E7%9F%AD%E6%B3%A2%E5%85%A8%E6%96%B9%E5%90%91%E5%BC%8F%E7%84%A1%E7%B7%9A%E6%A8%99%E8%AD%98>
- [3] 2つの周波数を使ったペルセウス座流星群の観測（発表 第42回青森県高校総合文化祭自然科学部門 古里太一）
- [4] 超短波放送，<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%B6%85%E7%9F%AD%E6%B3%A2%E6%94%BE%E9%80%81>
- [5] ペルセウス座流星群ピーク構造（流星電波観測国際プロジェクト），https://www.amro-net.jp/meteor-results/08_per/per-total-list_j.html

電波流星をめぐって

國學院天文部流星班：

佐藤 瑞己、川邊 淳之介(高3)、徳永 祐太、武石 暖大(高2)、石田 海、片柳 祐星、鹿野 史佳、小平 勘太郎、小宮 里咲、檜山 和幸、横山 藍士(高1)【國學院大學栃木高等学校】、伊藤 真徳、岩上 琴音、佐々木 桃寧、野間 凱仁、堀江 悠太(中1)【國學院大學栃木中学校】

要旨

2021年12月14日1時08分から5時26分(4時間18分)によるふたご座流星群を捉えた電波観測の画像データと、約70km離れた地点で撮影した動画とを比較して流星電波観測の精度を検証した。動画で撮影された1,060個のうち同時刻に電波流星と一致したのは646個あり、一致率は60.9%であった。

1. 目的

本校屋上(N36.364288,E139.7039055、標高84m)の流星電波観測の精度及びそのデータの信頼性を検証する。そこで電波を利用した無人観測が実用的かどうか判断し、このような状況での研究の継続に役立てる。

2. 観測方法・解析

(1) 電波観測

- ・本校屋上にて流星観測用のアンテナ「Comet CA-52HB コメット50MHz 帯ビートアイテム」を天頂に向け、流星観測用の電波(福島県福島市より:50.027MHz)を受信し、受信機「Nooelec NESDR SMarT v4 SDR-アルミニウム製エンクロージャ、0.5PPM tcxo」をパソコンとつなぎ音声を観測した。
- ・流星の当該電波を反射したエコーを観測ソフト「HROFFT」を用い画像としてデータ化した。

(2) 動画撮影

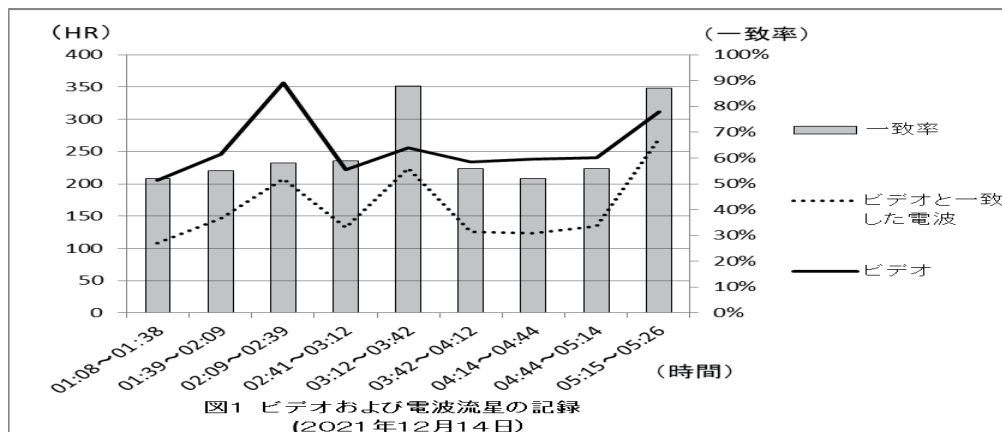
- ・花立自然公園(N36,65037、E140.29301、標高287m)においてデジタルカメラSONYα7sを4台それぞれ四方向に向けて、自動ガイドで2021年12月14日01:08~05:26までの4時間18分撮り続けた。この画像は杉本 智様より、提供していただいた。

(3) 解析

- ・流星のビデオを確認して、個数を記録し同時刻に電波で観測された流星をカウントした。
- ・同時刻で一致した流星の個数をもとに一致率(%)を算出した。

3. 結果および考察

得られたデータをすべてHR(1時間当たりの流星数)に直し、図1に撮影された流星のHRを「ビデオ」、同時刻に双方に確認された流星の個数を「ビデオと一致した電波」とした。一致率は03h12m~03h42mが最も高くなった(88%)。ビデオで確認した流星1,060個のうち、同時刻に電波で観測されたエコーは646個あり、全体の「一致率」は60.9%となった。70km離れた場所でも、電波観測で流れた流星の6割を捉えた可能性がある。



4. 謝辞

ふたご座流星群を撮影した動画を提供して下さった杉本 智様(日本流星研究会)、電波観測の方法、電波の発信元などは、斎藤 泉様(栃木県子ども総合科学館)、流星電波観測集計センター(<http://www5f.biglobe.ne.jp/~hro/>)を参考にしました。ありがとうございました。

3大流星群の電波観測によるアンテナの向きの影響について

高橋 航紀、室田 響紀、市川 凜太郎、守谷 琉翔、中島 和樹（高2）【新島学園高等学校】

要 旨

しぶんぎ座流星群、ペルセウス座流星群、ふたご座流星群の3大流星群について、アンテナの向きを水平と天頂に向けた流星電波観測で観測できる流星数を検討した。全ての流星群においてアンテナの向きを天頂に向けた観測の方が流星数が多くなる結果を得た。流星群による大きな差は観測できなかった。

1. はじめに

アンテナの向きで観測できる流星数に違いが生じるか検討し、2021年の日本天文学会ジュニアセッションで発表した。アンテナの向きを天頂に向けた方が観測できる流星数が多くなる結果を得た。今年度は3大流星群の観測よりその理由を検討する。

2. 方法

流星の電波観測は福井県立大学から出ている50MHzの電波を使用して観測した。無線機iCOM.IC-R8500を受信専用機として使用し、50MHzの2素子アンテナを福井県に向けて水平に設置した。また、SDRplay社のRSP2 SDR受信機とローノイズプリアンプを使用し、50MHzアンテナを天頂（垂直）に向けて設置した。アンテナと無線機までのケーブルは同じものを使用した。SDR無線機の受信ソフトはSDRRunoを使用した。無線機からの音をコンピューターに繋ぎ、観測ソフトMROFFTで10分ごとの画像として保存した。この画像をソフトHROViewでカウントして10分間の流星数とした。流星電波観測は2019年のペルセウス座流星群、2019年のふたご座流星群、2020年のふたご座流星群で行った。

3. 結果

図1から図3は1日の流星数変化を示し、流星数は極大日を中心に3日間の合計で示した。図1はペルセウス座流星群、図2はふたご座流星群、図3はしぶんぎ座流星群を示した。放射点が最大高度になる時刻はペルセウス座流星群が5時ごろ、ふたご座流星群が2時ごろ、しぶんぎ座流星群が9時ごろで、図中に矢印で示した。天頂に向けたアンテナのグラフでは、放射点が最大高度になる付近で流星数の減少が観測された。

4. 考察

図1から図3よりアンテナの向きが水平より天頂の方が観測した流星数が多い結果を得た。水平と天頂方向による流星数の差は、ペルセウス座流星群が小さく、他の2つの流星群が2倍程度と大きくなっている。天頂方向の流星数が最小になる時刻は17時から18時頃で、アンテナの向きによる流星数の差がなくなっている。放射点が最大高度となる時刻付近では、天頂方向の流星数の減少が顕著に表れている。

アンテナの向きが水平方向で観測された流星エコーはアンテナの向きが天頂方向ですべて観測された。天頂方向の流星エコー数が増加した分は天頂方向の観測のみに表れ、水平方向では観測されなかった。

流星群による1日の流星数変化は図より観測できたが、アンテナの向きによる流星数の変化は明確に表れなかった。

5. まとめ

3大流星群でアンテナの向きによる流星数変化を観測した。1日の流星数の傾向の差は観測できたが、流星群によるアンテナの向きによる影響は表れなかった。今後も観測を続けてアンテナの向きの影響を検討する。

6. 謝辞

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

7. 参考

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

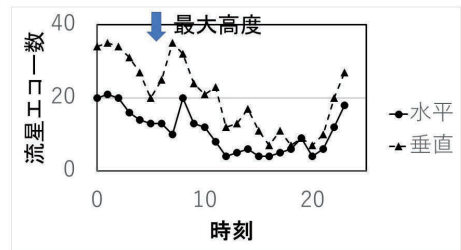


図1 ペルセウス座流星群の1日の流星数変化

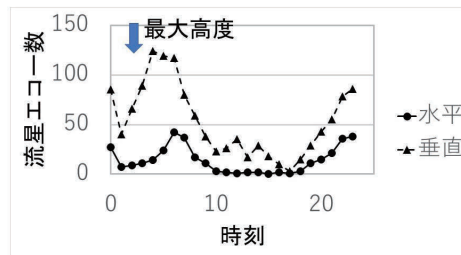


図2 ふたご座流星群の1日の流星数変化

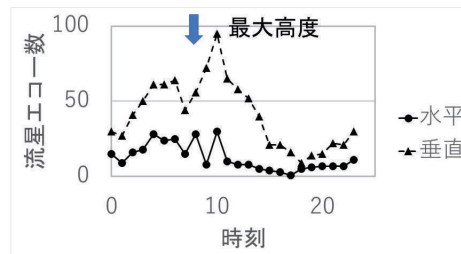


図3 しぶんぎ座流星群の1日の流星数変化

流星群の軌道解析～観測から母天体を探る～

福岡工業大学附属城東高等学校科学部：楠根 涼、長谷川 明子（高2）
寺島 皓生、渡邊 花菜、長谷川 蒼、宮脇 悠河、佐藤 真、黒木 颯士（高1）
【福岡工業大学附属城東高等学校】

要旨

ふたご座流星群をステレオ撮影し正確な輻射点を求め流星の発光距離、発光時間、方向、速度を出して軌道を割り出し、母天体を特定することを目的とした。

1. 動機・先行研究・目的

私たち科学部はスペースデブリや月など様々な天体を観測してきた。その中で流星の観測を行った際、「流星はどこからきたのか」が気になり、流星に関する研究に興味を持った。2020年ふたご座流星群、2021年ペルセウス座流星群を撮影し発光距離、発光時間、方向、速度、輻射点を求めることができた。しかしデータ数が少ないため母天体を特定することができなかった。そこで2021年ふたご座流星群を撮影し発光距離、発光時間、方向、速度、輻射点を出して軌道を割り出し、母天体を特定することを目的とした。

2. 研究方法

- I. ふたご座流星群の極大日に30 km離れた2地点で夜空を固定撮影し続け、流星が写っている写真を選定する。また、動画でも撮影を行う。
- II. 星図(心射図法)に流星の軌跡の線を引き、輻射点を求める。
- III. 星図ソフトウェアナビゲータを用いて始点、終点、輻射点の座標を調べる。そして方位角から始点、終点までの水平距離をそれぞれ出し、直角座標で表す。
- IV. IIIの結果から流星の発光距離を求める。
- V. 動画から発光時間を求め、流星物質の速度を求める。
- VI. 流星物質の速度から軌道長半径を求め、母天体の軌道を求める。

〈撮影日時〉2021年12月15日01:00～05:00

〈撮影場所〉①福岡県飯塚市 ②福岡県八女市

〈撮影機材〉①SONY α7SIIミラーレス一眼レフ
SUMYAN18mmF2.8 広角レンズ
②ミラーレス一眼 OLYMPUS OM-D
E-M10 7.5mmF2.0 Fish Eye

〈カメラの設定〉①ISO感度 ISO16000
絞り値 F2.8
MP4形式 毎秒30フレーム
②ISO感度 ISO2000
露出時間 15秒
絞り値 F2.0

3. 結果

4時間観測を行い目視で48個観測出来た。その中の1個がステレオ撮影に成功出来た(図1, 図2)。



図1 流星①12月15日 03:17



図2 流星②12月15日 03:17

静止画、動画を解析した結果、流星の発光距離は19.3km、発光時間は0.48秒、流星の軌道の向きは地球の公転軌道とほぼ80°で交わり(図3)、流星のみかけの速度は39.9 km/sとなった。その結果から地球の公転による影響を計算し、更に地球の引力による運動エネルギーの増加分を引くと地球軌道での流星の軌道速度は38.0km/sとなった。複数の流星の軌跡の交点から輻射点を求めるとカストル付近となった。ケプラーの法則と力学的エネルギー保存則(図4)から天体の軌道長半径を求めたところ1.8天文単位となった。

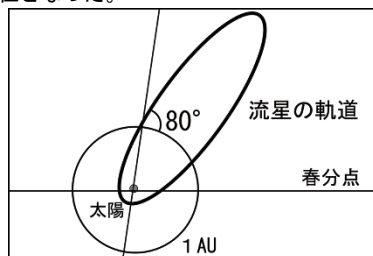


図3 流星の軌道の予想

$$V_e = V_o \sqrt{2 - \frac{r_o}{a}}$$

V_e ; 地球軌道での天体の速度
 V_o ; 地球の公転速度
 r_o ; 地球の公転半径
 a ; 天体の軌道長半径

図4 構築した数式

4. 考察・結論

軌道長半径を求めたところ1.8天文単位となったためふたご座流星群の母天体は小惑星であると考えた。

またふたご座流星群の母天体は軌道要素が似ているフェートンである可能性も高い(表1)。

表1 小惑星フェートン(①)と観測した流星(②)の比較

	軌道長半径	離心率	近日距離	軌道傾斜角	昇交点赤経	近日点引数
①	1.27AU	0.89	0.13AU	22°	265°	322°
②	1.82AU	0.9	0.18AU	20°	263°	325°

1個の流星から軌道解析ができたのでこの方法は母天体特定に有効であった。

5. 参考文献

- ・全天恒星図2000 (著)中野 繁 誠文堂新光社
- ・天文年鑑 2021年版 誠文堂新光社
- ・美しすぎる星たち 見る、知る、撮るの星座の教科書 宝島社
- ・月刊星ナビ 2021年8月号 アstroアーツ

彗星の水含有率から地球の水の起源を探る

もし天 67P_班：

高嶋 英寿 (高3) 【慶應義塾高等学校】、廣瀬 凜 (高2) 【筑波大学附属坂戸高等学校】、
山田 優斗 (高1) 【武蔵高等学校】

要 旨

私たちは、地球の水の起源の可能性のある彗星について、実際にどれくらい水が含まれているのか疑問を持った。そこで、今回の研究では複数の彗星における測光観測とアーカイブデータの解析をもとに、彗星に含まれている水の比率について議論した。

1. 背景

彗星には、ガスやダストによるコマ(薄い大気)と尾が存在し、太陽の周りを楕円や放物線の軌道を描き公転している。カイパーベルトから飛来する短周期彗星とオールトの雲から飛来するとされる長周期彗星に大別される。彗星は、豊富に水を含むことから地球の水の起源の一つとして提案されている[1]。一方で、67P彗星のD/H比(水素重水素比)が地球の海水に比べておよそ3倍であったこと[2]や、彗星の衝突頻度が低いこと[3]などから、彗星の水含有率から地球上の水量を説明できるかという議論が現在も続いている。私たちは生命の起源を探るべく、生命に必須な物質である水がどこから来たのかについて興味を持った。

2. 目的

複数の彗星を観測し、水の水含有量を調べる。彗星に含まれる水の絶対量を求めることは難しい上、大きさは当然、水の水含有量の差に直結する。他の物質の分子に対する水の比率を比較し、彗星が水の起源である可能性を考察する。

3. 研究方法

各彗星におけるコマ中のH₂OとC₂分子の比率(H₂O/C₂比)を求めるため、H₂O⁺(中心波長702nm)、C₂(514nm)フィルターを用いて測光観測を行った。撮像画像の明るさを比較し、分子・イオンの発光効率、H₂O ⇌ H₂O⁺ + e⁻反応の分岐率を考慮することで、彗星のコマのH₂O/C₂比を求め、彗星間で比較した。分光観測も予定したが、天候が悪くできなかったため、過去の観測データを用いた。Leonard彗星の分光観測データの解析から、各輝線の明るさを計算しNH₂/C₂比を求めた。また、アーカイブデータ[4]を使用し、彗星のOH、NH₂、CN、C₂、C₃分子の核からの放出率のデータを比較した。

4. 観測結果

測光観測では計4彗星(104P, 4P, 67P, 2019L3)をH₂O⁺、C₂フィルターで観測した。アーカイブデータの解析から、Leonard彗星のNH₂/C₂比は100程度だった。また彗星によるNH/OH比やCN/OH比の違いを調べようとしたが、観測点数が十分な彗星が少なかったため、唯一太陽に近づくにつれてOHの放出量が減少していたC/1990 K1(Levy)の解析を行った。

5. 考察

測光観測結果からH₂O/C₂比が彗星によって大きく異なることが分かった。サンプル数が少なく、標準偏差やグラフの歪度を導出することは出来なかった。太陽から遠いほどH₂O/C₂比が低い傾向が見られたが、これは低温ではH₂Oが昇華しにくいからだと考えられる。Leonard彗星のNH₂/C₂比は求めることができたが、測光では、H₂O⁺フィルターはH₂O⁺に対応する波長だけを捉えている(本来H₂O⁺フィルターはH₂O⁺とNH₂に対応する波長の光を透過する)と仮定したため、直接比較することは出来なかった。C/1990 K1(Levy)の解析からは、各分子の核からの放出量を比較すると、OHが太陽に近づくにつれて減少していることが見て取れる。データセット(COBS database)で可視光での明るさの変化を見たところ、近日点通過前に明るさのピークが来ていることから、途中で核の崩壊が起きているということが分かった。C/1990 K1(Levy)の解析で、彗星の核崩壊後にOHの放出量が減少していたことから、彗星ごとに核の中の物質の割合がOHとその他の物質で大きく異なる可能性があると考えた。

6. 今後の展望

彗星の測光データの解析を再度行い考察を深めたい。今後、彗星の内部構造についての議論を発展させていく。

7. 参考文献

- [1]海部宣男『宇宙生命論』、東京大学出版会、2015年、p.98
- [2]Altwegg, K. et al. (2015, Science, 347, 6220)
- [3]Morbidelli, A. et al. (2000, Meteoritics & Planetary Science, 35(6), 1309-1320)
- [4]Lowell Observatory Cometary Database - Production rates <https://data.nasa.gov/Earth-Science/LOWELL-OBSERVATORY-COMETARY-DATABASE-PRODUCTION-RA/hxax-w8en> 最終閲覧2022/1/28

8. 謝辞

C/2021 A1 (Leonard) の分光観測データを提供して下さい下さった赤澤秀彦様、仙台市天文台の皆様、もし天2021スタッフの皆様に感謝申し上げます。ありがとうございました。



図1: 2019L3彗星の撮像画像

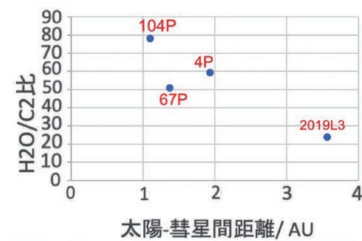


図2: 太陽-彗星間距離と彗星の H₂O/C₂ 比

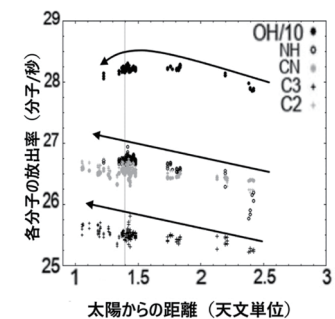


図3: C/1990 K1 (Levy) の核からの各分子放出量の変化

小惑星クリームヒルト(242)の光度曲線と3Dモデルの検証

後藤 璃帆、市川 結愛、栃原 里咲(高1)【新島学園高等学校】

要旨

小惑星のモデルが研究され、3Dデータがホームページ⁽²⁾に公開されている。このデータを使用して3Dプリンターで小惑星を作成した(図1)。今回は小惑星クリームヒルト(242)について検討した。作成した3D小惑星に光を当てて光度曲線を求め、実際に望遠鏡で観測して求めた光度曲線と比較検討を行った。2つの光度曲線は良い一致を示し、小惑星の3Dモデルが実際の小惑星の形状を表していることが分かった。また、光度曲線の形より小惑星の自転軸の傾きを検討することができた。



図1 3D小惑星

1. はじめに

2021年3月の日本天文学会ジュニアセッションで、小惑星デヨベア(184)について検討して良い結果を得た。今年度も継続して小惑星クリームヒルト(242)について観測を行った。

2. 目的

ホームページ「3D Asteroid Catalogue」⁽²⁾の小惑星3Dデータを使用して3Dプリンターで小惑星を作成した(今後3D小惑星と呼ぶ)。3D小惑星の光度曲線と実際の小惑星の観測で得られた光度曲線を比較して、3Dモデルの検証と自転軸の傾きの検討を行う。

3. 方法

小惑星の光度曲線は、西村製作所の40cmF5ニュートン式反射望遠鏡と冷却CCDカメラ、Lフィルター、コマコレクターを使用して撮影を行った。画像はダーク・フラット補正を行った後にAstroImageJまたはマカリで測光した。観測は2020年12月22日に行った(光度13.3等級)。

3D小惑星はホームページ「3D Asteroid Catalogue」のデータを使用して3DプリンターダビンチProで出力した。3D小惑星の光度曲線の観測は、LEDライトを太陽として3D小惑星に光を当ててカメラ(地球の観測者)で撮影することにより行った。撮影したRAWデータはROW2FITSで変換した後、通常の日体観測と同様に測光した。光度曲線は、図2のように3方向に傾けて観測した。また、3D小惑星の自転は地球と同じ順行の方向に5度ずつ1周期分回転させた。

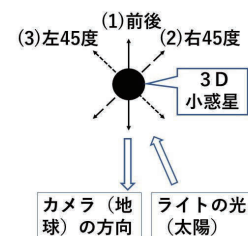


図2 撮影の模式図

4. 結果

3D小惑星の自転軸は図2に示す。(1)観測者に向かって前後、(2)右側に45度の前後、(3)左側に45度の前後に傾けて観測した。観測した3D小惑星の光度曲線を図4から図6に示す。グラフは上から順に前60度、前30度、0度、後30度、後60度の順に示し、グラフが重ならないように上下に移動した。「3D Asteroid Catalogue」には2種類のモデルがあり、今回はモデル2を使用した。図3に本校の望遠鏡で観測した結果を示す。図3の経過時間は2020年12月22日の17時30分からの経過時間である。

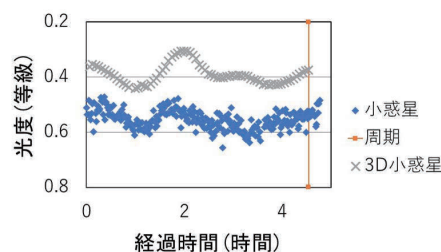


図3 小惑星クリームヒルト(242)の光度

5. 考察

図4から図6に示したように自転軸の傾きを変えることにより3D小惑星の光度曲線が大きく変化する結果となった。傾向として自転軸が垂直(0度)の時の光度変化が大きく、自転軸の傾きが大きくなると光度変化が小さくなる傾向を示した。

望遠鏡で観測した小惑星の光度変化と同じような光度変化を示した3D小惑星のグラフを図3に示す。この3D小惑星の光度曲線は、図5の(2)右側に45度の前後に傾けたときの後30度のグラフである。2つの光度曲線は大変良い一致を示し、3Dデータのモデル2は小惑星の形状をよく表していると考えられる。

6. まとめ

今回使用した3Dデータのモデル2は実際の小惑星の形状をよく表していることがわかった。このデータを使用して3Dプリンターで作成した小惑星の光度曲線から、自転軸は約30度傾いていると予想することができる。

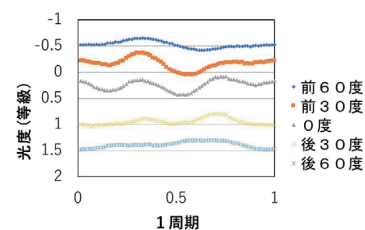


図4 (1)観測者に向かって前後

7. 謝辞

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

8. 参考

- (1)「小惑星の可視観測から何がわかるか」 安部正真 JAXA
- (2) 3D Asteroid Catalogueホームページ
<https://3d-asteroids.space/asteroids/>

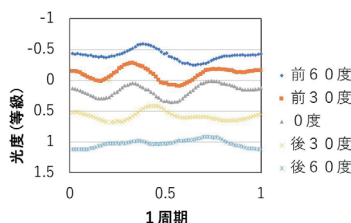


図5 (2)右側に45度の前後

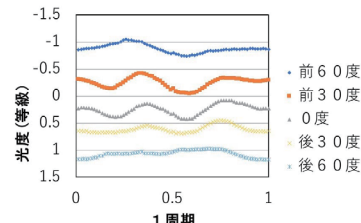


図6 (3)左側に45度の前後

CMOSカメラを用いた恒星食の観測

宮崎県立宮崎北高等学校 科学部 地学班：永田 優奈（高1）、
猪山 香菜子（高1）、岩尾 恒音（高1）【宮崎県立宮崎北高等学校】

要 旨

2021年12月27日に小惑星(426)Hippoによる恒星TYC 2921-01190-1の掩蔽をCMOSカメラで観測し、8.867秒間の減光を確認した。

1. 研究の背景

夜空には多くの星々が輝いている。この星々を利用して肉眼では見えない小惑星の大きさなどを知ることができる。小惑星が恒星を隠す恒星食を観測すれば、本来は探査機などで調べないとわからないような小惑星の大きさなどの情報が手に入る。高校生でも天文学の発展に寄与できる星食観測に惹かれ、我々は日々観測を行っている。



Fig.1 宮崎北高校屋上



Fig.2 恒星の導入作業

2. 観測方法

観測は2021年12月27日に宮崎北高校屋上（東経131度26分6.3秒、北緯31度58分14.6秒標高51m）で行った。撮影にはニュートン式反射望遠鏡（口径20cm 焦点距離800mm）を用いる。赤道儀（タカハシEM10）に取り付ける（Fig.1）。望遠鏡の接眼部分にはCMOSカメラ（ZWO ASI290MM）を取り付け、ノートパソコンと接続し、専用ソフト（Sharp Cap）で録画する。時刻情報はノートパソコンに繋いだGPS-COROから取得した。動画はavi形式、30fpsでゲイン設定は500とする。恒星食が発生するTYC 2921-01190-1はぎょしゃ座にある11.5等級の恒星である。恒星食の予報ソフト（Occult Watcher）の情報をもとに、ステラナビゲーターと撮像画面を見比べながら恒星を導入する（Fig.2）。撮像エリアの視野角は0.40° × 0.27° 程度である（Fig.3）。解析には星食専用測光ソフト「Limovie」を用いる。

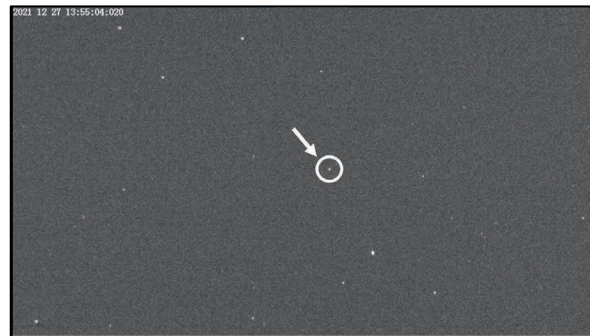


Fig.3 恒星TYC 2921-01190-1

3. 観測結果と展望

13:55:50.988~13:55:59.855（UT）に恒星の減光を確認した（Fig.4）。8.867秒間の減光であった。観測結果はJOIN（Japan Occultation Information Network）へ報告した。

今後は小惑星の軌道から速度を求め、観測結果から実際に小惑星の大きさを計算したい。

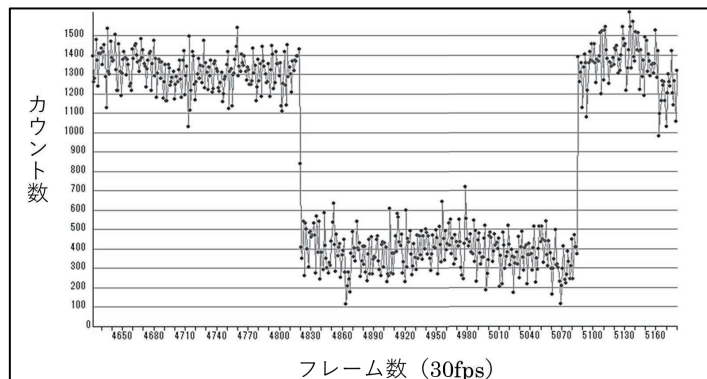


Fig.4 TYC 2921-01190-1の光度曲線

4. 参考文献

星食ハンドブック2020 星食観測日本地域コーディネーター（JCLO）

黒点による太陽の差動回転の計測

武蔵高等学校中学校 太陽観測部：

山田 優斗 (高1) 【武蔵高等学校】、今津 英翔、小川 泰生、栗原 昊士朗 (中2)、
衣斐 航太朗、遠藤 寛也、木村 空也、星 裕人、本川 佳弥 (中1) 【武蔵中学校】

要旨

太陽は、自転速度が一定ではなく赤道の方が自転周期の小さいという差動回転をしている。これに伴い、緯度ごとに黒点の移動速度が異なっている。そこで今回は、過去の黒点のスケッチ観測記録を用いて黒点の緯度ごとの自転速度を調べることで、差動回転を検証した。

1. 背景・目的

私たち太陽観測部は、1931年の創部以降、90年近くに渡って太陽黒点のスケッチ観測を行っている(図1)。太陽では、緯度ごとに自転速度が異なり、赤道に近いほど自転速度が大きくなっている差動回転と呼ばれる現象が起きている(1)。太陽の自転速度は、極小期の方が速くなっており、周期によっても黒点が低調な時ほど速い。また、両半球では僅かに南半球で自転速度が速い(e.g.,2)。このように黒点を用いた太陽の自転速度や差動回転の計測は様々な観点から分析されてきた。私たちは、当部に残る過去のスケッチ観測データでもこうした太陽の差動回転が反映されているのかを明らかにするために、緯度別に黒点をサンプリングして自転角速度、及び自転周期を求めた。



図1 黒点のスケッチ観測の様子

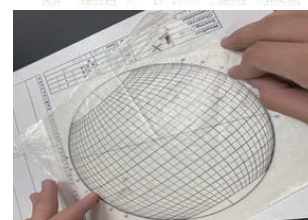


図2 太陽面経緯度図を用いた黒点の経緯度調査の様子

2. 研究方法

- (1) 我々の過去の観測データから、2日間以上連続して観測された同じ黒点(暗部)を抽出する。
- (2) 太陽面経緯度図をスケッチ観測記録用紙に重ねて(図2)、連続した観測日の1日目と2日目それぞれ黒点の太陽面上での経緯度を求める。
- (3) 1日目と2日目の黒点の経度差を求め、観測時間差で割って緯度ごとの(太陽の経度体系に対する)相対角速度を算出する。
- (4) 算出した相対角速度に、太陽の経度体系の角速度を足して、実際の角速度を求める。

3. 結果

2010, 11, 14~16年の計62個の黒点の角速度を求めた(図3)。また、黒点の角速度からその速度で移動した場合の自転周期も計算した(図4)。図3, 4で●丸及び破線は北半球、▲三角形及び実線は南半球の黒点である。低緯度の黒点ほど角速度が大きく、高緯度になるに従い、角速度が小さくなる傾向がわかる。

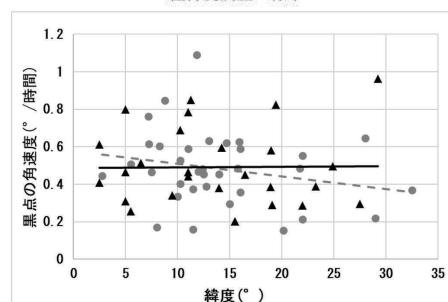


図3 緯度ごとの黒点の角速度

4. 考察

結果から低緯度ほど自転周期が短くなる差動回転の特徴は確認できたと考えられる。一方で、各々の黒点の角速度のばらつきやスケッチの精度の限界などによって黒点ごとの角速度の差が大きくなっていると考えられる。南北半球の間では、多少の差が見られたが、サンプル数や精度の観点から有意だと考えることはできなかった。

5. 結論

当部のスケッチ観測データから太陽の差動回転が検出できることが分かった。今後、太陽活動周期の極小期と極大期の差や南北半球の差などを精査して、当部自前の観測記録からどこまでの議論ができるのか精査していきたい。

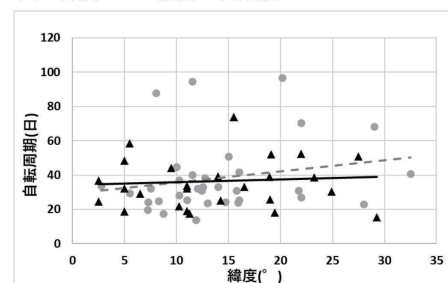


図4 緯度ごとの黒点の自転周期

参考文献

- [1] Balthasar, H., Vázquez, M., & Wöhl, H., 1986, "Differential rotation of sunspot groups in the period from 1874 through 1976 and changes of the rotation velocity within the solar cycle." *Astronomy and Astrophysics*, 155, 87-98.
- [2] Hathaway, D. H., & Wilson, R. M., 1990, "Solar rotation and the sunspot cycle." *The Astrophysical Journal*, 357, 271-274.
- [3] 天文学辞典「差動回転」 <https://astro-dic.jp/differential-rotation-2/> (2022-1-1閲覧)
- [4] 桜井 隆, 小杉 健郎, 柴田 一成, 小島 正宜(編), 2009, 『シリーズ現代の天文学 太陽』, 日本評論社.
- [5] 花岡 庸一郎, 2019, 『太陽は地球と人類にどう影響を与えているか』, 光文社.

太陽黒点の温度と面積の関係

理科研究部宇宙班：

奥村 友陽（高2）、石崎 蒼真、古賀 大亮、柳本 康汰（高1）【大阪府立千里高等学校】

要旨

私たちは、黒点の温度と面積と磁場の関係を明らかにしたいと思い、黒点の温度を黒点の輝度で計算し、面積をピクセル数として計算することで黒点の温度と面積の関係を調べた。結果としては、黒点の面積が大きくなるほど温度が低くなる傾向にあることが分かった。

1. 先行研究

先行研究[1]より黒点の磁場が強くなるほど温度が低くなるということが分かっている。

2. 目的

- (1) 黒点の温度と面積の関係を調べる
- (2) 黒点の形成から消失までの温度・面積推移を調べる
- (3) 黒点内部の温度分布を図示する

3. 仮説

- (1) 面積が大きくなるほど温度は低くなる
- (2) 面積は増加から減少に転じ、それに伴って温度も降下から上昇に転じる
- (3) 黒点内部では中心部に行くほど温度は低くなる

4. 測定方法

(1) 黒点温度の測定

FITS形式デジタルデータとマカリを用いて輝度を測定した。また、測定した輝度を温度に変換するためにシュテファン=ボルツマンの法則 ($I = \sigma T^4$ I は光の強さ σ はシュテファン=ボルツマン定数 T は温度)を用いた。この法則は、太陽などのガス体が放射する光の強さは、温度の4乗に比例するという法則で、太陽の温度は6400Kだと分かっているため、測定した輝度とその値を代入することで温度を算出した。

(2) 黒点面積の測定

線画ファイルとGIMPを用いて黒点のピクセル数を測定したが、この方法だけでは面積に誤差が生じてしまうので、誤差修正を検討した。

誤差修正について

太陽は球面なので、黒点の位置によって平面図と球面とでは面積に大きな誤差が生じてしまう。

修正方法

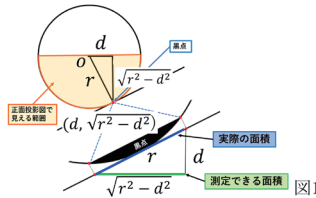


図1の円は太陽を上から見た断面図である。中心から黒点に向かって直角三角形を作った。中心の直角三角形の $d \cdot r$ 以外の辺は三平方の定理より $\sqrt{r^2 - d^2}$ となる。そして黒点の部分を拡大し、黒点の端から端の点を接線上に平行移動させプロットし、中心の直角三角形と相似な直角三角形を作った。そして、直角三角形の三辺の値を用いて $\frac{r}{\sqrt{r^2 - d^2}}$ を算出した。この値を黒点の面積にかけることによって中心からの誤差を考慮した正しいピクセル数を算出することができた。

(3) 黒点内部の温度分布

黒点の全ピクセルの輝度と黒点内の座標を組み合わせて3-D等温図を作成した。

5. 結果

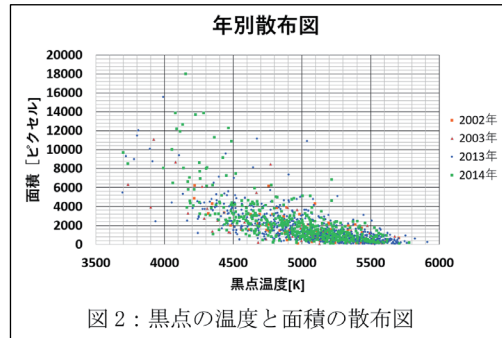


図2：黒点の温度と面積の散布図

- ・図2より黒点の温度と面積には負の相関がある
- ・相関係数：-0.691722

6. 考察

- ・図2より黒点の面積が大きくなるほど温度は低くなることが分かった
- ・黒点の数は面積の小さいものも多く、面積の大きいものは少ない傾向にあるということが分かった
- ・年ごとにデータ数に差はあるものの、相関関係には変化はなかった

8. 展望

- ・磁場に関するデータを集め、三要素の相関を調べる
- ・サンプル数を増やし、読み取れる情報を増やす
- ・温度分布図と磁場分布図とを照合することで面積と磁場の関係をより深く考察する

9. 参考文献・使用データ

- [1]磁場と温度の関係についての論文
Writer: Greg Kopp & Douglas Rabin (1992)
Title: A relation between magnetic field strength and temperature in sunspots
Journal title: Solar Physics 141, pages253–265
- [2]理科年表オフィシャルサイト 黒点とは？
URL:https://www.rikanenpyo.jp/FAQ/tenmon/faq_ten_002.html (最終閲覧日:2021年11月14日)
- [3]「京」の中で黒点の11年周期が見えてきた
URL:<https://www.r-ccs.riken.jp/newsletter/201701/interview.html> (最終閲覧日:2021年9月26日)
- [4]鈴木 文二 洞口 俊博

あなたもできるデジカメ天文学 恒星社厚生閣
国立天文台の三鷹観測所が観測したデータを使用した温度：FITS形式デジタルデータ 面積：線画ファイル
使用年数：2002年 2003年 2013年 2014年
総データ数：1258個

10. 謝辞

本研究を行うにあたり、国立天文台の研究データを使用させていただきました。また、国立天文台太陽観測科学プロジェクト特任専門員の伊集 朝哉さんには本研究で使用したデータについて教えていただきました。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

自作電波望遠鏡を利用した太陽フレアの観測

海城高等学校地学部天文班：
河合 輝彦（高1）【海城高等学校】

要旨

本研究では、BSアンテナを改造して製作した電波望遠鏡を用いて、2021年10月30日に発生した太陽フレア下における太陽から放出される電波の増減を観測した。本発表では、その観測方法や観測結果について発表する。

1. はじめに

本研究を始めようとした目的は、昨年度天文班で新たに製作した自作電波望遠鏡(図1)を用いて太陽の活動を観測したいと思ったからである。2021年10月29～31日に発生した太陽フレアは太陽活動の観測に適していると思い、太陽電波の増減を調べることで太陽の活動の変化を記録できるのではないかと考えた。10月30日は学校の文化祭が行われていたこともあり、授業がなかったため太陽を一日中観測することができた。



図1 自作電波望遠鏡

2. 観測機器の説明

観測機器(図1)には、BSアンテナ、BSブースター、分波器、電源装置、自作検波器を用いた。BSアンテナは市販されている衛星放送受信用のものを利用した。アンテナは天体望遠鏡用の架台に取り付け、手で太陽の方向に向けて、太陽の移動に合わせてアンテナを動かした。また、図2にあるように、自作の検波器を作成した。抵抗75Ω、コンデンサー1000pF、抵抗1kΩ、抵抗10kΩ、ダイオードを用いてはんだ付けで作成した。観測機器についての簡単な説明をする。太陽の方向に向けたBSアンテナで太陽の電波を受信する。受信した得られた信号はとても弱いので、BSブースターで増幅させる。自作検波器で高周波の信号を直流に整流する。この電圧を測ることで太陽の電波を観測することができる。今回の観測では、電圧の増減を観察することによって、太陽の活動の変化を観測した。

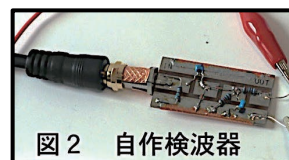


図2 自作検波器

3. 2021年10月30日の太陽フレアについて

NHKのニュースによると、29日未明、「太陽フレア」と呼ばれる太陽表面での爆発現象の中でも最大クラスに分類される、巨大な爆発が発生した。太陽フレアによって、陽子などの電気を帯びた粒子が大量に放出されていて、30日午後から31日にかけて、地球に到達する見通しである。そのため30日以降、数日にわたって通信衛星などの人工衛星や、GPSの位置情報、それに短波の無線通信などに影響がでる可能性がある。と報道されており、今回の太陽フレアによって太陽における電流量が増大するのではないかと考え、自作電波望遠鏡を用いて観測してみようと考えた。

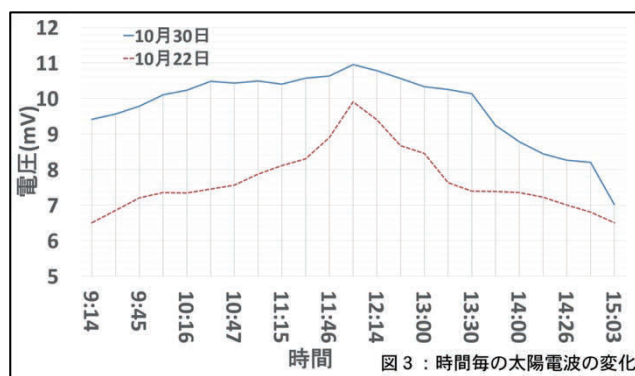


図3：時間毎の太陽電波の変化

4. 観測結果、考察

2021年10/22, 10/30にテスターで計測した電圧の値を9:15から約15分間隔で記録した。以前の観測で、電圧の増減を観察することによって、太陽電波の変化を観察することがわかっている。

結果は図3のようになった。このグラフから、両日ともに電圧は12:00に向けて高くなり、12:00頃に最も数値が高く、時間が立つにつれて数値が減少することがわかる。グラフの点線は、一週間前の10月22日に太陽電波を観測した際のテスターの電圧の値である。実線は10/30日に観測したものであり、全体的に数値が上昇していることがわかる。両日共に天気は晴れであったが、数値に違いが生じた。これは太陽フレアによって太陽の活動が活発になり、太陽から放出される電波が増加したことが原因であると考えられる。

5. 参考文献

- 「電波の宇宙」前田耕一郎 コロナ社 新型コロナシリーズ 2002年4月
<https://www.nao.ac.jp/contents/naoj-news/almar/data/almar04.pdf> アルマーの冒険04 国立天文台発行 最終閲覧日2022/01/24
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20211029/k10013327711000.html>
 「NHKニュース『太陽フレア』30日以降数日 通信衛星やGPSなどに影響のおそれ」最終閲覧日2022/01/24

太陽光と月光の吸収線比較

榎原 翔太、永澤 蒼弥 (高2) 【横浜市立戸塚高等学校】

・ 要旨

月光は太陽光の反射光である。太陽光と月光の吸収線の強度を比較する事で二つの天体の大気構成元素の違いを調べられるのではないかと思います、分光観測を行った。その結果構成元素に違いが見られた。

・ 目的

太陽光 (直接光) と月光 (太陽の反射光) の吸収線を比較することにより月の表面の構成元素を推察する。

・ 観測方法

太陽と月を図1の冷却CCDカメラと分光器を用いて撮影する。
 (月は本校の口径35cmニュートン式望遠鏡で撮影)
 この時、太陽と月の高度が同じになるような時間帯
 (太陽: 2021年11月4日14時、高度28°、
 月: 2021年7月21日20時30分高度28°) で撮影を行った。



図1 観測機器

・ 結果

撮影した画像をすばる画像解析ソフトMakali'iを使って解析した結果、図2のようなグラフが得られた。

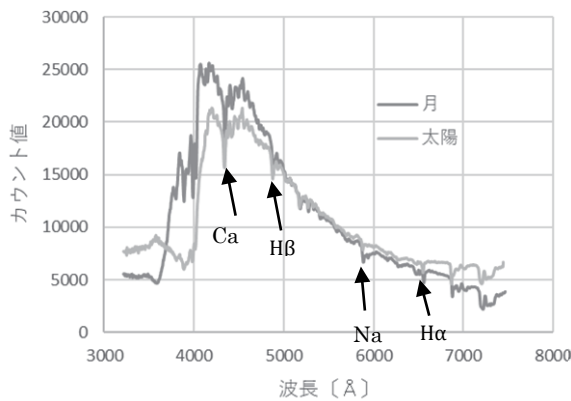


図2 月と太陽のスペクトル

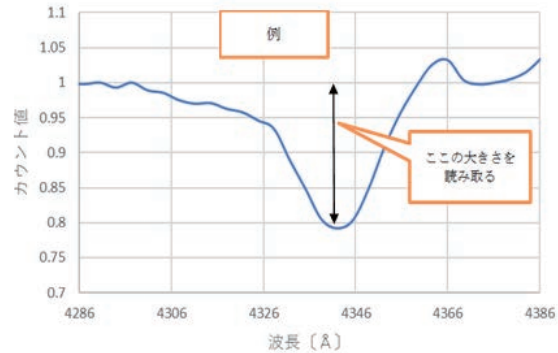


図3 吸収線の深さ

表1

元素	波長 [Å]	月	太陽
Ca	4227	0.29	0.16
Hβ	4861	0.14	0.12
Mg	5183	0.10	0.10
Fe	5270	0.08	0.06
Na	5890	0.15	0.09
Hα	6562	0.20	0.14
O ₂	6867	0.28	0.25

・ 考察

得られた結果をもとに、吸収量を比較するためエクセルを使って連続成分のカウント値を1にして吸収線の最下点と差を求めた。(図3)

ここでは各元素の吸収線の波長ごとに表1に記入している。図4より月と太陽の値が近い→月の大気で吸収されない

(月に存在しない) と推定される元素⇒ (Mg)
 月の値 > 太陽の値 → 月で吸収される (月にもあると推定される) ⇒ Fe、Na、Ca、O₂、(Hβ、Hα)

・ 結論

考察から月の大気にはFe、Na、Ca、O₂が存在することがわかった。ただ、本来月の大気に存在するはずのMgが存在しないという結果になってしまったりと、観測、解析の方法に改善の余地があるのではないかと思います。

・ 参考文献

かぐやのデータと月試料の融合研究が拓く月科学 <http://www.geochem.jp>

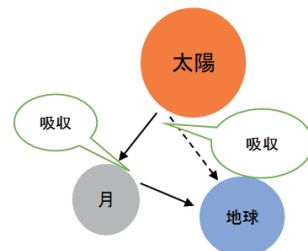


図4 吸収線のメカニズム

月食時の月面の色温度と明るさの関係

吉田 健吾 (高専2)、松本 一生、水本 和志、森下 央翔、吉田 浩瑛 (高専1)
【米子工業高等専門学校】

1. はじめに

フランスの天文学者ダンジョンは月食の「色調と明るさ」を5段階に分類し「ダンジョンのスケール」を作った^{*1}。しかし、「色調」と「明るさ」は本来独立な物理量であり、このような1次元分類が妥当かという疑問が残る。そこで、私達は本影食中の月面の分光観測を行い「色温度」と「明るさ」を比較した。なお「色温度」とは物体の色を、加熱した黒体の色と比較し、同じ色となる温度で表す尺度である。また、最近注目されている月食の本影の縁が青くなる「ターコイズフリンジ」という現象も調べた。

2. 観測

私達は2021年11月19日(金)の月食において本影内の月面の分光観測を行った。観測では、Meadeの25cm望遠鏡に分光器「光藝」を取り付け、最大食が過ぎた18時25分から本影食が終わる19時25分までほぼ5分間隔で、本影中心に最も近く、月の北極付近のスペクトル撮像を行った。このとき、「スカイ」の影響を差引くために、月の北極はスリットの下半分とし、上半分にはスカイが入るように撮像した。なお、適正露光が不明だったため、60秒、10秒、1秒と3段階の撮像を行ったが、本影食の終了が近づくと月面が明るくなったため、適宜露光を短くした。また、比較のために、本影食が終了した19時50分と、半影食も終了した21時05分にもスペクトル撮像を行った。さらに、観測後ハロゲンランプを用いてフラット撮像を行った。

3. 結果と考察

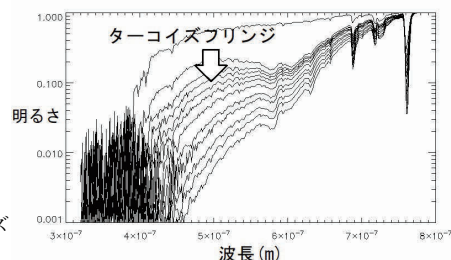
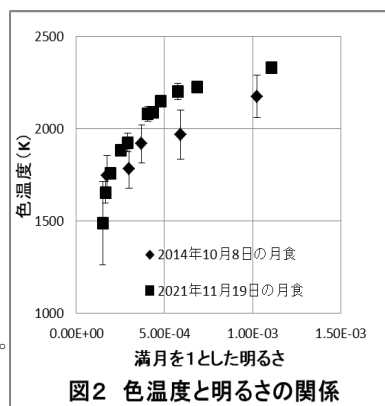
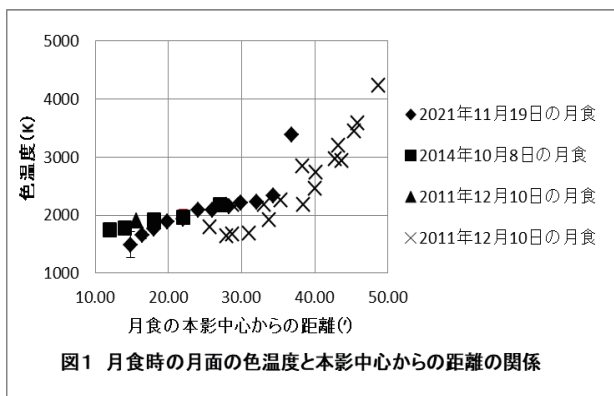
ダーク、フラット処理の後、地球大気中の O_2 線(波長7593.7Å, 6869.95Å)で波長同定を行い、ハロゲンランプの光が3000Kのプランク関数で表せると仮定して^{*2}、月面の色温度を求めた。続いて、色温度と本影中心からの距離のグラフを作成したところ、色温度は本影中心からの距離の単調増加関数であり、さらに過去の月食ともよく一致していることがわかった(図1)。続いて、月面の明るさと色温度との関係を調べたところ、明るさと色温度には正の相関があり、過去の月食ともよく一致していた(図2)^{*3}。これは、「色調と明るさ」に基づいた1次元分類であるダンジョンのスケールを裏付ける結果と考えられる。ところで、今回得られたスペクトルには5000Å付近を中心とした、4000Åから6000Åにわたる盛りあがりが見られた。そこで、今回撮像したスペクトルを重ねて表示したところ(図3)、時間がたつ(本影中心から離れる)にしたがって盛りあがりが高くなっており、これがターコイズフリンジのスペクトルであることが分かった。この盛りあがりには撮像を開始した18時25分(本影中心から15')にはすでにみられていることから、ターコイズフリンジは相当本影内部にまで侵入していることが分かった。

4. まとめ

本影食中の月面の色温度を求めたところ、色温度と明るさには正の相関があり、ダンジョンのスケールを裏付ける結果が得られた。また、ターコイズフリンジの影響が、本影の中心近くにまで及んでいることが分かった。

参考文献

1. 誠文堂新光社, 月刊天文ガイド, 2021年, 12月号, pp6-17
2. 島津製作所ホームページ <https://www.an.shimadzu.co.jp/uv/support/lib/uvtalk/uvtalk6/basic.htm>
3. 竹内彰継他, 2016, 米子工業高等専門学校研究報告, No51, pp1-5



部分月食のRGB分析

國栃天文部RGB班：

井原 翼、山中 陸叶（高3）、徳永 祐太（高2）、山根 史也、小林 亮脩（高1）【國學院大學栃木高等学校】、高森 亜門（中2）、野中 美咲、藤城 里姫（中1）【國學院大學栃木中学校】

要 旨

私たち天文部は2021年11月19日に本校天体ドームにてZWO ASI294MC カラーCMOSカメラをタカハシ製10cm屈折望遠鏡に接続して部分月食の撮像を行った。撮像した画像を『ステライメージ9』を使用し、RGB別の光量の変化を測定し、グラフ化した。その結果、今回の部分月食では、光量が、約1000倍の範囲内で推移したことが分かった。

1. はじめに

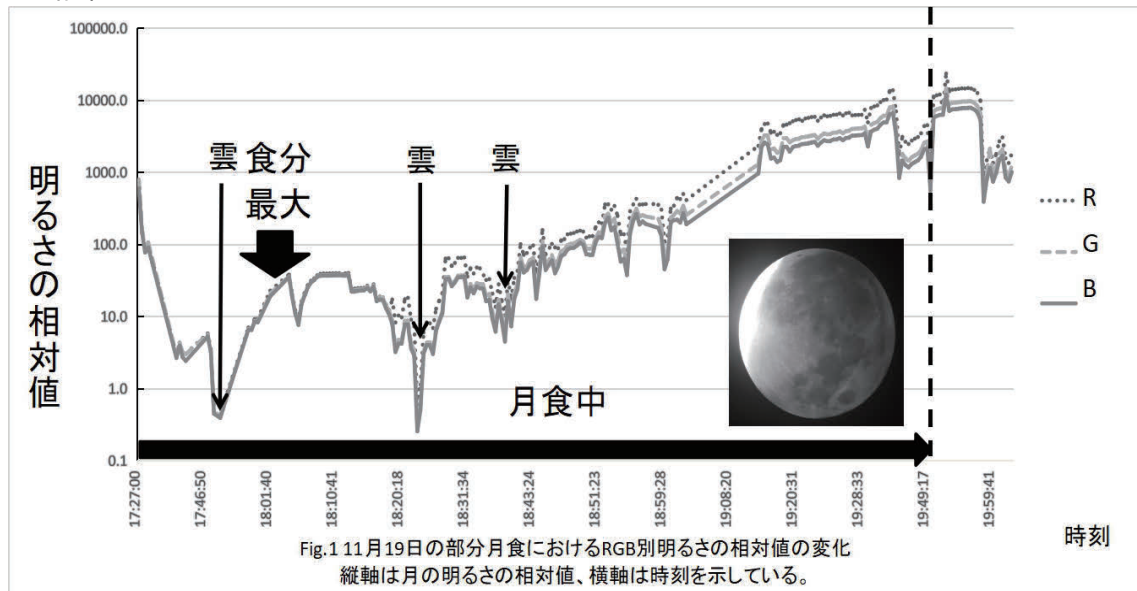
私たちは、2021年11月19日に部分月食のRGB測定を行った。私たちは昨年までに、皆既月食と半影月食の分析を行ったが、部分月食の分析は行っていないことがなかったため、今回は昨年のデータと部分月食のデータの比較を試みた。

2. 方法

ZWO ASI294MC カラーCMOSカメラをタカハシ製10cm屈折望遠鏡に接続して部分月食を撮像し、カラー画像を出力したその後、画像編集ソフト『ステライメージ9』を用い、月全体の光度を測定しRGBの三色に分け、それぞれのピクセル値を下記の方法で求め、分析した。

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

3. 結果



収集したデータをもとに部分月食の明るさの相対値の変化のグラフ Fig.1 を作成した。雲の影響により、明るさの相対値が落ちた部分がみられた部分もあった。

4. 考察

作成したFig.1より、食分が最大の時の明るさ相対値と、月食終了後の明るさ相対値との差が、約1000倍となっていた。また、私たちが2020年11月に半影月食を測定したときは約2倍、2020年3月の皆既月食を測定したときは、約10,000倍の差があった。

5. まとめ

この度の研究で、皆既に近いといわれても、部分月食と皆既月食の間には、大きな差があることが分かった。今年の11月に皆既月食があるので、再度観測を行い、月食のデータを増やし、来年度の研究に生かしたい。

6. 謝辞

測定方法のご助言をくださったアストロアーツ様、ありがとうございました。

ターコイズフリンジの色彩に迫る

～2021. 11. 19 月食における本影境界付近の RVB 光量分布～

森 彩香、清水 麻央、佐藤 心海、鷺津 乃英加 (高1) 【愛知県立一宮高等学校】

要旨

模様を消去した月食画像を測光することにより、RVBの測光結果からターコイズフリンジのRGB比の色彩を求めた。

1. はじめに

私たちは11月19日に起こった皆既月食をCMOSカメラとデジタル一眼カメラを用いて観測した。そして本影内のR, V, B光量分布について調べることにした。また、今回の月食では「ターコイズフリンジ」という、太陽光が成層圏を通過するときに赤い光が吸収され、青い光だけが直進することにより、月面の縁が青く見える現象が本校でも観測された。このRとBの光量の関係を確認した。

2. 方法

場所：愛知県立一宮高校(愛知県一宮市北園通6-9)

機材：ZWO社ASI-290MM、R, V, Bフィルタ、タカハシFSQ-106(D:106mm f:530mm)、EM200赤道儀、Canon EOS RP EF200mmF2.8 2Xエクステンダー

観測日：2021年11月19日

ソフト：すばる画像処理ソフト マカリ ステライメージ ver.6,8 ステラナビゲータ ver.11 Microsoft Excel 2019

測光：CMOSカメラの画像を1次処理し、画像の月の模様による明るさの変化を月食終了後の満月画像で割り算することで、月面の模様を消した。マカリで模様の消えた月面上の約20点を半径5で開口測光した(図1)。測光した点と本影の中心との角距離とObj平均を調べ、1秒露出に換算した上で、表計算ソフトでグラフ(散布図)を作成した。

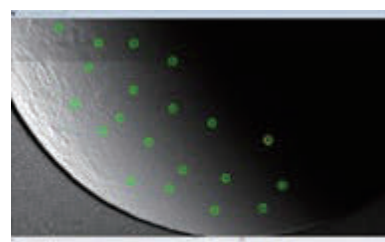
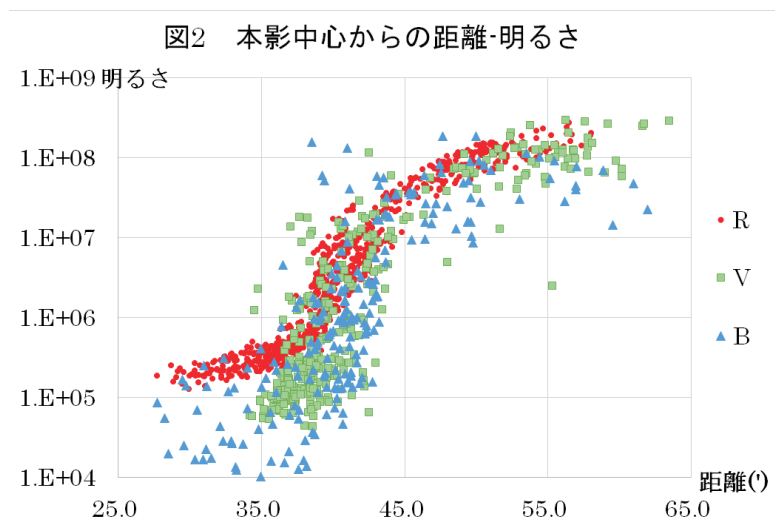


図1 月面測光位置

3. 結果と考察

グラフ(散布図)は、横軸に本影中心からの角距離、縦軸(対数軸)にR、V、Bの1秒露出相当の明るさをとった。(図2)(データ処理の時間が足りず、VとBのデータは充分な検討ができていない)

グラフより、本影の内部では明るさが $R > V > B$ となっており、赤い色であると分かる。これは、地球の大気を太陽光が通過する際青と緑の光がより散乱しながら進むことによる。しかし、VとBが本影の縁から半影にかけて(横軸 $38\text{--}42'$)の付近で急激に上がっていて、ターコイズフリンジが観測されたと思われる。



4. 今後の展望

VとBのデータの散らばりが大きいので、統計的にはずれ値に相当するデータを除去する等、散らばりを小さくしたい。また度数ごとにRVBの比を出して色を合成し、本影とターコイズフリンジの色の模式図を作成したい。

5. 参考文献

第17回ジュニアセッション講演56「皆既月食による本影内のRVB光量分布」一宮高校

画像処理による月食時の地球の影の境界の抽出と月までの距離測定

国立長野高専天文部：

塩川 真帆 落 (高専3)、小池 萌絵、小林 蒼葉、宮川 夏美、萩原 杏彩 (高専2)

【独立行政法人 国立高等専門学校機構 長野工業高等専門学校】

要 旨

2021年11月19日の夕方、ほぼ皆既月食に近い部分月食が起きた。長野高専天文部では、この部分月食を撮影し、その画像から月までの距離を求めた。この過程で月縁・地球の影の境界を抽出するプログラムを開発した。

1. 月までの距離を作図で求める

焦点距離540mm (F=5.4) の望遠鏡にCanon EOS60Dで部分月食を撮影した。その画像を、図1のように、目視で地球の影の部分に沿うような円を描き、画像のピクセル数を測定して画像上での月と地球の影のサイズを測定した。月の画像サイズと地球の影の画像サイズの比は、44:117であった。また、望遠鏡の視野より、月の見かけの大きさは 0.494° であった。これらより、月の直径 R 、月までの距離 d は、次の式で求められる[1, 2]。

$$R = \frac{\text{地球の直径}}{1 + \frac{\text{地球の影の画像サイズ}}{\text{月の画像サイズ}}} = \frac{12742\text{km}}{1 + \frac{117 \pm 1}{44 \pm 1}} = (3.5 \pm 0.1) \times 10^3 \text{km}$$

$$d = \frac{R}{\text{月の見かけの大きさ}} = \frac{(3.5 \pm 0.1) \times 10^3 \text{km}}{(\pi/180) \times 0.494} = (4.0 \pm 0.1) \times 10^5 \text{km}$$



図1 地球の影を求める

2. 地球の影の明るさを調べる (二値化)

地球の影の中の明るさは、地球の大気の影響で緩やかに変化している。このため、上記の図1の作図法で月までの距離を測定するとき、地球の影の境界の位置の取り方で、月までの距離に大きな不定性が出てしまう。このため、**月食の画像を二値化することで月の弧や地球の影の境界を任意に抽出するプログラム**を作ることで、地球の影の様子を調べることにした。二値化とは、画像の輝度を閾値で分けて白と黒に変換する画像処理のことである。図2は、二値化した画像から、月の弧となる部分と地球の影の境界の弧となる部分の抽出した画像である。

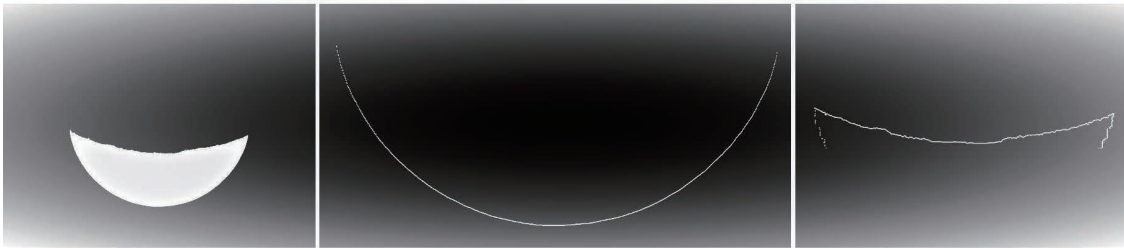


図2 月食の二値化画像

月の弧の抽出

地球の影の境界の抽出

次に地球の影の境界の弧上の点を含む円を求めるプログラムを作り、地球の影の半径を求めた。ところが、このようにして求めた地球の影の半径は、1の作図で求めたものに比べて小さくなる傾向となった。この原因は、当初、二値化する閾値で地球の影の境界の位置が変わるためであると考えたが、それだけでは説明できないように見える。例えば、月に投影されている地球の影が、球体に投影されている影であるために、平面に投影されているより曲率が大きくなる効果などが考えられる。本発表ではこの効果による影響の有無などについても検討し紹介する。

3. 現状のまとめと展望

月食による月までの距離測定のために、二値化による月縁や地球の影の境界を抽出するプログラムを開発した。このプログラムの測定精度を確かめるため、最初に従来の手法で月の大きさと月までの距離を求めてみると、月までの距離は約40万kmとなった。ちなみに、国立天文台歴史計算室の月食予報による地心距離は40.54万kmである。しかし、二値化プログラムによる測定では、閾値の取り方により大きな(10%程度)誤差が生じることが分かった。そこで、逆に、この二値化プログラムを用いることで、地球の幾何的境界の影の位置付近の明るさ分布がどのように変化しているか調べる事ができると考えられる。特に地球の大気の影響を調べたい。本発表では、これまでの研究経緯を踏まえ、月までの距離測定の結果に加えて、地球大気と地球の幾何的境界付近の影の明るさなどの関係も明らかにしたい。謝辞：本研究に関して、天文部5年生の森山実先輩、間藤恵志先輩に多くの指導を受けました。

参考文献

- [1] 千野貴彦ほか、長野高専天文部メンバー、「月食観測による月までの距離測定」、日本天文学会第3回ジュニアセッション予稿集 pp. 10-13(2001.10)
- [2] 大西浩次、「月食観測による月までの距離測定」、Paofits研究会集録 (2007.12)
<https://paofits.nao.ac.jp/naoWS07/oonisi.pdf> (2022年1月25日閲覧)

火星の土壌が生じた一因についての実験による推定

科学探求部：

廣田 祐希（中2）、木村 遙（中1）【大田区立蒲田中学校】

要 旨

科学探求部では、火星の土壌が生じた一因を探る実験を行っている。この実験は、紫外線を照射しながら、玄武岩に硫酸の乾燥湿潤の繰り返しを与える実験である。この実験の結果、紫外線による劣化作用によって、玄武岩から微細な破片が生じること、及び硫酸塩による塩類風化によって玄武岩は破碎することがわかった。このような玄武岩の風化は、過去の火星上でも発生し、土壌が生じた一因になったと推定する。

1 研究の背景と目的

今から40億年前～30億年前の火星上には、酸性の水が存在し、温暖な気候の時期があったと推定されている。この時期に、硫酸と玄武岩が反応して、火星の土壌に含まれている石膏や明礬等の硫酸塩や、赤鉄鉱、針鉄鉱等の鉄酸化物が生じたと考えられている。しかし現在のところ、火星の土壌が生じた原因については、はっきりしていない。この実験の目的は、紫外線と硫酸の乾湿繰り返し玄武岩に与える影響を調べ、火星の土壌が生じた一因について考察することである。関連する研究として、稲垣、荒井（2005）がある。

2 方法

2cm×1cm×1cmの玄武洞産玄武岩を、pH2の硫酸水溶液を満した直径6cm高さ1.5cmのシャーレに浸す。そして殺菌灯により紫外線をシャーレに照射し、硫酸水溶液を乾燥させる。このような乾燥湿潤の過程を1サイクルとする。この乾燥湿潤の繰り返しを10サイクル行い玄武岩の変化を観察した。同時に紫外線の影響を調べるため、対照実験として紫外線を照射せずに同じ実験を行った。なお紫外線を照射した試料をUVC、紫外線を照射しない試料をNとした。

3 結果と考察

3サイクル程から、UVCでは0.1mm程の微細な玄武岩の破片がシャーレ一面に散在しはじめ、10サイクルではNよりもずっと多く発生した。この微細な破片は、紫外線と硫酸による玄武岩の劣化によって生じたと考えられる（図1）。一方、玄武岩試料本体には、5サイクル程から面に平行に、クラックが発生した。このクラックは、Nの方がUVCよりも激しく発生した（図2）。クラックは、硫酸と玄武岩が反応して発生した硫酸塩による塩類風化によって生じたと考えられる。そしてUVCとNでは生じた硫酸塩が異なっているために、塩類風化の程度が異なると思われる。過去の火星上でも、以上のような紫外線と硫酸の乾燥湿潤の繰り返しが生じ、玄武岩の細粒化の一因になったと考える。

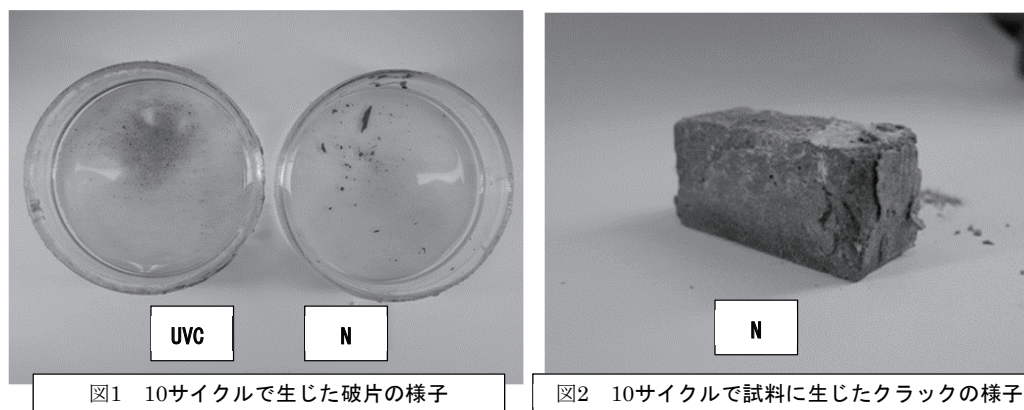


図1 10サイクルで生じた破片の様子

図2 10サイクルで試料に生じたクラックの様子

Ming, M. and Morris, R. (2017)によると火星の土壌をつくる粒子のサイズのうち、約15～25重量%は粘土サイズ (<4 μ m)であり、85～75%はシルトまたは砂と推定している。紫外線と硫酸による玄武岩の劣化は、特に粘土サイズの粒子が生じる一因になったと推定する。

謝辞

この研究を進める上で、常にご指導をいただいております蒲田中学校科学探求部顧問の小森信男先生に、お礼申し上げます。

引用文献

稲垣 貴寛、荒井 祐也 (2005)：硫酸の乾燥湿潤の繰り返しによる玄武岩の変化、日本天文学会ジュニアセッション 2005予稿集。

Ming, M and Morris, R. (2017)：Chemical, Mineralogical, and Physical Properties Of Martian Dust And Soil. Dust in the Atmosphere of Mars 2017.

25万枚の画像で求めた木星の内部構造

原口 真緒 (高2)、松窪 啓介、永坂 希良梨、萩之内 美月 (高1)、
山元 胡桃美 (高1) 【鹿児島市立鹿児島玉龍高等学校】

我が校では25万枚の画像をコンピュータで解析したことにより精度良く木星の形状を測定することができた。惑星の形状は楕円体とみなすことができ、楕円率 ϵ で表せる。私たちの観測結果 ϵ はハッブル宇宙望遠鏡で観測された楕円率と誤差の範囲で完全に一致した。また楕円率は木星が一様なガスの塊であった場合では説明が付かず、内部に構造があることがわかった。

1. 目的

我が校では木星閃光現象を観測するために2017年から2020年までの4年間の間に25万枚を撮影してきた。25万枚の画像を目視で研究することは解析において人によって常に同じ結果を得るが難しいのでコンピュータで解析することが望ましい。現在はプログラミング言語 python により画像の処理は非常に身近になっている。本研究ではプログラミングによる均質な画像解析により木星の画像を処理した。

2. 機材・サンプル

- ・カメラ ZWO ASI294MC (非冷却 CMOS)
- ・期間 2017年7月15日-2020年12月21日
- ・枚数 254,084

3. 研究方法

本研究ではまず木星の画像を python のオープン画像解析ライブラリー opencv2 を用いて木星の輪郭を 1 px 程度の精度で決定する。決定した輪郭を図1に示す。次にその輪郭を長径 a [km]、短径 b [km] の楕円として捉え、楕円率 $\epsilon \equiv (a - b) / a$ [(無次元)] を求める。モデル、計算の詳細は図2のQRコード先のホームページで示している。

4. 結果

本研究で求めた ϵ を図3に示す。図3には人工衛星で決定した楕円率を示す [3]。両者は誤差の範囲で完全に一致していることを示している。楕円率は物質密度の分布によって変化する。木星の中心からの距離を r として内部の物質密度を傾き $-\alpha$ の power-law ($\rho \propto r^{-\alpha}$) と置く [1, 4]。 ϵ と α の関係を

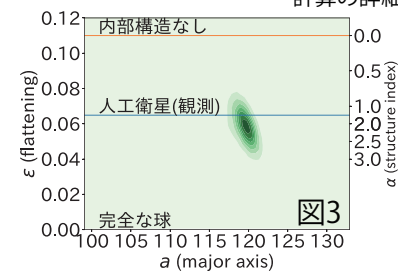


図1: コンピュータによる木星の輪郭の同定。図2: 省略した計算の詳細。図3: 楕円率の分布(中央の縞)。破線が人工衛星による観測結果、点波線の内部構造なしは一様な球の場合を示す。誤差範囲で楕円率が人工衛星の観測結果と一致し、一様な球と一致していないことがわかる。

図3で表す。理科年表(国立天文台)[2]から必要なパラメータを代入すると一様な構造である内部構造なしは5.0 σ 信頼水準で否定できることがわかった。これにより木星には内部構造があることがわかった。求められた $\alpha = 2.0$ であり、中心部分(半径の40%の位置)の密度は平均密度より2倍高く、およそ 2.6 g/cm^3 である。これにより中心部には液体や固体の核がある可能性があることがわかった。

参考文献

[1] R. Fitzpatrick (2012), *An introduction to celestial mechanics*, [2] 国立天文台 (2021), *理科年表*, [3] D. R. Williams (2021) *Jupiter Fact Sheet*. NASA., [4] <http://phys1.sakura.ne.jp/kagoshima/>

木星のスペクトル撮像における二次スペクトルの影響の軽減について

地学部：脇谷 悠、田尻 尚大（高2）、井上 晴人、桑本 夏向、杉本 遥菜（高1）【埼玉県立浦和西高等学校】

要旨 私たちは木星スペクトルにおけるメタン吸収帯の緯度毎の差の検出を試みているが、その吸収帯がある赤外域に短波長側の光の二次スペクトルが重なる可能性と、その影響に懸念があった。そこで市販の R1 フィルターを用いることによって、二次スペクトルの軽減を試みた。

1. 本年度の研究

昨年度の研究¹⁾では可視光から赤外域の光における木星のスペクトル撮像を行った。その際、メタンの吸収帯について特段の差は見出せなかった。これには短波長側の光の二次スペクトルの影響などがあると考えた。本年度は二次スペクトルの影響を軽減するために、約 600nm 付近より短波長側の光をカットする R1 フィルターを用いて撮像を行い、その効果を検証することにした。

2. 観測について

- (1)観測日時:2021年10月28日～2022年1月8日
- (2)観測場所:本校屋上
- (3)主な観測機材(図1):望遠鏡(Vixen FL-102), R1 フィルター(Kenko),分光器(VEGA 昭和機械製作所),冷却 CCD カメラ(ATIK TITAN)



図1 観測機材

- (4)使用ソフト

撮像:Artemis Capture 画像処理:Makali'i

解析:Makali'i, Microsoft Excel

3. 解析方法

- (1)撮影したフィルターなしの画像を Makali'i にてデータ処理をして加算平均を行った(図2)。R1 フィルターを用いて撮影した画像にも同様の処理を行った。これらの画像からスペクトルの輝度値(ここではカウント値を輝度値とした)を取り出しグラフ化した。

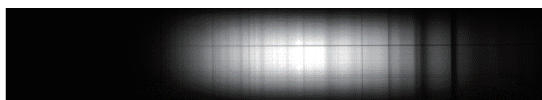
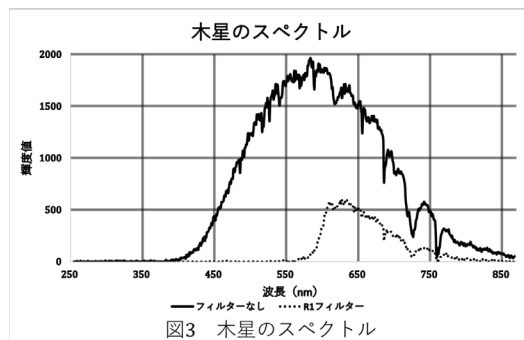


図2 木星のスペクトル画像(フィルターなし)

- (2)理科年表²⁾を参照し、Makali'i で得た数値データのうち、輝度値の小さな部分に対応する吸収線を割り当てることにより、ピクセル位置と波長の関係式(二次関数)で近似し、全体の波長付けを行った。
- (3)(2)で求めた波長をもとに木星の2種類のデータを同じグラフにまとめた(図3)。



4. 解析結果・考察

メーカー公表の R1 フィルター特性曲線³⁾によると、650nm 付近より長波長側の光の透過率は 98%程度で、フィルターを使わない時とほぼ同じような輝度値が予想される。しかし図3より R1 フィルターの有無による輝度値の差は、予想される透過率よりも 650nm 以降において明らかに差がある。しかも図3における R1 フィルターのデータはフィルターなしと比べて2倍の露出をかけているため、差はさらに顕著になるはずである。これは R1 フィルターを用いたことによって二次スペクトルの影響をほとんど排除できたためだと考えられる。

5. 今後の課題

R1 フィルターの有効性の確認を踏まえて、木星のスリットスキャン画像の撮影を試みたが、得られた画像は大幅に歪んでしまった。その原因としては、多数の部品を取り付けたことにより観測機材の全長が長くなったために生じていたはずみ、追尾によって鏡筒の向きが変化するために一定ではなかったからだと考えられる。

6. 参考文献

- 1)木星スペクトルにおける緯度による差の検出[守屋 佑真、関延 凌(高2)、田尻 尚大、脇谷 悠(高1)(浦和西高校)、日本天文学会ジュニアセッション(2020)]
- 2)理科年表 国立天文台編(2019)
- 3)ケンコー・トキナー(株)ホームページより

7. 謝辞

観測方法やスリットスキャンの画像処理において、川口市立高等学校の坂江隆志先生にはご尽力いただきました。この場をお借りして御礼申し上げます。

アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析

黒木 あやめ (高1) 【国立名古屋大学教育学部附属高等学校】

田川 智也、山田 啓悟 (高1) 【愛知県立明和高等学校】

深谷 咲良、丸山 心菜、青木 耀 (中3) 【国立名古屋大学教育学部附属中学校】

概要

本研究では、若い星の周囲に存在し、惑星形成の母体である原始惑星系円盤の特徴を調査した。アルマ望遠鏡が観測した一酸化炭素分子(CO)の電波データから中心星の質量を求め、原始惑星系円盤の大きさや電波強度との関係を求めた。

1 はじめに

星と星の間に存在する、星間ガスの密度が高い領域を分子雲と呼ぶ。この分子雲が自己重力により収縮することで星が形成されるが、遠心力により星の周囲の全ての分子のガスが中心に到達できないため、中心星の周囲に円盤が形成される(図1[1])。これを原始惑星系円盤と呼び、この中で惑星が形成されると考えられている。

本研究では、11個の原始惑星系円盤の大きさと、中心星の質量を求め、それらの相関図を作成した。

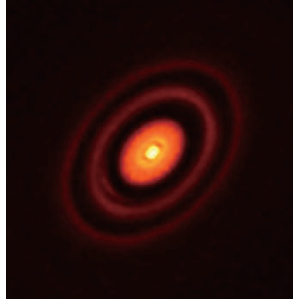


図1 原始惑星系円盤HD163296

2 データ

アルマ望遠鏡がCOを電波観測したDSHARP DATA RELEASE[1]の公開データを使用する。また、ESAの公開データであるGaia EDR3[2]の年周視差を用いる。

3 原始惑星系円盤の解析

3.1 大きさ

まず、原始惑星系円盤が付随する星のGaiaによる年周視差をバーチャル天文台ESA SKYから得て、その逆数から、地球から原始惑星系円盤までの距離を求める。次に、原始惑星系円盤の形が視線方向に対して傾いた円だと考え、楕円に近似させた。この長軸の長さは、原始惑星系円盤の見かけの大きさ(天球面でのなす角)と同じである。上で求めた距離を使って、観測された原始惑星系円盤の直径を計算する。

3.2 中心星の質量

原始惑星系円盤の短半径と長半径の比から、原始惑星系円盤の視線方向の傾きの余弦を求めることができる。円盤上の各点で観測された電波のスペクトルから、ドップラー効果によってガス運動の速度の視線方向成分(視線速度)が求められる。原始惑星系円盤の視線方向の傾きを求めることで、原始惑星系円盤の長軸上の視線速度を、実際の速度に換算することが可能となる。

また、原始惑星系円盤の中心星の周囲にある分子ガスは、ケプラー回転している。万有引力と遠心力のつりあいから、

$$V = \sqrt{\frac{GM}{R}} + d \quad (1)$$

となる。ここで、 V は分子ガスの速度、 G は万有引力定数、 M は中心星の質量、 R は原始惑星系円盤の中心から分子ガスまでの距離、 d は原始惑星系円盤が地球から遠ざかる速度である。式(1)を様々な R における観測データとフィッティングすることにより、原始惑星系円盤の中心星の質量を求めることができる。

4 結果

11個の原始惑星系円盤の直径と中心星の質量の分布と、中心星の質量と電波強度の相関を図2に示す。中心星の質量は、0.18から1.8太陽質量で、平均値は1.0太陽質量であった。

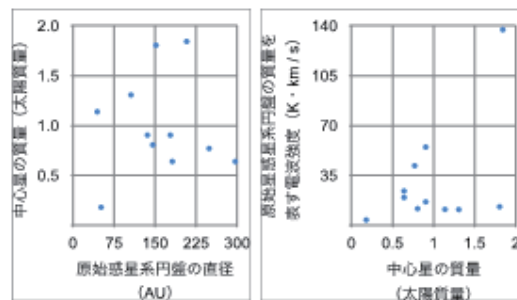


図2 原始惑星系円盤の直径と中心星の質量、中心星の質量と電波強度の関係

5 考察

本研究で解析した原始星惑星系円盤の中心星の質量は、太陽と同程度であった。原始星惑星系円盤の直径とその中心星の質量の相関係数は0.04であった。中心星の質量は、付随する分子ガスの角運動量に依存すると思われる。

一方、原始星惑星系円盤の中心星の質量と、原始星惑星系円盤の電波強度(地球から11個の原始惑星系円盤の距離は一定とした)の間には、相関係数が0.50と、正の相関がみられた。電波強度は、原始惑星系円盤の質量にほぼ比例するため[3]、質量の大きい星の周囲には、質量の大きな円盤が存在し、形成される惑星系の質量も大きい可能性が考えられる。

6 謝辞

名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室の原研悟准教授、国立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日高正貴先生にご指導をいただきました。厚くお礼申し上げます。

7 参考文献

- [1] <https://almascience.eso.org/alldata/lp/DSHARP/>
- [2] <https://sky.esa.int>
- [3] 国立天文台ALMAデータ解析に関する情報 (https://www2.nao.ac.jp/~eaarc/DATARED/EAARC_MAPSCI/eaarc_map2sci_diskcont.html)

今後の系外惑星研究のためのトランジット法の検証

金原 碧、武者 拓真、冬城 奏愛、高橋 洸介、延近 賢悟（高2）
【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】

要旨

本校において系外惑星研究のためのトランジット法を用いた観測方法を確立するため、本研究で実際にトランジット法を用いた系外惑星の観測を、可視光と近赤外線との2つの波長域で行った。その結果、WASP-33 bの観測および惑星半径の計算に成功し、近赤外線を観測するほうがより文献値に近い値を得られることが分かった。

1. はじめに

系外惑星研究は日々、様々な研究機関で行われており、本校においても系外惑星研究を行いたいと考えていた。しかしながら、これまで本校ではそれほど活発に系外惑星の観測は行われていなかった。今年度、本研究に先立って系外惑星観測を行った生徒がおり、本校の設備で惑星の半径を求められることが明らかになった。本研究では、その研究後に仮説として挙げられていた、近赤外線による測光観測の有用性について検証する。

2. 目的

本校における今後の系外惑星研究のために、近赤外線による測光観測の有用性について検証すること。

3. 観測方法

- 観測—観測対象 WASP-33 b, 比較星: BD +36 487(赤外線), BD +36 488(可視光)
 - 使用機材 近赤外線: 高橋製作所SKY 90 (口径90mm, 焦点距離500mm), ZWO ASI462MC(センサーサイズ5.6×3.2mm), ZWO IR850 Pass Filter
 - 可視光線: 高橋製作所C300 (口径300mm, 焦点距離3,600mm), ATIK 414EX(センサーサイズ8.8×6.4mm), ZWO IR/UV カットフィルター
 - 赤道儀: 高橋製作所EM-500 Temma 2
- ※系外惑星によって恒星が減光する時間帯[1]に、近赤外線、可視光線による観測を同時に行う
- 解析—ステライメージ8を用いて画像のバイヤー変換と一次処理を行い、Makali'iを用いて開口測光を行った。得られた測光結果をExoplanet Transit Databaseを用いてグラフ化し、近似曲線を計算した。

4. 結果

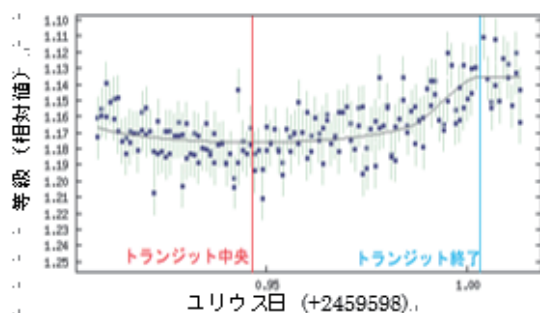


図1 恒星 WASP-33 の等級変化 (可視光)

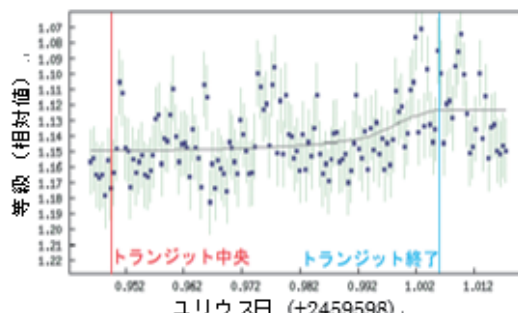


図2 恒星 WASP-33 の等級変化 (近赤外線)

- ・図1、図2より可視光、近赤外線共にトランジットに伴う光度の変化を観測できた。
- ・図1、図2の観測結果より算出した惑星半径を表1に示した。
- ・表1より近赤外線の方が、可視光よりも文献値に近い値を得ることができた。
- ・近赤外線では撮影の際のゲインを200から250に変えることで数値の誤差をより少なくすることができた。

表1 得られた惑星半径の比較

	惑星半径
文献値	$1.12 \times 10^5 \text{ km}$ [2]
可視光	$1.77 \times 10^5 \sim 1.98 \times 10^5 \text{ km}$
近赤外線	$1.07 \times 10^5 \sim 1.76 \times 10^5 \text{ km}$

5. 結論

表1より近赤外線を観測することで、可視光よりも文献値に近い数値を得ることができた。よって、系外惑星研究のためのトランジット法では、近赤外線による測光観測が可視光よりも有用であることが分かった。

6. 参考文献

- ETD-Exoplanet Transit Database, <http://var2.astro.cz/ETD/>, 最終閲覧日: 2021年1月24日
- 太陽系外惑星データベース, <http://www.exoplanetkyoto.org/>, 最終閲覧日: 2021年1月24日

7. 謝辞

系外惑星の表面温度の予測値と観測値の比較

國本 祥太郎、小川 武流、北 和寿、島村 拓実、秋山 拓輝、田淵 悠人 (高2)
【大阪府立北野高等学校】

要旨

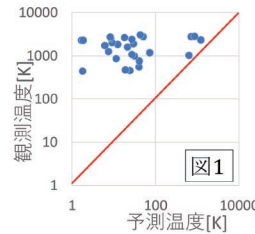
系外惑星の表面温度の予測を主星からの距離だけでなく、内部熱源の影響も考慮することでより正確に行うため、内部熱源の起源から考え、それが表面温度に与える影響を考察する。

1. 目的・背景

近年、環境問題が深刻化する中で、「第二の地球」を探すため系外惑星が注目されている。そんな系外惑星の表面温度の予測を、内部熱源の影響も考慮することにより、さらに精度の良い物にすることが目的である。

2. 研究の方法

惑星の表面温度 T は主星から入射するエネルギーと惑星の表面から放出するエネルギーが釣り合いから、 T を表面温度、 R を半径、 r を公転半径とすると



$$T_{\text{planet}} = T_{\text{star}} \sqrt{\frac{R_{\text{star}}}{2r}}$$

この計算を現在表面温度が観測されている27個の惑星に行った結果が図1である。

直線は予測値=観測値を示している。ここから、観測値が1000~2500K高い惑星が多いことがわかる。私たちはこの差が内部熱源の影響だと考え、その影響の大きさを考えることにした。

まず、一般的に内部熱源の起源と言われている重力エネルギーが本当に起源なのかを検証する。重力エネルギーが内部熱源の起源なのであれば、惑星が輻射によって失った内部熱源のエネルギー(①)が重力エネルギー(②)よりも小さい。まずはこれを確かめることで、重力エネルギーが内部熱源の起源であることに矛盾がないことを示す。

以下、 σ はステファン・ボルツマン定数、 R は惑星の半径、 t は現在の惑星の年齢、 $f(t)$ は時刻 t での表面温度を表す関数、 T は先ほど求めた表面温度の予測値、 G は万有引力定数、 M は惑星の質量を表す。ステファン・ボルツマンの方程式から、時刻 t_1 で1秒間に惑星から輻射で失われる内部熱源のエネルギーは、

$$E_{\text{lost}} = 4\pi\sigma R^2 \int_0^{t_1} \{f(t) - T\}^4 dt [J \cdot s^{-1}]$$

これを区間 $[0, t_1]$ において t で積分することにより、今までに輻射で失った内部熱源のエネルギー量が、

$$E_{\text{lost}} = 4\pi\sigma R^2 \int_0^{t_1} \{f(t) - T\}^4 dt [J] \dots \textcircled{1}$$

と表せる。重力エネルギーは無限度から物体が集まって蓄えられることから、惑星の密度が一定なら、

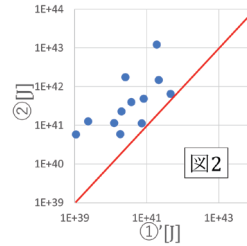
$$E_{\text{gravity}} = \frac{3GM^2}{5R} [J] \dots \textcircled{2}$$

と表せる。ここで①の被積分関数が不明なので、これが単調減少することに着目して、積分の値を

$$t_1 \cdot \{f(t_1) - T\}^4$$

として、この積分の下限値を求めることにした。これを使って求めた①の下限値を①'とおく。

この二つを計算に使う全てのデータが観測されている17個の系外惑星に行ったのが次の図2である。直線は①'と②が等しい場合である。図2からわか

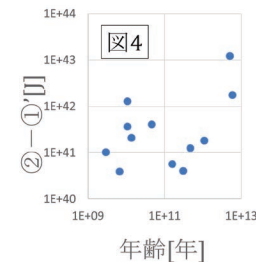
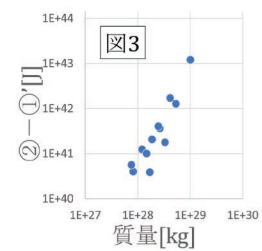


るように、全ての点が重力エネルギーの方が高いことを示している。

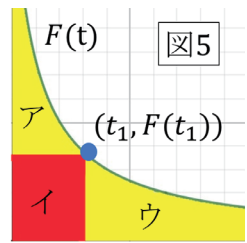
図3、4はそれぞれ①'と②の差と質量、年齢の相関関係を示したグラフである。

図3からは惑星の質量

に正の相関があることがわかり、図4からは年齢が相関を持たないことがわかった。



3. 考察



以下、簡単のために $F(t) = \{f(t) - T\}^4$ とおき、図5の領域の記号を使う。ウは正の方向へ無限に領域が続くとする。

ここでア+イは惑星が今までに輻射で失った内部熱源のエネルギー量、イはその下限値、ウは残っている内部熱源のエネルギー量を示している。

図3で質量と①'と②の差が正の相関を持ったのはア+イ+ウが大きくなったことが原因と考えられる。質量が増加すると重力エネルギーが増加し、また、内部熱源の起源が重力エネルギーであることから、ア+イ+ウは重力エネルギーと相関があるので、質量が増えるとア+イ+ウが大きくなり、ア+ウもそれにつれて大きくなったと考えられる。

図4で年齢と①'と②の差が相関を持たなかったのは、求めた①'が下限値だったことが原因と考えられる。tが大きくなるにつれてア+イは大きくなるが、求めた下限値のイは途中で $F(t)$ が小さくなりすぎて減少を始める。そのため単純な相関関係を持たなかったと考えられる。

図3は逆に、重力エネルギーと内部熱源の量に相関があるとわかるから、内部熱源の起源が重力エネルギーであるという根拠にもなる。

4. 結論

本研究により、主星との距離のみから推測される予測表面温度と実際の観測値との差が、内部熱源であることと、その内部熱源が重力エネルギーを起源に持つという通説に矛盾しないことがわかった。

参考文献

福江純・沢武文・高橋真聡 編(2020年)

『極・宇宙を解く』恒星社厚生閣

『The Extrasolar Planets Encyclopaedia』

(<http://exoplanet.eu>)

系外惑星における公転周期と軌道半径の相関性

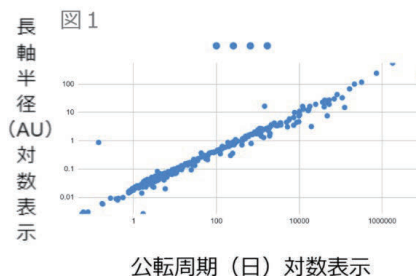
足立 未悠、石川 拓真、谷井 心香、津川 太一、福田 捷稀（高2）【大阪府立北野高等学校】

要 旨

太陽系外惑星においてもケプラーの第三法則は成立すると考えられる。このことを実際の観測値をもとにグラフを描き、その正当性及びに推定値から大きく外れている天体の要因を研究した。

1. 研究の背景

系外惑星のデータベース（参考文献(2)）を元に、軌道長半径と公転周期の関係を両対数グラフ（図1）で示したところ、外れ値の存在を確認した。そこで、中心星の半径及び質量が太陽より大きい場合、惑星の半径及び質量が木星より大きい場合でわけて、その分布に着目した。その結果、相関係数から惑星の質量と半径が図1内のばらつきに関係していることが読み取れた。なぜ図1上で外れ値が存在するのかを検証する。



2. 研究方法

ケプラーの第三法則を拡張した関係式は、
$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} (M + m)$$
 (a: 主星と惑星の軌道長半径の和, T: 惑星の公転周期, G: 重力定数, M: 主星の質量, m: 惑星の質量) である。私たちはこの関係式から主星の軌道長半径がグラフの外れ値と関係があるのではないかと考えた。なぜなら、とったグラフでは惑星の長軸半径のみを考慮していたからだ。しかし、主星の軌道長半径のまとまったデータがデータベースから得られなかったこと、惑星の質量と外れ値の関与を調べる視点などから、主星と惑星の軌道長半径の比が主星と惑星の質量比に等しいことを用いて、軌道長半径の問題をまとまったデータが得られる質量の問題へと還元した。M/mの範囲を $0 < M/m \leq 10$, $10 < M/m \leq 100$, $100 < M/m \leq 1000$, $1000 < M/m \leq 100000$ の4つにグループ分けし分布を調べた。

3. 結果

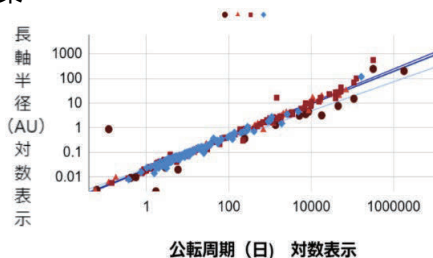


図2: M/mの各区分の近似線

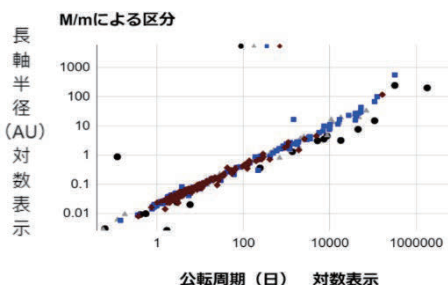


図3: M/mによる区分

図3では、○が $0 < M/m \leq 10$, △が $10 < M/m \leq 100$, □が $100 < M/m \leq 1000$, ◇が $1000 < M/m \leq 100000$ の値が小さければ小さいほど惑星の集団から遠く、下に分布しているのがわかる。図2より、その近似線も他惑星に比べて相対的に位置が低くなっていることがわかる。

4. 考察

ケプラーの第三法則（推定値）から大きく外れている天体は惑星質量/恒星質量の値が他の系外惑星の平均値から大幅に低く、かつ1に近い値を取っている。つまり、主星と惑星の質量差が小さい。また各主星、惑星の質量を見ても”80木星質量”つまり”恒星と惑星とを区分する質量境界値”から10倍程度の誤差しかなく、平均値よりも大きく近づいていることから、これらの系外惑星は形成過程において連星系に成り損ねた天体がケプラー軌道を外れ、推定値との差が大きくなったと考えられる。

5. 参考文献

- (1) 「極・宇宙を読み解く」現代天文学演習 福江純・沢武文・高橋真聡編
- (2) The Extrasolar Planets Encyclopedia <http://exoplanet.eu/>

The study of methods on the Geminids Meteor Shower's (2020) height
Mr. Thanapat lampramool (grade 10) [Varee Chiangmai School]

Abstract

Photograph from two location were used to measure the hight of Geminids Meteor shower. The meteor's heights were found to be around 30 to 180 kilometers above the sea level, where meteor should start to burn up. In this research, pictures were captured by DSLR camera on the 13th December 2020. Apparently, after analyzed by trigonometric and parallax method, both methods have approximately same accuracy. Both of methods are similar and could be used as the same, the decision is up to information from pictures and number of observation points.

Introduction

Meteor shower is a made up of ion, dust, and debris that light up while falling down through earth's atmosphere in many numbers. The Geminids meteor shower is special, it came from debris of an asteroid / rocky comet called 3200 Phaethon instead of comet like other meteor showers.

Methods

1. Set camera to same setting and capture pictures in areas that are at least 15 kilometers apart (for accuracy).
2. Separate the calculation into two parts, parallax and trigonometric method
Parallax method : First, overlaid two pictures from both observations and find the angular distance. Second, calculate angular distance by comparing to the distance between Pollux and Castor from the picture. Finally, use TAN's function to calculate the meteor's height and plus the result then divide by two to find the average height.
Trigonometric method : Match stars in meteor's picture with reference stars in the 'Stellarium' program, draw lines using angle from azimuth and altitude of meteor and find the intersections. Measure the distance and use TAN's function in excel to find the height of the meteor and make them on average.
3. Analyze and compare the results that we got from both methods, find the error and discuss for conclusion.

Result and Discussion

Meteor number 6's height was found reaches over 250 kilometers in parallax method and reaches over 300 kilometers in trigonometric method. The result from parallax method show in table 1 and table 2 . And the result from trigonometric method show in table 3 and table 4.

The reason predicted is the chosen picture was taken around 2 AM of 14th December 2020, has Geminids constellation around the zenith, and has altitude point higher if compared to other meteor head to tail distances. Also, they might be an error from sky obstacles and other light disturbance.

Table 1 the height of meteors' tails (parallax)

Meteor number	Distance between meteor's tails (Pixel)	Meteor's tails angular distance (Degree)	The height of meteor's tails (Kilometer)
1	469.07	4.20	178.50
2	544.68	4.87	153.62
3	628.59	8.17	91.21
4	507.28	6.54	114.31
5	1001.01	8.98	82.93
6	225.58	2.93	256.23

Table 2 the height of meteors' heads (parallax)

Meteor number	Distance between meteor's heads (Pixel)	Meteor's heads angular distance (Degree)	The height of meteor's heads (Kilometer)
1	529.88	4.74	157.93
2	551.38	4.93	151.75
3	696.32	9.05	82.21
4	584.20	7.53	99.12
5	1100.89	9.87	75.28
6	250.50	3.25	230.69

Table 3 the height of meteors' tails (trigonometric)

Meteor number	Distance of meteor tails from observation point (Kilometer)		Meteor tails' altitude (Degree)		The height of the meteor (Kilometer)		
	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Average number
1	630.31	552.08	31.63	31.70	115.40	101.36	108.38
2	800.18	773.47	48.46	39.98	268.47	192.79	230.63
3	27.50	108.91	76.56	67.87	34.20	79.60	56.90
4	57.03	160.82	75.94	60.52	67.69	84.56	76.12
5	129.65	86.00	71.09	70.51	112.50	72.23	92.36
6	681.03	626.87	66.6	70.25	467.80	518.98	493.39

Table 4 the height of meteors' heads (trigonometric)

Meteor number	Distance of meteor heads from observation point (Kilometer)		Meteor heads' altitude (Degree)		The height of the meteor (Kilometer)		
	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Point 1	Point 2	Average number
1	623.51	542.35	30.12	30.62	107.53	95.42	101.47
2	379.11	340.78	37.53	40.47	86.57	86.42	86.50
3	24.04	108.76	74.48	67.28	25.73	77.21	51.47
4	37.01	141.22	76.08	59.16	44.38	70.31	57.35
5	129.32	70.60	68.59	69.82	98.04	57.10	77.57
6	595.15	534.42	64.74	69.02	374.93	414.26	394.60

Conclusion

The meteor's heights were found at the same range around 30 to 180 kilometers above the sea level, where meteor should start to burn up. Conclude that both methods have approximately the same accuracy. An accuracy from both methods are almost the same but, the trigonometric method's information can be used to find incident angle that improves the credibility of the result.

Acknowledgement: I am deeply appreciating to NARIT for giving a help and new knowledge and also, to my advisor Mr. Sarawut Pudmale and Mr.Thanakrit Santikunaporn whose impossible to be working without.

Reference: Richard Dibon-Smith. (2016). Gemini Transit Date of principal star. Retrieved January 13, 2021 from http://www.dibonsmith.com/gem_con.htm

The Study of Distance between the Earth and Moon with an occultation of Mars by the Moon
by Lunar Parallax Method

Miss Ploysai arkkarapongchanaporn (Grade 11)

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

Abstract

The study aimed to measure the distance from the Earth to the Moon from the phenomenon. In addition, this study identifies trends of deviation. Data were collected by imaging the Moon and Mars in different regions on April 17th, 2021, using 10-inch Dobsonian reflectors connected to a DSLR camera. The result shows that the distance from Earth to the Moon, calculated using the Lunar Parallax method, was correlated with the distance, and the discrepancy results were affected by the distances.

Introduction

The distance from the Earth to the Moon can be measured using the parallax method, so this study is observed by the change in position of an object relative to its background from a different perspective. In this research, the researcher studied the distance from the Earth to the Moon from the occultation of Mars by the Moon that occurred on April 17, 2020, by using the Lunar Parallax method.

Methodology of research

1. Data Collection

1.1 Study the phenomenon of the moon obscuring Mars (Occultation of Mars by the Moon) on April 17, 2020, from 8:00 PM to 8:45 PM on the Stellarium program.

1.2 The moon and Mars' pictures were carried out by using the 10-inch dobsonian reflector telescope and DSLR cameras from 8 positions of observation, from 7:30 p.m. until the moon eclipsed.

2. Data analysis

2.1 Measure the distance between locations by using Google Maps and taking pictures of each location. Overlay and measure the apparent magnitude of the moon and its parallax on the Geometer's Sketchpad program. (figure 1)

2.2 The distance from the Earth to the Moon is calculated



Figure 1. Angle measurements in Geometer's Sketchpad (GSP) program.

$$\text{Moon Distance } (D) = \left(\frac{\text{distance A and B}}{\tan(p)} \right) \quad (1)$$

D = Moon Distance (km)

P = Parallax Angle(°)

Result and Discussion

1. Table 1: Distance from Earth to Moon photos at the same time.

Cities	Distance between cities (km)	Moon Distance Std. (km)	Parallax angle (°)	Moon Distance (km)	Error (%)
A and B	1,227.27	397,794.62	0.15	461,748.12	16.08
D and C	113.35	399,033.02	0.01	539,919.71	35.31
D and E	691.14	400,373.82	0.09	443,446.94	10.76
D and D	536.56	398,936.77	0.08	415,063.72	4.04
D and G	744.59	399,162.72	0.08	541,761.41	35.72
D and B	695.15	397,696.62	0.09	444,673.07	11.81
C and E	614.60	399,183.58	0.09	414,800.09	3.91
C and F	582.53	398,881.16	0.08	402,942.68	1.02
C and B	668.36	398,885.41	0.08	500,411.79	25.45
E and F	1,192.62	398,999.06	0.17	405,801.33	1.70
E and G	56.22	399,243.75	0.02	154,362.43	61.34
E and B	336.03	398,973.06	0.04	475,742.27	19.24
E and H	1,011.42	399,309.30	0.16	375,606.75	5.94
F and G	1,248.48	399,415.88	0.17	417,390.14	4.50
Average		399,009.73		429,820.43	7.72

Conclusions

A study of the distance between Earth and the moon with an occultation of Mars by the Moon by Lunar Parallax Method found that the simultaneous photographs got the average distance from Earth to the Moon is 421,760.35 km, with an error of 5.71% the data show in Table 1. When considering the Earth-to-Moon distance trend by the Lunar Parallax method, there is an error in calculating the Earth-Moon distance by the Lunar method. The error is correlated with the distance with larger observer distance giving more accurate measurements.

Acknowledgments: I would like to thanks Mr. Nattapong Songumpai, Khomson Thuree, Astronomy Information Officer, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization) and my family for their encouragement

References: Romanized Title [Astronomical Phronena]. Chang Mai: National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization) and Matipon Tangmatitham. (2020)

The Study of Trojan Motion Using N-body Simulation
 Mr. Kritsakorn Sataratpayoon (Grade 11)
 [Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

Abstract

The purposes of this research are (1) to be able to derive the motion of an object in the solar system, and (2) to be able to simulate the motion of trojan asteroids in some studied cases. After simulating the motion of an object in the solar system, the position data was compared to JPL's Horizon. The simulation produced low error, with a mean error of 0.0333% and a standard deviation of 0.119%. Mercury has the highest error of 0.17400%, while Mars has the lowest error of 0.00108 %. According to experiments, trojan motion is influenced by its velocity and mass. The trojan's orbit around lagrage point, L4, expands as its velocity increases. But as its mass increases, trojan's orbit become more stable.

Introduction

Trojans are celestial bodies that orbit near the L4 or L5 Lagrange point of stability. Newton's law of gravitation states that all objects interact with one another. As a result, each object must withstand multiple forces. One method for determining the trojan orbit is to use N-body simulation. The N-body problem is a complex and difficult problem to solve with an accurate solution. Computer programming has become one of the methods for assisting in the evaluation of the N-body problem. The leapfrog method, also known as the "kick-drift-kick" method, is one of the efficient numerical methods for evaluating the N-body problem. The simulation of trojan motion in Python 3 is developed in this work using the Leapfrog method as well as the N-body problem.

Summary

PART 1: The solar system simulation

An N-body simulation is created in Visual Studio Code using Python 3 and the NumPy and Matplotlib libraries. The simulation employs Newton's Law of Gravitation and is calculated using the Leapfrog method, which is stable for oscillatory motion, in this case planetary motion.

$$\vec{F} = \frac{Gm_1m_2}{r^3}\vec{r}$$

$$\vec{v}\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = \vec{v}(t) + \vec{a}(t)\frac{\Delta t}{2}$$

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)\Delta t$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) + \vec{a}(t + \Delta t)\frac{\Delta t}{2}$$

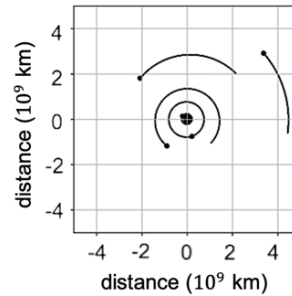


Figure 1: The created solar system simulation

Using positions and velocities of the objects in the solar system on January 1, 2021, 0.00 UT from JPL's HORIZON as the initial conditions, then run the simulation as shown in figure 1. After that comparing the simulated positions to database.

Table 1 The comparisons of mean percentage error all over 149 days in simulation.

	Mercury	Venus	Earth	Mars	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune
Error (%)	0.17400	0.03827	0.04550	0.00108	0.00318	0.02660	0.00147	0.00927

As a result of the comparison, the mean error is 0.0333%, and the standard deviation is 0.119%. Mercury has the highest error of 0.17400%, while Mars has the lowest error of 0.00108%. As shown in table 1.

The fact that Mercury has the highest error is likely due to the simulation using classical mechanics, but Mercury orbits in a strong gravitational field, so there must be a relativistic effect causing more error. This means that the simulation works well in solving the N-body problem if none of the objects is too close to each other.

PART 2: Derive the trojan motion

The simulation from PART 1 is converted into a three-body problem model. Then apply the positions of all the object included trojan. Simulate and collect the positions in all timesteps for further analysis.

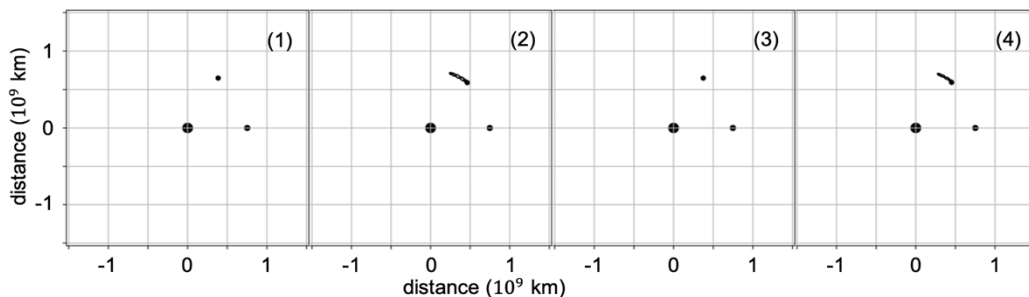


Figure 2: Diagrams of the trojan's path with (1) massless (2) massless with 0.5% higher velocity (3) 80% mass of Jupiter (4) 80% mass of Jupiter with 0.5% higher velocity

The results of this simulation show that increasing trojan's velocity causes trojan's orbit to grow larger, but increasing trojan's mass may affect Jupiter's motion, making trojan's orbit more stable. As shown in the figure 2 above.

Acknowledgement

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

References: NASA. (2021). JPL'S HORIZON. Retrieved 2 February 2021, [online]. available on: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons.cgi#top>, Matipon Tangmatitham. (2016). Operational Analytical Study Guide. (3 Ed.). Chiang Mai: National Astronomical Research Institute of Thailand (Public organization). Greenspan, T. (2014). Stability of the Lagrange Points, L4 and L5. [online]. available on: <http://staff.ustc.edu.cn/~bjye/LX/lagrange2.pdf>

The Simulation of Interplanetary Motion in Solar System
Miss Pimchanok Kesorn (Grade11)
[Prommanusorn Petchaburi School, Petchaburi, Thailand]

Abstract

This project is a simulation of the spacecraft movement between planets in our solar system. The project's goals are to (1) model planet motion in the solar system, and (2) simulate interplanetary spacecraft motion in the solar system with varying initial velocity. Python 3 was used to create the model, which included Euler's approach as well as the Hohmann Transfer Orbit. The database's information on the planet's positions and orbital velocity were used as initial conditions. The result of the study revealed that the created model can accurately simulate planet motion in the solar system. The largest percentage difference between the planets and the Sun is 1.65% for Venus and Mercury, and the smallest is 0.00028% for Saturn. And for all stars, the average discrepancy is 0.507%. The journey from Earth to Mars takes 192 days in this simulation, with an initial velocity of 33.84 km/s and a speed difference (Δv) of 4.31 km/s.

Introduction

Sending spacecraft is one of the methods scientists use to explore or study objects in the solar system. One method of moving a spacecraft between objects in the solar system is the Hohmann Transfer Orbit, which determines orbits under the influence of the Sun's gravity. At the high school level, physics models can be used to study space exploration. In physics modeling with computer programming Euler's approach is one of the numerical methods that can be used in physics modeling with computer programming. The goal of this study is to use computer programming to create a representation of a spacecraft traveling between objects in the solar system.

Materials and Methods

PART 1: The solar system model

1. Create a model with the Python 3 language and Numpy and Matplotlib modules.
2. Create a function for calculating acceleration. To be used to update acceleration, velocity, and position changes over time (Δt):

$$\vec{a}(t) = \frac{GM_1M_2}{r^3} \vec{r} \quad (1)$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \vec{a}(t)\Delta t \quad (2)$$

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t + \Delta t)\Delta t \quad (3)$$

3. Using the positions and speeds of solar system objects on January 1, 2021, 0.00 UT from JPL's HORIZON database as the default in modeling.
4. Run the simulation using a one-day calculation update period and a 100-year calculation period

5. Compare the model's results, positions, to the data in the database and determine the percentage error.

PART 2: The interplanetary model

1. Create functions and equations for processing spacecraft motion, utilizing Kepler's 2nd law to determine the criteria for a transiting orbit's initial velocity.

$$v_p = \sqrt{\frac{GM_s}{a} \cdot \frac{r_a}{r_p}} \quad (4)$$

2. Using the Tkinter module, write a program to build an interface for making the variation of spacecraft's initial velocity.

Simulate the journey of a spacecraft from Earth to Mars and Mars to Earth.

Result and Conclusion

PART 1: The solar system model

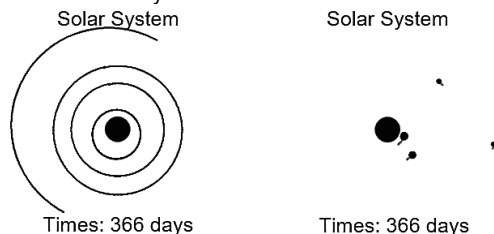


Figure 1 (Left) The inner planets' movements.
(Right) The outer planets' movements.

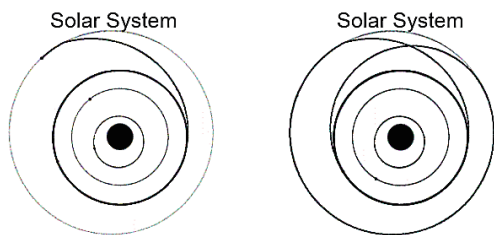


Figure 2 (Left) Transfer orbit from Earth to Mars.
(Right) Transfer orbit from Mars to Earth.

Figure 1 and Figure 2 shows the results of the simulated movements of planets in the solar system. The created model is effective. The reference distance is compared to the simulated one for each object. The largest percentage error between the planets and the Sun is 1.65% for Venus and Mercury, while Saturn has the smallest at 0.00028%. And for all stars, the average discrepancy is 0.507% as shown in table 1. The simulation can be more accuracy by decreasing the time step or reduce the calculation time.

Table 1 The comparisons of percentage error

	Sun	Saturn	Uranus	Jupiter	Neptune
error (%)	2.88×10^{-4}	2.88×10^{-4}	1.47×10^{-3}	3.35×10^{-3}	3.35×10^{-3}
	Mars	Earth	Venus	Mercury	Average
error (%)	1.19×10^{-1}	1.13	1.13	1.65	5.07×10^{-1}

* Sort from the lowest to the highest percentage error.

PART 2: The interplanetary model

The results reveal that the solar system's model of interplanetary spaceship takes 192 days to journey from Earth to Mars and a speed difference (Δv) of 4.31 km/s. However, the orbital plane in z-axis doesn't consider for this study. So, the result may not be applied to the real situation.

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

References: NASA. (2021). JPL'S HORIZON. Retrieved 2 February 2021. From

<https://ssd.jpl.nasa.gov/horizonns.cgi#top>

Stinner, A. and Begoray, J. (2005). Derivation of Hohmann orbit formulas. Retrieved 2 February 2021. From <https://www.ottisoft.com/Activities>

The study of Hydrogen to Helium ratio and metallic element in the main sequence stars by the Spectroscopy technique
 Mr.Oliver Phoom Harris (Grade 10)
 [Varee Chiangmai School, Chiangmai, Thailand]

Abstract

This research aimed to compare the Hydrogen to Helium ratio of the main sequence stars in every spectral type. In this research, the Planewave CDK700 telescope at Nakhon Ratchasima observatory was used to observe and capture the spectrum photographs along with the ISIS software to create the spectrum lines. From the observation data, the ratio and the metallic element's absorption intensity of each star were later compared with each other. Type A star has the highest ratio of Hydrogen to Helium and the metallic elements absorption intensity.

Introduction

Stars are formed from large clouds of gas and dust. The gravity of the gas and dust in the clouds causes them to slowly shrink and collapse. There are seven main types of stars which include type O, B, A, F, G, K, and M. Stars are also divided by their Luminosity classes.

Material and methods

Firstly, the main sequence star photographs were taken with the Planewave CDK700 telescope at Regional Observatory for the Public, Nakhon Ratchasima. Secondly, Tungsten and Thorium Argon photographs were taken and used as a navigation line for the spectrum analysis, and the ISIS software was used to calibrate in the analysis. Third, the spectrum lines were made by the calibrated pictures in the ISIS software. Next, find the absorption point for each element in the possible wavelength that we can observe and find the intensity in every star and compare the results with other stars. Finally, find the ratio of Hydrogen to Helium of stars in every spectral type and observe the metallic elements.

Result and Discussion

After finding the ratio of Hydrogen to Helium and the metallic elements, the data were compared to find the difference for each spectral type. Figure 1 shows the ratio of Hydrogen Gamma to Helium which the black graphs are indicating the binary star systems. Moreover, after finding the metallic elements absorption intensity, Type O and B cannot observe Iron and Magnesium and Type A star got the highest metallic elements absorption intensity in all of the spectral types.

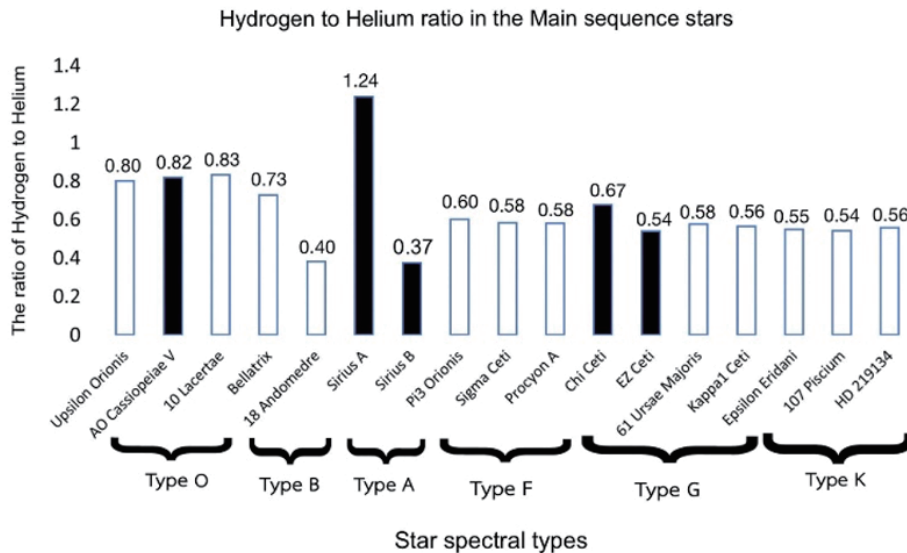


Figure 1. Shows Hydrogen to Helium ratio in every Spectral types

Conclusion

From this spectrum project, every spectral type in the main sequence can be observed except for type M which the instrument does not have the resolution to observe this spectral type star. The ratio of Hydrogen to Helium depends on the star spectral types however there are exceptions for several stars such as AO Cassiopeiae V, Sirius, 18 Andromedre, and Chi Ceti. For other normal Main Sequence stars the ratio of Hydrogen and Helium, Type A star has the highest ratio of Hydrogen to Helium ratio followed by Type O, B, F, G, and K however Sirius B is a white dwarf star which result in the lowest ratio in all of the other stars. Metallic elements that can be observed in every spectral type is Sodium, however, Magnesium and Iron can only be observed in type A, F, G, and K which Type A got the highest absorption intensity followed by type F, G, and K

Acknowledgement

I would like to thank my advisor Mr. Sarawut Pudmale and two two NARIT staffs who helped me improve and develop this project since the start of this project.

References

Paula Jofré. Accuracy and Precision of Industrial Stellar Abundances. 2019, available at <https://www.annualreviews.org/dol/abs/10.1146/annurev-astro-091918-104509>

Pulsar Map

Miss Kanraee Chamsaeng (Grade11)
[Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

Abstract

The study on pulsar map aims to (1) create an interstellar map to the solar system based on known pulsars, and (2) create a pulsar map that points to other planetary systems. The data for each pulsar comes from the Australia Telescope National Facility (ATNF) database, and the SIMBAD astronomical database is used to find stars with life habitats. The TRAPPIST-1 star system was selected for this study. It is a star system in which some of the planets are in habitable zones that could support life. According to the results, a pulsar could not be detected in all directions. This depends on the pulsar's pulse width and the angle of observation. The pulse width of each pulsar varies depending on the pulsar's rotation period. So not all pulsars can be used, it depends on the area where the signal is observed.

Introduction

A pulsar map is the starburst-like diagram that shows the location of the solar system relative to known pulsars. In 1971, the pulsar map was sent into space with Pioneer 10 spacecraft in the hope that any creatures that discover the ship will be able to comprehend the pulsar map. Pulsars are all different because of their rhythmic radiation. To determine the positions of the solar system, it needs at least three pulsars to find the intersection of the pulsar's radio beam. The pulsar map is made up of 14 pulsars, with the dash representing binary numbers and the intersection of the pulsar's radio beam representing the solar system's positions. The binary numbers represent each pulsar's self-rotation rate, while the length of the line drawn between the solar system and each pulsar represents the distance between the two. We are interested in how to create and read the pulsar map as well as how to make a map with destination on another exoplanet.

Materials and Method

PART 1: Create a pulsars map using ATNF

1. Define the pulsar data required for mapping, including pulsar spacing, galactic coordinates, rotation period, and distance of the galactic center.
2. Find the desired pulsar information from ATNF database.
3. Convert each position's coordinates into a cartesian coordinate system, with the sun as the centerpiece.
4. Choose pulsars that meet the following criteria for mapping: 1) Earth distance, 2) rotation period less than 1 second, 3) variety of directions.
5. Create a map using the rotation period of the pulsar in a binary number system based on the HI transition unit.

PART 2: Create a pulsar map for other planetary systems

1. Obtain the coordinates of TRAPPIST-1 data from the SIMBAD astronomical database and convert them into cartesian coordinate system. Then move the center from Earth to TRAPPIST-1.
2. Use the equation to calculate the pulsar's pulse width. (Lorimer & Kramer, p. 70, 2005):

$$\rho \approx \frac{5.4 P^{-\frac{1}{2}}}{s}$$

P is the rotation period of the pulsar, and ρ is beam angle (see Figure 1).

3. Determine the angle at which the pulsar is visible from trappist-1 (angle A), which must be less than 2ρ . As shown in Figure 2.

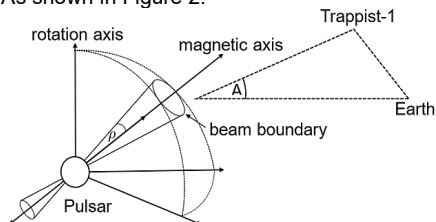


Figure 1: Pulsar Geometry

4. Select pulsars based on the following criteria: 1) a pulsar that can be observed from Earth, 2) a pulsar that is close to Earth, 3) a pulsar with a rotation period of less than 1 second, and 4) a pulsar with a variety of directions.

References

Lorimer, Duncan and Kramer, Michael. (2005). Handbook of pulsar astronomy. Cambridge: Cambridge University.
 Russel, R. A. (2019). A Practical Guide for Selecting and Utilizing Pulsars for Galactic Navigation. Retrieved 2 April 2021, <http://dses.science/wp-content/uploads/2020/04/19-A-Practical-Guide-for-Selecting-and-Utilizing-Pulsars-for-Galactic-Navigation.pdf>
 ATNF Pulsar Catalogue. Australia Telescope National Facility (ATNF). Retrieved 17 February 2021. From <https://www.atnf.csiro.au/research/pulsar/psrcat/>

5. Make a map

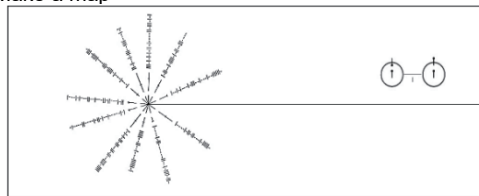


Figure 2: Pulsar map that pointing to solar system

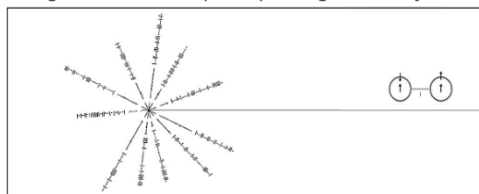


Figure 3: Pulsar map that pointing to TRAPPIST-1

Conclusions and Discussion

PART 1: Creating a pulsars map using ATNF

A pulsar map can be created by converting galactic coordinates to cartesian coordinates and selecting a pulsar with a close distance to Earth (see Figure 2). Choose a pulsar with a variety of directions and shorter rotation periods of 1 second as they become longer and signal more accurate over time. This pulsar map, on the other hand, will show the rotation period of pulsars in HI transition vibration period units.

PART 2: Creating a pulsar map for other planetary systems

To choose a pulsar, the pulsar's pulse width must be determined versus the angle at which the pulsar is observed to predict whether radio waves can be detected in that planetary system. Result is shown in figure 3. Different pulsars could also be used to make pulsar maps for other stars.

Acknowledgments

I would like to thank Mr. Taweerak Thunphuttha, my adviser for support this project.

恒星の青みと赤みの関係性～オールドカメラで三色測光～

福岡工業大学附属城東高等学校 科学部：
宮脇 悠河、佐藤 真、黒木 颯士（高1）【福岡工業大学附属城東高等学校】

要旨

私は科学部の合宿で星を観察し、星には色があることを知り、星の色について研究しようと思った。だが、本格的な機材は高いため、市販の三色フィルター、部室にあった冷却CCDカメラを使って、三色測光をし、星のR、G、Bをまとめ、様々なグラフを作り、何か規則性がないか調べた。

1. 動機・目的

私は科学部の合宿で星の色について興味が湧き、星の色の研究をしようと思った。だが本格的な機材は高いため、市販の三色分解フィルター、部室にあった古い冷却CCDカメラで星の写真を撮影した。その写真を用いてR、G、Bの数値を求め、様々なグラフを作り、規則性を調べることを目的とした。

2. 方法

(1) 撮影

恒星を街灯などの町明かりが少ない場所で望遠鏡を冷却CCDカメラを付けて撮影する。

使用機材

- ・望遠鏡 タカハシ FS-78C+レデューサー（口径78mm 屈折、焦点距離515mm）
- ・冷却CCDカメラ SBIG社、ST-2000XM（モノクロ200万画素）
- ・フィルター パーター社（RGB）
- ・架台 ピクセンSX-D赤道儀、恒星時駆動
使用したソフトウェア
- ・マカリ（国立天文台）ver2.1（等級判定）
- ・ステライメージ8（アストロアーツ社）（画像処理）
- ・CCDOPS ver4.5（SBIG社）（撮像）

(2) 画像に写った恒星のR(赤)、G(緑)、B(青)を「マカリ」を使い調べる。

使用したソフトウェア

- ・マカリ（国立天文台）ver2.1（等級判定）
- ・ステライメージ8（アストロアーツ社）（画像処理）
- ・CCDOPS ver4.5（SBIG社）（撮像）

3. 結果

今回の研究ではシリウス周辺の50個の星を無差別に選出し、マカリを用いてR、G、Bを調べ、まとめた。そこから各星のR/G、B/Gを求めた。これらをもとに表を作成した。この表から3種類のグラフを作った。1つ目はこの表のR/G、B/Gをそれぞれ縦軸、横軸にし、散布図にしたものだ。このグラフの横軸0.4の周辺から調べた50個の星がR/Gの数値が高い星が多いことがわかった（図1）。2つ目は表のR/G、B/Gの数値、50個の星それぞれに示した番号をそれぞれ縦軸、横軸として折れ線グラフに表した。このグラフではR/Gが高ければ、B/G低くなり、B/Gが高ければ、R/Gが低くなるということが分かった（図2）。3つ目は図1の数値をG値が低い、高い、その中間に分け、それぞれ暗、明、中と示したもので、このグラフから星の明るさは星の色に関係ないことがわかった。

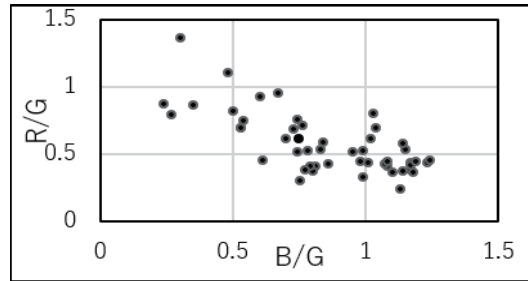


図1 R/GとB/Gの関係性A

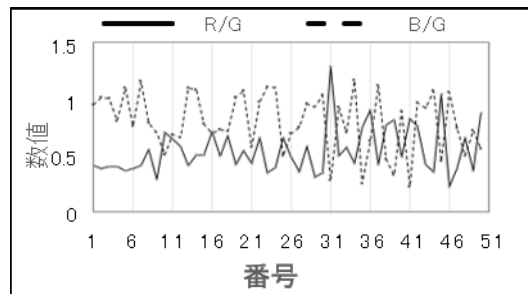


図2 R/GとB/Gの関係性B

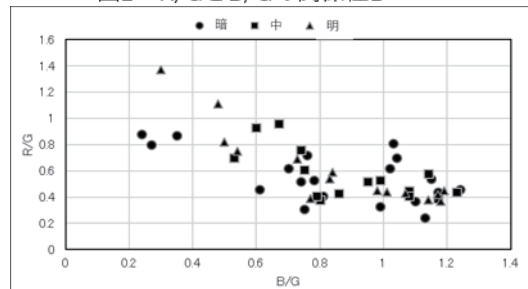


図3 等級別グラフ

4. 考察

今回の結果でマカリを使えば、オールドカメラと市販の三色分解フィルターでも三色測光ができることがわかった。また、図1の結果からシリウス周辺は赤色の星が多いのではないかと考えた。図2の結果からはR/G、B/Gどちらか求めることで、もう一方も求められるようになるのではないかと考えた。

5. 今後の展望

今回の結果から様々なことがわかったので、今後はシリウス周辺、全ての星のR/G、B/Gを求めていきたい。また、青色巨星や銀河、星団などの特徴的な天体を三色測光して、新たな性質や規則性を見つけていきたい。それで規則性から、大きく外れる特異星見つけられたら、その特異星を分光観測していきたい。

せいめい望遠鏡を用いた 脈動白色矮星ペガサス座394星の3色測光観測

岩崎 智也、早川 優菜、藤井 実結 (高2)、荻野 煌、植野 紗麗、梅鉢 由帆、
藤井 美月、宮崎 慧優、木原 司貴 (高1) 【兵庫県立北摂三田高等学校】

要旨

せいめい望遠鏡とTriCCSを用いて脈動白色矮星ペガサス座394星の測光観測を行い、明るさの変化の周期を調査した。明るさの変化のピーク時刻を測定し、周期は299.99068秒だった。

1. はじめに

白色矮星とは、8太陽質量より軽い恒星が進化の終末期にとる形態で、元は恒星の中心だったものである。脈動とは、恒星表面のある部分が膨張すると同時にほかの部分が収縮することによる天体の明るさの変化を指す。脈動により光度が変化する白色矮星を脈動白色矮星という。

2. 観測と解析

観測データは京都大学岡山天文台のせいめい望遠鏡に取り付けられた TriCCS(可視光 3 色同時撮像装置)によって得られた[1]。観測時刻は2021年8月29日3時18分47秒-3時35分36秒、露光時間は10秒で、g、r、iバンドでの3色同時連続観測を計300枚実施した。

ダーク・フラット補正の1次処理を行った後、マカリを用いて測光を行った。また脈動の周期を求めるため、得られた光度曲線の傾きがプラスの部分とマイナスの部分の近似直線上の交点のX座標を天体の光度変動の頂点時刻とみなし、頂点時刻をいくつか求めることで周期(単位:時間)を算出した。図1にその求め方の模式図を示す。これらの作業はエクセルを用いて行った。

3. 結果と考察

私たちの観測によって得られたペガサス座394星の3色の光度曲線を図2に示す。この光度曲線から、g、r、iのすべてバンドでピークを迎えるタイミングが同じだということがわかる。

また、解析で述べた方法によって、ペガサス座394星の光度変動の頂点をもとめ、周期を算出した。その結果、ピークを迎えるまでの周期は、ピーク毎に等しくなり、299.99068秒となった。先行研究では、307.098秒という結果が出ており[2]、多少の誤差はあるものの許容範囲である。データの数が少ないため、私たちの研究結果は確実とは言えないが、先行研究と近い値を求めることができた。

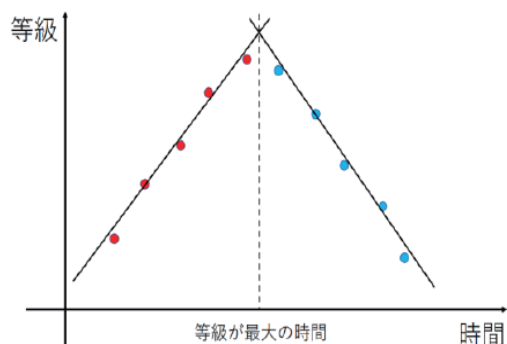


図1：光度曲線のピーク時刻の求め方の模式図。
丸が観測点、黒線が近似直線である。

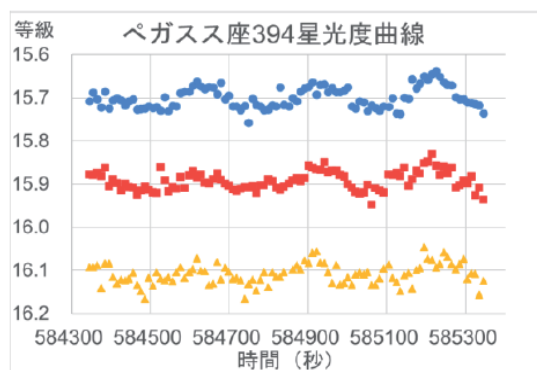


図2：得られたペガサス座394星の光度曲線。
上からg(丸)、r(四角)、i(三角)バンドの測光観測結果である。

参考文献：[1]せいめい望遠鏡 (<https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/general/facilities/okayama/>)

[2]V394 Peg (<https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=25517>)

謝辞：本研究の共同研究者であり、本研究の御指導をいただいた京都大学宇宙物理学教室の大学院生、反保雄介さんにこの場を借りて感謝申し上げます。

ペガスス座DYの測光観測

舞子高校天文気象部：
垂井 麻亜子、小西 綾香、大島 瑞希（高2）、前田 凌英、林 穂乃花（高1）
【兵庫県立舞子高等学校】

要旨

観測によってペガスス座DYの明るさが周期的に変化することを確かめ、BバンドとVバンドによる2色測光観測で得られた値から光度曲線を作成した。次に変光周期と極大と極小における半径の比を求め、過去のデータと比較した。

1. はじめに

私たちは2020年にも同じ手法でペガスス座DYの観測を行った。しかし、悪天候により十分なデータを得ることができなかった。そのため、今回も2021年11月20日から21日にかけてペガスス座DYの観測を行い、より正確なデータを得るとともに、当時のデータと比較・検討した。

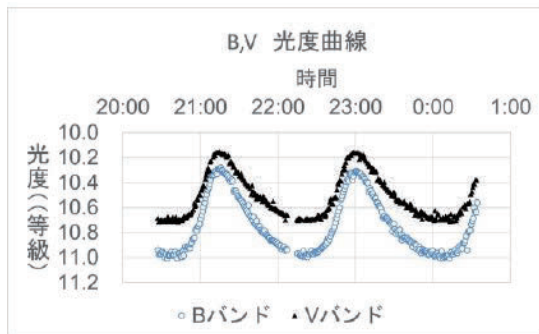
2. 観測・解析方法

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、2色測光観測を行った。Vバンド、Bバンドフィルターを使用して、露出時間15秒で交互に撮影を行った。得られた画像データはFITS形式のため、国立天文台の画像解析ソフト「マカリ

(Makali'i)」を利用してダーク補正およびフラット補正を行い、一次処理をした。次にペガスス座DYの明るさを求めるために比較星とペガスス座DYのカウント値を求め、ポグソンの式を用いて、等級に変えて光度曲線を作成した。

3. 結果と分析

観測で得られた光度曲線は図1のようになった。



(図1) 観測から得られた光度曲線

光度曲線(図1)より、周期は105分であった。また、B等級、V等級の極大値、極小値、B-Vの色指数は表1のようになった。

色指数と表面温度の関係より、温度は極大で8200K、極小で7447Kとなった。明るさの比はV等級の極大値と極小値の差を利用し、ポグソンの式を用いて求めたところ、1.68:1となった。最後に、恒星の明るさは以下の式によって求めた。

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \dots (1)$$

L: 明るさ R: 半径 σ : シュテファン・ボルツマン定数 T: 温度

(1)式より、明るさは半径の2乗、温度の4乗に比例することから、半径の比は1.07:1となった。

	極大	極小
B等級	10.31	10.99
V等級	10.15	10.71
B-V	0.16	0.28
温度 (K)	8200	7447
Tの4乗比	1.47	1
明るさの比	1.68	1
半径の比	1.07	1

(表1) 観測結果から算出した値

さらに、2020年のデータと比較すると表2のようになった。半径の算出に関わるB-Vの値、Tの4乗の比、V等級の極大-極小の値、半径の比のみを比較した。

	2020年	2021年
B-V (極大)	0.2	0.16
B-V (極小)	0.3	0.28
極大-極小 (V)	0.6	0.56
Tの4乗比 (極大)	1.46	1.47
半径の比 (極大)	1.09	1.07

(表2) 本研究と過去のデータの比較

4. 考察

周期について、【SIMBAD Astronomical Database】には105分と書かれていることからかなり正確なデータを得ることができた。

半径の比は、2020年の観測よりも2%小さい結果となった。この原因としては、B-Vの有効数字の違いによるもの、2020年の観測時の悪天候の影響による誤差などが考えられる。

5. 今後の課題

今回、2020年と同じ方法で半径を測定したが、前回とは異なる結果となった。この原因が有効数字によるものなのか、確かめることが今後の課題である。また、より正確な半径の値を求めるためには、最も影響力の大きい温度を正確に測定することがより重要であると考えられる。その精度を高めることも、今後の課題である。

謝辞

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

参考文献

- ・ SIMBAD Astronomical Database
http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-id?Ident=V*+DY+Peg (2022/1/21 閲覧)

KIC 8462852の変光の原因をさぐる3Dモデル実験

成蹊高等学校 天文気象部：小宮 希仁、高杉 剛、山崎 圭貴（高2）【成蹊高等学校】

要 旨

私たち成蹊高等学校天文気象部は、不可思議な減光をするKIC8462852の3Dモデルを作成し変光の検証を行った。

1. はじめに

成蹊高等学校天文気象では、KIC8462852の不可思議な減光について仮説を立て（川野ほか 2017）、その都度その検証を行ってきた（國分ほか 2020）。そして今回我々はこの謎を明らかにすべく仮説検証を行った。

2. KIC8462852とは

KIC8462852は、はくちょう座にあるF型の恒星である。KICとはKepler Input Catalogの略で、ケプラー宇宙望遠鏡の観測対象となっている。この恒星の最大の特徴は現在説明ができないような減光をすることである（Schaefer 2016）。最近では2017年にも減光が検出され、現在も非周期的な減光を続けている。

3. 減光のしくみについての仮説

私たちは、星の内部磁場の変動に着目して仮説を立てた。星のコアの奥深くで巨大なエネルギーが磁場を反転させたり異なる方向に並べたりするといった天体として異常な現象によって、減光現象が引き起こされているということである（Mohammedほか 2016）。異常な磁場の変化により、星を取り巻く外彗星や小惑星の破片などからなる塵に關しても異常な作用が働き減光が生じる。本来、重力は天体を安定させ、ばらつきの少ない一定のパターンで動く傾向があるため、こうした珍しい現象が起こると想定されている。

4. 3Dモデルと実験方法及びその結果

KIC8462852の明るさを計測するため、3DモデリングソフトウェアのBlenderを用い、この恒星と恒星を不均一に覆う彗星や小惑星破片の塵からなる3Dモデルを作成した（図1）。3Dモデルの塵の濃さをBlender内の濃度変数 α を用いて変更し、アストロアーツ社製ステライメージ9で測光することで光度のカウント値を得た。さらに恒星を覆う塵が回転をしていると考え、図1の角度と垂直軸に対し右回りに90度回転した角度の塵の3Dモデルを用いて、減光度合いの差異を調べた（図1はKIC8462852とそれを覆う塵の3Dモデルを0度の角度から見た図）。

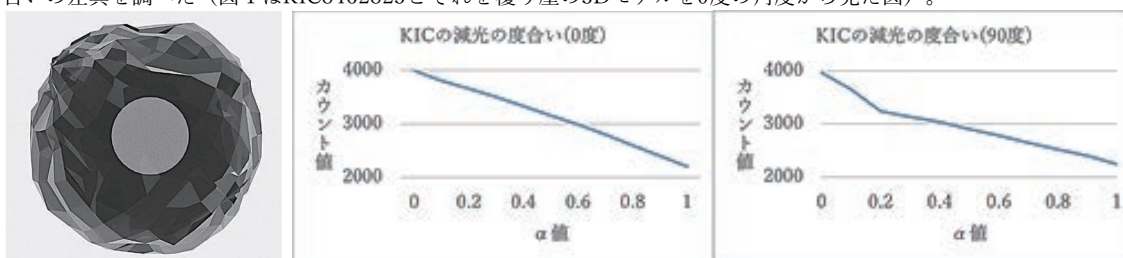


図1 恒星を覆う塵の3Dモデル 図2 塵の濃さに応じたKIC8462852の3Dモデルの光度変化（左：0度、右：90度）

5. 結果とまとめ

彗星や小惑星破片の密度の大きさを示す α 値を変更したところ、2つの結果が得られた。1つ目は、図2のどちらのグラフも、 α 値を増やし塵の密度を上げるとKIC8462852の明るさが徐々に低下することである。この結果から、この恒星を覆う彗星及び小惑星の破片の濃度が恒星の減光の度合いに影響を与えていると考えられる。2つ目は、恒星を不均一に覆う塵の濃さが異なると、3Dモデルの塵の向きにより恒星の減光の度合いを示すカウント値が変わることである。このため、この恒星を覆う彗星や小惑星の塵にムラがあると、ムラの濃さにより塵を含む恒星全体の光度が変わることを確認できた。

文献

Mohammed A. Sheikh, Richard L. Weaver, and Karin A. Dahmen, 2016, Avalanche Statistics Identify Intrinsic Stellar Processes near Criticality in KIC 8462852, Phys. Rev. Lett. 117, 261101.

Schaefer, 2016, Astrophysic. Jour. Letters., 822: L34.

川野美渚ほか, 2017, KIC 8462852の測光観測結果と変光の原因をさぐる実験, 第19回ジュニアセッション予稿集, 22P.

國分そよかほか, 2020, KIC8462852の測光観測結果と変光の考察, 第22回ジュニアセッション予稿集, 28S.

γ Cassiopeiaの光度変化とスペクトルの関係

寺地 港、末吉 一輝、阿部 裕斗、山本 暁登、杉本 翔(高2)、早川 晴、三瓶 青太(高1)
【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】

要 旨

星の明るさが変化する時に星の組成が変化するのでないか、という仮説の検証を行った。観測対象としてカシオペア座 γ 型変光星の代表星である γ Cassiopeia(以下、ツィーとする)を研究対象とし、分光及び測光による観測を行った。

1. はじめに

観測対象としてカシオペア座のW字の真ん中にある星(図1)であるカシオペア座 γ 星を選んだ。星は高速で回転し、周りにあるガスリングにより変光する。(カシオペア座 γ 型変光星)B型星の中でもBe星と呼ばれる。



Figure 1 ツィー

2. 研究手法

使用機材：口径300mmカセグレン式反射望遠鏡(C-300)
冷却CCDカメラ(Atik414Ex)
分光器(Alphy600)



Figure 2 冷却CCDカメラ(左)と分光器

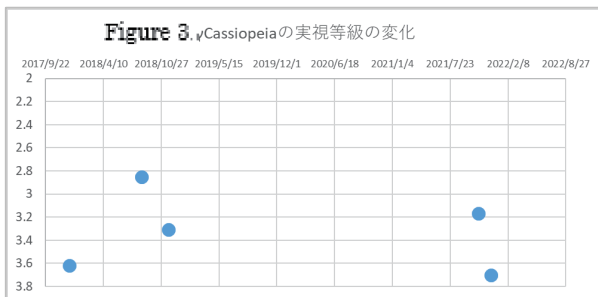
以上の機材を用いてツィーの分光・測光観測を行い、すばる画像解析ソフトMakali'iを用いて解析した。そして、ツィーの光度と $H\alpha$ 、 $H\beta$ 線の輝線の相対強度を求めた。

<輝線の相対強度>

輝線のピークのカウント値を連続スペクトルのカウント値で割った値のこと。本来は等価幅を用いて評価するが、今回はフラット補正を行ったためこの方法を用いた。

3. 結果

実視等級が42日の間に3.17等から3.70等に変化した。2021/12/10の輝線の相対強度は $H\alpha$ 線が1.43、 $H\beta$ 線は1.18だった。



日時	$H\alpha$	$H\beta$
2021/12/10	1.43	1.18

Table 1 輝線の相対強度

4. 考察

過去の同研究から期間が空き、観測環境も変わったため、結果の一部を使用できなくなりました。光度変化に対応する輝線強度の変化を見ることが出来なかったため、今後も継続的な観測が必要と考える。

5. 参考文献

- 野本憲一、定金晃三、佐藤勝彦『シリーズ現代の天文学 7. 恒星』日本評論社 2009
- 岡山理科大学総合情報学部生物地球システム学科田邊研究室 能勢樹葉『青い超巨星P Cyg(はくちょう座P星)の分光ならびに測光観測』2010
- 東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター 田辺俊彦『B型輝線星のパッシェン輝線観測』2013
- POLLMAN, E.; VOLLMANN, W.; HENRY, G. W., "Long-Term Monitoring Of H α Emission Strength And Photometric V Magnitude Of γ Cas" 2014

恒星のスペクトル型についての観測的研究

川口市立高等学校天文部：田中 達也（高2）、
田中 凜一郎、早川 駿哉、平石 暁志、木村 陽香（高1）【川口市立高等学校】

1. 研究の背景、要旨

我々は基準光源(Hg-Arランプ)によるスペクトルデータの波長付け方法を確立し、その応用として恒星の低分散分光観測に取り組んだ。解析の結果、恒星がその表面温度によりO、B、A、F、G、K、Mというスペクトル型に分類され、それぞれ固有の特徴を持つことを観測的に捉えることに成功した。

2. 研究方法

2022年1月5日、埼玉県立大滝げんきプラザ（埼玉県秩父市）に設置されている口径16cm、F12.5 屈折望遠鏡直接焦点に低分散分光器VEGA(昭和機械製作所製)を装着し、代表的恒星についてスペクトル撮像、ダーク・スカイ減算、波長付け、さらに β Ori(リゲル)を分光標準星として強度補正を行った。なお、390nm未満は輝度が小さく、700nmより長波長では二次スペクトルが重なることより、390~700nmの波長域における恒星のスペクトル強度分布を作成した。観測した恒星のうち、 γ Cas、 α CMa、 α CMi、 α Aur、 β Gem、 α Oriを解析した。

3. 結果

図2に観測した恒星のスペクトル強度分布を示す。

強度補正方法

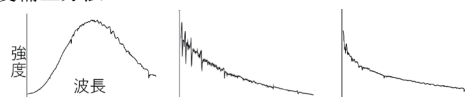


図1. (a)観測データ (b)標準データ (c)強度補正済グラフの縦軸は強度、横軸は波長を表している。観測データのスペクトル強度を補正するため、分光標準星(β Ori、リゲル)の観測データ(a)と分光標準星データ(b)の輪郭を比較し、波長ごとの補正係数を求め、その値で(a)のデータを割ると強度補正した(c)が得られる。この補正係数を他の観測した恒星に適用することにより、強度補正を行った。

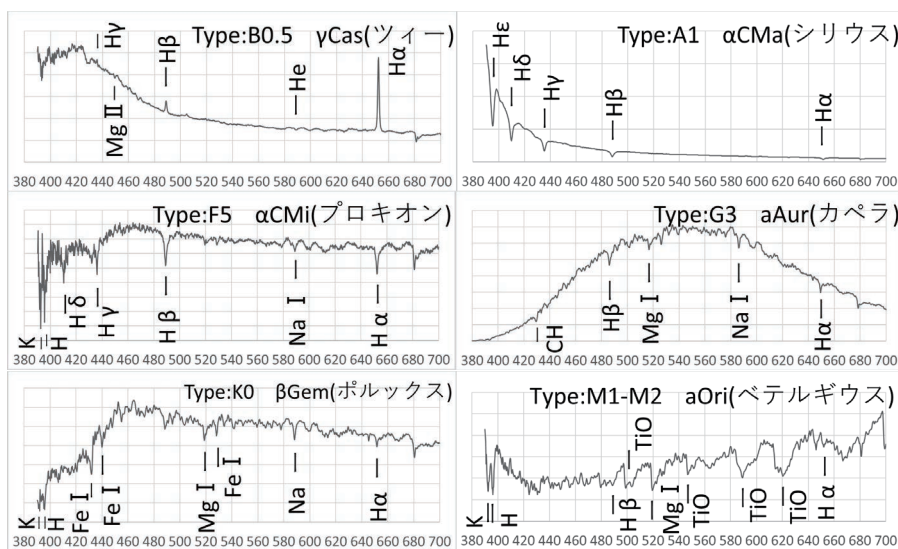


図2. 恒星のスペクトル強度分布 縦軸：強度、横軸：波長 (nm)

- ・ ツィーにはB型星の特徴である一階電離金属線に加えて、この星特有の強いバルマー輝線が表れている。
- ・ シリウスは水素のバルマー線が強く表れており、A型星の特徴がみられる。
- ・ プロキオンのバルマー線は弱くなり、中性金属線、Ca II H/K線が目立っており、F型星の特徴が表れている。
- ・ カペラはバルマー線が弱まり、中性金属線が強くG型星の特徴が見られる。
- ・ ポルクスにはK型星の特徴の重なり合う中性金属線がある。
- ・ ベテルギウスは、酸化チタンや中性金属の吸収線が強く表れてM型星の特徴が見られる。

4. 考察・まとめ

強度補正を行ったことで、スペクトルの特徴から恒星のスペクトル型を決め、分類することができた。今回は、観測した全ての恒星について調べることができなかったが、今後は調べきれなかった分も含めて解析を行い、また新たな研究に挑みたいと考える。

5. 参考文献

- ・ Kirisciunas et al. 2017, PASP, 129:054504 β Ori (分光標準星データ)
- ・ 理科年表 2016年 国立天文台編
- ・ 仙台市天文台 研究実践紀要 2019、1等星のスペクトルカタログ

6. 謝辞

研究にあたり、定金晃三先生(大阪教育大学名誉教授)には、分光標準星による補正についてのデータ提供及び解析方法についてご指導いただきました。御礼申し上げます。

減算法を用いたおおぐま座 α 星の伴星の観測

田子 優翼、田中 鉄兵 (高2) 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】

要 旨

二連星であるおおぐま座 α 星のスペクトルから、主星と同じスペクトル型の恒星のスペクトルを減算することで、伴星のスペクトル型を特定する。数種類の主星と同型の恒星を用いた結果、類似したグラフが得られたため、この方法によって伴星のスペクトル型を特定することは可能であると考えられる。

1. はじめに

連星の分光観測において、分解が困難である伴星のスペクトル型を特定する。

主星と同型の恒星のスペクトルを減算することで、上記の目的を達成できるのではないかと考えた。

2. 研究方法

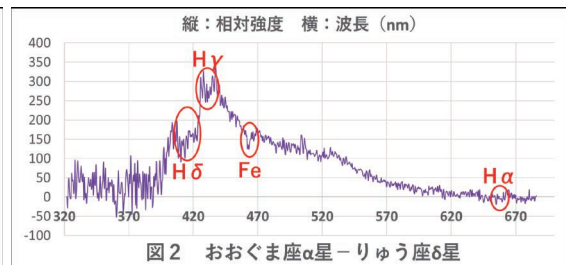
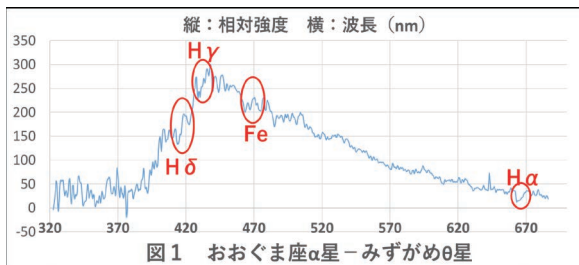
観測機器：望遠鏡 (d=300mm, f=3600mm), 分光器 (スリット幅: 15 μ m), 冷却CCDカメラ

対象天体：おおぐま座 α 星 (主星のスペクトル型 G9)

同型天体：みずがめ座 θ 星・りゅう座 δ 星・うみへび座 ζ 星

- ① 通常の分光観測によって、それぞれの星のスペクトルを得る。
- ② 数値は相対値のため、同波長(max)の強度の比からカウント値を揃える。
- ③ (対象天体) - (同型天体) の結果より、伴星のスペクトル型を特定する。

3. 結果・考察



類似したグラフが得られ、全てのグラフに強い鉄と水素の吸収線がみられた。(図1,2,3)おおぐま座 α 星の伴星のスペクトル型は、水素の吸収線が強くみられることからA型であると考えられる。

また鉄の吸収線がみられたのは、G型である主星の影響を受けたためだと考える。

4. 結論

おおぐま座 α 星の伴星スペクトル型は、A型である。また主星と同型の恒星のスペクトルを減算することで、連星の伴星のスペクトル型の特定が可能であることが分かった。今回の観測対象であるおおぐま座 α 星は、主星に対して伴星が明るい、比較的この方法に適した恒星であったため、他の恒星でもこの方法が適用できるかどうか、今後の研究で確かめていきたい。

ブラックホール連星SS433のジェットの変化

森本 千慧、松尾 唯那 (高2) 【奈良県立青翔高等学校】

要 旨

ブラックホール連星SS433について、Panferov (2013) によって求められたジェットの歳差運動の周期162.25日が今でも正しいのか調べることで、ジェットの放出強度の変化の様子を詳しく解明することを目的に、本校で過去10年間に取得した15日間のSS433のスペクトル画像を解析した。その結果、この10年でのジェットの歳差運動の周期は163.06日となり、ジェットのH α 輝線の強さは歳差運動による視線速度の大きさが小さい方が強くなる傾向が見られた。

1. 目的

- ① 過去10年間の低分散分光観測データをまとめ、ジェットの歳差運動の周期をより高い精度で求めること。
- ② 最近の低分散分光観測データを解析することにより、ジェットの強弱の変化の様子を解明すること。

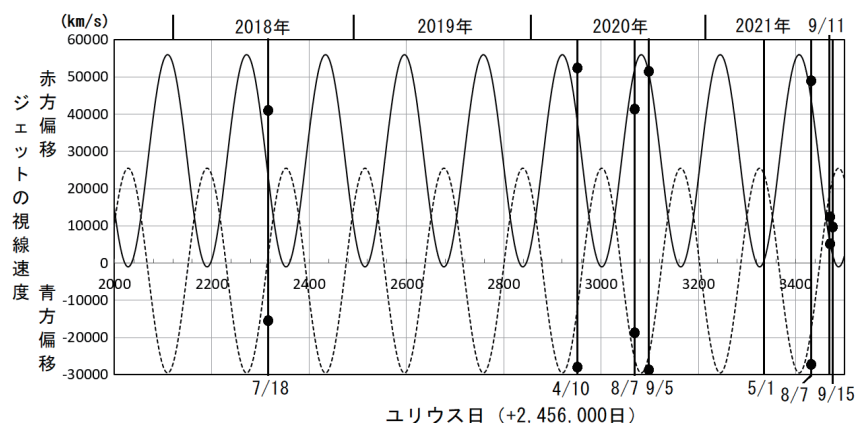
2. 方法

- ① 1) 岡山美星天文台の口径101cm望遠鏡で低分散分光観測を行い、SS433のスペクトル画像を取得した。
2) 得られた画像を画像処理ソフト「マカリ」（国立天文台・(株)アストロアーツ）を用いて一次処理を行った。
3) 分光データ解析ソフト「Be Spec」（川端哲也 作）を用いて、スペクトル図を作成し、SS433の降着円盤とジェットのH α 輝線の中心波長を測定した。
4) 下のドップラー効果の式より、ジェットの視線速度 v (km/s) を求めた。

$$v = c \cdot \Delta\lambda / \lambda$$
- ② 1) 各観測日のスペクトル図のデータをテキストデータにし、それを「Microsoft Excel」で読み込んだ。
2) 連続光部、降着円盤及びジェットのH α 輝線部をそれぞれ切り出した。
3) 区分求積法により降着円盤とジェットのH α 輝線部の面積をそれぞれ求め、等価幅を算出した。

3. 結果・考察

- ① 2018年以降のジェットの視線速度の変化をまとめた結果（右図）、Panferovの計算値より最大10日ほどずれていることが分かった。また、2021年8月7日と2013年7月25日が同位相であると判断し、この間に18周期存在すると考えると、歳差運動の周期は163.06日と求まった。



※ 図中の曲線は、Panferov (2013) による計算値で、破線は主として我々の側に傾いたジェット、実線は主として向こう側に傾いたジェットの視線速度を示す。また、●は我々の観測値を示す。

図 SS433のジェットの視線速度の変化 (2018年~2021年)

- ② 2020年4月10日に取得したスペクトル

画像では、好条件で観測したにも関わらずジェットの輝線がほとんど見られなかった。そこで、ジェットの輝線が強弱の変化を起こしていると考え、その理由として以下の2つを考えた。

- 1) ジェットの歳差運動により、ジェットが視線に対して垂直になる（視線速度の大きさが小さくなる）と地球からの見かけの面積が広がるため、輝線が強くなる。
- 2) 連星の運動やジェットの歳差運動と無関係に、伴星である普通の恒星からのガスの供給量が増えることと降着円盤やジェットの密度が大きくなるため、輝線が強くなる。

4. 今後の展望

今後は、SS433について継続的に分光観測を行うことにより、ジェットの歳差運動の周期の変化の特徴やジェットや降着円盤のH α 輝線が強弱の変化の理由について突き詰めていきたいと考える。

5. 参考文献

- 1) A.A.Panferov, Deceleration of SS 433 radio jets (2013)
- 2) 福江 純ら 『超・宇宙を解く一現代天文学演習』 恒星社厚生閣 (2014)

天体の質量とアウトフロー・ジェットの速度の相関について

もし天2021 ぶるーばんぶう班：塩田 成陽（高2）【広島県立佐伯高等学校】、
木本 ひなた（高専2）【奈良工業高等専門学校】、河野 旺実（高1）【海城高等学校】

要 旨

天体からガスや塵が放出されるアウトフローやジェットという現象がある。これらの現象のガスや塵が放出される速度と放出源の天体の質量の間には正の相関があるという仮説を元に研究を行った。

1. 背景

アウトフローやジェットを放出する天体には原始星やマイクロクエーサー、超大質量ブラックホールやスターバースト銀河といった天体がある。これらの天体は大きさや形成の過程など、異なる特徴を持っているにも関わらず共通の現象が起こっていることに興味を持った。

$$\log \frac{M_{BH}}{10^8 M_{\odot}} = K + \alpha \log \frac{L_{bulge}}{10^{10} L_{\odot}}$$

式1 マゴリアン関係

2. 目的

天体の質量が大きくなるほど脱出速度も大きくなることから、アウトフロー・ジェットの速度と放出源天体の質量には正の相関があると仮説を立てた。アウトフロー・ジェットの速度と放出源の天体の質量を調べ、それらの関係を考察する。

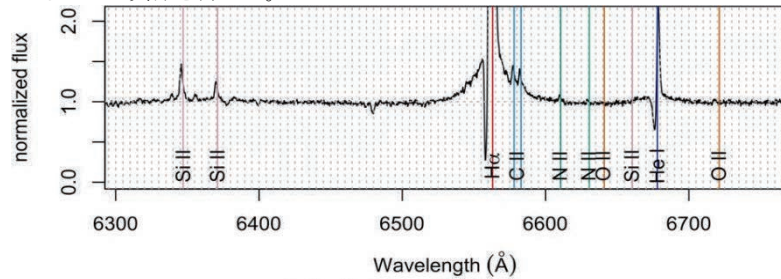


図1 P Cygの分光結果

3. 研究方法

仙台市天文台のひとつ望遠鏡を用いて、スターバースト銀河であるM82、超大質量ブラックホールをもつNGC1275、星風がみられるP Cyg(天体名)の観測を行う。M82とNGC1275はVバンドで撮像し、カウント値から得た絶対等級から「マゴリアン関係(式1)」[1]を用いて質量を求めた。

P Cygは分光観測を行い、ドップラー効果を用いて星風の速度を求めた。放出源天体の質量と星風の速度との間にジェットやアウトフローと同様な関係性が見られるかを調べるため観測した。

その他の天体はアーカイブから引用した。[2]

4. 観測結果

M82とNGC1275をV, R, Iバンドで撮像観測を行った。P Cygは分光観測を行った(図1)。

5. 考察

得られた質量と速度から全ての天体と天体の種類それぞれ散布図を作成し相関係数を求めた。(図2)

全ての天体の散布図から、天体の質量とアウトフローの速度には指数関数的な関係がある可能性がある。また天体の質量とジェットの速度には相関がない可能性がある。

天体の種類ごとにまとめた散布図からは、原始星とアウトフロー、マイクロクエーサーとジェットに相関がある可能性がある。

6. 今後の展望

もし天で調べた情報だけでは関係が分からないので、グラフの空いている部分を埋められるような天体を探して速度と質量のデータを足したい。半径を新たに考慮することで新しい関係が分かる。

7. 参考文献

[1]MISTY C. BENTZ, et. al. 2018 [2]J.Tremaine, et. al. 2020・J. Casares, et. al., 2005・Hartigan, Patrick 1994・L. A. Busch, et. al. 2019 Maria José Maureira, et. al. 2020 C. Carrasco-Gonzalez et. al. 2015 .Torrelles, José M. et. al. 1997 C. Carrasco-Gonzalez, et. a 12015 Per Bjerkeli, et. al. 2019 Per Bjerkel, et. al. 2019 Paulo, et. al. 2020・Heckman, T. M et al., 2001・多周波VLBI観測によるNGC 4261ジェット形状探査・Cohen, Daniel P et al., 2020・Timothy M. Heckman et al. 1990・Alberto D. Bolatto, et al., 2021・Tadhunter, Clive N. et al. 1991・Jeremy Mould et al., 2012・S. Paltani et al., 2005・Graham, Alister W. et al., 2008・Gopal-Krishna et al., 1986・NASA/IPAC EXTRAGALACTIC DATABASE NGC 1128・Z. Stuchlík et al., 2016・D. J. Hurley et al., 2013

8. 謝辞

仙台市天文台の皆様、もし天2021スタッフの皆様にご感謝申し上げます。ありがとうございました。

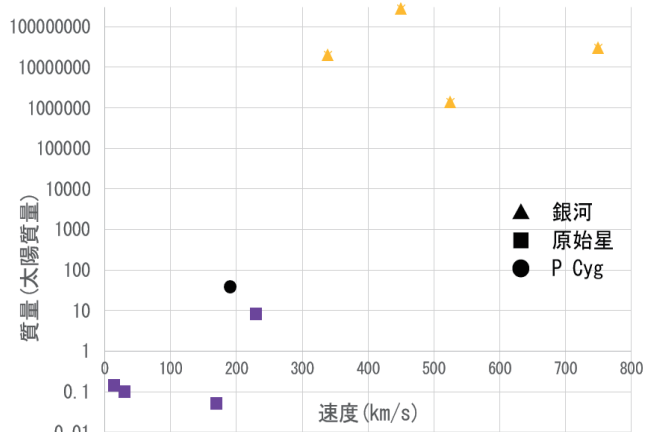


図2 質量とアウトフローの速度の関係

銀河系の厚さの測定

銀河学校2021：

濱嶋 彩加（高3）【早稲田実業学校高等部】、今野 翼（2021年卒）【仙台城南高等学校】、
二本柳 安珠（高2）【淑徳与野高等学校】、田中 康誠（高3）【西大和学園高等学校】、
恒吉 かずき（中等5）【東京大学教育学部附属中等教育学校】、店網 航輝（高2）【大阪府立佐野高等学校】、
伊藤 大朗（高3）【岐阜県立岐阜高等学校】、早川 さくら（高3）【江戸川学園取手高等学校】、
幸泉 花梨（高3）【神戸女学院高等学校】、伊勢上 さくら（2021年卒）【須磨学園高等学校】

要旨

私たちの住む天の川銀河の全貌を知るために、銀河系の厚さの測定を行った。ソフトを用いて画像データを解析し、2つの方法で厚さを算出することで、仮定の正当性についても考察を深めた。

1.はじめに

銀河系はどのような姿をしているのだろうか。周辺の他の銀河の写真や、天の川銀河を想像して描かれたイラストやCGを見たことがある人は多いと思う。しかし、銀河系内部の地球に住んでいる人類は実際に望遠鏡で確認することができない。銀河系の内側からその全体の形を知るために様々な研究が行われてきたが、私たちはハーシェルの研究に注目し、銀河系の厚さを測定することによってその問いの答えに近づこうと考えた。

1) ハーシェルの研究について

ハーシェルは、恒星が全て同じ明るさで銀河内に一樣な密度で分布しているとして、銀河系内の星の個数と距離の関係から厚さを算出し、銀河系を構成する星々が円盤状に分布することを明らかにした。この研究の定量的な解析結果は、現在でも銀河系の形状などを解説する際に引き合いに出される偉大な業績となっている。

2) 本研究の仮定

- ・ハーシェルに倣って以下の2つの仮定を置いた。
- ・観測される星の典型的な光度は太陽と同じとする。
- ・銀河円盤は太陽系周辺で密度一樣とする。

2.研究方法

私たちは長野県にある東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡を用いて観測を行った。その画像データを用いて、具体的にはNGP方向と銀河面4方向の画像のノイズの補正など一次処理を行った後、「すばる画像解析ソフトMakali'i」で解析をした。銀河面方向とNGP(銀河北極)方向の比較から厚さを算出するために、測光と星の数のカウントを行った。

銀河系の厚さの算出

1) 星の明るさと距離の関係

「観測される星の典型的な光度は太陽と同じとする」という仮定から、この関係式が成り立つ。

$$(\text{太陽の絶対等級}) - (\text{NGP方向の限界等級}) = -5 \log_{10}(\text{銀河の厚さ}/\text{太陽との距離})$$

2) 星の個数と距離の関係

「銀河円盤は太陽系周辺で密度一樣とする」という仮定から、観測した星の数は円錐の体積に比例し、星の個数は距離の3乗に比例することになる。NGP方向と銀河面方向の星の個数の比から算出した。

3.結果

NGP方向の等級を図1のようにヒストグラムで表し、限界等級を求めた。近い直線から外れる値の16.0を限界等F級と定めた。また、同様に銀河面方向もヒストグラムを作成し、限界等級を17.6~18.1とした。また、解析した画像データ内の星の総数はNGP方向が447個、銀河面方向は58956個だった。

これらの結果と2で示した算出方法を用いると、1)の方法では約1721.9pc(研究結果1)、2)の方法では約548.2pc~702.0pcという結果になった(研究結果2)。ここでは太陽がほぼ銀河面に位置することから、銀河面からNGP方向の距離(厚さの半分)を算出した。

4.考察

今回の研究では、新しい星や古い星を区別せずに観測できる限界を銀河系の厚さとしたため、厚さの定義において、私たちは図2で表される厚い円盤を測定したと仮定した。これは文献値で約1000pcとあるので、研究結果1は約72%、研究結果2は約29.8%~45.1%の大きな誤差が生じた。研究結果1については、太陽よりも暗い星がNGP方向の遠いところに分布していて、その絶対等級を太陽と同値として扱ったために距離を大きく見積もってしまった可能性があった。厚い銀河には古い星が分布していて、HR図を参照するとその明るさは太陽より暗いのではないかと考えられる。また研究結果2については、観測した銀河面方向が銀河系の中心方向に最も近く、高い密度で星が分布している領域であることが分かった。そのため個数の比から距離の比を求めると、NGP方向の距離を相対的に小さく見積もってしまった可能性が考えられる。

5.参考文献

祖父江義明・有本信雄・家正則, 銀河II, シリーズ現代の天文学第5巻, 日本評論社, 2007年



図1 等級のヒストグラム

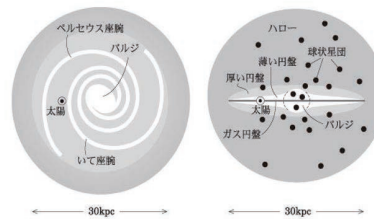


図2 銀河系像の概略

銀河の形状によって星形成の様子はどうか変わるか

もし天2021 Galaxsea班：坂田 和花（高1）【フェリス学院高等学校】、
末吉 一輝（高2）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、下河邊 太智（高1）【海城高等学校】

要旨

銀河形状の定量的な指標である形態指数（非対称度Aと中心集中度C）、およびR・B・Iバンドによる観測から推定したHII領域の中心からの距離のそれぞれについて、星形成率の関係を調べた。その結果、中心集中度が低く、HII領域が中心から離れている銀河ほど星形成率が高いという関係にあることが示唆された。

1. 研究の背景

銀河には様々な種類が存在し、また銀河によって星形成率が大きく異なる。円盤銀河は質量が大きいほど星形成率が高くなるが、楕円銀河の多くは星形成率が低いことが知られている (Wuyts et al. 2011)。一方で、星形成率が必ずしも形状とは関係がないという研究もある (Koyama et al. 2019)。そこで、銀河の形状とHII領域の分布が銀河の星形成率に与える影響に興味を持ち、研究を行った。

2. 方法

I. 星形成率と形態指数の関係

MaNGAカタログ (Wake et al. 2017, Pawlik et al. 2016) を用いて多くの銀河の星形成率、形態指数（非対称度A, 中心集中度C）を算出した。

II. 星形成率とHII領域の分布の関係

本研究では渦巻銀河 (M33, M74) ・楕円銀河 (NGC720) ・レンズ状銀河 (NGC524) を仙台市天文台ひとみ望遠鏡で撮像し、画像の解析を行った。具体的には、R・B・Iバンドの画像を組み合わせ、HII領域の銀河中心からの位置を測定した。

3. 結果

I. 星形成率と形態指数の関係

図1左のように、非対称度と星形成率の間に目立った相関は見られなかった。また図1右のように、中心集中度と星形成率の間には負の相関がある可能性がある。

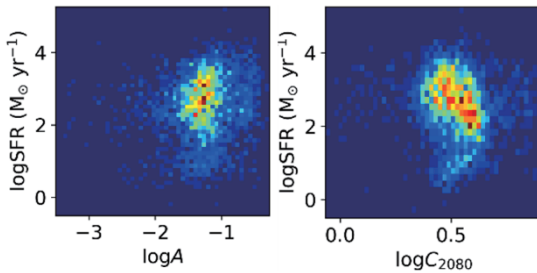


図1. 形態指数と星形成率の関係

II. 星形成率とHII領域の分布の関係

画像からHII領域が確認できたのは渦巻銀河であるM33とM74のみであった。それらの銀河における、HII領域の銀河中心からの距離とカウント値を調べた

(図2)。最も明るいHII領域について、中心からの距離の銀河長径に対する比率を比べると、M74の方がこの比率が大きかった。したがって、M74はM33よりもHII領域が比較的中心から遠いところに分布していると言える。

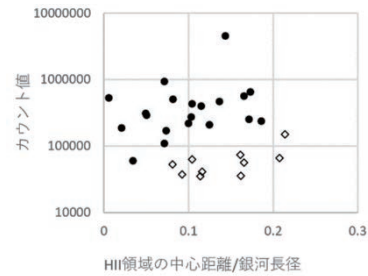


図2. M33, M74におけるHII領域の分布

4. 議論

I. アーカイブデータから分かったこと

中心集中度が低い銀河ほど星形成率が高い傾向がある。

II. 観測結果から分かったこと

各銀河を長径上のカウント値の変化で比較すると、渦巻銀河のほうが銀河の中心から離れた部分でカウント値が大きい領域が見られやすいことが分かった。

M33, M74のHII領域の分布を比較すると、M74の方が中心から離れたところにHII領域が分布している。一方で、星形成率はM74の方が大きいことから、HII領域が中心から離れている銀河の方が、星形成率が高くなる傾向が示唆された。これらの考察は、中心集中度が低い銀河ほど星形成率が高いことと整合する。

5. まとめ

銀河の星形成率は、中心集中度が低く、HII領域が中心から離れている銀河ほど高くなりやすいと考えられる。

6. 参考文献

- ・ Koyama et al. 2019, ApJ, 874, 142
- ・ Pawlik et al. 2016, MNRAS, 456, 3032
- ・ Wake et al. 2017, AJ, 154, 86
- ・ Wuyts et al. 2011, ApJ, 742, 96

人工衛星を通じた持続可能な協働学習プロジェクト

立教新座高等学校 観測部：

前橋 秀哉、江口 智浩（高3）、須崎 溪介、佐藤 功一、勝野 遥成、奥平 樹、白石 佑一郎、岡本 拓己（高2）、大野 瑛人、齋藤 透、大野 陸人、井置 蹴人（高1）【立教新座高等学校】

要 旨

私たちは2018年度から人工衛星を打ち上げることと、その過程を学習することを目的として活動している。現在、カメラで360度の映像を地球に配信する人工衛星製作を目標としており、実際の人工衛星製作の現場と同様にグループに分かれて人工衛星の技術を専門的に得る活動をしている。今年度は実際に人工衛星製作に必要な、加速度センサーの即時可視化、模型製作のためのモデリング、太陽光発電の発電効率の最適化、人工衛星の電波の受信の研究をした。今後は、人工衛星に見立てたドローンに太陽光発電で動く加速度センサーをモデリングした容器に乗せ、無線でそのデータを受信することと人工衛星の電波の受信を目指している。

1.各グループの成果

人工衛星に必要なセンサー、モデリング、電源、無線の4つ専門グループに分かれて活動し、次の成果を得た。

1-1. センサー班

人工衛星の周囲の状況の把握、遠隔操作のために加速度センサーのデータを即時グラフ化した。装置を制御するプログラミング言語Arduinoで動かしている加速度センサーとパソコンを繋ぎ、Excelのデータを送受信するData Streamerを用いることで即時グラフ化することができた。実際に加速度のデータは得られ、このグラフからセンサーがどのくらい傾いているのか、どちらにどれだけ動いているのかが分かった。現在はこのデータをWiFi、Bluetooth通信を制御するESP32-WROOMを用いて、無線でパソコンに送信し即時グラフ化することに挑戦している。

1-2.モデリング班

3DモデリングソフトFusion360を用いて設計、3DプリンターはXYZ PRINTING社のダヴィンチ1.0 proを使用して印刷した。実際に練習として車を印刷することで、印刷までの手順を学んだ。印刷の際、人工衛星の模型をパーツごとに印刷し改良していくことを見据え、分解した車を印刷した後、組み立てる方式を取った。現在はドローンに加速度センサーを乗せる部品を作成している。今後、人工衛星の模型製作や実験に使用する部品の作成を進めていく。

1-3.電源班

太陽光パネルの発電効率を調べた。ナトリウムランプ、映写機、赤、黄、青、緑のカラービニルをそれぞれ付けた映写機で調べた。また太陽光パネルはNUZAMASを用いた。その結果、ナトリウムランプが最も発電効率が良いことが分かった。現在は発電した電力でセンサー班のセンサーを動かし、センサーのデータを採取できるかどうか、照明と太陽光パネルの距離と発電効率の関係について調べている。

1-4.無線班

HEAVES ABOVEを用いて人工衛星の位置を調べたうえで、ドップラー効果による衛星からの無線の周波数のずれをExcelによって計算した。衛星の進行方向や高度などの要素を含む計算式がインターネット上に公開されており、確実性を上げるために利用した。無線受信機RTL-SDRを接続したパソコンにアンテナを接続し、ラジオと人工衛星ITUPSAT1の電波を受信することを試みた。結果ラジオや特定小電力のハンディレシーバー(422.050~422.175MHz)からの受信は成功したが、人工衛星からの受信は失敗した(今回の人工衛星の無線の周波数は437.265~437.2MHz)。現在は、今まで受信を試みていた衛星よりも電波が強く受信がしやすい衛星で実験を行うことと、コンバーターや特定の周波数帯にのみ反応するアンテナ、増幅器などを用いて受信感度を高めることなどを工夫することで人工衛星からの電波の受信を試みている。

2.まとめ

実際の人工衛星製作現場を参考に各専門グループに分かれて活動し、上記のような成果が得られた。今後は模型や人工衛星に見立てたドローンを用いて研究を続けながら、実際に人工衛星の設計をしていく。

3.謝辞

この研究は静岡大学教育学部の内山秀樹講師からご助言をいただいた。また、令和三年度中谷医工計測技術振興財団科学教育振興助成を受け活動を活性化することができた。ここに感謝を申し上げる。

数取器を用いてストレスを可視化する事は可能か

三上 葉づ希 (高2) 【学校法人鶏鳴学園青翔開智高等学校】

要旨

ISSのような有限空間において専門的技術や知識が無くてもストレス度を客観的に測定する方法を提案する。

1. はじめに

ストレスは、精神的な健康を害する原因のひとつである。そして、過度なストレスがかかるとヒトの作業の質は著しく低下することが知られている。これは宇宙空間でミッションをこなす宇宙飛行士にとって命取りとなる。宇宙飛行士はストレス耐性を試され、さらにストレスに耐える訓練を受けている。国際宇宙ステーション(以下、「ISS」)でのミッション中に鬱状態やホームシックになる事例が報告されている。このような精神状態でミッションを完遂することは困難であることはいままでのない。素晴らしい成果を上げるためには精神健康状態を健常に保つことが何よりも大切だ。ストレスによる精神健康状態の悪化を防ぐ、あるいは和らげるためには、自分自身で客観的に把握することができる指標が必要だ。

2. 背景・目的

2-1 ヒトは高ストレスな状況下におかれると、唾液からコルチゾールの分泌量が増加する。このことは、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(以下、「JAXA」)と株式会社資生堂(以下、「資生堂」)による共同研究であるISSを模した閉鎖空間での実験で実証された。上記の研究において、高ストレス下では、ヒトの表情が歪むことも確認された。他にも、緊張によるストレスで皮膚からニオイ(皮膚ガス)の発生が資生堂の研究で発見されている。これらの結果を用いることでストレスの定量化が期待できる。

2-2 一般に、コルチゾール量の計測や表情の解析には、専門的な実験器具や精密機器が必要だ。この機器を宇宙空間に持ち込むには莫大な費用を要し、かつ、狭いISS内での設置場所の確保が困難である。そこで、数取器を用いた簡易的なストレス度の測定を提案する。

2-3 本校より無作為に抽出した実験で数取器で計測した回数とストレス度合いの相互関係を確認し、この装置の有効性を図った。

2-4 この手法は数取器ひとつで成立するため、宇宙空間への輸送、設置場所等の問題は解決されと考えられる。

3. 実験方法

本研究では本校の生徒5名に参加してもらい、以下の実験を行った。

【実験1 時間:9時~16時30分(1日) 場所:学校】

アナログカウンターを用いてストレスを感じた際に被験者本人にカウントしてもらった。また、実験1に参加した被験者1名には次の実験を行った。

【実験2 時間:6時~22時30分(3日目) 場所:自宅】

MESH(プログラミングツール)を用いてストレスを感じた際に被験者本人にカウントしてもらった。

4. 実験結果

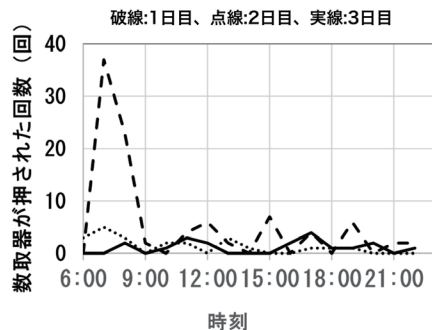
実験1 5人中3人が90回以上100回以下だった。平均は152.8回。

表1 1日のストレスカウント回数の合計

被験者	A	B	C	D	E
1日の合計	95	91	98	168	312

実験2 7:00~9:00、17:00~18:00は3日間ともカウント回数が増えているが、明らかな相関は見られなかった。

図1 被験者Aの1日のストレスカウンター回数



5. 考察・願望

実験1の結果からストレスを感じやすい人ほどカウント回数が多いと考えられた。実験2より、1日を通し朝はストレスを感じやすいという事が予想される。今回の実験で、1日のストレスの頻度を測定することが出来た。今回は短期間の実験のため相関は見られなかったが、長期の実験では相関が見られると考える。今後は、本手法を用いて大人数で長期間の実験を行い、精度を高めたい。さらには、宇宙飛行士への負担とならない小型で血中酸素濃度等も測れるようなモデルを作成したい。

参考文献

勝山雅子, 他 「緊張時に皮膚から特徴的に発生する匂い成分」, 日本生理心理学会, 2016;36:73-156

https://www.jstage.jst.go.jp/pub/pdfpreview/jjppp/36/2_36_1811ci.jpg (2021年5月29日閲覧)

Mariko, E., et al.. "Evaluation of psychological stress in confined environments using salivary, skin, and facial image parameters". Publish with Scientific Reports. 2018;8:8264

<https://www.nature.com/articles/s41598-018-26654> (2021年5月29日閲覧)

I-SITERU (アイシテル) In-Situ niTrogEn Regeneration and Utilization
- 火星上の窒素循環システムの構想 -

第20回 君が作る宇宙ミッション APOLLO班：

尾崎 杏華（高2）【山形県立東桜学館高等学校】、本岡 飛明（高2）【京都市立京都工芸学院高等学校】、
井上 隆太郎（高2）【愛知県立明和高等学校】、谷口 奈奈世（高2）【岐阜県立岐阜高等学校】、
山本 夢（高2相当）【Bloor Collegiate Institute】、吉川 千華（高3）【明治大学付属明治高等学校】

1. 要旨

火星での地産地消を実現することを目的とし、窒素を基準とした循環モデルの提案を行った。そして循環モデルの実現可能性を定量評価した。

2. 研究の背景・目的

現在の世界では、米国のスタートアップであるスペースXが進める火星移住計画のような、地球に依存しない宇宙空間での自立した生活の実現を目指す計画が進んでいる。そこで火星の環境に着目したところ、窒素は大気全体の2.7%を占めているが、地中にはほとんど存在しないことが分かった。窒素は生き物の体を形作るタンパク質を構成する元素であり、人間が生きる上で必要不可欠である。ところが、現在比較的宇宙空間における窒素のサイクルは注目されていない。したがって、火星で窒素元素のサイクルを確立させることが、地球の資源に依存しないような、数万人規模での人類の火星での生活につながるかと私たちは考えた。

本研究での目的は、火星での“地産地消”を実現することである。“地産地消”は、“火星上で人間が最低限の生活を営むことの出来る条件を満たすこと”と定義する。私たちは、窒素循環システムを確立することで食料に関する地産地消が達成できると考えた。

3. 提案

火星での窒素循環システムとして図1を提案する。なお、このモデルはすでに火星上にコロニー等の環境が準備されていることを前提とする。まずコロニー外から火星大気を取り込み、空気中の各成分の吸着特性の差を利用して、各成分に分離する方法である吸着分離法で窒素ガスを取り出す [1] (図1中の1)。これらを行う機械が空気分離装置である。その後、根粒菌などの窒素固定菌と遷移金属を用いた還元反応 [2]でアンモニアを生成する(図1中の2)。この際アンモニアの循環量が安定してきたら窒素固定菌のみ使用する(図1中の3)。このアンモニアは様々な微生物によ

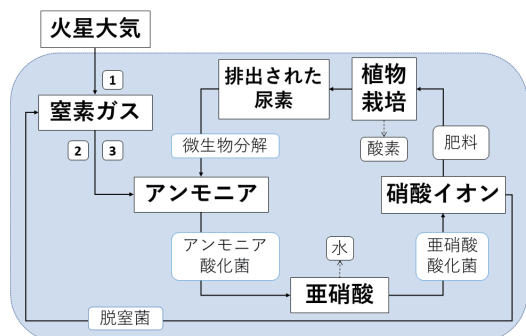


図1 循環図の様子

り硝酸イオンに変換され、水溶液の形で肥料として植物に吸収される。植物は人間等によって消費され、窒素は尿素として排泄される。これを再びアンモニアに戻し窒素が循環する。

4. 議論

図1の循環図が地産地消を行っていく上で機能しているかを確認するために定量評価を行った。そのためにまず、農業に必要な窒素量を定義した。厚生労働省の「日本人の食事摂取基準（2020年版）」 [3]に基づいて、タンパク質、脂質、炭水化物、ビタミンCの基準を満たすように、大豆、トマト、アスパラガス、キャベツ、ブロッコリー、じゃがいもの6つの野菜の生産量を設定し線形計画法を行った。その結果トマトを231 kg、大豆を61 kg生産するのが最も窒素の消費量が少ないパターンとなった。また、吸着分離法の効率を上記の結果と参考文献から、一年あたりで

- 農業に必要な窒素量 4.663×10 kg/人
- 吸着分離法の窒素生成量 1.096×10⁷ kg/台
- 人の排泄物から得られる窒素量 2.968 kg/人
- 土壌からの窒素無機化量 0.245 kg

と数値を設定でき

$1.096 \times 10^7 \div (4.663 \times 10 - 2.968 - 0.245) = 2.46217 \times 10^5$
となる。以上の結果から空気分離装置一機で最大約24.62万人の人口を養える計算になった。

5. まとめ

私たちは、火星での地産地消の実現のため窒素の循環システムを提案した。これらを火星で発展させることによって人類の未来の宇宙進出に大きく貢献できると考える。この窒素循環を既存の水循環や酸素循環に組み込むことにより、さらに地球から自立した宇宙での生活が可能となるだろう。

参考文献（最終アクセス：2022/01/22）

- [1] エア・ウォーター・クライオプラント株式会社, "空気分離法の種類," 6 8 2021. [Online]. Available: <http://sac.co.jp/pdf/kiso2.pdf>.
- [2] Y. A. K. N. K. e. a. Ashida, "Nature 568, 536–540," 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1134-2>.
- [3] 「日本人の食事摂取基準」策定検討会, "日本人の食事摂取基準（2020年版）," 2019. [Online]. Available: <https://www.mhlw.go.jp/content/10904750/000586553.pdf>.

紙を用いた宇宙船の地球着陸時の衝撃吸収構造

天文部：田中 心結、鈴木 佳吾、小川 穂夏、藤井 翔太、大坪 佳暖、大森 万凜、宮原 芽果、
 諏澤 結季、佐藤 凜、諸口 徳人、高橋 拓希(高2)、井上 空、笠井 朱莉、佐々木 花、
 浪江 陵太、刈込 大聖、安藤 名那、山上 胡桃、荒木 慶斗、梅田 颯太、野澤 瑛人、
 四元 和哉、市蘭 瑠菜、彦坂 海月、島貫 夏樹、浅倉 大和、澄田 紗弥、矢崎 鼓虎、
 小川 有里、関口 みのり、本領 彩、鈴木 苺愛(高1) 【星野高等学校】

1. 要旨

衝撃をより吸収する構造を見つけるため、紙で卵を守るカプセルを作りパラシュートをつけ、4メートルの高さから落とした。結果、くしゃくしゃの紙(以下、「くしゃ紙」という。右図A参照)が入ったカプセルの班が卵を割らずに着地することに成功した。



↑図Aくしゃくしゃの紙
(くしゃ紙)

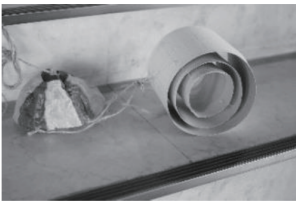

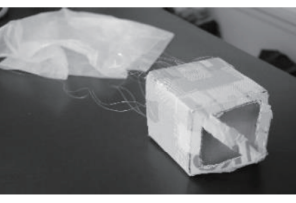
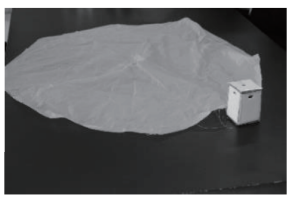

2. 目的

近年、民間人が宇宙旅行に行くという動きが活発になっている。宇宙旅行をより身近にするため、宇宙船を地球に帰還させる際の着陸時の衝撃を軽減することを目標とした。そのための帰還カプセルの構造の特徴をそれぞれ比較することが目的である。また、部員が楽しんで研究を行うことを一番においた。

3. 方法

部員を5グループに分け、それぞれのカプセルとパラシュートを作る。カプセルは構造を重視するため、紙だけを使用する。中にはゆで卵が入っている。卵の殻が割れたかどうか、カプセルの重さで、構造を比較する。重いロケットに乗せられないので、軽いカプセルのほうが良い。最初にパラシュート同士で比較し、一番地面につくのが遅かったもので統一してカプセルを落とした。

4. 結果

<p>(1)割れた 重さ：40g 卵を宙に浮かせることで、地面からの衝撃を大幅に軽減できると考えた。丸まった紙にはバネの効果があり、衝撃を卵に伝えずに床に跳ね返すことができる。</p>  <p>図1 ばね型(くしゃ紙なし)</p>	<p>(2)割れた 重さ：45g カプセルの中の幾何学模様に折った折り紙で卵を包むことで、落としたときの衝撃を分散し卵を守ることができる。</p>  <p>図2 折り紙型(くしゃ紙なし)</p>
<p>(3)割れなかった！ 重さ：197g 先端から着地することにより衝撃を吸収しやすい構造の三角錐をカプセルの下に取り付けた。その先端が下になって飛ぶように紐のつけ方やパラシュートの穴のあけ方を工夫し、中にくしゃ紙を入れた。</p>  <p>図3 錐形型(くしゃ紙あり)</p>	<p>(4)割れた 重さ：28g 空気抵抗を大きくし、落下速度を遅くするパラシュートの効果を大きく出来るようにした。そのため、カプセルを軽くコンパクトにして、軽量化に努めた。</p>  <p>図4 軽量型(くしゃ紙なし)</p>
<p>(5)割れなかった！ 重さ：273g カプセルについた4つの羽によって安定して、落とすことができる。また、中にはくしゃ紙を入れてできるだけ卵に衝撃を伝えないようにした。</p>  <p>図5 プロペラ型(くしゃ紙あり)</p>	

5. 考察・展望

割れなかった班は共通してくしゃ紙を中に入れている。くしゃ紙(図A)は衝撃を受けて潰れることのできる隙間がたくさんあいており、卵の形や動きで柔軟に変わることができる。しかし、成功した班はどちらもカプセルが重たい。今後はカプセルの軽量化を進めるとともに、実際の帰還カプセルにかかる衝撃や速度・高度などを計算して、より実用的なデータを取ることを目的としたい。また、この研究で効果的だと分かった衝撃吸収構造は、有人ロケットの打ち上げ時や小惑星でのサンプルリターン時など、様々な宇宙開発の局面で利用可能である。今後もこの研究をつづけ、宇宙旅行を身近にすることに貢献していきたい。

次世代天王星型惑星・氷衛星探査機 UNITE (UraNian planet and Icy saTellite Explorer) の概念検討

第20回 君が作る宇宙ミッション ARTEMIS班：

赤石 悠太郎 (高2) 【大阪府立三国丘高等学校】、妻沼 朔寿 (高専2) 【旭川工業高等専門学校】、
河野 旺実 (高1) 【海城高等学校】、深沢 匠 (中等4) 【神奈川県立相模原中等教育学校】、
山田 優斗 (高1) 【武蔵高等学校】、藤野 克彬 (高2) 【早稲田実業学校高等部】

要旨

天王星型惑星への航行技術実証、天王星型惑星の基本的性質の解明、天王星型惑星衛星の内部海の存在、およびその基本的性質の解明を目標とした天王星型惑星周回探査ミッションUNITEを提案する。

1. ミッションの背景

天王星・海王星の総称である天王星型惑星は太陽系形成の終盤で形成されたと考えられており、太陽系形成論を考える上で重要な天体である。特に、天王星型惑星の大気構造・組成は過去の放射冷却過程を反映しており、天王星型惑星の形成に大きな制約を与える[1]ため、その詳細な理解が求められている。また、天王星型惑星の氷衛星の氷地殻の下層には液体の水からなる内部海の存在が示唆されており[2]、そこに地球外生命が存在する可能性がある。したがって、天王星型惑星系の包括的な理解は、惑星科学、生命の存在条件としての液体の水を検討する宇宙生物学の観点から重要である。しかし、天王星型惑星への探査実績はボイジャー2号によるフライバイ探査のみであり、詳細な重力場や磁場構造、構成物質や衛星との相互作用などの物理的、物質科学的情報は不足している。[3]これらを明らかにするためには天王星型惑星周回探査ミッションの実現が不可欠である。しかし、そのような探査は主に推進系等に対する要求が厳しく、未だ技術的課題が多く残されている。

そこで我々は、(1)天王星型惑星への航行技術実証、(2)天王星型惑星の基本的性質の解明、(3)天王星型惑星衛星の内部海の存在、およびその基本的性質の解明の3項目を目標とした天王星型惑星周回探査ミッションUNITE (UraNian planet and Icy saTellite Explorer)を提案する。

2. ミッションの概要

UNITEのミッション内容を概観する。上記の3つの目標のうち、本稿では特に(1)と(2)の検討状況を述べる。

2.1. 天王星型惑星への航行技術

本節では、(1)を達成するために、天王星型惑星へ到達するための航行技術についての検討結果を示す。打ち上げロケットにH3-24S[4]、探査機推進系には500 N級二液式スラスタ[5]を仮定し、軌道設計を行った(図1)。探査機の質量(打ち上げ時)は約3 tとした。また、外惑星領域での電力確保のため、1辺40 mの薄膜太陽電池アレイを用いる。その他探査機システム、天王星への軌道についても検討を行ったが、割愛する。

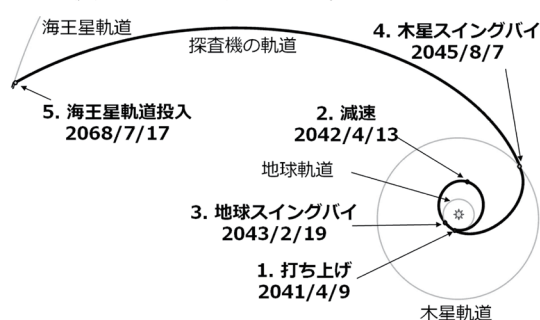


図1. 海王星への軌道

2.2. 天王星型惑星の大気構造・組成の観測手法

本節では、(2)を達成するために、天王星型惑星の基本的性質の1つある大気構造・組成の観測方法を検討した結果を示す。

鉛直方向と水平方向それぞれの温度や組成の分布を観測することで、三次元での大気構造を解明する。木星探査機ガリレオに搭載された大気投下プローブ[6]と同様の機器で、組成と温度の鉛直分布を調べる。また、木星探査機ジュノーに搭載された放射計[7]と同様の機器で、大気層ごとの温度の水平分布を観測する。(図2)

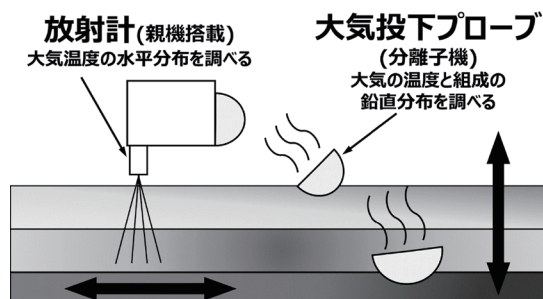


図2. 大気構造観測のイメージ

3. 結論と今後の展望

本稿では、天王星型惑星周回探査ミッションUNITEの検討状況を報告した。特に、天王星型惑星へ到達するための航行技術として軌道設計例を、天王星型惑星の基本的性質を解明するための方法として、大気構造・組成の観測例を示した。今後は以下の項目を検討していく。

- ・プローブの設計と探査手法
- ・放射計による観測の詳細及び機器設計
- ・内部海探査の具体的な手法
- ・惑星軌道投入後のミッションシーケンス

参考文献

- [1] 黒崎健二 他, 日本惑星科学会誌遊星人, Vol. 27 No. 1, pp. 28-39, 2018.
- [2] Tjoa, J. N. K. Y., et. al., A&A, 636, A50, 2020.
- [3] NASA The PI's Perspective: Why Didn't Voyager Explore the Kuiper Belt? URL: <https://blogs.nasa.gov/pluto/2018/02/28/the-pis-perspective-why-didnt-voyager-explore-the-kuiper-belt/>, 最終閲覧日: 2022/01/16.
- [4] 岡田匡史 他, H3ロケット基本設計結果について, 2016年度 JAXA記者説明会, 2016.
- [5] 高橋衛 他, IHI技報 Vol.49 No.3 pp.150-156, 2009.
- [6] Glenn S. O., et. al., Science Vol. 272 Issue 5263, pp. 839-840, 1996.
- [7] Michael, A. J., et. al., Proc. 39th IRMMW-THz, pp. 1-3, 2014.

寛政改暦の観測に用いられた水準器とその使用法

科学部天文班：

百瀬 健太郎、岡村 結哉、清水 瑛貴（中2）【塩尻市立丘中学校】

1. 要旨

江戸時代の寛政改暦に用いられた水準器の再現製作を行い、細部の構造や使用法について考察した。

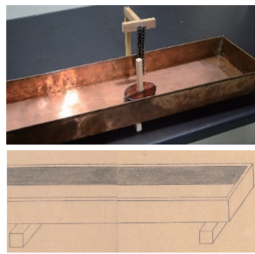
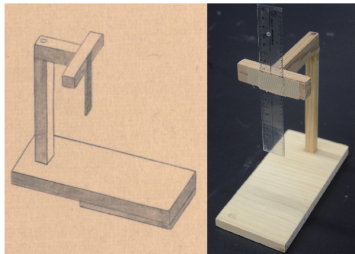
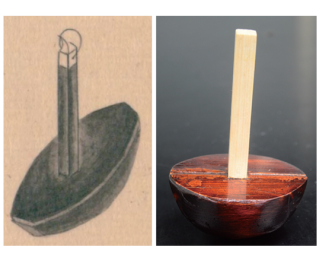
2. はじめに

寛政改暦では、高さ3丈（9m）の大型圭表儀による太陽の南中高度の観測が行われていた。柱の先につけた丸棒（横梁）が影を落とす「圭盤」は水平面でなければならないが、長さ16mの圭盤の表面を完全に平面にすることは困難なので、圭盤の各場所の水準を測り、基準位置からの高低の差を横梁の高さに加えたり減じたりすることで補正して、正確な観測ができるように工夫されていた。そのために使われていた器具について、寛政暦書^{*1}の記述を現代語訳するとともに、図や記載された寸法を元に再現製作を行い、実際に使用することで、器具の構造や使用法について明らかにしようと試みた。その中で明らかになったことがらについて報告する。

3. 機器と測定法の「復元」

寛政暦書を現代語訳して、記述を元に「再現製作」を行った。表1に暦書の記載と再現製作した機器を示す。

表1 圭面の水平を調べるための機器

水準銅盤	水準儀	水準船
		
<p>盤の長さ1丈幅5寸深さ2寸5分。底の下に枕木を3か所置く。枕の間の空いたところに水準儀の台座を差し込むことができる</p>	<p>檜で造る。台座の長さ5寸、幅2寸、厚さ7分5厘、台座の後ろの辺近くに立つ1寸角で高さが6寸の柱の上に、前向きに張り出した長さ4寸の肘の端に水平で長さが1寸6部の木が丁字につく。その端に水準尺が取り付けられ、圭面の高低を調べる。</p>	<p>檜を用いて造り、防水のために漆を塗る。船の長さ3寸、高さ8分。幅1寸9分。中央に1辺が5分、高さが2寸の柱があり、水準を測る。</p>

(1) 水準銅盤の製作

材料の制約から長さ90cmとした。展開図を描き、それに沿って角材の角を使って折り曲げ、半田付けをして銅板の隙間を埋めた。「のりしろ」を外側にし、銅盤内側の半田付け箇所をできるだけ小さくすることで、水漏れしないように工夫した(図1)。

(2) 水準儀の製作

板材を切り、鑿(のみ)でほぞ穴を開けて柱を立てた。釘の位置についても暦書の図と同じになるように製作した。

(3) 水準船の再現製作

角材を削って船体を作り、中央に鑿でほぞ穴を開け、柱を立てた。水に浮かべてみて、柱が水面に垂直になるように船の側面を削ることを繰り返して調整した。更に、耐水性を高めるため漆塗りをした。漆塗りは地元在住の漆職人の方に依頼した。

(4) 水準法（圭面の高低を調べる方法）

寛政暦書に書かれている手順は、以下のようである。

圭表儀の上に水準銅盤を置き、水を張る。銅盤と枕木の上に水準儀を置き、水準船を浮かばせる。水準船の柱につけられた印（直線）の位置を、水準儀の定規で測る。

これに従って、試験的に測定を行った(図2)。また、小型の圭表儀の水準合わせに使えるか確かめてみた。

4. 水準器の試用から明らかになったことと今後の課題

水準船の柱が左右に揺れて測りにくいだろうと予想していたが、実際に使用してみるとそのような動きは少なく、実用的に使うことができた。風が強い日は水面が揺れてしまうが、水準船の柱が動かないように板を当てて支えたり、水準銅盤の表面を板で覆ったりすることで解決した。寛政改暦の圭表儀は小屋の中に設置されていることから、風の影響は大きくなかったと考えられるが、当時もこのような工夫がなされていた可能性がある。小型圭表儀の水平を出すときは、圭面をねじで調節するときゆれが発生するので、それが収まってから行うことで解決できる。今後は、寛政改暦時の「圭表儀水準測量」に記載されている測定データについても調べていきたい。

【参考文献】 1. 寛政暦書35巻【19】【22】， 渋川景佑，1844年，国立図書館デジタルコレクション



図1 曲げと半田付け

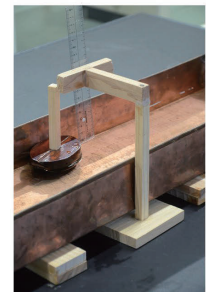


図2 水準測量

星食現象の独自観測・解析システムの構築 ～MATLABによる星食現象自動解析プログラム～

宮崎県立宮崎北高等学校 科学部 地学班：菊池 慶祐（高3）、森岡 怜生（高3）、
木田 真太郎（高3）、濱川 咲笑（高3）【宮崎県立宮崎北高等学校】

要 旨

星食観測の普及を目的として、独自観測・解析システムの構築に取り組んでいる。今回はプログラミングソフトMATLABで星食の自動解析プログラムを製作した。

1. 研究の背景

星食とは恒星が月によって隠される現象である。観測によって月縁地形などの詳細な情報を得られる。詳細なデータを得るには複数の観測地点が必要なため、全国の高校生に星食観測を普及すべく、観測システムの構築を目指している。

2. 目的

一般的に使用される星食測光用ソフト「Limovie」では手動で恒星を指定する。我々は画面上で視認できないほど暗い星の星食を捉えるために、観測動画から複数の現象を自動で測光する星食現象の自動解析プログラムを製作する。

3. 方法

動画内から恒星を自動で検出・追尾して測光する自動解析プログラムをプログラミングソフトMATLABで開発する。解析には2020年7月31日に観測したGSC6842.1740とGSC6842.1723の星食の動画を使用する。観測場所は宮崎北高校の屋上（緯度 $31^{\circ}58'14.5''$ 経度 $131^{\circ}26'6.2''$ 標高51m）である。これらは暗縁部への潜入であり、1つの動画内で発生する。

4. 結果

恒星を自動検出し、個別に恒星を指定することなく1つの動画から2つの光度曲線が得られた(Fig.1&2)。現象時刻は捉えたがカウント数の増減が激しかった。

5. 考察

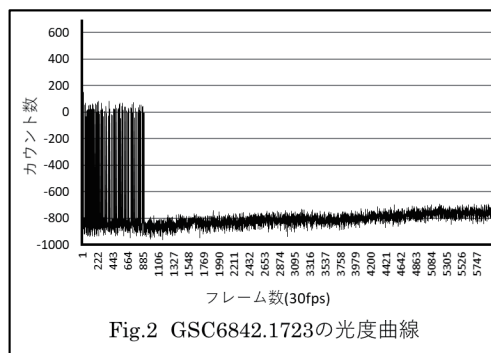
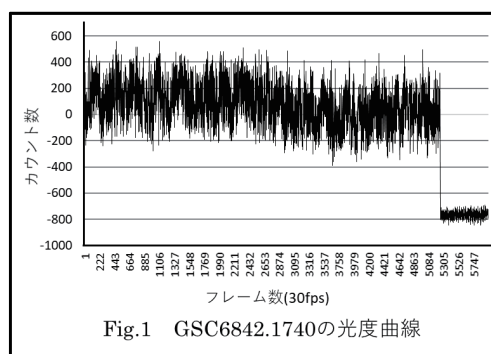
自動解析プログラムによるGSC6842.1740の潜入時刻は2020年7月31日13時37分18.863秒(UT)であった。Limovieで解析した潜入時刻は2020年7月31日13時37分18.863秒であった。開発したプログラムによる潜入時刻とLimovieで解析した潜入時刻との差はなかった。よって、自動解析プログラムによる星食現象の測光に成功した。また、GSC6842.1723はLimovieでは暗すぎて測光できなかったが、自動解析プログラムでは測光に成功した。光度が安定しないのは、測光範囲から恒星がずれている可能性がある。これは大気の揺らぎによって発生する動画内の星像位置のずれが原因であると考えられる。

6. 結論

星食現象の自動解析プログラムをMATLABで開発した。Limovieでは測光できないほど暗い恒星の星食の測光に成功した。また、1つの動画から複数の恒星の測光に成功した。

7. 参考文献

- 1)星食ハンドブック2020 星食観測日本地域コーディネーター (JCLO)
- 2)ビデオ画像用光量測定ソフトウェアLimovieの開発と星食観測への応用 著者 宮下和久 早水勉 相馬充



ウェブカメラ映像のPythonプログラムによるスペクトル分析

大谷 由貴菜 (高2)、泰楽 翔和、松本 こころ、平沼 桃子、國井 柁希、一條 裕紀、野口 隼佑 (高1) 【駿台学園高等学校】

要 旨

望遠鏡のアイピースに組み込まれたプリズム分光器を用いて、恒星のスペクトルを観測する方法を検討した。スリットを使用せずに直接星像のスペクトルを観測する場合、星像のゆらぎなどの影響が大きくなるが、これをウェブカメラで動画として撮影し、いくつかのコマを平均することによって比較的良好な結果が得られることが分かった。

1. はじめに

恒星のスペクトルは、それぞれの星についての多くの情報量を有するデータであるが、これを詳しく観測するには特別な装置が必要であり、通常では実行は困難である。そこで、手軽な方法でスペクトルを観測する方法を、いくつか検討することにした。

2. 観測方法と、その留意点

観測は、本学園の20cm屈折望遠鏡（日本光学製）に、プリズム分光器の組み込まれたアイピースを装着し、さらにそのアイピースにウェブカメラを固定して、動画を撮影した。撮影天体は、まずバルマー線スペクトルの強い天体として、A型星のヴェガを選んだ。

ウェブカメラでの撮影の際の留意点として、露出やホワイトバランスなどを固定するということがある。今回はウェブカメラのコントローラーソフトを用いて、すべて中央値として手動設定した。

3. 観測時の状況

ウェブカメラをパソコンに接続し、モニター画像を見ながらフォーカスを合わせ、シーイングやガイドなどの条件の良い瞬間を選んで何回か動画で撮影した。長焦点の望遠鏡での撮影のため、シーイングやガイドによる星像の揺れがかなり大きく、静止画での撮影は困難であることがわかった。

4. 画像解析の方法

今回の方法では、ウェブカメラ上でスペクトルの写っている部分、20×140ピクセルを切り取って画像データとした。そこで動画の中から状況の良い画像を選んでこの大きさで切り取り、アスキー形式の .pnm 画像に変換して、python プログラムによって解析した。

5. 解析結果

1ピクセルあたり256ステップでデジタル化された3色のデータを、分散方向に垂直な20ピクセルについて積算し、140個のピクセル番号を横軸として表したものが図1比である。なお、最大値の255を超えたピクセルの数は、半値の128以上のピクセル数の10%以下であったので、ここでは影響を考慮しなかった。

図1は、状況の良い画像で、連続する10コマのデータをグラフとし、重ねて表示した。

図から、シーイングなどによるばらつきはかなり大きいですが、スペクトルに見られる特徴的な傾向は捉えられていることがわかる。

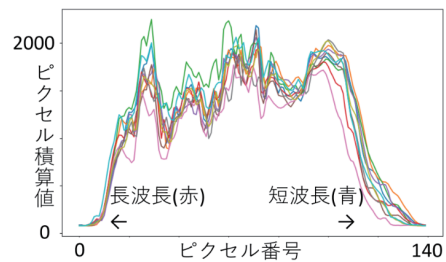


図1. 10コマの撮影データの比較

6. 参照データとの比較

図1の10コマのデータの平均値を、精密なプリズム分光データと比較したものが図2である。参照データは、アストロアーツ、ギャラリーページ (<https://www.astroarts.co.jp/photo-gallery/photo/35302>) 所載のものを用いた。また、横軸のピクセル数はスケールを調整し、平均値データの傾向が参照データと合致するようにした。

7. まとめ

今回の方法では、線スペクトルの道程などは困難ではあるが、連続スペクトルの分布については精密な方法によるスペクトルとよく一致する結果が得られたと考えられる。

VLBIの民間化を目指した自作電波望遠鏡による 中性水素スペクトルの観測

有井 潤、山東 歩夢、鈴木 大輝、空 佑音、林 慎一郎、林 祐樹、廣田 結子 (高2)
【和歌山県立向陽高等学校】

要 旨

私たちは、VLBIの技術を用いることができる電波望遠鏡を民間にも拡大することで、より多くの研究がなされ、電波天文学の発展に貢献できると考えている。本研究では、VLBIの民間化を目指して、低コストかつ小型な電波望遠鏡を製作し、中性水素スペクトルの観測を試みた。

1. 初めに

VLBIとは超長基線電波干渉法 (Very Long Baseline Interferometry) の略。日本または世界各地に存在する電波望遠鏡で取得したデータを干渉する技術のことで、遙か彼方にある天体の位置関係や構成元素を検出することができる。

2. 背景と目的

VLBIとしての機能がある電波望遠鏡の台数が少ないことや、運営コストが高いことにより、国が運営している。これらの理由により、採択された研究しか利用することができないという現状がある。

私たちは、低コストな電波望遠鏡を民間にも拡大することで、研究数を増やし、電波天文学の発展に貢献できると考えている。民間にも設置してもらえれば、大型では場所がなく管理も大変になる。

これらより、本研究では、まず、低コストかつ小型な電波望遠鏡を製作し、電波を取得する。

3. 単一電波望遠鏡での観測方法

天体からの電波を、製作した(図1)鏡面精度約1cm以下のパラボラ面で焦点方向に反射し、ダイポールアンテナで取得する。取得した電波は非常に微弱であるため、すぐに狭域帯低ノイズ増幅器(LNA)で増幅する。増幅した電波を、ソフトウェア無線(RTL-SDR)でA/D変換し、パソコン内のソフトウェアを用



図1:製作した電波望遠鏡

いて波形を観測した。本研究では、アンテナの位置を固定し、時間経過による電波強度の変化を観測した。また、1420.405 MHzの中性水素スペクトルを観測対象とした。

4. 観測結果

2021年12月11日に学校屋上にて観測を行い、データを取得することができた。

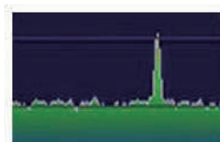


図2:16時47分



図3:17時30分

※図の横軸が周波数(MHz)、縦軸が電波強度(dB)

5. 考察

図2と図3を比較すると、時間が経過するにあたり全体的に電波強度が約1dB減少した。観測時天の川銀河が太陽とほぼ同方向にあり、同様に減少しているため、アンテナは作動していると考えられる。またSDR内のTCXO(水晶発振器)により、通常ずれが出てしまうため、ずれを考慮した場合でも1420.423MHzの帯域にある波形は定在波でなく、中性水素スペクトルだと考えられる。

6. 今後の展望

今回、費用約20万円で1台を完成させることができた。今後、より低コストかつ高性能に改善した2機目を製作し、干渉をさせる。干渉は、原子時計や磁気テープの装置が整っておらず、それらを用いた観測が行えないため、今回は直接相関処理を行う。

干渉方法としては、普通位相を検知するためにSGを入力し続けるが、本研究ではアンテナ側の同軸ケーブルとは物理的に切り離し、観測する際のみ接続する。RTL-SDR自体は観測開始の合図を入力するたびに位相が初期化されるため、起動状態を維持し、初めと最後のみ位相を測定する。また、予備実験としてRTL-SDRの位相が電波観測を行っている間、一定であるかを測定する。その他も、観測したい天体を自動で追尾するシステムのプログラミングを組んだため、それを実際に搭載し観測を行う予定である。

7. 参考文献

[1]赤羽 賢司、海部 宣男、田原 博人(2012)

「宇宙電波天文学」 共立出版

[2]中井 直正、福井 康雄、坪井 昌人(2009)

「宇宙の観測Ⅱ 電波天文学 (シリーズ現代の天文学)」日本評論社

アクリル重力レンズのフレネルレンズ化

野田 まりか（高2）【金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校】

要旨

アクリル重力レンズの軽量化及び薄型化のために、表計算ソフト及び3DCADソフトを用いてフレネルレンズ化された重力レンズを設計した。今後、3Dプリンターによって現物を作成した後、シリコンゴムとレジンをを用いて量産を行い、普及に役立てたい。

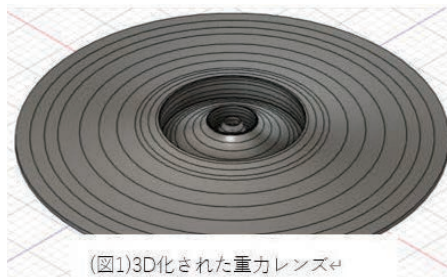
1. はじめに

本校の物理の先生に重力レンズのお話を伺った際に興味を惹かれ、本や文献で調べてみたところ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾過去にアクリル重力レンズを作成した人がいることを知った。より多くの人に興味を持ってもらいたいと考えたが、レンズに厚みがあって扱い辛い点、アクリルの削り出しで作ると量産できない点が課題となって困難であるという結論に至った。そこで、フレネルレンズ化された重力レンズを作成し複製することでこれらの問題点を解決できるのではないかと考えた。フレネルレンズの利点としては薄型であることと軽量であることが挙げられるが、その特性を生かし従来のもの⁽⁴⁾より持ち運びやすい形状にすることで、スマホのカメラ等で簡単に重力レンズ効果を実感することができる。

重力レンズ関連の先行研究としては大阪工業大学の「重力レンズ効果による画像変形のシミュレーション」⁽⁵⁾や広島大学の「修正模型の検証」⁽⁶⁾等がある。しかし、これらは画像もしくは計算によってシミュレーションしたものであり、手軽に重力レンズについて知るには相応しくないと考え、レンズ本体を製作することを選択した。

2. 研究方法

- (1) 手軽に持てるサイズとして重力レンズの半径は約3cmで設計した。さらに、今回は3Dプリンターの特性上、高さが0.3cm・0.5cm、幅が0.1cm以上のものを作成した。また、 $x=0$ 付近は非常に細かく再現が困難だと判断したため、省略してある。
- (2) Excel等の表計算ソフトを用いて指数関数曲線より通常のアクリル重力レンズの形状を作成した後、フレネルレンズ化し、3DCADソフトを用いて重力レンズを立体化する。表面の凹凸をできる限り少なくするため、PNGファイルをDXFファイルに変換して挿入し、3D化された重力レンズを作成した(図1参照)。
- (3) (2)で作成した3Dモデルをもとに3Dプリンターを用いて重力レンズの現物を作成する。
- (4) 作成した重力レンズをシリコンゴムによって型取り、中にアクリルを流し込む。その後研磨する。
- (5) スマホカメラのレンズ部分にフレネル化された重力レンズをあてがい、重力レンズ効果を再現できているか確認する。



(図1)3D化された重力レンズ

※注 フレネルレンズに発生する色収差は今回考慮しない。色収差を補正するための素材として異常分散ガラスや蛍石等があるが、アクリル重力レンズというテーマには相応しくないと判断したためである。

現在は(2)までが終了した段階である。

3. まとめ及び今後の展望

研究方法(2)まで終了したが、現段階でフレネルレンズ化された重力レンズは目的達成に相応しいと考える。今後(3)～(5)に取り組み、目的達成に向け科学館等で展示して多くの人に使用してもらいたいと考えている。

4. 謝辞及び参考文献

この研究を進めるにあたり、渡會兼也先生にご指導をいただきました。厚くお礼申し上げますと共に感謝する次第です。

- (1) 渡會兼也, 川田明寛, 田中謙一, 西山晋史, 秋月千鶴, 植野健一, 松本桂, 福江純 (2007) 宇宙の蜃気楼「重力レンズで見る世界」: 第7回こどものためのジオ・カーニバル活動報告, 天文月報, 第100巻, P543-549
- (2) 渡會兼也, 樫田豪利, 米原厚憲「重力レンズ効果を教えるための光学レンズの製作」, 2011, 物理教育, 第59巻, P171-174
- (3) 福江純, 山田竜也, 1997, 「重力レンズで探る宇宙」岩波科学ライブラリー, 岩波書店
- (4) 横尾武夫, 加藤好博, 蜂谷正雄, 福江純「手作り重力レンズのすすめ」, 1998, 天文月報, 第91巻, P543-549
- (5) https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/seminar/thesis/2016nishida/2016_Bthesis_nishida.pdf(2021年12月10日閲覧)
- (6) http://astro-wakate.sakura.ne.jp/ss2013/web/syuroku/grcosmo_40c.pdf(2021年12月10日閲覧)

μ^- 粒子による物質の構成元素識別システムの確立

岩井 柊馬、小川 真結 (高2) 【宮城県仙台第二高等学校】

1 原理と研究目的

私たちは、 μ^- の平均寿命により、物質の成分を識別するシステムの確立することを研究の最終目標とした。このシステムは μ^- の透過性を生かし、簡単には観測できない場所の物質の成分の識別を可能にする。宇宙線は、宇宙空間から絶えず降り注ぐ高エネルギーの放射線である。地表で観測できるのは、 μ 粒子がほとんどである。 μ 粒子は不安定な素粒子であるために約 $2.2\mu\text{s}$ で崩壊する。素粒子の平均寿命は、粒子の総数が $1/e$ 倍となるまでにかかった時間と定義される。 μ 粒子には負電荷をもつ μ^- 、正電荷をもつ μ^+ がある。 μ^- は電子と同じ大きさの負電荷を持ち、原子に束縛されることがある(μ^- の原子捕獲)。また、束縛された μ^- の寿命は、束縛されなかった μ^- に比べて短くなる。さらに、 μ^- を捕獲する原子の原子番号が大きいほど、 μ^- の平均寿命は短くなることが知られている。本来 μ 粒子の観測には大規模な観測装置が必要であるが、研究の最終目標達成には観測機材が大きいことは課題である。本研究では、小規模な機材で μ^- の平均寿命を導出することを目標に実験を行った。

2 実験方法

今回はシンチレーターと光電子増倍管が内蔵されているシンチレーション検出器を4台用いて観測を行った。シンチレーターは μ 粒子が通過、または内部で崩壊する時、微弱な光を発する。その光を光電子増倍管は電気信号に変換。観測された信号をパソコンに記録し、Pythonで解析を行う。

同じチャンネルで2回観測された信号を、1度目を「入射」、2度目を「崩壊」とする。信号の観測時間の差を μ 粒子の崩壊にかかった時間とみなす。これらのデータを集め、縦軸を「崩壊した μ 粒子の個数」、横軸を「崩壊にかかった時間」としてグラフにフィッティングを行うことで平均寿命を導出する。

実験1では検出器を用いて μ 粒子の正負を区別せず平均寿命を導出した。

実験2では μ 粒子の正負を磁石を用いて区別し、それぞれの観測される割合を調べる。その後得られた値を用いて実験1の結果を補正し μ^- の寿命を導出する。

実験3ではシンチレーターに3種類の金属板 (Al, Fe, Cu) を挟み、それぞれに影響を受けた μ^- の平均寿命を導出する。

3 結果

実験3の結果は表1のようになった。表1の値をグラフに表すと図1のようになる。

表1 金属板の種類と寿命

金属板の種類	寿命 [μs]
なし	2.09 ± 0.22
Al	1.93 ± 0.25
Fe	1.86 ± 0.24
Cu	1.59 ± 0.23

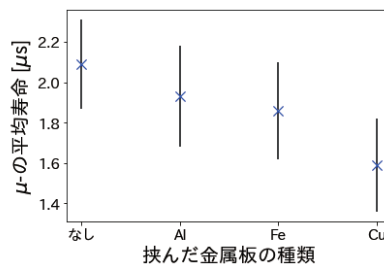


図1 μ^- の平均寿命の挟んだ金属板の種類による違い

4 考察

μ^- の平均寿命は、Al板、Fe板、Cu板を挟んだとき、金属板を挟まなかったときに比べて短くなった。このことから私たちの観測装置で、それぞれの金属板の影響を受けた μ^- を観測できたと考えられる。しかし、先行研究[3]によると μ^- の平均寿命は、Alの影響を受けた場合約 $0.880\mu\text{s}$ 、Feの影響を受けた場合約 $0.201\mu\text{s}$ 、Cuの影響を受けた場合約 $0.160\mu\text{s}$ である。私たちの研究結果はこれに比べ遥かに長いことから、今回の私たちの実験で、金属板の影響を受けた μ^- の数が少なかったと考えられる。

5 展望

今回の研究で、金属板を用いて μ^- の平均寿命を求めたところ、金属板の影響を受けた μ^- の数が少なかったと考えられる結果となった。私たちの研究の最終目標である、 μ^- による物質の構成元素識別システムを確立するために、今後は、物質の原子に μ^- が捕獲される割合の立式や、 μ^- のみを観測することを目標に研究を行っていきたい。

6 参考文献

- [1] T. Yamazaki et al., Phys. Scr. 11, 133 (1975)
- [2] Zyla et al. (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp. Phys. 2020, 083C01 (2020) and 2021 update
- [3] T. Suzuki et al., Phys. Rev. C 35 (1987) 2212.

天体を見ることが人の心に与える影響 — 星空で癒されることの探究 —

河越 優花 (高2) 【西武学園文理高等学校】

要 旨

星空を見ることには癒しの効果がある。プラネタリウムには癒し効果があると報告されているが、高校生に対する実際の星空に対する効果は明らかになっていない。この探究では、高校生への星空による癒しの効果を調べることを目的とした。まず、埼玉県西部の星空を撮影して星空に癒し効果があると確かめた。次に、プラネタリウムのロコミから癒しを感じた人が使う言葉が分かった。今後は、高校生に星空を見てもらい、見る前後での様々な変化を測定する。これにより、星空による癒しの効果を明らかにする。

1. はじめに

私は星空を見ることには癒しの効果があると考えます。日本国語大辞典では「癒し」の『心の傷や苦悩などがおさまって気分が安らくなること。』と定義される。星空による癒しは自分の経験に基づく以下のことがあげられる。まず、気持ちが沈んだとき、星空を見るとそれまで心の中で気になっていたことを一時的に忘れられて楽になる。さらに、それを見たあとで同じこと（悩んでいたこと）を考えても心が軽くなる。これまで、星と空による癒しの効果については、例えば、江尻と石上（2019）による報告が知られている。これによるとプラネタリウムを見る前後でリラックス効果が認められた。しかし、実際の星空を生で見た時の癒しの効果の程度は明らかになっていない。

そこで、本研究では高校生を対象とする星空の癒し効果について検証した。この検証は次の3点からなる：(1) 埼玉県西部における星空の癒し効果の有無を判断した (2) プラネタリウムで癒された人が使う癒しを表現する言葉を調べた (3) 高校生が星空から感じる癒し効果を評価する。

2. 検証

(1) 埼玉県西部の星空（冬）の調査

—この地域の星空で癒しは感じられるか

2020年12月、2021年1月ならびに2021年12月、2022年2月にオリオン座周辺の星空を撮影した（図1）。この時期は星空が十分見えるため、この地域での星空による癒し効果があると予想される。



図1 埼玉県狭山市の星空 (2021年1月撮影)

(2) 旅行会社ウェブサイトのロコミの分析

一般人が星と空と癒しを繋げる際に用いている言葉を調べた。大手旅行会社のウェブサイトにあるプラネタリウムの「ロコミ」の日本語から癒しを感じた人の割合とそこで使われる言葉を抽出した。その代表的なものはつぎのものである：癒された・眠くなった・リラックスできた・気持ちよかった・星空の中を本当に旅してきた気分であった。また、AI テキストマイニングを使い、単語出現頻度を調べ、ワードクラウドなどの解析を行った。用語の感情（ポジティブ・ネガティブ）を見ると、喜びや好きが高かった。このような言葉が星空を見る前後で抽出できれば、癒し効果があると判断できると考えた。

3. まとめと展望

この探究では、星空による癒しの効果を調べることを目的とした。まず、私は埼玉県西部において、星空を撮影し、この地域の星空に癒し効果があると判断した。次に、私は旅行会社のロコミを調査し、癒されたと感じた人が使う言葉が分かった。これを踏まえ、今後は高校生に星空を見てもらい、見る前後で言葉、心拍数、体表温度の測定をする。これにより、星空による癒しの効果を明らかにする。なお、星空にどれくらい癒されるかは被験者の星空への関心度によると考えられる。そのため、癒し効果とその背景にある星空への関心度の変化の関係についても考えていきたい。

4. 参考文献

江尻綾美, & 石上暁音. (2019). 癒しを与えるプラネタリウムコンテンツの取り組み. *Konica Minolta technology report*, 16, 147-151.

“いやし【癒】”, 日本国語大辞典 (小学館), ジャパンナレッジSchool, <https://school.japanknowledge.com>, (参照日: 2022/1/26)

もしもダークマターがなかったら、どんな宇宙になるか

横須賀高校Principia-IIダークマター研究グループ：

渡辺 桃加、唐木 京美、黒沼 颯太、森田 晴貴、細川 伶太郎（高2）【神奈川県立横須賀高等学校】

【序論/目的】

私たちは1年から2年間宇宙物理学を学んできた。1年次に抱いたダークマターの及ぼす重力レンズ効果や銀河回転への作用の不思議さを、2年次は逆説的に「もし、ダークマターが存在しなかったら...」を追求することでその存在を確信しようと考えた。

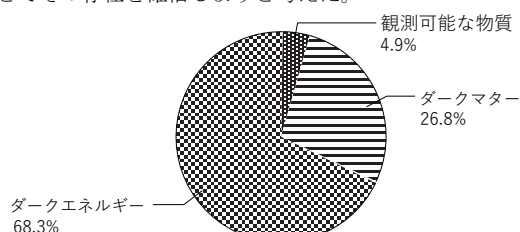


図1 宇宙の組成^[1]

【研究】ダークマターの存在を否定する。

1. ダークマターに代わる物理量の検討

ダークマターの存在の根拠となる2つのケースで

(1) 重力レンズ効果：光の経路を曲げる作用素として「真空度」による時空間への力学作用を提案。

(2) 大規模銀河の周縁部の回転速度の維持：「真空度」による周縁物質への力学作用を提案。

「真空」は「無」ではなく、電磁気学の「仮想接地」すなわち平衡する正負の力の中点的作用ではないか。アインシュタインが宇宙項を真空の負の圧力とし^[2]、ホーキングの宇宙誕生以前のエネルギーが3次元と「直交」する次元に蓄えられていたとの説と電気「平衡」・「不平衡」が直交することに基づく。

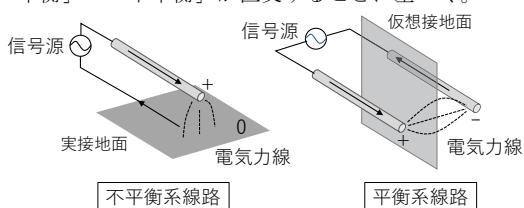


図2 電気信号における不平衡・平衡と仮想接地

2. 宇宙創生時にダークマターをゼロにする

ダークマターは存在するものとして、これを否定する。その時期を宇宙創生時とする。宇宙を表す基本法則はアインシュタイン方程式(1)ととらえ、その宇宙創生時近くを表す変形がフリードマン方程式(2)であると理解した。

これらの式に含まれるダークマター要素をゼロにして宇宙の変化を求める。

<アインシュタイン方程式>^{[1],[2]}

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad \dots (1)$$

ここで Λ はアインシュタインの宇宙項である。

<フリードマン方程式>^{[1],[2]}

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 + \frac{1}{a^2}kc^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda c^2}{3} \quad \dots (2)$$

a は空間の宇宙中心（膨張前の中心）からの距離

宇宙創生時はすべてがエネルギーのみとした場合に式(2)において曲率 K と質量密度 ρ をゼロとして式(3)となると考える。ここで H は膨張率を表す。

ここで、 Λ を構成するエネルギー要素から、まずはダークマター由来の作用をゼロとする。

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{\Lambda c^2}{3} = H^2, \quad \frac{da(ct)}{dct} = Ha(ct) \Rightarrow a \propto e^{Hct} \quad \dots (3)$$

ダークエネルギーは、宇宙の急激な膨張が収まったのちの再度の膨張を司っていると考えられている。

私たちは、ダークエネルギーは宇宙創生時から膨張の一役を担っていたのではと考え、一旦膨張が収まったのちに作用が顕在化したものと考えた。(図3)

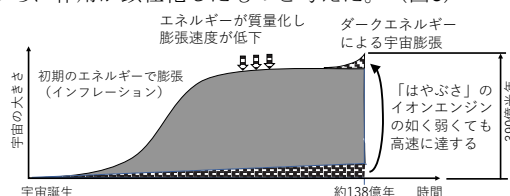


図3 ダークエネルギーによる宇宙膨張の解釈

また、ダークマターを生成した源がダークエネルギーであるとの説もありダークマターの存在をゼロにしてもダークエネルギーから新たなダークマターが生成されると想定。以上から通常の膨張率は $H=0.57735$ 、ダークマター=0では $H=0.49396$ 、ダークエネルギーもゼロとした場合は $H=0.12780$ として、3者の膨張度合いを時間 0.5μ 秒まで計算したものを図4に示す。

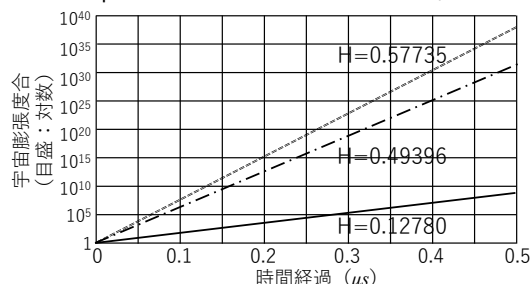


図4 ダークマター/ダークエネルギーの有無と膨張
ダークマター/ダークエネルギーがある場合(破線)は 0.5μ 秒で約 10^{37} 倍となるが、無い場合(実線)はわずか 10^8 倍となる。しかしインフレーション理論が示す 10^{-36} 秒から 10^{-34} 秒の間に 10^{33} 倍膨張した図にはなっていない。

【結論】ダークマター/ダークエネルギーを否定する上で、1.代替力に「真空度」ととらえ、時空に直交する次元と背反する物理量の存在を仮定した。2.宇宙創生時でダークマターをゼロとし膨張を試算し膨張が著しく低下することを確認した。しかしインフレーション理論の時間尺度での数値は得られていない。

【考察・課題】以下、今後の検討課題を示す。

- ・宇宙初期 10^{-36} 秒から 10^{-34} 秒の間での膨張の理論式
- ・宇宙真空部におけるダークマター以外の引力要素
- ・ダークマターとダークエネルギーの関係性

なお本研究は文部科学省Super Science Highschool事業の一環として行われた。指導の榊YRPに感謝する。

<参考資料>

[1] 小玉英雄ほか,“宇宙物理学,” 共立出版, 2014

[2] 高原文郎,“宇宙物理学,”新版 朝倉書店, 2015

[3] 小松英一郎訳,“ワインバーグの宇宙論,上・下”日本評論社,2013