

日本天文学会 2023 年春季年会

第 25 回 ジュニアセッション予稿集

2023 年 3 月 14 日

日本天文学会 第25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

こんにちは！ 日本天文学会を代表して、みなさんのジュニアセッションへの参加を心から歓迎します。昨年は新型コロナウイルス感染症の蔓延状況に鑑みオンラインでの開催としましたが、今年は対面も取り入れたハイブリッド開催です。みなさんと直接お会いできるのを楽しみにしています。今年は57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、自然との対話を進め、これだけの申し込みをいただいたことは、ひとえにみなさんの興味と熱意の表れと思い、嬉しく思います。ジュニアセッションでは、ぜひ、これまでの取り組みの成果を伸び伸びと発表してください。今回は日本天文学会春季年会の開催期間中に行われます。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。

みなさんは今回のジュニアセッションでの発表に向けた活動の中で、「研究」というものの一端に触れてきたと思います。学校の勉強では、問題には必ず「正解」があります。それは、すでに人類が理解した知識を習得する過程だからで、それ自体とても大事なことです。それに対して、研究は未知のこと、わからないこと、に挑みます。それは、必ずしも難しいことではありません。私たちの身の回りには、わかって見れば単純なことであっても気付いていないことはたくさんあります。特に、宇宙については、そのようなタネは尽きません。自然の前では誰でも平等です。みなさんが、自由な発想、着想で取り組む研究が、自然への理解を大きく進めるきっかけになるかも知れないのです。

最近、一般社会でも博士人材の重要性が叫ばれるようになってきました。世間では「博士」というと「もの知り」というイメージがあります。それは確かに一つの側面ではあるのですが、本質ではありません。博士の本当の価値は、どんなことであれ解決したい目標を抱く「夢」、わからないことに挑む「勇気」、そしてそれを解決できる「力」の3つを備えているところです。みなさんは研究を進める中で、多かれ少なかれそれらを自然に養ってきていると思います。まさに、博士への第一歩を踏み出していると言えるでしょう。また、この能力は、大きく変化しつつある社会を生き抜く上での基盤ともなります。みなさんがこれからも大きな夢を抱き、力をしっかり蓄え、それに向かって勇気をもって進んでいくことを期待しています。

日本天文学会 2023 年春季年会

第 25 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】 : 2023 年 3 月 14 日 (火) 9:30~11:35、13:30~15:25
会場：立教大学 池袋キャンパス + オンライン

【ポスターセッション】: 2023 年 3 月 14 日 (火) 11:35~13:30、15:25~16:30
ポスター会場：立教大学 池袋キャンパス + 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/8z3LXSp6MHsfhJFr6>

コメント受付



【2023 年 3 月 14 日 (火) 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)

座長：江草 芙実 (東京大学)、西沢 敏 (國學院大學栃木高等学校)

A 星空環境・位置天文	: 02、03、04、05、06、08	9:45~10:15
B 太陽・月	: 09、11、12、13、15、16	10:15~10:45
C 太陽系天体	: 17、18、20、22	10:45~11:05
D 系外惑星・惑星形成	: 25、26、27	11:05~11:20

11:20~11:35 ポスター紹介 (各講演 1 分)

01、07、10、14、19、21、23、24、33、41、47、49、50、54、57

11:35~13:30 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)

藤井 通子 (東京大学)、林 隆之 (麻布中学校・麻布高等学校/国立天文台)

E タイセッション	: 28、29、30、31、32	13:30~13:55
F 宇宙探査・開発	: 34、35、36、37	13:55~14:15
G 装置・観測方法	: 38、39、40、42	14:15~14:35
H 恒星	: 43、44、45、46、48	14:35~15:00
I 星雲・星団・星形成・銀河	: 51、52、53、55	15:00~15:20
J その他	: 56	15:20~15:25

15:25~16:30 ポスターセッション

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

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

天文学辞典



目次 Contents.

A 星空環境・位置天文 Dark Skies. / Astrometry.

01P SQM を用いた光害の測定と SQM の信頼性についての検討	10
甘利 道真 (高2) 【東京学芸大学附属高等学校】	
02T COVID-19 流行と光害の関係	11
大賀 龍太、中井 琳子、森本 航太郎 (高2) 【奈良県立青翔高等学校】	
03T 光害の可視化 ～街明かりが夜空に与える影響～	12
東京都立立川高校天文気象部： 吉原 達紀、平岡 七海、千葉 愛璃咲 (高3)、袴田 采海、門馬 暖大 (高2) 【東京都立立川高校】	
04T 道東地域における観測地としての可能性の検討	13
北海道中標津高等学校 天文研究会： 西山 花菜 (高2)、鹿股 惇 (高2)、羽柴 明日香 (高3)、吉田 結里奈 (高3)、本間 晴義 (高1) 【北海道中標津高等学校】	
05T 空のスペクトル計測を簡易化	14
科学研究部物理数学班 天文班：佐藤 巧 (高2) 【東京都立科学技術高等学校】	
06T 月のスペクトルを利用した大気中の物質の調査	15
科学研究部物理数学班 天文班： 鈴木 千草、加知 望 (高2)、紅谷 美月 (高1) 【東京都立科学技術高等学校】	
07P 月の写真からケプラーの法則を求める	16
ハートピア安八天文台ジュニア天文倶楽部： 原田 聡成 (中3) 【揖斐郡大野町立大野中学校】、尾崎 由基 (中2) 【安八郡安八町立登龍中学校】、 古方 伶旺 (小6) 【大垣市立北小学校】、曾我部 文麗 (小5) 【岐阜市立合渡小学校】、 小林 美琴 (小4) 【津島市立南小学校】	
08T 流星の軌道解析 2 ～流星の母天体を探る～	17
福岡工業大学附属城東高等学校科学部： 寺島 皓生、渡邊 花菜、佐藤 真 (高2)、野崎 芙悠 (高1) 【福岡工業大学附属城東高等学校】	

B 太陽・月 The Sun. / Moon.

09T プロジェクト月面X 一月面Xの再現一	18
藤井 涼太、重塚 陽向、村越 遼、杉浦 暢、小池 舞音、片山 わかな、田中 真央 (高1)、西岡 真央、 松本 泰我、佐藤 詩音、安達 実優、佐瀬 芽生、鈴木 理香子、相良 友哉 (高2) 【東京都立墨田川高等学校】	
10P スペクトル解析データを用いた粘性と海の成り立ちに関する地質調査	19
成蹊高等学校 天文気象部：長谷川 創一、浅沼 恵太、青木 亮太 (高2) 【成蹊高等学校】	
11T 皆既月食における月面と夜空の明るさの変化	20
國學院天文部 RGB 班： 山根 史也、小宮 里咲、小平 勘太郎、鹿野 史佳 (高2)、遠藤 優太、舟橋 桃子 (高1) 【國學院大學栃木高等学校】、野間 凱仁、佐々木 桃寧 (中2) 【國學院大學栃木中学校】	

12T ターコイズフリッジの色彩に迫る 2022	21
地学部ターコイズ班: 森 彩香、佐藤 心海、清水 麻央、鷺津 乃英加 (高 2) 【愛知県立一宮高等学校】	
13T 太陽表面の温度分布の測定	22
國府天文部太陽班: 徳永 祐太 (高 3)、山根 史也、小林 亮脩、床井 良寛、石井 克英 (高 2) 【國學院大學栃木高等学校】、 高森 亜門 (中 3)、金子 怜生 (中 1) 【國學院大學栃木中学校】	
14P ウィルソン効果による太陽黒点の深度考察	23
地学部ソレイユ班: 大久保 有華 (高 1)、荻巢 桃依 (高 1) 【愛知県立一宮高等学校】	
15T 太陽黒点から探る宇宙天気	24
武蔵高等学校中学校 太陽観測部: 山田 優斗 (高 2) 【武蔵高等学校】、今津 英翔、栗原 昊士朗 (中 3)、衣斐 航太郎、遠藤 寛也、 星 裕人 (中 2)、岸田 悠吾、皿海 翔大、鈴木 董也、山田 亮、山田 隼士 (中 1) 【武蔵中学校】	
16T μ 粒子検出頻度の周期性と太陽活動との相関解析	25
秋田高校宇宙線班: 池本 雄途、加藤 文也、柴田 圭輔 (高 2) 【秋田県立秋田高等学校】	

C 太陽系天体 *Solar System Objects.*

17T 流星観測へのアプローチ	26
國府天文部流星班: 武石 暖大 (高 3)、山根 史也、横山 藍士、石田 海、古川 涼慧、檜山 和幸 (高 2) 【國學院大學栃木高等学校】、関口 雪那、茶谷 和紀、間明田 梨椰 (中 1) 【國學院大學栃木中学校】	
18T ふたご座流星群の電波観測	27
自然科学部電波班: 垂井 千結、秦 みのり、佐々木 康祐、若城 彩 (高 2)、藤野 大毅、今井 咲里 (高 1) 【京都市立堀川高等学校】	
19P 流星高度と輝線強度の関係	28
地学部スペクトル班: 棚橋 聖悠、井川 瞳、奥村 実季 (高 1) 【愛知県立一宮高等学校】	
20T すばる望遠鏡 HSC のデータから未発見小惑星の検出	29
小林 修也、塩原 吉徳 (高 2) 【新島学園高等学校】	
21P 小惑星 3D モデルの表面状態が光度曲線に与える影響について 一なめらか vs. ざらざら	30
中島 佳人 (高 2) 【新島学園高等学校】、田島 圭 (中 2) 【新島学園中学校】	
22T 分光観測による木星大気の組成の研究	31
地学部: 杉本 遥菜、井上 晴人 (高 2)、青木 小夏、木部 大晟、高野 ころろ、高柳 芽幸、塚原 夏海、 西形 ひより、原 郁磨 (高 1) 【埼玉県立浦和西高等学校】	

発表へのコメントは、インターネットで受け付けています。
<https://forms.gle/8z3LXSp6MHsfhJFr6>

コメント受付



D 系外惑星・惑星形成 *Extrasolar Planets. / Planet Formation.*

23P	恒星風からはかる生命の存在可能性	32
	もし天 2022 Vento Stellare 班： 松尾 恭加（高2）【大阪府立富田林高等学校】、神崎 洸緒（高2）【四天王寺東高等学校】、 大野 智輝（高1）【麻布高等学校】、吉川 梨音（高1）【田園調布雙葉高等学校】	
24P	恒星・惑星の条件からハビタブルゾーンの存在を探る	33
	葛西 義之介（高2）【東京学芸大学附属高等学校】	
25T	惑星系における軌道の重力の影響と惑星の特徴	34
	東塚 匠飛、三村 昊（高2）【兵庫県立姫路西高等学校】	
26T	系外惑星の公転軌道の離心率に関する考察	35
	新井 優凜子、江本 祐大、北原 美乃里、森本 朱音（高2）【大阪府立北野高等学校】	
27T	系外惑星の内部熱源の起源に関する考察	36
	増田 陸人、藤木 美羽、大下 怜莉、藤井 朝弘（高2）【大阪府立北野高等学校】	

E タイセッション *Thai Session.*

28T	The efficiency test of Lunar dust test by comparison of lunar color with the value of dust particle in the air (Case study from Phetchaburi province, Thailand)	37
	Supitsara Kongsatan (Grade 12 equivalent) 【Benchamatheputhit Phetchaburi School】	
29T	The simulation of the solar system's interplanetary eclipses	38
	Kritsakorn Sataratpayoon, Kanrawee Chamsaeng, Pimchanok Kesorn (Grade 12 equivalent) 【Prommanusorn Phetchaburi School】	
30T	The Simulation of Comet Orbit in Solar System	39
	Nattawat Chaitong (Grade 11 equivalent) 【Prommanusorn Phetchaburi School】	
31T	Finding the synodic rotation period of 20-Massalia	40
	Leonardo Tiditada Pedersen (Grade 10 equivalent) 【Surawiwat School, Suranaree University of Technology】	
32T	The study of orbital periods and parameters of eclipsing binary stars NY Vir and HW Vir	41
	Yuji Yagi (Grade 10 equivalent) 【Varee Chiangmai School】	

F 宇宙探査・開発 *Space Missions. / Space Development.*

33P 高度の違いによる放射線量の違いについて 42

天文部:

小川 有里、野澤 瑛人、佐々木 花、関口 みのり、井上 空、市園 瑠菜、島貫 夏樹、荒木 慶斗、安藤 名那、澄田 紗弥、本領 彩、鈴木 苺愛、梅田 颯太、浅倉 大和、矢崎 鼓虎、浪江 陵太、刈込 大聖、笠井 朱莉、木幡 志歩乃 (高2)、大野 伶音、高橋 空希、石田 春瑠、宮本 笑、秋田 結喜 (高1) 【星野高等学校】

34T 月面望遠鏡観測と超小型系外惑星探査機によるハビタブル惑星の定義の再検討 43

第21回 君が作る宇宙ミッション Phobos 班:

市川 友唯 (高2) 【茗溪学園高等学校】、橋本 壮 (高3) 【長崎県立佐世保北高等学校】、佐藤 裕成 アレックス (高2) 【渋谷教育学園渋谷高等学校】、住吉 莉玖 (高2) 【開智未来高等学校】、坂田 和花 (高2) 【フェリス女学院高等学校】、中村 成夢 (高3) 【大谷高等学校】

35T エンケラドスの内部海における生命探査計画 44

第21回 君が作る宇宙ミッション Phaethon 班:

稲田 孟 (高2) 【桐朋高等学校】、遠藤 綾乃 (高1) 【広島市立基町高等学校】、川崎 琉菜 (高1) 【静岡県立磐田南高等学校】、後藤 充希 (高2) 【神奈川県立小田原高等学校】、古川 こと葉 (高1) 【四天王寺高等学校】、矢尾 海心 (高1) 【広尾学園高等学校】

36T エウロパ・エンケラドスへのフライバイサンプルリターンの軌道設計 45

妻沼 朔寿 (高専3) 【旭川工業高等専門学校】

37T 地球外天体における冗長性と耐久性のある電力システムの提案 46

第21回 君が作る宇宙ミッション SHIOLI 班:

飯塚 凜人 (高1) 【秋田県立大館鳳鳴高等学校】、菅野 花鈴 (高1) 【東京都立多摩科学技術高等学校】、島貫 統 (高1) 【愛知県立瑞陵高等学校】、森下 美海 (高2) 【雙葉高等学校】、孫 翰岳 (高3) 【筑波大学附属駒場高等学校】、滝澤 光冬 (高2) 【秋田県立横手高等学校】

G 装置・観測方法 *Instrumentation. / Methods.*

38T 木辺鏡復活プロジェクト(ドブソニアン望遠鏡製作) 47

修道天文班:

宮坂 善、田原 大嗣 (高2)、冨原 脩 (高1) 【修道高等学校】、藏田 寛樹、関内 敬梧、井上 凌我、山中 竣介 (中2) 【修道中学校】

39T 21cm 波長観測から知る銀河 48

科学研究部 物理数学班 天文班:

横山 琉汰、中嶋 岳楽、白水 雅、赤池 桜輔 (高3)、佐生 正武 (高2)、天野 航 (高1) 【東京都立科学技術高等学校】

40T 日中の天体観測における植毛紙を用いたフード延長の効果 49

石川県立七尾高等学校 SSC:

境谷 佳純、塩崎 桃子、中野谷 蒼汰、山下 未来 (高2) 【石川県立七尾高等学校】

発表へのコメントは、インターネットで受け付けています。
<https://forms.gle/8z3LXSp6MHsfhJFr6>

コメント受付



41P	デジカメによる等級測定の有効性の検証 ～皆既月食中の最微星の等級測定を通して～	50
	鈴木 淳那、恒行 郁奈、皆川 萌香 (高2)、生悦住 朔彩、小野寺 耕嬉、佐藤 希、西新 奈央 (高1) 【横浜市立戸塚高等学校】	

42T	星の色の研究II ～オールドカメラで三色測光～	51
	福岡工業大学附属城東高等学校 科学部： 宮脇 悠河、黒木 颯士 (高2)、中島 拓海、野崎 芙悠 (高1) 【福岡工業大学附属城東高等学校】	

H 恒星 Stars.

43T	うお座 DW (DW psc.) の測光観測	52
	舞子高校天文気象部： 垂井 麻亜子、大島 瑞希 (高3)、前田 凌英、林 穂乃花 (高2) 【兵庫県立舞子高等学校】	

44T	脈動型変光星 みずがめ座 CY 星の測光観測	53
	徳島県立城南高等学校科学部 (地学班)： 江淵 仁尊 (高2)、中岸 奏登 (高2)、村上 裕紀 (高2) 【徳島県立城南高等学校】	

45T	カシオペア座 γ 星の光度変化とガスリングの構造の関係	54
	天文部： 早川 晴、三瓶 青太 (高2)、西尾 優里、今井 雪智、田中 瑛大、永井 大蔵 (高1) 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、町田 日向 (中3)、青木 康生 (中1) 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校附属中学校】	

46T	TESS の観測データによるこいぬ座 YZ 星の恒星フレアと太陽フレアの比較	55
	池田 実紀、石井 理子、板野 彩矢、奥山 もにか、川田 蒼汰郎、近藤 陽太、榎 日菜子 (高1) 【兵庫県立北摂三田高等学校】	

47P	仙台市天文台ひとみ望遠鏡による M57, M27 の観測	56
	竹山 愛理、伊藤 真生、佐藤 睦 (高1) 【東北学院榴ヶ岡高等学校】	

48T	アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析 —プログラミングを用いた中心星の質量解析—	57
	黒木 あやめ、足立 心愛 (高2) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】、 山田 啓悟、田川 智也 (高2) 【愛知県立明和高等学校】	

I 星雲・星団・星形成・銀河

Nebulae. / Star clusters. / Star formation. / Galaxies.

49P	Python プログラムを用いた散開星団の星の色の解析	58
	松本 こころ、泰楽 翔和、野口 隼佑 (高2)、亀井 沙世、早川 桂都、樋口 洋平、新井 悠真 (高1) 【駿台学園高等学校】	

50P	HR 図を用いた散開星団 M7 の年齢推定	59
	大村 優太、園田 涼、高柳 颯人、鈴木 愛奈、松岡 桃子 (高1) 【横浜市立戸塚高等学校】	

51T 分子雲の密度と前主系列星の質量との関係 60

もし天 2022 ねぶらぼ〜班:

谷敷 怜空 (高専 2) 【豊田工業高等専門学校】、坂上 ふく (高 1) 【S 高等学校】、
梅津 日菜子 (高 2) 【山形県立米沢興譲館高等学校】、
早川 晴 (高 2) 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】

52T 木曾 105cm シュミット望遠鏡での H α 線観測に基づいた銀河系の星形成率の推定 61

銀河学校 B 班:

楠元 康生 (2022 年卒) 【久留米大学附設高等学校】、藤本 真優 (2022 年卒) 【神戸女学院高等学部】、
藤田 真広 (高 3) 【大阪星光学院高等学校】、川畑 隆盛 (高 3) 【ルネサンス高等学校】、
佐々木 ハナ (高 2) 【札幌日本大学高等学校】、三井 敬斗 (高 2) 【駿台甲府高等学校】、
下河邊 太智 (高 2) 【海城高等学校】、谷敷 怜空 (高専 2) 【豊田工業高等専門学校】

53T SDSS MaNGA データを用いた、相互作用銀河における星形成活性化の検証 62

名大 MIRAI GSC 2019:

山本 大凱 (2022 年卒) 【愛知県立岡崎高等学校】、大崎 壮太 (2022 年卒) 【愛知県立豊田西高等学校】

54P 3C273 のスペクトル解析 63

巣鴨中学校地学班:

青山 曉信 (中 2)、峯 輔孝 (中 1) 【巣鴨中学校】

55T そして誰もいなくなった ~近傍銀河の観測によるクェーサーの研究~ 64

もし天 2022 QUASARS:

宇野 航太郎 (高 2) 【金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校】、
昇 航玄 (高 2) 【東大寺学園高等学校】、古川 こと葉 (高 1) 【四天王寺高等学校】、
細川 紗椰 (高 1) 【雙葉高等学校】

J その他 Others.

56T 地域の方への天文イベントを通して得たアンケートの分析 65

小牧 亮介、清水 大斗、野見山 航太、藤吉 莉央 (高 2) 【横浜市立戸塚高等学校】

57P 協定世界時及び国際原子時を用いた新たな時刻体系 ~うるう秒廃止に関連して~ 66

成蹊高等学校 天文気象部:

小西 堅、宮内 百合香、松本 順、高山 耕汰、吉岡 初音、田中 大樹、市原 楓之介、河崎 巧、
鶴田 花梨 (高 1) 【成蹊高等学校】

発表へのコメントは、インターネットで受け付けています。
<https://forms.gle/8z3LXSp6MHsfhJFr6>

コメント受付



SQMを用いた光害の測定とSQMの信頼性についての検討

甘利 道真（高2）【東京学芸大学附属高等学校】

要旨

Sky Quality Meter (以下, SQM) を用いて, 夜空の明るさを計測することで, 人工物の光によって夜空が明るくなり, 星が見えなくなる光害の実態について研究を行った。都心の街の中でも, 場所によってはある程度星を観察することができる環境もあることがわかった。また, SQMの精度についても検討を行った結果, SQMはある程度正確に計測を行う, 信頼に足る計測器であると言えた。

はじめに

都心に住む人々にとって, 星を見る機会は少ない。これは, 都会の建物の光が上空のチリに散乱することで, 夜空が明るくなる, 光害の影響によるものである。本研究は, 光害の実態と, 光害の計測によく用いられるSQMの信頼性について検討を行う。

I. SQMによる光害の測定

1. 方法

SQMを用いて, 上空のSQM値を計測した。その際, 計測範囲(センサーから角度 80° の直円錐)内に光源や建物が無いことを確認した。なお, SQMによる計測値は, 夜空の明るさを, それと相当する明るさの星の等級数で表した数値となっている。つまり, SQM値が小さいほど夜空は明るく, 大きいほど夜空は暗いと言える。

2. 結果および考察

2022/8/22 20:30~21:20に, 世田谷区上用賀周辺を計測した。高速道路や車通りの激しい場所で計測すると, SQMの値は小さく出た。車のライトが空気中のチリに散乱しているためである。SQM値が大きく出た場所は, 公園や神社で計測したもので, 大きな通りから少し離れたところにあり, 周辺に街灯もなかったためだと考えられる。

7/23に箱根で計測を行った。その日の日没時刻は18:53であった。それから1時間後の19:53のSQM値と, 日没から3時間後の21:26のSQM値では約1.5の大きな差があった。日没後2,3時間程で, 夜空は完全に暗くなる。

8/14 21:26に甲府で計測をした。SQM値は18.43であり, 都心から100km離れた地点にしては値が大きいと感じた。甲府盆地内は平らでひらけているので, 光を遮るものがなく, 上方へ発散しているためだと思われる。

8/16 21:45に神津島で計測を行った。神津島は, 光害対策によって夜空の暗さが一定基準に達したことで認められる星空保護区に指定されている。島内中心部の浜で計測を行ったが, SQM値は20.01でとても高い値となった。

3. 結論

われわれの住む東京などの都心では, SQM値は約16.5(平均値)ほどであり, 星を満足に見ることができない環境ではないが, 場所によってはSQM値が17.24ほどで, 星座を見たりすることもできるほどの明るさになることがわかった。一方で, 都心から数十キロ離れたと, 周囲の環境に注意すれば満足のいく星々を見ることが出来る。また, SQMの計測が, 計測環境が値に影響を及ぼしていると思われるので, 一つの地点で複数回計測し, 平均値を取るなどすべきだと思った。

II. SQMの信頼性についての検討

1. 方法

窓のない倉庫を暗室として使用し, 以下の実験を行なった。図1のように, PC, SQM, 照度計を配置した。PCの明るさを最大に固定した状態で, スクリーンに半紙21枚を1枚ずつ被せていき, 照度計とSQM値を記録した。誤差の影響を減らすため, これを3回行なった。また, 倉庫(暗室)は外の光を完全に遮断しており, 光源以外の要因で照度・SQMの値が影響されることはない。



図1 実験の概要図

2. 結果および考察

星の等級数と見かけの明るさの関係式であるポグソンの式(m 等級の見かけの明るさを I_m , n 等級の見かけの明るさを I_n とした時, $m - n = -2.5 \log \frac{I_m}{I_n}$)を用

いる。この式の m , n にあたるのがSQM値, I_m , I_n にあたるのが照度の値である。 m , I_m を半紙0枚の時の値(基準値とする)に固定し, n , I_n にそれぞれの値を代入する。ここで, ポグソンの式の右辺が A , 左辺が B とすると, 理論上, A と B の値は等しくなるはずであるので, A と B の差が0に近いほど, 理論的な値が取れていることになる。すると, 縦軸を B , 横軸を A の値とした時, 図2のグラフが書けた。理論上 $B=A$ であるから, $B-A$ グラフは一次関数 $y=x$ のグラフと一致するはずである。 $B-A$ グラフを, 線形近似すると, 変化の割合は1.0657で1に近く, y 切片は-0.0658で0に近い数値となった。決定係数 R^2 値は0.998で限りなく1に近かった。

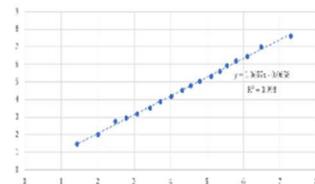


図2 縦軸を B , 横軸を A の値とした時の $B-A$ グラフ

3. 結論

照度計・SQMで計測した値をポグソンの式に当てはめると, それがおおよそ成り立った。このことから, SQMは明るさに応じてある程度正確に計測していることがわかった。また, 上の図2のグラフおよび考察では, 半紙の枚数が増えるにつれて, すなわち暗くなるにつれて, わずかに A と B の差が大きくなっていった。その疑念を解決するためのデータ処理の結果, これは半紙0枚と半紙十何枚とは明るさの差が大きすぎるからだと結論づけられた。

COVID-19 流行と光害の関係

大賀 龍太、中井 琳子、森本 航太郎 (高2) 【奈良県立青翔高等学校】

要旨

本校の先行研究の「奈良県内の夜空の明るさを計測する」を基に、現在流行している COVID-19 が光害にどのような影響を与えているのか疑問に思い、奈良県御所市と奈良市登美ヶ丘の2地点で SQM-L を用いて各月の夜空の明るさを測定し、その月の感染者に注目して研究した。結果から、都市で人口が多いほど COVID-19 の流行による感染者数の増減によって光害の影響が増減するとわかった。

1. 研究背景

光害とは、過度な照明の使用、配光の不適切など、周辺環境への配慮が不十分なために起こる様々な悪影響のことである。現在流行している新型コロナウイルスについて、光害にどのような影響を与えているのか疑問に思い研究した。

2. 研究方法

奈良県御所市と奈良市(登美ヶ丘)で観測を行った。Sky Quality Meter(SQM-L)を用いて、新月の前後2日で快晴の日に、20:00~28:00の間、15分おきに夜空の明るさを計測した。その後、測定したデータと奈良県内の新型コロナウイルスの感染者数を Excel でグラフ化した。

3. 結果と考察

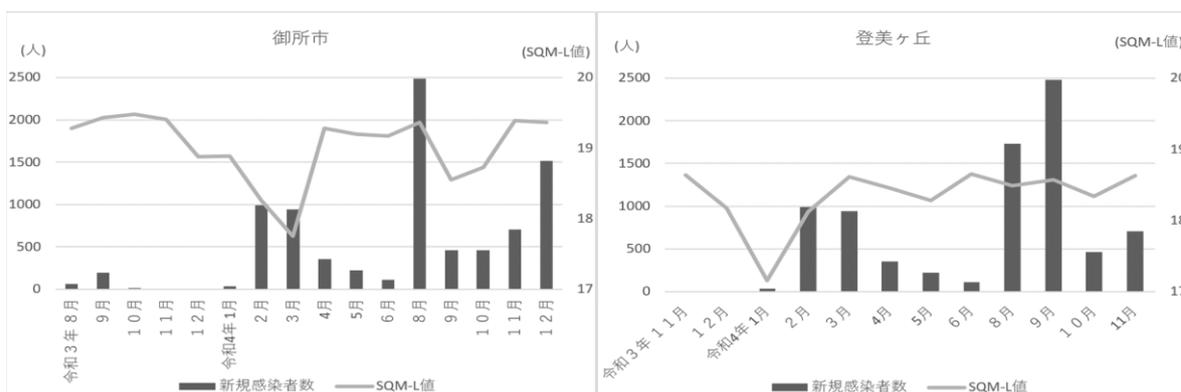


図1 (左) 御所市の新規感染者数と SQM-L 値の関係 (右) 登美ヶ丘の新規感染者数と SQM-L 値の関係

図1(左)のグラフをみると、御所市では感染者数と SQM-L 値に関係は見られず、COVID-19 の流行は夜空の明るさにほとんど影響しないことが分かる。また、図1(右)のグラフをみると、感染者数と SQM-L 値について、登美ヶ丘には正の相関があったことから、都市で人口が多いと感染者数の変動によって町の人出や照明量に影響が出やすく、それに伴い SQM-L 値も変化することが分かった。御所市や、人口が少ない地域では、感染者数による外出規制などが緩く、照明数も少ないため、感染者数によって光害への影響は出にくいと考えた。以上から、都市で人口が多いほど、COVID-19 の流行により光害の影響も増減するといえる。

4. 参考文献

- ・過去の天気 (日本気象協会) <https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/dni/>
- ・光害について (環境省) <https://www.env.go.jp/air/life/hoshizorakansatsu/observe-5.html>
- ・「ひかりまち・函館」の夜空は北海道新幹線開業で明るくなったのか? (ジュニアセッション 2017 60P)
- ・SQM-L を用いて奈良県内の夜空の明るさを測定する (ジュニアセッション 2021 14T)
- ・月齢・日の出入り (満月カレンダー) <http://star.gs/cgi-bin/getucal1.cg> ・NHK 奈良県新型コロナウイルス感染者数 推移・累計グラフ <https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/data/pref/nara.html>
- ・新型コロナウイルス 町の人では? (NHK) <https://www3.nhk.or.jp/news/special/coronavirus/outflow-data/>

5. 謝辞

登美ヶ丘のデータを取ってくださった、奈良県立国際高校の水本祐之先生にこの場を借りて感謝申し上げます。

光害の可視化～街明かりが夜空に与える影響～

東京都立立川高校天文気象部：
吉原 達紀、平岡 七海、千葉 愛璃咲 (高3)、袴田 采海、門馬 暖大 (高2)
【東京都立立川高校】

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、SQM-Lを用いて夜空の明るさを可視化し分析した。

1 はじめに

日々の天体観測から、街明かり、いわゆる光害の夜空の明るさへの影響を感じている。2021年、本部の先輩がデジタル一眼レフカメラを用いた自動撮影によるJPEG画像から夜空の明るさを比較する調査を行った。本研究では、新たに画像データから明るさを可視化する独自の方法を考え、1年10ヶ月分のデータを用いて比較・分析した。また、SQM-Lを用いた全天の夜空の明るさの調査も行った。

2 研究手法

【デジタル一眼レフカメラを用いた自動撮影装置による分析】

(2021. 1. 1～2022. 10. 31)

本校の視程観測のために作成したRaspberry Piで制御する一眼レフカメラNikonD3400(ISO800 f5.6 露出1s 焦点距離55mm)を夜間にも活用し、定時自動撮影した。得られた画像をグレースケール化(※)し、図1の方法で高度ごとの明るさの平均値を時刻毎に短冊にした図を横に365個(1年分)並べ、2年間分を分析した(図2)。

※OpenCVよりY(光度) ← $0.299 \cdot R + 0.587 \cdot G + 0.114 \cdot B$

【SQM-Lによる分析】(2021. 12. 13～14, 2022. 8. 8～9, 12. 14～15)

SQM-Lを仰角10度ごとに傾けながら、全天の明るさについて3回の徹夜観測時に朝まで調査し、明るさの値を可視化した(図7)。

3 結果と考察

・季節や時刻による夜空の明るさの変化

1日の高度ごとの明るさの平均値を色の濃淡で短冊の形に表し、

Pythonで時刻ごとに1年分を並べて可視化した(図2)。本校と気象庁の気象観測データから調査したところ、明るいところは温帯低気圧や前線などで雲が多い時だった。

・夜空の明るさの階級作成と要因

夜空の明るさの比較を客観的に行うために、クラスタリングという機械学習の手法で、独自の階級(5段階)を作成し(図3)、月毎及び時刻毎に可視化するグラフを作成した(図4・5)。月ごとの比較では冬季に夜空が暗い日が多く、時刻では、2～3時に暗い階級の割合が最も多い。雲の量の調査(図6)から、低い部分の雲の量に影響を受けていることが考察された。

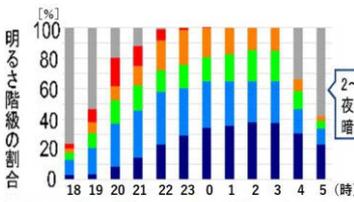


図4 時刻毎の明るさの階級の割合

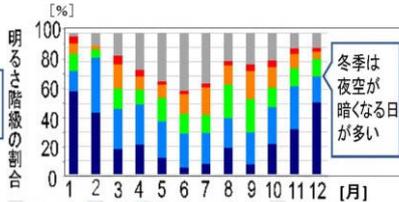


図5 月毎の明るさの階級の割合

・全天の夜空の明るさの分析

8月と12月の2夜に本校屋上で8方位、仰角10度ごとにSQM-Lの角度を変えて1時間ごとに朝まで測定し、Pythonプログラムで計測値を可視化する図を作成した(図7 例：12月の22時と1時)。最も暗い時刻はどちらも1時～3時頃で、周辺の建物の影響を大きく受け、地表付近で明るさの値が大きくなった。

4 まとめと今後の展望

一眼レフカメラの自作観測装置とSQM-Lを用いて、夜空の明るさを可視化し分析した。夜空の明るさは時刻や季節に影響を受け、明るさの階級を作成することにより、雲による街明かりの反射が大きな影響を与えることがわかった。

今後は現在自作しているRaspberry Pi用のHQカメラ(一眼レフカメラより安価で広角)で自動撮影する装置を使い、観測の方向を増やして比較する。また、最近増えたLEDの照明によって明るさが増加したと実感しており、その影響を調査する。

参考文献

- 1) 立川高校天文気象部 平岡七海・吉原達紀ほか「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」2022全国高等学校総合文化祭
- 2) 「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」2022天文学会 06S <https://www.asj.or.jp/jsession/2022haru/files/06S.pdf>
- 3) 本部 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 13S <https://www.asj.or.jp/jsession/2021haru/files/13S.pdf>
- 4) 星空公団デジカメ星空診断ハンドブック

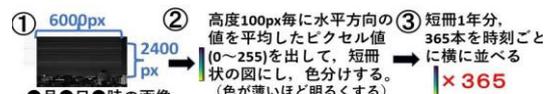


図1 撮影画像から明るさを可視化する方法

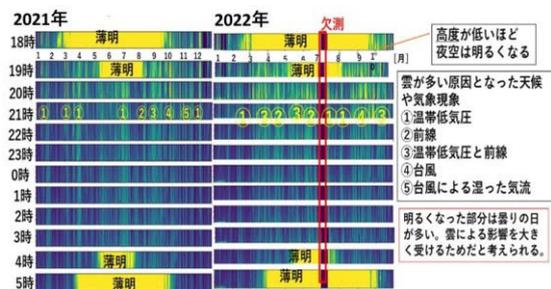


図2 毎日の明るさの平均値を時刻ごとに1年分並べて可視化したグラフ

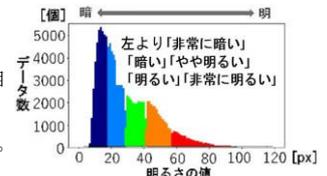


図3 クラスタリングで作成した明るさの階級

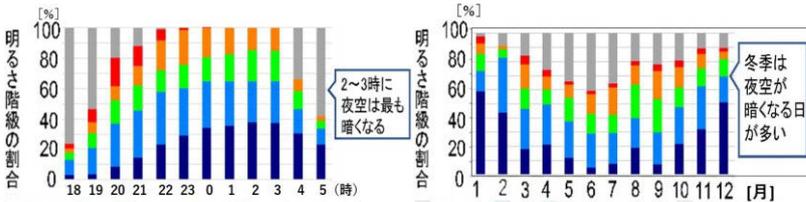


図4 時刻毎の明るさの階級の割合

図5 月毎の明るさの階級の割合

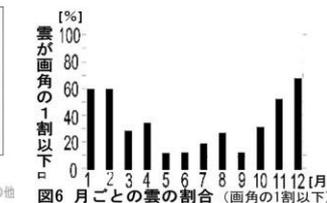


図6 月ごとの雲の割合(画角の1割以下)

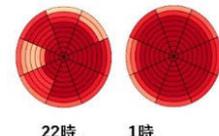


図7 全方位の明るさの可視化

道東地域における観測地としての可能性の検討

北海道中標津高等学校 天文研究会：

西山 花菜 (高2)、鹿股 惇 (高2)、羽柴 明日香 (高3)、吉田 結里奈 (高3)、本間 晴義 (高1)

【北海道中標津高等学校】

要旨

北海道中標津町は、北方圏にあるのみならず、日本の中で極めて東に位置している。過去の報告において、この地理的な特性に起因する天文観測における有意性が指摘されている。開陽台は北海道中標津町に位置し、流星群や天の川などを観測する場所としての利用可能性が期待される。本報告では、先行研究によって指摘された開陽台の観測における有意性を検討した。また、今後開陽台での流星の観測方法を検討するため、中標津高校天文ドームと開陽台の2地点で流星観測を行なった。観測の結果、ふたご座流星群について観測された流星の数のデータを得る事に成功した。観測方法については、観測の際に基準とする星を月から離れた位置にある星にする事が挙げられた。

1. はじめに

北海道中標津町は、過去の報告において、その地理的特性から観測上の優位性が指摘されている(羽柴ら, 2022)。開陽台は、北海道中標津町に位置する展望台であり、本研究では新たな観測地点として利用できないか調査を実施している。その結果、特に流星群や天の川を観測する場所として利用できる事が示唆されている。しかし、実際に開陽台で流星観測を行った報告は極めて乏しい。そのため今回は、観測できた流星の数から以前の報告の確実性を高めるため、中標津高校天文ドームと開陽台の2地点で流星観測を行なう。流星の数についてのデータや、流星観測の方法について調べた結果から、開陽台という観測地における流星の観測方法を検討する。

2. 目的

北海道中標津高校天文ドームと開陽台の2地点で流星の観測を行ない、観測できた流星の数から過去の報告の確実性を高める。また、今後開陽台という観測地で流星観測を行なうために、今回の観測方法の改善案を検討すること目的とする。

3. 方法

北海道中標津高校天文ドームと開陽台の2地点で、それぞれ2人ずつ目視観測を実施する。観測は18時から19時にかけての1時間で実施し、12月14日にふたご座流星群の極大付近に合わせた。天文ドームの設計上の特性から、基準として土星とアルタイルの間を流れた星を計測した。

4. 結果と考察

今回の観測は当初、計3回を予定していたが、天候の影響や観測準備の遅延により、こぐま座流星群としぶんぎ座流星群に関しては、以前の報告の確実性を高める結果を得ることができなかった。しかし、ふたご座流星群については、2地点で観測できた流星群の数の平均に12個の差があった(表1)。このことから、今後も観測を継続する事で、以前の報告に関して、確実性を高める事のできる結果を得られると考えた。開陽台での観測方法については、今回の観測方法では月の位置を考慮しておらず、またそれぞれの流星群で極大とされる時間に観測を行えなかった事から、それらを今後改善する事でより多くの流星が観測可能だと考えられる。

表1 ふたご座流星群の観測で観測された流星の数とその平均

	開陽台	天文ドーム
ふたご座流星群	14	6
	17	9
平均	10.5	22.5

縦・観測した流星群 横・観測地

5. 参考・引用文献

羽柴明日香, 加藤愛絵, 西山花菜. (2022). 道東地域における天文観測拠点としての中標津高校天文ドームの可能性, 北海道高等学校文化連盟令和4年度 第61回全道高等学校理科研究発表大会研究抄録, 101-103.

88星座図鑑. <https://www.study-style.com/seiza/>, (参照2023-01-06)

国立天文台. 2022-03-31. <https://www.nao.ac.jp/astro/basic/obs-meteor-shower.html>, (参照2023-01-06)

空のスペクトル計測を簡易化

科学研究部物理数学班 天文班：
佐藤 巧（高2）【東京都立科学技術高等学校】

要 旨

地上から空や天体を可視光で観測するためにスペクトラムアナライザを用いて観測を行っていたが、専用の機器を必要とせずにカメラで撮った写真から簡易的に空の様子を分析する計測を可能にすることを試みた。その一歩としてスペクトラムアナライザのデータとカメラによる写真のデータを集めるため、視野の調整や波長が既知の光源のデータの収集、空のデータの収集を行った。

1. 動機・目的

私たちは日常的に大気の状態や天体現象を観測するため、空や月等をスペクトラムアナライザとPCのシステムで計測している。計測の簡易化ができないかと考えこの研究を始めた。空や天体をスペクトラムアナライザで観測すると同時にスマートフォンやカメラで写真に撮り、そのデータをAIで学習させる。これによりスマートフォンやカメラで撮った写真から波長を推定できるようにすることを目指している。

2. 実験

スペクトラムアナライザで観測する視野と写真の視野が異なるとはデータの信頼性が下がる。スペクトルを測定するときには専用の光ファイバーを接続し観測を行っており、まず入射角による波長の変化を調べる必要がある。次にスペクトラムアナライザと写真との比較データを波長が明確な光源、空や天体で蓄積する。さらにAIによる解析につなげていく。実験を次の5段階に設定して実験を行っていく。実験1では、角度ごとに動かすための調整を行う。実験2では具体的にデータをとっていく。

実験方法1：スペクトラムアナライザの視野角の確定

入射角による波長の変化のスペクトル計測を角度ごとに行うため、Arduinoとサーボモーターを用いた自作の装置で測定する。

実験方法2：色温度が明確な光源のデータ蓄積

空や太陽光の色温度領域5000K-7000Kのデータを蓄積するため、色温度が明確な光源（「RGBライトUlanzi VL49」：色温度:2000K-9000K）を用いてスペクトラムアナライザとカメラで比較用のデータ測定を行う。

実験方法3：空や太陽光のデータ蓄積

実際の空のスペクトルの測定と写真データの解析を行う。

実験方法4：AIによる解析

実験方法5：実際の観測での試用

※今回は実験1～3について報告する。

3. 結果

実験1：プログラム内で任意の値を入力すると、サーボモーターを角度ごとに動かすことができた。視野角は10度であることがわかった。

実験2：色温度2500K、輝度100%観測を行った結果、夕空のスペクトルと一致しなかった。

実験3：夕空のスペクトルを1分毎に観測して、夕空のスペクトルを計測した（図1）。その時の写真（図2）の黒枠部分のRGBを求めた結果R:245、G:150、B:0となった。【図1・2】

4. 考察

実験1：光ファイバーの向いている角度により、カメラの向きを変えることで少しでも測定領域の一致につながったと考えられる。

実験2：空のスペクトルの代わりとしてデータ数を増やす目的だったが、このままでは空のスペクトルとしての代わりは困難なので、角度の依存性のように補正を行う必要があると考える。

実験3：夕空のスペクトルと写真のRGB値の導出はできたが、スペクトルと写真の領域の完全な一致まではできなかった。スペクトルアナライザの角度の依存性を考慮した解析が必要だと考える。

5. 今後の展望

- ・写真とスペクトルデータの観測領域の一致の精度向上のため、写真からRGB値を求める際に、スペクトルアナライザの角度の依存性を考慮した重みづけを行い、解析していく。

- ・実用化に向けて、写真とスペクトルデータをできるだけ多く蓄積し、AIに同じ観測領域のスペクトルデータと写真から得られたデータを学習させていきたい。

6. 参考文献

[1] 色温度ってなんだろう?? | 光入門 | 技術コラム | REVOX solutions by Photon

<https://www.revox.jp/column/light-intro/colortemperature/>

[2] 角度を指示して動かす <http://maykid.com/post/arduino/413/>

7. 謝辞

本研究を行うにあたり、本校 科学研究部物理数学班顧問 金子雅彦先生、松本大輝先生、科学技術科 第2分野 黒瀬英伸先生のご指導・ご協力をいただきました。ここに感謝いたします。

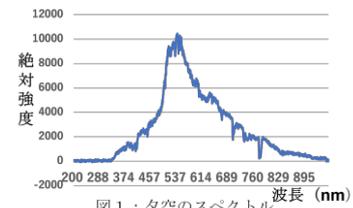


図1：夕空のスペクトル

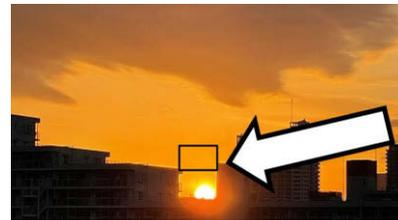


図2：夕空のスペクトル計測時の空の写真

月のスペクトルを利用した大気中の物質の調査

科学研究部物理数学班 天文班：
鈴木 千草、加知 望（高2）、紅谷 美月（高1）【東京都立科学技術高等学校】

要 旨

本研究では昼と夜の月の色が違って見えることから月の反射光の観測・比較を行った。月の反射光を利用することにより大気中の物質の解析を行うことができると考えた。この手法を使って気象状況をより正確に推定することを目指し、気象予報の精度向上を図りたい。

1. 動機及び目的

月の観測をする際、見た目の色や昼と夜のスペクトルに違いがあった。これは大気による影響であると考え、科学的に解明することを目的として研究を行った。

2. 仮説

比較1：天気の違いによるスペクトルの差が昼、夜ともに現れると考えられる。

比較2：昼は月の色が白く夜は黄色く見えるため、夜のスペクトルの方が黄色の波長領域が強くなると考えた。

3. 実験方法

昼と夜のどちらの時間も出ている上弦の月であることを条件に、その反射光を光ファイバーで赤道儀と繋いだスペクトラムアナライザで測定し、大気中の分析・比較を行う。観測日、観測環境は表1に示す。

表1 観測条件

観測日	観測時間(昼)	観測時間(夜)	天気	月齢
4/11	16:36,16:37	19:33,20:02	薄雲	9.7
5/10	16:33,16:35	20:02,20:05	薄雲	9.1
6/9	16:28,16:32	19:55,19:58	晴れ	9.5

〈比較1〉それぞれの日の昼と夜を比較

〈比較2〉3日間の昼及び夜のみをそれぞれ比較

なお、相対強度の最大値である530nmを境に、長い波長を長波長側、短い波長を短波長側とした。

4. 結果

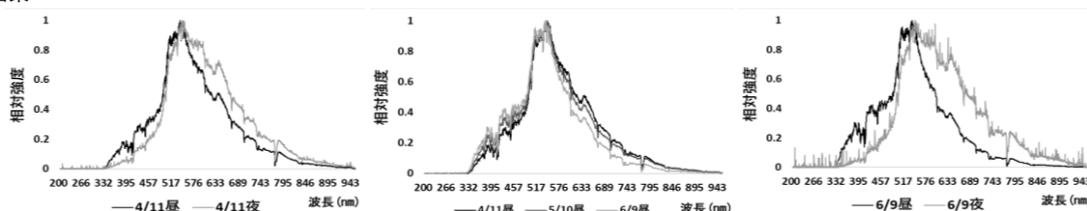


図1 昼と夜の相対強度の比較 (4/11)

図2 昼と夜の相対強度の比較 (6/9)

図3 昼のみの相対強度の比較 (6/9)

〈比較1〉いずれの日も短波長側では昼の相対強度の方が強く、長波長側では夜の方が強くなっていた。また、昼から夜にかけて617nm付近の相対強度が、最も強くなっていた。(図1, 図2)

〈比較2〉昼のみの相対強度を波長毎に比較すると、4/11と5/10の波長毎の相対強度はほぼ同様の結果となっているが、6/9は2日間と比べ短波長側が強く長波長側で弱くなっている。(図3) 夜の比較では短波長側は3日間とも差がほとんど見られないが、6/9だけ長波長側の相対強度が強くなっていた。

5. 考察

〈比較1〉昼は太陽光のレイリー散乱光も多く含まれており、特に6/9は快晴であったため、レイリー散乱の影響が大きかったと考える。また、820nm付近にある水蒸気による吸収帯の影響を比較したが、大きな差は現れなかった。

〈比較2〉6/9が他の2日間に比べ昼のスペクトルに差が出たのは天候の違いによるものと考えられる。4/11、5/10は薄曇りであったため、長波長側で見られるミー散乱が強く影響したと考える。一方、6/9の夜に生じた長波長側の差について、大気中の何らかの物質による影響であると考え、埃や火山灰の反射光を観測した。特に火山灰の絶対強度の比較では、火山灰があると反射光は観測した可視光全域の平均で21%減少していた。相対強度の比較は反射光と比べ短波長側で平均7.8%増加し、長波長側で平均12%減少していた。シャーレに入れて比較したところ、実験用の机の上に火山灰をおいての比較でも同様の結果を示した。この結果と空のスペクトルの関連は今後調べる必要がある。

6. 結論

昼の観測は太陽光による散乱の影響を受け、天候によりその差が大きくなる。また、夜の方がレイリー散乱の影響を受けず、長波長側の相対強度が強くなるため夜は月の色がより黄色く見えると考えられる。また、月の反射光を観測する際、夜の方が太陽光の散乱の影響が少なく、大気中の物質による影響がより大きく出てくると考えられる。

7. 今後の展望

大気中の物質調査の精度を上げるため、月の反射光への月の高度や位置、水や他の物質の影響、さらに季節ごとの違い等の影響を調べるため観測や分析を進めていき、将来的には気象状況のより正確な把握につなげていきたい。

8. 参考文献

倉持将也, ミー散乱とレイリー散乱 http://gpvjma.ccs.hpcc.jp/~tanaka/ugomeku/lingo/mie_rayleigh.pdf

月の写真からケプラーの法則を求める

ハートピア安八天文台ジュニア天文倶楽部：

原田 聡成 (中3) 【揖斐郡大野町立大野中学校】、尾崎 由基 (中2) 【安八郡安八町立登龍中学校】、古方 伶旺 (小6) 【大垣市立北小学校】、曾我部 文麗 (小5) 【岐阜市立合渡小学校】、小林 美琴 (小4) 【津島市立南小学校】

要旨

本研究では、月の写真から月の欠け方(位相)、および、視直径を求め、ケプラーの第1法則(月の軌道が楕円であること)、またケプラーの第2法則(面積速度が一定であること)を検証した。この研究は2014年の本倶楽部での基本的な研究の続編である。月の視直径の変化は地球から月までの距離を反映しているが、地球上の観測地点の位置(地球の半径)による遠近の影響よりも大きかった。このことから月の軌道は楕円軌道であることが分かり、楕円をフィッティングさせることができた。さらに、月は地球に近いときは速く、遠いときは遅く動くことが分かった。

1. 目的

月の写真からケプラーの第1, 第2法則を検証する。

2. 観測方法

ハートピア安八天文台の屈折望遠鏡(口径150mm・焦点距離1,800mm)に、一眼レフカメラ(Nikon D810a)を付けて月の写真を直焦点撮影した。観測時間帯等の制約で撮影できなかったため、ハートピア安八天文台にデータをお借りした。2022年1月5日から1月26日までの期間、計19枚の月の連続撮影を行った。

3. 結果

回転角は、新月を0°、上弦の月を90°、満月を180°、下弦の月を270°、次の新月を360°として表したものであり、位相角でもある。また月の回転角は、図1のように月の5°ごとの位相角のテンプレートに月の写真を重ね合わせて計測した。

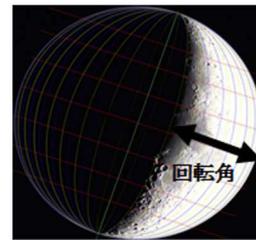


図1 回転角の測定

連続する二日間の回転角の差と撮影時刻の差から、公転速度を一定と仮定し、朔望月を導き出した。月の写真から求めた、回転角、月の半径(画像編集ソフトのものさしツールで測定)などの一覧を表1に示す。

4. 解析考察

経過時間が約24時間のとき、朔望月の計算誤差を1日以内に収めようとすると、回転角の測定誤差は0.25°以内にしなければならない。図2は、仮定として月の公転速度を一定と考え、月の位置を白三角形(△)でプロットし、月の軌道を描いた図である。その中で誤差が大きいと思われるデータを黒三角形(▲)で示した。図中の長方形は楕円形に外接する長方形である。次に月の視直径で距離を補正すると、黒丸(●)で示した軌道になり、月の軌道は離心率0.0586の楕円軌道であることが分かった。月は、地球に近いときに速く、遠いときに遅く公転することが分かった。

このとき、ケプラーの第2法則から、単位時間の速度の変化と、地球から月までの距離の関係は反比例になるはずであるが、導き出すことはできなかった。原因として、測定誤差、測心距離と地心距離の差を考慮していなかったこと、カメラの設定時刻の変更などが考えられる。

5. 結論

観測から、月の軌道が離心率0.0586の楕円軌道であること(ケプラーの第1法則)が分かった。面積速度が一定であること(ケプラーの第2法則)については、傾向はつかめたが、地球から月までの距離と月の公転速度が反比例の関係であることを導くまでは至らず、今後の課題とした。

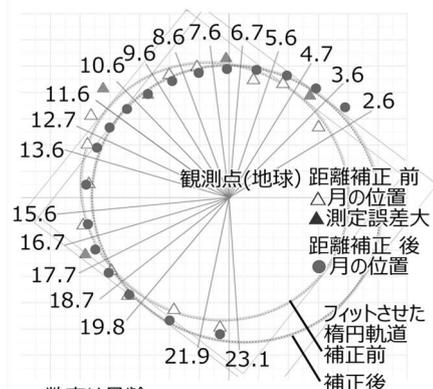
6. 参考文献等

ハートピア安八ジュニア天文倶楽部 2014 月の写真が解き明かす公転の謎 日本天文学会2014年春季年会第16回ジュニアセッション 予稿集 講演番号59

【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。ありがとうございました。

表1 月の回転角と朔望月

番号	月日	時刻	月齢	月半径	経過時間(分)	回転角	回転角差	朔望月(日)	速さ(比)
1	1/5	17:39	2.6	147.6		34.54			
2	1/6	17:22	3.6	146.5	1420	48.54	14.00	25.4	0.00986
3	1/7	19:24	4.7	143.3	1563	61.64	13.10	29.8	0.00856
4	1/8	18:34	5.6	142.3	1392	73.42	11.78	29.5	0.00871
5	1/9	17:44	6.7	140.0	1388	85.6	12.18	28.5	0.00918
6	1/10	17:30	7.6	138.6	1427	96.3	10.70	33.3	0.00792
7	1/11	18:26	8.6	137.5	1497	108	11.70	32.0	0.00832
8	1/12	17:24	9.6	136.7	1376	118.8	10.80	31.9	0.00841
9	1/13	17:01	10.6	135.1	1417	130.5	11.70	30.3	0.00895
10	1/14	17:37	11.6	135.2	1476	140.4	9.90	37.3	0.00726
11	1/15	20:52	12.7	135.8	1635	152	11.60	35.2	0.00765
12	1/16	17:53	13.6	136.1	1262	161.8	9.80	32.2	0.00836
13	1/18	18:29	15.6	136.1	2915	186.2	24.40	29.9	0.0090
14	1/19	19:36	16.7	137.2	1507	198.1	11.90	31.7	0.00843
15	1/20	21:01	17.7	138.5	1526	209.6	11.50	33.2	0.0080
16	1/21	21:30	18.7	139.5	1469	221.6	12.00	30.6	0.00858
17	1/22	22:30	19.8	141.2	1498	233.6	12.00	31.2	0.00831
18	1/25	0:58	21.9	144.1	3029	259.6	26.00	29.1	0.00872
19	1/26	5:29	23.1	147.0	1712	273.4	13.80	31.0	0.0080



* 数字は月齢

図2 観測から求めた月の軌道

流星の軌道解析 2～流星の母天体を探る～

福岡工業大学附属城東高等学校科学部：寺島 皓生、渡邊 花菜、佐藤 真（高2）、野崎 芙悠（高1）
【福岡工業大学附属城東高等学校】

要旨

流星をステレオ撮影し母天体を特定することを目的とし、観測の結果ステレオ撮影した流星から独自の数式を用いることでしぶんぎ座流星群、ペルセウス座流星群、散在流星の母天体の推定を行うことが出来た。

1. 動機と目的

「流星はどこから流れてきたのか」が気になり、流星に関する研究に興味を持った。流星をステレオ撮影し母天体を特定することを目的とした。

2. 研究方法

1. 2地点から動画と静止画で撮影する。
2. 正弦定理を用い、始点・終点を直交座標に表し発光距離を算出する。
3. 流星の進行方向から輻射点を求める。
4. 動画から発光時間、流星物質の速度を求める。
5. 軌道長半径を算出し、母天体の軌道を求める。

3. 結果と考察

観測 A[2022年しぶんぎ座流星群]

2時間20分観測を行い、流星を合計36個撮影出来た。その中でステレオ撮影に3個成功した(図1, 2, 3)。



図1 流星1 03:32 図2 流星2 03:33 図3 流星3 04:34

地球軌道での軌道速度は公転速度による影響、地球の引力による運動エネルギーの増加分を流星の運動エネルギーから減算した。軌道長半径を求めるためケプラーの法則と力学的エネルギー保存則から、私たち独自の数式を構築して求めた(図4)。

$$V = V_e \sqrt{2 - \frac{r_e}{r}}$$

V : 地球軌道での天体の速度 [m/s]
 V_e : 地球の公転速度 [m/s]
 r_e : 地球の公転半径 [m]
 r : 天体の軌道長半径 [m]

図4 天体の軌道長半径を求める独自の数式

表1 流星1, 2, 3(しぶんぎ座流星群)の観測結果

	輻射点	距離	時間	対地速度	軌道速度	軌道長半径
流星1 03:32	うしかい座 とりゅう座 の境界付近	23.3km	0.60秒	38.9km/s	37.4km/s	2.3AU
流星2 03:33		27.9km	0.76秒	33.4km/s	35.6km/s	1.7AU
流星3 04:34		21.5km	0.60秒	35.9km/s	36.5km/s	2.0AU

解析の結果からしぶんぎ座流星群の母天体は火星と木星の間の小惑星であると考えた(表1)。

観測 B[2022年ペルセウス座流星群]

4時間観測を行い、流星を合計34個撮影出来た。その中でステレオ撮影に2個成功した(図5, 6)。



図5 流星4 01:21 図6 流星5 01:38
表2 流星4,5(ペルセウス座流星群)の観測結果

	輻射点	距離	時間	対地速度	軌道速度	軌道長半径
流星4 01:21	ペルセウス座 付近	19.7km	0.52秒	38.2km/s	41.1km/s	10.9AU
流星5 01:38		15.1km	0.40秒	37.7km/s	41.2km/s	11.3AU

解析の結果からペルセウス座流星群の母天体は短周期彗星であると考えた(表2)。

観測 C[散在流星]

観測 Bの際、散在流星を1個ステレオ撮影することに成功した(図7, 8)。



図7 流星6(静止画)03:34 図8 流星6(動画)03:34

表3 流星6(散在流星)の観測結果

	輻射点	距離	時間	対地速度	軌道速度	軌道長半径
流星6 03:34	おうし座付近	20.4km	0.33秒	64.5km/s	39.4km/s	4.0AU

表4 流星6(散在流星)軌道要素

	軌道長半径	離心率	近点距離	軌道傾斜角	昇交点	近日点引数
流星6	4.0AU	0.80	0.80AU	98.6°	135°	45°
リニア彗星	4.2AU	0.74	1.1AU	138°	115°	26°

解析の結果から流星6の母天体は地球近傍逆行小惑星であると考えた(表3, 4)。

4. 結論

ステレオ撮影と独自の数式を用いることで軌道の算出に成功し母天体の特定を行うことが出来た。しぶんぎ座流星群の母天体はマックホルツ第一周期彗星(96P)や太陽系小天体2003EH1、ペルセウス座流星群の母天体は短周期彗星、流星6の母天体は地球近傍逆行小惑星であるリニア彗星(333P)の可能性が高いと考えている。

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
- ・ステラナビゲータ10
- ・流星群観察ガイド(著)藤井 旭 誠文堂新光社
- ・アメリカ航空宇宙局 NASA
Center for Near Earth Object Studies

プロジェクト月面X 一月面Xの再現—

墨田川高校天文部：

藤井 涼太、重塚 陽向、村越 遼、杉浦 暢、小池 舞音、片山 わかな、田中 真央（高1）、
西岡 真央、松本 泰我、佐藤 詩音、安達 実優、佐瀬 芽生、鈴木 理香子、相良 友哉（高2）

【東京都立墨田川高等学校】

要旨

月齢が6.0齢～7.0齢の時に、月の影の部分にXの文字が浮かび上がる月面Xという現象が見られる（図1）。石膏粘土を利用し、50万分の1スケールの月面モデルを作成し、室内で月面Xの現象の再現を行った。



図1 月面X

1. 目的

月面Xの見られる地形は、月の南緯 28.1 度、東経 3.3 度の部分で、「プールバツハ」「ラカイユ」「ブランキヌス」という名前の3つのクレーターが存在する。この3つのクレーターに太陽からの光が月面余経度 358° の時に月面Xと呼ばれる現象が起こる。天文部の活動で月面Xの観測を試みたが、天候の影響で思うように月面Xを観測できなかった。そこで自分たちで、50 万分の 1 スケールの月面モデルを製作し、月面Xを再現することにした。

2. 方法

国土地理院の月面マップのデータを利用し、緯度(22S-30S)、経度(6E-6W)の範囲で50 万分の 1 スケールの月面の等高線図を作成した。作成した平面上の等高線図を元に、月の球面形状に合わせて標高データを加えた等高線図を作成した。より詳細な地形データを元に月面モデルを作成するため、国立天文台のフリーソフトウェア MITAKA を利用し、月面Xの見られる 緯度(24S-28S)、経度(3E-2W)の範囲で、984 カ所のデータを測定し、より詳細な月面の等高線図に修正した（図2）。作成した月面の等高線図を元に、石膏粘土を利用し、50 万分の 1 スケールの月面の部分モデル（60 cm×40 cm、重さ 12 kg）を作成した。月面モデルを垂直に設置し、5 mの距離から演劇用スポットライトを光源として 360°～356° の範囲で当て、モデル正面から観察することで月面Xの再現を行った。

3. 結果

月面モデルに、月面余経度 359°～358.5° の範囲で光が当たった時に、「プールバツハ」「ラカイユ」「ブランキヌス」という名前の3つのクレーターの部分に、月面Xを再現することに成功した（図3）。再現した月面Xのモデルを横から見てみると、「プールバツハ」と「ラカイユ」、「ブランキヌス」のクレーターの峰の部分の稜線が他よりも高く光が当たりやすくなっていることが確認できた。

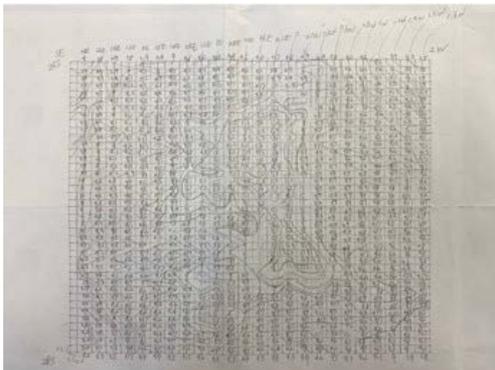


図2 月面の等高線図

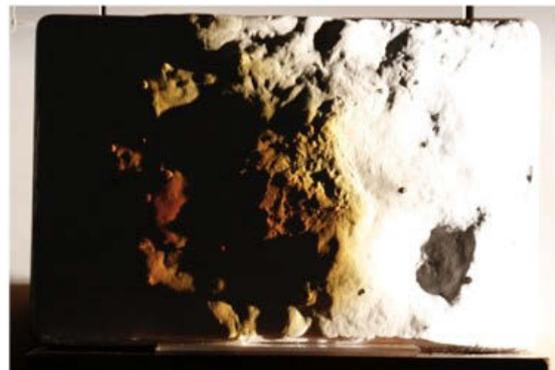


図3 月面Xの浮かび上がる月面Xの模型

4. 考察

本研究により、月面Xという天体現象を室内に再現することができた。月面Xが見られるのは、わずかな標高の違いと月面余経度が 359°～358.5° の角度、そして地球からの月の位置が正面にくるという3つの条件が揃ったときでないと観測ができないということが明らかとなった。

参考文献

ルーケル(2004)「月面ウォッチング〈新装版〉」株式会社地人書館、
月の地形図 Topographic maps of the moon | 国土地理院 (<https://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho41003.html>)
MITAKA (バージョン 1.7.3 a) <https://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/>

スペクトル解析データを用いた粘性との成り立ちに関する地質調査

成蹊高等学校 天文気象部：長谷川 創一、浅沼 恵太、青木 亮太(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かぐや統合解析用デジタルデータから月面における粘性に関する考察を行った。

1. はじめに

月面の海は、過去のマグマの噴出によりできたため平坦である。今回は月面上の物質の粘性に関して仮説を立て、月周回衛星「かぐや」のKAGuya Data Integrated Analysis System：かぐやデータ統合解析データ作製・配信システム（以下、KADIASと呼ぶ）を利用し、設定した各地点における粘度を求めた。

2. 月のマグマの粘性についての仮説

月面の海の規模が大きく平坦であることから、月のマグマの粘性はハワイのマウナケア山のように低く、月面上を流れやすいのではないかという仮説を立てた。一方で、月の高地は月の海と比較して粘性が高いと推測した。

3. 研究方法

月面上に地点AからEまでを設定した（図1）。Aは典型的な月面の海、BはAの比較対象、Cは月面の高地として設定した。Dは古くて大きなクレーターであるコペルニクスの底、Eはその内部にできた比較的小さく新しいクレーターの底である。

ここで各地点における酸化鉄(II)FeOの重量パーセント (wt.%) からSiO₂の物質質量 (wt.%) を求めることで粘度を算出した。月面の各地点におけるFeOの物質質量は、KADIASの鉄-MI-wt.%のデータからFeOの重量パーセントを求めた。なお、今回は月面にあるFeはすべてFeOであると仮定した。

ここで得られたデータをもとに、SiO₂の重量パーセントとFeOの重量パーセントの関係性を示したグラフを用いて、SiO₂の重量パーセントを求めた。最後にメルトの粘性率とSiO₂の重量パーセントの関係式 $\log_{10}\eta = 0.146X_{SiO_2} - 6.3$ (η は粘度、 X_{SiO_2} はSiO₂の重量パーセント) から月面のマグマの粘性を求めた。

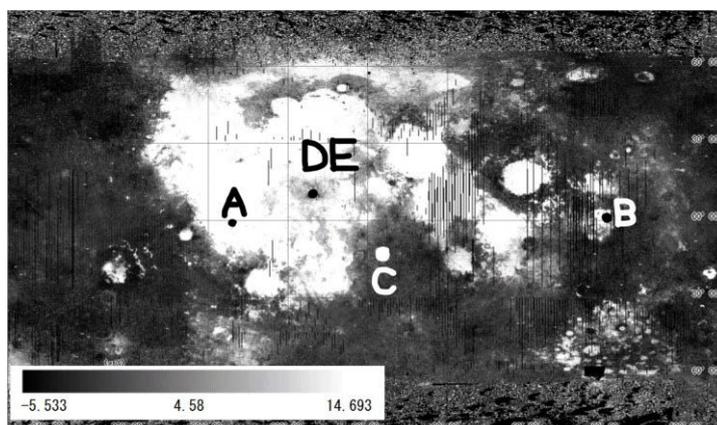


図1 FeO含有量（濃淡:単位wt%）の月面展開図と地点A～Eの位置
緯度:225-135°, 経度:82.5N-82.5S 出典:KADIAS (c)JAXA/SELENE

4. 結果と考察

図2に結果を示す。月面の赤道付近にある海（地点AとB）の粘度は比較的低く、仮説は正しいことが分かった。しかし一般的な地球のマグマに比べて粘度がやや低いことから、SiO₂の重量パーセント以外の要因も粘度低下に寄与していると推測された。

DとEは近隣にあるが、物質の傾向が大きく異なっていた。小さいクレーターの底部分Dが月の海Aと同じ程度の鉄の物質質量であり、大きなクレーター（コペルニクス）の底部分Eの鉄の物質質量が月の高地と近い結果となった。以上からAとDとEの形成史を考察する。Aのような海を作ったマグマがDやEの周りに流れ込む。→そこに隕石が衝突しコペルニクスができる。→その際に月の表面の海の部分が地面にめり込み、月の高地と同じような鉄含有量の地表ができた。→その後小さな隕石がコペルニクスに衝突。→コペルニクスができた時にめり込んだ、海と同程度に鉄を含む地層が再露出した、と考察した。

5. 今後の展望

今回は赤道付近のデータを利用した。月の極地の値はデータが不足していたため求められなかった。月の極地はシヤクトンクレーターに代表されるように月面基地を作るのに必要なH₂Oが豊富に存在している。そのため、極地の元素組成を求めることは月面基地を作る際に必要な材料を把握するためにも重要となる。今後はFeO以外を用いてSiO₂の重量パーセントを求めることや、粘性が比較的低い要因は何かを調べたい。

データ出典：KAGuya Data Integrated Analysis System：かぐやデータ統合解析データ作製・配信システム

参考：石橋 秀巳，鈴木 琉斗 2018. 熱力学的結晶作用シミュレーションによるメルト粘性スケールの信頼性の検討（序報），静岡大学地球科学研究報告，4，67-76.

表1 各地点におけるFeO, SiO₂の物質質量(wt.%)と粘度(Pa・S)

	赤道付近の海		月の高地	クレーター内部		マウナケア
地点	A	B	C	D	E	参考
緯度	2.43°	0.28°	8.0°	9.98°	9.88°	-
経度	309.34°	90.26°	15.0°	339.5°	339.98°	-
FeO(wt.%)	14.20	14.40	5.86	13.62	4.97	-
SiO ₂ (wt.%)	51.40	51.20	64.80	52.10	66.70	-
粘度(Pa・S)	16.01	14.97	1448.10	20.26	2742.84	100~10000

データ出典：KADIAS (c)JAXA/SELENE

皆既月食における月面と夜空の明るさの変化

國栃天文部 RGB 班：山根 史也、小宮 里咲、小平 勘太郎、鹿野 史佳（高2）、遠藤 優太、舟橋 桃子（高1）【國學院大學栃木高等学校】、野間 凱仁、佐々木 桃寧（中2）【國學院大學栃木中学校】

1. 要旨

私たちは2021年11月19日の部分月食と2022年11月8日の皆既月食を本校ドームにて撮影し、RGB別の光量を測定した。併せて2022年の11月8日は皆既月食中の空の明るさを2か所測定し結果を考察した。

2. 方法

<RGBについて>

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2回の部分月食を撮像し、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、それぞれの相対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。

<SQMについて>

Unihedron 社製 SQM-L(Sky Quality Meter with lens) 2台を用い、それぞれ本校屋上ドーム裏と鹿沼市板荷の2か所で5分おきの空の明るさを測定・記録し、グラフ化した。

3. 結果・考察

図1,2より21年の食分最大時の明るさの相対値は、R、G、Bの順に大きくなっているが、22年ではR、B、Gの順に大きくなっている。ゆえに、部分月食と皆既月食では月食中のRGBの光量の変化の大きさが異なることが分かった。

図3より皆既の時刻に近づくにつれ空が徐々に暗くな

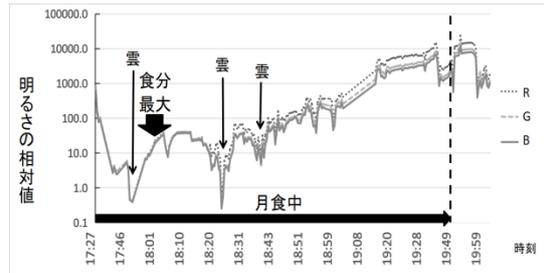


図1 2021年11月19日部分月食時のRGB別の光量

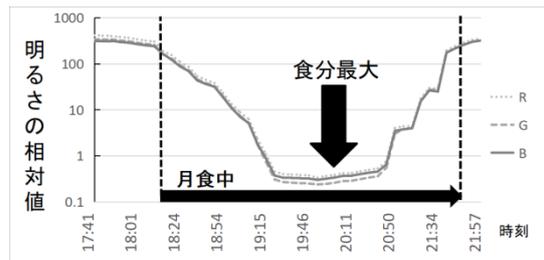


図2 2022年11月8日皆既月食時のRGB別の光量

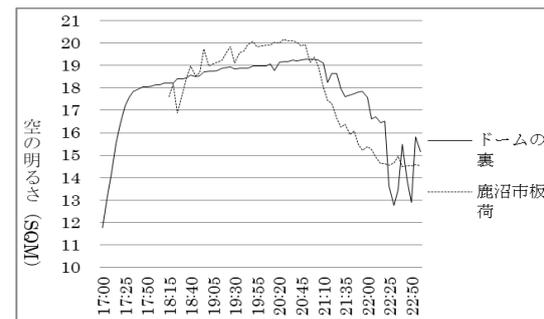


図3 2022年11月8日月食時の空の明るさ
り皆既が終わるにつれ明るくなっていったことから、皆既中の空は月が地球の影に入ることによって暗くなることが分かった。また、皆既中の空の明るさの値は鹿沼市板荷より本校屋上の方が大きかったため、本校付近の光害が影響していると考えられる。

ターコイズフリンジの色彩に迫る 2022

地学部ターコイズ班：森 彩香、佐藤 心海、清水 麻央、鷲津 乃英加（高2）【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2021年11月19日に起こった月食をCMOSカメラを用いて観測した。そして本影内から半影にかけてのR, V, B光量分布について調べた。また、この月食では「ターコイズフリンジ」が観測されたので、このR, V, Bの光量の関係も確認した。ターコイズフリンジとは、太陽光が成層圏(オゾン層)を通過するときに赤い光が吸収され、青い光だけが直進し、月面の縁が青く見える現象である。また、2022年11月8日にも皆既月食が起こったので、同様の検証を行った。

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 フィルター、タカハシ FSQ-106(D:106 mm f:530 mm)、EM200 赤道儀

観測日：2021年11月19日、2022年11月8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

測光手順：CMOSカメラの画像を1次処理し、その画像を月食終了後の満月画像で割り、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ピクセルで開口測光した。測光した点と本影の中心との角距離と測光範囲の平均値を調べ、1秒露出に換算したうえで、表計算ソフトでグラフ(散布図)を作成した。

3. 結果と考察

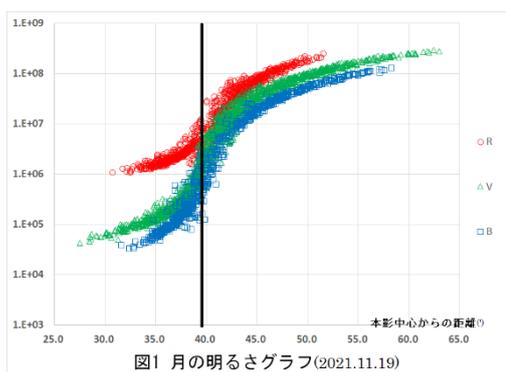


図1 月の明るさグラフ(2021.11.19)

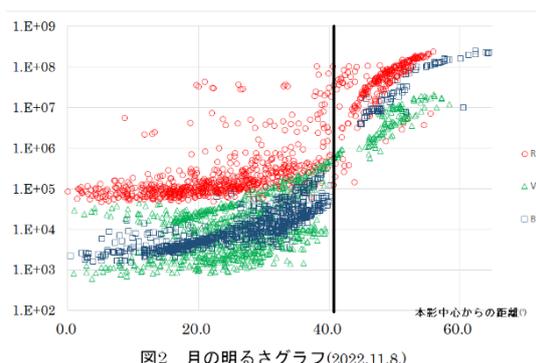


図2 月の明るさグラフ(2022.11.8)

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1、図2)なお、縦線は各月食時の本影の境界位置である。

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ためである。しかし、VとBが本影の縁から半影にかけて(横軸36-37°)の付近で急激に上昇しているため、この付近でターコイズフリンジが観測されたと思われる。

カメラの感度特性とフィルターの透過性から補正用データを作成し、図1をそのデータで割って、RVB比を算出した。比を0~255に変換し、ペイントを使用して、図に表示した。(図はポスターをご覧いただきたい)

図2より、2022年11月8日の皆既月食でも、本影内部ではRが大きいと分かるが、データが不十分である。

4. 今後の展望

2022年11月8日のデータを解析中であり不十分なので、すべての画像についてデータを取り、十分に比較検討したい。また、グラフが2系統に分かれており、ばらつきがあるため計算式や測定値を再点検したい。

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

「月食を楽しむ・月食から科学する」大西浩次(国立長野高専)P8 (2023年1月19日閲覧)

https://www.vixen.co.jp/vixen_cms/wp-content/uploads/2021/05/science_of_lunar_eclipse_2021May12.pdf

太陽表面の温度分布の測定

國府天文部太陽班：

徳永 祐太（高3）、山根 史也、小林 亮脩、床井 良寛、石井 克英（高2）【國學院大學栃木高等学校】、高森 亜門（中3）金子 怜生（中1）【國學院大學栃木中学校】

要旨

私たちは本校天文ドームにて、2022年12月20日13時頃に白色光とH α 線で太陽を撮影した。撮影した画像を、画像処理ソフトを使用し、太陽表面のそれぞれの場所における輝度を測定することで、その場所の温度を推定した。その結果、黒点の温度が一般的に知られている値とは大きく異なったため、正確な温度を測定するには改善が必要だと考えた。

1. はじめに

私たちは日々太陽観測をし、太陽の画像を撮影している。画像処理ソフトと物理公式を用いて太陽黒点の温度を求められることを知り、撮影した画像からダークフィラメントやブラージュの温度も求められると考え、測定を試みた。

2. 方法

ZWO ASI294MC カラーCMOSカメラをタカハシ製10cm屈折望遠鏡(F=8, f=800mm)に接続し、2022年12月20日に太陽を白色光とH α 線で撮影した。(ラント社LS60FHa/B1200, 656nm)その後、画像処理ソフト「マカリ」を用いて光球中心部と温度を測りたい部分のカウント値(明るさ)を測定し、太陽を黒体と見なし黒体が放射する光の強さはその温度の4乗に比例すること(シュテファン・ボルツマンの法則)を用いて、下記の式に代入し温度を求めた。なお、T₀は白色光で撮影した画像では6400K[1], H α 線では8000K[2]に設定した。これは、白色光では光球中心部では光球表面より深い層が、H α 線では彩層表面が観測されるためである。

$$T_s = T_0 \times \left(\frac{I_s}{I_0}\right)^{\frac{1}{4}}$$

T_s: 求める部分の温度 T₀: 光球中心部の温度
I_s: 求める部分のカウント値 I₀: 光球中心部のカウント値

3. 結果と考察

黒点、ブラージュ、ダークフィラメントの温度は表1の通りになった。

	黒点(白色光)	黒点(H α)	ダークフィラメント	ブラージュ
温度(K)	5670	6026	7680	8049

表1 それぞれの場所の推定温度

ダークフィラメントは一般的に言われている6000~10000Kの間の値となった。ブラージュはカウント値が飽和し、適切な数字が得られなかった。また、黒点はどちらの光線で撮影したものでも、一般的に言われている温度の4000Kから大きく離れた値となった。これは、散乱光により実際の明るさより明るく映ったためと考えられる。

4. 結論

この方法では、正確な明るさの比が求められないため、簡易的には温度が求められるが、正確な温度測定には用いることができないと考えた。より正しい温度測定ができるよう、撮影方法を工夫していきたい。

5. 引用・参考資料

[1]あなたでもできるデジカメ天文学 鈴木文二・洞口俊博編
[2] Layers of the Sun https://www.nasa.gov/mission_pages/iris/multimedia/layerzoo.html

ウィルソン効果による太陽黒点の深度考察

地学部ソレイユ班：大久保 有華（高1）、荻巣 桃依（高1）【愛知県立一宮高等学校】

要旨

太陽黒点の大きさと深さには正の相関があるという仮説のもと、黒点の大きさとウィルソン効果により求めた黒点の深度を考察した。結果、仮説とは逆の負の相関を得ることであった。そこから、小さい黒点ほど磁気圧が集中し、より凹みが深くなるという考察に至った。

1. はじめに

ウィルソン効果とは、黒点が太陽周辺部に近づく際に、太陽黒点の暗部が凹んで見える現象のことである。(図1)

2. 測定方法

国立天文台のデータベース(Gバンド)を利用して、画像処理ソフトマカリ上で各黒点の距離等を計測した後、以下の式を用いてExcel上で黒点の深度を算出した。

測定する黒点は同心円であると仮定し、式を立てた。

$$\theta A + \theta D = \theta B + \theta C$$

ここから黒点の深度を求めることが可能である。

3. 測定結果と考察

(1)仮説

太陽黒点の大きさが大きいほどウィルソン効果は強く表れる、つまり深度が大きくなる

(2)結果

図2のグラフは

縦軸：ウィルソン効果から算出した黒点の深度

横軸：半暗部の大きさ

とした散布図である。(単位はともにピクセルとkmを併記) グラフからは、明確な相関が得られなかったため、太陽中心からの距離ごとに太陽黒点を下記の3つに分類し、近似直線を引いた。

- A：近距離 ●(赤) 点線
- B：中距離 ▲(青) 一点鎖線
- C：遠距離 ■(緑) 実線

すると、Cにおいて図3のような明らかな負の相関を得ることができた。これは、黒点が小さい程ウィルソン効果が強く表れることを示している。つまり、小さい黒点の方が黒点の暗部が凹んで見えるという結果になった。

(3)考察

結果より、小さい黒点ほど深度が大きいということが分かった。このことから、小さい黒点ほど磁気圧が集中し、より深くなったのではないかと考えた。しかし、測定の際に

引用している画像が粗い ……I

データ量が少ない ……II

という疑問点があり、この結果がまだ正しいものであるとは言い切れない。

4. 今後の展望

I について、海外の天文台や、他のサイトから画像を選出し、なるべく解像度の高いものを用いるようにする。

II をふまえて、黒点のデータ量を増やした上で、現在距離で三段階に分けている黒点をより細かく分類する。

5. 参考文献・使用ソフト

理科年表2022

国立天文台 <https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/solarobs.html> (2022.9.7~2023.1.11閲覧)

国立米子工業高等専門学校 「小望遠鏡を用いた太陽黒点のウィルソン効果の検出」

https://www.yonago-k.ac.jp/tosho/tosho/research_rep/47/pdf/01_Wilson_effect.pdf (2022.9.7閲覧)

すばる画像処理ソフト マカ Excel2019

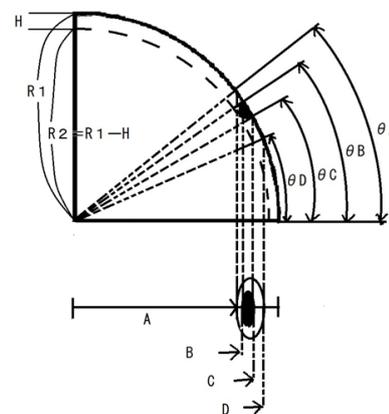


図1 ウィルソン効果

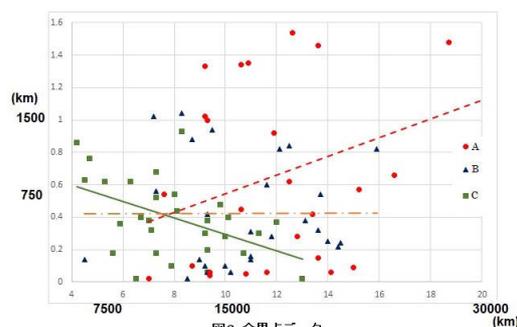


図2 全黒点データ

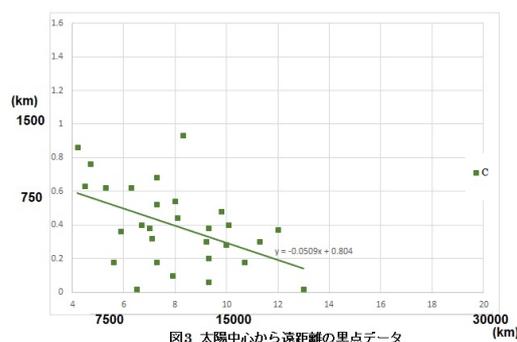


図3 太陽中心から遠距離の黒点データ

太陽黒点から探る宇宙天気

武蔵高等学校中学校 太陽観測部：

山田 優斗 (高2) 【武蔵高等学校】、今津 英翔、栗原 昊士朗 (中3)、衣斐 航太朗、遠藤 寛也、
星 裕人 (中2)、岸田 悠吾、皿海 翔大、鈴木 董也、山田 亮、山田 隼士(中1) 【武蔵中学校】

要 旨

近年、宇宙利用が盛んに行われ、これに伴い宇宙天気への重要性が高まっている。そこで今回は、当部の黒点スケッチ観測記録を用いてWaldmeier効果の検証、黒点相対数とフレアの比較を行った。

1. 背景・目的

太陽観測部は1931年以降、90年以上に渡って太陽黒点のスケッチ観測を行なっている。地球周辺の環境は太陽活動の影響を受けて変化しており、これを宇宙天気と呼ぶ。中でも現代社会に欠かせない電力や通信などは、宇宙天気の重要な要素である太陽フレアによる影響を受けやすい。そして、太陽フレアによる被害は太陽の極大期に多くなっている。さらに、黒点では活動周期の始めからの増加速度が大きいほど極大期の活動が多くなるという経験則 (Waldmeier効果) が知られている。よって、本研究では当部の黒点観測データから宇宙天気の動向を明らかにすることを目的に、太陽活動周期の解析と黒点とフレアの発生状況の比較を行った。

2. 研究方法

- (1). 当部の黒点観測データから周期開始から2年後、最大値の年月とその月平均の黒点相対数を求めた。なお、2年目は黒点相対数の増加傾向が続いており、比較に適しているため用いた。
- (2). 2年間での黒点相対数の増加率=(2年目の月平均-周期開始の月平均)/2年 を計算した。
- (3). Waldmeier効果を確認するために増加率と最大値を比較する。
- (4). 次に、当部の観測データから2009年1月~2022年2月の黒点相対数の月平均を集計した。
- (5). GOES衛星から太陽フレアのデータを抽出し、フレアのエネルギー値の月平均を求めた。
- (6). これらのデータから黒点相対数とフレアのエネルギー値との相関を算出し、回帰分析を行った。

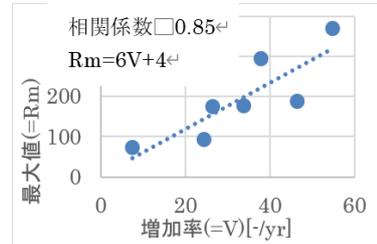


図1・増加率と最大値との関係

3. 結果

第17~22, 24周期について、横軸に増加率、縦軸に周期最大値を取ってプロットした(図1)。これより2年間での増加率が高いほど、周期の最大値も高くなる傾向が確認された。また、黒点相対数とフレアのエネルギー値では正の相関が見られた(図2, 3)。図2より、黒点相対数とフレアのエネルギー値の大きな傾向は同じだが、局部的にその増減にズレが見られた。また、極小期、極大期に関わらず、エネルギーの高いフレアが発生していることが分かった。

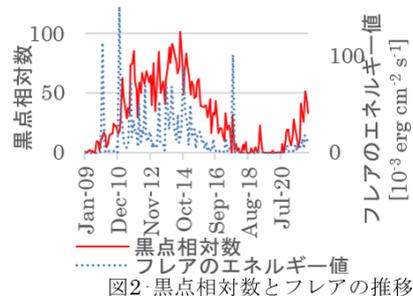


図2・黒点相対数とフレアの推移

4. 考察

当部のデータでもWaldmeier効果を確認することができ、それに基づいて活動周期に関して一般化した議論ができると考えられる。また、回帰曲線と昨年までの黒点相対数の増加率から25周期の月平均の最大値は153程度になると予想できる。さらに、黒点相対数とフレアについて、先行研究(参考文献[2])と同様な結果が出たため、当部の黒点相対数データも精度の良いデータだと考えられる。

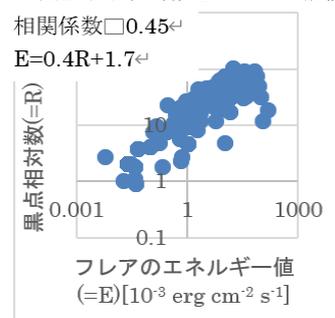


図3・黒点相対数とフレアの関係

5. 結論

当部の黒点相対数データを用いて、Waldmeier効果を検証できたとともに、フレアのエネルギー値を予測することは可能であることが分かった。これらのことから、当部の黒点相対数の観測記録で宇宙天気の予測に貢献できる。また今後の展望として、無黒点の日でもフレアが起きているため、その原因究明が挙げられる。

本研究は核融合科学研究所の矢治先生から貴重な助言をいただいたので、この場をお借りして感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 柴田一成・上出洋介、『総説 宇宙天気』, 京都大学学術出版会, 2011/5/31.
- [2] 篠原学."宇宙天気データを11年周期で見る." 宇宙航空研究開発機構特別資料:第3回宇宙環境シンポジウム講演論文集 (2007): 57-60.

μ 粒子検出頻度の周期性と太陽活動との相関解析

秋田高校宇宙線班：

池本 雄途、加藤 文也、柴田 圭輔（高2）【秋田県立秋田高等学校】

要旨

本研究では、秋田県立秋田高等学校生物実験室内に μ 粒子検出器CosmicWatchを設置し、 μ 粒子の検出を行った。また、解析には μ 粒子のデータの他に、太陽活動のデータとして太陽活動定量評価（太陽磁場、太陽風、太陽フレアの変動を総合的に評価したもの）と黒点相対数という2つの指標を用い、解析を行った。その結果、太陽活動と μ 粒子検出頻度には負の相関があることがわかった。さらに、太陽活動の各データと μ 粒子検出頻度に共通して18日周期が見られたことから、 μ 粒子検出頻度の周期性の要因として太陽活動が存在することが示唆された。

1. 研究の背景

太陽活動と宇宙線の飛来には負の相関があることが報告されている^[1]。太陽活動が活発化することとは、太陽フレアの温度上昇や太陽磁場強度が増加することを示す。太陽活動が活発化すると、太陽磁場の強化により宇宙線の飛来の進路が変更され、地球への宇宙線の飛来が減少するという仕組みである。

先行研究から、 μ 粒子検出頻度には周期性があることが報告されている^[2]。しかし、 μ 粒子検出頻度の周期性の要因は完全には解明されていない。そこで、このような太陽活動と宇宙線との関係から、 μ 粒子検出頻度の周期性の要因の1つとして太陽活動があるという仮説を立て、様々な観点から解析を行った。

2. 方法

要旨にあるとおりにCosmicWatchを設置し、 μ 粒子の飛来を検出した。検出の際に、1台での観測とcoincidence法による2台での観測を行った。I、II、IIIの解析では1台での観測のデータを用いた。IVでは2台での観測のデータを用いた。また、太陽活動のデータとして、太陽活動定量評価^[3]（宇宙天気予報内の日報を参考にし、静穏→1、やや活発→2、活発→3、非常に活発→4とした）、黒点相対数^[4]を用いた。これらのデータをGooglecolaboratory、Microsoft Excelを用いて相関・周期を解析した。具体的な周期解析の手法としては、 μ 粒子検出頻度と黒点相対数にはLomb-Scargle Periodogram、太陽活動定量評価には離散フーリエ変換を用いた。

3. 結果

I) 太陽活動定量評価の値が1と4であるときに着目し2021年12月15日-2022年5月31日の期間について解析を行った。結果を図1に示す。このエラーバーは標準誤差の2倍の値である。このグラフから、太陽活動の値が1と4のときには有意差があり、太陽活動が活発なときの方が μ 粒子検出頻度は小さくなることが分かった。

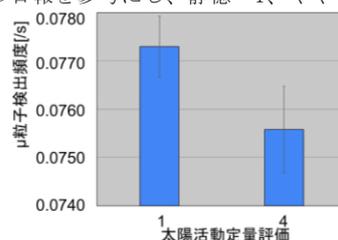


図1 太陽活動の値ごとの μ 粒子検出頻度の平均

II) 太陽活動定量評価と黒点相対数、 μ 粒子検出頻度の偏相関係数を求めた。期間はIと同様である。xは μ 粒子検出頻度、yは太陽活動定量評価、zは黒点相対数とした。また、 r_{xy} 、 r_{yz} はzの要素を取り除いたxとyの偏相関係数のこととする。この解析の結果を右の表1に示す。このことから、太陽活動と μ 粒子検出頻度には負の相関があることが分かったが、やや弱いものであった。

表1 各因子の偏相関係数

偏相関係数	$r_{xy,z}$	$r_{yz,x}$	$r_{zx,y}$
	-0.157	0.297	-0.111

III) 太陽活動と μ 粒子検出頻度の年較差について解析を行った。黒点相対数の平均の変化を図2に、 μ 粒子検出頻度の平均の変化を図3に示す。この2つのグラフから、2020年から太陽活動は活発化してきており、 μ 粒子検出頻度は減少してきていることが分かった。

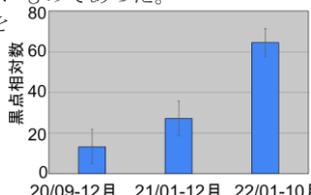


図2 期間内の黒点相対数の平均

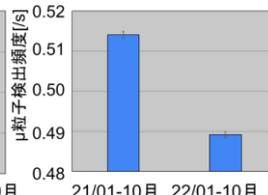


図3 期間内の μ 粒子検出頻度の平均

IV) μ 粒子検出頻度、太陽活動定量評価、黒点相対数の周期解析で見られた主要な周期を表2に示す。 μ 粒子検出頻度は2021年9月3日-2022年5月31日まで、太陽活動定量評価と黒点相対数は2021年12月15日-2022年5月31日のデータについて解析を行った。この結果から、全てにおいて18日周期が共通してみられた。

表2 周期解析の結果

	見られた周期[日]
μ 粒子検出頻度	12,18
太陽活動定量評価	15,18,24
黒点相対数	18,22

4. 考察

I、II、IIIの解析から、 μ 粒子検出頻度と太陽活動には負の相関があることが分かった。このことから太陽活動と μ 粒子には密接な関連があると考えられる。さらに、IVの解析から周期が共通してみられたため、 μ 粒子検出頻度が周期性を持つ要因の1つとして太陽活動があると示唆された。

5. 参考文献

- 宮原ひろ子（2009）、太陽活動と宇宙線、そして気候変動、科学79（12）特集太陽活動の謎と発見、p1380-1382
- 成田陽介、平野夏樹（2022）、第46回全国高等学校総合文化祭東京大会要旨
- 国立研究開発法人通信研究機構宇宙天気予報、<https://swc.nict.go.jp/>（2023年1月21日確認）
- 国立天文台太陽観測プロジェクト三鷹太陽地上観測、https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/db_sunspot.html（2023年1月21日確認）

流星観測へのアプローチ

國栃天文部流星班：武石 暖大（高3）、山根 史也、横山 藍士、石田 海、古川 涼慧、檜山 和幸（高2）【國學院大學栃木高等学校】、関口 雪那、茶谷 和紀、間明田 梨椰（中1）【國學院大学栃木中学校】

要 旨

2021年12月1日～31日までの本校における流星電波観測のデータから12月の流星群との関係を調べた。2021年の12月15日と2022年の12月14/15日の茨城県の花立自然公園で撮影されたふたご座流星群のビデオから活動状況を調べた。

2. 観測方法・結果・解析

(1) 電波観測

- ・本校屋上（N36.364288, E139.7039055、標高110m）にて流星電波観測用のアンテナ「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：50.072MHz）を受信し、受信機「Noolec NESDRSMart 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。期間は12月1日～12月31日まで。
- ・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、グラフ化した。結果を図1に示す。



図1 2021年電波エコー

2021年の12月の流星群（天文ガイド2021年12月号）と一致した。

(2.) ふたご座流星群の動画分析

- ・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（2022年はSONYα7sII）を4台それぞれ四方向に向けて、固定撮影で2021年12月14日01:08～05:26までの4時間18分撮り続けた。および、2022年12月14、15日20:00～5:30までの9時間30分撮り続けた。この画像は栃木県天文同好会会長杉本 智様より、提供していただいた。画像を部員10人で視聴し、動画に写っていた流星をカウントした。結果を図2、図3に示す。

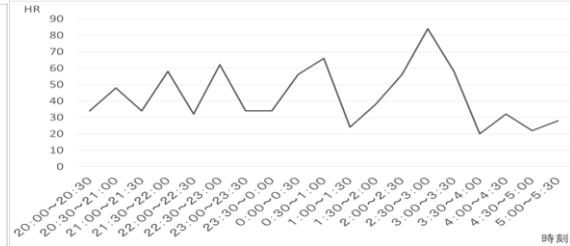
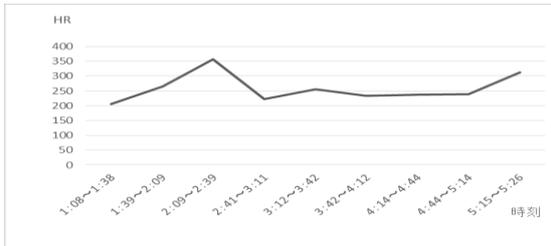


図2 2021年12月14日ふたご座流星群

図3 2022年12月14日流星ふたご座流星群

2021年は14日16時、2022年は14日22時がふたご座流星群の極大の予報だったが、2つのデータからどちらも2:30～3:00にかけて、活動のピークがみられた。22年は月明かりの影響があったためかカウントされた数が少なかった。

ふたご座流星群の電波観測

自然科学部電波班：

垂井 千結、秦 みのり、佐々木 康祐、若城 彩(高2)、藤野 大毅、今井 咲里(高1)
【京都市立堀川高等学校】

要旨

自作電波望遠鏡を用いてふたご座流星群の流星エコーの観測を行った。その結果、天頂効果を確認することができた。

1. はじめに

流星とは、宇宙空間のチリの粒が地球の大気と激しく衝突し光を放つ現象である。彗星はこのようなチリの粒を軌道上に放出している。彗星の軌道と地球の軌道が交差する位置に地球がさしかかるとチリの粒がまとめて大気に衝突し、流星群が出現する。その時期は毎年ほぼ決まっているため、毎年特定の時期に特定の流星群が出現する。そんな流星の観測方法の一つに、「流星電波観測」がある。流星が出現したとき常時送信局から送信されている電波が流星によって電離した大気に反射され、普段は送信局からの電波が届かない観測地でも一時的にその電波を受信することができる。その受信した電波(流星エコー)を数えることで流星の数が分かる、という仕組みだ。昼夜問わず観測できて天候にも左右されないため、流星観測には非常に有効で重要な観測方法である。そこで私たちは、自作電波望遠鏡を用いて12月に出現するふたご座流星群の観測を試みた。

2. 実験方法

堀川高校の屋上に図のような八木アンテナを設置する。なお、反射器の役割は地面が担っている。12/15の20:00から12/18の1:00まで、流星電波観測用ソフトMROFFTでふたご座流星群の観測を続ける。一人当たり二つのデータのエコー数を数え、二人のカウントが異なった画像は少ない方のカウント値を採用しグラフを作成した。小さい方のカウントを採用することで明らかに流星エコーだと分かるもののみをカウントし、班員それぞれのエコーの判断基準のズレが小さくなるようにした。

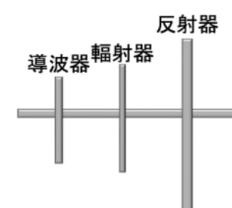


図1 八木アンテナ

3. 結果

得られたデータをグラフ化したものが図2である。横軸は時間で、縦軸が流星エコーの個数になっている。また、16日の午前1時頃から3時の時間帯に流星エコーの減少が見られた。

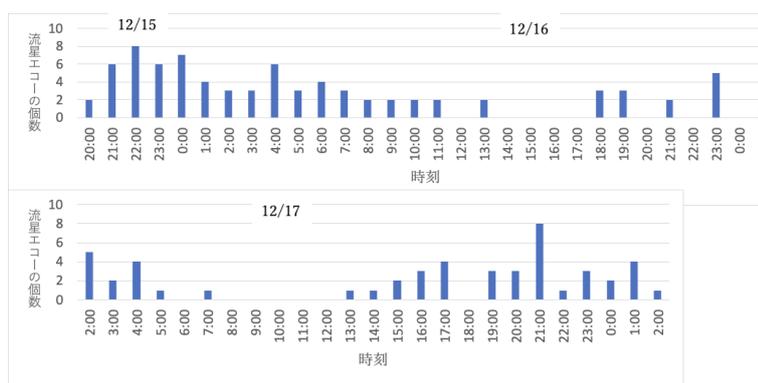


図2 流星エコーの個数

4. 考察

また、16日の午前1時頃から3時の時間帯に流星エコーの個数の減少が見られるのは、天頂付近から流星が出現することで、流星に反射された電波が電波望遠鏡に届きにくくなる天頂効果によるものだと考えられる。

5. 結論

16日の深夜1時から3時にかけての流星エコーの個数の減少は、天頂効果によるものと考えられることから、今回得られたデータは観測当時の状況と対応している。

6. 今後の展望

流星観測画像のノイズが多く正確にエコーを数えることが難しかったため、ノイズを減らす方法を探す。また、流星エコーのカウント基準をより正確に定め、カウントの個人差によるズレをなくしたい。他にも、流星群が出現していない時期との比較も行い、より正確な流星群のデータを得たい。

7. 参考文献

使用したソフト「HROFFT072」

- 2022年ふたご座流星群電波観測速報 | 流星電波観測国際プロジェクト (amro-net.jp) <https://www.amro-net.jp/post/flash/gem-2022.html> 最終閲覧日2023年1月24日
- 火球も出現！2022年のふたご座流星群 | 国立天文台(NAOJ) <https://www.nao.ac.jp/news/blog/2022/20221216-geminids.html> 最終閲覧日2023年1月24日
- ふたご座流星群(12月)の基本情報・観測条件 | 流星電波観測国際プロジェクト (amro-net.jp) https://www.amro-net.jp/meteor-info/12_geminids_j.html 最終閲覧日2023年1月24日
- 流星と彗星との関係 | 流星電波観測国際プロジェクト (amro-net.jp) https://www.amro-net.jp/meteor-info/intrometeor05_j.html#cont1 最終閲覧日2023年1月24日
- 天頂効果 (sakura.ne.jp) <https://stelo.sakura.ne.jp/hro/tencho.htm> 最終閲覧日2023年1月24日

流星高度と輝線強度の関係

地学部スペクトル班：棚橋 聖悠、井川 瞳、奥村 実季（高1）【愛知県立一宮高等学校】

要旨

私たちは、流星のスペクトルについての研究を行った。モノクロビデオカメラに回折格子シートを取り付け、複数の流星を撮影した。それらの流星のうち、輝線が出ているコマを静止画として切り取り、各輝線と0次光までの距離を測り、流星ごとに比較した。その結果、流星高度の高いところと低いところで輝線強度に変化が捉えられた。

1. 方法

場所：ひるがの高原観測所

機材：モノクロビデオカメラ Watec100N レンズ（12mmF1.4）

透過型回折格子フィルム（エドモンド 500/mm）

観測日：2021年3月15日～2021年5月12日

観測手順：(1)動画を静止画に変換

(2)画像からマカリでグラフをとる。0次光と輝線スペクトルまでの pixel 距離を測定

(3)観測した pixel 距離を基に波長に変換し、理科年表を参照に、原子を特定

2. 結果

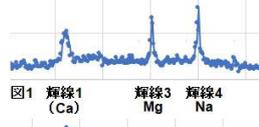
図1～6は縦軸：輝線強度、横軸：画像のx座標(pixel) ※(Ca)(Fe)は完全に特定できていないので()表記とした

図1～3：2021年3月15日

図4～6：2021年5月12日

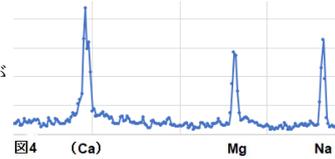
<図1 高高度>

- ・Mg,Na の強度が高い
- ・輝線1 (Ca) の強度が低い



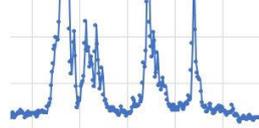
<図4 高高度>

- ・(Ca)、Na の強度が高い



<図2 中高度>

- ・全ての輝線の強度が上昇



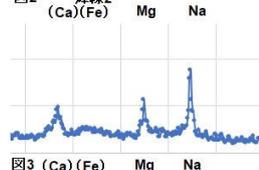
<図5 中高度>

- ・全ての輝線の強度が低下



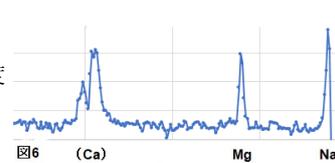
<図3 低高度>

- ・全ての輝線の強度が低下
- ・輝線1 (Ca) の強度の低下が大きい



<図6 低高度>

- ・全ての輝線の強度が上昇



3. 考察

- ・2つの観測結果の違いの原因はもとの流星体の個体差によるものである
- ・図2図3における輝線2はFeであろう

4. 今後の展望

- ・より多くのデータを集める
- ・今回特定できなかった輝線1,2とその他の小さな輝線の原子の特定
- ・流星群ごとの特徴を分類したい

5. 使用ソフト

- ・すばる画像処理ソフト「マカリ」
- ・Microsoft Exel
- ・ステライメージ
- ・UFO Capture

6. 参考文献

- ・理科年表 令和4年
- ・国立天文台分光宇宙アルバム
<https://prc.bao.ac.jp>

すばる望遠鏡HSCのデータから未発見小惑星の検出

小林 修也、塩原 吉徳 (高2) 【新島学園高等学校】

要旨

未発見小惑星を探索するアプリケーションCOIASを使用して、画角1.77平方度のすばる望遠鏡HSCの画像データから小惑星を364個探索することができた。

1. はじめに

すばる望遠鏡HSC(Hyper Suprime-Cam)^①のデータから小惑星を検出し、位置測定・測光及び軌道計算を行うアプリCOIAS(Come On! Impacting Asteroid)を使用した。このアプリは日本スペースガード協会の浦川 聖太郎氏を中心に開発が進められている。COIASは第3回新天体探索者会議^②の資料で知った。

2. 方法

MacのターミナルやUbuntuの端末を使用してコマンドで操作する「オリジナルCOIAS」とブラウザを使用して操作する「デスクトップCOIAS」がある。本報告はUbuntuにCOIASの環境を設定して「オリジナルCOIAS」で探索を行った。測光半径は6pixelで行った。図1はオリジナルCOIASでHSCデータを表示した画像である。図2はオリジナルCOIASで移動天体以外をマスキングした画像である。移動天体はマスキングされないで表示される(丸印)。探索は図2の画像を確認して行う。探索に使用したすばる望遠鏡HSCのデータは、2017年7月24日の24時(世界時)、画角1.5度×1.5度(1.77平方度)、撮影中心座標 赤経20h3m07s赤緯+20°22'55" (いて座の方向)、rフィルター、露出時間240秒である。COIASの中で移動天体の位置座標と光度を測定し、軌道推定はFindOrbというフリーソフトを使用している。既知の小惑星との同定は行っている。

3. 結果

図3に探索した未発見小惑星の空間分布を示す。探索した未発見小惑星は364個となった。図4に探索した未発見小惑星の光度分布を示す。図中の直線は光度21等星から光度24等星までの値で求めた近似直線である。図5に探索した未発見小惑星の大きさの分布を示す。小惑星の大きさは計算された推定値の範囲の中央値を使用している。図6に探索した未発見小惑星の軌道長半径の分布を示す。なお、観測が1日であるため軌道長半径はおおよその推定値である。太陽系の小惑星の軌道長半径は火星1.5au、木星5.2au、天王星19.2au、海王星30.1auである。

4. 考察

図3よりHSCの撮影領域全体にわたり均一に小惑星を発見している。1平方度あたり206個探索できた。図4より光度が25等星より暗くなると発見数が急激に少なくなり、このシステムで発見できる限界と考えられる。暗い小惑星の数は多く、近似直線よりこの領域(1.77平方度)に25.5等星の小惑星は本来120個くらいあると見積もれる。図5より探索した未発見小惑星の大きさは1000m以下が95.3%であり、グラフには表れていないが、130km、280kmと計算されたものもあった。図6より探索した未発見小惑星の軌道長半径は、小惑星帯のメインベルト付近が多く、その数は357個で全体の98.1%であった。木星軌道付近が3個で、木星より大きな軌道長半径の小惑星が3個あり、海王星より遠い40auと42auの小惑星が2個あった。先ほどの直径130kmと280kmの天体はこれらの海王星より遠い天体に該当する。

5. まとめ

オリジナルCOIASのアプリケーションを使用して、すばる望遠鏡HSCのデータから1平方度あたり206個の未発見小惑星を検出することができた。日本スペースガード協会の浦川氏を通して発見報告を行った。

6. 謝辞

日本スペースガード協会の浦川 聖太郎先生にご指導をいただきました。また、今回使用したデータは、国立天文台寺居剛先生が研究代表者として取得したデータを使用させていただきました。厚くお礼申し上げます。

7. 参考

(1)すばる望遠鏡のホームページ <https://subarutelescope.org/jp/about/instrument/hsc/index.html>

(2) Stella Nova 2021 第3回新天体探索者会議集録

https://www.nayoro-obs.jp/stellanova2021/files/StellaNova2021_proc_web.pdf



図1 HSCデータ画像

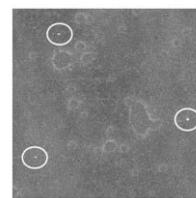


図2 マスキングした画像

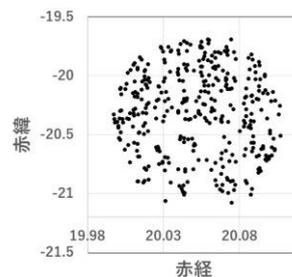


図3 探索した未発見小惑星の空間分布

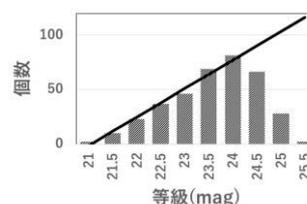


図4 探索した未発見小惑星の光度分布

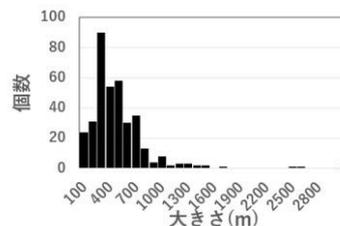


図5 探索した未発見小惑星の大きさ分布

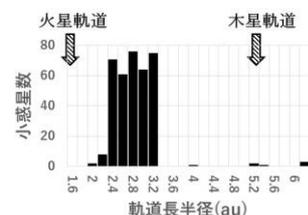


図6 探索した未発見小惑星の軌道長半径分布

小惑星 3Dモデルの表面状態が光度曲線に与える影響について —なめらか vs. ざらざら—

中島 佳人（高2）【新島学園高等学校】、田島 圭（中2）【新島学園中学校】

要 旨

3Dモデルの表面状態の違いが光度曲線にどのように影響を与えるのか検討した。3D小惑星の表面がなめらかな場合とざらざらな場合で光度曲線に違いが現れ、ざらざらの表面の方が光度変化がなだらかになった。

1. はじめに

2022年3月の日本天文学会ジュニアセッションで「小惑星クリームヒルト(242)の光度曲線と3Dモデルの検証」を発表した。今年度は3Dモデルの表面状態の違いが光度曲線にどのように影響を与えるのか検討した。

2. 方法

3D小惑星はホームページ「3D Asteroid Catalogue」⁽²⁾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に変換した後、通常の天体観測と同様に測光した。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。

小惑星の3Dモデルは、昨年度の小惑星クリームヒルト(242)のモデル2を使用した。昨年度の論文より、図1の(2)右側に45度の前後に傾けたときの後30度の自転軸の3Dモデルの光度曲線が実際に観測した光度曲線と良い一致をしたため、本年度も同じ条件で測定した。

小惑星クリームヒルト(242)のモデル2について表面状態がなめらかな状態1と表面をざらざらな状態2を作成した。3Dプリントデータの作成はソフトウェアUltimaker Curaを使用した。表面がざらざらの3D小惑星は、表面に凹凸ファジースキンを付けた。ファジースキンは、厚さ1.0mm、密度3.0/mm、点間距離0.8mmで作成した(図2)。

3. 結果

図3に昨年度の結果⁽³⁾を示す。観測した小惑星の光度曲線（バツ印）は、本校の西村製作所の40cmF5ニュートン式反射望遠鏡で観測した。小惑星の光度が13.3等級であったため、観測誤差が大きくなった。また、3D小惑星の光度曲線はなめらかな表面状態の結果（丸印）を示し、2つの光度曲線が重なるように配置した。

図4に3D小惑星の表面がなめらかな場合（丸印）とざらざらな場合（ひし形印）の2種類の光度曲線を示す。2つの曲線が重なるように配置した。

4. 考察

図4に示すように2つの光度曲線に違いが現れた。表面がなめらかな場合は、LED懐中電灯の光を反射する場所があり変化が大きくなるが、表面に凹凸があると光が適度に散乱して光度曲線がなだらかになると考えられる。

5. まとめ

3D小惑星の表面がなめらかな場合とざらざらな場合で光度曲線に違いが現れ、ざらざらの表面の方が光度変化がなだらかになった。今後も望遠鏡で観測した光度曲線と表面の状態が違う3D小惑星の光度曲線を比較検討する。

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。また、日本スペースガード協会の浦川聖太郎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)「小惑星の可視測光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/>
- (3) 2022年日本天文学会ジュニアセッション「小惑星クリームヒルト(242)の光度曲線と3Dモデルの検証」 新島学園

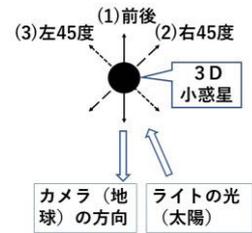


図1 撮影の模式図



図2 3D小惑星

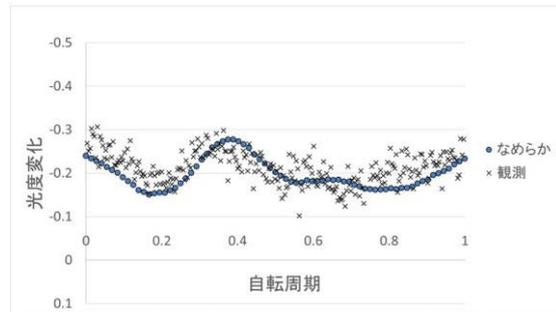


図3 観測結果と3D小惑星の光度曲線

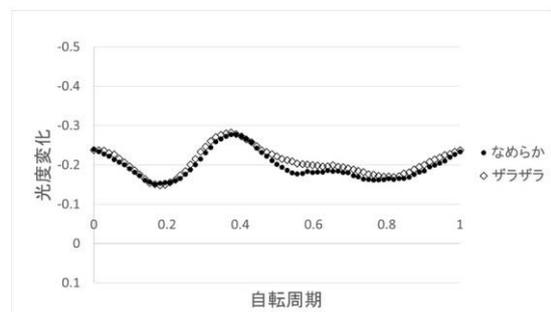


図4 なめらかとザラザラの光度曲線

分光観測による木星大気の組成の研究

地学部：杉本 遥菜、井上 晴人（高2）、青木 小夏、木部 大晟、高野 こころ、高柳 芽幸、塚原 夏海、西形 ひより、原 郁磨（高1）【埼玉県立浦和西高等学校】

要旨

木星の縞模様に対応するスペクトルの差の検出を試みた。しかし撮像した画像では縞模様ははっきりしていなかったため、縞に相当する5つの緯度について解析を行った。その結果いくつかのメタンバンドに相当すると思われる吸収帯は見られたが、緯度による明瞭な差の検出には至らなかった。

1. 本年度の研究

この数年、本校地学部は木星の緯度毎のスペクトルの比較に取り組んでいる。2020年度はメタンの吸収帯等が不明瞭で、明確な差は見出せなかった¹⁾。その際、メタンの吸収帯付近に可視光の二次スペクトルが影響している可能性があったため、2021年度は二次スペクトルの除去に最適なフィルターを選定した。それに加えて、今年度はスリット部を直接視認できるスリットビューワを導入し、以前より精度の高い撮像が可能になった²⁾。そのため今年度は再度、木星の緯度毎のスペクトルの比較を試みた。

2. 観測について

- (1) 観測期間：2022年12月1日～（継続中）
- (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)、スリットビューワ(昭和機械製作所)、冷却CCDカメラ(ATIK TITAN)



図1 主な観測機材

(4) 使用ソフト

撮像：Artemis Capture
画像処理：Makali'i、Stella Image9
解析：Makali'i、Microsoft Excel

3. 撮像および解析方法

(1) 撮像にあたって、木星の縞とスリットが直交し、かつ木星の中央部にあたるように機材を調節し、その状態で30枚撮像した。また波長付けのための画像として対物レンズ側にネオンランプを配置し、木星とネオンのスペクトルが重なった画像も同様に30枚撮像した。前者のうち、程度の良い10枚の画像を選び、ダーク処理、スカイ処理を施し加算平均を行い、得た画像を解析した(図2)。



図2 解析した木星のスペクトル画像

(2) 理科年表³⁾を参照し、ネオンのスペクトルを参考にしながら吸収線を割り当てることで全体の波長付けを行えるようにした。

(3) 解析用画像から、木星の暗部（縞の部分）及び明部に相当する5つの位置を割り当て、それぞれについてMakali'iを用いて取り出したカウント値を輝度値とし、横軸をピクセル値（今後波長付けを行う）として図3のグラフを得た。そのグラフをもとにスペクトルの緯度による差を比べた。

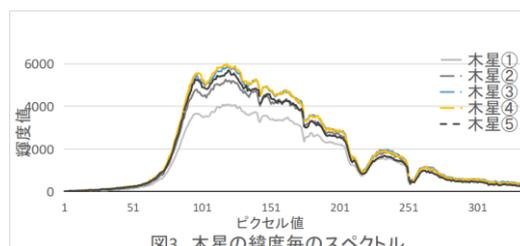


図3 木星の緯度毎のスペクトル

4. 解析結果・考察

解析に使用した画像から縞模様と思われる濃淡の違いを見つけることができなかった。さらにR1フィルターによって可視光部分がカットされるため、眼視においても木星の暗部と明部は視認しにくくなった。これは、暗部と明部の輝度の差の多くが可視光に依存するからだと考えられる。しかし、常時キャプチャ画像を更新し続けているPCのモニタ上では、時折、濃淡が明瞭になることがあった。これは、シーイングが撮像に大きく影響したと推測される。

また、図3より、それぞれのグラフでメタンバンドと思われる吸収線は確認することができたが、異なる緯度のグラフでスペクトルに明瞭な差は見い出せなかった。また、木星の大気は緯度毎に差がない可能性も考えられるが、今後の研究活動で明らかにしたいと思う。

5. 今後の課題

今回の観測ではシーイングのよくない真冬での観測となってしまったが、大気の状態が比較的落ち着いた秋であれば、もう少し良い状態の画像を得ることができるかもしれない。今回の観測方法をもとに次の惑星観測の好時期に再挑戦するとともに、昨年計画していた木星全面のスリットスキャンによる撮像を行い、特定波長による木星像を作成し、木星大気について新たなアプローチをしたいと考えている。

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)、(埼玉県立浦和西高等学校)、日本天文学会ジュニアセッション(2021) 35S]
- 2) 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 [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)、日本天文学会ジュニアセッション(2022) 26T]
- 3) 理科年表 国立天文台編(2023)

7. 謝辞

川口市立高等学校の坂江隆志先生、JAXAの佐藤毅彦先生には貴重なご助言をいただきました。この場を借りて御礼申し上げます。

恒星風からはかる生命の存在可能性

もし天2022 Vento Stellare班：

松尾 恭加（高2）【大阪府立富田林高等学校】、神崎 洸緒（高2）【四天王寺東高等学校】、
大野 智輝（高1）【麻布高等学校】、吉川 梨音（高1）【田園調布雙葉高等学校】

要旨

恒星が周辺の環境に影響を与える手段には放射以外にも様々なものが考えられる。その中で、私たちは恒星風に着目し、地球と火星それぞれの重力と磁場の観点から、生命の存在可能性について議論した。

1. 背景

生命が存在する可能性を示す従来の指標である「古典的」なハビタブルゾーンは、恒星の光度だけで決定される。しかし、太陽系のハビタブルゾーンに存在する地球と火星を見ても、その表面環境には多くの違いがある。最も大きな違いは、生命が存在するために不可欠な液体の水の有無である。液体の水が存在するには十分な大気が必要であり、惑星が十分な大気を保持するにはどのような要素が必要なのかに私たちは興味を持った。

2. 目的

惑星の大気の保持能力には、惑星の磁場、重力、そして主星の恒星風の3つの要素が関係していると私たちは考えた。そこで、主系列星のハビタブルゾーンでの恒星風の動圧を求め、仮にそこに地球/火星があった場合、大気を保持可能か、すなわち生命が存在可能かを調べる。

3. 研究方法

地球と火星の重力加速度比 ($1:0.37$)、磁束密度比 ($1:10^{-4}$) を用いて、重力と磁場の2つの観点から大気が保持可能な恒星風の動圧の値の範囲（太陽比）を求める。P-Cygniプロファイルが見られる恒星を分光観測し、ドップラー効果から恒星風の速さを求め、太陽と比較することで恒星の表面温度と恒星風の速さの相関（以降T-v相関）を求める。恒星の光度から恒星風の密度と速さの積が求まる ($\rho v = (1 - M_{final}/M)L_{\odot}/4\pi c^2$) ので、T-v相関を用いると、恒星の光度と表面温度から恒星風の動圧 ρv^2 が求められる。

4. 観測結果

P-Cygniプロファイルが検出可能だと思われるP Cyg、V1676 Cygの2天体のほか、本当にP-Cygniプロファイルが検出できないのかを確かめる目的で κ Cet、 γ Ori、 α Ori、 β Gem を分光観測した。結果、P-Cygniプロファイルを検出できたのはP Cygのみだった(図1)ため、アーカイブデータからHD152249、HD123008の分光観測データを用いて恒星風の速さを計算し、T-v相関を求めた。

5. 考察

得られたT-v相関から、恒星の表面温度[K]を横軸に、恒星風の動圧（太陽比）を縦軸に取り実際の主系列星をプロットした(図2)。重力の観点では、ハビタブルゾーンでの恒星風の動圧が太陽風の動圧の2.7倍以上になるとハビタブルゾーン内に存在する地球と同じ重力を持つ惑星は大気を保持できないため、たとえばA型以上の主系列星では、地球が存在したとしても生命が存在できないと考えられる。また、本研究において、磁場の観点では、火星に生命が存在できるような恒星は見つからなかった。

6. 今後の展望

今回、重力の観点におけるハビタブルゾーンでの恒星風の動圧の上限については考察できたが、火星でも大気を保持できる値(太陽風の動圧の0.37倍以下)が得られることが期待される赤色矮星について、Initial-Final Mass Relationが定まっていないため、今回の研究方法では正しい恒星風の動圧が求められなかった。そのほか、恒星自体の変動を考慮していないこと、青色超巨星と太陽で求めたT-v相関が主系列星に適用可能か、など、考慮すべき点は多々ある。

7. 参考文献

シリーズ〈宇宙物理学の基礎〉『輻射輸送と輻射流体力学』梅村 雅之 福江 純 野村 英子 日本評論社
NASA / Goddard Space Flight Center (2010)
Goddard Space Flight Center (2010) :New Map Provides More Evidence Mars Once Like Earth
Stevenson, D. J., 2010, Space Sci. Rev., 152, 651-664
Jack Connerney (2010) : Mars Magnetic Map

8. 謝辞

仙台市天文台の皆様、もし天2022のスタッフの皆様にご心より感謝申し上げます。ありがとうございました。

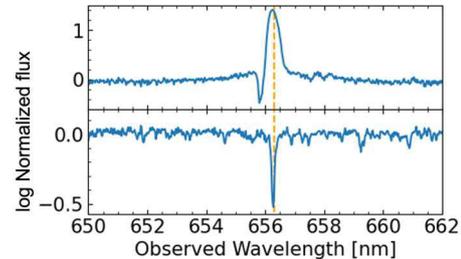


図1. 観測によって得られたスペクトルの例。上図がP Cyg、下図が β Gemで、どちらもHaの中心波長656.3 nmを中心としている。

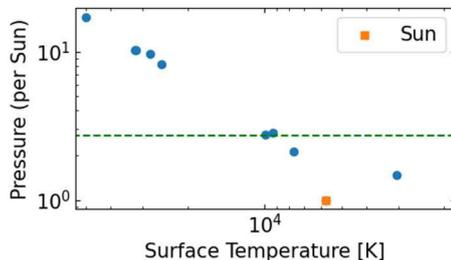


図2. 恒星の表面温度と恒星風の動圧の関係。四角で示したのが太陽で、動圧は太陽の値で規格化している。点線は動圧が太陽の2.7倍となる位置を示している。

恒星・惑星の条件からハビタブルゾーンの存在を探る

葛西 義之介 (高2) 【東京学芸大学附属高等学校】

要旨

本研究の目的は、生命の存在可能性とも関わりのある「ハビタブルゾーン (以下HZ)」がどのような場所に、どのような条件ならば存在するのかを明らかにすることである。物理的な計算をすることで具体的に計算式の精度を確かめながら一般へと応用し、結果として木星よりも外側を公転する惑星はHZに入ることがあり得ないといった結果を得た。

1. はじめに

「宇宙に地球外生命が存在するのか」という問いに人類は昔から大きな興味を抱いていた。この議論で助けとなるのが、1953年に提唱されてから研究が進んできたHZである。HZとは、ある惑星系においてその場所に惑星があれば液体の水が存在すると考えられる範囲のことで、James F. Kastingら(1993)は、HZの範囲を内側は暴走温室状態にならないことから、外側は全球凍結にならないことから、0.95auから1.37auであると定義した。このように、具体的な条件におけるHZの測定は行われているがHZの一般化はあまり行われていない。そこで本研究ではHZができる条件をいくつかの側面に絞って検討し、どんな条件でHZができ、どのようにすればでき得ないのかを探究することを目的とした。

2. 方法

太陽系を例にしてHZの外側と内側における太陽定数(以下C) (1m^2 あたりの恒星から受け取るエネルギー量 (W/m^2)) を計算し、これをもとに様々な条件下でのHZの範囲を求めた。次に、遠心力、万有引力の式から惑星が存在する位置を求め、先ほど求めたHZの範囲と連立し、どんな条件ならばどこにHZができるのかを探究、考察した。

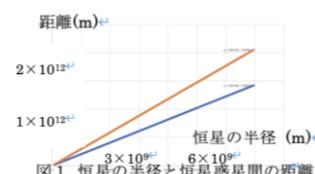


図1 恒星の半径と恒星惑星間の距離

3. 結果

0.95au, 1.37au地点でのCを求めた。最大C (0.95au) $1527.71 (\text{W}/\text{m}^2)$ 最小C (1.37au) $734.59 (\text{W}/\text{m}^2)$ この数値を用いて恒星の半径を変えた場合のHZの変化を計算したところ図1のように図中の二つの直線で囲われた領域としてHZを表せた。

次に惑星の存在できる位置を一般化するため次のように式を立てた。

$$\textcircled{1} \quad \text{万有引力}(F = G \frac{Mm}{r^2}) \text{と遠心力}(F = mr\omega^2) \text{が釣り合う} \rightarrow r^3 = \frac{GM}{\omega^2} \dots \textcircled{1}$$

$$\textcircled{2} \quad \text{主系列星の質量}^2 \text{が密度に反比例} \rightarrow M = r_f \times \sqrt[3]{\frac{4}{3}\pi \rho} \dots \textcircled{2} (r_f = \text{恒星の半径}(m))$$

$$\textcircled{3} \quad \textcircled{1} \text{式に} \textcircled{2} \text{式を代入し、定数をまとめた} \rightarrow r = \frac{r_f^3 \times 5760}{\omega^3} \dots \textcircled{3}. \text{この式から計算し、先}$$

ほどのグラフに重ねた結果図2を描くことができた。

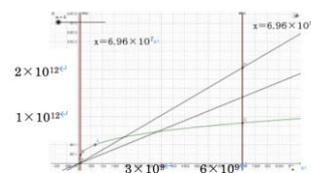


図2 図1に惑星の存在する位置を重ねた図

4. 考察① 太陽系の数値を用いた実例

①式は恒星の半径 r_f と惑星の公転角速度 ω の二つが変数である。まずは角速度を実際の惑星に当てはめて考える。地球...HZ内に惑星が存在するためには $44\text{万km} < r_f < 75\text{万km}$ で、実際の太陽半径 r_0 69万kmを含む。→HZ内にある。火星... $82\text{万km} < r_f < 141\text{万km}$ で、 r_0 を含まない。→HZにない。金星... $27\text{万km} < r_f < 46\text{万km}$ で、 r_0 を含まない。→HZにない。

5. 考察② 一般的な系外惑星で考えた場合

式からわかるように恒星の半径 r_f を固定して角速度 ω だけを大きくすると距離 r は小さくなり、角速度 ω だけを小さくすると距離 r は大きくなる。つまり、角速度を大きく(あるいは小さく)すれば絶対にHZを持ちえない角速度を求めることができる。これを計算したところ次のようになった。

$$\omega \text{の最小値の場合} \quad 1.24 \times 10^{-8} (\text{s}^{-2}) \dots \textcircled{2} \quad \omega \text{の最大値の場合} \quad 2.15 \times 10^{-6} (\text{s}^{-2}) \dots \textcircled{3}$$

角速度が②の時公転周期は約16年、角速度が③の時公転周期は約34日になる。②に近い惑星には木星(約12年)と土星(約30年)がある。すなわち、太陽系でいうと木星よりも外側にあるような惑星はどんなに中心星が膨張(収縮)しても恒星が主系列星である限りHZには入り得ないのである。同様に③近い惑星には水星(88日)がある。すなわち、太陽系でいうと水星よりも太陽の近くを回るような惑星も同様にHZには入り得ないとわかる。

6. 考察③ 計算の妥当性の調査

実際にHZの推定がなされている系外の惑星系であるTrappist-1のデータを用いて今回の探究の妥当性を調べた。(Trappist-1とは地球から水瓶座の方向にある太陽の1/10ほどの恒星であり、周囲にbからhまで7つの岩石惑星が見つかっている。中でもe,f,gの三つはHZ内にあるとされている。)すると、7つの惑星のうちd,eの二つの惑星がHZ内にあるとわかった。実際の結果とは差が出てしまったが、これはTrappist-1の半径が今回の「主系列星」の定義の端であること、惑星系のサイズが小さすぎて誤差が非常に大きく出てしまうことが要因として挙げられる。

7. まとめ

このように、その惑星がHZに入りうるかどうかはその惑星の公転周期が分かれば計算することができた。また、5での計算によると私たちがハビタブル惑星を探りたい時には木星よりも公転周期が長い惑星について考える必要はないのである。もちろん今回の計算はかなりシンプルなものであるし、恒星の半径と表面温度の関係なども取り入れられていないが、今後の研究ではこのようなことも考えていきたい。

8. 参考文献

James F.Kasting, Daniel P.Whitmire, Ray T.Reynolds. (1993). Habitable Zones around Main Sequence Stars.

Icarus. 101. 101-128

Nasa "Largest Batch of Earth-size Habitable Zone Planets Found Orbiting TRAPPIST-1".

<https://exoplanets.nasa.gov/trappist1/> 2023/01/24

惑星系における軌道の重力の影響と惑星の特徴

東塚 匠飛、三村 昊 (高2) 【兵庫県立姫路西高等学校】

要旨

惑星系の特徴について、その惑星系の持つ惑星の数や種類、また構成などによる重力的な影響の観点からとらえるための研究を行った。

1. 研究目的・意義

本研究はほとんど研究のなされていない、惑星系のパラメータ的な特徴からその惑星系にどのような種類の惑星がどれくらい存在しているのかについての研究を行う。本研究では、判明している情報から惑星が存在しているかどうかの判断を助け、新たな系外惑星発見の手掛かりになることを目指している。先行研究とこの研究にあたり実施した事前調査により判明している惑星軌道は主星の質量と関係している点(星野, 2022)やスーパーアースを含む惑星系は惑星保有数が多い点(平野, 2017)、ホットジュピターを含む惑星系は惑星保有数が少ない点(Jonathan, 2021)、3つ以上の惑星を持つ系において岩石惑星およびスーパーアースとガス惑星がともに存在していること系が少ないという計3点を考慮したうえで次の2つのリサーチクエスチョンを立てた。

1. 惑星軌道は重力の影響によって決まるのではないか
2. どのような特徴を持つときに岩石惑星、スーパーアース、ガス惑星が共に存在するのか

2. 研究方法

初めに本研究において惑星保有数をその惑星の属している惑星系内に存在している惑星の数と定義する。NASA Exoplanet Archiveが公開している複合データ4,896個(2022年10月13日現在)の系外惑星のデータを使用して分析を行った。各惑星のデータの内、軌道長半径と惑星質量についてそれぞれ常用対数を取りK-means法を用いたクラスタリング分析で3つのクラスに分類した。これに加えてNASAホームページで採用されているスーパーアースの定義に基づき $1R_E < R_p \leq 3.9R_E$ の惑星をスーパーアースと分類し、4つに分類した。研究手順としては、第一の研究として、スーパーアースの公転軌道について、目的変数を離心率、説明変数を軌道長半径、惑星半径、ヒル半径として重回帰分析を行った。2つ目の研究としては、3つの惑星を持つ系について、ガス惑星が存在する惑星系と存在しない惑星系それぞれについて含まれる惑星の特徴を調べた。

3. 結果・考察

表1:惑星保有数が2つの惑星を対象とした重回帰分析の結果

	係数	P-値	重相関 : 0.369 ^e 重決定 : 0.136 ^e 観測数 : 78 ^e
切片	0.055	0.001	
軌道長半径	-0.386	0.017	
ヒル半径	0	0.295	
惑星間の距離	0.496	0.014	

表1から、説明変数に挙げた3要素は公転軌道と関係があまりないことが分かった。

ガス惑星と岩石惑星またはスーパーアースが同一惑星系内に共存しているときその惑星系に存在するガス惑星は他のものよりも軌道長半径が大きく質量は大きくなった。また岩石惑星やスーパーアースの特徴として軌道長半径が小さく恒星の周りを高速で公転しているという特徴がみられた。

4. 結論及び今後の展望

結果よりスーパーアースについて相関関係はみられなかった。これは公転軌道に関して重力は、惑星の形成の段階での要因に比べ影響力が小さいからであると考えた。また、ガス惑星と岩石惑星やスーパーアースが共存している系は惑星が形成される段階で十分に惑星間の距離があったために重力的な安定性が惑星同士で脅かされなかったからであると考察した。今後はほかのパラメータでも検証していきたい。

5. 参考文献・引用文献

- NExSci(2022). NASA Exoplanet Archive. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>. 2022/10/13
- Schulze-Makuch, D. (2011) Two-Tiered Approach to Assess the Habitability of Exoplanets. *Astrobiology* 11(10): 1041-1052
<https://academic.oup.com/mnras/advance-article-abstract/doi/10.1093/mnras/stac3756/6960582?redirectedFrom=fulltext>
- Jonathan J. Fortney, Rebekah I. Dawson, Thaddeus D. Komacek. (2021). Hot Jupiters: Origins, Structure, Atmospheres
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020JE006629>
- Jonathan J. Fortney, and Christophe Sotin. (2013). Structure of exoplanets
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1304206111>
- 成田憲保 (2020). 『地球は特別な惑星か?』. 講談社
- 平野照幸 (2017). 『太陽系外惑星探査: 見えてきた多様性とその起源』. 『日本物理学会誌』, 72(2), 105-11
- 成田憲保 (2013). 『観測による巨大惑星の軌道進化理論の検証』. 『日本惑星科学会誌』, 29(4), 242-251
- 井田茂, 渡部潤一, 佐々木晶 (2021) 『太陽系と惑星 [第2版] シリーズ現代の天文学』
- 星野遥, 小久保栄一郎 (2022). 『巨大衝突によって形成される惑星系の軌道構造: 恒星の質量依存性』. 『王立天文学会』

系外惑星の公転軌道の離心率に関する考察

新井 優凜子、江本 祐大、北原 美乃里、森本 朱音 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

要旨

楕円軌道の近日点と遠日点における速さを真円の場合の速さと比較した。発見されている系外惑星のデータから、太陽系内惑星に比べ、系外惑星では公転軌道の離心率が大きいことについて考察し、その理由を探る。

1. 研究背景

惑星の楕円軌道を描く要因について考察し、その離心率の違いを決定する要因を探ることにした。一般的に系外惑星は楕円軌道をとるといわれているが、系外惑星データベースより、現在発見されている系外惑星のうち の半分以上は離心率が0に近く、これは真円に近い軌道をとる系外惑星が多いことを表している。しかし、真円に近いものの比率は太陽系内惑星に比べると低く、系内惑星よりも離心率が大きい系外惑星が多い。その理由について考察する。

2. 研究の方法

楕円軌道を行なっている惑星の、近日点における速さを V_p 、遠日点における速さを V_a とおく。楕円軌道において、①(運動エネルギー)と(中心星の引力による位置エネルギー)の和、すなわち力学的エネルギーが保存されること②ケプラー第二法則(面積速度一定の法則)が成り立つことを利用して、 V_p 、 V_a を求めた。図1は、横軸に離心率、縦軸に V_a に対する V_p の比を取ったものである。図2は、横軸に離心率、縦軸に質量を取った。系外惑星は、太陽系内惑星と比較すると、離心率が大きい軌道を描くものが多い。

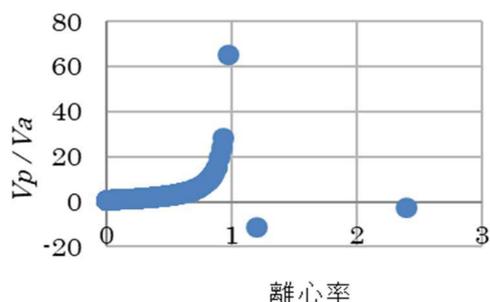


図1 離心率と速さの比との関係

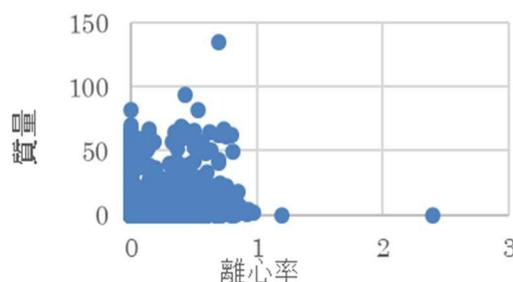


図2 離心率と惑星質量の関係

3. 考察

現在発見されている系外惑星が、系内惑星と比較して軌道の離心率が大きいものが多いことについて、理由を考察した。太陽系では、惑星は太陽と同時期に形成されたことは、その軌道が真円に近いものが多い理由ではないだろうか。一方、系外惑星では、多様な形成過程のものが存在し、中心星とは別の起源でできた惑星が近づいてきて中心星の引力で系内に留まり惑星となったものもあると考えられる。その場合、中心星に近づく際、速度成分が楕円軌道を描く要因となる場合があると考えられる。

また、系外惑星は遠距離でも発見されていることから質量が大きいものが多いと考えられる。観測対象の中心星の質量が大きいと離心率の影響にも多様な可能性が想定される。

なお楕円では万有引力の大きさが軌道上の位置によって異なる。軌道上で遠心力と万有引力が逆向きで大きさが等しい地点を通過した直後に、惑星の質量が大きい場合は、そのバランスが崩れやすいのではないだろうか。使用したデータベースでは、全系外惑星の95%以上が地球の質量を超えていた。質量が大きいことによって、中心星と惑星の間の引力が大きく向心加速度が大きいため、接線方向の慣性とのバランスが崩れるのだろうか。円軌道と速さが等しくなる地点が楕円軌道上に存在することは、ケプラー第二法則を解いて示すことができた。図2の散布図から質量が大きいと離心率が大きい傾向にあることが見てとれる。恒星の質量との関係性は認められるかどうか、引き続き考察を続けたい。

次に、その系内の惑星が複数の場合、離心率に影響を及ぼすことが知られている。その理由について考察する。惑星の個数が2個と3個の場合とで比較すると、惑星の数が多きほど、離心率は大きくなる。惑星が系内で比較的近距离に複数存在する場合、惑星の運行は中心星の重心との引力に加え、他の惑星との位置関係、配置にも影響されるのではないだろうか。複数の惑星の配置がその軌道上の運行に影響を及ぼすと推測する。こちらについても引き続き考察を続けたい。また、軌道が楕円に近づくこと、軌道における最大速度と最小速度の大きさの比が大きくなると考えられる。図1より楕円軌道の離心率が大きくなると、速さの比はより大きくなることがわかる。

4. まとめ

系外惑星は、太陽系内惑星に比べ、離心率が大きいものの比率が高い。中心星の質量や、惑星の個数および質量、複数の惑星の配置や重心に影響される。離心率の違いは、その系の形成過程と深く関わりがあると考えられる。

参考文献 シリーズ現代の天文学 第9巻「太陽系と惑星」渡部潤一・井田茂・佐々木昌編 日本評論社
ExoKyoto <https://www.exoplanetkyoto.org>

系外惑星の内部熱源の起源に関する考察

増田 陸人、藤木 美羽、大下 怜莉、藤井 朝弘 (高2) 【大阪府立北野高等学校】

要旨

昨年度の本校の研究テーマであった、系外惑星の内部熱源と重力エネルギーの相関を再検証した。また、潮汐加熱、放射性物質の崩壊熱も内部熱源と相関するかを調べた。

1. 研究の方法

主星から入射するエネルギーと惑星から放出するエネルギーが釣り合うと仮定すると、 T_{eff} を主星の有効温度、 R を主星の半径、 a を公転半径としたとき、惑星の平衡温度 T_{eq} は $T_{eq} = T_{eff}\sqrt{R/2a}$ と表される。

また、惑星が主星の裏側を通過する際の減光率から求めた惑星の輝度温度 $T_{brightness}$ を観測温度、平衡温度 T_{eq} を予測温度と考え、必要なパラメータが分かっている68の系外惑星にこの計算を行った結果が図1である。

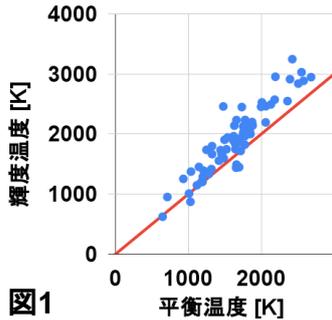


図1

直線は観測温度 = 予測温度を示している。ここから、観測温度が予測温度よりも数百K高い惑星が多いことがわかる。昨年の研究に引き続き、この温度差を内部熱源によるものだと考えて、その起源を探ることとした。

今回は一般に内部熱源の起源と言われている、潮汐加熱、放射性物質の崩壊時に発生する熱、重力エネルギーの三つについて検証する。以下 σ はステファン・ボルツマン定数、 R は惑星の半径、 $f(t)$ は時刻 t での輝度温度 $T_{brightness}$ を表す関数、 ω は惑星が公転するときの平均角速度、 G は重力定数、 e は惑星の離心率、 M は惑星の質量を表す。

まずは内部熱源と潮汐加熱との相関を調べる。ステファン・ボルツマンの方程式から、時刻 t 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

$$E_{lost} = 4\pi\sigma R^2 \{f(t)^4 - T_{eq}^4\} [J/s] \dots \textcircled{1}$$

また、潮汐加熱の加熱量は $E_{tidal} = -\frac{21}{2} Im(k_2) \frac{(\omega R)^5}{G} e^2 [J/s]$

ここで $-\frac{21}{2} Im(k_2)$ の値が不明なため、これを1として、内部熱源との相関のみを調べることにする。

次に放射性物質の崩壊時に発生する熱との相関を調べる。密度が $2.0g/cm^3$ 以上の惑星に絞り、 $1kg$ あたりに含まれる放射性物質の量と半減期が、参考文献にある地球の値と等しいと仮定し、崩壊熱を算出した。

最後に重力エネルギーとの相関を調べる。現在の時刻を t_1 としたとき、 $\textcircled{1}$ 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求められる。しかし、 $f(t)$ の式が不明なため、

$$E_{lost} = 4\pi\sigma R^2 \{T_{brightness}^4 - T_{eq}^4\} \cdot t_1 [J] \dots \textcircled{2}$$

としての $\textcircled{1}$ の積分の下限値を求めることにする。また、重力エネルギーは無限遠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、 $E_{gravity} = \frac{3GM^2}{5R} [J]$ で求めることができる。

2. 結果

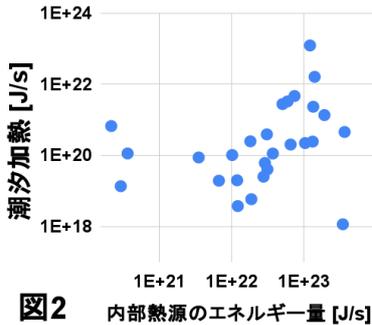


図2

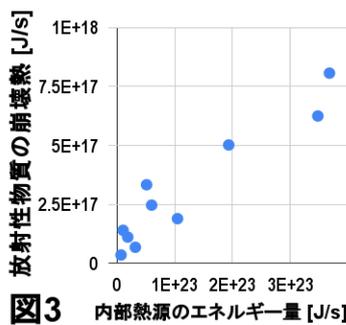


図3

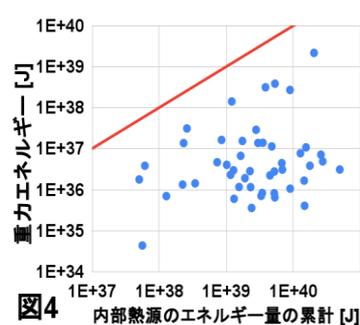


図4

3. 考察

図2より、外れ値を除外すると潮汐加熱のエネルギー量と内部熱源のエネルギー量との間に相関があることがわかる。図3より、放射性物質の崩壊熱も内部熱源エネルギー量との相関があることがわかる。しかし図4では、重力エネルギーと内部熱源エネルギー量の累計との間に相関があるグループと、相関がないグループがあることがわかる。このようなばらつきが生まれたのは、 $f(t)$ の式が不明であり、 $\textcircled{2}$ の値が正確ではないためだと考えられる。

4. まとめ

考察より、潮汐加熱と放射性物質の崩壊熱は内部熱源の起源であると言える。しかし、重力エネルギーは内部熱源に関与していると見られるものの、相関はあまり見られない。

5. 参考文献

Charbonneau D. et al., 2005, The Astrophysical Journal, vol. 626, pp. 523-529.
M. Segatz et al., 1988, Icarus, vol. 75, pp. 187-206.
Turcotte D.L. and Schubert G., Geodynamics, Cambridge University Press, 2002
福江純・沢武文・高橋真聡 編 『極・宇宙を解く』恒星社厚生閣 (2020)
The Extrasolar Planets Encyclopaedia <http://exoplanet.eu>
NASA Exoplanet Archive <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>

The efficiency test of Lunar dust test by comparison of lunar color with the value of dust particle in the air (Case study from Phetchaburi province, Thailand)

Ms. Supitsara Kongsatan (Grade 12)
[Benchamatheputhit Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

Abstract

The purpose of doing this project is to allow people to observe the color of the moon and then be able to initially determine how much dust is in the air, whether it is suitable for outdoor activities, or has negative health impact. The researcher photographed the moon using Canon Powershot SX 430 IS camera from April to May 2022. Then, analyzed the color of the moon, and compared it to Air Quality Index (AQI) based on PM 2.5 concentration using the application AirVisual. The researcher created a Lunar Dust Test Sheet, an indicator that has a color index, based on the color of the moon observed from high to low light. This was used to compare the concentration of particulate matter according to AQI criteria set for Thailand. After using the Lunar Dust Test Sheet, 92% of the respondents were able to correctly determine the AQI values.

Introduction

The moon's different colors are caused by dust particles or clouds in Earth's atmosphere. As a result, the researcher came up with the idea of comparing the color of the moon to air quality so that people can observe initially determine how much dust is in the air, whether it affects their health, or whether it is suitable for outdoor activities. Higher concentration of dust and air pollution harms the respiratory system and lungs. Therefore, if people can recognize the initial amount of pollution in air, they will be able to protect themselves from these risks.

Method

Part 1: Compared the color of the moon with the Air Quality Index.

1. Photographed the moon over a period of approximately 2 months (April–May 2022) with a Canon Powershot SX 430 IS camera, capturing the moon every hour.
2. Collected Air Quality Index data from Application AirVisual at the same time the first photo was taken.

Part 2: Created a Lunar Dust Test Sheet (AQI indicator) and tested its efficiency.

1. Using the captured image of the moon, the largest color code was identified using the Color Palette

Generator on the Canva website, and repeated this pattern for all images, sorting the colors in groups.

2. Then, analyzed the color range similar to the air quality index level. This data was used to create the Lunar Dust Test Sheet.
3. To test the efficiency of the test sheet, the respondents held the test card and observed the color of the moon with their naked eye. The respondents were asked to predict the AQI level using the test sheet and compared it to the Air Quality Index of Thailand set at 5 levels - very good air quality, good air quality, moderate air quality, unhealthy air quality, very unhealthy air quality.

Result

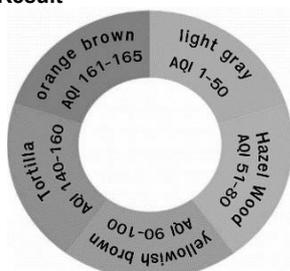
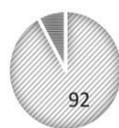


Fig 1. Shows the difference in color of the moon and AQI.



■ Can identify AQI level in the area
■ Can't identify AQI level in the area

Fig 2. shows data on the efficiency of the use of the test strips.

From Fig 1. Shows the difference in color of the moon and AQI at 5 levels – Light gray AQI 1-50 (very good air quality to good air quality), Hazel wood AQI 51-80 (moderate air quality), Yellowish brown AQI 90-100 (moderate air quality), Tortilla AQI 140-160 (unhealthy air quality), Orange brown AQI 161-165 (unhealthy air quality). From Fig 2. Shows data on the efficiency of the test strips (Lunar Dust Test Sheet) from a sample of 25 people that with the use of the test sheet, 92 percent correctly identify the AQI level. 8 percent incorrectly identified.

Conclusions and Discussion

The study found that the Lunar Dust Test Sheet can be used as an indicator of the Air Quality Index by observing the color of the moon. Results show that with the use of the test sheet, 92 percent correctly identify the AQI level. A probable reason for the remaining 8 percent incorrectly identified may be due to the cloudy nature of the air that usually happens before it rains at night.

Acknowledgments

I would like to thank Mr. Thawatchai Suwanwong and Ms. Salidda Jutiwetch, the project advisors, who helped and provided useful suggestions. Thank you to the Astronomical Research Institute (a public organization) for giving me the opportunity to present. Finally, I would like to thank my family for their encouragement and support in the fulfillment of this project.

References

- Pattida Punyaruk. (2018). comparison of the moon's color during the day and night, as well as the level of different elevation angles at night. The 5th Astronomy Conference of Thailand. pp. 43-45.
- Atitiya Noppasakul and Pawarawan Omchomphu. (2019). A Study of the Color and Characteristics of the Moon. The 6th Astronomy Conference of Thailand. pp. 178-181.
- Matipol Tangmatitham. (2020). Practical Astronomy Study Guide. 5th edition. Academic Service Center and communication in astronomy astronomy research institute (Public Organization)

The simulation of the solar system's interplanetary eclipses
 Mr. Kritsakorn Sataratpayoon, Miss Kanrawee Chamsaeng, Miss Pimchanok Kesorn (Grade 12)
 [Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

Abstract

This research aims to (1) simulate the motion of solar system objects, (2) simulate the transit of Venus and Mercury in front of the Sun, and (3) simulate interplanetary eclipses in the solar system. Characterization, perspective on the eclipse as a phenomenon and the timing of the occurrence can be predicted by using N-body simulation. To solve the N-body problem, the simulation model is created using the Python 3 programming language and the Leapfrog method. Observing an eclipse as part of a planetary transit of a planet in the solar system from the past to the future or at any given time is included in this work. The results showed that the created model can accurately model the motion of solar system objects. When compared to the database, the created model can represent the previous transit of Venus and Mercury. When the observer's position is changed, the created model can simulate the eclipse as seen from other planets. The results after being compared to the database indicated that the created model can simulate the motion of objects in the solar system with increasing error over time, replicate previous Venus and Mercury transits and simulate the eclipse as seen from another observer's position.

Research background

Eclipses occur naturally when an object moves through a plane and the light source aligns in a straight line with the object and observer. This allows the observer to see the object as a dark shadow that extends beyond the light source. The authors made the decision to investigate this phenomenon by creating a model using computer programming. It can simulate eclipses on planets in the solar system by programming in Python and using the Leapfrog numerical method to solve problems with various objects. To create models that simulate the nature and perspective of the Venus and Mercury eclipse phenomena as seen through the Sun's and other planets' faces in the solar system.

Method

PART1: Simulate the motion of solar system objects.

1. Write a Python modeling program, using NumPy to perform mathematical operations and Matplotlib to draw graphs, for the equations used in the calculations as follows:

- 1.1 Newton's law of gravitational

$$\vec{F} = \frac{Gm_1m_2}{r^3} \vec{r} \tag{1}$$

- 1.2 Equation of position and velocity calculation for, "Leapfrog method":

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

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t \tag{3}$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) + \vec{a}(t + \Delta t) \frac{\Delta t}{2} \tag{4}$$

2. Use the initial positions and initial speeds of solar system objects on January 1st, 2021, 0.00 UT from JPL's HORIZON database.
3. Simulate the model, then compare the model's results, positions, and velocities, to the data in the database and determine the percentage error.

PART 2: Simulate the transit of Venus and Mercury in front of the Sun.

1. Change the initial conditions to January 1st, 2004, 0.00 UT.
2. Translate the position of the solar system with the Sun's position at the center.
3. Rotate the object to be observed around the Y and Z axis, respectively, with the observer's position on the X axis, will find that the view from the planet to the sun is the YZ plane.
4. Convert units from distance to angular distance. to be consistent with the view in the real situation according to equation 6.

$$\delta = \arctan \frac{d}{2D} \tag{6}$$

5. Simulate Venus and Mercury transiting in front of the Sun and compare the occurrence of the phenomenon to the database.

PART 3: Simulate interplanetary eclipses in the solar system.

Change the initial value in the model to be able to specify the point of view from the observation point to the phenomenon.

Summary

PART 1: Simulate the motion of solar system objects.

The outcomes demonstrated that the developed program can precisely solve the N-body problem and

replicate the motion of solar system objects, though there is some error. Increasing the time interval between calculation times, will make the created model less inaccurate.

Part 2: Simulate the transit of Venus and Mercury in front of the Sun.

The transits of Venus and Mercury can be simulated to show the phenomenon as seen from the center of the Earth. The result of the figures compared to the actual events in Figure 1. When comparing data from the simulated result with data from databases, the results show that with increasing time since the initial condition of the selected event, the error of the starting date increases. The absence of other celestial bodies in the solar system that were not included in the simulation, such as asteroids or moons, may also be the cause of the error.



Figure 1 The compared Venus transit result from simulation and real event in 2004 and 2012. (NASA, 2012)

Part 3: Simulate interplanetary eclipses in the solar system.

The results of the interplanetary eclipse are represented in Figures 5 and 6. The study revealed that the model of the Venus and Mercury transit phenomena can be utilized to describe the eclipses of other planets in the solar system since the model developed will display the characteristics of the eclipse from the planets' center of mass. By the way, a spherical shape for the star image in the model was assumed. It cannot simulate the occurrence of the stars that do not have spherical shapes are incompatible with it, such as moon Phobos.

Acknowledgement

We would like to thank our advisor, Mr. Taweerak Thunphuttha and the National Astronomical Research Institute of Thailand (Public organization). We would not have achieved this far, and this project would not have been completed without all the support.

Reference

NASA. (2012). Solar Paths of 2004 and 2012 Venus Transit. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/gallery/2004-2012-transit-paths.html [25 January 2022]

NASA. (2022). JPL's Horizon. [Online]. Available: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/> [25 January 2022]

The Simulation of Comet Orbit in Solar System
 Mr. Nattawat Chaitong (Grade 11)
 [Prommanusorn Phetchaburi School, Phetchaburi, Thailand]

Abstract

In observing objects in the sky, the observer can determine the coordinates of that object, but could not know the orbit. The author is impressed by comet motion. As a result, the goal of this project is to develop a comet motion model using Python 3 programming and Euler's method to calculate comet movements, utilizing celestial equator velocity and coordinates of the comet as initial values, and then test the discrepancy. By using Comets as follow: Tempel 1, Holmes, and Ancke to test the model, which has an error of the eccentricity of 54.2%, 54.4%, and 68.7% respectively in comparison to the reference source, the results demonstrated that the model can be used to simulate comet motion. The errors in this simulation were brought on by the fact that the created model did not take Jovian planets into account.

Research background

Ice-covered space objects known as comets are thought to have their origins at the solar system's periphery. The comet becomes heated as it gets closer to the Sun, which causes the ice to vaporize from the sun and become the head and tail that are visible. Because comets' orbits differ from planets', they are more fascinating. A common numerical approach for estimating model solutions to different problems is the Euler's method. As a result, the researcher is interested in simulating comet motion using Python and Euler's method as a computer programming language.

Method

1. Programming a simulation with Python 3 in Visual Studio Code using libraries which includes
 - 1.1 NumPy, it is used as an arithmetic operator, and
 - 1.2 Matplotlib, it is used to plot graphs.
2. Determine the variables in the calculation by using the coordinates and velocity of the object solar system and the comet on January 1, 2021, from database of JPL's HORIZON respectively.
3. Create functions and equations used in calculation by using the following formulas and equations:

- 3.1 Equations used to convert Horizontal coordinate to Cartesian coordinate.

$$X = d \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

$$Y = d \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\alpha) \quad (2)$$

$$Z = d \cdot \sin(\delta) \quad (3)$$

Where X, Y and Z is the values of each axis in Cartesian coordinate.

δ is declination.

α is right ascension.

- 3.2 Function for calculate acceleration to update the acceleration (\vec{a}) velocity (\vec{v}) and the change of position (\vec{r}) in a period (Δt), using 1 day to update each calculation. As shown in the equations below:

$$\vec{a}(t) = \frac{GM_1M_2}{r^3} \vec{r} \quad (4)$$

$$\vec{v}(t + \Delta t) = \vec{v}(t) + \vec{a}(t)\Delta t \quad (5)$$

$$\vec{r}(t + \Delta t) = \vec{r}(t) + \vec{v}(t + \Delta t)\Delta t \quad (6)$$

4. Simulate model as a 3D simulation.
5. Compare eccentricity from a simulation to database by calculate error percentage, as shown in equation (7)

$$\%Error = \frac{|r_{sim} - r_{ref}|}{r_{ref}} \times 100\% \quad (7)$$

Summary

As a result of the comet motion modeling study, the motions of comets which are Tempel 1, Holmes, and Encke are shown in Figure 1. The eccentricity in relation to the reference source and the error of the semi-major axis values are displayed in table 1.

Table 1 the comparison of the eccentricity for each comet.

		9P/ Tempel 1	17P/ Holmes	2P/ Encke
eccentricity	Simulation	0.237	0.031	0.283
	Reference	0.519	0.070	0.329
	%Error	54.2	54.4	13.9

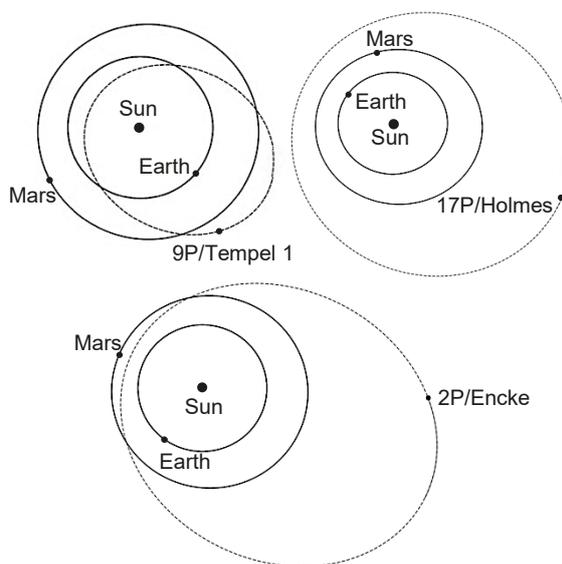


Figure 1 the simulated orbits while the first line represents the Earth's orbit, the second line represents Mars's orbit, and the dashed line refers to comet orbit.

According to the study, Euler's method and created programming in Python 3 can be used to simulate a comet's motion. Due to the created model didn't include Jovian planets, thus, it caused the errors of this simulation.

Acknowledgement

It will take a number of operations to complete this project. The project's planners received support and guidance from numerous sources throughout in a variety of areas. In this regard, I would like to express my gratitude to Mr. Taweerak Tunphuttha, who served as my advisor and offered guidance throughout the project. Finally, I'd like to express my gratitude to the National Astronomical Research Institute (Public Organization) for giving me the chance to conduct this research.

Reference

James Watkins. (2019). Converting Equatorial Celestial Coordinates to a Cartesian System [Online]. Available: <https://www.jameswatkins.me/posts/converting-equatorial-tcartesian.html> [24 February 2022]

NASA. JPL'S HORIZON [Online]. Available: <https://ssd.jpl.nasa.gov/horizons/app.html#/> [24 February 2022]

Finding the synodic rotation period of 20-Massalia

Mr. Leonardo Titudada Pedersen (grade 10) [Surawiwat School, Suranaree University of Technology]

Abstract

This paper's goal is to find the rotation period of 20-Massalia asteroid and some of its physical properties by using variable star method/photometry method. Using CCD Camera which is connected to reflecting telescope with the diameter of 0.7 meters at NARIT (Nakhon Ratchasima branch) to collect the data of the asteroid through V and B filters to compare reflections in different wavelengths. The author found that the synodic rotation period of the asteroid is approximately 0.33741 days and the light curve is not perfect because the asteroid has a weird shape.

Objective

To study synodic rotation period of this asteroid with photometry method and the light curve of the asteroid

Method

First step is to capture the asteroid image with CCD camera that is mounted to the telescope then import WCS (World coordinate system) data into the picture with Astrometric stacking program then find 3 "fixed star" to be its reference star using SAOImageDS9. Reduce the noise of the image with AstrolImageJ and using AstrolImageJ to measure the intensity of the asteroid and the reference star. Using the magnitude formula to find its magnitude then using the magnitude to plot Magnitude vs Phase graph which the phase is given by the equation $HJD = HJD0 + (Epoch * Period)$

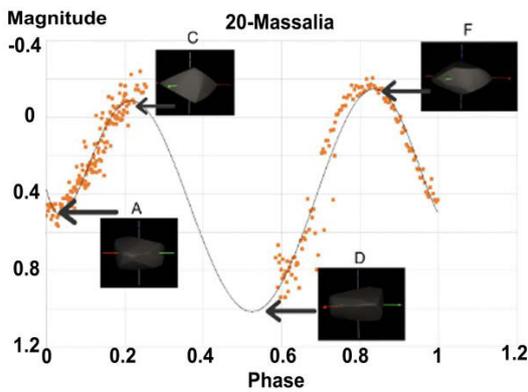


Fig 1. Shows the change of brightness over time

Result

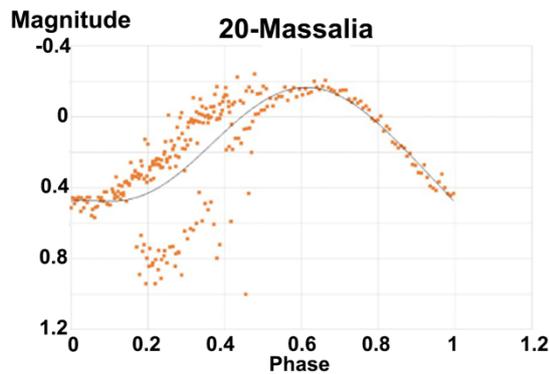


Fig 2. Shows that 2 waves do not overlap if we change the period to 0.5 real period

- 1) From the period study in Fig1. we found that the light curve has 2 waves similar to a sine wave and found that at the bottom of the graph the asteroid is dimmest at phase = 0.55. The 2 brightest points are almost the same at phase = 0.25 and 0.84 from the graph. Observing this we can conclude that 20-Massalia doesn't have a circular shape and does not reflect light evenly in different angle when it rotates.
- 2) When comparing the graph and the asteroid model from 3d Asteroid Catalogue we can conclude that at point F and C the asteroid will be the brightest because the bigger surface area is facing the observer and the surface area is the smoother side, but point A and D are the sides that have the least surface area, and isn't as smooth as the other sides, which affects the reflected light.

By changing the period of the asteroid into different values E.g. half of the real period we found that the 2 waves will not overlap perfectly which means that the 2 waves are 1 rotation not 2 rotations. At phase 0 and 0.9 the wave will line up perfectly if the period is 0.34 days or approximately 8.1 hours. (The image of Fig2. is half of the real period)

Conclusion

From this study by using photometry method found that the synodic rotation period is approximately 8.1 hours. The light curve graph is not perfect because the asteroid shape which we can use the brightness data to roughly know which side the asteroid is facing by using 3d Asteroid Catalogue and with this we know the reason for it is the asteroid rotates and faces the observer with different angles and surface area which the more surface area and the smoother the side is the better it reflects light.

Reference

- 3d Asteroid Catalogue - <https://3d-asteroids.space/>
 Photometric studies of asteroids - <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1954ApJ...120..200G>
 jet propulsion laboratory - <https://ssd.jpl.nasa.gov>

The study of orbital periods and parameters of eclipsing binary stars NY Vir and HW Vir

Mr. Yuji Yagi (Grade 10)

[Varee Chiangmai School, Chiangmai, Thailand]

Abstract

NY Vir and HW Vir are binary star systems that belong in the rare class of subdwarf b stars and are considered detached binary star systems. To study the orbital periods and parameters to create a scientific model of these binary star systems, photos of eclipsing binaries will be taken and run through the application AstrolmageJ to create a flux graph. The flux graph will be then processed in another application PHOEBE to find the parameters and a scientific model of these binary systems will be created. The result of our study shows us that the orbital periods of NY Vir and HW Vir are 0.1000 days and 0.1166 days respectively. From this information, it is clear that both binary star systems have very similar parameters, causing the flux graph and orbital periods to have similar results. After analyzing the parameters of both systems, the value of χ^2 is 0.161458 and 0.012687 respectively.

Introduction

NY Virginis (NY Vir, RA: 13h 38m 48.17s, DEC:-02°01'49.2095") and HW Virginis (HW Vir, RA: 12h 44m 20.24s, DEC: -08°40'16.8486") are 1800 light-years and 563 light-years away respectively. The stars in each system eclipse each other from our point of view on earth. When these eclipsing binaries are orbiting each other, it causes the light curve level to change and when they eclipse each other, it then causes the light curve level to decrease substantially due to these stars blocking each other. The facts mentioned above will be used to find out the period of orbit of both binary systems.

Method

In this experiment, Photos of NY Vir that were used were taken with a 1-meter telescope at the Thai National Observatory, while the photos of HW Vir that were used were taken with a 0.7-meter Thai robotic telescope at Sierra remote observatories, both using R filter. The photos taken were then sent through the application AstrolmageJ to carry out photometry to find out the light curve from the relationship between Flux and time. For this experiment, HJD will be used as our measurement of time. Second, the period of orbit can be calculated by finding out the difference between the time of minimum of the primary phase that is next to each other. Third, the value of flux analyzed in the application AstrolmageJ will be used to calculate the normalized flux. Finally, the physical parameter and model will be created by using the normalized flux and phase through the application PHOEBE.

Results and discussion

Normalize flux

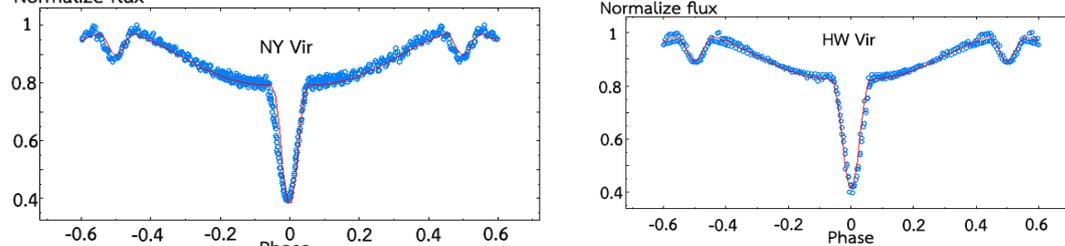


Figure 1: Showing the relationship between Normalized Flux and Phase

Table 1 : Physical parameters of the binary star systems

Parameters	NY Vir	(M. Vuckovic, et al. 2021)	Error	HW Vir	(Jae Woo Lee, et al.2009)	Error
$\Omega(L_1)$	2.404255	5.503	56.310%	2.451443	5.020	51.166%
$\Omega(L_2)$	2.233381	2.771	19.401%	2.267888	2.806	18.785%
Mass 1	0.530849	0.389	36.465%	0.485019	0.485	0.004%
Mass 2	0.144566	0.110	31.424%	0.142159	0.142	0.112%
Radius 1	0.124544	0.141	11.671%	0.182586	0.183	0.226%
Radius 2	0.153463	0.151	1.631%	0.175861	0.175	0.492%
Log G 1	5.972173	5.745	3.954%	5.600672	5.600	0.012%
Log G 2	5.225908	5.145	1.572%	5.100282	5.100	0.005%

From Figure 1 is a graph that represents the relationship between normalized flux and Phase. By observing, it can be seen that NY Vir and HW Vir have very similar light curve patterns. Table 1 represents the parameters of NY Vir and HW Vir. It can be seen that NY Vir and HW Vir has similar parameters.

Conclusion

The orbital period for binary star systems NY Vir and HW Vir are 0.1000 days and 0.1166 days respectively.

Acknowledgments

I'd like to express my deepest thanks to Varee Chiangmai School, the Thai National Observatory, and the Thai robotic telescope for providing This research and providing support when in need, making this research possible.

Reference

M. Vuckovic, G. Nelemans, and others (2007). The binary properties of the pulsating subdwarf B eclipsing binary PG 1336-018 (NY Vir). *Astronomy & Astrophysics*.471, 605-615.DOI: <https://doi.org/10.1051/0004-6361%3A20077179>.
 Jae W. L., Seung-Lee K., Chun-Hwey K., Robert H. K., Chung-Uk L., Ho-Il K., and Jang-Ho P. (2009). The sdB+M Eclipsing System HW Virginis and its Circumbinary Planets. *The Astronomical Journal*.137, 3181–3190. DOI: <https://doi.org/10.1088/0004-6256/137/2/3181>.

高度の違いによる放射線量の違いについて

天文部：小川 有里、野澤 瑛人、佐々木 花、関口 みのり、井上 空、市菌 瑠菜、島貫 夏樹、
荒木 慶斗、安藤 名那、澄田 紗弥、本領 彩、鈴木 苺愛、梅田 颯太、浅倉 大和、
矢崎 鼓虎、浪江 陵太、刈込 大聖、笠井 朱莉、木幡 志歩乃（高2）、大野 伶音、
高橋 空希、石田 春瑠、宮本 笑、秋田 結喜（高1）【星野高等学校】

1. 要旨

高度の差は放射線量の違いに関係あるのかについて調べるために、無水エタノールを入れて蓋をした容器(以下、「霧箱」という。右図1参照)をドライアイスの上に置き観測した。一般的な霧箱の実験の場合は線源を用いて放射線を観測するが、今回は自然放射線を観測した。



図1 「霧箱」

2. 目的

二十世紀頃から目覚ましい速度で発展する宇宙開発。近年では民間宇宙旅行というものが可能になった。ここで問題になるのが、私たちが地上で浴びている放射線と宇宙空間で浴びる放射線の被ばくによる人体への影響の差である。そこで私達は宇宙と地上のスケールの差を学校の屋上と2階というスケールに縮め、この僅かな高低差でどれくらいの違いが観測できるのか実験を行った。

3. 方法

底のない容器に光が反射して見づらくなならないように黒い画用紙を容器の側面と下底に貼って、中に入れる無水エタノールがこぼれないようにアルミホイルとサランラップを容器の下底に被せて輪ゴムで止める。そして容器の側面・下底に貼った画用紙に無水エタノールを染み込ませ、5mm程の高さのアルコールプールを作り、容器を密閉するために上底にもサランラップを被せて輪ゴムで止めた。この容器をドライアイスの上に置き、5～10分置くと放射線の飛跡を見ることが出来る。私達はこの容器を2つ作り、屋上(6階)と2階の2つのグループに分かれて同じ時間に10分間肉眼で観測した。

4. 結果

屋上(図2)では、霧箱をドライアイスの上に置いてから約5分後に濃くはっきりとした線が見えた。その後は10秒毎に17本ほど見えた。2階(図3)では、霧箱をドライアイスの上に置いてから約8分後に薄い白い線が見えた。その後は10秒毎に7本見えた。



図2 屋上での観測



図3 2階での観測

5. 考察・展望

この実験をして高度が高いほど放射線量は多くなることが分かった。この結果に基づいて考えると、宇宙空間は地上よりもさらに放射線量が多いと予想することができる。そのため、私達が宇宙空間に行くと放射線の被ばくによって人体に影響が出ると考えられ、対策が必要である。

月面望遠鏡観測と超小型系外惑星探査機によるハビタブル惑星の定義の再検討

第 21 回 君が作る宇宙ミッション Phobos 班：

市川 友唯 (高 2) 【茗溪学園高等学校】、橋本 壮 (高 3) 【長崎県立佐世保北高等学校】、
佐藤 裕成 アレックス (高 2) 【渋谷教育学園渋谷高等学校】、住吉 莉玖 (高 2) 【開智未来高等学校】、
坂田 和花 (高 2) 【フェリス学院高等学校】、中村 成夢 (高 3) 【大谷高等学校】

要旨

地球温暖化対策や生命探査の発展を見据えて、ハビタブル惑星の再定義を目的としたミッションを提案する。本提案は、月面望遠鏡での大気観測により生命存在可能性の高い候補惑星を絞ったうえで、さらに探査機での直接観測を行う 2 段階のミッションを行うものである。

1. ミッション背景

太陽系外において生命存在の可能性が高いハビタブル惑星の特性を解明することは、今後の地球温暖化対策に役立てるという観点で重要である。現在、ハビタブル惑星は惑星表面に液体の水が存在することにより定義されている。しかし、惑星表層に液体の水が存在していても生命が見つかっていない惑星も存在する^[1]。そのため、「水の存在」のみが生命存在可能性を定義するものではなく、大気やその他の条件が寄与すると考えられる。そこで、地球における大陸や海洋の様相を観測することで、ハビタブル惑星の定義を再検討することが重要である。

2. ミッション目的

本研究が提案するミッションの目的は惑星の生命存在条件をより明確化するために、ハビタブルゾーンの定義付けを再検討することである。そのために、本提案では、系外惑星の半径、質量、軌道を月面望遠鏡で観測する。さらに、大陸、海洋の様子やレッドエッジに加え、より詳細な大気組成を取得するために、探査機を派遣し、惑星表面の直接撮像を行う。

3. ミッション概要

本ミッション (概要図：図 1) では、月面望遠鏡観測と超小型探査機による 2 段階観測を行う。最初に月面望遠鏡を用いた大気観測によりハビタブルゾーン内にある可能性が高い岩石惑星を見つける。続いてその惑星に超小型探査機を送り、実際の惑星表面の様子を観測する。

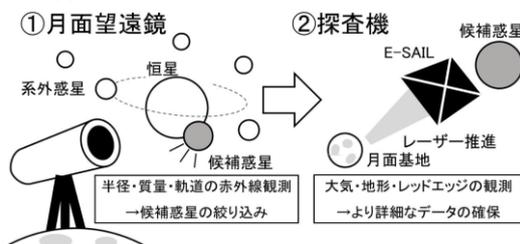


図 1：ミッション概要

3.1. 月面望遠鏡

月面望遠鏡は、地上の望遠鏡観測と異なり大気や赤外放射の影響が少ないため、赤外線領域の観測に適している。また、衛星での観測と異なり地盤があるため、安定した観測が可能である。我々の提案する月面望遠鏡では、以下の赤外線観測によって系外惑星の特徴を探る。まず、TESS 衛星^[2]がトランジット法で観測した恒星のリスト TIC (TESS Input Catalog)^[3]から、太陽と同程度から半分以下の大きさであり、吸収線が確認できる G-M 型主系列星を絞り込む。これらの候補に対し MuSCAT (三色同時撮像装置)^[4]を用いることで、恒星の光度変動をより正確に観測する。これにより、付随する地球型惑星候補の半径や軌道を求めることができる。また、視線速度法により惑星の公転周期や質量を求める。公転する惑星の周期が短く、共通重心のふらつきが見やすいという M 型星の特徴を活かし、エネルギー放射のピークが赤外線領域である IRD (InfraRed Doppler) 装置^[5]を用いる。高い集光力をもつ大型の望遠鏡で測定を行うことが望ましいが、そ

れらの輸送を行う事は技術的に困難である。そのため、月面に望遠鏡の部品を運び、設置場所で組み立て、メンテナンスも行う。

3.2. 探査機

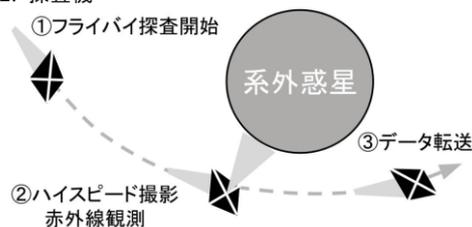


図 2：E-SAILによるフライバイ探査のシーケンス

先に挙げた月面望遠鏡で絞り込んだ地球型系外惑星候補にレーザーセイル^[6]搭載の超小型探査機「Exoplanetary Sail Accelerated by High-power Laser (E-SAIL)」を派遣し、フライバイ探査による詳細な観測を行う。月面から E-SAIL を複数機打ち上げ、高エネルギーレーザーを照射することで、探査機は光速 5% の速度まで加速し対象天体をフライバイする。高フレームレートで撮影可能なフェムトカメラ^[7]を用いて目的の系外惑星の表面を撮影、分光器を用いて大気中のメタンや二酸化炭素等を赤外線観測し、月面基地へデータを転送する。以上の E-SAIL を用いたフライバイ探査シーケンスの概要図を図 2 に示した。

4. 今後の課題と発展

今後は以下に示す項目を検討する。

- ・系外惑星の質量や大気組成の測定精度の調査
- ・月面望遠鏡の月震対策案
- ・E-SAIL の耐久性やエネルギー確保等の対策
- ・超高速フライバイ時の系外惑星観測方法の検討

参考文献

- [1] S. Seager, "Exoplanet Habitability," Science, 340, 6132 (2013), pp.577-581
- [2] Ricker, G. R. et al. "Transiting exoplanet survey satellite," JATIS, 1.1 (2015), 014003
- [3] Stassun, K et al. "The revised TESS input catalog and candidate target list," The Astronomical Journal, 158.4 (2019), p.138
- [4] N. Narita et al. "MuSCAT: a multicolor simultaneous camera for studying atmospheres of transiting exoplanets," JATIS, 1.4 (2015), 045001
- [5] Kotani, T. et al. "Infrared Doppler instrument (IRD) for the Subaru telescope to search for Earth-like planets around nearby M-dwarfs," Ground-Based and Airborne Instrumentation for Astronomy V, 9147 (2014), pp.411-422
- [6] K. Parkin. "The Breakthrough Starshot System Model," Acta Astronautica, 152 (2018), pp.370-384
- [7] A. Velten et al. "Femtophotography: capturing and visualizing the propagation of light," ACM Transactions on Graphics, 32.4.44 (2013), pp.1-8

エンケラドスの内部海における生命探査計画

第21回 君が作る宇宙ミッション Phaethon班：

稲田 孟 (高2) 【桐朋高等学校】、遠藤 綾乃 (高1) 【広島市立基町高等学校】、
川崎 琉菜 (高1) 【静岡県立磐田南高等学校】、後藤 充希 (高2) 【神奈川県立小田原高等学校】、
古川 こと葉 (高1) 【四天王寺高等学校】、矢尾 海心 (高1) 【広尾学園高等学校】

要旨

初の地球外生命の発見を目的とし、エンケラドス内部海の熱水噴出孔にて採取した水を調査する探査計画を提案する。独自に考えた生命の定義に基づきATP、細胞膜、DNAの有無を調べることで生命自体を検出する。

1. 背景・目的

地球上の生命の起源は未解明である。仮説の1つに、地球外に生命の起源があるとする説がある。実際に、地球以外の惑星や衛星でも、生命が生存可能な環境が存在する可能性が示唆されてきた。生命の発見が実現すれば生命起源の解明に繋がりうる。生命探査は現在JUICE計画などいくつか考案されているが、その多くは生命自体ではなく、生命の痕跡の調査を目的としている。

生命が存在する可能性がある有力な探査対象として、エンケラドスがある。図1.のように、エンケラドスは氷で覆われた直径約500kmの土星の衛星で、内部には熱源があり、内部海が存在すると推察されている。加えて、衛星表面には間欠泉があり、噴出した水には有機物が含まれていることが、今までの探査から明らかとなった[2]。これらの証拠よりエンケラドスが生命にとって適切な環境を持つことから、生命探査に最適な調査対象であると考えた。そのため、我々は生命自体の発見を目的とした、エンケラドス内部海の探査ミッションを考えた。

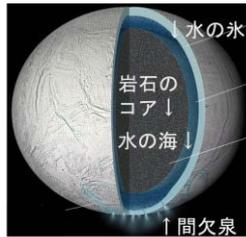


図1. エンケラドスのイメージ図 (一部改変) [1]

2. 生命の定義

現在明確な生命の定義は定まっていない。本研究では探査対象を絞るため、地球生命と異なる特性をもつ可能性については考慮せず、地球の生物が広く持つ以下の3つの特性を生命の定義とする。

- 体内でエネルギーを生成する(代謝する)
- 自己複製・生殖をする
- 有機物の構造を持つ

3. 探査手法

本計画では、エンケラドス内部海の水のサンプル採取をし、地上に引き上げ分析を行うという2つのフェーズに分けて探査をする。

第1フェーズでは、生命が存在する可能性が高いと考えられる熱水噴出孔の場所を特定し、サンプルを採取する。熱水噴出孔は熱源として機能すると同時に、多くの化学物質を噴出する。この噴出成分にはCO₂が5%含まれていることから、地球同様に熱水噴出孔は酸性かつCO₂濃度が高いと予想した。そこで、pH-CO₂センサー[3]を用いて酸性かつ高CO₂濃度の領域を探す。また、地球にて深海の水温を測定するConductivity-Temperature-Depth profiler (CTD)[4]を応用して高温領域を探す。

第2フェーズでは採取した水のサンプルについて、2章の定義に基づいた3つの方法で生命の検出を行う。

A.の定義に関連するATPは、エネルギーの貯蔵・利用に関わる物質で、検出されれば代謝が行われていることを示すことができる。ATPはルシフェラーゼと反応する際の発光を利用して検出できる。B.の定義に関連する細胞膜は、細胞の中と外を仕切る生命特有の有機物構造である。検体をSYTO24とプロピジウムイオダイトという2つの染色液を用いて染色し、蛍光顕微鏡で観察する。前者は細胞膜を透過して細胞内の有機物を緑色に、後者は細胞膜を透過せず細胞外の有機物のみを赤色に染色する。これにより膜構造をもつ細胞を検出できる[5]。C.の定義に関連するDNAは、自己複製のために必要な物質で、リン酸、塩基、デオキシリボースからなる。そのうち、生命のみに存在するデオキシリボースを、ジフェニルアミン反応の発光を利用して検出する[6]。

4. まとめと今後の検討点

生命発見を目的としたエンケラドス内部海探査として、熱水噴出孔における水サンプル採取、調査を計画した。第1フェーズでは高温・高CO₂濃度でpHが低く、生命が存在しやすい熱水噴出孔でサンプルを採取する。第2フェーズでは、採取したサンプルから、本研究での生命の定義に基づき、ATP、細胞膜、DNAといった生命の特徴であるものを探す。

本計画では以下の点をさらに検討する必要がある。

- 内部海から地上に引き上がる際の紫外線などによるサンプルへの干渉
- 太陽光発電に代わる電力源としての原子力電池の利用の検討
- 地球の物質をエンケラドスへ持ち込むことによる天体の汚染
- 計画終了後の探査機未回収による内部海の汚染

参考文献

- [1]NASA, "NASA/JPL-Caltech", <https://www.jpl.nasa.gov/> (2023年1月19日参照)
- [2]J. Hunter Waite, et al., Science Vol.356 Issue 6334, pp.155-159, 2017.
- [3]中野善之, 「海洋の環境影響調査に用いられる現場環境観測技術 - pH-CO₂ハイブリッドセンサ」、日本マリンエンジニアリング学会誌 第56巻、第1号、p.131,2021.
- [4]JAMSTEC, 「海水を調べる」、<https://www.jamstec.go.jp/j/about/equipment/observe/seawater.html> (2023年1月15日参照)
- [5]吉村義隆他, 「火星生命探査のための生命探査顕微鏡の開発」、日本惑星科学会誌 Vol.27, No.3, p.149, 2018.
- [6]小畑秀一、加藤智美、坂田剛、中村和生、西村真由子, 「第II編生化学実験2. 核酸(DNA) 生物学実験マニュアル第8版」、裳華房、pp.64・75, 2014.

エウロパ・エンケラドスへのフライバイサンプルリターンの軌道設計

妻沼 朔寿 (高専3) 【旭川工業高等専門学校】

要旨

ESAが公開しているPythonのライブラリであるpykep[1]とpygmo[2]を用いてランベルト問題とパッチドコニックを用いた軌道作成方法を学び、深宇宙探査の軌道を作成した。また、エウロパとエンケラドスにフライバイサンプルリターンを行うミッションを考案し、そのための軌道の作成、評価、考察を行った。

1. 背景と目的

エウロパやエンケラドスの表層の氷の下には内部海があると考えられており、生命の存在する可能性が考えられている。また、エンケラドスからはブルームが発見され、エウロパにも存在している可能性がある。そこで、噴出したブルームを採集し、サンプルリターンを行うことが世界中の複数の機関で検討されている。しかし、それらのミッションはエウロパやエンケラドスのどちらかのみを行うものであった。そこで、本研究では両方からサンプルを採取し、帰還するというミッションを考案した。

本研究の目的は以下のミッションを行うための軌道を設計することである。

まず、2機の探査機を結合した状態で打ち上げて内惑星圏でスイングバイを行い、木星へ向かう。その途中で探査機を分離して1機はエウロパに接近し、ブルームに突入し、サンプルを採取して地球に帰還する。もう1機は木星スイングバイを行い土星に向かい、エンケラドス同様に採取を行い、地球に帰還する。

2. 手段

以前私が行ってきた手段は、ルンゲクッタ法により軌道伝搬を行い、人の手でパラメータを入力するグリッドサーチであった。しかし、スイングバイの回数が増えるとパラメータが増えることで膨大な時間がかかるため、今回は軌道伝搬、ランベルト問題などのためのpykepというライブラリや、進化的計算での最適化を行うためのライブラリであるpygmoを用いた。

3. 作成した軌道

まず探査機は打ち上げた後内惑星圏で→地球→金星→地球→地球とスイングバイを繰り返し木星へ向かう。

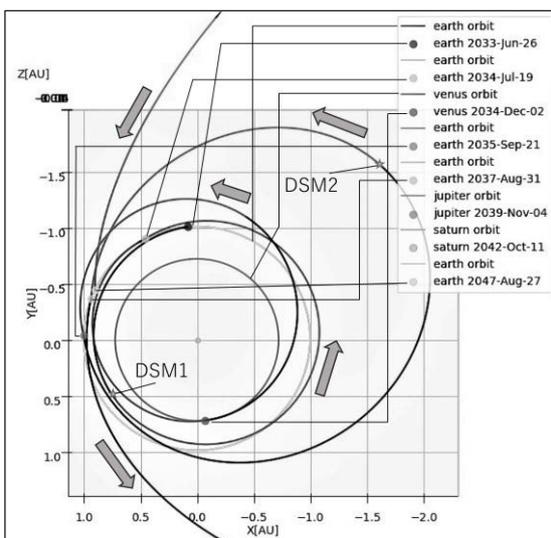


図1. 内惑星圏での探査機の軌道

エンケラドス探査機は、そのまま木星スイングバイを行い土星のエンケラドスに接近して地球に帰還する。

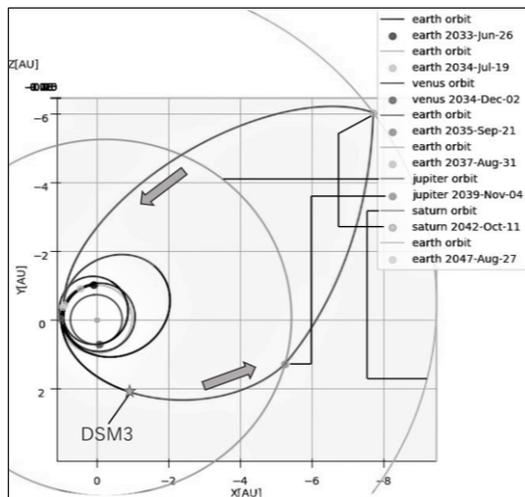


図2. エンケラドスサンプルリターンの探査機の軌道

最後の地球スイングバイ後に分離した探査機は軌道変更を行い木星のエウロパに接近して地球に帰還する。

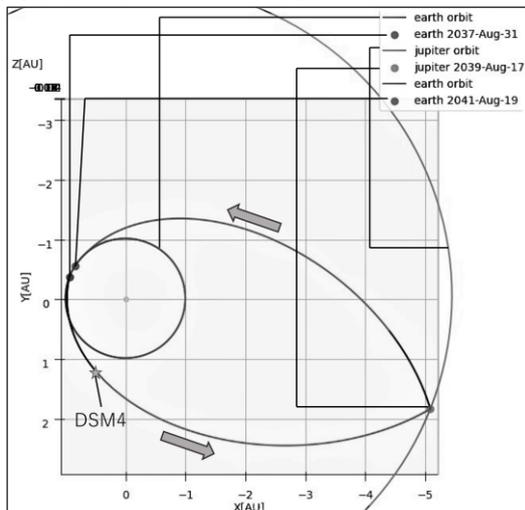


図3. エウロパサンプルリターンの探査機の軌道

また、この軌道の軌道変更量(ΔV)は次のようになった。

V_{∞}	DSM-1	DSM-2	DSM-3	DSM-4	計
2000m/s	402m/s	725m/s	234m/s	684m/s	3832m/s

表1. 軌道の ΔV 量

4. まとめ

本研究によってこのミッションの実現可能について示すことができた。また他の軌道も提案することで比較を行い、より適した軌道を選択できるようにできた。

5. 参考文献

[1] pykep Development Team, pykep, 2020, <https://esa.github.io/pykep/>
 [2] pagmo development team, 2021, <https://esa.github.io/pygmo2/>

地球外天体における冗長性と耐久性のある電力システムの提案

第21回 君が作る宇宙ミッション SHIOLI 班：

飯塚 凜人（高1）【秋田県立大館鳳鳴高等学校】、菅野 花鈴（高1）【東京都立多摩科学技術高等学校】、
 島貫 統（高1）【愛知県立瑞陵高等学校】、森下 美海（高2）【雙葉高等学校】、
 孫 翰岳（高3）【筑波大学附属駒場高等学校】、滝澤 光冬（高2）【秋田県立横手高等学校】

要旨

本研究は、人類が宇宙において持続的に生命活動を行う環境の基礎となる電力の安定した供給を実現するために、多様な天体に適用可能かつ冗長性が高く耐久性に優れた電力システムを提案することを目的とした。火山活動及び日照の条件から天体を分類し、現地のエネルギーによって電力需要を満たすことが可能な発電方法を定量評価する方法を確立した。電力需要の変化に対する冗長性および送電網の劣化に対する耐久性を併せ持つ電力システムを提案した。

1. 背景・目的

現在、リンの海洋流出による生物の生育に必要な元素の欠乏や、温室効果ガスの増加による地球温暖化の進行が地球の環境収容力を低下させている。この地球環境収容力の低下に対応するため、地球外天体への居住区の設置が考えられる。そこで、宇宙において人類の生命活動に適した環境を維持するため、種々の生命維持装置の稼働に利用される電力の安定供給に着目した。また、今後、活発化する宇宙開発を見越し、多様な天体に適用できる発電方法を考案したい。

したがって、本研究では人類が宇宙において持続的に生命活動を行うため、天体の特徴を複数の変数から分類することで、汎用性と冗長性、耐久性に優れた電力システムを提案することを目的とした。

2. 方法

2.1 概要

電力システムとは発電所、変電所、送電所、配電線などの制御システム全体の総称である。本研究では、発電と送電網について、天体の火山活動と日照条件によって以下の2つのモデルを提案する（図1）。

A) 火山活動が活発な天体の場合（図1上部）

火山活動を生かし、地熱発電を主軸とした電力システムを提案する。地熱発電は時間帯を問わず、安定して電力を発電することができるため注目した。

B) 火山活動が活発ではないが、太陽光が強い天体の場合（図1下部）

太陽光発電を主軸とした電力システムを提案する。太陽光の照射量が多い地点では太陽光発電が利用できるが、日陰時に備え大規模な蓄電が必要となる。太陽光発電は熱によって劣化する問題があるが、ヒートパイプを用いて太陽光による温度上昇を抑制する。

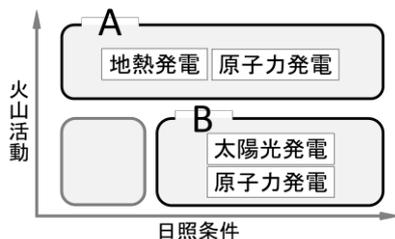


図1 火山活動、日照条件による発電方法の提案

2.2 基本構成

I) 発電

主要な発電方法である地熱発電および太陽光発電に加え、予備として原子力発電を用いることで、多様な天体に対応しつつ冗長性を確保する。

II) 送電網

スマートグリッドを用いて送電網に蓄電システムを組み込む。また、居住区の拡大に対応し、事故時の二次被害を減少させるため、発電所は居住区の遠方に建設する。これらによって電力システム全体の耐久性を高める。

3. 議論

宇宙において人類が生命活動を行うために必要なエネルギーは、通常の生活のためのエネルギーとは他に、過酷な環境から身を守るエネルギーも必要である。一般的な地上の生活から前者を、今までの計画であるISS^[1]やアルテミス計画^[2]での消費エネルギーを参考に後者の値を割り出した。これらの合計値（以下合計値に安全率を乗じた値をE値とおく）をもとに、AとBの場合の線引きについて考察した。

Aを採用するか否かは、地熱発電によってE値を達成できるかによって定める。判断の基準には、地殻熱流量および地温勾配の値を用いる。

冗長性、安定性の向上のために、主要となる発電の他、地球から供給する核燃料を常時備蓄し、有事の際には原子炉を稼働させる。また、耐久性の向上のために、送電網にはスマートグリッドに蓄電システムを組み込み、発電所にかかる負荷を下げる。

I) 発電

地熱発電：対象天体の環境に適した熱媒体を沸点、融点の観点から定める。圧力や熱のハードルが低いバイナリー発電であれば氷火山を含めた火山活動に対応できる。氷火山であっても、300K程度の温度差が発生することが知られている^[3]。

太陽光発電：日陰時にも電力を供給できるよう消費電力よりも大きい出力の発電が必要である。

II) 送電網

他天体居住区は地球と同じく、昼夜など時間帯で電力需要の変化が想定されるため、スマートグリッドに蓄電システムを組み込み電力の供給過多を防ぐ。それによって発電量を電力需要から独立させ、発電設備の消耗を防ぐ。また、長距離送電には直流電流を用いて、電力損失を減らす。低温天体では超伝導を用いることで送電時などの電力損失をさらに下げる。将来的にはマイクロ波レーザーでの送電も考えられる。

4. まとめ

本研究では、発電方法と送電網に着目し、他天体での冗長性と耐久性のある電力システムを提案した。議論の結果、太陽光・火山活動ともに不十分な天体やガス惑星を除く、全ての太陽系天体に適用可能であり、これにより人類の活動圏が大きく広がると考えられる。

参考文献

- [1] NASA, New Solar Arrays to Power NASA's International Space Station Research, <https://www.nasa.gov/feature/new-solar-arrays-to-power-nasa-s-international-space-station-research> (2023年1月16日閲覧)
- [2] NASA, NASA's Artemis Base Camp Concept, <https://blogs.nasa.gov/artemis/2020/10/28/lunar-living-nasas-artemis-base-camp-concept/> (2023年1月18日閲覧)
- [3] Jet Propulsion Laboratory, Powering Saturn's Active Ocean Moon, <https://www.jpl.nasa.gov/news/powering-saturns-active-ocean-moon> (2023年1月16日閲覧)

木辺鏡復活プロジェクト(ドブソニアン望遠鏡製作)

修道天文班：宮坂 善、田原 大嗣（高2）、富原 脩（高1）【修道高等学校】、
藏田 寛樹、関内 敬梧、井上 凌我、山中 竣介（中2）【修道中学校】

要旨

本校では昨年度より、木辺成麿氏の25cm反射鏡を軸にニュートン式反射望遠鏡製作を行っている。
木辺成麿氏の主鏡が良い状態で手に入ることが珍しい現在、記念品としてでなく、当主鏡を活用し、当時のロマンを現代に伝え、我々班員が望遠鏡の仕組みを一から学ぶきっかけを作り、日々の観測機器とすることが本製作の趣旨である。

1. 経緯

現存する最初の記録は、1961年5月に広島大学の村上忠敬教授の助力により導入された望遠鏡の姉妹機として、当時の楽々園遊園地の仮小屋に置かれ、同月18日に天文ドームが完成、当時25cmは県内最大規模であり、その職員の佐藤健さんの木星の研究や天文クラブの活動で地元の方にも愛された。

1971年8月、楽々園遊園地が廃園となり、当時の鈴峯女子校がそれをドームごと買い取る形で移設。しかし2012年頃には既に壊れ利用されなくなっていた。

2021年10月、辛うじて残った主鏡とセルのみ譲ってもらう形で回収、その後鈴峯女子校が学校法人修道学園の一員になることとなり、現在のメンバーで製作計画を立て、より良いものに向けて製作している。

2. 製作工程

前提として本製作は班の予算内で、部員の製作能力の範囲で行えるものに限られている。

骨組にイレクターパイプ、各管の接続にはジョイント、補強に厚3mmアルミ板を使用、経緯台には木材と既存の回転台、主鏡セルは遊園地で利用されていた当時のセルを再利用し、アルミ板との間で光軸修正ができるようになっている。またスパイダー、斜鏡、接眼筒は製作困難と判断し市販の物を利用。

3. 実用化への課題

実観測に用いることを考慮すると、光軸修正を行うために鏡筒自体の組立精度を上げる、ファインダー作成、最終的にはコントラストを上げて迷光防止に丸くくり抜いた板を各節に配置する、等が挙がる。

4. まとめ

今後の課題も明確になり、来年度の班費で電動追尾の架台の製作や、鏡筒の小型化等の展望も浮かび、当時の木辺さんによって刻まれたSSKM858の文字と思いを風化させないように班員にとっても便利にし、観測に利用できることを最優先で進めていくこととなった。

図1は班員と製作中の鏡筒部分である。



図1

21cm波長観測から知る銀河

科学研究部 物理数学班 天文班：

横山 琉汰、中嶋 岳楽、白水 雅、赤池 桜輔（高3）、
佐生 正武（高2）、天野 航（高1）【東京都立科学技術高等学校】

要旨

本研究において我々は、電波天文学で重要視されている水素21cm線等の観測を行うための電波望遠鏡とその観測システムを高校で可能な形で構築することを図った。

1. 研究動機

我々は部活動で日頃の活動で月のスペクトルや太陽の黒点観測を行っているが、特に宇宙の始まりに興味があり、できるだけ遠くの宇宙を観測したいと思っていた。初期宇宙の観測には、星間物質・宇宙背景放射等を観測することができる電波望遠鏡が必要であることを知り、電波望遠鏡を用いて宇宙を観測したいと考え、本校の課題研究で同様の研究を行っていた先輩方から引き継ぎ、研究を行った。

2. 研究目的

複数の電波望遠鏡を用いて干渉計にすることにより観測精度をあげることができるが、難度が高いため今回は中性水素原子の21cm線を観測する電波望遠鏡およびそのシステムの構築を目的とした。その観測結果よりドップラーシフトの大きさを知り、天の川銀河の回転速度曲線を求めることも目的である。

3. 実験方法

我々が製作した21cm波長観測用電波望遠鏡の構成を図1に示す。受信率向上のためにパラボラの焦点にシミュレーションソフト「MMAANA」で設計した八木アンテナを設置、追跡精度向上のために赤道儀を使用して観測できるシステムとなっている。このシステムで今後天の川銀河の観測及び21cm波長のドップラーシフトを観測して、天の川銀河の回転速度を計測する予定である。本校4階の屋上にて21cm波長観測用電波望遠鏡を設置し観測を行う。図2の直径1.4mのパラボラシステムを使用して図1のシステムを構成して21cm波長を観測する。観測を行う条件として、観測結果に影響の出る雲が少ないこと、観測対象が出ていること、太陽が影響しない位置にあることが挙げられる。

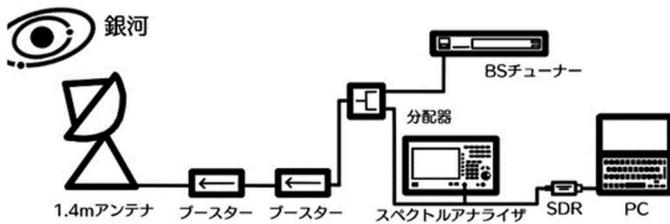


図1 21cm波観測用電波望遠鏡の構成



図2 21cm波観測時

4. 結果

- 自作した電波望遠鏡で観測した電波をブースターで増幅し、スペクトラムアナライザ（RIGOL-DSA1030A）で観測した結果、多くの周波数帯の電波を観測することができたが、目的とする21cm波長（1.42GHz）の電波は観測することが出来なかった。また、1.42GHzの近傍に意図しない1.48GHzで大きなピークが現れている。（図3）
- 太陽からアンテナをそらすと、2.14GHzの電波強度が増加した。この2.14GHzは総務省電波割り当て表より携帯電話の通信に使われているものだと考えられる。
- 天の川銀河の方角（いて座）を観測したが、太陽と同様に21cm波長を観測できなかった。

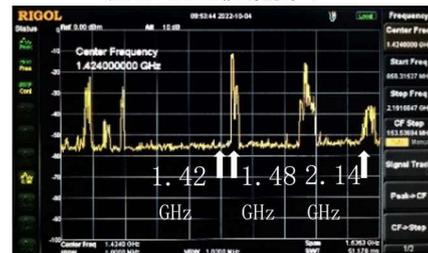


図3 水素波長部

5. 考察

太陽を対象に行った観測で検出された意図しない1.48GHzは、総務省電波帯割り当て表より携帯電話の通信に使われる電波帯であることが分かった。検出された電波は携帯のものと考えられる。

6. 展望

八木アンテナ及び観測機材の改良を行う。特定波長1.42GHzのみを透過させ、付近の波長を減衰するバンドパスフィルタを用いての観測も考えている。そして21cm波長を観測し、観測結果より地球から見た天の川銀河の回転速度を求める予定である。また、今回の研究に使用する21cm波長観測用電波望遠鏡をもう一台製作し、電波干渉計を製作することにより、さらに正確なデータを観測することができると考える。

8. 参考文献

- 総務省. 電波利用状況の詳細. <https://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/use/index.htm>
- 国立天文台. アルマのしくみ【第2回】たくさんのアンテナをつないでひとつに「電波干渉計」. <https://alma-telescope.jp/column/almabasics-2>

日中の天体観測における植毛紙を用いたフード延長の効果

石川県立七尾高等学校SSC :

境谷 佳純、塩崎 桃子、中野谷 蒼汰、山下 未来 (高2) 【石川県立七尾高等学校】

要旨

日中の天体観測を容易にするため、植毛紙を用いて天体望遠鏡のフードを延長する研究を行った。その結果、植毛紙を使うことで反射光の影響が少なくなり、天体の明瞭度が上がった。このことから、植毛紙を用いることで日中の天体観測は容易になると考えられる。

1. 研究の背景と目的

本校で2020年に行われた日中の天体観測についての研究を引き継ぎ、より精度の高い観測方法を探るため、研究を行った。先行研究では、植毛紙で作った筒を使い、望遠鏡のフードを延長して散乱光と反射光の影響を減少させることで、日中の天体観測が容易になるとされていた。

2. 方法

(1) 使用機材

屈折式望遠鏡 (Vixen : 有効直径113mm、焦点距離795mm) 、 CCDカメラ (セレストロン : SKYRIS445C) 、 ATLAS Professional +TheSky6 (望遠鏡制御ソフト)

(2) 観測方法

ATLAS ProfessionalとTheSky6を用い対象の天体を望遠鏡に導入した。5cmから60cmまで5cmごとに植毛紙と工作用紙でフードを作成し、天体望遠鏡に装着した。CCDカメラの映像をコンピュータに取り込み、10秒間の動画を各長さのフードごとに3回撮影した。このうち撮影条件の良かった1回をRegistax6、Makali'iを用いて静止画にし、開口測光分析を行った。この分析結果の空の輝度と天体の輝度の差を天体画像の明瞭さと定義した。

3. 結果

いずれの天体もフードを付けていない時よりもフードを付けた時に明瞭さが上がった (図1)。またフードを長くするとそれにつれおおむね天体画像の明瞭さは上がった。全ての天体で正の相関がみられ、特にベガ、アルタイル、デネブでは相関係数が0.9を超える強い正の相関がみられた。アークトゥルス、カペラ、スピカでは0.5を超える正の相関がみられた。また、グラフでの近似直線の傾きは各天体で異なっていた。

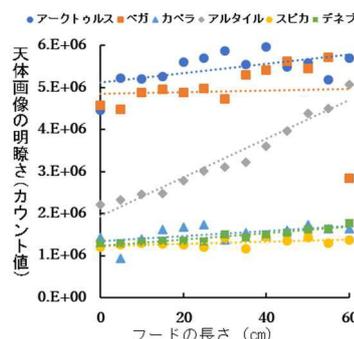


図1 フードの長さ と天体画像の明瞭さの関係

4. 考察

植毛紙を用いたフードを望遠鏡に装着することで天体は観測しやすくなり、フードを延長するとその効果は大きくなると考えられる。また60cmのフードを装着して撮影したベガの画像では明瞭さが急激に下がっていた。これには、大気の揺らぎの影響で天体画像がぼやけたためにスタッキングがうまくいかなかったことや、フードが光軸と平行でなかったためにレンズがフードにさえぎられてしまったことが原因と考えた。ベガ、アルタイル、デネブで強い正の相関がみられた。これらを撮影した日の天候が空に雲や霞がない状態で、他の天体を撮影した際は雲などが多い状態であった。アークトゥルスとベガの近似直線の傾きが小さかったのは、CCDカメラが飽和していて正確な結果が得られなかったためだと考えられる。

5. 結論

植毛紙を用いたフードを延長することで天体は見やすくなり、日中の天体観測は容易になると分かった。

6. 今後の展望

今回の研究では飽和していたと考えられる、アークトゥルスとベガはCCDカメラのピントをずらして飽和が起こらないようにしたい。また、今回は1等星を撮影したので、見かけの等級が比較的低い2等星程度の天体に対する植毛紙の効果を調べたい。

7. 引用文献

- (1) 荒邦早紀, 中山健斗, 小倉千愛, 畷くるみ. 「日中における天体観測について」日本天文学会第22回ジュニアセッション講演予稿集 50P. 2019.
- (2) 荒邦早紀, 小倉千愛, 町駒陸. 「日中における天体観測の精度の追求」日本天文学会第23回ジュニアセッション講演予稿集 04T, 2020
- (3) 理科年表, 2021 p109-111 丸善出版株式会社, 2020

デジカメによる等級測定の有効性の検証

～皆既月食中の最微星の等級測定を通して～

鈴木 淳那、恒行 郁奈、皆川 萌香 (高2)

生悦住 朔彩、小野寺 耕嬉、佐藤 希、西新 奈央 (高1) 【横浜市立戸塚高等学校】

要 旨

私たちはデジタル一眼レフカメラで皆既月食中に何等級の星まで写るのかと疑問に思い、撮影したデータから等級測定を行い結果を得た。測定結果として測光値(カウント値)xと等級yの関係式として、 $y = -3.440x + 25.479$ が得られ、標準偏差から誤差=0.132等であった。この精度で変光星であるペルセウス座β(アルゴル)の光度変化が観測できるか検証し結果を得た。

1. はじめに

2022年11月08日私たちは皆既月食をきっかけに等級測定に興味を持った。2011年プラズマ核融合学会に参加した当時の先輩の研究資料では、デジカメで撮影した画像を三色分解しG画像が最も精度よく極限等級を求められることを明らかにしている。そこで先行研究を土台として冷却CCDを用いずにデジカメでは何等級の星まで写るのかを調べた後、デジカメの精度を検証することにした。

2. 研究の流れ

(1) 皆既月食中の星野撮影可能等級の測定

《方法》

測光する星を12個決めて順番に番号をふる。

ステライメージver.7 (アストロアーツ社)でRAW画像をR.G.Bに分け、G画像で測光しカウント値として表計算ソフトに入力する(図1)。

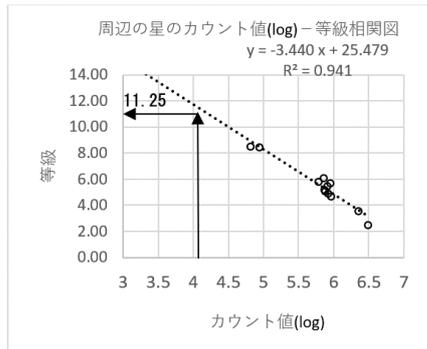


図1 周辺の星のカウント値と等級相関図

撮影日時:2022年11月08日20時29分49秒

露出:5.0秒 固定撮影

カメラ:CANON EOS70D 50mm F3.5 ISO1600

横軸に対数をとることにより直線で近似でき、エクセルの線形近似機能から $y = -3.440x + 25.479$ を得た。また、計測時のsky平均から近似式に代入し撮影可能等級を11.25等とした。星の等級と見かけの明るさ(カウント値)の関係を定めたポグソンの式 $y = 5.0 - 2.5 \log x$ と比較すると、光の量=カウント値ではないが、同じような関係を有することが分かった。標準偏差から求めた誤差は0.132等であった。測定誤差としては十分な値を得ることは出来なかった。

(2) アルゴルの変光を捉える

ペルセウス座β(アルゴル)はEA型の食変光星であり中心にB型の主星伴星がK型で、変光範囲は2.12-3.39V、周期は2.86日である。当初はトカゲ座LacARを予定していたが、変光範囲が狭く誤差が大きくなったため、変光範囲が広いアルゴルを測定対象とした。

《方法》

ペルセウス座のガイド撮影を3時間行い、皆既月食時と同じ手順で測光し(表1)等級を求める(図2)。

表1 アルゴルの測光値

時刻	測定等級	傾き a	切片 b	R2	標準偏差	誤差(等級)
19:19:44	2.682	-4.311	29.346	0.989	0.168	0.059
20:06:42	2.787	-4.542	30.870	0.992	0.138	0.049
20:17:02	2.954	-4.381	29.898	0.973	0.264	0.093
20:27:22	2.887	-3.487	24.582	0.922	0.446	0.158
20:37:42	2.952	-4.654	31.775	0.987	0.179	0.063
20:48:02	2.913	-4.609	31.493	0.988	0.177	0.063
20:58:22	3.270	-4.594	31.608	0.973	0.260	0.092
21:08:42	3.271	-4.467	30.752	0.988	0.173	0.061
21:19:02	3.225	-3.947	27.542	0.979	0.234	0.083
21:29:22	3.122	-3.853	26.999	0.942	0.386	0.136
21:39:42	3.328	-4.722	32.462	0.986	0.189	0.067
21:50:02	3.374	-4.530	31.290	0.974	0.255	0.090
22:00:22	3.276	-4.676	32.135	0.993	0.137	0.048
22:10:42	3.493	-4.899	33.664	0.977	0.243	0.086
22:21:02	3.273	-4.433	30.704	0.985	0.195	0.069
22:31:22	3.402	-4.413	30.632	0.978	0.239	0.085
22:41:42	3.497	-4.590	31.721	0.979	0.233	0.082
22:52:02	3.535	-4.613	31.743	0.983	0.206	0.073
23:02:22	3.387	-4.443	30.690	0.989	0.164	0.058
23:12:42	3.185	-4.496	30.994	0.986	0.186	0.066
23:23:02	3.149	-4.511	31.195	0.989	0.167	0.059

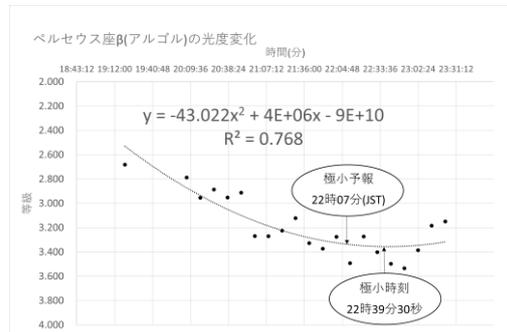


図2 アルゴルの光度変化

撮影日時:2022年12月24日19時56分11秒~23時22分48秒

露出:6.0秒 ガイド撮影 35mm F3.5 ISO1600

二次関数の極小値から22時39分30秒という値を得た。永井和男氏が公開した極小予報22時07分(JST)と比較すると誤差が約30分生じてしまった(図2)。

3. 結論と考察

アルゴルのほぼ全ての誤差(等級)が0.1未満であることから、測定結果による誤差ではないだろう(表1)。当初二次関数を利用したが R^2 (決定係数)が0.768という結果になり、三次関数で近似すると R^2 が0.851になった。アルゴルの極小時刻を求めるには、二次関数より三次関数で近似した方がいい結果を得られた。またアルゴルの主星は非常に明るい青色のB型星であることから、B画像で測光し直すことで R^2 が1に近づくことが期待される。今後はこの課題に取り組む方針だ。

4. 参考文献

- [1] 永井和男氏HP <http://eclipsingbinary.web.fc2.com/>
- [2] 天体観測の教科書変光星観測編 日本変光星研究会
- [3] 天文学辞典『ポグソンの式』

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

星の色の研究Ⅱ～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、黒木 颯士（高2）、中島 拓海、野崎 芙悠（高1）【福岡工業大学附属城東高等学校】

要旨

私たちは科学部の合宿で星を観察したときに星には色があることを知り、恒星の色について研究しようと思った。だが、本格的な測光機材は高いため一般写真用のフィルターとマカリを用いて恒星を撮影し簡易的な三色測光をした。その結果は恒星のスペクトル型の規則性を良く表していたが、いくつかのずれている恒星があることに気づき「夕焼け現象」が原因ではないかと考えた。

1. 動機・目的

恒星の色は白が多いが赤、黄、青などの色がついていることもある。このことに興味を持ち星の色の研究を始めた。星の光を赤・緑・青の三色に分解して計測する学術用の測光用機材は高価であり使用出来なかった。そこで一般写真用のフィルターとマカリを活用して三色測光ができないかと考えた。

2. 方法

(1) 望遠鏡にRGBフィルターと冷却CCDカメラを付けて恒星の各色を同じ露出時間で撮影する。

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）露出時間 0.05 秒～0.5 秒
- ・フィルター；パーター社 RGB
- ・架台；ビクセン SX-D 赤道儀

使用したソフトウェア

- ・CCDOPS ver4.5 (SBIG 社) (撮像)

撮影日時 2022年7月22日～24日

(2) 画像に写った恒星の光量を「マカリ」を使い調べてR(赤)、G(緑)、B(青)を計測する。

使用したソフトウェア

- ・マカリ (国立天文台) ver2.1 (光度測定)

3. 結果

既知の恒星を撮影しR/Gを赤の強さ、B/Gを青の強さとして散布図を作成した。ほとんどの星がほぼスペクトル型の順に带状に並んでおり黒体輻射の色を良く表していると思われる(図1)。このことから本格的な機材でなくても簡易的な三色測光を行うことができたと考える。しかし同じM型のガーネットスターとさそり座 α 星アンタレスの位置がずれている、1つのB型星の青みが弱いなどいくつか既知の事実と異なる点があった。

4. 考察

色の変化の原因は青色光が大気に吸収される「夕焼け現象」だと考えた。これを検証するために白色のレグルス(B型)を2023年1月11日22時から24時まで撮影し高度による色の变化を調べた(図2)。地平線近くでは青みが少なかったが高度が高くなるにつれ青みが増えて高度35度では他の星と同じ带状の領域に収まった。

またてんびん座 β 星ズベンエスカマリは緑色に見えることがある珍しい星として知られている。これは元々B型で赤みが乏しく青と緑が強いスペクトル

が、地球大気に青成分が吸収されて緑が残る現象だと推測できる。しかし今回は緑にはなっていない。そこで高度が低い時におおいぬ座 η 星アルドラ(B型)を観察したが緑色に変化しなかった。

以上から星の色は何らかの条件を満たしたときのみ地平線近くで変わることがあり得ると考える。

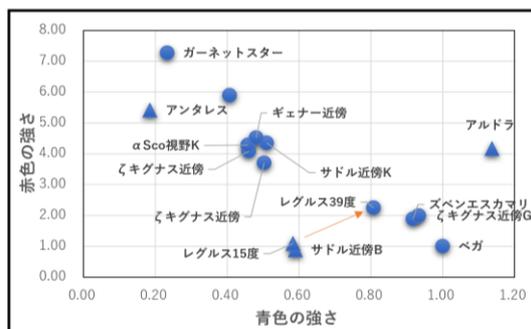


図1 赤色と青色の強さの関係

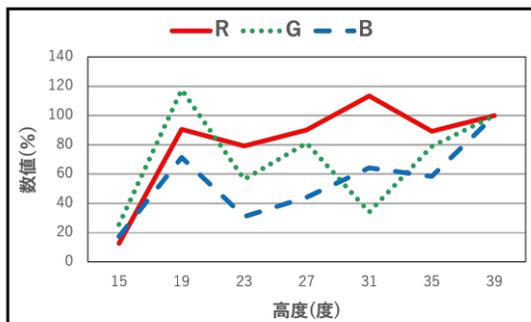


図2 レグルスの数値の時間による移ろい

5. 今後の展望

多くの恒星を撮影して夕焼け効果を検証したい。またその過程で緑色の恒星を観測したい。

6. 謝辞

元福岡工業大学の河村良行先生に、観測機器についてご支援とご指導を受けました。ここに謝意を示します。

7. 参考文献

- ・天文年鑑 2021年版 誠文堂新光社
- ・ニューステージ地学図表 浜島書店
- ・ステラナビゲーターVer. 11 アストロアーツ
- ・現代の天文学 7. 恒星 日本評論社
- 野本憲一、定金晃三、佐藤勝彦

うお座 DW (DW psc.) の測光観測

舞子高校天文気象部：

垂井 麻亜子、大島 瑞希 (高3)、前田 凌英、林 穂乃花 (高2)

【兵庫県立舞子高等学校】

要旨

観測によって、うお座 DW の明るさが周期的に変化することを確認し、Bバンド、Vバンド、Rバンドによる3色測光観測で得られた値から光度曲線を作成した。

1. はじめに

私たちは去年、脈動変光星であるペガサス座 DY の2色測光観測を行った。その時はBバンドとVバンドを使用したが、今回は新しい試みとしてRバンドを加え、3色測光観測を行った。

2. 観測と解析方法

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、3色測光観測を行った。Bバンド、Vバンド、Rバンドフィルターを使用して、露出時間30秒で順番に撮影を行った。得られた画像データはFITS形式のため、国立天文台の画像処理ソフト「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、うお座 DW の明るさを求めるために、比較星とうお座 DW のカウント値を求め、ポグソンの式を用いて等級に換算し、光度曲線(図1)を作成した。

3. 結果

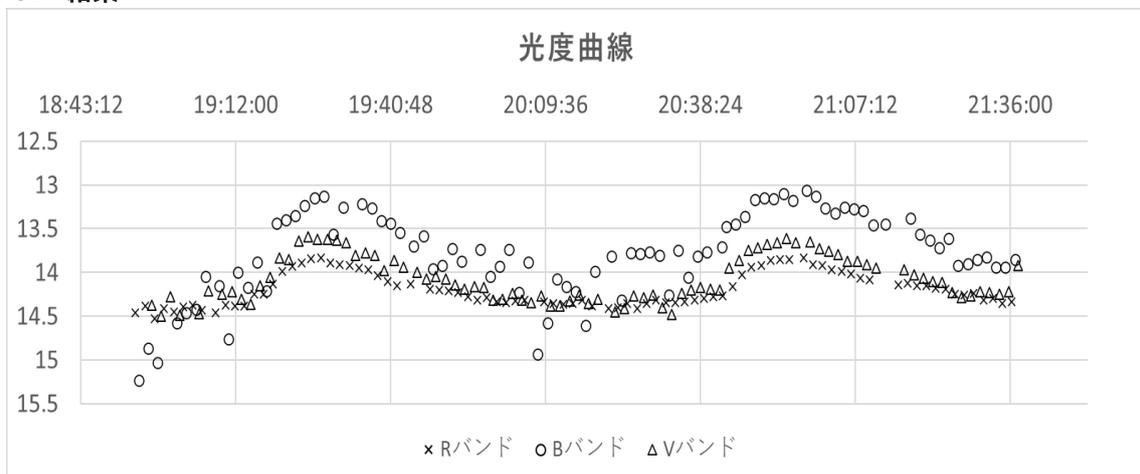


図1 観測から得られた光度曲線

4. 考察

この星の周期は(図1)から約85分で、過去の先行研究(On the Period of the High Amplitude delta Scuti Variable DW Psc)にも0.0596489日と記載されており、非常に近い数値が出た。

謝辞

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

脈動型変光星 みずがめ座CY星の測光観測

徳島県立城南高等学校科学部（地学班）：

江淵 仁尊（高2）、中岸 奏登（高2）、村上 裕紀（高2）【徳島県立城南高等学校】

要旨

本研究では、変光周期が他の変光星と比べて短いみずがめ座CY星を、VとBの2つのフィルターを使用して観測した。それぞれにおいて光度曲線を作成し、B-V色指数の値から半径を計算した。尚、この星は脈動型の中でもほうおう座SX型に分類されている天体である（変光周期約87.9分、変光幅約10.4～11.1等）。

1. はじめに

天体観測の際、変光星という天体について知った。中でも、体積の変化によって明るさが変化する脈動型変光星に興味を持ち、脈動型変光星の体積が明るさによってどのように変化するのか研究することにした。

2. 研究方法

阿南市科学センターにある口径113cmの望遠鏡(F9.7)に冷却CCDカメラ(SBIG STX-16803E)を使用し測光観測を行った(2022年9月23日、30日)。VとB、2つのフィルターを使用し、それぞれの露出時間を15秒と40秒とした。また、みずがめ座CY星が変光星であることを証明するために比較星(約11.5等)とチェック星を設定した。AIP4Win V2で画像解析(差測光)を行い、ダーク減算とフラット補正の一次処理を行った。得られたデータから表計算ソフトを用いて光度曲線を作成し、位相平均化した上で、色指数や半径の変化について解析した。

3. 結果

観測と解析の結果、得られたV及びBフィルターの光度曲線(位相平均)、さらに色指数、半径の変化を以下に示す。

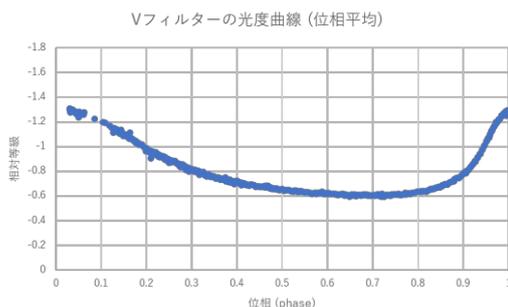


図 1

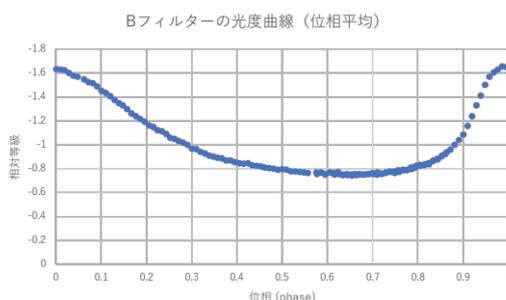


図 2

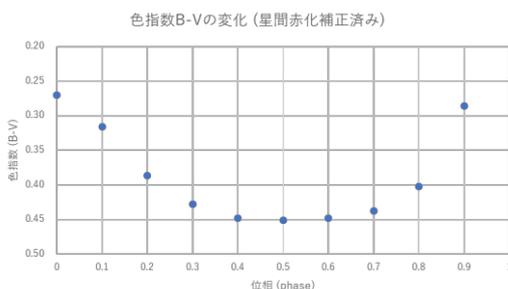


図 3

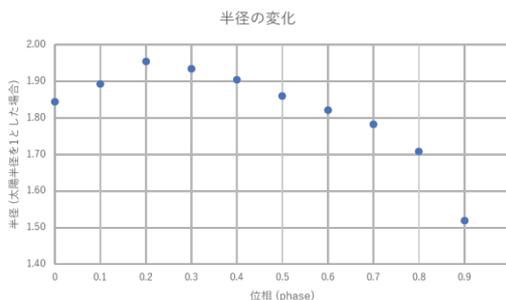


図 4

4. 考察

B-V色指数の値が小さいほど、表面温度が高いことを表す。このことから図3・図4のグラフより、傾向として表面温度が高いときに星の半径は小さくなり、逆に表面温度が低いときには、星の半径は大きくなっていることが言える。この原因は断熱変化によるものだと考えられる。しかし色指数と半径の変化には位相のずれがあり、この原因はさらなる研究を要する。また表面温度が最高になってすぐに低下するのは、爆発的な反応が星の内部で起こり、星の体積が増えることで気体の密度が下がるためであると思われる。半径の最大値と最小値から、星の極大と極小の体積の比を求めると9:2となった。体積は400%以上変化していると考えられる。

5. 今後の課題など

天候の影響で各フィルター1晩ずつしか観測できていないのでさらに観測が求められる。加えて、色指数と半径の変化に生じている位相のずれについても調査したい。今回の研究は、阿南市科学センターの今村和義先生より、観測から研究指導に至るまで御協力をいただいた。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

カシオペア座γ星の光度変化とガスリングの構造の関係

天文部：早川 晴、三瓶 青太（高2）、西尾 優里、今井 雪智、田中 瑛大、永井 大蔵（高1）
 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】、
 町田 日向（中3）、青木 康生（中1）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校附属中学校】

要旨

恒星の周りにガスリングを持つBe星の変光星であるカシオペア座γ星（以下γ Cas）に対し、光度変化とガスリングの構造に相関があるのかを、等級・輝線の観測によって調査した。光度変化とガスリングの構造について確かめることはできなかったが、ガスリングの回転速度とエネルギーに相関があることを確認できた。

1. はじめに

Be星とは、B型星の中でも高速に自転しているために、恒星の周りにガスリングが生じ、水素の輝線が観測される星のことだ。Be星は変光星であることが多く、γ Casなどが有名である。Be星についてはまだ謎が多く、私たちは、γ Casの光度変化とガスリングの構造に相関があると考え調査した。

2. 目的

γ Casの光度変化の際にガスリングの構造に変化があるかを、等級・輝線の観測によって明らかにする。そして、光度変化にガスリングが影響を与えているかを調べる。

3. 観測手法

本校屋上の300mmカセグレン式反射望遠鏡、90mm屈折望遠鏡（図1）を使用し分光・測光観測を行い、Vバンドでの等級及びHα、Hβ輝線の等価幅を算出した。観測データは今年行った1夜分に加え、過去の先輩が行った2夜分のデータを使用した。等価幅算出の際、観測した輝線に対し、ガウス関数（図2）にフィッティングを行い、最小二乗法によって決定した理想モデルをもとに算出した。

輝線を表すガウス関数の評価のパラメータとして「半値幅」「h/y₀（強度の比）」を用意して、輝線の特徴からガスリングの構造を考察した。



図1 観測機器

4. 結果

観測結果を下表（表1）に示す。

観測日	等級(V)	等級(V) (AAVSO上)	等価幅(A)		半値幅(A)		h / y ₀	
			Hα	Hβ	Hα	Hβ	Hα	Hβ
2019/12/16	1.81	2.07	41.1	4.53	6.86	5.35	2.43	0.34
2020/1/20	2.07	2.18	39.8	4.00	6.27	5.18	2.51	0.31
2022/11/25	×	2.09	38.2	4.64	5.97	5.82	2.55	0.32

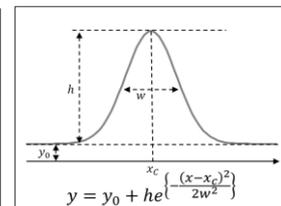


図2 ガウス関数の定義

5. 考察

- 1) 半値幅が上がるほど、h/y₀の値が減少する傾向があった→ガスリングの回転速度が変化している。
- 2) 1) より回転速度が速いほど、等価幅が大きいため→回転速度が高いほどガスリングのエネルギーが高い。
- 3) 等価幅と等級の相関はみられなかった。

今回の研究ではガスリングの回転速度の違いとエネルギーの相関を考察することはできたが、光度変化との相関はみられなかった。そして、ガスリングの収縮度や密度などの構造については、変化があるかを確かめることはできず、光度変化にガスリングが影響を与えているかを明らかにすることはできなかった。

また、今回低分散分光器を用いて観測を行ったため、輝線の観測精度がそこまで高くない。そのため、より精密な観測を行うには、高分散分光器を使用するなどの観測方法の改善が求められる。今後は精度の高い観測を通して、γ Casの光度変化の原因を明らかにしていきたい。

6. 参考文献

- [1] 野本憲一、定金晃三、佐藤勝彦 『恒星 シリーズ現代の天文学 第7巻』 日本評論社、2010
- [2] Simbad astronomical database - cds (Strasbourg). SIMBAD Astronomical Database - CDS (Strasbourg). (n.d.). Retrieved January 20, 2023, from <https://simbad.unistra.fr/simbad/>
- [3] POLLMANN E.; VOLLMANN V.; HENRY G. W., Long-Term Monitoring of Hα Emission Strength and Photometric V Magnitude of Cas, 2014 (Information Bulletin on Variable Stars, No. 6109, #1.)
- [4] 田辺俊彦(2013)「B型輝線星のパッシェン輝線観測」(日本天文学会 天文月報 2013年2月号p. 120-124.)
- [5] AAVSO. (n.d.). Retrieved January 20, 2023, from <https://www.aavso.org/>
- [6] JOHN M et al., Classical Be stars, 2003(The Publications of the Astronomical Society of the Pacific, Volume 115, Issue 812, pp. 1153-1170.)

TESSの観測データによるこいぬ座YZ星の恒星フレアと太陽フレアの比較

池田 実紀、石井 理子、板野 彩矢、奥山 もにか、川田 蒼汰郎、近藤 陽太、榎 日菜子 (高1)
【兵庫県立北摂三田高等学校】

要 旨

TESSによって観測されたこいぬ座YZ星の恒星フレアを解析し、太陽フレアとフレアエネルギーの観点から比較した。その結果こいぬ座YZ星のフレアエネルギーは太陽よりも大きいことがわかった。そして、こいぬ座YZ星周囲の居住可能な範囲は太陽-地球距離よりも近い膨大なフレアエネルギーを系外惑星へ及ぼすことが分かった。

1. はじめに

太陽フレアは太陽表面で起こる小規模な爆発である[1]。太陽表面に蓄えられた磁場のエネルギーが解放されることによってフレアが観測され、 $10^{29} \sim 10^{32}$ ergのエネルギーを放出する。このような現象は他の恒星でも起こっており、恒星フレアと言う。中には太陽フレアよりも規模の大きい恒星フレアを起こす天体も観測されている。

また、太陽フレアは時に人類文明に大きな影響を与える。恒星フレアが系外惑星の生命の居住可能性を損なうものなのかということに興味を持ったため太陽フレアのエネルギーと恒星フレアのエネルギーを比較した。

2. 観測と比較方法

観測データは地球以外の恒星の周りを回る系外惑星を食の観測によって発見するための宇宙望遠鏡TESSによって得られたものである。この研究では、こいぬ座YZ星というM型星でみられる恒星フレアに着目した。こいぬ座YZ星で観測された恒星フレアのエネルギーは以下のように計算した(式1)。

$$\text{フレアエネルギー[erg]} = \text{フレアの増光幅[\%]} \times 0.01 \times \text{太陽光度[erg/秒]} \times \text{継続時間[秒]} \times 0.5 \quad (1)$$

太陽光度の0.01倍はこいぬ座YZ星のもともとの光度を表し[2、3]、こいぬ座YZ星と太陽のフレアを同一の単位で比較することが可能になる。71個のフレアについてその光度曲線から増光幅と継続時間を測定し、こいぬ座YZ星のフレアエネルギーを調査した。

3. 結果と考察

図1はこいぬ座YZ星のフレアエネルギーのヒストグラムを表している。各区間のエネルギーの中央値に着目すると、左から一番目の区間のエネルギーに対してエネルギーが2.19倍になる左から二番目の区間では個数が0.57倍、3.37倍になる左から三番目の区間では個数が0.38倍とおおまかに反比例の関係性になっている。これは太陽フレアで観測されているエネルギーと頻度関係性に似ている。図2にはこいぬ座YZ星のフレアエネルギーと継続時間の関係性を示した。エネルギーの大きいフレアほど継続時間が長いことがわかる。こいぬ座YZ星のフレアエネルギーは $10^{31} \sim 10^{33}$ erg程度で、太陽フレアの $10^{29} \sim 10^{32}$ ergと同程度か少し大きい。よって以上のことから、太陽フレアとこいぬ座YZ星のフレアはおおよそ同じ性質をしていると考察する。しかし、もともとこいぬ座YZ星の光度は太陽の100分の1のため、こいぬ座YZ星はフレアが起こるときにエネルギー量が急激に増加するということが考えられる。

こいぬ座YZ星のようなM型星の生物居住可能範囲を考える。M型星は太陽よりも暗いため、居住可能な系外惑星との距離が太陽-地球距離の10分の1になる[4]。その場合、単純にみて太陽が地球に及ぼすフレアエネルギーの100倍がこいぬ座YZ星のような恒星の居住可能な系外惑星へ及ぼされるのではないかと考える。

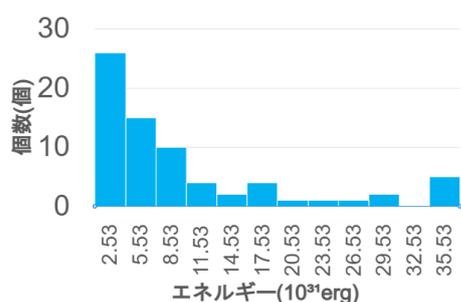


図1 フレアエネルギーのヒストグラム。
X軸は各区間の中央値を示した。

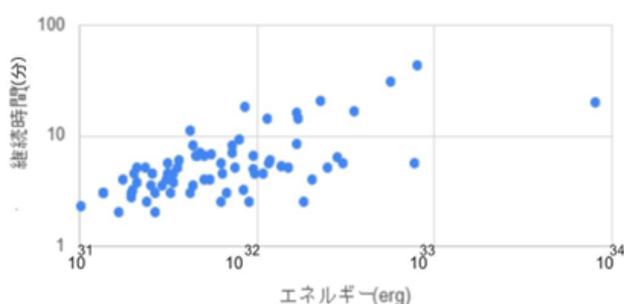


図2 フレアエネルギーと継続時間の関係。

【参考文献と謝辞】

- [1]天文学辞典 | 太陽フレア <https://astro-dic.jp/solar-flare/>
 [2]天文学辞典 | 太陽光度 <https://astro-dic.jp/solar-luminosity/>
 [3]M型星の光度 <http://skyserver.sdss.org/edr/jp/astro/stars/stars.asp>
 [4]M型星周囲の生物居住可能範囲 <https://www.nbcnews.com/id/wbna30136580>

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。

仙台市天文台ひとみ望遠鏡による M57, M27 の観測

竹山 愛理、伊藤 真生、佐藤 睦 (高1) 【東北学院榴ヶ岡高等学校】

1. 始めに

星の進化を学び、普段はあまり耳にしない白色矮星という言葉を知った。白色矮星は白い星でありながら非常に暗く、とりわけその質量に対する表面積のアンバランスさに興味を持ち、表面積を求めるために仙台市天文台のひとみ望遠鏡にて観測した。

2. 研究方法

(1) 観測

8月2~4日に仙台市天文台のひとみ望遠鏡で撮像 CCD カメラを使用し、U、B、V、Rの各々フィルターを用い、白色矮星である M57、M27 を観測した。

(2) 解析

画像処理ソフト「マカリ」を用いて解析した。ダーク、フラット画像による一次処理後、中心星、比較星の開口測光をした。比較星の等級をカタログで調べ、等級と CCD カウントの関係を決定し、中心星の等級を調べ求めた。M57、M27 それぞれの B 等級と CCD カウントの関係を図 1 と図 2 に示す。なお縦軸がカウント値、横軸が等級である。

(3) 中心星の温度と大きさ

B 等級と V 等級から B-V 色指数を計算し色温度を算出し白色矮星の表面温度とした。また、文献値を参考に天体までの距離を調べ絶対等級を求めた。

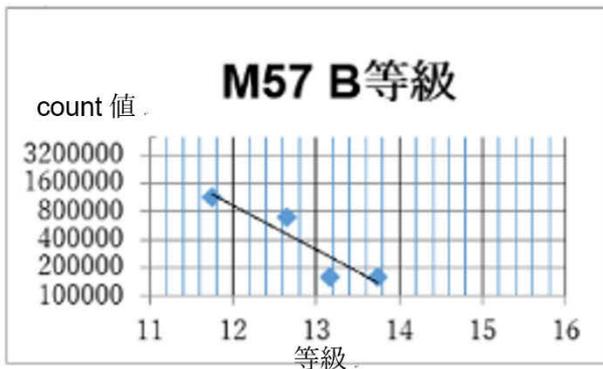


図 1 M57 の等級と count 値

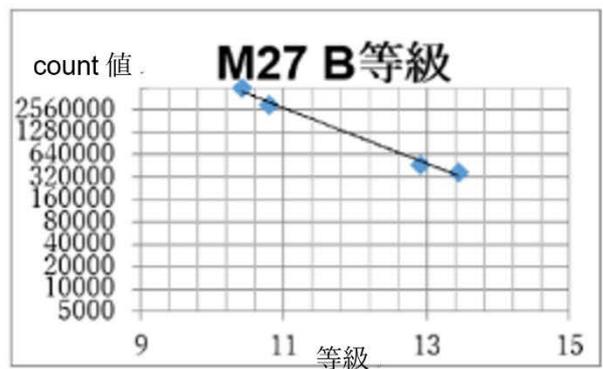


図 2 M27 の等級と count 値

3. 結果

表 1 各天体の絶対等級、表面温度、大きさ

天体名	B 等級	V 等級	B-V 色指数	表面温度	絶対等級	半径比 (太陽)
M57	1.2	0.7	0.5	18000	-8.78	5512.5
M27	5.9	1.1	4.8	1876	-5.90	1348.4

結果を表 1 に示す

4. まとめ

仙台市天文台で観測したデータを解析して、惑星状星雲の中心星の表面温度と絶対等級を求めた。観測した日は薄く曇りがかっていたため正確な数値を得ることはできなかったが、解析過程により色指数と絶対等級の関係を理解することができた。

参考文献

鈴木文二・洞口俊博編、あなたもできるデジカメ天文学”マカリ”パーフェクト・マニュアル
メシア天体ガイド M57、M27 アストローツ

アルマ望遠鏡の電波観測による原始惑星系円盤の解析 —プログラミングを用いた中心星の質量解析—

黒木 あやめ、足立 心愛 (高2) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】
山田 啓悟、田川 智也 (高2) 【愛知県立明和高等学校】

概要

本研究では、アルマ望遠鏡が一酸化炭素を電波観測したデータから、星形成の途中段階である原始惑星系円盤の特徴をプログラミングによって解析し、その中心星の質量を求めた。

1 はじめに

星間ガスの密度が高い領域を分子雲と呼ぶ。分子雲が自己重力で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にある一部のガスは中心に到達できないため、図1のように、中心星の周囲に原始惑星系円盤と呼ばれる円盤が形成される[1]。2021年度は、原始惑星系円盤の電波強度の分布を示す画像から目視で円盤長軸上の観測データを取得し、モデルのフィッティングを行うことで、原始惑星系円盤の中心星の質量を求めた[2]。

本研究では、プログラミング言語Pythonを用いて原始惑星系円盤HD163296を画像解析し、円盤長軸上の観測データから、中心星の質量を求めた。

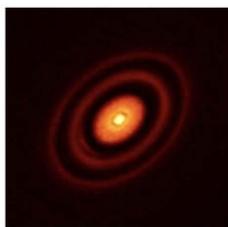


図1 原始惑星系円盤
HD163296 (電波)

2 データ

アルマ望遠鏡が、分子ガスの連続波、COの線スペクトルを電波観測したHD163296の公開データ[1]を使用する。また、この円盤の年周視差は、European Space Agencyが公開しているGaia eDR3[3]より取得する。

3 HD163296の中心星の質量解析

まず、HD163296が付随する星の年周視差をGaia eDR3から得て、地球から同円盤までの距離を求める。

次に、Pythonを用いて、HD163296の連続波のデータの中央値を閾値に設定し二値化した画像を作る。この画像から円盤最外周の輪郭座標を求め、最小二乗法による楕円近似により、円盤の長軸、短軸、中心座標を求めた。

円盤上を観測した電波のスペクトルから求められる分子ガスの速度の視線方向成分(視線速度)を、円盤の視線方向の傾きを用いて、実際の速度に換算する。また、HD163296の中心星の周囲にあるケプラー回転している分子ガスを考えると、万有引力と遠心力のつりあいから、

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

となる。ここで、 $V(R)$ は分子ガスの速度、 G は万有引力定数、 M はHD163296の中心星の質量、 R はHD163296の中心から分子ガスまでの距離、 d は同円盤が地球から遠ざかる速度に比例する値である。

式(1)を観測データとフィッティングし、観測データと最適曲線の差の値が 3σ (σ : 観測データと最適曲線の値の差の標準偏差)以内であるデータをケプラー運動してい

ると考え、これらのデータで再びフィッティングを行い、中心星の質量を求める(シグマクリップ法)。

4 結果

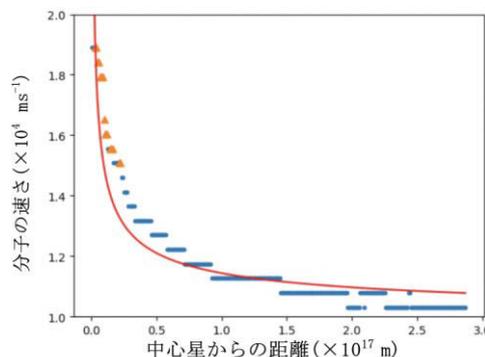


図2 HD163296の分子の速度分布

フィッティングした結果を図2に示す。図中の三角点がHD163296の中心星の周りをケプラー運動していない分子ガス、それ以外の点がケプラー回転をしている分子ガス、曲線が最適曲線である。フィッティングの結果、この円盤の中心星の質量は 3.9×10^{30} kg となった。

5 考察

円盤の質量は中心星に比べて十分に小さいので、円盤の歪みや厚みなどの効果により、ケプラー回転していない分子ガスが観測されたと考えられる。また、本研究の解析により得られた中心星の質量は、2021年度の研究[2]の結果 4.7×10^{30} kg にほぼ一致した。プログラミングによる自動化により、人の手が介入しないことで高精度かつ高速に中心星の質量が求められると考えられる。本研究では、原始惑星系円盤の長軸上の観測データのみを用いたため、今後は、円盤上の全データを用いて、中心星の質量を求めたい。

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立原研悟准教授、名古屋大学教育学部附属高等学校の大羽徹先生、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。また、筑波大学情報学群の服部真吾さん、京都市工学部の山中孝太郎さんにプログラミングの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] Alma Science Portal: DSHARP. <https://almascience.eso.org/almadata/lp/DSHARP/>
- [2] 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, 田川智也, 山田啓悟, 27T, 天文学会ジュニアセッション, 2022
- [3] ESASky. <https://sky.esa.int/esasky/>

Pythonプログラムを用いた散開星団の星の色の解析

松本 ころ、泰楽 翔和、野口 隼佑 (高2)、亀井 沙世、早川 桂都、樋口 洋平、新井 悠真 (高1) 【駿台学園高等学校】

要旨

恒星のカラー写真の三色 r, g, b データを用いて恒星の色の違いを計算し、恒星の明るさと比較してHR図を作成した。具体的にはM6散開星団のカラー写真からいくつかの恒星イメージを切り出し、r, g, b それぞれの画像のピクセル積算値、および三色全体の積算値を計算、そしてr画像とb画像の比率を色指数、全体の積算値を等級として、HR図を作成した。計算は簡単なPythonプログラムで行ったが、散開星団のHR図として比較的良好なものが得られた。

1. はじめに

1枚のカラー写真の中には r, g, b (red, green, blue) の三色のデータが含まれているので、これらと比較することによって、フィルターなどの特別な装置を用いずに恒星の色の情報を得ることができると考えられる。この方法の可否や精度を検証するために、今回は散開星団の1枚のカラー写真から星団のHR図を作成してみた。写真は、駿台学園北軽井沢天文台の75cm望遠鏡で撮影したM6散開星団のものを用いた。この中から、図1のように任意に22個の恒星像を切り取り、解析データとした。1個の恒星データは図2のようになっていた。

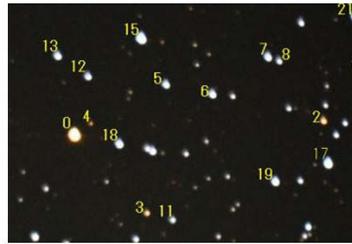


図1: M6 散開星団 (部分)

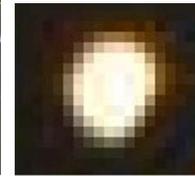


図2: 切り出した星像の例 (図1の 0番の恒星)

2. 解析方法

恒星像の切り出しは、既存の画像ソフト (gimp) を用いた。また星像データは .pnm形式のアスキーデータとした。これは、各 r, g, b ピクセルの受光量が255以下の整数値で表されており、簡単なPythonプログラムで処理できる。

この各ピクセルの数値をそれぞれ積算し、r, g, b それぞれ、および星全体の明るさ、とした。また星の色の違いの指数として、r色の積算値と b色の積算値の比率を用いた。

図3に、1つの星像の1部分の r, g, b 断面図を示す。図3で明らかなように、数値が255に近い (サチュレート) ピクセルは色の違いを正確に表していないと考えられるので、この部分のデータは、色の比率の計算には用いないようにした。ただし星全体の明るさのデータとしては、サチュレートした部分のデータも合算した。

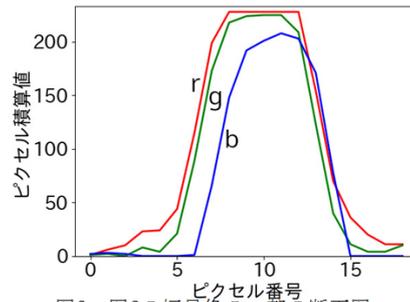


図3: 図2の恒星像の一部の断面図

3. 解析結果

得られた計算結果について、r と b の比率の対数値を横軸、星全体の積算値の対数値を縦軸として現わしたものが図4である。これは、この散開星団のHR図に該当するものと考えられる。

図4で×印をつけたものは、恒星カタログ (GAIAカタログ) の視差データから判断して M6に属さない恒星であると考えられ、これを除くと今回の方法で得られた結果は標準的な散開星団のHR図に近いものとなっている。

結論として、今回のような簡単な方法でも恒星の色について有効な情報が得られると判断される。

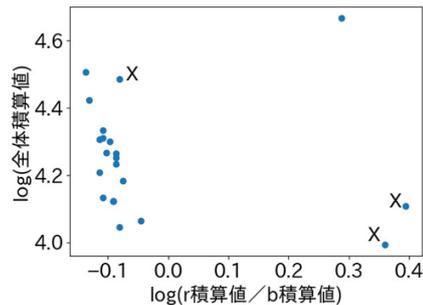


図4: 恒星の色 (横軸) と明るさ (縦軸) の関係図

4. 問題点および今後の検討課題

今回の結果で、データのサチュレート部分を除く方法が有効であることが示されたと考えられるが、これは星像のシャープさによって大きな影響を受けると考えられる。フォーカスを外して撮影した映像などを用いて、この影響を検証する必要がある。

また、この M6星団の写真のように天頂離隔が大きい場合には、大気の影響によって図3のように色ごとに星像がずれる場合があるので、これを補正する必要がある。

今後は、写真から星像を切り出す方法もプログラムにより自動化して、他の星団についても効率よく解析できるようにしたい。

5 終わりに

研究を進めるために、一橋大学名誉教授 中嶋浩一先生に指導、助言をいただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

HR図を用いた散開星団M7の年齢推定

大村 優太、園田 涼、高柳 颯人、鈴木 愛奈、松岡 桃子 (高1) 【横浜市立戸塚高等学校】

要旨

散開星団M7を撮影し、すばる画像解析ソフトマカリを用いて測光し、HR図を作成した。恒星進化曲線と比較した結果、星団年齢はおよそ5億年と推定できた。

1. M7について

さそり座 α 星(アンタレス)の南西に位置する散開星団(図1)。先行研究(Villanova,S.,et al,2009)での年齢はおよそ2億2000万年と推定されている。

2. 研究方法

2-1 観測と測光

2021年8月6日に本校のタカハシ製フローライトFS-78(口径78mm)、冷却CCDカメラ(図2)を使用してBバンド(5s×4枚)、Vバンド(5s×4枚)に分けてM7を撮影した。撮影した画像をマカリを使用して合成し、各バンドそれぞれ138個の星を測光した。

2-2 絶対等級の算出

2-1の測光で得たカウント値とポグソンの式を使用してM7の等級を算出した。更にM7までの距離(およそ250pc)を使用し絶対等級を求めた。その際、 λ 342を比較星(図1)とした。

2-3 HR図の作成

2-2の値より、縦軸に絶対等級、横軸にB-V値をとったHR図を作成した。

2-4 恒星進化曲線と照らし合わせて、年齢の推定

HR図に恒星進化曲線(Bertelli G,et al., 1994)を重ね合わせ、グラフの折れ曲がり点(図3の丸部分)から年齢を推定した。



図2. 本校の望遠鏡と冷却CCDカメラ

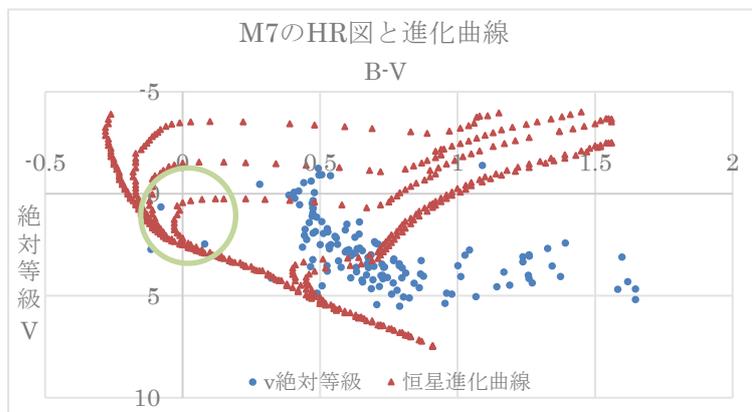


図3. HR図と恒星進化曲線



図1. 撮影したM7と比較星 λ 342

3. 結果

図3の折れ曲がり点から、M7の星団年齢はおよそ5億年と推定した。

4. 考察

本研究の結果と先行研究の間にはおよそ3億年の差が生じた。これは測光の際、M7以外の恒星を含んでしまったこと、さらに、M7の中に等級が高い星が少なかったため、HR図の上方の星が少なかったことが原因と考えられる。また、作成したHR図は理論曲線より右にずれている。これは銀河系円盤のダストによる星間赤化が原因と考えられる。そのため、今後はそのずれを補正し、改めて星団年齢を求める。

5. 参考文献

- Villanova,S.,et al,2009,A&A,504(3):845-852
Bertelli G.,et al.,A&AS,106,275,1994

分子雲の密度と前主系列星の質量との関係

もし天2022 ねぶらぼ～班：谷敷 怜空（高専2）【豊田工業高等専門学校】、
 坂上 ふく（高1）【S高等学校】、梅津 日菜子（高2）【山形県立米沢興譲館高等学校】、
 早川 晴（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

本研究では、前主系列星があることが知られている分子雲領域を掃天観測し、分子雲内部にある恒星の色-等級図上の分布と分子雲の密度との相関を調べた。しかし、これらに相関は見られず、前主系列星の質量の違いを生むのは分子雲から原始星となるプロセス内にあると考えた。

1. はじめに

初期質量関数（IMF）は銀河の進化を知るうえで非常に重要な関数である。しかし、IMFは太陽系近傍の主系列星を観測することで経験的に得られているに過ぎない。我々はIMFの起源とその普遍性について理解を深めたいと考えた。そのため、本研究では恒星の質量とそれを生む分子雲の密度との関連に着目し、分子雲密度が高ければ質量の小さい星ができるとの仮説を立てた。

2. 目的

恒星を取り巻いている分子雲の密度と、初期質量の違いによる色-等級図での分布の相関を明らかにする。

3. 観測手法

仙台市天文台のひとみ望遠鏡を用いて、前主系列星があることが知られているオリオン大星雲左下領域を1度角にわたって掃天観測を行った。バンドはVとIとし、積分時間はどちらも10秒で撮影した。得られた画像の各星についてAladin[4]を用いて年周視差を調べ、年周視差が2.5～3.21(mas)である星について測光を行った。

これらの星に対し、先行研究[1]より得られた分子雲柱密度マップを参考に、観測画像を柱密度の違いによりA～Dの区分に分け（表1）、初期質量は色-等級図上の分布と相関があることから、区分ごとに恒星を色-等級図上にプロットした。

区分	A	B	C	D
分子雲密度	22.7～	22.1～22.7	21.5～22.1	～21.5

4. 結果

- 1) SIMBADのTタウリ型星・ハービックAe/Be型星のデータと観測した天体の色-等級図を比べ、今回観測した天体はTタウリ型星と主系列星の間に多く分布していると分かった（図1）。
- 2) A～Dの区分ごとの色-等級図より、A～Dの領域間で分子雲の密度の違いがあるにも関わらず、色-等級図上の分布の大きな違いは見られなかった（図2）。

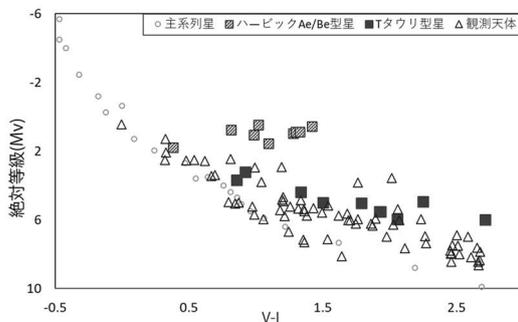


図1 Tタウリ型星・ハービックAe/Be型星との比較

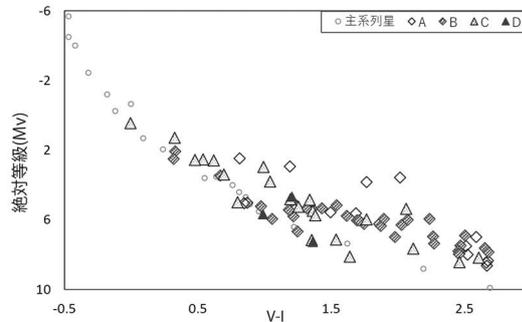


図2 密度区分ごとの色-等級図

5. 考察・まとめ

- 1) 今回観測した領域にはTタウリ型星が多いと考えられる。また主系列星の分布とも近いことから、進化する段階の星（Tタウリ型星から主系列星）が含まれている可能性がある。
- 2) 分子雲の密度が違っても星の分布に大きな差が見られなかったことから、個々の恒星の質量に差が生じるのは分子雲から分子雲コア、もしくは分子雲コアから原始星へと進化する段階ではないかと考えた。
- 3) 今回用いた分子雲の密度のデータは今の密度を表しているため、今回観測した恒星が原始星であった時点での分子雲の密度とは違う可能性がある。観測した恒星と比べるのはその恒星が形成された当初の分子雲の密度である必要があると考えた。そのため、さらなる研究手法の検討を今後の課題としていきたい。

6. 参考文献

[1] John Bally et. al. (1987) The Astrophysical Journal, 312:L45-L49
 [2] 福井康雄ほか, 『星間物質と星形成 シリーズ現代の天文学 第6巻』 日本評論社, 2009
 [3] 野本憲一ほか, 『恒星 シリーズ現代の天文学 第7巻』 日本評論社, 2010
 [4] Aladin Lite (Strasbourg). (n.d.). Retrieved December 29, 2022, from <http://aladin.cds.unistra.fr/AladinLite/>

7. 謝辞

私たちの研究をサポートしてくださったもし天スタッフの皆さん、仙台市天文台の皆さんに感謝申し上げます。

木曾 105cm シュミット望遠鏡での H α 線観測に基づいた銀河系の星形成率の推定

銀河学校 B 班：楠元 康生 (2022 年卒) 【久留米大学附設高等学校】、
藤本 真優 (2022 年卒) 【神戸女学院高等学部】、
藤田 真広 (高 3) 【大阪星光学院高等学校】、川畑 隆盛 (高 3) 【ルネサンス高等学校】、
佐々木 ハナ (高 2) 【札幌日本大学高等学校】、三井 敬斗 (高 2) 【駿台甲府高等学校】、
下河邊 太智 (高 2) 【海城高等学校】、谷敷 怜空 (高専 2) 【豊田工業高等専門学校】

要約

銀河の一生は星形成活動によって支配されているため、銀河の星形成率(以下 SFR)を知ることは重要である。我々は銀河系の SFR を推定するため、太陽系近傍の HII 領域を観測・測光し、各領域における SFR を算出した。これを用いて銀河系の全体の SFR を推定した結果、0.33 M \odot /year となった。これは先行研究の結果よりも小さくなった。

・観測した 9 天体の SFR の平均は、同じ領域内にある未観測の 58 天体の SFR の平均と等しい。

以上の仮定により、銀河系全体の SFR は以下のように求まった。

$$\begin{aligned} (\text{銀河系全体の SFR}) &= (\text{観測天体の平均 SFR}) \times 67 \\ &\times \frac{(15[\text{kpc}]^2 - 5.0[\text{kpc}]^2) \times \pi}{7.0[\text{kpc}]^2 \times \pi \times \frac{71.2^\circ}{360^\circ}} = 0.033 \text{ M}\odot/\text{year} \end{aligned}$$

イントロダクション

銀河の状態を表す指標の一つに、1 年間で新たに形成される星の質量を表す SFR がある。しかし、銀河系の SFR を観測から推定することは、観測地点が銀河内部であるという制約から容易ではない。そこで我々は、ある時期に観測可能な HII 領域の星形成率をもとに、銀河内の星形成領域の分布を仮定し、銀河系全体の星形成率の推定を行った。

データ・手法

我々は、2022 年 2 月 28 日、東京大学木曾観測所において、シュミット 105cm 望遠鏡、広視野 CMOS カメラ Tomo-e Gozen、H α 線のフィルターを用い、HII 領域を観測した。観測対象は、Sharpless カタログに掲載されている HII 領域の中から選定した。

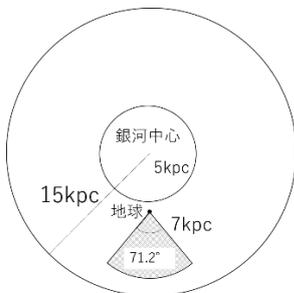


図1 銀河系の模式図

2月の前半夜に観測可能な天体はカタログ全 313 天体中 67 天体 (図1の扇型領域内) であり、その中から 0 型星もしくは WR 星を含んでいて、かつ可視光のアーカイブデータで星雲として明るい 9 天体を観測した。

結果

得られた各 HII 領域を測光し、flux を求めた。その値から luminosity を算出し、Kennicutt (1998) の式(2)より各天体の SFR を算出した。その結果、観測した天体の SFR の値は $4.9 \times 10^{-8} \sim 7.2 \times 10^{-5}$ M \odot /year、平均は 2.4×10^{-5} M \odot /year と求まった。この結果をもとに、以下の 2 点を仮定し、9 天体の個別 SFR から銀河系全体の SFR を求めた。

・銀河系の星形成活動はディスク領域で一様に起こり、銀河中心から 5kpc の範囲では起こっていない。

考察

H α 線の Flux は星間ダストによる減光を受けるため、真の値より小さく観測される。そこで、減光量と天体の距離との比例関係を仮定し、H α 線の減光量を求めた。その結果、観測天体の H α 線の減光量の平均値は 2.5 等級と分かった。この値を用いて、銀河系全体の SFR を補正した結果、0.33 M \odot /year と算出された。

先行研究における銀河系の SFR の推定値にはばらつきが大きく、例えば、Smith et al. (1978) や Robitaille & Whitney (2010) ではそれぞれ 5, 0.68~1.45 M \odot /year である。先行研究の値と比べると、本研究の結果は、2-15 倍程度小さい。この原因の一つとして、星形成領域の分布の偏在性 (Palmeirim et al., 2017) が挙げられる。今回は星形成活動が銀河系のディスク全体で一様と仮定したが、観測対象領域外に星形成活動がより活発な領域があるために、SFR を過小評価した可能性が考えられる。

まとめ

本研究では、銀河系内の HII 領域を H α 線を用いて観測し、SFR を推定した。この結果から銀河のディスク領域では一様に星形成が起こっているという仮定に基づいて銀河全体の SFR を算出した結果、0.33 M \odot /year という先行研究より小さい値が求まった。銀河系の構造についての仮定をより現実に即したものにすることにより、より正確な SFR の見積もりができると思われる。

参考文献

Kennicutt Jr, R. C. 1998, ARA&A, 36, 189
Güver, T., and Özel, F. 2009, MNRAS, 400, 2050
Smith, L. F., et al. 1978, A&A, 66, 65
Robitaille, T. P., and Whitney, B. A. 2010, ApJL, 710, L11
Palmeirim et al., 2017, A&A, 605, A35

SDSS MaNGA データを用いた、相互作用銀河における星形成活性化の検証

名大 MIRAI GSC 2019 :

山本 大凱 (2022年卒) 【愛知県立岡崎高等学校】、大崎 壮太 (2022年卒) 【愛知県立豊田西高等学校】

要旨

銀河のなかでも銀河同士が接近し衝突する系は相互作用銀河とよばれ、それらは特徴的な星形成の様子を見せる。本研究では相互作用銀河の衝突領域を独自に定義し、星質量と星形成率のデータを用いて比較を行った。結果として銀河の相互作用の影響で、衝突領域内外で星形成は活性化されるということが分かった。

1. 研究の背景と目的

銀河進化学とは銀河がどのように進化し、これからどのように進化するかについて考える学問である。そして銀河の進化において重要な役割を担うのが星の形成である。これまでの先行研究から星の形成が活発に行われる条件は示唆されており、それらの条件が満たされていることから本研究では相互作用銀河の衝突領域に焦点を当てた。相互作用銀河の衝突領域で星形成が活性化されるのではないかと仮説のもと、相互作用銀河及び非相互作用銀河での星質量と星形成率の関係について解析・比較を行った。

また、研究を通して衝突領域でない部分でも星形成が活性化している場合が見られたため(図1)、相互作用銀河の衝突領域外でも星形成率が上昇する理由も調査することにした。そこで、銀河円盤を離れた稀薄で球状な星分布であるハロー領域の影響を考えた。相互作用銀河の衝突領域外をハローとし、星形成率と星質量の関係について解析・比較を行った。

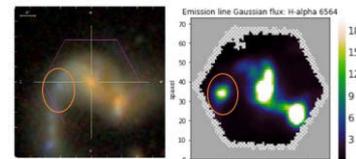


図1 非衝突領域での星形成

2. 研究の手法

本研究では、銀河を空間分解して要素ごとの星形成率、星質量を観測したデータを利用した。星形成率とは単位時間あたりに生み出された星の質量を表す値であり、単位は $[M_{\odot} \cdot y^{-1}]$ である。星質量は星の重さを表す値であり、単位は $[M_{\odot}]$ である。これらのデータは近傍銀河観測サーベイ SDSS MaNGA^[1]から提供されているものを利用し、表計算処理によってグラフに出力した。銀河のサンプル数は20で、相互作用銀河・非相互作用銀河を比較することにより相互作用の特徴を定量的に考察した。

また、本研究では銀河の衝突領域を定義するために楕円フィッティング^{[2][3]}を参考にした独自の方法を採用した(図2)。相互作用銀河において、各銀河の中心から全体の星質量の80%を占める円形領域を銀河領域とし、2銀河でそれらが重なる部分を衝突領域と定義した。この方法により、銀河が衝突する領域とそれ以外に分けることができた。

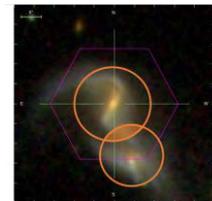


図2 衝突領域の定義

3. 結果と議論

はじめに、銀河半径と比星形成率(星形成率/星質量)の関係(図3)から、銀河の衝突領域で比星形成率が上昇しているといえ、銀河の衝突領域で星形成が活性化することが示唆された。一方、衝突領域外の星質量・星形成率について非相互作用銀河と比較することで、衝突領域外でも星形成が活性化していることがわかった。以上から、相互作用銀河では衝突領域で星形成が活性化すること、加えて衝突領域外でも、相互作用のない場合より星形成が活性化されると考えられる。前者の星形成活性化は星間物質の衝突に起因し、後者はハロー領域の作用によるものだと考えられる。

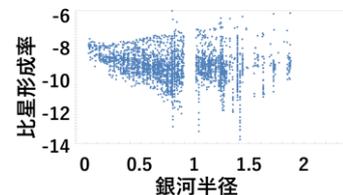


図3 銀河半径と星形成率の関係

4. 謝辞

本研究を進めるにあたり、名古屋大学銀河進化学研究室(Ω研)竹内努准教授、大森清顕様には、終始熱心なご指導を頂きました。心から感謝いたします。また、名大MIRAI GSC 林誉樹先生、熊崎里美様には、研究活動においてご支援、ご助言をいただきました。心より御礼申し上げます。

5. 参考文献

- [1] MaNGA, Sloan Digital Sky Survey, <https://dr15.sdss.org/marvin/>, (最終閲覧日2020/10/20)
- [2] 館内 謙(2013), 世界一高い天文台から見た銀河の形の起源一チリで塵を見通す, 天文月報, 106 (1), pp. 23-27.
- [3] 三浦 飛未来(2021), 2020年度国内研修支援金による成果報告書, 天文月報, 114(11), pp. 709-717.

3C273のスペクトル解析

巣鴨中学校地学班：
青山 暁信（中2）、峯 輔孝（中1）【巣鴨中学校】

要旨

天体画像解析ソフトMakali'iを用いてクェーサー3C273の解析を行った。この天体のスペクトルデータを解析した結果、FeやNaなどが含まれていることがわかった。

1. 目的

スペクトルはその天体がどのような物質の組成なのかを知ることができる。我々はクェーサーの中でも特に強い電波源である3C273の組成を調べるため、研究を行った。

2. 方法

天文アーカイブシステムであるSMOKAで1994年1月に国立天文台岡山観測所で撮影された3C273のスペクトルデータを取得し、Makali'iのグラフ機能を用いて縦軸は輝度、横軸は波長のグラフを作成し、そのグラフに見られる輝線のピークの波長と理科年表のスペクトル線の波長のデータ照らし合わせ、元素組成の同定を行った。

3. 結果

先ほどの手順で3C273のスペクトルをMakali'iに読み込ませ、グラフを得ることができた。

4. 考察

観測されたデータは赤方偏移の影響を受けているので赤方偏移を表す式(z =赤方偏移、 λ =実験室系での静止波長、 λ_{obs} =実際に観測された波長)

$$z = \lambda_{obs} - \lambda / \lambda$$

から得られる

$$\lambda_{obs} = (1 + z)\lambda$$

z に3C273の赤方偏移の値である1.158399、 λ_{obs} に観測された値を代入し得られた λ に非常に近い理科年表のスペクトル線の元素をグラフ上に示したものが図1である。5500及び6100オングストローム近傍にNaの輝線が見える。Feは5700,5900,6300オングストローム近傍に見られる。5600オングストローム近傍のHはバルマー系列のものであると考えられる。クェーサーのスペクトルによくみられるライマン α 輝線が見られないのは、このスペクトルデータの最短波長が5250オングストロームなのに対し、ラ

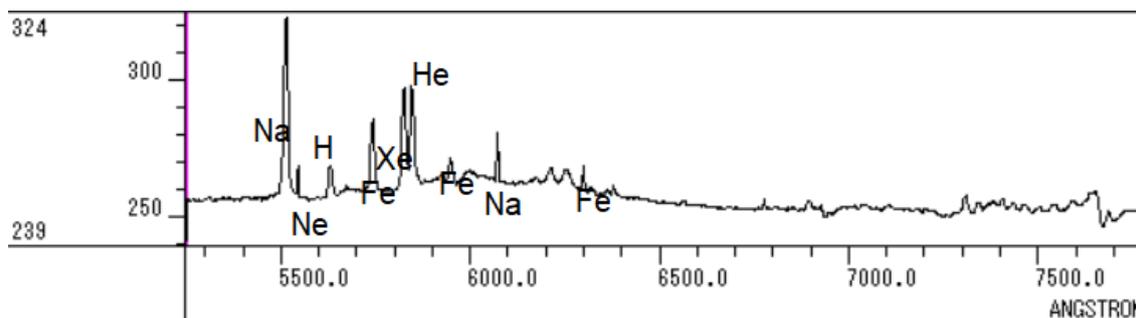


図1 スペクトル線の同定

イマン系列の最長波長が実験室系で1216オングストロームであるためだと考えられる。

5. まとめ

本研究により3C273の組成はFe,Na,Ne,H,Heなどであると思われる。特にFeやNaは様々な波長理科年表のデータと一致し、確かであると思われる。また、元のスペクトルデータの波長が長めだったため、ライマン α の森を観測することはできなかった。

6. 今後の課題

今回は天体のスペクトルの解析のみを行ったが、将来的にこのような遠方のクェーサーの内部構造がわかるほど望遠鏡の分解能が向上すれば、同様の手法で3C273周囲のスペクトルを解析することで銀河間物質の分布やジェットに含まれる物質、ジェットによる物質の分布への影響などを調べることができると思われる。

7. 参考文献

- 1)ブラックホールと高エネルギー現象 小山勝二 嶺重慎 日本評論社
- 2)SMOKA [SMOKA \(nao.ac.jp\)](http://SMOKA(nao.ac.jp))
- 3)理科年表2023 国立天文台編 丸善出版

そして誰もいなくなった ～近傍銀河の観測によるクェーサーの研究～

もし天2022 QUASARS :

宇野 航太郎 (高2) 【金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校】、昇 航玄 (高2) 【東大寺学園高等学校】、古川 こと葉 (高1) 【四天王寺高等学校】、細川 紗椰 (高1) 【雙葉高等学校】

1. 要旨

クェーサーが地球から5.8億光年より先にしか存在しないことに疑問を抱き、銀河の観測とアーカイブデータからその理由を探った。スケール因子や色指数の考察から、銀河の個数密度や銀河内のガス密度が減少していることによってクェーサーができにくくなったのではないかと推察できる。

2. 仮説

クェーサーの数は宇宙年齢20～30億年にピークを迎えることと、宇宙は膨張していることの二つの点から、銀河衝突の頻度が下がり続けていると予想した。加えて、新しい星の形成にガスが使われていることから、銀河の中のガス密度は小さくなっていると予想した。この二つの予想と、クェーサーは銀河同士が衝突し、ガス量が増加することで生まれることを踏まえて、宇宙年齢の増加に伴ってクェーサーができにくくなっているという仮説を立てた。

3. 研究方法

理論と観測結果の二つのアプローチで考察する。
 ①理論 銀河衝突の頻度が下がり続けていることを、銀河の宇宙に占める個数密度が減少していることから示す。銀河の個数密度の2乗とクェーサーの個数密度に相関があると考えた。
 ②観測 近傍の銀河と遠方の銀河の色指数(B-V)を比較する。色指数が小さいことは青く見える、つまり質量が大きく若い星が多いことを示す。よって星形成率が高いとガスの密度が高いと分かる。ただし、遠方銀河については光が赤方偏移しているため、赤方偏移0.7においてはBバンド、VバンドはそれぞれSDSSのiバンド、zバンドに対応することを利用してi-zを調べた。(K補正も行った。)

4. 観測

仙台市天文台のひとみ望遠鏡(口径1.3m)を用いて、M31、M33、NGC628、NGC3198、NGC2841の撮像観測を行った。色指数を求めるために、BバンドとVバンドで観測を行った。遠方の銀河の明るさはアーカイブデータを用いて調べた。

5. 結果

①銀河の個数密度の2乗とクェーサーの個数密度の値をそれぞれ規格化し、赤方偏移ごとにプロットした(図1)。しかし、明確な相関は見られなかった。
 ②近傍銀河と遠方銀河の天体の色を表すための指標である色指数を比べた。左にいくほど青いことを意味する(図2)。結果として、遠方銀河の方が青く、星形成率(一年で増加する星の質量)が高い、つまりガス密度が高いことが分かった。

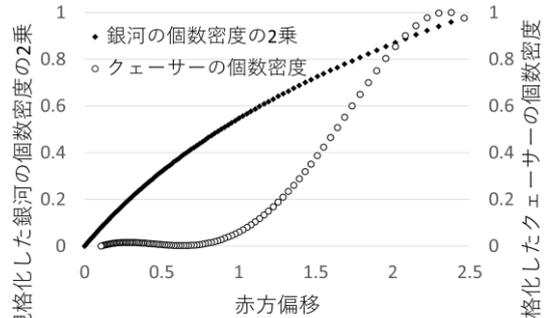
6. 考察

①図1のグラフを比較すると、クェーサーの個数密度は、赤方偏移が小さくなるほどほぼ横這いになっていることから、銀河の個数密度の2乗とクェーサーの個数密度には弱い相関はあるが比例しないと言える。銀河の個数を一定とした仮定が不適切だった可能性がある。

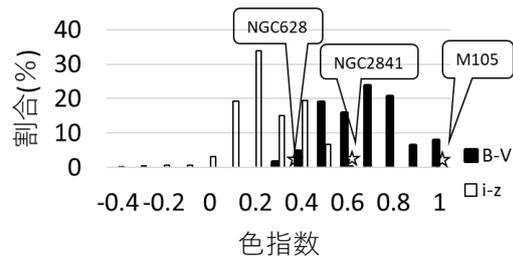
②図2から、選択バイアスの問題は残るものの、時間が現在に近づくほど銀河同士が衝突してもクェーサーを発生させるためのガスの量を満たしにくいと考えた。このことが要因でクェーサーの個数密度が赤方偏移1.5以下で急減している可能性があると考えられる。ただしこのことを示すためにはガスの減少量、割合を定量的に出す必要がある。

7. 結論

①の仮説だけではクェーサーの個数密度の減少を説明しきれない一方で、②の結果からはクェーサーが過去から現在になるにつれて発生しにくくなっていると考察できる。従ってクェーサーの個数密度の減少は銀河衝突の頻度の減少に加えて、ガスの密度が減っていることも要因となっていると推測できるが、定量的に示すことはできなかった。



(図1) 赤方偏移と銀河の個数密度の2乗、クェーサーの個数密度の関係



(図2)色指数の比較

参考文献

- ・ SDSS DR12 SAS <https://dr12.sdss.org/advancedSearch/process> (2023年1月22日参照)
- ・ Wright, E.L. 2006, PASP, 118, 1711 <https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0609593.pdf> (2023年1月22日参照)
- ・ 仙台市天文台 <http://www.sendai-astro.jp/laboratory/hitomi.html> (2023年1月22日参照)
- ・ Faber, S. M. & Gallagher, J. S. 1979, A&A, 17, 135 <https://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1979ARA%26A..17..135F> (2023年1月22日参照)
- ・ Kulkarni, G et al., 2019, MNRAS, 488, 1035 <https://arxiv.org/pdf/1807.09774.pdf> (2023年1月22日閲覧)

地域の方への天文イベントを通して得たアンケートの分析

小牧 亮介、清水 大斗、野見山 航太、藤吉 莉央（高2）【横浜市立戸塚高等学校】

要旨

戸塚高校天文部では地域住民や保護者向けに毎年半年に一度「星空観察会」と呼ばれる交流会を行っている。星空観察会では、本校にある天文台や屋上で望遠鏡を使って天体観測を行ったり、星座や宇宙に関するプレゼンテーションを行い、地域の方々との交流を深めることを目的に開催している。アンケート結果により、地域住民の方々の満足度が平均的に高いことが分かった。

方法

星空観察会後に参加者からアンケートを取る。内容は年齢・来校経験・参加のきっかけ・屋上での観測、天文台にある口径35cmニュートン式反射望遠鏡での観測、プレゼンに対する5段階評価・また参加してみたいかの5項目である。今回は過去5回分のアンケート結果を分析した。なお、星空観察会の1回の定員は20~30名である。当日のタイムテーブルを図4に、様子を図5,6にそれぞれ示す。



凡例の順番とグラフ中の割合の順番は対応している。nは調査数を現す。

結果・考察

参加のきっかけについてのアンケート(図1)から、普段は星に接してない方でも星に対する興味関心を持っているのは横浜市という地域柄、空を見上げても1~2等級程度の星しか見えず天文台を通して見る局所的な星空だとしても観てみたいという気持ちが高まったのだと考えられる。逆に言うと地方で開催した場合はあまりこのような結果はのぞまれないのではないかと。また、図1~図3より星や宇宙に興味がある人と高評価をつけてくださった方の割合がそれぞれ最も多い数字になっていることから、星に興味がある人に適切な内容のイベントであったと考えた。また、天体観測(図3)の満足度の1回目から5回目のそれぞれの平均点を出すと、1回目は4.35点、2回目は4.58点、3回目は4.76点、4回目は4.41点、5回目は4.68点となった。一回目と四回目は天候が雨だったということにより、星や宇宙に興味がある人にとっては満足出来ず、他の開催日より満足度が低いということが数値にも現れた。

協定世界時及び国際原子時を用いた新たな時刻体系 ～うるう秒廃止に関連して～

成蹊高等学校 天文気象部：
小西 堅、宮内 百合香、松本 順、高山 耕汰、吉岡 初音、田中 大樹、
市原 楓之介、河崎 巧、鶴田 花梨(高1) 【成蹊高等学校】

要 旨

成蹊高等学校天文気象部では、うるう秒が2035年に使用が取りやめになることを踏まえ、望ましい時刻体系について検討した。その結果、協定世界時と国際原子時を併用したうえで、協定世界時の時刻調整方法に「うるう分」を用いる時刻体系を提案する。

1. はじめに

2022年11月18日、BIPM（国際度量衡局）は、うるう秒の使用を2035年までに取りやめると発表した。うるう秒は不定期かつ高頻度で挿入されるため、コンピュータによる自動処理が出来ず、その都度関係者は対応に追われてきた。うるう秒を存続させるかどうか、国際会議で15年以上に渡り議論されてきたが、結論は出なかった。その後、紆余曲折を経て、2035年まではうるう秒を存続させ、それ以降は廃止することが決定した。

2. 新たな時刻体系の提案

2035年以降は連続的な時刻体系になるものの、協定世界時と国際原子時とで時間差が生じるようになる。そのため、時刻体系をうるう分を用いた協定世界時(名称は変更しない)と国際原子時を併用すべきである。

具体的には、電子金融業界やコンピュータシステム関係といった1000分の1秒、10000分の1秒が重要な場面では国際原子時を用い、1秒以下の時間がさほど重要ではない一般社会においては協定世界時を用いる。

3. 従来案との差異

ITU（国際電気通信連合）が2015年11月に開催した世界無線通信会議（WRC-15）では、複数案が提示された。我々の提案と最も近いのはイギリスなどが支持した「うるう秒を継続し、今の協定世界時を維持しつつ、連続的な時刻体系には国際原子時を用いる（Method C1）」というものである。この案では、うるう秒挿入に伴うコストとリスクは継続されるが、我々の案ではそれが緩和されている。

4. 新時刻体系導入に伴うメリットとデメリット

時刻系併用のメリットは、必要に応じて連続的な時刻系を用いることが出来ることが挙げられる。そして、この体制ならばシステムの改修の頻度は100年に1回程度のものになり、挿入のタイミングも数年前から計画出来る。デメリットとしては、2つの時刻体系を併用するため、時刻システムの改修に伴うコストとリスクが発生する可能性がある。さらに、これまでは世界時と国際原子時の差が0.9秒以内になっていて、それが前提となっているシステムでは適切に扱えない可能性がある。また、どちらの時刻体系を用いているのか混乱が危惧されるため、何がどの時刻系を使っているのか、異なる時刻系を使うものの間のやり取りにも注意が必要となる。しかし、両者の時刻体系については、NICT（国立研究開発法人 情報通信研究機構）が正確な協定世界時及び、国際原子時を随時更新しているため換算可能である。

5. まとめ

本提案では、うるう秒の取りやめが決定された今、どういった時刻体系を用いるべきなのか独自の案を論じてきた。その内容とはうるう分を用いた協定世界時と国際原子時を併用するものであると提案し、本稿を終える。

memo.

表紙写真の説明

双眼鏡で見た印象を再現した部分月食写真。
露出の異なる5枚をHDR合成。

撮影時刻：2022年11月8日21時15分（JST）
撮影：長山省吾（クレジット：国立天文台）

ジュニアセッション実行委員会・世話人

実行委員 世話人

山村 一誠（実行委員長）、石川 直美、大西 浩次、小倉 和幸、篠原 秀雄
縣 秀彦、浅見 奈緒子、飯塚 亮、石田 光宏、小野 智子、小菅 京、佐藤 太基、
鈴木 文二、内藤 博之、永井 智哉、西村 昌能、船越 浩海、畠 浩二、
松本 直記、山岡 均、山田 隆文、吉川 真

誌面構成 中田 彩子 印刷 株式会社 明友社

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

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

天文学辞典

