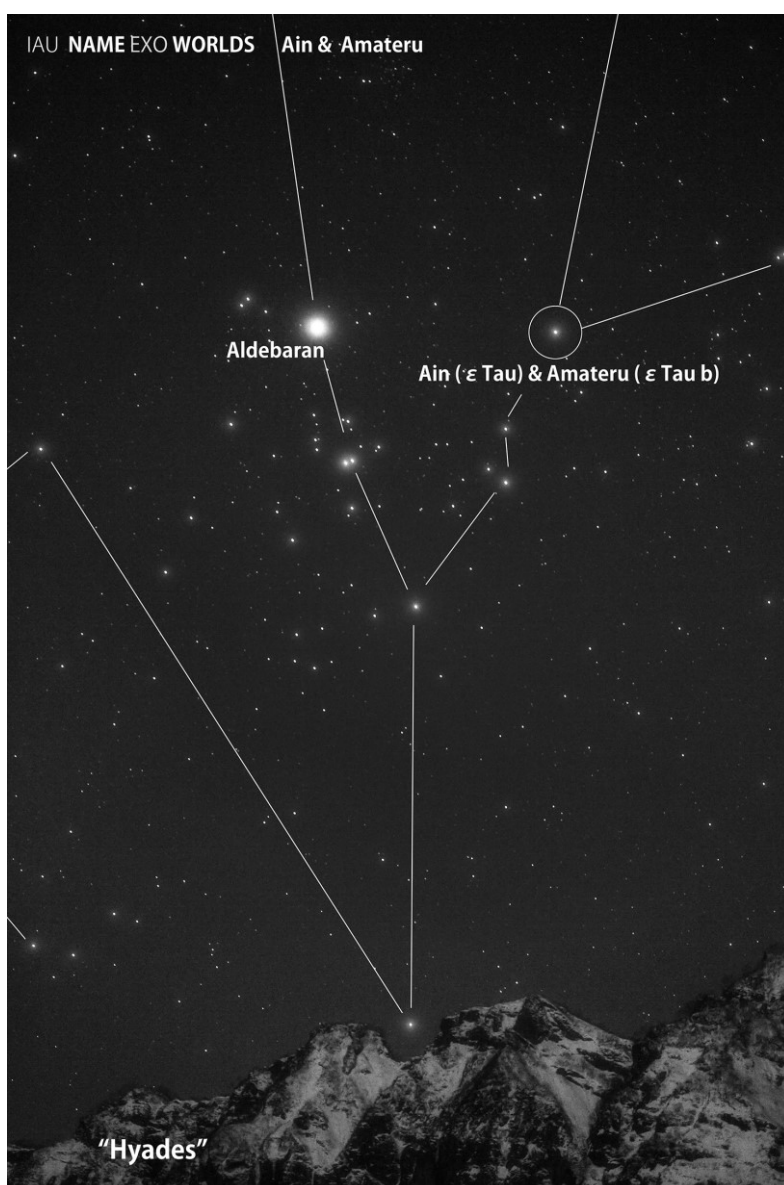


日本天文学会 2016年 春季年会

# JUNIOR SESSION

## 第18回 ジュニアセッション予稿集



2016年3月14日～17日

於 首都大学東京

日本天文学会 2016年 春季年会

## 第18回 ジュニアセッション予稿集

2016年3月14日～17日



## 日本天文学会 第18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 市川 隆

ジュニアセッションは 2000 年の春季年会から数えて今回で 18 回目となりました。最初は 17 件だった研究発表の数は年々増加し、今年は 84 件の発表となりました。しかも非常に他分野にわたる研究成果ですので予稿集からも皆さんの熱意が伝わってきます。

この 1 年間、天文学に関するたくさんのビッグニュースがありました。ついに重力波が発見された最近のニュースは世界を驚かせました。新しい天文学の始まりが期待されます。昨年は日本天文学会会員の梶田隆章先生がニュートリノの質量の発見でノーベル賞を受賞しました。金星探査機「あかつき」の金星軌道投入成功、「はやぶさ 2」のスイングバイ成功など、わくわくする話題がたくさんありました。天文学がますます盛んになっていく予感がします。私も「はやぶさ 2」のスイングバイの前後に、「はやぶさ 2」の分光器による地球の赤外線観測に参加しました。JAXA 宇宙科学研究所の制御室で観測に成功した時は胸が躍りました。ひさしぶりに「やった」という気分でした。

今回の皆さんの研究もきっと、成果が出たときには「やった」という気持ちになったのではないかと思います。この達成感を大切に、成果をジュニアセッションに集まった皆さんに熱く語ってください。その思いはきっと参加者皆さんの胸に響くと思います。研究の立案から成果の発表に至る過程で頑張った皆さんは自分では想像がつかないほど成長していると思います。どうぞ自信をもって発表に臨んで下さい。

タイの高校生の発表もあります。同じ天文学の研究をしている高校生です。言葉は違っても思いはひとつ。天文学は世界共通です。今後ますます国際交流が活発になっていくでしょう。普段の学校生活ではなかなかこのような交流の機会は得られません。是非、天文学という共通のことばを使って、話をしてみてください。きっと皆さんの世界が広がります。

日本天文学会 2016 年春季年会

## 第 18 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：天文教育普及研究会、高校生天体観測ネットワーク

◆**口頭セッション** : 2016 年 3 月 14 日 (月) 13 : 30 ~ 15 : 30

会場：首都大学東京 6 号館 1 階 (年会 J 会場)

○**ポスターセッション** : 2016 年 3 月 14 日 (月) 11 : 00~13 : 30, 15 : 30~

ポスター会場：首都大学東京 6 号館 4 階

※ポスター掲示は年会の会期 (3 月 14 日~17 日) を通して可能

### 【2016 年 3 月 14 日 (月) のスケジュール】

10 : 30 受付開始 (年会 J 会場前)

11 : 00 ポスターセッション (コアタイム)

13 : 30 口頭講演 (年会 J 会場)

座長：山村 一誠 (宇宙航空研究開発機構)、本間 隆幸 (府中市郷土の森博物館)

セッション I	夜空の明るさ	1-10	(各講演 1 分) + 質疑 5 分
セッション II	太陽・位置天文	17-22,29-32	(各講演 1 分) + 質疑 5 分
セッション III	装置開発・宇宙開発	33-42	(各講演 1 分) + 質疑 5 分
セッション IV	タイセッション	44-50	(各講演 1 分) + 質疑 8 分
セッション V	星形成・銀河・銀河団	51-57	(各講演 1 分) + 質疑 5 分
セッション VI	恒星	58-66	(各講演 1 分) + 質疑 5 分
セッション VII	太陽系天体・系外惑星	68-78	(各講演 1 分) + 質疑 5 分

15 : 30 ポスターセッション (ポスター会場)

17 : 00 終了

# 目次

## セッションI 夜空の明るさ

01	光害の数値化について	12
	伊藤 渚 (高3)、本田 陸人、藤井 悠野、湖平 元彌 (高2)、古川 郁将、東元 太誠、 西村 江梨花 (高1)【東筑紫学園高等学校 理科部】	
02	2015年埼玉県南部地域の空の明るさ	14
	佐藤 南海、松井 秀心 (高1)【星野高等学校】	
03	「ひかりのまち・函館」で星空マップをつくる -函館は夜景も星も美しい-	16
	岡田 結衣、花田 愛海 (高2)、目谷 妃香莉 (高1)、川口 珠実 (中3) 【遺愛女子中学校・高等学校 地学部】	
04	SQM-Lを使った夜空の明るさ一斉測定	18
	全国夜空の明るさ班 U-15: 志村 保乃佳 (中1)【静岡市立清水第八中学校】、 富田 小冬 (中1)【一宮市立南部中学校】、打越 壮大 (小6)【西海市立大島東小学校】、 松本 朱音 (小5)【高砂市立高砂小学校】、前田 心晴 (小4)【広島大学附属三原小学校】	
05	夜空における天の川の明るさ	20
	大野 功暉、堀 僚泰 (高2)、増田 廉太郎、高木 健太郎、岩崎 雅矢 (高1)【岐阜県立岐山高等学校】	
06	夜空の明るさに対する光害対策効果の推定 (第一報)	22
	麦踏 松秀、本部 勇真 (高2)、谷口 沙彩、中村 篤志 (高1)【兵庫県立龍野高等学校 自然科学部天文班】	
07	SQMによる夕方のグラデーション測定 III	24
	富田 小冬 (中1)【一宮市立南部中学校】	
08	デジタル一眼レフカメラによる大気補正係数の推定	26
	仁木 敬子 (高1)【神戸女学院高等学部】	
09	いつもの星空がもっときれいに見えるかも!? ~暗順応による星空の見え方の変化~	28
	岩村 桃実、寺内 夏子、星野 ひとみ (高2)【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】	
10	SQM専用フードの改良	30
	富田 理恩 (小4)【一宮市立向山小学校】	
11P	綺麗な夜空をもっと身近に	32
	稲垣 里彩、小崎 瑛子、河合 春奈、浅井 飛音 (高1)【愛知県立一宮高等学校】	
12P	夜空の明るさシミュレーション ~メッシュの活用~	34
	守屋 泰雅、相澤 里佳、竹谷 宏音、山口 稜太、山本 拓実、川口 彰太 (高2)、 片桐 拓、吉筋 康介 (高1)【愛知県立一宮高等学校 地学部】	
13P	SQM-Lフードの設計・製作	36
	相澤 里佳 (高2)【愛知県立一宮高等学校 地学部夜空班】	

14P	ライトダウンに伴う適切な夜景写真の処理方法 ～伝統的セタライトダウンの普及と科学的評価Ⅱ～ 星野 遥香、星野 有香（高1）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】	38
15P	暗闇で見つけた！光の色による見えやすさの違い ～暗順応と感度上昇の波長特性～ 重原 優奈、根岸 あゆ香、前原 那南（高2）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】	40
16P	太陽光のスペクトルを用いた大気汚染物質の観測 村口 瑠望、榎谷 若菜（高2）、村井 美音、大島 理桜（高1） 【福岡県立小倉高等学校 科学部SS天文研究会】	42

## セッションⅡ 太陽・位置天文

17	静岡県磐田市堂山古墳の靱形埴輪は古代の天球儀か？ 近藤 好香、前川 美咲（高2）、宮平 駿太（高1）【静岡県立磐田南高等学校 地学部天文班】	44
18	フーコーのハードディスクドライブ 森川 遥光（中3）【練馬区立大泉中学校】	46
19	インターネット望遠鏡を利用した月までの距離・月の2周期の算出 亀井 温那、田平 椎以奈、伊藤 佑里香、吉村 望（中2）【名古屋大学教育学部附属中学校】	48
20	はやぶさ2の受信電波から感じるスイングバイ 西川 紗布、西村 舞（高2）、北村 美優、中口 朋美（高1）【和歌山信愛高等学校】	50
21	ぼくの太陽観測 2014～2015 -方位と高度を観測して太陽の動き方を調べる- 小林 諒（小6）【上越市立直江津南小学校】	52
22	圭表による南中高度の観測から地球の公転軌道の離心率を求める 谷元 琴音（中2）、竹村 典晃、渡村 友哉、市岡 里菜（中3）、安慶名 琉、中村 真慧、 荒川 愛莉、小松 眞歩、日下部 咲希（中1）【塩尻市立丘中学校】	54
23P	ピンホールのつくる太陽像の位置から正確な子午線を求める 竹村 典晃、渡村 友哉、市岡 里菜（中3）、谷元 琴音（中2）、安慶名 琉、中村 真慧、 荒川 愛莉、小松 眞歩、日下部 咲希（中1）【塩尻市立丘中学校】	56
24P	2012年5月の金環日食観測を記念する日時計とその活用 大和 花雪、堀内 千佳、市岡 里菜、坂本 優梨亜、高橋 恵美（中3）、谷元 琴音（中2）、 荒川 愛莉、小松 眞歩、日下部 咲希（中1）【塩尻市立丘中学校】	58
25P	静止画から人工天体の高度を求める 田振 直輝（高2）、上田 華子（高1）【福岡県立小倉高等学校 科学部SS天文研究会】	60
26P	国際宇宙ステーションの見やすさの予測 小村 昌子、関口 舞、堀内 桃音、丸山 玲花（高1）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】	62

27P	秋分と春分の昼間が長い理由を観測したい！ 岡庭 佳泉、北爪 愛莉、長谷川 千紗（高1）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】	64
28P	太陽黒点の短時間変動 栗原 明日香（高2）、山田 菜由（高1）【埼玉県立春日部女子高等学校 地球科学部】	66
29	僕たちの太陽観測を研究機関によるものと比較する（2） 佐藤 京介（高1）【巣鴨高等学校】、小林 祥之、竹縄 智広（中3）、手塚 友健、宮谷 明、矢口 大致、井口 誠斗、菊岡 慧殊（中2）、熊澤 智輝（中1）【巣鴨中学校】	68
30	太陽黒点の発生と消滅を多波長観測でとらえた 阪 奈都美、西澤 侑里、滝澤 萌（高2）、飯島 桃花、深堀 未久、小林 勇（高1） 【埼玉県立浦和西高等学校 地学部】	70
31	50年間の太陽黒点蝶形図の完成 子安 直美、松丸 健太（高2）、村山 雅哉（高1）【駿台学園高等学校】	72
32	黒点の移動から太陽の自転周期を求める 樋口 陽光（高2）【東京都立立川高等学校 天文気象部】	74
<b>セッションⅢ 装置開発・宇宙開発</b>		
33	円周星景写真の撮影と再現 平川 泰山、山田 誠人、大島 有貴、徳永 悠成（高1）、大嶋 恭平（高2） 【福岡工業大学附属城東高等学校】	76
34	ピンホール式プラネタリウムにおける恒星色の再現 荒木 良太、中野 裕夏、山田 康平（高2）、中島 翼、川真田 純礼（高1） 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校 天文部 星作班】	78
35	自作ファイバー分光器の製作と観測システムの構築 畠 詩織（高2）【岡山県立玉島高等学校】	80
36	4 GHz 帯太陽電波観測用電波望遠鏡の改良と観測データ処理システム 那須野 叶、池上 浩樹、北條 健介、宮澤 拓陽（高3）、小松 暉敬、平嶋 夏樹（高2） 【長野県駒ヶ根工業高等学校 サイエンス同好会】	82
37	「TSUNAGU」プロジェクト UMBYTS：法堂 可奈子（高2）【福山市立福山高等学校】、杉山 友厚（高2）【須摩学園高等学校】、 金村 真奈美（高1）【不二聖心女子学院高等学校】、荒木 潤正（中等3）【奈良女子大学附属中等教育学校】、 田井 遙華（中2）【豊島岡女子学園中学校】、佐藤 太陽（中等2）【新潟県立村上中等教育学校】	84
38	火星移住を見据えたアンチレゴリスシステム 第14回 君が作る宇宙ミッション MUSES 班：岡本 咲華（高1）【日本大学第三高等学校】、 神山 友里（高1）【洗足学園高等学校】、小林 寧々（高2）【法政大学女子高等学校】、 竹崎 碧（高1）【広島県立広島高等学校】、池谷 蓮（高2）【大阪府立豊中高等学校】、 田淵 宏太郎（高1）【南山高等学校男子部】、平山 龍一（高2）【高輪高等学校】	86

- 39 GOHSE-G ~糖から探す地球外生命体~ 88  
 第14回 君が作る宇宙ミッション SOLAR 班：大野 匠（高3）【埼玉県立所沢高等学校】、  
 岩間 結子（高2）【大阪府立大手前高等学校】、月岡 みなみ（高2）【神戸海星女子学院高等学校】、  
 仁木 いずみ（高2）【山手学院高等学校】、法堂 可奈子（高2）【福山市立福山高等学校】、  
 麦踏 松秀（高2）【兵庫県立龍野高等学校】
- 40 バス部同一パネル型人工衛星を用いた修理システムとそのデリバリー衛星「でまえ」 90  
 第14回 君が作る宇宙ミッション PLANET 班：中村 藍（高2）【北海道札幌南高等学校】、  
 中村 祐太（高2）【八千代松陰高等学校】、深津 美薫（高2）【埼玉県立浦和第一女子高等学校】、  
 並木 達郎（高2）【新島学園高等学校】、市川 豪士（高2）【三重県立四日市南高等学校】、  
 山下 薫（高2）【福岡県立明善高等学校】
- 41 スペースデブリの除去を目指して 92  
 早瀬 加奈子、樋本 ゆき乃（高2）、荒木 梨花、ペレス前田 寿利明（高1）  
 【福岡県立小倉高等学校 科学部SS天文研究会】
- 42 ピタゴラはやぶさ2 Season2 -ピタゴラ装置による宇宙探査ミッションの解説- 94  
 鄭 秀煥、伊藤 輝、氏平 龍子（高2）、石関 康汰、山中 一智也（高1）  
 【東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部】
- 43P 缶サット甲子園 2015 報告 -スピン安定による飛行姿勢の改善- 96  
 石関 康汰、山中 一智也（高1）、伊藤 輝、鄭 秀煥（高2）【東京工業大学附属科学技術高等学校 科学部】

## セッション IV Thai Session タイセッション

- 44 Sun Casted Shadow Measurement by Using Gnomon Apparatus 98  
 Nanthima Waochangrit, Jeeranan Detsamrong 【Jatukam Wittayacom Elementary School】
- 45 The Study of the Relation of Earth, Moon and Sun by Tides 100  
 Kasira Wannasiri 【Piboonbumpen Demonstration School Burapha University】
- 46 The study of age and distance of open cluster by using H-R diagram 102  
 Surapit Homnan 【Chiangkhamwittayakhom School】
- 47 To Create H-R Diagram and Initial Mass Function of Open Cluster in Milky Way Galaxy 104  
 Nutkritta Phongsuchat 【Princess Chulabhorn's College Nakorn Si thammarat】
- 48 The Measurement of Mass binary stars v0395 And 106  
 Wabut Thongbor 【Yasothonpittayakom School】
- 49 The Measurement of Night Sky Brightness using a DSLR camera 108  
 Waritsara Phiw-on 【Yasothonpittayakom School】
- 50 The study of Solar filter for Solar observation 110  
 Poowadon Fukasem 【Piboonbumpen Demonstration School Burapha University】

## セッション V 星形成・銀河・銀河団

- 51 散開星団の stellar stream を求めて 112  
大原 武士、堀口 卓裕、水野 悠希、大江 宏明、河端 パヴィエル、永嶋 健人（高2）、  
北山 千真、菊池 瑛美、瀬出井 桃花（高1）【國學院大學栃木高等学校 天文部】
- 52 分子雲からのジェットについて 114  
寺島 悠登（高1）、長岡 祐希、隈部 健（中2）【名古屋大学教育学部附属中学校・高等学校】、  
竹味 和輝（高1）【愛知県立明和高等学校】
- 53 分子雲による巨大星団の誕生 116  
森田 早織（高1）【名古屋大学教育学部附属高等学校】、森本 滯（高2）、出町 史夏（高1）  
【愛知県立明和高等学校】
- 54 銀河の形は生まれか育ちか？ 118  
銀河学校 2015 B 班：小川 大雅（高3）【早稲田実業学校高等部】、坂井 郁哉（高3）【栄光学園高等学校】、  
戸井田 滯里（高3）【長野県長野西高等学校】、三平 舜（高3）【新潟県立新潟南高等学校】、  
福山 紘基（高3）【奈良県立奈良高等学校】、金井 紗弥（高2）【明星高等学校】、  
久保 圭慧（高2）【八戸工業大学第二高等学校】、仲澤 輝（高2）【山梨県立日川高等学校】、  
松沢 彩華（高2）【新潟県立新潟高等学校】、テレングト 雛子（高1）【立命館慶祥高等学校】、  
柴田 理佳（高1）【広尾学園高等学校】、守山 五葉（高1）【星野高等学校】
- 55 銀河におけるガスの濃淡と誕生する恒星の色の関係性 -渦巻銀河と衝突銀河の色を比較して- 120  
大木 愛花（中等5）【茨城県立並木中等教育学校】
- 56 銀河団の観測による新しい銀河の分類の提案 122  
もし天 2015 スパイラル☆パラダイス：月岡 みなみ（高2）【神戸海星女子学院高等学校】、  
中澤 佑香（高2）【東京都立西高等学校】、菅原 茉穂（高1）【仙台白百合学園高等学校 LS コース】、  
野崎 信吾（高1）【岡山県立倉敷天城高等学校 理数科】
- 57 銀河集団の大きさ・質量と、銀河集団中のダークマターの質量の相関 124  
もし天 2015 ダークマター（は）アルマゲドン：柴崎 遼（高2）【埼玉県立豊岡高等学校】、  
丸田 祥輝（高2）【神奈川県立厚木高等学校】、筒泉 佳子（高2）【同志社高等学校】、  
齋藤 鈴花（高2）【新潟清心女子高等学校】

## セッション VI 恒星

- 58 本校 30cm 望遠鏡によるベテルギウス、カペラのスペクトル解析 126  
齋藤 大樹、榊原 大敦（高1）【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】
- 59 いて座新星 2015 No.2 のスペクトルに見られた P Cyg プロファイル 128  
永井 俊一、堀江 洗介、勝部 桃子（高専3）、尾上 創、河原 匠吾、熊本 千夏、前田 夏奈（高専2）、  
岩浅 大輝、朝比奈 雄志、松田 稜哉、岩瀬 恭治（高専1）【国立米子工業高等専門学校 科学部】
- 60 星の死と誕生のつながり 130  
もし天 2015 SNS：迫 千紘（中等5）【兵庫県立芦屋国際中等教育学校】、  
戸田 真一（高2）【埼玉県立川越高等学校】、佐藤 知寧（中等4）【千代田区立九段中等教育学校】、  
畠山 雄大（高1）【宮城県仙台第二高等学校】

- 61 激変星 EM Cyg の降着円盤について 132  
 深見 涼、小森 龍馬、福田 未帆里 (高1)、遠藤 陸央、野上 隼紀 (高2)、上籠 俊輝、木谷 有紗 (高3)  
 【京都府立洛東高等学校 自然科学部】
- 62 どんな星が超新星爆発を起こすのか 134  
 銀河学校 2015 C 班：佐藤 知寧 (中等4) 【千代田区立九段中等教育学校】、  
 島田 明音 (高2) 【岡山県立岡山一宮高等学校】、麦踏 松秀 (高2) 【兵庫県立龍野高等学校】、  
 金子 美由起 (高2) 【鷗友学園女子高等学校】、白洲 瞭 (高2) 【千葉市立千葉高等学校】、  
 田中 愛登 (高1) 【広島大学附属福山高等学校】、藤本 凌 (高2) 【明星高等学校】、  
 深草 彩子 (高1) 【東京都立西高等学校】
- 63 まだ見ぬ星を求めて ～銀河系ハロー内の Pop II 星観測で探る Pop III 星の質量分布～ 136  
 第 14 回 君が作る宇宙ミッション ASTRO 班：川原 はるか (高3) 【神奈川県立瀬谷高等学校】、  
 野崎 信吾 (高1) 【岡山県立倉敷天城高等学校】、塚田 悠衣 (高2) 【京都市立紫野高等学校】、  
 佐藤 知寧 (中等4) 【千代田区立九段中等教育学校】、佐野 文哉 (高2) 【神奈川県立神奈川総合高等学校】、  
 丸田 祥輝 (高2) 【神奈川県立厚木高等学校】
- 64 VERA20m 電波望遠鏡によるメーザー天体の探索 138  
 小田島 陽和、藤原 侑菜、村上 舞彩華、小泉 友香 (高2) 【秋田県立横手清陵学院高等学校】
- 65 星団から探る星の性質 140  
 銀河学校 2015 A 班：兼久 晃輔 (高2) 【横浜インターナショナルスクール】、  
 小沼 優希 (高2) 【千葉市立千葉高等学校】、仁木 敬子 (高1) 【神戸女学院高等学部】
- 66 身近なデジタルカメラを用いた HR 図における恒星の横位置決定方法の開発 142  
 大宮 悠希、岡田 滉平、吉田 佳祐 (高2) 【茨城県立竜ヶ崎第一高等学校】
- 67P 球状星団と散開星団の観測 144  
 戸塚 瞬翼 (高2)、中里 海斗 (中3) 【新島学園中学校・高等学校】
- セッション VII 太陽系天体・系外惑星**
- 68 しし座流星群 2016 ?! -LED ライトを使った 2001 年しし座流星群の再現実験 - 146  
 渡邊 千恵 (小6) 【相模東部広域連合立和東小学校】
- 69 回折格子とデジタル一眼レフカメラによる流星の分光観測 148  
 鈴木 湧平 (高2) 【宮城県古川黎明高等学校 自然科学部】
- 70 昼間の流星を撮像できるか —バンドパスフィルターを用いた高高度発光現象の観測— 150  
 三好 哲也、若菜 恒士郎、矢澤 舞子、池谷 詩織、井出 紫央里、木藤 優里、田中 桃李、  
 豊口 彩理、中野 ももこ (高2)、川野 美渚、尾上 茉莉、都筑 奏、大内 雄登、牧田 豪、  
 村山 智博、山口 航輝 (高1) 【成蹊高等学校 天文気象部】
- 71 お盆のような月の輝きに迫る (続編) 152  
 田島 怜一郎 (中2) 【岐阜市立岐阜中央中学校】、橋口 健太 (中2) 【山県市立伊自良中学校】



<b>72</b>	<b>青く光る皆既月食の謎</b> 斎藤 桃子、佐々木 勇太、秋田 莉英（高2）、越田 望月、古枝 志織、 小泉 ひなた（高1）【青森県立青森南高等学校】	154
<b>73</b>	<b>3つの視点から見た月とは</b> 竹内 美咲、小島 葉瑠加、明知 友香（高2）【埼玉県立春日部女子高等学校 地球科学部】	156
<b>74</b>	<b>小惑星ペネローペ（201 Penelope）の測光観測</b> 小坂 寛晃（高専3）【津山工業高等専門学校】	158
<b>75</b>	<b>ライトカーブから探る小惑星の表面特性</b> 土屋 健太郎（高2）【那須高原海城高等学校】	160
<b>76</b>	<b>食現象によるRVB光量変化 ～地球と木星の大気比較～</b> 堀 裕一、酒井 里桜（高2）、堀 友哉、安福 千貴、稲垣 里彩、小崎 瑛子（高1） 【愛知県立一宮高等学校 地学部 SS班】	162
<b>77</b>	<b>系外惑星WASP-10b(Peg)のトランジット観測</b> 戸塚 瞬翼（高2）、中里 海斗（中3）【新島学園中学校・高等学校】	164
<b>78</b>	<b>多色トランジット観測による系外惑星の半径算出</b> 飯田 菜大、石田 真幸、牛之濱 俊希、山中 夏樹（高2）【奈良県立青翔高等学校】	166
<b>79P</b>	<b>流星の尻尾に関する研究</b> 鮫島 啓大朗（中1）【霧島市立国分南中学校】	168
<b>80P</b>	<b>流星電波観測によるロングエコー率の分析</b> 永井 俊一、堀江 洗介、勝部 桃子（高専3）、尾上 創、河原 匠吾、熊本 千夏、前田 夏奈（高専2）、 岩浅 大輝、朝比奈 雄志、松田 稜哉、岩瀬 恭治（高専1）【米子工業高等専門学校 科学部】	170
<b>81P</b>	<b>地球照は青いのか?!</b> 高草木 寧緒、中島 志保、中野 里美、福田 紫都、美才治 凜花（高1） 【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】	172
<b>82P</b>	<b>小惑星に臨む</b> 水根 啓祐、山崎 遥加、氏丸 祈歌、久保 友梨子、丸岡 拓実、阿蘇 大志、中村 智子（高2） 【兵庫県立舞子高等学校 天文気象部】	174
<b>83P</b>	<b>岩石は本当に塩酸を中和するのか</b> 長谷川 海太、西山 侑佑（中2）【大田区立蒲田中学校 プラネット科学部】	176
<b>84P</b>	<b>惑星大気の成分分析</b> 孤杉 一磨、田中 登梧、村上 楓、吉田 響（高2）【奈良県立青翔高等学校】	178

# 2015 年秋季年会ポスター発表

- 秋 01** 光度関数を用いた銀河団（Abell2666）の距離の測定 180  
柴崎 遼、中島 和弥（高2）【埼玉県立豊岡高等学校 天文部】
- 秋 02** ピンホールとスリットによる太陽像の位置の観測から均時差の原因を探る 182  
竹村 典晃、渡村 友哉、市岡 里菜、大和 花雪、坂本 優梨亜、堀内 千佳、高橋 恵美（中3）、  
谷元 琴音（中2）、安慶名 琉、中村 真慧、荒川 愛莉、小松 眞歩、日下部 咲希（中1）  
【塩尻市立丘中学校】

# 光害の数値化について

東筑紫学園高等学校 理科部

(高3)伊藤 渚  
 (高2)本田 陸人 藤井 悠野 湖平 元彌  
 (高1)古川 郁将 東元 太誠 西村 江梨花

## 1. はじめに

市街地では、夜になっても星を綺麗に見ることができない。この光害に関心をもち、2007年まではLEDを使った自作の観測機器で、現在は市販されているスカイオリティメーター(SQM)で、夜空の明るさを数値化した。この観測値を気象条件や環境指標のデータと比較し、これらが夜空の明るさに大きく影響すると分かった。2012年には、「北九州1/5万等光度曲線地図」(図1)を製作し、夜空の明るさを可視化することができた。

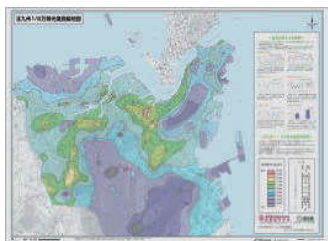


図1. 北九州1/5万等光度曲線地図

光害とは、街灯や建物の照明などによる、環境への悪影響のことである(図2)。フロリダでは、孵化したウミガメが明るい市街地の方に進み、死んでしまうという事例も報告されている(Mark Nicholas, 2001.)。私たちはこの中でも、街などの地表の光が黄砂、SPM、光化学オキシダントなどの大気中の浮遊物質によって散乱・反射され、夜空が明るくなる現象について研究をしている。

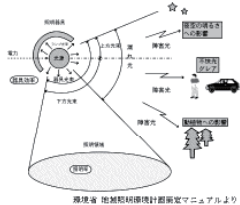


図2. 光害の環境への影響

今回、明るい暗いという曖昧な表現しかない光害について、数値化のための「光害公式」を考えた。夜空の明るさは多くの要因から影響を受け、それが光害として夜空を明るくする。例えば、人的要因(人口、交通量、昼夜間人口比率など)や、環境要因(月光や雲量、エアロゾルの飛来量、降雪量など)、立地条件(臨海部か内陸部か、市街地か山間部か)が影響する。光害はこれら多くの要因が複雑に絡み合っているため、これらをどう表現するのが問題である。

## 2. 観測機器(スカイオリティメーター)

図3は観測に使用したスカイオリティメーター(SQM)である。原理は視野角20°の円錐形の1/2(10°)をスキャンして、光子をカウントする。これを、平方秒角あたりの等級[mag/□"]で数値化する。さらに、SQM-LEはコンピュータに接続することによって、15分ごとに自動的にデータが蓄積される。夜空の明るさの時間による変化である経時変化率を算出するために、このSQM及びSQM-LEを2008年より、自作機器の代わりに使用している。



図3. スカイオリティメーター

## 3. 夜空の明るさと経時変化率

「北九州1/5万等光度曲線地図」の製作の際に

は、1日に150カ所以上観測することもあり、各地点での観測した時間が異なっている。そのため、観測値を夜空の明るさ毎の経時変化率を用いて、21時を基準に補正した。

図4は、明るさの違う市内7カ所で観測を行った結果である。時間によって夜空が暗くなっていることが分かる。この経時変化率は、最小二乗法を用いて算出している。そしてその傾きを経時変化率とした。

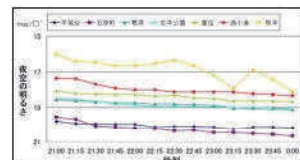


図4. 北九州市各地の経時変化率

図5、6は19時から4時までの自動車の交通量および、マンションの点灯率である。どちらも時間の経過とともに減少している。このように、経時変化率は人間の活動に大きく影響される。なお、夜空の明るさはエアロゾルが増えることで明るくなる。すなわち、経時変化率は、人的要因だけでなく、環境要因の影響も含んだ夜空の明るさの指標だといえる。

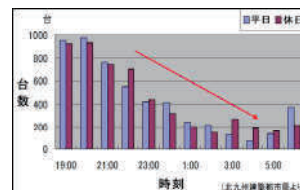


図5. 自動車の交通量の変化

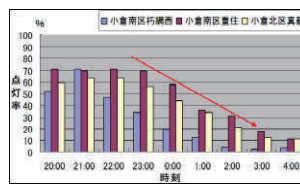


図6. マンションの点灯率の変化

## 4. 光害の数値化

### 4-1. 光害公式の作成

2008年の天文学会の折に先輩達が発足させた夜空の明るさ全国ネットワークのデータは、2013年の第1回光害シンポジウムより、私たちがとりまとめている。そして、2014年の第2回光害シンポジウムに向けて研究を進めていた時、観測した場所によって経時変化率がそれぞれ特徴的に異なっていることに気がついた。すなわち、経時変化率で各地域の光害の数値化ができるかもしれないと考えた。

例えば、岩手県ひろのまきば天文台は山間部にあり、光害の影響が小さいため0.002と経時変化率は非常に小さい(図7)。逆に、三重県の津高校のように、市街地に位置し光害の影響が大きい場所では、経時変化率が0.05と大きくなっていった(図8)。

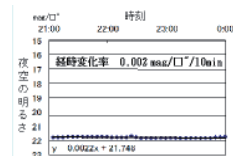


図7. ひろのまきば天文台

このように光害の大小は、経時変化率で表せることが分かった。そこで、経時変化率を中心に、次の光害公式を考えた。そ

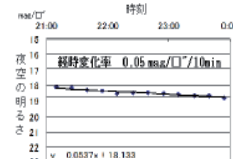


図8. 津高校

して、日本天文学会や日本地球惑星科学連合で、専門家の助言を受けた。

$$LPI-S = \frac{Pr}{b}$$

(Light Pollution Index of Sky) [人/(km<sup>2</sup>・h)]

LPI-S : 光害指数  
 r : 経時変化率 (mag/□°/h.)  
 P : 人口密度 (人/km<sup>2</sup>)  
 b : 夜空の明るさ (mag/□°)

光害指数(Light Pollution Index of Sky)は、人口密度[P]、経時変化率[r]、夜空の明るさ[b]の3つをパラメーターとして、光害を数値化している。そして、光害指数が大きいと、光害の影響が大きいことを示している。この式の単位は[人/(km<sup>2</sup>・h)]となり、人間の活動量の変化によって起こる光害を数値化した指数であるといえる。経時変化率は、値が大きくなると光害の影響が大きいことが分かっているため、光害指数は大きくなる。また、人口密度が増加すると、使われる電気や街灯の数が増えるため光害指数は大きくなる。そして、夜空の明るさが明るくなる、つまり数値が小さくなると光害指数は反比例して大きくなる。なお、人口密度を要素に入れたのは、新宿区のように夜まで人間の活動が盛んな場所では、経時変化が小さくなっているためである。深夜まで街灯があつては、夜空は暗くならない。

#### 4-2. 人口密度(P)と住宅率(h)

人口密度は観測地点を中心とした半径2km圏内の円の面積で、その中に住む人口を割ることで算出した。2012年の研究より特定の強い光源は最大2km先まで影響するためである。他にも、10、30、50km圏内の人口を基にそれぞれ算出したが、明確な光害の影響を表わせなかった。

さらに、圏内に森林や河川、海洋などの明らかに居住区でない部分が含まれる場合、それらを除いた部分の割合(住宅率:h)を用いて人口補正をした。

住宅率は雲量の指標を参考に、有効面積内の非居住部分を目視で確認する。図9は神奈川県横浜サイエンスフロンティア高校の航空写真[google map]である。学校のすぐ西を流れている鶴見川は、半径2km圏内でその1割程を占めるため、住宅率h=9となる。



図9. 横浜サイエンスフロンティア7高校周辺

図10は補正後の2km圏内の人口密度とLPI-Sを比較したものである。人口密度の増加に比例してLPI-Sが大きくなっていることが分かる。なお、グラフ中の▲は海城高校[東京都新宿区]であるが、やはり光害は大きい。このようにLPI-Sは、光害の大きい、すなわち夜空の明るい部分をより明確に表現したものとなっている。

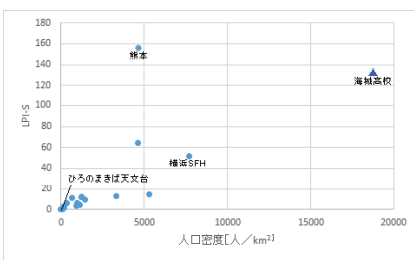


図10. LPI-Sと人口密度(半径2km圏内)の比較

#### 4-3. LPI-Sの実用性について

現在は、このLPI-Sが現状の光害を適切に数値化できているのかを考察するため、北九州市内各地での観測を行っている。さらに、夜空の明るさ全国ネットワークの参加校に対してアンケートを実施し、その地域特有の光害の様子について調査を行った。その報告からいくつか抜粋したものが、次の表である。

表. 全国ネットワークへのアンケート調査回答

学校名	LPI-S	みられる光害の様子
熊本 (福岡県北九州市)	156.4	・ ナイター照明点灯時の観測値 → 夜空に与える影響が大きい、...
海城高校 (東京都新宿区)	132.8	・ 肉眼で見える星は、1等星が限界 → 仕方がない、東京は新宿だ、...!
東筑紫学園 (福岡県北九州市)	38.9	・ 黄砂などが中国から飛来し、夜空を明るくする
一宮高校 (愛知県一宮市)	12.8	・ 北極星(2等星)を見つけることが困難なことがある ・ 市内のホテルが、都市開発のため、...
道愛女子高校 (北海道函館市)	6.4	・ 見えるときには、4等級程度まで肉眼で見える → さすが函館、夜景がきれいだけある、...
富山市天文台 (富山県富山市)	0.4	・ 住宅率 h = 3、経時変化率 r = 0.06 なので、LPI-S=0.4 → さすが天文台、光害がない!!
ひろのまきは天文台 (岩手県九戸郡)	0.003	・ 住宅率 h = 1、経時変化率 r = 0.012 なので、LPI-S=0.003 → さすが天文台、光害がない!!

北九州市熊本は、観測地付近にプロ野球の試合が行われる北九州市民球場がある。そのナイター照明の影響で経時変化率が大きくなり、1等星までしか見えない海城高校[東京都新宿区]よりも大きいLPI-S=156.4だった。人口密度だけで表現できない光害の大きさを、経時変化率で表現できた。一方で、天文台はどちらも値がほぼ0になっており、明確に光害の大きさを表現できる、メリハリのある式になった。

#### 5. おわりに

曖昧な指標である夜空の明るさの光害を、人的要因・環境要因の影響を含んだ経時変化率を中心として公式化し、数値化した。また、全国ネットワークへのアンケート結果を基に、LPI-Sが適切に光害の大きさを表現しているかを確認した。

これまでに、J.Bortle(2001)などが光害のモデル化を図っているが、あくまでも美しい星空を見ることを目的とした、「暗い夜空」を数値化したものである。私たちの、「明るくなった夜空」を表現した光害指数(LPI-S)は、これまでになかったものだといえる。

黄砂や雪など、様々な要因で観測地毎の夜空の明るさの地域性が生まれる。しかし、光害指数に地域性がどう表れるのかを詳細に調査するには、より多くのデータが必要だ。私たちが観測を続け、全国ネットワークへの呼びかけを通して全国のデータを集めていく。

#### 6. 謝辞

「夜空の明るさ全国ネットワーク」参加団体のデータ提供に感謝します。星空公団の小野間さんには、多大なご協力を頂きました。ありがとうございました。

#### 7. 参考文献(一部)

- ・東筑紫学園高等学校・照曜館中学校理科部(2013); 第22回「星空の街・あおぞらの街」全国大会環境大臣賞受賞記念 77pp.
- ・環境省(2000), 地域照明環境計画策定マニュアル 2p.
- ・J.Bortle(2001); The Bortle Dark-Sky Scale, Issue of Sky & Telescope, 126p.~129p.





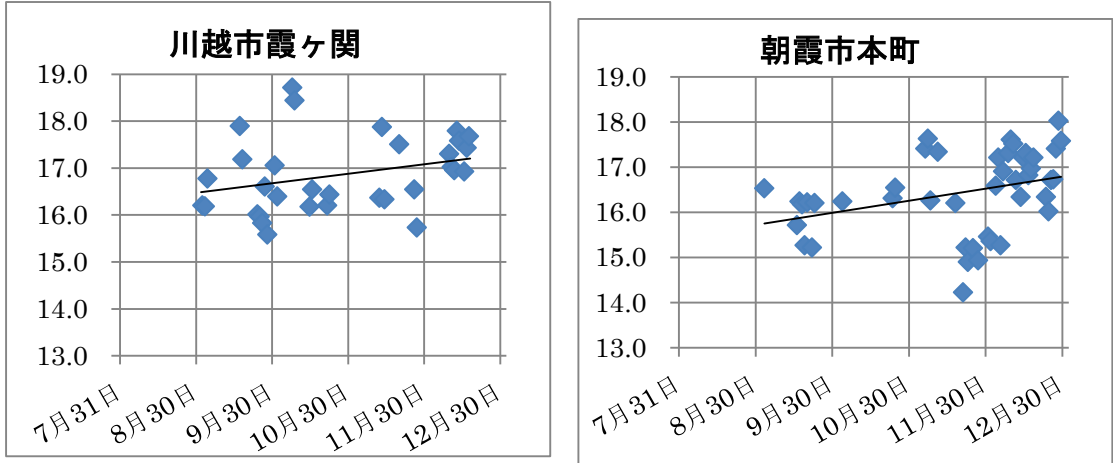


図2 23:00の空の明るさの期間中の変化

(3) 23:00の観測地の平均を地図上に示した。



図3 埼玉県南部と東京北部の空の明るさ

4. 考察

大部分の地点で夜遅いほうが暗い。夜中近くなるほど太陽が地平線から離れるためである。12月に近くなるほど暗くなるのも、日没が早くなるからである。期間中の変動は月齢と関係があるようなので発表までに明らかにしたい。地域ごとの差も月の影響を考慮して解析を進めたい。

# 「ひかりのまち・函館」で星空マップをつくる

—函館は夜景も星も美しい—

岡田 結衣、花田 愛海 (高2)、目谷 妃香莉 (高1)、川口 珠実 (中3)

【遺愛女子中学校・高等学校 地学部】

## 1. はじめに

私たちのクラブは2011年から愛知県立一宮高校の「コアSSH・全国一斉夜空の明るさ調査」に参加して、スカイクオリティメーター (SQML, SQMLE) を用いた夜空の明るさ調査に取り組んできた。2015年7月には国際ひかり年にちなんで、今までの調査結果の概要と函館周辺の星空が見えやすい地点を掲載した「函館周辺星空マップ」を、市内のイラストレーターの方のご協力により作成し、はこだて国際科学祭をはじめ、校内・市内のイベントで配布した。2015年まで5年間の継続観測から函館周辺の夜空の明るさについてまとめた。

## 2. 観測方法

(1) 定点観測 SQMLは市内と周辺の3か所～6か所で定点観測を行った。月明かりのない時期の、薄明終了後1時間程度～22時までに、雲量を記録し各定点で天頂に向けて5回スイッチを押し、中央値を求めた。また、学校の体育館テラスに設置したSQMLEで5分ごとの自動観測を行い、10分ごとの変化率を求め、定点の値はこれをもとに21時に補正した。

(2) 多点観測 2012年10月には40台のSQMLEをお借りし、観測協力者を募り多点観測を行った。約10日間の観測の結果から、天候がよい日の値を抜き出し、21時の値に補正して、5万分の1地形図上にプロットした。

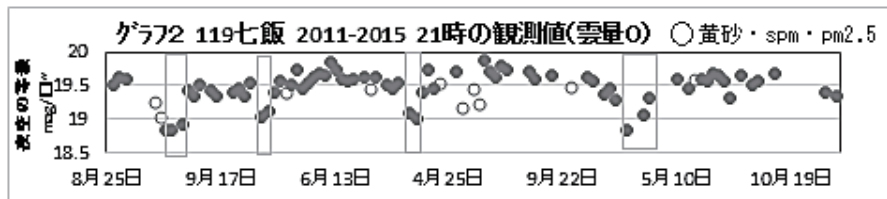
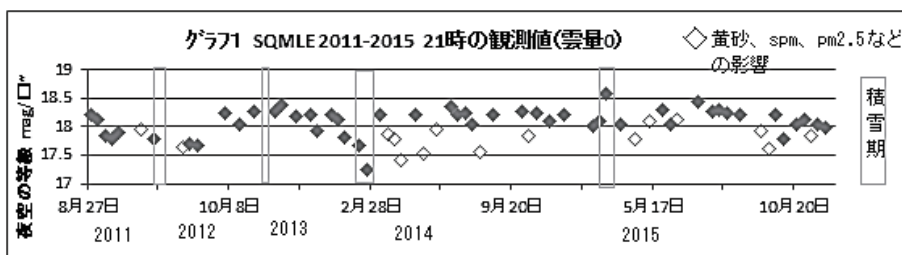
(3) 移動観測 天候のよい日を選んで、学校からの帰りや休日などに各定点間で移動観測を行った。天頂に向けて3回スイッチを押し、中央値をもとめ、時間変化率をもとに21時の値に補正した。2012年から2015年までに26回の移動観測を行い、約280点のデータを得た。

(4) 眼視観測 各定点で、観測時に天頂付近の星座を季節ごとに決め、(春：しし、かんむり 夏：こと、秋：ペガサス、冬：オリオン) 最微光星等級を調べて記録した。

## 3. 結果

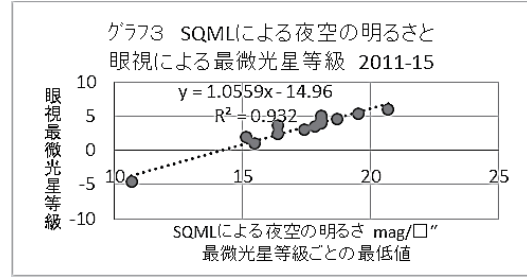
### (1) 各定点の値 (雲量0)

最もデータ数の多い七飯、遺愛のLEの観測結果をグラフ1・2に示す。積雪期、黄砂飛来時期、 $\text{spm} \cdot \text{pm}2.5$ など浮遊物質濃度が高い時期以外、学校のLEの値はほぼ18～18.5等、七飯は19.5等～19.9等が多く観測されている。各定点のデータを同様に整理し、函館周辺の夜空の明るさを0.5等ごとに分けたマップ (図1) の基礎を作成した。



(2) 眼視観測

各定点の観測・移動観測で行った眼視観測の結果を最微光星等級ごとにまとめ、その最低値をもとに相関を求めた。個人差が大きく、各地の夜空の明るさの違いの影響をうけるためばらつきが一定の関係がみられる(グラフ3)。



(3) 函館周辺星空マップの作製

定点の観測結果に移動観測の結果を加えて作成した夜空の明るさ区域マップ(図1)をもとに、市内のイラストレーター、三上いすずさんのご協力を得て、「函館周辺星空マップ」を作成した。マップでは夜空の等級ではなく、「星の見え方のちがひ」で区域を表し、眼視観測結果を参考に、夏の大三角付近がどの程度見えるか、モデル図で示した。



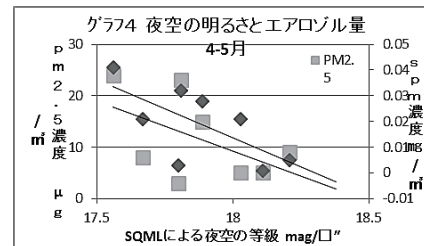
4. 考察

(1) 積雪期の変化

積雪期に夜空が明るくなる原因は雪による灯火の反射散乱が強まるためと考えてきた。しかし、2015年1月移動性高気圧の晴天時に遺愛では18.5等が記録され、上空の大気の状態が関係している可能性も考えられる。

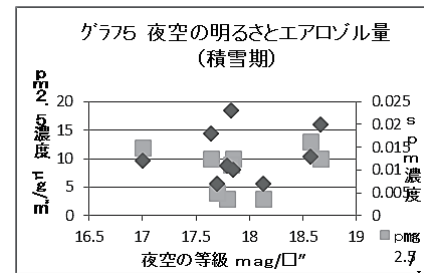
(2) エアロゾル(黄砂・spm、pm2.5など)の影響

4-6月の黄砂飛来時期や、10月にspm pm2.5の値が高くなる時期には0.5等近く明るくなる。大気中の浮遊物質との相関をグラフ4に示す。積雪期は相関が見られない。夏の七飯の値は湿度との相関が弱くみられ、上空の大気の状態との関係が大きいと考えられる。



(3) LEが記録した時間変化

SQMLEが連続観測した結果から10分ごとの継時変化率を求めると、ほぼ10分で0.03等前後となるが、5分ごとの観測値の変化からは、校内の消灯の状況が推定でき、近くの灯火の影響を受けていると考えられる。



5. 今後の課題

北海道新幹線開業に伴い七飯・北斗市北部で環境が変化し、20等近い暗い夜空が明るくなってしまいう懸念がある。環境変化を調べるとともに等光度線図を完成させ、夜景だけでなく美しい星空が広がる函館であることを広く知らせていきたい。

謝辞：愛知県立一宮高校 高村先生、星空公団 小野間さん、柴山さん、いすず製作室の三上いすずさんには大変お世話になった。この場を借りてお礼申し上げます。

参考資料 ・「ひかりのまち・函館」の夜空の明るさを調べる6~9 遺愛女子中学校・高等学校地学部 (2012-2015) 日本天文学会ジュニアセッション講演要旨、

- ・気象庁web <http://www.data.jma.go.jp/>
- ・環境省大気汚染物質広域監視システム <http://soramame.taiki.go.jp/>



## SQM-Lを使った夜空の明るさ一斉測定

全国夜空の明るさ班U-15

志村 保乃佳（中1）【静岡市立清水第八中学校】、

富田 小冬（中1）【一宮市立南部中学校】

打越 壮大（小6）【西海市立大島東小学校】、松本 朱音（小5）【高砂市立高砂小学校】

前田 心晴（小4）【広島大学附属三原小学校】

### 1. はじめに

一昨年、5つの県をまたいだ小学生5人で“全国夜空の明るさ班U-15”を結成した。

（東から順に）静岡県静岡市、愛知県一宮市、兵庫県高砂市、広島県三原市、長崎県西海市の5人が夜空の明るさを共同研究している。（図1）



PM2.5や黄砂の飛来のニュースを目にする。特に九州地方の様子は、空が霞んでいて視界が悪いので、夜は星も見えにくくなるのではないかと考えた。そこで、PM2.5の予報をチェックし空の明るさを同時測定してみる事にした。

図1：メンバーの分布

### 2. 方法

- ・SQM-L（愛知県立一宮高等学校地学部貸与）を使用（図2）
- ・PM2.5や黄砂の飛来が予想された12/19（図3）に各地で測定
- ・一ヶ所につき5回計り、中央値を採用する
- ・PM2.5や黄砂の影響の無い日と比較する
- ・メンバーの数値を比較し、PM2.5や黄砂の影響を考察する

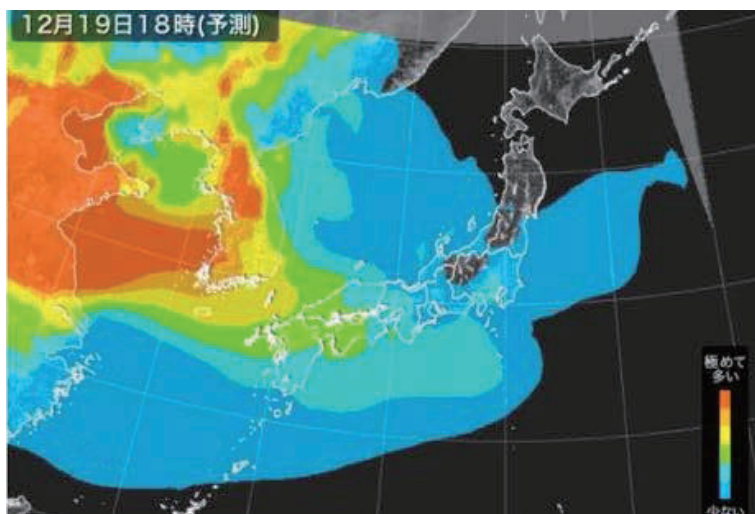


図2：SQM-L

図3：PM2.5飛来予測

### 3. 結果と考察

空の明るさをPM2.5の数値を表したのが表1である。  
通常時と12/19のSQMの数値は、どの測定地も20:30までは大きな違いはないように見える。

PM2.5	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16
差	-	0.42	0.666	0.43	-	-	1.17	-

表1

しかし、長崎県西海市の21:00の数値は、PM2.5値が $14\mu\text{g}/\text{m}^3$ に急上昇し、平常時と12/19のSQM値の差は1.17等級と大きくなっているが、PM2.5の影響が空の明るさに影響を与えたのかどうかデータを多くとって、更に検証する必要がある。

広島県三原市の21:30のSQMの数値が高いのは、年配の多い地域で就この時間に就寝するのが理由である。

### 4. 今後の展望

同時測定では以下の条件が揃う必要がある。

- ・PM2.5や黄砂の飛来が予想されている
- ・各測定ポイントがSQM-Lを使える雲量である事

PM2.5や黄砂は経時変化による補正ができない為、同じ時刻で測る必要があった。しかし、これらの条件を全て満たす事が非常に難しく、多くのデータで検証する事ができなかった。また、飛来予測と実際の値に開きがある場合も多く、予定通りに行かない事も多かった。同じ測定日時でなくても、PM2.5や黄砂の飛来が与える空の明るさへの影響が予測できるよう、個々のデータをもっと増やしていきたい。

また、広島県三原市の21:30のPM2.5とSQMの数値のズレについても調べたい。

### 5. 参考サイト

- ・環境省大気汚染物質広域監視システムそらまめ君
- ・PM2.5の全国予想

### 6. 謝辞

愛知県立一宮高等学校 高村裕三朗先生 ご指導ありがとうございました

愛知県庁環境部大気環境課  
 静岡県環境衛生科学研究所  
 長崎県環境部環境政策課  
 兵庫県環境管理局環境影響評価室  
 広島県環境県民局環境保全課

ありがとうございました

# 夜空における天の川の明るさ

大野 功暉, 堀 僚泰 (高2)  
 増田 廉太郎, 高木 健太郎, 岩崎 雅矢 (高1)  
 【岐阜県立岐山高等学校】

## 1. 研究概要

私たち岐山高校は、愛知県立一宮高校、岐阜県立大垣東高校の3校で岐阜県安八町の「ハートピア安八天文台」を観測拠点とした「ハートピア安八高校生観測チーム (AstroHA)」として研究活動を行っている。本年度は昨年度に引き続き、3校合同で行っている観測合宿の期間中に全天の撮影を行い、その画像を解析し、全天における天の川の明るさについて研究を行った。

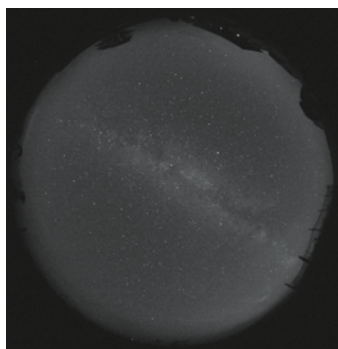
## 2. 目的

対角魚眼レンズを取り付けたカメラを使用し、全天の撮影を行う。撮影画像をすばる画像処理ソフト「Makali`i」を用いて測光し、全天中における天の川の等級を求めるとともに、光害の影響について調査することを目的とする。

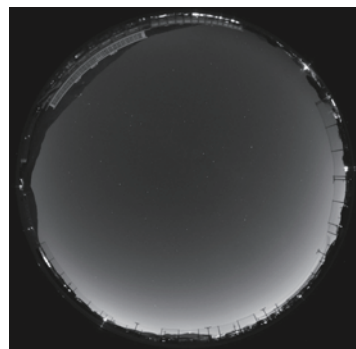
## 3. 観測環境



【図1 観測地点】



【図2 高山市の全天】



【図3 岐阜市の全天】

観測場所：岐阜県飛騨牧場（岐阜県高山市清見町 北緯 35,983° 東経 137,073°）

日 時：2015年8月11日21時00分～12日02時30分（高山市）

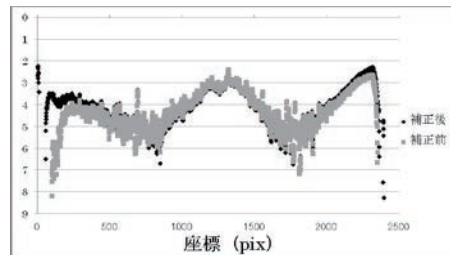
2015年9月11日18時30分～11日22時15分（岐阜市）

機 材：・カメラ：Canon EOS Kiss X50 ・レンズ：SIGMA 4.5mm F2.8

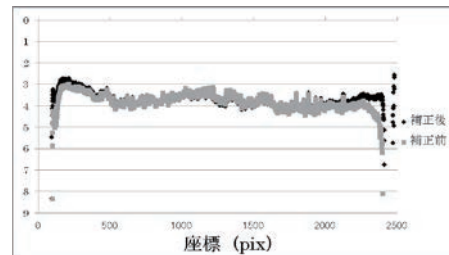
・三脚：SLIK PRO 200 DX II ・リモートタイマー

- 1 カメラを三脚に取り付け、撮影画像の上部が真北になるように、レンズを天頂に向けて設置する。
- 2 リモートタイマーで露出時間を15, 30, 45, 60, 90秒に設定し撮影する。
- 3 撮影画像は、天の川を基準に、垂直方向と平行方向にすばる画像処理ソフト「Makali`i (マカリィ)」で、200本ずつのライン測光を行う。
- 4 画像中の北極星を基準星とし、測光した天の川のカウント値と基準星を高度補正した後、ポグソンの式を用いて等級に変換する。

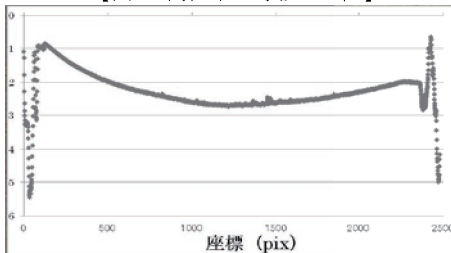
## 4. 結果



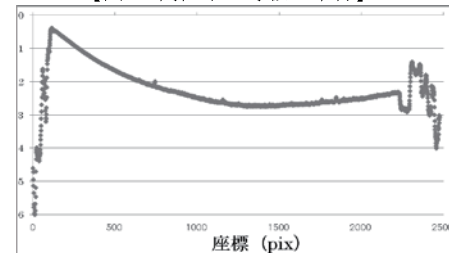
【図4 高山市の等級：垂直】



【図5 高山市の等級：平行】

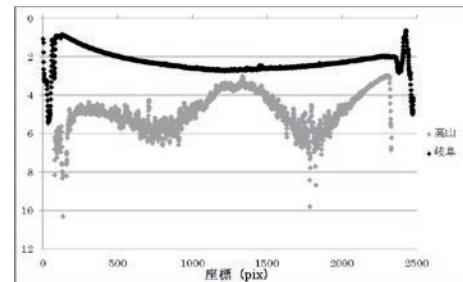


【図6 岐阜市の等級：垂直】



【図7 岐阜市の等級：平行】

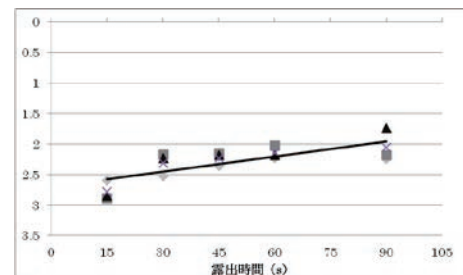
- ・図4, 5より, 高度補正を行うと, 地表付近で大きく補正されている。
- ・図6, 7より, 岐阜の天の川の等級は垂直, 平行ともにグラフの両側の値が高く, 高山市では天の川のライトカーブは得られない。
- ・図8より, 岐阜市と高山市で比較すると, 岐阜市の方が高山市よりも明るい結果となった。
- ・図9より, 天の川の等級は露出時間ごとに約0.5等級の幅がある。また, 15, 30, 45, 60, 90秒と露出時間が増えるにつれ, 天の川の最高等級が小さくなる。



【図8 岐阜市と高山市の等級比較】

## 5. 考察

- ・図4, 5より, 高度補正は, 高度 $0^{\circ}$  ~  $25^{\circ}$ までが大きく補正されている。しかし, 補正後も地表付近が明るいことから,  $63^{\circ}$ までは地表の光害の影響を受けていると考えられる。
- ・図8より, 岐阜市は高山市よりも明るく, 天の川が見られないことがわかる。このことから, 岐阜市では天頂付近までより強く光害の影響を受けていると考えられる。
- ・図9より, 今回等級を換算するとき, 全天の背景(天の川のない領域)を使用したことで, 北極星の背景が余分に引かれた。その結果, 露出時間が長くなると, 背景の値がより多く引かれるため, 露出時間が長いほど天の川の最高等級が相対的に小さくなったと考えられる。



【図9 高山市の露出時間ごとの等級比較】

## 6. 今後の課題

- ・高山と岐阜市の間で数か所観測を行い, 光害の影響がみられる高度と距離の関係を明らかにする。
- ・露出時間ごとの等級のずれを補正する関数を検討する。

## 7. 使用ソフト

- ・すばる画像処理ソフト Makali`i ・ステライメージ ・Microsoft Office Excel

# 夜空の明るさに対する光害対策効果の推定（第一報）

麦踏 松秀、本部 勇真(高2) 谷口 沙彩、中村 篤志(高1)

【兵庫県立龍野高等学校自然科学部天文班】

## 1 はじめに

光害とは、町の過剰な光によってひきおこされる害である。光害は天体観測や生態系などに悪影響を及ぼしている。実際に、光害の影響もあって龍野高校周辺では天の川を肉眼で見ることができない。私たちは、龍野高校周辺で天の川を見るためにはどれくらい光害対策を行えばよいのかを最終的に求めたい。今回はその前段階の研究を行った。

## 2 目的

- ・光害に対する人々の関心をみる
- ・光害の対策を行えば夜空の明るさをどのくらい抑えることができるのかを推定する

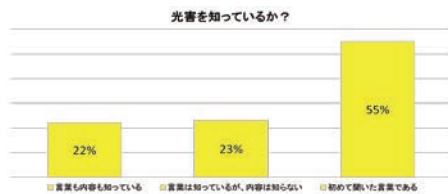
## 3 アンケート

### [1] 調査方法

効率よく低コストにアンケートを行うためにアンケートを Google フォームで作成し、SNS アプリ、Twitter、LINE を通じて拡散し、回答を呼びかけた。結果、129 名の回答を得た。

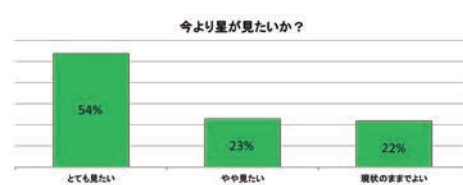
### [2] 調査結果

#### 〈光害の認知度〉



光害の内容まで知っている人は 22% であり、光害の認知度が低いことが分かる。

#### 〈良好な星空の需要〉



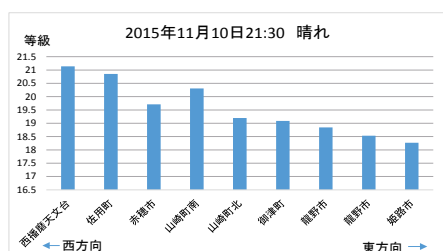
より多くの星が見える夜空の需要が高いことが分かる。

## 4 夜空の明るさ観測

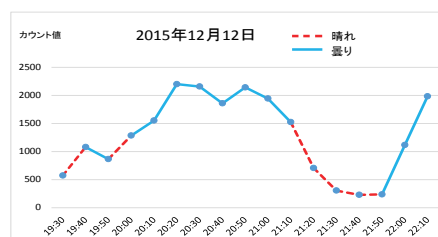
デジタル一眼レフカメラ (Canon EOS 60D)、スカイクオリティメーター (SQM) を使用して夜空の観測を行った。

カメラの設定は次の通りである。焦点距離  $f=35\text{mm}$  F 値 5.6 ISO 800 露光時間 30s 画像の撮影は 10 分ごとに各回 3 回行い、並行して SQM の観測も同様に行った。観測後、RAW 形式の画像を Excel ファイルに変換した。変換したファイル上で CCD のカウント値を平均化し、ダーク画像についても同様の処理を行った。各回 3 枚ずつ取得した画像のカウント値の平均をとり、その値からダーク画像の平均値をひいたものを夜空の明るさの値とした。

## 5 観測結果



山間部に比べて、住居が密集している姫路方面のほうが明るい



曇っているときは晴れているときに比べて、夜空が明るい

※上図中の西播磨天文台の正式名称は西はりま天文台である。

## 6 光害対策効果の推定

私たちは光害の対策として、「街灯に覆いをつけ上方向への光の漏れを防ぐ」「カーテンを閉める」という2つの対策を考え、それぞれの対策による効果を調べた。カメラを豆電球から9mの位置にカメラを固定し、カーテンを豆電球から2mの地点に設置した状態で画像を3枚取得し、夜空の観測時と同様にカウント値を平均化し、カーテンありが、なしに比べて何%の明るさになったかを求めた。また、街灯については室内で街灯を模擬した白熱電球と水槽による実験を行い、覆いありの場合が、なしの場合に比べて何%の明るさになったかを求めた。

カーテン	合計カウント値	覆い	平均カウント値
あり	1331346	あり	17.404
なし	2546184	なし	70.172

カーテン：ありはなしのときの52.9%の明るさ

覆い：ありはなしのときの24.8%の明るさ

## 7 考察

5、6の結果から、単位当たりの全ての街灯に覆いをかぶせる、という光害対策をすると、対策前に比べて約1等級夜空は暗くなり、光害の影響を抑えることができると示唆される。加えて、西はりま天文台と同程度の暗さの夜空を望むことのできる範囲が広がることも示唆される。

## 8 展望

今後は、模擬する街灯の形状を変更したり、実験に用いる光源にカラーLEDを用いるなどしてより正確に光害対策効果の推定を行っていきたい。また、近隣の高校生を対象に行ったアンケートでは得られた回答数が少なかったため、全国版のアンケートを作成している。Twitter (@tenmonhanankert) の固定ツイート、もしくは右記QRコードからの回答をお願いする。



## 9 謝辞

最後に、研究の助言・機材の貸し出しをいただきました星空公団の小野間さん、愛知県立一宮高校地学部顧問の高村先生に御礼申し上げます。



## SQMによる夕方のグラデーション測定Ⅲ

富田 小冬（中1）【愛知県一宮市立南部中学校】

### 1.目的

夕方の時間変化と共に、空がどのように暗くなり、星がいつ頃から観測できるか、また季節による違いを調べる。

### 2.計測(計3回)

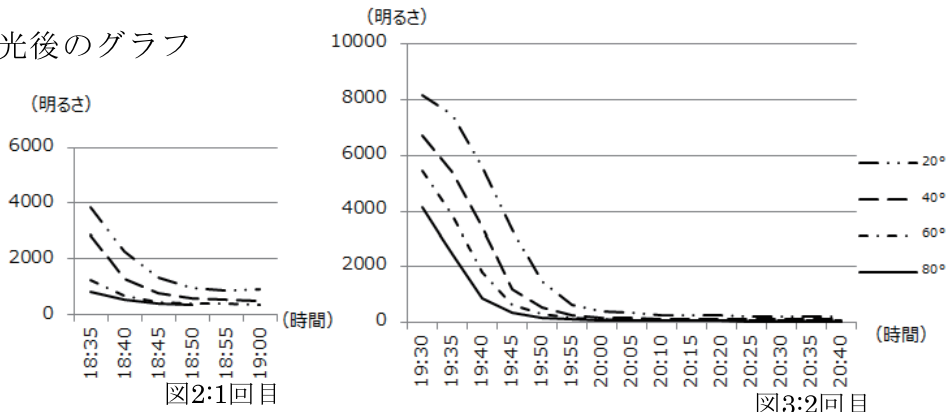
一宮高校の屋上で計測、空は晴天であった。角度の目盛りのついた三脚にSQMと一眼レフカメラを固定し、太陽の沈んだ方角の高度 $20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ を5分毎に測り撮影。

9月13日(1回目)	日没 18:05	天文薄明 19:30
7月15日(2回目)	日没 19:07	天文薄明 20:51
4月25日(3回目)	日没 18:35	天文薄明 20:07

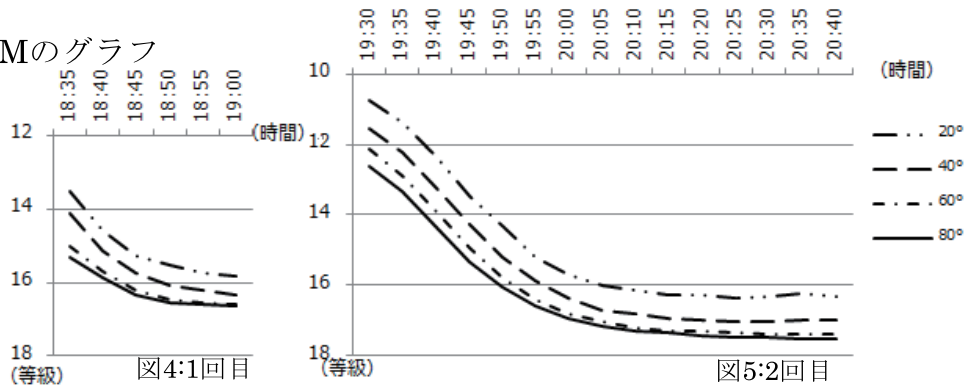
### 3.測光方法

マカリィでG画像を半自動、半径50pxで中心の1ヶ所を測光、背景を差し引かないオブジェクト総計を記録した。3回目はR,B画像も測光した。

### 4.測光後のグラフ



### 5.SQMのグラフ



6.三回目の測定結果

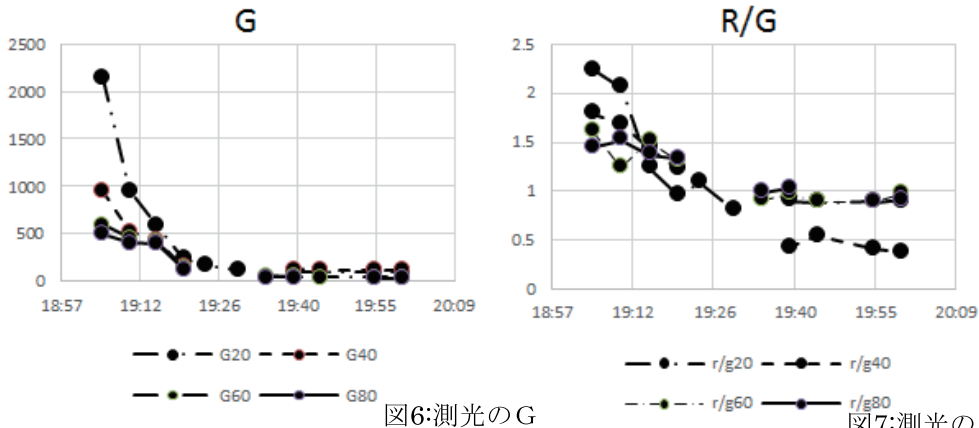
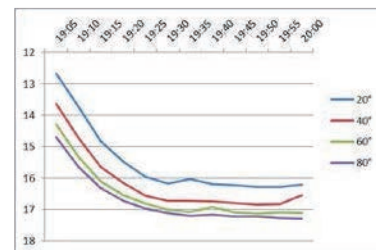


図6:測光のG

図7:測光のR/G

図6,7は三回目の測光の数値を色別(G,R/G)で取り出してグラフにしたものである。グラフを見ると空が赤色から紺色に変わっていく様子を捉えることができた。よって、夕方のグラデーションの様子が色でもあらわされていることが分かる。

図8:SQM 3回目



7.半球模型の製作

地平線下の太陽の動きを知るために半球の模型を製作した。図6の中央斜めの線は秋分の日太陽の通り道。20°分右の線は7月15日の太陽の通り道を表している。

秋分の日と7月15日の太陽の通り道は球面(天球)上では平行になっているが、図9のように地平線中心の平面として見ると歪んでいて、夏はなかなか太陽が地平線下に沈んでいかないことが分かる。

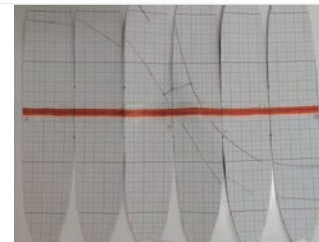


図9:半球模型を開いたもの

8.考察

	9月13日	7月15日	4月25日
日没時間	18:05	19:07	18:35
グラフが水平なり始め	18:45	20:05	19:25
星を観測できる時間	日没から45分後	日没から60分後	日没から50分後

45、60、50分を角度に変換し半球模型上で計測した結果、大気がレンズになって起きる太陽の『うきあがり現象』の0.5°を加えると秋・春は地平線下8.5-9.5°、夏は12°となる。

9.今後の展望

- ・半球模型上で計測したときの、地平線下角度の誤差が2度ある理由を明らかにする。

10.使用ソフト・謝辞

- ・ステライメージ6.5
- ・すばる画像処理ソフト・マカリイ
- ・愛知県立一宮高等学校
- 高村裕三朗先生
- 地学部の皆さん



---

## デジタル一眼レフカメラによる大気補正係数の推定

仁木 敬子 (高 1) [神戸女学院高等学部]

---

### 1. 概要

デジタル一眼レフカメラを用いて一時間天頂を撮影し、各スペクトル型の測光標準星を測光した。星の等級とエアマス（星の光が地表に達するまでに通過する大気量）から大気補正係数を計算した。すると、理想的には正の値になるものが負になったものも多かったので、大気の状態が空間的、時間的に一様でなかった可能性が考えられる。

### 2. 研究方法

#### (1) 撮影方法

撮影器具：三脚、デジタル一眼レフカメラ、単焦点レンズ、フード

撮影設定：ARW 画像 ISO160,F4,S20 天頂に向ける。

撮影方法：USB ケーブルによって一眼レフカメラとパソコンをつなぎ、Remote Camera Control というアプリケーションを用いて 1 時間 150 回撮影する。最後にダーク写真を 10 枚撮影する。

#### (2) 画像処理

Image Data Converter を用いて ARW 画像を TIFF 画像に変換する。

↓

AstroImageJ64 を用いて RGB に分解しグレースケール画像にした後、一次処理をする。

↓

Stellarium で画像に写っている範囲の星から恒星を探し、NSV 星表カタログで疑変光星でないことを確かめたら、AstroImageJ64 で測光する。

↓

測光対象天体の各撮影時刻での高度を算出し、エアマスを計算する。

↓

エアマスとカウント値から等級を計算し、等級とエアマスのグラフを描いた時の近似直線の傾きを大気補正係数とする。

## (3) 結果

2015年10月6日20:00'6~20:59'41に撮影。

Hipparcos番号	スペクトル型	大気補正係数
101076	F	-1.648064452
105102	B	0.241387442
102453	K	-1.791819448
106481	G	-7.208504875
104732	G	-0.537676853
100122	F	0.973162697
104060	K	-4.542959256
106551	K	1.331201826
102066	G	-5.818572915
99889	F	-3.98667688
105942	B	-0.675303386
102155	B	-4.00020735
106711	A	3.280581599
100108	A	-2.193656692
100907	A	-1.534035745
103371	O	-8.631520192

## (4) 考察

今回大気補正係数を求めたところ、理想的には正の値になるものが負になったものも多かったので、大気の状態が空間的、時間的に一様でなかった可能性がある。画像の様々な場所で測光をして減光の傾向に違いがないか調べる。

## (5) 展望

信頼性の高い大気補正係数が求めることが出来たら、エアロゾルの濃度との相関をとる。特定のスペクトル型に対する相関係数の値が大きかった種類のエアロゾルは星の減光に大きく影響していると言える。また、特定のエアロゾルとの相関係数の大きかったスペクトル型の星の波長からそのエアロゾルの粒径が推定できる。星の光が大気中の塵により散乱して大気補正係数に影響を与え、また市街光が大気中の塵により散乱して夜空の明るさに影響を与えているとすると、エアロゾルを仲介とした大気補正係数と夜空の明るさとの関係があるのではないかと予想している。

## (6) 謝辞

兵庫県立天文科学センター西はりま天文台の圓谷文明講師に本研究の進め方について大変丁寧に教えていただいた。この場をお借りして暑く御礼申し上げます。

# いつもの星空がもっときれいに見えるかも！？

## ～暗順応による星空の見え方の変化～

岩村 桃実、寺内 夏子、星野 ひとみ（高2）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

### 1. はじめに

前橋女子高校地学部は「群馬でより綺麗な星空を見る」ことを目標に、ここ数年様々な活動を行っている。以前の先輩方の研究により、星の見え方を左右するものには「夜空の環境」と「観測者側のコンディション」があることが明らかになった。後者は前者より容易に改善することができる。そこで私たちは、今夜からでも始められる綺麗な星空を見るための観測者側のコンディションの整え方を、暗順応という眼の性質に着目して調べることにした。

### 2. 暗順応と光が見える距離の変化（屋内実験）

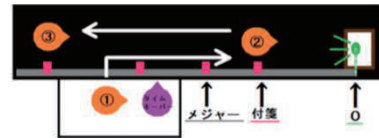
[目的]

暗順応の進行具合を、時間経過によって同じ光がどれほど遠くから見えるようになるかにより調べる。また、周囲の暗さの違いや観測者の年齢差による差異も調べる。

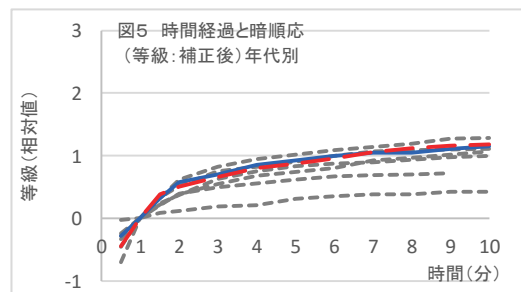
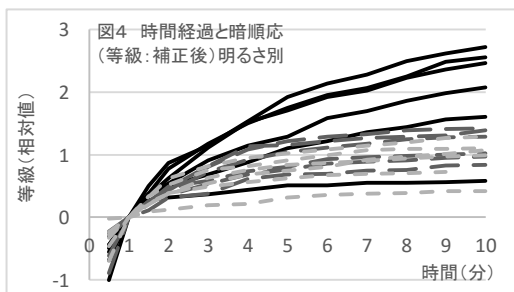
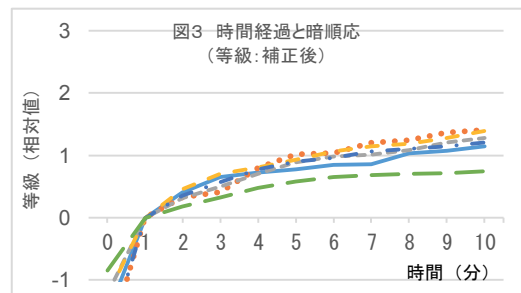
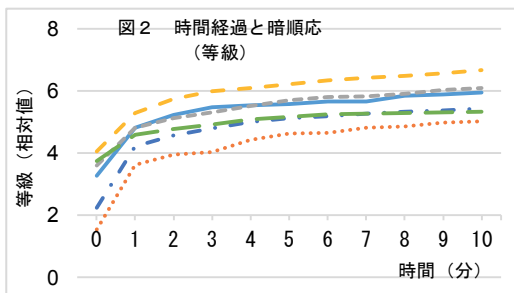
[方法]

- (1) 被験者は十分に明順応した後（図1-1）暗室に出て、設置してある点光源が見える地点まで移動する（図1-2）。
- (2) 光が見えることを確認しながら光源から遠ざかる（図1-3）。
- (3) 暗室に出てからの時間経過と光源からの距離を記録する。
- (4) 記録したデータを距離→照度→等級と変換し（図2）、1分時点の全員の等級を0に揃える（図3）。

図1



[結果]



※図2,3：観測者6名の結果 図4：—— 暗 —— 中暗 - - - 明 図5：- - - 女子高校生 —— 40代女性 - - - 中学2年生女子

[考察]

図2より、見える光は視力などを原因とする個人差が著しいが、図3より、暗順応の進行具合は個人によらずほぼ一致することが分かった。図3及び図4より、周囲がほどほどに明るい（前橋市の街明かりが窓から差し込む程度）状況では7分程度で暗順応の進行が一段落し、図4より、より暗い環境下では暗順応の進行が早く、深くなった。図5より、年齢差は個人差と同程度か、それより小さいものと推定される。

### 3. 実際の星空との相関（屋外実験）

[目的]

実際の夜空でも屋内実験と同じ結果が得られるかを調べる。

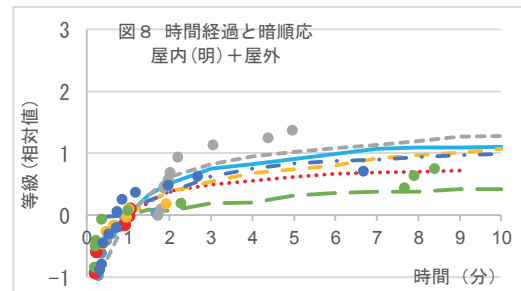
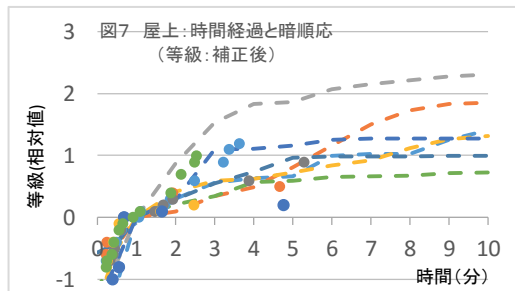
[方法]

- (1) 被験者は十分に明順応した後、屋外に出て等級が小さいものから順に星を探す。
- (2) 屋外に出てからの時間経過と見えた星の等級を記録する。
- (3) 記録したデータを図3と同様に処理し、同日に行った屋内実験のグラフと重ねる。

[結果] ※点が屋外実験、破線が屋内実験のデータ



図6



[考察]

図7より、屋内実験のグラフと屋外実験のグラフはほぼ重なったため、屋内実験の結果は屋外にも適応できると言える。実験地周辺の屋外の明るさに最も近い屋内実験のグラフ（図4の明）と屋外実験のグラフを重ねた図8より、暗さの違いによって暗順応の進み具合が変化するという屋内の実験結果も屋外に適応できることが分かる。

### 4. まとめ・展望

見える光の明るさに個人差はあるが、暗順応の進行具合は個人によらずほぼ一致する。この結果は屋内実験により導かれたものだが、夜空の星を見上げるような屋外の観望にも同様に適応できる。年齢による暗順応の差はほとんど見られないが、試行回数が少なく、まだ断言するには至らない。今後様々な年代の被験者を増やしていきたい。

前橋市内のような明るい環境下では約7分間の暗順応で、1～2等級程度（場合によっては3等級程度まで）は暗い星が見えるようになる。また、街から離れた暗い環境下では、目が暗さに慣れるのがそれより早いいため、短い時間でたくさんの星が見えるようになると言える。

### 5. 参考文献

池田光男『眼はなにを見ているか—視覚系の情報処理』（平凡社、1988年）

『「星空の見え方」調査と「夜空の明るさ」調査』日本天文学会2012年ジュニアセッション予稿集12-13頁

## SQM専用フードの改良

富田 理恩 (小4) 【愛知県一宮市立向山小学校】

### 1. はじめに

2年生の時に SQM (図1) を使って駅の夜空の明るさを測った。

総合駅である駅ビルの東側の「JR尾張一宮駅」と、西側にある「名鉄一宮駅」では、JR側の方が人や店が多く道路も広いので明るくなるだろうと予想していたが、名鉄側の方が明るい結果になった。(図2)

都会の JR 側の方が暗くなった理由は、駅前が広くて街灯どうしのすき間があるからだと思った。反対に寂しい感じの名鉄側の方が JR 側より明るくなったのは、狭い場所に街灯がきゅうくつに立っているからだと考えた。



図1



図2

上のような考えを夜空の明るさ発表会で発表したところ、星空公団の小野間さんから「同じビルで出口が違うだけなので同じ空を測っているはず。それは空の明るさじゃなくて、街灯の明るさを測っているのでは。」と教えてもらった。

そこで、夜空明るさだけを測る為に、街灯の影響を受けない専用フードを作った。(図3)

- ・長方形の箱の上部にSQMの窓と同じ大きさの29mmの穴を開ける
- ・箱の中を黒くぬる
- ・穴からどれだけ下げたかの目盛を付ける
- ・SQMを固定するゴムを通す
- ・実際に使用する時は、手前から光が入らないように布をかける

自宅室内で、遠めの電気を点けた時と、電気を消した時の天井を測定。SQMをフードの一番上から5mmずつ下げて測った。5mm下げたところで数値が高くなり、フードの中の明るさを測っている事がわかったので、4cmの位置にSQMを固定して0.7mm明るく補正をする事にした。



図3

駅や公園でも測定を行い、補正をした結果、フードが役に立っている事がわかった。そして前回小野間さんにアドバイスをもらってから一年後、夜空の明るさ発表会で発表をしたところ、まだ余計な光源を拾っている事を指摘された。

## 2. フードの改良

小野間さんに、「フードの穴とSQMの窓の間で光が跳ね返って数値に影響があるのでは」と教えてもらったので、間に2枚厚紙を入れた。(図4)



図4

## 3. 改良フードで高校の空の明るさを測る

今回は高校の夜の明るさを測る事にした。まず、昼間のうちに街灯の高さを求め、夜に実際にSQMに改良したフードを付けて明るさを測った。図5のグラフを見ると16m以降はほぼ平らになっている。この結果から、光源からの距離が16m未満の時は補正をする事にした。

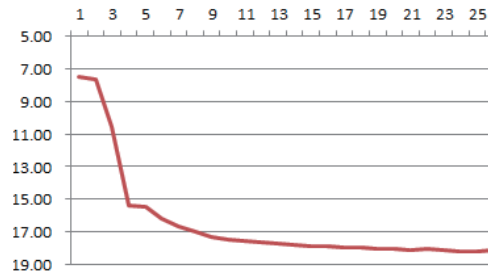


図5

## 4. 補正値を求める

空の暗い岐山高校グラウンドや、自宅近くの公園等を測定した。空の明るさによって補正値を変える必要があると予想していたが、どの場所もフードありとなしの差は同じくらいだったので、平均の0.8を補正値とした。(図6)

	フードあり	フードなし	差
岐山グラウンド中央 (光源なし)	19.90	19.11	0.79
岐山体育館のかべから6mくらい	19.96	19.15	0.81
岐山体育館のかべから5mくらい	19.94	19.16	0.78
小学校グラウンド中央	18.67	17.86	0.81
小学校体育館近く	18.64	17.88	0.76
小学校バクネット前	18.68	17.87	0.81
小学校希望の泉(池)前	18.66	17.86	0.80
スーパー駐車場(閉店後)	18.72	17.89	0.83
四反田公園	18.50	17.70	0.80
市民会館駐車場	18.75	17.97	0.78
市営野球場	18.89	18.05	0.84
			0.800909091

図6

## 5. これからやりたい事

改良したフードを使って、今まで光源が近くて計れなかった場所をもっと測定したい。

## 6. お礼

愛知県立一宮高等学校 高村裕三朗先生  
 岐阜県立岐山高等学校 松本正樹先生

ありがとうございました



## 綺麗な夜空をもっと身近に

稲垣 里彩、小崎 瑛子、河合 春奈、浅井 飛音（高1）【愛知県立一宮高等学校】

### 1. はじめに

一宮高校の校舎屋上には3年前、私たちの先輩が老朽化した天体観測用ドームの望遠鏡を撤去して自作した、プラネタリウム投影用ドームがある。プラネタリウム投影用ドームは床が直径3.0mの円形で、高さ1.82mの壁の上に、半球より小さい140°の球形ドームスクリーンが乗った造りとなっており、天体観測用ドームとの間には幅0.6mのプラネタリウム操作場がある。プラネタリウムは、プロジェクタから出力した映像を魚眼レンズ・補正レンズを通して投影している。映像は、フリーソフトStellariumで自作したスクリプトを使用している。私達は、より美しく見やすいプラネタリウムにするために、主に照明・プロジェクタ・レンズに関して、改良を重ねている。



図1 天体観測用ドーム

### 2. 照明の改良

ドーム内には照明が無く、出入りの際大変危険であった。そのため、2年前ドームスクリーン下部にぐるりと一周LEDテープライトを設置した。LEDテープライトは東西南北で分かれており、全て同一の色となるが色選択も可能だ。現在は、4本のテープの発光色をそれぞれArduinoマイコンで自在な色に指定出来るよう改良中だ。これが完成すると、夕焼けや日の出などの豊かな表現が可能となる。

### 3. プロジェクタの改良

ドーム完成時はノートパソコン大の一般的なプロジェクタ日立のCPX5を使用していた。しかし、魚眼レンズの径に対してプロジェクタの光束が大きかったため、ドーム全体の3分の1程にしか投影出来なかった。そこで、それまで使用していたプロジェクタをオンキヨーのモバイルLEDプロジェクタへと機種変更した。これにより、ドーム全体に余すところなく投影出来るようになった。

また、同機種のサブプロジェクタを増設した。Stellariumによる映像を投影するメインプロジェクタに対し、サブプロジェクタでは、必要に応じてフリーソフトMitakaPlusでスクリプトにより自作した映像や自作GIF動画などを投影している。MitakaPlusの映像は惑星などをより詳しく見せたい時に、自作GIF動画はこれらのソフトでは表現しきれない天文現象や星雲などを見せたい時に用いている。なお、自作GIF動画の製作には部員が実際に撮影した写真を使用している。

### 4. レンズの改良

より広範囲にはっきりとピントを出すため、ドーム完成時から去年までに2回のメインプロジェクタ用補正レンズの変更を行っている。ドーム完成初期は、プロジェクタに直接魚眼コンバージョンレンズを取り付けていた。1回目の変更は、プロジェクタの機種変更に合わせて行った。それまで使用していた魚眼コンバージョンレンズに、補正レンズとして+2度と+4度のクローズアップレンズを重ねて補正レンズユニットとした。2回目の変更では+4度のクローズアップレンズを取り外し、望遠鏡の対物レンズを組み入れた。補正レンズは広がったプロジェクタの光束を平行に整えるためのものである。

また、補正レンズユニット固定具の止めネジを増やしたり、プロジェクタ固定具の木製部を金属

の部品に替えたりとレンズとプロジェクタを安定させることで、光軸やピントがずれにくくなるように加工した。

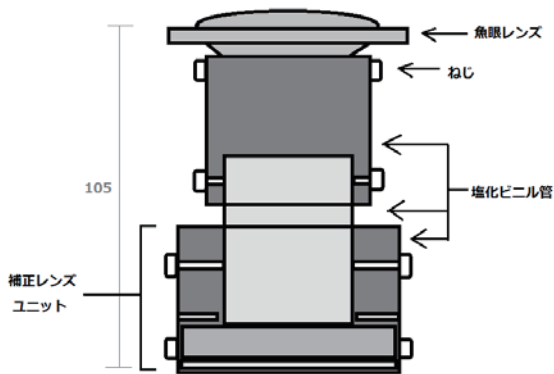


図2 改善前レンズユニット

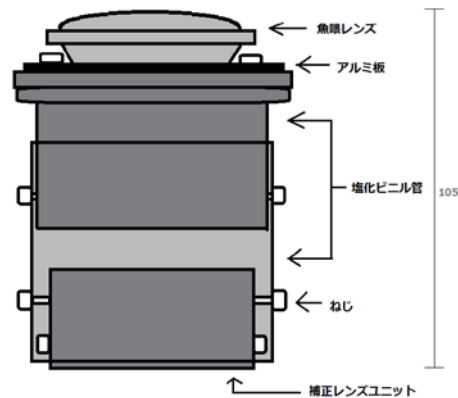


図3 改善後レンズユニット

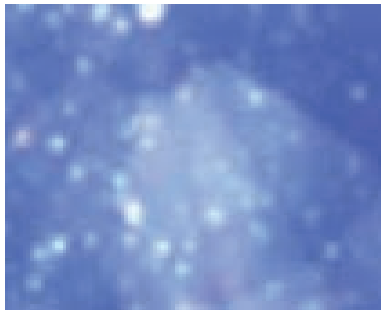


図4 改善前投影風景



図5 改善後投影風景

## 5. まとめ

日々さまざまな改良を重ねることで、ドーム完成当時と比べ、かなり綺麗なプラネタリウムを投影できるようになった。今後は、現在製作途中であるLEDテープライトの改善を完成させるとともに、ドームに熱気がこもりやすい夏場の熱中症対策として、自作送風機を導入するなど、快適さも上げていきたい。

2年前、私たちの先輩は10年先まで使えることを目標としてドームを製作した。後輩である私たちがプラネタリウムをより良いものへ進化させていくことで、長く愛されるプラネタリウムにしたい。

## 6. 参考文献

愛知県立一宮高等学校 「自作ドームによる星空の再現」、「天文普及プログラム」

## 7. 使用ソフト

Stellarium、MitakaPlus、GIF7、Foobar2000



## 夜空の明るさシミュレーション ～メッシュの活用～

守屋泰雅 相澤里佳 竹谷宏音 山口稜太 山本拓実 川口彰太(高2)

片桐拓 吉筋康介(高1)

【愛知県立一宮高等学校 地学部】

### 要 旨

“光害”とは人間の活動によって生じた光が様々な影響を及ぼす、公害の一種である。光害の影響としては主に、動植物の成長や繁殖に影響を及ぼす「自然生態系への影響」や、人口光が夜空を明るく照らすことによって星が見えにくくなる「夜空の明るさ問題」などが挙げられる。

私たちは光害について、夜空の明るさを等級で計測できる SQM を用いた実際の観測とコンピューターシミュレーションの2面から研究を行っている。

### 1. 昨年度までの研究

日本全国を対象とした全国版と濃尾平野を対象とした地方版の夜空の明るさシミュレーションを行った。シミュレーションを行うにあたり、光源の位置は全国版では市区町村役場、地方版では駅とし、光の強さは人口に比例すると仮定した。また、使用式は以下のとおりである。

$$L = \frac{L_0 \times e^{-D\sigma}}{D^2}$$

L: 明るさ L<sub>0</sub>: 光源 e: 自然対数  
D: 距離 σ: 消散係数(6.0×10<sup>-5</sup>)

$$M = 24 - (24 - L)e^{-0.005 \times h}$$

h: 観測地の標高  
M: h m 地点での夜空の明るさ  
L: 0 m 地点での夜空の明るさ

シミュレーション結果をグラフ化したものが図1である。相関係数をとると、地方版は0.94、全国版は0.70となった。このことから、地方版では精度の高いシミュレーションが得られたことがわかる。

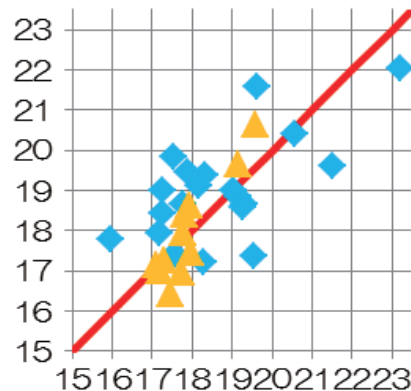


図1: 実測値—シミュレーション結果[等級/口”]

◆ 全国版    ▲ 地方版

## 2. 今年度の研究

今年度は、人口メッシュと標高メッシュのデータを用いて 10km 四方の正確な人口と標高をシミュレーションに反映させることで主に全国版のシミュレーション精度の向上を目指した。メッシュとは日本全国を緯度、経度をもとに区分けしたものである。

- (i) 夜空の明るさについて、光源は各 10km 四方のメッシュの中心にあり、光の強さは人口に比例する、また全国版においては観測地点から 100km 以内のメッシュからのみ影響を受けると仮定した。この仮定をもとに昨年度と同様の式を用いてシミュレーションを行った。

結果をグラフ化したものが図 2 である。相関係数をとると全国版は 0.45、地方版は 0.70 となった。

- (ii) 1km 四方の人口メッシュと標高メッシュを用いて全国版と愛知県版のシミュレーションマップを作成した。このマップをそれぞれ図 3、4 に示した。

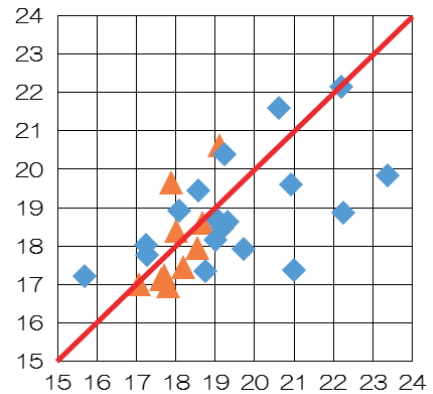


図 2: 実測値—シミュレーション結果 [等級/口"]

◆ 全国版 ▲ 地方版

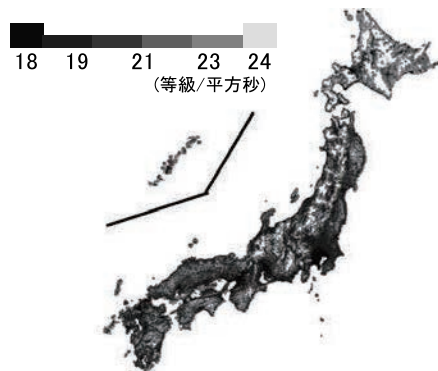


図 3: 全国版シミュレーションマップ

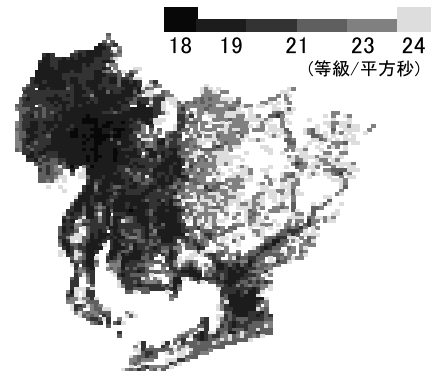


図 4: 愛知県版シミュレーションマップ

## 3. まとめ

相関係数から、全国版では昨年度より精度の低い結果となった。シミュレーション結果が不正確であった原因として、実測値そのものが正確でないことが考えられる。この問題は現在開発中の SQM フードを用いることにより改善できると思われる。シミュレーションマップからは、人口の多い都市部で光害が顕著であることがわかる。またシミュレーションマップを作成することにより、光害の影響を周知し光害の対策に繋げていきたいと考えている。

### 謝辞

ハートピア安八天文台  
一宮高校 SSH 全国夜空の明るさ  
観測チーム  
名古屋大学大学院 柴田 隆 教授

### 参考文献

環境省 光害対策ガイドライン  
(平成 18 年 2 月改定)  
国土地理院・地理院地図  
独立行政法人統計センター地図で見る統計

## SQM-L フードの設計・製作

相澤 里佳（高2）【愛知県立一宮高等学校地学部夜空班】

### 要旨

”光害”とは、都市部などで出された無駄な光が大気中のエアロゾルに反射して、夜空が明るく照らされてしまう公害の一種である。本校では夜空の明るさを計測する際 SQM (Sky Quality Meter) という機器を用いているが、計測の際に付近の街灯などの人工光の影響を受けてしまい、正しい計測値を得られないことがある(\*1)。そのため、街中で SQM-L を用いて夜空の明るさを計測するには、SQM にフードを装着する必要がある。

### 1. SQM の問題点

SQM-L は半値幅 20° (カタログ値) であるが、付近の人工光の影響を受けなくなるのは 80° を超えてからであり、付近に人工光がある場所では SQM-L を用いた夜空の明るさの計測はほぼ不可能であると結論付けられていた(\*2)。

### 2. SQM-L フードの設計

SQM-L フードは厚さ 16mm の木材に、SQM-L の上部の窓の穴の直径より少し大きい穴をあける。その木材の上部に、SQM-L の上部の窓の穴の直径とほぼ同じ内径のナイロンワッシャーを取り付ける。そして、SQM-L に固定するために PVC アングルを取り付ける。

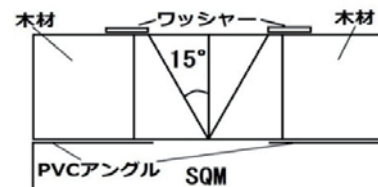


図1 フードの断面図

### 3. 屋外実験

本校屋上にて、自作装置を用いた実験を行った。晴れた日の日没約1時間半後、10° 毎に目盛りのついた三脚の0° を北極点に向けた。自作装置を三脚に装着し、カメラ、SQM-LU の水平が水平であることを確認した後、東西それぞれ 100° 分、計 200° を 10° 刻みで水平線付近を SQM-LU で計測した。



図2 自作装置

その中で最も明るかった地点から、垂直に 10° 刻みで明るさを計測する。なお、SQM-LU で明るさを計測したとき、同時に一眼レフカメラで風景を撮影した。

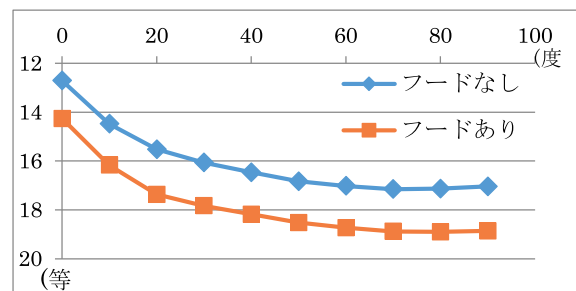


図3 屋外実験の結果

実験結果は図3のようになった。

フード装着時・非装着時において、グラフ同士の幅 (=フードの補正值) が 0° から 10° まで

とそれ以降でそれぞれ約 1.55 等級、約 1.75 等級と、約 0.20 等級の差が出た。これは、フードの設計上、15° 付近までの人工光の影響は受けてしまうからである。

#### 4. 暗室実験

暗室内で、次の実験を行った。

暗室内の机に SQM-LU を固定し、照明等をつけない状態で暗室の明るさを計測した。その後、カメラ用減光フィルターで減光した光源を移動させた。SQM-LU にフードを装着した状態・装着していない状態の 2 回計測し、あとで三角比を用いて SQM-LU と光源のなす角度を求め、フードはどの角度からの人工光をカットしているのかを調べた。

結果は図 5 のようになった。

フードを装着した時は、フードを装着していない時よりも暗い値を示したが、45° の時はフードを装着した時の計測値がフードを装着していない時の計測値を上回った。これは、フードの内面反射の影響であると考えられる。

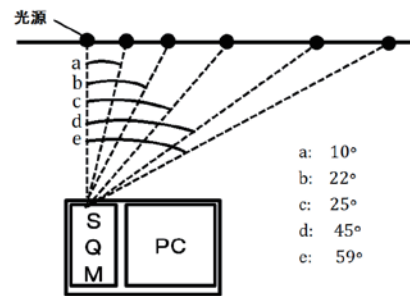


図 4 暗室内の配置

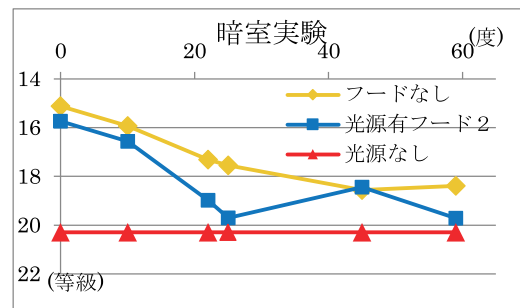


図 5 暗室実験の結果

#### 5. まとめ

フードを装着した時はフードを装着していない時に比べて SQM は暗い値を示した。またフードを装着した時の計測値の補正值(フードを装着した時の計測値－フードを装着していない時の計測値)は、近くに人工光があるかどうかによって約 0.2 等級の差があることが分かった。そして人工光が 45° 付近にある時、フードの内面反射による影響が見られた。

#### 6. 今後の展望

屋外実験で得られた計測値が正しいものかどうかを検証するために、屋外実験時に撮影した写真を用いて計測値を検証したい。また、暗室実験ではより細かく光源を移動させて計測値を得ることに加えて、暗室実験時の 59° のフード有・無のグラフの幅と屋外実験の直接光源の影響を受けない 20° 以降のグラフの幅が一致することを確かめたい。そして、最終的には大量生産して全国の連携校に配布することを目標としている。

#### 7. 参考文献

- (\* 1) 愛知県一宮市立向山小学校 4 年 富田理恩さん「SQM フードづくり」
- (\* 2) 星空公団 「Sky Quality Meter の有効性」

# ライトダウンに伴う適切な夜景写真の処理方法

## ～伝統的七夕ライトダウンの普及と科学的評価Ⅱ～

星野 遥香、星野 有香（高1）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

### 概要

私たちは伝統的七夕ライトダウンに賛同し、昨年度から県内への周知・普及活動を始める一方、夜空の明るさ調査を継続的に行っている。伝統的七夕ライトダウンとは、伝統的七夕（旧暦の七夕／2015年は8月20日）に、20時から22時までのあいだ明かりを消して星空を眺めようという活動である。

今回はカメラ、SQM-L、-LE、照度計等を用い、空と街の明るさの変化を調査し、開催日の20日と、同じ週の平日17、18、19、21日の結果を比較した。開催日当日は今年も曇り、夜空の明るさは明るくなってしまったが、新しく考えた画像処理の方法などにより街の明るさをより正確に調べられるようになった。

### 1 研究動機

私たち地学部は、2011年から群馬県内の夜空の明るさを継続的に調査している。都市部の夜空の明るさの原因は人工光による光害といわれている。私たちは地域の皆様に星空の素晴らしさを知っていただき、光害を意識してもらうことを目標に伝統的七夕ライトダウンという活動に賛同し、県内への周知・普及を始めた。今年度は活動2年目である。同時にライトダウンの影響を科学的に評価することを目指し、特に街の明るさの調査として適切な夜景写真の処理方法を模索している。

### 2 街の観測

気象観測室の北側の窓を開け、三脚に乗せたカメラを北向きに設置し（図1）、5分ごとに前橋の街の様子をインターバル撮影した。

観測場所：前橋女子高等学校 気象観測室（北校舎5階）

観測日時：2015年8月17日（月）19:00～28:00

18日（火）19:00～28:00

19日（水）19:00～28:00

20日（木）19:00～28:00

21日（金）19:00～28:00

※昨年度は3日間の撮影だったが、今年度は5日間に増やした。

観測装置：デジタル一眼レフカメラ「NIKON D7000」

三脚「SLIK CARBON MASTER 823 PRO N」

撮影条件：露出時間1秒、ISO速度400、焦点距離18mm、絞りf/3.5



図1 撮影の様子

### 3 写真の解析

- (1) RAW画像を画像処理ソフトRaw2fitsによりCSVに変換し、ベイヤー配列の緑色のみを数値化する。
- (2) 領域ごとに数値の和を計算できるExcelシートを事前に作成しておき、CSVからコピーした数値をExcelシートに貼り付け、領域ごとの明るさの数値の和を計算する。

- (3) 計算結果をExcelの別のファイルに貼り付け、グラフを作成する。  
昨年度は写真全体一括計算から始め、写真上部・写真下部の2分割、上空・中空・低空・遠街・近街の5分割と、計算処理を小分けしていった。今年度は昨年度良好な結果が得られた5分割（図2）を採用した。ライトダウンの効果は遠街に表れると考えた。

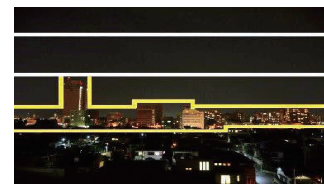
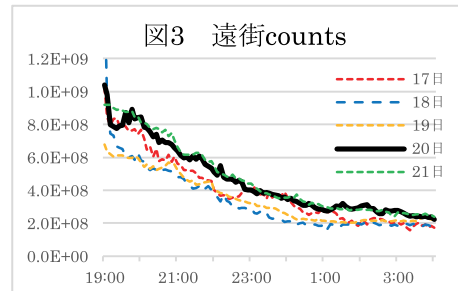


図2 写真の分割

#### 4 結果・考察

図3（遠街 counts）はライトダウンの実施状況の評価が期待されるグラフだったが、20日がそれほど暗くないという結果となってしまった。例えば18日と20日の20時の写真を比較したとき、18日は晴れ、20日は曇りと天気が異なり、街の明かりを見る限り大きな違いはなかった。遠街の処理に空部分があんまりの少し入ってきてしまったため、20日の方が明るくなってしまったと考えられる。



#### 5 改善した解析と結果

昨年度は天気あまり変化がなかったため、今回の観測方法で十分だったが、今年の観測期間は天気に大きな変化があったため、天気を考慮した新しい観測方法を検討し、方法を見直す必要が生じた。これを踏まえ、以下の3つの方法で画像処理の改善を行った。

改善案1：五分割処理の低空と遠街の分け方をより細かくする

改善案2：上記のデータを用いたヒストグラム作成

改善案3：建物を県庁や市役所に限定して明かりの数を数える

<改善案1 結果・考察> 図4参照

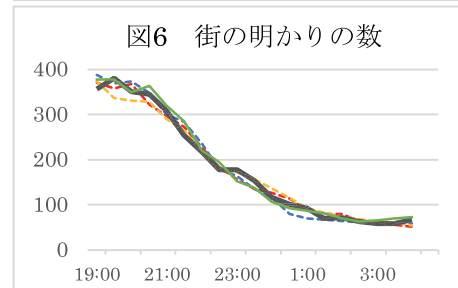
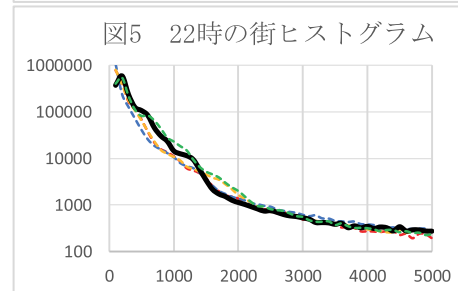
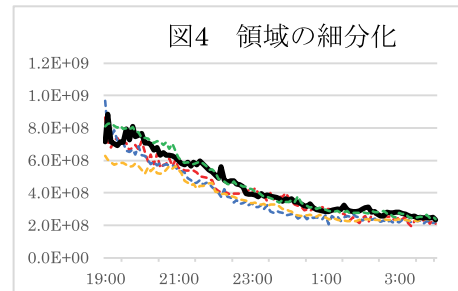
若干差異は小さくなったが、大きな変化は出なかった。

<改善案2 結果・考察> 図5参照

七夕当日は500~1000countsあたりの度数が大きく、1500~2000countsあたりの度数が小さくなった。また、同様の空のヒストグラムを作成した結果、空の明るさは天気によらず3000counts以下になることが分かった。

<改善案3 結果・考察> 図6参照

七夕当日は21時~22時頃に最も明かりが少ないという結果になったが、他の日との差は小さく、ライトダウンの成果と断じることはできない。街のライトダウンの様子を調べるには、この方法が本質的に最も信頼度の高いデータが得られることが期待される。

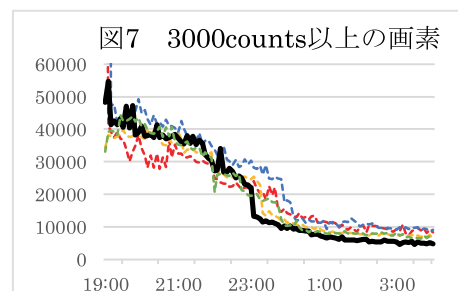


改善案4：図7参照

改善案2の結果を踏まえ、写真全体から明るさ3000counts以上の画素を数えることにした。改善案3より多くの街の明かりを短時間に測定できる反面、余計な明かり（例えば、車のライトなど）に結果が左右されやすい。

#### 6 全体考察

夜空の明るさは様々な要因（天候、地上光の量、気温等）に左右されていて、ライトダウンの効果が空の明るさに影響を与えていることを証明するのはとても難しい。夜空の明るさを測定し続けることに加えて、改善案3と改善案4を併用し、街の明かりを測定し続けることが重要と考えられる。





## 暗闇で見つけた！光の色による見えやすさの違い ～暗順応と感度上昇の波長特性～

重原 優奈、根岸 あゆ香、前原 那南（高2）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

### 1. はじめに

私たちは一昨年より、暗順応による星空の見え方の変化を研究している。研究の一環として、暗闇の中、時間経過によって同じ一点の光がどのくらい遠くから見えるようになるかという実験を、光の色を赤、青、緑の3色に替えて行ったところ、光の色によって実験の結果が大きく異なり、大変驚いた。どうしてこのような実験結果になったのか疑問に思い、それを新たなテーマとして取り上げ、別に研究を進めることにした。

### 2. 目的

実験1：暗順応の時間経過による距離の変化に、光源の色は何らかの関係があるか調べる。

実験2：実験1の結果に再現性があるか確かめる。

実験3：周囲の明るさが変わったとき、実験結果にどのような変化があるか調べる。

### 3. 実験方法

[場所] 1：山梨県羽村自然休暇村体育館

2, 3：前橋女子高等学校第一体育館

[日時] 1：2015年1月11日 22:00～23:00

2, 3：2015年12月24日 19:00～22:00

[方法]

実験1, 2は体育館の暗幕を閉め、真っ暗な環境にする。実験3は暗幕を開け、1, 2に比べ明るい環境にする。

- (1) 被験者は十分に明順応した後（図1-1）暗室に出て、設置してある点光源が見える地点まで移動する（図1-2）。
- (2) 光が見えることを確認しながら光源から遠ざかる（図1-3）。
- (3) 暗室に出てからの時間経過と光源からの距離を記録する。
- (4) 以上(1)～(3)を、光源の色は赤・青の2色、または赤・緑・青の3色でそれぞれ繰り返す。

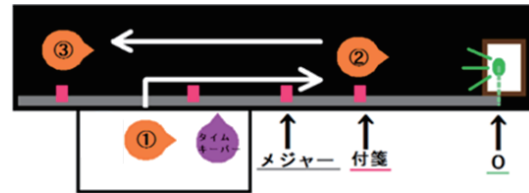


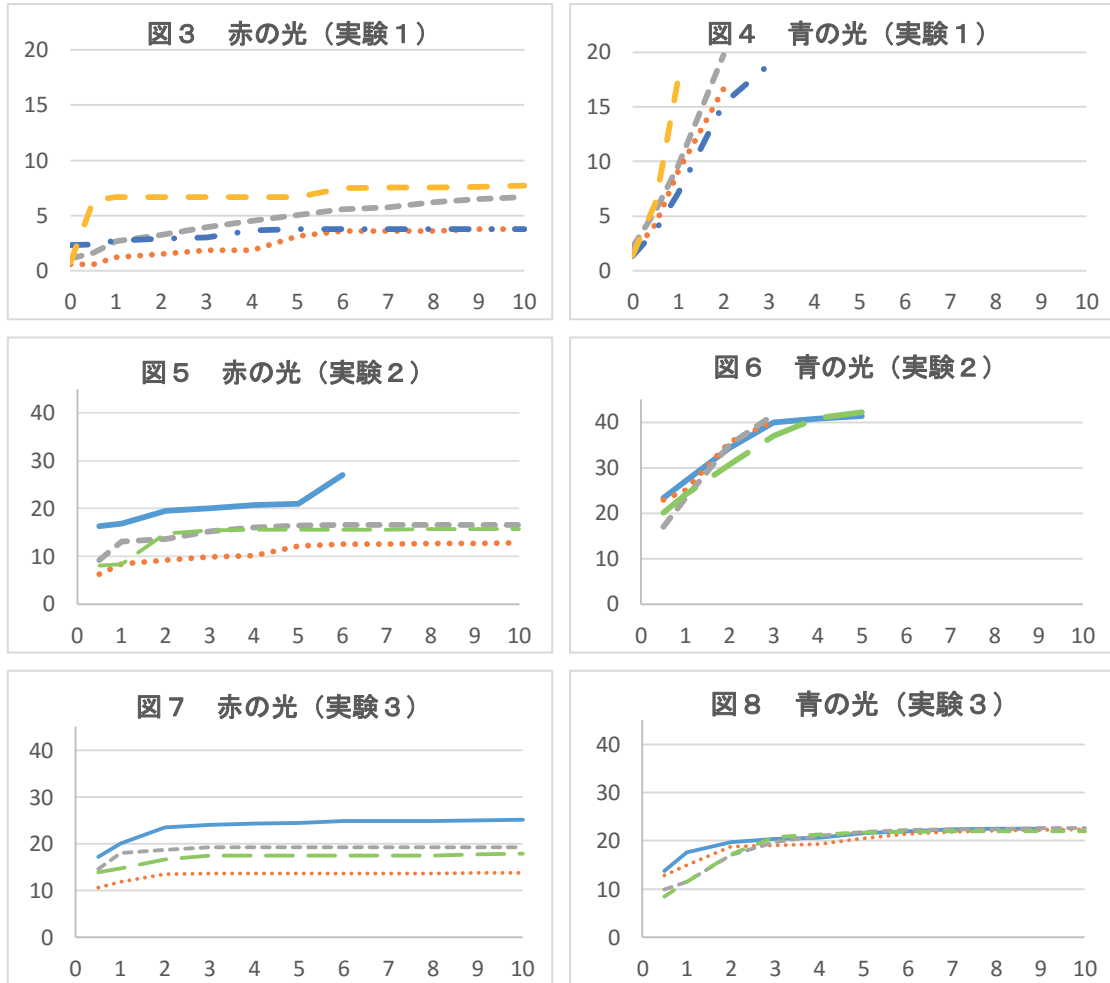
図1



図2 実験の様子

#### 4. 結果・考察

横軸：時間[分] 縦軸：距離[m] 実験1の緑の光の結果は省略



#### 5. 考察

実験1の結果（図3,4）から、明るい環境から暗い環境に移動したときに、どちらも暗順応することに違いはないが、色によって感度の上がり方が異なる。赤の光よりも青の光の方が、より遠くから見えるようになった。実験2の結果（図5,6）からは再現性が確認できたが、周囲を少し明るくした実験3の結果からは色による違いが確認できなかった。

#### 6. まとめ・展望

赤色と青色では見えやすさに大きな違いがあり、体感した私たち自身、大変驚いている。暗順応するにしたがってどれほど光が見えるようになるかは、その光の色の波長に関係があり、短波長の光ほど見えやすくなると考えられる。これは、中心となって働く目の細胞が、錐体細胞から桿体細胞に移行したことによると私たちは考えている。

夜空の星にも色がある。もしかしたら、本当に暗い場所に行くと、温度の高い青色の星はより明るく感じやすいということがあるかもしれない。



太陽光のスペクトルを用いた大気汚染物質の観測

【福岡県立小倉高等学校科学部SS天文研究会】

村口 瑠望、 榎谷 若菜 (高2)、 村井 美音、 大島 理桜 (高1)

1、はじめに

大気汚染物質によって空が濁って見える現象は恒星の色にも影響を及ぼす。よって天体の写真を使用するには、大気汚染物質の飛散量に応じて、天体の色を補正しなくてはならない。そこで、飛散量に応じた、天体の色の補正基準が必要だと考え、太陽のスペクトルを使用し、補正基準を求めた。これにより大気汚染物質による濁りの度合いを求め空や恒星の画像の補正をするのが良いと考えた。

2、研究の目的

大気汚染物質の量と太陽光のスペクトルにおける関係性を求める。

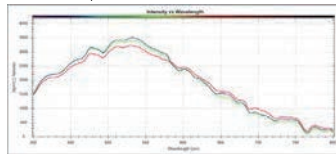
3、観測とデータ引用

スペクトル観測：スペクトロメーターSM  
 (測定範囲：400~800nm)  
 (校正済みスペクトル範囲：400~750nm)

大気汚染物質の値：北九州観測局より引用

4、観測と解析の手法

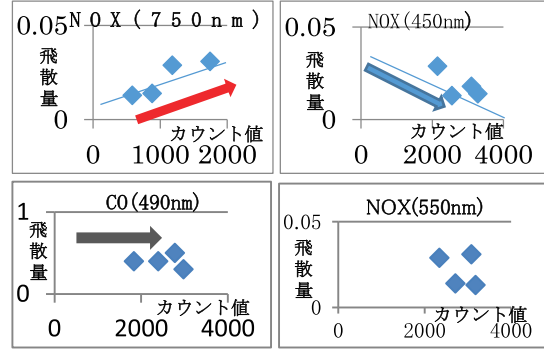
晴天の日、太陽高度が10度付近の時間帯に、太陽光のスペクトルを5日分観測し、グラフ化したスペクトル5日分を比較した。



これは5日のうち1日分のデータで、

縦軸がカウント値、横軸が波長となっている。450nm~800nmの波長で、50nmごとにカウント値を測定し、このカウント値と大気汚染物質の飛散量を用いて解析を行う。

5、解析



太陽のカウント値と大気汚染物質の飛散量を軸にとった分布図(上)を作成し、物質と50nmごとの波長で分類し相関を調べた。飛散量とカウント値がともに増加しているものを正の相関(左上)、飛散量の減少に伴いカウント値が増加するものを負の相関(右上)、飛散量に変化してもカウント値が一定なものを一定(左下)、相関が見られないものを相関なしとした(右下)。

物質	450nm	500nm	550nm	600nm	650nm	700nm	750nm	800nm
SO2	+	+	+	+	-	-	-	-
NOX	-	-	-	-	-	-	-	-
CO	x	x	-	x	-	-	x	-
OX	-	-	-	-	-	-	-	-
NMHC	-	-	-	-	-	-	+	+
CH4	-	-	-	-	-	-	-	-
THC	+	-	-	-	-	-	+	-
SPM	-	-	-	-	-	-	↓	↓

作成した分布図を大気汚染物質と50nmごとの波長で分類し相関を調査した。

(+は正の比例、-は負の比例、斜線は比例が見られない、xは光度に関わらず飛散量が一定であることを表す)

6、考察

相関の一覧表を基に、考察を行った。

1. 一覧表での左側、青の450nm~600nmの波長には、負の比例関係が多く見られる。

つまり、大気汚染物質が増えるにつれて、太陽の青の波長の光が散乱されやすくなり、青の波長が弱くなっている。

2. 一覧表の右側、赤の650nm~800nmでは正の比例が比較的多くみられる。つまり、大気汚染物質が増えるにつれて、太陽の赤の波長の光が散乱されにくくなり、赤の波長の光が強くなっている。

1、2より大気汚染物質の増加に伴い、青の450nm~600nmの光が弱まり、赤の650nm~800nmの光が強くなっていると考え。

また一覧表での、波長ごとの比例のしかたから、大気汚染物質は7つに分類される。

場合分け	400~600nm	650~800nm	該当物質	
1	正	負	SO2	
2	負	なし	CH4	
3	負	正	NMHC SPM	
4	なし	負	OX	
5	相関なし		CO	
6	負		NOX	
	450nm	550nm	750nm	
7	正	負	正	THC

物質の粒子による光の散乱の仕方はその物質の粒子の大きさに左右されるため分類が同じような物質は粒子が同じくらいの大きさであるとも考えられる。このことから考えると、分類が同じNMHCとSPMは同じくらいの粒子の大きさだと考えられる。

ここで私たちは、物質の粒子による光の散乱に着目した。散乱の仕方にはレイリー散乱、ミー散乱の二種類がある。

(レイリー散乱) 光の波長よりも小さい粒子が、太陽光のなかの青の波長の光を弾くことで起きる。青の400~600nmで物質の飛散量とカウント値に負の相関がみられる。

(ミー散乱) 光の波長よりも大きい粒子が、太陽光の全波長の光をほぼ同じ程度に弾くことで起きる。全波長で、物質の飛散量とカウント値に負の相関がみられる。

このことから、青色の波長で負の比例となるSPMとNMHCとCH4はレイリー散乱と考えられる。

物質	450nm	490nm	550nm	600nm	650nm	700nm	750nm	800nm
SPM	-	-	-	-	-	-	+	+
NMHC	-	-	-	-	-	-	+	+
CH4	-	-	-	-	-	-	-	-

※黄砂はSPMに含まれる

NOXはミー散乱と考えられ全波長を通して負の比例となる。

物質	450nm	490nm	550nm	600nm	650nm	700nm	750nm	800nm
NOX	-	-	-	-	-	-	-	-

結果、全大気汚染物質8種類のうちNMHC, SPM, CH4の三種類がレイリー散乱を引き起こす物質なので、大気汚染物質全体ではレイリー散乱の傾向が強くなる。すなわち、天体を観測する際、レイリー散乱の影響を受けにくい波長が長い赤色の光の用いるのが良いと考える。

#### 7、今後の課題

分布図には、観測されたカウント値をそのまま使用したがカウント値に影響する要因は大気汚染物質のみではないため大気汚染物質の影響だけを抽出して使用する必要がある。また考察で最初に示した表よりSO2で見られる正→負、THCで見られる正→負→正というような比例関係はレイリー散乱やミー散乱の仕組みでは説明できない。この比例関係には散乱以外に原因があると考えられる。

#### 8、今後の展望

各大気汚染物質の粒子の大きさ、濃度、吸収する波長などに注目し、物質が太陽の各波長に与える影響について求めていく。

#### 9、参考文献

大気汚染広域監視システム(そらまめ君)





## フーコーのハードディスクドライブ

ジュニアセッション予稿集編集部  
森川 遥光 (中3) 【練馬区立大泉中学校】

### 要 旨

コマは回りだしたらずっと一定の方向を向いている。ハードディスクドライブを自由に動くようにして地球の回転(自転)を計った。結果は一日あたり**142.6度**の回転となった。東京の緯度からの推測と比べてみた。

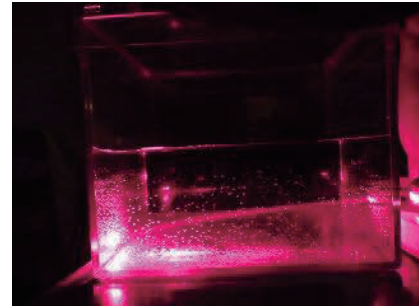
### 1. はじめに

ハードディスクドライブ(HDD)を修理するとき、電源を入れたまま手で持ってしまった。吹っ飛んでしまうような不思議な感覚だった。ディスクの中で高速回転している円盤の力で強力なコマになっている。コマは回りだしたらずっと一定の方向を向いている。そこで、もし、自由に動くようにすれば、地球の自転を反映した動きをするはず。このことを利用すれば、地球の自転速度がわかるかもしれないことを思いついた。

HDDを吊り下げ自由に回るようにして、レーザー光をHDDに向け反射させた。この反射光を5m先の白い紙に映して動きを測定した。前回の実験で用いたターンテーブルを再度利用したり、HDDをひもや糸で天井から吊るした。

### 2. ハードディスクドライブ、レーザー光とは

HDD(ハードディスクドライブ)とは、中で金属の円盤が高速回転しているパソコンのデータ記憶装置である。パソコンのパーツで、回転の精度がよい。このHDDを今回



の実験で使用する。レーザー光線は本当に直進するのだろうか、これを確認したい。そのために、レーザーを曲げてみる実験をする。結果、砂糖水などの中でなければどうしても曲がらなかったのが、「直進している」ということになるであろう。

### 3. 工夫1 自由に動くようにする

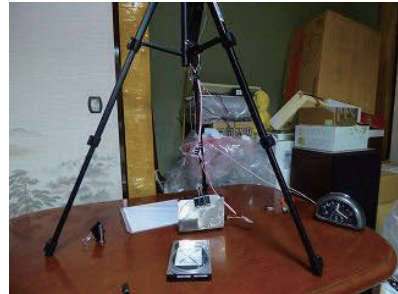
ターンテーブルとお風呂に浮かべた洗面器の上で動かす方法は、まったく自由に動かなか



った。三脚からつるす方法がベストだった。

←ターンテーブルで自由に回るように

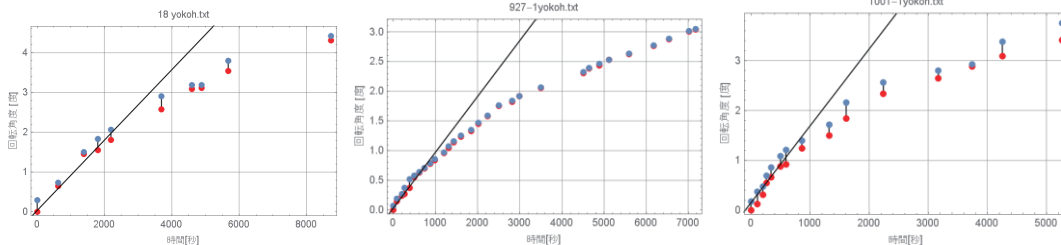
→三脚に釣り糸でつるしているHDD



#### 4. 工夫2 車輪効果避ける

回転していて、少しでも傾いていると、どんどん回ってしまう効果。つくばの博物館で、回転している車輪をもって回転いすに座って遊んでいるときに見つけた。だからこう名前を付けた。今回はHDDを垂直にしなければこのように回転してしまうと考えた。

#### 5. 工夫3 ケーブルを一本にしておもりを重くした

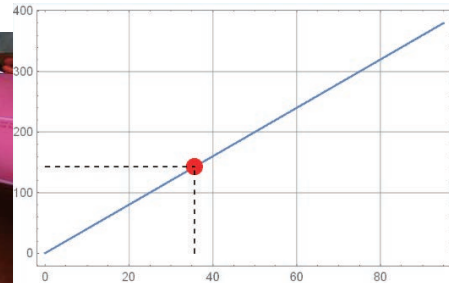
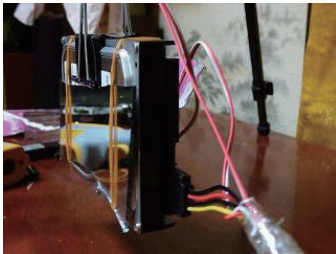


4000秒で3.5度 1日75.6度

3000秒で2.8度 1日80度

2000秒で3.3度 1日142.6度

ケーブルを細くして（左）、HDDを垂直にして（中）、さらにHDDを3つにしてさらに重く（右）した。糸のねじれ始めるまでのところで直線を引いた。



一日142.6度回転する！

#### 6. 自転を測ることはできたのか？

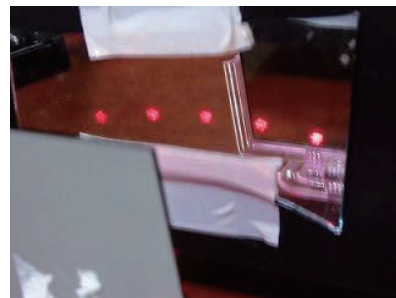
ここで、北極（北緯90度）では一日に360度の回転になると思われる。赤道では全く回らない。東京だとどうなのだろうか。90度と0度を直線で結んで、東京の緯度（北緯35度41分）の点を求めた、 $\frac{1}{90} \left( 35 + \frac{41}{60} \right) 360 = 142.7$  となった。これは、今回の実験から求められた、一日あたり142.6度とかなり近い！！地球の自転を測れているかも！？

#### 7. 結論と考察

##### 【結論】

最終的にHDDの面が24時間で142.6度回転することを見つけた。東京の緯度を考えると地球の自転とほぼあっている。おそらく今回の実験で地球の自転を測ることができたと思う。

【今後の課題】2枚の鏡を向かい合わせると、高精度でデータを得られるかもしれない。レーザー光線は、ハードディスクに張り付けた鏡（向こう側）と固定した鏡（裏面が見えている。手間側）の間を何回か往復してから、スクリーンに向かう。張り付けたほうの鏡に当たるたびに、ディスクの回転角度の2倍だけ、方向がどんどん変わっていく。



【不確かなこと】北極と赤道の回転角を直線で結んでしまったこと。



## インターネット望遠鏡を利用した月までの距離・月の2周期の算出

国立名古屋大学教育学部附属中学校 相対論・宇宙論プロジェクト

亀井 温那、田平 椎以奈、伊藤 佑里香、吉村 望（中2）

### 1 はじめに

本研究では、インターネット望遠鏡を使い、継続的に画角が一定の月の画像を得た。ニューヨーク市と横須賀市から月を同時観測することにより、地球の中心から月までの距離を求めた。また、月の視直径と満ち欠けの度合いを数値化することにより、月の近点月と朔望月を求めた。

### 2 地球の中心から月までの距離を求める方法

2つの観測地点(本研究では、ニューヨーク市と横須賀市)による天体の見える方角の違いを視差という。同時観測の保存画面に表示されている赤道座標系を角度の単位[rad]に変換することで同時観測での月の視差を計算する。赤道座標系は天球上の天体の位置を角度で表すが、ある半径の天球を考えることにより天球上の直角三角形の三平方の定理を適用する。

$$\delta = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$$

ここで、 $\delta$ は月の視差、 $\alpha$ は赤緯方向の視差、 $\beta$ は赤経方向の視差である。視差は月から地球を見た時の2つの観測地点が見える方向の角度の差と等しくなる。このことから、図1の二等辺三角形を考えることにより、地球の中心から月までの距離を求めることができる。この図1で、 $l$ は観測地点の地球を貫通した直線距離、 $s$ は地球の中心から $l$ におろした垂線の長さ、 $r$ は月の中心から $l$ におろした垂線の長さである。 $\delta \ll 1$ を用いると、

$$r = \frac{l}{\delta}$$

となる。

### 3 2周期算出の理論

本研究では、近点月と朔望月の2周期を計算する。近点月を求めるには、月の視直径の変化を考える。画角が一定の月の画像をKeynoteを用いて、月の視直径を測り、PC上に保存する。朔望月を求めるには、月の満ち欠けの進度を数値化するため、輝面比を考える。月の輝いて見える部分の面積は、明暗境界線がほぼ大円と考えられるため、斜めから見た明暗境界線は楕円に見えることを利用し、半円の面積と楕円の半分の面積の和や差で求める。地球と月と太陽が成す角（位相角とする）を $\theta$ とすると

$$q = p \cos \theta$$

と書くことができる（図2）。

楕円の面積の公式を用いて、

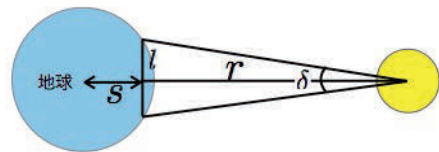


図1 「視差と観測地点の関係」



$$S_1 = \frac{1}{2} \pi p^2 \cos \theta$$

これより、

$$\text{輝面比} = \frac{1}{2} (1 \pm \cos \theta)$$

となる。

また、三日月のように輝面比が 0.5 を下回る場合には土がマイナスに、輝面比が 0.5 を上回る場合には土がプラスになる。

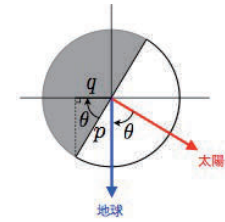


図2 「月を上から見た図」

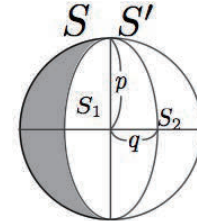


図3 「輝面比の考え方」

#### 4 結果・解析

2015年11月24日17時04分のデータから月までの距離を求めると、384900[km]となった。理科年表の値は約384400[km]だったので、かなり良い精度で月までの距離を求められた。

2015年7月29日から2016年1月6日にニューヨーク市で観測した月の視直径・輝面比の変化の様子をそれぞれグラフにした(図4、図5)

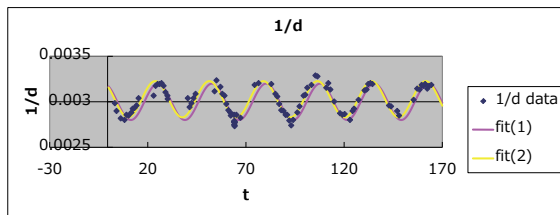


図4 「月の見かけの大きさの変化」

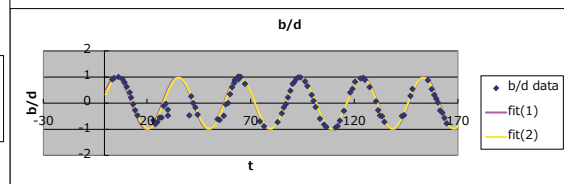


図5 「輝面比の変化」

これらの点の傾向を表す正弦曲線を最小2乗法で求めると、近点月は27.6日、朔望月は29.7日と算出できた。理科年表の値は、近点月は27.6日、朔望月は29.5日だったので、かなり良い精度で2周期を求められた。また、月の公転軌道の離心率 $\epsilon$ を計算すると $\epsilon = 0.0667$ となり、理科年表の値0.0549に比べて大きかった。

満月の時の視直径や、月が輝いている部分を目視では決定することができなかつたため、離心率では良い値が得られなかつたと考える。近点月と朔望月が約2日ずれているのは、月が地球の周りを一周する間に地球が太陽の周りを約 $30^\circ$ 公転するため、月と太陽の位置関係が変化しているからであると考えた。

#### 5 謝辞

本研究を進めるにあたり、解析方法などをご指導くださった慶應義塾大学名誉教授の表實先生に厚く御礼申し上げます。

#### 6 参考文献

[1] 理科年表 2015 地学「月」

## はやぶさ2の受信電波から感じるスイングバイ

和歌山信愛高等学校

西川 紗布、西村 舞（高2）、北村 美優、中口 朋美（高1）

### 要 旨

和歌山大学が受信した、はやぶさ2が発した電波のドップラー効果の解析を行った。観測周波数は送信周波数より全体的に大きかったが、時間によってドップラー効果の程度が大小に変化することが確認された。この変化から、和歌山局からはやぶさ2が観測可能な時間帯においては、はやぶさ2と地球中心の相対距離は近づき続けたが、自転の影響により、はやぶさ2と地表の和歌山局との相対距離の変化量が一定ではなかったと考えられる。また観測データが不連続にジャンプする事象を発見した。

### 1. はじめに（研究のきっかけ）

2015年12月3日、小天体「りゅうぐう」を目指すはやぶさ2のスイングバイが地球近傍で実施された。和歌山大学には全国的にも珍しいXバンドから衛星や探査機の追尾が可能な電波受信設備があり、これを用いて観測したはやぶさ2の電波の解析を本学で実施してみないかとの提案があった。この課題に興味を持ち、4人で研究を始めた。

### 2. 観測方法

和歌山大学が保有する12mアンテナを用いて、はやぶさ2の発信するXバンドの電波を受信し、スペクトラムアナライザーを用いて受信電波付近の周波数を観測した。はやぶさ2が発信していると思われる電波の周波数変化により、スイングバイによる和歌山大学局との相対速度の変化に伴うドップラーシフト量を計測した。

### 3. 観測データの傾向

ドップラーシフト後の周波数帯域付近を観測し、見つかったピークを中心に観測を行った。しかし、はやぶさ2が地球に近づくにつれ、更に大きなピークが観測されはじめた。このことから、最初に観測したのはサブキャリアであり、後から出現したピークがメインキャリアであったと考えられる。観測開始後、14時22分にサブキャリアが見え始めた。15時38分～17時40分に周波数が大きくなる方向にサブキャリアがシフトした。18時40分～19時02分まではサブキャリア、メインキャリア(18時55分出現)のピークが共に、周波数の小さくなる方向にシフトし、19時03分にはピークが消失した。

### 4. 分析結果1、ドップラーシフトの方向

和歌山大学での観測は、地球に最接近した19時08分より前の19時04分頃までであるため、地球とはやぶさ2との相対距離は近づいており、はやぶさ2のドップラーシフトは波長が短くなる傾向にあると考えられる。しかし実際に観測データを見ると、サブキャリアのピークは、18時29分を境に周波数が大きくなる方向から小さくなる方向に変化していた。これは地球の自転により、和歌山局とはやぶさ2の相対速度が大きくなる方向から小さくなる方向に切り替わったためではないかとられる（図1）

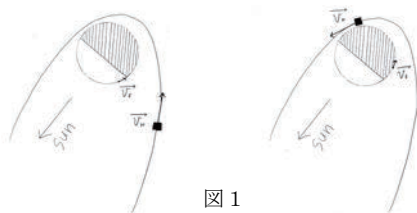


図1

左図でははやぶさ2の相対速度と和歌山局の自転の速度ベクトルがほぼ同じ向きを向いている。対して右図では、互いに打ち消す向きを向いている。

## 5. 分析結果2、ドップラー効果からわかること

電磁波のドップラーシフト量は数式(①)で表される。そこから、はやぶさ2と和歌山大学局の相対速度を求めることが出来る。

$$\text{ドップラーシフトの式} \quad f' = f \sqrt{\frac{1 - \frac{v^2}{c^2}}{1 - \frac{v \cos \theta}{c}}} \cdots \cdots \text{①}$$

一例を挙げると、19時02分におけるメインキャリアの周波数のドップラーシフト量( $f' - f$ )は0.235MHzであったので相対速度は16.7km/sであることが分かった。

## 6. 分析結果3 周波数のジャンプ

観測データを詳細に調べると、19時00分頃に周波数がジャンプするように切り替わっていることがわかった。このとき、はやぶさ2が発している電波に関わると思われるサブキャリアも併せて、一斉にジャンプをしている。はやぶさ2は地球接近時にローゲインアンテナを利用していたと言われていたが、地球の向きに応じて、これらのアンテナを切り替えて利用したのではないかと考えられる。はやぶさ2公式twitterによると18時07分頃にローゲインアンテナを切り替えたとの書き込みがあるが、我々が観測したジャンプとは時間が合わない。はやぶさ2のローゲインアンテナの向きを考えたとき、切替えが2回行われたとは考えにくいため(図2)、実際の切替えは18時07分ではなく19時00分頃に行われた可能性があると考えられる。

## 7. まとめ・今後の課題

今回、我々は和歌山大学の受信設備を用いて、はやぶさ2が発している電波のドップラー効果を解析した。データからはやぶさ2と和歌山大学局との相対速度が変化したことにより、ドップラーシフトしていることがわかった。今後は電磁波でドップラーシフトが起こる理由を、原理より深く考えていきたい。またより詳細にデータを精査し、更なる分析を実施したい。

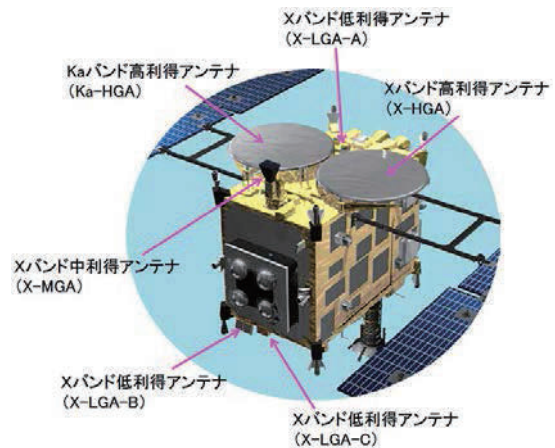


図2

## 8. 謝辞

本研究を行うにあたり、指導してくださった和歌山大学の秋山演亮先生・富田晃彦先生・尾久土正己先生・京都府立大博士課程の井上真求様、観測をしてくださった和歌山大学の佐藤奈穂子様、森田克己様、また、和歌山信愛高等学校で指導してくださった佐藤佳子先生、吉田晋先生にお世話になりました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 参考

- 1) 図2の出典 <http://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/instruments.html>
- 2) はやぶさ2 twitter [https://twitter.com/haya2\\_jaxa?lang=ja](https://twitter.com/haya2_jaxa?lang=ja)

# ぼくの太陽観測 2014～2015

## －方位と高度を観測して太陽の動き方を調べる－

小林 諒（小6）【上越市立直江津南小学校】

### 1 目的

ぼくはたくさんの不思議がつまっている宇宙が好きで、いつか宇宙を研究してみたいと思っていた。そこで身近で重要な星、太陽について観測してみようと思いついた。

大昔の研究者達が、太陽を観測してたくさんのことを発見したように、ぼくも太陽の動きを観測し、知らないことを発見できたらいいな、と思いこの研究を行った。

### 2 調べたいこと

- (1) 各月ごとの太陽の一日の動き方・・・夏は昼間の時間が長いのに冬はとても短い
- (2) 太陽観測から分かる真の北の方向・・・方位磁石の北と北極星の方向が違う
- (3) 太陽との方位と高度・・・・・・・・・・夏は太陽が正午ころ高いが冬は低い

### 3 観測日および観測場所

太陽の観測をするのに一日中、太陽の影ができ太陽が当たり続けなければならない。しかし家の周りでは、なかなか探すことができなかった。そこでよく訪れていた「星のふるさと館」で観測することにした。

また太陽観測の方法を学ぶために、「星のふるさと館」の太陽観測の学習会に参加した。そこで観測した観測方法を用いて太陽の動きを調べることにした。

観測日は全部で9日行い、「星のふるさと館」に行けない冬は船見公園で行った。

観測日一覧      星のふるさと館    東経 138° 北緯 37°

	観測日	観測地点	備考
1	平成26年 8月 3日	星のふるさと館駐車場	
2	平成26年 9月23日	星のふるさと館駐車場	秋分の日
3	平成26年 9月28日	星のふるさと館駐車場	
4	平成26年11月24日	星のふるさと館駐車場	
5	平成26年12月28日	船見公園駐車場	平成26年の冬至12月22日より6日後
6	平成27年 3月28日	船見公園駐車場	春分の日より7日後
7	平成27年 5月25日	星のふるさと館駐車場	
8	平成27年 7月12日	星のふるさと館駐車場	平成27年夏至の6月22日より20日後
9	平成27年 8月 2日	星のふるさと館駐車場	

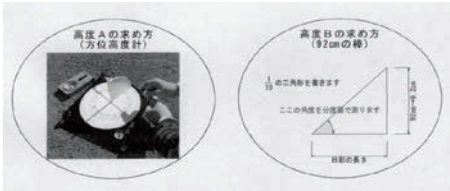
### 4 観測方法

- (1) 木の棒による方法      高さ 92cm の木の棒を垂直に立て影の長さや太陽高度を計測
- (2) 方位高度計による方法      「星のふるさと館」から測定器を借りて太陽の方位高度測定

- (3) 小型および大型プラスチック透明半球を使い、自分を中心としたときの太陽の一日の動きを調べる。
- (4) ノーモン（高さ 9.2cm）による方法 ノーモン用紙の先端の影を用紙に記録して太陽の動きを調べる。

## 5 観測結果

木の棒と方位高度計による観測結果

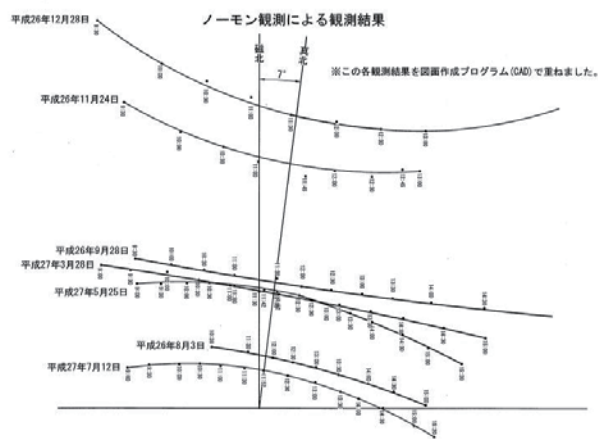
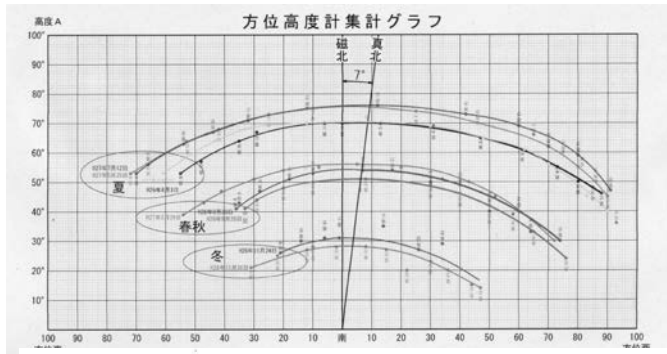


92cm の木の棒と方位高度計を使い太陽の日影でできる高度と方位を計測した。

2種類の方法でより正確な観測を行った。

## 6 まとめ

- (1) 磁石の北と真北が違う。  
方位磁石が指す北に北極星があると思っていたが違った。地球の軸の方向に北極星があるが、方位磁針が指す北とは違う。
- (2) 磁石の北ではなく真北を中心に太陽が動いている。
- (3) 上越市は太陽が最も高くなるのは 12 時ではない。12 時前に上越市では太陽が最も高くなる。上越市は東経  $138^\circ$  明石市は東経  $135^\circ$  で  $3^\circ$  東よりのためである。
- (4) 影による観測では、春分・秋分の日頃は、観測点を結ぶとまっすぐになり、夏至と冬至の頃では曲線になり弧の向きが反対になる。
- (5) 春夏秋冬季節によって太陽の高度や日の出、日の入りの方向が違うことを数字ではっきりさせることができた。
- (6) 大型プラスチック透明半球の観測から 30 分ごとに太陽が動いていく長さがほぼ一定であることから太陽は同じ速さで動いていることが分かる。
- (7) 小型プラスチック透明半球の観測結果を使って、太陽が一年間に動く道（黄道）を別の透明半球にかいて夏と冬の昼間の長さの違い等を理解するため自作の天球儀を作る。
- (8) 研究や観測はとてもおもしろかった。しかし失敗も多くあり、きちんと準備をして最後まで気をゆるめることなくしなければならないことを学んだ。



# 圭表による南中高度の観測から地球の公転軌道の離心率を求める

谷元 琴音 (中2) 竹村 典晃, 渡村 友哉, 市岡 里菜 (中3)  
 安慶名 琉, 中村 真慧, 荒川 愛莉, 小松 眞歩, 日下部 咲希 (中1) 【長野県塩尻市立丘中学校】

## 1. 概要

圭表<sup>\*1</sup><sup>\*2</sup>を使って2年間に観測してきた南中高度の値を、「地球が円軌道を描き、一定の速度で太陽の周りを公転している」と仮定したモデルの計算値と比較して、離心率を求めた。

## 2. 圭表の観測から気づいたこと

観測結果から南中高度の変化のグラフを手描きで作った時、冬至の前後で対称から少し外れていることに気づいた。そこで1年間の結果について冬至の日のところをグラフ用紙を折り返してみたところ、冬至をはさんで秋側と春側で値は小さいが明瞭な差があった(図1)ことから、対称からの外れの原因を探ることにした。

## 3. 南中高度の変化のモデルを作る

これまで南中高度の観測をして均時差の原因を調べる中で、地球は離心円を描いて公転しているのではないかと考え、均時差を説明するための離心率の値として0.031を得た<sup>\*1</sup>。それと同様に、次のようなモデルを考えた。

**モデル：「地球の公転軌道は離心円であり、公転速度は一定」**

これを表現するために、次の2つの式を考えた。

### (1) 冬至の日数から、太陽の赤道との離角 (a) を求める式

まず、離心率を考慮しない場合を考える。  
 春分からの日数を角度で表したものをbとすると、  
 図2より、天の北極と太陽の離角 a は、  

$$a = \cos^{-1}(\sin b * \cos(90^\circ + 23.44^\circ)) \dots [1]$$
  
 で求めることができる。南中高度 H は、  

$$H = 180^\circ - \text{観測値の緯度} - a$$
 で求められる。

### (2) 離心円の場合の、冬至から観測までの太陽を中心とした角

#### (b) を求める式

離心率を e  
 近日点からの日数を角度で表したものを  $\theta$   
 冬至から近日点通過日までの日数を角度で表したものを  $\theta_p$   
 として、次の式で求められる。  

$$b = 90^\circ - \tan^{-1}(\sin \theta / (\cos \theta - e)) - \tan^{-1}(\sin \theta_p / (\cos \theta_p - e))$$
  
 この値を式[1]に代入して、南中高度を計算する。

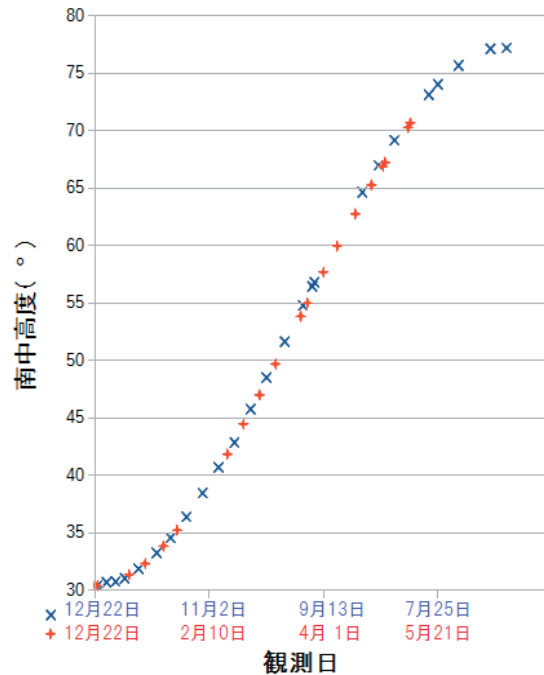


図1 太陽の南中高度の測定値を冬至で折り返すと

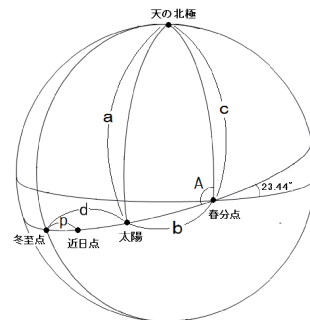


図2 天球と太陽の位置

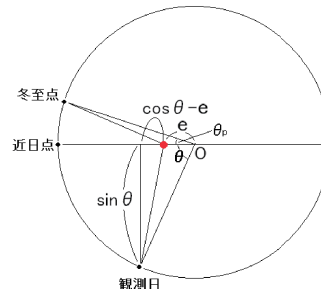


図3 軌道が離心円だと考えた場合



#### 4. モデルと観測結果の比較

様々な離心率を仮定して計算を行い、その結果を圭表によって得られた南中高度の観測値と比較した。計算における基準は2015年の冬至（12月22日）とした。

##### (1) 離心率( $e$ )=0（太陽が地球軌道の中心にある）場合との比較

曲線は、式(1)のみの結果。

$e=0.0000$  太陽が地球軌道の中心にある、とした場合である。観測結果は全体的に曲線から外れているだけでなく、その外れ方も冬至の前後で「非対称」になっている。

##### (2) 離心率を求める

均時差から求めた  $e=0.031$  という値<sup>\*1</sup>を出発点に、観測結果に最も近い離心率を、最小二乗法（反復法）で求めた。これまでの63回の観測から求めた値は  $e=0.0337$  である。等速円運動とした場合の離心率は、公転速度まで考慮に入れた場合（ケプラーの法則）の2倍と考えられる<sup>\*3</sup>ので、理科年表の値0.0167を2倍すると  $e=0.0334$  となる。圭表の観測から、これに近い値を得ることができた。

#### 5. 歴史的な観測や暦と離心率

元の授時暦(1281年)がつくられた頃は、近日点が冬至とほぼ一致していた。渋川春海は「冬至と近日点のずれ」も考慮に入れて精巧な暦（貞享暦, 1685年）を作った<sup>\*2</sup>。貞享暦から計算される離心率  $e=0.03546$  は、アルmagestや授時暦( $e=0.0413$ )などに比べ、理科年表の値（の2倍）にかなり近い<sup>\*3</sup>。渋川春海が用いた圭表の大きさは丘中学校科学部のものとほぼ同じであり、南中時刻の観測結果を3次関数にフィットさせて冬至の日を求めている。このことから渋川春海は、観測により冬至前後の「非対称」には気づいていた、と考えられる。以上から、私たちが見つけた「冬至の前後で対称ではない南中高度の観測結果」の原因は、「冬至と近日点のずれ(15日)」だったと結論してよさそうだ。

#### 6. 参考文献

- 1) 第17回ジュニアセッション「日周運動を利用して太陽の視直径の変化を調べる～小型望遠鏡と自作の圭表による観測～」，丘中学校科学部（2015）
- 2) 天文学史教材としての天体観測儀器3DCG復元「国産歴古観測機器」柳沢洋文 他（2011）
- 3) 『アルmagest』と授時暦，ザ・ランスのウェブサイト  
[http://www.asahi-net.or.jp/~jc1y-ishr/Almagest/Joukyoureki\\_NikkouEishuku.html](http://www.asahi-net.or.jp/~jc1y-ishr/Almagest/Joukyoureki_NikkouEishuku.html)

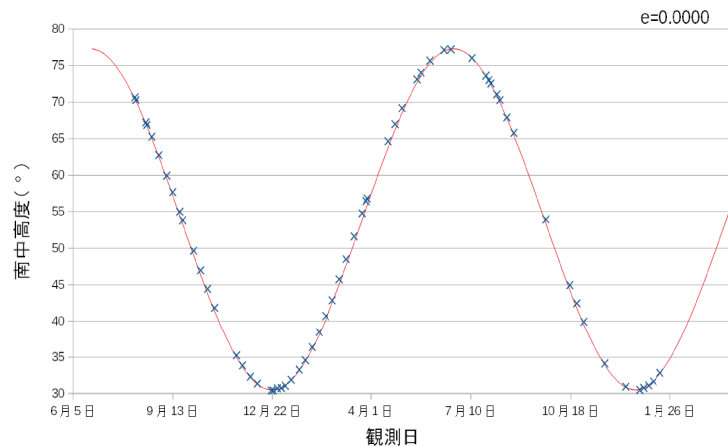


図4 太陽は地球軌道の中心にあるとした場合

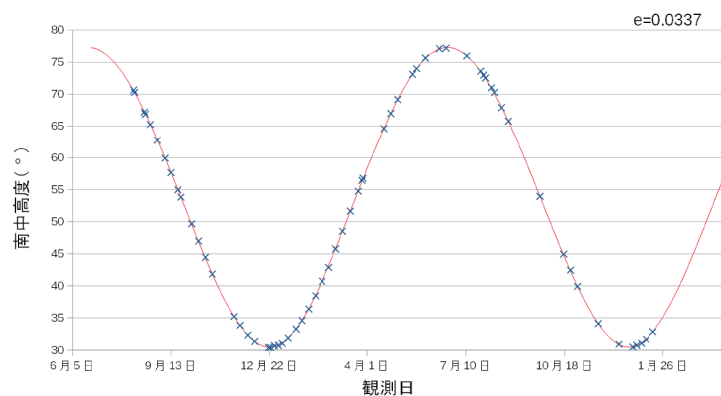


図5 計算値と観測値が最もよく合う離心率( $e=0.0337$ )



## ピンホールのつくる太陽像の位置から正確な子午線を求める

竹村 典晃, 渡村 友哉, 市岡 里菜 (中3) 谷元 琴音 (中2) 安慶名 琉, 中村 真慧,  
荒川 愛莉, 小松 眞歩, 日下部 咲希 (中1) 【長野県塩尻市立丘中学校】

### 1. 概要

これまで2年間、ピンホールのつくる太陽像の位置の観測から、均時差の起こる原因について探る活動をしてきた。その中で考えたモデルを検証するためには、より高い精度の観測値と比較する必要がある。そこで、南中高度の観測から得た太陽の天の赤道からの離角を元に、任意の時刻における太陽像の水平盤上の位置を求める式を考えた。式から得られる計算値と5分ごとに観測した太陽像の位置とを比較することで、校舎と子午線のなす角を求めた。ここでは、式の導出と、これまでの観測結果について述べる。

### 2. 任意の日時の太陽高度と方位を計算で求める

観測地(丘中学校)の地形図上の位置は、東経 137.97° 北緯 36.15° である。これより水平面と赤道のなす角は 53.85° である。これらの値については、以下の式に数値として表記する。また、以下は説明を簡単にするために、日本標準時子午線上にあるとしたときの式であり、均時差については考慮していない。実際の観測値との比較ではそれらを考慮した値を用いた。

#### (1) 春分・秋分の日について

以下、太陽高度を  $a$  (°), 方位角を  $b$  (°), 朝6時から  
の時間を  $t$  (時間) とする。

図1の天球で円  $\overline{H_6H_{18}}$  は春分・秋分の日  
の太陽の1日の動きである。太陽が6時から、 $A$  の位置まで移動すると、太陽の位置角  $T$  (°) は地球が1時間で15°自転するので  $T=15t$  となる。

図2は図1を天の北極から見た図である。弧  $H_{18}DH_6$  ( $D$  は図1で、 $H_{12}$  から地平面に下した垂線と地平面の交点) は楕円(の半分)だから、 $H_{12}O : DO = AC : BC, AC = \sin T, DO = \cos(\text{南中高度})$  となり、 $1 : \cos 53.85^\circ = \sin T : BC$  より  $BC = \cos 53.85^\circ \cdot \sin T$  となる。

図1において、 $\triangle ABC$  で  $AB = \sin a, AC = \sin T$   
三平方の定理より  $AB^2 = AC^2 - BC^2$

$$\begin{aligned} \sin^2 a &= \sin^2 T - (\cos 53.85^\circ \cdot \sin T)^2 \\ a &= \sin^{-1}(\sqrt{\sin^2 T - \cos^2 53.85^\circ \cdot \sin^2 T}) \\ a &= \sin^{-1}(\sin T \cdot \sin 53.85^\circ) \text{ となる。} \end{aligned}$$

更に、 $\triangle ACO$  と  $\triangle BCO$  で共通なので、

$$\begin{aligned} \cos T &= \cos a \cdot \cos b \text{ より、} \\ b &= \cos^{-1}(\cos T / \cos a) \text{ となる。} \end{aligned}$$

以上より、

$$\begin{aligned} \text{太陽高度} &= \sin^{-1}(\sin T \cdot \sin 53.85^\circ) \\ \text{方位角} &= \cos^{-1}(\cos T / \cos(\text{太陽高度})) \end{aligned}$$

として求められる。

#### (2) 春分・秋分以外の日について

太陽の経路は図3のように半径が  $\cos \theta$  ( $\theta$  は天の赤道からの離角) の円になる。図1から点  $A$  の  $x, y, z$  座標を求め、 $y$  軸方向に  $\sin \theta \cdot \cos 36.15^\circ$ ,  $z$  軸方向に  $\sin \theta \sin 36.15^\circ$  だけ平行移動すると、図3における点  $A'$  の座標が決まる。その座標から太陽高度と方位角を求める。以下に計算式を示す。

天球の半径は  $\cos \theta$  なので、点  $A$  の座標は図4より、

$$X_A = CO = \cos \theta \cdot \cos a' \cdot \cos b'$$

( $a', b'$  は同時刻の春分・秋分の日  
の太陽高度、方位角)

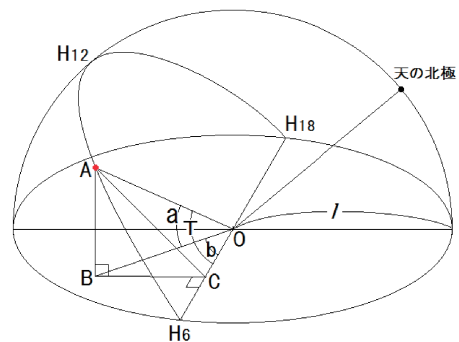


図1 春分・秋分の太陽の動き

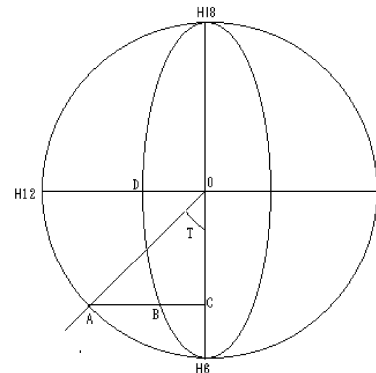


図2 天の北極方向から見たところ

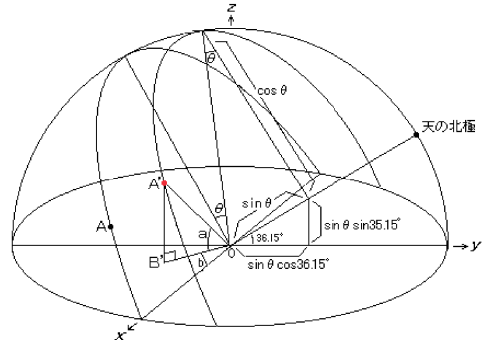


図3 春・秋分以外の場合

また、 $y_A = BC$  より  $y_A = \cos \theta \cdot \cos a' \cdot \sin b'$

$$z_A = AB = \cos \theta \cdot \sin a'$$

点 A' は点 A を平行移動したのだから、

$$x_{A'} = x_A$$

$$y_{A'} = y_A + \sin \theta \cdot \cos 36.15^\circ$$

$$z_{A'} = z_A + \sin \theta \cdot \sin 36.15^\circ$$

三平方の定理より、 $B'O = \sqrt{x_{A'}^2 + y_{A'}^2}$

$$\cos b = CO / B'O = x_{A'} / \sqrt{x_{A'}^2 + y_{A'}^2} \text{ より、}$$

$$b = \cos^{-1}(x_{A'} / \sqrt{x_{A'}^2 + y_{A'}^2})$$

さらに、 $\tan a = A'B' / B'O$  より、 $a = \tan^{-1}(z_{A'} / \sqrt{x_{A'}^2 + y_{A'}^2})$

以上より、

$$x_{A'} = \cos \theta \cdot \cos a' \cdot \cos b'$$

$$y_{A'} = \cos \theta \cdot \cos a' \cdot \sin b' + \sin \theta \cdot \cos 36.15^\circ$$

$$z_{A'} = \cos \theta \cdot \sin a' + \sin \theta \cdot \cos 36.15^\circ$$

$$\text{太陽高度} = \tan^{-1}(z_{A'} / \sqrt{x_{A'}^2 + y_{A'}^2})$$

$$\text{方位角} = \cos^{-1}(x_{A'} / \sqrt{x_{A'}^2 + y_{A'}^2})$$

(3) 太陽高度と方位角から記録面にできる太陽像の x,y 座標を求める

図5は記録面にできる太陽像(赤点)を示したもので、方位角 b は図のようになる。原点から太陽像までの距離 r は、三平方の定理より

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \dots [1] \text{ また、 } y = |x| \cdot \tan b \text{ となる。} \dots [2]$$

図6は観測装置を横から見た図である。ノーモンの高さを h とすると、 $r = h / \tan a$  となる。

$$[1], [2] \text{ より、 } h / \tan a = \sqrt{x^2 + x^2 \cdot \tan^2 b}$$

$$x^2 = (h^2 / \tan^2 a) / (1 + \tan^2 a) = h^2 / (\tan^2 a + \tan^2 a + \tan^2 b)$$

$$x = \pm \sqrt{h^2 / (\tan^2 a + \tan^2 a + \tan^2 b)}$$

ここで、 $b < 90^\circ$  のとき  $x < 0$ 、 $b > 90^\circ$  のとき  $x > 0$  なので、方位角が  $90^\circ$  (北から  $180^\circ$ ) 以下なら負の解、 $90^\circ$  以上なら正の解となる。

以上より、太陽像の座標は、次の式で求めることができる。

$$x = \pm \sqrt{h^2 / (\tan^2 a + \tan^2 a + \tan^2 b)}, \quad y = |x| \cdot \tan b \dots [3]$$

3. 観測との比較から子午線を求める

図6のような、60cmの高さのピンホールを持つ観測装置を作製した。装置を理科室前ベランダの壁の定位置に密着させ、5分ごとあるいは2.5分ごとに水平面上にできた太陽像の輪郭をなぞるようにして記録した。長方形の水平盤の校舎に沿った方向を x、それと垂直な方向を y として、太陽像の中心位置の座標を読み取った。比較は、上記の計算式に時刻として日本標準時子午線に対する補正を加えた値を代入し、観測値と式[3]で求められる値の差の2乗の合計が最小となるような均時差と校舎と垂直な方向に対する子午線の傾きの組み合わせを求めた(図7)。現在までのところ、表1に示すような結果を得ており、これまでにコンパスを使った作図で求めた値とよく合う結果となっている。

4. まとめと今後の課題

冬至には太陽像はピンホールの真下から約120cm離れた位置にでき、南中時刻付近で10秒間に1mmほど移動する。求めた子午線に0.1°の誤差があると、南中時刻として約20秒の誤差となって現れることになる。これからより多くの観測を行い、子午線を精度よく求めていきたい。なお、現在は天の赤道からの離角を一日の間で一定として扱っているが、一日の中の変化も考慮した式を作り比較していきたい。

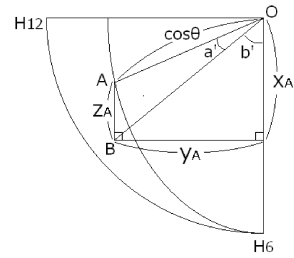


図4 図1の拡大図

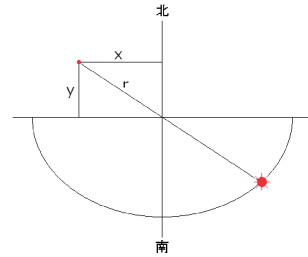


図5 太陽と太陽像

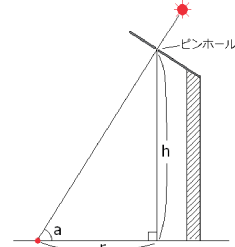


図6 装置と太陽像の位置

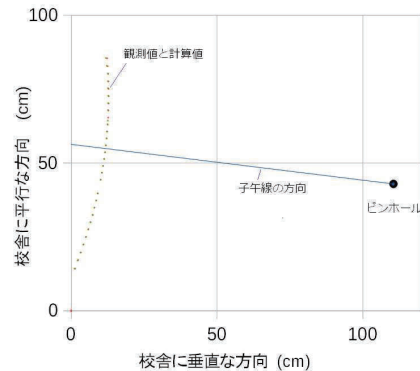


図7 2016年1月4日の観測と解析

表1 観測結果

観測日	子午線の方向(°)	観測の個数
2015年 5月30日	-6.91	91
2015年 6月20日	-6.33	46
2015年 7月11日	-7.15	86
2015年 7月25日	-6.52	92
2015年 9月23日	-6.87	68
2015年 12月30日	-6.86	21
2016年 1月4日	-6.91	28
2015年 1月16日	-6.96	28

## 2012年5月の金環日食観測を記念する日時計とその活用

大和 花雪, 堀内 千佳, 市岡 里菜, 坂本 優梨亜, 高橋 恵美 (中3)  
谷元 琴音 (中2), 荒川 愛莉, 小松 眞歩, 日下部 咲希 (中1)

【長野県塩尻市立丘中学校】

### 1. 概要

全校生徒による限界線観測の成功を記念する日時計を制作した<sup>\*2</sup>。設置からこれまでの1年間、日時計を活用して校内や周辺地域の方々に日食観測やそれに続く均時差の観測や研究の成果を伝える活動をしてきた。ここでは活動の様子とその成果について発表する。

### 2. 設置した日時計について

2012年5月21日に起きた金環日食では、500人の生徒が日食めがねを使って自宅付近で金環日食の観測をした。科学部ではその結果を解析し、予報限界線付近で見え方が大きく変化していることを見つけた。<sup>\*1</sup>この全校での取り組みの成果を、後輩や地域に伝えたいと考えて作った日時計である。形は、限界線付近で見られたベイリービーズの様子を表し、目盛は、科学部の太陽の動きの観測に基づいて設計された。直径54cmのステンレス製で、2015年1月18日に除幕が行われた。

日食観測を語り継ぐことが設置目的なので、毎年、金環日食の起きた5月21日7時34分頃になると、ノーモンの穴から太陽光が差し込み、太陽光がステンレス球に当たることによって輝くように設計した。

### 3. 金環日食の現象時刻を知らせる仕組み

2015年5月21日の朝、ビーズが光るかどうかを確かめる会を行った。部員だけでなく、校区内の住民の方や、塩尻星の会の方など、関心を持ってくださる方々にも来ていただいた。7時30分頃になると、ノーモンの影の中で、ビーズとしてデザインされた半球が光り輝き、設計が正しくなされたことが確認された。集まってくださった方々からの要望もあり、2016年からは「金環日食観測記念日」を設定しビーズの光を見る会を続けようと計画している。

### 4. 地域での観測を、地域で語り継ぐ

2015年6月7日に下諏訪町の「時の科学館儀象堂」に招かれ、時の記念日のイベントで研究発表会を行った。私たちがメインに行っている圭表や太陽の観測のことに加えて、丘中に設置されている日時計について、金環日食の観測からこれまでの歩みを発表した。聞いてくださった方のアンケートの中には、「特定の日だけ光る仕組みを持つ日時計にはびっくりしました。」という感想があるなど、丘中学校や科学部の様々な活動について関心を持ってもらうことができた。更に8月30日にも、丘中学校を会場に地域の方々を対象として発表会を開催した。こちらも多くの方々に来ていただき、発表を聞いていただくことができた。また、文化祭でも発表し、後輩に語り継いでいく活動を行った。



図1 金環日食観測時刻(5月21日7時34分)をビーズの球が光って知らせる仕組み(上)と、その確認の会(下)



図2 時の記念日 儀象堂での発表



## 5. 新しい日時計の設計

壁に取り付けるタイプの日時計に続いて、形式の異なる新たな日時計を作ろうと計画している。赤道環型で円筒形の文字盤に棒の影が映って時刻を表す日時計である。5月21日7時34分になると棒の先につけた小さな玉の影が文字盤に貼ってある日本地図の金環日食帯をなぞるように動くように設計した。紙製の試作品ができたので、今後、合板での制作をしていきたい。

また、作った日時計の模型を限界線上の各地に届ける活動も行っている。2015年3月24日には、明石市立天文科学館を訪れ、壁掛け型日時計の模型を届けた。

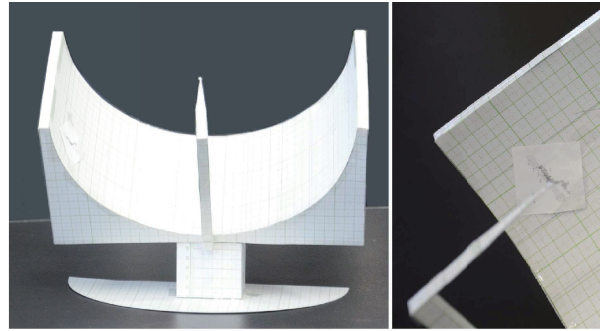


図3 赤道環型日時計

地図上を小球の影が2012年の金環日食の掩蔽帯の月の影と同じ大きさと速さで移動する。

## 6. 学校の周り自然の写真集「日・時・景」

日時計の写真や学校の周りの写真を撮り、理科室前の廊下の掲示板に掲示している。日時計の写真からは時刻が分かり、また、影の長さで季節も感じることができる。丘中学校の豊かな自然や季節の移り変わりなどを感じられる写真になるようにし、参観日の折などにも、たくさんの方々に見ていただいている。これからも撮影を続け、充実したコーナーにしていきたい。



図4 日時計と周りの自然

日時計を、植物や雲、月や星座などといっしょに撮影してきている。夏は左や中央の画像のように影が下に長く伸びる。冬は右のように影が短くなる。

## 7. まとめ

時の科学館、儀象堂などで発表したことにより、多くの方々に、日時計や私たちが取り組んでいる太陽の動きについて、金環日食の全校生徒による観測の成果など丘中学校ならではの活動を知って頂くことができた。発表を通して感じたのは、日頃当たり前のように利用している暦や時刻の仕組みや歴史について、私たちも含めて「知らないことが多い」ということである。日時計の仕組みや暦や時刻がどのように決められてきているのかなど詳しい内容などについても更に詳しく分かりやすく伝えていきたい。また、金環日食の観測を経験した先輩が卒業したことから、観測についてまとめた掲示物や印刷物、ビデオなどの資料を作成し、後輩たちに伝えていきたいと考えている。

## 8. 参考文献

- 1) 平井 他, 金環日食の限界線を探せ～丘中学校全校生徒の観測から, 第15回日本天文学会ジュニアセッション予稿集, 2013
- 2) 大和 他, 金環日食の観測を記念する日時計の制作, 第17回日本天文学会ジュニアセッション予稿集, 2015

## 静止画から人工天体の高度を求める

田振 直輝 (高2) 上田 華子 (高1)

【福岡県立小倉高等学校科学部 SS 天文研究会】

### はじめに

私たちは先輩方とともに学校で小惑星や変光星を観測、解析を行っていく中で撮影した静止画に多くの流れていく人工天体が写っていることに気付いた。そこで人工天体に着目し、静止画から人工天体の高度を求めることにした。この研究の1つ目の目的は私たちの手で観測を行い、撮影した静止画から人工天体の高度を求める手法を確立すること、2つ目の目的は確立した手法を用いて、人工天体の高度の分布を調べることである。

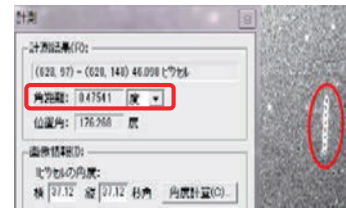
### 研究 1

#### (1) 観測

時間 日没後から 2 時間                      器具 冷却 CCD カメラ SIBG ST-402 ME  
 レンズ Canon EF 50mm(単焦点)              画角 7.8°×5.2°  
 カメラを天頂付近に向け固定し、露出を 3 秒で 4 秒おきに連続撮影した。

#### (2) 画像の解析

撮影した画像は約 2 万枚であったが、人工天体が写っていたのは 71 枚であった。写っていた静止画を天体画像処理ソフト『ステライメージ』で解析することで人工天体の角距離を測定した。



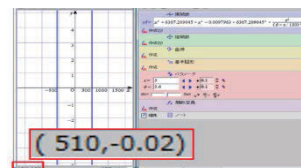
#### (3) 高度計算

高等学校で習う万有引力の法則、(2)で測定した人工天体の角距離を用いて、人工天体の高度を求める式を立てた。

立式の手順

1) 角距離と中心角の比の関係は	$\Delta\theta' : \Delta\theta = R + h : h \dots A$	<p>地球 観測地 人工天体の軌道</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>★ R : 地球の半径</li> <li>★ h : 高度</li> <li>★ θ : 角距離</li> <li>★ θ' : 測定した角距離</li> </ul>
2) 遠心力=万有引力より	$m(R+h)\omega^2 = \frac{GMm}{(R+h)^2}$	
式を整理して	$(R+h)^3 = \frac{GM}{\omega^2}$	
3) $g = \frac{GM}{R^2} (gR^2 = GM)$ $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ より	$(R+h)^3 = \frac{gR^2}{\Delta\theta^2} \times \Delta t^2$	
式を整理して	$(R+h)^3 = gR^2 \times \frac{(R+h)^2}{h^2 \times \Delta\theta^2} \times \Delta t^2$	
4) Aより $\Delta\theta = \frac{h}{R+h}$ を代入し	$h^2(R+h) = \frac{gR^2}{\Delta\theta'^2} \times \Delta t^2$	
式を整理して	$h^3 + Rh^2 - \frac{gR^2}{\Delta\theta'^2} \times \Delta t^2 = 0$	
	$h^3 + Rh^2 - gR^2 \frac{\Delta t^2}{\Delta\theta'^2} = 0$	

この三次方程式をグラフ作成ソフト『grapes』に入力し、θの部分に解析で得られた各距離を入力することによりグラフを描く。この時にこのグラフとX軸との交点のY座標が人工天体の高度 h となる。



## (4) 検証

観測した人工天体のいくつかは非常に明るく、heavens above のデータより名称を特定することができた。そして heavens above より軌道要素がわかるので、天頂付近での高度が求められる。この値を観測によって求めた高度と比較する。その中の COSMOS1707・COSMOS1763 を観測によって求めた高度と、Heavens above に記載されている軌道要素によって求めた高度を比較した。

〈比較した表〉

名称 \ 求めた値	観測によって求めた高度	軌道要素によって求めた高度	誤差
COSMOS1707	633km	630km	3km
COSMOS1763	843km	768km	75km

この結果より観測によって求めた高度と軌道要素によって求めた高度の誤差は約 10% 以内に収まったと考えられる。

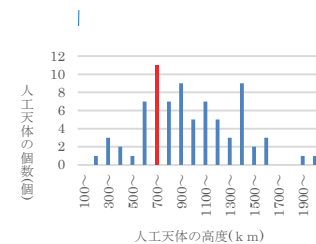
## 研究 2

## (1) 観測

研究 1 と同様に行う。

観測した人工天体の個数 58 個

〈観測によって求めた高度の分布図〉



## (2) 観測によって求めた高度の分布図の結果

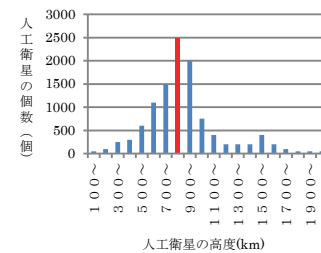
研究 1 の手法を用いて人工天体の高度を求め、分布図にまとめた。

## (3) 検証

観測によって求めた高度の分布図と論文の分布図を比較した。その結果、ピークに約 100 km のずれが生じた。

これは静止画に等級が明るく、高度が低い人工天体が多く写りやすいためピークが低くなったと考えられる。

〈論文の分布図〉



## 展望

観測の精度を上げ、より正確な高度を求めたい。また、より多くの人工天体を観測し、高度の分布図の精度を上げたい。

## 参考文献

Heavens above <http://www.heavens-above.com/>

高等学校理科教科書 総合物理 1 数研出版

スペースデブリ環境について 北澤幸人・花田俊也・柳沢俊忠・松本晴久

天体の位置計算 増補版 長沢工 地人書館

# 国際宇宙ステーションの見やすさの予測

小材 昌子、関口 舞、堀内 桃音、丸山 玲花（高1）【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

## 1. はじめに

地学部のみなどと放課後に ISS を見ていたとき、ISS の明るさが変化していくことに疑問を感じた。また、日によって明るさが異なることにも気づいた。そこでいつ ISS は明るいのかを知るために JAXA の ISS 予想サイトを見たところ、時間と方角、仰角は知ることができたが、明るさは知ることができなかった。また、観測の結果、仰角が大きいときには ISS は明るく見えるが、その他の条件も関係しているのではと思ったため、ISS の明るさについての研究することにした。もしも ISS の明るさを事前に予測できれば、明るい日を選んで見ることができ、より多くの人に ISS の観望を楽しんでもらえると思う。以前、地学部では、先輩方が ISS を連続的に撮影した写真から軌跡の長さや位置を求め、撮影した ISS の高度や速度を導くという研究を行っていた。それらを生かすこともできると思い研究を始めた。

## 2. 目的

ISS の明るさがどんな条件にどの程度影響されるかを調べることで、ISS の明るさを予測する。

## 3. 研究方法

### (1) ISS の撮影

- I. JAXA の Web サイトから、ISS の通過日時や位置、仰角を確認する。
- II. カメラ（Nikon D7000）を ISS が通過する向きに設置し、設定を行う。
- III. 通過時間に合わせて撮影する。

### (2) 写真の分析

- I. 撮影した写真の NEF ファイルを raw2fits にドラック&ドロップし、fits に変換する。
- II. 変換した fits 中の g.fits（緑色）をすばる画像処理ソフト「マカリ」で開き、ISS を開口測光する。
- III. バックグラウンド（SKY）の平均値、対象天体の輝度（Count）を用いてグラフを作成し、分析を行う。

### (3) 観測の詳細

観測日	時刻	撮影の成否	撮影枚数	露出時間	測光の成否
2015.12.07	17:31~17:36	○	102 枚	1/5 秒	○
2015.12.24	17:05~17:10	○	26 枚	6 秒	○
2015.12.27	17:37~17:41	撮影失敗		1/5 秒	
2016.1.04	5:39~5:45	撮影失敗		1/5 秒	
2016.1.20	記録無し	天候不良		1/5 秒	
2016.1.22	5:56~6:02	撮影失敗		1/5 秒	
2016.1.23	5:06~5:09	撮影失敗		1/5 秒	

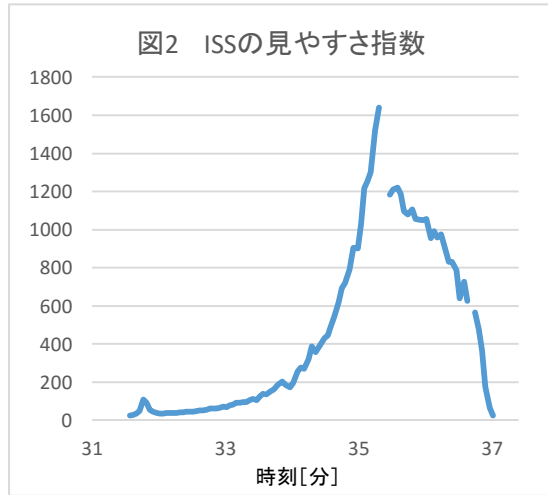
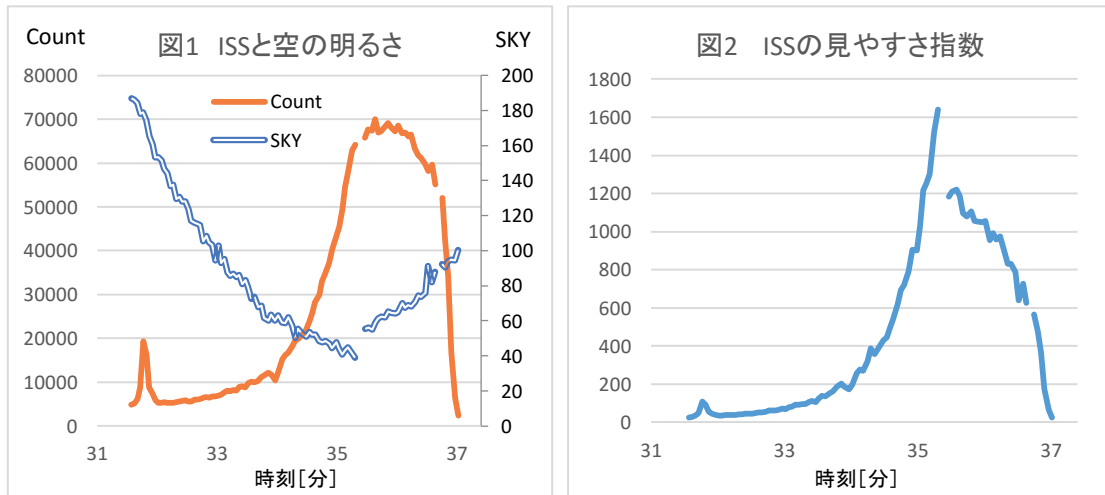


#### 4. 結果・考察

日時 … 12/7 17:31~17:36

場所 … 前橋女子高校 西側屋上

見え始め			最大仰角			見え終わり		
時刻	方位角	仰角	時刻	方位角	仰角	時刻	方位角	仰角
17:31:30	252° 西南西	10°	17:34:30	320° 北西	40°	17:36:30	25° 北北東	20°



ISS は明るいほど見やすく、逆に ISS 周辺の空は暗いほど見やすい。そこで、次のような計算を行い、見やすさ指数として定義してみた。

$$\text{見やすさ指数} = (\text{ISS の明るさ}) \div (\text{ISS 周辺の空の明るさ})$$

図 1, 2 より、仰角が大きくなるにつれて ISS は明るくなっている。しかし、最大仰角のときに一番明るいというわけではないことから、仰角の影響は多少あるが絶対的なものではないといえる。また、図 1, 2 から、ISS の見やすさは ISS の明るさの影響を大きく受けると考えられるので、ISS の明るさに影響しているのは何かを考えたところ、次の仮説があがった。

- (1) 観測地点からの直距離が近いほど、ISS は明るい。
- (2) ISS に反射した太陽光が観測地点に届きやすい位置関係（角度）にあると、ISS は明るい。
- (3) 太陽と ISS の距離が近いほど、ISS は明るい。

今後は暗室で ISS の模型と光源を使い、光源を太陽に見立て、太陽と ISS、観測地点の位置関係によって ISS の見え方がどう変化するか実験をし、仮説の検証を進めていくとともに、ISS の撮影を続け、更にデータを集めていく予定だ。

#### 参考文献

- ・「きぼう」を見よう - JAXA - 宇宙航空研究開発機構 WEB
- ・「ISS の観測と高度測定 第二報」日本天文学会 2012 年ジュニアセッション講演予稿集 134 - 135 頁
- ・「国際宇宙ステーションの観測と高度測定」日本天文学会 2013 年ジュニアセッション講演予稿集 18 - 19 頁

## 秋分と春分の昼間が長い理由を観測したい！

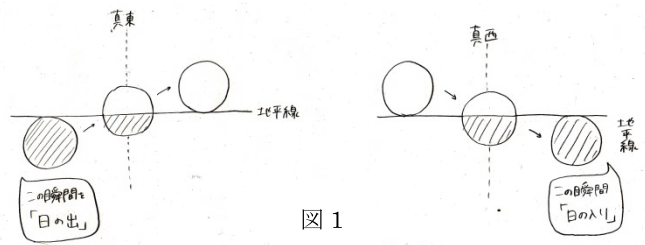
岡庭 佳泉、北爪 愛莉、長谷川 千紗（高1）

【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

### 1. はじめに

秋分の日と春分の日には昼間と夜の長さが同じであるとされているが、実際は昼間のほうが16分長いと言われている。その理由を調べてみると、二つの理由があることがわかった。

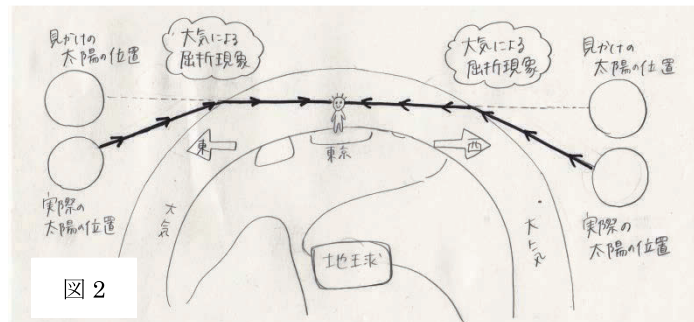
一つ目の理由は、日の出入りの定義によるものである。「日の出は太陽の上端が地平線に接した時刻、日の入りは、太陽の最後の縁が地平線に沈み完全に太陽が見えなくなった瞬間（図1）」と「太陽の中心が地平線に接する瞬間を日の出日の入りとする」という二つの定義があることが分かった。ここでは、日の出日の入りの定義を前者と解釈し、また、昼の定義を日の出から日の入りまでの時間とした。このように考えると、昼の長さ夜の長さより太陽一個分長くなるのが確実である。



二つ目の理由は、大気の中を進む光の屈折によるものである。地平線近くにある太陽からの光は大気中を通過するとき屈折してわたしたちの目に届いている。このため実際に太陽が回った距離よりも見かけ上、回っていないように見える。もし太陽が実際に沈んでいるとしても地球上では太陽はまだ見えている（図2）

可能性がある。

一つ目の理由は定義上の問題で実証することはできないので、私たちは二つ目の理由のみを実証することにした。



### 2. 観測

#### (1) 観測方法

①太陽観測フィルターを用いて一眼レフカメラで南中から日没まで撮影した。その際、露出時間を8000分の1とし、太陽を1分ごとに正確に撮影するために、カメラのインターバル機能を使用した。

②撮った写真を『すばる画像処理ソフト：マカリ』を使って太陽の中心座標を求め、『excel』を使って1分間にどのくらい太陽が動いているかを計算した。

#### (2) 仮説

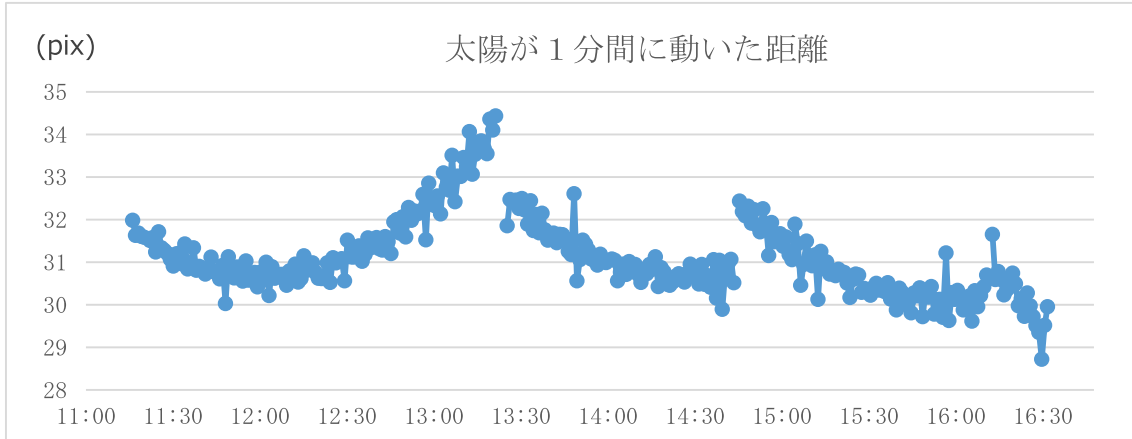
南中を過ぎてから日の入りに向かうにつれて太陽が1分間に進む距離は短くなり、グラフも右肩下がりになる。

### 3. 使用器具

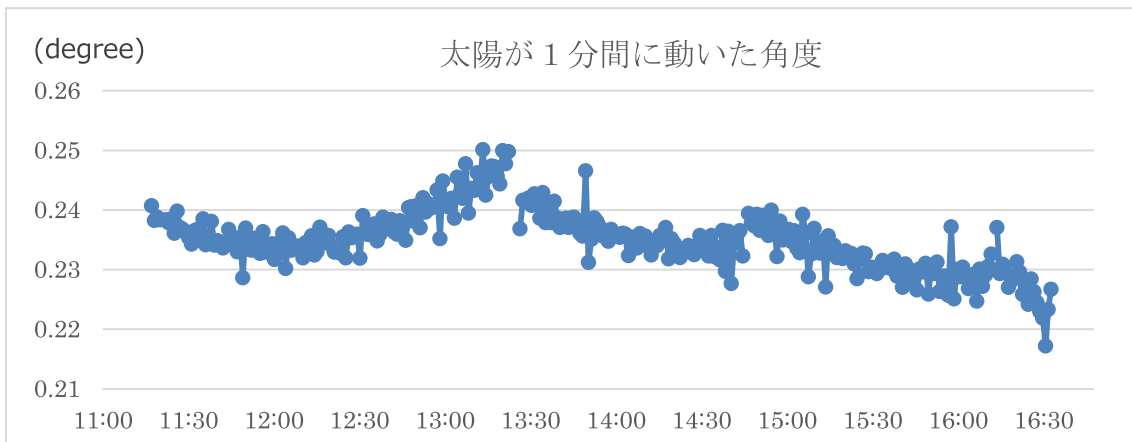
カメラ：Nikon D7000      レンズ：Nikon DX AF-S NIKKOR 35mm 1:1.8G

太陽観測フィルター：ND10000

### 4. 結果と考察



グラフが切れている時間にカメラの向きを変えた。山なりのグラフになると予想していたが、予想とは全く異なる形のグラフになった。これは、カメラのレンズのゆがみ（視野のゆがみ）が原因である可能性があると思い、このゆがみを補正することで正確なグラフが得られると考えた。ゆがみの補正は、地学部の先輩方がISSの高度測定の際に導いた変換方法を採用した。



ゆがみを補正し、角度に変換したが、それでも予想した形のグラフには至らなかった。この原因を早急に追究し、次の春分の日には実際に太陽の動きを撮影し、実証したい。

### 5. 参考文献

宇宙・天文まめ知識 春分の日のはと夜のはと長さは同じか？

<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0320a/contents/chishiki/answer08/main.html>

昼と夜のはと長さ <http://www.astrophotoclub.com/syunbun.htm>

国際宇宙ステーションの観測と高度測定 日本天文学会 2013年ジュニアセッション講演予稿集 18 - 19 頁

## 太陽黒点の短時間変動

地球科学部

栗原 明日香 (高2)、山田 菜由 (高1) 【埼玉県立春日部女子高等学校】

### 1. はじめに

私たちは、研究を進めるにあたり、国立天文台太陽観測所を訪ねた。その際、黒点を短い時間間隔で撮影している学校はないと聞いた。今回の目的は、黒点の短時間での変化を知ることである。また、それが磁場やX線とどんな関連をもっているかを調査した。

### 2. 観測と解析

観測は、10分ごとに5枚連続で撮影した後、日周運動の方向を知るために1～2分後に、もう1枚撮った。画像はRGB三色分解を行い、一番精度がよく、黒点をはっきり写るG画像を使用した。磁場とX線のデータは、アメリカ航空宇宙局 (NASA) が打ち上げた太陽観測衛星SDO(Solar Dynamics Observation)の情報を用いた。しかし、私たちが撮影したものと、SDOの画像は方位の定義が違っていた。そのため、自分たちが撮影した画像のすべてをSDOの画像の方位に合わせた。すべての画像の解析は、国立天文台が提供している「マカリ」で行った。

### 3. 結果と考察

黒点の短時間変化について、次の二つのことを私たちは、見つけ出した。

(1) 私たちの観測した中で、暗部がほぼ円形に見えた黒点があった。その黒点は、短い時間で変形し、楕円形に変化した。太陽が自転をしているために縁に来た黒点は「南北方向」に伸びて見えるウィルソン効果による変化ではないかと疑った。だが、観測した黒点は斜めに伸びていることより、ウィルソン効果によるものではなく、黒点自身の変形であると考えた。次に、黒点の変形をわかりやすくするため、明るさが同じ所を線で結ぶコントラストを描いた(図1)。その後、この変形の方法を磁場とX線のデータと比較したところ、黒点の変形した向きと磁場の向き、X線の広がり方は、ほぼ平行であった。(図2)

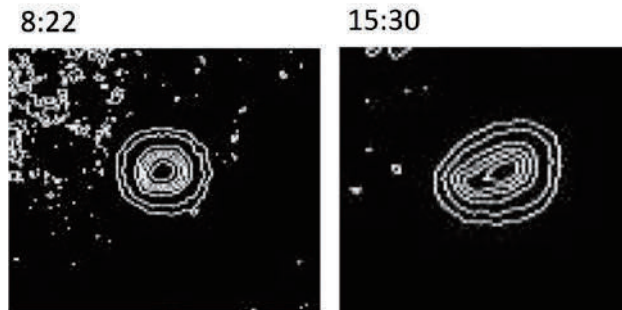


図1 2015年9月19日 (左) 9月20日 (右) のコントラストの比較

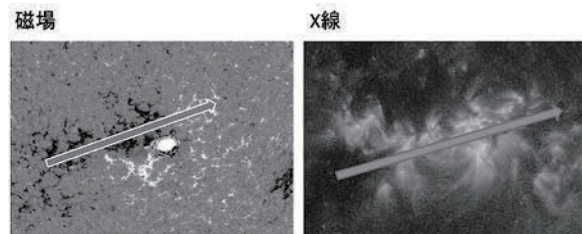


図2 NASA SDO 磁場とX線データ(2015年9月)

(2)片方がN極ならば、もう一方はS極であるといった双極性がはっきりしている黒点群は、自転方向側にある先行黒点が先に消滅することが知られている。また、黒点には、光球面より温度が低い半暗部、半暗部よりさらに温度の低い暗部が存在している。私たちは、光球面に対する「暗部の暗さ」を求めてみた(図3)。そして、先行黒点と後行黒点のその比を調べた。比を調べるにあたり、次のような式を用いた。

$$\text{暗さの比} = \text{先行黒点の暗さ} / \text{後行黒点の暗さ}$$

今回の観測では、先行黒点の色の濃さが薄くなっていく様子が確認できた。つまり、先行黒点が消滅していく様子をとらえることができた(図4)。

また、私たちが今回の研究で得た結果が、偶然なものなのかどうかを確かめた。国立天文台太陽観測所の過去のデータから、似た現象を探してみたところ、同様な現象を複数確認できた。

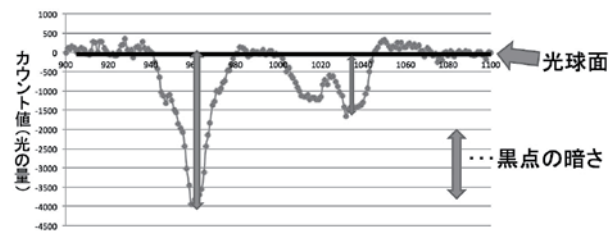


図3 暗さの比のとり方

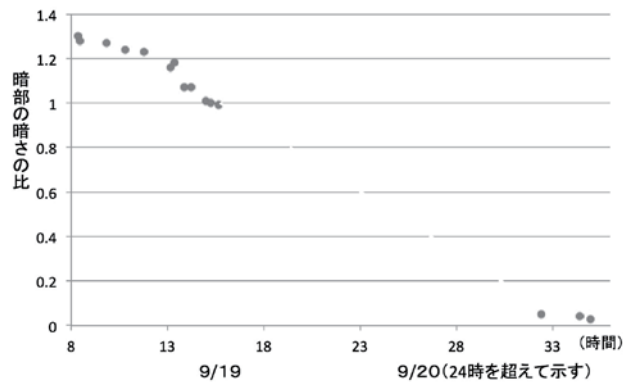


図4 先行黒点の消滅例

#### 4. 結論

- ・暗部の変形が見られたとき、その方向は磁場の向きと X 線の広がり方に平行である。
- ・双極性を示す黒点の、先行黒点が先に消滅する過程をとらえた。
- ・太陽黒点の変動をとらえるためには、短い時間間隔での連続観測が有効である。

#### 5. 参考文献

- ・「太陽黒点の観測」、清水一郎ほか、恒星社、1972
- ・「地学基礎」、西村祐二郎ほか、第一学習社、2015
- ・「天文年鑑」、縣秀彦ほか、誠文堂新光社、2015
- ・SDO (Solar Dynamics Observation) : <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>
- ・国立天文台 太陽観測所 : <http://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/solarobs.html>
- ・太陽観測衛星 ひので : <http://hinode.nao.ac.jp/user/yaji/hinode/issyo/DARTS>

## 僕たちの太陽観測を研究機関によるものと比較する（2）

巢鴨中学高校地学班

佐藤 京介（高1）【巢鴨高校】，小林 祥之，竹縄 智広（中3），手塚 友健，宮谷 明，  
矢口 大致，井口 誠斗，菊岡 慧殊（中2），熊澤 智輝（中1）【巢鴨中学校】

### 1. はじめに

新校舎建設が終わり，太陽観測が継続できるようになってきた。本研究では，2015年4月からの14回分の観測を研究機関によるものと比較した結果について報告する。

### 2. 方法

#### 1) 使用機材

- ① 天体望遠鏡 SDHF-75 (PENTAX, 口径75mm, 焦点距離500mm)
- ② アイピース XP-8(焦点距離8mm)
- ③ 投影板

#### 2) 観測地 巢鴨中学高校 南校舎屋上(35°44'N, 139°43'E)

#### 3) 手順

- ①晴れた日の昼,投影板をつけた天体望遠鏡を太陽に向ける。
- ②赤道儀の追尾装置を作動させる。
- ③投影された太陽の縁を記録用紙の直径10cmの円周に合わせる。
- ④黒点をスケッチし，黒点数と黒点群数を求める。
- ⑤赤道儀の追尾装置を切り，黒点の移動方向を記録する。
- ⑥山根悟氏による太陽面経緯度計算フォーム（サイト1）にスケッチを重ね,黒点の太陽面緯度と経度を求める。
- ⑦スケッチした黒点を，当日の午前9時30分（世界時刻0時30分）に発表されたSRS（Solar Region Summary, サイト2）と比較する。

### 3. 結果

2015年4月27日から2016年1月13日までに14回の観測を行い,25の黒点群を見つけ,それらの太陽面における緯度と経度を求めた。その25の黒点群のうち,24群はSRSの値と概ね一致した。しかし,残りの1群の値は大きくずれていた。

また,SRSにはあるものの,我々の観測には無かった,つまり見逃したと思われる黒点群が19群あった。

### 4. 考察

1) 我々が見つけた25の黒点群のうち,24群がSRSと一致した。

我々の観測とSRSとの違いの原因は,次の4点と考えられる。

1つめは,我々の観測時刻はSRSよりも3時間遅いことである。太陽の赤道面上の自転周期は27日であるので,赤道付近の黒点は経度方向に約2°動くことになる。

2つめは,黒点をスケッチするとき,投影板が手の重みで歪むためである。これを2mmと見積もると,中心で3.6°ずれることになる。

3つめは,スケッチの最後に追尾装置を切り,黒点の移動方向つまり,東西方向を記録するときのずれである。

4つめは、サイト1とスケッチを重ねて緯度と経度を読み取る際に、3つめの原因とあわせて、スケッチ上で2mm程度ずれると考えられる。

この4点を踏まえると、我々の観測では、SRSの値と中心付近で最大約7°の違いが生じることにある。この違いは、太陽面の縁に近づくほど大きくなる。このことをふまえて、24の群について、我々の求めた緯度と経度がSRSによるものと一致したと判断した。

2) 我々が観測した黒点のうち、SRSにはないものが1群あった(表1)。

表1 SRSには無かった黒点群

観測日	緯度	経度	黒点数
12月7日	S10	E77	1

SRSにない黒点を我々が観測できるはずはないので、この原因は観測時刻の違いであると考えた。我々は観測時刻から3時間前の、日本時刻で午前9時30分に発表されたSRSと比較している。そこで、表1に示した黒点群が、SRSの発表後に新たに出来たのではないかと考え、我々の観測時刻の21時間後に発表された翌日のSRSと比較した。そして、先述した太陽の自転による角度のずれを考慮すると、この付近に新たに黒点ができていたことがわかった(表2)。つまり我々は、新たにできた黒点群を記録したと考えられる。

表2 新たにできた黒点群

観測日	群番号	緯度	経度	黒点数
12月8日	2465	S05	E58	1

3) SRSにもとづく我々は19群を見逃したことになる。見逃した原因は、黒点群の大きさが小さすぎるためと考えられる。

我々の観測では、シャープペンシルの芯で打った点よりも小さな黒点を記録できない。SRSでは太陽の半球の面積を100万として黒点群の面積を発表している。これに従えば、直径10cmの太陽像の中心での、直径0.5mmの点の面積は25である。つまり、我々の観測では面積25未満の黒点を記録することはできない。実際に我々が見逃した19群のうち、18群の面積は25未満であった。

しかし、面積が25以上であっても観測できていない黒点群が1つあった(表3)。

表3 面積25以上でも見えなかった黒点群

観測日	群番号	緯度	経度	面積
6月1日	2358	S03	E71	60

この黒点群を見逃した理由は次のように考えられる。黒点は太陽像の縁にあるほど、つまり経度が大きくなるほど、本来の大きさよりも小さく見える。例えば、太陽の赤道上の経度70°では、SRSで面積100の黒点群の見かけの大きさが、およそ面積25つまり直径10cmの太陽像で直径0.5mmの点にあたる。つまり、表3に示した黒点群については、観測に失敗したわけではなく、太陽の中心から東へ71°と太陽面の縁に近かったために、見えなかったと考えられる。

以上の3点より、我々は太陽観測について理解を深めるとともに、自信を持つことができた。今後も観測を継続し、さらに理解を深めていきたい。

## 利用したインターネットのサイト

- 1) 太陽面経緯度計算フォーム [http://www.carina.gr.jp/~yamane/sun\\_pbl/](http://www.carina.gr.jp/~yamane/sun_pbl/)
- 2) Space Weather Prediction Center <http://www.swpc.noaa.gov/>



## 太陽黒点の発生と消滅を多波長観測でとらえた

～可視光、CaK 光、H $\alpha$  光による地上観測と衛星 X 線画像の観測からわかったこと～

阪 奈都美、西澤 侑里、滝澤 萌 (高 2)、飯島 桃花、深堀 未久、小林 勇 (高 1)

【埼玉県立浦和西高等学校地学部】

### 1. 研究の概要

本校地学部は太陽観測に重点を置いた活動を続けており、充実した機材もあることから、太陽観測衛星「ひので」との共同観測 (HOP173)「ひのでといっしょ」プレ観測(2015年7月27日～31日)に参加した。本校の観測期間は7月21日から7月31日で、共同観測期間を含む11日間行った。天候に恵まれ、23日を除いて連続観測に成功した。観測した波長は、可視光、CaK 光、H $\alpha$  光の3波長で、すべて太陽の全面画像を撮像した。太陽観測衛星「ひので」は、地上からは観測できない X 線によるコロナ領域の観測を行っており、そのデータも利用した。これらの4波長の画像から太陽大気の立体的構造を推測したほか、黒点の発生、成長、消滅の様子を多波長で捉えることができた。

### 2. 観測結果と考察

#### (1) 多波長観測で見る太陽大気の鉛直構造

太陽大気の鉛直構造…各波長では以下のものが観測できた

可視光(光球面) 光球面 6000[K] 黒点暗部 4000[K]	・黒点暗部 ・黒点半暗部 ・白斑
CaK 光(彩層面下部) 4200[K]	・黒点暗部 ・黒点半暗部 ・プラージュ (H $\alpha$ 線よりはっきり見えた)
H $\alpha$ 光(彩層上部) 6000[K]	・黒点暗部 (半暗部は見えない) ・プラージュ ・フィラメント ・プロミネンス ・ネットワーク構造(超粒状斑、スピキュール)
X 線(コロナ) (太陽観測衛星ひのでによる) 100 万～200 万[K]	・コロナ ・コロナホール ・活動領域 ・磁力線

・CaK 光と H $\alpha$  光の画像を比較すると、H $\alpha$  光で見える黒点、プラージュは CaK 光で見えるものより範囲が小さくなっていた。このことから、黒点に伴う磁場は上部に行くほど拡散して弱くなっていると考えられる。

・また、H $\alpha$  光のみで、プロミネンス、フィラメント、ネットワーク構造(超粒状斑、スピキュール)が観察できたため、これらは彩層面上部で発生していることがわかった。

・CaK 光の黒点やプラージュと X 線の活動領域が一致することより、磁力線はコロナの領域まで達していることがわかった。



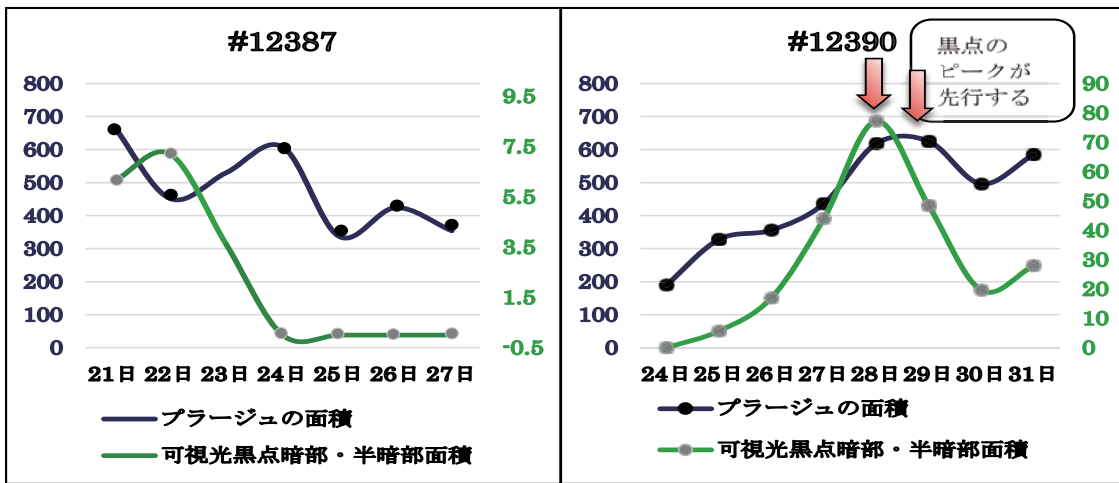
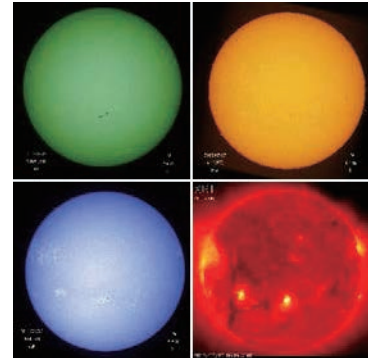
(2) 黒点の発生・消滅と太陽大気の様子

【観測画像より】

・太陽上層部の H $\alpha$  光では見えなくても下層部の CaK 光ではプラージュの活動を確認することができた

【黒点とプラージュの面積を比較した下のグラフより】

・プラージュが大きくなると黒点も大きくなった。  
 ・可視光では黒点が見えなくても、CaK 光ではプラージュの観察によって、黒点が発生する前兆や消滅したあとの痕跡を見ることができた。また、黒点活動のピークに遅れてプラージュ面積のピークがやってくるのが観察された。



可視光による黒点（暗部+半暗部）の面積と CaK 光によるプラージュ面積の比較グラフ  
 方眼紙をあて、その面積から求めた相対的な値・リム付近を斜め方向から見た時の補正済

3. まとめ

天候に恵まれ、11 日間にわたり連続して 4 つの波長で観察することができた。今回の観測によって、(1) 太陽大気の鉛直構造の様子は磁場という観点で理解できる、(2) 太陽黒点が発生、消滅した際に最も顕著に活動を確認することができる波長は CaK 光と X 線であり、黒点に伴う磁場は上部に行くほど拡散して弱くなっているということが分かった。また、黒点やプラージュは一日の間で大きな変化をすることが分かったことから、今後は時間間隔を細かくした観測にも取り組んでいきたい。

4. 謝辞

本研究は、今年度本校が埼玉県サイエンスアカデミー事業の指定を受けたことによる補助を用いて行いました。また、この観測・研究に協力してくださった国立天文台太陽観測所の矢治健太郎先生に感謝を申し上げます。

## 50年間の太陽黒点蝶形図の完成

【駿台学園高等学校】

子安直美、松丸健太（高2）、村山雅哉（高1）

### 要旨

駿台学園天文部は、学校の屋上に設置した20cm屈折式望遠鏡で50年間にわたって黒点のスケッチ観測を行ってきた。これまでに、2000年の第39回生徒理科研究発表会で1999年までの34年間の蝶形図を作成・発表したが、今回その後の16年間分の蝶形図を作成し、50年分を完成した。今回の作成で目についたことは、2007～2010年の間に黒点が異常に少なかったことにより、蝶形が変則的であったことである。

### 1. はじめに

駿台学園は1965年11月に、北区王子の校舎屋上に日本光学製の20cm屈折式望遠鏡を設置し、駿台学園高等学校天文部は1966年4月より太陽黒点スケッチ観測を毎年行ってきた。2016年3月にはスケッチ観測50周年となるので、この機会に50年間の蝶形図を作成した。蝶形図は既に1966～2005年のものは作成されているので、今回は2006～2015年末までの10年間のものを作成し、すべてを合わせて50年分の蝶形図とした。以下その作成状況と結果の考察について報告する。

### 2. データの状況

図1に駿台学園高等学校天文部が行っている黒点スケッチのようすを示す。図1は、2014年10月に出現した24年ぶりと言われる大黒点をスケッチしたものである。

図2に、2000年の生徒研究発表会で発表した、駿台学園高等学校天文部の31年間スケッチによる蝶形図を、また図3にはその後の9年間（1997～2005）の蝶形図を示す。

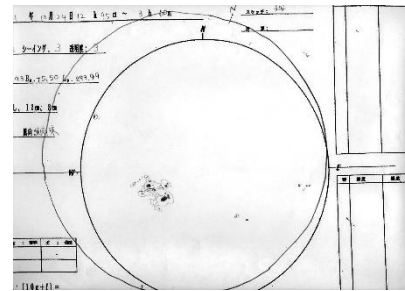


図1 2014年10月24日のスケッチ

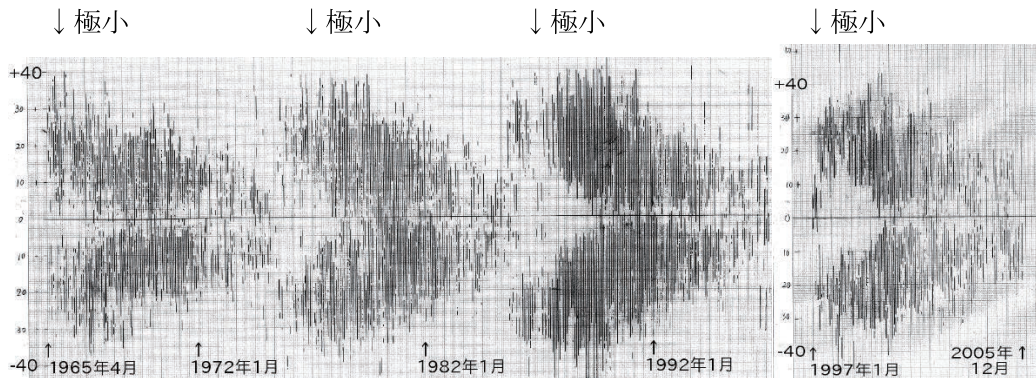


図2 1966～1996年の蝶形図

図3 1997～2005年の蝶形図

### 3. 蝶形図の作成

蝶形図は、太陽の対地球自転周期（27.27531日）毎の黒点の出現を、太陽面緯度に分けてプロットしたもので、図の縦軸は太陽面緯度（中心軸が赤道・上が北）、横軸は時間の経過で、1目盛は1自転周期である。スケッチから黒点の緯度を読み取る場合は、太陽の極の傾き（ $P: \pm 26^\circ$ ,  $B: \pm 7^\circ$ ）を表わす透明シートを重ねて測定する。

なお、天候や休校日などの影響で長期間の欠測がある場合は、データは記入していない。これについては別に考察する。

### 4. 2006年1月～2015年12月の蝶形図とその考察

図4に、今回作成した10年間のデータによる蝶形図を示す。太陽黒点の周期を11年とすると、これは1973～1982、1984～1993、1995～2004の各10年間の蝶形図に比較されているものである。これらと比較すると、今回の蝶形図は、前半の高緯度帯に多くの黒点の出現する時期にほとんど黒点が見られず、これ以前の各周期と大きく異なっている。

国立天文台の黒点相対数の記録を見ると、相対数が極小になったのは1965、1976、1987、1996で、約10.3年の周期となっている。これを適用すると、2007年に極

小になった後、2008、2009年は急激に増大に転じるはずであるが、今回の周期では2009年に極小になり2010、2011年はゆるやかな増加となっている。

実際、2007～2009年は、無黒点の記録がほとんどであり、2010年でも黒点の数は少なかった。これに続く2011～2015年の黒点出現状況を見ると、出現緯度は中緯度帯を中心にかなりのばらつきがある状況が続き、高緯度から低緯度への変化のようすが見られない。これらのことから、今回の周期の黒点の出現の特徴として、次のようなことが考えられる。

- 1) 周期の初めの、相対数の小さかった時期はサイクルの出現が遅れたのではなく、サイクルの初めの高緯度帯の部分の出現が欠如したものである。
- 2) 高緯度帯の欠如に合わせて、中・低緯度地帯の出現も不規則になっている。
- 3) 過去4回の周期に比べ、今回の周期はかなり異常であると言える。

### おわりに

今回のスケッチで、長期間の欠測が2007～2009年に何日かあったが、この時期はSOHOなど他のデータを見ても無黒点の状況が多く、あまり大きな影響はなかったと考えられる。また、最初の40年の相対数のデータに見られた10.3年の周期を適用すると、次の極小は2017～2018年に現れるはずであるが、これに注目したい。

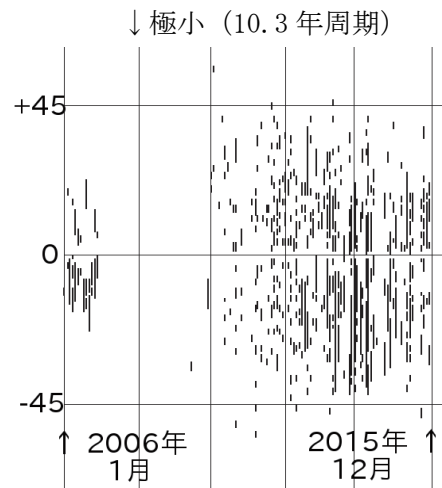


図4 2006～2015年の蝶形図

# 黒点の移動から太陽の自転周期を求める

樋口 陽光(高2)【東京都立立川高等学校天文気象部】

## 1. はじめに

我が校の太陽黒点観測は1947年から約70年にわたって続いてきた。開始当初はほぼ毎日観測し、国立天文台にデータを提供してきた時期もある。部の事情で途切れたこともあったが、現在は復活し、蝶形図も作成している。

昨年夏までの研究では、長年にわたる観測データを整理し、成果をまとめた。まず、月ごとの黒点相対数、観測日数をまとめ、連続したグラフを作成した。そして、公共の観測所と比較した(図1)。我が部のデータは公共機関に概ね一致していることが分かった。しかし、黒点相

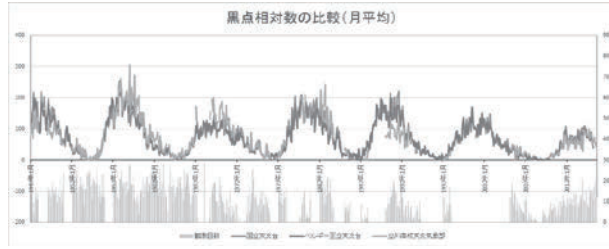


図1

対数が大きい時期に観測値の“差”が大きかったため、原因を調べるために、公共観測所と立川の差のグラフを作成した。また、差が大きい期間の実際のスケッチを、国立天文台と比較した。すると、立川が多い期間は、スケッチが精細だったため小黒点数が多いこと、立川が少ない期間は、ほかの期間より口径が小さい望遠鏡で観測していることが原因だと分かった。

現在は、これまでの研究を踏まえ、我が校の観測記録をさらに活用したいと考え、これまでの極大期、極小期の黒点スケッチから太陽の自転による黒点の移動を求め、太陽の自転の特徴を調べている。

## 2. 目的

- ・長年の太陽黒点スケッチから、黒点の移動を読み取り太陽の自転周期を求め、太陽の自転の特徴を調べる。
- ・太陽の自転の特徴を考察し、時期や太陽活動の活発さとの関連を調べる。
- ・我が部の黒点観測データの特徴を考える。

## 3. 仮説

- ・時期に関係なく自転周期は一定である。
- ・太陽活動が活発な時期は、差動回転に顕著な特徴がみられるのではないかと。

## 4. 方法

- 1) 自転周期の計算方法のマニュアル、表を作成する。  
黒点の位置を読み取り、自転周期を計算するのは複雑で難しい。そのため、マニュアル、計算専用の表(図2)を作成した。

図2



2) 過去のスケッチから自転周期を求める。

現 1、2年生部員 13名で分担し、以下の手順で自転周期を計算した。

1 > 過去の極大期、極小期 (※) のスケッチから観測日数が多く、経度分布が広い黒点群を各年 3 ~ 5 個選ぶ。

2 > 黒点群の経緯度を一日ずつ太陽面経緯度図 (経緯度が印刷されたトレーシングペーパー) で読み取る。

3 > 経度差から、太陽の自転周期を求める。

$$\text{自転周期(日)} = 360(^{\circ}) / \{ (\text{平均経度差}) + 360(^{\circ}) / 365(\text{日}) \}$$
 とした。

(※) 極大期：1947年、1958年 (一部1957年)、1969年 (一部1968年)、1980年、1990年

極小期：1954年、1964年、1975年、1997年、2009年 のスケッチを利用した。

3) Excelでグラフ化し、一般的な太陽の自転周期 (理論値) と比較する。

理論値は、理科年表 2016より、

$$\text{自転周期(日)} = 26.9 + 5.2 \sin^2 \phi \quad \phi = \text{太陽面上の緯度} (^{\circ}) \quad \text{を用いて求めた。}$$

## 5. 結果

黒点群の平均緯度と自転周期の関係を理論値と比較したのが図3である。

- ・ 求めた自転周期の近似曲線が理論値の傾向に近い。
- ・ 計算した自転周期のばらつきが大きい。特に極小期のばらつきが大きい。

全体として理論値に近いデータが得られた。

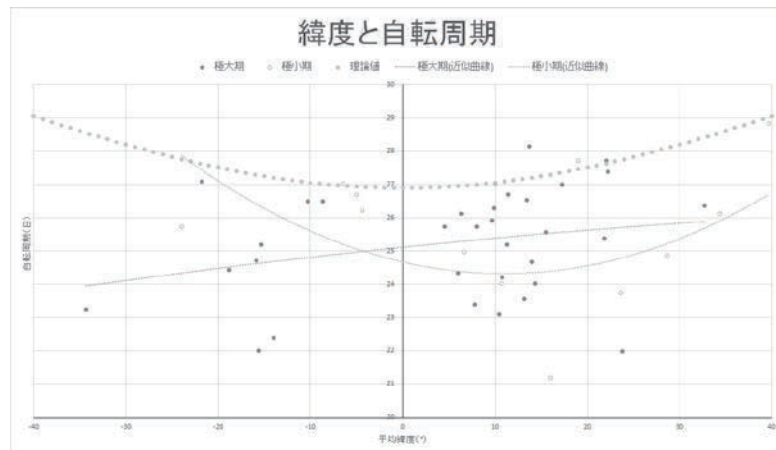


図3

## 6. 考察

周期の値のばらつきについて、主に以下の要因が考えられる。

- ・ 経度が大きい区間 (太陽の端) の読み取り誤差
- ・ 観測時刻が日によって大きく異なること
- ・ 観測用紙と経緯度図の大きさの違い
- ・ 黒点の位置の取り方が日によって異なること
- ・ データの少なさ
- ・ 極小期は、黒点が微小で、出現数が少ないため、経度差平均に偏りが出て、自転周期のばらつきが大きくなったと考えられる。

現在、上記の考察をもとに、一つ一つのデータの検証や、データの増強を行っている。

参考 理科年表 国立天文台HP

## 円周星景写真の撮影と再現

あの星プロジェクト～あの日見た星の名前を私たちはまだ知らない～

平川 泰山、山田 誠人、大島 有貴、徳永 悠成 (高1)、大嶋 恭平 (高2)

【福岡工業大学附属城東高等学校】

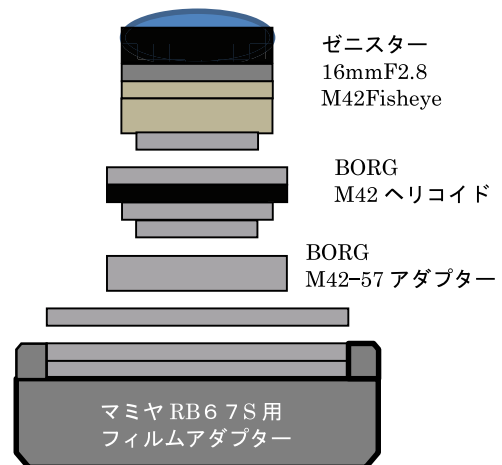
### 1. 研究目的

わたしたちは来年度の文化祭(6月)で、初めてプラネタリウムの設置をすることになった。そこで、いろいろな投影方法の1つとして魚眼レンズで撮影したフィルムを半球ドームに投影することで、自分たちが観測会の時や通学の途中にみた星空と風景をそのまま再現して説明する方法を試してみることにした。

### 2. 手順

#### ○過程1 全天カメラの製作

比較的安価で他の部品が取り付けやすいスクリーン式の35mmフィルム用対角魚眼レンズ(焦点距離16mm)を使用した。これを古い機械式中判カメラのフィルムホルダー部分に取り付けて、全天を撮影することの出来る円周魚眼カメラにする。文化祭ではできれば直径3～4m程度のドームを作りたいので、原版が大きい方が良く考えて中判フィルムを使うことにした。フィルムホルダーの上面に望遠鏡用の接続アダプターを接着してこれにレンズを脱着し、シャッターはフィルムホルダーの引き蓋と内側を黒くした紙コップによる筒先開閉でおこなうことにした。



#### ○過程2 星空の撮影

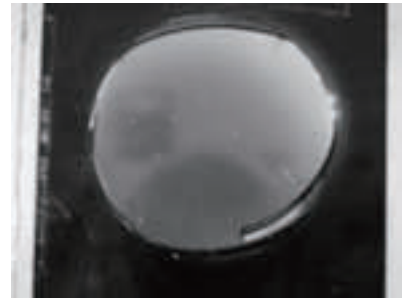
過程1で製作した全天カメラを赤道儀に取り付けて使用し、星空の撮影を行う。フィルムはカラーポジフィルム(スライド用)を使用する。ピント合わせはフィルムを入れる前にファインダー用スクリーンをフィルム位置に貼って、レンズ後方のヘリコイドを回して行った。デジタルと違い撮影後の補正ができないので露出時間を変えて追尾撮影をおこなう。また固定撮影も行った。





### ○過程 3 投影機の製作

撮影に使った魚眼レンズを使って全天投影する投影機を試作した。このことによりコストを抑えつつ、魚眼レンズ固有の像の歪み方を打ち消して撮影時に見えた風景と星空を半球状に再現できると考えた。ホームスタークラシック（セガトイズ）の投影レンズを撮影用魚眼レンズと交換し、星座原版の代わりに自分たちのフィルムを置いてテストドームに投影した。撮影時と同様に M42 ヘリコイドと延長筒で距離を調整した。



### ○過程 4 試験用ドームの製作

投影された写真を映すための試験用ドームを、A0判の画用紙 17 枚を使って製作した。魚眼レンズは撮影時にどの距離にでもピントが合うので逆に投影するときにも、どの距離にもピントが合うと考えて半球型ではなく製作の容易な八角錐型にした。



## 3. 結果

撮影した星空と風景を画角約 160 度で半球状に投影することができた。建物の屋根や電柱などの風景と明るい恒星が写っていたが暗い星は確認できなかった。また赤い星の色が分かった。

## 4. 考察

ピントがまだきちんと合っていないく、投影機の光源も暗かったため、明るい星しか写らなかったと思われる。また、撮影した日が快晴であれば、もう少し明るく撮れたと思われる。

## 5. 今後の展開

- ・ 正確にピントを合わせて雲のない日に撮影する。
- ・ 投影機の光源を明るくする。
- ・ 様々な場所と時刻で撮影を行い、投影に使用するライブラリを充実させる。また絞りやシャッターを工夫して夕焼けや薄明時の写真を撮りたい。
- ・ 本番ではきちんとした大きなドームを作りたい。

# ピンホール式プラネタリウムにおける恒星色の再現

天文部 星作班

荒木 良太、中野 裕夏、山田 康平(高2)、中島 翼、川真田 純礼(高1)

【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】

## 1 概要

我々横浜サイエンスフロンティア高校天文部では、毎年文化祭でプラネタリウムを上映している。その中で、満天の星空を忠実に再現し、上映することが天文部星作班の目的である。その第一歩として昨年度はピンホール式プラネタリウムの製作を行った。今回は更なる発展を目指し、ピンホール式プラネタリウムにおいて、星の色、明るさに関する新たな表現方法に挑戦した。

## 2 実験背景

ピンホール式プラネタリウムとは、球体や多面体に星を模した穴を開けて、中心から光を通し、壁やドームに投影する形式のプラネタリウムを指す(Fig. 1)。他の方式に比べ安価かつ容易であるため、学習目的や工作として広く作られている。

その形式から、恒星が持つ様々な色彩を再現することは、ピンホール式プラネタリウムについて、難しい問題だとされている。また、

ピンホール式では、星の等級の違いを表す際、穴の大きさを変えろという方法をとっており、そのため、等級が小さい星は映った像が大きくなってしまい、実際の星空で光点として見られる星とは程遠い。さらに、光源からの光のほとんどは遮られるため、光量が足りず、見にくいものとなりやすい、という問題点もある。

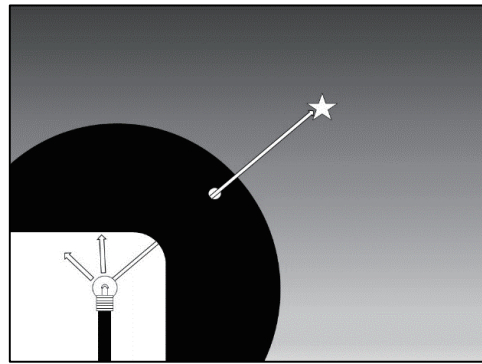


Fig. 1 ピンホール式プラネタリウムの構造

## 3 実験目的

1. 星に色を付けること
2. 星の等級を穴の大きさでなく、光量で再現すること
3. 光量を上げる

## 4 実験方法・結果

### (1) フィルターを用いた星の着色

私たちは着色されたフィルターを通すことで星に色を付けられると考え、赤色の恒星(M型恒星)の再現を目的に、素材ごとに光を通し、目視とスペクトルの二面から比較した。

1. 市販赤色塩ビ板を通した投影  
→減光率が高すぎるために肉眼で捉えられなかった。

2. 塩ビ板の赤色染色 (Fig. 2)  
→目視可能、しかしスペクトルが再現したいM型恒星と異なっていた。  
最適濃度の発見。

3. 塩ビ板のオレンジ色染色  
→より目視が容易になった。  
スペクトルの形状の変化を確認。  
赤→黄で染めると染めやすい。



Fig. 2 塩ビ板の染色

### (2) フィルターを用いた光量の調整

穴の大きさを変えずに光量で等級を再現するために、様々な素材(透明塩ビ板・透明工作用テープ・表面保護シート・透明セロハン等)からなる透明なフィルターを重ねることで光量を調整することを試みた。

結果：減光効果が見受けられながらも比較的像が見えやすかった透明塩ビ板、透明工作用テープでも、光の拡散が大きいため、等級の操作には至らなかった。更なる素材の探求や、別手段の考案が求められる。

### (3) 光量を上げる

光量を上げるため、現在ピンホール式の主流光源である豆電球に代わって、LEDを使うための方法について考察した。光量の大きいLEDではあるが、指向性があるため全面に投影できない、発光面積が大きくシャープな像が作りにくいなどの問題がある。この解決のため、光源を球状に配置したうえで仕切りを設けて隔離し、光ファイバーを用いる方法を検討中である。

## 自作ファイバー分光器の製作と観測システムの構築

畠 詩織 (高2) 【岡山県立玉島高等学校】

### 概要

3年前、美星天文台で分光観測を行い、分光観測に興味を持ち、手軽に本格的な観測ができるにはどうすればよいか考え自作の分光器を製作することにした。ファイバー式にすることは最初から決まっていたが、使用する回折格子は初期段階では、透過型を使用したものを考えたがテスト結果で反射型のほうが良い結果が得られたため、反射型回折格子を使用することにした。また、撮影装置は一般的なデジタル一眼レフカメラを使用した。システムの特徴を生かし、波長較正、フラット補正、強度較正も単純化することを考えた。テスト観測として、M42、シリウス、リゲル、ベテルギウスのデータを取得した。

#### 1. 目標としたファイバー式分光器

- ・手軽に本体を持ち運べる
- ・対象にあわせて望遠鏡やレンズが自由に变更できる
- ・出来るだけ安価に製作する

#### 2. 分光器の製作

ファイバーの分光器側と望遠鏡（レンズ側）の固定をどうするかを考え、コリメーターレンズをカメラレンズで代用するため、フィルムカメラのボディのジャンクション品を購入した。また、対象天体の導入が確認できるようにマニュアル式のフィルムカメラのボディを安価に購入した。カメラマウントを使用することで、ほとんどの望遠鏡に取り付けることができ、カメラレンズも使用することができる。

ファイバーの接続にはアクリルボードをカメラのフィルムの位置に張り付け、中心に穴をあけ、ファイバーを差し込めるようにした。

スペクトル撮影装置は一眼レフカメラを使用することにした。

持ち運ぶためのケース兼遮光用に発泡スチロールの箱を用意し、中を艶消し黒の塗装をした。

#### 3. 使用した部品

- ・直径200マイクロメートル光ファイバーケーブル（エドモンドオプティクス）
- ・ブレード回折格子 600GPM 500MN（エドモンドオプティクス）
- ・フィルムカメラボディ 2台

- ・デジタル一眼レフカメラ（変更可能）
- ・その他 固定部品など

#### 4. 完成した分光器と観測システムの構築

##### (1) スカイ、ダークデータの取得

スリット式の分光器と違い、ファイバーからの光は一か所しかないので一枚のデータからスカイデータが取れない。しかし、天体の周辺部を同じ露出で撮影することで、スカイとダークが同時に撮れる

##### (2) 波長較正データ・フラットデータ・強度較正データ

この分光器は光の出口が固定できているため、装置を取り外さない限り、観測後別途データを取得することが可能になっている。そこで、水銀灯を用意し、波長較正データを取得することにした。

また、強度較正についてはエジソンバルブ（カーボンランプ）が可視光領域ではほぼ黒体輻射に一致するため、2200Kのエジソンランプを使用し、比較光に使用することで標準星が撮影できなくても強度較正が可能となっている。

同時に、光の出口が固定されていることでフラット補正も可能となる。



## 5. テスト観測

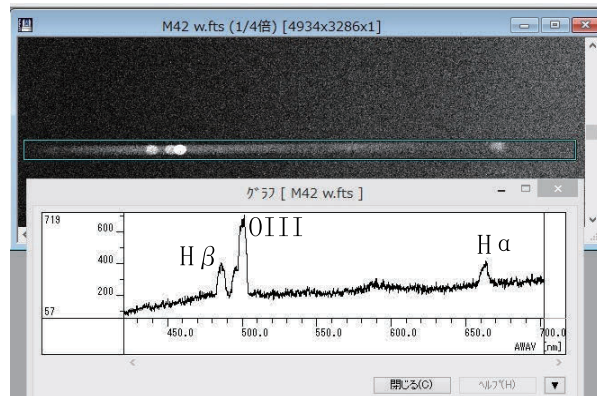
### (1) 観測機材

- ・笠井トレーディング 20cm F4反射望遠鏡
- ・タカハシ EM-100赤道儀
- ・Nikon Df (撮影装置)

### (2) 観測結果

すべてのデータの波長較正は水銀ランプで行った。

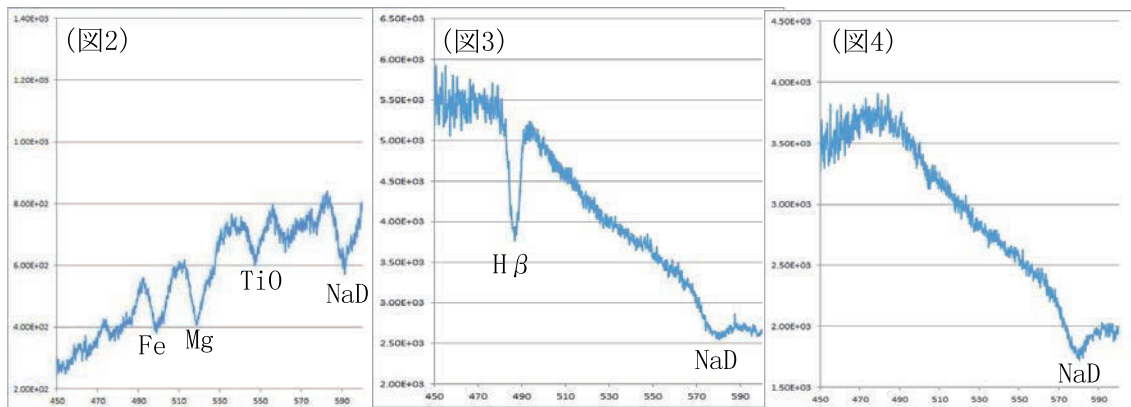
M42の観測データは、輝線が分かればいいので強度較正はしていない。本来 $H\alpha$ が一番強いがデジタルカメラの特性で低くなってしまっている。しかし、 $H\beta$ 、 $OIII$ はしっかりと出ている。(図1)



(図1)

ベテルギウス(図2)、シリウス(図3)、リゲル(図4)はカーボンランプを2200Kの黒体として強度較正を行った。

その結果、ベテルギウス及びシリウスは非常に良い結果が得られたが、リゲルは短波長側に問題がみられた。



## 6. 考察と今後の課題

汎用性の高い分光装置の観測システムができたのではないと思う。データの質については撮影装置にあたるデジタルカメラの性能によるところが大きい。しかし、この装置では天体用に改造したカメラを使用することも可能である。また、限界等級については高感度により強いカメラに変更すればよい。

今後は、観測により多くのデータを取得し、完成度を高めていきたい。

## 7. 参考文献

- (1) カーボン電球の光 中川靖夫(照明学会誌 第74巻 第5号 平成2年)
- (2) 理科年表 平成27年度版
- (3) スペクトル物語 デジタルアトラス(国立天文台)
- (4) SkyServer (SDSS)



## 4 GHz帯太陽電波観測用電波望遠鏡の改良と観測データ処理システム

那須野 叶、池上 浩樹、北條 健介、宮澤 拓陽 (高3)

小松 暉敬、平嶋 夏樹 (高2)

【長野県駒ヶ根工業高等学校 サイエンス同好会】

### 要 旨

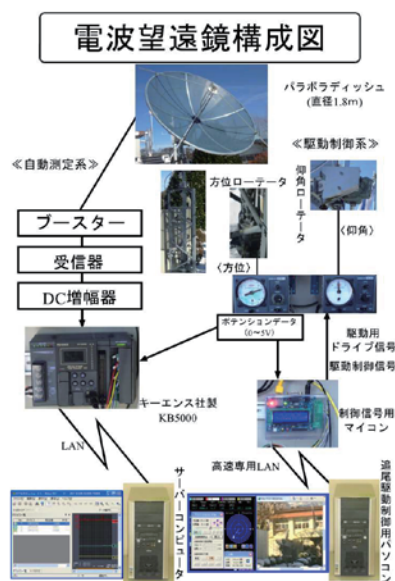
2012年より野辺山太陽電波観測所のご協力をいただき、2013年度に、電波望遠鏡の製作、2014年度に自動観測の運用実験を行った。本年度は、ノイズの除去、追尾制度の向上、など各種改良を行い自動観測の精度を改善させた。また、観測データ公用のデータ処理システムの設計と、干渉計形望遠鏡設置にむけた準備工事を行った。

#### 1. はじめに

2012年度は、海外衛星放送受信用の1.2mのソリッド型の反射鏡を使用して、太陽からの電波を受信できる事を検証した。2013年度は、自動制御可能な電波望遠鏡を学校創立50周年の記念事業として、機械科、電気科、情報技術科の3科の生徒協力で設置した。2014年度は、自動追尾などの設定・構築・強化を行い、連続観測の運用実験を行い、太陽フレア現象の観測に成功した。

#### 2. 電波望遠鏡の製作・設置

機械科、電気科、情報技術科の協力の下、以下の電波望遠鏡を完成させた。



##### (1) パラボラデッシュ

有効直径：1.8m、 放物面深さ：33.1cm、  
焦点距離：61.2cm、 F/D比：0.34

##### (2) LNBF

受信範囲：3.4-4.2GHz、 出力：1GHz帯  
偏波：垂直偏波(右旋回偏波)、取付角：-90°

##### (3) 検波器

ストリップライン設計、 直線性範囲：0-1 V  
野辺山太陽電波観測所での特性評価

##### (4) 自動計測機能(キーエンス製PLC KV-5000)

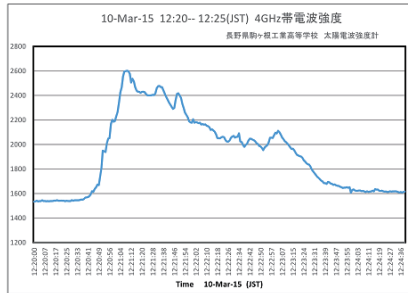
4CHA/D変換ユニット(方位、仰角、受信機出力)  
分解能：電圧(0~5V、1/20000)、時間1/100秒

##### (5) 自動追尾システム

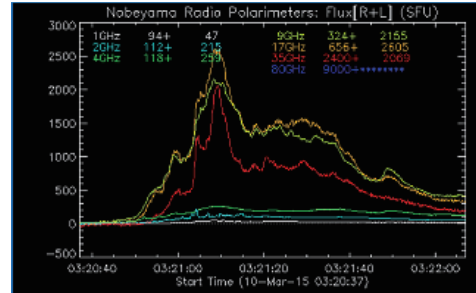
衛星追尾ソフト「Calsat32」、自動操作ソフト  
制御用マイコンボード：PICNIC

#### 3. フレア現象の観測

自動観測を行い、2015年3月10日の太陽フレアのデータを検出することに成功した。下図左側が、本校電波望遠鏡、右側が野辺山太陽電波観測所の公開しているデータであり、変動カーブが一致しており、精度よくフレア現象を検出することができた。



↑ 駒ヶ根工業高校観測データ



↑ 野辺山太陽電波観測所観測データ

#### 4. 電波望遠鏡の改良

昨年、観測結果に追尾制御時のローテータモータ起動ノイズとアンテナブームの慣性による振動波形が現れる現象が課題であった。アンテナを支えるアームが長いのが原因ではないかと考え、機械科協力の下アームの加工を行い15cmに改良した。

アーム加工後、コントロールボックスにアンテナが当たるためポールを短く加工した。また、更にノイズを減らすためバランスウェイトの取り付けを行った。

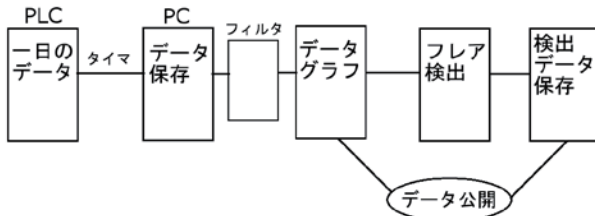
#### 5. 追尾精度の向上

分解、組立によりアンテナがずれるため自動追尾の軌道を修正した。

昨年と同様に朝から昼までの観測をし、ポジションデータ（電圧値）と角度データとの特性グラフを作った。作成した特性グラフから一次補間式を求め、その補正値をシステムに入力することで自動追尾の精度を改善した。

#### 6. 観測データ処理システム

観測データのグラフ化・フレア現象検出・インターネットでの公開を行うシステムを構築していく予定である。今回は、データ公開の基盤を作り、今後以下のように処理を行うようシステムを作る。



PLC内の一日の観測データをタイマ設定した時間に転送。保存したデータからグラフの作成とフレア現象の検出を行う。一日の観測データとフレアデータをインターネット上に公開する。

#### 7. 干渉計型電波望遠鏡設置の準備

情報技術科棟屋上に干渉計型電波望遠鏡を設置予定である。干渉計型電波望遠鏡とはたくさんの望遠鏡を並べ、受信データを組み合わせることによって仮想的な一つの望遠鏡にする仕組みである。今年度は、赤阪鐵工所様に協力していただき、複数の干渉計アンテナの移動を楽にさせるため、逆V字型レールを屋上に設置した。

#### 8. 今後の課題

- ・観測データの自動解析・処理システムとデータの蓄積・公開システムの開発
- ・強度計システムの改善
- ・2アンテナによる干渉計形システムの設置と試験観測・改善点検出



# 「TSUNAGU」プロジェクト

## UMBYTS

法堂 可奈子（高2）【福山市立福山高等学校】、杉山 友厚（高2）【須摩学園高等学校】、  
金村 真奈美（高1）【不二聖心女子学院高等学校】、荒木 潤正（中等3）【奈良女子大学附属中等教育学校】、  
田井 遙華（中2）【豊島岡女子学園中学校】、佐藤 太陽（中等2）【新潟県立村上中等教育学校】

### UMBYTS とは

2015年白田スペーススクールで学んだ内容をさらに深く研究していこうというメンバーと、ブラックホールや宇宙機に興味のあるメンバーが集ってできたチームです。

#### 1. はじめに

私達は、謎に包まれているブラックホールの観測を地球上で観測すると大気や他の電波の妨害を受ける現状を克服するためにX線、電波の二つの方法で観測の行える宇宙望遠鏡を数台使って VLBI の技術を使い離れた場所から観測することで解像度を上げて詳しい調査を行うプロジェクトを提案した。そして、複数の宇宙機を連携させることからプロジェクト名を「TSUNAGU」と名付けた。

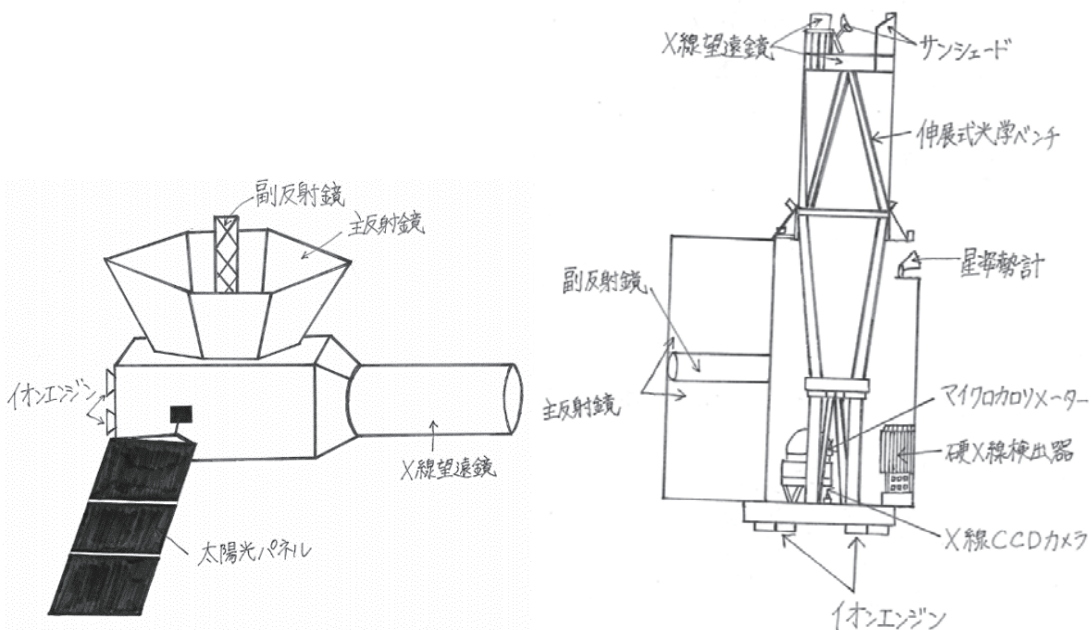
#### 2. 目的

VLBI およびX線望遠鏡を用いた詳しいブラックホールの観測に用いる宇宙機の提案。

#### 3. 計画

##### 3-1 概要

- ・銀河系やブラックホールの観測を行う。
- ・複数の宇宙機を使い、同じ天体を観測し、一台の巨大天体望遠鏡としての役割を果たす。



### 3-2 VLBI の技術を用いた宇宙望遠鏡

VLBI とは

VLBI (Very Long Baseline Interferometry : 超長基線電波干渉法) とは、はるか数十億光年の彼方にある電波星 (準星) から放射される電波を、複数のアンテナで同時に受信し、その到達時刻の差を精密に計測する。

### 3-3 姿勢制御

三軸制御方式の中でも、ゼロモーメント方式を利用する。姿勢制御装置として3軸基のリアクションホイールを搭載する。機体のモーメントをホイール内に蓄積し続けると月単位では回転数が上限値を迎え「飽和」してしまうため、スラスタを使いアンローディングする。

### 3-4 硬X線検出器

ガドリニウム・シリケート結晶を用いた無機シンチレーター(GSO)とシリコン検出器を組み合わせた硬X線からガンマ線の領域の観測のための検出器。

### 3-5 X線望遠鏡(XRT)

口径40cm、焦点距離4.5~4.75m 伸展式光学ベンチ(伸展長1.4m)に5台搭載。

### 3-6 X線CCDカメラ(XIS)

5台の望遠鏡のうちの4台の焦点面に備えられたX線CCDカメラ。

### 3-7 イオンエンジン

小惑星探査機はやぶさに搭載されたものを使用する。

### 3-8 マイクロカロリメーター

X線天体の温度、密度、元素組成や運動の様子を観測する。

## 4. 今後の検討課題

- ・重量の軽減化
- ・リアクションホイールの場所を確定する

## 5. 参考文献

①完全図解・宇宙手帳～世界の宇宙活動記録「全記録」～

②Wikipedia はやぶさ(探査機)

[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%81%AF%E3%82%84%E3%81%B6%E3%81%95\\_\(%E6%8E%A2%E6%9F%BB%E6%A9%9F\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%81%AF%E3%82%84%E3%81%B6%E3%81%95_(%E6%8E%A2%E6%9F%BB%E6%A9%9F))

③国土地理院 VLBI

<http://www.spacegeodesy.go.jp/vlbi/ja/>

④宇宙情報センター

[http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/three\\_axis\\_stabilized.html](http://spaceinfo.jaxa.jp/ja/three_axis_stabilized.html)

⑤X線マイクロカロリメーター

<http://www.isas.jaxa.jp/j/special/2008/suzaku/21.shtml>

## 火星移住を見据えたアンチレゴリスシステム

### 第14回 君が作る宇宙ミッション MUSES班

岡本 咲華(高1)【日本大学第三高等学校】、神山 友里(高1)【洗足学園高等学校】、  
小林 寧々(高2)【法政大学女子高等学校】、竹崎 碧(高1)【広島県立広島高等学校】、  
池谷 蓮(高2)【大阪府立豊中高高等学校】、田渕 宏太朗(高1)【南山高等学校男子部】、  
平山 龍一(高2)【高輪高等学校】

### 1.背景

アポロ17号ではハリソン・シュミット飛行士がレゴリスを吸引し、花粉症のような症状を引き起こした[1]。彼だけでなく、月面を歩いた全ての宇宙飛行士の肺組織にレゴリスがあったことが、帰還後の医学的調査により確認されている。吸引し続けたレゴリスが蓄積すると、皮膚や目への刺激やリンパ系、心循環器系等への健康被害を引き起こし、塵肺症の悪化により最悪死に至るといふことも考えられる[2]。

アポロ時代に利用された着陸探査用の宇宙服は、表面が繊維素材であった。船外活動(Extravehicular Activity(以下EVA))で繊維の隙間にレゴリスが入り込むが、除去が難しい。それらが宇宙船内で浮遊することで、健康被害を引き起こしたと考えられる。

将来、月や火星でのミッションではEVAが増えると考えられることから、同様の問題が起こらないよう特に対処する必要があると考えた。

### 2.目的

前章の背景を踏まえて、レゴリスの除去しやすい宇宙服の開発、及び基地内部に宇宙飛行士が入るまでに、宇宙服に付着したレゴリスを除去するシステムを構築することを目的とした。

### 3.解決策

これらの問題点に対処するために、宇宙服(3.1)、基地設備の改善(3.2)という2つの観点から解決策を考案することにした。

#### 3.1.アンチレゴリスーツ(ARS)

今回考案したのは、ハードシェルとソフトシェルから成るハイブリッド型宇宙服である。素材は、DLCコーティング[3]を施したチタン合金(Ti-6Al-4V)[4]をハードシェル部に、シリコン[5]をソフトシェル部に使用する。DLCコーティングは表1にあるように、優れた性質を示すため、宇宙服の保護などメリットが多い。これらの構造であれば表面に繊維を使わないため、アポロ宇宙服のような問題は起こりにくく、レゴリスの除去も容易になる。また、ハードシェル部には微小のくぼみをつけることにより、エアシャワーを用いた際に宇宙服表面の流れが剥離することを抑制する[6]。くぼみがあることで、以下の基地システムを用いた際にレゴリスの除去が容易になると思われる。

表1 宇宙服に用いる各素材の性質

DLC	耐凝着性、耐食性、耐摩耗性、 低相手攻撃性、化学的不活性
チタン合金	軽い、錆びにくい、 鉄よりも靱性が高い
シリコン	耐寒耐熱性、導電性、 耐屈曲疲労性、耐放射線性



図1. ARSのイメージ図

#### 3.2.基地設備

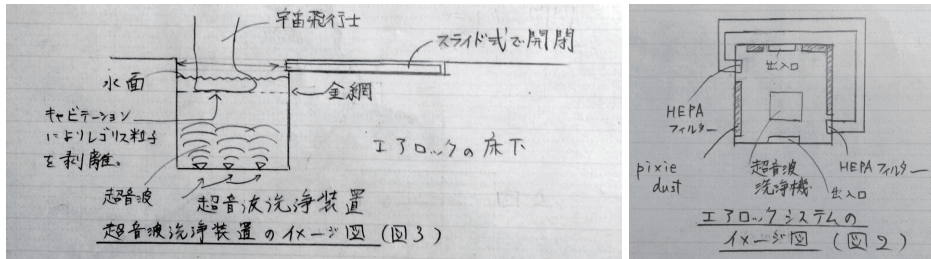
##### i)エアロック

エアロック内にはエアシャワーと超音波洗浄機[7]を備えて宇宙服と靴底に付着したレゴリスを除去する(図2)。

エアシャワーには、超音波で粒子を浮かせる「pixie dust」[8]という技術を応用する。エアロックの壁に埋め込んだスピーカーを用いて発生させた超音波で宇宙服表面のレゴリスを浮かせ、これをエアシャワーで吹き飛ばす。エアロック内の空気の循環システムには、HEPAフィ

ルター[9]を挟むことでレゴリスを取り除く。また、レゴリスの平均的な直径は65~70 $\mu\text{m}$ であり、HEPAフィルターは0.3 $\mu\text{m}$ の粒子を99%以上取り除くことが可能であるため、ほぼ100%のレゴリスを取り除くことが可能であると考えられる。

超音波洗浄装置はキャビテーション現象を用いてレゴリスを靴底から剥離させる装置である(図3)。この時使用する超音波の周波を100~1000kHzとすることで3~30 $\mu\text{m}$ の気泡が発生するため、汚れに応じてより効率的なレゴリスの除去を行える。



## ii)その他

まず基地外には、宇宙服に溜まった静電気を除去するためのケーブルを取り付ける。ケーブルの末端は月面に接触させてアースする。レゴリスは0.1~数 $\mu\text{C/g}$ ほど帯電しており[10]、これは宇宙服に搭載された装置を故障させる危険性がある。この問題を解決するためにケーブルを通し、宇宙服に帯電した静電気を流す。これにより、宇宙服に溜まっている静電気を逃せるだけでなく、他の機器が宇宙服に溜まった静電気により誤作動、もしくは故障する可能性を低減できる。

また、以上の対策をとっても、なお基地内にレゴリスが侵入する可能性が考えられる。そこで基地内の空気の循環システム内のファン部分に、前述したHEPAフィルターを取り付けることで残りのレゴリスを取り除く。

## 4.成果予測

前章の解決策により、基地内に持ち込まれるレゴリスの量が大きく減ると予測される。それにより、レゴリスによる健康被害及び、宇宙飛行士が受けるであろうストレスを大きく軽減することが期待できる。また、アポロ宇宙服と違い繊維素材でないので、宇宙服の損傷が軽減できると考えている。結果として、人間と宇宙服どちらにも優しいシステムであると言えるだろう。

## 5.今後の展望

近年、はやぶさ2など、サンプルリターンへのミッションが国際的に盛んに計画、実行されている。これらで持ち帰ったサンプルを用いて、このシステムが実際どれ程の有効性をもっているのかといった実験をしていきたい。また、レゴリスの除去システムは地球上でも、砂漠地帯の建造物の入口などの身近な場所や、クリーンルームの入り口などに技術応用が可能である。上記のようなシステムを完成させることは火星移住の早期実現を可能にすると同時に、宇宙飛行士の安心安全なミッション遂行を支えることとなるだろう。

## 6.参考文献

- [1]月面の環境(レゴリスを中心に) : [http://edu.jaxa.jp/himawari/pdf/2\\_moon.pdf](http://edu.jaxa.jp/himawari/pdf/2_moon.pdf)
- [2]月面ダストの生体影響 : [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/24/2/24\\_2\\_129/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jar/24/2/24_2_129/_pdf)
- [3]DLC(Diamond Like Carbon) : <http://www.nippon-ift.co.jp/technology/about-dlc04.shtml>
- [4]チタン合金 : <http://www.natori-mnf.co.jp/titanweak/index.html>
- [5]シリコーン : [http://www.silicone.jp/catalog/pdf/rubber\\_j.pdf](http://www.silicone.jp/catalog/pdf/rubber_j.pdf)
- [6]金原・築地ほか5名,(平21),流体力学-シンプルにすれば「流れ」がわかる-,210-216,実教出版.
- [7]超音波洗浄 : [http://www.kanto.co.jp/times/pdf/CT\\_237\\_02.pdf](http://www.kanto.co.jp/times/pdf/CT_237_02.pdf)
- [8]pixie dust : <http://pixiedusttech.com/>
- [9]HEPAフィルター : <http://www.k-mpm.com/filter/J4-1A.html>
- [10]月レゴリス帯電量 : <http://www.kawamoto.mech.waseda.ac.jp/kawa/researches/pdf/shield/2014tajima.pdf>

# GOHSE-G ～糖から探す地球外生命体～

## 第14回 君が作る宇宙ミッション SOLAR 班

大野 匠(高3)【埼玉県立所沢高等学校】、岩間 結子(高2)【大阪府立大手前高等学校】  
 月岡 みなみ(高2)【神戸海星女子学院高等学校】、仁木 いずみ(高2)【山手学院高等学校】  
 法堂 可奈子(高2)【福山市立福山高等学校】、麦踏 松秀(高2)【兵庫県立龍野高等学校】

### 序論

地球外生命体が存在するか否かは、人類最大の謎のひとつとして我々の関心を惹きつけてきたが、その存在は未だ確認されていない。我々は生命活動に必要な物質を探索していくことで生命やその痕跡を確認する、という新しい探索ミッションを提案する。

## 1. コンセプト

従来、生命の定義として体の中と外を区切る仕切りの役割を持つ膜を持つことが多く用いられてきた。本ミッションでの「生命」はこれに加え、外から物質を取り込み、化学反応でエネルギーを得て、物質を排出するものとして、解糖反応に基づいた化学反応式を定義した。

我々はこの反応で用いられる物質を検出することをひとつの目的として、分光観測や直接採取という手法で探索を行う。その物質が発見された上で、最大の目的である、生命もしくは生命の痕跡の発見を細胞染色法を用いて行う。

## 2. 探索手法

### 2.1 生命の定義

ここでいう「生命が存在している」とは、自らと外界の仕切りを持つ生命体がエネルギー源を吸収し物質を排出する一連のプロセスが存在している、と定義した。本ミッションでは生命活動に最低限必要であると考えられる物質や生命活動の結果排出されると考えられる物質を探す。

### 2.2 注目した化学反応式

生命が物質を吸収し、エネルギーを得て、物質を排出する方法はいくつかあるが、我々は解糖に注目した。解糖のプロセスは数多く存在するが、我々は下記の反応に注目した。



エネルギー源としてグルコースを選んだ理由はエネルギー効率がよく、地球上で発展している高等生物はグルコースをエネルギー源にしているものが多いからである。

我々はグルコースの分解に酸素を用いている。しかし、太陽系内の惑星において地球のように酸素が気体として普遍的に存在している環境は稀である。そこで、地球海底の熱水噴出孔に注目した[1]。地球における熱水噴出孔では、酸素ではなく硫化水素をエネルギー反応

に利用する生物が存在しているため、上記のような式となる。したがって、グルコース・硫化水素・メタンを検出すればよい。

## 2.3 検出方法

2.2の化学反応式に出てくる物質であるグルコース・硫化水素・メタンの検出方法は、以下の通りである。

- ・グルコース・・・直接サンプルを採取してベネジクト液で検出
- ・硫化水素・・・波長 3.8 $\mu\text{m}$  の近赤外線による分光
- ・メタン・・・波長 1.67 $\mu\text{m}$  の近赤外線による分光

## 3. 探査の流れ

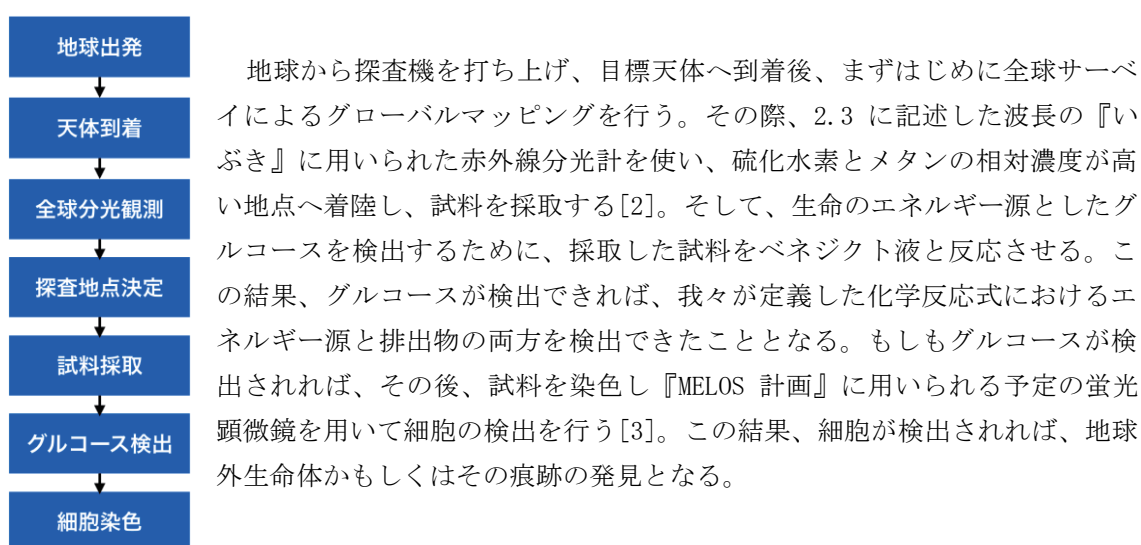


図1 フローチャート

## 4. まとめ

我々は生命の生存した定義として、エネルギー源と排出物が存在していると考えた。そこで、エネルギー源としてグルコースと硫化水素、排出物としてメタンに注目し、それぞれの物質の観測手法を検討した。

対象天体は、化学反応が起こるための適度な熱・化学反応の溶媒となる水・観測すべき物質の3つが存在する氷衛星であるエウロパもしくはエンケラドスを考えている。

## 参考文献

- [1] 柳川弘志, and 小林憲正. "生命の起源の場としての海底熱水噴出孔 (<特集> 海洋底熱水活動の物理・化学・生物過程)." 地球化学 22.1 (1988): 96-105.
- [2] 濱田一男, et al. "観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望." NEC 技報 64.1 (2011): 91.
- [3] 山岸明彦. "火星における欧米の生命探査計画と MELOS 計画での生命探査." 地質学雑誌 118.10 (2012): 675-682.



# バス部同一パネル型人工衛星を用いた修理システムと そのデリバリー衛星「でまえ」

第14回 君が作る宇宙ミッション PLANET班

中村 藍（高2）【北海道札幌南高等学校】、中村 祐太（高2）【八千代松陰高等学校】  
 深津 美薫（高2）【埼玉県立浦和第一女子高等学校】、並木 達郎（高2）【新島学園高等学校】  
 市川 豪士（高2）【三重県立四日市南高等学校】、山下 薫（高2）【福岡県立明善高等学校】

## 0. 前提条件

この修理システム構築完了は2045年頃を目指す。

2016年現在よりも年間に打ち上げられる宇宙機の数や商業を用途として衛星を打ち上げることが増えていることを想定する。また、現在よりも機械の制御技術なども発展していると想定する。

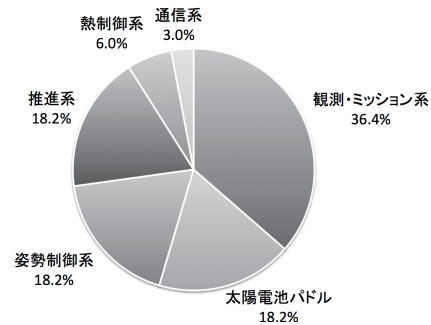


図1 軌道上で発生した故障の原因の割合(\*1)

## 1. 背景

衛星が増えれば相対的に事故が増えその結果、運用不可能になる衛星が増え、運用不可能な衛星はデブリとなると考えられる。デブリは宇宙機を運用する上で大きな障害となるため、デブリの増加抑止が必要不可欠である。人工衛星の故障の多くはバス部が原因である(図1)。そのため、故障したバス部の交換を簡単に行うことができれば、故障した衛星の寿命を延ばすことができると考えた。

## 2. 目的

人工衛星の部品交換を宇宙で行うことで、人工衛星の寿命を延ばし、宇宙空間のデブリの増加抑止の一手とする。この一連の流れを工学実証する。

## 3. 手段

### 1) システム

故障したバス部の交換を容易にするために、バス部の機器を機能ごとに分け、パネル状に配置する衛星の形をとる。そうすることで、バス部の一部の機能に異常が起きた場合はそのパネルのみを交換すれば衛星として再び問題なく運用できる。パネルにすることで特注であった衛星が汎用的になるので、衛星の単価を下げることもできる。この修理システムを構築する上で、母艦と修理される衛星と修理することを目的とした修理衛星の3つを同時に運用することになる。母艦は、パネルの貯蔵を目的とした衛星で、修理衛星の整備なども行う。母艦にパネルを貯蔵することで、修理のたびにロケットを打ち上げる必要がなくなり、衛星運用のコストを削減することが可能となる。軌道は、修理される衛星の需要が多いと考えられる太陽準回帰軌道付近の高度640km、軌道傾斜角94度とする(※2, 3)。修理される衛星は、宇宙開発機関や企業が様々な用途で打ち上げる衛星を指し、パネル型衛星であることが条件である。修理する衛星は、故障したパネル型衛星の新しいパネルの運搬・交換をミッションとする衛星を指し、普段は母艦に格納されている。新しいパネルを故障した衛星のもとに運搬することから、「でまえ」と名付けた。



具体的には、母艦に貯蔵してある新しいパネルを、修理衛星がパネル型衛星に接近し交換する事で、一度故障した衛星を再び衛星として運用する事ができる(図2)。故障したパネルは、修理衛星が回収し、母艦に格納して修理する事によって、再利用する。修理できなくても、故障箇所等を確認し、次の衛星開発に役立てる(※4)。

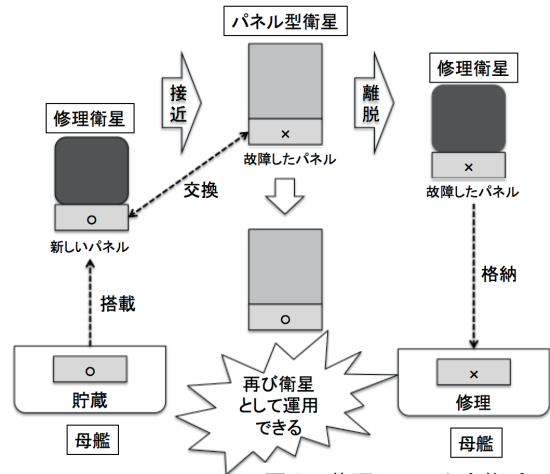


図2 修理システム全体プラン

2) 実証方法

まず地上でのパネル交換実験を行う。次に、宇宙でもそれが可能かを安全のために有人ステーションで実証する。その後、修理を効率よく行うために、母艦を建設する。数回に分けて打ち上げ、軌道上で組み立て、母艦での無人パネル修理実験を行う。最終的にはパネル型人工衛星を企業などに普及させ、商業的に利益をあげることも視野に入れる。

3) 計画年表

上の実証方法を、表1のような年表を目安に進めていく。

表1 計画年表

2016年	プロジェクト始動、設計開始
2026年	パネル型人工衛星、及びその修理衛星の設計の完了 地上実験開始
2030年	地上実験終了
2032年	パネル型人工衛星試験機1号機打ち上げ、軌道試験
2033年	修理衛星試験機1号機打ち上げ、第1回パネル交換試験実施 (以降、試験機を打ち上げ、パネル交換実験を実施)
2036年	母艦設計完了、母艦作成開始
2041年	母艦打ち上げ、軌道上組み立て
2042年	母艦完成、母艦での修理実施 (以降、幾度か母艦での修理を実施し、改良等を加える)
2045年	運用開始
2050年	商業化

4. 将来展望

修理可能なパネルの規格を採用した衛星を各国の宇宙開発機関や企業に多数採用してもらう事により、コスト面でメリットの多い人工衛星を普及させ、宇宙開発、さらには社会全体の利益につなげる。また、有人宇宙船のバス部をパネル化する事で、もし宇宙船が故障した場合、その箇所を交換し、人命救助やミッション続行を可能にすることもできると考える。

5. 参考文献

- ※1 日本信頼性学会誌「信頼性」2013 Vol. 35 No. 5(通巻209号)  
『人工衛星の軌道上信頼性 ーその現実と展望ー』 斎藤 宏文氏
- ※2 電卓で行う軌道解析(JAXA 野田 篤司氏 ホームページ)  
<http://anoda.web.fc2.com/oldpage/space/mlab06/mlab06.htm>
- ※3 衛星の姿勢制御, 軌道制御装置の長寿命化技術(IHIエアロスペース)  
[http://www.ihl.co.jp/var/ezwebin\\_site/storage/original/application/1330a8b9b72f081472c1bd05204f599d.pdf](http://www.ihl.co.jp/var/ezwebin_site/storage/original/application/1330a8b9b72f081472c1bd05204f599d.pdf)
- ※4 ASNAROプロジェクト概要(財団法人 無人宇宙実験システム研究開発機構)  
[http://www.isas.jaxa.jp/home/rikou/kogata\\_eisei/symposium/1st/koto/005\\_mihara.pdf](http://www.isas.jaxa.jp/home/rikou/kogata_eisei/symposium/1st/koto/005_mihara.pdf)

## スペースデブリの除去をめざして

小倉高等学校科学部SS天文研究会  
 早瀬 加奈子、樋本 ゆき乃(高2)  
 荒木 梨花、ペレス前田寿利明(高1)

### 1. 目的

私たちはスペースデブリ(以下デブリと表記)の除去に向けて、デブリの観測を行い、観測によって得たライトカーブ(対象天体が反射した光の量を表すグラフ)より、デブリの回転の様子と形状を決定しデブリの除去に貢献しようと考えた。

### 2. 研究内容

#### ○観測1—静止画で撮影する

まずデブリを静止画で撮影しライトカーブを入手しようと考えた。

手法：CCDカメラを天頂付近に向け固定し、上空を通過したデブリをランダムで撮影する。

結果：2014年11月～12月に合計20時間観測を行い、32個のデブリを確認できた。その中から光度の変化により点滅しているデブリを1つ確認できた。

(観測を行った結果生じた問題点)

問題点A ランダムに撮影したため同じ対象天体を複数回観測できない→観測対象を絞り出現予測をするためのプログラムの作成が必要である

問題点B 点滅しているも細かい光度変化を確認できない→動画での撮影が必要である

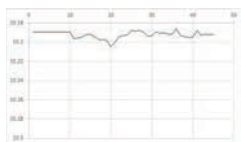
#### ○出現予測のプログラムの作成

問題点Aを解決するため、BASIC言語を用いてデブリの出現予測のプログラムを作成した。

#### ○観測2—動画で撮影する

問題点Bを解決するため、デブリを動画で撮影した。

手法：プログラムで出現予測を行い、CCDカメラで動画を撮影した。2015年7月～10月に観測を行い53個のデブリが撮影できた。

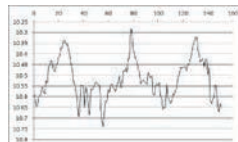
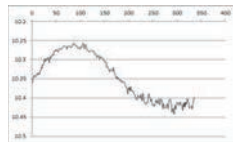
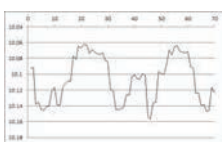


結果：光度変化がないデブリ

Cosmos1346Rocket

50個は光度変化が0.02等級程度しかない。これは物体自体の光度変化ではなく、デブリはほとんど回転していないと考えられる。

#### 結果：光度変化があるデブリ



Meteor1-28

USA238

Noaa12

これらは人工衛星に関連したデブリである。USA238とNoaa12はまだ使用されている衛星であるため、すでにデブリとなったMeteor1-28のモデル実験を行った。

## ○モデル実験

観測で得たライトカーブの変化する原因を推定して粘土モデルを作成し、観測で得たライトカーブと比較して複数回実験を行う。

(Meteor1-28の特徴)

- ・光度変化幅は0.10等級
- ・光度変化の周期は約1.2秒
- ・極大値の光度に差がある
- ・極小値の光度が一定である
- ・極小値の長さに差がある

これには1.形状 2.自転軸の傾き 3.素材 4.色が関係していると考え、モデル実験を行った。

### 1.形状：台形

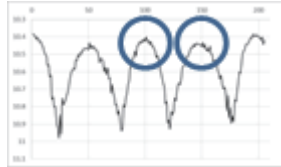
結果

極大値の光度に

0.05程度の差

極小値の光度、

長さが一定



### 2.自転軸の傾き：約20°

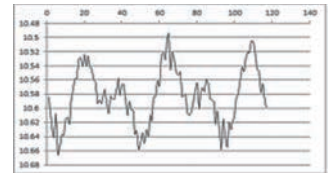
。

結果

極大値の光度に0.05程度の差 極小値の

光度に0.05程度の差

極小値の長さに差



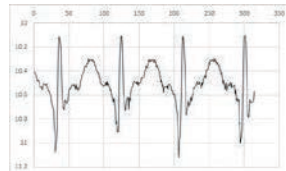
### 3.素材：アルミ箔

結果

極大値の光度が一定 極小値の光度に

0.05程度の差 短時間で光度が非常に大

きくなる

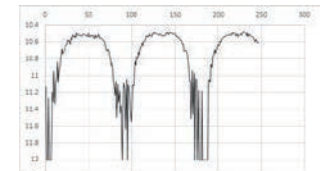


### 4.色：一部を黒く塗る

結果

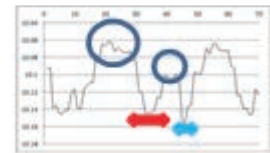
極大値が長く滑らか

極小値が一定



## ○実際のライトカーブと実験で得られたライトカーブを比較する

Meteor1-28の極大値の光度に差がある点から1と2、極小値の光度が一定である点から1と4、極小値の長さに差がある点から2のライトカーブが当てはまる。よってMeteor1-28の形状は1と2を組み合わせたものであると考え、さらに実験を行った。



結果：極大値の光度に0.05程度の差、極小値の光度の長さに差が生じ、実際のライトカーブと一致した。しかし極小値の光度にも差が出たため、表面の色も考慮する必要がある。

## 4.まとめ

### ○結論

ほとんどのデブリは光度変化がない。光度変化があるデブリは人工衛星に関連したものであり、ライトカーブよりおよそその形状を決定することができた。

### ○今後の展望

Meteor1-28について現在推定している形状と自転軸の傾き、さらに表面の色を考慮しながらより正確な形状決定を行う。観測を続けてライトカーブを入手し、詳細部分の決定まで行う。

### ○参考文献

宇宙航空研究開発機構(JAXA) HEAVESABOVE 人工衛星の位置計算推算の実際

天体の位置計算 小倉高校の過去の研究実績(平成17~23年度の小倉高校科学部論文)

## ピタゴラはやぶさ2 Season2 —ピタゴラ装置による宇宙探査ミッションの解説—

鄭 秀煥、伊藤 輝、氏平 龍子（高2）、石関 康汰、山中 一智也（高1）  
【東京工業大学附属科学技術高等学校科学部】

### 1. 概要

はやぶさ2は、小惑星 Ryugu (1999JU3)からのサンプル回収を目的とする小惑星探査機である。ピタゴラはやぶさ2は、はやぶさ2が行うミッションを再現するピタゴラ装置であり、見た人がミッション内容を直感的に把握できることを目的とし、2014年度より文化祭の展示として毎年製作している。

ピタゴラはやぶさ2 [http://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci\\_club/pitahaya/pitahaya2.html](http://www1.hst.titech.ac.jp/club/sci_club/pitahaya/pitahaya2.html)

Hayabusa2 is a Japanese asteroid explorer traveling to the asteroid Ryugu (1999JU3) which will bring back soil samples. We show you its journey with a Rube Goldberg machine, a contraption, known in Japan as “Pythagora kinematic chain”. We call it “Pythagora-Hayabusa2”. “Pythagora-Hayabusa2” simulates the Hayabusa2's journey. There are 7 toy simulations that express the mission of Hayabusa2 in “Pythagora-Hayabusa2”. When it is started, all simulations work automatically by kinematic chain reactions. Just see and enjoy it, then you will know well about Hayabusa2's missions. You can see it any day on YouTube.



ピタゴラはやぶさ2動画 /“Pythagora-Hayabusa2”on YouTube

←日本語版 [http://youtu.be/rbo1-EY\\_R6s](http://youtu.be/rbo1-EY_R6s)

English <http://youtu.be/68QHLLJK3db4>→



### 2. ミッション内容

表1の通り、この装置は7つのしかけでできている。そのうち二つについてここで解説する。

#### a. スイングバイ

スイングバイは、惑星の引力を使って探査機の進む方向と速さを変える航法である。2014年度は、磁石をレール状に配置し、はやぶさ2に見立てた鉄球を転がして、軌道が曲がることを再現した。2015年度は、磁石のレールの配置を実際の135度に近づけて鉄球の曲がる角度を浅くし、軌道面に勾配を与えることで、加速を再現した。

#### b. クレーター生成

はやぶさ2が目的地としている小惑星Ryugu (1999JU3)は、C型の小惑星で、太陽系形成時に存在していた水や有

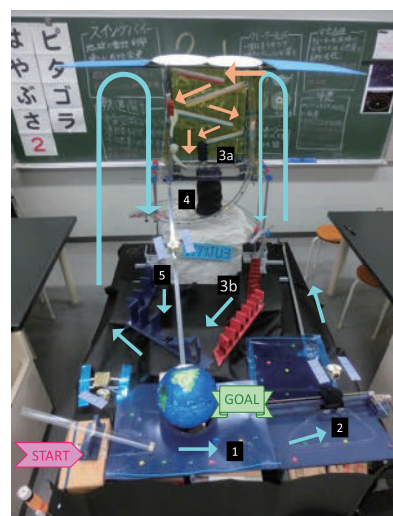


図1 ピタゴラはやぶさ2の外観

表1 はやぶさ2のミッションとピタゴラはやぶさ2のしかけ対照表

期日	はやぶさ2ミッション	ピタゴラはやぶさ2のしかけ
Dec 3, 2014 13:22JST	打ち上げ	0 打ち上げ [体験展示] : 足踏みポンプによるストローH-IIAロケットの打ち上げ
Dec 3, 2015	地球スイングバイ	1 地球スイングバイ:磁石のレールと板の傾きで方向と速度を調整
		2 軌道選択 [体験展示] : コントローラではやぶさ2を左右に操作して通過位置決め
2018年夏	Ryugu 到着	(未着手)
	衝突装置分離	(未着手)
		3a 安全退避: Ryuguの背後をめぐるドミノによる退避コースを通過
	人工クレーター生成	3b 人工クレーター生成:宇宙風化層をココア、内部のフレッシュ層を小麦粉で再現。鉄球を落下させてクレーターを生成
	サンプル採取	4 サンプル採取: サンプラーホーンが下降、小惑星表面にタッチ
2020年冬	地球帰還	5 地球帰還: はやぶさ2はサンプル分離して、サンプルのみ地球へ

JAXA/はやぶさ2ミッション | ファン! ファン! JAXA! : <http://fanfun.jaxa.jp/countdown/hayabusa2/mission.html> より

機物が当時のままで保存されていると考えられており、はやぶさ2は、このRyuguの宇宙風化されていない内部の土壌サンプルの回収を目的としている。

ピタゴラはやぶさ2では、小惑星表面の宇宙風化土壌をココアパウダー、内部の土壌を小麦粉に置き換えた二層の模擬表面に、インパクト打ち込みの代わりに上から鉄球を落下させて内部の白い小麦粉層を飛び散らせて人工クレーターを生成する(図2)。そのクレーターの形状は月を参考としており、2014年度は、球の落下距離で適切な形状になるように実験し、50cmとした。2015年度は装置レイアウトの都合により、より短い落下距離にするため小麦粉層の下に厚さ12mmの木製の板を埋め反発を利用して同様の効果を得た。

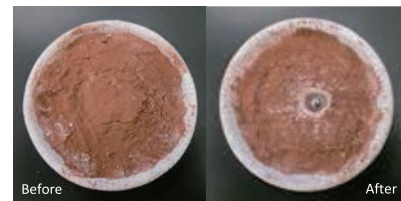


図2 クレーターの生成・2015年度版

### 3. まとめ

クレーターの形状は、地球の六分の一の重力の月をモデルとしているが、さらに数十万分の一と低重力である Ryugu での実際のクレーター形状について、はやぶさ2が持ち帰る成果に興味深く待っている。このピタゴラ装置で、子供から大人まで、専門知識がなくても探査機のミッションの実施内容を正確に把握し、その面白さを身近に知ってもらって、一緒にはやぶさ2の応援をしたい。

### 4. 参考

NHK 教育テレビ「ピタゴラスイッチ」(Pythagora Switch):

<http://www.nhk.or.jp/kids/program/pitagora.html>

"Pythagora kinematic chain" is well known by all generations in Japan, because of this educational TV program 「ピタゴラスイッチ」/“Pythagora switch”.



## 缶サット甲子園2015報告 — スピン安定による飛行姿勢の改善 —

石関 康汰、山中 一智也 (高1)、伊藤 輝、鄭 秀煥(高2)  
【東京工業大学附属科学技術高等学校科学部】

### 1. はじめに

模擬人工衛星「缶サット」は、ジュース缶にマイコンとセンサー、カメラなどを搭載して、空中を降下中に人工衛星と同様に自律でミッション（課題）を実施させるものである。

缶サット甲子園は高校生向けの競技会で、自作した缶サットでミッションを競う。2015年、私達は関東大会（2015年7月22日～23日）に参加し、秋田で行われた全国大会（同年8月2日～4日）に出場した。

缶サット甲子園全国大会の規定により、缶サットはロケットに載せるためにパラシュート込みで直径60mm・全長123mm・重さ270～300gに収める必要がある。

### 2. 製作した缶サット（機体名：親機GoBo, 子機HaNa）

今回は、図1の通り、親機と子機の2機で構成した。親機GoBo(a)には、自転を生成するプロペラとそれを動かすモーターが付いており、子機HaNa(c)は、プロペラのストッパーと質量分散の役割を持つ。また、機体の回転が判別できるように、パラシュートと本体に塗装を施し、あわせて加速度センサと地磁気センサで機体の姿勢を検出できるようにした(表1)。

### 3. ミッションと方法

缶サットは、ロケットから放出されたときにパラシュートの頂点を支点に、本体が振り回されるような運動（円錐振り子）を起こすことが多い。この場合、ミッションの結果に悪影響を及ぼす。そこで今回、私たちはコマの原理を用い、本体を自転させることで缶サットの姿勢を安定させるスピン安定を行った。

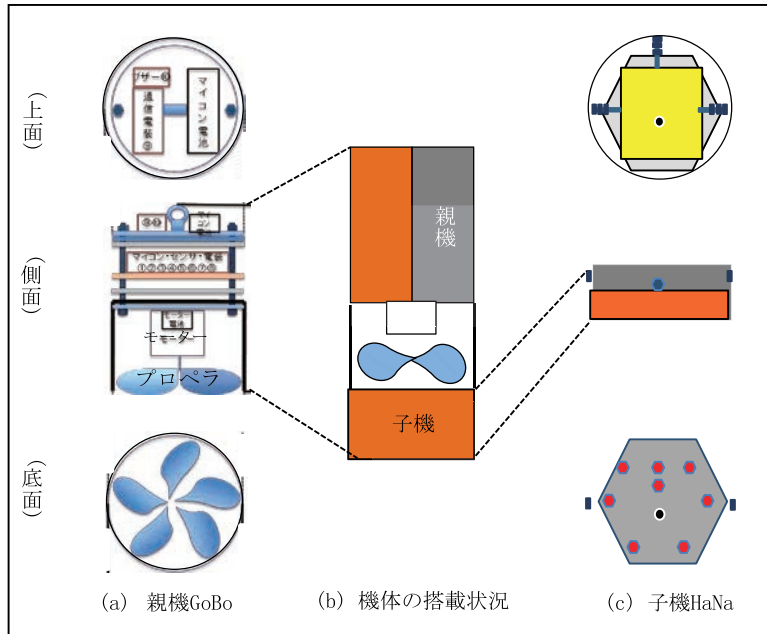


表1 親機GoBo、子機HaNa仕様

	親機GoBo	子機HaNa
全長	107.0mm	3.2mm
外径	66.0mm	66.0mm
最大全長	107.0mm	3.2mm
最大外径	66.0mm	66.0mm
重量	196.1g	74.1g
電源電圧	CR2×2	なし
連続使用時間	90分以上	なし
搭載センサ	気圧 加速度 照度 地磁気 圧力A 圧力B 圧力C	なし

図1 機体の仕様・搭載状況



a. 缶サットの飛行

ロケットの搭載重量の下限値を満たすために増やした余分な質量は子機HaNaに持たせ、ロケットからの放出時に親機GoBoと子機を分離して、別々に降下させる。親機GoBoは円錐振り子状態で飛行を開始した後、タイマーによってプロペラが回転を始める。すると、その反作用によって、本体はプロペラと逆向きに自転する。この自転によってスピン安定となり、円錐振り子の運動は消えていく。

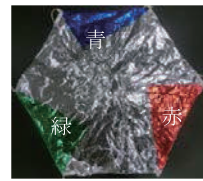


図2 パarachュートの三色塗装



図3 本体のミラー塗装 (左側ミラー面)

b. 姿勢と回転数の判断

缶サットの回転状況の判断は、parachュートと本体の特殊塗装、地磁気センサの3つの方法から行う。parachュートは図2の通り塗装し、この三色の見える順番で回転方向と回転数を地上から目視（地上ビデオ）で確認する（図5）。本体は、図3の通り、1回転するとミラー塗装が太陽光を反射して1回光り、光った回数を計数することで回転数を調べる。また、図4の通り、地磁気センサの出力は最高値が北を示し最低値が南を示す。ここから本体の回転数を出す。

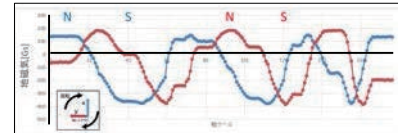


図4 地磁気センサが示す本体の自転

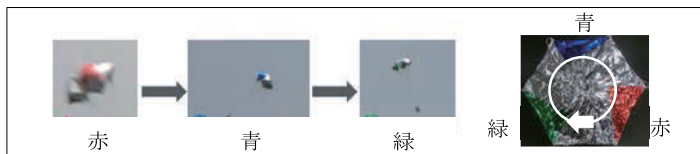


図5 三色塗装による回転方向検出

4. 結果とまとめ

表2に、地上ビデオによる目視観測を含め、親機GoBoのparachュートと本体についての回転方向・回転数をまとめた。その結果、当初スピン安定を生成させるための自転がparachュートによじれを生じさせることを懸念していたが、この現象は起きないことが判明した。全国大会の結果によれば、parachュートと本体が、両方とも時計回り方向にほぼ同じ回転数で回転しており、同期していることがわかる。

また、表2の通り、関東大会での本体外装のミラー塗装と搭載地磁気センサの回転数は同じ値である。そこで、図6のように、地磁気センサの南北検出軸上にミラー塗装を配置すれば、缶が太陽の光を反射して光ったときの地磁気センサの方向が検出できる。従って、反射を地上ビデオで撮影すれば、地磁気センサと地上ビデオの時刻が一致し、地上ビデオに収録された飛行イベントについて、全てのセンサデータを対応して読み取ることが可能になる。今後、標準実装すべき機能と考えている。

表2 親機GoBoのparachュートと本体の回転方向・回転数

ミッション機器		関東大会 (2015年7月22日, 投下高度27m)	全国大会 (2015年8月12日, 投下高度78m)
parachュート	三色塗装	-	7回転 時計回り
本体	地上ビデオ	2回転	6回転
	ミラー塗装	反時計回り	時計回り
	地磁気センサ	2回転	-

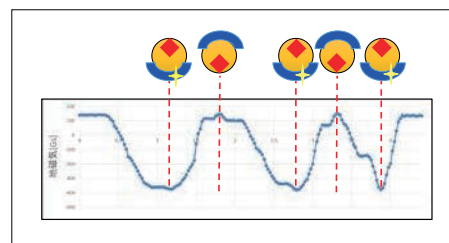


図6 地磁気センサと地上ビデオの時刻合わせ

5. 参考

缶サット甲子園(「理数が楽しくなる教育」実行委員会主催) <http://www.space-kosien.com/cansat/>

## Sun Casted Shadow Measurement by Using Gnomon Apparatus

Nanthima Waochangrit<sup>1</sup>, Jeeranan Detsamrong<sup>1</sup>, Jintana Motong<sup>1,\*</sup>, Surachai Tuamsomboon<sup>2</sup>, Busarakum Bongkotket<sup>2</sup>, Ruechookan P. Soontaranon<sup>2</sup>, Sam Srisuro<sup>3</sup>, Panglam Charoenchit<sup>3</sup>, Pattanapong Jumrusprasert<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Jatukam Wittayacom Elementary School, Don, Pakthongchai, Nakhon Ratchasima, Thailand

<sup>2</sup>Astronomical Human Resource Development for School and Networking with Regional Observatory Project, National Astronomical Research Institute of Thailand (Public Organization), Ministry of Science and Technology, Thailand

<sup>3</sup>Rajamangala University of Technology Isan, Mueang, Nakhon Ratchasima, Thailand

<sup>4</sup>Nakhon Ratchasima Rajabhat University, Mueang, Nakhon Ratchasima, Thailand

\*Corresponding author. Tel: +66 81 2653810; e-mail: jintana\_motong@hotmail.com

### ABSTRACT

The sun casted shadow was studied by using a simple Gnomon apparatus. The length of shadow projected from a small stick was measured at the location of Jatukam Wittayacom elementary school, Nakhon Ratchasima, Thailand (GPS location 14° 41' 37.66" N, 102° 4' 22.69" E). The observation times were 7.30 a.m., 10.30 a.m., 12.15 p.m., 2.30 p.m. and 4.30 p.m. From this study, the sun trajectory can be modeled. A long shadow length was observed in the morning. They were the longest and the shortest in the evening and at noon, respectively. When compare the shadow measured at the same time of the day in different week, the length increased. This correlated well with the decreasing of the measured azimuth angle of the sun which is known as winter solstice phenomenon.

**Keywords:** Sun shadow, Gnomon

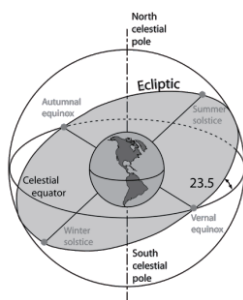
### INTRODUCTION

We observed the shadows of ourselves and of the tree with variety of length and direction on different time. Because of this, we would like to study more with the casted shadow of the object from the sun by using a simple Gnomon apparatus.

A Gnomon / *ˈnɒmɒn*, *ˈnɒ-mən*, *nɔˈmɒn* / is the raised part of a sundial that casts the shadow. Moreover, Gnomon is an early astronomical instrument consisting of a vertical shaft, column, or the like, for determining the altitude of the sun or the latitude of a position by measuring the length of its shadow cast at noon [1].

The objective of this observation is to study the shadow length and direction casted from the sun for different time of the day and understand the sun trajectory during observation period.

As illustrated in Fig.1, if the sun's path is observed from the Earth's reference frame, it appears to move around the Earth in a path which is tilted with respect to the spin axis at 23.5°. This path is called the ecliptic. The points where the ecliptic crosses the equatorial plane of the celestial sphere are called equinoxes (around 21-22 March and 22-23 September). On those dates there are 12 hours each of daylight and dark. The most northern excursion of the sun is called the summer solstice (around 20-21 June) and will have the longest amount of daylight. The winter solstice (around 21-22 December) opposite it is the shortest period of daylight [2], [3].



**Figure 1.** The celestial sphere. (<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/eclip.html>)

### METHODOLOGY

A nine centimeter length shadow stick called Gnomon was used as an object for shadow casting from the sun. The Gnomon stick was placed normal to the ground by installing on a rigid support placing at the same location for all measurement. The study took place for 7 weeks starting from 1 October 2015 to 12 November 2015 at Jatukam Wittayacom elementary school, Nakhon Ratchasima, Thailand (GPS location 14° 41' 37.66" N, 102° 4' 22.69" E). The observation times were 7.30 a.m., 10.30 a.m., 12.15 p.m., 2.30 p.m. and 4.30 p.m. On 22 November 2015, the shadows were observed every hour. In this observation, we focused on the shadow length and its direction which corresponds to the azimuth angle. The altitude angle had also been measured from the tip of the Gnomon stick and the tip of its shadow casted on the ground.

### RESULTS

The shadow observation was done every day. As shown in Fig. 2, the data from every Thursday starting from 1 Oct 2015 were selected for illustration proposes. From the observation results, the longest shadow length was observed in the morning at 7.30 a.m. It was decreasing and became the shortest at noon. The length increased again from noon to the evening. The trend of increasing shadow length was also observed when we compare the results obtained from the same day in each week.

As show in Fig. 3, the average altitude angle was increasing from morning, became the highest at noon and decreasing from noon to the evening. When compare the results from 7 weeks, the angle was the highest in the first week and the lowest in the seventh. The relation between Fig. 2 and Fig. 3 is that the decreasing in altitude angle corresponds to the increasing of the shadow length. In the other words, the highest angle of first week provided the shortest shadow. The reason is that the measured altitude angles from the tip of shadow and Gnomon stick can be interpreted as the altitude angles of the sun with respect to the ground. The lower the sun altitude angle, the longer the casted shadow. On the other hands as the sun moved near the zenith at noon, the Gnomon shadow would be short.

The variation in azimuth angle, the shadow length and the virtual sun position observed on 22 Nov 2015 which is a month before winter solstice are showed in Fig. 4.

The shadows length and azimuth angle were plotted as the solid color lines while the sun trajectory can be obtained by projecting these lines into the opposite direction (dash lines). It can be seen that all the shadows laid toward the north direction implying the sun position was in south direction. This is because our observation period is closed to the winter solstice of 21-22 December where the sun moved toward the most south direction as shown in Fig. 1. It should be noted that more change of the azimuth angle were observed during noon time where the sun are almost normal to the ground as compared to the morning or the evening.

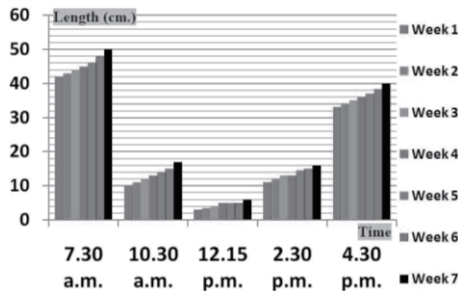


Figure 2. Comparison of shadow lengths at different time from every Thursday in 7 weeks during 1 Oct – 12 Nov 2015.

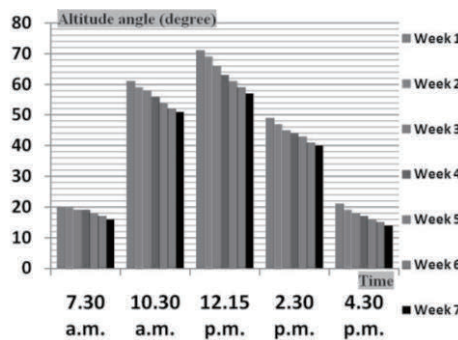


Figure 3. Comparison of altitude angles measured from the tip of shadow and Gnomon stick at different time from every Thursday in 7 weeks during 1 Oct – 12 Nov 2015.

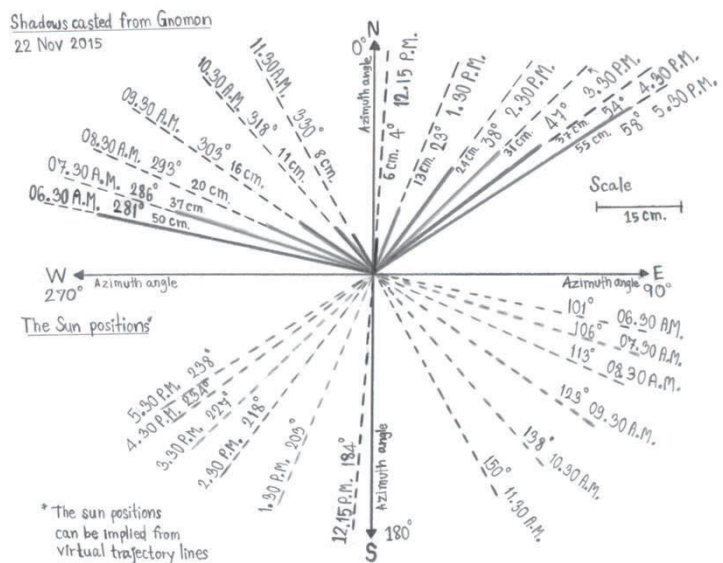


Figure 4. The shadow length with its azimuth angle and its virtual projected line of the sun position at different time on 22 Nov 2015.

### CONCLUSIONS

Shadow length and direction contain information about the sun position and trajectory. As the day changes toward December, the daily shadow length increases. This agrees well with the decreasing of the azimuth angle measured from the tip of the Gnomon stick. This results correlate with the winter solstice period where the sun moved toward the south direction giving the decreasing sun’s azimuth angle and casted shadow toward the north direction.

### REFERENCES

[1] Gnomon. Available at <<http://www.wordreference.com/gnomon>> (accessed 15.01.16).  
 [2] Equinoxes and Solstices. Available at <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/eclip.html>> (accessed 15.01.16).  
 [3] Ecliptic. Available at <<http://www.lesa.biz/astronomy/celestial-sphere/ecliptic>>. (accessed 10.11.15).

## The Study of the Relation of Earth, Moon and Sun by Tides

Kasira Wannasiri [penypinn.x@gmail.com](mailto:penypinn.x@gmail.com)

Piboonbumpen Demonstration School Burapha University, 73 Saen Suk, Chon Buri, 20131, Thailand

Boonsong Henngam. [nokkok234@hotmail.com](mailto:nokkok234@hotmail.com)

### Abstract

The relation of Earth, Moon and Sun causes tides differently in each day. Tide levels affected by gravitational force that directly dependent upon the masses of objects and inversely to the square of the distance. In order to analyze this relation, I collected tide levels and the distance from *Tide Tables Thai Waters Mae Nam Chaophraya- gulf of Thailand and Andaman Sea 2015*. In the section1, I studied the relation of the Earth and the Moon I found that the difference between the highest – lowest tide levels depends on the moon's distance and the average tidal force of the Moon is  $6.63 \times 10^{18}$ N. While the section 2, the various Sun's distance in year influences the average tide levels in each month and the average tidal force of the Sun is  $3.03 \times 10^{18}$  N

### Introduction

The Sun is the center of our solar system. The Earth and the Moon move around the Sun. The Earth orbits the Sun as the Moon orbits the Earth that occur the relation of Earth, Moon and Sun. This relation affects different phenomena on Earth, including day and night, phases of the Moon and tides.

Tides are the regular rising and falling of Earth's surface water. Tide levels fluctuate daily as the sun, moon and earth interact. Gravity is one major force that creates tides. Because orbits of the Earth and the Moon are not perfect circles leads to the change in distance, gravitational force and also tide levels.

### Materials and Methods

Section1: The Relation between the Earth and the Moon (The distance from the Earth to the Sun is defined as a constant)

- Collected the data of the tides levels at Sattahip Bay, Thailand during July 16 – August 14, 2015for a month from *Tide Tables Thai Waters Mae Nam Chaophraya – gulf of Thailand and Andaman sea 2015*
- Collected the data of phases of the moon each day from <http://time.unitarium.com/moon>
- Summarized the data of tide levels and the phases of the moon in a line graph
- Collected the distance from the Earth to the Moon each day from <http://www.timeanddate.com>
- Calculated the tidal force of the Moon

Section2: The Relation between the Earth and the Sun (The distance from the Earth to the Moon is defined as a constant)

- Collected the data of the tides levels on every full moon days in 2015from *Tide Tables Thai Waters Mae Nam Chaophraya – gulf of Thailand and Andaman sea 2015*
- Collected the distance from the Earth to the Sun each every full moon days from <http://www.timeanddate.com>
- Summarized the data of tide levels and the distance from the Earth to the Sun in a line graph
- Calculated the tidal force of the Sun

### Results and Discussion

Section1: The Relation between the Earth and the Moon

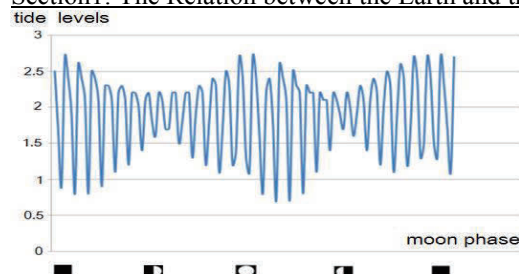


Figure1. The graph between tide levels and the phases of the moon

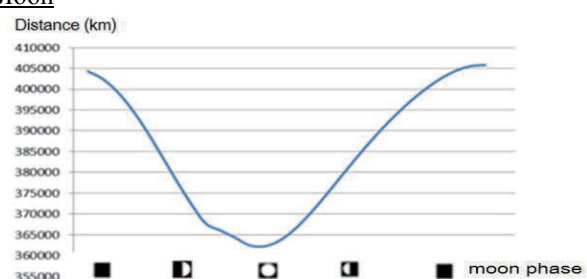


Figure2. The graph between the distance and the phases of the moon

**Figure1** shows that in the new moon and full moon day, the difference between the highest – lowest tide levels is the greatest. In contrast, in the half moon days, the difference between the highest – lowest tide levels is the least.

**Figure2** shows the difference between the highest – lowest tide -levels increase when the distance from the Earth to the Moon become lower. And Calculated from  $F_t = 2GMm(R/r)/r^2$  the average Moon's tidal force is  $6.63 \times 10^{18}$  N

## Section 2: The Relation between the Earth and the Sun

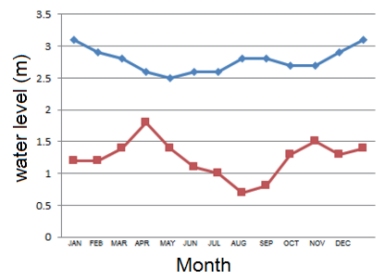


Figure 3. The graph highest – lowest tide levels in 2015

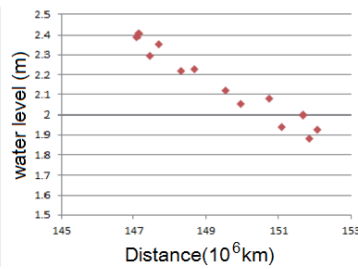


Figure 4. The graph between highest – lowest tide levels in 2015

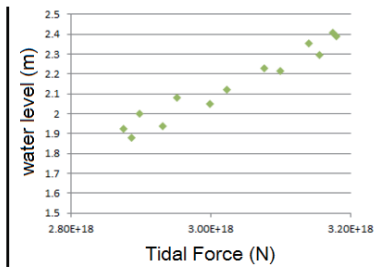


Figure 5. The graph between highest – lowest tide levels in 2015

**Figure3** on July 30, 2015 has the greatest difference between the highest – lowest tide levels

**Figure4** shows the average tide levels are direct variation with the distance from the Earth to the Sun

**Figure5** shows the average tide levels are inverse variation with the Sun's tidal force And Calculated from  $F_t = 2GMm(R/r)/r^2$  the average Sun's tidal force is  $3.03 \times 10^{18}$  N.

## Conclusions

The tidal force is responsible for the tides. The distance and position between Earth, Moon and Sun on tidal force are important factors of tide level. The moon influences the highest – lowest tide levels in a day. While the Sun influences the average tide levels in a month. The moon is a major influence on the Earth's tide, but the sun also generates considerable tidal forces. From calculating tidal forces shows that the average Sun's tidal force is about 31.37% as strong as the average Moon's tidal force.

## Acknowledgments

This research paper is made possible through the help and support from my teacher Mr.Boonsong Henngam and NARIT's staffs. I am thankful for their guidance during the project work.

## References

- [1] The relation of Earth, Moon and Sun. (n.d.). Retrieved June 20, 2015, from <https://sites.google.com/site/krunewkew/science6/s1>
- [2] Tides. (n.d.).Retrived June 22, 2015, from <http://www.lesa.biz/astronomy/astro-events/tides>
- [3] Ocean Tides. (n.d.).Retrived July 1, 2015, from <http://www.narit.or.th/index.php/astronomy-article/96-oceantides>
- [4]Newton's Law of Universal Gravitation. (n.d.).Retrived July 1, 2015, from <http://www.scimath.org/social-network/groups/view-bulletin/2257>



## The study of age and distance of open cluster by using H-R diagram

Mr.Suraphit Homnan<sup>1</sup> and Mr.Sakdawoot Maungkorn<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Chiangkhamwittayakhom School, 4 Moo 8 Amphoe Chiangkham Phayao, 56110, Thailand

<sup>1</sup> 28089suraphit@chiangkham.ac.th and <sup>2</sup> [sakdawoot\\_m@chiangkham.ac.th](mailto:sakdawoot_m@chiangkham.ac.th)

### Abstract

The study of age and distance of the open cluster using the H-R diagram. The purpose of this study were to determine age and distance of the cluster used by Main sequence turn off point and Main sequence fitting methods. The instruments used were PROMPT 8 Telescope of the CTIO. Using photos of open clusters; M11, M6, M23 and IC4651 in B and V filters. The results of this study were M11 was 2300 million years old, at a distance 2,308 pc; IC4651 was 3088 million years old, at a distance 476 pc; M23 was 2439 million years old, at a distance 42 pc; and M6 was 3622 million years old, at a distance of 163 pc.

Key words: Main sequence turn off point, Main sequence fitting

### Introduction

The age of the star cluster can be obtained from the lifespan of a star that was turning off the main sequence. The age of the star cluster that estimates of the lifespan of a star which is evolved into red giant. This is referred to that point, the Main sequence turn off point. Moreover, we can use H-R Diagram to find the distance between Earth and the star clusters that are based on the Distance Modulus, which will use the color index (B-V) compared to the absolute magnitude of main sequence stars from stellar classification table and bring out the absolute magnitude to obtain the distance of open star clusters.

### Materials and Methods

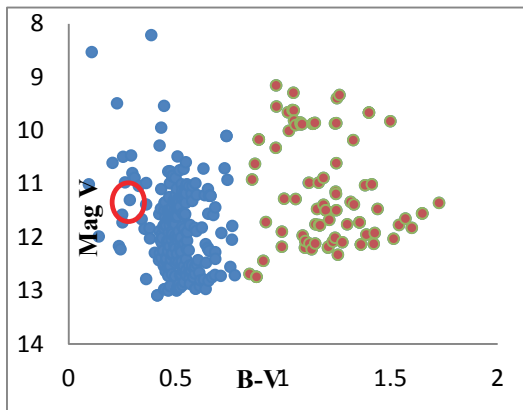
1. The photographs of open star clusters M6, M23, M11 and IC 4651 taken by PROMPT 8 Telescope in B and V filters
2. The magnitude of each star in each star cluster calculated. And we used the magnitude of reference stars from NOMAD and USNO A2.0 database.
3. H-R diagram created by the X-axis is the B - V and Y axis is the apparent magnitude of stars in the V filter.
4. Find the main sequence turn off point, then bring out B-V value to determine the absolute magnitude and get the mass of the star in solar mass unit from stellar classification table.
5. Substitute the mass of star to the equation  $T_{ms} = 10^{10} \left[ \frac{M}{M_{sun}} \right]^{-2.5}$  and obtained the age of a star cluster from lifespan of stars that turn off the main sequence.
6. Substitute the absolute magnitude and apparent magnitude in V filter to the equation  $m - M = 5 \log d - 5$  to determine the distance of the star cluster.

### Results and Discussion

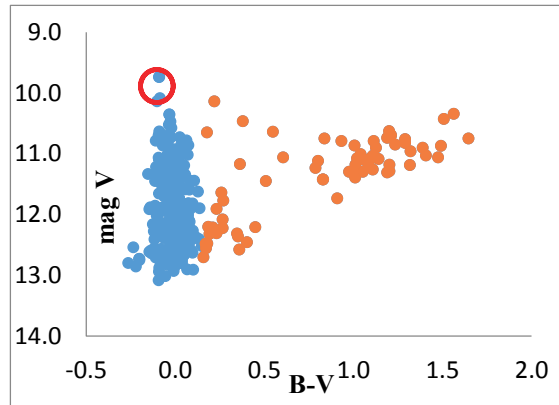
The analysis of age and distance of each open star clusters found that the distance and age of open clusters is different. And the age and distance of the cluster using the Main sequence turn off point and the Main sequence fitting, respectively, may be a discrepancy. This is because the selection of the stars along the main sequence is very fragmented. Thus, the age and distance of the cluster was calculated is quite different from the database.

The figures showed the H-R diagram of open star clusters that used in this study. The circles are show the estimated main sequence turn off point. The stars in the circle were chosen to find the age of the star cluster

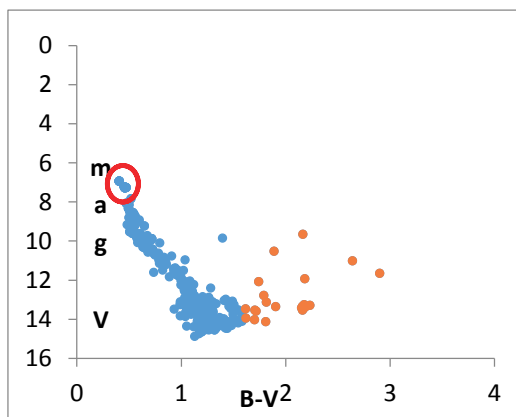




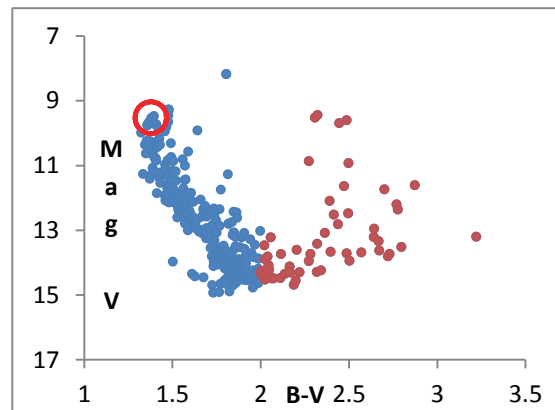
**Figure 1:** H-R diagram of IC 4651



**Figure 2:** H-R diagram of M11



**Figure 3:** H-R diagram of M6



**Figure 4:** H-R diagram of M23

### Conclusions

A study of the age and distance of the open star cluster using the H-R Diagram by the Main sequence turn off point and Main sequence fitting method found that, M11 was 2300 million years old, at a distance 2,308 pc; IC4651 was 3088 million years old, at a distance 476 pc; M23 was 2439 million years old, at a distance 42 pc; and M6 was 3622 million years old, at a distance of 163 pc.

### References

- Hertzsprung-Russell Diagram: <http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec11.html> [30/09/58]
- M.A.C Perryman. *The Hyades: distance, structure, dynamics, and age* Stellawacht Leiden, Postbus9513, 2300 RA Leiden, THE Natherlands.
- Gianpaolo Bertelli . *NEW DEVELOPMENTS IN UNDERSTANDING THE HR-DIAGRAM*, Department of Astronomy,
- Vicolo Osservatorio 5, 35122 padue, Italy and National council of research, Rome, Italy.

## To Create H-R Diagram and Initial Mass Function of Open Cluster in Milky Way Galaxy

Author<sup>1</sup>, Nutkritt Phongsuchat

<sup>1</sup> Princess Chulabhorn's College Nakorn Si thammarat, 120, Moo 1, Sun-Anan Rd., Bangchak Sub-district, Mueang District, Nakhon Si Thammarat, 80330 THAILAND

\* Corresponding author. E-mail: [nut.pccnst@hotmail.com](mailto:nut.pccnst@hotmail.com)

### Abstract

This research studies about the scatter of different mass star in each open cluster. In our Milky Way Galaxy have many open clusters but in this research we study in 15 clusters. There are M7, M18, M21, M25, M36, M37, M41, M67, M103, NGC188, NGC225, NGC869, NGC114, NGC5460 and NGC6633. Study by create H-R Diagram of each open cluster and choose only main sequence star of Diagram to analyze to Find Initial Mass Function. Create histogram graph by using Mass star to separate amount star in each open cluster and fit the tendency line of star scatter in term of linear equation line. And then change linear equation in to form of Power law to observe the relation between Mass star and amount star in each open cluster by using database of cluster from DS9 Program.

Keywords: Initial Mass Function, Power Law, Open Cluster

### Introduction

Universe create sphere together. Each star lives together by their gravity as well as cluster. One type of cluster is open cluster, it will be found in Spiral Galaxy and Irregular Galaxy. Each star in open cluster has different mass in Milky Way Galaxy. Researcher creates H-R Diagram of open Cluster in Milky Way Galaxy to find relation of different mass and amount of star in format of Initial Mass Function. Benefit from this studied will let us to know H-R Diagram of open cluster in Milky Way Galaxy and analyze Initial Mass Function ,how different mass in each cluster scatter in term of Power law.

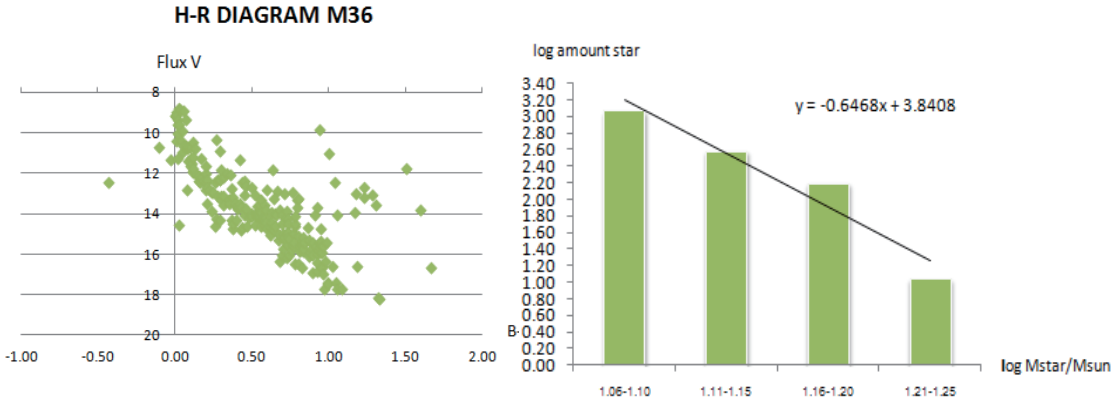
### Methods

#### 1. To create H-R Diagram

- 1.1 Lit name of Open clusters in Milky Way Galaxy that interesting 15 clusters.
- 1.2 Download Images of cluster from Image server (SAO DSS) in DS9 program and take Flux B and Flux V of every star in each cluster and Find Flux B-V by loading Flux star from Catalog star in Database Simbad.
- 1.3 Create H-R Diagram by create scatter graph. The X core is Flux B-V and The Y core is Flux V.

#### 2. To analyze Initial Mass Function

- 2.1 Choose only main sequence star from H-R Diagram.
- 2.2 Use Stellar Classification table to change Flux B-V of each star in cluster to  $M_{\text{star}}/M_{\text{sun}}$ .
- 2.3 Divide period of  $M_{\text{star}}/M_{\text{su}}$  of all clusters.
- 2.4 Count amount star in each period of  $M_{\text{star}}/M_{\text{su}}$
- 2.5 Plot log Histogram graph between mass star and amount star.
- 2.6 Fit the tendency line from Histogram graph and change the equation to be term of Power Law.



**Result and Discussion**

From the study H-R Diagram of open cluster, almost star live in main sequence. But the shape of scatter will different by different Flux star value of each star in cluster.

From the study about Initial Mass Function in term of power law. We have got Function to explain the scatter of different mass star in each open cluster in the following table.

Open cluster	IMF	Open cluster	IMF
M7	$y = 67.6x^{-0.24}$	M103	$y = 2.51 \times 10^2 x^{-0.72}$
M8	$y = 1.54 \times 10^2 x^{-0.5}$	NGC188	$y = 1.86 \times 10^2 x^{-0.11}$
M21	$y = 4.57 \times 10^2 x^{-0.55}$	NGC225	$y = 1.94 \times 10^2 x^{-0.54}$
M25	$y = 1.44 \times 10^2 x^{-0.34}$	NGC869	$y = 2.57 \times 10^2 x^{-0.54}$
M36	$y = 1.2 \times 10^2 x^{-0.91}$	NGC3114	$y = 51x^{-0.16}$
M37	$y = 1.04 \times 10^2 x^{-0.1}$	NGC5460	$y = 3.63 \times 10^2 x^{-0.57}$
M41	$y = 25x^{-0.1}$	NGC6633	$y = 1.99 \times 10^2 x^{-0.53}$
M67	$y = 100x^{-0.21}$		

Function to explain the scatter of star that have different mass star conclude all 15 open clusters is  $y = 6.93 \times 10^3 x^{-0.6468}$

From the study we found that, when we create histogram graph, the amount of less massive star not according to the theory. The less massive star have amount less than the massive star that because of the little bit flux of less massive star. When the less massive star have little bit flux it effect to when we get the picture that not all of less massive star will attach in the picture. So in this study we delete the less period of mass star out for the precision of the result.

**Conclusion**

From the study, H-R Diagram of open clusters have almost star in main sequence. But the shape of diagram will varies according to the value of Flux of each star in clusters. The Initial Mass Function in term of power law has function to describe the scatter of different mass star in all of 15 open clusters that is  $y = 6.93 \times 10^3 x^{-0.6468}$ . The number to show the relationship between the amount star and mass star in 15 open clusters is 0.6468.

**References**

มณฑล ตั้งมดิธรรม.คู่มือการศึกษาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติการ.เชียงใหม่: สำนักบริการวิชาการและสารสนเทศทางดาราศาสตร์ สุทธิดา เขื่อนแก้ว. (2557). การศึกษา Initial mass function ของกระจุกดาวเปิด.โครงการวิจัยวิทยาศาสตร์.พะเยา: โรงเรียนเชิงคำ วิทยาคม <http://www.isthe.com/chongo/tech/astro/HR-temp-mass-table-bymass.htm> [https://en.wikipedia.org/wiki/Initial\\_mass\\_function](https://en.wikipedia.org/wiki/Initial_mass_function)

## The Measurement of Mass binary stars v0395 And

Ms.Wabut Thongbor

Email : wabut\_th@hotmail.com

Mrs.Pannaporn Boonthos

Yasothonpittayakom School

### Abstract

Binary star v0395 And is a part of the Eclipse binary type W Ursa Majoris, which are wrapped in combination surface around two stars. The objective of this project is to determine the Measurement of Mass binary stars v0395 And. The method of this study is take a photo of the star and analyzing by software programs. The equipment used in the study is a telescope in order to analyze and calculate data with the program of SAO imageDS9, IRIS.

According to the study, it is found that the total mass of the binary stars v0395 And equal  $1.185 \times 10^{47}$ kg. In terms of the mass of the first star equals  $6.307 \times 10^{46}$  kg and the mass of another star equals  $5.544 \times 10^{46}$  kg.

**Keywords :** Binary star mass of the star

### Introduction

Eclipsing binary star is the system of two stars appear closely together in the sky as seen from the Earth; they are almost on the same line of sight. Therefore, author interests in the study of the Measurement of Mass binary stars v0395 And by using the Magnitude of stars in order to observe the bighthness variations. Moreover, the study also uses the kepler's third law for calculating the mass of stars.

### Method

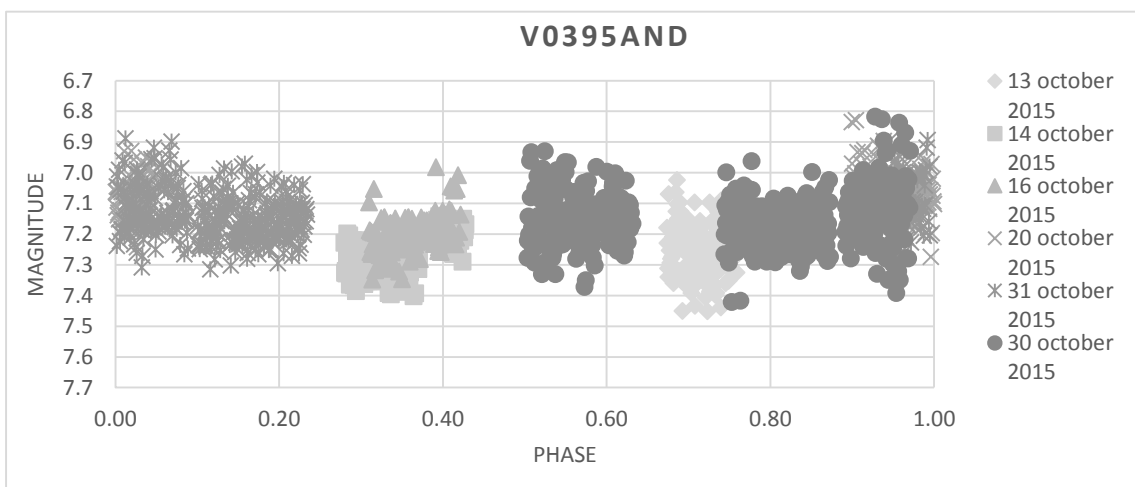
To measure mass of the binary stars v0395 And. is as follows:

1. Take a photo of the binary star v0395 And by using a telescope in the filter V and analyze data by DS9 to define magnitude of the reference star.
2. Taking the data which has been processed to IRIS to analyze the intensity of binary stars and reference star And then calculate the magnitude of binary stars.
3. Creating the light curve and calculating mass of binary star from kepler's third law.

### Achievements

The result of the study of measurement of mass binary stars v0395 And. is as follows::

1. The Magnitude of the referenced star that is from DS9 program had a value as follows: Ref= 7.82, and .Check = 11.06
2. Data that is calculated will be creating the light curve as follows:



Due to it is the fact that this stage to make a light curve. There is an error which cannot be analysis. Thus, there will be use the database, which is equal to 0.685 day or  $5.916 \times 10^4$  seconds. (source: <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=395> )

3. The distance between the binary star (a) is calculated from the Angular separation between components ( $\theta$ ) which is equal 5.642 arcsec or  $2.735 \times 10^{-5}$  radian. ( source : <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR-S?HIP117111> ) and the distance from the Earth to the double star (r) is equal to 3433.30 years light or  $3.248^{19} \times 10$  m ( source : starry Night program.

4. The calculation of the total mass of the binary star by kepler's third law is as follows.

$$M_{total} = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2 G} \quad M_{total} = \frac{4 \times \pi^2 \times (8.883 \times 10^{14} m)^3}{(5.916 \times 10^4 s)^2 \times (6.674 \times 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2})}$$

$$M_{total} = 1.185 \times 10^{47} \text{ kilogram}$$

5. Calculation of the mass of each star, according to the database is found that the mass ratio (q) equals 0.879. (source : <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0503041.pdf> )

$$M1 = \frac{M_{total}}{1+q} \quad M1 = \frac{1.185 \times 10^{47} kg}{1+0.879}$$

$$M2 = M_{total} - M1 \quad M2 = (1.185 \times 10^{47} kg) - (6.307 \times 10^{46} kg)$$

$$M2 = 5.544 \times 10^{46} \text{ kg}$$

### Conclusion and Evaluation

From the finding, it is found that there is an error which cannot be analysis when creating the light curve. So, there will be use the database, which is equal to 0.685 day and mass of the binary star equal to  $1.185 \times 10^{47}$  kg. In terms of the mass of the first star equals  $6.307 \times 10^{46}$  kg and the mass of another star equals  $5.544 \times 10^{46}$  kg by using the kepler's third law.

### The references

Matipon Tangmatitam, **Handbook of practical astronomy study**, Academic and Information Astronomy

Resource Center, September 2013.

American Association of Variable Star Observers.(2558).**V0395 And**. From : <https://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail.top&oid=395> (October 17<sup>th</sup>,2015)

## The Measurement of Night Sky Brightness using a DSLR camera

Ms. Waritsara Phiw-on  
 waritsara18\_sk53@hotmail.com  
 Mrs. Pannaporn Boonthos  
 Yasothonpittayakom School

### Abstract

Brightness is the energy that the fixed star releases per unit time out. However, due to the fact that the human's eyes does not have enough resolution to recognize this level of energy. Astronomers thus configure the comparison rate of the brightness stars called Magnitude. A measure of the brightness of the sky with a DSLR camera becomes the measure of the brightness of the sky referenced by the Magnitude with analyzing data from photos, which shoot by a DSLR camera. The study aims to measure the brightness of the sky with DSLR camera. The equipment used in the study is DSLR camera, and the scope of the study is the sky of Phaya Tan park, Muang District, Yasothon Province. The observations started at 06.30 pm to 04.30 am on 14-15 January, 2016. The process of the study is using DSLR camera to take a photo of the sky all four directions such as North, East, South and West with 45 degrees of uprising angle in the different times. Then the photo will be related to the magnitude which is the least visible brightness and can be observed with the eyes by using Program Stellarium that measures the brightness of the sky in the area because the magnitude which is the least visible brightness can measure the brightness of the sky in the area.

The results of the study showed the average value of Magnitude by all time is 5.57. The sky is the brightest at 06.30 pm (Magnitude equals to 5.19) and the least brightness is at 12.30 am. (Magnitude equals 5.78).

**Keywords:** Magnitude and Light Pollution.

### Introduction

Brightness is the energy that the fixed star releases per unit time out. The unit is used by Watt or Square meter, However, due to the fact that the human's eyes does not have enough resolution to recognize this level of energy. Astronomers compare the brightness of stars, which is called the "magnitude" or "apparent magnitude" which refers to the ranking of the brightest stars in the sky, which was visible from Earth. The author was to study to measure the brightness of the sky with a camera, a DSLR.

### Methodology

1. Using DSLR camera to take a photo of the sky all four directions such as North, East, South and West with 45 degrees of uprising angle by setting up cameras: Camera mode: M, Shutter speed: 30 seconds, ISO: 1250, Aperture: 3.5 .
2. Searching the magnitude to find out the photo which is the brightness each time.

### Achievements

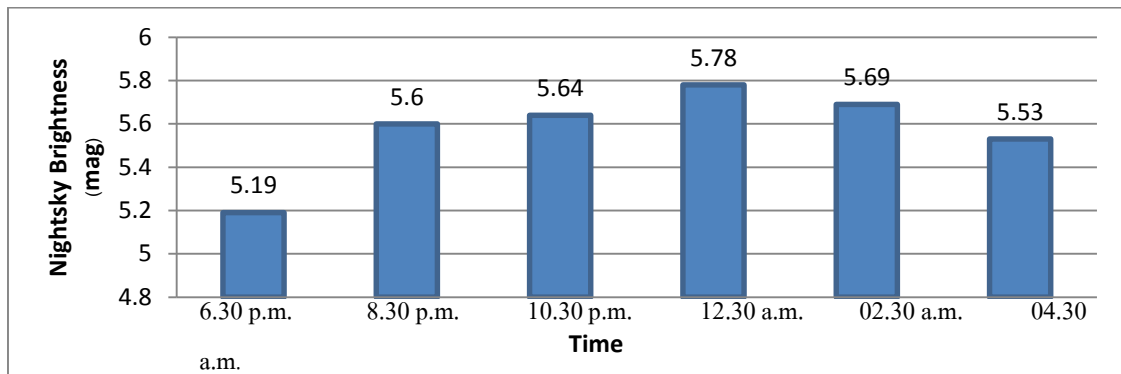
The result of the study of a measure of the brightness of the sky with a DSLR camera is as follows:

1. Figures from the study have the sky brightness (average  $\bar{x}$ ) each time which observed by the table.

Time	Co-ordinate	Altitude	Magnitude
06.30 p.m	(15.784139,104.153824)	45	5.19
08.30 p.m	(15.784139,104.153824)	45	5.60
10.30 p.m	(15.784139,104.153824)	45	5.64
12.30 a.m	(15.784139,104.153824)	45	5.78
02.30 a.m	(15.784139,104.153824)	45	5.69
04.30 a.m	(15.784139,104.153824)	45	5.53
The overall average Magnitude values.			<b>5.57</b>



2. Figures from the observation of the brightness of the sky each time represented by a graph.



### Conclusion and Evaluation

A study of a measure of the brightness of the sky with a DSLR camera showed photos of the sky each time on 14-15 January, 2016 that the overall average figure of Magnitude equals 5.57. By each time, the Magnitude equals 5.19, 5.78, 5.69, 5.60, 5.64, 5.53 respectively and the study finds out that the average Magnitude of the star is the lowest at 06.30 pm ( $\bar{x} = 5.19$ ) and the highest is at 12.30 am. ( $\bar{x} = 5.78$ ). Therefore, this can conclude that the sky during dusk has much light pollution affects the brightness of the sky than midnight, which could come from the electric of the building where the people used in daily life, or install a standard lamp in the wrong situation. So, Magnitude of the star can explain the measurement of the brightness of the sky, which corresponds to the concept of Hipparchus who stated that the lower Magnitude has, the brighter of star will appear. On the other hand, the higher Magnitude has, the darker of star will appear as well.

### The reference,

Matipon Tangmatitam, **Handbook of practical astronomy study**, Academic and Information Astronomy Resource

Center, September 2013.

Georg Zotti. Measuring Light Pollution with a Calibrated High Dynamic Range Measuring Light Pollution with a

Calibrated High Dynamic Range All-Sky Image Acquisition System All-Sky Image Acquisition System.

## **The study of Solar filter for Solar observation**

Mr. Poowadon Fukasem. E-mail: [Smfluk37@gmail.com](mailto:Smfluk37@gmail.com)

Piboombumpen Demonstration School Burapha University, 73 Bangsaen Lang Rd., Chonburi, 20131,  
Thailand

Mr. Boonsong Henngam. E-mail: [nokkok234@hotmail.com](mailto:nokkok234@hotmail.com)

### **Abstract**

This project has an objective to study the attribute of materials which use in solar observation in reducing light and UV intensities to find the reducing percentage. Using Lux meter in measure light intensity and use UV meter in measure UV intensity. For the sample materials; there are welding helmet glass number 10, 11, 12 and 13 black polymer film, mylar film, baader film, one and two layers of x-ray film and a snack packaging.

From the study, sample material that has the best efficacy in reducing light intensity is black polymer film which has the percentage of reducing at 99.999% the next ones are two layers of x-ray film, welding helmet glass number 13, 12 and 11, mylar film, welding helmet glass number 10, baader film, snack packaging and one layer of x-ray film in order. And sample material that has the best efficacy in reducing UV intensity is black polymer film which has the percentage of reducing at 99.997% the next ones are welding helmet glass number 11, 12, 13 and 10, two layers of x-ray film, snack packaging, mylar film, baader film and one layer of x-ray film in order.

When using sample materials to observe the sun by taking photo through the telescope. Welding helmet glasses made the sun appearing in green. Mylar film, baader film and one layer of x-ray film made the sun appearing in monochrome. Black polymer film made the sun appearing in orange. Two layers of x-ray film made the sun appearing in red-orange. And a snack packaging made the sun appearing in pink

### **Introduction**

Sunlight is a danger for the observers so filters are required to reduce the light and UV intensity. There are many kinds of filter that people mostly use and each one's efficacy in reducing the intensities are different which makes the results appear differently. To make the observation goes safely and has the best efficacy. The author is interested in studying the efficacy in reducing the intensities from the Solar through filters and photos from the telescope.

### **Materials and method**

#### Materials

1. Welding helmet glass no. 10, 11, 12 and 13
2. Black polymer film
3. Mylar film
4. Baader film
5. One and two layers of x-ray film
6. Snack packaging
7. Lux meter
8. UV meter
9. Catadioptric Telescope
10. DSLR camera

### Method

1. Measure the light intensity
  1. Measure the light intensity directly from the smartphone's light.
  2. Use the filters with Lux meter sensor and collect the data.
  3. Find the reducing percentage.
2. Measure the UV intensity
  1. Measure the UV intensity directly from the sunlight.
  2. Use the filters with UV meter sensor and collect the data.
  3. Find the reducing percentage.
3. Take a photo through the telescope with DSLR camera.

### Results and Discussion

#### Result 1 Measuring light and UV intensity

Sample Materials	Light intensity (LUX)			UV intensity (W/m <sup>2</sup> )		
	Before	After	%	Before	After	%
Welding helmet glass no.13	4,720	0.04	99.999	17.50	0.001	99.994
Welding helmet glass no.12	4,720	0.14	99.997	19.54	0.001	99.995
Welding helmet glass no.11	4,720	0.16	99.997	36.12	0.001	99.997
Welding helmet glass no.10	4,720	1.48	99.969	17.73	0.001	99.994
Black polymer film	4,720	0.04	99.999	35.9	0.001	99.997
Mylar film	4,720	0.34	99.993	31.7	0.019	99.940
Baader film	4,720	2.26	99.952	31.96	0.042	99.869
One layer of x-ray film	4,720	34.32	99.273	31.9	0.261	99.182
Two layers of x-ray film	4,720	0.04	99.999	18.62	0.002	99.989
Snack packaging	4,720	13.52	99.714	17.78	0.004	99.978

### Discussion

In study light intensity reducing, Data collection from the Solar has high deviation which caused by clouds so using light from smartphone instead of the sunlight is the solution. And collect the data directly from the Solar to study UV intensity. Data collection for UV intensity study also has deviation that also caused by clouds.

### Conclusion

From the study, sample material that has the best efficacy in reducing light intensity is black polymer film which has the percentage of reducing at 99.999% the next ones are two layers of x-ray film, welding helmet glass number 13, 12 and 11, mylar film, welding helmet glass number 10, baader film, snack packaging and one layer of x-ray film in order. And sample material that has the best efficacy in reducing UV intensity is black polymer film which has the percentage of reducing at 99.997% the next ones are welding helmet glass number 11, 12, 13 and 10, two layers of x-ray film, snack packaging, mylar film, baader film and one layer of x-ray film in order.

When using sample materials to observe the sun by taking photo through the telescope. Welding helmet glasses made the sun appearing in green. Mylar film, baader film and one layer of x-ray film made the sun appearing in monochrome. Black polymer film made the sun appearing in orange. Two layers of x-ray film made the sun appearing in red-orange. And a snack packaging made the sun appearing in pink.

### References

- การสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์. Retrieved from <http://www.narit.or.th/index.php/2012-11-15-06-31-44/93-2012-11-22-02-05-38>.
- การสังเกตดวงอาทิตย์ทางตรงผ่านอุปกรณ์กรองแสง. Retrieved from <http://www.it24hrs.com/2012/how-to-look-transit-of-venus/>.

## 散開星団の stellar stream を求めて

大原 武士、堀口 卓裕、水野 悠希、大江 宏明、河端 パヴィエル、永嶋 健人（高2）、北山 千眞、菊池 瑛美、瀬出井 桃花（高1）【國學院大學栃木高等学校天文部】

## Abstract

県立ぐんま天文台の 65cm の反射望遠鏡に冷却 CCD カメラを取り付け、年齢約 100 億年の散開星団 Berkeley 39 の撮像を行った。画像から恒星の測光の後、 $30' \times 30'$  の星団の色等級図と恒星の分布図を作成し、恒星が集団から離れていく過程の解明や stellar stream の存在の可能性を求めていくきっかけとした。

## 1. Introduction

恒星は誕生した頃は、集団としてまとまっているが、何億年もたてば銀河系重力の外力により散らばってしまう。今回は年齢約 100 億年の古い散開星団である Be39 の色等級図をつくり、星団をつくる恒星がどのように散らばっていくかを推定することを試みる。Be39 は他の星団に比べ恒星の数が多く、散らばっていく恒星が見つかる可能性は大きい。この星団は中心領域の色等級図はつくられていたが広視野の調査には不十分であった。今回は 9 枚の画像の測光結果を 1 つにまとめ、 $30' \times 30'$  に分布する恒星の色等級図を作成した。

この研究は、stellar stream の検出や、太陽の兄弟星をさぐる手法につながる「銀河考古学」の領域といえる。

## 2. Observation

2015 年 12 月 4・5 日に県立ぐんま天文台の 65cm のカセグレン式反射望遠鏡 (F/12、 $f=7800\text{mm}$ ) を用い、冷却 CCD カメラ (Apogee 社 U6KAF-1001・16bit・ $1024 \times 1024$  pixels、 $24 \mu\text{m}/\text{pixel}$ ) で Be39 の撮像を行った。

Be39 : 銀緯  $+10.1^\circ$  赤緯  $-04^\circ 36' 00''$  4.78kpc (太陽からの距離)

銀経  $223.46^\circ$  赤経  $07^\circ 46' 42''$  12.4kpc (銀河系中心からの距離)

撮像日時 : 2015 年 12 月 4 日 14:27~20:14 (UT)

撮像方法 : 撮像するうえで撮像箇所を 9 領域 (図 1) に分け、各領域にて、B バンド (4000~4300Å)、V バンド (5000~5200Å)、I バンド (7000~8000Å) それぞれ 3 枚ずつ 3 分露出で撮像し、ダーク及びフラット画像も撮像した。(図 2)

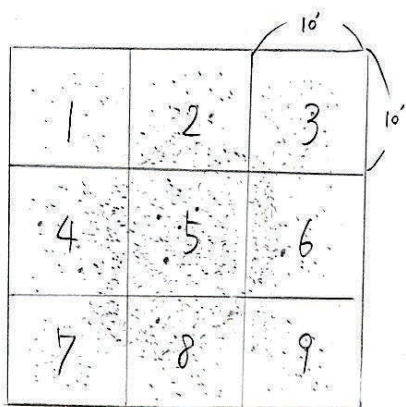


図 1

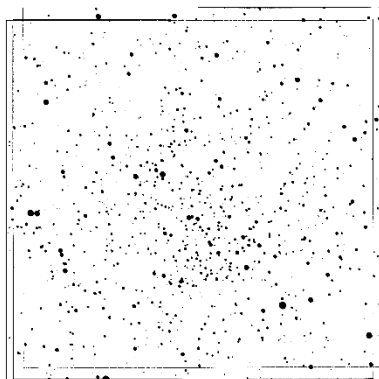


図 2

Be39 領域 5、星団中心部の V バンド画像 (3 分  $\times$  3 枚)

### 3. Data reduction

撮影された画像を IRAF を利用し次のような手順で処理し、Be39 の領域の恒星の光度を調べた。

- 手順 1 画像の一次処理 (standard manner) : ダーク補正、フラット補正
- 手順 2 画像の合成 : SKY (バックグラウンド) を引く、位置補正、スケーリング (画像どうしの感度補正) の後、各画像を合成する。
- 手順 3 PSF 測光 : 条件の良い星から PSF モデル (point spread function model) を作成し、これを他の星にも適用して光度を調べる方法である。重なり合った恒星の光度を正確に測定できる利点がある。IRAF/DAOPHOT を用い各恒星の等級を測定した。測定にあたっては  $5\sigma$  以上の天体のすべてを検出する設定とした。一定の等級より明るい星は領域内ですべてサンプリングされているので天体の密度分布を調べる事ができる。等級は instrumental magnitude である。
- 手順 4 領域の統合 : CCD 画像上の天体の位置 (X, Y) を赤経・赤緯に変換し  $2''$  角以内の天体は同一とみなして重複のない 1 つのカタログに統合した。領域間の等級の offset も補正した。

### 4. Result

9 領域の恒星の位置と測光結果から色等級図 (図 3) と恒星の分布図 (図 4) を作成した。

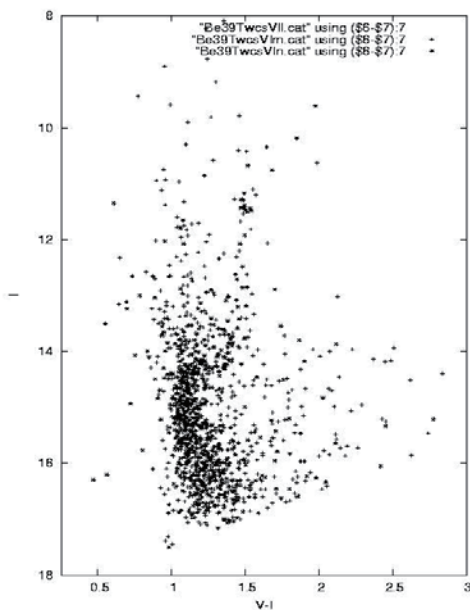


図 3 Be39 の色等級図

図 3 の色等級図では主系列星から巨星に進化していくラインがよくわかる。図 3、

図 4 からは明確な stellar stream はみられないが、今後 NGC6791 などの先行研究の手法を適用して密度分布等を調べ明らかにしていきたい。

### 5. Acknowledgement

今回の研究を進めるにあたり、メンター制度で日本科学協会、メンターとして県立ぐんま天文台 長谷川隆先生、ソフトのインストール等で株式会社ワイズマンの原田賢一さんにたいへんお世話になりました。

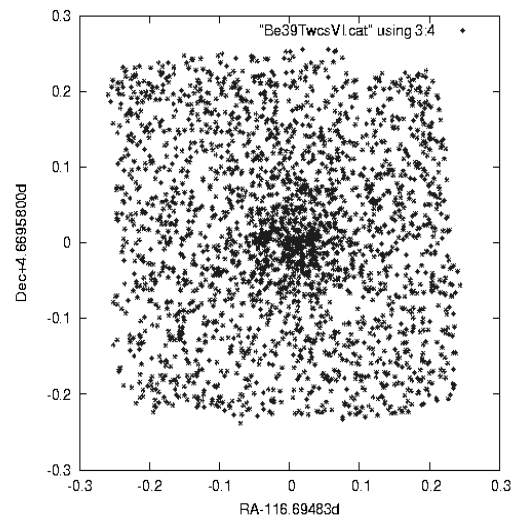


図 4 Be39 中心部の恒星の分布  
V、I バンドで共に検出された約 4700 天体のうち、形態パラメーターで選択された約 3400 天体の分布

## 分子雲からのジェットについて

分子雲共同研究 B班

寺島 悠登 (高1)、長岡 祐希、隈部 健 (中2)

【名古屋大学教育学部附属中・高等学校】

竹味 和輝 (高1) 【愛知県立明和高等学校】

### 1. はじめに

私たちは名古屋大学大学院理学研究科天体物理学研究室の先生方の協力のもと、電波天文学について学んだ。チリにある電波望遠鏡のNANTEN2のデータ（へびつかい座周辺の分子雲）の解析を行った。

### 2. NANTEN2

1996年、「なんてん」はチリのラスカンパナス天文台に設置され、ミリ波による観測を開始した。2004年には改修が行われ、サブミリ波による観測も行えるNANTEN2（図1）としてチリ北

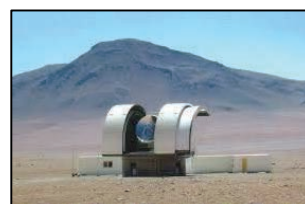


図1 「NANTEN2」

出典：<http://www.geocities.jp/fromnanten/>

部のアタカマ砂漠に移設した。

### 3. データ解析

#### (1) 使用したソフト

- ・SAOimage ds9 天体画像を表示できるソフト
- ・Kvis FITS可視化ソフト

#### (2) 解析

○へびつかい座 (Oph) の解析～ds9～

##### A. 分子雲の画像化

色の濃さは電波の強さを表しており中心に近づくほど電波が強い。図2において、最も電波の強い部分は拡大された図の中心の67.2Kkm/sであり、ひものような形で電波が観測された。

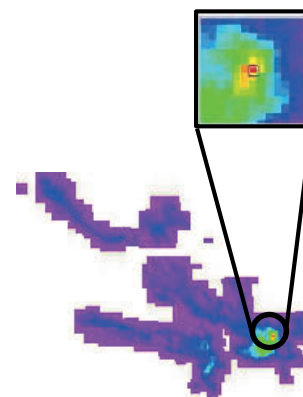


図2 「Oph 電波分布」

##### B. 可視光の画像で電波強度の等高線を表示する

コントラストを作成し重ねると右のような画像ができ、分子雲の分布と星の位置や星雲の性質がわかる。

- ・ $\rho$ Oph...5.22等星 青 ←
- ・ $\sigma$  Sco...3.08等星 B1型 ピンク ←
- ・アンタレス...1.2等星 Ma型 赤 ←
- ・M4 (球状星団) ...黄 遠くにあるので小さな星に見える。

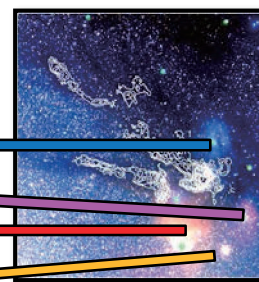


図3 「Oph 可視光」



暗黒星雲に沿って強い電波が分布していることから、暗黒星雲が電波を発していることがわかる。

#### ○スペクトルの解析

スペクトルの解析で対称的な波形のスペクトルが見つかった。図4Aは左側がなめらかで、右側が急。図4Bは左側が急で、右側がなめらかであった。

#### ◎IRAS16293-2422付近の分子雲

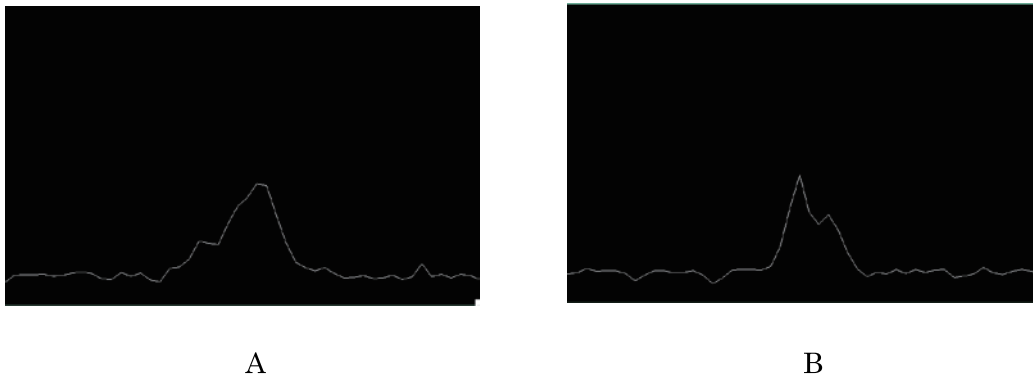


図4 「IRAS16293-2422 スペクトル図」

このことから、観測された電波がBは青方偏移、Aは赤方偏移を起こしているのがわかり、電波を発生させている分子雲が手前と奥に向かって移動もしくは吹き出していると考えられる。これを分子ジェットだと考えると、IRAS16293-2422（へびつかい座EAST）は原始星、つまり分子流天体である可能性がある。

#### 4. まとめ

スペクトルを解析することで分子雲がどのように分布しているか、3次元でのデータを得ることができた。そのデータからIRAS16293-2422（へびつかい座EAST）が分子流天体である可能性を示唆した。分子ジェットは新しい星ができていく証拠だと考えられる。

#### 5. 今後の課題

今後は分子流天体の証拠となる分子ジェットが発する電波の構造を目標にして活動していきたい。

#### 6. 謝辞

今回の研究にあたって、丁寧に指導していただき、データの提供をしていただいた名古屋大学大学院理学研究科の立原研悟准教授をはじめとする先生方、研究室の方々に感謝いたします。

## 分子雲による巨大星団の誕生

分子雲共同研究 A班

森田 早織 (高1) 【名古屋大学教育学部附属高等学校】

森本 滯 (高2)、出町 史夏 (高1) 【愛知県立明和高等学校】

### 1. はじめに

名古屋大学教育学部附属高等学校SSH相対論・宇宙論プロジェクトと愛知県立明和高等学校SSH部物理・地学班の共同で、Westerlund2 (以下Wd2) という巨大星団の誕生の原因について研究を行っている。

Wd2は大きな分子雲に囲まれており、分子雲は可視光では観測できないが、電波を発しているため電波による観測が可能である。名古屋大学天体物理学研究室ではNANTEN2という電波望遠鏡を使ってこれらの分子雲を観測している。私たちはその観測データの解析を行い、星の誕生と分子雲の関係を調べた。

### 2. 電波強度の地図

kvisとSAOimage ds9というソフトを使って、違う視線速度で運動している2つの分子雲について、電波強度を表した等高線と可視光の画像を重ね合わせて電波強度の地図(図1)を作った。視線速度とは、ある視線方向にある天体がどのくらいの速さで私たちの太陽系から遠ざかっているのかを表したものである。

#### 2つの分子雲の視線速度

(遠ざかる方向を正とする。)

- 縦長の分子雲 14.42km/s
- 横長の分子雲 -3.82km/s

解析より、逆向きに運動する2つの分子雲が交差するように分布していて、その交点部分が星団の方向と一致することがわかった。

以上のことから「2つの分子雲の衝突により、大星団が誕生した」と考えた。

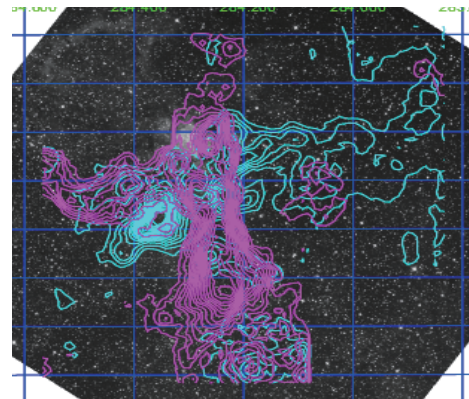


図1) Wd2の電波強度の地図

### 3. チャネルマップ

誕生した星が、星風により周りの分子雲の運動を加速させることで、分子雲に膨張する穴のような構造を見ることができるのではないかと考えた。膨張している様子は図2)のように穴の内側に視線速度の速い分子雲があり、外側にいくにつれ視線速度の遅い分子雲があることで確認できるので、視線速度分布を示したチャネルマップを作った(図3)。

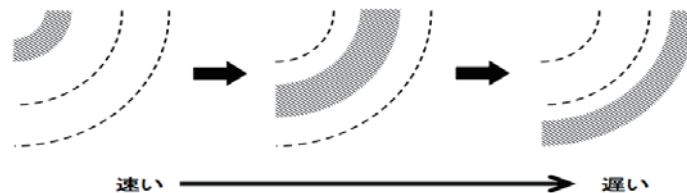


図2) 膨張する穴の模式図

それぞれの図の左上の数字は視線速度（単位はkm/s）を表している。

また、星団の出す電波の強さを等高線で表しているため、星団は等高線の位置にある。

今回分子雲は、色が薄いほど電波が強いことを表している。

チャンネルマップより、穴のような構造は見つけられなかったが、星団から離れるほど視線速度が遅くなる速度分布を確認できた。

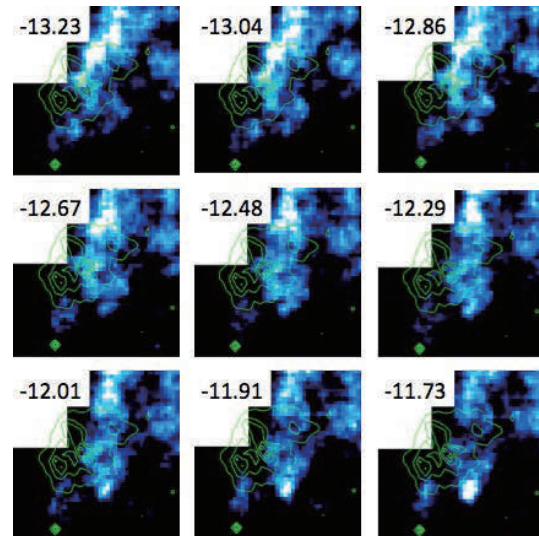


図3) チャンネルマップ (km/s)

#### 4. まとめ

図1)より、視線速度の違う2つの分子雲の交点部分が星団の視線方向と一致していることがわかった。そのことから、これらの分子雲の衝突により大星団が誕生したのではないかと考えた。

図3)より、星団に近い分子雲の方が、視線速度が速いことがわかった。そのことから、誕生した星団の星風によって分子雲が加速されていることが確認できた。

#### 5. 今後の展望

今回のチャンネルマップではきれいな円状をした分子雲の分布を見つけないことができなかったため、速度幅を変えて円状の分布がわかるチャンネルマップを作り、さらに、膨張する速度も調べたい。

また、分子雲の衝突と星の誕生の関係をより詳しく知るために、分子雲と星団の位置関係を、温度の分布図をつくることで調べたい。

さらに、Wd2以外の分子雲を伴う大星団について研究を行い、分子雲と大星団誕生の関係を詳しく調べていきたい。

#### 6. 謝辞

本研究を進めるにあたり丁寧に指導していただいた、名古屋大学大学院理学研究科立原研悟准教授をはじめとする先生方、研究室の方に深く感謝いたします。

#### 7. 参考文献

- [1] 福井康雄『巨大星の誕生』 第24回公開セミナー「天文学の最前線」 (2015)
- [2] 鳥居和史、古川尚子、大浜晶生、福井康雄  
『分子雲衝突によって誘発される大質量星形成』 (2012)
- [3] 福井康雄 『0 star formation by cloud-cloud collision』 (2015)

# 銀河の形は生まれか育ちか？

銀河学校 2015 B 班

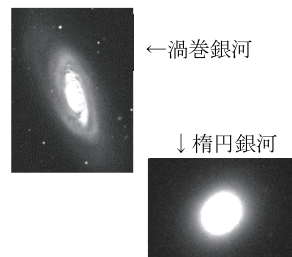
- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| 小川 大雅 (高3) 【早稲田実業学校高等部】   | 坂井 郁哉 (高3) 【栄光学園高等学校】    |
| 戸井田 滯里 (高3) 【長野県長野西高等学校】  | 三平 舜 (高3) 【新潟県立新潟南高等学校】  |
| 福山 紘基 (高3) 【奈良県立奈良高等学校】   | 金井 紗弥 (高2) 【明星高等学校】      |
| 久保 圭慧 (高2) 【八戸工業大学第二高等学校】 | 仲澤 輝 (高2) 【山梨県立日川高等学校】   |
| 松沢 彩華 (高2) 【新潟県立新潟高等学校】   | テレント 雛子 (高1) 【立命館慶祥高等学校】 |
| 柴田 理佳 (高1) 【広尾学園高等学校】     | 守山 五葉 (高1) 【星野高等学校】      |

## 1. はじめに

我々は2015年3月に木曽観測所で行われた「銀河学校」に参加し、「銀河の形は生まれか育ちか？」というテーマで研究を行った。銀河の形態は主に渦巻銀河と楕円銀河に大別される。しかし銀河の形態を決める要因はまだ特定されていない。そこで、本研究ではかみのけ座銀河団 (Coma Cluster) とおとめ座銀河団 (Virgo Cluster) に属する銀河の形態と色が、銀河団の中心からの距離によってどのように変わるのか調べることにし、この謎に迫ることとした。

## 2. 観測

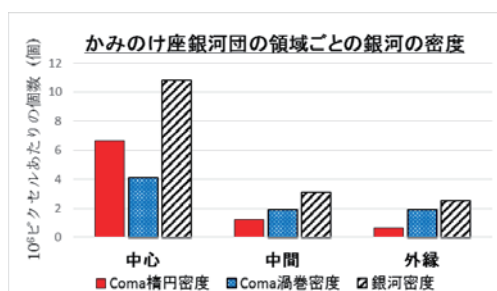
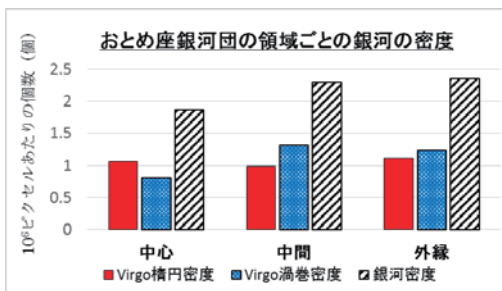
観測条件 東京大学木曽観測所 105cm シュミット望遠鏡 KWFC 180s 露光  
 観測日時 2015年2月15日 3月26日  
 フィルター Bバンド Vバンド

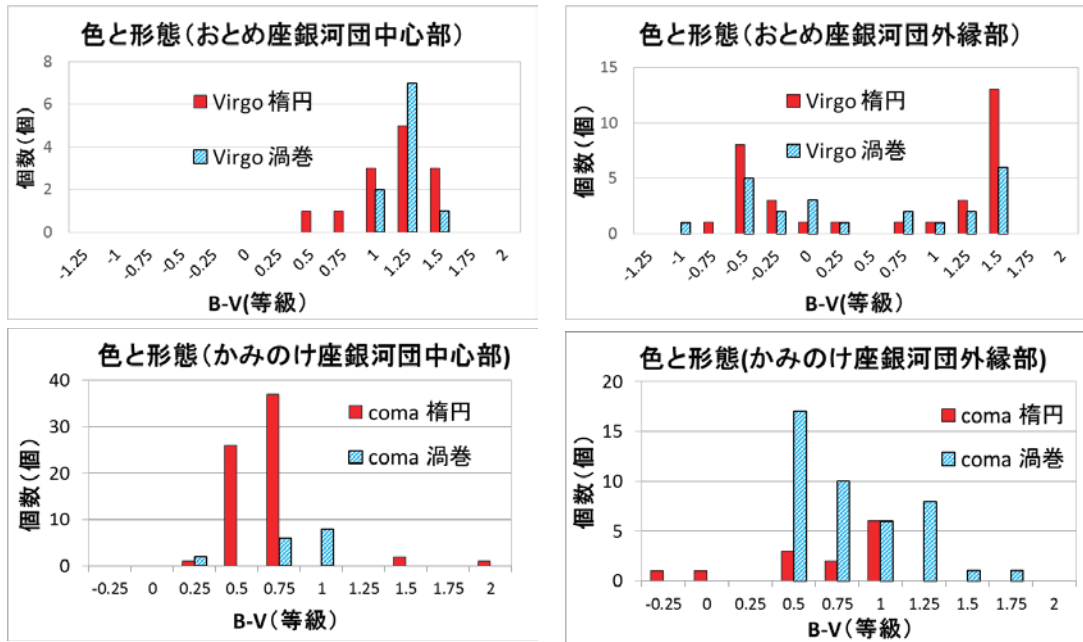


## 3. 解析

おとめ、かみのけ両銀河団をBバンドVバンドで撮影したのちに、すばる画像解析ソフト Makali'i で一次処理を行い、写った銀河のB及びV等級、中心からの距離、形態を調べた。Bバンドで撮影した時の等級からVバンドで撮影した時の等級を引いた値である B-V が大きいとその天体は赤く、小さいと青くなる。

また、銀河団の中心が写っているピクセルから半径2000ピクセルの円の内部を銀河団の中心部、2000~4000ピクセルを銀河団中間部、4000~6000ピクセルを銀河団外縁部と定め、データをこれらの3つの領域ごとにまとめた。





※グラフ中の銀河密度はその銀河団中の領域における楕円銀河及び渦巻銀河の密度の合計である

## 5. 考察

- ・両銀河団とも、中心からの距離が近いほど楕円の割合が多く、遠いほど渦巻の割合が多くなっている。
- ・おとめは中心部と外縁部で密度に大きな差が見られないので円柱状に分布していることが予想できる。  
また、かみのけは外縁部に比べて中心部の密度が大きいので、球状に分布していることが予想できる。
- ・おとめの中心部には形成されて時間が経った星を多く含む赤い銀河が多く、外縁部では赤と青が混在している。
- ・かみのけは中心部、外縁部ともに赤色を示す 0.5 から 0.75 の間に個数のピークがある。その中でも中心部では青よりの楕円が、外縁部では赤よりの渦巻が多く存在している。

## 6. まとめ

銀河の形態が決まる要因を特定するには至らなかったが、今回観測した銀河団について上記のような性質を見つけることができた。現在我々は、渦巻銀河同士が衝突し楕円銀河ができるという「育ち」の説を有力視している。今後さらに、別の波長で銀河団を撮影する、各銀河の地球からの距離を調べる、各銀河の年齢を調べる、などの研究をすると、銀河の形態が決定するメカニズムを解明できるのではないだろうか。

## 7. 謝辞

このたびの研究では愛媛大学宇宙進化研究センター鳥羽儀樹氏、TA の岩崎仁美氏、山口淳平氏、谷口大輔氏をはじめ、銀河学校 2015 スタッフのみなさんに多くの助言とご協力をいただきました。また、第 18 回天文学会ジュニアセッションに参加するにあたり、NPO 法人サイエンスステーションからご支援をいただきました。

この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

---

## 銀河におけるガスの濃淡と誕生する恒星の色の関係性 -渦巻銀河と衝突銀河の色を比較して-

---

大木 愛花（中等5）【茨城県立並木中等教育学校】

---

### 【研究目的】

銀河には主に渦巻銀河と楕円銀河がある。渦巻銀河のほうが恒星の年齢が若く青い星の割合が多い。青い星は寿命が短いため、渦巻銀河が青い星の割合を保つには、多くの青い星を生成する必要がある。すなわち渦巻銀河の方が星形成が活発である。私はこの違いを疑問に思い、研究を始めた。

### 【仮説】

恒星は宇宙に漂う星間ガスが万有引力によって集まり誕生する。恒星は大きいほど青く、小さいほど赤くなることが知られており、青い星誕生にはより多くのガスが必要である。よって仮説は「渦巻銀河のスパイラルアームの中では、星の原料となるガス同士が衝突しあい、ガスの密度が高まることで青い星が生まれやすくなるため、楕円銀河より渦巻銀河の星の方が青い」とした。

### 【研究方法】

渦巻銀河と楕円銀河のガスの量と銀河の色の相互関係を見れば仮説を証明できるが、ガスの量に当たる電波の観測データは感度が悪く、正確なデータは得られない。そこで、楕円銀河と比較した場合の渦巻銀河と同様に、ガスの密度がより高いであろう衝突銀河と、衝突前の渦巻銀河に含まれる恒星の色を「異なる2種類のフィルターの光の強度の比 $B/V$ 」（以下光の強度 $B/V$ ）を用いて比較した。

光の強度 $B/V$ とは、ある天体を2種類の通過波長域の異なるフィルターで観測したときの、短波長域光を通過させる $B$ バンドフィルターでの光の強度と、長波長域光を通過させる $V$ バンドフィルターでの光の強度の比である。天体における光の強度は、光が強いほど値が大きい。よって、青っぽい色の短波長の光の強度が赤っぽい色の長波長の光の強度よりも強い、すなわち天体が青っぽいとき、光の強度 $B/V$ は値が大きくなる。

データは可視光線のアーカイブデータ、Sky ViewのDSS2を用いた。具体的には、

1. NGC catalog、Atlas of Peculiar Galaxies を用いて研究対象とする天体を決定した。
2. Sky ViewのDSS2Red、DSS2Blueを用い可視光線で観測された天体のデータを取得した。
3. DSS2Red、DSS2Blueをすばる画像解析ソフトMakali'iで測光した。
4. 測光したデータから対象外の天体の明るさを引いて、これを対象天体の光の強度とした。
5. 渦巻銀河、衝突銀河において、どちらに含まれる恒星がより青い傾向があるかを比較した。

とした。5.の比較において、光の強度 $B/V$ を用いた。

### 【結果】

渦巻銀河50天体、衝突銀河50天体について、図1のグラフを作成した。横軸は光の強度 $B/V$ 、縦軸は銀河の個数である。

図1より、横軸の値が小さい、赤っぽい衝突銀河が多く存在することがわかった。そこで、一般的に銀河に含まれる恒星が赤いことで知られる楕円銀河と、衝突銀河について同様の解析を行い、衝突銀河50天体、楕円銀河30天体を用いて図2のグラフを作成した。



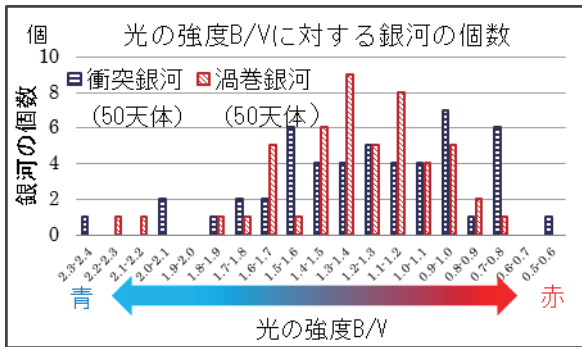


図1 光の強度B/Vに対する銀河の個数

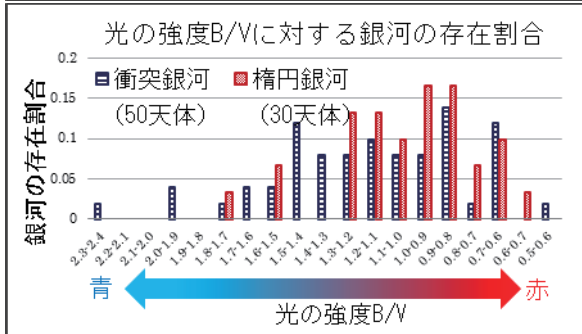


図2 光の強度B/Vに対する銀河の存在割合

### 【考察】

- ・ 図1から、渦巻銀河は光の強度B/Vの値のピークが1.3-1.4である。また、衝突銀河は光の強度B/Vの値のピークは見られないが、これはサンプル数が少ないためであると考えた。
- ・ 図1から、光の強度B/Vの値が0.6-1.8の天体グループと、2.1-2.4の天体グループに分かれると考え、この2つのグループでは天体の特徴が異なるのではないかと考えた。
- ・ 図2から、衝突銀河の光の強度B/Vと、楕円銀河の光の強度B/Vのグラフが似ており、衝突銀河の中には楕円銀河に似た性質を持つ銀河があるのではないかと考えた。
- ・ サンプル数を増やしても衝突銀河の光の強度B/Vの値のばらつきが激しい場合には、衝突銀河の値のばらつきは衝突銀河の融合具合による可能性があると考えた。衝突銀河は、完全に融合するまで何回か衝突を繰り返すことが計算により知られている。衝突で急激に密度の高まった多くのガスが恒星に変わり、衝突を繰り返すうちに寿命の短い青い星が死ぬ。通常の渦巻銀河なら青い星が死んでもガスを使って新しい青い星が生まれるので全体における青い星の割合は変化しないが、衝突後の衝突銀河は急激な恒星の誕生で残りのガスが少なく、青い星を作り出すことができず赤い星だけが残ると考えた。

### 【今後の課題】

- ・ 衝突銀河のピークがはっきりしないので、サンプル数を増やす。
- ・ 光の強度B/Vが0.6-1.8と、2.1-2.4の天体グループそれぞれの特徴を調べる。
- ・ 研究対象の衝突銀河の、第1回目の衝突からの経過時間を調べる。

### 【謝辞】

本研究を進めるにあたり、東北大学助教 津村耕司先生には大変貴重な助言を頂きました。心からお礼申し上げます。

### 【参考文献・引用文献】

奥田豊三 (1935) 星のSpace reddeningに就て(I) 日本数学物理学会誌Vol. 9 P.18-28

## 銀河団の観測による新しい銀河の分類の提案

もし天2015 スパイラル☆パラダイス

月岡 みなみ (高2) 【神戸海星女子学院高等学校】、中澤 佑香 (高2) 【東京都立西高等学校】、  
菅原 茉穂 (高1) 【仙台白百合学園高等学校 LSコース】、野崎 信吾 (高1) 【岡山県立倉敷天城高等学校 理数科】

### 要旨

銀河団を観測し、その中に含まれる銀河の光度と色を求める。そこから色等級図を作成し、その相関関係を読み解くことで銀河の性質を見つけ、銀河の新しい分類を試みる。

#### 1. 背景

我々は、ハッブルの音叉図で定義された形に当てはまらない銀河がすべて不規則銀河として統べられていることに疑問を持った。そこで、銀河に形以外の分類法で規則性を見出すことができれば、不規則銀河も含めすべての銀河を規則的に分けられると考えた。

#### 2. 目的

- ・銀河の新しい性質や傾向を明らかにする。
- ・ひと目でそれぞれの銀河の情報を得られるようにする。

#### 3. 検証方法

- 1) 銀河団の観測を行う。
- 2) 観測で得られたデータとアーカイブデータを解析する。
- 3) 解析結果から相関関係を探り、新しい分類を模索する。

#### 4. 観測

日時：12/21 22:30~25:00・12/22 19:00~20:00

天候：曇り時々晴れ

場所：仙台市天文台

望遠鏡：1.3mひとみ望遠鏡(視野 32.6' × 32.6')

観測天体：ペルセウス座銀河団

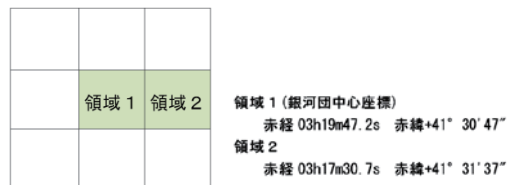


図1 ペルセウス座銀河団の観測領域

銀河団の中心とその隣の2領域(図1)

観測方法：撮像観測(フィルターなし、Bバンド、Vバンド、Rバンド 各120秒×1枚)

#### 5. 解析

すばる画像処理ソフト Makali`i を用いて撮像データから測光していった。その際、撮像データには銀河と恒星が写っているため、それらを判別する必要がある。Makali`i にはグラフ機能があり、輝度の断面グラフを作成することができる。恒星のグラフは図2のような曲線になるが、銀河の場合は図3のようなギザギザとしたグラフとなる。これは銀河が恒星の集まりであり、発せられる光の強さが一定でないため

ある。この違いを利用して銀河と恒星を判別して銀河のみを測光すると、領域1では116個、領域2では67個の銀河を測光することができた。それらをExcelを用いて色等級図に表した。

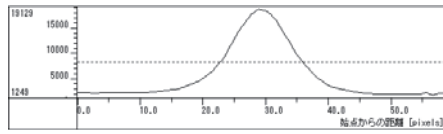


図2 恒星のグラフ

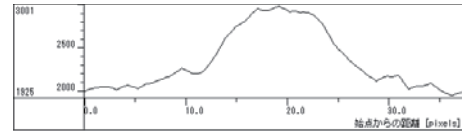


図3 銀河のグラフ

## 6. 結果

下図が作成した色等級図である。(図4・図5)

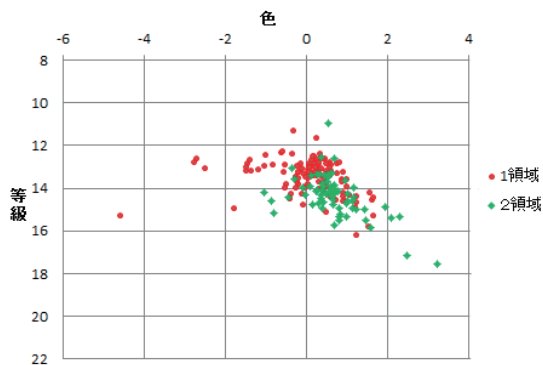


図4 B等級の色等級図

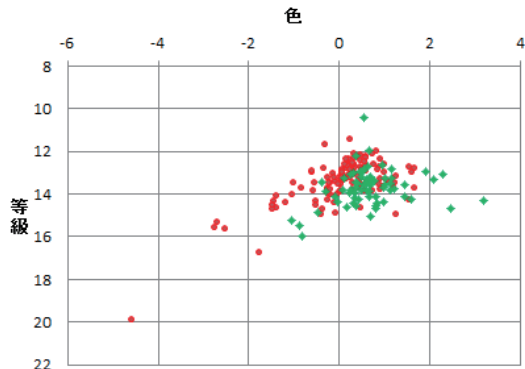


図5 V等級の色等級図

## 7. 考察

〈作成した色等級図からわかること〉

- ・B等級のグラフでは銀河が赤くなるほど暗くなり、V等級のグラフでは銀河が赤くなるほど明るくなる。
- ・横軸の-2から2の値、縦軸の12から16の値の部分に銀河が集中している。
- ・銀河の分布から外れている天体がある。

色等級図において銀河の分布から外れている天体がある理由として、観測した天体の中に非常に明るい・暗い、または非常に青っぽい・赤っぽい銀河が含まれている、解析時に銀河ではなく恒星を測光してしまった、望遠鏡に付着したゴミや宇宙空間に漂うチリやゴミを観測してしまった、ということが考えられる。

## 8. 今後の課題

- ・不規則銀河を解析し、他の銀河と同じ色等級図にプロットして銀河の分布の様子を調べる。
- ・アーカイブデータを解析する。
- ・色・光度の他に、銀河の質量、年齢、波長などの値で銀河の規則性を探る。

## 9. 謝辞

本研究を行うにあたり、西山正吾先生・田中幹人先生をはじめとした東北大学・宮城教育大学の先生方・もしも君が杜の都で天文学者になったら・・・のTAの皆さん、また観測するにあたって仙台市天文台の方々にご指導をいただきました。この場をお借りして心より御礼申し上げます。

## 10. 参考文献 Brunzendorf\_Meusinger\_1999\_A&AS139, 141

## 銀河集団の大きさ・質量と、銀河集団中のダークマターの質量の相関

チーム：ダークマター（は）アルマゲドン

柴崎 遼（高2）【埼玉県立豊岡高等学校】、丸田 祥輝（高2）【神奈川県立厚木高等学校】、  
筒泉 佳子（高2）【同志社高等学校】、齋藤 鈴花（高2）【新潟清心女子高等学校】

### 1. 諸言

現在宇宙は加速膨張を続けている。しかし、宇宙は今後も加速膨張を続けるのか、それとも収縮に転じるのかということはまだ分かっていない。宇宙が収縮する力とは、宇宙内の物質の重力によるものである。そして、その物質の約85%（※1）を占めているのがダークマターである。今後宇宙が収縮する可能性があるか知るためには、物質の重力について考える必要がある。だが、ダークマターについても、未だ分からないことが多い。そこで私たちは、ダークマターの質量が天体の大きさ、質量の違いによってどのように変化するのかということを知り、宇宙が収縮する力について理解を深めることで、宇宙の終わりを推測したいと考えた。

### 2. 研究方法

ダークマターの質量を求めるには、運動と光度から求めた天体の質量を比較する必要がある。

ダークマターは光を発さない物質であるため、天体の質量を光度から求めれば、ダークマターの質量が含まれない値が求まる。一方、天体の質量を運動から求めれば、ダークマターの質量を含めた値が求まる。よって、ダークマターの質量は、ある天体の力学的質量から光学的質量を引いた差より求めることが出来る。光学的質量と力学的質量の求め方は以下のようなものである。

まず、得られた各天体の各画像を画像解析ソフト“Makali ‘i’”の測光機能とSIMBAD Astronomical Databaseにて、調べた基準星（※2）を用いて実視等級を求める。次に、論文など（※3）から引用した距離を用いて各天体の絶対等級を求め（式1）、太陽の明るさを基準として光学的質量を求める。論文（※4）に従い、Bバンドにおける絶対等級を下記の式に代入する（式2）。

$$M_{\odot} : \text{太陽の重さ} \quad L_{\odot} : \text{太陽の明るさ} \quad M^* : \text{恒星の重さ} \quad L^* : \text{恒星の明るさ}$$

$$\frac{M_*}{L_*} \sim 4.5 \frac{M_{\odot}}{L_{\odot}} \dots \text{式 2} \quad M_{\text{光学的}} = M_*$$

力学的質量は論文（※5）から引用した各天体の速度の値を次の式（式3）（式4）に代入して求める。

$\sigma$  : 速度分散     $M$  力学的 : 質量     $R$  : 銀河・銀河団の領域の半径     $G$  : 万有引力定数

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 \dots \text{式 3} \quad M_{\text{力学的}} = \frac{3R\sigma^2}{2G} \dots \text{式 4}$$

また、今回の研究では、ダークマターの質量と天体の大きさ、質量との相関を調べたいので、以下の規模が違う4つの天体を観測することにした。

- ・ペルセウス座銀河団の中心付近の33' × 33'（以後 Abell1426）
- ・ステファンの五つ子（以後 HCG92）
- ・M82・M81（バルジ部分）

以上の方法を用いて求めたダークマターの質量と、天体の大きさ、質量との関係をグラフで表し、そこにどのような相関があるかを考察した。

### 3. 観測

2015年12月21日と22日仙台市天文台1.3mひとみ望遠鏡にて以下の撮像観測を行った。

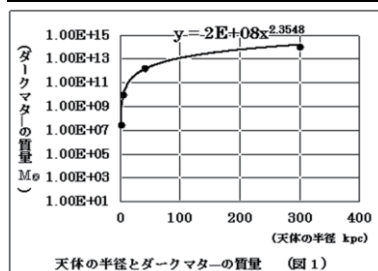
- ・使用バンド：B（観測対象すべて）
- ・対象と積分時間：Abell1426・M82…120秒、HCG92…60秒、M81…180秒

### 4. 結果

研究方法に記した手順で値を導出した結果、次のようになった。下の表での質量の単位はすべて太陽質量である。

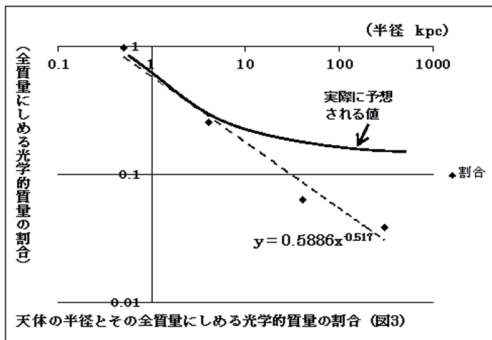
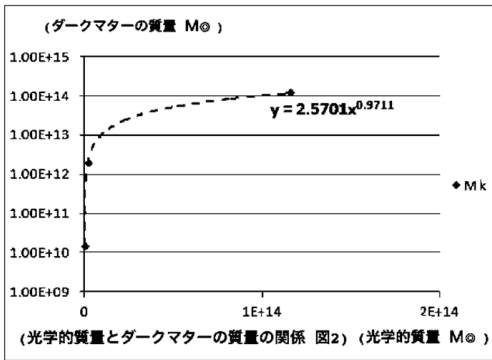
（表1）各天体の半径と質量

	半径 (kpc)	力学的質量	光学的質量	ダークマターの質量
Abell1426	300	1.20E+14M <sub>⊙</sub>	4.70E+12M <sub>⊙</sub>	1.15E+14M <sub>⊙</sub>
HCG92	40	2.00E+12M <sub>⊙</sub>	1.30E+11M <sub>⊙</sub>	1.87E+12M <sub>⊙</sub>
M82	4	1.50E+10M <sub>⊙</sub>	3.90E+09M <sub>⊙</sub>	1.11E+10M <sub>⊙</sub>
M81(バルジ部分)	0.5	3.00E+09M <sub>⊙</sub>	2.97E+09M <sub>⊙</sub>	3.00E+07M <sub>⊙</sub>



### 5. 考察

(1) : 図1のグラフは、横軸を天体の半径、縦軸をダークマターの質量としたものである。グラフより、天体の半径が大きくなるほど、ダークマターの質量も大きくなるということが読み取れる。また、もしも、ダークマターの密度が一樣であるとしたら、ダークマターの質量は空間に比例する、つまり半径の3乗に比例するはずである。しかし、近似曲線の式では半径のおよそ2.3乗に比例している。従って、ダークマターの密度は一樣でないこともこのグラフから読み取れる。



(2) : 図2のグラフは、横軸を光学的質量、縦軸をダークマターの質量としたものである。グラフより、天体の光学的質量が大きくなるほど、ダークマターの質量も大きくなるということが読み取れる。

(3) : 図3のグラフは縦軸を(割合)、横軸を天体の半径(kpc)としたものである(点線)。その結果、天体の半径が大きくなるほど、光学的質量÷力学的質量の割合が小さくなることが分かった。

この考えを進めていくと、半径の大きさを宇宙全体の大きさとして代入すると、宇宙全体の光学的質量÷力学的質量の値、言い換えると、宇宙全体の 元素÷(元素+ダークマター) = 約15% (※1) が求まるはずである。しかし、仮に138億年という値を代入すると、その値は0.009%となった。このことから、私たちは光学的質量を実際より小さい値で求めてしまったと考え、その原因は可視光の領域では捉えることの出来ない天体内にあるガスや塵だと予想した。つまり、本来このグラフは点線ではなく曲線のようになり、半径の大きさを極限まで宇宙全体の大きさに近づけていけば、正確な宇宙全体の元素÷(元素+ダークマター)の値が出ると思った。

(4) : 今回の研究では、宇宙の終わりを推測するのに十分な考察は得られなかったが、観測的実証によってダークマターの性質について理解を深めることが出来た。

## 6. 今後の展望

私たちは今回の研究で撮像観測を行ったが、可視光では観測できないガスや塵の質量を含めることができなかったため、光学的質量の正確な値を求めることが出来なかった。そのため、今後の展望として、X線などのガスや塵を捉えることができる波長での観測を行い、より精密なデータに基づいて、考察することが挙げられる。

また、ダークマターの質量の推定について新たなアプローチ方法を検討することで、これからも見えない宇宙の謎へ迫っていきたいと考えている。

## 謝辞

今回の研究にあたり、「もしも君が天文学者杜の都で天文学者になったら・・・。」で、板由房先生をはじめとする東北大学の教員の皆様並びにTAの皆様、そして仙台市天文台の皆様方には多大なご協力をいただきました。本当にありがとうございました。

## 参考文献

※1 天文衛星「プランク」の観測データを参考 [www.astroarts.co.jp/news/2013/03/22planck/index-j.shtml](http://www.astroarts.co.jp/news/2013/03/22planck/index-j.shtml)

※2 基準星

Abell426 : HD275052 HCG92 : TYC2743-898-1

M81 : HD85458 M82 : BD+70586 10.12

※3 ※5の論文 HCG92 に関してのみ NED のデータベースより引用 <https://ned.ipac.caltech.edu/>

※4 佐々木 伸 東京都立大学大学院理学研究科 2002年7月31日

「高校生のための現代物理講座銀河団で見る宇宙論」 [www.phys.se.tmu.ac.jp/event/openclass/pdf/uchuu.pdf](http://www.phys.se.tmu.ac.jp/event/openclass/pdf/uchuu.pdf)

※5 Abell426 KENT, STEPHEN M ; SARGENT, W.L.W. "THE DYNAMICS RICH CLUSTERS OF GALAXIES. II. THE PERSEUS CLUSTER" Publications

of the Astronomical Journal vol. 88, June 1983, p. 697-708 (1983):

HCG92 KENT, STEPHEN M. "DISTANCES TO THE GALAXIES STEPHAN'S QUINTET". Publications of the Astronomical Society of the

Pacific 93.555 (1981): 554-557.

M82 Johnny P. Greco, Paul Martini, and Todd A. Thompson "MEASUREMENT OF THE MASS AND STELLAR POPULATION DISTRIBUTION IN M82 WITH THE LBT"

Published 2012 August 31 • The Astrophysical Journal, Volume 757, Number 1

M81 Bochum, Ruhr-Universität, Bochum, "A Two Component Mass Model for M81 (NGC3031)" Germany Astronomy and Astrophysics (Impact

Factor: 4.38). 06/1980: 87:175-182.

## 本校 30cm 望遠鏡によるベテルギウス、カペラのスペクトル解析

齋藤 大樹、榊原 大敦 (高1) 【横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校】

### 1. 研究動機

オリオン座のベテルギウスが近い将来超新星爆発を起こし消滅する可能性があることを知り、それが起こる前に多くのデータを取り消滅後のデータと比較することを目標にベテルギウスの観測を始めた。また、研究に比較対象があることでデータが多く取れるだけでなく、より深く考察ができるようになると考え、その比較対象にぎょしゃ座のカペラを選んだ。なぜなら、冬に観測できる星の中でも明るく、比較対象として最も適していると考えたからである。

### 2. はじめに

天文学におけるスペクトルとは、天体からの光をプリズムや回折格子といった分光器を通して分光することによって得られる、光の波長ごとの強度分布のことである。

スペクトルには連続スペクトルと呼ばれる、熱放射による光の分光によって得られる連続的な虹色模様のスペクトルや、輝線スペクトルと呼ばれる電離、励起された原子から放出された光を分光し得られる離散的ないくつかの光線からなるスペクトルなどがある。また、連続スペクトルを放つ光源と観測者の間に原子が存在すると、その原子が固有の波長の光を吸収して励起される。そのためその波長での強度が減少した光となり、それを分光した時に見られる暗い線をもつスペクトルは吸収線スペクトルと呼ばれている。今回の研究ではこの吸収線スペクトルを用いて観測した星に存在する原子を特定することを第一目標としている。

### 3. 観測

観測は、2015年12月12日と2016年1月9日の計2回、本校天体観測ドームにて行われた。観測対象はオリオン座のベテルギウス、ぎょしゃ座のカペラである。水銀から出る輝線スペクトルをもとに、天体スペクトル

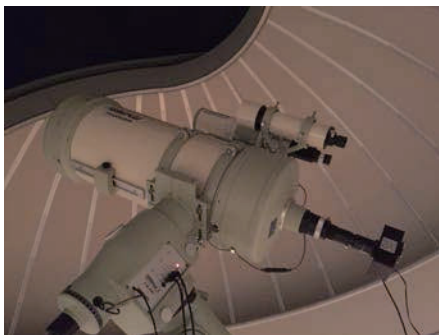


図1 使用機材, 観測風景



図2 水銀のスペクトル取得

の波長付けを行った。観測に用いた望遠鏡は 30cm 純

カセグレン反射望遠鏡 C-300、検出器には冷却 CCD カメラに分光器 Alpy600 を接続したものをを用いた。はじめに水銀灯を、次にターゲットのベテルギウスとカペラの分光観測を行った。

### 4. 解析

所得した画像は、FITS 画像解析ソフト makali`i を用いて一次処理を行った。一次処理は、時間の都合でフラットフレームができなかったため、ダークフレームおよび、スカイの差引のみを行った。一次処理した画像を同じく makali`i のグラフ機能や Excel を用いて、横軸が波長、縦軸が強度のグラフに変換した。



## 5. 結果

スペクトルを解析した結果、ベテルギウスでは  $H\alpha$ ,  $H\beta$ , He, Ne, Na, Fe, TiO、カペラでは  $H\delta$  の吸収線が検出された。

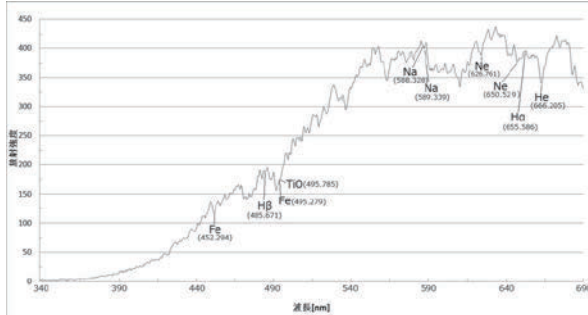


図3 ベテルギウスのスペクトル解析結果

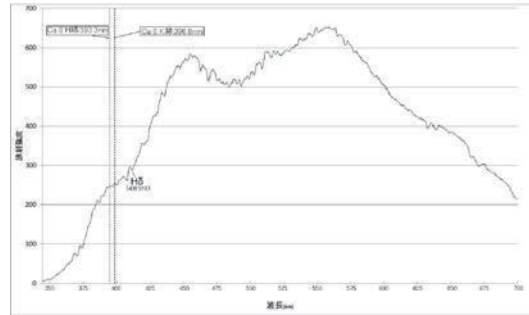


図4 カペラのスペクトル解析結果

## 6. 考察・今後の展望

ベテルギウスでは、Fe, TiO など恒星に存在する元素の中では比較的元素量の大きい物質が検出されている。このことからベテルギウスの内部では既に核融合がかなり進んでいると考えられ、これはベテルギウスが近い将来現在と同じように輝かなくなるのは事実だと推測するのに重要な根拠の1つとなりうる。また、存在する物質それぞれの割合を調べれば、ベテルギウスの寿命を推定することができるようになる。

カペラについては後日調べたところ、スペクトルに Ca2H 線 (図4左の点線)、Ca2K 線 (図4の右の点線)、Na の吸収線がでることが分かった。本研究でそれらが検出できなかった原因としては 1. 町明りの強いところで観測を行った 2. 検出器の分解能が要求値に達していなかった 3. 実際、カペラに検出できるほどの Ca や Na がなかった、の3つが考えられる。

今後は、なぜベテルギウスの解析は成功したが、同じ条件で解析したカペラは思ったように結果が得られなかったのか調査していく。その調査でベテルギウスとカペラ、それぞれの特徴を明らかにしていきたい。

## 7. 参考文献・使用ソフト

慶応義塾高等学校3年 H.Kさん 卒業研究(天文) 恒星スペクトルの研究

FITS 画像解析ソフト makali`i

Microsoft Excel 2010

いて座新星2015 No.2のスペクトルに見られたP Cygプロファイル

【国立米子工業高等専門学校 科学部】

永井 俊一、堀江 洸介、勝部 桃子(高専3)

尾上 創、河原 匠吾、熊本 千夏、前田 夏奈(高専2)

岩浅 大輝、朝比奈 雄志、松田 稜哉、岩瀬 恭治(高専1)

1. はじめに

いて座新星2015 No.2は昨年3月15日にオーストラリアのJohn Seach氏によって発見された(図1)。この新星は肉眼光度にまで明るくなり、さらに3~5月に4回も増光を繰り返し、非常に注目を集めた(図2)。そこで、米子高専科学部でもスペクトル撮像を行ったので、その観測結果について報告する。

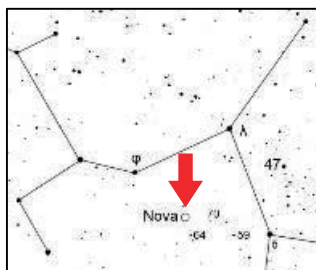


図1. いて座新星2015 No.2の位置

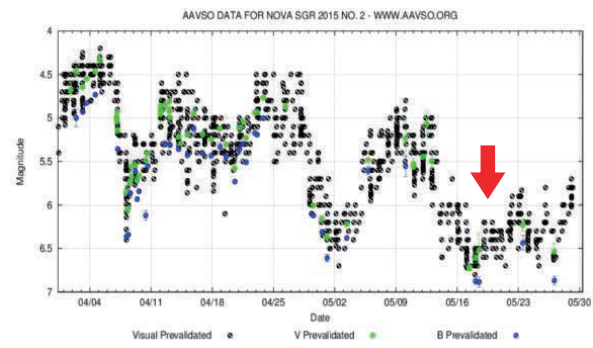


図2. いて座新星2015 No.2の光度変化

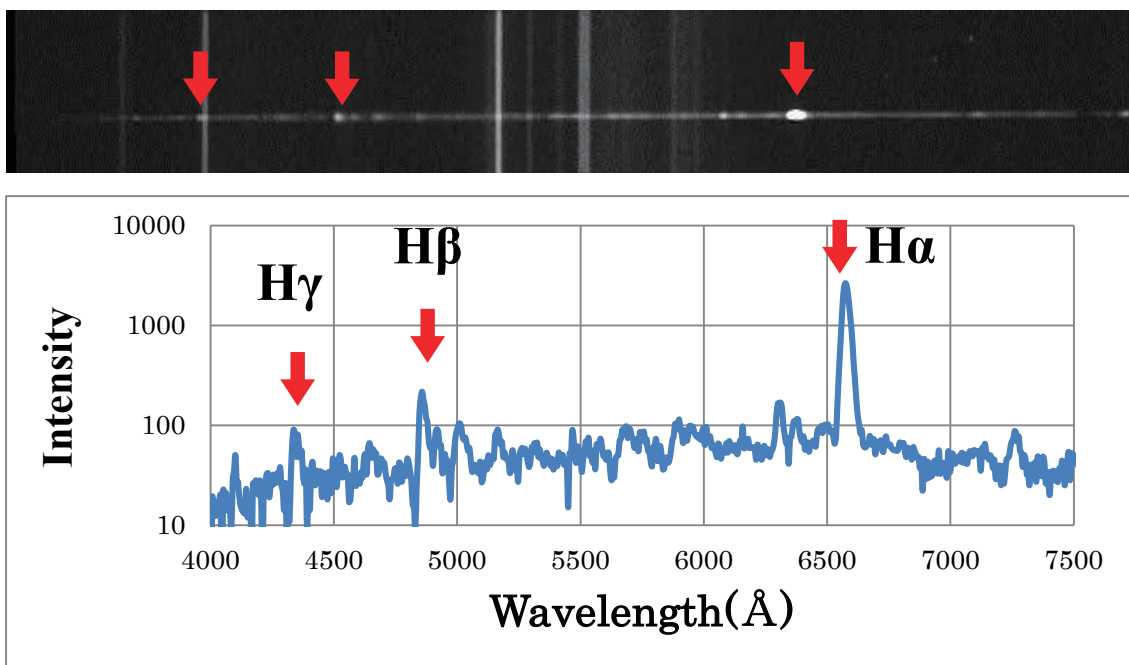


図3. いて座新星2015 No.2のスペクトル。バルマー線が強く放射されている。

## 2. 観測

我々は5月17日(日)の夜半過ぎにいて座新星2015 No.2のスペクトル撮像を行った。このころは、4回目の増光が終わり、いったん光度が極小に達した時期であったが、それでも6.5等級であった(図2の矢印)。タカハシの赤道儀S90に屈折望遠鏡ビクセンED81Sを搭載し、分光器DSS-7とCCDカメラST402をとりつけ、自動ガイドで300秒露光した。

## 3. 結果と考察

図3はダーク処理を行い、スカイを引算したいて座新星2015 No.2のスペクトルである。この図より、新星から強力なバルマー線が放射されていることがわかった。さらに、 $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、 $H\gamma$ の各輝線の短波長側が吸収になっており、典型的なP Cygプロファイルになっていることもわかった。

P Cygプロファイルとは、はくちょう座P星で発見された輝線の形状で、星から放出されたガスが星の表面を隠すため輝線の青側が吸収となったものである。したがって、青側の吸収波長から放出ガスの膨張速度がわかる。そこで、図4は $H\beta$ 、 $H\gamma$ 線の横軸を波長から速度換算した図で、今回のいて座新星では膨張速度が3000km/sにもなっていることが示された。

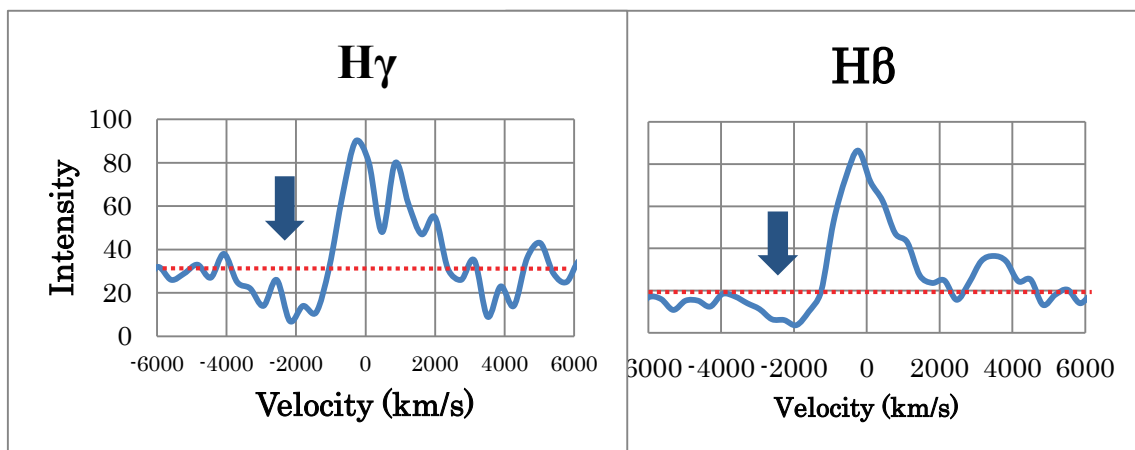


図4.  $H\beta$ 、 $H\gamma$ 線の横軸を波長から速度換算した図。膨張速度が3000km/sにもなっている。

## 4. まとめ

5月17日(日)にいて座新星2015 No.2のスペクトル撮像を行った。新星からは強力なバルマー線が放射されていることがわかった。さらに、 $H\alpha$ 、 $H\beta$ 、 $H\gamma$ の各輝線は典型的なP Cygプロファイルになっており、大気の膨張速度は3000km/sにもなっていることが示された。

## 参考文献

<http://www.aavso.org/>

<http://nhk.mirahouse.jp/flash/0200/0294.html>

---

## 星の死と誕生のつながり

もし天 2015 SNS

迫 千紘(中等 5)【兵庫県立芦屋国際中等教育学校】、戸田 真一(高 2)【埼玉県立川越高等学校】、  
佐藤 知寧(中等 4)【千代田区立九段中等教育学校】、畠山 雄大(高 1)【宮城県仙台第二高等学校】、

---

### 1. はじめに

私達は、星の死を死だけ、誕生を誕生だけで捉えるのではなく、生と死のつながりを調べたいと考え、仙台市天文台での観測を元に、惑星状星雲と輝線星雲の成分を割り出した。どのような成分からこういった星ができるのかがわかれば、今ある惑星状星雲が、どんな星を生むのかを予想できるのではないかと期待している。

### 2. 観測

観測日時：2015年12月20日 20：20～21：00

12月21日 20：50～22：30, 24：00～26：10

観測機器：仙台市天文台、1.3mひとみ望遠鏡

研究対象：【惑星状星雲】IC418、NGC2392、NGC1514【輝線星雲】M42

観測方法：分光観測（M42は120秒で3枚、その他は180秒で2～4枚） 中央波長 5000Å

### 3. 仮説

惑星状星雲に注目し、その成分比について考えた。

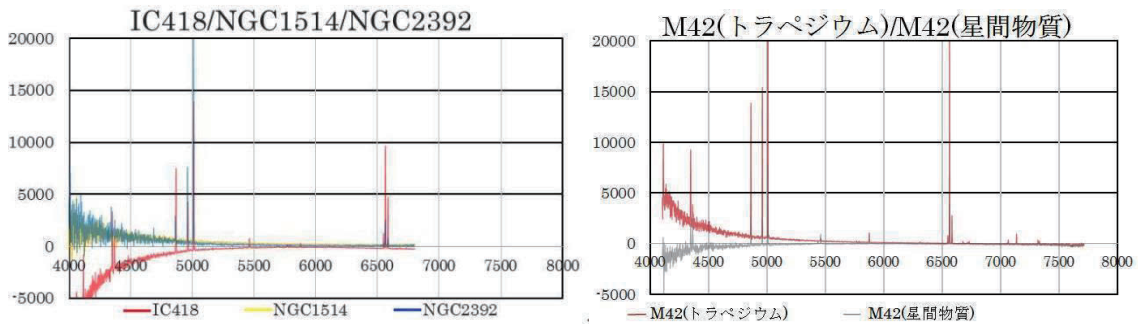
- [I] 惑星状星雲同士に成分の違いがある場合。  
→赤色巨星の性質・特徴などによる影響で輝線星雲に違いが生じる。
- [II] 惑星状星雲同士に成分に差異が見られず輝線星雲との成分に差異が見られる場合。  
→星間物質としての期間に変化が起こった、または外部から大きな刺激があった。
- [III] 惑星状星雲同士に成分に差異が見られず輝線星雲との成分に差異が見られない場合。  
→同じような恒星が繰り返し誕生する。

### 4. 研究方法

- ①観測したスペクトルのデータから、惑星状星雲同士、輝線星雲内で成分の違いを検証。
- ②観測したスペクトルのデータから、惑星状星雲と輝線星雲の成分の違いを検証。
- ③それぞれの成分比を割り出し、細かい部分での比較。

### 5. 結果

- ①惑星状星雲同士、輝線星雲内の成分に違いは見られなかった。（仮説 [I] の消去）
- ②惑星状星雲と輝線星雲の成分に違いは見られなかった。（仮説 [II] の消去）  
NGC1514 は仮説を検証するのに十分なデータを得られなかった。

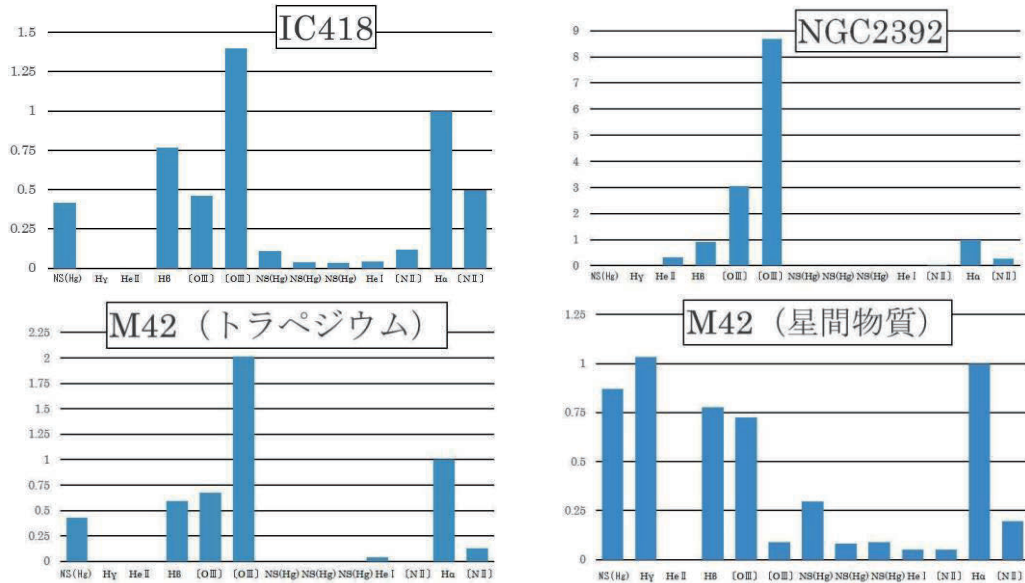


③ 惑星状星雲同士、輝線星雲内の成分比に大きな違いは見られなかった。

惑星状星雲と輝線星雲の成分比に違いは見られなかった。

グラフの縦軸はH $\alpha$ を基準として1と置いた時の相対値。

グラフの横軸は観測できた成分を表し、左から順に NS(Hg)、H $\gamma$ 、H $\alpha$  I、H $\beta$ 、[OIII]、[OIII]、NS(Hg)、NS(Hg)、NS(Hg)、H $\alpha$  I、[NII]、H $\alpha$ 、[NII] (NSは夜光のこと)



しかし、輝線星雲 M42 (星間物質) だけ左側に H $\gamma$  の波長が見られた。

ただ、H $\gamma$  はとらえたスペクトルの左端側にあり、夜光の可能性もあるため今回は無視して考えた。

## 6. 結論

惑星状星雲と輝線星雲の成分には違いが見られなかったことから、私たちは仮説 III の同じような恒星が繰り返し誕生すると考える。

## 7. 展望

追加観測。(【惑星状星雲】NGC1514【輝線星雲】NGC1931、NGC2174【標準星】BD+75d325、hilt600、hd217086) この作業を行うことで、データの正確性を高め、自分たちの導き出した結論と M42 (星間物質) で観測された H $\gamma$  の再検証を行っていきたい。

### 【参考文献】

- ・平成 27 年 理科年表
- ・宇宙 太陽系から銀河宇宙の果て、地球外生命探査まですべてがわかる 成美堂出版
- ・SIMBAD Astronomical Database <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim>
- ・アストロアーツ <http://www.asroarts.co.jp>

## 激変星 EM Cygの降着円盤について

深見 涼、小森 龍馬、福田 未帆里（高1）、遠藤 陸央、野上 隼紀（高2）、  
上籠 俊輝、木谷 有紗（高3）

【京都府立洛東高等学校 自然科学部】

### 要 旨

2015年5月29日～30日にかけて、激変星EM Cygの測光観測と分光観測を行った。測光観測はRとIの2色で行い、蝕付近の光度曲線が得られた。同時に分光観測を行って、降着円盤であるH $\alpha$ 輝線の変化を調べた。

### 1. はじめに

私たち自然科学部では、この数年、激変星の観測を行っている。今回は激変星EM Cygの降着円盤の構造を調べるために分光と測光の同時観測を2015年5月29日～30日に西はりま天文台で行い、さらに大阪教育大学に依頼して別波長の測光観測を実施した。

### 2. 激変星EM Cygについて

図1は先輩が描いた激変星を真上から見た図である。激変星は、白色矮星を主星、赤色星を伴星とした近接連星系である。主星の周りには、伴星から降ってきたガスが降着円盤を形成している。降着円盤に伴星からくるガスが降り積もる所が明るく輝いている。そこをホットスポットという。

対象の激変星は、はくちょう座にあるEM Cygで公転周期は7時間、Z Cam型という頻繁に明るくなるタイプでおよそ25日ごとに増光する。伴星が二つあると言われている。

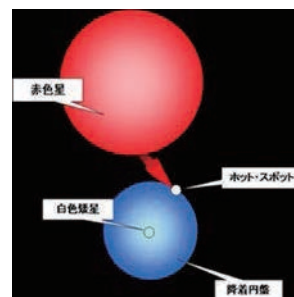


図1

### 3. これまでの観測と結果

洛東高校では今までに西はりま天文台（Rバンド）と大阪教育大学（Iバンド）で2回のEM Cygを観測している。2013年5月24日、25日のIバンドでの観測の結果、図2の光度曲線ができた。また、なゆた望遠鏡でスペクトル観測を行い、H $\alpha$ 輝線の位相変化を見いだした。また、降着円盤の回転速度を1400km/sと見積もることができた。

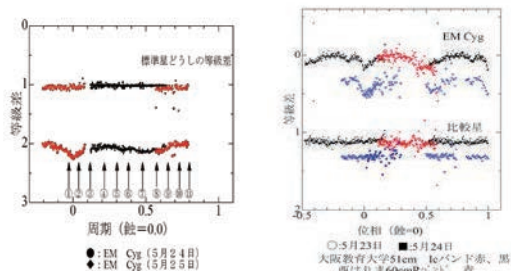


図2

図3

2014年はRバンドとIバンドの2色測光観測が成功した(図3)。その結果、位相0.87(-0.13)の減光もしくは0.95(-0.05)の増光が見つかり、この原因を調べたいと考えた。



### 4. 今年の観測.

分光観測は西はりま天文台のなゆた望遠鏡口径2mで2015年5月29日、30日の22時52分～26時34分6分間隔で撮影し、36枚のスペクトル画像が得られた。スペクトルのグレーティングは300本/mm、低分散モード (R~1000) で波長域は5000~8000Åである。また測光観測は、西はりま天文台の60cm望遠鏡 (Rバンド) で22時1分~27時55分で露出時間は60秒の自動露出であり、大阪教育大学に依頼をして得られた51cm望遠鏡 (Icバンド) の観測時刻は21時56分~28時24分までで、30秒露出である。

### 5. 解析

「マカリ」 [1] を利用して測光と分光データの一次処理をした。4つの比較星とEMCygの明るさを、「マカリ」を利用して測光し、等級に変えた。分光は美星天文台の「BeSpec分光データ解析ソフト」 [3] で波長付けし、スペクトルトレースに変えた。

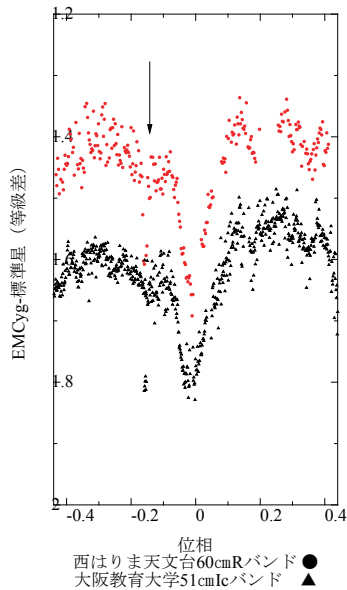


図 4

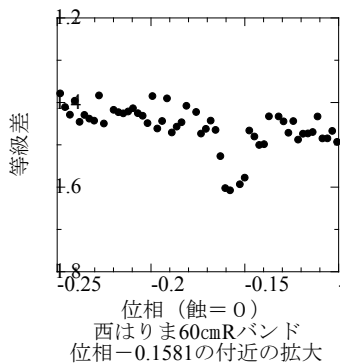


図 5

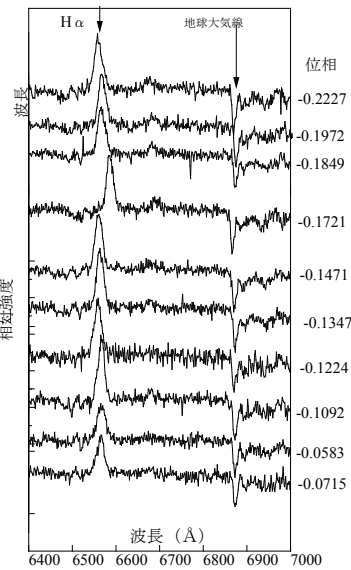


図 6

図 4 は51 c m 望遠鏡と60 c m 望遠鏡から得られた2色 (R, I) の光度曲線である。位相 -0.1581に蝕の様に見える図 5はその部分 (Rバンド) を拡大したものである。そのあたりのHα線の波長変化を調べる (図 6) と位相-0.1721が大きく赤方変移していることが分かった。Hα線は降着円盤起源であると考えている。

何故、位相-1.581付近に強い減光があり、減光の直後にHα線の赤方変移になるか検討中である。

### 6. 謝辞

観測でお世話になった兵庫県立大学西はりま天文台の大島誠人さん、京都大学の野上大作さん、および大阪教育大学の松本 桂さん、学生のみなさんと、測光観測のデータを提供していただいた大阪教育大学に謝辞を申し上げます。

### 7. 参考文献

[1]<http://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html>  
 [2]<http://www.bao.go.jp/soft/bespec/index.html>

# どんな星が超新星爆発を起こすのか

銀河学校 C 班

佐藤知寧(中等 4)【千代田区立九段中等教育学校】島田明音(高 2)【岡山一宮高校】

麦踏松秀(高 2)【兵庫県立龍野高等学校】金子美由起(高 2)【鷗友学園女子高等学校】

白洲瞭(高 2)【千葉県千葉市立千葉高等学校】田中愛登(高 1)【広島大学附属福山中・高等学校】

藤本凌(高 2)【私立明星高等学校】深草彩子(高 1)【都立西高等学校】

## 1. 初めに

私達は、銀河学校 2015 に参加し、東京大学大学院理学系研究科付属天文学教育研究センター木曾観測所にて超新星爆発についての研究を行った。超新星爆発とは、ある程度の重さのある恒星が最期に起こす大爆発のことである。今回、私達は“星の初期形成時にどのくらいの質量を持つ恒星が爆発を起こすのか”を知るために研究を行った。

## 2. 観測

観測日時:2015/3/24 21:40~22:50

観測機器:東京大学木曾観測所 105 cm シュミット望遠鏡(フィルター:R バンド, N6590)

観測対象:M42(積分時間:10s), M61 M87 M100 (積分時間:10s)

観測方法:以下の天体に加え、一次処理のためにバイアスとフラットの画像も撮影した。

## 3. 方法

今回“どのくらいの質量を持つ恒星が超新星爆発を起こすのか”について 4 つの段階に分け、研究を進めていった。

- I. 1 年間に新しい星がいくつ生まれているか。
- II. 1 年間に何個の星が超新星爆発を起こしているか。
- III. 原始星のうち、超新星爆発を起こす恒星の割合
- IV. 将来爆発を起こすと考えられる原始星の質量

初めに、観測したデータに一次処理をし、各データの中央値をカウント値とした。

## 4. 結果

- I. 1 年間に新しい星がいくつ生まれているか。

表 1 1 年間に生まれる星の数

	M42	M61	M87	M100
作られる星の数(個/年)	0.001	2838	0(-99 万)	1193
距離(光年)	1300	8500 万	5900 万	5900 万
観測時間(s)	10	180	180	180
カウント値	213056705	2545703	1547956	2221543

\*測光値を D, 作られる星の数を Ms, 距離を R, 積分時間を T とする。M42 は作られる星の数が知られた天体であるため、M42 の値を基準に比例計算で作られる星の数を求めた。

$$Ms(M61orM87orM100) = Ms(M42) \times \frac{T}{D \times R^2} (M42) \times \frac{D \times R^2}{T} (M61orM87orM100)$$

II. 1 年間に何個の星が超新星爆発を起こしているか。

M61 (NGC4303), M87 (NGC4486), M100 (NGC4321) が過去 100 年間に何回超新星爆発を起こしているか調べた。

表 2 超新星爆発の回数

M61	M87	M100
7 回	1 回	3 回

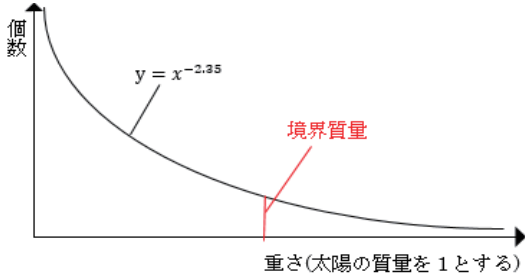
参照:<http://www.cbat.eps.harvard.edu/lists/Supernovae.html>

III. 1 つの星が超新星爆発を起こすまでに生まれる原始星の数

表 3 Sn/Pr

M61	M87	M100
50299	0	39767

IV. 将来爆発を起こすと考えられる原始星の質量 (研究の結果)



$$\int_{0.1}^{100} x^{-2.35} dx = 16.5816415$$

$$16.58164057 \div 50299 = 0.000329661$$

$$\int_x^{100} x^{-2.35} dx = 0.000329661$$

$$\therefore x = 86.1$$

上記の計算を行い、平均を取った。結果、太陽質量の 83 倍の原始星が超新星爆発を起こすという結論を得た。

### 5. 考察と今後の展望

太陽質量の約 83 倍の恒星が超新星爆発を起こすという結果を得たが、我々は観測される超新星爆発の数が最近になって増えていることから、宇宙で起こっている超新星爆発すべてを観測することはできていないのではないかと考えた。そこで、観測される超新星爆発の数が近年増加していることに注目した。対象となる天体で 1 年間起こる超新星爆発の数が変わらないとすると、①望遠鏡で観測可能な光量が時代によって変化する ②望遠鏡の建設数が増えることで、観測可能な天球上の領域が変化する ために超新星爆発の観測数が変化していることが考えられる。今後、これらの値を補正する方法を考え、さらなる議論を展開していきたい。

### 6. 謝辞

本研究は諸隈智貴さんをはじめとする木曾観測所スタッフの皆様、TA の堀内貴史さん、植村千尋さん、北村勇人さんにご指導・ご協力を頂きました。また、今回のジュニアセッションに参加するにあたり、NPO 法人サイエンスステーションの協力をいただきました。この場を借りて深くお礼申し上げます。

## まだ見ぬ星を求めて ～銀河系ハロー内の Pop II 星観測で探る Pop III 星の質量分布～

第 14 回 君が作る宇宙ミッション ASTRO 班

川原 はるか(高 3)【神奈川県立瀬谷高等学校】，野崎 信吾(高 1)【岡山県立倉敷天城高等学校】  
塚田 悠衣(高 2)【京都市立紫野高等学校】，佐藤 知寧(中等 4)【千代田区立九段中等教育学校】  
佐野 文哉(高 2)【神奈川県立神奈川総合高等学校】，丸田 祥輝(高 2)【神奈川県立厚木高等学校】

### 1. 緒言

恒星は重元素(ヘリウムよりも重い元素)の量により，Population I–III 星(以後 Pop I–III 星と表記)に分類される．Pop III 星は最初期に生まれた重元素を持たない恒星，Pop II 星は銀河と同時期に生まれ，Pop III 星の超新星爆発で放出された重元素を含むと考えられている恒星，Pop I 星はそれ以降に生まれ，平均的な重元素量を持つ恒星と定義されている．現在宇宙に最も多く存在している恒星は Pop I 星である．

Pop III 星は水素とヘリウムのみで構成されているため，重元素の存在しない初期宇宙でのみ生まれる．Pop III 星の質量は，理論予想では太陽の数百倍に達すると考えられているが，2011 年の細川らによるコンピュータシミュレーションによれば太陽のおよそ 40 倍程度の質量で形成されるという結果が出ている<sup>[1]</sup>．これらのいずれが正しいのか検証するためには観測的に複数の Pop III 星の質量を求める必要がある．しかし Pop III 星は非常に暗く，実際に観測された例はない．そこで本ミッションでは，Pop III 星の超新星爆発により放出された重元素を含むと考えられている Pop II 星に着目する．観測衛星を用いて Pop II 星の重元素組成比を求め，そこから Pop III 星の質量を推定する．それを複数の Pop II 星に対して行い，Pop III 星の質量分布を作成することを目的とする．

### 2. ミッション内容

Pop III 星の質量を推定する方法のひとつに，図 1 に示す，Pop III 星の超新星爆発によってまき散らされた元素からなる Pop II 星の重元素組成比を利用する方法がある<sup>[2]</sup>．銀河系を球状に取り巻く領域である銀河系ハロー内には，銀河系と同時期に形成されたとされる，Pop II 星が多く存在することが知られている<sup>[3]</sup>．それらは主に銀河系ハロー内に存在する球状星団に含まれると考えられているため，球状星団に着目する．また，Pop III

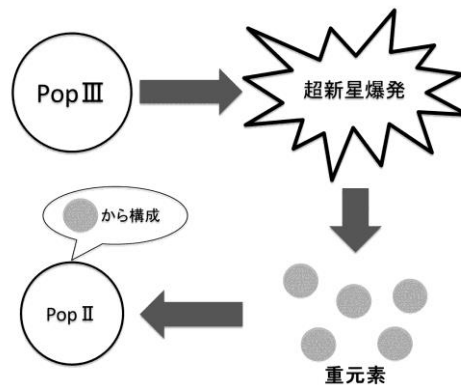


図 1 Pop III 星から Pop II 星への形成過程．

星の典型的な質量を知ることが目的であるため，偏った結果にならないように一方向に限らず様々な方向の Pop II 星を観測して，多くの Pop III 星の質量を求める必要がある．そのために可視光・近赤外線望遠鏡および紫外線望遠鏡を搭載した観測衛星を打ち上げ，サーベイ方式を用いた複数の Pop II 星の観測を行う．ミッションの流れは以下の通りである(図 2)．

- 1) 可視光・近赤外線望遠鏡によって，Pop II 星と予想される星を特定する．Pop II 星は古い星のため，表面温度が低い．つまり，赤い星である．よって，球状星団の撮像観測を二種類の波長域で行い，短波長側での明るさに対する長波長側での明るさの比が大きい星を割り出す．

- 2) 可視光・近赤外線望遠鏡と紫外線望遠鏡で分光観測を行い、重元素の吸収線の強度比を求める。これによって Pop II 星の重元素組成比が分かる。
- 3) コンピュータシミュレーションを用いて、Pop III 星の質量とその超新星爆発で生成される重元素の組成比との関係を推定する。
- 4) シミュレーションによって求めた関係と観測によって導出された重元素組成比を比較し、Pop III 星の質量を求め、これを複数の星で行うことで、Pop III 星の質量分布を求める。

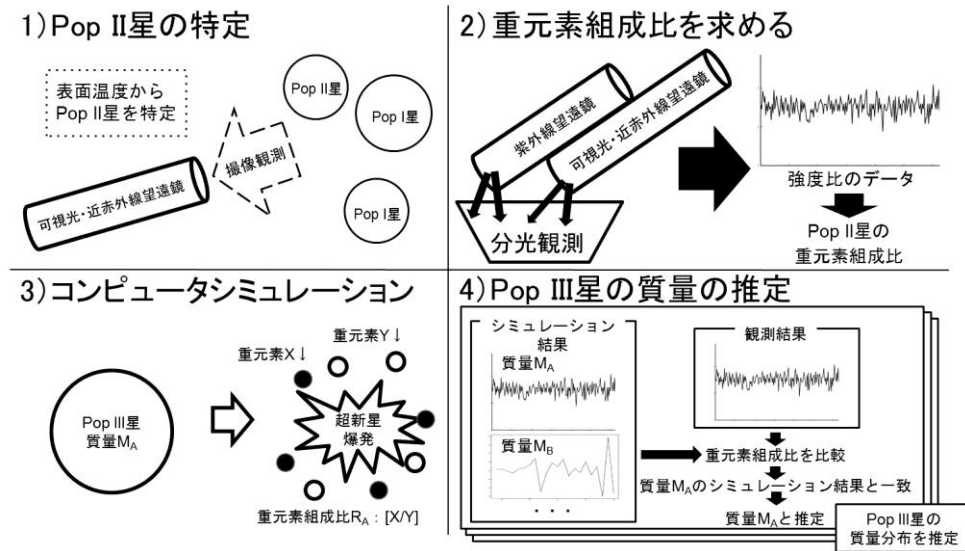


図 2 ミッションの流れ。

### 3. 結言

本ミッションでは、銀河系ハロー内の Pop II 星の観測による Pop III 星の質量の解明を目的として以下の手段を提案した。まず、可視光・近赤外線望遠鏡を用いた撮像観測により球状星団の恒星の中から Pop II 星を絞り込み、既知の Pop II 星も含め可視光・近赤外線望遠鏡および紫外線望遠鏡を用いた分光観測を行う。次に、コンピュータシミュレーションを用いて Pop III 星の質量と超新星爆発で生成される重元素の組成比との関係を求める。そして、観測によって得られた重元素組成比とシミュレーションから推測される関係を比較し、Pop II 星の親星となる Pop III 星の質量を求める。この手順に従って多くの Pop III 星の質量のサンプルを集めることで、Pop III 星の質量分布を作成する。

### 謝辞

今回、ミッションの作成にあたり、山村一誠先生をはじめとする「君が作る宇宙ミッション 2015」の皆様、宇宙科学研究所の皆様にご多大なるご協力とご指導をいただきました。心より感謝申し上げます。

### 参考文献

- [1] 細川隆史, 大向一行, 吉田直紀, 他, 2011, ファーストスターは太陽の40倍の重さ-コンピュータ中に再現された宇宙最初の星の成長過程-, <http://www.ipmu.jp/ja/node/1177>
- [2] 青木和光, 2014, 宇宙初代星誕生から銀河系形成期における構成進化と物質循環, [http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/12\\_kiban/ichiran\\_23/abstract/h26gaiyou\\_36\\_aoki.pdf](http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/12_kiban/ichiran_23/abstract/h26gaiyou_36_aoki.pdf)
- [3] 沼澤茂美, 脇屋奈々代, 2012, 宇宙の事典(ナツメ社), p. 79

---

## VERA20m電波望遠鏡によるメーザ一天体の探索

小田島 陽和、藤原 侑菜、村上 舞彩華、小泉 友香 (高2)

【秋田県立横手清陵学院高等学校】

---

### 1. はじめに

私たちは昨年、先輩方が行っていた新しい水メーザの探索の研究から電波天文学に興味を持った。今年も水沢国立天文台の方々の協力を得、同じ天体に対するメタノールメーザの観測、解析をした。本研究はVERA計画へのデータの貢献にも役立つ。VERA計画とはVLBI (超長基線電波干渉計) を用いて銀河系内の電波天体の距離と運動を計測し、最終的には銀河系の3次元立体地図を作るプロジェクトのことである。VERAの観測局は水沢、小笠原、入来、石垣島の4局である。

### 2. メーザ一天体とは

メーザとは、可視光線で見られるレーザーの電波版で、肉眼で観察することのできない現象のことである。種類あるメーザ一天体の中でも、特に明るいのが、水メーザ一天体である。すでに、銀河系内で1000個ほど存在が知られており、星が生まれる領域の原始星のすぐ近くで存在している。またあるものは、最期に星(晩期星)から大量に放出されるガスの中や、遠い銀河の中心に存在する巨大ブラックホールを取り巻く回転ガス円盤の上に存在しているものである。今回は星形成領域で検出されるメーザを観察した。

### 3. 方法と目的

効率よくメーザ一天体を発見する方法を見つけるため、以下の研究を行った。

- (1) 昨年度: BGPSカタログから天体を選んだ。 $N_2H^+$ 積分強度の信号強度で天体を分類し、60天体を選択した。  
今年度: 60天体を引き続き研究対象とし、44GHz帯のメタノール分子のメーザを単一鏡観測した。
- (2) 解析ソフト「Java Newstar」を用いて、観測した天体のスペクトルを表示した。  
SN比が $5\sigma$ 以上のピークをシグナルと判断した。

### 4. 結果

水メーザのみ検出されたのは6天体、メタノールメーザのみ検出されたのは6天体、水、メタノールメーザが共通して検出されたのは23天体である(表1)。水メーザは60天体観測したが、メタノールメーザは60天体全て観測できなかったのが平等な値、53天体で見比べた。また水、メタノールメーザ両方とも検出できなかった天体は24天体であった。そしてこの値からヒストグラムを作成した。ヒストグラム(図1)から、 $N_2H^+$ 積分強度 [Kkm/s] の値が5~10の階級以上 (5~10以上の全ての階級) は100パーセントメーザが検出されている。0~5の階級では、天体は検出されていないか、合わせて3天体しか検出されておらず水、メタノールメーザ両方検出されなかった全24天体は全てその階級に集中していた。水メーザのみ、メタノールメーザのみのヒストグラムは似通っているが、水、メタノールメーザが共通して検出された天体のヒストグラムは違った形であるが、最頻値は水、メタノールメーザが共通して検出された天体のヒストグラムであり、23天体中7天体であった。

また新天体候補として10天体候補を発見した。(表2)



	水のみ	両方	メタノールのみ	合計
水	6	23		29/53
メタノール		23	6	29/53

表1 水、メタノールメーザーの個数

天体番号 (清陵)	天体番号 (BGPS)	天体名 (BGPS)	水メーザー (22GHz)	メタノールメーザー (44GHz)
1513	4916	G032.044+00.059	新天体候補	新天体候補
1516	2467	G018.888-00.475	新天体候補	cyganowski 2009
1520	1865	G013.179+00.060	Jaffe 1981	新天体候補
1526	1466	G010.214-00.324	Breen 2011	新天体候補
1528	1876	G013.245-00.084	新天体候補	新天体候補
1531	7168	G110.097-00.066	Rodriguez 2012	新天体候補
1532	7257	G111.597+00.806	新天体候補	ピーク未検出
1541	2887	G022.548-00.025	新天体候補	ピーク未検出

表2 新天体候補

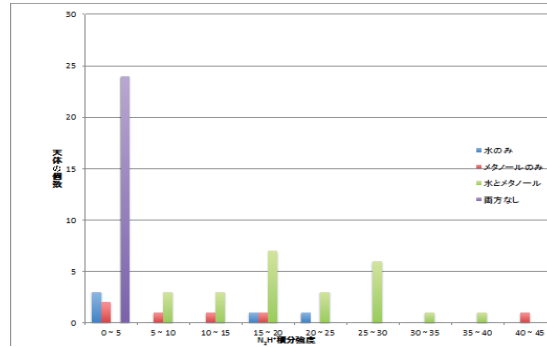


図1 横軸をN<sub>2</sub>H<sup>+</sup>積分強度とした天体の個数のヒストグラム

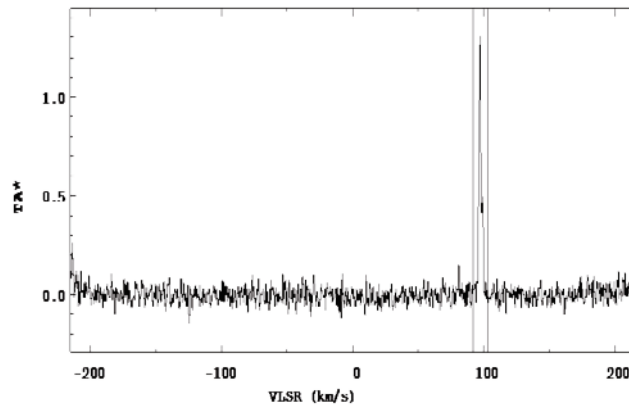


図2 メタノールメーザーの新天体候補のスペクトル

### 5. 結論

結果から、最頻値は15~20の階級にあり、100パーセント中、約27パーセントの割合で検出される。このことより、N<sub>2</sub>H<sup>+</sup>積分強度が15~20 [Kkm/s] の値の範囲が最も天体が検出されやすい。従って、本研究の手法は未知のメーザー発見のための効率が良い方法だと言える。しかし、積分時間を増やした観測を行っていないので一概にこの結果が不変であるとは断言しがたい。また、今研究で水メーザー5天体、メタノールメーザー5天体の計10天体が新天体候補として見つかった。

### 6. 参考資料

- Shirley et al. 2013, ApJS, 209, 2
- SIMBAD Astronomical Database
- The Bolocam Northern Galactic Plane Survey

## 星団から探る星の性質

第 18 回 銀河学校 2015 A 班

兼久 晃輔 (高 2) 【横浜インターナショナルスクール】

小沼 優希 (高 2) 【千葉市立千葉高等学校】

仁木 敬子 (高 1) 【神戸女学院高等学部】

### 要旨

私達は今回 2015 年 3 月 24 日に、球状星団である M3 を木曾観測所のシュミット望遠鏡で、フィルターを用いて色ごとに観測を行った。その観測データを解析し、星の性質を調査した。また、明るさの基準となる標準星 SDSS1330+30 を観測し、M3 との明るさを比較し、地球からの距離を求めた。

### 1. はじめに

私達が夜空を見たときに目に映る星の明るさは、その星の本当の明るさなのか。同じ明るさに見える星でも遠くて明るい星、近くて暗い星もあるはずだ。星までの距離がわかると星の本当の明るさを求めることが出来そうだが、星までの距離は簡単に求めることが出来ず、まして本当の星の明るさを求めることはとても難しい。そこで、星団に着目をした。星団の星であれば距離はほぼ同じと考えることが出来るため見かけの星と、本当の星の明るさが比例していて、星の性質を調べるために都合がいいからである。

### 2. 方法

1. シュミット望遠鏡で M3 を B(青)フィルターは 300[s]、V(緑)フィルターは 180[s] で一度測定を行った後、約 3 時間後に B フィルターのみもう一度観測を行った。また、SDSS1330+30 の観測を一度だけ B フィルター、V フィルターで行った。ただし、SDSS1330+30 ではどちらのフィルターも 180[s] で観測を行った。
2. 1 で得た全ての画像をすばる画像処理ソフト **Makali'i** を用いて、元々カメラのレンズについている汚れなどを画像から取り除くバイアス処理、ピクセルの感度の補正をするフラット処理を施す。
3. M3 の処理をした画像で測光を行う。  
※B フィルターの画像では、最初に撮った画像とその約 3 時間後に撮った画像を比較して明らかに明るさが変化している部分を測る。
4. 測光で得た数値をグラフ化する。
5. 測光で得た値の常用対数を取り、それをグラフ化する。
6. SDSS1330+30 の処理をした画像でも測光を行い、M3 の数値と比較をし、M3 の星の明るさが、SDSS1330+30 の何倍になっているのかを調べる。
7. 6 をもとに M3 の地球からの距離を求める。

### 3. 結果

測光対象は球状星団 M3 の変光星。B フィルターと V フィルターで撮影した画像をそれぞれ測光して得られたカウント値を元に V/B 値を横軸、B のカウント値を縦軸としてグラフを描いたところ、図 1 のようになった。

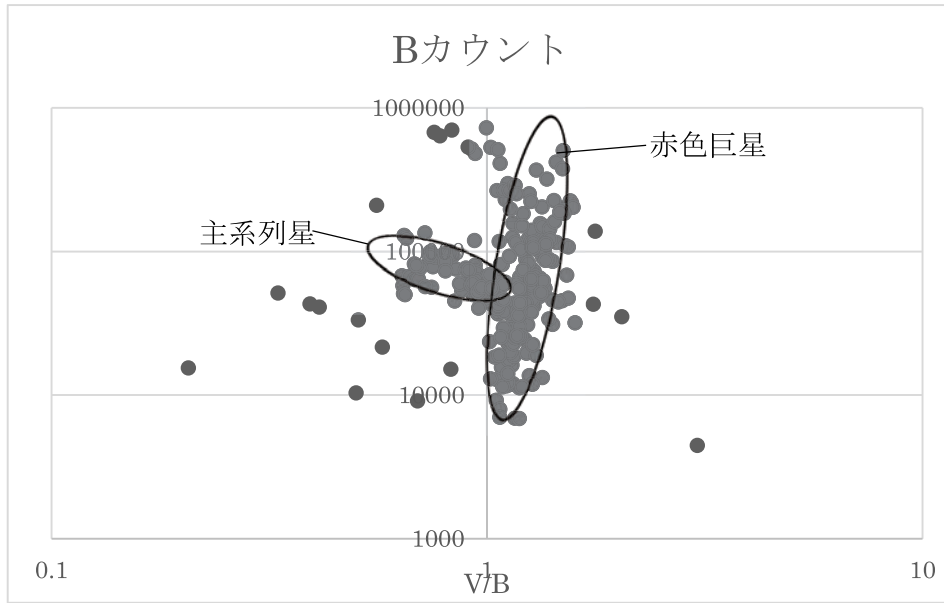


図 1

M3 は銀経  $42^\circ$ 、銀緯  $78^\circ$ 、地球からの距離は 25000 光年、地球からの銀河面に対して水平方向に 4713 光年、垂直方向に 24000 光年であることがわかった。(図 2)

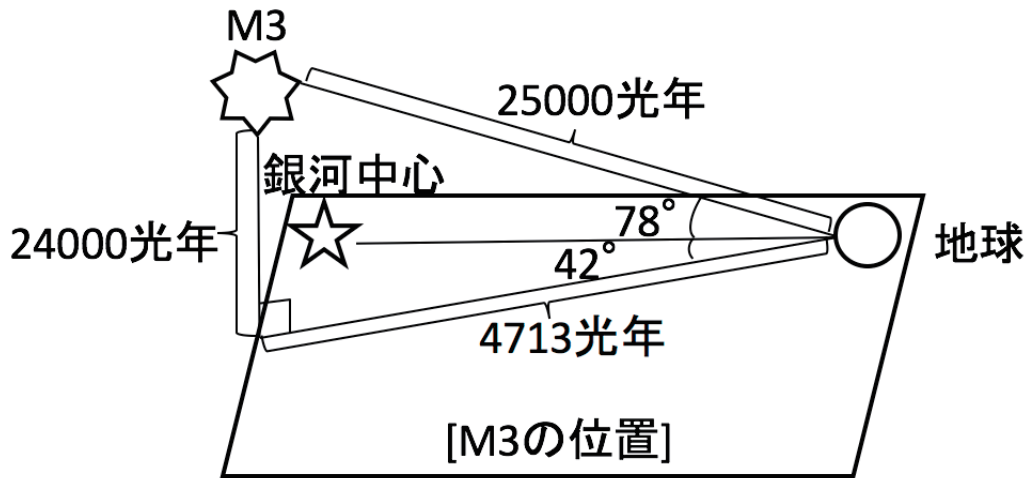


図 2

#### 4. 考察

上図を見ると、右側では  $V/B$  値が大きい、すなわち赤色巨星が直線的に分布し、左側ではその直線から分岐して  $V/B$  値が小さい、すなわち主系列星が直線的に分布しているということがわかる。

# 身近なデジタルカメラを用いた HR 図における恒星の横位置決定方法の開発

大宮 悠希、岡田 滉平、吉田 佳祐 (高2) 【茨城県立竜ヶ崎第一高等学校】

## 要 旨

私たちは HR 図を自分たちで作成しようと考えた。ただし絶対等級は既存のデータを用いることとし、各恒星の横方向の相対的な位置を求める方法について、市販のデジタルカメラとマカリを用いて開発を試みた。アウトフォーカスさせて撮影した RAW データの星像を、TIFF に変換したものをマカリで RGB に分解し、それぞれの成分の大きさの比率を用いた。RGB のうち最も大きな値によって条件を変えて計算することにより、さらに正しい相対位置を求めることができた。

### 1. 目的

一般的に入手可能な機材(デジタルカメラやポータブル赤道儀等)を用いて、条件を変えて撮影や解析を行い、より正確な HR 図の横位置に近づく条件を見つける。

### 2. 撮影

撮影機材は一般的に売られているミラーレス一眼カメラ(NIKON 1 J5)を使用した  
既知のスペクトル型と比較するため、地球上の位置が特定しやすい視等級が 6.0 以上の星を撮影する。18.5mm f/1.8 のレンズを、周辺減光を軽減するために F2.8 に絞って撮影した。また、ぼかし法(アウトフォーカスでの撮影)と分光器法(グレーチングシートによるスペクトル像の撮影)の二つの方法を用い、さらに露出時間を変えて撮影し、それぞれのデータを比較した。

### 3. データ分析

マカリのグラフ機能を用い、それぞれの星の RGB の大きさを求め(ここから G を V と表記する)B と V のそれぞれのデータにおける最大値から最小値をひいた上で

B/V を求め、この値の大小を用いて横方向の相対位置を求めることにした。

作成した HR 図において最も右側になるベテルギウスと最も左側になるサイフの間の値が 1000 となるよう B/V の値を換算し、既存の HR 図においても同様の換算を行った上で、それぞれの恒星の位置の値の商から 1 を除し、さらに二乗した合計の値の大きさを評価した。

### 4. 最適な撮影方法の検証

#### 4-1. 「ぼかし法」と「分光器法」

	ボカシs	正確なHR図	ボカシs	正確なHR図	分数	
サイフ	125	185	0	0		
リゲル	232	310	149	250	0.5969317	0.1624641
ベガ	260	325	188	280	0.6724447	0.1072925
アルタイル	360	335	328	300	1.0925151	0.008559
プロキオン	470	375	481	380	1.2662409	0.0708942
カペラ	555	475	600	580	1.0340018	0.0011561
ボルクス	680	542	774	714	1.0841157	0.0070754
アルデバラ	752	655	874	940	0.9302947	0.0048588
ベテル	842	685	1000	1000	1	
						0.0517557
	分光器	正確なHR図	分光器	正確なHR図	分数	
サイフ	350	185	0	0		
リゲル	432	310	207	250	0.8261965	0.0302077
プロキオン	455	375	264	380	0.6960095	0.0924102
カペラ	495	475	365	580	0.6297229	0.1371051
ボルクス	510	542	403	714	0.5644575	0.1896973
アルデバラ	615	655	668	940	0.7101131	0.0840344
ベテル	747	685	1000	1000	1	
						0.1066909

図1 「ぼかし法」と「分光器法」の比較

図1のような計算を行った結果、「ぼかし法」が0に近い値となり、「分光器法」

よりも「ぼかし法」がより正確であると結論づけた。

#### 4-2. 最適な露出時間は何秒か

図2のように露出時間が長いほど0に近い値となるが、10sを超えるとRGBのカウント値がオーバーフローするため、露出時間は10sが最適と結論づけた。

	10s	8s	6s	5s
サイフ				
リゲル	0.033853	0.033853	0.033853	0.418523
シリウス(おおいぬ座)	0.001662	0.001662	0.001662	0.076399
プロキオン(こいぬ座)	0.005848	0.005848	0.005848	0.252901
アルデバラン(おうし座)	0.000351	0.000351	0.000351	0.006724
ベテルギウス				
	0.010429	0.010429	0.010429	0.188637

図2 露出時間の比較

### 5. 結果1

「4-1」と「4-2」の結果から「ぼかし法」により露出時間10sとして作成したHR図と、既存の正確なHR図を重ね比較したものを図3に示す。



図3 露出時間の比較

既述した通りサイフとベテルギウスの位置を合わせてあるので、これら2つの星はそれぞれ重なっている。

HR図上の右に位置する星はズレを少なくすることができたが左に位置する星になるとズレが大きくなってしまふことがわかる。また、正確なHR図では左にサイフ。その右にベラトリックスがくるのだが、作成したHR図ではその位置関係が逆になってしまった。

### 6. データ処理の改良案

データ処理の方法を変えることでより正確な位置に近づくのではないかと考え、

「5. 結果1」のズレの状態から以下のように考察した。正確な相対位置となった右側の恒星はRGBの中でRのカウント値が最も大きい。そのR以外のBとV(G)で計算し正確な相対位置となったことから、Rを一番多く持つ星はB/V、Bを一番多く持つ星はV/R、Vを一番多く持つ星はB/Rとしてスペクトル型を求めることとした。

### 7. 結果2

図4が計算結果である。大幅に正確なHR図に近づけることができた。

サイフ	新法	旧法
ベラトリックス	0.0915001	×
シリウス	0.5528798	1.0723937
リゲル	0.1574342	1.9225233
プロキオン	0.0120986	0.0410047
カペラ	9.471E-06	0.0413682
ボルックス	0.006948	2.601E-05
アルデバラン	0.0007625	0.0008385
ベテルギウス		
分散	0.1173761	0.5130257

図4 改良案(新法)による計算結果

(旧法ではベラトリックスとサイフの

位置関係が逆なので入れてない)

### 8. 今後の予定

他の星も撮影しデータ数を増やし、検証を深めより正確なHR図の作成を目指す。

### 9. 引用・参考サイト

- ・すばる画像処理ソフト「Makali'i」  
(<http://makalii.mtk.nao.ac.jp/>)
- ・「Graphcel」  
(<http://www.vector.co.jp/soft/win95/business/se247204.html>)
- ・「正確なHR図」  
(<https://universe-review.ca/F08-star05.htm>)

---

## 球状星団と散開星団の観測

戸塚 瞬翼（高2）【新島学園高等学校】、中里 海斗（中3）【新島学園中学校】

---

### 1. はじめに

私たちは、科学技術振興機構JSTの「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」の1つのテーマとして、本校所有の40cmF5反射望遠鏡と蓄積型CCDカメラ（非冷却）を使用して、球状星団と散開星団の観測を行った。天体の測光には通常冷却CCDが用いられるが、安価な蓄積型CCDカメラ（非冷却）で観測できるか検討を行った。測光の精度が向上すれば、観測対象の幅が広がり本校の天文活動の活性化につながる。

### 2. 目的

本校所有の観測装置を使用して、球状星団と散開星団について色等級図を作成する。高価な冷却CCDカメラではない蓄積型CCDカメラ（非冷却）での観測の可能性を検討する。

### 3. 方法

本校の天文台にある西村製作所の40cmF5ニュートン式反射望遠鏡にCELESTRON Skyrisフィルターホイール・Skyris LRGBフィルター、ダイイチ社蓄積型高感度モノクロカメラ MTV-12S85HE-D-EX（非冷却）を取り付け観測を行った。撮影はCCDカメラ付属のソフトMTVtoolを使用して、1/60秒露出の128倍蓄積（約2.1秒露出）で撮影した。画像はビットマップ形式（bmp）のみの保存ができる。

観測は3日間行い、下記の11天体で行った。

12月に入り天候が安定して、下記の3日間は快晴であった。

2015年12月3日 M15, M52, M56, M103, NGC869

2015年12月7日 M2, M15, M29, M30, M56, M71, M72

2015年12月8日 M34, M36, M37, M38, M52, NGC884

球状星団 M2, M15, M30, M56, M71

散開星団 M36, M37, M52, M103, NGC869, NGC884

撮影画像から測光までは下記の手順で行った。

#### (1)一次処理と FITS 形式変換

撮影したビットマップ形式（bmp）の画像を AstroArts 社の「ステライメージ7」でダーク処理及びフラット処理を行い FITS 形式で保存した。

#### (2)測光

国立天文台の「Makali'i」を用いて、(1)の画像を10枚加算合計し、開口測光してカウント数を測定した。測定できた星の個数は星団により異なった。

#### (3)グラフ

測光したデータをもとにエクセルでグラフ化してまとめた。

### 4. 結果

観測は現在所有している観測装置を使用することで行った。撮影に使用したフィルターはCELESTRONの右図の特性を持つものである。三色のフィルターによる画像をR画像、



V(G)画像、B画像とした。

画像1枚ずつをステライメージ7でダーク・フラット処理を行った後に、マカリで開口測光を行い、測定カウントを10画像分平均してグラフ化した検討も行った。一方、上記測定方法に記したように、マカリで画像10枚を加算合計して測定する2通りの検討を行った。10枚加算合計した後に測定した結果の方が良好な結果となった。下記のグラフは10枚の画像を加算合計して測定した結果である。

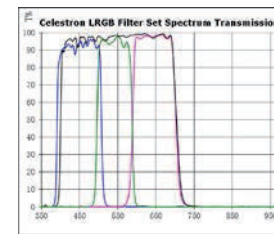


図1 CELESTRON LRGB Filter Spectrum Transmission

下記に球状星団と散開星団の色等級図を示す。散開星団の色等級図では大部分が  $\log(V)$  4~5.5、 $\log(V/B)$  -0.1~0.1に収まり細長く分布している。一方、球状星団では大部分が  $\log(V)$  3.2~4.7、 $\log(V/B)$  0.1~0.5と散開星団に比べ広域に分布している。

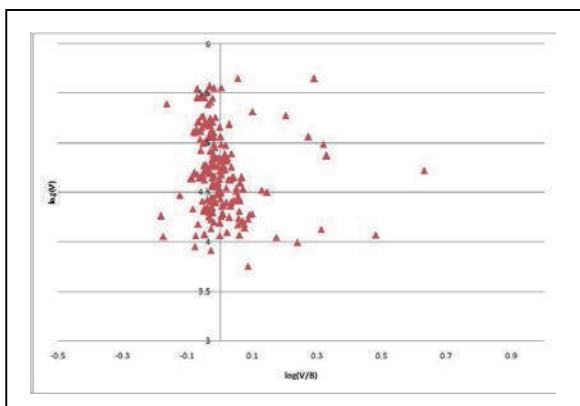


図2 散開星団  $\log(V/B)$  vs  $\log(V)$

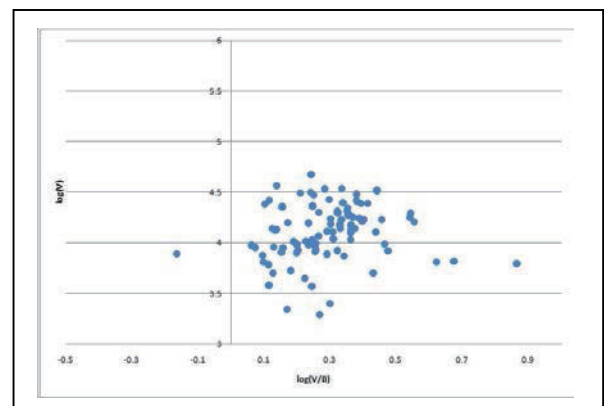


図3 球状星団  $\log(V/B)$  vs  $\log(V)$

## 5. 考察

図2と図3を比較すると、散開星団と球状星団の分布の違いを分離できたと考えられる。散開星団では主系列星と考えられる分布が見られ、球状星団の分布は表面温度の低い恒星が多いことが分かった。

高価な冷却CCDカメラではなく、本校所有の蓄積型CCDカメラ（非冷却）であっても光度変化の観測を行うことが可能であると考ええる。

## 6. まとめ

今後、本校の観測設備を使用した測光精度の向上を進め、天体観測の項目を増やして天文部の活動の活性化を行ってゆきたい。

## 7. 謝辞

科学技術振興機構JSTの「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」の研究テーマとして実施し、群馬県立ぐんま天文台の主幹・浜根寿彦先生にご指導をいただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

## 8. 参考

CELESTRON LRGB Filter Spectrum Transmission

<http://telescopes.net/store/celestron-lrgb-imaging-filter-set.html>

## しし座流星群 2016 ?!

- LED ライトを使った 2001 年しし座流星群の再現実験 -

渡邊 千恵 (小6)

【京都府相楽東部広域連立和東小学校】

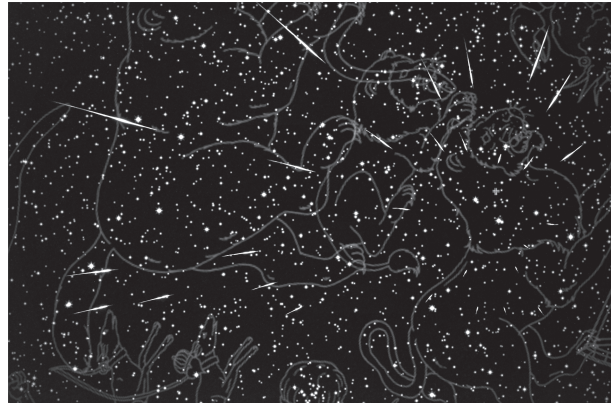
### 要旨

「流星群」をキーワードにインターネットで検索すると「2001 年しし座流星群」が数多くヒットし当時の写真を見ることができる。それらの写真には信じられないほど多くの流れ星が写っている。LED を使ったライトを流れ星に見立て「2001 年しし座流星群の写真」の再現実験を行った。大満足とまではいかないものの当時撮影された写真に近い写真の再現に成功した。



ガイドとして利用させていただいた  
2001 年しし座流星群の写真

星宮が好き、猫も好き <http://kai-kuu.jugem.jp/>  
より引用させていただきました



しし座流星群再現実験で撮影した写真と  
ステラナビゲータで作成した星図を合成したもの

### 1. はじめに

流れ星について学んだことを実際の夜空で確かめようと流星群の頃などに外へ出て空を眺めた。しかしそれらを確かめられるほど流れ星を見ることはできない。そこで流れ星を再現することで今まで学んだ多くの知識が正しいことを確かめることにした。実験では、実際の 100km が 100cm (10 万分の 1) となるようにした。また流れ星が正しく再現できたかについては、2001 年に撮影された流れ星の写真と今回の実験で撮影した流れ星の写真を比較し判断することとした。

### 2. 自分の眼で見た本物の流れ星と写真の流れ星の違い

本物の流れ星と写真に写る流れ星はまったく違う。

本物の流れ星 → 光の点がスーッと移動する

写真の流れ星 → 光の線になっている

人の眼は光を取り込んでもその光をためることはできないがカメラはシャッターが開いている間の光をためることができる。本物の流れ星と写真の流れ星が違っているのはそのためだ。



真っ暗な部屋の中でペンライトを使って描いた流れ星をシャッタースピードを遅くしたカメラで撮影したもの

### 3. 予備実験

LED ライトを使って撮影した写真が本当に流れ星の写真に見えるのかを確認しておくため予備実験を行った。その結果、LED ライトの軌跡をもっと細くし、より流れ星らしいものにする必要を感じた。また、流れ星の位置を決めるために、2001 年当時実際に撮影された流星群の写真を撮影のためのガイドとして利用することを思いついた。



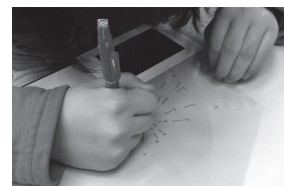
プロジェクターを使ってスクリーンにしし座を投影し流星群の放出点に向け LED ライトを取り付けたマイクスタンドのブーム部分を調整している様子



LED ライトの向きを変えないようにマイクスタンドを前後左右に移動させながら撮影した写真を合成したもの

### 4. ガイド用シートの作製

ガイドとして利用するため「2001 年しし座流星群」の写真インターネットで探しプリントアウトした。透明プラ板をその写真の上に重ねて再現したい流れ星を透明プラ板に写し取った。そして写し取った各々の流れ星に実験データ管理用の番号を書き加えた。



写し取った流れ星に番号を書き加えている様子

## 5. 前準備

### 【放射点高度の決定】

ガイド用として選んだ写真の撮影時間から放射点の高度を調べる（ステラナビゲータを使用）  
→ 撮影時間の記載がなかったため 2001/11/19 1:00 を撮影時間とし高度を  $20^\circ$  とした

### 【撮影用カメラの設置】

あらかじめ調べておいた放射点高度とガイド用として選んだ写真の放射点から、今回の実験で用いる放射点（実験用放射点）を部屋の中に仮想的に設ける。そしてその放射点がガイド用写真の放射点と同じ位置へくるようライブビューを見ながら撮影用カメラを調整・設置する。

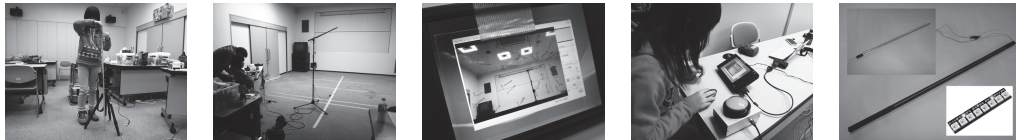
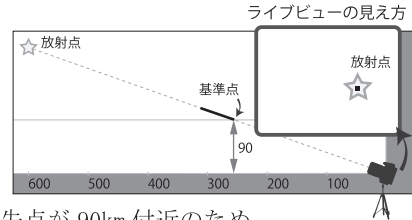
### 【LEDライトの調整 LEDライト：フルカラーLED×96個使用。全長約60cm】

マイクスタンドのブームにLEDライトを取り付けカメラの高さ+90cmがLEDライトの流星消失点になるようマイクスタンドの高さを調整する。カメラと実験用放射点を結んだその直線上を移動させながら右図のようにカメラのライブビューでLEDライトが点として見え、同時に実験用放射点と重なるようにマイクスタンドの足位置とブームの角度・向きを調整し、その位置を基準点とする。

→ LEDライトをカメラの高さ+90cmとしたのは流れ星の消失点が90km付近のため

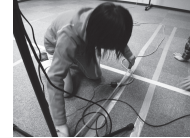
### 【ライブビュー用PCモニタの準備】

作製したガイド用シートをライブビューを映し出すPCモニタの液晶画面上にテープで固定する。



## 6. 実験方法と結果

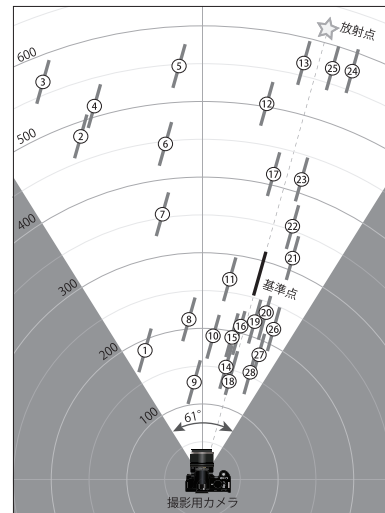
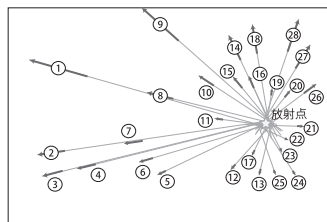
- (1) 写し取った流れ星の線とLEDライトがちょうど重なって見える位置に基準点で調整したLEDライトの角度や向きが変わらないよう注意しながら平行移動し、撮影を行う。
- (2) メジャーを使ってLEDライトの位置を測定し記録する。
- (3) 写し取った流れ星の撮影がすべて終わるまで(1)と(2)を繰り返す。
- (4) 最後に画像処理ソフト（PhotoShop）を使って比較明合成する。そうして完成した写真を前ページに掲載した。



## 7. 評価

LEDライトの位置をそれぞれ記録しておいたことでどの位置の流れ星がどのように写真に写るのかを理解することができた。目標とした流れ星の再現については、ほぼ達成できたように思う。しかし参考とした流星群の写真に比べると大きく違っている点が二つある。まず写真の下側、特に左下の流れ星がほとんど再現できていない。この理由は、日周運動をまったく考えなかったためだ。そのため実験用放射点高度が低いままになってしまった。次に、流れ星の色や明るさが違っていているものが多い。

理由はよくわからないが、実際の写真では発光点が遠いと思われる流れ星ほど緑色で暗いものが多いように思う。どれくらい遠くの流れ星まで見ることができのだろうか？この点については次の課題としたい。



## 8. まとめ

今回の実験で今まで学んできたことすべてを確かめられたわけではないが、頭の中で想像していただけの知識を体感することで理解がより深まった。ただ結果には不満が残るのであらためて流れ星の再現にチャレンジしようと思う。2001年しし座流星群のような素晴らしい流れ星をぜひこの眼で見たい。

## 9. 謝辞

準備から実験までボランティア団体「てんもんぶ」の皆様にご協力いただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。この研究は同団体 樋谷則夫さんの指導のもとに行ったものです。

## 回折格子とデジタル一眼レフカメラによる流星の分光観測

宮城県古川黎明高等学校 自然科学部  
鈴木 湧平 (高2)

### 要 旨

流星の色が変化する要因は何なのかを調べるために、回折格子を用いた分光観測を行った。1例目は、分光器の分散方向と水平のスペクトルとなってしまった。2例目は、輝線スペクトルが得られ、波長まで特定することができた。今後は、改善を重ね、流星の分光観測を続けていき、要因を突き止め、発光成分について科学的な検証を進める。

### 1. はじめに

2013年のペルセウス座流星群の流星は肉眼でも、撮影した画像でも色が途中で変化していたため、なぜ流星の色は変化するのかと疑問に思った。

そこで、流星の色が変化する要因は何なのか、回折格子を用いた分光観測を行い、その科学的な検証を本研究の目的とする。

### 2. 観測方法

#### □観測機材 (画像1)

- ・デジタル一眼レフカメラ  
Canon EOS kiss x7i
- ・単焦点レンズ  
SIGMA DC 30 mm, F 1.4 HSM
- ・三脚 SLIK F631
- ・透過型回折格子フィルム 1000 GPM シート (格子数 1000本/mm)
- ・画像処理ソフト「マカリ」 (国立天文台・Astroarts製)
- ・水素原子の光源装置 ケニス スペクトル管実験セットY S



#### □観測手順

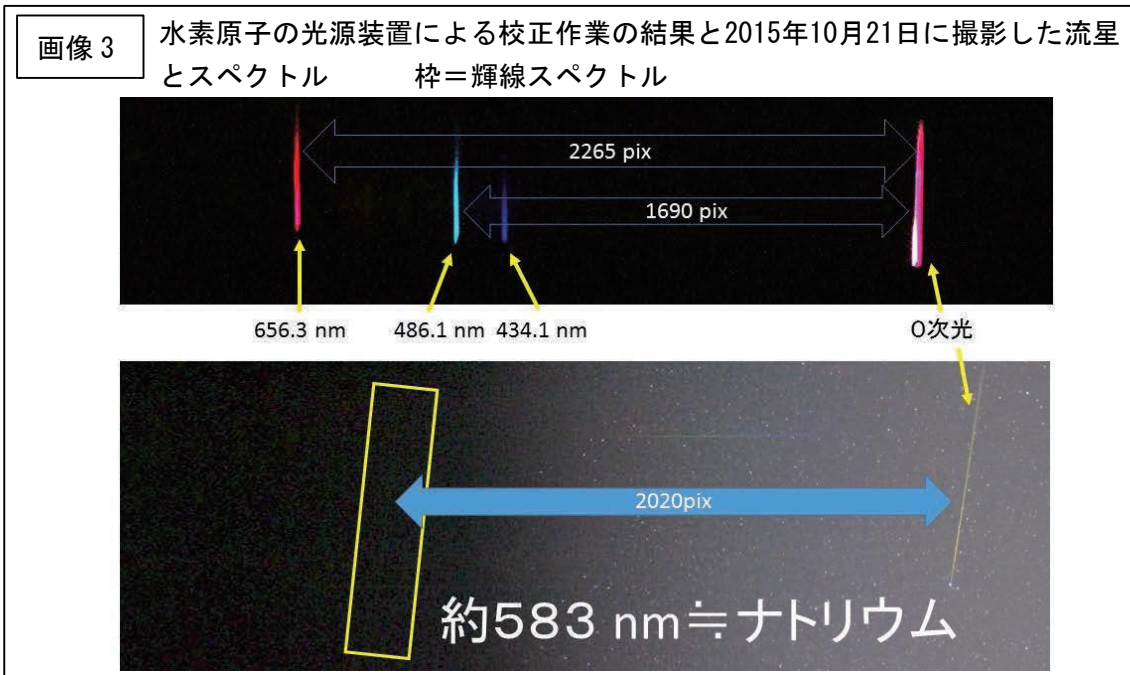
- (1)デジタル一眼レフカメラ+30mm単焦点レンズ+回折格子で流星を撮影する。
- (2)水素原子の光源装置による校正作業の0次光と輝線スペクトルまでの長さ、流星の0次光と輝線スペクトルとの長さを「マカリ」のグラフツールを使って測定し、両者を比べ、波長を特定する。

### 3. 結果

(1)2015年8月12日 (画像2) , (2)2015年10月21日 (画像3) の2つの流星を撮影した。







- (1)波長を特定できなかった。(分光器の分散方向が流星飛跡方向にほぼ平行となったため)  
 (2)約583 nmの波長を特定した。

#### 4. 考察

- (1)・ISO感度を高くして撮影したので、ノイズが多くなってしまったこと、分光器の分散方向が流星飛跡方向にほぼ平行となったことが原因で、波長および元素を特定できなかったと考える。
- (2)・分光器の分散方向とほぼ垂直に撮影することができたので、輝線スペクトルが写ったと考える。
  - ・スペクトルの波長が約583 nmであり、この波長はナトリウム（589 nm）に由来すると考えられる。

#### 5. まとめ・今後の課題

- ・流星の分光観測を行う場合には、流星が分光器の分散方向と垂直になるように注意すべきであることがわかった。
- ・観測手法的な課題に対する1つの解は、できるだけカメラの台数を増やし、データをいかに増やしていくかである。

#### 6. 参考文献

- ・ Millman.P.M.(1963): A general survey of meteor spectra, Smithsonian Contributions to Astrophysics, Vol.7, P.119
- ・ 長沢工(1997)：『流星と流星群－流星とは何がどうして光るのか』地人書館
- ・ 国立天文台(2014)：『理科年表 平成27年』丸善出版

#### 7. 謝辞

本研究にあたり、指導をいただきました

- ・ 高知工科大学 山本 真行先生
  - ・ 天文ライター 比嘉 義裕先生
- に感謝申し上げます。

## 昼間の流星を撮像できるか

### —バンドパスフィルターを用いた高高度発光現象の観測—

三好 哲也、若菜 恒士郎、矢澤 舞子、池谷 詩織、井出 紫央里、木藤 優里、田中 桃李、  
豊口 彩理、中野 ももこ (高2)、川野 美渚、尾上 茉莉、都筑 奏、大内 雄登、牧田 豪、  
村山 智博、山口 航輝 (高1)

【成蹊高等学校 天文気象部】

#### 1. はじめに

流星は太陽光の影響でその光が昼間に観測できない。そこで、明るい火球以外では流星を直接動画撮影することは夜間に限られていた。流星は明け方に数が増えるが、薄明をすぎると撮影ができなくなってしまうのがジレンマだった。

私たちは、流星発光スペクトルの中で、窒素分子の発光のみを抽出することで薄明時でも流星の動画撮影ができなかと考えた。窒素分子の 750nm バンドの発光のみを透過するバンドパスフィルターを、高感度カメラに取り付けることによって、流星の観測を試みた。750nm を選んだのは、太陽の連続スペクトルで輝度が小さいことと、可視光のうち長波長側の方が大気中での減衰が少ないことが理由である。

#### 2. 流星発光の原理

流星は、宇宙空間から来たチリや小さな岩石粒が地球の大気に秒速数kmから数十kmという猛スピードで突入し、断熱圧縮による加熱のためにプラズマ化した大気分子が発光する。このプラズマ光をプリズムなどで分光観測すると、流星のもととなる小天体に含まれていたと考えられる元素のほか、酸素や窒素など地球の大気に含まれている光が観測される。

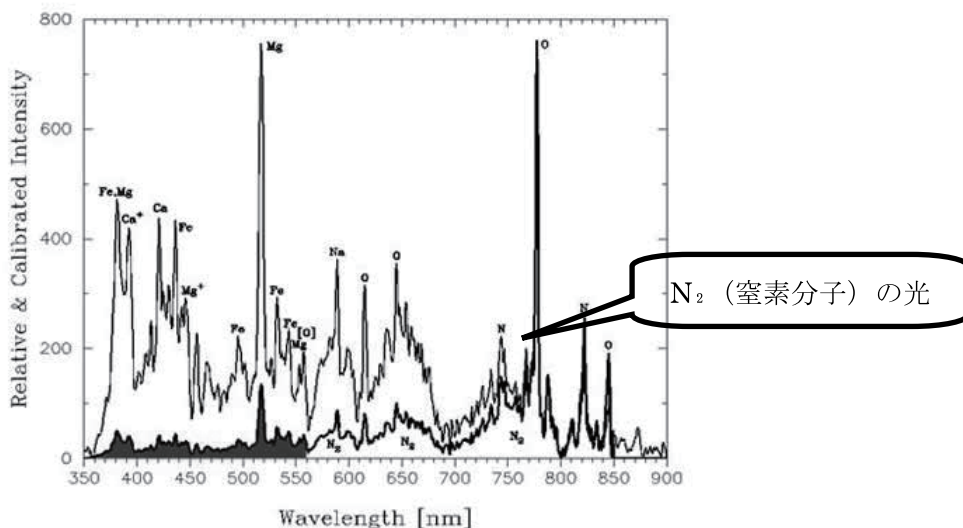


図1. しし座流星群の発光スペクトル (<http://prc.nao.ac.jp/extra/uos/ja/no09/>)



### 3. 観測システム

現在、成蹊高校では、東京学芸大によるスプライト（高高度発光現象）の観測が行われている。この撮像システムと同じものを使って、明るい時間帯にスプライトおよび流星の観測を試みている(図2)。流星やスプライトは空の高いところの窒素や酸素が光る現象なので、同じように観測できるのではないかと考えた。太陽光は連続光、流星は図のように窒素分子と酸素分子の光がとびとびとなっている不連続光であり、且つ酸素分子の光は太陽光の影響が強いため、バンドパスフィルターを用いて窒素の光のみをとらえる。

実際には、窒素分子の光(750nm±10nm)のみを通す、バンドパスフィルターをビデオカメラにつけて撮影した。これまでのビデオカメラの感度が低く、バンドパスフィルターを取り付けると、映像を撮ることが難しかった。しかし、近年、安価で且つ高感度のビデオカメラが購入できるので、映像を撮ることが可能となる。

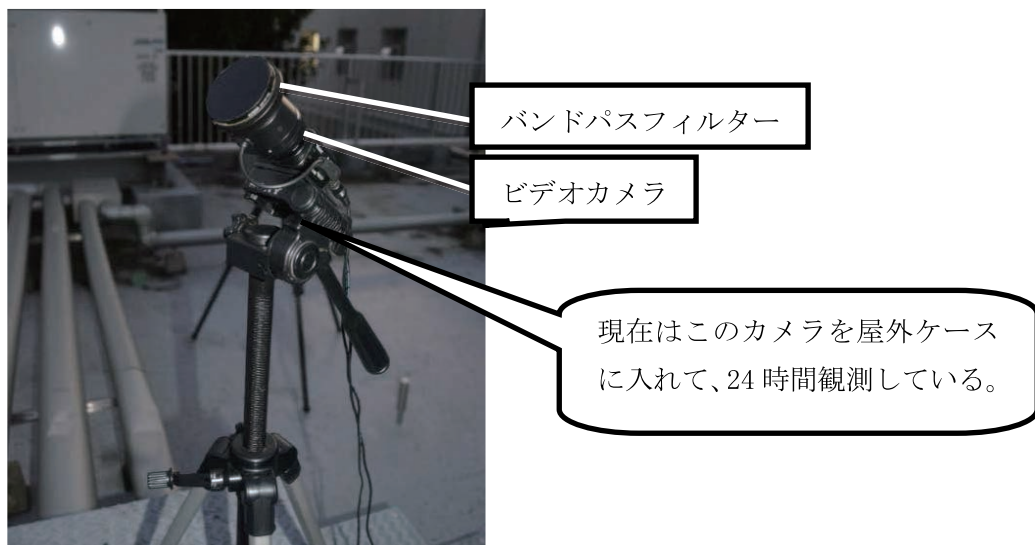


図2. 撮像システム

### 4. 結果

流星を検知するために、動体検知ソフト(UFO capture)を使用して、流星が流れたときのみの動画を撮影した。このソフトはカメラの前を何かが通り過ぎると軌跡を保存する。結果、予備実験において薄明中に UFO capture が流星をとらえた動画を撮ることができた。図3は、ふたご座流星群とみられる流星で、撮影日の12月14日の日の入りは16時29分であった。日の入りの66分後にとれた画像である。



図3. 2015年12月14日17時35分  
成蹊高等学校屋上で撮影されたふたご群の  
流星

## お盆のような月の輝きに迫る（続編）

ハートピア安八ジュニア天文倶楽部

田島 怜一郎(中2)【岐阜市立岐阜中央中学校】、橋口 健太(中2)【山県市立伊自良中学校】

### 要旨

お盆のような月に関心を持ち、コート紙や粗い砂などの試料で反射実験を行い、月の写真と明るさ分布を比較した。この結果、月面の反射の特徴は、拡散の強い反射で説明できた。月面のレゴリスの角ばった形状と弱い重力が、隙間の多い堆積環境を作り、そのレゴリス層での「深い反射」が拡散を進め、お盆のような月になると結論付けた。

#### 1. はじめに

発泡スチロール球と満月（図-1）を比べると、月は周辺までくっきりと明るく、お盆のような月と言われる。私達は昨年に取り組み、月の非周辺減光の理由の解明に取り組んだ。

#### 2 研究の内容

研究の目的は、撮影と測光の習得、実験を通して両者を比べ、お盆のような月の原因究明を行うことである。

##### (1) 月の写真撮影

岐阜県安八町のハートピア安八天文台の口径 15cm 屈折望遠鏡で、デジタル一眼レフカメラを用い、直焦点撮影を行った。

##### (2) 月の写真測光

月の測光では、月の中央から縁までを 4 分割し、海やクレーターなどの地形、明るさに影響されないよう考慮し、測光ポイントを決めた。（図-2）測光は Paint.NET という画像処理ソフトで、指定範囲の明度を複数回測定し、中央値を明るさとした。

##### (3) 月の測光結果

満月の測光結果は、どの地点でも明るさは変わらず、「周辺減光がない」ことを示した。（色や地形の影響がないように測光）

##### (4) 月の非周辺減光の原因（仮定）

月に周辺減光がない理由を 4 つ考えた。A 物質の組成 B 物質の色 C 月の地形 D 反射面の粒子の形状と大きさ。これらを熟考すると、D は否定要素がなく非周辺減光の原因と仮定できる。

##### (5) 月面を模した反射実験（変角高度分布）

月面は、「レゴリス」という粒子で覆われている。その多くは角ばった 1mm 程度の微粒子で、軽石のような穴がある。

月面を模した反射実験の試料とした紙やすり、粗い砂の差異は、紙やすりは砂粒が一層で、表面がのりで覆われて光沢があるのに対し、粗い砂は粒子の大きさが様々で、幾層にも重なり複雑な凹凸がある。（図-3）比較対象として、滑面の白色コート紙を用意した。

図-4 は自作の実験装置で、光源の LED ライトと照度計センサーは、自由に高度角と水平角を動かせる。実験では、それぞれを 22.5° ずつ動かし、変角光度分布を求めた。

##### (6) 反射モデル

反射には、鏡面反射と拡散反射があり、拡散反射には、ランバート反射と、より一般的なオーレン・ネイヤ反射がある。

##### (7) 反射実験結果

図-5 で実線のコート紙は、中心部が明るく周縁が暗くなっている。長



図-1 発泡スチロール球と月

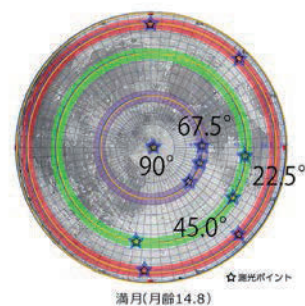


図-2 月の測光ポイント☆

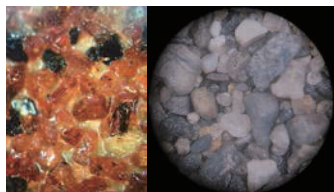


図-3 反射試料紙やすり・粗い砂

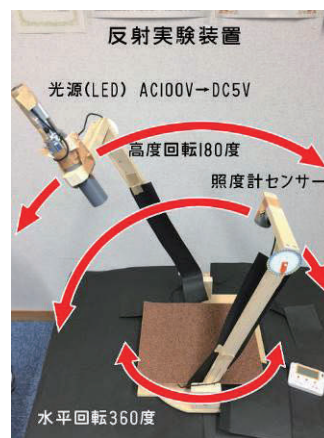


図-4 自作の反射実験装置

鎖線は紙やすりで、明るさの変化は目立たないものの周辺減光がわずかに残っている。粗い砂は、月と同様に明るさの変化がほとんどなく、月面の反射を表している。

これにより、月のレゴリスが、非周辺減光の原因の一つだと考えられる。これを反射モデルでも検証した。図-6は、コート紙、紙やすり、粗い砂の入射角  $67.5^\circ$  の反射モデルで、矢印の長さが反射光の明るさの比を表している。コート紙は、鏡面反射の要素が大きいランバート反射、紙やすりは、鏡面反射方向に散乱光成分が大きいランバート反射、粗い砂は入射光方向が明るい非ランバート反射（粗

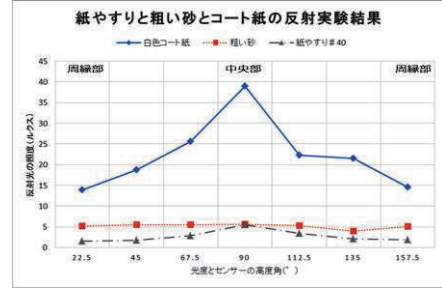


図-5 反射実験の結果

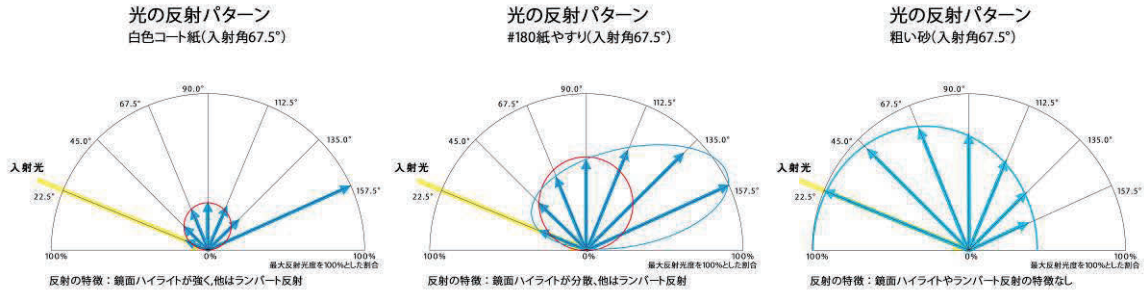


図-6 反射実験各試料の反射モデル (入射角  $67.5^\circ$ )

面のオーレン・ネイヤー反射) である。粗い砂の拡散反射は、月の反射の特徴と同様である。

(8) 実験結果・解析

実験の反射モデルを回転させて、満月の明るさ分布を再現した。(図-7) 白色コート紙では、顕著な周辺減光が見られる。粗い砂のモデルは、周辺減光が全くなく、満月の反射を再現している。

3 研究のまとめ

深い凹凸な反射面で、表土の中で何度も反射をした後に、複雑に分岐した光が表面に戻り、多数の反射光となって、表面から出ていくモデルが、月の反射の鍵を握っている。これを再現するのが図-8の剣山モデルである。剣山の針に横から LED 光束を当てた反射の様子は、粗面のオーレン・ネイヤー反射で、月のようである。この反射の特徴を「深い反射」と呼ぶことにした。

「お盆のような月」の原因を衝効果で説明している文献もある。しかし、図-9の上側を見て分かる通り、衝効果だけで示すと太陽光の入射角が全て同じのモデルになる。これは、地形としてあり得ず、お盆のような月を説明するには「深い反射」が必要である。

実験結果を受けての最終結果である。

- (1) 「深い反射」が月の反射の本質
- (2) レゴリスの穴の開いた表面、角ばった形状が隙間の多い堆積となり、「深い反射」を生み出す
- (3) 重力が弱く、風化のない月の環境もプラスに影響

4 参考文献

・天文年鑑 2014 (誠文堂新光社) ・光の百科事典 谷田貝豊彦ほか (丸善出版) ・世界はなぜ月をめざすのか 佐伯和人 (講談社) ・指導助言: ハートピア安八天文台 船越浩海

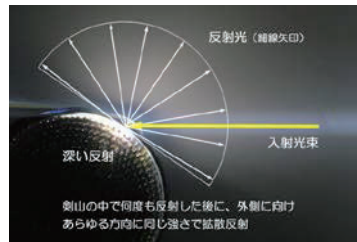


図-8 剣山の反射

反射実験で得られた反射モデルを月面に当てはめ、周辺減光を検証

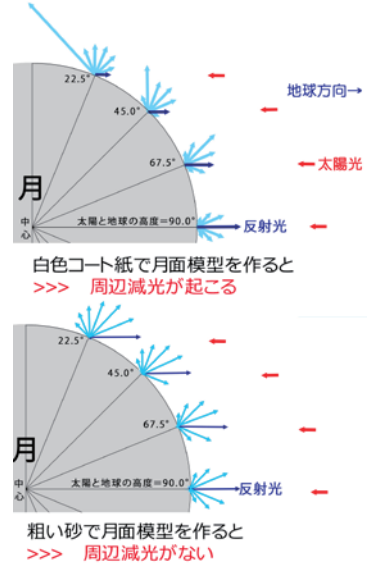


図-7 反射モデルの月

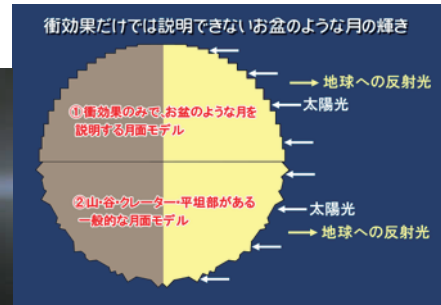


図-9 衝効果で示すお盆のような月

## 青く光る皆既月食の謎

斎藤 桃子、佐々木 勇太、秋田 莉英 (高2)  
 越田 望月、古枝 志織、小泉 ひなた (高1)  
 【青森県立青森南高等学校 自然科学部】

### 1 研究の動機・目的

月食の際に、ターコイズフリンジと呼ばれる月の縁が青緑色に輝く現象がここ10年で見られていることが分かり、調べると、NASA では「青緑色の原因は成層圏下部のオゾンである。」、天文雑誌では「デジタルカメラの登場によってターコイズフリンジが写るようになった？」とあり、まだ詳しく解明されていないことを知った。私たちは、3つの仮説を検証し正体を明らかにする。

- 1 ターコイズフリンジは最近見られるようになった。
- 2 地球の影に達する光が青くなる原因は成層圏に存在するオゾンである。
- 3 デジタルカメラとフィルムでは色の違いが生じる。

### 2 研究の方法

#### 1) 写真の解析

5回の月食（フィルム：1990年、デジタルカメラ：2007・2011・2014・2015年）の画像を使用し、月面の海・高地、計16か所とターコイズの領域数か所のRGBカウント値（濃度）を「マカリ」で測定し、影のRGB分布を調べた（図1）。

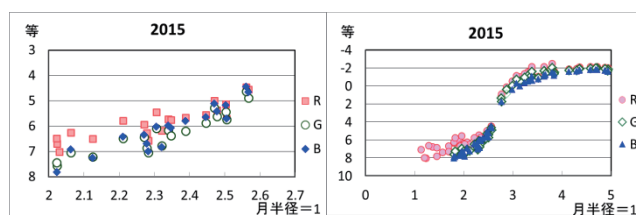


図1 影の明るさのRGB分布（横軸：影中心からの距離，縦軸：等級は相対値）

また、撮影した写真の中で肉眼で確認できるターコイズフリンジの境界をマカリで測定し、影中心距離を調べた。

#### 2) シミュレーション

1979US標準大気より、大気の屈折率を高さごとに計算し、また、気象庁のホームページから「オゾン分圧高度分布」を取得した。

地球大気の厚さを30kmとし、1kmごとの層に分けて地球の影に届く光がどこを通ったかを調べるシミュレーションを行い、通過した経路の大気量とオゾン量から、光の散乱・吸収量を理科年表にある大気の減光係数を用いて計算し、地球の影の波長別の明るさの分布を求めた（図3）。

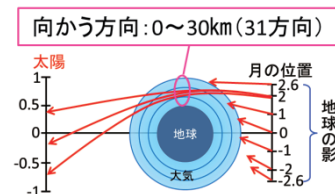


図2 シミュレーションのイメージ

#### 3) デジカメ画像とフィルムの色の違い

デジタルカメラとフィルムカメラに回折格子を付け、太陽とHeのスペクトルを撮影し、He輝線の見え方と太陽スペクトルの波長強度分布（図4）を比較した。

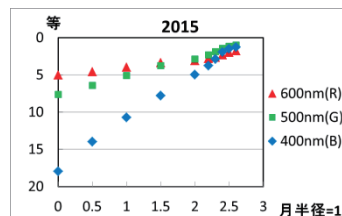


図3 シミュレーションで得られた影の明るさの分布



### 3 結果・考察

#### 1) 写真の解析

月までの距離が遠い年の月食ほど、ターコイズフリンジの領域が内側に広がる。その中で、距離が中くらいの 1990 年のみ確認できないので、仮説 1 はほぼ正しい。

#### 2) シミュレーション

シミュレーションによると、ターコイズフリンジの領域にはオゾンがある成層圏を通過した光が届き、画像では見られなかった 1990 年も含めて、どの年もオゾンによる赤の減光が見られる。また、距離が遠くなると屈折率の差によってターコイズフリンジの幅が広がるため、月までの距離によって、ターコイズフリンジの領域が変わる理由が説明できる。

これらから、ターコイズフリンジが現れる原因はオゾンであり、昔から存在したはずだと考えられる。よって仮説 2 は正しいが、ここ 10 年でターコイズフリンジが見られる原因ではない。

#### 3) デジカメ画像とフィルムの色の違い

デジタルカメラとフィルムで He 輝線の色の見え方が異なること、フィルムは、R が強く B が波長の短い方に寄っている (図 4) ことから、仮説 3 は正しい。

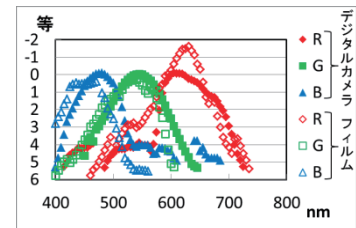


図 4 太陽スペクトルの波長強度分布

### 4 結論

検証した年は、すべてターコイズフリンジ領域で R の減光が見られるので、昔からターコイズは存在したはずだと考えられるが、オゾンが最近増えたという事実はなく、オゾンそのものはターコイズフリンジが見られるようになった原因ではない。ターコイズフリンジが 1990 年に見られず、ここ 10 年で見られるようになった理由は、デジタルカメラに変わったことで、フィルムで強調されていた赤が減り、緑に近い青のターコイズフリンジが写るようになったためである。シミュレーションの過程で、ターコイズフリンジの幅は月までの距離で変化することが分かった。

### 5 今後の課題

1990 年以外のフィルム画像を用いることや、大気層の範囲をオゾンが存在する 50km まで広げより精密に検証を行うこと、使用したフィルムは現在使われているもので、現在のフィルムと昔のフィルムの性能が同じという確証はないので、昔のフィルムのデータを手すること、さらに 2 年後の月食をフィルムで撮影することで、この結論を証明することができる。

### 6 参考文献

- 青森南高校自然科学部 2013 『月・太陽の色 ～地球大気による散乱の影響～』  
 アストロアーツ 2015 『星ナビ 2015 年 4 月号』  
 気象庁 月平均オゾン分圧の高度分布グラフ <http://www.data.jma.go.jp/>  
 国立天文台 2014 『理科年表』 丸善  
 国立天文台天文情報センター暦計算室 <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/>  
 『天文観測年表'90』 『天文観測年表 2007』 地人書館  
 『天文年鑑 2011 年版』 『天文年鑑 2014 年版』 『天文年鑑 2015 年版』 誠文堂新光社  
 NASA サイエンスニュース 2008 13 Feb <http://science.nasa.gov/science-news/>

## 3つの視点から見た月とは

地球科学部

竹内 美咲、小島 葉瑠加、明知 友香（高2）【埼玉県立春日部女子高等学校】

### 1. はじめに

私たちに最も身近な天体、「月」。春日部女子高校・地球科学部では、7年間にわたり、分光、偏光、赤外線という視点から研究を行ってきた。今回のテーマは、7年間分の月のデータをもとに、月表面の物理的特性を突きとめることである。

### 2. 分光 2011～2013年

鉱物の反射光を利用し、月表面の岩石・鉱物を特定する研究だ。この研究では、分光器を用いて、月の観測とレゴリスの室内実験を行った。レゴリスとは、月表面を覆っている平均直径が0.07mm (70 $\mu$ m) サイズの小さな粒子のことである。

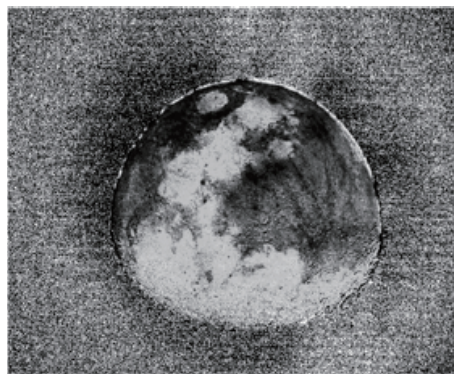
観測は分光器を固定し、日周運動で動いてくる月を待ち構える方法で行い、一定間隔で、シャッターを切った。室内実験では、斜長石、カンラン石、単斜輝石、玄武岩、石英、およびカリ長石を、それぞれレゴリスサイズまですり潰し、太陽光に近いライトを当て分光器で撮影した。

観測で得た月の海と高地のスペクトルと室内実験での鉱物の反射スペクトルを比較したところ、海は玄武岩、高地は斜長石の反射特性と似ていることがわかった。

### 3. 偏光 2012～2015年

レゴリスの光学的特性を調査した。具体的には、レゴリスの室内実験と偏光観測である。

室内実験で使用した鉱物は、斜長石と玄武岩 (0.5mm、0.01mm、0.001mm)、ライトは、太陽光に近いものである。斜長石と玄武岩はそれぞれ、月の高地と海を形成している鉱物だ。鉱物に光を当て、望遠レンズに偏光フィルタをつけて、フィルタを0° から180° まで10° ずつ回転させた。その結果、玄武岩は偏光度が高く、斜長石は低いことがわかった。また、玄武岩は粒子サイズが大きいほど偏光度が高く、斜長石は大きさに依存しないこともわかった。



月の偏光観測では、結果をもとに偏光度マップを作成し(図1)、月の海と高地、さらに、コペルニクス(海にできたクレーター)とティコ(高地にできたクレーター)の偏光度を調べた。それぞれの結果は以下の通りである。

- ・海の偏光度は高く、高地は低い。これは室内実験と一致した。
- ・コペルニクスの中央の盛り上がり(中央丘)は海の偏光度と一致し、リムの偏光度も高い。中央丘は、隕石の大きな衝突による反作用によって、内部から出てきた玄武岩と考えられている。これにより、海と中央丘の偏光度が一致することは説明がつく。リムは、隕石の衝突による飛沫物の蓄積であることから、遠くへ飛ばなかった比較的大きな粒子と予想できる。玄武岩は大きな粒子ほど偏光度が高いという実験結果と一致する。
- ・ティコからのびる光条の偏光度は、中心から離れるほど低くなる。これは実験結果と一致せず、いまだ不明である。



#### 4. 赤外線 2009～2016年

赤外線による研究では、月の観測（月食中の月を含む）、月の模型作製・実験、エクセルを用いたシミュレーションを行った。

初期の観測は、視野が約 $2^\circ$ の放射温度計のみでの観測（2009～2012年）だったが、赤外線望遠鏡の開発によって、 $0.89^\circ$ の視野での観測が可能になった。

2012年の月食中の観測は、温度計を2つ使って月の温度と空の温度を同時に測定した。この観測で、月食が終わ

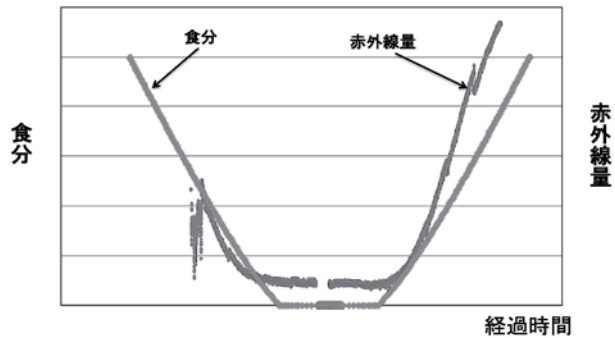
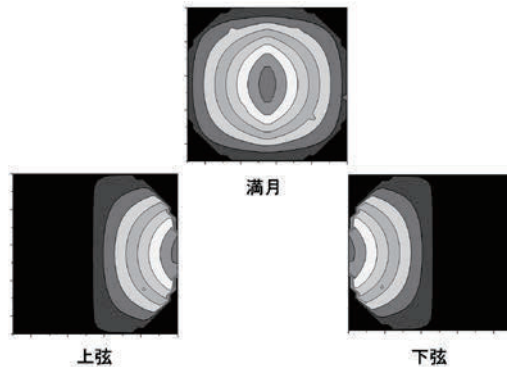


図2 皆既月食時の赤外線量と食分

っても温度低下が続くことがわかった(図2)。また、2015年にこの月食をより詳しく分析したところ、月はすぐに冷え、レゴリスは下の方まで熱が伝わらないことがわかった。さらに、太陽光が当たらなくなると、約2.5日で最低温度( $-173^\circ\text{C}$ )に達することも計算できた。

赤外線望遠鏡とは、放射温度計と反射望遠鏡を自作のアダプタで取り付けられたものである。この装置を使用した観測では、満月、上弦、下弦の月の細



かい温度分布が測定可能である。それぞれの温度分布から赤外線で見える月の形と可視光線で見える月の形は異なることがわかった(図3)。さらに、それぞれの赤外線量をグラフ化し、分析したところ、月表面の蓄熱作用は極めて小さいことが判明した。

月の模型作製は、観測での赤外線強度と一致するかを確かめるために行った。この模型は、半球型発泡スチロールを型にし、砂と接着剤を固めたものである。実験の結果、観測の赤外線強度とほぼ一致。完成度の高い月の赤外線放射モデルが完成した。また、エクセルを用いた精度の良いシミュレーションから、月の海と高地の部分からの赤外線量は、それほど差がないことがわかった。

#### 5. 3つの視点からみた月とは

分光、偏光、赤外線の視点から以下のことが明らかとなった。

- ・海は玄武岩で形成されており、偏光度が高い。
- ・コペルニクスの中央丘とリムは偏光度が高い。
- ・高地は斜長岩で形成されており、偏光度が低い。
- ・ティコからのびる光条の偏光度は、中心から離れるほど低くなる。
- ・海と高地の赤外線量の差はきわめて小さい。
- ・赤外線で見える月の形と可視光線で見える月の形は異なる。
- ・レゴリスは蓄熱作用が小さく、非常に熱しやすく冷めやすい特性である。

## 小惑星ペネローペ（201 Penelope）の測光観測

小坂 寛晃（高3）【津山工業高等専門学校】

### 要 旨

短周期で明るさが変化する小惑星 201 Penelope を西はりま天文台の 60cm 望遠鏡で測光観測し、得られたデータをスバル画像処理ソフト マカリで解析することで、光度曲線を作成する。そして、小惑星 201 Penelope の自転周期とその形状を考察する。

### 1. はじめに

現在、10 万個を数える小惑星の多くは、火星と木星の間にある。しかし、地球の軌道の近く、さらには、その内側に位置するものもある。今後、地球と小惑星とが衝突する可能性もあるので、小惑星について調査してみたい。そこで、本研究では小惑星特に火星と木星の間にある 201 Penelope について測光観測することにより、測光曲線を作成し自転周期を求めたい。

### 2. 観測方法

小惑星 201 Penelope の撮影は平成 27 年 8 月 27 日(木)の 22:00 ~翌 2:00 の間に露出時間は 30 秒、30 秒毎に行い、計 336 枚の画像データを取得した。このとき使用した観測機器は、西はりま天文台の 60cm 望遠鏡 (図 1)、冷却 CCD カメラ SBIG ST-L、視野は 11.6"×11.6"であり、R フィルターを使用した[1]。

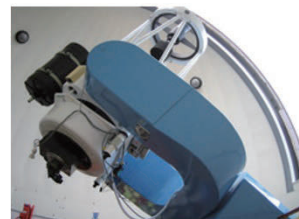


図 1 60cm 望遠鏡 [1]

### 3. データ解析

小惑星 201 Penelope について、以下の手順でデータを解析した。

- A) 「スバル画像処理ソフト マカリ」(以下、マカリと略す) でダークとバイアスを引き、画像をフラットで割る。ダークとバイアス引くことによって撮影画像のノイズをなくし、フラット画像で割ることにより撮影画像の周辺減光を補正することができる。
- B) マカリで各画像の小惑星 201 Penelope (P と表記) と参照星 C1、C2 を測光する。
- C) 小惑星 201 Penelope P と参照星 C1、C2 のフラックスからポグソンの式(1)を用いて等級差  $P-C1$  を求める。

$$\Delta m = m - m_1 = 2.5 \times \log_{10} \frac{L_1}{L} \quad \dots (1)$$

ただし、 $\Delta m$  : 参照星 C1 の等級  $m_1$  に対する小惑星の等級  $m$  の等級差、 $L$  : 小惑星のフラックス、 $L_1$  : 参照星 C1 のフラックスである。また、参照星が変光星でないことを示すために等級差  $C1-C2$  も求める。

- D) 小惑星 201 Penelope と参照星を測光したフラックスから、光度比  $P/C1$ 、 $C1/C2$  を求める。
- E) C)、D)の結果をグラフ化することで光度曲線が得られる。

#### 4. 解析結果

図 2 は、等級差を用いた参照星に対する小惑星 201 Penelope の等級差の光度曲線である。縦軸は等級差 ( $\Delta m$ ) で横軸は世界時刻 (UT) である。図 3 は、光度比を用いた光度曲線である。ここで、縦軸は光度比 ( $P/C1$ ) で横軸は世界時刻 (UT) である。両図より参照星は変光星でないことがわかる。

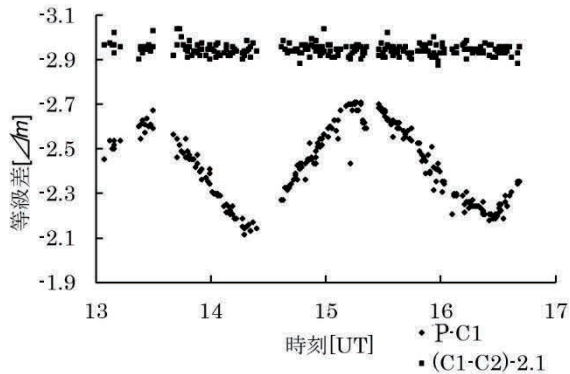


図 2 等級差を用いた小惑星 201 Penelope の光度曲線

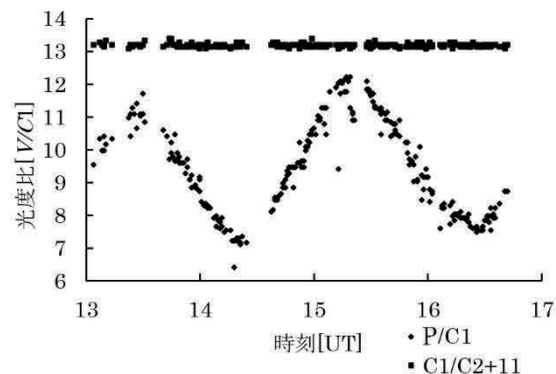


図 3 光度比を用いた小惑星 201 Penelope の光度曲線

このグラフから自転周期を求める。まず、図 2 と図 3 の極大、極小のピークから次のピークまでの間隔を求める。これらは半周期の時間であるため、2 倍し平均をとることによって小惑星 201 Penelope の自転周期を求めた。自転周期は図 2、図 3 共に 3 時 40 分程度であった。NASA のデータベースによると小惑星 201 Penelope 自転周期は 3 時間 45 分 [2] であるので、ほぼ等しい自転周期を得られた。

#### 5. 考察

小惑星 201 Penelope の太陽光が当たる最小と最大の面積比を考察する。ポグソン比より 1 等級変化すると光度が 2.512 倍変化する。図 2 より変光幅が 0.55 等級であることが読み取れるので、光度は 1.7 倍変化する。また、光度比の変化の図 3 において、極大値を極小値を割ると 1.6 倍変化しており、図 2 からの結果とほぼ一致する。また、形状を求めたいが、小惑星の自転軸が定かでないため引き続き検討していきたい。

本発表は、西はりま天文台の天体観測実習「日本一の望遠鏡を使って天体観測」を元にしており、関係の皆様と共同観測者の川崎 海さんに深謝致します。

#### 参考文献

- [1] 60cm 望遠鏡—西はりま天文台 [http://www.nhao.jp/research/60cm\\_telescope.html](http://www.nhao.jp/research/60cm_telescope.html)  
 [2] NASA 小惑星データベース <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi>

# ライトカーブから探る小惑星の表面特性

土屋 健太郎 (高2)  
【那須高原海城高等学校】

## 1. はじめに

過去3回(2013年~2015年)のジュニアセッションにおいて、デジタル一眼レフカメラを使った小惑星の測光観測について報告した。デジタル一眼レフカメラの機種による測光結果のバラツキやノイズの多少などの課題は残るが、明るさの絶対値を求めるのでなければ(例えば自転周期を求めるなど)、デジタル一眼レフカメラでの小惑星観測は可能であることがわかった。

今年度(本研究)は、これまでに観測したライトカーブ(実測値)と小惑星の形状から推定されるライトカーブ(理論値)を比較し、小惑星の表面特性について考察した。

## 2. 研究方法

### 2.1 測光観測からライトカーブ

観測場所 大田原市ふれあいの丘天文館(栃木県大田原市福原)  
使用機材 望遠鏡 65cm反射望遠鏡(f 7800mm)  
カメラ Nikon D700 直焦点、露出時間 30秒  
観測対象 小惑星 #129(2013年 1月10日)  
測光方法 アパチャー測光(ステライメージ使用、ダーク補正あり、フラット補正なし)  
比較星は、Tycho2 カタログ(色指数(B-V)が太陽とほぼ同じ(0.65)恒星)を使用

また、小惑星#25143(Itokawa)のライトカーブを、IAUMPCのライトカーブ・データベース<sup>\*1</sup>から引用した。

### 2.2 形状からライトカーブ

太陽光を反射する小惑星の明るさは、反射する光量により決まる。そこで、地球から見た小惑星の断面積(太陽光を反射している部分のみ)を3分または5分ごとに計測し、その断面積の経時変化曲線を描いた。その曲線を、ここでは「形状ライトカーブ」とよぶ。

小惑星の形状(図1)は、Adam Mickiewicz University 天文台(ポーランド)のWeb site [Interactive service for asteroid models]から引用した。小惑星表面のカウント値が20000以上の部分の断面積を表計算ソフトExcel(フリーソフトIenaraf220b)<sup>\*3</sup>を使って計測した。

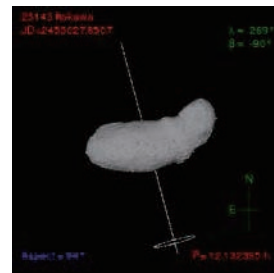


図1 小惑星の形状<sup>\*2</sup>

### 2.3 測光ライトカーブと形状ライトカーブの比較

測光ライトカーブと形状ライトカーブが一致する場合は、小惑星の表面が均質であることが予想され、両者が不一致の場合は、小惑星表面の一部の地形または表層地質などの不均質にその原因があると予想される。

はじめに、表面の詳細な観測が行われた小惑星(#25143 Itokawa)<sup>\*4</sup>の測光ライトカーブ(IAUMPCデータベース)と形状ライトカーブを比較し、この比較方法についての妥当性を調べた。その後、これまでに測光した小惑星(#129ほか)について、測光ライトカーブと形状ライトカーブの比較を実施した。

### 3. 結果

#### 3.1 測光ライトカーブと形状ライトカーブの光度比較

小惑星の見かけ断面積から求めた形状ライトカーブは、光度変化を表していると考えられる。そこで、測光ライトカーブの等級変化を光度変化に換算してから形状ライトカーブと比較した(表1)。それぞれの光度比(最大/最小)は、概ね一致している。

表1 測光ライトカーブと形状ライトカーブの光度比較

#25143 Itokawa	最大値	最小値	差	比
測光ライトカーブ (実視等級)	3.5	2.7	0.8	2.09*
形状ライトカーブ (面積指数)	62	32	—	1.93
#129 Antigone	最大値	最小値	差	比
測光ライトカーブ (実視等級)	12.99	12.75	0.24	1.24*
形状ライトカーブ (面積指数)	132.6	106.6	—	1.24

\*ボグソンの式を使い等級差を明るさの比に換算

#### 3.2 測光ライトカーブと形状ライトカーブの曲線比較

図2に小惑星ItokawaとAntigoneのライトカーブを示した。部分的に測光ライトカーブが形状ライトカーブよりも暗かったり、明るかったりしていることがわかる。

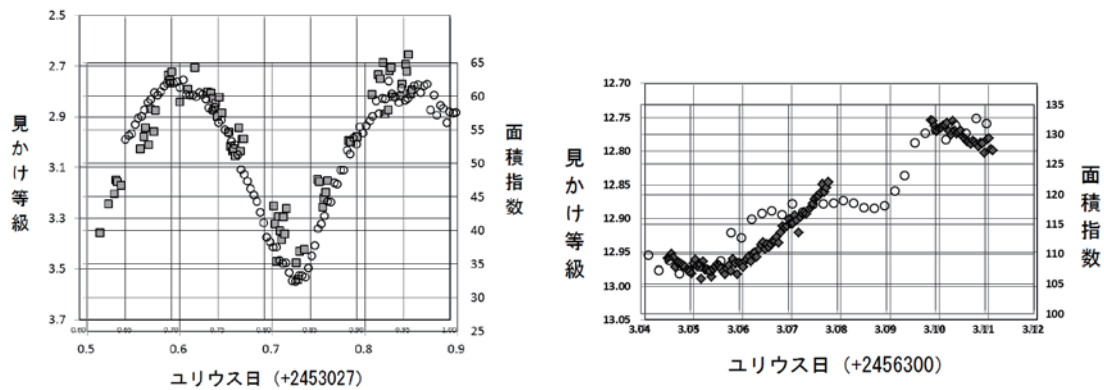


図2 測光ライトカーブ(口または■)と形状ライトカーブ(O) (左) Itokawa (右) Antigone

### 4. 考察・まとめ

測光ライトカーブと形状ライトカーブの光度比(表1)がほぼ一致することから、形状ライトカーブはおおむね光度変化を表していると考えられる。

図2(左)Itokawaの左の頂点は、Itokawa表面の滑らかな地形(サガミハラやMUSES-C)の一部が見えているが、大きな岩塊のある地域が広がり、太陽光が乱反射し地球に届く反射光がやや少なくなっていると考えられる。右の頂点は、岩塊が少ないMUSES-Cが地球に向いているので、地球に届く反射光が多くなっていると考えられる。

図2(右)Antigoneの左半分(測光が小)は、クレーターや岩塊による起伏の多い地形もしくは暗色の土砂・岩石が多い地質であると推定される。右半分(測光が大)は、起伏の少ない平滑な地形または明色の土砂・岩石が多い地質であり、表面アルベドが大きいことが推定される。

このように、測光ライトカーブと形状ライトカーブの差異は、小惑星の表面特性を表していると考えられる。

### 5. 参考文献

- \* 1 IAU MPC Database  
([http://www.minorplanetcenter.net/light\\_curve2/light\\_curve.php](http://www.minorplanetcenter.net/light_curve2/light_curve.php))
- \* 2 Interactive service for asteroid models (<http://isam.astro.amu.edu.pl/>)
- \* 3 lenaraf220b (<http://www.vector.co.jp/soft/dl/win95/art/se312811.html>)
- \* 4 宮本英昭ほか編(2008):「惑星地質学」pp.167-172, 東京大学出版会



## 食現象による RVB 光量変化 ～地球と木星の大気比較～

堀 裕一、酒井 里桜 (高2)

堀 友哉、安福 千貴、稲垣 里彩、小崎 瑛子 (高1) 【愛知県立一宮高等学校地学部 SS 班】

### 1. はじめに

私たちは 2014 年 10 月 8 日に起こった皆既月食と、2015 年 4 月 25 日、6 月 10 日、2016 年 1 月 9 日に起こったイオの食現象を観測した。皆既月食中の月は赤銅色に見えるがターコイズフリンジという現象もあり、この RVB の光量の関係を調べ、イオの場合と比較した。



図 1 皆既月食の進行

### 2. ターコイズフリンジとは

ターコイズフリンジとは、太陽光が成層圏を通過するとき赤い光が吸収され、青い光が直進することで、本影の縁が青く見える現象である。

### 3. 方法

場所：愛知県立一宮高校(愛知県一宮市北園通 6-9)

機材と観測日：1. 屈折鏡筒(D:106mm f:530mm)、2. 屈折鏡筒(D:77mm f:510mm)、

3. シュミカセ鏡筒(D:200mm f:2000mm)、4. EM200 赤道儀、5. EM10 赤道儀、

6. 冷却 CCD カメラ(SBIG 製 ST-XE)、7. CanonEOSkissX6i

2014/10/8 1.2.4.5.6.7、2015/4/25,6/10 1.4.6、2016/1/9 3.4.6

ソフト：ステライメージ ver.6、Microsoft Excel 2013、ステラナビゲーター ver.6

すばる画像処理ソフトマカリ

測光：CCD の画像上の月の模様による明るさの変化を月食終了後の X6i による満月画像で割り、月面の模様を消した。マカリで模様の消えた月面上の 13 点を径 10 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結果を表計算ソフトでグラフ化した。

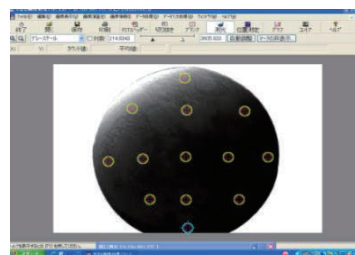


図 2 月面測光位置

また、イオが影から出現・影に潜入するときエウロパと位置関係を比較し、開口測光した。測光結果と時間を表計算ソフトでグラフ化した。



図 3 木星衛星測光



## 4. 結果と考察

### (1) 月食の RVB 光量変化

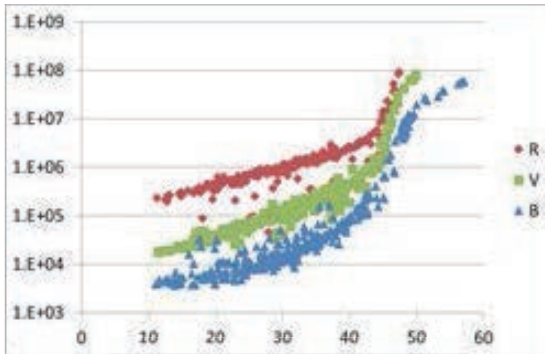


図4 角距離・明るさ散布図

グラフより、全ての色で本影の中心に近づくほど明るさは減少したといえる。傾きは各色で異なり R の明るさが月面全体で上回っているため、皆既月食中の月が赤いことが確認された。また、V と B が本影の縁(45')の付近で R と比べて急激に上がっていることから、ターコイズフリンジが起きたと確認できた。

### (2) イオの RVB 光量変化

(4/25)

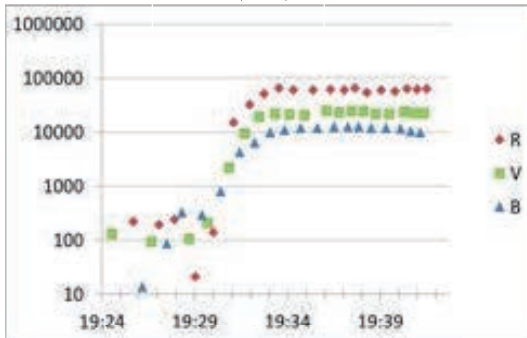


図5 時間・明るさ散布図

4月25日では、一枚ずつ保存したためデータ数が少なく、本影の縁の様子がよく分からなかった。

(6/10)

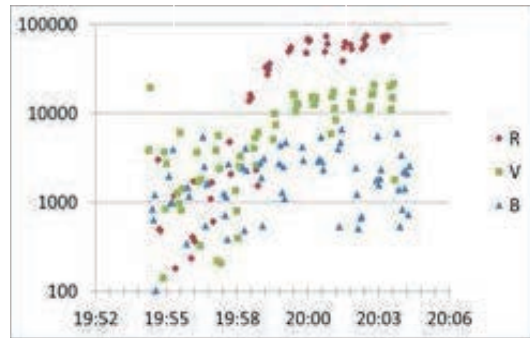


図6 時間・明るさ散布図

サブチップで観測してしまったために、画像にノイズが多くのもってしまった。B は露出不足のため明るさに変化が見られなかった。

イオの R,V,B の増加量は一定で直線的に増加しているため、地球における月食のような赤銅色のイオは観測できないと考えられる。また、1月9日の観測結果は現在解析中である。

## 5. 参考文献

月刊 星ナビ 2015年4月号

高校生天体観測ネットワーク 皆既月食解析・研究ガイド

## 系外惑星WASP-10b(Peg)のトランジット観測

戸塚 瞬翼（高2）【新島学園高等学校】、中里 海斗（中3）【新島学園中学校】

### 要 旨

This research is on the observation of the exoplanet WASP-10b by using a 40cm-telescope and an uncooled CCD camera. The purposes of which is to test the viability of an inexpensive astro-observation system with regards to exoplanets using the transit method by obtaining the light curves of the transit of WASP-10b. As a result, we have accomplished these purposes.

### 1. はじめに

私たちは、科学技術振興機構JSTの「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」の1つのテーマとして、本校所有の40cmF5ニュートン式反射望遠鏡と蓄積型CCDカメラ（非冷却）を使用して、系外惑星のトランジット観測を行った。天体の測光には通常冷却CCDが用いられるが、安価な蓄積型CCDカメラ（非冷却）で観測できるか検討を行った。測光の精度の向上を行い、系外惑星に関する物理量まで計算することを目標とする。

### 2. 目的

WASP-10b(peg)について連続的に測光観測を行い、惑星のトランジットによる減光をとらえた光度曲線を作成する。またそれをするにあたって、口径40cmの小型望遠鏡にCCDカメラ（非冷却）を用いて観測することで、比較的小規模なシステムによる観測の可能性を模索する。

### 3. 方法

観測は新島学園天文台の40cmニュートン式反射望遠鏡（西村製作所 F5）にフィルターとCCDカメラ（非冷却）を取り付け、2016年1月7日の夜に行った。観測日時はETD Exoplanet Transit DatabaseのホームページでWASP-10b(peg)のトランジット予報を確認して選んだ。予報によるトランジット開始時刻は17時55分で、終了時刻は20時02分であった。

撮影に際してできるだけ空による影響を減らすためにRフィルターを用いた。専用ソフトであるMTVtoolで5秒ごとに1枚ずつ撮影し、ビットマップデータ（bmp）で保存した。

測定方法はステライメージ7でbmp画像のダーク・フラット補正を実行後、fits画像で保存し、30秒ごとにこの画像を6枚中央値合成してマカリで開口測光を行った。視野内に存在する他の特に明るい4つの恒星を基準星B~Dとし、目的星Aに対する相対的な明るさをそれぞれ求めた。これらのデータから「Microsoft Excel」を用いて光度曲線を作成し、これによりトランジット中の減光を観測した。CCDカメラはダイイチ社蓄積型モノクロカメラMTV-12S85HE-D-EX（非冷却）を使用した。

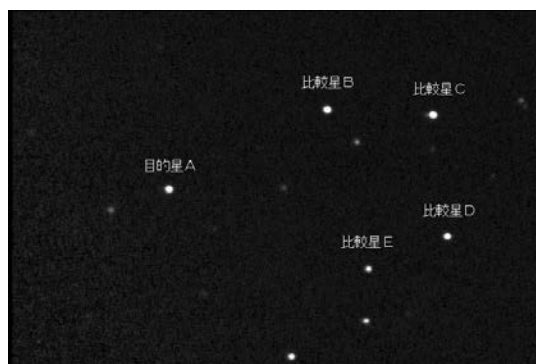


図1 マカリ測定画像と測定星

## 4. 結果

撮影した画像は下記の3通りの測定方法で検討を行った。

- (1) 図2: 撮影した半分の画像を1枚ごとマカリで測定した。(750測定値)
- (2) 図3: 上記(1)の測定結果を使用して、6枚ごとの平均値を求めた。
- (3) 図4: マカリで6枚の画像を中央値合成して測定した。(306測定値)

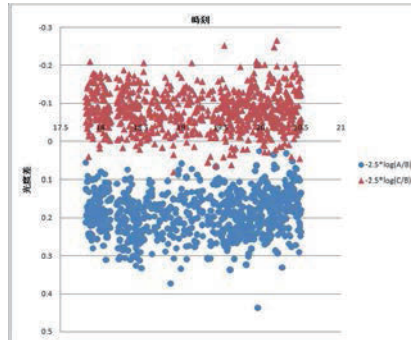


図2 画像1枚ごとに測定 (方法1)

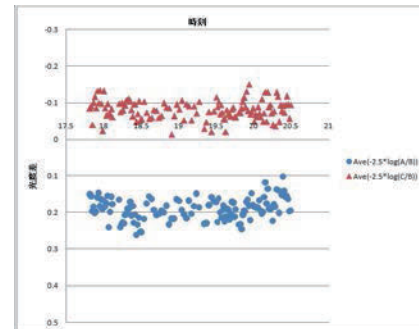


図3 6枚ごとの平均値 (方法2)

図2～図4はトランジット星Aと比較星Cを比較星Bを基準にして、等級差 $dm$ を次式で求めてグラフを作成した。 $dm = -2.5 \cdot \log(A/B)$  この式の中のA及びBはマカリで測定したカウント数とする。横軸は時刻を表し、17時49分から20時30分まで測定した。

図の下側に分布する●印はトランジット星Aを、上側に分布する▲は比較星Cを表している。

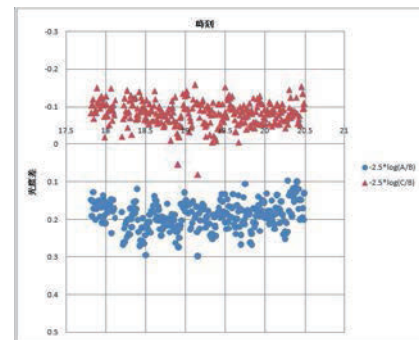


図4 画像を中央値合成して測定

## 5. 考察

図2のグラフの測定値のばらつきは約0.2ほどであり測定値のばらつきが大きい。図3と図4は平均化したため、約0.1の範囲となり測定値のばらつきは小さくなった。

図3と図4の比較星Bを基準にした比較星Cの光度変化(図中上側の分布)は直線的で変化していないと考えられる。一方トランジット星Aの光度(図中下側の分布)は変化していると考えられ、トランジットによる減光を観測することができたと考える。

## 6. まとめ

比較的小規模なシステムによるトランジット惑星の観測の可能性をさらに検討する。今後、ダーク補正の方法を検討して観測精度の向上を行い、惑星の物理量も求めていきたい。

## 7. 謝辞

科学技術振興機構JSTの「中高生の科学研究実践活動推進プログラム」の研究テーマとして実施し、群馬県立ぐんま天文台の主幹・浜根寿彦先生にご指導をいただきました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

## 8. 参考文献

大島修 岡山県立鴨方高等学校/JAPOA会員「系外惑星を観測しよう～トランジット法観測入門～」

## 多色トランジット観測による系外惑星の半径算出

飯田 葉大、石田 真幸、牛之濱 俊希、山中 夏樹（高2）【奈良県立青翔高等学校】

### 要 旨

昨年度、本校の系外惑星研究グループが、TrES-1とHAT-P-43という系外惑星をもつと考えられている2つの恒星についてトランジット法による観測を行い、それぞれの系外惑星の半径を推定したところ、いずれも文献値The Extrasolar Planets Encyclopaedia (<http://exoplanet.eu/catalog/>) よりも1~2割程度大きな値となった。我々は、この原因が系外惑星の大気にあるのではないかと考え、B・V・Rc・Icの4種類のフィルターを用いて多色測光によるトランジット観測を行った。その結果、短波長のフィルターを使用する方が、かえって系外惑星の半径が大きく算出され、これは系外惑星の大気による散乱の効果であることが確認できた。

### 1. はじめに

昨年度、我々の1学年上の先輩達がケプラー宇宙望遠鏡による地球類似惑星の発見に興味を持ち、本校の系外惑星研究グループを立ち上げた。系外惑星の主な観測方法には、ドップラーシフト法やトランジット法等があるが、我々は、小型望遠鏡でも手軽に行えるトランジット法を用いることにしている。先輩達は、TrES-1とHAT-P-43という2つの恒星についてトランジット法による観測を行い、独自の簡便な算出方法により系外惑星の実半径を求めた。その結果、TrES-1bは1.2木星半径（文献値は1.099木星半径）、HAT-P-43bは1.6木星半径（文献値は1.283木星半径）という値が求まった。

我々は、先輩の研究を引継ぎ、我々の観測値と文献値のずれの原因を解明すべく、更に系外惑星のトランジット観測を行うことにした。

### 2. 目的

我々の研究の目的は、主として以下の2点である。

- (1) 系外惑星を持つと考えられている恒星WASP-80についてトランジット観測を行い、その結果より求めた系外惑星の半径がThe Extrasolar Planets Encyclopaediaの値より大きくなることを確かめる。
- (2) 昨年も観測を行ったHAT-P-43について、トランジット中心付近、トランジット終了後の2度の時刻においてB・V・Rc・Icによる多色測光観測を行い、透過光の波長と算出される系外惑星の半径との関係を調べる。

### 3. 方法

WASP-80は2015年8月7日に兵庫県立大学西はりま天文台の口径60cm望遠鏡でトランジット観測を実施した。その観測及びデータ解析の手順は、以下の通りである。

- (1) 望遠鏡に冷却CCDカメラとRcフィルターを取り付け、目的の天体と比較星を含むライトフレーム、フラットフレーム、ダークフレームなどの画像を取得した。
- (2) 「マカリ」（国立天文台・(株)アストロアーツ）により、一次処理を行った後、開口測光の機能を用い、比較星に対する目的の天体の相対的な明るさを求めた。
- (3) 「Microsoft Excel」により光度曲線を作成し、トランジット中の減光率を求めた。
- (4) 次式により、減光率から恒星に対する系外惑星の半径比を求めた。

$$L = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} \quad \text{変形して、} \quad r = R\sqrt{L} \quad (L: \text{減光率} \quad r: \text{系外惑星の半径} \quad R: \text{恒星の半径})$$

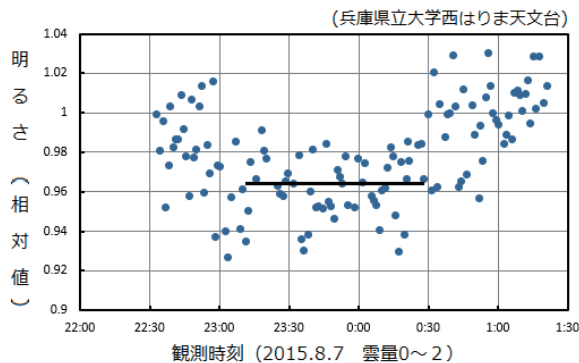
(5) 恒星の色指数からその半径を推定し、これと半径比から系外惑星の実半径を求めた。

一方、HAT-P-43は2016年1月9日に岡山県美星天文台の口径101cm望遠鏡で多色測光観測を実施した。その観測及びデータ解析の手順は、以下の通りである。

- (6) 望遠鏡に冷却CCDカメラを取り付け、ETD (<http://var2.astro.cz/ETD/>) で調べたトランジットの中心時刻及び終了時刻の2度に渡り、B・V・Rc・Icフィルターによる画像をそれぞれ取得した。フラットフレーム、ダークフレームなども取得しておいた。
- (7) 「マカリ」による一次処理後、開口測光により目的の天体の相対的な明るさを求め、各フィルター毎にトランジット中と後の値を比較して減光率をそれぞれ算出した。
- (8) 上記(4)及び(5)の方法を用いて、各フィルター装着時の系外惑星の実半径を求めた。

## 4. 結果

### WASP-80



### HAT-P-43 (恒星半径は1.2太陽半径として計算した。)

(岡山県美星天文台 2016.1.9)

使用フィルター	減光率	実半径 (木星=1)
B( $\lambda_c=4360 \text{ \AA}$ )	2.98%	2.02
V( $\lambda_c=5450 \text{ \AA}$ )	2.29%	1.77
Rc( $\lambda_c=6380 \text{ \AA}$ )	1.88%	1.60
Ic( $\lambda_c=7970 \text{ \AA}$ )	1.75%	1.55

$\lambda_c$ : 中心波長

## 5. 考察

- (1) WASP-80の光度曲線から、トランジット中の減光率は $3.7 \pm 1.4\%$ となるから、系外惑星WASP-80bの半径は恒星の0.19倍(0.15~0.23倍)となる。観測により色指数B-Vは1.38等だから、WASP-80を主系列星と考え、Allen's Astrophysical Quantitiesより、その半径は0.61太陽半径となる。これらより、WASP-80bは木星半径の1.1倍(0.9~1.4倍)と求められる。The Extrasolar Planets Encyclopaediaによると、0.952木星半径となっており、我々の値の方が16%ほど大きく求まった。なお、この惑星の公転周期は3.07日と短いため、ホットジュピターであると考えられる。
- (2) HAT-P-43についての多色測光観測では、我々は当初、使用フィルターの中心波長が短くなるほど系外惑星の半径は小さくとなると考えて観測を行ったが、実際は波長が短いほど半径が大きく算出されることが分かった。これは、波長の短い光ほど惑星大気によって散乱されやすいため、この系外惑星が厚い大気に覆われていることを意味している。

## 6. まとめ

我々はトランジット観測により3つの系外惑星の半径を求めたが、すべて文献値よりも大きくなった。その原因を突きとめようと実施した多色測光観測であったが、波長による光の散乱の違いのため、予想とは正反対の結果が求まった。今後も引き続き、系外惑星の半径が大きく算出されてしまう原因を解明するために、トランジット観測のデータを増やすとともに、異なる半径算出方法を試してみたいと思う。

**謝辞** 本研究を行うにあたり、大阪教育大学の福江教授、松本准教授にご指導を頂きました。また、美星天文台の綾仁台長、前野研究員、兵庫県立大学西はりま天文台の本田研究員、高橋研究員には、観測についてご指導を頂きました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 流星の尻尾に関する研究

鯨島啓大朗（中1） 【鹿児島県 霧島市立国分南中学校】

### 要 旨

流星には尻尾が有る物と尻尾が無い物があることが分かった。この差は何で決まるのか炎色反応から流星に含まれる材料の量に差があるのではないかを調べた。その結果、尻尾が有る流星には、緑や青、紫の炎色反応を示す材料が多く含まれていることが分かった。

#### 1. はじめに

僕が小学6年生の時の自由研究で、流星に彗星みたいな尻尾が有るのか、それとも光っている点が残像で線に見えるだけなのかを調べた。その研究では尻尾が有る流星と尻尾が無い流星があることが分かった。その時は尻尾が有る流星と無い流星で何に差があるのかまでは、良く分からなかった。

ある日、NHK 番組を見ていると炎色反応という実験を行っていた。色々な材料を炎の中に入れて、その材料によって炎の色が変わるという実験だった。この番組を見て流星に尻尾が有るか無いかは、流星の材料に違いがあるのではないかと考えた。

#### 2. 方法

##### <流星の尻尾を写す方法>

流星の尻尾を観測するのに目で見ても、残像の影響で線のようにしか見えないので分からない。また、普通にカメラで撮ると尻尾があっても光る点と重なって真っ直ぐな線のように写るので、尻尾があるかどうか良く分からない。そこで何か別に良い方法が無いか考えてみた。

ある時、マーカーペンで絵を書いている時に思いついた。流星が流れている間に曲線になるように写真を撮る方法だ。流星の尻尾を写す原理を図1を使って説明する。流星が流れている間に、曲線になるように写すと明るい点が曲線状に写って、この曲線に尻尾が重ならないので、尻尾の有無が分かる。

そこで、このような写真が撮れる装置を作った。この装置の外観を、図2に示す。

四角の鏡の一边を中心に、傾きが変わるように土台に取り付ける。この一边から離れたところに、角度が自由に変わるように棒を取り付け、その棒のもう片方の端をクランクの回転する中心とずれた所に取り付ける。

クランクを回すためその中心にモーターの回転軸を取り付ける。このモーターを回すことで鏡の角度が変わる仕組みである。その鏡で流星の光を反射させて、カメラで写真を撮る。

この時、カメラのシャッター速度は6秒、感度は（ISO=6400）に設定する。

##### <流星の色を写す方法>

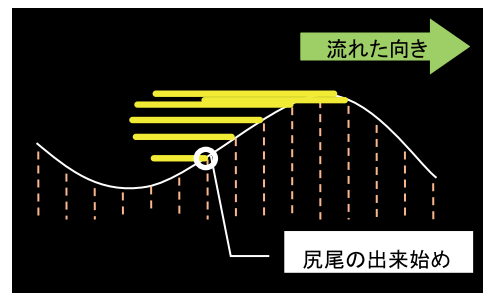


図1 流星の尻尾を写す原理

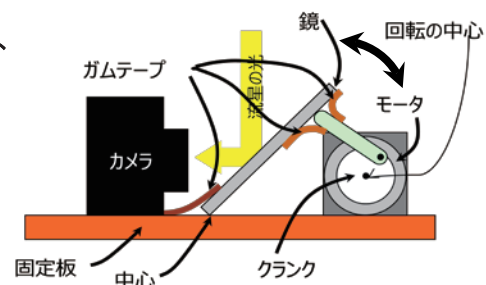


図2 流星の尻尾を写す装置の外観

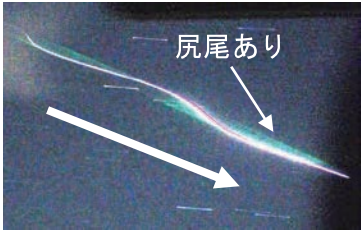
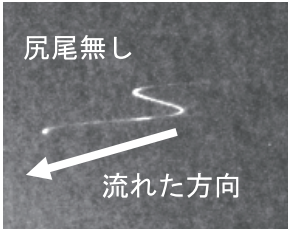
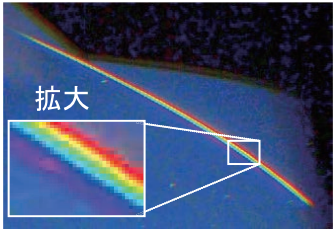



別のデジタルカメラのレンズの前に、屈折という原理で色を分解するプリズムを取り付ける。このプリズムを通して流星を写すと虹のように七色の光に分かれるスペクトルと呼ばれる写真が撮れる。このスペクトルから流星の光が何色なのかが分かる。

### 3. 結果

流星は全部で8個写って、そのうち尻尾が有る物が3個、尻尾が無いものが5個あった。その中で尻尾が有る物と尻尾が無いものの写真を表1に示す。

表1. 今回の観測で写した流星の写真の例

	尻尾がある流星	尻尾が無い流星
日時/ 流星群	2015年8月13日 22:52:48 ペルセウス流星群	2015年8月7日 23:4:36 ペルセウス流星群
尻尾の写真		
スペクトルの写真		

#### <尻尾の写真>

左側の尻尾の写真を見てわかるように、流星の明るい線の周りにぼんやりと尻尾が緑色に写っている。しかし右側の写真は流星の明るい線だけ写っていて、尻尾は写っていない。

#### <スペクトルの写真>

右側は下側から順に赤、緑と写っていて特に下側の赤色が明るい。左側の写真は虹のように上から順番に赤から緑、青、紫と写っていて右側と比べ下側の緑、青、紫の光も強い。

### 4. 考察

尻尾が無い流星は、赤い色が強くて緑や青の光が弱く、尻尾が有る流星は、赤だけではなくて緑や青、紫の色が強いことが分かる。尻尾が有る流星は、緑、青、紫色の炎色反応を示す物質が多く含まれていると予想できる。尻尾自体は、緑色に写っているなので、その中でも緑の炎色反応を示す物質の量で尻尾の有り無しが決まるということが分かった。

### 5. 今後の展開

今回は春から夏にかけての流星群だったが、今後秋から冬に活発になる流星群も観測してみたいと思う。それと今回は曲線に写るために、尻尾同士が重なって写るために尻尾の明るさや長さの変化が良く分からないので、何か観測する方法を考えてみたいと思う。

### 6. 参考文献

- ・ニュートン別冊 「光とは何か？」
- ・藤井 旭 著 「天体写真教室」

## 流星電波観測によるロングエコー率の分析

【国立米子工業高等専門学校 科学部】

永井 俊一、堀江 洸介、勝部 桃子(高専3)

尾上 創、河原 匠吾、熊本 千夏、前田 夏奈(高専2)

岩浅 大輝、朝比奈 雄志、松田 稜哉、岩瀬 恭治(高専1)

### 1. はじめに

流星電波観測とは流星が反射する電波を受信してそのエコーを調べる観測方法であり、天候や時間帯に関係なく観測できるため、流星を捉えるには非常に有効な観測手段である。我々は2015年にペルセウス座、オリオン座、ふたご座流星群の電波観測を初めて実施し、主にロングエコーの割合の変化を調べた。以下その結果について報告する。

### 2. 観測

	観測期間	極大日
ペルセウス座 流星群	8月9日～8月17日	8月13日
オリオン座 流星群	10月13日～11月2日	10月22日
ふたご座 流星群	12月8日～12月22日	12月15日

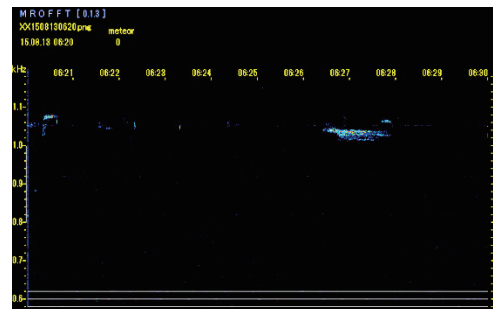


図1. MROFFTによるロングエコーの記録

流星群の観測には本校の屋上に設置したアンテナCA-52HBを使用し、エコーの記録には専用受信機MRX-50と専用ソフトMROFFTを使用した。MROFFTでは図1のように流星エコーを画像で表示し、その画像から流星数を計測した。またエコーを長さによって10秒台、20秒台、30秒以上に分類し、ロングエコーとして解析を行い（ペルセウス群のみ20秒以上をロングエコーとして計測）、全体に対する割合を求めてヒストグラムを作成した。

### 3. 結果と考察

観測の結果、ペルセウス、オリオン、ふたご座群のエコー総数はそれぞれ3400個、6732個、5591個であった。このうちオリオン座群は、りゅう座、おうし座群との分離が難しかったので、ペルセウス、ふたご座群のみ詳しい解析を行った。図2はふたご座群の1時間毎の流星数の変化で、極大日周辺に顕著なピークが現れている。また、図2は毎日のロングエコー率の変化も表しているが、10秒台、20秒台の割合も極大日付近で増加していることがわかる。図3はペルセウス群の毎日のロングエコー率の変化であるが、これも同様に極大日（8月13日）に向かって増加していることがわかった。

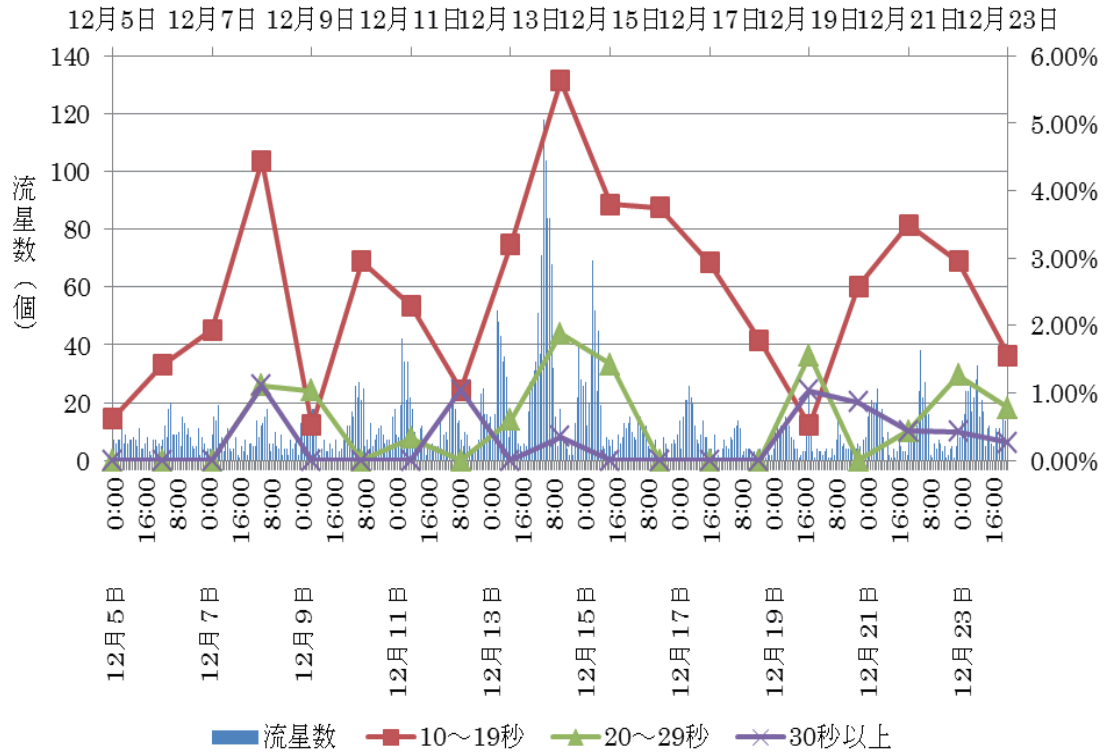


図2. 1時間毎の流星数と1日毎のロングエコー割合 (ふたご)

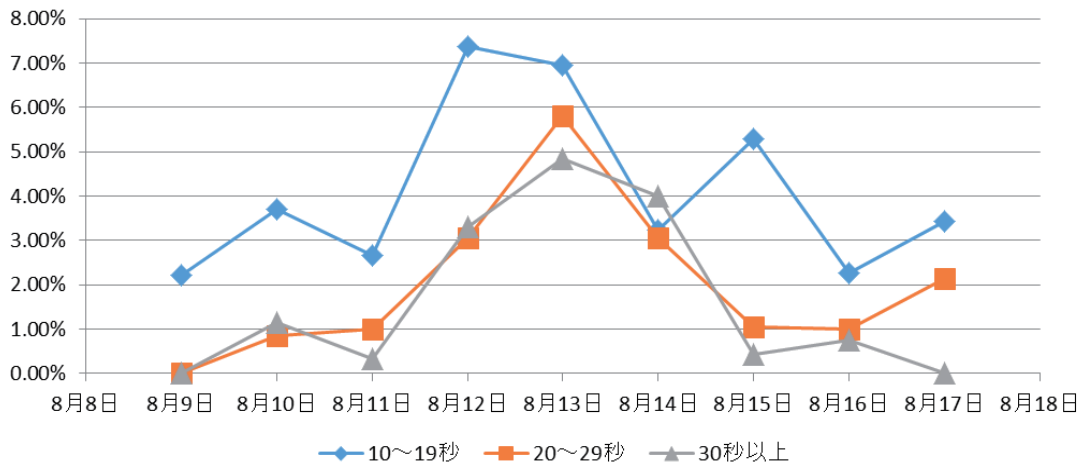


図4. 1日毎のロングエコー割合 (ペルセウス)

4. まとめ

我々米子高専科学部にとって流星電波観測は初めての試みであったが、ペルセウス群、ふたご座群でロングエコー率がピーク時に増加するという結果が得られた。しかし、まだデータが少なく今後も継続した観測が必要であると考えられる。

参考文献 ●2015年天文年鑑(誠文堂新光社)

# 地球照は青いのか?!

高草木 寧緒、中島 志保、中野 里美、福田 紫都、美才治 凜花 (高1)

【群馬県立前橋女子高等学校 地学部】

## 1. はじめに

1961年、ロシア人宇宙飛行士のユーリイ・ガガーリンは、初めて宇宙を飛んだとき「地球は青かった」と言ったという。真偽はさておき、宇宙に行けない私たちも「地球は青かった!」と言いたい。そこで代わりにこう言いたい。「地球(照)は青かった!!」と。

新月、または三日月のような細長い月の暗い部分が見えるときがある。これを地球照といい、地球の光を反射して見えるものである。地球の光を光源としているならば、地球照はきっと青いのではないか。地球照は肉眼で色を判断できるほど明るくはなく、一見しただけでは分からないので研究してみたいと思った。太陽が照らしている部分と比較して、青の光の割合が大きければ地球は青いといえる。

## 2. 方法

(1) 2015年11月15日の三日月(月齢3.4)を日没後の17時40分頃に撮影した。

露出時間: 1/320s, 1/200s, 1/125s, 1/60s, 1/40s, 1/30s, 1/8s, 1/5s, 1/2s, 1/1.6s, 1s

(2) 2016年1月13日の三日月(月齢3.1)を日没後の17時11分頃に撮影した。

露出時間: 1/800s, 1/640s, 1/500s, 1/400s, 1/320s, 1/250s, 1/200s, 1/160s

1/125s, 1/100s, 1/80s, 1/60s

(3) 地球照と、太陽に照らされている部分(以下、太陽照)を比較した。その際に、すばる画像処理ソフト「マカリ」を用いて月に線を引き、青の光の割合を調べた。

地球照の測定画像: 11月15日 露出時間 1s

太陽照の測定画像: 1月13日 露出時間 1/80s

## 3. 使用器具

- ・デジタル一眼レフカメラ Nikon D7100
- ・三脚
- ・すばる画像処理ソフト「マカリ」



図1 11月15日の地球照

## 4. 結果

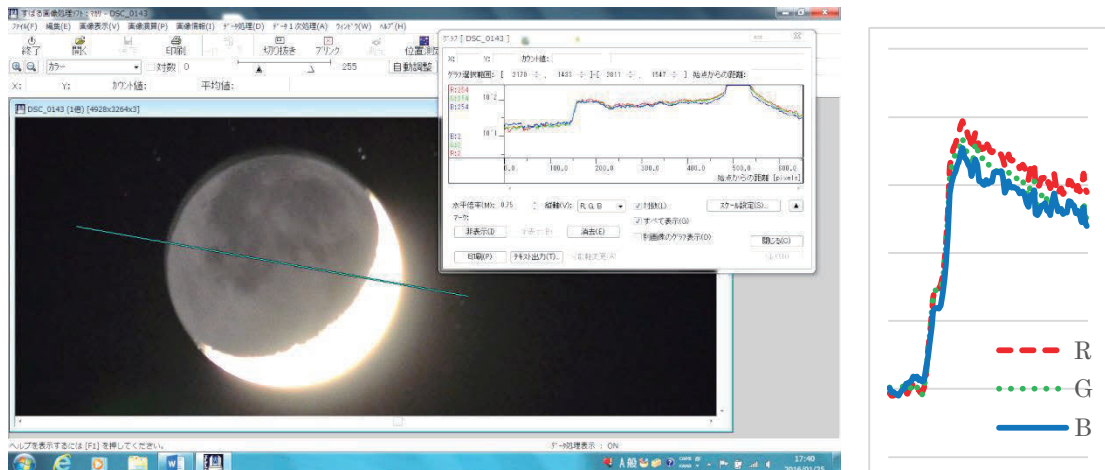


図2 11月15日（月齢3.4）の月のJPG画像分析【左】と地球照部分の拡大【右】

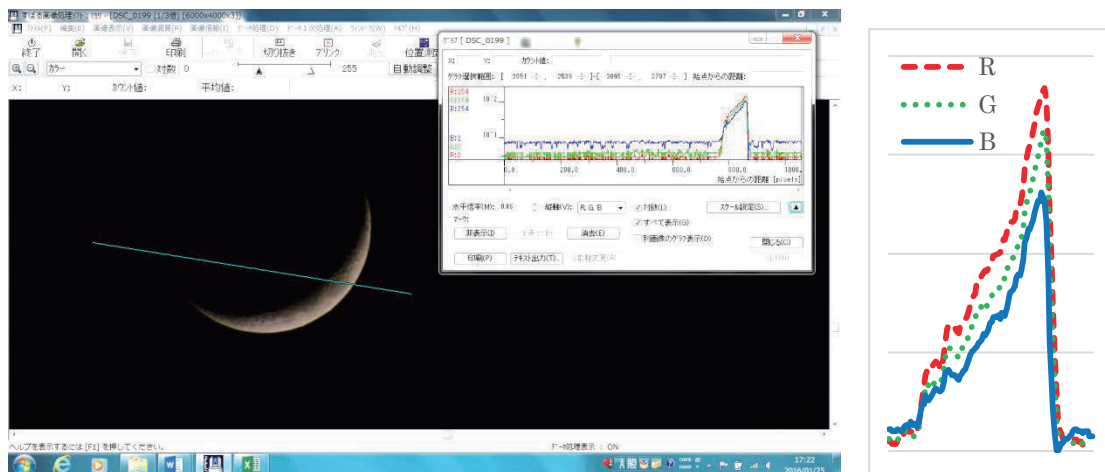


図3 1月13日（月齢3.1）の月のJPG画像分析【左】と太陽照部分の拡大【右】

## 5. 考察

図3より、太陽照部分はRGBの比率が若干異なり、赤>緑>青の順に並んでいる。ここから太陽照部分は若干赤っぽいことが分かる。一方、図2より、地球照部分のRGBの比率はほとんど等しい。ここから地球照部分は太陽照部分より青っぽい（赤っぽさが少ない）ことが分かる。つまり、「地球（照）は少しだけ青かった！」と言える。

しかし、今回は地球照と太陽照を撮影した日が異なり、月齢も異なることから、分析が正確とは言い難い。更に本質的には、RAW画像の分析が必要である。

今後は、露出時間を長時間から短時間まで幅広く撮影し、同日の月の画像を分析したい。また、分析する月面上の位置を様々に変え、信頼性の高いデータにしていきたい。そして、いずれは、「地球（照）は青かった！」と自信を持って言いたい。



## 小惑星に臨む

水根 啓佑, 山崎 遥加, 氏丸 祈歌, 久保 友梨子, 丸岡 拓実, 阿蘇 大志,  
中村 智子 (高2)

【兵庫県立舞子高等学校天文気象部】

### 1. はじめに

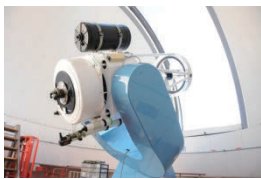
はやぶさが着陸した「いとかわ」やはやぶさ2の着陸予定の「りゅうぐう」など、小惑星に関する話題が多く、ぜひ調査研究を行いたいと考えました。また、遠く離れた恒星と異なり、比較的近くにあるため、CCDカメラでの撮影が容易で変化を捉えやすいことも大きな特徴です。小惑星の軌道・形状・自転速度・公転周期・歳差運動を調べることで、惑星の成り立ちを調べることができるとともに、地球を含む太陽系全体の成り立ちを研究することができます。小惑星をCCDカメラで撮影し、基準星となる恒星と光度を比較し、光度の変化を捉え、測光分析を行います。

### 2. 観測方法

兵庫県佐用町にある、兵庫県立大学天文科学センター西はりま天文台の60cm反射望遠鏡を使わせていただき、小惑星の撮影を行いました。公転周期や歳差運動を調べるため、一晩の撮影だけでは、データ不足になるため、数回の合宿（夜間観測）を行ってデータを取り、学校に持ち帰ってデータ処理を行いました。使用CCDカメラは、ST-Lです。

目標天体は、合宿の日程に合わせ、比較的自転周期が短く、明るい物を選び、今回は「121Hermione」に決めました。

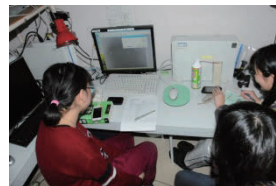
この小惑星は、小惑星帯に位置する大きく暗い小惑星の一つで、C型小惑星で、メインベルト外縁部で、その後の観測により接触二重小惑星で2つの球からなる雪だるま型と考えられています。自転周期は、5.55時間で絶対等級は、7.31です。(ウィキペディアより)



60cm 望遠鏡



ST-L を取付



制御室風景



ST-L

### 3. 観測結果と考察

観測は、11月28-29日、12月25-27日に行いました。そのうち、12月25-26日は、パソコンの不調でデータが記録されず、26-27日は、19時55分から0時20分まで撮影を行いましたが、雲が出て、断続的に半分程度しかデータが取れなかったもので、今回は、11月28日22時23分~29日2時5分の結果をここに示します。

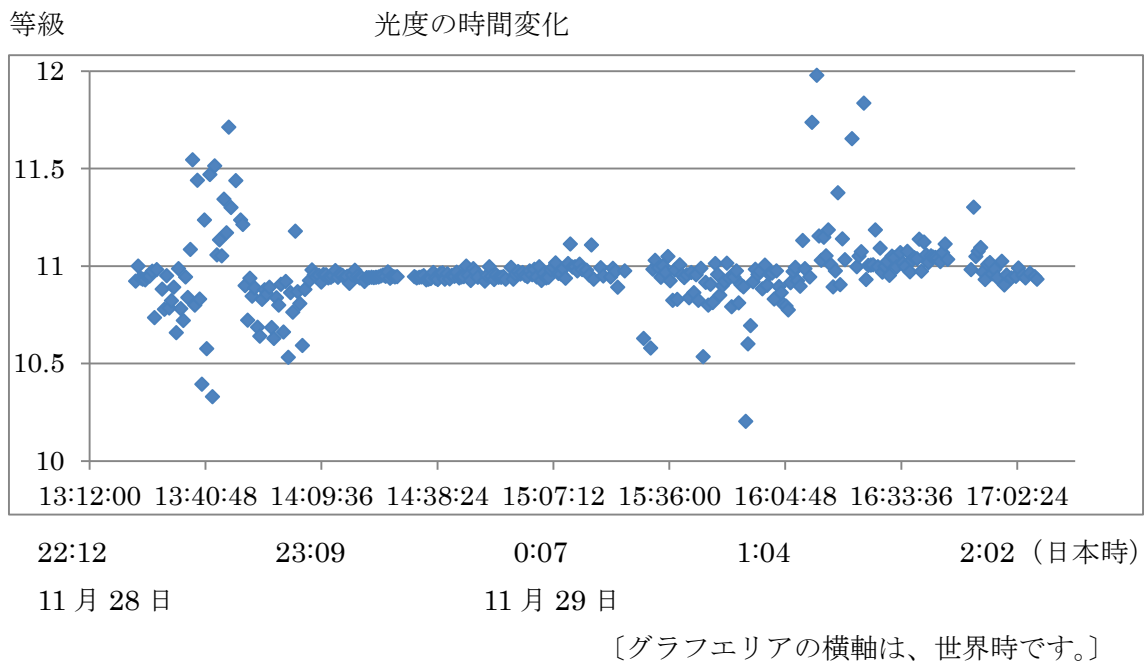
① 自転周期 世界時 14:00 付近から 16:05 付近は、光度の変動が少ないが、13:40 付近と 16:10 付近は、暗くなっていることがわかります。この小惑星は、自転を行い、球面の



表面から表面にくぼんだ部分があることが想像されます。この間隔が2時間40分位で、2倍すると5時間20分となり、自転周期として公表されている5.55時間（5時間33分）に近いことがわかります。

② 光度 近くの恒星を基準星として、ポグソンの式を用いて求めました。その内、有効なデータを求めるため、標準偏差を求め、平均値から大きくはずれているデータは削除しました。一方、公表されている絶対等級や距離から視等級を求めると、9.7（近地点）～10.31（遠地点）となる。これと、今回の観測平均は、10.98となり、近い値といえるかもしれない。

③ 有効なデータを集めるため、基準星を2個取っています。雲がかかって全体に暗い場合でも2個の基準星間の差が一定であれば、そのデータは有効なデータと考えました。



#### 4. 今後の予定

このような研究は、何度も観測を行い、多くの連続したデータを集める必要があると考えられるため、今後も続けて行う予定です。

また、フィルターを変えてCCDカメラで撮影して解析することにより、小惑星の表層組織を調べることができます。表層組織により小惑星の分類に挑戦したいと考えています。

#### 謝辞

本研究のため、兵庫県立大学天文科学センター西はりま天文台の大島誠人様を始め、多くの研究員の方々にお世話になったことに謝辞を申し上げます。

## 岩石は本当に塩酸を中和するのか

大田区立蒲田中学校プラネット科学部  
長谷川 海太 (中2)、西山 侑佑 (中2) 【大田区立蒲田中学校】

### 要 旨

40億年前の地球の海は、塩酸等が溶けた酸性の海であり、岩石から溶け出る物質によって中和されて中性の海になったと考えられている(海の話研究グループ(1984))。この岩石が塩酸を中和するはたらきを、実験で確かめてみた。まず岩石から溶け出る物質の量を導電率計を使って測定した。そして、代表的な火成岩が、塩酸を中和するはたらきを、pH試験紙とpH計を使って調べた。その結果、特に玄武岩は、水中に溶け出る物質の質量が多く、塩酸を中和するはたらきも大きいことがわかった。玄武岩は、海の地殻をつくる主な岩石と言われており、塩酸の海が中和される大きな要因の一つになった可能性がある。

### 1. 目的

岩石が、塩酸を中和することができるかどうかを、実験で調べる。

### 2. 方法

- (1) 重さ9g程で塊状の流紋岩、安山岩、玄武岩2種、カコウ岩、閃緑岩、ハンレイ岩の試料を7種、準備します。これらをハンマーで砕いて塊状にした。そして100mLのビーカーに入る適切な大きさとして重さ9g程の試料とした。
- (2) 7種の試料を3回水道水で洗い、表面についている岩石の微粒子等を洗い落とした。
- (3) 各試料を、100mLビーカーに入れ、40mLの精製水を加えた。
- (4) 精製水を加えてから1日後、3日後、1週間後、1ヶ月(最大で6ヶ月)後等に、精製水の導電率を測定した。
- (5) (1)と同じ条件で作成した各岩石試料を0.003規定、0.03規定、0.3規定の塩酸水溶液に浸し、精製水のpHを測定した。水溶液のpHは、pH試験紙とpH計を使用して測定した。

### 3. 使用した岩石

流紋岩：兵庫県氷上郡山南町大谷産	安山岩：長野県諏訪市福沢山産
玄武岩：栃木県下都賀郡岩舟町和泉産	玄武岩：兵庫県豊岡市玄武洞産
花崗岩：茨城県笠間市稲田産	閃緑岩：京都府福知山市天座産
斑レイ岩：福島県郡山市黒石山産	

### 4. 結果

#### (1) 導電率の変化

実験開始から3ヶ月で、岩舟町玄武岩の導電率は0.16S/m増加した。同じように玄武洞玄武岩は0.07S/m、斑レイ岩は0.006S/mまで増えた。花崗岩と閃緑岩は、0.004S/m、安山岩と流紋岩は0.002S/mまで増えた。玄武岩と斑レイ岩の導電率が大きいことがわかる。

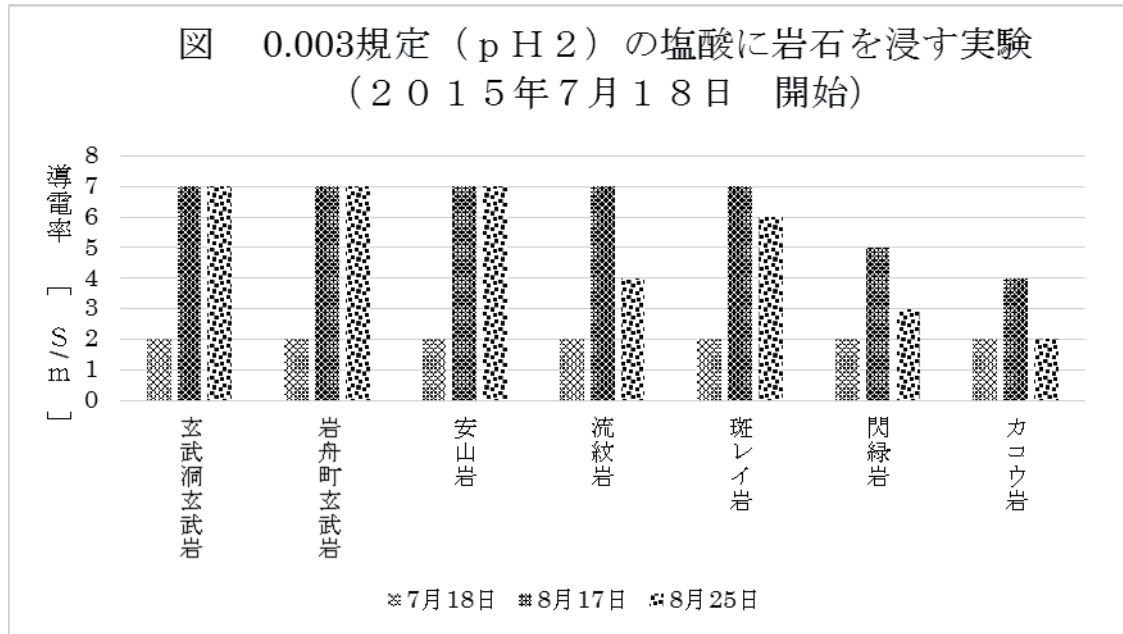
#### (2) pHの測定

0.3規定では、玄武洞玄武岩、岩舟町玄武岩では、試料を水に浸してから13日で、pHは2から3に上昇した。斑レイ岩では、1から3に上昇した。これらの岩石は、0.3規定の塩酸を部分的に中和したと考えられる。安山岩、流紋岩、閃緑岩、花崗岩のpHは、28日たってもほとんど変化しない。これらの岩石は0.003規定の塩酸を、ほとんど中和していないことがわかった。

0.03規定では、玄武洞玄武岩、岩舟町玄武岩、安山岩は、20日でpH2からp

H4に上昇し、斑レイ岩ではpH2からpH3へ上昇した。これらの岩石は、0.003規定の塩酸を部分的に中和したと考えられる。流紋岩、閃緑岩、花崗岩は、21日たってもpH2のままで変化が見られない。これらの岩石は、0.03規定の塩酸をほとんど中和しないことがわかった。

0.003規定では、玄武洞玄武岩、岩舟町玄武岩、安山岩は、30日でpH2からpH7に上昇しており、0.003規定の塩酸を完全に中和することがわかった。流紋岩と斑レイ岩も、約1か月でpH7に上昇した。



以上のことから、今回実験した7種の岩石の中では、玄武洞玄武岩、岩舟町玄武岩は、塩酸を中和するはたらきが強く、次いで斑レイ岩と安山岩が強いと考えられる。流紋岩、閃緑岩、花崗岩は、塩酸を中和するはたらきは、0.003規定で少し認められたが、0.03規定と、0.3規定では認められなかった。

## 6. 考察

塩酸を中和するはたらきと、導電率の大きさは、かなり関連性があることがわかる。水浸後3か月までの導電率が大きい岩舟町玄武岩と斑レイ岩は、特に0.3規定の塩酸を中和するはたらきが大きいことがわかる。

海洋をつくっている地殻は主に玄武岩と一般的に言われている。そして、この研究で明らかになったように玄武岩は、他の岩石に比べて、塩酸を中和するはたらきが大きいことが、海の水が中性になった一つの原因になった可能性があると考えられる。今回は2種の玄武岩で行ったが、もっと多くの玄武岩を使って同じような実験を行っていく必要がある。

## 謝辞

この研究は、大田区立蒲田中学校プラネット科学部の協同研究として行ったものです。プラネット科学部顧問先生に、深く御礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 海の話研究グループ (1984) : 海のはなしⅡ、技法堂出版、p 71

## 参考文献

- 1) 北野康 (1992) : 化学の目でみる地球の環境—空・水・土—、裳華房、p 73～p 86

---

## 惑星大気の成分分析

孤杉 一磨、田中 登梧、村上 楓、吉田 響（高2）【奈良県立青翔高等学校】

---

### 要 旨

我々は、兵庫県立大学西はりま天文台や岡山県美星天文台の大口径の望遠鏡と分光器を利用し、太陽系内の惑星大気の成分を調べることにした。観測の結果、火星・木星・土星・天王星・海王星の5つの惑星のスペクトルが取得でき、それぞれに現れた吸収線から化学組成の同定を行った。その結果、火星とその他の惑星のスペクトルには明確な違いがあり、同じ木星型惑星であっても木星・土星と天王星・海王星とでは異なった吸収線のパターンが見られた。このことから、木星・土星と天王星・海王星とでは大気組成が少し異なっていることが確かめられた。

### 1. はじめに

我々は、2015年5月に岡山県美星天文台で天体の分光観測を体験する機会に恵まれた。その際、天体のスペクトル中の輝線や吸収線を調べることにより、遠くにあるはずの天体を構成している成分が分かることに感動した。そこで、我々は、身近な天体である太陽系内の惑星について分光観測を行い、その大気成分を分析することを考えた。幸いなことに、2015年夏は土星・天王星・海王星の3惑星が観測の好機であり、2015年の年末から2016年初めは木星が観測の好機であった。我々は、これら4惑星の分光観測を兵庫県立大学西はりま天文台や岡山県美星天文台の大口径の望遠鏡で行い、それに先輩が取得した火星のスペクトルデータを加え、5惑星の大気成分の比較を行うことにした。

### 2. 目的

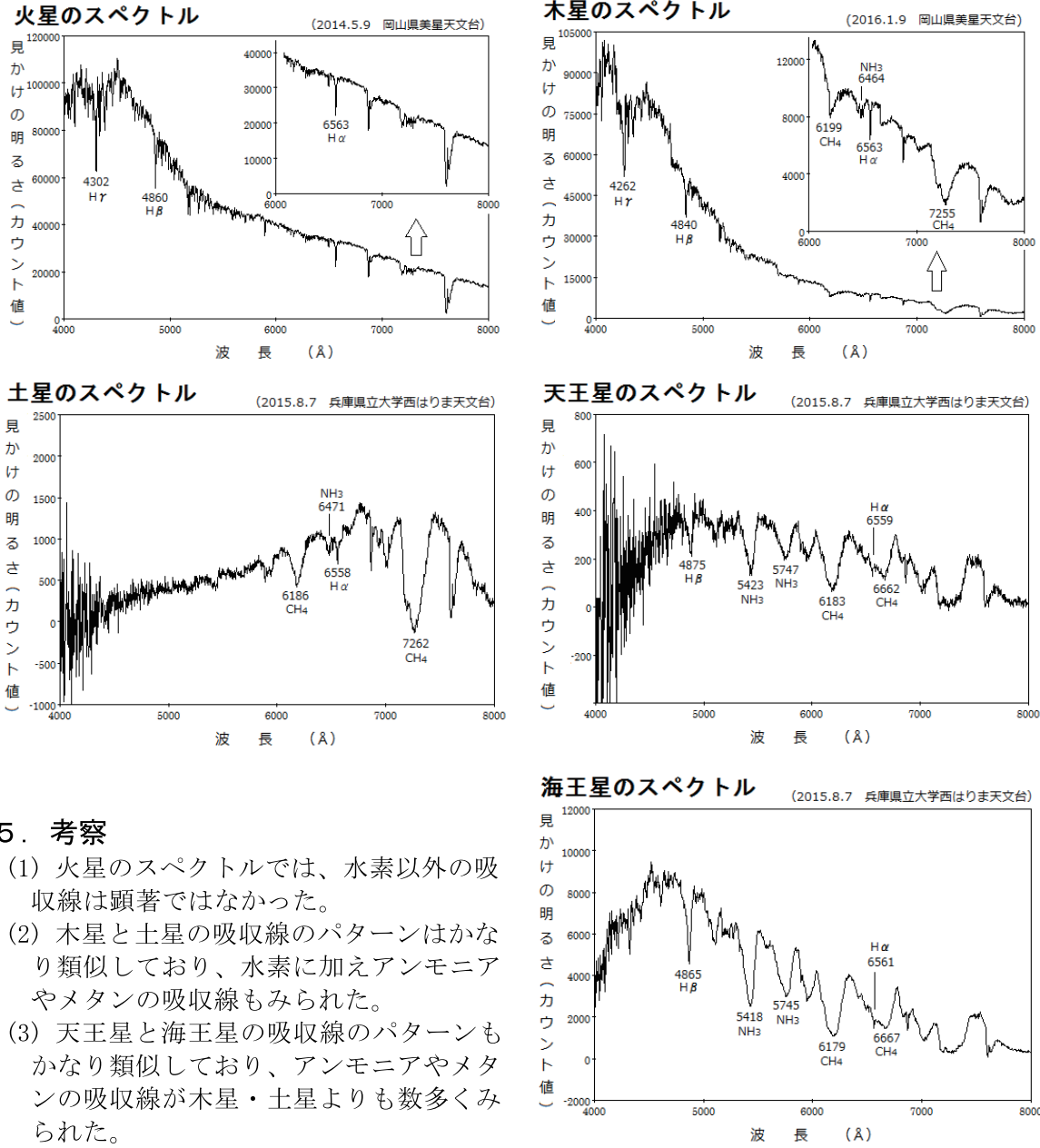
我々の研究の目的は、火星・木星・土星・天王星・海王星の5つの惑星について、低分散分光観測を行い、その結果として得られたスペクトル中の吸収線より、それぞれの惑星大気の化学組成の同定を行うことである。

### 3. 方法

分光観測は、2015年8月7日夜に兵庫県立大学西はりま天文台の口径2mのなゆた望遠鏡で土星・天王星・海王星について、2016年1月9日夜に岡山県美星天文台の口径101cm望遠鏡で木星について実施した。その観測及びデータ解析の手順は、以下の通りである。

- (1) 望遠鏡に低分散分光器と冷却CCDカメラを取り付け、目的の惑星のスペクトルであるライトフレーム、鉄やネオンの波長が分かっている輝線を写したコンパリアンフレーム、画像上の光のむらを写したフラットフレーム、画像上のノイズを写したダークフレームなどの画像を取得した。
- (2) 「マカリ」（国立天文台・(株)アストロアーツ）により、一次処理を行った。一次処理とは、ライトフレームからダークフレームを減算した画像をフラットフレームで除算する処理である。
- (3) 「Be Spec」（川端哲也氏 作）を用いて、一次処理したデータを横軸が波長、縦軸が見かけの明るさのグラフに変換した。波長の較正には、コンパリアンフレームを用いた。更に、グラフの吸収線の波長位置から、惑星大気中に存在する成分を特定した。

4. 結果 (スペクトルの強度較正は行っていない。)



5. 考察

- (1) 火星のスペクトルでは、水素以外の吸収線は顕著ではなかった。
- (2) 木星と土星の吸収線のパターンはかなり類似しており、水素に加えアンモニアやメタンの吸収線もみられた。
- (3) 天王星と海王星の吸収線のパターンもかなり類似しており、アンモニアやメタンの吸収線が木星・土星よりも数多くみられた。

6. まとめ

今回、惑星の大気組成を調べた結果、我々の予想通り、地球型惑星（火星）と木星型惑星（木星・土星・天王星・海王星）で違いが確認できた。また、同じ木星型惑星であっても、木星・土星と天王星・海王星では異なるパターンの吸収線が現れ、大気組成が少し違うことがわかった。今後は、天文台の観測時間の制約上難しいが、チャンスがあれば金星のスペクトルも取得したい。

**謝辞** 本研究を行うにあたり、大阪教育大学の福江教授、松本准教授にご指導を頂きました。また、兵庫県立大学西はりま天文台の本田研究員、美星天文台の綾仁台長、前野研究員には、観測及びその後のデータ処理についてご指導を頂きました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

## 光度関数を用いた銀河団（Abell2666）の距離の測定

柴崎遼 中島和弥（2年次）  
【埼玉県立豊岡高等学校天文部】

### 1. はじめに

以前に本校天文部が東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラを使って得た銀河団Abell2666のデータを用いて距離を161 [Mpc] と測定した（影山ほか2012）。このとき解析に用いた画像に同じ銀河が複数写っているというミスが分かった（図1）。我々は、分析を一次処理からやり直し、新たに距離の推定をした。

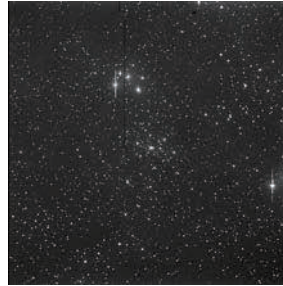


図1 先行研究のV画像

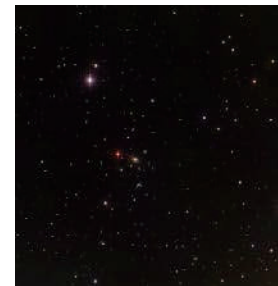


図2 処理後のRGB画像

赤丸が比較星

### 2. 観測方法

2011年8月1日から2日、東京大学木曾観測所の105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラを使って可視光帯Bバンドで露光時間300秒×3枚、Vバンドで300秒×3枚、Rバンドで180秒×3枚で撮像観測を行った。

### 3. 解析

#### 1) 画像処理

R, V, Bバンドの一次処理と合成を解析ソフト「マカリ」で行った（図2）。

#### 2) 銀河の測光

RGB画像から銀河と判断できる天体を約170個測光をした。測光にはV画像を用いた。解析には解析ソフト「マカリ」を用いた。

#### 3) 光度関数の作成と特徴的光度の読取り

銀河の測光値から見かけの等級を求め、等級ごとの銀河の数を調べて光度分布（光度関数）を作った（図3）。比較星にはV (mag) = 14.743のJ235101.19+271021.0を使った。

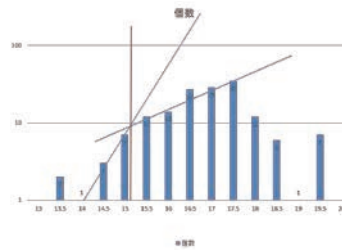


図3 Abell2666の光度関数

光度関数の分布の折れ曲がる光度を特徴的光度という（図4）。

Abell2666については15.1等級（図

3の赤い線）となった。一般に特徴的光度の銀河は天の川銀河と大きさ、明るさが近いとされている（例えば、富田 2010など）。

#### 4) 光度を用いた距離の測定

特徴的光度の銀河の絶対等級を天の川銀河と同等の-20.5等級と仮定して、下の式を用いて距離を計算した。見かけの等級 $m$  [等級] , 距離 $D$  [pc] とすると、式1が成り立つ。

$$-20.5 = m + 5 \log \frac{10}{D} \quad \text{式 1}$$

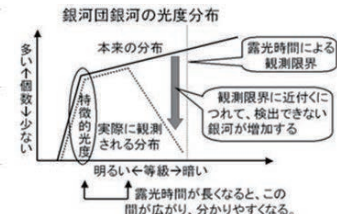


図4



#### 5) 見かけの大きさを用いた距離の測定

マカリのグラフ機能を用いて特徴的光度の等級の銀河の直径のpixel数を測り平均値を求めた。測った銀河は6個である。

これを見かけの角度に換算し、特徴的光度の銀河の実際の大きさを天の川銀河と同等の25 [Kpc] と仮定した。下の式を用いて距離を計算した。

距離 $d$  [Kpc] , 見かけの大きさ $y$  [秒角] とすると、式2が成り立つ (図5)。

$$25:2d\pi = y:360 \times 60 \times 60 \quad \text{式 2}$$

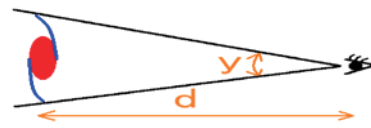


図 5

## 4. 結果

私達が観測したAbe112666までの距離は光度を用いると132 [Mpc] となった。見かけの大きさを用いると149 [Mpc] となった。見かけの大きさを使った場合に比べ、光度を用いた方法では17 [Mpc] 近い結果となった。

また、影山 (2012) で算出された距離、161 [Mpc] に対し、見かけの大きさを使った測定で12 [Mpc] , 光度を使った測定では29 [Mpc] 近い結果となった。

## 5. 考察

### 1) 方法の違いによる距離の差について

光度を用いた方法での距離に対し見かけの大きさを用いた方法での距離が遠くなったということは、見かけの大きさを用いた方法で銀河の直径を小さく測りすぎたということである。

個々の銀河の地球に対する向きにより、視線方向に見える星の数が違う。これによって銀河の外側の暗い部分の見かけの明るさが変わる。つまり、よりフェイスオンに近い銀河の腕の中の我々の視線方向に見える星が少なくなり、測定できる直径が小さくなると思われる。そのため、小さく見える銀河を測定に入れてしまい、光度を用いた方法での距離より地球から遠く測定された、と考えられる。

一方、光度を用いた方法での距離は光度から求めたものなので個々の銀河の傾きに左右されない。そのため、距離を用いた測定のほうが17 [Mpc] 遠く測定されたと考えられる。

### 2) 先行研究との距離の差について

先行研究では、式2で天の川銀河の実際の大きさを30 [Kpc] と仮定し、本研究よりも天の川銀河の実際の大きさを大きく見積もっていた。そのため、本研究よりも見かけの大きさを使った測定で12 [Mpc] 遠いと測定された事の原因と考えられる。

## 謝辞

本研究は、東京学芸大学自然科学系広域自然科学講座宇宙地球科学分野助教の西浦慎悟先生のご指導を受けて行いました。感謝します。

また、観測データの取得に関して、本校天文部の先輩である影山大樹・坂田貴則・古澤太郎・高木勇太・三上浩・石黒航希に感謝します。

また、(独) 科学技術振興機構による「中高生の科学部振興プログラム」の支援を受けて行いました。感謝します。

## 参考文献等

- ・影山ほか (2012) , 光度関数を用いた銀河団の距離, 日本天文学会第14回ジュニアセッション, セッション5, 講演29 (予稿集, P140-141)
- ・富田晃彦著 (2010) , 活きている銀河たち 銀河天文学入門, 恒星社厚生閣p. 104

## ピンホールとスリットによる太陽像の位置の観測から 均時差の原因の原因を探る

竹村 典晃, 渡村 友哉, 市岡 里菜, 大和 花雪, 坂本 優梨亜, 堀内 千佳, 高橋 恵美 (中3),  
谷元 琴音 (中2), 安慶名 琉, 中村 真慧, 荒川 愛莉, 小松 眞歩, 日下部 咲希 (中1)

【長野県塩尻市立丘中学校】

### 1. 概要

2013年から、ピンホールが水平盤上につくる太陽像の位置を記録することにより、太陽の一日の動きや季節による変化を継続して調べてきた。その中で南中時刻が変化していること（均時差）に気づき、その変化を正確に観測してきた。また、均時差の原因について仮説を立て、それを元にしたモデルと観測を比較する方法で、仮説が正しいかを調べてきた。これまでに (1) 地軸が傾いていること、(2) 太陽が地球の公転軌道の中心から外れたところにあること、が均時差の原因になっていると考えてきた。この仮説を、太陽の視直径を観測して確かめるとともに、(1)(2)の仮説を元にした計算と観測との間にはまだ差があることから、(3) 公転速度が変化している、と考えたモデルを作り、観測との比較を行った。



図1 太陽の動き観測装置

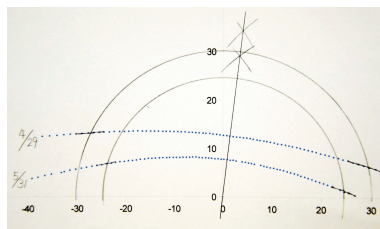


図2 子午線を求める方法

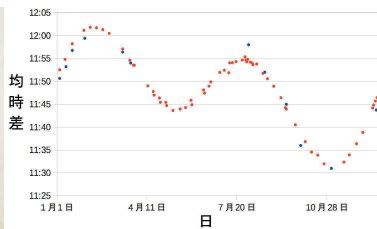


図3 太陽の南中時刻の変化

### 2. 南中時刻の変化の観測

図1の装置を自作し、観測に用いた。週に1回、ピンホールによって水平盤上にできる太陽像の中央を5分ごとに鉛筆で記録した。それから得られた一日の太陽像の軌跡を元に、図2のような方法でピンホールの真下を通る子午線を求め、子午線上を太陽像が通過する時刻をできるだけ正確に測定した。その結果を図3に示す。南中時刻は、年に2回の山と谷を持ち、全体が少し右に傾いた形をしている。不思議な形をしていたので、その原因を調べることにした。

### 3. 仮説1 : 地軸が傾いていることが原因である

最初に、公転面に対して、地軸が傾いている(23.44°)から、と考えた。地軸の傾きがあると地球の経線と公転面上での太陽の動きに図4(右)のような「差」ができ、それが均時差だと考えられる。このモデルから式1を立て、計算してグラフ化した(図5)。これだと、たしかに二つの山を持った変化になるが、観測値のように、右下がりにはなっていない。そこで、地軸の傾き以外にも原因があると考え、その原因の様子を見るために、観測値(図3)から計算値(図5)を引き算してみた。それをグラフに描くと、年に一つの山と谷を持つ、簡単な形の波形の曲線が得られた(図6)。

### 4. 仮説2 : 太陽が地球軌道(円)の中心から外れたところにある

太陽が地球軌道の中心から少しずれていれば、それが原因となって均時差が起これると考えられる。それを図10のモデルから数式を作った(式2)。この式の計算結果と引き算の結果を比べると、図6の曲線ようになった。離心率を0.031としたときに計算値と観測値はほぼ重なったが、全体的にまだ差があり、特に11月から12月にかけて差が大きくなっている。

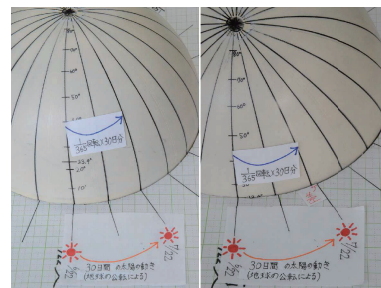


図4 地軸の傾きによる均時差(モデル)

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta \cdot \cos 23.44}\right) \quad \text{式1}$$

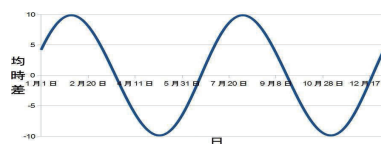


図5 地軸の傾きによる均時差(計算値)

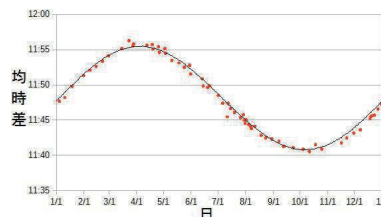


図6 図3から図5を引き算した結果

5. 仮説2の検証：太陽の見かけの大きさ（視半径）の観測

口径6.5cm, 焦点距離100cmの屈折望遠鏡（五藤光学）を用いて、投影板に太陽像を映し、モータードライブを止め、太陽像が直径分移動する時間をストップウォッチで測った。投影板の中央に直線を引き、黒点などを目印にして太陽像が直線と直角に動くようにした。1日の観測について、2~4人がそれぞれ20回以上を測定するようにして、正確に観測できるようにした。太陽の日周運動の角速度は、天の赤道からの離角(δ)により変化することから、小型の圭表儀を自作して、南中高度の観測からδを求めた。

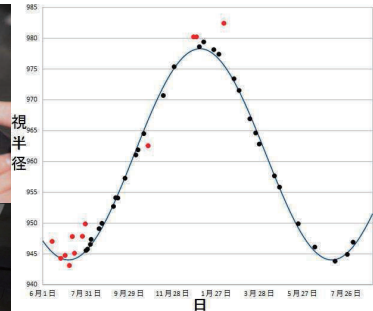
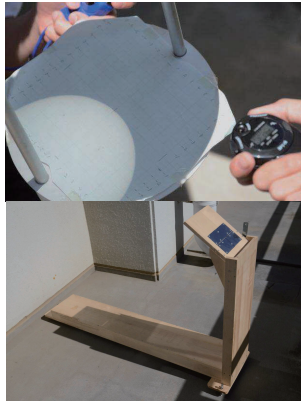


図7(左上) 太陽像の移動時間の観測  
 図8(左下) 自作した圭表儀  
 図9(上) 太陽の視半径の変化

観測結果を図9に示す。1年に一つの山を持った波形の変化をしていることから、地球と太陽の間の距離が変化していると考えられる。これから、仮説2（太陽が地球の軌道の中心から外れたところにある）で均時差を説明できると考えた。また、観測値に正弦曲線を当てはめると、太陽に地球が最も近づく(近日点)のは1月5日、遠地点は7月6日頃だと考えられる。

6. 仮説3：地球の公転速度は変化している。

(太陽-地球間の距離と公転速度は反比例している。)

図6を詳しく見ると、観測値は計算値に比べ、9月から10月頃は変化が遅く、11月から12月にかけて、急に変化が大きくなっているように見える。太陽の視半径から求めた近日点が1月なので、近日点付近では公転速度が速く、遠日点付近では遅くなっていると考えられる。これから「太陽-地球間の距離と公転速度は反比例している」と考えてみた。反比例の式は、距離(d)×速度(v)=一定(s)となるが、図11のように、このsは扇形の面積の2倍だと考えることができる。この関係を式に表すと、図12より、式3となる。

観測結果を、公転速度が一定と考えた場合(図13)と公転速度が距離に反比例すると考えた場合(図14)の両方と比べてみた。公転速度が変化し、離心率が0.0162とした場合に、均時差の測定結果とよく合うことがわかった。この場合には、計算結果と観測結果がよく一致している。

7. 結論

均時差の起こる原因は次の3つだと考えられる。

- (1) 地軸が公転面と直角な方向に対して傾いている。
- (2) 太陽が地球の軌道(円軌道)の中心から軌道半径の0.0162倍だけずれた位置にある。
- (3) 地球の公転速度は、地球と太陽の距離に反比例する。

このうち(3)は、ケプラーの第2法則(面積速度一定の法則)と同じであり、南中時刻の観測から、ケプラーの第2法則を導き出すことができることがわかった。

8. 今後の課題

私たちは最初、(1)地球の公転軌道は円軌道 (2)太陽は円軌道の中心にある (3)地球の公転速度は一定と考えていた。その中で(2)(3)ではないことがわかった。ということは実際の軌道は(1)のような円ではない可能性がある。これからは均時差より正確に観測する中で軌道の形についても調べていきたい。

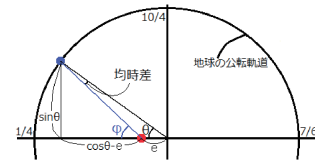


図10 離心円の場合に発生する均時差  

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta - e}\right)$$
 式2

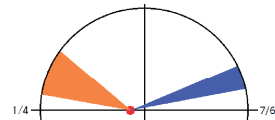


図11 距離と速度の関係

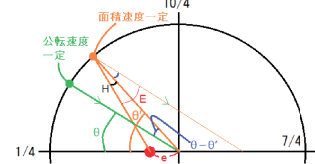


図12 面積速度一定とした場合の計算  

$$H = \tan^{-1}\left(\frac{\sin \theta'}{\cos \theta' - e}\right) - \theta'$$
 式3

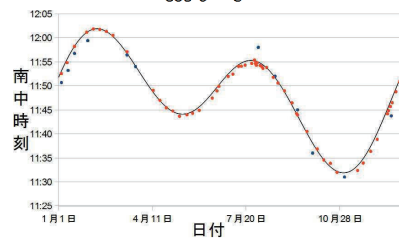


図13 公転速度一定の計算値との比較

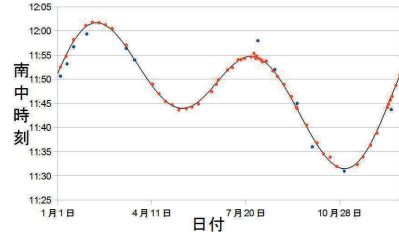


図14 公転速度が変化した場合の比較

## 表紙 「Ain(アイン)と Amateru(アマテル)」

国際天文学連合 (IAU) は、2014 年から、一般の人々から提案と投票で系外惑星の名前を決める系外惑星命名キャンペーンを行なった。2015 年 12 月 15 日に、19 系外惑星系 (14 の主星と 31 個の惑星) の名前が発表された。これらのうち、4 惑星系が日本の天文団体から提案された名前であった。

写真は、おうし座イプシロン星を含むヒヤデス星団である。

惑星 Amateru (アマテル) は、肉眼でも見える明るさ 3.5 等の赤色巨星 Ain (アイン) を周回する巨大ガス惑星。この惑星は、2007 年に岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡の高分散分光器 HIDES によるドップラー法で検出された。Amateru の質量 (の下限) は木星の 7.7 倍で、太陽質量の 2.7 倍の比較的重い中心星から距離約 1.9AU を周期 600 日ほどで公転している。中心星 Ain はヒヤデス星団に属しており、若い星団内の恒星に惑星が存在する初めての証拠となった。この惑星の名前 Amateru は、アマテラスを神社に祀るときに多く使われる。アマテラスは神道の太陽の女神で、イザナギ神の左目から生まれたとされている。呉市かまがり天体観測館の提案による。

撮影日時: 2016 年 1 月 4 日

撮影場所: 長野県長野市戸隠高原

撮影者: 大西浩次

### ジュニアセッション実行委員会・世話人

実行委員 大西 浩次 (実行委員長)、石川 直美、篠原 秀雄、鈴木 文二、内藤 博之、畠 浩二、山岡 均

世話人 飯塚 亮、石田 光宏、小野 智子、佐藤 太基、谷川 智康、永井 智哉、西村 昌能、船越 浩海、松本 直記、吉川 真

アドバイザー 縣 秀彦、高橋 典嗣、長谷川 直子、渡部 潤一

誌面構成 中田 彩子

印刷 株式会社 社明友社