

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 29 日現在

機関番号：55301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350216

研究課題名(和文) 未来のガリレオ育成のための天文教育 天体・宇宙観測教育と地域貢献

研究課題名(英文) Astronomy Education for the Training of Future Galileo - Celestial and Space Observation Education, and Community Contribution -

研究代表者

佐々井 祐二 (Sasai, Yuji)

津山工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：40235239

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：天文教育のため、小中学生を対象とする公開講座としての「天体観測会 君も未来のガリレオだ！」を12回開催した。望遠鏡操作係を担当する補助学生はこれらの公開講座により相互教育されている。学生はまた食連星や太陽系外惑星の観測に取り組んだ。2015年12月、我々は東天体観測室の天体望遠鏡システムを更新した。新システムには赤道儀と口径35cm ACF鏡筒が装備されている。この赤道儀のスターロックシステムは、イメージングセンサーで対象を捉え、露光中に正確なオートガイドを実行する。また、我々は食連星(おとめ座HW星)の測光解析も行った。

研究成果の概要(英文)：We have held twelve sessions of open lectures entitled "Astronomical Observation Meeting - You are a Future Galileo, too! - " for elementary and junior high school students. These open lectures educated assistant students who operated telescopes. The students also worked on observation of eclipsing binaries and extrasolar planets. In December 2015, we renewed the astronomical telescope system in the east astronomical observatory. This new system is equipped with an equatorial mount and a 35cm diameter ACF (Advanced Coma-Free) telescope. StarLock system of the equatorial mount makes target acquisition on an imaging sensor and accurate guiding during exposures completely automatic. We also made the photometric analysis of the eclipsing binary stars (HW Vir).

研究分野：天文教育、天文学

キーワード：天文 公開講座 測光解析

1. 研究開始当初の背景

津山高専天体観測室

研究代表者は、平成 20~22 年度の科学研究費と校費により、2009 年 3 月、口径 35cm シュミットカセグレン式望遠鏡（経緯台式）と口径 4cm H α 太陽望遠鏡を装備する東天体観測室を津山工業高等専門学校の校舎屋上に構築した。また、平成 23~25 年度の科学研究費と校費により、2012 年 3 月、口径 35cm ACF 鏡筒を大型赤道儀に同架させた西天体観測室（図 1）を校舎屋上に構築した。本校 3 年の自発的学習科目チャレンジゼミナール（以後、チャゼミと略す）の学生と共に、測光・分光観測など様々な天文教育研究活動を行っている。

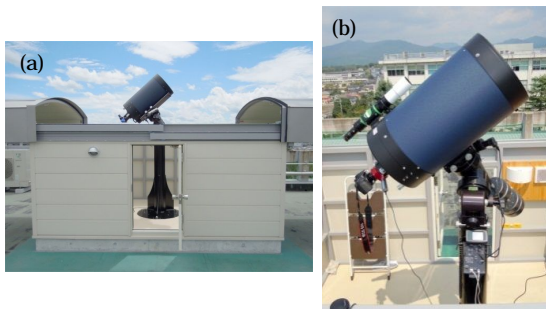


図 1 西天体観測室 ((a) 外観 (b) 口径 35cm 鏡筒と赤道儀、メインコントロールパネル、ハンドコントローラ)

地域貢献としての未来のガリレオ育成活動

イタリアの科学者ガリレオ・ガリレイが初めて望遠鏡を夜空に向け、宇宙への扉を開いた 1609 年から 400 年後の節目の年、世界天文年 2009 から小中学生対象の公開講座「天体観測会—君も未来のガリレオだ！—」を年 4、5 回行っており、受講生から 100%近い肯定的評価を得ている。さらに、近年は津山市公民館から依頼された「天体観測教室」も実施しており、小中学生と保護者を対象にした天体観測会は 30 回を超えた。簡単な天文学習も行うため、受講生には毎回学習資料を配付している。公開天文台とは比較にならないが、年間 5 回の校外向け観測会を行っている教育機関は少ない。本校は、津山地域の天文教育センターとして、地域の小中学生を一人でも多く「未来のガリレオ」とするため、より効率的な活動方法を探りたい。

高専生に対する未来のガリレオ育成活動

天体観測会において、3 年チャゼミ生が補助学生として望遠鏡操作係等を務める。例年、天体観測会は梅雨の前の 5 月に第 1 回を行う。そのため、4 月中旬から天文の基礎知識と天体望遠鏡の操作方法を急ぎ指導した上で第 1 回を迎える。また、食変光星や太陽系外惑星の測光観測により、日本天文学会ジュニアセッション発表も目指している。初めて天体望遠鏡操作を行うと、学生達は大変興味を持つが、月、惑星、明るい星団などの観望だけでは長続きがしない。天体観望と測光・分光観

測とはギャップがある。星雲や銀河は接眼レンズ越しには淡くしか見えないが、冷却 CCD カメラや一眼レフカメラで撮影し整約すると、綺麗に浮かび上がる。そこで、天文コースへの進学、あるいは本校卒業後も天体観測を続け、各地域で天文の草の根活動を行う「未来のガリレオ」達を育成するために、天文写真撮影も重視したい。

2. 研究の目的

彗星や日食、月食などの天文現象は人々に宇宙への興味を喚起する。研究代表者は世界天文年 2009 を契機として、小学生から高専生までの年齢層を中心とする「未来のガリレオ」の育成活動を行っている。本研究では、平成 21 年度と平成 24 年度に構築した 2 つの天体観測室を利用し、天体観測やデータ解析を通じた高専生に対する天体・宇宙観測教育と、天体観測会を通じた地域小中学生に対する教育や保護者に対する啓蒙活動を積極的に行う。また、測光データを取得しやすいように 1 つの天体観測室の改良を図る。宇宙・天文に対する興味を引き出すことで未来のガリレオ達を育成したい。

3. 研究の方法

小学生から高専生までの年齢層を対象とする天文教育を行うことにより「未来のガリレオ」を育成し、科学技術立国日本を元気にしたい。そのため小中学生には天体観測会を継続的に行い、天文への興味付けと観測体験を育む。高専の 3 年チャレンジゼミナール生には、天体観測会補助学生の他に天文基礎知識の教育を行い、測光・分光観測など科学的観測も行う。また、最近の観測機器に対応できるよう東天体観測室の改良と探求型授業での活用を進める。特に、赤道儀式への変更による追尾精度の向上に加え、USB 制御冷却 CCD への変更により広写野確保を行い、精度の高い科学データ取得を可能とする。

複数の恒星から成る連星系では、地球からの視線方向から見て成分星が重なることにより光度変化が起こる。冷却 CCD カメラなどを用いて取得する測光データの光度曲線解析により連星系の各種物理量が分かる。学生教育として取り組む他に科学的発見も目指したい。

4. 研究成果

4.1 天体観測会—君も未来のガリレオだ！—

世界天文年 2009 年より、地域の小中学生とその保護者を対象とする公開講座としての天体観測会を開催している。天体観測会の目的としては、本校の口径 35cm 望遠鏡、口径 25cm 望遠鏡、口径 4cm 太陽望遠鏡などを用い、様々な天体の様子を観察する、また、簡単な望遠鏡を自作するなど、興味をもって楽しみながら天文の世界にふれることとした。

表1 2014年度スケジュール

回	開催日時	内容	備考
1	5/16(金) 19:30～21:00	口径 35 cm 望遠鏡で火星、土星、木星を見よう	月齢 16.9 参加者 60 名 (受講生 28 名含)
2	8/4(月) 18:30～21:00	手作り望遠鏡で月を見よう	月齢 8.5 参加者 52 名 (受講生 25 名含)
3	7/21(月) 10:00～12:30	津山子供まつり「太陽観察」	津山市生涯教育課「美星天文台の出前観望会」に協力。参加者 70 名
4	9/2(火) 19:15～20:45	口径 35cm 望遠鏡で火星と土星を見よう	月齢 7.5 参加者 43 名 (受講生 18 名含)
5	10/8(水) 18:15～20:45	皆既月食を見られるかな？	月齢 14.2 参加者 36 名 (受講生 18 名含)

表2 2015年度スケジュール

回	開催日時	内容	備考
1	5/21(木) 19:30～21:00	口径 35cm 望遠鏡で金星と木星、土星を見よう	月齢 2.9 参加者 51 名 (受講生 25 名含)
2	7/24(金) 18:30～21:00	夏休みスペシャル 手作り望遠鏡で月を見よう	月齢 8.1 参加者 42 名 (受講生 20 名含)
3	8/3(月) 20:00～21:30	津山市中央公民館「天体観測教室」	月齢 18.1 参加者 46 名
4	9/18(金) 19:00～20:30	口径 35cm 望遠鏡で土星を見よう	月齢 4.8 参加者 34 名 (受講生 18 名含)
5	10/19(月) 18:30～21:00	夏秋の星座を見よう	月齢 8.1 参加者 45 名 (受講生 20 名含) 月球儀も作成

表3 2016年度スケジュール

回	開催日時	内容	備考
1	5/23(月) 19:45～21:15	口径 35cm 望遠鏡で木星、火星、土星を見よう	月齢 16.3 参加者 49 名 (受講生 22 名含)
2	8/8(月) 18:30～21:00	夏休みスペシャル 手作り望遠鏡で月を見よう	月齢 14.8 参加者 44 名 (受講生 23 名含)
3	10/18(火) 18:20～20:00	口径 35cm 望遠鏡で土星、火星を見よう	月齢 17.1 参加者 38 名 (受講生 18 名含)
4	11/7(月) 18:30～21:00	夏秋の星座を見よう	月齢 7.4 月球儀も作成

年間の興味深い天文現象を調べ、以下の点に留意して 2014 年度～2016 年度はそれぞれ表 1～表 3 のように開催日程を決めた。

- (1) 対象は小学校 3 年生～中学校 3 年生
- (2) 基本的に無料講座とした。費用は組み立て望遠鏡キットの実費のみ
- (3) 観測可能な天体中に惑星と月があるか

- (4) 小中学校の夏休みの行事予定を考慮
- (5) 当日が雨天・曇天の可能性があるので、予備日を設ける

小学生の場合、保護者同伴を要請している。小学生の受講生に対し、保護者に加え兄弟も参加することが多く、実際は受講生定員の 2 倍程度が参加している。受講生定員を 20 名としているが、なるべく沢山の天体を観測してもらうために、少し多く 25 名程度抽選している。本校学術・社会連携推進事務室は近郊小学校に講座案内を配布するだけでなく、新聞のイベント案内にも掲載している。

実施体制は、教員 1 名、補助学生（望遠鏡操作担当、双眼鏡担当）として 3 年自発的学習科目チャレンジゼミナール生を約 10 名、受付や案内、記録写真担当として学術・社会連携推進事務室職員 2 名とした。教員は公開講座企画・準備と当日の星座解説・運営を行った。観測会は校舎管理棟屋上で行われるので、屋上手すりに耐久性のあるネットを張り巡らしている。

単なる観測会でなく簡単な天文学習も行うため、受講者には毎回学習資料を配付している。当日のスケジュールとしては、観測会のみの場合は 1 時間半の公開講座とし、最初に大講義室にて、今夜の見所説明、諸注意、ミニプラネタリウム上映の後、参加者は屋上に上がり各種望遠鏡で約 1 時間程度観測し、最後にアンケートを採り終了となる。ただし、仕事を伴う場合は 1 時間追加して、2 時間半の公開講座としている。

アンケート質問項目 8 個の内、肝心の満足度「この公開講座を受けて良かったと思いましたが」は毎年 100%近い肯定的評価が得られており、天体観測会開催の意義が感じられる。天体観測会の様子を図 2 と図 3 に示す。



図 2 天体観測会の様子 (2015 年 5 月 21 日)



図 3 天体観測会の様子 ペーパークラフト月球儀工作 (2015 年 10 月 19 日)

4.2 校内天体観測会

3年チャレンジゼミ生9名が、今までの公開講座「天体観測会 - 君も未来のガリレオだ! -」補助学生の経験を活かし、学生が全て企画した校内天体観測会を開催した。学生が校内行事や月齢を考え日程を決め、ピラ張り勧誘や寮内放送による広報も行った。

最初に校舎管理棟併合教室にて、事前申し込みのあった学生10名を対象とした天文クイズや諸注意を行った。その後、校舎屋上上がり、天体観測会を行った。出入り自由だったので、寮生を中心に時間とともに段々と人数が増え、30名を超える学生が参加した。

口径35cm天体望遠鏡などを操作し、西空に三日月のように欠けている金星、赤く輝く火星、シリウス、ベテルギウスなどの恒星、ペルセウス座ダブルクラスター、オリオン大星雲などを観察していった(図4)。

天文啓蒙活動と担当学生の教育のためにも校内向け観測会が有効であり、継続していきたい。



図4 校内天体観測会の様子(2017年2月13日)

4.3 教育的天文研究

(1) 第18回日本天文学会ジュニアセッション発表(2016年3月14日、首都大学東京)

3年チャレンジゼミ生1名が、2015年8月に西はりま天文台の口径60cm望遠鏡で小惑星ペネローペを観測し、そのデータを測光、光度曲線から小惑星の自転周期と形状を解析し、ジュニアセッションでは題目「小惑星ペネローペ(201 Penelope)の測光観測」についてポスター発表と口頭発表を行った。

4時間近くのポスターセッションでも、活発な意見交換ができた。

(2) 第19回日本天文学会ジュニアセッション発表(2017年3月18日、九州大学伊都キャンパス)

3年チャレンジゼミ生2名が、2016年9月の西はりま天文台実習の経験をもとに、美星天文台から頂いた2016年9月2日の太陽系外惑星 Kepler-17b の撮影写真334枚を測光解析した。Kepler-17b は、はくちょう座の方向にある恒星 Kepler-17 の周りを公転している惑星で、トランジット法による恒星 Kepler-17 の光度変化を 0.01 等級の精度で検出する必要がある。

学生2名は工夫して測光した光度曲線を解

析し、通常時とトランジット時の光度比から、減光率、等級差、恒星 Kepler-17 と惑星 Kepler-17b の半径比、さらに惑星 Kepler-17b の半径を推定した。

題目「太陽系外惑星 Kepler-17b の測光解析」についての3時間のポスター講演では、日本天文学会参加者のポスターとジュニアセッション参加者のポスターが交互に並べてあり、2名は高校生だけでなく多くの研究者にもポスターを説明することができた。多くの方々と議論でき、「良くできている」という感想も頂けた(図5)。

研究代表者はデータ解析と発表に向けた指導を行った。今後は本校の機材でも継続的な観測を目指したい。

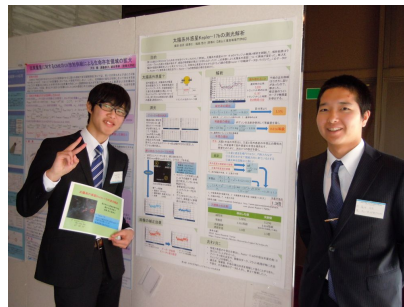


図5 日本天文学会ジュニアセッション発表(2017年3月18日)

4.4 東天体観測室

東天体観測室の整備作業としては、予定されていた口径35cmシュミットカセグレン式望遠鏡 Meade LX200 GPS-35 の換装がある。経年変化のため光軸調整をしてもやや星像が曖昧だと感じていた。後継の新型 ACF 光学系の鏡筒に換装し、シャープな星像の観測ができるようにしたい。また、望遠鏡は追尾精度向上のため赤道儀方式とする。

今回、研究代表者のプロジェクトの関係では初めての入札となり、酷く時間が掛かったが、仕様書作成から一連の入札手続きを経て、落札業者により2015年12月24日に本校校舎屋上へ新天体望遠鏡が設置された。

(1) Meade LX850-35F8ACF

世界最大天体望遠鏡メーカー米国ミード(Meade)社のLX850-35F8ACFを導入した。最大の特徴はスターロックシステムである。LX850の旧モデルLX200同様に主鏡筒に対象を導入した後、スターロックはワイドD25mm F1.04(14.72×11.78°)とナローD80mm F5(57.2×45.8')の2台のカメラで天体望遠鏡の視野中央に対象を導入する。導入完了後から“フルオートマチック”でその視野内でガイド星をピックアップし、ガイディングを実行する。

また、LX850の性能諸元は以下の通りである。

ドイツ式赤道儀	
機材搭載限界重量	約40Kg
コントローラ	AutoStar

ACF 光学系		
有効径	356mm	
焦点距離	2,845mm	F8
限界等級	14.5 等級	

図 6 のように、ピラー脚の上に赤道儀を置き、口径 35cm ACF 鏡筒の上部にスターロックの 2 台のカメラが同架されており、これが基本形である。本校のシステムには、換装された LX200 GPS-35 から、口径 8cm サブ望遠鏡（白の鏡筒）と口径 4cm 太陽望遠鏡を主鏡筒の左右に同架させている。



図 6 東天体観測室 Meade LX850-35F8ACF(主鏡筒の上にスターロック、白の 8cm サブ望遠鏡、反対側に 4cm 太陽望遠鏡を同架)

(2) 注意点とその反映結果

米国の一部製品では極軸望遠鏡が不要になっている。LX850 についても、センサーによる極軸調整アシスト機能があり、極軸を 5° 角以内に調整できるはずであるが、西天体観測室の米国ロスマンディ赤道儀同様に、周辺の磁気的環境のためか余り感心しない。結局、改良ドリフト法により極軸調整を行った。

LX800 のようなハイテク望遠鏡は却って、その望遠鏡システムの構造を正しく理解しておかないと正確な動作が期待できない。LX800 赤道儀は国内への導入事例も余りなく、英文マニュアルを理解して少々時間が掛かるが慣れていくしかない。幾つか注意点を挙げておく。

- ・ 赤経、赤緯周りのバランスは、通常ロックを緩めると簡単に分かるが、LX800 は軸周りが非常に固くバランスが分かりにくい。
- ・ 加えて主鏡筒の左右のバランスも調整しておかないと、対象導入のため主鏡筒が回転する際に振動を引き起こす。
- ・ スターロックと主鏡筒との光軸合わせが分かり難いが、対象を主鏡筒視野の真ん中に導入したら、ENTER キーを長押しして、スターロックと主鏡筒の光軸にシンクロを掛けると良い。また、ピリオディックエラー補正 (PEC) とスターロックシステムの自動レート補正 (ARC) も実行しておく必要がある。

調節後、主鏡筒に接続した例えば一眼レフカメラの写野中央付近に対象を導入することができるようになった。平成 29 年度からの新科研費計画においても観測に活用しつつ、最適な利用方法を探りたい。

なお、換装された LX200 GPS-35 については、台車に乗せ、天体観測会の折に屋上倉庫から引き出し活用する。

4.5 食連星の解析 (Phoebe を使った光度曲線解析) (学会発表)

Phoebe は、Andrej Prsa (米国 Villanova 大) が中心になって開発しているオープンソースソフト (GNU ライセンス) である。WD (Wilson Devinny) コードを実装しており、光度曲線解析に測光データ、視線速度解析に分光データを使用する。フィッティング手法として、Differential Corrections (差分補正) と最適化問題アルゴリズム Nelder & Mead ' Simplex (ネルダー - ミード法) を使用する。また、Star Shape で食連星の模式図を表示することができる。

近接連星系 HW Vir (おとめ座 HW 星) ($V=10.48 \sim 11.38$ 、アルゴル型) は、スペクトル型が sdB 型で非常に高温かつサイズの小さな B 型準矮星を主星とし、M 型赤色矮星を伴星とする公転周期 0.1167 日の連星系である。Wood & Saffer (1999) は分光解析により、主星の有効表面温度を $T_1=28,488$ K と求めた。Lee et al. (2009) はこの分光データと共に Lee 達が観測した測光データを用い、年毎に僅かに減少する公転周期の解析から、連星系全体を周回する複数 (2 個) の周回惑星を初めて確認した。しかし、Beuermann et al. (2012) は HW Vir の最大食時間の解析から、内側を廻る惑星は射影質量 $14M_{Jup}$ の巨大惑星であり、外側を廻るのは惑星でなく、射影質量 $30 \sim 120M_{Jup}$ の褐色矮星または低質量星だと推定した。

赤澤は 2015 年 2 月 13 日 ~ 3 月 1 日にかけて、口径 28cm 望遠鏡を用いた測光観測を行い、Johnson B、V、 R_C 、 I_C フィルタの光度曲線を得た。研究代表者の解析では Lee 達の論文に記載されている先行研究を参考にし、以下の初期値を使用した。

エポックタイム	HIJD0 = 2,445,730.55743 HJD
変光周期	PERIOD = 0.1167195 day
半長径	SMA = 0.8594 R_{Sun}
質量比	RM = 0.2931
主星表面温度	TAVH = 28,488 K

Wood & Saffer (1999) の分光解析から B 型準矮星の有効表面温度を仮定している。もちろん変光周期は光度曲線から推定できる。半長径を 1.0 と規格化することもできるが、解析した物理量の数値に意味を持たせたい。そこでサイズ情報として、分光解析による半長径の値を入れた。副極小が浅いので、伴星光度 (サイズ、温度) は小さい。なお、今回は質量比も与えてフィッティングを行った。その結果を図 7 に示す。

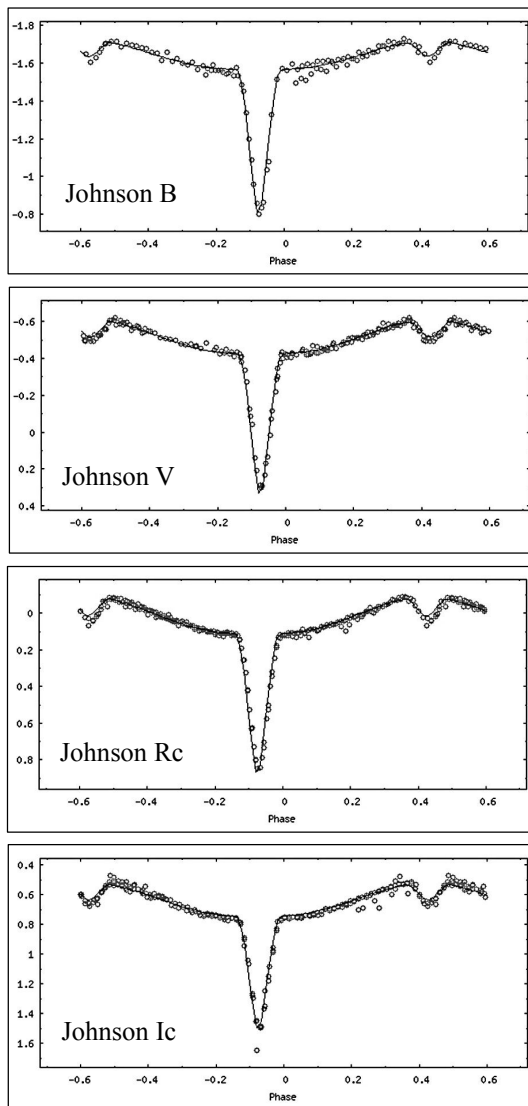


図7 フィッティング結果(測光データを示すマークによる光度曲線、実線はフィッティング曲線)

HW Vir の解析結果を表4にまとめる。本報告と Lee et al. (2009) は Wood & Saffer (1999) の分光解析による主星表面温度 T_1 を用いてシミュレーションしている。グローバルパラメータのみの解析で、HW Vir の光度曲線をフィッティングでき、M型赤色矮星の有効表面温度、両成分星の半径、質量、軌道傾斜角についてだけであるが、先行研究とほぼ同様の結果を得た。

表4 HW Vir の解析結果(1:主星、2:伴星、 T :表面温度、 R :成分星半径、 i :軌道傾斜角)

	T_1	T_2	R_1
本報告 (2016)	28,488K	3,186K	0.174 R_{sun}
Wood&Saffer (1999)	28,488K		0.176 R_{sun}
Lee et al. (2009)	28,488K	3,084K	0.183 R_{sun}
R_2	M_1	M_2	i
0.189 R_{sun}	0.484 M_{sun}	0.142 M_{sun}	79.8°
0.180 R_{sun}	0.480 M_{sun}	0.140 M_{sun}	
0.175 R_{sun}			80.98°

近年、我が国では光度曲線解析を専門とする天文学研究者が非常に減少していると聞く。高専などで小口径望遠鏡を活用する食連星の測光及び分光観測、さらに光度曲線解析による連星系の物理量の推定を行うことにより、科学的発見を目指すことは意味がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

佐々井祐二、岸部仁美、大嶋真以、短周期食連星の測光観測、津山工業高等専門学校紀要、第56号、査読なし、2015、pp.71-76

佐々井祐二、食連星の物理量についての考察、津山工業高等専門学校紀要、第57号、査読なし、2016、pp.145-149

〔学会発表〕(計7件)

佐々井祐二、未来のガリレオ育成 - 津山高専の天文教育活動 -、平成26年度全国高専教育フォーラム教育研究活動発表会、2014年8月28日、東北大学

佐々井祐二、高校地学で分かる食連星の物理量の考察、日本天文学会2015秋季年会、2015年9月9日、甲南大学

佐々井祐二、津山高専の天文教育活動とMeade LX850、2015年度天文教育普及研究会中四国支部研究集会、2016年6月11日、下関市立大学

佐々井祐二、津山高専「先進科学系」発進 - 生命から宇宙まで幅広い科学教育を目指して -、平成28年度全国高専フォーラム、2016年8月26日、岡山大学

佐々井祐二、高校地学で分かる食連星の物理量、第77回応用物理学会秋季学術講演会、2016年9月14日、新潟市朱鷺メッセ (Poster Award 最終選考対象ポスター)

赤澤秀彦、片山敏彦、佐々井祐二、大島修、退職後から始めた食連星合宿ゼミ (Phoebeを使った光度曲線解析を目指して)、連星系・変光星・低温度星研究会2016、2016年10月29日、慶応義塾大学日吉、(登壇者は赤澤、佐々井)

佐々井祐二、赤澤秀彦、大島修、片山敏彦、食連星 HW Vir の光度曲線解析、日本天文学会2017年春季年会、2017年3月17日、九州大学伊都キャンパス

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐々井 祐二 (SASAI, Yuji)

独立行政法人国立高等専門学校機構

津山工業高等専門学校・総合理工学科・

教授

研究者番号：40235239