

# 理科教育における，STEAM教育教材としての電視観望技術の実践的活用 —Plate Solving技術とCMOSカメラを活用した天体観望の運用—

千代西尾 祐司\*・古都 浩朗\*\*・竹内 幹蔵\*\*\*

Yuji CHIYONISHIO, Hiroaki FURUICHI, Mikimasa TAKEUCHI

Practical Use of Electronically Assisted Astronomy (EAA) as STEAM Educational Materials in Science Education  
—Operation of Astronomical Observation Using Plate Solving Technology and CMOS Camera—

## ABSTRACT

近年，求められる学びの変化の一つにSTEAM教育の推進が取り上げられている。前回研究実践を行ったCMOSカメラを用いた天体の電視観望<sup>1</sup>では，社会教育施設等における天体観望にまつわるいくつかの課題の解決を示したが，それも天体観望時の問題点をテクノロジーを活用することで解決するSTEAM教育の一環であったと解釈できる。今回の研究実践は，前回の観望時の問題に加え，「どこにどんな天体があるか知らない」初心者でも，テクノロジーの力を借りて天体観望が可能になる方策を用い，CMOSカメラによる電子観望と併せて教材化を模索した研究実践報告である。

プレートソルビング (Plate Solving) という技術は，実際に天体が映り込んでいる写真を撮り，それをあらかじめ分かっている星図と比較することで，どの部分を撮影したかを特定するという技術である。この技術を観望機材に活かし，容易に目的の天体を探しだせるようにした機材が発売されており，比較的安価であるため学校等でも購入可能であろうと考える。それを学校に既にありそうなデジタル一眼レフカメラやカメラレンズ，小さな望遠鏡を用いて動作させ，その設定や動作状況，及び見え方等を報告するとともに，中学生や小学生対象の観望会を実施しその様子を記す。

島根大学教育学部附属義務教育学校（後期課程）で中学生対象の観望会を計画した。観望会自体は曇天のため観望はできなかったが，その中で，天体観望よりテクノロジーの方に興味強い生徒がいることが分かった。また，大田市立北三瓶小学校が宿泊研修の際に実施した観望会で，児童に機材を操作してもらい，どのような感想を得られたかも報告する。天体観望という理科教育の天文分野をSTEAM教育と重ねようとした研究実践ではあるが，容易に観望が可能になることが分かった。このような手法を用い，今後，同様の取り組みが各地で広がっていくことを期待したい。

【キーワード：STEAM教育，Plate Solving，CMOSカメラ，天体電視観望（EAA），天体自動導入，教材化】

## I はじめに

### 1. 現在の状況

文部科学省は2018年6月に「Society 5.0に向けた人材育成～社会が変わる，学びが変わる～」<sup>2</sup>の中でSTEAM教育に触れ，2019年4月に，新しい時代の初等中等教育の在り方について（諮問）で，高等学校教育の在り方におけるSTEAM教育の推進について検討を行うこととした。

同5月に教育再生実行会議は，提言「技術の進展に応じた教育の革新，新時代に対応した高等学校改革について（第十一次提言）」<sup>3</sup>において「初等中等教育段階においてはSTEAM教育の充実を図る」と示し，内閣府統合イノベーション戦略2019（6月21日）の閣議決定は<sup>4</sup>「各教科での学習を実社会での課題解決に生かしていくための教科横断的な教育であるSTEAM教育を推進し，具体的な社会課題と紐付けながら学習する環境を確保する」と示した。

経済産業省は2019年6月25日に，EdTech研究会第2次提言「未来の教室ビジョン」<sup>5</sup>をとりまとめ，「学びのSTEAM化」として，「知る」と「創る」が循環する，

文理融合の学びの充実を訴えるなど，各省庁から出される提言等の中で，矢継ぎ早にSTEAM教育の推進・充実が求められている。

STEAM教育は，科学 (Science)，技術 (Technology)，工学 (Engineering)，芸術・教養 (Art)，数学 (Mathematics) の5つの頭文字をとって作られた言葉である。

前身であるSTEM教育が広く知られるようになったのは，2013年にオバマ前大統領が重要な国家戦略としてSTEM教育を取り上げたのがきっかけであるといわれており，Artが加わったSTEAM教育や，Environmental (環境) が加わったeSTEM教育など多様なバリエーションが多様な国で実践されている。AIやIoTが発展していく時代に応じて，日本でもSTEAM教育を強く進めるべきと考えられ，前述の文部科学省や経済産業省の提言等の中に盛り込まれてきたものと考えられる。

一方，宇宙にまつわる状況は，2019年11月13日，小惑星探査機「はやぶさ2」が小惑星リュウグウを出発し，地球へ帰還した。はやぶさ2は2019年2月にリュウグウへの第1回タッチダウンを成功させたのち，衝突装置で

\* 島根大学大学院教育学研究科

\*\* 株式会社アクアキューブ 松江星の会 よなご星の会

\*\*\* 島根県立三瓶自然館サヒメル 学芸課 天文事業室長

2020年10月29日受付

2021年2月9日受理

リュウグウ表面に小さなクレーターを作り、第2回のタッチダウンでは地下物質の採取を成功させ、それらのサンプルを持ち帰っている。2020年12月6日には再突入カプセルが地球に帰還し、カプセル分離を済ませたはやぶさ2本体は、地球圏を離脱する軌道変更を行い、エスケープ軌道に乗り拡張ミッションとして別の小惑星に向かった<sup>6</sup>。

最先端技術を用いたミッションが着々と進行していることは天文好きの興味を高め、天文好きの子ども達は、はやぶさ2の帰還に湧いた。

また、地上の風景と天体を共に写し込んだ星景写真やタイムラプス撮影の動画をSNSや動画配信サイト等に配信する人もますます増え、宙（そら）ガール7という言葉も提唱され“おしゃれ”“気軽さ”がクローズアップされるなど、男女問わず天文に興味を持つ者の裾野を広げるための興味喚起となる情報発信が行われるようになっていく。

星取県を名乗る鳥取県では、星取県コラボ商品の紹介など手広く手掛けており、紹介された商品の中には星柄のマスクなど時世を反映したものまで出てきている<sup>8</sup>。

そのような時代を反映し、雑誌やインターネットでは、美しい天体写真が多く掲載されている。しかし、実際の望遠鏡による眼視観望では、淡い像や色を視認することは難しいため、眼視観望と天体写真とのギャップを埋めるためにCMOSカメラを用いたリアルタイムで色を伴った天体観望を実践し、教材としての活用について2018年に本紀要に記している<sup>1</sup>。

STEAM教育というものは、どのような学習にあたるのかという考え方において、本研究実践では、科学的な知識（星図等）とプログラミングによるプレートソルビング（以下PlateSolvingと表記）技術、それを動作させるエンジニアリングの分野等が混然一体となって動作し、天体の専門知識を持たない者でも容易に天体観望が可能になっていることを、総合的に組み合わせられたプロダクトと捉え、その仕組みや、動作や、組み合わせを理解しつつ、天体観望という理科学習の文脈で用いることで、STEAM教育の一環と捉えられるであろうという解釈で実践を行った。

## 2. 問題の所在と研究実践の推移

日本科学教育学会論文集に掲載されている、宇宙教育の現状と課題Ⅰの中学校教員のアンケート調査<sup>9</sup>では、生徒の関心は高いものの「授業内容については画像資料、図書館・インターネット上の文献、メディア教材については多く取り入れられている一方、野外活動や学外施設、講師の招聘などはあまり行われていない」ことが示され、理由として、観測が難しい、実体験しにくい、教師の知識量が足りないなどの意見が得られ、教員が希望するサービスについては、実用的な教材・資料、画像・映像を集めたもの、専門家の出前授業、教員対象の研修会などが挙げられた。

ここに記されている、

- ・講師の招聘
- ・観測が難しい
- ・教師の知識量が足りない
- ・専門家の出前授業
- ・教員対象の研修会

等の項目が意味することは、教員に、どこにどんな天

体があるかとか、どうすれば天体を導入し観望できるのかという知識がなく、専門家を招聘しなければ天体観望の機会を生徒に提供できないということであり、その解決のための教員対象の研修会が必要であると読み取れる。学校教育における天体観望の体験は、夜間であることが阻害要因としてあまりなされていない現実があり、教員の知識不足やスキル不足で、観望機会がさらに阻害されているという現実があるならば、テクノロジーを活用し、教員に知識がなくても天体観望を可能にする教材があればいいという観点で、今回の実践では、道具さえあれば、どこにどんな天体があるか知らない者でも、見たいと望む天体を望遠鏡の視野に入れることができ、前回のCMOSカメラによる観望と組み合わせることで、初心者でもできる天体観望を実現することをめざすこととした。

前回の研究実践では、天体観望にまつわる諸課題の解決として、学校教育や社会教育施設での天体観望について、「天体を見取ることの困難さ」と「1つの望遠鏡を1度に1人しか見ることができないため、大勢の観望では待ち時間が長くなる」という問題を解決するためにCMOSカメラを用いて、見えている天体を色付きでモニター上で確認できる仕組みを実践に活用した。

今回の実践では、天体導入にまつわる「機材操作・導入・設定の困難さ」という問題を解決するために実践を試みるとともに、コロナ禍後の観望条件ということも考えて、接眼レンズに目を当てて、複数の者が交代で観望するという条件を、電視観望によって回避している。

## II 教材化プロジェクトの見通しと方向性

### 1. 課題解決の段階

前回の実践では、対象とする機関を「天体観測機器を有する社会教育施設」、「天体観測機材を持たない社会教育施設や興味の高い教員がいる学校」、「一般的な学校」と段階分けして、各段階の課題解決における困難さを分類して示し（表1）、Phase1の段階はCMOSカメラを用いて観望することで解決済みである。

表1. 目標とする課題解決の段階と困難さの要因

Phase1 天文機材を有する社会教育施設での課題			
環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機材は整っている</li> <li>・観望スキルは高い</li> </ul>	要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・正しくアイピースを覗いて見ることができない、天体を見取ることの難しさ</li> <li>・眼視では色が見えないことのイメージの落差</li> <li>・大勢だと一人あたりの観望時間が短くなる問題</li> </ul>
Phase2 天文機材を持たない社会教育施設等の課題			
環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機材未整備</li> <li>・観望スキルは低い</li> </ul>	要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天体を導入する際のアライメントの困難さ</li> <li>・各天体の見え方等の知識の欠如</li> </ul>
Phase3 一般的な学校での課題			
環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機材未整備</li> <li>・観望スキルはとて低</li> </ul>	要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・夜間に子どもたちを登校させることへの著しい困難さ</li> <li>・教員の知識不足</li> </ul>

今回の実践では、Phase 2 と Phase 3 を解決すべく、Plate Solvingの機能を活用した安価な機材を活用し、教員が手軽に観望会などを企画しやすくなるように検討する。

## 2. 解決策の見通し

天体の位置は正確に知られているため、観測場所と観測時刻が分かれば、天球上のどこに何が見えるかは計算によって求められる。そして、それを利用して自動導入をする望遠鏡は多く発売されている。

その自動導入の最初の段階で、鏡筒越しに見える星と、星図上の星の位置データを一致させるためのアライメントという作業が必要になる。アライメントと呼ばれる作業は、基準星（恒星）を1～3個導入して、その星が望遠鏡の視野の中心に入っていることを装置に記憶させる操作で、星の名前や位置という天文知識を持たない初心者には、そのアライメント作業がかなり困難である。

というのは、そもそも見えている星の名前を知らないため、どの星が視野の中に入っているか分からないことと、ファインダーを覗くと裸眼で見ているよりも多くの星が見え、さらに上下左右が反転した像が見えているため混乱し、どれがどの星か分からなくなることである。これは熟練者にとっては簡単なことかもしれないが、初心者には極めて高いハードルである。

そのため、Phase 2～3の要因解決に向けて、アライメント作業をも自動で行えるシステムを用いるか、アライメント作業が以前に比べてかなり容易になる方法論を探し、なるべく安価で構成できるシステムを検討するとともに、録画機能等も検討し、どういう方法を使えば、学習場面で子どもたちに観望を体感させることが可能になるか等の検討を行う。

## Ⅲ 課題解決に向けて活用できる既存技術

### 1. デジタル一眼レフカメラを用いた可視光の撮像観望

近年のデジタル一眼レフカメラは、多くがCMOSセンサーを採用している。またプロ用と入門用のシリーズを分け、入門用では求めやすい価格帯のシリーズが販売されている。また、同等のCMOSセンサーを搭載した、高感度CMOSカメラも比較的安価に提供されるようになった。今回の実践では、学校等で実践しやすいようにデジタル一眼レフカメラを用いた撮像も並行して実験する。デジタル一眼レフカメラであれば、既に所有しているという学校や社会教育施設も多いと考えるためである。

### 2. 望遠鏡架台のアライメント操作の困難さの解消

#### (1) オートアライメントによる自動導入

自動導入機能を持つ天体望遠鏡が世に出たから久しく、また自動導入望遠鏡をPCに接続して制御する技術等も開発が続いてきたため、現在は多種多様な環境がある。

しかし、自動導入の最初の段階であるアライメントが、前述のように初心者にはハードルが高い作業であった。

2011年にミード社からLSシリーズが出されて以降、セレストロン社からも、望遠鏡本体や架台部に各種センサー類を搭載し、スイッチを入れるだけで、自動でアライメントを行ってくれるオートアライメント機能を持つ望遠鏡やオプション品等が登場した。

ミード社のLSシリーズは、スイッチを入れると内蔵のGPSアンテナがGPS衛星からの電波を拾い、自分の位置を測位し自分の位置座標を知り、日時情報を取得する。そして内蔵の方位センサーと水平センサーで望遠鏡本体の位置や傾きを把握する。次に、望遠鏡が持っている星図の情報とGPS等の情報から、その場所からその時に見える天体の位置を自己判断し、適当な恒星に鏡筒を向ける。

その後、鏡筒に取り付けられたCCDカメラが自動で複数の恒星の写真を撮影し、撮影された星の並びと、望遠鏡が持つ星図を照らし合わせて比較し、望遠鏡本体がどちらを向いているか、どれくらいずれているかを確かめる。もし、ずれが発見されたら補正しアライメントを終了する。

セレストロン社のStarSense Autoalignは既存のセレストロン社製の望遠鏡架台（自動導入赤道儀や自動導入経緯台）に取り付けるオプションである。それ自体はGPSを持っていないため、起動時に日時と観測場所を入れる必要があるが、あとはLSと同様の動作を行うものである。

さらに、StarSense Autoalignが実装されたセレストロン社の望遠鏡架台に、Sky Portal Wi-Fi Moduleという、架台とタブレットをWi-Fiで繋げるためのモジュールを付けることで、iPadやAndroidタブレットと接続できるようになる。接続するとタブレット上のSky Portalというアプリケーション（以下アプリと表記）で動かすことができるようになり、その状態だと日時と観測場所はタブレットの情報を使って動作するため、手動入力が必要なくなり、スイッチオンでMeade LSと同様の動作ができるようになる。さらにSky Portalアプリはプラネタリウムソフトの機能も持っているため、その日のその時刻の星図を見ながら、目標とする天体を導入することができる。

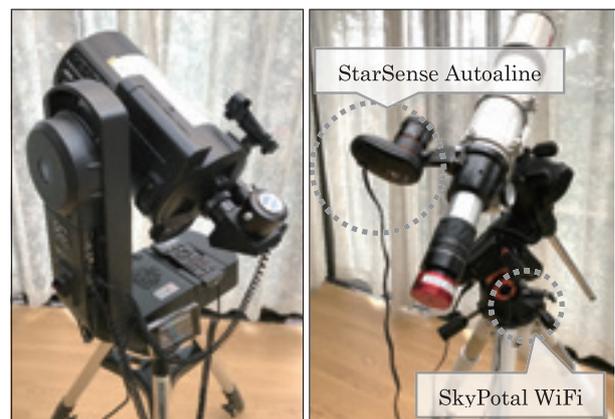


写真1. MeadeLS-15 (左) とCelestron StarSense Autoalignを取り付けたAdvancedVX赤道儀 (右)

MeadeのLSシリーズはオールインワンであるため情報は専用のコントローラーか本体に接続可能な小さなモニター画面での操作となり、オプションの追加は必要ないが、鏡筒を変えることができない仕様になっている。

一方セレストロン社のStarSense Autoalignは、望遠鏡架台に接続するコントローラーと、基準星を見つけて設定をするためのCCDカメラのセットであるため、鏡筒は自由に選べるという点と、Wi-Fi接続すると、タブレットでいろいろな操作ができるようになるという点が異なっている。

しかし、実際に教材として活用することを考えた場合、双方ともかなり高価であることに加えて、最近ではさらに高機能で安価な装置が出てきているため、学校や社会教育施設で導入することを考えた場合、現実的とはいえない。

## (2) PCとの接続による自動導入環境

自動導入機能付き望遠鏡が発売されて以降、PCに接続して望遠鏡等の機材を制御し、PCの広い画面で天体を選んで導入したり、PCを用いてカメラを制御し撮影したりする仕組みも多く開発されてきている。

天体撮影制御環境は広く知られているもので、ASCOM (Astronomy Common Object Model) プラットフォーム<sup>10</sup>とINDI (Instrument Neutral Distributed Interface) ライブラリ<sup>11</sup>があり、ASCOMプラットフォームはMicrosoft Windows環境で動作し、そしてINDIはLinuxやMacなどで動作するよう開発されてきた、天文機器の自動化と制御のために設計されたソフトウェア群である。

これらは、多種多様な望遠鏡の架台、CCDやCMOSカメラ、焦点調節装置、フィルターホイールなどをサポートし、ほぼすべての装置を制御する機能を備えている。双方がオープンソースで、多様なクライアントソフトで動作し、国内ではASCOMプラットフォームが、アストロアーツのステラナビゲータなどのソフトで動作するため、かなり広く使われている。しかし、望遠鏡に加え、PCや接続ケーブルなど、大掛かりな装置になりがちである。

## (3) ラズベリーパイの天体制御環境構築への活用

そのような状況に変化をもたらしたのは、2012年にイギリスのラズベリーパイ財団が教育目的で利用するために開発したラズベリーパイ<sup>12</sup>というシングルボードコンピュータである。ラズベリーパイは、数千円で購入できる手のひらサイズのコンピュータで、プログラミング入門やロボットカーの制御、また大学の工学部で活用されるなど、広く扱われるようになった。

OSはLinuxベースで動作させられるため、ラズベリーパイ上で天体撮影制御環境であるINDIが動くように調整されたディストリビューションパッケージが作られた。大きなPCは必要なく、ラズベリーパイとiPadやAndroidタブレットや各種スマートフォンをWi-Fiで接続して制御できるようにしたディストリビューションには、StellarMate (有料)、AstroberryServer (無料) 等があり、AstroberryServerをもとに日本語環境で動くように調整されたディストリビューションパッケージにはAstroPiがある。それらはインターネット上で配布されている。

## (4) 新しい観望支援機器の登場

既に分かっている星図と、写真から得られた星の並びを比較し一致させる動作をPlate Solvingと呼び、いくつかのツールが流通している。

2018年にはZWO社からASIAirという天体撮影制御の機器が発売されている。これは、ラズベリーパイにINDIの機能を実装させて、独自のユーザーインターフェイスを組み合わせた機器で、操作はASIAirの無線LAN (ラズベリーパイが無線LANのホットスポット\*になる機能を持っている) にiPadやAndroidタブレット、iPhone等のスマートフォンを接続し、iPad等の画面上で天体観望環境を操作するという機器である。2020年現在はバージョンアップされ、ASIAirProとなっている。

\*ASIAirはステーションモードで外部インターネットと接続可能になる機能を持つため、ここではホットスポットという表記を用いる



写真2. ASIAir Pro

また、2020年にCelestron社からStarSense Explorerという、スマートフォンを導入誘導装置にして、手動で望遠鏡を操作し接眼レンズで観望する、望遠鏡とスマートフォンアプリのセットが発売された。これは、比較的安価な望遠鏡とアプリを組み合わせることによって、初心者でも容易に目的の天体を導入することが可能になるような仕組みが組み込まれている。本実践研究では、StarSense Explorerと、ASIAirを中心に組み上げたシステムの2者を用いて実践を行う。

留意点として、本実践は2020年10月段階の報告であり、ソフトウェアのアップデートや仕様変更で、将来的に記載の通りに動かなくなる可能性がある。



写真3. StarSense Explorer

## 3. PlateSolvingによる天体導入

### (1) StarSense Explorerでのプレートソルビング動作

StarSense Explorerは、手動経緯台と望遠鏡とスマートフォンアプリのセットであり、望遠鏡の横に連動して同じ動きをするスマートフォンを設置するアダプターが付いている。そこにスマートフォンを設置することで、天体の導入補助の役割をさせる。設置されたスマートフォ

ンのカメラの前には、鏡が約45°の角度で配置してあり、スマートフォンの背面カメラはその鏡を通して望遠鏡が向いている方向が見えるようになっていいる。(写真4)

実売価格として、2020年10月の時点では、付属の望遠鏡の種類によって違いがあるが、税込みで35,000～60,000円程度の価格帯で販売されている。



写真4. StarSense Explorerのスマートフォン設置部

あらかじめ日中などの明るいうちに、望遠鏡の視野の中心と、スマートフォンのカメラから見える映像の中心を一致させることがアライメント操作である。例えば遠くにある高い木の頂点を望遠鏡の中心に見えるようにしておき、スマートフォンのアプリで見えている画面の中心を、その木の頂上に一致させるだけである。これで、望遠鏡で見える中心と、スマートフォンアプリで見える中心が同じに揃えられたことになる。そして、スマートフォンは、カメラから見えている星像をPlateSolvingで判断し、自分が見ているエリアを特定し、目標の天体に向けてユーザーを誘導する。

ユーザーインターフェイスも優れており、機材の設置やセッティングという面が簡略化されているため、小学生でも目指す天体を自分一人で導入することができるような工夫がなされている。

## (2) StarSense Explorerによる手動導入

図1は、StarSense Explorerを用いて木星を導入しているときのスマートフォン画面のスクリーンショットである。

- ①望遠鏡を空の適当な位置に向けると、スマートフォンのカメラから見えている星像をPlateSolvingし、自分の見ている位置を把握する。そして、目指す木星の方向をオレンジ色の矢印で示す。  
画面上部には「望遠鏡のポジションが見つかりました。場所の矢印に従って目標オブジェクトに標的を合わせます。」とアナウンスが表示されている。
- ②目標の天体に近づいていくと、画面表示されている星図自体が拡大され、近くにある天体も表示されていく。
- ③さらに近づくと、さらに画面が拡大されていき、近くにある有名な天体名も表示される。
- ④ほぼ目指す天体の位置に行くと、画面でしばらく動か

さないよう表示される、再度PlateSolvingの処理をし、ズレていたら微調整する。そして、十分視野に入ると判断したら、サークルの色が④のように緑に変わり、上部アナウンスは「望遠鏡の目標。接眼レンズを通して見てください。新しいオブジェクトを選択するには、星図またはスターアイコンをタップします。」と表示される。

この状態で接眼レンズを覗けば、目指す木星が見えている状態にあるので、あとはピントを調整して観望するだけである。

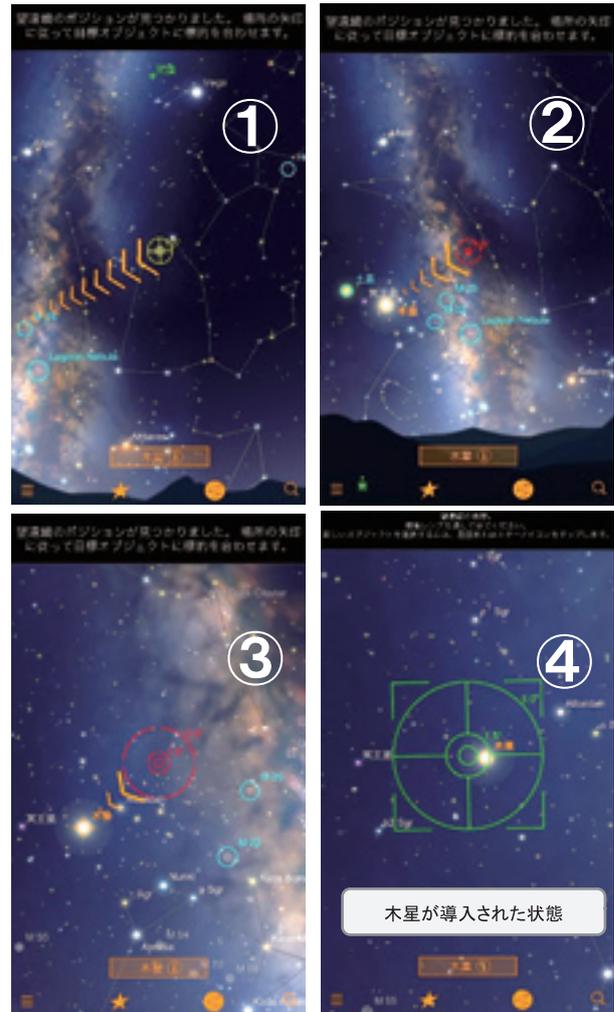


図1. StarSense Explorerの動作画面

## (3) StarSense Explorerでの観望装置の切り替え

写真3では望遠鏡の接眼部に、後付けでT字型のフリップミラーというものを取り付け、上に取り付けられている接眼レンズと、まっすぐ取り付けられているCMOSカメラが写っている。この装置は、光路を切り替えることで、接眼レンズで眼視できたり、CMOSカメラの方に光を送って見たりすることができるようにする装置である。

CMOSカメラに小さなセンサーサイズのものを使えば、実質的な倍率が高くなるため、眼視で見て位置を調整した後、CMOSカメラに切り替え、高倍率で観望するというようなことができるようなセッティングである。

(4) ZWO社ASlairの動作環境の設定

ZWO社のASlair Proでは、望遠鏡を北極星の方向に向けておく状態がホームポジションとなる。今回の動作試験ではデジタル一眼レフカメラを利用するため、望遠鏡の代わりにカメラのレンズが北極星を向くように設置した。ASlair Proの導入動作の確認で用いた装置は以下のようなものである。

- カメラ : Canon EOS kiss X8i
- レンズ : SIGMA DC 18-200mm 1:3.5-6.3
- 架台 : SkyWatcher AZ-GTi
- 処理装置 : ZWO ASlair Pro
- 操作装置 : iPad
- 電源 : ポータブル電源 (汎用品) DC12V

SkyWatcher社のAZ-GTiという自動導入経緯台を架台として用いるが、赤道儀と同様の動きをさせるために、ウェッジを加工して赤道儀モードで動作させるようにしている。装置間の接続はシンプルで、電源と映像信号の流れは、以下の表2のようにになっている。

表2. 導入動作確認機器の接続

操作信号		映像信号
iPad		
↓(Wi-Fi)		
ASlairPro		
↓(Wi-Fi)	↑(USB ケーブル)	
AZ-GTi	カメラ(EOS kiss)	
		撮影
		↓(USB ケーブル)
		ASlairPro
		●プレートソルビング
		↓(Wi-Fi)
		iPad(映像表示)

ズレがあれば、再度導入位置を微調整して再撮影する。

電源はDC12Vが、ポータブル電源→ASlair Pro→AZ-GTiと接続され、カメラは充電電池を使用している。



写真5. ASlairProを設置した状態

写真5は、配線した状態の写真と、観望状態に組み立てた写真である。三脚は持っていたものを利用し、AZ-GTiは経緯台の装置だが、それを赤道儀モードで動かすために傾けて配置している。傾けるための三脚上のウェッジ部分は、既存のパーツを加工して自作した。

各機器の価格は現時点で、ASlair Proが税込み39,100円で、AZ-GTiが税込み30,580円 (三脚なし) である。

このような機材はケーブル類が乱雑になりがちだが、iPad, ASlair Pro, AZ-GTiの操作信号がWi-Fi接続であるため、ケーブル類が少なくすっきりしている。

ASlairアプリを起動するには、まず、iPadのWi-Fiセッティングで、ASlair\_ (任意番号) というホットスポットに接続し (図2)、その後ASlairアプリを起動する。



図2. iPadのWi-Fiホットスポット選択画面

ASlair Proは起動時に焦点距離等の情報を入力する画面が表示されるので、各種パラメータを入力して起動する。その状態から、目標の天体を見るように指定すると、望遠鏡の架台が自動で動き、その天体があるであろう方向を向く。その後、自動で写真を撮影し、撮った写真と星図を比較して望遠鏡が向いた方向を特定する。位置ずれがあった場合、自動で修正するよう動いて、再度写真を撮って確認し、目標の天体が導入されたら、撮影した天体をiPad画面上に表示し、次の指示を待つという状態になる。



図3. ASlairProの起動後の画面

ASlairアプリが起動した初期画面を図3に示す。上の段には、操作できるデバイスが横に表示される。白くなっているものが認識されているデバイスで、図3では、Wi-Fi, カメラ, 望遠鏡架台, USBメモリが認識されて白くなっている。画面右の列は、ASlairがカメラを操作して撮影するためのセッティング画面である。画面左の列は、上からヒストグラム, ガイド (ガイドカメラの調整), Plate Solve, ツールと並んでいる。画面下は、撮影した画像の情報 (ヒストグラム) 等が表示される。このトップ画面から機能全体へのアクセスを可能にしておき、大変扱いやすいデザインとなっている。

今回の装置では、iPadをASIAirのWi-Fiホットスポットに接続し操作するが、望遠鏡（今回はカメラ）架台を操作するために、ASIAirを中継としてAZ-GTiという自動導入機能付き経緯台へWi-Fi接続している。

その設定は、ASIAirのWi-Fiステーションモードを利用し、AZ-GTiのWi-FiアクセスポイントにASIAirから接続する（図4）。AZ-GTiのWi-FiアクセスポイントはSynScan\_（任意番号）と表示されている。



図4. ASIAirProのWi-Fiセッティング画面

カメラのセッティング画面を図5に示す。カメラ名がEOS 750Dと表示されているが、EOS kiss X8iの欧州/アジア向けの輸出用名称である。Focal Length（焦点距離）は汎用品のズームレンズなので、望遠にした状態の200mmを入力している。ISO（感度）は1600となっているが、カメラの性能に依存し、このカメラでは100～12800が選択可能となっている。



図5. ASIAirProのカメラセッティング画面

次に望遠鏡セッティングの画面を図6に示す。

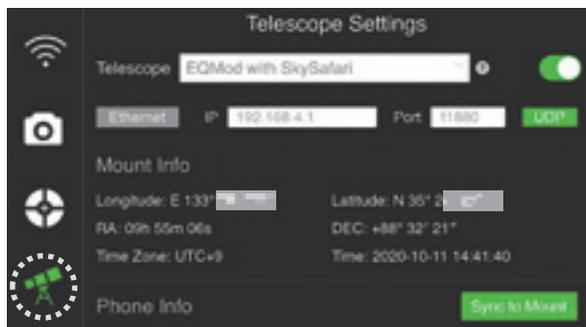


図6. ASIAirProの望遠鏡セッティング画面

Telescope Settingsの画面では、望遠鏡のドライバ選

択でEQMod with SkySafariを指定している。EQModというのは、SkyWatcher社（AZ-GTiを含む）の望遠鏡架台をハンドコントローラーなしで直接操作できるようにした、INDIで流通しているドライバである。SkySafariというのはiPadやAndroidタブレットで動作する天文アプリであるが、今回は使用しない。

AZ-GTiをWi-Fi接続して操作するために、Ethernetを選び、IPアドレスは192.168.4.1、PortはUDP：11880を選んでいく。これでAZ-GTiと接続され、ASIAir Pro上で操作できるようになる。

ここで紹介した各設定は、使用する機材によってそれぞれ異なるので、使用する機材に合った設定を選ぶようにする。今回の実践ではこの設定で動作させている。

#### (4) ASIAir Proの実際のプレートソルビング動作

試験的な動作確認のために、カメラのズームレンズでアンドロメダ大銀河（M31）を撮影及び電視観望した。

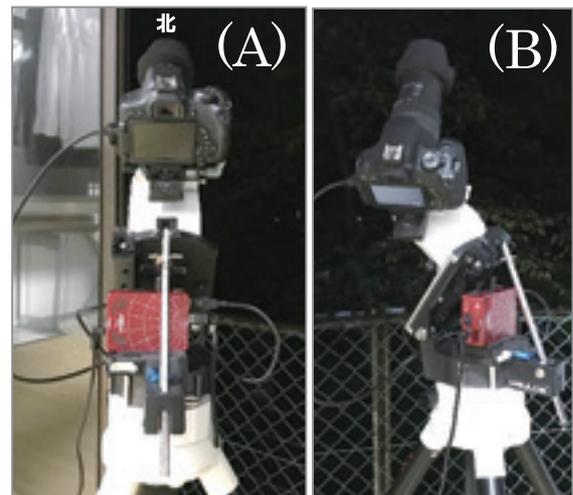


写真6. カメラ架台の設置と動作

写真6の（A）では、赤道儀モードにしたAZ-GTiを北に向け、カメラも北極星の方を向けピントを合わせている。これがホームポジションにあたり、ASIAirアプリ画面でカメラが写している画像を表示すると、北極星が見えている。（図7）



図7. ASIAirアプリのホームポジション画面

その状態で、 マークをタップし、天体の選択画面(図8)で目的の天体を選ぶ。今回はM31を選んだ。

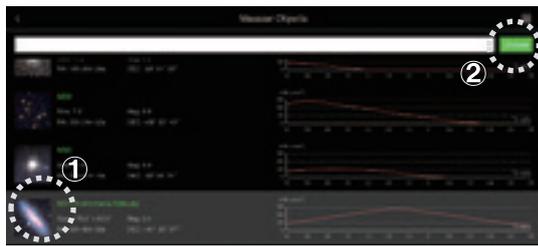


図8. ASlairアプリの天体検索・選択画面

M31(アンドロメダ大銀河)を選び(①)、Chooseボタンをタップ(②)すると、アンドロメダ大銀河を目標天体としたホーム画面に戻り、その後GoToボタンを押すと、写真6の(B)のように目標天体の方を向き、確認の写真を撮る。200mmの焦点距離だと映り込む天体が多すぎて判断できないのか、今回はプレートソルビングのエラーが出たが、キャンセルしてPreviewすると、M31が図9のように真ん中に導入されていた。露出時間は10秒である。



図9. 自動導入されたアンドロメダ大銀河(M31)

汎用のカメラ用ズームレンズなので、画像周辺の減光が著しいが、導入に際しては問題なく動作している。

その後、天候状態が良かったため、他の天体も撮ってみることにし、デジタル一眼レフカメラを口径6cmで焦点距離340mmの小さな望遠鏡(MILTOL400ED)とCMOSカメラ(ASI294MC)に付け替えて、プレアデス星団を見てみた(写真7, 写真10)。



写真7. MILTOL400EDに付け替えたところ

用いたMILTOL400EDという望遠鏡は、Kenko Tokina社のスポッティングスコープにもなる望遠鏡にもなるという小型レンズである。焦点距離400mmの鏡筒にレデューサーを挟むことで焦点距離が340mmになっている。

なお、ASlairProとCMOSカメラの接続はUSB3ケーブルで行われ動作はスムーズだが、EOS kiss X8iとの接続はUSB2ケーブルのため転送速度が遅い。そのためか、画像転送でもたついたり、あわただしい操作をするとエラーで変な色の画像が転送されたりすることがあった。

##### (5) ASlair Proのライブスタック機能

ASlairアプリにはライブスタックという機能がある。写真に撮った画像の上に、次に撮った写真をリアルタイムで加算平均合成を行い、繰り返し撮り続け合成し続けることでノイズ成分を薄め、徐々に滑らかな画像にしていくという機能である。



図10. ライブスタック中のプレアデス星団  
Gain300,30min,60枚

ライブスタック機能で撮像しているため、口径6cmという小ぶりな望遠鏡でも、プレアデス星団の周りの分子雲がうっすらと見えている。

さらに近くにあったカリフォルニア星雲(NGC1499)をライブスタックで観望・撮影してみた。

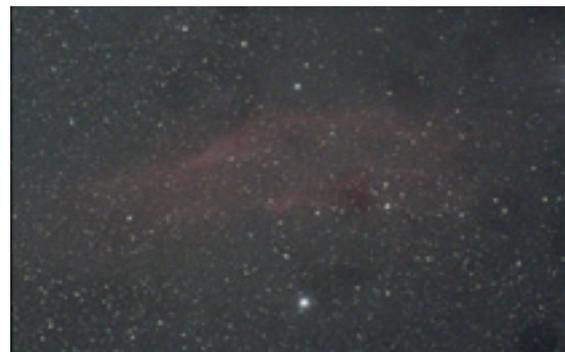


図11. ライブスタックで撮影したカリフォルニア星雲  
Gain360,180min,16枚

ライブスタックで重ねられて、ある程度きれいになってきた画面は、右下の ボタンを押すと、iPadの写真

アプリの中に取り込むことができる。

この動作試験で特筆すべきことは、そもそも著者自身が星雲の撮影等が初めてだったということである。カリフォルニア星雲の存在も知らず、天文シミュレーションソフトで、プレアデス星団のそばに何か撮影対象がないかと探して見つけたもので、その天体を導入してライブスタックで画像を見たり写真撮影ができたという事実こそが、観望や撮影における難易度を下げていることを示している。

また、フラット画像やダーク画像を用い画像処理する技術もあるが、筆者が理解していないため、今後の課題として割愛する。

写真撮影の仕組みをよく理解している共同研究者が、ASIAir Proを用いて、オリオン座の馬頭星雲を撮影している様子(写真8)と、撮影した写真をPC上で画像処理した写真(写真9)を示す。



写真8. ASIAirProで撮影中の馬頭星雲付近



写真9. 馬頭星雲付近

2019年10月31日 22時47分  
露出44分(5分×4+3分×8 Gain:300)  
望遠鏡:タカハシ ε-130D(焦点距離430mm)  
カメラ:ZWO ASI294MC-Pro  
赤道儀:Vixen SXP Equatorial mount  
ガイド:100mm ASI290MM mini, ZWO ASI AIR  
UV IRカットフィルタ

写真撮影が上達すれば、このような写真が撮れるまでになる。

#### IV PlateSolving機能を活用した天体観望実践

PlateSolvingの機能を持つ機器を使えば、かなり容易に目標の天体を眼視したり、写真を撮ったりすることができることが分かった。特に、StarSense Explorerは手動で操作するため、共同研究者の子は小学校6年生と中学校2年生が難なくStarSense Explorerを使って観望を楽しんでいたという報告があり、手動での操作や観望であれば従来よりかなりハードルが下がっていることが分かる。

##### 1. 附属義務教育学校での観望会(曇天で観望できず)

実際に、中学生に電視観望を体験してもらうため、島根大学教育学部附属義務教育学校(後期課程)で参加希望者を募り、中学生対象の電視観望会を計画し実施した。

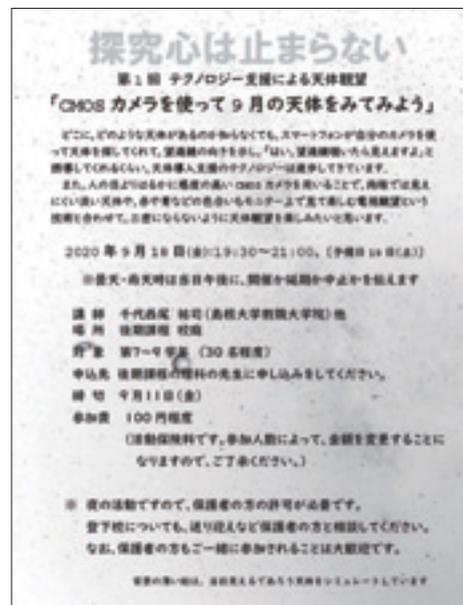


図12. 参加募集のためのチラシ

##### (1) 附属中学校観望会の状況

持ち込んだ機材は以下のようなものである。

表3. 附属義務教育学校に持ち込んだ機材

機能	機材
1 PlateSolving/制御 望遠鏡架台 望遠鏡 カメラ	ZWO ASIair Pro SkyWatcher AZ-GTi Vixen ED80Sf Canon EOS 70D(kiss X8i と同等)
2 機材制御 望遠鏡架台 望遠鏡 カメラ	なし(天体に詳しい人が操作) Vixen SXP2 タカハシ μ-180C ZWO ASI290MC
3 PlateSolving 望遠鏡架台 望遠鏡 カメラ	StarSense Explorer(iPhone) StarSense Explorer(手動) StarSense Explorer(DX102) ZWO ASI294MC/眼視(分岐)
4 動作制御 望遠鏡架台 望遠鏡 カメラ	(StarSenseExplorerの iPhone 取り付け) Vixen ボルタ経緯台 Vixen BT80A(対空双眼望遠鏡) なし(眼視)
5 望遠鏡	中学校にある古い望遠鏡×2(手動眼視)

用途として、1は小ぶりの装置(写真7の架台に小型望遠鏡を載せたもの)で、触りたい生徒はiPadで操作してみることができるように準備した。2はしっかりした

装備で、電視した星像をプロジェクターでスクリーンに映し出し、全体で皆が観望する元映像を撮影するために用意し、3・4は生徒が自由に触って眼視したり電視したりするために用意した。5は学校にある古い手動望遠鏡を使ってみたい生徒が使えるようにと、複数の装備を用意した。

参加希望者は、18日（金）に42名の参加希望があったが、曇天のため19日（土）に延期した。19日の参加者は減少し、生徒24名・保護者2名となったが、結局19日も開催時間中には晴れることはなかった。

参加者は体育館で、PlateSolvingの技術と動作の説明や、CMOSカメラによりどのようなものが見えるはずだったかという説明、星座早見盤の使い方や、他のテクノロジーの説明、シミュレーションソフトによる星空解説や宇宙旅行等で過ごした。（写真10～12）



写真10. テクノロジー等の説明をしているところ



写真11. 星座早見盤の見方の説明



写真12. シミュレータによるバーチャル観望

しかし、参加者と話をする中で、主催者側が想定していなかった参加者の思いが分かった。それは、主催者側

は天体観望会だから天体が見たくて参加するもので、テクノロジーに興味があって参加する者はいないという想定だったが、「機材や機材の動作に興味があって、それが見たいがために参加希望を出した」という生徒が複数名存在したことである。そのため、事後にアンケート調査を行って、参加希望者の真意を確めた。

(2) 参加者のアンケート結果

テクノロジーそのものにも興味を持って参加した者がいたことが意外だったため、生徒がどちらにも興味があって参加希望を出したのかのアンケート調査をおこなった。アンケート用紙は図13のようなもので4件法でおこなった。

**曇天で残念だったテクノロジー支援による天体観望会のアンケート**

先日は天体観望会に申し込んでいただきありがとうございました。あなたの方の気持ちを知りたいので、アンケートをお願いします。

この会に申し込んだ理由は、「天体を観望することへの興味」と「テクノロジーを見たり触ったりする興味」のどちらが強かったですか。気持ちを思い出しお答えください。  
(真ん中は両方得意な場合でも構いません)

① 該当する箇所を、○で囲んでください。

天体に興味があり 楽しい天体を観望 したかった	どちらかという と天体に興味があり 観望したかった	どちらかという とテクノロジーに 興味があった	テクノロジーに 興味があり、星像 を見たかった
-------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------------------

② ①を選んだ理由があれば教えてください。  
理由がなければ、感想や、今後に対する期待とかでも結構です。

図13. 観望会参加者への事後アンケート用紙

集計結果は、以下のグラフのようになった。天体に興味があったものを左側、テクノロジーに興味があった者を右側に表示している。棒グラフ中の数字は人数である。

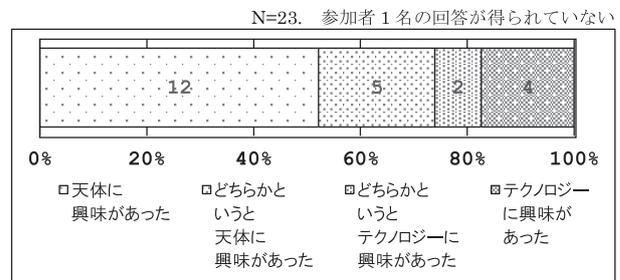


図14. 観望会参加者の興味の分布

どちらかというテクノロジーに興味があったという者を含めると興味の所在がテクノロジー寄りの生徒が26%おり、4人に一人はテクノロジーの方への興味が勝っていたことが分かり、テクノロジーに興味がある生徒が一定数いることに驚いた。

生徒から得られた感想の抜粋を次に示す。順番は、天体に興味があった者から、テクノロジーに興味があった者へと移り変わっていくように並べている。

1年生から3年生まで、天体に興味がある者や、テクノロジーに興味がある者がいるが、学年が上の男子に、テクノロジーに興味がある者が多い傾向がある。

表4. 附属義務教育学校生徒の感想抜粋

興味	理由
1	もちろん、CMOSカメラ自体の興味もありましたが、その特別なカメラで、普段、肉眼では見えないような惑星を見てみたいという気持ちが強かったからです。今回は、実際に天体観測をすることができなかったのですが、また開催していただきたいです。大学の先生や、星の会の方、サヒメルの方々のお話も、大変楽しく、面白かったです。ありがとうございました。(2年女子)
1	天文、特に隕石に興味があった。そして天体にも興味を持った。(3年男子)
1	曇っていて残念ながら望遠鏡で見ることはできませんでしたが、様々な星をスクリーンで見たり、その星のことを教えてくださったりしたので、とても楽しかったです。少し後から晴れてきて、土星、木星、火星などが見えてきて、場所が分かっていたので、すぐ見つけることができました。家でも、見つけるのが楽しくなり、夜は空を見て星を見るが多くなりました。楽しかったです、ありがとうございました。(2年女子)
1	もともと星などを見るのが好きだったのと、友達に誘われて行こうと思いました。星を好きだけど、あまり詳しくないので先生方の説明を聞いて、さらに知れたらいいなと思って参加しました。参加してみてもすごく楽しかったので、また晴れた日にやりたいと思います。特に星の誕生と終わりがすごきれいだったし、宇宙の広さを感じられてよかったです。ありがとうございました。(2年女子)
1	最新のテクノロジーを使って、美しい天体を見たかったからです。いままでも天体について学んできたことの知識のほかにも、もっと発展したことを知りたかったです。(1年女子)
2	自動で星を見つけることができるということはすばらしいテクノロジーであり、そちらにも興味がありましたが、やはり私たちの知識では及ばない宇宙の天体に一番興味がありました。その天体を観望することは、今回かなわず残念でしたが、これからまた同じような企画があれば、ぜひ参加したいと考えています。(3年女子)
2	両方に興味があるが、やはり天体観望にはロマンがある。天体はあまり見れなかったものの、新しい技術に触れられてよい経験になった。(3年男子)
2	テクノロジーにも興味があり、どちらにも興味があったが、天体の方が興味があった。(1年男子)
3	科学技術が好きだからです。次は晴れを望みます。(3年男子)
4	装置を見て学ぶことによって、日常生活への応用をしてみたいという好奇心が強かったから。しかし、天体にも十分に興味があったので、2つについて学ぶのにより機会だったと思う。今後に対する期待や要求といえば、次は晴れてほしい。で晴れても雨天用のプログラムも楽しみたい。(3年男子)
4	あれだけ遠くの星を、どうしたらあんなに正確に見えるのかが、とても不思議だったし、何をどう組み合わせれば、あれだけ遠いものが正確に見えるのかを知りたかった。(2年男子)

## 2. 大田市立北三瓶小学校の宿泊研修での天体観望

大田市立北三瓶小学校が9月29日～30日にかけて、国立三瓶青少年交流の家で宿泊研修を行う際、共同研究者が天体観望の講師として招かれ向向いて行った。

三瓶青年交流の家での観望会は29日19:00～20:00に行われ、共同研究者はStarSense Explorerを持ち込み、実際に子ども達で天体導入ができるかどうか調査した。

観望に参加した者は4年生～6年生までの11名と教員、招聘された共同研究者というメンバーである。

天体は、月、木星、土星、ベガを観望し、児童が導入してみたいと望んだM31と火星も導入を試みようとしたが、雲が出てきてしまい観望することができなかった。

この活動で見た課題として、StarSense Explorerはスマートフォンのカメラで位置を特定しているため、小さな天体をピンポイントで視野の真ん中に持ってくるような正確さは得られない。大まかに望遠鏡の接眼レンズの視野内に入ってくる程度の正確さである。そのため、最後は、接眼レンズを覗きながら対象天体を視野の中心に追い込み持ってくる必要があるし、自動で追尾しない

ので、移動していく天体を手動で追いかける必要もある。

この点を子どもたちは適応的に考えることなく、スマートフォンの画面だけで正確に合わせようとする(画面の情報こそが正しいと思込む)ところが見られた。そのため、これらの点は、操作前にきちんと伝えておくことが必要だと分かった。

子どもたちの導入操作については、先に使った4年生女子が6年生男子に導入の方法を教えるというような場面も見られ、天体の導入操作自体は、分かっただけならば容易に操作できたようである。口頭での感想を示す。

表5. 北三瓶小学校児童の感想

感想抜粋
・はじめ難しい感じがしたが、簡単にできた(5年生)
・(画面の)黄色から緑色に合わせるのがたいへんだったけど、簡単だった(4年生)
・(4年生に操作を教えてもらいつつ)簡単だった(6年生)



写真13. 観望会のようす

惑星を見るときに高倍率にするため、接眼レンズ交換しピントを合わせ直す作業は、多少の慣れが必要なため、共同研究者が行った。倍率を高くして惑星などを見る場合、慣れも必要となるため、子どもたちや慣れない人が操作すると、多少手こずる可能性もある。

StarSense Explorerは、低倍率でピントを固定したまま、見かけの大きい天体(M31や二重星団など)を見て回るという使い方が向いているように思われる。

## 3. 三瓶自然館サヒメルの定期観望会での実践

10月24日に、鳥根県立三瓶自然館サヒメルの観望会において、19:00～20:00と、20:00～21:00の2回の観望会で、StarSense Explorerを持ち込み、訪れた参加者に対して、実際に天体導入と観望をしてもらった。19:00からの参加者は21名、20:00からの参加者は35名であった。多くは家族連れで、近隣の宿泊施設に宿泊している家族連れもいるという構成だった。また、CMOSカメラも持ち込み、フリップミラーで光路を切り替え、

眼視用の接眼レンズとCMOSカメラに分岐できるようにして臨んだ。

この実践では、ほぼ全ての参加者が、大人はもちろん、子どもも、小学校中学年以上程度であれば導入が可能であった。惑星を見ても見え方は小さいがシャープに見えるため、自分で導入して観望した者は満足度が高かった。月をCMOSカメラで撮り、下に置いていたPCに映し出したときはどよめきが起こった。操作の順番待ちで焦れた感じがあったが、PC画面を同時に見ることで、会話が弾んでいた。

3名の父親がこのセットが欲しいと望み、価格を尋ね、銘柄が分かる写真を撮って帰られた。話の中では、「天体が好きで見たいし、子どもにも見せてやりたいけど、自分ではできないから観望会に参加した。しかし、自分でも導入できることが分かったのでとても興味深い」と言っておられた。

このことは、大人ですらきっかけさえあれば天体観望を試みたいという思いを持つことの表れである。



写真14. 自分で導入し観望しているようす

## V 天体観望とSTEAM教育への接続

今回の研究実践で明らかになったことは、PlateSolvingで天体を探し、観望を支援する機材を用いれば、驚くほど簡単に目標の天体を見つけ出して観望することができるということである。

前回の実践で分類した、課題解決の段階と困難さの要因(表1)のPhase2とPhase3の要因のほとんどが、機材を用意することで解消される。アライメントの困難さ、知識不足は解消され、目標天体の導入も容易にできる。知識がないなら、他のスマートフォンのアプリで、何がそうか探せばいい。カリフォルニア星雲を導入した時のように、知らない天体でも導入してテレビ観望や撮影ができるのだから、知識不足は問題にはならないし、このことで興味喚起につながることも望める。

夜間に児童生徒を集めることについては、全員ではないにしろ希望者を集めるなり、宿泊を伴う行事に差し込むなど方法はある。附属義務教育学校の生徒のアンケートに見られるように、子どもたちの興味関心は天体観望やテクノロジーを知ることなど、かなり高いことが推察されるが、現状では児童・生徒に提供されている機会が圧倒的に少ないと考える。本物の天体に触れる機会やテ

クノロジーと接する機会を多く用意し、子どもたちの興味関心に応えることは今後求められるだろう。必要な道具が必要なタイミングで与えられれば、子どもたちは主体的に探究の段階に進んでいくと考える。加えて、大人ですら機会があれば天体観望ができる環境を望んでいる人もいることが分かった。

現時点では動作確認はしていないが、ASFairアプリの最新のアップデートでVideo機能が追加されたため、録画も可能となるであろう。教員が昨晚撮影した天体やビデオ映像等が授業で扱われると、どこか遠い天文台で撮られた写真で学ぶより、より実生活に近い実感を伴う教材となるし、見ることや撮ることは不可能だと思こんでいる子どもたちへの刺激は強いものになるだろう。この程度の価格帯の製品の組み合わせで、ここまでの観望が可能になるなら、学校や社会教育施設はもとより、例えば各自治体が所有し、必要な時に必要な学校に貸し出すなど、手軽な観望・撮影機材としての活用は多様に考えられる。

もう一つ、今回明らかになったことは、テクノロジーに興味がある子ども達が、私たち大人が想定するより多くいるという事実である。確かに子ども達の生活の中には多種多様なテクノロジーがあふれており、テクノロジーに囲まれて生活しているようなものである。しかし、そのテクノロジーがどういう動作原理で動いているのかを知ることはほとんどない。

しかし、今回のような機材がどういう理屈で動き、どういうプログラミング処理で目的を達成し、私たちの探究心に応じてくれているのかということに合わせて学ぶことは、STEAM教育の視点から見てもとても重要であると考えられる。新学習指導要領では小学校段階でのプログラミング教育が導入されるが、そのプログラミング教育の延長上に、テクノロジーと合わさってこのようなソリューションが出来上がるということ、例えば小学校段階で知ることの価値は大きなものになるであろうし、スクラッチでロボットカーを動かす実践をやったとしても、その先のプログラミングによる様々な物の制御という観点が色濃く刻まれることとなるだろう。義務教育学校の生徒の感想の中で、「装置を見て学ぶことによって、日常生活への応用をしてみたいという好奇心が強かった」という記載がある。そのような視点で、様々な装置を見る子ども達が増えてくるならば、ますますSTEAM教育の必要性が高まることになるが、今はまだ、子ども達がそのようなチャンスと出会うことは少ない。しかし、子ども達は、装置やテクノロジーやソリューションに囲まれて生活しているのが事実である。

子ども達が科学の探究者になるために、技術者になるために、プログラマーになるためにというような多様な選択肢を提供できるような幅広の学習内容が求められている。そのような多様な機会を提供できるような教育体制を整えていくことが今後必要になってくると考える。

## 【引用・参考文献】

1. 天体の電視観望技術を用いた教材開発 - CMOSカメラとPlate Solving技術を活用した天体観望教材 - 島根大学大学院教育学研究科学校教育実践研究 2, 29-39, 2019-03-29 (2018)
2. 文部科学省：「Society 5.0に向けた人材育成～社会が変わる，学びが変わる～」  
[https://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/other/detail/\\_\\_icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844\\_002.pdf](https://www.mext.go.jp/component/a_menu/other/detail/__icsFiles/afieldfile/2018/06/06/1405844_002.pdf)
3. 教育再生実行会議：「技術の進展に応じた教育の革新，新時代に対応した高等学校改革について（第十一次提言）」  
[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaisei/pdf/dai11\\_teigen\\_1.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaisei/pdf/dai11_teigen_1.pdf)
4. 内閣府：統合イノベーション戦略 2019  
[https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2019\\_honbun.pdf](https://www8.cao.go.jp/cstp/togo2019_honbun.pdf)
5. 経済産業省：「未来の教室ビジョン」「未来の教室」とEdTech研究会第2次提言  
[https://www.meti.go.jp/shingikai/mono\\_info\\_service/mirai\\_kyoshitsu/pdf/20190625\\_report.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/mirai_kyoshitsu/pdf/20190625_report.pdf)
6. <https://www.hayabusa2.jaxa.jp/>
7. <https://www.vixen.co.jp/activity/soragirl/>
8. <https://www.pref.tottori.lg.jp/271087.htm>
9. 日本における宇宙教育の現状と課題Ⅰ - 中学校教員へのアンケート調査より - 日本科学教育学会論文集 Vol.38, 2014, pp.547-548
10. ASCOMプラットフォーム  
<https://ascom-standards.org/>
11. INDIライブラリ  
<https://indilib.org/>
12. ラズベリーパイ  
<https://www.raspberrypi.org/>