

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—

千代西尾 祐司*・古都 浩朗**・竹内 幹蔵***

Yuji CHIYONISHIO, Hiroaki FURUICHI, Mikimasa TAKEUCHI

A New System of Electronic Stargazing Technology in Astronomy Education

— Development of Electronic Stargazing Technology using CMOS Camera and Plate Solving Technology —

ABSTRACT

近年の技術の進歩により、以前は高価で入手することが困難であったデバイスも比較的安価となり、容易に入手可能になった。またICT技術の進歩も相まって、社会教育や学校教育の場で実践することが難しかった天体観望が可能になってきている。そこで、CMOSカメラとPC (personal computer) を用いて、眼視では見ることができなかった天体を、子ども達がリアルタイムにモニター画面上で観望できる、最先端の天体観望システム（電視天体観望システム）の構築を目指し、社会教育施設や学校での運用に広げることを目標としてプロジェクトを開始した。本稿は、平成30年度、鳥根大学教育学部戦略的機能強化推進経費（学部の教育・研究プロジェクト）予算の支援を受け、鳥取県立大山青年の家での試行を経て、鳥根県立三瓶自然館「サヒメル」において、電視天体観望の試みがなされ、社会教育施設での観望時に特有の課題が解決できる足場を得たことの報告である。

【キーワード：CMOSカメラ、天体観測、天体自動導入、電視観望、EAA、教材化】

I はじめに

1. 社会の動き

2018年9月21日、小惑星探査機「はやぶさ2」が搭載しているローバ（MINERVA-II1）の小惑星リュウグウ表面への着陸を成功させ、さらに10月2日にDLR（ドイツ航空宇宙センター）とCNES（フランス国立宇宙研究センター）によって共同開発された小型着陸機のMA SCOTの着陸をも成功させ話題となっている。2005年に小惑星イトカワへのサンプルリターンを成功させた、はやぶさプロジェクト以降、映画化されるなど、社会現象といわれるほど、宇宙開発について着目されている。

2016（平成28）年4月1日に内閣府は、国家安全保障戦略及び産業基盤の維持・強化の視点で「宇宙基本計画」を策定し、宇宙開発を強力に推進しようとしている。

それに先立つ2012（平成24）年に文部科学省が示した「文部科学省における宇宙分野の推進方策について」²の方向性は、「宇宙を知る」として、宇宙科学の理解を根底に据え、宇宙理学及び宇宙工学の学理とその応用、宇宙探査の重視、「宇宙を支える」として技術基盤の強化、宇宙環境利用技術等の推進、「宇宙を使う」として、通信・放送・気象分野での一層の発展、リモートセンシング分野、また将来的な宇宙環境の利用産業等を視野に入れた推進方策を示している。その中では、年齢層に応じた、宇宙に関心を有する青少年の裾野の拡大が謳われている。

このような大きな枠での宇宙教育が推進される一方、

鳥取県は、鳥取市が環境省の「全国星空継続観察」で1位になったことのある唯一の県庁所在地であり、定点観測地等でも複数回日本一に輝いたことなど、星が綺麗に見える環境を活かし「星取県」と名乗ることで、観光面や環境保全面で活性化の取り組みを進めている。それは、全国各地で過剰な人工光により星空が失われつつあるなか、清浄な大気と人工光の放出の少なさによってもたらされる美しい星空が見える環境を、ふるさとの重要な景観と位置付けるとともに、観光や地域経済の振興、そして環境教育等に生かしていくという考え方に基づいている。さらに、美しい星空が見える環境を県民の貴重な財産として保全し、次世代に引き継いでいくため、鳥取県星空保全条例³を制定（平成29年12月）するなど積極的な展開をおこなっている。

このように、宇宙に対する青少年の興味関心を高め、人材育成の裾野を広げていきたいという方向性は、国家のみならず、地方自治体における地域環境や地域経済という、地域に根付いた視点の双方で求められている。

2. 眼視観望と天体写真との違いを埋めるために

雑誌やインターネット上の画像では、天体写真の撮影を趣味とする人たちが撮影した、赤や青などの色を伴った美しい天体写真が多く掲載されている。天体写真は、瞬間の光を捉えるのではなく、露出を多めに撮影されるのが一般的である。露出は、写真を撮るときに取り込まれる光の量であり、絞りとシャッター速度で決まるが、天体写真では長時間のシャッター開放で撮影し、より多

* 鳥根大学大学院教育学研究科教育実践開発専攻

** 株式会社アクアキューブ 松江星の会 よなご星の会

*** 鳥根県立三瓶自然館

2018年10月30日受付

2018年12月26日受理

くの光を取り込み、画像化する。

さらに近年では、地上の風景と天体を共に写し込む風景写真という分野や、天体の動きを早送りのように動画に取り込むタイムラプス撮影（Time Lapse：微速度撮影）という手法も表現方法として話題となっている。

しかし、実際の望遠鏡等による眼視観望では、網膜の光を感じる細胞の感度と、色を感じる細胞の感度の違いから、モノクロームの淡い像は見えても、色を判別することはかなり難しい。そのため、星雲等を見ても写真のように赤や青の光を見取れることは稀であり、一般的にはモノクロームの映像のようにしか見えない。もちろん、人の目はその瞬間の光を判断しているので、感度の限界より弱く淡い光は見えないため、カメラでは撮影できても人の目では見ることすらできないものも多くある。

そのため、テクノロジーを活用することで、天体観望にまつわる様々な問題点を解消し、多くの人が比較的容易に、リアルタイムで、色を伴った天体観望ができる方法論の確立と教材化を目指すこととした。専門的な知識がなくても、興味を持つ学校の教員や社会教育施設の職員が、ある程度のレベルの天体観望を実現できると知れば、実践する者も現れると思われるため、開発したシステムの詳細を現場に報告することを目標とする。

II 天体観望にまつわる諸課題

1. 学校教育における課題

1985年に秋田大学で、小学校理科における天体観察学習指導の問題点を明らかにするためにアンケート調査が行われており、2012年に再調査・検討が行われている⁴。

その報告では、天体観察の困難さの理由として「天候に左右される」こと、「夜間の登校が必要となる」こと、「夜間登校が難しいため、観察は家庭学習で行うことを指示するが、指導の徹底は欠けていると感じている」ことが挙げられており、1985年に示された問題点は2012年でも解消されていないことが指摘されている。この調査は秋田県での調査ではあるが、学校での天体観望会の実施率の低さや、施設・設備の不備という、広く一般的に存在する問題点のようにも感じられる。

中学校教育の場でのアンケート調査⁵によると「教師が考える生徒の関心領域については、宇宙全般及び天文分野に対する関心が高いとする回答は有意に多いが、工学などの技術分野に対する関心では、肯定・否定に有意差が得られなかった」とされ、「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た。

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。

加えて高等学校でも「観測が難しい」「実体験しにく

い」という状況は同様であるものの、「時間がない」「地学を開講していない」などの授業の枠そのものに関する課題も挙げられている⁶。

これらのことから、児童生徒の興味関心の高揚や、人材育成の裾野を広げ興味を養う、学校教育における天体観測の体験は、夜間であることが阻害要因として働き、あまりなされていない現実が分かる。

2. 観望会等における実施者が感じる課題

かねてより小中学校や地域の社会教育施設等では、観望会等で、児童生徒や住民対象に天体観望の機会を提供してきた。しかし、近年は宇宙への注目も高まってきているものの、天体観望の機会は、天候に左右されることや指導者確保の困難さもあり、学校では減ってきている。このように天体観望の環境整備は依然として十分とはいえず、望遠鏡で満足に天体を見たことがないという人は、大人を含め、かなり多い。

実際、2018年7月31日に松江星の会が駅前観望会を実施した際、土星の撮像（動画）をAndroidタブレット端末上に映し出していたが、それを見た通りすがりの参加者が「土星って本当に輪があるんだ」とつぶやいたのが印象的であった（写真1）。大人でも、どのような天体が、どういう見え方をするのかを体験的に知らないということを感じさせるエピソードである。



写真1 松江駅前の観望会でタブレットに映した土星

(1) 天体を見取ることの困難さ

殆どの場合、天体観望は望遠鏡に接続されたアイピース（接眼レンズ）を覗いて対象を観望するという動作が伴う。しかし、このアイピースを覗いて天体を観望する動作が、初心者にはかなり難しいものとなっている。

まず、適切な位置に目を持っていくという動作のイメージがつかめない場合が多い。アイピースを覗く場合、特に高倍率になると、目の位置が非常に重要になる。もぞもぞ上下左右に目の位置を動かし、アイピースと目の距離を調整し、覗き込む角度を試行錯誤し、適切に観望できる位置で覗き込む動作が必要となるが、初心者にはその位置決め動作が難しく、覗いたけれど見えないので諦めてしまうということがときおり見受けられる。

天体望遠鏡等の設備を備えている社会教育施設（天文台等）でも頻繁に観望会は行われている。でも、参加者が多い場合、望遠鏡が沢山あるわけではないので、一つのアイピースを覗くために行列ができるなどの事態も起こる。そのような場合、うまく見えていなくても、次の人が待っているという心理的な焦りから、その場を離れてしまうという観望初心者も少なくない。

また、視力は個人によってそれぞれ違うため、望遠鏡では自分に合ったピント（焦点）を、その都度調整することが必要となる。観望会等でアイピースを覗いても、必ずしもその人の目にピントが合っているとは限らない。例えば惑星などの明るくてはっきり見える対象であれば、個人が見え方を調整することも可能だが、星雲などのモヤッとしたものを見る場合、どうピントを合わせて見えているかは、その観望者にしかわからないし、その場にいる指導者が代わりにピントを合わせてあげることもできない。そのため、ピントが合っていないことに気付かずに、ぼやけた像を見て、そういうものかと思取っている観望者もいることが考えられる。

天体望遠鏡を有する社会教育施設では、観望者が多い場合、程々に視力がいい人にピントを合わせ、行列ができていく観望者を一人ひとり観望させていくが、個人にピントを合わせ直すことは時間的にできないため、眼鏡をかけている人は眼鏡のまま覗いたりしている。

観望会参加者が少ない場合は、じっくりと時間をかけて観望することができるが、参加者が多い場合、次々と交代しながら観望せねばならず、そのような場合、参加者の満足度は低くなる傾向にある。実際、宇宙の神秘と向き合う大切な瞬間が、観望者の人数が増えれば増えるほどおぼろげになってしまうという現実、担当者にとっては大きなジレンマとなっている。

（2）天体の導入とアライメントの困難さ

地球の自転によって、天球は常に一定の速度で動いている。モーター駆動されていない経緯台や赤道儀で見るときは、手で追いかけていくことになるが、じっくりと観望しようとする、その天球の動きに合わせて望遠鏡を支える軸がモーターの駆動で回転して、常に望遠鏡の視野の中に目標の天体を入れておく、自動追尾と呼ばれる機能を持つ赤道儀が必要となってくる。

天球上にある天体の位置は正確に知られており、星図としてカタログ化されている。そのため、観測場所と観測する日時が分かれば、天球上のどこに何が見えるかということは計算によって求められる。

最近、自動導入機能を持つ望遠鏡が多く販売されている。赤道儀が内部に持つ星図を参考にして、見たいと思う天体を自動で望遠鏡の視野に入れてくれる機能を持つものである。このおかげで、どこにどんな天体があるのかを知らなくても、望遠鏡が自動で目標の天体を視野に入れてくれるようになっている。

しかし、自動導入望遠鏡を動かし始める最初の段階に、実際に望遠鏡で見えている星と、望遠鏡内部にデータと

して持っている星図上の星の位置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。そのアライメントが天文知識を持たない者にとってはかなり困難である。多くの自動導入望遠鏡は、アライメントの段階で、1つから3つ程度の、その時見えているはずの明るめの恒星を望遠鏡の視野の中心に入れ、決定する作業が必要となる。多くの場合は赤道儀のコントローラーが「この恒星を視野に入れてください」と指示を出すのだが、天文知識が無いと、見えている星のどれがその恒星なのか分からない。そのため、アライメントができず、自動導入の恩恵にあずかることはできないという事態が起こる。

スマートフォンやタブレット等の端末を、星の見えている方向に向ければ、その方向の星図を示す星図アプリも存在し、見えている星が何なのかを特定するにはとても便利である。しかし、肉眼でその星が目指す恒星だと認識してアイピースを覗くと、倍率が変わり肉眼時に見えていた星よりも多くの星が見えるため、またどの星が目指す恒星なのか分からなくなるということも起こる。

天体観望の熟練者にとっては、全く困難さを感じないようなことではあるが、初心者にとってはかなりの困難さである。そのアライメントの困難さのために、興味を持って望遠鏡を買ってはみたけれど、使いこなせずに放置されるということもあり、天体観測の広がりや妨げる要因となっている面もある。

（3）望遠鏡の架台設置にまつわる困難さ

望遠鏡の架台には、カメラの三脚のように、上下・水平の2方向への動きで鏡筒の向きを調節する経緯台と、望遠鏡の回転軸（極軸）が地軸と平行になるようにし、日周運動に合わせて弧を描くような動きで鏡筒を調整する赤道儀と呼ばれる2種類がある。さらに赤道儀にはいくつもの形式があり、例えばサヒメルの60cm反射望遠鏡のような据え付け型の大型の赤道儀はフォーク式であるが、日本で一般に販売されている民生機の赤道儀の大部分はドイツ式である。経緯台、赤道儀双方に、モーターで駆動し、自動追尾する機能を持つものが発売されているが、双方ともアライメントの作業は必要である。

加えて赤道儀の場合、追尾精度を上げるために極軸の延長線上に北極星を持ってくる極軸合わせという作業が伴う。ドイツ式赤道儀でのその作業は、極軸を貫くような形で赤道儀に埋め込まれている極軸望遠鏡という小型の望遠鏡を通して、極軸が北極星を指すように赤道儀を設置することにより行う。しかし、北極星を真ん中に入れてくればよいというものではなく、北極星の位置は天の北極から0.6度ほどズレがあるため、極軸望遠鏡の周りに取り付けられた回転目盛り等の日付と時間・観測場所の経度を合わせ、示された位置に北極星を導入するものがほとんどだが、その作業自体も初心者にとっては至難の業であり、困難さを増加させる理由となっている。

Ⅲ 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

このプロジェクトでは、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、その機関の状況に応じた教材化の方法論を進展させていくこととする。各段階の課題解決には、それぞれにおいて困難さをもたらしている要因(表1)があり、段階に沿って困難さの原因を取り除くか、代替することで解決を目指すこととする。

表1 目標とする課題解決の段階と困難さの要因

Phase 1 天文機材を有する社会教育施設での課題			
環境	・機材は整っている ・観望スキルは十分ある(高スキル)	要因	・正しくアイピースを覗いて見ることができないという、天体を見取ることの難しさ ・眼視では色が見えないことへのイメージの落差 ・大勢だと一人あたりの観望時間が短くなる問題
Phase 2 天文機材を持たない社会教育施設等の課題			
環境	・機材未整備 ・観望スキルは少しある(中-低)	要因	・天体を導入する際のアライメントの困難さ ・各天体の見え方等の知識の欠如
Phase 3 一般的な学校での課題			
環境	・機材未整備 ・観望スキルは低い(低スキル)	要因	・夜間に子どもたちを登校させることへの著しい困難さ

2. 解決方策の見通し

Phase 1の困難さをもたらす要因の解決は、CMOSカメラを用い、撮像をモニター表示することで、ある程度解決されることが期待できる。CMOSカメラで撮影している天体映像をリアルタイムで、PCのモニターやタブレットの画面、電子黒板等に映し出すことで、アイピースを通して見る困難さや、色が見えないこと、また一度に一人しか見えないという状態を解消する。

Phase 2の要因解決に向けては、アライメント作業すら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。

Phase 3の要因解決は、録画機能を検討し、どのような見せ方が可能か、また、どのような校種で、どのような方法を使えば、教室等の場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。

Ⅳ 課題解決に向けて活用できる既存技術

1. CMOSカメラを用いた可視光の撮像観望

多くの人は望遠鏡で天体観望するときに、写真のように色のついた綺麗な像が見えると期待して望遠鏡を覗く

が、その見え方の違いに落胆することがままある。

星雲などの天体写真では、とても淡い光を長時間の露出で蓄積し画像にしている。人が眼視する場合、人の目は撮像素子よりも感度が低く、その瞬間の光を見ているため、よほど明るい星雲でも、白くもやっとした雲のようにしか見えない。そのことを理解して望遠鏡を覗く人はいいが、天体写真のようなものが見えると期待して望遠鏡を覗く人は大きな落差に驚くことになる。

しかし近年、高感度CMOSカメラが比較的安価に提供されるようになり、肉眼では見ることができなかった星雲等をリアルタイムで見ることが可能になってきた。

全国で天体観望の愛好家たちが実験的な実践を行い、その成果をブログ等で発信している。そのように開発されてきた技術は、国内では電視観望と呼ばれ、国外ではEAA (Electronically Assisted Astronomy) と呼ばれているが、望遠鏡のアイピースを覗いて見る眼視観望では見ることのできない映像を、ほぼリアルタイムでモニターに映し出すことができ、彼ら先駆者が主催する観望会等で実践され報告されている。



写真2 CMOSカメラ ZWO ASI294MC

CMOSカメラは写真2のようなものであり、アダプタで鏡筒接眼部の31.7mm径(アメリカンサイズ)の穴にアイピースの代わりに差し込んで用いる。USB出力はUSB 3.0であり、受光部が受けた光を、高解像度の動画として、USB3.0経由でPCに送り続けるというシンプルな機能のカメラである。カメラ単体の機能は単機能であり、露出等の調整は全てPC側で行うため、スイッチすらない。単機能カメラで直径62mm程度なので、一般的に市販されているデジタルカメラと比較しても小型である。

CMOSカメラはすべての帯域の光に反応するため、IR/UVカットフィルター(紫外線・赤外線カットフィルター)をアダプタに取り付け、紫外線と赤外線をカットし、可視光だけを受光できるようにしている。

2. Plate Solvingによるアライメントの困難さの解消

望遠鏡は、赤道儀または経緯台と呼ばれる架台に、鏡筒というレンズまたは鏡がついた筒状の集光部が載せられた状態を合わせて望遠鏡と呼ばれることが多い。

数年前から、望遠鏡本体や架台部にGPSやCCDカメラ及び各種センサーを搭載し、スイッチを入れるだけで、自動でアライメントを行い、見たい天体を指定し、接眼

部を覗くだけで目標とする天体を観望できるようにしてくれる全自動ロボットのような望遠鏡が登場してきている。いつ、どの位置にどの天体（惑星・星雲等）が見えるかは、センサー等から得た情報を元に、望遠鏡本体が計算によって求め、導入している。

スイッチを入れた後の動作は、まずGPSアンテナがGPS衛星からの電波を拾い、自分の位置と標高を測位し自分の位置座標を知り、日時情報を取得する。そして方位センサーと水平センサーで赤道儀本体の位置や傾きを正確に把握する。次に、赤道儀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、適当な方向に鏡筒を向ける。

その後、鏡筒に取り付けられたCCDカメラが自動で数ヶ所の空の写真を撮影し、撮影された星の並びと、赤道儀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する。

それが完了すると、自動アライメントが終了となり、アライメント終了後は、星図のデータを元に、ユーザーの希望する天体の方向に鏡筒を向けることが可能になる。観望者が「木星が見たい」と指定するだけで、自動で鏡筒の向きを変え、覗くだけで木星が見えるという状態を提供できるようになる。

その、望遠鏡が持っている星図と、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、様々なツールが流通しているが、処理速度の早いものは数秒で自分の位置を判別するようである。残されたユーザーの操作はピントを合わせるだけである。

3. 自動導入装置及び観望装置の最適化

CMOSカメラを用いた撮像観望技術と、Plate Solvingの機能を持つ赤道儀の登場は、天体観測の初心者であろうが、誰でも目的の天体を導入し、観望することを可能とする。例えば学校の教員で天体の位置を知らなくても、目標の天体（惑星や星雲・星団、銀河等）を望遠鏡で見たり、CMOSカメラでモニターに映し出すことができたりし、詳しい指導者がいなくても、学校で子どもを集めて星を観る会を実践できる可能性がある。

全てがオールインワンになっている望遠鏡⁷は現時点ではまだ高価であるが、自動導入機能を持つ赤道儀は安価なものが発売されているし、Plate Solvingの機能も、Raspberry Pi⁸のような小さく安価なPCで動かせるため、それらの組み合わせを検討し、比較的安価に自動観望システムを構築することは不可能ではないだろう。

それらの機材同士の組み合わせの適正化や、操作等のマニュアル化を行い、学校や教育関係機関に出向き、児童生徒及び教員や職員等と共に、テクノロジーを活用した天体観望を体感してもらい、天体の専門知識がなくても星雲や銀河を観望できることを知ってもらう。加えて、整備可能な程度の価格でシステムが組めれば、興味ある学校や教育関係機関等が教材にし、自分たちだけで天体観測を継続的に続けていくことが可能となるだろう。

またそのような教材を活用することで、天体観望やその技術に興味を持つ子どもたちを育み、「天文学」への学びや、「科学技術」への学びへと、子どもたちの視野を広げることが期待できる。ひいてはそのことが、宇宙に関心を持つ青少年の裾野の拡大につながると考える。

V CMOSカメラを用いた可視光の撮像観望実践

1. 撮像観望実践の経緯

今回の研究に関わるCMOSカメラを用いた撮像観望実践を時系列に沿って記し（表2）、以下に詳述する。

表2 CMOSカメラを用いた撮像観望実践

日付	実施者と場所及び内容
2018/6/16	関係者（著者ら）2名が、大山青年の家駐車場で、CMOSカメラを用いた撮像観望の試行を行う
2018/7/31	松江星の会が松江駅前で駅前観望会を実施する際、関係者2名が参加し、CMOSカメラを用いた惑星を試写
2018/9/17	関係者3名が揃い、三瓶自然館サヒメルで撮像観望（1回目）を実践
2018/10/13	サヒメルの職員が三瓶自然館サヒメルで定例の観望会を実施（関係者1名）した際、CMOSカメラによる撮像を試写
2018/10/24	関係者2名が三瓶自然館サヒメルで撮像観望（2回目）を実践

2. 大山青年の家での試行

今年度の最初の実践は、6月16日に大山青年の家の駐車場をお借りして、機材を持ち込み、CMOSカメラによる撮像によって、どの程度天体が見えるのかを試行することから始めた。実践時に使用した機材は、以下の通りである。

CMOSカメラ	ZWO ASI294MC
鏡筒	タカハシ ε-130D
赤道儀	ビクセン SXP赤道儀
使用ソフト	Astro Photography Tool
ノートPC	HPノートPC (Spectre X360)

この試行により、星雲等の天体が、眼視と比較して、十分すぎるほど観望可能であることが分かり、色も十分判別できることが分かった。



写真3 ノートPCの画面に映し出された三裂星雲（左上）と干潟星雲（右下）

写真3の露出時間は17秒であり、17秒間の光を蓄え、PCの画面を書き換える設定である。赤道儀で追尾しているため、ずっと同じ画面が見えていたが、17秒ごとに画面が入れ替わっている。

この観望時には、大山青年の家の所長や同職員が同席していたが、写真のように色付きで星雲が見えることに皆が驚いており、このようなことができるなら、来所する子どもたちに見せたいという感想を持っていた。しかし、大山青年の家には常設の天体観測施設が無く、専門家もいないため、実際に自分たちだけで実施するのは難しいだろうということであった。

3. 島根県立三瓶自然館「サヒメル」との共同

その後、島根県立三瓶自然館「サヒメル」がプロジェクトに協力して頂けることとなり、サヒメルの機材を用いてCMOSカメラによる可視光の撮像観望を実践した。サヒメルのような天体観測施設で、CMOSカメラによる撮像観望が効果的に実践可能であれば、Phase 1の困難さをもたらす要因が解消されることとなる。

サヒメルには、口径20cm焦点距離1800mmのクーデ式屈折望遠鏡が4機常設されているスライディングルーフの部屋(写真4)と、口径60cm焦点距離6000mmの反射望遠鏡が設置された天体ドーム(写真6)があり、全ての望遠鏡がコンピュータ制御で天体を自動導入できるようにしている。また、それらの望遠鏡の極軸は正確に固定されているため、Phase 2の課題にあたるアライメントの困難さや天体導入時のずれ等の困難さが存在せず、CMOSカメラによる可視光の撮像観望のみに集中することができる。



写真4 スライディングルーフが開いている途中



写真5 屋根が開いた状態での20cmクーデ式望遠鏡

サヒメルで活用できる望遠鏡は、

口径10cm, 焦点距離400mm屈折望遠鏡×2

口径20cm, 焦点距離1800mmクーデ式屈折望遠鏡×4

口径60cm, 焦点距離6000mm反射望遠鏡×1

(レデューサーを使用すると焦点距離4200mm)

等であり、全ての機材で撮像実験を試すことができる。

写真5の奥にある点線で囲まれたクーデ式屈折望遠鏡の上に、PENTAXの口径10cm屈折望遠鏡のうち1台が載せられている。この望遠鏡は焦点距離が短く明るい光学系なので、広がりのある天体を電視観望するのに適していると思われる。

写真5の口径20cmクーデ式屈折望遠鏡は、五藤光学製で、視直径のやや小さな星雲等の電視観望に向いていると考えられる。また、屈折望遠鏡は反射望遠鏡のように鏡筒内に気流が発生しないため像が安定しており、月のクレーターなどの映像を得ることに期待できる。

口径60cm反射望遠鏡は西村製作所製であり、長い焦点距離による利点として惑星の電視観望に、またその大きな集光力を活かし、小さく暗い天体の電視観望に威力を発揮するものと思われる。

写真6は、60cm反射望遠鏡にCMOSカメラを取り付けた状態の写真である。CMOSカメラは、大きな望遠鏡に取り付けると、小ささが際立つ。

望遠鏡で天体を撮影する場合の画角(視野・写野)は、望遠鏡の焦点距離とカメラの撮像素子(CMOSセンサ)のサイズから算出でき、ASI294MCの撮像素子のサイズは水平19.2mm、垂直13.1mmである。

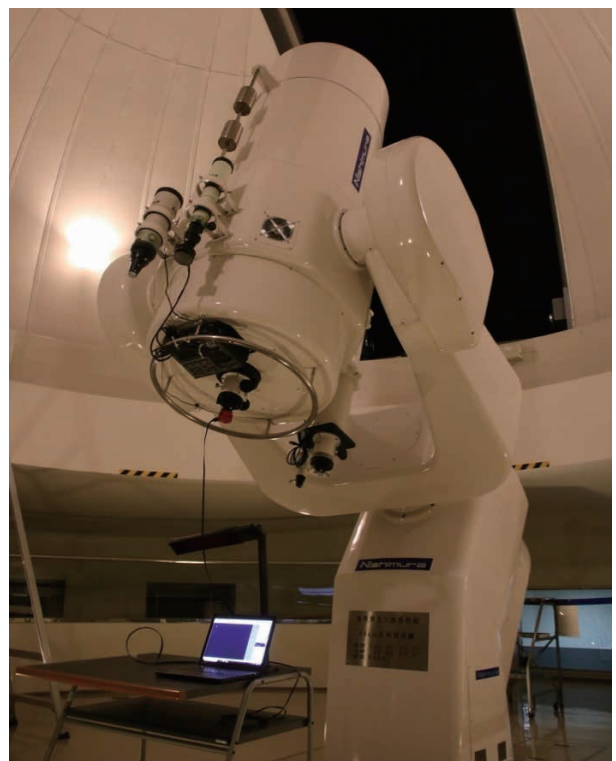


写真6 サヒメル天体ドームの中の60cm反射望遠鏡

そこから算出したサヒメルで活用できる望遠鏡それぞれの画角は表3のようになる。各望遠鏡で天球上の見える画角が異なり、それに合わせて適切な天体が異なる。

表3 撮像素子と焦点距離による画角

望遠鏡	焦点距離	画角 (写野)
口径10cm屈折	400mm	2.7° × 1.9°
口径20cmクーデ式	1800mm	0.61° × 0.42°
口径60cm反射	6000mm	0.18° × 0.12°
同レデューサー使用時	4200mm	0.26° × 0.18°

4. サヒメルにおける観望実践

サヒメルでは天候に恵まれることが少なく、観望ができたのは9月17日と10月13日、10月24日であった。

ASI294MCを各望遠鏡に取り付け、USB3.0ケーブルでノートPCとつなぐ。キャプチャーソフトウェアはSharpCap3.1⁹を用いた。

サヒメルでの実践で用いた機材は、以下の通りである。

- CMOSカメラ ZWO ASI294MC
- ノートPC 9/17・10/13: IBMThinkpadx250 (画面解像度1920×1080)
10/24: Microsoft Surface Pro4 (画面解像度2736×1824)
- 使用ソフト SharpCap3.1
- 望遠鏡等 サヒメル常設の望遠鏡

図1は、口径10cm屈折望遠鏡の接眼部にCMOSカメラを取り付け、M31（アンドロメダ銀河）を撮像したものである。

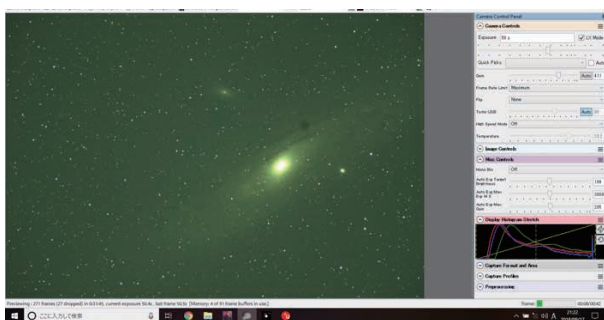


図1 SharpCap3.1のテレビ中の画面

SharpCap3.1の画面の右側にはコントロール部があり、そこで各パラメーターを調整して、最もよく見えるポイントを探すことになる。図2は、SharpCap3.1のカメラコントロールパネルのカメラコントロールの部分である。図1のM31を撮像したときの状態をトリミングして示している。

図2のカメラコントロール一番上部のExposureは露出時間である。このときの条件は、50秒の露出時間を取っている。Gainはカメラ本体の感度を示しており、このときはGainを低めに設定したので、Exposureの時間を多めに取って像を得ている。一般的にはGainはもっと高く

設定し、Exposureを短く撮像するのだが、図1は、アンドロメダ銀河の淡い広がりが見えないかと試行錯誤中のスクリーンショットである。

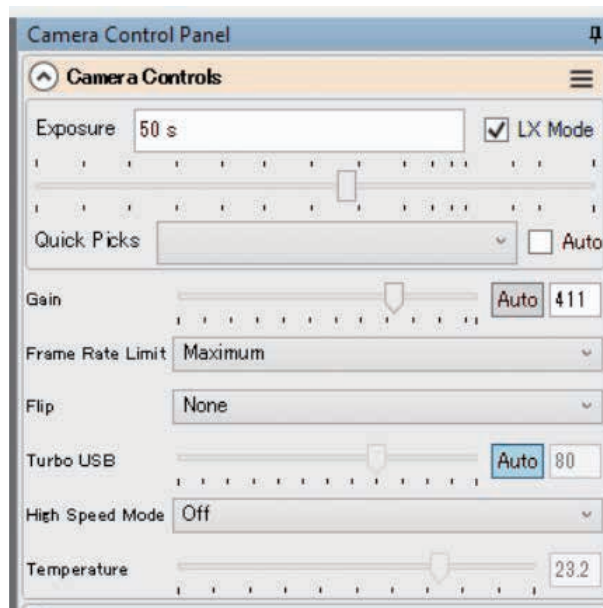


図2 SharpCap3.1のカメラコントロールパネル

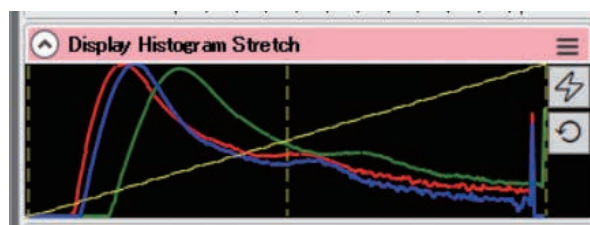


図3 Histogramコントロールパネル

図3は、ヒストグラムのコントロールパネルである。縦点線の部分が右や左に調整できるようになっており、ヒストグラムを調整（ヒストグラム・ストレッチ:圧縮）し、適切に映し出せるポイントを試行錯誤する。

9月17日の実践では、綺麗に見える条件を探るために終始試行錯誤であった。いずれは、どの天体はどういうパラメーターで見ると綺麗に見える等の条件を定めていく必要があるだろう。

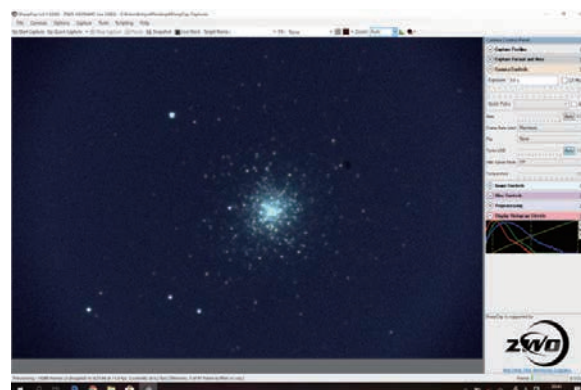


図4 M2（球状星団）のスクリーンショット

星団も撮像できる。図4は口径60cm反射望遠鏡で見た球状星団のM2で、中心部は光が集まりすぎて飽和状態気味であるものの、周辺までの星の広がり、それぞれの恒星の色の違いが美しく見える。次に星雲を確認するため、口径60cm反射望遠鏡で撮像したM76のスクリーンショットを示す。

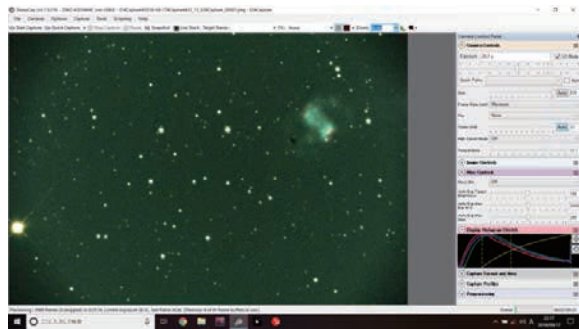


図5 M76 (小アレイ星雲) のスクリーンショット

図5のM76は小さい天体ではあるが、色を伴って淡い部分まで見えている。

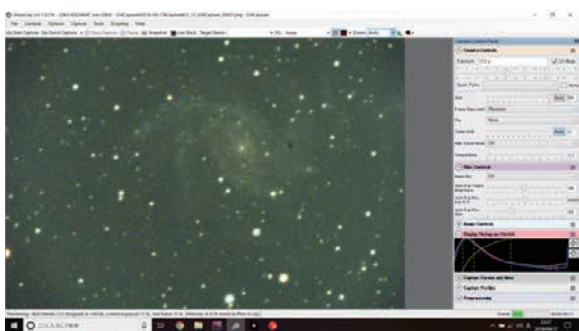


図6 NGC6946 (花火銀河) のスクリーンショット

図6は口径60cm反射望遠鏡で撮像したNGC6946という銀河である。眼視で見える場合、腕の部分は淡いため殆ど見取ることができないが、画面では腕の部分も表示されている。

観望会では、淡い天体や見えづらい天体はほとんど観望対象となることはない。なぜなら、観望に訪れている参加者は、必ずしも観望の熟練者ではないため、熟練していれば見取ることができるものでも、初心者では淡すぎて見取ることができない場合が多いからである。そのため実際の観望会で観望する対象は、大きく明るいものが選択され、希少なものを見る機会は殆ど無い。

しかし、CMOSカメラでの撮像であれば、淡い天体も観望することができると分かった。このことは、従来の観望会等では、観望する機会に恵まれなかった天体も、撮像によって観望が可能になるということであり、観望会での観望対象を大きく広げる可能性が見いだせる。

10月24日の実践について、その日は満月であり、淡い星雲は月の明るさによって打ち消されて、とても観望しにくくなる。しかし、月自体は観望可能であるため、月の撮像観望を試みた。

月は視直径が大きいので、口径20cmクーデ式屈折望遠鏡の焦点距離では全体がはみ出してしまいが、細かいところまでよく撮像できている(図7)。

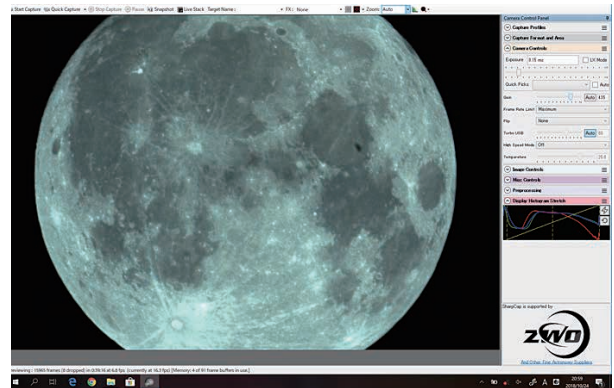


図7 口径20cmで撮像した月のスクリーンショット

月の撮像をPC画面上で拡大して撮像すると、ティコクレーターやコペルニクスクレーター、ケプラークレーター等がはっきり確認でき、各クレーターの周りの放射状に広がる光条も確認できる(図8)。眼視で月を観望する場合、満月では明るすぎるため、フィルターなどを取り付けて観望し、特に満月の時はクレーターの様子が確認しにくい状況があるが、CMOSカメラで観望する場合、GainとExposureで明るさの調整が非常に容易である。そのあたりはとても使いやすい。

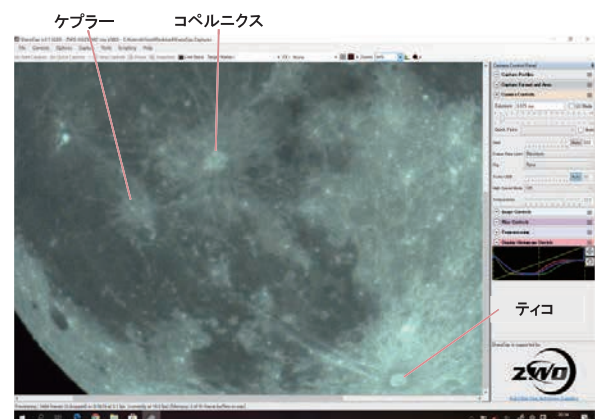


図8 月の拡大画像のスクリーンショット

サヒメルでの観望は、画面解像度の異なる2種類のノートPCを用いて撮像している。9月17日の観望では画面解像度1920×1080のThinkPadであり、10月24日は画面解像度2736×1824のSurface Pro4である。

図1・図5・図6はThinkpad、図4・図7・図8はSurface Pro4でのスクリーンショットである。ASI294MCのCMOSセンサー(SONY IMX294)の解像度は、4144×2822であり、それぞれのノートPCで、4144×2822の映像を画面に収まるように圧縮して表示している。そのため、画面の見目はThinkPadよりSurface Pro4の表示(スクリーンショット)の方が高精細で細かく美しく見える。

しかし、Surface Pro4の画面解像度でも、CMOSセン

サーの解像度より3/4以下に圧縮表示されており、ASI294MCの解像度をフルに映し出すには4Kモニターが必要となる。そのため、美しく見るための観望環境としては、高速なPCが必要になるとはいえ、4Kの大画面モニターに映写するのが理想的であろう。

さらに、大画面モニターに映し出す場合、PCと結線するのは不便なため、ワイヤレスで画面を転送できるようにすると、さらに観望環境としては望ましい。

5. 眼視と電視 (EAA) の見え味の比較

天体を観望する場合、個人がアイピースを覗いているものなので、どのようにその個人に見えているのか分からない。そこで、大野裕明氏が執筆された「星雲・星団観察ガイドブック」¹⁰⁾に示された、熟練の観察者によるスケッチを参考に、CMOSカメラによる撮像と比較して、見え味の違いをイメージ化する。

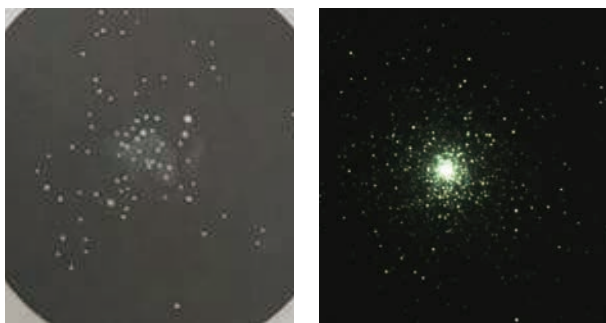


図9 M15 口径30cm (120倍) によるスケッチと撮像比較

図9に、ほぼ同倍率のM15 (球状星団) のスケッチと、撮像を並べて載せている。この比較では、スケッチと撮像で球状星団内の星の数が全く違う。眼視では見える星の数がかなり少なく、中心部に近いエリアは星が分離して見えずにモヤッと雲のようにスケッチしている。一方撮像は、かなりの部分まで星が分離して撮像できる。また、恒星それぞれの色の違いも見分けられる。

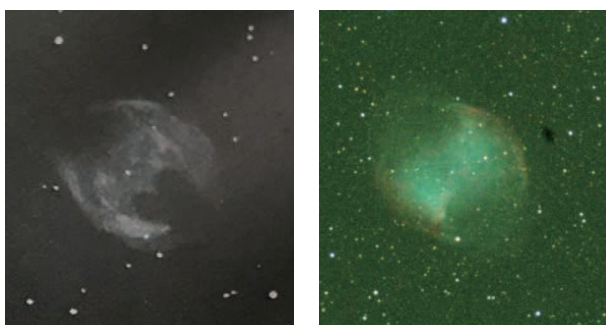


図10 M27 口径20cm 64倍のスケッチと撮像比較

図10, 図11に惑星状星雲のスケッチと撮像の比較を載せる。M27は鉄あれいの形に似ていることから、あれい星雲と呼ばれる惑星状星雲である。中心に12等級の星があり、中心星が出すガスが紫外線に照らされて光っているものである。スケッチも撮像も中心星は確認できるが、淡いガスの広がりには撮像のほうが広く得られているよう

に見える。ガスの中心部の青い光と、周辺部の赤色とのコントラストは、撮像でなければ確認できない。

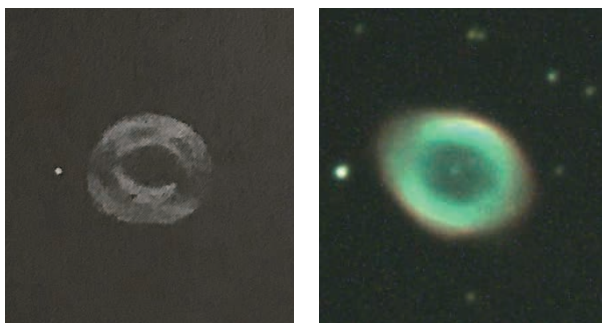


図11 M57 口径20cm88倍のスケッチと撮像比較

M57は、リング状に見えることで有名な惑星状星雲であり、宇宙にぼっかり浮いた輪のように見え、眼視でも人気の天体である。中心にある星が寿命を迎え放出した外層のガスが、中心星からの紫外線を受けて光っているものだが、スケッチでは中心星が描かれていないにもかかわらず、CMOSカメラの撮像では淡く中心星が写っている。それくらい淡い光も映像化できることが分かる。また中心側の青色と周辺部の赤色が美しく見える。

このように、眼視によるスケッチと、CMOSカメラによる撮像の比較で両者の違いをシミュレートしてみた。眼視で観望可能なものは、大抵の場合CMOSカメラで撮像でき、図6のNGC6946のように眼視では見えにくいものでもCMOSカメラでは撮像できることが分かる。

天体写真の分野では、様々な天体が長時間の露出やコンポジット (画像の重ね合わせ) で撮影され、とても美しく紙面等を飾っている。今回の実践におけるCMOSカメラでの撮像は、環境を追い込んで撮像していないため、天体写真ほどの美しさや解像度は無いものの、リアルタイムで、今、空にあるものが見えているという臨場感では勝るものであると感じる。

VI サヒメルの観望会における活用と今後の展望

1. サヒメルで実施された観望会の成果

サヒメルでは、毎週土曜日に観望会が行われているが、10月13日の観望会では、一般の来館者にCMOSカメラによる撮像を観望してもらう機会を得た。

- ・実施日時 2018年10月13日 (土) 19時台, 20時台
- ・使用機材 五藤光学 20cmクーデ式屈折望遠鏡 + ZWO ASI294MC
- ・電視観望 ノートPC (ThinkPadX250) の画面に SharpCap3.1による画像を表示

試写は通常の観望会のメニューの間に差し込む形で行われた。CMOSカメラによる撮像表示は、図11と同じM57 (リング星雲) をPC画面に映し、参加者に披露した。

参加者は、大人19名、小中高生17名、幼児3名の合計39名である。その時に観望者から得られた感想は以下のようなものであった。

表4 観望会で得られた感想

属性	感想
小学生	・すごい ・教科書で見たことがある
中学生	・惑星状星雲が好きなので見られてよかった
大人	・何でこういうものがあるのか ・これはどういう天体なのか 等多数 ・生で見るのはいい

大人の意見に多くあった、天体の組成や成因にまつわる質問は、日常の眼視の観望では、あまり聞かれないものであり、電視観望で構造がよく見えるからこそ、思い浮かぶ疑問なのであろう。



写真7 観望会で撮像映像を見る参加者

参加者たちは、画面に映った画像でも「生の天体」と認識して観望しており、写真や録画とは別のもので認識して観望していたようである。当日は、曇りがちだったこともあり、雲が通り過ぎるたびに画面のM57が現れたり消えたりしていたが、かえってそれにより「本物」であることを実感させることにつながったのだと思う。それでも、「生で見るのはいい」と感想にあるように、大人であってもPCの画面に映し出された映像を「生の天体」と認識して観望している姿が、共同研究者は意外に感じたと言っていた。

加えて、サヒメルの職員とボランティアで構成される観望会の運営スタッフたちの声では、「普段は、なんとなく、かろうじて見える程度なのに、よく見える」、「形がよく分かる」、「色が見えるのがすばらしい」という意見も寄せられた。眼視で見慣れているサヒメルのスタッフたちが、よく見えると言うのであるから、実際によく見える感覚を抱かせたのだと思う。

2. 撮像表示担当者の事前準備

観望会においてCMOSカメラを用いて撮像表示を担当したのはサヒメルに籍を置く共同研究者であるが、そのためのソフトウェアや機材操作に関するレクチャーに要した時間は15分程度のものであった。そのため、既に天

体観望のスキルを持つ者にとっては、CMOSカメラによる撮像表示のスキル会得は比較的容易なことであることが分かる。

このことは、天体観測機器を有する社会教育施設であれば、CMOSカメラさえ整備すれば簡単に撮像表示ができるようになることを意味し、今回の観望試写の感想等から、Phase 1で困難さをもたらす要因とした、「正しくアイピースを覗いて見ることができにくい」、「眼視では色が見えない」、「参加者が大勢だと一人あたりの観望時間が短くなる」という課題点は解消することができたと考えられる。

3. 次の段階にあたる自動導入に関する検討

本研究の次の段階は、Phase 2～3の自動導入にまつわる困難さや録画の機能を、比較的容易に実現できる方法を模索していくこととなる。

今年、各社から、安価な自動導入経緯台や既存の望遠鏡に自動アライメントの機能を付加するデバイス、さらに、CMOSカメラからの映像を無線LAN経由でiPadやAndroidタブレット等に映し出せる小型のデバイスが発売された。また、StellarMateOS¹¹というRaspberry Piで動作するOSも発売されており、それは、INDI¹²というLinux上で動くシステムで提供される天体観測機器制御のスイートパッケージである。

これら新しいタイプの機材の特徴は、従来の、光学性能や追尾性能を追求し、アナログ技術を極めてきた天体観測機器とは、開発の方向性が異なっているように思う。従来の高性能であるが高価格という関係があったものに対して、新しいタイプのデバイスの方向性は、性能はそこそこでもデジタル技術を活用し、より観望に楽しい機能を低コストで提供しようという方向性である。

このことは、高額なために観望の機材を揃えることができなかった学校現場や社会教育施設でも、ある程度の性能を持つ機材が揃えやすくなったことを意味する。この研究を進め、手頃な組み合わせで十分な観望可能なシステムを構築し、報告していきたい。

4. 根底に置きたい考え方

観望会等を開催する場合、従来は、天体に詳しく望遠鏡操作に慣れた指導者に依頼して実践されてきた。しかし、そのような指導者がいない場合でも観望機会を失うことなく、天候が許せば、いつでも天体観望や録画が行える方法論を確立することで、教員と子ども達が皆で天体を鑑賞できる環境をつくりたい。

ただし、ここで留意すべきは、手頃なシステムで手軽に観望が可能になったとしても、従来の、自分で望遠鏡を覗き、操作し、導入し、観望するというプロセスが決して軽んじられてはならないということである。全ての観望がCMOSカメラによる撮像に取って代わるというようなものではなく、双方に活かすべき良さがある。

多くの熟練した天体観望者から、「自分で初めて木星や土星を導入して観望したときの感動が現在までの興味

関心の高まりにつながっている」という意見を聞く。

人の探究心の元となる、自分で操作し、導入し、興味の赴くままに様々な天体を観望するという探究的な活動は奨励されるべきであり、本研究を通して提供し培いたいものは、今まで興味を抱くことすらなかった者が、自分で操作し観望してみようと動き出し、探求者へと歩み出すための「きっかけ」である。

本稿の課題解決は、多くをICT技術に依存している。プログラミングの技術、制御の技術、それは小学校に導入されるプログラミング教育の遠い延長線上にあるものである。天体に興味を持つことのみならず、技術そのものに興味を持つということもあるだろう。子どもたちがICTを学んでいくその先にある、科学の探求者となっていく「きっかけ」となるための、「見て終わり」ではなく「見たことが始まり」となるような取り組みに、本研究が位置づけられることを期待する。

【引用・参考文献】

- 1 内閣府宇宙基本計画（平成28年4月）(参考URL)
<http://www8.cao.go.jp/space/plan/keikaku.html>
- 2 文部科学省「文部科学省における宇宙分野の推進方策について」（平成24年12月）
(参考URL) <http://www.mext.go.jp/bmenu/shingi/gijyutu/gijyutu2/059/houkoku/1329049.htm>
- 3 鳥取県星空保全条例（平成29年12月制定，平成30年4月1日施行）(参考URL)
<https://www.pref.tottori.lg.jp/274606.htm>
- 4 小学校理科における天体観察学習指導の問題点－秋田県内の教員向けアンケート調査より－秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要第34号 2012年, pp.45-56
- 5 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
- 6 日本の中学校・高等学校における宇宙教育の現状と課題 日本科学教育学会研究会研究報告 Vol29 No.3 (2014), pp.51-54
- 7 <http://www.zizco.jp/03shopmeade/004LS.html>
- 8 <https://www.raspberrypi.org>
- 9 <https://www.sharpcap.co.uk>
- 10 星雲・星団観察ガイドブック 大野裕明 誠文堂新光社 (2009)
- 11 <https://www.stellarmate.com>
- 12 <https://indilib.org>