

教室で行う宇宙の実験 -13: 新全天ライブカメラシステム構築による 太陽の日周運動の映像教材の開発

* 高 田 淑 子・** 齋 藤 弘一郎・*** 鈴 木 太 朗 ・**** 亀 谷 收
***** 島 田 かなえ・***** 小 西 覚・***** 砂 田 和 良・***** 今 野 幸 典

要 旨

中学校第3学年理科の「地球と宇宙」の単位では、太陽の日周運動を観察し、地球の自転や公転などの天体の運動の理解につなげる。そこで、私たちは、四季折々の太陽の日周運動を記録するために、天頂に向けた185°視野角の防犯カメラを、赤道地域(タイ, サトゥン6°N)、北回帰線地域(石垣24°N)、中緯度地域(仙台38°N)の3地点に設置し、全天をタイムラプス撮影し、撮像画像をリアルタイムでサーバーに蓄積するとともにホームページで公開する新全天ライブカメラシステムを開発した。本システムで数年にわたり蓄積した全天画像から、各観察地点の四季の全天画像や全天映像に方位高度目盛を合成し、ホームページ「星空観察ネットの広場」で公開した。全天画像から太陽の天球上の位置を測定し、透明半球上に再現することで、太陽の通り道を立体的に把握できる。さらに、多地点、季節ごとの太陽の通り道の画像や映像を比較して観察することにより、観察時期、場所にとらわれない時空を超えた太陽の日周運動の観察が可能となる。これらは、中学校理科だけではなく、教員養成における理科の授業の教材としても活用できる。

Key words : 日周運動, 天文教育, 全天ライブ, 地学教材, ICT教育

1 はじめに

小・中学校理科の天文分野は、夜間や長期にわたる現象を、昼間の授業の枠組みの中で学習するため、授業時間中に観察を行うことは極めて困難である。例えば、太陽の日周運動は、1日かけて授業の休み時間を利用するなどの工夫により観察可能であるが、地域(緯度)や季節によって太陽の通り道が異なることを実際に観察することは現実的ではない。

そこで、私たちは、全天の撮影、全天画像の蓄積・配信を行う全天ライブカメラシステムを開発し、太陽の日周運動の映像教材を製作した(齋藤他, 2008)。全天を撮像対象とする映像配信は多数存在する(表1)

が、天気や星空のモニタリングが主目的であり、教育用として太陽の日周運動の観察に特化した全天ライブカメラは前例がない。初代の全天撮像装置は、小型魚眼レンズを装着したウェブカメラで、石垣(北緯24°)、仙台(北緯38°)、ロンドン(北緯51°)の3地点に設置し、日本の南限から北限に至る緯度地域の全天を定点撮像し、撮像画像データを宮教大サーバーに送

表1 日本国内全天映像の配信例

名称	設置・運営
スカイモニター	岡山天体物理観測所, 西はりま天文台, 名寄天文台他
スカイポット	ダイイチ(株), ぐんま天文台, 東北大学, 他
ライブステーション	仙台市天文台, 他

* 宮城教育大学
** 宮城県立古川黎明高等学校
*** 仙台市立柳生小学校
**** 奥州宇宙遊学館
***** 国立天文台 VERA 石垣島観測局
***** 国立天文台 水沢 VLBI 観測所
***** ネットワンシステムズ

信し画像・映像として蓄積した。これらの蓄積映像から晴天時の太陽の日周運動の映像を取得し、教材として活用した授業も実践した(高田他, 2010)。

初代の全天撮像装置は安価で耐久性があり画質が劣化しつつも10年近く稼働した装置もあった。近年、撮像機器の高機能化、情報通信基盤整備による通信容量の増加等、より高解像度の全天画像の撮像・集積が可能となった。そこで、全天ライブカメラシステムを再構築し、新規設置拠点も加えて拡大を図った。

2. 新全天ライブカメラシステム概要

新全天ライブカメラシステムの主な構成装置は、全天撮像装置、画像・映像蓄積サーバーとホームページ公開サーバー(宮教大サーバー)、そしてそれらを結ぶ通信ネットワークである(図1)。

(1) 全天撮像装置

全天撮像装置には、天球を高解像度で撮像可能な180°以上の視野角があり、かつ、気温変化に耐性がある屋外用で、夜間の空の撮影も考慮し感度の自動調整が可能であるほか、固定IPアドレスを設定し、インターネットで画像のアップロードが可能なこと、屋

外用イーサネットケーブルでの画像送信とともに電源供給できるPoE(Power over Ethernet)対応可能である装置として、屋外対応ドーム型防犯カメラであるAXIS社のM3057-PLVEを採用した(表2)。本防犯カメラは、画像の圧縮率やゲイン等の画質、送信頻度を、遠隔から設定できるほか、185°の視野角があり全天を網羅できる。また、ほぼ等距離射影のため、初代全天ライブカメラのように地平線近くにおける射影距離の歪みがなく、日の出、日の入りに近い時間帯の太陽の位置変化の観察も容易である。さらに、適応外気温が-40℃から50℃までと広く、仕様上は設置向きに関わらず防水性能がある点も評価した。ただし、上向きの設置は想定外と考えられるため、雨水の侵入を防ぐためにフリンジ付アクリルドームを用いた簡易ハウジングを製作した(図2)。ハウジングは、設置場所に応じて、ステンレス板上にリング状に切断したゴムシートを挟みアクリルドームを載せるタイプ(図2(a), (b))と小型ボックス上にアクリルドームを載せるタイプ(図2(c))を用意した。アクリルドーム内の湿気・水滴防止対策のために、前者はステンレス板に多数の通気穴をあけ、後者は小型ボックスとアクリルドームの間に隙間をあけ、それぞれ外気との換気を促した。

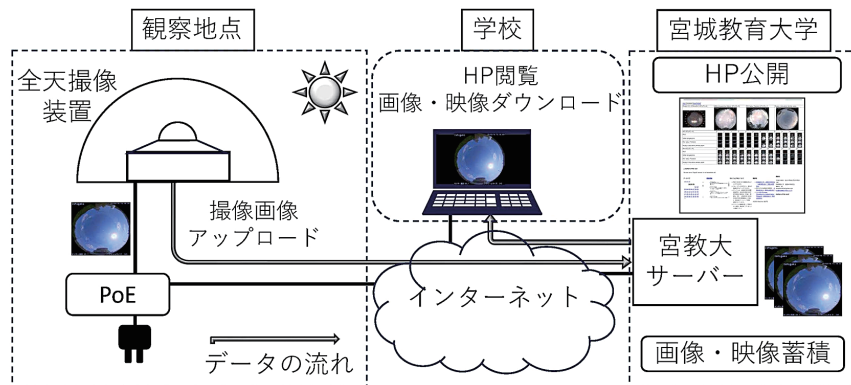


図1 全天ライブシステムの概要

表2 全天撮像装置仕様：AXIS社M3057-PLVE (AXIS社, 2024)

撮像装置 稼働環境	撮像素子	6 M画素 (3072×2048) CMOS
	レンズ	F2.0, 焦点距離1.6mm, 視野角185°×185°
	昼夜撮像	赤外線カットフィルター自動オンオフ
	解像度	2048×2048 (最大)
	電源	PoE供給
	動作条件	-40℃～50℃
	外形寸法	高さ66mm, φ149mm
	質量	770g

また、除湿用に乾燥用珪藻土も利用している(図2(b))。

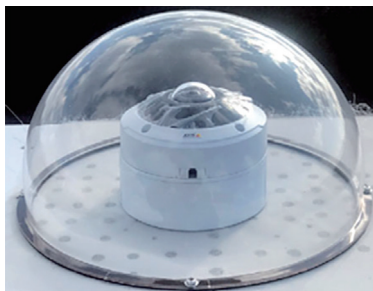
新全天撮像装置は、2018年12月に赤道直下に近いタイ(北緯6°)、2019年2月に北回帰線付近の日本の最南端の石垣(北緯24°)、2019年10月より中緯度地域の日本の仙台(北緯38°)の3地点に設置され(表3)、赤道直下から中緯度に至るまで、太陽の日周運動を高画質で記録することが可能となった。

(2) 配信システム

新全天撮像装置で撮像した画像は、初代全天カメラ

表3 新全天撮像装置設置地点

設置地域	緯度(°N)	経度(°E)	稼働時期
仙台市(宮城教育大学)	38	140	2019年10月～2020年10月
石垣市(国立天文台VERA観測局)	24	124	2019年2月～2020年6月
タイ王国サトゥン市(プリンセスチュラポン科学高等学校)	6	100	2018年1月～2020年10月



(a) 仙台(北緯38°)



(b) 石垣(北緯24°)



(c) タイ国サトゥン(北緯6°)

図2 各地に設置した全天撮像装置とハウジング

システムと同様に、設置地点のネットワーク環境にあわせ、3～10分間隔で定期的に宮教大サーバーへhttpsプロトコルを用いてアップロードし、画像を蓄積するとともに、ホームページで公開した(図3)。

(3) 画像・映像蓄積・ホームページ公開サーバー(宮教大サーバー)

初代全天ライブカメラシステムと同様、各地点から宮教大サーバーにアップロードした画像を、撮像地点と撮像日時情報をディレクトリとファイル名で管理し蓄積した。また、全天における太陽の位置を比較できるようにアップロードした全天画像をリアルタイムで表示するとともに(図3上段)、1日の変化が分かるように各地点毎時の全天画像をホームページで表示し(図3中段)公開した。さらに、深夜12時に、得られた1日分の全天画像からタイムラプス映像を自動生成し、太陽の1日の日周運動の映像として蓄積した。そ

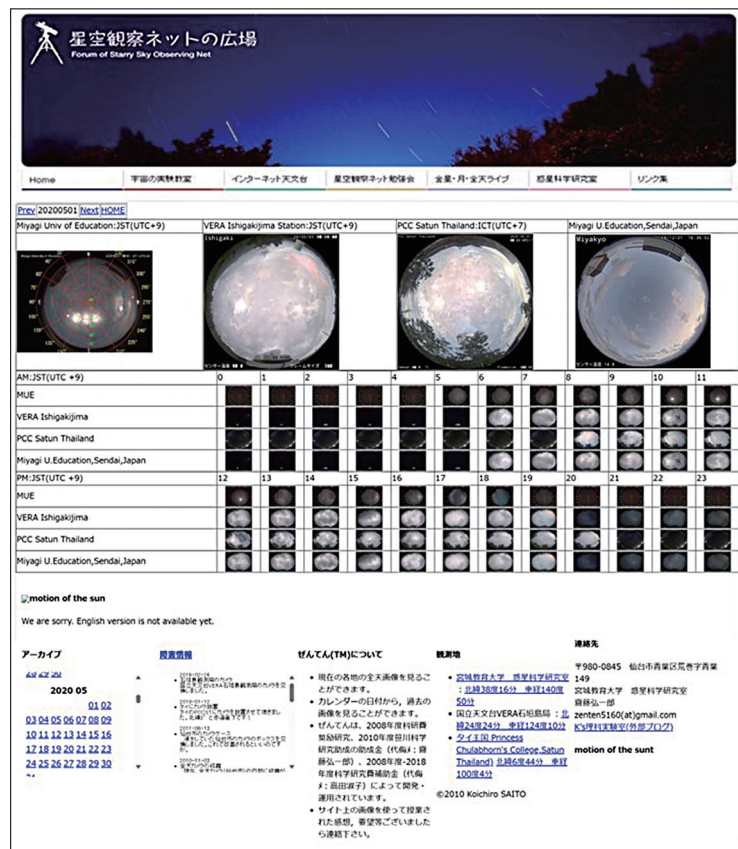


図3 全天ライブの公開ホームページ

上段は、左より、旧全天ライブカメラシステムで撮影した仙台の全天画像、新システムにおける石垣、タイ、仙台の3地点のリアルタイムの空の様子と太陽の位置、中段は各地点1時間ごとの空の様子、下段左は、過去のデータのアーカイブ用カレンダーを示している。多地点の全天を比較して今の空を観察可能である(～2020年10月終了)。

して、カレンダー式アーカイブの日付(図3下段左)をクリックすると過去の日映像も閲覧可能とした。

(4) 新全天ライブカメラシステムの運用

新システムは、タイ、石垣、仙台の各地にそれぞれ設置後、1年以上稼働した(表3)。石垣設置の全天撮像装置は、2020年6月にデータ受信が途絶えた。不具合発生直前に取得した全天画像には、60°Cを越える機器温度が記録されていたため、直射日光による温度上昇で撮像装置のセンサー回路等が故障したと考えられる。また、情報システムインシデントにより2020年10月に宮教大サーバーの運用が終了し、本方式による公開は終了した。システム停止に至るまで、各地点で1年間の高解像度全天画像・映像データが蓄積されたため、各地域の四季の太陽の日周運動を比較する教材開発と活用を検討した。

3. 中学校理科における「太陽の日周運動」の教材開発

(1) 小・中学校における太陽の日周運動の学習

義務教育では、「太陽の動き」について小学校第3学年から中学校第3学年まで発達段階を踏まえて学習する。まず、小学校第3学年で、影の向きや遮光板を用いた太陽の位置の変化を観察する活動を通し、「太陽は東から出て南の高いところを通り西に沈む」ことを学び、太陽の日周運動の概要をとらえる。生活体験を重視する小学校では、地面に立つ自分の視点から天球を観察する、いわゆる天動説的な事象の捉え方で天体の運動を学ぶ(文部科学省a, 2018)。

一方、中学校第3学年「天体の動きと地球の自転・公転」では、視点を地球の外に移し宇宙からの視点で、地球を含む天体の相対運動を俯瞰して捉え、地面から観察する天体の見かけの動きの見え方と関連させて太陽系を含む天体の運動を理解することを目標としている(文部科学省b, 2018)。透明半球を用いて天球上の太陽の1日の動きを観察し、太陽の通り道を具体的に把握し、かつ、モデル実験を通して、太陽の日周運動は、地球の自転に起因する見かけの運動であることを理解する。また、太陽の南中高度や昼の長さの変化など太陽の通り道の季節変化は、地球が地軸を傾けて太陽の周りを公転しているために起こることを、観察とモデル実験から学ぶ(文部科学省b, 2018)。さらに、

教科書には、海外の太陽の日周運動の様子も示され、地球が球体であり観察地点(緯度)により太陽の通り道が異なることも記されている(梶田他, 2021)。太陽の日周運動の観察は、小・中学校を通して現象と法則を結び、地球の自転、公転、星の日周運動や年周運動の理解につながる全ての天体の運動の学びの礎となっている。

(2) 「太陽の日周運動」の教材用ホームページの公開

新旧の全天ライブカメラシステムにより、赤道直下に近いタイ(北緯6°)、北回帰線上の日本の最南端の石垣(北緯24°)、中緯度地域帯の仙台(北緯38°)、日本の最北端に近い緯度に位置するロンドン(北緯51°)の、ロンドンの春を除く4地点の四季の太陽の日周運動の画像や映像が集積された。従来の公開方法(図3)では、過去に遡り画像や映像を閲覧可能ではあるが、曇天雨天の日も多く、1日を通して太陽の日周運動が明確に観察できる日は数えるほどしかない。晴天日を探す手間を考えると、学校現場では利用し易いとはいい難かった。

そこで、教材利用を鑑み、上記4地点における各季節の典型的な太陽の日周運動の画像と映像集を作成するために、気象庁の過去の気象データ検索(国土交通省気象庁, 2024)により、春分・夏至・秋分・冬至の各節気近く天気概況が「晴」の日の映像データを選別した。そして、各地点、各季節の、①1時間ごとの太陽の位置を合成し方位高度目盛を付けた「全天画像」、②撮像画像を全て連続フレームとして合成した全天映像の「動画」、③「動画」に方位高度目盛を付けた「動画(方位高度目盛付)」を製作(図4)し、「星空観察ネットの広場」のホームページに掲載し公開した(図5)。「動画」や「動画(方位高度目盛付)」で、日の出から日の入りま

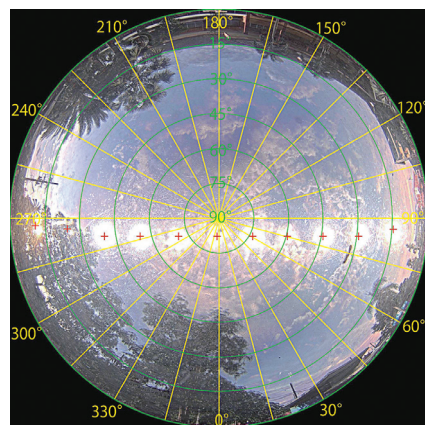


図4 「全天画像」例(タイの秋)

での1日の太陽の動きを観察できるほか、高解像度の「全天画像」を用いれば、1時間ごとの太陽の天球上の位置(方位・高度)を測定できる。

(3)「太陽の日周運動」の教材

この「星空観察ネットの広場」のホームページに掲載される画像・映像集を用いて、中学校第3学年の「太陽の動き」を観察する教材を製作した。中学校第3学年における、天球上の太陽の動きの観察は、定期的に透明半球上に太陽の位置をペン先の影を利用して印をつける方法が一般的であるが、中学校におけるこの観察実験の実施率は低く(齋藤, 2009), ましてや教科書に記載される、四季折々, あるいは、緯度の異なる地点での太陽の日周運動の観察は非現実的である。

そこで、図5に掲載される映像を疑似観察し、「全天画像」から毎時の太陽の位置(方位・高度)を読み

取り、方位・高度目盛付透明半球に、天球を観察する向き(天動說的視点), すなわち、透明半球の内側から、太陽の位置に印(透明シールを貼る, あるいは、サインペンで印を描く等)をつけ、太陽の通り道を透明半球上に再現する。これらを透明半球の外側から、地動說的視点で立体的に観察する(図6, 7)。1つの透明半球に、同じ季節の異なる観測地点の太陽の通り道を再現し比較する(図6), あるいは、1地点における春夏秋冬の太陽の通り道を再現し比較する(図7)ことで、季節や地域(緯度)による太陽の通り道の違いを、立体的に観察・評価できる。

例えば、北半球では、春秋には、緯度が高くなるにつれて、南中高度が低くなる, また、同じ地点では異なる季節でも太陽の通り道がなす面は東西から見ると平行を保ち、地面からの傾きは緯度によること等を意

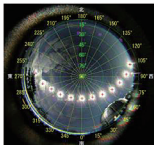
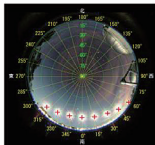
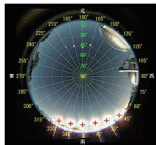
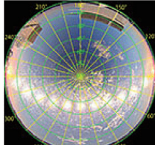
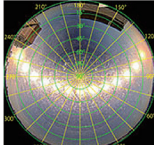
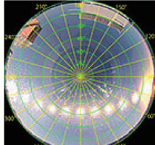
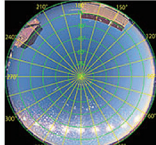
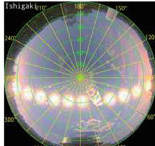
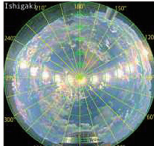
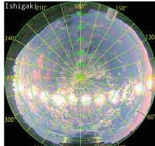
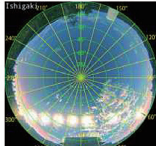
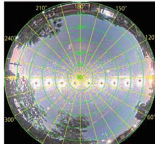
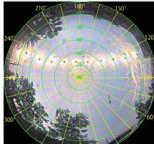
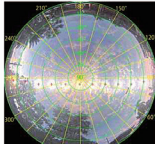
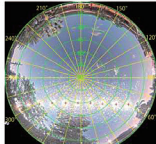
太陽の日周運動				
太陽の日周運動を観察しましょう。				
* 画像・映像の見方: 全天カメラは、魚眼レンズで空全体を映しています。円の中心が天頂、円の周囲が地平線になります。下が南、上が北、右が西、左が東です。(空を見上げているので地図と東西が逆です。星座早見盤と同じ見え方です。)				
地域(緯度)	春	夏	秋	冬
ロンドン (51°N)	準備中	 動画	 動画	 動画
仙台 (38°N)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)
石垣島 (24°N)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)
タイ (6°N)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)	 動画 動画(方位高度目盛付)

図5 太陽の日周運動の動画公開ホームページ

星空観察に関する教材や実験を掲載する「星空観察ネットの広場」(<https://staff.miyakyo-u.ac.jp/~toshiko/index.html>)中の「太陽の日周運動」(<https://staff.miyakyo-u.ac.jp/~toshiko/sun/index.html>)。



図6 透明半球を用いた太陽の通り道の疑似観察例Ⅰ

(左) 冬の季節のタイ(黄), 石垣(赤), 仙台(緑), ロンドン(青)の太陽の位置(方位・高度)を合成全画像から読み取り透明半球内側から印をつける。(中) (左)を外側から観察する。(右) 夏の季節のタイ(黄), 石垣(赤), 仙台(緑), ロンドン(青)の1時間おきの太陽の位置(方位・高度)を外側から観察する。



図7 透明半球を用いた太陽の通り道の疑似観察例Ⅱ

(左) タイ, (中) 仙台の春(黄), 夏(赤), 秋(橙), 冬(青)の太陽の通り道の比較。赤道域と中緯度地域の太陽の通り道の特徴を透明半球上で立体的に観察できる。(右) 観察授業の様子。

識させるなど、時空間を越えて太陽の通り道を自らたどる活動体験となる。また、同じ地点でも、赤道域では、高度が一番高くなるのは春と秋で、太陽は、夏は北、冬は南に位置し、太陽の通り道は地面に対してほぼ直立した小円を描き、昼と夜の時間はいつも同じであること、印の数から高緯度地域では、太陽が出ている時間が、夏は長く、冬は短いことなども読み取れる。

日本の小学校3年生の教科書では、「太陽は東から昇り南を通って西に沈む」と記載されるが、日本の最南端の石垣では、夏になると太陽は北東から昇り天頂(頭上)を通り北西に沈むこともわかる。日本は南北に長い国であり、国内でも地域により教科書通りにはならないことも応用として興味深く読み取れる。

中学校の学習指導要領解説(文部科学省b, 2018)では、「思考力, 判断力, 表現力等を育成するに当たっては、地球と宇宙について、見通しをもって観察, 実験などを行い、その結果や資料を分析して解釈し、天体の運動と見え方についての特徴や規則性を見いだして表現させるとともに、探究の過程を振り返らせるこ

とが大切である。」と示されており、この探究活動を具現化できる教材の一つになりうる。

太陽の通り道の観察の教材の一つにシミュレーションソフトの活用が考えられるが、本映像にはシミュレーションソフトにはない雲の流れや霜の付着等、現実ならではの季節感を感じられ、景色からもグローバルな視点での探求に繋がられ、ICTの有効活用の一役を担う具体例にもなると考える。プラネタリウムの活用も三次元空間の体感と時空を超えた観察が可能である点で優れているが、施設利用の機会が限られ、身近な教材とは言えない。

なお、方位・高度目盛付透明半球は、従来、ヤガミ社が提供していたが、販売中止中であり、現在利用可能な方位・高度線入透明半球は、中村理科の透明半球や内田洋行の球面定規がある。ヤガミ社の方位高度目盛付透明半球の目盛の単位が方位30度、高度15度、中村理科の透明半球は方位45度、高度30度であるのに対し(図6)、内田洋行の球面定規は、方位・高度目盛の単位が5度(図7)であるが、画像上の太陽の

視直径が約5度に広がる精度しかないため、ヤガミ社製が使用しやすい。内田洋行の球面定規単体では製品カタログには掲載しておらず、特別に注文する必要がある。どちらにしても、透明半球に油性サインペンでマーキングをした場合は、観察終了後にエタノールで消去することで再利用できる。また、ニチバン(株)製の透明丸シール(図6)やマスキング丸シール(図7)も利用後にはがしやすく、透明半球は繰り返し使用可能である。

5. まとめ

2018年より、四季折々の太陽の日周運動を記録するために、天頂に向けた185°視野角の防犯カメラを、赤道地域(タイ, サトゥン6°N)、北回帰線地域(石垣24°N)、中緯度地域(仙台38°N)の3地点に設置し、全天をタイムラプス撮影し、撮像画像をリアルタイムでサーバーに集積するとともにホームページで公開する新全天ライブカメラシステムを開発した。本システムで数年にわたり蓄積した全天画像の中から、各観察地点の各季節の晴天日の全天画像や全天映像に方位高度目盛を合成し、ホームページ「星空観察ネットの広場」で公開し、太陽の天球上の位置測定を可能とした。

中学校第3学年理科の「地球と宇宙」の単位では、太陽の日周運動を観察し、地球の自転や公転などの天体の運動の理解につなげる。全天画像から太陽の天球上の位置を読み取り、透明半球上に再現することで、太陽の通り道を立体的に把握でき、多地点、各季節の画像や映像を比較して観察することにより、観察時期、場所にとらわれない時空を超えた太陽の日周運動の観察が可能となる。これらは、中学校理科だけではなく、教員養成における理科の授業の教材としても活用できる。現在、教科書にもデジタル映像教材が増加しており、今後は、リアリティのあるグローバルな映像教材が期

待される。

今回のシステムは、赤道から中緯度地域までの緯度領域となったが、南半球等、より広い緯度範囲における天体の日周運動の映像データベースを構築することで、より使い易い現実感のあるグローバルな観察教材になりうると考える。

謝辞

国立天文台VERA石垣島観測局、タイ・プリンセス・チュラポーン・サイエンス・ハイスクール、サトゥン校(Princess Chulabhorn Science High Schools Satun校)に観測機器の設置並びにネットワークの使用の許可をいただいたことを感謝する。精読し助言をいただいた二名の匿名査読者に感謝する。本研究は日本学術振興会科学研究費基盤C「天体総合観察システム-IoT天文台構築による未来の教室における天体観察授業の展開」JP19K03022の助成を受けている。

文献

- AXIS社, AXIS M3057-PLVE Network Camera User Manual, <https://www.axis.com/products/axis-m3057-plve/support>, 2024年8月31日閲覧.
- 梶田隆章他, 2021, 新しい科学3, 202-207, 東京書籍.
- 国土交通省気象庁, 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>, 2024年8月31日閲覧.
- 齋藤弘一郎, 高田淑子, 三浦宏明, 宮地竹史, 2008, 授業で使える全天ライブシステムZenTen～魚眼レンズとネットワークカメラで～, 天文教育普及研究会会報「天文教育」, 20, 47-48.
- 齋藤弘一郎, 2009, 天文・気象分野における定点観測教材の開発と実践, 宮城教育大学修士論文.
- 高田淑子, 齋藤弘一郎, 門脇駿, 桑原永介, 相田知輝, 宮地竹史, 千島拓朗, 2010, 教室で行う宇宙の実験-10: 全天ライブ映像を用いた太陽の日周運動の観察教材の開発, 45, 63-69.
- 文部科学省a, 2018, 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編 平成29年7月.
- 文部科学省b, 2018, 中学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編 平成29年7月.

(令和7年1月20日受理)

Space Experiments in Classrooms-13: Development of Teaching Materials of Diurnal Motion of the Sun Using New All-Sky Live Camera System

* TAKATA Toshiko , ** SAITO Koichiro , *** SUZUKI Taro ,
**** KAMEYA Osamu , ***** SHIMADA Kanae , ***** KONISHI Satoru ,
***** SUNADA Kazuyoshi and ***** KONNO Yukinori

Abstract :

In order to obtain all-sky images to record the diurnal motion of the sun, security cameras with an 185° field of view facing the zenith were installed at three locations: the equatorial region (Thailand, Satun 6°N), the Tropic of Cancer region (Ishigaki 24°N), and the mid-latitude region (Sendai 38°N). The time-lapse images taken by the cameras were stored on a server in real time and accessible to the public via a website. From the all-sky images accumulated on a server for a few years, we selected the images of the optimal day of each season at each observation site. Then the azimuth and altitude scales were superimposed on the images to allow measuring the Sun's position on the celestial sphere. The images and videos are currently available for viewing on the website of the 'Forum of Starry Sky Observing Net'. Students can observe these composite images and videos and plot the solar tracks on the transparent hemisphere, allowing comparative analysis of the diurnal motion of the Sun at various locations and across different seasons. This can be utilized as a practical educational resource in secondary school, to facilitate comprehension of the motion of celestial bodies, in particular, the rotation and revolution of the Earth. Furthermore, this approach can be employed in science classes for teacher training courses.

Key Words : Diurnal Motion, Astronomy Education, All Sky Live,
Teaching Material of Earth and Space Sciences, ICT Education

*	Miyagi University of Education
**	Furukawa-Reimei High School, Miyagi
***	Yanagiu Elementary School, Sendai
****	Oshu Space & Astronomy Museum
*****	NAOJ, Mizusawa VLBI Observatory, Ishigaki-jima Station
*****	NAOJ, Mizusawa VLBI Observatory
*****	NetOne Systems