

## 教室で行う宇宙の実験-7:全天カメラを用いた太陽の日周運動の映像教材の開発

\*高田 淑子・\*千島 拓朗・\*\*斉藤 正晴・\*\*\*伊藤 芳春  
\*\*\*\*佐藤 拓也・\*\*\*\*\*野田 貴洋・\*\*\*\*\*高橋 知美  
\*\*\*\*\*黒木 充・\*\*\*\*\*市川 仁・\*\*\*\*\*Mike M. Dworetsky  
\*\*\*\*\*三澤宇希子・\*\*\*\*\*Ian A. Crawford

### Space experiments in classrooms-7 : Development of movies of solar diurnal motion imaged by solar camera

TAKATA Toshiko, CHISHIMA Takuro, SAITO Masaharu, ITO Yoshiharu,  
SATO Takuya, NODA Takahiro, TAKAHASHI Tomomi,  
KUROKI Mitsuru, ICHIKAWA Hitoshi, DWORETSKY, Mike M.,  
MISAWA Ukiko and CRAWFORD, Ian A.

#### Abstract

180度視野のレンズを装着したデジタルカメラを用いて、太陽の日周運動を撮像できる全天カメラを開発した。全天カメラを空の天頂に向けて一定時間間隔で撮像を行うことにより、太陽の天球上の軌跡が映像として記録できる。年間を通して様々な地域の太陽の日周運動の映像を取得することにより、太陽の天球上の位置の日変化、季節変化、地域変化が理解できる。そこで全天カメラの概要とこれらを用いた映像のインターネットでの公開、ならびに、授業案について紹介する。

**Key words** : Solar diurnal motion (太陽の日周運動)

Astronomy Education (天文教育)

Information education (情報教育)

Science education (科学教育)

Star observation (星観察)

#### はじめに

今や、生徒らはゲーム機器に代表されるような疑似映像に慣れ親しんでいるばかりか、教科書もカラーの

実写写真がふんだんに利用される時代となった。このような環境下で、生徒の理解達成を促すのに実写映像は重要な位置を占めている。さらに、授業時間中に観察できない天文分野で学習する現象の実写映像の持つ

---

\* 宮城教育大学理科教育講座, 宮城教育大学理科教育専修  
\*\* 尚綱女学院高等学校  
\*\*\* 宮城県立鶯沢工業高等学校  
\*\*\*\* 角田市立角田中学校  
\*\*\*\*\* 宮城教育大学附属中学校  
\*\*\*\*\* 仙台市科学館  
\*\*\*\*\* ロンドン大学天文台  
\*\*\*\*\* 星空観察ネット勉強会  
\*\*\*\*\* ロンドン単科大学地球科学科

意味は大きい。

我々は、教育現場における IT 機器の利用法を検討し教材開発につなげてきたが、今回、比較的安価に入手できる機材で全天カメラを製作し、太陽の日周運動を撮像し、太陽の日周運動ならびにその季節変化や地域による違いを理解する教材を開発した。

太陽の運動については、小学校3学年の理科で、日陰の位置の変化と太陽の位置との関係から、朝東から太陽が昇り西に太陽が沈むということを学習する。さらに、中学校理科第2分野では、「天体の動きと地球の自転・公転」の中で「四季の太陽の動き」として、天球上の太陽の動きを学習する項目がある。現在、これらの単元で一般的に行われている実験・観察項目は、登校後から下校時にかけて休み時間ごとに、透明半球の上でペン先の陰が透明半球の中心にくる位置に印をつけ、天球上での太陽の動きを確認する実験である。透明半球を利用した実験は天候に左右され、さらに、一日中実施しなければいけない。特に、この単元が、中学3年生の後半、冬の天候不順な受験期に学習をしなければならない新課程においては、実験の実施自体が疎かになる可能性もある。

また、太陽高度の季節変化を生徒らが理解するためには年間の継続的・長期的な観測で得られたデータを元に議論を行い、さらに日常的な日の長さや短さ、気温による違いによって議論を行うことが必要である。前者は多くの時間を費やすことになってしまい現実的ではなく、後者は日常の感覚に頼らざるを得なく、太陽の南中高度の変化と結びつけるには少なからず隔たりがある。各季節において身近な風景の下で太陽が描く奇跡を画像・映像データとして残しておくことができれば、変化を視覚的にとらえることができ、生徒の理解を助ける教材になる。

そこで、デジタルカメラとデジタルカメラ用魚眼コンバージョンレンズを利用した全天カメラを開発し、これで撮像した太陽の奇跡を映像化し、各季節、各地域の太陽の日周運動の映像を教材化した。本論では、全天カメラの製作概要と映像の例、これを活用した授業案について紹介する。

## 全天カメラ概要

全天カメラシステム(図1)は、1. 撮像カメラ、

2. 魚眼コンバージョンレンズ(図2)、3. 水準器で構成される。



図1 全天カメラ概要。(上)全体像。(下)横から見た模式図。デジタルカメラに市販デジタルカメラ用魚眼コンバージョンレンズをつけ、さらに水準器を設置している。

### 1. 撮像カメラ

撮像カメラは、当初安価でインターネット配信が可能な web カメラを検討したが、現時点では、良質な画質が得られずあきらめざるを得なかった。結局、市販のインターバル撮像機能、防水機能付のデジタルカメラ(OPTIO43WR, PENTAX 社)を利用した。太陽の位置を明確にするため、できる限り太陽の画角を小さくしなければならない。シャッタースピードを最小としゲインを調整したとしても、太陽光強度が大きく受光部で電荷が溢れ、CCD 画像上にはスミアという画像上の白の縦線やハレーションがおきるため、これをソフト的に除去する機能も採用した理由の一つである(表1)。

表1 撮像カメラ (OPTIO43WR, PENTAX 社) の仕様

有効画素数	400万画素
レンズ焦点距離	5.7-16mm (F 2.8~F3.9)
露出	約 1/2000 秒~約 4 秒
サイズ・質量	81.5×76×30.5mm/160 g
記録媒体	SD メモリーカード

## 2. 魚眼レンズ

全天の視野を一画像に撮像するために魚眼レンズなどの広画角レンズを用いる必要がある。コンパクトカメラ用の魚眼コンバーターレンズをオプション製品として製品化しているカメラもある。DIY ショップで市販しているドアスコープを試したが、レンズ径が 1 cm 以下と小さく、デジタルカメラのレンズとの接続が困難であった。そこで、今回、コンパクトデジタルカメラ用の魚眼コンバージョンレンズ (魚露目 8 号, フィット社) を用いた (図 2)。デジタルカメラ用に製作され、カメラとの接続が容易であったことと共に、等距離射影であることから、画像の解析が容易な点があげられる。



図2 全天カメラに取り付けた魚眼コンバージョンレンズ (魚露目 8 号, フィット社)。

表2 魚眼コンバーターレンズ (魚露目 8 号, フィット社) の仕様

射影方式	等距離射影 ( $y=f\theta$ )
倍率	0.1628
画角	180度
撮影距離	0 ~ 無限遠

魚眼コンバージョンレンズの径は12mm であり、カメラのF値と撮像センサーの大きさによって、魚眼レンズを通した部分の画像上の大きさが決まる。

## 3. 水準器

カメラ本体を水平に設置するため、DIY ショップで市販している水準器を両面テープでカメラ本体に取り付けた。

## 撮像方法

広い視野を確保するために、デジタルカメラに三脚を取り付け野外に設置した (図 3)。カメラは天頂に向け、カメラの向きをおおよそ南北方向にあわせる。カメラより低い位置の周囲には壁があり風の影響を遮り、カメラより高い位置には視野を遮る建物などが無いことが望ましい。



図3 全天カメラを野外に設置した様子。三脚に設置したカメラを天頂に向ける。また、カメラの向きは南北方向にあわせる。

インターバル撮像機能で、日の出から撮像を開始し、日没まで一定の時間間隔で撮像する設定を行う。ゲインを最大とし、露出時間を最小とし太陽の画角を最小限に抑える。映像を取得する場合は、1分間隔で撮像すると雲の流れも捉えられ映像として見応えがある。ただし、インターバル撮像の連続撮像枚数が最大99枚の仕様のため、撮像途中で再設定が必要である。撮像画像は、1 GB の SD メモリーカードに保存し、後日、パソコンで画像処理を行い映像化する。

また、撮像システムの射影の誤差測定を行うために、天文ソフト、ステラナビゲーター (アストロアーツ社)

を用いた太陽高度・方位の計算値と実際の高度と方位角の観測値の比較を実施した。この結果、高度15度以下は、等距離射影が見られず、高度・方位角の読みとりは困難であるが、高度15度以上では誤差は $2.5^\circ$ 以内であった。

## 撮像画像処理方法

撮像画像データは、各画像単位に以下の補正を行う。

### 1. 方角調整・画像拡大

真南が下になるように画像の向きを回転する。事前に測定地点の風景の方角を測定し、画像上の南北方向を再確認すること、ならびに、太陽の南中時間から逆算し、画像上で微調整を行う。また、各時間とも画像の全天視野が同サイズになるように拡大・縮小の調整をする。

### 2. 方位・高度座標の挿入

生徒が各時間の太陽の方位・高度を読み取るために、方位・高度の座標を挿入する(図4-7)。このとき、事前に透明半球で確認した高度と画角の関係を参考にする。ここまでの一連の作業は、Adobe社のグラフィックソフトのイラストレーターを用いて実施した。

### 3. 映像化

さらに、Microsoft社の動画編集用ソフトMovie Makerを用いて、各画像を時間の経過と共に編集し映像化する。

## 撮像画像・映像例

取得画像例を図4に示す。さらに、これらの画像を合成し1日の太陽の軌跡の変化を示したものが図5である。図6は同じ地点における異なる季節の太陽位置の時間変化、そして、図7は観測場所を変えた場合の太陽位置の変化をそれぞれ表している。これらを映像化したものは、ホームページ“星空観察ネットの広場”、<http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/>で紹介している。

これらの画像・映像から、日の出から日没にかけて、太陽の位置が東の方向から西の方向へ移動すること、

また、季節によって、また、観測場所により、日の出、日没の方位や、太陽の軌跡の変化、南中高度の変化が読みとれる。

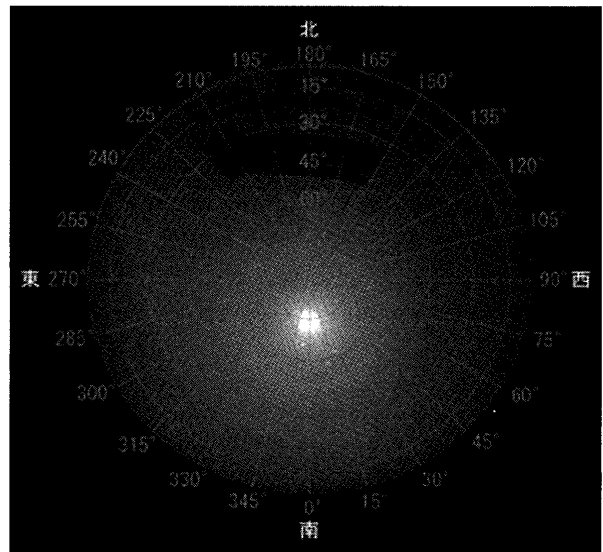


図4 全天カメラによる太陽の撮像例。2005年6月21日午前11時43分(南中時)における方位・高度が読みとれる。淡く白い円形(方位0度, 高度73度)が太陽。仙台市(宮教大屋上北緯38度)にて撮像。

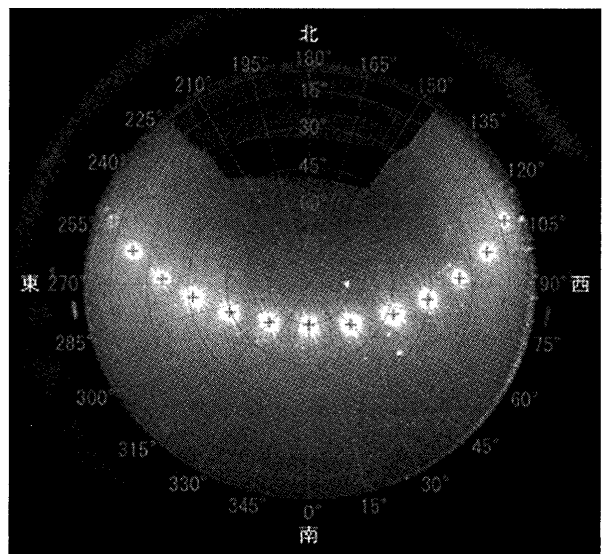


図5 1日を通した太陽の位置の変化。2005年6月21日の図4画像を合成して作成。+は読み取った太陽中心位置。

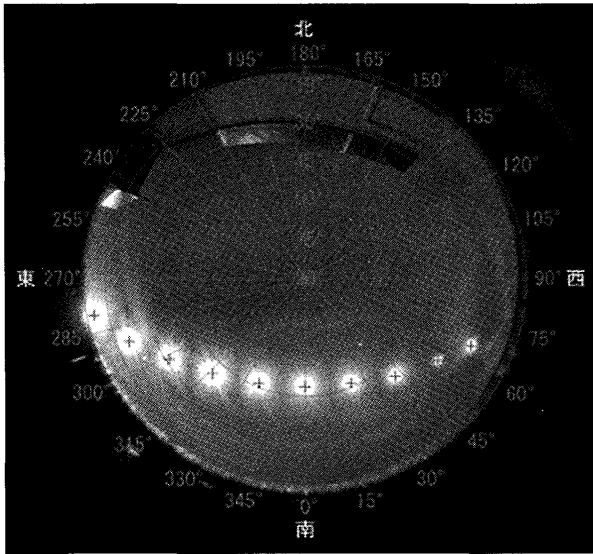


図6 太陽の南中高度の季節変化。宮教大屋上にて撮像。2005年3月15日撮像。図5の夏至の太陽位置と比較すると、南中高度が低く、日の出日の入りの方位も図5と比較し南よりになっている。

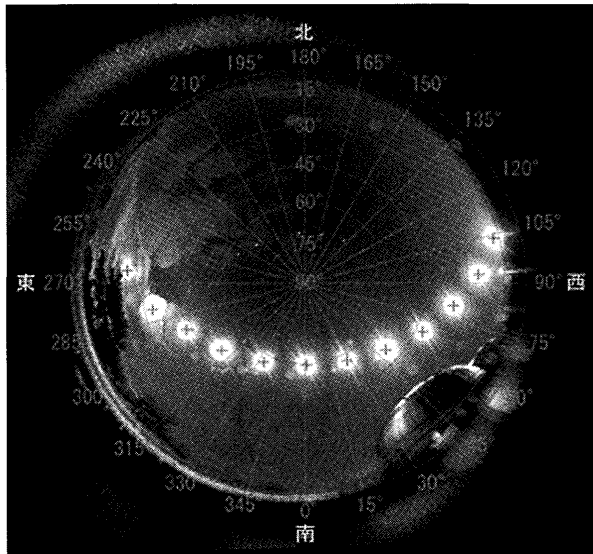


図7 太陽位置の地域による変化。ロンドン大学天文台（北緯51.5度）にて2005年7月12日に撮像。同時期に撮像された仙台（北緯38度）の太陽位置（図5）と比較すると南中高度が低いことが理解できる。

### 太陽の日周運動の映像を用いた授業案

中学校理科第2分野の「天体の動きと地球の自転・公転」の「四季の太陽の動き」の授業について考察する。本題材の目標は、各季節の太陽の動きを全天カメラ

ラの画像から読み取り、一年間の太陽の動きをとらえるとともに、この結果と生活体験である日の長さ短さを関連付けて理解することである。

まず、生活体験と結びつけながら、日の出、日没、太陽高度など、一年間の太陽の動きを思い描かせる。次に、全天カメラについて紹介し、特に、魚眼レンズで撮像した画像に慣れるために、生徒に魚眼レンズを覗かせ見え方を体験させ、視野が180度あること、等距離射影されることを理解させる。学内で撮像した場合には設置場所についても触れ、生徒の実感を持たせる。

次に、全天カメラで撮像した映像を見せ、各季節の1日の太陽の動きを数分で紹介する。画像の視点は魚眼レンズを天頂に向け、下から覗いた風景であることを確認させる。

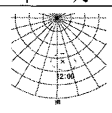
各季節1時間単位の太陽の位置を示す画像（図5, 6）を用意し、各季節、1時間ごとの太陽の位置を画像から読み取り図8に示されるワークシートに記述する（図9）。この射影から太陽の運動を捉えるのが困難な場合、太陽の動きを平面から立体へと変換するために透明半球を利用する。ワークシートの四季の太陽の位置データを透明半球にプロットさせ、透明半球を下から覗き太陽の動きを確認する。

理科学習ワークシート

四季の太陽の動きをとらえよう      年 組 \_\_\_\_\_

各季節の画像をみて各時間の太陽の位置と時間を記録しよう。記入例のように太陽付近を囲み中心に×をつける。

年 月 日 \_\_\_\_\_



わかったこと

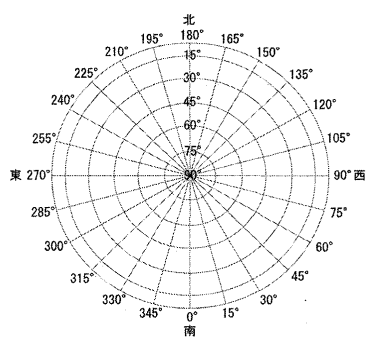


図8 生徒配布用ワークシート例。

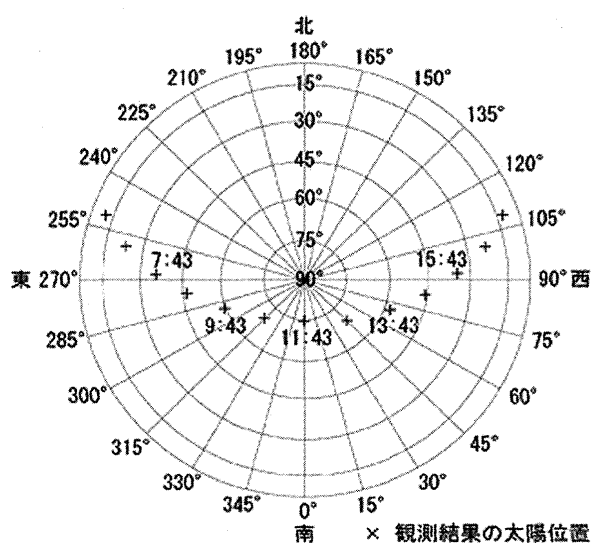


図9 生徒に図5-7のような画像から、季節ごと1時間単位に太陽の位置を読み取り、ワークシートに記載させる。図5の太陽の位置を読み取った例。

最後に太陽の一日の動きと夏と冬、春と秋の太陽の軌跡、各季節の太陽の出と入りの時刻について理解したことをまとめさせ、再度、生活体験と結びつける。

### まとめ・考察

全天カメラは、今回、太陽の日周運動を撮像するために利用されたが、全天を撮像するという意味に置いて、他の利用方法も考えられる。たとえば、中学校理科第2分野の「天気」の単元で、雲量の測定のために、魚眼レンズで見た全天の写真が教科書にも掲載されており、雲量測定や天気の移り変わりを理解する教材にも発展できる。たとえば、2000年より継続運営されている日本各地の、気温、風速、日照時間などの教育用気象データ (TEITEN2000) で公開されている映像は平面映像であるが、このような全天カメラで全国的観察を展開するのも理科教育の観点から有意義であろう。

ただし、この魚眼レンズを通した全天写真の理解は中学生には困難かもしれない。今回の全天カメラは、等距離射影で、高度が径方向の画面上の長さ按比例するが、これらもレンズの仕様によって異なる。また、太陽は東の空から昇り、南の空を向かって左から右に進み、西の空に沈む、という日本に住む生徒たちが慣

れ親しむ日常の太陽の動きに対して、全天を射影した映像は天頂を見上げる姿勢となり、視点が異なる。ただし、これらは、天気-雲量測定の単元で、すでに理解していれば、大きな障壁にはならない。

実写の映像を利用することにより、中学3年卒業時期の、1時間の授業時間で学べることは、透明半球等を利用した野外実験ができない場合と比較し、教育的効果は高い。もちろん、生徒らが野外観測や観測画像の処理などを担えるとより効果的であろうが、生徒の興味と授業時間との兼ね合いであろう。

我々は、映像をインターネットで公開することで、誰でも授業での活用可能としているが、できれば、生徒のなじみのある風景の中で上記映像を取得することが望ましいと考えている。理科の場合、生徒の生活経験がかなり影響する。生徒は生活の中で東西南北を理解しており、その中で太陽の軌跡を理解させたいと考えるからである。撮像した結果と生徒の生活体験を組み合わせ考察させ、各季節の太陽の動きについてより理解を深めること、また、様々な地域・時期の映像と比較することで、自分たちの住む地域の理解が深まると考える。

この全天カメラは、総費用が5万円程度であった。魚眼コンバージョンレンズは7千円程度だったので、手持ちのデジタルカメラがあれば、教育現場におけるIT機器の利用としては、安価に製作が可能である。本教材を含めた今までの活動は、<http://www.hosizora.miyakyou.ac.jp/>に掲載しており、今後もこのサイトに天文教材、実践授業の報告などの情報を掲載していく予定である。

### 引用文献

- TEITEN2000, 情報ネットワーク教育活用研究協議会, 定  
点2000プロジェクトホームページ  
<http://teiten2000.jp/>

(平成17年9月30日受理)