

平成22年 4月20日現在

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19530783  
 研究課題名（和文） 小型望遠鏡とデジタルコンテンツを活用した天文学習プログラムの開発  
 研究課題名（英文） Development of Astronomy Study Programs Utilizing Small Telescopes and Digital Contents

研究代表者  
 岡崎 彰（OKAZAKI AKIRA）  
 群馬大学・教育学部・教授  
 研究者番号：40152285

研究成果の概要（和文）：本研究では、中学校等に備えられている小型望遠鏡を活用を目指して、天体観測スキルの普及向上とオリジナルのデジタル天文教材作成という2つの側面から、中学校理科の天文分野の内容に即した学習プログラムを提示した。前者では、昼間の天体観測のための望遠鏡活用マニュアルを作成し、後者については、教材作成方法とそれらの教材を用いた授業実践例も提示した。

研究成果の概要（英文）： We developed a few astronomy study programs, which can be used in a junior high school *Science* lesson, intending that small telescopes to be utilized more widely in the *Science* classes. Our approach is made from two different aspects. One of them is to prepare a practical manual describing how to utilize small astronomical telescopes in daytime. The other is to create a few new digital teaching materials utilizing the telescopes and/or small digital cameras and also to practice preliminary lessons using the materials effectively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：天文教育

科研費の分科・細目：教育学・教科教育学

キーワード：天文教育、デジタル教材、小型望遠鏡

### 1. 研究開始当初の背景

天文教育におけるデジタル教材の活用は当時いくつかの学校で行われており、公共天文台と連携した遠隔操作による観測プロジェクトに参加するなど、一定の成果を挙げて

いる。しかし、このような大型天文施設を利用した先駆的なプロジェクトに参加できる学校は少数に限られ、また、このようなプロジェクトで扱われる内容は、中学理科や高校地学の学習内容と必ずしも直結しているわけではなかった。

その一方で、デジタル・カメラや CCD カメラ、パソコンの普及により、学校現場でも小型望遠鏡を用いて魅力的なデジタル天文教材を手作りすることが可能になってきた。現場に見合った手作りの教材は、生徒たちに対して、市販の教材には見られない強いインパクトや効果を期待できる。

しかし現実には、このようなデジタル教材の作成に意欲のある教員がいても、学校現場やその周辺でさまざまなノウハウを会得する機会が得られないために、これを実現することが難しいという状況があった。

また、授業における小型望遠鏡の活用という点についても、昼間しか使えないために使用場面が非常に限られている傾向があった。

## 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究では、中学校・高校の理科室に常備されていないが、あまり活用されることが少なかった小型望遠鏡を用いた観測と、デジタル・カメラやパソコンの普及などで身近になってきたデジタル画像・動画を活用した教材作成とをリンクさせた、新たな視点に基づく天文学習プログラム開発の提案することにした。

## 3. 研究の方法

(1) 天体望遠鏡の活用については、中学校の望遠鏡利用の実情を把握するため、アンケート調査を実施する。その回答を集計・分析した上で、中学校の理科授業における望遠鏡活用を効果的に促進するための望遠鏡マニュアルの内容を決定する。作成したマニュアルを WEB で公開する。

(2) 天文デジタル教材開発の対象として、「月面の立体写真」「全天カメラによる天球モデル」「食連星の明るさと色の変化」「金星の満ち欠けと軌道」を選び、必要な画像を取得して（あるいは画像提供を受けて）、授業で活用できる教材として開発する。

(3) 上記の天文デジタル教材と天体望遠鏡活用とを連携した学習プログラムを開発し、公立学校の理科授業の中で実践を行い、生徒に対するアンケート回答を分析して、その効果等についての評価を行う。

## 4. 研究成果

以下では現時点での発表分を記す。

### (1) 天体望遠鏡の使用状況

平成 20 年 3 月、群馬県内の中学校 (182 校) を対象として、天体望遠鏡の使用状況につい

てのアンケート調査を行った。103 校 (回答率 56%) から回答を得た。

各中学校における「望遠鏡の所有台数」は「1 台」が 54%、「2 台」が 26%、「4 台以上」3%あったが、一方で所有していない(「0 台」)中学校が 15%もあった。望遠鏡の「年間使用回数」については、「1~2 回」が 60%、「3 回以上」は 4%にとどまった。それに対して、使用していない(「0 台」)中学校は 36%あった。

使用している中学校に「どのような場面で使用しているか」を尋ねたところ、72%が「理科の授業」と回答した。「観測対象」についても 72%が「太陽」をあげた。担当教員の「望遠鏡操作に対する意識」では、「慣れている・どちらかといえば慣れている」が 34%、「慣れていない・どちらかといえば慣れていない」が 66%であった。

以上から、中学校で天体望遠鏡がより広く活用されるようにするためには、1. 昼間の授業で望遠鏡を使用するためのノウハウの提供、2. 定番の太陽以外にも、中学校理科の内容に見合った望遠鏡での観測対象の設定、3. 以上を踏まえた具体的な学習プログラムの開発、の 3 点の重要性が明らかになった。(雑誌論文③、学会発表②、④、⑤)

### (2) 昼間の天体望遠鏡活用マニュアル

昼間の天体観測が実施できれば、多くの中学校で望遠鏡が活用できるようになる。その立場から下記内容のマニュアルを作成して公開した。(その他①、学会発表④)

#### (2-1) 昼間の天体望遠鏡のセッティング

多くの学校にある赤道儀式望遠鏡では、赤道儀の極軸を天の北極に向ける調整が必要である。夜間の極軸調整は北極星を用いることのでかなり容易にできるが、昼間の極軸調整では特別な工夫が求められる。まず、南北線をより正確に決めるために、方位磁針ではなく日影を用いる。そのため、望遠鏡設置の場所(経度・緯度)と時刻を入力して、鉛直線の水平面上の日影の向きを計算するマクロを表計算エクセルで作成した。また、極軸の高度については、内角のひとつが緯度と等しい三角板を作成し、これと鉛直線を利用して決定するようにした。

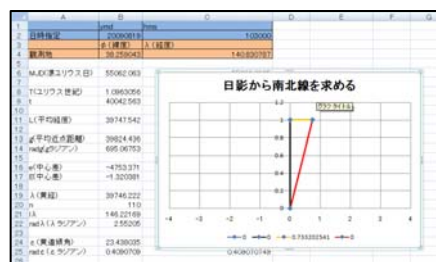


図 1 作成したマクロによる出力例

### (2-2) 太陽以外の天体の導入

その時刻における太陽と観測対象（とくに明るい惑星・恒星を想定）の位置（赤経・赤緯）を予め調べておく。望遠鏡鏡筒の影を利用して太陽を導入した後、赤道儀の赤経の目盛を回転して太陽の位置に合わせる。そして、太陽の位置から観測対象の位置まで、赤道儀の目盛を読みながら望遠鏡の向きを変えていく。極軸調整が十分になされていれば、観測対象が太陽からかなり離れていても、ファインダーの視野内に導入できる。

金星はとくに明るいので双眼鏡でも確認できるが、望遠鏡を用いることで、金星の満ち欠けと同時に太陽離角の測定ができる。これについては、授業実践のセクションで触れる。一方、昼間の恒星は、金星に比べてかなり暗いので導入が難しいが、偏光板を用いるなどの工夫によって、少しでも見やすくすることができる。

### (3) 月の立体写真

月の立体視に必要な視差を得る方法としてはいくつかの方法がある。十分な視差を得るという点では、月の秤動（ひょうどう）を利用する方法が望ましいが、2~3か月の都合のよい時間間隔において同じ位相の2枚の月の写真を撮ることは結構難しい。

月の立体写真について述べた文献やホームページは少なくないが、秤動を利用した月の立体写真の実例は非常に少ない。そこで、本研究では、2枚の月の画像をどのような撮影日時で選んで、どのように回転・配置すれば見やすい立体写真が得られるのか等について、インターネットで愛好家が公開している小型望遠鏡による月の写真を了解を得て利用しながら、具体的な扱いを通して考察した。

以下のような手順で立体視用画像を作成した。①各画像の詳しい秤動の値を確認する。②特定地形を各画像でトレースし、基準画像との比較からの画像の回転角を確認する。③2枚の画像を選び、それぞれの秤動の値から天球上の視差の向きを確定し、それを考慮して両画像を必要な角度だけ回転し、水平に並べる（図2）。



図2 月の立体写真

その結果、月の立体写真を作成するとき、各画像の秤動の値を考慮し、適宜回転・配置することで秤動を両眼視差として十分に利用することが確認できた。そして、秤動のずれが3~4°程度の場合に、立体写真として最も自然な球体として見えることもわかった。したがって、立体写真を目的として月の写真を撮影する場合、秤動の予報値を予め調べて、望ましいペアとなる撮影日時を知ることができれば、効率のよい撮影計画をたてることのできることも示された。（雑誌論文①、学会発表①）

### (4) 全天カメラによる天球モデル

インターバル撮影ができるデジタルカメラに魚眼レンズを装着し（以下全天カメラと記す）撮影した写真をアニメーションとすることで、実際の夜空に近い天球モデル教材を開発する試みに取り組むこととした。

今回使用した全天カメラは、インターバル撮影ができること、露出や感度がマニュアルである程度変えられるもの、魚眼レンズが取り付けられ得るもの、を条件に選定した。この全天カメラを三脚に固定して、撮影を行った。

授業で教材として使用するときには、液晶プロジェクターを使用し、半球型のスクリーンに下部から投影し、スクリーン上部から子ども達が観察をすることを想定した。そのため、撮影した画像を以下のように加工する必要がある。①画像のコントラストを調整して観察しやすくすること。②夜間の撮影で画像が荒くなるため、ノイズの低減処理をすること。③液晶プロジェクターから投影された画像を鏡を使用して屈折させてスクリーンに投影するため、左右を逆転した画像にすること。④インターバル撮影した画像をつなげ、アニメーションとすること。

これらの画像処理については、J A V A 言語で専用のソフトウェアの開発にも取り組んだ。できあがった画像の例を図3に示す。

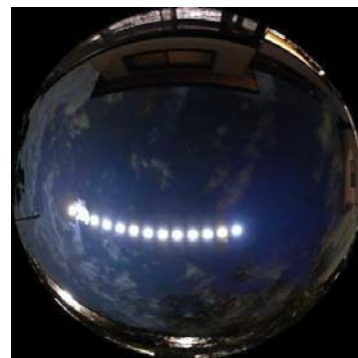


図3 全天カメラによる月の動き

全天カメラによる撮影画像を適当に処理した後、アニメーションとして投影することで、天球の動きを十分に観察できるモデルと

なることが確認された。また、画像の下部に入り込んだ建物などは、昼間見慣れているものであるため、天球の動きがより身近なものとして実感できることがわかった。(学会発表③、その他②)

#### (5) 食連星の明るさと色の変化

本研究では、小型望遠鏡と CCD カメラを用いて食連星（食変光星）の画像を連続撮影して、高校地学「宇宙の探究」のデジタル教材を作成した。本教材は、望遠鏡と CCD カメラで撮像した画像による動画、その画像から明るさを測定して時間変化のグラフとして表したもの（光度曲線）、観測した食連星のモデルを動画として表示するシミュレーションソフト、の3つから構成されている。

対象とした食連星はおうし座 RW 星である。この食連星は公転周期が 2.79 日、主星と伴星の表面温度がと大きく異なり、主星が伴星に隠されると（主極小）、その明るさは 3.5 等以上も暗くなり、色も青白色から橙色に変化する。観測は口径 30cm の小型望遠鏡 (Meade LX200-GPS) と RVB の 3 フィルター付きの冷却 CCD カメラ (SBIG ST-9XE) を使用した。RVB の 3 フィルターはカラー合成用の RGB フィルターとは有効波長がやや異なるが、許容範囲と判断し、この RVB 画像を組み合わせることでカラー合成画像を作成した。カラー画像は時系列に順次表示することで動画とした。

食連星の明るさの測定は、人間の目の感度に最も近い V フィルターの画像を用いて行った。測定にあたっては、大気や薄雲の影響を避けるため、同じ画像に写っている（変光していない）近傍の比較星の明るさも同時に測定した。各画像で得られた明るさは、時間を横軸にして光度曲線としてプロットされた。

食連星の公転の様子シミュレートするソフトは、数式処理ソフト Mathematica を用いて開発された。ここでは、両星の形状を単なる球形でなく、相手の星からの潮汐力などを考慮して計算されている。おうし座 RW 星では、とくに伴星にその影響が大きい。シミュレーションで示される公転の様子は、地球方向から見た姿になっているが、実際の観測では光の点にしか見えない。

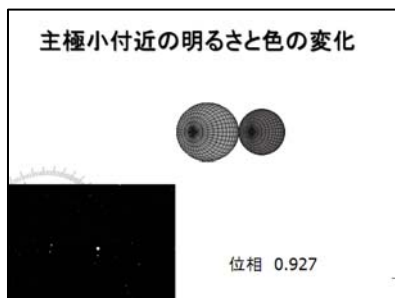


図4 食連星の明るさと色の変化

本教材の特長は、計算で示したシミュレーションだけでなく、食連星の明るさと色の変化が実感できる実際の観測画像と組み合わせたとところにある。

#### (6) 「金星の満ち欠けと軌道」

本研究は「小型望遠鏡とデジタルコンテンツを活用した天文学習プログラム」という研究課題に直結したテーマの一例である。大学院生 2 名（須藤・吉野）との協力を得ながら遂行した。

##### (6-1) 全体の構成

内容は、中学校理科第 2 分野「地球と太陽系」の「惑星と恒星」のうち、金星の満ち欠けに関するものである。実施した部分は全体として 3 時間の構成で、第 1 時は小型望遠鏡を用いた昼間の金星観察、第 2 時は球体に当たる光と影の実験、第 3 時は小型望遠鏡で撮影したデジタル画像を活用した金星の満ち欠けのモデル実験、であった。

実際の授業は、桐生市の公立中学校の協力を得て、平成 20 年 12 月 1 日（月）～8 日（月）のうち 3 日（水）を除く平日の 5 日間に行われた。3 年生 3 クラス（各 30 名弱）を 3 時間ずつ担当したので、合計 9 時間の授業を実施した。天体観察の宿命であるが、その日の天気によって観察ができないことが少なからずあり、その場合は授業の順序を変えて実施しなければならなかった。

##### (6-2) 昼間の金星観察

口径 25cm の反射望遠鏡と口径 6.5cm 屈折望遠鏡を持ち込んで実施した。最初に、太陽系の惑星についてポスターを使って簡単に紹介した後、2 つの班に分けて、1 班が金星の観察、もう 1 班は遮光板をもって肉眼で太陽の観察を行った。太陽の観察は、生徒たちに太陽の方向を意識させる意味もあった。望遠鏡で金星を観察する際には、棒の影を利用して金星の方向と太陽の方向がなす角度（離角）を測る器具を望遠鏡の先端に装着して生徒に確認させた。この角度は、金星の満ち欠けのモデル実験のときに大きな意味を持つからである。



図5 昼間の金星観察

口径 25cm の反射望遠鏡と口径 6.5cm 屈折

望遠鏡の三脚は予め学校のプールサイドに設置して極軸の調整も行っていった。しかし、望遠鏡の付け外しの際に位置がずれ、授業開始前に改めて調整することになった。この経験から、昼間の極軸調整を短期間でなるべく効率よく行うにはどうしたらよいか、との課題に取り組み、後日、(1)のセッティング方法の確立に至った。

### (6-3) 球体に当たる光と影の実験

この授業の狙いは、光に照らされている球体の見え方（満ち欠け）は、[光源] - [球体] - [観察者] を結ぶ直線のなす角度だけで決まるということを生徒に理解してもらうことである。1 クラスを 6~7 班に分けて、それぞれの班に発泡スチロール球 1 個と懐中電灯（LED ライト）1 本を与えて、実験結果をワークシートに記入させた。



図 6 球体に当たる光と影の実験

実験そのものは概ね順調に行われた。ただ、金星の満ち欠けのモデル実験についてまだ触れない段階で実施した場合、多くの生徒はこの実験の意味を理解しにくかったようだ。

### (6-4) 金星の満ち欠けのモデル実験

この授業では、金星に見立てた発泡スチロール球を太陽に見立てた固定位置の光源から照らし、地上の望遠鏡に見立てた「筒」を覗いてこれを観察する。この筒の先端には、棒の影を利用して、発泡スチロール球の方向と光源の方向のなす角度（離角）を確認できる器具が装着してある。また、この筒の中には、差し換え可能な半透明の金星画像がセットされているので、筒を覗くと、金星画像と重ね合わせて発泡スチロール球を見ることができる。

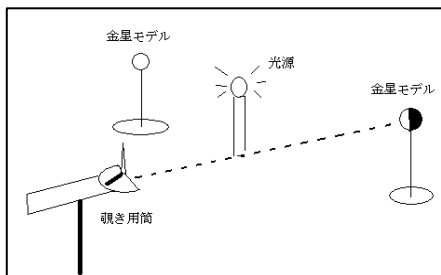


図 7 デジタル画像を利用した金星の満ち欠けのモデル実験

最初に、筒を覗いて見る方向と光源の方向のなす角度が、金星画像の撮影時の太陽からの離角と同じになるように、筒の向きをセットする。次に、光源に照らされた発泡スチロール球を筒先の延長上で移動させながら、筒の視野内に見える金星画像と発泡スチロール球の大きさと満ち欠けとを見比べ、見え方がほぼ同じになったところで発泡スチロール球を置く。これらの作業を 6 枚の金星画像について実施することにより、6 個の発泡スチロール球の並び方から金星の軌道を推定する。今回の授業で、これら発泡スチロール球が概ね光源を中心とする円弧に沿って並ぶことを確認し、学習プログラムの基本目標についてはほぼ達成できた。

上記の金星画像は、群馬県内の中学校生徒 4 名が理科教員の指導の下で小型望遠鏡で撮影した 20 枚のデジタル画像から選んだもので、本研究での使用の了解を得ている。

### (6-5) 生徒たちの視点移動能力

上記の平成 20 年 12 月の授業での生徒アンケート結果をまとめると、1. t 検定によると、物体の満ち欠けの向きと見かけの大きさ以外では授業前後で有意な差は見られなかった。2. ごく基礎的な視点移動能力についてはもともと有している生徒は多かった。3. 光源の位置を自分で推察する必要のある応用的な満ち欠けに関する理解は低かった。

平成 21 年 12 月に同じ中学校（3 年生 3 クラス [各 30 名程度]）で、モデル実験の教材を小型化して、上記の第 2 時・第 3 時の内容を改良して実践した（昼間の金星観察は、金星が太陽に近かったため実施せず）。そのアンケート結果（t 検定）では、授業前後において、基礎的・応用的な視点移動能力を含めて、すべての項目で統計的に有意な向上がみられた。平成 20 年の授業との違いとして、球体の光と影の実験で CCD カメラを用いて視点移動と見かけの大きさに関する意識付けを行ったこと、モデル実験の教材を小型化して生徒全員が実験に参加できたことがあげられるが、平成 21 年の授業で視点移動能力が向上したのは、これらが寄与した可能性が大きい。（雑誌論文②、④、学会発表⑦、平成 21 年の分析結果は未発表）

## 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 5 件）

- ① 岡崎 彰、須藤俊介、吉野晃生、中学校における天体望遠鏡の使用状況 — 群馬県内のアンケート調査から —、群馬大学教育学部教育実践研究、第 27 号、査読

- 有、2010、41-45 頁
- ② 吉野晃生、岡崎 彰、益田裕充、丹羽孝良、モデル実験による視点移動能力育成支援の試み—金星の見え方に関する授業を事例として—、群馬大学教育学部教育実践研究、第 27 号、査読有、2010、47-53 頁
  - ③ 岡崎 彰、城代貴浩、高校地学「宇宙の探究」における教材開発の試み—食連星の明るさと色の変化—、群馬大学教科教育学研究、第 9 号、査読無、2010、17-24 頁
  - ④ 岡崎 彰、益田裕充、奥沢 誠、「理科授業総合演習」における中学校理科（天文分野）の授業実践、群馬大学教科教育学研究、第 8 号、査読無、2009、11-20 頁
  - ⑤ 高橋信貴、岡崎 彰、月の立体写真について（その 1）、群馬大学教育学部教育実践研究、第 25 号、査読有、2008、57-65 頁

〔学会発表〕（計 7 件）

- ① 須藤俊介、岡崎 彰、中学校における天体望遠鏡活用を促す活動に向けて、日本理科教育学会第 59 回全国大会、2009. 08. 18、宮城教育大学（宮城県）
- ② 岡崎 彰、城代貴浩、高校地学「宇宙の探究」における教材開発の試み—食連星の明るさと色の変化—、日本理科教育学会第 59 回全国大会、2009. 08. 18、宮城教育大学（宮城県）
- ③ 吉野晃生、岡崎 彰、モデル実験による視点移動能力の支援の試み—金星の見え方に関する授業を事例として—、日本理科教育学会第 59 回全国大会、2009. 08. 18、宮城教育大学（宮城県）
- ④ 高橋信貴、岡崎 彰、全天カメラによる天球モデル教材の開発、日本理科教育学会第 47 回関東支部大会、2008. 11. 15、千葉大学（千葉県）
- ⑤ 岡崎 彰、須藤俊介、吉野晃生、中学校における天体望遠鏡の使用状況—群馬県内のアンケート調査から—、日本理科教育学会第 47 回関東支部大会、2008. 11. 15、千葉大学（千葉県）
- ⑥ 岡崎 彰、須藤俊介、吉野晃生、中学校における天体望遠鏡の使用状況—群馬県内のアンケート調査から—、日本天文学会 2008 年秋季年会、2008. 09. 11、岡山理科大学（岡山県）
- ⑦ 高橋信貴、岡崎 彰、月の立体写真について（1）、日本理科教育学会第 46 回関東支部大会、2007. 10. 27、埼玉大学（埼玉県）

〔その他〕

- ①ホームページ等  
<http://www.edu.gunma-u.ac.jp/~okazaki/kakenhi/general.html>
  - ②出版物  
 高橋信貴、デジタルカメラを用いた天球モデル教材の開発、新しい理科の指導資料集、第 38 集、2010、全国中学校理科教育研究会、印刷中
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
岡崎 彰 (OKAZAKI AKIRA)  
 群馬大学・教育学部・教授  
 研究者番号：40152285
  - (2) 研究分担者  
 ( )  
 研究者番号：
  - (3) 連携研究者  
 吉岡一男 (YOSHIOKA KAZUO)  
 放送大学・教養学部・教授  
 研究者番号：60158392