

論文題目

IT 機器を利用した天文教育プログラム開発

宮城教育大学大学院教育学研究科

教科教育専攻理科教育専修

05084 千島 拓朗

学位論文要旨

学校教育における天文分野の学習では、ほとんどの現象が夜間の観察や長期間の観察を必要としており、授業中に観察を取り入れた授業を行うことは非常に難しい状況である。そこで、本研究では、IT 機器を利用した観察や実習を取り入れた授業を行うために、学習指導要領に定められた学習に対して、宮教大インターネット天文台を活用した授業を容易に学校現場に取り入れることができるようにシステムの再構築を行った。このシステムにより、インターネット環境にある遠隔地で望遠鏡を使ってとらえられたリアルタイムの映像を多地点で同時に取得することが可能となった。学習時期に合わせて長期間に渡って天文台を運営し、中学校 3 年生で学習する金星、小学校 4 年生で学習する月について、インターネット天文台を利用することで、観察を行いながら授業を進めることができた。

中学校 3 年生で太陽の日周運動および南中高度の季節変化を観察し、地球の自転、公転および地軸の傾きを学習する。しかし、これらの学習を行うためには、数時間間隔の太陽位置の測定および一年を通じた観察が必要不可欠であるが、これらを観察することは時間的にも多大な労力がかかり、実際に実施することは非常に難しい。そこで、全天カメラシステムにより、1 年間の全天における太陽位置を記録し、太陽の日周運動および南中高度の季節変化をとらえる教材および学習プログラムを開発した。本教材も教室内にて一日または一年間の太陽の動きの変化をとらえることが可能である。これらを用いて宮城教育大学附属中学校、仙台市立館中学校、角田市立角田中学校にて授業を行い、学習の理解度および教材の有効性を調査した。これまでの学習方法に代わって、現象を確かめながら授業を行うことができ、学習に対して非常に有効であることがわかった。

夜空の明るさを測定する装置、夜空メーターを利用し、夜空の明るさ調査を行った。高校生が主体となって、装置の製作から光害や夜空の明るさマップの作成を行うことができた。夜空の明るさについて、自らの目を使って数値化することができ、夜空を見上げる機会として天文分野への学習へとつなげることができることがわかった。また、天文分野だけでなく、調査型の環境教育教材としても他地点との比較、人工光の影響などについても学習を行うことができる有効な教材であることがわかった。

学位論文要旨

目次

| | | |
|-----------|---------------------------------------|-----|
| 1 章 | 学校教育における天文分野の学習体系 | |
| 1 - 1 | はじめに | ・・・ |
| 1 - 2 | 天文分野の学習体系 | ・・・ |
| 1 - 3 | 惑星の公転に関する教材論 | ・・・ |
| 2 章 | 天体インターネットライブ映像システムの構築と学校教育での活用 | |
| 2 - 1 | はじめに | ・・・ |
| 2 - 2 | インターネット天文台と教育的活用 | ・・・ |
| 2 - 3 | 宮教大インターネット天文台システムの概要 | ・・・ |
| 2 - 4 | 天体インターネットライブ映像システムの構築 | ・・・ |
| 2 - 5 | 金星ライブ映像教材の開発 | ・・・ |
| 2 - 5 - 1 | 金星ライブの公開 | ・・・ |
| 2 - 5 - 2 | 公開内容と学習コンテンツの開発 | ・・・ |
| 2 - 5 - 3 | 学校教育での利用 | ・・・ |
| 2 - 6 | 月ライブ映像教材の開発 | ・・・ |
| 2 - 6 - 1 | 月ライブの公開 | ・・・ |
| 2 - 6 - 2 | 公開内容と学習コンテンツの開発 | ・・・ |
| 2 - 7 | 天体インターネットライブ映像教材の評価 | ・・・ |
| 2 - 8 | 議論 | ・・・ |
| 2 章 | 太陽の日周運動と南中高度の季節変化をとらえる全天カメラと学習プログラム開発 | |
| 2 - 1 | はじめに | ・・・ |
| 2 - 2 | 太陽の日周運動と南中高度の季節変化に関する教材論 | ・・・ |
| 2 - 3 | 全天カメラの概要 | ・・・ |
| 2 - 4 | 全天カメラを用いた画像・映像の教材化 | ・・・ |
| 2 - 5 | 学習プログラムの作成 | ・・・ |
| 2 - 6 | 学校教育での活用と評価 | ・・・ |
| 2 - 6 - 1 | 宮城教育大学附属中学校での授業 | ・・・ |
| 2 - 6 - 2 | 仙台市立館中学校での授業 | ・・・ |
| 2 - 6 - 3 | 角田市市立角田中学校での授業 | ・・・ |
| 2 - 7 | 議論 | ・・・ |

| | | |
|-----------|-------------------------|---------|
| 3章 | 夜空の明るさを測定する夜空メーターの開発と活用 | |
| 3 - 1 | はじめに | ・ ・ 6 0 |
| 3 - 2 | 夜空の明るさに関する教材論 | ・ ・ 6 2 |
| 3 - 3 | 夜空メーターの概要 | ・ ・ 6 3 |
| 3 - 4 | 教材としての利用と評価 | ・ ・ 6 6 |
| 3 - 4 - 1 | 宮城県鶯沢工業高校での製作活動 | ・ ・ 6 6 |
| 3 - 4 - 2 | 仙台市天文台での使い方講習会 | ・ ・ 6 7 |
| 3 - 4 - 3 | 宮城県第一女子高等学校での活動 | ・ ・ 6 9 |
| 3 - 5 | 夜空メーターを利用した星空環境調査 | ・ ・ 7 0 |
| 3 - 6 | 議論 | ・ ・ 7 3 |

4章 結論

謝辞

参考文献

1 章 学校教育における天文分野の学習

1 - 1 はじめに

天文分野の学習は、平成 10 年告示、平成 15 年一部改訂の現行の学習指導要領では、小学校第 3、4 学年、中学校第 3 学年に行う。平成 4 年度から実施されている前回の学習指導要領から、生活科が導入され、小学校の理科に関する時間が減っていることに加え、今回の学習指導要領の改正においても、完全週休 5 日制の実施、小学校第 3 学年から総合的な学習の時間が創設され、教育内容の厳選が行われた。学校教育法施行規則に定められている理科に関する授業時間数についても、小学校第 3 学年から第 6 学年まで 105 時間だったものが第 3 学年は 70 時間、第 4 学年は 90 時間、第 5、6 学年は 95 時間へと、中学校第 3 学年では、105-140 時間から 80 時間へと理科に関わる学習時間が減少している。

現行の学習指導要領に対する評価を行う上で、天文教育については、国内でも 4 年生から 6 年生までの小学生を対象とした現状の天文分野の学習についての調査が行われている（縣,2004）。この調査では、天文分野について小学校第 3 学年で学習する太陽の日周運動、学習指導要領から削除された月の形が変化する理由、地動説と天動説に関する知識について分析している。太陽の日周運動については、高い正答率を示すことは当然であるが、月の形が変化する理由、地動説と天動説については約半数の正答率を示している。縣(2004)は、天文分野が他の分野に加えて興味や関心が高いために、児童は学校以外でも情報を得ていることを指摘し、実験・観察だけで終わるのではなく、小学校の時点で、宇宙像の理解・科学的世界観の育成までを行う天文教育の必要性を提案している。天文分野は夜空を見上げることで誰でも、壮大な宇宙の姿を想像し、未知の宇宙について発達段階に合わせて考えをめぐらせることができる優れた教材である。学校教育において、これまで人類が理解してきた宇宙観をしっかりと身につけさせることは、非常に重要であると考えられる。

天文分野の学習はほとんどが夜間の観察を必要とするものが多い。そのため、家庭学習として学習課題をこなしているのが現状である。しかし、惑星などは天体望遠鏡を利用して初めて観察が可能であり、夜空を見上げただけでは確認することができないものも存在する。そのため天体観測にあたっては、学校の天体観測設備を利用することになるのであるが、地域や社会的状況から夜間に生徒を集めることは難しく、教師の多忙さや学校行事等によって、天体観望会の日程を確保することも困難になっているのが現状である。特に初等中等教育においては観察・実験等の体験を重視すると示している文科省の政策に対して、授業中に観察対象を得ることができない天文分野は矛盾を抱えていると言える。このような課題を抱えている学校教育における天文分野の学習に対して、教材開発や実践的な教育活動を実施し、それらについての一考察を行うこととした。

1 - 2 天文分野の学習体系

天文分野における学習について、平成 10 年告示、平成 15 年一部改訂の小学校、中学校の学習指導要領(文科省,1999)、平成 11 年告示、平成 17 年一部補訂の高等学校の学習指導要領(文科省,2000)から天文分野に関する学習内容、そしてその学習内容を教科書(東京書籍,2002)と照らしながら(1)観察を必要とするもの、(2)規則性から推測するもの、(3)天文用語など新たな知識を与えるものに分類した(表 1)。

小学校では第 3 学年に太陽によって地面が暖められること、太陽の光でできる影が時刻と共に変化することから太陽の日周運動を学習する。4 年次には、月の形、星には明るさや色に違いがあること、星の集まりを星座と呼ぶこと、月と星座の日周運動を学習する。今回の学習指導要領の改訂で学習内容が厳選され、旧指導要領における第 5 学年の月の表面の様子については削除され、太陽の表面の様子については中学校へ移行統合された。小学校での天文分野は、天動説と同様の自らを中心とした日常の視点での天体の日周運動の学習となっている。

中学校では、理科 2 分野の(6)地球と宇宙という単元で学習を行うため、通常は第 3 学年での学習となる。天体の日周運動と地球の自転、四季の星座と地球の公転を結びつけてとらえることや、地軸の傾きによって、太陽の南中高度や昼夜の長さが変化することを学習する。また、恒星と惑星の特徴、太陽系の構造、小学校から移行された太陽の特徴についても学習する。これまでの日常的な視点から地球外での視点へと移行することで、太陽を中心とした惑星の運動や内惑星の見え方、恒星と惑星の違いなどを学習する。日常生活では観察することが難しい内容にも触れるため、規則性を見いだして考察を深める学習となり、空間認識、時間感覚、想像力等の拡張が必要とされる。今回の改訂で、月の表面の様子については高等学校へと移行統合とされた。

高等学校では、理科基礎、理科総合 B、地学 I、地学 II で天文分野の学習を行う。観察を行うことは難しい内容であるが、天文分野の基礎について幅広く学習するようになっている。また、新しい知識を与えられることが多く、科学的に現象を説明するなどの能力も必要となってくる。ただし、2004 年の高等学校教育課程実施状況調査によると、現在の地学 I にあたる旧指導要領の地学 IB についての履修率は 5.5%というのが現状である(国立教育政策研究所教育課程研究センター,2004)。したがって、中学校までの義務教育段階で、天文分野についてのある程度の知識や科学的な思考能力について身につけさせることも重要である。

学習指導要領によって体系化された天文分野の学習を見ていくと、小学校、中学校、高等学校と段階が上がるにつれて、宇宙に対する考えを拡張していくように作成されている。小学校では観察を重視した太陽、月の日周運動や星座の観察、中学校では、惑星の公転、太陽系、高等学校では恒星の進化、銀河系と空間的・時間的にもスケールが大きくなって

いる。また、学習の内容についても各発達段階に合わせて、構成されていることがわかる。特に、小学校から中学校までに学習する概念として、地球を中心とした天動説的な天文現象の見方から、太陽を中心とした地動説への視点の移行を行わせていることがうかがえる。

表 1 学習指導要領における天文分野の学習

| 学習段階 | 学年・科目 | 題材 | 学習内容 | 学習内容の分類 |
|------|-------|----------------|--|--|
| 小学校 | 3年理科 | 日なたと日陰 | 太陽と地面の様子 太陽の動き | (1) (1) |
| | 4年理科 | 月と星 | 月の動き 明るさや色の違う星 星の集まり、星座 | (1) (1) (1)(3) |
| 中学校 | 3年理科 | 天体の動きと地球の自転・公転 | 天体の日周運動 地球の自転 四季の星座 南中高度の季節変化 地球の公転 地軸の傾き | (1)(3) (2) (1)(3) (1)(3) (2) (2)(3) |
| | | 太陽系と惑星 | 太陽の特徴 恒星と惑星の特徴 惑星の公転 | (1)(3) (3)(1) (1)(2)(3) |
| 高等学校 | 理科基礎 | 天動説と地動説 | 惑星の視運動 惑星の軌道 | (3)(2) (3)(2) |
| | 理科総合B | 地球の移り変わり | 惑星としての地球 | (3) |
| | 地学Ⅰ | 地球の概観 | 太陽系の中の地球 | (3)(2) |
| | | 宇宙の構成 | 太陽の形状と活動 恒星の性質と進化 銀河系と宇宙 | (3)(2)(1) (3) (3) |
| | 地学Ⅱ | 天体の観測 | 天体の放射 天体の様々な観測 | (3)(2) (3)(1)(2) |
| | | 宇宙の広がり | 天体の距離と質量 宇宙の構造 | (3)(2) (3)(2) |

学習内容の分類

(1) 観察を必要とするもの、(2) 規則性から推測するもの、(3) 新たな知識を与えるもの

1 - 3 惑星の公転に関する教材論

1 - 2 では、小学校から高校までの各段階における天文分野に関する学習について述べた。惑星の公転についてみていくと、これらは人類が獲得してきた天文分野の知識の順序と一致することがわかる。天体が地球を中心とした運動をされると考えられた天動説から、太陽を中心として惑星が運動をされると考えられた地動説へと発展した。そして、地動説はニュートンの運動方程式によって、惑星の運動について力学的に証明された。そこで、惑星の公転についての教材を議論するために、ニュートン力学を用いて惑星の公転を示す。

(1) 惑星の公転に関する教材論

惑星の公転に関しては、以下の計算から惑星の運動を表す方程式を得ることとする。
太陽を原点とする座標軸(x, y)として、平面極座標(r,)を用いると

$$x = r \cos \theta, y = r \sin \theta$$

速度 V の x, y 成分を求めるために、これを時間(t)で微分すると、

$$V_x = \frac{dx}{dt}, V_y = r \frac{d\theta}{dt}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dr}{dt} \cos \theta - r \frac{d\theta}{dt} \sin \theta, \frac{dy}{dt} = \frac{dr}{dt} \sin \theta + r \frac{d\theta}{dt} \cos \theta$$

となる。加速度を求めるために、時間(t)で微分すると

$$\frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} \cos \theta - 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} \sin \theta - r \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \cos \theta - r \frac{d^2\theta}{dt^2} \sin \theta$$

$$\frac{dV_y}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} \sin \theta + 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} \cos \theta + r \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2 \sin \theta - r \frac{d^2\theta}{dt^2} \cos \theta$$

となる。

ここで、中心力の大きさを f(r)、質点の質量を m とすれば、x, y 成分の運動方程式は

$$m \left(\frac{dV_x}{dt} \right) = f_x = f(r) \cos \theta, \quad m \left(\frac{dV_y}{dt} \right) = f_y = f(r) \sin \theta$$

である。したがって、

$$m \left(\frac{dV_x}{dt} \cos \theta + \frac{dV_y}{dt} \sin \theta \right) = 0, \quad m \left(\frac{dV_x}{dt} \sin \theta + \frac{dV_y}{dt} \cos \theta \right) = 0$$

となる。展開すると、

$$m \left\{ \frac{d^2 r}{dt^2} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \right\} = f(r)$$

$$m \left\{ -2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) - r \frac{d^2 \theta}{dt^2} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) \right\} = 0$$

となる。さらに整理すると、

$$m \left\{ \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \right\} = f(r) \quad (1)$$

$$m \left\{ 2 \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r \frac{d^2 \theta}{dt^2} \right\} = 0 \quad (2)$$

となる。

mで割って、rを掛けると、

$$2 r \frac{dr}{dt} \frac{d\theta}{dt} + r^2 \frac{d^2 \theta}{dt^2} = 0$$

これを整理すると、

$$\frac{d}{dt} \left(r^2 \frac{d\theta}{dt} \right) = 0 \quad (3)$$

これを時間(t)について積分すると、

$$r^2 \frac{d}{dt} = h \quad (\text{一定}) \quad (4)$$

となり、 $r^2 \frac{d}{dt}$ は時間によらず、一定となる。これはケプラーの第2法則である。

さらに、太陽の質量を M とすると、万有引力の法則より、惑星に働く太陽の引力は、

$$f(r) = -G \frac{Mm}{r^2} \quad (5)$$

となる。惑星の運動方程式は、(1)と(4)により、

$$m \left\{ \frac{d^2 r}{dt^2} - r \left(\frac{d}{dt} \right)^2 \right\} = -G \frac{Mm}{r^2} \quad (6)$$

$$r^2 \frac{d}{dt} = h \quad (\text{一定}) \quad (7)$$

惑星の軌道を求めるために、

$$\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d} \frac{d}{dt} = \frac{dr}{d} \frac{h}{r^2} = -h \frac{du}{d} \quad (8)$$

となる。 $u = 1/r$ とし、さらに時間(t)で微分すると、

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -h \frac{du^2}{d^2} \frac{d}{dt} = -\frac{h}{r^2} \frac{du^2}{d^2} \quad (9)$$

となるから、運動方程式(13)は

$$-\frac{h}{r^2} \frac{du^2}{d^2} - \frac{h^2}{r^3} = -G \frac{M}{r^2}$$

つまり、

$$\frac{du^2}{d^2} + u = \frac{GM}{h^2} \quad (10)$$

となる。

この微分方程式を解くと、

$$u = A \cos(\theta - \theta_0) + \frac{GM}{h^2} \quad (11)$$

となる。 $u = 1/r$ であるから、

$$r = \frac{1}{GM/h^2 + A \cos(\theta - \theta_0)} \quad (12)$$

となる。

$$l = \frac{h^2}{GM}, \quad = \frac{h^2}{GM} A \quad (13)$$

とおくと、軌道の方程式は、

$$r = \frac{l}{1 + \cos(\theta - \theta_0)} \quad (14)$$

となり、楕円の方程式が導かれる。これにより、高等学校で学習するケプラーの第1法則を力学的に証明できる。高等学校の学習過程では、力学を用いずにケプラーの法則を文章で学習している。

(2) 金星に関する教材論

地球軌道の内側を回る内惑星であり、地球型惑星に分類される。金星の表面は厚い雲に閉ざされて直接は見えないが、マゼラン探査機によるレーダー観測により、表面地形が明らかになった。金星の地表に関しては、全面にわたって衝突クレーターが少ないことから、火山作用による表面更新が顕著であると考えられている。

金星についての学習としては、中学校で惑星の公転を学習するために金星を取り上げ、金星の視直径の変化や満ち欠けの様子を観察することで、太陽・金星・地球の位置関係について学習を行う。金星は地球にもっとも近い内惑星であり、朝方や夕方に明けの明星、宵の明星として観察することができる身近な天体の一つである。

金星についての基礎データを表2に示す。

表2 金星についての基礎データ（質量は地球を1とした場合の値、年は365.25日）

| | 軌道長半径 | 質量 | 公転周期 | 軌道離心率 | 軌道傾斜角 | 近日点黄経 |
|----|-----------|---------|---------|---------|----------|------------|
| 金星 | 0.7233 AU | 0.81500 | 0.615 年 | 0.00677 | 3.3947 ° | 131.6478 ° |

天文年鑑 2006 年度版より

金星の軌道に関する方程式は、軌道長半径を a 、軌道短半径を b 、軌道離心率を e とすると、

$$r = a(1 - e \cos(\theta - \theta_0)) \quad (15)$$

となる。1 - 3 (2) の(14)式より、

$$r = \frac{l}{1 + e \cos(\theta - \theta_0)} \quad (16)$$

ただし、 $l = \frac{b^2}{a}$ である。また、軌道長半径の方向を $\theta_0 = 0$ とする。

これに、それぞれ代入すると

$$r = \frac{0.714}{1 + 0.00677 \cos \theta} \quad (17)$$

\cos は -1 から 1 となるので、

r のとりうる最小値と最大値は

$$0.709 \leq r \leq 0.719 \text{ (AU)} \quad (18)$$

となる。一方、公転が円軌道 r' を描くと仮定すると、 $b^2 = a^2 - c^2$ ただし、 $c = 0$ となるため、

$$a = b, \quad c = 0$$

となる。よって金星の軌道は

$$r' = a / 1 = 0.7233 \text{ (AU)} \quad (19)$$

となる。

(18) と(19)より、 r についての楕円軌道と円軌道の誤差は、 0.60 から 1.9% となる。また、金星軌道を地球軌道へと投影した場合には、地球の軌道と金星の軌道傾斜角 i から、

$$r'' = r \cos i \quad (20)$$

よって、地球軌道と金星軌道の誤差は非常に小さくなり、無視することができる。

中学校段階では、惑星は太陽を中心に楕円軌道を描くというケプラーの第 1 法則については学習しない。また、楕円軌道と円軌道の誤差も小さいため、金星の軌道を円として近似して、惑星の公転を学習することができる教材である。

(3) 月に関する教材論

地球の衛星。表面はクレーターが多くて起伏に富む明るい高地と、平坦で暗い海に二分される。月に関する探査は、古くから行われており、アポロ計画の有人飛行によって、月面へ着陸し、岩石サンプルも持ち帰ってきている。月の成因には親子説・兄弟説・他人説など様々な説が提唱されているが、現在ではジャイアントインパクト説が有力とされている。

月に関する学習は、小学校 4 年次に月の形が変わることを学習する。昼までも観察することができるのに加えて、夜間に観察することで、月の高地と海についても観察することが可能である。また、望遠鏡や双眼鏡を用いることで、月のクレーターについても容易に観察することができる。これまでは月の公転によって形が変わることも学習していたが、今回の学習指導要領の改訂によって、高校へと移行されている。しかし、月は太陽について明るい天体であるので、身近なであり、なおかつ地球の周りを回り、月が公転するという現象を理解することで、地動説を学習する際にも、重要な天体であると言える。表 3 に月の基礎データ表 3 に示す。

表 3 月についての基礎データ

(質量は地球を 1、年は 365.25 日とした場合の値、離心率と軌道傾斜角は平均の値)

| | 平均距離 | 質量 | 公転周期 | 軌道離心率 | 軌道傾斜角 |
|----|-----------|--------|----------|---------|---------|
| 金星 | 0.7233 AU | 0.0123 | 0.0748 年 | 0.05488 | 5.123 ° |

天文年鑑 2006 年版、理科年表 1998 より

地平座標で、月の位置を示すために月の軌道を円、黄道面上を公転周期 T で公転する、黄経についての誤差はないものと仮定し、天球上での月の軌道を考えることにする。まず、地軸の傾きを I_e として、地心黄道座標系での天体の黄経を L_m とすると、 x 、 y 、 z 成分は

$$\begin{aligned}x &= \cos(L_m) \\y &= \sin(L_m) \cos(I_e) \\z &= \sin(L_m) \sin(I_e)\end{aligned}\tag{21}$$

となる。赤経成分 al と赤緯成分 de としてこれを赤道座標で表すと、 x 、 y 、 z 成分は

$$\begin{aligned}x &= \cos(de) \cos(al) \\y &= \cos(de) \sin(al)\end{aligned}\tag{22}$$

$$z = \sin(de)$$

よって、(21)、(22)式より

$$\tan(al) = \tan(Lm) \cos(Ie) \quad (23)$$

$$\sin(de) = \sin(Lm) \cos(Ie) \quad (24)$$

ただし、al と de は同じ象限である。

と表すことができる。次に、方位を h、高度を A とした場合の天体の位置を地平座標で表すと、x、y、z 成分は、

$$\begin{aligned} x &= \cos(h) \cos(360 - A) \\ y &= \cos(h) \sin(360 - A) \\ z &= \sin(h) \end{aligned} \quad (25)$$

となる。次に、観測地点の恒星時を S、緯度を P とする。時角 $H = S - al$ となるので、天体の位置を赤経赤緯座標で表すと

$$\begin{aligned} x &= \cos(de) \cos(- H) \cos(90 - P) - \sin(de) \cos(P) \\ y &= \cos(de) \sin(- H) \\ z &= \cos(de) \cos(- H) \sin(90 - P) - \sin(de) \sin(P) \end{aligned} \quad (26)$$

となる。よって、(35)、(36)式より、

$$\sin(h) = \cos(de) \cos(H) \cos(P) + \sin(de) \sin(P) \quad (27)$$

$$\cos(A) = \cos(de) \cos(H) \sin(P) + \sin(de) \cos(P) \quad (28)$$

となり、地平座標系で天体の位置を示すことができる。

2章 天体インターネットライブ映像システムの構築と学校教育での活用

2 - 1 はじめに

近年の宇宙開発などの技術進歩とともにインターネットやマスメディアの発達によって、宇宙に関連する情報も入手しやすくなってきており、児童・生徒らの宇宙への興味や関心は非常に高いと言える。しかし、学習を行う天文現象はほとんどが夜間の観察を必要とするため、昼間に行われている授業において、対象を観察しながら、学習を進めることは非常に困難である。夜間の天体観察については家庭学習として課す場合が多く、教師の適切な指導のもとで学習を進めることができず、天文分野への興味や関心を深めることを難しくしている。また、近年の凶悪な犯罪や地域を取り巻く社会状況を考えても、夜間に生徒を集めて天体観測を行うことは非常に難しい状況である。また、学習を行う天体である月や金星については、授業の行われている昼間にも天体観察を行うことができるが、昼間の天体を観察するための準備や設備が必要となり、学校現場での実情を考えると、実際に観察を行うことは非常に困難である。そのような現状から、学習指導要領にはコンピューターシミュレーションや映像教材を活用しながら、学習計画を立てる必要があると示されている。天文分野においても、技術の進歩と共に宇宙に関する画像や映像が得られるようになり、教育分野でも活用されている。宇宙に対しての興味や関心を持たせるために、それらを授業に活用していくことは大変有効であると考えられる。

一方、2001年に高度情報通信ネットワーク社会形成基本法が施行され、内閣府では高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部（IT戦略本部）を設置し、e-JAPAN重点計画の中で教育分野に関して、学校内の教育用コンピューター設置やインターネット環境のブロードバンド化を行っている。学校における教育の情報化の実態等に関する調査(文科省,2005)によると、学校のインターネット接続率はほぼ100%であり、今後は普通教室でもインターネット接続が可能となり、いよいよコンピューターを教育現場で活用した授業を行うための環境が整ってきた。しかし、インターネットには様々な情報に溢れており、教育現場で活用するためには、インターネットの情報をそのまま活用するのではなく、学習に必要な情報として準備することも、効果的な授業を行うためには必要である。そこで、教育現場で活用できる教育用コンテンツの作成や教材としての有用性を検証していく必要がある。

初等・中等教育では体験や経験をもとに学習を進めることが重要であるが、前述のように天文分野の学習については、すべての児童生徒に天体観測を実施することは難しい。天文分野では特に、コンピューターやインターネットを活用することが求められるであろう。そのような背景の中、インターネットを介して望遠鏡の操作を行い、天体の映像や画像を見ることができるインターネット天文台は国内・海外に数多く設置されている。インターネット天文台の設置の意図は、天文台に足を運ぶことのできない人のための設備であり、

研究目的だけでなく、特に教育分野において果たすべき役割が大きい。インターネット天文台を学校教育で活用することができれば、教室の中で天体観察を行いながら授業を行うことができるのである。宮城教育大学惑星科学研究室では、2000年よりインターネット天文台を利用した天文学習教材の開発を行っており、現在では望遠鏡の操作、映像や音声の通信などより使いやすいシステムへと改善が行われている(高田他 2001、2002、中堤 2001、林 2002、佐々木 2003、千島 2004、2005)。国内外のインターネット天文台を含めて、技術的には確立されたシステムが完成しており、今後は各学校において学習の中で、インターネット天文台を活用していくための学習プログラムの創作が求められる。そこで、宮教大インターネット天文台を利用して、天体のインターネットライブ映像を公開し、インターネット環境にあれば、どこでも天体望遠鏡を利用した観察を行えるシステムを構築し、運用した。本研究において、宮教大インターネット天文台を普通教室の授業で利用し、天体のライブ映像を利用して、現在の天体の姿の観察させることで、天文教材として生徒らに興味を持たせることができた。

2 - 2 インターネット天文台と教育的活用

インターネット天文台とはインターネットを介して、望遠鏡の操作を行い、天体の映像を取得することができるシステムであり、現在は国内外に数多く設置されている(尾久土,1999、佐藤他,2003、高田他,2003、木村,2003、衣笠他,2003、曾我他,2003、佐々井他,2004)。インターネット天文台を教育に利用した実践も数多く行われている。それらの実践について、観察対象、観察方法について表 4 に示す。これらの実践では、通常では観察することが難しい天文現象や天体を観察するために、インターネットを利用して天体望遠鏡を実際に操作し、時空を超えて天体望遠鏡を利用した星空観察を行うことができるという利点を活かしたものである。このような教育実践以外にも、太陽面のリアルタイム画像を公開している天文台も多く(仙台市天文台, <http://www.astro.sendai-c.ed.jp/solar/solar.html>)、それらを用いた学校教育での授業は行われているであろう。確かに太陽面については、学校教育でも学習するので、非常に有効なコンテンツであるといえるが、その他のインターネット天文台では、望遠鏡操作や映像取得までに事前の準備が必要であり、太陽のように授業で使いたいと思ったときに気軽に使えるシステムにはなっていないのが現状である。このような障害があるために、日本各地にインターネット天文台が設置されているにもかかわらず、学校教育や一般の天文教育に対して広く有効に活用されているとは言い難いのが現状である。特にインターネット天文台は教育目的に使われて初めてその真価を発揮するものであり、様々な教育分野の中でも特に学校教育において活用することができれば、有効な教材として広く活用することが可能になる。

表 4 インターネット天文台の教育利用例

| 観察対象 | インターネット天文台の利用 | 報告例 |
|-------|----------------------------|----------|
| 日食・月食 | 天文現象のインターネット配信 | 尾久土,1999 |
| 日食 | | 吉田,2003 |
| 惑星 | 海外から国内のインターネット天文台を利用した授業 | 松本,2000 |
| 惑星 | | 林,2003 |
| 星雲・銀河 | 海外のインターネット天文台を利用した授業 | 中堤,2003 |
| 月、惑星 | | 佐藤,2005 |
| 惑星 | 障害者・病虚弱体質生徒を対象とした室内での星空観察 | 中堤,2002 |
| 明るい恒星 | 国内のインターネット天文台を利用した昼間の星の観察 | 佐々木,2004 |
| 金星 | 国内のインターネット天文台を利用した昼間の金星の観察 | 千島,2005 |

2 - 3 宮教大インターネット天文台システムの概要

宮城教育大学インターネット天文台は2000年に構築され、その後、観測機器やソフトウェアの更新などを技術の進歩に合わせて行い、現在に至る。これまでの活用事例として以下の教育プログラムが実施されており、障害者・病虚弱体質生徒を対象とした室内での星空観察(中堤,2002)、海外からの時差を利用した星空観察(林,2003)、昼間の星の観察(高田他,2004、佐々木,2004、千島,2005)と様々な場面において、教育的活用が図られている。これらの報告では、宮教大インターネット天文台に関するこれまでの研究や活用事例から、室内で星空観察を行う手段としてインターネット天文台を利用することは有効であると述べている。また、天文台を利用する際のシステムについても、通信速度や利用環境に応じて柔軟に対応することができる。これまでに提案されてきたインターネット天文台システムと宮教大インターネット天文台の変遷の概略について表5にまとめる。

表5 宮教大インターネット天文台システムの変遷

| 宮教大インターネット天文台システムに加えられた機能・改善内容 | 報告例 |
|--------------------------------|----------|
| インターネット天文台システムの構築 | 中堤,2002 |
| 音声コミュニケーションシステムの追加 | 林,2003 |
| 広視野をとらえる高感度 CCD カメラの追加 | 吉田,2003 |
| 天体カラー映像の取得システム | 佐々木,2004 |
| 天体映像のリアルタイム映像の配信システム | 佐々木,2004 |
| 多地点同時取得を想定したリアルタイム映像の配信システム | 千島,2005 |

宮教大インターネット天文台を利用するまでには、ネットワークの通信速度に合わせたシステムの選択や必要ソフトウェアのインストールなどを必要としていたため、利用までの準備について簡略化することが課題であった。また、インターネット天文台を広く活用していくためには、インターネット環境にあれば誰でも平等に活用することのできるシステムを構築していくことが重要である。特に学校教育において、インターネット天文台を活用することができれば、教室においても天体観察を取り入れた授業を行うことが可能となるのである。学校教育では授業が昼間に行われるため、一般に天体観察を行いながらの授業は難しい。また、前述のように天体観望会を開催することも難しく、天文分野の学習を困難にしている。ただし、中学校で扱う金星、小学校で扱う月については、天体観測設備を使用することで昼間にも観察することが可能である。しかし、そのような天体設備は通常の学校には整備されていないのに加えて、教師の望遠鏡操作技術や準備を行う時間も必要とする。また、理科の授業を想定した際に、インターネット天文台の操作については、興味付けを行うには有効であるが、情報分野の学習としての傾向が強く、理科の授業とい

う限られた時間の中で学習を行うためには、さほど必要ではないことがわかった。リアルタイムの天体の映像が教室で確認できることで、学習の補助となる有効な教材となりうるのである。そこで、望遠鏡操作を制限し、クライアント側でインターネットを介しての映像取得を容易にするためのシステムを構築することとした。

現在の宮教大インターネット天文台の観測機器を表6に示す。佐々木(2004)より、カラーのリアルタイム映像を配信するため、ウェブカメラを撮像カメラとして使用している。このカメラは直焦点撮像を行っているため、拡大率の変更には望遠鏡の焦点距離を変更する必要がある。そのため、焦点距離が1500mmの大きな望遠鏡1で、6×8分角、焦点距離が255mmの小さい望遠鏡2で、37×50分角と2種類望遠鏡を用意することで、視野角の違う2つの映像を配信することができる。

表6 宮教大インターネット天文台の観測機器

| 観測設備 | 望遠鏡 | 赤道儀 | 天体撮像カメラ | 対象 |
|-----------------|--|-------------------|---|----------|
| インターネット 望遠鏡1 | miniBORG45ED (トミーテック社) 口径: 45mm、焦点距離: 255mm | EM-200 (高橋製作所) | ToUcam PRO II (Philips 社) 640×480 画素 | 月 恒星 |
| インターネット 望遠鏡2 | MT-300 (高橋製作所) 口径: 300mm、焦点距離: 1500mm | EM-500 (高橋製作所) | ToUcam PRO II (Philips 社) 640×480 画素 | 惑星 恒星 |

レデューサー0.85×DG (トミーテック) 使用時



図1 宮教大インターネット天文台の外観

2 - 4 天体インターネットライブ映像システムの構築

教科領域の理科において、インターネット天文台を利用した学習プログラムを開発することで、インターネットに接続された環境であれば、教室内でも天体観察をしながら授業を行うことができる。そこで、天体のインターネットライブ映像配信システムを構築し、天体ライブ映像を公開することとした。ライブ映像では、ちょうど望遠鏡を覗いたときに見えるリアルタイムの映像をインターネット環境にある遠隔地で取得することができる。雲の通過や大気の揺らぎなども観察することもでき、より実体験に近い星空観察が可能である。これまで構築されてきたリアルタイム映像配信システムと利用に必要なソフトウェア等を表 7 にまとめる。これまでは、Yahoo!メッセンジャーのようなインスタントメッセンジャーを利用して、映像を公開していた。この方法であると、天文台と遠隔地が共に外部のサーバーに接続を行い、リアルタイム映像をやりとりすることができる。しかし、映像を取得するまでにソフトウェアのインストールやアカウントの取得を行う必要がある。また、映像の画質や遅延などはそれぞれのネットワーク回線の速度や外部サーバーの処理能力に依存するために自由度は低い。また、通信に使用するポートが決められているため、学校ネットワークなどではファイアウォール等で通信を確立できない可能性がある。そこで、Windows Media サービスのようなストリーミングサーバーを導入し、天体映像の配信を行うこととした。これによって通信ポートも http 用の 80 番を、通信方法も天文台と遠隔地を直接結んで映像を取得することができる。

表 7 映像配信システムと使用ソフトウェア

| 天文台側利用ソフト | 通信ポート | 遠隔地側利用ソフト | 通信方法 |
|--------------------|-------------|----------------------|-----------|
| Yahoo!メッセンジャー | 5100 | Yahoo!メッセンジャー | 外部サーバー接続 |
| Windows Media サービス | 80,554,1755 | Windows Media Player | 天文台-遠隔地接続 |

いずれかの通信ポートを使用

映像を多地点で効率よく受信するためには、ストリーミング技術によって、クライアント側で映像の受信と再生を同時に行うことが非常に有効である。ストリーミングとは映像や音声を再生する方法の一つであり、すべてのファイルを受信してから再生する従来の方法とは違って、パケットという細切れの情報（ストリーム）を受信しながら再生を行う技術であり、リアルタイムの映像を遠隔地で再生することもできる。ストリーミングを行うためにはストリームを作成するストリーミングサーバーが必要である（表 8）。ストリーミングサーバーにはいくつかの種類があるが、学校現場ではほとんどの PC の OS が Windows であることを考えて、Windows 標準の Internet Explorer もしくは Windows Media Player でライブ映像を取得することができるようにするため、宮教大天文台内に Windows Server

2003 を導入し、ストリーミングサーバーとして稼働させた。Windows ユーザーであれば、ソフトウェアのセットアップやインストールを必要とせずに、天体ライブ映像を取得することができる。Mac ユーザーの場合は、OSX 以上で Windows Media Player9 をインストールすることで映像を取得することが可能である。天体ライブ映像は、接続したカメラから Windows Media エンコーダーで取得し、ストリーミングとして映像をエンコードした映像を Windows Media サービスによってインターネットに公開している（図 2）。また、天文台内にネットワークカメラを設置して、天体映像だけでなく望遠鏡と天文台の室内の様子を映し出し、実際の観測現場を公開した。

表 8 ストリーミングサーバーと映像再生ソフトウェア

| ストリーミングサーバー | 映像再生ソフトウェア |
|-----------------------------|--|
| Windows Media サービス | Windows Media Player |
| Helix Server | Real Player ,Windows Media Player , Quick Time Player |
| Quick Time Streaming Server | Quick Time Player |
| Darwin Streaming Server | Quick Time Player |

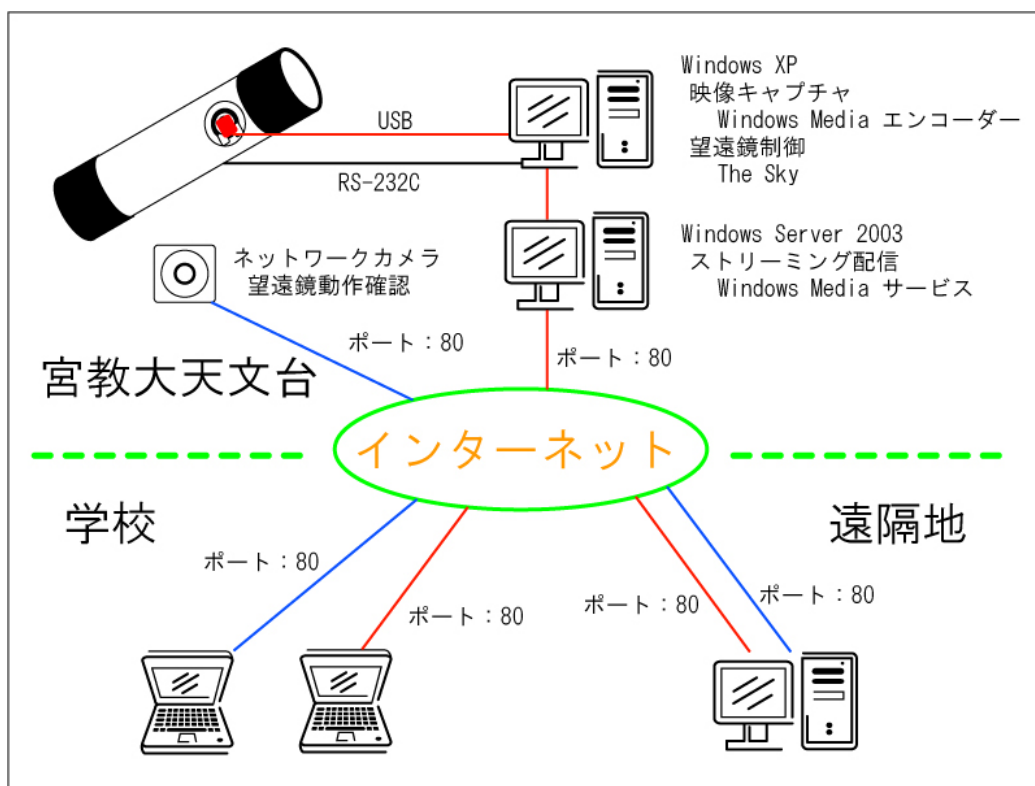


図 2 ネットワークとアプリケーション

映像の画質について、Windows Media サービスで指定することのできる例を表に示す。様々なネットワークを想定して、映像を配信することが可能である。インターネット天文台で用いている映像の画質の設定については表 9 に示す。ビデオの圧縮の設定にいくつかの設定例の最大値と最小値を示したが、その中から適切なビットレート・フレームレート・出力サイズの値を選択することができる。天体のライブ映像の公開を行う画質の設定については表 10 に示す。宮教大のネットワークにかかる負荷とクライアント側の回線が細いネットワークでも映像を見られるように考慮した。フレームレートを 15fps で表示させても、ライブ映像ならではの雲の通過や大気の揺らぎをスムーズに表示させることができる。

表 9 Windows Media サービスで設定可能なライブ映像の画質

| ビデオの圧縮の設定 | ビットレート (kbps) | フレームレート (fps) | 出力サイズ(pixel) |
|--------------|------------------|------------------|-----------------|
| マルチビットレートビデオ | 1128-28 | 29.97-15 | 320×240-160×120 |
| DVD 品質ビデオ | 2137-1017 | 29.97 | 640×480 |
| VHS 品質ビデオ | 464-244 | 29.97 | 320×240 |
| 低帯域帯ビデオ | 160-24 | 15-10 | 160×120 |
| ブロードキャストビデオ | 387-32 | 15 | 320×240-160×120 |
| 全画面表示ビデオ | 1128-508 | 29.97-15 | 入力と同じ |
| フィルムコンテンツビデオ | 887-267 | 24 | 640×480-320×240 |
| 高速コンテンツビデオ | 887-317 | 60 | 320×240 |

表 10 天体ライブ映像の画質 (マルチビットレートビデオ)

| ビットレート(kbps) | フレームレート(fps) | 出力サイズ(pixel) |
|--------------|--------------|--------------|
| 128 | 15 | 320×240 |

2 - 5 金星ライブ映像教材の開発

中学校での天文分野の学習は第 2 分野で取り扱う。理科の学習を行う順序として、第 1 分野、第 2 分野、それぞれに(1)から(7)までの学習内容が決められており、天文分野は(6)地球と宇宙という単元で学習する。そのため、中学校 3 年生の秋から冬にかけての季節に扱うことになり、寒くなる時期、また受験に向けての準備時期と重なるために、天文分野の学習で必要とされる夜間観測を行わずに、天体の写真等を利用して観察に代えて学習を進めてしまうことも多々ある。天体望遠鏡を用いて観察することが必要な内容は、太陽面の観察と恒星と惑星の輝く様子の違い、内惑星の満ち欠けの様子である。特に内惑星の満ち欠けの様子では、金星の満ち欠けと見かけの大きさの変化を扱い、その観察結果から、惑星の公転について学習を行う。しかし、前述のように学校において、天体観察を行うことは非常に難しい状況である。そこで、宮教大インターネット天文台にて昼間の金星を撮影し、それをライブ映像として配信することで、教室で天体観察を行いながら授業を行うことができる。

2 - 5 - 1 金星ライブ映像システム

インターネット天文台を利用した金星の観察については 2004 年に実施している(千島 2005)。本研究ではストリーミングサーバーを設置し、ライブ公開期間を設けることによって、天体映像を多地点で容易に取得できるようになった。金星の視野角は内合時に約 1 分角、外合時に約 10 秒角と変化するため、これを効果的に表すために映像の視野は 6×8 分角とした。金星のライブ映像については表 6 のインターネット望遠鏡 1 を用いて公開した(図 3)。このシステムにより、金星の満ち欠けや見かけの大きさの変化をとらえることができる(図 4、5)。

天体映像は天体望遠鏡を利用することで像が逆さまに映るということを学習する良い機会になるため、倒立像で公開している。中学校では、第 1 分野で凸レンズについても学習するため、十分理解させることが可能である。しかし、小学生を対象とした場合や、学校現場からの要望があれば、カメラの向きを逆にすることで正立像として公開することも可能である。

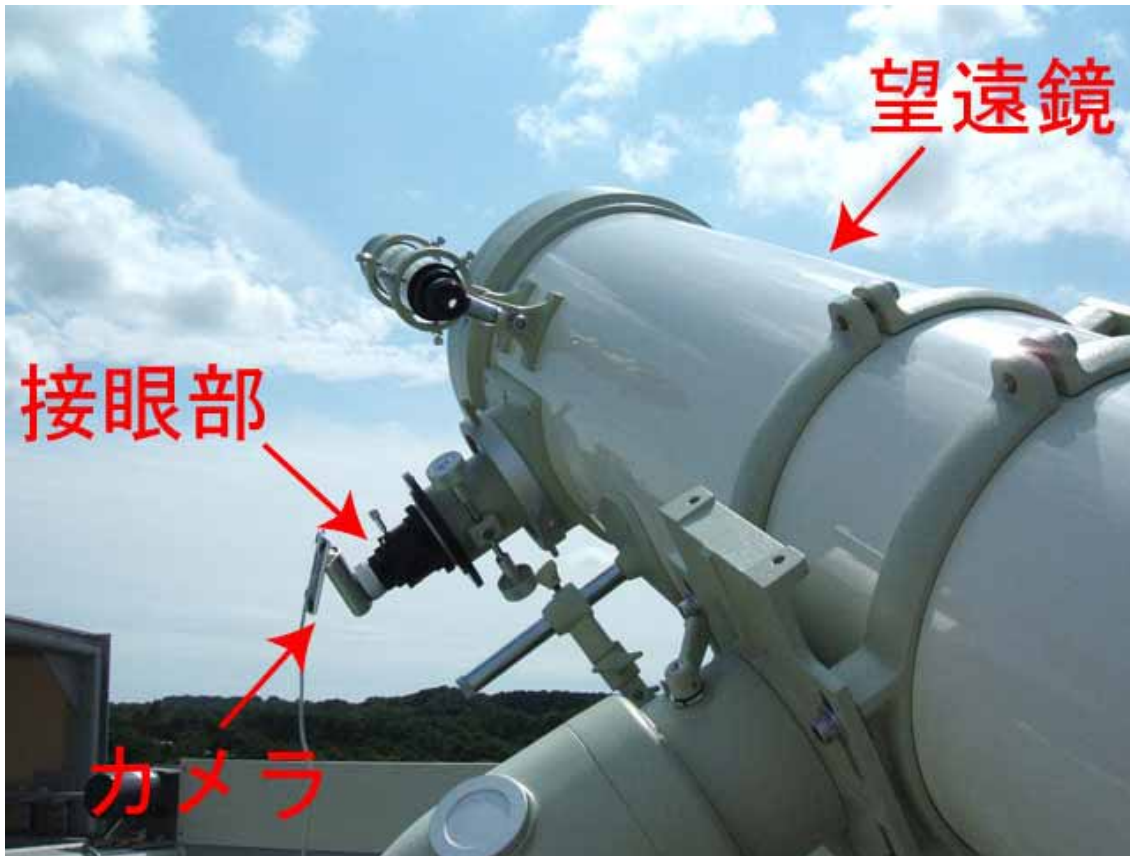


図3 金星ライブに使用した観測機材



図4 内合付近の金星(2006年1月5日)



図5 外合付近の金星(2007年11月15日)

2 - 5 - 2 公開内容と学習コンテンツの開発

天文分野は秋から冬にかけて学習するため、2005年は9月から12月まで、2006年は11月から2007年1月までの平日の晴天日の10時から15時まで、「金星ライブ！」と称して、ライブ映像の公開を行った。2005年、2006年ともに宮城教育大学の地域連携事業として、仙台市内の小中学校と宮城県の各教育事務所に資料を送付し、授業内での活用を呼びかける広報を行った。また、星空観察ネットの広場のメーリングリストを利用し、ライブ映像の状況を報告した。また、金星ライブのホームページ内で、(1)金星の映像、(2)過去に撮影した金星の画像や映像の一覧、(3)金星と地球の相対位置を示すプログラム、(4)インターネット天文台についての紹介、(5)天文台のスケジュール等、学習に必要な情報をすべて公開した。

(1) 金星のライブ映像 金星ライブ！

金星のライブ映像は星空観察ネットの広場のホームページ上に表示させているため、通常のウェブを見る作業と同様にブラウザでライブ映像を見ることができる(図6)。また、映像をクリックすることでWindows Media Playerを起動させ、全画面に拡大して映像を見ることが可能である。



図6 金星ライブ！ <http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/live/index.html>

(1) 金星の満ち欠けと見かけの大きさの変化 金星観察日記

過去の金星の様子や悪天候時にも金星を確認することができるように、金星観察日記として過去の金星の画像、映像、そして撮影時の天文台の様子についてコメントを残すページを作成した(図7)。すべて同じ倍率で撮像しているため、金星の満ち欠けや見かけの大きさの変化を日付の経過とともに調べるができる。また、肉眼での金星の観察方法や金星ライブ!撮影した金星の変化など様々な内容を取り上げ、星空観察を行うきっかけとなるようにした。



図7 金星観察日記 <http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/live/library.html>

(2) 金星と地球の相対位置 金星位置シミュレーション

金星の学習の際にライブ映像を利用することを考え、現在の太陽・金星・地球の位置関係を示すシミュレーションプログラムを作成した。Javascript を使用したため、ブラウザ上で知りたい時期を選択することでおよその金星の位置を示すことができる(図 8)。過去の金星の姿、現在の金星の姿とそれぞれの時期の太陽・金星・地球の位置関係を利用して、金星の公転についての学習を行うことも可能である。

太陽・金星・地球の位置関係を示すプログラムを作成した。金星と地球の軌道を円と仮定すると、以下の計算で金星の位置を計算することができる。

この計算を基にウェブ上で金星の位置を示すプログラムを Javascript で作成すると以下のようなソースとなる。

```
<SCRIPT type="text/javascript">
<!--
function data(){
dy = document.date.year.selectedIndex;
dm = document.date.month.selectedIndex;
ddy = (dy + 2) * 365.25 + 130.76;      //20020114 外合基準
ddm = (dm + 1) * 365.25 / 12 - 365.25 / 24;    //その月の中旬
t_date = ddy + ddm;
centerX = 193;      //軌道中心
centerY = 200;      //軌道中心
r = 147;            //軌道半径
a = -t_date;
cycle = 2 * Math.PI / 224.70 - 2 * Math.PI / 365.25;
omega = cycle * a;  //20020114 外合を基準
X = Math.cos(omega);
Y = Math.sin(omega);
imgX = X * r + centerX;
imgY = Y * r + centerY;
    function setImageXY(x,y)
    {
        //alert(t_date);
```

```

document.myImage.style.left = x;
document.myImage.style.top = y;
}
setImageXY(imgX,imgY)
}
/-->
</script>

```



図 8 金星位置シミュレーション

http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/live/v_simulation.html

2 - 5 - 3 学校教育での利用

(1) 学校教育での活用

2005年11月10日には宮城県仙台市立折立中学校の齋藤巨弘先生、12月8日には宮城県大郷町立明星中学校の北野伸一先生によって、で金星ライブ!を活用した惑星の公転を学習する授業が実施された(図9、10)。両校における授業の展開を表11に示す。現在の金星の姿を見ることができた驚き、金星が欠けて見えることを観察させることは学習を行う現象を確認できるだけでなく、学習の興味付けとしても非常に有効であった。また、大気の揺らぎや雲の通過なども観察することができた。指導者からの立場から、ライブ中継が可能か否かは天候に左右されるため、生の映像が観察できない場合でも授業に利用できるようにしなければならない。過去のライブ映像についても金星観察日記に追加し、常時ホームページ上に公開した。金星のライブ映像、過去の映像を提供することで、学校現場の先生が簡単に授業に活用することができる教材になった。



図9 モデル実験を行う様子



図10 スクリーンで金星を観察

表11 題材名と授業の流れ

| 題材名：金星の満ち欠けと惑星の公転 | | |
|-------------------|----------|---|
| 段階 | 学習の流れ | 備考 |
| 導入 | 現在の金星の観察 | 金星ライブ!を利用して今の金星の姿を観察させ、興味を持たせるとともに、なぜ金星が欠けて見えるかを考えさせた。 |
| 展開 | モデル実験 | 太陽・金星・地球をそれぞれ豆電球・白球・自分に見立て、豆電球の周りに白球を置き、白球の見え方の変化を観察させた。 |
| まとめ | 金星の公転 | 太陽・金星・地球の位置によって金星の見え方が変化することを確認させる。過去の金星の見え方についても金星ライブの画像を使って比較させた。 |

(2) 明星中学校でのアンケート結果

明星中学校での授業後、生徒 55 名にアンケートを実施した。結果を図 15-17 に示す。明星中学校という校名からも、金星に対して身近に思っている生徒が多いことが授業の様子からも見て取れ、宇宙の分野への興味が非常に高いことが読み取れる(図 11)。また、金星を見たことがあると答えた生徒も多いが(図 12)、肉眼のみ、写真、インターネットを利用して見ているので、望遠鏡や双眼鏡を使って、拡大した生の金星を見たことがある生徒は非常に少ない(図 13)。やはり、望遠鏡を使っての天体観察は生徒らにとって、身近ではない現状を見て取れる。天体望遠鏡等の天体観測設備は、高額であるために個人で扱うには難しい。学校の設備として、生徒らに学習の機会を与えることが必要である。しかし、授業が行われている昼間に天体を観察することは望遠鏡操作技術を必要とし、現実に実施するのは困難である。そこで、昼間にインターネット天文台を利用して授業を行い、夜間に実際に望遠鏡を操作しながら観察することが、最も望ましい天文分野の学習方法であると考えられる。

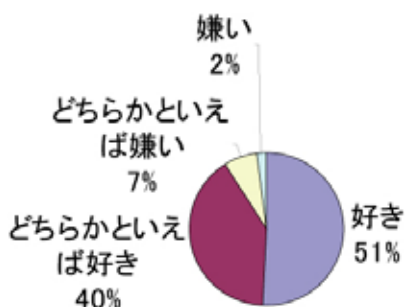


図 11 宇宙に関する分野の学習の興味

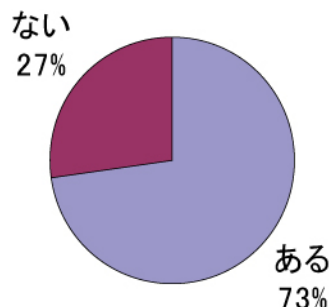


図 12 金星を見た経験の有無

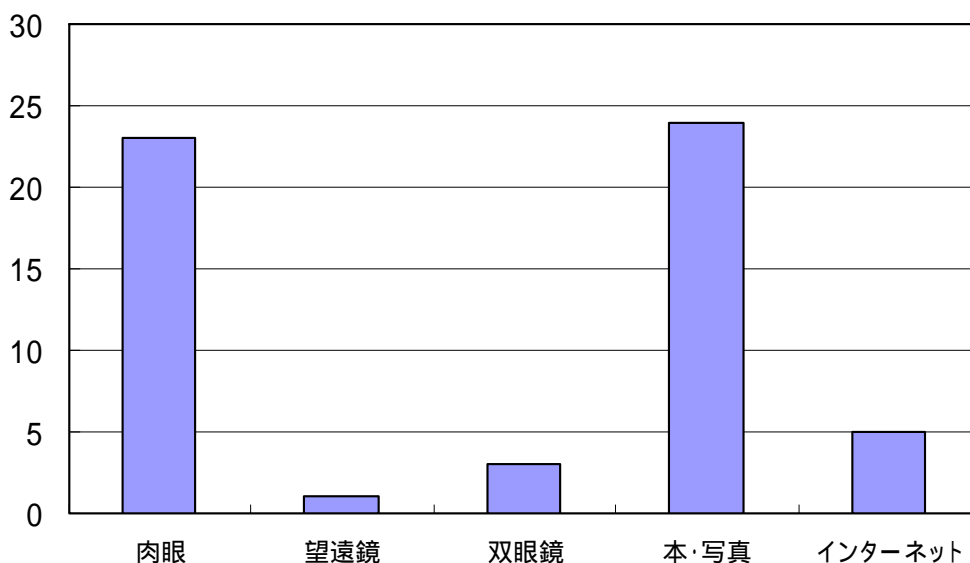


図 13 金星を見たときの使用機材の内訳(複数回答)

2 - 6 月ライブ映像教材の開発

月については小学校 4 年次に月が満ち欠けすること、月が移動することを学習する。月の形は昼間でも肉眼で観察が可能である。そこで、月のライブ映像では、基本的な内容として月の形、発展的な内容として高地と海（模様）の存在とクレーターを確認できることを目的とした。望遠鏡で捉えた映像と肉眼で見える月を比較することで、天文分野に興味を持たせて学習を進めていくことができると考える。

2 - 6 - 1 月ライブの公開

また、金星と同様に天体望遠鏡がない、もしくは天体観察をすることができない学校でも月を観察することができるようになる。そのため、月に関する映像等のホームページを構築し、月ライブ！と称して 2006 年 10 月から 2007 年 1 月までの晴天日にインターネットでの月ライブ映像の公開を行った。月のライブ映像については表 6 のインターネット望遠鏡 2 を用いて公開した（図 14）。ライブ映像の視野は 50×37 分角で、月の全景、高地と海、クレーターの存在を確認することができる（図 15、16）。



図 14 月ライブ！に使用した観測機材



図 15 2006 年 10 月 17 日の月



図 16 2006 年 11 月 1 日の月

2 - 6 - 2 公開内容と学習コンテンツの開発

月ライブ! ではコンテンツ管理システムとして Movable Type (シックス・アパート) を使用し、ブログを作成した。金星ライブでは、天文台の情報はライブ映像に写る白板もしくは html ファイルに書き込むようにしていた。しかし、ライブ映像では当然突然の天候の変化も配信していくため、何らかの天文台からの情報がなければ、クライアント側では天文台の状況を判断することは難しい状況であった。そのため、天文台で起きている状況を迅速に報告できるシステムの構築が必要であった。コンテンツ管理システムを使用することによって、手動での html ファイルの更新の必要がなく、ブラウザ上でコンテンツを作成できるため、更新作業が簡便になり、天文台の天気や状況の変化についてもすばやく更新できるようになった(図 17)。Movable Type には、コメント機能も備え付けており、天文台側からの一方的な映像の配信だけでなく、クライアント側との双方向でのコミュニケーションも可能となった。



図 17 月ライブ! <http://moon.miyakyo-u.ac.jp/>

月を肉眼で観察する際には現在の月の位置を知らなくてはならない。月に関する情報として、月の月齢、現在の月の位置を示すプログラムを公開した。これらについても Javascript にて記載したためブラウザ上で実行し、情報を取得できるようにしている。月のライブ映像で学習を終えるのではなく、肉眼で月を観察し、その上で望遠鏡を使った映像を見ることで、天文分野への興味付けとなることをねらいとした。

(27)、(28)式より、地平座標における月の位置を示すプログラムを作成した。
以下に、Javascript のソースを示す。

```
<script type="text/JavaScript">
<!--
//度からラジアンへ
rad = Math.PI / 180;
//月齢ここから
d = 27.32;
//太陽の春分点 2006年3月21日 3:15
yeas = 2006;
mons = 3;
days = 21;
hous = 3;
mins = 15;
//春分点の日時を関数に
var targetday = new Date(yeas, mons - 1, days, hous, mins);
//太陽が春分点の時の月の黄緯 2006年3月21日 3:15
Lm0 = 245.383 * rad;
//document.write(Lm0,"<br>");
//求めたい日時 年 月 日 :
yea = 2006;
mon = 11;
day = 7;
hou = 0;
min = 15;
//関数へ
//var today = new Date(yea, mon - 1, day, hou, min);
var today = new Date();
```

```

totalday = (today - targetday) / (24 * 60 * 60 * 1000);
//document.write(totalday,"<BR>");
//document.write(today,"日時<BR>");
//経過日数
x = totalday;
y = Math.floor(x / d);
z = x - y * d;
//document.write(x,"経過日数<BR>");
//黄経の進度
L = x * 360 / d - y * 360;
//黄経(ラジアン)
Lm = L * rad + Lm0;
if( Lm > 2 * Math.PI )
{
Lm = Lm - 2 * Math.PI;
};
//document.write(Lm / rad,"黄経<BR>");
//黄道座標を赤道座標へ
//自転軸の傾き
epsilon = 23.5 * rad;
//赤緯
delta = Math.asin( Math.sin( Lm ) * Math.sin( epsilon ) );
//赤経
alph = Math.atan( Math.tan( Lm ) * Math.cos( epsilon ) );
if ( 3 / 2 * Math.PI < Lm ){
alph = alph + 2 * Math.PI;
} else if ( 1 / 2 * Math.PI < Lm ){
alph = alph + Math.PI;
}
//document.write(delta / rad,"赤緯<BR>");
//document.write(alpha / rad,"赤経<BR>");
//赤道座標から地平座標へ
phi = 38 * rad;
//太陽が春分点の時の南の赤経 15h25m58.0s

```

```

theta0 = ( ( 58 / 60 + 25 ) / 60 + 15 ) / 24 * 360 * rad;
theta1 = theta0 + 2 * Math.PI * ( ( 1 + 1 / 365.25 ) * x);
theta2 = Math.floor( theta1 / 2 / Math.PI);
theta = theta1 - 2 * Math.PI * theta2;
//document.write(theta / rad,"南 ( 仙台 ) <BR>")
H = theta - alph;
//document.write( H / rad ,"jikaku<BR>");
h = Math.asin( Math.cos( delta ) * Math.cos( H ) * Math.cos( phi ) + Math.sin( delta ) *
Math.sin( phi ) );
A = Math.asin( Math.cos( delta ) * Math.sin( H ) / Math.sqrt( 1 - Math.sin( h ) *
Math.sin( h ) ) );
F = Math.acos( ( Math.cos( delta ) * Math.cos( H ) * Math.sin( phi ) - Math.sin( delta ) *
Math.cos( phi ) ) / Math.sqrt( 1 - Math.sin( h ) * Math.sin( h ) ) );
if ( 1 / 2 * Math.PI < F && 0 < A){
A = Math.PI - A;
}
else if ( 1 / 2 * Math.PI < F && A < 0){
A = - Math.PI - A;
}
if ( 0 < h && h < 1 / 24 * Math.PI ){
document.write("高度 : 0 度<BR>");
} else if ( 1 / 24 * Math.PI < h && h < 3 / 24 * Math.PI){
document.write("高度 : 15 度<BR>");
} else if ( 3 / 24 * Math.PI < h && h < 5 / 24 * Math.PI){
document.write("高度 : 30 度<BR>");
} else if ( 5 / 24 * Math.PI < h && h < 7 / 24 * Math.PI){
document.write("高度 : 45 度<BR>");
} else if ( 7 / 24 * Math.PI < h && h < 9 / 24 * Math.PI){
document.write("高度 : 60 度<BR>");
} else if ( 9 / 24 * Math.PI < h && h < 11 / 24 * Math.PI){
document.write("高度 : 75 度<BR>");
} else if ( 11 / 24 * Math.PI < h ){
document.write("高度 : 90 度<BR>");
}
//document.write("高度 : ",h / rad,"度<BR>");

```

```

//document.write(A / rad,"方位<BR>");
//document.write(F / rad,"象限確認<br>");
//高度・方位の条件付け
if ( h < 0 ){
document.write("月は地平線の下です。 ")
} else if ( - 1 / 16 * Math.PI < A && A < 1 / 16 * Math.PI ){
document.write( "方位：南" );
} else if ( 1 / 16 * Math.PI < A && A < 3 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：南南西");
} else if ( 3 / 16 * Math.PI < A && A < 5 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：南西");
} else if ( 5 / 16 * Math.PI < A && A < 7 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：西南西");
} else if ( 7 / 16 * Math.PI < A && A < 9 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：西");
} else if ( 9 / 16 * Math.PI < A && A < 11 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：西北西");
} else if ( 11 / 16 * Math.PI < A && A < 13 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：北西");
} else if ( 13 / 16 * Math.PI < A && A < 15 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：北北西");
} else if ( 15 / 16 * Math.PI < A ){
document.write("方位：北");
} else if ( - 3 / 16 * Math.PI < A && A < - 1 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：南南東");
} else if ( - 5 / 16 * Math.PI < A && A < - 3 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：南東");
} else if ( - 7 / 16 * Math.PI < A && A < - 5 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：東南東");
} else if ( - 9 / 16 * Math.PI < A && A < - 7 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：東");
} else if ( - 11 / 16 * Math.PI < A && A < - 9 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：東北東");
} else if ( - 13 / 16 * Math.PI < A && A < - 11 / 16 * Math.PI ){
document.write("方位：北東");
}

```

```
} else if ( - 15 / 16 * Math.PI < A && A < - 13 / 16 * Math.PI ){  
document.write("方位：北北東");  
} else if ( A < - 15 / 16 * Math.PI){  
document.write("方位：北");  
}  
//-->  
</script>
```


2 - 7 天体インターネットライブ映像教材の評価

天体ライブ映像の常時公開によって不特定多数のアクセスが見込まれるため、Windows Server 2003 の Windows Media サービスで、映像へのアクセス数の記録を行った。天体ライブ映像にアクセスされた回数及び平日の平均アクセス数を表 12 に示す。アクセス数から、多くの人々が映像を見ることができたことがわかる。インターネット天文台によって、インターネットを利用することで、天体観測設備を持たなくても、天体を見ることが可能となり、さらに多くの人々と天文台を共有することが可能となったことを示している。2005 年度は天候にも恵まれ、公開期間の間でも多くの日数で、インターネット天文台で金星のライブ映像を公開することができた。ライブを行っている平日の平均アクセスも 20 以上と非常に興味が高いコンテンツであることを示し、多くの人々が金星のライブ映像を見ることができたと考えられる。2006 年から 2007 年にかけては、天候に恵まれず、ライブの実施回数は非常に少なかった。しかし、金星、月どちらも非常に多くのアクセス数を記録した。ライブをほとんど実施できなかったにもかかわらず、このようなアクセス数を記録したことは、昼間に天体をリアルタイムで観察することに対して、多くの人々が興味を持っているということを示していると考えられる。

表 12 天体ライブ映像へのアクセス数

| 時期・天体 | ライブ実施日数 | 総アクセス数 | アクセス/平日 |
|--------------|---------|--------|---------|
| 2005 金星 | | 1316 | 23.5 |
| 2006-2007 金星 | 40 | 563 | 11.6 |
| 2006-2007 月 | 63 | 1599 | 23.0 |

インターネット天文台の学校教育への活用として、金星・月のライブ映像を公開した。長期間に渡って、天文台を運用し、教科理科の授業の中で天体のライブ映像を活用することで、授業中に天体観察を行うことができた。特に天体観測を行うことのできない学校では、天文分野の学習が教科書等の写真を利用するだけにとどまるのではなく、インターネット天文台を利用することによって、観察を行うことのできる道具になるのである。インターネット天文台を天体観察の入り口にして、各地の天文台を利用する等の天文分野に興味や関心を持たせることも十分可能である。

国内の公開天文台でもインターネットによりリアルタイムの天体の映像等も配信しているサイトがあるが、天文イベント時を除くと、そのほとんどが太陽面の映像である。もちろん太陽面の黒点観察等には利用することが可能であるが、本研究の授業の様にインターネットコンテンツとして金星・月の姿も学習の機会があり、その利用価値は高い。コンピュータ分野の技術の進歩により各地にインターネット天文台が設置されている状況ではあるが、今後は学校教育に有効な金星・月に関するコンテンツの見直しが図られることを期待したい。また、インターネット天文台の連携を行うことで、天候に左右されるという天文分野の特性にもある程度対応できることになり、より授業で扱いやすい教材となっていくであろう。

金星ライブ！、月ライブ！共に天体ライブ映像だけでなく、学習補助プログラムを公開した。太陽・金星・地球の位置関係や月の位置では、ライブ映像に加えて、実験や観察の補助となるプログラムであり、学習の際に利用することができる。インターネット天文台を利用しやすくするために、このような学習補助プログラムも今後追加していく必要がある。

天体ライブ映像では、ストリーミング配信を行うことで、多数の同時アクセスを許可することができ、映像の公開と取得に関してはもっとも有効な手段である。今後はアクセス数の推移を見ながら、サーバーの増強等も考えなくてはならない。月ライブ！に関しては、コンテンツ管理システムを利用し、ライブ映像に加えて、天文台の情報を迅速に更新できるシステムを構築した。天文台を運営していく上で、運営の効率化を図ることができた。本研究では天文台からのライブ映像の配信だけを見ると、学校側からは情報を受け取るだけになってしまう。インターネットの特性として、インターネットの向こう側に人が感じられず、日常の世界との結びつきを持たせにくい。そこで、情報教育という面からも、双方向コミュニケーションを行うことが重要になってくる。そのような面からもライブ映像だけでなく、コメントの機能や天文台の中の様子を映し出す映像を加えることによってインターネットの向こう側にある現実を知らせる手段についても現実感を持たせるには重要であると考えられる。

2章 太陽の日周運動と南中高度の季節変化をとらえる全天カメラと学習プログラム開発

2 - 1 はじめに

中学校三年次に地球の自転・公転を学習するための、四季の太陽の日周運動の観察を行う。透明半球を利用して、太陽の動きを記録するのであるが、朝から夕方まで一日をかけて観測を行うために、四季の太陽の動きの観察を行わずに、教科書の図を利用して学習を行ってしまうことが多い。天文分野は日常の視点である地球上の自らの視点から、宇宙の視点へと空間や時間の概念を広げていくことで、より巨視的に物事を捉えるための重要な学習機会なのである。そのためにも、日常の視点から透明半球への太陽の記録を行い、透明半球を観察することで視点を変えていくことができる。

また、透明半球への記録は大型の透明半球を利用すれば、透明半球の内側に入って太陽の動きを記録できるが、多くの学校では小型の透明半球を利用する。小型の透明半球では、半球の外側からペン先の影が半球の中心に来るようにして、太陽の位置を記録していく。大型の透明半球では、視点が半球の中心から記録できるのに対して、小型の透明半球は外側から記録するため、透明半球の中心から見た視点と日常の視点を重ねることがなくなってしまう。そこで、魚眼レンズを使用した全天を視野とする全天カメラを開発し、われわれの日常の視点から全天における太陽位置について記録できるようにした。

前述の e-Japan 計画からコンピューターが学校教育に取り入れられ、文部科学省をはじめとして、様々な団体が教材として扱うことのできるデジタルコンテンツを製作している。一方、社会の情報化が進み、最新の科学に関する鮮明で美しい映像に溢れる時代になりつつある。生徒の興味や関心をひきつけるための教材として利用していくためには、動きのある映像や自然現象を的確に捉えたデジタルコンテンツ教材の開発を行う必要性に迫られている。

本研究では、これまでの透明半球を用いた太陽の日周運動、南中高度の季節変化の記録に代わる、授業という限られた時間の中で学習を進めることができるデジタルコンテンツ教材の製作を行った。そのために、太陽の日周運動、南中高度の季節変化をとらえるための広い視野を持つ全天カメラを開発し、四季の太陽を撮像した。また、教材として活用するための映像化や画像処理を行い、これらを用いて、宮城教育大学附属中学校、宮城県仙台市館中学校の授業を行った。

2 - 2 太陽の日周運動と南中高度の季節変化に関する教材論

義務教育段階では、地球の自転による太陽の日周運動、そして地球の公転と地軸の傾きによって太陽の南中高度が季節変化することを学習する。太陽、地球の位置関係などは直接観察することができないので、主に電球や地球儀等のモデル、天球を利用して学習を進めるのが一般的である。また、地動説から天動説への転換を行い、我々の日常の視点から、地球外へ出たときの新たな視点を持たせるなど、空間や時間の概念を宇宙へと拡大させていく重要な学習である。この分野を学習する上で行う実験としては、透明半球を用いて、天球上の太陽の動きを体験・記録し、太陽と地球の相対的な動きから天動説を学習する。しかし、透明半球を用いた実験では、数時間おきに観測を行うとしても丸一日かかってしまうため、四季を通じて実施することは難しい状況である。

地球から観測した太陽の位置については、1 - 3 (3) の(27)(28)式より、地平座標における天体の高度と方位を示すことができる。

2 - 3 全天カメラの概要

宮城教育大学惑星科学研究室では、全天における太陽位置を記録するために全天カメラの開発を行ってきた（千島 2005、高田 2006）。全天カメラとは、デジタルカメラに魚眼レンズを装着し、全天を視野とするカメラである（図 18）。カメラと魚眼レンズの写真と仕様をそれぞれ、表 13、14 に示す。



図 18 全天カメラ（デジタルカメラに魚眼レンズを装着している）

表 13 デジタルカメラの仕様

| | |
|------|--------------------------------------|
| 製品名 | Optio 43 WR（ペンタックス） |
| 画素数 | 400 万画素 |
| 撮像素子 | 1/2.7 型 CCD |
| レンズ | 5.7mm-16mm (37mm-104mm:35mm フィルム) |

表 14 魚眼レンズの仕様

| | |
|------|---------------|
| 製品名 | 魚露目 8 号（フィット） |
| 倍率 | 0.16 |
| 画角 | 180 度 |
| 撮影距離 | 0-無限遠 |

全天カメラによって、2005年から2006年まで、四季の太陽の日周運動を撮像した。それぞれ日の出から日没まで、1分ごとに1枚の画像を撮像することができるインターバル撮影を利用した。全天カメラで撮像した全天画像を図19に示す。撮像を行った日を表15に示す。四季の太陽の動きを記録することができた。

表15 撮像を行った日

| 季節 | 日付 | 季節 | 日付 | 季節 | 日付 |
|----|-----------|----|------------|----|------------|
| 春 | 2005/2/6 | 秋 | 2005/8/31 | 冬 | 2005/11/17 |
| | 2005/3/15 | | 2005/9/1 | | 2005/11/21 |
| | 2005/4/6 | | 2005/9/8 | | 2005/12/30 |
| 夏 | 2005/5/20 | | 2005/9/28 | 春 | 2006/2/18 |
| | 2005/6/7 | | 2005/9/29 | | 2006/2/19 |
| | 2005/6/21 | | 2005/10/5 | | |
| | 2005/7/28 | | 2005/10/12 | | |
| | | | 2005/10/28 | | |



図19 全天カメラで撮像した太陽位置
3月15日 11:51 (南中時刻)

2 - 4 全天画像の教材化

全天カメラで撮影した画像だけでは、太陽位置を読み取ることは難しい。そこで、全天カメラに高度方位座標を書き入れた透明半球を重ね、画像上での高度方位座標の測定を行った。高度方位座標を読み取った結果を図 20 に示す。各高度に対する画素数は比例関係ではないため、注意が必要である。これは、デジタルカメラレンズ設計と魚眼レンズによる画像の歪みが表れたものであると考える。画像中の円周魚眼に対して図 21 の座標を挿入することで、高度方位を読み取ることができるようになる。

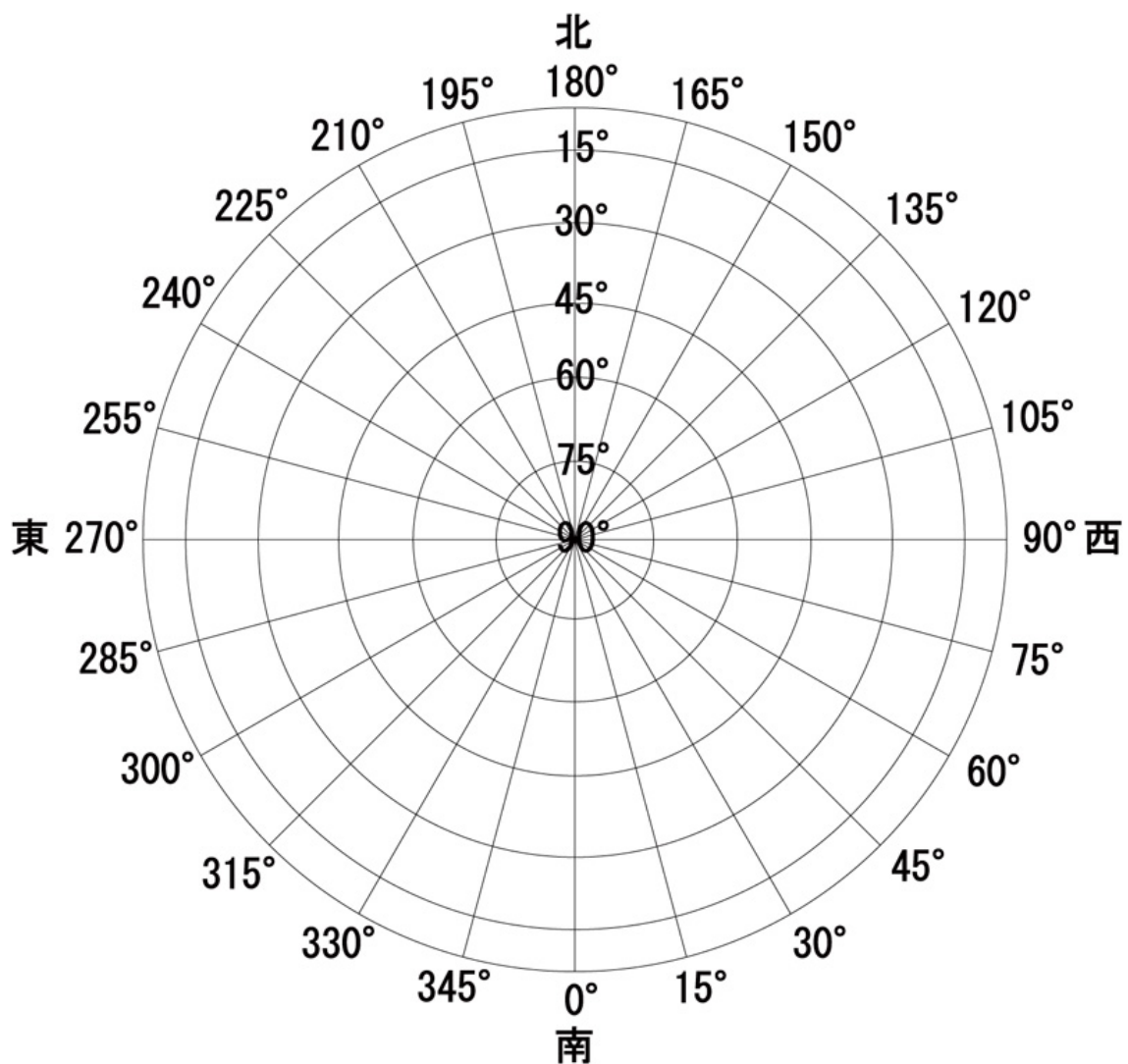


図 20 全天カメラにおける高度方位座標

全天画像に対して、画像処理ソフト Photoshop にて以下の処理を行った（図 21）。

- 1 正確に方角を合わせるために、南中とその前後数時間に撮像した画像を重ね、東西南北と左右下上を合わせる。
- 2 円周魚眼レンズによって得られる広角の視野に合わせて、高度方位座標を挿入する。
- 3 円周魚眼レンズによって得られる広角の視野の中心に合わせてケラレ部分をトリミングする。
- 4 1-3 の作業を Photoshop に記録し、バッチ処理にてすべての画像を処理する。

その結果得られた全天画像を図 21 に示す。画像サイズは 1376 × 1328 画素である。座標から高度方位を読み取り、太陽位置を調べることができる。

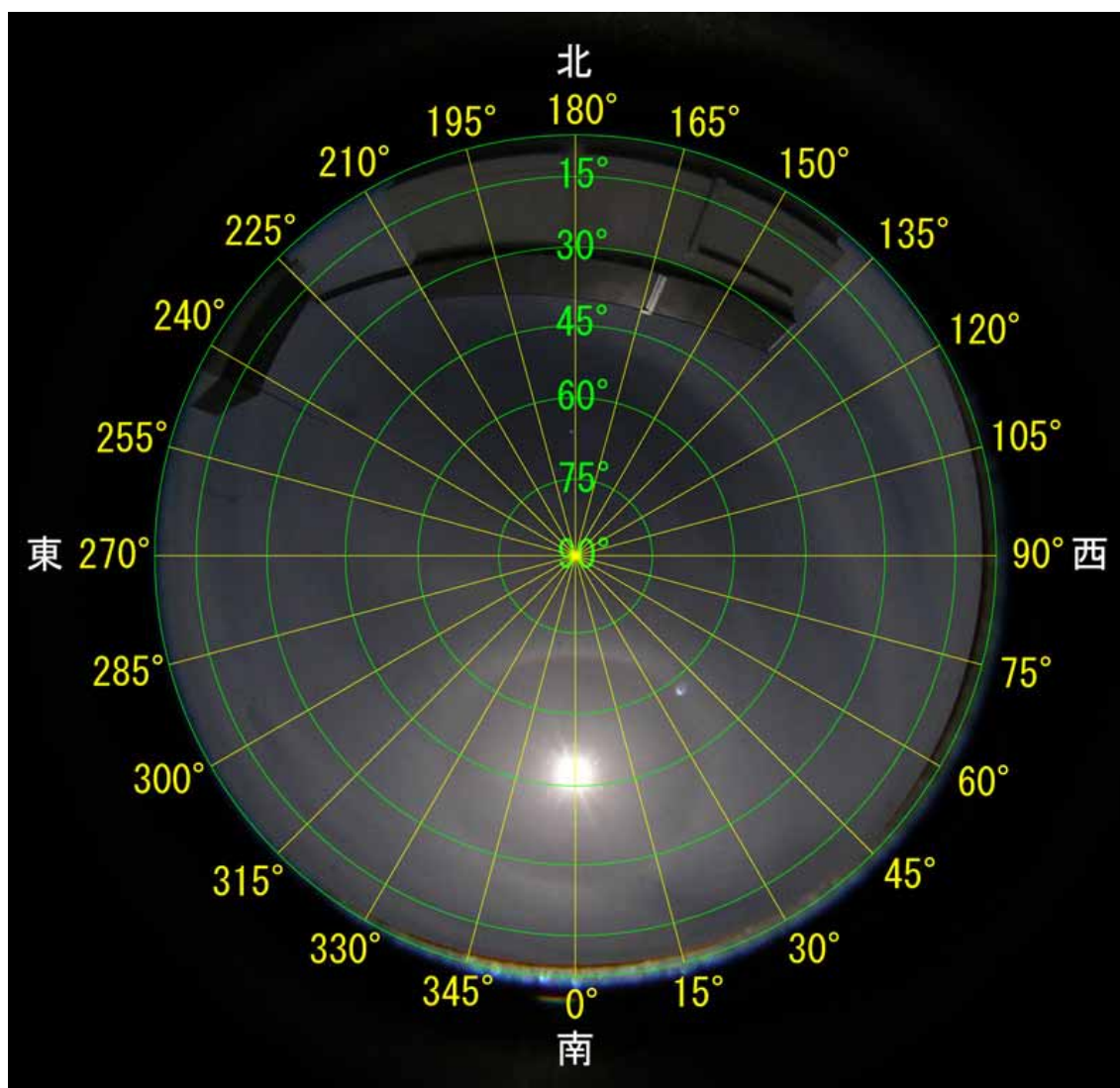


図 21 画像処理を行った全天画像 2005 年 3 月 15 日 11:51（南中時刻）

また、太陽の動きを理解できるようにするため、画像をつなぎ合わせ、映像を作成した。映像の作成には Windows ムービーメーカーを使用し、製作した。映像の設定を表 16 に示す。元画像より画質が劣るが、コンピュータ上で遅延なく再生することができ、太陽の動きについて十分観察することができる。また、雲の動きや変化なども同時に観察することができ、現実の空が撮影されていることがわかる。映像の一例を図 22 に示す。また、南中を中心とした一時間おきの太陽を一枚の画像に合成した画像についても作成した(図 23)。

作成した画像や映像は、1 日の太陽の動きが分かる全天映像、一時間間隔の太陽位置を示す全天画像、1 日分の 1 時間間隔の全天画像を合成した画像として、それぞれ春夏秋冬ごとに公開した。(<http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/work/exp20/08.html>)

表 16 映像の詳細な設定値

| | |
|---------|-------------------------|
| ファイルの種類 | Windows Media ビデオ (WMV) |
| ビットレート | 可変ビットレート |
| 表示サイズ | 640 × 480 画素 |
| フレーム/秒 | 30fps |

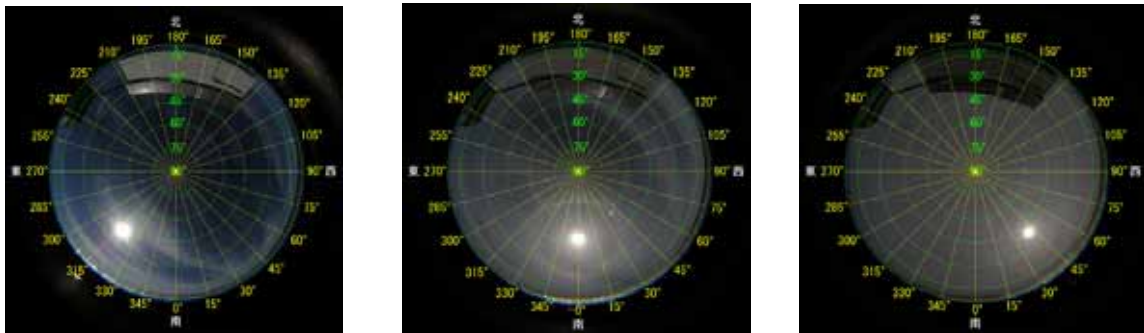


図 22 太陽の日周運動 2005 年 3 月 15 日撮像

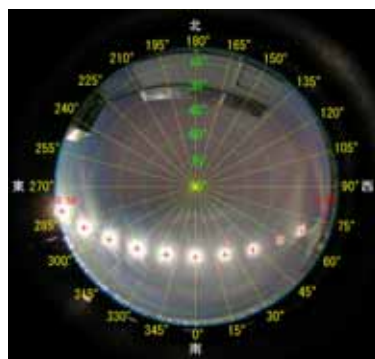


図 23 一時間おきの太陽位置の合成写真 2005 年 3 月 15 日撮像

2 - 5 学習プログラムの作成

全天カメラを用いた授業を行うために、太陽の日周運動、南中高度の季節変化についての学習について、学習指導要領とともに新しい科学 2 分野下（東京書籍）を利用し、学習内容について調査した。

(6) 地球と宇宙

身近な天体の観察を通して、地球の運動について考察させるとともに、太陽の特徴及び太陽系についての認識を深める。

ア 天体の動きと地球の自転・公転

(ア) 天体の日周運動の観察を行い、その観察記録を地球の自転と関連付けてとらえること。

(イ) 四季の星座の移り変わり、季節による昼夜の長さ、太陽高度の変化などの観察を行い、その観察記録を地球の公転や地軸の傾きと関連付けてとらえること

平成 10 年改訂学習指導要領より

「6 地球と宇宙」

| 章名 | 単元名 | 学習内容 |
|---------------|-------------|------------------------------|
| 1 地球の運動と天体の動き | 地球の自転 | 太陽の日周運動 天体の日周運動 |
| | 地球の公転と天体の動き | 地球の公転と星座 地球の公転と太陽 |
| | 地球の公転と四季 | 季節と太陽の南中高度の変化 季節と地球の地軸の傾き |

新しい科学 2 分野下 平成 14 年発行 東京書籍より

学習指導要領で述べられているように、学習においては自らの観察を元に地球の運動について推測し、太陽の日周運動、南中高度の季節変化について、結果を導くことが望ましいのであるが、前述のように、学校において観察を行うことは天候や学校行事等を考えても、非常に困難な現状である。

教科書においても、観察の手だてが記載されているが、特に天文分野は実験を行うことが困難であるために、教科書の図を利用して説明をしてしまうということが往々にして行われている。そのような現状の中で、全天カメラを利用して、授業の中で観察・実験を行い、結果を得ることは学習に対して、有効であると考えられる。

全天カメラを利用した太陽の日周運動、南中高度の季節変化の学習に際して、教材として全天カメラを利用することで学習に対して効果を期待できる内容と学習内容について表 17 にまとめる。

表 17 全天カメラ教材と学習内容

| 全天カメラ教材 | 学習を期待できる内容 | 学習キーワード |
|--------------|---|----------------------|
| 全天カメラの仕組み | 方角、全天 | |
| 一日の全天画像、全天映像 | 方角 太陽の日周運動 | 地球の自転 南中 |
| 四季の全天画像、全天映像 | 南中高度の季節変化 太陽の通り道の季節変化 太陽の出と入りの方角の変化 | 地球の公転 黄道 地軸の傾き |

画像や映像は魚眼レンズを用いているために平面となるため、画像から直接立体的な太陽の動きを読み取ることは難しいが、透明半球を用いて空間への変換を行うことによって太陽の動きを立体的に読み取ることが可能である(図 24)。従来では天球の外側からペン先の影を透明半球の中心になるように太陽位置を記録するが観測者の視点は天球の外側となり、地上での日常的な視点を表す透明半球の中心からの視点を得ることができない。このため、透明半球の意味する空間を把握することが困難となっている。本教材では透明半球の中心に設置したカメラで撮影するため、地上での我々の視点と一致させることが可能で透明半球も通常の小型の透明半球を利用することができるため、この分野の教材として有効であると考えられる。

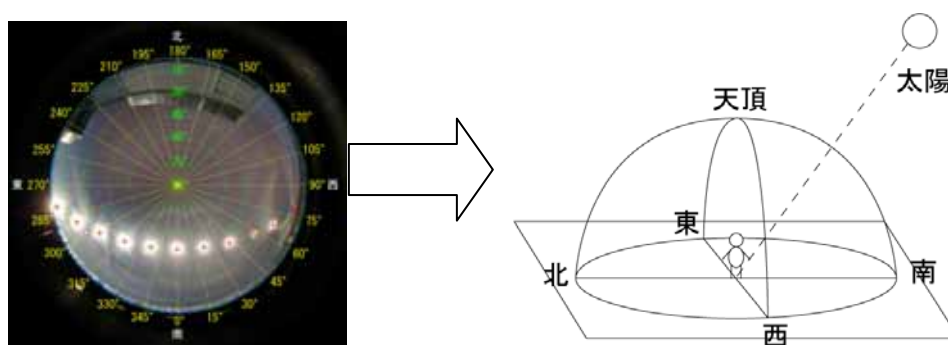


図 24 全天写真から透明半球への変換

2 - 6 学校教育での活用と評価

2 - 6 - 1 宮城教育大学附属中学校での授業

(1) 授業の実施

2006年12月14日、宮城教育大学附属中学校の3年生38名を対象に教科理科の天文分野の学習として、全天カメラを利用した太陽の日周運動、四季の太陽の動きに関する授業を行った(図25、26)。2時限の授業時間を利用し、柔軟な学習プログラムを作成することができた。



図 25 透明半球にシールを貼る生徒



図 26 四季の太陽の動きのまとめ

(2) 授業案

授業のねらい

・1/2 時間目

全天の画像から透明半球に一日の太陽の動きを記録し、一日の太陽の動きについて調べる。

・2/2 時間目

全天の画像から透明半球に四季の太陽の動きを記録し、四季の太陽の動きについて調べる。

準備物

魚眼レンズ、デジタルカメラ、透明半球(15°間隔の高度方位座標、方角)、人形、パソコン、プロジェクター、ウェブカメラ、全天映像・写真、シール(4色)、ワークシート

学習過程（1/2 時間）

| | 学習内容 | 生徒の反応 | 指導上の留意点 |
|-----------|---|--|---|
| 導入（10分） | 1 魚眼レンズの視野 ・魚眼レンズを通した教室の映像を見て、広い視野を持つことを体験する。 2 全天映像・カメラ ・全天映像と方角・高度について確認する。 | 人間の目と違う、違和感がある。 広く見える。 教室全体が見える 空全体が見える。 太陽が下、南に行く。 方角が反対だ。 人間の目の代わりにカメラだ。 | ウェブカメラを利用して、魚眼レンズを使うと見える範囲（視野）が広がることを説明する。 全天カメラを天頂に向けることで、寝ころんで空全体を見上げるイメージとなる。日常の地図と全天の方角について説明する。 |
| 課題把握（5分） | 3 一日の太陽の動き <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">全天写真から一日の太陽の動きを読み取るう。</div> | 高度、方位ともにわかりにくい。雲が流れる様子、天気が変わる様子がわかる。 | 全天写真や映像から、天球上の立体的な太陽の動きをとらえるために透明半球を用いる。 |
| 課題追究（20分） | 4 日周運動の記録 ・春の太陽の動きを記録した写真を用いて、透明半球の内側にシールを貼り、太陽位置を表す。 | 自分（カメラ）は透明半球の中心から見ている。 座標を読み取るのは難しい。数字をよく見ないと間違えそうだ。 シールがうまく貼れない。 直線になる。平面ができる。 | 透明半球の役割について、人形と全天カメラを用いて説明する（中心が人形＝自分とする天球を表すことができる）。透明半球を内側から覗き、地上から見た状態として作業を行わせる。 |
| 課題解決（10分） | 5 太陽の日種運動 ・映像と記録した結果を比較し、太陽の動きを確認する。 | 太陽の動きが立体的になってわかりやすい。 映像と透明半球を比べながら見ると動きまで分かる。 | 透明半球の中心に人形を置き、半球の外側から結果を見ると太陽の動きを立体的にとらえることができることを説明する。 |
| まとめ（5分） | 6 まとめ ・結果を発表する。 | 東から昇って、西に沈む。 真南で一番高くなる。 | |

(6) 学習過程 (2/2 時間)

| | 学習内容 | 生徒の反応 | 指導上の留意点 |
|---------------|---|--|---|
| 導入 (5 分) | 1 四季の太陽の動き ・四季の太陽の動きについて全天映像で確認する。 | 夏は長い。 日が長いのは夏だ。 高さが違う。 出と入りの場所が違う。 | 前時には春の太陽の動きを記録させた。 四季の太陽の動きの違いがあることに気付かせる。 |
| 課題把握 (5 分) | 2 四季の太陽の動きの記録 全天写真から四季の太陽の動きを読み取ろう。 ・春を除く季節の全天写真を用いて、透明半球にシールを貼り、太陽位置を表す。 | 春：緑、夏：赤、秋：黄、冬：青。 | 春の日周運動に加えて、残りの季節の太陽の動きを透明半球に記録させる。各季節の太陽を表すシールは別の色を使わせる。 |
| 課題追究 (15 分) | 3 実験と観察 ・実験を行い、気が付いたことをワークシートに記入する。 < 観察結果 > ・南中高度 ・昼間の長さ ・出入りの方角 にまとめ、調べる。 | 夏と冬では太陽の高さが違う 太陽の通り道は季節で変化する。 春と秋は動きが一緒だ。 夏はシールの数が多い。 冬は太陽の数が少ない。 日の出、日の入りの位置が変化している。 | 透明半球の中心が観測者となるように透明半球の内側からシールを貼る。 作業量が多いので斑で協力しながら進めるよう指導する。透明半球から南中高度が季節によって変わること、撮影時刻から昼夜の長さの違いを確認させる。 |
| 課題解決 (10 分) | 4 各季節の比較 ・観察の結果をもとに、透明半球や全天映像を使って、季節ごとの比較やより詳しく調べる。 | 春：45 度、夏 75 度、秋 45 度、冬：30 度。 春：東 西、夏：北より、秋：東 西、冬：南より。 春秋：11 時間、夏：13 時間、冬：7 時間 | 斑ごとに、調べる項目を選ばせる。余裕がある斑は 2 つ調べさせる。春夏秋冬の表を作らせ、それぞれに調べた結果を書かせる。 |
| まとめ (10) | 5 まとめ ・斑ごとに調べた結果を発表する。 ・アンケートに記入する。 | 地球は太陽の周りを回っている。 季節と南中高度は関係しているのだろうか。 | 南中高度と気温や四季の関係については、地軸の傾きや地球が受け取る太陽光の量までは触れない。 |

(3) 授業の評価

附属中学校での授業実施後、授業についてのアンケート調査を行った。授業の内容の難易度についてのアンケート結果を図 27 に示す。約 9 割の生徒が簡単、どちらかという簡単であったと答えている。その理由としては、事前の知識としてすでに知っていた、実際に作業を行うことで違いを理解できた、映像がわかりやすかったという意見が多かった。逆に、難しかったと答えた理由は、天文分野は苦手、専門用語が出てきたからということであった。授業の内容については、ほぼ全員が、太陽の動きについて全天写真から透明半球へと正確に変換することができ、十分理解することができたと考えられる。

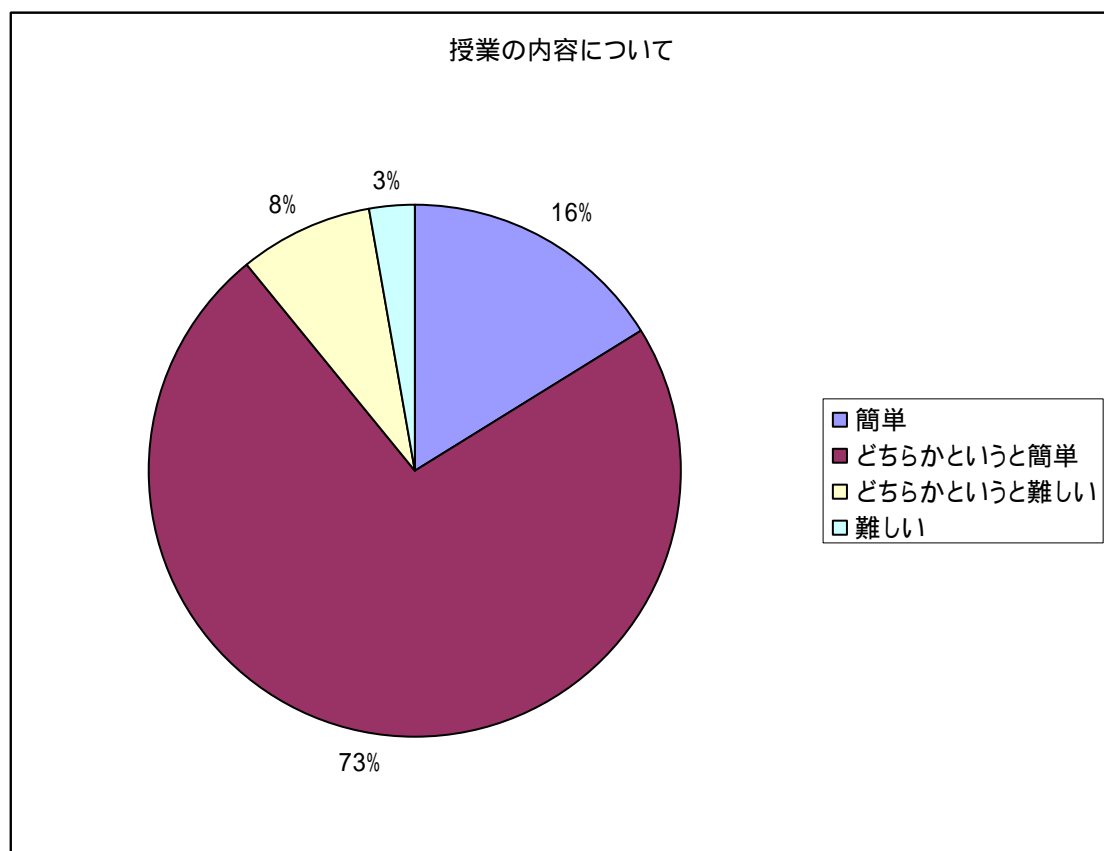


図 27 授業の内容についての難易度

次に、表 18 にあげた項目について、授業で利用した教材で理解することができた段階について質問した。質問番号 1、2 までは、太陽の日周運動について、3-8 までは太陽の通り道の季節変化について、9-11 までは授業では扱わなかったが、黄道や地球の自転軸等紺が学習することが予想される学習についてである。アンケートの結果については図 28 に示す。質問番号 1 については、小学校段階で学習しているため、約 9 割の生徒が事前に理解している項目である。その他の質問でも、全体を通して、事前に理解していたと答える生徒が多かった。これは、天文分野についての関心が高いこと、生活体験で体験していること、テレビなどのメディアから情報を得ていることが考えられる。中学校段階で確実に学習すべき、質問番号 2 の南中について、5 の南中高度の季節変化、6 の日の出日の入りの時刻の季節変化については、事前に理解していたと答えた生徒が多い。また、質問番号 1-8 までについては、理解できなかった生徒はおらず、全員が今回の授業で太陽の動きについて確認し、理解させることができたことは十分評価すべき点である。教材について見ていくと、全天映像で理解をすることができた項目としては 4 の通り道の季節変化、8 の出入りの方角の季節変化が挙げられる。座標を入れた全天の映像を見ることで、動きの中でも、各季節の太陽の軌跡をとらえたことができたと考えられる。全天写真については、どの学習においても理解を示す生徒がおり、一時間おきの太陽を合成しているため、静止した写真からも太陽の動きを読み取ることができる生徒もいると考えられる。一日の透明半球と四季の透明半球を加えて、透明半球を使った効果を考えると、質問 1、4 以外は、授業で理解した生徒はほぼ半数にのぼる。透明半球を利用することで、太陽の動きを天球上で立体的にとらえることができたと考えられる。また、一日の透明半球から四季の太陽の動きを半球に記録したので、四季の透明半球で現象を確認できたと答える生徒が多いと考えられるが、質問 3-8 については、視覚的に違いを理解することができるため、有効な手段であったと考えられる。質問 9-11 については、授業で扱わなかったため、理解することができなかったと答えた生徒がいるが、授業において現象に触れなくても半分以上の生徒が現象に対する何らかの気づきがあったのではないかと考える。よって、今後、これらについても授業で触れることで理解させることは十分可能であると考えられる。

表 18 天文分野の学習に関する項目

| 質問番号 | 項目内容 |
|------|--------------------------------|
| 1 | 太陽は東から昇り、西に沈む。 |
| 2 | 太陽が南に来るとき、高度が一番高くなる。 |
| 3 | 日の出、日の入りの方角は必ずしも真東、真南ではない。 |
| 4 | 太陽の通り道は季節によって異なる。 |
| 5 | 太陽の南中高度は、冬は低く、夏は高い。 |
| 6 | 日の出、日の入りの時刻は、季節によって変化する。 |
| 7 | 日の出、日の入りの方角は、季節によって変化する。 |
| 8 | 日の出、日の入りの方角は、冬は南よりで夏は北よりである。 |
| 9 | 太陽の通り道は、1つの平面上にある。 |
| 10 | 各季節の太陽の通り道も、透明半球状でそれぞれ平行となる。 |
| 11 | 太陽の通り道がある平面は北極星の方向(地軸)と直角に交わる。 |

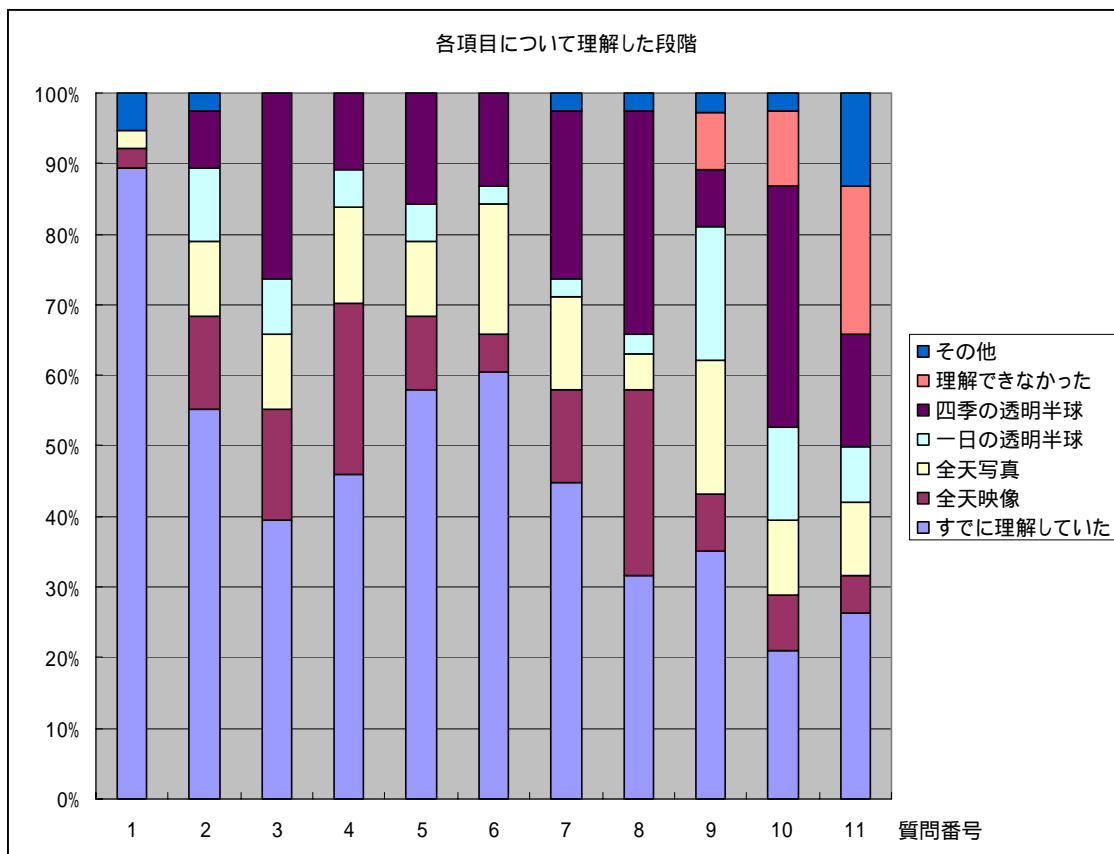


図 28 理解の助けになった教材と事前知識

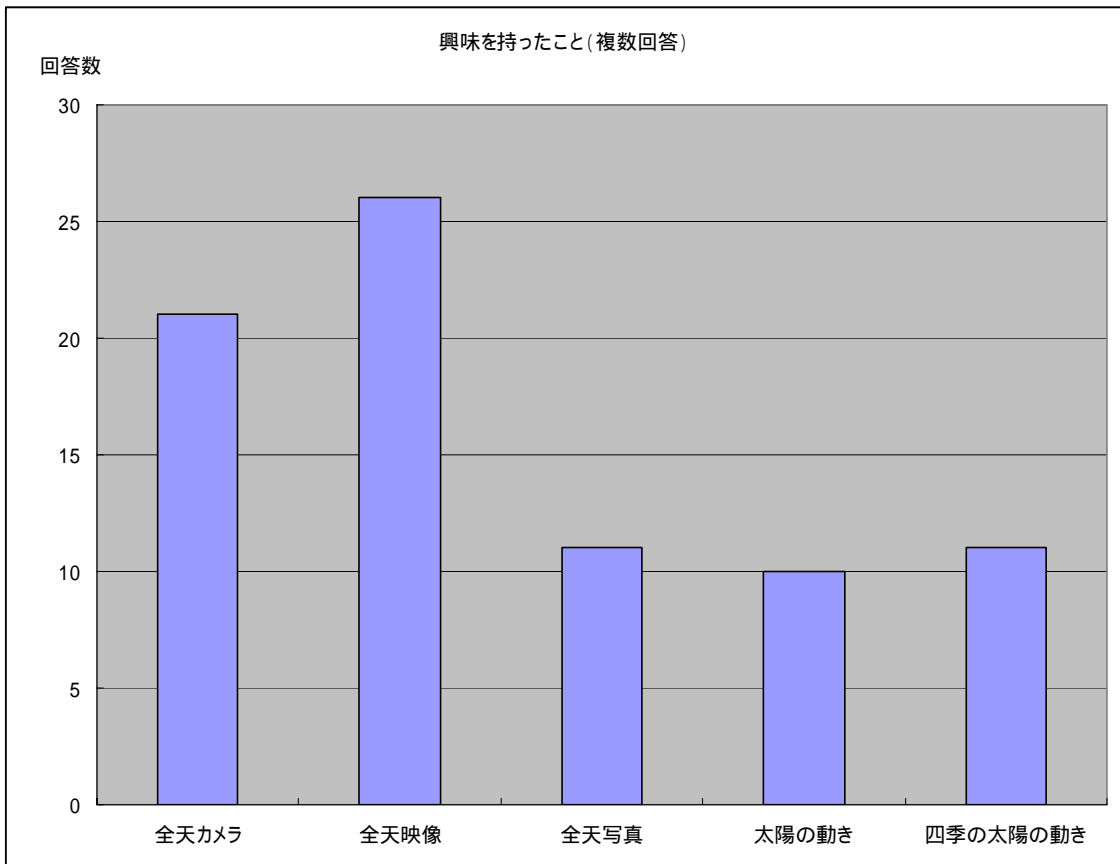


図 29 授業で興味を持ったこと

2 - 6 - 2 宮城県仙台市立館中学校での授業

(1) 授業の実施

2006年11月27日(月)3校時に選択理科の授業の中で全天カメラを用いた太陽の動きを確認する授業を行った(図30、31)。3人で1グループとして、8グループで各季節について太陽の動きを記した全天写真から透明半球に1時間おきの太陽の位置を記録させた。そして、4つの季節を持ち寄り、四季の透明半球の比較を行った。



図30 全天映像を観察する様子



図31 四季の太陽を記録した半球の比較

(2) 授業案

授業のねらい

全天映像、全天写真を利用して、透明半球に各季節の一時間おきの太陽位置を記録し、四季の太陽の動きについて理解する。

準備物

魚眼レンズ、デジタルカメラ、透明半球(15°間隔の高度方位座標、方角)、人形、パソコン、プロジェクター、ウェブカメラ、全天映像・写真、シール、ワークシート

学習の流れ

| | 学習内容 | 生徒の反応 | 指導の補助・留意点 |
|-----------|--|--|--|
| 導入(7分) | 1 魚眼レンズで教室の中の様子を観察し、感想を書く。 | 友達の顔が歪んで見える おもしろい 教室全体が見える | 魚眼レンズを覗かせ、日常とは違った見え方をすることを体験させる。 |
| 課題把握(7分) | 四季の太陽の動きを確認してみよう。 | | |
| | 2 全天カメラ 3 四季の全天映像を見て、気付いたことを書く。 | 魚眼レンズ+デジタルカメラ=全天カメラ 太陽、透明半球、魚眼レンズ、カメラの順だ 東 (南) 西 | 全天カメラ、透明半球と我々の位置関係も人形を使って説明する。 全天映像中の座標について透明半球を示しながら高度と方位について説明する。 |
| 課題追究(10分) | 4 実験 [準備物] 四季の全天写真、透明半球、シール (1) グループ作成(春夏秋冬×2) (2) 半球への変換 | 春夏秋冬のうち一つをペアで完成させ、4ペアが集まって四季が完成する 内側から貼れば、カメラと自分は同じ位置だ 透明半球は高度と方位を立体的に表せる | 2、3人で一つの季節を担当させ、2つのグループで四季を完成させる。 協力しながら作業を進めさせる。 半球の中心が全天カメラの位置になるため、透明半球の内側から太陽位置にシールを貼らせる。 |
| 課題解決(10分) | 5 実験結果のまとめ (3) 一日の太陽の動きについて気付いたことをまとめる。 (4) 四季の太陽の動きについて気付いたことをまとめる。 | 東 (南) 西 真東、真西ではない 南が高い(南中) 対象 季節で南中高度が違う 通り道が違う 形が似ている、平行だ 出入りの位置・時刻も違う | 担当した季節の透明半球を観察し、気がついたことを書かせる。また、四季の透明半球を集め、グループ全体で気がついたことを話し合い、ワークシートにまとめる。 答えが出ない場合には、いくつか視点を与え考えさせるようにする。 |
| まとめ(10分) | 6 まとめ ・一日の太陽の動き ・四季の南中高度 | 太陽が動くのは当然 夏と冬の高度・通り道の違いにおどろいた いろいろな事が分かった。 | まとめについては、太陽の動きと南中高度の季節変化について確認する程度にとどめる。自由な発想についてもまとめに取り入れる。 |

(3) 授業の評価

学習に使用した学習プリントを回収し、学習の効果について分析を行った。学習プリントには、授業中に扱った全天映像、一つの透明半球、四季の透明半球の各段階で気が付いたことを書かせたので、解答を日周運動、南中高度、出と入りの方角の変化、日の長さ、太陽の通り道の変化、太陽の通り道の季節変化について分類し、表 19、図 32 にまとめた。

日周運動について答えた生徒が少ないのは、知識としてすでに持っており、学習の際には改めて気が付いたことではないことが考えられる。南中については、写真や映像では平面上での太陽の動きになるのに対して、透明半球に投影したことで立体的に高さの変化をとらえ、認識することができたと考える。出と入りの方角の変化については、全天映像で理解した生徒が多い。座標が入った映像を見ることで、日の出と日の入りの位置の変化については十分理解することができる。また、透明半球の外側から見ると、中心から見た方が方角を認識しやすいと考えられる。通り道が変化し、通り道の季節変化については四季の透明半球を比較することで、季節と太陽の動きについて視覚的に理解することができたと考える。また、四季の透明半球を比較することで、季節についての指摘を行う生徒が非常に多くなっていることから、より現象を的確にとらえることができるようになったと考える。

表 19 分類の基準

| 分類 | 基準 | 回答例の傾向 |
|------------|-----------------------------------|------------------------|
| 日周運動 | 日周運動について | 東 西 東 南 西 |
| 南中 | 真南が一番高い、南中時の高度について | 南で一番高い 45度までのぼる |
| 出と入りの方角の変化 | 出と入りの方角が変化する | 夏は北よりから出る 冬は南東から出る |
| 通り道が変化する | 動きや通り道が違う、 季節についての答えはない | 道筋が変わる 動き方が違う |
| 通り道の季節変化 | 動きや通り道の変化に加え、 南中高度や季節の比較を行っている | 夏は高い、冬は低い 春と秋の動きが同じ |

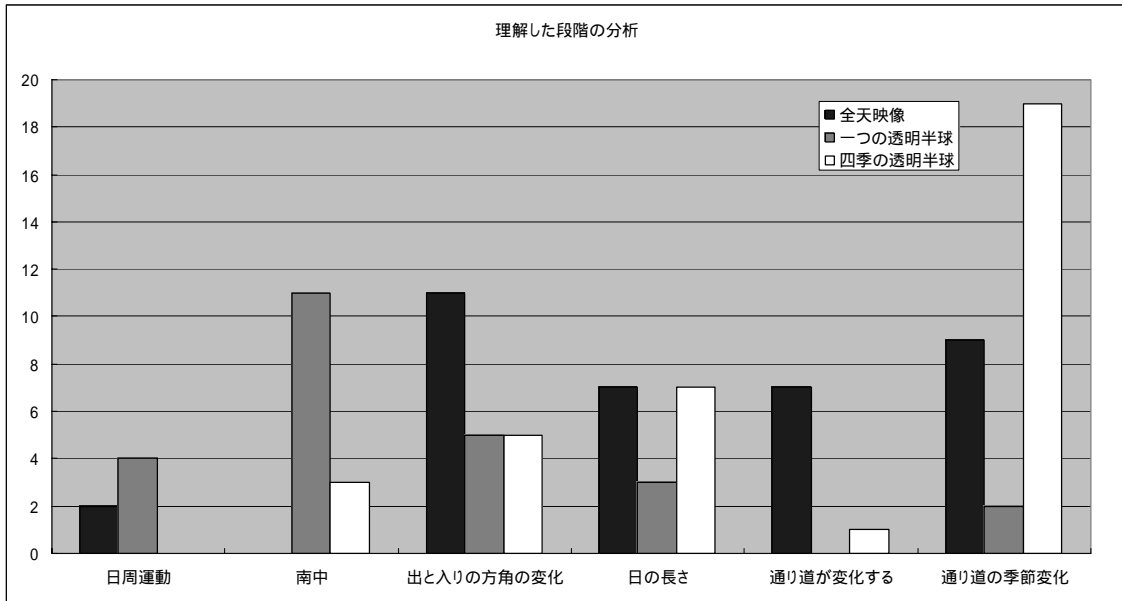


図 32 生徒の気づきの分析

2 - 6 - 3 宮城県角田市立角田中学校での授業

2006年に、宮城県角田市立角田中学校の佐藤拓也教諭によって3年生を対象に全天カメラ教材を利用した授業を実施した。授業でワークシートを使用し、(1)日の出と日の入りの位置、(2)太陽の軌跡(通り道)を予想させた。また、(3)全天映像からワークシートの全天座標への書き取りを行った。全天映像は2005年10月10日のロンドンで撮影した教材を利用した。このワークシートを利用して、全天映像教材を利用する際の学習効果を分析した。

日の出と日の入りの方角については、4割の生徒が真東から昇り真西に沈むと予想した(図33)。日の出と日の入りの方角は、季節によって変化するが、生活経験に加えて、小学校で太陽は東から昇り、南を通過して、西に沈むと学習するため、このような結果になったと考えられる。また、南よりから昇り、南よりに沈むと答えた生徒が、共に北よりの生徒よりも多い。夏至を過ぎた時期であるため、日の出と日の入りの方角が南よりになることを知っている生徒もいると考えられる。

太陽の軌跡についての予想では、3割強の生徒が南よりを通る予想したが、3割の生徒が予想できなかった(図34)。この全天座標では、日常で体験する太陽が昇り、沈むという現象は、一見太陽が東から出て、南に下がり、西に行くにとらえてしまうことが考えられる。しかし、南よりを通ると答えた生徒が3割強もいることは、日常で認識している空間の現象から、全天座標に太陽位置を変換する空間認識能力を備えていることが予想される。また、日の出日の入りの方角を予想できない生徒に比べ、約3割の生徒が太陽の軌跡を予想できなかったことは、全天座標において方角を認識することは容易であるが、全天座標の高度に対応する座標を理解することが難しいことを示している。

全天座標への書き取りでは、ほとんどの生徒が座標を書き取ることができた(図35)。全天座標が埋め込まれた全天映像から、太陽位置を読み取り、ワークシートの全天座標に書き取るとは難しいことではないことがわかる。

角田中学校での実践から、全天映像を使って学習を進めることによって得られる学習効果と教材の使用方法を考察する。まず、全天座標では、高度についての座標を認識させることが難しく、方位と天頂などを手がかりに、日常の空間と全天座標の認識を丁寧に指導する必要がある。また、全天映像から全天座標への書き取りは容易であり、太陽の日周運動を理解させることが可能であると考えられる。さらに四季を通じて学習させることで、太陽の南中高度の季節変化や日の出と日の入りの方角の変化についても学習効果が期待できる教材である。

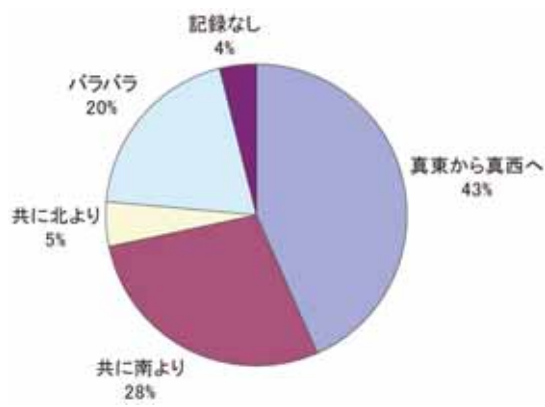


図 33 日の出と日の入りの方角の予想

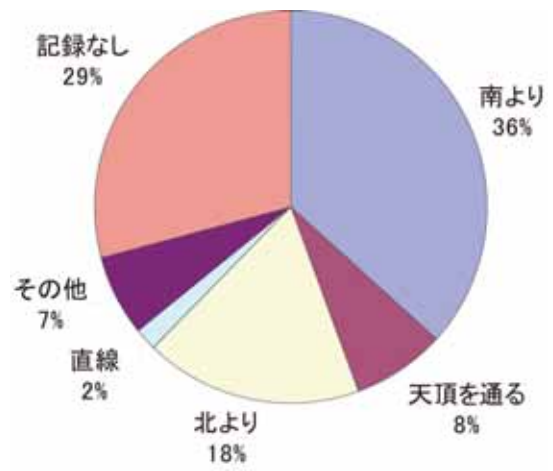


図 34 全天座標での太陽の軌跡の予想

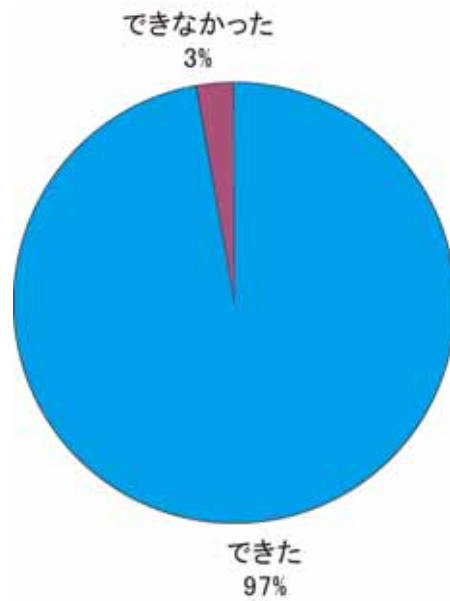


図 35 全天座標での太陽の軌跡の書き取り

2 - 7 議論

一年を通じて各季節の全天画像を撮影することができた。また、全天カメラによって得られた画像を処理し、全天の高度方位座標を入れることで太陽位置を読み取ることでできる教材を作成することができた。この教材により、従来の透明半球での観察の代わりに、太陽の日周運動、南中高度の季節変化を学習することが可能となった。太陽の動きについては教科書では図示されている現象ではあるが、教科書の図をそのまま利用するだけでなく、自らの体験や作業を通して確認することができる教材であると言える。特に授業という限られた時間の中で、一日の太陽の動き、四季の太陽の動きを確認することは難しい状況である。授業中でも、現実に行っている現象を確認した上で議論を行うことは非常に重要な点である。また、教材の効果についてもアンケート結果、ワークシートの分析結果からも、本教材を用いて上記の 2 点について学習することが十分可能であり、その後の地球の自転、公転についても拡張していくことができると考える。

今後はこの学習をさらに発展させるために、緯度の違う地点で観測を行い、同様に教材として活用することで、緯度による太陽の動きの違いや南中高度の違いについての学習を行うことが可能である。また、全天カメラは教育分野において幅広く活用を行うことができる可能性を持つ教材である。気象分野では全天における雲の割合や気象観測装置と組み合わせることで、遠隔地の様子について視覚的にとらえることも可能である。天文分野では、高感度のカメラを用いることによって、太陽の位置だけでなく、月や星座についての学習にも利用することができるであろう。

3章 夜空の明るさを測定する夜空メーターの開発と活用

3 - 1 はじめに

天体観察や天体写真の撮影などには、星の光以外の光が入り込むのを防ぐために、都市部を避けて山間地域のような暗い夜空が存在する場所で行われる。街灯などの余計な光によって暗い星の光が埋もれてしまい、星自体が見えなくなってしまうためである。近年の都市整備によって、街灯などが設置され、良好な星空を見ることは難しくなっている。このような星空環境に悪影響を及ぼしている現象を、一種の環境問題としてとらえ、光害（ひかりがい）と呼んでいる。光害は天体観測の妨げになるだけでなく、万人にとって、星が見えなくなってしまうことで星空への興味が薄れ、星を見上げる機会を奪ってしまうのである。一例として、小学校 4 年次には星には色があることや、星の集まりを星座と呼ぶことを学習する。しかし、明るい夜空のもとでは、夜空と星の光のコントラストが弱まるために、星に色があることを確認することは難しくなり、暗い星を見ることができなくなるために、星の集まりを確認することができなくなってしまう。夜に晴れていれば見ることができる星空は誰にとっても平等であるはずが、星以外の光が溢れてしまっている場所では、星空を楽しむことはできず、結果的に天文分野への興味を持つ機会を失ってしまうのである。そのような背景の中、環境省では平成 13 年に光害防止に係わるガイドブックをまとめ、光害を良好な照明環境の形成が漏れ光によって阻害されている状況と定義し、地方公共団体の施策においての屋外照明の設置や光害の防止に対して基準を設けている。

一方、光害に関する調査活動もいくつかの手法で全国的に行われている。環境省が主催している全国星空継続観察（スターウォッチング・ネットワーク）では、肉眼観察や双眼鏡による一定の領域に見える星の数の測定や、一眼レフカメラを用いたりバーサルフィルムでの測定が行われ、成果を上げている。また、天体観測で天体の光度の測定を行う際には冷却 CCD カメラを用いて、夜空（背景）の明るさや大気の透明度の測定を行う。それぞれの測定方法は確立されている。肉眼観察では費用もかからず、誰もが測定することができるが夜空の明るさを精度良く測定するためには、熟練度や解析方法の工夫が求められる（長島 2003、2004）。また、一眼レフカメラや冷却 CCD カメラでは、精度良く夜空の明るさを測定することができるが、誰もが扱える道具ではない。そこで我々は星空に親しむ機会を設け、夜空の明るさを簡単に測定することのできる装置として夜空メーターを開発した。夜空メーターとは発光ダイオードの明るさと夜空の明るさを比較し、発光ダイオードの明るさを夜空の明るさと同程度に変えることで、その時に発光ダイオードに流れる電流値を読み取る装置である。夜空メーターでは、自らの目で夜空の明るさを測定することになり、夜空を見上げる機会として、星空に親しむこと、自らの目で夜空に明るさの違いがあることを体験すること、そして夜空の明るさを測定することを目的としている。夜空メ

ーターはほとんどが簡単な工作で組み立てることができるため、製作から測定までを行うことができ、一連の活動の各段階で教育的効果が大きいことがわかった(伊藤 2004、2005)。

本研究では、宮城県鶯沢工業高校生による製作活動、宮城県第一女子高校生による調査活動、そして共同観測による広域星空環境調査を行い、夜空の明るさに調査について考察した。

3 - 2 夜空の明るさに関する教材論

夜空の明るさについては、学習指導要領では扱っていないが、近年の環境問題の一つとしても取り上げられることが多く、環境分野での学習を行うことが可能である。特に、生活している地域の星空や夜空について、自らが調査を行うことができるため、環境問題、天文分野へと幅広い興味を持たせることが可能である。

理科年表によると、夜空からくる光を夜天光と呼んでおり、大気光、黄道光、星夜光の3種類に分類されている。これらは、自然の状態で地球に降り注ぐ光である。しかし、先に述べた光害については、人工の光が夜空の塵などに反射して起こる現象である。光害についての調査についてはいくつかの方法が確立されている。

(1) 冷却 CCD カメラを用いた測定

天体を測光する際には、変更しない既知の基準星を設ける。そして、CCD で受け取る天体からの光をカウント値として基準星との比較を行う。しかし、カウント値は天体の光に加えて、夜空の明るさも含んでいるため、夜空の明るさを除いた値を天体の明るさとしている。そのため、測光を行う際には夜空の明るさを必ず測定している。

(2) 一眼レフカメラとリバーサルフィルムによる測定

環境省では、全国星空継続観測（スターウォッチング・ネットワーク）として、一眼レフカメラとフィルムを利用して夜空の明るさを測定している。撮影したフィルムをスキャナで読み込み、夜空の明るさをカウントする方法である。

(3) 眼視による測定

ある視野に見える星の数を数えることで、夜空の明るさを数値化することが可能である。装置や機材を必要としないため、誰でも簡単に測定を行うことが可能である。

3 - 3 夜空メーターの概要

夜空メーター（図 36）とは、発光ダイオードと夜空の明るさを自らの目で比較し、夜空の明るさと同程度の明るさになるように発光ダイオードの明るさを変え、両者の明るさが一致したときに発光ダイオードに流れる電流を測定する装置である。夜空メーターは宮城県仙台第一高等学校の伊藤芳春教諭によって考案された装置である。

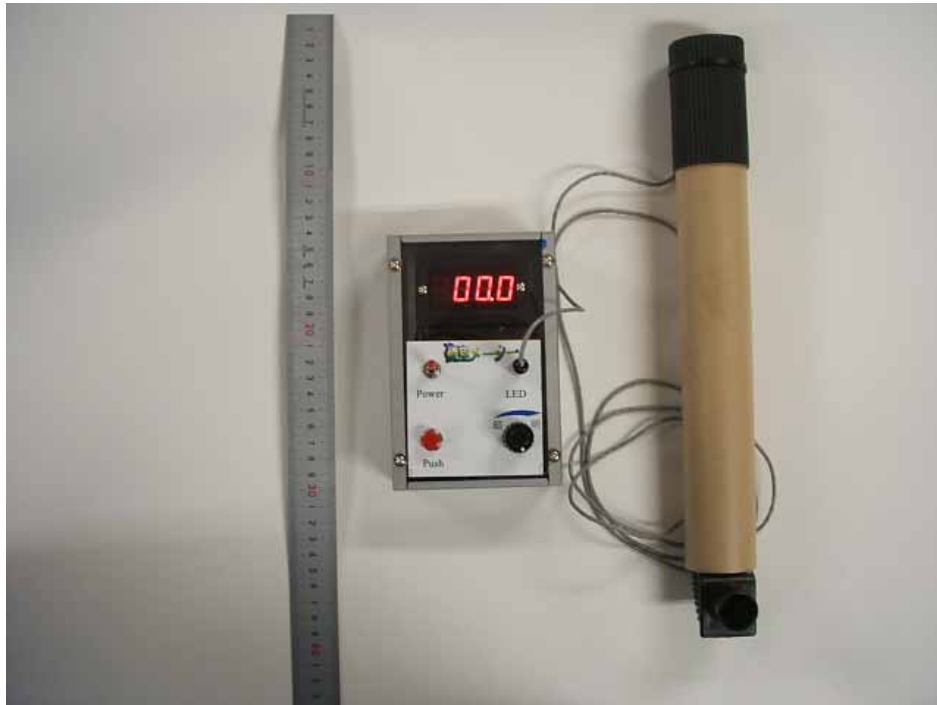


図 36 夜空メーター 写真中央が回路部、写真右側が光学系

夜空メーターは回路部と光学系に別れており、光学系に入る光は夜空、発光ダイオード、黄色フィルター、天頂ミラーの順で測定者の目に入る（図 37）。



図 37 夜空メーターの光学系 左から夜空、発光ダイオード、黄色フィルター、ミラー

夜空メーターの回路図を図 38 に示す。回路の概略としては発光ダイオード (D) を発光させるための回路と発光ダイオードを流れる電流を測定する回路に分けることができる。デジタルメーター (DM) は、電圧計となっているため、発光ダイオードを流れる電流を直接表示するのではなく、発光ダイオードに直列につないだ 1% 級の金属被膜抵抗 (R6) にかかる電圧を表示している。デジタルメーターは電流を直接表示しているのではなく間接的な電流の値を表示していることに注意が必要である。

主な操作は主スイッチ (S1) と押しボタンスイッチ (S2) を ON にした状態で、50k のボリューム (R3) を操作して発光ダイオードの明るさを変化させる。押しボタンスイッチは発光ダイオードを点滅させることで夜空の明るさとの比較を容易にするために付けられている。また、R1 および R4 は多回転半固定抵抗となっており、発光ダイオードを流れる電流の最小値と最大値を調整することができる。電源には 9V 電池を 2 個使用する。

各電子部品は、一般的に販売されているため、入手が容易であり、簡単に工作することができる。

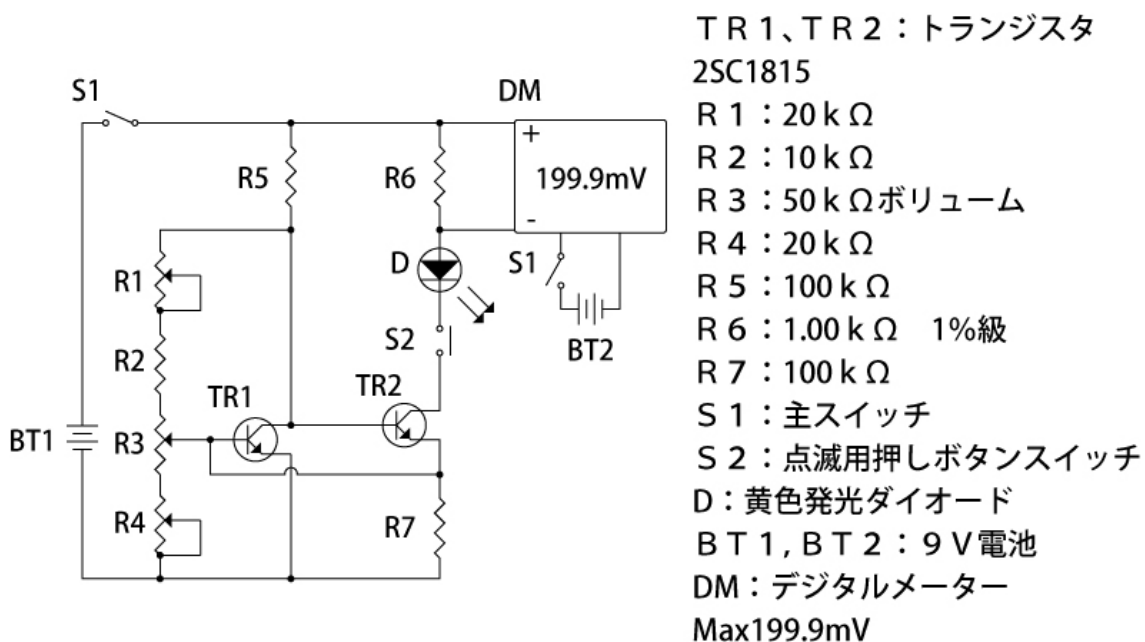
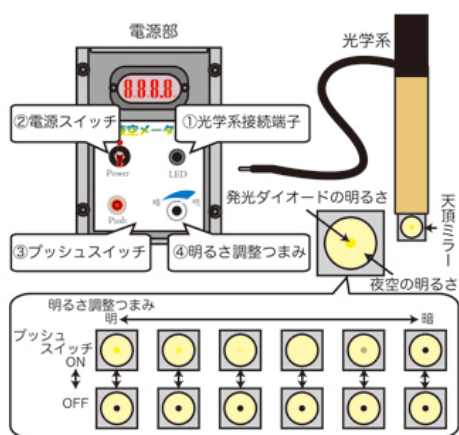


図 38 夜空メーターの回路図と各部品

夜空メーターの操作方法について図 39 に示す。操作は簡単で、望遠鏡を覗く感覚で光学系を覗くことで、発光ダイオードと夜空を直接比較することができるため、発光ダイオードを光らせ、明るさ調整つまみを調整することで発光ダイオードの明るさを変え、夜空の明るさを数値として表示することができるようになっている。また、測定方法を統一するために、発光ダイオードを明るくしておき、徐々に暗くしていき夜空と比較する方法としている。

これらの夜空メーターに関する資料や光害についての解説等はすべて星空観察ネットの広場のホームページ（<http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/study/yozora.html>）にて公開している。



夜空メーターの使い方

夜空メーターは左図の左側の電源部と右側の光学系からなります。

- ①光学系のケーブルを端子に接続する。
- ②電源スイッチを入れる。表示パネルが点灯する。
- ③プッシュスイッチを押し、光学系の発光ダイオードが点灯させる。
- ④明るさ調整つまみを回し発光ダイオードの明るさを調整する。
- ⑤発光ダイオードを明るくしておき、徐々に暗くし夜空と比較する。
- ⑥プッシュスイッチで点滅させ同じ明るさであることを確認する。
- ⑦このときの明るさの数値を覗いた方向の夜空の明るさとする。

図 39 夜空メーターの使い方

3 - 4 教材としての利用と評価

3 - 4 - 1 宮城県鶯沢工業高校での製作活動

2005年5月11日に、夜空メーターを製作した。作業内容は、電子部品のハンダ付け、アクリル板、基盤の機械加工であった。工業高校の設備を利用して、機械科、電気科の生徒らが得意分野について分担して作業を行った(図40、41)。また、製作作業を効率化するために、電子部品を取り付ける基盤については、鶯沢工業高校の蘇部義廣教諭に設計・製作していただいた(図42)。電子部品用のプリント基盤を削ることで、回路を作り、基盤に直接ハンダ付けできるため、作業効率が著しく向上した。2006年までに夜空メーター40台を製作することができた。



図40 機械加工を行う様子



図41 基盤にハンダ付けを行う様子

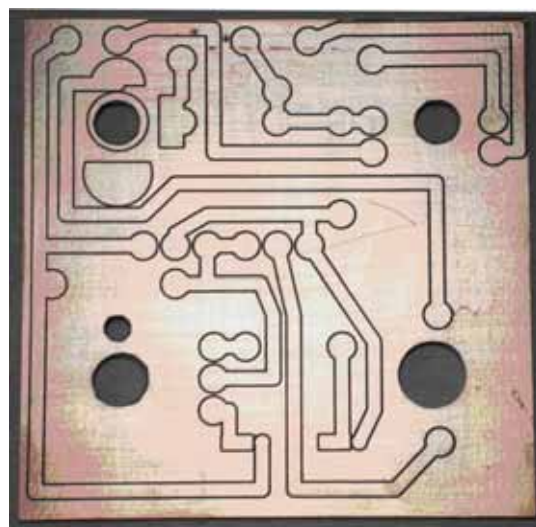


図42 考案された基盤 各部に直接電子部品を取り付けることができる。

3 - 4 - 2 仙台市天文台での使い方講習会

2005年7月23日、2006年7月22日に夜空メーターの使い方講習会を仙台市天文台のプラネタリウムを利用して行った。参加者は仙台市内の高校生、教員、宮城県内の愛好家であった。プラネタリウムでは、天候に左右されず、昼までも夜を再現できるだけでなく、夜空の明るさを自在に変え、条件を変えることで様々な状況を想定しての測定実習を行うことができた。また、職員の方に測定時期にあたる星空の解説をしていただくことができ、星座や星の見つけ方なども学習することができた。測定の練習を行うには最適な施設であった。講習会の流れを表20に、講習会の様子などの写真を図43、44に示す。

表20 講習会の流れ

| 当日の流れ(約1時間) | 内容 |
|-------------|--|
| 受付 | 参加者名簿の作成 |
| 自己紹介 | 自己紹介を含めて、高校生には部活動で行っている研究や活動状況などを紹介してもらった。 |
| 夜空メーターの紹介 | 夜空の明るさを調査する目的を説明し、夜空メーターの仕組み、測定方法などについて実物を用いて解説した。 |
| 測定練習 | 仙台の明るい夜空、蔵王の暗い夜空をプラネタリウムで再現し、それぞれ測定を行い、記録用紙に記入した。 |
| 星空の解説 | 職員の方に、夏から秋にかけての星空について、星座や星の見つけ方について解説していただいた。 |
| 夜空メーターの配布 | 調査に協力していただける方に、夜空メーターを数台ずつ配布した。 |



図43 夜空メーターの仕組みを説明



図44 二人一組での測定

2005年、2006年のプラネタリウムで測定した結果を図45、46に示す。測定値は全測定者の平均で、エラーバーは標準偏差を示す。2005年の結果を見ると誤差が非常に大きくなってしまっているが、全測定者が初めての操作でも夜空の明るさを数値化することができ、明るい夜空と暗い夜空の傾向を出すことができたのは評価すべき点である。1時間という短い時間の中で、測定対象の天体を数多く指定したため、操作を行うための十分な時間を与えることができなかったことが反省する点であった。2005年の反省を活かし、2006年の結果では、明るい夜空と暗い夜空とで明らかな差が現れ、暗い夜空においても天の川の有無についても測定することができた。機材に十分に慣れることで、精度良く夜空の明るさを測定することが可能であることが証明された。

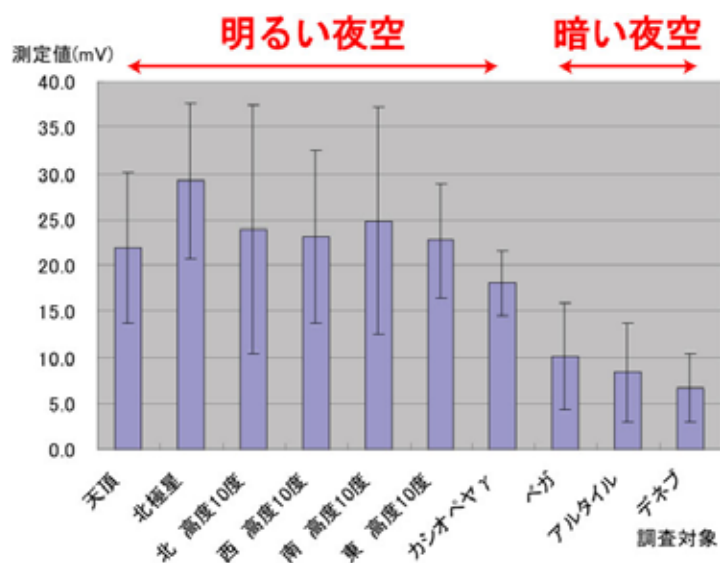


図45 2005年のプラネタリウム実習での測定結果

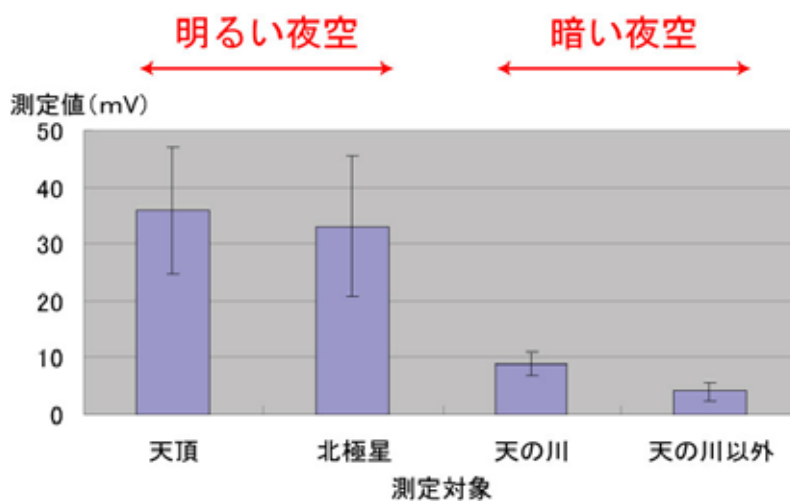


図46 2006年のプラネタリウム実習での測定結果

3 - 4 - 3 宮城県第一女子高等学校での活動

宮城県第一女子高等学校地学部では、仙台市を中心としたヒートアイランド現象の調査による気温のマッピングを行っている。同様の環境調査活動である夜空メーターによる夜空の明るさ調査にもご協力いただいた。地学部へはSSH事業のティーチングアシスタントとして月に一回程度で指導を行い、夜空メーターの使い方や観測結果のまとめなどについて助言した。地学部の生徒によって、夜空メーターの展示、調査結果、高校生を対象とした光害についての啓蒙ポスターを作成し、文化祭にて発表した(図 47-50)。夜空メーターを部活動の研究テーマとして利用することができたことは、製作を行った工業高校生と研究を行う高校生とのつながりを作ることになり、お互いの高校生にとって有意義であった。

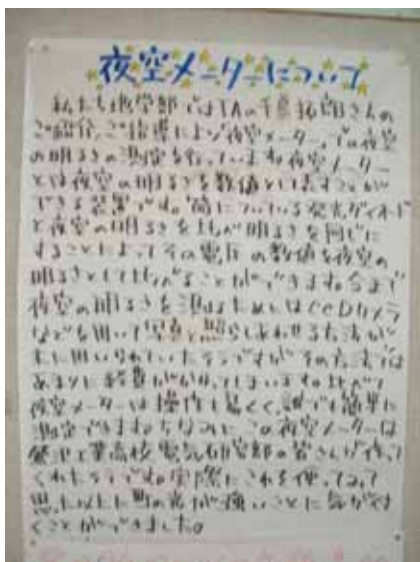


図 47 夜空メーターのポスター

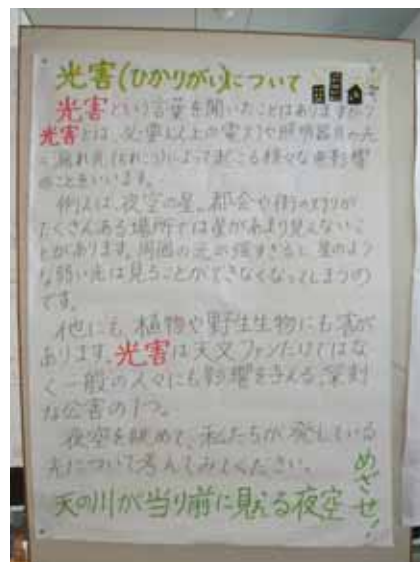


図 48 光害についてのポスター



図 49 夜空メーターの展示

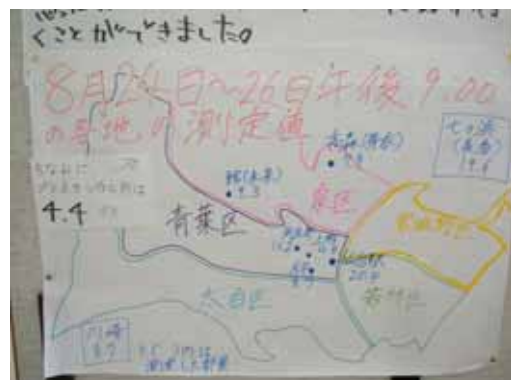


図 50 測定結果のポスター

3 - 5 夜空メーターを利用した星空環境調査

夜空メーターを利用して、広域の夜空の明るさマップを作成するために、夜空の明るさ調査は夜空メーターを配布し、共同観測を行った。参加者は、中学生、高校生、星空観察ネットのメンバー（大学生、教員、愛好家）である。共同観測期間を設け、人間の夜間活動が多く行われている時間と夜間活動が少なくなる時間を想定し、晴天日の 21 時と 23 時に測定を行うこととした。測定対象は天頂と東西南北の高度 10 度、明るい恒星の方角である。2005 年には、9 月 28 日～10 月 6 日、10 月 28 日～11 月 4 日の二度の共同観測期間を設けた。天頂の測定結果を各測定値の夜空の明るさとして比較を行うために、宮城県の地図上に観測結果を表した（図 51-55）。



図 51 9 月 28 日～10 月 6 日 21 時の測定
海上の は福岡市の測定（単位は mV）



図 52 9 月 28 日～10 月 6 日 23 時の測定



図 53 10 月 28 日～11 月 4 日 21 時の測定
海上の はロンドンの測定



図 54 10 月 28 日～11 月 4 日 23 時の測定



図 55 10月28日～11月4日23時の測定結果 仙台市を中心とした拡大図

仙台市中心部では明るい夜空、宮城県北部の鶯沢では暗い夜空であることがわかる。また、21時と23時の結果を比較すると、いくつかの地点で、夜空の明るさが暗くなっていることがわかる。図55の仙台市中心部でも、青葉区、宮城野区、若林区が隣接する地点が仙台駅であるため、明るい夜空となっているが、周辺域では暗い夜空となっている。夜空の明るさマップを作成することで、視覚的に各地点の夜空の明るさの比較を行うことができる。

2006年度は8月15日～8月28日、10月17日～10月28日、11月13日～11月28日の三度の共同観測を設けた。しかし、天候に恵まれなかったこともあり、十分なサンプル数を行うことができなかったため、2006年度は観測期間のすべての測定を合わせることにした。2005年と同様の2006年の広域調査結果を図56、57に示す。



図 56 2006年度の21時の測定



図 57 2006年度の23時の測定

2005年度では、仙台市内の高校生に自宅で測定を行ってもらったことができたが、郊外の町では測定を行うことがほとんどできなかった。そこで2006年度には、宮城県内の教員や愛好家に郊外の測定を行っていただいた。また、県外においても測定を行うことができた。

天頂に加えて、東西南北の高度10度と一等星の方角について調べた結果を全天の星座早見座標として表し、宮城教育大学での2006年8月24日の21時と22時の測定結果を図58、59に示す。一つの地点で、夜空メーターの測定する方角を変えることで、全天の夜空の明るさについて詳細に調べることが可能である。

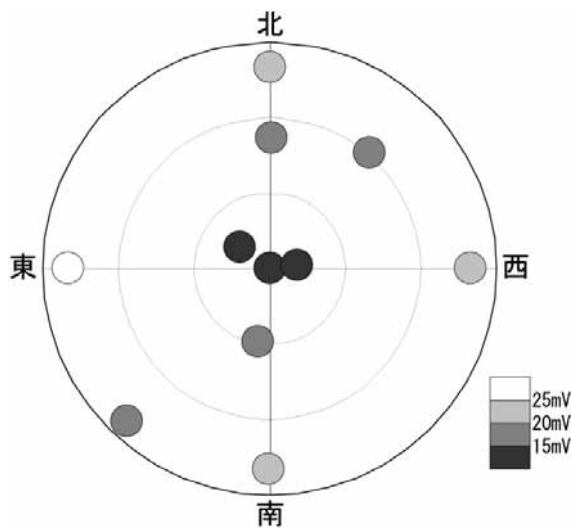


図 58 宮教大での 21 時の測定

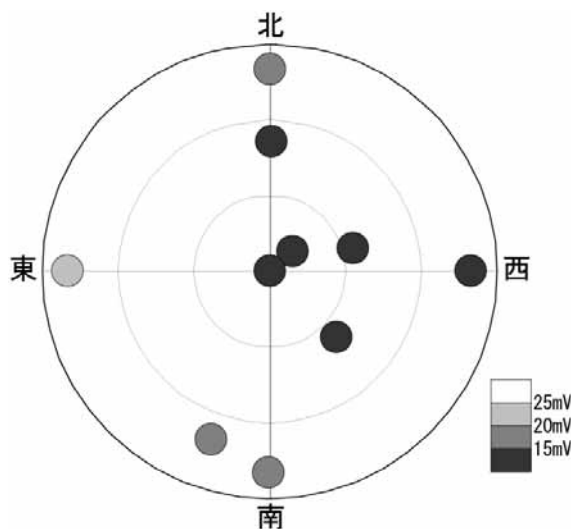


図 59 宮教大での 23 時の測定

宮教大から見て、東側は仙台駅や繁華街があり、広告塔などがライトアップされているため夜空が明るくなっていることがわかる。また、天体の日周運動によって測定位置が変化しているが、時間の経過とともに夜空が暗くなっていることがわかる。

3 - 6 議論

2006年度までに夜空メーターを40台製作することができた。また、製作活動については工業高校生が行い、観測は普通科の高校生が行うという一連の流れで、夜空の明るさという共通のテーマの元でそれぞれの得意分野を活かして活動を行うことができたことは評価すべきところである。工業高校生にとっては、製作した測定器を使ってもらう喜び、普通科の高校生にとっては、同じ高校生が製作した測定器を使って研究を行うことで、お互いにとって非常に有意義なものであった。プラネタリウムを使っての実習では、改めて星空への興味から調査型の活動へとつなげ、天文分野への入り口として夜空メーターを利用することでより深い興味へとなることを期待したい。高校生の中でも、測定に向けて一等星の名前や星の探し方を覚えようとする生徒も多かった。

2005年度、2006年度の広域調査から、市街地と郊外での夜空の明るさの違いを表すことができた。また、同一地点においても、全天の詳細な夜空の明るさを測定することができるため、様々な調査を行うことが可能である。

一方、夜空メーターの今後の課題として、より多くの人に使っていただけるように台数を増やすことが挙げられる。配分することのできる台数に限りがあるために、高校の部活動などに十分行き渡らないのが現状である。また、夜空メーターの数値は電圧の値であるため、数値を見ただけでは夜空の明るさがどの程度なのかを理解することはできない。そこで、天体の明るさと同様に夜空の明るさを表すために、等級への変換を行うことが必要である。夜空メーターの精度に関しては、プラネタリウムでの測定で出された誤差をそのまま測定誤差と考えているが、CCDカメラや一眼レフによる光度測定のように広く普及させるために、測定誤差についても調査することが必要である。その際、肉眼による光度測定との誤差とされる0.1等級までに高めることを目標としている。

5章 結論

インターネット天文台、全天カメラ教材を学校教育で活用することができた。これらを用いることで、これまで授業の中だけでは観察することができなかった天体や現象を観察しながら、学習を進めることができるようになる。また、近年の情報化社会に対応すべく、整備されつつある学校の情報環境、そして IT 機器の有効活用やインターネットの活用を進める上で、このような教育実践を行い、教材の有用性について議論することは重要であると考え。今後、IT 機器を学校教育に普及させるためには、ハードウェアの整備とソフトウェアの充実という2つの課題が挙げられる。情報機器などのハード面を整備するのは金銭的な問題であり、解決方法は単純であるが、実際に教育に活用する場面においては、これまでの教育に関する歴史的な技術や方法論の蓄積には及ばないことは確かである。特に、IT 機器は、ともすれば仮想の世界へと入り込んでしまう危険性も秘めており、現実と仮想の世界とをうまく利用することが大切である。日食のインターネット中継等を行っている団体ライブ！ユニバース代表の尾久土氏は、日食中継の意義について、「予測不能な見せ場（結果）をもったコンテンツ、生きた教材である。」と表現している(尾久土 2004)。目の前で刻々と天体の映像が変化する様子は、教室の中で行う実験同様に児童・生徒の興味や関心を持たせるものであり、例え、天候によって天体映像を確認することができなくても、リアルタイムの映像であるからこそ、インターネットの向こう側の現実をより認識させてくれるものと考え。今後の情報教育を考える上でも、現実感のある生きた教材を開発していくことは重要な課題である。

天文分野の学習に関しては、授業中に観察可能な現象は限られてしまうというジレンマが付きまとっていた。そのような現状を解決するには、やはり IT 機器の利用を行うことが求められる。インターネットの特徴の一つでもある、世界中の人と情報を共有することができるという利点を利用して、個人では達成不可能な課題に対しても、克服することが可能であると考え。特にインターネット天文台に関しては、各地にシステムが設置されつつあるため、今後は金星や月のライブ映像のように、多くの学校で利用していただける環境が整備されることを期待したい。

謝辞

修士論文に関する研究を進めるにあたって、宮城教育大学理科教育講座の高田淑子助教授には懇切丁寧なご指導、ご助言をしていただきまして、深く感謝いたします。また、同じく青木守弘教授、川村寿郎教授、菅原敏助教授には様々な場面におきましてご助言をしていただき、深く感謝申し上げます。仙台第一高等学校の伊藤芳春先生には、インターネット天文台、全天カメラの開発、夜空メーターなど多方面に渡ってご助言、ご協力下さり、深く感謝いたします。

全天カメラ教材について、議論や授業を行う機会を下さった宮城教育大学附属中学校の野田貴洋先生、高橋知美先生、黒木充先生には、教材研究や授業方法についてもご助言をいただき、深く感謝いたします。金星ライブを利用した授業を行っていただいた、折立中学校の齋藤亘弘先生、明星中学校の北野伸一先生に感謝申し上げます。インターネット天文台、全天カメラ教材について、ご助言いただいた仙台市科学館の市川仁先生、鶴ヶ谷養護学校の中堤康友先生、浅水小学校の佐藤崇先生に感謝申し上げます。夜空メーターの開発及び教育的活用について、加茂中学校の長島康雄先生、鶯沢工業高校の蘇部義廣先生、電気研究部のみなさん、仙台第一女子高等学校の二瓶文雄先生、地学部のみなさんに深く感謝申し上げます。また、講習会を行う場としてプラネタリウムを活用させていただいた仙台市天文台の蓮池芳明台長、小石川正弘さん、佐藤敏秀さんに深く感謝いたします。ライブ映像の配信システムの構築において、星空観察ネットの広場の三澤宇希子さん、宮教大情報処理センターの皆様には、インターネット回線の通信テストやご助言をいただきました。深く感謝いたします。

研究活動全般を通して、様々な場面でご協力いただいた中條裕さん、成田晋吾君、大滝学さんに、深く感謝いたします。また、研究活動を行う上で太田、鈴木、木村雄太君には、沢山のご協力をいただきました。深く感謝しております。

また、研究活動全般にあたって、様々な連携プロジェクトを進めることができました。その際に本当に多くの方々にご協力していただき、成功させることができました。深く感謝いたします。

参考文献

- 縣秀彦, 2004, 科学教育の現状と日本天文学会の役割-天文学の真正資源をどのように教育利用すべきか?-, 天文月報 97, p.163-168
- 縣秀彦, 2004, 理科教育崩壊-小学校における天文教育の現状と課題-, 天文月報 97, p.726-736.
- 伊藤芳春、吉田和剛、高田淑子、中堤康友 2002 日周運動のビデオ教材作成による星空環境教育 宮城教育大学環境教育研究紀要 5, p.59-64.
- 伊藤芳春、高田淑子, 2004, 夜空メーターの製作と星空環境の測定, 宮城教育大学環境教育研究紀要 7, p.93-98.
- 伊藤芳春、千島拓朗, 2005, 夜空メーターの製作と観測方法, 第 19 回天文教育研究会集録, 天文教育普及研究会, p.41-44.
- 伊藤芳春、高田淑子, 2005, 夜空メーターの製作と星空環境の測定その 2, 宮城教育大学環境教育研究紀要 8, p.71-78.
- 上田誠也、竹内敬人、松岡正剛ほか, 2005, 理科基礎自然のすがた科学の見かた, 東京書籍
- 尾久土正己, 1999, 美里から世界へインターネット天文台, 岩波書店
- 尾久土正己、高橋典嗣, 2004, ライブ!ユニバースの日食中継とその教育実践, 天文月報 97, p.135-140.
- 環境省環境管理局大気生活環境室, 2001, 光害防止にかかわるガイドブック
- 衣笠健三、河北秀世、倉林勉、田口光, 2003, ぐんま天文台におけるリモート望遠鏡, 天文月報 96, p.585-591.
- 木村かおる, 2003, 北の丸望遠鏡を用いた天文教育活動, 天文月報 96, p.579-584.
- 国立教育政策研究所教育課程研究センター, 2004, 平成 14 年度高等学校教育課程実施状況調査の結果概要について
- 国立天文台, 1997, 理科年表平成 10 年, 丸善, p.90.
- 佐々井祐二、辻啓介、横井昭典, 2004, 大島インターネット天文台の構築, 大島商船高等専門学校紀要 37, p.23-27.
- 佐々木佳恵, 2004, インターネット望遠鏡・IT 機器を用いた天文教育教材の開発と中等教育への応用, 宮城教育大学卒業論文
- 佐藤毅彦、前田健悟、大中敦、森本康裕、高橋庸哉、小島紘、坪田幸政、松本直記, 2002, 熊本大学インターネット天文台の構築-その新機軸-, 熊本大学教育学部紀要 51, p.1-7.
- 佐藤毅彦、前田健悟、坪田幸政、松本直記、榊原保志、山崎良雄, 2003, 地球の裏側から

夜空を教室へ！, 天文月報 96, p.565-571.

佐藤毅彦、前田健悟、松山明道、山崎良雄、坪田幸政、戎崎俊一、川井和彦、奥野光、木村薫、阪本成一、松本直記, 2005, ガーナ・インターネット天文台の構築と星座カメラ i-CAN プロジェクト, 熊本大学教育学部紀要自然科学 54, p.103-111.

佐藤文隆, 2002, 光と風景の物理岩波講座物理の世界, 岩波書店

曾我真人、豊増伸治、奥野拓馬、下代博之、田中俊成、尾久土正己、田中秀明、坂元誠, 2003, みさと天文台におけるインタラクティブ・リモート望遠鏡システムの構築, 天文月報 96, p.592-600.

高田淑子、中堤康友、池田尚人、長島康雄、伊藤芳春、林美香、吉田和剛、松下真人、齋藤正晴, 宮城教育大学インターネット天文台の活用事例, 2003, 天文月報 96, p.572-578.

吉田和剛, 2003, 星空のインターネット中継イメージングシステムを用いた教育プログラム開発, 宮城教育大学卒業論文

高田淑子、佐々木佳恵、松下真人、長島康雄、齋藤正晴、千島拓朗、中堤康友, 2004, 教室で行う宇宙の実験-5: 宮教大インターネット望遠鏡を用いた昼間の星観察, 宮城教育大学紀要 39, p.125-131.

高田淑子、千島拓朗、齋藤正晴、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, 2006, 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, 宮城教育大学紀要 40, pp.101-106.

千島拓朗, 2005, 全天カメラシステム・インターネット天文台を利用した教育プログラム開発, 宮城教育大学卒業論文

千島拓朗、伊藤芳春, 2006, 夜空メーター2005年の活動, 第20回天文教育研究会集録, 天文教育普及研究会, p.102-105.

千島拓朗、成田晋吾、伊藤芳春, 2006, 宮教大インターネット天文台における金星ライブ映像の公開, 第2回天文教育研究会集録, 天文教育普及研究会, p.106-110.

千島拓朗・高田淑子・三澤宇希子・齋藤正晴・佐藤拓也・中條裕・成田晋吾・齋藤巨弘・北野伸一・伊藤芳春・佐藤崇・松下真人, 2006, 学校教育での利用を目的とした宮教大インターネット天文台の活用-金星ライブ映像の公開-, 天文教育, 18, p.18-21.

戸田盛和, 1982, 力学, 岩波書店

長倉三郎、梶田勲一、松井孝典ほか, 2005, 理科総合 B 歴史としてみる自然, 東京書籍

長島康雄、佐々木佳恵、高田淑子、松下真人、千島拓朗、齋藤正晴、三浦高明, 2003, 中学生が実施した光害調査による環境評価活動とその教育的意義, 宮城教育大学環境教育研

究紀要 6, p.55-63.

長島康雄、千島拓朗、佐々木佳恵、高田淑子, 2004, 学区域から仙台市全域に拡張した光害調査活動とそのスケールアップが持つ環境教育的な意義, 宮城教育大学環境教育研究紀要 7, p.105-110.

長島康雄、佐々木佳恵、千島拓朗、高田淑子, 2005, 光害を環境教育的に扱う教材「環境に優しい夜空」の開発, 宮城教育大学環境教育研究紀要 8, pp.61-70.

中堤康友, 2002, インターネット望遠鏡を用いた天文教育プログラムの開発, 宮城教育大学卒業論文

中堤康友, 2003, 海外インターネット望遠鏡を用いた学習活動に関する一考察, 宮城教育大学特殊教育特別専攻科修了論文

原島鮮, 1981, 初等物理学, 裳華房

林美香, 2003, インターネット天文台中継システムを利用した天文教育プログラム開発, 宮城教育大学卒業論文

福島英夫, 1996, 天文アマチュアのための冷却 CCD 入門, 誠文堂新光社

榊井俊彦, 2006, デジタル一眼レフカメラを使った簡単な光害調査方法, 第 20 回天文教育研究会集録, 天文教育普及研究会, p.153-158.

松本直記、坪田幸政、佐藤毅彦, 2000, インターネット天文台の国際利用-真昼にリアルタイム天体観測-, 慶應義塾高等学校紀要 30, pp.31-36.

三浦登他, 2002, 新しい科学 2 分野下, 東京書籍株式会社

三浦登・岡村定矩他, 2006, 新編新しい科学 2 分野下, 東京書籍株式会社

文部科学省, 1999, 小学校学習指導要領

文部科学省, 1999, 中学校学習指導要領

文部科学省, 2000, 高等学校学習指導要領

文部科学省, 2005, 学校における教育の情報化の実態等に関する調査(中間調査)結果

力武常次他, 2004, 地学 I 地球と宇宙, 数研出版社

力武常次他, 2004, 地学 II 地球と宇宙の探求, 数研出版社

天文年鑑編集委員会, 2005, 天文年鑑 2006 年版, 誠文堂新光社, pp.184-189.

参考 URL

星空観察ネットの広場, <http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/>

金星ライブ!, <http://www.hosizora.miyakyo-u.ac.jp/live/index.html>

月ライブ!, <http://moon.miyakyo-u.ac.jp/>

Astro-HS 運営委員会, 夜空の明るさ観測マニュアル, <http://www.astro-hs.net/>

教育情報ナショナルセンター, 過去の学習指導要領, <http://www.nicer.go.jp/guideline/old/>

Yahoo! メッセージャーはヤフー株式会社、Windows Media サービス、WindowsMediaPlayer はマイクロソフト株式会社の登録商標である。

Helix Server 及びは Real Player はリアルネットワークス株式会社、Quick Time Streaming Server 及び Quick Time Player 及び Darwin Streaming Server はアップルコンピュータ株式会社の登録商標である。