

星取県の星空ガイドを育てる体験型教材の開発

環境学部環境学科 足利裕人

1. はじめに

「星取県」をうたう鳥取県の一番の課題は、一般市民に星空の案内や観察の楽しさを伝えることのできるガイドが少ないことである。星空の美しさとは裏腹に天体教育そのものが難しい印象を与えており、小中学校理科の星空単元は、理解度の最も低い分野の一つになっている。特に上弦、下弦の月や、内惑星である金星の満ち欠け等は高校入試に頻繁に出題されるが、理解を助ける適当な体験型教材に乏しく、イメージが形成しづらい単元である。

月は地球の衛星であり、地球から見える月の姿は、日ごとに29.5日の周期で満ち欠けが変化する。この変化の理解には、月の公転軌道上の位置と太陽光の方向を認識する必要がある。金星も満ち欠けがあるが、地球からの距離が遠いため、肉眼での満ち欠けが把握できないことと、内惑星のため夕方が明け方にしか観察できないという困難さがある。地球から見える天体の日周運動は、地球の自転によって生じる見かけの現象であるが、その理解には、地球上の観測地点と天体の位置関係を把握し、地球の自転にともなう天体の相対的運動をイメージする困難さがある。

本研究では肉眼の観察と同じ感覚で、カメラを通して満ち欠けや日周運動を体験できる等身大の太陽系シミュレーションモデルを構築し、同時に実際の夜空で撮影した月や金星の画像を確認しながらリンクさせ、一つずつ知識を獲得できる教材の開発を行った。また、星の光を分光するスペクトル解析は、星の成分元素の同定や、星が遠ざかる速さや地球からの距離などの情報を得ることができる。機材を揃え、恒星のスペクトル解析を行い、さらなる発展的研究体制を作った。また、紫外線撮影のできる冷却CCDカメラを準備し、金星表面の雲の移動が撮影できるようにした。金星は6月に宵の明星になるため、継続観察を行っている。

2. 体験型教材開発

本研究では、体験型の太陽系を模した学習者の等身大の、大型太陽系シミュレーション装置を製作した。この装置を学習者が自分で動かしながら学び、天体の運行イメージを形成する。さらに、学習者自身で撮影した動画やそれらを加工した静止画等と見比べることにより、地球の自転・公転と関連付けた高い教育効果の天体教材となった。

2.1. 月と金星の満ち欠け

月の満ち欠けは、月が地球の周りを公転することで発生する見かけの現象である。地球の公転により、太陽と地球の位置が相対的に変化することで、太陽の光が月の表面を照らす範囲が変わる。その周期は、約29.5日である。

金星の満ち欠けは、金星と地球の公転により、太陽との位置関係が変化することで、その光が金星の表面を照らす範囲が変化するために起こる。金星は内惑星のため、金星が太陽の東側にある時には夕方西の空に見え、西側にある時には明け方東の空に見える。

図1 月の満ち欠け

2.2 . 装置の製作

2.2.1 月の満ち欠けモデル

アルミアングルの両端に木板を固定し、一方の板の下にキャスターを取り付け、月の模型を搭載した。もう一方の板の下には回転台を取り付け、この上に鉄製スタンドを固定し、さらに地球の観測者に見立てたWebカメラを搭載した。このカメラを通した月の映像が、パソコンのモニター画面に満ち欠けを示す。

2.2.2 金星の満ち欠けモデル

角材を、長さが地球と金星の公転半径の比になるようにし、一端を回転できるように固定する。その回転軸付近に、太陽に見立てたLEDリングライトを置く。2本の角材の回転軸から近い方には内

惑星の金星のモデルを設置し、もう一つの端が観測者のいる地球になる。ここには自転する回転雲台にWEBカメラを取り付け、パソコンのモニター画面上に、観測者が体験する映像として満ち欠けの様子が映し出される。

2.2.3 日周運動の観測装置

装置は、金星の満ち欠け装置で用いたものを活用した。地球の位置に、地面を表す黄色いプラスチックダンボールと観測者の人形を設置する。人形と地面、天体（月、金星）を同一画面に撮影し、地面に対する天体の相対位置で日周運動を示す。次に、回転雲台に一眼レフカメラを設置し、レンズには対角魚眼レンズを装着し、地球から見える天体の位置をリアルに体験できるようにした。



図5 月の日周運動モデルと撮影の様子



図6 金星の日周運動モデル（左：明けの明星、右：宵の明星）

2.3. シミュレーション教材による映像

2.3.1 月の満ち欠け装置で得た写真と実際の月との比較

月の満ち欠けの装置による写真と実際との比較をした。写真は理科ネット⁽⁶⁾とASA⁽⁷⁾のものを用いた。図7は月齢0の新月の例である。月は太陽と同じ方角に位置するため、太陽の光を反射する面は地球からは見えない。図8は月齢4の月である。新月から次第に右側が満ちていく。図9は月齢7の月である。月の右半分が輝く上弦の月となる。図10は月齢11の月である。月は、太陽の反対側へ向かい、それにつれてその姿は丸みを帯びていく。図11は月齢15の月である。月が、太陽の反対側にあるため、表面全体が輝く満月となる。図12は月齢17の月である。満月から新月に向かうにつれ、月の右

側が暗くなる。図13は月齢22の月である。月の左半分が輝く下弦の月となる。図14は月齢25の月である。次第に新月の姿に戻っている。



図7 月齢0の新月の比較

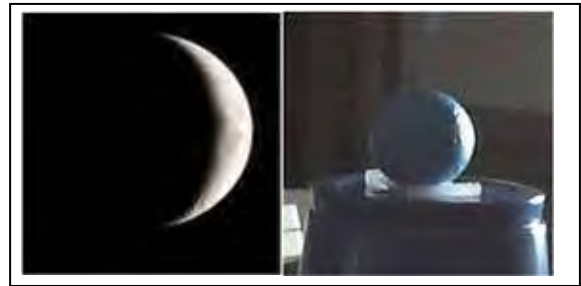


図8 月齢4の月の比較



図9 月齢7の月の比較



図10 月齢11の月の比較

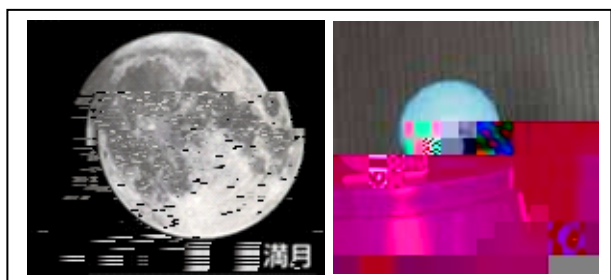


図11 月齢15の月の比較

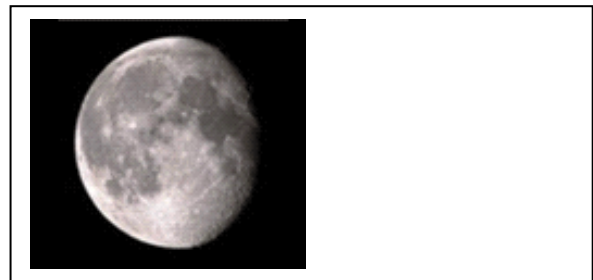


図12 月齢17の月の比較

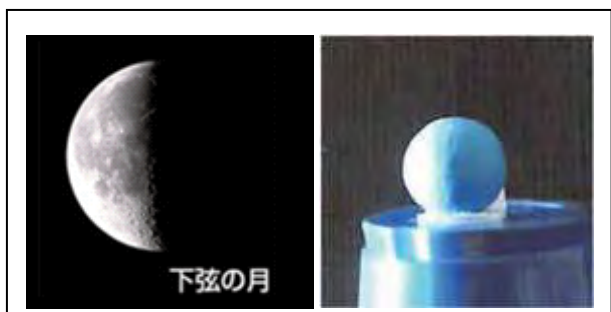


図13 月齢22の月の比較

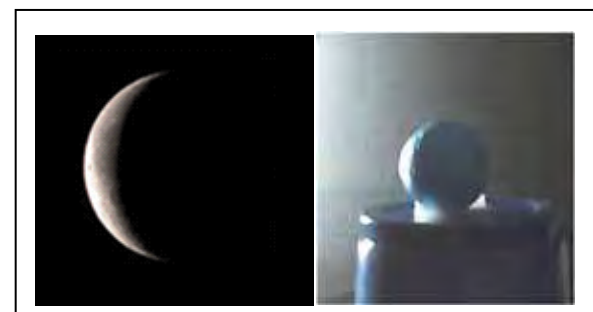


図14 月齢25の月の比較

2.3.2. 月の日周運動装置の改良と結果

図5の対角魚眼レンズで撮影した画像では、地面の位置が分かりにくく、眼視との差が大きい。そこで、図15のような装置を考案し、地面を基準にした月の日周運動がリアルに再現できた。月が東の空から登り、夕方南中し、西の空へ下がっていき地平線に沈む様子が、人形を中心として地面を基準に映し出されている。

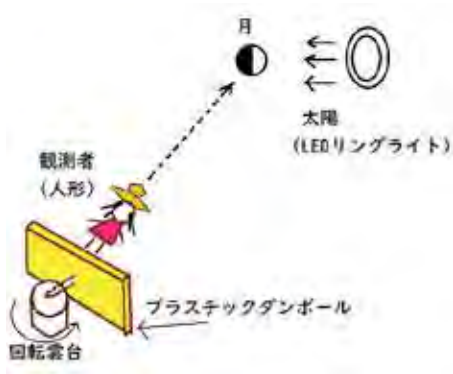


図15 月の日周運動の装置の改良

図16 月の日周運動の改良結果

2.3.3. 金星の満ち欠け装置で得た写真と実際の金星との比較

製作した金星の満ち欠け装置で撮影した写真を、実際の金星の写真⁽⁹⁾と比較した。その時の地球と金星の位置関係を知るために天文年鑑を利用した。図17は2020年2月11日の金星の例である。宵の明星なので右側面が照らされる。図18は2020年3月17日の金星の例である。東方最大離角周辺であり、半月状に欠けた金星を見ることができる。図21は2020年5月13日の金星で、三日月上の宵の明星である。図22は2020年11月13日の金星である。VIXEN A62SS望遠鏡にiPhone 10rを取り付けて、実際に撮影した写真である。明けの明星なので左側面が輝いている。

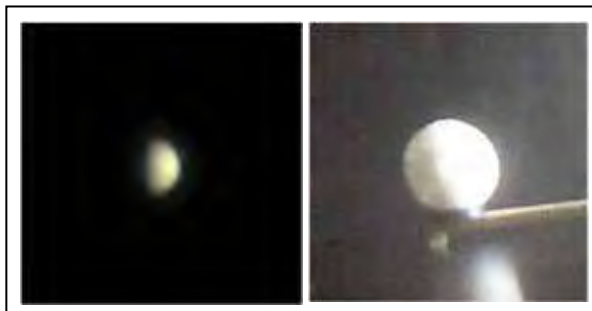


図17 2020年2月11日の金星の比較



図18 2020年3月17日の金星の比較



図19 2020年4月14日の金星の比較



図20 2020年4月30日の金星の比較

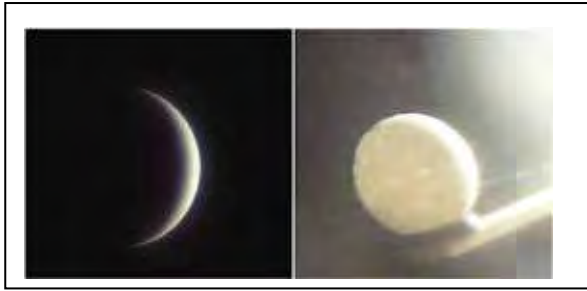


図21 2020年5月13日の金星の比較



図22 2020年11月13日の金星の比較

図23は、明けの明星の日周運動を再現した動画を、コマ送りで示したものである。一番左側が明け方のちょうど金星が東の空から現れたばかりの写真で、時間とともに太陽が現れている。

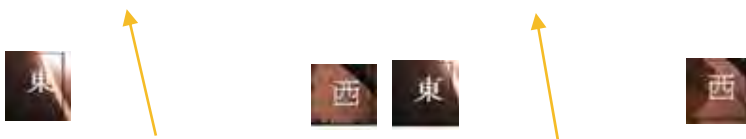


図23 明けの明星の日周運動

図24は宵の明星の日周運動を再現した動画を、コマ送りで示したものである。強調のために矢印で金星の場所を示した。夕方、太陽がカメラの視界から切れることで、西の空に金星が現れる、時間とともに金星がカメラの視界から切れる。

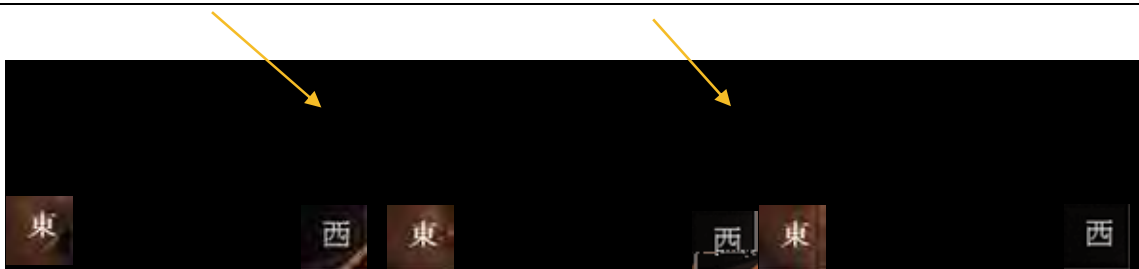
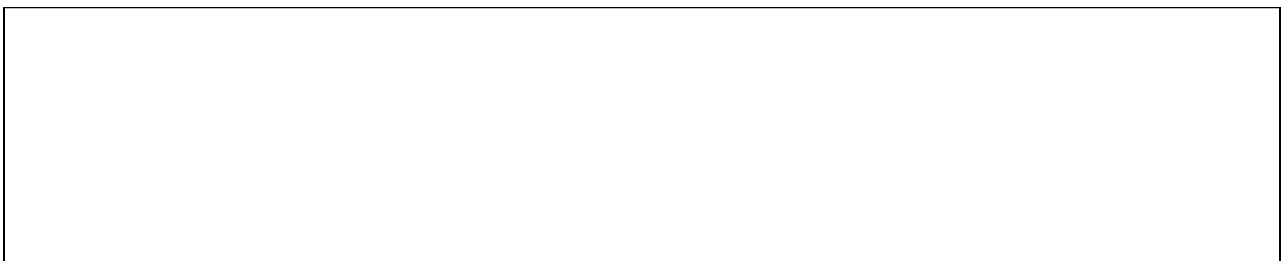


図24 宵の明星の日周運動

3. 星のスペクトルの教材化等

天体写真では、星の色からその表面温度は推測できるが、さらにその光を分光することで、星の成分元素を同定したり、星が遠ざかる速さやその距離などの情報を得たりすることができる。本研究では、五藤 Telescope 株式会社のスペクトル観測入門キットを用い、その分光による解析を身近なものにした。

3.1. 装置

この製品には、回折格子として STARANALYSER100 を用いる。これは、1mmに100本の溝が刻まれた透過型回折格子である（図25右前）。

一眼レフのカメラレンズに取り付けるため、オプションの AD-58（58mm フィルター径対応、図25左）とステップ UP・DOWN リング（図25右後）を用い、図26のように NIKON の D5500 に使用した。また、アメリカンサイズの CMOS カメラにはアダプターを使うことなく、先端にねじ込んで使用できる。

3.2. スペクトルの撮影

図27はこと座のベガを、カメラを三脚に固定して撮影した写真である。レンズは焦点距離50mm程度が APS-C サイズの一眼レフ画面に適している。スペクトルは直線ではなく、縦に幅ができるように星の日周運動を利用し、30秒間露出した。STARANALYSER100はカメラレンズに対して回転できるため、日周運動の方向に幅ができるように微調節可能である。ベガの左右に1次の回折光が見られるが、通常は明るい方の左側のスペクトルを使う。この回折格子はブリーズ型（断面が三角形のプリズム状）で、明るさを稼ぐことができる。

この写真から、図28のように、星（この位置が0次の直接光のスペクトルである）とスペクトルの両方が含まれるように切り取る。



図25 回折格子とリング群



図26 回折格子をカメラレンズへ装着



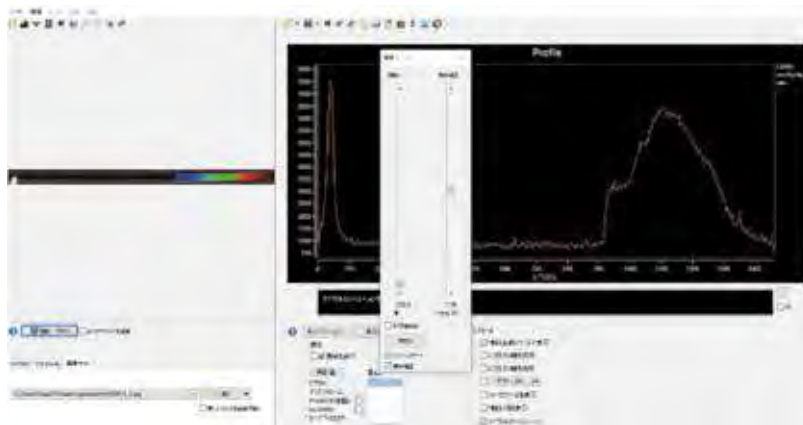
図27 撮影したベガのスペクトル



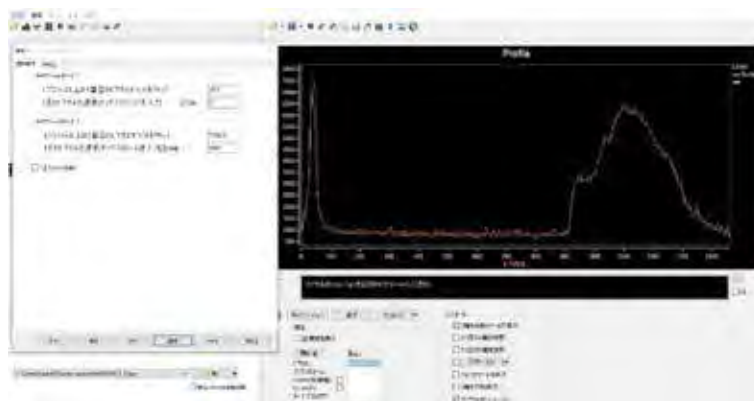
図28 切り取った星像とスペクトル

3.3. スペクトルの解析

分光解析ソフトRSpecを起動し、図28の写真を読み込み、回転補正と傾き補正を行う。さらにバックグラウンドを減算し、キャリブレーションを行う。図29はその画面であり、左端の星の位置が0次の回折光の位置になるので、波長0の基準になる。波長を決める2番目の点は、水素原子のバルマー系列の吸収スペクトルH γ になる。



これら2点をマウスで指定し、RSpecに取り込む。H γ の位置がわかりにくいときは、元素や各天体の吸収線を指し示すリファレンスが用意されているので、それをスペクトルのグラフ上に表示して決めることができる。



スペクトルの色をシミュレーションする機能もあり、

グラフの下にスペクトルがカラー表示されるので、実際に撮影したものと比較して確認することができる。

図31はこうして得られたベガのスペクトルである。A型星なので、水素原子のバルマー系列のスペクトル吸収線がはっきり出る。図32はオリオン座の低温の赤い星ベテルギウスのスペクトルである。ベガに比べ青い光の成分が少なく、M型星の特徴として、TiO（酸化チタン分子）による吸収線も確認できる。

3.4. サンプル例と高度な応用

青っぽい惑星である海王星のスペクトルを観察すると、海王星の大気に含まれるメタンの540nmと620nmの吸収が見られる。星雲を構成するガスは、特定の波長だけで輝く輝線スペクトル（例えば酸素は500nmの緑色のO γ 、水素は656.3nmの赤色のH α ）を示す。

彗星は2つの炭素原子が結合したC $_2$ やNH $_2$ などの有機物を含むことが分かる。とりわけ興味深いのは、キューサー（非常に離れた距離に存在し、極めて明るく輝いているために、光学望遠鏡では内部構造が見えず、恒星のような点光源に見える準恒星状天体）の距離がドップラー効果による赤方偏

移で求められることである。スペクトルの波長のずれから、この天体の距離を求めることができる。

図32 ベテルギユースのスペクトル

4．モノクロ冷却CMOSカメラによる紫外線領域の天体撮影

モノクロ冷却CMOSカメラと紫外線透過・可視光カットフィルターにより、金星等の惑星表面の紫外線による解析ができるようにした。金星は厚い大気に覆われ、通常の撮影では白い光の球としてしか写らないが、紫外線を用いることにより、表面の雲の動きから、自転の速さを計算することができる。

5．おわりに

実際に、月と金星の満ち欠けシミュレーション装置を小学生男子に体験してもらったところ、天体の位置関係と満ち欠けの関係を理解しやすいと概ね好評だったが、金星が見える方位や時間帯の理解を進めるにはさらなる改良が望まれる。

学生やガイドを目指す市民も、この教材で学び、星空撮影に参加することで、宇宙への知識を高め、魅力を発信できるようになると予想される。また、この太陽系シミュレーションモデルを体験して、教材の効果を検証し、指導法を精選する。この教材は、星空教育を市民のSDGs持続可能な大気環境意識向上に役立てることにもなる。本研究の活動の様子は、令和3年2月5日のNHK鳥取放送「いろどり」で紹介された。



図33 小学生による満ち欠けモデルの評価

参考文献

- [1] 未来へひろがるサイエンス 吉川弘之他、啓林館、2016
- [2] 実践ビジュアル教科書 観察でわかる中学理科の地学、福地孝宏、誠文堂新光社、2012
- [3] 天文年鑑2020 天文年鑑編集委員会編、誠文堂新光社、2019

-
- [4] 中学校理科3年板書とワークシートで見る全単元・全時間の授業のすべて2分野 金井恭裕・瀬戸治夫・山口晃弘編、2009
- [5] はじめての分光観察、五藤テレスコープ株式会社