

地球上と地球の外からの視点で 天文現象を捉えることのできる二球儀の開発

西條貴英¹⁾，中野英之²⁾，村上忠幸³⁾

1) 京都市立山科中学校 fcbpn010@ybb.ne.jp

2) 京都教育大学理学科 hnakano@kyokyo-u.ac.jp

3) 京都教育大学理学科 tmurakam@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：日周運動，月の満ち欠け，天文教育，モデル実験

（受付：2012 年 2 月 24 日）

I. はじめに

天文分野では，身近な天体の観測を通して，太陽系や恒星など宇宙についての認識を深めることが求められている。天文分野の学習では，天文現象を地球上からの視点（観測者の視点）と地球の外からの視点（俯瞰的視点）の2つの視点で扱う。例えば，天体の日周運動や年周運動，月の満ち欠けなどは地球上からの視点による現象であり，地球の自転や公転，月の公転などは地球の外からの視点による現象である。これらはそれぞれ独立した現象ではなく，互いに関連した現象であり，地球上からの視点による現象は，地球や月，太陽などの相対的な運動，すなわち，地球の外からの視点による現象によって生じるものである。そのため，天文分野の学習では，視点を地球上から地球の外，あるいは地球の外から地球上へと移動させながら考察することが多い。学習指導要領においても，観測者の視点を地球外に移動させて考えさせることの重要性が繰り返し強調されている（文部科学省，2008）。しかし，児童・生徒が日頃観察する現象は専ら地球上からの視点によるものであり，地球の外から俯瞰的に見ることはイメージがしづらく，それぞれの現象を別々に捉えていることが多い。単に天体の位置関係や相対的な運動だけを示すモデルでは，地球上からの視点で現象を捉えることが難しい場合も多いと考えられる。

以上の問題を解決するためには，二球儀や三球儀の地球のモデルに小型カメラを固定し，地球上からの視点を再現することが考えられる。しかし，市販の二球儀や三球儀は地球の外からの視点で天文現象を理解することを目的に設計されており，小型カメラを地球のモデルの任意の位置に固定して他の天体の動きを再現できるような構造になっていない。また，二球儀や三球儀は5～10万円程度と高価なものである。

そこで本研究では，天文現象を地球上からの視点（観測者の視点）と地球の外からの視点（俯瞰的視点）で同時に捉えることができ，児童・生徒の天文現象に対する時間的，空間的概念の形成の助けになる二球儀を開発することにした。

II. 地球の自転と月の公転を再現する模型教材の製作

以下のような視点を重視し，教材を製作した。

- ①月の満ち欠け，天体の日周運動を地球上，地球外の視点からリアルタイムで再現できるようにすること。

- ②地軸の傾きを忠実に再現できるようにすること。
- ③Web カメラを搭載できるように、地球のモデルをできる限り大きいものとする。
- ④異なる緯度で観測できる事象を再現できるようにすること。
- ⑤Web カメラに魚眼レンズの機能を持たせ、全天空の撮像ができるようにすること。
- ⑥1つのハンドル操作で地球の自転と月の公転を再現できるようにすること。

1. 教材の製作方法

製作する装置は、地球の自転軸に相当する金属棒と月の模型を載せた円板とを1本の回転棒にゴムバンドを用いてそれぞれ連結し、回転棒を回すことにより、1つのハンドル操作で地球の自転と月の公転を同時に再現するしくみとなっている(図1)。金属棒は輪ゴムで塩ビパイプ(A)と連結され、さらに塩ビパイプ(A)は輪ゴムで塩ビパイプ(C)と連結されている。塩ビパイプ(A)

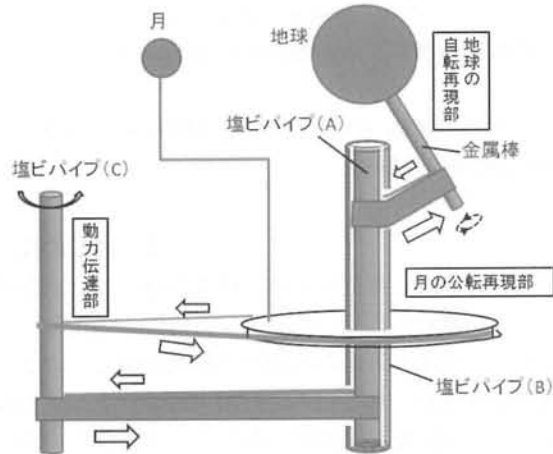


図1 製作する教材の概略図

は、2個のベアリングを用いて塩ビパイプ(B)内部に固定されており、塩ビパイプ(A)と円板はそれぞれ独立に回転できる構造となっている。製作する装置は地球の自転を再現する地球の自転再現部、月の公転を再現する月の公転再現部、動力伝達部の3部位に分けられる。以下にそれぞれの部位の作製方法を示す。

1) 地球の自転再現部

図2-aに自転再現部の製作方法を示す。

- ①地球は太陽の日周運動の記録に使用する透明半球(ケニス製 直径200mm)を2個利用して再現した。透明半球にネジ穴を開け、ZCPソケットをボルトとナットで固定し、もう一方の透明半球をセロハンテープを用いて接着させた。なお、透明半球を使用した理由は加工がしやすく、Webカメラが搭載するのに適当な程度の大きさであったためである。
- ②透明球を回転させる軸(地軸)には直径9.5mmのステンレス製の金属棒を用い、9.5mmの大きさの穴を開けた塩ビキャップにねじ山を切り、ZCPソケットと金属棒をネジで固定した。金属棒が抜け落ちるのを防ぐためとゴムバンドの連結部の移動を防ぐためのストッパーを金属棒に差し込んだ。
- ③透明球を取り付けた金属棒を木製の自転軸固定架台にブラケットで固定した。このとき、地軸の傾きが水平面に対して約23.4°になるようにボルトとナットで調節して固定した。
- ④外径32mmの塩ビパイプ(A)の両端を削りとり、内径30mmのベアリング(NTN製6806 開放型)を2個固定した後、2個のベアリングを装着させた塩ビパイプ(A)を塩ビパイプ(B)の内部に固定した。ベアリングの外径(42mm)は塩ビパイプ(B)の内径(40mm)よりも大きいため、ベアリングが固定できるように塩ビパイプ(B)の内部を金属ヤスリ

で削り落とした。

2) 月の公転再現部

図 2-b に自転再現部の製作方法を示す。月の公転は、月に見立てたボールを回転板に繋ぎ、回転板をゴムベルトで回転させることで再現する。塩ビパイプ (A) と回転板はゴムバンドを用いて連結する。地球の自転周期と月の公転周期の比は 1 : 27.4 である。したがって、透明球の回転軸である金属棒の直径と回転板の直径の比を 1 : 27.4 にすればよい。回転軸の直径は 9.5mm であるため、必要な回転板の直径は $9.5 \times 27.4 \approx 260\text{mm}$ となる。

①発泡スチロール板を加工して、それぞれ中心部に直径 5cm の穴を開けた外径 28cm の円板を 2 枚、26cm の円板を 1 枚用意し、これらを張り合わせ、ゴムバンドを連結させることのできる回転板を作製した。

②回転板には安定性確保のために直径 50mm の穴を開けた金属板をボルトとナットで固定し、さらに金属板にベアリング (NTN 製 6210 開放型) を接着させ、塩ビパイプ (B) に固定した。このとき、塩ビパイプの外径は 48mm でベアリングの内径は 50mm で 2mm の隙間が生じるため、塩ビパイプにビニールテープを巻いて塩ビパイプの外径をベアリングの内径に合わせるようにして固定をした。

③塩ビパイプ (B) には塩ビパイプ (A) と動力伝達部及び自転再現部をゴムバンドで連結させるための縦 24mm、横 35mm の切れ込みを入れ、L 字固定金具を用いて台座に固定した。

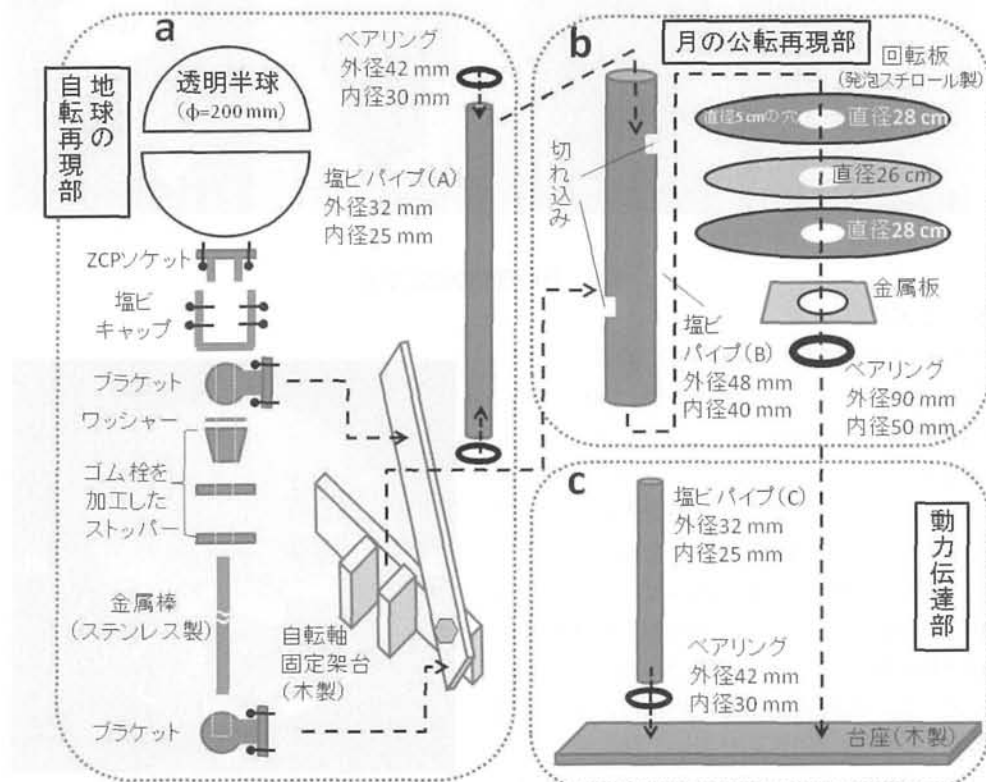


図 2 教材各部の製作方法

3) 動力伝達部

図 2 - c に自転再現部の製作方法を示す。動力伝達部の回転棒には、外径 32mm の塩ビパイプを用いた。また、塩ビ製パイプを安定して回転させるために、ここでもベアリング（NTN 製 6007 開放型）を用いた。塩ビ製パイプの外径は 32mm、ベアリングの内径は 35mm であるため、回転板の固定の時と同様に、塩ビ製パイプにビニールテープを巻いて径を大きくしてベアリングを塩ビパイプに固定した。ベアリングは台座にネジで固定するとともに、ベアリング周辺部に木をベアリング上部より押し当てて固定した。

4) 月の模型の固定方法

月の模型には、手持ちのソフトテニス用ボールを用いた。外径 10mm のアルミパイプを加工し（図 3 - a）、先端に内径 10mm の穴を開けた塩ビキャップ（図 3 - b）を装着し、先端にセロハンテープでボールを固定した（図 3 - c）。アルミパイプの回転板への固定は、アルミパイプの入る内径 10mm の穴を開けた角材を L 字アングルで回転板に固定し、角材にアルミパイプを差し込むことにより行った（図 3 - d）。塩ビキャップや角材に開けた 10mm の穴はアルミパイプがやっと入る大きさに加工したので、アルミパイプを挿入しただけでしっかりと固定できた。

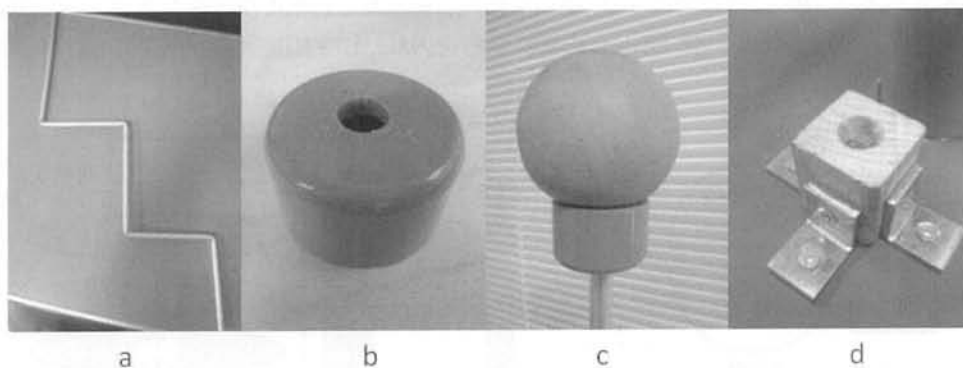


図 3 月の模型の固定方法

5) カメラ

底面が平面であり、透明球に装着しやすい Web カメラ（パッファロー製 200 万画素 CMOS カメラ）を使用した。このカメラは可動範囲が広く、天頂方向だけでなく、地平線方向にカメラを向けることができるという特長がある。しかし Web カメラを使用してみると、視野角が狭く、月の満ち欠けのモデル実験等には使用できても、天体の日周運動や年周運動を捉えることは困難であることがわかった。広い視野角を得るためには、カメラ用魚眼レンズを使用するとよい（例えば、高田ほか、2005）が、高価で重量もあり、Web カメラに接続するのは不相当だと判断した。

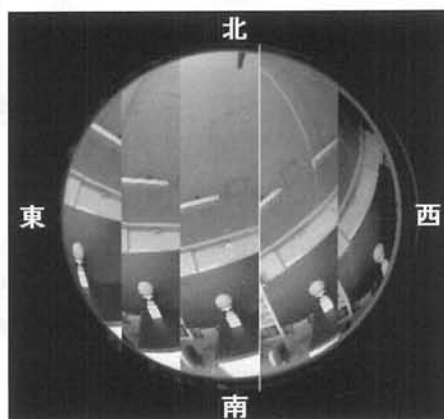


図 4 Web カメラでの試写の様子

そこで、安価で高性能の視野角 180°のドアスコープ（フィット社製高解像度ドアスコープ）を利用した。ドアスコープを Web カメラにセロハンテープで取り付け、実験用スタンドのアームに固定し、アームを回転させることにより太陽に見立てたボールの動きを撮影し、日本付近の春・秋における太陽の日周運動を再現した。その結果、180°の視野角が確保でき、コントラストも良好で、結像性能も良いことが分かった（図 4）。実際に装置に装着して使用する際には、木製の自作アダプターを用いてドアスコープを Web カメラに固定した。

各部位を輪ゴムで連結させ、完成した装置を図 5 に示す。使用する目的に応じて、ドアスコープや輪ゴムを外して使用する。地球と月の運動という点においてはやや不完全ではあるが、実際に Web カメラを取り付けて動かしたところ、天体の日周運動や年周運動、月の満ち欠け、月の見える時刻と位置などが再現できた。一つのハンドル操作だけで地球の自転と月の公転を再現できるなど視覚的に分かりやすい教材に仕上がった。装置の製作に要した費用は約 1 万円であった。

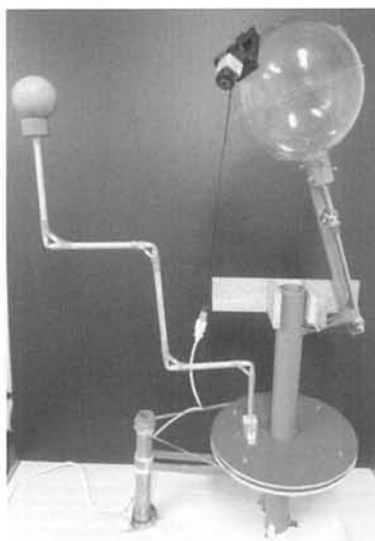


図 5 完成した教材

Ⅲ. 授業での使用に向けて

本教材を演示実験として効果的に使用方法について検討する。本教材を使用することのメリットが大きいと考えられる単元は、小学校第 6 学年（5）月と太陽、中学校第 3 学年第 2 分野（6）地球と宇宙のア. 天体の動きと地球の自転・公転 イ. 太陽系と恒星（イ）月の運動と見え方である。表 1 はこれらの単元で本教材を使用する場合に考えられるメリットと想定される留意点についてまとめたものである。

本教材を学校教育（小・中・高等学校）の現場で使用したことはまだないが、京都教育大学の初等理科教育の授業で紹介する機会があり、製作した装置を用いて月の満ち欠けを再現する演示実験を行なった。その結果、演示実験を単に見ているだけでは学生自身が自分で現象をイメージできるまでには至らないことがわかり、実際に学校現場で使用する際には児童・生徒が装置を自らの手で操作しながら学習することが重要なのではないかと感じた。そのためにも装置の量産化（少なくとも 1 班に 1 台）は必要である。また、大学生からは「月がいつも同じ面しか見えないのはなぜか」「月が大きく見える時があるのはなぜか」「赤い月が見える時があるがあれはなぜか」といった質問が寄せられた。このような疑問は日常生活における月との関わりの中で生じたものであるもので、児童・生徒も当然抱くものであることは容易に想像ができる。しかし、このような、学習者が抱く興味・関心は学校教育では扱わない内容である。学習者が日常生活の中で抱く月についての疑問と学習事項とをうまく結びつけていく工夫も必要であろう。

表1 製作した教材を活用できる単元

単元	小学校 第6学年 (5) 月と太陽	中学校 第3学年 第2分野 (6) 地球と宇宙	
学習内容	ア 月の形の見え方と、 太陽と月の位置関係	ア 天体の動きと地球の 自転・公転 (ア) 日周運動と自転 (イ) 年周運動と公転	イ 太陽系と恒星 (イ) 月の運動と見え方
メリット	・月と太陽の位置関係を見ながら、満ち欠けの様子が確認できる。 ・満ち欠けの様子がスクリーン上で確認できるため、共通理解が図りやすくなる。	・地球上の任意の地点における日周運動を再現することができ、緯度による日周運動の違いが簡単に確認できる。 ・白夜などの現象が再現可能となる。 ・それぞれの現象を、地球上からの視点（観測者の視点）と地球の外からの視点（俯瞰的視点）で同時に確認することができる。	・現象を、地球上からの視点（観測者の視点）と地球の外からの視点（俯瞰的視点）で同時に確認することができる。 ・月の見える時刻と位置の再現が可能となる。
留意点	この単元では、地球から見た太陽と月の位置関係を扱い、地球の外からの月や太陽の見方は扱わないので、使用の際には注意が必要である。		・月の見える時刻と位置の再現の際、ドアスコープによる画面端の歪みが大きく、満ち欠けが正確に再現できなくなるため注意が必要である。 ・実際とのスケール比の違いの影響を大きく受けてしまうことにも注意する必要がある。

IV. まとめ

今回、地球の自転や月の公転や、それによって起こる見かけの運動をはじめとして、様々な天文現象の再現を試み、多くの現象について再現することができた。また、地球上のあらゆる地点における日周運動の再現や、天文現象の地球上からの視点と地球の外からの視点での同時再現など、これまでできなかったことができるようになった。これは、本研究

の大きな成果である。

しかし、本教材はあくまでモデル教材である。そのため、再現と言っても実際の現象を正確に再現しているわけではなく、それらしく再現しているに過ぎない。例えば、模型装置の製作では、できる限り実際の現象に近づくように、完成度を高めることを目的として製作を進めた。しかし、地球と月の距離や月の軌道面の傾きなど、物理的に再現が困難なものが多くあった。

これらのことは、授業の中で生徒に積極的に説明する必要はないと思われる。しかし、モデル教材を使用する教師側は、何が再現できていて何が再現できていないのかを十分に把握しておかなければならず、目的に応じて教材を使用する必要があるのだと、本研究を通して強く感じた。

文献

- 文部科学省 2008. 中学校学習指導要領解説 理科編, 87.
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. Dworetzky・Ian A. Crawford 2005. 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, 101-106.