

金星の見え方の変化を理解するための 3D教材の開発と実践

吉富 健一・福嶋 泰之*

(2022年12月5日受理)

Development of 3D Teaching materials for Understanding the Visibility of Venus

Kenichi Yoshidomi and Yasuyuki Fukushima

Abstract: Although students are highly interested in astronomy, they have difficulty understanding the content. Previous studies have pointed out that one of the reasons for this is that students doesn't retain the "ability to shift their viewpoints". In this study, we developed 3D teaching materials that show the changes in the shape of Venus as it orbits, because we thought it was necessary to develop the "ability to shift the viewpoint" to correctly understand the shape of Venus that changes with its orbital motion. As a result of learning activities using the developed 3D teaching materials, it was confirmed that certain effects were obtained in understanding the changes in the shape of Venus as seen from the Earth.

Key words : 3D, ICT, Teaching material, Venus, Three.js

1. はじめに

理科学習において、“視点移動能力”は重要な役割を果たしており、左右、上下、前後（表裏）、角度、方位などの方向概念は、視点移動能力を基にして形成される（荒井，2000）。しかしながら、視点移動能力の習得は、単元目標や授業目標として明確に位置付けられておらず、理科学習で十分に習得されているとは言い難い実情がある（荒井，2000）。

小学校で始まる月の学習と異なり、金星の公転運動による地球からの見え方の変化は、小学校では扱われず、中学校第3学年の天文分野の学習において始めて取り扱われる。

中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編では、「金星の観測資料などを基に、金星の公転と見え方を関連付けて理解すること。」「『金星の公転と見え方』については、金星の運動と満ち欠けや見かけの大きさを扱うこと。」「金星の観測資料などから、金星の見かけの形と大きさの変化を、金星が地球の内側の軌道を公転していることと関連付けて理解させることがねらいである。」「金星の運動と見え方については、観測資料を基に金星

の見かけの形と大きさが変化することを見いださせる。その上で、例えば、地球から見える金星の形がどのように変化するかという課題を解決するため、太陽と金星の位置関係に着目してモデル実験の計画を立てて調べさせる。その後、課題に対して実験方法や考察が妥当であるか探究の過程を振り返らせることが考えられる。その際、観察者の視点（位置）を移動させ、太陽、金星、地球を俯瞰するような視点と、地球からの視点とで考えさせることが大切である。」と記載されている。

まとめると、中学校学習指導要領では金星の見かけの形と大きさの変化を、公転と関連付けて理解させることが重要視されている。また、観察者の視点を移動させて考えさせることも併せて重要視されている。

平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査によると、中学校第3学年の理科の10小単元中、「太陽系と惑星」、「天体の動きと地球の自転・公転」を「好きだった」と答えた生徒の割合は2番目と3番目に高い一方で、「よく分かった」と答えた生徒の割合は5番目と8番目と低かった（国立教育政策研究所，2005）。教師への質問紙でも、

* 広島大学大学院人間社会科学科博士課程前期

「天体の動きと地球の自転・公転」、「太陽系と惑星」が「生徒にとって理解しにくい」と答えた教師の割合が1番目と4番目に高い(国立教育政策研究所, 2005)。

天文分野の学習において、生徒の興味関心が高いにもかかわらず、学習内容が定着しにくい要因の一つとして、生徒に視点移動能力が身に付いていないことが先行研究で指摘されている(吉野ほか, 2010; 間處・林, 2013)。

吉野ほか(2010)は、中学校で金星を学習する際の課題として、「視点移動能力は実生活の中であまり意識して使われることがなく、また、他の教科や単元においてもあまり使われることがない。そのため、視点移動能力は日常的に育成される機会が少ないので、天文の単元が学びづらいという状況になってしまう。」と指摘している。また学習内容の具体的な課題として、距離と視直径の関係について生徒の意識が低いことを指摘している(吉野ほか, 2010)。

菅井・黒田(1992)は、地球から観察する惑星の翌日以降の移動、つまり地球から観察する惑星の公転について、大学院生や大学生および中学生が理解できていないことを指摘している。

このような「金星の見える方」の学習について課題がある中で、間處・林(2013)は、Mitaka(国立天文台, 2003)による金星の満ち欠けに、観察と作図によって形や視直径の変化を明らかにする2つの学習活動を行うことで、十分なインプットを繰り返した後に必要に応じたアウトプットを行う構成となり、視点移動能力の習得につながると指摘している。

さらに間處ほか(2016)は、地学領域の学習において、生徒の生活経験では得ることが難しい複雑なイメージを形成するイメージインプットと呼ぶべき学習活動が重要であると指摘している。また、Mitakaのような立体的な映像を自分の操作で動かしながら観察する活動が有効なイメージインプットになると指摘している。しかし、Mitakaでの観察を中学校で行う場合、操作の習熟に時間が必要な点が課題であり、より簡単で直感的な操作で利用できるコンテンツが必要だと指摘されている。

月は地表から目に見える形で、形や見える位置が変化していき、地球の周りを公転しているため視直径の変化が少ない。そのため、小学校高学年から学習が始まり、月の公転と形の変化を結びつけた学習教材も多く報告されている。ところが金

星は、図1に示すように、時期により西の空に見えたり東の空に見えたりと複雑な変化を示す。また、地表からの肉眼による観察では明るい一番星としてしか認識できず、視直径や形の変化を確認するためには望遠鏡による観察が必要となる。さらに、公転周期225日の金星と地球の会合周期は約584日となるため、実際に観測を行おうとすると約二年あまりの期間を必要とし、あまり身近な学習教材とは言えない現状がある。

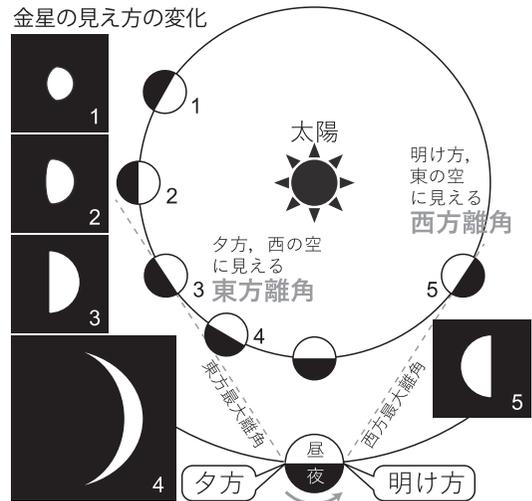


図1. 金星の公転と見え方の変化

本研究では、月と同様に、公転運動に伴って変化する金星の形と視直径の変化を正しく理解・認識できるようになることが、日常的に育成することの難しいとされる“視点移動能力”育成の一助となると考えた。そこで地球の周りを公転する月とは異なり、地球と同様に太陽の周りを公転している金星の、公転運動に伴う見え方の変化を再現する3D教材の開発を行った。また開発した3D教材を活用した学習活動を通して、公転運動に伴う金星の形と視直径の変化を正しく認識できるようになるか、その際、3D教材がどの程度、学習者の理解に役に立ったか検証を行った。

2. 金星の見える方の変化を示す3D教材の開発

中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編では、「各分野の指導に当たっては、観察、実験の過程での情報の検索、実験、データの処理、実験の計測などにおいて、コンピュータや情報通信ネットワークなどを積極的かつ適切に活用するようにすること。」「コンピュータや情報通信ネッ

トワークなどを活用することは、生徒の学習の場を広げたり学習の質を高めたりするための有効な方法である。」と記載されており、今回開発・活用した3D教材の活用はこれに該当する。

天文分野におけるICT教材の授業実践の例として、AR(拡張現実)教材を用いたもの(森田ほか, 2011; 小松ほか, 2013)や、Mitaka等の3Dシミュレーション教材を用いたもの(久保田ほか, 2007; 間處・林, 2013; 間處, 2016)、タンジブル教材を用いたもの(森田・瀬戸崎, 2012; 瀬戸崎ほか, 2012)等が挙げられる。これらの教材は学習者の視点移動能力や、空間的思考力を育成するために開発され、一定の効果を得ている。

間處(2016)は、イメージを動かす操作と連動する画像を観察するコンピュータシミュレーションの活用は、イメージインプットとして非常に大きな意義があることを指摘しており、自身のイメージを簡単に可視化できることがICT教材の利点であると指摘している。

天文分野における星、太陽や月などの動きの学習など、変化に長い時間がかかる現象は、人間が観察するのに困難を伴うことが多く、本物を観察する代わりにHTML5技術を活用して現象を分かりやすく提示することが、学習者の理解にとって有効であることが指摘されている(吉富, 2013; 吉富 2015)。しかし、WebGLで3D表現をするために、オブジェクトを表示するためには多くのJavaScriptやGLSLコードを書く必要がある。

そこで本研究では、手軽に3Dコンテンツを制作できる商用利用可能なJavaScriptライブラリであるThree.jsを用いて、金星の公転運動に伴う地球から見た金星の見え方の変化を再現する3D教材の開発を行った(図2)。

今回開発した3D教材の特徴は3つあり、

1つ目は、カーソルを上下に動かすことで、金星の公転軌道を俯瞰する宇宙視点と、地表から星空を眺める地球視点とを自由に切り替えられる点
2つ目は、地表から見える金星と、太陽の位置関係を把握できる点。画面下部でカーソルを左右に動かすことで、夕方の西の空に見える金星と太陽の位置関係と、明け方の東の空に見える金星と太陽の位置関係を切り替えて表示することができる点

3つ目はクリック操作により、金星の公転運動を止めたり、再び動かしたりできる点である。

今回開発した3D教材は、地球から見た金星の見え方の変化を、金星の公転と関連付けて理解す

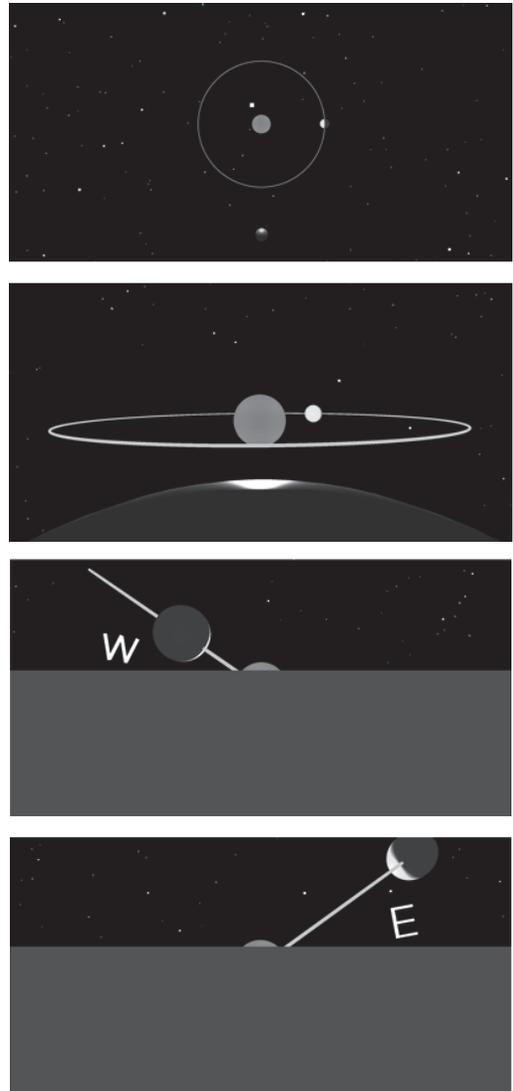


図2. 3D教材の画面表示例

ることを主目的としているので、太陽や金星の大きさ、金星や地球の公転半径等を、わかりやすいイメージとして表現しており、厳密に再現したものではない。

地球が自転軸を公転面に対して傾けた状態で太陽の周りを公転していることに起因して、実際の金星や太陽は、季節によって見える位置が変化する複雑な動きをしているように見える。

3. 教育実践とその結果

3D教材を用いた教育実践は、教育学部で8セ

メに開講される『教職実践演習（中・高）』で地学を受講した受講生 18 名を対象とした。この年の『教職実践演習（中・高）』は、オンラインで開講されたため、オンデマンド形式により教育実践を行った。教育実践は、表 1 に示すように、現状把握のための事前アンケートおよびプレテスト、3D 教材を用いた学習活動、事後アンケート、理解度を測るためのポストテストの順に行った。

表 1. 教育実践の流れ

1	・事前アンケート ・プレテスト
2	・3D 教材を用いた学習活動
3	・事後アンケート ・ポストテスト

3.1 事前アンケート

事前アンケートによると、18 名全員が理科の教員免許取得を目指す理系学生であり、1 名が高校で地学、2 名が地学基礎を履修しており、4 名は大学で天文分野について学習していたが、その他 11 名には地学および天文分野の学習経験は無かった。

中学校での金星の学習経験に対する問いでは、「学習した」が 8 名、「学習していない」が 2 名、「覚えていない」が 8 名であった。「中学校で金星について学習した際、どのようなことをしましたか。」という問いに対して、覚えていない人が 12 名、学習していない人が 2 名であった。残りの 4 名は、「作図、モデル実験（ライトで球体を照らす）、ビデオ」「先生の話聞くだけ、テストでは作図をした。」「先生の話聞いただけ。」と回答している。

これらのことから、いずれにしても、中学校の学習内容における金星の認識は低いといえる。

3.2 プレテスト

学習者の現状把握を行うため、栗原ほか (2015)、栗原ほか (2016)、西村 (2018) などを参考に、プレテストを作成し、実施した。

プレテストは 2 問構成 (図 3) で、地表から見える金星の形や大きさ、および季節変化に伴う金星の見え方の変化についての内容で、各問の観点については、①視点移動ができるか、②金星の視直径の変化が分かるか、③翌日以降の見える位置の変化が分かるか、の 3 つを設定した。

以下、評価の観点①から③について結果を示す。

1. 次の図は、地球の北極側からみた金星の公転の様子を模式的に表しています。以下の設問に回答してください。

(1) 金星がア～オの位置で、地球から見て南の空にあるとき、地球から見える金星の形を描いてください。また、そのように描いた理由を書いてください。

形	理由
ア	
イ	
ウ	
エ	
オ	

このページの回答を終了するまでは次のページは見ないようにして下さい。

前のページに戻らないでください。

2. 次の図は日の入りのときの金星を表しています。翌日以降の金星の位置は図のア～エのどの位置に移動して見えるでしょうか。ア～エの中から選んでください。また、そのように考えた理由を書いてください。

位置. _____

理由. _____

このページで終わりです。ありがとうございました。

図 3. プレテストの内容例

「視点移動ができるか」を問う評価の観点①の正答率は 50% (8 名) であった。誤答例としては、金星が最大離角の位置にあるとき、金星が半円形

になっていないものが37.5% (6名), 球にあたる光と陰の形を正確に認識できていないと思われるものが6.3% (1名)などが挙げられる。

金星が最大離角のとき半分見えていないと解答した学生の中には, 地球と太陽を結ぶ線と垂直になるように金星に影ができると考えている学生もおり, 太陽と金星の距離が十分に遠く, 太陽光線が図のア～エの位置の金星すべてに平行にあたると思ったと思われる。逆に, 金星には太陽から放射状に光が当たっているが, 地球と太陽を結ぶ線と垂直な線より地球側だけが見えていると考えている学生もおり, 地球と金星の距離が十分に遠いと思ったと思われる (図4)。他にも, 地球-太陽-金星の角度が 90° になる位置で, 金星が半分 (半円形に) 見える, と考えた学生もいた。

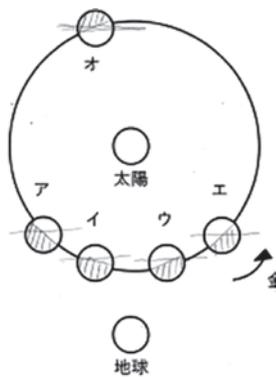


図4. プレテストの誤答例

「金星の視直径の変化が分かるか」を問う評価の観点②の正答率は12.5% (2名)であった。誤答例としては, 金星の太陽に照らされ見えている面積が大きくなるほど, 金星の視直径が大きくなると考えているものが31.3% (5名), 金星が太陽から遠ざかる程, 地球から見える金星の視直径が大きくなるものが6.3% (1名)などが挙げられた。これらは全て“金星の視直径は, 地球と金星との距離に反比例する”ことの認識が欠けている。

「翌日以降の見える位置の変化が分かるか」を問う評価の観点③の正答率は, 50% (8名)であった。正答は「ウ: より太陽に近づく」で, 西に移動すること意味する。誤答例として, 金星が常に東から西に移動するもの18.8% (3名), 金星が太陽と同じように動いているもの6.3% (1名), わからない6.3% (1名), 具体的な記述が無いものが18.8% (3名)であった。日周運動により星

の動きも東から西へと移動するため, 日周運動と同様に考えた学生がいたことが想定される。

学習者の既習状況とプレテストの結果を踏まえて学習者を評価すると, 学習者は, 視点移動能力を有しているものの, 金星の公転運動によって地球から見た金星の形や視直径が変化するという現象を正確に理解できていない, とまとめられる。

3.3 3D教材を用いた学習活動

3D教材を用いた学習活動は, 初めに3D教材の使い方の説明を行った後, ワークシートを使った活動を行わせた。

ワークシートは3問構成 (図5)で, 実際にPCやタブレット端末等を用い, 3D教材の操作を行いつつ問題に解答する形式である。オンデマンド型の授業であったため, 実際に学習者が取り組んでいる様子は観察できなかったため, 提出されたワークシートから読み取れた点について述べる。

問1は宇宙視点の金星から, 地球視点へと視点を移動し, 金星の満ち欠けの様子を形と視直径の変化に注意して観察する問題である。

3D教材を用い, 宇宙視点で公転している金星を, ワークシート (図5: 上)にあるア～オの各地点で止め, 視点を地球視点へと移動した上で, 金星の形を描く内容である。問1のねらいは, 宇宙視点と地球視点の切り替わる過程を観察することで, 地球と金星との距離が変化することで金星の視直径が変化することに気づかせることである。

金星の形として, ちょうど左側半分が欠けている形で描いた学習者は約半数程度であった。これは, 3D教材のレスポンスとして, 設問にあるちょうどどの位置で公転を止めることが難しかったことが原因として考えられる。

誤答例として, カの位置にある金星が, ちょうど左側半分が欠けている形として描いた学習者が8名いた。3D教材を用いれば, そうでないことが明らかであるため, 3D教材を用いずに解答したか, プレテストでの誤答例そのままに, 先入観によって3D教材で見たままの形を描けなかったことが想定される。

問1では注釈として, 金星の視直径の変化に注意して描くよう明記しており, ワークシートに取り組む前にも注意するよう促した。にもかかわらず, 全ての金星を同じ大ききで描いた学習者が5名いた。この5名のうち4名が, カの位置にある金星の形として, ちょうど左側半分が欠けている形を描いていた。

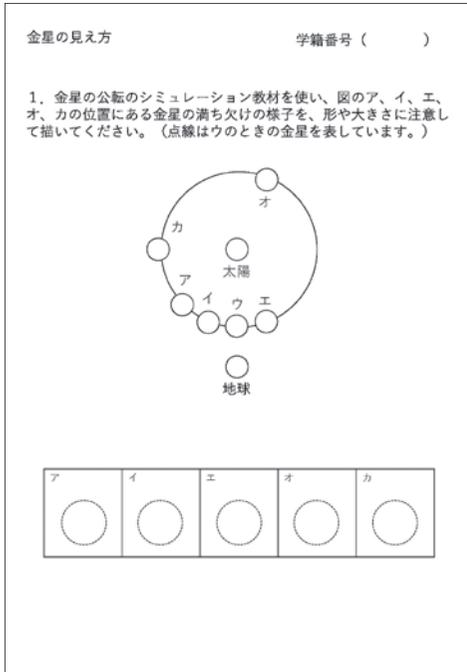


図 5. ワークシートの例

問 2 は宇宙視点での金星の位置と、地球視点での金星の位置を、視点を移動し観察する問題である。3D 教材を用いて宇宙視点で金星を公転させ、

ワークシート (図 5: 上) のア、イ、エ、オの位置で公転を止め、視点を宇宙視点から地球視点へと移動し、見える方角を記述させた。問 2 のねらいは、公転軌道上の金星の位置と、地球視点での金星の位置を関連付けて観察することで、地球視点での金星の公転の様子を理解させることである。

地球の自転方向から、朝および夕の位置を考え、これにもとづき東方および西方離角の違いから金星の見える方角 (西の空、あるいは東の空) を正答できた学習者は 7 名だった。この問も 3D 教材で観察した結果を描くだけにもかかわらず、正しく答えられない学習者が多かった。

誤答例として、エの位置にある金星と、オの位置にある金星について、オの離角の方を大きく描いている学習者が 6 名いた。また、エの位置にある金星と、オの位置にある金星の離角を同じに描いている学習者が 2 名いた。また、日の入り (西の空) や日の出 (東の空) の際に、金星の太陽側が正しく照らされていない学習者が 4 名いた。月の形の変化として学習しているはずの、太陽の光があたっている部分が輝いて見えている、という認識が欠けていると思われる。

問 3 は地球視点で金星を見たとき、金星が最も大きく見える場所、小さく見える場所を、宇宙視点で金星の公転軌道上の位置と照らし合わせて観察する問題である (図 5: 下)。地球視点で金星を動かし、各地点で公転を止め、視点を地球視点から宇宙視点へと移動し記録させた。問 3 のねらいは、3D 教材を用いて地球視点から宇宙視点へと視点を移動し観察することで、金星の見え方と、金星の公転軌道上の位置とを関連付けて考えることである。問 3 は学習者全員が正答していた。

3.4 ポストテスト

3D 教材を用いた学習活動の評価を行うために、ポストテスト (図 6) を作成し実施した。

問 1 は、プレテスト・ワークシートで使用した宇宙視点の図を、反時計回りに 90 度回転させたものを使用した (図 6: 上)。またプレテストで、「太陽の影響で金星は見えない」と答えた学生がいたため、ポストテストでは「地球から金星を見ることが出来ます」という注意書きを加えた。

問 2 では、西の空に見える金星 (東方離角) から、東の空に見える日の出の金星 (西方離角) へと変更した (図 6: 下)。また、金星の満ち欠けを、西方最大離角の位置より公転し満ちている状態へと変更を加えた。

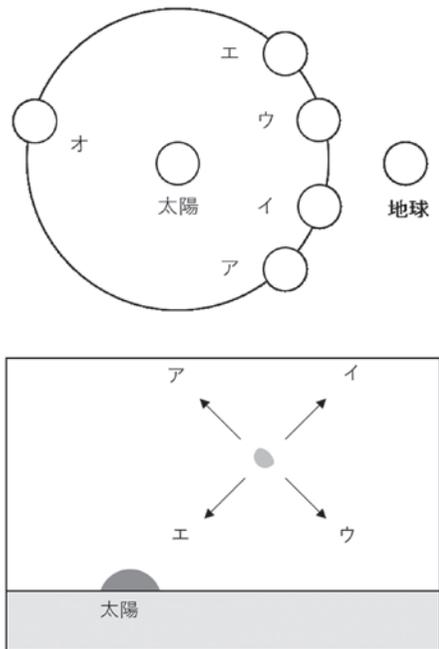


図 6. ポストテストの問題例

ポストテストの評価の観点はプレテストと同様としたものの、現象を正しく理解していないと、単純に暗記では解答できないよう、少しずつ変更を加えたにもかかわらず、それぞれの問の正答率は、すべての間で増加していた。

以下、評価の観点①から③について結果を示す。

「視点移動ができるか」を問う評価の観点①の正答率は、プレテストの 50% (8 名) から上昇して 75% (12 名) となった。誤答としては、宇宙視点での金星の位置を間違えている学生が 12.5% (2 名)、宇宙視点での金星の位置について記述がない学生が 12.5% (2 名) であった。

「金星の視直径の変化が分かるか」を問う評価の観点②の正答率は、プレテストの 12.5% (2 名) から大幅に上昇して 87.5% (14 名) となった。記述が正しくなかった 1 名の学生は、金星の直径が離角と反比例の関係にあると記述していた。

「翌日以降の見える位置の変化が分かるか」を問う評価の観点③の正答率は、プレテストの 50% (8 名) から上昇して 75% (12 名) であった。誤答例としては、宇宙視点で金星の公転に関する記述がみられなかった学生が 3 名、問題が理解できず日周運動で考え南の空に動くと考えた学生が 1 名であった。

4. まとめ

従来、金星の学習における課題として、学習者に視点移動能力が身に付いていないことが指摘されている (吉野ほか, 2010; 間處・林, 2013)。また吉野ほか (2010) は、距離と視直径の関係について生徒の意識が低いことを指摘している。菅井・黒田 (1992) は、地球から観察する惑星の翌日以降の移動、つまり地球から観察する惑星の公転運動について、大学院生や大学生および中学生が理解できていないことを指摘している。

本研究における教育実践での受講者のプレテストの結果より、「視点移動ができるか」を問う評価の観点①の正答率は 50% (8 名)、「金星の視直径の変化が分かるか」を問う評価の観点②の正答率は 12.5% (2 名)、「翌日以降の見える位置の変化が分かるか」を問う評価の観点③の正答率は、50% (8 名) であった。この結果から、理科の教員免許取得を目指す理系学生であっても、それぞれの問題の正答率は 50% 程度と低く、先行研究で示された課題と傾向は、本教育実践の受講生でも同様であることが示された。

本研究では、「生徒に身に付いていない」とされる“視点移動能力”を補助し、金星の公転運動に伴う金星の見え方の変化を正しく理解させる目的で 3D 教材を作成し、これを活用した学習活動を行なった。学習後に実施したポストテストでは、全問正解とまではいかなかったものの、すべての設問において正答率は増加していた。

このことは、実際に観察するためには望遠鏡を用いて約二年近く観測を行う必要のある、金星の公転運動に伴う金星の視直径と形の変化の理解において、3D 教材を実際の観測・観察の代用とすることで、一定の学習効果を得られることを示すことができたと考える。

さいごに学習活動に関するアンケートの結果を記しておく。この中で 3D 教材に関する質問「金星の見え方と公転とを関連付けて理解するのに役に立った」「宇宙視点と、地球視点との視点移動を行う際に役に立った」では、約 8 割の学生が肯定的な回答していた。また自由記述においても、「3D 教材を使うことによって、生徒一人一人の観点で操作することができるのは授業内容を理解するのに大いに役立つと感じた」などの回答も見られた。教科書や資料集などの印刷物に代わり、自分で操作を行うことのできる 3D 教材を活用することで、金星の見え方と公転を関連付けて理解することや視点移動能力の支援につながったと考える。

引用文献

- 荒井 豊 (2000) : 理科における視点移動能力の習得に関する一考察 : 「地球の自転」の指導において. 理科教育学研究, 41(1), 25-36.
- 国立教育政策研究所 (2005) : 平成 15 年度教育課程実施状況調査 質問紙調査集計結果一理科一.
- 国立天文台 4 次元デジタルプロジェクト (2003) : Mitaka
- 小松祐貴・渡邊悠也・桐生徹・中野博幸・久保田善彦 (2013) : AR 教材活用による「月の見え方」に関する空間認識の変容. 日本科学教育学会研究会研究報告, 27(6), 1-6.
- 久保田善彦・山下淳・奥村信太郎・葛岡英明・加藤浩 (2007) : 太陽系シミュレーションを利用した月の満ち欠け学習の実践と効果. 科学教育研究, 31(4), 248-256.
- 栗原淳一・濤崎智佳・小林辰至 (2015) : 中学生の満ち欠けの理解に関わる空間認識能力に影響を及ぼす諸要因の因果モデル. 理科教育学研究, 56(3), 325-336.
- 栗原淳一・益田裕充・濤崎智佳・小林辰至 (2016) : 天体の位置関係を作図によって位相角でとらえさせる指導が満ち欠けの現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果一中学校第 3 学年「月の満ち欠け」と「金星の満ち欠け」の学習を事例として一, 理科教育学研究, 57(1), 19-34.
- 間處耕吉・林武広 (2013) : 視点移動能力の習得を重視した金星の見え方の新指導. 地学教育, 66(2), 31-41.
- 間處耕吉 (2016) : 金星の新指導を応用した, 小学校「月の形の見え方」の学習指導. プール学院大学研究紀要, 57, 187-197.
- 間處耕吉・吉富健一・林武広 (2016) : イメージインプットを取り入れた地学領域の学習指導. 日本科学教育学会第 40 回年会論文集, 425-426.
- 森田裕介・藤島宏彰・瀬戸崎典夫・岩崎勤 (2011) : デジタル教材を重畳提示する天体学習用 AR テキストの開発と評価. 日本教育工学会論文誌, 35, 81-84.
- 森田裕介・瀬戸崎典夫 (2012) : 天体学習におけるタンジブル教材の効果に関する実践的検討. 日本科学教育学会年会論文集, 36, 460-461.
- 西村一洋 (2018) : 視点移動能力についての評価規準設定の研究一第 6 学年「金星の満ち欠け」の学習を事例として一, 理科教育学研究, 59(1), 147-159.
- 瀬戸崎典夫・岩崎勤・森田裕介 (2012) : 多視点型天体教材を用いた授業実践における能動的学習の効果. 日本教育工学会論文誌, 36(2), 81-90.
- 菅井勝雄・黒田卓 (1992) : 科学教育における「天文」の教育方法の開発研究一ハイパーメディア利用による自己内省型学習環境の構築をめざして一. 日本科学教育学会研究会研究報告, 6(6), 7-10.
- 吉富健一 (2013) : 理科教材の開発における HTML5 の活用. 広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部, 62, 27-33.
- 吉富健一 (2015) : WebGL を用いた天体学習用 3D 教材の開発. 広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部, 64, 9-16.
- 吉野晃生・岡崎彰・益田裕充・丹羽孝良 (2010) : モデル実験による視点移動能力育成支援の試み一金星の見え方に関する授業を事例として一. 群馬大学教育実践研究, 27, 47-53.