

モデルと他者との対話を通じて月と金星の満ち欠けを理解させる授業の開発と評価

柴田道世¹⁾

山下修一²⁾

¹⁾銚子市立第一中学校

²⁾千葉大学・教育学部

Development and Assessment of a Lesson to Enable Students to Understand the Phases of the Moon and Venus through a Model and Interaction with Others

SHIBATA Michiyo¹⁾

YAMASHITA Shuichi²⁾

¹⁾Choshi City First Lower Secondary school

²⁾Faculty of Education, Chiba University

本研究では、モデルと他者との対話を通じて、月と金星の満ち欠けを理解させることを目的として実施した。公立中学校3年生3クラス84名を対象にして、月と金星の満ち欠けの学習において、新たに開発した一人一モデルを操作させ、月や金星の見え方について他者に説明させる授業を展開した。開発したモデルは、部品の配置を換えることにより、月の満ち欠けと金星の満ち欠けの両方を調べるができるマルチ説明器である。生徒は、モデルを操作する中で月や金星の見え方が変化することを見出し、モデルを媒介して見出したことを他者に伝えた。その結果、他校の3年生4クラス135名の事後調査結果と比較して、新たに開発したモデルの操作や見出したことを他者に説明させることにより、月と金星の満ち欠けの理解を促したことが実証された。

This study was conducted to enable students to understand the phases of the moon and Venus through a model and interaction with others. The subjects of the study were 84 12th-grade students from three classes in a public school. During the lesson, each student operated a newly developed model and explained the appearances of the moon and Venus to others. The model is an all-around explanation device that can check on the phases of both the moon and Venus by changing the placement of its parts. The students discovered while operating the model that the appearances of the moon and Venus would change and told other students what they had discovered from the model. The results verified that asking students to operate the newly developed model and tell others about their discoveries facilitated understanding of the phases of the moon and Venus, in comparison with results obtained in a post-survey conducted with 135 12th-grade students from four classes in other schools.

キーワード：モデル (model) 対話 (interaction) 月の満ち欠け (phases of the moon)
金星の満ち欠け (phases of Venus)

1. 問題と目的

月の満ち欠けを授業で扱う際には、三球儀が用いられることが多いが、非常に高価なものが多く、簡単に入手できるものではない。平成24年に実施された中学校理科教育実態調査において、実験機器等の整備状況について、三球儀への回答は、「演示実験分のみ」「ない」の合計が97%とかなり高くなっている(科学技術振興機構, 2012)。このような状況では、一人ひとりが三球儀を操作しながら学習を進めていくことは極めて困難である。また、月の満ち欠けなど多くの自然現象は三次元の現象であるため、三球儀のような立体モデルを操作するなどの実体験を充実させなければ理解させることは困難である。

そこで、三球儀を安価にクラスの人数分を製作することにより、生徒一人ひとりにモデルを操作させながら学

習を進めることができると考えた。開発にあたっては、船越浩海(ハートピア安八天文台)が開発した「月の満ち欠けのしくみが分かる 太陽・地球・月の三球儀」を参考に製作した。船越が開発したモデルは、地球を中心として月を公転させることで月の満ち欠けを調べることができるものである。このモデルは、同じ径のプーリーにウレタンベルトをかけて月を公転させると、月の黄色く塗装した面が常に一定方向(太陽方向)を向いたまま回転させることができる仕組みを利用したものである。本研究では、船越が開発したモデルを太陽を中心として金星を公転させて、金星の見え方の変化を調べることができるものとしても使用できることに着目した。月の満ち欠けは、月の公転により月に太陽の光が当たっている部分の見え方が地球から見て少しずつ変化する。また、金星の見え方の変化についても、金星は公転しており、その周期が地球と異なるために、金星に太陽の光が当たっている部分の見え方が地球から見て少しずつ変化する。このように、月と金星は、自ら光を出していないので、

連絡先著者：山下修一 syama@faculty.chiba-u.jp

常に太陽側の半分だけに光が当たって輝いている。このことから、月モデルと金星モデルは、球体の片側半分に光が当たっていることが分かるように黄色で塗装し、もう一方を黒く塗装したものを共通のモデルとして使用することができる。また、月の満ち欠けに関わる天体は、月、太陽、地球であり、金星の見え方の変化に関わる天体は、金星、太陽、地球である。そこで、月の満ち欠けと金星の見え方の変化共通モデルを製作し、天体モデル（地球、太陽、月、金星）の位置を入れ替えることで月の満ち欠けと金星の見え方の変化の両方を調べることができる「天体現象マルチ説明器」を開発した（図1）。

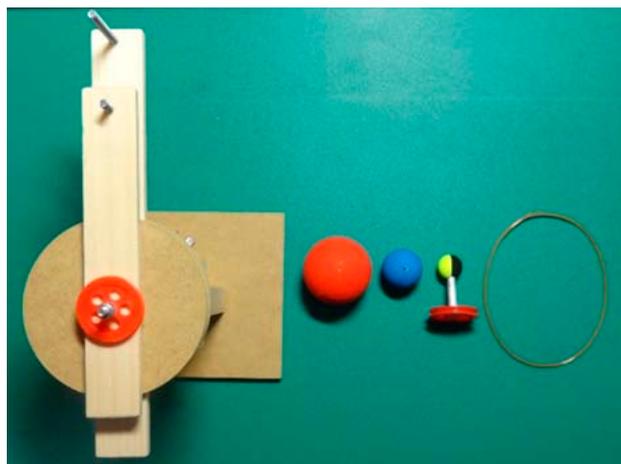


図1 天体現象マルチ説明器(左から本体、太陽、地球、月・金星、ウレタンベルト)

月の満ち欠けの学習と金星の見え方の変化の学習において、同一のモデルを使うことの利点は、「月の運動と見え方」で獲得した月の満ち欠けに関する知識や概念をその後の「惑星の見え方」の学習で扱う金星の見え方の変化と関連付けて考えさせることができる点である。同一のモデルを使用して進める学習では、月も金星も太陽がある方向の半分だけが光り輝いたまま公転することによって、その部分の見え方が変わるといった類似点や、金星の公転によって地球との距離が大きく変化することによって金星の見かけの大きさも変化するという相違点を見出しやすくなるものと考えた。なお、金星の見え方の変化を調べるためには、太陽を中心として、月の満ち欠けで使用したウレタンベルトを使用せずに、金星を公転させる。

月の満ち欠けの説明が困難なことは、様々な研究で報告されており（例えば、Sharp (1996), 金子・津田・片平・芦田 (2010)), 単にモデルを操作すれば月や金星の満ち欠けの説明ができるようになるわけではない。そこで、本研究ではモデルを操作させながら、他者に月や金星の満ち欠けの理由を説明させる活動を取り入れることにした（山下, 2013）。

本研究では、新たに開発した天体現象マルチ説明器を生徒一人ひとりに操作させながら、他者に月や金星の満ち欠けの理由を説明させることで、生徒の理解を促すことができるのかを検証することにした。

2. 方法

上述の目的を達成するために、開発した授業をA校で実施し、比較のためにB校に依頼して事後調査を実施した。

2.1 調査対象と実施時期

2014年9月下旬から10月下旬にかけて、開発した授業を千葉県内の公立中学校（A校）3年生3クラス（84人）を対象として実施した。A校では、単元「地球と宇宙」の前後に月と金星の見え方についての事前・事後調査を実施した（事前調査では月の見え方のみ）。

また、比較のために2014年12月から2015年1月にかけて単元「地球と宇宙」を展開し、平成23年検定済大日本図書の中学校理科3年の教科書に沿って、演示モデルで月の満ち欠けと金星の見え方を1時間ずつ合計2時間で行った千葉県内の公立中学校B校3年生4クラス（135人）で事後調査を実施した。

2.2 調査項目

2.2.1 事前・事後調査

単元「地球と宇宙」の前後で表1のような事前・事後調査を実施した（事前調査は①のみ、B校は事後調査のみ）。問題①は、月が地球の周りを公転することにより、半分だけ光っている部分の見え方が変化することについて理解できているかを問う問題である。問題②は、金星が公転することにより、地球との距離が変化して、半分だけ光っている部分の見え方や大きさが変化することについて理解できているかを問う問題である。

表1 事前・事後調査問題

- | |
|--|
| ①なぜ月の満ち欠け（月の形が毎日変わる）が起こるのか説明してください。 |
| ②下図は、金星を天体望遠鏡を使って観察したものです。なぜ、金星はこのような見え方をするのか説明してください。 |



2.2.2 アンケート調査

A校で単元「地球と宇宙」終了後、モデルの評価をするために表2のようなアンケートを実施した。項目①～③に対して、「4. よくあてはまる 3. ややあてはまる 2. あまりあてはまらない 1. ほとんどあてはまらない」の4段階で回答を求めた。

表2 アンケート項目

- | |
|--|
| ①天体現象マルチ説明器を使ってみて、月の満ち欠けが理解しやすくなった。 |
| ②天体現象マルチ説明器を使ってみて、金星の見え方の変化が理解しやすくなった。 |
| ③天体現象マルチ説明器は、相手に説明するのに役に立った。 |

2.3 A校でのモデル操作と他者との対話を取り入れた授業

A校でも、B校同様に平成23年検定済大日本図書の中学校理科3年の教科書に沿って表3のように単元「地球と宇宙」を展開した。

表3 『地球と宇宙「3章 太陽と月」「4章 太陽系と銀河系』の学習内容

時	学習内容	生徒の活動内容
1 2	太陽のすがた	太陽の観察を行い、その観察記録や資料に基づいて、太陽の特徴を学ぶ。太陽の表面の様子や太陽の自転について理解し、知識を身に付けている。
3	月の運動と見え方	月の動きや満ち欠けの観察をし、その観察記録や資料などにもとづいて、月の見える位置の変化や満ち欠けが月の公転に関連していることを理解し、知識を身に付けている。
4	太陽系	資料などにもとづいて、太陽系の構造とその主な天体の特徴について知識を深める。
5	惑星の見え方	惑星とその動きの観察記録や資料などにもとづいて、惑星の特徴を理解する。金星の形や大きさの変化、見える方角・時間について理解し、知識を身に付けている。
6	宇宙のすがた	資料などにもとづいて、太陽系の外に恒星があることを認識し、宇宙の広がりについて学ぶ。

ただし、第3時の「月の運動と見え方」と第5時の「惑星の見え方」の学習において、一人ひとりが開発したモデルを操作し、モデルを媒介にして月や金星の見え方の変化について他者に説明する活動を取り入れた。

実際の授業では、広い宇宙空間を縮小させてモデルで考えていくことを確認した後、月や金星の見え方の変化を調べるために必要な天体は何か、それら（太陽、地球、月、金星）の位置関係や運動はどうなっているかをワークシート（図2）に記入させた。

そして、ワークシートに記入した内容に基づいてモデルを組み立て、月や金星を公転させながら（図3）、生徒自身で月や金星の見え方が変化することを見出した。

モデル操作後には、二人組を作って説明者と質問者の役割を分担するように指示し、「月（金星）の満ち欠けが起こる理由についてマルチ説明器を使って説明しよう」という課題に取り組みさせた。質問者が「月の満ち欠けはなぜ起こるのですか」や「金星の見え方が変化するのはなぜですか」と質問し、説明者がモデルを操作しながら3分程度でその理由を説明した。そして、役割を交代して生徒全員が月（金星）の満ち欠けが起こる理由をマルチ説明器を使って説明した。

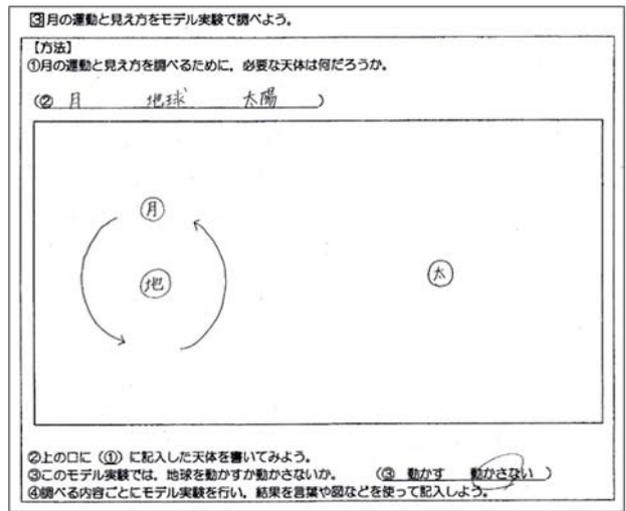


図2 ワークシートの記入例

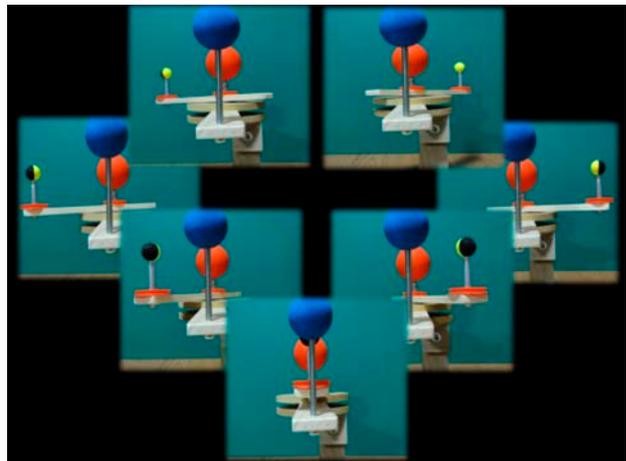
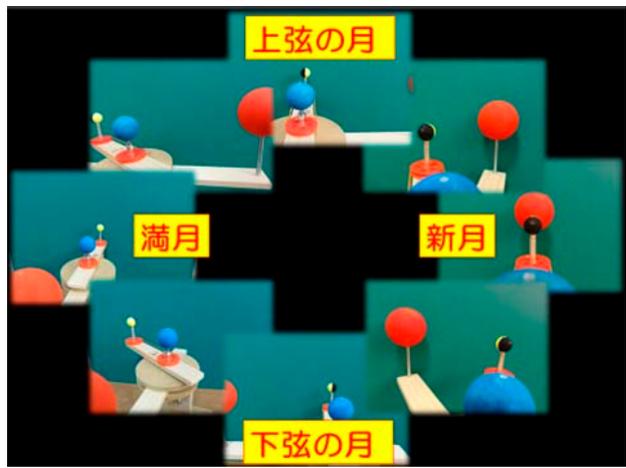


図3 月の満ち欠けと金星の見え方の変化の様子

3. 結果と考察

3.1 「月の満ち欠けの理由」に関する回答の比較

月の満ち欠けの説明について、Trundle, Atwood and Christopher (2002) の調査では、含まれるべき科学的説明の基準として、(a) 月の半分が太陽によって照らされている、(b) 地球からは照らされた半球が時間とともに変化して見える、(c) 地球・太陽・月の相対的な位置が照らされた半球の地球からの見え方を決定する、(d) 月

は地球の周りを公転している、の4点をあげている。本研究では、①太陽光を受けた半球のみが輝いて見えること、②月は地球のまわりを回っている（公転している）ことの2点を評価の観点とし、表4の分類基準に基づいて分類した。

表4 月の満ち欠けの理由の分類基準

Level 2	月の公転の記述及び、「太陽の光によって月の半分だけ輝いている部分の見え方が変化する」などの見かけの変化によるものであることに焦点を当てた記述
Level 1	月の公転の記述のみ
Level 0	誤答・無回答など

「月の満ち欠けの理由」に関する回答について、A校での事前・事後調査、B校での事後調査の回答を以下のLevel 0からLevel 2に分けて、該当数（割合）を表5に示した。

表5 A校事前・事後、B校事後調査結果

Level	A校 (N=84)		B校 (N=135)
	事前	事後	事後
2	1 (1.2%)	43 (51.2%)	4 (3.0%)
1	15 (17.9%)	29 (34.5%)	49 (36.3%)
0	68 (81.0%)	12 (14.3%)	82 (60.7%)

A校では、Level 1以上の説明をしていた生徒が事前調査では16人（19.1%）であったが、事後調査では72人（85.7%）に増加し、Level 2の回答が43人（51.2%）と最も多くなっていた。B校の事後調査では、Level 1以上の説明をしていた生徒は53人（39.3%）で、Level 2の回答をした生徒は4人（3.0%）にとどまった。

A校では、生徒が個々にモデルを使って月を操作しながら他者に説明したことで、月の満ち欠けに月の公転や月が常に半分だけ輝いていることを理解できたと言えよう。一方のB校では、Level 0の回答が82人（60.7%）となり、通常の授業を受けただけでは、月の満ち欠けの理由の説明が困難であることが伺える。

事後調査において、A校でも12人（14.3%）がLevel 0の回答をしていたので、A校2名（全体の2%）、B校3名（全体の2%）以上に見られた誤答を（ア）光の当たる位置の変化、（イ）地球の公転、（ウ）地球の自転、（エ）太陽の光を反射するのみの記述、（オ）地球の影、（カ）その他、（キ）無回答、の7つに分類した（図4・5）。

B校のみに見られた誤答は、「（ア）光の当たる位置の変化」26人（19.3%）と「（オ）地球の影」3人（2.2%）であった。（ア）光の当たる位置の変化については、教科書に「光のあたっているところだけが輝き、光のあたり方で形が変わって見える」という記述があり、「光の当たる位置の変化」が月の満ち欠けの原因だと捉えてしまったと考えられる。（オ）地球の影については、月食と月の満ち欠けを混同してしまったと考えられる。

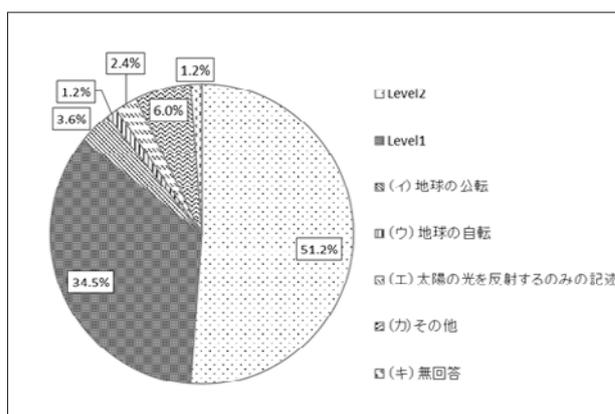


図4 A校Level 0の分類結果（月の満ち欠け）

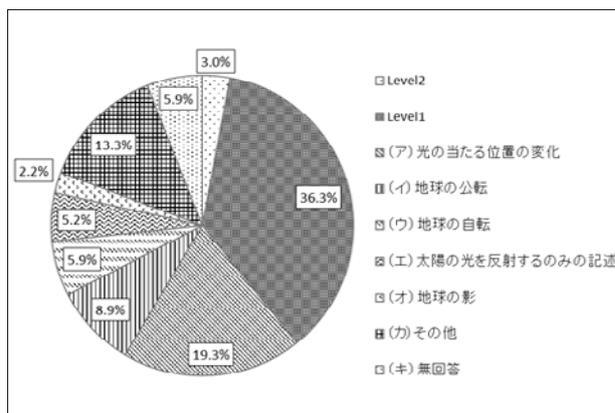


図5 B校Level 0の分類結果（月の満ち欠け）

3.2 「金星の見え方の変化の理由」に関する回答の比較

「金星の見え方の変化の理由」に関する回答について、A校・B校での事後調査の回答を表6のLevel 0からLevel 3に分けて、該当数（割合）を表7に示した。

A校では、Level 2-2の回答をしていた生徒が35人（41.7%）と最も多くなっており、Level 3は13人（15.5%）であった。B校では、Level 2-2が25人（18.5%）となっており、Level 3の回答は見られなかった。また、「月と同じように太陽側の半分だけが光っていて、公転するため……」というような月の満ち欠けと関連させて考えている記述が見られたのは、A校では18人（21.4%）、B校では5人（3.7%）であった。A校の半数以上の生徒がLevel 2-2以上の説明ができたのは、生徒が月の満ち欠けと関連させながら同一モデルを使って金星を公転させる操作を行い、月の満ち欠けとの類似点や相違点を意識して他者に説明したことで、金星の満ち欠けの理解を深めたと言えよう。

事後調査において、A校でも27人（32.1%）、B校で78人（57.8%）がLevel 0の回答をしていたので、A校2名（全体の2%）、B校3名（全体の2%）以上に見られた誤答を（ク）距離変化のみ、（ケ）太陽の光を反射する位置の変化、（コ）金星の公転が不規則、（サ）光を反射する位置の変化、（シ）その他、（ス）無回答、の6つに分類した（図6・7）。

A校・B校ともに最も多かった項目が「（ク）距離変化のみ」で、A校で11人（13.4%）、B校では31人（22.6%）となった。これは、月と金星の満ち欠けの違いである（ク）

表6 回答の分類基準

Level 3	金星の公転（公転周期）の記述及び、「太陽・地球・金星の位置関係が変わるため大きさが変化する」などの大きさの変化に焦点を当てた記述及び、「太陽の光によって金星の半分だけ輝いている部分の見え方が変化する」などの見かけの変化によるものであることに焦点を当てた記述
Level 2-2	金星の公転（公転周期）の記述及び、「太陽・地球・金星の位置関係が変わるため大きさが変化する」などの大きさの変化に焦点を当てた記述
Level 2-1	金星の公転（公転周期）の記述及び、内惑星などの記述
Level 1	金星の公転（公転周期）の記述のみ
Level 0	誤答・無回答など

表7 A校・B校事後調査結果

Level	A校 (N=84)	B校 (N=135)
3	13 (15.5%)	0 (0.0%)
2-2	35 (41.7%)	25 (18.5%)
2-1	2 (2.4%)	1 (0.7%)
1	7 (8.3%)	31 (23.0%)
0	27 (32.1%)	78 (57.8%)

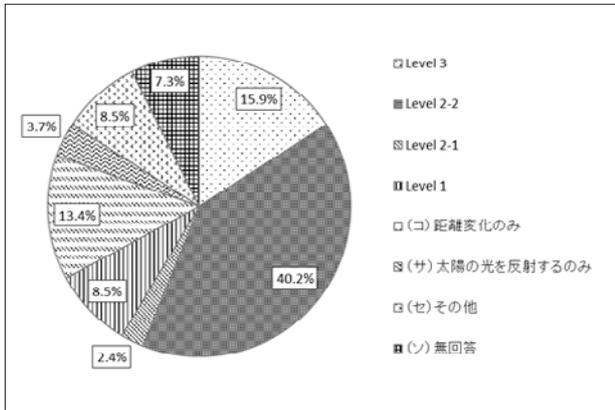


図6 A校の分類結果 (金星の見え方の変化)

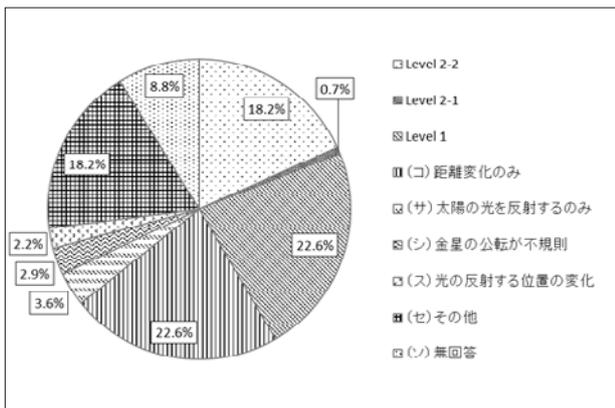


図7 B校の分類結果 (金星の見え方の変化)

距離変化のみしか記述していなかったからである。B校のみに見られたのは、「(コ) 金星の公転が不規則」4人(2.9%)と「(サ) 光を反射する位置の変化」3人(2.2%)であった。B校では、金星の逆行と公転を混同してしまったり、月の満ち欠け同様に「光の当たる位置の変化」と捉えてしまったりしていた。

以上のように、A校では金星の見え方の変化が距離変化だけでなく、金星の公転と関連付けて考えることができた生徒(Level 1以上)が57人(67.9%)であったことや金星の見え方の変化を月の満ち欠けと関連させて考えている記述があったことは、同一モデルを使用して月の満ち欠けとの類似点や相違点を意識しながら学習を進めたためであると言えよう。

3.3 アンケート調査の結果

A校でのモデルに関するアンケート調査について、「4. よくあてはまる, 3. ややあてはまる」と答えた生徒の割合を図8に示した。

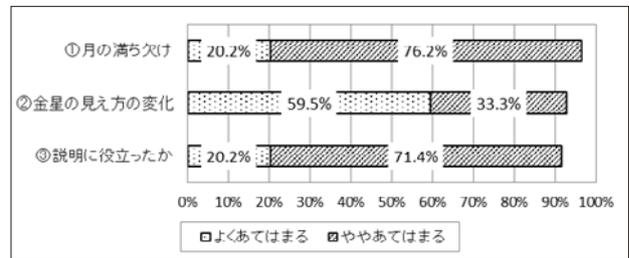


図8 モデルに関するアンケート結果

いずれの項目も肯定的な回答が90%以上であることから、同一モデルを用いて月や金星の見え方を学習することで理解しやすく、モデルを使うことで他者に説明しやすくなると受け止められたことがわかる。

4. まとめと今後の課題

本研究では、中学校第3学年の生徒を対象として、月の満ち欠けと金星の見え方の変化を理解させることを目的として授業実践を行った。

その結果、A校の事後調査では、72人(85.7%)の生徒が月の満ち欠けの理由として月の公転を記述していた。荻原・小林(2010)が国立大学初等教員養成課程の学生を対象として、モデル教材と観測を組み合わせた授業を行った結果、139人(79.0%)が月の満ち欠けの原因として月の公転もしくはそれに準ずる記述をしたという報告と比べても、A校の結果は同等以上であった。また、57人(67.9%)の生徒が金星の見え方の変化を金星の公転と関連付けて記述していた。これらの結果は、以下の3点が主な要因であると考えられる。

- (1) 一人ひとりにモデルを操作させて、月や金星を公転させてみることで、月や金星の満ち欠けに月や金星の公転が関連していると認識できたこと。
- (2) モデルを媒介にして他者に説明する活動を通して、月や金星の公転により月や金星の満ち欠けが生じることが明確になったこと。
- (3) 月と金星の両方の学習で同一のモデルを使用した

ことで、月と金星の満ち欠けの類似点や相違点を認識できたこと。

これらの結果を踏まえ、教科書通りの授業を受けただけでは理解するのが難しい月や金星の満ち欠けを説明させるためには、一人ひとりにモデルを操作させ、月や金星の満ち欠けの仕組みを類似点や相違点を意識しながら自分の言葉で他者に説明させることが重要になると言えよう。

引用文献

科学技術振興機構 (2012) 「平成24年度中学校理科教育実態調査」 Retrieved from <http://www.jst.go.jp/pr/info/info979/besshil.html>

金子ひとみ・津田陽一郎・片平克弘・芦田実 (2010) 「中学校理科「月の満ち欠け」の問題図の改善とその提示

に関する研究」『埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要』9巻, 1-10.

荻原庸平・小林辰至 (2010) 「月の運行モデル教材と観測を組み合わせた学習が月の見え方の理解に及ぼす効果 —初等教員養成課程の学生を対象として—」『理科教育学研究』第50巻, 第3号, 43-56.

Sharp, J. (1996). Children's astronomical beliefs: a preliminary study of year 6 children in south-west England, *International Journal of Science Education*, 18(6), 685-712.

Trundle, K. C., Atwood, R. K. and Christopher, J. E. (2002). Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction, *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 633-658.

山下修一 (2013) 『一貫した説明を引き出す理科のコミュニケーション活動』東洋館出版社.