

# 月の満ち欠けを AR 空間の共有により体験し理解を促進する 学習支援環境の構築

曾我 真人<sup>\*1</sup> 浅野 勇大<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 和歌山大学システム工学部 <sup>\*2</sup> 和歌山大学大学院システム工学研究科

## Learning Environment for enhancing Understandings with experiencing Wax and Wane of the Moon by sharing AR Space

Masato Soga<sup>\*1</sup>, Yudai Asano<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

<sup>\*2</sup> Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University

In the task of the phases of the Moon, the students are sometimes given the opportunity to study the phases of the Moon from the Earth's point of view as well as the phases of the Earth from the Moon's point of view as a developmental task. In order to give the students the opportunity to learn the phases of multiple objects from multiple points of view, we developed a group learning method in which two students work in pairs, one playing the role of the Moon and the other playing the role of the Earth. In order to achieve this, we used a technology in which two people share the same AR space.

キーワード: 月, 満ち欠け, AR, グループ学習

### 1. はじめに

太陽系の惑星や衛星の動きや見かけを学習することは、初心者には困難である。その理由は、スケールの異なる天体の運動のどのスケールに注目するかというグレインサイズと、視点をどこに置いて振り舞い（現象）を観察するかという観点から、視点を地上（あるいは天体上）に置く視点と、宇宙空間に視点を置いて俯瞰的に見る場合とがあり、それらの相対関係を認識する必要があるからである。筆者は図1のように、地球、月、太陽の振り舞いの理解の認知モデルを1997年に文献(1)で提案している。

「月の満ち欠け」の理解は、その中でも特に難しい。図1のモデルでは、地上の視点による振り舞い層の中央に描かれているが、その原理は、客観的視点による振り舞い層で理解できる月の公転だけでなく、グレイ

ンサイズの異なる太陽による照射と月の球形と、地球との位置関係により、満ち欠けの見かけの形状が決まるからであり、複雑な現象である。

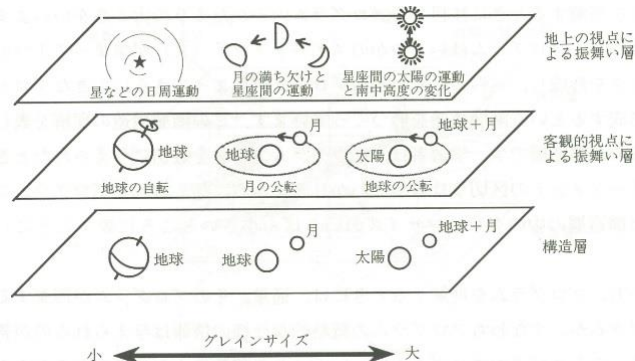


図1 地球/月/太陽の振り舞いの理解の認知モデル<sup>(1)</sup>

一方、筆者らは、従来は知識の学習として扱われていた対象に、AR や VR を用いて、積極的に体験を取り入れることにより、理解を促進する手法を提案しつつある。この体験に基づく学習は、インタラクション

のサイクルを積極的に回すことにより、理解を促進し、記憶に残りやすくすることを目的としている。人間は、①認識、②判断（行動選択）、③行動の実行、を繰り返しながら日々の生活を行っている。知識の学習では、おもに①の認識、それは、広義の意味での認識なので、換言すると、知覚、認識、理解に重点を置いて研究がおこなわれてきた。その場合、テキストを読む、あるいは、DVD を見るだけという受け身の学習が中心であった。そこで、そのような認識中心の学習に、②の判断（行動選択）と③の行動を積極的に取り入れて、①②③のインタラクションのサイクルを積極的に回すことにより、理解を促進し、記憶に残りやすい学習を目指す。①②③のインタラクションのサイクルを回すということは、学習者に体験を行わせるということである。これを体験学習とここでは呼ぶことにする。

また、月の満ち欠けという課題では、前述のように地球から見た月の位相の学習のほか、月から見た地球の位相の学習も発展課題として与えられることがある。そこで、複数の視点での複数の対象の位相の学習を体験学習として学習者に行わせるため、ここでは、2人1組となって、1人が月の役割を演じ、もう1人が地球の役割を演じるにより、グループ学習を行った。それを実現する技術として、2人で同じAR空間を共有する体験学習の方式をとった。

## 2. 月の満ち欠けの理解に関係する概念

「月の満ち欠け」は、最も身近な天文現象である。一方、「月の満ち欠け」の学習を含めて天文分野に関する学習は、天文分野に関する知識の獲得のみならず、その過程において、複数の天体の位置関係を考慮する必要があるなど、空間認識能力が必要となる。

そのため、地球や太陽、月などの位置関係、形、大きさなどを理解している児童は少ない<sup>(2)</sup>。また、学習を終えたばかりの学年では、科学的に適切な概念をもつ児童は増加するが、既習概念は定着されず、学年が進むにつれて減少する傾向がある<sup>(3)</sup>。

中学生においても、多くの生徒らが月の満ち欠けの仕組みと月食の仕組みを混合していることが報告されている<sup>(4)</sup>。さらに、高校生や大学生においても月の満

ち欠けの仕組みについて、およそ半数の学生らが理解していないことが示されている<sup>(5)(6)</sup>。

そこで、「月の満ち欠け」の学習における学習上の課題を金子<sup>(7)</sup>、岡田<sup>(8)</sup>の研究を参考に以下に挙げる。

1. 教科書などで「月の満ち欠け」を説明するとき用いられる平面図（図2）から立体的なイメージできない<sup>(7)</sup>。（3次元イメージ）
2. 球に光を当てたときにできる陰の様子をイメージできない<sup>(8)</sup>。（球形概念）
3. 地球上の任意の点における観察者の左右を認識ができない（左右概念）
4. 地球上の観察者の視点に移動させたときの月の見え方をイメージできない。（視点移動）

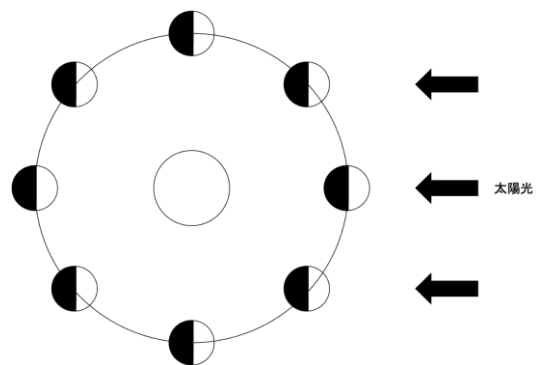


図2 月の満ち欠けを説明する平面図

また、金子、岡田らの研究で指摘された能力以外に、考えられる課題を以下に問題例とともに挙げる。

月の満ち欠けの学習を行うときの問題例として以下のような問題がある。

（例）東京において午前3時に南の空を観測した時に南中して見える月の形を教えてください。

このような問題を回答する時に、前述の「球形概念」「左右概念」「視点移動」の能力のみでは回答できない。以下の課題を解決する必要がある。

5. 地球上の任意の点における観測者の方位を考えることができない。
6. 地球上の任意の点における観測者の時刻を考えることができない。

これは先ほどの平面図（図2）が北極側の視点で描かれていることを理解し、太陽と地球の位置関係と地球が反時計回りに自転することから、方位と時刻を認識しなければならない（図3）。以降この2つの能力を

まとめて「地球上の方位・時刻の考え方」と表現する。

また、以上の6つの能力は、静止している月や地球に関する問題を考える時に有効であるが、以下の問題例のように、地球の自転や、月の公転に伴うみかけの運動に関する問題に対しては、別の能力が必要になると考える。

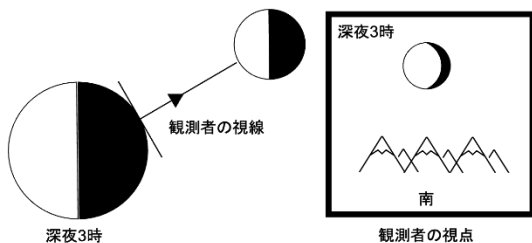


図3 時刻と方位で決定する月の見かけ

(問題例) 東京から毎日同じ時刻に月を観測すると図4になりました。その理由を教えてください。

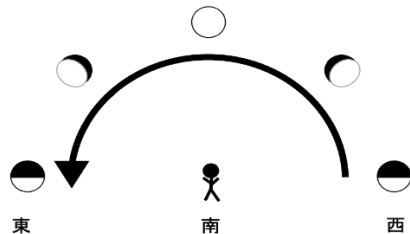


図4 月の長期間の観測結果

この問題に関しては、月が地球の周りを半時計回りに公転しているということを理解し、公転することで地球上から観察すると西から東に動いているように見え、月の太陽に対する位置が変化し、満ち欠けすることを理解しなければならない。つまり、以下のような課題が挙げられる。

7. 地球が自転しているとき地球上から月はどうに見えるのか、月が地球の周りを公転しているときに地球上からどのように動いて見えるのかなど相対的な見え方(図5)をイメージすることができない。これを「相対認識」と呼ぶことにする。

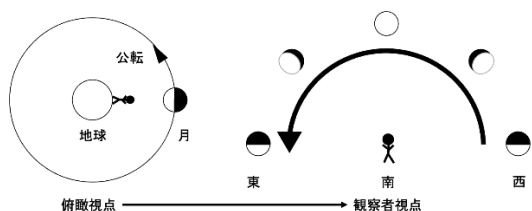


図5 月の公転と見かけの運動

以上より、本研究では、月の満ち欠けの学習には、

「3次元イメージ」、「球形概念」、「左右概念」、「視点移動」に加えて、「地球上の方位・時刻の考え方」、「相対認識」の6つの能力が必要であると定義する。

### 3. 関連研究

小松らによる「月の満ち欠けの理解を促すAR教材の開発と評価」<sup>(9)</sup>は、タブレット端末のカメラで撮影したワークシートの画像上に3Dモデル画像を重畳表示し、タブレット端末を移動させることで視点を変化させてモデルを観察できるという特徴がある。

理解度調査、主観評価の結果より、平面図を立体的に理解すること(3次元イメージ)と、球にできる陰のようすを理解すること(球形概念・左右概念)に対して有用であると示唆された。だが、天体学習における課題とされる、視点移動に関しては学習が不十分であったことが指摘されている。

このことから、タブレット端末のカメラで行うARに関しても天体学習に有効であると考えられるが、マーカ型ARは可視範囲が限られてしまうことや、マーカを見失うとARが機能しない等の特性上、直感的な身体動作を実現することが難しく、学習者の視点から観察者の視点に移動することが容易でなかったため、視点移動の学習が不十分となってしまったと考えられる。

また、このシステムは、「3次元イメージ」、「球形概念」、「左右概念」、「視点移動」の能力向上を意図して作成されているため、地球から見た月の動きや、月から見た地球の動きなどを理解する「相対認識」、そして「地球上の方位・時刻の考え方」の能力向上には適さないと考えられる。

### 4. 研究目的

本研究における学習目標は以下とする。

1. 地球上の視点において、方位、時刻を正しく認識する「地球上の方位・時刻の考え方」に関する能力を向上させる。
2. 地球、月の自転・公転運動からそれぞれの視点でどのように見えるのかを認識する「相対認識」の

能力を向上させる。

この2つを達成するため、システムが備えるべき機能要件は、

1. 地球、月の両視点において観察するために、地球役、月役の2人で操作する。
2. 2人の視点を共有する。
3. 地球視点における方位、時刻を表示する。
4. 身体動作を用いて直感的に自転・公転運動を表現する。

これを実現するために本研究では、

1. 身体動作実現のための、マーカレスARを用いたマーカ範囲に縛られないARシステム。
2. コラボレーティブなAR空間を利用した共有可能なARシステムの実装を行うことでシステムを構成することにした。

## 5. 試作システム

### 5.1 地球視点

地球視点の画面は図6である。北半球では、月は南の方角を運動して見えるため、観測者は常に南の方角を向くよう設定した。そのため、①には東、②には西と常に表示している。また、太陽の方角を正午(12時)と設定し、回転角に応じてリアルタイムで時刻を変化させ③に表示している。



図6 地球側の画面



図7 月側の画面

④は自分の画面のスクリーンショットを相手に送信するボタンであり、⑤に月側から送信されたスクリーンショットを表示する。

### 5.2 月視点

月視点の画面は図7である。月には方角がないため、地球視点のような方角は表示していない。また、今回の学習には月上での時刻は必要ないため、月面上における時刻も表示していない。そのため、①の自分の画面のスクリーンショットを相手に送信するボタンだけを配置している。また、②に地球側から送信されたスクリーンショットを表示する。

### 5.3 システムの使用手順

本システムは、2人で使用することを前提としたシステムである。それぞれの視点から見た相手の動きをタブレット端末を通して観察することで、自分から見た相手の動きを理解する。

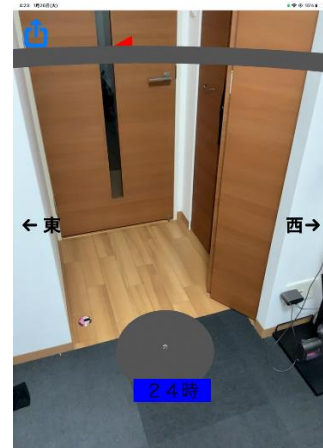


図8 AR上に表示される月・地球の立ち位置

システムでは、起動と同時に床上約1mの高さに地球役の人が立つ場所、月役の人の公転軌道がAR上に表示される(図8)。

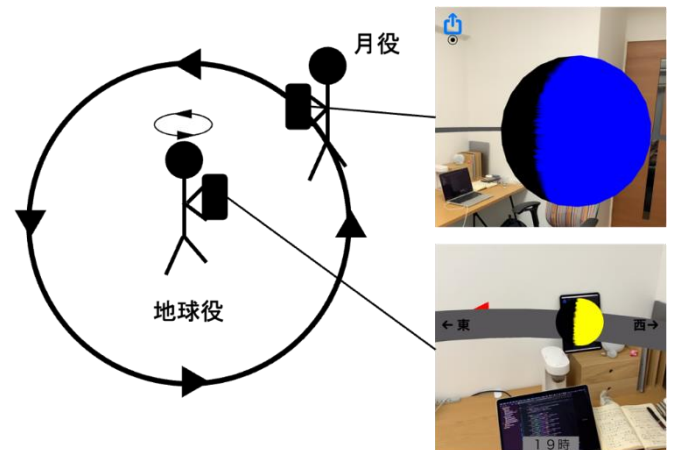


図9 身体動作を用いたシステム利用方法

システムで提示された場所へ移動した後、2人はそれぞれ身体動作により自転・公転を表現する(図9)。また、任意のタイミングでスクリーンショットを送信することで相手から見た自分の満ち欠けを確認することができる。

## 6. 評価実験

### 6.1 実験目的

本実験は、開発したシステムが以下の点に関して有用性があるかを検証することを目的とする。

1. 本システムによる課題遂行を通して、「地球上の方位・時刻の考え方」に関する能力が向上するか
2. 本システムによる課題遂行を通して、「相対認識」に関する能力が向上するか
3. 本システムによる課題遂行時において、身体動作による直感的な操作は学習に効果があるか
4. 本システムによる課題遂行時において、適切なコミュニケーションを促すことができたか

次項より、上記を検証するために行なった実験に関して、実験手法、評価方法を詳しく述べる。

### 6.2 検証実験

実験計画法における統制群法に基づいて、実験を行なった。以下に本実験の実験構成を示す。

#### 6.2.1 被験者

実験に協力した被験者は18名の20代の男女である。全ての被験者に対して、参加の同意を得た上で実験を行なった。

#### 6.2.2 実験手順

検証実験は、システムを使用した月の満ち欠けの課題を行う実験群10名とシステムを使用せず、一般的な月の満ち欠けの図(図2)を用いた月の満ち欠けの課題を行う統制群8名に分けて行なった。ただし、実験群のうち2名は事後テストの回答不備のため、テストの点数による分析からは除外した。

まず、被験者全員に対して、事前テストを行なった。事前テストは、「知識」、「球形概念」、「左右認識」、「視

点移動」、「地球上の方位・時刻の考え方」、「相対認識」の能力を測るための問題を出題した。

次に、一般的な中学3年生用の月の満ち欠けに関するテキストによる学習を制限時間7分で行なった。

次に、実験群では、開発したシステムを用いて課題を行い、統制群では、図2を用いて課題を行なった。ここでの課題は、実験者が口頭により質問を行い、それに対して、被験者は2人で協力して回答するという形式をとった。質問内容は実験群と統制群ともに同じ内容のものを出題した。

最後に、被験者全員に対して、事後テストを行なった。事後テストは、事前テスト同様、「知識」、「球形概念」、「左右認識」、「視点移動」、「地球上の方位・時刻の考え方」、「相対認識」の能力を測るための問題を出題した。

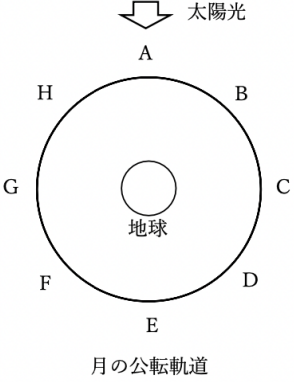



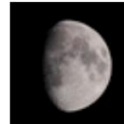
その後、統制群には実験群と同様の学習方法を体験し、全ての被験者に対して主観アンケートを実施した。



#### 事前テスト・事後テストの内容

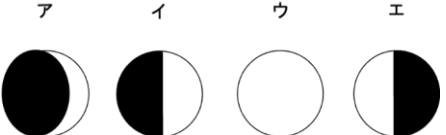

事前テストでは、「知識」5題、「左右概念・球形概念・視点移動」6題、「地球上の方位・時刻の考え方」4題、「相対認識」4題、月の満ち欠けの原理を説明する記述問題の合計20題を出題した。また、事後テストでは、事前テストの類題として「知識」4題、「左右概念・球形概念・視点移動」6題、「地球上の方位・時刻の考え方」4題、「相対認識」4題を出題した。また、それに加えて、「相対認識」に関する記述問題1題と、「知識」「左右・球形・視点移動」「地球上での方位・時刻の考え方」「相対認識」の全ての能力を用いて解く応用題1題の合計20題を出題した。

また、カテゴリーごとに出題した問題の概要を表1にまとめた。青で表示された問題が事前テストのみで出題した問題、赤で表示された問題が事後テストのみで出題した問題、黒で表示された問題は事前、事後共通問題である。知識の問題に関して、「日周運動について、「自転」という言葉を用いて説明して下さい。」という問いは、本実験において、「日周運動」という語句を学習しなかったため分析対象から除外した。

表1 事前・事後テスト問題概要

<p>知識</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 月の満ち欠けの周期は約 ( ) 日である。</li> <li>● 月の自転周期は約 ( ) 日であり、公転周期は約 ( ) 日である。</li> <li>● 地球は地軸を中心に1日1回 ( ) から ( ) に自転する。</li> <li>● 地球の北極側の上空から見た時、月は地球の周りを ( ) 周りに公転している。</li> </ul> <p>日周運動について、「自転」という言葉を用いて説明してください。</p>
<p>左右・球形・視点</p>	<div style="text-align: center;">  <p>月の公転軌道</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 東京から見た月の形が①から④のときに、地球を北極側から見ると月はどの位置にあるか。図のAからHから選び記号で答えてください。</li> </ul> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>①</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>②</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>③</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>④</p>  </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 月面上から地球を見た時に、下図のように見えた。どの位置の月から見た地球か。図のAからHから選び記号で答えてください。</li> </ul>

	<div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 月探査機が月面に到着したとする。この探査機が月面に到着した日、到着した地点では、地球が正面に円形に見えた。この日、地球から見た月はどのような形をしているか。 (ア)新月 ②満月 ③上弦の月 ④下弦の月</li> <li>● 日食が観察された約半月後に部分月食が観察された。月食が始まる直前の月はどのような形をして見えますか、イラストで答えてください。</li> <li>● 月探査機が月面に到着したとする。この探査機が月面に到着した日、到着した地点では、地球が下図のように見えた。この日、地球から見た月はどのような形をしているかイラストで答えてください。</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>
<p>方位・時刻</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 東京から見た月について、日の入りごろ、真南に見える月の形をイラストで答えてください。(統制群は記号で選ぶ)</li> <li>● 東京から見た月について、真夜中、真南に見える月の形をイラストで答えてください。(統制群は記号で選ぶ)</li> <li>● 東京から見た月について、日の出ごろ、東の空に見える月の形をイラスト</li> </ul>

	で答えてください。(統制群は記号で選ぶ)  満月が沈むのは( )時ごろである。
相対認識	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 東京から見て、月は東西南北のうち( )の方角からのぼる。</li> <li>● 同じ場所、同じ時間帯で、長期間にわたって地球上から月を観測すると、( )から( )に動いて見える。</li> <li>● 皆既月食の日から、毎日月の観測を行なった。月の満ち欠けの順に並べ替えてください。</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 月探査機が月面に到着したとする。この探査機が月面に到着した日、到着した地点では、地球が正面に円形に見えた。次の日の同じ時刻(地球時間)に月面上から見える地球の位置と形はどのようなになるか。</li> <li>● 月探査機が月面に到着したとする。この探査機が月面に到着した日、到着した地点では、地球が下図のように見えた。次の日の同じ時刻(地球時間)に月探査機から見える地球の位置と形はどのようなになるか。</li> </ul> <div style="text-align: center;">  </div>
	<p>2014年4月15日は満月であった。それでは、4月22日に見える月はどのような形をして見えますか、イラストで答えてください。また、この日の夜12時に見える月の方角は東西南北のうちどれです</p>

	か。
記述	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 月の満ち欠けを小学生にわかるように説明してください。</li> <li>● 下図は月の見える位置とその見え方を1日おきに同じ時刻、同じ場所で観察し、スケッチしたものである。月の見える位置が下図のように変化している理由を答えてください。(図4-2)</li> </ul>

事前テストと事後テストにおける両群の平均正解率を表2に示す。

表2 事前／事後テストの両群の平均正解率

テ	群	知識	左右・球形・視点移動	方位・時刻の考え方	相対認識	月の満ち欠けの記述
事前	実験	53%	94%	50%	41%	100%
	統制	68%	95%	67%	50%	100%
事後	実験	68%	81%	78%	65%	63%
	統制	85%	86%	68%	50%	14%

事前テストの結果において、合計得点に対して、F検定を実施し、両群に偏りがないことを確認した。

実験群・統制群ともに、「左右概念・球形概念・視点移動」に関する問いは高い正答率を示しており、「月の満ち欠けの記述」も全員が正しく理解しているが、「地球上の方位・時刻の考え方」、「相対認識」に関する問いは正答率が低い傾向にある。これは、桐生の調査結果である、「調査対象の大学生(国立大学 S 大学理学部、主に3年生で理科の教育免許取得希望者35名)の視点移動能力はどの概念(左右概念・球形概念)も、どの位置でも7割を超えている」という結果と、一方で「月が西から東へ移動しているように見える現象について自己理解している者や理由を説明できる大学生は少ないことが明らかとなっている」<sup>(40)</sup>という結果とも一致する。

実験群・統制群の間で差がでた問題は、「相対認識」に関する記述問題(図10)の平均得点率である。この問題に対して、実験群・統制群間でF検定を実施し、非等分散を確認した上で、非等分散における両側t検

定 (Welch の t 検定) を実施した結果 5%水準で有意であることが確認できた。また、応用問題に関しても同様の検定を行なったが、実験群・統制群の間で有意な差はみられなかった。

[5] 下図は月の見える位置とその見え方を 1 日おきに同じ時刻、同じ場所で観察し、スケッチしたものである。月の見える位置が下図のように変化している理由を答えてください。

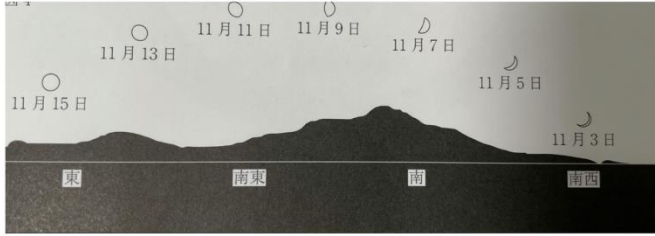


図 10 相対認識に関する記述問題

この問題の模範回答は「地球を北極側から見て、月は地球の周りを半時計周りに公転しているから」である。今回の採点基準としては、「月が半時計周りに公転」という記述があれば正解にしている。本来であれば、「北極側から見て」という記述が必要であるが、今回は、「地球の周りを公転運動する月を地球から見た時にどのように運動して見えるか？(相対認識)」を理解することが趣旨であるため、正解とした。また、「月が公転しているから」という記述は西よりから東寄りに位置が変化して見える理由にはならないため、不正解としている。

次に事前テスト・事後テスト間で、実験群・統制群において、有意に点数が上がったのは、実験群における、「地球上の方位・時刻の考え方」「相対認識」に関する問題であった。対応のある片側 t 検定の結果、「地球上の方位・時刻の考え方」、「相対認識」の問題ともに 5%水準で有意であることが確認できた。また、統制群における全ての問題および、実験群のそれ以外の問題に対しては表 3 のとおり、有意な差は見られなかった。

表 3 対応のある片側 t 検定の結果

	知識	左右・球形・視点移動	方位・時刻の考え方	相対認識
実験群	有意差なし	有意差なし	有意差あり	有意差あり
統制群	有意差なし	有意差なし	有意差なし	有意差なし

## 7. おわりに

本稿では、AR 空間を共有しながら 2 人の学習者が月役と地球役となり運動を演じて、月の満ち欠けを学習するシステムを試作し、体験に基づく学習方法の提案と評価を行った。

### 参考文献

- (1) 曾我真人ほか, マルチメディア・コミュニケーション, 第 14 章「マルチメディアと教育」, pp.188-207, 日本図学会, 共立出版, 1997
- (2) BRIAN L. JONES, PATRICK P. LYNCHA and CAROLE REESINKB (1987) Children's conceptions of the earth, sun and moon. *International Journal of Science Education*, 9(1): 43-53
- (3) 宮脇亮介, 吉村未希 (2009) 月の満ち欠けについての子どもの観念: その後の展開, *地学教育*, 62(4): 115-126
- (4) TRUMPER,R(2001a) A cross-age study of junior high school students' conceptions of basic astronomy concepts. *International Journal of Science Education*, 23(11), 1111-1123
- (5) TRUMPER,R (2000) University students' conceptions of basic astronomy concepts. *Physics Education*, 35(1), 9-15
- (6) TRUMPER,R(2001b) A Cross-age Study of Senior High School Students' Conceptions of Basic Astronomy Concepts. *Research in Science & Technological Education*, 19(1), 97-109
- (7) 金子ひとみ, 津田陽一郎, 片平克弘, 芦田実: 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 (2010), 埼玉大学教育学部附属教育実践総合センター紀要第 9 号, 1-10
- (8) 岡田大爾, 松浦拓也, 天文分野における児童・生徒の空間認識に関する比較研究 (2013), *図学研究*第 48 巻 2・3 号 (通巻 143 号), 3-10
- (9) 小松祐貴, 渡邊悠也, 鬼木哲人, 中野博幸, 久保田善彦 (2013): 月の満ち欠けの理解を促す AR 教材の開発と評価, *科学教育研究*, Vol.37, No.4, pp.308-316
- (10) 桐生徹 (2015): 天体分野における「月の満ち欠け」に対する授業方略と評価, *上越教育大学教職大学院研究紀要*第 2 巻, 19-27