

「月と太陽」の未習/既習児童における月の満ち欠け理解の発達

別府大学短期大学部初等教育科 向 井 隆 久
久留米市立篠山小学校 吉 村 真 司

【要旨】

小学3年生から6年生を対象に、月の満ち欠けの理由（仕組み）について、子どもたちがどのような認識を持っているのかを調査した結果、月の満ち欠け学習前の児童も、潜在的にはさまざまな誤概念を持っていることが確認された。特に学年が上がるにつれて、①子どもたちの中で月の満ち欠け理由について正しそうな説明と、そうではない説明が徐々にはっきりと識別されるようになること、②「月の変形や変色」による説明は相対的に評価が低下し、「地球の影」や「地球の自転・公転」「太陽光のあたり方」による説明（誤概念）が、正しいと評価される傾向が高まること became 明らかになった。月の満ち欠け学習後間もない6年生の半数近くは、科学的な説明に近い説明ができるようになるが、多くの子どもが依然として「太陽光のあたり方」によって説明することも示された。

1. 問題と目的

これまで「月の満ち欠け」に関する学習・指導の困難については、さまざまところで報告されており、素朴概念（誤概念）の調査や新たに考案された指導法や教材に関する効果検証が行われてきている^{1)~5)}。しかし、特殊な教材や指導法を用いた改良授業でも、何割かの子どもたちは、誤った理解のまま改善が見られないケースが報告されることが少なくない。

例えば、柳本・大高（2010）⁴⁾の研究では小学4年生を対象に、かげの学習活動含む月の満ち欠けに関する授業を実施した後も、4割以上の子どもが月の満ち欠けに関する誤概念を回答したり、無回答であった。小学6年生を対象にした柳本（2012）⁶⁾でも同様に、かげの学習活動含む月の満ち欠けの授業後、4割以上の子どもが誤概念を回答、あるいは無回答であった。山下・伊藤・柴田（2015）³⁾の調査でも月の満ち欠けの学習直後の中学生の33.6%は誤答

または無回答であった。柚木（2014）⁵⁾は大学生を対象に、月の満ち欠けの原理に関する解説授業を行ったが、その後、月の満ち欠けの理由について正しく説明できるようになったのは、57.6%。理解しているだろうと思われる回答も合わせて75.9%に留まったと報告している。

また月の満ち欠けの授業によって一旦科学的説明ができるようになって、時間経過にともなって、再度、誤概念に戻ってしまう現象も多く報告されている。小学3年生から6年生の児童を対象にした宮脇・吉村（2009）⁷⁾の調査結果は（1998年改定の学習指導要領に基づき、月に関する学習は4年生で実施）、月の満ち欠けについて科学的な説明ができていた子どもたちが、その後学年を経るにつれ、非科学的な説明に戻りすることを示唆するものであった。子どもたちに月の満ち欠けの理由について描画を含んだ自由記述での回答を求めた結果、科学的に適切な説明ができたのは、3年生で19.4%、

学習後の4年生では58.7%に増加するものの、5年生で28.3%、6年生では27.2%に減少することが報告されている。分析結果から宮脇・吉村(2009)⁷⁾は、一時的な学習により子どもたちは科学的に適切な観念を持つようになるが、時間経過とともに「惑星が月を隠す」や「地球の影が月にかかる」「見る場所によって月の形が変わる」といった他の考え方に置き換わっていくことを指摘している。

伊藤・千田・田原(2007)⁸⁾は、大学生(月の満ち欠け学習済み)を対象に月の満ち欠けの仕組みについて、自由記述を求めたところ、満足のいく程度に説明できた学生が10%未満、「月、地球、太陽の位置関係」に言及できた者は40%、残りの60%は月の満ち欠けの仕組みを全く理解していないと報告している。木下(2012)¹⁾も、大学生に「三日月が見られる理由」を説明させた結果、適切な説明を行えた者がわずか23.5%であることや、「地球に隠されて(地球の影が月にかかる)」という誤概念を回答した者が27.5%もいたことを明らかにした。

さらに、柚木(2014)⁵⁾も大学生を対象に、月の満ち欠けの理由について自由記述で説明を求めたところ、太陽光の「反射」と月・地球・太陽の「位置関係」の両方を記述できたのは19.7%、その中で正しい説明ができたのは8.4%にすぎないことを報告している。誤概念としては月食(地球の影が月にかかる)との混同が最も多かったが、これは日本だけに限られたことではないとして海外の調査結果も紹介している。

上述したように、月の満ち欠けの学習には、そもそも理解することが難しい、一旦理解しても時間経過とともに非科学的な理解に戻ってしまうという大きな困難をともなっている。柳本(2013)⁹⁾は、月の満ち欠け理解の難しさの原因を、学習者の視点移動能力や科学的知識不足に求め、教材開発や身近な事象と関連づけて概念形成を試みるやりかたは、繰り返し指摘され

ているものの、現在でも根本的な解決には至っていないのが現状であると述べている。

本研究は上記の問題に対して、新たな概念形成・獲得には学習者が既に獲得している概念群(知識体系)との整合性が必要であり、整合しない概念の獲得は困難であるとともに、仮に一時的に獲得しても定着しないという理論的立場に立ちアプローチする(図1参照)。月の満ち欠けに関する非科学的説明(誤概念)は、科学的説明から見ると誤っているが、学習者が持っている知識体系とは上手く整合する。つまり既存の知識体系に照らせば正しい概念となるため、保持され続ける。逆に科学的説明の方が学習者の既存の知識体系と整合しないため受け入れ難く、既存の知識体系と関連づけられないため定着も難しいということである。

子どもは月の満ち欠けについて学ぶ際、白紙の状態から学び始めるのではない。誤概念を含み、月の満ち欠けに関連する何らかの知識体系を持って学習に臨んでいると考えられる。それら知識体系が、授業内で教授される月の満ち欠けの科学的説明の理解を助けたり、妨害したりすると考えられる。そうであるなら、子どもたちが保持している関連知識(知識体系)を把握しておき、それらを活用したり、妨害の恐れがある場合は事前に対処することで、より効果的な教授が行えるはずである。しかし、現行の学習指導要領(2008年改訂)下で学習している児童を対象に、月の満ち欠け(「月と太陽」)の学習前に子どもたちが保持している知識体系を明らかにする研究は十分であるとは言い難い。

子どもが保持している知識体系の全貌を把握するのは容易ではないが、研究知見を積み重ね、部分的にでも把握していくことは可能である。

こうした考えから本研究では、月の満ち欠けについて授業で学習する前の児童が、月の満ち欠けの理由についてどのような理解を有しているのか、それらの理解内容はどのような発達の

変化を経て形成されるのかを調査することを主な目的とする。さらに授業で月の満ち欠けを学習後の児童の理解内容も調査することで、一般的な授業によってどのように理解内容が変化する

のか、あるいはしないのかについても調査する。先行研究を概観すると、月の満ち欠け学習前の小学4年生と6年生を対象とした調査⁶⁾¹⁰⁾では、月の満ち欠けの理由について「雲が月を

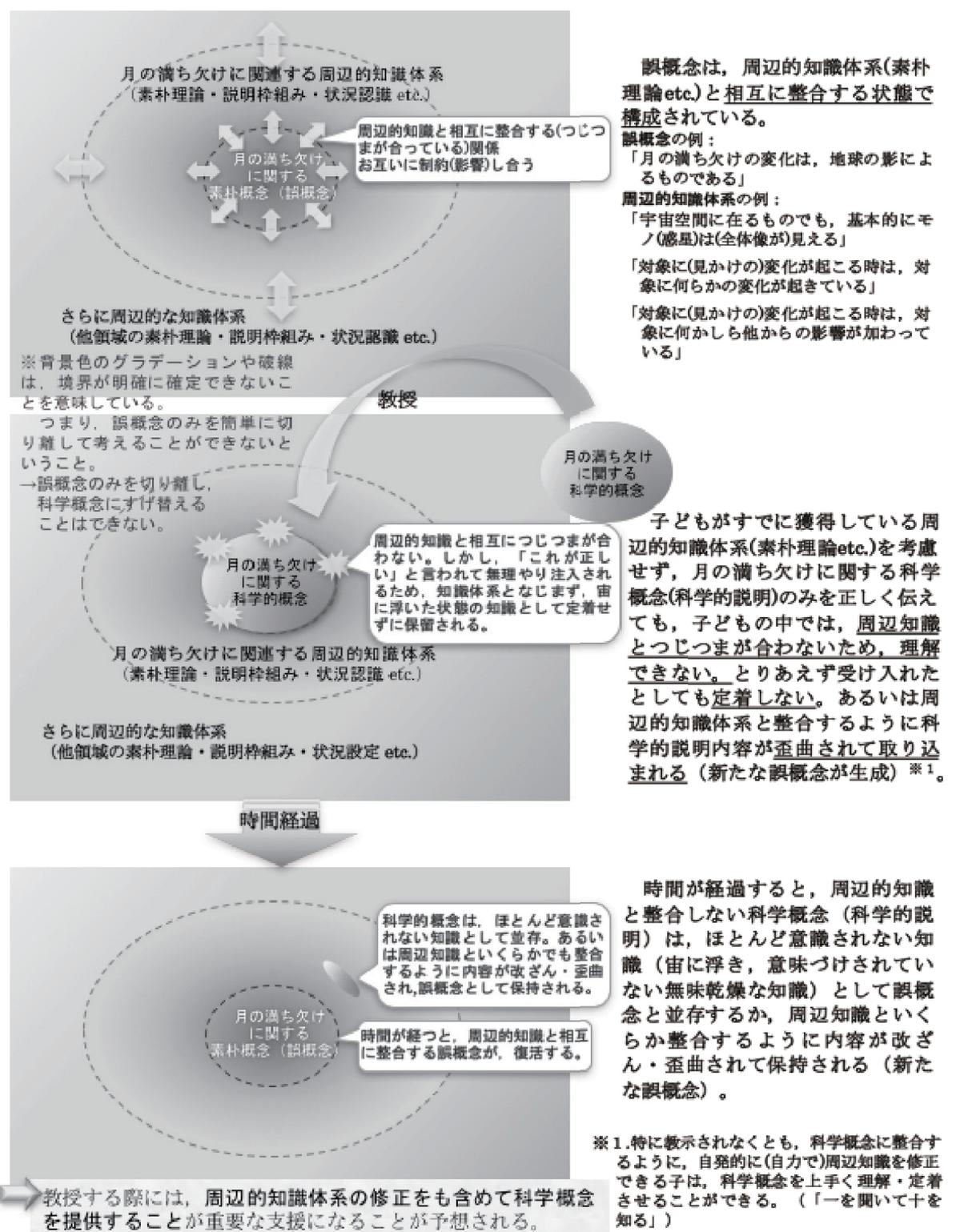


図1 誤概念の修正及び科学概念の定着の困難さを説明する仮説モデル

覆うから」という回答が圧倒的に多く全体の3割を占めていた。「雲が月を覆うから」という考えは、子どもたちが日常生活から得ている「遮蔽物によって物が見え隠れする」という知識や、「空において雲は遮蔽物になる」といった知識と上手く整合する説明である。特にこの「雲による遮蔽」の考えは、子どもたちの既有知識の体系に整合しやすい特徴を備えているのかもしれない。もしそうであるなら、本研究で対象とする、月の満ち欠け未習児童も「雲による遮蔽」を月の満ち欠けの理由として、よりもっともらしいと判断し、他の理由づけ（後述の仮説2、3で扱う理由づけを除く）よりも回答者数が多くなるだろう。これが本研究の第1仮説である。

一方、月の満ち欠けについて4年生で学習後、十分な時間が経過した小学5・6年生⁷⁾では、「太陽の光を受けて輝く」「見る場所によって変わる」「地球の影が月にかかる」の順に回答者数が多かった。また、既習後長時間経過している大学生では⁵⁾、「月食（地球の影が月にかかる）」が最も多く回答されていた。月の暗い部分を地球の「影」によって説明することは、日常生活においてよく知っている影の現象（知識体系）と上手く整合するため、多くの者に誤概念を形成させると考えられる。もしそうであるなら、同様に影に関する知識体系を持っていると考えられる未習児童も、自由記述では回答できないにしても、「影」による理由づけが選択肢として提示されれば、他の理由づけよりも、もっともらしいと評価するであろう（ただし仮説1、3で扱う理由づけを除く）。これを第2仮説とする。

また著者が行った予備調査では、月の満ち欠け既習後間もない児童が、月の満ち欠けを「太陽光のあたり方」によって説明していた。山下ら（2015）³⁾は、Trundle, Atwood, & Christopher（2002）¹¹⁾の科学的な月の満ち欠けの説明基準に照らして「月への太陽光のあた

り方が変わる」という説明は、乗り越えるべき（不適切な）説明としている。月は「常に」太陽側の半分が照らされるわけであるが、「太陽光のあたり方の変化」による説明も、日常生活においてよく観察される「日陰（太陽光があたらない箇所）の変化」の現象・知識体系と整合する。日陰については小学3年生の授業でも学習する。子どもたちの既有の知識体系に整合する形で誤概念が生成されるなら、未習・既習にかかわらず、「太陽光のあたり方」による理由づけは、誤答の中では他の理由づけよりもっともらしいと判断され、回答者数が多くなるだろう（ただし仮説1、2で扱う理由づけを除く）。これが本研究の第3仮説である。

2. 方法

(1) 調査対象者

福岡県青少年科学館に来館した小学3年生16名、小学4年生15名、福岡県内の小学校に通う5年生67名、6年生68名を対象とした。調査の時点で6年生は「月と太陽」（月の満ち欠け）の授業を終了していた。その他の児童は4年生時に「月と星」で月の形や時刻による位置の違いを学習していたが、6年生が学ぶような月の満ち欠けについては未習状態であった。

(2) 月の満ち欠け理解を調べる質問紙

月の満ち欠けに関する調査対象者の素朴概念を調べるための質問紙を作成した。質問紙は2つの大問からなり、大問1では月の形が変わる理由について自由記述を求めた。大問2では、月の満ち欠けの理由として10種類の項目を提示し、それぞれの理由についてどの程度正しそうだと思うか5段階（1：「ぜんぜん正しくなさそう」～5：「とても正しそう」）で評定させた。

自由記述は回答の自由度が高いため、回答者が明確に意識化（表現）できる理解内容に関しては、より詳細に抽出することができる。しかし、自由記述では回答できないが、理由の候補

(項目)が提示されれば、正しさを評価できることもある。そこにも回答者の理解が反映されていると言える。もちろん、選択肢がある場合でのみ回答できるレベルの理解は、明確な理解とは言えないかもしれない(当てずっぽうの可能性もある)。そこで本研究では、対象者の理解をより詳しく調べるために、自由記述と項目評定の両者を組み合わせて調査することとした。

大問2で提示される月の満ち欠け理由の項目(10種類)は以下のとおりであった。①月と太陽との距離、②月の変形、③月の変色、④月への太陽光の当たり方の変化、⑤月に当たる太陽光の強さ、⑥月に地球の影がかかる、⑦月に太陽の影がかかる、⑧月に雲がかかる(遮蔽)、⑨地球の自転、⑩地球の公転。項目のワーディングについては小学3年生でも理解できる表現を用い、難しい漢字にはルビをふった。

(3) 手続き

5,6年生への質問紙調査は、校長と学級担任に調査を依頼し、了承を得られた学級において一斉に実施した。3年生と4年生については、保護者と一緒に家族で科学館に来館してきた子ども及び保護者に直接質問紙への回答をお願いした。回答の了承を得られた子どもに対して質問紙を手渡しし、一人で考えて回答するようにお願いし、回答後退館する前に提出してもらった。また3,4年生については回答時間や負担を考慮して、大問2のみに回答してもらった。

調査対象者には、質問紙がテストではないことや、得点や成績がつけられることはないこと、匿名での回答による調査であり個人の回答が公表されることはないことなどを伝えた。

3. 結果と考察

(1) 月の満ち欠けの理由づけ(自由記述)と正しいと思う程度の評定

5,6年生を分析対象とし、月の満ち欠けの

理由に関する自由記述の分析を行った。先行研究も参考にしながら、回答内容に基づいてカテゴリ化を行い、抽出された各理由カテゴリの回答者数を算出した。回答内容は、ほとんどが単一の理由とみなせたため、各理由カテゴリの回答者数=回答数となった。学年別に各理由カテゴリの回答割合(当該学年の回答者数/当該学年の総人数)を算出して示したものが図2である。また、あらかじめ用意した10種の月の満ち欠け理由について、正しいと思う程度を5段階評定させた平均評定値を、学年ごとに示したものが図3である。

(2) 未習児(3~5年生)の「雲による遮蔽」による理由づけ: 仮説1の検証

自由記述による理由づけ(図2)について、回答者数の偏りの有無を検討するために、Fisherの正確確率検定を実施したところ、理由カテゴリ間に回答者数の偏りがあることが示された($p < .001$)。そこでFisherの正確確率を用いた多重検定(Benjamini & Hochberg法による有意水準調整)を行った結果、5年生で⑩「わからない・無回答」が残り全ての理由の回答者割合より有意に高い割合であることが示された(③, ④, ⑥, ⑦, ⑨とは $p < .05$ 。①, ②, ⑤, ⑧とは $p < .001$)。また⑩「わからない・無回答」⑨「その他」を除く、全ての理由間で回答者割合に有意な差は確認されなかった。この結果は5年生(未習児童)が⑥「雲による遮蔽」を他の理由づけよりも特別にもっともらしいと感じているわけではないことを示唆している。ただし、自由記述で自発的に回答すること自体、かなり有効な理由づけとして認識され得るものであると言えるだろう。

次に、未習児童において「雲による遮蔽」の理由づけが他の理由に比べ、どの程度正しいと評価されるのかを調べるため、理由の正しさ評定の結果(図3)について、10(理由)×4(学年)の2要因分散分析を行った。その結果、理

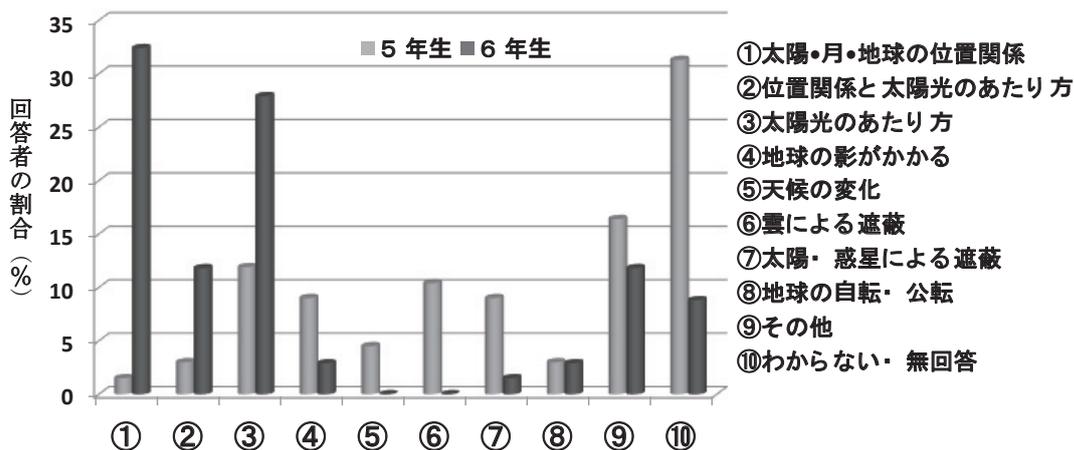


図2 自由記述から抽出された月の満ち欠け理由のカテゴリー別回答割合

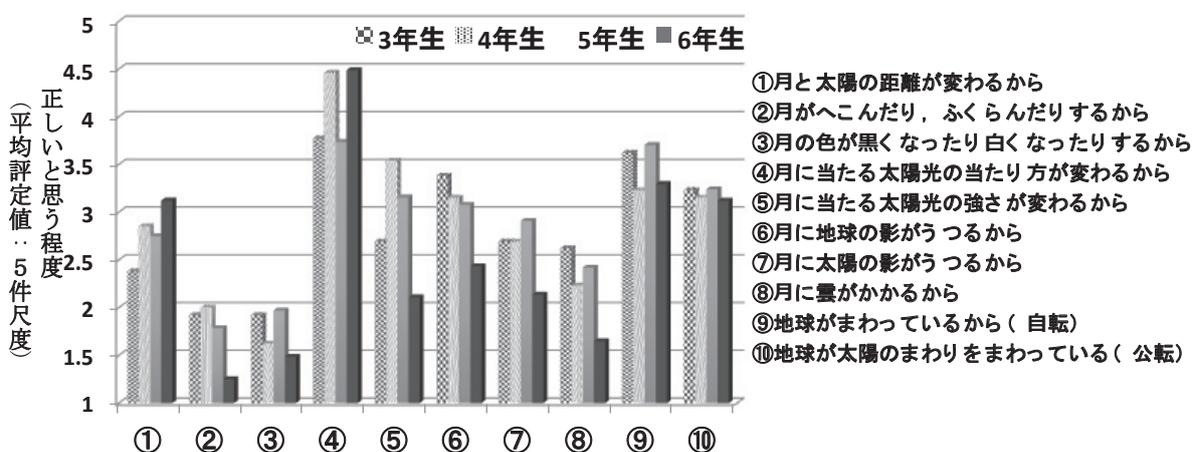


図3 月の満ち欠け理由の正しさ評価

由の主効果, 学年の主効果, 理由×学年の交互作用が有意であった。多重比較を行った結果, ⑧「雲による遮蔽(月に雲がかかるから)」は5年生では④「太陽光のあたり方」と⑨「地球の自転」より有意に評価値が低く ($p < .001$), 4年生でも④「太陽光のあたり方」より有意に評価値が低い ($p < .001$) ことが示された。3年生では他の理由と有意な差は確認されなかった。上記の結果から仮説1は支持されなかった。概して未習児童にとって「雲による遮蔽」は、特に正しく思える理由ではなく、むしろ他に信頼のおける理由があることがわかった。「太陽光のあたり方」が高く評価されたことは仮説3に沿う結果である。また「地球の自転」につい

ては、自由記述の回答数は少ないが(図2⑧)、正しさ評価では高く評価されていた(図3⑨)。表には現れにくい、「地球の自転」によって説明する誤概念は、月の満ち欠け未習時点でも強力に潜伏している可能性を示唆している。学習後間もない6年生でさえ高く評価していることは、その強力さを物語っている。

(3) 未習児の「影」による理由づけ：仮説2の検証

自由記述の回答割合は(図2, 5年生), ④「影」による理由づけと他の理由づけの間に有意な差は認められなかった(前節, 多重検定のとおり)。

一方、理由の正しさ評価(図3)では5年生は⑥「地球の影」と⑦「太陽の影」の評価値が、

②「月の変形」と③「月の変色」よりも有意に高く評価されていた ($p<.001$)。逆に⑥は④「太陽光のあたり方」より、⑦は④と⑨「地球の自転」より評定値が有意に低いことも確認された ($p<.05$)。4年生では⑥⑦「影」の評定値は、③「月の変色」よりも有意に高く評価されていた ($p<.05$)。3年生では他の理由づけとの有意な差は確認されなかった。5年生や4年生において「影」による理由づけが、「月の変形・変色」よりも有意に高く評価されていたことは、仮説2を部分的に支持するものであった。学年が上がるにつれ、「影」と「月の変形・変色」との間で、正しいと思う程度の違いがはっきりしてくる(有意差が現れ出す)。つまり年齢を重ね、未習児童の中で正しそうな理由とそうでない理由が徐々にはっきりしてくる中、「影」による説明は、淘汰されず正しそうな説明として生き残るということである。5年生が自由記述でも自発的に影に言及していたことも考え合わせると、「影」による説明は、子どもの持つ知識体系と上手く整合し、後々、誤概念として残存する危険性が高いと言えそうである。

同様に、「地球の自転」と「太陽光のあたり方」は、高学年においても高く評価され、自由記述でも回答される誤概念であった。とりわけ次節で述べる「太陽光のあたり方」に対しては、学習後間もない6年生でさえ、圧倒的に高い評価がなされていた。

(4)「太陽光のあたり方」による理由づけ：仮説3の検証

6年生(既習児)の自由記述回答を分析すると(図2)、③「太陽光のあたり方」の回答者割合は、①「太陽・月・地球の位置関係」と②「位置関係と太陽光のあたり方」⑨「その他」以外の回答者割合より有意に高かった(⑩とは $p<.05$ 。④～⑧とは $p<.001$)。「太陽・月・地球の位置関係」による理由づけは、ここでは最も科学的説明に近い理解を有している可能性のある

回答である。したがって上記の結果は、誤答の中では「太陽光のあたり方」による説明の回答者割合が最も高いことを示しており、仮説3を支持するものであった。一方、5年生では各理由づけの回答者割合に有意な差は認められなかった。ただし5年生と6年生の間でも回答者割合に有意差は認められなかった ($p<.10$)。

理由の正しさ評定(図3)では、6年生において④「太陽光のあたり方」は他の全ての理由よりも有意に高く評価されていた ($p<.001$)。5年生では⑤「太陽光の強さ」、⑨「地球の自転」、⑩「地球の公転」以外の理由よりも有意に高く評価されていた(①②③⑧は $p<.001$ 、⑥⑦は $p<.05$)。4年生は②「月の変形」、③「月の変色」、⑧「雲による遮蔽」よりも ($p<.001$)、3年生は②「月の変形」よりも有意に高く評価されていた ($p<.05$)。6年生の結果は仮説3を支持するものであったが、3～5年生の結果は仮説3を部分的に支持するものであった。

「太陽光のあたり方」による説明は、月の満ち欠け未習児だけでなく、既習児童にとっても強力な誤概念であることが明らかとなった。この誤概念は、先述したように「日陰」など日常生活でよく観察され知っている現象(知識体系)と整合するため、強力であることが考えられる。それだけでなく、観察される対象・現象の変化を、自己の視点の変化ではなく、対象側の変化として説明・理解しようとする習慣が反映されているのかもしれない。こうした現象把握・説明の仕方は、多くの理科の授業や日常生活でも一般的であろう。そのような暗黙の前提とでもいうべき説明枠組みが、太陽光を受ける月をどの側面から観察するかで、月の形が違って見えるという理解を困難にするのかもしれない。

(5) まとめ

本研究により、未習児童であっても月の満ち欠けの理解は「白紙」状態ではなく、「影」や「地球の自転・公転」による説明など、さまざまな

誤概念・知識体系を持っていることが示唆された。特に「太陽光のあたり方」による説明は、月の満ち欠け学習後間もない6年生にも見られる強力な誤概念である。理解内容の発達的变化として、学年が上がるにつれて、正しそうな説明とそうでない説明が徐々にはっきり識別され、「月の変形・変色」は相対的に正しさが低く評価されるようになっていく（有意差が現れてくる）。それとともに、「影」や「地球の自転・公転」「太陽光のあたり方」による説明の相対的な正しさが高く評価されるようになっていき、自由記述でも自発的に言及されるようになっていく。少なくとも中学年頃から月自体は変化しないことは、なんとなくわかっており、学年が上がるにつれて、天体の配置・動き（太陽光のあたり方、地球の影、自転・公転）が月の満ち欠けに関連していると認識し始めるのかもしれない。しかし、それが誤概念を生んでいるのだとすると、現行の学習指導要領で月の満ち欠けを学習する際、地球の外（宇宙）からの視点をとらせないことは、上記の誤概念あるいは関連する知識体系に対処できない危険性が高いのではないだろうか。

月の満ち欠けを学習した6年生の半数近くは、科学的説明に近い説明ができるようになっていたが、多くの子どもが依然として「太陽光のあたり方」で説明したり、「地球の自転・公転」による説明の正しさを認める傾向にあった。小学校における、地球上から見た太陽と月の位置関係の学びを、いかに中学校で天体を俯瞰して理解する学習に接続させていくかは調査・研究の必要があるだろう。いずれにしても、どこかの時点で誤概念に対処するために、正しいと評価される傾向にある誤概念が、なぜ正しいと評価されるのか、背後にどのような知識体系があり得るのか、今後、より実証的に解明していくことが重要であろう。

引用文献

- 1) 木下邦太郎, 小学校理科における「月の満ち欠け」の位置づけと教材開発－球形水槽や大玉の教材か－, 帝京短期大学紀要, 2012, 第17巻, 21-30.
- 2) 小松祐貴・渡邊悠也・鬼木哲人・中野博幸・久保田善彦, 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, 2013, 第37巻, 第4号, 307-316.
- 3) 山下修一・伊藤英樹・柴田道世, 中学校での月の満ち欠けの説明における小学校の学習の影響と改善モデルの開発, 科学教育研究, 2015, 第39巻, 第4号, 347-358.
- 4) 柳本高秀・大高泉, 2種類のかげの区別に着目した月の満ち欠けの指導－小学4年生での実践－, 理科教育学研究, 2010, 第51巻, 第1号, 103-115.
- 5) 柚木朋也, 「月の満ち欠け」に関する教員養成課程の大学生の概念, 北海道教育大学紀要, 教育科学編, 2014, 第62巻, 第2号, 151-163.
- 6) 柳本高秀, かげの区別に着目した空間認識の形成に関する学習プログラムの開発, 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要, 2012, 第24巻, 72-75.
- 7) 宮脇亮介・吉村未希, 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, 2009, 第62巻, 第4号, 115-126.
- 8) 伊藤明彦・千田恵・田原博人, 大学生の天文分野に関する知識の変化－1976年と2006年の調査結果の比較－, 宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要, 2007, 第30巻, 473-482.
- 9) 柳本高秀, かげのしくみに着目した月の満ち欠けの指導－研修講座での影と陰の区別を意識した教授方略の実践と評価－, 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要, 2013, 第25巻, 80-85.

- 10) 柳本高秀・大高泉, 「月の満ち欠け」の理解と2種類のかげ「影と陰」の理解との関係: 小学4年生における実態, 理科教育学研究, 2008, 第49巻, 第2号, 81-92.
- 11) Trundle, K. C., Atwood, R. K. and Christopher, J. E., Preservice elementary teachers' conceptions of moon phases before and after instruction, Journal of Research in Science Teaching, 2002, 39(7), 633-658.

謝辞

今回の調査に際し, 貴重な時間を割いて協力をいただきました小学校の先生方, 児童の皆さまへ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げます。