

教員養成課程学生を対象とした月のモデル実験の実践： 縮尺モデルと概念モデルを用いた実践から

川村 教一*・長沼 侑生**・中田 咲紀***

Report of the model experiment related to the Moon in a course for trainee teachers in compulsory education: Utilizing the Scale and Concept Model Kits

KAWAMURA, Norihito*; NAGANUMA, Yuusei**; NAKATA, Saki***

Abstract

The authors conducted two classes for undergraduate students. The aim of these experimental classes is to find better way to reduce the number of students with misconceptions related to the Moon's phase change and increase the number of students with correct understanding of a lunar eclipse. To make deep knowledge of a lunar eclipse, in one class, we carried out practical work utilizing "The Scale Size Model Kit (SMK)". In another class, the students performed the work utilizing "The Conceptual Model Kit (CMK)". After these classes, we found that SMK could reduce the number of students who believe the Moon phase change occurs due to a lunar eclipse. In the next classes, the students performed the work utilizing "SMK" and "CSK". Finally, we found that SMK and CMK could reduce the number of students who correctly reply the Moon phase change.

キーワード：小学校理科，モデル実験，月の位相変化，縮尺モデル，模式化，大学生

Keywords: science class for elementary school student, model experiment, Moon phase change, scale model, schematization, undergraduate student

1. はじめに

数十年にもわたり，児童生徒の月の位相変化の改善のための多くの実践研究や教材開発が試みられているが，学校現場では未だに根本的な改善には至っていないように思われる。関連した報告では，わが国の大学生にも誤った考えが多くみられることが指摘されている（宮脇・南部，1992；伊東ほか，2007；柚木，2014）。Trundle et al.（2002）がまとめているように米国の小学校教員養成コースの学生にも同様の誤った考えが広くみられ，わが国の科学教育における問題だけではない。また，Trundle et al.（2002）や柚木（2014）によると，誤った理解として最も多い例は月食との混同である。この傾向は，異なる大学の学生を対象に行われた研究でも見られ（長沼・川村，2016，2017），大学生の間では普遍的な誤

概念である可能性がある。柚木（2014）は大学生に対して月の位相変化のモデル実験を行ったが，解決には至っていないようである。その後，長沼・川村（2017）は，小学校におけるモデル実験の経験の有無と大学生の月の位相変化の理解には関係が見られないことを報告した。このことはモデル実験が効果的ではない可能性を示唆している。なぜ児童向けのモデル実験が月の位相変化の理解に顕著な効果をもたらさないのだろうか。Kawamura and Naganuma（2019, in press）は，モデル実験において縮尺モデルを用いて月食を再現させることで，月の位相変化における誤った理解を減らせる可能性について実践例をもとに報告した。本報ではこの研究に関してデータを追加して，縮尺モデルや概念モデルを用いた大学生向けの月の位相変化など月に関する2回の教育実践結果について報告し，モデル教材の課題について議論する。

2. 地球一月系の理解のためのモデルの利用

2.1 科学におけるモデル

Popper（1959）は自然界（世界）の見方を3区分した。

* 秋田大学教育文化学部

Faculty of Education and Human Studies, Akita University

** 千葉市立越智中学校

Ochi Junior High School, Chiba Prefecture

*** 秋田大学教育文化学部学生

Undergraduate student of Course for Compulsory School Teachers, Akita University

つまり、経験世界、自然法則で述べられる世界、推論に基づいて捉えられる世界である。彼の考えに従えば、科学におけるモデルは経験世界と私たちの認識をつなぐものである。科学においては、自然事象のモデルを構築(モデリング)、それをを用いた現象の予測(シミュレーション)、その結果をもとにしたモデルの評価、より適切なモデルの再構築といったプロセスで自然界の理解を深めていく。モデルとは、自然に関する課題解決のためのものであり、その目的に応じて自然界の実体を単純化・概念化する(Tolk, 2015)。

2.2 月の位相変化再現のためのモデリング

モデリングの際には、自然事象からモデルで解決しようとする事柄についてのみ形式的に抽出がなされる。例えば、本研究で取り上げる地球一月系の大きさや広がりなどの理解のためには、大縮尺にしてコンパクトに表現する「縮尺モデル」が考えられる。一幅の図における描画ではなく、小球など物体を用いて構築したモデルでは、実態と異なっているのはスケールと天体モデルの構成物質が人工物であることだけである。このとき、黄道と白道の傾斜を表現することも可能である。このモデルを用いると白道と黄道は斜交しているために、日食や月食が毎月は起こらないことを容易に理解でき、これらの食発生希少性を実感できる。しかし、月の位相変化をこのモデルを用いてシミュレートしようとするとき、地球から見た月は小さすぎて(視直径は約0.5度)、位相を確認することが困難であることから、位相変化の理解のためのモデルとしては不向きであると評価される。位相変化をモデルのシミュレーションにおいて観察しやすくするためには、視直径をかなり大きくする必要がある。モデルの改善の指針は、縮尺モデルよりも地球一月の距離を小さくする、月のモデルを大きくすることとなる。

月の位相の関係を理解するためには、天体の大きさや距離は考慮しないで、月の離角に注目して位相変化をシミュレートする「概念モデル」がある。この場合、離角と位相変化の関係のみを自然界から抽出し、それ以外の要素は実態を無視するという、縮尺モデルと比べるとかなり抽象化を進めたモデルである。例えば、このモデルを用いると日食や月食が毎月起こってしまうが、実際にはそのようなならない理由を理解した上で用いたとき、位相変化のシミュレーションに有効な方法となる。

3. 理科教科書に見られる模式図・モデル実験の問題点

3.1 教育へのモデル導入の本来の意義

学習科学の分野では、モデルで学ぶ学習(Model-based learning: MBL)の目的は、科学的概念の本質を獲得させる、モデルの可視化を通じて教科内容を十分に理解さ

せる、生徒の取り組みを改善することなどで(Lehrer and Schauble, 2006)、そのために生徒に科学概念の本質についてのモデリングにかかわらせる。ここでのポイントは、MBLは科学としてのモデルの構築を導入した学習であって、既成のモデルを用いて教えることではない。

3.2 理科教科書記載のモデルの実態

現行教育課程下の小・中学校の理科教科書(毛利ほか, 2014; 岡村ほか, 2016)に掲載されている地球一月系の模式図は概念モデルである(長沼・川村, 2017)。この図は天文教育において伝統的に使用されていると思われるが、極めて初期の天文学教科書(Lockyer, 1889)の図には、満月時や新月時には3次元的に見て、太陽、地球、月がちょうど一直線上にはないことが述べられている。また、小学校第6学年理科教科書(毛利ほか, 2014)に掲載されている教室で行うモデル実験の例には、バスケットボール大あるいはバレーボール大の球を月に見立て、地球に相当する観測者たる児童が任意の距離で月を観察する教材がある。これも概念モデルである。

3.3 小学校理科教科書に見るモデル実験の問題点

前節で述べたようなモデル実験は、MBLではなく、指導者が持っている知識体系をモデルに示したもので、モデリングのために指導者による形式的抽出がなされたモデルである。発達段階のうち形式的操作段階(Piaget, 1970)にある初学者の場合には、前章2.2で述べたように地球一月系の物理的特性(直径、距離、軌道傾斜角など)を理解したうえで、月の位相変化を理解するために概念モデルをモデリングさせること導入することは有効である可能性がある。しかし、小学校の現行の教育課程下の理科教科書を見る限り、このことに留意した記述・表現やモデル実験の指導がなされておらず、モデルが理解を妨げる要因になりうるのではないかと心配がある。けれども大学生ならば、理科教科書掲載のモデルをモデリングする際に施された形式的操作を理解できることが期待される。

4. 月の位相変化についての大学生向け指導観

教員養成課程大学生の月の位相変化の理解を改善するために、小学校第6学年の学習内容を理科教育指導法科目において取り上げることにした。その際、どのような指導法が適切なのであろうか。1章で述べたように、月食が月の位相変化の要因として調査結果の主な誤答として見られることから、この誤った概念を修正することが大学生には有効な方法であると考えられる。そこで、満月時に常に月食にならないのはなぜかを、縮尺モデルを用いて理解させることも取り上げることで、月の位相変

化の理解を深めさせることをねらいとした。大学生は形式的操作ができるとすれば、2章2節で述べた「概念モデル」の導入だけでも十分であると考えられる。もし形式的操作が不十分であれば、まず月食の理解のために「縮尺モデル」の導入が必要であると考えられる。そこで、いずれのモデルが有効であるかを明らかにするために、両モデルのいずれかを導入した授業の成果を比較することにした。「概念モデル」を導入した授業の方法は、小学校第6学年理科教科書掲載のモデル実験（毛利ほか、2014）に準じた。「縮尺モデル」を導入した授業は、以下の項目を学習内容に含めた。

- ①地球、月の直径と月の公転平均半径、それらを縮小したモデルの紹介
- ②縮尺モデルを用いた月の公転運動（地球公転軌道面との斜交を含む）の基本的な理解
- ③概念モデルとしての理科教科書掲載の図の理解

5. 教育実践（第1回）

5.1 モデルキットの特徴

月の学習のために、2種のモデル実験用キット、「縮尺モデルキット（Scale Size Model Kit (SMK)）」と「概念モデルキット（Conceptual Model Kit (CMK)）」を用意した。SMKは縮尺が約200,000,000分の1の地球と月のモデルの球を用意する。両天体の距離は約1.9mとなる。CMKは地球と月のモデルとして、発泡スチロール

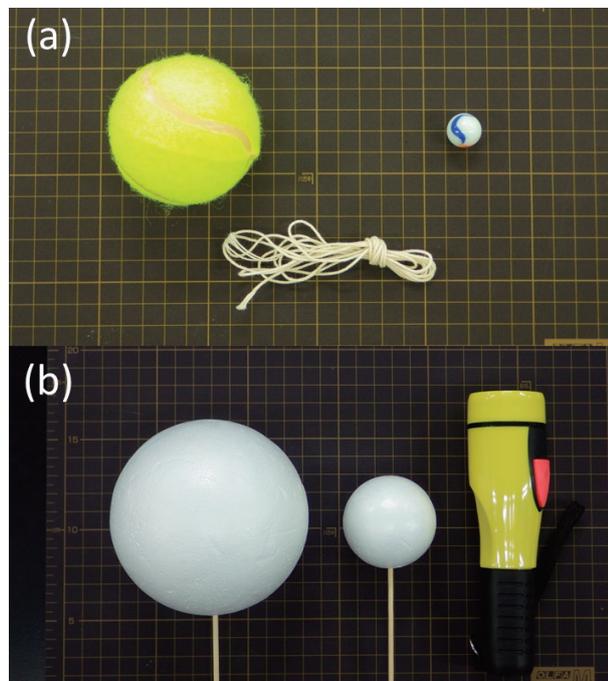


図1 地球一月系のモデルキット

(a) 縮尺モデルキット (SMK) 左上は地球、右上は月のモデル。下のひもを伸ばして両天体の距離の目安とする。(b) 概念モデルキット (CMK) 左から右に、地球、月、太陽のモデル。

製の直径約10cmと約5cmの白色球を用いた。両天体の距離は学習者が任意で決めることができる。

5.2 教育実践の概要

5.2.1 分析対象

本研究は、X大学の教員養成課程大学生のうち、2017年1月23日に実施した小学校理科指導法科目受講者を対象とした。後で述べるように授業の成果を検討するために事前・事後調査を実施したので、受講者のうちすべてのデータが取得できた学生のみを対象分析とした。対象者は1～3年次生の84名である。

5.2.2 学習集団の編成

当該学生を学生番号が偶数の者39名を実験群、奇数の者45名を統制群の2グループを編成した。統制群の授業にはCMK、実験群にはSMKをそれぞれ用いた。モデル実験は学生同士ペア（1組のみ3人組）を編成させて取り組ませた。

5.2.3 教育実践の記録

筆者のうち川村が授業を行った。授業の目的は、月の位相変化の理解を深めることである。授業記録の概要を表1に示す。

表1 実施した授業実践（第1回）の構成

活動区分	実験群	統制群	備考
導入(10分)	全体説明・グループ分け		別教室で実施時間帯をずらして展開以降を実施
教室移動			
展開(20分)	授業内容・教材説明	授業内容・教材説明	
	SMKを使用した活動	CMKを使用した活動	学習課題の取り組みが促進されるよう机間指導
終結(5分)	教材回収	教材回収	指導者による解説なし

6. 教育実践（第1回）の評価

6.1 事前・事後調査

6.1.1 概要

授業に先立って、長沼・川村（2017）で用いた月の位相変化および月食の認識についてのアンケート調査を、2016年10月17日および24日に事前調査として調査紙A、Bを使用して実施した。質問紙A：月の位相変化を説明させる問題（自由記述）、質問紙B：月食のしくみを説明させる問題（自由記述）。質問紙の詳細は長沼・川村（2017）を参照されたい。授業実施1・2週間後の1月30日および2月6日には同じ調査紙を用いてそれぞれ事後調査を行った。質問紙の概要は以下の通りである。

6.1.2 結果

実験群、統制群ともに実験の前後で月の位相変化や月食の理解について正答者数の割合に変化は見られず、これらの点でモデル実験の効果は見られない。

一方、月の位相変化の原因は月食であると考えられる回答者数の割合について事前調査と比較するためにフィッシャーの正確確率検定（有意水準5%，両側検定，以下同様）をおこなったところ，実験群（Sクラス）では有意差が見られた（表2）。つまり，授業後には月の位相は月食が原因であるという回答の割合が低下した。一方，統制群では回答率に有意な差は認められなかった。

また，月食の理解についての調査において日食と混同した回答者数の割合について事前・事後調査間で比較をおこなったところ，実験群・統制群ともに有意な差は認められなかった。

表2 月の位相変化および月食の理解についての解答状況の比較

	解答分類	実験群 (縮尺モデル使用グループ)				統制群 (概念モデル使用グループ)			
		正答	非正答	非正答内訳 月食	非正答内訳 その他	正答	非正答	非正答内訳 月食	非正答内訳 その他
月の位相 変化	事前	16	23	5	14	17	28	7	21
	事後	12	27	0	27	15	30	11	19
	非正答内訳 検定結果	$p=0.0085, p<.01$				$p=0.4022, p>.05$			
月食	事前	22	17	8	9	30	15	5	10
	事後	24	15	5	10	26	19	6	13
	非正答内訳 検定結果	$p=0.4905, p>.05$				$p=1.0000, p>.05$			

非正答には無解答を含む

6.2 学習中の学生の行動の様子

6.2.1 実験群

SMKを用いて月食を再現するよう課題を出したところ，学生は活動当初は「月食」のシミュレーションができたと考えているようだが，指導者がモデルにおける月食再現の状況を実地に確認すると，ほとんどの例で3天体が一直線上には並んでいない。そこで口頭で「月食は月が地球の影に入って欠ける現象」であることを学生に伝えると，シミュレーション結果の再検討を始め，修正してモデル地球の影に地球が入るように改善することに取り組んだ。指導者は月食再現が適切であることをおおむね確認できた。

また，月食と同様のことが日食にも適用されることを口頭で説明したが，日食をシミュレートしようとする学生はいなかった。

6.2.2 統制群

CMKを用いて，月の位相変化のうち三日月ごろ，上弦の月，月齢9程度の時の，太陽－地球－月の角度を見出すよう課題を出したところ，行動観察と提出されたワークシートの記述状況から，シミュレーション結果が

適切に得られていることが明らかにできた。

6.3 モデル教材利用の成果

事前調査における調査紙A，Bに対する正答率を実験群・統制群間で比較したところ有意差は見られなかったため，授業前の月の位相変化や月食に関する理解状況は，両群で同等であったと考える。また，事前・事後調査における同一調査紙にみる正答者数には有意差が見られなかった。月の位相変化，月食の理解ともにモデル教材の使用自体には効果は見られない。位相変化の認識においてモデル教材の使用が有効であることを示さないのは，長沼・川村（2017）に示した小学校におけるモデル実験の経験の有無と認識状況に関係が見られないことと調和的な結果である。

これらのことから，CMKの使用は調査紙A（月の位相変化）における誤答のうち月食の回答率を変えなかったのに対して，SMKは回答率を低下させたと判断する。この場合，月食以外の誤答に転化したと考えられ，SMK利用だけでは月の位相変化の理解を図ることはできない。

7. 教育実践（第2回）による調査

7.1.1 調査の目的

理科の授業におけるモデル実験で月の位相変化を理解させるために，概念モデルを使用せず縮尺モデルのみ使用することは考えられない。また，前章の終わりに示したように，SMKのみの利用では月の位相変化の理解を改善しないので，縮尺モデルに加え概念モデルを使用することが考えられる。その場合でも月の位相変化の誤概念としての月食の考えを減らすことができるかを確かめるため，再度の教育実践を行った。

7.1.2 概要

2回目の実践は，同じ大学の教員養成課程大学生のうち，2018年6月4日，11月15日，11月19日に実施した小学校理科指導法科目受講者を対象とした。先の実践同様に事前・事後調査（4週間後）を実施し，受講者のうちすべてのデータが取得できた学生のみを対象分析とした。対象者は1～3年次生の108名である。

30分の授業において，前半に教材としてSMKを使用して月食の仕組みについて解説したのち，後半にCMKを使用して月の位相変化についてワークシートを用いて実習させたこと以外は，5.2.3の記載と同様の授業展開である。

7.1.3 教材利用の成果

事前・事後調査における調査紙Aにみる正答者数に

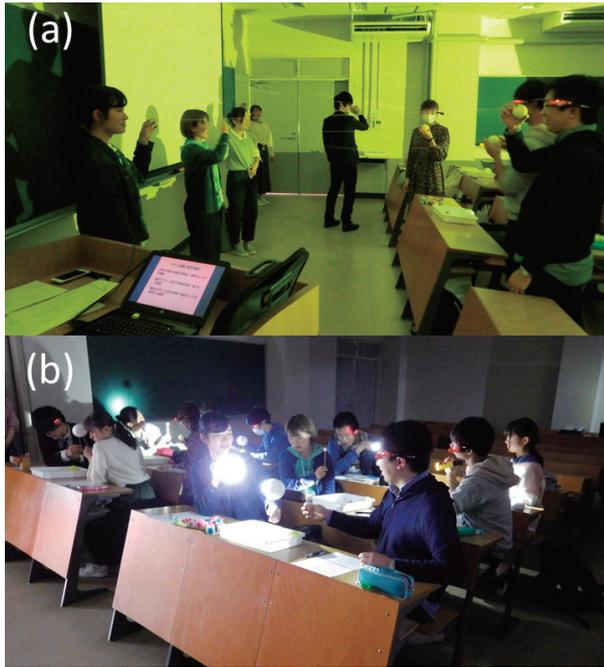


図2 モデル実験の実施状況

(a) 縮尺モデルキット (SMK) を使用した月食のシミュレーション, (b) 概念モデルキット (CMK) を使用した月の位相変化のシミュレーション

は有意差が見られた ($\chi^2(1) = 14.305, p < .01$; 表3)。月の位相変化の理解のために縮尺モデルキットに加え、小学校教科書記載のモデル教材 (概念モデルキット) を導入するだけで、月の位相を適切に回答できる学生の割合が上昇しているといえる。

また、月の位相変化の原因は月食であるとする回答者数の割合について事前・事後調査間で比較するために検定をおこなったところ、有意差が見られた ($\chi^2(1) = 5.955, p < .05$; 表3)。このことから、授業後には月の位相は月食が原因であるという誤った認識の回答の割合が低下しているといえる。

表3 第2回実践前後の月の位相変化についての解答状況の比較

		縮尺モデル+概念モデル使用			
		正答	非正答	非正答内訳	
月の位相変化	解答分類				
	事前	10	98	15	83
	事後	32	76	3	73
検定結果		$\chi^2(1) = 14.305, p < .01$		$\chi^2(1) = 5.955, p < .01$	

非正答には無解答を含む

8. 考察

8.1 知識とモデル結合の欠如

事前調査 (第1回実践) の質問紙B (月食が起こる仕組み) の正答率は約6割と調査紙A (月の位相変化の理由) の正答率の約3割より高かった。第1回の実践にお

いて SMK を用いたとき、実験群の学生は当初は月食のシミュレーションを正確にできておらず、キットを用いてどのように現象を再現すべきか、ほとんどの学生がわからなかったと思われる。つまり、月食についての理解が浅かったと考えられる。太陽—地球—月で一直線上に並び、地球の影に月が入るという現象を観念的に知っていても、縮尺モデルで何をシミュレートすべきかわかっていなかったのは、指導者から示されたモデル教材を、自分が保有する知識と結合することが、ほとんどの大学生ができていなかったためだと考えられる。

8.2 第2回調査結果を踏まえたモデル教材の評価

実験群と統制群を比較した第1回目の実践結果では、月食が位相変化の原因であるとする考えを1週間後調査において実験群で減少させることが明らかになった。第2回目の実践では、SMK と CMK の両キットを併用したが、実験4週間後でも同様の効果が確認できた。これらのことから、縮尺モデルキットと概念モデルキットの両方を併用することは、大学生の月の位相変化について、月食が原因でないこと、また位相変化について適切な考えを持たせることの両方に効果があることが明らかになった。

9. 課題

今回の実践は、小学校理科教科書と同様に、指導者が用意したモデルキットを利用させて行ったものであったが、大学生ならば数10分の活動のみで、概念モデルの教材キットを用いて月の位相変化の原因についての理解を深めさせることが可能であった。しかしそれでも正答者は半数を超えないことから、なお改善の余地がある。正答者数が著しく高まらなかった一つの可能性として、大学生でも概念モデルにおける月の位相変化シミュレーションのために必要な要素の抽出が困難であったのかも知れない。形式的操作ができるということは、すべての文化には当てはまらないし、ほとんどの人は日々の生活のすべての場面において形式的操作を使わない (Arnett, 2013)。そうだとすれば、指導者から与えられたモデル教材における形式的操作の要素を理解できない大学生が少なくないのかもしれない。その場合は、モデリングとシミュレーションの過程をより丁寧にした指導が必要になるだろう。やはり Trundle et al. (2002) が取り組んだ実践のように、十分に時間をかけた指導が必要となるのだろうか。

また、大学生が比較的知識を持っていると思われる月食の理解についても教具としてのモデルが本質的に有効であるとは言えない。月食の理解は位相変化よりも容易であると思われるのに、である。モデル実験でシミュレ

トするだけでは認識を変えるには至らない。「『事実』で理論は倒せない」(村上, 1979) ことが, 大学生の月の学習にも当てはまるようである。知識の改善には, 概念変容の規範モデル(例えば Posner et al, 1982; Strike and Posner, 1985) を踏まえた, 概念の共有, 活用, 議論を通じて概念の理解を形成する社会的相互作用(Blumenfeld et al., 1996) の場面を取り入れた協調学習の場を導入することが考えられる。その際, 福田・遠西(2016) の実践を参考にすると, 社会的相互作用により科学的な概念を受容させ, モデル実験で強化させる展開が考えられるが, ここで既成のモデル教材を単に導入するのではなく, モデリングを学生に取り組みせ, モデルにおける形式的操作の内容を理解させたいうでモデル実験に取り組みさせることが必要なのかもしれない。一方で, 知識の再構成には様々な要素が関わっており(Dole and Sinatra, 1998; 村山, 2011), その一つに動機づけがある。Trundle et al. (2002) の実践では, 大学物理の授業に月の位相変化の学習が位置付けられていたが, 本実践研究では成績とは無関係との位置付けで授業を実施したため, 学習内容に対する動機づけをほとんど行っていない。今回の実践対象のようにいわゆる非理系分野専攻の大学生にどのようにして動機づけをするか, 月の理解の有用性を認識させるかは, 依然として天文教育としての課題である。

謝辞 教育実践や事前・事後の各種調査にあたり, 教育文化学部技術専門職員の山下清次氏および同学部理科教育学研究室の学生諸氏にお手伝いいただいた。また, 本論文の表現について, 同研究室の田口瑞穂講師からご指摘いただき, 改善することができた。ご支援くださった関係各位に感謝の意を表する。

引用文献

- Arnett, J. (2009): *Adolescence and emerging adulthood: A cultural approach* (4th Ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, 504p.
- Blumenfeld, P.C., Marx, R.W., Soloway, E., and Krajcik, J. (1996): Learning with peers: From small group cooperation to collaborative communities. *Educational Researcher*, 25(8), 37-39.
- Dole, J.A. and Sinatra, G.M. (1998): Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge. *Educational Psychologist*, 33, 109-128.
- 福田恒康・遠西昭寿 (2016): 概念転換のパターンと構造—社会的相互過程として見る概念転換—. *理科教育学研究*, 57, 45-52.
- 伊東明彦・千田 恵・田原博人 (2007): 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*, 30, 473-

482.

- Kawamura, N. and Naganuma, Y. (2019): Undergraduate students' understanding of the Moon phase change in a course for trainee teachers in compulsory education. *EPJ Web of Conferences*, (in press).
- Lehrer, R. and Schauble, L. (2006): Cultivating model-based reasoning in science education. *The Cambridge Handbook of Learning Sciences*, 371-381, Cambridge University Press, Cambridge.
- Lockyer, J. N. (1889): *Elementary lessons in astronomy*. Macmillan and co., London, 363p.
- 松森靖夫 (1983): 児童・生徒の空間認識に関する考察 (Ⅲ) —視点移動の類型化について—. *日本理科教育学会研究紀要*, 24 (2), 27-34.
- 宮脇亮介・南部省吾 (1992): 月の満ち欠けについての子どもの概念. *地学教育*, 45 (6), 219-226.
- 文部科学省 (2008): *小学校学習指導要領解説理科編*. 大日本図書, 東京, 105p.
- 文部科学省 (2009a): *中学校学習指導要領解説理科編*. 大日本図書, 東京, 149p.
- 文部科学省 (2009b): *小学校学習指導要領解説理科編*. 大日本図書, 東京, 105p.
- 長沼侑生・川村教一 (2016): 小学校教員養成課程大学生が持つ月の位相変化および月食についての認識. *日本理科教育学会第66回全国大会論文集*, 131.
- 長沼侑生・川村教一 (2017): 教員養成課程大学生が持つ月の位相の認識. *秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要*, 39, 81-91.
- 村上陽一郎 (1979): *新しい科学論: 事実は理論を倒せるか*. 講談社, 東京, 202p.
- 村山 功 (2011): 概念変化についての諸理論. *心理学評論*, 54, 218-231.
- 毛利 衛ほか (2014): *新編新しい理科5年*. 東京書籍, 東京, 168p.
- 岡村定矩ほか (2016): *新編新しい科学3*. 東京書籍, 東京, 134p.
- Piaget, J. (1970): *Science of education and the psychology of the child*. (Trans. D. Coltman), Orion, New York, 186p.
- Popper, K. R. (1959): *The Logic of Scientific Discovery*. Routledge, London, 513p.
- Posner, G.J., Strike, K. A., Hewson, P.W., and Gertzog, W.A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Strike, K. A. and Posner, G. J. (1985): A conceptual change view of learning and understanding. In Westand, L.H.T. and Pines, A.L. (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*, 211-231, Academic Press, New York. 新藤公夫 (監訳, 1994), *認知構造と概念転換*, 259-285, 東洋館出版社, 東京.
- 田口瑞穂・川村教一・上田晴彦 (2012): 小学校理科における天体観察学習指導の問題点—秋田県内の教員向けアンケート調査より—. *秋田大学教育文化学部教育実践研究紀要*, 34, 45-56.
- Tolk, A. (2015): Learning something right from models that are

- wrong – Epistemology of Simulation. In Yilmaz, L. (Ed.)
Concepts and Methodologies in Modeling and Simulation,
87-106, Springer-Verlag, Berlin.
- 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.
- 柚木朋也 (2014) : 「月の満ち欠け」に関する教員養成課程の大
学生概念. *北海道教育大学紀要*, 64 (2), 151-162.