

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：12604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350186

研究課題名(和文) 太陽系創世の歴史を最先端の科学データで教材化する

研究課題名(英文) Development of astronomical educational programs to teach how the solar system formed using real observational data

研究代表者

下井倉 ともみ (Shimoikura, Tomomi)

東京学芸大学・教育学部・研究員

研究者番号：30569760

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、太陽系形成の進化をテーマに教材化を行った。国内外の研究機関で得られた最先端の学術データを利用し、太陽系の形成(月、太陽、惑星を含む)についての教材の開発、教材を用いた学習プログラム(指導方法)の開発を行った。また、教員を志望する学生を対象に教育実践を行い、理解度等を調査した。教育実践の結果、受講生の理解と教える自信の向上に有効性が示された。

研究成果の概要(英文)：We have developed several educational materials and programs to teach the formation of the Solar System using real science data. Using these materials and programs, we had a lesson of some subjects related to the solar system to the students belonging to the department of Faculty of Education and how the students should teach it to the children at elementary school. After the lesson, the students understood the subjects better and improved their confidence to teach these subjects.

研究分野：科学教育

キーワード：科学教育 天文教育 天文学 地球惑星 星形成

1. 研究開始当初の背景

様々な観測装置により、宇宙・天文分野の科学成果が日々生み出されている。月周回衛星「かぐや」によって得られた月の表面の様子、科学衛星「ひので」による太陽のダイナミックな活動現象、「アルマ望遠鏡」によって得られた惑星誕生の現場の姿など、これらの新しい科学成果は、児童・生徒を魅了する教育的に非常に有効な教材となり得る。しかし、学校教育現場では、天文学の最先端の観測結果についてほとんど触れられていない。現行の学習指導要領では理科における天文分野の取り扱いが増えたが、これらは最近の科学成果に基づくものである。その内容には、児童・生徒にとってのみならず教員にとっても新しく学ぶべき事象が含まれている。これら新しい知識のより良い指導法やそのための教材開発が必要であるが、最先端の科学成果を用いた教材はほとんど皆無である。

天文学を理解するためには科学的思考力が必要である。宇宙・天文への興味をうまく利用すれば科学の面白さを認識させるだけでなく、科学的思考力の育成も可能である。しかし、天文分野は、児童・生徒にとって興味や関心の高い分野である一方、日常とはかけ離れた空間や時間のスケールなど、理解の難しい分野でもある。さらに、指導する側の教員についての問題もある。天文学専攻以外の高校地学教員にとって天文は教えにくい分野であり、それ以上に、小中学校の教員の多くは大学等で天文学にふれることがほとんどないために天文教材の扱いに苦慮しているとの報告がある（例えば、縣秀彦，天文月報，85，521-524.，1992）。

以上のことから、専門的な最先端の学術データを有効に活用した天文教材の開発と、天文分野の指導法の開発が望まれる。

2. 研究の目的

本研究では、太陽系形成の進化をテーマに教材化を行う。国内外の研究機関で得られた最先端の学術データを利用し、①太陽系の形成についての教材の開発、②教材を用いた学習プログラム（指導方法）の開発を行う。また、教員を志望する学生を対象に教育実践を行い、理解度等を調査することで教材・開発プログラムを評価する。太陽系形成のシナリオと学習指導要領との関連を図1に示す。

3. 研究の方法

(1) 天文教材の作成

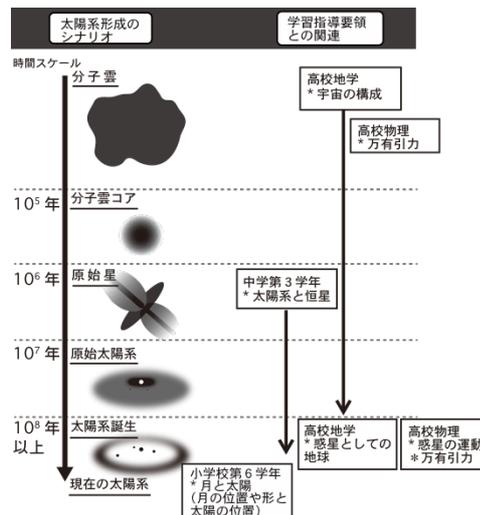


図1 太陽系形成のシナリオと学習指導要領との関連

太陽系形成の理解は、星形成や系外惑星系形成のみならず生命の起源にも関連する重要なものである。その形成過程については、完全ではないものの、断片的なシナリオが描き出されるようになった。このシナリオによる太陽系の各進化段階は、複数の観測装置により観測的事実として明らかにされつつある。様々な分子雲の様子や星の母体である分子雲コアの物理状態、今まさに惑星系が誕生する現場など、観測結果は我々に数多くの新知見をもたらしている。また、得られた観測結果は、太陽系の進化の断片（ある時間の1コマ）であるが、数値計算による成果によって連続的な経過を知ることができる。天文分野が理解し難い理由の一つに、扱う時間と空間の範囲が日常に比べ非常に広大であることが挙げられるが、これを理解させるために数値計算による成果の活用が考えられる。

本研究では、様々な観測装置や数値計算により得られた科学データを活用して、太陽系創成に関する2次元画像と、それらについての専門の研究者自身による解説を作成し、これらを組み合わせた教材を作成した。教材の例を図2に示す。

(2) 授業実践及び教材の評価

作成した教材を用いて教員志望の学生を対象にした授業を実践した。授業実践の前後に受講者に理解度を調べるための調査や、受講者自身がもつ教える自信度を調べる調査を行った。授業実践前後での結果を比較することで教材や学習プログラムの有効性を調べた。

を調査した。調査は、全国 15 大学の教員養成課程に在籍する国語や社会専攻などの理科専攻以外の学生 1,815 人(2011~2012 年度)を対象に行った。全回答を一通り調べた結果、8 割程度の学生が説明できていなかった。このことから、回答者自身はその仕組みについて理解していないことが推測された。そこで、本研究では、教員志望学生が「月の満ち欠けを理解しているかどうか」に焦点をおき、回答を【i 理解し、手順を追って説明している。ii 理解している。iii 理解していない。】の 3 つに分類し、再度分析を行った。調査の質問及び i~iii に分類した結果を、図 4(a)に示す。i と ii をあわせた回答は、全体の 19%であった。次に、iii の「理解していない」に分類した 81%(回答数 1,465)の内容を精査し、次の①~④に分類した。【①不十分な回答や、図を描いたのみの回答。②未記入や、「わかりません」等の回答。③地球による遮蔽を記述している(月食と混同している)回答。④その他。】。①~④に分類した結果を、図 1(b)に示す。結果は、①が回答数 666 で最も多い。③は回答数 220 であり、全回答の 12%に相当する。また、④の「その他」には、月を惑星であると勘違いしている、様々な形の月が存在する、惑星に隠される。といった回答があった。なお、分類の割合は、調査を実施した大学間で大きな差は見られなかった。以上の全国的な調査から、教員志望学生の 81%が月の満ち欠けの仕組みを理解していないという全国的な傾向が明らかになった。

【質問】小学生に「月の満ち欠けはどうして起きるの?」と聞かれた時、あなたはどのように説明しますか。手順を追って述べてください。イラストを用いてもかまいません。

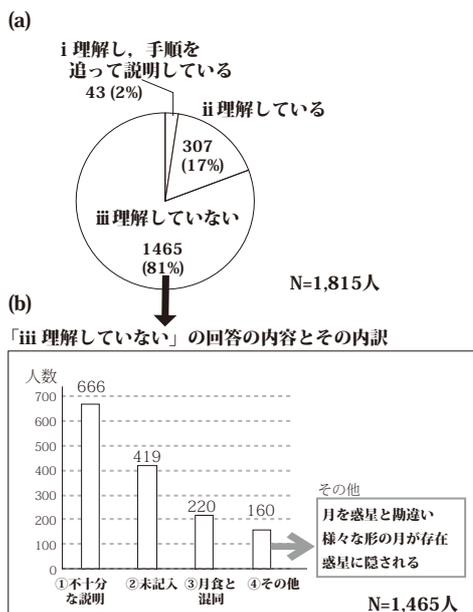


図 4 全国調査の質問とその結果

かになった。その理解度の低さは、教員志望の学生の共通の問題である。

②知識・理解不足の原因がどこにあるのかを知るための調査

①の調査から、学習経験の不十分な教員志望学生には、まず彼ら自身に月の満ち欠けの仕組みを理解させ、その後に児童への指導方法を教授する必要があることが分かった。そこで、東京学芸大学の学生 102 人(2016 年度)を対象に、月の満ち欠けについての知識・理解不足の原因がどこにあるのかを知るための調査を行い、彼らに指導すべき事項を明らかにした。その結果を以下にまとめる。

(a) 基礎的な知識不足: 「月の自転と公転周期」等の基礎的な知識不足の学生が多い。特に、「地球は地軸を中心として、1 日 1 回 () から () へ自転する」に回答させた「地球の自転方向」については、正答率が低かった(38%)。普段意識していないために誤解したままの学生が多いと思われる。

(b) 月の運動の理解不足: どの形の月が何時にどの方向に見えるか等、月の運動と地球の運動及びそれらの位置関係を理解していない(該当質問への正答率 30%以下)。

(c) 説明する力の不足: 「日周運動について‘自転’という言葉を用いて説明しなさい」というような記述式で回答する質問の正答率は特に低く(14%)、科学現象を適切に説明する力が不足している。

③月の満ち欠けを理解させ、児童へ説明するための指導法

教員志望学生の月の満ち欠けについての理解度とその向上に関する実態調査の研究事例は複数あるものの、彼らの教える自信の有無を評価している研究は見あたらず、それを改善するためにどのような工夫が必要なのかも現時点では明らかになっていない。そこで、②の調査対象の学生を対象に、月の満ち欠けを理解させるための授業を実践した。(i) 基礎知識の習得、(ii) 月の運動と太陽・地球・月の関係を理解させる、(iii) 児童にどのように月の満ち欠けを教えるか考えさせる、という流れで授業を行った。授業後に再び調査を行い、彼らの知識・理解の向上及び月の満ち欠けについて児童へ説明する力を評価した。また、月の満ち欠けの仕組みを理解した学生が教える自信をもつことができたかということについても、調査を行った。その結果、受講生

の理解と教える自信の向上に有効性が示された。

受講者の教える自信をもてない理由を授業実践の前後で比較した。授業の実践前は、受講生が児童に月の満ち欠けを教える自信をもてない理由に「自分自身の内容の理解不足」が最も多く挙げられたが、実践後は「児童への指導」が最も多く挙げられた。これは、授業実践で学生の理解が向上したことから、自分が児童に指導するためにはどのようにすべきか学生の意識が次の段階に移行したと解釈できる。教員志望学生に教える自信をもたせるためには、まず学生自身に理解させ、その後、指導法を講義し、模擬授業などの実践授業を行わせる必要があることが分かった。

(3) 天体望遠鏡の取り扱いと太陽観察

小学校・中学校の教員を目指す理科専攻の学生に対して行った天体望遠鏡の実習に関する教育実践と、その結果について報告する。

授業実践は、東京学芸大学の「地学実験」の授業を利用した。この授業は、初等・中等教育教員養成課程の小・中学校教員養成の学生を対象とした、免許法上の教科に関する科目である。受講者数は296人(2015年度及び2016年度)である。実習の目的は、受講者に口径8cmの屈折式天体望遠鏡の組み立てと操作方法を習得させ、安全な太陽観察の方法を習得させるものである。

実習前に、開発した教材を用いて太陽系及び太陽の構造について講義し、黒点やプロミネンス、フレアといった太陽で起こる現象についての知識を習得させた。その後、天体望遠鏡の説明や取り扱い等についての指導を行った。実習は、操作に十分慣れるよう天体望遠鏡1台につき少人数の3~4人を1グループとして行った。まず、各グループで太陽観察を行い、次に各自で操作方法を習得する時間を1時間半程度もうけた。実習後、天体望遠鏡を組み立ててそれを操作し、目標物を導入させる実技試験を行った。その結果、受講生全員が合格基準に達した。授業実践により、天体望遠鏡に関する予備知識のほとんどない学生が、実習を通してその操作技術や知識を習得し、また、天体観察を実践するにあたっての障害(苦手意識や不安)を解消することができたことが分かった。

実習前の調査から、受講生について以下のことが分かった。

①天体望遠鏡が操作できる学生の割合は1割未満である。

②小学校及び中学校の理科の授業で、天体観察は必要だと回答した学生の割合は7割である。

また、実習後の調査により、以下の結果が得られた。

①天体望遠鏡の操作方法を「まあ習得できた」、「習得できた」と回答した学生の割合は9割である。

②小学校及び中学校の理科の授業で、天体観察は必要だと回答した学生の割合は8割である(図5)。

実習中は、多くの受講生から「太陽の表面の様子を初めて見た。黒点がどんなものかわかった。」等の感想が得られた。実際に体験することで、実感をもって知ることが数多くあったものと思われる。このように自ら体験したことは、学生自身が将来教壇に立ったとき、その感動とともに児童・生徒に伝えることができるものと思われる。さらに、「望遠鏡を操作できるようになったので、次回は夜に天体観察を行ってみたい。」という感想も複数の学生から得られたことから、天体への興味をもたせることにもつながったと思われる。教員志望の学生自身に天体望遠鏡の操作方法を習得させ、天体観察を経験させることは、彼らに自然観察の重要性を実体験として認識させるうえで極めて有意義であることが分かった。

【質問】 将来教壇に立った時、機会があれば担当授業で天体観察を行いたいと思いますか。

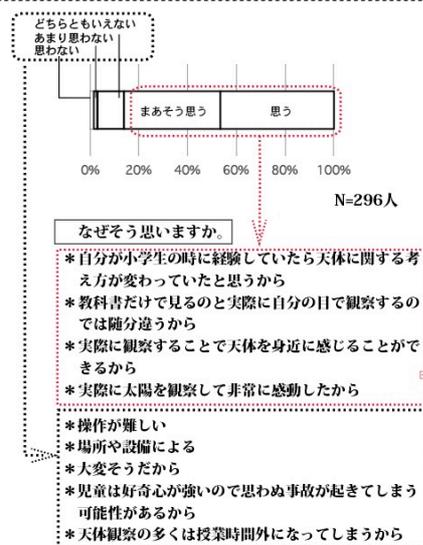


図5 実習後の調査結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① 下井倉ともみ、土橋一仁、“理科を専攻としない教員志望学生への「月の満ち欠け」の教育の必要性”，*地学教育*, Vol. 69, No. 4 pp. 211-227, 2017 [査読有り]
- ② Shimoikura, T., Dobashi, K., Matsumoto, T., Nakamura, F., “Discovery of Infalling Motion with Rotation of the Cluster-Forming Clump S235AB and Its Implication to the Clump Structures”, *The Astrophysical Journal*, Vol 832, article id. 205, 11pp., 2016 [査読有り]
- ③ Shimoikura, T., Dobashi, K., “Atlas and Catalog of Dark Clouds”, *Astronomy museums and related activities: proceedings of the International symposium on the NAOJ museum*, Mitaka, Tokyo, Japan, September 27-29, pp. 182-185, 2015 [査読無し]
- ④ Shimoikura, T., Dobashi, K., Nakamura, F., Hara, C., Tanaka, T., Shimajiri, Y., Kawabe, R., “Dense Clumps and Candidates for Molecular Outflows in W40”, *The Astrophysical Journal*, Vol. 806, article id. 201, 19pp., 2015 [査読有り]
- ⑤ Matsumoto, T., Dobashi, K., Shimoikura, T., “Star Formation in Turbulent Molecular Clouds with Colliding Flow”, *The Astrophysical Journal*, Vol. 801, article id. 77, 21pp., 2015 [査読有り]
- ⑥ 下井倉ともみ、土橋一仁、松本伸示、“理科を専攻としない学生を対象とした「小学校理科を教える自信」に関する調査”，*科学教育*, Vol. 38, No. 4, 238-247, 2014 [査読有り]

[学会発表] (計9件)

- ① 下井倉ともみ、土橋一仁、「教員志望学生を対象にした天体望遠鏡実習の授業実践とその効果」日本天文学会 2016年秋季年会、愛媛大学(愛媛県松山市) (2016年9月14日)
- ② 下井倉ともみ、土橋一仁、松本倫明、中村文隆「星団を形成するクラumpの力学的進化」日本天文学会 2016年春季年会、首都大学東京(東京都八王子市) (2016年3月15日)
- ③ 土橋一仁、下井倉ともみ、松本倫明、中村文隆「クラスターを形成するクラumpの回転+インフォール運動のモデル化」日本天文学会 2016年春季年会、首都大学東京(東京都八王子市) (2016年3月15日)
- ④ 中村文隆、下井倉ともみ、土橋一仁、Quang Nguyen Luong、Patricio Sanhueza、原千穂美、島尻芳人ほか星形成レガシーチーム「星形成レガシープロジェクト: Aquila

Rift, Orion A, M17領域のCO分子雲カタログの作成」日本天文学会 2016年春季年会、首都大学東京 (東京都八王子市) (2016年3月15日)

- ⑤ 土橋一仁、下井倉ともみ、松本伸示、「温室効果検出への挑戦. I. よくある誤解と室内実験の問題点」日本天文学会 2015年秋季年会、甲南大学(兵庫県神戸市) (2015年9月9日)
- ⑥ 下井倉ともみ、土橋一仁、松本伸示、「温室効果検出への挑戦. II. 実験器の試作」日本天文学会 2015年秋季年会、甲南大学(兵庫県神戸市) (2015年9月9日)
- ⑦ Shimoikura, T., Dobashi, K., F. Nakamura, R. Kawabe, Y. Shimajiri, K. Sugitani, C. Hara, T. Tanaka., “Geometry of dense clumps in the W40 HII region”, Star Formation Workshop 2015: from Clouds to Cores, National Astronomical Observatory (Tokyo, Mitaka) (2015年6月30日)
- ⑧ 下井倉ともみ、土橋一仁、「小学校の教員志望学生を対象にした「月の満ち欠け」の理解度調査」日本天文学会 2014年秋季年会、山形大学(山形県山形市) (2014年9月11日)
- ⑨ 下井倉ともみ、土橋一仁、中村文隆、川邊良平、島尻芳人、西谷洋之、杉谷光司、原千穂美、田中智博、「W40に付随する分子雲の $^{12}\text{CO}(J=3-2)$ 及び $\text{HCO}^+(J=4-3)$ 観測」日本天文学会 2014年秋季年会、山形大学(山形県山形市) (2014年9月12日)

[その他]

ホームページ等

東京学芸大学天文学研究室「暗黒星雲博物館」

[http://darkclouds.u-](http://darkclouds.u-gakugei.ac.jp/public/museum/index.html)

[gakugei.ac.jp/public/museum/index.html](http://darkclouds.u-gakugei.ac.jp/public/museum/index.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下井倉 ともみ

(SHIMOIKURA TOMOMI)

東京学芸大学・教育学部・研究員

研究者番号: 30569760

(2) 連携研究者

土橋 一仁

(DOBASHI KAZUHITO)

東京学芸大学・教育学部・教授

研究者番号: 20237176