



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	班活動で利用できる卓上プラネタリウム“アマテラス”の開発
Author(s)	塚本, 胡美; 中野, 英之; 平川, 尚毅
Citation	科学技術コミュニケーション, 25, 33-47
Issue Date	2019-07
DOI	https://doi.org/10.14943/89911
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/75077
Type	departmental bulletin paper
File Information	04_tsukamoto.pdf



報告

班活動で利用できる卓上プラネタリウム “アマテラス”の開発

塚本 胡美¹, 中野 英之², 平川 尚毅³

Development of Tabletop Planetarium Named “AMATERASU”, Useful Tools for a Group Activity

TSUKAMOTO Kurumi¹, NAKANO Hideyuki², HIRAKAWA Naoki³

要旨

体験活動を通して学習者の天文に関する知識・理解を深めることを目的に、学習者全員がプラネタリウムの解説者の経験をしながら班活動で学習を行うことのできるピンホール式の卓上プラネタリウム「アマテラス」を開発した。「アマテラス」は組み立て式のプラスチックダンボール製のハーフトームと小型のプラスチック製の半球にピンホールを開けて加工した小型の恒星球からなる。「アマテラス」は理科室の実験台の上に設置して投影することができ4等星以上の恒星と1等星以上の恒星の色や日周運動を再現することができる。「アマテラス」を用いて大学生を対象に、プラネタリウムの番組づくりと解説パンフレットづくりや解説員の経験をさせる教育実践を行ったところ、学生は主体的に活動に取り組み、天文分野に関する知識・理解を深めることができた。

キーワード：卓上プラネタリウム，天文教育，班活動，プラネタリウムの解説員体験，大学生

Keywords: tabletop planetarium, astronomy education, group activity, planetarium presenter, college student

1. はじめに

最近では、高性能で安価なプラネタリウムが多数販売されるようになり、室内で星空を投影することが容易になってきた。これらのプラネタリウムは星数も多く、観賞用として楽しめるものである。しかし、教育現場で利用を検討しようとする場合、星数が少ない場合が良い場合もあり、市販のプラネタリウムが必ずしも使いやすいわけではないことが指摘されている（阿部 他, 2006, 197-204）。これは、星数が多すぎるとかえって星座の形が分かりにくくなるためだろう。これまで、教育効果を上げるために、安価で身近な紙等の材料で作製できる自作プラネタリウムの開発が多くの教育関係者によってなされてきた。紙製のものは円筒形と多面体形のものがある。円筒形のものとしては大平によるものが、多面体形のものとしては大久保・吉田（2003, 33-36）、阿部・佐藤（2006,

2019年3月12日受付 2019年6月6日受理

所 属：1. 世田谷区立八幡中学校

2. 桐蔭横浜大学スポーツ健康政策学部

3. 横浜国立大学大学院理工学府

連絡先：nakatee@toin.ac.jp

197-204), 独立行政法人科学技術振興機構によるものがある。紙製以外のものとしては、ペットボトルを利用したもの(山田・栗野, 2002, 6-12)や星像が印刷されている OHP シートを用いたもの(小貫, 2007, 30-34)がある。紙製のものは製作コストがあまりかからないという利点があるが、先行事例のものは円形のピンホールを開けることが難しく、プラネタリウム本体(以下恒星球という)が小さいため、教室内の壁面に星像を円形で尖鋭に投影することが難しいという課題があった。紙製プラネタリウムはピンホールを開ける際に生じるささくれの問題があり、円形で尖鋭な星像を投影できるピンホールをつくることはピンホール径が小さくなるほど難しい。大石 他(2017, 31-40)は、先行研究における紙製プラネタリウムの課題を克服した紙製プラネタリウム工作キット“Kent Star”を開発した。大石他(2017, 31-40)は、恒星球の直径を 35 cm と大型化し、ささくれが生じにくいケント紙を用いてピンホールを精密皮ポンチでくり抜いて開けることによりこれらの課題を克服するとともに、キット化を試みた。また、中野(2018, 239-242)は、大学生を対象とした“Kent Star”を用いた工作実習を行い、教室内で投影ができるプラダン製の組み立て式ドーム(大石 他 2013, 93-97)を用いて投影実習を行った。質的統合法を用いた授業分析を行った結果、学習者がプラネタリウムの解説員の経験をするのが、天文分野の知識・興味の深まりに繋がることが示された(中野 2018, 239-242)。

学習者にプラネタリウムの解説員を経験させることは、高い学習効果が期待できるだけでなく、主体的で深い学びにつながる活動にも展開しやすい。学習定着率を表す「ラーニング・ピラミッド(Learning Pyramid)」においても、人に教える経験が一番学びの効果が高いことが示されている(Dale 1969, 108)。しかし、教室内でプラネタリウムの投影を行う場合、よほど時間的な余裕がない限りは、教師側からの一方向的な説明とならざるを得ないであろう。また、教室内でドームを設置する場合は 1 回に収容できる人員も限られてしまう。教室の内壁に投影しようとする場合も本棚が設置されていたりして投影が困難な場合も少なくない。“Kent Star”を用いて教室内で 40 人程度を対象に一定時間内に全員が解説員の体験をさせることは困難である。40 人程度のクラスで学習者全員にプラネタリウムの解説員を経験させるためには、教材そのものを根本から見直す必要があると思われる。

そこで本研究では、40 人程度のクラスを想定し、全員がプラネタリウムの解説員を体験できるピンホール式卓上プラネタリウムを開発するとともに、大学生を対象とした教育実践を行った。本稿では、その教材開発と教育実践の効果について報告するものである。

2. 教材開発

理科実験室の各実験台の上に恒星球とドームを設置し、4 人程度で利用できる教材を開発する。一般的な理科実験室に 10 基のドームを設置することは現実的ではないことと、学習者が各ドームの中に入ってしまうと、教員側が指導しにくくなるといった問題がある。このため、投影するのはドームではなく、ハーフドームとすることとした。実験台に設置できるサイズとして直径 120 cm のハーフドームを開発することにし、このサイズに合わせた恒星球を開発することにした。以下その詳細について説明する。

2.1 ハーフドームの開発

本研究では、鳴川(2016, 128-135)のジオデシックドームを参考に作製した。ジオデシックドームとは、建築家バックミンスター・フラーによって考案された平面を組み合わせたドーム状建築物である。鳴川(2016, 128-135)は、4 枚のダンボール製の三角形のユニットをボルトで組み合わせ

で大ユニットとし、更に大ユニットをボルトで組み合わせてドームを作製した。本研究では、軽く、耐久性のある白色のプラスチック製ダンボールを用いることにした。また、簡単に脱着ができるよう、折りしろにはマジックテープを使用するとともに、ユニットどうしの接続は洗濯ばさみを使用することにした。

ハーフドームは 910 mm × 1820 mm 大の白色プラスチックダンボール 2 枚を使用して作製する。プラスチック

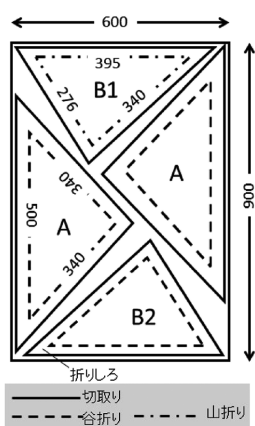


図1 ユニットの切り出し

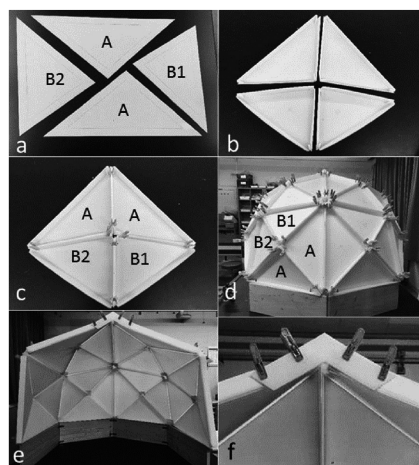


図2 ハーフドームの組み立て方法

ダンボールをそれぞれ3等分して、図1のようにA, B1, B2のユニット4枚をプラスチックダンボールから切り出す。これを6セット計24個のユニットを組み合わせてハーフドームを作製する。B2はB1を左右反転したものである。図2に24個のユニットからハーフドームを組み立てる方法を示す。プラスチックダンボールから各ユニットを切り出し（図2a）、折りしろ部分の不要部分を切断し粘着マジックテープを使用して折りしろ部分を立てる（図2b）。4つのパーツの折りしろ部分を洗濯ばさみを用いて組み合わせ、A, B1, B2からなる大ユニットを作製する（図2c）。大ユニット6つを組み合わせ、木製の土台の上に組み立てる（図2d）。ハーフドームの天頂部は沈降しやすいため、余ったプラスチックダンボールを2枚組み合わせて「ハ」の字型に切り取って組み合わせて作製した支え（図2f）を洗濯ばさみで固定してハーフドームの天頂部の沈降を防ぐ（図2e）。また、ユニットの接続部で隙間が目立つ場合には白色の布テープを用いて塞いで使用する。木製の土台は1×8材を500mmに切断したものを4つ切り出し、これらをユニクロ隅金一字字を用いて固定したものを使用した。ハーフドームを土台に載せる際には画鋲で固定を行う。ハーフドーム1つの作製費は土台を含めて約2000円程度であった。組み立ては1人で10分足らずで組み立てを行うことができる。洗濯ばさみを使用しているため、解体は容易であり、各ユニットはマジックテープを使用していることから、平面の状態で保管できるため、収納性に優れている。

2.2 ミニ恒星球の開発

上記に示したハーフドームに投影する恒星球を以下のコンセプトをもとに作製した；①4等星までの恒星を投影できるようにすること、②1等星以上の明るい恒星の色の違いを分かるようにすること、③日周運動を容易に再現できるようにすること、④投影したい方向を任意に変えることができること。

今回は直径1.2mのハーフドームに投影するため、小型の恒星球を作製する必要がある。“Kent Star”を小型化することも検討したが、その場合には0.5mm程度の径の非常に小さいピンホールを開ける必要がある。ささくれの生じにくいケント紙であっても0.5mmの円形のピンホールを開けることは困難であることや0.5mm径の精密皮ポンチを入手することが不可能であったことから、紙製のプラネタリウムを作製することは断念した。そこで、教材として教育現場でよく使用されている直径20cmのプラスチック製の透明半球を用いて恒星球を作製することにした。第4章

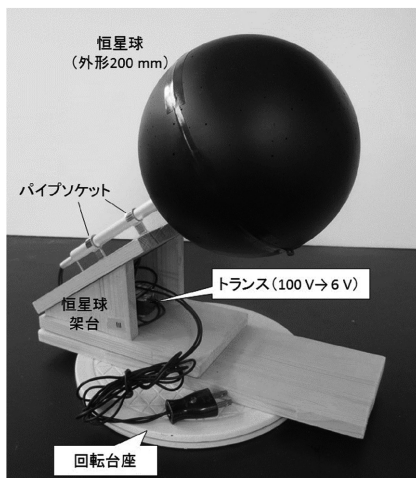


図3 作製した恒星球

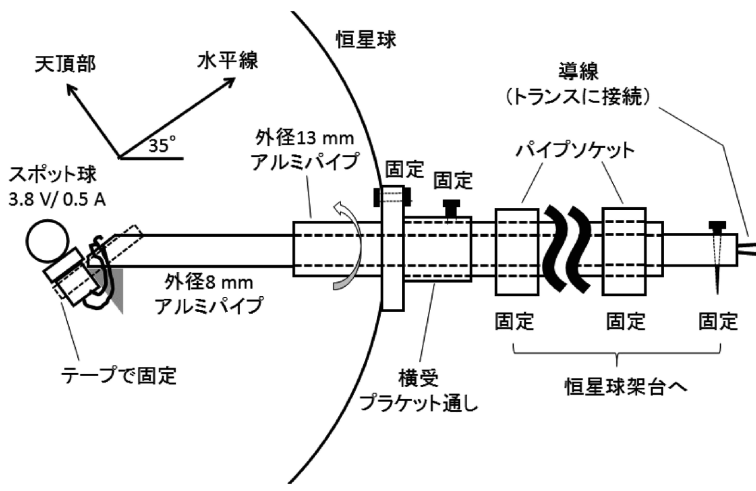


図4 恒星球内部の構造

で述べるように、透明半球を用いたことが、天の川を投影することを可能にした。開発した恒星球の概観を図3に、恒星球内部の構造を図4に示す。作製の効率化と品質の均一化を計るために、透明半球に収まるように加工した直径約20 cmの発泡スチロール製のボールに天の赤道と22.5°ごとの緯線、24分割した経線を書き入れ、星図などを参考にして書き込んだものを用意した。その際、書き入れる恒星の等級ごとに色分けして記した。ボールに透明半球を被せて透明半球に星の位置をトレースして作製することにした。ピンホールの大きさは、1等星以上、2等星、3等星、4等星をそれぞれ2.0 mm、1.4 mm、1.0 mm、0.7 mmとし、電動ドリルをもちいてピンホールを作製した。作製後はバリを取り除いた後、プラスチック用マットタイプの黒色スプレーで内側と外側を塗装した。また、1等星以上の恒星は、スプレーで

塗装を行った後に、セロハンで恒星球内側から接着させて着色した。使用するセロハンはスペクトル型に応じて変えることとした。O・B型、G型、K型、M型にはそれぞれ、青セロハン、黄セロハン、赤セロハンと黄セロハンを重ねたもの、赤セロハンをそれぞれ使用した。A型についてはセロハンを使用しなかった。

恒星球の天の南極側には外径13 mm用のアルミパイプ用の横受けブラケット通しを取り付け、横受けブラケット通しには外径13 mmのアルミパイプを固定した。外径13 mmのアルミパイプは京都市の緯度に合わせ35度の傾きを持たせた恒星球架台上に固定した2個の内径13 mm用のパイプソケットに差込み、アルミパイプを回転させることにより日周運動を再現した。光源にはスポット球(3.8 V/0.5 A)を使用した。スポット球を取り付けた外径8 mmのアルミパイプは外径13 mmのアルミパイプの内部を通し、スポット球が恒星球の中心部に来るように恒星球架台に固定した。このような加工をすることにより、スポット球は日周運動を再現している間でも、常に天頂部側に向いている状態となる。電源は電池交換の煩雑さの手間を省くために、100 Vの交流電源を使用することにした。外径8 mmのアルミパイプから導線を引き、トランス(100 V→6 V)を接続して、スポット球に電源を供給することにした。天の赤道に相当する南半球側と北半球側の各恒星半球は重ね合わせる際に光漏れが生じる部分に黒色のビニールテープを部分的に接着することにより固定した。万が一、スポット球のフィラメントが切れた場合でも容易に交換をすることができる。恒星球は回転台座の上に設

置をして、ハーフドームに任意の方角の星空を投影できるようにした。

開発した教材を投影している様子を図5に示す。日周運動や方角の移動もスムーズであり、ドームの大きさが小さく投影される恒星の輝度を大きくできることから、多少明るい室内であっても十分に使用できることが分かった。開発した教材を“アマテラス”と名付けることにした。製作費用は1台あたり3000円程度であった。“アマテラス”と命名した理由は、著者の塚本の指導教員である中野が神職の階位を有しており、研究室で学生と共同開発した教材にはわが国の神話に登場する神の名前を命名することにしていくことと、ドームが星像で照らされる様子が天照大神を連想するものであったためである。

“アマテラス”と既存の教材である“Kent Star”との違いを表1に示した。“アマテラス”では恒星球を小型化し、投影するドームをハーフドームにすることにより、実験室内にプラネタリウムを10台程度設置できるようになり、40人程度の教室で学習者全員がプラネタリウムの解説員を経験させることを可能にした。

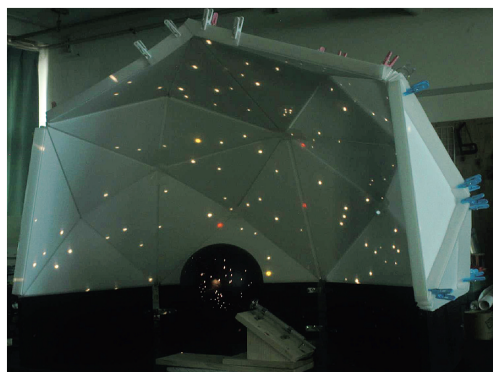


図5 投影中の様子

表1 “Kent Star”と“アマテラス”の比較

		Kent Star	アマテラス
恒星球	形状	35 cm多面体	20 cm球形
	材質	ケント紙製	透明プラスチック
	ピンホール径	1.5~4.0 mm	0.7~2.0 mm
	ピンホールを開ける方法	精密皮ポンチ	電動ドリル
	光源	3.8 Vスポット球	4.8 Vスポット球
	電源	1.5 V乾電池3本使用 電池の交換が必要	6 V (100 V→6 V)トランスを使用 電池の交換不要
恒星の明るさ	4等星まで		4等星まで
恒星の色	赤・橙・黄・青		赤・橙・黄・青
天の川	投影不可		投影可
再現できる地球の緯度	北緯20°~90°		北緯35°
日周運動	再現可		再現可
製作費用	恒星球:1000円/1台 ドーム:15,000円/1台		恒星球:3000円/1台 ハーフドーム:2000円/1台
使用するドームの大きさ	3 m 大人10名		1.2 m(ハーフドーム) 大人4~8名
収容人員	教室の壁に投影できる場合は教室内の学習者全員で使用可		1台を大人数で使用するには向かない

3. 教員授業実践の学生を対象とした授業実践

3.1 教員養成系大学の課題と授業開発の視点

開発した“アマテラス”を用いて、著者の中野が担当している京都教育大学教育学部の授業「初等理科教育」の受講者53名を対象に授業実践を行うことにした。受講生の属性は教育学、社会、数学、美術、技術の各領域の学部生および教職大学院の大学院生である。

天文領域に関しては年代に関わらず苦手意識を持つ教師が多いことは以前から指摘されており(奥村 他 1991, 13-19)、女性教師の方が男性教師よりも天文分野に苦手意識を持つ傾向があることも示されている(土田 他 2005, 57-64)。また、下井倉他(2014, 238-247)は、全国15校の国公私立大学の教員養成系学部在籍する非理科学部を対象にした調査を行い、月と星の単元は最も学生が教える自信のない単元の一つであることを明らかにし、大学で重点的になおかつ工夫をこらした教育が必要であると述べている。非理科学部の約70%が星座早見の使い方を苦手としていることを示した調査結果もある(科学技術振興機構理科教育支援センター 2011)。土田 他(2005, 57-64)は、天文分野に苦手意識を持つ教員は日常的な自然科学に対する興味関心の程度といった要素が要因として挙げられることに言及しており、大学教育においては、天文分野に対して体験活動を通して学生の興味関心を醸成しつつ、基礎的な知識を定着させる授業の工夫が必要である。そこで、本

実践では前述のように、学生全員に“アマテラス”を用いたプラネタリウムの解説員を体験させることにより、こうした課題の解決を目指す。溝上（2014）によれば、アクティブラーニングは次のように定義される：「一方向的な知識伝達型講義を聴くという（受動的）学習を乗り越える意味での、あらゆる能動的な学習のこと。能動的な学習には、書く・話す・発表するなどの活動への関与と、そこで生じる認知プロセスの外化を伴う」。本実践では、シナリオづくりとパンフレットづくりなどの書く活動と解説員体験である話す・発表する活動を組み合わせたものとなるように授業設計を行った。

3.2 授業実践

2017年11月20日および27日の2日間にわたり授業実践を行った。授業の流れを表2に示す。

1日目には、星座早見の作製と投影会に向けての準備を行った。まず、表3aに示す事前アンケートを行い、カシオペア座から北極星を探す方法など、天文分野に関する予備知識を問うた。次に、西はりま天文台（2006）のオリジナル星座早見盤を1人1つ作製させた。星座早見の作製では、予めダウンロードをした星座盤などを工作用紙に添付したものを用意し、作製させた。星座早見の使い方に関する問題を用意し、完成させた者から演習問題を解かせた。この間に同時並行で2班ごとに約5分ずつ、別室で大石 他（2017, 31-40）が開発した“Kent Star”を使用して簡単な投影会を行った。投影は大石 他（2013, 93-97）が開発したプラダンドームを使用して行った。投影会を行った理由は学生に次週に行う投影会のイメージを持ってもらうためである。“アマテラス”ではなく“Kent Star”を用いた理由は、2班ごと学生10人を一度に使用するには、“アマテラス”は小さいため説明を行いにくいことと、ドームに投影する“Kent Star”は実際のプラネタリウムと似た投影装置であるためプラネタリウムのイメージを想起するのに適していることなどの理由による。北斗七星やカシオペア座を用いた北極星の見つけ方等、学生の自己学習を通して見出してほしいと考えた内容については極力説明の中で触れないようにした。その後、次週に行う投影会に向けての準備に

表2 授業の流れ

2017年11月20日 授業(90分) 星座早見の作製と投影会に向けての準備		
30分	事前アンケート(表3a)への記入	
40分	星座早見の作製方法の説明	
	星座早見の作製	プラネタリウムの見学
	星座早見を用いた演習 ・日にちと時刻を合わせて今夜観察できる星座を知る ・星の南中時刻や昇る時刻を知る ・特定の時刻に星が南中する日にちを知る 星座早見の作製とプラネタリウムの見学は同時進行で行う	2班ごとに別室でプラネタリウムを見学 1回の見学時間は約5分 ・北極星を示し、方角を確認 ・11月20日20時の星空を投影 ・ペガスス座について説明 ・神話 古代エジプト王家の説明 ・午前1時の星空を投影し冬の星座を解説
20分	投影会に向けての準備	
	・1人1回解説員を体験させることを説明 ・プラネタリウムのシナリオづくりについての説明 ・班員に配布する解説のパンフレットづくりに関する説明 ・班内での解説ルールについての説明 ・1週間後の投影会に向けての投影練習についての説明 「アマテラス」2基を必要に応じて自由に使えることを説明する	※解説のルール 以下A～Gの項目を班員で分担して必ず全項目について解説をするようにする A: 代表的な星座や星の見つけ方を説明する B: 季節ごとの大三角、四辺形、大曲線などを説明する C: 神話を3つ紹介する D: 星座を3つ紹介する E: 季節変化を説明する F: 時間変化を説明する G: 星の色の話に触れる(表面温度に触れる)
2017年11月20日～26日 自宅学習・投影の練習(1週間)		
プラネタリウムのシナリオづくり、パンフレットづくり、投影・解説の練習を行う		
2017年11月27日 授業(90分) 投影会		
15分	アマテラスの組み立て方や使用方法についての説明	
60分	投影会 ・1人1回10分間解説を行う(×4～5人) 発表の順番を班内で決めさせる	※留意点 ・班内で生じた気づきや疑問は共有し、自由に発言させるように促した
15分	片付け 事後アンケート(表3b)への記入	

ついて説明を行った。1人1回10分程度解説を行うことや、班内での解説のルールについて説明を行った。解説のルールでは、表2にあるように「A. カシオペア座から北極星を見つける方法」など7項目を投影会の中で分担して説明を行わせるようにした。内容の重複は可能であることも説明した。また、解説のシナリオと班員に配布するパンフレットの作成方法について説明し、次週の投影会開始時に提出するように指示をした。次週の投影会までに投影の練習を行いたい学生の便宜のために、部屋を開放し“アマテラス”を2基使用できることも付け加えた。

2日目には、アマテラスの組み立て方法を説明した後に、課題としていたシナリオとパンフレットを回収するとともに、班員に作成したパンフレットを配布させ、投影会を行った。投影会の初めには、学生が操作に慣れるために、5分程度自由に“アマテラス”を使用できるようにした。投影会では、班内で生じた気づきや疑問は共有し、自由に発言させるように促し、班活動が活発化するように促した。投影終了後、片付けを行うとともに、事後アンケート(表3b)を行った。事後アンケートでは、事前アンケートと同様に、天文分野に関する知識を問い、実践の前後での変容を調査するとともに、学生からのプラネタリウムの番組づくりや教材の評価、今回の活動を通しての感想を記入してもらった。

3.3 授業実践の結果と考察

ハーブドームの開口部側に学生が4~5人着席することになるので多少手狭な状態となったが(図6)、後述するいくつかのトラブルはあったものの実践は予定通り時間内に終わることができた。提出されたシナリオやパンフレットについては、1週間という準備期間の短さにもかかわらず、工夫をこらしたシナリオやパンフレットが多く見られた(図7, 8)。

表4に事前・事後における天文分野の知識面での自己評価の変化を示した。2回ともに授業に出席をした受講

表3 事前・事後のアンケート調査

a. 事前アンケート	結果
Q1. カシオペア座から北極星を見つける方法 Q2. 北斗七星から北極星を見つける方法 Q3. 春の大三角の見つけ方 / Q4. 春の大曲線の見つけ方 Q5. 夏の大三角の見つけ方 / Q6. 秋の四辺形の見つけ方 Q7. 冬の大三角の見つけ方 / Q8. 冬のダイヤモンドの見つけ方 Q11. 東西南北 各方位の星の動き / Q12. 星の色の違いとその理由 [4件法] 4. 説明できる / 3. 少し説明できる 2. あまり説明できない / 1. ほとんど説明できない	表4
Q9. 知っている神話の数 個	
Q10. 各季節ごとの代表的な星座を3つ以上知っているか [4件法] 4. 3つ以上 / 3. 2つ以上 / 2. 1つ以上 / 1. 殆ど知らない	
b. 事後アンケート	
Q1~Q12までは事前アンケートと共通 プラネタリウムづくりについて [5件法] 5. 難しかった 4. 少し難しかった 3. 適切だった 2. 少し簡単だった 1. 簡単だった	表4
教材の使いやすさについて [4件法] 4. 使いやすかった 3. 少し使いやすかった 2. 少し使いにくかった 1. 使いにくかった	表5a
教材の良かった点について 自由記述	表5b
教材の改良点について 自由記述	表6a
プラネタリウム番組の作成や投影会を通して感じた意見や感想など 自由記述	表6b
	表7, 8, 図7



図6 投影会の様子



図7 学生が作成したパンフレットの例

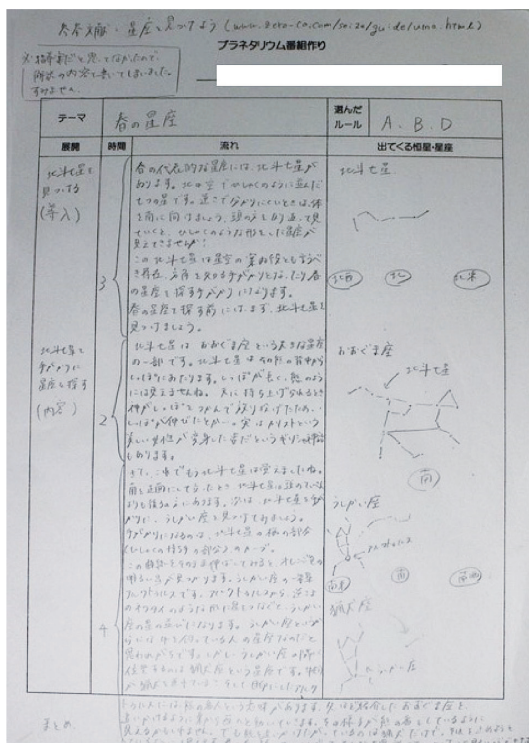


図8 学生が作成したパンフレットの1例

生 39 名を分析対象とした。4 件法で問うた項目はその平均を示す。事前アンケートでは天文分野の知識面での学生の評価は概ね低くどの項目も殆どが1 点台であった。春の大曲線や秋の四辺形は最も学生が説明が困難なものであることが分かった。星の色の違いとその理由、北斗七星から北極星を見つける方法や夏の大三角についてはこれらの中でも学生が説明を苦手とする学生が少ない項目であった。

神話についての認知度は低く、

平均で1 つ知っている程度であった。実践後は全体的にどの項目においても知識面での向上が見受けられた。特に北斗七星から北極星を見つける方法や夏・冬の大三角を見つける方法、星の色の違いとその理由については3 点台となり、実践を通して学生の知識が深まっていることが分かった。星座の数も平均で5 個台となった。東西南北各方位の星の動きについての伸びは低く留まった。星の天球上での動きについては理解が難しい内容であるようである。解説のルールである A~G の全てが網羅されていれば、Q1~12 の項目は網羅されると考えていたが、学生から提出されたシナリオを詳細に点検すると、Q1~12 の項目の中で、班で説明がなされていない項目がある場合があることが分かった。表3 には、Q1~12 の項目の中で説明のあった場合とそうでない場合の自己評価を合わせて示した。どの項目も説明があった場合の方が評価が高いことがわかった。説明がない場合でも、事前に比べて評価が高くなっているのは、

自宅学習の中で当該項目を学習したことによるものである効果と考えられる。星の天球上での動きについて、説明があった場合でもない場合でもほとんど評価が変わらないのは、内容を説明することが他の項目よりも難しいことによるものかもしれない。この原因としては、地球が東向き自転するために天体が西に移動して見える日周運動を、宇宙から見た地球と地球から見た宇宙といった視点を移動をさせて捉える空間認識が難しいことに起因するだろう。地球に見立てた椅子に学習者を座らせ、椅子を回転させると見える対象が回転方向と逆向きに動いて見えることを体感させる活動を取り入れたり、実際に星の動きに関する問

表4 事前・事後における天文分野の知識面での自己評価
(京都教育大学における実践)

項目	事前	事後		
		全体	説明有	説明無
Q1. カシオペア座から北極星を見つける方法	1.49	2.62	2.74	1.51
Q2. 北斗七星から北極星を見つける方法	1.82	3.03	3.23	2.78
Q3. 春の大三角の見つけ方	1.21	2.33	2.59	1.71
Q4. 春の大曲線の見つけ方	1.08	2.15	2.46	1.66
Q5. 夏の大三角の見つけ方	1.85	3.15	3.77	2.45
Q6. 秋の四辺形の見つけ方	1.13	2.36	2.61	1.89
Q7. 冬の大三角の見つけ方	1.74	3.33	3.33	-
Q8. 冬のダイヤモンドの見つけ方	1.15	2.33	2.65	1.45
Q9. 知っている神話の数	1.23	5.31	5.31	-
Q10. 各季節ごとの代表的な星座を3つ以上知っているか	1.49	2.78	2.89	2.47
Q11. 東西南北 各方位の星の動き	1.54	2.20	2.21	2.19
Q12. 星の色の違いとその理由	2.05	3.23	3.23	-

表5 プラネタリウムの番組づくりと教材の使いやすさ
について
(京都教育大学における実践)

a プラネタリウムの番組づくり	
5. 難しかった	18
4. 少し難しかった	20
3. 適切だった	1
2. 少し簡単だった	0
1. 簡単だった	0
b 教材の使いやすさ	
4. 使いやすかった	3
3. 少し使いやすかった	21
2. 少し使いにくかった	12
1. 使いにくかった	3

題を解かせた後に“アマテラス”を用いて星の動きを確認して定着を図る方法が考えられる。

表5に、プラネタリウム番組づくりと教材の使いやすさに関する調査結果を示す。プラネタリウム番組づくりについては、39名中、38名が難しかった・やや難しかったと回答した。教材の使いやすさについては39名中24名が使いやすい・やや使いやすい、15名がやや使いにくい・使いにくいと回答した。“アマテラス”の教材そのものの課題等については後で再度触れる。

上記の量的な調査で捉えられない教育効果を調べるために、プラネタリウム番組の作成や投影会を通じて感じた意見や感想についての自由記述を質的統合法を用いて分析を行った。分析は宮内(2004, 136-183)の方法に準じて行った。分析はまず、自由記述の文を文節や意味ごとに切片化した。例えば、「星についてほとんど知識がない状態でしたが、自分で調べたり、他の人の発表を聞いて授業前よりも後の方が圧倒的に星についての知識が身につきました。プラネタリウムの解説員は難しかったけれど、一度はしてみるべき経験だなと思いました。」という記述は「星についてほとんど知識がない状態でした／自分で調べたり、他の人の発表を聞いて授業前よりも後の方が圧倒的に星についての知識が身につきました／プラネタリウムの解説員は難しかった／一度はしてみるべき経験だなと思いました」のように切片化された。切片化されたものをカードにして、類似性に従って大・中・小の類似性に従ってカテゴリー化した(表7)。学生からの自由記述は今回の活動についての「学び」と「課題」に集約され、これらのグループ分けで得られたグループの関連性を図式化したものを図9に示す。図式化したものを文章化すると表8のようになった。人に伝えることの難しさや活動の課題を挙げた学生が見られたが、活動そのものは概ね肯定的で、班活動を通して天文分野についての理解が深まったことを窺い知ることができた。

“アマテラス”の教材そのものについての良い点や改善点について自由記述をまとめたものを表6に示す。良い点については手軽に星空体験ができること、面白い・興味が持てる、使いやすい等といった感想が挙げられた。一方で、もろい、星の明るさの違いがわかりにくい、電球が切れやすい等の課

表6 教材の良い点と改良点について

a 教材の良い点
手軽に星空体験ができる(8)／面白い・興味が持てる(7) 使いやすい(6)／星座を探しやすい(4)／星の色が分かりやすい(3) 教材に感心した(3)／自分で動かせる(3)／人に説明しやすい(3) 体験的(3)／その他(2)
b 教材の改良点
もろさ(5)／星の明るさの違いが分かりにくい(4) 電球がきれやすい(3)／回転台に恒星球が固定されていない(3) ハーフドーム土台が不安定(2)／ハーフドームでない方がよい(2) 操作性が悪い(1)／天の赤道付近の光漏れ(1)／その他(3)

表7 切片化したカードのグループ分けの結果

「学び」に関するカードのグループ分け

大カテゴリ	中カテゴリ	小カテゴリ	切片化の数	記述例
予備知識のなさ				
自己学習	準備段階	本気の準備	M-1	10 星についてはほとんど知識がない状態
		準備の大変さ	M-2	2 1週間という期限の中でよく頑張ることができた
		楽しい・ワクワク	M-3	1 準備は大変ではなかった
		知らない知識	M-4	2 準備するのは楽しかった
		調べる意欲の高まり	M-5	1 調べ始めると分からないところだらけでたくさん調べた
		調べる意欲の高まり	M-6	1 自分の発表以外にもたくさん調べて知ることができた
班活動の 効果・意義	星について深い理解が得られる		M-7	23 星の見方や見づな方を詳しく調べることができた
		人に伝える難しさ	M-8	12 人に理解してもらうにはたくさんの課題がある
	人に伝える面白さ	人に伝える難しさ	M-8	4 人に伝えるためには自分がしっかり理解、把握できないといけない
		勉強不足によるもの		
	効率的に知識を得る		M-9	2 神話はとても楽しんで聞いてもらった
			M-10	8 他の人の説明を聞いてためになることが多くて非常に有意義だった
	楽しく交流できる		M-11	3 模擬授業ほど硬くはななく楽しんで交流できた
		くり返し学べる	M-12	1 同じところでも他者の発表から学べることは多い
	他者を巻き込みやすい		M-13	1 この教材は小人数で話に引き込みやすい
		解説する体験	M-14	1 一人一人が解説することができる
	班員だから聞く		M-15	3 班員の様だと真剣に聞くのでよく理解できる
		班員がつくれたから面白い	M-16	1 パンフレットを見るのも思ったより楽しかった
学び	授業の試み		M-17	2 この企画はとても面白かった
		星を見つけた体験	M-18	1 三角形や四角形を探すのが楽しかった
	活動の特徴		M-19	1 どちらかというと児童の活動発表に近い
		楽しさの発見	M-20	9 神話の物語が面白かった
今後	意外性		M-21	4 一度はしてみるべき経験だなと思った
		昔の回想	M-22	3 ワクワクして楽しみにしていた記憶がある
	学習意欲の高まり		M-23	11 今更さきかけに夜空を見上げて星座を探したい
		教師としての活用	M-24	8 学校現場でも応用できると思う

切片数計 115

「課題」に関するカードのグループ分け

大カテゴリ	中カテゴリ	小カテゴリ	切片化の数	記述例
授業の 進め方	個人の活動	パンフレットづくり	K-1	難しい(4) 説明できるパンフレットを作るのが難しかった
				好き・楽しい(2) パンフレットを作ったりするのは好き
	班活動	星座を示すことの難しさ	K-2	11 投影している星を探すのが難しかった
		内容が班員と被る	K-3	3 他の人と説明する内容が被ってしまった
	説明不足		K-4	4 この教材についてももう少し説明が欲しかった
		時間のなさ	K-5	15 もう少し時間があればもっとよい番組が作れた
今後	会場が暗いことの弊害		K-6	2 暗くてパンフレットが読めなかった

切片数計 41

題も挙げられた。もろさが指摘された点に関しては、実践中に何らかの原因で電源コードに手や足をひっかけて床に教材を落とし、北恒星半球が外れてしまった班があったことによるものと思われる。電球が切れた班は複数班みられた。これは3.8V規格のスポット球に6Vの電圧をかけたことが原因として考えられる。

4. 教材の改良

3章で報告した実践により、教材や教材を用いた実践方法について改善すべき点が見つかったので、今後の実践に向けて改良を加えることにした。

4.1 教材の改良

1つ目に、使用するスポット球の規格を3.8Vから4.8Vのものに取り替えることにした。3.8Vのスポット球を用いた場合、投影開始後20分程度でフィラメントが切れた班が10班中4班で見られた。また、3.8Vのスポット球を使用していて気がついたことであるが、高い電圧をかけた場合、フィラメントが切れる前に、投影される星像が2つになるという症状が現れる。これは、タングステンフィラメントがフィラメントを支持する部位に蒸着し、この蒸着部分にフィラメントの発光が反射して、スポット球内に光源が2つあるのと同じ状態になるためである。4.8Vに変更したところ、3時間程度使用してもスポット球が切れることはなくなった。

2つ目に、使用方法が分かりにくいという声があったことから、“アマテラス”の使用方を記した紙を実験台の上に置き、この上に教材を設置して使用できるようにした(図10a)。前述の実践では、恒星球を誤った位置に置いて使用する例があったため、恒星球を置く位置を記した台紙を使用するとこのようなミスもなくなるだろう。また、恒星球固定台に東西南北がわかるように示した(図10b)。

3つ目に七夕の神話の説明で天の川について必ず触れることから、天の川を投影できるように恒星球の改良を試みた。木工用ボンドの乾燥すると透過性を持つ性質を利用して、木工ボンドと黒色のアクリル絵の具を10:1の割合で混合させた塗料を塗布し、スポット球の光を減光させることにより、ハーフドームに天の川を投影できるようにした。透明半球に天の川を書き込み、混合塗料を3.8g天の川領域に塗布し、乾燥させた後に天の川以外の部分を通常通り黒色マットスプレーを用いて塗装した。このような方法で試作した恒星球で投影した天の川を図11に示す。混合塗料で減光された投影像を学生の観察位置から撮影した写真と完全無光害下のボリビア・コロラド湖で撮影したいて座付近の銀河中心部の写真を、すばる望遠鏡をはじめとした研究観測で得られたFITS画像(データ)を解析することができるソフトであるMakali'i(国立天文台2016)を用いて解析を行った。その結果、投影された天の川は実際の天の川よりも約50倍明るいことが分かったが、多少明るい室内でも天の川を投影でき、主観的な評価ではあるが著しく不自然な印象は受けなかったため、この方法で天の川を再現することにした。

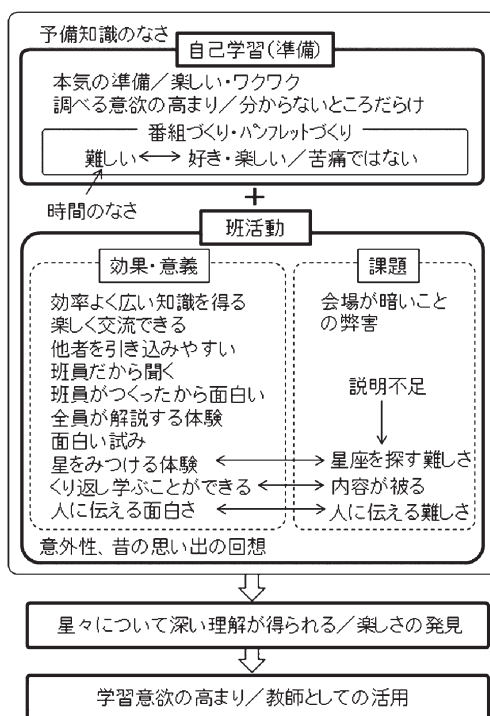


図9 活動から得られた学びの図解化

表8 活動から得られた学びの文章化

もともと学生は天文分野についてはあまり予備知識はないようである。しかし、自己学習を進めていくと、分からないところだらけであるが、楽しくワクワクして、調べる意欲が高まり本気で準備する学生が見られた。番組づくりやパンフレットづくりは楽しく好きな活動で苦痛でないとする学生が見られた一方で、難しいと考える学生も見られた。その原因のひとつには準備のための時間の無さが挙げられる。

班毎に行う投影会は、全員が解説をする体験をするもので、意外性があり、楽しく交流できる面白い試みで、他者を引き込むことができる活動であった。班活動は効率よく広い知識を得ることができた。班員がつくった番組だから面白く、班員の話だから聞くと言える。内容が重複することもあるが、繰り返し学ぶことができると肯定的に捉える学生も見られた。活動を通して、人に伝える面白さと難しさを感じる学生が見られた。会場が暗く配布されたパンフレットをみることができないという課題を挙げた学生も見られた。星を見つめる体験に活動の意義を感じる学生がいる一方で、星座を探す難しさに触れる学生も見られた。その原因の一つに教材の使い方に対する説明不測が挙げられる。

こうした活動を通して、学生は星についての深い理解が得られるとともにその楽しさも見出した。更に学習意欲も高まり、教員としての活用について言及する学生も見られた。

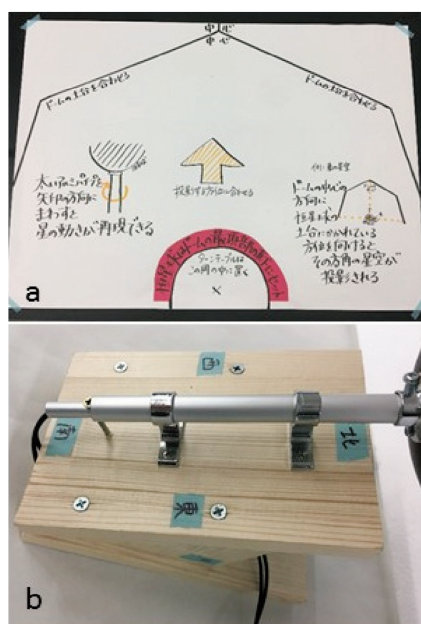


図10 アマテラスの改良



図11 天の川を投影している様子

4.2 実践方法の改良

再度の実践を行う上で、前述の実践を踏まえ、実践方法の改良を行うことにした。1つ目に、前述の実践では事前準備が大変であったという感想が見られたことから、1回目と2回目の間隔を1週間ではなく2週間以上設けるなど、パンフレットづくりや番組づくりにかける時間を増やすことにした。2つ目には、解説の漏れが生じないように、解説項目を厳選することにした。具体的には、A：北極星の探し方、B：春・夏・冬の大三角、C：3つ以上の神話、D：3つ以上の星座、E：東西南北方向における星の動き、F：星の色の6点について説明させることにした。授業の流れは基本的に前述の実践の流れと同様のものとし、上記2点の変更を加えた上で改良を加えたアマテラスを用いて今後は実践を行うことにした。

4.3 改良後の“アマテラス”を用いた教育実践

改良した教材や実践方法をもとに、中野が担当している京都華頂大学現代家政学部の授業「初等科教育法(理科)」におけるの受講者24名を対象に授業実践を行うことにした。2017年12月11日および18日の2日間にわたり授業実践を行った。授業の流れは表1に準じているが、1日目のプラネタリウムの見学についてはプラダン製ドームを電車で運搬することが困難であったため省略した。また、プラネタリウムのシナリオづくりやパンフレットづくりのための時間を京都教育大学における実践よりも長く確保したかったが、カリキュラムの関係上難しかったため、パンフレットづくりを省略した。当該実践校は中野は非常勤講師として勤務しており、準備期間にリハーサルの対応をすることが不可能であったため、準備期間中の投影練習は

省略した。実践を行ったところ、集団の属性が異なるため単純な比較は出来ないが、京都教育大学における実践と同様に、事前に対する事後の天文分野の知識面での自己評価はどの項目も上昇していることが確認することができた(表9)。プラネタリウムの番組づくりは24中19名が「難しかった・やや使いやすかった」と回答し、比較的難易度の高いものであったようである。教材の使いやすさについても24名中23名が「使いやすい・やや使いやすい」と回答し、教材の改良の効果を確認することができた(表10)。今後も本研究の課題として“アマテラス”改良後の評価を実践を通して行っていく予定である。

表9 事前・事後における天文分野の知識面での自己評価
(京都華頂大学における実践)

項目	事前	事後
Q1. カシオペア座から北極星を見つける方法	1.08	2.79
Q2. 北斗七星から北極星を見つける方法	1.29	3.46
Q4. 春の大曲線の見つけ方	1.17	2.38
Q5. 夏の大三角の見つけ方	1.75	2.92
Q6. 秋の四辺形の見つけ方	1.04	1.75
Q7. 冬の大三角の見つけ方	1.63	3.13
Q9. 知っている神話の数	0.70	3.88
Q10. 各季節ごとの代表的な星座を3つ以上知っているか	1.38	1.96
Q11. 東西南北 各方位の星の動き	1.17	2.42
Q12. 星の色の違いとその理由	1.46	3.25

表10 プラネタリウムの番組づくりと教材の使いやすさ
について

(京都華頂大学における実践)

a プラネタリウムの番組づくり

5. 難しかった	12
4. 少し難しかった	7
3. 適切だった	5
2. 少し簡単だった	0
1. 簡単だった	0

b 教材の使いやすさ

4. 使いやすかった	13
3. 少し使いやすかった	10
2. 少し使いにくかった	1
1. 使いにくかった	0

5. 終わりに

本研究では、体験活動を通して学習者の天文に関する知識・理解を深めることを目的に、学習者全員がプラネタリウムの解説者の経験をしながら班活動で学習を行うことのできる卓上プラネタリウム“アマテラス”を開発した。大学生を対象に“アマテラス”を用いたプラネタリウムの番組づくりと解説員の経験をさせる教育実践を行ったところ、学生は主体的に活動に取り組み、天文分野に関する知識・理解を深めることができた。

今回の実践を元に今後の展望を教師としての活用と大学生としての学びの2つに分けて考えてみたい。教師としての活用には、教員養成の場での活用も含まれる。

教師としての活用としては科学コミュニケーションのトレーニングの場としての活用、天文分野の学習教材としての活用、アクティブラーニングとしての活用、ものづくり教材としての活用の4つが挙げられる。

学校の理科教員は科学コミュニケーションにおいて重要なコミュニケーターであることは言うまでもなく(杉山 2005, 83-84)、サイエンス・コミュニケーターの役割は現職教員にもその役割が求められている(真山 他 2007, 380-390)。こうした役割は中学校・高等学校理科教員だけに求められるものではなく、自然や科学に興味・関心をもち始める児童に向き合う小学校教員にも当然求められるものである。“アマテラス”を用いて人に星や星座、神話を説明することにより、科学コミュニケーションのトレーニングを積むことができるなど、“アマテラス”は手軽に科学コミュニケーションを体験できる教材であると言える。手軽に科学コミュニケーションを体験できるようにするための台本づくりも現在進めているところである。天文分野の学習教材としては、授業で学習した内容を“アマテラス”を用いて確認を行い、児童・生徒の理解を深めるといった利用ができるだろう。授業で学習した代表的な星座や星やその色、星の動きなどを“アマテラス”を用いて確認することができれば、児童・生徒の理解も実感を伴ったものとなることが期待できる。児童・生徒が説明する内容を自分で調べ、資料を作成し、“アマテラス”を用いて分かりやすく説明するといったプラネタリウムの解説員体験を小学校・中学校で実践できれば、まさにアクティブラーニング的な活動となるだろう。著者らは現段階では予想的なものではあるが小学校で“アマテラス”を用いたアクティブラーニング的な授業実践も進めており、一定の成果が得られている。“アマテラス”を実際に作製するといったものづくり教材としての活用も考えられる。“アマテラス”は現職教員が電動ドリルなどの基本的な工具を用いて容易に作製することができる。大人でも作製することが困難な

反射望遠鏡の作製を小学生がチャレンジして成功させて事例もあることから（中野 2015, 91-94）、適切な支援と十分な時間を確保することができれば小学生でも作製をすることができるだろう。教員の場合は、教員免許更新講習などで“アマテラス”を作製してもらい実際に投影実習を行うといった機会を提供することができるだろう。小学生・中学生の場合は、夏休みに理科ものづくり教室として3日間ほどの日程を確保して“アマテラス”の作製実習を行うことなどが考えられる。

本研究において“アマテラス”を用いた教育実践を行った対象である京都教育大学の大学生は、非理科学生であり、また小学校教員を志望している学生は約半数であると予想され、将来天文について教える可能性のない学生が多く含まれる。しかしながら前述の通り多くの学生が自分で調べ、興味を深め、人に伝えるといったアクティブラーニング的な活動を体験することができた。本研究で開発した“アマテラス”は、将来天文について教える教えないに関わらずアクティブラーニングを通して学びを深めることができる教材であるといえる。著者の中野は勤務校で担当している一般教養科目「自然科学概論」の授業で“アマテラス”を用いた教育実践を行う予定である。理科を専門とするか否かを問わず、誰もが人に科学を伝える楽しさを体験できるようになって欲しいと考えている。

●文献：

- 阿部 修・佐藤浩之 2006: 「切頭二十面体型プラネタリウムの製作」『北海道教育大学紀要（教育科学編）』57 (1), 197-204.
- Dale, Edgar 1969: 『Audio-Visual Method in Teaching, 3rded.』Holt, Rinehart & Winston.
- 科学技術振興機構理科教育支援センター 2011: 『理科を教える小学校教員の養成に関する報告書』科学技術振興機構理科教育支援センター.
- 国立天文台 2016, <https://makali.mtk.nao.ac.jp/index.html.ja>, 2019, 5, 23 参照.
- 小貫良行 2007: 「授業教材に適した手作りプラネタリウムについて」『天文教育』19(1), 30-34.
- 宮内泰介 2004: 『自分で調べる技術』岩波アクティブ新書.
- 真山茂樹・高橋修・湯浅智子 2007: 「教員養成系大学の特徴を活かしたサイエンス・コミュニケーターの育成」『科学教育研究』31, 380-390.
- 溝上慎一 2014: 『アクティブラーニングと教授学習パラダイムの転換』東信堂.
- 中野英之 2015: 「小中学生を対象とした反射望遠鏡作製実習」『京都教育大学教育実践研究紀要』15, 91-94.
- 中野英之 2018: 「教員養成系大学の学生を対象とした「Kent Star」を用いた授業実践」『京都教育大学教育実践研究紀要』18, 239-242.
- 鳴川 肇 2016: 「プラネタリウムドームをつくろう 軽くて丈夫で簡単につくれる球体の構造物『ジオデシックドーム』とは何か？」『Newton』36(7), 128-135.
- 西はりま天文台 2006, <http://www.nhao.jp/~tokimasa/hayami/useage.html>, 2018 年 3 月 11 日参照.
- 大石匠海・中野英之 2017: 「紙製 169 面体プラネタリウム工作キット“Kent Star”の開発」『天文教育』29 (6), 31-40.
- 大石匠海・中野英之・村上忠幸 2013: 「プラダンをを用いた可動式プラネタリウムドームの開発」『京都教育大学教育実践研究紀要』13, 93-97.
- 大久保秀樹・吉田史 2003: 「個別学習用プラネタリウムの開発」『教材学研究』14, 33-36.
- 奥村 清・重信陽二・片平克弘 1991: 「小学校新学習指導要領（理科）の指導上の問題点についてのアンケート調査」『日本理科教育学会研究紀要』, 32(1), 13-19.
- 大平貴之, <http://www.megastar-net.com/desktopschool/desktopschool.html>, 2017 年 9 月 5 日参照.
- 下井倉ともみ・土橋一仁・松本伸示 2014: 「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—理科内容学の視点から—」『科学教育研究』38(4), 238-247.

- 杉山滋郎 2005: 「高等学校における「科学コミュニケーション」」『日本科学教育学会 年会論文集 29』83-84.
- 土田 理・林 眞平 2005: 「小学校教師の理科授業に対する苦手意識とその要因」『鹿児島大学教育学部教育実践研究紀要』15, 57-64.
- 山田泰三・栗野諭美 2002: 「ペットボトルで手作りプラネタリウムを作ろう!」『天文教育』, 14(6), 6-12.