

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：62616

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01050

研究課題名（和文）視覚障害の有無を乗り越える天文教材の開発

研究課題名（英文）Development of astronomical education materials for the people with and without visual impairment

研究代表者

白田 功美子（佐藤功美子）（Usuda-Sato, Kumiko）

国立天文台・天文情報センター・特任専門員

研究者番号：70455202

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：3Dプリンタを使い、国立天文台が運用するハワイの「すばる望遠鏡」とチリの「アルマ望遠鏡」の触って理解できる模型を開発した。視覚障害者や視覚特別支援学校教員の意見を取り入れ、すばる望遠鏡の模型については、触察に慣れている視覚障害者や晴眼者向けの精密バージョンと、視覚特別支援学校の生徒向けのシンプルバージョンの2種類を製作した。補足資料となる触図も作成した。日本点字図書館や明石市立天文科学館での企画展の開催を経て、触る模型一式の貸し出しシステムができた。3Dプリンタの使用にハードルを感じる人が多い中、模型を貸し出すことにより、他の科学館・博物館や特別支援学校での模型活用につながると考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

視覚の有無に関わらず、宇宙や天文学に興味のある方が多い。しかし、天文分野は視覚にたよるところが大きく、また、立体的に捉えなければならない構造が多く、口頭での説明だけではわかりにくい点が多いのが現状である。3Dプリンタを用いた立体模型を、視覚障害者や視覚特別支援学校教員の意見を取り入れながら開発することにより、更に、模型を使った授業・講演や企画展を通じて、模型をデザインする際や説明・コミュニケーション時に留意する点が多くなった。この、視覚障害者が触って理解しやすい立体模型は、晴眼者にとってもわかりやすく、視覚の有無を乗り越えあらゆる人が共に楽しみながら学ぶ環境作りに役立つと考えている。

研究成果の概要（英文）：Using a 3D printer we developed tactile telescope models like the Subaru Telescope in Hawai'i and ALMA antennae in Chile from the National Astronomical Observatory of Japan. Based on comments from the blind and visually impaired (BVI) people and a science teacher of special needs we created two types of model for the Subaru Telescope: A detailed model for sighted people and people who are BVI who have excellent haptic observing skills and a simplified model for students at special needs schools for the visually impaired who are learning how to touch samples and tactile models in science classes. Additional tactile 2D diagrams were also created to make communication with BVI people smoothly. Through the "Touch the Universe" special exhibits at Japan Braille Library and Akashi Municipal Planetarium, we developed a system to lend a set of tactile models. The lending system enables museums and special needs schools easily obtain and use the tactile models.

研究分野：天文学コミュニケーション

キーワード：触って理解できる天文教材の開発 3Dプリンタを使った模型製作 国内外ネットワークの強化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

(1) 宇宙や天文学について知る・学ぶ楽しみは、あらゆる人と共有されるべきであり、例外があってはならないと考えているが、天文分野は視覚にたよるところが大きく、視覚障害者にとってアクセスしにくい。この状況を改善するため、天体画像に点や線で盛り上がりをつけ、触って理解できるような触図が教材として国内外で開発されている。しかし、二次元の触図では、土星の環や渦巻銀河の円盤のような立体的な描像は、晴眼者が見慣れている斜めや横からみた画像をそのまま触図にしても、視覚の経験を持ち合わせていない全盲者には理解しにくいことがわかり、立体模型教材を開発する必要性を感じていた。

(2) 3Dプリンタが比較的安価な値段で入手できるようになり、教材製作・複製を行う適切なツールとなった。海外の天文学研究機関から3Dプリンタを使った教材開発の事例も報告されるようになった。

2. 研究の目的

(1) 科学館や学校等にて扱いやすい、視覚の有無を問わず触って理解できる天文教材を、視覚障害者とともに開発する。開発された模型の3Dプリンタ造形用ファイル(STLファイル)や造形のノウハウを公式ウェブサイトで公開する。

(2) 視覚特別支援学校や視覚障害者向け講演会などを通じて、模型のデザインや説明・コミュニケーションにおいてのノウハウを構築する。

(3) 開発した模型を、視覚障害者や、国内外の天文学教育・コミュニケーション実践者と共有することにより、国内外のネットワークを構築する。

3. 研究の方法

(1) 3Dプリンタで開発した模型のプロトタイプを複数の視覚障害者や視覚特別支援学校教員に触ってもらい、改良する。

(2) 国内外のネットワークを使い、あらゆる人と共に推進する「インクルーシブ天文学」の実現に必要なノウハウを探る。

4. 研究成果

(1) 3Dプリンタを使ったすばる望遠鏡の開発

国内外で様々な天体の触図や立体模型が開発される中、最新の望遠鏡の模型が少ないと感じていた。望遠鏡は天文学において極めて重要な研究手段であり、最新の望遠鏡の仕組みを理解することは、最新の科学成果への理解につながる。そのような観点から、国立天文台が米国ハワイ島マウナケア山頂で運用する光学赤外線望遠鏡「すばる望遠鏡」の模型製作から着手した。

プロトタイプを複数の視覚障害者や視覚特別支援学校の理科教員に触ってもらったところ、精密バージョンとシンプルバージョンの2種類が必要であることが判明した。視覚特別支援学校に通う生徒は、標本や模型の触り方にまだ慣れておらず、理科の授業を通じてその技術を習得しにくい。模型が精密すぎると、どこが本質かがわかりにくくなるので、必要な構造のみ作り込み、それ以外の部分を簡略化する必要がある。その一方で、触察技術に長けている視覚障害者は、精密にできた模型の方が触っていて楽しく理解も深まる。さらに、多くの視覚障害者は質感(ざらざら、つるつる、など)にこだわることから、望遠鏡の心臓部とも言える、宇宙からの光を最初に反射する主鏡部分を塩化ビニル(塩ビ)透明半球から切り出してかぶせた。このことより、主鏡がなめらかである説明が容易になったとともに、触って主鏡がどこにあるかがわかりやすくなった。晴眼者にとっても、塩ビの部分が光を反射するため、どこに主鏡があるのかが見てわかりやすい。模型の縮尺を約110分の1、高さが約25cm、主鏡の直径が7.4cmにした。誰もが指で主鏡に触れる大きさである。

▶ English

3Dプリンターを使った模型作り

本プロジェクトでは、国立天文台(NAOJ)の望遠鏡や天体の立体模型を開発しています。市販の3Dプリンターを使って造形でき、かつ、視覚の有無に関わらず、触って理解できる模型作りを目指しています。各模型のページより、3Dプリンター用ファイル(STLファイル)をダウンロードの上、ご自分の3Dプリンターを使って、または3Dプリンター造形出力サービスを利用して造形して下さい。



すばる望遠鏡模型精密バージョン(左)とシンプルバージョン(右)
すばる望遠鏡模型のページへ

図1 本研究で開発した模型紹介のウェブサイト。すばる望遠鏡の模型精密バージョン(左)とシンプルバージョン(右)の写真が掲載されている。シンプルバージョンでは、トップリングと呼ばれる一番上のリングの細かい構造などが省略されている。

本サイトでは、3Dプリンタ用STLファイル一式がダウンロードできるほか、日本語・英語で造形方法や、望遠鏡の構造についての説明がある。

(2) 補助資料（触図）の必要性

視覚特別支援学校や、視覚障害者の交流の場にて、模型を触ってもらいながら出前授業や講演を行った。その際「望遠鏡の仕組みについて」「なぜ望遠鏡をハワイに建設したのか」「すばる望遠鏡の何がすごいのか」などの説明をした後で模型を触ってもらうのが効果的であった。屈折望遠鏡と反射望遠鏡の仕組みの断面図や、すばる望遠鏡の断面図などの触図を自作し、視覚障害者に触ってもらいながら説明することで、「わかりやすかった」「言葉だけでは理解しづらい点がよく理解できた」といった感想を得た。触図は立体コピー機ピアフ (<https://www.amedia.co.jp/product/braille/embosser/piaf.html>) とカプセルペーパーを購入し、図をカプセルペーパーに白黒コピーしピアフに通すと、黒い部分が盛り上がり、簡単に触図が作成できた。文字は、社会福祉法人日本ライトハウスが無償提供している「墨点字フォント」 (<http://www.lighthouse.or.jp/tecti/tecti/br-font.html>) をダウンロードして使用した。12ポイントの点字を1.2倍して印刷すると、視覚障害者が読みやすいことがわかった。晴眼者には、点字の代わりに活字（墨字）を印刷した図を配ることで、視覚障害者と晴眼者が共に理解しやすく楽しめる講演を行うことができた。

模型を触察し理解するには時間がかかる。視覚特別支援学校にて授業を行う際には、全盲の生徒には1人1体ずつ、ロービジョン（弱視）の生徒には2人1体ずつ模型を触ってもらったが、学校外での講演会では、参加人数をコントロールするのが難しく、模型1体を5人以上で順番に触ってもらうこともあった。触察の時間の見積もりが難しい点が課題となった。

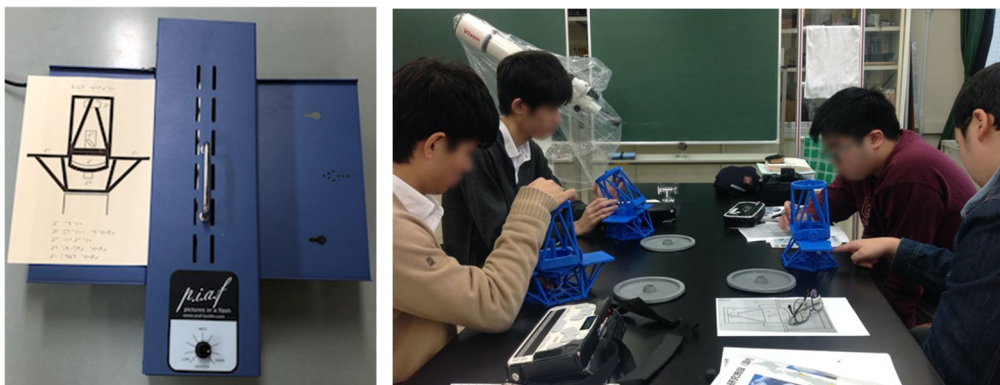


図2 ピアフで作成したすばる望遠鏡の触図（左）と、視覚特別支援学校での出前授業（右）。

(3) 企画展の実施と模型貸出しシステム

東京都高田馬場にある社会福祉法人日本点字図書館（以下、日点）別館「ふれる博物館」にて、2018年8月17日から12月22日まで第2回企画展「宇宙をさわる」 (https://www.nittento.or.jp/about/fureru/exhibition_02.html) が開催され、企画段階から展示内容、教材提供、解説指導など全面的に協力した。「1. 宇宙に行く」「2. 宇宙を調べる」「3. 太陽系の広がり」「4. 太陽と惑星の大きさ」という4つのコーナーからなる展示物のストーリーを作り、その中で、すばる望遠鏡3D模型の効果的な展示方法をさぐった。企画展では、日点スタッフや、共催の「手と目でみる教材ライブラリー」の専門家から、既存の天文教材を触ってわかるものにアレンジする方法や、安価な材料で補足模型を作る方法を学んだ。日点での企画展終了後には、2019年1月10日から12日の3日間、川崎市視覚障害者情報文化センターにて、同じ教材を用いて同様の企画展が開催された。

この企画展は、国内外で広がりを見せた。日点での企画展を見学したタイ国立天文学研究所職員が、同様の展示を2019年6月に自国で開催することになった。本研究で開発した「すばる望遠鏡」や試作中の「アルマ望遠鏡」の3D模型やその他模型をタイに貸し出した。また、同企画展と同様の展示を行いたいと、兵庫県明石市立天文科学館より相談を受け、触る模型一式を貸し出した。明石市立天文科学館では2019年10月19日から12月8日に「ユニバーサルデザイン展～やさしい天文展示～」特別展が開催された。この2件を通じて、自分自身が直接関わらなくても同様の企画展が開催できる、触る模型一式貸出しシステムができた。

模型製作から出前授業・講演、企画展の実施までの報告と、模型のデザインやプレゼンテーション時のヒント（tips）をまとめた論文を、国際天文学連合（IAU）が出版する *Communicating Astronomy with the Public journal* (<https://www.capjournal.org>) に発表した。



図3 日本点字図書館・ふれる博物館での「宇宙をさわる」企画展

(4) 国際ネットワークの強化とシンポジウムの開催

天文学の国際学術団体である国際天文学連合 (IAU) のワーキンググループ Astronomy for Equity and Inclusion (<http://sion.frm.utn.edu.ar/iau-inclusion/>) のメンバーとして、同様の取組を行っている海外の天文学研究者・コミュニケーターとのネットワーク作りを積極的に行った。IAU が開催する Communicating Astronomy with the Public 会議に 2016 年 (コロンビア・メデジン開催) と 2018 年 (日本・福岡開催) に参加し、国内外で開発された模型や触図を紹介しながらインクルーシブ天文学のワークショップを行うなど、国際研究会にて本研究を紹介するとともに、情報交換を行った。2016 年には、国立天文台三鷹キャンパスにて第三回ユニバーサルデザイン天文教育研究会 (<http://prc.nao.ac.jp/fukyu/ud2016/>) 主催者の 1 人として国内外のネットワーク強化に努めた。さらに、2019 年には、IAU シンポジウム Astronomy for Equity, Diversity and Inclusion - a roadmap to action within the framework of the IAU centennial anniversary (<https://iau-oao.nao.ac.jp/iaus358/>) の開催に、LOC chair (現地実行委員長) の 1 人として、計画段階から深く関わった。ダイバーシティとインクルージョンをテーマとする IAU シンポジウムの開催は今回が初めてである。

IAU シンポジウムでは、会場である国立天文台三鷹キャンパスをインクルーシブにする工夫を行った。三鷹キャンパスやお手洗いの触地図製作で、本研究でのノウハウを活かしたほか、参加者一人一人の名札につけた点字ラベルは、「宇宙をさわる」企画展を開催した日点に依頼した。また、「好みの代名詞 (PGPs: Preferred Gender Pronouns)」や「コミュニケーションの好み」を色で示す方法は、米国オハイオ州立大学で開催された、アクセシブルな科学に関する研究会 SciAccess に参加した際に学んだ点を活かした。これらの工夫は、本研究を通じて強化した国内外ネットワークの大きな副産物と言えるだろう。

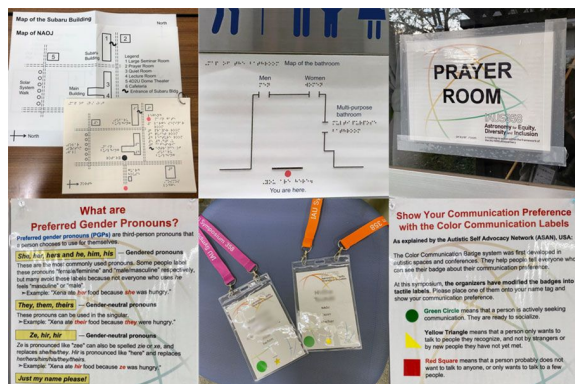


図 4 IAU シンポジウムでの工夫。三鷹キャンパス(上段左)やお手洗いの触地図(上段中)、宗教上のリクエストに対応した礼拝室(上段右)。参加者それぞれが PGP を提示し、お互い尊重しあえるように(下段右)コミュニケーションの好み(緑は「話しかけて」、赤は「話しかけないで」、黄色は「知り合いのみ話しかけて」)を提示できるように(下段右)説明したポスター。参加者はそれぞれ、好みの PGP とコミュニケーションを表すシールを名札(下段中)に貼った。名札には参加者それぞれの名前の点字ラベルが貼られている。

(5) 当初の予定からの変更点

研究開始当初は、できるだけ多くの立体模型を単体で開発することを目的としていた。しかし、実際に模型を開発すると、改良したり広めたりするのに時間がかかるだけでなく、模型そのもの以上に、模型を活用していかに天文学を伝えるかといった、コミュニケーションのためのストーリー作りの方が重要であることがわかった。また、本研究で開発した模型の 3D プリント造形用ファイル (STL ファイル) や造形のノウハウを公式ウェブサイトで公開したものの、3D プリントを使いこなすには経験と技術が必要で、模型を複製することへのハードルが高いという声が多く、模型の貸し出しシステム作りが望まれていることがわかった。その需要は、日点の企画展で作り上げた展示一式とそのストーリーが、そのまま他の科学館で受け入れられ、発展を見せたことからもうかがえる。そのため、後半の 2 年間は、開発した模型の使い方や説明の仕方、企画展開催時のノウハウを伝えることに時間と労力を割いた。

(6) 今後の発展性

本研究終了後も、この貸し出しシステム強化に努めるとともに、IAU ワーキンググループなどを通じて、ネットワークの強化をはかる予定である。また、後半の 2 年間は企画展・特別展や IAU シンポジウムに時間を割いた反面、試作中のアルマ望遠鏡模型を完成させ、ウェブに掲載するまでに至らなかった。アルマ望遠鏡の 3D プリント用 STL ファイルを最終版にし、ウェブに掲載したいと考えている。

図 5 本研究で開発したアルマ望遠鏡 7m アンテナの模型



謝辞

すばる望遠鏡とアルマ望遠鏡の 3D 模型のデザイン過程において、国立天文台の中山弘敬氏に全面的に協力いただいた。また、模型について国立天文台スタッフ、視覚障害者や視覚特別支援学校の方々から沢山のアドバイスをいただいた。日本点字図書館、明石市立天文科学館スタッフの方々とも活発な情報交換が行えた。この場を借りて厚くお礼申し上げたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Usuda-Sato, K., Nakayama, H., Fujiwara, H., & Usuda, T.	4. 巻 26
2. 論文標題 Touch the Universe: Developing and Disseminating Tactile Telescope Models Created with a 3D Printer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 CAP (Communicating Astronomy with the Public) journal	6. 最初と最後の頁 24-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Usuda-Sato, K., Mineshige, S., & Canas, L.	4. 巻 3
2. 論文標題 Astronomy networks and best practices for inclusion in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 1032 ~ 1034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1038/s41550-019-0957-y	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Usuda-Sato, K. & Mineshige, S.	4. 巻 未定
2. 論文標題 Building networks and best practices for astronomy for inclusion in Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IAU Symposium 358 (in press)	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kumiko Usuda-Sato, Shin Mineshige, Lina Canas	4. 巻 -
2. 論文標題 Astronomy for Inclusion: Building Network and Sharing Hands-on Resources	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of Communicating Astronomy With the Public Conference 2018	6. 最初と最後の頁 256-257
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 臼田-佐藤功美子	4. 巻 -
2. 論文標題 視覚の有無を乗り越える「すばる望遠鏡」模型の製作	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第32回天文教育研究会集録	6. 最初と最後の頁 103-106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 臼田-佐藤功美子	4. 巻 362
2. 論文標題 国立天文台三鷹キャンパス	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊視覚障害-その研究と情報	6. 最初と最後の頁 36-40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 臼田-佐藤功美子	4. 巻 29
2. 論文標題 国立天文台三鷹におけるユニバーサルデザインの取り組み	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 天文教育	6. 最初と最後の頁 16-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) -	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Usuda-Sato, K. & Canas, L.
2. 発表標題 Building Networks, Best Practices on Astronomy for Inclusion: From Japan to the International Astronomical Union (IAU) International Community
3. 学会等名 SciAccess (Ohio State University, USA) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Usuda-Sato, K., Mineshige, S.
2. 発表標題 Building Networks, Best Practices on Astronomy for Inclusion in Japan
3. 学会等名 IAU Symposium 358 "ASTRONOMY FOR EQUITY, DIVERSITY AND INCLUSION A Roadmap to Action Within the Framework of IAU Centennial Anniversary" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 臼田-佐藤功美子
2. 発表標題 視覚の有無を乗り越える「すばる望遠鏡」模型の製作
3. 学会等名 第32回天文教育研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 臼田-佐藤功美子, 中山弘敬, 藤原英明, 臼田知史
2. 発表標題 3Dプリンタを用いたすばる望遠鏡模型の製作
3. 学会等名 日本天文学会2018年秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato & Lina Canas
2. 発表標題 Astronomy for Diversity and Inclusion: Building Networks, Best Practices, and a Roadmap to Action for Change
3. 学会等名 Earth-Life Science Institute (ELSI) Colloquim (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato, Lina Canas, Yukiko Shibata, and Shin Mineshige
2. 発表標題 Astronomy for Inclusion: A Chance for Regional and International Cooperation
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific Regional IAU Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato, Hirotaka Nakayama, Hideaki Fujiwara, Hiroshi Futami, Kuninori Iwashiro, and Usuda Tomonori
2. 発表標題 Developing Tactile Model of NAOJ-Related Telescopes with a 3D Printer
3. 学会等名 2017 Asia-Pacific Regional IAU Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato
2. 発表標題 Inclusivity at NAOJ Mitaka Visitors' Area
3. 学会等名 Astronomy Museums, Visitor Centres & Public Observatories Workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato, Shin Mineshige, and Lina Canas
2. 発表標題 Astronomy for Inclusion: Building Network and Sharing Hands-on Resources
3. 学会等名 Communicating Astronomy with the Public 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Angela Perez, Kumiko Usuda-Sato, Lina Canas, Amelia Ortiz-Gil, Beatriz Garcia, & Wanda Diaz Merced
2. 発表標題 Astronomy for Inclusion: network and hands-on workshop
3. 学会等名 Communicating Astronomy with the Public 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Lina Canas、嶺重慎、柴田幸子、臼田-佐藤功美子
2. 発表標題 ユニバーサル天文ワークショップ -国際協力と支援-
3. 学会等名 第30回天文教育研究会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 臼田-佐藤功美子
2. 発表標題 国立天文台三鷹におけるユニバーサルデザインの取り組み
3. 学会等名 第三回ユニバーサルデザイン天文教育研究会～教材研究ワークショップ(国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato, Shin Mineshige, & Lina Canas
2. 発表標題 Sharing Japanese Resources of "Universal Design" for Astronomy
3. 学会等名 Astronomy beyond the Common Senses (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kumiko Usuda-Sato & Lina Canas
2. 発表標題 Universal Design Symposium in Japan -International Collaboration-
3. 学会等名 Astronomy beyond the Common Senses (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>3Dプリンターを使った模型作り http://prc.nao.ac.jp/3d/index.html 日本点字図書館ふれる博物館 第2回企画展 宇宙をさわる https://www.nittento.or.jp/about/fureru/exhibition_02.html</p>

6. 研究組織		
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)
		備考