

学習者同期型アバタを用いた天文学習支援システム A Study of Learning Support System for Astronomy Education Using A Synchronous Avatar

木村 諒
KIMURA Ryo
筑波大学
University of Tsukuba

田代 祐己
TASHIRO Yuki
筑波大学
University of Tsukuba

葛岡 英明
KUZUOKA Hideaki
筑波大学
University of Tsukuba

久保田 善彦
KUBOTA Yoshihiko
宇都宮大学
Utsunomiya University

大槻 麻衣
OTSUKI Mai
筑波大学
University of
Tsukuba

鈴木 栄幸
SUZUKI Hideyuki
茨城大学
Ibaraki University

加藤 浩
KATO Hiroshi
放送大学
The Open University

山下 直美
YAMASHITA Naomi
NTT コミュニケーション科学
基礎研究所
NTT Communication Science
Laboratories

[要約] 小中学生にとって天体の分野は特に学習が難しい領域である。これらの天体現象を理解するためには地上から観測する視点と、太陽系を俯瞰する視点に関連付けて理解する必要がある。そのためわれわれは地上からの視点を映すシミュレータ、太陽系を俯瞰して見るための地球儀やアバタと呼ばれる人形、太陽模型で構成されたタンジブル地球儀システムを開発してきた。システムを用いて実際に教育現場で実践を行ったところ、学習者はタンジブルなインタフェースの意味を考えずにシステムを使用してしまうという問題点が観察された。本研究ではこの問題を解決するため学習者の動きと同期して動くアバタを開発し、デザインベースドリサーチに基づき、教育現場にて実験を行った。その結果、適切な教法をすることで学習効果が得られることが観察された。

[キーワード] 天文学, タンジブル, 学習支援, デザインベースドリサーチ

1. はじめに

IEA(国際教育到達度評価学会)が4年ごとに行っている算数・数学及び理科の到達度に関する国際的な調査において、日本の中学生の理科の得点は世界50か国中第4位に位置し、授業が楽しいと思う児童も調査ごとに増加傾向にあるが、理科に自信があるかという質問に対し日本は国際平均の31%の2倍以上となる69%の児童が「自信がない」と回答した。また、「先生の授業が分かりやすいか」「理科が将来役立つと感じるか」といった項目でも平均を下回る結果である[1]。そして、特に天文学習の分野においては、地球が自転や公転していることは知っているが、星の日周運動にどう関わっているかは約6割の生徒がわかっておらず、知識はあるが、しくみについては理解していないといった報告もある[2]。

このように、天文分野の学習が困難な原因とし

て、「地球の自転・公転運動と太陽の日周・年周運動を理解するためには、地上から太陽を観測する視点(以降、地上視点)や宇宙空間から太陽と地球を俯瞰する視点(以降、宇宙視点)、またこれらの時間的な変化など複数の視点に関連付けて理解する能力が必要とされる」ことが挙げられる。西川らは、これらの問題を解決するため、卓上型の学習支援システムである「タンジブル地球儀システム」(図1)を開発した[3]。タンジブルとは、



図1 タンジブル地球儀システム

実際に触れることができるという意味である。このシステムでは、地球儀と観測者の代理(アバタ)のタンジブルな操作によって、アバタが見ている天体シミュレータ内の時刻・視点を変更し、自由に天体の動きを観測することができる天文学習支援システムである。また、葛岡らはデザインベースドリサーチ(Design-Based Research, 以下 DBR)に基づいた実験を実施し、天文学習を支援するタンジブル教材の問題点を指摘するとともに、デザイン原則を提案した [4]。本研究ではその問題の一部を解決する新しいアバタを作成し、DBRに基づいた実験を実施した。そして新たなシステムが学習者に対してどのような効果を与えているのかを観察的に分析した。

2. 関連研究

天体分野に関する教育支援の研究は多く行われており、小松らが開発した「月の満ち欠け」の学習を支援する Augmented Reality (AR)教材は、月や地球が描かれた平面図をタブレット端末越しに観察すると、その平面図上に 3D の地球や月が表示され、地球上の任意の地点から観測できるというものである[5]。

また、瀬戸崎らはタンジブル天体学習用 AR 教材を用いて協調学習における発話分析を行った [6]。その結果、タンジブルユーザインタフェースと AR を実装することで、仮想環境内と現実環境のオブジェクトを関連づけることができ、学習者間の知識共有に有用であることを明らかにした。

このように、タンジブルな学習教材が学習に効果があることが示されつつあるが、汎用的なデザイン原則は示されていない。従って、類似の研究による知見を積み重ねることによって、デザイン原則を確立することが重要である。そこで本研究では筆者等が開発しているタンジブル地球儀システムを利用した授業を実践し、その結果について考察する。

3. タンジブル地球儀システム

タンジブル地球儀システムは太陽の日周・年周運動の学習支援を目的としており、ロータリエンコーダにより自転角を計測することができる地球儀と、地球儀自体の回転角を計測することで

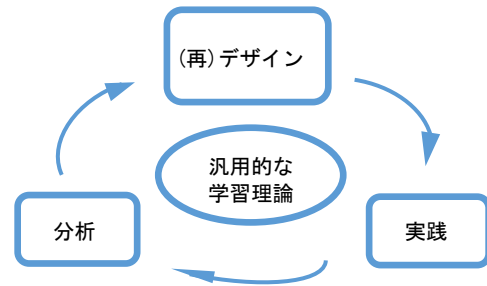


図2 葛岡らの作成した DBR における繰り返しサイクル

公転運動を示すことができる回転台、そして地球儀上の複数地点に取り付けられた DIN プラグに着脱可能な人形(タンジブルアバタ)で構成されている。また、ディスプレイには地上視点と宇宙視点の VR コンテンツが表示されている。地球儀や回転台を回転させることで VR コンテンツ内の時間を変更でき、アバタの頭部や体の向きを変えることで、VR コンテンツ内の視点を自由に変更できる。また、地上視点映像にはアバタの仰角が表示されている。これにより、学習者はタンジブル地球儀システムを用いることによって、日の出、日の入りの時刻、南中高度の変化などを直観的に学習することができる。

4. 研究の方法

4.1. DBR

DBR は従来の実験の問題点を補うことを目的として開発された研究手法である。Collins ら[7]によれば、実験室実験は特定の変数が学習に与える効果を確認するには効果的であるが、教育的介入が成功するための要員を詳細に理解するには適していない。この問題を補うために、DBR は実際の教育実践を研究対象とし、現場で何がどのように行われているのかということを理解するためにエスノグラフィーによる分析が行なわれる。DBR の目的は、効果的な学習環境を構築することと、汎用的な学習理論を導出することである[8]。この目的を効果的に達成するために、デザイン、実践、分析、そして再デザインを継続的に繰り返す。(図 2)

4.2. システムの問題点

葛岡らは DBR に基づいてタンジブル地球儀システムが学習活動にどのように影響するのかについて実験を行った[4]。その結果、次の 3 つの問題点を発見した。



図3 学習者同期型
タンジブルアバタ

1) 位置の問題: ワークシートに解答する情報(時刻, 方位など)をアバタや地球儀から離れた位置に置かれたディスプレイに表示していたため, 学習者は地上視点のみ注目し, アバタや

地球儀が構成する俯瞰的な視点へ注意が向かない。

2) 現実との対応の問題: 卓上型の都合上, 地球儀と太陽模型の位置が現実よりもはるかに近いいため, 学習者は太陽光が地球へ放射状に降り注いでいると誤解してしまう。

3) 動作の問題: 学習者はアバタの意義を考えず, アバタを適当に操作していた。そのため太陽と地球と自分を俯瞰し, その意味を考察することができるといったシステムの効果を活かせずに学習を続けてしまった。

葛岡らは 3)の「動作の問題」に対し, 「タンジブルユーザインタフェース(以下, TUI)の安易な利用は学習者の思考をむしろ阻害する可能性があるため TUI に対する操作の意味を学習者に意識させるインタフェース設計や教示をしなければならない」というデザイン原則を提案した[4]。また, この考え方に基づいて, 地上視点を表示するデバイスをタブレット PC にし, 学習者が持つタブレット PC の向きに応じて地上視点の映像を変更することを提案した。タブレット PC の向きとタンジブルアバタの姿勢を連動させれば, 学習者は自分自身の姿勢と, 地球儀を俯瞰する視点におけるタンジブルアバタの姿勢を関連付けて考えられるようになると考えたのである。

本研究ではこの提案を実現し, 中学生を対象とした実践を行なうことによって, その効果を検討することとした。

4.3. 学習者同期型タンジブルアバタ

4.3.1. デザイン

まず, 学習者が持つタブレット PC に連動して動作するタンジブルアバタ(以下, アバタ)を開発した。学習者にアバタは自身の分身だと感じて

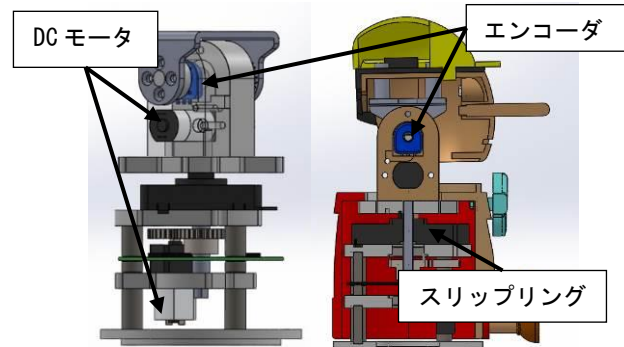


図4 アバタ内部構造

らうため, 人型のデザインとした(図 3)。目を立体的に作ることによって, 視線の方向をわかりやすくし, 鼻を長くすることによって, 目線や顔の向きをわかりやすくした。足元には 8 方位を記した台座を用意した。これによって, 地球儀にアバタを接続してアバタを回転させたときに, アバタがどちらの方位を向いているかをわかりやすくした。

4.3.2. 内部構造

図 4 にアバタの内部構造を示す。アバタの首と, 腰と台座との接続部分にそれぞれモーターとエンコーダを組み込んだ。アバタは水平方向無制限, 鉛直方向は水平面から 90° の範囲で動作する。学習者がタブレット PC を持って水平方向・鉛直方向に回転させると, その動作を PC 内蔵の加速度センサで検出し, その動作にアバタの動作が連動するように制御した。

5. 評価実験 1

5.1. 内容

つくば市内の中学生 4 人を 2 人一組に分けて実験を行った。実験はプレテスト, インストラクション, システムを使ったワーク, ポストテスト, アンケートの順で行った。図 5 に実験環境を示す。床には 8 方位が書かれた正方形のマットを実際に方角に合わせて地面に設置した。スタンドは太陽の代わりに設置したものである。実験の様子は 2 台のビデオカメラを用いて記録した。

5.1.1. プレテスト

学習者がタンジブル地球儀システムを用いた実験を行う前の段階で, どれほどの知識や能力を備えているか確認するためのプレテストを行った。また, このテストの結果から同程度のスコアを持った者をペアに設定した。テストの内容は日本

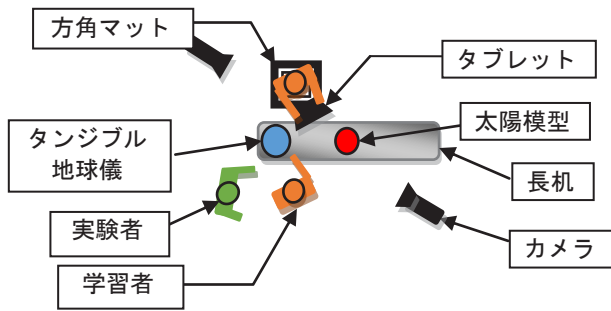


図5 実験環境

の太陽の日周運動、自転の向き、日本の日の出と日の入り、地球上の方角、自転の向き、視点移動についての問題、の6題である。テストは解答後回収して採点を行った。

5.1.2. インストラクション

学習者たちの知識レベルをある程度そろえるため、学習活動の最初に天文学の基礎的な知識に関する復習を行った。復習内容は表1の通りである。

また、アバタの視界がディスプレイに映っていると認識させるため、円筒形にした画用紙に、シミュレータ上に表示される全周画像を印刷したものの中央にアバタを配置し(図6)、手動で操作したり、同期機能を用いたりしながらアバタの視界がシミュレータと連動している認識を促した。この際にタンジブル地球儀システムの操作方法についても教示した。

5.1.3. タンジブル地球儀を用いたワーク

タンジブル地球儀を用いて考えさせ、ワークシートに記入させる以下の課題を出題した。

- ① 日本の夏至(6月21日)における日の出, 正中, 日の入りの方位とアバタの仰角と時刻を回答させる。
- ② 同日におけるオーストラリアの日の出, 正中, 日の入りの方位とアバタの仰角と時刻を回答させる。
- ③ 日本, オーストラリアそれぞれの天球図における太陽の軌道を図示させる。

まず手動でアバタを操作させ(以降, 「手動操作」), これらの課題に解答させたのち, 自身とアバタの同期機能を用いて①~③と同様の課題に取り組ませた。同期機能を用いる操作(以降, 「連動操作」)は日本とオーストラリアで操作者を変更し, 全員に体験させた。

表1 復習内容

地上視点, 俯瞰視点の知識	天球に関する知識
<ul style="list-style-type: none"> ・自転方向 ・地軸の傾き ・夏至での地球と太陽の関係 ・日の出, 日の入り ・太陽光は地球に平行に差してくる 	<ul style="list-style-type: none"> ・16方位 ・地球儀上での方角 ・正中及び正中高度

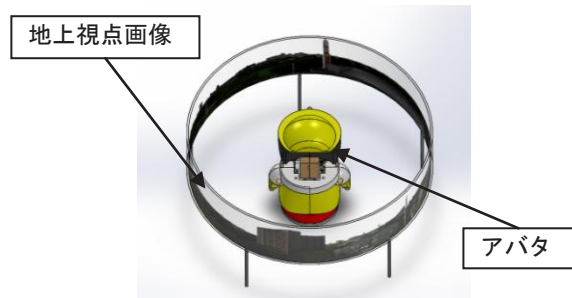


図6 インストラクション時の構成



図7 ディスプレイに注目する学習者

実験中は適宜実験者が介入し, それぞれの解答内容について考えたことを発言させた。

5.1.4. ポストテスト

プレテストの内容に加えて, 空間認知能力, 視点移動能力を確認する問題を出題した。また, システムを用いずに, ある時刻, ある地点での太陽の見え方を問う問題を出題し, システムの効果を確認することとした。

5.1.5. アンケートとインタビュー

学習者にシステムの使いやすさや, インタフェースとしてのアバタの意味を理解できたかを問うアンケートおよびインタビューを行った。

5.2. 結果

ワークシートに解答するための情報の大半はディスプレイに表示されていたため, 学習者はほとんどディスプレイに注目してしまっていた(図7)。

連動操作時は地球儀操作者がアバタへ注目し, 連動操作者に太陽を見ていないと指摘する場面も見られた。しかし基本的にはアバタへ注目

するのではなく、連動操作者が太陽を探す際、システムが構成する俯瞰的な環境を意識していなかった。また、一つのペアはタブレットを持つ連動操作者がもう一名の学習者に地球儀を操作し、時間を変更するように促す場面が見られた。その際に地球儀操作者はディスプレイを見ずに地球儀を回し、適切な方向に時間を前後させていたが、もう片方のペアはディスプレイを見ない状態では日の出の位置が理解できていない場面が見られた。

ポストテストでは多くの学習者が地上、地球上の方角を正しく解答することができていなかった。太陽光が地球に平行に届いていることを忘れ、放射状に地球に届いていると誤認識していた。

アンケート・インタビューでは「アバタの視界がモニターに表示されていると理解できたか」という問いについては同期機能のインストラクションがあったため理解できたという意見が多かった。「アバタを自身の分身であると認識できたか」という問いについては自身の動きと同時に動いたため強く認識することができたという意見を得た。「システムの使いやすさ」については、使いやすかったが地上視点映像と自身の動きに少しずれや遅延を感じたという意見を得た。「アバタの手動操作や同期機能」については応答性が良く、使いやすかったという意見を得た。

5.3. 考察

これらの結果より、動作の問題を解決するため同期機能を有するアバタを開発したがそれだけではアバタへの注目が足りず、ディスプレイに注目しすぎてしまう「表示位置の問題」が強く現れたことが分かった。

また、日の出の時の地球儀の位置がわかっているペアとわかっていないペアがいた。これはディスプレイに注目し続けたため自身で考えず、地球の自転と時間の関係を考えなかったためと考えられる。方角について正しく解答できなかったこともアバタ下部の台座を見る機会が少なく、ディスプレイに注目した結果だと考えられる。

6. 評価実験 2

6.1. 内容

評価実験 1 の結果より、実験内容の再検討を

行った。具体的には、評価実験 1 において地球の自転の方向をインストラクション時に教示していたがその知識は与えず、ワーク中に自身で考えさせるワークを追加した。以下に再検討後のワークの内容を列挙する。

- ① 地上視点映像を用いずに、日本における日の出、正中、日の入りの地点だと思われる場所になるよう、順に地球儀を回し、アバタが太陽を向いていると思う体勢を取らせ、方位をアバタの台座で確認する。
- ② ①のアバタの位置、体勢が正しく太陽を観測できているかを確認したのち、手動操作を用いて日本の夏至(6月21日)における日の出、正中、日の入りの太陽の方位とアバタの仰角と時刻を順に回答させる。太陽を観測する際には初めから地上視点映像を表示するのではなく、正しい時刻でアバタが太陽を観測していると思った時に地上視点映像を確認し、微調整のみを行わせる。
- ④ オーストラリアでも①、②と同様の観察を行わせる。
- ⑤ 日本、オーストラリアそれぞれの天球図における太陽の軌道を図示させる。
- ⑥ 学習者に何も表示されていないタブレットを持たせ、日本、オーストラリアそれぞれの太陽の一日の動きを自身の体で再現させる。
- ⑦ 連動操作を用いて、②と同様の観察を行わせる。日本とオーストラリアで同期機能の操作者を入れ替え、全員に同期機能を体験させる。
- ⑧ ⑤を再度行わせる。

被験者は評価実験 1 とは異なる中学生 4 名 (2 人 1 組、計 2 組) であった。

6.2. 結果

手動操作の際、学習者は、地上視点映像が映っていないためアバタに注目し(図 10)、アバタを適切に太陽に向けていた。連動操作の際も同様に、学習者は評価実験 1 に比べ、地球儀操作者がアバタに注目し(図 11)、アバタを太陽に向けるように方角を指示する場面が見られた。

ポストテストは評価実験 1 に比べ、地上、地球儀上の方角は正しく解答していた、また自転の方向の理解度・自信度共に上昇した。



図10 アバタに注目する学習者（手動操作時）



図11 アバタに注目する学習者（連動操作時）

アンケート・インタビューでは「アバタの視界がモニターに表示されているかと認識できたか」という問いについては評価実験 1 と同様に、同期機能のインストラクションがあったため認識することができたという意見が多かった。また、ワーク中にペアになった学習者の動きと同期しているアバタの動きを見て理解できたという意見も得られた。

7. 考察・今後の課題

再デザインした実験により、改善が見られた。学習者に知識を教える順番を指定することで、正しい記憶を促すことができる。また学習者に与える情報を制限することによって表示位置の問題を抑制し、地球儀とアバタと太陽模型が構成する俯瞰的な模型空間と、連動操作者の体勢を結び付けたと考えられる。

地上視点映像とアバタの動作のずれはノイズをとるためのフィルターや、地上視点映像に用いているシミュレータをより軽いものに改善する必要があると考えられる。

「表示位置の問題」は教示による解決法の他に富士原らによって AR を用いたシステムが提案されている[9]。そのためこのシステムと同期型アバタを組み合わせることで表示位置の問題を解決できると考えられる。

8. おわりに

学習者にアバタのインタフェースとしての意味

を理解させるため学習者と同期して動くアバタを開発した。しかし一度目の教示法では意味を理解している様子は観察できなかった。そのため教示法を再デザインし、実践することで学習者はアバタの意味を理解し、アバタと地球儀と太陽模型が構成する俯瞰的な模型空間と連動操作者の体勢を意識できていることを観察することができた。今後はより詳しい分析し、実験を再デザインする。そして DBR を繰り返すことでより適切な学習支援システムを開発していく。

参考文献

- [1] IEA 国際数学・理科教育同行の 2011 年調査 (TIMSS2011).
- [2] 石原貴志, 意欲的に取り組む生徒を育成する天体学習, 東京書籍, 2009.
- [3] 西川悟史, 天文学習を支援するタンジブル地球儀システムの研究, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2010.
- [4] 葛岡英明, 鈴木靖幸, 山下直美, 加藤浩, 鈴木栄幸, 久保田善彦, 天文学習のためのタンジブル学習環境に関するデザイン原則の検討, 日本科学教育学会「科学教育研究」, 38 巻 2 号, pp. 65-74, 2014.
- [5] 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, 日本科学教育学会「科学教育研究」, 37 巻 4 号, pp. 307-316, 2013.
- [6] 瀬戸崎典夫, 鈴木滉平, 森田裕介, タンジブル天体学習用 AR 教材を用いた強調学習における発話分析, 日本科学教育学会研究会研究報告, 29 巻, No. 3, pp. 67-70, 2014.
- [7] Collins, A., Joseph, D., and Bielaczyc, K.: Design research: Theoretical and methodological issues, *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), pp. 15-42, 2004.
- [8] The Design-Based Research Collective (TDBRC): Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry, *Educational Researcher*, 32(1), pp. 5-8, 2003.
- [9] 富士原照久, タンジブルユーザインタフェースと AR を融合した天文学習支援システムの研究, 筑波大学大学院博士課程システム情報工学研究科修士論文, 2014.