

身体化デザインに基づく天文学習支援
A Study of Learning Support for Astronomy Education
Based on Embodied Design

<p>川崎 恭輔 KAWASAKI, Kyosuke 筑波大学 University of Tsukuba</p>	<p>田代 祐己 TASHIRO, Yuki 筑波大学 University of Tsukuba</p>	<p>葛岡 英明 KUZUOKA, Hideaki 筑波大学 University of Tsukuba</p>	<p>久保田 善彦 KUBOTA, Yoshihiko 宇都宮大学 Utsunomiya University</p>	<p>金井 司 KANAI, Tsukasa 宇都宮大学 Utsunomiya University</p>
<p>大槻 麻衣 OTSUKI, Mai 筑波大学 University of Tsukuba</p>	<p>鈴木 栄幸 SUZUKI, Hideyuki 茨城大学 Ibaraki University</p>	<p>加藤 浩 KATO, Hiroshi 放送大学 The Open University</p>	<p>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</p>	

[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を関連付けて理解する必要がある。そのため筆者ら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。本研究では、身体化デザインの考え方に基づいてシステムの機能を追加するために、以前の実験の再分析を行った。その結果、教師と教材による足場かけの重要性が確認され、その知見から、新たな機能の追加を行った。

[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, 身体化デザイン

1. はじめに

科学の学習の中でも、天文分野は特に難しい領域の一つである[1]。これは、地上で観察できる天文現象と宇宙を俯瞰した天文現象など、複数の視点から観察される現象を統合して理解する必要があるためである[2][3][4]。こうした背景に基づき、筆者らは、タンジブルユーザインタフェース(TUI)を利用した天文学習教材を開発し、天文学習を支援することを試みている[5]。TUIを利用した学習環境(以後、タンジブル学習環境)は様々な科学学習に応用されており[6][7]、その効果が期待されている。しかし、効果的なタンジブル学習環境をデザインするための有効な方法論についてはいまだに課題となっている[8]。これに対して筆者らは、デザインベースドリサーチ[9]に基づいた実験を実施することによって、天文学習教材であるタンジブル地球儀システムが学習に対してどのような効果や問題を与えているのかという事を観察的に分析し、その結果に基づいて天文学習を支援するタンジブル学習環境のデザイン原則を検討してきた[10]。こうした研究を通して、システム

の機能だけではなく、それを効果的に利用するための学習手順が重要であることも認識するようになった。前研究において、筆者らは中学生を対象として天文学習実験を行った[11]。

本研究では、その結果を再分析して得られた知見をもとに、より適切な学習手順において必要となる機能を抽出し、タンジブル地球儀システムを発展させることを目的とする。

2. 研究の方法

2.1. デザインベースドリサーチ (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[9]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因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[11]。

この目的を効果的に達成するために、図1に示すようにデザイン、実践、分析、そして再デザインを継続的に繰り返す。

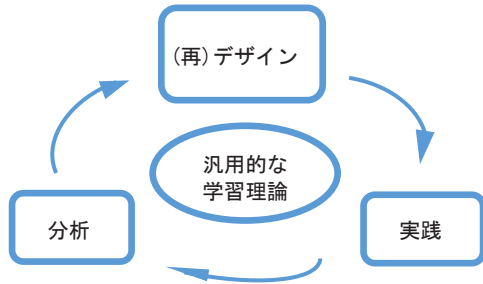


図1 葛岡らの作成した DBR における繰り返しサイクル

2.2. 身体化デザイン

Abrahamsonらは、科学、技術、光学、数学の学習を支援する方法として身体化デザインを提案している[13]. 彼らによれば、我々が物理的な道具を使ってある目的を達成しようとしたにもかかわらず望んだ効果が得られないとき、その理由を考えたり再調整したりしながら、その道具に対する動作を変更して望む効果を得ようとするが、これがまさに学習なのである。

学習のための道具において重要なことは、学習者にその道具を直感的・無意識的に使わせるのではなく、自分が道具とどのようにインタラクションをしているのかという事を分析し、具体的かつ定量的に理解させることである。これによって、道具に対する動作は学習者の中で徐々に内化し、実際に道具がなくてもそれに対する動作を模擬したり、頭の中だけで動作をシミュレートしたりすることができるようになる。つまり、人工物に対する動作を試行錯誤させつつその意味を理解させ、徐々に内化させることができる学習教材をデザインすることが必要である。

このためには、学習教材そのものの設計と同時に、教師が適切に介入して足場かけをすることの重要性も指摘されている[13]. 筆者らはこうした考え方にに基づき、筆者らが開発したタンジブル天文学習システムを使って学習者が行う動作が学習内容の理解に与える効果、そして授業の手順の違いがその効果に与える影響を明らかにした[11].

2.3. タンジブル地球儀システム

筆者らは TUI の考え方にに基づき、学習者の太陽と地球の時間的・空間的な関係の理解を支援するために、タンジブル地球儀システムを開発した[13]. タンジブル地球儀システムは、タンジブルアバタ(以後、アバタ)、タンジブル地球儀(以後、地球儀)、電球、そしてタブレット端末から構成さ

れる。ここで、電球は太陽として利用し、地球儀と電球は、地球と太陽の関係を俯瞰した視点を提供する。

タブレット端末には地上から天空を見た視点(以後、地上視点)を表示し、天空上の太陽の日周運動を確認するために用いられる。この地上視点のための天体シミュレータは、国立天文台が開発した Mitaka[15]を利用している。シミュレータ内の時刻は、地球儀の自転に同期して変化するように制御される。

アバタ自身は身体を水平方向に、頭を鉛直方向に回転させることが可能である。地球儀上にはあらかじめいくつかの装着点を用意されており、アバタを任意の地点の装着点に差し込むと、天体シミュレータはアバタの緯度・経度に対応した場所から見た天空の映像をタブレットに表示し(地上視点)、その視線の方向はアバタの頭と身体の向きに対応するように制御される。このときタブレット端末上にはアバタの視線の方位と見上げ角が表示される。

タブレット端末上に太陽を表示するためには、アバタの顔の向きを太陽の方向に向ければよいことになる。太陽が画面の中央に表示されるように調整したときに画面に表示されている方位と見上げ角を読むことによって、太陽の方位と高度を計測することができる。

このアバタは、このように、手で直接操作する手動モードのほか、学習者の動作と同期してアバタがモータ駆動する身体連動モードを備えている。

身体連動モードの場合は、学習者がタブレット端末を持って上下に動かしたり、左右に身体を回転させたりすると、加速度センサから得られた値に応じ、内蔵されたモータによってアバタの首が鉛直方向(可動範囲 0~90 度)、体全体が水平方向に回転する(無限回転)。また、地上視点映像も同期する。

手動モードと身体連動モード間の切り替えは、学習者自身がタブレット端末上のボタンにタッチすることによって行う。



図2 タンジブル地球儀システム

3. 実験

本研究では文献[11]において行った実験を再分析し、その知見をもとにシステムの改良を行う。本章ではその実験の概要及び得られた結果について述べる。

実験はつくば市内の中学校の理科教室において実施した。実験期間は1日のみで、午前と午後の2回実施した。午前に実施した実験を実験1と呼び、午後に実施した実験を実験2と呼称する。これらの実験では、午前の実験1の様子を観察した結果、問題点が明らかになったため、午後の実験2では授業の手順を変更した。

なお、これらの実験は筑波大学システム情報系の研究倫理審査において承認を得たうえで実施した。

3.1. 実験参加者

実験参加者は、実験を実施した中学校の理科部に所属する2年生の男子8名で、そのうちの4名が実験1に参加し、残りの4名は実験2に参加した。実験は2人1組のグループ学習とした。

3.2. 実験手順

参加者にはまずプレテストを受けさせ、すぐに採点をした。そして、できるだけ点数の近い2人でグループを構成するようにした。学習活動中は、3名のインストラクターが常に巡回し、装置の操作の仕方、ワークシートの手順について助言を与えたり、参加者の思考過程について質問をしたりした。活動の終了後、ポストテストを受けさせた。

これらの実験の様子は2台のビデオカメラで撮影し、後の分析に利用した。

3.3. 実験1の結果と考察

プレテストとポストテストそれぞれの平均正解率は54%と46%（標準偏差はそれぞれ6.9%と5.1%）であり、実験1の参加者においては、ポストテストの正解率の方が低い結果となった。不正解だった問題は参加者によって異なるが、東西南北の位置関係、日周運動の方位、太陽と地球を俯瞰したときの日の出と日の入りの位置について、正しく回答できない傾向が見られた。実験参加者が少ないため統計的な議論はできないが、本学習活動の効果が高くなかったことがうかがえる。

実験1のビデオデータを分析すると、学習中に参加者たちがアバタに注目していない様子が多く観察された。図3は、グループ1の参加者が、タブレット端末の画面を見ながら地球儀を操作して、日の出を観察しようとしている場面である。このときP1が地球儀を操作し、P2はディスプレイを観察している。P1は最初、地球儀を回転させて日の出の3時間後付近にアバタを適当に移動させるが、すぐにタブレット端末に注目してしまい、アバタと



図3 タブレット端末にのみ注目してしまう場面

太陽（電球）の位置関係についてよく考えないまま、地球儀をゆっくり逆回転させており、望む結果を得るのに手間取っていた。このような傾向は、2つのグループに共通して見られた。

図4は身体連動モードにおいて、オーストラリアの日の出の観察をしようとしている場面である。インストラクターのI1が、朝の位置にアバタを移動するように要求したのに対してP3は地球儀を自転方向とは反対に回転させて、日の入りの位置にアバタを動かし、P4にこの位置であっているかを聞いていた。この場面においても、P3は地球の自転方向について考えずに、タブレット端末を持っているP4に頼っている様子であった。



図4 タブレット端末の情報に頼る場面

このように、実験1において参加者はタブレット端末に注目することが多く、アバタにあまり注目しないという「情報の提示位置の問題」が多く観察された。またこれに伴って、アバタをどの方位に向けるべきかという事や、地球儀をどの方向にどの程度回転させるべきかという事を深く思考しないという「操作の問題」も生じていた。すなわち実験1における参加者には、身体化デザインで主張されているような、理由を考えたり再調整をしたりしながら、道具に対する動作を変更して望む効果を得ようとするという様子がほとんど観察されなかった。

以上の考察から、ポストテストにおいて方位に関する問題の正解率が低かった理由は、タブレット端末に表示されている情報を安易に利用してしまったために、アバタの方位盤や、アバタ、地球

儀,そして太陽の相対的な位置について思考する必要がなくなったため,方位,自転の方向,日の出と日の入りの位置に関する操作を行うという動作が内化しなかった可能性がある。

3.4. 実験 2 の結果と考察

実験 1 の結果から,学習手順の変更を行い,実験 2 の参加者 4 名(2 グループ)を対象として,実験を行った。プレテストの正答率は平均 50%で,ポストテストの正答率は平均 82%(標準偏差はそれぞれ 6.9%, 9.3%)となり,実験前と比較して基礎的な知識が定着した可能性がうかがえた。

実験 2 では,実験 1 とは異なり,参加者がアバタ,地球儀,そして太陽の関係を考えながら予想を立てている様子が観察された。図 5 は,オーストラリアにおける正中の時の,地球儀とアバタの姿勢を予想している場面である。P5 と P6 は 2 人同時にアバタに触れて操作をした後,P6 がアバタの顔の位置から太陽を見ることによって,アバタの視線方向が太陽に向かっていることを確認していた。



図 5 アバタと太陽の関係に注目している場面

図 6 は,別のグループがオーストラリアにおける正中を観察しようとしている場面である。まず P7 は,アバタは南を向くはずであると考えて,「南」と言いながらアバタを操作して太陽が見える姿勢にした。このとき,P8 も一緒にアバタに注目していたが,図 6(a)のようにアバタの足元の方位盤を指さしながら,「北なの?」と改めて P7 に問いかけた。その後,図 6(b)のように P8 はアバタが南に向くように回転させ,首を持ち上げて太陽が見られるような姿勢にしようとしたが,アバタの首が 90 度で止まってしまったためアバタの視線を太陽の方向に向けることができなかった。このことにより,オーストラリアにおいてはアバタが南に向いたのでは太陽を見ることができず,太陽は北に正中することを理解したのである。

これらの例から,タブレット端末を見ずに,参加者がアバタと地球儀のみから予想をする段階を設けたことによって,グループの 2 人ともアバタや地球儀に対して注目し,地球儀,アバタ,そして太陽との相対的な位置関係を意識し,これらに対して様々な動作を行うことによって,理解が促進されている様子がうかがえた。



図 6 オーストラリアの正中について試行錯誤する場面

図 7 は P6 がポストテストに回答している最中に,日の出や日の入りの時の太陽の動きを思い出すために,身体連動モードの時にタブレット端末を持って行った身体の動きを再現している場面である。実験 2 では,参加者は何も表示されていないタブレット端末を持って,太陽の日周運動を予想しながら動作をするという経験をしている。こうした,操作の試行錯誤によって,ある程度身体的な動作が内化した可能性がある。



図 7 タブレット端末を動かす動作を模擬する場面

4. 考察

本章では,実験 1 と 2 の結果を総合的に考察することによって,タンジブル学習環境を利用した学習手順に関する知見をまとめる。

実験 1 と実験 2 の結果で異なっていたのは,アバタや地球儀を操作している最中に,それらの位置や姿勢に基づいて思考をしているか否かであった。実験 1 では,タブレット端末の画面を常に参照できるようにしたことによって,単に画面内で答えを探ることが目的となり,アバタと地球儀は画面を操作するコントローラの役割しか果たさなくなっていたようである。少なくとも,地球儀の操作は時間を変化させ,アバタの操作は視線方向を変化させることは理解し,直感的に操作できていたと考えられるが,地球儀とアバタの操作の意味について理解しながら操作をするという事ができていなかった。これは,タンジブルユーザインタフェースという直感的なユーザインタフェースが,かえって参加者の思考を阻害したとも考えられる。このことから本研究では「**タンジブルユーザインタフェースの直感的な操作性が,かえって学習者の思考を阻害する可能性がある**」という知見が得られた。

これに対して実験 2 では,まずタブレット端末を

見せずに地球儀とアバタの操作のみで予想させた。これによって、地球儀とアバタが太陽との位置関係において、どのような位置・姿勢をとるべきかという事について思考しながらアバタと地球儀を操作することができていたようである。

例えば、図 6 にもみられるように「太陽は南に正中する」という自分の予想とは異なる結果が生じた際に、アバタを南方向に向けて首を垂直まで回転させるという試行錯誤をすることによって、オーストラリアでは太陽は北に正中するという正しい理解へと結びつけることができていた。さらに、図 7 の例では、思考しながら動作をさせたことによって、その動作がある程度内化した可能性を示している。したがって、実験 2 においては、動作をしながら思考させることによって理解が促進され、動作が内化されるという身体化デザインの要件が支援できていたという可能性が見られた。

これらの考察から、タンジブル学習環境を利用した学習手順においては、「教師はまず、学習者に提供する情報を制限し、注目させたい人工物を操作させながら試行錯誤させ、結果を予測させることが効果的である」という知見が得られた。

5. 機能の追加

実験結果の再考察で得られた知見から、身体化デザインの考え方における、教師あるいは教材による足場かけが重要であることが分かった。

このことから筆者らは、教材側の足場かけとして、タンジブル地球儀システムに新たな機能を追加した。本機能を用いると、図 8 のように、学習者が地球儀を回転させた際に、設定された季節に応じて太陽が視界の中心に見える方位と見上げ角になるよう、アバタが動く。これにより、学習者は地球儀とアバタが太陽との位置関係において、どのような位置・姿勢をとるべきかを知ることができる。

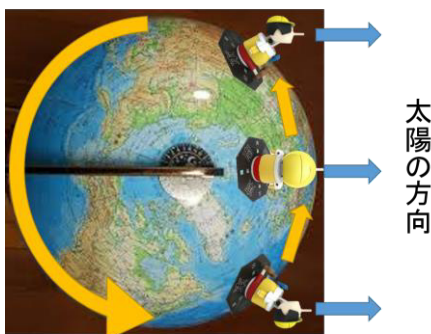


図 8 常に太陽の方向を向くタンジブルアバタ

この機能には注目させたい対象物の異なる以下の 2 つのモードを備えた。

(1) 追従モード: アバタのしている視界とタブレット端末に表示されている地上視点映像が同期する。タブレット端末に表示されている地上視点映

像は常に太陽を中心にとらえ続けているため、学習者はあまりタブレット端末に注目せず、地球儀を操作することができる。

(2) 探索モード: タブレット端末に表示されている地上視点映像が、タブレット端末の方位と見上げ角と同期する。しかし、地上視点映像の時刻は地球儀の回転と同期している。このモードでは、2 人以上 1 組のグループワークを想定しており、タブレット端末を持った学習者は、地球儀とアバタ、太陽の位置関係を参考にしながら、端末を移動させて、太陽の位置を探索する。

6. 終わりに

本研究では、タンジブル地球儀システムを利用した天文学習の実験を再分析することにより、タンジブル学習環境を効果的に利用する学習手順に関する知見の獲得、およびその知見に基づいた新たな機能の追加を目的とした。

身体化デザインの考え方に基づいて、観察的な分析を行った結果、タンジブルユーザインタフェースの直感的な操作性が、かえって学習者の思考を阻害する可能性があることが分かった。また、学習においてはまず、学習者に提供する情報を制限し、注目させたい人工物を操作させながら試行錯誤させ、結果を予測させることが効果的である可能性が示された。

これらの知見から学習者に対する教材側からの足場かけとして、新たな機能を追加した。

今後は新たな機能を追加したタンジブル地球儀システムを用いて実験を行い、より適切な学習手順およびそれに必要な機能を明らかにする。

参考文献

- [1] Atwood, R. K. and Atwood, V.A.: Effect of Instruction on Preservice Elementary Teachers' Conceptions of the Causes of Night and Day and the Seasons, *Journal of Science Teacher Education*, 8(1), pp.1-13, 1997.
- [2] Shelton, B. E. and Hedley, N. R.: Using Augmented Reality for Teaching Earth-Sun Relationships to Undergraduate Geography Students, in *Proceedings of the First International Augmented Reality Toolkit Workshop*, 8pages, 2002.
- [3] Young, T., Farnsworth, B., Grabe, C., and Guy, M.: Exploring New Technology Tools to Enhance Astronomy Teaching & Learning in Grades 3-8 Classrooms: Year One Implementation, in *Annual meeting of Association for Science Teacher Education*, pp.4556-4567, 2012.

- [4] Morita, Y. and Setozaki, N.: Practical Evaluation of Tangible Learning System: Lunar Phase Class Case Study, in Proceedings of SITE 2012, pp.3718-3722, 2012.
- [5] Yamashita, J., Kuzuoka, H., Fujimon, C., and Hirose, M.: Tangible Avatar and Tangible Earth: A Novel Interface for Astronomy Education, in CHI2007 Extended Abstract, pp.2777-2782, 2007.
- [6] Moher, T., Hussain, S., Halter, T., and Kilb D.: RoomQuake: Embedding dynamic phenomena within the physical space of an elementary school classroom, in Proceedings of CHI2005, pp.1655-1668, 2005.
- [7] Suzuki, H. and Kato, H.: Interaction-Level Support for Collaborative Learning: AlgoBlock-An Open Programming Language, in Proceedings of CSCS '95, pp.349-355, 1995.
- [8] Price, S.: A representation approach to conceptualizing tangible learning environments, in Proceedings of TEI 2008, pp.151-157, 2008.
- [9] 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.
- [10] 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 卷 2 号, pp. 65-74, 2014.
- [11] 木村諒, 田代祐己, 葛岡英明, 久保田善彦, 大槻麻衣, 鈴木栄幸, 加藤浩, 山下直美, 学習者同期型アバタを用いた天文学習支援システム, 日本科学教育学会研究会研究報告, 30(1), pp.41-46, 2015.
- [12] The Design-Based Research Collective (TDBRC): Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry, Educational Researcher, 32(1), pp. 5-8, 2003.
- [13] Abrahamson, D. and Lindgren, R.: Embodiment and embodied design, in Sawyer R. K. (Ed.), The Cambridge handbook of the learning sciences (2nd edition), Cambridge University Press, Cambridge, 2014.
- [14] Yamashita, J., Kuzuoka, H., Fujimon, C., and Hirose, M.: Tangible avatar and tangible earth: a novel interface for astronomy education, in CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp.2777-2782, 2007.
- [15] 国立天文台 : 4D2U Project Website, <http://4d2u.nao.ac.jp/html/program/mitaka/> (参照 2014.3.3).