

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24650569

研究課題名(和文)実空間と仮想空間をシームレスにつなぐAR学習支援システムの開発

研究課題名(英文)Development of an AR Learning Support System Connecting the Real and the Virtual World

研究代表者

森田 裕介(Morita, Yusuke)

早稲田大学・人間科学学術院・准教授

研究者番号：20314891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、リアルとバーチャルの世界を接続するAR学習支援システムを開発することであった。システムには、次に示すいくつかの機能を実装した。まず、学生は、実際のモデルを操作することによって仮想オブジェクトを制御することができる。また、太陽、地球、月、スペースシャトルなどのモデル上に視点を移動することが可能である。本システムの有用性を検証するため、大学生を対象に協調学習支援の可能性を検討した。また、中学生を対象に実践授業を行い、理解度テストに対するシステムの有用性を検証した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to develop an AR Learning Support System Connecting the Real and the Virtual World. The system was implemented some functions as follows; students can control some virtual objects by manipulation of real models. Also, they can change their viewpoints onto the models which were the Sun, Earth, Moon, and Space shuttle. In order to verify the usefulness of this system, we examined the possibility of the collaborative learning support for university students. In addition, science classes in junior high school were practiced, and the usefulness of the system was verified on comprehension tests.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：教育工学

キーワード：学習支援システム 拡張現実感 タンジブル 実践的研究

### 1. 研究開始当初の背景

10 数年前から、実世界のオブジェクトを用いてコンピュータ処理を行う実世界指向インタフェースの研究が着目されるようになった。Ishiiら(1997)は、触れるコンピュータを意味する Tangible Bits を提唱し、仮想空間のオブジェクトと実世界のオブジェクトをシームレスに連動させるタンジブルユーザインタフェースの研究を進めている。加えて、AR (Augmented Reality) の技術も比較的容易に実装できるようになってきた。

一方、科学の学習における問題の一つに、空間的思考力の育成が挙げられる。空間を認識する能力は、知的スキルであり知識とは異なるため、教えることが困難である。この問題を解決するため、森田ら(2010)は、実空間と仮想空間が関連付けられたタンジブル学習支援システムを開発した。そして、実践授業を通じて、理解度テストにおける効果を検証した (Morita *et al.* 2012)。

しかしながら、開発したタンジブル学習支援システムを用いた授業において、実空間と仮想空間の動きが一致しない学習者が、わずかではあるがいたことが明らかとなっていた。そこで、挑戦的萌芽研究として、実空間に仮想空間を重ね合わせる拡張現実感 (Augmented Reality: AR) の技術に着目し、システムの拡張を試みた。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、タンジブル学習支援システムに、AR 技術を用いて仮想シェードを重ね合わせることが可能な学習支援システムを開発することを目的とした。このシステムでは、これまでの仮想空間と模型との連動に加え、AR の技術を用いていることから、自身がみている視点とモニタに投影されている模型上の仮想の視点との関わりを認識しやすくなっている。学習者は、自身の視点を身体的移動によって変更することができる。また、CG を重ね合わせて理解を促進できることが期待できる。

また、開発したシステムの有用性について 2 つの観点から評価を行った。ひとつは、協調学習の誘発、もうひとつは、理解度の向上である。前者は、大学生を対象とし、ビデオで活動と発話の記録を取得し、質的分析の手法を用いて検討した。後者は、中学生を対象に実践授業を行い、理解度テストの特典が向上することを確認した。

### 3. 研究の方法

#### (1)システム開発

本研究では、タンジブルの根幹を担っている模型にカメラを埋め込み、実映像を画像認識させた。そして、オブジェクトトラッキングの技術を使って、CG を重ね合わせるシステムを構築した。システムの開発には、AR オーサリングソフトである Unifeye SDK (metaio 社製) を用いた。

システムは、学習者が操作する模型(太陽、地球、月、スペースシャトル)の位置関係を

リアルタイムでレンダリングし、地球からの視点を CG 映像としてモニタに提示することが可能である。模型の底面には、マーカが設置されており、テーブル下の Web カメラから画像を認識している。テーブルの上面の操作範囲には半透明のアクリルを設置し、学習者からテーブル下の装置が見えないよう工夫されている。テーブルの側面は、画像認識の感度を高めるため、四方を黒い板で覆われている。

#### (2)評価

実空間と仮想空間を連動させた AR タンジブル学習支援システムの有用性を示すひとつの視点として、協調学習に着目した。大学生を対象としてグループを構成し、学習者がどのように問題を解決していくのか分析を行った。

一方で、実践授業を通じた評価を行った。本実践授業で着目したのは、仮想空間における光源(点光源もしくは並行光源)が学習者の理解に与える影響であった。2 つの条件に合わせた仮想環境を構築し、中学生を対象に実験を行った。まず、学習者の空間認識力を測定した。次に、中学生にシステムを能動的に使用させ、活動を記録した。そして、授業前後の理解度テスト得点の向上や、主観評価によるシステム評価に関するデータを取得し分析を行った。

#### 4. 研究成果

図1に、開発したタンジブル学習支援システムを示す。

まず、本システムを用いて、大学生 21 名を対象とし、学習者特性の違いによる多視点提示の効果を検討した。被験者に空間認識力を測定するための MRT(メンタルローテーションテスト)を実施し、課題遂行との関連性を分析した。実施した課題は、三日月や下弦の月などの形から天体模型の配置を回答させるものであった。

次に、大学生 20 名を対象に、協調学習の誘発に関する検討を行った。分析では、協同作業認識尺度を用いて被験者らを 2 群に分け、主観評価結果を比較した。その結果、本教材を活用することで興味や理解、意欲、他者との協力に関して高い評価を得られることが示された。また、協同効用が高い被験者は、

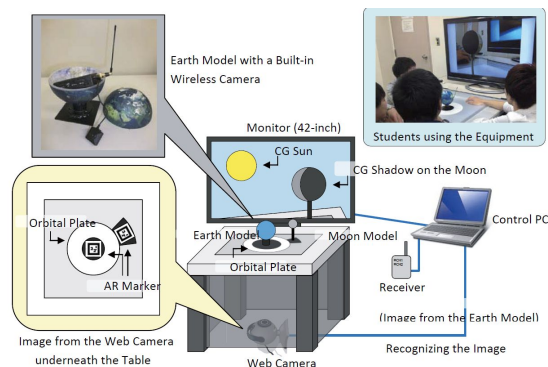


図1 AR タンジブル学習支援システム

本教材を活用することで月の満ち欠けのしくみが理解できると感じるようになった。さらに、協同効用が高い被験者にとって、本教材は、他者の意見を意識することができ、自分だけでは解決することができない課題を解決でき得る有用な教材であることが示された。個人志向因子による分析の結果、個人志向が低い被験者は、生徒の興味を引きつける教材であると感じることが示された。また、個人志向が高い被験者にとって、他者との対話を活発にする教材であることが示された。

一方で、広島県内の公立中学校の生徒（3クラス、103名：男子53名、女子50名）を対象として有用性の検討を行った。実践授業に先立ち、空間認識力を測定するためのメンタルローテーションテストを実施した。続いて、空間認識力をもとにグループを編成し、実践授業を実施した。

実践授業では、まず、タンジブル太陽系教材を2基（点光源提示用と並行光源提示用）設置し、月の満ち欠けに関する学習をさせた。その際、実践授業者は、各クラスの生徒を2群6グループに分け、グループごとに点光源提示用もしくは並行光源提示用のタンジブル太陽系教材を用いて探索的な活動を促した。点光源のタンジブル太陽系教材で学習した生徒を点光源群（42名）、並行光源で学習した生徒を並行光群（40名）と呼ぶ。なお、タンジブル太陽系教材を用いた探索的な活動の順番待ちの間は、モバイル端末（Apple社製 iPad2）を用いた調べ学習をさせた。タンジブル太陽系教材を用いた月の満ち欠けに関する探索的な学習の後、理解度テスト（事後1）を実施した。

次に、タンジブル太陽系教材を用いて、光源による現象の見え方の違いを踏まえた授業を実施した。点光源群には並行光提示用、並行光群には点光源提示用のタンジブル太陽系教材を使用した。授業実施者は、生徒に発問し相違点を考えさせた。タンジブル教材を用いた月の満ち欠けに関する演習型授業の後、理解度テスト（事後2）を実施した。

続いて、各群に、点光源のタンジブル太陽系教材を用いて、金星の満ち欠けに関する授業を行った。一方の群が演習型授業を受けている間、他方の群はCG教材を用いて、天体の大きさの比較などに関する提示型授業を受けた。演習型授業並びに提示型授業を行った後、理解度テスト（事後2）を実施した。

なお、計3回の理解度テストには、すべて同一問題を用いた。理解度テストの内容は、ボールの陰影（地球視点）、地球の陰影（俯瞰視点）、模型の陰影（地球視点と宇宙船視点）、月の陰影（月相）、金星の陰影に関する問題（計24問）であった。アンケート（事前）では、日食や金星の太陽面通過などの観察体験など、天体領域への嗜好性を確認した。

図2に、空間認識の能力ごとにグループ化した生徒の理解度テストの推移結果を示す。

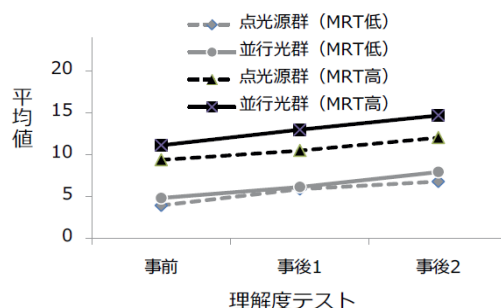


図2 空間認識と理解度テストの関連

MRTの得点の平均値を算出し、参加した児童をMRT上位群とMRT下位群に分けた。そして、探索的活動時の群並びに理解度テスト得点との関わりについて、三要因分散分析を行った。第一要因はMRT（上位群、下位群の被験者間2水準）、第二要因は光源（点光源群、並行光群の被験者間2水準）、第三要因はテスト時期（事前、事後1、事後2の被験者内3水準）とした。

分析は、MRTと理解度テストすべてに回答した生徒82名（男子44名、女子38名）を対象として行った。分析の結果、2次の交互作用は5%水準で有意ではなかった（ $F(2,154)=0.39, n.s.$ ）。また、MRTと光源、光源とテスト時期、MRTとテスト時期の1次の交互作用は、それぞれ有意ではなかった（ $F(1,77)=0.36, n.s.$ ； $F(2,154)=0.34, n.s.$ ； $F(2,154)=0.07, n.s.$ ）。MRTの主効果とテスト時期の主効果は1%水準で有意であった（ $F(1,77)=20.70, p<.01$ ； $F(2,154)=30.12, p<.01$ ）。以上のことから、光源の要因に関わりなく、MRT高群とMRT低群ともに、理解度テストの得点が高くなったことが明らかになった。

今後の課題は、タンジブル教材を用いた空間認識力の育成を、理科だけではなく、数学、技術科、情報科などの領域に拡大し、領域横断的な能力育成のカリキュラムとして検討することである。

#### 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 1件）

瀬戸崎典夫, 岩崎勤, 森田裕介 (2012) 多視点型天体教材を用いた授業実践における能動的学習の効果, 日本教育工学会論文誌, 査読有, 36巻1号, 81-90

〔学会発表〕（計 4件）

森田裕介, 瀬戸崎典夫, 奥田麻衣 (2013) 実践授業におけるタンジブル太陽系教材の効果に関する検証, 日本教育工学会第29回全国大会講演論文集: 999-1000

瀬戸崎典夫, 鈴木滉平, 森田裕介 (2013) 天体学習用AR教材を活用した協調学習の支援, 日本教育工学会第29回全国大会講演論文集, : 39-42

瀬戸崎典夫, 駒澤さや香, 森田裕介 (2013) タンジブル太陽系教材における多視点提示の効果, 日本科学教育学会第37回年会

論文集：294-295

Norio Setozaki, Tsutomu Iwasaki, Yusuke Morita (2013) Evaluation of AR Learning Equipment for Astronomy Education, *Proceedings of the 21st International Conference on Computers in Education*: 283-285

〔図書〕(計 1件)

森田裕介, 教育システム・ツールの開発方法, 教育工学研究の方法, ミネルヴァ書房, 127-142, 2012 (日本教育工学会監修, 清水康敬, 中山実, 向後千春編著, 教育工学選書3)

6. 研究組織

(1)研究代表者

森田 裕介 (MORITA, Yusuke)  
早稲田大学・人間科学学術院・准教授  
研究者番号：20314891

(2)研究分担者

瀬戸崎 典夫 (SETOZAKI, Norio)  
長崎大学・教育学部・准教授  
研究者番号：70586635