研究速報

平面と立体を可逆的に変化する構造を利用した省スペース体験型学習向け立体教材の開発

Space-Saving Experience-Based Learning Educational Tool Based on Reversible Structural Alteration between Two- and Three-dimensional Shapes

大島哲平^{†1}, 正会員 白木厚司^{†2}, 関谷信吾^{†3}, 佐野麻理恵^{†1},
正会員 中山弘敬^{†1}, 正会員 角江 崇^{†1}, 正会員 下馬場朋禄^{†1}, 正会員 伊藤智義^{†1}
Teppei Oshima^{†1}, Atsushi Shiraki^{†2}, Shingo Sekiya^{†3}, Marie Sano^{†1}, Hirotaka Nakayama^{†1},
Takashi Kakue^{†1}, Tomoyoshi Shimobaba^{†1} and Tomoyoshi Ito^{†1}

あらまし 折りたたまれた平面から、二つの端点を引っ張るだけで強固な立体形状を形成する手法が本研究グループで開発されている。この技術为天体教育に応用し、教材を試作した。中学3年生の授業で使用したところ、良好な評価を得た。

キーワード：立体構造物，ペーパクラフト，地球儀，教材開発

1. ま え が き

一般に、天体の教育においては平面図が用いられている¹⁾。ICT教育の推進から映像やCGによる説明も行われているが、天体の動きは立体的であるため、平面図のみによる理解は難しい²⁾。模型を用いて説明することもあるが、保管用スペースの確保が困難になる³⁾。

本研究グループでは、平面と立体を可逆的に変化する構造を開発した⁴⁾⁵⁾。二つの端点を引っ張ることで強固な立体構造を形成し、逆に、力を緩めることで立体から平面に戻ることができる。利用するときには立体モードにし、保管するときには平面モードにして省スペース化が可能になる。さまざまな凸型構造物を作ることにより成功しており、さらに、一般のペーパクラフトでは作製・保持が困難な強固な球形状を容易に作ることができるという大きな特長を有している。これらの利点は、種々の立体教材として、教育の現場で利用できるものと期待される。構造物はプリントした展開図から組み立てられることから、学習者が自ら作製することも可能である。近年、重要視され始めている体験型学習 (Experience-Based Learning: EBL) の教材としても利用可能である。

本研究では、平面と立体を可逆的に変化する球を利用して、天体学習教材を試作した。具体的には、地球と月を作

図1 展開図(上)と作製した折りたたみ可能な地球の模型(下)

製し、月の満ち欠けなどの月相教育教材とした。図1に、作製した地球の模型を示す。4枚の展開図から地球を作ることができる。展開図を月面に変えることで、同様に月を作ることも可能である。また、自転軸にとらわれる必要はなく、地軸の傾きを(約23.4°)を保ったまま地球の上下(天地)を設定することも展開図次第である。展開図の素材はコピー用紙でよく、通常のプリンタで、安価に大量に作成することが可能である。

展開図は舟形多円錐図法のデータを赤道面で2分し、極を中心に置き直して作成した。次節で述べる“はね”にも隣り合う舟形多円錐のデータを印刷しておくことで、違和感の少ない変換になる。舟形多円錐図法は一般的であり、展開図の作成が教材として問題になることはない。

また、中学校の協力を得て、実際に教材作製も実施した。アンケートの結果、体験型学習教材としても利用可能な示

2016年6月1日受付, 2016年8月12日再受付, 2016年9月21日採録

^{†1} 千葉大学 大学院工学研究科

(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33, TEL 043-251-1111)

^{†2} 千葉大学 統合情報センター

(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33, TEL 043-251-1111)

^{†3} 千葉大学 大学院融合科学研究科

(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33, TEL 043-251-1111)

図2 球体の作製過程

図3 作製した球

唆を得た。

2. 作製方法

図2に、球の作製方法を示す。まず、目的の立体を上下に分割し、それぞれの展開図を考える(a)。隣り合う側面が分裂するようにさらに分割する(b)。つまり、半球が二つできることになる。さらに、隣り合う側面が分散するように分割し(c)、各側面部に左右交互になるように“はね”を取り付ける(d)。最後に、底面部を重ね合わせて半球を再合成し、半球同士を接合して球を構成する。この際、はねは立体の内側に入るようにかみ合わせる(e)。

図3に作製した球を示す。上下に付けた持ち手を引くことによって、目的としていた立体を再構築することができ、押せばシート状になる。

(c)で半球をさらに二つに分割するのは、(d)で取り付ける“はね”が可動となるようにするためである。はねの役割は、平面モードでは構造体をばらばらにしないつなぎになり、立体モードではかみ合うことで強固な構造を維持することにある。はねがスムーズに可動することで、平面と立体が壊れることなく、スムーズに変化する。

3. 月相教育

地球と月を作製し、正確な理解が難しい月の動きと見え方についての学習を補助する教材の開発を行った。図4-①は、教科書等で見られる解説図である。開発した教材を平

図4 月相教育

面モードで図4-②のように置き、光の当たらない部分には黒の半円紙を置けば、教科書の解説図を再現することができる。ただし、実際の地球と月は平面では表現できない。開発した教材では、図4-③のように、3次元空間における位置関係を示すことができる。図では実際に太陽光を当てたときの様子を示している。満ち欠けをしている月の様子や、公転軸の傾きを調節することで月食や日食も確認できる。また、ボール等と異なり、月の模様が印刷されているため、月はいつも同じ面を地球に見せていることなどを合わせて教えることも可能である。

4. 体験型学習

中学校の協力を得て、本教材を作製する体験型学習の授業を行った。対象は中学3年生で、42名が参加した。4人1組で、展開図から地球を作製するという課題に取り組んでもらい、アンケート調査を実施した。評価項目は以下の3点(A, B, C)と自由記載である。

A. 本教材を通して天体を楽しめた、親しみを感ずることができた。

B. 月の満ち欠けについて理解が深まった。

C. ペーパークラフトを作成するのは難しかった。

項目Aの結果から、半数以上が本教材を楽しみ、天体に関して親しみを感ずていることが読取れる(図5)。自由記載からも、完成したときの達成感や満足感が読取れ、天体に苦手意識を持つ生徒にも十分な教育効果があったと考えられる。

項目Bの理解が深まったかという点に関しては、「普通」が47%で半分程度を占めたが、「非常に良い」、「良い」が43%で、「悪い」、「非常に悪い」は10%であり、ネガティブな印象を与えることはなかったものと推測される(図5)。

項目Cの結果から85%が「難しい」、「非常に難しかった」と答えている(図6)。難しかった点として、デザイン通りに切ること、北半球と南半球を正しく接着するなどの製作上の点である。最近では、教材を手作りして実験を行う機

図5 項目AおよびBのアンケート結果

図6 Cのアンケート結果

会が減っており、そういう状況の中では、ある程度予想されていた結果である。教材を作りながら学習する機会を増やし、課題の発見を促進させるようなアクティブラーニング型授業の教材としても注目できるものと期待される。ただし、地球の模型を作るのに要した時間は50分程度であり、作製手法の容易さは、今後の課題の一つと考えられる。

自由記載では、平面で見ていたものと異なり、月の仰角について考えられたという意見があった。緯度によっては三日月が縦に沈むものと横に沈むものがあるなどのきっかけになったという考察が得られた。

アンケート項目全般で、否定的な回答は10～15%と少なく、教材として有望であることが示唆された。

5. む す び

本研究グループで提案されている手法を用いて、省スペースで安価な体験型学習を可能にする教材を開発した。実際に中学生を対象に授業で使用し、良好な結果を得た。今後は、本手法を数学や物理など幅広い分野の教材へ応用することを考えている。

本研究は科研費(挑戦的萌芽)26560081の助成を受けたものである。

〔文 献〕

- 1) 有馬朗人ほか57名: “理科の世界”, 大日本図書 (2016)
- 2) 小久保栄一郎: “4次元デジタル宇宙ビューワー “Mikata”, 国立天文台4次元デジタル宇宙プロジェクト

- 3) 株式会社ナリカ, 太陽系モデル実験器, http://www.rika.com/product/prod_detail.php?catalog_no=H45-1316
- 4) H. Nakayama, A. Shiraki, T. Kakue, T. Shimobaba and T. Ito: "Variable structure changing two-dimensional plane to three-dimensional solid and its applications", Proceedings of the 2015 Collaborative Conference on 3D & Materials Research (CC3DMR), pp.358-359 (2015)
- 5) 佐野麻理恵, 鈴木啓介, 角江崇, 石井琢郎, 五十嵐辰男, 土井俊祐, 藤田伸輔, 中山弘敬, 下馬場朋禄, 伊藤智義: “平面と立体を可逆的に変化する構造を利用した腹腔鏡手術用スパーサの試作”, 生体医学, 54, pp.76-80 (2016)

大島 哲平 2011年, 千葉大学大学院工学研究科博士前期課程修了。現在, 千葉大学大学院工学研究科博士後期課程在学中・理科教諭。3次元映像技術や教材開発の研究に従事。

白木 厚司 2008年, 千葉大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。2008年, 木更津工業高等専門学校情報工学科助教。2015年, 千葉大学統合情報センター准教授となり, 現在に至る。3次元表示技術に関する研究に従事。正会員。博士(工学)。

関谷 信吾 2016年, 木更津工業高等専門学校専攻科制御・情報システム工学専攻修了。現在, 千葉大学大学院融合科学研究科博士前期課程在学中。3次元表示技術を用いた教材開発に関する研究に従事。

佐野麻理恵 2011年, 山形大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。現在, 千葉大学大学院工学研究科博士後期課程在学中。3次元映像技術や手術用スパーサの研究開発に従事。

中山 弘敬 2004年, 千葉大学大学院自然科学研究科博士前期課程修了。ゲーム会社勤務等を経て, 2011年, 同大学博士後期課程修了。現在, 国立天文台にて, 3次元ドームスクリーンの映像コンテンツ制作などに従事。正会員。

角江 崇 2008年, 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科電子システム工学専攻修了。2011年, 日本学術振興会特別研究員(DC2)。2012年, 京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科設計工学専攻修了。同年, 千葉大学大学院工学研究科助教。ホログラフィに基づく3次元映像技術や3次元計測技術に従事。博士(工学)。正会員。

下馬場朋禄 2002年, 千葉大学大学院自然科学研究科博士課程修了。同年, 理化学研究所基礎科学特別研究員。2005年, 山形大学工学部助教。2007年, 同大学院理工学研究科准教授。2009年, 千葉大学工学研究科准教授。ホログラフィ応用技術の研究に従事。博士(工学)。正会員。

伊藤 智義 1992年, 東京大学大学院総合文化研究科博士課程中退。同年, 群馬大学工学部助手。1994年, 同大学助教授。1999年, 千葉大学工学部助教授。2004年, 同大学教授。専用計算機による数値計算の高速化の研究に従事。博士(学術)。正会員。