

## 3次元空間全体の物体を適用対象とした 力学 Error-based Simulation (EBS) の設計開発

### Design and Development of a Mechanics Error-based Simulation (EBS) based on Objects in the Entire Three-Dimensional Space

山崎 義徳<sup>\*1</sup>, 東本 崇仁<sup>\*1</sup>

Yoshinori YAMAZAKI<sup>\*1</sup>, Takahito TOMOTO<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup> 東京工芸大学工学部

<sup>\*1</sup> Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

Email: c1718101@st.t-kougei.ac.jp

**あらまし**：従来の力学 Error-based Simulation(EBS)は教科書に掲載されるような簡単な図式に対しての力の入力とそれに伴う誤りの可視化を実現していた。また、誤りとして可視化される対象は学習者が力を描画した対象のみである。しかし、EBSの重要な観点である「顕在性」に関しては、より学習者がリアルにイメージしやすい3次元空間での可視化も効果的だと予想される。さらに、学習者が描画した物体のみならず、同様の関係性にある空間内の物体すべてに学習者の描画した誤ったルールを適用することでさらに顕在性を高められるとも考えた。そこで、本研究では、この従来のEBSをもとに、入力した力の適用対象を3次元空間全体の物体へ拡張することで顕在性の向上を指向したEBSシステムの設計開発を行う。

**キーワード**：Error-based Simulation, EBS, Virtual Reality, 初等力学

#### 1. はじめに

力学の学習において、Error-based Simulation (EBS) が有効であると言われている。EBSは「もしも学習者の誤概念が正しいとすればどのような現象が生起するか」をシミュレートするものである。学習者の有している誤概念に基づく現象と正しい現象を見せることで、学習者に自身が持つ概念は間違いだと気づかせることを狙っている[1][2]。しかし、従来EBSは、教科書に掲載されるような抽象的な図(四角を用いて質点を表現するなど)を対象としていることが多く、教室内の知識としての修正にとどまる可能性がある。さらに、誤りの可視化の対象は描画した対象物のみであり、自分の身の回りのこととして考えづらい可能性がある。このような場合、EBSの重要な要素である「顕在性(学習者の考える正しい振舞いと可視化された振舞いの差)」について十分に発揮できないと考えられる。

この問題を解決するためには、学習者が入力した力は、その対象物だけでなく、身の回りの同じ関係性にあるすべての物体に働いている力だと認識させることが重要であると考えられる。たとえば、学習者が垂直に連なる2物体の問題に対して、上の物体が下の物体を押していないとした場合、ある人が他の人を背負ったとしても力を感じないことと同義となる。このように身の回りのすべての物体に適用することで、正しい振舞いとEBSで生成された不自然なシミュレーションの差異(顕在性)を学習者にとって許容できないほど大きくする[3]という点についてよりよい解決策を提供できると考えた。

そこで本研究では、空間にあるすべての物体に学習者の入力を反映させてシミュレートすることで、

学習者に誤りを提示する。また、3次元空間ですべての物体に対してシミュレーションを行うことで不自然さが強調され、この不自然さが顕在性の向上に有効だと考える。そこで、本研究では入力した対象物以外のオブジェクトに対しても誤りの可視化の適用範囲を広げるとともに、3次元空間での誤りの可視化を実現するシステムを設計・開発する。

#### 2. Error-based Simulation (EBS)

EBSでは、学習者が入力した力が正しい場合は正しい振舞いのシミュレーションを生成し、誤っている場合はそれに基づく不自然な振舞いのシミュレーションを行う。

EBSを有効に働かせる観点として「顕在性」、「示唆性」、「もっともらしさ」があげられている。「顕在性」は、学習者が正しい振舞いだと考えたものとEBSで生成されたシミュレーションの差異である。その差異が学習者にとって許容できないほど大きければ、誤りに気づくことができる。しかし、通常EBSでは顕在性を向上させようとする場合、作為的なシミュレーションになることがあり、物体の正しい振舞いとしての「もっともらしさ」の信頼がなくなってしまう場合がある。「顕在性」と「もっともらしさ」を備えたシミュレーションを提示することができれば、学習者が誤りに気づき、誤りからの学習が活発になる[3]。また、顕在化された差異が、学習者が学習すべきことを示唆できているかどうかを「示唆性」という。示唆している箇所と学習者の誤り箇所が合致していれば、その誤りの修正が可能になる[3]。

#### 3. 提案手法

学習者が誤りに気づくためには「顕在性」を向上させる必要がある。「顕在性」を向上させると同時に「もっともらしさ」の信頼を失わない方法として、学習者が描画した解答に該当する空間すべての物体をシミュレートする方法を考えた。例えば、(机や地面の上にある)静止した物体に上方向の力のみを学習者が入力した場合、描画した物体以外のすべての同じ関係にある物体を上昇される。この不自然さによって顕在性は向上し、学習者は生成されたシミュレーションがおかしな振舞いであることを認識する。さらに、3次元空間でのシミュレートを行うことで自らの身近な状況と結び付けたイメージが行え、「もっともらしさ」の向上を見込めると考える。

#### 4. システム

本システムはゲーム開発用統合ソフトウェア Unity2019(3,1,f1) で開発した。

##### 4.1 力の入力 UI

図1に開発中のシステムの入力UIを示す。入力画面は画面上の図に矢印を用いて作図する形で行う。矢印の入力はドラッグ操作で行い、右側の矢印を図に配置することで力を入力する。「力の大きさ」では、力の大きさを3段階変更することが可能で、右上部「リセット」はすべての配置された矢印の削除を行う。入力された矢印は、右の矢印群の中央にある消しゴムのイラストをドラッグし、入力した矢印に重ねることで個別に削除ができる。「シミュレーション」はシミュレーション用の画面へと切り替わる。「EXIT」は、問題選択画面へと戻る。

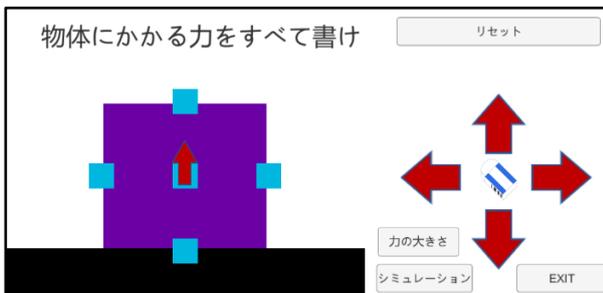


図1 力の入力 UI

##### 4.2 シミュレーション機能

力の入力 UI から得られた力を、シミュレーション機能で実際の3次元空間の物体に適用し、運動させる。さらに、空間に存在するすべての物体に対して同じ力が適用可能である場合、すべての物体をシミュレートする。ただし、床・壁・学習者は、領域や観察者を意味する特殊なオブジェクトであり、今回はシミュレートの対象外としている。また扱う3Dオブジェクトは身の回りにあるものを利用する(机やTVなど)。シミュレーション部分の動作では、たとえば学習者が図1のように物体に上向きのみが働いているという誤った力を入力した作図を行った場合、床や壁などの適用外のオブジェクト以外の

図1の状況と同じ、ある平面上(地面や机の上)で静止したすべてのオブジェクトに対し、上向きに働く力が適用される。その結果、図2のように適用されたオブジェクト(机)は上方向に加速しながら上昇するシミュレーションが行われる。このように従来のEBSとは違い身の回りにある物体ですべてのオブジェクトを動作させ、不自然さを学習者に与えることで学習者は誤りを認識できる。



図2 シミュレーション結果

#### 5. まとめと今後の課題

本研究では、空間すべての物体を適用対象として顕在性の向上を指向したEBSの設計・開発を行った。今後の課題として、EBSのシミュレーションを3次元空間にした際に、EBSの有効性である「示唆性」があるのかを検討する必要があると考える。

さらに、本研究ではもともとはVR(Virtual Reality)の活用を想定している。VRによって学習者が視点移動を行うことで、より「顕在性」や「もっともらしさ」を向上し、不自然なシミュレーションを体験できるように、VRでの利用を想定した力学EBSの設計・開発を行う。また、本来物理の教科書で扱う質点などは大きさを伴わない仮想の概念であるが、実在の机などのオブジェクトにマッピングすることの問題についての議論も必要である。今後は、上記を検討し、評価実験を行うことを予定している。

#### 参考文献

- (1) 篠原智哉, 今井功, 東本崇仁, 堀口知也, 山田敦士, 山元 翔, 林雄介, 平嶋宗: “運動する物体にはたらく力を対象とした Error-based Simulation の中学校理科における実践利用” 電子情報通信学会論文誌 D, J99-D(4): 439 - 451 (2016)
- (2) 今井功, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “中学校理科における Error-based Simulation を用いた授業実践—「ニュートンに挑戦」プロジェクト—”, 教育システム情報学会誌, vol. 25, no.2, pp.194-203 (2008)
- (3) 平嶋宗, 堀口知也: “誤りへの気づきを促進する誤りの可視化に関する研究” 日本科学教育学会年会論文集 28(0), 109-111 (2004)