# 運動系における力の把握の促進を目指した Error-based Simulation とその評価実験

# Error-based Simulation for Promotion of Understanding of Force at Kinetic System and the Evaluation Experiment

篠原 智哉[*1], 東本 崇仁[*2], 堀口 知也[*3], 山田 敦士[*1], 林 雄介[*1], 平嶋 宗[*1]
Tomoya SHINOHARA[*1], Takahito TOMOTO[*2], Tomoya HORIGUCHI[*3],
Atsushi YAMADA[*1], Yusuke HAYASHI[*1], Tsukasa HIRASHIMA[*1]
[*1] 広島大学大学院工学研究科
[*1]Graduate School of Engineering, Hiroshima University
[*2] 東京工芸大学　工学部　コンピュータ応用学科
[*2]Department of Applied Computer Science, Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University
[*3] 神戸大学大学院　海事科学研究科
[*3]Faculty of Maritime Science, Kobe University

**あらまし**：力学問題解決における運動方程式の立式のためには，まず系にはたらく力を見出す必要があるが，この力の把握が正しくできない学習者は多く存在する．このはたらく力に関する学習支援として，学習者の誤りに基づくシミュレーションである Error-based Simulation（EBS）を利用したものがあり，静止系を対象とした場合の有効性が確認されている．本研究では，力の誤りが運動の有無としては現れない運動系に関する EBS の実験的な利用を行ったので報告する．
**キーワード**：力学，はたらく力，誤りの可視化，Error-based Simulation，MIF 誤概念

## 1. はじめに

子ども或いは初学者は，学習前や初期段階に，科学的には正しくないとされる知識や考え方を持っている場合がある．このような知識は誤概念[1]と呼ばれ，学習・問題解決の妨げとなり得るため，修正が必要であるが，その修正は容易ではない．

この誤概念の中でも,「運動する物体にはその運動の向きに力がはたらいている」という「Motion Implies a Force（以下，MIF）誤概念」[2]と呼ばれるものがある．この MIF 誤概念は未学習者・既学習者共に広く見られるとされ，これまでにも多くの研究においてその修正が試みられてきた．多く見られる試みとして，物体にはたらく正しい力を可視化し，それを観察させるというものが挙げられるが，これらの学習支援は学習者の考えが正しくないことを指摘することはできるが，どのように誤っているかを示すものではなかった．

これについて Tao ら[3]はコンピュータプログラム上での運動のシミュレーションを利用し，幾つかの物体の運動とはたらく力の予想と観察を行っている．ここでは，学習者が誤った考えを持っていた場合，予想と違う運動が表れることになり，誤りに対する納得性の高いフィードバックが与えられると期待できる．しかしながら，そこでは学習者は力自体を直接描写するのではなく，その原因となるロケットの噴射や空気抵抗の有無等をパラメータとして入力したうえでシミュレーションを行っており，また運動方向以外の方向の力を扱わないなど，学習者の力の把握を十分に捉えられているとはいえない．

これらの考察に基づくと，学習者の力の把握を運動系に対して直接的に表現させ，それを運動に反映させることが有力な方法であると考えられる．そのような方法として，学習者の把握が誤っている場合にそれらに応じた不自然な運動を生成する Error-based Simulation（EBS）が提案されている[4]. この方法はこれまでに，静止系に対する力の把握の誤りに対してその有効性が検証されているが[4]，本研究では，これを運動系にて用いることで，MIF 誤概念の修正の効果を評価することを目的とする．

## 2. Error-based Simulation

本章では，本研究で用いている Error-based Simulation（EBS）に関して述べる．

### 2.1 EBS の概要

EBS は学習者の立てた運動方程式中の誤りを，方程式の世界から，物体の挙動の世界へと反映することによって生成される運動のシミュレーションである．すなわち EBS は，力学系を構成する物体の不自然な振舞いを提示し，物体の正しい挙動との差異として誤りを可視化する．

先行研究においては，静止が正しい運動である静止系を対象とした EBS の利用が行われており，またその効果が確認されている[4]. 一方，本研究で対象とする運動系では，力の正誤は運動の単純な有無としては表れないため，EBS の利用が必ずしも有効とは言い切れない. そのため, 運動系を対象とした EBS の実験的な利用とその評価には意義があるといえる．

### 2.2 本研究で用いる EBS システム

本研究では，運動系に対する EBS システムを，Android タブレット上に実装した．システムのインターフェースを図 1 に示す. システム画面は問題文，各種ボタン群，作図領域からなる．このシステムには，学習者による力の作図と EBS による誤りの修正の促進という 2 つの機能が実装されている．

本システムの作図機能は，一般的に行われる矢印での力の作図と同様の作業を，学習者が画面上で行えるよう設計されている．具体的な作図作業として学習者は，力の矢印を描き始めたい場所を指で押さえ，描きたい方向に指を動かし，任意の長さになったときに指を離すことで，矢印が作図される．

作図の完了後，学習者は自身の作図に基づく運動のシミュレーションを見ることができる．このとき学習者の作図に誤りがあれば，現実とは異なる運動が提示される．例えば図 1 のような等速直線運動を扱った問題では，学習者が MIF 誤概念を保持している場合には，図 1 のように運動方向に力の矢印を描くという間違いが予想されるが，このような場合には物体の加速度運動が提示される．現実での正しい運動は学習者にとって既知であるため，このシミュレーションを観察することで，学習者が自身の誤りに気付き，修正することが期待できる．

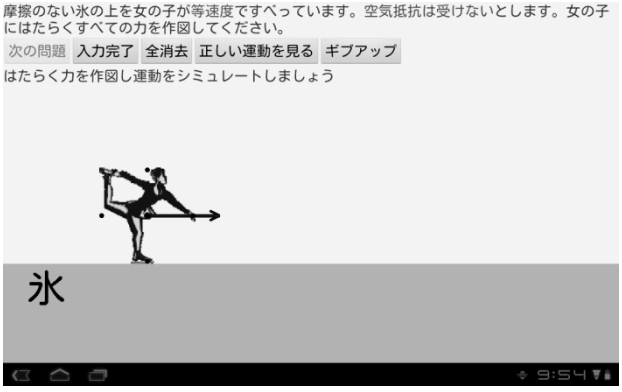


図 1 システムのインターフェース

### 2.3 システムで用いる課題

EBS を MIF 誤概念の修正を目指した学習のために用いるうえで，本研究では，先行研究にて用いられた，MIF 誤概念が適用されるとされる事例を具体的な課題として利用する．ここで，先行研究にて MIF 誤概念は以下の 3 つの特性としてまとめられている.

① 運動の維持は，等速であっても，運動を引き起こす，運動方向の力という思い込みを引き起こしうる
② この力は特に，明確な抵抗力があるときに継続する運動の説明で一般的である．この力が抵抗より大きいために物体は運動を維持すると仮定される
③ この力は物体の速度に応じて減ったり増えたりすると考えられるかもしれない

このことから，これら 3 つの特性が解消されていれば, MIF 誤概念は修正されたということが出来る．そこで本研究では，これまでに用いられた事例をこの 3 つの特性のいずれに対応するかで分類した．

このような分類を行った上で，3 つの各特性を演習できるよう，課題の選択を行った．その結果，まず 3 つの特性に対応する基本的な，はたらく力の学習課題として，

(a) 摩擦のない氷の上での等速直線運動（①）
(b) パラシュートを開いて等速で落下（②）
(c) 垂直に投げ上げられた物体（③）

の 3 問を用いる. また, 上記 3 つの特性に対応する，応用的なはたらく力の課題として，

(d) 宇宙空間で等速直線運動する宇宙船（①）
(e) 摩擦のある水平面上で物体を等速度で押す（②）
(f) 斜方投射された物体（③）

も用いる．

## 3. 評価実験

本研究では現在，高専生を対象とした，運動系での EBS の実験的な利用とその評価を予定している．今回の EBS では, 力やその作図に対するある程度の事前理解が必要であるため，当該範囲を学習済みである学習者を対象としている．

利用の構成としては，事前テスト→システム利用→事後テスト→遅延テスト，といったものを予定している．各テストの形式については，運動系を対象とした力の作図問題を用いる．またその際，本研究では誤概念の修正を目的としていることから，評価には学習に用いた学習課題と共に，同じ概念を用いる別の状況の転移課題を用い，遅延テストでの効果の維持の確認も行う．

## 4. おわりに

本研究では，初等力学における MIF 誤概念の修正を目指した学習支援として，これまで静止系での学習に用いられてきた，学習者の誤りを基にしたシミュレーションである Error-based Simulation の利用，及びその効果の検証を行っている．

今後，実際の学習者を対象としたシステムの実験的利用とその評価を予定している．

### 参考文献

(1) Kathleen, M. F.: “A misconception in biology: Amino acids and translation”, Journal of Research in Science Teaching, Vol. 22, No.1, pp.53-62(1985)
(2) John C.: “Students’ preconceptions in introductory mechanics”, American Journal of Physics, Vol.50, No.1, pp.66-71(1982)
(3) Ping-Kee, T. and Richard, F. G.: “The Process of Conceptual Change in Force and Motion during Computer-Supported Physics Instruction”, Journal of Research in Science Teaching, Vol.36, No.7, pp.859–882(1999)
(4) 今井功, 東本崇仁, 堀口知也, 平嶋宗: “中学理科における 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）