

Error-Based Simulation による MIF 素朴概念の修正の効果の検証

篠原 智哉^{†a)}

山田 敦士[†]

林 雄介[†]

平嶋 宗[†] (正員)

Validation of the Effects for Correction of MIF misconception by Error-Based Simulation

Tomoya SHINOHARA^{†a)}, Atsushi YAMADA[†],

Yusuke HAYASHI[†], *Nonmembers*,

and Tsukasa HIRASHIMA[†], *Member*

[†] 広島大学大学院工学研究科, 東広島市

Graduate School of Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

a) E-mail: sinohara@lel.hiroshima-u.ac.jp

DOI:10.14923/transinfj.2016JDL8012

あらまし 初等力学の問題解決において発生する誤りの修正のために, 学習者の誤りに基づくシミュレーションが提案され, また実践的な利用も行われている. 中学生と高専生を対象として行った2件の実践の利用に関して, MIF 素朴概念の修正の効果について分析を行ったため, 本論文ではこれを報告する.

キーワード 初等力学, はたらく力, Error-Based Simulation, MIF 素朴概念

1. まえがき

学習者は学習以前に, 科学的な概念とは異なる誤った概念をもっていることがあり, このような概念は素朴概念と呼ばれる. この素朴概念は, 科学的に正しい概念の習得を妨げる大きな要因であることに加え, 学習者の日常的な経験に基づくため, その修正が困難であることも指摘されている [1]. このため, 素朴概念の修正を目的とした学習支援を行うことには意義があるといえる.

この素朴概念のなかでも, 初等力学分野においては, Motion Implies a Force (MIF) 素朴概念と呼ばれるものが広く見られることが指摘されている [2]. この素朴概念は系にはたらく力の把握に関わるため, 修正が必要であることが広く認識されているが, 通常の授業による指導では修正は容易ではなく, 力学に関する授業を一通り受けた後であっても同様の素朴概念をもつ場合も多いことが指摘されている [3]~[5]. 本研究ではこの MIF 素朴概念の修正を, 力学学習環境の開発における一つの目標としている.

このような初等力学において発生する学習者の誤りを, その誤りに基づく物体の不自然な挙動として可視化することで, 学習者自身による誤り修正を促す,

Error-Based Simulation (EBS) [6] が提案されており, 実践的な利用を通して誤りの修正効果が検証されている [7], [8]. しかしながら, これまでのところ MIF 素朴概念の修正の効果については調査が行われていなかった. そこで, 本研究にてこれまでに行った中学校及び高等専門学校での EBS の実践の利用において収集された, 事前及び事後調査の結果について, MIF 素朴概念の観点から再分析したところ, その修正の効果が示唆されたため, 本論文ではこの結果を報告する.

2. MIF 素朴概念

MIF 素朴概念とは, 運動している物体にはその運動の向きに力がはたらいている, という誤った考え方であり, 多くの力学の学習者に見られるものである [3]~[5]. この MIF 素朴概念は, 先行研究 [2] において, ①運動の維持には, 等速であっても, 運動を引き起こす, 運動の向きの力が必要, ②特に明確な抵抗力があるときに運動を継続するには, 抵抗より大きい力が必要, ③運動の向きの力は, 物体の速度に応じて減ったり増えたりする, という三つの考え方としてまとめられている. つまり, これら三つの考え方として説明できる誤答が MIF 素朴概念の存在を示唆しており, また, そのような誤答の減少が MIF 素朴概念の修正を示唆しているといえる.

例えば, 運動方向に力がはたらいていない状態で等速直線運動をする物体の問題では, ①の考え方をもっている場合, 物体に運動の向きの力がはたらくという誤答が得られることが予想される. また, 運動方向で力が釣り合う等速直線運動の問題では, ②の考え方をもっていた場合, 運動の向きの力が大きいといった誤答が予想される. また, 一定の加速度によって加速・減速する物体の問題では, ③の考え方をもっている場合には, はたらく力が大きく, あるいは小さくなっていくという誤答が予想される.

本研究で用いた具体的な問題は次章にて説明する.

3. Error-Based Simulation

3.1 EBS を用いた学習

EBS は学習者の力の把握に関する誤りを, 物体の挙動へと反映することによって生成される, 不自然な運動のシミュレーションである. 学習者の誤りに基づき, 力学系の物体の不自然な振舞いを提示することで, 物体の正しい挙動との差異として誤りを可視化する [6]. この EBS を用いた学習支援システムにおいて学習者は, 自身が物体にはたらくと考える力を実際に作図し, その作図に基づく物体の運動のシミュレーションをシ

システムが提示する。学習者はこのシミュレーションを観察し、学習者にとって既知である現実での物体の運動と比較することで、それらの間の矛盾に気づき、そこから学習者は誤りの修正を行う。

例えば図1のような、摩擦のない状態で等速直線運動する人物の問題での、学習者がMIF 素朴概念をもっていた場合の典型的な誤りとして、運動の向きに力を描くというものがある。この場合、運動の向きに本来は存在しない力が作図されているために、人物は図1の(1)に図示するような加速度運動をインターフェース上で行うことになる。また、MIF 素朴概念によるとはいえないが、多く見られる誤りとして、重力は作図するが垂直抗力は作図されないというものがある。この場合、人物は図1の(2)のように下向きに加速し氷に沈んでいく。現実での正しい運動は図1の(3)に図示するような等速直線運動であり、これは学習者にとって既知であるため、これらのような不自然なシミュレーションを観察することで、学習者は自身の誤りに気づき、修正することが期待できる。

また、EBSは、学習者の作図をそのまま運動に反映するものであるため、作図に複数の誤りが含まれていれば、生成される運動は複数の誤りを反映したものとなる。例えば学習者が図1の作図誤り①から、垂直抗力を取り除いた(作図誤り②に相当)作図を行った場合、MIF 素朴概念に基づく誤りと、MIF 素朴概念に基づかない誤りの二つの異なる誤りが同時に含まれていることになるが、この場合には、この二つの誤りを反映して、右向きに加速しながら、下向きにも加速する運動が提示されることになる。

本研究では、MIF 素朴概念を反映したと思われる作図の誤りを含んだ誤答をMIF 誤答とし、この誤答がEBSの利用により減少するかどうかを調べることでEBSのMIF 素朴概念に対する効果を調べた。上述の二つの作図の誤りを含んだ誤答(作図誤り③とする)を例として考えると、作図誤り③はMIF 誤答であり、これが正解に変化した場合、MIF 誤答が減少したことになる。また、作図誤り②に変化した場合、MIF 誤答がMIF 誤答でない誤答に変化したことになり、MIF 誤答は減少したことになる。作図誤り①となった場合には、作図誤り②に相当する誤りは修正されているものの、MIF 素朴概念に基づく誤りは修正されておらず、MIF 誤答の数は減少していないと判断される。

3.2 使用した EBS システム

本研究では、運動系に対する EBS システムを、An-

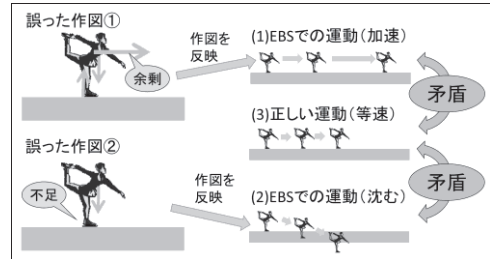


図1 EBSの例
Fig.1 Example of EBS.

droid タブレット上に実装した。本システムにおける演習において学習者は、まず提示された問題について、与えられた図に力の作図を行う。この作図に基づき、システムは運動のシミュレーションを提示する。作図に誤りがあれば、不自然なシミュレーションが提示されるため、これを観察することが、学習者が自身の誤りに気づき、修正することになる。

3.3 システムで用いる課題

本研究で対象とするMIF 素朴概念は、先行研究において、2.の①~③の三つの考え方としてまとめられている。つまり、これら三つの考え方が事前に表れており、EBSの利用後に解消されていけば、MIF 素朴概念は修正されたと判断できる。そこで、上記①~③が表れることが予想される問題として、(a) 摩擦のない氷の上を等速直線運動する人(①。作図：進行方向への力を描く、EBS：進行方向に加速)、(b) パラシュートを開いて等速で落下する人(②。作図：上向きと下向きに力を描くが、下向きの力を大きく描く、EBS：下向き(進行方向)に加速)、(c) 垂直に投げ上げられたボール(③。作図：上向きへの力を描き、上昇するほど小さな力を描く。EBS：上向き(進行方向)に加速)の3問を基本課題として実装した。また、上記①からの派生であり、より限定的な状況にて表れると考えられる②と③については、より複雑なはたらく力の応用課題として、(d) 摩擦のある水平面上で物体を等速で押す(②)と(e) 斜方投射されたボール(③)も実装している。なお、①は、全ての課題において発生し得るものであると予想しており、例えば(b)において進行方向である下方向にのみ力を作図する場合も、MIF 素朴概念であるとしている。

4. EBS による MIF 素朴概念修正効果の検証

本研究ではこれまでに、EBS システムの中学校[8]、及び高等専門学校における実践的利用を行っている。

本論文では、これら2件の実践的利用における、EBSによるMIF素朴概念の修正の効果について、利用前後に行った筆記テストをもとに検討する。

4.1 効果測定用テスト

本節では、効果測定のために行った筆記テストについて述べる。各テストは演習と同様、与えられた図に力の矢印の作図を行うというものである。

事前テストではシステムに実装したものと同様の課題(a)~(e)を用いた。事後テストでは事前テストの課題に加え、更に転移課題として、(f)摩擦のない斜面上と水平面上を運動する台車、(g)摩擦のない氷の上で押されて加速するそり、(h)摩擦のある床の上を減速しながら滑っていく箱、(i)等速度で上昇するエレベータ、の4問を用いた。

4.2 テスト結果の分析

本節では、EBSを利用前後のテスト結果の分析について述べる。解答の中に前述のMIF素朴概念によると考えられる誤った矢印の記述が含まれている場合を、「MIF誤答」と見なし、事前事後でのMIF誤答数の変化を調べた。また、MIF的な記述を含まない誤答は「その他の誤答」と見なし、そのような解答を行った問題数についてもその数の変化を見ている。

4.2.1 公立中学校Aでの実践的利用

公立中学校Aにおける実践的利用では、3年生35名を対象とした。学習課題5問においては、事前テストの時点で誤り総数は平均4.6問であり、事後テストでは平均1.3問まで有意に減少していた(ウィルコクソン符号付順位検定(以下同様) $p = 0.418 \times 10^{-6}$, 効果量(以下同様) $r = 0.673$)。そのうちMIF誤答数は事前テストで平均2.9問であったが、事後テストでは平均0.4問まで有意に減少していた($p = 0.116 \times 10^{-5}$, $r = 0.640$)。また、その他の誤答数は事前テストで平均1.7問であったが、事後テストでは平均0.9問まで有意に減少していた($p = 0.783 \times 10^{-3}$, $r = 0.499$) (図2)。このように、いずれの誤答も有意に減少していたが、その効果量からMIF誤答の減少がより顕著であったことが分かる。また、全体の誤答に対するMIF誤答の割合が、事前テストでは63%であったのに対し、事後テストでは33%であった。転移課題では全4問に対し、MIF誤答数が平均1.2問、その他の誤答数が平均1.6問であり、誤答全体に対するMIF誤答の割合は42%であった(図4)。

4.2.2 高等専門学校Bでの実践的利用

工業系高等専門学校Bにおける実践的利用では、

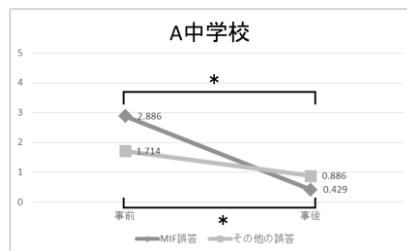


図2 A 中学校での誤答数の変化

Fig. 2 The change of wrong answers at A junior high school.

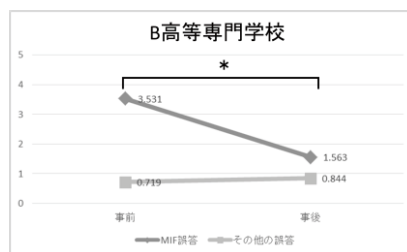


図3 B 高等専門学校での誤答数の変化

Fig. 3 The change of wrong answers at B technical college.

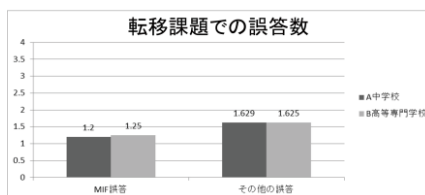


図4 転移課題での誤答数

Fig. 4 The quantity of wrong answers at transfer problems.

3年生32名を対象とした。学習課題5問においては、事前テストの時点で誤り総数は平均4.3問であり、事後テストでは平均2.4問まで有意に減少していた($p = 0.343 \times 10^{-4}$, $r = 0.597$)。そのうちMIF誤答数は事前テストで平均3.5問であり、事後テストでは平均1.6問まで有意に減少していた($p = 0.880 \times 10^{-5}$, $r = 0.624$)。また、その他の誤答数は事前テストで平均0.7問であり、事後テストでは平均0.8問と有意な変化は見られなかった(図3)。また、全体の誤答に対するMIF誤答の割合が、事前テストでは83%であったのに対し、事後テストでは65%であった。転移課題では全4問に対し、MIF誤答数が平均1.3問、その他の誤答数が平均1.6問であり、誤答全体に対するMIF誤答の割合は43%であった(図4)。

4.3 考 察

今回の2件の実践的利用においては、いずれの事例においても、学習課題におけるMIF誤答の数が、有意に減少していた。これまでの研究においては、学習者の誤答が減少することを示せていたが、MIF素朴概念が減少したかどうかは調べることができていなかった。これに対して、今回の分析結果から本研究で用いているEBSには、MIF素朴概念の修正の効果があるという可能性が示唆されたといえる。

また、その他の誤答については、A中学校においては有意に減少していたが、減少の効果量を求めたところ、MIF誤答についての効果は大($r = 0.640$)であったが、その他の誤答についての効果は中($r = 0.499$)であり、効果に違いが見られた。また、B高等専門学校ではその他の誤答の数は有意に変化していない。

もしも被験者がEBSで得た正答を記憶していただけであるとすると、これら2種類の誤答は同程度に減少すると考えられるが、実際には効果に差が見られている。このことは、EBSが目的とする概念的なレベルでの誤りの修正の働きかけを行ったことを示唆していると考えられる。

また転移課題についてみると、全誤答に対するMIF誤答の割合が、中学生では42%、高専生では43%であった。これは、事前テストでの、それぞれ63%、83%という結果から、大きく下がっているといえる。このことから、新規な問題に対してもMIF誤答が発生しにくくなっているといえ、概念レベルでの修正が行われたことが示唆される。

以上の、MIF誤答の減少としての効果は、二つの群について同様にいえた。次に、方程式を通して力学を学ぶ前の中学生と、学んだ後の高専生、という二つの群の結果の違いについて考察する。高専生においてもMIF誤答が多く現れることは、方程式を用いた力学の学習がMIF素朴概念の解消に十分な効果を挙げているとする先行研究を確認するものとなっている。また、その他の誤答が中学生に比べて少ないことは、MIF素朴概念を除けば、力学についての正しい理解が進んでいる可能性を示唆している。また、MIF誤答の減少が、中学生の方が顕著であることも示唆されている。今回は一組の比較しかできず、この結果を一般化することはできないが、今後も継続的にデータを収集してゆくことで、方程式を用いた力学学習とMIFを

はじめとする素朴概念の関係、及びEBSの効果調べていく必要性は示されたと判断している。

5. む す び

本研究では、MIF素朴概念を解消する具体的な方法として、EBSを用い、中学生と高専生を対象とした、その修正効果の検証を行った。結果として、中学生、高専生共に、EBSの利用によるMIF素朴概念の修正の効果が示された。

今後の課題としては、今回の結果で示唆された、方程式に基づく力学学習前後におけるEBSの効果の違いの検証が挙げられる。また、EBSだけではMIF素朴概念が修正されない場合の対応策や、教授者による教授との連携の方法についても、更に研究していく必要がある。

文 献

- [1] K.M. Fisher, "A misconception in biology: Amino acids and translation," *Journal of Research in Science Teaching*, vol.22, no.1, pp.53-62, 1985.
- [2] J. Clement, "Students' preconceptions in introductory mechanics," *American Journal of Physics*, vol.50, pp.66-71, 1982.
- [3] 高垣マユミ, "大学生はいかに力のプリコンセプションを容れさせるか," *発達心理学研究* vol.15, no.2, pp.217-229, 2004.
- [4] 大道一弘, "力の見つけ方に関する学習者の既有知識の検討," *日本教育心理学会総会発表論文集*, vol.50, p.586, 2008.
- [5] 加藤伸明, 定本嘉郎, 川村康文, "「運動中の物体にはたらく力」の認識に関する実態調査: MIF素朴概念が高学年ほど増加していくことについて," *科学教育研究*, vol.36, no.1, pp.53-60, 2012.
- [6] T. Hirashima, T. Horiguchi, A. Kashihara, and J. Toyoda, "Error-based simulation for error-visualization and its management," *Int. J. Artificial Intelligence in Education*, vol.9, no.1-2, pp.17-31, 1998.
- [7] T. Horiguchi, I. Imai, T. Toumoto, and T. Hirashima, "Error-based simulation for error-awareness in learning mechanics: An evaluation," *J. Educational Technology & Society*, vol.17, no.3, pp.1-13, 2014.
- [8] 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利用," *信学論 (D)*, vol.J99-D, no.4, pp.439-451, April 2016.

(平成 28 年 4 月 24 日受付, 10 月 11 日再受付,
11 月 25 日早期公開)