

MIF 誤概念に対する Error-Based Simulation の修正効果の概念 マップを用いた観測

西岡 佳希*1, 下條 一駿*1, 林 雄介*1, 平嶋 宗*1

*1 広島大学大学院工学研究科

Observation of correction effect of Error-Based Simulation for MIF misconception using concept map

Yoshiki Nishioka*1, Kazutoshi Shimojo*1, Yusuke Hayashi*1, Tsukasa Hirashima*1

*1 Graduate School of Engineering Hiroshima University

Error-Based Simulation(EBS) が力学における MIF 誤概念の解消に有用であるとされている。しかし、これは力の作図テストの MIF 誤概念を反映した誤答数が、EBS 利用前後、遅延において有意に減少した事に基づくものであり、概念レベルでの修正に関しては直接的に観測できていたわけではなかった。本研究は、学習者の持つ概念をより直接的に観測する手段であるとされている概念マップを用い、EBS 利用前後の概念マップの変化として、概念の修正をより直接的に観測する事を指向している。本稿では、高専生による実践データの分析から、(1)作図における MIF(作図 MIF)、概念マップにおける MIF(マップ MIF) が EBS 利用前後で有意に減少する事、(2)作図 MIF の有無とマップ MIF の有無が有意に連関する事、(3)作図の正誤と概念マップの正誤が有意に連関する事、(4)EBS 利用による作図 MIF とマップ MIF の解消が同時に起こる可能性が有意に高い事が示された。これらは、MIF 誤概念の概念レベルでの修正が概念マップで観測できる可能性を示唆している。

キーワード: MIF 誤概念, Error-Based Simulation, 概念変容, 概念マップ

1. はじめに

ある事象に対して科学的に正しいとされている概念を学ぶ前に、それとは異なる誤った概念を獲得してしまっている学習者が多くみられることが知られている。このような概念は素朴概念と呼ばれる。この素朴概念は日常生活の経験から得られ、科学的に正しい概念の理解の妨げになり、また、その修正が困難であると言われている⁽¹⁻³⁾。この素朴概念の中でも特に多くの学習者に見られ、また修正が困難なものとして、初等力学の分野における Motion Implies a Force (MIF) という素朴概念(以下では MIF 誤概念と呼ぶ)が知られている⁽⁴⁾。この MIF 誤概念は運動している物体には運動している方向に力が働いているという誤った概念のことである。この誤概念の修正は、学習支援における重要な研究トピックとなっている⁽⁵⁾。この MIF 誤概念修正のためには対象としている系に働く力の把握が必要であるとされており、その学習支援の 1 つとして、Error-Based Simulation (EBS)⁽⁶⁻¹²⁾が提案されている。EBS は、学習者の考えが正

しいと仮定した場合にどのような現象が起こるのかをシミュレーションするシステムのことである。力学の力の作図に対する EBS では、ある力学の問題に対して学習者が力を作図する。そしてその作図された力を正しいものとして挙動をシミュレーションする。そして、その挙動のおかしさに学習者自身に気づかせることで、誤り修正への内発的動機づけを与えることを指向している、力の作図に対する EBS の実践利用を通して MIF 誤概念修正に効果的であることを示唆する結果が得られているが、これは力の作図テストにおける MIF 誤概念を反映した誤答の数が EBS の利用前後および遅延において有意に減少したこと、に基づくものであり⁽¹²⁾、概念の変化を直接的に観測したものではなかった。

本研究では、概念マップを用いることで EBS による MIF 誤概念の修正をより直接的に観測しよう試みである。概念マップは学習者の理解状態をより直接的に捉えることができるとされており⁽¹³⁻¹⁵⁾、力学の理解を捉えるうえでも有用とされている⁽¹⁶⁾。なお、概念マップで理解を外在化すること自体の効果や、外在化された理解を対

象としたよりきめ細やかな修正支援といったことは今後の課題である。

本稿では、まず EBS を用いた誤りからの学習に関する一連の研究について概説する。次に、概念マップを用いた概念レベルでの変化の観測について筆者らの先行研究も含めて概説する。さらに本研究で実施した実践とそのデータの分析について述べる。分析の結果、EBS が作図 MIF およびマップ MIF の修正に貢献すること、作図 MIF の有無とマップ MIF の有無に有意な連関があること、作図正誤とマップ正誤に有意な連関があること、および作図 MIF の修正とマップ MIF の修正が連動することが分かったので報告する。

2. 力学 EBS による誤りからの学習

2.1 誤りからの学習

誤りからの学習とは、学習者自身が自らの誤りを認識し、その誤りを修正するという学習方法である。その学習を可能にする方法の1つが「Error-Based Simulation による誤りの可視化」⁽¹⁰⁾である。EBS による誤りの可視化では、学習者の誤った考えを肯定した時にどのような事象が起こってしまうのかをシミュレートし可視化する。この誤りの可視化が学習者の誤り修正に効果的であると同時に学習者の誤りの気づきを促す方法として有効であることがすでに検証されている。

2.2 力の作図 EBS

力の作図に関する EBS が MIF 誤概念の修正に効果的であることの検証が実験的に確認されている^(11,12)。力の作図だけでなく、加速度・速度の作図を行わせる EBS でも開発されており、その効果が確認できている。力・加速度・速度の作図を行わせる EBS の開発されており、これを多視点 EBS⁽¹¹⁾と呼ぶ。この多視点 EBS では、作図された力・加速度・速度でそれぞれの挙動をシミュレートし、正しい挙動との差だけでなく、それぞれの挙動の差異も可視化するものとなっている。この多視点 EBS に対する概念マップの利用の試みについては、本研究の先行研究として実施されており、その結果については 3.3 で概説するが、期待する結果は得られていない。この原因は認知負荷が大きかったことであるとして考察し、力の作図のみに対する EBS (単視点 EBS) を用いたのが本研究である。



図1 単視点 EBS システム画面

2.3 EBS の実践的利用事例

筆者らの先行研究の一つとして、MIF 誤概念解消を目的とした EBS システムの実践的利用を高専で行っている。この実践では、単視点 EBS と多視点 EBS の演習に対して、作図方式の事前テスト・事後テスト・遅延テストを次視している。テストとしては、三つのテスト及び EBS 演習で用いられた学習課題と、事後および遅延で用いられた転移課題が用意された。

○学習課題 6 問

- (1) 摩擦のない氷の上を等速直線運動する人
- (2) パラシュートを開いて等速に落下する人
- (3) 鉛直上向きに投げ上げられたボール
- (4) 宇宙空間を等速直線運動するロケット
- (5) 摩擦のある水平面上において等速で押される箱
- (6) 斜方投射されたボール

○転移課題 4 問

- (7) 摩擦のない斜面上と水平面上を運動する台車
- (8) 摩擦のない氷の上で押されて加速するそり
- (9) 摩擦のある床の上を減速しながら滑ってゆく箱
- (10) 等速度で上昇するエレベーター

2.4 MIF 誤概念

MIF 誤概念は以下の三つのパターンとして誤答に現れるとされている⁽⁴⁾。

- (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。

力の作図テストを前提とすると、これら三つのいずれかを反映した作図が行われていれば、作図における MIF 誤概念の表れと捉えることができる。この作図から示唆

される MIF を作図 MIF と呼ぶ。

2.4.1 結果と分析

この EBS の実践利用によって MIF 誤概念が解消されたかどうかをテストの結果から分析を行った。ここでは、作図 MIF の検出を MIF 誤概念の存在とし、作図 MIF の解消と捉えている。

分析は学習課題と転移課題に分けて行われた。学習課題については事前テスト、事後テスト、遅延テストの3群を比較するために Steel-Dwass 法を用いて分析をした。また転移課題については事後テストと遅延テストの2群を比較するためにウィルコクソンの符号順位検定を用いて分析をした。

事前テストの MIF 誤答数が 3.50、事後テストの MIF 誤答数が 1.14、遅延テストの MIF 誤答数が 1.53 である。検定の結果、事前テスト、事後テスト間では MIF 誤答数が有意に減少していた ($P=2.54e-05<0.05$)。また事前テスト、遅延テスト間についても MIF 誤答数が有意に減少していた ($P=9.56e-04<0.05$)。つまり事前-事後間、事前-遅延間で有意差が見られたという結果が得られた。また、事前テストでの全誤答数に対する MIF 誤答数の割合は 58%であったが、転移課題の全誤答数に対する MIF 誤答数の割合は 28%であり、大幅に減少していた。このことから新規性のある問題に対しても MIF 誤答数が減少していることが言え、EBS システムが MIF 素朴概念解消に有効であることが示唆される。

3. 概念マップを用いた概念変容の測定

3.1 MIF 素朴概念修正の概念レベルでの観測

2章で説明したように EBS による MIF 誤概念の修正効果は力の作図テストによって観測されている。作図テストの修正は、MIF 誤概念の修正を示唆するものといえるが、概念としてどのような変化が起こっているかは不明のままであったといえ、MIF 誤概念の変容を捉えることは重要な課題となっていた。

本研究では、学習者の作った概念マップが学習者の力学における概念的理解を捉える一つの方法として有効であるとの先行研究⁽¹⁴⁾に基づき、学習者の作った概念マップを用いて EBS の MIF 誤概念に対する効果を概念変容として観測することを目指している。

本研究ではまず、(1) 学習者に課題に対しての概念マップを書かせる方法の考案・実現、(2) 概念マップ

における MIF 誤概念判定法の考案・実現、(3) EBS 利用前の概念マップと利用後の概念マップの比較による概念マップにおける MIF 誤概念の修正の検証および作図テストの結果との比較、までを行った。(3) に関しては、MIF 誤概念が現れている概念マップが、それを含まない概念マップに変化することを観測しているという意味で、概念変容を捉えたといえる。より詳細で個別的な概念変容の分析はまだであるが、今後行っていく計画である。

3.2 キットビルド法を用いた概念マップの作成

本研究の概念マップの作成は、キットビルド法⁽¹⁷⁾を用いている。このキットビルド法では、学習者は提供された部品(ノードとリンク)を組立てることとして概念マップを作成する。キットビルド法においては、学習者は部品が提供されるため、構造の作成に注力することができる。また、教授側も、学習者の構造上の誤りの検出が容易になる。部品が提供されることから、部品自体の誤りは直接的に捉えられないといえるが、ある部品を適切に組み立てることができていないことから、部品自体に対する誤った理解も間接的に捉えることが可能といえる。このため、整理された体系を持ち、体系の中で用意された用語を適切に利用することが求められる(つまり用語自体を学習者が作り出す必要がない)学習課題において、有効な方法といえる。キットビルド法を用いた概念マップの活用については、すでに多くの研究が報告されている。本研究で用いた具体例については4章で説明する。MIF 誤概念の判定法および作図テストとの比較に関しても、4章で報告する。

3.3 多視点 EBS を対象とした概念マップ利用事例⁽¹⁸⁾

力学を対象とした EBS においては、まず力の作図に対する挙動を生成する EBS が作成され、その実践的利用を通して誤り修正の効果が確認されている。この力の作図に対する EBS を発展させ、速度および加速度の作図に対しても EBS を生成し、それらの比較も行えるようにしたのが多視点 EBS⁽¹⁰⁾である。単視点 EBS を用いた後、さらに多視点 EBS を用いることで、誤りの修正効果が有意に追加されることが確認されている。

筆者らは、まずこの多視点 EBS に対して概念マップを用いることを試みた。この際の概念マップは、力、加速度、速度の関係が表現される力と運動に関する包括的な

概念マップ（包括概念マップと呼ぶ）となっており、力学に対する概念的な理解を広範囲にわたって捉えるものになっていたといえる。このため、1つのマップで力、速度、加速度を一挙に問うものとなっており、認知負荷の高さが懸念された。

この多視点 EBS と包括概念マップを用いた実践を高専生に実施したところ、概念マップだけでなく、それまでの多くの実践において一貫して観測できていた作図課題における学習効果も観測できなかった。この理由としては、多視点 EBS に加えて、包括的概念マップの作成をする必要があったため、過度な認知負荷がかかったと思われる。この考察に基づき、力の作図に対する EBS と力の概念マップを用いて行った実践が本研究となる。

4. 力の作図に関する EBS に対する概念マップの適用

4.1 力に関する概念マップ

本研究では MIF 誤概念の解消が直接的に観測できる力成分のみ、つまり単視点 EBS を用い、それに対する力のみの概念マップを概念変容測定のために採用した。

力学問題とその問題に対応する概念マップのキットの生成方法について図 2 の力学問題「上方に投げ上げられたボールに対して働く力を概念マップとして図示して下さい。ただし空気抵抗は考えないものとします。」に対して作られる概念マップキットを例に説明する。まずこの問題に対して正解の概念マップが図 3 となる。またこの問題に対して想定される MIF 誤りを重ねた概念マップが図 4 である。そしてこの図 4 の概念マップを分解する事により図 5 の概念マップキットを作成している。つまり図 3 のキットに「進行方向の力」、「力の大きさ：中」、「力の大きさ：大」、「鉛直上向き」のダミーノードを追加し、またその追加したノード分の「働いている」、「大きさ」、「向き」のダミーリンクを追加した形となる。このようにする事でキットビルド法におけるゴールマップを教授者として想定できる誤りも含めたもの（拡大ゴールマップと呼ぶ）として作成していることになり、正解だけでなく誤りもその再構成として現れることになる。そして学習者には図 2 の力学問題に対して図 5 の概念マップキットが提供され、再構成してもらう演習を行わせる。その実践については 4.3 以降にて詳しく述べる。

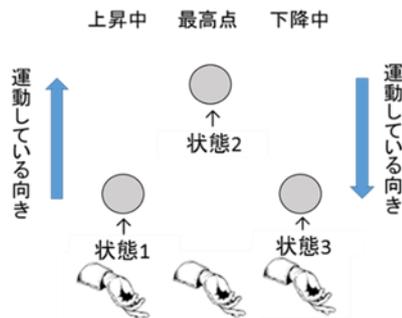


図 2 力学問題の例

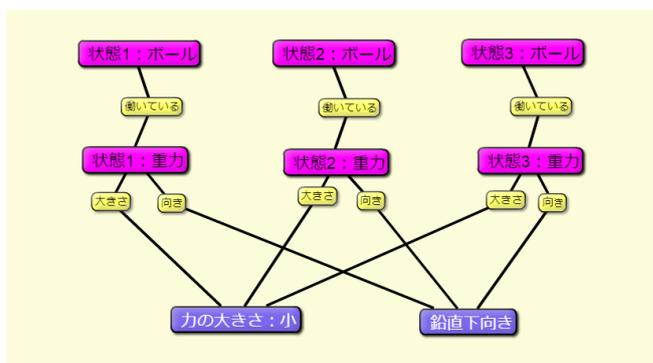


図 3 正解概念マップ

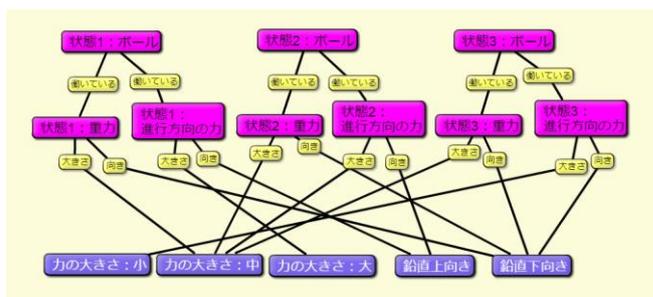


図 4 MIF 誤りを含んだ概念マップ



図 5 概念マップキット

4.2 再構成された概念マップの正誤判定

次に、力学問題をどのように概念マップで表現するかについて述べる。力学問題における回答が(1)正解(2)MIF 誤答(3)その他誤答の三つに分類される事を前提として概念マップにおけるその判定例を説明していく。

MIF 誤概念の表れからは、2.4 で説明した三種類（以下では MIF 誤りと呼ぶ）であるとされている。概念マッ

プにおける MIF 誤概念も、これら三種類の誤りに当てはまるものを検出することで行っている。以下では図 2 の問題と図 6 のキットに対して作られる回答の具体例を示す。

一つ目の MIF 誤りである、「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」については、図 7 のようなボールが投げ上げられている時、また頂点に達した後下降していくときに運動方向の力が働くという概念マップの作成がこれに相当する。また、「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 MIF 誤りは、図 8 のようにボールが投げ上げられている時は鉛直上向きに力が働き、頂点に達した時には力は働かない、そして下降していく時には鉛直下向きに力が働くという概念マップがこれに該当する。またここでは例示はしないが MIF 誤りの三つ目である「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」は、物体が等速直線運動しており運動方向の力とそれとは逆方向の抵抗力が存在する問題の時に、その運動方向の力の大きさの方が抵抗力の大きさより大きいと概念マップで表現したものが三つ目の MIF 誤りにあたる。次にその他誤答に関しては、MIF 誤りに当たらない間違いをした場合にその回答に分類される。最後にこの問題における正解はどの状態においても同じ大きさの重力が働いているとする図 9 の概念マップが正解となる。このように概念マップにおいても学習者の回答を上記の三種類に分類する事で学習者の理解を概念マップレベルで表現させている。

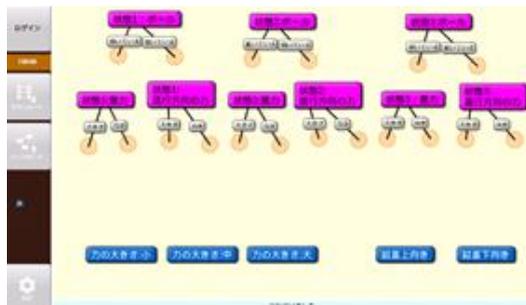


図 6 概念マップキット

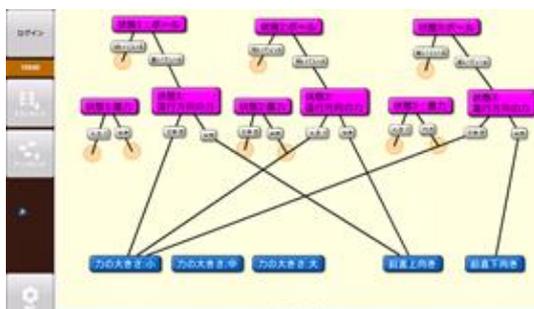


図 7 概念マップ MIF 誤答(マップ MIF)の例 1

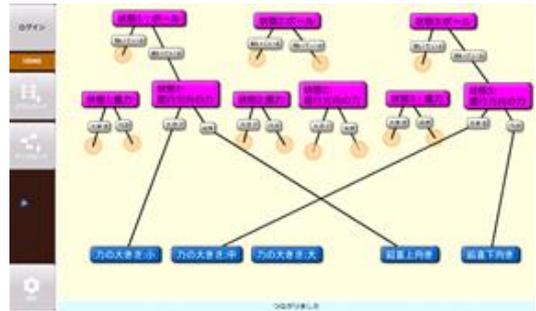


図 8 概念マップ MIF 誤答(マップ MIF)の例 2

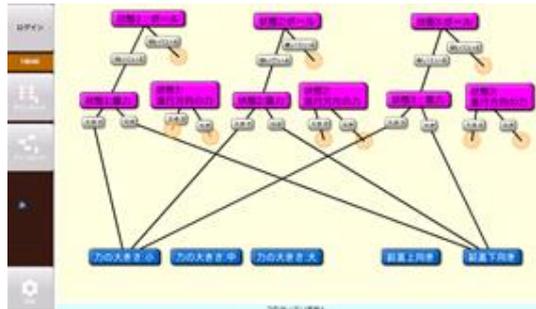


図 9 概念マップ正解例

4.3 実践的利用

力学課題に対する単視点 EBS の実践的利用を高等専門学校生徒 27 名を対象に行い、EBS 利用の事前と事後に、作図テストを加えて、マップ作成を行わせた。具体的な実践の流れを以下に示す。

- (1) 事前作図テスト (7 分)
- (2) 概念マップ作成 1 (17 分)
- (3) 単視点 EBS 演習 (18 分)
- (4) 事後作図テスト (12 分)
- (5) 概念マップ作成 2 (17 分)

(1) のテストに関しては 2 章で説明した学習課題 6 問で構成されており、(4) のテストに関しては学習課題 6 問 + 転移課題 4 問で構成されている。(3) も同様に 2 章の先行研究と同じシステムを採用している。またこの力学問題の作図テストは 6 点が満点に設定されている。(2)、(5) に関しては EBS の学習課題に設定されている全 6 問に対する概念マップを作成させた (6 点満点)。そのうちの摩擦のない氷の上を等速直線運動する人の問題を図 2 に示す。具体的には図 2 の問題に対して図 3 のキットが学習者に与えられ、それをシステム上で組み立ててもらったものが概念マップシステムとなっている。(2) と (5) を (3) の前後に入れることで本研究の目的である、EBS 利用前後の概念変容を概念マップ表現とし

て分析することができる。

4.4 作図テストの修正効果

まず単視点 EBS の利用により MIF 誤概念の解消が見られたかどうかを測るために作図テストの結果をウィルコクソンの符号順位検定により分析した(表 1,表 2,表 3)。まず表 2 のように,正答数は有意に増え,効果量が大きいことを示している ($p=1.34e-05<0.01$,効果量 $r=0.88>0.5$)。また,MIF 誤答は有意に減少し,効果量が大きいことを示している。 ($p=2.03e-05<0.01$,効果量 $r=0.87>0.5$)。その他誤答が有意には減少していないことから,主に MIF 誤答に有効であったことが示唆される。

また転移課題(表 3)においても,課題としては学習課題よりも複雑であり,正答率も低いが,MIF 誤答に関しては事前の学習課題に比べて低いといえる結果になっている。この転移課題においても MIF 誤答率が低いことは,EBS が概念レベルで有効であったことを示唆するものである。この結果は,これまでの EBS の有効性を示した結果を概ね一致するものであり,今回の EBS の利用が MIF 誤概念の修正に資するものであったことが示唆される結果となっている。

表 1 学習課題：作図テストのスコア結果 ($n=27$)

	事前	事後
平均正答数	1.63($\sigma=1.42$)	4.33(1.80)
MIF 誤答	3.48(1.60)	1.15(1.49)
その他誤答	0.89(0.85)	0.52(0.64)

表 2 学習課題：作図テストの検定結果(p 値)

	平均正答数	MIF 誤答	その他誤答
事前-事後	1.34×10^{-5}	2.03×10^{-5}	0.24

表 3 転移課題のスコア

	転移課題
平均正答率(%)	21.2
MIF 誤答率(%)	26.8
その他誤答率(%)	51.8

4.5 概念マップの修正効果

単視点 EBS の利用により概念マップにおいて,つま

り概念レベルで MIF 誤概念の解消が見られたかどうかを測るために概念マップ作成 1(事前)と概念マップ作成 2(事後)間の MIF 誤答数の変化をウィルコクソンの符号順位検定により分析を行った(表 4)。MIF 誤答に注目すると事前事後間で 1%有意でスコアの減少が見られ,効果量も大であることを示している ($p=4.47e-07<0.01$,効果量 $r=0.99>0.5$)。従って単視点 EBS は概念マップレベルでの MIF 誤概念の修正支援にも効果的である事が分かった。また,作図テスト同様に,概念マップにおいては,正答数が有意に増加し,その他誤答については,有意な減少は見られなかった。

表 4 概念マップのスコアおよび検定結果

	事前	事後	p 値
平均正答数	0.67(1.07)	3.67(1.64)	1.19×10^{-7}
MIF 誤答	4.48(1.37)	1.70(1.52)	4.47×10^{-7}
その他誤答	0.85(1.04)	0.63(1.18)	0.57

4.6 概念変容の分析

学習者が持つ MIF 誤概念を直接観測する手段はない。作図テストから判定される MIF 誤概念(作図 MIF と呼ぶ)も概念マップから判定される MIF 誤概念(マップ MIF と呼ぶ)もどちらも間接的な観測手段といえる。そこで,本研究では,作図 MIF とマップ MIF の連関を調べた(表 5)。さらに,作図正解とマップ正解の連関についても調べた(表 6)。それぞれ,プレとポストにおいて同様な傾向にあると判断し,両者を足した数値を用いている。

4.6.1 作図 MIF の有無とマップ MIF の有無の連関

マップ MIF の有無と作図 MIF の有無の関係を調べるために,表 5 をフィッシャーの正確確率検定で検定したところ,1%有意 ($p=0.000$, $\phi=0.517$) となった。この結果は,マップ MIF の有無と作図 MIF の有無に有意な連関があり,効果量が大きいことを示している ($\phi>0.5$)。

次に,作図 MIF およびマップ MIF がそれぞれ互いの存在を表せているかどうかを適合率と再現率から分析する。作図 MIF を正解とした場合,マップ MIF の適合率は 64.7%,再現率は 83.1%となる。マップ MIF を正解とした場合は,その逆となる。つまり,作図 MIF がある場合にマップ MIF が存在する可能性のほうが,マップ MIF があつた場合に作図 MIF が存在する可能性よりも高いことを意味する。(1)概念マップのほうが作図よりも学

習者の概念的理解をより直接的に表現できる手段と思われること、(2)作図に関しては EBS やそれ以前の学習において多く経験しているが、概念マップのほうは経験がほぼない状態であり、概念マップのほうは記憶の影響が少ないと考えられること、の二つを踏まえると、マップにおいて MIF を示していても、作図については MIF を示さないことがよくあるが、作図において MIF を示している場合には、マップが MIF になる可能性が高いことは、妥当な結果と考えられる。この考えに基づけば、マップ MIF は作図 MIF はとの比較において、より直接的に MIF 誤概念を捉えていることが示唆される。

4.6.2 作図正誤とマップ正誤の連関

マップ正誤と作図正誤の関係を調べるために、表 6 をフィッシャーの正確確率検定で検定したところ、1%有意 ($p=0.000$, $\phi=0.454$) となった。この結果は、マップ正誤と作図正誤に有意な連関があり、効果量が中であることを示している ($\phi>0.3$)。

次に、作図正解およびマップ正解がそれぞれ互いの存在を表しているかどうかを適合率と再現率から分析する。作図正解を正解とした場合、マップ正解の適合率は 78.4%、再現率は 58.3%となる。マップ正解を正解とした場合は、その逆となる。つまり、マップ正解の場合に作図正解が存在する可能性のほうが、作図正解の場合にマップ正解が存在する可能性よりも、高いことを意味する。この結果は、マップで正解していれば、作図正解を期待できるが、作図正解でのマップ正解の期待は比較的小さいことを示しており、マップ正解が概念的な理解を表しており、作図正解のほうが記憶等に影響される表層的な理解であることを示唆するものとなっている。

4.6.3 作図 MIF の解消とマップ MIF の解消

プレにおいて、作図 MIF とマップ MIF がどちらも現れた場合、MIF 誤概念が存在する可能性が高い。そこで、このような誤りがポストにおいてどのように変化するかをまとめたものが表 7 である。この表を期待比率同等 (25%) を帰無仮説とした上で、 1×4 表のカイ二乗検定を行ったところ、1%有意となったので、ライアンの名義水準を用いた多重比較を行った。結果として、作図 MIF 無 & マップ MIF 無は、他の場合 (作図 MIF 有 & マップ MIF 有、作図 MIF 有 & マップ MIF 無、作図 MIF 無 & マップ MIF 有) に対して、1%有意で多かった。これらのことから、作図 MIF とマップ MIF の修正は連動して起こることを示しており、マップにおいて MIF 誤概念の修

正が捉えられていることが示唆された。

表 5 力学テスト、概念マップ間の回答分類 1

	作図 MIF 有	作図 MIF 無
マップ MIF 有	108	59
マップ MIF 無	22	135

表 6 力学テスト、概念マップ間の回答分類 2

	作図正解	作図不正解
概念正解	92	25
概念不正解	65	142

表 7 プレテスト作図 MIF かつマップ MIF の場合のポストにおける作図 MIF およびマップ MIF ($n=83$)

	作図 MIF 有	作図 MIF 無
マップ MIF 有	16	11
マップ MIF 無	7	49

5. まとめと今後の課題

本研究では、力の作図に関する EBS による MIF 誤概念の修正を、概念マップで捉えることを目指して、EBS の利用前後に概念マップ作成活動を組み込んだ実践を行った。結果として、(1)作図 MIF およびマップ MIF が EBS の利用前後で有意に減少すること、(2)作図 MIF の有無とマップ MIF の有無が有意に連関すること、(3)作図の正誤と概念マップの正誤が有意に連関すること、(4)EBS 利用による作図 MIF の解消とマップ MIF の解消が同時に起こる可能性が有意に高いこと、が分かった。これらの結果は、概念マップを用いて MIF 誤概念及びその変化を捉えることができることを示唆するものとなる。

概念マップで MIF 誤概念が捉えることができれば、MIF 誤概念に対するより直接的な指摘が可能となる。また、マップと作図のずれに関する指摘も有効性が期待できる。たとえば、概念マップの MIF を指摘する作図が修正されたがマップが修正されていない場合、作図とマップにずれが生じていることになり、その差に注意を向け考えさせることは、有用性が期待できる。さらに、また、EBS では作図を運動に反映させていたが、マップを運動に反映させることで、マップの修正支援としての EBS の活用も可能であると考えられる。本研

究の結果は、これらの新しい可視化の設計可能性を示していると判断しており、本研究の結果を踏まえた誤り修正支援の高度化を今後行っていく。また、今回は、事前事後においてのみ概念マップの作成を行っており、遅延としての概念マップのデータ取得ができていなかった。概念レベルでの理解は持続性が高いとされていることを踏まえれば、遅延テストにおける概念マップの観測は重要であると考えられる。したがって、遅延も含めた実践の実施も重要な課題となっている。

謝辞

実験にご協力頂いた倉山めぐみ准教授に感謝します。

参考文献

- (1) K.M.Fisher. “A misconception in biology. Amino acids and translation”, *Journal of Research in Science Teaching*, Volume22,Issue1, pp.53-62, 1985
- (2) Osborne,R., Freyberg, P. : “Learning in science : The Implications of children’s science”, 1985,
- (3) 森本信也, 堀 哲夫訳: 子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論一,東洋館出版社,1988 .
- (4) J. Clement., : “Student preconceptions in introductory mechanics”, *American Journal of Physics*,50,pp.66-71,1982
- (5) 山崎翔平, 定本嘉郎, 牧井創, : MIF 素朴概念をなくす教材の開発と中学校での授業実践 57 巻(2009)3 号 pp.215-219
- (6) 野田尚志, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一 : 力学における誤り修正支援を目的としたフェイクシミュレーションの提案,人工知能学会誌,10(4),pp.641-645(1995)
- (7) Hirashima, T., Horiguchi, T., Kashihara, A., et al., : “Error-visualization for error-based simulation and its management”, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*,9(1-2), pp.17-31(1998)
- (8) Horiguchi, T., Imai, I., Toumoto, T.,et al. : ”Error-Based Simulation for Error-Awareness in Learning Mechanics: An Evaluation” *Journal of Educational Technology & Society*, 17(3),(2014)
- (9) 堀口知也, 平嶋宗, 柏原昭博, 豊田順一, : 定性推論技法を用いた誤り可視化シミュレーションの制御,人工知能学会誌, 12(2), pp.285-296(1997)
- (10) 平嶋宗, 堀口知也, : 「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み *教育システム情報学会誌* 21(3) pp.215-219
- (11) 山田敦士, 篠原智哉, 堀口知也, 林雄介, 平嶋宗, : 多視点 Error-Based Simulation の設計・開発と実験的評価, *電子情報通信学会論文誌 D Vol. J99-D No. 12* pp. 1158-1161
- (12) Hirashima T, Shinohara T, Yamada A,et al. : ”Effects of Error-Based Simulation as a Counterexample for Correcting MIF Misconception”, *Proc. of AIED2017*, pp.90-101(2017)
- (13) Novak, J.D., Canas, A.J.: “The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them”, *Technical Report IHMC Cmap Tools 2006-01*(2006)
- (14) Ruiz - Primo, Maria Araceli, and Richard J. Shavelson. "Problems and issues in the use of concept maps in science assessment." *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching* 33.6 (1996): 569-600.
- (15) 山口悦司, 稲垣成哲, 福井真由美, 舟生日出男 : コンセプトマップ:理科教育における研究動向とその現代的意義, *理科教育学研究*, 43(1), pp.29-51(2002)
- (16) MICHELENE T. H. CH, PAUL J FELTOVICH , ROBERT GLASER : ”Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices”, *COGNITIVE SCIENCE* 5, pp.121-152
- (17) Hirashima T: “Reconstructional concept map: automatic Assessment and reciprocal reconstruction”, *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, 5, 669-682
- (18) 西岡佳希, 長曾一樹, 林雄介, 平嶋宗 : Error-based simulation を用いることによる概念変容の分析-概念マップの変化としての概念変容の分析 -,*SIG-ALST,B5,03*,pp70-75(2019)