

令和3年度

修士論文

概念マップ・EBS 統合的学習環境
の設計開発と実験的評価

指導教員 平嶋 宗 教授

広島大学大学院 博士課程前期
先進理工系科学研究科 情報科学プログラム

M201199 下條一駿

令和4年2月1日 提出

概要

ボールをける、自転車を押すなど日常生活の中で学習者は誤った思考や概念を身に付けてしまうことがあり、このような「日常生活での経験の積み重ねによって得られる科学的には正しいとされる考え方に反した考え方」は素朴概念と呼ばれる。素朴概念の中でも「運動している物体には進行方向に必ず力が働いている」といった初等力学の分野における代表的な素朴概念として MIF 素朴概念が存在する。この MIF 素朴概念は力学の授業を履修した後でもなお残ってしまうことが多いとされている。MIF 素朴概念は日常生活の知覚、認知的体験の中から徐々に形成され、長い時間をかけ学習者の中に概念が形成される。そのためその信頼度は高いものになってしまい、ゆえに学習者は「なぜ間違いなのか分からない」という状況に陥ってしまう。この現象の解決策として「学習者に自身の誤りがなぜ誤りなのか気づかせる」ことが必要であり、その手段として「誤りの可視化」が挙げられる。

Error-Based Simulation (EBS) は誤りの可視化を利用したシステムで、学習者に物体に働く力を作図させ、そのとき物体はどのような運動をするかシミュレーションを行うものである。学習者がこのシミュレーションを観察し、自らの予測していた運動と比較することで誤りに気付かせ、MIF 素朴概念修正が可能であるという結果が得られている。しかし、この結果は EBS 利用前後の作図テストの結果にスコア変化に基づいて得られたものであり、概念変容を直接的に観測したものではない。そこで概念マップというシステムを利用し概念変容を観測する実験が行われた。結果として、概念マップを用いて MIF 素朴概念および速度、加速度の理解を捉えうること、作図テストとマップテストにおいて正誤や MIF 有無の関連性が存在することが示唆された。しかし、動きを視覚的に確認できる EBS と比較し表現が概念的である概念マップは理解が困難なものであるという結果も示唆された。

本研究では EBS の機能に作図・シミュレーションのみでなく力の種類の言語化という機能を追加し、従来の MIF 素朴概念解消のみならず、概念マップにおける正しい表現の支援すなわち正しい概念定着を支援するシステムを設計開発し高等専門学校の生徒を対象に実験的利用を行った。

目次

概要.....	2
目次.....	3
図目次.....	5
表目次.....	7
第1章 はじめに.....	8
第2章 MIF 素朴概念.....	10
2.1 素朴概念.....	10
2.2 MIF 素朴概念.....	10
2.3 MIF 素朴概念修正の困難性.....	11
第3章 Error-Based SimulationによるMIF 素朴概念解消.....	14
3.1 誤りの可視化.....	14
3.2 Error-Based Simulation (EBS).....	14
3.2.1 単視点 EBS.....	15
3.2.2 多視点 EBS.....	15
3.3 EBS の実践的利用.....	15
3.3.1 結果と分析.....	16
第4章 個別視点概念マップと多視点 EBS を利用した概念変容の観測.....	21
4.1 MIF 素朴概念の概念レベルでの観測.....	21
4.2 キットビルド法を用いた概念マップ作成.....	21
4.3 概念マップシステム.....	22
4.4 力・速度・加速度の作図に対する個別視点概念マップ表現.....	22
4.5 概念マップの正誤判定.....	23
4.6 Conceptmap x EBS -概念マップと多視点 EBS の統合システム-.....	24
4.6.1 概念マップの診断・アップロード機能.....	24
4.6.2 多視点 EBS.....	25
4.7 実践的利用.....	25

4.7.1	作図テストについて.....	25
4.7.2	マップテストについて.....	26
4.7.3	作図テストとマップテストの関連性について.....	26
第5章	概念マップ・EBS 統合的学習環境の設計開発と実験的評価.....	36
5.1	学習者の概念マップ作成の困難性.....	36
5.2	EBS 利用による言語化支援.....	36
5.3	言語化支援機能.....	37
5.4	実験的利用.....	37
5.4.1	作図テストについて.....	38
5.4.2	マップテストについて.....	38
5.4.3	作図テストとマップテストの関連性について.....	38
第6章	まとめと今後の課題.....	46
	謝辞.....	47
	参照文献.....	48
	付録.....	50

目次

図 2-1 MIF 誤答例 1	12
図 2-2 MIF 誤答例 2	12
図 2-3 MIF 誤答例 3	13
図 2-4 力学台車の実験	13
図 3-1 誤りの可視化モデル	17
図 3-2 単視点 EBS 作図画面	17
図 3-3 EBS シミュレーション画面	18
図 3-4 多視点 EBS 作図画面	19
図 3-5 2016 年：学習課題の平均誤答 (N=36)	19
図 3-6 2016 年：転移課題の平均誤答 (N=36)	20
図 4-1 3 状態の概念マップ	27
図 4-2 概念マップキット (力)	27
図 4-3 作図テスト問題例	27
図 4-4 概念マップキット (速度)	28
図 4-5 概念マップキット (加速度)	28
図 4-6 正解概念マップ (力)	28
図 4-7 MIF 誤答マップ 1 (力)	29
図 4-8 MIF 誤答マップ 2 (力)	29
図 4-9 MIF 誤答マップ 3 (力)	30
図 4-10 正解概念マップ (速度)	30
図 4-11 不正解概念マップ (速度)	31
図 4-12 正解概念マップ (加速度)	31
図 4-13 不正解概念マップ (加速度)	32
図 4-14 練習問題：問題画面	32
図 4-15 練習問題：マップ作成画面	33
図 4-16 問題 1：問題画面	33
図 4-17 問題 1：マップ作図画面 (力)	34
図 5-1 多視点 EBS 作図画面 (問題 1)	40
図 5-2 力の名称選択画面	40
図 5-3 力の名称追加	41
図 5-4 力の概念マップ作成画面 (問題 1)	41
図 5-5 多視点 EBS 作図誤り	42

図 5-6 多視点 EBS 力の名称選択誤り42

表目次

表 4-1 学習課題：作図テストスコアと検定結果	34
表 4-2 転移課題：スコア比率	34
表 4-3 力のマップスコアと検定結果.....	34
表 4-4 速度のマップスコアと検定結果.....	35
表 4-5 加速度のマップスコアと検定結果	35
表 5-1 学習課題：作図テストスコアと検定結果	43
表 5-2 転移課題：作図テストスコア比率	43
表 5-3 力の概念マップテストスコアと検定結果	43
表 5-4 速度の概念マップスコアと検定結果.....	43
表 5-5 加速度の概念マップスコアと検定結果.....	43
表 5-6 作図 MIF 有無とマップ MIF の集計表.....	44
表 5-7 作図 MIF とマップ MIF の調整済み残差.....	44
表 5-8 作図正誤とマップ正誤の集計表.....	44
表 5-9 作図正誤とマップ正誤の調整済み残差.....	44
表 5-10 事前作図テスト MIF 有かつ事前マップテスト有の場合事後テストにおける MIF の有無.....	44
表 5-11 昨年度と今年度の力の概念マップスコア比較.....	45

第1章 はじめに

学習者が自身で得た知識を正しく整理して正しく外化することは重要であるとされている。概念マップは知識を正しく整理・外化するための手法の1つとして教育現場において利用されている。概念マップは複数の概念とそれらの関係から構成される命題の集まりを図的に表現したもので、学習者の知識や理解の外化、整理活動を支援することが可能である [1] [2] [3]。

ボールをける、自転車を押すなど日常生活の中で学習者は誤った思考や概念を身に着けてしまうことがあり、このような「日常生活での経験の積み重ねによって得られる科学的には正しいとされる考え方に反した考え方」は素朴概念と呼ばれる。素朴概念の中でも「運動している物体には進行方向に必ず力が働いている」といった初等力学の分野における代表的な素朴概念として MIF (= Motion Implies a Force) 素朴概念が存在する [4]。この MIF 素朴概念は力学の授業を履修した後でもなお残ってしまうことが多いとされている [5] [6] [7]。MIF 素朴概念は日常生活の知覚、認知的体験の中から徐々に形成され、長い時間をかけ学習者の中に概念が形成される。そのためその信頼度は高いものになってしまい、ゆえに学習者は「なぜ間違いなのかわからない」という状況に陥ってしまう。この MIF 素朴概念の解消は学習支援において重要なトピックである [8]。この現象の解決策として「学習者に自信の誤りがなぜ誤りなのか気づかせる」ことが必要であり、その手段の1つとして「誤りの可視化」が挙げられる。

EBS (= Error-Based Simulation) [9] [10] [11] [12] [13] [14]は誤りの可視化を利用したシステムで、学習者に物体に働く力を作図させ、そのとき物体はどのような運動をするかシミュレーションを行うものである。学習者がこのシミュレーションを観察し、自らの予測していた運動と比較することで誤りに気付かせ、MIF 素朴概念修正が可能であるという結果が得られている。しかし、この結果は EBS 利用前後の作図テストの結果にスコア変化に基づいて得られたものであり、概念変容を直接的に観測したものではない。そこで概念マップというシステムを利用し概念変容を観測する実験が行われた。結果として、概念マップを用いて MIF 素朴概念および速度、加速度の理解を捉えうることを、作図テストとマップテストにおいて正誤や MIF 有無の関連性が存在することが示唆された。しかし、動きを視覚的に確認できる EBS と比較し表現が概念的である概念マップは理解が困難なものであるという結果も示唆された。

本研究では EBS の機能に作図・シミュレーションのみでなく力の種類の言語化という機能を追加し、従来の MIF 素朴概念解消のみならず、概念マップにおける正しい表現の支援すなわち正しい概念定着を支援するシステムを設計開発し高等専門学校の生徒を対象に実

験的利用を行ったことを本稿にて報告する。まず2章では MIF 素朴概念の定義及びその修正の困難性について、第3章では EBS 利用による MIF 素朴概念修正の結果を、第4章では概念マップ利用による概念変容の観測結果を述べ、第5章では新たに機能を組み込んだ EBS と概念マップを用いた実験的利用とその評価について述べる。

第2章 MIF 素朴概念

本章では学習者が日常生活の中で会得してしまう可能性がある科学的に正しいとされる概念に反した概念である素朴概念。またその中でも初等力学の分野におけるものは MIF 素朴概念と呼ばれ、その修正は困難であるとされている。

2.1 素朴概念

学習者は日常生活の中で学習者は誤った思考や概念を身に着けてしまうことがある。このような「日常生活での経験の積み重ねによって得られる科学的には正しいとされる考え方に反した考え方」は素朴概念と呼ばれる。

2.2 MIF 素朴概念

初等力学の分野における代表的な素朴概念として MIF (= Motion Implies a Force) 素朴概念が存在する。この MIF 素朴概念とは運動している物体には進行方向に必ず力が働いているといった誤った概念である。一例として摩擦のない氷上を右向きに等速直線運動する人に対して右向きに力が働いていると考える学習者が少なくない。これはボールをける、自転車を押すといった日常生活の動作が「ものを動かすためには力が必要」といった MIF 素朴概念を発生させる原因であると考えられる。MIF 素朴概念はこういった日常生活の知覚、認知的体験の中から徐々に形成され、長い時間をかけ学習者の中に概念が形成されるためその信頼度は高いものになってしまう。そのため大学生など初等力学を履修した学習者であってもなおこの MIF 素朴概念を持っており、その修正は困難である [15]。

また MIF 素朴概念は次の 3 つの誤答パターンに分類されている [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連動する

この 3 パターンの誤答が学習者の MIF 素朴概念の存在を表している。したがって学習者のこれらの MIF 誤答の数を減少させることができれば MIF 素朴概念の修正が行われたと判

断することができる。例えば「摩擦のない氷の上を右向きに等速直線運動している人がいます。空気抵抗は受けません。この人にはたらく力をすべて作図しなさい。」という問題に対して、正解は重力と垂直抗力のみを作図すべきなのだが、MIF 素朴概念を持っている学習者は重力と垂直抗力のほかに進行方向である右向きの力を作図することが多い(図 2-1)。これは MIF 誤答パターン(1)に該当する。また、「大きな箱を摩擦のある床の上で一定の力で右向きに押しています。箱は今等速直線運動しています。空気抵抗は受けません。箱にはたらく全ての力を作図しなさい。」という問題に対して、正解は重力と垂直抗力、人が押す力と摩擦力が等しい大きさで作図されるべきだが、MIF 素朴概念を持つ学習者は進行方向である人が押す力を摩擦力よりも大きく作図しがちである(図 2-2)。これは MIF 誤答パターン(2)に該当する。また、「鉛直上向きに投げ上げられたボールがあります。空気抵抗は受けません。ボールにはたらく全ての力を作図しなさい」という問題に対して、正解はすべての状態で等しい大きさの重力のみを作図すべきなのだが、MIF 素朴概念を持つ学習者はボールが鉛直上向き方向に運動しているときは上方向の力を、静止状態の時は何も力を作図せず、鉛直下向きに運動しているときは下方向の力を作図しがちである(図 2-3)。これは MIF 誤答パターン(3)に該当する。

2.3 MIF 素朴概念修正の困難性

MIF 素朴概念解消を目標にいくつかの教材が開発され実践的利用を行うことによって評価がなされてきた。これらの実験は正しい物体の挙動を示すことによって学習者自身の考えが誤っていることに気付かせるものである。そのうちのひとつである振り子が搭載された力学台車の実験を紹介する [8]。この実験では振り子が搭載された台車を水平面と斜面で走行する様子をそれぞれ学習者に観測してもらう(図 2-4)。台車に力が働いているときは振り子が動く、逆に台車に力が働いていないときは振り子が動かない。つまり、斜面では振り子が動いているから力が働いている、水平面では振り子が動いてないから力が働いていないということを学習者に気付かせることによって MIF 素朴概念の解消を試みている。この実験は中学生を対象に、力学台車を用いる実験群と力学台車を用いない統制群に分けて行われた。実験の前後に事前・事後テスト、実験の 1.5 か月後に遅延テストが行われた。実験群において事後テストの正解率は 60%を超えており MIF 素朴概念が解消されたとみなすことができるが、遅延テストにおいては 25%以下に減少しており MIF 素朴概念修正の効果は失われている。遅延テストにおいて、実験群の正解率は統制群の正解率の 5 倍となっているが「等速直線運動中は進行方向に一定の力が働き続ける」という MIF 誤答が 50%を超えていた。この実験から MIF 素朴概念修正が困難であることがわかる。MIF 素朴概念が修正されなかった原因として、従来の実験や教材を用いた指導方法は正しい挙動を示し、正しい考えを教えることで誤りを指摘しているものの、学習者の誤りが、何故誤っているかまでは示していないことが挙げられる。

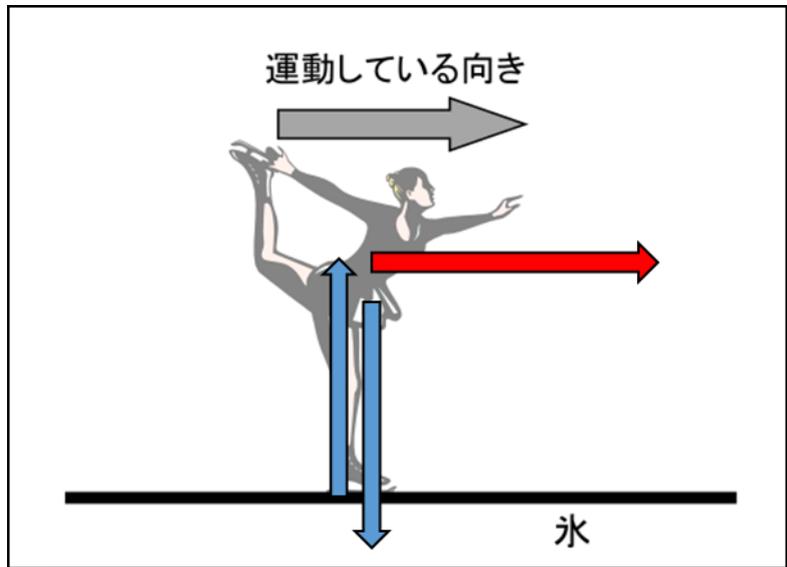


図 2-1 MIF 誤答例 1

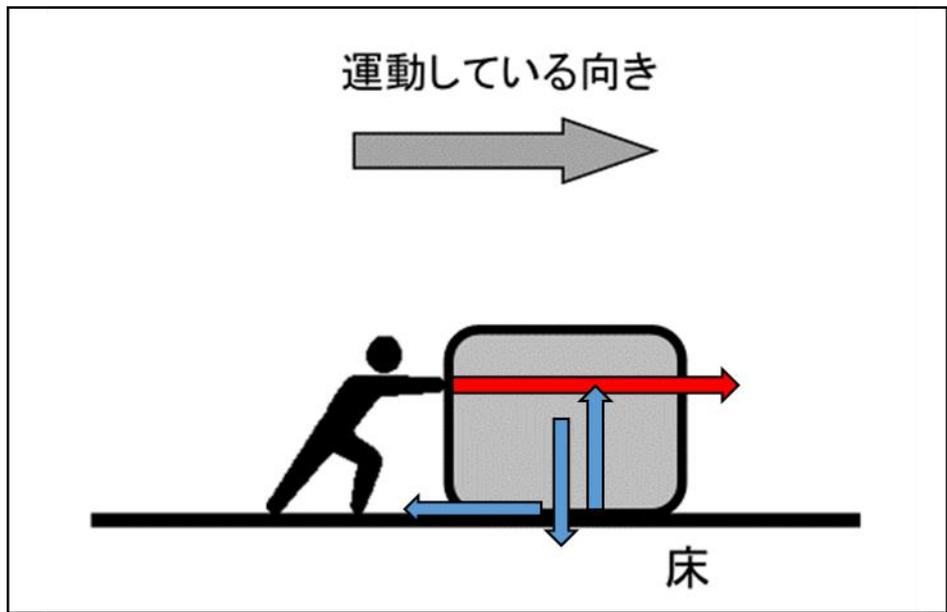


図 2-2 MIF 誤答例 2

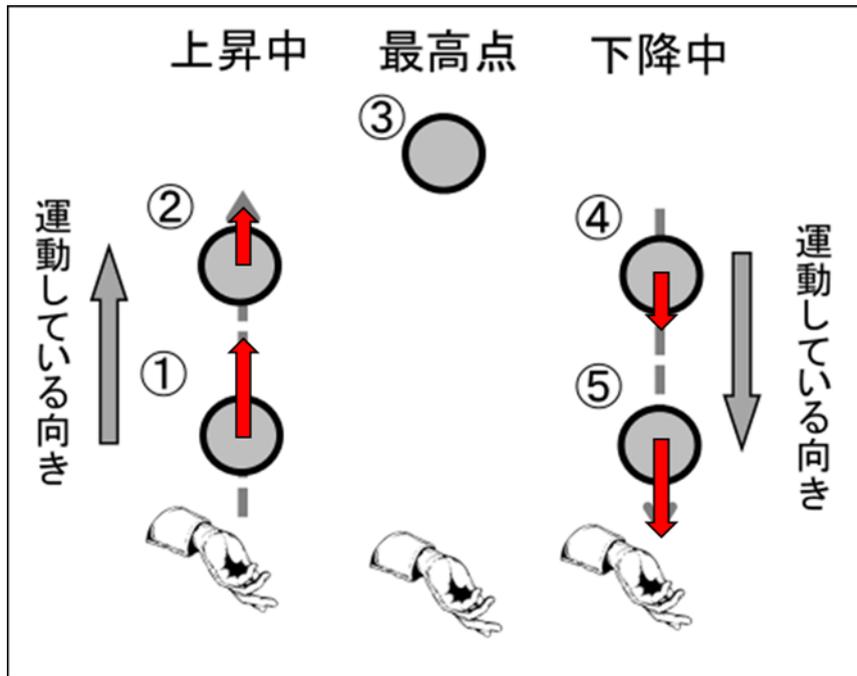


図 2-3 MIF 誤答例 3

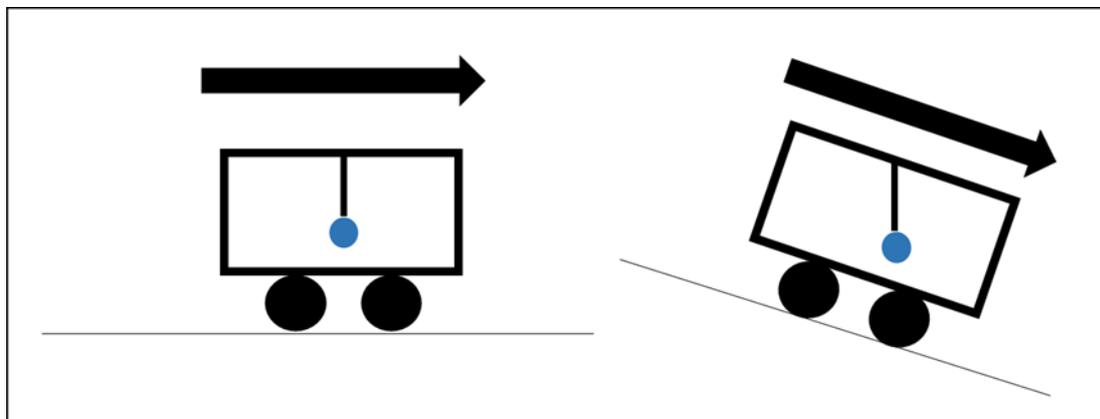


図 2-4 力学台車の実験

第3章 Error-Based Simulation による MIF 素朴概念解消

第2章において MIF 素朴概念とその修正の困難性について述べた。MIF 素朴概念は日常生活の経験の積み重ねによって強固に生成されるため、その修正には反例を示しなぜ間違いなのかを理解させる必要がある。そういった誤りの可視化モデルのシステムとして Error-Based Simulation (EBS) が存在する。この章では EBS 及び EBS を扱った先行研究について述べる。

3.1 誤りの可視化

学習者の誤りを修正する上で学習者に自分の考えが誤っていることに対して納得させることの重要性が指摘されている。しかし、従来の実験や教材を用いた指導方法は正しい挙動を示し正しい考えを教えることで誤りを指摘しているものの、学習者の誤りが何故誤っているかまでは示していない。それと比較し、誤りの可視化モデルは学習者が立てた方程式を反映した挙動を見せ、挙動レベルでの反例を示すことで、自分自身で考えの誤っていることに気付かせるフィードバックを与えることが可能となっている(図 3-1)。これにより MIF 素朴概念修正の際に問題となっていた「なぜ間違いなのかわからない」という状況の解決策として誤りの可視化は有効であるといえる。そういった手法を用いたのがこれから紹介する「Error-Based Simulation による誤りの可視化」である。

3.2 Error-Based Simulation (EBS)

Error-Based Simulation (EBS) では、学習者の考えが正しいと仮定した場合に物体はどのように運動するかシミュレーションするシステムである。力学の力の問題に対する EBS では、問題に対して学習者が対象にはたらいっていると考える力の矢印を向きと大きさを指定して作図する。その作図を正しいとしたときの挙動のシミュレーションを表示し、その挙動のおかしさから学習者自身が誤りに気付かせ、修正への動機づけを指向している。この EBS が MIF 素朴概念の修正に効果的であることが実験的に確認されている [14] [16]。この EBS には単視点 EBS と多視点 EBS の2種類が存在するので本節でそれぞれについて説

明する。

3.2.1 単視点 EBS

単視点 EBS について、学習者が EBS において作図するのは力の向きと大きさを表現する矢印である。次に単視点 EBS のシステム利用の流れについて説明する。「摩擦のない氷の上を等速直線運動している。空気抵抗はうけないとし、この人にはたらく全ての力を作図しなさい」という問題を例として説明する(図 3-2)。作図フェーズで矢印の作成ボタンで作成タブを開くことで、学習者は大きさは3段階、向きは8方向から任意の矢印を生成することができる。ここで生成した矢印を学習者は力が働いていると考える箇所に配置する。診断するボタンを押すと診断フェーズに移行する。診断フェーズでは正解のシミュレーションと学習者が配置した矢印を反映したシミュレーションが表示される。このシミュレーションの結果を踏まえて作図をやり直すことが可能である。これが単視点 EBS 作業の一連の流れである。もし 図 3-2 の誤った作図を行った場合は 図 3-3 のシミュレーションが表示される。これは先ほど説明した「運動する物体は進行方向に力が働く」という MIF 誤答である。正解のシミュレーションは等速直線運動だが、学習者の作図を反映したシミュレーションは加速度運動をしている。このように挙動の差異を見せることによって自身の誤りに気付かせ、MIF 素朴概念の修正を促す。

3.2.2 多視点 EBS

単視点 EBS では十分に修正効果を得られない学習者が存在した。原因としては自分の作図とシミュレーションの関係性の理解ができていないからだと考えられた。そこで、力だけでなく加速度、速度の作図・シミュレーションを行うことによって3要素の関係性の理解を促すことを目標に開発されたシステムが多視点 EBS である。多視点 EBS システムの作業手順は単視点 EBS とおおむね同様であるが作図フェーズにおいては力だけでなく加速度、速度の矢印の生成・配置も行う。力・加速度・速度の作図画面の変更は左のタブで行う(図 3-4)。診断フェーズでは、正解のシミュレーションと学習者の作図を反映した力・加速度・速度のシミュレーションの全4種類が1画面に表示される。このシミュレーションを観察することによって力学3要素の理解の支援を行うことを目的としたシステムが多視点 EBS である。

3.3 EBS の実践的利用

MIF 素朴概念解消を目的とした EBS システムの実践的利用については、高等専門学校の生徒に対して行われている。その手法として単視点 EBS と多視点 EBS の演習に対して、筆記方式の事前作図テスト・事後作図テスト・遅延作図テストで分析を行うというものである。テスト内では、システム演習での評価指標として学習課題と転移課題が用意された。学習

課題の内容は EBS システム内で設定されたものと同様である。具体的な内容を以下に示す。

○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

事前作図テストは学習課題 6 問のみで、事後作図テストと遅延作図テストの内容は学習課題に加えて転移課題 4 問が用意された。遅延作図テストについては事後作図テスト実施から 1 か月後に行われた。具体的な実践利用の流れを以下に示す。

[実践利用の流れ]

- ① 事前作図テスト
 - ② 単視点 EBS 演習
 - ③ 事後作図テスト 1
 - ④ 多視点 EBS 演習
 - ⑤ 事後作図テスト 2
- ↓ 1 か月後
- ⑥ 遅延作図テスト

3.3.1 結果と分析

EBS の利用によって MIF 素朴概念が解消されたかどうかテストの結果から分析された。誤答の分類として MIF 素朴概念で規定された MIF 誤答とそれ以外のその他誤答に分類される。また、分析は学習課題と転移課題に分けて行われた。学習課題は事前・事後・遅延の 3 群を比較するために Steel-Dwass 法を、転移課題については事後・遅延の 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された。

まず学習課題について、事前作図テスト MIF 誤答平均 3.50、事後作図テスト MIF 誤答平

均 1.14, 遅延作図テスト MIF 誤答平均 1.53 であった(図 3-5). これに対し, 事前作図テストと事前事後テスト間において MIF 誤答数が有意に減少していた($p=2.54e-05 < 0.5$). また, 事後作図テストと遅延作図テスト間においても MIF 誤答が有意に減少していた($p=9.56e-05$). つまり, 事前事後, 事前遅延間で MIF 素朴概念が解消されたと考えられる. 転移課題についても, 事前作図テスト全問題の MIF 誤答率が 58%であったのに対し, 転移課題全問題の MIF 誤答率は 28%であり大幅に減少していた(図 3-6). このことから新規性のある問題に対しても MIF 誤答が起こりにくいことが確認された.

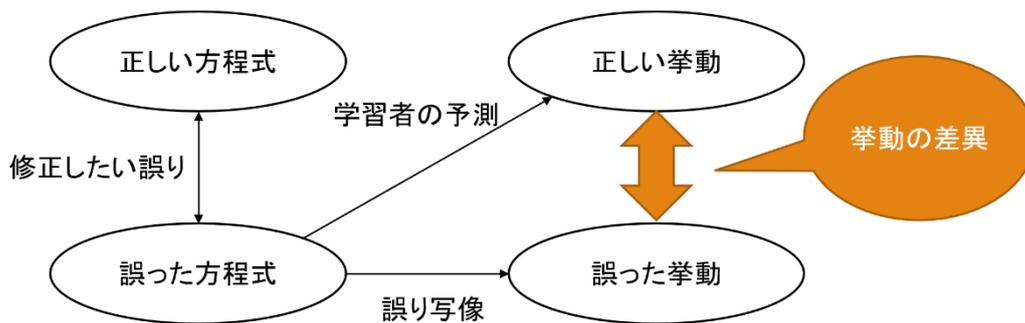


図 3-1 誤りの可視化モデル

カ

摩擦のない氷の上を女の子が等速度で滑っています。空気抵抗は受けないとして。女の子にはたらく全ての力を作図してください。

問題1

もどる

診断する

矢印の作成

物体の正しい動きを見る

消

全消

図 3-2 単視点 EBS 作図画面

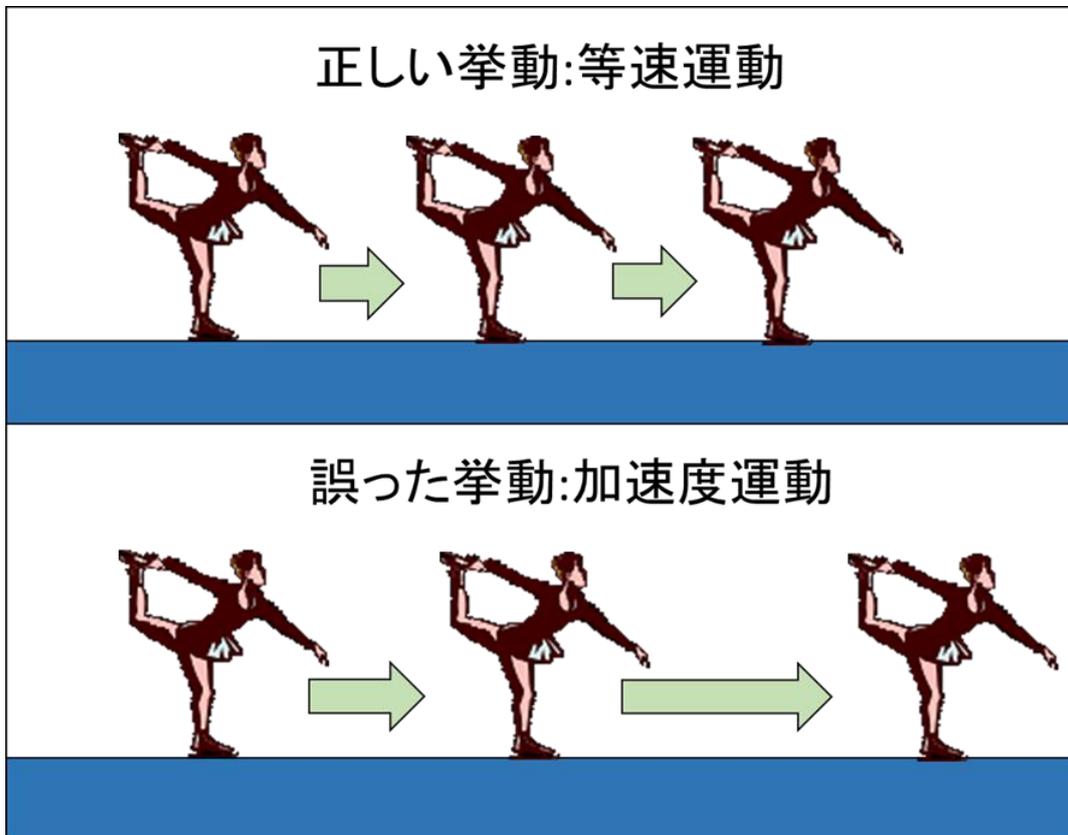


図 3-3 EBS シミュレーション画面



図 3-4 多視点 EBS 作図画面

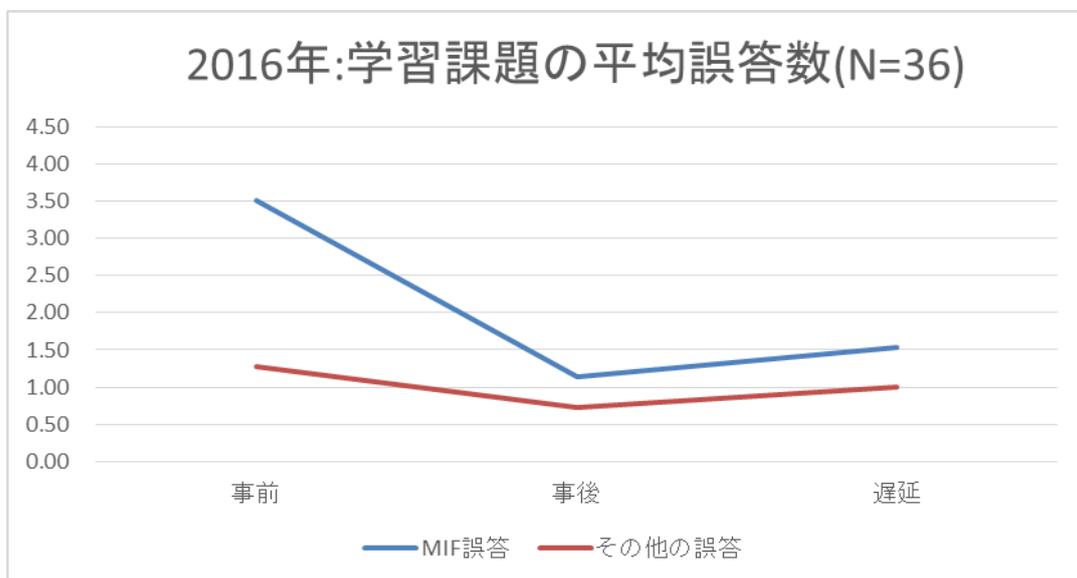


図 3-5 2016 年：学習課題の平均誤答 (N=36)

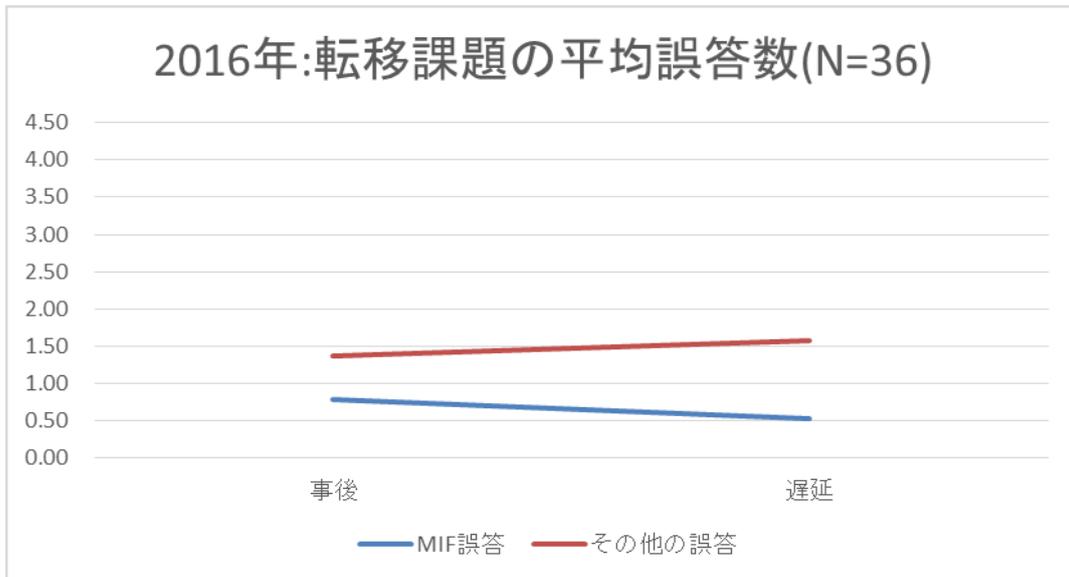


図 3-6 2016 年：転移課題の平均誤答 (N=36)

第4章 個別視点概念マップと多視点 EBS を利用した概念変容の観測

前章の EBS 実験的利用により MIF 素朴概念解消が示唆される結果を得られた。しかし、この結果は EBS 利用前後による作図テストの推移から得られたものであり、学習者の MIF 素朴概念が概念レベルで解消されたのかは定かではない。そこで、先行研究にて学習者の概念変容をより直接的に観測するために概念マップシステムを用いた実験が行われた。本章では、その実験的利用と結果・分析について述べる。

4.1 MIF 素朴概念の概念レベルでの観測

前章で説明したように EBS 利用による MIF 素朴概念の修正効果は EBS 利用前後の作図テストのスコア推移から得られたものである。作図テストのスコア上昇は、MIF 素朴概念解消を示唆するものであるといえるが、学習者の概念変容については不明であり、概念変容を観測することは重要な課題とされていた。そこで、概念マップが学習者の概念的理解を捉える一つの方法として有効であることに基づき [17], EBS 利用における MIF 素朴概念解消を概念変容として観測することを目的としている。

概念マップとは二つ以上の概念とそれらの関係から構成される命題の集まりによって意味構造を表す図的表現のことである(図 4-1)。概念マップ中に表された概念のことをノード、概念間の関係のことをリンクと呼ぶ。概念マップは知識の整理活動の手法 [1] [2] [3] として、また力学の理解を捉えるうえでも有用とされている。

この研究において、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 素朴概念の修正の検証および作図テストの結果との比較が行われた。MIF 素朴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。それらの前提の上で EBS による MIF 素朴概念の修正をより直接的に観測するために、多視点 EBS と個別視点概念マップが用いられた。

4.2 キットビルド法を用いた概念マップ作成

学習者の作成する概念マップにはキットビルド法 [18]が用いられた。キットビルド法で

は、学習者はあらかじめ教授者側から提供されたノードとリンクを操作することで概念マップを作成する。キットビルド法において、学習者はあらかじめノードとリンクが提供されることにより、概念マップ作成に注力することができ作業不可を軽減することが可能である。教授者側についても構成される要素が決まっているため正誤の判断や誤り個所の検出を容易に行うことが可能である。ノードやリンクが提供されることから部品自体の誤りを直接的に捉えることは不可能だが、ある部品を正しく組み立てることができていないことから、部品自体への誤った認識・理解も間接的に捉えることが可能となっている。そのため、整理された体系の中で与えられた部品を適切に扱うことが求められる学習課題において有効な方法であるといえる。キットビルド法を用いた概念マップ活用については、多くの研究報告がなされている。

4.3 概念マップシステム

4.2 で述べたように学習者に提供される概念マップはキットビルド方式を採用し、力の概念マップを例とすると図 4-2 のようなノードやリンクが提供される。図 4-2 には正解を表現するためのノードとリンクが存在するが、繋いではいけないノードやリンクも存在する。これらの部品は作図テストにおける MIF 誤答を反映するためのダミーノードやダミーリンクであり、学習者の概念の外化の自由度を高く正確に行うためのものである。「状態 1 : ボール」「重力 1 : 重力」など白背景の四角に書かれているものが状態や概念を表すノードであり、「働いている」、「向き」、「大きさ」など青背景の四角に書かれているものが関係性を表現するリンクである。黄色い丸はコネクタといい、学習者はこのコネクタをノードに接続することによって概念マップ上で自身の概念を表現する。また、あらかじめノードやリンクが接続されている箇所については「状態 1 : ボール」のノードに「大きさ」などのリンクを接続してしまい想定外の誤りを防ぐためである。このシステムでは MIF 誤答などによる概念変容を計測するために作られており、この機能はそういった想定外の誤りや学習者の負荷の軽減につながる。

4.4 力・速度・加速度の作図に対する個別視点概念マップ

表現

多視点 EBS に対して学習者が作成する概念マップは力・速度・加速度をそれぞれ個別の独立したマップで表現されるものである(以下、個別視点概念マップ)。マップがそれぞれ独立したものになっている理由は、1つのマップで力・速度・加速度を表現させようとする、情報量(ノードやリンクの数)が多くなってしまい、学習者の負荷が増加してしまう恐れがあると考えられたからである。学習者がこの個別視点概念マップを正しく表現できれば、

力学における広範囲な概念的理解を得られたと捉えることができる。本章ではこの個別視点概念マップの表現方法について説明する。「鉛直上向きに投げられたボールがある。空気抵抗は受けないとする。このボールに関する概念マップを作図しなさい」という作図テストを例として述べていく。まず、この問題に対し与えられる開始時の概念マップのノードとリンクは図 4-2 である。この時与えられるノードとリンクは正解のマップを作成するために必要なものと想定される MIF 誤答を表現するために必要なものが部品として提供される。このように正解の部品だけでなく誤りの部品も提供することにより、教授者側が想定した誤りを含むゴールマップ（拡大ゴールマップと呼ぶ）を作成していることになり、正解だけでなく誤りも再構成として現れることになる。速度・加速度の提供されるマップも同様に正解の表現に必要な部品だけでなく想定される誤りの表現に必要な部品が与えられる。提供される速度の概念マップのノードとリンクは図 4-4 であり、加速度の概念マップのノードとリンクは図 4-5 である。学習者には1問の図 4-3 のような作図テストに対し、図 4-2, 図 4-4, 図 4-5 の3つの概念マップが提供され再構成を行う演習が行われた。

4.5 概念マップの正誤判定

ここで、力・速度・加速度概念マップの正誤判定について説明する。

まずは力について、作図テストが(1)正解, (2)MIF 誤答, (3)その他誤答に分類されるのと同様に力の概念マップ作成についても上記の3つに分類される。図 4-3 に対する正解の概念マップ例は図 4-6 である。この例では、全ての重力の力の大きさが小となっているが、この問題に限らずすべての状態に等しい力が働いている問題の場合、すべての重力の力の大きさが等しく表現されていれば、中でも大でも正解となる。これは学習者の主観で大きさという概念は異なるためである。次に MIF 誤答について、2.2 で説明したように MIF 誤答は大きく3つに分類される。図 4-7 の MIF 誤答例は投げ上げられた直後の状態1では上向きに力が働いていて、静止状態の状態2では何も力が働いていない。落下状態である状態3では下向きに力が働いていることから「運動の維持には進行方向の力が必要」という MIF 誤答のパターン(1)に該当する。図 4-8 の MIF 誤答例はすべての状態に対して等しい力の重力が働いているが、上昇状態の状態1に対してのみ重力よりも大きい進行方向の力が働いていると表現されている。これは「進行方向に対し明確な抵抗がある場合、それよりも大きな力が必要」という MIF 誤答パターン(2)に該当する。図 4-9 の MIF 誤答については、こちらもすべての状態に対し等しい大きさの重力が働いているが、上昇→静止→落下と状態が推移するにつれ進行方向の上向き力が減少している。これは「速度の変化に対応し物体にかかる力が連動する」という MIF 誤答パターン(3)に該当する。その他誤答について、先ほども紹介したどの MIF 誤答にも該当しない場合をその他誤答として分類している。このように力の概念マップにおいても作図テストと同様に回答を3種類に分類することで、作図テストとマップテストが対応づくようにしている。

次に速度の概念マップについて説明する。速度の概念マップは正解と不正解の2種類が存在する。図 4-3 の問題に対する正解の概念マップは図 4-10 である。この問題においても正解が3種類存在し、状態1と状態3の速度の大きさが図 4-10 では小に接続されているが、この問題の場合中でも大でも正解となる。この問題以外にも状態間で速度が等しい場合速度の大きさは小・中・大のどれを選んでも正解となる。速度の大きさについても学習者の主観によって変化するため3種類の解答を用意している。また、3種類の速度の大きさを用意することで、図 4-11 のような誤りを表現できるようにしている。また、不正解については上記の3つの正解に該当しないものを不正解と分類している。

最後に加速度の概念マップについて説明する。加速度の概念マップも速度の概念マップと同様に正解と不正解の2種類が存在する。図 4-3 の問題に対する正解の概念マップは図 4-12 である。この問題においても正解が3種類存在し、状態1と状態2と状態3の加速度の大きさが図 4-12 では小に接続されているが、この問題の場合中でも大でも正解となる。この問題以外にも状態間で加速度が等しい場合、加速度の大きさは小・中・大のどれを選んでも正解となる。加速度の大きさについても学習者の主観によって変化するため3種類の解答を用意している。また、3種類の加速度の大きさを用意することで、図 4-13 のような誤りを表現できるようにしている。また、不正解については上記の3つの正解に該当しないものを不正解と分類している。

このようにして力・速度・加速度の理解を概念マップ上にて表現させている。

4.6 Conceptmap x EBS –概念マップと多視点 EBS の統合システム–

本章の実験的利用にて、EBS における作図と概念マップの関係性理解や力・速度・加速度の力学3要素の関係性理解を促すため概念マップと多視点 EBS が統合されたシステム（以下、Conceptmap x EBS）が設計・開発された。以下、このシステムに組み込まれている概念マップ機能、多視点 EBS 機能について説明する。

4.6.1 概念マップの診断・アップロード機能

概念マップ作成演習について説明する。問題の種類については多視点 EBS で扱う6問+練習問題である。練習問題は力のみの要素を対象にしており「自由落下するボールにはたらく力は何か？」という問題に対しすでに力の大きさと向きを表現する矢印が配置されている(図 4-14)。この問題に対して図 4-15 の概念マップを作図させる。練習問題に関しては診断ボタンから学習者が正誤判定を行うことができ、マップ作成演習の導入の役割を果たしている。その後に行う全6問について、第1問を例に説明する。問題画面は図 4-16 であり、練習問題と異なり力の大きさと向きを表す矢印は配置されていない。また、この問題に

対する作図画面は図 4-17 である。右上の力・速度・加速度のタブを押すことでそれぞれの概念マップ作成画面に変更することができる。学習者は概念マップを再構成し終わったらチェックボックスのアップロードボタンを押すことでログが生成され、教授者はそのログをもとに採点を行うことが可能である。

4.6.2 多視点 EBS

多視点 EBS について、機能は 3.2.2 と同様のものであり、学習者の力・速度・加速度の作図を反映したシミュレーションを行う。概念マップとの統合にあたり、UI などを作り直した。

4.7 実践的利用

力学課題に対する多視点 EBS の実践的利用を高等専門学校生徒 17 名を対象に、EBS 利用の事前と事後に、作図テストを加えて、マップ作成を行われた。具体的な実践の流れを以下に示す。

[実践的利用の流れ]

- (1) 事前作図テスト (7分)
- (2) 概念マップ作成 1 (21分)
- (3) 多視点 EBS 演習 (25分)
- (4) 事後作図テスト (8分)
- (5) 概念マップ作成 2 (16分)

(1)のテストに関しては第 3 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。またこの作図テストは 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 問に対する力・速度・加速度の個別的概念マップを作成させた(それぞれ 6 点満点)。また(2)には作図と概念マップの対応理解演習も含んでいる。(2),(3),(5)は 6.3 で述べた Conceptmap x EBS を用いた。(2)と(5)を(3)の前後に入れることで目的である 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。

4.7.1 作図テストについて

多視点 EBS 利用により MIF 素朴概念解消がなされたかどうかを測るため、作図テストの学習課題と転移課題について分析が行われた。学習課題(表 4-1)についてウィルコクソンの符号順位検定により分析したところ、正答数は有意に増加し、($p=2.44e-04$) MIF 誤答は

有意に減少した($p=4.88e-04$). その他誤答が有意に増減しなかったことから MIF 誤答に対して有効だったことが確認できる. 転移課題(表 4-2)に関しても, 問題としては学習課題よりも複雑であり, 正答率は低くなってしまったが, MIF 誤答率も低く抑えられていることから EBS の利用が MIF 素朴概念の修正に有効であることが示唆される結果となった.

4.7.2 マップテストについて

多視点 EBS による概念変容を測るため, マップテストの事前一事後のスコアについて, 力の概念マップについては正答数・MIF 誤答・その他誤答を, 速度と加速度については正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した.

力のマップスコア(表 4-3)について, 正答数は 1%有意で増加し, ($p=4.88e-04$) MIF 誤答は 1%有意で減少した($p=4.88e-04$). その他誤答については有意な変化は見られなかった. 速度のマップスコア(表 4-4)について, 正答数に有意な差は見られなかった. 速度は物体の運動を視覚的に確認することが可能であり理解が容易なため, 事前テストの段階からスコアが高かったためだと考えられる. 加速度のマップスコア(表 4-5)について, 平均正答数に関して 5%有意でスコアが上昇していた($p=3.13e-02$). 力学において加速度と力は直接的な関係にあるため, EBS 利用による修正効果が表れたと考えられる.

したがって, 力と加速度において EBS 利用による MIF 素朴概念修正による概念変容を観測することができた.

4.7.3 作図テストとマップテストの関連性について

上記の分析に加え作図テストとマップテストの関連性が分析された. 分析の結果, 作図正解とマップ正解, 作図不正解とマップ不正解, 作図 MIF 有とマップ MIF 有, 作図 MIF 無とマップ MIF 無の連関が示された. これまでの結果から, MIF 素朴概念の概念変容を捉えるためのシステムとして, 概念マップシステムは有用であるといえる.

しかし, 作図テストとマップテストの正解率の差について適合率と再現率から分析すると, 作図正解を正解とした場合, マップ正解の適合率は 90.5%, 再現率は 70.1%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, 作図テストと比較しマップテストのほうが学習者にとって困難であり, 解決すべき課題であるといえる.

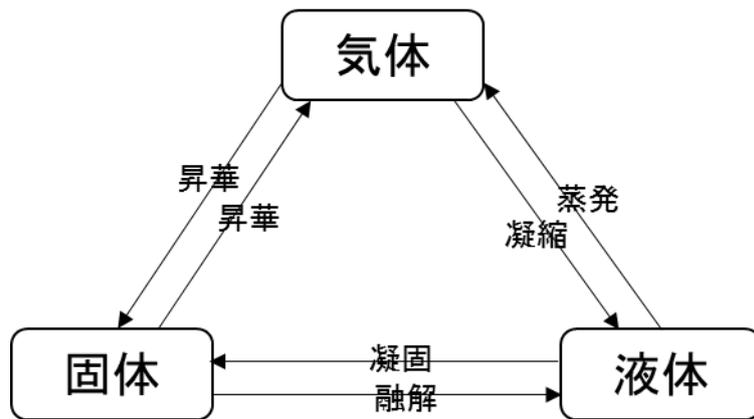


図 4-13 状態の概念マップ

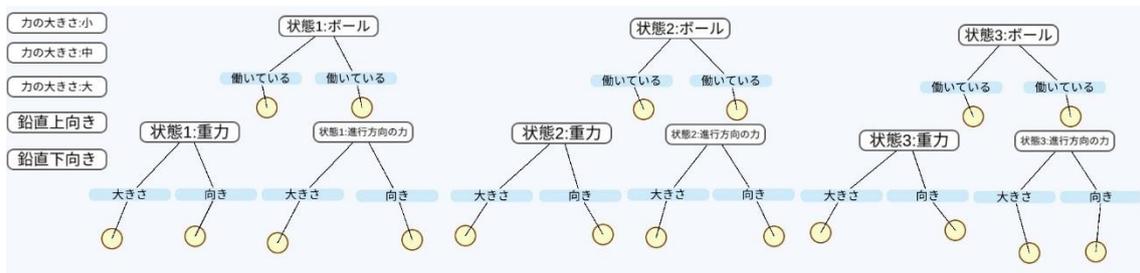


図 4-2 概念マップキット (力)

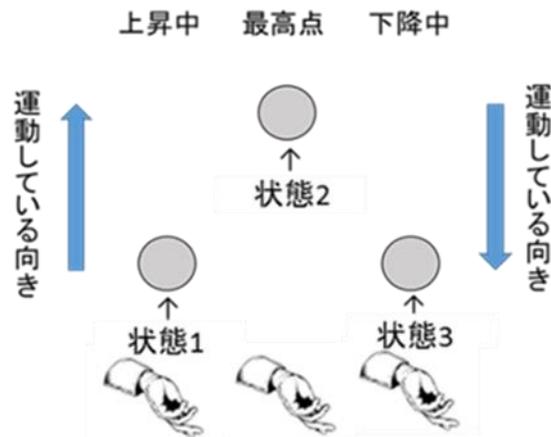


図 4-3 作図テスト問題例

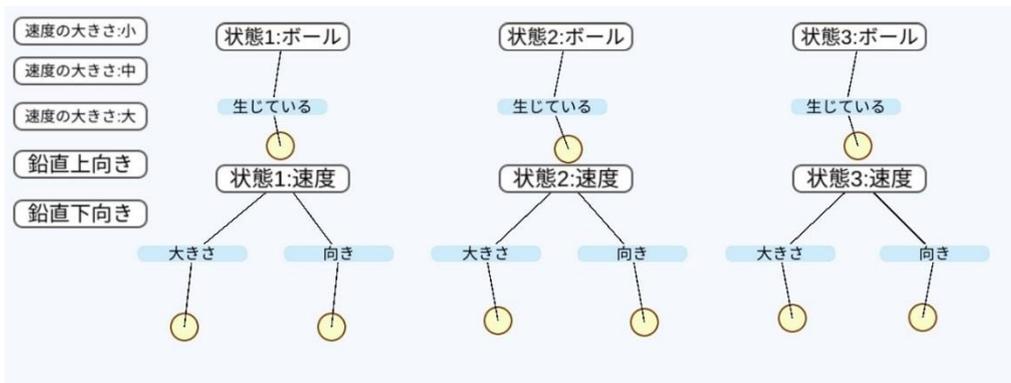


図 4-4 概念マップキット (速度)

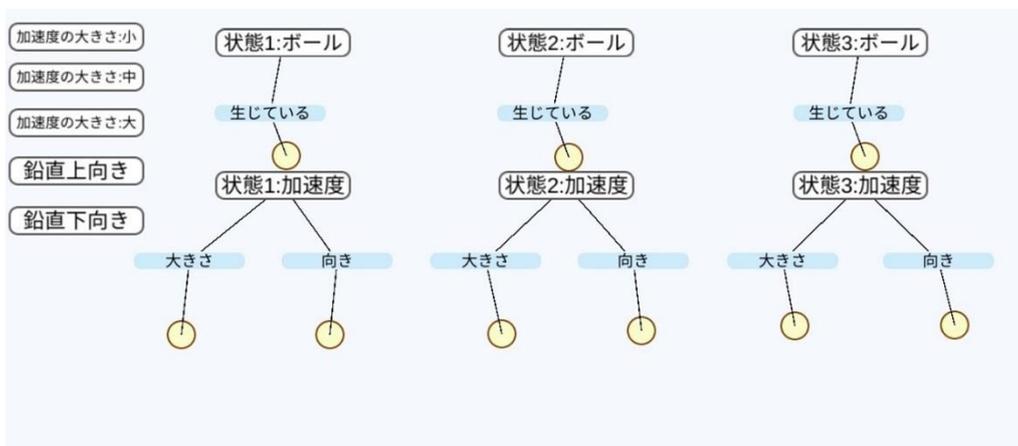


図 4-5 概念マップキット (加速度)

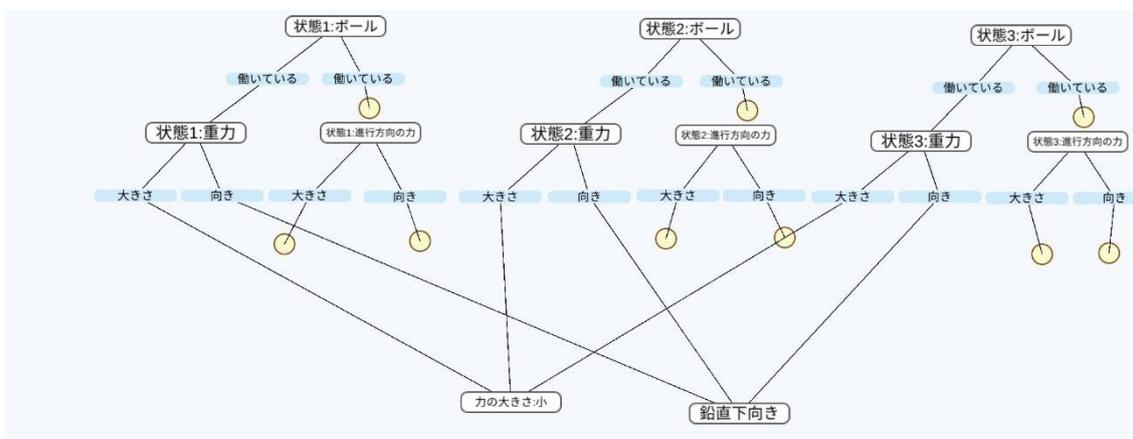


図 4-6 正解概念マップ (力)

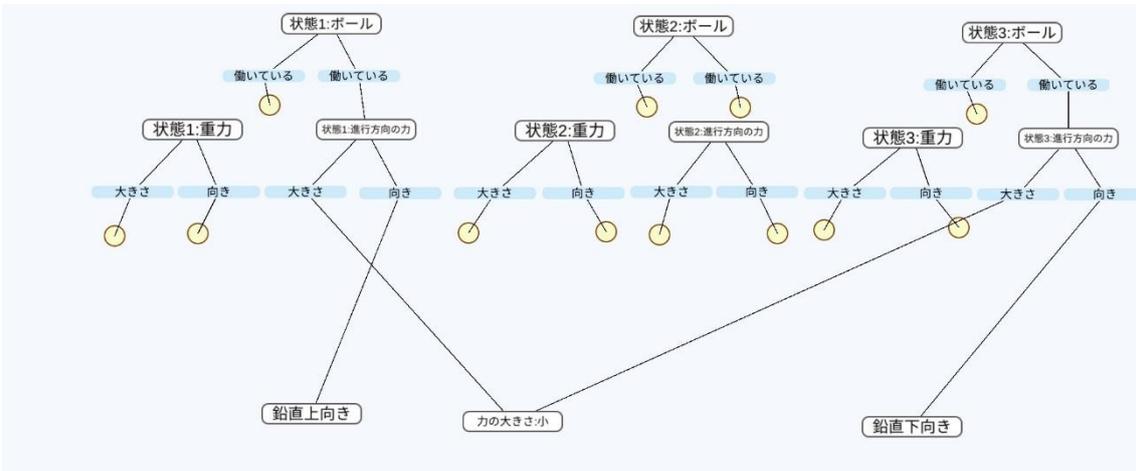


図 4-7 MIF 誤答マップ 1 (力)

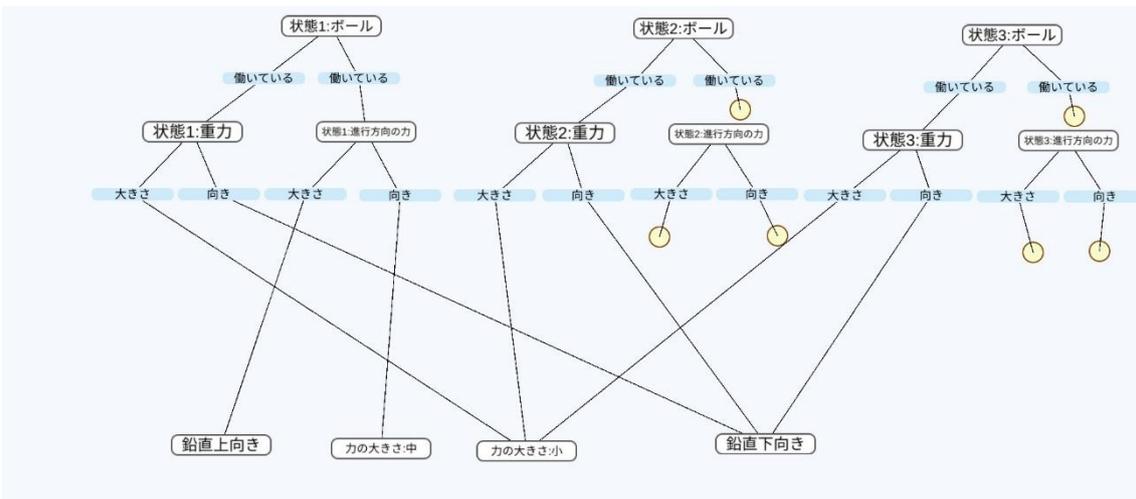


図 4-8 MIF 誤答マップ 2 (力)

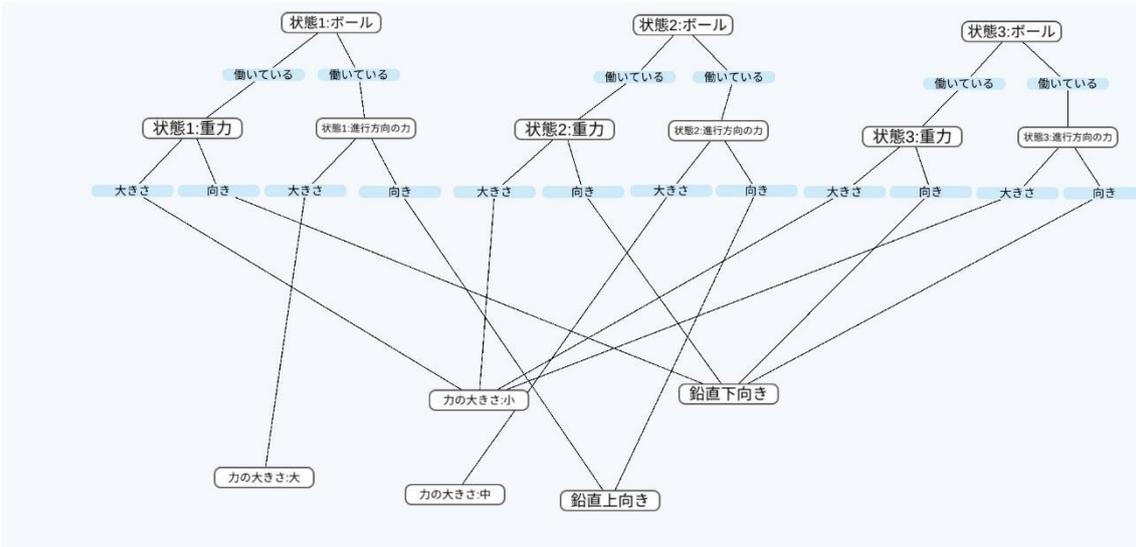


図 4-9 MIF 誤答マップ 3 (力)

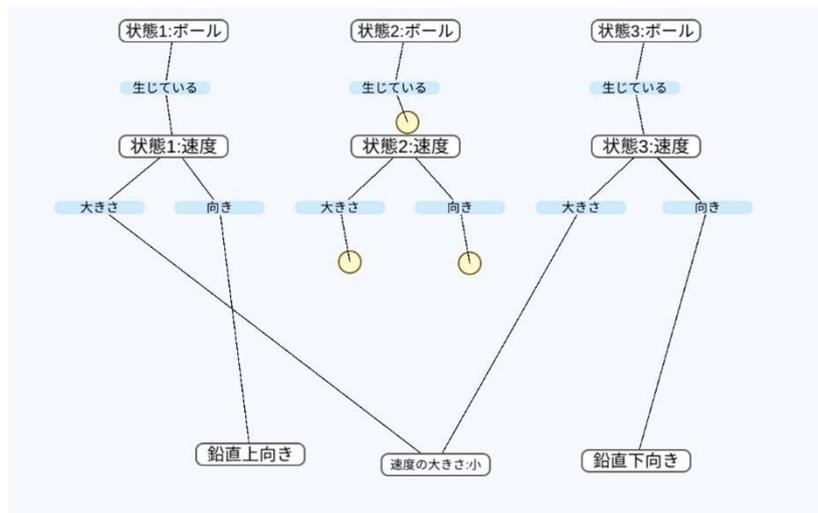


図 4-10 正解概念マップ (速度)

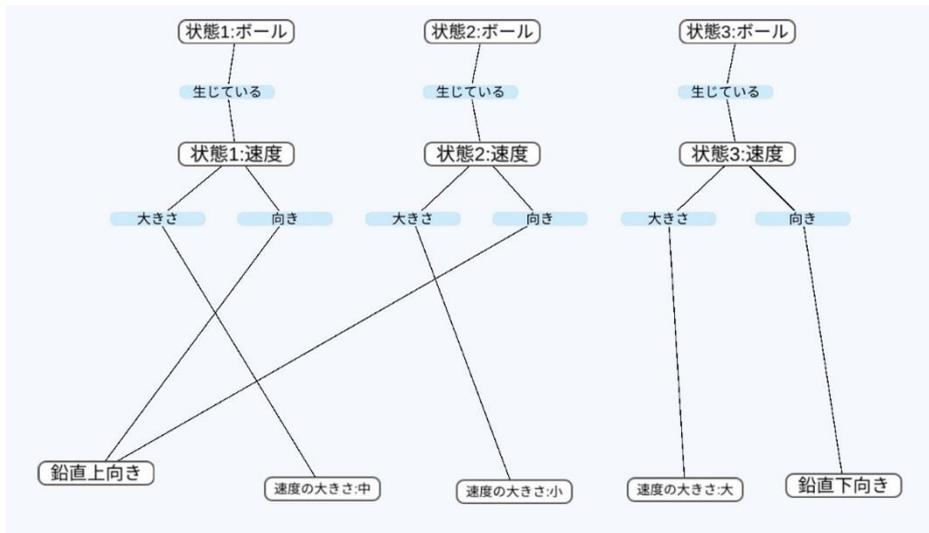


図 4-11 不正解概念マップ (速度)

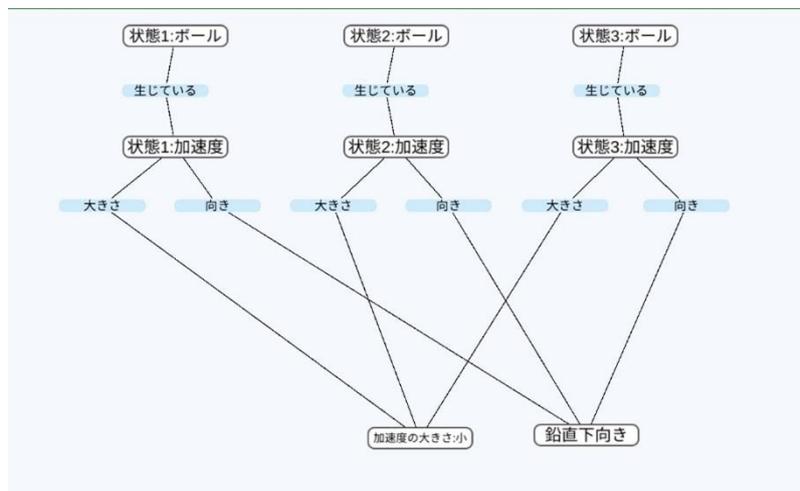


図 4-12 正解概念マップ (加速度)

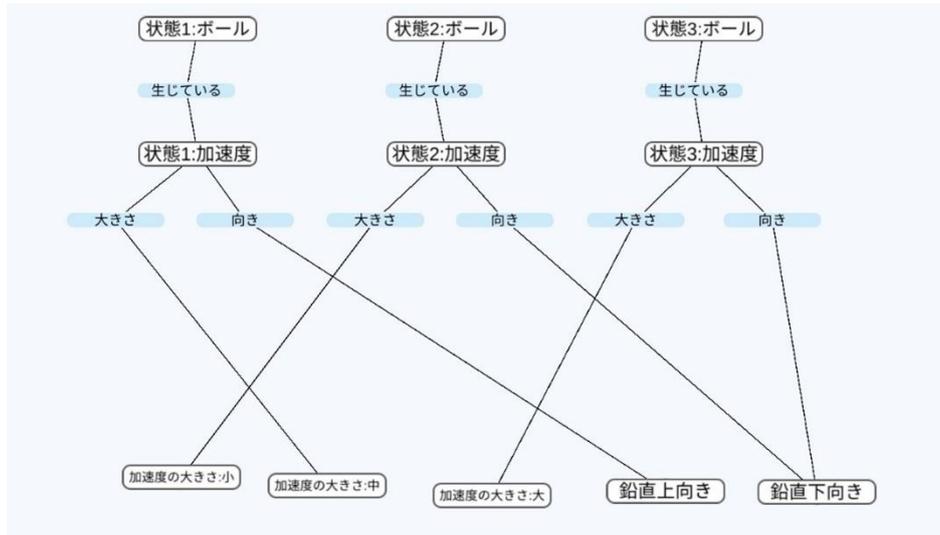


図 4-13 不正解概念マップ (加速度)

力

加速度

速度

問題0

自由落下しているボールがあります。空気抵抗は受けないとします。今ボールには矢印のような力がはたらいています。マップ上でこの作図を表現して下さい。

状態1
状態2
状態3

[マップ作成に戻る](#)

図 4-14 練習問題：問題画面

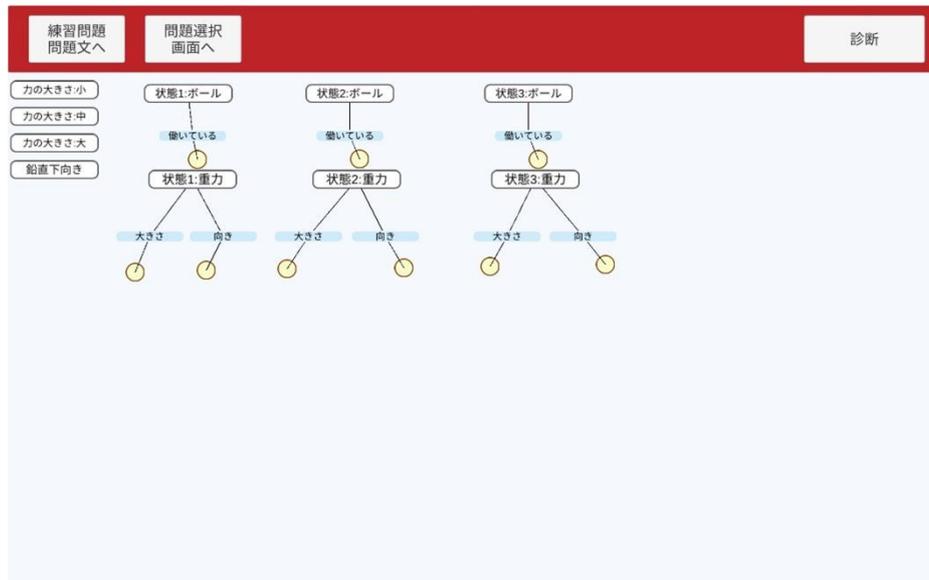


図 4-15 練習問題：マップ作成画面

問題1

力

加速度

速度

摩擦のない氷の上を女の子が等速度で滑っています。空気抵抗は受けません。女の子にはたらく力・速度・加速度をマップ上で作図して下さい。

状態1 状態2 状態3

マップ作成に戻る

図 4-16 問題 1：問題画面

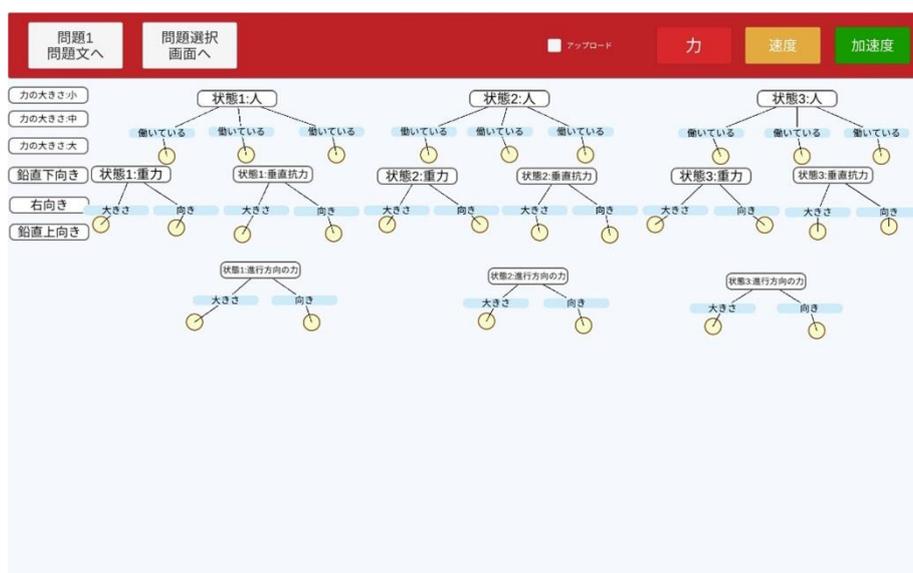


図 4-17 問題 1 : マップ作図画面 (力)

表 4-1 学習課題 : 作図テストスコアと検定結果

	事前	事後	p 値
正答	1.12	3.65	2.24×10^{-4}
MIF 誤答	4.35	2.18	4.88×10^{-4}
その他誤答	0.53	0.18	0.16

表 4-2 転移課題 : スコア比率

	転移課題
正答率(%)	36.8
MIF 誤答(%)	33.8
その他誤答(%)	29.4

表 4-3 力のマップスコアと検定結果

	事前	事後	p 値
正答	1	2.71	4.88×10^{-4}
MIF 誤答	4.82	3.18	4.88×10^{-4}
その他誤答	0.18	0.12	1

表 4-4 速度のマップスコアと検定結果

	事前	事後	<i>p</i> 値
正答	4.65	4.88	0.13

表 4-5 加速度のマップスコアと検定結果

	事前	事後	<i>p</i> 値
正答	2.82	3.41	3.13×10^{-2}

第5章 概念マップ・EBS 統合的学習環境 の設計開発と実験的評価

第4章の実践的利用によって、EBS 利用による学習者の概念変容を概念マップによってとらえる結果が示唆された。しかし、各種テストのスコアなどから作図表現とマップ表現の理解度には明確な差が存在する。この原因として、作図テストは EBS 利用によってシミュレーションなどの視覚的フィードバックを得ることができるのに対し、マップテストは学習者が自身の概念を外化する機会が従来の授業では行われる機会が少なく支援が十分でないためだと考えられる。自身の概念を言語化することは「説明する」という行為を通して理解状況の明確化がはかられ、理解の診断や深化に役立つといわれている [19]。そこで本研究では EBS の作図機能の中に思考の言語化機能を追加し、従来の MIF 素朴概念解消とともに EBS 利用による概念マップ表現の支援を目的とする実験的利用と評価を行った。

5.1 学習者の概念マップ作成の困難性

第4章の実践的利用によって、EBS 利用による学習者の概念変容を概念マップによってとらえる結果が示唆された。しかし、作図テストとマップテストのスコアを比較した場合、マップテストのスコアは作図テストのスコアよりも明らかに低く、作図テスト正解だがマップテスト不正解という学習者が少なくない。この原因として、作図テストは EBS 利用によってシミュレーションなどの視覚的フィードバックを得ることができるのに対し、マップテストにおいてはフィードバックが存在しない。また、マップテストは学習者が自身の概念を外化する機会が従来の授業では行われる機会が少なく支援が十分でないためだと考えられる。

5.2 EBS 利用による言語化支援

本研究では、学習者の概念の外化を支援するために EBS に力学名称を答えさせる新たな機能を追加した。この機能を追加することで EBS 利用による MIF 素朴概念解消のみでなく、学習者自身が自身の概念変容を意識的に自覚することが本研究の狙いである。機能の詳細い機能については次の項にて述べる。

5.3 言語化支援機能

この項では多視点 EBS に追加した機能について述べる。これまで通り EBS 作図フェーズでは学習者に物体にはたらいっていると考える力の矢印を作図させることに加え、作図した力がどういった名称の力なのかを回答してもらう。多視点 EBS の問題 1 「氷上を等速直線運動する人」の問題を例に説明する。作図を行い図 5-1 の左下の「力の追加・削除」を押すことにより図 5-2 の力の名称タブが出現する。ここで学習者に状態と力の種類を選択させ追加・削除を行ってもらう。追加した力の種類について、「状態 1, 重力」と追加した場合、図 5-3 のように画面上に文字として追加されるため視覚的に確認可能である。また、図 5-2 にて選択可能な力の名称は、同一問題の力の概念マップ(図 5-4)で与えられる力の名称ノードと同一である。これは無作為に選択可能な名称を増やしても学習者の負荷を増大させてしまう恐れがあると考えたからである。学習者には「作図」と「力の名称選択」の二つの作業を行った後に診断ボタンからシミュレーションに推移してもらう。正誤判定に関しては作図と力の名称選択すべてが正解であるときのみ正解となり、それ以外は不正解となる。この点に関して、作図の誤りは図 5-5 のように物体の挙動としてフィードバックを与えることが可能である。しかし、力の名称選択については挙動としてのフィードバックを与えることが不可能であるため、作図正解だが力の名称不正解時に限り図 5-6 のように力の名称選択が誤りであることを明示している。このシステムを用いて実験的利用とその分析を行った。

5.4 実験的利用

力学課題に対する多視点 EBS の実践的利用を高等専門学校生徒 37 名を対象に行い、EBS 利用の事前と事後に、作図テスト加えて、マップ作成を行われた。具体的な実践の流れを以下に示す。

[実践的利用の流れ]

- (1) 事前作図テスト (7分)
- (2) 概念マップ作成 1 (20分)
- (3) 多視点 EBS 演習 (27分)
- (4) 事後作図テスト (8分)
- (5) 概念マップ作成 2 (15分)

(1), (2), (4), (5)で扱う問題・システムについては第4章で扱ったものと同様である。(3)で多視点 EBS 演習については 5.3 で紹介した従来の多視点 EBS に言語化支援機能を組み込み

発展させたものである。実験時間について、EBS の作業量が従来よりも増加し、それに伴い作業時間が必要になると考えたため、多視点 EBS の利用時間を昨年度よりも伸ばしている。

5.4.1 作図テストについて

多視点 EBS 利用により MIF 素朴概念解消がなされたかどうかを測るため、作図テストの学習課題と転移課題について分析が行われた。学習課題(表 5-1)についてウィルコクソンの符号順位検定により分析したところ、正答数は 1%有意に増加し、($p=1.88e-08<0.01$) MIF 誤答は 1%有意に減少し($p=4.238e-04<0.01$)、その他誤答も 1%有意に減少した($p=7.713e-04<0.01$)。この結果から従来通り MIF 素朴概念解消の結果が得られた。昨年度は有意な減少がみられなかったその他誤答については、EBS の力の名称指定と結びつかない作図を行わなくなった効果ではないかと考えている。転移課題に関しても、問題としては学習課題よりも複雑であり、正答率は低くなってしまったが、MIF 誤答率も低く抑えられている。事前の作図テストの MIF 誤答率が 50%を超えているが、遅延作図テストの MIF 誤答率は 20%ほどに抑えられている(表 5-2)。このことから EBS の利用が従来通り MIF 素朴概念の修正に有効であることが示唆される結果となった。

5.4.2 マップテストについて

多視点 EBS による概念変容を測るため、マップテストの事前一事後のスコアについて、力の概念マップについては正答数・MIF 誤答・その他誤答を、速度と加速度については正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した。

力のマップスコア(表 5-3)について、正答数は 1%有意で増加し($p=1.3974e-08<0.01$)、MIF 誤答は 1%有意で減少した($p=4.238e-04$)。その他誤答についても 1%有意で減少していた($p=7.713e-04<0.01$)。速度のマップスコア(表 5-4)について、平均正答数に関して有意な変化は見られなかった($p=1.656e-02$)。加速度のマップスコア(表 5-5)について、平均正答数に関して 1%有意でスコアが上昇していた($p=4.005e-005$)。力のマップスコア上昇については EBS 利用による MIF 素朴概念修正効果が働いたと考えられ、加速度については力学において力と密接にかかわる要素であるため同等修正効果が働いたと考えられる。また、速度については、視覚的に直接確認できるものであり、あらかじめスコアが高かったことから修正効果が得られなかったと考えられる。

したがって、力・速度・加速度においても EBS 利用による昨年と同等の MIF 素朴概念修正による概念変容を観測することができた。

5.4.3 作図テストとマップテストの関連性について

上記の分析に加え作図テストとマップテストの関連性を分析した。作図 MIF とマップ MIF の有無の関連性について、表 5-6 をフィッシャーの正確確率検定で検定したところ 1%有意となった($p=4.95e-3$)。この結果は作図とマップの MIF の有無に有意な連関がある

ことを示している。また、表 5-6 の調整済み残差を算出した表 5-7 について、各値 $\geq|2.58|$ であることから有意水準 1%で有意差ありといえ、作図 MIF 有とマップ MIF 有、作図 MIF 無とマップ MIF 無の連動性が示唆された。作図正誤とマップ正誤の関連性について表 5-8 をフィッシャーの正確確率検定で検定したところ 1%有意となった($p=1.30e-4$)。また、表 5-8 の調整済み残差を算出した表 5-9 について、各値 $\geq|2.58|$ であることから有意水準 1%で有意差ありといえ、作図正解とマップ正解、作図不正解とマップ不正解の連動性が示唆された。また、事前テストにおいて作図とマップ両方に MIF 誤答がみられた学習者の事後テストの各種テストの MIF の有無は表 5-10 のとおりであるが、作図・マップともに MIF 無が 50%を超えている。上記の結果から、新機能を追加した EBS を用いて従来通り MIF 素朴概念解消と概念変容を捉えることが可能である結果が示唆された。

しかし、作図テストとマップテストの正解率の差について適合率と再現率から分析すると、作図正解を正解とした場合、マップ正解の適合率は 84.0%、再現率は 50.0%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。また、事前・事後間の力の概念マップのスコア上昇値、上昇率を比較しても表 5-11 のとおり第 4 章の実践的利用の数値より低く、今回考案した思考の言語化機能が支援を行えたとはいいがたい。

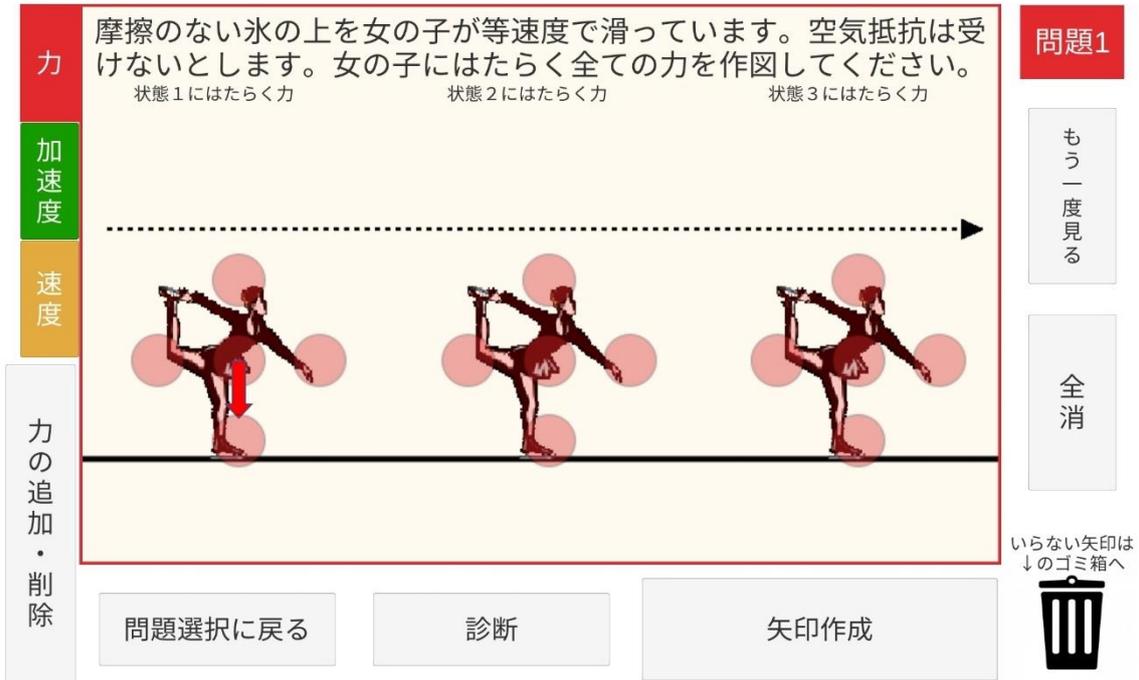


図 5-1 多視点 EBS 作図画面 (問題 1)



図 5-2 力の名称選択画面

力

加速度

摩擦のない氷の上を女の けないとします。女の子

状態1にはたらく力
重力

図 5-3 力の名称追加

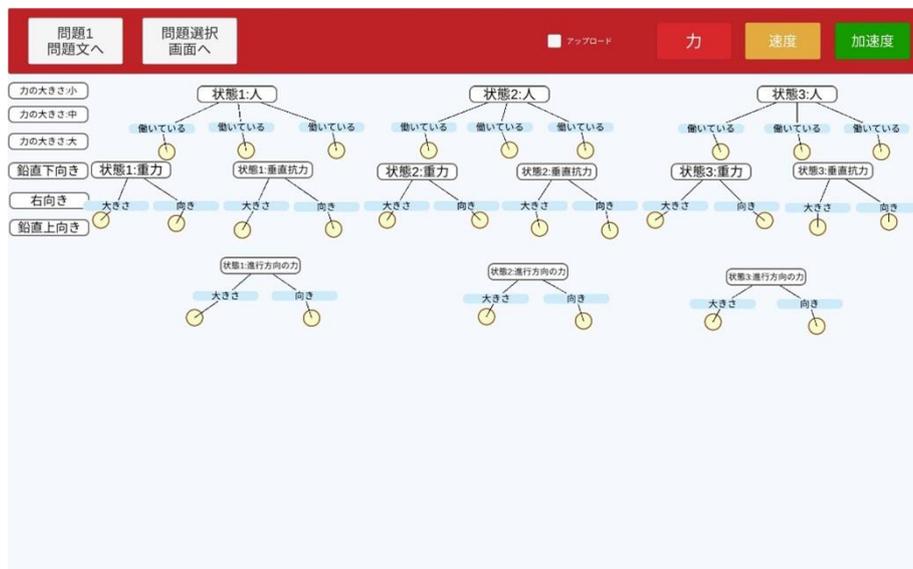


図 5-4 力の概念マップ作成画面 (問題1)

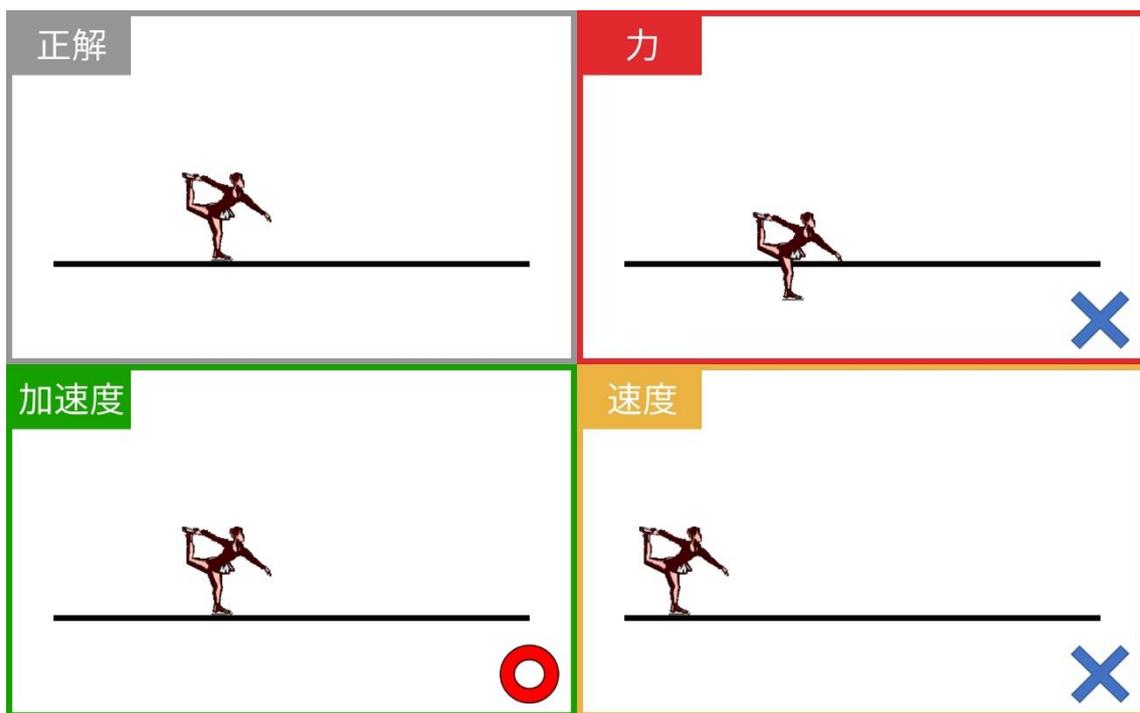


図 5-5 多視点 EBS 作図誤り

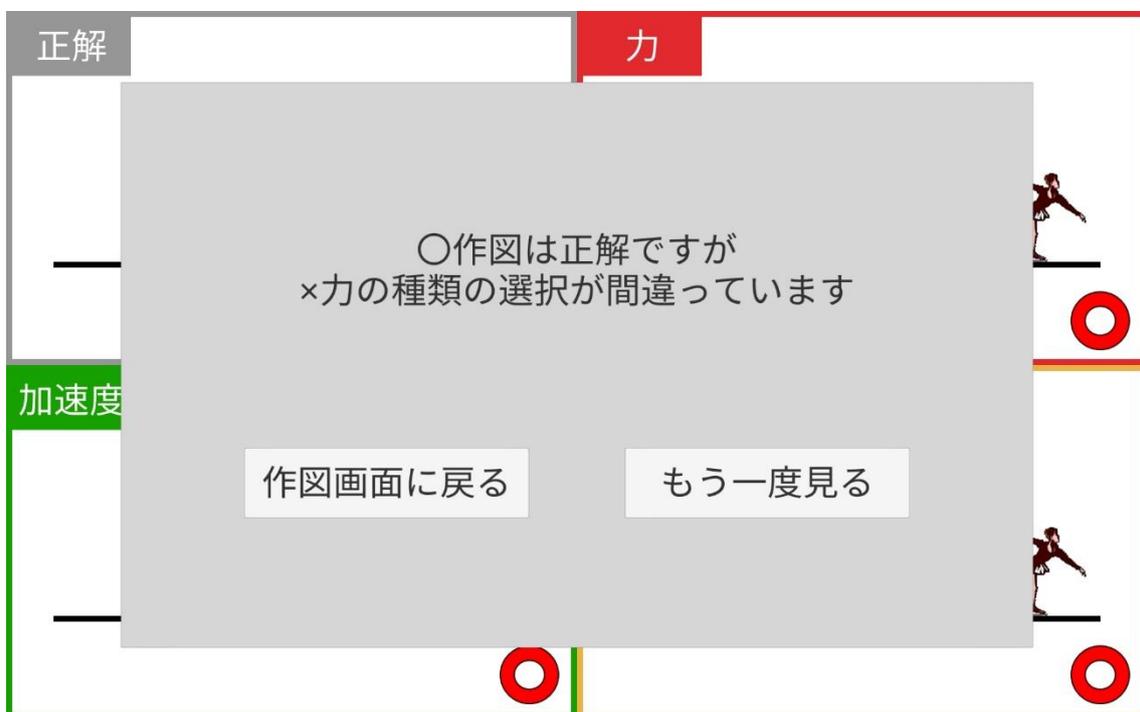


図 5-6 多視点 EBS 力の名称選択誤り

表 5-1 学習課題：作図テストスコアと検定結果

(正答数が有意に増加し, MIF 誤答およびその他誤答が有意に減少している)

	事前	事後	<i>p</i> 値
正答	1.81	3.649	1.397×10^{-8}
MIF 誤答	3.108	2	4.238×10^{-4}
その他誤答	1	0.378	7.713×10^{-4}

表 5-2 転移課題：作図テストスコア比率

(学習課題と比較して, 転移課題については, MIF 誤答率が低いといえる)

	学習課題	転移課題
正答率(%)	31.5	39.9
MIF 誤答率(%)	51.8	20.3
その他誤答率(%)	16.7	39.8

表 5-3 力の概念マップテストスコアと検定結果

(力の概念マップにおいては, 正答が有意に増加し, MIF 誤答が有意に減少した)

	事前	事後	<i>p</i> 値
正答	0.85	2.291	2.67×10^{-5}
MIF 誤答	1.791	1.041	2.045×10^{-3}
その他誤答	3.333	2.708	0.5157

表 5-4 速度の概念マップスコアと検定結果

(速度の概念マップに関しては, 変化があったとは言えない)

	事前	事後	<i>p</i> 値
正答	3.045	3.954	0.01656

表 5-5 加速度の概念マップスコアと検定結果

(加速度の概念マップに関しては, 正答が有意に増加した)

	事前	事後	<i>p</i> 値
正答	2.17	4.043	4.005×10^{-5}

表 5-6 作図 MIF 有無とマップ MIF の集計表

(フィッシャーの正確確率検定に手優位な連関あり ($p=1.30e-4$))

	作図 MIF 有	作図 MIF 無
マップ MIF 有	16	10
マップ MIF 無	19	75

表 5-7 作図 MIF とマップ MIF の調整済み残差

(各値 $\geq |2.58|$ より有意水準 1% で有意差あり)

	作図 MIF 有	作図 MIF 無
マップ MIF 有	4.10	-4.10
マップ MIF 無	-4.10	4.10

表 5-8 作図正誤とマップ正誤の集計表

(フィッシャーの正確確率検定に手優位な連関あり ($p=4.95e-3$))

	作図正解	作図不正解
マップ正解	42	8
マップ不正解	42	28

表 5-9 作図正誤とマップ正誤の調整済み残差

(各値 $\geq |2.58|$ より有意水準 1% で有意差あり)

	作図正解	作図不正解
マップ正解	3.24	-3.24
マップ不正解	-3.24	3.24

表 5-10 事前作図テスト MIF 有かつ事前マップテスト有の場合事後テストにおける MIF の有無

	作図 MIF 有	作図 MIF 無
マップ MIF 有	4	3
マップ MIF 無	4	12

表 5-11 昨年度と今年度の力の概念マップスコア比較

	事前	事後	上昇値	上昇率
昨年度	1	2.71	1.71	2.71 倍
今年度	0.85	2.291	1.441	2.69 倍

第6章 まとめと今後の課題

これまでの先行研究において、EBS システム利用による MIF 素朴概念修正効果と概念マップシステムを用いることによる概念変容観測について有用な結果を得ることができたが新たな課題として概念マップ理解の困難性が挙げられた。本研究ではその課題を解決するために EBS に学習者の思考を言語化する機能を加えることによって問題解決を試み実践的利用を行った。結果として、EBS と概念マップ利用による MIF 素朴概念解消と概念変容観測の従来支援を行うことはできたが、本研究の目標である EBS 利用による学習者の概念の言語化に関しては十分な結果を得ることができなかった。本研究の目標を達成することはできなかったが、先行研究と比較し同等の結果を得られたことから新機能を追加しても学習者の負荷を増幅することなく MIF 素朴概念を対象とした学習に有効であることが示された。また異なる形式の言語化支援や概念マップシステムの改良を行うことで本研究の目標を達成することが可能であると考えており、本研究の結果を踏まえた新たな支援の高度化が今後の課題として考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり，ご指導していただいた平嶋宗教授，林雄介准教授に心から感謝いたします。

ならびに，本論文の審査をしていただいた，向谷博明教授に感謝いたします。

また，多くの意見，助言，多大な協力をいただいた倉山めぐみ准教授，藤田隆雅氏，磯貝通也氏をはじめとする学習工学研究室のみなさまに心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Novak, J.D., Canas, A.J., The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct Them, Technical Report IHMC Cmap Tools 2006-01, 2006.
- [2] 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, pp. 569-600, 1996.
- [3] 山口悦司, 稲垣成哲, 福井真由美, 舟生日出男, “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*, pp. 29-51, 2002.
- [4] J. Clement., “Student preconceptions in introductory mechanics,” *American Journal of Physics*, 第 50, pp. 66-71, 1982.
- [5] K.M.Fisher, “A misconception in biology. Amino acids and translation,” *Journal of Research in Science Teaching*, 第 卷 22, pp. 53-62, 1985.
- [6] Osborne, R., Freyberg, P, Learning in science : The Implications of children’s science, 1985.
- [7] 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—, 東洋館出版社, 1988.
- [8] 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,” 第 卷 57, 第 3, pp. 215-219, 2009.
- [9] 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*, 第 卷 10, pp. 641-645, 1995.
- [10] Hirashima, T., Horiguchi, T., Kashihara, A., et al., “Error-visualization for error-based simulation and its management,” *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, pp. 17-31, 1998.
- [11] Horiguchi, T., Imai, I., Toumoto, T., et al, “Error-Based Simulation for Error-Awareness in Learning Mechanics: An Evaluation,” *Journal of Educational Technology & Society*, 2014.
- [12] 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*, pp. 285-296, 1997.
- [13] 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, pp. 215-219.

- [14] 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*, 第 %1 巻 (全 %2 巻)Vol. J99-D, 第 No. 12, pp. 1158-1161.
- [15] 加藤信明, 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,” 2012.
- [16] 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.
- [17] MICHELENE T. H. CH, PAUL J FELTOVICH, ROBERT GLASER, “Categorization and Representation of Physics Problems by Experts and Novices,” *COGNITIVE SCIENCE*, 第 巻 5, pp. pp.121-152.
- [18] H. T, “Reconstructional concept map: automatic Assessment and reciprocal reconstruction,” *International Journal of Innovation*, pp. p669-682.
- [19] 市川伸一, “概念, 図式, 手続きの言語的記述を行う学習指導：認知カウンセリングの事例を通しての提案と考察,” *教育心理学研究*, 第 巻 48, pp. p361-371, 2000.

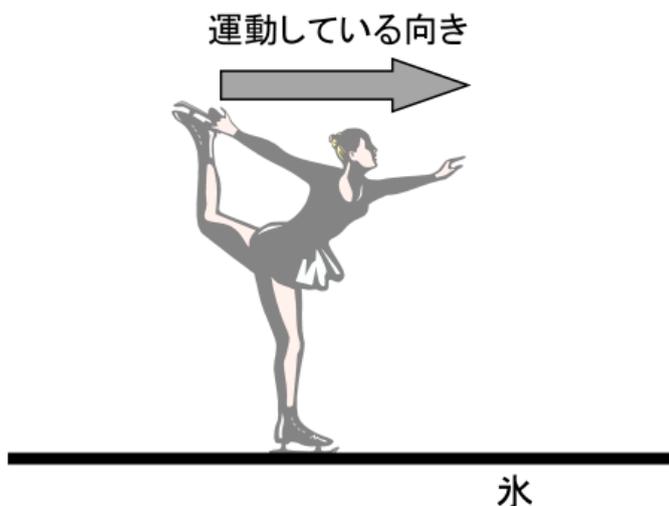
付録

実践的利用に使用した作図テストとアンケートの様式を付録として載せる.

1.

女の子がスケートで氷の上をすべっています。女の子は今、矢印の方向に等速直線運動をしています。空気抵抗や氷からの摩擦力は受けないと仮定します。このとき、女の子には、どのような力がはたらいていますか？

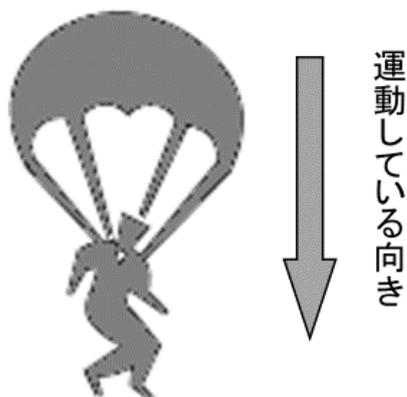
下の図に矢印で表してください。何も力がはたらいていないと思う場合には、女の子に大きくバツ印（×）を付けてください。



2.

男の人がパラシュートを開いて落下しています。男の人は今、矢印の方向に等速直線運動をしています。このとき、男の人には、どのような力がはたらいていますか？

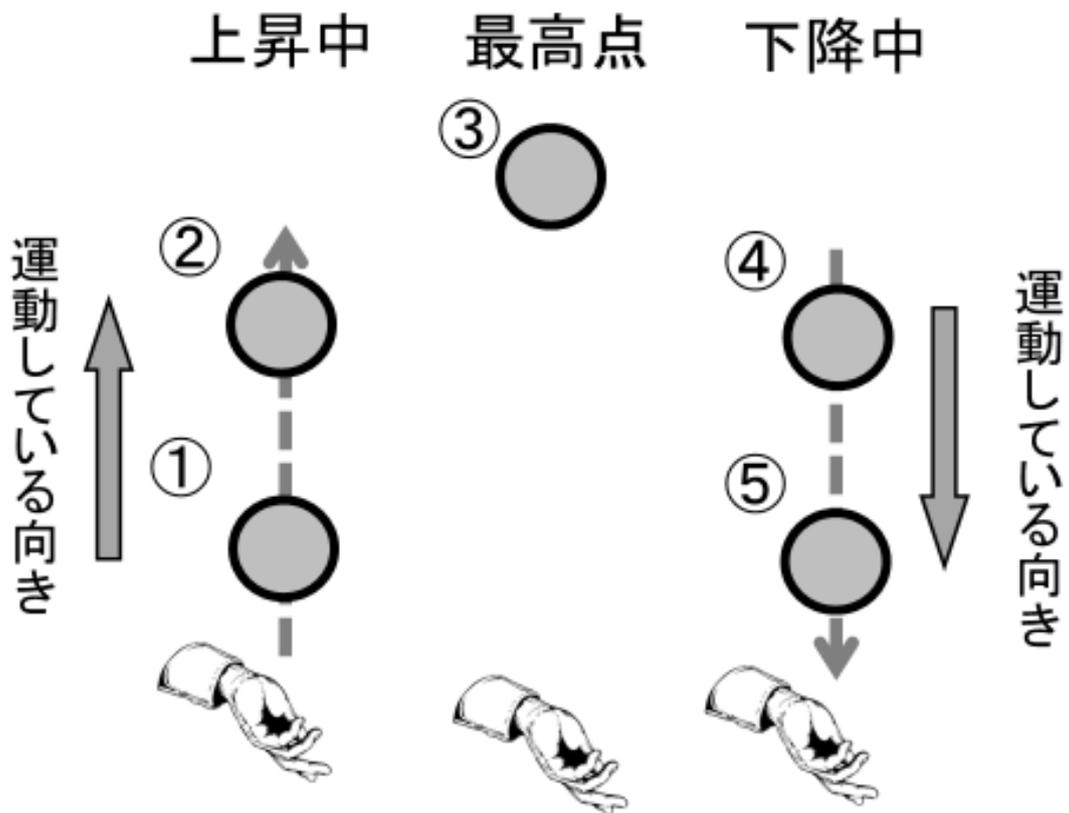
矢印で表してください。何も力がはたらいていないと思う場合には、男の人に大きくバツ印（×）を付けてください。



3.

ある人がボールを真上に投げ上げました。①と②は上昇しているとき、③は最高点に達したとき、④と⑤は下降しているときの位置を表しています。空気抵抗は受けないと仮定します。①～⑤の位置において、それぞれボールにはどのような力のはたらいていますか？

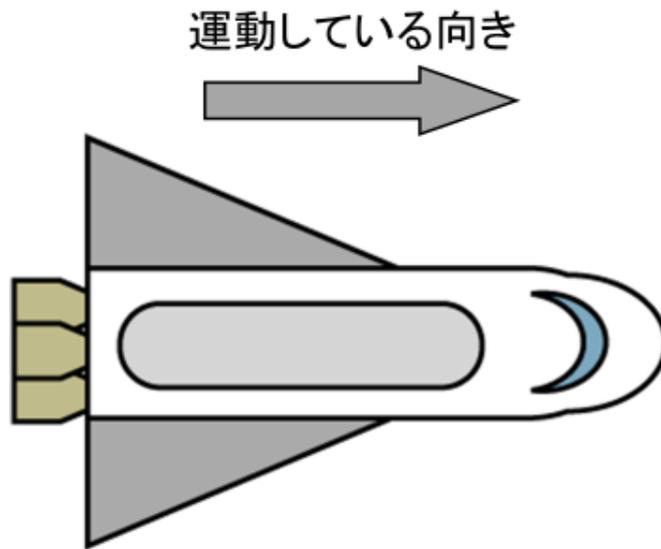
矢印で表してください。その位置では何も力のはたらいていないと思う場合には、ボールに大きくバツ印（×）を付けてください。



4.

ロケットが宇宙空間を、矢印の方向に等速直線運動しています。エンジンは作動していません。ロケットには、どのような力がはたらいていますか？

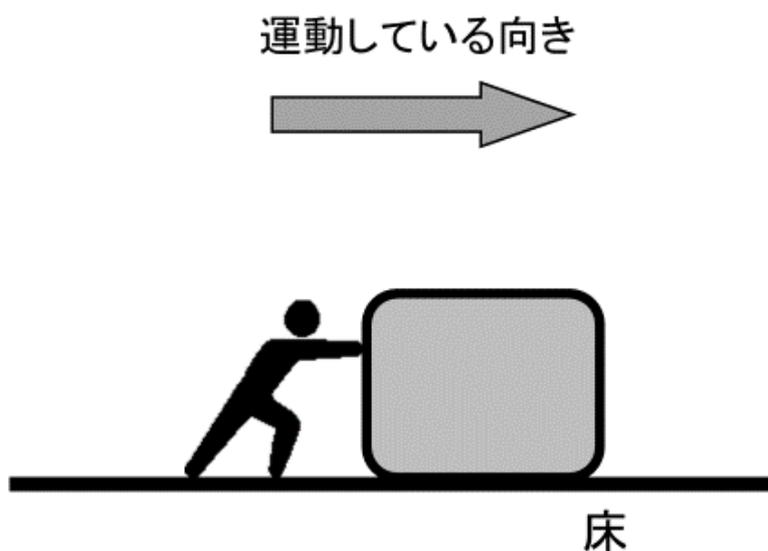
矢印で表してください。何も力がはたらいていないと思う場合には、ロケットに大きくバツ印（×）を付けてください。



5.

大きな箱を、摩擦のある水平な床の上で、一定の力で右向きに押しています。今、箱は矢印の方向に床の上を等速直線運動しています。空気抵抗は受けないと仮定します。このとき、箱には、どのような力がはたらいていますか？

矢印で表してください。何も力がはたらいていないと思う場合には、箱に大きくバツ印（×）を付けてください。

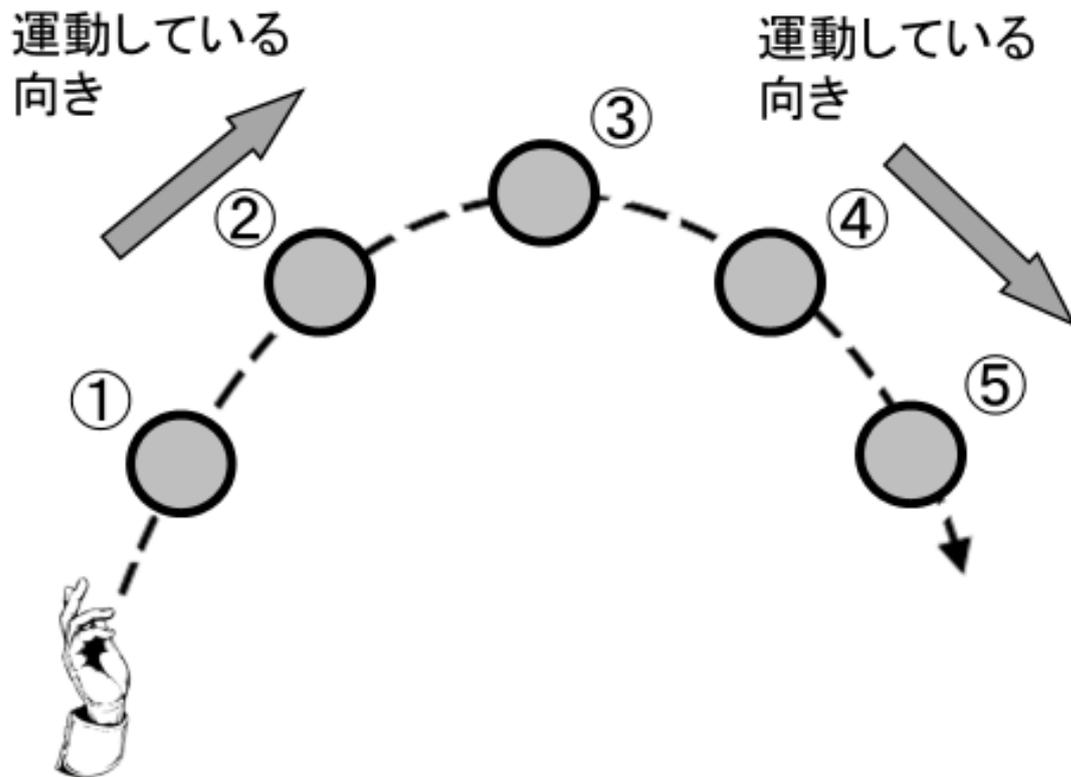


6.

ある人がボールを斜め上に投げ上げました。①と②は上昇しているとき、③は最高点に達したとき、④と⑤は下降しているときの位置を示します。空気抵抗は受けないと仮定します。

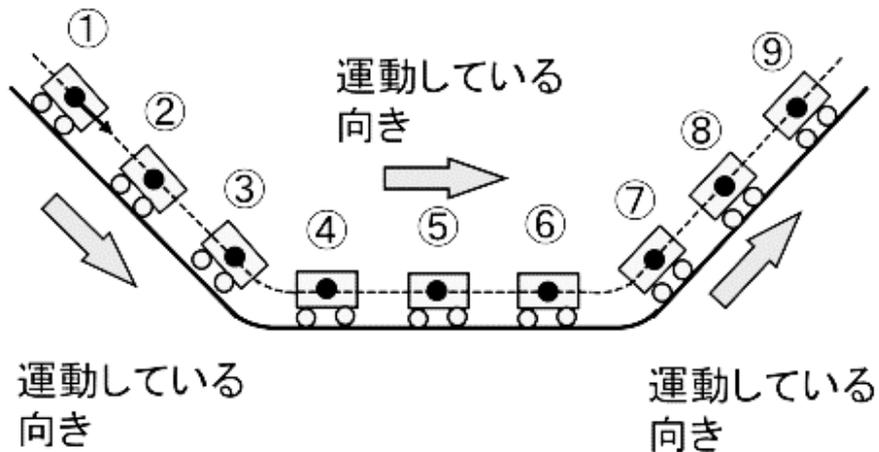
①～⑤の位置において、それぞれボールにはどのような力がはたらいていますか？

矢印で表してください。その位置では何も力がはたらいていないと思う場合には、ボールに大きくバツ印（×）を付けてください。



7.

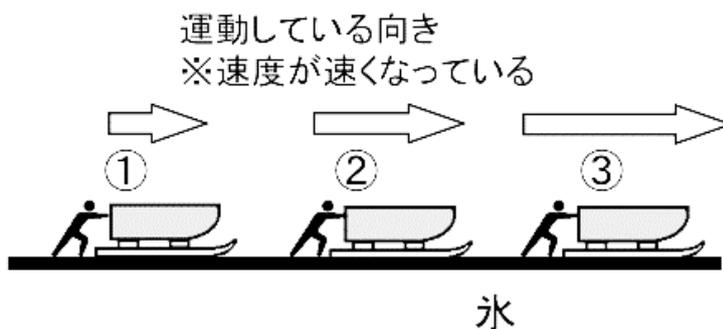
力学台車が図のように、摩擦のない面を左から右へ運動しています。①の位置で力学台車には図のように点線方向に力がはたらいているとします。空気抵抗や摩擦力は受けないと仮定します。②～⑨の位置で点線方向にはたらく力を矢印で表してください。その位置では点線方向に何も力がはたらいていないと思う場合には、力学台車に大きくバツ印（×）を付けてください。



8.

そりを、摩擦のない水平な氷の上で、矢印の方向に押しています。そりと氷との間に摩擦はありませんが、押している人はスパイクを履いていて、すべらずに歩かことができます。このとき、そりは床の上を一定の割合で矢印の方向に加速しながら運動しています。空気抵抗は受けないと仮定します。①～③の位置において、それぞれそりにはどのような力がはたらいていますか？

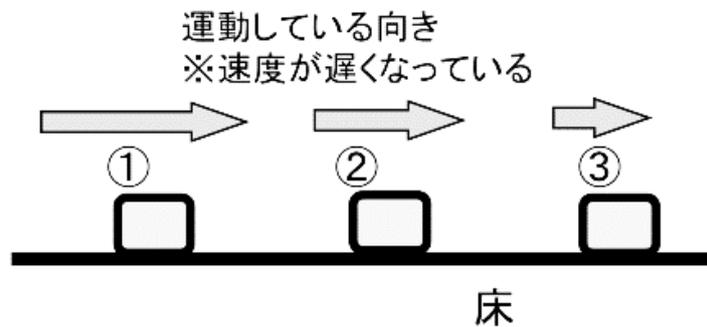
矢印で表してください。その位置では何も力がはたらいていないと思う場合には、そりに大きくバツ印（×）を付けてください。



9.

大きな箱を、摩擦のある水平な床の上で、矢印の向きに押しています。その結果、箱はある速度で矢印の向きに進んでいました。図の①の位置より手前で押すのを止めたところ、箱は床の上を一定の割合で減速しながら矢印の向きに運動しています。空気抵抗は受けないと仮定します。①～③の位置において、それぞれ箱にはどのような力がはたらいていますか？

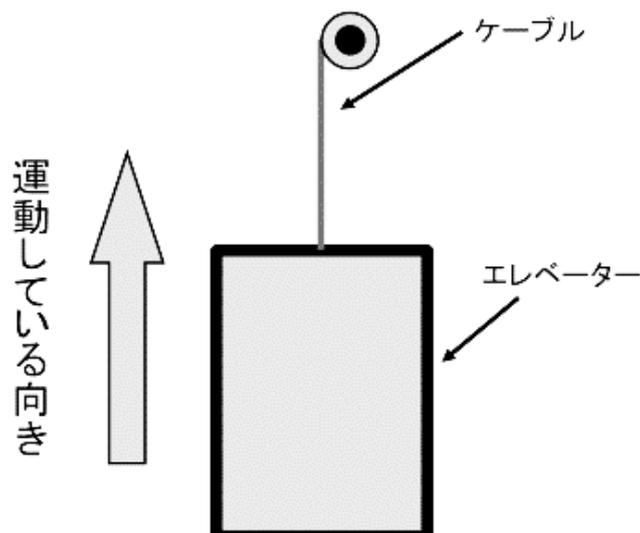
矢印で表してください。その位置では何も力がはたらいていないと思う場合には、箱に大きくバツ印（×）を付けてください。



10.

エレベーターが鋼鉄のケーブルに引かれて上昇しています。エレベーターは一定の速度で上昇しています。空気抵抗や摩擦力は受けないと仮定します。このとき、エレベーターには、どのような力がはたらいていますか？

矢印で表してください。何も力がはたらいていないと思う場合には、エレベーターに大きくバツ印（×）を付けてください。



1 システム（概念マップモード）についてお聞きします。

質問1 システムで行ったマップの組み立ては簡単でしたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問2 このシステムは使いやすかったですか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問3 自分の思い描いていたものを概念マップ内で正しく表現できたと思いますか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問4 システムで概念マップを作図しているときの思考は力学問題（矢印で力を作図する問題）を解くときと同じでしたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問5 このシステムは力学問題を考える上で問題の整理に役立ちましたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問6 このシステムに欲しい機能、その他感想・コメント等あればお願いいたします。

2 システム（EBSモード）についてお聞きします。

質問1 システムで行った作図は簡単でしたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問2 このシステムは使いやすかったですか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問3 システムで作図している時の思考は、普通の力学の問題を解くときと同じでしたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問4 システムで正しい作図を行った時に提示されるシミュレーションは、自分が納得できるものでしたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない 正解に至っていない

質問5 システムで誤った作図に基づいたシミュレーションを見たことによって、自分の作図が誤りであることに納得できましたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問6 システムで誤った作図に基づいたシミュレーションを見たことによって、自分の誤った作図を修正しようと思いましたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問7 システムで誤った作図に基づいたシミュレーションを見ることは、誤りの修正に役立つと思いますか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問8 システムで誤った作図に基づいたシミュレーションを見た後の思考によって、出題された問題についての理解が深まったと思いますか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問9 このシステムを利用することで、物体がどのような運動になるのかを予想する時に「力・加速度・速度」について関連付けて考える必要があるということに気がきましたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問10 このシステムを利用する以前と比べて、物体がどのような運動になるのかを予想する時に「力・加速度・速度」について関連付けて考えることが必要だと思うようになりましたか？

とてもそう思う そう思う そう思わない 全くそう思わない

質問11 このシステムに欲しい機能、その他感想・コメント等あればお願いいたします。

以上でアンケートは終了です。ご記入、ありがとうございました。