

# 複数シチュエーションでの MIF 誤概念解消を目的とした 学習手法の開発と評価

石井 稜悟<sup>\*1</sup>, 仲林 清<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> 千葉工業大学大学院, <sup>\*2</sup> 千葉工業大学

## Development and Evaluation of Learning Method

## Intending to Resolve MIF-Misconception in Various Situations

Ryogo ISHII <sup>\*1</sup>, Kiyoshi NAKABAYASHI <sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Graduate School of Chiba Institute of Technology, <sup>\*2</sup> Chiba Institute of Technology

「物体が運動をするとき、進行方向には力が働いている」と考える Motion Implies a Force (MIF) 誤概念は、高校物理学を学習済みの大学生にも多く確認される。このような学習者に対して、運動の第 2 法則 ( $ma=F$ ) が正しいという前提のもと、質量と加速度を正しく理解できれば、働いている力について論理的に思考させることができると考えた。そこで MIF 誤概念解消を目的とした学習手法の開発を行い、大学 3 年生 7 名に対して実験を行った。実験の結果、7 中 4 名の学習者は MIF 誤概念が確認される 3 つの問題（水平転がし問題、鉛直投げ上げ問題、斜め投射問題）すべてで進行方向に対する力の認識が確認されなくなった。一方、残りの学習者は鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題で誤答がみられた。

キーワード: 物理学, 誤概念, 運動の法則, 学習手法

### 1. はじめに

高校物理学を勉強する際、学習者が経験則に基づく誤概念を所持している可能性に留意する必要がある。経験則に基づく誤概念の具体例として、Clement が提唱した「運動をする物体には運動の向きに常に力が働いている」と考える Motion Implies a Force (MIF) 誤概念<sup>(1)</sup>や、質量の異なる二つの物体が互いに力を及ぼし合うとき、質量の小さい物体が他の物体に及ぼす力よりも、質量の大きい物体が他の物体に及ぼす力の方が大きいという考えなどがある<sup>(2)</sup>。このような誤概念の保持は、高校物理学の初学者だけでなく一度学習をした高校生や大学生にも多くみられる<sup>(3)</sup>。

このように校物理学を既習にも関わらず MIF 誤概念を保持してしまう原因のひとつとして、従来の教育が「力」というわかりにくい概念をあいまいに説明したまま問題を解かせようとしていることが考えられる。高校物理学の教科書では、まず、重力・張力・摩擦力などの種々の力を学習した後に運動方程式の学習

を行う。運動方程式の説明では「力を加えると加速度が生じる」という記述や、「運動方程式の問題を解答する際には、力を最初に図に書き込むべき」というような記述がみられる<sup>(4)</sup>。また、学習指導要領でも力が原因で運動が起きる、という考え方が示されている<sup>(2)(5)</sup>。このように、正しく理解すること困難な力の概念から問題を解かせようとするのが、学習のつまずきや誤概念の保持の一因になっていると考えられる。

そこで、本研究では学習者が正しく「力」を認識できるようにするために、質量や加速度、運動の法則といった学習者が理解しやすいものから確認を行い、それらの知識を結び合わせて「力」の説明を行う授業を設計した。この授業を映像教材として作成し、高校物理学既習者の大学生を対象に学習効果についての調査を行った。

### 2. 先行研究と本研究の位置づけ

MIF 誤概念の解消については、今日まで様々なアプ

ローチで研究が行われてきた。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不自然な運動のシミュレーションを生成する EBS を用い、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かせ、学習者の誤りの修正を目的とする研究<sup>(6)</sup>や、個々の具体的な素朴概念が心内に形成される過程・根拠について、正しい科学的概念と共にビデオで学習させる方法と素朴概念という一般的な心理現象の存在をメタ認知的知識としてテキストで教示する方法を用いた研究<sup>(7)</sup>、MIF 素朴概念を解消するために簡単で安価な振り子つき運動教材の開発を行い、力の様子を可視化できる教材を用いた授業実践を行った研究<sup>(8)</sup>などがある。

先行研究ではシミュレーションやビデオ、教材を通じ、正しい物体の運動あるいは現実とは異なる不自然な運動を学習者に体験させ、MIF 誤概念を所持していた場合の解答と実際の物体の動きが異なることを示し、学習者に思考させることで誤概念を払拭させようと試みている。本研究では、力というあいまいな概念を理解させるために、質量や加速度といった学習者が理解しやすいものから運動の第 2 法則 ( $ma=F$ ) への結びつけを行う学習手法を提案する。先行研究のように、可視化された力を学習者に提示し矛盾に気が付かせようとするのではなく、運動の第 2 法則 ( $ma=F$ ) が正しいものであるということを前提に、質量と加速度から論理的に力について考えさせることで、自身の持つ誤った力の認識との矛盾を感じさせ、概念変化を起こさせることを目的とする。

### 3. 学習の設計

#### 3.1 学習手法

本研究では力学分野の既習者を対象とするため、学習者は運動の法則を既有知識として所持している。そこで、運動の第 2 法則 ( $ma=F$ ) をベースとして、これまでに学習したことのある知識を用いて順序立てた説明を行うことで、自身の間違い部分 (MIF 誤概念の所持) について気がつかせることができると考えた。例えば、力について理解をしたい場合、力学を学習済みの学習者は図 1 のように、質量と加速度について理解をしていれば、運動の第 2 法則 ( $ma=F$ ) が正しいと

いう前提のもと、働いている力について論理的に考えることができる。

そこで、質量と加速度についての確認をはじめに行い、次に運動の法則に結びつけることで力についての理解へとつなげる (自身の持つ誤った考えとの矛盾を気が付かせる) 学習を設計した。これは、力が原因で運動が起きる、という考え方が示される場合がある従来教育や、正しいあるいは現実とは異なる力を確認することによって学習者の認識を正そうとする先行研究とは逆のアプローチ方法となっている。

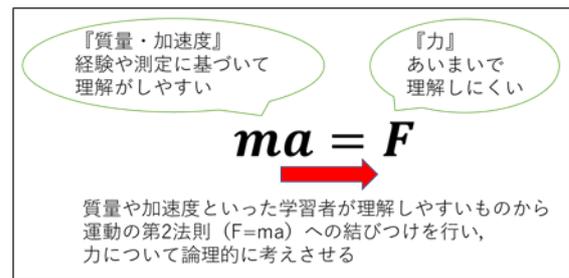


図 1 運動方程式と力

#### 3.2 実験で扱う問題

実験で扱う問題は、高校の力学の例題として多く出題される「人が物体を手放したときの物体の運動」に絞った。誤概念の保持を調査した先行研究<sup>(9)(10)(11)</sup>を参考に、MIF 誤概念の所持が確認される 3 シチュエーション (水平転がし、鉛直投げ上げ、斜め投射) の問題を用意した。この問題は、本研究で作成した学習教材の使用前後の MIF 保持状況の確認のため、事前・事後問題として 2 度同じ問題を出題する。3 問題のうち、水平転がし問題は後述する学習教材で解説する等速直線運動に関するものであるが、鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題については学習内容に含まない転移課題となっている。これによって、本研究の学習教材で等速直線運動のシチュエーションでの誤概念がみられなくなった場合、解説を行っていない他のシチュエーションにも理解が転移するかを確認する。以下の各項で各シチュエーション (床の摩擦、空気抵抗は考えない) における誤概念の特徴を解説する。

##### 3.2.1 水平転がし問題

物体を転がすと等速で転がり続けることは多くの学習者が理解している。しかし、MIF 誤概念により物体が転がり続けるからには力が働き続けているはずだと

考える学習者が多い。問題例を図 2 に示す。

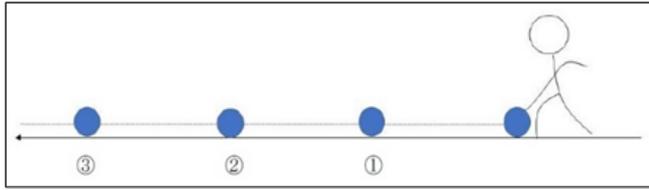


図 2 水平転がし問題

### 3.2.2 鉛直投げ上げ問題

重力下の物体の投げ上げでは、物体が上昇している間は重力に勝る上向きの力が働き、下降するのは上向きの力が徐々に減少した結果、重力が勝って下向きに力が働いていると MIF 誤概念を持つ学習者は考える<sup>(11)</sup>。問題例を図 3 に示す。

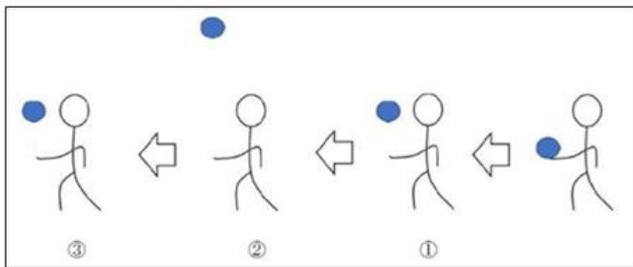


図 3 鉛直投げ上げ問題

### 3.2.1 斜め投射問題

斜め投射の問題では、水平転がしと鉛直投げ上げの誤概念の特徴が合わさったものになる。MIF 誤概念を持つ多くの学習者は物体の描く放物線に沿って力が働いていると考えるが、水平方向に力が働いていると解答する学習者も一部存在する<sup>(11)</sup>。問題例を図 4 に示す。

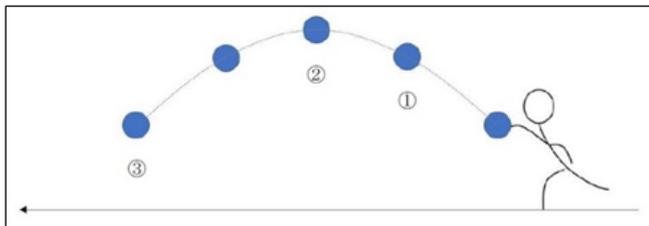


図 4 斜め投射問題

### 3.2.2 評価の留意点

物体に働く力の正誤評価として、水平転がし問題では物体の進行方向に働く力にのみ着目をする。水平転がし問題の状態では、運動の第三法則（作用反作用の法則）による力も問題内で確認されるが、運動の第三法則（作用反作用の法則）は MIF 誤概念とは別の誤概念の原因ともなっている<sup>(11)</sup>。このため、MIF 誤概念

のみに着目した本研究では、水平転がし問題では、重力と床からの垂直抗力は対象とせず物体の進行方向に働く力にのみ、鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題に関しては、学習者が物体に働いていると判断した力すべてを評価対象とした。

## 3.3 学習教材の作成

第 3 章第 1 節で述べた学習手法をもとに学習教材の設計を行った。学習教材では、宇宙船が加速後、エンジンを止めて等速直線運動に移るという例を用いて、質量や加速度、運動の法則の解説を行う。設計した学習のステップを表 1 に示す。

表 1 学習のステップ

	学習内容
ステップ 1	これまでの学習と力学に関する内容のおさらい
ステップ 2	質量についての確認・理解
ステップ 3	加速度についての確認・理解
ステップ 4	運動の第 1 法則, 第 2 法則についての確認・理解
ステップ 5	力についての確認・理解

ステップ 1 では、従来の高校物理学の教科書や参考書ではどのように「力」が説明されているかを振り返り、力学に関する知識の投げかけやおさらいを行った。ステップ 2 では質量についての確認を行った。学習者がすでに持つ知識を活用するため、従来の高校物理学の質量に関する教育時に多く用いられる「同じ物体でも地球と月で計ってみると重さが変わる」という話を交えながら説明を行った。重さと質量の違いを確認することで、質量について正しく理解し、重さは「力」と関係があると気がつかせる意図がある。ステップ 3 では加速度について確認を行った。はじめに加速度と速度の違いについて確認し、等加速度運動と等速度運動といった学習者が混同し間違えやすい部分に関してはアニメーションを用いることで、学習者が運動の違いについて視覚的にわかりやすくなるよう工夫をした。また、同時に重力加速度についても説明を行った。ステップ 4 では、運動の第 2 法則はこれまでに確認した質量と加速度、そして最終的に理解をしたい「力」で成り立っていると確認を行う。その後運動の第 1 法則（慣性の法則）の内容について確認し、運動の第 1

法則が成り立つ場合は運動方程式 ( $ma=F$ ) において  $F=0$  であるともいえると説明を行う。そして最後のステップ 5 において、等速直線運動の例で、ステップ 2、ステップ 3、ステップ 4 で理解した知識をひとつに結び付けを行い、運動の法則を用いて働く力について考える実例を行った。

学習教材は PowerPoint を用いて作成し、スライドに音声解説を付けて動画化した。動画再生時間は 13 分 23 秒である。教材画面例を図 5、図 6、図 7 に示す。

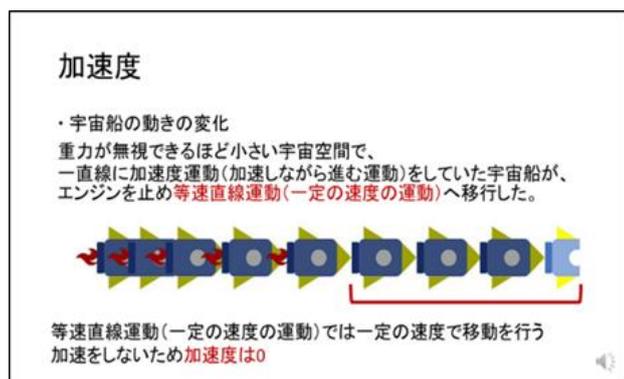


図 5 教材の画面例①



図 6 教材の画面例②

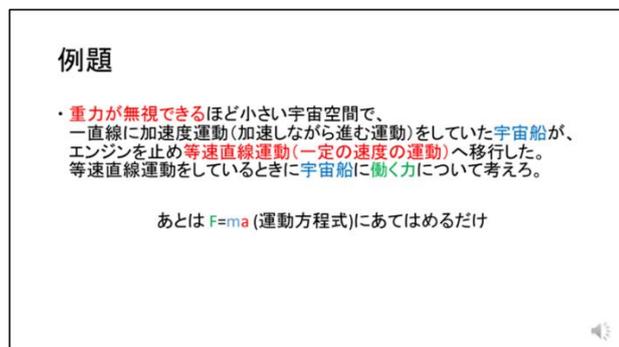


図 7 教材の画面例③

## 4. 実験概要

この章では本研究における学習の流れおよび、提示した問題について説明する。表 2 に学習の流れを示す。

表 2 実験の流れ

1	参加同意書を確認。これまでの物理学学習状況についてのヒアリングに回答を行う。
2	事前問題の解答を行う。(15分)
3	教材の動画を視聴する。(13分23秒)
4	確認問題の解答を行う。(15分)
5	事後問題の解答を行う。(15分)
6	事後アンケートに回答する。

### 4.1 事前問題

事前問題では、第 3 章第 2 節で説明を行った物体の水平転がし (問題 1)、鉛直投げ上げ (問題 2)、斜め投射 (問題 3) の 3 シチュエーションについて計 3 題の問題を提示し、それぞれの状態において物体に働く力と大きさを表す矢印の記入とその理由の記述を行わせた。事前問題の例を図 8 に示す。実際に提示した問題には、文だけでなく図 2 が含まれている。

**【課題 1】**ある人がボールを転がしています。この時、ボールは右から左の水平方向に等速直線運動をしています。空気抵抗や床からの摩擦力は受けないと仮定したとき、①、②、③の時点で、ボールにはどのような力が働いていますか？ 矢印で表してください。

課題 1 について力が働いていると思った (矢印を書き込んだ) 理由を記述してください。(複数回答可) 力は働いていないと思ひ矢印を記入しなかった場合はその理由を記述してください。

図 8 事前問題の例

### 4.2 確認問題・事後問題

確認問題では学習者が映像教材視聴後に質量と加速度について正しい理解をしているか確認するため、質量について問う問題に加え、事前問題と同じシチュエーション (水平転がし・鉛直投げ上げ・斜め投射) を

用い、加速度や運動の状態を問う問題を出題した。確認問題の例を表 3 に示す。

事後問題は、事前問題と同一の問題を出題した。ただし、問題の解答欄では図中への力を表す矢印の記入とその理由の記述の他に、運動方程式の記入欄を追加している。

表 3 確認問題

	確認問題
水平転がし (図 2)	運動中の物体に加速度は生じているか
	この物体の運動は何と呼ばれる法則に対応しているか
鉛直投げ上げ (図 3)	各場面において、運動中の物体にはどのような加速度が生じているか。向きとその理由 (説明) を述べよ。
斜め投射 (図 4)	斜め投射された物体の運動を鉛直方向と水平方向に分けたとき、鉛直方向は鉛直投げ上げ運動と同じ運動であるとみなすことができる。一方、水平方向はどのような運動とみなせるか。

### 4.3 アンケート

実験の最後に 2 つの項目に関して 5 件法アンケートを行った。1 つ目は、映像教材視聴前後の力学に関する知識の理解度について調査する項目である。この項目に関しては、映像視聴前と視聴後の理解度についての回答をお願いした (1. 理解していない ~ 5. とても理解している)。2 つ目は、学習 (実験) 内容全体を通じて感じた印象について調査する項目である (1. とてもそう思わない ~ 5. とてもそう思う)。

## 5. 実験結果

情報系大学の必修物理学科目を受講した学部 3 年生 7 人を対象として、オンライン会議システム Zoom を用いて実験を行った。

### 5.1 事前問題

事前問題の結果を表 5 に示す。学習者 C 以外の学習者がすべてのシチュエーションにおいて物体の進行方向に働く力を書き込んだ。学習者 C は、問題 1, 問題 2, 問題 3 のすべてで下向きの重力のみを正しく書き込んでいた。しかし、事後問題で誤答していたため、

事前問題に関して事後にヒアリングを行ったところ、運動の法則などを意識せずに、以前同じような問題で不正解になった経験から進行方向の力を書き込まない解答をしていたことがわかった。そのため、MIF 誤概念の所持を不明と判断し、統計処理からは学習者 C を除くこととした。この学習者については第 6 章の考察で詳しく述べる。

### 5.2 確認問題・事後問題

事後問題の結果を表 6 に示す。学習者 A, D, E, F の 4 名は確認問題を全問正解し、事後問題のすべてのシチュエーションで MIF 誤概念がみられなくなった。残りの学習者 B, C, F の 3 名は、問題 2 と問題 3 で誤答していた (学習者 F は問題 3 で、図への記入解答は正答していたが、理由の記述では誤った解答をしていたため、誤答と判断した)。確認問題については、学習者 B は鉛直投げ上げに関する問題で誤答していた。学習者 C は、水平転がしに関する問題で、この物体の運動が対応する法則は何かという問いに対し、「慣性の法則」ではなく「エネルギー保存則」と誤答し、鉛直投げ上げに関する問題でも誤答していた。学習者 F は確認問題を全問正答していた。これらの学習者の鉛直投げ上げ確認問題と事後問題の解答の詳細を表 7 に示す。

表 5 事前問題の結果

	MIF 誤概念不明	MIF 誤概念あり
問題 1, 2, 3	学習者 C	学習者 A,B,D,E,F,G

表 6 事後問題の結果

	MIF 誤概念なし	MIF 誤概念あり
問題 1	学習者 A,B,C,D,E,F,G	—
問題 2, 3	学習者 A,D,E,G	学習者 B,C,F

表 7 事後問題誤答者の解答詳細

	学習者 位置	B		C		F	
		上昇・下降中	最高到達点	上昇・下降中	最高到達点	上昇・下降中	最高到達点
問題2	確認問題 (加速度)	上+下向き <sup>(注1)</sup>	上+下向き	下向き	なし	下向き	下向き
	事後問題 (力)	上+下向き	上+下向き	下向き	上下で釣合い <sup>(注2)</sup>	下向き	上下で釣合い
問題3	事後問題 (力)	上+下向き	上+下向き	下向き	上下で釣合い	下向き	上下で釣合い

### 5.3 事前問題と事後問題の結果の比較

事前問題の正答数と事後問題の正答数について、第5章第1節で述べたように学習者Cの結果を除いてウィルコクソンの符号付き順位検定を行ったところ、 $p=0.08 < 0.1$  で有意傾向があった。また、事前問題と事後問題での MIF 誤概念所持人数についてフィッシャーの直接確率検定を行ったところ、 $p=0.03 < 0.05$  で有意差がみられた。

### 5.4 アンケート結果

学習教材視聴前後の理解度について、学習者Cを除きウィルコクソンの符号付き順位検定を行った。結果を表8に示す。加速度、運動の第1法則項目では5%水準で有意差があった。力、運動の第2法則項目では $p=0.06 < 0.1$  で有意傾向があった。質量項目では有意差がみられなかった。

学習内容の印象アンケートの結果を表9に示す。「映像を通して学習内容を十分に理解できたか」という質問に対し、全学習者が「4. そう思う」または「5. とてもそう思う」と答え高い数値となっていた。

しかし、この2つのアンケートについては、MIF 誤概念がみられなくなった学習者群と誤答があった学習者群の間に差はみられなかった。また、学習者Cの回答は、表8、表9に示すように、一部の項目を除いて、事前・事後ともに他の学習者6名の平均値より低い数値となっていた。

表 8 学習教材視聴前後の力学の概念の理解度アンケート (5件法)

	学習者Cを除く 平均値			学習者C	
	事前	事後	p値	事前	事後
質量	4.17	4.83	0.13	3	4
加速度	2.50	4.33	0.03	3	4
力	2.66	4.33	0.06	2	4
運動の第1法則	2.50	4.00	0.03	2	3
運動の第2法則	2.33	4.17	0.06	2	4

表 9 学習内容の印象アンケート (5件法)

	学習者Cを 除く平均値	学習者C
映像を通して学習内容を十分に理解できた	4.50	4
何が重要な内容か注意して学習に取り組むことができた	4.50	3
自分が何をどこまで理解できているか確認しながら取り組むことができた	4.17	2
自分なりに学習した知識を整理 (まとめる) ことができた	4.33	3

(注1) 上+下向きは、上向きと下向きの両方に加速度 (力) が存在するという考えを示す。

(注2) 上下で釣合いは、上向きと下向きの両方の力が存在しその力が釣り合っているため0となるという考えを示す。

## 6. 考察

表 6 に示したように、水平転がし問題（問題 1）については、映像教材で等速直線運動のシチュエーションを用いて説明を行ったため、全学習者が事後問題で進行方向の力を書き込まなかった。さらに、全学習者の半数を超える 4 名の学習者は、転移問題である鉛直投げ上げ問題（問題 2）と斜め投射問題（問題 3）でも MIF 誤概念がみられなくなった。

それ以外の学習者は、表 7 で示すように鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題で誤答箇所があった。ただ、学習者ごとの誤答内容にばらつきはあるが、いずれの学習者も、斜め投射問題で事前問題時に書き込んでいた進行方向（放物線の接線方向）の力の書き込みが事後問題では無くなっていった。また、学習者 F の最高到達点の解答を除いて、加速度の向きが下なら力も下向きと解答するなど、加速度の向きと力の向きの解答には一貫性がみられた。これから、今回の加速度から力を教える、という学習手法が、これらの学習者にもある程度有効に働いたと考えられる。また、運動の鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題の誤答は、垂直方向における加速度の認識といった同一の要因によるものと考えられる。

鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題の事後問題の誤答について、学習者 B は、上昇中、下降中、最高到達点いずれの状態においても上向きの力（人が物体に与えたという間違った力）と下向きの力（重力）の力が存在すると解答していた。これは加速度の理解があいまいで、水平方向での理解が垂直方向に転移していないと思われる。学習者 C、F は、上昇中と下降中は下向きの重力のみが働くと正しく解答していて、MIF 誤概念がみられなくなっている。しかし、最高到達点では上向きと下向きの両方の力が存在しその力が釣り合っているため 0 となるという誤答をしていた。

これから、等速直線運動の説明で得た知識を鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題に適応するとき、第一の壁として水平方向で MIF 誤概念がみられなくなっても、垂直方向に転移しないという問題、第二の壁として最高到達点で速度が 0 の時に、加速度や力も 0 となると考える誤概念があると考えられる。

事前問題で MIF 誤概念に相当する進行方向の力を、

唯一書かなかった学習者 C について、その理由をヒアリングしたところ、MIF 誤概念については知らず、運動の法則なども意識はせずに、昔同じような問題で不正解になった経験から進行方向の力を書き込まなかったと回答をした。また学習教材内で慣性の法則について解説を行ったが、水平転がし問題（等速直線運動に関する問題）で、この運動に対応する法則を、慣性の法則ではなくエネルギー保存則と解答していた。さらに、表 8、表 9 のように、理解度アンケートの値も他学習者より低かった。これから、この学習者は、法則の意味をよく考えずに言葉や正答だけを暗記する学習習慣が定着していて、実験では理解度の低いままに暗記していた内容をただ当てはめていたと推測される。このような学習者に対して、本研究のように基本法則にさかのぼる学習を行うと、通常の MIF 誤概念だけでなく、暗記で獲得していた不完全な知識が学習の阻害要因となる可能性が示唆された。

## 7. おわりに

運動の第 2 法則 ( $ma=F$ ) が正しいものであるということ的前提に、質量と加速度から論理的に力について考えさせることで、自身の持つ誤った力の認識との矛盾を感じさせ、概念変化を起こさせることを目的とする教材を設計し、高校物理学を学習済みの大学生 7 名を対象として実験を行った。教材視聴前は、提示した問題（水平転がし、鉛直投げ上げ、斜め投射）すべてで MIF 誤概念の保持を確認した学習者が 6 名、MIF 誤概念の保持が不明であった学習者が 1 名という結果だった。しかし、設計した教材を視聴させたところ、7 名中 4 名の学習者が、教材視聴前と同一の問題すべてで MIF 誤概念が確認できなくなった。ただ、残りの 3 名の学習者については、部分的に学習効果はみられたものの、鉛直投げ上げ問題と斜め投射問題では誤答する結果となった。

今後の課題として、鉛直投げ上げ問題における物体の加速度を正しく認識させるための工夫や、最高到達点で加速度や力が 0 と考える学習者への対応が挙げられる。また、学習者 C のように、暗記で不完全な知識を保持している学習者に対しては、従来から知られている MIF 誤概念とは異なる対処が必要と考えられる。

## 参 考 文 献

- (1) Clement, J.: "Students' preconceptions in introductory mechanics", *Am. J. Phys.* 50, pp.66-71 (1982)
- (2) 文部科学省：“高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編”，pp.50-52 (2018)
- (3) ブルーアー, J.T. 著 (松田文子・森敏昭監訳)：“授業が変わる 認知心理学と教育実践が手を結ぶとき”，北大路書房, pp.116 (1997)
- (4) 三浦 登, 他：“改訂物理基礎 (高等学校理科用 文部科学省検定済教科書)”，東京書籍 (2020)
- (5) 文部科学省：“中学校学習指導要領解説 理科編”，pp.32-34 (2017)
- (6) 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)
- (7) 吉野 巖, 小山道人：“「素朴概念への気づき」が素朴概念の修正に及ぼす影響－物理分野の直落信念と MIF 素朴概念に関して－”，*北海道教育大学紀要 (教育科学編)*, 第 57 巻, 2 号, pp.165-175 (2007)
- (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”，*物理教育*, 第 57 巻, 第 3 号, pp.215-219 (2009)
- (9) 神高垣マユミ：“大学生はいかに力のプリコンセプションを変容させるか”，*発達心理学研究*, 第 15 巻, 2 号, pp.217-229 (2004)
- (10) 飯田洋治：“こう教えればもっとわかる“運動の法則””，*パリティ*, Vol.19, No.7, pp.56-60 (2004)
- (11) 徐 丙鉄, 安部保海, 道上達広：“物理学における誤概念と答案分析”，*近畿大学工学部紀要. 人文・社会科学篇*, 45, pp.1-22 (2015)
- (12) 鈴木 亨：“作用反作用の法則の説明論理に見られる誤概念の起源”，*物理教育*, 第 56 巻, 第 4 号, pp.272-277, (2008)