

中高「理科」教員免許状取得を目指す大学生の 素朴物理学保持の割合

——直落信念・MIFに関する問題の回答からの考察——

Ratio of the Teacher-Training Course Students to Obtain a Teacher's License of *rika** for Secondary Schools Who Retain Naïve Physics: Considerations From Answers of the Problems of "The Straight-Down Beliefs" and "The Motion Implies a Force"

根本 泰雄
NEMOTO Hiroo

I. はじめに

認知心理学の研究から、いわゆる理系の大学生であっても素朴物理学 (naïve physics) を保持していることは、理科教育関係者、特に、物理教育関係者の間では良く知られている (例えば、川村、2000)。黎明期の研究として、McCloskey et al. (1983) による大学生を対象とした直落信念の研究は有名である。McCloskey et al. (1983) は、大学生 99 名 (物理学の授業未履修者 37 名、高等学校または大学で少なくとも 1 回は物理学を履修した経験がある学生 62 名) を対象とした調査結果を記している。この研究では、the walker problem と称して与えた課題を、次のように記している。

This picture (図1) shows a side view of a man walking at a constant, moderate speed on a flat, level surface. The man is holding a metal ball out from his side at shoulder height. The solid circle in the picture represents the ball. When the man reaches the position shown in the picture, he drops the ball. In other words, he simply releases the ball as he is walking along. After the man drops the ball he continues walking at the same speed.

The subject's task was, first, to mark the point on the ground where the ball would hit, second, to draw the path the ball would follow as it fell, and third, to mark with an X

the point where the man's hand would be at the instant the ball hit the ground. ((図 1) は、著者が挿入。)

調査の結果として、図 1 の B と回答した学生が 45%、C と回答した学生が 49%、D と回答した学生が 6% であり、物理未履修学生の 62%、物理履修学生の 40% が C と回答した旨を記している。

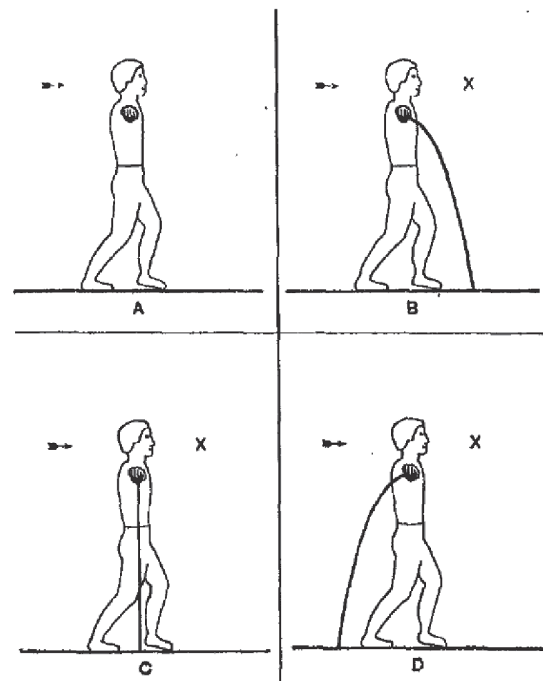


Figure 1. The walker problem (A), the correct response (B), the straight-down response (C), and the backward response (D).

図 1 McClosky et al. (1983) で示された図
(McClosky et al. (1983) の Figure 1 より引用)

* : "rika" roughly translates to "Natural Science" in English.

「理科」≠ "Natural Science" ではないことから、敢えて "rika" と表記している。

その他、Clement (1982) による工学部の大学生を対象とした the coin problem (motion implies a force: 「運動中の物体には、必ず運動方向に力が働いている。」という素朴概念 = motion implied a force 素朴概念 (MIF 素朴概念) (原田ほか、2018) の有無を問うために使用されたコインス問題) も良く知られている。なお、素朴概念 (Naïve Conception) の他、同様の用語として素朴理論 (Naïve Theory)、前概念 (Preconception)、日常概念 (Everyday Conception)、誤概念 (Misconception)、オルタナティブ・フレームワーク (Alternative Frameworks)、概念バグ (Conceptual Bug)、こどもの科学 (Children's Science)、ル・バー (Ru-bar)、日常知 (Daily Knowledge) などの用語が研究者によって使われているが、本論では素朴概念を用いる。

この研究で対象とした学生は、ほとんどが高等学校で物理を履修していたが、大学では物理未履修であった。the coin problem と称して与えた課題は、次のように記されている。

A coin is tossed from point A straight up into the air and caught at point E. On the dot to the left of the drawing draw one or more arrows showing the direction of each force acting on the coin when it is at point B. (Draw longer arrows for larger forces.)

調査の結果は、誤答率が 88% ($N = 34$ 名) であり、そのうちの 90% は、位置 B で上向きを示す矢印と下向きを示す矢印とを描いたと記している。

こうした研究結果から、大学生の素朴物理学の実態を把握するための概念指標が提唱されてきており、そのうちの一つに Force Concept Inventory (FCI) がある (例えば、Hestenes et al. (1992))。日本では和訳版 FCI も作成され、研究が広まっている (例えば、笠置ほか、2025; 安田ほか、2011)。

これらの先行研究の結果を受け、教員養成段階にて、中学校 and/or 高等学校「理科」教員免許状 (以下、中高「理科」教免と略記する) の取得を目指す大学生の素朴物理学の実態を把握しておく必要があると考えた。そこで、A 大学にて、中

高「理科」教免取得のために履修が必要である「教科及び教科の指導法に関する科目」のうち「各教科の指導法 (情報通信技術の活用を含む。)」(文部科学省) に属する理科の指導法に関する 1 科目 (中学校「理科」教員免許状の取得を目指す場合は、2 単位の科目を 4 科目、合計 8 単位は単位を取得する必要があり、これら 4 科目を推奨される履修順に科目 I、科目 II、科目 III、科目 IV とするならば、科目 I に相当する科目で、高等学校「理科」教員免許状を取得するためにも必修である科目) (以下、科目 A と記す) にて、素朴概念を取り上げる直前に the walker problem と the coin problem とを回答して貰っている。本研究は、履修学生の実態把握の他、履修学生に素朴概念を保持している学生がいることを認識して貰うことも目的としている。

なお、回答して貰う際には、回答内容やその結果は、(a) 回答結果は科目 A の成績に影響しないこと、(b) 回答時に記入を要する個人情報 (学籍番号と氏名) は回答の整理のために使用し、個人情報を本人の同意無しに第三者へ提供することを行わないこと、(c) 回答結果は科目 A など「理科の指導法に関する科目」の今後の授業改善および理科教育学の研究以外の目的では使用しないことを説明し、回答への同意を得た。

II. 教員志望学生の実態調査

1. 調査の概要

A 大学にて中高「理科」教免の取得を目指して教職課程に登録している学生の素朴物理学保持の現状を探るため、学士課程 2 回生を主対象として 2019 年度から 2025 年度の各春学期 (前期) に調査を行った。素朴物理学調査問題への回答の他、高等学校での「理科」の履修科目および大学 1 回生時の物理に関する科目の履修に関しても質問を行った。7 年間での回答者は 2 回生 130 名、3 回生以上 21 名の合計 151 名であり、有効回答率は 100% であった。

151 名のうち、大学で物理学を専攻している学生は 34 名であり、このうち 32 名が 2 回生、2 名が 3 回生以上であった。この 34 名は全員が高等学校にて「物理基礎」と「物理」とを履修済であっ

た。また、当然ながら1回生向け配当の大学での物理学に関する科目も履修済であった。

大学で物理学以外を専攻している学生は117名であり、このうち98名が2回生、19名が3回生以上であった。117名のうち、高等学校で「物理基礎」と「物理」とを履修済である学生は70名であり、このうちの59名が2回生であった。なお、2回生は1回生時に物理学に関する科目を未履修であった。

また、117名のうち、高等学校で「物理」未履修の学生は47名であり、このうちの39名が2回生であった。ただし、47名のうち43名は高等学校で「物理基礎」は履修済であり、この43名は2回生であった。なお、2回生は1回生時に物理学に関する科目を未履修であった。

回答した学生に重複は無く、回答した全学生が平成21年度告示の高等学校学習指導要領による教育を高等学校で受けてきていた。

高等学校時代に履修した科目に関する調査の設問は次の通りである。

Q：あなたが高等学校（高等専門学校出身者は高専1～3年）時代に履修した数学、理科の科目名を以下から全て選び、回答欄に科目名を記入してください。

数学基礎 数学Ⅰ 数学Ⅱ 数学Ⅲ
 数学A 数学B 数学C
 理科基礎 理科総合A 理科総合B
 物理Ⅰ 物理Ⅱ 化学Ⅰ 化学Ⅱ 生物Ⅰ
 生物Ⅱ 地学Ⅰ 地学Ⅱ
 科学と人間生活 物理基礎 化学基礎
 生物基礎 地学基礎
 物理 化学 生物 地学 理科課題研究

2. 素朴物理学を問う調査

調査に用いた問題は、McCloskey et al. (1983) の the walker problem、Clement (1982) の the coin problem、および安田ほか (2011) で示されていた和訳版FCIのうち、the walker problemに相当する問14とthe coin problemに相当する問13を参考として作成した。the walker problemやFCIでの設問とは異なり、回答は図を描く記述式の方法を採用した。用いた問

題の設問は次の通りである。

問1：

「ボールを持って等速で歩いている人がいます。今、地点aで手を離しました。ボールの落下軌跡を図示しなさい。」

問2：

「物体を真上に投げ上げました。地上20mの地点まで到達し、下に落ちてきました。上昇中の高さ3m、10m、最高点、下降中の高さ10m、0m、それぞれの地点においてボールに働く力をベクトル形式で図示しなさい。但し、空気による抵抗を無視して考えよ。」

図示による回答は、次のように整理した。

問1：

A 前方へ落ちる図 (the forward response)

- A1 上に凸の放物線
- A2 上に凸の放物線以外の曲線
- A3 直線
- A4 下に凸の放物線以外の曲線
- A5 下に凸の放物線

B 直下へ落ちる図 (the straight-down response)

C 後方へ落ちる図 (the backward response)

- C1 上に凸の放物線
- C2 上に凸の放物線以外の曲線
- C3 直線
- C4 下に凸の放物線以外の曲線
- C5 下に凸の放物線

D 上記以外の図

回答の図を読みとり、A1-A5、B、C1-C5、Dの計12のいずれかに分類を行った。

問2：

- 1 下向きの重力と、徐々に減っていく上向きの力がはたらく。
- 2 最高点に達するまでは、手を離れた瞬間から減少し続ける上向きの力がはたらく、下降するときは地面に近づくにしたがって増えていく重力がはたらく。
- 3 ボールが最高点に達するまでは、下向きで一定の重力と、減少し続ける上向きの力がはたらく。下降するときは、下向きで一定の重

力だけがはたらく。

- 4 下向きで一定の大きさの重力だけがはたらく。
- 5 上のどの解答もあてはまらない。ボールが地面に向かって落ちるのは、もともと地面にとどまろうとする性質があるからである。
- 6 3と類似してはいるが、3とは異なる図。3との違いは、最高点では上向きの力と下向きの重力とがつり合っているとしていること、あるいは下降時にも減少する上向きの力も働いていること。

回答の図を読みとり、1-6の計6のいずれかに分類を行った。なお、1-5は和訳版FCI(新田・塚本、2011)を用い、1-5のいずれにも分類できない場合に6とした。上記した6の文は、分類後に考察した結果から作成しており、考察にて詳細を記す。

Ⅲ. 分析

1. 問1の分析

問1の回答の図の読みとりは、次の基準で行った。

図2で示すaのような図はA1とした。順にbのような図はA2、cのような図はA3、dのような図はA4とした。A4かA5か判断に悩む図も存在したが、明瞭に放物線と思われる図は存在しなかったため、A5に分類した図は皆無であった。

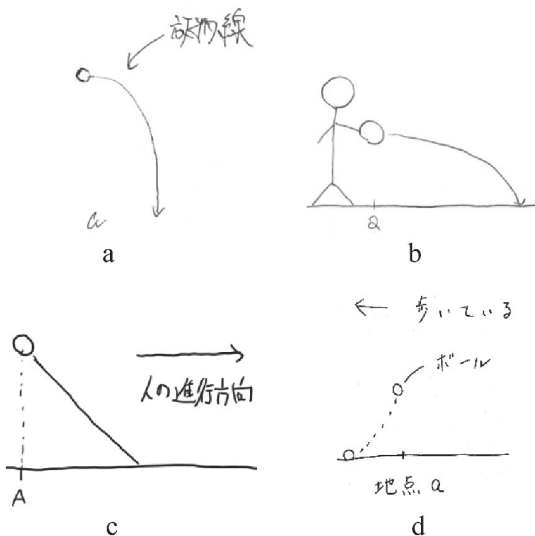


図2 学生が描いた図の例その1とその分類

Aに分類した図の例を示す。aはA1に、bはA2に、cはA3に、dはA4にそれぞれ分類した。

図3で示すような図はBとした。

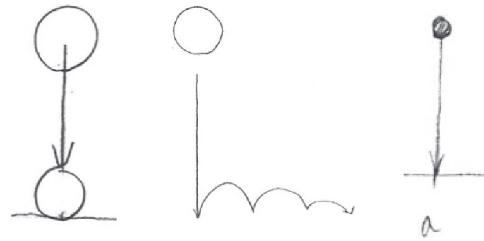


図3 学生が描いた図の例その2

Bに分類した図の例(3例)を示す。

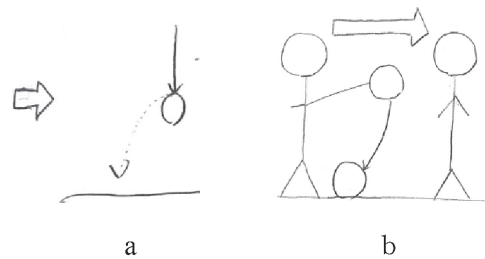


図4 学生が描いた図の例その3とその分類

Cに分類した図の例を示す。aはC2に、bはC4に分類した。

図4で示すaのような図はC2、bのような図はC4に分類した。C1かC2か判断に悩む図、およびC4かC5か判断に悩む図も存在したが、いずれも明瞭に放物線と思われる図は存在しなかったため、C1およびC5に分類した図は皆無であった。

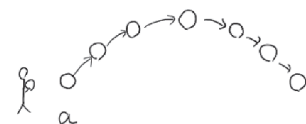


図5 学生が描いた図の例その4とその分類

A-Cに分類できなかった図の例を示している。

図5で示すような図はDに分類した。Dに分類した図は1例だけであった。

2. 問2の分析

問2の回答の図の読みとりは、次の基準で行った。

図6で示すaのような図は1とした。順にbのような図は2、cのような図は3、dのような図は4、eのような図は5、fのような図は6とした。

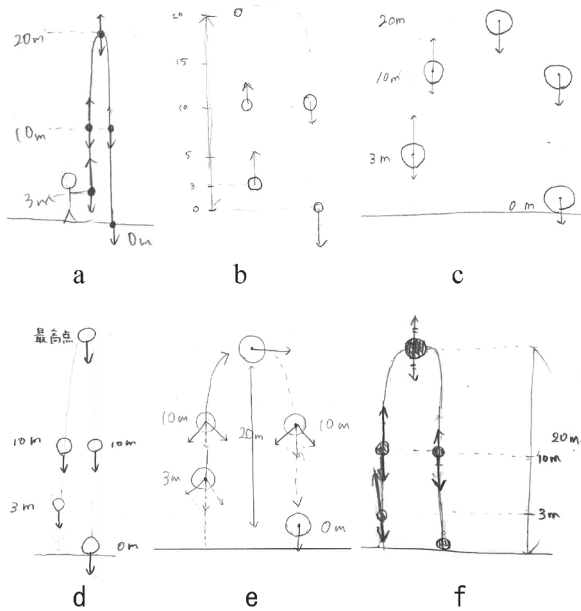


図6 学生が描いた図の例その5とその分類

aは1に、bは2に、cは3に、dは4に、eは5に、fは6にそれぞれ分類した。

IV. 結果

1. 問1の結果

問1の結果を表1に示す。明瞭に回答がA1に分類されると回答した割合からは、大学で物理学を専攻する学生の正答率は58.8%であった。また、大学で物理学以外を専攻する学生の正答率は41.0%であり、このうち高等学校で「物理」を履修した学生の正答率は41.4%、高等学校で「物理」未履修だった学生の正答率は40.4%であった。A2とした回答を放物線であると見做しA1とA2とを合わせた割合が正答率であるとするなら、大学で物理学を専攻する学生の正答率は76.5%、大学で物理学以外を専攻する学生の正答率は59.8%となり、このうち高等学校で「物理」を履修した学生の正答率は54.3%、高等学校で「物理」未履修だった学生の正答率は68.1%となった。

一方で、Bと回答した直落信念を保持している学生の割合は、大学で物理学を専攻する学生は17.6%、大学で物理学以外を専攻する学生は24.8%であり、このうち高等学校で「物理」を履修した学生の場合は28.6%、高等学校で「物理」未履修だった学生の場合は19.1%となった。

2. 問2の結果

問2の結果を表2に示す。大学で物理学を専

表1 問1 (the walker problem に相当する問題) の回答割合

	全体	物理学専攻以外の学生		合計	
		物理学専攻学生	高校「物理」履修者		高校「物理」未履修者
人数(人)	151	34	70	47	117
A1	45.0	58.8	41.4	40.4	41.0
A2	18.5	17.6	12.9	27.7	18.8
A1+A2	63.6	76.5	54.3	68.1	59.8
A3+A4+A5	10.6	2.9	15.7	8.5	12.8
B(直落信念)	23.2	17.6	28.6	19.1	24.8
C(後方落下)	2.0	0.0	1.4	4.3	2.6
D	0.7	2.9	0.0	0.0	0.0

表2 問2 (the coin problem に相当する問題) の回答割合

	全体	物理学専攻以外の学生		合計	
		物理学専攻学生	高校「物理」履修者		高校「物理」未履修者
人数(人)	151	34	70	47	117
1	4.0	0.0	2.9	6.4	5.1
2	15.2	11.8	17.1	17.0	16.2
3	13.2	17.6	15.7	6.4	12.0
4	33.8	58.8	34.3	14.9	26.5
5	13.9	5.9	14.3	19.1	16.2
6	19.9	5.9	15.7	36.2	23.9

攻する学生の正答率は58.8%であった。また、大学で物理学以外を専攻する学生の正答率は26.5%であり、このうち高等学校で「物理」を履修した学生の正答率は34.3%、高等学校で「物理」未履修だった学生の正答率は14.9%であった。

和訳版 FCI では選択肢として存在しない6に分類した回答を行った割合は、全体で19.9%と約2割存在した。細かい結果で眺めると、大学で物理学を専攻する学生の場合は5.9%であった。また、大学で物理学以外を専攻する学生の場合は23.9%であり、このうち高等学校で「物理」を履修した学生の場合は15.7%、高等学校で「物理」未履修だった学生の場合は36.2%であった。

V. 考察

問1に関して、McCloskey et al. (1983) の結果と同様に結果を記すのであれば、A (正解) と回答した学生が (良く見積もって) 63.6% (A1だけを正解とするなら45.0%)、Bと回答した学生が23.2%、Cと回答した学生が2.0%、となる。ただし、回答した学生のうち、「物理基礎」未履修学生が僅かに4名だったことから、物理未履修

学生と物理履修学生との単純な比較は行わない。

McCloskey et al. (1983) の結果は、順に 45%、49%、6% であったことと比較するなら、A 大学の学生は McCloskey et al. (1983) が調査した大学の当時の学生より、素朴物理学から知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）を達成している割合が高かったと解釈できる。ただし、調査した時代も国も異なることから、結果の解釈は簡単ではない。例えば、A 大学の学生が受けてきた教育課程が 1980 年頃の米国のそれより良かったため、といったような解釈を安易に行うことは避けるべきであろう。

問 2 に関して、Clement (1982) の結果と同様に結果を記すのであれば、学生の成績は（非常に）悪く、66.2% が誤答であった、となるであろう。Clement (1982) では誤答率が 88% と記されていることと比較するなら、問 1 と同様、A 大学の学生は Clement (1982) が調査した大学の当時の学生より、素朴物理学から知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）を達成した割合が高かったと考えられる。ただし、問 1 での考察と同様、その理由に関する安易な解釈は控えるべきである。

笠置ほか (2025) は、本論の調査と同じ時期である 2023 年度に、和訳版 FCI を用いた調査を行っている。笠置ほか (2025) は物理学プレースメントテストの得点に基づくクラス編成を行い、得点上位者が所属する A クラスと、得点下位者を対象とした B クラスとにクラス編成を行い、A クラスと B クラスとの結果を示している。その結果は、本論の問 1 に相当する和訳版 FCI の問 14 の正答率が、A クラスは 57.4%、B クラスは 23.2%、本論の問 2 に相当する和訳版 FCI の問 13 の正答率が、A クラスは 50.0%、B クラスは 18.1% であったと記している。すなわち、調査対象者が異なると、高等学校での「物理」の履修有無に関わらず、正答率に大きな違いが生じることを示していると読み取れる。よって、本論では、その他の先行研究によって示されているデータを加えてもデータ数が十分であるとはいえないことから、各調査による正答率の違いが生じる原因を探ることには踏み込まない。

一方で、問 1 の正答率から、A 大学では中高「理科」教員取得の取得を希望する学生の約 2 割が直落信念の素朴物理学を保持しており、高等学校で「物理」を履修済であることでこの保持率が下がる訳ではないことが明示された。また、問 2 の正答率から、同じ対象である学生の約 7 割が MIF 素朴概念を保持しており、物理学を専攻する学生でも保持率が約 4 割を占めていることが明らかとなった。

科目 A では、各学期で過去の結果も含め、結果を学生に示している。履修仲間の全体の結果を知ること、素朴物理学を保持している人がかなりの割合で大学生にも存在していることを認識し、中学生や高校生であれば、その割合はさらに高いことが予想されることを理解するようである。よって、僅かに 2 題考えて貰うことだけでも、履修学生に素朴概念を保持している学生がいることを認識して貰う目的は果たせている、と結論付けた。

本研究で得られた結果は、卒業までに素朴物理学から知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）が各学生に生じる教育を行うことが求められていることも示しているといえる。そのためには、例えば、A 大学でも和訳版 FCI を導入し、1 回生でプレテスト、4 回生でポストテストを行い、4 年間の学びの中で素朴物理学から知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）がどの程度生じているかを把握し、カリキュラムの見直しへ活かしていくことなどを検討することが今後の課題である。

問 2 に関しては、選択式ではなく記述式としたことで、新たな課題も発見できた。すなわち、和訳版 FCI の選択肢 1-5 のいずれにも分類できない図を記す学生が約 2 割いたことである。1-5 に分類できなかった図を描いた全員が、図 6 の f のように最上部では上向きの力と下向きの力とが釣り合う図を描き、下降時には上向きの力が下降とともに徐々に減少する図を描いていた。そこで本論の II 章 2 節の問 2 にて、

6 3 と類似してはいるが、3 とは異なる図。3 との違いは、最高点では上向きの力と下向きの重力とがつり合っているとしていること、

あるいは下降時にも減少する上向きの力も働いていること。

と記し、分類に6を追加することとした。

恐らく、力が釣り合うため上方にも下方にも動かない瞬間があり、そこが最高地点である、と理解しているためと解釈した。この素朴物理学の保持の有無は、和訳版 FCI の選択肢 1-5 からは発見できないと思われる。よって、和訳版 FCI 問 13 の選択肢のあり方は改善した方がよいとの示唆を得た。ただし、A 大学の学生だけを調査した結果から得られた示唆であることから、他大学の学生等でも、この素朴物理学を保持している学生がいるのか否かを明らかにすることが今後の課題である。

さらに、本論で取り上げた2つの間に正解した学生が、知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）をどの時点で達成したのかは、今後の理科教育を考える上で興味深い点であるといえる。しかし、本論での調査で得られたデータからは、原田ほか（2018）が指摘している『物理に対する学習意欲の要因』と『サンプルサイズ』の問題から、この点に言及することはできない。言及するためには、本論で取り上げた2つの問が、現行の課程であれば中学校3年「理科」の「運動とエネルギー」にて知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）が行われるはずの内容であることから、大学生だけではなく高校生も調査対象とし、『物理に対する学習意欲の要因』の偏りが生じないように複数の大学および高等学校にて調査を行うことが必要となる。

よって、『物理に対する学習意欲の要因』の偏りを考慮し『サンプルサイズ』の問題が生じない調査を行い、知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）が行われている学生は、どの段階で行えたのかを明らかにすることも今後の課題である。

VI. まとめ

A 大学の中高「理科」教免の取得を希望している学生に対して、「各教科の指導法（情報通信技術の活用を含む。）」（文部科学省）に属する理科の指導法に関する科目である科目 A にて素朴物

理学を保持している大学生がいることを知って貰うこと、および科目 A の受講学生が素朴物理学を保持している割合を把握することを目的として、科目 A にて物理の問題を2題解いてもらった。2題の問題は、McCloskey et al. (1983) の the walker problem、Clement (1982) の the coin problem、および安田ほか（2011）で示されていた和訳版 FCI のうち、the walker problem に相当する問 14 と the coin problem に相当する問 13 を参考として作成した問題であり、回答は図を描く記述式とした。

その結果、前者の問題の正答率は（良く見積もって）約6割、後者の問題の正答率は約3割であった。また、この結果を受講学生にフィードバックした。

以上の結果から、素朴物理学を保持している大学生がいることを受講学生自身に知って貰うこと、および受講学生が素朴物理学を保持している割合を把握する目的を達成することができた。

また、後者の問題の回答から、和訳版 FCI の選択肢からでは気がつかない素朴物理学を保持している学生が約2割いることも明らかにした。この素朴物理学を保持している大学生が他大学にもいるのか否かを明らかにすること、加えて知識の再体制化（知識の再構成化、知識の再構造化）が行われた学生は、それがいつ行われたのかを明らかにすることが今後の課題である。

謝辞

調査へ回答してくださった A 大学の学生の皆様、および本論の内容に関して議論していただき貴重な改善意見を述べていただいた姫路大学の畑宗平 教授、立命館大学大学院教職研究科の井戸仁 准教授、立命館大学教職支援センターの山本美由紀 講師、NEMO Lab. 理科教育実践ラボのメンバーの皆様（中野雄太氏・有本瑞季氏・井上真歩氏・小西ちひろ氏・齊藤涼華氏・佐々木優衣氏）へ感謝申し上げます。また、2名の匿名査読者から頂いた意見は本論を修正する上で大変に有益でした。ここに記して深謝します。

補遺

本論は、日本理科教育学会第75回全国大会（富山大会）（根本泰雄：2025年8月富山市、富山大学）発表論文集2D1-02で発表した内容に関して加筆・再構成したものである。

参考文献

Clement, J. (1982): Students' preconceptions in inductor mechanics, *Journal of Physics*, 50, 66-71.

原田勇希・坂本一真・鈴木 誠 (2018): 高校「物理基礎」と「物理」によるMIF素朴概念の修正効果、*物理教育*、66、2、81-86.

Hestenes, D., M. Wells, and G. Swackhamer (1992): Force concept inventory, *The Physics Teacher*, 30, 141-158.

笠置映寛・金田和博・岸本 功・吉井涼輔 (2025): 大学初年次教育における力学概念調査の実施報告 (2023年度)、*山陽小野田市立山口東京理科大学紀要*、8、129-134.

川村康文 (2000): 大学生にみる物理分野における素朴概念の実態、*物理教育*、48、1、78-82.

McCloskey, M., Washburn, A., and Felch, L. (1983): Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 9, 4, 636-649. DOI: 10.1037/0278-7393.9.4.636

文部科学省 (2025): 教育職員免許法施行規則の一部を改正する省令 (令和六年文部科学省令第二十一号).

根本泰雄 (2025): 中高「理科」教員免許状取得を目指す大学生の素朴物理学 (直落信念) 保持の割合 — 高等学校「物理」履修未履修との関係 一、日本理科教育学会第75回全国大会 (富山大会) 発表論文集、2D1-02.

新田英雄・塚本浩司 (2011): FCI (Force Concept Inventory) とは何か、*大学の物理教育*、17、16-19.

安田淳一郎・植松晴子・新田英雄 (2011): 力学概念指標 (FCI) 和訳版の妥当性評価、*物理教育*、59、2、90-95.