

素朴概念を科学的概念に転換する実践的研究

—高等学校理科物理領域「物体に働く力」に着目して—

三 次 徳 二*・田 代 明 奈**

【要 旨】 本研究では、高等学校理科物理領域「物体に働く力」に関する高校生の学習前の概念の状況を把握するとともに、素朴概念を科学的概念に転換する指導法の提案を行った。学習前の生徒はMIF誤概念と直落信念を強固に保有している状況であり、慣性の法則に関する素朴概念と科学的概念が知識の中に併存している状況であった。「(1) 素朴概念を自覚化させる」「(2) 素朴概念と科学的概念との間で認知的葛藤を喚起する」「(3) 科学的概念の一般性を実感させる」という3つの支援を行った結果、調査問題の正答率が大幅に上昇し、分散分析において有意な差が見られ、素朴概念への逆戻りも少ないという結果を得た。よって、本研究で提案した指導は、素朴概念を科学的概念に転換することに有効であることが示された。

【キーワード】 高校生 物理 MIF誤概念 直落信念 素朴概念

I はじめに

1. 学習者の素朴概念

児童・生徒が授業を通じて理解したはずの基礎的、基本的な内容について、しばらく時間を経過した後で調べてみると、実際には児童・生徒が理解していなかったということがしばしば起きている。特に、理科の物理領域（エネルギーを柱とする領域）においては、小、中学校で学ぶ基本的な原理や法則が、高校生や大学生になってもよく理解されていないことがある。

村山(2011)は、この問題の本質は、学習者が教育内容を誤解しているということではなく、教える前から学習者が持っている知識が教育によっても変わらなかったことであると説明している。人は日常生活の中で自分なりに理論を考え、概念やルールを得ている。これら日常の中で作り出した概念やルールは、自分自身の中では論理的な一貫性を持つことが多く、科学的な概念に修正・転換することが極めて困難であるとされている。このような学習者が持つ誤った概念やルールは、先行研究において μ ル・バー（細谷, 1976）、前概念(Clement, 1982)、プリコンセプション(高垣, 2001)、日常知(中山, 1998)、誤概念(麻柄, 2001)、素朴概念(吉野ほか, 2005)など様々な名称で呼ばれている。¹⁾

令和3年11月1日受理

*みつぎ・とくじ 大分大学教育学部理数教育講座(理科教育)

**たしろ・あきな 大分大学大学院教育学研究科修了生(現 福岡県立北筑高等学校教諭)

2. 力学分野での素朴概念

物理領域の中でも、素朴概念に関する研究が進んでいるのは力学分野である。力学分野において有名な素朴概念として Clement が行った研究がある。Clement (1982) では運動の法則に関わる問題を大学生に出題し、「物体には進行方向と同じ向きに働く力が含まれている」という典型的な一貫した誤答が確認できることから、「運動は力を含意する (motion implies a force)」という MIF 誤概念を提唱している。また、McCloskey らは学生からの聞き取り調査を行い、8割の学生が「物体を運動させるには (運動の維持に必要な) インペタスを物体に与えなければならない。」「運動している物体のもつインペタスは (自発的または外部からの影響により) 徐々に散逸するため、運動は無くなり、やがて静止する。」の2つの基本仮定からなる「素朴インペタス理論」(naive impetus theory) によって力学現象を捉えていることを見出した (McCloskey et al., 1983)。この仮定に用いられているインペタスは力と同義である。新田 (2012) は Clement の MIF 誤概念も、基本的には McCloskey らのインペタス理論と類義の観点に立つものと捉えている。力学分野では、この他に McCloskey et al. (1983) において提唱された「物体は運動しているものから落下した場合、真下もしくは後ろに落下する」という直落信念 (straight-down belief) もよく知られている。

3. 素朴概念の変容に向けた研究

素朴概念が修正されにくい理由として、既有知識の堅固化があげられる (山懸, 2001)。山懸は、自分の理論が正しいと思っているほど、その理論を修正することには抵抗が生じるため、自分の理論が間違っているかもしれないことに気付かせる教授法によって既有知識の堅固化を弱めることが必要であると述べている。また、吉野・小山 (2007) は、授業等で正しい科学的概念が教授された後、素朴概念と科学的概念は互いに矛盾するにも関わらず、それぞれ独立に知識の中に併存してしまう状況が起きやすいとしている。2種類の相反する知識があたかも全くの別物の無関係な知識として同時に存在してしまうと、学校の授業やテストなどの文脈では正しい科学的概念を用いて考えることができるが、その一方で、より日常的な文脈では素朴概念に基づいた問題解決をしてしまう可能性があることが示唆されている (中山, 1998)。さらに、理科学習における問題の1つとして、生徒が学習した内容をすぐに忘れてしまうということが挙げられる (Georghiades, 2000)。そのため、授業において科学的概念が教授されても、すぐに学習内容を忘れてしまい、再び素朴概念を示してしまう可能性がある。

素朴概念を科学的概念に変容させる方法として、Hashweh (1986) が提唱した「概念変容モデル」がある (図 1)。このモデルでは、現実世界の事象である R1 に関連付けられた素朴概念 C1 を、科学的概念 C2 に転換することを目的としている。Hashweh はこのモデルの中で2種類の認知的葛藤が存在することを示している。1つ目は、生徒の素朴概念 C1 が適用される範囲が限られていることから、現実世界の事象である R1 は理解できても、素朴概念 C1 が適用されない別の現実の世界の事象である R2 を提示することで、素朴概念 C1 と事象 R2 との間で認知的葛藤 (1) を生じさせることである。2つ目は生徒の素朴概念 C1 と科学的概念 C2 との間での認知的葛藤 (2) を生じさせることである。

Hashweh は生徒の素朴概念を科学的概念に転換するためには、これら2つの認知的葛藤を解消することが必要であるとしている。そして、これら2つの認知的葛藤を解消するために以下の2つの方略を測ることが提唱されている。①生徒が無意識に作り出している素朴概念を、明

確に自覚させること。②素朴概念 C1 は特定の現実世界の現象でしか説明できないが、科学的概念 C2 は他の現象についても説明でき、より一般性を持っていることに気付かせること。これら2つの方略を測ることによって、認知的葛藤の解消を促すことができるとしている。

吉野ほか (2005) は素朴概念を修正し、正しい科学的概念を身に付けるためには、「自らの持つ素朴概念と新たに学ぼうとしている科学的概念との間に矛盾がある」ことに気付く必要がある、その上で「なぜ自分は素朴概念を身に付けてしまったのか」という疑問を解決していくべきだと指摘している。しかし、実際には、そのような思考活動や教授活動が行われることがほとんどなく、学習者が素朴概念と科学的概念との間に矛盾があることにさえ気づいていない場合が多い。進藤 (2002) は、生徒は素朴概念の保持自体が無自覚であるため、モニタリングは通常にもまして生起しにくいとしている。そこで、吉野ほか (2005) は、学習者自身によるメタ認知的モニタリングが難しいのであれば、教授者側からの外的なモニタリングを行い、学習者が素朴概念の存在に気付くように仕向ける必要があるとしている。

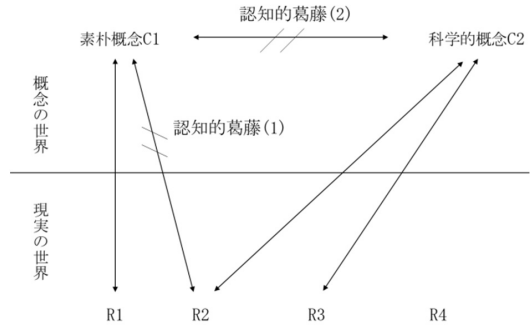


図1 Hashweh の概念変容モデル

4. 本研究の目的

これまでの先行研究を踏まえると、学習者が持つ素朴概念を自覚化させることと、素朴概念と科学的概念との間で認知的葛藤を促すことが重要であると考えられる。さらに素朴概念が形成される原因となった根拠や過程を振り返らせ反省的モニタリングを行わせるとともに、科学的概念は素朴概念よりも一般性を持っており、科学的概念の一般性を実感させる支援が必要であると考えられる。しかし、先行研究を概観すると MIF 誤概念の保持状況を明らかにする研究や、学習者が持つ素朴概念を自覚させるための視覚教材の研究は多いものの、高校生を対象とした指導法の研究はあまり行われていない。

本研究では、高等学校理科物理領域「物体に働く力」において、生徒が持つ素朴概念を明らかにするとともに、

(1) 素朴概念を自覚化させる

【学習者である生徒自らが持つ素朴概念の存在に気付かせ、日常でのどのような経験からそのような素朴概念を構築したか自覚させる。】

(2) 素朴概念と科学的概念との間で認知的葛藤を喚起する

【学習者である生徒が持っている素朴概念に対して観察・実験などを通して反証を示し、素朴概念と科学的概念との間で認知的葛藤を喚起させ、科学的概念を獲得させる。】

(3) 科学的概念の一般性を実感させる

【素朴概念と科学的概念との間で認知的葛藤を喚起させた上で、別の事例を示し、素朴概念よりも科学的概念の方が一般性を有していることを実感させる。】

という3つの支援が、素朴概念を科学的概念に転換するのに有効であるか検証することを目的とする。

II 大学生を対象とした予備調査

1. 調査対象・時期

高校生を対象とした調査問題を検討するにあたって、大学生²⁾を対象とした予備調査を行った。力学的な物理現象に関する科学的概念の獲得状況について知るために、大学生を対象とした素朴概念把握テストを2020年1月に実施した。調査対象は、A大学教育学部2年生から4年生の136名である。このうち92名は高校時代に物理基礎のみを履修しており、物理基礎履修群とした。また、13名は高校時代に物理基礎と物理(理数物理を含む)を履修しており、物理履修群とした。残りの31名は、高校時代に物理基礎・物理をいずれも履修しておらず、物理未履修群とした(表1)。

表1 各履修群の人数

人数	物理基礎履修群		物理履修群		物理未履修群	
	男	女	男	女	男	女
	29	63	10	3	12	19
合計	92		13		31	

2. 素朴概念把握テスト問題

力学分野に関する素朴概念把握テストは(1)から(6)の計6問で構成されている(図2)。

(1)と(2)はMIF誤概念の保持状況を測る問題として設定した。(1)は物体を鉛直上向きに投げ上げたときに上昇している物体に働く力について、Clement(1982)のCoin Problemを参考に作成し、(2)は物体を斜方投射したときに物体に働く力について、徐ほか(2015)が大

大学生の物理学的な自然認識に関する調査 R2.1.23

教育学部理数教育研究室では、大学生の物理学的な自然認識について調査・研究を行っています。調査に協力いただける場合は、以下の各問いに答えてください。ゼミにおける履修教育研究の資料とさせていただきます。公表の際は個人的情報が取り除かれるように配慮し、全体として集約的に掲載いたします。特定の個人の回答が公表されることはありません。回答した場合は、これらの趣旨に賛同いただいたものと捉えます。また、この調査の全部または一部に回答したくない場合、無理に回答する必要はありません。全部または一部を白紙(無回答)で提出してください。なお、回答の内容や有無は、成績に影響することはありません。

◇高校での物理基礎・物理の履修状況についてお答えください。


1. 物理基礎のみ 2. 物理基礎・物理(理数物理を含む) 3. どちらも履修していない

◇性別についてお答えください。

1. 男 2. 女


物理学的な自然認識を調査する問い

(1) 下図に示すように、物体を鉛直上向きに投げ上げた。物体が上昇しているときに、物体に働いている力の向きについて答えてください。




1. 上向きの力
2. 下向きの力
3. 上向きと下向きの両方の力
4. どちらの方向にも力は働いていない

(2) ボールを投げたところ、下図に示したように点線に沿って飛んでいった。ボールが下の図のようにあるときボールに働いている力の方向はどれか答えてください。



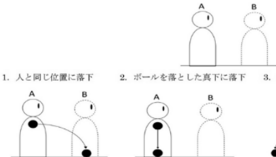
1. ① 2. ② 3. ③ 4. ①と③ 5. ②と③ 6. 力は働いていない

(3) 下図に示すように、摩擦が無いならみな後の上で物体を一時押し運動させた。押し後の物体の運動の様子について答えてください。なお、運動中物体には力は加わっていません。空気抵抗は無視できるものとします。



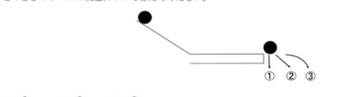
1. 速度が落ち、やがて静止する
2. 速度が増し、運動を続ける
3. 同じ速度のまま運動を続ける

(4) 下図に示すようにボールを持ったままあるいている人が、歩きながら地点Aで真下にボールを落下させた。地点Bまで人が移動したとき、ボールは地面に着地した。このときのボールの軌道について答えてください。



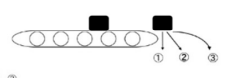
1. 人と同じ位置に落下 2. ボールを落とす真下に落下 3. ボールを落とす位置より後ろに落下

(5) 斜面を持つ坂道の頂上からボールを転がした。ボールが平面まで転がった後、ボールは崖から落下する。このときのボールの軌道について答えてください。



1. ① 2. ② 3. ③

(6) 下図に示すようにベルトコンベアで荷物を運んでいる最中に、荷物が落下した。このときの荷物の軌道について答えてください。



1. ① 2. ② 3. ③

問題は以上です。
ご協力ありがとうございました。

図2 大学生を対象とした素朴概念把握テスト

学生に実施した概念調査テストで実施した問題を参考に作成した。(3)と(4)は慣性の法則に関する問題である。(3)は運動する物体に力が加わっていないことを示し、その後物体がどのような運動をするのか問う問題である。(4)は直落信念の獲得状況について測る問題であり、McCloskey et al. (1983) が学生に実施した問題を参考に作成した。(5)と(6)はどちらも直落信念について問う問題である。(5)は早い速度で物体が崖から落下した場合、(6)はゆっくりとした速度で物体が水平面から落下した場合とし、物体の軌道について問う問題である。物体が落下する速度の違いにより、直落信念に差が出るのかを判断するために設定した。

3. 素朴概念把握テストの結果

素朴概念把握テストの履修群ごとの正答率を表2に示す。また、正答している場合を1点、誤答している場合を0点とした大学生の解答を従属変数、高校時代の物理の履修状況を独立変数とした一要因参加者間分散分析を行った結果を表3に示す。

(1)と(2)において履修状況による主効果が有意であった。有意な差が見られた履修状況の主効果においてHSD法による下位検定を行ったところ、(1)と(2)とも物理基礎履修群と物理未履修群では有意な差は見られなかったが、物理履修群は他の群よりも有意に高いという結果になった。このことより、物理基礎までを履修した学生の素朴概念(MIF誤概念)は転換されていないことが多く、物理まで履修した学生は科学的概念を獲得している人が多くなることが示された。(3)はいずれの群においても正答率が高く、(4)はいずれの群においても正答率が低い。さらに、履修状況による有意な差は見られない。どちらも慣性の法則に基づく問題であるが、(4)のようなより日常的な文面になると、素朴概念を示すことが明らかになった。(5)と(6)より、履修状況に関わらず遅い速度で落下する場合に素朴概念(直落信念)を示すことが明らかになった。

表2 素朴概念把握テストの正答率

問題	履修状況ごとの正答率 (%)			正答率の平均 (%)
	物理基礎履修群	物理履修群	物理未履修群	
(1)	4.3	38.5	3.2	7.4
(2)	2.2	38.5	6.5	6.6
(3)	84.8	84.6	80.6	83.8
(4)	14.1	15.4	29.0	17.6
(5)	89.1	92.3	83.9	88.2
(6)	35.9	46.2	32.3	36.0

表3 素朴概念把握テストの分散分析の結果

問題	物理基礎履修群		物理履修群		物理未履修群		主効果
	平均	S.D.	平均	S.D.	平均	S.D.	
(1)	0.04	0.20	0.38	0.49	0.03	0.18	F(2.133)=11.78, p<.01
(2)	0.02	0.14	0.38	0.49	0.07	0.25	F(2.132)=14.35, p<.01
(3)	0.86	0.35	0.85	0.36	0.83	0.37	F(2.131)=0.05, n.s.
(4)	0.13	0.34	0.15	0.36	0.31	0.46	F(2.128)=2.38, n.s.
(5)	1.60	0.64	1.69	0.60	1.45	0.67	F(2.129)=0.81, n.s.
(6)	0.44	0.63	0.69	0.82	0.52	0.77	F(2.129)=0.76, n.s.

Ⅲ 高校生を対象とした研究

1. 調査問題の設定

素朴概念が科学的概念に転換されたか測定する方法として、授業で学習する前の事前テスト、授業後の事後テスト、約3か月後の遅延テストの時系列の異なるテストを3回同じ問題で実施し、これら時系列の異なる3回のテストの結果を分析する。また、実際の問題文のような文章にすると、生徒が自分の意思と反して教員が望む答えを選択する可能性が考えられるため、日常的な文章により出題し、生徒が持つ素朴概念をより引き出しやすいようにした。なお、今回実施した事前・事後・遅延テストは一切成績には影響しないということを強調して伝え、生徒の素直な考えや思ったままの理由を書くように依頼した。

大学生を対象とした予備調査の結果を踏まえ、高校生を対象とした4問の調査問題を設定した(図3)。本研究では、素朴概念が科学的概念に変容させる指導法の研究を行っているので、その成果が可視化されるような調査問題とした。

問1は鉛直上向きに投げ上げたときに上昇する物体に働く力を問う問題、問2は斜方投射された物体に働く力を問う問題を設定した。問1と問2は大学生を対象とした素朴概念把握テストと同じ問題であるが、そのように解答を考えた理由を記入してもらった。

大学生を対象とした素朴概念把握テストの(3)では、ほとんどの学生が物体に一瞬力を加えた後、等速度で運動を続けるという「慣性の法則」に関する科学的概念を獲得していることが明らかとなった。そこで、高校生を対象とした調査問題の問3は、「物体の進行方向に力が働

高校生の物理に関する理解度の調査	
【 】年【 】組【 】番 氏名【 】	
<p>以下の問題は、皆さんがどれだけ物理現象をどのように理解しているかを調査するための問題です。</p> <p>今回、最初に図1(内図)は教員の物理学研究のための資料とさせていただきます。公表の際は、個人的な情報が読み取れないように配慮し、特定の個人の名前が記載されることはありません。</p> <p>この調査の全部分または一部に回答したくない場合は、無理に回答する必要はありません。この調査に同意していたら回答のみ回答してください。また、今後実施する問題は一切成績には影響しません。自分が思ったままに自由に回答してください。</p>	
<p>【1】下の図に示すように、ボールが空中を上向きに進んでいる。このときに物体に働いている力は何の方向か適切なものを下の1～5から選んでください。また、そのように考えた理由を簡潔に書いてください。</p>	
<p>1. 上向きの力 2. 下向きの力 3. 上向きと下向きの力 4. どちらにも力が働いていない 5. その他()</p>	
番号	理由
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<p>【2】下の図に示すような軌道で、人がボールを投げた。このとき空中を飛んでいるボールに働いている力の向きについて適切なものを下の1～7から選んでください。また、そのように考えた理由を簡潔に書いてください。</p>	
<p>1. ① 2. ② 3. ③ 4. ①と③ 5. ②と③ 6. 力は働いていない 7. その他()</p>	
番号	理由
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<p>【3】下の図に示すように、右向きに等速度で進む物体がある。このとき物体に働いている力の向きについて適切なものを下の1～6から選んでください。なお、空気抵抗や摩擦による影響は考えないものとします。さらに、そのように考えた理由を簡潔に書いてください。</p>	
<p>1. 下向きの力 2. 上向きの力 3. 右向き(進行方向と同じ向き)の力 4. 左向き(進行方向と逆向き)の力 5. 上向きと下向き 6. その他()</p>	
番号	理由
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<p>【4】下図に示すようにボールを持ったまま歩いている人が、歩きながら地点Aで真下にボールを落下させた。地点Bまで人が移動したとき、ボールは地面に着地した。このときのボールの軌道について答えなさい。さらに、そのように考えた理由を簡潔に書いてください。</p>	
<p>1. 人と同じ位置に落下 2. ボールを落とす真下に落下 3. ボールを落とす位置より後ろに落下</p>	
番号	理由
<input type="text"/>	<input type="text"/>
問題は以上です。	

図3 調査問題(事前・事後・遅延テスト)

いていない場合に物体がどのような運動をするのか」を「物体が等速度で運動している場合では、どのような力が働いているか」と変更し、物体に働く力を問う問題を設定した。

大学生を対象とした素朴概念把握テストの(5)と(6)の結果では、早い速度で落下する物体の軌道では科学的概念を示し、遅い速度で落下する物体の軌道は履修状況に関わらず直落信念を示していた。それを踏まえ、高校生を対象とした調査問題の間4においては、ボールを歩きながら真下に落とした場合のボールの軌道を問う「慣性の法則」に関する問題を設定した。

2. 授業実践

題材：改訂版 物理基礎（数研出版）

第1編 運動とエネルギー 第2節 運動の法則（全13時間）

対象：大分県内私立B高等学校（授業者：田代）

普通科2年生1クラス（8名）、3年生1クラス（7名） 計2クラス

期間：2020年7月～2020年10月

今回授業実践を行ったB高等学校において、物理基礎の「第1編 運動とエネルギー 第2節 運動の法則」の全15時間のうちの2時間を本研究での授業にあてた。今回対象とした2年生のクラスは物理基礎を履修するのが初めてであるが、3年生のクラスは2年次で物理基礎をすでに履修し、学校のカリキュラム編成により3年次でも再び物理基礎を履修している。両クラスとも進学希望者が多いクラスであるが、多くの生徒が物理を苦手としている。

本研究では2時間に分けて3つの支援を実践した。前半の授業では「(1)素朴概念を自覚化させる」、「(2)認知的葛藤を喚起する」支援を実践した。授業の展開を表4に示す。

はじめに、生徒のペアをつくり、等速度で運動している物体や斜方投射された物体に働く力の方向について話し合いを行わせ、自分の考えをワークシートに記述させた。このように、他の生徒に自分の考えを相手に伝え、ワークシートに記録として残す場面が「(1)素朴概念を自覚化させる」に相当する。

次に、物体に力が働いた場合の運動の様子と、力が働いていない場合の運動の様子を予想さ

表4 授業の展開（前半の授業）

	学習内容	指導上の留意点
導入 3分	1. 本時の目標を確認する。	
展開 45分	2. 運動する物体に働く力をペアで話し合う。 → (1) 素朴概念を自覚化させる	<ul style="list-style-type: none"> ・素朴概念を顕在化し、自分の考えを意識させる。 ・何が物体に力を及ぼしているのか意識させる。 ・力が加わる場合に運動が変化することを意識させる。
	3. 運動している物体の様子を観察する。 ①力を加えない場合の運動 ②一定の大きさの力を加えた場合の運動 → (2) 認知的葛藤を喚起する	
	<p>力とは「運動の状態を変化させるものであり、物体に内在するものではなく、外部から及ぼされるもの」である。</p>	
	4. 日常のどの経験から素朴概念を獲得したのか振り返る。 → (1) 素朴概念を自覚化させる	<ul style="list-style-type: none"> ・摩擦力が日常で働いていることを引き出す。
まとめ 2分	5. 本時の学習内容の振り返りをする。	

せ、力学台車と記録タイマーを用いてそれぞれの運動の様子を観察させた。このとき、予想した内容と実験によって得られた結果が異なる場合であれば、「(2) 認知的葛藤を喚起する」場面となる。観察・実験を行うにあたって、力学台車に一定の大きさの力を加えた場合、「力は外部から及ぼされている」ということを特に意識させた。B高等学校で使用している教科書において力とは「物体を変形させたり、物体の運動の状態を変えたりする原因となるもの」と定義されている。しかし、このような定義の場合では力は何が加えているのか分からず混乱を招くことや、力は及ぼされるものではなく物体の中に内在するものと生徒が考えてしまうことが想定される。これらのことから本研究では「力とは物体の運動の状態を変化させるものであり、物体に内在するものではなく、外部から及ぼされるもの」と定義した。

そして、なぜ素朴概念を獲得したのか、日常生活を振り返り、原因を考えさせた。この素朴概念を獲得した原因を振り返る過程が、「(1) 素朴概念を自覚化させる」に相当する。日常生活では摩擦力が働いているが、生徒は摩擦力の存在に気付かないまま物体を動かしている。そのため、物体を等速度で動かすためには摩擦力と同じ大きさの力を加え続ける必要があるため、進行方向には必ず力が働いているという素朴概念を獲得した可能性があることを説明した。

後半の授業では「(3) 科学的概念の一般性を実感させる」支援を実践した。科学的概念では説明できるが、素朴概念では説明できない物理現象を2つ示し、科学的概念の一般性を実感させた。授業の展開を表5に示す。

まず、例題①「歩きながらボールを持った人がボールを真下に落としたとき、ボールが落下する位置はどれか」を示した際、ボールの進行方向には力が働いていないのでボールは落とした位置の真下に落下するとほとんどの生徒が答えた。そこでもう一度、力の定義(科学的概念)を確認させ、ボールの進行方向に力が働かないため、運動の状態が変化せずそのままの速度で運動を続け、人と同じ位置に落下することを示した。

さらに、例題②「等速度で運動する物体に、同じ大きさの力を進行方向と進行方向の逆向きに同時に与えたとき物体はどのような運動をするか」を示し、ここでも力の定義を再確認させた。多くの生徒が、力がつりあい、物体には力が働かないので物体は静止すると答えたが、力

表5 授業の展開(後半の授業)

	学習内容	指導上の留意点
導入 3分	1. 本時の目標を確認する。	
展開 42分	2. 例題①を示す。 → (3) 科学的概念の一般性を実感する	<ul style="list-style-type: none"> ・物体の進行方向に力が働いていないことを確認させる。 ・慣性の法則と結び付けた指導を行う。
	<p>例題① 歩きながらボールを真下に落とした時、ボールが落下する位置はどこか。</p>	
	3. 例題②を示す。 → (3) 科学的概念の一般性を実感する	<ul style="list-style-type: none"> ・合力は0となり、物体には力は働いていないとみなせることを理解させる。 ・例として、雨粒の運動を示す。
	<p>例題② 当速度で運動する物体に、同じ大きさの力を進行方向と進行方向の逆向きに同時に加えたとき、どのような運動をするか。</p>	
	4. 力の定義の再確認を行う。	
まとめ 5分	5. 本時の学習内容の振り返りをする。	

がつりあう場合は合力が0となり、力が働いていないことと同じであるため、例題①と同じように等速のまま運動を続けることを説明した。また、そのような物理現象の例として「雨粒の落下」について説明し、物体の運動についてイメージが湧きやすいように支援を行った。

3. 調査問題の結果

本研究での対象となった生徒は15名であり、授業実践時や各テスト実施時に欠席者はおらず、いずれのテストにおいても全ての生徒が全ての問題に解答した。事前テストでの各問題の正解者数と正答率の下の表6に示す。

表6 全体の結果

	問1	問2	問3	問4
	上昇する 物体に働く力	斜方投射された 物体に働く力	等速度で運動する 物体に働く力	慣性の法則
正解者(人)	3	1	0	2
正答率(%)	20.0	6.7	0.0	13.3

事前テストではいずれの問題においても正答率が低く、各問いにおいてMIF誤概念や直落信念に関する素朴概念が表れていた。本研究で提案した指導法が素朴概念を科学的概念に転換できたかを測るために各問いの事前・事後・遅延テストの結果を従属変数、各テストの時期(3)を独立変数とした一要因参加者内分散分析を行い、総合的に判断した。また、下位検定としてBonferroni法によって多重比較を行った。

問1(上昇する物体に働く力)に関する事前、事後、遅延テストの結果は、表7の通りである。一要因参加者内分散分析を行うにあたって、各テストにおいて生徒が正答している場合を1点、不正解の場合を0点とした場合の分散分析の結果を表8に示す。

各テストの正答における主効果が有意であった($F(2, 28)=39.62, p<0.1$)。有意な差が見られたことからBonferroni法による多重比較を行った結果、事後テストと遅延テストでは有意な差が見られなかったが、事前テストは事後テストと遅延テストよりも有意に低かった(事前($M=0.20$)<事後($M=1.00$)≒遅延($M=0.93$), $MSe=0.075, p<.05$)。

表7 問1の結果

	事前	事後	遅延	人数
	○	○	○	3
	×	○	○	11
	×	○	×	1
正解者	3	15	14	
正答率	20.0	100.0	93.3	

表8 問1の分散分析の結果

要因	平方和 SS	自由度 df	不偏分散 MS	分散比 F
テスト間	5.91	2	2.96	39.62**
個人差	1.24	14	0.09	0.33
残差	2.09	28	0.075	
全体	9.24	44		

* $p<.05$ ** $p<.01$

問2(斜方投射された物体に働く力)に関する事前、事後、遅延テストの結果は、表9の通りである。一要因参加者内分散分析を行うにあたって、各テストにおいて生徒が正答している場合を1点、不正解の場合を0点とした場合の分散分析の結果を表10に示す。

各テストの正答における主効果が有意であった($F(2, 28)=41.47, p<0.1$)。有意な差が見られたことからBonferroni法による多重比較を行った結果、事後テストと遅延テストでは有意な差

が見られなかったが、事前テストは事後テストと遅延テストよりも有意に低かった(事前(M=0.07) < 事後(M=0.93) \Rightarrow 遅延(M=0.87), MSe=0.084, $p < .05$)。

表 9 問 2 の結果

	事前	事後	遅延	人数
	×	○	○	13
	○	○	×	1
	×	×	×	1
正解者	1	14	13	
正答率	6.7	93.3	86.7	

表 10 問 2 の分散分析の結果

要因	平方和 SS	自由度 df	不偏分散 MS	分散比 F
テスト間	6.98	2	3.49	41.47**
個人差	1.24	14	0.09	0.29
残差	2.36	28	0.08	
全体	10.58	44		

* $p < .05$ ** $p < .01$

問 3 (等速度で運動する物体に働く力)に関する事前、事後、遅延テストの結果は、表 11 の通りである。一要因参加者内分散分析を行うにあたって、各テストにおいて生徒が正答している場合を 1 点、不正解の場合を 0 点とした場合の分散分析の結果を表 12 に示す。

各テストの正答における主効果が有意であった($F(2, 28)=14.31, p < 0.1$)。有意な差が見られたことから Bonferroni 法による多重比較を行った結果、事後テストと遅延テストでは有意な差が見られなかったが、事前テストは事後テストと遅延テストよりも有意に低かった(事前(M=0.00) < 事後(M=0.80) \Rightarrow 遅延(M=0.73), MSe=0.14, $p < .05$)。

表 11 問 3 の結果

	事前	事後	遅延	人数
	×	○	○	11
	×	○	×	1
	×	×	×	3
正解者	0	12	11	
正答率	0.0	80.0	73.3	

表 12 問 3 の分散分析の結果

要因	平方和 SS	自由度 df	不偏分散 MS	分散比 F
テスト間	4.04	2	2.02	14.31**
個人差	3.24	14	0.23	0.87
残差	3.96	28	0.14	
全体	11.11	44		

* $p < .05$ ** $p < .01$

問 4 (慣性の法則)に関する事前、事後、遅延テストの結果は、表 13 の通りである一要因参加者内分散分析を行うにあたって、各テストにおいて生徒が正答している場合を 1 点、不正解の場合を 0 点とした場合の分散分析の結果を表 14 に示す。

各テストの正答における主効果が有意であった($F(2, 28)=24.45, p < 0.1$)。有意な差が見られたことから Bonferroni 法による多重比較を行った結果、事後テストと遅延テストでは有意な差が見られなかったが、事前テストは事後テストと遅延テストよりも有意に低かった(事前(M=0.13) < 事後(M=0.93) \Rightarrow 遅延(M=0.80), MSe=0.011, $p < .05$)。

表 13 問 4 の結果

	事前	事後	遅延	人数
	○	○	○	2
	×	○	○	10
	×	○	×	2
	×	×	×	1
正解者	2	14	12	
正答率	13.3	93.3	80.0	

表 14 問 4 の分散分析の結果

要因	平方和 SS	自由度 df	不偏分散 MS	分散比 F
テスト間	5.51	2	2.76	24.45**
個人差	1.91	14	0.14	0.47
残差	3.16	28	0.11	
全体	10.58	44		

* $p < .05$ ** $p < .01$

IV 考察

1. 学習前の生徒の現状

事前テストの結果は、問1(上昇する物体に働く力)、問2(斜方投射された物体に働く力)とも正答率が20.0%以下であった。学習前のほとんどの生徒は、「物体には進行方向と同じ向きに働く力が含まれている」というMIF誤概念を有していることが明らかになった。

大学生を対象とした予備調査では、物理の履修状況に関わらずほとんどの学生が、力が働かない場合は等速度で運動を続けるという慣性の法則を理解していた。しかし、問3(等速度で運動する物体に働く力)のように問題の順序を変え、物理現象への視点を変化させることによって、高校生全員がMIF誤概念を示した。問1から問3の結果より高校生はMIF誤概念を強固に保有していることを示し、慣性の法則に関する素朴概念と科学的概念がそれぞれ独立して知識の中に併存している状態であると考えられる。これにより学校の授業やテストなどの文脈では正しい科学的知識を用いて考えることができるが、今回実施した事前テストのような日常的な文脈では素朴概念に基づいた問題解決をしてしまい、これは中山(1998)の知見と一致する。

問4(慣性の法則)は事前テストでは正答率が13.3%となり、大半の生徒がボールは落とした真下に落下すると回答した。この結果から、「物体は運動しているものから落下した場合、真下もしくは後ろに落下する」という直落信念を、学習前の生徒が有していることが明らかになった。

2. 3つの支援による学習効果

「(1)素朴概念を自覚化させる」支援の過程では、運動している物体に働く力に生徒自身が持っている素朴概念を自覚させることを目的とした。生徒同士でペアとなり、学習課題に対してお互いの意見を議論させることにより、無意識のうちに保有していた素朴概念をより引き出すことができ、素朴概念の自覚化に有効的であったと考えられる。また「(1)素朴概念を自覚化させる」支援において、日常生活と関連付けた素朴概念獲得過程の反省的モニタリングを行わせた。仲島・吉野(2006)は素朴概念の背景を自覚させるメタ認知的支援は、素朴概念の修正や理科学習において有効であることを示している。このことから、「(1)素朴概念を自覚化させる」の過程における支援は生徒のメタ認知を促し、素朴概念を科学的概念に転換させるために有効に働いたと考えられる。

「(2)素朴概念と科学的概念との間で認知的葛藤を喚起する」支援では、観察、実験によって素朴概念の反証を示した。多くの生徒が予想と結果が異なり、「力の大きさは変えてないのに、なんで速度が大きくなるとるん？」と疑問を抱き、驚く様子が見られた。中には、自分の予想と結果が一致していないことに対して不満を抱き、何度も実験をやり直す生徒もいた。このような場面が対象クラスでみられたことより、本研究での支援を行うことによって十分に認知的葛藤を喚起させることができたと考えられる。

「(3)科学的概念の一般性を実感させる」支援では、素朴概念では説明できないが、科学的概念では説明できる物理現象を2つ取り上げた。物体に働く力を「内在するもの」と考えると現象を説明することができないが、力を「運動の状態を変化させるものであり、物体に内在するものではなく、外部から及ぼされるもの」と考えることで、物理現象を捉えることができ、科学的概念の一般性を実感する様子が見られた。物理現象を素朴概念で捉えるのではなく科学

的概念をもとに考える様子が見られたことから、素朴概念を科学的概念に修正しようとするメタ認知的コントロールが促進され、概念の転換が促されたと考えられる。

3. 素朴概念への逆戻り

B高等学校で実施した調査問題の結果は、4問とも事前テストの正答率が低い状態であった。全ての問いにおいて、事前テストと比較して事後テスト、遅延テストの正答率は大幅に上昇しており、分散分析においても事後テストと遅延テスト間で有意な差は見られなかったが、事前テストは事後テストと遅延テストよりも有意に低いという結果になった。

事後テストで正解であったのにも関わらず3か月後の遅延テストで不正解となったのは、全ての問いにおいて2名以下となり、逆戻りの割合は14.0%以下となっている。これまでに、素朴概念への逆戻りに着目した研究はなく、逆戻りの割合がどの程度であれば、効果的な支援(指導法)であったとみなせるかについての議論はされていない。そのため、逆戻りの割合の数値の評価については今後の課題であるものの、正答率が大幅に上昇し、分散分析において有意な差が見られたことより、本研究で実践した支援は、素朴概念(MIF 誤概念と直落信念)を科学的概念に転換することに有効であったと考えている。

V おわりに

これまでの先行研究を概観すると、今まで実践されてきた素朴概念を科学的概念に転換する指導法は小学生や中学生、大学生を対象としたものが多かった。そこで本研究では、高等学校理科物理領域「物体に働く力」に着目した指導法を提案し、3つの支援を行うことで素朴概念が科学的概念に転換されたかを測り、指導法の有効性の検討を行った。

調査問題のいずれの問いにおいても、事前テストと事後テスト間、事前テストと遅延テスト間では有意な差が見られず、事前テストが事後テストと遅延テストよりも有意に低いという結果となった。科学的概念から素朴概念への逆戻りの割合も少なく、遅延テストにおいても科学的概念を保持していた生徒が多く見られたことより、本研究で実践した3つの支援による指導は、素朴概念を科学的概念に転換するために有効であると結論付けた。これは、三次・田代(2021)で論じた「電気とエネルギー」における実践結果と同様であり、物理領域における素朴概念を科学的概念に転換させる指導法としては有用であると考えられる。

しかし、本研究での対象となった生徒は15名であり、調査結果に生徒の性質や学級特有の学習雰囲気などが影響した可能性も否定できない。そのため、本研究で提案した3つの支援をより多くの学校や生徒に実施し、概念変化の有効性を検討していく必要がある。

さらに、本研究では素朴概念を科学的概念に転換することができたが、どのような過程を通して素朴概念と科学的概念の接続・照合が行われたのかは明らかになっていない。学習者の知識の組み換えがどの段階でどの程度行われるかを明らかにしていくことも今後の課題である。

謝辞：本研究を実施するにあたり、A大学の学生の皆さん、B高等学校の生徒の皆さんには、貴重な時間をいただき、本研究の調査にご協力いただいた。記して謝意を表する。

附記：本論は、著者の一人である田代の修士論文を基に、著者の一人である三次が研究をとりまとめ、論文としたものである。

注

- 1) 本研究では「素朴概念」という用語を用い、その定義は堀(1998)に従い、「子どもの学習前や学習後にもっている科学的に精緻化されていない知識、概念、見方、考え方」とする。
- 2) 予備調査の対象となった大学生は、大学において物理学に関する講義を受講していない。そのため、多くは、高等学校卒業後に物理学に関する知識等を得ていないものと考えている。

文献

- Clement, J. (1982) : Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Georghiades, P. (2000) : Beyond conceptual change learning in science education: focusing on transfer, durability and metacognition. *Educational Research*, 42(2), 119-139.
- Hashweh, M. Z. (1986) : Toward an explanation of conceptual change, *European Journal of Science Education*, 8(3), 229-249.
- 堀哲夫(1998) : 問題解決能力を育てる理科授業のストラテジー—素朴概念をふまえて—。明治図書。
- 細谷純(1976) : 課題解決のストラテジー。藤永保編『思考心理学』, 大日本図書。
- 麻柄啓一(2001) : 二重推理法による誤概念の修正。科学教育研究, 25(2), 128-136.
- McCloskey, M., Washburn, A., Felch, L. (1983) : Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 636-649.
- 三次徳二・田代明奈(2021) : 素朴概念を科学的概念に転換する実践的研究—高等学校理科物理領域「電力とエネルギー」に着目して—。九州地区国立大学教育系・文系論文集, 8(1), No. 6, 1-14.
- 村山功(2011) : 概念変化についての諸理論。心理学評論, 54(3), 218-231.
- 仲島恵美・吉野巖(2006) : 素朴概念の修正におけるメタ認知的支援の有効性: メタ認知的支援による素朴概念の背景の意識化によって素朴概念は修正されるか。日本教育心理学会総会発表論文集, 48, 243.
- 中山迅(1998) : 学校知と日常知の隔たり: 素朴概念の問題。湯澤正通編『認知心理学から理科学習への提言—開かれた学びをめざして—』, 北大路書房。
- 新田英雄(2012) : 素朴概念の分類。物理教育, 60(1), 17-22.
- 進藤聡彦(2002) : 知識の獲得に及ぼすメタ認知の役割—既有知識のモニタリングと素朴概念の修正の関連から—。山梨大学教育人間科学部紀要, 3(2), 252-260.
- 高垣マユミ(2001) : 高さのプリコンセプションを変容させる教授ストラテジーの研究。教育心理学研究, 49(3), 274-284.
- 山縣宏美(2001) : 理科学習における概念変化のプロセスとその要因。京都大学大学院教育学研究科紀要, 47, 356-366.
- 吉野巖・川端健裕・川村麗衣・長内晋子(2005) : 素朴概念の修正におけるフィードバックとメタ認知的支援の効果—中学校数学授業における実践的研究。北海道教育大学紀要(教育科学編), 55(2), 1-11.
- 吉野巖・小山人(2007) : 「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誤概念に関して—。北海道教育大学紀要(教育科学編), 57(2), 165-175.
- 徐丙鉄・阿部保海・道上達広(2015) : 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・社会科学編), 45, 1-22.

A Practical Study on the Translation of Native Concepts into Scientific Concepts

—Focusing on High-School Physics and the Teaching of “Force acting on an object”—

MITSUGI, Tokuji and TASHIRO, Akina

Abstract

This study examines the level of comprehension high-school students have regarding native concepts before they learn in science classes teaching “Force acting on an object.” Furthermore, it proposes a teaching method for converting native concepts into scientific concepts. It was found that the pre-learning students had a strong possession of MIF native conceptions and the straight-down belief, and the native concepts and scientific concepts of the “law of inertia” coexisted in their knowledge. Applying three measures, namely (1) “raising self-awareness about the native concepts,” (2) “stimulating cognitive tension between native and scientific concepts,” and (3) “have them realize the generality of scientific concepts,” resulted in a substantial increase in the rate of correct answers in the confirmatory test, significant differences in analysis of variance, and less reversion to native concepts. Thus, the three measures proposed in this study were shown to be effective for translating native concepts of “Force acting on an object” into scientific concepts.

【Key words】 High-School Student, Physics, MIF native conceptions, straight-down belief, Native Concept