

令和 5 年 6 月 2 6 日現在

機関番号：3 7 1 1 0

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：1 7 K 0 4 3 9 1

研究課題名（和文）科学的概念の獲得過程における体験を伴う学習の教育的効果の検討

研究課題名（英文）Acquisition of scientific concepts through experience learning -- An Investigation of the educational effects

研究代表者

山縣 宏美（Yamagata, Hiromi）

西日本工業大学・デザイン学部・准教授

研究者番号：3 0 4 6 1 4 8 7

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、直落信念と呼ばれる素朴概念について、ペーパーテストとコンピュータのシミュレーションを使って調査を行った。水平に動くゴンドラからボールを落としてターゲットに当たるという課題について、小学生、大学生ともにどの地点でボールを手放すかを聞かれた場合と、落としたボールの軌跡を描く場合で、一貫しない回答が多くみられ、この2つの課題は異なる知識にアクセスされている可能性が示唆された。また、シミュレーションの課題は先に軌跡を描く課題を行った際に失敗が多くなることから、体験を伴う活動は行為を行うことではなく、その体験を意識化することに意味があることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

理科教育の場面では、科学的概念を学習する際に、実験や観察といった体験的な活動が行われることがある。本研究の結果から、実験などを行う場合、先に結果がどうなるかを予想するという過程を入れることで、潜在的に獲得されていた科学的概念が顕在的知識と結びつき、一貫した概念が獲得されやすくなるということが明らかになり、より適切な体験的学習の方法が解明されたといえる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated a naive concept called the straight-down belief using a paper test and a computer simulation. Elementary school students and college students were asked to drop a ball from a gondola which was horizontally moving and hit a target. Then they were asked to draw a picture to describe the trajectory of the dropped ball. We found that many students from both groups gave inconsistent responses regarding when they should let go of the ball. This implies that students tend to get access to different prior knowledge stored in their memory when dealing with these tasks. In addition, even more failures were observed afterwards when they were asked to do the simulation process on a computer. This suggests that students did not focus on their drawing of the trajectory picture. This study concludes that students should be taught how to engage in an activity with intense awareness and enhance their consciousness in learning through experiencing.

研究分野：教育心理学

キーワード：素朴概念 直落信念 顕在的知識 潜在的知識 科学的概念

1. 研究開始当初の背景

子どもが学校で科学的概念を学習する以前に、日常生活の中で身の回りのものの現象を観察することによって自然に何らかの概念を獲得していると言われる。そのような概念は素朴概念と呼ばれ、科学的には誤っていることが多い。そのため、理科の授業で学習する科学的概念は、子どもたちの持つ(誤った)素朴概念とは矛盾したものとなり、それが子どもたちの理解の妨げになるという。したがって、子どもに科学的概念を教授する際には、このような素朴概念の影響を考慮し、これらを正しく修正しなければならない。

しかし近年、この素朴概念の一貫性に関する問題が指摘されている(Koshevnikov & Hegarty, 2001, Oberle, McBeath, Madigan, & Sugar, 2005, Ebersbach, Dooren, and Verschaffel, 2011, White, 2011, 2012)。例えば Koshevnikov & Hegarty (2001) は知識表象として、顕在的な知識と潜在的な知識の2種類が存在するということを指摘している。顕在的な知識とは、一般的なペーパーテストで測定できるような知識であり、潜在的な知識とは、意識されていないため、ペーパーテストでは測定できないが、動く物体の軌跡を判断するような課題に影響を及ぼすような知識のことである。Koshevnikov & Hegarty (2001)では、物体の運動に関して、ペーパーテストで質問された場合には正しく答えられるにも関わらず、軌跡を判断し目で追う課題の場合には、誤った素朴概念の影響を受けることが示されている。

また、Oberle, McBeath, Madigan, & Sugar (2005)でも同様に、重さや体積の異なる2つの落下する物体のどちらが先に落ちるかという質問に関して、ペーパーテストで回答する場合と、実際に2つの物体を手を持って、同時に落ちるようにする場合では、どちらが先に落ちるかについての認識が異なることが示された。つまり、いわゆる一般的なテストと同様な形式のペーパーテストを解く際にアクセスされる知識(顕在的知識)と、2つの物体を同時に落とすような知覚運動的な課題を解決する際にアクセスされる知識(潜在的知識)は異なる可能性があるということである。したがって、子どもがどのように科学的概念を獲得していくかを明らかにするためには、従来扱われてきたようなペーパーテストで測定される顕在的知識だけでなく、日常の科学的体験から無自覚に獲得される潜在的知識を考慮する必要があるということが言える。

2. 研究の目的

本研究では、直落信念(水平方向に動いているものから落下させたものが落下する地点について、慣性の力の影響を考慮せず、その地点の真下に落ちると判断する誤概念)を題材として、シミュレーションを利用した体験活動が顕在的なレベルでの科学的概念の獲得に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

実験1, 2, 3では、ペーパーテストによる直落信念の測定法の検討を行い、実験4, 5ではシミュレーションを使用し、課題の順番等の影響を検討した。

3. 研究の方法

実験1

対象者：工学部の1年生48名(男性46名、女性2名)を対象とした。

調査内容：

ゴンドラ問題：水平に動くゴンドラに乗り、途中、通り道の下にあるターゲットにボールを落として当てるという課題。ゴンドラの高さが地上1mの場合と5mの場合、落とすボールの重さが200gの場合と1kgの場合、ゴンドラの動くスピードが時速4kmの場合と20kmの場合のそれぞれについて、1. ターゲットの手前で手を放す、2. ターゲットの真上で手を放す、3. ターゲットを過ぎてから手を放す、の3択で回答を求めた。

軌跡問題：人が歩いている途中に手に持っているボールを手放したとき、そのボールがどのように落ちるかを、歩いている人とその進行方向が描かれた図中に軌跡として描くよう求めた。

慣性問題：自分が乗っている電車が急発進したとき、自分の体がどちらに動くか(進行方向/逆方向)、急停車したときどちらに動くか(進行方向/逆方向)の回答を求め、慣性の法則について知っているかどうか(1. 知っている、2. 言葉は聞いたことがあるが内容は覚えていない、3. 知らない)、また知っている場合にはその内容を書いてもらった。

手続き：ゴンドラ問題(5m/1m)、軌跡問題、慣性問題の順番をカウンターバランスした冊子を作成し、一斉に配布して回答を求めた。回答時間は10分~20分であった。

実験2

対象者：実験1とは異なる工学部、デザイン学部の1年生47名(男性45名、女性2名)を対象とした。

調査内容：

軌跡課題：水平に動くゴンドラからボールを落としたとき、そのボールがどのような軌跡を描い

て地面に到達するかを描く課題を実施した。

条件は、ゴンドラの高さが地上 1m の場合と 5m の場合、落とすボールの重さが 200g の場合と 1kg の場合、ゴンドラの動くスピードが時速 4km の場合と 20km の場合であった。

手続き：ボールを落とす高さ、ボールの重さ、ゴンドラの動く速さの条件についてカウンターバランスを行った冊子を作成し、一斉に配布し回答を求めた。回答時間は 10 分程度であった。

実験 3

対象者：工学部、デザイン学部の 1 年生 48 名（男性 39 名、女性 9 名）。

手続き：35 名は、時速 18km で高さ 30m のゴンドラから 5kg のボールを落下させ、ターゲットに当てるシミュレーションを行った。シミュレーションは、ノートパソコンのモニター上でマウスの左ボタンを押し続けると四角い箱の中に入ったボールが時速 18km で左から右に移動し、手を放した時点でボールが落ちるものであった。参加者は速度の体験のため、一度その箱を左端から右端まで移動させた後、地面にあるターゲットの棒にボールを当てるように求められ、その手を放した地点のターゲットからの距離が測定された。その後、水平に動くゴンドラからボールを落としたとき、そのボールがどのような軌跡を描いて地面に到達するかを描くペーパーテストを実施した。この課題では、シミュレーションを実施する前にどう考えていたかを描くよう求めた。また、13 名は、同様のシミュレーションにおいて、ターゲットにボールを当てるのではなく、ターゲットの真上に来た時にボールを落とすよう求められた（真上落下群）。

実験 4 - 1

対象者：工業部の 1 年生 16 名を対象として調査を行った。

手続き：対象者は、水平に動くゴンドラからボールを落とした時、そのボールがどのような軌跡を描いて地面に到達するかを描く描画課題（潜在的知識を測る課題）を実施した。調査は集団で実施した。

実験 4 - 2

対象者：実験 5 - 1 で直落信念に基づく解答を行った 9 名（直落信念群）と、実験 4 - 1 とは別の 1 年生 13 名（全員男性；真上落下群）を対象として調査を行った。調査は個別に実施した。

手続き：対象者は、シミュレーションの課題（潜在的知識を測る課題）を実施した。調査は個別に行った。

実験 4 - 1 で直落信念に基づく解答を行った 9 名（直落信念群）は、ボールは下の真ん中あたりにある線（ターゲット）に当てるよう指示された。一方で、実験 4-1 とは別の 13 名は、ターゲットのちょうど真上に来た際にマウスを放すよう指示された。

実験 4 - 3

対象者：実験 4 - 1, 2 とは別の 1 年生 48 名（男性 39 名、女性 9 名）を対象として調査を行った。調査はシミュレーション、描画課題ともに個別で実施した。

手続き：対象者は、実験 4 - 1, 2 と同様の描画課題、シミュレーションを行ったが、課題の順番を逆にし、シミュレーションを行った後、描画課題に解答することとした。

ただし、描画課題の際には、シミュレーション以前に持っていた素朴概念が反映されるよう、現在どのように思うかではなく、シミュレーションを実施する前にどう考えていたかを描くよう求めた。

4. 研究成果

実験 1

ゴンドラ問題（選択肢）について、それぞれの条件ごとに、回答した選択肢の人数を表 1 に示した。

それぞれの高さ、重さごとに χ^2 検定を行った結果、高さ 5m、重さ 1kg の時 ($\chi^2(2)=15.842$, $p<.01$)、高さ 1m、重さ 200g の時 ($\chi^2(2)=21.594$, $p<.01$)、高さ 1m、重さ 1kg の時 ($\chi^2(2)=15.155$, $p<.01$) に有意差が見られ、残差分析の結果、高さ 5m、重さ 1kg の時では、手前に落とすという回答が時速 20km の時に多く、真上に落とすという回答が時速 4km の時に多くなっていた。また高さ 1m、重さ 200g の時、高さ 1m、重さ 1kg の時も同様に手前に落とすという回答が時速 20km の時に多く、真上に落とすという回答が時速 4km の時に多くなっていた。

表 1 ゴンドラ問題（選択肢）の回答人数

高さ	5m				1m			
	200g		1kg		200g		1kg	
時速	4km	20km	4km	20km	4km	20km	4km	20km
手前	26	35	17	35	13	34	11	28
真上	15	9	26	8	31	9	35	16
後	7	4	5	6	4	5	2	4

ゴンドラの高さが 5m の場合、ボールが重く、時速が遅い場合に「真下に落とす」回答が多くなっていたが、ボールが軽い場合、時速に関わらず「手前で手を放す」という回答が多くなっていた。また高さが 1m の場合には、重さに関係なく、時速が遅い場合に「真下に落とす」回答が多くなっていた。

軌跡を描く問題については、手を放した位置より斜め前に落ちるという回答が 18 名、真下に落ちるという回答が 21 名、後ろに落ちるという回答が 9 名であった。

電車での体の揺れに関する問題は、急発進の場合、急停車の場合どちらも正答が 45 名、誤答 3 名であった。慣性の法則については、知っているが 23 名、聞いたことはあるが内容はわからないが 25 名であった。

ボールの軌跡を描く問題でも、真下に落ちるという誤答は多くみられ、ゴンドラ問題では一貫して手前から落とすと回答していた学生でも真下に落ちる軌跡を描くという矛盾がみられた。このように同じ科学的現象に関する問題を解く場合でも、アクセスする知識の違いで回答が変わる可能性が示唆された。

実験 2

回答されたボールの軌跡から以下の表 2 のように回答を分類した。

表 2 ゴンドラ問題（軌跡）の回答パターン（人数）

	前		真下	後ろ	時速が遅いと真下、速いと後ろ	その他
	同じ	時速が速い方が遠い		時速が速い方が遠い		
5m	5	17	12	10	3	0
1m	4	16	12	7	6	1

実際にみられた回答パターンは、手放した位置より先に落ちる（時速によって落ちる位置は変わらない・時速の速い方が遠くに落ちる：図-3 参照）、手放した真下に落ちる、手放した位置より後ろに落ちる（時速が速い方が遠くに落ちる）、時速が遅い場合（4km/時）真下で、速い場合（20km/時）後ろに落ちる、というものであった。

回答人数では、高さに関わらず、手を放した地点より先に落ち、時速が速い方が遠くにいくという正答が多かったが、真下に落ちるという回答、後ろに落ち時速が速い方が遠くにいくという回答もほぼ同程度みられた。実験 1 と比較すると、軌跡を描く課題である場合、距離が近くても真下に落ちるという回答が多くなるということはみられなかった。したがって、選択肢で回答する場合、距離が近くて時速が遅い場合には、真下近くに落ちやすいというイメージで、真下の選択肢を選んでおり、必ずしも慣性の概念を考慮していないわけではないという可能性が考えられる。

実験 3

ターゲットにボールを当てるシミュレーションを行った参加者の描画課題の結果、ボールが手を放した位置より進行方向の方に落ちる軌跡を描いたのが 24 名、真下に落ちる軌跡を描いたのが 8 名、進行方向と逆の方に落ちる軌跡を描いたのが 3 名であった。このうち、真下に落ちる軌跡を描いた 8 名を直落信念群とした。

直落信念群と真上落下群のターゲットからボールを落下させた位置までの距離（ターゲットまでを 30m とした時の距離）の平均値、標準偏差を表 3 にまとめた。

表 3 ターゲットの位置からボールを落下させた位置までの水平距離（m）

真上落下群	-0.93	1.70
直落信念群	-2.65	2.43

t 検定の結果、 $t(23)=-9.367, p<.10$ で、直落信念群の方が真上で落下させるように指示されたグループよりも手前で手を放している傾向がみられた。

このことから直落信念を持つ学生は、真下にボールが落ちると思っており、シミュレーション後の質問でも真上で手を放したと回答していたにも関わらず、単純に真上でボールを落下させた学生よりも手前でボールを放している可能性があることが明らかになった。このことから、顕在的にはボールの落下に対して誤った概念を持っていたとしても、潜在的にはボールが真下ではなく進行方向に動くという正しい知識を持っていた可能性があるといえる。

実験 4 - 1

ボールの軌跡を描く課題（顕在的知識を測る課題）の結果、16 名中 9 名が真下に落ちる軌跡を描き、7 名が進行方向に落ちる軌跡を描いた。

実験 4 - 2

シミュレーションでは、ターゲットの位置からボールを落下させた位置までの水平距離（m：画面上の距離ではなく、想定上の距離）を測定した。これらの平均値、標準偏差については、実験 4-3 の結果とまとめて報告する。

実験 4 - 3

シミュレーションの結果について、実験 4-2 の真上落下群、直落信念群（シミュレーション後条件）と合わせて、ターゲットの位置からボールを落下させた位置までの水平距離（m：画面上の距離ではなく、想定上の距離）の平均値と標準偏差を表 4 にまとめた。

これらの平均値について、1 要因分散分析を行ったところ、主効果に有意傾向（ $F(2, 27)=3.326$, $p<.051$ ）がみられた。また、Tukey を用いた多重比較の結果、直落信念群（シミュレーション先条件）と直落信念群（シミュレーション後条件； $p<.063$ ）、真上落下群（ $p<.090$ ）それぞれに有意傾向が見られた。

この結果から、まずシミュレーションを先に行った場合、顕在的にはボールの落下に対して誤った概念（直落信念）を持っていても、潜在的にはボールが真下ではなく進行方向に動くという正しい知識を持っており、それに影響されてシミュレーションではターゲットより手前で手を放していた可能性があると考えられる。しかし、描画課題を先に行った場合は、シミュレーションでも描画課題の解答と一貫した行動がみられ、ターゲットの真上近くでボールを放していたことから、先に描画課題のように顕在的に素朴概念を発動するような課題を行った場合、シミュレーション課題はその解答に影響されるため、潜在的な素朴概念を測定するには、それが顕在的に意識される状況を作らずに課題を行う必要があるといえる。

表 4 ターゲットの位置からボールを落下させた位置までの水平距離（m）

	平均値	標準偏差
真上落下群	-0.93	1.70
直落信念群 （シミュレーション先条件）	-2.65	2.43
直落信念群 （シミュレーション後条件）	-0.65	0.81

実験 1 ～ 4 によって、以下のことが明らかになった。

慣性の法則の定義を言葉としては知っていて、代表的な事例などは理解していても、具体的な現象での予測には使われていない（実験 1）

ペーパーテストにおいても、物体を落とす際の動作の予測をしてもらう場合と、物体の落下の軌跡を客観的に描く場合で、回答の乖離がみられた。また物体の移動速度や落下高度などの数値が変わることの影響の受け方も異なり、異なる知識によって回答されている可能性があることが示唆された（実験 1，2）。

ペーパーテストなどで顕在的に質問された場合には、科学的に誤った解答をする場合でも、動作を伴った課題では科学的に正しい動作を行う場合がある（実験 3，4）

そのように正しい行動を行ったことは意識的されていない（実験 3）。

潜在的な知識が発動されるのは、顕在的な知識が発動していないことが条件であり、先に顕在的な知識が発動されると、その知識と一貫した形の行動がとられるようになる（実験 4）

理科教育の場面では、科学的概念を学習する際に、実験や観察といった体験的な活動が行われることがある。本研究の結果から、実験をそのまま行ってしまうと、誤った素朴概念が顕在的に意識されないままになってしまう可能性が考えられる。したがって、実験などを行う場合、まず結果がどうなると思うかを予想するという過程を入れることが必要である。その過程を入れることにより、顕在的に素朴概念が意識され、その後正しい科学的情報に接することで、誤った概念が修正されやすくなると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 山縣宏美	4. 巻 51
2. 論文標題 潜在的な素朴概念の測定方法の検討 -課題順序の比較-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 西日本工業大学紀要	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山縣宏美	4. 巻 50
2. 論文標題 科学的知識の測定方法の分類 -知識表象の顕在性の観点から-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 西日本工業大学紀要	6. 最初と最後の頁 125-128
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山縣宏美	4. 巻 49
2. 論文標題 小学生を対象とした直落信念の一貫性の検討 -複数の課題を用いて-	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 西日本工業大学紀要	6. 最初と最後の頁 111-114
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山縣宏美	4. 巻 48
2. 論文標題 直落信念の一貫性の検討 複数の課題を用いて	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 西日本工業大学紀要	6. 最初と最後の頁 149-153
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 山縣宏美	4. 巻 49
2. 論文標題 小学生を対象とした直落信念の一貫性の検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 西日本工業大学紀要	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山縣宏美
2. 発表標題 素朴概念の顕在性の検討 課題順序の比較
3. 学会等名 日本心理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山縣宏美
2. 発表標題 シミュレーションを使用した直落信念の一貫性の検討
3. 学会等名 日本教育心理学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山縣宏美
2. 発表標題 回答方法による直落信念の一貫性の検討
3. 学会等名 日本発達心理学会第31回大会
4. 発表年 2020年

1．発表者名 山縣宏美
2．発表標題 複数の課題による直落信念の一貫性の検討
3．学会等名 日本心理学会
4．発表年 2017年

1．発表者名 山縣宏美
2．発表標題 回答方法による直落信念の一貫性の検討
3．学会等名 日本発達心理学会
4．発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6．研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------