

# 素朴概念を科学的概念へ転換させるための指導法に関する実践的研究 —高等学校の「浮力」の指導に着目して—

## A Practical Study on Teaching Methods for Converting Naive Concepts to Scientific Concepts : Focusing on a Guidance on “Buoyancy” of High School

沖野 信一\* 菅河 晃太郎\*\* 松本 伸示\*\*\*  
OKINO Shinichi SUGAWA Kotaro MATSUMOTO Shinji

本研究では高等学校の物理教育において、浮力に関する科学的概念を構築する指導法について検討することにした。生徒は浮力に関する素朴概念を保持しているため、素朴概念から科学的概念に転換させるための指導法を開発する必要がある。本研究では、浮力に関する科学的概念を構築する際に、「3つの指導法」の有効性を吟味することにした。なお、本研究で述べる「3つの指導」は、以下の三段階の支援を行うことにした。

- (i) 素朴概念の自覚化を促す
- (ii) 認知的葛藤を喚起する
- (iii) 科学的概念の汎用性を実感させる

この三段階の支援を研究授業で行った結果、生徒の理解度が大幅に上昇し、3ヶ月後の遅延テストでも理解度の低下は認められなかった。したがって、この研究授業においては、本研究の指導法が浮力に関する科学的概念を構築するのに有効であることが示された。

キーワード：浮力、高等学校の物理教育、科学的概念、素朴概念

### I. 問題の所在

力学領域の素朴概念（本研究では、「生徒が学習前に持っている科学的な解釈とは異なる概念」という意味で「素朴概念」と呼ぶことにする。）のひとつとして浮力に関する素朴概念がある。堀・宮澤（1994）は、「物体にかかる水圧に比例して浮力も大きくなるから、深い方が浮力は大きい。」（以下「深さ理論」と記す）という素朴概念を報告している。また、大学生を対象にした住友・野上・稲垣（1995）は、「水中における物体にはたらく浮力の大きさは、物体の形状によって変化し、水面に対してその底面積が広がるような平らな形状であるほど増加する。また、その向きは鉛直上向きである。」（以下「平ら理論」と記す）という素朴概念が存在することを明らかにしている。平ら理論の具体的な一例として、「板のように平たい物体は、水の中で下からの浮力をたくさん受ける。」といった事例をあげることでこの研究をうけて稲垣・野上・住友（1998）は中学生から大学生を対象に調査し、物体の形状と深さの両方の素朴概念をもつ対象者が多いこと、物体の形状に係る素朴概念としては「平ら理論」をもつ対象者が多いことを報告している。これらに加えて新里・古屋（2012）は浮き沈みする水中の物体にはたらく浮力に焦点をあてた調査を行い、「浮き上がる物体に浮力は働くが、沈んでいく物体には浮力は働かない」とする誤った考えが存在することを明確化している。さらに、新里・古屋（2014）は中学生から大学生を対象に調査をした結果から、「調査対象者が「浮力」を「浮く力」や「浮くものに働く力」

などと誤って認識していることと同時に、「浮力」の存在を物体の浮き沈みにより判断している。」と報告しており、「①「水圧」の学習は、「浮力」の理解に一定の効果がある。②水中で静止している物体にはたらく「浮力」だけでなく、水中で運動している物体に働く「浮力」を検討することは、「浮力」の理解を促進する。」と結論づけている。

素朴概念を科学的概念へ変容させるための条件として、Posner et al. (1982) によって提唱された CCM (Conceptual Change Movement) 理論では、科学的概念が、「わかりやすく (Intelligible)」、「もっともらしく (Plausible)」、「実りの多い (Fruitful)」ことをあげている。この後、様々な教授方略が提唱されてきた。

Hashweh (1986) は、素朴概念を変容させる方法として、「概念変容モデル」を提案している。概念変容モデルを図1に示す。このモデルでは、現実の世界 (real world) の特定の事例 R1 に関連付けられた概念の世界 (world of ideas) の素朴概念 C1 を科学的概念 C2 へ変容させることをねらいとしている。はじめに、素朴概念 C1 が通用しない現実の世界の事例 R2 を与えることにより、C1 と R2 の間で認知的葛藤 (1) (Conflict(1)) を生じさせる。次に、C1 とは矛盾する概念である、より一般的な概念 C2 を学習者に与え、C1 と C2 の間でも認知的葛藤 (2) (Conflict(2)) を発生させる。これらの認知的葛藤を意図的に生じさせた上で、それを解消させるために以下の2つの方略をはかると提唱している。①暗黙的に使われている素朴概念を明確に意識化させる。

\*石川県立金沢錦丘高等学校 \*\*京都府立東舞鶴高等学校浮島分校

\*\*\*兵庫教育大学大学院教育実践高度化専攻授業実践開発コース 教授

②素朴概念 C1はある特定の事例だけしか説明できないが、科学的概念 C2はより一般性を有していることに気づかせる。そして、高垣 (2001) は、「日常的経験に基づいて獲得した高さの概念」を「数学的な高さの概念 (高さは、平行線に垂直に引いた直線の長さ)」へ変容させるために概念変容モデルに基づく教授法を講じ、その効果を実証的に明らかにしている。

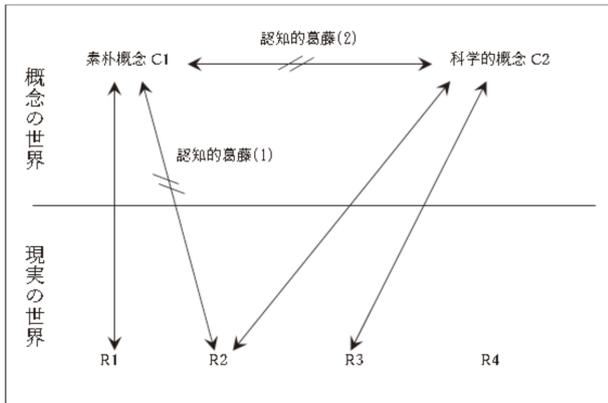


図1 概念変容モデル (Hashweh, 1986)

素朴概念を明確に意識化させることに関して、以下のような研究報告がある。古屋・戸北 (1993) は、子どもの素朴概念を科学的概念に転換する方法の一部として、素朴概念を意識化させることが有効であることを実証的に明らかにしている。また、森藤 (1994) は理科の授業・教授が科学的概念の構成のみならず、それらと競合しうる素朴概念も射程に捉え、両者を明確に意識化させ、両者の相互交渉の機会を最大限に保証することの重要性を述べている。また進藤 (1995) は、浮力に関する素朴概念を明確化させる課題を事前に行えば、その後に浮力に関する科学的な知識の提示した場合に、素朴概念の修正が推進されることを実証的に示している。

他方、学習者に認知的葛藤を生じさせることに関して、Drefus et al. (1990) は、素朴概念を別の誤った概念に変換される場合があるため、学習者に認知的葛藤を抱かせても、素朴概念は修正されにくいと指摘している。同様な報告として中島 (1997) は、反例を提示された時の学習者の中には、素朴概念の周辺的な変更にとどまったり、反例を曲解して素朴概念を保持したりする者が多いと結論づけている。堀・林 (1992) は浮力の概念について、認知的葛藤を起こすと考えられる場面を提示して調査を行った。その結果、「考え方を変容させるために認知的葛藤のみを導入することの不適切性」を明らかにしている。

その他にも、Tsai (2000) は反例の提示から始まる概念変化の過程に着目し、概念変化の過程を①素朴概念は、適用し得る事例が限定されることに気づく、②科学的概念は、現実世界におけるすべての事例に適用し得ることから、より一般性を有していることに気づく、という2つの条件が必要であるとまとめている。森本・甲斐・森藤 (2006) は科学概念の変換過程について検証し、概

念の変換には、学習者が、今、保持している概念の適応範囲を自覚化する「画定」が必要であると結論づけている。高校生を対象とした沖野・松本 (2011) の研究は、教授方略として、①素朴概念の明確化、②素朴概念の獲得過程の明確化、③素朴概念と科学的概念の接続・照合という3段階の「メタ認知的支援」が素朴概念の克服に有効であることを実証的に検証している。

これらの先行研究より、素朴概念を科学的概念に転換させるための要因として、以下の「3つの支援」が重要であることが示唆される。

- (i) 素朴概念の自覚化を促す
- (ii) 認知的葛藤を喚起する
- (iii) 科学的概念の汎用性を実感させる

先行研究を概観すると、浮力に関する学習指導の実践報告は若林 (2013) の研究等、数多く存在する。しかしながら、高校生を対象として浮力に関する素朴概念を科学的概念へ転換させるための指導理論に基づく実践的な研究は見当たらない。

## II. 研究の目的

高等学校の物理教育において、指導法として本研究で定める「3つの支援」を行うことが、浮力に関する素朴概念を科学的概念に転換させるために有効であるかどうかを実証的に検証する。

なお、Hashweh (1986) や Tsai (2000) 等の先行研究を参考にして、「3つの支援」を「素朴概念を科学的概念に転換させるため、生徒自身に自らが獲得していた素朴概念がどのようなものかを自覚化させ、さらに、その素朴概念に対して反例となる現象を提示することで認知的葛藤を抱かせ、その後、提示した科学的概念の方が汎用性を有していること実感させること。」と定義する。具体的には、以下の三段階の支援を行うものとする。

- (i) 素朴概念の自覚化を促す

生徒自身に自らが獲得していた素朴概念がどのようなものかを自覚化させる。

- (ii) 認知的葛藤を喚起する

生徒の素朴概念に対して、反例となる現象を提示し認知的葛藤を喚起させ、素朴概念ではその現象を説明出来ないことに気付かせ不満を抱かせる。

- (iii) 科学的概念の汎用性を実感させる

抱かせた不満を解消するために、生徒に科学的概念を提示し、素朴概念よりも科学的概念の方が汎用性を有していることを実感させる。

## III. 研究の方法

### 1. 期間・対象・題材

期間・対象・題材は以下のとおりである。

期間：平成27年6月

対象：京都府立A高等学校

普通科理系2年生クラス (40名)

題材：物理基礎「浮力」(全2時)

実施した学校の都合で、第1時、第2時ともに40分間

の授業で実施した。対象生徒は全て進学志望者である。

## 2. 授業効果の測定方法

研究授業によって科学的概念が形成されたかどうかは、多肢選択式と記述式を併用した概念調査テストを用いて測定した。この概念調査テストは堀・宮澤（1994）、新里・古屋（2014）が用いた調査テストを参考にして、新たに再構成したものである。この概念調査テストは問1～5の計5問で構成されている。なお、概念調査テストは、巻末の資料に示した。

概念調査テストの問1～5は、水が入った水槽の中に、水中で沈む2つの物体を紐でつるした問題である。問1は質量、問2は底面積、問3は深さ、問4は体積、問5は流体の密度をそれぞれ変数と考え、その変数を変えた場合に物体にはたらく浮力に違いが生じると思うかどうかを調査する問題である。選択肢は①変数が小さい方の物体にはたらく浮力のほうが大きい、②変数が小さい物体にはたらく浮力のほうが大きい、③浮力の大きさはどちらも同じ、④どちらも浮力ははたらいっていない、⑤その他、の5つを設けている。

図2 概念調査テストと授業の時系列

この概念調査テストを使って、浮力を学習する前に事前テスト、授業後に事後テスト、最後に事後テストから約3ヶ月に遅延テストを行った。これら3つの調査テストは同じ問題である。図2に概念調査テストと授業の時系列を示す。

## 3. 授業の概要

浮力第1時の授業展開を表1に示す。第1時では「浮力の大きさを決める要因は何か」という課題に対して、演示実験を観察させることによって浮力の要因を確認していった。この際に「(i)素朴概念の自覚化を促す」、「(ii)認知的葛藤を喚起する」場面を設定した。具体的な手立ては次のとおりである。

はじめに、生徒に考えられる浮力の要因を自由に発言させた。その結果生徒からは、物体の深さ、体積、質量、底面積、流体の密度の5つの量が出てきた。この5つの量はすべて、授業者が想定していたものであった。そこで、巻末資料のようなワークシートを配布した。このワークシートでは、この5つの量のそれぞれについて、「予想」「実験結果」「結論」「疑問」を記述するスペースが用意されている。

ワークシートを利用した授業の流れを、「深さ」を例として説明する。物体の深さを深くすると、物体にはたらく浮力の大きさはどうなるかを、「大きくなる」、「変化しない」、「小さくなる」の3つの選択肢から全員の生徒に改めて予想させて、そのように予想した理由もワー

クシートに記述させた。このように生徒に予想させる場面が、「(i)素朴概念の自覚化を促す」に相当する。次に演示実験を行い、実験結果をまとめ、結論を出し、疑問点、考察を自由記述させた。演示実験では、目盛りが「N」のばねばかり（ニュートンばかり）を用いて、空気中の物体の重さと水中の重さを測定し、その差を計算することで浮力の大きさを調べることにした（図3参照）。予想と実験結果が対立すれば、生徒に「(ii)認知的葛藤を喚起する」場面を与えることになる。

5つの量に対してすべて同様に実験を行い、浮力の大きさを決める要因は体積と流体の密度の2つだけであることを導いた。

表1 第1時の授業展開

時間	生徒の学習活動	指導上の留意点
導入 3分	1. 本時の目標を確認する。	・演示実験から、浮力の向きは上向きだが大きさはわからないことに注意させる。
展開 35分	<b>浮力の大きさを決める要因は何か。</b>	
	2. 浮力の大きさを決める要因を予想する。	・予想は外れても良い事を伝え、できるだけ多く出させる。
	3. 演示実験を観察し、結果をワークシートに記入する。	・物体の深さ、体積、質量、底面積、流体の密度を独立変数とする。 ・得られたデータは定量的に扱うことに注意させる。
	4. 疑問・考察をワークシートに記入する。	・自分の予想と得られた結果を比較させ、疑問を記述させる。
まとめ 2分	5. 3. 4を繰り返し行う。 6. 実験を通して、浮力の公式を考える。	

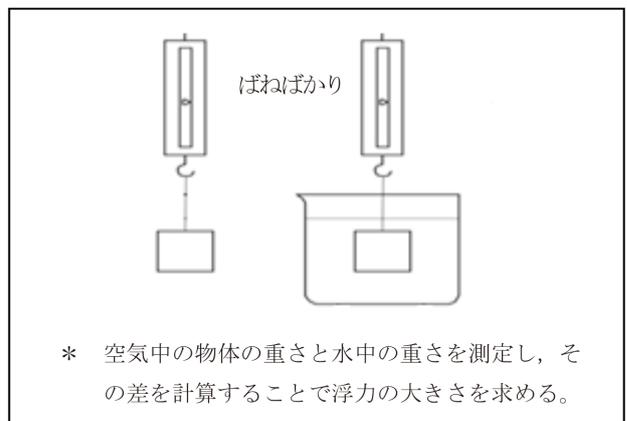


図3 浮力の大きさの求め方

浮力第2時の授業展開を表2に示す。第2時では「(iii)科学的概念の汎用性を実感させる」場面を設定した。

はじめに、浮力の公式「 $F = \rho Vg$ 」とアルキメデスの原理について、生徒に通常の授業で行われているような説明をした。つまり、浮力は「物体の上下面が流体から受ける圧力による力の差によって生じること（科学的概念）」を、生徒に伝えた。

しかしながら、浮力に関する科学的概念の説明を教師からされても、素朴概念を破棄できない生徒が未だにいるのではないかと考えられた。そこで、「(iii)科学的概念の汎用性を実感させる」場面を設定し、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現象を提示した。具体的には、「浮力と反作用の演示実験」を行った。この実験は、物体にはたらく浮力を「物体に内在する力」(素朴概念)と考えた場合には説明できない現象が生じるものである。

表2 第2時の授業展開

時間	生徒の学習活動	指導上の留意点
導入 3分	1. 前回の実験から導いた公式を確認する。	・文字、数式の意味を日本語で説明し、単なる式変形にならないように注意する。
展開I 17分	2. 浮力の公式を水圧から求める。	
	3. アルキメデスの原理を知る。	
展開II 17分	物体を入れると重さはどのように変化するだろう	
	4. 実験の予想と理由をワークシートに記入する。	・予想は外れてもよいことを伝え、自分の意見を持たせる。
	5. 実験結果を観察し、疑問点及び考察をワークシートに記入する。	・浮力は何が何にはたらく力かを意識させる。 ・運動の三法則はいかなる場合にも成り立つことを確認させ、作用反作用を思い出させる。
まとめ 3分	6. この実験を考える上での重要ポイントをワークシートに記入する。	

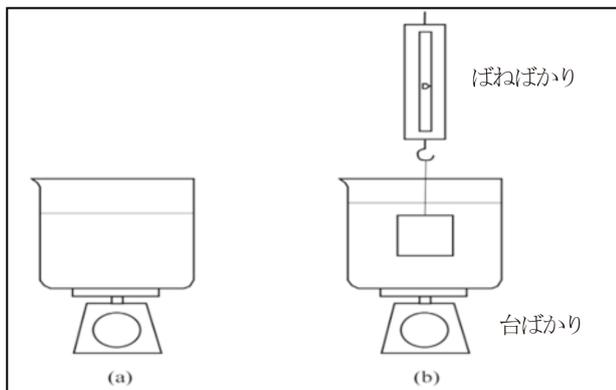


図4 浮力と反作用の実験

「浮力と反作用の演示実験」では、図4のように2つの異なる状態のビーカーの重さを台ばかりで測定した場合に、どのような違いがあるのかを考えさせるものである。はじめの状態(a)は、水を入れたビーカーの重さを台ばかりで測定するものであり、あとの状態(b)は、糸につるした物体を水の中に入れてビーカーの底には着けない状態にして、全体の重さを台ばかりで測定するものである。授業では生徒に対して、(b)の台ばかりの測定値は(a)と比べて、「大きい」、「小さい」、「変化しない」の3つの選択肢から予想させ、理由もワークシートに記述させた。

実際に演示実験を行うことによって、全体の重さは(b)の方が大きくなることを示した。さらに、第1時と同様にして物体の浮力の大きさを求め(図3参照)、この浮力の大きさの分だけ、(b)が(a)よりも全体の重さが大きくなったことを実験によって確認した。

科学的概念によると、物体の浮力は「水が物体を押し力」であるから、この力の反作用は「物体が水を押し力」となる。そのため、この「物体が水を押し力」の分だけ、(b)の台ばかりの測定値は(a)よりも増加することになる。また、物体の浮力、つまり、「水が物体を押し力」が生

じる原因は、「物体の上下面が水から受ける圧力による力の差」であると説明できる。ところが、物体の浮力を「物体に内在する力」(素朴概念)と考えた場合には、この実験結果を合理的に説明することはできない。なお、第2時で使用したワークシートは、巻末の資料に示した。

#### IV. 結果

実験対象クラスは普通科理系クラス全40名(男27名女13名)である。そのうち、授業を欠席した生徒、概念調査テストの回答方法を理解できなかった生徒、および事前・事後・遅延テストのうち1回でも調査を行えなかった生徒を分析から除外した。その結果、調査対象者数は37名になった。

概念調査テストは問1～5の計5問で構成されている。いずれの問題も、水が入った水槽の中に、水中で沈む物体2つを紐でつるした問題であり、問1は質量、問2は底面積、問3は深さ、問4は体積、問5は流体の密度をそれぞれ変数と考え、その変数を変えた場合に物体にはたらく浮力に違いが生じると思うかどうかを選択肢の中から答える問題である。

表3 事前テストの正解者数 (N=37)

	問1	問2	問3	問4	問5
	質量	底面積	深さ	体積	流体の密度
正解者数	23	9	12	24	29
(正解者の割合(%))	(62)	(24)	(32)	(65)	(78)

表3は事前テストの結果を示したものである。問1(質量)、問4(体積)、問5(流体の密度)の3題に関しては、それぞれの問いに対して6割～8割程度の生徒が正解しており、これらに対する生徒の理解は概ね良好であった。ところが、問2(底面積)、問3(深さ)の2題に関しては、それぞれの問いに対して2割～3割程度の生徒しか正解することができなかった。

そこで、本研究が提案する指導法によって、これらの2題の各問題に関する生徒の理解にどの程度改善がみられたかを、事後テスト・遅延テストの結果を踏まえて分析した。

問2(底面積)、問3(深さ)の各問題の分析に関しては、対応がある3条件の比率の差の検定を行った。この検定はコ克蘭のQ検定(Cochran's Q test)と呼ばれる統計学的な分析法である(森・吉田, 1990a)。

また、最後に概念調査テストを総合的に分析することを試みた。この分析に関しては、1要因の対応のある分散分析で行った。また、下位検定として、TurkeyのHSD検定を多重比較の検定に用いた。この検定は乱塊法(randomized block design)、あるいは被験者内計画と呼ばれる統計学的な分析法である(森・吉田, 1990b)。

1. 問2（底面積）に関する検定の結果

表4は、問2（底面積）に対して、事前・事後・遅延の各テストの結果を示したものであり、図5は正解者の割合をグラフに示したものである。

表4 問2（底面積）の結果

	事前	事後	遅延	合計人数 (人)
	○	○	○	6
	○	×	○	2
	○	×	×	1
	×	○	○	21
	×	○	×	2
	×	×	○	2
	×	×	×	3
正解者数	9	29	31	
(正解者の割合 (%))	24	78	84	

○：正解，×：不正解，N=37

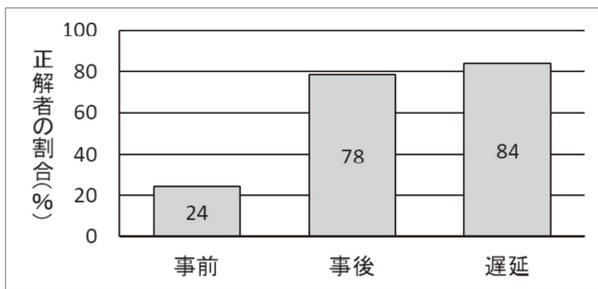


図5 問2（底面積）の結果のグラフ

有意水準を5%に設定して、表4の結果をQ検定した。その結果、臨界値が5.99（自由度2）に対して、検定統計量Qが31.71であり、得られたQの値が臨界値より大きい（有意確率 $1.30 \times 10^{-7}$ ）ため、直前・直後・遅延テストの正解者の割合には、有意な差が認められた。したがって上記の結果より、本研究の指導法を行うことによって、事前テストよりも事後テストは正解者の割合が上昇し、3か月後の遅延テストでも事前テストよりも正解者の割合は高いままであった。そのため、学習前・学習後・遅延テストの正解者の割合には、有意な差が生じた。

2. 問3（深さ）に関する検定の結果

表5は、問3（深さ）に対して、事前・事後・遅延の各テストの結果を示したものであり、図6は正解者の割合をグラフに示したものである。

表5 問3（深さ）の結果

	事前	事後	遅延	合計人数 (人)
	○	○	○	8
	○	○	×	1
	○	×	○	3
	×	○	○	13
	×	○	×	5
	×	×	○	4
	×	×	×	3
正解者数	12	27	28	
(正解者の割合 (%))	32	73	76	

○：正解，×：不正解，N=37

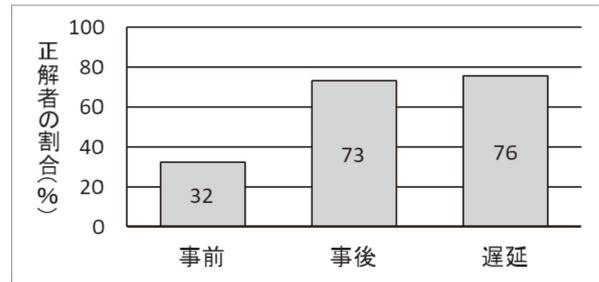


図6 問3（深さ）の結果のグラフ

有意水準を5%に設定して、表5の結果をQ検定した。その結果、臨界値が5.99（自由度2）に対して、検定統計量Qが18.54であり、得られたQの値が臨界値より大きい（有意確率 $9.61 \times 10^{-5}$ ）ため、直前・直後・遅延テストの正解者の割合には、有意な差が認められた。したがって上記の結果より、本研究の指導法を行うことによって、事前テストよりも事後テストは正解者の割合が上昇し、3か月後の遅延テストでも事前テストよりも正解者の割合は高いままであった。そのため、学習前・学習後・遅延テストの正解者の割合には、有意な差が生じた。

3. 概念調査テストに関する総合的な結果

表6は概念調査テストの計5問に対して、事前・事後・遅延の各テストの正解率の平均と標準偏差結果を示しており、図7は正解者の割合をグラフに示したものである。なお、正解率とは、5問の概念調査テストの点数をそれぞれ1点とし、5点満点の素点を百分率（%表示）で表したものである。

表6 「調査問題の正解率」の結果

	事前テスト	事後テスト	遅延テスト
正解率の平均	52.4	79.5	84.3
標準偏差	23.9	17.1	16.2

N=37, 正解率は%表示

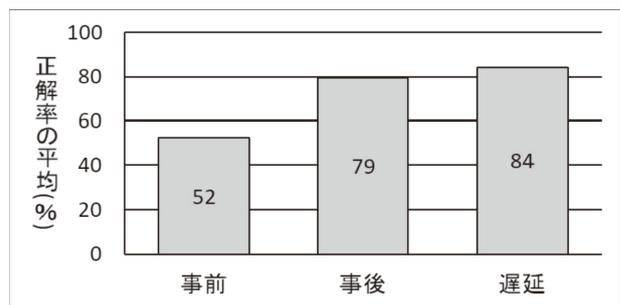


図7 「調査問題の正解率」の結果のグラフ

分散分析の結果を表7に、また、TukeyのHSD検定を用いた多重比較の結果を表8に示す。なお、検定の際の有意水準はすべて5%に設定した。

分散分析の結果、表7より、各テストの正解率の平均に有意な差が認められた。 $(F(2,72)=42.08, p<0.05)$

そして、TukeyのHSD検定を用いた多重比較の結果、表8が示すとおり、事前～事後、事前～遅延では有意な差が認められ、事後～遅延では有意な差が認められなかつ

た。(臨海値: HSD = 8.95, 有意水準 5%)

したがって上記の結果より, 本研究の指導法を行うことによって, 正解率が上昇し, 事前テストと事後テストの正解率の平均に有意な差が生じた。また, 遅延テストでも正解率は高い状態であり, 事後と遅延の間の正解率の平均の差は, 有意な差が生じなかった。

表7 「調査問題の正解率」の分散分析表

変動因	平方和 SS	自由度 df	不偏分散 MS	分散比 F
各調査問	21845.05	2	10922.52	42.08*
個人差	22890.09	36	635.84	2.45
残差	18688.29	72	259.56	
全体	63423.42	110		

\* $p < 0.05$

表8 「調査問題の正解率」の各調査問の差の絶対値とHSD検定による多重比較の結果

	事後	遅延
事前	27.03*	31.89*
事後		4.86

\* $p < 0.05$

## V. 考察

### 1. 高等学校で「浮力」を学習する前の生徒の実状

本研究の事前テストの結果より, 問1(質量), 問4(体積), 問5(流体の密度)の3題に関しては, それぞれの問いに対して6割~8割程度の生徒が正解しており, これらに対する生徒の理解は概ね良好であった。現行の学習指導要領において浮力に関する学習は, すでに中学校の第1学年の単元「力と圧力」の中で学習されているため, その成果の影響がある程度あったのではないかと推測される。

ところが, 問2(底面積), 問3(深さ)はそれぞれの問いに対して2割~3割程度の生徒しか正解することができなかった。

問2(底面積)について, 最も回答が多かった選択肢は「②円すいに働く浮力の方が大きい」(24人(N=37))であった。その選択肢を選んだ生徒の回答理由は, 「円すいの方が底面積が大きいから。」「浮力をうける面積が大きいから。」等であった。したがって, 本研究においても授業前には, 住友・野上・稲垣(1995)が指摘する「平ら理論」に関して, 全体の約3分の2の生徒が保持した状態であったと考えられる。

問3(深さ)について, 最も回答が多かった選択肢は「②深い位置にあるほうが浮力が大きい」(21人)であった。その選択肢を選んだ生徒の回答理由は, 「深い位置にある方が水から物体への力が大きく, その分浮力も大きくなると思ったから。」「深い位置のほうが水圧が高くなるため。」等であった。したがって, 堀・宮澤(1994)が指摘する「深さ理論」に関して, 全体の約6割の生徒が保持した状態であったと考えられる。

したがって, 本研究の研究授業を受けた生徒たちの半数以上は, 中学校の通常の授業では, 「平ら理論」と

「深さ理論」は克服されていなかったことがわかる。よって, 高等学校の物理教育においても, 「平ら理論」と「深さ理論」を科学的概念へ転換させるための指導法に関する実践的な研究の必要性が, 本研究においても明らかになったといえる。

### 2. 「3つの支援」と素朴概念の克服

素朴概念を克服するために, 本研究では素朴概念と矛盾する結果となる演示実験を行った。演示実験を実施する前に, ワークシートに自分の予想を記述させ「(i)素朴概念の自覚化を促す」ことをした。つづいて演示実験の結果を得ることで, 素朴概念を保持していた生徒に対して「(ii)認知的葛藤を喚起する」ことをした。

ここまでの実践は, 従来の理科授業の中でもよく行われていたことであろう。そしてこれらに関して, 古屋・戸北(1993)の研究によると, 子どもの素朴概念を科学的概念に転換する方法の一部として, 素朴概念を意識化させることが有効であることが明らかになっている。他方, 堀・林(1992)は, 考え方を変容させるために認知的葛藤のみを導入することの不適切性を明らかにしている。

そこで本研究では, 3つ目の支援として「(iii)科学的概念の汎用性を実感させる」場面を設定したことが特徴的である。本研究の実践では, 「浮力と反作用の演示実験」を行い, 「浮力は外から受ける力である」(科学的概念)と考えなければ説明がつかない現象を生徒に提示した。その結果, 浮力を「内在する力」と捉えていたり, 感覚的に捉えていたりしていた生徒にとってみれば, 今まで自分が保持していた概念は限られた現象しか説明できないが, 科学的概念の方はより汎用性を有していることを実感し, 概念の転換が促されたと考えられる。

## VI. 結論

先行研究を概観すると, 浮力に関する学習指導の実践報告は, 数多く存在するが, 高校生を対象として浮力に関する素朴概念を科学的概念へ転換させるための指導理論に基づく実践的な研究を試みた事例は見当たらない。

この研究授業では, 高校生を対象として「3つの支援」による指導を行うことが, 浮力に関する素朴概念を科学的概念に転換させるために有効であることが示された。

## VII. 今後の課題

本研究では, 新里・古屋(2012)が指摘する「浮き上がる物体に浮力は働くが, 沈んでいく物体には浮力は働かない」等, 動いている物体にはたらく浮力に関する素朴概念に対して支援は行うことができなかった。この点は今後の課題となる。

また本研究の授業では, 浮力の学習で2コマの授業時間を要した。しかしながら, 現状の高等学校の現場を考慮すると, 限られた授業時数のカリキュラムの中で, 浮力の概念の形成のためだけに多くの時間を要することは現実的ではない。できることならば, 浮力の科学的概念

形成をめざした授業を1コマの授業時間で完結させたいところであり、今後の授業開発の対象になると考える。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究授業の実施にご快諾をいただきました京都府立桃山高等学校の橋本吉弘前校長先生、ご指導・ご助言をいただきました物理担当の山口道明先生、松井紀夫先生、高橋信幸先生に心より感謝を申し上げます。

## 引用文献

- Drefus, A., jungwirth, E., & Eliovitch, R. (1990). Applying the “congnitive conflict” strategy for conceptual change: Some implications, difficulties, and proclems. *Science Education*, 74, 555-226.
- 古屋光一・戸北凱雄 (1993) 「中学生の力と運動についての指導方法に関する研究—概念転換の方略の1ステップとして—」『日本理科教育学会研究紀要』第33巻, 第3号, 91-100.
- Hashweh, M.Z (1986). Toward an explanation of conceptual change, *European journal of Science Education*, 8 (3), 229-249.
- 堀哲夫・林政美 (1992) 「科学的概念の形成と理解—「浮力」の概念を事例にして—」日本理科教育学会編『日本理科教育学会研究紀要』第33巻, 第1号, 25-36.
- 堀哲夫・宮澤研 (1994) 「科学的概念の形成と理解—「浮力」概念の形成と教科書の内容構成について—」『日本理科教育学会研究紀要』第35巻, 第1号, 1-10.
- 稲垣成哲・野上智行・住友弘子 (1998) 「浮力に関する素朴理論：学習者における物体の形状にかかわる素朴理論の構成と学校的な問題を解くことの関連」『日本理科教育学会研究紀要』第38巻, 第3号, 205-215.
- 文部科学省 (2008) 『中学校指導要領』東山書房, 58-63.
- 森敏昭・吉田寿雄 (1990a) 『心理学のためのデータ解析テクニカルブック』北大路書房, 193-195.
- 森敏昭・吉田寿雄 (1990b) 『心理学のためのデータ解析テクニカルブック』北大路書房, 85-94.
- 森藤義考 (1994) 「力の運動に関する学習者の理解に実態—概念生態系を基礎として—」『日本理科教育学会研究紀要』第35巻, 第1号, 77-78.
- 森本信也・甲斐初美・森藤義考 (2006) 「理科授業における学習者の科学概念変換に関する一考察—中学生の進化に関わる概念変換を事例として—」日本理科教育学科編『日本理科教育学会研究紀要』第47巻, 第2号, 51-64.
- 中島伸子 (1997) 「ルール修正に及ぼす反例遭遇経験の役割—理論の節約性に関するメタ認知の教授効果—」『教育心理学研究』第45巻, 第3号, 263-273.
- 新里和也・古屋光一 (2012) 「水中の物体に働く浮力の

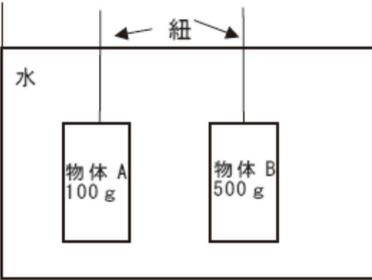
認識に関する調査」『北海道教育大学紀要』第62巻, 第2号, 253-262.

- 新里和也・古屋光一 (2014) 「中学生から大学生までの水中の「浮力」に関する認識調査—「浮力」の概念に関する指導方略への提言—」『理科教育学研究』第54巻, 第3号, 403-417.
- 沖野信一・松本伸示 (2011) 「科学の基礎概念の形成をめざした理科授業開発—高等学校「物理 I」における MIF 的素朴概念の克服のための指導法—」『理科教育学研究』第52巻, 第1号, 1-12.
- Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 221-227.
- 進藤聡彦 (1995) 「誤法則を明確化する先行課題が法則の修正に及ぼす効果」『教育心理学研究』第43巻, 第3号, 266-276.
- 住友弘子・野上智行・稲垣成哲 (1995) 「物体の形状が浮力の認識に及ぼす影響」『人間科学研究』第3巻, 第1号, 27-33.
- 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』第49巻, 第3号, 274-284.
- Tsai, C.C (2000). Enhancing science instruction: The use of “conflict maps”. *International Journal of Science Education*, 22, 681-685.
- 若林教裕 (2013) 「浮力を学ぶ意味や価値を実感させる教材と指導展開」『平成25年度東レ理科教育賞受賞作品集』1-5.

## 資料

### 概念調査テスト (事前・事後・遅延テスト)

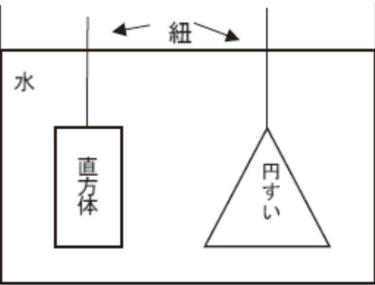
**問 1**  
 体積と形が等しい物体 A と物体 B があります。物体 A と物体 B の質量は、それぞれ 100 g と 500 g です。これら 2 つの物体を水の入った水槽の同じ深さに入れました。  
この状態のとき、物体への浮力に違いはあるでしょうか。  
 答えを下の①～⑤の中から 1 つ選び、選んだ理由を書いてください。  
 また、物体 A、物体 B それぞれに働く力のベクトルすべてを図示してください。



①物体 A (100 g) に、働く浮力の方が大きい。  
 ②物体 B (500 g) に、働く浮力の方が大きい。  
 ③浮力の大きさは、どちらも同じ。  
 ④どちらにも浮力は働いていない。  
 ⑤その他

答え	理由

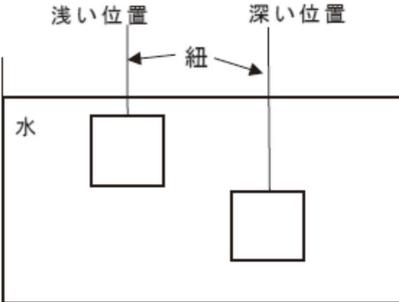
**問 2**  
 底面積が異なり、体積・質量が等しい 2 つの物体があります。この 2 つの物体を、水の入った水槽の同じ深さに入れました。  
この状態のとき、物体への浮力に違いはあるでしょうか。  
 答えを下の①～⑤の中から 1 つ選び、選んだ理由を書いてください。  
 また、直方体、円すいそれぞれに働く力のベクトルすべてを図示してください。



①直方体に、働く浮力のほうが大きい。  
 ②円すい、働く浮力の方が大きい。  
 ③浮力の大きさは、どちらも同じ。  
 ④どちらにも浮力は働いていない。  
 ⑤その他

答え	理由

**問 3**  
 体積・質量・形が等しい 2 つの物体があります。この 2 つの物体を、水中の異なる深さ（浅い位置 深い位置）に入れました。  
この状態のとき、物体への浮力に違いはあるでしょうか。  
 答えを下の①～⑤の中から 1 つ選び、選んだ理由を書いてください。



①浅い位置にあるほうにはたらく浮力が大きい。  
 ②深い位置にあるほうにはたらく浮力が大きい。  
 ③浮力の大きさは、どちらも同じ。  
 ④どちらにも浮力は働いていない。  
 ⑤その他

答え	理由

**問 4**

質量と形が等しい立方体 A と立方体 B があります。A の体積は  $100\text{cm}^3$  で B の体積は  $50\text{cm}^3$  です。これらを水のいった水槽の同じ深さ(重心をそろえた)に入れました。

このとき、立方体への浮力に違いはあるでしょうか。

答えは下の①～⑤の中から1つ選び、選んだ理由を書いてください。

また、立方体 A、立方体 B それぞれに働く力のベクトルすべてを図示してください。

①立方体 A ( $100\text{cm}^3$ ) に、働く浮力の方が大きい。  
 ②立方体 B ( $50\text{cm}^3$ ) に、働く浮力の方が大きい。  
 ③浮力の大きさは、どちらも同じ。  
 ④どちらにも浮力は働いていない。  
 ⑤その他

答え	理由

**問 5**

ばねばかりに鉄の塊を取り付けました。そして右図のように鉄の塊を水中に入れたとき、ばねばかりの数値は  $400\text{g}$  でした。

次に食塩を水槽の中に入れ、溶かし食塩水にしました。

ばねばかりの数値はどのように変化しますか。

答えを下の①～⑥の中から1つ選び、選んだ理由を書いてください。

①鉄の塊に働く浮力は大きくなり、ばねばかりの数値は  $400\text{g}$  よりも大きくなる。  
 ②鉄の塊に働く浮力は大きくなり、ばねばかりの数値は  $400\text{g}$  よりも小さくなる。  
 ③鉄の塊に働く浮力は変化しない、よってばねばかりの数値は  $400\text{g}$  のままになる。  
 ④鉄の塊に働く浮力は小さくなり、ばねばかりの数値は  $400\text{g}$  よりも大きくなる。  
 ⑤鉄の塊に働く浮力は小さくなり、ばねばかりの数値は  $400\text{g}$  よりも小さくなる。  
 ⑥その他

答え	理由

1 時間目で使用したワークシート

\_\_\_月 \_\_\_日 \_\_\_学年 \_\_\_組 \_\_\_番号 名前 \_\_\_\_\_

浮力の大きさを決める要因は何か。

あなたは浮力を  $F = \dots$   $g$  と考えています。

わたしは浮力を  $F = \dots$   $g$  と考えました。

重力加速度:  $g$  ( $\text{m/s}^2$ )  
 物体の体積:  $V$  ( $\text{m}^3$ )  
 物体の底面積:  $S$  ( $\text{m}^2$ )  
 物体の深さ:  $h$  ( $\text{m}$ )  
 物体の質量:  $m$  ( $\text{kg}$ )  
 水の密度:  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ )

浮力の大きさ ← 物体の深さ  $h$

予想: 物体の深さを深くすると浮力の大きさは  
 ①大きくなる ②変化しない ③小さくなる

理由 必要があれば下図を使って説明してください。

実験結果

物体の深さ	浅い	深い
空気中のおもりの重さ (N)		
水中のおもりの重さ (N)		
浮力の大きさ (N)		

結論: 物体の深さを深くすると浮力の大きさは  
 ①大きくなった ②変化しなかった ③小さくなった

疑問

浮力の大きさ ← 物体の体積  $V$

予想: 物体の体積を大きくすると浮力の大きさは  
 ①大きくなる ②変化しない ③小さくなる

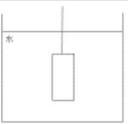
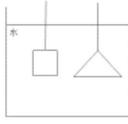
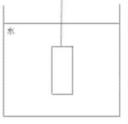
理由 必要があれば下図を使って説明してください。

実験結果

物体の体積	小さい	大きい
空気中のおもりの重さ (N)		
水中のおもりの重さ (N)		
浮力の大きさ (N)		

結論: 物体の体積を大きくすると浮力の大きさは  
 ①大きくなった ②変化しなかった ③小さくなった

疑問

<p><b>浮力の大きさ ← 物体の質量 <math>m</math></b></p> <p>予想: 物体の質量を大きくすると浮力の大きさは ①大きくなる ②変化しない ③小さくなる</p> <p>理由 <span style="float: right; font-size: small;">必要があれば下図を使って説明してください。</span></p> 	<p><b>浮力の大きさ ← 物体の底面積 <math>S</math></b></p> <p>予想: 物体の底面積を大きくすると浮力の大きさは ①大きくなる ②変化しない ③小さくなる</p> <p>理由 <span style="float: right; font-size: small;">必要があれば下図を使って説明してください。</span></p> 	<p><b>浮力の大きさ ← 流体の密度 <math>\rho</math></b></p> <p>予想: 流体の密度を大きくすると浮力の大きさは ①大きくなる ②変化しない ③小さくなる</p> <p>理由 <span style="float: right; font-size: small;">必要があれば下図を使って説明してください。</span></p> 																																				
<p><b>実験結果</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">物体の質量</td> <td style="width: 40%;">小さい</td> <td style="width: 40%;">大きい</td> </tr> <tr> <td>空気中のおもりの重さ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>水中のおもりの重さ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>浮力の大きさ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	物体の質量	小さい	大きい	空気中のおもりの重さ (N)			水中のおもりの重さ (N)			浮力の大きさ (N)			<p><b>実験結果</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">物体の底面積</td> <td style="width: 40%;">小さい</td> <td style="width: 40%;">大きい</td> </tr> <tr> <td>空気中のおもりの重さ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>水中のおもりの重さ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>浮力の大きさ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	物体の底面積	小さい	大きい	空気中のおもりの重さ (N)			水中のおもりの重さ (N)			浮力の大きさ (N)			<p><b>実験結果</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20%;">流体の密度</td> <td style="width: 40%;">小さい</td> <td style="width: 40%;">大きい</td> </tr> <tr> <td>空気中のおもりの重さ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>水中のおもりの重さ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>浮力の大きさ (N)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	流体の密度	小さい	大きい	空気中のおもりの重さ (N)			水中のおもりの重さ (N)			浮力の大きさ (N)		
物体の質量	小さい	大きい																																				
空気中のおもりの重さ (N)																																						
水中のおもりの重さ (N)																																						
浮力の大きさ (N)																																						
物体の底面積	小さい	大きい																																				
空気中のおもりの重さ (N)																																						
水中のおもりの重さ (N)																																						
浮力の大きさ (N)																																						
流体の密度	小さい	大きい																																				
空気中のおもりの重さ (N)																																						
水中のおもりの重さ (N)																																						
浮力の大きさ (N)																																						
<p>結論: 物体の質量を大きくすると浮力の大きさは ①大きくなった ②変化しない ③小さくなった</p> <p>疑問</p>	<p>結論: 物体の底面積を大きくすると浮力の大きさは ①大きくなった ②変化しなかった ③小さくなった</p> <p>疑問</p>	<p>結論: 流体の密度を大きくすると浮力の大きさは ①大きくなった ②変化しなかった ③小さくなった</p> <p>疑問</p>																																				

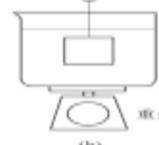
2時間目で使用したワークシート

\_\_月\_\_日 \_\_学年 \_\_組 \_\_番号 名前 \_\_\_\_\_

(b)の重量計の測定値は(a)の重量計の測定値と比べて、①大きい ②小さい ③変化しない



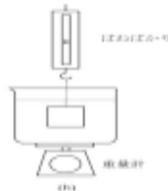
(a)



(b)

予想 ①大きい ②小さい ③変化しない

理由



結果 ①大きい ②小さい ③変化しない

疑問および考察



この実験を考える重要ポイントは?

