

科学概念の獲得と一貫性に関する基礎的研究

— 大学生を対象とした調査を基盤として —

松浦拓也・雲財寛*

(2015年12月7日受理)

An Analysis of Consistency of Scientific Concept: Based on the Actual Conditions of Undergraduate School Students

Takuya MATSUURA and Hiroshi UNZAI

Abstract. The purpose of this study is to provide some implications for curriculum and instruction of buoyancy in secondary school science. The paper-test items about buoyancy in liquids based on the research of Zeineddin & Abd-El-Khalick (2010) were administered to 159 university students. The results of 91% students who had learned physics at high school showed the difficulty of description/application of the theory of buoyancy at different contexts. Although they described the theory of buoyancy, some students can't perform scientific reasoning well at the other context. These difficulties are caused by memorizing the formula or rules without the understanding of conception of buoyancy in liquids.

1. 研究の背景と目的

いわゆる素朴概念は、物理領域、化学領域、生物領域、地学領域の全領域において報告されており、その中でも物理領域に関するものが多い。Watts & Zylbersztajn (1981) は、物体の運動と力の認識としてボールの投げ上げに関する課題を用いて調査を実施し、調査した全ての年齢において、物体が運動している際にその運動方向に力が働いているという素朴概念が影響していると考えられる結果を報告している。類似の調査は多数実施されており、水平飛行中の航空機から落下させた物体の軌跡を問う問題 (McCloskey, 1983)、宇宙空間を等速直線運動していた宇宙船がエンジンを2秒間だけ噴射させた際の宇宙船の軌跡を問う問題 (Clement, 1982) 等において、大学生でも正しく解答できない者が一定割合存在することが報告されている。特に、宇宙船の問題では、理工系の学生の約4分の1が大学において物理学を受講した後においても、エンジンの噴射が止まると元の運動方向に戻るという趣旨の解答をしている。これらの結果が

示すように、物体の運動と、物体に作用する力に関する素朴概念が存在し、科学的に正しい概念を学習した後も保持されるほど強固な場合がある。

この他にも、平らな物体の方が同体積・同質量の立方体や球状の物体よりも大きな浮力を受けると考える「平ら理論」のように、水中における浮力に関する認識についての研究が、素朴理論の文脈において取り扱われている (稲垣ら, 1998)。海外においても、このような浮力に関する概念に課題があることが示されている (Loverude et al., 2003)。また、近年においては、「水圧」の認識が「浮力」の認識に影響を及ぼしているといった調査結果も報告されている (新里・古屋, 2014)。

現行の中学校学習指導要領においては、このような浮力に関する学習は第1学年で取り扱うことになっている (文部科学省, 2008)。しかし、現在の大学生が中学生時代に使用していた教科書は、旧学習指導要領準拠であったため、浮力に関する学習は発展的内容として限定的に取り扱っていた。無論、高等学校において物理を履修してい

*広島大学大学院教育学研究科博士課程後期

れば、物理 I でアルキメデスの原理を学習し、浮力の大きさを表す公式「 $F = \rho V g$ 」についてもその導出過程を学ぶ機会がある。

一方、現在、中学校や高等学校の理科の教員免許状取得を目指している大学生は、中学生時代に浮力をあまり学習していないという認識を持っており、苦手意識のある大学生も一定数存在するようである。そこで、本研究では、このような世代の大学生を対象に、浮力に関する認識の実態を明らかにすることを目的として、概念調査を実施した。

2. 調査方法

本調査においては、浮力に関する問題の解答結果のみでなく、その様な解答をした理由を記述させることにより、認識の実態を詳細に分析することにした。このため、Zeineddin & Abd-El-Khalick (2010) が科学的推論の調査において用いた調査問題を援用し、浮力に関わる推論課題である (1) 水に浮かんだ木片、(2) 同体積で質量が異なる 5 つのブロック、(3) 同体積で質量が異なるつり下げられた 3 つのブロック、(4) 金属片を上に乗せた木片、という 4 種類の題材を用いた問いを用意した。また、浮力に関する基本的な理解状況を評価するために「水圧」、「浮力」を、応用的な理解状況を評価するために「船が浮かぶ理由」について説明を求める問いを用意した。本稿では、浮力に関する概念獲得の状況を複数の問題場面から分析することにより、その一貫性を検討する必要があると考えた。このため、これらの調査結果のうち、基礎的な理解である「浮力」、推論課題である (2) 同体積で質量が異なる 5 つのブロック (図 1)、(3) 同体積で質量が異なるつり下げられた 3 つのブロック (図 2)、応用的な理解である「船が浮かぶ理由」の各調査項目に基づく結果を中心に分析、考察することにした。

II. 下の図 1 のように、形と体積が同じで、質量が異なる 5 つのブロックがあります。これらのブロックは、番号が大きくなるほど質量も大きくなっています ($m_1 < m_2 < m_3 < m_4 < m_5$)。

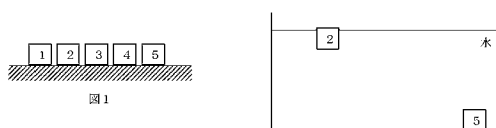


図 1

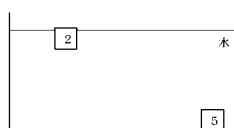


図 2

図 1 浮力に関する問題(2)

III. 3 つの同じ体積の立方体が、長さの異なる糸で吊されています。立方体 A と立方体 B の質量は同じ、立方体 C の質量は他の 2 つよりも小さくなっています。

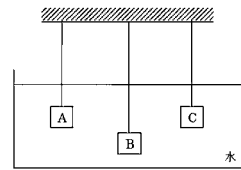


図 2 浮力に関する問題(3)

調査は、中学校又は高等学校の理科の教員免許状取得を目指している国立大学の大学生 159 名 (男性: 113 名・女性: 46 名) を対象に、2014 年 6 月に実施した。

3. 推論課題の全体的傾向

3-1 物理の履修状況

まず、高等学校における物理の履修状況について整理した。その結果、物理 I の履修率は 69.8% (男性: 89 名, 女性: 22 名, 合計 111 名) であった。また、学生の所属学部は、教育学部が約 2 割、理学部が約 6 割、その他が約 2 割であった。

3-2 同体積で質量が異なるブロック①

「同体積で質量が異なる 5 つのブロック」の設問 (以下、設問 (2) とする。) は、形と体積が同じで質量が異なる 5 つのブロックを水に沈めて手を離れた際の結果について、2 番と 5 番の状態を参考にして推論するものである (図 1 参照)。解答結果に基づき、物理 I の履修の有無を考慮して整理した結果を表 1 に示す。表 1 に示したように、物理履修者であっても、適切な推論ができた学生は 52.3% (解答内容に曖昧さのある準正答を含む) であった。正答人数と誤答・無答人数に有意な差があるか否かを検討するために、カイ二乗検定をしたところ、物理 I 履修群、未履修群いずれ

表 1 設問 (2) 解答結果

	物理 I 履修状況		全体	
	履修	未履修		
正答	58 (52.3)	19 (39.6)	77 (48.4)	
内訳	完全正答	40 (36.0)	6 (12.5)	46 (28.9)
	準正答	18 (16.2)	13 (27.1)	31 (19.5)
	誤答・無答	53 (47.7)	29 (60.4)	82 (51.6)

※ 単位: 人 (%)

れにおいても統計的に有意な差は見られなかった ($\chi^2_{(1)} = .23, n.s.$; $\chi^2_{(1)} = 2.08, n.s.$)。

3-3 同体積で質量が異なるブロック②

「同体積で質量が異なるつり下げられた3つのブロック」の設問(以下、設問(3)とする。)は、形と体積が同じで、1つだけ質量が異なる3つのブロックを水中でつり下げた図を提示し、ブロックに働く浮力の大小比較・説明をするものである(図2参照)。解答結果に基づき、物理Iの履修の有無を考慮して整理した結果を表2に示す。物理履修者であっても水深や質量の違いに惑わされており、表2に示したように適切に説明できた学生は49.5%であった。正答人数と誤答・無答人数に有意な差があるか否かを検討するために、カイ二乗検定をしたところ、物理I履修群においては統計的に有意な差は見られなかった ($\chi^2_{(1)} = .92, n.s.$)。一方、未履修群においては、統計的に有意な差が見られたことから ($\chi^2_{(1)} = 5.33, p < .05$)、設問3は物理I未履修群においては誤答・無答の学生が有意に多いことが示された。

表2 設問(3)解答結果

	物理I履修状況		全 体
	履 修	未履修	
正 答	55(49.5)	16(33.3)	71(44.7)
誤答・無答	56(50.5)	32(66.7)	88(55.3)

※単位：人(%)

3-4 2つの設問のクロス集計

上述の2つの設問の結果について、大学生が一貫した認識に基づいて推論しているか否かを検討するために、クロス集計を実施した。その結果を、表3に示す。表3に示したように、両問に正しく解答できた学生は、物理履修者において32.4%、未履修者においては12.5%のみであった。物理I履修群、未履修群それぞれにおいて2×2のカイ二乗検定をしたところ、履修群においては統計的に有意な差が見られた ($\chi^2_{(1)} = 7.62, p < .01$)。一方、未履修群においては統計的に有意な差は見られなかった ($\chi^2_{(1)} = .04, n.s.$)。

表3 設問(2)と(3)のクロス集計

		設 問 (3)	
		正 答	誤答・無答
設 問 (2)	履 修	正 答 36(32.4)	22(19.8)
		調整済み残差 2.8	-2.8
	誤・無答	19(17.1)	34(30.6)
		調整済み残差 -2.8	2.8
未 履 修	正 答	6(12.5)	13(27.1)
		調整済み残差 .2	-2
	誤・無答	10(20.8)	19(39.6)
		調整済み残差 .2	-2

※上段の単位：人(%)

4. 物理履修者における一貫性の検討

ここでは、浮力に関する認識の一貫性を詳細に検討するために、分析対象を物理I履修者である111名に限定し、浮力に関する基礎的な理解である「浮力」、応用的な理解である「船が浮かぶ理由」の調査項目と、前項で分析した設問(2)および設問(3)の関連について分析する。

4-1 「浮力」の説明

「浮力」という基礎的な用語の説明を求めた設問においては、45.0% (50名) が適切に解答していた。また、具体的な説明の例として、教育学部生は「上下の水圧差」に基づいて説明したり、「(浮力の大きさが)物体が押しつけた水の体積に比例すること」などを、文章を中心にして説明したりする傾向にあった。一方で、物理学科生は、「上下の水圧差」に基づいて説明したり、「物体が押しつけた水の体積に比例すること」などと併せて、浮力の大きさに関する公式「 $F = \rho Vg$ 」に言及したりする解答が多い傾向にあった。

また、このような浮力の定義の理解状況と、前項で取り扱った設問(2)「同体積で質量が異なる5つのブロック」や、設問(3)「同体積で質量が異なるつり下げられた3つのブロック」の理解状況の関連について検討するためにクロス集計を行った。その結果を表4および表5に示す。これらの表に示したように、「浮力の説明×設問(2)」、「浮力の説明×設問(3)」いずれの組み合わせにおいても、浮力の説明が正答である場合は設問(2)や設問(3)も正答の人数が多く、浮力の説明が

誤答・無答である場合はその逆となっている。このような傾向について、 2×2 のカイ二乗検定をした結果、統計的に有意であった ($\chi^2_{(1)} = 5.03, p < .05; \chi^2_{(1)} = 9.85, p < .01$)。

表4 浮力と問(2)のクロス集計

		設問(2)	
		正答	誤答・無答
浮力の説明	正答	32(28.8)	18(16.2)
	調整済み残差	2.2	-2.2
	誤答・無答	26(23.4)	35(31.5)
	調整済み残差	-2.2	2.2

※上段の単位：人(%)

表5 浮力と設問(3)のクロス集計

		設問(3)	
		正答	誤答・無答
浮力の説明	正答	33(29.7)	17(15.3)
	調整済み残差	3.1	-3.1
	誤答・無答	22(19.8)	39(35.1)
	調整済み残差	-3.1	3.1

※上段の単位：人(%)

4-2 「船が浮かぶ理由」の説明

浮力に関する応用的な課題である、「船が浮かぶ理由」の説明を求めた設問においては、適切に説明できていたのは27.9% (31名)のみであった。多くの学生の解答は、「船に働く重力と浮力が釣り合っているから」、「空洞(空気)があるから」といった趣旨の説明であり、理系の大学生の解答としては不十分な内容であった。また、科学的に妥当な説明内容であっても、密度や比重の視点から説明している解答が多く、アルキメデスの原理に言及して説明しているものは少ない。さらに、アルキメデスの原理に基づいて説明している解答において

も、浮力の大きさに関する公式「 $F = \rho Vg$ 」に機械的に当てはめるのみであり、説明としては不十分なものが多かった。

続いて、浮力の定義の理解状況との関連を検討するためにクロス集計を行った結果を表6に示す。表6に示したように、2問とも正答したのは18.9% (21名)であり、最も多い組み合わせは2問とも誤答・無答の45.9% (51名)であった。クロス集計の結果に基づき 2×2 のカイ二乗検定をした結果、統計的に有意であった ($\chi^2_{(1)} = 8.95, p < .01$) ことから、浮力の定義が理解できていても船が浮かぶ理由を説明できるとは限らないといえる。そもそも「船が浮かぶ理由」を適切に説明できていたのは27.9% (31名)のみであったことも影響していると考えられる。

表6 浮力と船が浮かぶ理由のクロス集計

		船が浮かぶ理由	
		正答	誤答・無答
浮力の説明	正答	21(18.9)	29(26.1)
	調整済み残差	3.0	-3.0
	誤答・無答	10(9.0)	51(45.9)
	調整済み残差	-3.0	3.0

※上段の単位：人(%)

4-3 理解の一貫性の検討

最後に、水中における浮力に関する応用的理解である「船が浮かぶ理由」と、その他の基礎的な理解や基礎的な推論課題との関係を分析することから、学生が保持する概念の一貫性について検討した。このため、浮力の定義、設問(2)、設問(3)の理解状況と、「船が浮かぶ理由」の理解状況の関連を検討するために、クロス集計を行った結果を表7に示す。表7に示したように、基礎的な理

表7 浮力に関する基礎的理解と応用的理解の関連

		浮力の説明							
		設問(2)				設問(3)			
		正答		誤・無答		正答		誤・無答	
		正答	誤・無答	正答	誤・無答	正答	誤・無答	正答	誤・無答
船が浮かぶ理由	正答	10(9.0)	2(1.8)	6(5.4)	3(2.7)	3(2.7)	2(1.8)	1(.9)	4(3.6)
	誤・無答	12(10.8)	8(7.2)	5(4.5)	4(3.6)	11(9.9)	10(9.0)	7(6.3)	23(20.7)

※単位：人(%)

解に関する3つの設問全てに正答の学生は22名であり、その内「船が浮かぶ理由」に正答しているのは10名(9.0%)のみとなっている。一方で、基礎的な理解に関する3つの設問において1つ以上誤答・無答している場合でも、合計21名の学生が「船が浮かぶ理由」に正答しており、浮力に関する基礎的な理解と応用的な理解に一貫性があると判断することは難しいと考える。

5. 科学概念の獲得と一貫性

ここでは、前項までに示した各分析結果を整理することにより、科学概念としての浮力における理解の一貫性について考察する。

まず、推論課題である設問(2)および設問(3)の物理Ⅰ履修群における解答結果を見ると、単問では5割程度が正答している。一方で、設問(2)と設問(3)のクロス集計の結果では、両方の問題に正答しているのは3割程度である。このように、正答率は高くないものの、クロス集計の結果は統計的に有意であったため、設問(2)と設問(3)の理解状況に一定程度の関連性があると考えられる。

続いて、浮力に関する基礎的な理解である「浮力」と、推論課題である設問(2)および設問(3)の関連について分析結果に着目すると、浮力の説明に正答している群の方が推論課題にも正答する傾向にあることが示された。この結果より、浮力に関する基礎的な理解と、設問(2)および設問(3)の理解状況に一定程度の関連性があると考えられる。

最後に、水中における浮力に関する応用的な内容である「船が浮かぶ理由」と、その他の基礎的な理解や基礎的な推論課題との関係を分析することから、理解の一貫性について検討したところ、浮力に関する基礎的な理解と応用的な理解に一貫性があると判断することは難しいという結果が示された。

これらの結果より、基礎的な内容に関する2問程度の設問においては一定程度の関連性が認められるものの、応用的な内容に関する設問が加わると一貫した解答傾向を示しにくくなっていると考えられる。応用的な内容である「船が浮かぶ理由」では、単純に公式に当てはめるのではなく、船が浮かぶ理由を浮力が生じる原理に基づいて説明する必要がある。この設問においては、基礎的な浮力の定義を理解していても、説明ができない学生が多かったことから、 $F = \rho Vg$ という公式は覚え

ていても、浮力が生じる原理については理解できていないと考えられる。また、本調査の被験者である大学生は、浮力に関する学習を終えてから数年経過しているため、公式は覚えていても、浮力に関する素朴な考えも復活・併存しており、問われ方が異なると解答も異なるという状況になっていることも考えられる。今後は、誤答分析を詳細に実施することにより、正答していない学生がどのように認識しているのかについても分析を進める必要があると考える。

謝 辞

本研究はJSPS 科研費25242015の助成を受けたものである。

文 献

- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanism. *American Journal of Physics*, 50, pp.66-71.
- 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』38(3), pp.205-215.
- Loverude, M., Kautz, C., & Heron, P. (2003). Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. I. Research on student understanding. *American Journal of Physics*, 71, pp.1178-1187.
- 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領』東山書房.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In Stevense, A. L., & Gentner, D. (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum. 299-324.
- 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」『理科教育学研究』54(3), pp.403-417.
- Watts, D. M., & Zylbersztajn, A. (1981). A survey of some children's ideas about force. *Physics Education*, 16, pp.360-365.
- Zeineddin, A., & Abd-El-Khalick, F. (2010). Scientific Reasoning and Epistemological Commitments: Coordination of Theory and Evidence Among College Science Students. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(9), pp.1064-1093.