

「質量保存の法則」・「アルキメデスの原理（浮力）」の理解度調査 及び誤概念修正方略の研究

齋藤 裕^{1*}

中学校では、1年生理科ー「力と圧力」という単元の中で「浮力」の学習が規定されている。同様に、自然認識の核となる「質量保存の法則」の理解も重要である。「質量保存の法則」と「浮力」の理解は、密接な関係を持つ可能性がある。齋藤（2023）は質量保存の法則関連問題、流体を想定した「浮力」問題ー液体の密度の違い問題、流体としての気体（「空気」）設定問題、これまで確認されてきた3つの理論関連問題の3種を用意し、大学生は「質量保存の法則」「浮力」「密度」をどのように理解しているのか、この3者の関連はどうなっているのか、について調査を行った。その結果、①質量保存の法則；事例判断となるとその物質の性質によってしまう、②アルキメデスの原理（浮力の法則）；“浮く”場合のみ浮力は働き、その物体の重さは“0”になるーそれは流体の密度に関係ない”という認識の者が多い、③浮力は流体の特性として認識していない、④浮力が存在することはわかっているが、「アルキメデスの原理」的理解はない（誤認識3パターンの存在が明白なことからもその事実は裏付けられる）、という事実が確認された。今回、再度調査し、この結果が普遍的に見られることなのか、を確認する。また、併せてこの2ルール〔質量保存法則・アルキメデスの原理〕を教えることによって大学生の誤認識を改善できるかに、今回は挑戦した。

調査結果は、昨年度の結果とほぼ変わらないものであった。現代の学生らは、事例判断において「質量保存の法則」を明確に理解している状態とはほど遠く、またそこに、誤った「浮力（アルキメデスの原理）」的思考も働いていることも明らかとなった。事後テストの結果を見ると、教授効果は限定的であった。その原因について以下のように推察する。①「事例選択」の問題；事例選択として「基本2事例・発展2事例」を選んでいるが、大学生にとってこの2法則に関して「何が基本で何が発展なのか」の吟味が不十分だった、②定量的な理解を目論むのであれば、「計算」習熟も視野に入れる必要があった、③両法則の理解・獲得を急いでしまった、また、教卓実験で実験を見せる方式であったが、学習者はただ“見る”状態であったことも効果を減じた可能性もある。彼らに調べたい実験を考えさせ、そして彼らにその実験をさせて事実を確認するというやり方も重要なものかもしれない。基本方略は正しいとしても、教授プランにおいて示される事例選択をどうするか、またルールの習熟の程度をどう勘案しプランに入れ込むか、などはまだ検討の余地があると言える。

キーワード：質量保存の法則 アルキメデスの原理（浮力） 大学生 教授学習

研究の背景と目的

前論文(齋藤 2023¹⁾)の繰り返しになるが、

中学校では、1年生理科ー「力と圧力」という単元の中で「浮力」の学習が規定されている。その内容は、①水中にある物体には浮力が働く

¹ 新潟県立大学人間生活学部子ども学科

*責任著者 連絡先：ysaito@unii.ac.jp

利益相反：なし

こと、②（その際）浮力は物体の上面と下面との水圧の差によって生ずること、となっており、また併せて「深い学び」として「浮力の大きさは水に沈んでいる物体の体積に依存する」ことも学びの目標となっている。

しかし、浮力は「水」にのみ生ずるものではない。岩波理化学辞典によれば、「(浮力とは)地球上のように重力の場中で、流体内にある物体がその表面に作用する流体の圧力の合力として受ける鉛直上向きの力をいう。浮力の大きさと作用点とは、物体のおしのけた流体の重さと重心とに一致する(アルキメデスの原理).」と定義されている。この記述にもある『アルキメデスの原理』とは、アルキメデスが発見した物理学の法則と言われるもので、「流体(液体や気体)中の物体は、その物体が押しつけている流体の重さ(重量)と同じ大きさで上向きの浮力を受ける」というものである。「流体」は「定まった形を持たず、形状を自由に变化させて流れを生む物質」を意味し、気体と液体が相当する。つまり、「『浮力』がわかる」ということは、液体中でも、気体中でもその有り様がわかるということであろう。ありていに言えば、①空気中でも「浮力」の存在を意識することができる、②液体も「水中」に限定されず、全ての「液体」(例えば、アルコール)でも、存在する、ことがわかるということである。

そして、重要だと思われるもう1つの点がある。それは、「質量保存の法則」の理解との関係である。「質量保存の法則」とは、「どんなものにも重さがある。そしてその重さは、その物質が三態変化しようとして、どんな化学変化を受けようとして、形状が変化しようとして、生物体に吸収されようとして、全く変わることはない」という法則である。この法則の理解もまた、自然認識の核となるものであろう。

この「質量保存の法則」と「浮力」の理解は、密接な関係を持つ可能性がある。前者が「体積が変わっても重さは変わらない」というルールであるのに対し、後者は「重さは変わっても体積が変わらなければ、浮力の大きさは変わらない」というルールとなっている。両者は、背反するルールと言ってもいいかもしれない。そこに、「密度」も関わってくる。『アルキメデスの

原理』において「流体(液体や気体)中の物体は、その物体が押しつけている流体の重さ(重量)と同じ大きさで上向きの浮力を受ける」からである。「物体が押しつけている流体の重さ(重量)」とは、まさしくその流体の密度が密接に関係している。「流体の密度」という視点がなければ、『アルキメデスの原理』は理解できず、「浮力」の理解も不十分となろう。

そのような考えに立ち、斎藤(2023²⁾)は「質量保存の法則」関連問題、流体を想定した「浮力」問題—液体の密度の違い問題、及び流体としての気体(「空気」)設定問題、これまで確認されてきた3つの理論関連問題の3種を用意し、果たして、大学生は「質量保存の法則」「浮力」「密度」をどのように理解しているのか、この3者の関連はどうなっているのか、について調査を行った。

その結果、

①質量保存の法則;「言葉」的に知っているが、事例判断となるとその物質の性質(例えば“水素”は軽い)によってしまう。

②アルキメデスの原理(浮力の法則);「言葉」的にも殆ど知られておらず、「浮く」場合のみ浮力は働き、その物体の重さは“0”になる、それは流体の密度に関係ない」という認識の者が多い。

③浮力は流体の特性として認識していない。「空気(気体)にも浮力がある」ことに気づかない。

④「浮力」は存在することはわかっているが、「アルキメデスの原理」的理解は全くない。誤認識3パターンの存在が明白なことからもその事実は裏付けられる。

という事実が確認された。

「浮力」についての誤れる認識

1. 深さ理論; 物体にかかる水圧は深いほど大きいので、浮力も深い方が大きい
2. 平ら理論; 水中において物体に働く浮力は、その物体の形状による。底が平らで面積が大きい形ほど浮力は大きい
3. 重さ理論; その物体にかかる浮力は、その物体の重さに関係する。軽い物体の方がその物体にかかる浮力は大きい

①深さ理論(堀・宮澤 1994³⁾ 新里・古屋 2014⁴⁾ 沖野・菅河・松本 2018⁵⁾) ②平ら理論(住友・

野上・稲垣 1995⁶⁾ 土佐・田澤・松田 2016⁷⁾
③重さ理論(松浦・雲財 2016⁸⁾ 新里・古屋 2012⁹⁾
若林・鷲部・笠 2014¹⁰⁾

中学校理科の内容として「水中にある物体には浮力が働くことを知る」とあるが、「浮力を物体の上面と下面の水圧の差から定性的に捉えさせる」内容となっている。

取り上げる状態は“水”中に沈んである物体とそれに加わる“圧”であり、

- ① (気体を含めた)『流体』的視点
- ② (浮沈に関係なく)その流体が押しのけられた分(その物体は)「浮力を受ける」は取り上げられない。

その影響が、アルキメデスの原理(浮力)の理解程度に現れたのだろう。しかし、“質量保存一”は小学校以来の学習内容で、物理学の基本である。その理解において、大学生が言辭的暗記に止まり、また浮力の曖昧な理解と関連して「“浮く”場合に浮力は働き、その物体の重さはなくなる」と判断する者も多いことが判明したのである。

この現象は昨年度調査した学生のみ現象なのだろうか。今回、再度調査し、この結果が普遍的に見られることなのか、を確認したい。また、併せてこの2ルール〔質量保存法則・アルキメデスの原理〕を教えることによって大学生の誤認識を改善できるかに、今回は挑戦したい。

教授学習内容は、

- ①「質量保存の法則」の本質を理解させる一全ての物質には重さがある
 - ②見かけ上その重さに変化するはその物質の周りの流体がその体積を支えているからだ、その支える力が「浮力」であり、流体の特性と考える
 - ③支える力(浮力)はその流体に密度に関係する
- である。

この内容に関して、教授方略としては、どちらのルールも〔Ⅰ内包の提示⇒Ⅱ基本2事例⇒Ⅲ内包の確認1⇒発展(反証)2事例⇒Ⅳ内包の確認2〕という手順<検証法+逆融合法>を採る。

この方略で、両ルールを教授し、その効果を調べることも目的とする。

※検証法(麻柄啓一 1994¹¹⁾)

少数の事実から(まだ不確かであるにもかかわらず)一般的な法則を導き出し、その後それを別の事例に適用させていくという学習方法 ルールを適用して正誤を確かめる経験を繰り返すことによって、確信の度合いの高まりに裏打ちされてルールの定着が起りやすい。「検証」法は活性化した学習活動を喚起する可能性が高い。

※融合法(進藤聡彦・麻柄啓一・伏見陽児 2006¹²⁾)

最初に反証例に遭遇させ驚きを喚起し、その後、課題解決に必要なルール(手がかり)を誤概念と抵触しない課題で使わせて、それを誤概念と抵触するはずの課題(つまり最初に遭遇した反証例)でも使用できるようにするという方法 融合法を用いると、学習の初期の段階で解決すべき問題が具体的に明らかになるために明確な問題意識が形成される可能性がある。また、その後の学習が漸進的に展開されるため、学習者に受け入れやすい形で適切なルール(手がかり)の学習がなされることが期待できる。

方 法

1. 研究対象者

被験者は、対象となる学習課題について既習である大学生。

調査課題(事前テスト)のみ回答者:23名 事前テスト, 教授学習活動参加及び事後テスト回答者;11名 参加者に対して、回答結果は「斎藤の講義の成績とは関係がない」、「途中でも実験参加を取りやめる権利もある」等が実験開始前に説明される。

2. 調査課題

1. 「質量保存一」問題;3問

- ・密閉空間におけるドライアイスの昇華後の重さの変化
- ・水とその中に入れた氷の重さの氷融解後の重さの変化
- ・真空鉄ボンベの水素充填後の重さの変化

2. 液体中の「浮力」問題及び「密度」との関連問題;4問

- ・水中に沈めた“金属”と“水”を合わせた重さ〔台バカリ〕

- ・水に浮かんでいる“ろう”と“水”を合わせた重さ〔台ばかり〕

- ・水中にある“金属”の重さ〔ばねばかり〕
- ・アルコール中にある“金属”の重さ〔ばねばかり〕

3. 気体（「空気」）における「浮力」と「質量保存」の関連問題；3問

- ・ドライアイスの昇華（体積増）に伴う重さの変化

- ・窒素－ボンベからの噴出（体積増）後の重さの変化

- ・化学変化（クエン酸＋重曹→二酸化炭素）を伴う体積変化（体積増）後の重さの変化

4. 誤認識－3理論（「深さ理論」「平ら理論」「重さ理論」）関連問題；3問

- ・体積と重さの同じ物体に対して“深さの違い”によって生じる浮力の差異

- ・体積と重さは同じだが形状の異なる物体に対して生じる浮力の差異

- ・体積は同じだが重さが異なる物体に対して生じる浮力の差異

3. 教授学習活動

用いるテキストは2部構成〔事例は、まず学習者が予想し、実験で確認する〕

I；質量保存の法則

①ルール提示

②事例の提示（変形と分割）とルールの再提示

③“対偶”事例（発展事例；水＋金属・砂糖）の提示とルールの確認

II；浮力－アルキメデスの原理

①ルール提示

②事例の提示（1. 水に入れた場合のバネばかりの変化，2. 水中の位置変化させた場合）とルールの再提示

③“流体”の性質としての浮力の存在事例（発展事例；1. アルコール，2. 空気）の提示とルールの確認

4. 手続き

調査課題（事前テスト）のみ回答者は、「調査問題」に回答することで満了する。回答時間は、15分程度を想定。事前テスト，教授学習活動参加及び事後テスト回答者は、教授－学習活動に30分程度、事後テストに15分程度かかる。彼らは、3行程終了をもって、実験参加を満了す

る。

5. 倫理的配慮

本研究は、新潟県立大学倫理委員会の承認を経て行われたものである（受付番号 2215）。本研究の調査対象者になることによる不利益・危険は、被験者となる学生に対して最大限配慮して行われている。

結果と考察

1. 事前調査の結果

事前調査の結果を Table1-1、Table2-1、Table3-1、Table4-2 及び Table5 に示す。

(1) 質量保存の法則 (Table1-1 Table4-1)

「水とその中に入れた氷の重さの氷融解後の変化」問題を見ると、34名中6名(17.6%)が「氷が溶けて水になると重くなる」と答えている。

「変わらない(同じ)」と正答できた者25名に止まる(正答率；73.5%)。「密閉空間におけるドライアイスの昇華後の重さの変化」はより正答率は低く(19/34 55.9%)、10名が「重くなる」と答えてしまっている(29.4%)。「鉄ボンベへの水素充填後の重さの変化」は、7名が(水素－気体だから重さはない?)「変わらない(同じ)」と答え、8名が(水素は軽いから?)「軽くなる」と答えている。「重くなる」と正答しえた者は19名に過ぎない(正答率；55.9%)。また、3問一貫正答者数は34名中12名(35.3%)で約3割となる。

また、“質量保存の法則”的理解があれば、流体と物体の合算の重さが存在することは自明なはずである。確かに今回も、「水中に沈む」金属に関してはそのような理解を示すものが多い(正答：水＋金属の重さ－26/34－76.5%)。しかし、「水に浮く」ろう」では、そう思わな

Table 1-1 「質量保存の法則」関連問題の解答結果

問題\回答	同じ	軽くなる	重くなる	計	正答率
Q1	19	5	10	34	55.9
Q3	25	3	6	34	73.5
Q2	7	8	19	34	55.9

一貫正答数；12（比率－35.3%）

Q1；密閉空間におけるドライアイスの昇華後の重さの変化

Q3；水とその中に入れた氷の重さの氷融解後の変化

Q2；鉄ボンベへの水素充填後の重さの変化

Table 2-1 「浮力-アルキメデスの原理（気体）」関連問題の解答結果

問題\回答	同じ	軽くなる	重くなる	計	正答率
Q5	<u>16</u>	<u>7</u>	10	33	20.6
Q6	<u>23</u>	<u>2</u>	8	33	5.9
Q7	<u>13</u>	<u>14</u>	7	34	41.2

保存的判断：10(29.4%) 浮力理解：1(2.9%)

Q5：ドライアイスの昇華（体積増）に伴う重さの変化

Q6：窒素-ボンベからの噴出（体積増）後の重さの変化

Q7：化学変化（ $\text{Ca} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2$ ）を伴う体積変化（体積増）後の重さの変化

いものが多い（正答：水+ろうの重さ-20/34-58.8%）。水の重さのみを回答する者が8名もいる。新里・古屋（2012¹³）は、「浮く物体には浮力が働く-沈む物体には浮力は働かない」という誤った考えが存在することを明らかにしているが、今回の結果も「質量保存の法則」の適用に対して「浮力（アルキメデスの原理）」が絡み合っただけで誤判断を下すという結果を、やはり示している。「物体が沈んだ場合しか両者の重さを“合算”しない，“浮く”場合のみ浮力は働き、その物体の重さは“0”になる」という認識の者

Table 3-1 「水中でその物体にかかる浮力の大きさ」関連問題の解答結果

問題\回答	浅い方	深い方	同じ	計	正答率
深さ（重さ・形・体積一同）	11	16	<u>7</u>	34	20.6
問題\回答	球	円すい	同じ	計	正答率
形（重さ・体積・深度一同）	0	14	<u>20</u>	34	58.8
問題\回答	軽い方	重い方	同じ	計	正答率
重さ（形・体積・深度一同）	9	12	<u>13</u>	34	38.2

Table 4-1 「水中の浮力の大きさ」関連-計算問題の解答結果

問題\回答	正答	他	NR	計	
水+金属の重さ	<u>26</u>	7	1	34	
正答率：76.5					
問題\回答	正答	1000	他	NR	計
水+ろうの重さ	<u>20</u>	8	11	3	34
正答率：58.8					
問題\回答	正答	金属自体の重さ	他	NR	計
水中の金属の重さ（ばねばかり）	<u>2</u>	20	12	2	34
正答率：5.9					
問題\回答	正答	金属自体の重さ	他	NR	計
アルコール中の金属の重さ（ばねばかり）	<u>2</u>	13	12	7	34
正答率：5.9					

が多いという現実がわかる。

これらの結果は、昨年度の結果とほぼ変わらないものであった。2年連続、公立大学・学生に対するこの調査結果を見れば、現代の学生らは、事例判断において「質量保存の法則」を明確に理解している状態とはほど遠く、またそこに、誤った「浮力（アルキメデスの原理）」的思考（“浮く”場合のみ浮力は働き、その物体の重さは“0”になる）も働いていることも明らかとなったのである。

(2) アルキメデスの原理-浮力

1) 流体の浮力

i) 水、アルコールの浮力問題（Table4-1）

どちらも正答率は極めて低い〔水中の金属の重さ（ばねばかり）；2/34-5.9% アルコール中の金属の重さ（ばねばかり）；2/34-5.9%〕。この問題は“計算”が求められており、その意味では難易度が高い。しかし、水中でも金属自体の重さを回答する者が20名（58.8%）もいる。

アルコールになると、水とは違うとは思うのか、金属自体の重さを回答する者はやや減る（13名）が目立つ誤答である。そこには、「浮力」は“浮く”モノに働くという誤認識（沈むモノには“浮力”は働かないので、そのままの重さが維持される）があると考えている。この回答傾向も、昨年度と同様であった。

ii) 気体の浮力への気づき（Table2-1）

空気中における浮力・事例判断問題は、「質量保存の法則」事例判断問題以上に正答率が低い。中学校・理科における「浮力」は、『水中』にのみ存在が限定され提案されている。取り上げられる状態は“水”中に沈んである物体とそれに加わる“圧”であり、「アルキメデスの原理」を基本とする浮力の理解に重要なカギである①（気体を含めた）『流体』的視点、②（浮く沈むに関係なく）その流体が押しのけられた分の（その物体は）

「浮力を受ける」, は取り上げられていない。結果、「流体の一種である“空気(気体)”にも浮力がある」ことに気づかないのであろう。むしろ、このような状況では「体積変化だけだから重さは変わらない」という(誤った)「質量保存の法則」的判断を下すことになる。

むしろ、「保存的回答」(「同じ」回答)が顕著である。「ドライアイスの昇華」「窒素-ボンベからの噴出」「化学変化(ケン酸+重曹→二酸化炭素)」とも、「体積」は変化(増)するが、「質量」は変化しない問題である。確かにこれらの問題において「質量」は変わらない。その意味では確かに質量は保存されている。しかし、「体積」が変化し、結果として空気による浮力の影響を受け、空気中における『重さ』は変化してしまうのである。「流体の一種である“空気(気体)”にも浮力がある」ことに気付かないため、「質量保存の法則」的判断をしてしまうのではないだろうか。

「質量保存の法則」問題で一貫して保存反応をした者と「気体(「空気」)における浮力」で一貫して保存反応をした者との関係性を見ると、前回は見られなかった相関が見られた。「質量保存の法則」を明確に意識している者は一貫してその方針を貫く傾向があることが、今回示された[χ^2 乗値(自由度)3.786(1) p値 0.052]のである(Table5)。

2)水中浮力誤認識・3種(Table3-1)

前回同様「“深い方, 下面が平らな”方が浮力は大きい」「モノの重さは浮力と関係している」と考えている者が多いという結果である。

①深さ理論:「浮力は深さに関係ない」と正答できた者は34名中7名で(正答率; 20.6%)、「深い方が大きい」と回答した者は16名(47.1%)

もおり、従来指摘されてきた浮力に関する誤認識『深さ理論』が今回も確認された。

②平ら理論:「浮力は深さに関係ない」と正答できた者は34名中20名で(正答率; 58.8%)、「そこが平らな形(円すい形)の方が大きい」と回答した者は14名(41.2%)もおり(“球”と回答したものは0)、従来指摘されてきた浮力に関する誤認識『平ら理論』が今回も確認された。

③重さ理論:「浮力は重さに関係ない」と正答できた者は34名中13名で(正答率; 38.2%)で、正答率は低い。ただ、前回のように、この問題が3問中最も低い正答率だということはなく、「その物体にかかる浮力は、その物体の重さに関係する」という認識が最も強いとは言えなかった。どちらの方が大きいかという判断は今回も前回同様、分かれた(軽い方; 9名/34名 重い方; 12名/34名)。

学生らは、他の問題への回答からも、「浮力」そのものを否定していないと思われる。しかし、彼らは、流体中にある物体の体積分に相当するその流体の“重さ”分の「浮力」が存在すると言う認識を持っていないのである。この認識(流体中にある物体の体積のみが浮力に関係する)がなく、そして「水圧」概念の干渉があり、彼らは「浮力」について深さ・形・重さに幻惑されてしまっていると考えられる。

2. 教授学習の効果

教授学習経験者の事前から事後への解答変化をTable1-2、Table2-2、Table3-2、Table4-2に示す。

(1) 質量保存の法則 (Table1-2)

プランの明確な有効性は確認できなかった。

「密閉空間におけるドライアイスの昇華後の重さの変化」の正答率は上昇した(6/11; 54.5%→9/11; 81.8%)が、「鉄ボンベへの水素充填後の重さの変化」はむしろ、下降している(7/11; 63.6%→5/11; 45.5%)。3問一貫正答数を見ても、「事前; 4名→事後3名」で、増えていない。これでは、教授効果があったとは到底言えない。

Table 1-2 「質量保存の法則」関連問題の解答結果 (教授-学習経験者)

問題\回答	同じ	軽くなる	重くなる	計	正答率	
Q1	pre	<u>6</u>	1	4	11	54.5
	post	<u>9</u>	1	1	11	81.8
Q3	pre	<u>9</u>	1	1	11	81.8
	post	<u>9</u>	0	2	11	81.8
Q2	pre	2	2	<u>7</u>	11	63.6
	post	2	4	<u>5</u>	11	45.5

一貫正答数; pre-4(36.4%) post-3(27.3%)

Table 2-2 「浮力ーアルキメデスの原理（気体）」関連問題の解答結果（教授ー学習経験者）

問題\回答	同じ	軽くなる	重くなる	計	正答率	
Q5	pre	<u>8</u>	<u>2</u>	0	10	20
	post	<u>1</u>	<u>9</u>	1	11	81.8
Q6	pre	<u>7</u>	<u>2</u>	1	10	18.2
	post	<u>0</u>	<u>9</u>	2	11	81.8
Q7	pre	<u>6</u>	<u>4</u>	1	11	36.4
	post	<u>0</u>	<u>9</u>	2	11	81.8

ー貫正答数；pre-0(0.0%) post-7(63.6%)

Table 3 -2 「水中でその物体にかかる浮力の大きさ」関連問題の解答結果（教授ー学習経験者）

問題\回答	浅い方	深い方	同じ	計	正答率	
深さ（重さ・形・体積ー同）	pre	3	4	<u>4</u>	11	36.4
	post	1	1	<u>9</u>	11	81.8
形（重さ・体積・深度ー同）	pre	0	4	<u>7</u>	11	63.6
	post	1	3	<u>7</u>	11	63.6
重さ（形・体積・深度ー同）	pre	3	3	<u>5</u>	11	45.5
	post	1	2	<u>8</u>	11	72.7

Table 4-2 「水中の浮力の大きさ」関連ー計算問題の解答結果（教授ー学習経験者）

問題\回答	正答	他	計			
水+金属の重さ	pre	10	1	11		
	post	9	2	11		
水+ろうの重さ	pre	7	2	1	1	11
	post	3	5	3	0	11
水中の金属の重さ（ばねばかり）	pre	1	6	4	0	11
	post	6	2	3	0	11
アルコール中の金属の重さ（ばねばかり）	pre	1	4	4	2	11
	post	4	1	6	0	11

Table 5 質量保存法則関連問題（Q1-3）の保存判断×浮力関連問題（気体；Q5-6）保存判断

（質量）保存成立\浮力；保存的判断	保存的判断	他（浮力理解；1名）	計
成立	6	6	12
未成立	4	18	22
計	10	24	34

カイ2乗値（自由度） 3.786(1) p値 0.05167

また、「水+ろう」問題では正答率は低くなった（7/11；63.6%→3/11；27.3%）。

発展事例として、『砂糖』を用い、「水に溶けても、合わせた重さ（質量）は変わりません。

「水」の重さ（質量）と「砂糖」の重さ（質量）を足した数値になるのです。「質量保存の法則」どおりの結果です。全体の重さは、両者を足した重さとなるのです。」という実験及び説明を行ったのだが、誤った「浮力」観によって誤答が誘発されていることを考えれば、“溶けて見えなくなる”事例よりも“浮く”場合の事例を発展例として使った方が、効果があったかもしれない。

(2) アルキメデスの原理－浮力

1) 流体の浮力

i) 液体 (Table4-2)

「水中の金属の重さ」「アルコール中の金属の重さ」に関しては、正答率は上昇（事前；1/11→9.1% → 事後；6/11→54.5%）し、「金属自体の重さ」を回答する者は減っている（事前；6/11 → 事後；2/11）。また、「アルコール中の金属の重さ」問題も、「水中－」同様に正答率は上昇（事前；1/11→9.1% → 事後；4/11→36.4%）し、「金属自体の重さ」を回答する者は減っている（事前；4/11 → 事後；1/11）。

この2問題は、テキストに事例として挙げられ、“軽くなること”が事実と示され、かつ、それはその金属の体積分の水・アルコールの重さが支えている（浮力を受ける）からだとの説明がされている。その意味で、これらの問題は「再生」課題的となっている。

しかし、問題で示される「金属」は、体積・重さとも、テキストにおける実験で示された金属と異なっており、正答するためには“計算”しなければならない。その困難さからか、確かに正答率は上昇しているが、十分高い正答率とは言えない。「アルコール中－」問題が「水中－」問題より一段正答率は低いのは、「その金属の体積分のアルコールの重さが支えている（浮力を受ける）」ことはわかっても、「アルコールの密度」から「その金属の体積分のアルコールから受ける浮力」を計算しなければならないことが影響している可能性がある。ただ「浮力」の現象を示し、理論的に説明するだけではなく、「定量的」に理解させるためには“計算”習熟も視野に入れる必要があるだろう。

ii) 気体〔空気〕 (Table2-2)

事前に比して、事後では高い正答率となって

いる（ドライアイスの昇華（体積増）に伴う重さの変化；20%→81.8% 窒素－ボンベからの噴出（体積増）後の重さの変化；18.2%→81.8% 化学変化＜クエン酸＋重曹→二酸化炭素＞を伴う体積変化（体積増）後の重さの変化；36.4%→81.8%）。

教授実験は“問7（化学変化＜クエン酸＋重曹→二酸化炭素＞を伴う体積変化）”を実際に行ったものである。この問題は、テキストに事例として挙げられている。その中で“軽くなること”が事実と示され、かつ、それは、その膨らんだ体積分の空気（の重さ）が支えている（浮力を受ける）からだとの説明がされている。その意味で、この問題は「再生」課題である。が、その問題以外の正答率も上昇している。

①これらの問題は定性的な回答を求めるもので回答しやすかったこと、②実験がインパクトを持って受け入れられたこと、ことが、「気体（空気）浮力」問題が「液体の浮力」問題より正答率の上昇を顕著にした理由とも言えよう。

2) 水中浮力誤認識・3種 (Table3-2)

教授学習効果は限定的となった。テキストでは「水中での深さを変えて『浮力』に違いがあるか確かめる」が取り上げられ、実証・確認されている。その後、『受ける浮力』はそのモノの「体積」が重要。浮力は『そのモノが押しつけている体積分に対する流体の重さ（重量）と同じ大きさ』で、そのモノがある流体（今回は水＝液体）の深さだけでなく、そのモノの重さや形にも関係ない」という説明がなされている。今回、実験で確かめられた「深さ」以外、明確な正答率の上昇は見られない（深さ；36.4%→81.8% 形；63.6%→63.6% 重さ；45.5%→72.7%）。

テキストにおいて、「アルキメデスの原理－浮力」の重要ポイントとして、「1. 流体中のモノの体積によってその流体から受ける浮力の大きさが決まる 2. 流体の違いによって浮力の大きさが決まる 3. その物体に生じる浮力は、その流体の密度によって異なる」ことを明示しているが、水中浮力誤認識についても、それを改善するには、言語的に説明するだけではなく、全て実験で確かめる必要があるのかもしれない。

全体討論－今後の課題

齋藤の昨年度の調査結果（2022¹⁴⁾）

①質量保存の法則；「言葉」的に知っているが、事例判断となるとその物質の性質（例えば“水素”は軽い）によってしまう。

②アルキメデスの原理（浮力の法則）；「言葉」的にも殆ど知られておらず、“浮く”場合のみ浮力は働き、その物体の重さは“0”になる、それは流体の密度に関係ない」という認識の者が多い。

③浮力は流体の特性として認識していない。「空気（気体）にも浮力がある」ことに気づかない。

④「浮力」は存在することはわかっているが、「アルキメデスの原理」的理解は全くない。誤認識3パターンの存在が明白なことからもその事実は裏付けられる。

を受けて、再度調査し、「この結果が普遍的に見られることなのか」を確認し、併せてこの2ルール〔質量保存法則・アルキメデスの原理〕を教えることによって大学生の誤認識を改善できるかに挑戦したものが今回の研究である。

調査結果からみると、今回も、前回とほぼ同じ結果となっていることがわかる。

したがって、昨年度の調査結果は、一過性のものではなく、現在の大学生においてほぼ常態的なものであると考えられる。文科系大学生であることを考慮しても“公立”大学の学生が「浮力－アルキメデスの原理」のみならず「質量保存－」が未確立であることは、1960年代に板倉聖宣・江沢洋¹⁵⁾が報告した事態から何ら進歩していないことが明らかとなった。

また、今回、基本的な考え方として、まず自然認識の核となる「質量保存法則」を教える、次に（「質量保存法則」を踏まえながら）、「アルキメデスの原理－浮力の存在」を教える、という順序を取った教授プランを作成し、大学生らに「質量保存の法則」「アルキメデスの原理（浮力の法則）」の獲得支援を目論んだ。

「浮力」を考える際、学習指導要領的に“圧”から考えるのではなく、

①「質量保存の法則」の本質を理解させる－全ての物質には重さがある

②見かけ上その重さが変化するはその物質の周りの流体がその体積分支えているからだ、そ

の支える力が「浮力」であり、流体の特性と考える

③支える力（浮力）はその流体に密度に関係する

という方針が、両概念の獲得に有効だと考えたからである。

また、この教授プランを作成するにあたり、学習援助方略としてこれまでその有効性が確認されている『検証法』及び『融合法』を参考にした。

しかし、事後テストの結果を見ると、このプランによる教授－学習の結果は、芳しいものではなかった。教授効果は限定的であった。

その原因について、推察したい。

第一に「事例選択」の問題性である。事例選択として「基本2事例・発展2事例」を選んでいくが、大学生にとってこの2法則に関して「何が基本で何が発展なのか」の吟味が不十分だったと思われることである。

質量保存の法則に関する発展事例として（砂糖を用いて）“溶けて見えなくなる”事例を選択したが、誤った「浮力」観によって誤答が誘発されていることを考えれば、“浮く”場合の事例を発展例として使った方が、効果があったかもしれない。また、「アルキメデスの原理－浮力の存在」では、基本事例として「水中浮力誤認識－深さ」事例を示したが、この事例自体、むしろ「発展事例」的であり、その後、内包の確認として「アルキメデスの原理－浮力の存在」を言語的に説明しているが、この事例が「基本」たりえておらず、したがって、水中浮力誤認識他2事例にまで「浮力」認識が広がりえなかった可能性がある。

第二に、定量的な理解を目論むのであれば、「計算習熟」も視野に入れる必要があったという点である。つまり、「浮力」について、1. 流体中のモノの体積によってその流体から受ける「浮力」の大きさが決まる 2. 「流体」の違いによって「浮力」の大きさが決まる 3. その物体に生じる浮力は、その流体の密度によって異なる ということがわかるということ。「定量的」に理解できる、ことを目指すならば、そこには、密度計算等の計算習熟が必要となる。この点についてプランは甘いものであったと言

わざるを得ない。アルコール中の浮力計算等、「浮力に関する計算習熟」をもっとプラン化しておく必要があった。

第三として、両法則の理解・獲得を急いでしまっているという点がある。調査で明らかになったように、「質量保存法則」の理解でさえ、全くと言っていいほど不十分な学生たちである。それを40分程度の時間で二つの法則を教えようとした点に、問題があったと言わざるを得ない。このプランでは、両法則ともその理解が消化不良となった可能性がある。

また、教卓実験で実験を見せる方式であったが、学習者はただ“見る”状態であったことも効果を減じた可能性もある。彼らに調べたい実験を考えさせ、そして彼らにその実験をさせて事実を確認するというやり方も重要なかもしれない。

『検証法』及び『融合法』という教授方略事態に問題性があったとは思わない。しかし、基本方略は正しいとしても、教授プランにおいて示される事例選択をどうするか、またルールの習熟の程度をどう勘案しプランに入れ込むか、などはまだ検討の余地があると言える。両法則の獲得援助は短時間の教授活動でできるものではないということが分かっただけでも収穫と言えよう。

文 献

- 1) 斎藤裕 「質量保存の法則」・「アルキメデスの原理(浮力)」・「密度」, 3者の理解とその関係に関する調査研究 人間生活学研究 2023 第14号 21-27
- 2) 斎藤裕 2023 *ibid.*,
- 3) 堀哲夫・宮澤研 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 1994 第35巻 第1号 1-10
- 4) 新里和也・古屋光一 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 2014 54巻 第3号 403-416
- 5) 沖野信一・菅河晃太郎・松本伸示 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— 兵庫教育大学学校教育学研究 2018 第31巻 47-56
- 6) 住友弘子・野上智行・稲垣成哲 物体の形状が浮力の認識に及ぼす影響 人間科学研究 1995 第3巻 第1号 27-33
- 7) 土佐幸子・田澤美麻梨・松田琴 浮力に関する誤概念研究: 形状に着目して 新潟大学教育学部研究紀要 2016 第9巻 第2号 83-90
- 8) 松浦拓也・雲財寛 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— 学校教育実践学研究 2016 第26号 269-273
- 9) 新里和也・古屋光一 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 2012 第62巻 第2号 253-262
- 10) 若林教裕・鷲部章宏・笠潤平 変数制御の視点を生かした浮力についての授業プランの開発 2014 香川大学教育学部研究報告 第2部 64巻 27-38
- 11) 麻柄啓一 法則学習における「検証」法の効果—帰納・演繹法批判— 教育心理学研究 1994 42 244-252
- 12) 進藤聡彦・麻柄啓一・伏見陽児 誤概念の修正に有効な反証事例の使用方略—「融合法」の効果— 教育心理学研究 2006 54 162-173
- 13) 新里和也・古屋光一 2012 *ibid.*,
- 14) 斎藤裕 2023 *ibid.*,
- 15) 板倉聖宣・江沢洋 『物理学入門』 国土社 1964

付 記

本論文は、『「質量保存の法則」・「アルキメデスの原理(浮力)」の理解度調査及び誤概念修正方略の研究』〔日本教授学習心理学会第19回年会 2023〕を基に、加筆・作成されたものである。