

科学概念の分化に関する基礎的研究 —「水圧」・「浮力」・「浮き沈み」についての事例研究—

A basic study of the differentiation of some conceptions in science:
A case study on “hydraulic pressure”, “buoyancy” and “sinking and floating”

中山 理 恵

森 藤 義 孝

Rie NAKAYAMA

Yoshitaka MORIFUJI

熊本県合志市立西合志南中学校

福岡教育大学理科教育ユニット

(令和2年9月30日受付, 令和2年12月10日受理)

抄録

本研究で注目している水圧概念, 浮力概念, ものの浮き沈み概念は, それぞれの概念の適用範囲が完全に重複している点に特徴がある。もちろん, 適用範囲の重複自体に問題はないが, それによって各概念の定義に混乱が生じ, 概念の意味の間の区別が曖昧になっている可能性がある。そこで, 本研究では, 特に, 3種類の概念とそれらの関係性についての生徒の理解の実態に目を向け, どのような意味の混乱が生じているかを明らかにし, 3種類の概念の意味的混乱を解消して分化を実現していくための授業が備えるべき要件を明らかにすることを目的として, 認識調査を実施し, その結果の分析を行った。さらに, それをもとに, 効果的な学習につながる授業の検討を行うこととした。

1 はじめに

平成29年に新学習指導要領が告示¹⁾され, 教育現場においては, 教育課程の移行に向けた準備が着々と進められてきている。中学校理科について見れば, 今回の学習指導要領の改訂で取扱いが大きく変わる内容の一つとして「圧力」をあげることができる。ここで, 「圧力」とは, 圧力概念, そしてそれを基礎として構築される水圧概念と大気圧概念, 水圧概念を基礎として構築される浮力概念, さらに, 浮力概念を基礎として構築されるものの浮き沈み概念を含むものである(以下, これらの概念をまとめて, 「圧力概念とそれを基礎として構築される諸概念」と呼ぶこととする。)

平成20年の学習指導要領において, 圧力概念とそれを基礎として構築される諸概念についての学習は, 中学校第1学年で集中的に行われている²⁾。しかし, 平成29年の学習指導要領においては, 第2学年で圧力概念と大気圧概念を取扱い, 第3学年で水圧概念を取扱うこととなる¹⁾。その移行

に伴い, 水圧概念を基礎として構築される浮力概念や, ものの浮き沈み概念についても第3学年で取扱うこととなる。また, 平成20年の学習指導要領において, 水圧と浮力の関係性を明示することまでは求められていなかったが, 平成29年の学習指導要領においては, 両者の定性的な関係性を明示することが求められるようになる。

このように, 新たな学習指導要領では, 圧力概念とそれを基礎として構築される諸概念の取扱いが大きく変更されることになる。したがって, これらの概念やその関係性についての学習内容を整理し, 概念の構築に効果的な授業デザインを検討することが必要不可欠であると考ええる。そこで, 本研究では, 図1に示すとおり, 圧力概念とそれを基礎として構築される諸概念の中でも水中の物体に適用されるといった点で共通している水圧概念, 浮力概念及びものの浮き沈み概念に注目し, これらの概念の構築に効果的な授業デザインを明らかにしていくこととした。

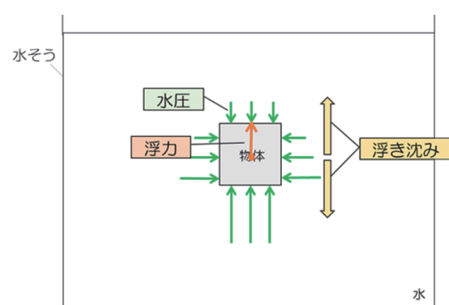


図1 3種類の概念が同じ場面で見られる例

2 研究の理論的背景

G.Claxtonをはじめとする多くの理科教育研究者は、概念を、「意味（定義）」と「適用範囲（事例）」の2つの側面から捉えている³⁾。このような立場から、森藤は、西林の主張を参照しつつ、効率的な概念の構成を実現するための方策として、最初に概念の中心的な適用範囲に位置づけられる典型事例を示し、当該概念の初期的な意味を構成させ、その後、他の適用可能な事例、非事例、あるいは境界事例を示していくことで、概念の意味や適用範囲の最適化を図ることの重要性を指摘している⁴⁾。

本研究で注目している水圧概念、浮力概念、ものの浮き沈み概念は、図1に示すとおり、それぞれの概念の適用範囲が完全に重複している点に特徴がある。もちろん、適用範囲の重複自体に問題はないが、それによって各概念の定義に混乱が生じ、概念の意味の間の区別が曖昧になっている可能性がある。もしそうであるならば、同一の適用範囲を持つ3種類の概念の意味がどのように混乱しているのかを明らかにし、これらの概念の意味的な区別、つまり分化を実現していくための授業をデザインしていくことが必要になるであろう。

そこで、本研究では、特に、3種類の概念とそれらの関係性についての生徒の理解の実態に目を向け、意味的混乱がどのように生じているかを明らかにし、3種類の概念の意味的混乱を解消して

分化を実現していくための授業が備えるべき要件を明らかにしていきたい。

3 研究の実際

3-1 目的

本研究の一環として、平成20年の学習指導要領に基づく標準的な指導を受けた中学生と大学生を対象として、水圧概念、浮力概念及びものの浮き沈み概念がいかに構築されているかを明らかにすることを目的とする調査を実施することとした。本研究では、予備的調査、大学生を対象とした第一次調査、そして中学生を対象とした第二次調査を実施した。本報では、第一次調査と第二次調査について、それらの結果を報告していくこととする。

3-2 対象及び時期

第一次調査の調査対象は、福岡県内の大学に在籍する221名（文系85名、理系136名）の学生である。第二次調査の調査対象は、福岡県内に在籍する中学校第2学年の110名の生徒である。

第一次調査の調査時期は2019年10月上旬から11月下旬である。第二次調査の調査時期は2019年11月下旬である。

3-3 調査方法及び内容

調査はすべて質問紙法で実施した。第一次調査と第二次調査の回答時間はおおよそ30分とした。

調査問題とその内容は表1と資料1～6に示すとおりである。この調査問題は、5つの問題から構成される。特定の視点を提示せずに進める非指示的調査と、特定の視点を提示して進める指示的調査を順次展開し、回答者が構築する概念の実態を明らかにするように試みた。

調査問題1では、水圧が水の重さによって生じる圧力であることを提示した上で、「水中の物体には、あらゆる向きから水圧が働く。」と「深さ

表1 調査問題と設問内容

調査問題	内容
調査問題1 (水圧)	沈められた深さが異なる2物体(θ_1 と θ_2 の深さに位置する2物体)に働く水圧を矢印で表現させる問題
調査問題2 (浮力)	水中の物体に浮力が働く理由を説明させる問題
調査問題3 (浮力)	物体に働く浮力の大きさに影響する要因を説明させる問題
調査問題4 (浮き沈み)	浮き沈みする物体における浮力の有無と、浮力の大きさの変化について適切な回答を選択する問題
調査問題5 (浮き沈み)	物体が浮き沈みする理由を「浮力」「重力」の言葉を用いて説明させる問題

が深いほど、水圧は大きい。」という水圧概念について、回答者がいかに概念を構築しているかを問うた。

調査問題2では、「水中の物体には、あらゆる向きから水圧が働く。」や「深さが深いほど、水圧は大きい。」という水圧概念を提示した上で、水圧と浮力の関係性、すなわち、水中の物体に浮力が働く理由について、回答者がいかに概念を構築しているかを問うた。

調査問題3では、水中の物体に浮力が働く理由を提示した上で、「物体の重さ」、「物体の体積」、「水中に沈められた部分の物体の体積」、そして「物体の沈んだ深さ」の中のどれが浮力の大きさに影響する要因であるかについて、回答者がいかに概念を構築しているかを問うた。この調査問題は、新里ら(2014)⁵⁾が作成した問題を参考に作成した(資料7参照)。

調査問題4では、浮力の大きさに影響する要因は、沈められた部分の物体の体積であることを提示した上で、浮き沈みする物体の浮力の有無と浮力の大きさの変化について、回答者がいかに概念を構築しているかを問うた。

調査問題5では、水中の物体に重力と浮力が働いていることを提示した上で、浮き沈みが生じる際のそれらの関係性について、回答者がいかに概念を構築しているかを問うた。

4 研究の結果及び考察

本報では、調査問題3及び4の調査結果に着目し、対象者の概念の理解に関する検討を進めていきたい。

4-1 調査問題3に関する分析

4-1-1 調査問題3における回答の分析方法

調査問題3は、水中の物体に浮力が働く理由を提示した上で、下位問題(1)では物体の重さ、下位問題(2)では物体の体積、下位問題(3)では水中に沈められた部分の物体の体積、下位問題(4)では物体が沈む深さがそれぞれ異なる2物体に働く浮力の大きさの大小関係を等号・不等号を用いて回答させる問題である。なお、下位問題(5)においては、物体が沈み、水そうの底に密着している状態としていない状態での物体に働く浮力の大小関係を問うた。これらの問題によって、回答者が「水中に沈められた部分の物体の体積が大きいほど、浮力は大きい。浮力の大きさは、物体を沈める深さや物体の重さには関係しない。」

という浮力の大きさに影響する要因についての浮力概念をいかに構築しているのかを調査する。

調査問題3の回答は、各下位問題において、適切な等号・不等号の回答であれば「科学的回答」、不適切な等号・不等号の回答であれば「非科学的回答」とする。下位問題(1)から(5)まで、どの程度まで一貫して「科学的回答」を提出したかについて分析を行うこととした。下位問題(1)から(5)までのすべてにおいて「科学的回答」を提出している場合、下位問題(1)から(5)までのすべてにおいて「非科学的回答」を提出している場合、その2つに該当しない場合の3つに分類した。さらに、それぞれの下位問題の回答の関係性についての分析を行うこととした。なお、下位問題(5)においては、教科書では取扱われていない内容ではあるものの、「浮力は、物体の上面と底面に働く水圧の差によって生じる上向きの力である。」という適切な浮力概念を構築することができているか否かを調査できる問題と捉え、分析を行った。

4-1-2 調査問題3に関する結果と考察

はじめに、調査問題3の全体的な結果と考察について述べていきたい。図2は、下位問題(1)から(5)について、回答者がどの程度まで一貫して「科学的回答」を提出したかをまとめたものである。図2に示すとおり、下位問題(1)から(5)において、一貫して「科学的回答」を提出した大学生は10%(理系:15%,文系:2%)、中学生は20%であった。このことから、大学生のおよそ1割、中学生のおよそ2割は、浮力の大きさに影響する要因に関する適切な概念を構築することができていると言える。換言すると、浮力の大きさに影響する要因に関する適切な概念を構築することができている回答者は非常に少ないことが分かる。

また、5つの下位問題のすべてに「科学的回答」が提出できないということは、たとえ「浮力の大

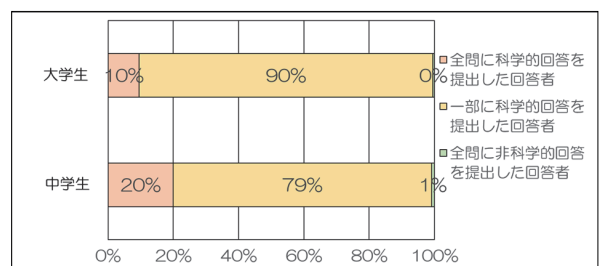


図2 調査問題3のカテゴリー別の回答の割合

きに影響する要因は、水中に沈められた部分の物体の体積である。」という適切な浮力概念を構築することができている回答者であっても、浮力の大きさに影響する要因がその他にもあると考えていたり、「なぜ、沈められた部分の物体の体積が浮力の大きさに関係するのか。」という浮力の大きさに影響する要因が、沈められた部分の物体の体積である根拠を述べるができなかったりする可能性が高いと考えられる。

さらに、浮力の学習を終えて1年未満の中学生であっても、「浮力の大きさに影響する要因は、水中に沈められた部分の物体の体積である。」という適切な浮力概念を構築することができていると考えられる者は2割であり、浮力を学習してから相当の時間が経過していると考えられる大学生ともなると、「浮力の大きさに影響する要因は、水中に沈められた部分の物体の体積である。」という適切な浮力概念を構築することができていると考えられる者は1割にも満たない。

このことから、浮力の学習後の時間の経過に伴って、ほとんどの学習者が適切な浮力概念を構築していないことが示唆される。この一つの理由として、中学校段階において、浮力の大きさに影響する要因を学習する際に、浮力と物体の体積が関係していることのみが記憶され、どの体積かが明確化されないままになっている可能性があると考えられる。

次に、調査問題3の下位問題(4)に関する結果と考察について述べていきたい。図3に示すとおり、下位問題(4)において、「物体が沈む深さと物体に働く浮力の大きさには関係がない。」とする「科学的回答」を提出した大学生は42%（理系：52%、文系：25%）、中学生は50%であり、どちらにおいても、これが最も多い回答であっ

た。このことから、大学生においてはおよそ4割、中学生においては半数が「物体が沈む深さと物体に働く浮力の大きさには関係がない。」という適切な浮力概念を構築することができていると考えられる。

ところで、調査問題3については、教科書で取り扱わない下位課題(5)を除くと、下位問題(4)以外で「科学的回答」を提出した大学生と中学生がそれぞれ7割と8割であったが、この結果と比べると、下位問題(4)では、大学生と中学生の両方において「科学的回答」の割合が大幅に少なくなっていることを指摘できる。このことから、物体が沈む深さと物体に働く浮力の大きさに関する概念の構築には課題があることが示唆される。

下位問題(4)において、「科学的回答」の次に多く見られた回答は、「物体が沈む深さが深いと物体に働く浮力は大きくなる。」とする「非科学的回答」であり、大学生は41%（理系：35%、文系：52%）、中学生は32%であった。このことから、大学生においてはおよそ4割、中学生においては3割が、「物体が沈む深さが深いと物体に働く浮力は大きくなる。」という不適切な浮力概念を構築していると考えられる。そのような不適切な浮力概念を構築する一つの理由として、浮力概念と「水圧は、水の重さによって生じる圧力である。」という水圧概念とを混乱していることが考えられる。

これまでの考察を踏まえ、調査問題3の下位問題(2)と下位問題(3)及び下位問題(4)に関する結果と考察について述べていきたい。ここでは、下位問題(2)、(3)、及び(4)における回答者の提出した回答の関係性に着目し、分析を行うこととする。

表2に示すとおり、下位問題(2)、(3)及び(4)における回答者の回答傾向をもとに、回答者を5つのサブカテゴリーに分類した⁶⁾。ここで、下位問題(2)、(3)、(4)のすべてに科学的回答を提出した回答者を「体積明確・水深無関係型」と呼ぶことにする。「体積明確・水深無関係型」に分類される回答者は、「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係するが、物体が沈む深さは浮力の大きさには関係しない。」という適切な浮力概念を構築することができている回答者とみなすことができる。

下位問題(4)にのみ非科学的回答を提出している回答者、及び下位問題(2)において「科学的回答」を提出し、下位問題(3)と(4)で「非科学的回答」を提出した回答者を、「体積明確・

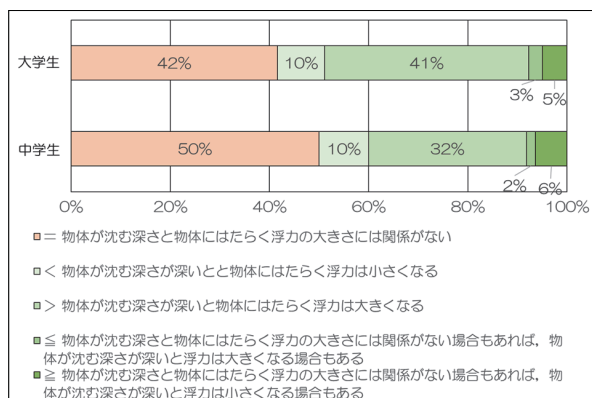


図3 下位問題(4)のカテゴリー別の回答の割合

表2 調査問題3における水圧概念と浮力概念の混乱に着目したサブカテゴリー

サブカテゴリー	回答者が提出した回答			概念の実態
	下位問題(2)	下位問題(3)	下位問題(4)	
体積明確・水深無関係型	すべてにおいて科学的回答			水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係し、物体が沈む深さは浮力の大きさに関係しないという概念
体積明確・水深関係型	科学的回答	科学的回答	非科学的回答	水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係し、物体が沈む深さも浮力の大きさに関係するという概念
	科学的回答	非科学的回答	非科学的回答	
体積不明確・水深無関係型	科学的回答	非科学的回答	科学的回答	物体の体積が浮力の大きさに関係するとしているが不明確であり、物体が沈む深さは浮力の大きさに関係しないという概念
	非科学的回答	科学的回答	科学的回答	
体積無関係・水深無関係型	非科学的回答	非科学的回答	科学的回答	物体の体積は浮力の大きさに関係せず、物体が沈む深さも浮力の大きさに関係しないという概念
体積無関係・水深関係型	非科学的回答	科学的回答	非科学的回答	物体の体積は浮力の大きさに関係せず、物体が沈む深さは浮力の大きさに関係するという概念
	すべてにおいて非科学的回答			

水深関係型」と呼ぶことにする。「体積明確・水深関係型」に分類される回答者は、「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係し、物体が沈む深さも浮力の大きさに関係する。」という不適切な浮力概念を構築している回答者とみなすことができる。

下位問題(2)もしくは(3)のどちらかにおいて「非科学的回答」を提出し、下位問題(4)において「科学的回答」を提出した回答者を「体積不明確・水深無関係型」と呼ぶことにする。「体積不明確・水深無関係型」に分類される回答者は、「浮力の大きさは物体の体積に關係する」と捉えていながらも、浮力の大きさに影響する要因である「体積」の意味が不明確である一方で「物体が沈む深さは、浮力の大きさには関係しない。」という適切な浮力概念を構築することができている回答者とみなすことができる。

下位問題(2)と(3)の両方において、「非科学的回答」を提出し、下位問題(4)において「科学的回答」を提出した回答者を「体積無関係・水深無関係型」と呼ぶことにする。「体積無関係・水深無関係型」に分類される回答者は、「物体の体積と物体の沈む深さは、浮力の大きさに関係しない。」という不適切な浮力概念を構築している回答者とみなすことができる。

下位問題(2)、(3)、(4)すべてに非科学的回答を提出した回答者、及び、下位問題(2)と(4)で「非科学的回答」を提出し、下位問題(3)で「科学的回答」を提出した回答者を「体積無関係・水深関係型」と呼ぶことにする。「体積無関係・水深関係型」に分類される回答者は、「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係しないが、物体が沈む深さは浮力の大きさには関

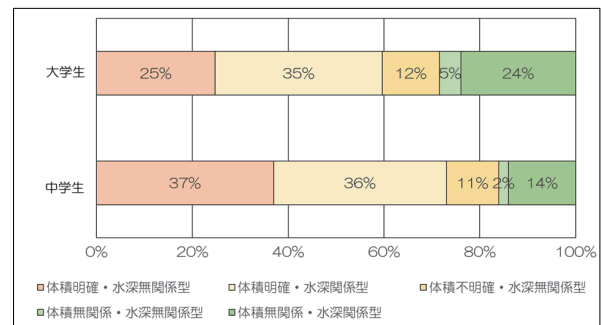


図4 調査問題3の水圧概念と浮力概念の混乱に着目したサブカテゴリーの回答の割合

係する。」という不適切な浮力概念を構築している回答者とみなすことができる。

図4に示すとおり、「体積明確・水深無関係型」の大学生は25%（理系：36%、文系：7%）、中学生は37%であった。すなわち、大学生のおよそ3割、中学生のおよそ4割は、「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係するが、物体が沈む深さは浮力の大きさには関係しない。」という適切な浮力概念を構築することができていると考えられる。また、「体積明確・水深関係型」の大学生は35%（理系：35%、文系：37%）、中学生は36%であった。すなわち、大学生と中学生のそれぞれおよそ4割は、「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係し、物体が沈む深さも浮力の大きさに関係する。」という不適切な浮力概念を構築していると考えられる。

これらのことから、「体積明確型」に分類される回答者の半数以上が「体積明確・水深関係型」であることが分かる。換言すると、「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係する」という適切な浮力概念を構築している回答者

の半数以上が、さらに「物体が沈む深さは浮力の大きさに関係する。」という不適切な浮力概念を構築していると考えられる。よって、「深さが深いほど、水圧が大きい。」という水圧概念と「水中に沈められた部分の物体の体積が大きいほど、浮力は大きい。」という浮力概念を混乱していることが指摘できるであろう。

さらに、「体積無関係・水深関係型」の大学生は24%（理系：15%，文系：37%），中学生は14%であった。すなわち，大学生のおよそ2割，中学生の1割が，「水中に沈められた部分の物体の体積は浮力の大きさに関係せず，物体が沈む深さは浮力の大きさに関係する。」という不適切な浮力概念を構築していると考えられる。よって，このことから，「深さが深いほど，水圧が大きい。」という水圧概念と「水中に沈められた部分の物体の体積が大きいほど，浮力は大きい。」という浮力概念を混乱していることを指摘できるであろう。

これまでの調査問題3における結果と考察をまとめると，大きく以下の3点が指摘できるであろう。

- ・浮力の学習後の時間の経過に伴って，ほとんどの大学生が適切な浮力概念を構築することができていないと考えられる。この一つの理由として，中学校段階において，浮力の大きさに影響する要因を学習する際に，「浮力と体積が関係している」ことのみが記憶されている可能性が示唆される。
- ・物体が沈む深さと物体に働く浮力の大きさに関する概念の構築には特に課題が見られる。この一つの理由として，「深さが深いほど，浮力が大きい。」という水圧概念と「水中に沈められた部分の物体の体積が大きいほど，浮力は大きい。」という浮力概念を混乱していることがあげられる。
- ・浮力が生じる理由を提示されたとしても，「水中に沈められた部分の物体の体積が大きいほど，浮力は大きい。浮力の大きさは，物体を沈める深さや物体の重さには関係しない。」という適切な浮力概念を構築することができていない回答者が存在することが分かる。

4-1-3 調査問題3に関する分析を基にした授業の検討

ここまでの調査問題3に関する分析をもとに，授業を構成する際のポイントを次のように指摘できると考える。

まず，浮力の大きさに影響する要因を暗記学習させるのではなく，「なぜ，浮力の大きさは水中に沈められた部分の物体の体積に関係するのか。」，また，「なぜ，浮力の大きさは物体を沈める深さや物体の重さには関係がないのか。」を説明させる活動を取り入れる必要があるということである。それが，水圧と浮力の定性的な関係性に関する適切な概念の構築につながると考えられるからである。

次に，水圧概念と浮力概念の分化につながる授業の工夫が必要であることが指摘できる。それが，これら二つの類似した概念の混乱の解消につながると考えられるからである。

4-2 調査問題4に関する分析

4-2-1 調査問題4における回答の分析方法

調査問題4は，物体が水面へと浮く現象，物体が水底へと沈む現象，物体が水中の手を放した位置に静止する現象を，現象毎に3つの場面に分割した計9種類の場面において，浮力が働いているか否か，さらには，場面間での浮力の大きさの変化について，「ある・ない」もしくは，「小さくなった・変わらない・大きくなった」の中から語句を選択させる問題である。

この問題によって，回答者が「水面へと浮く物体であっても，水底へと沈む物体であっても，水中の物体には浮力が働く。」という浮力概念をいかに構築しているのかを調査することとした。さらに，調査問題3に引き続き，回答者が「水中に沈められた部分の物体の体積が大きいほど，浮力は大きい。浮力の大きさは，物体を沈める深さや物体の重さには関係しない。」という浮力の大きさに影響する要因についての浮力概念をいかに構築しているのかを調査することとした。

調査問題4の回答は，選択した語句が適切な場合には「科学的回答」，選択した語句が不適切な場合には「非科学的回答」としている。そして，各下位問題（1）から（3）までのそれぞれの中に含まれる①から⑤までの問題において，どの程度まで一貫して「科学的回答」を提出したかについて分析を行うこととした。今回は，各下位問題の中の浮力の有無のみを尋ねる①～③において，一貫して「科学的回答」を提出した回答者を，「浮力の有無について適切に捉えることのできている回答者」と捉えることとした。また，①～③に加え，場面変化に伴う浮力の変化を尋ねる④～⑤を含め，一貫して「科学的回答」を提出した回答者

を、「浮力の有無とその変化について適切に捉えることのできている回答者」と捉えることとした。このようにして、さらに、それぞれの下位問題の回答の関係性についての分析を行うこととした。

4-2-2 調査問題 4 に関する結果と考察

次の図 5、図 6、及び図 7 は、調査問題 4 の下位問題 (1) から (3) における「浮力の有無について適切に捉えることのできている回答者」と「浮力の有無とその変化について適切に捉えることのできている回答者」の割合を示したものである。

3つの図を比較すると、図 6 に示す調査問題 4 の下位問題 (2) において、「浮力の有無について適切に捉えることのできている回答者」と「物体が水底へと沈む現象における浮力の有無とその変化について適切に捉えることのできている回答者」の割合が特に少ないことが分かる。このことから、物体が水面へと浮く現象、物体が水底へと沈む現象、物体が水中の手を放した位置に静止する現象の中でも特に、物体が水底へと沈む現象と浮力の関係性に関する概念の構築に課題があると考えられる。物体が水底へと沈む現象と浮力との関係性に特に課題がみられる理由としては、浮力の事例として記載されている写真の多くが、物体が水面に浮く現象の写真であることや、「浮力」という漢字が「浮く力」を連想させ、浮く時に働く力と考えてしまうこと等が考えられる。よって、授業の中では、「浮く物体でも沈む物体でも浮力が働くこと」、特に、「沈む物体においても浮力が働く」ことを強調する必要があると考えられる。

ここまでの調査問題 4 の結果の分析をもとに、授業を構成する際のポイントを次のように指摘できると考える。すなわち、物体が水面へと浮く現象、物体が水底へと沈む現象、物体が水中の手を放した位置に静止する現象のすべてにおいて、浮力が働くことを捉えさせる必要があると考えられる。授業の中で、浮力の事例として、物体が水面へと浮く事例を提示するだけでなく、物体が水底へと沈んだり、物体が水中の手を放した位置に静止したりする事例も提示する必要があると言えるのである。

4-3 全体的考察

全体的な考察として、次のことを指摘できると考える。

- ・水圧概念、浮力概念、ものの浮き沈み概念の 3

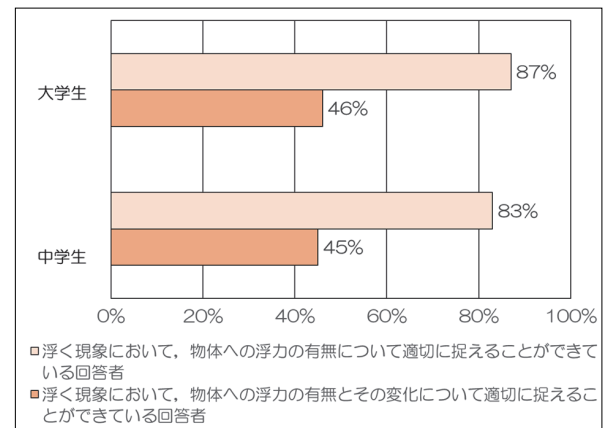


図 5 調査問題 4 の下位問題 (1)

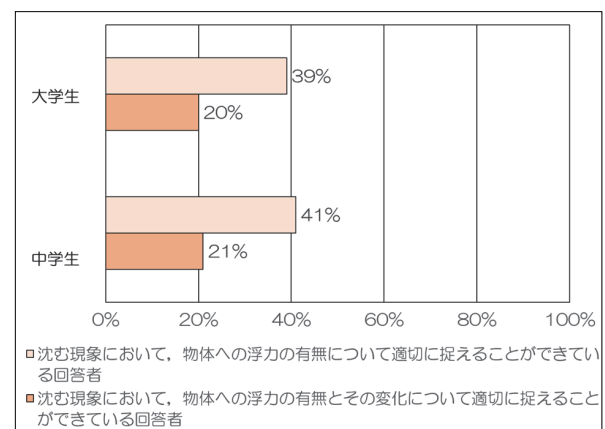


図 6 調査問題 4 の下位問題 (2)

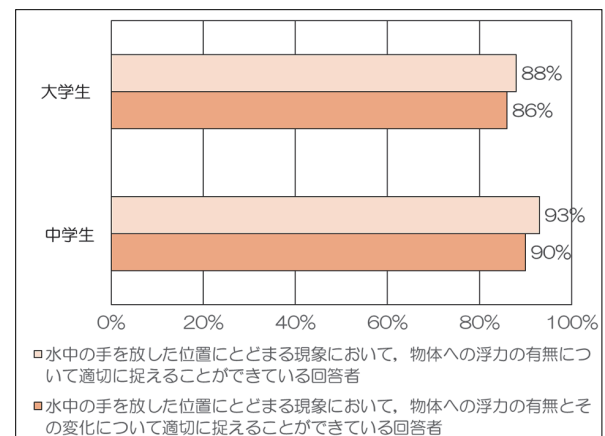


図 7 調査問題 4 の下位問題 (3)

種類の概念の中でも、特に水圧概念と浮力概念について適切な概念が構築できている回答者が少ない。

- ・水圧概念、浮力概念、ものの浮き沈み概念の 3 種類の概念の意味に混乱が見られ、概念間の適切な関連づけがなされていない回答者が多く存在する。

このように、3つの概念が適切に構築されてい

ない場合、あるいは意味的な混乱が生じてしまっていることが指摘できると考えられる。

5 おわりに

本研究では、調査結果の分析をもとに、水圧概念・浮力概念・ものの浮き沈み概念に関わる効果的な授業の検討を行った。しかし、本研究で検討した授業デザインの適切性は、実践の中での効果を見極めることで判断されなければならない。今後は、構想した授業デザインに基づいた理科授業を実践し、その適切性を判断し、さらに効果的な授業デザインの検討を進めていきたいと考える。

引用文献及び註

- 1) 文部科学省 (2018)『中学校学習指導要領解説 (平成 29 年告示) 理科編』, 学校図書
- 2) 文部科学省 (2008)『中学校学習指導要領解説理科編』, 大日本図書, pp.26-28.
- 3) G.Claxton(1987) Minitheories : A Modular Approach To learning Applied To Science, *Paper presented at the Annual Conference of the American Education Research Association*, pp.1-18.
- 4) 森藤義孝 (2017)「構成主義から捉える理科

学習」, 森本信也編『理科授業をデザインする理論とその展開－自律的に学ぶ子どもを育てる－』, 東洋館出版社, pp.25-pp.29.

- 5) 新里和也・古里光一 (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」, 日本理科教育学会,『理科教育学研究』, Vol.54, No.3, pp.403-417.
- 6) 表 2 では、サブカテゴリーの名称として、「体積無関係」といった表現が用いられている。この表現は、浮力の大きさが水の中に沈んでいる物体の「体積」に関係するといった科学的回答に含まれる「体積」のみに注目し、その意味での体積に関係するか否かによって、それに関係しないと考えている場合に「体積無関係」との表現を用いていることにしたものである。

附記

本研究を実施するにあたり、福岡教育大学附属福岡中学校の西村紀彦教諭と福岡教育大学附属久留米中学校の小峠博亮教諭に貴重な示唆を頂いた。ここに記して感謝の意を表したい。なお、本研究は、令和元年の日本理科教育学会九州支部大会の発表内容を加筆・修正したものである。

資料1 調査問題表紙

指示があるまでは、質問紙を開かないでください。

水圧・浮力・浮き沈み に関する質問紙

所属() 学年() 年
 学籍番号() 氏名()

※高等学校で履修した理科の科目をすべて選んで○で囲んでください。

科学と人間生活	物理基礎	物理	化学基礎	化学
生物基礎	生物	地学基礎	地学	理科課題研究

説明 1. 所属、学年、学籍番号、氏名、高等学校で履修した理科の科目を上記入してください。

説明 2. 質問紙には、問題 1 から問題 5 までの問題があります。これらの問題に対して、順番通りに回答してください。前のページに長って書き直すことは、しないでください。

説明 3. 分からない場合には、「分からない」と回答してください。

説明 4. この質問紙に対する解答が、授業の成績に関係することは一切ありません。周りの人と相談せずに、それぞれの問題に対して考えたことを、正直に書いてください。

資料2 調査問題 1

問題 1
 水中の物体の表面には、水によって生じる圧力がはたらいています。このような圧力は水圧と呼ばれ、それは、水にはたらく重力によって生み出されます。

図 1

図 1 のように、水がしみこまない同一の材質でできた 2 つの立方体を水中に沈めると、2 つの立方体の面 a が、それぞれ深さ h_1 と深さ h_2 の位置で静止しました。下の解答欄中の図 2 は、図 1 を、正面から見た図です。このとき、深さ h_1 の位置に面 a がある立方体において、面 a、面 b、面 c、面 d のそれぞれの面にはたらく水圧の大きさを、下の「水圧の矢印を描く時の留意点」に従って、図 2 の中に、矢印を使って表してください。

「水圧の矢印を描く時の留意点」

- ・水圧がはたらいていると考える面すべてに、**1 面につき、3 本の矢印**を描いてください。ただし、水圧がはたらいていないと考える面には、矢印は描かないでください。
- ・水圧の大きさの違いは**矢印の長さの違い**によって表してください。例えば 2 本の矢印を比べた際に、水圧が大きい方はより長い矢印を、水圧が小さい方はより短い矢印を、水圧の大きさが同じであれば同じ長さの矢印を描いてください。
- ・水圧の矢印は、**物体の面に対して、矢印の先が垂直**になるように描いてください。
- ・水そうや水面から、矢印はみ出ても構いません。

解答欄

図 2

資料3 調査問題 2

問題 2
 水圧はあらゆる向きから働き、深さが深いほど大きくなります。よって、水圧を矢印で表すと、下の図 1 のようになります。

下の図 2 は、水がしみこまない材質でできた立方体の物体を水そうに入れ、水中で静止している状態を正面から見たものです。このとき、この物体には浮力が働いています。なぜ水中の物体に対して、浮力が働くのでしょうか。上記の下線部の内容や図 1 を踏まえて、水中の物体に浮力が働く理由を、解答欄中の図 3 を用いて、できるだけ詳しく説明してください。

図 1

図 2

解答欄

図 3

資料4 調査問題 3

問題 3
 水圧は、同じ深さですべて同じ大きさで、向かい合う面では反対向きに働きます。そのため、図 1 のように物体の側面にはたらく水圧は、互いに打ち消し合います。また、物体の底面と上面では深さが違うため、底面で上向きにはたらく水圧のほうが、上面で下向きにはたらく水圧よりも大きくなります。この底面と上面にはたらく水圧の差が、**浮力を生み出しています。**

次の(1)～(5)の場合において、物体 A と物体 B にはたらく浮力の大小関係はどのようになりますか。解答欄の()の中に、等号(=)または不等号(>, <, ≥, ≤)を 1 つずつ記入してください。

(1) 物体 A と物体 B は、体積が同じで、重さが異なる(物体 A は 100g、物体 B は 500g)。これらの 2 つの物体を水中の同じ深さまで入れた場合。

解答欄：物体 A にはたらく浮力() 物体 B にはたらく浮力()

図 1

(2) 物体 A と物体 B は、重さが同じで、体積が異なる(物体 A は 10cm³、物体 B は 5cm³)。これらの 2 つの物体を水中の同じ深さまで入れた場合。

解答欄：物体 A にはたらく浮力() 物体 B にはたらく浮力()

(3) 物体 A と物体 B は、体積と重さが同じである。これらの 2 つの物体を水中の異なる深さまで入れた場合。なお、物体 A の位置は物体 B の位置よりも浅く、物体 A はその体積の半分までが水中に入っている状態とする。

解答欄：物体 A にはたらく浮力() 物体 B にはたらく浮力()

(4) 物体 A と物体 B は、体積と重さが同じである。これらの 2 つの物体を水中の異なる深さまで入れた場合。なお、物体 A の位置は物体 B の位置よりも深く、水そうの底に達していない状態とする。

解答欄：物体 A にはたらく浮力() 物体 B にはたらく浮力()

(5) 物体 A と物体 B は、体積と重さが同じである。これらの 2 つの物体を水中の異なる深さまで入れた場合。物体 A の位置は物体 B の位置よりも深く、物体 A の底面と水そうの底はすき間なく密着している状態とする。

解答欄：物体 A にはたらく浮力() 物体 B にはたらく浮力()

資料5 調査問題4

問題4
浮力の大きさは、物体の重さや、物体を沈める深さは関係せず、水中にある物体の体積が関係します。
したがって、水中にある物体の体積が大きくなるほど、浮力も大きくなります。
体積が同じ物体A、物体B、及び物体Cを、水中の同じ深さの位置に沈め、手を放しました。次の(1)～(3)の各①～⑤での該当する言葉を○で囲んでください。

(1) 物体Aは、下の場面①から場面②へて、場面②のように移動し、物体Aの一部が水面から出た状態で静止しました。

①場面①の物体Aに働く浮力は（ある・ない）。
②場面②の物体Aに働く浮力は（ある・ない）。
③場面③の物体Aに働く浮力は（ある・ない）。
④場面①から場面②に物体Aが移動したとき、物体Aに働く浮力は（小さくなった・変わらない・大きくなった）。
⑤場面②から場面③に物体Aが移動したとき、物体Aに働く浮力は（小さくなった・変わらない・大きくなった）。

(2) 物体Bは、下の場面①から場面②へて、場面②のように移動し、物体Bの底面が水そうの底にすき間なく密着した状態で静止しました。

①場面①の物体Bに働く浮力は（ある・ない）。
②場面②の物体Bに働く浮力は（ある・ない）。
③場面③の物体Bに働く浮力は（ある・ない）。
④場面①から場面②に物体Bが移動したとき、物体Bに働く浮力は（小さくなった・変わらない・大きくなった）。
⑤場面②から場面③に物体Bが移動したとき、物体Bに働く浮力は（小さくなった・変わらない・大きくなった）。

(3) 物体Cは、下の場面①、場面②、及び場面③のように静止し続け、手を放した位置にとどまりました。

①場面①の物体Cに働く浮力は（ある・ない）。
②場面②の物体Cに働く浮力は（ある・ない）。
③場面③の物体Cに働く浮力は（ある・ない）。
④場面①から場面②に物体Cが移動したとき、物体Cに働く浮力は（小さくなった・変わらない・大きくなった）。
⑤場面②から場面③に物体Cが移動したとき、物体Cに働く浮力は（小さくなった・変わらない・大きくなった）。

資料6 調査問題5

問題5
浮かぶ物体でも沈む物体でも、水中の物体には重力と浮力が働いています。
体積が同じ物体A、物体B、及び物体Cを、水中の同じ深さの位置に沈め、手を放しました。すると、物体Aは図1のように、上向きに移動しました。物体Bは図2のように、下向きに移動しました。物体Cは図3のように静止し続け、手を放した位置にとどまりました。次の(1)～(3)の問題に解答してください。

(1) 物体Aが上向きに移動した理由を、「重力」と「浮力」の2つの言葉をを用いて説明してください。

解答欄

図1

(2) 物体Bが下向きに移動した理由を、「重力」と「浮力」の2つの言葉をを用いて説明してください。

解答欄

図2

(3) 物体Cが静止し続け、手を放した位置にとどまった理由を、「重力」と「浮力」の2つの言葉を用いて説明してください。

解答欄

図3

問題は以上です。ご協力ありがとうございました。

資料7 参考にした新里らの調査問題

問題2
水に入ると沈む、体積と重さの同じ2つの物体（物体Aと物体B）があります。物体Aと物体Bの重さは、それぞれ100g、500gです。今、この2つの物体を図のようにひもでつなげて、水の中に入れておきました。この状態から、物体Aは図1のように動いていきました。また、図1の状態から、物体Bは図2のように動いていきました。そのとき、物体Aと物体Bの重さは、それぞれ100g、500gです。あなたが正しいと思う答えを下の①～⑤の中から1つ選び、選んだ理由を書けるだけ詳しく書いてください。

① 物体A（100g）に、働く浮力のほうが大きい
② 物体B（500g）に、働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 どちらにも浮力は働いていない
⑤ その他

問題3
水に入ると沈む、体積・重さ・形の同じ2つの物体があります。今、この2つの物体を図のようにひもでつなげて、水の中に入れておきました。この状態から、物体Aは図1のように動いていきました。また、図1の状態から、物体Bは図2のように動いていきました。そのとき、物体Aと物体Bの重さは、それぞれ100g、500gです。あなたが正しいと思う答えを下の①～⑤の中から1つ選び、選んだ理由を書けるだけ詳しく書いてください。

① 図1の、(ア)の浮力のほうが大きい
② 図1の、(イ)の浮力のほうが大きい
③ 浮力の大きさは、どちらも同じ
④ どちらにも浮力は働いていない
⑤ その他

【調査問題I-B (1)】

答え	理由

【調査問題I-B (2)】

答え	理由

問題4
水に入ると沈む、体積・重さ・形の同じ2つの物体があります。今、この2つの物体を図のようにひもでつなげて、水の中に入れておきました。この状態から、物体Aは図1のように動いていきました。また、図1の状態から、物体Bは図2のように動いていきました。そのとき、物体Aと物体Bの重さは、それぞれ100g、500gです。あなたが正しいと思う答えを下の①～⑤の中から1つ選び、選んだ理由を書けるだけ詳しく書いてください。

① 図1の、(ア)の浮力のほうが大きい
② 図1の、(イ)の浮力のほうが大きい
③ 浮力の大きさは、どちらも同じ
④ どちらにも浮力は働いていない
⑤ その他

【調査問題I-B (3)】

答え	理由