

変数の制御の観点を生かした浮力についての授業プランの開発

若林教裕, 鷺辺章宏, 笠 潤平*

香川大学教育学部附属坂出中学校 〒762-0037 香川県坂出市青葉町1番7号

*香川大学教育学部 〒760-8522 香川県高松市幸町1-1

Development of a lesson plan of buoyancy emphasizing control of variables

Noriyasu WAKABAYASHI, Akihiro WASHIBE, Jumpei RYU*

Sakaide junior High School attached to the Faculty of Education, Kagawa University,

1-7 Aoba-cho, Sakaide, Kagawa, Japan 762-0037

**Faculty of Education, Kagawa University, 1-1 Saiwai-cho, Takamatsu, Kagawa, Japan, 760-8522*

要旨 変数の制御という観点にもとづく新しい実験教材の開発によって、浮力についての誤まった観念を変容させる授業プランが可能になった。香川大学附属坂出中学校におけるその授業プランにもとづく実践とその前後の生徒の認識の変容について報告する。

Abstract

An original materials on buoyancy experiments exploiting idea of control of variables are newly developed. It makes possible a lesson sequence plan for junior high school science to change wrong conceptions on buoyancy held by many students. The process and results of implementation of the lesson sequence in Sakaide junior High School attached to the Faculty of Education, Kagawa University are described and examined.

キーワード 浮力 変数 変数の制御 科学的思考力 実験の計画 CASE

1 はじめに

本論文は、著者の一人（若林）が中心に開発し附属坂出中学校で試行した、変数の制御の観点を重視した新しい浮力の授業プランについての研究報告である。この授業プランおよびその中核となる実験教材は、著者らのCASE（Cognitive Acceleration through Science Education [科学教育を通じた認知促進]）プロジェクト^{1~4)}の教材の理解をもとに、著者の一人（若林）が新しく開発したものである。このCASEプロジェクトに対するわれわれの理解については別の1つの授業プランとともにすでに報告を行ったので⁵⁾、本稿では、今回開発した実験教材とそれをを用いる授業プランの内容、香川大学附属坂出中学校第1学年における同授業プランの実践、およびその効果の検証のために行ったいくつかの生徒の認識の変容に関する調査の結果を報告し、最後に若干の結論と今後の課題を述べる。

2 授業プランの開発

2.1 研究の構想と研究計画の概要

浮力に関する生徒の観念は感覚的なもの・表面的なものが多く、その多くが誤まっている⁶⁾。教科書にも、「浮力の大きさは物体の水に沈んでいる部分の体積に関係する」ということを例証する実験は紹介されてはいるものの、生徒にとって何を变えて何を測定しているか、いわゆる独立変数や従属変数が明確でなく、また、生徒が関係すると思いがちな変数を度外視した限られた条件制御のものとなっていて、浮力に関する概念を十分に獲得させるものになっているとは言い難い。そこで現実には、生徒がまず多く多くの点を考慮せずに教師が教科書に載っている実験を説明し手順にそって授業展開するのがふつうで、言うならば生徒が自分はどう思っているのかに気づくことも促されないまま、「浮力の大きさは物体の水に沈んでいる部分の体積に関係する」とまとめている例も多い。このため、浮力の授業は、探究する能力や態度の育成という面でも、「浮力」という科学的な概念を正しく学ぶ上でも、不満足なものとなり、その学習の意味や価値も実感できないものになりがちである。この課題を改善するためには生徒の学びの文脈を踏まえた上で教師が単元構成をしたり、教材や指導展開を工夫したりする必要がある。（もちろん、実験と授業展開の工夫の上で大変すぐれた先行研究も存在する⁶⁾。）

われわれは、浮力に対して生徒が持つ多様な素朴概念を把握し、それらを一つひとつ克服して正しい概念を形成していく探究的な過程を段階的に導入した上で、水中だけでなくふだん私たちが生活している空気中での浮力を実験で驚きとともに実感させることにより、私たちがいわば大気の底で生活していて、たしかに空気の浮力も受けているのだ、ということを実感させることを考えた。

そのために、つぎの（1）～（5）の内容を柱として研究を進めた。

- （1）浮力に関する生徒の観念の事前調査の実施
- （2）単元構成と指導展開の設計
- （3）上記の目的に合った新しい実験教材の開発
- （4）授業の実践
- （5）生徒の浮力に関する認識の変容などを調査する事後調査の実施

図1の設問1)の結果から、浮力に深さが影響すると考えている生徒が実に68%を占め、しかも深い方が浮力が大きいと考える生徒も反対に浅い方が大きいと考える生徒もともに多いことがわかる。設問2)の結果から、浮力に質量(重さ)が影響すると考えている生徒はさらに多く72%を占め、しかもここでも、質量が大きい方が大きいと考える生徒も質量が小さい方が大きいと考える生徒もともに多いことがわかる。さらに、設問3)においても、質量が等しいとき浮力が体積に関係なく同じであると考えている生徒が21%、体積が小さい方がかえって大きいと答えた生徒が31%で、体積が大きいほど浮力が大きいと答えた正答者は48%に留まった。

設問4), 5)(図2)からは、さらに同体積・同質量でも形(おそらく底面積)の違いや、下にする向きが平らか・尖っているかの違いがあれば、受ける浮力は異なる则认为る生徒も多いことがわかる。

さらに、設問6)(図3)からは、浮いているものは浮力が大きいと考えたり、皆同じと考えている生徒も多いことがわかる。

これらの結果は、非常に多くの生徒が、浮力は多くの要因の影響によって決まるものだという観念を持っていることを示していると言えるだろう。図4に示した浮力の大きさは何に関係するかという設問に対する答えの分布からも見てとれる。

2.3 授業プラン：単元構成と指導展開

生徒の浮力に関する観念の調査から明らかになった、浮力に関するいくつかの誤った観念に対処し、浮力についての正しい観念の形成をはかるためには、生徒自身が自らの誤った観念にもとづいて立てた予想と実際の実験結果とのはっきりとした対立から、自らの素朴概念に変わる科学的な概念を導入する必要性を感じる場面が不可欠である。この認知的な葛藤の場面を授業に適切に導入することで概念の再構成がなされていくと考えられる。以下の表1・表2に、このような考えに基づく単元構成と各時間の指導展開の要点を示す。6～7時間目の授業については、簡単な指導案を示している。(表3)

単元構成は、前半と後半に分かれ、前半(授業1～3)では、水による浮力の大きさに影響を及ぼす諸変数を探究的に調べていく実験を中核として、浮力に関係するのはその物体が水を押しつけた体積のみでありその押しのけられた体積の水の重さに等しい浮力が働くという概念を確立

6) 体積はどれも同じで、重さはア、イ、ウの順に重く、浮き方が異なる。おもりを浮かそうとする力(浮力)がもっとも大きいのはどれか。

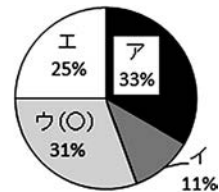
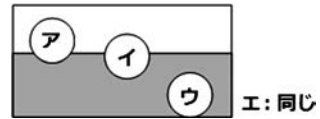


図3 浮力に関する考えの事前調査結果(つづき)

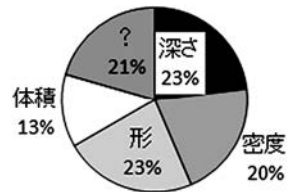


図4 設問 浮力の大きさは何に関係するかについての答え

変数の制御の観点を生かした浮力についての授業プランの開発

表1 単元構成

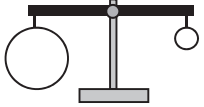
時間	学 習 課 題	学 習 内 容
1	浮力の大きさは何に関係するのか	浮力の大きさは物体の体積に関係し、その根拠を「条件制御」の視点で説明することができる。
2	どの球にはたらく浮力が、一番大きいのか	水への浮き方が違う3つのボーリング球を見て、水に沈む体積が大きい物体ほど、浮力の大きさが大きいことを理解することができる。
3	袋に詰めた水を水中ではかると重さはどうなるか	物体が水中で押しつけた体積ぶんの水の重さに等しい浮力を受けることを理解することができる。
4	空気に重さはあるのか	空気を袋に詰めただけでは重さが測定できない体験をさせ、その方法と重さ(1L=約1.2g)を認識できる。
5	大気圧のはたらし方と大気圧が起こす身近な現象は?	大気圧はどの方向からも同じ大きさ加わり、身近な現象(吸盤 耳痛 お菓子の袋など)と関わっていることを理解することができる。
6・7	空気が無ければ、てんびんのつり合いはどうなるか(空気にも浮力はあるのか)	てんびんでつり合った2つの球(質量:同 体積:違)のまわりの空気を抜くとどうなるか考えさせ、空気にも浮力が生じることと、浮力の捉えの変容を実感することができる。

表2 各時間における指導展開の要点

時間	要 点
1	<ul style="list-style-type: none"> ・浮力に関係すると生徒が考える重さ、体積、形などの様々な条件(変数)の1つずつを変えたおもりのセットを設計し特注で用意し、浮力が何によって決まるかを自分たちで探究する条件(変数)制御実験の計画を立てさせ、浮力の大きさを決める条件(変数)と無関係な条件(変数)を明確にさせる。 ・ある条件が関係するか、または関係しないかについて、自分たちが行ったおもりの実験をもとに説明させる。(浮力の大きさの求め方は定義しておく)
2	<ul style="list-style-type: none"> ・浮力の大きさが体積に関係しそうなことは1時間目の実験から明確になるので、さらに、水に沈んでいる部分の体積が浮力の大きさに関係することに気づかせるために、大きさがほぼ同じで質量の違うボーリング球とゴム球を水に浮かせて浮力の大きい球はどれかという発問をする。 ・「浮力=空気中での重さ-水中での重さ」という理解を活用して考えさせ、水中に沈んでいる部分の大きい球が一番浮力が大きいことに気づかせる。 ・3つの球の沈んでいる部分の体積と板書した浮力の大きさを比較させ、水面に半分沈んでいる球は、完全に沈んでいる球の半分の浮力を受けていることに気づかせ、物体には水に沈んでいる体積部分の水の重さに等しい浮力を受けることも認識させる。
3	<ul style="list-style-type: none"> ・空気中では測定できた水の入った袋が水中では測定できない実験から、なぜ測定できないか考えさせる。水の中に水を入れてただけなので測定できないとか、物体には水に沈んでいる体積部分と同じ大きさの浮力が働くことなどに気づかせ浮力の大きさが関係する条件を再認識させる。

4	<ul style="list-style-type: none"> ・空気中では空気の重さを測定できない実験から、前時と同じようにその理由を考えさせる。 ・水中で水の重さが測れなかった現象や空気中でも水のように浮力を受けているのではないかという考え方に気づかせる。 ・空気中でも浮力ははたらいっているのかも?…ということに気づかせていくことで浮力への見方や考え方を広げるきっかけとする。
5	<ul style="list-style-type: none"> ・空気の重さにより大気圧が生じることと大気圧のはたらく向きと大きさについて認識させ、次時の課題解明のための概念形成をはかる。
6~7	空気中の浮力の存在を実感させるための学習展開を以下の指導案に示す

表3 6~7時間目の指導展開

学習内容及び学習活動	教師の支援
<p>1 前時の学習課題を確認する。</p> <p>A 約10g 体積大  B 約10g 体積小</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin: 10px auto; width: fit-content;"> 空気がなければ、てんびんのつり合いはどうか考えよう </div>	<ul style="list-style-type: none"> ・聴くことと問うことが有効に機能するように、意見の異なる生徒をパネラーに選び、フロアーには同じ考えの生徒同士を座席配置しておく。
<p>2 てんびんのつり合いがどうなるかについて根拠をもって説明する。 ア：変化なし イ：Aに傾く ウ：Bに傾く エ：その他</p> <p>3 真空器を用いて、てんびんのまわりの空気を抜き、課題を検証する実験を行う。</p> <p>4 この実験結果のようになる理由を改めて捉え直す。</p> <p>5 本時の振り返りをする。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・パネラーの意見が明確になるようにキーワードを板書したり、曖昧な点には質問をしたりする。 ・フロアーからの質問を取り上げ、パネラーに投げかけ、両者の振り返りを促す。 ・考えの異なっていたもの同士で交流させ、実験結果の理由を考察させる。 ・理由が解明できた生徒を他のグループに行かせ、気づきを促す。 ・「学びの足跡」(学習の記録ノート)に学習したことを記入させる

する。一方、後半(授業4~7)では、空気中でも浮力がはたらき、その浮力の大きさはやはり押しのけた空気の重さと等しいということを発見する。

2.4 開発した新教材

水に沈めるおもりのセット 図5は、上記の1時間目の実験用に、浮力に影響すると生徒が考える変数を考慮して開発したおもりセットで、体積、重さ、底面積、形、水に入れる向きなどの条件(変数)を1つずつ変えた実験ができるように設計してある。開発途上ではセメントを材料として中に鉛を入れて重さを調整したものを若林が各班分自作したが、膨大な時間と労力がかかっ

たため、業者に条件を指定して発注した。例えば、底面積が浮力に関係しているかどうかを調べるためには、重さや体積は同じで底面積だけが違う2つのおもりを選択して、同じ深さで比較すればよい。また、物体を縦に沈めたときと横に沈めたときで浮力の大きさが変わるという考えの是非の検証のために、図5（下）のように、フックの位置を変えて縦と横に沈めたときの浮力の大きさを測定できるようなおもりを考案した。こうして、生徒自身が条件制御を意識的に利用した実験計画をたて、ある条件が浮力の大きさに関係があるかないかを、適切に選んだおもり同士における浮力の値の比較から、根拠を挙げながら論ずることができる。

水への浮き方が異なる球のセット 体積がほぼ同じで水への浮き方が違う球を見せることで浮力の大きさが水に沈んでいる体積に関係することに気づかせる。球にはたらく浮力の大きさを計算していくと、水の中に沈んでいる部分が大きいほど浮力が大きいことに気づいていく。半分だけ浮いている球の浮力を見て、浮力の大きさと沈んでいる部分の体積が同じことに気づく生徒も出てくる。ちなみに青（図左）はボーリング球の12号、緑（図右）は5号、黄（図中央）はゴム球である。5号球はちょうど半分浮く。（図6）

ふとん圧縮袋に空気を入れる 右の図7の袋は空気が100L近く入るふとん圧縮袋である。空気1Lあたり約1.2gであることをスプレー缶の実験で認識させてから実験を行うと、100Lの袋なら100gぐらいいはあると判断する。しかし、大きな袋につめてもこの重さが測定できないことから認知的葛藤が起きて真剣に考える。水中では水の重さは測定できない実験とつながってくると理解を示す生徒が出てくる。空気にも浮力がはたらいているかも…という考えを起こさせるのに効果的な実験である。

空気の浮力のデモンストレーション用のてんびん 空気の浮力を実感させるために次ページの図8のようなてんびんを考案した。このてんびんは空気の有無で傾きが変化するようにになっており、空気中でも浮力がはたらいていることが確認できる装置である。空気の有無で傾きが変化するためにはてんびんの軸の摩擦を小さくすることと、2つの物体の体積の差を大きくすることが必要である。そのため、てんびんの軸には竹串にまち針を通したものをコの字の金具にひっかけ、つ

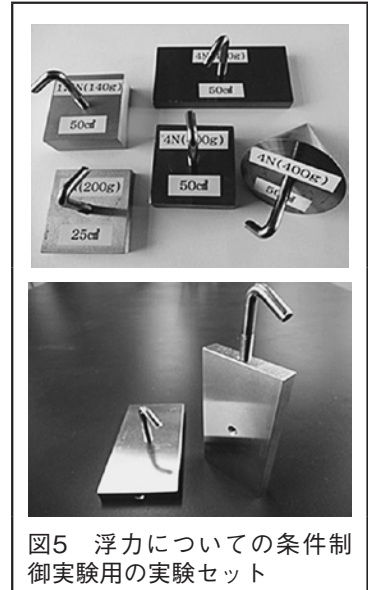


図5 浮力についての条件制御実験用の実験セット

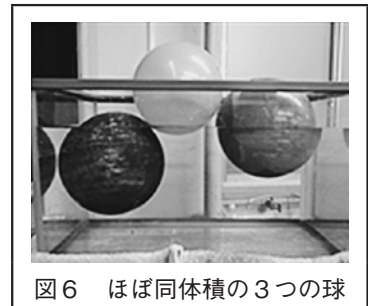


図6 ほぼ同体積の3つの球



図7 空気中で空気の重さは測れるか

るす物体は重さが5 gで体積が約500cm³の発泡球と体積が約1 cm³の鉛のおもりを用いた。2つの球は重さが同じなのでてんびんでつり合うが、密閉空間で空気を無くしてやると空気中の浮力がまったくはたらかなくなるので、図8（下）のように体積の大きい発泡球の方にてんびんが傾く。発泡球の体積が約500cm³なので、空気から受けている浮力の大きさは空気1 Lあたり約1.2~1.4 gと考えると約0.6~0.7 gぶん受けていることになりてんびんが傾くのに充分な差となる。

3 実践と結果の検証

3.1 授業実践と生徒の反応

授業は附属坂出中学校の1年生の3クラスに対してほぼ前記の授業プラン通りに行った。

以下、授業に対する生徒の反応を、前半の授業1~3と後半の授業4~7にわけて、授業後に書かせた感想によって示す。

授業1~3の後の感想には以下のようなものがあった。

「実験するとよくわかった。自分で実験すると自分で学んだと思うので分かりやすかった。水以外の水溶液の浮力はどうなるのか。食塩水なら水より密度が大きいので大きいのだろうか。」

「条件制御を意識して実験すると、分かりやすく、総合学習の研究にもつながりそうだ。」

「今まで浮力の大きさは、水面からどれだけ浮いているかで決まると思っていたけど、実際は沈んでいる部分の体積が関係すると分かりました。潜水艦が浮いたり沈んだりする原因も知りた。」「液体で浮力がはたらくなら、空気中でも上と下の気圧の差で少しだけ浮力がはたらいっているのかなあと思った。」

また、後半の授業4~6の後の感想には以下のようなものがあった。

「予想では『つり合ったまま』にしているけど、それでは、いろいろな矛盾が生じてきたので、これまでの学習した原理（空気中では空気の重さがはかれない、水中では水の重さがはかれない）を使えば、すごく納得できた。今年で1番楽しい授業だった。」「予想はあっていたが理由が違った。もし逆に空気をどんどん入れていったら、今日の実験とは逆の結果（金属の方に傾く）になる。」「実験前までは発泡スチロールの中の空気がなくなることだけにこだわりすぎていた。でも実験後冷静に考えたら理由も分かった。今回の課題は水中で水を無くしていったときと一緒だと思う。大気圧のことも~さんの言うとおりに打ち消し合うので関係がないと気づいた。」「今回の授業で浮力の奥の奥まで追究することができた。例えば、空気の浮力は水の中と同じであること、また、缶の中には空気が詰められるので詰めたぶん密度が違い重さが量れるけど、袋に入れた空気は詰められないのでまわりの空気と密度が同じなので重さが量れない。実際に実験をしてよく分かった。」「浮力は初め空気中ではたらいっているなんて思いもしなかったけど、今は気圧がはたらいっているから浮力もはたらくというふうに分かる。また、はじめに質量は上皿てんびんでは

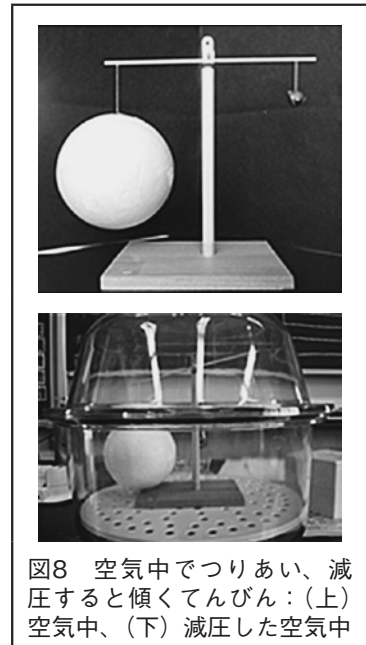


図8 空気中でつりあい、減圧すると傾くてんびん：(上) 空気中、(下) 減圧した空気中

変数の制御の観点を生かした浮力についての授業プランの開発

かれると習ったけど、それは少し違うのではないかと気づいた。もし質量をはかる物体の体積が分銅と同じなら、浮力も同じなので正確な質量がはかれるが、体積が違っていたら空気の浮力も違うので、はかった質量は正確では無いと思う。体積が分銅よりも大きい物体の場合は『はかった質量 + 空気の密度 × 分銅と物体の体積の差』を体積が分銅よりも小さい物体の場合は『はかった質量 - 空気の密度 × 分銅と物体の体積の差』をすれば本当に正確な質量が求められると思う。」

これらはいずれもそれぞれの授業の意味をよくつかみ、生徒たちが自らよく考えている様子を伝えている。

3.2 変容の調査結果と議論

今回の指導展開と教材の工夫がどの程度有効であったのか、授業の効果を検証するためにいくつかの調査を行った。

事後テスト 事前調査と同じ設問を用いて浮力についての認識の変容を調査した。その結果を次ページの図11に示す。設問項目は、図1～3の設問1)～6)と同じである。

事後調査の結果は、いずれの設問に対しても、高い正答率を示している。事前調査における生徒の誤答の多さに比べて劇的な変容が見られたと言ってもらおう。

新しい問題 浮力に関する理解が本当に深まったかどうか、授業で扱ってない問題を出して、その正答率を見た。右の図9にそのうちの1つの結果を示す。正答率は58%であった。現時点では比較資料がないが、かなり難しい問題であるのでおそらく一般的な授業よりもよい結果であると思われる。

授業後のアンケート 浮力を学

ぶ意味や価値が実感できたかどうか、アンケートを実施した。図10に結果を示す。これは授業を受けた生徒の持つ高い満足度を示していると言えるだろう。

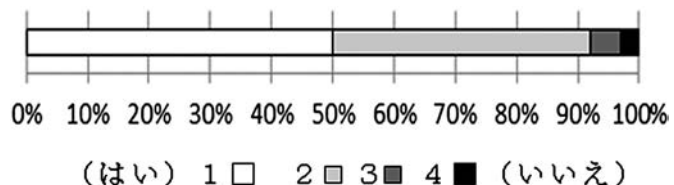
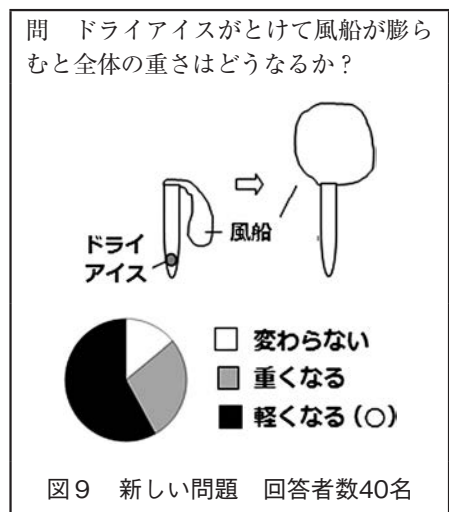


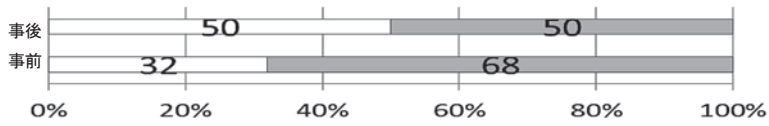
図10 浮力を学ぶ意味や価値を実感できたか 回答者数40名

4 結論

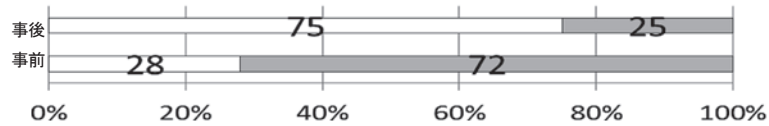
以下にこの教材開発と授業実践によって得られたいくつかの成果をまとめておく。

第1に、浮力の大きさに影響すると生徒が考えがちな、さまざまな変数をひとつずつ変えることができるおもりセットの考案により、生徒自身が変数制御の考えにもとづいて、一つひとつの

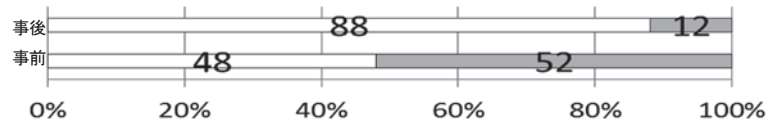
1) 水深との関係



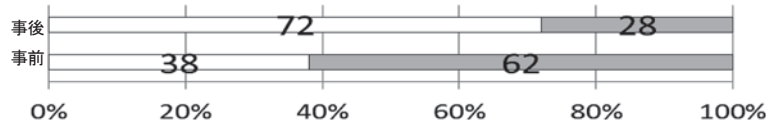
2) 質量(重さ) との関係



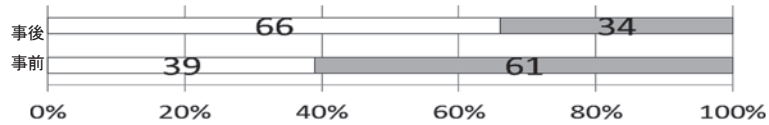
3) 体積との関係



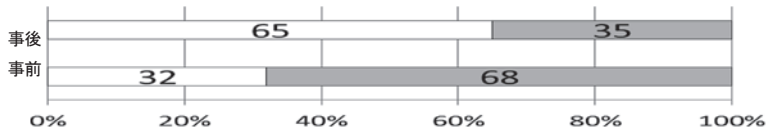
4) 底面積の大きさとの関係



5) 形との関係



6) 水中への浮き方との関係



□ 正解 ■ 不正解

図11 授業前後の生徒の浮力に対する考えの変容：事前と同じ設問を実施し正答率を比較した。(回答者数 N=120名)

変数の制御の観点を生かした浮力についての授業プランの開発

変数の影響の有無を探究的に確かめる実験を計画し実行する授業が可能となった。その結果、浮力に関する概念を大きく変容させることができた。水の上に浮いている部分が大きい物体ほど浮力を大きく受けているというよく見られる誤解も顕著に減少した。

第2に、「水の中で水の重さは測れない」と「空気の中では空気の重さは測れない」ことを体験させることで大きな葛藤を生じさせ、生徒の間での思考と討論を活発化することができた。

また、空気の浮力を実験で確認することで、生活をしているだけでも空気から浮力を受けているという実感をもたせることができたのではないかと思われる。

全体として、今次の単元構成の工夫によって、浮力に関する新たな見方や考え方が獲得され、身のまわりの現象を科学的に説明したり新たな疑問を持つことの楽しさを味わうきっかけとなるような新しい授業プランができたと言えるだろう。

5 残された課題

ただし、今回の授業によって、浮力に関係を持つ変数についての誤った観念が完全に克服されているわけではない。たとえば水深と浮力が関係するという誤った観念にとどまった生徒は、今回の授業の工夫によっても、半数ほど残っているように見える。水深が増すと水圧が大きくなるという現象が関係するのかもしれない。また、本報告では紙数の関係上議論しなかったが、体積が大きいと浮力を大きく受けること理由を説明できる生徒は増加したがその数は少ない。浮力の授業方法については今後もさらなる検討が必要である。

【付記】 本稿は、平成24年度香川大学教育学部・学部教員と附属学校園教員による共同研究プロジェクト「科学的な見方や考え方を育成する特別探究プログラム集の開発」の報告論文であり、その内容は、2013年3月に行われた平成24年度香川大学教育学部・附属学校園教員合同研究集会においても発表された。また本研究は、著者の一人（笠）が本学に赴任した2007年度以来続けられてきた附属坂出中学校理科教員との共同研究の一環であり、また科研費補助金基盤研究（C）「科学的リテラシーの要素としての科学的なデータの見方の研究と教材開発」（課題番号22500856代表者 笠潤平）の助成を受けた。（なお、本研究の一部は、平成25年度（第45回）東レ理科教育賞文部科学大臣賞を受賞した。）

参考文献

- 1) Adey, P., *Science as a context for the Science of Thinking*, 小倉康 編, 科研費研究中間報告書『英国における科学的探究能力育成のカリキュラムに関する調査』, 第3章, 2004
- 2) 笠 潤平, 「CASEとは何か」, 同上, 第5章, 2004
- 3) Shayer, M., Adey, P. and Yates, M. *Thinking Science* 3rd edition, Nelson, Walton-on-Thames, 2001
- 4) 若林教裕他, 変数の扱いを中心とした科学的な探究能力の育成のための授業プログラムの開発—理科を通じた認知的促進授業プログラム (CASE) の日本における応用の試み—, 香川大学教育学部研究報告第II部, 62 (1), 33-47, 2012

若林教裕, 鷺辺章宏, 笠 潤平

- 5) Loverude, M. et al, Helping students develop an understanding of Archimedes' principle. I, Am. J. Phys. 71 (11), 2003
- 6) 仮説実験授業研究会 板倉聖宣編, 『浮力と密度・重さと力・まさつ力』, 国土社, 1988