

質量に関する中学生の誤概念の特徴

—大学生の誤概念との比較を基に—

Characteristics of Middle-School Students' Misconceptions about Mass: Based on the Comparison with College Students' Misconceptions

土佐 幸子, 島影 樹*

Sachiko TOSA, Tatsuki SHIMAKAGE*

This study examines the characteristics of middle-school students' misconceptions about mass. A questionnaire was developed to reveal middle-school students' misconceptions about mass based on the findings from earlier works in literature and the content that students learn about mass in middle-school science. Six categories were identified, and items were developed to cover the categories. A 30-item questionnaire was first used to collect data from college students (N=117). Then, a data collection was conducted in a middle school (N=275). The results indicate that motion-related misconceptions about mass were strongly observed both in middle-school students and college students. On the other hand, misconceptions related to physical and chemical changes, conservation laws, and measurements of gases are reduced once students learn about mass in the 7th grade. A lesson design to help students undergo conceptual change about mass was developed using a conflict map. The focus was on the change of the motion-related misconceptions about mass. Limitations and future work of this study were further discussed.

Key words: mass, weight, misconceptions, middle-school students, conflict maps

1. 問題の所在

「質量」の概念は、物体の運動や化学反応を記述するにあたり非常に重要な要素であるが、その言葉は中学校で初めて用いられる¹⁾。それまで小学校では「重さ」という言葉を用いて学習する。現行及び新学習指導要領中学校理科¹⁻²⁾には「重さと質量との違いにも触れること」とあるが、その程度の簡単な扱いで、中学生が「質量とは何か」を理解できるだろうか。

そもそも質量とは物体に含まれる物質の量を表し、物体に固有で、物体の力学的性質を決める基本

量である³⁾。質量の定義を文献に求めれば、物体が重力を受ける度合いとして天秤で測られる重力質量と、力が働いたときに動かし難さで表される慣性質量があり、両者は等しいという等価原理が成り立つ。質量と同じように物体に固有な量として体積があるが、質量は体積とは違って力が働いたときにその運動によって決まる力学的な量である。

他方、理科教育学分野の先行研究において、質量や重さに関する誤概念が小学生から大学生までの幅広い層に多く存在することが指摘されている⁴⁻⁶⁾。例えば、中村・荒木(1999)⁴⁾によれば、「重いものと軽いものを同時に落とすと、重いものの方が先に地面につく」という記述に丸と回答した小学5年生は78% (N=70)、中学3年生は61% (N=59) であっ

2019.10.21 受理

* 新潟県阿賀町立阿賀津川中学校

たが、高校3年生は32% (N = 38), 大学生は42% (N = 45) であった。この記述は空気抵抗を考慮に入れば正しく、真空中では誤りである。落下速度の質量依存性について、大きな混乱が見られることがわかった。また、佐藤ら (2014) ⁵⁾ の調査によれば、棒状や粒状にしたときの粘土の重さが変わらないことに正答した小学校5年生は68% (N=34), 中学2年生は88% (N = 32), 大学生は86% (N=57) であった。32%の小学5年生が丸型や粒状の粘土の方が重いと回答したり、分からないと答えた。これらの先行研究から、質量や重さについて、誤概念をもつ割合が多いだけでなく、校種や学年によって、誤概念の傾向が異なることが示唆された。

新学習指導要領では「主体的・対話的で深い学び」を実現することが重視されている⁷⁾。深い学びを実現するためには、誤概念を覆して科学的概念を構築するプロセスを踏まえた指導が重要であり、多くの生徒がもつ誤概念について、その特徴を明らかにすることは急務と考えられる。

そこで本研究は、質量に関する中学生の誤概念の特徴を明らかにし、それらを覆す手立てを探ることを目的とする。先行研究によって示唆されたのは誤概念の傾向が、校種や学年によって異なることである。そこで、本研究では大学生の誤概念の傾向を基に中学生の誤概念と比較を行う。さらに中学生の学年ごとのデータを比較することによって、中学生の質量に関する誤概念の特徴を掴むことが可能になると考える。さらに調査結果を踏まえ、中学生段階において誤概念を覆す指導法のヒントを探る。本研究の課題を「質量に関して、中学生のもつ誤概念にはどのような特徴があるか。」とする。本研究では、課題に答えるためにアンケート調査問題を開発し、それを用いた調査を実施する。アンケート調査から得られた結果を踏まえ、質量に関して中学生のもつ誤概念の特徴について検討する。

本研究の重要性は、質量に関して中学生のもつ誤概念の特徴を明らかにすることにより、中学生のうちに誤概念を覆す手立てを取る可能性を探ることである。高校で物理を履修しない生徒がいることを考えると、質量という基本量に対して、正しい概念を市民が獲得することを保障するには、中学校段階で手立てを講じることが必要である。本研究が質量に関して、中学生の誤概念を減らし、ひいては大人の誤概念を減らすことに貢献することが期待される。

2. 理論的枠組み

本研究は、構成主義的なアプローチ⁸⁾を理論的枠組みとする。構成主義的な学習論によれば、知識は一方的な情報伝達によっては獲得されない。学習者が自らの経験を基に、主体的に事物と関わり、認知的な葛藤を経て初めて概念が構築される。ヴィゴツキー⁹⁾は、概念構築の過程において、他者との関わりが重要であるとした。また、ドライヴァー¹⁰⁾は、構築された概念が、社会的に認められた概念と整合性が図られていることの重要性を強調している。

本研究において、構成主義的なアプローチに立てば、質量に関して学習者のもつ概念は、その正誤に関わらず、学習者の生活経験や学習経験を基に形成されたと捉えられる。誤概念を覆す指導法のヒントを探る際には、構成主義の立場に則って概念構築のプロセスについて検討を加える。

3. 研究方法

本研究では、質量に関して中学生のもつ誤概念の特徴を明らかにするために、まず、どのような誤概念が知られているかについて先行研究の調査を行う。次に、中学生が学ぶ質量に関する概念構造を俯瞰し、誤概念の同定とカテゴリー分けを行う。その結果を踏まえ、アンケート調査問題を作成し、大学生を対象に試験調査を実施する。試験調査によって誤概念が見出せているか、また問題の不備や不足がないかを検討し、改善点があれば修正を加える。修正した調査問題を用いて、中学生を対象に本調査を実施する。その結果を大学生の調査結果と比較することにより中学生のもつ誤概念の特徴を明らかにする。さらに、その考察を基に誤概念を覆す指導法について検討する。

3.1 アンケート調査対象とデータ収集時期

質量に関して、調査問題の妥当性と問題に不備がないかを確認するために、まず試験的に大学生を対象に2018年5月にインターネット上でデータ収集を行った。ある大学で開講された理科教育法(初等)の受講者117名(主に教育学部2年生)が試験調査の対象である。4月に行った調査によると、学生の高校物理履修状況は様々で、「全く履修していない」が20%, 「物理基礎」57%, 「物理」15%, 「その他」8%という内訳になっている。全体の約80%の学生が小学校教員になることを志望している。また、「物理が全く好きではない」と回答した学生は、約半数の51%であった。

中学生を対象とする本調査は2018年7月に実施された。ある中学校の1年から3年の生徒約360名に対して紙と鉛筆を用いてアンケート調査を実施し、設問すべてに回答した275名を本研究の対象とした。なお、中学校1年の生徒は質量に関して学習していない。

3.2 アンケート調査問題の開発

3.2.1 文献調査と誤概念カテゴリーの選定

質量に関してどのような誤概念が文献に挙げられているかを明らかにするために調査を行った。

中村・荒木 (1999) ⁴⁾ は、ものの重さについて、落下速度、ブランコの周期、坂道を転がる速さとの関係を問う設問を調査問題に含めている。力学的な側面に焦点を当てた研究と捉えられる。

柿崎ら (2003) ⁵⁾ は小学生のもつ誤概念について、次の8つのカテゴリーとその例を挙げた。

- 1) 体積との混同: 100 g の綿と 100 g の鉄
- 2) 先入観による混同: 塊の粘土と細かく分けた粘土
- 3) 圧力との混同: 人をおぶって量る体重・球状の粘土と平たい粘土
- 4) 力による混同: 力を入れると重くなる
- 5) 数による混同: 割る前と後のせんべいの重さ
- 6) 測定位置による混同: 体重計の真ん中と縁で量る
- 7) 重心による混同: 立ったときとしゃがんだとき
- 8) 外的要因による混同: 大気圧のあたる面積が大きいほうが重い。

どれも感覚的な捉え方による誤概念と考えることができる。

佐藤ら (2014) ⁶⁾ は、柿崎らの挙げた圧力や数による感覚的な混同以外に、物体を水に沈めたときの深さによる浮力の違いについて問う設問を調査問題に含めている。

このように先行研究における質量に関する誤概念の取り上げられ方は、感覚的なものと力学的なものが混在しており、確固とした根拠に基づいて網羅されたものではなかった。そこで、小中学校の学習指導要領²⁾に記載された「重さ」と「質量」に関する学習内容を調べた(表1)。小学校では「重さ」を学習し、中学校1年で「質量」を学習する。その後は一貫して「質量」という言葉を用いて学習が進められる。

表1 小中学校学習指導要領に記載された「重さ」と「質量」の学習内容

	学年	学習内容
小学校	小3算数	重さは長さと共に数値的に測定, 単位g, kg
	小3理科	物には重さがある, 形が変わっても重さは変わらない, 同じ体積でも物によって重さは違う
	小5理科	水に溶けても重さはある
	小6理科	振り子の周期は重さによらない, てこの決まりは「おもりの重さ」×「支点からの距離」が左右の腕でつりあう
中学校	中1	重さと質量の違い
	中1	状態変化によって質量は変わらない
	中1	溶解度, 質量パーセント濃度
	中2	化学変化における質量変化(開放系), 質量保存(密封系)
	中3	ばねの伸びと質量

さらに、中学生のもつ誤概念の特徴を明らかにするという目的に向かって、質量に関する概念の全体像を明らかにするために、中学校で学習する質量に関する概念を書き出し、「質量」を中心につながりを図示した(図1)。

図からわかるように、質量を中心に、概念のつながりは多数の方向に伸びている。中でも丸で囲んだ部分はまとまりをなしていると考えられる。そこで、それぞれのまとまりに名前を付け、それらをカテゴリーとして用いることにした。柿崎らが挙げた「感覚的」な誤概念を加え、本研究ではA. 感覚的, B. 変化(状態変化, 化学変化), C. 保存則, D. 測定, E. 運動, そしてF. 定義の6つを誤概念のカテゴリーとする。

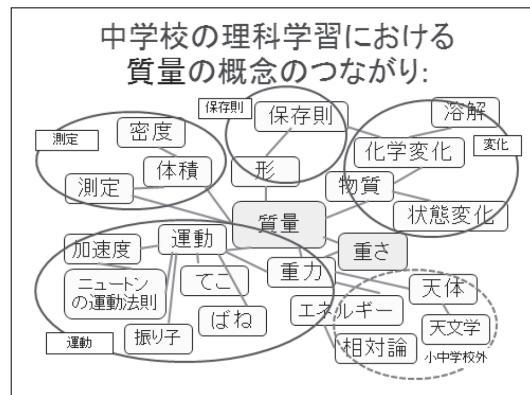


図1 中学校理科学習における質量概念のつながり

3.2.2 調査問題の作成

先行研究を参考にして、それぞれのカテゴリーにおける調査問題を作成した。先行研究に適当な問題が見出せない場合は、独自に作成した。以下に、それぞれのカテゴリーにおける問題例を挙げて説明する。なお、設問中の「はかり」は、非常に精密に測れる台ばかりを指す、とした。

「A. 感覚的」と「C. 保存則」の2つのカテゴリーに属す問題例を下に示す。

設問2. 同じ粘土を四角い形、棒のような形、丸い形と変えてはかりにのせます。はかりが示す値はどうなると思いますか。

- (1) 四角い形のときの値が一番大きくなる。
- (2) 棒のような形のときの値が一番大きくなる。
- (3) 丸い形のときの値が一番大きくなる。
- (4) すべて同じ値になる。
- (5) 分からない。

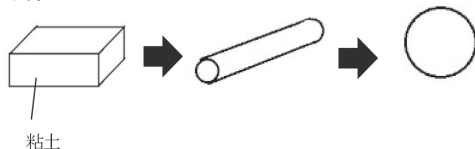


図2 保存則を問う感覚的な問題例

設問2は、粘土の形状を変えたときの質量を問う問題であり、柿崎ら（2003）5）が指摘したように、圧力に関する混同があるかどうかを測る。また、設問2は粘土の質量に関して、同じ粘土のかたまりを用いたら、どのように形を変えようと質量は変わらないという保存則の理解を測っているとも考えられる。

次に、「B. 変化」のカテゴリーに属す問題例を図3に示す。

設問3. コップの水に氷を浮かせてはかりの上におきます。しばらくするとその氷はすっかりとけて水になりました。はかりが示す値はどうなると思いますか。

- (1) 氷がとける前の値が一番大きい。
- (2) 氷がとけた後の値が一番大きい。
- (3) 氷がとける前後で値は変化しない。
- (4) 分からない。

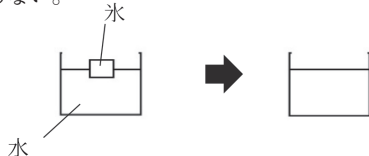


図3 変化を問う問題例

設問3は氷がとけて水になるという状態変化に伴う質量変化に関する問題である。

次に挙げる設問13は「D. 測定」と「E. 運動」の2つのカテゴリーに属する問題例である。

設問13. 膨らんでいない風船をはかりにのせます。はかりの値をメモした後、自分の息である程度膨らませました。もう一度はかりにのせると値はどうなると思いますか。

- (1) 膨らませる前の値の方が大きい。
- (2) 膨らませた後の値の方が大きい。
- (3) 膨らませる前後で値は変化しない。
- (4) 入れる息の量によって値は大きくも小さくもなる。

図4 測定と運動を問う問題例

設問13は呼気（空気）という気体の重さの測定に関する問題である。また、空気中で空気の重さを測る際には、空気による浮力とゴムによる弾性（空気中よりも余分に空気が押し込まれる）を考慮する必要があることから、物体の運動にも関係すると考えられる。

設問19. エレベーターの中にはかりを置き、はかりの上に積み木をのせます。このエレベーターは、1階から2階まで昇ります。その間、はかりの値が一番大きくなる地点は次のどこだと思いますか。

- (1) A 1階から2階へと昇り始めたとき。
- (2) B 1階から2階へ一定の速度で昇っているとき
- (3) C 2階に着く直前で速度を落としたとき。
- (4) どの地点でも値は変わらない。
- (5) 分からない。

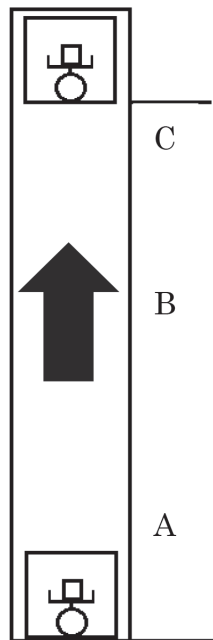


図5 運動を問う問題例

設問19は「E. 運動」カテゴリーのみに属する設問である（図5）。中学校理科において、加速度を伴う運動は詳しく学習しないが、エレベーター中で加速度変化に伴う重量変化は感覚的に体験していることであることから、設問に含めた。

最後に、「F. 定義」のカテゴリーに属する問題例を示す。

設問8. 質量30kgの物体があります。月の上ではこの物体の質量はどうなるでしょうか。

- (1) 増える。
- (2) 変化しない。
- (3) 減る。
- (4) 月の場所によって変化する。
- (5) 分からない。

図6 定義を問う問題例

質量は測定する場所によらないという質量の定義を学習した生徒は、この設問に正答できると考えられる。

すべてのカテゴリーを含む設問を30作成した。全問を付録に示す。また、それぞれのカテゴリーの設問数と設問番号を表2に示す。例に示したように1つの設問が複数のカテゴリーに属する場合もある。

表2 誤概念に関する調査問題のカテゴリーごとの設問数と設問番号

カテゴリー	設問数	設問番号
A. 感覚	8	1, 2, 11, 18, 24, 25, 26, 27
B. 変化	3	3, 8, 10
C. 保存則	8	2, 9, 15, 18, 24, 25, 26
D. 測定	8	9, 11, 13, 14, 16, 25, 26, 27
E. 運動	9	4, 12, 13, 17, 19, 21, 22, 23, 30
F. 定義	6	5, 6, 7, 20, 28, 29

大学生を対象としたアンケート調査は、学内の情報システムを利用し、PDF版の問題によって図を参照しながら、インターネット上で回答してもらった。中学生を対象とした調査は、印刷した調査用紙を用い、回答用紙に鉛筆で記入する形で行われた。

4 アンケート結果

4.1 大学生を対象とするアンケート調査結果

大学生を対象に行ったアンケート調査について、全問の正答率を表3に示す。網掛けしたのは正答率が50%よりも低い設問10問である。

表3 大学生対象のアンケート調査の正答率

(N = 117)

	設問	カテゴリー	正答率(%)
1	箱の面の面積	A	70.9
2	粘土の形	A, C	81.2
3	氷がとける	B	79.5
4	真空中の落下	E	70.1
5	質量知っている	F	36.8
6	月の上での質量	F	57.3
7	月の上での重量	F	81.2
8	砂糖が溶ける	B	72.6
9	炭酸飲料のガス	C, D	75.2
10	鉄粉錆びる	B	81.2
11	体重計上の姿勢	A, D	76.1
12	浮力と水深	E	13.7
13	膨らんだ風船	D, E	60.7
14	ボンベに水素	D	48.7
15	混合物の重さ	C	58.1
16	混合物の体積	D	27.4
17	空気中の落下	E	67.3
18	ミルクを飲んだ赤ちゃん	A, C	35.0
19	昇りエレベーター	E	25.6
20	水中の質量	F	64.1
21	シーソー	E	22.2
22	浮いた物体	E	50.4
23	飛び上がった鳥	E	9.4
24	丸めたホイル	A, C	83.8
25	寝ころんだとき	A, C, D	73.5
26	割れたせんべい	A, C, D	85.5
27	シャボン玉	A, D	76.1
28	無重力	F	78.6
29	質量の認知度	F	25.6
30	下りエレベーター	E	21.4

表3からわかるように、「A. 感覚的」カテゴリーに属する設問の正答率は、設問18を除いて70～80%と高かった。例えば、図2に示した設問2における回答分布を見ると、図7のようになる。

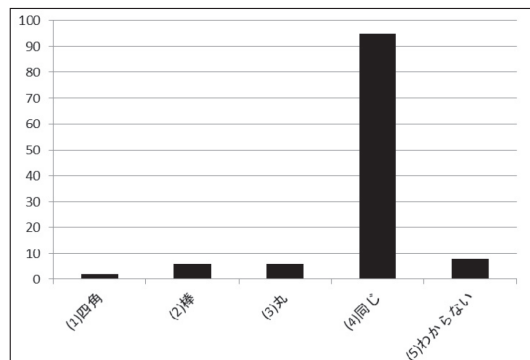


図7 設問2に対する大学生の回答分布 (N = 117)

粘土の形を変えても重さは変わらない，ということ
を多くの学生が認識しており，誤概念は少ないこと
がわかる。

感覚のカテゴリーの中で，正答率の低かった設問
18と回答分布を下に示す。

設問18. 赤ちゃんの体重をはかるとちょうど
4000 gでした。その後ミルク200 gを飲ませ，直
後にもう一度体重をはかると赤ちゃんの体重はど
うなると思いますか。

- (1) 4200 g より大きくなる
- (2) ちょうど4200 g になる
- (3) 4200 g より小さく，4000 g より大きくなる
- (4) 4000 g のまま変化しない
- (5) わからない

図8 設問18

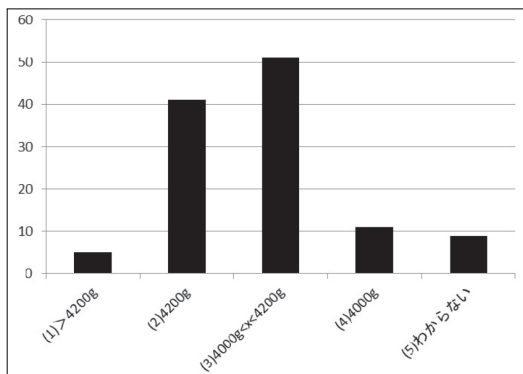


図9 設問18に対する大学生の回答分布 (N = 117)

「(2) ちょうど4200 g になる」よりも「(3) 4200 g
より小さく，4000 g より大きくなる」と考える学
生が多く，生物が関与するときの保存則について誤
概念が多いことがわかる。

カテゴリー「B. 変化」に関する設問においても，
正答率は70～80%と高い。例えば，設問3の回答
分布を表したのが図10である。設問8と10におい
ても同様である。すなわち，物質が状態変化したり
化学変化したりしたときの質量について，大学生の
誤概念は少ないと考えられる。

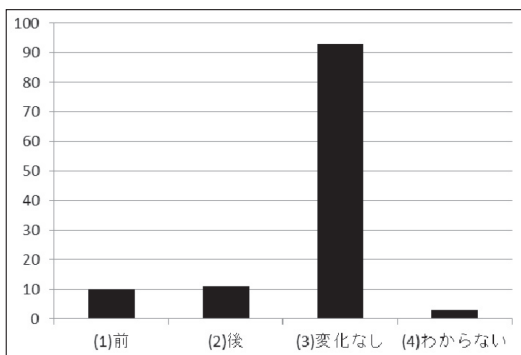


図10 設問3に対する大学生の回答分布 (N = 117)

表3から，大学生の誤概念が多く見られるのは
「E. 運動」のカテゴリーであることがわかる。例
えば，図5に示した設問19に対する大学生の回答
分布を見てみると，図11のように回答がバラバラ
であった。誤概念が多いことがわかる。

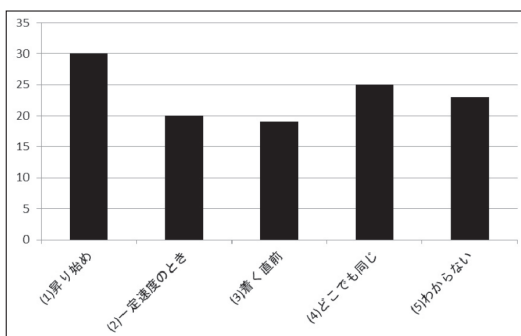


図11 設問19に対する大学生の回答分布 (N = 117)

これらの大学生を対象としたアンケート結果か
ら，大学生において，質量に関する感覚的な誤概念
や変化に関する誤概念は少ないが，運動に関する誤
概念や生物が関与する保存則に関する誤概念は多い
ことがわかった。

大学生を対象に行なった調査結果から，6つのカ
テゴリーにおける誤概念が見出されていることがわ
かった。問題の不足や不備は特に見当たらず，中学
生を対象とする本調査でも同じ質問紙を用いること
にした。

4.2 中学生を対象とするアンケート調査結果

中学生を対象に行なったアンケート調査の結果を，
学年ごとの正答率で表4に示す。正答率が50%よ
りも低いセルを網掛けして示す。

表4 中学生対象のアンケート調査の学年別正答率と全体の正答率 (N = 275)

番号	1年生	2年生	3年生	全学年
1	89.25%	82.02%	82.28%	84.52%
2	94.81%	91.19%	94.44%	93.48%
3	50.30%	69.42%	69.27%	62.99%
4	40.71%	55.52%	54.25%	50.16%
5	27.95%	72.54%	62.05%	54.18%
6	11.75%	61.22%	46.87%	39.95%
7	57.49%	77.41%	79.27%	71.39%
8	67.32%	77.72%	79.34%	74.79%
9	60.80%	95.11%	94.36%	83.42%
10	32.19%	78.02%	84.67%	64.96%
11	70.57%	77.61%	76.41%	74.86%
12	14.45%	35.08%	26.29%	25.28%
13	51.25%	83.48%	76.25%	70.33%
14	38.85%	57.10%	66.64%	54.20%
15	49.89%	66.45%	73.47%	63.27%
16	23.77%	21.72%	15.02%	20.17%
17	68.08%	59.44%	63.86%	63.79%
18	26.63%	34.81%	42.90%	34.78%
19	22.26%	25.12%	26.22%	24.53%
20	45.15%	64.89%	64.98%	58.34%
21	56.01%	50.81%	58.38%	55.07%
22	37.48%	42.44%	52.59%	44.17%
23	9.00%	12.60%	6.91%	9.50%
24	84.36%	80.05%	91.58%	85.33%
25	67.52%	74.09%	83.40%	75.00%
26	79.17%	72.02%	91.58%	80.92%
27	49.34%	66.36%	72.43%	62.71%
28	11.33%	18.28%	8.34%	12.65%
29	9.08%	23.66%	26.37%	19.70%
30	25.49%	19.07%	26.29%	23.62%

表3と表4を比べると、中学生でも大学生でも平均正答率が50%よりも低かった設問は次の7問である。

- 12 浮力と水深 E
- 16 混合物の体積 D
- 18 ミルクを飲んだ赤ちゃん A, C
- 19 昇りエレベーター E
- 23 飛び上がった鳥 E
- 29 質量の認知度 F
- 30 下りエレベーター E

中学生でも大学生でも誤概念の多いのは、「E. 運動」のカテゴリーであることがわかる。

表4から、1年生と2・3年生の傾向が分かれる設問があることがわかる。そこで、1年生の正答率と2・3年生の平均正答率を設問ごとに棒グラフを用いて表したのが図12である。

図12のグラフからわかるように、中1と中2・3の正答率が大きく異なっている（差が20%よりも大きい）設問は次の10問である。

- 3 氷がとける B
- 5 質量知っている F
- 6 月の上での質量 F
- 9 炭酸飲料のガス C, D
- 10 鉄粉錆びる B
- 13 膨らんだ風船 D, E
- 14 ボンベに水素 D
- 15 混合物の重さ C
- 20 水中の質量 F
- 27 シャボン玉 A, D

差が大きい設問は「B. 変化」, 「C. 保存則」, 「D. 測

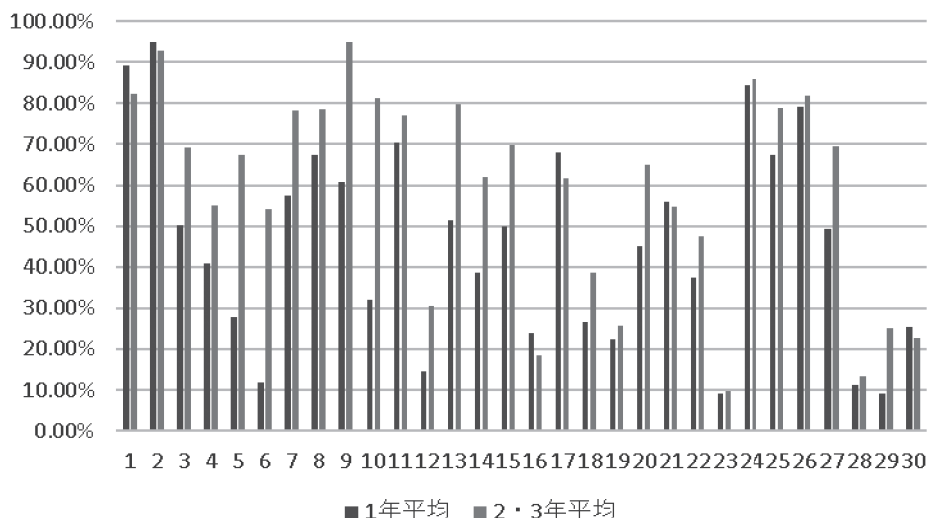


図12 中1と中2・3の設問ごとの正答率 (N = 275)

定」,「F. 定義」と複数のカテゴリーに属している。

5. アンケート結果の考察

中学生と大学生のアンケート結果を比較して、中学生の質量に関する誤概念について、次のことがわかる。

まず、大学生でも中学生でも正答率が20%代と低かった設問は、エレベーターや浮力の問題など、運動に関する問題が多かった。この結果から、運動に関する誤概念は中学時代から大学時代までもち続けていることがわかる。これは、質量について力学的な解釈を学習していないことに起因すると考えられる。

「A. 感覚的」な誤概念は、設問18の「ミルクを飲んだ赤ちゃん」以外にはほぼ見られなかった。このことから感覚的な誤概念は、中学生になるまでにほぼ払拭されていると考えられる。

他方、中学1年と2・3年生では大きく正答率が異なる設問があった。中でも、質量の定義に関する設問に差があったのは、中学1年で質量について学習することが大きく影響していると考えられる。また、正答率の差が大きかった設問を見てみると、状態変化や化学反応の前後の質量に関する問題（設問3と10）や、気体の測定に関する問題（設問9, 13, 14, 27）であり、中学校理科の学習の中で、誤概念が払拭されたものと考えられる。

このように見ていくと、質量に関して感覚的な誤概念や、保存則・測定に関する誤概念は、生活経験が増し、学習を積んでいくことにより、減少する傾向にあることがわかる。また、変化に関する誤概念や定義に関する理解不足は、中学校理科で学習することにより、覆される傾向にある。しかし、中学校理科で学習しない運動に関する誤概念は大学生になっても持ち続けるということがわかった。次節で議論する授業開発にあたっては、質量に関して生涯にわたって誤概念をもち続けることを少しでも減らすように、中学校理科で質量を学習する際に、運動に関する内容を含めることを検討する。

6. 授業開発への展望

誤概念を覆すのに有効な手段として、コンフリクトマップを用いた指導法がある¹¹⁻¹²⁾。そこで、本研究において、コンフリクトマップを活用して、質量に関する誤概念を覆す手立てを含めた授業開発を行うことが有用であると考えられる。コンフリクトマップを用いることにより、誤概念及びそれを修正する手

立て、授業の全体像が整理され、授業を組み立てやすくなることが期待される。

コンフリクトマップとは、先行概念 (C_1') を科学概念 (C_1) に変化させるために、「先行概念と矛盾する事象の間にある認知的葛藤」と「先行概念と科学概念の間にある認知的葛藤」を起こさせる指導方法を模式的に表した図（図13）である。コンフリクトマップには、先行概念と矛盾した事象 (P_1) の間に起こる認知的葛藤 (DE) と、先行概念と科学概念の間に起こる認知的葛藤 (CE) が含まれている。それらの葛藤を経て、先行概念（誤概念）を正しい科学概念に変化させる。そのときに助けになるのが、当該の科学概念と密接に関係する科学概念 (C_2 から C_4) や科学概念をサポートする知覚 (P_2 から P_4) である。

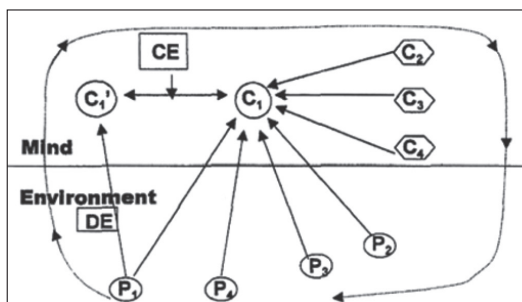


図13 コンフリクトマップの枠組 (Tsai, 2000)

本研究において作成したコンフリクトマップは、質量に関する誤概念を覆し、正しい科学概念の獲得を促すものである。運動に関する誤概念が多かったことから、学習過程において「重さ（重量）は運動によっては変化するが、質量は運動によって変化しない。」という科学概念の獲得を目的とする。先行概念 (C_1')、つまり、学習者がもつ誤概念として、質問紙調査結果を踏まえ「質量と重さ（重量）は同じもの」、及び「重さは秤に乗っていないと計れない」の2つを考える。1番目の「質量と重さ（重量）は同じもの」は、質量の定義（カテゴリーF）に関して、正答率が低かったことから誤概念として挙げた。2番目の「重さは秤に乗っていないと計れない」は、飛び上がった鳥の問題に対して、中学生でも大学生でも正答率は10%前後で非常に低かったことから挙げた。この問題では、飛び上がった鳥の揚力に対する反作用が秤に働いていることを認識する必要がある。

まず、これらの誤概念（先行概念）に対して、矛盾した事象 (DE) として、電子天秤の上ののせた

水の入ったビーカーに指を入れる。この場合、指に働く浮力の反作用が電子天秤に働き、値は増える。「重さは秤に乗っていないと計れない」とする誤概念との間で認知的葛藤を認識させる。次に、科学概念(C1)として、「重さ(重量)は運動によって変化するが、質量は運動によって変化しない」を提示する。その上で、科学概念を裏付ける事象となる臨界事象(CE)として、電子天秤の上にのせた水の入ったビーカーに物を入れて、値を比較する活動を行う。指の出し入れを行う、物体を糸で吊るす、水の中での深さを変えるなどをしたときの天秤の値の変化を見る。これらの活動から、誤概念(先行概念)と科学概念の間の認知的葛藤を認識させ、科学概念の形成を図る。なお、質量の科学概念と密接に関係する科学概念として、「重力が働いていること」「作用反作用の法則」「浮力と水深」などが挙げられる。

作成したコンフリクトマップを付録の図14に示す。マップの流れに沿って、授業を展開していくことによって、学習者がもつ複数の誤概念を正しい科学概念に変化させることができると考える。これを基に実践を行い、効果を検証することが求められる。

なお、ここで作成したコンフリクトマップには4.2で挙げられた中学生にも大学生にも多い誤概念のうち、

- 16 混合物の体積 D
- 18 ミルクを飲んだ赤ちゃん A, C
- 19 昇りエレベーター E
- 30 下りエレベーター E

は含まれていない。「混合物の体積」の問題は体積に関する事柄であることから除外した。「ミルクを飲んだ赤ちゃん」の問題は感覚的な誤概念、エレベーターの問題は「重さは座標系によらない」という誤概念であることから、それらの誤概念を覆すには別のコンフリクトマップの作成が必要であり、本稿では対象に含めなかった。

7. ディスカッション

7.1 本研究からわかったこと

本研究によって、質量に関して、様々な種類の誤概念があることがわかった。感覚的な誤概念は「ミルクを飲んだ赤ちゃん」の問題を除いて、中学生までに概ね解消していることがわかった。また、化学変化や状態変化、保存則、気体の重さの測定に関する誤概念は、中学校1年で質量に関して学習して以降、大きく減少することがわかった。これらの誤概念は、学習や生活経験によって、解消されると考え

られる。他方、運動に関する誤概念は多くの大学生でももっていることから、中学校理科で学習しなければ、生涯にわたってもち続ける可能性が高いことがわかった。そこで、中学校理科において、重さ(重量)は運動によって変化することを学習するコンフリクトマップを作成し、実践の構想を練った、

7.2 本研究の限界

本研究は同じ質問紙を用いて、中学生と大学生を対象に調査を行い、その比較に基づいて、質量に関する誤概念の特徴を明らかにしたという点で他に例を見ない。しかし、大学も中学校も1校のみであり、結果の一般化には限界がある。

本研究では、誤概念をもつに至った理由まで調査に含めていない。その誤概念をなぜもつようになったかの理由を明らかにすることは、改善のための授業方略を構想するにあたって重要であるが、時間的な制約の中で、インタビュー調査のような理由を明らかにする調査はなされていない。

7.3 今後の課題と展望

本研究の今後の課題として、コンフリクトマップを用いた授業実践が残されている。先に述べたように、誤概念の理由をインタビュー調査で明らかにし、もう一度コンフリクトマップを検討することも考えられる。また、本稿に含めなかった「ミルクを飲んだ赤ちゃん」とエレベーターの問題に関する誤概念を覆す方略を構想し、中学1年生の質量の学習に含めることができるかどうか検討したい。質量という基本量について、生涯にわたって誤概念をもち続けることがないように、中学校理科の段階でできる方略をさらに考えていきたい。

引用文献

- 1) 文部科学省:中学校学習指導要領, 平成20, 21年改訂, 2009年.
- 2) 文部科学省:中学校学習指導要領, 平成29年告示, 2017年.
- 3) ブリタニカ国際大百科事典
- 4) 中村三知生・荒木紀幸:「ものの動きとはたらき」に関する小学生から大学生に至る素朴概念の比較, 兵庫教育大学教科教育学会紀要, 12, 22-27, 1999年.
- 5) 柿崎健・荒川絵梨・藤原優・高橋葉月・佐々木尚子・八木一正・小室孝典:物の重さに対する誤概念を修正する研究(Ⅱ), 岩手大学教育学部紀要, 2003年.
- 6) 佐藤博・笠原念一・山主公彦:重さ・体積・密度・浮力の概念についての調査—小学生・中学生・大学

- 生を対象にして－, 山梨大学教育実践学研究19, 121-128, 2014年.
- 7) 文部科学省: 主体的・対話的で深い学びの実現, 2017年.
- 8) Fosnot, C. T. (Ed.): *Constructivism-Theory, perspectives, and practice*, Teachers College Press, 2005.
- 9) Vygotsky, L. S.: *Mind in society: The development of higher psychological processes*, Harvard University Press, 1978.
- 10) Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P.: *Constructing scientific knowledge in the classroom*, *Educational Researcher*, 23(7), 5-12, 1994.
- 11) 土佐幸子・内田悠人: 理科授業実践におけるコンフリクトマップの有用性－てこの原理に関する誤概念に注目して－新潟大学教育学部研究紀要自然科学編, 11(1), 1-15, 2018年.
- 12) Tsai C.-C.: *Enhancing science instruction: the use of 'conflict maps'*. *International Journal of Science Education*, 22, 285-302, 2000.

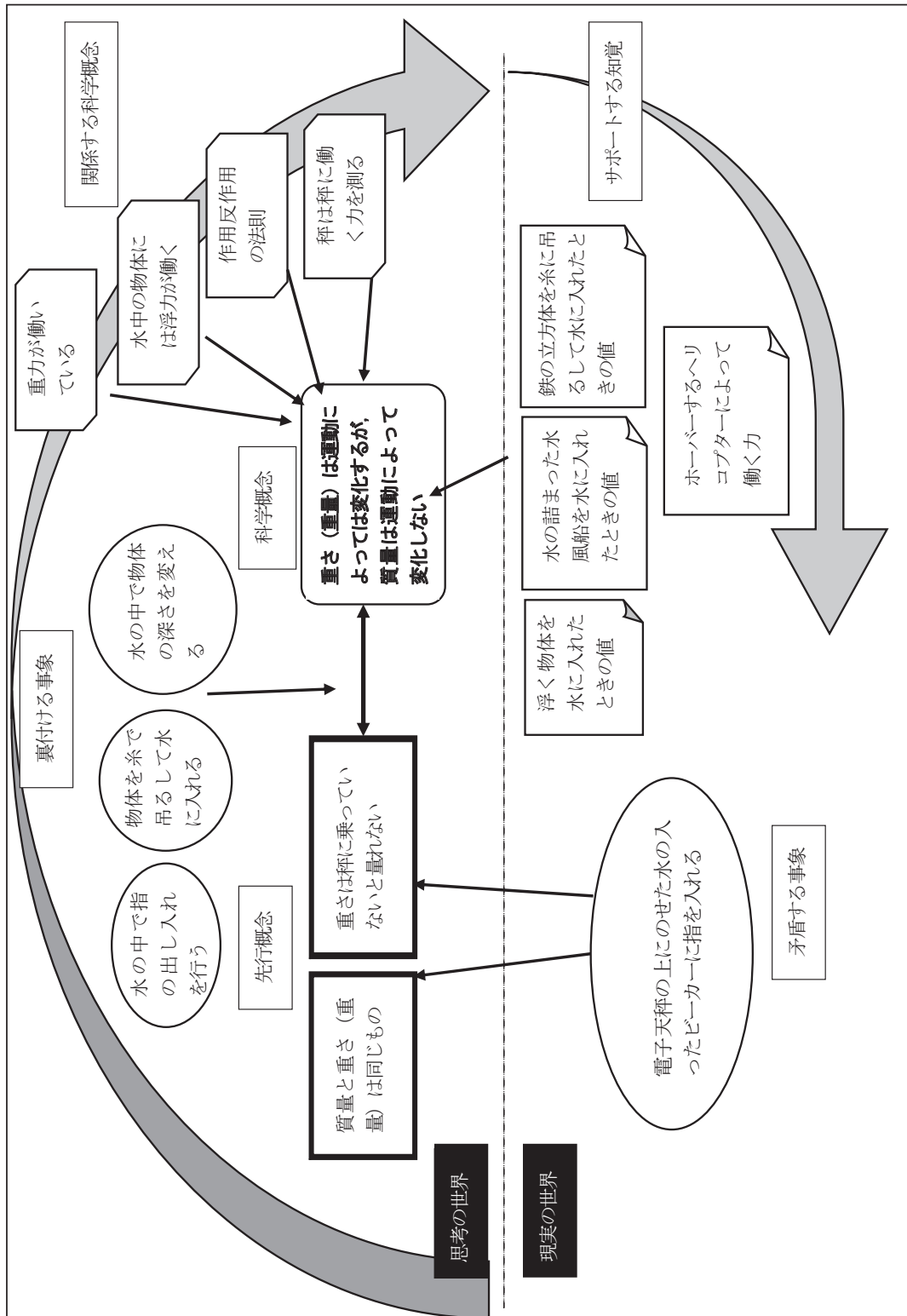


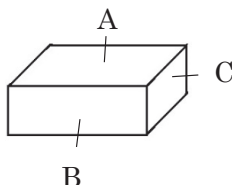
図 14 質量の誤概念を覆す授業開発に関するコンフリクトマップ

質量に関するアンケート

一番当てはまると思う番号を回答用紙に記入して下さい。なお、文章中の「はかり」は、非常に精密に測れる台ばかりを指します。

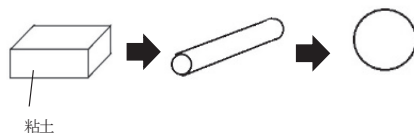
1. 積み木を A, B, C の異なる面を下にしてはかりにのせます。はかりが示す値はどうなると思いますか。
(それぞれの面の面積は広い順に A, B, C となっています。)

- (1) A の値が一番大きくなる。
- (2) B の値が一番大きくなる。
- (3) C の値が一番大きくなる。
- (4) すべて同じ値になる。
- (5) 分からない。



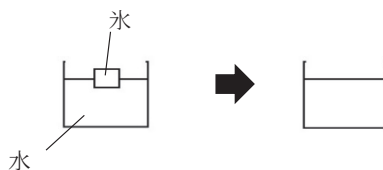
2. 同じ粘土を四角い形、棒のような形、丸い形、と形を変えてはかりにのせます。はかりが示す値はどうなると思いますか。

- (1) 四角い形のときの値が一番大きくなる。
- (2) 棒のような形のときの値が一番大きくなる。
- (3) 丸い形のときの値が一番大きくなる。
- (4) すべて同じ値になる。
- (5) 分からない。



3. コップの中の水に氷を浮かせてはかりの上におきます。しばらくするとその氷はすっかりとけて水になりました。はかりが示す値はどうなると思いますか。

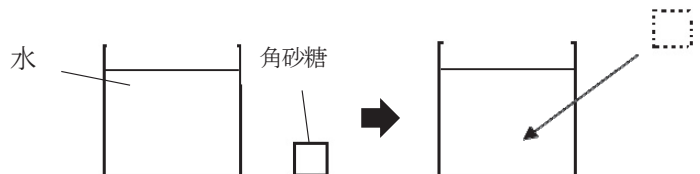
- (1) 氷がとける前の値が一番大きい。
- (2) 氷がとけた後の値が一番大きい。
- (3) 氷がとける前後で値は変化しない。
- (4) 分からない。



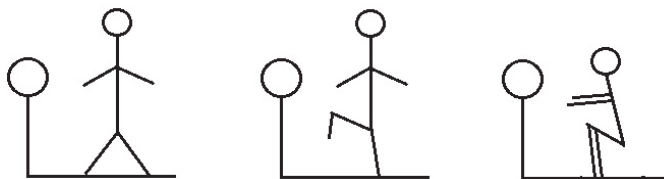
4. 同じ大きさの球を2つ用意しました。片方は発泡スチロール、もう片方は鉄でできています。これを真空状態の空間で同時に落としたとき、先に地面に落ちるのはどちらだと思いますか。

- (1) 発泡スチロールでできている玉
- (2) 鉄でできている玉
- (3) 同時に落ちる
- (4) 分からない。

5. 「質量」という言葉を知っていますか。
- (1) 知っているし、意味も説明できる。
 - (2) 知っているが、意味は説明できない。
 - (3) 知らない。
6. 質量 30 kg の物体があります。月の上ではこの物体の質量はどうなるでしょうか。
- (1) 増える。
 - (2) 変化しない。
 - (3) 減る。
 - (4) 月の場所によって変化する。
 - (5) 分からない。
7. ある物体をはかりにのせるとちょうど 30 kg であることが分かりました。月の上で同じ道具で同じように測定したとき、はかりの値はどうなると思いますか。
- (1) 30 kg よりも大きくなる。
 - (2) 30 kg よりも小さくなる。
 - (3) 変化しない。
 - (4) 分からない。
8. 水を入れたコップと角砂糖を用意し、どちらも同じはかりにのせます。値をメモした後、角砂糖を水の中に入れるとすべてとけました。角砂糖を水の中に入れる前と後ではかりが示す値はどうなると思いますか。
- (1) 角砂糖を水の中に入れる前の方が値は大きい
 - (2) 角砂糖を水の中に入れた後の方が値は大きい。
 - (3) 角砂糖を水の中に入れる前後では値は変化しない。
 - (4) 分からない。

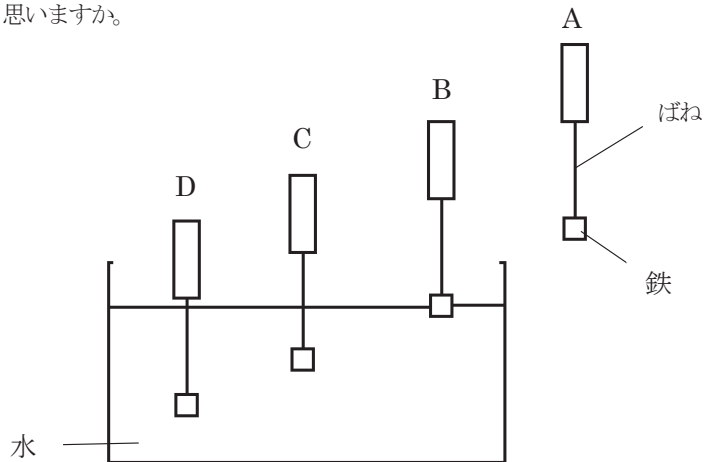


9. 炭酸飲料の入ったペットボトルをはかりの上にのせます。はかりの値をメモした後、ペットボトルを上下に振り、ふたを開けると「ぷしゅっ」という音が聞こえました。その後ふたを閉め、もう一度はかりにのせると値はどうなると思いますか。
- (1) ふたを開ける前の値の方が大きい。
 - (2) ふたを開けた後の値の方が大きい。
 - (3) ふたを開ける前後で値は変化しない。
 - (4) 分からない。
10. 鉄粉をビーカーの中に入れてはかりの上に置き、静かに1か月放っておいたらさびました。このときはかりの値はさびる前と比べてどうなると思いますか。
- (1) 値が大きくなっている。
 - (2) 値が小さくなっている。
 - (3) 値は変化しない。
 - (4) 分からない。
11. 体重計に乗ります。はかりの上に両足で立った状態と、片足で立った状態と、しゃがんでいる状態では、はかりの値はどうなると思いますか。
- (1) 両足で立っているときの値が一番大きい。
 - (2) 片足で立っているときの値が一番大きい。
 - (3) しゃがんでいるときの値が一番大きい。
 - (4) どれも同じ値で変わらない。
 - (5) 分からない。



12. 鉄でできた物体をばねにつるし、水の入った水槽の中に入れていきます。この時、ばねの伸びが **2 番** 目に小さいのはどれだと思いますか。

- (1) A
- (2) B
- (3) C
- (4) D
- (5) 分からない。

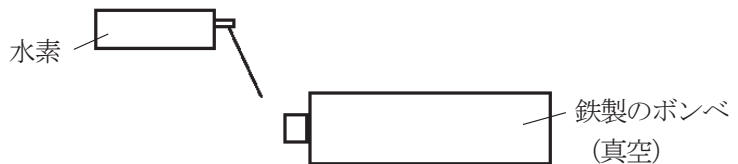


13. 膨らんでいない風船をはかりにのせます。はかりの値をメモした後、自分の息である程度膨らませました。もう一度はかりにのせると値はどうなると思いますか。

- (1) 膨らませる前の値の方が大きい。
- (2) 膨らませた後の値の方が大きい。
- (3) 膨らませる前後で値は変化しない。
- (4) 入れる息の量によって値は大きくも小さくもなる。
- (5) 分からない。

14. 図のような鉄製のボンベがあり、中は真空にしてあります。この中に水素を入れてはかりにのせると値はどうなると思いますか。

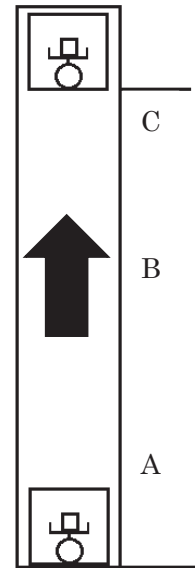
- (1) 水素を入れる前の値より大きくなる。
- (2) 水素を入れる前の値より小さくなる。
- (3) 水素を入れる前後で値は変化しない。
- (4) 入れる水素の量によって値は大きくも小さくもなる。
- (5) 分からない。



15. 液体のエチルアルコール 50ml【40 g】と液体の水 50ml【50 g】とを混ぜ、はかりにのせました。このときはかりの値はどうなると思いますか。
- (1) ちょうど 90 g を示す。
 - (2) 90 g よりも大きくなる。
 - (3) 90 g よりも小さくなる。
 - (4) 分からない。
16. 15.の問いにおいて、混合物の体積はどうなると思いますか。
- (1) ちょうど 100ml になる。
 - (2) 100ml よりも大きくなる。
 - (3) 100ml よりも小さくなる。
 - (4) 分からない。
17. 同じ大きさの球が2つあります。片方は発泡スチロール、もう片方は鉄でできています。これを学校の屋上から同時に落としたとき、先に地面に落ちるのはどちらだと思いますか。
- (1) 発泡スチロールでできている玉
 - (2) 鉄でできている玉
 - (3) 同時に落ちる。
 - (4) 分からない。
18. 赤ちゃんの体重をはかるとちょうど 4000 g でした。その後ミルク 200 g を飲ませ、直後にもう一度体重をはかると赤ちゃんの体重はどうなると思いますか。
- (1) 4200 g より大きくなる。
 - (2) ちょうど 4200 g になる。
 - (3) 4200 g より小さく、4000 g より大きくなる。
 - (4) 4000 g のまま変化しない。
 - (5) 分からない。

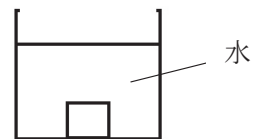
19. エレベーターの中にはかりを置き、はかりの上に積み木をのせます。このエレベーターは、1階から2階まで昇ります。その間、はかりの値が**一番大きくなる**地点は次のどこだと思いますか。

- (1) A 1階から2階へと昇り始めたとき。
- (2) B 1階から2階へ一定の速度で昇っているとき。
- (3) C 2階に着く直前で速度を落としたとき。
- (4) どの地点でも値は変わらない。
- (5) 分からない。



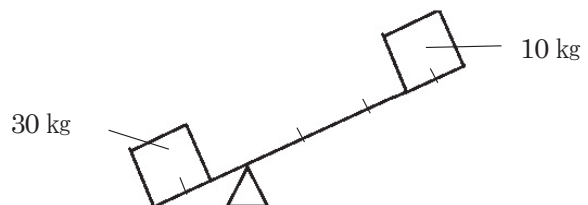
20. 質量 30 kg の物体があります。完全に水の中に沈めるとこの物体の質量はどうなるでしょうか。

- (1) 増える。
- (2) 変化しない。
- (3) 減る。
- (4) 水の中の場所によって変化する。
- (5) 分からない。



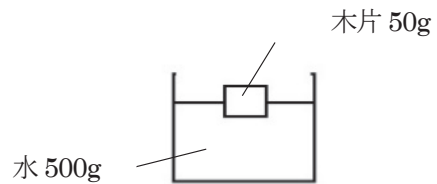
21. 30 kg の物体をシーソーにのせてあります。図の位置に 10 kg の物体をのせるとシーソーはどちらに傾くと思いますか。

- (1) 左に傾いたままになる。
- (2) 水平になる。
- (3) 右に傾く。
- (4) 分からない。



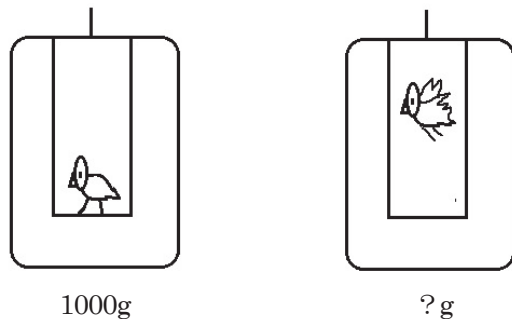
22. 500g の水をはかりの上にのせます。この水に 50g の木片を入れると木片は浮かびました。このとき、はかりの値はどうなると思いますか。

- (1) 500g
- (2) 500g よりも大きく、550g よりも小さい。
- (3) 550g になる。
- (4) 550g より大きくなる。
- (5) 分からない。



23. 700g の鳥かごの中に 300g の小鳥が 1 羽とまっています。このまま、はかりの上にのせると値が 1000g となりました。この鳥が鳥かごの中で飛び、空中にいる間、はかりの値はどうなるでしょうか。

- (1) 1000g のまま変わらない。
- (2) 700g より大きく、1000g よりも小さくなる。
- (3) 700g になる。
- (4) 分からない。



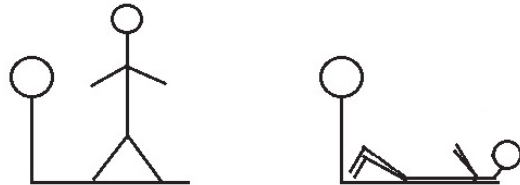
24. アルミホイル 1 枚をはかりの上にのせます。これをくしゃくしゃに丸めて、球のような形を作りました。この時はかりの値はどうなると思いますか。

- (1) 丸める前の方が値は大きい。
- (2) 丸める前後で値は変化しない。
- (3) 丸めた後の方が値は大きい。
- (4) 分からない。



25. 体重計にのります。両足で立った状態の体重計の値と仰向けに横になった状態の体重計の値はどうなると思いますか。

- (1) 両足で立った時の方が値は大きい。
- (2) どちらの時も値は変わらない。
- (3) 仰向けに横になった時の方が値は大きい。
- (4) 分からない。



26. 袋の中に 50 g のせんべいが 1 枚あります。間違って足で踏みつけてしまい粉々になっていました。この時、袋は破れていませんでした。この粉々になったせんべいは何 g だと思いますか。

- (1) 50g
- (2) 50g より小さくなる。
- (3) 50g より少し大きくなる。
- (4) 分からない。

27. シャボン液を作り、シャボン玉を膨らませました。このシャボン玉について当てはまると思うものはどれですか。

- (1) シャボン玉には重さはない。
- (2) シャボン玉にも重さはある。
- (3) 空中に浮かばなければ重さがあり，空中に浮かぶなら重さはない。
- (4) 分からない。

28. 目の前に重くて持ち上げることができない物体があります。無重力の状態でもう一度持ち上げようとするとうなるとと思いますか。

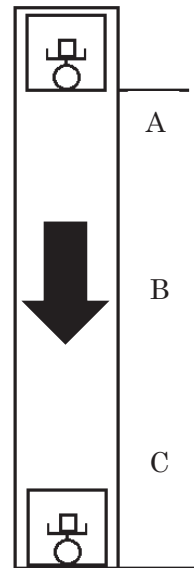
- (1) 無重力なので，持ち上げることができる。
- (2) 無重力だが，持ち上げることはできない。
- (3) 分からない。

29. 下に挙げる3つの言葉について、一番よく目にしたり、聞いたりするものはどれですか。

- (1) 「重さ」
- (2) 「質量」
- (3) 「重量」

30. エレベーターの中にはかりを置き、はかりの上に積み木をのせます。このエレベーターは、2階から1階まで降ります。その間、はかりの値が**一番小さくなる**地点は次のどこだと思いますか。

- (1) A 2階から1階へ降り始めたとき。
- (2) B 2階から1階へ一定の速度で降りているとき。
- (3) C 1階に着く直前で速度を落としたとき。
- (4) どの地点でも値は変わらない。
- (5) 分からない。



アンケートは以上です。ご協力ありがとうございました。