

物質量の理解を促進する教材開発と授業実践

小畑直輝*・江原 弘**・永富敬之**・桐生 徹***・
大島崇行***・小池 守**
(平成30年8月31日受付；平成30年11月27日受理)

要 旨

本研究は、物質量は数を定義した単位であるとのイメージを掴み理解できるビー玉教材の開発を行った。開発した教材を用いた高等学校「化学基礎」の検証授業により、生徒の理解度、教材に関する理解状況と教材に対する有用感から、ビー玉教材の有用性を検証した。その結果、生徒は物質量やビー玉教材の意味を正しく理解し、教材に対する有用感も高かった。以上のことから、本教材は数の定義として物質量を学ぶ教材として有用であることが示唆された。

KEY WORDS

ビー玉 Marble, 物質量 Substance amount, 教材 Teaching material, 単位 Unit, 数の定義 Definition of number

1 問題の所在

物質量の単位である「mol」は、m, kg, s, A, Kl, cdとともに、国際単位系(SI)における基本単位である(産業技術総合研究所, 2006)⁽¹⁾。物質量の単位である「mol」の学校現場への導入は、1978年8月告示高等学校学習指導要領解説理科編理数編⁽²⁾に遡り、物質量は「学校の導入段階における最も重要な概念の一つ」(杉本, 2017)⁽³⁾とされ、高等学校化学領域において定着すべき重要な概念として位置付けている。

高等学校化学領域において、生徒が物質量について理解すべき内容としては、岸田(2003)⁽⁴⁾は「物質量の単位である「mol」は個数そのものに与えられた名称であることを理解しなければならない」、蓑手(1994)⁽⁵⁾は「物質量は数を表す単位であることを理解させる」との指摘があるように、物質量は原子の数を表す「単位」であることを理解する必要がある、そのための教材が必要である。

物質量を原子の数を表す「単位」として理解できるような授業方略や実践研究がある。例えば、アボガドロ定数を6020亥個という単位を用いた命数法で生徒の理解を促す報告(谷川, 1998)⁽⁶⁾、鉛筆1箱の単位であるダースと鉛筆の本数の関係を元にし、物質量の単位を認識させる研究(平井, 1991)⁽⁷⁾、ダースとペットボトルの本数の関係を使い個数としての単位を意識化させる授業方略の研究(田村, 1998)⁽⁸⁾などである。これらの研究は、 6.02×10^{23} という大きな数(アボガドロ定数)を扱いやすいダースなどの塊に置き換えることで、物質量は「数を定義した単位」であることの理解が形成されることを示した。

一方、森川(2004)⁽⁹⁾は、「物質に関わる原子のつぶ構造の認識不足がモルの誤解を生む根本的な原因でないか」、谷川(1998)⁽¹⁰⁾は、「モル概念が難しいのは物質量のイメージが掴みにくいためである」との指摘があるように、物質量学習の根本的な課題は物質量が原子の集合体であるとのイメージが理解されないことにある。そのため、原子の集合体としての物質量のイメージ、すなわち「数の定義としての物質量」を掴むことのできる教材開発や授業方略は重要である。

物質量のイメージを掴む実践として、兵庫県高等学校教育研究会科学部会(2018)⁽¹¹⁾のゴマ、米、小豆などを原子に見立て、原子の集合体として物質量を導入する学習展開の提案や、森川(2004)⁽¹²⁾の物質量のイメージをつくるため、小豆とインゲン豆を原子に見立て、つぶ構造を意識させる教材の提案等がある。しかし、これらゴマや米、小豆やインゲン豆は一粒一粒の質量が均一でなく、同一原子であっても質量や体積は異なるとの誤解を与えることがある。また、これらの素材は一粒の大きさが小さく、種類の異なるゴマを100粒単位で生徒が数え、相対質量を求める授業実践では時間がかかり、生徒の学習意欲が低下する可能性があるなど、幾つかの課題を抱えている。

このため、物質量は数を定義した単位であることをイメージさせて理解する教材とその教材を用いた学習方略の開発は喫緊の課題である。

*上越教育大学(専門職学位課程) **帝京科学大学教育人間科学部 ***学校教育学系

2 研究の目的

物質量は数を定義した単位であるとのイメージを掴み理解できるビー玉教材の開発を行い、高等学校「化学基礎」での検証授業を通して生徒の学習内容及び教材に関する理解、教材に対する有用感からビー玉教材の有用性を検討する。

3 教材の開発

3.1 使用材料

お皿すっきりラック(株大創産業：KI-16-P10, 耐荷重量1kg, 108円), ビー玉15mm(CAMEL：gmk-701c, 250個入, レッド, 2116円), ビー玉17mm(CAMEL：gmt-501b, 200個入, ブルー, 556円), ビー玉20mm(CAMEL：gmt-539b, 120個入, クリア, 1499円), ビー玉25mm(CAMEL：gmk-740d, 65個入, イエロー, 1569円)。

3.2 使用するビー玉の直径と質量

市販のビー玉には、直径8～11mm, 12.5mm, 15mm, 17mm, 20mm, 25mm, 30mmの7サイズがある。ビー玉を載せるお皿すっきりラック(以下、ラック、図1)の上部に空いている穴の直径を測定したところ、平均13.6mm(最小12.8mm, 最大14.0mm)であることから、ビー玉が穴から抜け落ちないためには、直径15mm以上の大きさのビー玉が必要である。また、ラック上部に空いている穴と穴の間隔を測定したところ、最小で25.0mmであることから、載せられるビー玉は最大で直径25mmである。そこで、実験においては、直径15mm, 17mm, 20mm, 25mmの4種のビー玉を使用することにした(図2, 3)。

直径の異なる4種のビー玉の質量を1粒ずつ全て測定したところ、表1の備考欄に示すとおり、一定範囲の質量のビー玉が混在していた。これは、ガラスを加工する際に空気が混入したためと思われる。そこで、以後の実験では、平均質量が一定になるよう、各サイズで多数を占める質量のビー玉を選別して使用することにした(表1)。

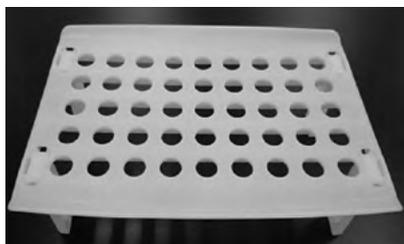


図1 ビー玉を載せるラック



図3 ビー玉45個を乗せた状態のラック

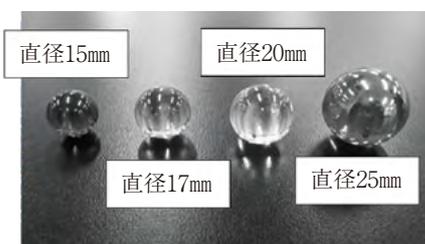


図2 検証授業に使用したビー玉

表1 使用したビー玉の特徴

サイズ	直径	平均質量	備考
小	15 mm	4.5 g	4.3 g～4.6 g
中	17 mm	6.3 g	6.2 g～6.5 g
大	20 mm	9.0 g	8.8 g～9.2 g
特大	25 mm	19.0 g	16.9 g～20.0 g

※検証授業では購入したビー玉の中から、質量欄に記入した質量のビー玉をそれぞれ45個選別して使用した。

4 検証授業

4.1 調査対象と実施時期及びねらい

群馬県内の公立高等学校1年生2学級(対象学級：男子18名, 女子17名, 計35名。通常学級：男子18名, 女子18名, 計36名)を調査対象に、平成30年7月上旬に調査校の理科教員が授業を行い、筆者の内1名が授業補助を担当した。授業は化学基礎「物質量と化学変化」単元(5時間扱い中第1時)を使って行い、「物質量(モル)は数による定義であることを知ると共に、原子量やアボガドロ定数の意味について理解する」ことをねらいとした。対象学級とは、

本教材を用いて表2で示す授業展開で授業実践した学級を示し、通常学級とは、本教材を用いず化学基礎の教科書⁽¹³⁾を用いた表3で示す授業展開で授業実践した学級を示している。

4. 2 授業の実際

対象学級では、表2で示す授業展開に従い、最初に教員が授業の目的と実験に使用する器具や装置、表4で示す学習カードの扱い方についての説明をした。次に、教員がリードしながら、ビー玉教材を用いて学習カードに書かれた「問い」に答える形で、グループ毎に実験を行った。実験中、教員は生徒の会話や活動を妨げないように配慮し、指示を出さないようにした。まとめの場面では、学習カードを模造紙の大きさに拡大印刷した紙を黒板に貼りつけ、教員が生徒の意見を聞きながら、「問い」の答えを空欄に書き込み、学習のまとめを行った。通常学級では、表3で示す授業展開に従い、調査校の通常の授業形態をとり、教員が教科書を使い物質量について説明し、演習問題を解き答え合わせする授業を行った。

表2 対象学級の授業展開

	学 習 内 容
導 入	1. ある一定数の原子や分子の塊が物質量(モル)であるとの定義を行う。
展 開	2. ビー玉の平均質量を測定する。あるビー玉の質量を12と決めるとき、他のビー玉の質量(相対質量)を求める。その相対質量が原子量であり、原子量は相対質量なので無単位である。 3. 相対質量にgをつけたとき、質量中に含まれるビー玉の数は、どのサイズも同数になる。この数がアボガドロ定数に相当する。 4. 物質量(モル)はアボガドロ定数によって定義される物質粒子の塊と、物質量は数による定義である。 5. 最も小さなビー玉の相対質量を12(炭素原子)や20(ネオン原子)にしたとき、他のビー玉は何の原子に相当するか調べる。 ※質問紙調査
ま と め	6. アボガドロ定数とは、炭素12が12g存在する原子数である。 7. 原子だけでなく、分子やイオン、電子、その他の粒子又は粒子の集合体でも、1 molは 6.02×10^{23} [個]の粒子が集まった塊のことである。 8. 原子量や分子量は、相対質量なので無単位であること。モル質量はその物質の単位物質あたり質量のことで、単位はg/molを使う。

表3 通常学級の授業展開

	学 習 内 容
導 入	1. ある一定数の原子や分子の塊が物質量(モル)であるとの定義を行う。
展 開	2. 炭素12の質量を12と決め、他の原子の相対質量を求める。それが原子量である。 3. 原子量は相対質量なので無単位である。 4. 物質量(モル)は、アボガドロ定数によって定義される数による定義である。 5. 原子だけでなく、分子やイオン、電子、その他の粒子又は粒子の集合体でも、1 molは 6.02×10^{23} [個]の粒子が集まった塊のことである。 6. 標準状態の気体は、どれも22.4Lになる。
ま と め	7. 原子量や分子量は、相対質量なので無単位であること。モル質量はその物質の単位物質あたりの質量のことで、単位はg/molを使う。 8. 問題演習を行う。 使用問題集：よくわかる化学基礎問題集、学研

4. 3 調査及び分析方法

4. 3. 1 中間考査

調査前の生徒の化学に関する知識量を調べるため、平成30年5月31日(木)に行った中間考査(化学基礎)の得点を用いて、対象学級の生徒(以下、対象生とする)と通常学級の生徒(以下、通常生とする)の得点を比較した。

4. 3. 2 質問紙調査

本研究では、対象生の学習内容の理解状況、教材に関する理解状況、教材に対する有用感等に関する評価傾向を探るために表5で示す質問紙調査を行った。生徒には選択できない場合は選択せず、その理由を自由記述するように話したが、そのような生徒はいなかった。質問紙調査は、授業の「まとめ」直前に学習カードを一旦回収した後、調査用紙を配布して行い、問1、問5については5段階の尺度と自由記述で、問2、問3、問4については自由記述で回答させた。調査終了後に再び学習カードを配布し、授業の「まとめ」を行った。通常生に対して質問紙調査は行わなかった。

表4 対象生に配布した学習カード

学習カード

原子や分子は、小さくて扱いにくいので、「ある一定数の原子や分子を一塊(ひとかたまり)にしたもの」を物質量(モル)と定義し、物質量(モル)というかたまりを使って考えています。また、その塊の粒の数をアボガドロ定数といいます。鉛筆を数えるときに、1ダースを一塊にして数えるのと同じです。ダースのことを物質量(モル)、12本という数のことをアボガドロ定数と考えてください。

今日は実験を通して、原子量とアボガドロ定数について勉強します。では、次の操作を行いながら、□の中に当てはまる数値や言葉を書き込んでください。

(1) 4種類のビー玉を、それぞれ穴あき台の上に乗せて45粒ずつの4種類の塊を作りなさい。

(2) 4種類のビー玉45粒の塊毎の質量を測ります。次に、その数字を使って1粒の平均質量を求めなさい。
 計算法：45粒一塊の質量÷45粒=1粒の平均質量

サイズ	45粒の質量	1粒の平均質量
小	【 202.5 】 g	【 4.5 】 g/個
中	【 283.5 】 g	【 6.3 】 g/個
大	【 405.0 】 g	【 9.0 】 g/個
特大	【 855.0 】 g	【 19.0 】 g/個

(3) 小サイズのビー玉の質量を12と決めます。この質量は相対質量であり、比の値なので単位はありません。このとき、他の3種類のビー玉1粒の相対質量はいくらになりますか、中・大・特大サイズのビー玉の相対質量を求めなさい。
 計算法：12×各サイズ1粒の平均質量÷小サイズ1粒の平均質量=各サイズの相対質量

サイズ	1粒の平均質量	相対質量
小	【 4.5 】 g/個	【 12 】
中	【 6.3 】 g/個	【 17 】
大	【 9.0 】 g/個	【 24 】
特大	【 19.0 】 g/個	【 51 】

※相対質量は比の値なので単位はありません。

(4) 次に、今求めた相対質量にgを付けて、質量に戻します。この質量の塊の中には、各サイズのビー玉は何粒入っていますか。計算しなさい。
 計算法：相対質量÷1粒の平均質量=ビー玉の粒数

サイズ	相対質量にgを付ける	ビー玉の個数
小	【 12 】 g	【 2.7 】 個
中	【 17 】 g	【 2.7 】 個
大	【 24 】 g	【 2.7 】 個
特大	【 51 】 g	【 2.7 】 個

(5) 小サイズのビー玉の質量を12と決めて計算した相対質量は原子量に相当する数です。

(6) 相対質量にgを付けた質量の中に含まれるビー玉数はどのサイズも同数となります。この数はアボガドロ定数に相当する数です。

(7) 物質量(モル)は、アボガドロ定数により定義された物質粒子の塊と考えられます。鉛筆12本を1ダースというのと同じ、数による定義です。

(8) 最も小さなビー玉の相対質量(原子量)を12(炭素原子)としたとき、他のビー玉は何の原子に該当しますか。周期表を見て当てはまる元素記号を記入しなさい。
 ※(3)の表の相対質量をそのまま記入する。

サイズ	相対質量(原子量)	元素記号
小	【 12 】	【 C(12.0) 】
中	【 17 】	【 O(16.0) 】
大	【 24 】	【 Mg(24.3) 】
特大	【 51 】	【 V(50.9) 】

(9) 今度は少し難しくなります。最も小さなビー玉の相対質量(原子量)を20(ネオン原子)としたとき、他のビー玉は何の原子に該当しますか。周期表を見て当てはまる 元素記号を記入しなさい。
 計算法：(8)の相対質量÷12×20=相対質量

サイズ	相対質量(原子量)	元素記号
小	【 20 】	【 Ne(20.2) 】
中	【 28 】	【 Si(28.1) 】
大	【 40 】	【 Ar(40.0), Ca(40.1) 】
特大	【 84 】	【 Kr(83.8) 】

※ここで調査を行います。学習カードを一旦回収します。配布した調査用紙を見てください。

(10) アボガドロ定数が 6.02×10^{23} [個] であるのは、炭素12が12g存在する原子の数に等しくするためです。

(11) 原子、分子、イオン、電子、その他の粒子又は粒子の集合体でも、1molは 6.02×10^{23} [個] の粒子が集まった塊のことです。

(12) 理想気体の標準状態における1molあたりの体積は、どの原子や分子でも22.4Lと一定です。これは気体になったときの話で、固体や液体の状態では体積は一定ではありません。

(13) 原子量は基準に決めC原子の質量との比の値であり単位はありません。分子量も無単位です。

(14) 実際の実験するとき、薬品の調合などで、どうしても質量(g)の単位が必要になるため、モル質量という概念を導入し、原子量や分子量に単位(g/mol)をつけて使用することがあります。分子量とモル質量は単位が無いかあるかの違いだけで数値は同じですが異なる定義です。

※生徒に渡す学習カードの回答欄は空白であるが、正答例として【 】内に記述した。

4. 3. 3 学習カード

生徒の学習理解を深めると共に、教員が生徒の理解状況を確認するため、表4で示す穴埋め式の学習カードを作成し、対象生に授業前に配布した。教員は学習カードに沿って授業を行い、授業終了後に回収した。回収した学習カードの記入状態と、質問紙による調査の結果を照合し、調査結果に表れない生徒の理解状況を確認した。通常生は学習カードを使用しなかった。

4. 3. 4 理解状況確認テスト

授業後の生徒の学習内容の定着状況を探るため、検証授業から一週間後の「化学基礎」の授業で、表6で示す物質量に関する基本問題(70点満点)を出題し、対象生及び通常生全員に回答させた。

表5 質問紙による調査の内容

	質問内容
問1	授業内容は理解できましたか？ (5択, 自由記述)
問2	ビー玉は何を表していますか？ (自由記述)
問3	ビー玉の塊は何を表していますか？ (自由記述)
問4	物質量とは何を定義したのですか？ (自由記述)
問5	ビー玉教材は授業内容を理解するのに役立ちましたか？ (5択, 自由記述)

表6 理解状況確認テスト

原子量は、 $H=1.0$, $C=12$, $N=14$, $O=16$, $Na=23$ とする。 アボガドロ定数= $6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$
問1 質量と物質量 (1) 質量36gの水の物質量は何molか？ (2) 1.0molの水酸化ナトリウムの質量は何gか？
問2 粒子数と物質量 (3) 窒素分子 1.5×10^{23} 個は、窒素何molか？ (4) 2.0molアンモニア中に分子は何個含まれるか？
問3 質量と粒子数と物質量 (5) 水9.0g中の水分子の数は何個か？ (6) 二酸化炭素分子 1.2×10^{23} 個は何gか？ (7) 1分子の質量が $5.0 \times 10^{-23}\text{g}$ である分子の分子量はいくらか？

※正答：(1) 2.0mol, (2) 40g, (3) 0.25mol, (4) 12×10^{23} 個,
(5) 3.0×10^{23} 個, (6) 8.8g, (7) 30

4. 3. 5 調査結果の分析方法

- (1) 生徒の化学に関する知識量は、対象生と通常生の間考査(化学基礎)の成績を基に検討した。
- (2) 生徒の学習内容に関する理解及び定着状況は、質問紙調査(問1, 問4)の回答内容と理解状況確認テスト(70点満点)の回答状況を基に検討した。
- (3) 対象生の教材原理に関する理解は、質問紙調査(問2, 問3)の回答内容を基に検討した。
- (4) 対象生の教材に対する有用感は、質問紙調査(問5)の回答内容を基に検討した。
- (5) 質問紙調査の結果は、5段階の評定尺度による回答は、同じ尺度にまとめた度数集計表を作成した。理由の自由記述については筆者の内3名が別々に評価し、その結果を持ち寄った。評価結果の合致率は96.5%であった。不一致項目については話し合いにより合意点を見出した。
- (6) 調査結果は、 t 検定と χ^2 検定により判断した。

4. 4 結果と考察

4. 4. 1 生徒の化学に関する知識量

表7は、生徒の化学に関する知識量を調べるため、検証授業前に行った中間考査における化学基礎の結果(平均点と標準偏差)を対象学級と通常学級に分けて記したものである。対象学級の平均点は61.4点($SD=17.64$)、通常学級の平均点は62.0点($SD=18.60$)であった。両学級の平均点の差が統計的に有意であるかを確かめるため、有意水準5%で t 検定(両側検定)を行った。その結果、平均点の差に有意差は見られなかった($t(69)=0.139$, $p=0.890$)。これらから、両学級生徒の化学に関する基礎的な知識量に差はないものと推察される。

表7 中間考査の結果

	対象学級	通常学級
平均点	61.4	62.0
標準偏差	17.64	18.60

※対象学級： $n=35$, 通常学級： $n=36$

4. 4. 2 生徒の学習内容に関する理解状況

表8は、対象生の学習内容の理解状況を調べるため質問紙調査の問1「授業内容は理解できましたか?」の回答を5段階の評定尺度でまとめたものである。生徒の選択項目の偏りを検討するため、1要因(対象生)×5要因(わかった、少しはわかった、どちらともいえない、余りわからない、わからない)について χ^2 検定を行った結果、1%水準で有意な差が見られた($\chi^2_{(4)}=59.429$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、「わかった」は他の4項目と比べ多く、有意な差が見られた(「少しはわかった」: $p=0.0146$, 他項目: $p<0.0002$)。

表8 対象生の授業内容の理解(自己評価)($n=35$, 単位(人))

評定尺度	わかった	少しはわかった	どちらともいえない	余りわからない	わからない
対象生	24	9	2	0	0

表9は、問1で記述させた自由記述の内容から、授業がわかったと答えた理由に関する言葉を抜き出し、内容(具体物・操作・整理)と形態(グループ・協力)の5項目に分類し、その該当者数をまとめたものである。生徒が選択した項目の偏りを検討するため、1要因(対象生)×5要因(具体物・操作・整理・グループ・協力)について χ^2 検定を行った結果、1%水準で有意な差が見られた($\chi^2_{(4)}=28.286$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、「具体物」の生徒数は、「グループ」、「協力」と比べ多く、有意な差が見られた($p<0.0002$)。

表9 問1の自由記述に対する分類と該当者数(対象生)

問1 授業内容は理解できましたか(自由記述)		該当者数 (人)	
分類項目	記述例		
内容	具体物	<ul style="list-style-type: none"> ・ビー玉が使ってわかりやすかった ・具体物があってわかりやすい ・モデルがあってわかりやすかった ・ビー玉が原子をイメージしやすかった 	18
	操作	<ul style="list-style-type: none"> ・質量を測定したり、平均を出したりした ・操作したり、活動したりしたから ・測ったり、計算したりしたから ・測定して計算する活動があったから 	9
	整理	<ul style="list-style-type: none"> ・表を埋めて考えをまとめたから ・学習カードにまとめながらできたから ・一つずつ確認して進められたから 	6
形態	グループ	<ul style="list-style-type: none"> ・グループ活動があったから 	1
	協力	<ul style="list-style-type: none"> ・みんなが協力したから 	1
合計人数		35	

表10は、対象生の物質量に関する理解状況を調べるために行った質問紙調査の問4「物質量とは何を定義したのですか?」の回答の自由記述を、物質量の定義を示す言葉を抜き出し、数・モル・質量・体積の4項目に分類し、その該当者数をまとめたものである。生徒が記述した項目の偏りを検討するため、1要因(対象生)×4要因(数・モル・質量・体積)について χ^2 検定を行った結果、1%水準で有意な差が見られた($\chi^2_{(3)}=82.371$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、「数」の生徒数は他の項目と比べ多く、有意な差が見られた($p<0.0002$)。

表11は、生徒の学習内容の定着状況を評価するため、検証授業一週間後に行った理解状況確認テスト(70点満点)の結果を示したものである。対象学級の平均点は54.0点($SD=17.69$)であり、通常学級の平均点は44.2点($SD=18.57$)であった。両学級の平均点の差が統計的に有意であることを確かめるため、有意水準5%でt検定(両側検定)を行った。その結果、平均点の差に有意差が見られた($t(69)=2.283$, $p=0.026$)。

これらのことから、対象生は学習内容を正しく理解しており、その理由としてビー玉などの具体物やそれらを用いた操作活動であると答えていた。また、対象生は通常生と比べて理解状況テストの結果がよく、学習内容を深く理解していると推察される。

表10 問4の自由記述に対する分類と該当者数(対象生)

問4 物質量は何を定義したものですか(自由記述)			該当者数 (人)
分類項目	記述例		
理解	数	・単位 ・同数の定義 ・ダースと同じで、同数の粒のかたまり ・同数の原子や分子の集まりの定義 ・同じ数集めて作ったかたまりのこと	32
未理解	モル	・モルのこと	1
	質量	・質量の比	1
	体積	・一定体積の原子数	1
合計人数			35

表11 理解状況確認テストの結果

設問内容		問	対象学級(n=35) 正答率(正答者数)	通常学級(n=36) 正答率(正答者数)
問1 質量と物質量		(1)	97.1 (34)	86.1 (31)
		(2)	97.1 (34)	86.1 (31)
問2 粒子数と物質量		(3)	82.9 (29)	72.2 (26)
		(4)	85.7 (30)	72.2 (26)
問3 質量と粒子数と物質量		(5)	65.7 (23)	41.7 (15)
		(6)	62.9 (22)	44.4 (16)
		(7)	54.3 (19)	38.9 (14)
平均点			54.0	44.2
標準偏差			17.69	18.57

※単位：正答率(%), 正答者数(人)

4. 4. 3 生徒の教材に関する理解状況

対象生の教材に関する理解状況を調べるため質問紙調査の問2と問3を行った。問2「ビー玉は何を表していますか?」の回答の自由記述から、ビー玉が表すものを示す言葉を調べたが、対象生全員が「原子」と答え、ビー玉に関する回答に相違は見られなかった。

表12は、問3「ビー玉の塊は何を表していますか?」の回答の自由記述から、ビー玉の塊が表すものを示す言葉を抜き出し、物質量(モル)・分子量・アボガドロ定数・モル質量の4項目に分類し、該当者数でまとめたものである。生徒が記述した項目の偏りを検討するため、1要因(対象生)×4要因(物質量・分子量・アボガドロ定数・モル質量)について χ^2 検定を行った結果、1%水準で有意な差が見られた($\chi^2_{(3)}=82.371$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、「物質量」の生徒数は他の項目と比べて多く、有意な差が見られた($p<0.0002$)。

これらのことから、対象生はビー玉を原子、ビー玉の塊を物質量として、教材が持つ意味を正しく理解しているといえる。

表12 問3の自由記述に対する分類と該当者数(対象生)

問3 ビー玉の塊は何を表していますか?			該当者数 (人)
分類項目	記述例		
理解	物質量(モル)	・物質量のこと ・モル ・モルの定義	32
未理解	分子量	・分子量	1
	アボガドロ定数	・アボガドロ定数の定義	1
	モル質量	・モルの質量	1

4. 4. 4 生徒の教材に対する有用感

表13は、対象生の教材に対する有用感を調べるため質問紙調査の問5「ビー玉教材は授業内容を理解するのに役立ちましたか?」を行った。結果を5段階の評定尺度でまとめたものである。生徒の選択項目の偏りを検討するため、1要因(対象生)×5要因(役に立った、少しは役に立った、どちらともいえない、余り役に立たない、役に立たない)について χ^2 検定を行った結果、1%水準で有意な差が見られた($\chi^2_{(4)}=104.571$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、「役に立った」は最も多く、他の4項目と比べて有意な差が見られた($p<0.0002$)。

表13 対象生の教材に対する有用感 (n=35, 単位(人))

評定尺度	役に立った	少しは役に立った	どちらともいえない	余り役に立たない	役に立たない
対象生	31	4	0	0	0

表14は、問5の回答欄の自由記述から、ビー玉教材が授業内容を理解するのに役立った理由を示す言葉を抜き出し、内容(具体物・操作・整理)と形態(グループ・協力)の5項目に分類し、該当者数をまとめたものである。生徒が選択した項目の偏りを検討するため、1要因(対象生)×5要因(具体物・操作・整理・グループ・協力)について χ^2 検定を行った結果、1%水準で有意な差が見られた($\chi^2_{(4)}=35.143$)。ライアンの名義水準を用いた多重比較の結果、「具体物」の生徒数は最も多く、「整理」、「グループ」、「協力」と比べて有意な差が見られた(「整理」: $p=0.005$, 「グループ」、「協力」: $p<0.0002$)。

これらのことから、対象生はビー玉教材に対して、具体物であり実験操作が可能であることを理由に、授業を理解するために有用な教材と考えていることがわかる。

表14 問5の自由記述に対する分類と該当者数(対象生)

問5 ビー玉教材は授業内容の理解をするのに役立ちましたか		該当者数 (人)	
分類項目	記述例		
内容	具体物	<ul style="list-style-type: none"> ・ 具体的なものがあってわかりやすい ・ ビー玉を原子と考えるとわかりやすい ・ 具体物は考えるきっかけになる ・ 見えないものが見えるのでよい ・ ビー玉で原子がイメージできた 	20
	操作	<ul style="list-style-type: none"> ・ 測定したり、計算したりしたのでよかった ・ 質量を測定し、平均を出したから ・ 活動できたのでよかった ・ ビー玉にさわって、計算したから 	8
	整理	<ul style="list-style-type: none"> ・ 学習カードがわかりやすかった ・ 穴埋め問題で考えがまとまった ・ 色が違うビー玉を見て考えたから 	5
形態	グループ	<ul style="list-style-type: none"> ・ グループで活動することができたから 	1
	協力	<ul style="list-style-type: none"> ・ 協力する場面があったから 	1
合計人数		35	

5 結論

本研究は、物質量は数を定義した単位とのイメージを掴み理解できるビー玉教材の開発を行い、高等学校「化学基礎」での検証授業を通して、生徒の学習理解状況、教材の意味に関する理解状況と教材に対する有用感から、ビー玉教材の有用性を検証したものである。その結果、生徒の学習内容の理解度は高く、ビー玉教材の持つ意味を正しく理解し、教材に対する有用感も高いことから、本教材は物質量を学ぶ教材として有用であることが示唆された。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、快く検証授業をお引き受け頂いた公立高等学校の校長先生及び学級担任、教科担任の先生方、生徒の皆様から感謝申し上げます。

注 釈

- 1) 中間考査の範囲は、小単元「物質の性質と分離」、「物質の成分」、「原子の構造」である。
- 2) χ^2 検定は期待度数に関して、期待度数に5以下のものがある場合はフィッシャーの正確確率検定を用いるという制約⁽¹⁴⁾がある。本研究では、この制約をクリアすることを確認した後、検定を行った。

引用及び参考文献

- (1) (独)産業総合研究所計量標準総合センター訳・監修：「国際文書第8版(2006) 国際単位系(SI)」, 産業総合研究所, pp.25-26, 2006.
- (2) 文部省：「高等学校学習指導要領解説理科編理数編」, pp.10-11, 1979.
- (3) 杉本剛：「物質量amount of substanceを対象とした理科教育学の研究－高大接続・大学入試改革と連動した高等学校科学教育の質確保・向上, 大学のリメディアル教育への対応を目的として－」, 理科教育学研究 58(1), pp.1-11, 2017.
- (4) 岸田功：「モルは物理量ではない」, 化学と教育 第51巻10号, pp.633-634, 2003.
- (5) 蓑手重國：「高校化学『モル』学習でのつまずきの原因とその解消方法」, 化学と教育 第42巻1号, pp.14-18, 1994.
- (6) 谷川直也：「モル概念を定着させる指導の工夫－イメージしやすい化学用語の導入－」, 化学と教育 第46巻12号, p.812, 1998.
- (7) 平井俊男：「色鉛筆をたとえに用いた物質量のわかりよい指導」, 化学と教育 第39巻1号, p.95, 1991.
- (8) 田村健治：「魅力的で理解しやすい授業展開の開発(I*)－単位の取り扱いと物質量(モル)の単元指導－」, 化学と教育 第46巻11号, pp.744-745, 1998.
- (9) 森川鐵朗・樫田豪利：「物質量とモルに関する教具－開発と利用－の研究」, 上越教育大学研究紀要 第23巻第2号, pp.691-703, 2004.
- (10) 前掲書(6)
- (11) 兵庫県高等学校教育研究会科学部会：「原子量と分子量(mol)の仕組み」, Retrieved from <http://www.hyogo-c.ed.jp/~rikagaku/jjmanual/jikken/j02frame.htm>, 2018.3.
- (12) 前掲書(9)
- (13) 辰巳敬他著：「改訂版 化学基礎」, 数研出版株式会社, pp.102-104, 2017.
- (14) 山上暁・倉智佐一編著：「新版要説心理統計法」, 北大路書房, pp.120-123, 2016.

Development of Teaching Materials to Promote Understanding the Substance Amount

Naoki OBATA* · Hiromu EHARA** · Takayuki NAGATOMI** · Toru KIRYU*** ·
Takayuki OHSHIMA*** · Mamoru KOIKE**

ABSTRACT

In this study, we developed a marble-teaching-material which students can understand that the substance amount is a unit based on definition of number, and can get the image of substance amount, moreover, teachers can make use of this material easily. Through the verification class of the high school 'Basic Chemistry' using the developed teaching material, we verified the effectiveness of the marble-teaching-material by investigating students' level of understanding, comprehension for the teaching material, and the usefulness for the teaching material. As a result, the students correctly understood the meaning of the substance amount and the marble-teaching-material, and the usefulness for the teaching material was also high. From the above, it was suggested that this teaching material is useful as a teaching material to learn the substance amount.

* Joetsu University of Education (Professional Degree Program)

** Faculty of Education & Human Sciences, Teikyo University of Science *** School Education