

# 1 molの量を可視化する立方体教材の開発

<sup>1</sup>石田良仁 <sup>2</sup>弘田柊

<sup>1</sup>帝京科学大学総合教育センター

<sup>2</sup>帝京科学大学教育人間科学部学校教育学科

Visualizing 1 mol Quantities: Development of Cubic Teaching Materials for Introductory Chemistry Class

<sup>1</sup>Yoshihito ISHIDA <sup>2</sup>Shu HIROTA

<sup>1</sup>Center for Arts and Sciences, Teikyo University of Science

<sup>2</sup>Faculty of Education and Human Sciences, Teikyo University of Science

## Abstract

Mole unit is generally known as one of the most important, yet difficult concepts to introduce in high school chemistry in Japan. Reviewing previous studies, the authors assumed that the perceived difficulty can be mitigated by introducing mole concept more systematically, i.e. number of particles, molecular weight of the substance, and the volume of gas, and by demonstrating those concepts with visualization. The present study produced cubic teaching materials that can visualize the amount of 1 mol. On each face of the cube, the number of particles ( $6.02 \times 10^{23}$ ), mass (molar mass), and volume of gas under the standard state (22.4 L at 0 °C,  $1.013 \times 10^5$  Pa) per mol are displayed. The materials were introduced to a 16 university students' class. Pre- and post-tests on mole concept were implemented and the students participants showed significant improvement, including systematic understandings of number of particles, mass, and volume of gas. Furthermore, the students expressly reported their strong preference to the materials. From these results, it can be concluded that the materials can contribute to smooth understandings of mole concept in high school chemistry.

キーワード：化学基礎、モル、教材、可視化、化学量論

Keywords : introductory chemistry, mole, teaching materials, visualization, stoichiometry

## 1. はじめに

物質量は化学におけるさまざまな現象を定量的に理解するために重要な基礎概念である。中学理科の化学分野では量を表す物理量として質量や体積が用いられる一方で、高校化学では物質量を中心として化学の学習を進めることとなる。そのため、物質量の概念の理解が前提となる学習分野は、化学反応の量的関係や溶液、気体の状態方程式、酸化還元反応、有機化学など非常に広範囲にわたる。実際に物質量の概念を利用した問題は、センター試験（現在の大学入試共通テスト）や各大学の一般入試などで多数出題されている。2018年から2020年センター試験「化学」の問題を調査したところ、3年間の問題計95問中30問が物質量の概念を使用しており、これは全体の約3分の1を占める<sup>1)</sup>。今井らは高等学校教師95人を対象に、物質量の概念を理解する必要性とその難易を調査した<sup>2)</sup>。その結果、高校教師の97%が物質量の概念の取り扱いが必要であると回答しており、物質量の概念は高校化学の学習における土台となる、最も重要な単元のひとつである

ことが分かる。

その一方で、高校化学の分野で最も理解が難しい単元のひとつが物質量の概念である。物質量は膨大な数の粒子を整理して表す尺度であるが、その対象である原子や分子、イオンが目には見えないこと、物質量の概念が抽象的であること、生徒にとって必要性を感じにくいことなどが理解を妨げる原因となっていると考えられる<sup>3, 4)</sup>。高校化学の授業では1 molを1 ダースに例えて導入することが多いが、日常生活においてダースで物の量を数える機会のごくまれである<sup>5)</sup>。また、物質量の利点は、粒子の数と質量、標準状態における気体の体積の量的関係を体系的に整理できることであり、ダースを用いた例えでは物質量を使用する意義や必然性、利点は伝わりにくい。

物質量の概念の理解を促すために、今日まで物質量の教授法に関するさまざまな研究が行われてきた。小畑らは原子をビー玉に見立てたビー玉教材を用い、物質量は数を定義した単位であるとのイメージを掴ませ、生徒の理解を促進した<sup>6)</sup>。また、田村

はダースとペットボトルの本数との関係を用いて、物質量と個数との関係の理解を図った<sup>7)</sup>。森川らは、物質を粒子として認識させるための教授法や教材開発を行った<sup>8, 9)</sup>。このように、物質量と粒子の数との関係に注目した教材や教授法が多数研究されている一方で、物質量と質量、物質量と気体の体積との関係に注目した教授法や教材の研究はほとんど見られなかった<sup>10, 11)</sup>。

高等学校学習指導要領（平成30年告示）<sup>12)</sup>には、「粒子の数に基づく量の表し方である物質量の概念を導入し、物質量と質量、物質量と気体の体積との関係について理解させることがねらいである。」と記載されている。つまり、物質量を粒子の数との関係のみで理解するのではなく、物質量が粒子の数、質量、標準状態における気体の体積と密接に関わっている概念であり、物質量によりこれらの量的関係を体系的に整理できることを生徒に伝え、理解を促す必要がある<sup>13, 14)</sup>。そこで著者は、これまでの授業や教材研究が物質量と個数との関係に注力することで、質量や気体の体積が物質量と無関係のものであると生徒が誤解したり、それらの量が物質量と関わるものとして整理・体系化されず、結果として物質量の理解が難しくなっているのではないかと考えた。

このような背景から、本研究では物質量と粒子の数、質量、気体の体積との関係の体系的な理解を促す教材として、ひとつの立方体の各面に物質量、粒子の個数、質量、気体の体積の情報をすべて記載した教材を開発した。また、作成した教材を用いた検証授業を実施し、学生の物質量に対する理解の変容や授業内容の理解、教材に対する有用感から立方体教材の有用性を検討した。

## 2. 教材開発

### 2.1 使用材料

カラーペーパーA3（ブルー）、無地ダンボールA3×高さ295 mm、マグネット粘着付シート、OHPフィルムA3、発泡バラ状緩衝材

### 2.2 教材の作製

一辺28.2 cmの正方形5面をダンボールで、1面をOHPシートで作成する。ダンボールとOHPシートで立方体の箱を作成する。その際、箱の中に発泡バラ状緩衝材を詰める。A3用紙に図1で示す情報を印刷し、一辺が28.2 cmの正方形になるように切る。ダンボールの5面に印刷した用紙を貼る。各面の4隅にマグネットを貼り、黒板等に固定できるよ

うにする。

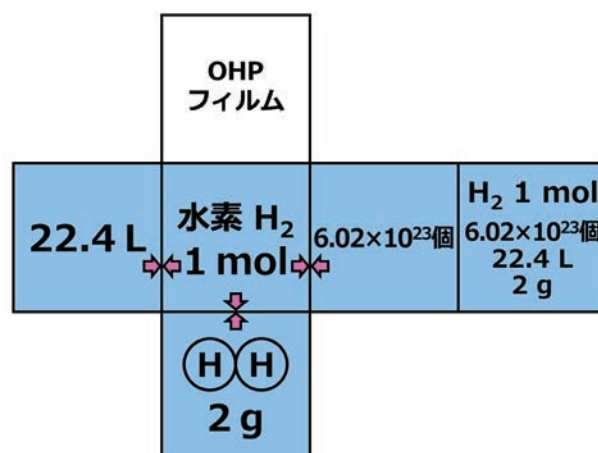


図1 立方体教材の各面の展開図

## 3. 検証授業

### 3.1 調査対象

帝京科学大学教育人間科学部学校教育学科小学校コース2年次に在籍する16人を調査対象として、令和2年12月上旬に検証授業を行った。

### 3.2 授業の実際

授業は、前回の授業で物質量と個数との関係について説明したことを前提とし、高等学校の0.5時限分（約30分）程度の時間で実施した。事前に質問紙調査を実施し、その後に物質量1 mol中に $6.02 \times 10^{23}$ 個の粒子が含まれることを確認してから授業を開始した。授業は表1の授業計画に従い、図2の板書を用いながら実施した。

### 3.3 調査および分析方法

#### 3.3.1 質問紙調査

対象学生の授業前後における学習理解状況および立方体教材を使用した授業の効果を調べるため、授業前後に約10分間の質問紙調査（前調査・後調査）を実施した。前調査では、表2の問1について回答させた。後調査では、表2の問1～5について回答させた。

問1は物質量と個数、質量、体積が密接に関係していることを対象学生が理解したかどうかを調べるために自由記述で回答させ、授業前の回答と比較した。問2は、立方体教材の使用が授業内容の理解に効果的だったかどうかを調べるために5段階の尺度で回答させた。問3は、物質量が個数、質量、気体

表1 検証授業での授業展開

	学習内容
導入	※前調査の実施 1. 化学では個数に注目して考えていきたいことを伝え、物質量と個数の関係について復習を行う。 2. 個数で生徒には考えて欲しいが、原子や分子はすごく小さく目に見えないので直接数えることはできない。 よって身近な生活の中ではかれる質量と体積から個数に変換する方法を学ぶ。
展開	3. 質量や体積から個数に変換するために物質量を用いる。そのためには質量や体積が1 molでいくつなのかという基準が必要であることを気づかせる。 4. 質量の基準として原子量や分子量、式量が使えること、気体の体積は標準状態で22.4 Lであることを教える。 5. 教材を用いてアボガドロ定数や原子量、分子量、式量、モル体積が全て同じ量を表していることを理解させる。 6. 教材を回転させることによって、個数や質量、気体の体積へと変換できること、その際に物質量を経由すると容易に変換できることを理解させる。 7. 教材を2つ並べると2 molを表すことになり、気体の体積も1つの立方体で22.4 Lなので22.4 L × 2で44.8 Lと視覚的に理解しやすくなる。個数や質量も同様である。 ※後調査、理解度確認テストの実施
まとめ	8. アボガドロ定数や原子量、分子量、式量、モル体積は全て同じ物質の量を表している。 9. 個数や質量、気体の体積を変換する際は物質量を経由することで容易に変換できる。

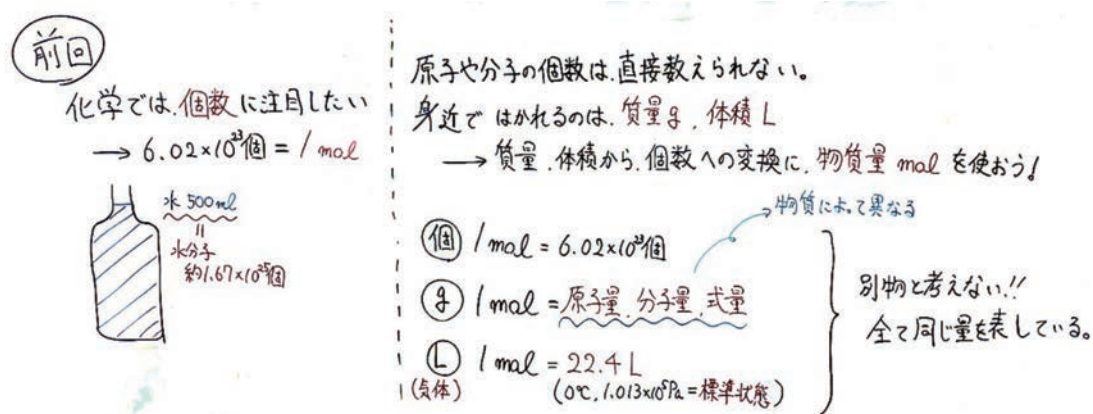


図2 検証授業の板書

の体積を相互に変換する変換ツールであることを理解したかどうかを調べるために、自由記述で回答させた。問4は、物質量と個数、質量、気体の体積が密接に関係していることの理解に、立方体教材が役立ったかどうかを調べるために、5段階の尺度と理由の自由記述で回答させた。問5は、化学では物質の量を個数で考えたいが数えられないため、質量や体積から物質量を経由して個数を求めることを理解しているかを調べるために、自由記述で回答させた。

### 3.3.2 理解度確認テスト

学生の授業内容についての理解状況を探るため、授業後に質問紙調査とともに図3で示す内容の理解度確認テストを実施した。検証授業を実施する時間の制限から、理解度確認テストは授業後のみに実施した。物質量と個数、質量、気体の体積に関する基本問題を出題し、対象学生16人全員に回答させた。

表2 質問紙調査の質問事項

	質問内容
問1	物質量 (mol) とはなんですか？ (自由記述)
問2	授業は理解できましたか？ (5 択)
問3	授業でわかったことはなんですか？ (自由記述)
問4	立方体の教材は、理解するのに役立ちましたか？ (5 択、理由の自由記述)
問5	原子や分子の個数はどのようにしたら良いですか？ (自由記述)

問1は物質量と個数との関係を理解しているかを調べる問題、問2は物質量と質量との関係を理解しているかを調べる問題、問3は物質量と気体の体積と



原子量は  $H=1.0$ ,  $C=12$ ,  $N=14$ ,  $O=16$  とする。  
 アボガドロ定数  $= 6.0 \times 10^{23}/\text{mol}$  とする。

問 1 物質と個数  
 (1)  $2.5 \text{ mol}$  二酸化炭素中に分子は何個含まれるか？  
 (2) 酸素分子  $3.0 \times 10^{23}$  個の物質は何 mol か？

問 2 物質と質量  
 (3)  $1.5 \text{ mol}$  の水の質量は何 g か？  
 (4) 質量  $8.5 \text{ g}$  のアンモニアの物質は何 mol か？

問 3 物質と気体の体積  
 (5)  $2.0 \text{ mol}$  の水素の体積は標準状態で何 L か？  
 (6) 標準状態で  $33.6 \text{ L}$  のアンモニアの物質は何 mol か？

解答  
 (1)  $1.5 \times 10^{24}$  個、(2)  $0.5 \text{ mol}$ 、(3)  $27 \text{ g}$   
 (4)  $0.5 \text{ mol}$ 、(5)  $44.8 \text{ L}$ 、(6)  $1.5 \text{ mol}$

図3 理解度確認テストの問題および解答

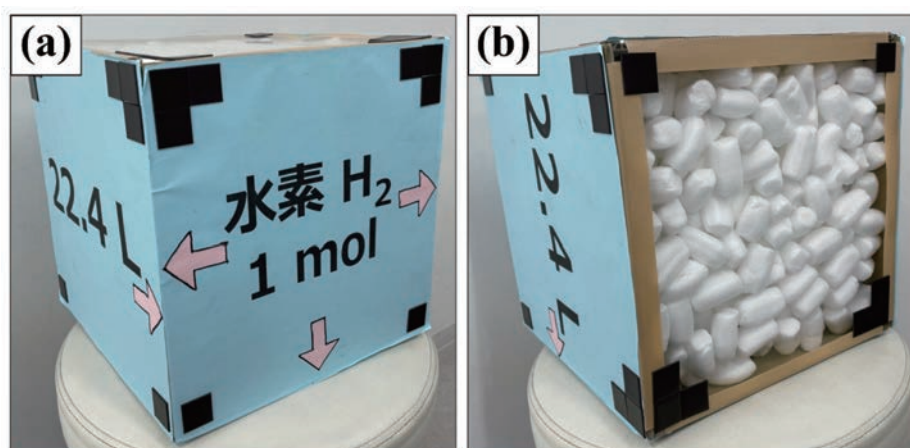


図4 作製した立方体教材の写真 (a) 正面、(b) 上面

の関係を理解しているかを調べる問題となっている。解答は学生に配布した理解度確認テストには記入していない。

### 3.4 調査結果の分析方法

対象学生の学習内容に関する理解および定着状況は、質問紙調査（問1～3、問5）の回答と理解度確認テストの正誤を基に検討した。対象学生の教材に対する有用感、質問紙調査（問4）の回答を基に検討した。質問紙調査における5段階の評定尺度による回答については、同じ尺度毎にまとめた度数集計表を作成した。自由記述については、類似する意味の言葉を抽出し、その結果を筆者2人および協力者1人の計3人が別々に評価し、その結果を持ち寄った。一致しなかった結果は話し合いにより決定した。調査結果については、対象人数が20人以下のため、フィッシャーの正確確率検定（片側）を用いて有意差の判定を行った。

## 4. 結果と考察

### 4.1 立方体教材の設計

標準状態（ $0^\circ\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ）における  $1 \text{ mol}$  の気体の体積は  $22.4 \text{ L}$  であるが、実際の大きさを目に見える形にした方が、生徒も標準状態で気体の  $1 \text{ mol}$  あたりの体積をイメージしやすくなることが期待される。そこで、体積  $22.4 \text{ L}$  の立方体として、一辺が  $28.2 \text{ cm}$  の立方体を教材として用いることとした。それに加えて、ひとつの立方体の各面に水素 ( $\text{H}_2$ )  $1 \text{ mol}$  の分子数 ( $6.02 \times 10^{23}$  個) や質量 ( $2 \text{ g}$ )、体積 ( $22.4 \text{ L}$ ) の情報を記入することで、これらがすべて同じ水素分子  $1 \text{ mol}$  の物質の量を表していることが視覚的に理解しやすくなるのではないかと考えた。そこで、一辺が  $28.2 \text{ cm}$  である5つの面を作製し、残りの一面には立方体の中に存在する原子や分子を表現するために発泡バラ状緩衝材を詰め、OHPシートで立方体の中を見えるようにし、これを上側とした（図4）。

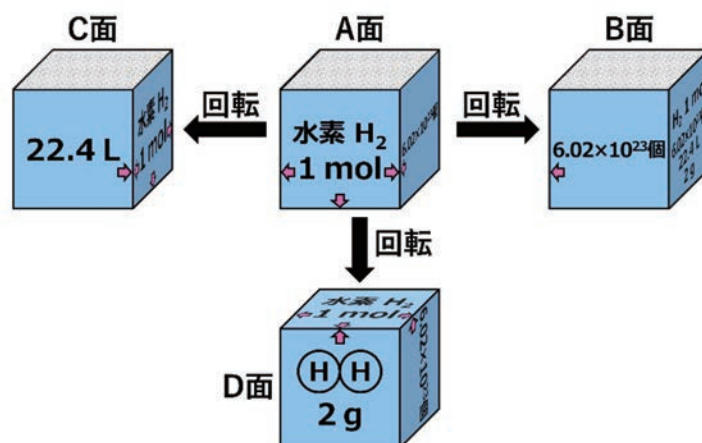


図5 立方体教材を回転させる使用方法

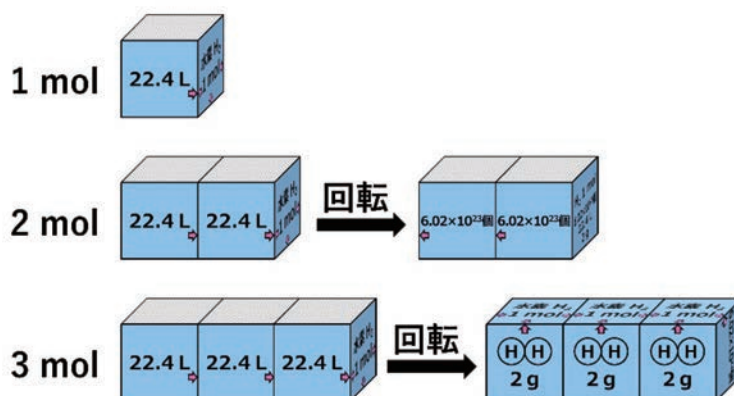


図6 立方体教材を並べる使用方法

立方体教材の各面の配置を図1に示した。立方体教材の正面となる面にはこの立方体が何を表しているのかを伝えるために、「水素 $\text{H}_2$  1 mol」と表記した（この面をA面とする）。A面に隣接する3面にはそれぞれ1 molの水素分子の個数「 $6.02 \times 10^{23}$  個」（この面をB面とする）、標準状態での1 molの水素の体積「22.4 L」（この面をC面とする）、水素分子1 molでの質量「2 g」（この面をD面とする）と表記し、A面を中心に回転させることによってB面、C面、D面になるように配置した。これは物質量から個数、質量、気体の体積へと変換できることを意味している。残りの1面には1 mol、 $6.02 \times 10^{23}$  個、22.4 L、2 gがすべて同じ水素分子1 molの量を表していることを示すためにひとつの面にこれらをすべて記載した。この立方体教材の授業内での使用方法としては、以下の2つを想定している。

①回転：正面の「水素 $\text{H}_2$  1 mol」と書かれたA面を左に90度回転させると、1 molの原子や分子の

個数「 $6.02 \times 10^{23}$  個」と書かれたB面になる。A面を右に90度回転させると、標準状態における1 molの気体の体積「22.4 L」と書かれたC面になる。A面を上を90度回転させると、水素分子1 molの質量「2 g」と書かれたD面になる。これらの量を1つの教材で表すことによって、すべてが同じ量を表していることを理解させる（図5）。  
②並べる：立方体1つで1 molを表しているので、2つ並べば2 mol、3つ並べば3 molを表すこととなる。また、立方体1つで標準状態の気体の1 molの体積22.4 Lを表しているので、2つ並べば2倍、3つ並べば3倍といったように、物質量が増えたとき、あるいは減ったときの計算の仕方が視覚的に理解しやすくなる。また、①の回転と組み合わせることで、原子や分子の個数、質量についても同様の考え方をすればよいことを理解させる（図6）。

## 4.2 学生の理解状況

授業前後における物質質量（モル）についての理解状況を比較するため、質問紙調査の問1「物質質量（mol）とはなんですか？（自由記述）」という質問を行った。得られた回答について、個数、質量、体積とそれらの組み合わせからなる評価基準を設定し、関連するキーワードを抽出した。表3には回答欄中の記述例と、対応する評価基準を示した。回答は、キーワードなし、個数・質量・体積どれか1つに関するキーワードのみ、個数・質量・体積の内どれか2つのキーワードが含まれるもの、個数と質量と体積3つとも含まれるものにそれぞれ分類してまとめた。表3に基づき授業前後の回答者数をまとめた分割表を表4に示す。

授業前の質問紙調査では、回答中に個数、質量、体積に関わるキーワードを全く含まない学生が3人であった。また、どれか1つまたは2つのキーワードを回答した学生が計11人であり、これは全体の3分の2程度を占めた。一方で、個数、質量、体積すべての要素を含む回答をした学生は2人に留まった。

すべての回答から個数、質量、体積に関わるキーワードの回答数を比較すると、個数に関わるキーワードの回答数が11人と最も多く、質量や体積の回答数はその半数程度であった。このことから、授業前は物質質量と個数との関係が強く印象付けられており、その一方で、質量や気体の体積とも関係していることについては印象が希薄であることが伺えた。

立方体教材を用いた授業後の調査では、キーワードなしの学生が1人に減り、個数、質量、体積すべての要素に関連させた回答をした学生が8人と全体の半数まで大きく増加した。授業前後で、学生の回答傾向に差があるかを調べるため、表4を授業前と授業後、キーワード数2つ以下と3つからなる4グループに分け、2要因（前調査、後調査）×2要因（キーワード数2以下、キーワード数2）のフィッシャーの正確確率検定（片側）を行った。その結果、授業前後においてキーワード2つ以下の学生グループとキーワードが3つの学生グループとの間に有意な差が見られた（ $p=0.0269$ ）。

これらのことから、対象学生は検証授業前には、

表3 質問紙調査問1の記述例と評価基準

評価基準	抽出したキーワードの例
キーワードなし	・濃度
個数	・ $6.0 \times 10^{23}$ 個、ダース
質量	・ 質量 ÷ モル質量 = 物質質量 (mol)。
体積	・ 22.4 L
個数と質量	・ C : 12 g を基準とした原子量、分子量を1とした値、1 mol = $6.0 \times 10^{23}$ 個。
質量と体積	該当者なし
個数と体積	・ 1 mol = $6.02 \times 10^{23}$ 個 = 22.4 L
個数と質量と体積	・ 1 mol = 22.4 L = $6.02 \times 10^{23}$ 個 = 原子量、分子量 ・ 体積や質量を個数に変換するときの基準

表4 質問紙調査問1の評価基準と回答数との関係

キーワード数	評価基準	授業前		授業後	
0 個	キーワードなし	3	3	1	1
1 個	個数	4	6	5	5
	質量	2		0	
	体積	0		0	
2 個	個数と質量	1	5	0	2
	質量と体積	0		0	
	個数と体積	4		2	
3 個	個数と質量と体積	2	2	8	8

※  $n = 16$ , 単位 (人)

物質量が粒子の個数、質量および標準状態における気体の体積と関連する複合的な概念であるとの認識が乏しかったが、検証授業を通してこの概念を獲得できたと考えられる。よって、立方体教材とそれを用いた授業は、本研究の目的である、個数、質量、気体の体積が密接に関わる体系化されたものとして物質量の概念を理解させることに十分寄与できたと考えられる。

次に、後調査の問2の回答結果を5段階の評定尺度でまとめた結果を表5に示した。未記入の回答を除くと、すべての回答が「よく理解できた」または「まあまあ理解できた」であり、「どちらともいえない」や、「少しわからなかった」、「よくわからなかった」という否定的な回答はなかった。この回答は学生の主観によるものであることから、立方体教材を使用した授業の内容は、学生の主観的にも理解しやすいものであったことが分かった。

対象学生が検証授業により理解できたことを調べるために、後調査の問3「授業で分かったことはなんですか？」に自由記述で回答させた。その結果、16人中5人が「物質量を用いて変換する」と記述し、別の3人が「1 mol、 $6.0 \times 10^{23}$ 個、22.4 L、原子量・分子量はすべて同じ物質の量である」という趣旨の記述をした。これらの内容は、後調査の後に授業のまとめとして伝えたことと同じであった。この結果から、全体の約半数が検証授業を通して伝えたかった内容を理解したものと推察される。これは、授業後の質問紙調査問1において、約半数が物質量を粒子の個数、質量、気体の体積と関連したものとして理解していることとも良い一致を示している。

後調査の問5「原子や分子の個数はどのようにには

かりとれば良いですか？」は、原子や分子の個数を直接数えられないため、質量や体積から変換して個数を求めることを理解しているかを調べるために、自由記述で回答させた。全16人中7人が「質量や体積から物質量を用いて求める」という旨を記述した。また、別の5人は質量や体積について直接的な記述はないものの「物質量を求めてからそれを用いて個数を求める」という旨の記述をしており、物質量を他の量から求めることまでは理解していることが伺える。このことから、全体の半数以上は、物質量が個数のみだけでなく質量や気体の体積と関係しており、それらから物質量や個数が求まることを理解していることが推察された。一方で、残りの4人は「物質量から個数に換算する」という旨の記述をしており、物質量が質量や気体の体積と関係することについての理解が不足していた。そのため、授業において個数は直接数えることはできず、質量や体積などから変換して求める必要があることを強調して説明するように改善する必要があると考えられる。

#### 4.3 教材に対する有用感

学生の使用教材に対する有用感を調べるため、後調査問4において教材の有用性に対する5段階評価、およびその評価理由を自由記述により回答させた。表6は後調査問4「立方体の教材は、理解するのに役立ったか？」に対する回答結果を5段階の評定尺度でまとめたものである。16人中11人が「よく役立った」と回答し、これは全体の3分の2を占めた。また、「あまり役立たなかった」や「役立たなかった」といった立方体教材に対する否定的な回答はなかった。このことから、学生の多くが使用し

表5 質問紙調査問2の回答数

質問内容	授業は理解できましたか？					
評定尺度	よく理解できた	まあまあ理解できた	どちらとも言えない	少しわからなかった	よくわからなかった	未記入
人数	11	4	0	0	0	1

※  $n = 16$ , 単位 (人)

表6 質問紙調査問4 (5段階評価) の回答数

質問内容	立方体の教材は、理解するのに役立ったか？				
評定尺度	よく役立った	少し役立った	どちらとも言えない	あまり役立たなかった	役立たなかった
人数	11	3	2	0	0

※  $n = 16$ , 単位 (人)



た立方体教材は授業の理解に効果的であり、有用感を持っていたことが推察される。

また、後調査問4の回答に対する理由を自由記述から、立方体教材が授業の理解に役立った理由を示す言葉を抽出した。その結果、「視覚的情報が理解に役立った」という旨の回答した学生が16人中10人と最も多かった。具体的には、ひとつの立方体教材に物質量、個数、質量、標準状態の気体の体積がまとめて記載されていることや、立方体の中に粒が入っていることが理解の促進に繋がったという記述があった。また、8人が計算においても立方体教材の視覚情報が役立ったと回答した。つまり、立方体教材を回転させて他の単位に換算したり、複数個を並べたりするような、視覚的な情報を活用した立方体教材の使用方法が、物質量に関わる計算の理解にも大いに役立つことが示された。上記の回答以外にも、「教員の授業展開に合わせて動くことができる」といった回答があり、授業展開に合わせた柔軟な運用ができる点も本教材の優れた点であると改めて認識できた。また、2人からはこの教材が「欲しい」という回答があった。このことから、今回作成した立方体教材の有用感が高いものであることが分かった。

#### 4.4 理解度確認テストの結果

対象学生が物質量と個数、質量、気体の体積との関係を理解したかを調べるために、後調査と同時に理解度確認テストを行った。表7は理解度確認テストの結果をまとめたものである。問1～6はいずれも物質量から個数や質量、標準状態における気体の体積を求めたり、またはその逆の経路で物質量を求める問題である。得られた結果から、ほとんどの学生がすべての問題に正解していることが分かった。不正解者の回答に注目すると、問3を不正解したうちの1人は、計算過程を書かずに誤答をしており、物質量と質量との関係についての理解が不十分であったことが伺えた。それ以外の不正解者については、立式は正しいが計算ミスがあったり、問3まで丁寧にしていたが問4以降を白紙回答したものであった。このような学生は、計算問題に正解はしなかったが、物質量と個数、質量、気体の体積の関係との関係までは理解していることが予想される。

一方で、この理解度確認テストは検証授業後ののみ行ったものであり、検証授業の実施前や実施後一定期間経過後の結果と比較しなければ、物質量に関わる計算において立方体教材を使った学習効果や学

習内容の長期的な定着状況を定量的に評価することは困難である。そのため、今後は立方体教材の学習効果やその定着について、より定量的な検証が必要だと考えらえる。

表7 理解度確認テストの結果

問	求める量	正解者	不正解者
1	物質量から個数	15	1
2	個数から物質量	16	0
3	物質量から質量	14	2
4	質量から物質量	15	1
5	物質量から体積	15	1
6	体積から物質量	15	1

※ $n = 16$ , 単位 (人)

## 5. 結論

本研究は、アボガドロ定数やモル質量、気体のモル体積がすべて同じ物質の量を表していることを理解し、物質量を変換ツールとして考えられるような立方体教材を作製し、検証授業によりその有用性を明らかにした。

教材は体積22.4 Lの立方体の各面に物質量、粒子の個数、質量、気体の標準状態における体積を記載したものであり、これを回転したり複数個並べたりして使用した。立方体教材の検証授業を行った結果、物質量が粒子の個数、質量、気体の体積と関係する複合的な概念であることの認識を持つことができ、物質量に対する理解が深まったことが分かった。対象学生の多くは、本教材が授業の理解に役立ったと回答しており、特に視覚的に物質量の概念や計算方法を理解できる点が有用であった。

物質量は高校化学において最も重要な概念の1つであるが、本研究で作製した立方体教材は視覚的に物質量の概念や物質量を用いた計算方法の理解を促すものであることが示唆された。今後は、立方体教材を用いた授業の教育効果について、より定量的な検証や長期的な知識の定着について研究を進める予定である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重なご助言を頂きました帝京科学大学学校教育学科小池守教授、金田拓講師に感謝申し上げます。また、検証授業を快く引き受けて頂きました帝京科学大学学校教育学科小学



校コース2年生の皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 教学社出版部：センター試験過去問研究 化学 (2020年版センター赤本シリーズ)，教学社，2019.
- 2) 今井泉，濱中正男，下條隆嗣：高等学校化学における物質量（モル）指導の実際. 科学教育研究, 29(2)：173-182, 2005.
- 3) 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の方法（＜特集＞児童・生徒はどこでつまずくのか）. 化学と教育, 42(1)：14-18, 1994.
- 4) 菊地洋一，坂本有希，尾崎尚子，高室敬，黄川田健，菅原純也：粒子概念を活用する物質学習と実感を伴った理解. 教育実践研究論文集, 3：43-48, 2016.
- 5) 平井俊夫：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, 39(1)：95, 1991.
- 6) 小畑直輝，江原弘，永富敬之，桐生徹，大島崇行，小池守：物質量の理解を促進する教材開発と授業実践. 上越教育大学教職大学院研究紀要, 6：71-80, 2019.
- 7) 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）の単元の指導. 化学と教育, 46(11)：744-745, 1998.
- 8) 森川鐵朗，樫田豪利：物質量とモルの指導案－考え方と授業実践－の研究. 上越教育大学研究紀要, 23(1)：245-260, 2003.
- 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, 23(2)：691-703, 2004.
- 10) V. B. Ramesh, A. A. A. Selvam, S. Kulkarni, A. D. Manganahalli, K. R. Battadapur：Designing and Using an Atomic Model Kit with H, C, N, and O Model Atoms Having a Mass Ratio of 1:12:14:16 to Teach the Concept of Mole and Associated Stoichiometric Relationships. J. Chem. Educ., 97(4)：986-991, 2020.
- 11) 石川朝洋，松原静郎，保坂純三，赤石定治，堀哲夫，寺谷敏介：物質量を直接測定するモル電子天秤の開発. 化学と教育, 44(5)：325-328, 1996.
- 12) 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編. 実教出版，2019.
- 13) S. Novick, J. Menis：A Study of Student Perceptions of the Mole Concept. J. Chem. Educ., 53(11)：720-722, 1976.
- 14) 内之倉真吾：高校生の物質量とモルの個別的な概念形成：量と単位の関係性構築の視点から. 静岡大学教育学部研究報告, 40：17-28, 2009.