

## 理科教員志望大学生における物質量概念の理解の特徴 —説明タイプの分析と教材提案—

### Characteristics of Pre-service Science Teachers' Understanding of the Amount-of-Substance Concept: An Analysis of Explanation Types and Suggestions for Instructional Materials

石原光<sup>\*1</sup>, 砂野真人<sup>\*1</sup>, 崎山健<sup>\*1</sup>, 松浦紀之<sup>\*2</sup>, 大橋淳史<sup>\*2</sup>, 隅田学<sup>\*2</sup>

ISHIHARA Hikaru<sup>\*1</sup>, SUNANO Manato<sup>\*1</sup>, SAKIYAMA Takeru<sup>\*1</sup>, MATSUURA Noriyuki<sup>\*2</sup>, OHASHI Atsushi<sup>\*2</sup>,  
SUMIDA Manabu<sup>\*2</sup>

愛媛大学大学院教育学研究科<sup>\*1</sup>, 愛媛大学教育学部<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup>Graduate School of Education, Ehime University, <sup>\*2</sup> Faculty of Education, Ehime University

**【要約】** 本研究では、高校化学の基礎概念でありながら学習者のつまずきが多い物質量について、理科教員志望大学生 75 名を対象に、概念理解の特徴と説明タイプを調査した。質問紙調査を実施し、物質量の説明に関する自由記述と正誤問題 2 問の回答を分析した。自由記述は説明タイプに分類し、高校時の履修科目パターンおよび教科書使用頻度との関連を検討した。その結果、履修パターンに関わらず新定義により説明され、物質量を計算の道具として捉える機能的説明が多かった。また、正誤問題では質量に関する理解は概ね良好であったが、粒子数と物質量の関係に曖昧さが残る回答が一定数みられた。以上を踏まえ、物質量が質量・粒子数をつなぐ変換の中心概念であることを視覚的かつ操作的に理解させる教材として、無限キューブを用いた物質量計算の教材、質量と粒子数の変換の理解を促進する教材、立方体型ケースを用いた物質量同定教材を試作した。

**【キーワード】** 物質量 (mol), 概念理解, 理科教員志望大学生, 化学教育, 高等学校「化学基礎」

#### I. 研究の背景および目的

物質量 (mol) は、高等学校「化学基礎」において導入され、化学反応の量的関係、中和反応、気体や溶液の計算など、その後の学習内容を支える基礎概念として位置づけられている。化学では原子・分子・イオンといった粒子の視点に基づく体系的学習が求められるため、物質量概念の獲得は理系志向の学習者に限らず、化学を履修する多様な学習者にとって重要である。一方で、物質量は不可視で抽象度が高く、量と単位、質量・粒子数・体積等の変換を伴うことから、学習者のつまずきが生じやすい概念であることが指摘されてきた。

内ノ倉 (2009) は、高校生を対象とした調査により、物質量 (量) と mol (単位) の関係が十分に理解されず、両者が個別の概念として形成される可能性を示した。さらに、齋藤ら (2016) は、先行研究の質問紙を改良し、濃度や密度の理解と物質量概念の関連を検討した結果、質量から物質量や粒子数へ変換できないことが、物質量概念の獲得を阻害する要因になりうることを報告している。これらは、物質量概念の理解が「定義の理解」だけでなく、「変換関係の理解」や「量と単位の関係の理解」と関わることを示唆している。

また、物質量概念の理解を促すための教材開発も多数報告されている。例えば、石田ら (2023) は、物質量が異なる単位間の変換に関わることを示す立方体教材を提案し、小畑ら (2019) は、物質量が粒子数に基づく概念であることを具体物で捉えさせる教材を開発・実践している。このように、高校段階の学習者を対象とした概念理解や教材開発の知見は蓄積されつつある。

しかし、理科教員志望大学生が、物質量をどのように理解し、また高校生に対してどのような説明として言語化するのかについては、十分に明らかにされているとは言い難い。将来教員となる学習者が物質量概念をどのように説明するかを把握することは、教員養成における基礎概念の補強や指導改善の検討に資する。

そこで本研究では、理科教員志望大学生を対象に、物質量概念の理解状況を把握するとともに、高校生から「物質量とは何か」と問われた場面を想定した自由記述を分析し、説明タイプの特徴を明らかにすることを目的とした。さらに、得られた知見に基づき、誤概念の解消や概念の再構成を促す教材の方向性について検討を行った。

## II. 研究の方法

### 1. 調査対象

本研究では、2025年10月にA大学において教職課程科目「理科教育法II」を受講している理科教員志望の大学生77名を対象とした。内訳は教育学部12名、理学部40名、工学部10名、農学部15名であった。調査実施後、高等学校段階で「化学基礎」を履修していない回答者2名を除外し、最終的に75名を分析対象とした。

### 2. 調査時期および調査方法

調査は2025年10月に授業時間中に実施し、Microsoft Formsを用いた無記名のオンライン質問紙調査によって行った。調査への参加は任意とし、回答の有無や内容が授業成績等に影響しないことを説明した。あわせて、研究目的、データの保管・管理方法、研究目的以外には使用しないことを事前に説明し、同意が得られた回答のみを分析対象とした。

### 3. 調査内容

質問紙は、以下の3領域から構成した。

(1) 属性に関する項目として、所属学部、高等学校で履修した理科科目、授業中における教科書使用頻度等を設定した。教科書使用頻度については、0(全く使用しない)から10(常に使用する)までの11件法で回答させた。

(2) 物質概念に関する自由記述項目として、「高校生から『物質とは何ですか。どのような意味ですか』と尋ねられた場合、教員としてどのように説明するか」という設問を設定し、自由に記述させた。

(3) 物質に関する知識問題として、Sokolowski(2019)を参考に作成した正誤問題2問を設定した。設問は、「酸素2molの質量と窒素2molの質量は同じである」「鉄2molには亜鉛2molと同じ数の原子が含まれている」とし、各文の正誤を判断させた。表1に、Sokolowskiの設問と本研究で用いた設問の対応を示す。

表1 Sokolowski(2019)の設問と本研究で用いた設問の対応

Sokolowski(2019)	本研究で用いた設問
The mass of two moles of oxygen is the same as the mass of two moles of nitrogen	酸素2molの質量と窒素2molの質量は同じである
Two moles of iron contain the same number of atoms as two moles of zinc.	鉄2molには亜鉛2molと同じ数の原子が含まれている

## 4. 分析方法

自由記述による物質概念の説明については、回答内容を精査し、先行研究ならびに予備的コーディングを踏まえて、6つの説明タイプ(新定義、旧定義、比喩、機能的説明、誤概念、その他)に分類した。1名の回答に複数の説明タイプが含まれる場合はそれぞれカウントした。分類作業は3名が独立に行い、不一致が生じた箇所は協議により最終的に確定した。

属性項目については、高等学校での理科科目の履修状況に基づき、回答者を履修パターン別に分類した。また、教科書使用頻度については、評定値に基づき低・中頻度群(0~7)と高頻度群(8~10)に区分した。

各説明タイプの出現率を算出し、履修パターンおよび教科書使用頻度との関連について比較・検討を行った。なお、説明タイプは重複回答が含まれるため、履修パターン等との関係の検討には、各説明タイプの有無(当該タイプを含む・含まない)に基づくクロス集計を用いた。

## III. 結果と考察

### 1. 回答者の履修状況および教科書使用状況

分析対象75名の高等学校における理科科目の履修状況を図1に示す。履修状況に基づき、回答者を「物理・化学選択」「生物・化学選択」「物理・化学・生物選択」「化学未選択」の4グループに分類した。なお、本研究の分析対象は高等学校で「化学基礎」を履修している者に限定しており、未履修者2名は分析から除外した。

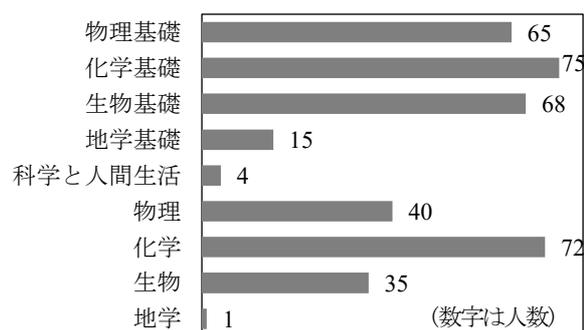


図1 調査対象学生の高等学校における理科科目の履修状況 (n=75)

授業中における教科書使用頻度(0~10の11件法)の分布を図2に示す。全体として高得点側に分布が偏っており、授業内で教科書が比較的高頻度で使用されていたことがうかがえる。

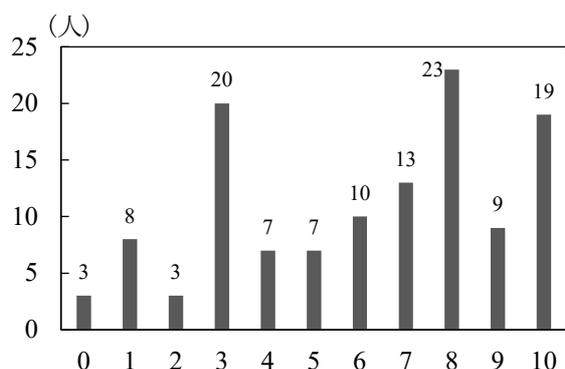


図2 授業中における教科書使用頻度の分布 (n=75)  
使用頻度については、「まったく使用しない」を0、「常に使用する」を10とする11件法で評定させた。

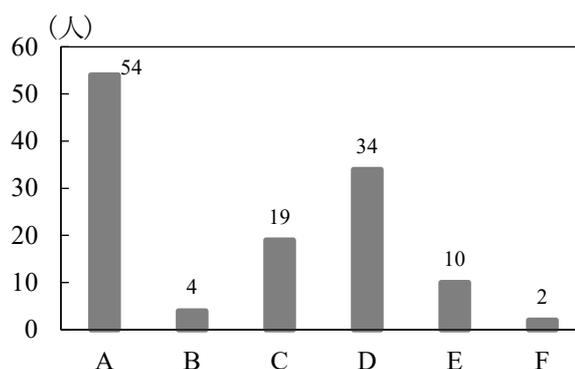


図3 物質質量概念の説明タイプの出現率 (n=75)  
記述1件に複数タイプを付与しているため、合計は75にならない。説明タイプの定義は表2参照。

## 2. 自由記述にみられる物質質量概念の説明タイプ

物質質量概念に関する自由記述の回答を、6つの説明タイプに分類した結果を図3に示す。分類は、先行研究で用いられた説明枠組み（例：新定義・旧定義・比喩・機能的説明）を基盤としつつ、本調査の回答に現れた特徴を踏まえて独自に説明タイプを設定した。ここでいう新定義は、国際単位系（SI）の改定（国際度量衡局, 2019）によりアボガドロ定数  $N_A$  を固定値として1 mol を定義する立場からの説明であり、旧定義は12 g の炭素 12 に含まれる原子数を基準とする定義に基づく説明である。各回答は記述内容に基づき、該当するタイプが複数含まれる場合は重複して分類した。分類基準および代表的記述例を表2に示す。

図3より、説明タイプA（新定義）に該当する記述が最も多く、次いで説明タイプD（機能的説明）が多かった。一方で、説明タイプC（比喩）や説明タイプ

B（旧定義）は相対的に少数であった。ここでのA（新定義）の多さは、回答が「高校生への説明」を想定した自由記述であることから、学習者がまず定義（あるいは定義に準じる表現）を起点に説明を構成しやすいことを反映している可能性がある。また、D（機能的説明）が多いことは、物質質量を化学量論や溶液計算等における計算上の道具として捉え、その利便性を強調する説明が一定数存在することを示している。

## 3. 履修パターン別・教科書使用頻度別の比較

高等学校の理科の履修パターンは、アンケートで回答された履修した理科科目の組合せに基づき、回答者を「物理・化学選択」「生物・化学選択」「物理・化学・生物選択」「化学未選択」の4群に分類した（図4）。主な2つの履修パターン「物理・化学選択」「生物・化学選択」について、説明タイプの出現率を比較した結果を図5に示す。両群に共通して、説明タイプA（新

表2 物質質量概念の説明タイプの分類と判定基準

略号	説明タイプ	判定基準 (要点)	記述例
A	新定義 (アボガドロ定数の固定)	1 mol をアボガドロ定数に基づき「 $6.022 \times 10^{23}$ 個」等で説明	「 $6.0 \times 10^{23}$ 個の集まり」
B	旧定義 ( $^{12}\text{C}$ 基準)	12 g の $^{12}\text{C}$ を基準に1 mol を説明	「12 g の炭素 12 が基準」
C	比喩 (身近な例え)	ダース等の身近なまとまりで説明	「ダースみたいな数え方」
D	機能的説明 (役割・使い方)	計算の便利さ、量の換算ツール等、機能を中心に説明	「計算を楽にする単位」
E	誤概念	mol を g と同一視、単なる数、単位混同など誤りを含む	「mol=g のこと」
F	その他	上記に当てはまらない、説明が成立しない、無回答	「わからない」、無回答

表注) 新定義：国際単位系 (SI) の定義改定 (2019 年) により、1 mol をアボガドロ定数  $N_A=6.02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  の固定値に基づいて定義する説明。旧定義：12 g の  $^{12}\text{C}$  に含まれる原子数を基準として1 mol を説明する定義 (改定前) に基づく説明。

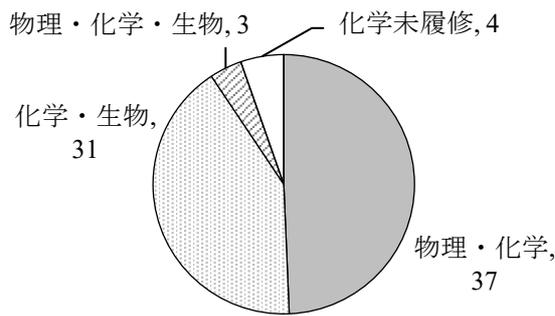


図4 高等学校における理科の履修パターン  
数字は人数。

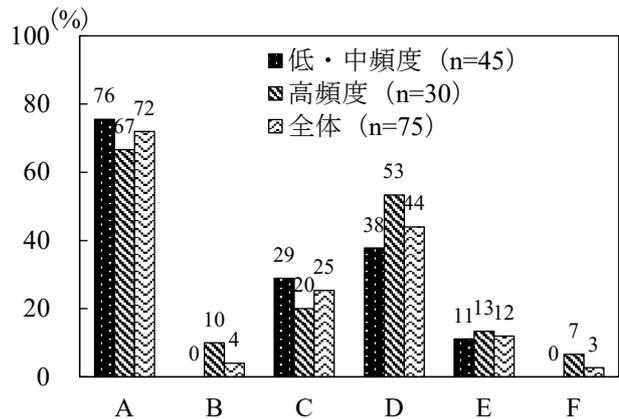


図6 教科書使用頻度別の説明タイプ出現率  
説明タイプの定義は表2参照。

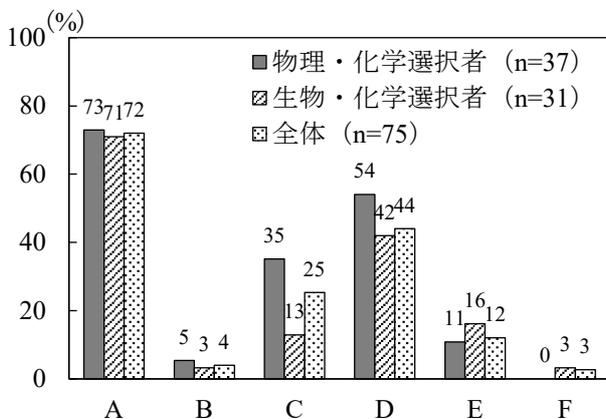


図5 履修パターン別の説明タイプ出現率  
説明タイプの定義は表2参照。

定義)の出現率が最も高く、説明タイプB(旧定義)はいずれの群でも低かった。さらに、物理・化学選択者では、説明タイプC(比喩)およびD(機能的説明)の出現率が相対的に高い傾向がみられた。

次に、授業中の教科書使用頻度を低・中頻度群(0~7, n=45)と高頻度群(8~10, n=30)に区分し、説明タイプの出現率を比較した結果を図6に示す。その結果、いずれの群でも説明タイプA(新定義)の出現率が最も高く、次いで説明タイプD(機能的説明)が高い傾向がみられた。群間の差は限定的であり、教科書使用頻度と説明タイプの出現の間には明瞭な関連は確認されなかった。

なお、本研究の説明タイプ分類は1名の回答に複数タイプを重複付与しているため、図6は「説明タイプの出現状況(含む・含まない)」を基に算出した出現率である。1名当たりの異なる種類の説明タイプの出現数は平均1.6種類であり、学習者が定義、機能、計算

式等の複数の視点を関連づけながら、自身の説明を構成している状況がうかがえる。一方で、説明タイプE(誤概念)やF(その他)も一定数確認されており、理科教員を志す学生であっても、基本概念に揺らぎが残る可能性が示された。

#### 4. 知識問題の正答率

知識問題2問の正答率について、問1(酸素2molと窒素2molの質量の比較)の正答率は97.4%であった一方、問2(鉄2molと亜鉛2molの粒子数の比較)の正答率は87.0%であった。問2では、「2molであれば物質に依らず粒子数が等しい」という物質量の定義的理解を要するため、質量に関する理解に比べて、粒子数と物質量の関係に関して理解が曖昧な回答者が一定数存在する可能性が示唆される。

#### 5. 統計的検討と限界

履修パターン等と説明タイプの関連についてクロス集計を行い、カイ二乗検定による検討を行ったが、統計的に有意な差は確認されなかった。もっとも、自由記述の内容には履修経験に応じた傾向差が示唆される部分もあり、今後はサンプル数の拡大に加え、説明の質(例:定義の正確性、変換関係への言及、例示の適切性)を含む精緻な分析が求められる。

また、本研究では物質量の計算能力についても把握する意図があったが、本稿では概念理解(説明)に関する分析に焦点を当て、計算技能の分析は行っていない。今後は、概念理解や説明と計算技能の関係を併せて検討できるよう、設問構成を精緻化した上で、追加的な分析を行う必要がある。

#### IV. 作製した教材について

III章の結果より、理科教員志望大学生の物質質量概念の説明には「新定義」や「機能的説明」が多くみられた一方で、粒子数と物質質量の関係に関して理解が曖昧な回答が一定数確認された。そこで本研究では、物質質量が質量・粒子数（必要に応じて体積）をつなぐ「変換のハブ」であることを、学習者が視覚的かつ操作的に捉えられる教材を試作した。本章では、作製した3種の教材の概要と活用方法を報告する。

##### 1. 無限キューブを用いた物質質量計算の教材

###### (1)教材のねらい

無限キューブは、物質質量を経由して質量・粒子数（必要に応じて体積）を相互に変換するという計算の道筋を、操作を通して確認させることをねらいとする。特に、計算手順が「公式の当てはめ」になりやすい学習者に対して、変換の順序と根拠（モル質量、アボガドロ定数等）を意識づけることを目的とした。

###### (2)教材の概要

厚紙に立方体の展開図を印刷して切り取り、糊付けして立方体を作製する。2×4の8ブロックをテープで連結して折り返す構造とし、操作により連続的に面が切り替わる（図7）。各面には、粒子数、物質質量、質量（必要に応じて体積）と、変換に用いる量（アボガドロ定数、モル質量等）を配置した。

###### (3)活用方法

計算問題に取り組む際に、学習者が「与えられた量→物質質量→求める量」の順で変換経路を確認しながら解くことを促す。例えば「粒子数から質量を求める」課題では、粒子数→物質質量→質量の経路をキューブ上でたどらせ、途中で用いる値（アボガドロ定数、モル質量）を明示する。

###### (4)教材の意義と留意点

本教材により、物質質量が変換の中心に位置づくこと、および計算が「どの量を、どの順に変換しているか」という構造として捉えられることが期待される。

一方で、本教材は計算の見通しを支える補助具であるため、操作のみで完結させず、式と単位の対応（単位がどのように消去されるか）を必ず言語化させる必要がある。

##### 2. 質量と粒子数の変換の理解を促進する教材

###### (1)教材のねらい

物質質量概念の理解においては、質量、物質質量、粒子数の関係を適切に結び付けて捉えることが重要であ

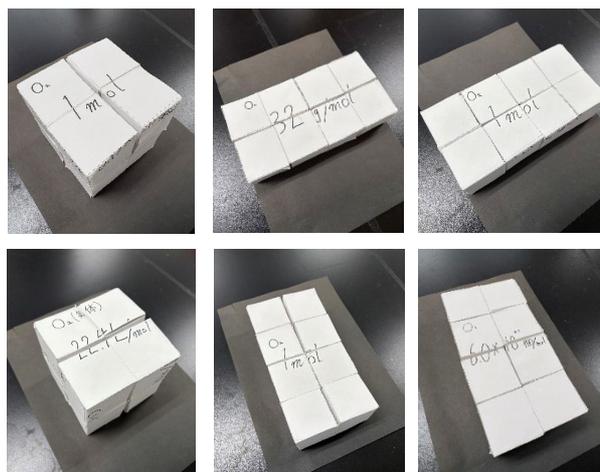


図7 無限キューブを用いた物質質量計算の教材  
面を順に切り替えることで、粒子数→物質質量→質量などの換算手順を追える。

る。しかしながら、学習者はこれらの量の相互関係を十分に理解できず、計算手順を形式的に適用する傾向があることが指摘されている。齋藤ら（2016）は、物質質量概念の獲得を阻害する要因の一つとして、質量から物質質量、さらに原子数へと変換する過程に困難が生じることを示している。このような背景を踏まえ、本研究では質量と粒子数の変換関係を視覚的に示し、物質質量を中心とした量の関係を理解させることを目的として、物質質量変換ツールを試作した。

###### (2)教材の概要

物質質量変換ツールは、厚紙を用いた簡易なペーパークラフト教材であり、左右に設けた矢印付きのつまみを操作することで、変換経路が表示される構造となっている（図8）。つまみを引くと、中窓に、質量→物質質量→粒子数、粒子数→物質質量→質量、といった変換経路とともに、それぞれの変換に必要な量（モル質量、アボガドロ定数など）が表示される。これにより、質量と粒子数の変換が必ず物質質量を経由して行われることを視覚的に確認することができる。

###### (3)活用方法

授業では、計算問題に取り組む前段階として、本教材を用いて変換経路を確認させる。例えば「粒子数から質量を求める」課題では、まず粒子数から物質質量へ変換し、次に物質質量から質量へ変換するという順序を教材上で確認させる。その上で、対応する式と単位を記述させながら計算を行わせる。また、計算後には逆方向の変換（質量から粒子数など）を行わせることで、変換関係の理解を確かめる活動にも利用できる。

#### (4) 教材の意義と留意点

本教材は、質量と粒子数の変換関係を可視化し、物質質量がそれらの量を結び付ける中心的概念であることを理解させる補助教材として活用できる。また、厚紙によるペーパークラフトで作製できるため、安価で再現性が高く、授業で導入しやすい点も利点である。

一方で、本教材は計算の手順を支援する補助具であり、操作のみで理解が成立するものではない。そのため、変換に用いる式や単位の意味を言語化させる活動と併せて用いることが重要である。また、本教材では気体体積などの条件依存の量は扱っていないため、体積を含む変換については別途説明を補う必要がある。

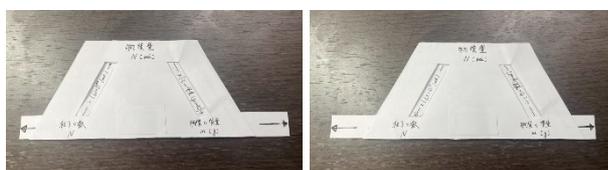


図8 質量と粒子数の変換の理解を促進する教材  
変換経路の先に必要な量が記載されている。

### 3. 立方体型ケースを用いた物質質量同定教材

#### (1) 教材のねらい

物質質量は、粒子数と質量を結び付ける化学の基本概念であり、化学量論計算の基盤となる。しかしながら、学習者は物質質量を計算上の単位として形式的に扱う傾向があり、物質質量の意味や量感を十分に理解できていない場合がある。特に、異なる物質において同じ質量であっても物質質量が異なることや、同じ物質質量であっても質量が異なることについては直感的に理解しにくい。

そこで本研究では、異なる物質の質量を測定し、モル質量を用いて物質質量を算出する活動を通して、物質質量の概念を具体的に理解させることを目的として、立方体型ケースを用いた教材を試作した。

#### (2) 教材の概要

本教材では、同じ外形・同じ体積をもつ透明な立方体型ケースを複数用意し、それぞれに異なる固体試料を封入する(図9)。ケースには試料名のみを表示し、学習者はまずケース内の試料の質量を電子天秤で測定する。その後、既知のモル質量を用いて物質質量を算出し、複数の試料の物質質量を比較する。

この活動により、見た目の量や質量だけでは物質質量の大きさを判断できないことを体験的に理解させるこ

とができる。また、同じ質量の試料でもモル質量の違いによって物質質量が異なることを確認することができる。

#### (3) 活用方法

授業では、まず複数の立方体型ケースを提示し、学習者に「どの試料の物質質量が最も多いか」を予想させる。その後、各試料の質量を測定し、モル質量を用いて物質質量を計算させる。計算結果を比較することで、質量と物質質量の関係を整理させる。

さらに、同じ物質質量になるように試料を準備した場合には、物質によって質量が異なることを確認させる活動も可能である。これにより、物質質量が粒子数に基づく量であることを、実感を伴って理解させることができる。

#### (4) 教材の意義と留意点

本教材は、物質質量を抽象的な計算概念としてではなく、質量測定と計算を通して具体的に・感覚的に理解させることを目的としたものである。複数の物質を比較する活動を通して、物質質量が物質の種類によらず粒子数に基づく量であることを理解させる効果が期待される。

一方で、本教材を用いる際には、試料の選定と安全管理に配慮する必要がある。特に粉末試料を用いる場合には、漏出や誤飲を防ぐためにケースの密閉を十分に行う必要がある。また、固体試料の見かけの体積は充填状態によって変化するため、体積の大きさを直接比較する教材としてではなく、質量と物質質量の関係を理解する教材として活用することが適切である。

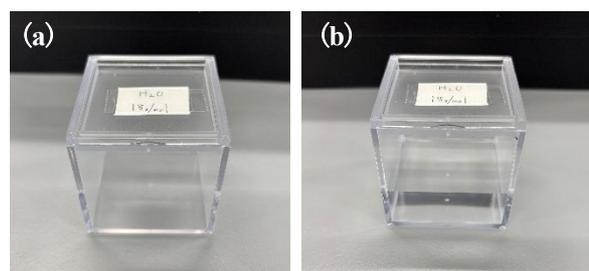


図9 立方体型ケースを用いた物質質量同定教材  
(a)物質が入っていない状態、(b)物質(例：水)が入った状態。

### V. まとめ

本研究では、理科教員志望大学生を対象として、物質質量概念の説明の特徴を調査するとともに、その理解を支援することを目的に3種類の教材の作製を試みた。

自由記述による説明の分析の結果、回答には 2019 年の国際単位系 (SI) の定義改訂に基づく新定義を用いた説明が多くみられた一方で、物質量を計算手続きの中で用いる量として捉える機能的説明も多く確認された。また、知識問題の結果からは、質量に関する理解に比べて、粒子数と物質量の関係に関する理解に曖昧さが残る可能性が示唆された。

これらの結果を踏まえ、本研究では物質量を中心とした量の関係を視覚的かつ操作的に理解させる教材として、①無限キューブを用いた物質量計算教材、②質量と粒子数の変換の理解を促進する教材、③立方体型ケースを用いた物質量同定教材の 3 種類を試作した。これらの教材は、それぞれ、計算経路の理解の促進、量の変換関係の可視化、物質量の量感 (スケール感) の形成という異なる側面から、物質量概念の理解を支援することを目的としている。理科教育において物質量は抽象的で理解が難しい概念とされることが多いが、本研究で試作した教材は、学習者が質量測定や操作活動を通して量を確認できる点に特徴がある。特に、計算手続きのみでは捉えにくい物質量の意味を、視覚的・操作的活動を通して理解させる教材として活用できる可能性がある。

一方で、本研究にはいくつかの限界がある。第一に、本研究で作製した教材は試作段階であり、実際の授業における学習効果の検証は行っていない。第二に、調査対象は一大学の理科教員志望学生に限定されており、結果の一般化には慎重な検討が必要である。今後は、これらの教材を授業実践に導入し、学習者の概念理解に与える影響を実証的に検討することが課題である。

## 附記

本論文は、日本理科教育学会四国支部大会 (2025 年 12 月: 鳴門教育大学) において発表した内容について、加筆・再校正したものである。

## 文献

石田良仁, 弘田柊 (2023) : 1 mol の量を可視化する立方体教材の開発, 帝京科学大学紀要, 19, 31-39.  
 小畑直輝, 江原弘, 永富敬之, 桐生徹, 大島崇行, 小池守 (2019) : 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.

国際度量衡局 (2019) : 国際単位系 (SI) 第 9 版 (2019) 日本語版, 産業技術総合研究所計量標準総合センター.

齋藤幸江, 川村教一 (2016) : 高校生の物質量概念の獲得を阻害する要因について, 日本科学教育学会研究報告, 31, 3, 17-20.

Sokolowski A. (2019) : Modeling the mole understanding with mathematical reasoning, *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 11, 4, 85-92.

内ノ倉真吾 (2009) : 高校生の物質量とモルの個別的概念形成—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 (教科教育学篇), 40, 17-28.