

# 粒子概念と物質量の利便性を強調した 授業実践による物質量概念の形成

教育学研究科 教育実践創成専攻 教科領域実践開発コース 中等教科教育分野 西尾郁哉

## 1. はじめに

高等学校学習指導要領（平成 30 年告知）解説理科編理数編に、物質量と原子量、分子量、式量との関係やモル質量との関係、気体の体積との関係について理解させるといったこと<sup>5)</sup>が述べられているように、物質量は他の物理量と密接な関わりがあり、化学における量的関係を導き出す上で最も基礎的な物理量であると言える。しかし、今井ら（2005）が教師と高校生に行ったアンケート調査によると、モル質量、物質量、アボガドロ定数、相対質量の 4 つの内容の中で物質量は教師にとって指導しづらい単元であるとともに、生徒にとっても理解することが困難な単元であり、特に、物質量の特徴である大きな数を 1 つのまとまりとする考え方が身につけていないことが明らかとなった<sup>2)</sup>。また、高等学校教師を対象に物質量の具体的な指導方法についての調査によると、「指導法の工夫」、「教材の工夫」、「モルマッピング」、「実験と関連させた指導」、「化学史と関連させた指導」の 5 つが代表例として挙げられた<sup>2)</sup>。そこで、筆者は授業を考案する際に、これらの 5 つの指導方法の中から選択しようと考えた。しかし、物質量を使う問題を解く過程の概要を表したモルマッピングは、生徒が解き方の暗記をしまい本質の理解につながらないと考え、候補から除いた。また、西尾（2020）は実験が授業内容の理解を高めるかを調査するために、気体の分子量を測定する実験を取り入れた授業実践を行ったが、効果が期待できないことが明らかになったため<sup>6)</sup>、実験と関連させた指導は候補から除いた。化学史についてはその学習が物質量の理解に効果的ではないであろうと考え、

候補から除いた。

そこで、本研究では「指導法の工夫」と「教材の工夫」を採用することとした。指導法の工夫として、生徒が便利に考えるものについては積極的に学ぶと考えたため、物質量の利便性を強調するものとした。高等学校学習指導要領（平成 30 年告知）解説理科編理数編に「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」<sup>5)</sup>とあるように、物質量は粒子概念が形成されないことには理解し得ないものである。今井ら（2005）でも中学校で形成されるべき素養の 1 つである粒子概念の必要性を主張していた<sup>2)</sup>。物質が細かい原子、分子、イオン等の粒からできていることは、小学校では学習しないが、中学校第 2 学年「化学変化と原子・分子」<sup>4)</sup>で粒子のうち原子や分子について学習する。中学校第 3 学年「化学変化とイオン」<sup>4)</sup>で電子やイオンについて学習し、高等学校第 1 学年化学基礎「物質の構成」<sup>5)</sup>では原子を構成する粒子として陽子や中性子について学習する。その後「物質の変化とその利用」<sup>5)</sup>で物質量について学習する。物質を構成する粒子について学習しているにも関わらず粒子概念が形成されていないのは、その粒子を目で確認することはできないため、その描像が生徒に定義していないことによると筆者は考えた。そこで、身近な現象での説明を通して粒子の存在を認知させる教材の工夫により、まず粒子概念の形成を図り、物質量の利便性の点から指導法の工夫を施した授業実践を行うことにより物質量概念の形成を図ることとした。

第 2 節ではこの研究の方法を、第 3 節では本研究の評価方法について述べる。第 4 節で

は本研究の結果を、第5節に結果の考察を記し、第6節では本研究の結論を述べる。また、本報告書は山梨大学教育学部附属教育実践研究総合センター研究紀要の論文<sup>7)</sup>をまとめたものである。

## 2. 研究方法

本研究は高等学校2年生の文系2クラス（A組23人、B組33人）を対象に4コマ構成で授業実践を行い検証した。研究手順については、図1、2に示す。それぞれのクラスで実施したプレテスト、アンケート調査の設問は同じ内容とした。どちらのクラスも講義を2回、演習を2回行い、演習は講義の直後の授業で行った。演習3と演習4は、それぞれ演習2と演習1と同じである。演習問題は解答スペースとは別に解答例が書かれた紙を貼るスペースを設けることにより自身の回答に手を加えさせることの無いようにした。このようにすることで生徒の回答の正誤を確かめることができるようになってきている。粒子概念についてはどちらのクラスも物質の構成粒子が $6.0 \times 10^{23}$ 個集まったときの物質の質量と体積について学習させた。具体的には、水50 mLとエタノール50 mLを混合したときの体積が100 mLより小さくなる理由をゴマ50 mLと大豆50 mLを混合させたとき体積が100 mLより小さくなる<sup>1)</sup>ことから考えさせた。この学習を通して、物質が粒子からなるという粒子概念の形成を図った。そして、物質量概念に触れない授業として、粒子数から質量、体積の求め方を学習させる内容とした。なお、演習問題の設問を図3～6に示し、プレテストを図7に示す。

A組では筆者が考案した授業実践を図1の手順で行った。1コマ目に化学の基礎的な知識や指数計算の力を測るためにプレテストを7分間で実施した後、物質量概念に触れない授業を行った。2コマ目に物質量を使わない演習（演習1）を行い、そこで感じた不便さやその解消の方策を紙に書かせた。3コマ目では前時の不便さや不便さ解消の方策をクラスで共有し、新たに不便さ解消の方策はないかを考えさせた。その後、不便さ解消の方策の1つとして物質量があることを紹介し、物質量概念の紹介を行った。4コマ目で物質量を使った演習（演習2）を行い、アンケート調査1を実施した。

B組では図2の手順で授業実践を行った。2コマ目までは、粒子概念と粒子がアボガドロ数個集まったとき1 molとする物質量の考え方について導入し、物質量概念を形成し、演習を行う<sup>8)</sup>という教科書通りの授業実践となる。3コマ目と4コマ目は、A組とB組とで授業の内容に差異が出ないように設定したものであると同時に、研究のデータとして活用するものである。1コマ目に化学の基礎的な知識や指数計算の力を測るためにプレテストを7分間で実施した後、物質量概念の紹介を行った。2コマ目に物質量を使った演習（演習3）を行い、アンケート調査2を実施した。3コマ目では、もしも物質量がなかったらどのくらい不便なのかを実感させるために、物質量概念に触れない授業を行った。4コマ目で物質量を使わないで解かせる演習（演習4）を行い、アンケート調査3を実施した。

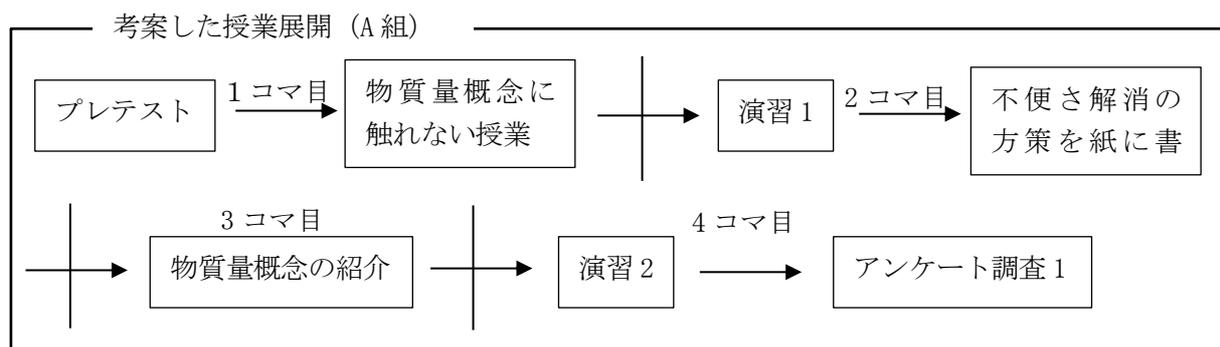


図1 A組 研究手順

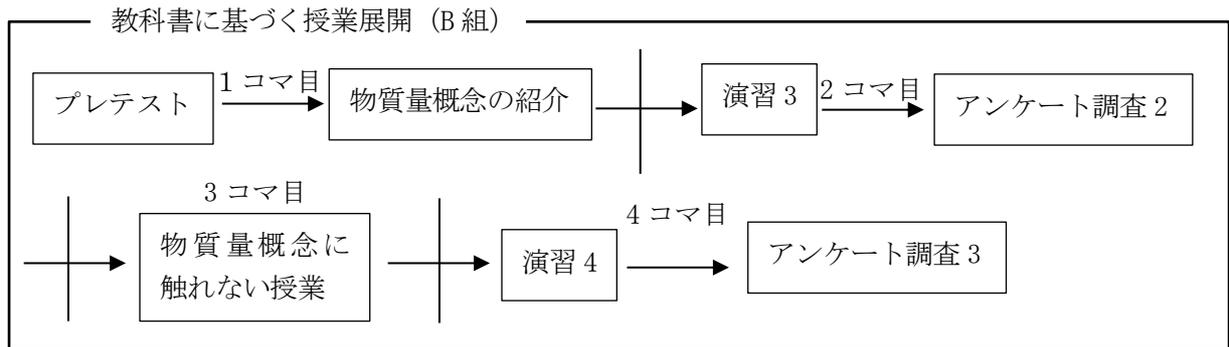


図2 B組 研究手順

図3 演習問題 1, 4 表面

図6 演習問題 2, 3 裏面

図4 演習問題 1, 4 裏面

図5 演習問題 2, 3 表面

### 3. 評価方法

本研究で考案した授業を「① 粒子概念は形成できたか」、「② 粒子概念は大切であることがわかったか」、「③ 物質量の利便性は感じることができたか」、「④ 物質質量概念は形成されたか」、「⑤ 考案した授業実践が物質質量概念の形成に役立つか」の5つの観点から評価した。①～④の観点を満たせば⑤は達成できたものとした。

#### ①粒子概念の形成の評価について

アンケート用紙の設問 2 (1) を分析することで評価した。

#### ②粒子概念の大切さの理解についての評価について

アンケート用紙の設問 2 (2) を分析することで評価した。

#### ③物質量の利便性を感ずることができたかの評価について

アンケート用紙の設問 1, 設問 2 (3), (4) を分析することで評価した。

#### ④物質質量概念の形成の評価について

アンケート用紙の設問 1, 設問 2 (5) と演習 2 の分析を行うことで評価した。

⑤考案した授業実践が物質量概念の形成に役立ったかの評価について  
上記①～④の観点についての評価を参考に評価した。

## 4. 結果

### (1) プレテスト

得点分布は図 3 のプレテストの結果の通りである。本テストは 20 点満点とし、A 組と B 組の平均点はそれぞれ 15.4 点と 14.7 点と大きな差は見られなかった。プレテストの結果を低得点層、中得点層、高得点層の 3 つに分けたとき、A 組は低得点層 0 %, 中得点層 56 %, 高得点層 43 % となり、B 組は低得点層 9 %, 中得点層 48 %, 高得点層 42 % となった。

図 7 プレテスト

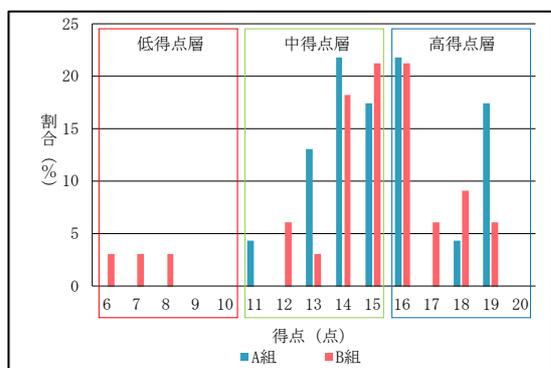


図 8 プレテスト結果

### (2) アンケート調査

#### 設問 1

設問 1 は自由記述であるとした。生徒の記述を分類し、その割合を算出し求めたところ表 1 の通りであった。「定義」とは物質量が構成粒子  $6.0 \times 10^{23}$  個の集まりを 1 mol としたという記述がなされていたもの、「単位」とは物質量の単位である mol について記述されていたもの、「利便性」とは物質量の利便性である大きな数を 1 つのまとまりとして大きな数の計算を避けること、または物質量をもとめることで他の物理量が求めやすくなる等について記述されていたもの、「その他」とは公式のみ、原子量・分子量についての記述、誤った理解、授業感想等のことを示す。なお、複数の項目に該当する記述があったため各項目の割合を足しても 100 %にはならない。

A 組が物質量について最も多くの内容を記述できていた。70 %の生徒が物質量の定義について、39 %が単位について、17 %が利便性について記述した。B 組 1 回目は 70 %が定義について、30 %が単位について、12 %が利便性について記述した。B 組 2 回目は 55 %が定義について、18%が単位について、15 %が利便性について記述した。

#### 設問 2

設問 2 は 5 段階評価で行なった。1, 2 を否定的な回答、3 をどちらでもない、4, 5 を肯定的な回答とし、クラス毎の回答率を算出した。また、5 段階評価をそのまま点数化し、平均を算出した。

[1]「物質が粒子から構成されていることが理解できた。」

結果は表 2 の通りであった。いずれの結果も 90 %以上が肯定的な回答であった。特に A 組が肯定的な回答をした生徒の割合が最も高かった。また、B 組 1 回目と 2 回目を比較すると肯定的な回答をした生徒の割合に変化はないが、否定的な回答をした生徒の割合が 6 pt 増加した。A 組の平均点が最も高く、4.6 点であった。

[2]「物質が粒子で構成されているという考えは、物質量を理解するために大切なことである。」

結果を表3に示す。どのクラスも90%の生徒が肯定的な回答であった。肯定的な回答をした生徒の割合が最も高かったのはA組であった。また、B組1回目と2回目を比較すると肯定的な回答をした生徒の割合に変化はないが、否定的な回答をした生徒の割合が3pt増加した。A組の平均点が最も高く、4.6点であった。

[3]「物質量の使用は、大きな数の計算を避けることに役に立った。」

結果は表4の通りであった。A組の生徒は全員が肯定的な回答をした。B組1回目は91%の生徒が肯定的な回答をし、2回目は82%までに減少した。A組の平均点が最も高く、5.0点であった。

[4]「物質量の利用は、質量・体積・粒子数を求めるときに役に立った。」

結果を表5に示す。A組の生徒は全員が肯定的な回答をした。B組1回目は91%の生徒が肯定的な回答をし、2回目では若干減少したものの88%が肯定的な回答をした。1回目と2回目を比較すると肯定的な回答をした生徒の割合が3pt減少し、否定的な回答をした生徒の割合が3pt増加した。A組の平均点が最も高く、4.9点であった。

[5]「物質量の理解に自信がある。」

結果は表6の通りであった。肯定的な回答をした生徒の割合が1番高かったのはA組であり、同時に否定的な意見を持つ生徒の割合も最も高かった。B組1回目と2回目を比較すると否定的な回答をした生徒の割合に変化はないが、肯定的な回答をした生徒の割合が6pt減少した。A組の平均点が最も高く、3.2点であった。

表1 アンケート調査 設問1 記述

	定義	単位	利便性	その他
A組	70%	39%	17%	17%
B組 1回目	70%	30%	12%	15%
B組 2回目	55%	18%	15%	36%

表2 アンケート調査 設問2 [1] 結果の分類

	A組	B組 1回目	B組 2回目
肯定的な回答	96%	91%	91%
どちらでもない	0%	9%	3%
否定的な回答	4%	0%	6%
5段階評価平均	4.6点	4.4点	4.5点

表3 アンケート調査 設問2 [2] 結果の分類

	A組	B組 1回目	B組 2回目
肯定的な回答	91%	88%	88%
どちらでもない	4%	12%	9%
否定的な回答	4%	0%	3%
5段階評価平均	4.6点	4.4点	4.3点

表4 アンケート調査 設問2 [3] 結果の分類

	A組	B組 1回目	B組 2回目
肯定的な回答	100 %	91 %	82 %
どちらでもない	0 %	9 %	12 %
否定的な回答	0 %	0 %	6 %
5段階評価平均	5.0 点	4.5 点	4.5 点

表5 アンケート調査 設問2 [4] 結果の分類

	A組	B組 1回目	B組 2回目
肯定的な回答	100 %	91 %	88 %
どちらでもない	0 %	9 %	9 %
否定的な回答	0 %	0 %	3 %
5段階評価平均	4.9 点	4.6 点	4.4 点

表6 アンケート調査 設問2 [5] 結果の分類

	A組	B組 1回目	B組 2回目
肯定的な回答	43 %	33 %	27 %
どちらでもない	22 %	48 %	55 %
否定的な回答	35 %	18 %	18 %
5段階評価平均	3.2 点	3.1 点	3.0 点

## 5. 考察

### (1) プレテスト

プレテストの結果によると、高得点層の割合はほぼ同じだが、低得点層と中得点層の割合に差異が生じた。Kolmogorov-Smirnov 検定をしたところ  $p=0.995$  と大きい値を示したため比較が可能であると言える。

### (2) アンケート調査

物質とは何かと尋ねられたとき、A組、B組1回目の70%の生徒が定義について述べることができたのに対し、B組2回目は55%の生徒しか定義について答えることができなかった。単位に関する記述についてはA組が39%、B組1回目が30%、B組2回目が18%の回答となった。この結果から物質概念を紹介しない授業は物質概念の紹介の後ではなく、前に行うことが効果的だと考えられる。また、利便性に関する記述をした生徒の割合はA組、

B組2回目、B組1回目の順で高かったことから、物質の利便性を理解するためには物質概念を紹介しない授業の導入が効果的であると言える。

①「物質が粒子から構成されていることが理解できた。」

アンケートの設問2 [1] より肯定的な回答をした生徒の割合が最も高かったクラスがA組であることと、A組とB組2回目の5段階評価の平均点がB組1回目よりも高いことから、本研究で考案した水とエタノールの混合物の体積の減少を大豆とゴマで説明する授業展開が粒子概念の形成において効果的であることが明らかとなった。

②「物質が粒子で構成されているという考えは、物質を理解するために大切なことである。」

アンケートの設問2 [2] より肯定的な回答をした生徒の割合が最も高かったクラスがA

組であり、B組1回目では否定的な回答をした生徒がいなかったが、B組2回目では否定的な回答をした生徒が現れた。また、5段階評価の平均点がA組、B組1回目、B組2回目の順で高かった。この2つの結果から、粒子概念の必要性を理解させるためには、本研究で考案した水とエタノールの混合物の体積の減少を大豆とゴマで説明する授業展開が粒子概念の形成において効果的であること及び物質概念の紹介の前に行う必要があることがわかった。

③「物質の使用は、大きな数の計算を避けることに役に立った。」

アンケートの設問2 [3] よりA組の全ての生徒が肯定的な回答をし、なおかつ5段階評価の平均点が満点だったことから、考案した授業展開によって物質の使用が大きな数の計算を避けることに役立つことを強調できたと言える。しかし、B組1回目とB組2回目を比較すると物質の利便性を実感できないと回答した生徒の割合が増加している。この2つの結果から、物質の利便性を強調するためには、便利なものを紹介した上で不便さを実感させるよりも、不便さを体感した後に便利なものを紹介すべきであることが示唆される。

④「物質の利用は、質量・体積・粒子数を求めるときに役に立った。」

アンケートの設問2 [4] よりA組の全ての生徒が肯定的な回答をし、なおかつ5段階評価の平均点が最も高かったことから、考案した授業展開は物質の使用によって質量・体積・粒子数を求める上での利便性を強調できたと言える。しかし、B組1回目とB組2回目を比較すると物質の利便性を実感できないと回答した生徒の割合が増加している。この2つの結果から、上記③と同様に物質の利便性を強調するためには、便利なものを紹介した上で不便さを実感させるよりも、不便さを体感した後に便利なものを紹介すべきであることが示唆される。

⑤「物質の理解に自信がある。」

アンケートの設問2 [5] より肯定的な回答

をした生徒の割合はA組、B組1回目、B組2回目の順で高く、5段階評価の平均点も同様な順となったことから、考案した授業展開が生徒たちの物質に対する自信を高めたことがわかる。しかし、A組では35%の生徒が自信がないと回答した。自信がないと回答した理由を調べるため、肯定的な回答をした生徒と否定的な回答をした生徒の演習2の得点を調査した。否定的な回答をした生徒の得点は、8点満点中8点が2人、7点が1人、6点が2人、5点が2人、3点が1人であるのに対し、肯定的な回答をした生徒の得点は8点が7人、7点が2人、4点が1人となった。一見演習の出来が良い生徒が物質に対し自信を有し、悪い生徒が自信がないと回答したように見える。しかし、否定的な回答をした生徒の演習の誤答の記述内容を見ると、単位による減点が多いことが明らかとなった。そこで、否定的な回答をした生徒の得点から単位による減点を除いた得点分布を算出したところ、8点が4人、6点が2人、5点が1人、4点が1人となった。単位による減点を除くと半数が満点であった。このことから、物質に自信がないと回答した生徒のケアとして物理量についての演習や指導が効果的であると考えられる。また、肯定的な回答をした生徒は単位による減点はなかったことから、物質に自信がある生徒には物理量に関する指導の必要はないことが示唆される。

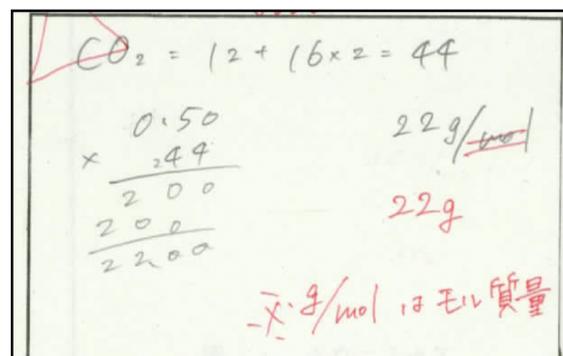


図9 単位による減点

## 6. 結論

粒子概念に焦点を当てた物質量概念に触れない授業を行った後に、物質量概念を紹介することにより第3節で記した①～③を満たすことができた。また、同時に物理量に関する演習や指導を充実させることにより④を満たすことも可能で、考案した授業展開の実践と物理量の演習や指導を組み合わせることによって⑤を達成できると考える。しかし、化学基礎の授業時数を考慮すると、考案した授業実践は多くの時間を必要とするため、演習部分は家庭学習にするのがよい。それが円滑に進むよう、授業動画の配信等を行うことを検討すべきだと考える。また、物理量に関する演習や指導は小学校から長い期間に渡って行われているのにも関わらず、身につけていない生徒が非常に多い。これは、公式の意味もわからず使用することによる弊害だと筆者は考える。特に文章題を解くのが苦手と感じるのは、立式までの段階に不安を持つからであろうと伊藤ら(2021)が述べている<sup>3)</sup>。筆者の作成した演習問題は文章題であるため、立式に困難を感じた生徒は多いと推測できる。そして、この困難を解消するための方策として単位付き量計算式の活用が有効であると筆者は考える。問われている物理量と自身の求めた物理量の単位が一致しているか、またその物理量を求める際に活用した計算式は正しいものなのかを確認する一助にもなると考える。つまり、自身の思考を式というツールを用いて整理する際に単位付きの量計算を行わせることは必要なことだと考える。

## 参考文献

- 1) 後藤顕一, 飯田寛志, 野内頼一, 西原寛, 渡部智博, 「教養の化学—暮らしのサイエンス—」, 化学同人, pp. 35-40, 2019
- 2) 今井泉, 濱中正男, 下篠隆嗣, 「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, No. 2, pp. 173-181, 2005
- 3) 伊藤雅貴, 山下和之, 「量計算の式に単位を含めるか」, 山梨大学教育学部紀要第31号

2021年掲載予定

- 4) 文部科学省, 「中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編」, pp. 46-58, 2017
- 5) 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」, pp. 87-92, 2018
- 6) 西尾郁哉, 「化学実験がもたらす内容理解と化学実験を活かした授業構成」, 令和元年度教育学実践研究報告書, pp. 353-360, 2020
- 7) 西尾郁哉, 手塚麗湖, 山下和之, 「粒子概念と物質量の利便性に焦点を当てた物質量概念形成のための授業実践」, 山梨大学教育学部附属教育実践研究総合センター研究紀要, 2021年3月掲載予定
- 8) 竹内敬人, 「改訂化学基礎」, 東京書籍, pp. 104-108, 2020