

高校化学における粒子理解を深める教材開発と指導の工夫

～物質質量[モル]の理解に向けて～

寺澤 幸平

金沢大学大学院教職実践研究科 学習デザインコース

【概要】「物質質量」は高等学校での化学の学習において最も重要な概念の一つである。しかし、その理解の困難さも広く知られている。「物質質量」の理解の困難さの要因として「日常の体験をもとに理解することができないこと」、「複合的な概念であること」が挙げられる。そこで、本研究では、①「粒子」を実感できるモデルや材料を用いること、②「物質質量」を意味のある数としてイメージさせることを工夫することによって、「物質質量」の理解が進むと考え、その効果を検証することを目的とした。検証方法は、授業において概念地図法を用い、生徒の「物質質量と粒子の数」と「物質質量と質量」のそれぞれの関係づけを分析した。また、ペーパーテストの結果から IRS 分析法を用いて理解の順序性を分析した。その結果、概念地図での「mol」と「モル質量」の繋がりがみられ、理解の順序性からは、モルをもとに、粒子の数や質量についての理解の順序性がみられた。このことから、本授業における工夫により、「物質質量」の理解に一定の効果があることが明らかとなった。

I はじめに

1. 研究の背景

高等学校学習指導要領において、教科「理科」の目標は「複数の科目を学ばせ、科学的な素養を幅広く培い、科学的な見方や考え方を深めるとともに、科学的な自然観を育成する。」ことである。そのうちの「化学基礎」では「化学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う。」と定められている。これは「物質に関する原理・法則の基礎を理解し、物質とその変化を微視的にとらえる見方や考え方を養うこと。」であると述べられている。

「化学の基本的な概念や原理・法則」の中に「物質質量」という概念がある。これは粒子の数に基づく量の表し方である。これを理解することで、目に見えない化学反応における物質の量的関係などを、質量や体積といった

直接測定できる値から知ることができる。高等学校化学の導入段階における最も重要な概念の1つである。

「物質質量」に関しては杉本（2017）のレビューで紹介されたように様々な観点から多数の研究がなされてきた。しかし、「マンガ 化学式に強くなる一さようなら、「モル」アレルギー（ブルーボックス）」（高松、2001）のような本が出版されるほど、一般的に物質質量の理解は難しく、学習する際のつまずきの原因になっている。

2. 問題の所在

学習のつまずきの原因として、2つの要因が考えられる。1つは「物質質量」そのものの理解の困難さである。もう1つは学習する高校生の「化学」に対する意識である。

物質質量の理解の困難さについては、堀

(1996)は、「生徒の持つ説明の理論（生活体験を基礎とした自然の見方考え方を基礎とする説明）と科学の説明の理論のずれ」と「モル概念を構成する概念の多様性。モル概念を構成している一つひとつの基礎的・基本的概念から理解していかなければならない。しかもそれらの概念も化学の苦手な生徒にとっては理解が難しいことがある。」にあると述べている。また、松浦・片平（2002）は「モルは日常ではほとんど使われない単位であるため、生徒たちがモルの有用性を実感する機会が少ない。」こと、「モルは他の1つの量のみを表す単位と異なり、『質量・粒子数・気体の体積』の3つの量を表す。」ことにあると述べている。

これらを整理すると、物質量の困難さは①日常の体験で得られる知識をもとにすることができないこと、②物質量は複合的な概念であることにあると言える。

「化学」に対する意識について、松浦・片平による高校一年生の実態調査では、理科（化学）の嫌いなところは「難しい計算をするところ」がもっとも多く、特に濃度計算が苦手であると回答している生徒が多かった。また理科は「難しい・理解できない」との回答も多かった。

高等学校は小・中学校より理論的なことを学習するため、より多くの生徒が「難しい・理解できない」と感じる事が予想される。さらに生徒の自己効力感も加味して考えると、一度「難しい・理解できない」と感じると、「自分には物質量（モル）を理解する能力がない」と決めつけ、理解することを諦めてしまう可能性がある。実際にそのような生徒に数多く出会ってきた。

物質量の理解の困難さの①については、物理学における「慣性の法則」の学習でも同じようなことが言える。「動いている車もアクセルを踏まなければいずれとまる」「力を加えなければ動いている物体は止まる」といっ

た科学的にはあやまった考え方があげられる。実際には摩擦力が働いているために止まるのであり、動いている物体に力を加えなければ物体はそのままの運動を続ける。これらの誤った考え方は、「日常の体験」とは異なるものでも、摩擦力を極力減らした状態でのモデル実験などを体験することで、「科学の説明理論」を理解しやすくなる。

生徒たちは実生活で身の回りにある様々な物体（食品・文房具・衣料品など）の数を数えることができている。その実生活で使う数え方と、原子や分子の数え方も根本的には同じであり、モデルを使った体験をすることで、それらのイメージを繋げることができるのではないかと考える。それにより、「物質量」についても「実体験」をもとにして理解しやすくなるのではないかと考えた。

3. 研究の目的

以上のことから、本研究では高等学校1年次の「化学基礎」における物質量と化学反応の単元において、粒子モデルによる「実体験」を取り入れた授業実践を行い「実体験」が物質量（モル）の理解につながるかを検証することとした。

II 研究方法

1. 授業におけるモル概念形成の手立て

以上のことから、生徒のモル概念を形成するために、授業において次の点を工夫した。
①物質を構成する目に見えない粒子をイメージできるように、「粒子」を実感できるモデルや材料を用いる。

電子配置・イオンの生成の単元では磁石を用いて「電子」を表し、一つ一つの電子を粒としてとらえることができるようする。

ビー玉や、米粒、小豆など手に取って数えられるものを使い、相対質量やアボガドロ数に関する実験を行う。

②「物質量」を意味のある数としてイメー

ジさせる。

内ノ倉（2009）は高校生の物質量とモルの関係性に関する認識の実態調査を行っている。そこでは、質量を日常的に経験する「重さ」として捉え、そこから表面的な言語表記に着目して、質量の意味から物質量概念を形成する生徒がいることを明らかにしている。また、12本=1ダース、 $6.0 \times 10^{23} = 1$ モルの例をダースとモルの関係ではなく、ダースと基準となる12という数へと関心が焦点化され、間違った対応関係を導いている生徒がいることを明らかにしている（「12」という数字は原子の相対質量の基準となる ^{12}C 原子の質量にも用いられている）。

そこで、「物質量」は「時間」、「質量」、「長さ」と同じSI基本単位であり、 6.0×10^{23} という数字には意味があることを理解させることを考えた。また、12本=1ダース、 $6.0 \times 10^{23} = 1$ モルという例を用いずに説明することで、表面的な単語や数値に焦点化させずに概念形成をうながすことを考えた。

2. 調査対象および対象とした授業

石川県立金沢伏見高等学校1年生3クラス120人（特別進学クラス1クラス40人、普通クラス2クラス）計120人を対象に授業を行った。授業は、化学基礎で「電子配置、イオンの生成」2時間、「物質量と化学反応式」9時間である。

3. 授業実践期間

平成31年6月～令和元年11月

4. 分析方法

(1) 分析方法の概要

本研究の手立てとして、①粒子を実感するモデル化、②物質量を意味ある数量としてとらえることの二つをあげた。これらの効果について、授業を通して、粒子をどのように実感し物質量の意味をどうとらえているかにつ

いて、授業におけるワークシートへの記述と概念地図法を用いて、粒子を他の事象や概念などどのように関連付けているかを分析することにした。

また、粒子や物質量の理解の状況を明らかにするため、本授業を通しての理解度およびどのような理解の順序性が生じたか、ペーパーテスト（定期考査、小テスト）の得点を対象にIRS分析法を用いて分析することにした。

(2) 概念地図法による分析方法

本研究では「物質量と化学反応式」の単元の学習前と「物質量と気体の体積」の学習後に概念地図の作成を行い、とくに「物質量」と「質量」の関連について両者を比較検討することにした。

概念地図の作成では、原子を中心として生徒自身が理解しているキーワードの関係性を図示させる。下図のようなキーワードを提示するが、それを用いるかは生徒の判断にゆだねる。1回目の調査では、図1のキーワードを提示した。2回目の調査では、「物質量」や「モル」とどのような結びつき方をしているかを調べるため、図2のキーワードを示した。ここでは、物質量の単元と直接的な関係の薄い「イオン」や「結合」に関する語句は外し、「相対質量」や「気体の体積」、「原子量」などのワードを追加した。

「必要なキーワードが書かれているか」、「キーワードの結びつきが化学的に誤っていないか」という観点から分析し、どのような思考の流れで概念形成が行われるかを検証することにした。

語群

原子核 陽子 電子 中性子 質量数 元素
同位体 放射性同位体 電荷 陽イオン 陰イオン
単原子イオン 電子配置 電子殻 価電子 電子対
不対電子 共有電子対 非共有電子対 分子
共有結合 イオン結合 電気陰性度 結合の極性

図1 概念地図1回目キーワードの例

語群

質量数 元素 同位体 分子 相対質量

平均相対質量 原子量 分子量 式量

物質質量 物質の質量 アボガドロ定数 mol

モル質量 気体の体積 アボガドロの法則

図2 概念地図2回目キーワードの例

(3) IRSによる分析方法

IRS分析は学習者がテストの各項目(問題)に対してどのような理解の順序性を形成しているかを、項目を系列化する方法である。項目関連構造(IRS)は1-0得点表から学習者の項目に対する理解度の順序性を求め、その結果をもとにグラフ化する。例えば、項目1を理解している学習者は項目2を理解している、というような項目間の理解度の順序性を見ることができる。

「物質質量」に関する問いを以下のA~Fのカテゴリーに分類した。2学期中間考査ではA~Dの問題を、「物質質量と気体の体積」の単元終了後にはA~Fの問題で行うことにした。

A 物質質量(mol)から粒子の数(個)への変換

B 粒子の数(個)から物質質量(mol)への変換

C 物質質量(mol)から質量(g)への変換

D 質量(g)から物質質量(mol)への変換

E 物質質量(mol)から気体の体積(L)への変換

F 気体の体積(L)から物質質量(mol)への変換

以上の問題について、IRS分析により項目の理解度と理解の順序性を調べた。その結果と概念地図法で調べた結果を照らし合わせて、授業実践の効果を検証することにした。

Ⅲ 授業実践と生徒の学習状況

1. 授業の概要

①「電子配置、イオンの生成」

●概念地図1回目

②導入「数」と「質量」どちらで考える?

③相対質量

④原子量・分子量

⑤物質質量

⑥物質質量と粒子の数

⑦物質質量と質量

◎中間考査

⑧物質質量と気体の体積

◎小テスト

●概念地図2回目

⑨化学反応式

⑩化学反応式の量的関係

2 授業の工夫点と生徒の学習状況

(1)「電子配置、イオンの生成」

原子の電子配置とそれをもとにした単原子イオンの生成についての授業を行った。ボーアのモデルで表されている電子配置について、小さな磁石を電子と見立てて、ミニホワイトボード上で電子の移動などを学習した。

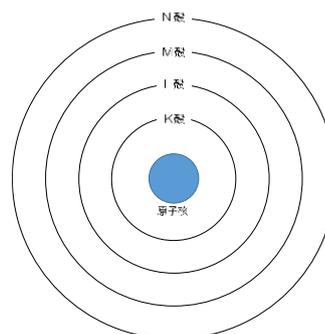


図3 ボーアのモデル

物質を構成する基本粒子である原子も陽子・中性子・電子といった粒子からできており、陽子と中性子が原子核を構成していること、電子は原子核の周囲に存在していること、電子が存在する場所(電子配置)には規則性があることを学習した。電子配置の学習においては、モデルを利用した。

ナトリウム原子の電子配置をモデルで表すと図4のようになる。ナトリウム原子の最外殻電子を他へ移動すると、原子核中の陽子の数より電子の数が1つ減り、1価の陽イオンができる。

この様に磁石を使って電子配置のモデルをつくり、それを動かすことで、電子が「粒子」であることや電子の移動によって単原子イオンが生成するイメージを持たせるようにした。

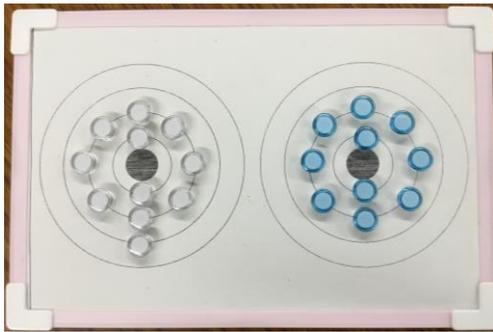


図 4 Na 原子と Na⁺ の電子配置

(2) 物質量単元の導入

物質量の単元の導入として、一般に用いられているモノの量の表し方（「個」、「g」）が原子や分子などでそのまま使えるのか、どちらがより便利なのかをモデルを用いて体感する授業を行った。使用したワークシートを図 5 に示す。

キャラメルや飴などを制限時間内に指定した質量分を量り取るという操作をさせた。一度目は一つずつ質量を測りながら行うので、制限時間をクリアできない。再度挑戦させる

と、質量ではなく数を数えて量り取ることができ、制限時間をクリアすることができた。

次に、小豆を 1180 粒使う「あんこ」のレシピを見せた。小豆は数を数えるより、質量で量り取るほうが簡単である。このように、菓子等の食品での内容量の表示は、粒の大きいものは「数」で表し、粒の小さいものは「質量」で表すほうがより都合がよい。

原子では「数」と「質量」どちらで考えるかを、ビー玉を用いたモデルで試してみた。生徒に予想させると、原子は小さいので質量で考えるという意見が大勢を占めていた。

原子 A (●) と原子 B (○) から分子 C (○●○) を作ることを想定して次のような 2 つ課題を設定し、その解決方法を考え実行させる。原子 A は赤ビー玉 (大)、原子 B は白ビー玉 (小) を用いた。

課題① 原子 A 49g から分子 C をつくるために必要な原子 B を持ってくる。

課題② 分子 C を 102g 作るのに必要な原子 A と原子 B を持ってくる。

第 2 編 物質の変化
第 1 章 物質量と化学反応式

「数と質量どちらで考える？」

・お菓子の詰め合わせを作ろう

内容	
キャラメル	22g
あめ	21g
ラムネ	22g

→ もっと解りやすい表示は？

・あんこを作る

材料	
小豆	1180粒
水	200cc
砂糖	40g

→ どうやって数える？

生活の中では
粒の大きいもの → _____ で考えたほうが便利
粒の小さいもの → _____ で考えたほうが便利

原子だったら？ → 粒が _____ から _____ で考える？

・モデルで試してみよう。

原子 A ● と原子 B ○ から分子 C ○●○ を作る。

次の課題についてその解決方法を書き、実際にやってみよう。

課題 1) 原子 A 49g から 分子 C を作るために必要な原子 B を持ってくる。

方法 手順 1
2
3
4
5

原子 B は _____ g 必要である。

解決できた？ Yes/No → もっと簡単に出来る方法はないか考えてみよう

課題 2) 分子 C 102g を作るために必要な原子 A と原子 B を持ってくる。

方法 手順 1
2
3
4
5

原子 A は _____ g、原子 B は _____ g 必要である。

解決できた？ Yes/No → もっと簡単に出来る方法はないか考えてみよう。

原子について考えるとき、「数」・「質量」どちらで考えたほうが便利だろうか？

あなたの意見は

	だから		が便利である。
--	-----	--	---------

グループの意見は

	だから		が便利である。
--	-----	--	---------

まとめ

H 番 氏名 _____

図 5 「数」と「質量」どちらで考える？ワークシート

課題①では原子 A と原子 B の数の比が 1 : 2 であるので、単純に 2 倍の質量が必要と考える生徒が多いのではないかと予想した。予想通り、「A が 49g なので、B はその 2 倍必要であるから、98g である。」とする解答が最も多かった。実際に A 49g と B 98g から分子 C をつくと原子 B が大量に余る。それを見て、誤りに気づき次のような正しい解法にたどり着く生徒が多かった。

手順 1 「原子 A (赤ビー玉) を 49g 量りとり、その数を数える。」

手順 2 「原子 A の数の 2 倍の数の原子 B (白ビー玉) の質量を測る。」

課題②では、分子 C 1 つの重さを基準にして 102g になる数を求めることができるかがポイントとなる。生徒の大半は分子 C 1 つの重さを測るところから始めていたが、その後の手順として計算で求める方法、分子 C の数を 1 つずつ増やして重さを測る方法など、生徒によって異なっていた。

課題2) 分子C 102gを作るために必要な原子Aと原子Bを持つてくる。

方法 手順1 分子Cは11g
2 102÷11=9
3
4 Aは11×6=66g Bは11×2=22g
5 102g-66g=36g

原子Aは 54 g、原子Bは 48 g 必要である。

課題2) 分子C 102gを作るために必要な原子Aと原子Bを持つてくる。

方法 手順1 赤い玉(11g)、白い玉(21g)の重さを11g(11g)
2 このセットを何回か入れて102gに近づける
3 102gに近づいたら赤と白の数を測る
4
5

原子Aは 54 g、原子Bは 48 g 必要である。

図 6 課題②解決手順

課題①、課題②の後に、原子について考えるときは「数」・「質量」どちらで考えると便利かという問いを行った。「数」と「質量」どちらかだけでは課題①、課題②は解決することはできなもので、「両方必要」であるのだが、あえて「どちらが」という聞き方をした。個人の考えを書いた後に、グループで話し合いグループでの意見を出させた。出てきた意見では「数」と「質量」ほぼ同じ数となったが、あるクラスでは 3 つのグループが、ほかのクラスではそれぞれ 1 つのグループが

「両方必要」との意見を出した。

それらのグループの意見を踏まえて、まとめにおいて、「数」と「質量」の両方が必要であることを確認した。

結果(4) 小豆 12 g、米 (工) g、大豆 (才) g の個数をまとめよ。

	相対質量 [g]	相対質量の値と等しい質量 [g] を量り取ったときの個数 [個]
小豆 (あずき)	12 (基準)	N _{小豆} 72
米	工 1.6	カ 74
大豆 (たいず)	才 24	キ 72

結果(4) 小豆 12 g、米 (工) g、大豆 (才) g の個数をまとめよ。

	相対質量 [g]	相対質量の値と等しい質量 [g] を量り取ったときの個数 [個]
小豆 (あずき)	12 (基準)	N _{小豆} 71
米	工 1.5	カ 69
大豆 (たいず)	才 24	キ 69

図 7 小豆、米粒、大豆の相対質量と粒の数

(3) 相対質量、原子量、分子量

米粒、小豆、大豆を使い、相対質量 (小豆を基準とする) について学習する。さらに、相対質量の値と同じ質量の中に含まれる粒の数が同じになることを体感する授業を行った。

米粒、小豆、大豆をそれぞれ 12g 量り取り、その中に含まれる粒の数を数える。その値から、1 粒の質量を計算し、小豆 1 粒の質量を「12」としたときの米粒、大豆の相対質量を求める。求めた相対質量と同じ値の質量分の米粒と大豆を量り取り、そこに含まれる粒の数を数え、それぞれの値を比較する。以上の結果から気づいたこととして、以下のようなコメントがあった。

「1 個の質量がそれぞれ違うのに、相対質量の値と等しい質量を量り取ったときの個数がほぼ等しい。」

「相対質量が違うのに個数が同じ。」

粒子の種類が異なっているにも、相対質量の値と同じ質量中には同じ数の粒が含まれていることが確認できた。

実際の原子の相対質量も、小豆、米粒、大豆と同様に求め、その値を計算した。同位体を考慮に入れた平均分子量を「原子量」とい

合は A1:17%、A2:67%、A3:14%であった。

A1 の概念地図の例を図 8 と図 9 に示す。このグループでは、「電子の数が増える、減る」、

「電子を受け取る、放出する」の記述がみられ、「電子」を粒子としてとらえ、イオンの生成を理解できている。図 8 は書かれているワードが最も多いものであるが、「価電子イオン」といった存在しないワードが書かれていたり、同位体の例として「 O_2 (酸素), O_3 (オゾン)」(これは同素体) が挙げられたりしている。沢山の知識や概念がつながっており、粒子としてのとらえ方はできているが、中には誤った繋がりなども見られた。

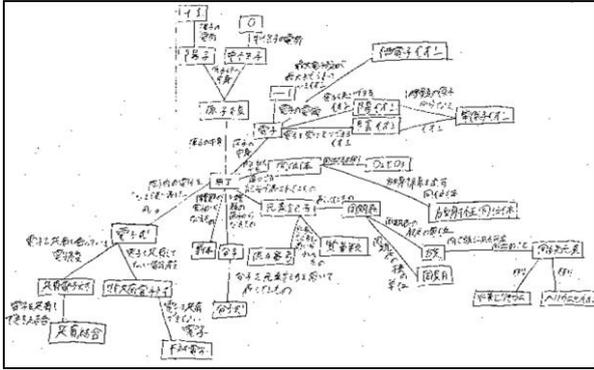


図 8 概念地図 (A1 の例)

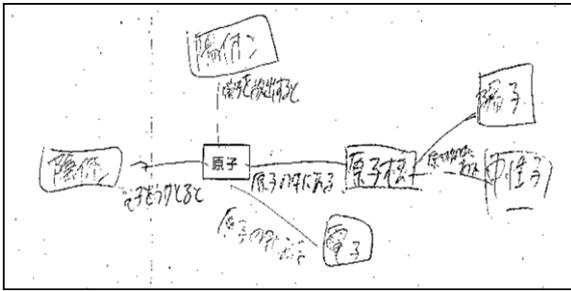


図 9 概念地図 (A1 の例)

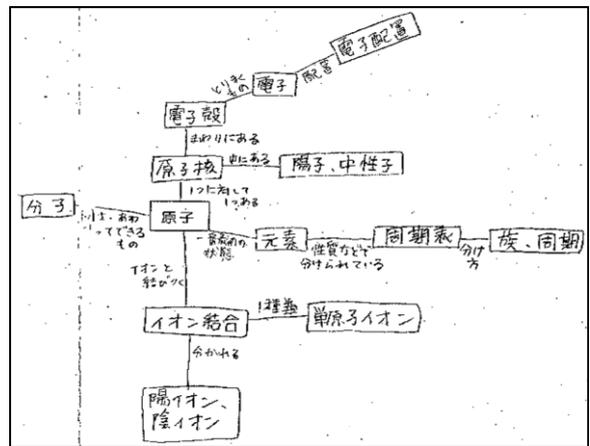


図 12 概念地図 (A2 の例)

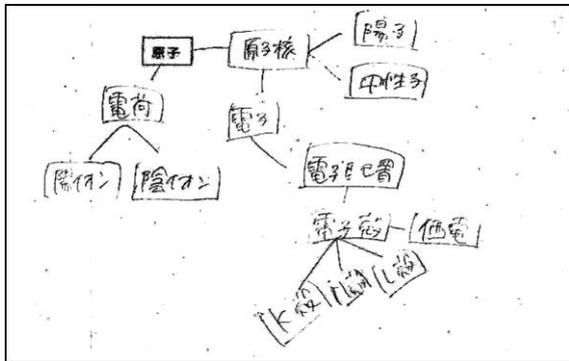


図 10 概念地図 (A2 の例)

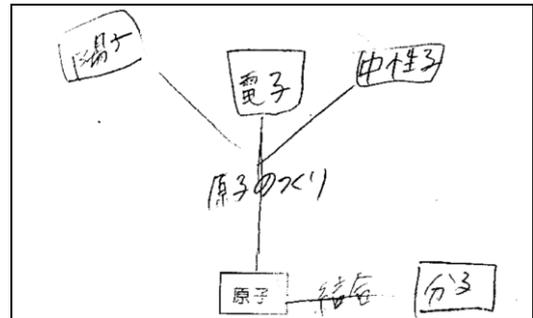


図 13 概念地図 (A3 の例)

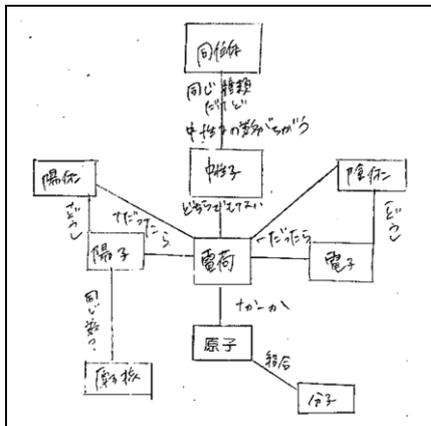


図 11 概念地図 (A2 の例)

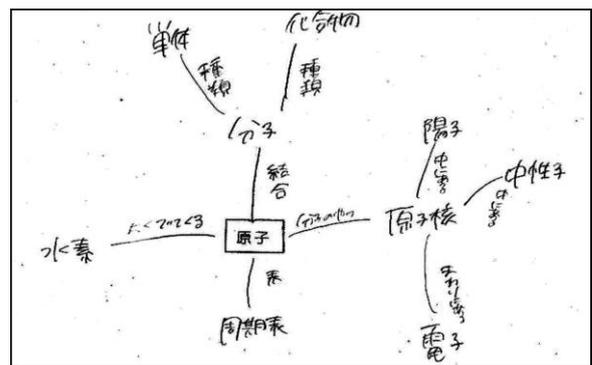


図 14 概念地図 (A3 の例)

図9では、繋がりは正しいが、その広がりが少ない。モデルを利用して学習した内容については概念形成と知識の定着ができていないのではないかと考える。

A2の例は図10と図11に示した。図10は「原子」→「電荷」→「陽イオン」、「陰イオン」の繋がりがある。図11では「電子」→「陰イオン」、「陽子」→「陽イオン」の繋がりがある。これは、表面的に見える電気的な性質でのつながりができている。また、図12のように「イオン結合」が分かれて「陽イオン」「陰イオン」というものもあった。これは中学校での電解質の電離と、陽イオンと陰イオンとの「イオン結合」が結びついていいる。いずれも、「電子の移動によってイオンができる」という理理解がきておらず、「粒子」としてのとらえができていないとみることができる。

A3は、図13と図14に示したように「原子」の構造や物質の分類については正しいつながりができている。中学校理科や化学基礎の原子の単位については理解していることはうかがえるが、「粒子」としてのとらえができていないかどうかの判断ができなかった。

(2) 物質量の意味のとらえ方

2回目の概念地図での調査結果については、「物質量」の意味をどのように捉えているかを質量との関係において、書かれたワードの数やそのつながりから分析した。

物質量、mol、モル質量、 6.0×10^{23} 、アボガドロ定数、原子量、分子量、式量を書いた人数は以下の通りである。

- 物質量 54人
- mol(モル) 84人
- モル質量 58人
- 6.0×10^{23} 31人
- アボガドロ定数 50人
- 原子量 85人
- 分子量 79人

式量 40人

「原子量」、「mol」、「分子量」の順に多く書かれており、「モル質量」、「物質量」、「アボガドロ定数」と続いている。

実践の中で、生徒自身が行った相対質量の実験と関連の深い「原子量」が最も多かった。また、「物質量」という言葉よりもその単位である「mol」の方が生徒の中に定着している。「分子量」は「原子量」から求めることができ、120人全員が小テスト(再テスト含む)を合格したことから「わかること、できること」であるため、上位にきたのではないかと考える。

ワードのつながりを見ると最も多くつながりがあったのは「mol」と「モル質量」であり、50人いた。図15のように「モル質量」=「1molあたりの質量」と記述してあるものや図16のように「モル質量」=「原子量」と同じになると記述してあるものは正しい関係性を理解していると判断できる。しかし、図17や図18のように繋がってはいるが、その関係性のはっきりしないものや、図19の

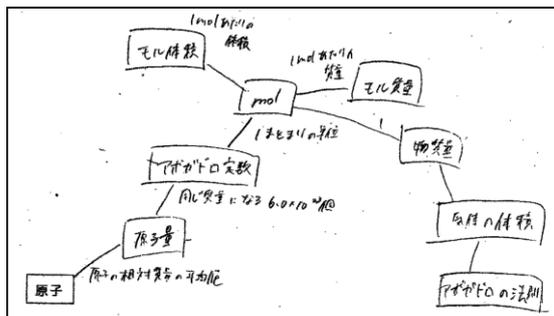


図15 概念地図 (molとモル質量の関係あり)

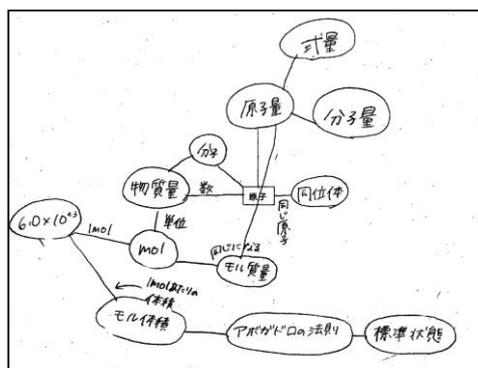


図16 概念地図 (1モル当たりの質量あり)

ように「モル質量」の単位を「mol」としているものもあった。

「物質質量」と「質量」が直接つながっていたのは6名であった。共通する「質量」という語句の表面的な部分から「物質質量」と「質量」を混同して概念の理解に至ったものは少ないと考えられる。

図 15、図 16、図 18、図 19 のように、「mol」と「 6.0×10^{23} 個」または「mol」と「アボガドロ定数」が直接繋がっているのは32名であった。この繋がりは先に述べた「mol」と「モル質量」の繋がりの正誤とは関係なく見られた。

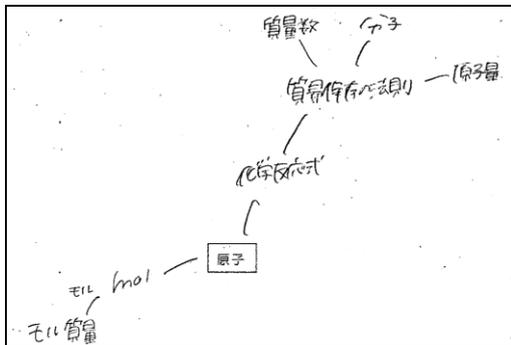


図 17 概念地図 (mol とモル質量の関係△)

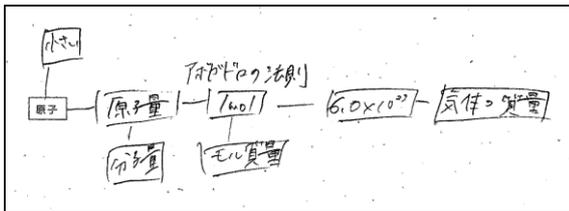


図 18 概念地図 (mol とモル質量の関係△)

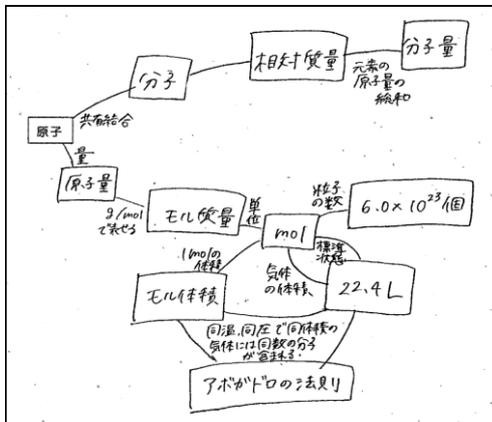


図 19 概念地図 (モル質量の単位が mol)

2. IRS 分析法による分析

(1) 中間考査

中間考査における次の 8 問を対象に、IRS 分析を行い理解の順序性のグラフを作成した。問題の記号の大文字は、問題カテゴリーの A ~ D である。

- cB₁(問 1) 銅原子 3.0×10^{23} 個の物質質量は何 mol か。
- cD₁(問 2) 鉄 28g の物質質量は何 mol か。
- cA₁(問 3) アルミニウム 2.0 mol に、アルミニウム原子は何個含まれるか。
- cC₁(問 4) カルシウム 0.75mol の質量は何 g か。
- cD₂(問 5) 二酸化炭素 2.2g の物質質量は何 mol か。
- cB₂(問 6) ナトリウム原子 7.2×10^{23} 個の物質質量は何 mol か。
- cC₂(問 7) ダイヤモンド(C) 5.5 mol の質量は何 g か。
- cA₂(問 8) カリウム 0.20 mol 中には、カリウム原子は何個含まれているか。

正答率が高い順に cB₁(問 1) > cB₂(問 6) > cC₂(問 7) > cC₁(問 4) = cD₁(問 2) > cD₂(問 5) > cA₂(問 8) > cA₁(問 3) となった。

cB₁(問 1) と cB₂(問 6)、cD₁(問 2) と cD₂(問 5) は同じカテゴリーの問題であるが正答率に大きな差が出た。cB₁(問 1) と cB₂(問 6) の差は、提示された数値の違いによるものではないかと考えられる。cD₁(問 2) と cD₂(問 5) では、cD₂(問 5) は、分子量の計算も必要となるので計算過程が増えたためではないかと考える。cC₁(問 4) と cC₂(問 7)、cA₁(問 3) と cA₂(問 8) では正答率の差は比較的小さい。各問の理解の順序性を見ると、同じカテゴリーの間では相互に関連性が見られる。順序性を見ると「粒子の数 (個) → 物質質量 (mol)」から次へとつながる系列 (cB₁(問 1) → cB₂(問 6) → cD₂(問 5) → cA₁(問 3) ・ cA₂(問 8)) と「物質質量 (mol) → 質量 (g)」から次へとつながる系列 (cC₂(問 7) → cC₁(問 4) ・ cD₁(問 2) → cD₂(問 5))

→ cA₁(問 3)・cA₂(問 8)) がある。

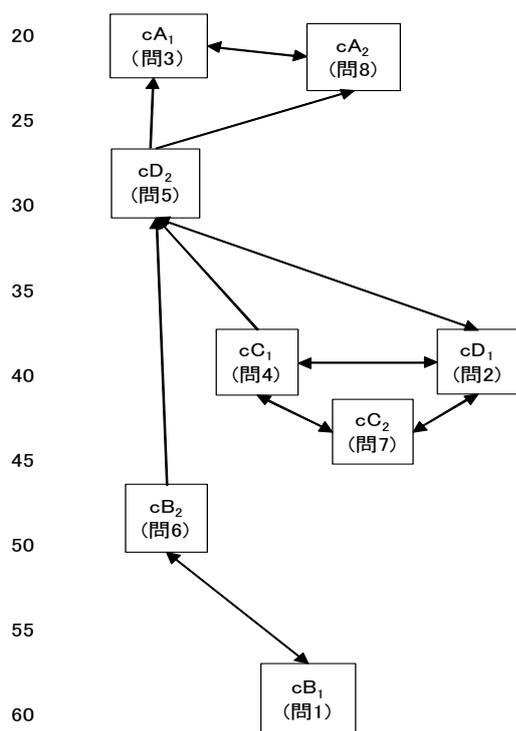


図 20 中間考査 I R S グラフ

(2) 小テスト

小テストでは A～F の 6 つのパターンをそれぞれ 1 問出題した。問題の記号の大文字は、問題カテゴリーの A～F である。

- sA₁(問 1) 水 2.0 mol には、何個の水分子が含まれるか。
- sC₁(問 2) 酸素原子 1.5 mol の質量は何 g か。
- sE₁(問 3) CO₂ 0.25 mol の体積は標準状態で何 L か。
- sB₁(問 4) S 原子 9.0×10^{22} 個の物質質量は何 mol か。
- sF₁(問 5) ヘリウム 3.36 L の物質質量は何 mol か。
- sD₁(問 6) 二酸化炭素 8.8 g の物質質量は何 mol か。

正答率は高い順に sC₁(問 2) > sA₁(問 1) > sD₁(問 6) > sB₁(問 4) > sF₁(問 5) > sE₁(問 3) となり、「物質質量と気体の体積」に関する問 (sE₁(問 3)・sF₁(問 5)) が、正答率が低かった。この 2 問は学習直後であるため、他の 4 問に比べ、問題演習の量が少ないため、正答率が低くなったと考えられる。

各問の理解の順序性をみると「物質質量 (mol) → 粒子の数 (個)」から次へつながる系列 (sA₁(問 1) → sB₁(問 4) → sF₁(問 5)、sE₁(問 3)) の系列と「物質質量 (mol) → 質量 (g)」から次へつながる系列 (sC₁(問 2) → sD₁(問 6) → sB₁(問 4)、sF₁(問 5) → sE₁(問 3)) がある。

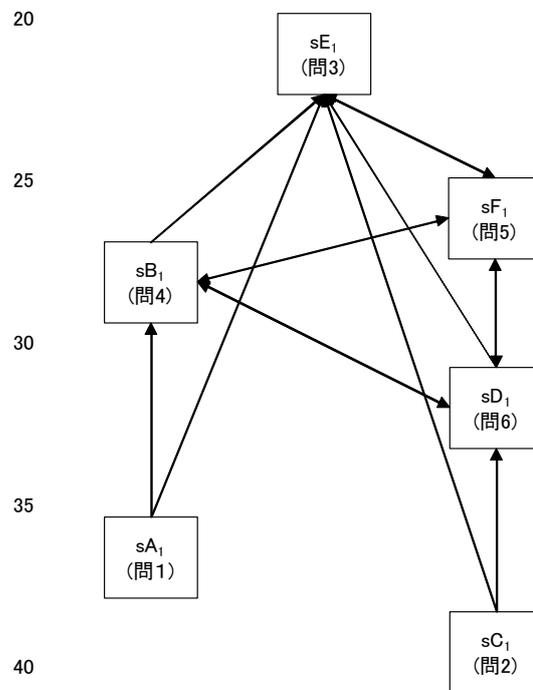


図 16 小テスト I R S グラフ

(3) I R S グラフの比較

カテゴリー A～D の問題について中間考査の問題と正答率を比較すると、表 1 のようになる。A「物質質量 (mol) から粒子の数 (個) への変換」の問題は正答率が上がり、B「粒子の数 (個) から物質質量 (mol) への変換」の問題は正答率が大幅に低下し正答率が逆転している。C「物質質量 (mol) から質量 (g) への変換」の問題と D「質量 (g) から物質質量 (mol) への変換」は若干正答率が低下しているが、その理解の順序性に変化はなかった。

カテゴリー		A		B		C		D
中間考査	cA ₁	20%	cB ₁	58%	cC ₁	39%	cD ₁	39%
	cA ₂	21%	cB ₂	48%	cC ₂	43%	cD ₂	27%
小テスト	sA ₁	36%	sB ₁	27%	sC ₁	38%	sD ₁	32%

表 1 中間考査、小テスト正答率

V まとめ

1. 結論

(1) 考察

今回の授業実践では、①「粒子」を実感できるモデルや材料を用いること、②「物質量」を意味のある数としてイメージさせることの2点の工夫を行った。その効果について、ワークシートの記述内容の分析、概念地図の分析、IRSによる分析を行った。その結果から次のことが考察される。

「粒子モデル」効果について、まず電子配置のモデルでは、電子を「粒子」として捉えてイオンの生成について理解していると判断できたのは17%に過ぎず、モデルを用いることでの「粒子」としての理解が進んだとは言えない。しかし、原子の構造やイオンの性質についての理解は84%と高い値を示しており、モデルを用いることによる他の学習効果は得られたと考える。

次に相対質量、原子量、分子量での実験では、ワークシートに「1個の質量がそれぞれ違うのに、相対質量の値と等しい質量を量り取ったときの個数がほぼ等しい。」との記述があり、実際に「質量」を量り「数」を数えることで「ある決まった数だけ集めるとその質量は相対質量と同じになる。」という関係性を見出したと思われる。これをもとに、原子や分子において「あるきまった数」が「 6.0×10^{23} 」という値であり、その数の集まりが「1 mol」であるという理解につながっていると考えられる。

「物質量」の意味のとらえ方については、「物質量と粒子の数」の関係、「物質量と質量」の関係の理解について、それぞれが独立した形で理解されていることがうかがえる。その根拠としては、概念地図で、「mol」と「モル質量」との繋がりと、「mol」と「 6.0×10^{23} 個」または「アボガドロ定数」とのつながりに相関性が見られなかったこと、IRSグラフでも「物質量と粒子の数」の系列と、

「物質量と質量」の系列が表れていることが挙げられる。

また、理解度について考えると、「物質量と質量」の関係のほうが、「物質量と粒子の数」よりも理解が進んでいると判断できる。その根拠として、まず概念地図での関連ワードの繋がりの多さが挙げられる。さらに、中間テストと小テストの比較では、カテゴリA, Bの問題よりもカテゴリC, Dの問題のほうが正答率の低下が少ない。考査に向けての勉強が終わった後でも、学習内容を忘れずにいたということであり、定着がより進んでいると考えられる。

理解の順序性に関しては、IRSグラフから、「物質量と粒子の数」の関係では「mol → 個」の考え方をベースとして、「物質量と粒子の数」の関係では「mol → g」の考え方をベースとして理解が進んでいると考えられる。

一方で、概念地図では「物質量」－「モル(mol)」の繋がりよりも、「モル質量」－「モル(mol)」のつながりのほうが多く見られた。これは「物質量」の単位が「モル(mol)」であるとの理解があいまいな生徒が多いことを示している。授業で「モル質量」(単位 g/mol) = 「1 mol当たりの質量」の関係について、「1 mol当たり」を強調したことや、「モル質量」という語句の表面的な部分でのつながりができてしまったことが原因ではないかと考える。

(2) 結論

粒子モデルを用いた「実体験」は物質量(モル)の理解を深めるうえで、一定の効果はあり、次の点が明らかになった。

- ・「あるきまった数(1 mol)」の粒子の質量は相対質量(原子量・分子量・式量)と同じになることが理解できた。
- ・「物質量と粒子」の関係と、「物質量と質量」の関係はそれぞれ独立した理解がなされている。
- ・「物質量と粒子の数」の関係では「mol →

個」の理解が、「物質質量と粒子の数」の関係では「mol → g」の理解がベースとなる。今回の実践で行った実験・実習では特に「物質質量と質量」の関係についての理解を深める効果が見られた。

2. 今後の課題

「物質質量と質量」の関係については理解が深まったと結論付けたが、ペーパーテストの結果では正答率は40%台であり、すべての生徒が理解できている訳ではない。概念のイメージとしての理解とペーパーテストでの結果をいかに結び付けていくかが今後の課題の一つである。また、概念地図の分析でも述べたが「モル(mol)」と「モル質量」の関係性についても正確に理解している生徒と、誤った概念の繋がり方をした生徒がいた。この様に誤った概念の繋がりをいかに修正するかがもう一つの課題である。

「質量」から「粒子の数」、「粒子の数」から「気体の体積」のように「物質質量」を介して考える複合的な問題などについても理解の順序性を明らかにすることで、指導法や教材の改善を行い、「化学反応の量的関係」などの単元の理解へとつなげていきたい。

また、「物質質量」の単元の前までの学習での概念形成が不十分であると、全く新しい「物質質量」の概念とのつながりが誤った形になるのではないかと考える。「モル質量」と「質量数」というつながりができていた生徒も若干名いた。今回、「物質質量」の単元を中心に実践を行ったが、それ以前の学習においても「実体験」からの理解を中心とした授業をデザインすることで、さまざまな概念をより深く理解することができるのではないかと考える。「物質質量」と直接関連のない概念でもそれを確実に理解することが誤った概念の繋がりを防ぎ、正しい概念の理解につながるはずである。今後は、化学基礎の他の単元での「実体験」を取り入れた授業実践を行っている

ことを考える必要がある。

参考文献

- ・高等学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2011）
- ・松浦良武、片平克弘『モル概念獲得のためのモル単元の導入に関する一考察-「物質質量」の単位であるモルの定義と生徒の実態を踏まえて-』（日本科学教育学会研究会研究報告 16(6), 31-34, 2002）
- ・堀哲夫『モル概念学習の問題点とモル電子天秤の導入をめぐる』（化学と教育 44(4), 265-268, 1996）
- ・内ノ倉慎吾『高校生の物質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・教科教育学篇（40）, 17-28, 2008
- ・竹谷誠『IRS テスト構造グラフの構成法と活用法』日本教育工学雑誌 5(3), 93-103, 1980
- ・杉本剛『物質質量 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), 1-11, 2017
- ・『化学実験書』石川県高等学校教育研究会 理化部会 化学実験所検討委員会
- ・村田一平『物質質量の指導に関するアンケート調査とその検討』北海道立教育研究所 附属理科教育センター研究紀要（25）, 62-65, 2013-03
- ・寺田光宏『中等教育化学における文脈を基盤とした学習プログラムの構築—基本概念に注目して—』日本科学教育学会年会 論文集 41(0), 115-116, 2017
- ・加茂川恵司『高大生のインターネット相談から見る化学の分かり難さ』日本科学教育学会研究会研究報告 25(3), 77-80, 2010

- ・ 森川鐵朗『物質量とモルをめぐる「思い違い」－教師教育のための分析と教材化－』
上越教育大学研究紀要 25(1), 117-134,
2005
- ・ 稲田修一他『生活体験と科学的定義とのギャップを解消するための新たな授業展開』
岡山大学教師教育開発センター紀要 (8),
31-43, 2018-03-20