

高等学校 理科（化学）

粒子の概念を深める安価で効果的な演示実験の工夫について
—モルの概念導入と定着・計算に先立って—

高校教育課 指導主事 馬 渡 孝

要 旨

化学の授業への興味・関心を引き出すことができる大きなきっかけとして実験が挙げられる。そこで文部科学省検定済教科書中学校理科（粒子分野）の各単元の内容構成と扱っている物質を調べ、中学校理科と高等学校「化学基礎」との円滑な接続を図ることができる効果的な演示実験を提案した。

キーワード：新学習指導要領 高等学校 化学 粒子 モル 演示実験

I 主題設定の理由

平成21年告示高等学校学習指導要領（以下「新学習指導要領」という。）における理科では、基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、小・中・高等学校を通じた内容の構造化が図られているのが大きな特徴であると言われる。また、高等学校学習指導要領解説理科編理数編（2009）における「化学基礎」の目標には「日常生活や社会との関連を図りながら物質とその変化への関心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、化学的に探究する能力と態度を育てるとともに、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。」とある。また、内容の構成とその取扱いには「ア 中学校理科との関連を考慮しながら、化学の基本的な概念の形成を図るとともに、化学的に探究する方法の習得を通して、科学的な思考力、判断力及び表現力を育成すること。」とある。平成24年度の高等学校入学生から年次進行で理科の新学習指導要領が実施され、大学進学を控えた1・2年次生の多くは、「化学基礎（標準単位数2単位）」を履修することになる。「化学基礎」では、中学校理科との関連を考慮しながら、抽象化された形で提示される概念や原理・法則を単に記憶することなく、観察、実験などで幾つかの事象を通して同一の概念によって説明できることを見出させたり、具体的な性質や反応と結びつけて理解させ、それらを活用する能力を身に付けさせることが重要なポイントになる。その中でも冒頭の理論分野の単元は、まさに肉眼で観察できない粒子の抽象的な学習内容が連続するため、身近な物質を用いて粒子に関する幾つかの演示実験を導入したり、巨視的な結晶格子模型を用いたりして興味・関心を促すきっかけを与えながら、思考を整理する時間を設けて理解させ、活用させるための工夫が必要である。

一方、校種間あるいは科目間において構造化が図られた新学習指導要領の内容を円滑かつ効果的に接続するためには、それらの構造の違いをよく理解し、教材の有効的な活用方法を考えた上で要点を絞って教えることが肝要である。したがって、まず本研究では文部科学省検定済教科書中学校理科（粒子分野）の教科書で、粒子の概念が具体的にどのような物質を用いていかに形成されているのかを調べた（表1～3）。次に高等学校1・2年次生にとって「化学基礎」の理論分野で取り扱う概念が比較的容易に見出されて理解されたと考え、中学校の学習で触れた物質を活用した演示実験を「化学基礎」における学習項目の順に沿って提案した。この分野での演示実験は専門書や教科書の中には既に掲載しているものが多数ある。しかし、いかに内容が優れていても、高価な物品を新たに購入しなければならない点が問題である。したがって、敷居を低くして、百元ショップや文房具店あるいは薬局等で入手できる物品を活用し、同等の実験を手軽に行えることが教育現場で受け入れられるポイントではないかと考え、その点に留意して研究することとした。

II 研究目標

中学校の教科書で頻繁に用いられる物質や手軽に入手できる物品を活用して、「化学基礎」の理論分野で

円滑な接続が行えるような安価で効果的な演示実験を提案する。

Ⅲ 研究の実際と考察

1 中学校及び高等学校における「粒子」の取扱いと接続について

(1) 各校種間の「粒子」に関する内容の構成

化学分野は、以下の図1のように粒子を柱とした①～④の4つの項目に分けられて構成されている。中学校3年生のエネルギー分野では、①粒子の存在に触れながら、その内容を取り扱う。

実線は、新規項目。破線は、移行項目。☆印は、選択から必修とする項目。

| 校種 | 粒 子 | | | |
|------|---|--|------------------------------------|------------------------------|
| | ①粒子の存在 | ②粒子の結合 | ③粒子の保存性 | ④粒子のもつエネルギー |
| 第1学年 | 物質のすがた ・身の回りの物質とその性質(プラスチックを含む) ・気体の発生と性質 | | 水溶液 ・物質の溶解 ・溶解度と再結晶 | 状態変化 ・状態変化と熱 ・物質の融点と沸点 |
| 第2学年 | 物質の成り立ち ・物質の分解 ・原子・分子 | 化学変化 ・化合 ・酸化と還元(中3から移行) ・化学変化と熱(中3から移行) | | |
| | | 化学変化と物質の質量 ・化学変化と質量の保存 ・質量変化の規則性 | | |
| 第3学年 | 水溶液とイオン ・水溶液の電気伝導性 ・原子の成り立ちとイオン ・化学変化と電池 | 酸・アルカリとイオン ・酸・アルカリ(中1から移行) ・中和と塩(中1から移行) | | |
| | エネルギー ・様々なエネルギーとその変換(熱の伝わり方、エネルギー変換の効率を含む) ・エネルギー資源(放射線を含む) 科学技術の発展 ・科学技術の発展☆ 自然環境の保全と科学技術の利用 ・自然環境の保全と科学技術の利用(第2分野と共通) | | | |
| 高等学校 | 化 学 基 礎 | | | |
| | 化学と人間生活とのかかわり ・人間生活の中の化学 ・化学とその役割 | | | |
| | 物質の構成粒子 ・原子の構造 ・電子配置と周期表 | 物質と化学結合 ・イオンとイオン結合(Ⅱから移行) ・金属と金属結合(Ⅱから移行) ・分子と共有結合(Ⅱから移行) | 物質の探究 ・単体・化合物・混合物 ・熱運動と物質の三態 | |
| | 物質と化学反応式 ・物質質量 ・化学反応式 | 化学反応 ・酸・塩基と中和 ・酸化と還元 | | |

図1 中学校理科と高等学校「化学基礎」の「粒子」を柱とした内容の構成

(2) 中学校での「粒子」の概念の取扱いについて

文部科学省検定済教科書中学校理科(粒子分野)のモデルを取り扱っている項目及び関連する物質の一覧(該当部分を中心に抜粋し、学年ごとの特徴を以下の表1～表3にまとめた。)

表1 1年生 P4～57

| 小単元名及び項目 | 関連する物質 |
|-----------------|--------|
| 3 物質を温めたり冷やしたりし | |

| | |
|--|--|
| てみよう 状態変化 実験 3 ロウ(液)とロウ(固)の密度 話し合ってみよう 科学の窓 | 鉄(固)⇌鉄(液), 食塩(固)⇌食塩(液), 窒素(気)⇌窒素(液), 水(液)⇌水(気) エタノール(液)⇌エタノール(気), 二酸化炭素(固)⇌二酸化炭素(気) 粒子モデル 水の状態変化と体積(液体のロウに沈む固体のロウ) 蒸発と沸とうを粒子モデルで考える 粒子モデル |
| 1 物質が溶けるようすを調べよう 考えてみよう 水溶液の濃さの表し方 説明してみよう | 図: 物質が水に溶けるようす 食紅, 硫酸銅, 砂糖(ブラウンシュガー) 図3の砂糖が溶けるようすを粒子モデルでかいてみよう 粒子モデル 図5砂糖が水に溶けるときの粒子モデル 粒子モデル 質量パーセント濃度 $\text{質量パーセント濃度} [\%] = \frac{\text{溶質の質量} [\text{g}]}{\text{溶液の質量} [\text{g}]} \times 100$ 濃い砂糖水とうすい砂糖水のちがいを粒子モデルで表してみよう 粒子モデル |
| 2 水溶液から溶質を取り出そう 基本操作 単元末問題(説明してみよう) | 食塩, ミョウバン ろ過のしかた 粒子モデル デンプンのろ過 ビニル袋に閉じ込めたエタノールの粒子を○で表したとき, 液体と気体のようすを粒子モデルで表してみましよう。 粒子モデル |

1年生の特徴

物質自体が変化をしない物理変化に焦点を絞って教えていることが特徴である。物質自体が変化しないので、その物質を構成する分子が個数や質量の上で変化がないということに基づき、エタノールの液体と気体間の状態変化や二酸化炭素の固体と気体間の状態変化について、いずれも閉鎖系の例を挙げている。また、ロウの液体と固体の状態変化を例にして、三態の体積変化とそれぞれの状態における粒子配列や密度についても粒子モデルを基に粒子の概念を育成している。この単元は小学校5年生との接続部分でもあるが、中学校1年生でも溶質と溶媒から生成した水和粒子が徐々に拡散するようすを粒子モデルとして表現しやすくするために、いずれも有色物質を用いているのが特徴である。

表2 2年生 P4~53

| 小单元名及び項目 | 関連する物質 |
|---|---|
| 1 物質は何からできているのか 原子の種類と原子の記号 分子 原子の種類と原子の記号 | Na, Mg, Al, K, Ca, Fe, Cu, Zn, Ag, H, C, N, O, S, Cl 窒素分子, 水素分子, 酸素分子(原子がそれぞれ2個結びつく) アンモニア分子(水素原子3個と窒素原子1個が結びつく) 水分子(水素原子2個と酸素原子1個が結びつく) 二酸化炭素分子(酸素原子2個と炭素原子1個が結びつく) 分子モデル 一周期表ー |
| 2 物質は記号でどう表されるか チャレンジ 原子カード をつくる | 分子をつくる物質の表し方 (a)単体の化学式: 水素分子(H ₂), 酸素分子(O ₂) (b)化合物の化学式: 水分子(H ₂ O), 二酸化炭素分子(CO ₂) 分子モデル 分子をつくらない物質の表し方 (a)単体の化学式: 鉄(Fe), 銅(Cu), 炭素(C), 硫黄(S) (b)化合物の化学式: 塩化ナトリウム(NaCl), 酸化銅(CuO) 原子モデル 原子カードをつくり, カードを使っているいろいろな化学式を表してみよう。 (巻末に原子カードが付いている) |
| 3 物質を分解してみよう 実験 1 水を電気分解してみよう | 水, 水酸化ナトリウム, 線香, マッチ, 石灰水 ※水が分解してできた物質を 原子カード で表してみよう。 |

| | |
|--|--|
| 分解 | 塩化銅、銅、塩素（プールの消毒剤のようなにおいがする気体で、塩素を含む水にインクを入れると色が消える。） ※塩化銅が分解してできた物質を 原子カード で表してみよう。 |
| 4 物質を結びつけてみよう 実験 3 鉄と硫黄が結びつくか調べてみよう | スチールウール(鉄)、硫黄の粉末、脱脂綿塩酸(5%)、磁石 ※硫化鉄を 原子カード で表してみよう。 |
| 5 化学変化を化学式で表そう 鉄と硫黄の化合 分解(水・塩化銅・酸化銀) 化合(銅と硫黄・水素と酸素) 説明してみよう | 物質の変化と量的な関係を 原子カード で学習し、化学反応式に結びつける。 $Fe + S \rightarrow FeS$ $2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$ $CuCl_2 \rightarrow Cu + Cl_2$ $2Ag_2O \rightarrow 4Ag + O_2$ $Cu + S \rightarrow CuS$ $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$ 炭酸水素ナトリウムの分解 $2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O$ |
| 1 物質が酸素と結びつく化学変化を調べよう 金属の酸化 説明してみよう | $2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$ (銅の酸化) $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$ (マグネシウムの酸化) 銅やマグネシウムが酸化するときの化学変化を、それぞれ 原子カード を使って説明してみよう。 |
| 2 酸化物から金属を取り出そう 実験 5 酸化銅から銅を取り出してみよう 科学の窓 | $2CuO + C \rightarrow 2Cu + CO_2$ (銅の還元) $2CuO + H_2 \rightarrow 2Cu + H_2O$ (銅の還元) ※ 原子モデル・分子モデル で化学反応式を表している。 気体の酸素を必要としない燃焼 $CO_2 + 2Mg \rightarrow 2MgO + C$ (炭素の還元) |
| 4 化学変化の前後で質量は変化するか 質量の保存 実験 8 金属を加熱したときの質量の変化を調べよう 説明してみよう | 硫酸ナトリウム水溶液、塩化バリウム、うすい塩酸、石灰石、うすい塩酸 亜鉛 密閉した容器の中でのスチールウールの燃焼 マグネシウムの粉末、銅粉 $2Cu + O_2 \rightarrow 2CuO$ $2Mg + O_2 \rightarrow 2MgO$ 反応に関わる粒子数は変化しないので、化学反応の前後で物質の質量は変化しない。※ 原子モデル・分子モデル で質量保存の法則を表している。 |

2年生の特徴

原子や分子といった粒子を原子の記号(元素記号)を用いた「化学式」で表せることを基本として、物質の分解や化合、金属の酸化と還元を扱っている。化学式を基に物質が変化するようすを化学反応式で書き表して反応の前後における質量保存の法則を確認する。また、生成した化合物の元素間に成立する定比例の法則の内容を学習し、化学変化における定量的な学習を開始する。1年生の内容から一歩踏み込み、異なる粒子間での化学変化を取り扱うため、原子カードを利用して自分の考え方を整理できるよう工夫されている。

初めに身の回りの物質を「分子をつくる物質」と「分子をつくらぬ物質(金属・イオン)」と大きく二つに分けて、これらの代表的な物質を化学式で表すよう指導している。ここでは分子式、組成式、組成比といった用語は登場しないが、物質ごとに化学式が与えられる。

次にそれらの物質を用いて熱分解・電気分解などの分解や、化合及び金属の酸化と還元といった実験を通して、物質を確認する定性的な技能を身に付ける。(酸素の助燃性、水素の爆発、金属光沢、プールの消毒剤のような塩素のにおい、フェノールフタレイン溶液による炭酸水素ナトリウムと炭酸ナトリウムの区別、磁性による鉄の確認、塩化コバルト紙がうすい赤色に変化することによる水の確認などの基礎を学ぶ。)

化学反応の前後における物質の変化を、反応式として化学式と係数を用いて書き表すことができること、また、反応の前後で質量の変化がない質量保存の法則を実験で確認している。反応生成物についても金属の酸化を基に、化合物を構成する2成分の元素の質量比に着目して、定比例の法則の内容を学習している。

表3 3年生 P74~115

| 小単元名及び項目 | 関連する物質 |
|-----------------|---------------------|
| 1 水溶液は電流を流すだろうか | 水の電気分解(水酸化ナトリウム水溶液) |

| | |
|--|--|
| <p>実験 1 水溶液に電流が流れるか調べよう</p> <p>実験 2 塩化銅水溶液に電流を流したときの変化を調べよう 塩化鉄や塩化水素の電気分解</p> | <p>塩化銅の電気分解（塩化銅水溶液） 塩化ナトリウム(5%)，砂糖水(5%)，塩酸(5%)，硫酸(5%)，水酸化ナトリウム水溶液(5%)，エタノール水溶液(5%)，蒸留水 塩化銅水溶液(5%)，炭素棒電極，$\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu} + \text{Cl}_2$</p> <p>$\text{FeCl}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{Cl}_2$， $2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Cl}_2$</p> |
| <p>2 イオンとは何だろうか 原子の構造とイオン イオンの表し方</p> <p>チャレンジ イオンカードを作ってみよう 電離</p> <p>発展</p> | <p>水素原子模型 イオン式 水素イオン(H^+)，銅イオン(Cu^{2+})，塩化物イオン(Cl^-) いろいろなイオン 陽イオン H^+，Na^+，K^+，Cu^{2+}，Zn^{2+} 陰イオン Cl^-，OH^-，NO_3^-，SO_4^{2-}</p> <p>H^+，Na^+，K^+，Cu^{2+}，Zn^{2+}，Cl^-，OH^-，NO_3^-，SO_4^{2-} $\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{NaCl} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ $\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^-$</p> <p>図10：イオンモデル 上の4種類で電離を表現している。 塩化銅の電気分解のしくみ ($\text{CuCl}_2 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{Cl}^-$) ※原子モデル・分子モデル・イオンモデル・電子</p> |
| <p>2 酸・アルカリの正体は何だろうか 酸と水素イオン</p> <p>アルカリと水酸化物イオン</p> | <p>$\text{HCl} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$</p> <p>図4：イオンモデル で塩酸の電離を表現している。 $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$ $\text{KOH} \rightarrow \text{K}^+ + \text{OH}^-$</p> <p>図5：イオンモデル で水酸化ナトリウムの電離を表現している。</p> |
| <p>3 酸とアルカリを混ぜるとどうなるか</p> <p>実験 5 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を混ぜ合わせてみよう</p> | <p>塩酸(1%)，水酸化ナトリウム水溶液(1%)，BTB溶液 ※分子モデル・イオンモデル で中和するようすを表している。</p> |
| <p>1 電池を作ろう ボルタ電池のしくみ</p> | <p>亜鉛板，銅板，硫酸 図2：ボルタ電池のしくみ ※原子モデル・分子モデル・イオンモデル・電子</p> |

3年生の特徴

イオンは2年生で学習した「分子をつくらない物質」に分類される。まず、身の回りの物質を溶かした水溶液の電気伝導性の実験から電解質と非電解質という分類がなされ、電解質は固体のままでは電気を通さないが、水溶液ではそれぞれ陽イオンと陰イオンとに電離しているために電気を通すことを学ぶ。続いて、塩化銅水溶液を用いて電気を通す場合、陽極付近で気体が発生することや陰極付近で単体の銅が生成することを実験で確認する。次にそれらの実験的事実と原子の構造から、陽イオンや陰イオンが生じる原理や、イオン式の書き方を身に付ける。酸やアルカリの水溶液に対する指示薬の発色の違いを経験しながら、通電した場合、酸には共通して陰極に引き寄せられる水素イオンが、アルカリには共通して陽極に引き寄せられる水酸化物イオンが存在することを実験を通して学習する。また、酸の水溶液とアルカリの水溶液を同一容器内で混ぜ合わせると、塩と水が生成する中和が起きることを実験を通して確認しており、量的関係についてもイオンカードを用いて考察するように工夫されている。

電池については、成り立つ条件を実験して確かめており、高等学校のイオン化傾向を導入する手前まで学習している。また、ボルタの電池の原理も原子モデル、イオンモデル、分子モデル及び電子を用いて説明がなされている。また、身の回りの電池として「燃料電池」が紹介されており、水の電気分解と燃料電池の原理が関係図で紹介されている。

2 高等学校での「粒子」の取扱いについて

「化学基礎（標準単位数2単位）」では、価電子を学習して分子の生成やイオン間の結合の本質が明らか

になる。また、中学校で学習した粒子の概念に数量的なモルの概念が導入され、抽象的な内容になる。

初めに原子の構造や電子配置及び周期表と価電子の関係を基に化学Ⅱからの移行事項である化学結合を学習する。続いて原子の相対質量、同位体を考慮した原子量、分子量や式量を学習した後、 6.02×10^{23} (個)の粒子の集団を1モルと捉える新しい数量的な概念を学ぶ。このモルと粒子の個数、モルと物質の質量及びモルと標準状態での気体の体積の関係をそれぞれ理解することがたいへん重要である。(表4)また、モルの考え方に基づいたモル濃度とモル濃度に伴った計算は、酸・塩基や酸化還元あるいはその他の化学の各分野で必要とされるため、冒頭の理論分野の単元でモルの概念をしっかりと理解しておくことが非常に重要である(表5)。モルの概念の学習以降、高等学校の教科書には、粒子の概念を既に完全に理解しているものとして、物理変化に関わる粒子モデルや化学変化のモデルが随所に登場する。

表4 純物質について

| | 単位物質質量あたりの数量 | 一般的な数量 | 物質質量 n (モル) |
|--|---|--------|--|
| 原子・分子・イオン・電子などの個数と物質質量の関係 | アボガドロ定数 $N_A = 6.0 \times 10^{23}$ (個/mol) | N (個) | $n = \frac{N}{6.0 \times 10^{23}}$ (mol) |
| 固体・液体などの質量と物質質量の関係 | 原子量・分子量・式量に g/mol を付けたモル質量 M (g/mol) | w (g) | $n = \frac{w}{M}$ (mol) |
| 標準状態 (0°C, 1.013×10^5 Pa) での気体の体積と物質質量の関係 | モル体積 $V_m = 22.4$ (L/mol) | V (L) | $n = \frac{V}{22.4}$ (mol) |

表5 混合物について

| | 物理量 1 | 物理量 2 | 物質質量 n (モル) |
|---|--------------------|-------------------------------|--|
| あるモル濃度の水溶液中に含まれる溶質の物質質量 n | モル濃度 C (mol/L) | 水溶液の体積 V (L) | $n = C(\text{mol/L}) \times V(\text{L})$ |
| ある質量モル濃度の水溶液中にある溶質の物質質量 n | 質量モル濃度 m (mol/kg) | 溶媒の質量 W (kg) | $n = m(\text{mol/kg}) \times W(\text{kg})$ |
| 質量パーセント濃度で x (%) を示す水溶液 1000 cm ³ 中に含まれる溶質の物質質量 n | 質量パーセント濃度 x (%) | 水溶液の密度 d (g/cm ³) | $n = \frac{x(\text{g})}{100(\text{g})} \times \frac{d(\text{g})}{1.0(\text{cm}^3)} \times 1000(\text{cm}^3) / M(\text{g/mol})$ |
| 価数 a でモル濃度 C (mol/L) の酸の水溶液 v (mL) 中に含まれる H ⁺ の物質質量 n _{H⁺} | 酸のモル濃度 C (mol/L) | 酸の水溶液の体積 v (mL) | $n_{\text{H}^+} = a \times C(\text{mol/L}) \times \frac{v}{1000}(\text{L})$ |
| 価数 b でモル濃度 C' (mol/L) の塩基の水溶液 v' (mL) に含まれる OH ⁻ の物質質量 n _{OH⁻} | 塩基のモル濃度 C' (mol/L) | 塩基の水溶液の体積 v' (mL) | $n_{\text{OH}^-} = b \times C'(\text{mol/L}) \times \frac{v'}{1000}(\text{L})$ |

3 「粒子」の概念における中学校と高等学校の接続のアイディアと演示実験の提案

演示実験1は、ヨウ素の結晶から昇華する目に見えないヨウ素の気体を、小学校で学習するヨウ素デンプン反応を活用して、高等学校の「粒子の熱運動」に結びつけて紹介できる簡単な実験である。

演示実験2も、目に見えない塩化水素やアンモニアを総合指示薬試験紙で検出しながらイオン結晶の生成を観察でき、「粒子の熱運動」や「化学結合」に結びつけて授業を展開できるものである。

また、演示実験3は中学校1年生で閉鎖系における状態変化の一例であった二酸化炭素(ドライアイス)を活用して定量的なモルの概念を導入している。ドライアイス1モルは質量で44gを示し、その気体がほぼ22.4Lを占有することを簡単に示すことができ、気体に関わる化学反応において量的計算に結びつけることができる演示実験である。演示実験1と2には肉眼では観察できない「分子の熱運動」が共通して関わっており、同一の概念で現象を説明できる。また、演示実験3と合わせると、モルの概念を形成しながら化学変化の量的な関係に接続することができる。これらの実験は中学生でもなじみ深い物質を活用しており、安価に実施できて普及する可能性が充分にある。また、中学校と高等学校における粒子分野での円滑な接続が期待できるので、提案したい。

演示実験 1 : 気体分子の熱運動を観察する

メリット

- 実験書に載っているような大きくて高価な装置を必要とせず、試験管とゴム栓で充分である。
- 身の回りの物質で実験することができ、準備や操作が簡単である。特にデンプン溶液の調製は簡単で、ヨウ素デンプン反応で50分以内に明瞭な実験結果が得られる。
- 空気より密度が大きい気体でも「拡散」により上方へ移動する分子があることを示すことができる。
- 粒子の存在を気付かせ、「粒子の熱運動」を説明する教材として最適である。
- ヨウ化カリウムに塩素を作用させて得たヨウ素を、ヨウ素デンプン反応で検出できて確認しやすい。

準備

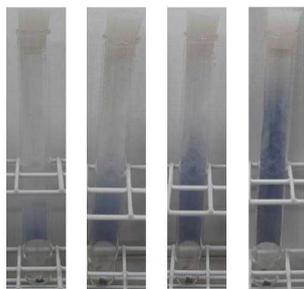
薬品－ヨウ素（結晶），ヨウ素液（0.050mol/Lヨウ素ヨウ化カリウム水溶液），角形に切ったろ紙オブラート（2枚）

物品－試験管とゴム栓，0.5mLピペット，ピンセット，薬さじ，500mLペットボトル

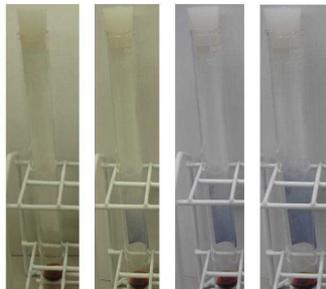
方法

乾いた試験管3本を用意する。1本目にはヨウ素の結晶を内壁に付着しないように、2・3粒だけ薬さじで慎重に底に入れる。2本目には褐色のヨウ素液を0.5mLピペットで試験管に入れる。試験管の内壁にヨウ素液が付着しないように注意する。3本目は参照用とする。次に、500mLペットボトルにオブラート2枚を入れ、湯水を加えながら溶かした後、飲み口まで水を加えてデンプン溶液とする。これを10mL程度200mLビーカーに取り、試験管の底から15mmが下端になる長さに切断したろ紙を3枚浸し、取り出して試験管の内壁に付着させ、ゴム栓をして観察する。この方法はハロゲン（臭素とヨウ素）の観察にも応用できる。

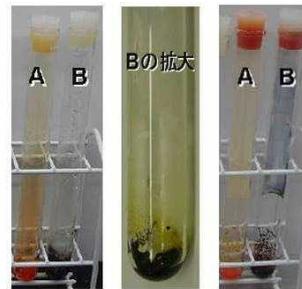
結果例



結晶から昇華するヨウ素の気体が10分ごとに拡散するようすである。

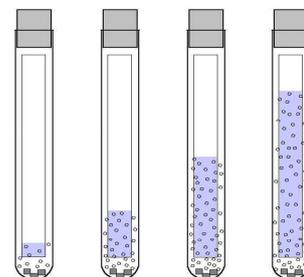


ヨウ素液から揮発・拡散するヨウ素の気体を10分ごとに捉えている。



臭素Aとヨウ素Bにデンプン紙を入れると、Bのみ青変する。

概念



・結晶から昇華したり溶液から揮発したヨウ素分子 O （分子量254）が、時間の経過とともに徐々に拡散するようすを、左図のようにヨウ素デンプン反応の濃青色で示すことができる。

・ヨウ素（結晶）をペトリ皿に取り、高精度の電子天秤に載せて秤量すると、ヨウ素の質量が減少するようすが観察できる。

発展的な課題例

- イソジン（褐色のうがい薬）はヨウ素を含みデンプン溶液に加えると、右写真のように青紫色を呈色する。イソジンを用いて拡散するヨウ素を検出できるかやってみよう。



演示実験 2 : 塩化水素とアンモニアの拡散と反応の観察

メリット

- 書籍や教科書に載っている高価な「ガラス管」や「アクリル管」及びゴム栓は必要なく、両面テープで筒状に丸めた「透明シート」と「ペットボトルのキャップ」の組み合わせで、充分代用可能である。
- 粒子の存在を気付かせ、「粒子の熱運動」を説明する教材として最適である。
- 身近な物質で実験でき、二つの気体が界面で反応するようすを短時間のうちに白煙で観察できる。
- 小学校・中学校で学習し、身に付いていることになっている「粒子の概念」を確認できる。
- 一度この演示実験をしておくと、イオン結合や配位結合を取り扱う授業でも、話題を広げやすい。

準備と結果例

物品－工作板、A4判OHPシート（21cm×30cm）、マジックインキ、両面テープ（幅15mm）、ハサミ、30cm直定規、カッターナイフ、ペットボトルキャップ2個、ろ紙（丸形1枚）

薬品－濃塩酸、濃アンモニア水、安全ゴーグル、総合指示薬試験紙



シートの短辺の midpoint 2か所に印を付け、裏面に両面テープを貼る。



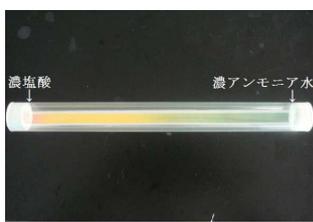
midpoint 2か所の印に直定規を当てて両面テープ中央を切断する。



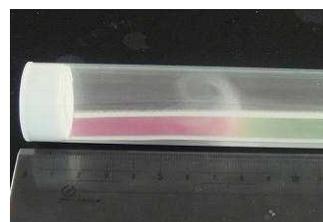
テープ付きシートの剥離紙を除いて重なりが10.5mmの円筒を作る。



ろ紙を円形に切り抜き、キャップに貼り付けたものを2個作る。



橙黄色の試験紙が塩化水素で赤変、アンモニアで青変する。



拡散した塩化水素とアンモニアが衝突して白煙(NH₄Cl)を生じる。

概念

左側のろ紙から揮発した塩化水素分子を○、右側のろ紙から揮発したアンモニア分子を△、生成した塩化アンモニウムのイオン結晶を●で描くと、以下のように示すことができる。（筒の中に元々含まれていた空気分子（窒素や酸素）や、ろ紙の表面から蒸発する水蒸気分子及びそれぞれの水溶液から揮発していない分子は無視する。）



発展的な課題例

- 濃塩酸を酢酸や濃硝酸に替えてアンモニアの気体と反応させると、白煙が生成する位置は上図の塩化アンモニウムの場合と比べると左右いずれに偏ると予測できるか。

演示実験 3 : ドライアイス1モルが昇華したときの体積

メリット

- 気体1モルが占める体積は、標準状態 (0°C, 1.013×10⁵ Pa) でその種類に関係なく22.4 Lであることを、立方体 (282mm×282mm×282mm) とドライアイス及びポリ袋で演示できる。
- 22.4 Lの立方体は、工作用紙と透明シート (OHPシートまたはポリプロピレンシート) を加工し、ポリ袋は内部の気体が漏れないようにガムテープで留めるだけである。
- この演示実験をすると、演示実験 1 とも関連付けて昇華や分子結晶の復習ができる。

準備

物品—ドライアイสบロック (630円/kg), 工作用紙12枚, A4判透明シート4枚, 木工用ボンド, 両面テープ, 高密度ポリエチレン袋 (45L), ガムテープ, 熱湯, 300mLビーカー, カッターナイフ

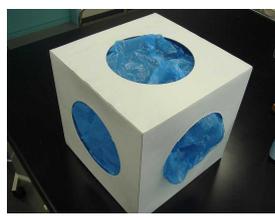
結果例



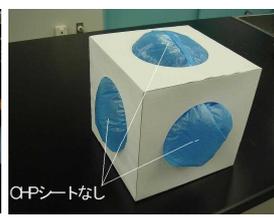
44gよりも多めに量り、昇華させて用いる。



気体が漏れないようガムテープで留めたポリ袋に入れる。



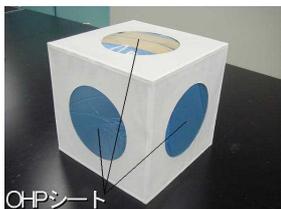
昇華中のようす (改良前)



昇華後のようす (改良前)



熱湯で昇華を促進する。

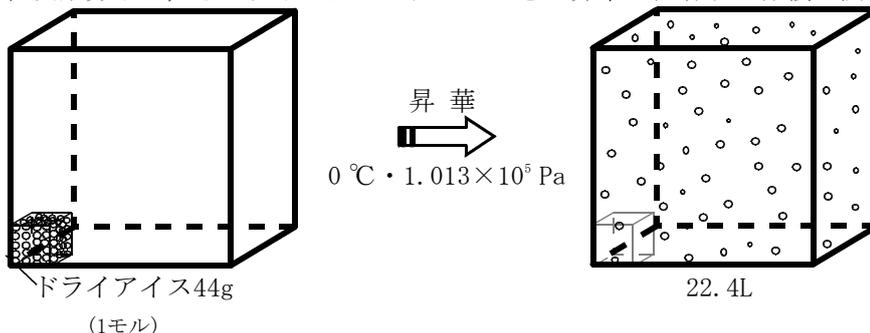


昇華後のようす (改良後)

昇華後に立方体の八隅を満たせなかった気体が、窓の外側に飛び出るので、箱の側面内壁にOHPシートを貼って箱の隅々まで占有するように工夫した。改良後はOHPシートの貼付により、昇華後の気体が立方体の八隅を完全に満たし、有色不透明のポリ袋が窓に密着することで22.4Lを占めることが確認できる。

概念

二酸化炭素分子を、○の粒子モデルで表したときの昇華と占有する体積の関係



発展的な課題例

○ブタン (C₄H₁₀) のモル質量は58.1g/mol, 沸点における液密度は0.601g/mLである。ブタン (液) 何mLを用いると、0°C, 1.013×10⁵ Paで22.4Lを占めることになるか。

ブタン(液)1モルの体積を x (mL) とすると,

$$x = \frac{58.1(\text{g})}{0.601(\text{g/mL})} \doteq 96.67 \doteq 96.7(\text{mL})$$

コールドスプレー (主成分がブタン) からブタン (液) を約97mLを取り出し、蒸発させると約22.4Lになる。



IV 本研究のまとめ

本研究では中学校理科との関連を考慮しながら、「化学基礎」において抽象化された形で提示される概念や原理・法則を、高等学校1・2年次生にとって身近な物質を活用した観察、実験などを通して、幾つかの事象から同一の概念によって説明できることを見出させ、化学の理論分野の根幹をなすモルの概念が円滑に導入されることを意識して実験を提案した。

V 本研究における課題

「化学基礎」の教科書構成の順序に沿って、提案した演示実験1～3を紹介し、観察、実験させることにより具体的に「粒子」をイメージでき、数量的なモルの概念を理解できる。しかし、演示実験1と2は生徒数に対して演示する規模が小さすぎるので、規模をもう少し大きなものに代えるか、班別の生徒実験にする方法が考えられる。また、補助的に教材提示装置を利用する方法が効果的である。今回の研究及び提案はたくさんあるアプローチの仕方の一つであるから、目的に合うような様々なアプローチを今後も探究したいと考える。

<参考文献>

- 文部科学省 2009 『高等学校学習指導要領解説理科編理数編（平成21年12月）』
学校図書株式会社「中学校科学1 SCIENCE」「中学校科学2 SCIENCE」「中学校科学3 SCIENCE」
（平成23年2月4日検定済）
- 数研出版社 「文部科学省検定教科書高等学校化学基礎」 「実験4 気体分子の熱運動」
東洋館出版社 「魅せる化学の実験授業 高等学校 「化学基礎」編」新実験化学研究会 「7 熱運動と物質の三態」
丸善株式会社 「実験で学ぶ化学の世界1 物質の構造と状態」日本化学会編 「28 液体と気体」
丸善株式会社 「実験で学ぶ化学の世界1 物質の構造と状態」日本化学会編 「36 pH試験紙で見る気体の拡散」
- 林 誠一 2012 『中等教育資料（平成24年4月号）』 文部科学省教育課程課編集 学事出版
林 誠一 2012 『中等教育資料（平成24年5月号）』 文部科学省教育課程課編集 学事出版
林 誠一 2012 『中等教育資料（平成24年6月号）』 文部科学省教育課程課編集 学事出版