

8

2-メチル-2-プロパノールの三態とヨウ素の昇華
～状態変化～化学と人間生活との
かかわり

物質の探究

物質の構成粒子

物質と化学結合

物質と化学反応式

化学反応

巻末資料

難易度	教材の入手日数	準備時間	実施時間
★☆☆	1 カ月	1 日	50 分

目的と内容

凝固，融解，蒸発，凝縮，昇華，凝結を観察し，
粒子の熱運動と状態変化の関係を理解する

「物質の分離・精製や元素の確認などの観察，実験を行い，化学的に探究する方法の基礎を身に付けさせるとともに，粒子の熱運動と三態変化との関係などについて理解させ，物質についての微視的な見方や考え方を育てること」がこの単元の主なねらいである。

また，「粒子の熱運動と粒子間に働く力との関係により，物質の状態変化が起こることを理解させること」がねらいである。

ここでは，2-メチル-2-プロパノールを用いた「固体⇔液体⇔気体」の状態変化とヨウ素を用いた昇華を観察する。



既習事項

小学校：4年生の「金属，水，空気と温度」
中学校：1年生の「状態変化」

小学校では水を熱したとき（沸騰）の様子や，湯気の正体を調べたり，水が沸騰したときの泡の正体を調べたりしている。また，水を冷やしたとき（凍らせる）の様子中学校ではロウの状態変化の実験や，赤ワインの蒸留を行っている。さらに，エタノールを入れたポリエチレン袋に熱い湯をかける実験も行っている。固体→液体→気体と状態が変化するにつれて，粒子の運動が活発になり，大きな体積を占めるようになることを学習している。また，体積が変化しても質量は変化しないことを学習しているが，質量も変化すると考えてしまう生徒も多いことに留意が必要である。

留意点

【指導面】

○小学校、中学校での既習に加え、氷→水→水蒸気の状態変化は生徒にとって身近であるため、現象としての理解はできている生徒が多い。ここでは、その現象を微視的に考えられるようにする。目に見える現象を、目には見えない粒子で考える化学の基礎を身に付けさせる。

○構成粒子そのものが変化する化学変化に対して、状態変化は、構成粒子の集合状態が変化する物理変化である。従って、温度や圧力条件を元に戻すと、物質の状態は必ず元通りになる。このような、化学変化と物理変化の違いについて触れる。

○物質の三態について

物質には、固体、液体、気体の3つの状態があり、これらを物質の三態という。物質の構成粒子は絶えず熱運動をしており、これによって散らばろうとしている。一方、構成粒子間には引力が働き、互いに集合しようとする。この相反する2つの傾向の大小関係によって物質の状態が決まる。

固体は、熱運動より粒子間に働く引力の方が大きく、粒子は一定の位置で固定されている。このとき、振動・回転による熱運動を行っている。粒子がその位置を自由に変えることはできないので、一定の形と体積を示す。 -273°C ではすべての粒子の熱運動が停止する。この温度を絶対零度という。

液体は、熱運動が固体より大きい、粒子間に働く引力はまだ大きい。しかし、熱運動が大きくなったことから、固体より体積が10%程度増加する。この体積増加によって生じた空所に別の粒子が移動し、それによって生じた空所にまた別の粒子が移動する。このとき、空所はそれほど多くないので、すべての粒子が位置を交換する直線運動を行うのではなく、振動運動を行っている粒子も多くあり、それらの運動を交換して行われている。固体のように粒子の位置が固定されてはいないので流動性を示すが、粒子間に働く引力が大きいので、全体としての粒子間の平均距離はほぼ一定であり、体積はほとんど一定である。

気体は、粒子の熱運動が激しく、粒子間の引力に打ち勝って空間に自由に飛び交う。体積は液体の約1000倍となり、粒子間の距離が大きいため、粒子間に働く引力はほとんど0である。よって、形も、体積も一定ではない。

水は固体より体積が減少する。この現象については「化学」で詳しく取り扱われている。

○今回の実験について

2-メチル-2-プロパノールの融点(凝固点)は 25°C 、沸点は 82°C である。よって、容易に三態変化を観察できる。氷で温度を下げて凝固、手で加熱して融解、湯せんで加熱して蒸発、湯せんから引き上げ温度を下げて凝縮が見られる。状態変化は液体→固体→液体→気体→液体である。固体と液体との体積変化を観察することは難しいが、液体と気体との体積変化は目で見て分かる。

また、ヨウ素は昇華しやすい物質であり、混合物の分離の際にもよく用いられる。加熱により昇華(固体→気体)、フラスコ内の氷水で温度を下げて凝結(昇華)(気体→固体)が見られる。ごく少量の固体がビーカーいっぱいの紫色の気体が生じることから、固体と気体との体積の違いも感じることができる。

【安全面】

- 保護メガネを着用させる。
- 2-メチル-2-プロパノールは引火性液体である。火から遠ざけて使用させる。直接加熱せず、湯せんで加熱する。また、特異臭があり、有毒であるので換気をしながら実験を行う。
- ヨウ素は素手で触らないように指示する。ヨウ素を机に落とした場合は拾わず、申し出るように指示する。手袋を用いてもよい。手につくと褐色に変色するが、時間が経つと元に戻る。5%程度のチオ硫酸ナトリウム水溶液で脱色してもよい。衣服への着色もチオ硫酸ナトリウム水溶液によって脱色できる。また、ヨウ素の蒸気は有毒であるので、ビーカー内の紫色の蒸気が見えなくなってからフラスコを外し、蒸気を吸い込まないように指示する。

【後処理】

- ヨウ素は回収して再利用する。廃棄する際は、ヨウ化カリウム溶液にヨウ素を溶解し(モル比・約2:1)、希塩酸で酸性とした後、チオ硫酸ナトリウム溶液で還元脱色する。さらに希水酸化ナトリウム溶液で中和後、大量の水で希釈し処分する。
- 2-メチル-2-プロパノールは、できるだけ回収して、再利用する。廃棄するときは有機廃液とする。ビニール袋ごと回収し再利用してもよい。

導 入

【ポイント】

- 状態変化と熱運動との関係に興味・関心を高める。
- 微視的な視点に注目させる。

【導入例】

- それぞれの状態を、生徒を粒子に見立ててモデル化する。
生徒自身が粒子になり、それぞれの状態について演じることにより、イメージできるようにする。
 - ・固体：生徒が腕を組んでつながる。
 - ・液体：生徒が何人かずつ手をつないでいる。そのグループが何個かある。
 - ・気体：生徒一人一人が自由に走り回る。
- 拡散を見せる。
- ビーカーで水を沸騰させ、その様子をよく観察させる。宿題として自宅で鍋の水をわかすなどして沸騰の様子を観察させてもよい。

◎準備

準備の流れ

1ヶ月前～

(発注, 調製, 代替の検討時間含む)

- 材料の準備
- 実験室の備品確認

～前日

- 材料の確認
- 氷を作る
- チャック付き袋にたこ糸をつける
- 器具・教材の分配

当日

- 器具・教材の分配

必要な材料・器具・薬品

準備で必要なもの

チャック付きの袋, たこ糸, 目打ち (千枚通し) など穴をあけるもの (穴あけパンチでもよい)

チャック付きの袋の必要量 $1 \text{ 個} \times (\quad) \text{ 班} = (\quad) \text{ 個}$ 再利用する場合は1クラス分

たこ糸の必要量 $30 \text{ cm} \times (\quad) \text{ 班} = (\quad) \text{ cm}$

当日必要なもの

[器具] ビーカー (500, 300, 100), 丸底フラスコ, ペトリ皿, 割りばし, プラスチックスプーン, プラスチックカップ, 三脚, 金網, ガスバーナー, 着火器具

[薬品] 2-メチル-2-プロパノール, ヨウ素

2-メチル-2-プロパノールの必要量 $1 \text{ mL} \times (\quad) \text{ 班} = (\quad) \text{ mL}$

ヨウ素の必要量

☆教材の入手方法

①2-メチル-2-プロパノール (t-ブタノール)

理科消耗品カタログなどで購入可能 500mL で 3,500 円程度

②ヨウ素

理科消耗品カタログなどで購入可能 25g で 2,400 円程度

③チャック付きビニール袋 50×70mL

100 円ショップなどで購入可能 55 枚で 108 円など

④たこ糸

100 円ショップなどで購入可能 40m で 108 円など

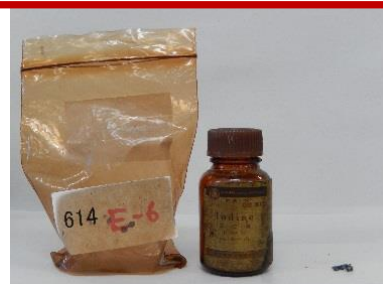
⑤プラスチックカップ (マヨネーズカップ)

※なくてもよいが, 実験の試料配付に便利

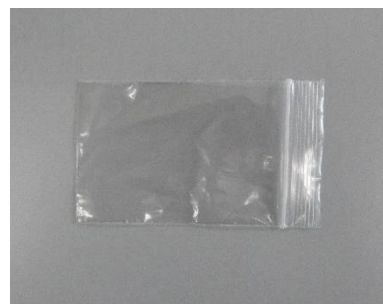
インターネットでも購入可能 本体 50 個で 450 円程度

ふた 50 個で 300 円程度

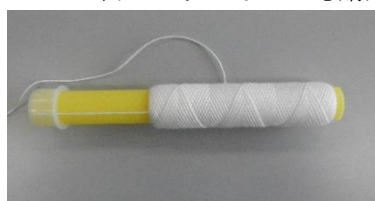
100 円ショップなどでも購入可能 ふたつき 7 個で 108 円



②



③



④



⑤

当日のセット

☆生徒用

[器具]

<input type="checkbox"/> 500mL ビーカー	1 個
<input type="checkbox"/> 300mL ビーカー (氷用)	1 個
<input type="checkbox"/> 100mL ビーカー (乾いたもの)	1 個
<input type="checkbox"/> 100mL 丸底フラスコ	1 個
<input type="checkbox"/> ペトリ皿	1 個
<input type="checkbox"/> チャック付き袋 50mm×70mm	1 個
<input type="checkbox"/> たこ糸	30cm 程度
<input type="checkbox"/> プラスチックスプーン	1 個
<input type="checkbox"/> 割りばし	1 本
<input type="checkbox"/> プラスチックカップ (試料用)	2 個
<input type="checkbox"/> 三脚	1 個
<input type="checkbox"/> 金網	1 個
<input type="checkbox"/> ガスバーナー	
<input type="checkbox"/> 着火器具	
<input type="checkbox"/> 保護メガネ	

[薬品]

<input type="checkbox"/> 2-メチル-2-プロパノール	1 mL 程度
<input type="checkbox"/> ヨウ素	薬さじ小 1
<input type="checkbox"/> 氷	5, 6 個程度

★教員用

生徒用と同じもの



(1) 前日まで

- 材料や器具の確認・調達を行う。
- チャック付袋のチャックより外側にたこ糸を通す穴を空ける。
- 氷を作成しておく。

(2) 実験当日

- 材料や器具の分配を行う。



500mL: 湯せん用。使用するチャック付袋を小さくする場合は、このサイズでなくてもよい。また、鍋やウォーターバスで代用可。

300mL: 氷水用。このサイズでなくともよい。

100mL: ヨウ素の昇華用。フラスコとセットで使用するので、フラスコのサイズに合わせたビーカーを用いる。

ペトリ皿は、バットやポリエチレンのトレーなど平たい入れ物で代用可。

チャック付袋のサイズは 500mL ビーカーで湯せんにかける際に適したサイズである。これより大きいと、湯に接しない袋の部位が生じ、そこで、蒸発した 2-メチル-2-プロパノールが再び凝縮する現象が起きるため、封入した液体全てを気体にすることが難しくなる。また、これ以上小さくする場合は、液量を少なくするか、袋いっぱい膨らんだらすぐに湯から引き上げる等する。また、再利用もできるので、1 クラス分のみの準備でもよい。ただし、2 クラス目以降で行う場合、一度袋を開け、液量を確認し、必要に応じて足してから行う。真空度合いが高いと凝固が透明で見にくい場合がある。

たこ糸は紐状の物であれば代用可。

プラスチックのスプーンは薬さじでなくてよい。ヨウ素は鉄を腐食するためプラスチック製の物を用いる。

割りばしはビーカーの口を渡せる物で熱くなりにくい物であれば代用可。

2-メチル-2-プロパノールの代用品は難しい。融点、沸点がそれぞれ 0~100℃のもので、有害性の低い物であれば代用可。

ヨウ素はナフタレンで代用可。

◎観察，実験

観察，実験の流れ

□導入（10分）

- *導入のポイント及び例を参照
- *目的を理解させる

□観察，実験（25分）

- * (1)の手順と安全面を指導する
 - ・2-メチル-2-プロパノールを密閉容器に封じ，冷却，加熱をし，状態変化を観察する
- * (2)の手順と安全面を指導する
 - ・ヨウ素をビーカーに入れ，水を入れたフラスコを上置き加熱し，昇華の様子を観察する
- *操作はみんなで分担して行うよう指導する
- *机間指導を行いながら，生徒への実験のアドバイスや注意を促す

□結果のまとめ，考察，授業のまとめ（10分）

□後片付け（5分）

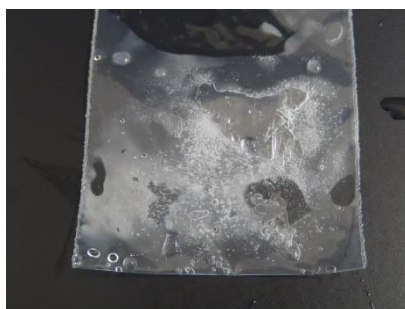
手順 時間のめど（およそ20分）

(1) 2-メチル-2-プロパノールの状態変化

- ① 500mL ビーカーに水道水を100mL程度入れ，ガスバーナーで湯を沸かし始める。
- ② チャック付きビニール袋に2-メチル-2-プロパノールを入れ，なるべく空気が入らないようにしてチャックを閉じる。
- ③ ペトリ皿に氷を敷き，②の袋を氷の上に置き，様子を観察する。液体部分が氷に当たるようにする。**よく観察すると，針状の結晶が生じるのが見られる。**
ポイント！ガスバーナーの近くで行うとなかなか凝固しないので，少し離れたところで行う。
- ④ 固体になった2-メチル-2-プロパノールを手で温め，液体に戻す。



(1)-③-1



(1)-③-2



(1)-④

- ⑤ ④のビニール袋の上隅にある穴にたこ糸を通して輪を作って結び、割りばしにかける。①の水道水が沸騰したら火を止め、ひもを通したビニール袋をその中に入れ様子を観察する。
- ⑥ ビニール袋がいっぱいに膨らんだら割りばしを持ち上げてビニール袋を湯から上げ、様子を観察する。

ポイント！膨らんでもなお湯につけておくと、**気体が漏れ始めるので、膨らんだらすぐに引き上げる。**



(1)－⑤－1



(1)－⑤－2



(1)－⑤－3

(2) ヨウ素の昇華

- ① (1)2-メチル-2-プロパノールの状態変化で使用した氷を、とけ出した水ごと、氷が入っていたビーカーに入れ、50mL程度になるように水を加える。
- ② ヨウ素を乾いた100mLのビーカーに、プラスチックスプーンを用いて少量(米粒大の1/2程度)とる。
- ③ 丸底フラスコに①の氷水をフラスコの球部分の半分程度まで入れ、②のビーカーの上に置く。
- ④ ③を金網の上に置き、ガスバーナーの弱火で加熱する。

ポイント！強火で加熱すると昇華せず液体になる場合がある。砂浴(鉄皿に砂を敷き、その上に③をのせて加熱)を用いてもよい。

- ⑤ ヨウ素が気体になったら火を止め、ビーカー内の紫色の気体がほぼ見えなくなったら丸底フラスコの底を観察する。



(2)－④－1



(2)－④－2



(2)－⑤

結果のまとめ

以下の点などについて確認し、結果をまとめる。

- ① 温度変化に伴う状態変化を確認できた。
- ② 状態変化に伴う（液体→気体、固体→気体）の体積変化を確認できた。
- ③ 昇華、凝結を観察できた。

考 察

次の点などについて、考察させ、プリントに記入もしくは発表させる。

- ① 熱運動と分子間力の関係から考える、凝固、融解、蒸発、凝縮が起こる仕組み。
- ② 物質によって沸点が異なる理由。

授業のまとめ

以下の視点を参考に、授業のまとめを行う。

- ① 温度の変化により熱運動が変化し、状態が変化することが理解できた。
- ② 昇華、凝結の現象を理解することができた。

後片付け

生徒に次のように指示する。

- ヨウ素の昇華で用いたビーカーと丸底フラスコはそのまま回収する。
- 2-メチルー2-プロパノールは袋のまま回収する。
- ヨウ素を入れたプラスチックカップと割りばしはそのまま回収する。
- 上記以外は洗う。

失敗例

●状態1 凝固が起こらない。

原因1 氷と密着していない。

融点は、25℃であるから、氷水でも凝固するはずであるが、観察するために片側のみ冷水につける。そのため、氷との間に隙間があるとなかなか温度が下がらず、凝固が始まらない。指で上から氷に押し付け密着させる。

原因2 実は凝固している。

2-メチルー2-プロパノールは無色透明で1 mL と少量であるため、静かに凝固すると無色透明で凝固の様子が確認できない場合がある。氷に密着させ急冷させると、針状に凝固の様子が確認できる。

●状態2 蒸発があまり進まない。

原因 チャック付き袋が大きすぎる。

袋が大きすぎ、湯と接する面が小さくなると、蒸発によって生じた気体が、袋内の湯に接していない部分で温度が下がり、凝縮し再び液体になる。つまり、蒸発と凝縮が同時に起きて、なかなか液体すべてが気体にならない。湯に接する面積をできるだけ大きくするとよい。袋の上から湯をかけてもよい。

●状態3 ヨウ素が昇華せず液体になった。

原因 急激に加熱した。

ヨウ素の融点は 113.6°Cで沸点は 184.3°Cである。本来蒸気圧が小さいため液体にならず気体になるが、急激に加熱すると液体になる。弱火で緩やかに加熱するか砂浴(手順(2)④ポイント参照)するとよい。

別 法

別法① シリンジを用いて体積変化を観察する。

100mL シリンジにシクロヘキサンやエタノールを数滴入れ、空気を抜いて栓をし、熱湯に浸して体積変化を観察する。

別法② エタノールの沸点をはかる。

別法③ ライター専用ガスの沸騰。

ライター専用ガスボンベのガスをチャック付きビニール袋に噴出させ、液体をためる。その液体を手で触ると、沸騰し気体となる

