

状態変化を粒子の運動で表す シミュレーション

教材



コロラド大学 PhET
<https://phet.colorado.edu/ja/>

1 この授業で大切にしたいこと

状態変化を粒子で捉えることは難しい。粒子そのものは、目には見えないからである。本授業では、まず目に見えるエタノールの気化などの現象を実物で示し、それを粒子モデル化する。その際、温度を変化させながら物質が状態変化する様子を可視化させることで、粒子のふるまいを通して状態変化を捉えることができる。また、状態変化における体積変化と質量保存にも気付けるようにする。

2 使用する教材

「PhET」はコロラド大学ボルダー校が無料で公開しているシミュレーション教材である。「物理」「化学」「数学」「地球科学」「生物」のカテゴリーがある。

新規アプリの導入には制限がかかることも多く、専用アプリをインストールする必要がないブラウザベースの「PhET」は使いやすい。

3 使用の手順

- ①ブラウザでURLを指定するか、「コロラド大学 実験」「PhET」などでキーワード検索するとヒットする。本実践では、「化学」⇒「一般化学」にある「物質の三態：ベーシック」を選択する。
- ②「状態」か「状態変化」の選択画面になる (図1)。本実践では「状態」を選択する。
- ③起動直後は、物質を入れた圧力容器が画面の中央に示され、「ネオン」が水色の粒子として100個ほど積み重なり、固体の様子を示している (図2)。
- ④画面の右上の「原子と分子」の枠内 (図2・A) に「ネオン」「アルゴン」「酸素」「水」という4種類の物質名が示されている。ここをマウスで選択すると、容器内の物質の種類が変わる。
- ⑤画面の左上は温度計 (図2・B) で、初期値は絶対温度表示 (単位K) であるが、プルダウン



図1 選択画面

メニューで摂氏温度表示（単位℃）に変更できる。

- ⑥圧力容器内の温度は2通りの方法で変更できる。オレンジ色の固体・液体・気体のアイコン（図2・C）をマウスで選択するか、圧力容器下部のスイッチ（図2・D）をマウスで動かして、熱したり冷やしたりできる。

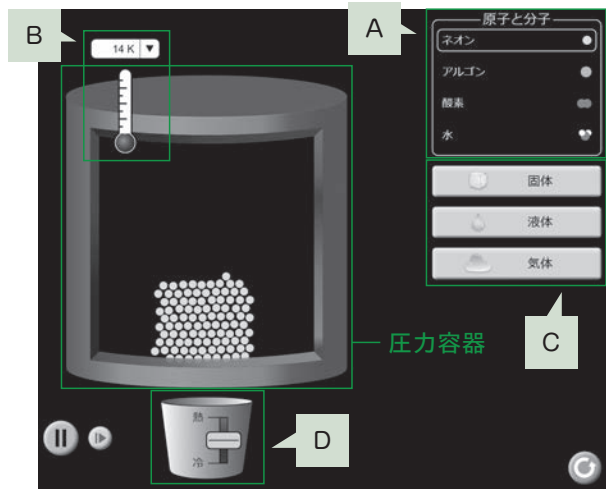


図2 「物質の三態：ベーシック」の初期画面

4 状態変化を粒子の運動で表すシミュレーション

4 授業の流れ

(1) 指導計画

物質の状態変化についての観察・実験を行い、状態変化によって物質の体積は変化するが、質量は変化しないことを理解できるようにする。

本時では粒子モデルを使って、生徒自身がそのことを具体的に説明する。

「状態変化」(全6時間)

時間	小項目	内容
2	状態変化と熱	状態変化と質量・体積 生徒実験「ろうの加熱」
1		状態変化と粒子の運動【本時】 演示実験「エタノールの気化」
1	物質の	状態変化と温度
2	融点と沸点	生徒実験「赤ワインの蒸留」

(2) 本時の展開

生徒自身が手元の端末を操作し、温度変化をシミュレートすることで、エタノールの状態変化の様子を調べる。

第3時「状態変化と粒子の運動」

時間	生徒の学習活動	教師の指導・支援	学びの形態
5分	1 課題を把握する。	実物で演示実験をする。	学級
課題：エタノールの状態変化を粒子のモデルで説明してみよう			
15分	2 「PhET」を使い、端末で調べる。	URLまたは二次元コードを示す。	1人 PhET
20分	4 気付いたことをグループごとに情報共有する。	「固体」「液体」「気体」「その他」に分けて、まとめる。	グループ
5分	5 グループごとにまとめる。	デジタルホワイトボードで学級全体に情報共有する。	学級 Jamboard
5分	6 振り返り		1人 フォーム

粒子モデルが表す物質の状態変化について、気付いたことをグループ内で、相互に発表する。その後、シンキングツールを使い、気付いたことを分類する(図3)。その際、固体・液体・気体・その他で色分けすると見やすい。

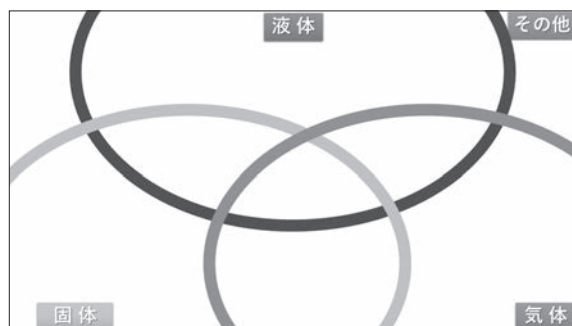


図3 シンキングツール

固体・液体・気体に共通する気付きは、状態変化時の質量保存と体積変化に関して示す内容となる(図4)。授業の終末でそれを共有化し、まとめとする。

提出されたカードの位置を変えながら、まとめていくと分かりやすい。

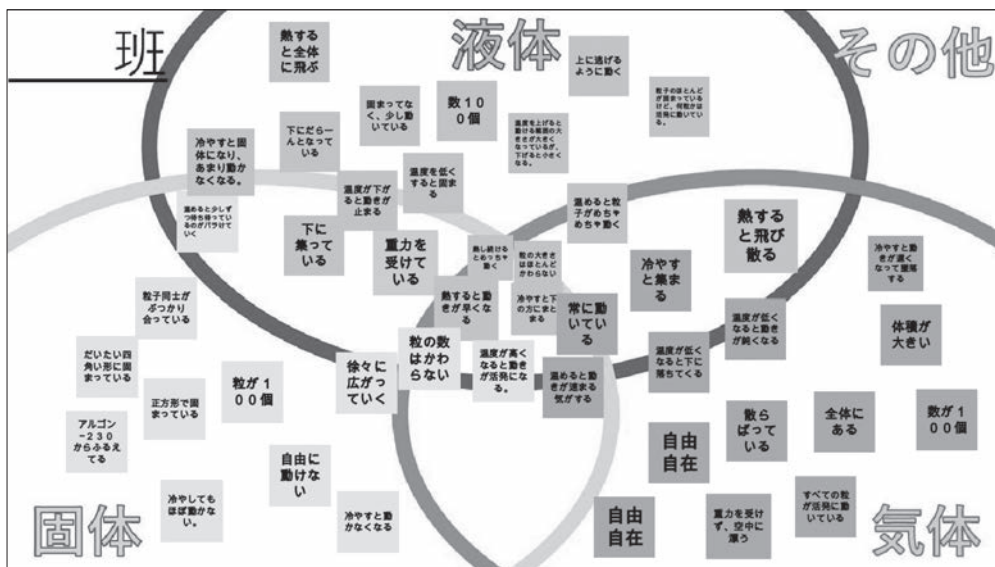


図4 デジタルホワイトボードで整理した気付き*1

5 観察・実験の質を豊かにするために

(1) 自由試行的な操作

このシミュレーション教材は観察・実験の代替としてではなく、観察・実験を支援する有用な道具として位置付けたい。演示実験だけでは理解しにくい粒子という概念や、そのふるまいについて、生徒の理解を助ける働きが期待できる。エタノールの気化などの現象や水が凍って氷になったり、沸騰して水蒸気になったりする現象と関連付けて授業を進める。

教科書には粒子の模式図が、デジタル教科書やNHK for Schoolには粒子が動く様子の動画があるが、同じ現象をシミュレーションにすると任意の温度での動的な変化の様子が再現でき、状態変化をより実際に近いモデルで捉えることができる。教師の解説資料として使う場合も、教科

書の模式図やネット上の動画よりも、自由に操作できるシミュレーションの方が優れている。

(2) 分子式の形で表すことのできるリアルな粒子モデル

「PhET」の「状態変化」で取り扱っている粒子のうち、ネオンとアルゴンは単原子分子、酸素や水は原子を組み合わせた分子である。原子や分子は未履習なので、本事例では単原子分子のネオンまたはアルゴンをあらかじめ選択するのが分かりやすい。

「PhET」は分子の形が丁寧に表現されている。例えば、固体は全体としては決まった形になっているが、その場で穏やかに振動し、熱運動を表している。温度を上げると、粒子の動きが激しくなり、粒子がきちんと積み重なっていられず、バラバラになって液体になる様子を示すことができる。

あえて水に変更する手もあるだろう (図5)。液体の表面から単独の粒子が飛び出す蒸発の現象や、水より氷の方が大きい体積となる現象も観察することができる。よりリアルな氷・水・水蒸気の粒子のふるまいを生徒に示し、そこに気付かせても面白い。

ただし、これらの現象の裏付けとなる粒子の熱運動や水分子の水素結合等の概念は、中学校1年では未履修であるため、補足の説明が必要となる。

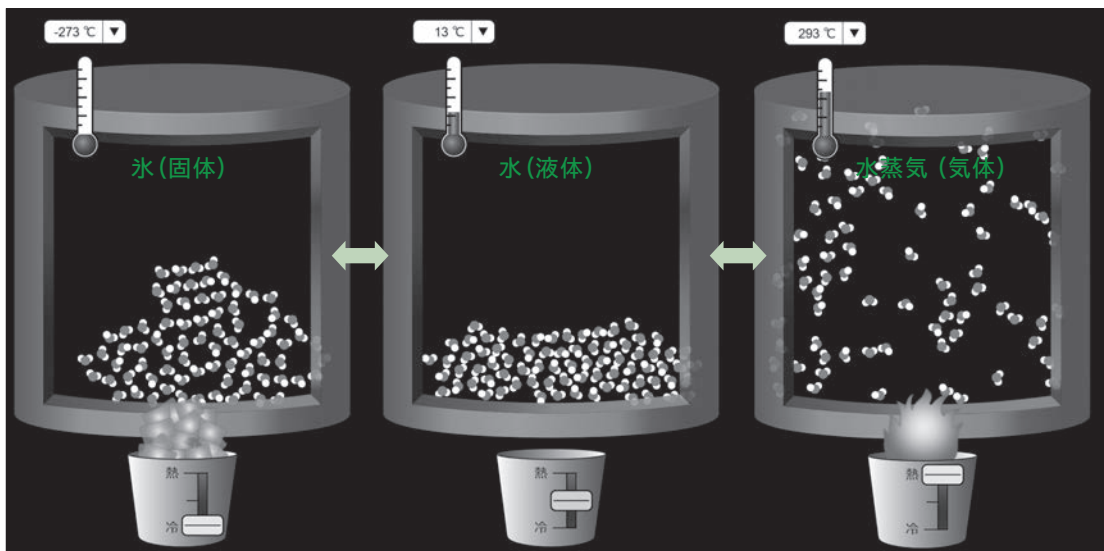


図5 水を選択したときの固体、液体、気体の様子

註

*1 藤本博之氏 (東京都足立区立竹の塚中学校) の授業実践例

コロラド大学 PhET : <https://phet.colorado.edu/ja/Simulation> by PhET Interactive Simulations, University of Colorado Boulder, licensed under CC-BY-4.0 (<https://phet.colorado.edu>) .

写真や動画で実験結果を残し、 考察に生かそう

教材

ロイロノート・スクール

1 この授業で大切にしたいこと

観察・実験では、課題を解決するために適切に記録し、考察を行うことが重要である。生徒一人一人が結果を記録する個別実験が望ましいが、実験器具の数や時間の都合でグループ実験として実施している現状がある。しかし、課題に合った記録を残せずに他のメンバーの結果を参考に考察したり、別の事象を記録に残して考察したりする場合がある。

そこで、端末を使って記録を残すことで、個別実験と同様にしっかりと観察・実験に取り組めるようにしたい。また、観察・実験の経過を振り返り、メンバーの結果と比較することで結果の見直しや実験を振り返ることが可能である。

2 使用する教材

本事例では、端末（iPad）とロイロノート・スクール（以下、ロイロノート）を使用した。ロイロノートは、生徒と先生が自分のノートを作成し、写真、動画、コンテンツ、記録などをデジタルのノートに記録できる教材である。「比較する」「分類する」「関係付ける」など、考えるときの様々なパターンに対応した思考ツール（シンキングツール）が含まれている。



図1 授業で使用するパワーポイントやカードの例

3 授業の流れ

- ①ロイロノートでクラスを選択し、ノートを開く。整理がしやすいように、ノートの名前には授業の日付を入れておく。
- ②授業で使用するパワーポイントのスライド、課題等を説明したカード、ワークシートなどをノートに貼っておく（図1）。パワーポイントのスライドは、PDFにするとノートに貼ることができる。

- ③端末のカメラ機能で写真や動画を撮影し、ノートに保存することができる(図2)。また、テストやアンケートなどを実施することもできる。
- ④資料箱には授業で使用するカードや資料を保存することができ、すぐにノートに表示して使用できる。また、生徒は課題を提出し、教師は課題を添削して生徒に返却することができる。カード、シンキングツール、PDFは「送る」で生徒全員または個人に送ることができる。
- ⑤シンキングツールには複数のパターンが用意されており、教師がシンキングツールを選択してノートに置くことで生徒に配付したり、生徒自身が自由に選んでノート上で作成したりすることができる(図3)。シンキングツール上に文字、写真、図を入れたカードを置き、記入しながら整理ができる。また、カードの色を変えることで、比較しやすくなる(図4)。



図2 実験器具、板書の写真をノートに保存した例

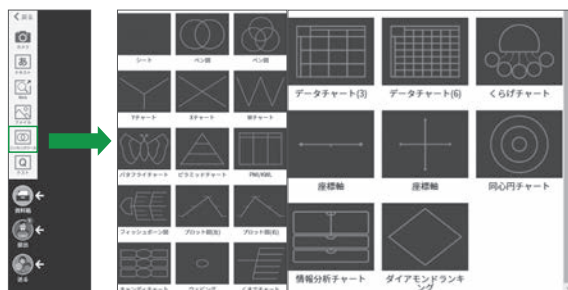


図3 シンキングツールの選択方法と種類

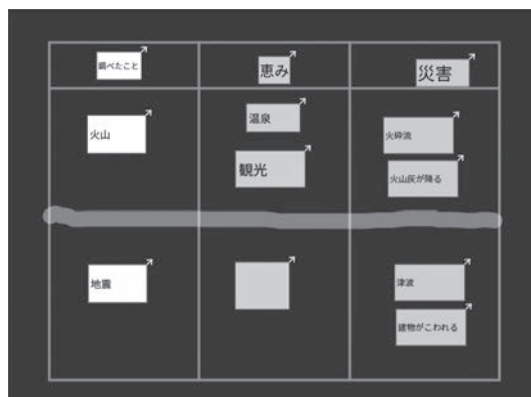


図4 自然の恵みと災害(大地の変化)においてシンキングツールの表を使用した例

4 授業の流れ

(1) 指導計画(「中和と塩」全8時間)

酸とアルカリの性質を調べる実験を行い、酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを理解できるようにする。さらに、中和反応の実験を行い、酸とアルカリを混ぜると水と塩が生成することを理解できるようにする。

(2) 本時の展開

第6時では、ロイロノートのカメラを使って水溶液の変化の様子を撮影し、結果の記録としてロイロノートに保存し、学級内で共有する。第7時では、中和で生成した塩(塩化ナトリウム)結晶の写真を撮影し、前時の水溶液の変化の写真や動画もあわせて考察し、まとめを作成する。

第6時「水溶液の変化の様子を撮影し、記録する」

時間	生徒の学習活動	教師の指導・支援	学びの形態
5分	1 課題を把握する。	酸とアルカリそれぞれの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを振り返る。	学級
課題：酸とアルカリの水溶液を混ぜた液の性質を調べよう			
10分	2 説明を聞きながら実験の目的、方法、「ロイロノート」の使用方法を理解する。	水溶液の変化の様子を写真と動画で撮影することを伝える。	学級 ロイロノート
20分	3 中和の実験を行う。	水溶液の変化の様子の記録と、水溶液の性質を関連付けられるように助言する。	1人 グループ ロイロノート
10分	4 結果から考察をまとめる。	ロイロノートで、学級全体に情報共有する。	学級 ロイロノート

第7時「結晶の写真を撮影し、中和と塩について考察する」

時間	生徒の学習活動	教師の指導・支援	学びの形態
5分	1 課題を把握する。	酸とアルカリの水溶液を混ぜた液の性質の変化を振り返る。	学級
課題：酸とアルカリの水溶液を混ぜた液の性質から、中和と塩についてまとめよう			
10分	2 結果の振り返りと、水を蒸発させた後の結晶を観察し、記録する。	結晶の写真を撮影し、保存する。	学級 ロイロノート
20分	3 結晶の特徴から塩が塩化ナトリウムであることを確認し、その性質を考察する。	ロイロノートで、学級全体に情報共有する。	1人 グループ ロイロノート
5分	4 まとめ	実験のワークシートをロイロノートで提出するように指示する。	学級 ロイロノート

5 個別最適な学びの充実を図るために

(1) 現象の変化を見逃さず記録し、知識の定着と技能の向上を図る

第6時では、中和の実験でのBTB液の水溶液の色の変化をもとに水溶液の性質を調べる実験である。実験中には水溶液の色の変化には注目できるが、水溶液の性質と関連付けて考察を導き出すことが難しい現状がある。そこで、実験の様子を動画と写真で撮影し、知識の定着と技能の向上を図ることをねらいとした。

まず、予備実験から駒込ピペットの使用方法と水溶液の変化の様子の動画をロイロノートで撮影しておき、その動画を用いて教師が実験方法を説明する(図6)。生徒にも同様に、ロイロノートに実験中の水溶液の変化の様子を撮影しておくように指示し、考察を行う際には動画を再生

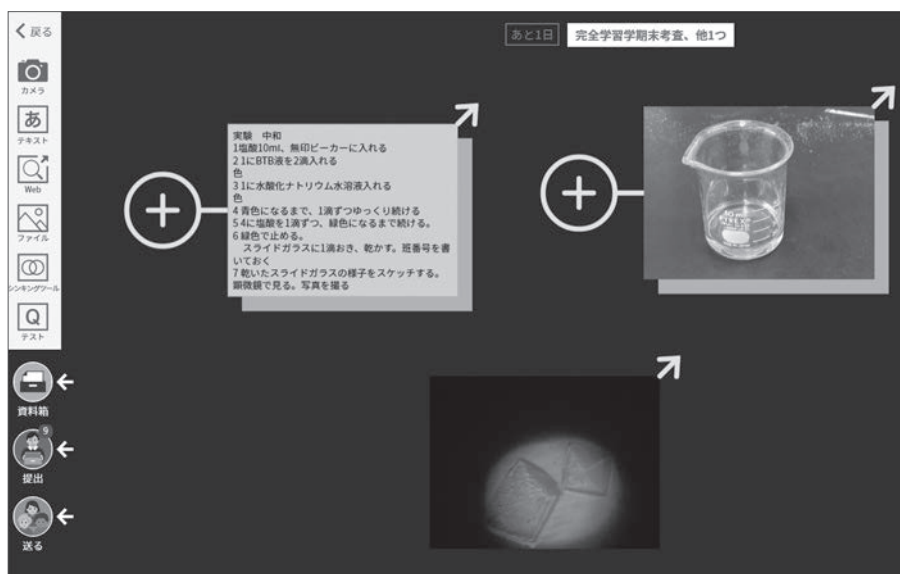


図5 教師のノート



図6 駒込ピペットの操作の動画

して、色の変化と水溶液の性質を関連付けてグループで検討できるようにした。実験中には、駒込ピペットの操作の動画を複数回確認しながら、適切に操作を行おうとしている姿が見られた。

このように、実験の結果を再現することが難しい場合は、動画や写真を撮影しておき、その記録を繰り返し視聴することで、課題を解決するための十分な考察が可能になり、知識の定着を図ることができる。さらに、駒込ピペットの操作の動画を見ながら、グループで適切な使用方法を話し合い、技能の向上を図ることができる。

(2) 記録の共有から、知識の定着を図る

第7時では、中和でできた塩の物質について考察を行うが、中和では塩化ナトリウムと水ができていることを、根拠を示して考察することが難しい。そこで、塩化ナトリウムの結晶の写真を撮影して自分のロイロノートに保存し、教師に提出するよう指示した。「提出箱」の写真は教師