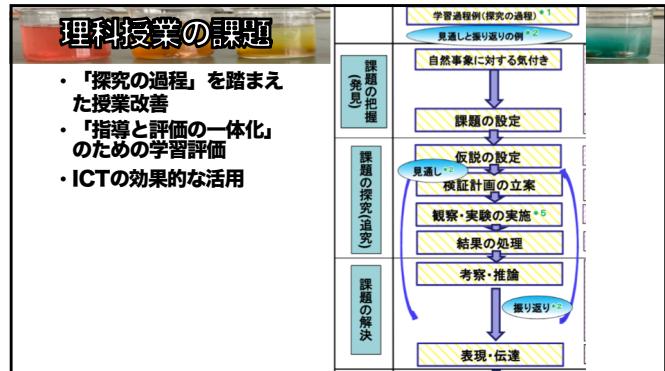


2024.03.24 ふじえだ理科まつり
杉本寛 「科学的な水溶液の探究」



自然事象に対する気付き→課題の設定

- ・小学校の復習
砂糖や食塩を使って→質量は変化しない、溶ける量には限界がある、再結晶
- ・とりあえず、M&M'Sチョコレートを溶かしてみる。

生徒の疑問（2時間目で質のいい疑問が出てくる。）

- ・「複数のM&M'Sを溶かしてみたい」・「どのように溶けるのか」
- ・「放置したら色の濃さはどうなるか」
- ・「溶ける前と後では質量は変わらぬのか」・「どれくらい溶けるか」
- ・「溶質を取り出したい」・「ろ過やろ液を加熱してみたい」

どのように溶ける？

- ・温度の違いによる広がり方の変化を粒子で説明するのは難題
- ・仮説

検証

・同心円状に広がる理由
・お湯の方が溶けたのが早く、冷たいのが遅い。
・なぜ、このような結果になったのか
同心円状になったのは、液体によって溶ける物質の性質に応じて、お湯にならて広がっていくから。
お湯の方が溶けたのが早く、冷たいのは、粒子の動き方が速いから。
温度が高いので

ろ過と再結晶

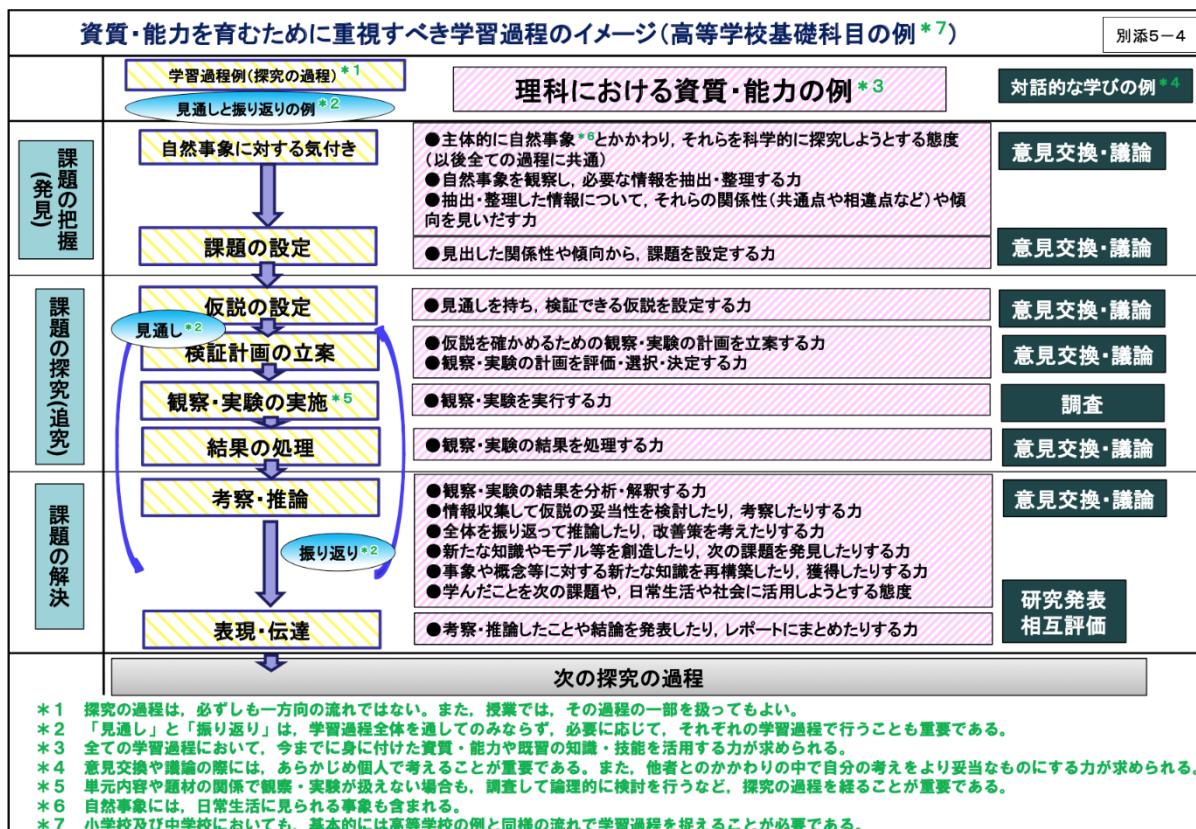
- ・BB弾を使ってろ過をイメージ
- ・M&M'sで再結晶？
→これはいらないかも

どのような活動で考え方か変わりましたか？

単元の始めと終わりで溶けるとはどのような現象かを聞きました。
考え方変わった活動は何か、印象に残っている活動は何かを聞きました。
回答者数50人、自由記述なので、複数の活動をあげた人もいます。

・M&M'Sチョコレート	24人
・BB弾	10人
・結晶を作る	12人
・実験	8人
その他	
・予想する、教科書、 グラフの読み取り、濃度計算など	

資料 1 資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ



藤枝（2021）¹より抜粋

中学校では、3年間を通して計画的に理科で育成を目指す資質・能力を育成するため、各学年で主に重視する学習過程が以下のように整理されている。

- ・ 第1学年：「自然の事物・現象に進んで関わり、その中から問題を見いだす」学習過程
- ・ 第2学年：「解決する方法を立案し、その結果を分析して解釈する」学習過程
- ・ 第3学年：「探究の過程を振り返る」学習過程

2023年12月11日に藤枝市立瀬戸谷中学校にて藤枝視学官の話を聞く機会があった。そこで、学校現場の現在の課題として以下の3つが挙げられた。

- ① 「探究の過程」を踏まえた授業改善
- ② 「指導と評価の一体化」のための学習評価
- ③ ICTの効果的な活用

特に①においては、国立教育政策研究所のサイトで授業実践事例を載せているものの、「時間がかかるからやらない」という理由で改善が進まないことを訴えていた。

¹ 藤枝秀樹（2022）新学習指導要領理科の「探究」について、生物教育62(2), 90-92.

資料2 教材としてのM&M'S チョコレートについて

2-1 溶け方

M&M'Sはミルクチョコレートに着色料の混ざったシュガーコーティングが施されている(図1)。チョコレートとシュガーコーティングの間には、白い層がある。着色料には、酸化チタン(白)、黄5、赤40、黄4、青1が使用されていて、白の酸化チタン以外の着色料は水溶性の色素であると考えられる²。水に溶かしたM&M'Sを図2に示した。水溶液の特徴として、水溶液には色のついたものとついていないものがあるが、どちらの場合も透き通っている、時間が経っても均一のままという条件がある。赤のM&M'Sを水に溶かしてろ過したもの図3に示した。水溶液の後ろに定規を置くと数字が見え、数日間置いても色は均一のままであるため水溶液と考えていいのではと判断できる³。溶質が溶けていく様子を観察する時に、一般的にはコーヒーシュガーを用いる(図4)。しかし、コーヒーシュガーでは色が薄くて分かりにくかったり、コーヒーシュガーが浮いてしまったりすることがある。M&M'Sでは、BEAUTY OF SCIENCEに溶けていく様子が示されているように⁴、実際に同心円状に色の広がる様子がはっきりと見える(図5)。コーヒーシュガーや塩化銅では全体に広がるまでに20分程度かかるが、M&M'Sでは2分程度で全体まで広がる。着色料が出てきた後には、白い層⁵、そしてミルクチョコレートが現れる。M&M'Sを用いる欠点としては、溶質を水に溶かすと溶質の個体が見えなくなるということが水溶液の条件であるが、M&M'Sの場合はチョコレートや白い層が残ってしまう。しかし、授業の導入部で食塩やコーヒーシュガーで水溶液の定義を確認したり、M&M'Sにおいても水に浸かった部分のシュガーコーティングがなくなることに注目させたりすることで解決できる。温度による溶け方の違いについて、図5に示したのは水の温度が20℃だが、40℃にすると倍の速さで溶ける。さらに、円のようにM&M'Sを並べると、最初は色が分かれても徐々に色が混ざっていく様子を見る事ができる(図6)。



図2 水に溶かしたM&M'S



図1 M&M'Sのつくり

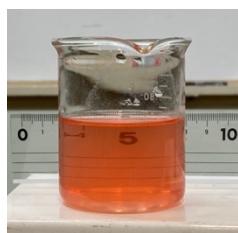


図3 赤のM&M'Sの着色料が水に溶けた様子



図4 コーヒーシュガーが溶ける様子
(180秒後)



図5 M&M'Sが溶ける様子
(左から30秒後、90秒後、180秒後)



図6 M&M'Sを円のように並べた時の溶ける様子

² 参考：https://www.jfrl.or.jp/storage/file/news_no06.pdf

³ しかし、東京農業大学の山口晃弘氏より「染料ではなく顔料で、溶けていない」「溶けるのではなく、拡散しているだけではないか」といった指摘もあり、本当に水溶液なのかは定かではない。また、M&M'Sはあくまでも「溶解」そのものではなく「溶解のモデル」として、生徒の理解を促しやすい教材という扱いがふさわしいとアドバイスをもらった。

⁴ BEAUTY OF SCIENCE のサイト：<https://www.beautyofscience.com/mm-dissolving>

⁵ この白い層は白色の着色料(酸化チタン)であり、チョコレートに鮮やかな色をつけるための下地として使用されている(マースジャパンより回答)。

横方向の広がりについては同心円状に広がるが、縦方向の広がりについて図7に示した。50mLビーカーに水道水40mLとM&M'Sを入れた。入れた直後、ビーカーの底に着色料が広がり、3時間後には20mL付近まで着色された。9時間後になると、さらに着色が進み、白い層が溶けて下の方に溜まった。常温で3日間放置すると、チョコレートの部分が溶け、濁ってしまった。縦方向の硫酸銅の広がる様子を図8に示した。硫酸銅と比較しても、縦方向への広がりは同じぐらいか、または横方向の広がりと同じでM&M'Sの方が早いと考えられる(ただし、図7と図8では容器の大きさが違うため一概には比較できない)。

補足で、M&M'Sのように、チョコレートの周りに着色料の入ったシュガーコーティングがされているお菓子は明治やフルタから販売されている。しかし、明治やフルタは水に溶けにくく、図5や6のように広がらないため、この実験には使用できない。

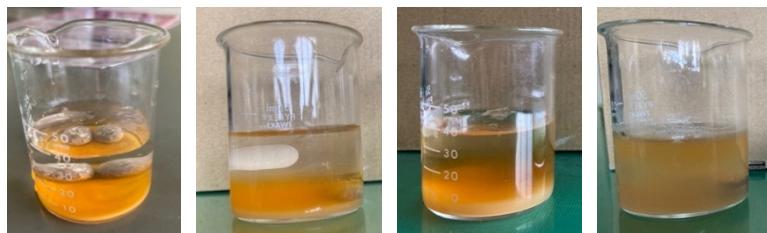


図7 M&M'Sの縦方向の広がり

左から、入れた直後、3時間後、9時間後、3日後



図8 硫酸銅の縦方向の広がり(H24大日本図書「理科の世界1」)

左から、直後、15日後、30日後、45日後

2-2 ろ過と蒸発による再結晶での活用

M&M'Sを溶かした水をろ過すると、ろ紙にチョコレートが残り、ろ液は着色された色になっている(図9)。ろ紙の隙間よりも小さなものは通り抜けるが、大きなものは通り抜けないろ過の仕組みを理解しやすい。

再結晶では、ろ液をスライドガラスに乗せ、ホットプレートの上で水分を蒸発させる。そうすると、結晶にはならないが、水滴の淵に沿って色の濃い筋ができる(図10)。ミョウバンと食塩のろ過と再結晶の実験は必須であり、M&M'Sでは溶解度に関しては学習できないので、その技能を身に付けるとした位置付けでM&M'Sを利用するすることが適切と考える。



図9 ろ過の様子

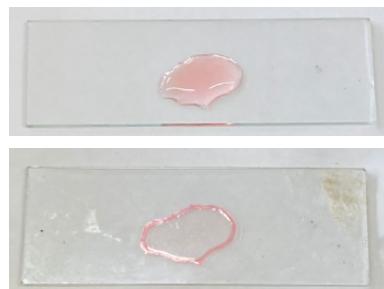


図10 再結晶

上は蒸発前、下は蒸発後

資料 3 教材としての BB 弾について

3-1 溶ける様子を粒子モデルで表現する場での活用

図 5 で示した溶質が溶媒に溶ける様子を、BB 弾を使ってモデル化することを試みた。モデル実験は、白と黄色の BB 弾を使用する。まず、ペトリ皿の中心に黄色、その外側に白の BB 弾を置く。その後、ペトリ皿を揺らすと、黄色の BB 弾が散らばっていく様子を見ることができる（図 11）。また、広がった黄色の BB 弾は中心に戻らず広がったままであることも確認できる。ここで、BB 弾を敷き詰めすぎると、揺らしても BB 弾が動かなくなるので、ある程度、空間を作つておくことが必要である。

さらに複数の BB 弾をボンドなどで固めて固体を表現したり、激しく揺らしてペトリ皿から出た BB 弾を気体として表現したりするなどの工夫もできる。

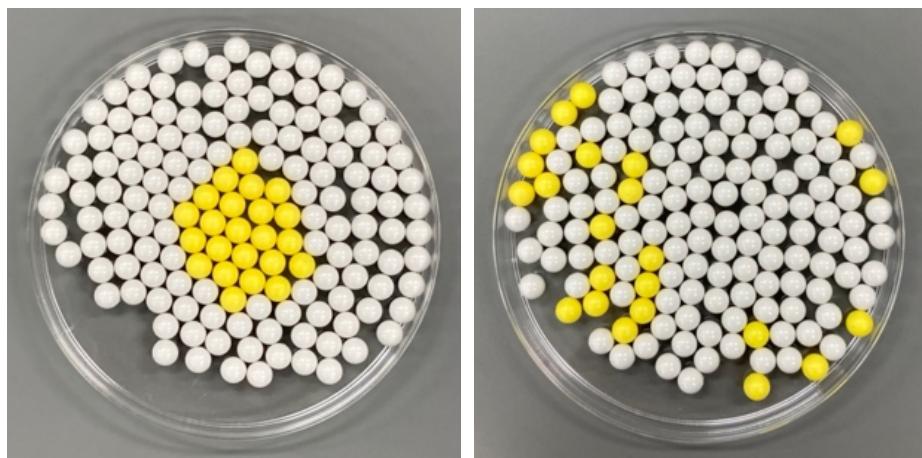


図 11 BB 弾を用いた粒子の広がり
白が水で黄色が溶質であり、左が広がる前、右が広がった後を表している。

3-2 ろ過の仕組みでの活用

ろ過を説明する際にも、BB 弾は活用できる。図 12 に BB 弾を用いたろ過の説明を示した。ビーカーに水と BB 弾を入れてろ過をすると、ろ紙の隙間よりも小さな水は通り抜けるが、隙間よりも大きい BB 弾は通り抜けられないことがはっきりとわかる。さらに、ろ紙の代わりにネットやザル、水の代わりにネットやザルの網目よりも小さな玉を活用してろ過の説明をするなどの工夫も考えられる。



図 12 BB 弾を用いたろ過の説明

資料4 第1学年「水溶液」の単元目標など

4-1 単元目標

水溶液から溶質を取り出す実験を行い、その結果を溶解度と関連付けて科学的に探究している。

4-2 単元でつけたい力

知識・技能	身の回りの物質の性質や変化に着目しながら、水溶液についての基本的な概念や原理・法則などを理解しているとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本操作や記録などの基本的な技能を身につけている。
思考力・表現力 ・判断力	水溶液について、問題を見いだし見通しをもって観察、実験などをを行い、物質の性質における規則性を見いだして表現しているなど、科学的に探究している。
主体的に学習に取り組む態度	水溶液に関する事物・現象に進んで関わり、見通しをもったり振り返ったりするなど、科学的に探究しようとしている。

4-3 評価評定につながる評価について

観点	評価に関する共通した課題 教材、プリント、テスト	見取りの視点
知識・技能	実験の技能、単元テスト	水溶液に関する身の回りの物質の性質や変化に着目しながら、水溶液のことを理解するとともに、それらの観察、実験などに関する技能を身に付けている。
思考力・判断力 ・表現力	プリント	水溶液について、問題を見いだし見通しをもって観察、実験などをを行い、物質の性質や状態変化における規則性を見いだして表現している。
主体的に学習に取り組む態度	行動観察、振り返り	水溶液に関する事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとしている。

資料5 単元計画

時	学習活動	知	思	態
1	<p>目標：小学校の復習や M&M'S が水に溶けた様子の観察を通して、たくさんの疑問を出すことができる。</p> <p>導入：小学校で「水溶液」についてどのようなことを学んだか。</p> <p>展開：ティーパックに食塩を入れたものとコーヒーシュガーをそれぞれ水の入ったビーカーに入れる。その様子を観察し、小学校で学習した「物の溶け方」を想起させる。小学校で学んだ学習内容と「溶質」「溶媒」「溶解」「水溶液」という単語、水溶液の性質を押さえる。</p> <p>終末：M&M'S の溶け方から、どのような気付きや疑問があるだろうか。</p>			
2	<p>目標：M&M'S チョコレートを温度の違う 2 種類の水の中に入れるとどのようになるのかを、白い BB 弾を水、黄色の BB 弾を溶質に見立てて仮説を立てたのちに検証する活動を通して、溶質が水に溶ける様子を粒子モデルで表すことができる。</p> <p>導入：前回、水に溶かしたコーヒーシュガーと M&M'S のその後の様子を見て、時間が経っても色は均一のままであることを確認する。</p> <p>展開：水を浸したペトリ皿の中心に M&M'S を置いたら、着色はどのように広がるのだろうか。また、湯にすると溶け方は変わるものだろうか。グループごとに 2 色の BB 弾を渡して、説明ができるようにチャレンジする。ジャムボードで考えを班ごとまとめる。</p> <p>終末：実際に M&M'S を水と湯につけて観察する。</p>		○	○
3	<p>目標：水溶液の濃さを、質量パーセント濃度で表すことができる。</p> <p>導入：同量の水に M&M'S を 1 個、2 個とそれぞれ入れた時に、溶かす前と後で質量は変わるか。濃さはどうなるだろうか。</p> <p>展開：水溶液の濃さはどのように表せばわかりやすいだろうか。水溶液の濃さは、水溶液に対する溶質の割合で表すことができ、水溶液の質量に対する溶質の質量の割合を百分率で表した濃度である質量パーセント濃度で表せることを知る。p.127 の演習を解く。質量と水溶液の濃さについて予想を立てる。</p> <p>終末：実際に同量の水に M&M'S を 1 個、2 個とそれぞれ入れて、検証する。</p>			
4	<p>目標：溶解度曲線の読み方を習得することができる。</p> <p>導入：塩化アンモニウム水溶液の温度を下げて、塩化アンモニウムの結晶を観察する。</p> <p>展開：「塩化アンモニウム水溶液の温度を下げる、なぜ結晶ができるのか。」</p> <p>溶解度は溶質の種類ごとに決まった値になり、温度によって変化することを理解する。また、温度の変化や水の蒸発を利用して、一度溶かした物質を再び結晶として取り出したことを理解する。再結晶によって取り出しができる物質の量は、温度ごとの物質の溶解度が分かれば求めることができることを知る。</p> <p>溶解度曲線の読み方を習得しよう。p.125 の例題を解く。</p> <p>終末：問題を解く。</p>		○	

5	<p>目標：溶解度曲線を読み取り、温度による溶解度の差が、塩化ナトリウムは小さく、硝酸カリウムは大きいため、冷やすと硝酸カリウムのみ取り出すことができるこことを予想できる。</p> <p>導入：5 g の水に食塩や硝酸カリウムを溶かし、決まった量の水に溶ける物質の量には限度があるか考え、班の中で話し合う。また、水に溶ける物質の量に限度があり、その限度の量は温度によって変わることを確認する。</p> <p>展開：p.122 図5を見て、塩化ナトリウムと硝酸カリウムの水への溶けやすさの違いを比べる。硝酸カリウムの水溶液や食塩水から溶質を取り出すにはどのようにしたらよいか。水溶液を冷やしたら、溶質は取り出せるか。</p> <p>終末：温度による溶解度の差が、塩化ナトリウムは小さく、硝酸カリウムは大きいため、冷やすと硝酸カリウムのみ取り出すことができる。</p>	<input type="radio"/>	
6	<p>目標：実験によって、硝酸カリウムはろ過して得られ、食塩は水を蒸発させて得られたことを確認できる。</p> <p>導入：実験 5 の手順の説明を確認する。</p> <p>展開：硝酸カリウムの水溶液や食塩水を冷やすと、溶質を取り出せるか。</p> <p>終末：硝酸カリウムはろ過して得られた。また、食塩は水の蒸発で得られた。</p>		
7	<p>目標：M&M'S チョコレートが溶けた水溶液から、ろ過や水の蒸発によって着色された溶質を取り出すことができる。</p> <p>導入：水溶液から着色した溶質を取り出せるか。</p> <p>展開：水溶液から溶質を取り出すにはどのようにしたら良いのだろうか。ろ過と蒸発の実験方法を確認し、実験する。</p> <p>終末：ろ過では、ろ紙にチョコレートが残りろ液は着色されたままだったが、水を蒸発させると色が濃くなり溶質が取り出せた。</p>	<input type="radio"/>	
8	単元の振り返りと単元テスト		

資料6 第2時の授業過程

形体 時間	学習活動 「 」 教師の発問 ・生徒のあらわれ ※留意点 ◇評価 ○教師の支援
全体 10分	<p>「前回、水に溶かしたコーヒーシュガーと M&M'S を見てみよう。」</p> <ul style="list-style-type: none"> 中心のチョコは底に残るが、色が均一に広がっている。 上部は薄く、底の方は色が濃くなると思ったけど、色は均一のままだ。 <p>※ 「粒子」を意識させるため、溶解前と溶解後の水溶液の状態を、粒子を使って絵を板書する。ここで、粒子で説明することによって、M&M'S の色と粒子が結びつく。これをしないと、仮説を立てる時点では M&M'S の色と粒子が結びつかない。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>水を浸したペトリ皿の中心に M&M'S を置いたら、色はどのように広がるのだろうか。また、湯だと溶け方は変わるものだろうか。</p> </div> <ul style="list-style-type: none"> 徐々に色が広がっていく。もわ～っと広がっていく。 温度を高くすると、より早く広がると思う。 広がった色は元には戻らず、時間が経っても均一に広がったままだと思う。 <p>※ ここまででは、全員が前に集まり演示する。</p> <p>※ 生徒は「同心円状」という言葉を知らない。ここで、同心円状と言う言葉を押さえつつ、全員がこのような予想を立てるので、予想を板書し、「では、これを粒子で説明しよう」と言う流れを作る。</p> <p>※ 色の広がりではなく、チョコレートが溶け出すと勘違いする生徒がいるので、M&M'S が溶けたものを再度見せて、チョコレートは溶けず「色」が溶け出すことを伝える。</p>
個 5分	<p>「まずは、個人で3分間考えてみよう。」</p> <ul style="list-style-type: none"> 徐々に広がる...? <p>※ 粒子のことを忘れているので、多くの生徒は答えることができない。また、粒子が運動していることや温度が高くなるとより激しく粒子が運動することも忘れているので、教科書の該当箇所を見ながら説明する。</p>
班 10分	<p>「なぜそのようになるかを、白いBB弾を水、黄色のBB弾を溶質に見立てて説明しよう。ジャムボードを使って、班ごとに発表してもらいます。発表係(1)、書記係(1)、実験・道具係(2)を決めてください。1分間取ります。」</p> <p>「1分経ったので、道具係の人はBB弾を取りにきてください。みんなでジャムボードを作成し、ジャムボード係が整えるようにしてください。写真や動画を載せても構いません。」</p> <p>※ ペトリ皿に白いBB弾を敷き、中心に黄色のBB弾を置いたものを各班に配付する。ここで敷き詰めすぎると、揺らしてもBB弾が動かないで、ある程度動く隙間を作つておく。</p> <div style="border-top: 1px dashed black; border-left: 1px dashed black; border-right: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ペトリ皿を揺らしてみると、黄色のBB弾が白のBB弾の間に入り込んでいく。 状態変化のところで、粒子は動いていることを学習したね。 激しく揺らしてみると、黄色のBB弾がより早く入り込んでいくよ。 </div> <p>◇ 粒子が動くことにより溶質は自然に全体に広がり、温度を上げると粒子の動きが激しくなり早く溶けることを説明することができる。</p>

	<ul style="list-style-type: none"> ○ 粒子が運動していることが分からぬ生徒に対して、「状態変化と粒子の運動」で学習したことを振り返るようにアドバイスする。 ○ 説明が広がるようすしか書けていないグループに、「湯にするとどうなるか」や「時間がたつたらどうなるか」という視点も説明に入れることをアドバイスする。
全体 5分	<p>「各班に、前へ出て発表してもらいます。」</p>
全体 5分	<p>「M&M'S を水と湯につけてみよう。みんな前に来てください。」</p> <ul style="list-style-type: none"> ・予想した通り、同心円状に広がっていった。→同じような速さで粒子が運動しているため。 ・湯にすると、早く広がった。 →温度を高くすると粒子の運動が激しくなるため。 ・時間が経っても、色は均一のままだった。 →粒子は運動し続けるため。 <p>※ 同心円状に広がることが分かりやすいように、ペトリ皿の下に1cmごとに円を描いたシートを置く。</p> <p>※ 時間がないので演示で見せる。</p> <p>※ 現象とその理由を演示しているときに生徒に聞き、ここで結果と考察をまとめる。</p>
個人 10分	<p>「個人で考えをレポートにまとめてください。」</p>
個 5分	<p>振り返り</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・なんで、温度が高くなると動きが激しくなるの。 ・温度を冷たくしたり凍らしたりすると、色の広がりはどうなるのだろうか。 ・M&M'S を2つ、3つ入れるとどうなるのか。 </div>