

学習者の粒子概念とモデル思考※を育む指導方略 ～小学校の題材を中心に～

小倉康（埼玉大学教育学部）

○科学的思考力としての「モデル思考」

目に見えない存在や複雑な事象をイメージや単純化した図式に置き換えて予想したり説明したりする科学的思考様式

留意：目的に合わせて自然の事象を単純化するため、正確に表現したものとは言えない

○モデル思考と科学研究

巨視的な時空間で複雑な現象を扱う地学領域（天文、地質、気象）等ではリアルな実験が困難

→モデルに置き換えた実験やシミュレーションで現象を説明したり予測したりすることが有効な探究手段となる

○概念的実体としての粒子

「学習者にとって何らかの实在性をもって機能していると考えられる認識上の構成物を意味している。

（中略）理科の学習によって、学習者のもつ「概念的実体」は、科学的な「概念」へと変容していくことが要求される。」（小倉, 1999）

⇒科学的概念形成途上の仮説的表象

○参考文献

[小倉（1999）「理科的問題解決における生徒の比例的変量関係認識」『科学教育研究』23\(5\), 309-321.](#)

[井形・小倉（2021）「モデル化思考の能力を高める6つの局面からなる理科指導法の開発」『埼玉大学紀要教育学部』70\(2\), 1-6.](#)

[内田・小倉（2023）「概念的実体を構築することで比例的変量関係認識を高め理科学習を改善する学習プログラムの開発」『埼玉大学紀要教育学部』72\(1\), 27-45.](#)

○粒子概念のモデル思考を育む指導方略

教員養成課程「初等理科指導法」および「中等理科指導法」で扱う内容

小学校の題材を中心に、小中学生をターゲットとした指導例

○モデル用素材

“コクヨ ホワイトボード A3 サイズ ポジティ 吊り下げタイプ 縦横両用 P3FB-A3W”（A3 サイズ・黒赤マーカー付、@1186 円）、“ゲームチップ 1号 RENEWAL”（5色各50枚、@689 円）、“コクヨ S&T マグネットシート（片面・粘着剤付き）マク-345”（19mm x 9mm、150片、@726 円）、“ユウキ MC フードカラーボックス 7.25ml×4”（食用色素（青、赤、黄、緑）、@898）、価格はいずれも Amazon

### I 小3「しおとさとうの重さ」

- ・食塩と砂糖（グラニュー糖）を、同じ容器（プラカップ）に同じ高さまで入れて各班に配布  
スライド 同じつぶの大きさと数で表示 [粒子のイメージ化]
- ・発問 「しおとさとうはどちらも同じ体積だけど、重さは同じかな」
- ・活動 手で持った感覚 「しおの方が重い」  
はかりで量る 「さとうは〇〇g、しおは〇〇g」  
考察 「同じ体積でも、物によって重さは異なる」 [初期の密度概念]

### II 小4「とじこめた空気と水」

- ・活動 空気でっぼうで玉を飛ばす 観察
- ・発問 「空気でっぼうは、どうして前の玉を飛ばすことができるのだろう」
- ・活動 ①イラストを描いたプリントを配布し、プリント上で素朴な考えを交流  
②空気の粒（円形プラスチックチップ）を配布し、プリント上で考えを交流  
③説得力のある仮説を共有 [モデル思考、表現]
- ・発問 「空気でっぼうに水を入れるとどうなるのだろう」
- ・活動 ①プリント上で粒を使って、予想を交流  
②説得力のある仮説を共有 [モデル思考、表現]  
③空気でっぼうに水を入れて玉を飛ばしてみる（代表が演示） 実験
- ・説明 スライドを使い対話しながら、粒子モデルで現象を説明する  
「棒をおすと、中にとじこめられた空気が前後の玉をおし返す  
さらに棒をおすと、つぶの間がせまくなり、空気が玉をおし返す力が強くなり  
前の玉が飛び出して、とじこめられた空気のつぶが外に出る」  
「水の場合は、すき間なくつぶが入っている  
棒をおすと、すぐに前の玉がはずれて、水のつぶが外に出る」  
粒子モデルでの説明に納得する [初期の粒子概念の獲得]

### III 小4「じょう発と水じょう気」

- ・発問 「水（のに入った容器）を置いておくとどうなる？」（粒子イメージのスライド） ビーカー図
- ・活動 考えを交流「水の量がへる」
- ・発問 「水の量がへった どうして？」（粒子が少なくなったイメージのスライド）
- ・活動 ビーカー図と粒チップを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]  
「じょう発する」「水の粒が少なくなる」
- ・説明 スライドを使い対話しながら、粒子モデルで現象を説明する  
「水がじょう発して見えないすがた＝水じょう気になる」  
「目に見えない水じょう気が空気中にある」  
粒子モデルでの説明に納得する [水と水蒸気の粒子モデルの獲得]
- ・発問 「水に氷を入れて温度を冷やすとどうなる？ どうして？」（粒子イメージのスライド）
- ・活動 粒子イメージと氷を使って、考えを交流 [モデル思考、表現] 実験

「まわりに水てきがつく」「空気中の水じょう気が水てきになる」

- ・説明 スライドを使いたいしながら、粒子モデルで現象を説明する  
「低い温度になり、水じょう気の一部が目に見えるすがたの水にもどって水てきになった」  
粒子モデルでの説明に納得する [結露の粒子モデルの獲得]

#### IV 小4「水のすがたと温度」

- ・発問 「水を熱し続けるとどうなる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現] 観察  
「湯気が出てくる」「ふっとうする」「あわが出てくる」
- ・発問 「湯気とあわが出てくる これらの正体は？」(粒子イメージのスライド)
- ・実験 教科書通り (スプーンを湯気に当てると水てきになった、袋に集めたあわは水になった)
- ・発問 「湯気もあわも水だったということは？(粒でどう表せるだろう)」(スライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]  
「あわは水じょう気」「湯気は水の粒」
- ・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する  
「ふっとうして出てくるあわは、目に見えない水じょう気」  
「白い湯気は、水じょう気の温度が下がって目に見える水になったもの」  
「湯気の水は、じょう発して、目に見えないすがたの水＝水じょう気になる」  
粒子モデルでの説明に納得する [沸騰、水蒸気、湯気の粒子モデルの獲得]
- ・発問 「水じょう気がでていくとどうなる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]  
「水の粒がどんどん少なくなる」「水の量がへる」  
粒子モデルでの説明に納得する [初期の粒子の保存概念の獲得]

#### V 小4「水の体積と温度」

- ・発問 「水を温めるとどうなる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現] 実験  
「体積がふえる」
- ・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する  
「水を温めると、水の粒と粒の間が広がって、体積がふえる」  
粒子モデルでの説明に納得する [温度による体積変化の概念]
- ・発問 「水を冷やすとどうなる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現] 実験  
「体積がへる」
- ・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する  
「水を温めると、水の粒と粒の間がせまくなり、体積がへる」  
粒子モデルでの説明に納得する [温度による体積変化の概念]

(氷になる時に体積がふえることの疑問が出た場合、  
→「水は氷になると、粒と粒の間が広がって、体積がふえる性質がある」  
「ふつう」「高い」「低い」の温度の水のようすを、それぞれ粒子モデルで提示し  
粒の数がどれも同じことを確認する

・発問 「ふつうの温度と高い温度の水の体積を同じにするとどうなる？」(粒子イメージのスライド)

・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]

「高い温度の水の方が、粒の数が少なくなって軽くなる」

・発問 「どのような実験をしたら確かめられる？」

・活動 考えを交流 [構想]

「ふつうの温度と高い温度の水の体積を同じにして、重さ(質量)を比べる」

材料 0.1 g 表示ができる電子てんびん、メスシリンダー、ピペット、ビーカー(2)、温度計 実験

・結果 「高い温度の水の方が、重さ(質量)が軽い」

・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する

「同じ体積なら高い温度の水の方が軽い」

粒子モデルでの説明に納得する [初期の密度概念]

・発問 「低い温度と高い温度の水を静かに加えるとどうなる？」

・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]

「高い温度の水の方が軽いから、上になる」「液体だから、混ざって同じ温度になる」

材料 丸形水槽、ビーカー、温度計(2)、色素2色 実験

・結果 「高い温度の水の方が上になる」

・考察 「高い温度の水のほう軽いから」(粒子の密度が小さい)

・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する

「低い温度と高い温度の水を静かに加えると

高い温度の水の方が軽い(密度が小さい)から上になる」

粒子モデルでの説明に納得する [物の浮き沈みと密度との関係]

・観察 「同じ体積の食塩水は○g、水は○gと、食塩水の方が水より重い」

・発問 「同じ温度の食塩水と水を静かに加えるとどうなる？」

・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]

「水の方が軽いから、上になる」「液体だから、混ざってうすい食塩水になる」

材料 丸形水槽、ビーカー、温度計(2)、色素2色 実験

・結果 「水の方が食塩水よりも上になる」

・考察 「水のほうが食塩水よりも軽いから」(粒子の密度が小さい)

・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する

粒子モデルでの説明に納得する [物の浮き沈みと密度との関係]

## VI 小4「水のあたたまり方」

- ・発問 「水を熱するとどのようにあたたまる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]  
「熱せられて高い温度になった水は上に移動する」「上の方から下に向かって温まる」
- 材料 示温インクなど、ビーカー、加熱器具
- ・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する  
「温められた水が軽くなり上に動く」  
粒子モデルでの説明に納得する [対流の概念]

実験

## VII 小5「もののとけ方」

- ・発問 「水に食塩をとかずとどうなる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]  
「食塩はとけてなくなる」「食塩が底にたまる」「食塩の重さがなくなる」
- ・結果 「食塩がとけて見えなくなった。重さは変わらなかった」
- 材料 食塩、ビーカー、ガラス棒、電子天秤
- ・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する  
「食塩がとけて目に見えなくなるが、  
水と食塩の粒の数は変わっていないので重さは変わらない」  
粒子モデルでの説明に納得する [溶解、質量の保存の概念]

実験

- ・発問 「食塩水をじょう発させるとどうなる？」(粒子イメージのスライド)
- ・活動 粒子イメージを使って、考えを交流 [モデル思考、表現]  
「水が無くなると、食塩が残る」
- 材料 食塩水のビーカー、蒸発皿、金網、加熱器具、ピペット
- ・説明 スライドを使って、粒子モデルで現象を説明する  
「(水が無くなり) 食塩が目に見えるすがたで出てきた」  
粒子モデルでの説明に納得する [蒸発乾固、粒子の保存の概念]

実験

## 粒子モデルを適用できるその他の例

- 小6 物の燃え方と空気 (気体の異なる性質の粒)
- 小6 動物の呼吸と消化 (異なる性質の粒を利用)
- 小6 水溶液のはたらき (粒の性質を変えるはたらき)
- 小4 雨水のしみこみ方 (土の粒の大きさを変えて、水の粒の通りにくさを表現)



# 学習者の粒子概念と モデル思考※を 育む指導方略

～小学校の題材を中心に～

小倉 康

埼玉大学教育学部

理科モデル授業オンライン研修会合同研修会にて

2023. 8. 10

※ 参考文献

小倉 (1999) 『科学教育研究』 23(5), 309-321

井形・小倉 (2021) 『埼玉大学紀要教育学部』 70(2), 1-6

内田・小倉 (2023) 『埼玉大学紀要教育学部』 72(1), 27-45

# モデル思考

目に見えない存在や複雑な事象をイメージや単純化した図式に置き換えて予想したり説明したりする科学的思考様式

目的に合わせて自然の事象を単純化するため、正確に表現したものとは言えないことに留意

# モデル思考と科学研究

巨視的な時空間で複雑な現象を扱う  
地学領域（天文、地質、気象）等では  
リアルな実験が困難



モデルに置き換えた実験やシミュレーションで現象を説明したり予測したりすることが有効な探究手段となる

## 概念的実体としての粒子

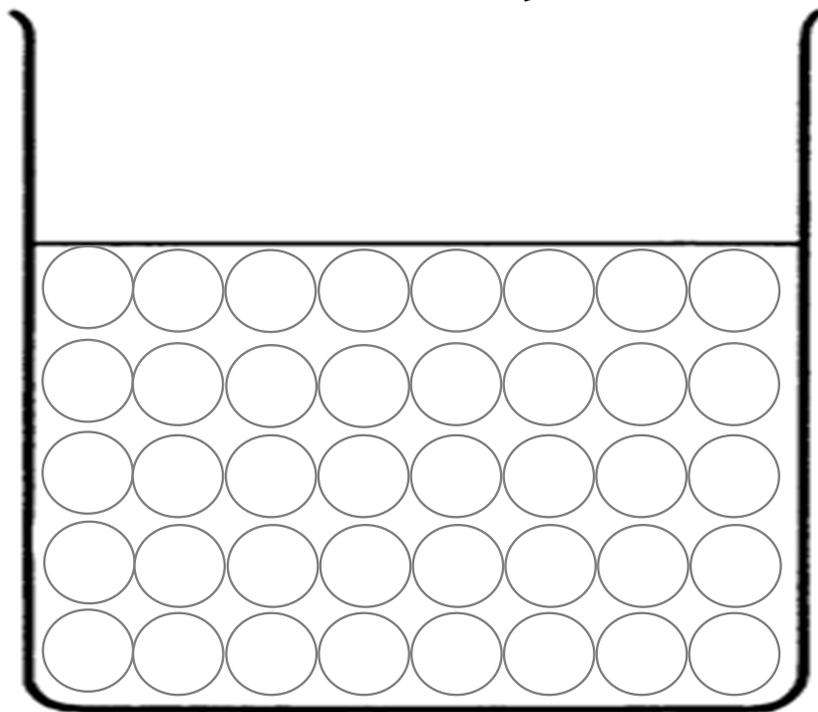
「学習者にとって何らかの实在性をもって機能していると考えられる認識上の構成物を意味している。（中略）理科の学習によって、学習者のもつ「概念的実体」は、科学的な「概念」へと変容していくことが要求される。」（小倉，1999）

⇒科学的概念形成途上の仮説的表象

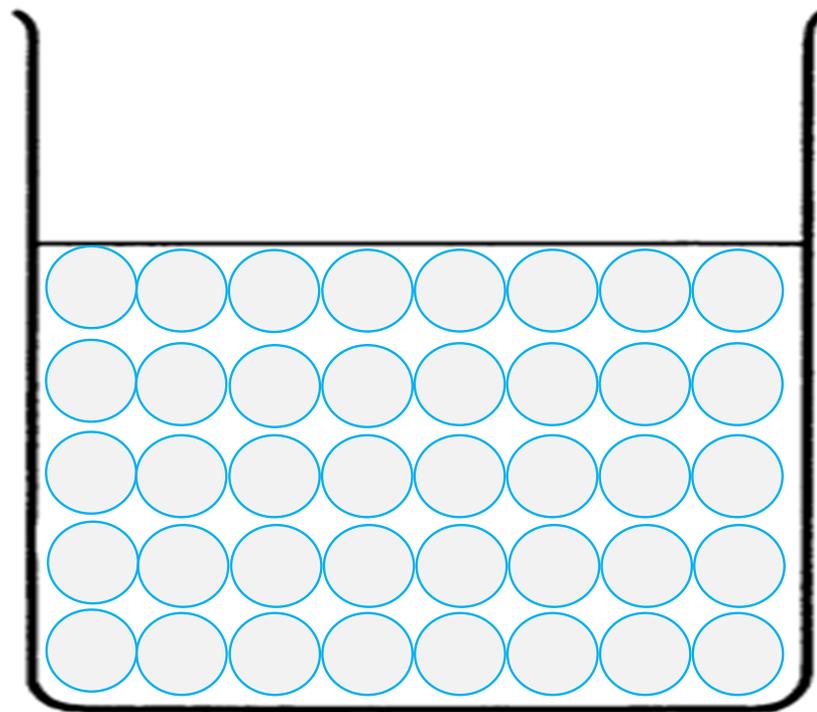
# 小3

しおとさとうの重さ

さとう



しお



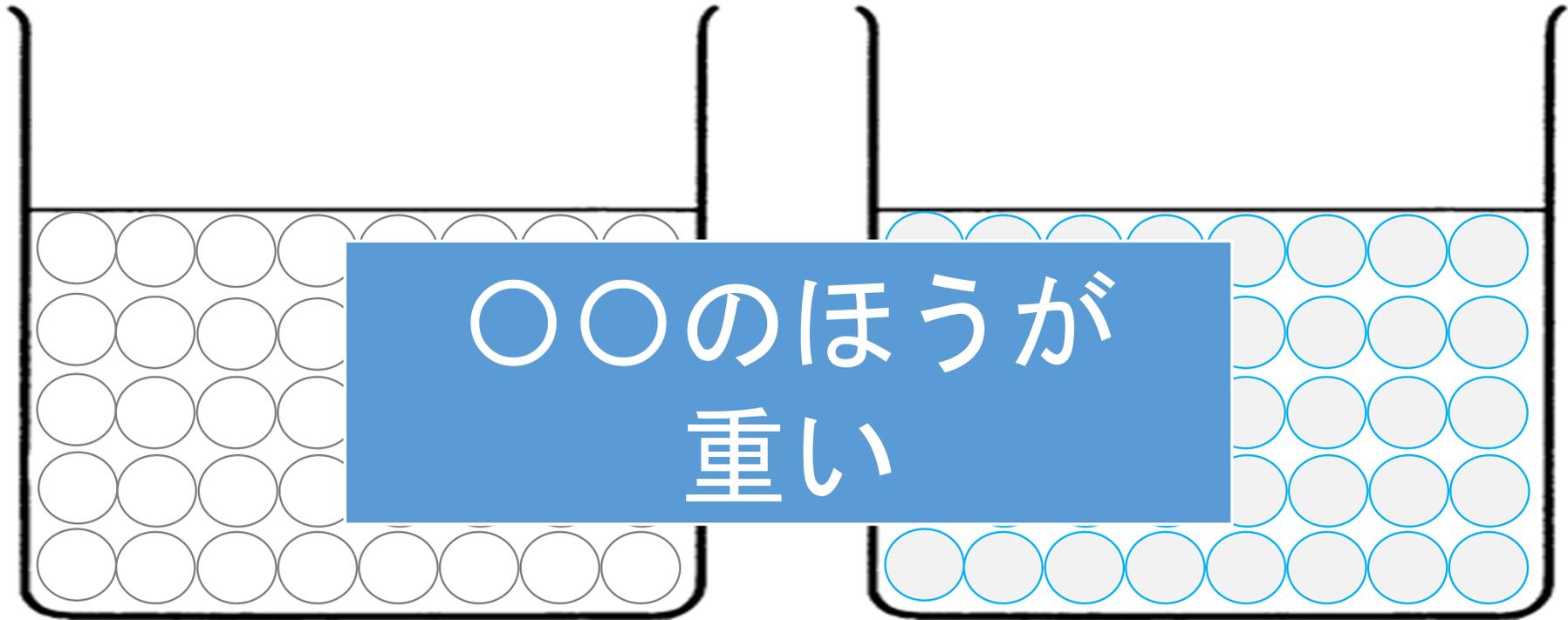
さとう

しお

おなじ体積で  
くらべると

さとう

しお



〇〇のほうが  
重い

〇〇 g

〇〇 g

# 小3

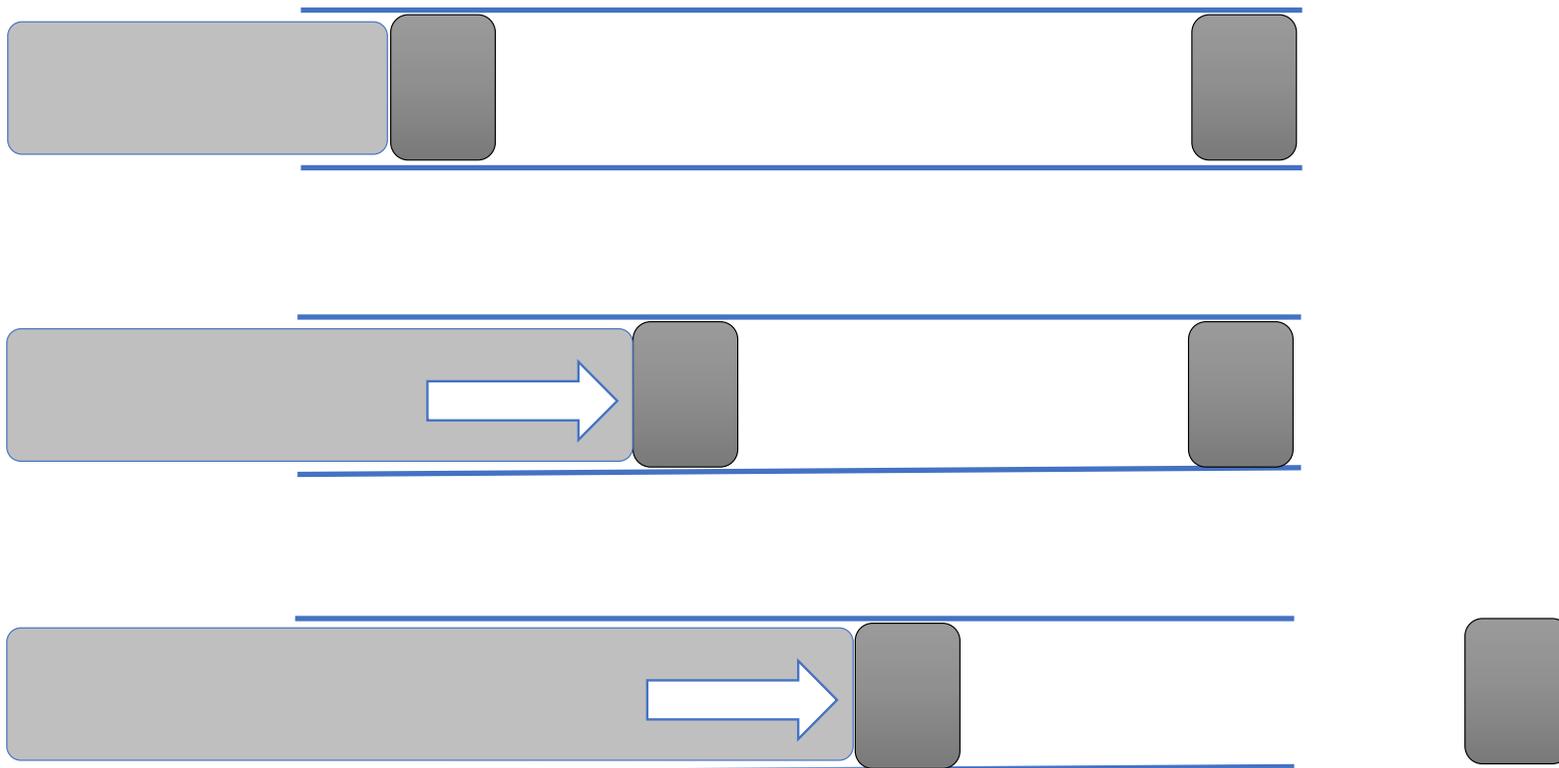
## しおとさとうの重さ

同じ体積でも ● ●  
物によって重さは異なる  
⇒密度の概念につながる

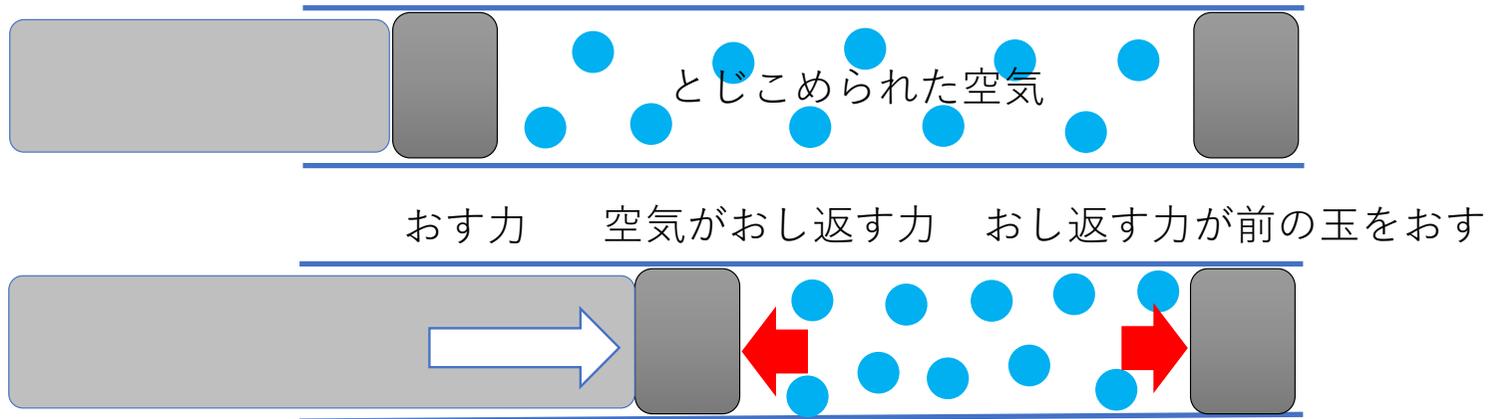
# 小4

## とじこめた空気と水

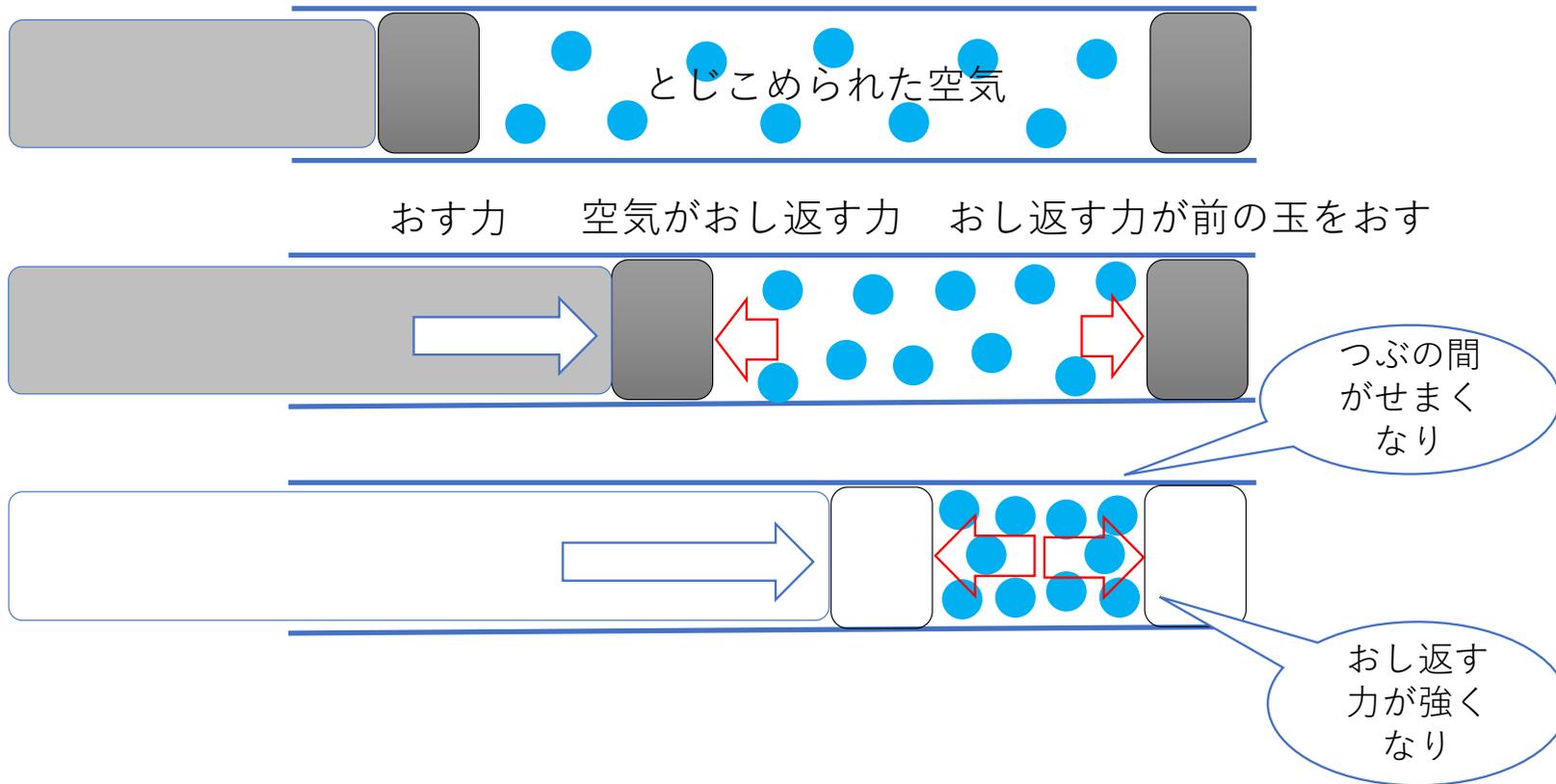
疑問「空気でっぽうは、どうして前の玉を飛ばすことができるのだろうか」



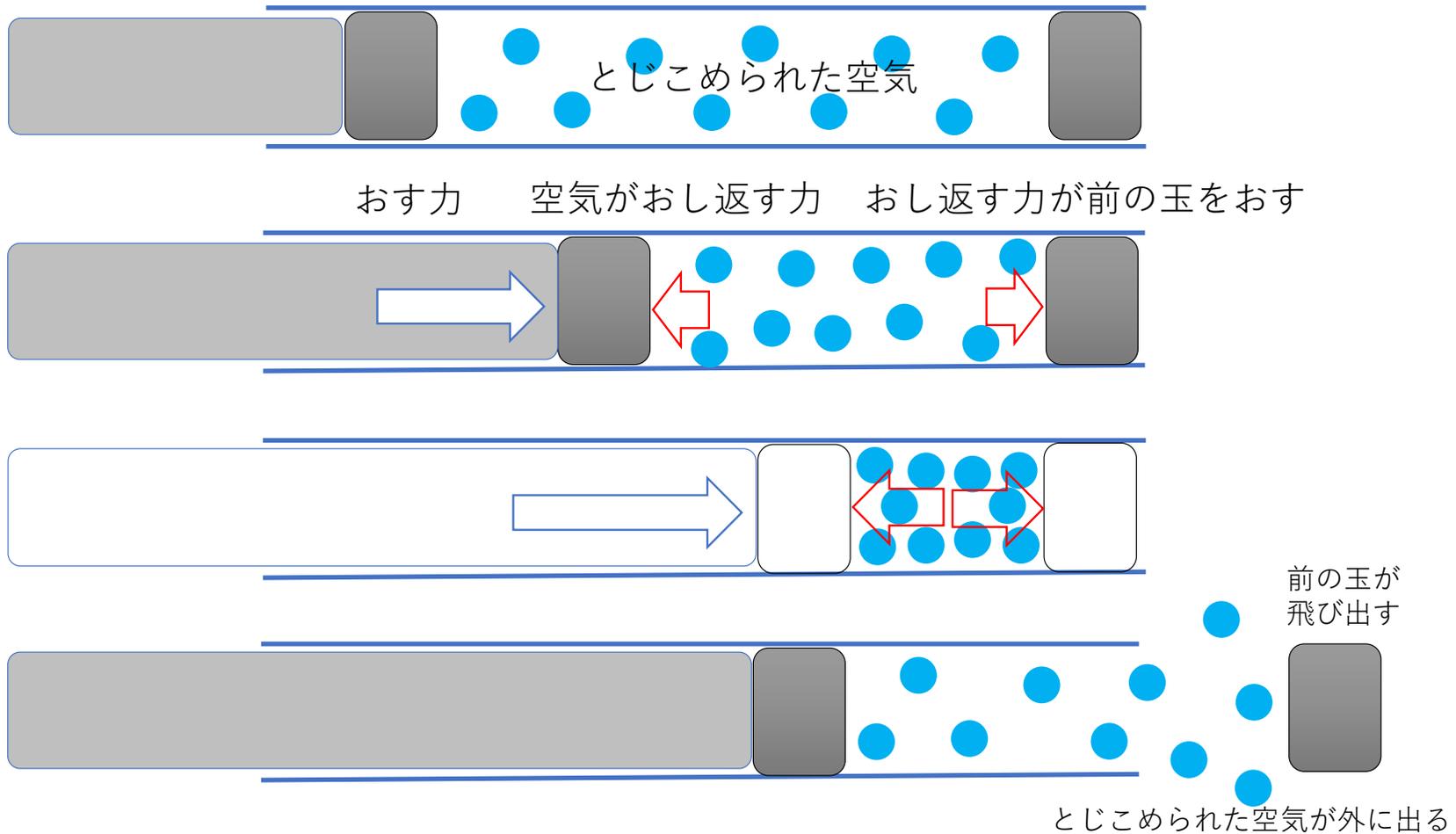
疑問「空気でっぼうは、どうして前の玉を飛ばすことができるのだろうか」



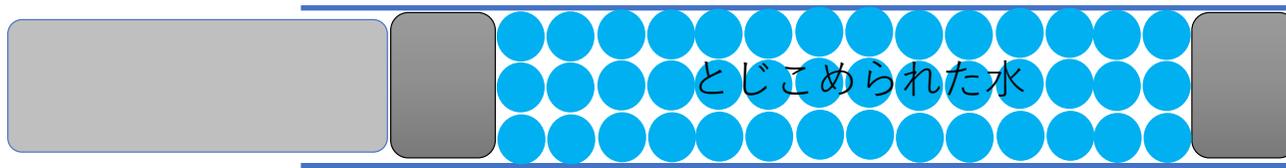
# 疑問「空気でっぽうは、どうして前の玉を飛ばすことができるのだろう」



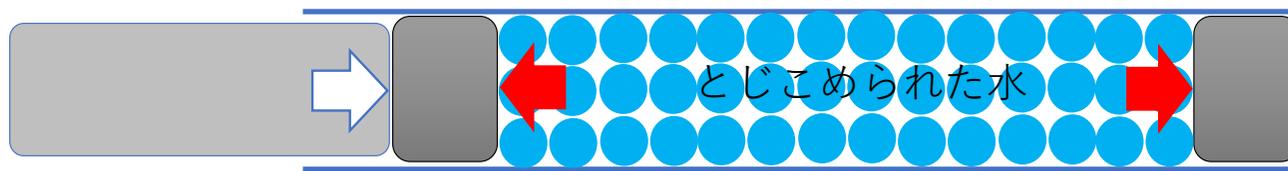
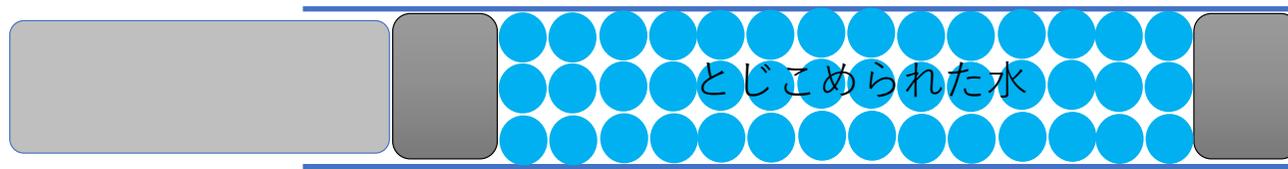
# 疑問「空気でっぽうは、どうして前の玉を飛ばすことができるのだろう」



疑問「空気でっぽうに水を入れるとどうなるのだろう」

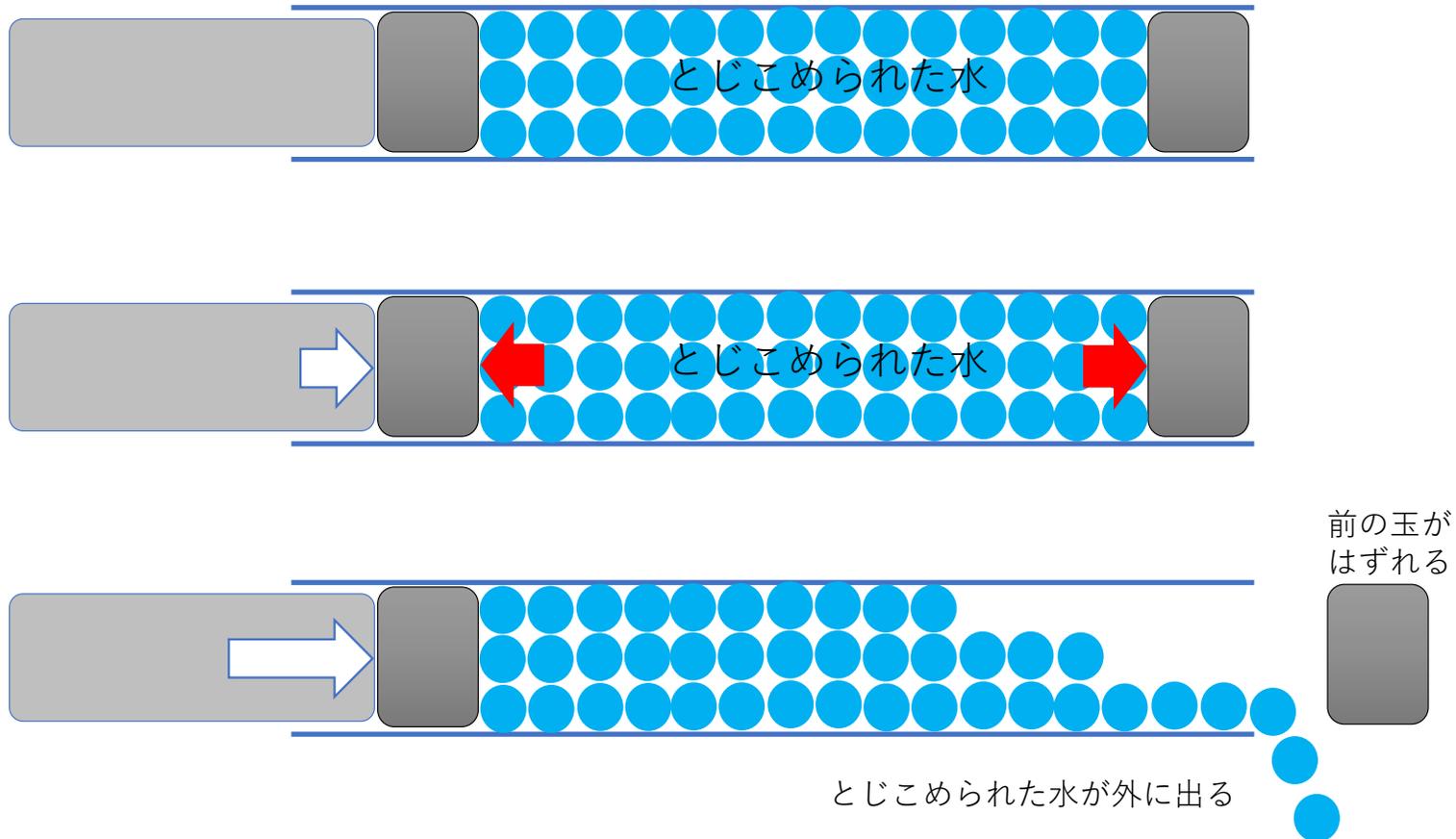


# 疑問「空気でっぽうに水を入れるとどうなるのだろう」



つぶの間  
がせまく  
ならない  
ため

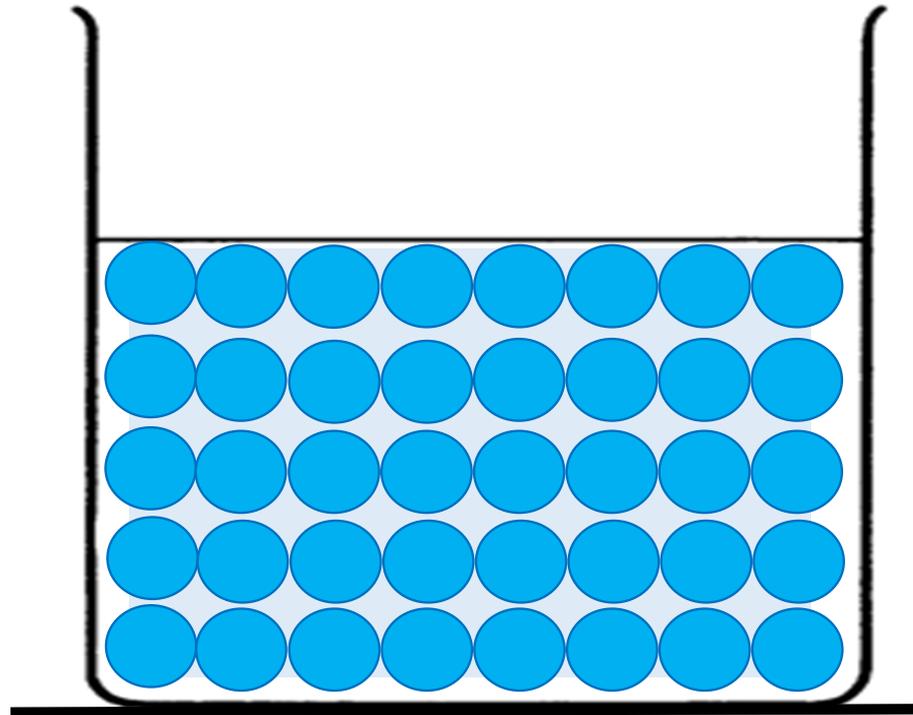
# 疑問「空気でっぽうに水を入れるとどうなるのだろう」



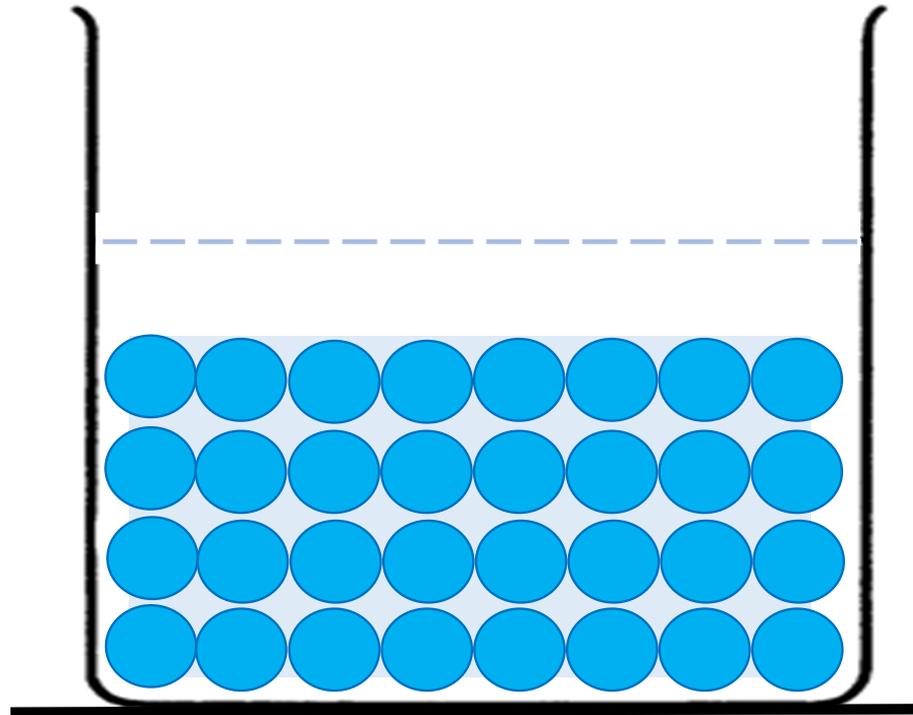
# 小4

じょう発と水じょう気

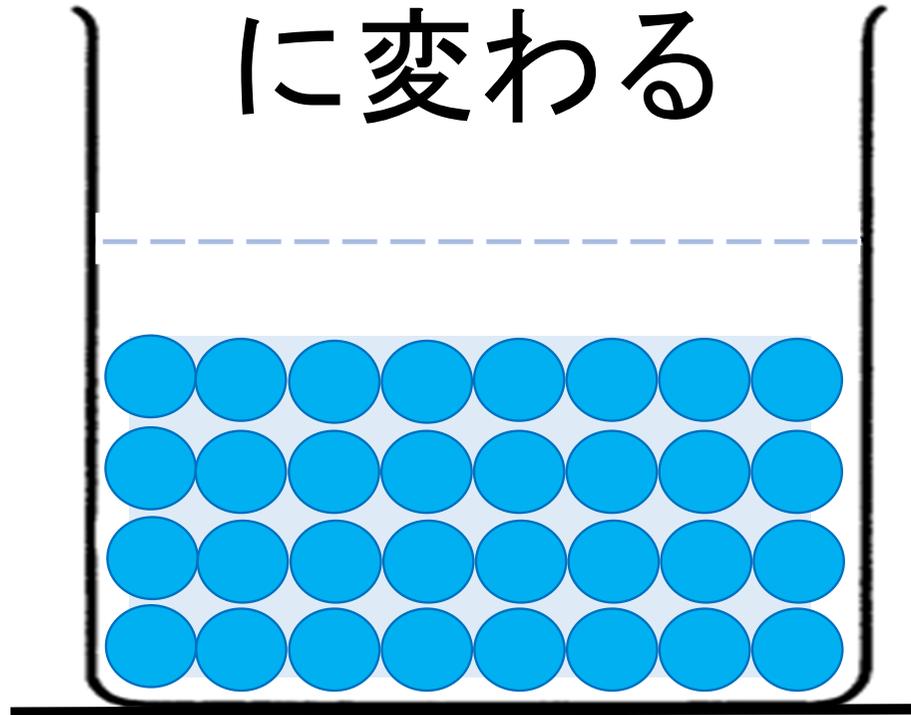
# 水を置いておくと



水の量がへった  
どうして？

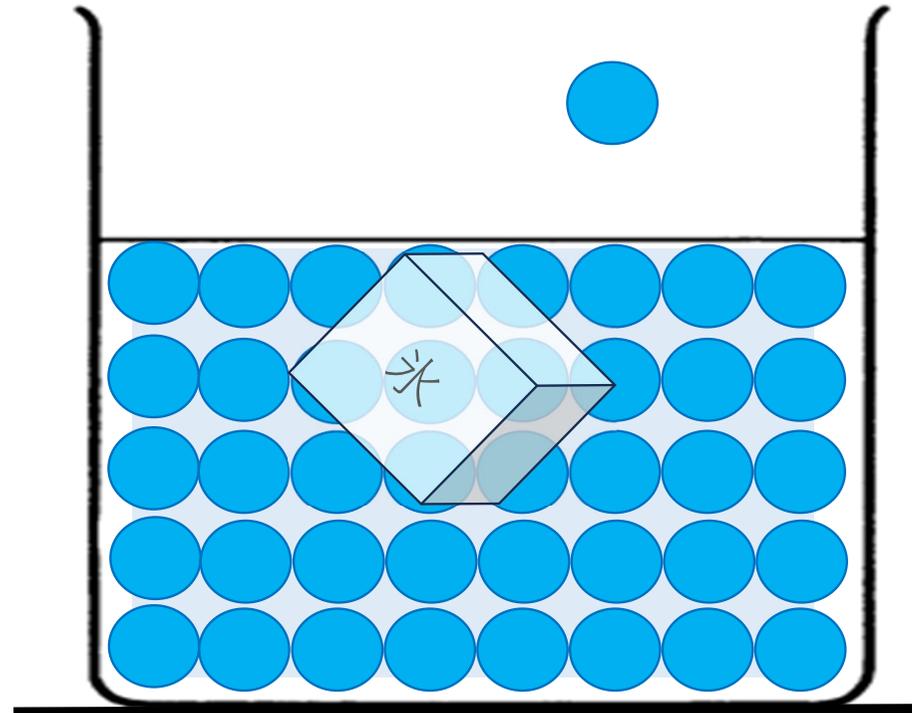


じょう発して  
目に見えないすがた  
に変わる



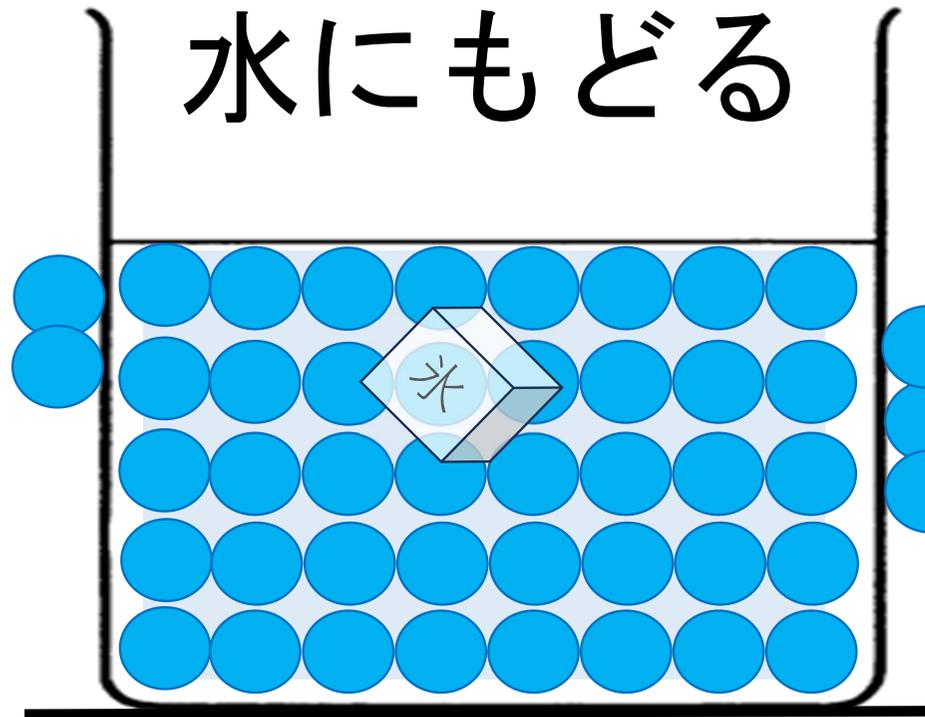
水じょう気  
(見えない)

# 氷を入れて 温度を冷やすと



水じょう気  
(見えない)

# 水じょう気が 目に見えるすがたの 水にもどる



● 水じょう気

低い温度で  
目に見える  
水のつぶ=  
水てきになる

# 小4

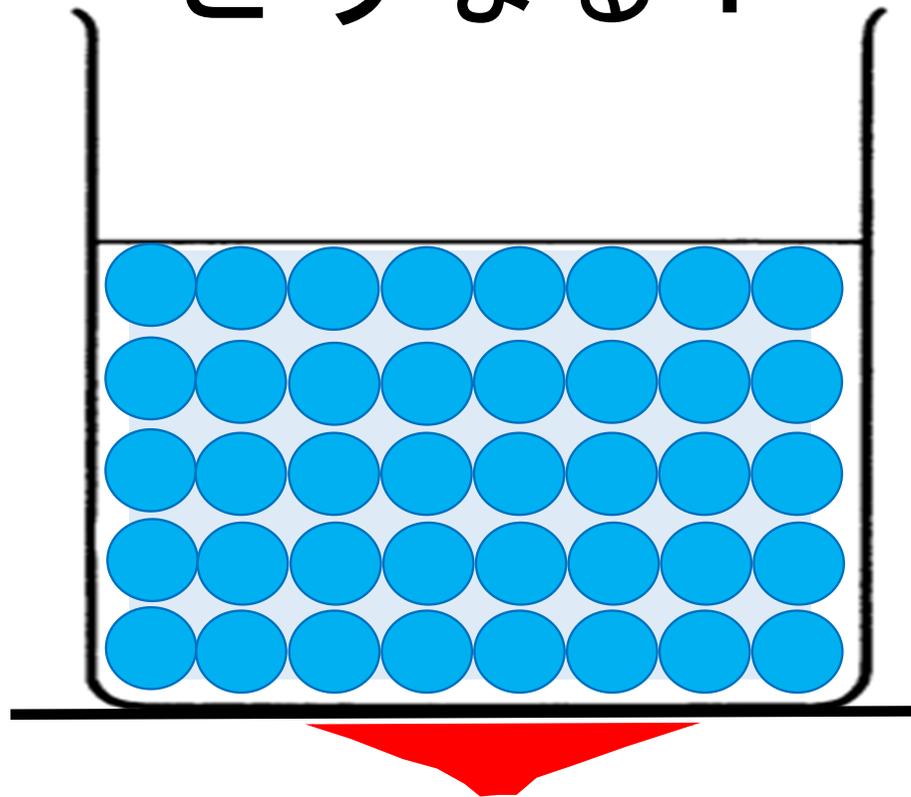
## じょう発と水じょう気

水はじょう発して目に見えない  
姿の水じょう気になったり、  
冷やされて水にもどったりする  
⇒蒸発、結露

# 小4

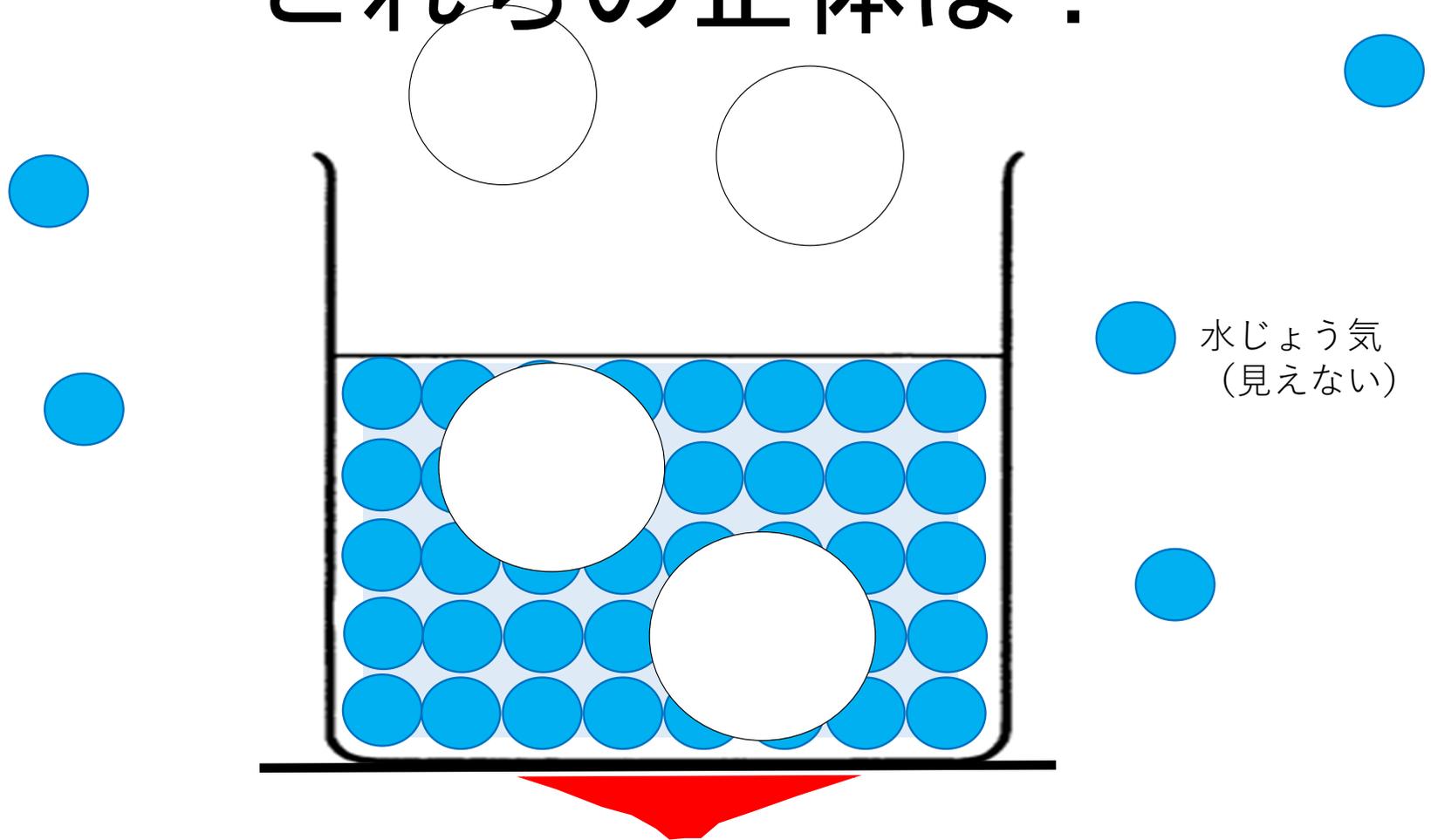
## 水のすがたと温度

# 水を熱し続けると どうなる？



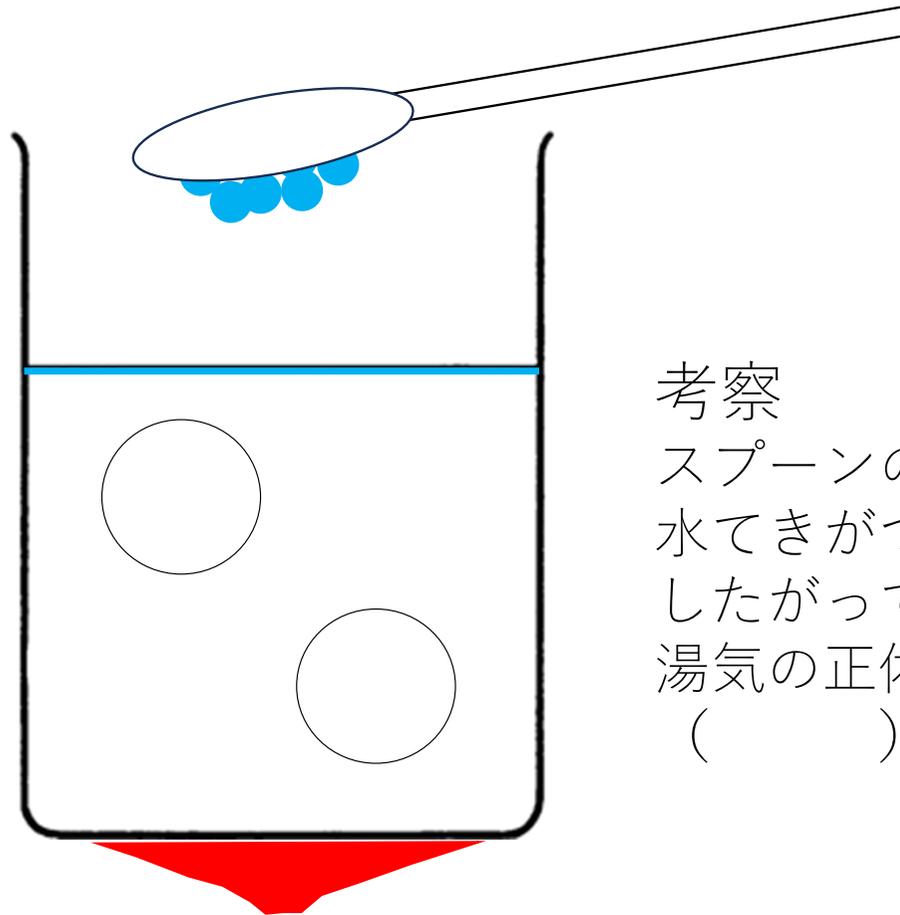
水じょう気  
(見えない)

# 湯気とあわが出てくる これらの正体は？



# 実験 湯気の正体は何か

スプーンを湯気に当てると・・・



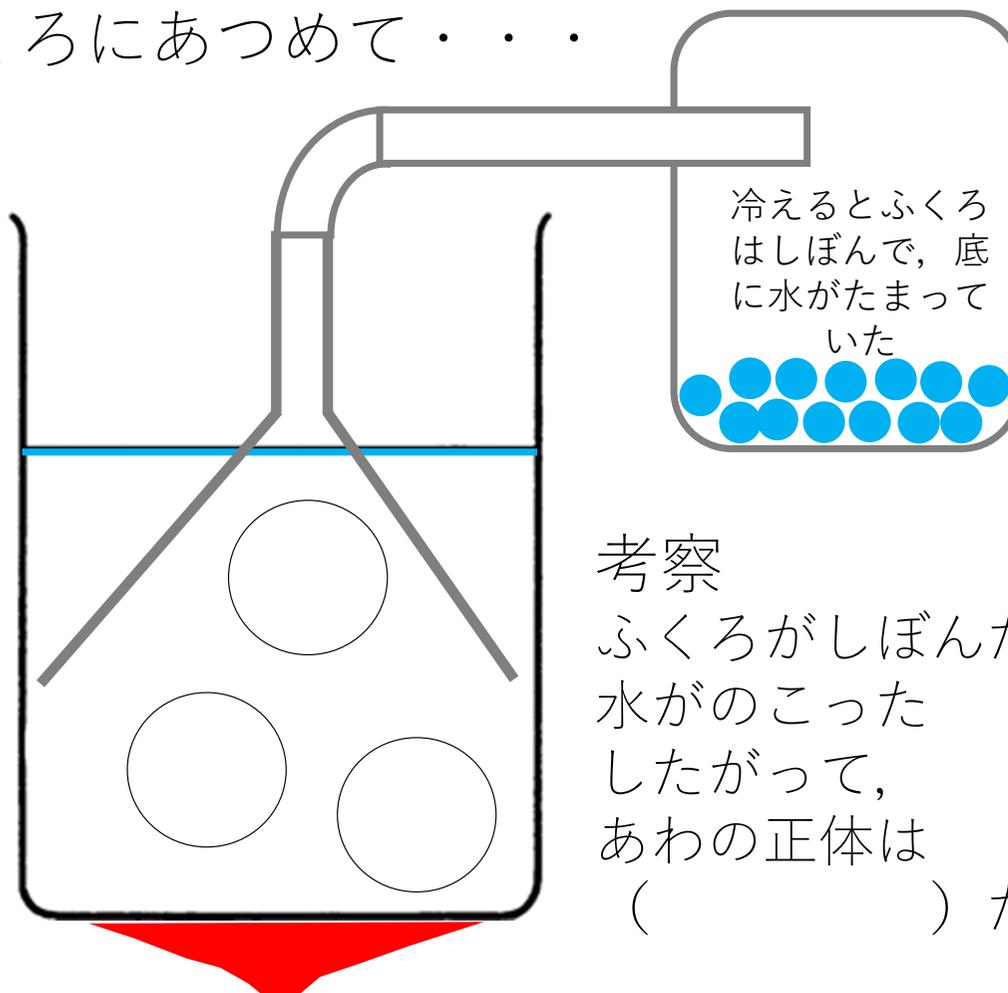
考察  
スプーンの下に  
水てきがついた  
したがって、  
湯気の正体は  
( )だ

# 実験 水がふっとうして出るあわは何なのだろう

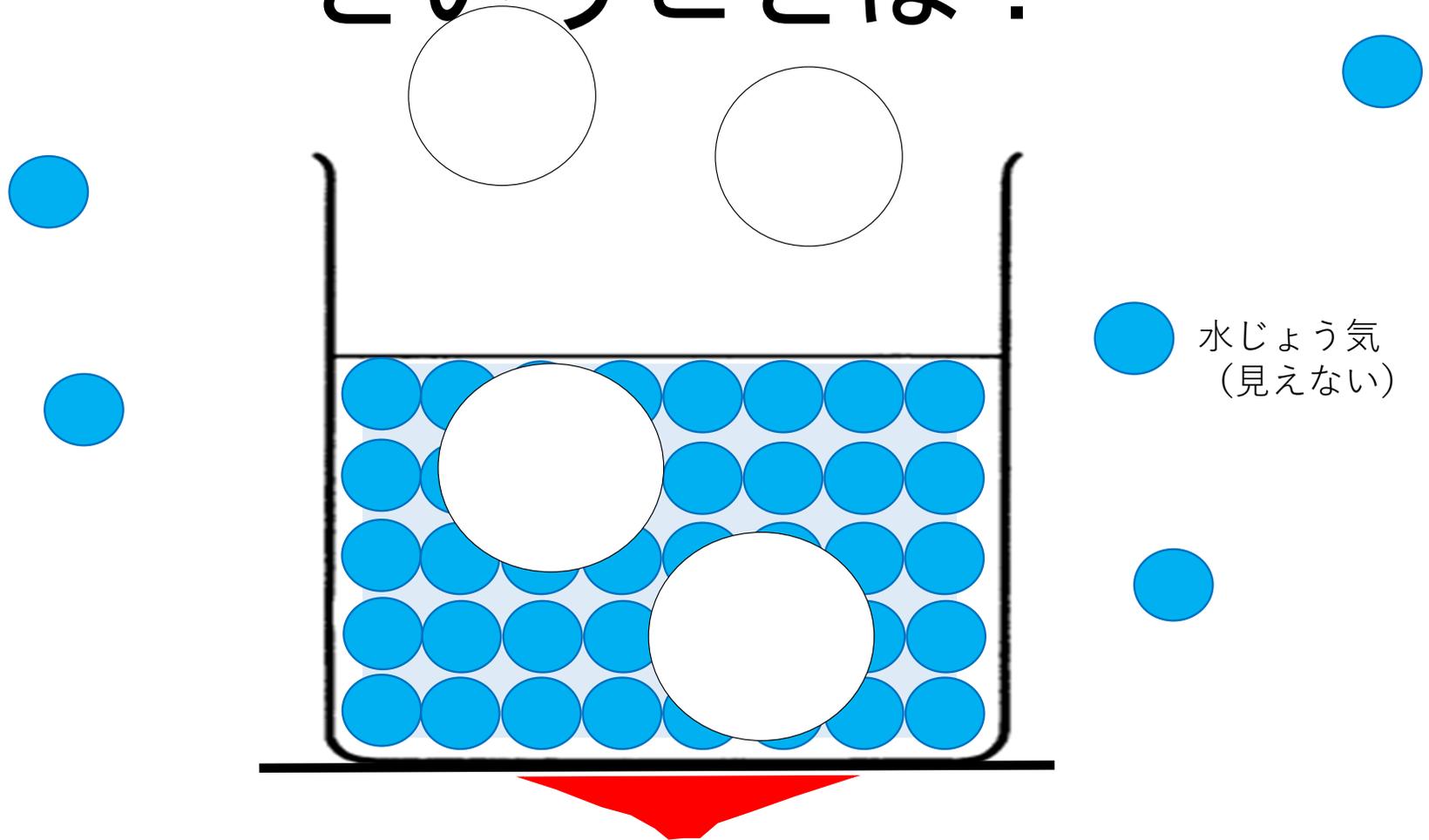
あわをふくろにあつめて・・・

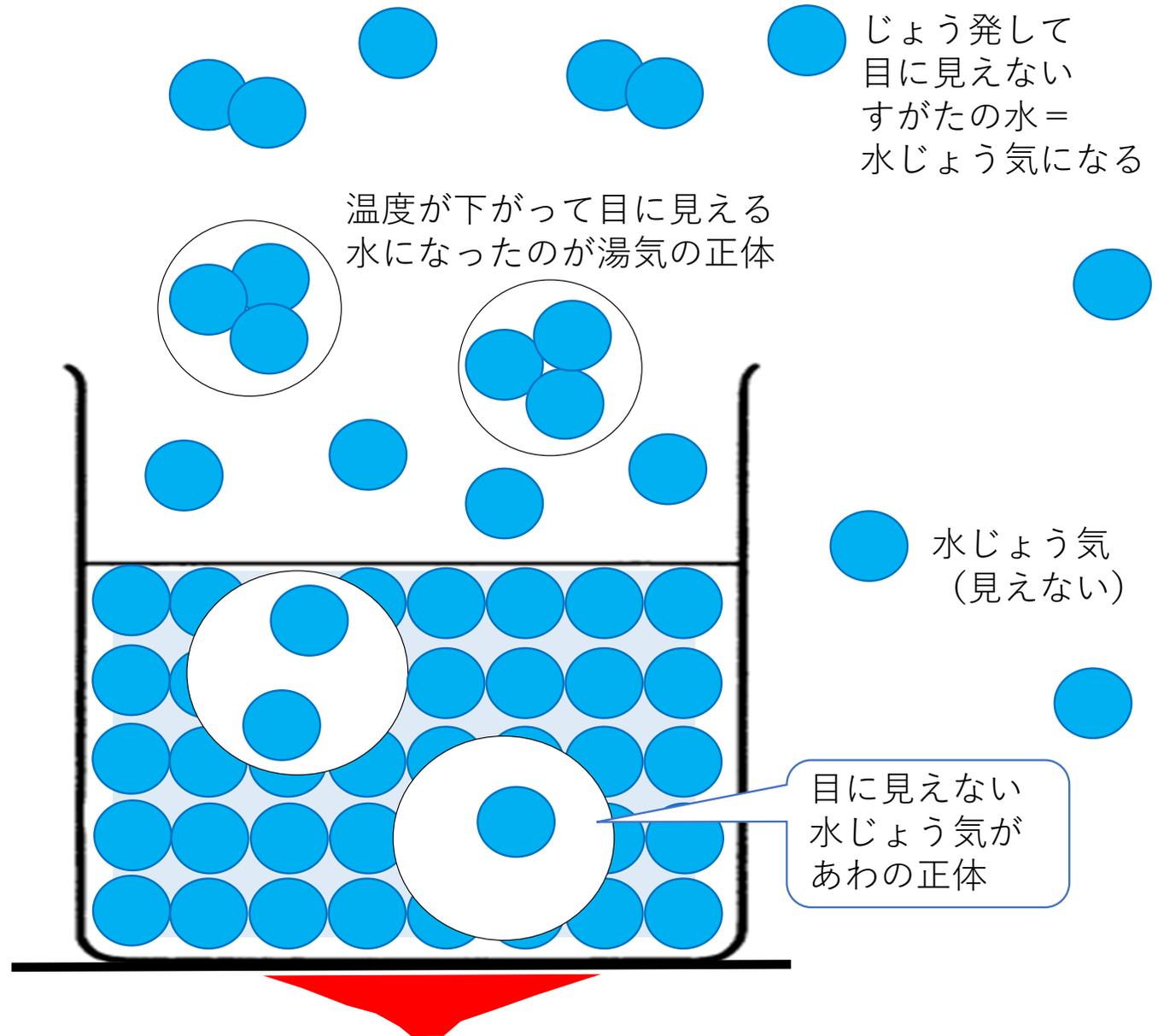
仮説

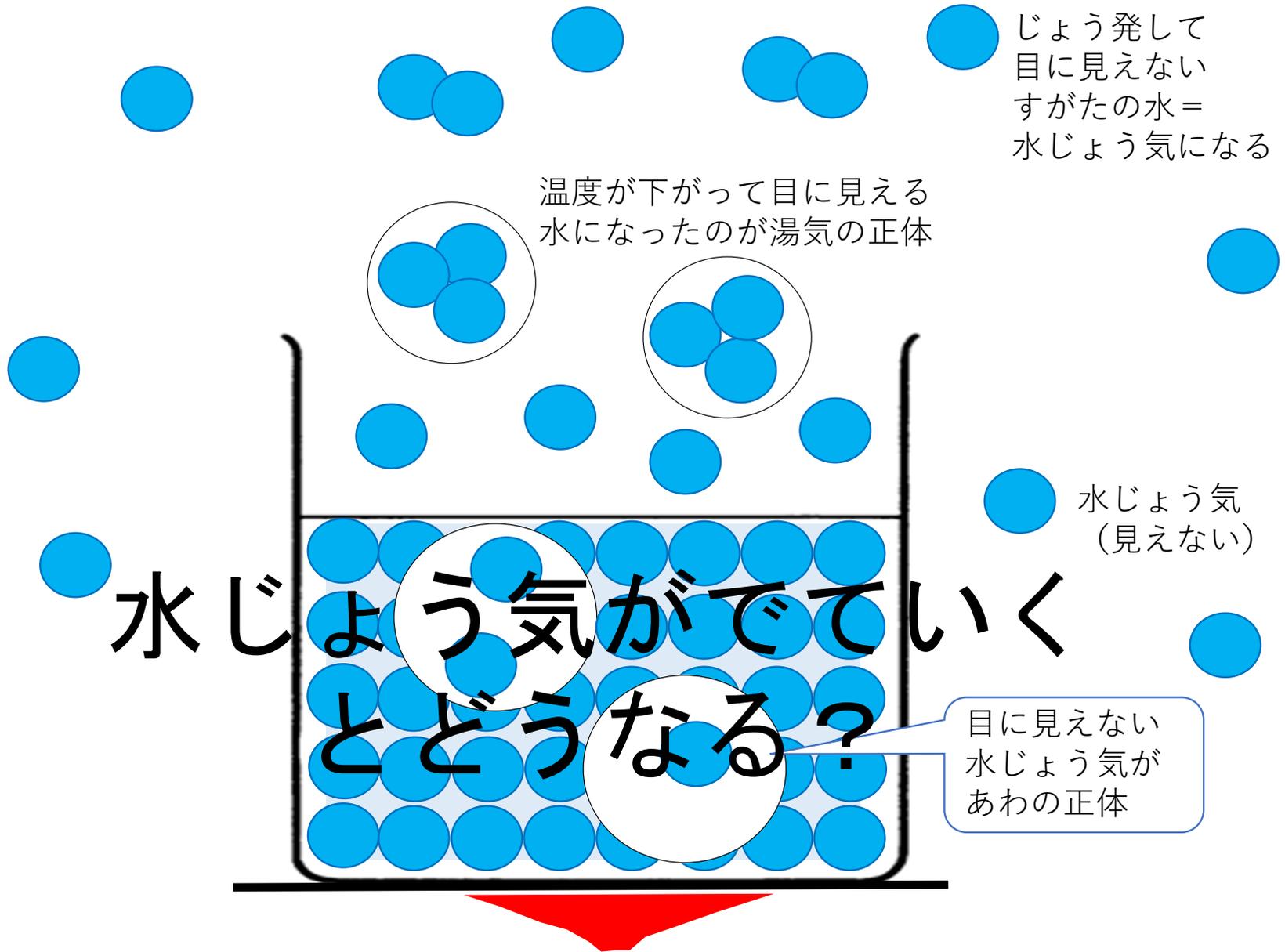
もし、あわが  
( )  
だったら、  
温度が下がれば  
( )  
になるだろう



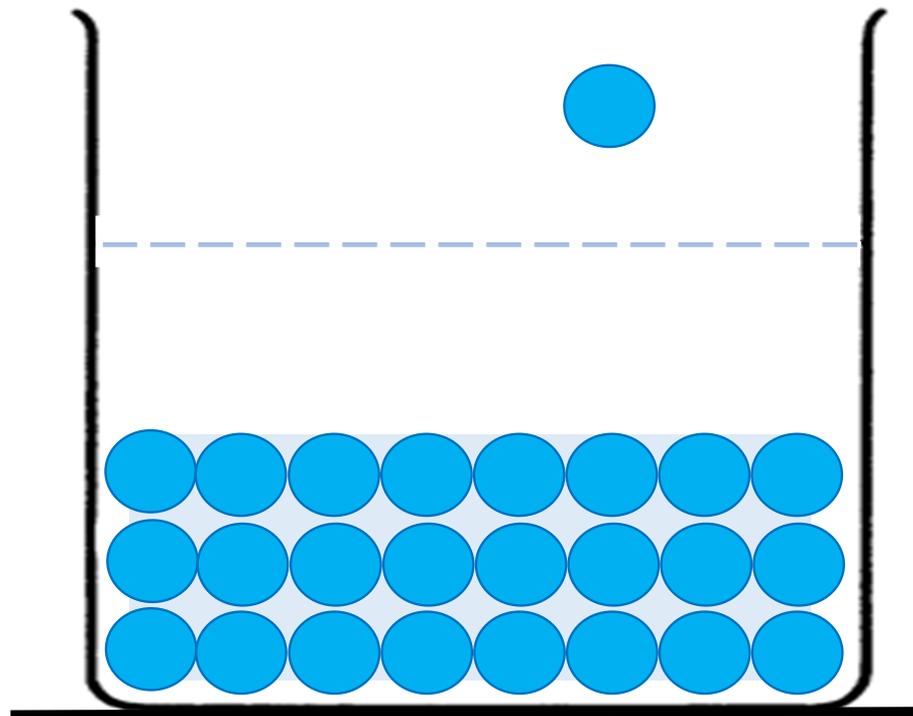
# 湯気もあわも水だった ということとは？







# 水の量がへる



水じょう気  
(見えない)

# 小4

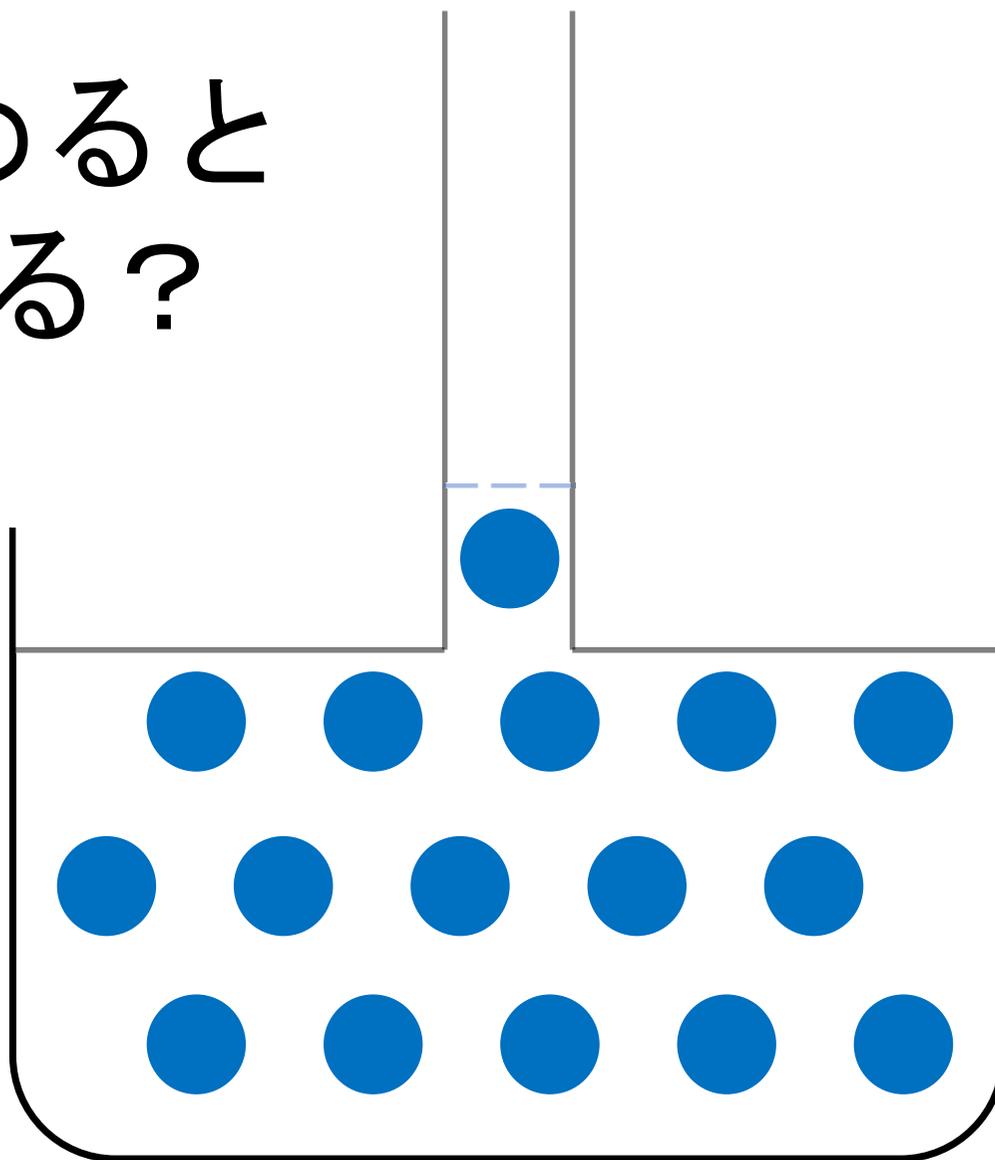
## 水のすがたと温度

水を熱すると約 $100^{\circ}\text{C}$ でふっとうし、水じょう気のあわになる。空気で冷やされると目に見える水のつぶである湯気になる。湯気はじょう発して空気中の目に見えない水じょう気になる

# 小4

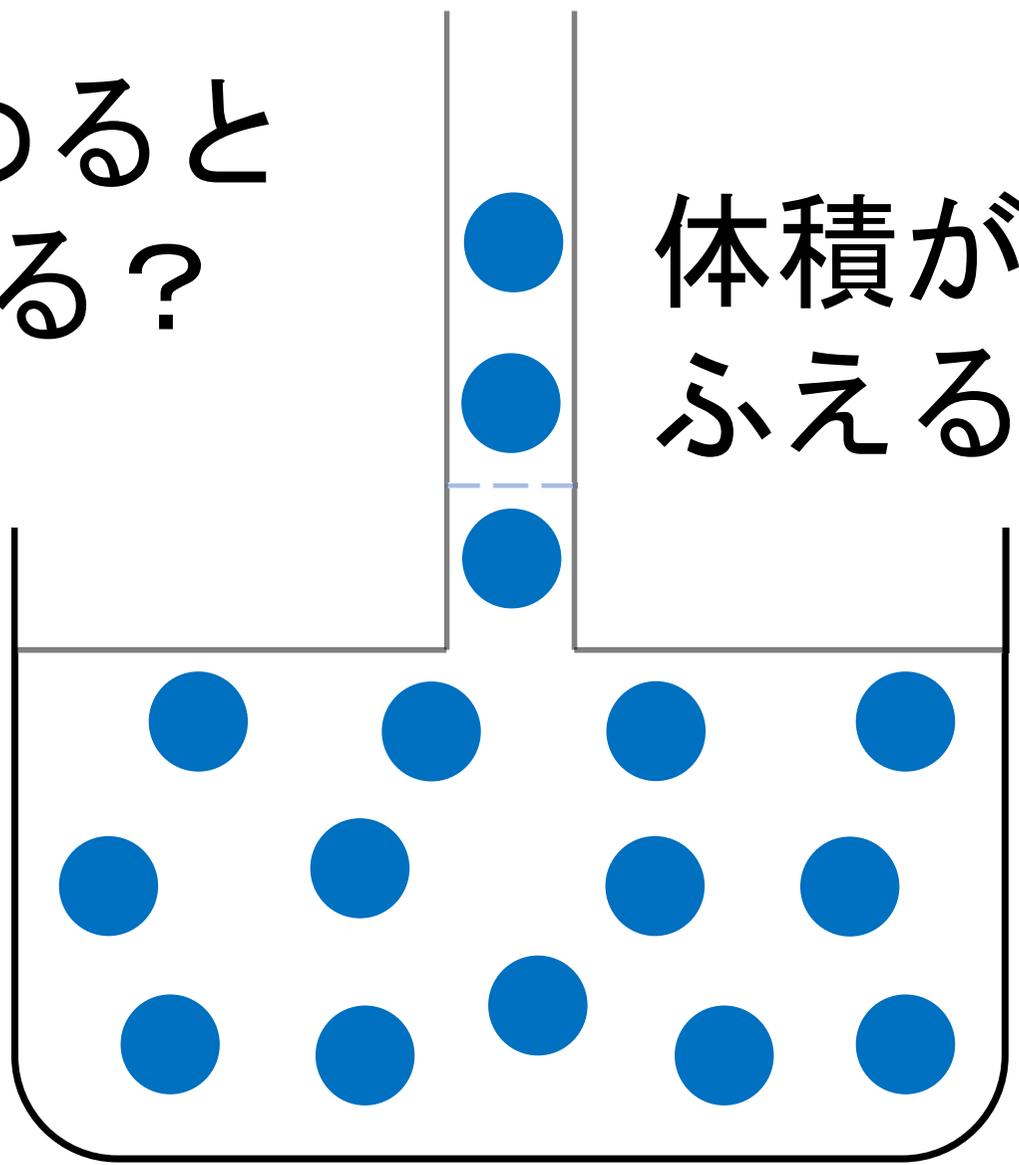
## 水の体積と温度

水を温めると  
どうなる？

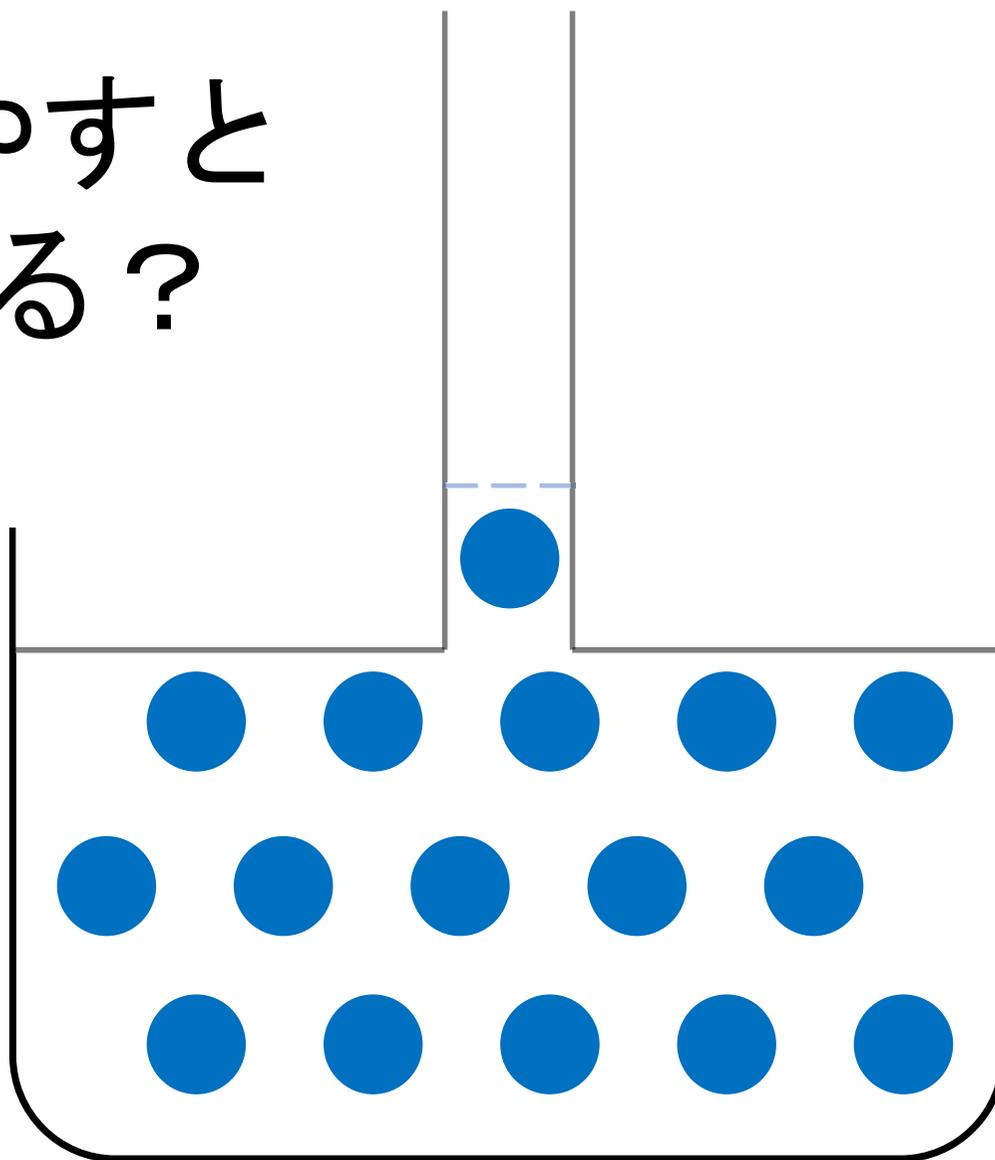


温める

水を温めると  
どうなる？

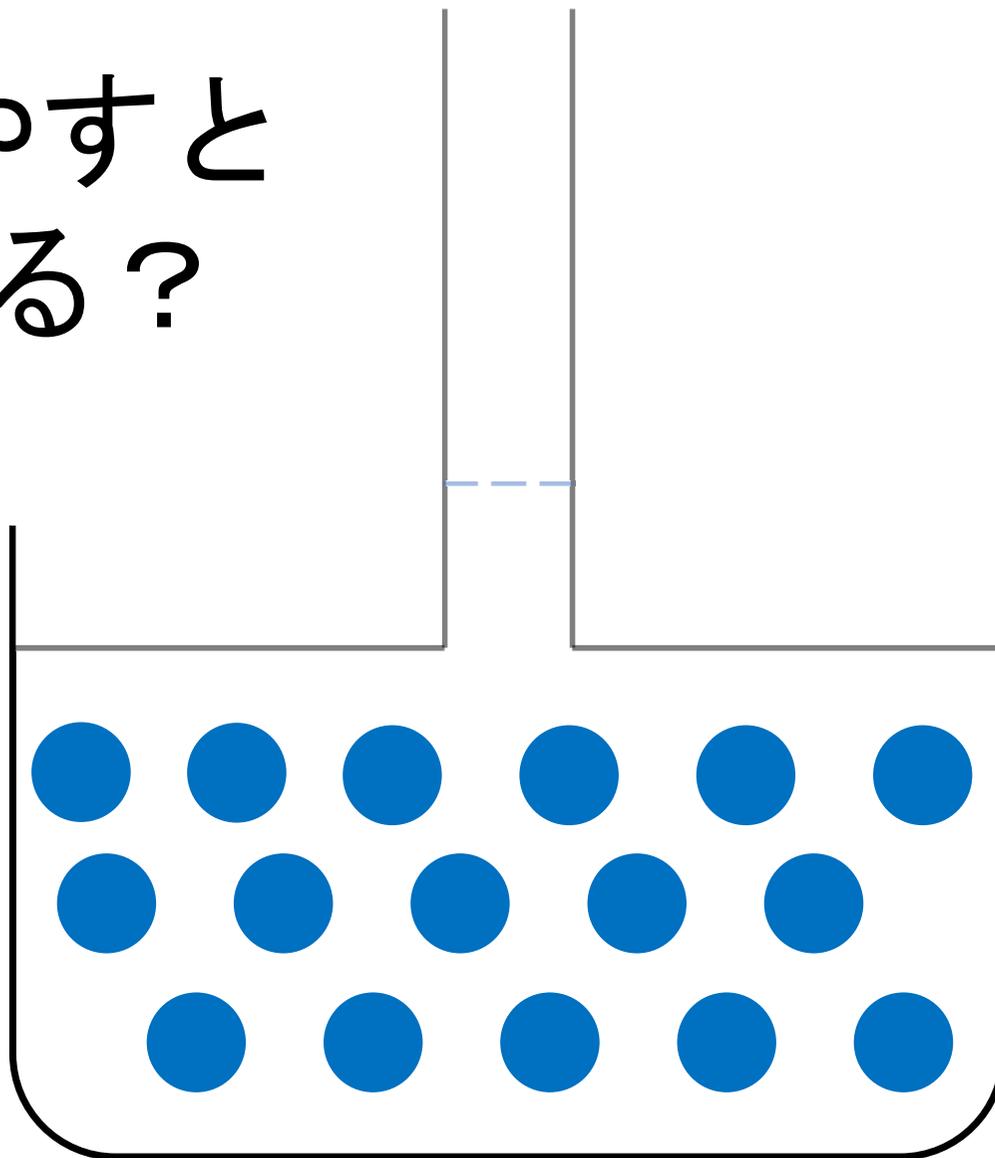


水を冷やすと  
どうなる？



冷やす

水を冷やすと  
どうなる？



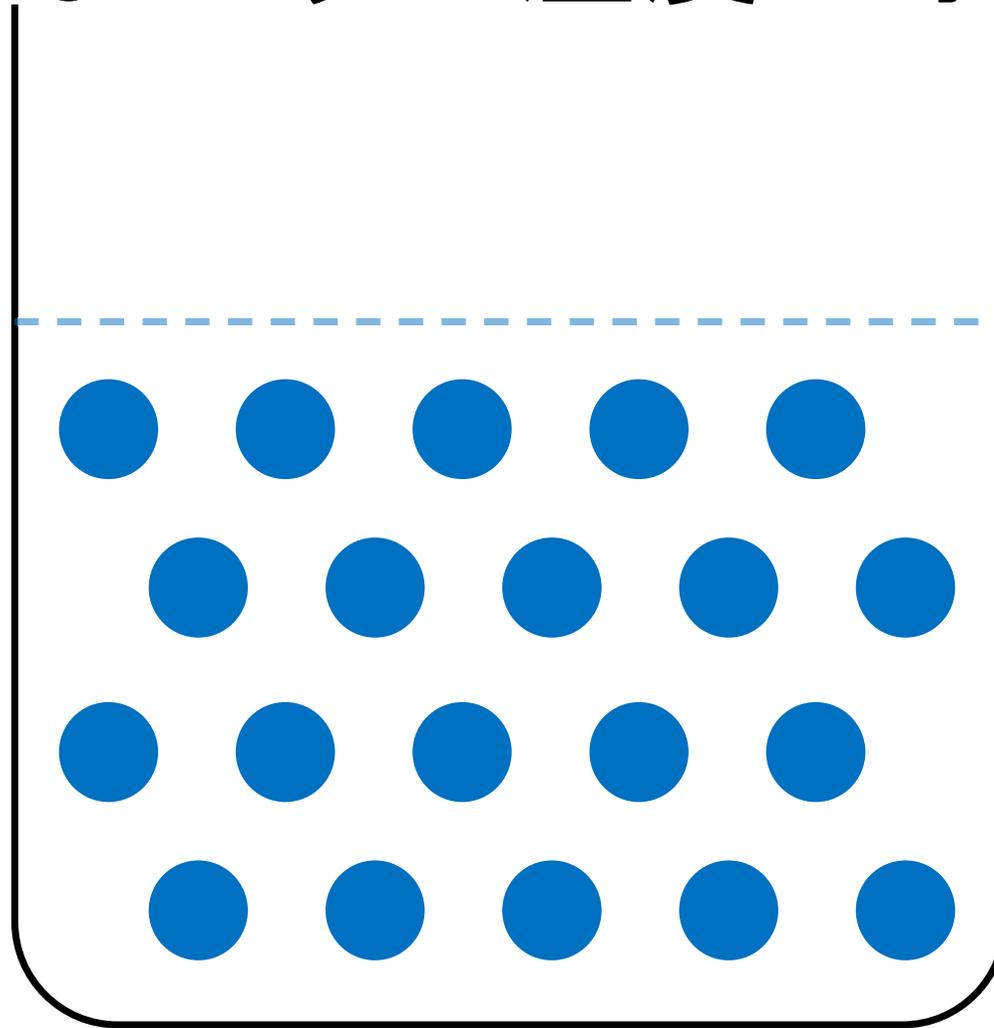
体積が  
へる

# 小4

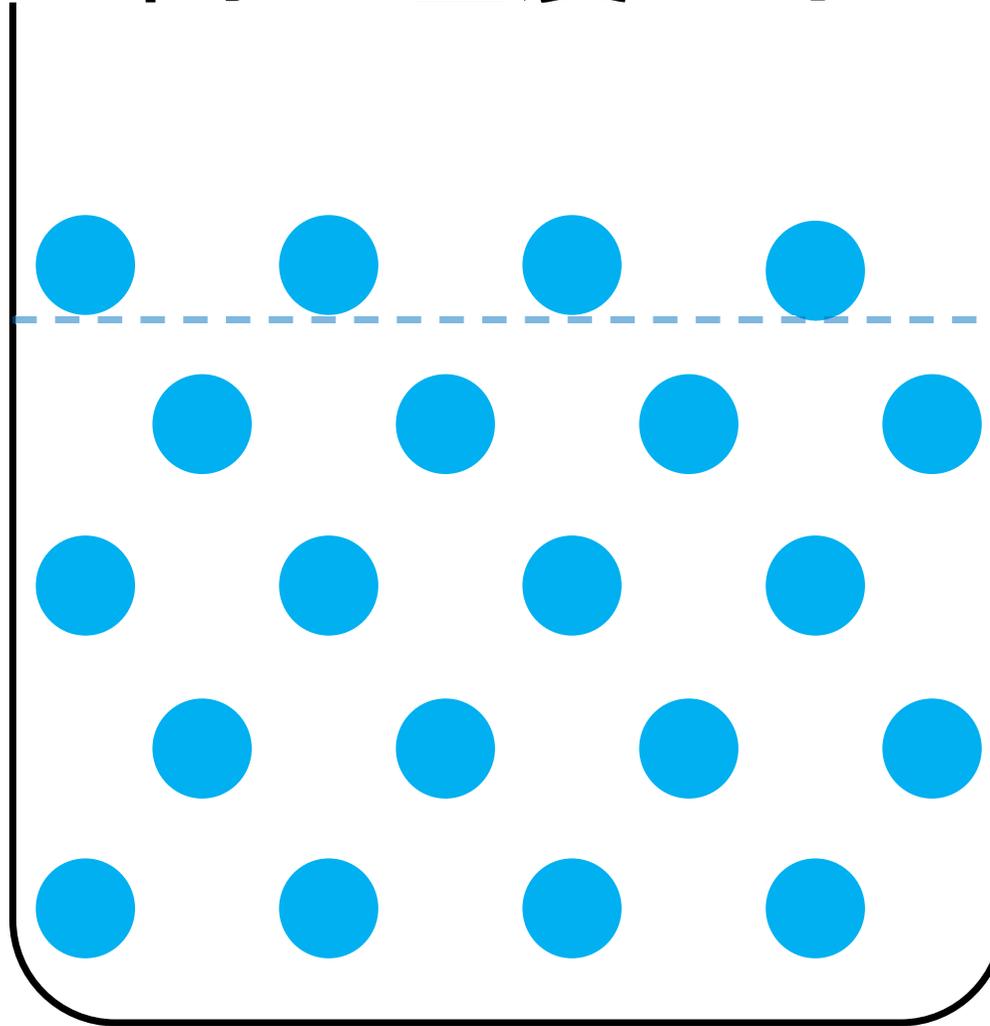
## 水の体積と温度

水を温めると、体積がふえる  
水を冷やすと、体積がへる  
⇒温度によって粒子の間隔が変わる

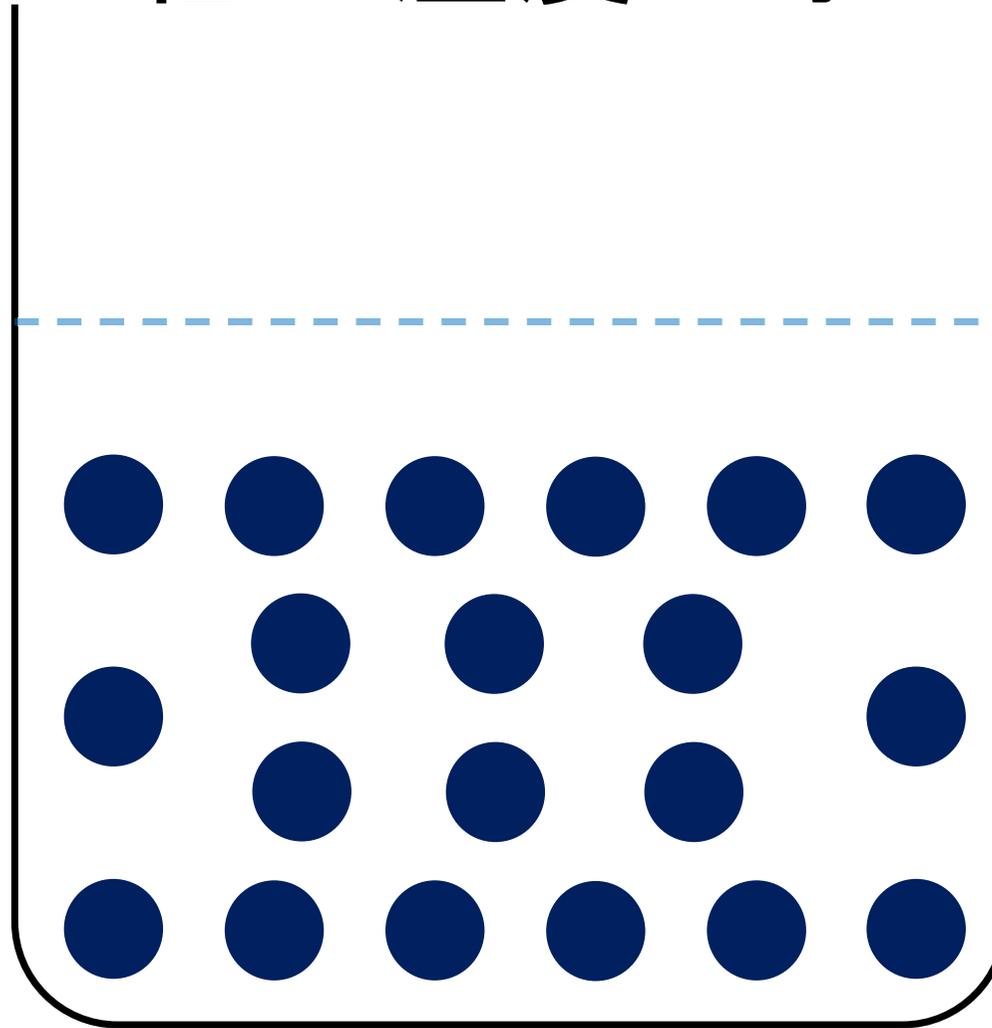
# ふつうの温度の水



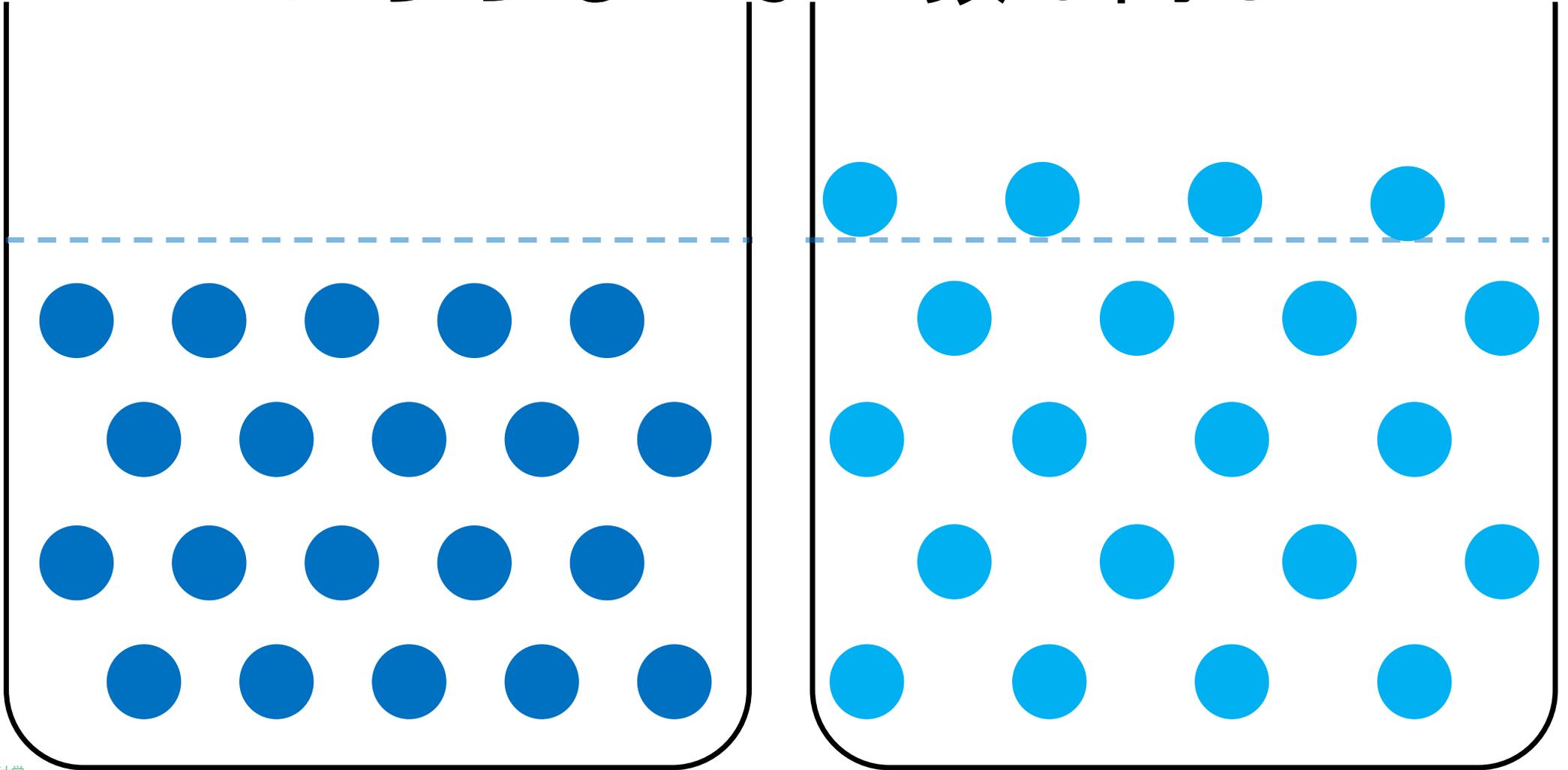
# 高い温度の水



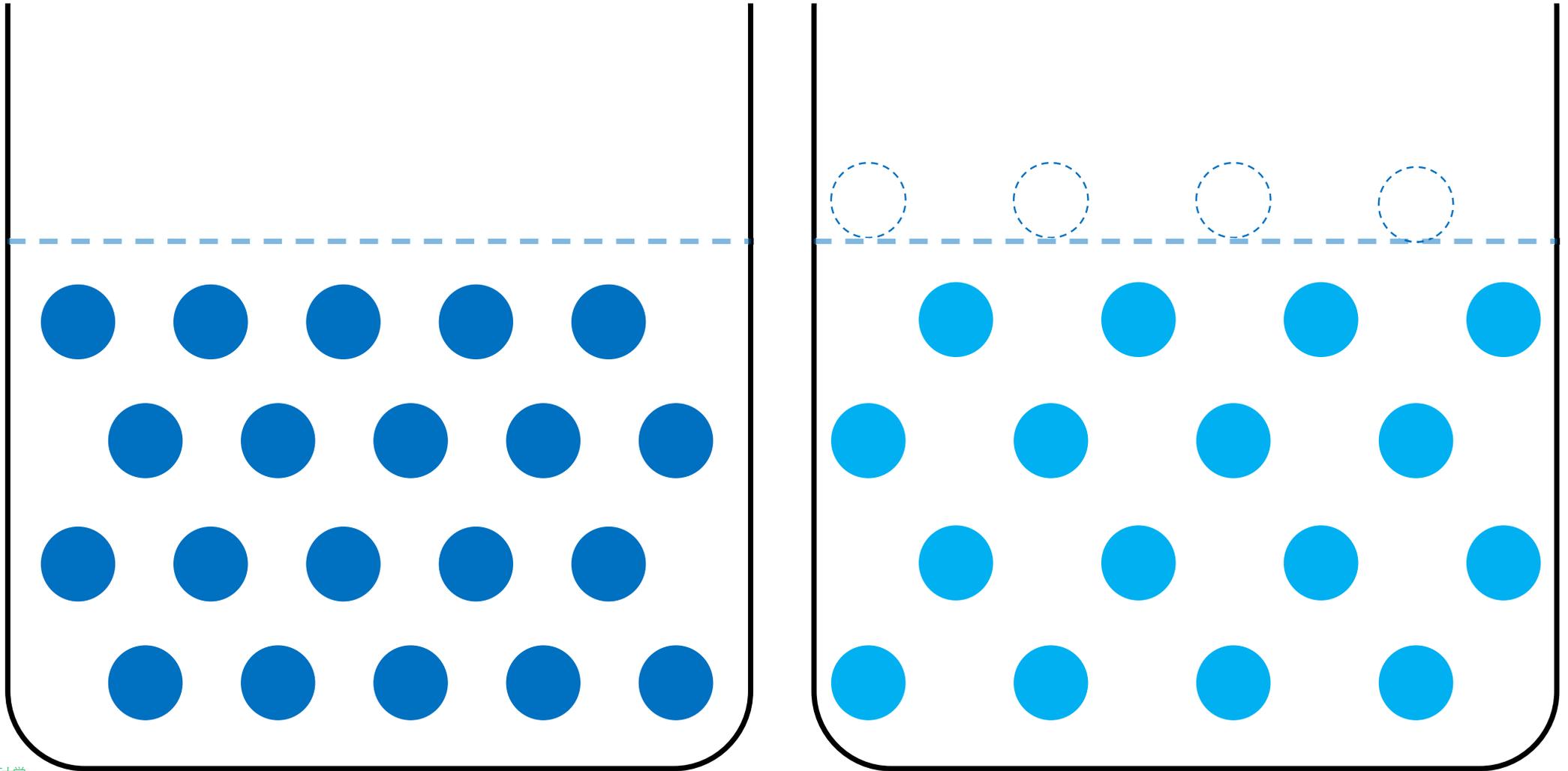
# 低い温度の水



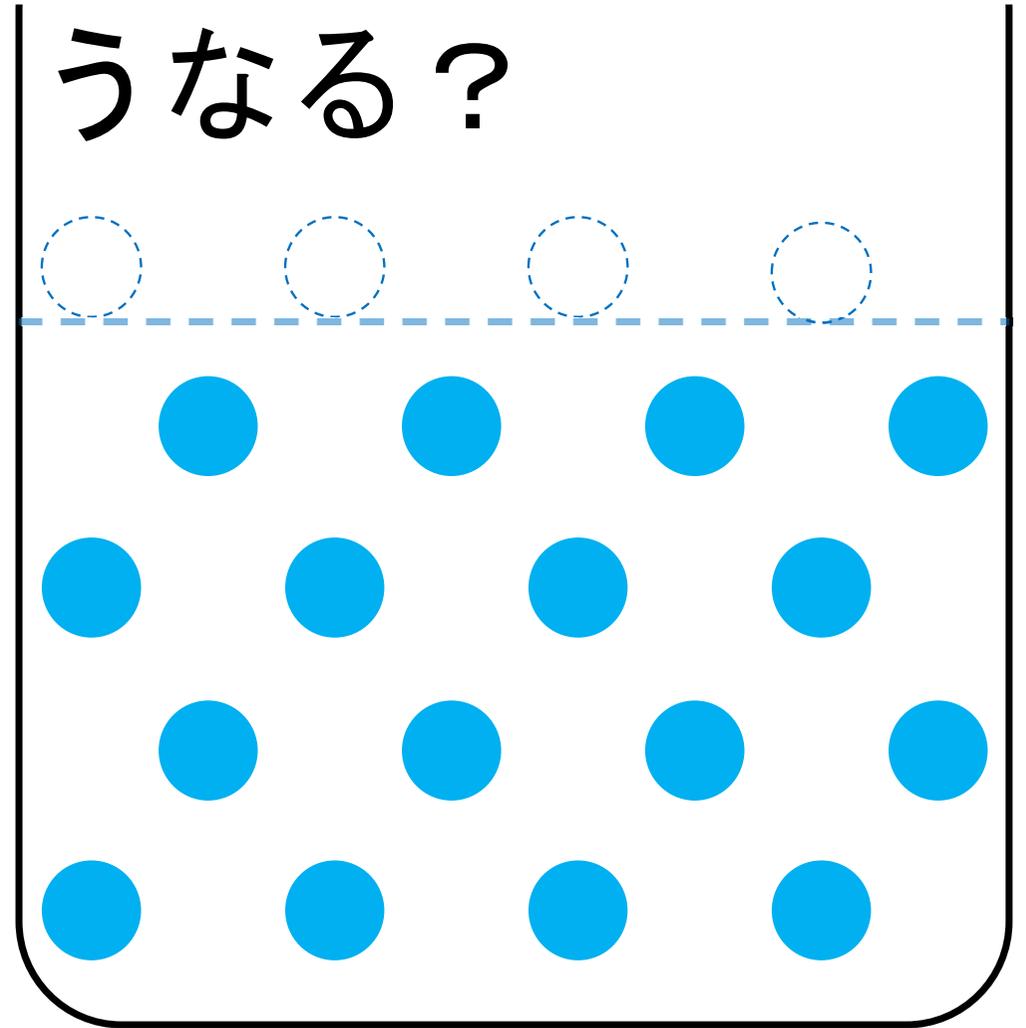
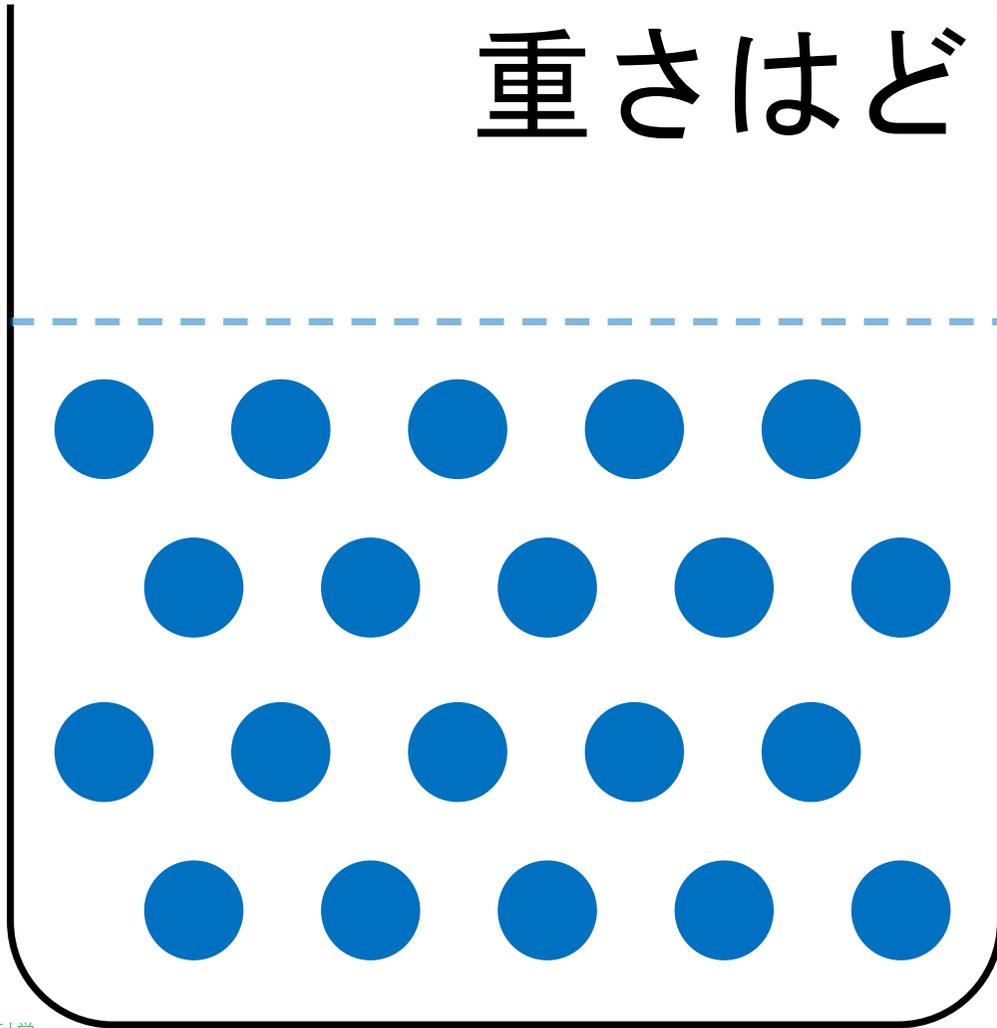
どちらもつぶの数は同じ



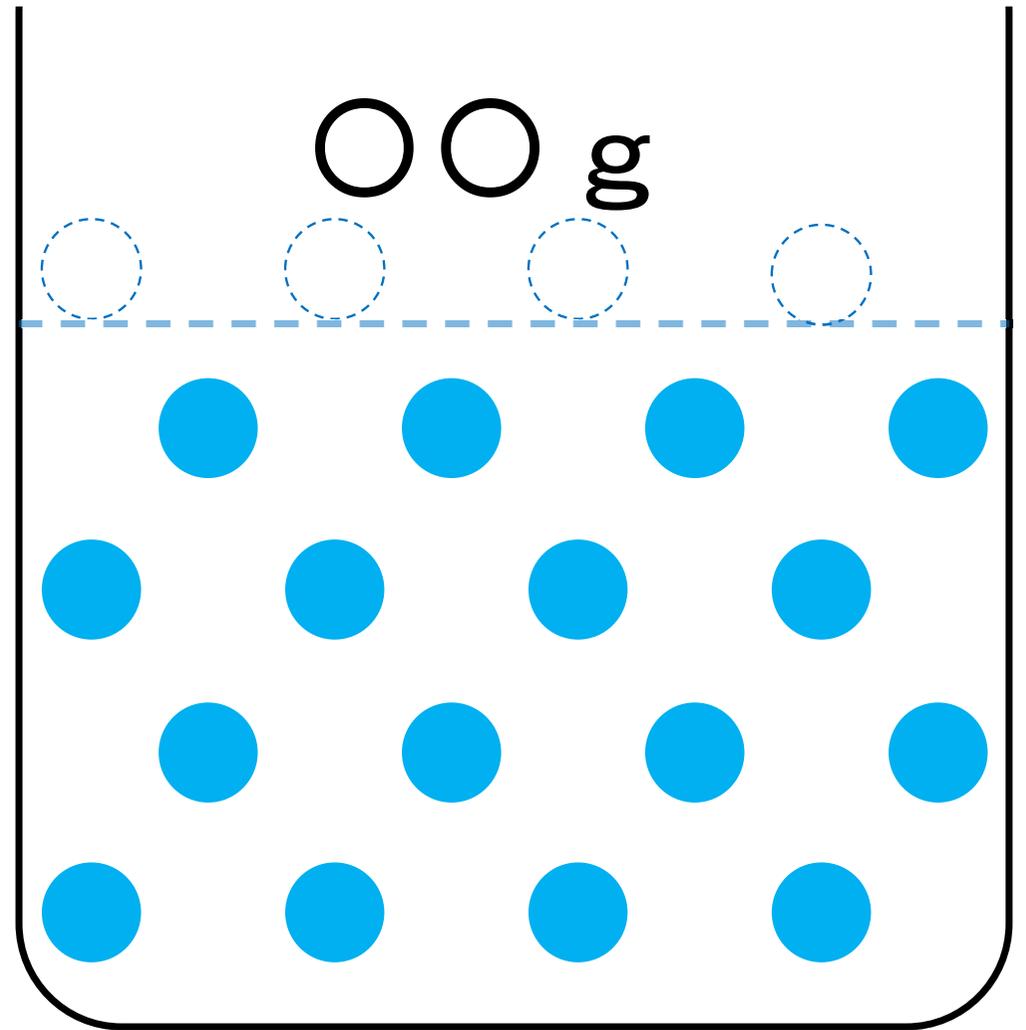
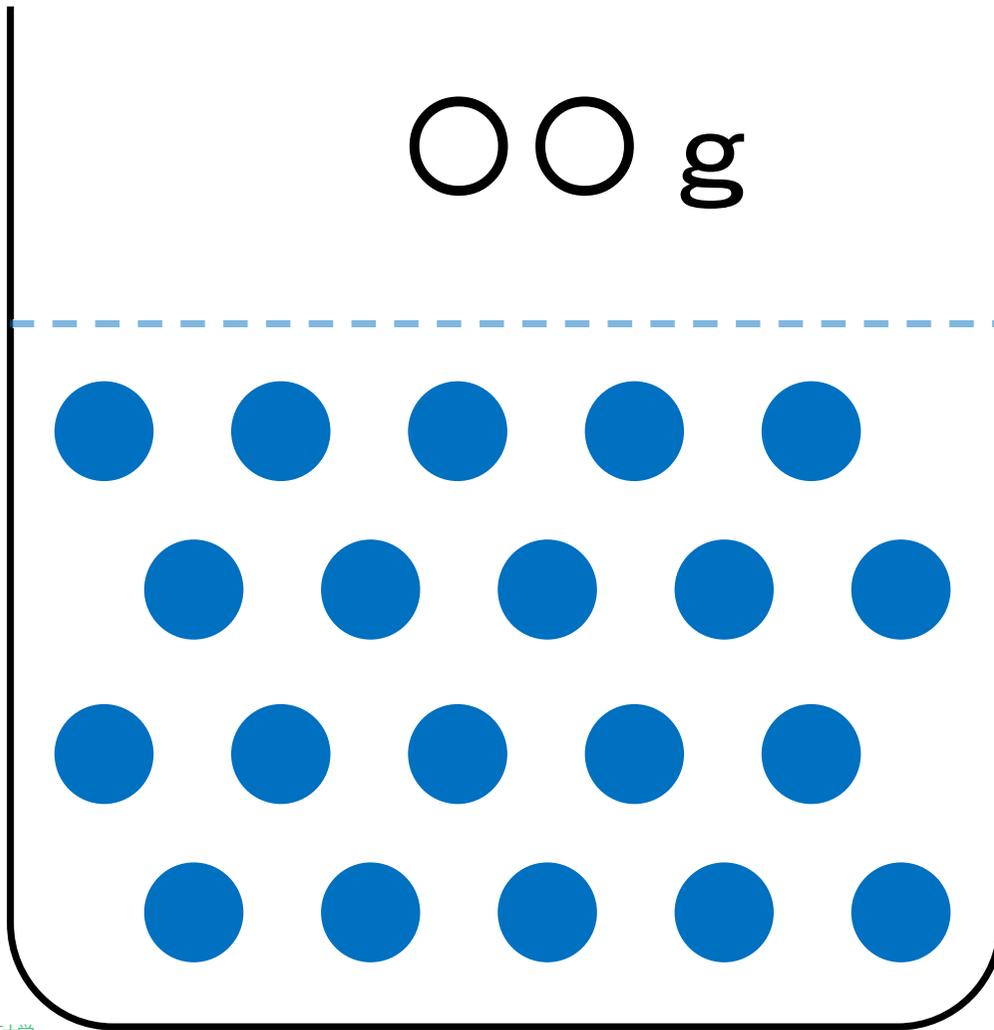
# 体積を同じにすると



高い温度の水のつぶが少なくなる  
重さはどうなる？



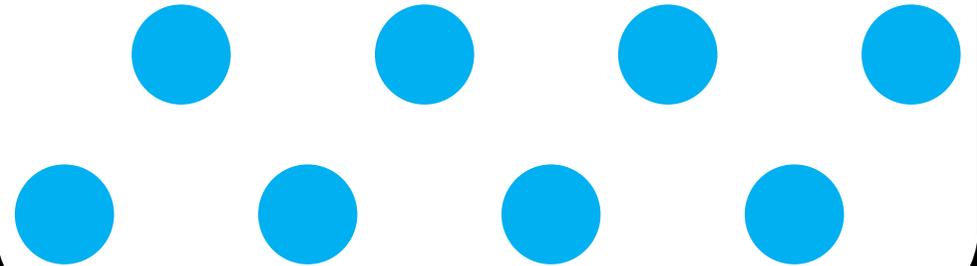
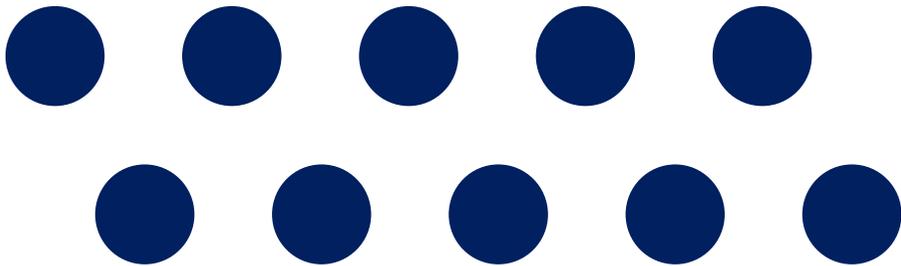
# 同じ体積なら高い温度の水が軽い



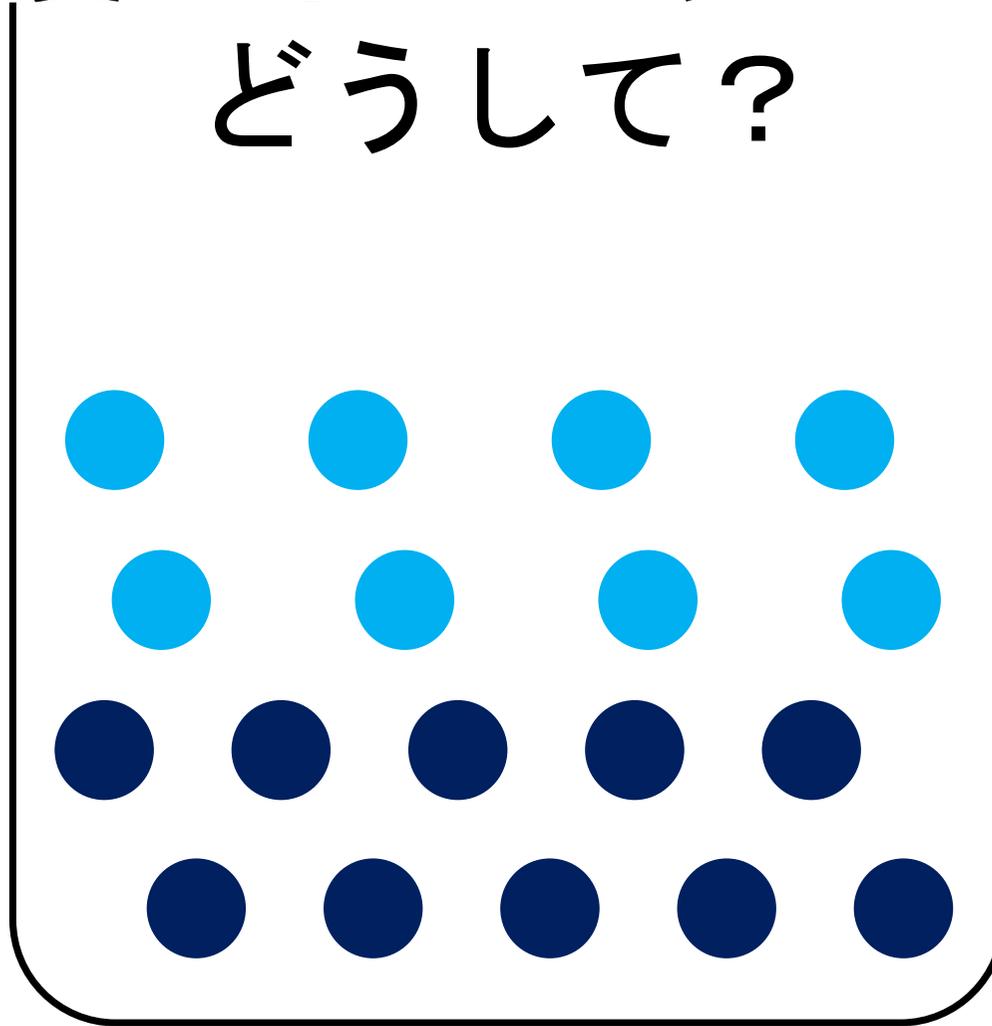
低い温度と高い温度の水を  
静かに加えるとどうなる？

低い温度の水

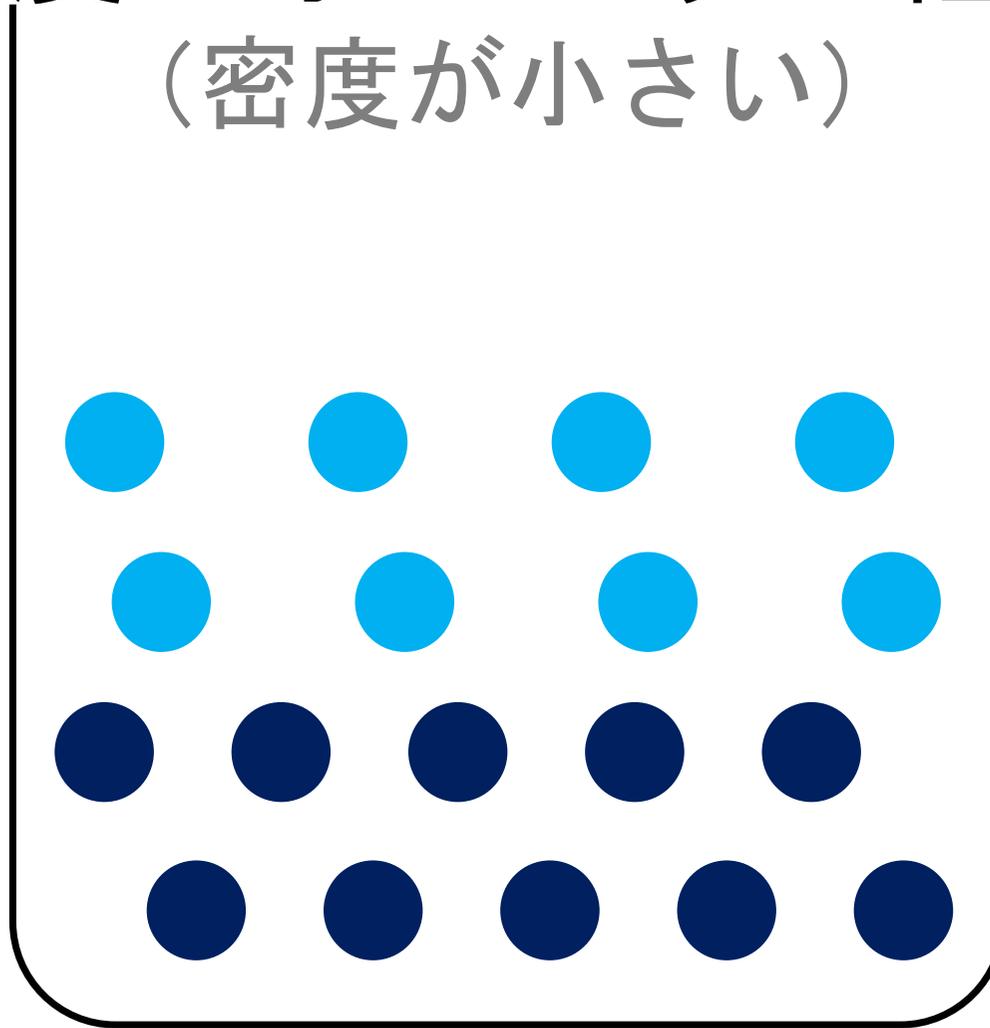
高い温度の水



高い温度の水のほうが上になる  
どうして？

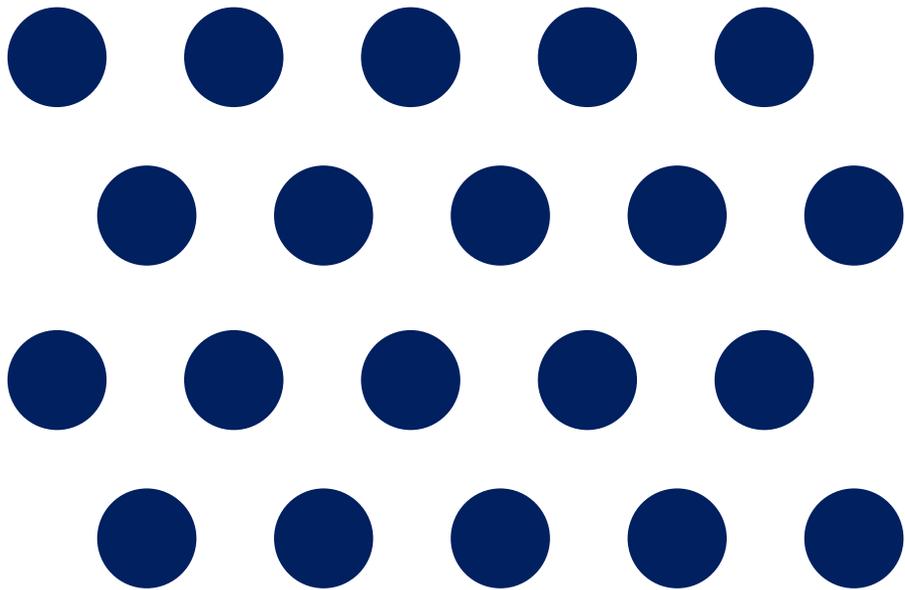


高い温度の水のほうが軽いから  
(密度が小さい)

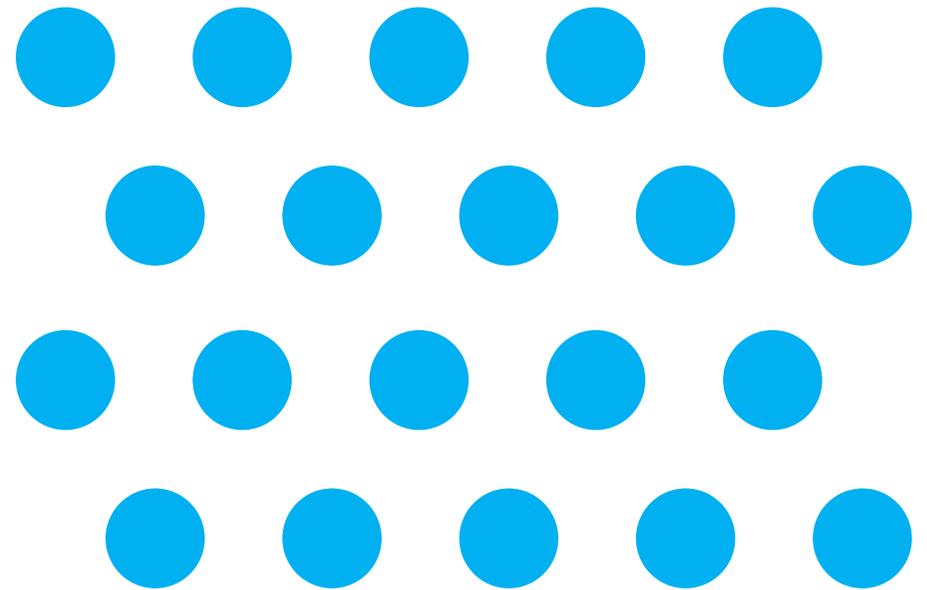


# 同じ体積の食塩水は水より重い

食塩水 ○○ g

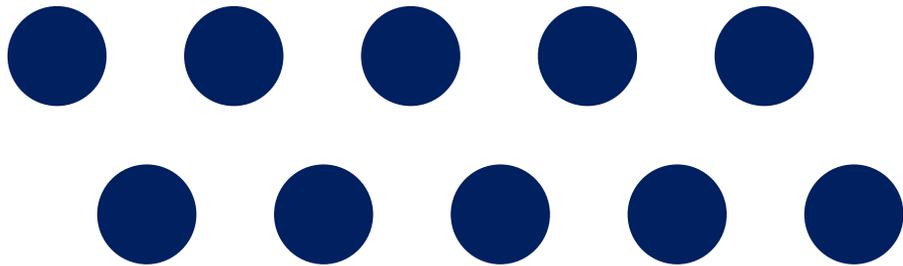


水 ○○ g

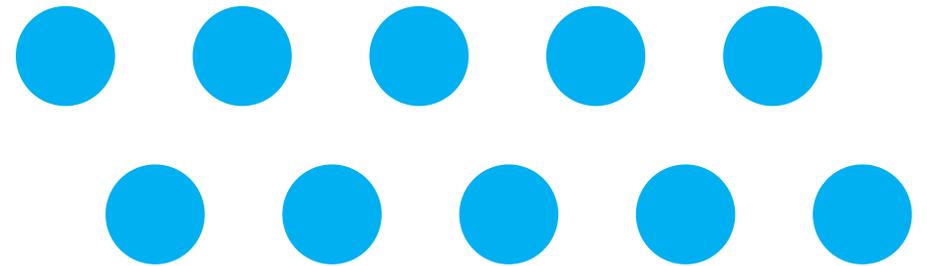


同じ温度の食塩水と水を  
静かに加えるとどうなる？

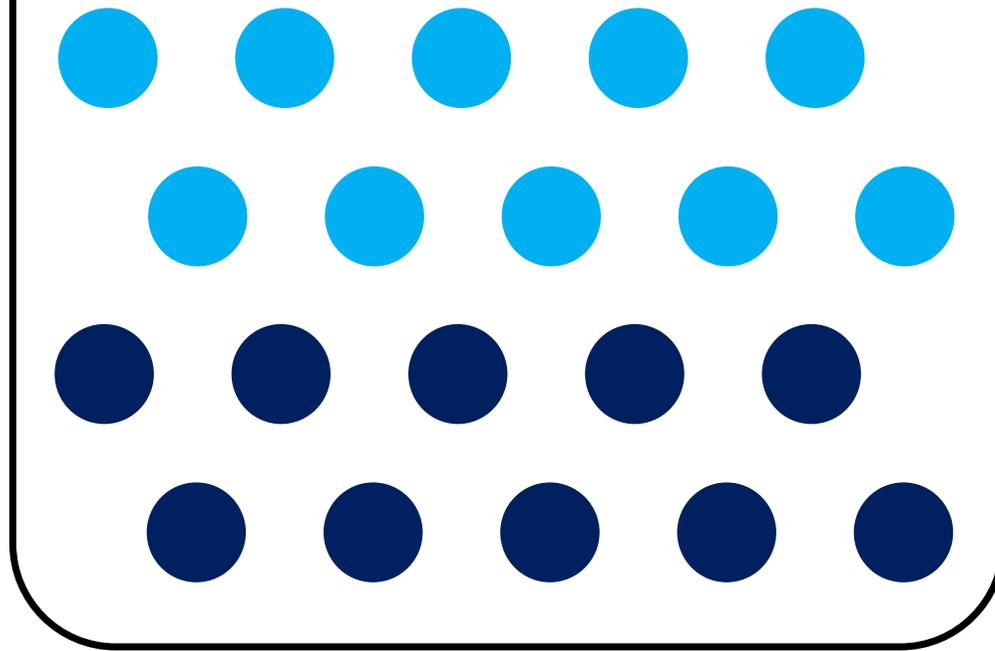
食塩水



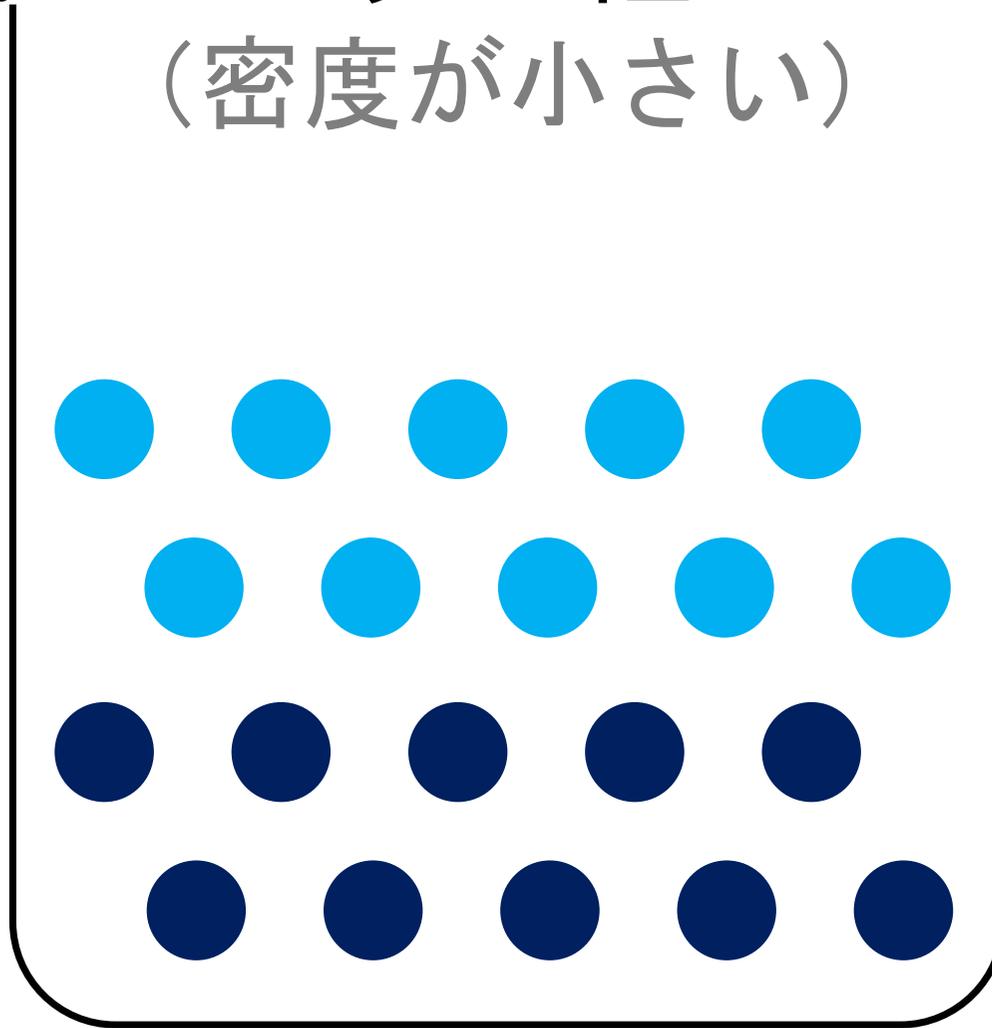
水



水のほうが上になる  
どうして？



水のほうが軽いから  
(密度が小さい)



# 小4

## 水の体積と温度

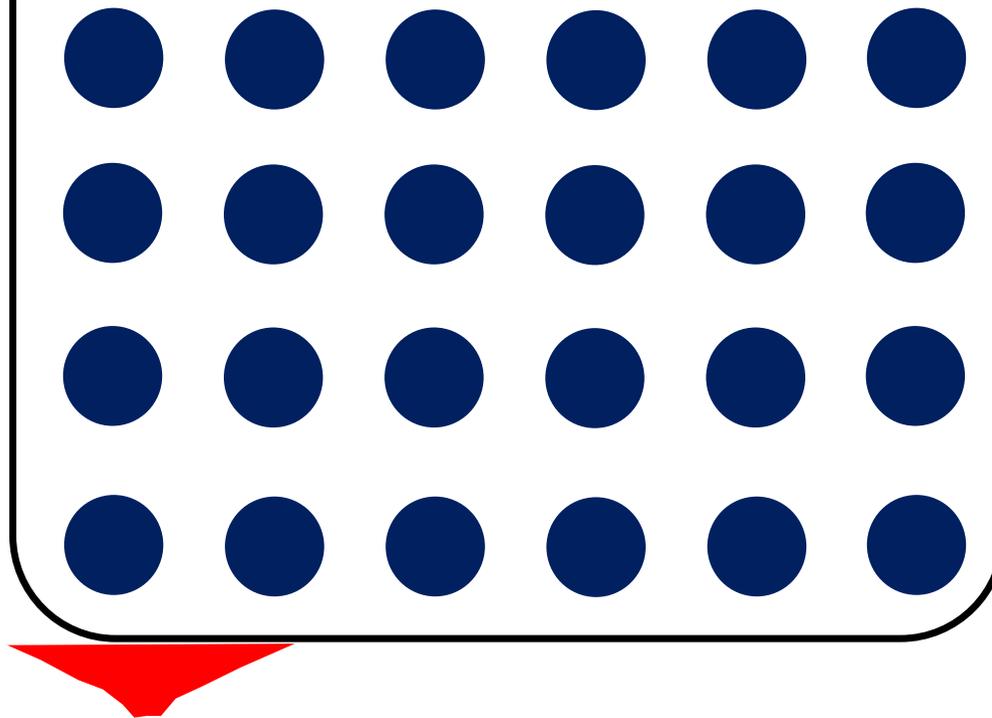
温められた水は、体積がふえて  
軽くなる

⇒温度によって密度が変わる

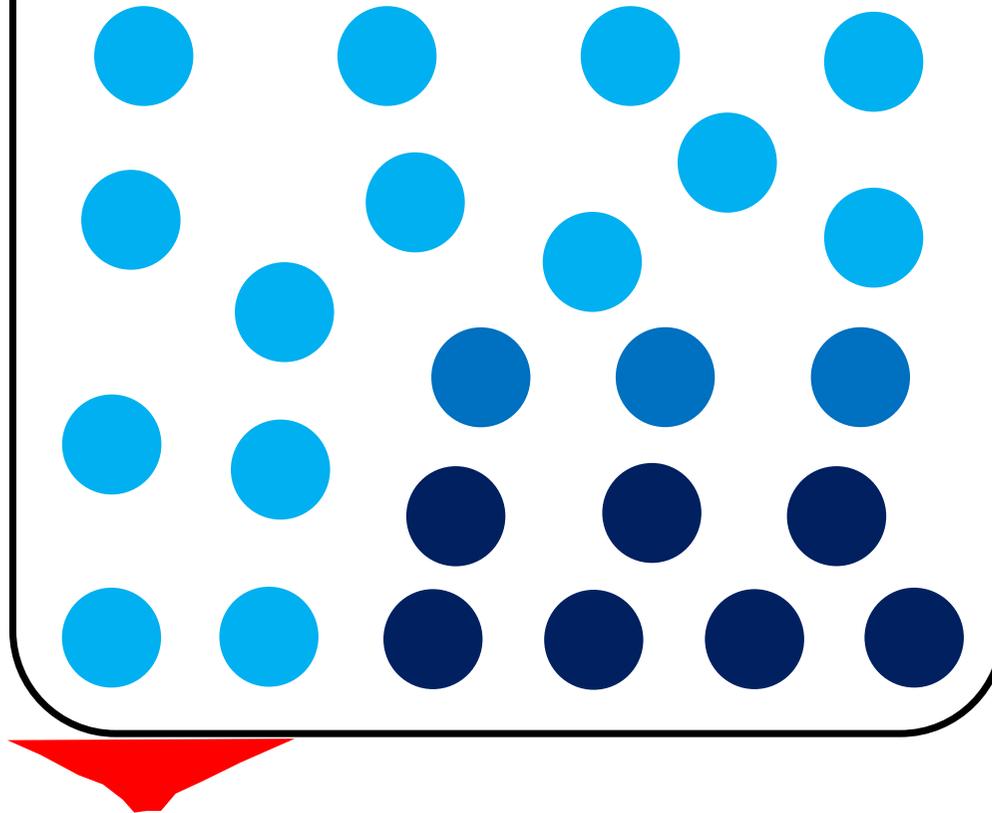
# 小4

## 水のあたたまり方

水を熱するとどのように  
あたたまる？



温められた水が軽くなり  
上に動く



# 小4

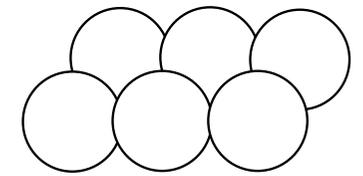
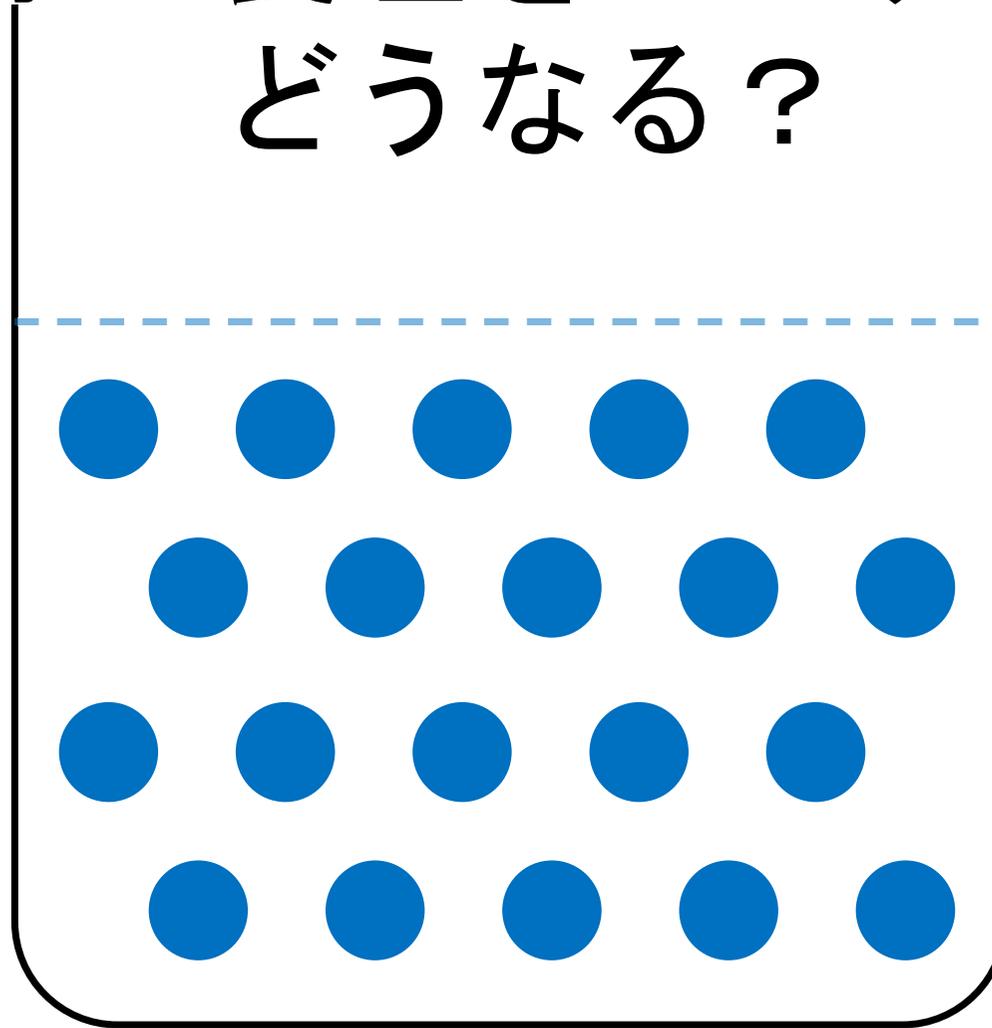
## 水のあたたまり方

水を熱すると、軽くなった水が上に動き、しだいに全体が温まる  
⇒流体を熱すると対流しながら温まる

小5

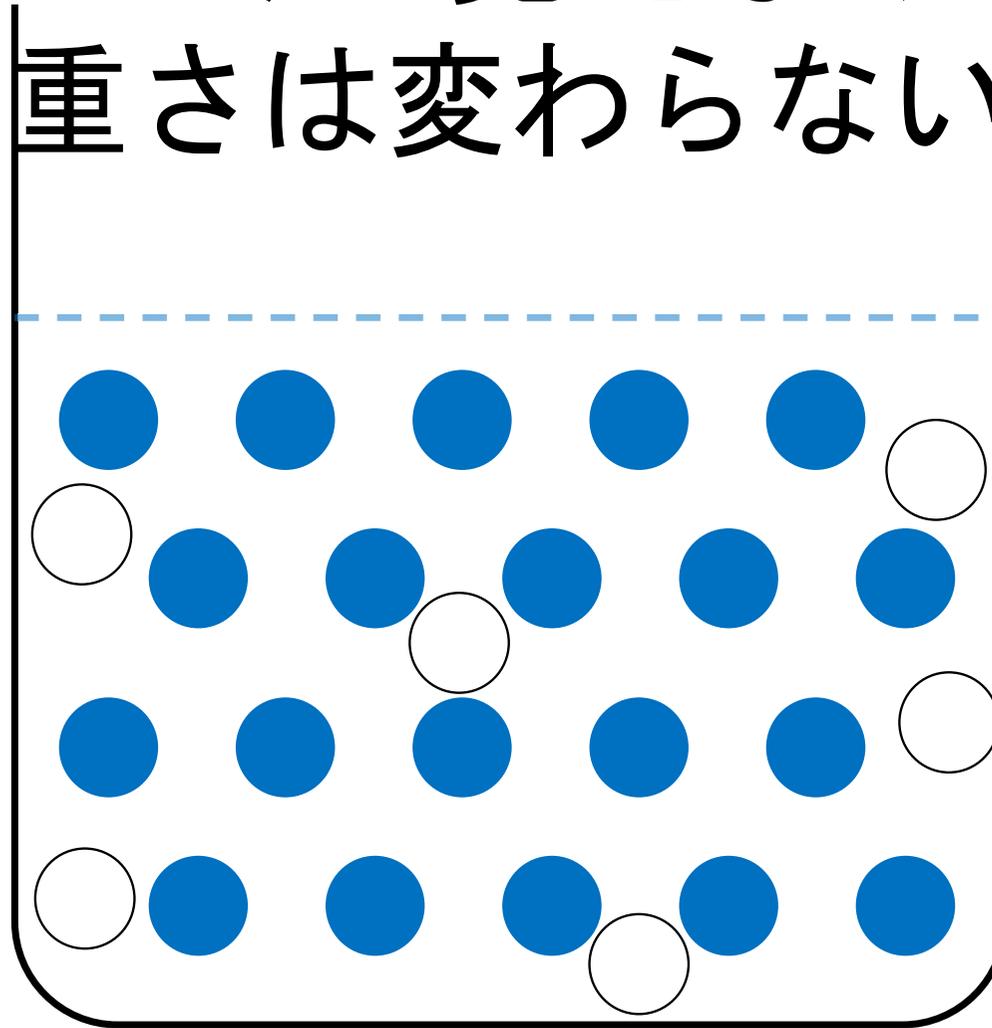
もののとけ方

水に食塩をとかすと  
どうなる？



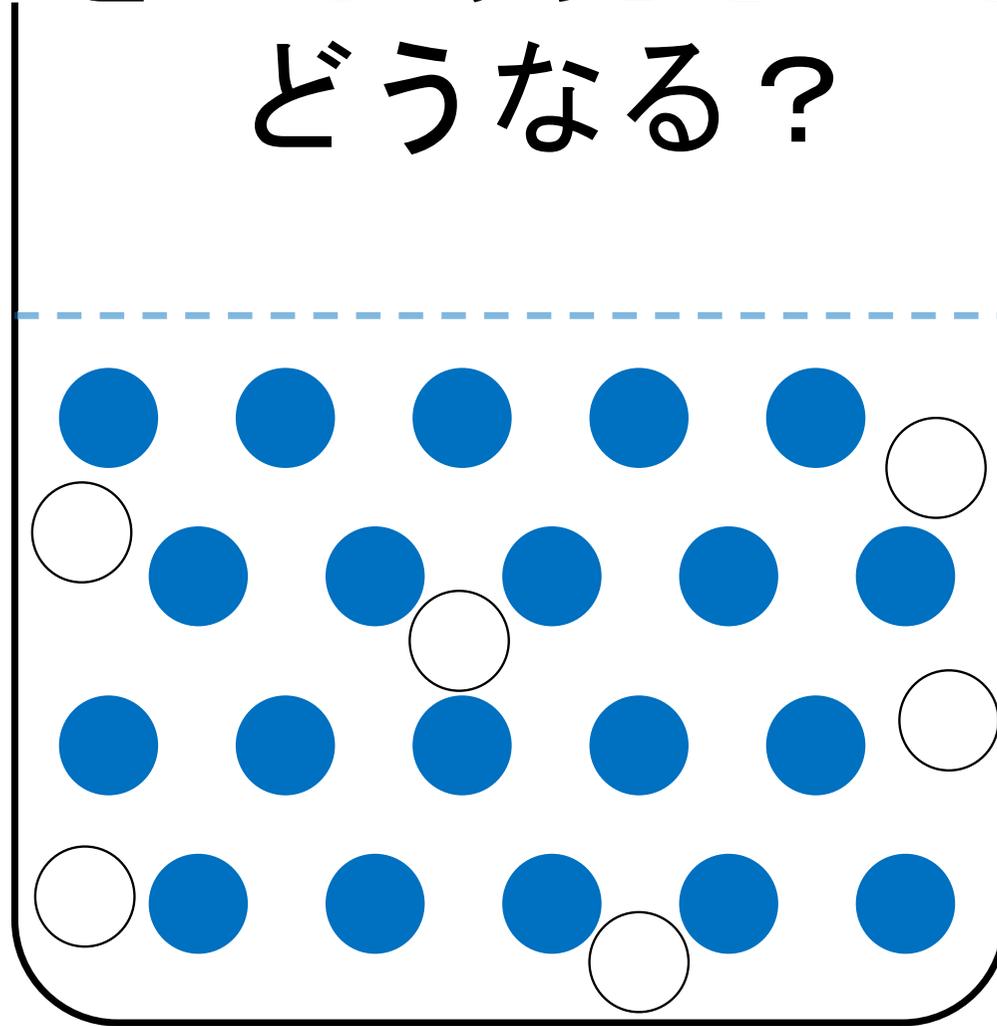
食塩

食塩がとけて見えなくなるが  
重さは変わらない



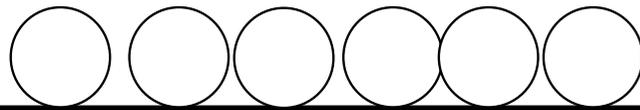
食塩のつぶ  
(小さくて見えない)

水をじょう発させると  
どうなる？



食塩のつぶ  
(小さくて見えない)

食塩が目に見えるすがたで  
出てきた



# 小5 もののとけ方

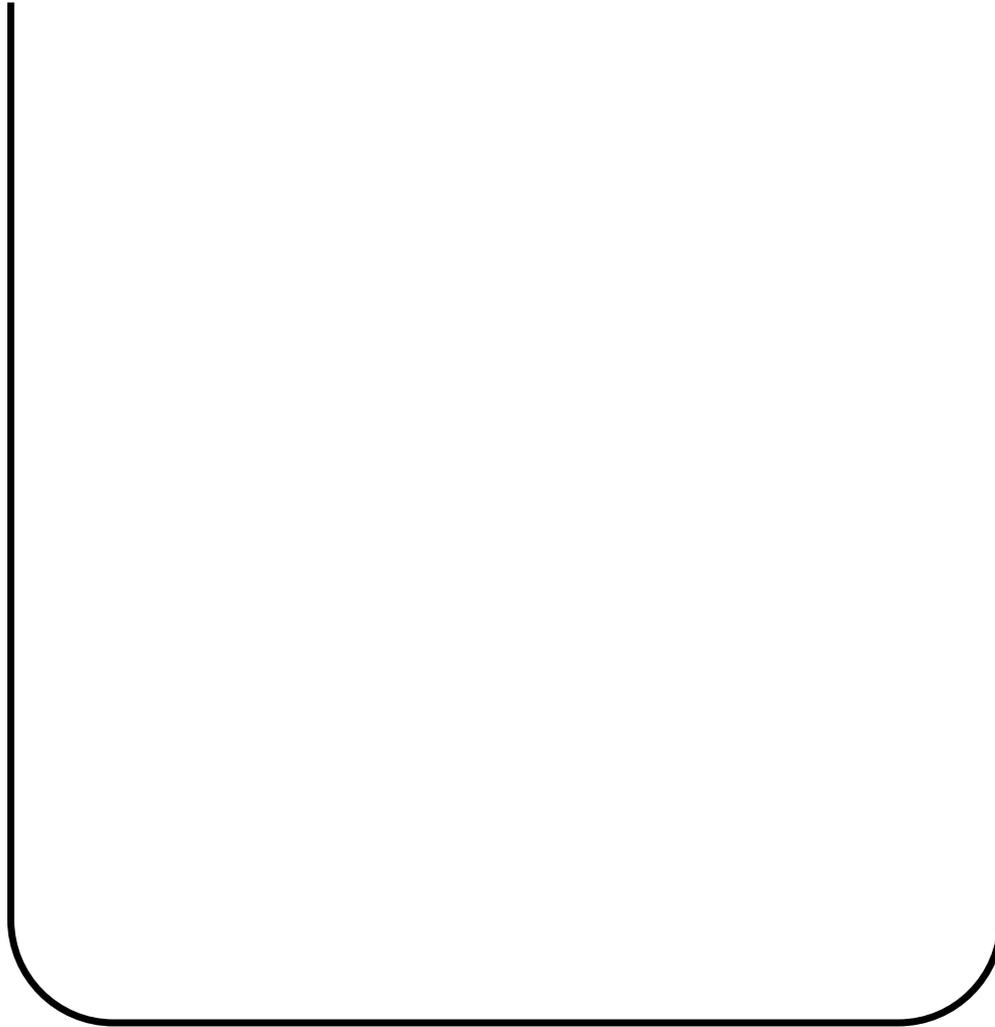
水に物が溶けると、目に見えない粒になって透明で均一な水溶液になる  
水を蒸発させると物が出てくる  
⇒粒子・質量の保存

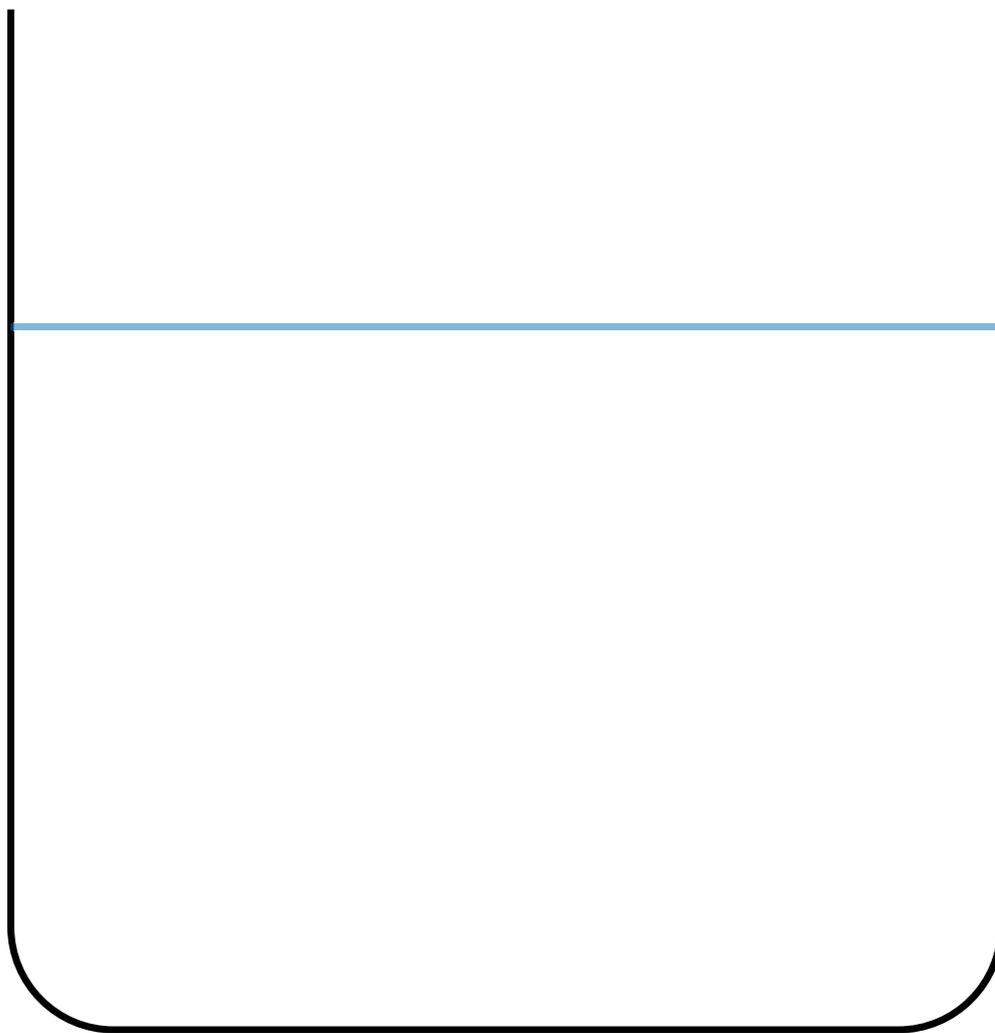
## その他の例

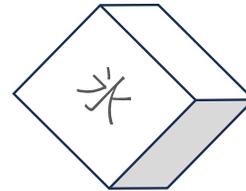
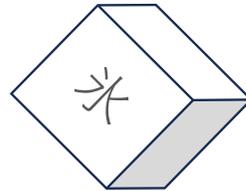
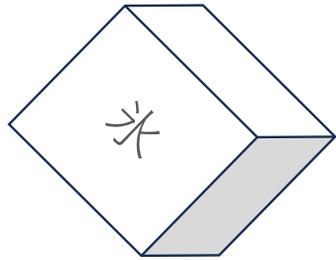
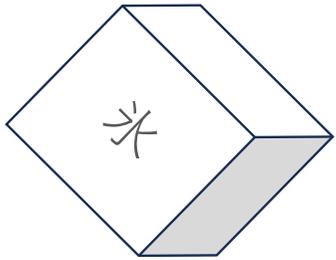
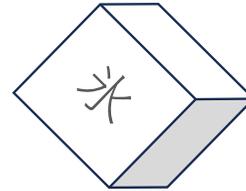
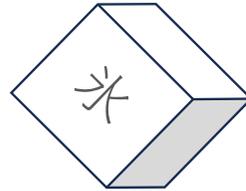
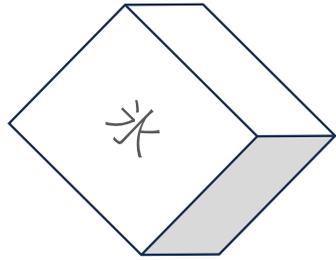
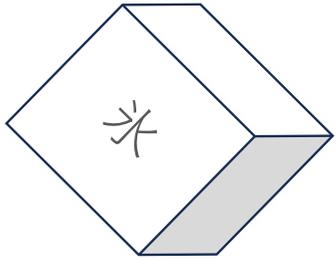
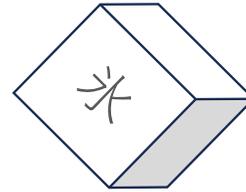
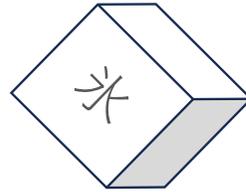
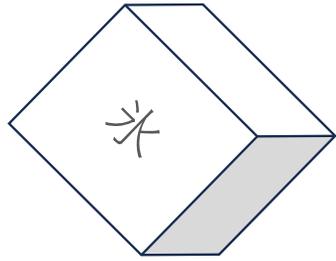
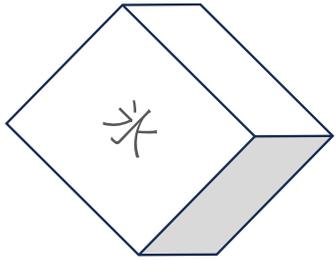
小6 物の燃え方と空気  
(気体の異なる性質の粒)

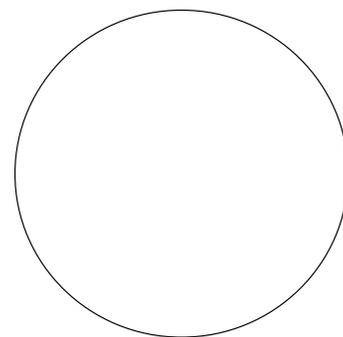
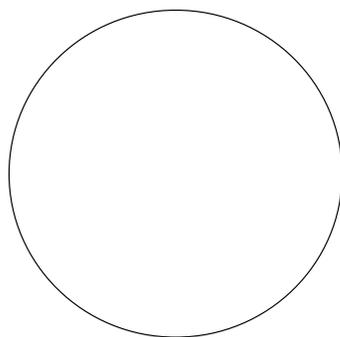
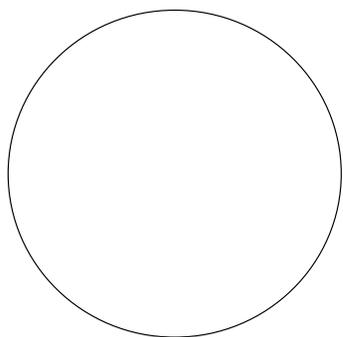
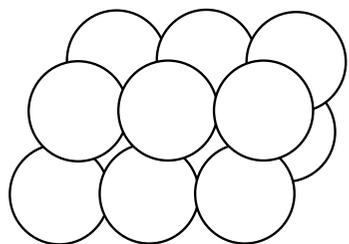
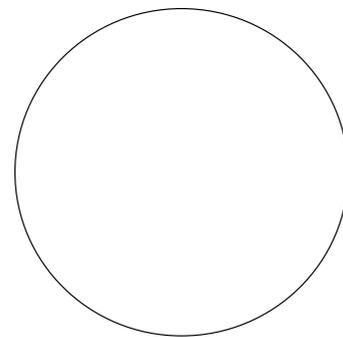
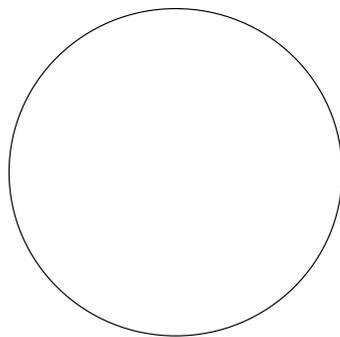
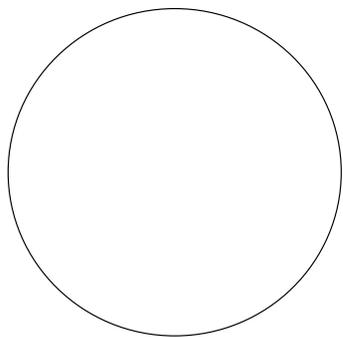
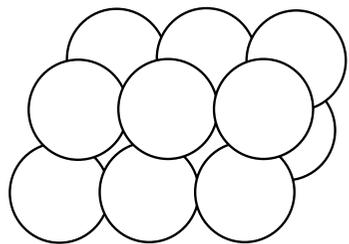
小6 動物の呼吸と消化  
(異なる性質の粒を利用)

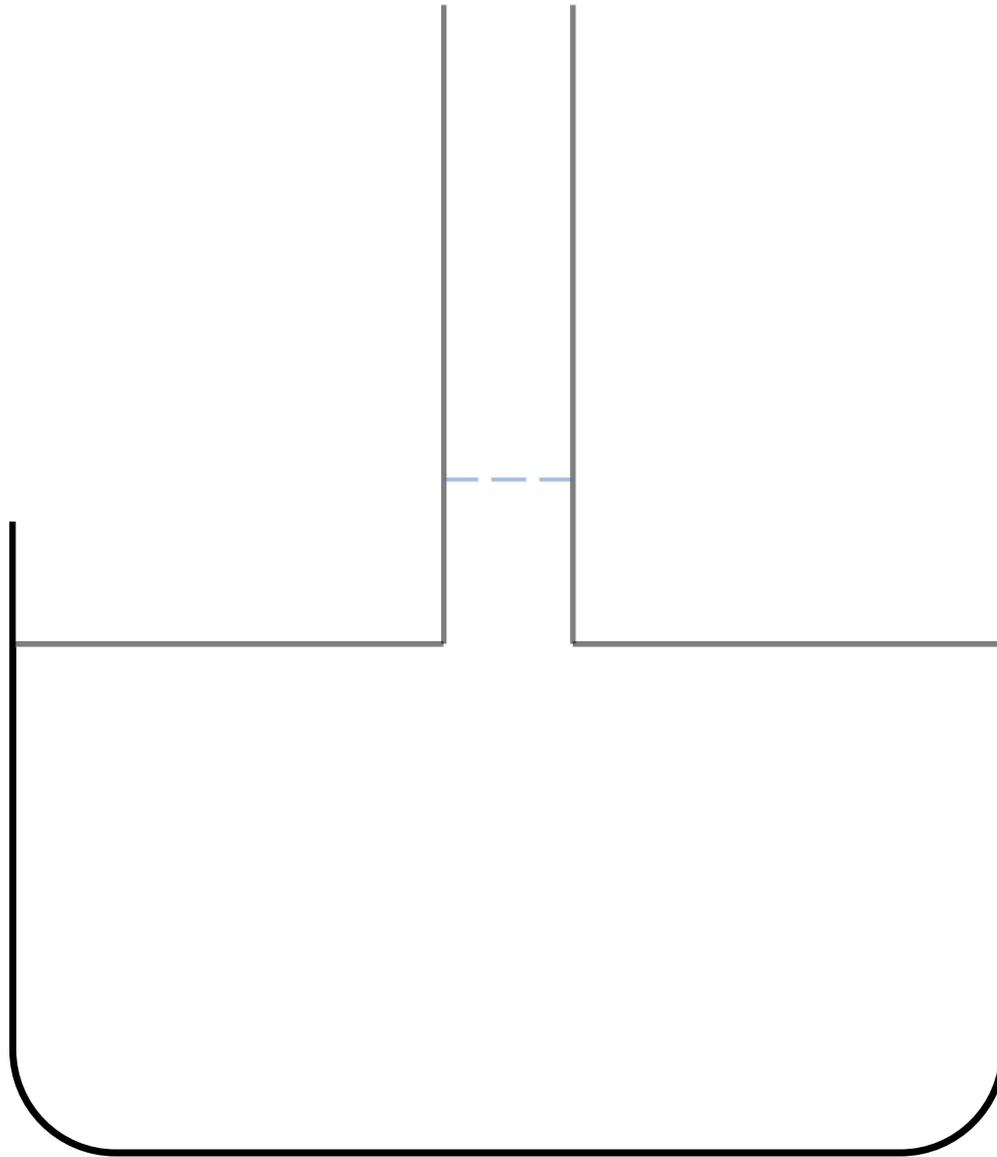
小6 水溶液のはたらき  
(粒の性質を変えるはたらき)









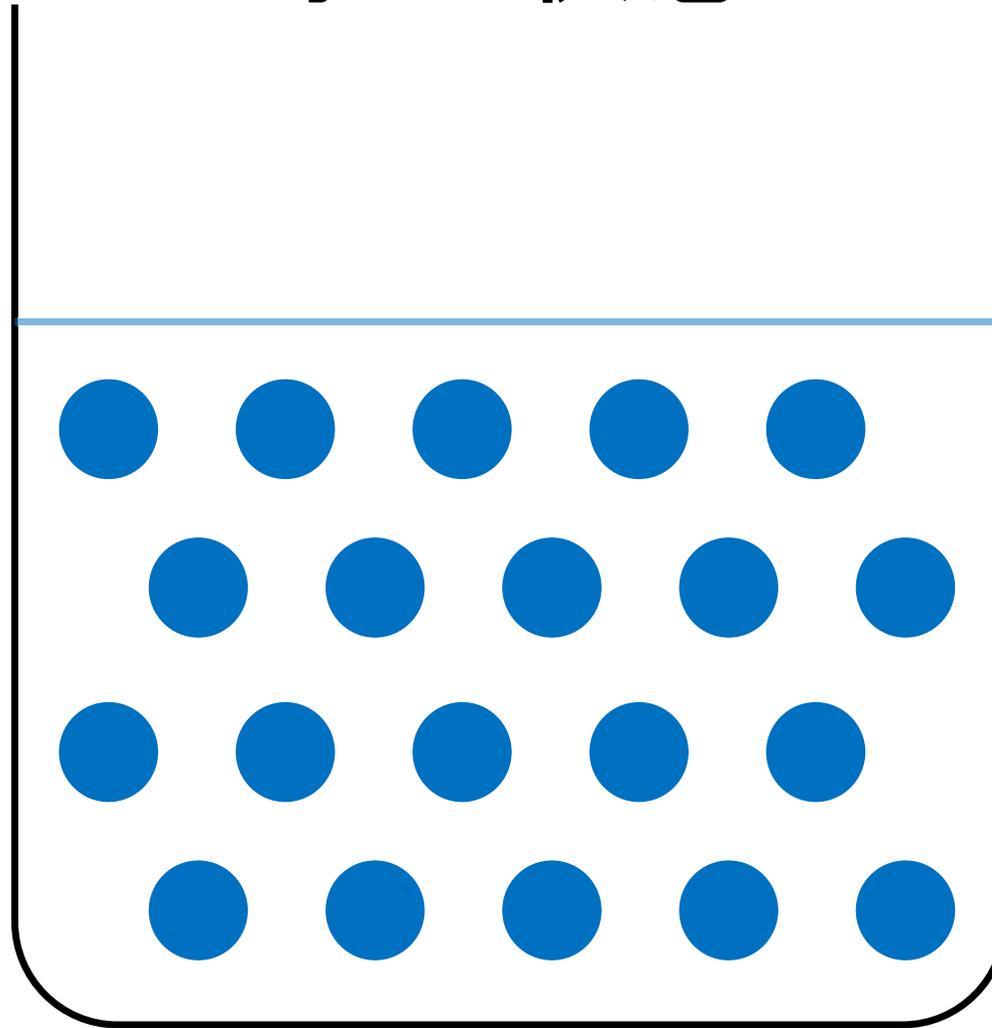


補足

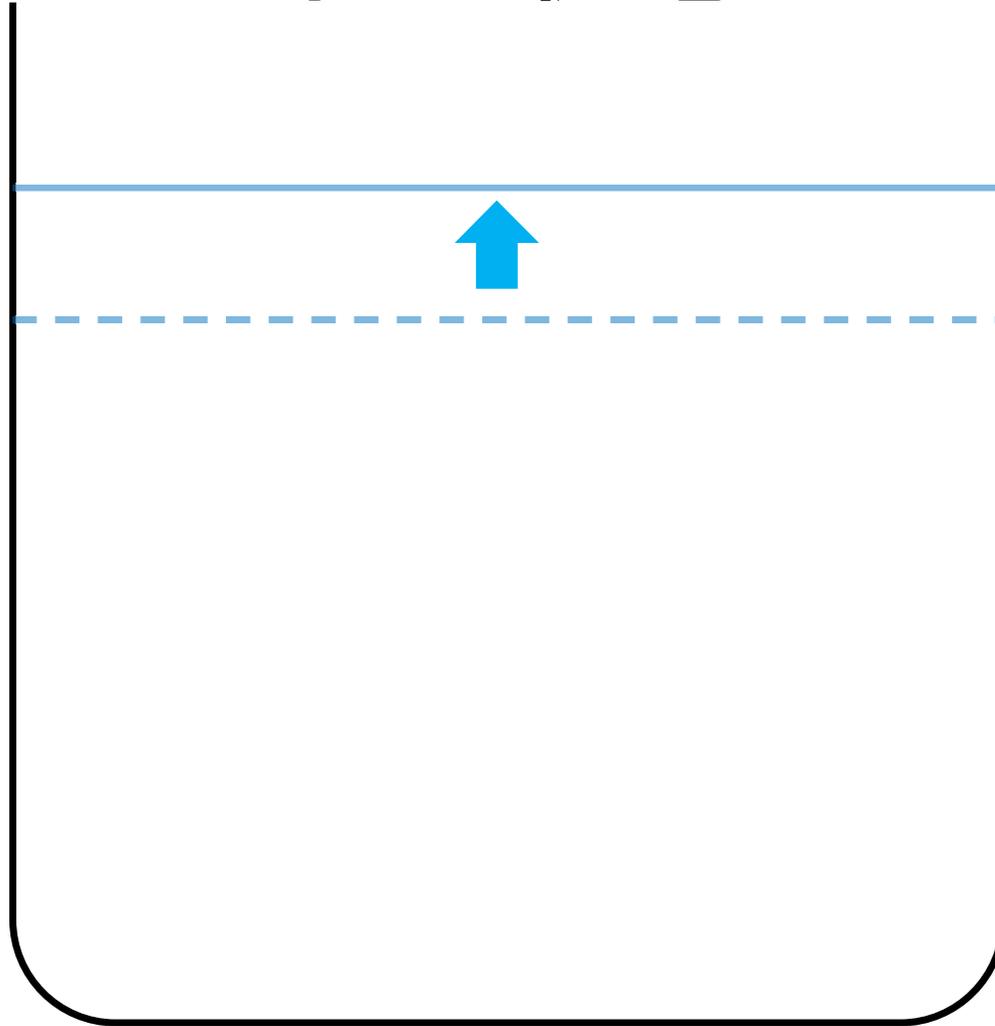
中学 1 年

物質の三態変化

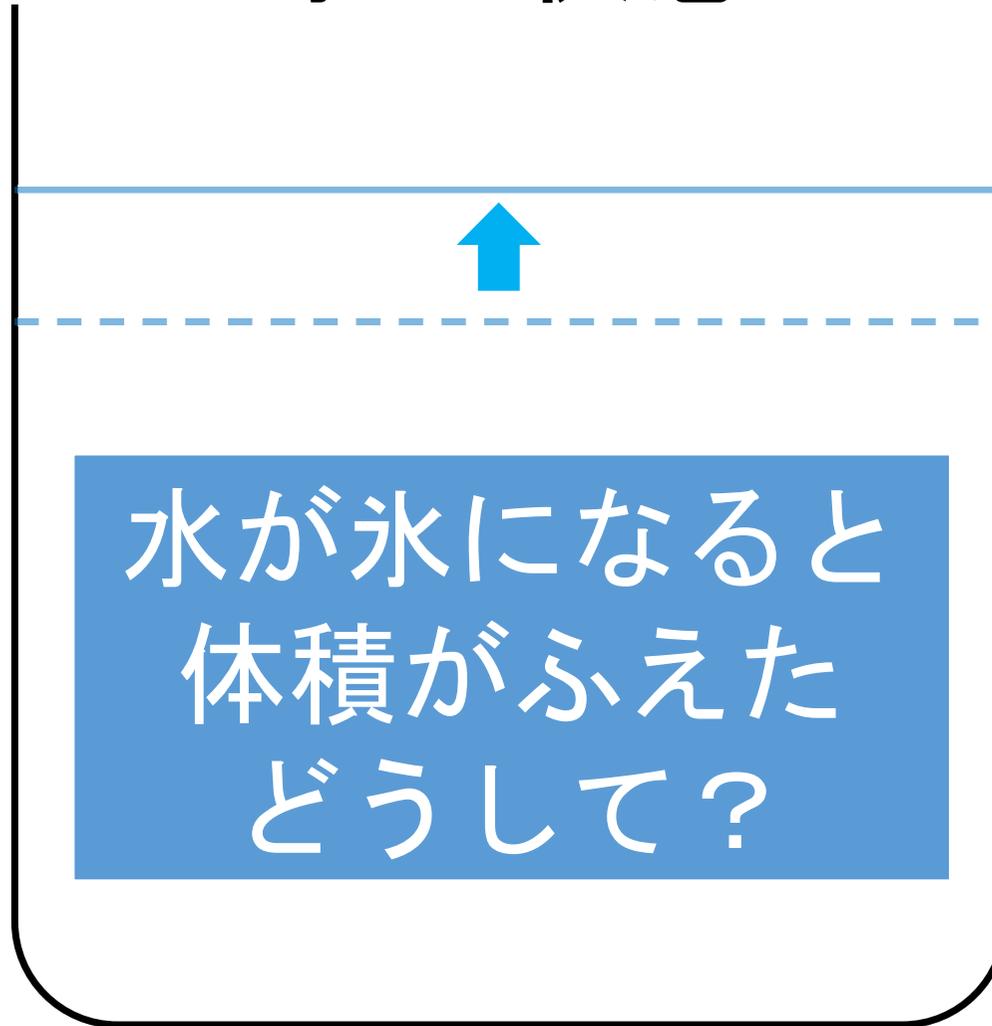
# 水の状態



# 氷の状態



# 氷の状態



水が氷になると  
体積がふえた  
どうして？

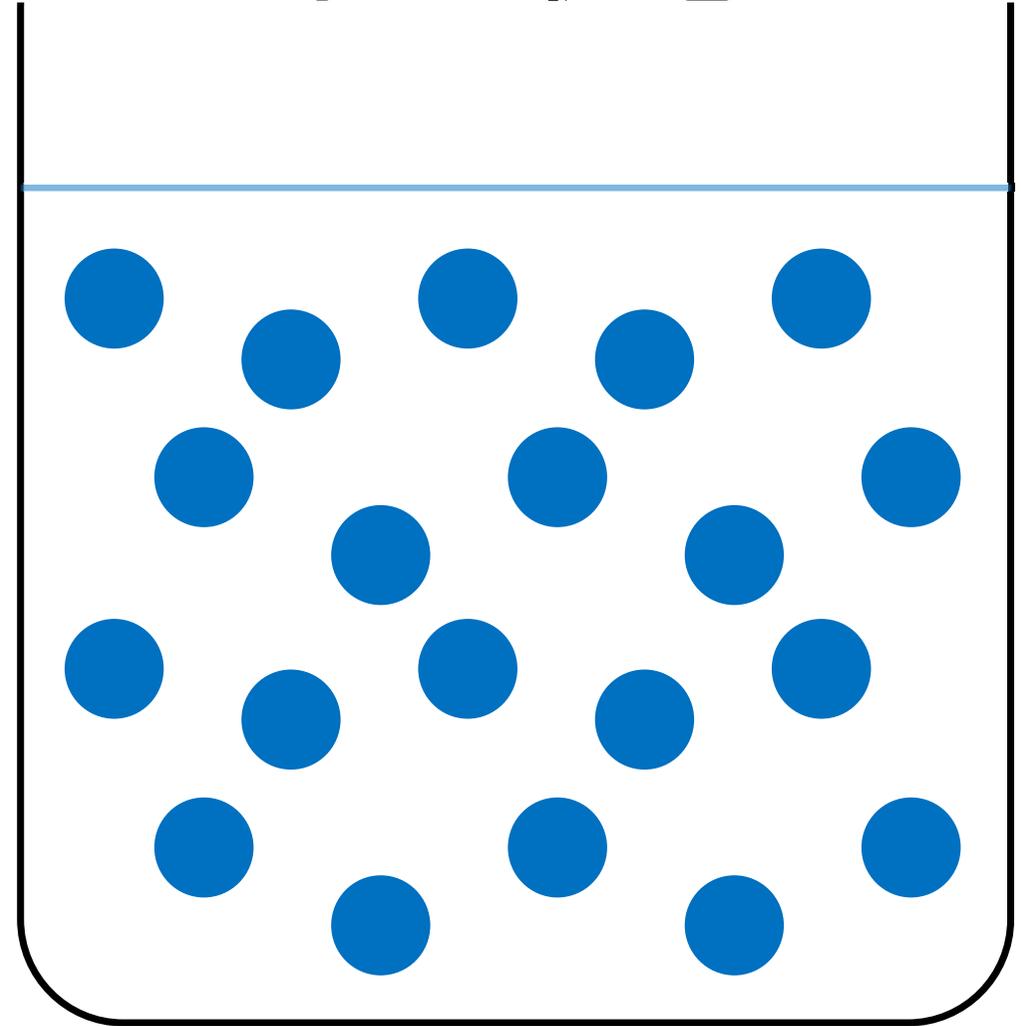
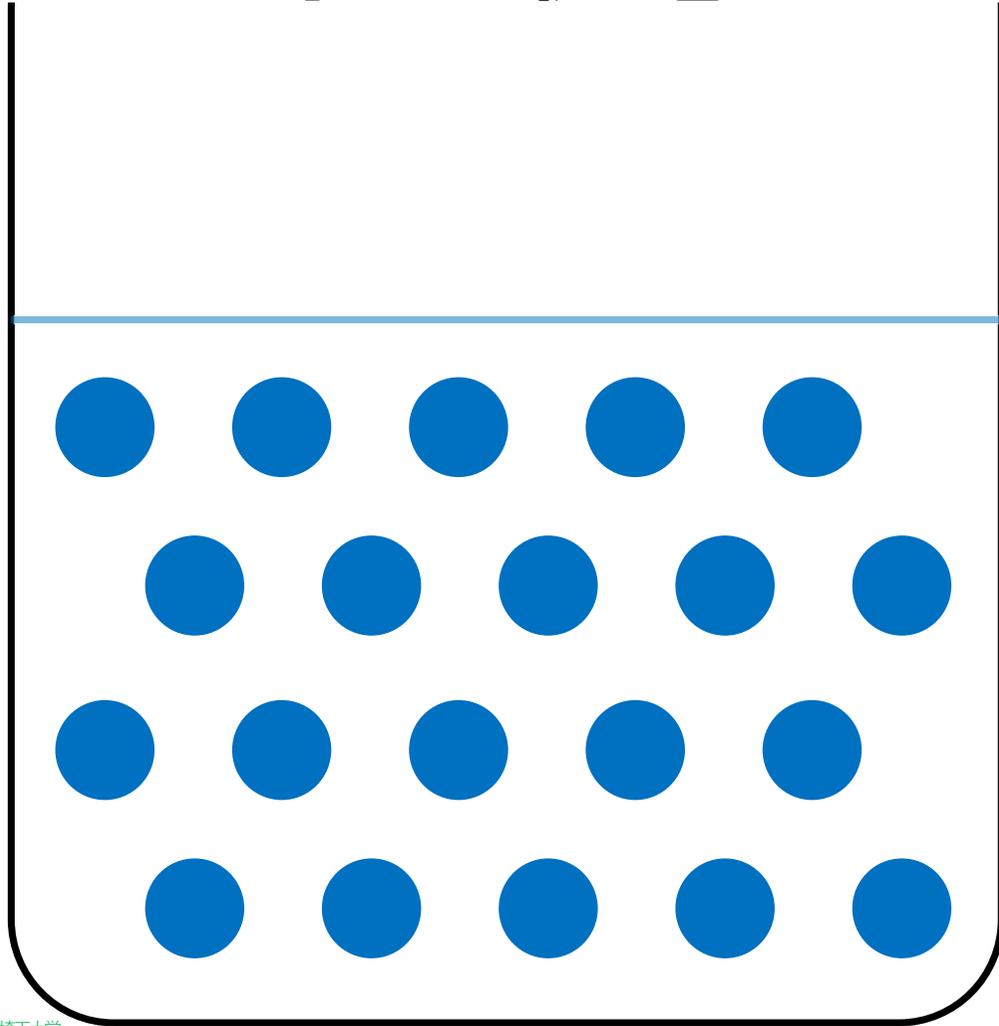
# 氷の状態



水の状態



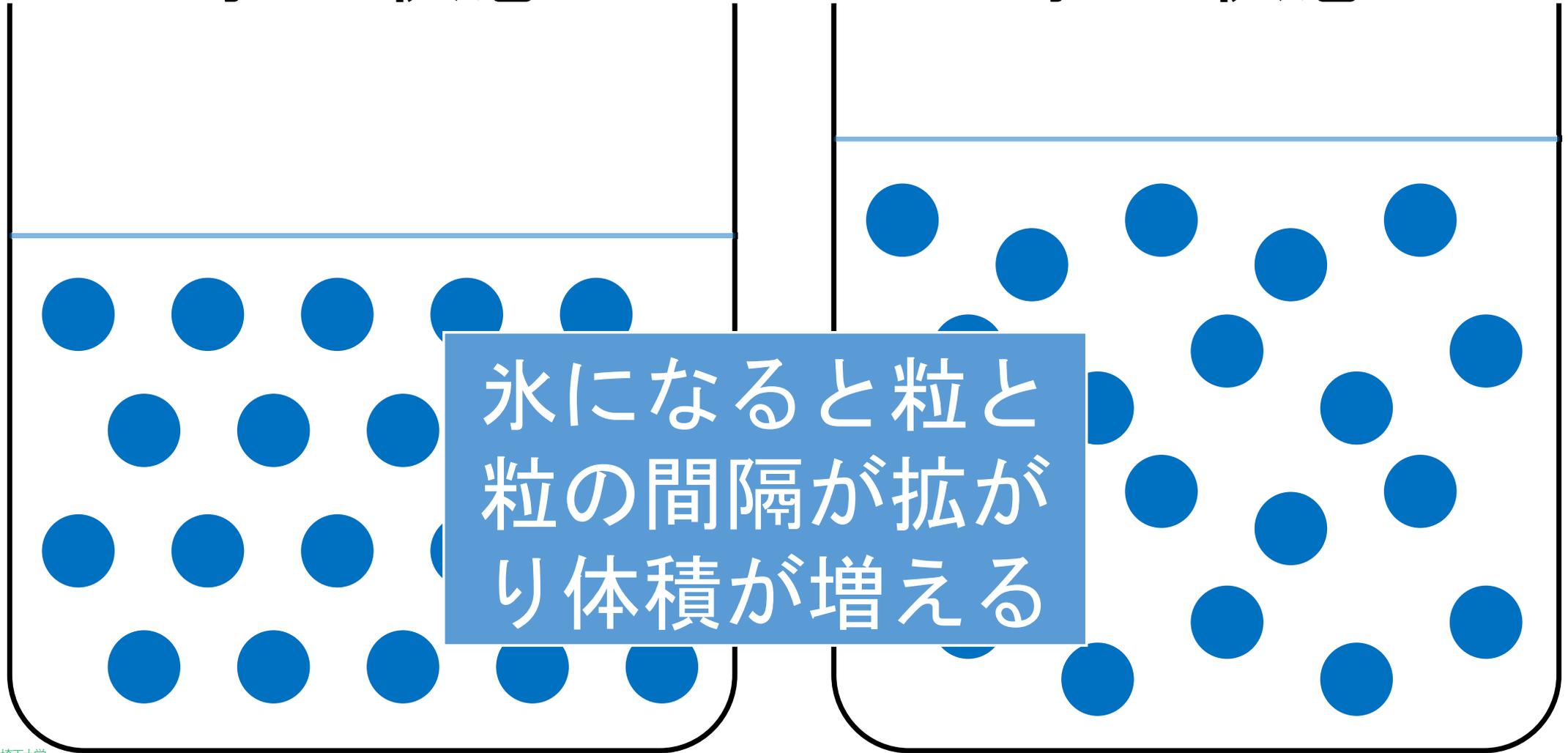
氷の状態



水の状態

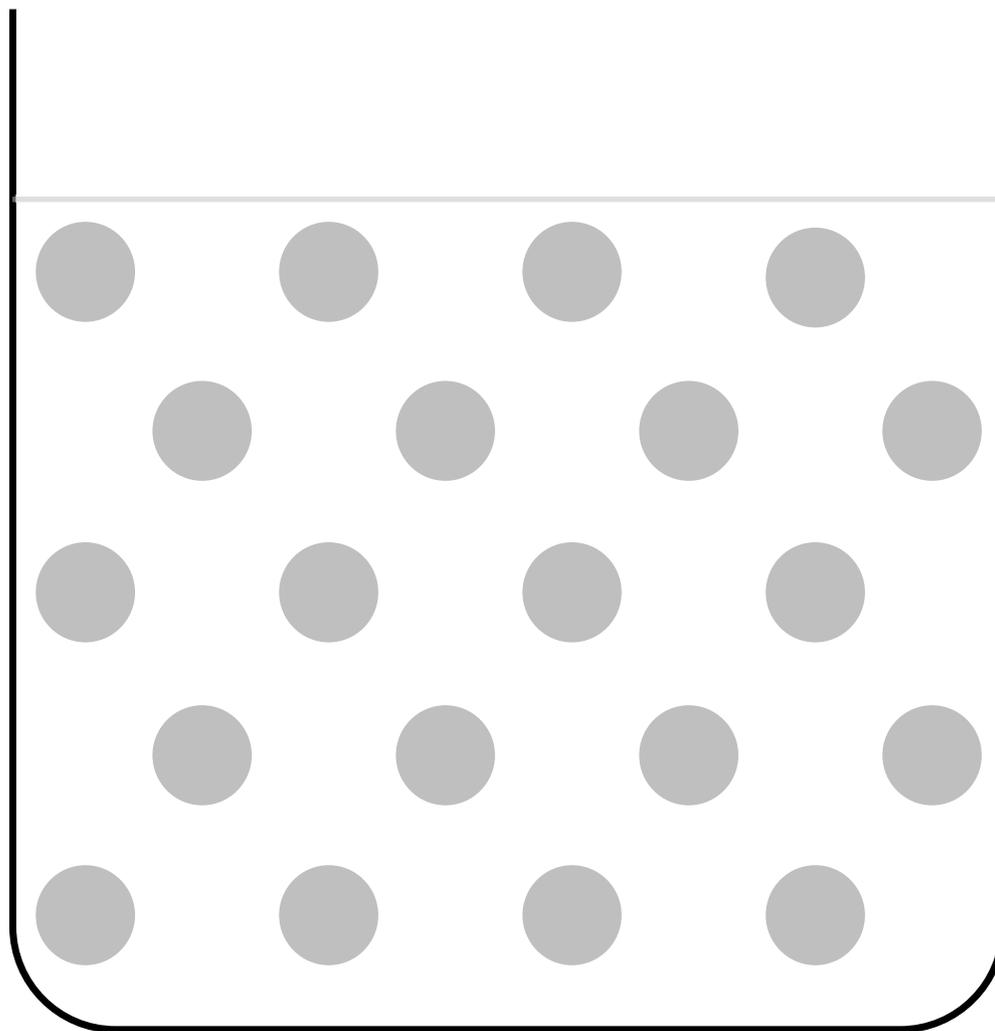


氷の状態

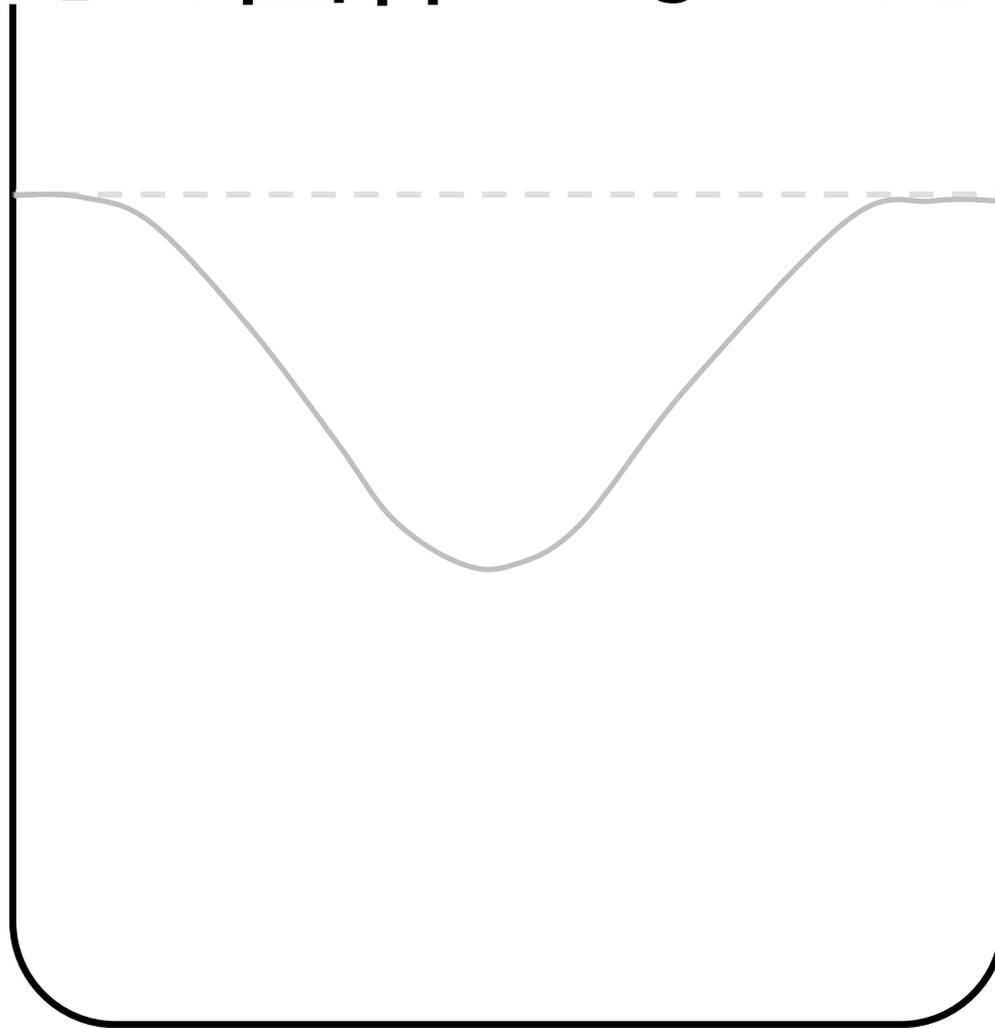


氷になると粒と粒の間隔が広がり体積が増える

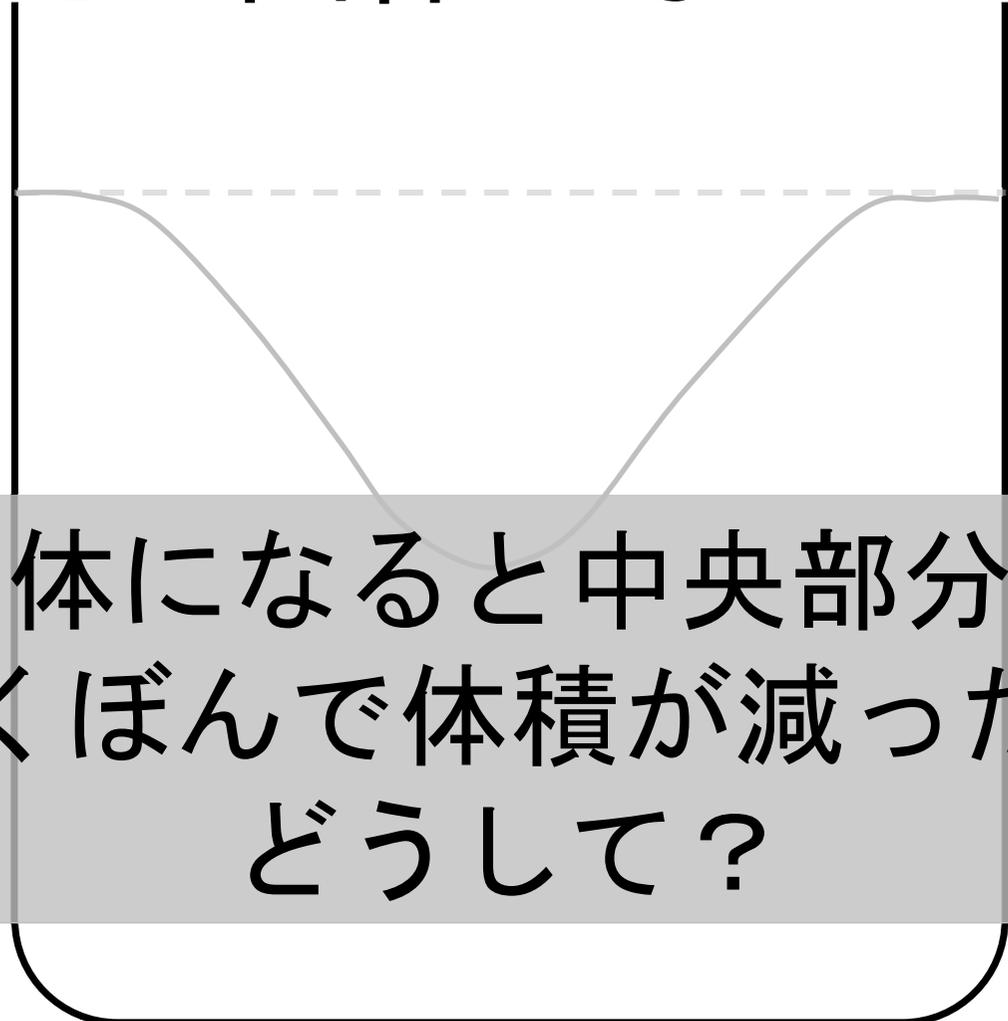
# 熱でとけて液体になったロウ



# 冷えて固体になったロウ



# 冷えて固体になったロウ



固体になると中央部分がくぼんで体積が減った  
どうして？

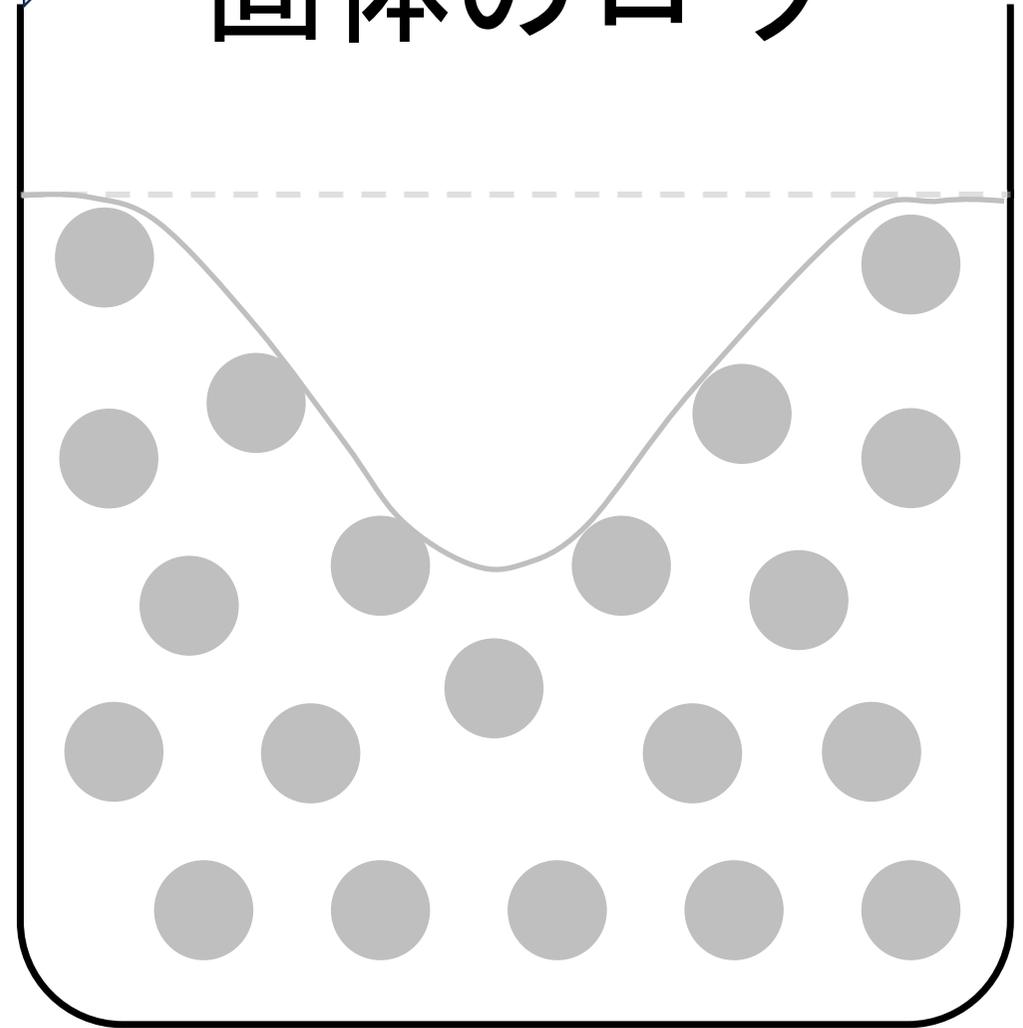
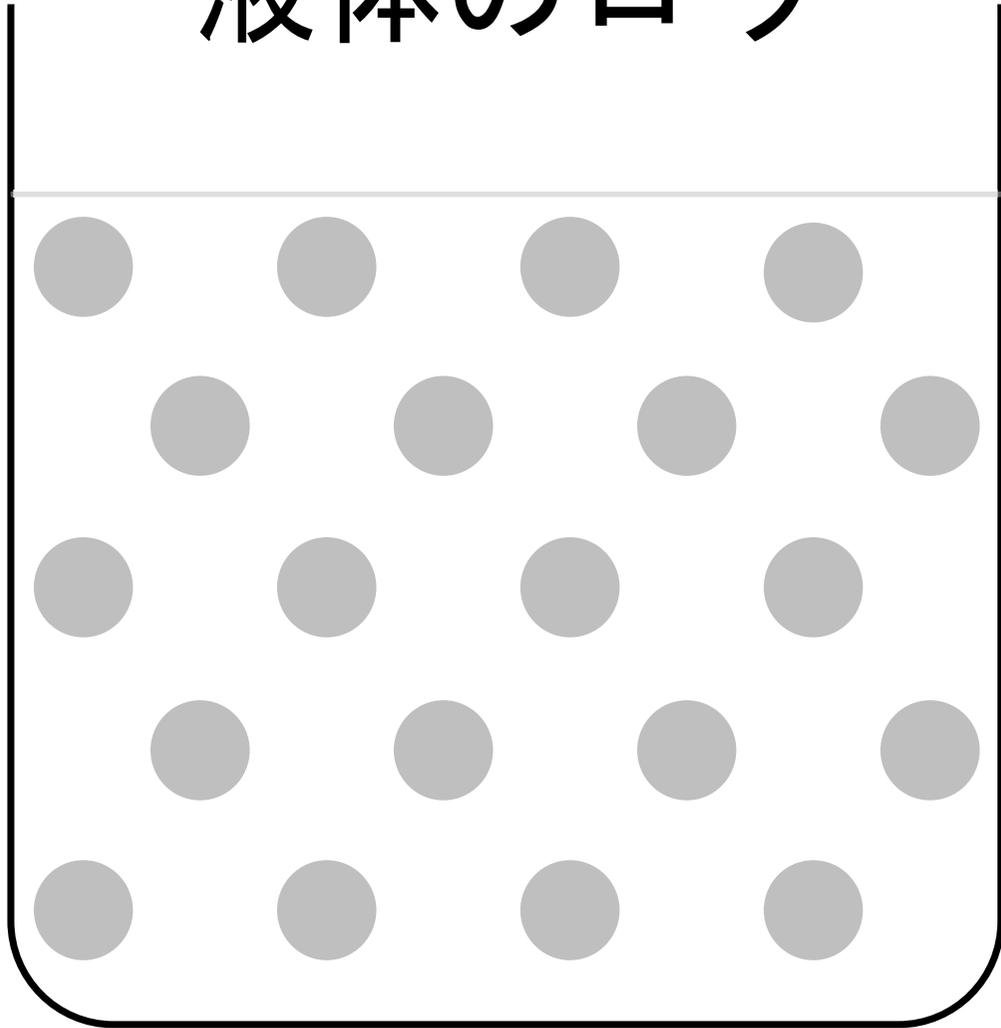
# 冷えて固体になったロウ



# 液体の口ウ



# 固体の口ウ



液体の口ウ



固体の口ウ

固体になると粒と粒の間  
隔が狭まり体積が減る  
中央部分は遅く固まる

# 実生活や自然現象に関連づけた例

エアコンの冷気と暖気の移動

気球・風船の上昇下降

気流・海流の上昇下降

マントルプルームの上昇下降

海に近い川（汽水域）の底は塩水

ご清聴ありがとうございました  
機会がありましたら、ぜひ小中  
学校で活用いただき、結果を教  
えていただければ幸いです。

小倉康（埼玉大学）  
ogura@mail.saitama-u.ac.jp