

様々な粉体上の液体に刺激を与えた際の現象

班員 金井 陽輝、高田 もえ、竹森 朱里、福岡 碧渡
担当教諭 高島 侑馬

キーワード：パウダー現象、表面張力、浸水性

In this experiment, we examined the phenomenon when liquids on several powders are given a shock. Through experiments about changing the surface tension and measuring water permeability of several powders, the results showed that this phenomenon has connections with surface tension and water permeability.

1 はじめに

本研究では、スプーンに入れた粉体の表面を濡らし、そこに衝撃を与えると液体と粉体が瞬間的に一度に落ちる現象について、実験と考察を行った(図1、図2)。先行研究が見つからず、この現象には名前が付けられていなかったため、ここでは「パウダー現象」と呼ぶことにする。この現象は何故起こるのか、どのような粉体と液体の組み合わせで起こるのか明らかにすることを目的として実験を行った。



図1 パウダー現象前



図2 パウダー現象後

2 材料と方法

<実験1>

パウダー現象が起こる粉体と液体の組合せを探索した(表1)。12種類の粉体と2種類の液体を使用した。12種類の粉体のうち2種類には、乳化剤が含まれている。今後、乳化剤が含まれる粉体の名前に(*)をつける。スプーンに粉体をすりきり一杯入れ、25℃の液体で表面を濡らし、爪楊枝で突いた。こ

れを5回行った。この動作をハイスピードカメラで撮影し、観察した。

<実験2>

酒は水よりも表面張力が小さい⁽¹⁾。実験1で水よりも表面張力が小さい酒は現象が起こりにくかった。このことから現象の起こりやすさと表面張力に関係があると考え、水の温度を変え実験をした。水は温度を上げると表面張力が弱くなり、温度を下げると表面張力が強くなる(図3)。水の温度変化とパウダー現象との関係を調べることで、表面張力とパウダー現象の関係を明らかにすることを目的とした。水を使用し、実験1でパウダー現象が起きやすかった粉体は高温(約50℃)の液体で、起きにくかった粉体は低温(約10℃)の液体で、実験1と同様の方法で現象を観察した。

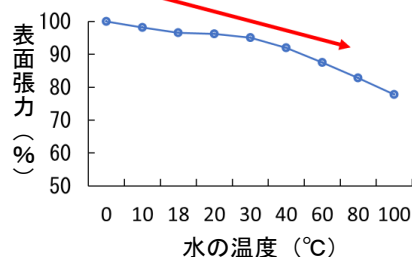


図3 温度による水の表面張力の変化⁽²⁾

<実験3>

表面張力と現象の起こりやすさを調べるため、水に界面活性剤を添加しパウダー現

象を観察した。界面活性剤は水の表面張力を弱める働きがある⁽³⁾。界面活性剤である石鹼（アルポール石鹼液）3mLを、200mLの水に混ぜた液体を用い、実験1と同じ方法で観察した。

<実験4>

実験1でパウダー現象が起こりにくかった粉体では、パウダー現象が起きやすかった粉体と比べて、液体がしみこみやすいことが観測できた。そこで、液体の染み込みやすさとパウダー現象の関係を調べた。6cmに切ったストロー（サンナップ株式会社、ポリプロピレン製、Φ5mm×18cm）に最下部から3cmまで粉体を詰めた。この時、ストローを指で軽くはじき、粉体を均一になるようにした。ストローの上からマイクロピペットで20μLの水をいれ、1分間で浸水した深さを計測した（図4、図5）。この時、最も多く浸み込んだ場所で深さを計測した。



図4 詰めた粉に水が浸み込む前



図5 詰めた粉に水が浸み込んだ後

4 結果

以上の結果を表1～4、図7、8に示した。

ここで

○：パウダー現象が完全に見られた

△：パウダー現象がやや見られた

（スプーンの半分以下（図6））

×：パウダー現象が全く見られなかったを表す。



図6 パウダー現象がやや見られた△の例

<実験1>

京きなこ、きなこ、アルビスきなこのアーモンドプードルでは、水と料理酒のどちらでも現象は起きなかった。また、現象が起きなかった粉体のうち、アーモンドプードルのみ、液体が深くまで染み込んだ。アーモンドプードル以外の粉体では、粉体の表面上で液体が撥水する様子が観察された。また酒と水を比較すると、酒は水よりもパウダー現象が起こりにくかった。

表1 液体と粉体の組み合わせごとのパウダー現象の発生の様子

	水	料理酒
ココア 70	○	△
ブルボンココア	○	△
ブラック ココアパウダー	○	△
ノンウエット ココアパウダー（*）	○	○
粉糖	△	△
ノンウエット シュガー（*）	○	○
竹炭パウダー	○	○
とろけるきなこ	△	△
京きなこ	×	×
きなこ	×	×
アルビスきなこ	×	×
アーモンド プードル	×	×

※全て5回実験を行い、同じ結果だった

<実験2>

25℃から10℃に水の温度を低くすると、とろけるきなこは5回中5回現象が起こり、25℃の時

より起こりやすくなった(表2)。また、25℃から50℃に水の温度を高くすると、ブラックココアパウダーはすべて現象が起きず、ココア70は、5回中3回現象が起こり、25℃のときより現象が起こりにくくなった(表3)。

表2 水温が25℃と10℃の場合のパウダー現象の発生の様子

温度	25℃ (5回全て 同じ結果)	10℃				
		①	②	③	④	⑤
京きなこ	×	×	×	×	×	×
とろける きなこ	△	○	○	○	○	○
アルビス きなこ	×	×	×	×	×	×
きなこ	×	×	×	×	×	×
アーモンド ブードル	×	×	×	×	×	×

表3 水温が25℃と50℃の場合のパウダー現象の発生の様子

温度	25℃ (5回全て 同じ結果)	50℃				
		①	②	③	④	⑤
ブルボン ココア	○	○	○	○	○	○
ココア70	○	×	△	△	×	△
ブラック ココアパウダー	○	×	×	×	×	×
ノンウェット ココアパウダー(*)	○	○	○	△	○	○
粉糖	△	△	△	△	△	△
ノンウェット シュガー(*)	○	○	○	○	○	○
竹炭パウダー	○	○	○	○	○	○

<実験3>

界面活性剤を添加したところ、ブラックココアパウダーは、3回中1回現象が起きず、ブルボンココアととろけるきなこはすべて起きず、界面活性剤を添加しないときより現象が起きにくくなった(表4)。

表4 界面活性剤の有無によるパウダー現象の発生の様子

界面活性剤	無	有	有	有
ブルボンココア	○	×	○	○
ココア70	○	○	○	○
ブラックココア パウダー	○	△	△	△
ノンウェット ココアパウダー(*)	○	○	○	○
粉糖	△	△	△	△
ノンウェット シュガー(*)	○	○	○	○
とろけるきなこ	△	×	×	×
竹炭パウダー	○	○	○	○

<実験4>

実験1でパウダー現象が起きにくかった粉体では0.8cmより浸水した深さが深く、パウダー現象が起きやすかった粉体では0.7cmより浸水した深さが浅かった(図7)。

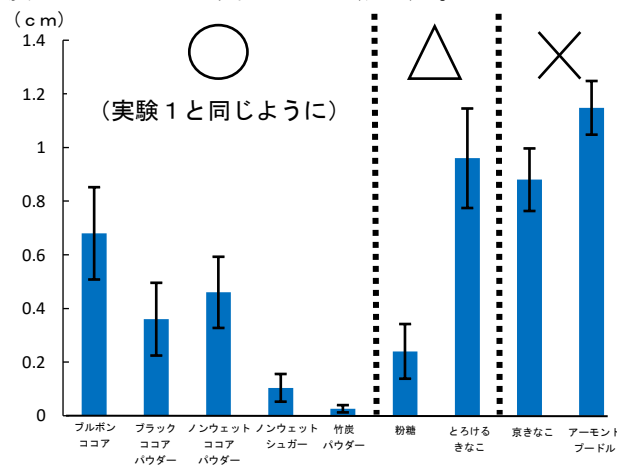


図7 それぞれの粉体に1分間に水がしみ込んだ深さ

<実験3と4のまとめ>

乳化剤を含まないブラックココアパウダーより乳化剤を含むノンウェットココアパウダーのほうがパウダー現象は起きやすかったが浸水性は大きかった。また、浸水性が低い竹炭パウダーは、液体の表面張力が変化しても、パウダー現象の発生と関係しなかった(図8)。

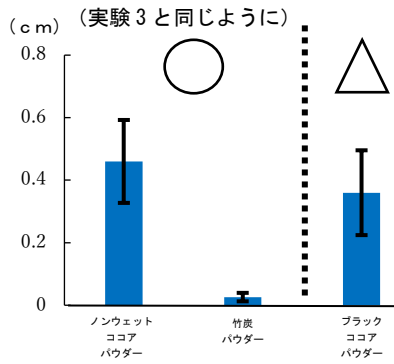


図8 実験3、4の結果 (一部)

5 考察

パウダー現象のおこるメカニズムについてハイスピードカメラの観測から以下の仮説をたてた。粉体が溶けた液体は柔らかい粘土のような固まりとなっており、そのため、刺した爪楊枝を引き上げる際に固まった層ごとに持ち上げられる (図9、図10)。さらに引きあげると、刺した点を中心に構造が壊れ、これが連続して周囲に広がる (図11、図12)。膜の一点は全方向から表面張力を均等に受けており、構造の一部が壊れると力が偏りその点を中心にして構造の破壊が連続して周囲に広がる。この一連の現象がパウダー現象であると考えられる。



図9 現象がおこる前

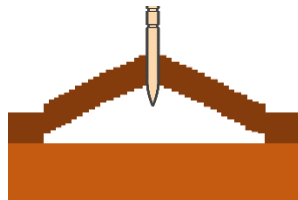


図10 図9のモデル図



図11 現象がおこった後

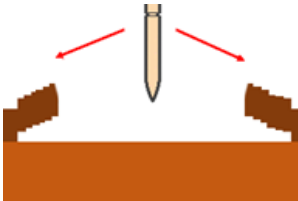


図12 図11のモデル図

また、浸水性が高い粉体は液体が粉体に浸み込む割合が大きいため現象が起きにくいのではないかと考えられる。また、乳化剤を含む粉体は、水を弾く性質があるため、表面張力または浸水性に影響していると考えられるが、今回の実験ではパウダー現象を引き起こす詳しい理由はわからなかった。実験3や実験4の結果からパウダー現象の起きやすさは乳化剤の有無、粉体の浸水性、液体の表面張力の強さが相互に影響し決まると考え

られる。

6 結論

パウダー現象の起きやすさは液体の表面張力の強さ、粉体の浸水性、乳化剤の有無が関係している。

7 今後の展望

ココアパウダーやきな粉などの天然な物は一般的に粉の大きさが統一されていない。このことから粉の大きさが不均一であると粉が浸み込みやすくなる。また、粉体と液体の組み合わせによって溶けやすさが変わる。これらが今回の実験結果に影響している可能性が考えられる。よって今後は、シリカパウダーや活性炭などの比較的粒子径⁽⁴⁾が揃っていて、1種類の成分のみで構成されている粉体を用い、パウダー現象を物理的な観点で考察していきたい。

また、今回の実験では液体の表面張力を数値で表すことができなかった。今後は、表面張力を測定するか、界面活性剤の濃度を変化させて、液体の表面張力の強弱を数値として表して定期的に検討したい。

8 参考文献

- (1) “表面張力とは-コトバンク” 株式会社 DIGITALIO 及び 株式会社 C-POT . <https://kotobank.jp/word/表面張力-121422> (参照2022-05-13)
- (2) “東京都鍍金工業組合” http://www.tmk.or.jp/7.2_detapdf/data48.pdf (参照2022-11-18)
- (3) “泡と表面張力-理大の栞” 岡山理科大学. <https://www.ous.ac.jp/kikaku50/bookmark/bm005e.html> (参照2022-06-04)
- (4) “粒子径とは-HORIBA” 株式会社堀場製作所 <https://www.horiba.com/jpn/scientific/> (参照2023-01-28)