

ダイラタンシー

3年B組 中井 美嘉

3年B組 山本 奈都美

指導教諭 藤野 智美

1. 要約

私たちサイエンス研究会地学班は、液状化現象について調べていたところ、「ダイラタンシー現象」という言葉を知り、興味を持ったので本やインターネットを利用して調べてみた。また、実際にダイラタンシー現象を体感するための実験を行った。

キーワード ダイラタンシー、レオロジー、ダイラタント流体

2. 研究の背景と目的

地盤の液状化とは、埋め立て地などの水を含んだ砂の地盤で起こりやすい現象である。このような土地では砂粒どうしの隙間に水が多く含まれている。地震等の振動によって砂地の地盤がゆるみ、並んでいた砂粒がばらばらの状態で水に浮いて液体のようにふるまう。これにより建物は地面に沈み、反対に地下にあったマンホールや地下鉄の駅が地上にでてくる等の災害が起こる。

この液状化現象を調べていたところ、ダイラタンシーという言葉を知った。調べてみると、この現象はレオロジーという分野に関係することがわかり、液状化現象との関わりが気になったので、調べてみた。

ダイラタンシー現象とは、「普段は液体の性質を示すが、力を加えると一時的に固体の性質を示す」現象のことである。力を加えることを止めると、また液体の性質を示す。

物理学者のオズボーン・レイノルズが

発見したことから、「レイノルズ現象」と言われることもある。

また、この現象が起きる流体を「ダイラタント流体」という。ダイラタント流体は非ニュートン流体である。

ダイラタンシー現象は、片栗粉と水を混ぜたものや、海岸などでよくみられる。能登半島の千里浜はこれであるため、砂浜に自動車を走らせてもタイヤが沈まずに、ちゃんと走れるのである。

バラエティ番組で取り上げられるほど、身近で親しみやすい現象だといえる。

※物質の変形や流動に関する学問のことを総じてレオロジーという。レオロジーは流体の粘性などを対象にした学問分野で、その代表がニュートン流体と非ニュートン流体である。流体とは自由に変形できる気体や液体のことで、その粘性というのは要するに流体の流れる上での摩擦抵抗（これはむしろ地学よりも物理に近

いと言える)である。簡単に説明すると、ニュートン流体というのは、加える力と物質の変形(流動)が比例関係にある流体のことで、水や潤滑油など身近にもよく存在する。対して、非ニュートン流体は複雑な成分の流体で成り立つ現象であり、加える力によって粘度(流れる速さ、物体の固さ)が変わる。ダイラタンシーは、この非ニュートン流体の性質をもつ物体である。

今回は、液状化現象ではなくダイラタンシー現象自体に焦点を当てて研究を行い、ダイラタンシー現象を体感して、この現象はどうして起こるのか、原因は何なのかを理解した。

3. 研究内容

(1) ダイラタント流体の作り方

ダイラタンシー現象は、料理をする人ならだれでも見たことのある身近な現象である。水溶き片栗粉を作る際に、この現象は多くみられる。

つまり、ダイラタント流体を作るには、片栗粉と水を混ぜるだけでよい。この二つの割合は、情報源によってまちまちであり、粉質によって必要な水の分量は変わってくる。

■用意するもの

- 容器(ボウルのようなもの。この中にダイラタント流体を作る)
 - 片栗粉 200cc(適宜)
 - 水 100cc(適宜)
- 片栗粉と水の比率はおおよそ2:1とする。

する。

■作り方

- ①容器に片栗粉をいれる。
- ②片栗粉を入れた容器に水を加え、かきまぜる。
- ③ダイラタンシーのできあがり。握っている間はかたく、手を離すとドロドロに溶けてしまう。

※もし出来上がったものが粉っぽかったり水っぽかったりした場合、必要に応じて水か片栗粉を加える。

手順の②でいきなり全ての水を入れずに、少しずつ加えて様子を見ていけば、水の入れ過ぎを防げるので、片栗粉の量に限りがあっても失敗することなく作れて安全である。図1に作成時の写真を掲載する。

(2) 仮説

片栗粉を水に混ぜるとダイラタンシー現象特有のふるまいをした。調べた結果、ダイラタンシー現象は片栗粉の粒子が最密充填に水中で並ぶために起きているということがわかった。

そこで、私たちは他の粒子でもダイラタンシー現象は起きるのではないかと推測した。

※最密充填とは、粒子間の隙間が最小になる粒子の並び方のことである。粒子は互いに結合されておらず、また、変形できない。この並び方をした粒子は、縦からの圧力に弱い。リンゴなどをピラミッド状に積み上げたものが最密充填構造に近い積み上げ方と言える。



図1 ダイラタンシー作成の様子

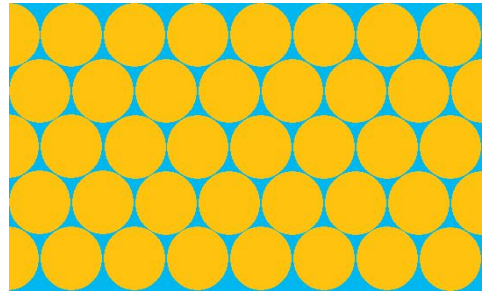


図2 最密充填構造

3) 研究方法

きな粉、砂糖、食塩、小麦粉、白玉粉、片栗粉、コーンスターチをそれぞれ水に混ぜて触り、様子を見る。

(4) 研究結果

片栗粉とコーンスターチでダイラタンシー現象が見られたのに対し、他のきな粉、砂糖、食塩、小麦粉、白玉粉では見ることができなかった。

片栗粉とコーンスターチの水溶液はダイラタント流体である。

また、加える水の量によって結果は大きく変わった。水と混ぜることによってダイラタンシー現象を起こす片栗粉も、水分が少なすぎると粉っぽくなり、流体にはならないのである。とはいえ、水を多く加えると上手くいくというわけではなく、ダイラタンシー現象を起こすためには適宜の水分量が必要であることがわかった。私達は、これをおおよそ水：片栗粉が3：2の割合であると考えた（ある程度比率が異なっても問題にはならない）。

4. 考察

実験結果から、片栗粉とコーンスターチ以外にはダイラタンシー現象の起こ

る食品は身近に存在しないことがわかった。

最初私達は、これは粒の大きさが原因だと考えていた。しかし、海辺の砂でも同様の現象が起こることから、粒のサイズが直接的には現象の発生の有無と関係しないと考え、ダイラタンシーが起こるか否かは粒子の粒の大きさの均一性と、粒子の並び方によって決まるという結論に達した。

<片栗粉で成功した要因>

先ほどの考察をもとに、片栗粉の粉について考えてみる。片栗粉は植物のデンプンを精製した調理用の粉である。デンプンの粉は水に溶けない小さな粒でできていて、その大きさが比較的均一である。この性質から、先ほど述べた最密充填構造をとると考えられる。最密充填構造でできる粒子間の隙間に水が入り込む。力を入れるとすき間が広がり、水が吸い込まれることで表面は乾いた状態になる。これによって固体の状態になる。力を緩めると隙間が狭まって、水が表面に流れ出る。これによって液体の状態になる。このような性質は片栗粉の大きさとその均一性によって引き起こされたと考える。

<その他の実験結果について>

今回の実験結果から、片栗粉とコーンスターチの粒子の並び方は最密充填の性質を持っているが、他の食品はそうではないということがわかる。

小麦粉は見た目が片栗粉と似ており、原料のほとんどは片栗粉と同じデンプ

ンである。しかし、こちらは粘り気のあるタンパク質も含んでいるため、水を加えると粘りが出てしまい、ダイラタンシー現象は起きないのである。

最密充填という粒子の構造自体、水に溶けない微粒子によってできるものなので、水に溶けてしまう食塩や小麦粉でこの現象が起きないことは当然とも言えるだろう。

粉に加える水分量については、多すぎても少なすぎてもダイラタンシー現象は起こらないということがわかった。

<ダイラタンシー現象の仕組み>

実験結果を受けて、ダイラタンシー現象の起こる仕組みを簡単に述べてみる。

ダイラタント流体に力を加える（外側から圧力をかける）と最密充填の粒子と粒子の間の隙間がなくなって、水分は内側に閉じ込められる。それによって物質の表面は固まり、外見は固体のようになる。ダイラタント流体は固体になるのではなく、一時的に固体の性質を持つのである。元々あった水分は、無くなったわけではないので、力を緩めるとまたすぐに滲み出てきて、物体は流体の性質に戻る。

このとき、水分が少なすぎると、粒子は自由動き回ることにはできないので、当然この現象は起きない。では、水が多すぎる場合はどうだろう。粒子に対する水の量が多くなってしまうと、粒子間の隙間が最も狭い最密充填にはならないので、ダイラタンシー現象は起きない。力を加えても（圧力をかけて

も) 水が物体の内側に閉じ込められることはなく、粒子の隙間から滲み出てしまう。

ダイラタンシー現象は海岸や片栗粉のほか、水田などの泥沼でもみられる。圧力をかけると固くなるため、上を走ることはできるが歩けない。力を入れた瞬間は非常に硬くなるため、実際にダイラタンシーの水田に飛び込んで、怪我をしたという事例もある。

<ダイラタンシーと液状化現象>

ダイラタンシーと液状化現象の関係性については、今回調べた「ダイラタンシー」と、「液状化現象としてのダイラタンシー」はどちらも同じ現象だが、その起こる仕組みに違いがあるのではないかと考えた。

調べてみたところ、物体の中の面に対して平行方向に働く力を作用させることにより、体積変化が生じる現象が「ダイラタンシー」であるといえる。

体積が収縮する場合は、変形によって粒子が下方の隙間に充填する。粒子の混ざっている物質が水の場合は粘性が大きいので、粒子が他の粒子間の隙間の通過に時間がかかり、動きは複雑になる。すると、下へ沈む速度が遅くなるため、一度水に浮いたような状態になる。このとき粒子同士の接触が無くなり、液体のように柔らかくなる。これが液状化現象である。

一方、膨張する場合は、粒子間の隙間が拡大していく。粒子間の物質が水だとすると、隙間が膨張しようとするためにそこに水が入らないので、表面が

ひび割れる。これが一般にいうダイラタンシーであり、今回実験を行った現象でもある。

5. 今後の課題

今回わかったことは、ダイラタンシーという現象があり、またダイラタンシー現象は片栗粉やコーンスターチ、あるいは海浜の砂といった限られた物質（即ち粒子の粒の大きさが均一に細かく、その粒の詰まり方が最密充填であるもの）でしか起こらないことだ。

ダイラタンシー (Dilatancy) とは、英語で「膨らむ」という意味である。ダイラタンシー現象は水に溶けない微粒子が一定の割合で最密充填に水と混ざった流体に起きる。また、この水が多すぎても少なすぎてもこの現象は起きない。

ダイラタンシーと真逆の現象に、「チキソトロピー」というものがある。これはケチャップや底なし沼、ボールペン、ペンキなどで起こる、ダイラタンシー以上に身近な現象だ。

チキソトロピーとは、最初は固体だけれど、掻き混ぜるなどして力を加えると一時的に液体の性質をもつようになり、加えるのをやめるとまた固体に戻る現象のことである。力を加えた時間、強さによって流動の様子が変わる。

チキソトロピーは特にレオロジーの代表的な対象である。これも非ニュートン流体の一種だ。

液状化現象について調べるのと同時に、流体の特性を知るために、こちらについても考えていきたい。

6. 参考文献

[1]「米村でんじろうのサイエンスプロダクション」

<http://www.denjiro.co.jp/>

[2]国土交通省 北陸地方整備局「液状化現象とは？」

<http://www.hrr.mlit.go.jp/>

[3]中日新聞

<http://www.chunichi.co.jp/>

[4]「化学の質問ありまへんか。」

<http://www.chemistryquestion.jp/index.htm>

7. 謝辞

多忙にも関わらず貴重な時間を割いて私たちのために力添えをして下さった藤野先生、誠にありがとうございました。