

金平糖の角ができる仕組みと規則性

石川県立金沢泉丘高等学校 3年

澤田 理子 山崎 咲弥 一恩 拓人 高田 智弘 物部 翔太

1. 要旨、概要

参考文献によると、金平糖は古くから日本にある砂糖菓子で、1600年ごろにポルトガルから輸入され、江戸時代には、将軍への献上品として用いられていた。金平糖は、けしの実や砂糖の粒を核として、表面の凹凸に砂糖が付着し形成される。

金平糖の形の秘密について探るべく、金平糖の性質を調べて角の個数、相似形の規則性を研究することにした。

出典：<http://www.sasakiseika.co.jp/fs/sasakiseika/conpeito>



2. 目的

金平糖の最大の特徴はいくつもの角をもつことである。しかし、角が形成されるメカニズムは、明治時代に物理学者である寺田寅彦が考察してから長い年月が経っているが未だ解明されていない。この研究で少しでもそのメカニズムを解明するというのが目的である。

3. 仮説

金平糖の原料は砂糖水と、核となるけしの実やいらこだけである。そのため、砂糖水のつき方と中心になる核の形が金平糖の角の形成に影響を与えると考えた。

4. 方法・結果

実験①

方法

金平糖の角の数を調べるために、市販されている金平糖を用意し、角の数を数えた。角にマーカーで1つずつ印をつけながら数えた。ここでいう角とは、周囲より盛りあがっている部分であるとした。例えば、図1の左側のような場合には2つ、真ん中や右側のような場合には1つと数えることにした。

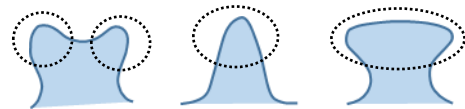


図1

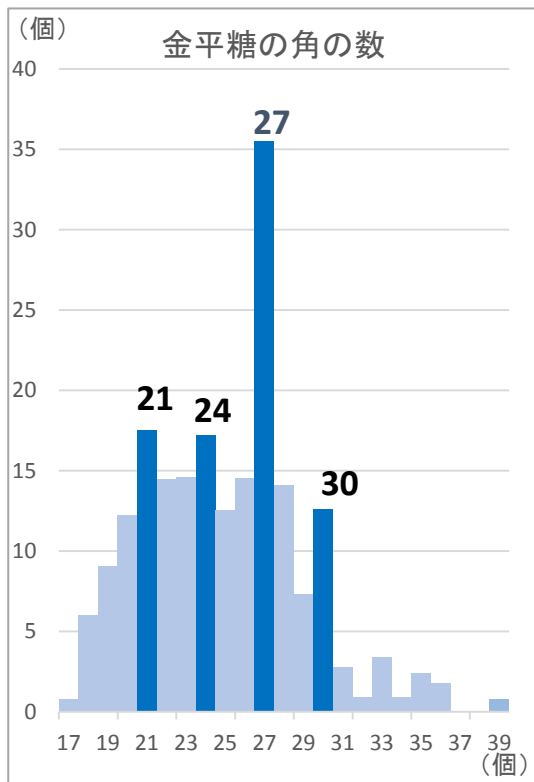
また、輸送中に欠けてしまったと思われる部分は欠けている部分の大きさを見て、輸送前にはあったと想定できる数を加えた。全部で335粒の金平糖を数えた。

結果

角の数を数えるとグラフ①が得られた。横軸に角の数、縦軸にその数を持つ金平糖の数を示している。

このグラフより21個、24個、27個の角を持つものが多いことがわかる。これらはすべて3の倍数である。また、27個の角をもつ金平糖の数が他の数の角をもつ金平糖より圧倒的に多いことがわかる。

グラフ①の全体の形は山型になっている。20個代を中心として17個から39個に裾を引くように広がっている。



グラフ①

考察

この結果より核の盛り上がった部分の面に砂糖が付着し、その部分1つあたりに3つの角が形成される。そして、それらが成長していくことにより角の数が3の倍数になったのではないかと考える。

ここで、グラフ①の左右のデータとの比率を調べるために、増加率 α を定義した。

ある n 個の角を持つ金平糖の数を $A(n)$ とおいたとき

$$(\text{増加率 } \alpha) = A(n) \div \frac{A(n-1) + A(n+1)}{2}$$

例: 30個の角をもつ金平糖の増加率を求める場合

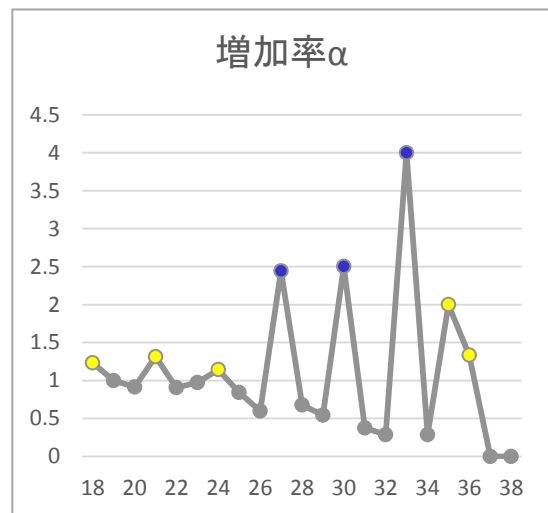
(30の増加率 α) =

(角が30個の金平糖の数) ÷

(29個の角をもつ金平糖の数と31個の角をもつ金平糖の数の平均)

増加率 α をグラフにすると、グラフ②になった。グラフ①で値が大きく出た3つに加えて、30個の角を持つものも多いことが分かる。27個、30個、33個の角をもつものの増加率 α が2を超えた。このことは、27個、30個、33個の角をもつ金平糖の数が急激に増加していることを表している。18個、21個、35個、36個の角をもつものは増加率 α が1を超えた。このことは、18個、21個、24個、35個、36個の角をもつ金平糖の数が少し増加していることを表している。

しかし、このグラフ②は端の値になるほど、全体のデータが小さいために少しのずれで値が大きく変わることがある。よって、グラフ①のデータをポアソン分布などと比較することでも角の数のかたよりを調べたい。



グラフ②

実験②

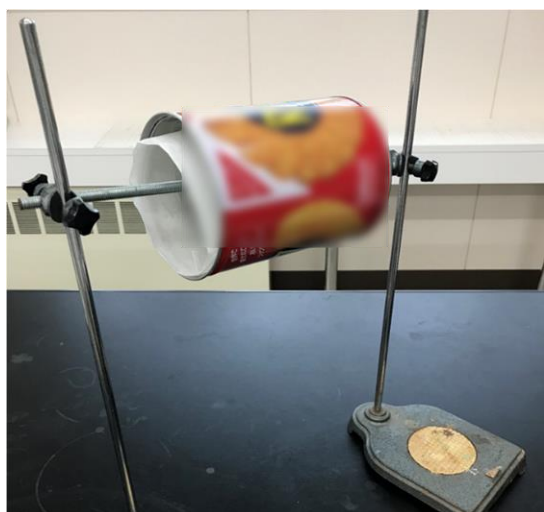
方法

実験①で見つけた規則性を確かめるために、自分たちで金平糖を作ることにした。市販の金平糖は、直径2mほどの大きな鍋のようなものを水平方向に対して約30°傾けたものにけしの実やいらこを入れ、1分間に1~2回転させながら砂糖水をかけて乾かす工程を繰り返すことで製作されている。

その工程を再現するために装置①を作成した。非常食用の缶、実験用のスタンドを用いた。砂糖水などが缶の側面に引っ付かないように缶の内側にクッキングシートを巻いた。

0.54gのけしの実を入れた缶の内側の温度を約60℃になるようにガスバーナーの火を調

節しながら、5分に1回、40%砂糖水を1.25mlずつけしの実全体につくようにかけた。



装置①

結果

4回ほど実験を繰り返したが、時間に制限があり、実験途中で加熱をやめたために、けしの実に付着しなかった砂糖水がクッキングシートに付着したまま固まった。それにより、金平糖の形成にいたらなかった。

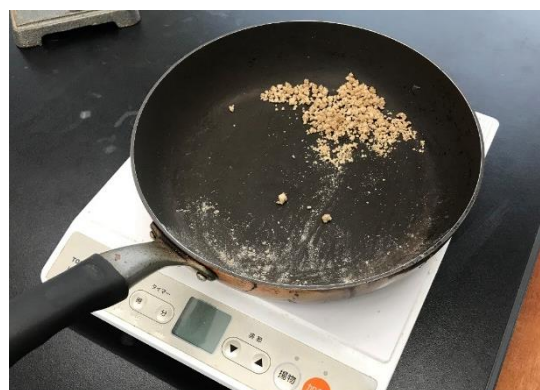
考察

この実験では、装置の大きさが本来の工場で行われている装置と比較して小さいことによる核の移動距離の縮小と実験時間が30分～1時間という少ない時間だったというのが失敗の原因として考えられる。

実験③

方法

実験②の装置では、缶の中の様子が見にくく、実験しにくい点があったため、フライパンを用いて装置①を簡略化した装置②を作成した。フライパンに100粒のけしの実を入れ、全体を爪楊枝で混ぜながらフライパン内の水分が蒸発する度に40%砂糖水を5mlずつかけた。砂糖水が固まるときに砂糖が結晶化するため、フライパンの温度が上がり過ぎないように、熱くなる前にヒーターからフライパンを降ろし、ぞうきんの上である程度冷めるまで待ち、冷めたらまたヒーターの上に戻す工程を繰り返した。



装置②

結果

30回実験の工程を繰り返した。工程を繰り返していくうちに、徐々に金平糖に近い形が形成されていった。

後に出来上がったものを観察すると、いくつかのけしの実がたくさん集まり、砂糖水によって固まったものであることがわかった。

考察

この実験では、当初予想していたような、核が個々に成長していくという結果は得られなかったが、核が集合して金平糖に近いものができるという別の結果が得られた。これは、爪楊枝で混ぜながらやったために核同士があまり衝突しなかったことが原因としてあげられる。

実験④

方法

金平糖の作成には時間がかかるため、金平糖が作られる過程をモデル化することで再現することにした。核の代わりにスーパーボールを、砂糖水の代わりにスポンジとでんぷんのりを用いた。スーパーボールをでんぷんのりにくぐらせ、5mm角に切ったスポンジが入っている容器に入れ、容器を動かしてスーパーボール全体にスポンジが触れるようにした。そして、スーパーボールとスポンジが乾いたら同じ作業を繰り返した。



装置③

結果

核のモデルであるスーパーボールに砂糖水のモデルのスポンジをでんぷんのりでつけることができた。しかし、スポンジが粗く、スポンジの形の影響が大きかったため、表面の凹凸におけるスポンジのつき方の偏り方をみるができなかった。また、モデルの外形はほぼ球体になっているように見えた。

考察

モデルの外形がほぼ球体になった原因として考えられることは、核のモデルとしたスーパーボールの表面の形である。スーパーボールは表面に凹凸があるものを使用したが、その凹凸は高低差が1 mm ほどしかなかったため、5 mm 角に切ったスポンジのつき方に大きな影響を与えることはなく、核に対する砂糖水のつき方のモデル化としては、けしの実の表面の凹凸を再現するには適当ではなかった。

7. 結論

以上の実験結果から金平糖の角の数は3の倍数のものが多く、仮説のように核の形が角の形成過程において最も影響を与えていると考える。

3の倍数のものが多く原因としては、核の盛り上がった部分への砂糖水のつき方が結果として角の数を決定していることがあげられる。そのため、例えば1つの盛り上がった部分に集まっている面の数が4や5の物質を核として用いると一般的なものとは違う規則性を持った金平糖の作成が行えるかもしれない。

今回行った実験では、初めに発見した規則性を検証するためにさまざまな実験を試みた。発見した規則性は市販の金平糖におけるものであったので、できれば自分たちの手で再現したかったが、やはり職人の手で作られている金平糖を作ることは難しかった。その要因としては、まず実験を繰り返す回数が足りなかったこと、そして温度と時間の管理が不十分であったことが挙げられる。

8. 謝辞

今回の研究にあたって、北陸先端科学技術大学院大学の小田和司助教はじめ多くの先生方にご協力いただきました。本当にありがとうございました。

9. 参考文献

金平糖とその類似構造 中田友一
中京大学国際教養学部 (2011) 『形の科学会誌』
ヴォイニッチの科学書 中西貴之
<http://obio.net/science/262.htm>