

スイーツを科学する

～スポンジケーキ編～



山口県防府市立桑山中学校 2年

河村 杏衣

<動機>

ある日、母がふわふわしていておいしいスポンジケーキを作ってくれた。ところが、私が作ったスポンジケーキはまるでクッキーのように硬かった。同じ材料で作ったはずなのにどうしてこんなにも出来上がりに差があるのだろうと不思議に思った。おいしさの違いには、泡立て方や混ぜ方が関係すると思い、この研究を始めた。

<研究の目的>

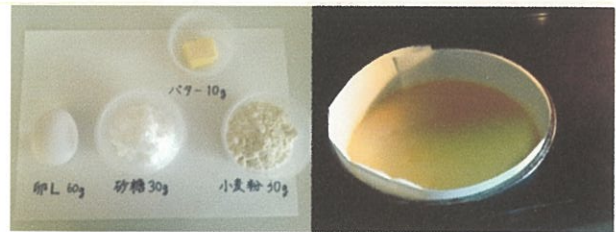
おいしいスポンジケーキを作る。泡立ての時間や温度、混ぜ方や小麦粉の量を実験によって確かめる。この研究では「卵」と「小麦粉」に注目して実験をすることにした。ケーキのおいしさにはスポンジケーキと生クリームバランスも重要だとは思いますが、今回はスポンジケーキだけに焦点を当てることにした。

<予想>

*卵の泡立ての時間は長いほど空気が入ってふわふわになると思う。*小麦粉の量が多いほど生地がかたくなるのではないかな。

<レシピ>

材料	全卵	1個
	小麦粉	30g
	砂糖	30g



★作り方★

- 1 卵をボウルにいれ、砂糖をいれて混ぜる。電動泡立て器で泡立てる。
- 2 小麦粉を入れ、ゴムべらで練らないようにさっくりと混ぜる。
- 3 紙を敷いたスポンジケーキの型に入れ、180℃で20分焼く。(今回の研究では材料をシンプルにするためにバターは省いた)

<予備実験> 母と私がスポンジケーキを作り、高さや食感の違いを観察する。

～方法～

- ① 母と私同じ材料でスポンジケーキを作る。2つの違いを観察する。



～予想～ 母の方が私よりも高くふわふわのスポンジケーキができると思う。でも、作り方は簡単だから私が作ったスポンジケーキもそれなりに膨らむと思う。

～結果～

母が作ったスポンジケーキは高さが3.7cm、私が作ったスポンジケーキは1.3cmだった。母が作ったスポンジケーキの中にはたくさん空気が入っていてとてもふわふわしていた。しかし、私が作ったスポンジケーキには全く空気が入ってなくて硬くて食べてもまったくおいしくなかった。



<考察>

私が作ったスポンジケーキがこんなにも膨らまないとは思わなかった。これには、泡立ての時間が関係すると思った。なぜならば、母は電動泡立て器で卵がふんわりなるくらいまで泡立てていたからだ。私は手動の泡立て器で少ししか泡立てをしなかった。スポンジケーキでは卵を泡立てることが重要だとわかった。そこで、泡立ての時間を変えて実験をすることにした。

<卵 実験1> 泡立ての時間の違いによる体積と高さの違いを観察する。

～方法～

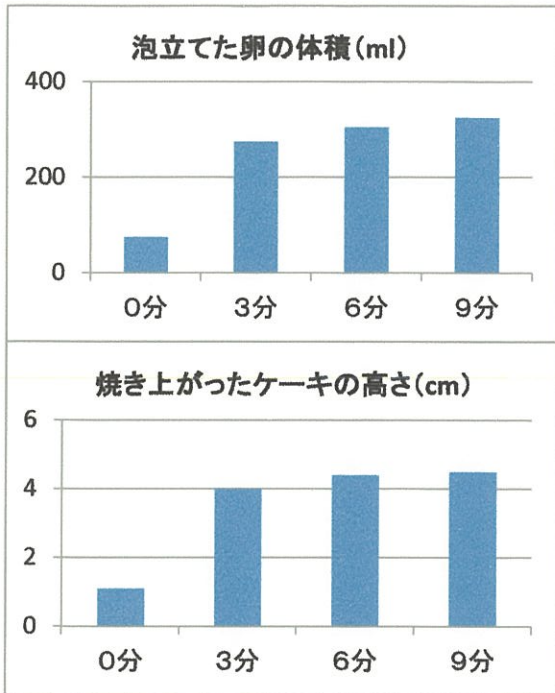
- ① 泡立て時間(0分、3分、6分、9分)を変えて卵を泡立てる。泡立てた卵の体積をメスシリンダーで測る。
- ② スポンジケーキを作る。(0分、3分、6分、9分)
- ③ 泡立ての時間の違いによる体積と高さの違いを観察する。

～予想～ 泡立ての時間は長ければ長いほどふわふわになっておいしいと思う。



～結果～

	体積	空気の量	高さ	備考
0分	75	0	1.1	ガチガチ
3分	275	200	4	しっとりしてキメがそろっていた サイコー！！
6分	305	230	4.4	少しパサついていた
9分	325	250	4.5	口の中の水分を奪われた



<考察>

予想では、泡立ての時間は長いほどおいしいと思ったが、実際は泡立ての時間が長くなると水分がなくなってパサパサになった。しかし、スポンジケーキの高さは泡立ての時間が長いほど、高くなった。空気がたくさん入るからだと思った。泡立て時間が9分の生地をメスシリンダーに入れて測り、中の卵を出そうと思ったら、メスシリンダーを逆さまにしても出てこなかった。これは、空気がたくさん入って液体ではなくクリーム状になったからだと思った。



このことから、スポンジケーキのおいしさは、空気の量だけではなく水分の量も大切だということがわかった。

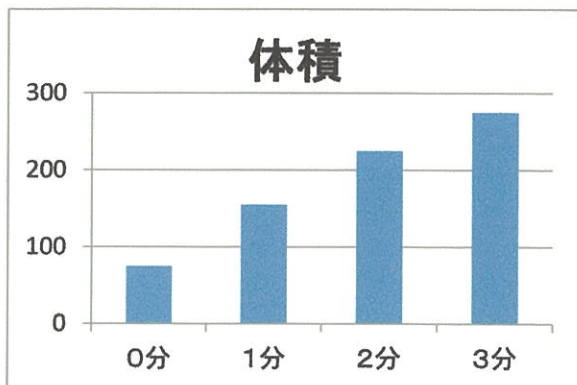
今回の結果では、0分と3分の空気の体積・ケーキの高さの差がとても大きかった。もしかしたら3分泡立てるより短い時間で、ちょうどよい水分量でふわふわのおいしいスポンジケーキができるのかもしれないと思った。そこで、泡立ての時間をもっと短くして実験をやり直してみることにした。

<卵 実験2> 泡立ての時間の違いによる体積と高さの違いを観察する。

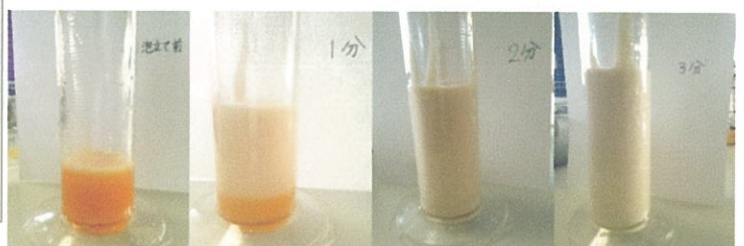
～方法～<実験1>と同じ。ただし、泡立ての時間を1分、2分とする。

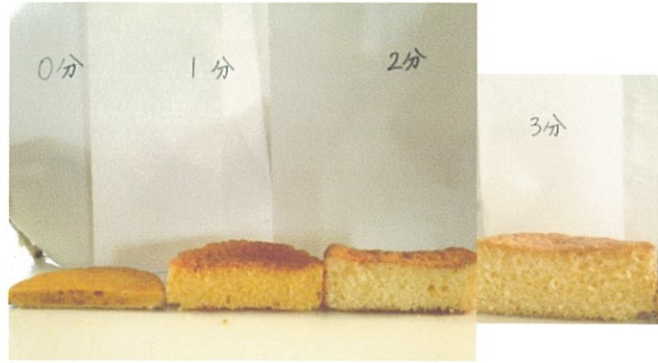
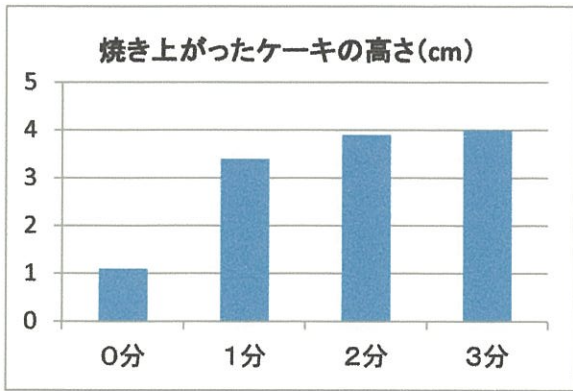
～予想～ 高さは低いが、しっとりとしたスポンジケーキができると思う。

～結果～



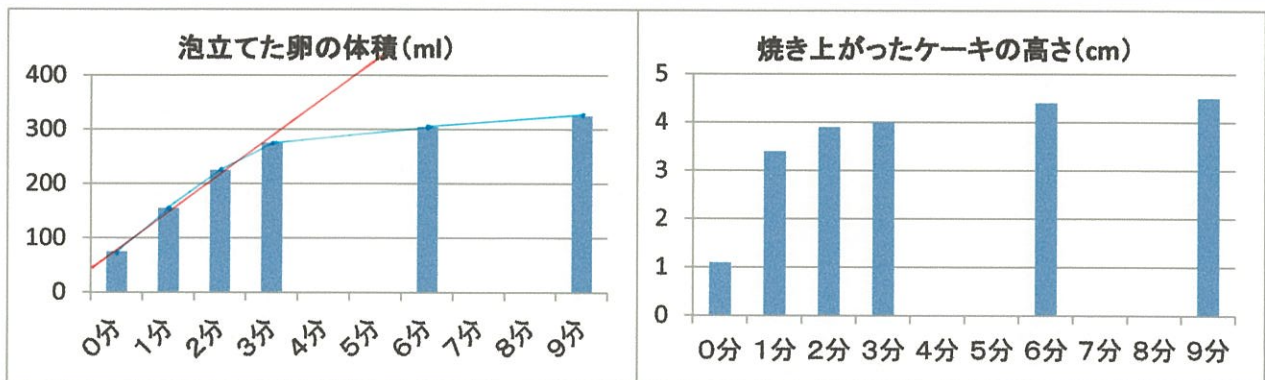
	体積	空気の量	高さ	色	備考
0分	75	0	1.1	黄色	ガチガチ
1分	155	80	3.4	黄色っぽい	かたい
2分	225	150	3.9	白っぽい	ちょっとふんわり でもかたい
3分	275	200	4		しっとりしてキメがそろっていた サイコー！！





<考察>

泡立ての時間が1分や2分のスポンジケーキは、予想通り高さは低かった。水分も多かったが、硬かった。この結果から、やはり泡立て時間が3分のスポンジケーキが一番おいしいということが分かった。参考までに0, 1, 2, 3, 6, 9分泡立てた卵の体積とその卵で焼いたスポンジケーキの高さを一つのグラフにまとめてみた。



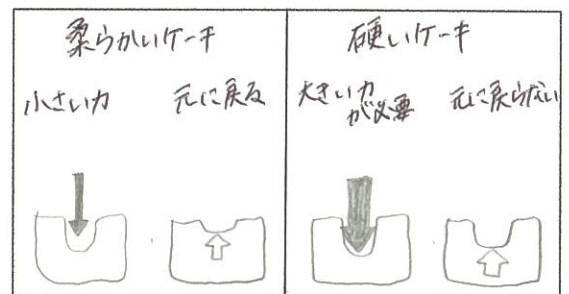
このグラフから言えることは、卵は泡立てる時間が長くなるほど体積が多くなる。これは泡立てることによって空気が入るからだと思う。棒グラフを折れ線グラフに書き換えると、1分から3分までは右上がりの直線なので泡立て時間と体積は比例関係にあるといえる。3分を過ぎると体積の増え方は緩やかになることがわかった。

次に水分量について。泡立て時間を3分以上（6分、9分）にするとケーキの高さは高くなるが、パサパサになった。これは、水分量の減少によるものかもしれない。もともとの卵の水分量は同じでも、体積が増えると単位体積あたりの水分量は減ることになる。また、体積が増えるとオーブンで焼くときに水分が蒸発しやすくなってしまいます。これらのことから、泡立ては3分がいちばん体積と水分量のバランスがいいことがわかった。次は、スポンジケーキのふんわり感を数値化するために専用の実験装置を自分で作ることにした。

<実験装置を作る1>

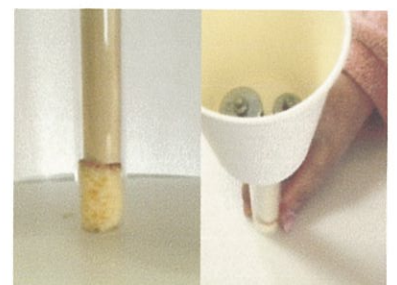
～スポンジケーキのふんわり感をどのように表すか～

ふんわりとしたスポンジケーキは上からある程度、小さい力で押し縮められるほど柔らかいスポンジケーキということになる。また、力を加えるのをやめたとき、戻った高さが元の高さに近いほどふわふわのスポンジケーキということになる。食べた感触では実感がわかるが、では、どうやって測定すればよいのだろうか？



～どのような実験装置を作れば良いか～

小さい力で押し縮められるほど、また、戻った高さが元の高さに近いほどふわふわのスポンジケーキということが分かった。そこで、透明な筒を用意し、スポンジケーキを筒の内径とほぼ同じ大きさに切ってから筒の中にスポンジケーキを入れる。



その上から筒の内径よりほんの少し小さい棒を入れ、棒の上に分銅を乗せて重石とした。

まず、半分の高さになるまで分銅を使って力を加える。そして、半分の高さになったら棒を外して、どこまで戻るか測定することにした。また、全く泡立てなかったスポンジケーキは1.1cmだったので、1.1cmになるまで分銅を使って力を加える。そして、1.1cmになったら棒を外して、どこまで戻るか測定することにした。

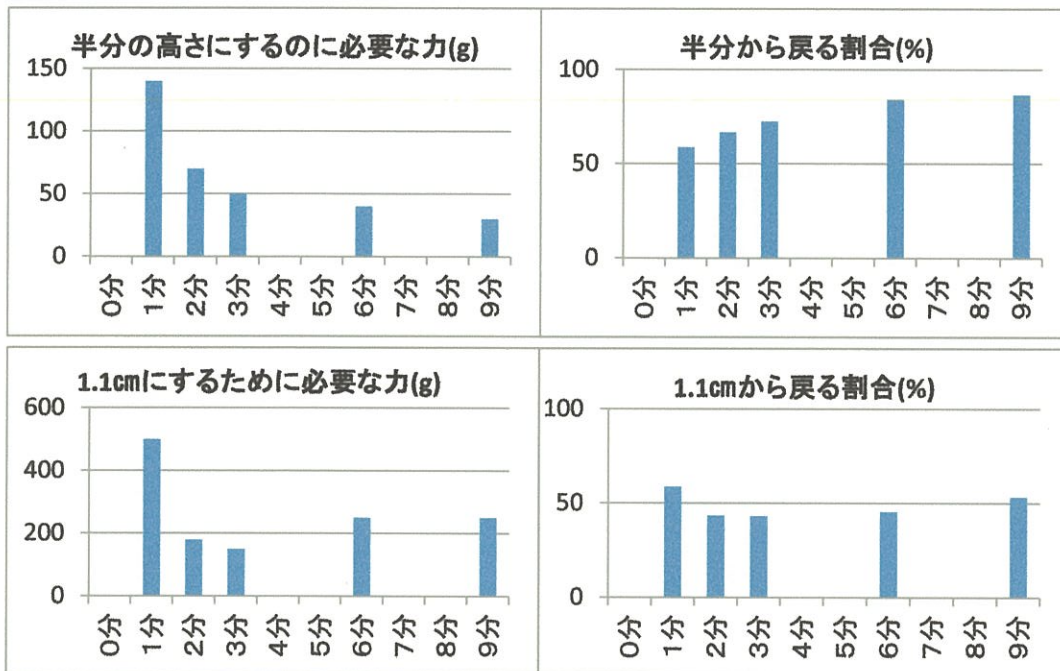
<卵 実験3> 実験装置を使ってスポンジケーキのふんわり感を測定する。

～方法～

- ① 泡立て時間の異なった（1分、2分、3分、6分、9分）スポンジケーキを作る。
- ② 半分の高さと1.1cmになるまでそれぞれ押し縮める。
- ③ 泡立ての時間の違いによる戻り方の違いを観察する。

～予想～3分が一番おいしかったから、3分が一番少ない力で押し縮められ、たくさん戻らと思う。

～結果～



<考察>

まず、押し縮める力について。予想と違って、泡立ての時間が長いほど小さい力で押し縮めることができた。これは、泡立て時間が長いと空気をたくさん含んでいるので、空気を押し縮める割合が大きくなるからだろう。

泡立て時間が短いと含んでいる空気が少なく、押し縮める空気が少なく生地割合が大きくなるからだろう。

次に、戻り割合について。戻り割合も泡立ての時間が長いほど高かった。これは、泡立ての時間が長いほど水分が少なくなるため、スポンジケーキが丈夫になったからだと思った。つまり、元に戻りすぎるとことはおいしさにつながるわけではないということだ。押し縮める力も戻り力もほどほどにバランスが大切だということがわかった。

次に卵を泡立てる時の温度について考えたい。最初に母がスポンジケーキを作っているとき、湯煎をして卵を温めていた。どうして湯煎で卵を温めるのかを聞くと、「卵の泡立ちがよくなるから」という答えだった。

そこで次は、卵の泡立ての温度を変えて実験をすることにした。そして、これからの実験では泡立ての時間を3分にした。

<卵 実験4> 湯煎の温度の違いによる泡立ち加減や高さ、戻り方などの違いを観察する。

～方法～

- ① 湯煎の温度が異なった（0℃、20℃、40℃、60℃、100℃）スポンジケーキをそれぞれ作る。
- ② 湯煎の温度の違いによる泡立ち加減や高さ、戻り方などの違いを観察する。

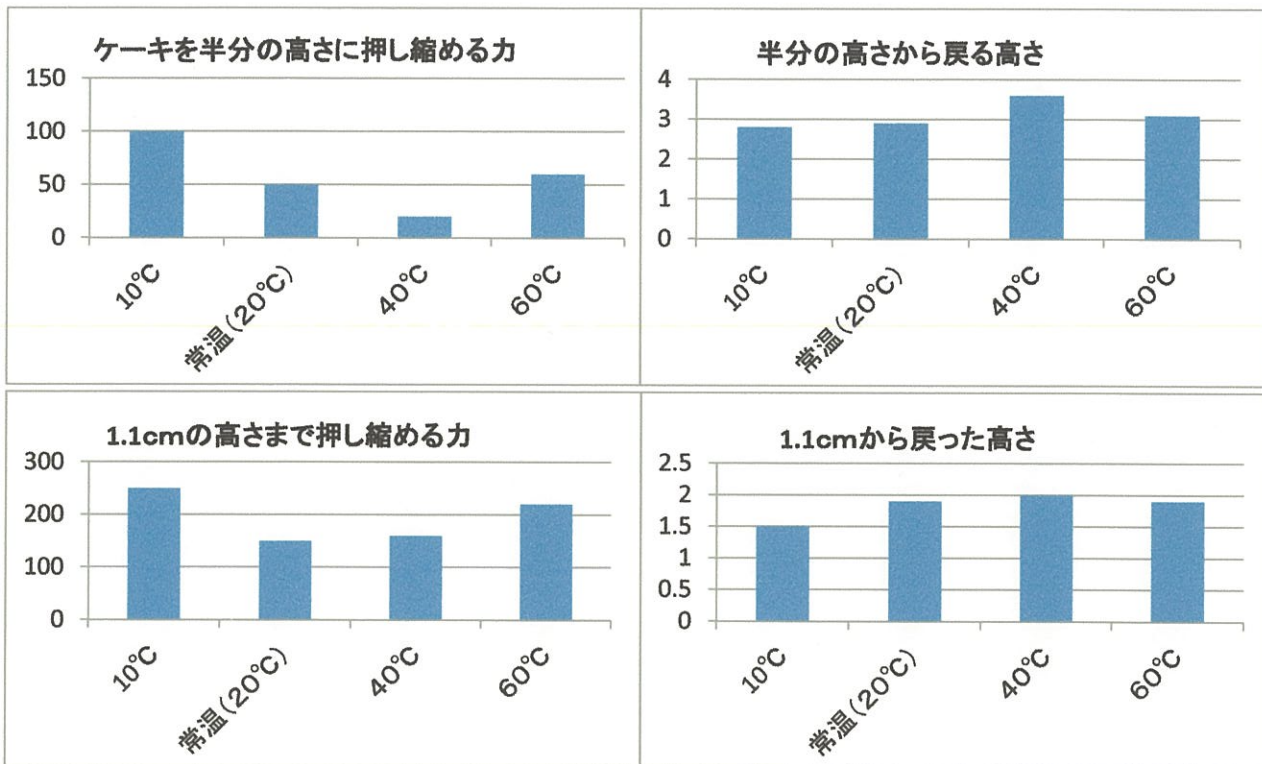
～予想～

湯煎の温度が高いほどたくさん泡立って、たくさん戻り、しっとりとしたふわふわの美味しいスポンジケーキができると思う。0℃の湯煎だと、ガチガチのスポンジケーキができそう。

～結果～

泡立て時間3分

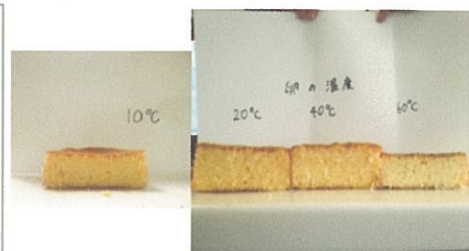
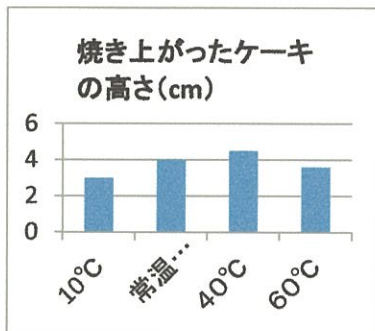
湯煎の温度	泡立ち加減	高さ(cm)	半分の高さ(g)	戻り(cm)	1.1cm(g)	戻り(cm)
10℃	ほとんど泡立たなかった	3	100	1.5→2.8	250	1.5
常温(20℃)	泡立った	4	50	2.0→2.9	150	1.9
40℃	とても泡立った	4.5	20	2.25→3.6	160	2
60℃	あまり泡立たなかった	3.6	60	1.8→3.1	220	1.9
100℃	卵が固まり、実験不能					



<考察>

湯煎の温度が100℃だと卵が固まってしまい、実験ができなかった。これは、卵はタンパク質でできているので温度が高すぎるとスクランブルエッグのように固まってしまうからだ。

湯煎の温度が高いほどしっとりとしたふわふわのスポンジケーキができるかと思ったが、4℃だ。



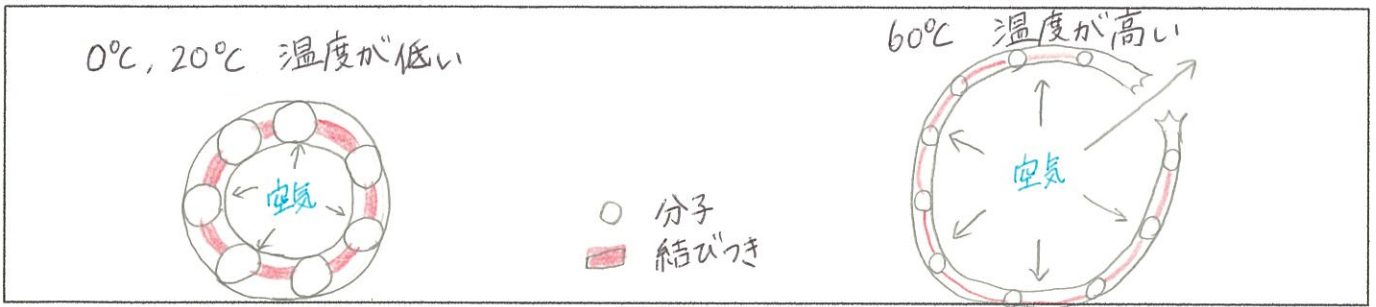
0℃が一番おいしいスポンジケーキができ

予想では温度が高いほどふわふわのスポンジケーキができると思ったが、実際には60℃では40℃より高さが低くなってしまった。これはどうしてだろうか？

空気は温度が高いほど膨張する。40℃より60℃の方が空気をたくさん含むはずだ。しかし、空気をたくさん含むということは、泡の壁(卵)は薄くなるということになる。60℃だと膨張した空気を卵の壁が支えきれずに泡が割れてしまった可能性が考えられる。これまでの実験結果から、**40℃の湯煎で3分泡立てたスポンジケーキが一番おいしい**ことが分かった。

ここで、卵の泡の壁について考えてみたい。膨張した空気を支えるためには卵の壁がしっかりと丈夫でなければならない。しかし、卵の壁がしっかりしすぎていては空気が膨張することができない。卵の壁の丈夫さが泡立てのポイントになるのかもしれない。

それでは、卵の壁の丈夫さは何によって決まるのだろうか？私は仮説を立ててみた。



卵の壁は卵の分子同士が結びついてできていると考えられる。その分子同士の結びつきの強さが卵の壁の丈夫さになるのではないだろうか？

コップに水をいっぱいに入れたときに、水はコップのふちよりもわずかに盛り上がっている。これを表面張力という。

<表面張力とは>

表面張力（ひょうめんちようりょく、英語：surface tension）は、表面をできるだけ小さくしようとする傾向を持つ液体の性質、またその力のことで、界面張力の一種である。（Wikipedia より）

卵液は液体なので、当然表面張力が働いている。この表面張力が温度によって変わるのではないかと仮説を立ててみた。

そこで、卵液の表面張力を測定することにした。

<卵 実験 5> 卵の温度による表面張力の違いを観察する。

<実験装置を作る 2>

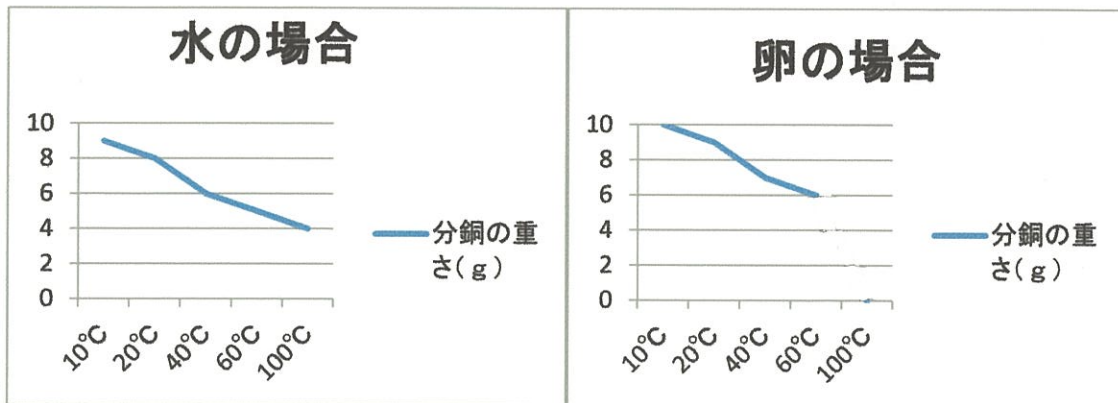
- ① 天秤を作り、一方に 5 cm 角の発砲トレー板、もう一方に分銅を乗せる皿を取り付ける。
- ② 糸のついた 5 cm 角の発砲トレー板を水または卵液の表面に浮かべる。
- ③ 皿に分銅を乗せ、発砲トレー板が水または卵液から離れるまで、分銅のおもりを増やす。
- ④ 発砲トレー板が離れたときの、分銅の重さを記録する。

～方法～

- ① 卵を 0°C、20°C（常温）、40°C、60°C、100°C にして、それぞれ表面張力を測る。
- ② 対照実験として水の表面張力も測る。
- ③ 温度による表面張力の違いを観察する。

～予想～ 水よりも卵の方が、表面張力が大きいと思う。なぜなら、卵の方がネバネバしているから。

～結果～



<考察>

卵も水も、液体の温度が上がるほど表面張力は小さくなっていった。

予想通り、水よりも卵の方が、表面張力が大きかった。ネバネバしているからかどうかは調べていないので、まだ分からない。

卵液の場合、温度が低くて表面張力が大きいと泡立てたとき小さな泡しかできない。そうすると含まれる空気の量も少なくなってスポンジケーキの膨らみは悪くなる。

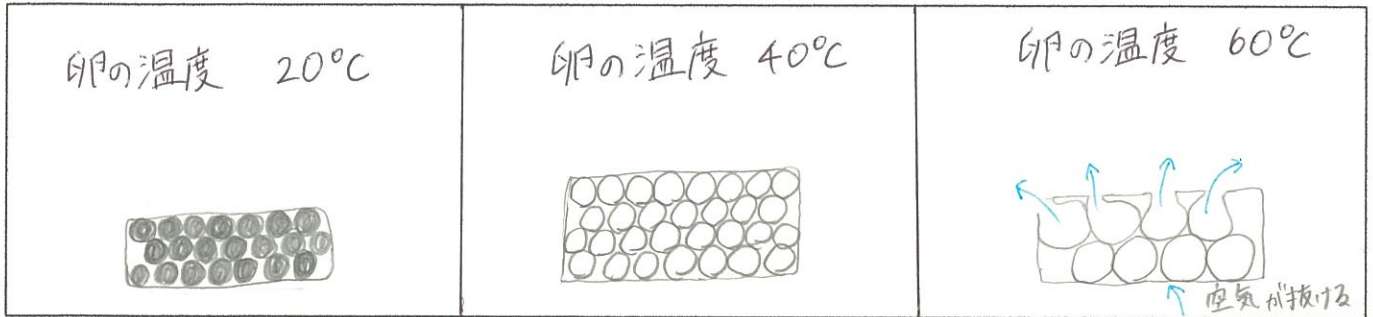
	水の場合	卵の場合
温度	分銅の重さ(g)	分銅の重さ(g)
10°C	9	10
20°C	8	9
40°C	6	7
60°C	5	6
100°C	4	卵が固まり実験不能

反対に温度が高すぎると表面張力が小さくなるので大きな泡ができる。しかし、卵液の分子同士のつながりも小さくなってしま
うので、泡が割れやすくなる。そうすると結果として体積が減ってスポンジケーキの膨らみが悪くなるのだと推測される。

卵液の場合、40℃が表面張力と卵の壁の強さのバランスがよく、ふんわりとしたスポンジケーキができることがわかった。

今回もやはり100℃の卵を作ろうと思ったら固まってしまった。調べてみると、卵は68℃で固まるそうだ。

また、0℃の卵液を作るために、氷水に食塩を入れて0℃以下の水で冷やしたが、卵液は10℃までしか下がらなかった。



卵の実験はこれで終わることにした。次は「粉」についての研究をすることにした。

スポンジケーキを作る時、「粉はゴムべらで切るように混ぜる。」「決して練ってはいけない」と言われている。反対に、パンを作る時には、小麦粉と水を混ぜてよく練ったり台に叩きつけたりして粘りを出すことが大切だと言われる。ケーキとパンは正反対の性質を持つようだ。今回はこの「粉を練る」ことについて実験をした。

<グルテンとは？>

小麦粉に水を加えてよく練ってから、水で洗うとデンプンが洗い流され、あとにねばねばしたものが残る。これがグルテンで小麦のタンパク質の主体である。小麦粉がパンやうどんになるのは、このグルテンの粘性のためである。

(<http://kotobank.jp/word/%E3%82%B0%E3%83%AB%E3%83%86%E3%83%B3>)

どうやらポイントはこの「グルテン」にあるようだ。まずは、グルテンの性質を調べる実験をすることにした。

<実験装置を作る3>

- ① スポンジケーキの生地を1滴たらす。
- ② その上に、5cm角の発砲トレー板を置いて、手でゆっくりと持ち上げる。
- ③ 生地が何cm伸びたかを記録する。

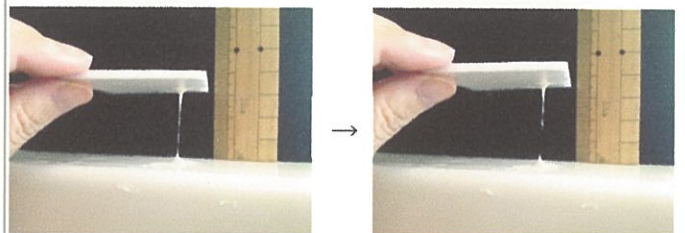
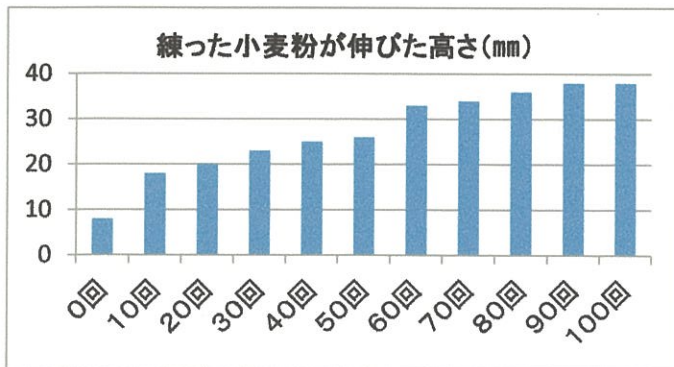
<予備実験> 小麦粉と水を普通の泡立て器で混ぜ、混ぜる回数の違いでグルテンの量を調べる。

～方法～

- ① 水 35ml と小麦粉 50g を混ぜる。
- ② 10回混ぜるごとに実験装置でグルテンの量を調べる。混ぜる回数によるグルテンの量の違いを調べる。

～予想～混ぜる回数が多いほど、グルテンの量が多くなると思う。

～結果～



～考察～

まず、小麦粉と水を混ぜるとき、小麦粉は 50g、水は 35ml が一番良いことが分かった。そこで、この比率を使って実験をすることにした。

結果は予想通り、混ぜる回数が多いほど、グルテンの量が多くなった。特に 60 回くらいまではどんどん粘りが出て、それ以上は傾きは緩やかになった。特に最初の 10 回を混ぜただけで生地伸びがぐんと伸びたので**グルテンは混ぜるとすぐに形成されることがわかった。**



<粉 実験 1> 完成した生地をさらに混ぜて、グルテンの量などを調べる。

～方法～

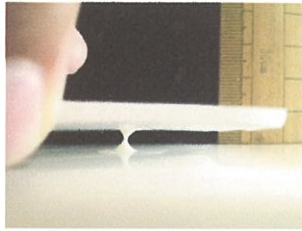
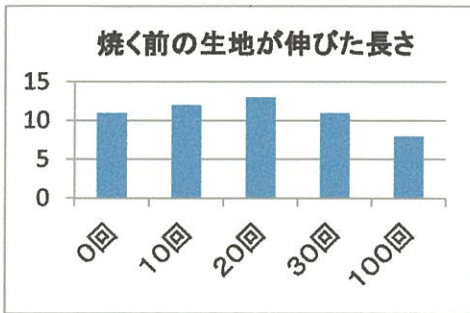
- ① 卵を電動泡立て器で泡立て小麦粉を入れてゴムべらでまぜ完成した生地をさらに 10 回・20 回・30 回・100 回手動の泡立て器で混ぜる。
- ② 混ぜるごとに実験装置で生地の伸びを調べる。
- ③ 混ぜる回数の違いによる生地の伸びやケーキの高さ、弾力の違いを調べる。



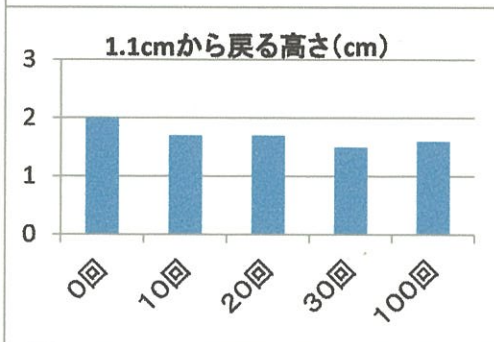
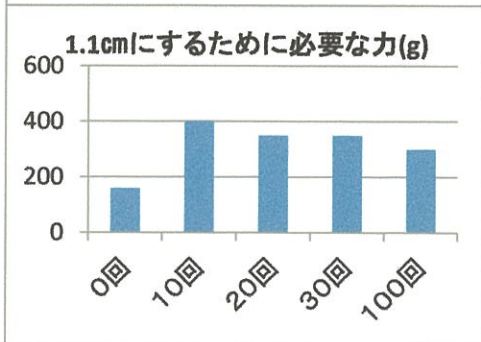
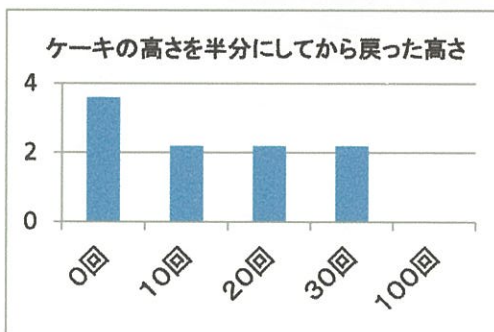
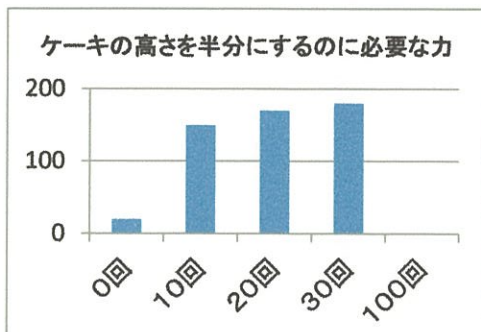
～予想～

混ぜる回数が多いほどグルテンの量が増えるので、ケーキの高さは低くなると思う。また、混ぜる回数が多いほどおいしくなくなるので、弾力もなくなると思う。

～結果～



混ぜる回数	半分の高さにするために必要な力(g)	半分から戻る高さ(cm)	半分から戻る割合(%)	1.1cmにするために必要な力(g)	1.1cmから戻る高さ(cm)	1.1cmから戻る割合(%)
0回	20	2.25→3.6	80	160	2	44.4
10回	150	1.5→2.2	73.3	400	1.7	56.7
20回	170	1.4→2.2	78.6	350	1.7	60.7
30回	180	1.35→2.2	81.5	350	1.5	55.6
100回	-	-	-	300	1.6	84.2



混ぜる回数	備考
0回	しっとりしていてとってもやわらかくておいしい。スポンジだけでおいしい。
10回	歯ごたえがある。しっかりした感じ。
20回	硬い。顎が痛くなる。でも水分はそれなりにある。しわい。
30回	さらに硬い。パンみたい。
100回	ものすごく硬い。

<考察>

電動泡立て器で泡立てた卵に小麦粉を混ぜてからさらに手動の泡立て器で混ぜた生地を型に入れて焼くと、真ん中の方がへこんで外側より低くなった。まず、この原因を考えてみたい。小麦粉を混ぜた後手動泡立て器で混ぜると「グルテン」と呼ばれる小麦粉のタンパク質が科学的に結合して網目構造を作る。そうすると粘りが出るそうだ。手動泡立て器で小麦粉を混ぜたのでグルテンが形成されて生地に網目構造ができたと考えられる。オープンの中で泡の中の空気が暖められて膨らんでケーキの高さは高くなるが、焼き終わって常温に戻ると空気はしぼむ。グルテンは粘り（収縮性）があるので、空気がしぼむと共に生地もしぼんでしまったのであろう。ケーキ型にくっついた外側の部分はそのままなので、外側と内側の高さに差ができたのだと考えられる。

グルテンの形成では予想通り、混ぜる回数が多いほどグルテンの量が増えたので、ケーキの高さは低くなった。また、混ぜる回数が多いほどおいしくなくなり、弾力もなくなった。

しかし、ケーキの高さとグルテンの形成には本当に関係があるのだろうか？実際に小麦粉入りの生地を手動泡立て器でかき混ぜると、みるみる内に生地の体積が減ってしまった。これはグルテンが出来たというよりも、泡立てた卵を混ぜると、泡がつぶれるということではないかと思う。つまりこの実験では卵の泡がつぶれるという条件とグルテンの形成という条件の2つの条件が変わっている。どうすれば1つの条件だけを調べられるのだろうか。

そこで、卵を泡立てた後に、普通の泡立て器でそれぞれを混ぜて泡をつぶして、そのあとに小麦粉を混ぜ込むという方法を思いついた。これなら、泡だけがつぶれて、グルテンの量は変わらないはずだ。

<粉 実験 2> 泡立てた卵をさらに混ぜ、そのあとに小麦粉を混ぜて生地の体積などを調べる。

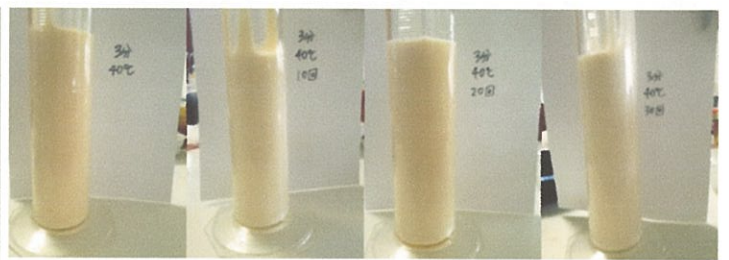
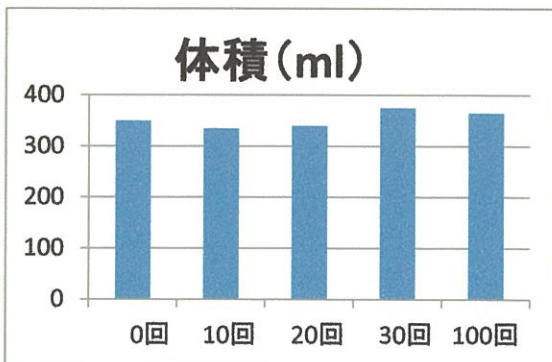
～方法～

- ① 泡立てた卵をさらに 10 回・20 回・30 回・100 回混ぜる。
- ② 混ぜるごとにメスシリンダーで体積を調べる。混ぜる回数の違いによる体積の違いを調べる。

～予想～

混ぜる回数が増えるほど泡がつぶれ、体積が小さくなると思う。

～結果～



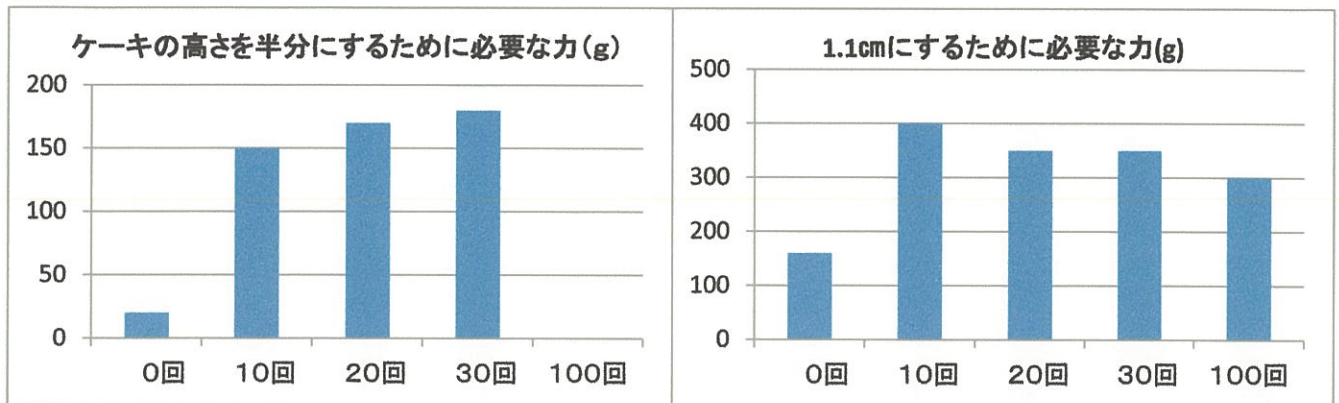
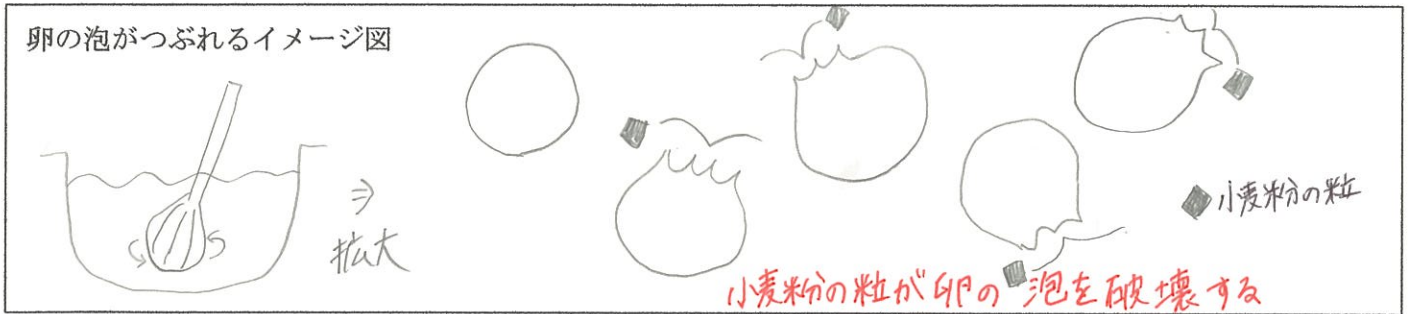
<考察>

電動泡立て器で泡立てた後の卵をさらに手動泡立て器で混ぜても体積の変化はほとんどなかった。この状態で小麦粉を入れてケーキを焼いても意味がないと思ったので、実験は中止した。

卵の体積のデータを、グラフにすると体積に差はなかった。<粉 実験 1>で小麦粉を入れてから混ぜると、混ぜながら、明らかに生地の泡がつぶれていくのが見えた。<粉 実験 2>では混ぜるときに小麦粉を入れていなかった。<粉 実験 1>と違って<粉 実験 2>では泡がつぶれなかったのは小麦粉が関係していると思った。

ここで、仮説を立てて考えた。<粉 実験 1>のときに小麦粉をいれると泡がつぶれてしまった。これは、小麦粉の粒が石のようになって泡を攻撃し、破壊してしまっただけではないかと思った。

ではなぜ、<粉 実験 2>では泡がつぶれなかったのだろうか。よく考えてみると、手動の泡立て器で混ぜても、泡を立てる道具なのだから泡がつぶれるはずはない。だから、この実験での結果の差はおそらく卵の1つ1つの量の違いだから、誤差といえる。



ここで、この2つのグラフに注目してほしい。横軸の「0回・10回・20回・30回・100回」は小麦粉を入れた後に手動泡立て器でかき混ぜた回数だ。グラフは2つとも0回と10回の間大きな差がある。このことから、小麦粉を入れて10回でも混ぜたら一気に硬くなることが分かった。おそらくグルテンが形成されたのだろう。これで、**ケーキの生地は少しでも泡立て器で混ぜてしまふと練ることになるのでケーキが硬くなってしまふということがわかった。**

また、グルテンの影響はケーキを半分に押しつぶす力に出ていることがわかった。手動泡立て器で10回でも混ぜると、0回よりも非常に大きな力を加えないと半分の高さにならないからだ。つまり、ケーキが硬くなってしまったということである。

<おいしいスポンジケーキを作るポイント>

1. 泡立て時間は3分が一番おいしくできる。(卵 実験1・2)
2. 湯煎の温度は40℃が一番良い。(卵 実験4)
3. 生地小麦粉を入れた後はなるべく混ぜないようにする。(粉実験1・2)

<感想>

去年に引き続き、スイーツについて研究してみて、母がいつもお菓子を作っているときに湯煎をしていたり、泡立ち加減をみたりするけど、それらにはすべて意味があったのだと分かった。泡立て時間が1・2分変わったり、湯煎の温度が20℃違うだけでケーキの高さや食感が全然違ってびっくりした。

<来年の課題>

今回はスポンジケーキについて研究をしたので、次回はパンやシュークリームなど他のお菓子について研究をしたい。また、今回グルテンがどういうものなのか、どのような働きをするのかが分かったので、それも踏まえて研究をしたい。