

筑波大学

朝永振一郎記念

第 14 回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SJ0278

応募部門 : 中学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : ラトルバック めざせ!!360°

学校名 : 北陵中学校

学年 : 3 年生

代表者名 : 東裏 昂士

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

はじめに

今年の6月、母が美術の先生の展覧会に行った。その展覧会では、たくさんの絵や造形物が展示されていて、その中に、不思議な作品があったと聞いた。名古屋大学元教授の庄司多津男さんという方の作品である。「その作品は、回すと回転の方向が反対になるんだよ。」と言われてたが、何を言っているのかよく分からなかった。

僕はその現象に興味を持ち、後日庄司さんの別の展覧会に連れて行ってもらった。その時は、先生がカオスについてのことや、水や油の表面張力について話してくださった。その展示会の中にもラトルバックを取り入れた作品があった。それを回してみると、途中で嫌がるように、回る向きが反転した。この現象こそが「ラトルバック」である。それを何度も回してみるうちに、どんどん興味が湧いてきて、「ラトルバックについてもっと知りたいな。」と思った。

そこで、今回の夏の研究は「ラトルバック」についての研究にした。

ラトルバックはカオスの一種であり、未だ分かっていないことも多くあるので、良い結果が出るか分からないが、自分なりに研究してみようと思った。

ラトルバックとは

ラトルバック（英: rattle back）とは、特定の方向に回転しやすい性質を持つコマが起こす現象のこと。特定の方向とは逆方向に回した場合、回転が不安定化してガタガタという振動（rattle）が起こり、初めとは逆方向（回転しやすい特定の方向）に回り始める。

ラトルバックするコマの端を押すと、ひとりでに回りだし、その後回転が不安定化してガタガタという振動が起こり、いったん回転を止めた後、初めとは逆に回り始める。

研究の最終目標

この研究は、最終的な目標を下のように定めて行う。

端を押すと回ってラトルバックし、

1回目のラトルバックで360°以上回転する物をつくる

この目標を達成するために、実験は2つのテーマに分けて行う。

1章 どんな形の物がラトルバックしやすいか（主に水色が使われている部分）

2章 どうすればラトルバックする角度を伸ばせるか（主に緑色が使われている部分）

実験 1

身の回りにはいろいろな物を回してみ、
どんな形の物がラトルバックしやすいか探る

〈用意した物〉

- ①ファンデーションのケース ②卓球のボール ③バレッタ (小/ピンク) ④バレッタ (大/赤)
- ⑤石のショーケースの蓋 ⑥地球儀の半分 ⑦眼鏡ケース
- ⑧木のスプーン

→切り分けたら回りそうだったので切り分けてみた。(I:口をつける部分・II:柄・III:IとIIの間)



〈結果〉 (㊦ (左回り・右回り) …ラトルバックしたかどうか)

- ①……㊦ (××) 左右どちらに回した時も、ガタガタしながら回った。
- ②……㊦ (××) 左右どちらに回した時も、その場にとどまらず、どこかに動いていってしまった。
- ③……㊦ (××) 小さくて上手くバランスが取れず、回してもすぐ倒れてしまった。
- ④……㊦ (××) 普通に回った。①のようにガタガタしなかった。③ Iよりは安定した。
- ⑤……㊦ (××) 左右とも、ガタガタしながら回った。勢いをつけて回すと表裏が反対になって回った。
- ⑥……㊦ (××) 真ん中に出っ張りがあるため不安定で、回り方は②と似てその場に留まり続けなかった。
- ⑦……㊦ (××) 普通に回った。ガタガタせず、安定していた。
- ⑧ I ……㊦ (△×) 左回りで強く回す時に少しラトルバックした。右回りでは何も起こらなかった。
- ⑧ II 表……㊦ (××) 左右どちらに回した時も、何も起こらず、普通に回った。
- ⑧ II 裏……㊦ (×○) 左回りでは普通に回ったが、右回りでラトルバックした。
- ⑧ III ……㊦ (××) 回らなかった。

〈考察〉

①や④はガタガタしながら回ったので、何かを触ればラトルバックするのではないかと思った。回り方が③ Iも不安定で、ラトルバックしそうだった。②や⑤も不安定だったが、ある程度は回り続けていたのでラトルバックしなさそうだった。また、⑥についても、安定していたのでラトルバックはしなさそうだった。⑦ IIは、よく見ると膨らんだ所がいくつかあり、用意した10個の中で唯一左右対称ではない形だった。しかし、表と裏で結果が違うのが不思議だった。木のスプーンはDAISO(百均)で買ってきた物で、⑦ Iも、⑦ IIも、少し不規則な形だったため、ラトルバックしたのだと考えられる。

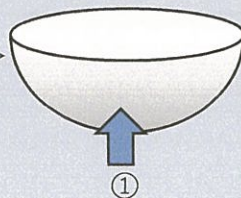
これらのことから、ラトルバックする物は、

①底面が楕円で丸まっている

②

②完璧に左右対称ではない

…と考えた。



①底面が楕円

②左右対称ではない。



〈次の実験に向けて〉

これ以上身の回りの物で実験するのは難しい。そこで、次の実験からは加工しやすい石膏を使って実験する。石膏を作るときはDAISO(何かと便利な百均、再び登場)で買ってきたお椀を使う。

尚、ここから先は型を取って固めた物を全て「石膏」と呼ぶ。

実験2へ

実験 2

お椀を型として作った石膏を使って、
どんな形の物がラトルバックしやすいか探る

〈用意した物〉

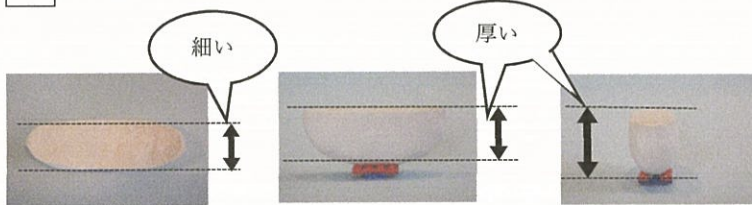
- ①お椀を型として作った石膏 9 個
- ②アクリル板
→①を回すときに敷く

〈仮説〉

実験 1 で考えた“どんな形の物がラトルバックしやすいか”
の中の「底面が楕円である」に当てはまる、**B-1**、**B-2**、**B-3**、**C-1**、**C-2**、**C-3**がラトルバックすると思う。

〈結果〉

- A-1**……どちら回りでも回ったが、何も起こらなかった。
本体が重そうだった。
- B-1**……どちら回りでも回ったが、何も起こらなかった。
本体が重そうだった。
- C-1**……細い割には厚すぎたため、倒れてしまった（下図）。

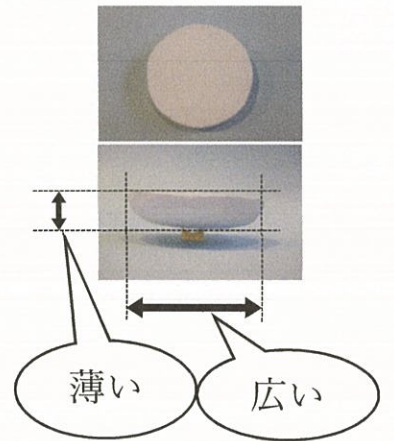
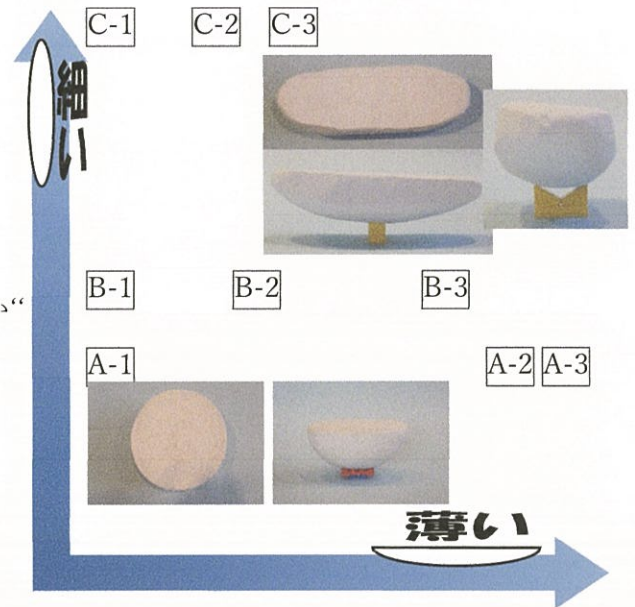
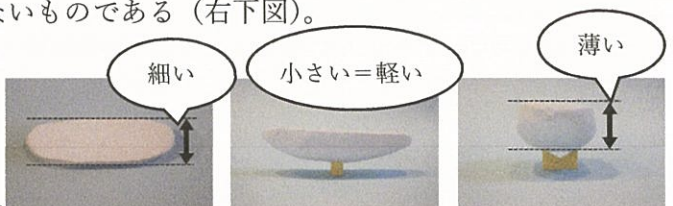


- A-2**……どちら回りでも回ったが、何も起こらなかった。本体が重そうだった。
- B-2**……どちら回りでも回ったが、何も起こらなかった。本体が重そうだった。
- C-2**……細い割には厚すぎたため、倒れてしまった。
- A-3**……薄すぎて回らなかった（右図）
- B-3**……薄すぎて回らなかった。
- C-3**……反時計回りに回した時は何も起こらなかったが、時計回りに回した時に、最後にガタガタした。

〈考察〉

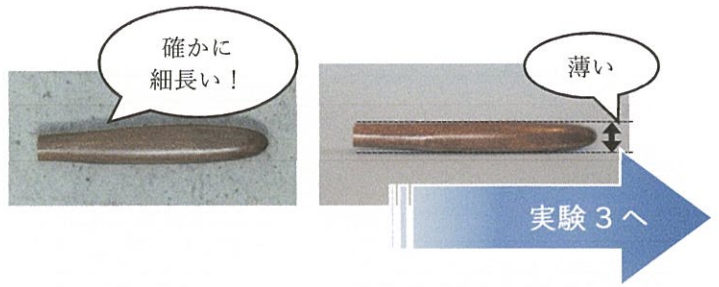
お椀を型とした石膏は、小さい割には重い為、回ってもいかにも重そうなものが多かった。そのため、形を変える以前の問題だった。また、細くしすぎても倒れてしまった。この点で、9 個の中で唯一ラトルバックした **C-3** は、9 個の中で一番軽く、細くてもあまり厚みのないものである（右下図）。

それを踏まえて、実験 1 でラトルバックした木の
スプーンの柄をもう一度見てみると、確かに細長い形
になっている。また、横から見ると薄くなっている
（右下図）。さらに、スプーンは木製であるため、軽い。



これらのことから、ラトルバックする物は、

- ①薄い
- ②細長い
- ③重くない
- …と考えた。

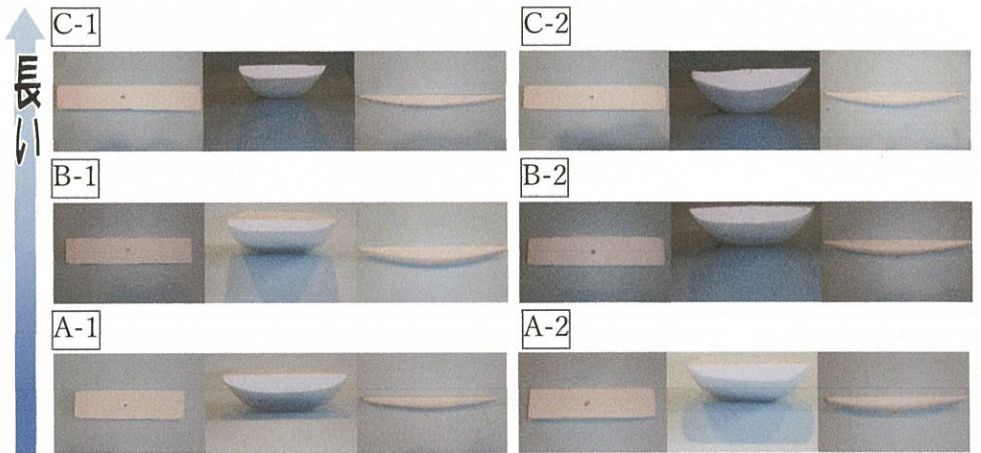
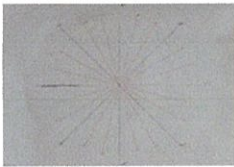


実験 3

型を使って作った石膏を使って、
どんな形の物がラトルバックしやすいか探る

〈用意した物〉

- ①型を使って作った石膏6個 (右図)
- ②ガラス板
- ①を回すときに敷く
- ③角度が書かれた紙

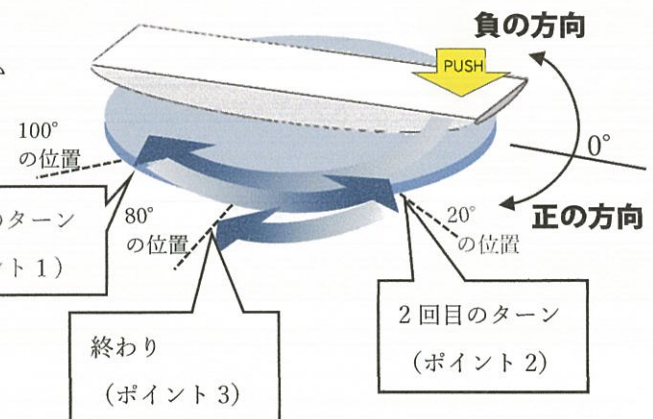


〈計測の仕方・結果の見方〉

今回の実験からは、どの石膏がよくラトルバックするかを分かりやすくするために、回転した角度等をすべて数値化する。

さらに、全て均等に回すために、手で回すのではなく、右端を押すことにする。

- 右図は、
- ①右端を押した。
 - ②時計回りに 100° 回った。
 - ③ラトルバックして、反時計回りに 80° 回った。
 - ④さらにラトルバックして、時計回りに 60° 回り、止まった。
- という例で、下の表はそのときに出る結果である。



▼ターンした位置

1回目	2回目	3回目
100°	20°	80°

▼回った角度

1回目	2回目	3回目
100°	80°	60°

▼最初の角度を基準にした回転の割合

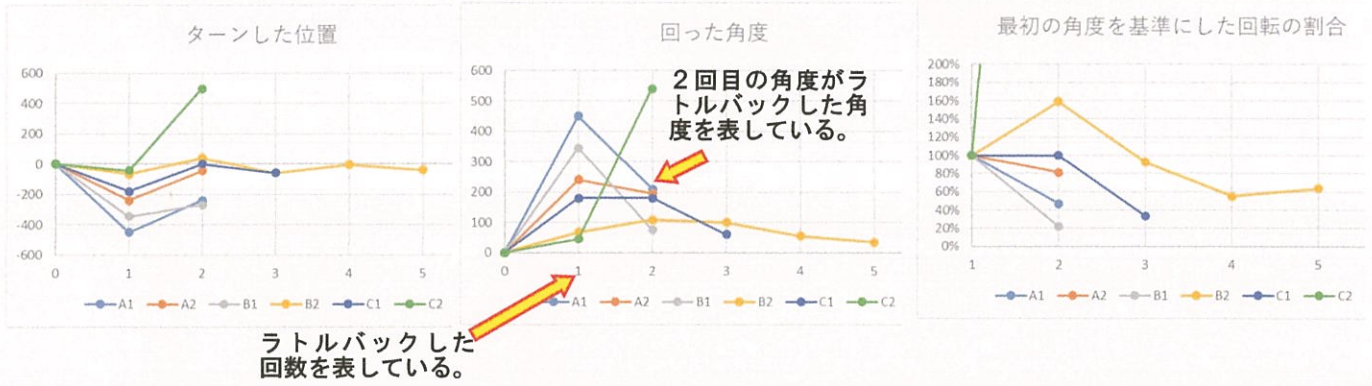
1回目	2回目	3回目
100%	80%	60%

〈仮説〉

実験2では、細長い形の物がラトルバックしやすいということが分かったので、いちばん細長い C-1、C-2 がよくラトルバックすると思う。

〈結果〉

ターンした位置						回った角度						最初の角度を基準にした回転の割合								
	0	1	2	3	4	5		0	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6
A1	0	-450	-240				A1	0	450	210				A1	100%	47%				
A2	0	-240	-45				A2	0	240	195				A2	100%	81%				
B1	0	-345	-270				B1	0	345	75				B1	100%	22%				
B2	0	-68	40	-60	-5	-40	B2	0	68	108	100	55	35	B2	100%	159%	93%	55%	64%	
C1	0	-180	0	-60			C1	0	180	180	60			C1	100%	100%	33%			
C2	0	-45	495				C2	0	45	540				C2	100%	1200%				



どのグラフを見ても、数値がバラバラで規則性を見いだせないが、最大値のグラフを見てみると、**C-2**の角度が大きく伸びている。このことから、石膏の細長さは、ラトルバックに影響すると考えられる。

しかし、細長さが影響するといっても、数値がきれいに並んでいるわけではない。これは、実験をする時の、少しの押す力の差や、押す位置の差が角度に影響したのかもしれない。また、底の研磨は手作業なので、削る時のズレや歪が影響したとも考えられる。

これらのことから、ラトルバックする物は、
 ①細長い ②細長さだけが全てではない …と考えた。

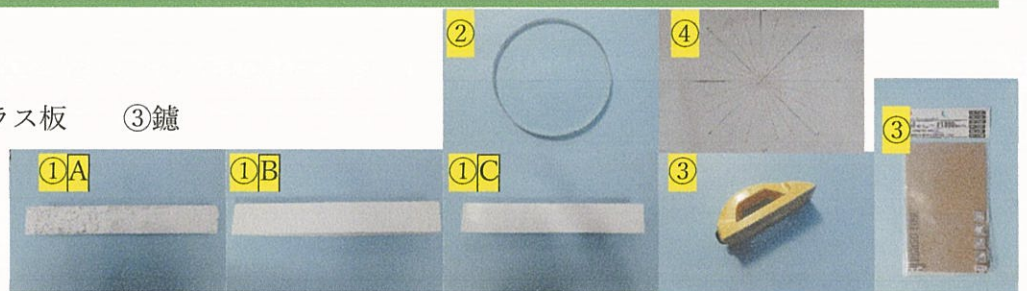
これで1章は終わり。どんな形の物がラトルバックしやすいかが分かったので、次の実験からはどうすればラトルバックする角度を伸ばせるか調べる。



実験4 石膏を軽くしたら、ラトルバックする角度を伸ばせるか

〈用意した物〉

- ① 予め作った石膏 3個
 - ② ガラス板
 - ③ 鍔
 - ④ 角度が書かれた紙
- ガラス板の下に敷くことで、石膏が何度回ったかが分かる



〈石膏を軽くする〉

- ▼ **A**
 - ・ 約 64 g 軽くした。
 - ・ 表面の凹凸を滑らかにした
 - ・ 表面が荒れていたなので、角を取ることで重さを減らした。
- ▼ **B**
 - ・ 約 186 g 軽くした。
 - ・ 底面のカーブに沿って薄く削った。
- ▼ **C**
 - ・ 中をくり抜いた。
 - ・ 約 212 g 軽くした。



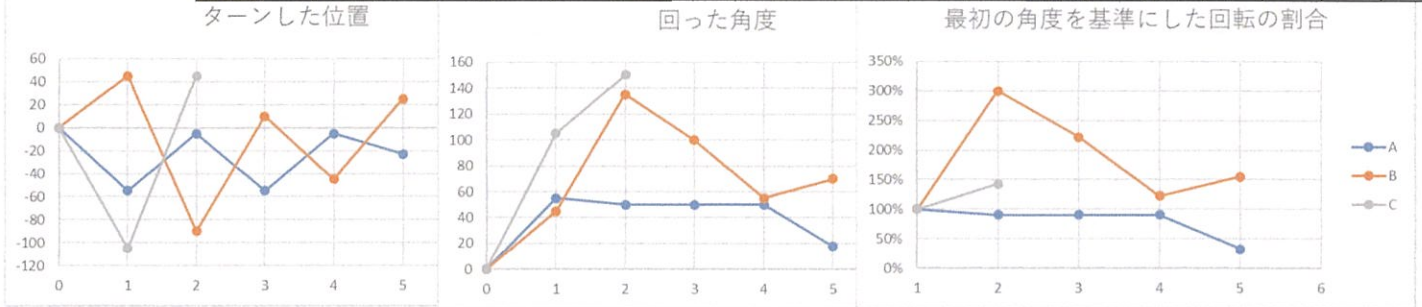
〈仮説〉

今までの実験の中では、石膏が重すぎて回りにくそうなことが何回もあったので、石膏を軽くしたらラトルバックする角度が伸びると思う。

〈結果〉 ①前…軽くする前に回した時の様子 ②後…軽くした後の数値

- A^前 反時計回りに回したときに強くガタガタしてラトルバックした。
時計回りに回したときは、少し揺れた。2回ターンすることもあった。
- B^前 重すぎるのか、あまりラトルバックしない。左右どちら周りとも、少しはラトルバックする。
- C^前 端を押すと反時計回りに回った後、少しラトルバックした。
重いのか、あまりラトルバックしない。

	ターンした位置						回った角度						最初の角度を基準にした回転の割合							
	0	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	6	
A	0	-55	-5	-55	-5	-23	A	0	55	50	50	50	18	A	100%	91%	91%	91%	33%	
B	0	45	-90	10	-45	25	B	0	45	135	100	55	70	B	100%	300%	222%	122%	156%	
C	0	-105	45				C	0	105	150				C	100%	143%				



〈考察〉

軽くする前の数値はないが、結果としては、軽くする前よりも軽くした後のほうがラトルバックした。特にBの結果が良かった。Bは、135度もラトルバックをした。Bの形は平たく、不安定さが増したように感じる。このことから、回すものが軽いほうが、ラトルバックしやすいと考えられる。

実験 5 表面にニス塗ったら、ラトルバックする角度を伸ばせるか

〈用意した物〉

- ①実験4で作った石膏3個 ②ガラス板 ③ニス ④はけ→ニスを塗るときに使う。
- ⑤角度が書かれた紙



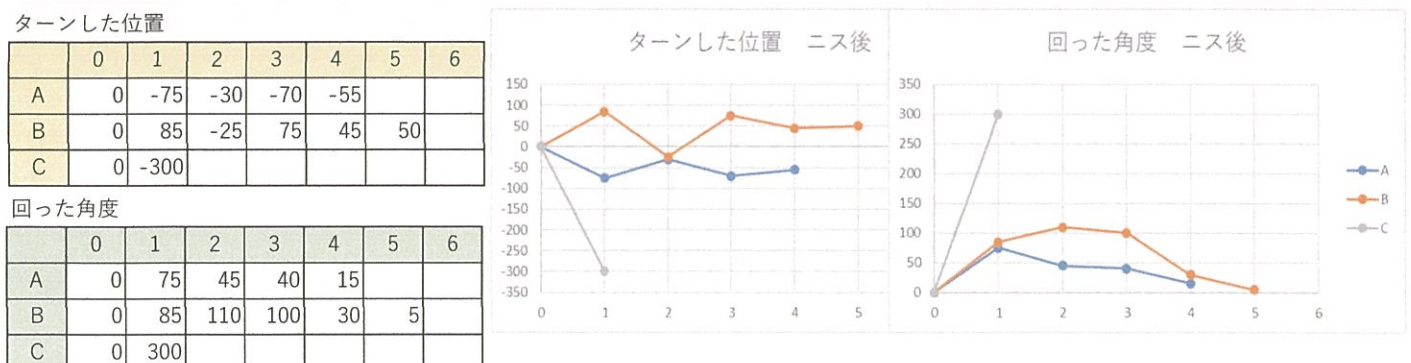
〈ニスを塗った〉

表面にニスを塗ることで、回した時の摩擦を少なくする。ただし、形は変えていないので、写真は省く。

〈仮説〉

物が回る時、摩擦が少ない素材のほうが良く回るので、石膏にニスを塗った物は塗る前の物よりもラトルバックすると思う。

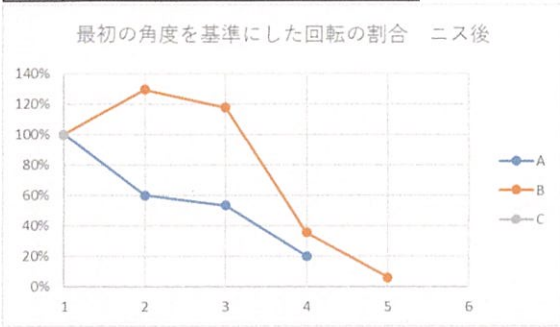
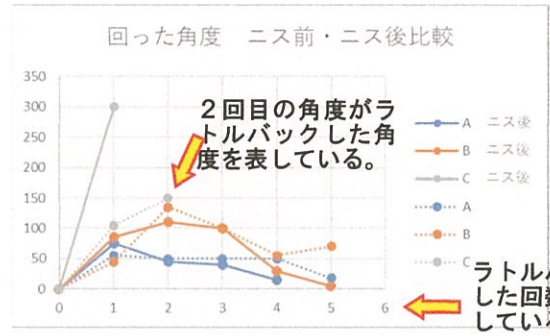
〈結果〉



最初の角度を基準にした回転の割合

	1	2	3	4	5	6
A	100%	60%	53%	20%		
B	100%	129%	118%	35%	6%	
C	100%					

〈比較〉ニス塗る前と塗った後で、回った角度を比較した。



〈考察〉すべての結果において、ニス塗る前よりも塗った後のほうが悪い結果になっている（ラトルバックする角度が減ってしまっている・ラトルバックする回数が減ってしまっている）ことから、ニスを塗ると逆に摩擦が減りすぎるのは良くないと考えられる。「回った角度」のグラフのニスを塗る前とニスを塗った後を見比べてみると、ニスを塗った後は塗る前に比べて、1回目の角度が長いだけで、2回目以降の角度がほとんど伸びていない。このことから、ニスを塗ると、回る力が1回目の角度ばかりに反映してしまい、ラトルバック後の角度にほとんど反映されなくなってしまうと考えられる。

実験 6

おもりを付けて重心を調整したら、摩擦が少なくなりすぎた石膏のラトルバックする角度を伸ばせるか

〈用意した物〉

- ①実験5でニス塗った石膏3個 ③ガラス板 ③角度が書かれた紙 ④15gのおもり→油粘土で作ったおもり
※おもりは、左右、右、左に付けて、それぞれ実験した。

〈仮説〉

ニスを塗ったことで摩擦が少なくなりラトルバックの角度が減った物でも、重心をずらすことでがたつきを増やし、ラトルバックの角度を増やせると思う。

〈結果〉 おもり左右

ターンした位置

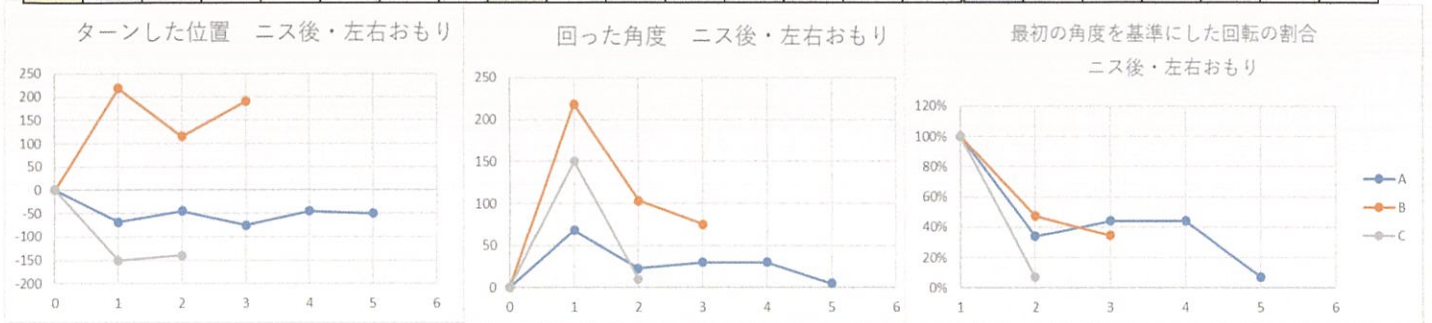
	0	1	2	3	4	5	6
A	0	-68	-45	-75	-45	-50	
B	0	218	115	190			
C	0	-150	-140				

回った角度

	0	1	2	3	4	5	6
A	0	68	23	30	30	5	
B	0	218	103	75			
C	0	150	10				

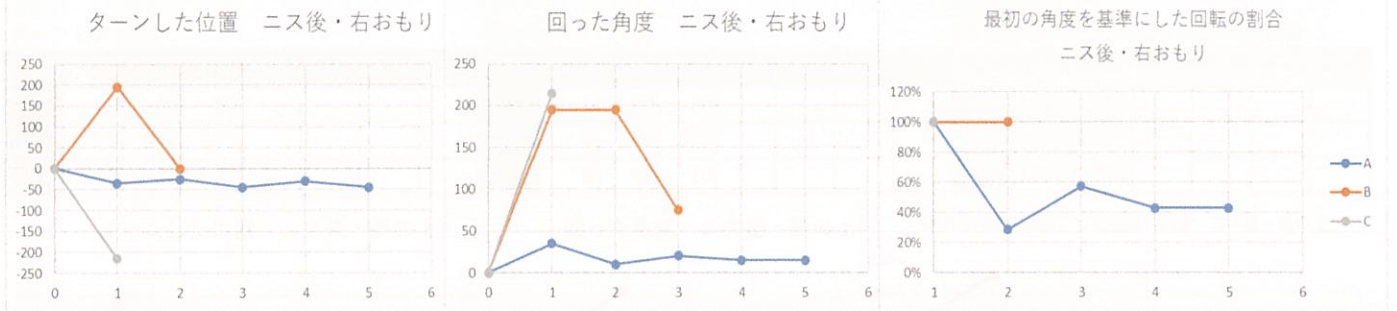
最初の角度を基準にした回転の割合

	1	2	3	4	5	6
A	100%	34%	44%	44%	7%	
B	100%	47%	34%			
C	100%	7%				



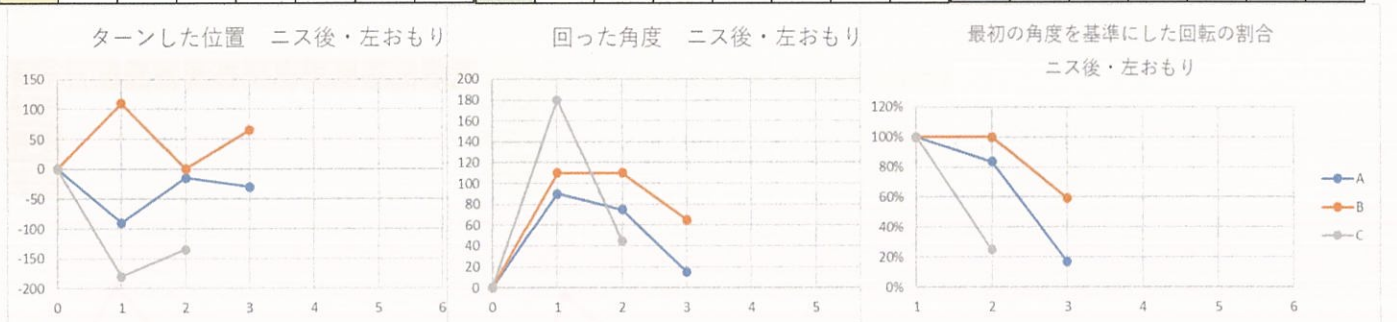
おもり右

	ターンした位置						回った角度						最初の角度を基準にした回転の割合									
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
A	0	-35	-25	-45	-30	-45		A	0	35	10	20	15	15		A	100%	29%	57%	43%	43%	
B	0	195	0					B	0	195	195	75				B	100%	100%				
C	0	-215						C	0	215						C	100%					



おもり左

	ターンした位置						回った角度						最初の角度を基準にした回転の割合									
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
A	0	-90	-15	-30				A	0	90	75	15				A	100%	83%	17%			
B	0	110	0	65				B	0	110	110	65				B	100%	100%	59%			
C	0	-180	-135					C	0	180	45					C	100%	25%				



〈考察〉

実験4のニス塗る前、実験5のニスを塗った後（おもりを付ける前）の記録とおもりを付けた後（左右15g、右15g、左15g）の記録の比較より、おもりの位置は左右に付けるより、右または左のみに付けたほうが良いことが分かる。Aのニスを塗った後、左に15gのおもりを付けたものは、75度のラトルバック、Bのニスを塗った後、右に15gのおもりを付けたものは195度のラトルバックをした。おもりを付けることは、ニスを塗る前より良くなったものもあったが、全体的にあまりラトルバックの角度を伸ばすことができなかった。

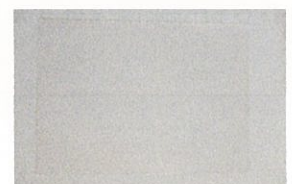
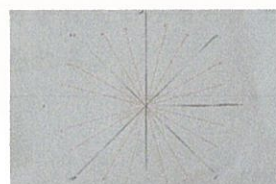
この結果より、ラトルバックの角度を増やすためには、回す石膏と、回すときに敷く物（今まではガラス板）との摩擦を変えてみるもののほうが有効ではないかと考えた。

実験7

摩擦を変えたら、ラトルバックする角度を伸ばせるか

〈用意した物〉

- ①実験5でニス塗った石膏3個
- ②画用紙→①を回すときに敷く（摩擦大）
- ③アクリル板→①を回すときに敷く（摩擦中）

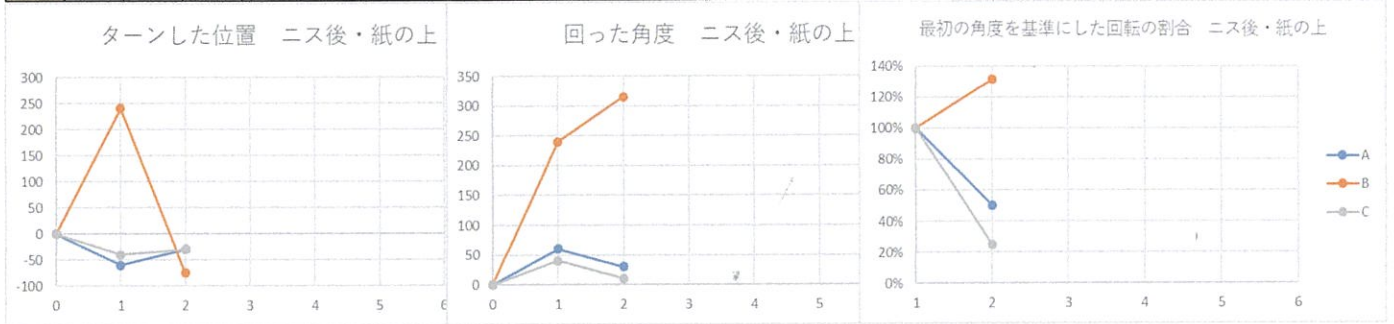


〈仮説〉

ニス塗ったことで摩擦が少なくなりラトルバックの角度が減った物でも、敷く物で摩擦を増やせば、ラトルバックの角度を増やせると思う。

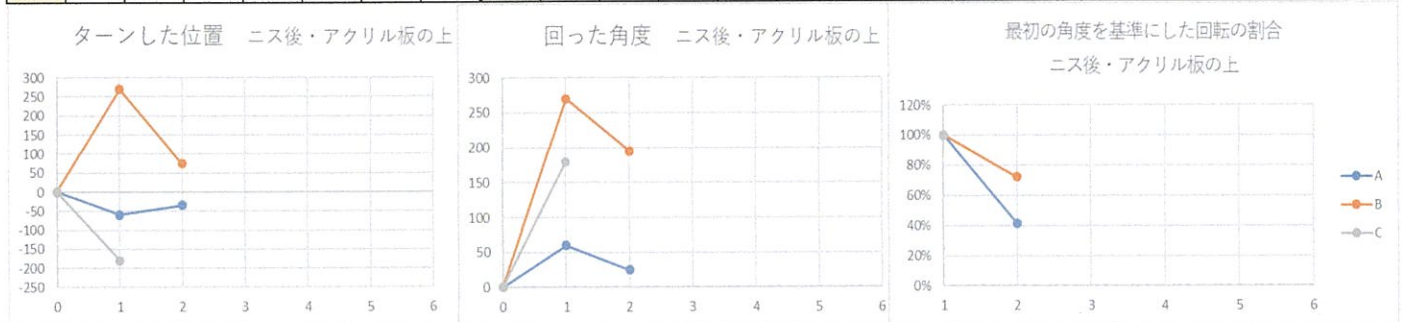
〈結果〉 画用紙の上（摩擦大）

	ターンした位置							回った角度							最初の角度を基準にした回転の割合							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
A	0	-60	-30					A	0	60	30					A	100%	50%				
B	0	240	-75					B	0	240	315					B	100%	131%				
C	0	-40	-30					C	0	40	10					C	100%	25%				



アクリル板の上（摩擦中）

	ターンした位置							回った角度							最初の角度を基準にした回転の割合							
	0	1	2	3	4	5	6	0	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6		
A	0	-60	-35					A	0	60	25					A	100%	42%				
B	0	270	75					B	0	270	195					B	100%	72%				
C	0	-180						C	0	180						C	100%					



〈考察〉

石膏の下に敷く物が、ガラス、紙、アクリルでラトルバックする角度に差があったことから、少しの摩擦の差が、ラトルバックの角度に影響することが分かった。

画用紙は摩擦が大きすぎるのか、良い結果は得られなかった。

画用紙より摩擦が小さいが、ガラスよりも摩擦の大きいアクリル板を使用すると、ニスを塗ったことで減ってしまったラトルバックする角度を、少しだけ復活させることができた。特にBはニスを塗る前以上のラトルバックする角度を得られた。その角度はなんと315度だった！

今回は自分の手で加工しやすいように石膏を用いたが、素材を変えてみると、またより良い結果が得られるかもしれない。例えば、木材、メッキ、金属、陶器などが考えられる。

まとめと結論

1章 どんな形の物がラトルバックしやすいか

ラトルバックする物は、

- ①底面が楕円で丸まっている
- ②完璧に左右対称ではない
→底の形が、きれいなカーブを描いているよりも、左右どちらかに寄ったカーブのほうがよい
- ③薄い
- ④細長い（細長さだけが全てではない）
- ⑤重くない

2章 どうすればラトルバックする角度を伸ばせるか

ラトルバックする角度を伸ばすには、

- ①無駄なところをそぎ落とし、回す物を軽くする
- ②ニスで摩擦を減らしすぎるのはよくない
- ③おもりを付けて重心を調整する（あまり効果のない物もある）
- ④回す物とその下の物との摩擦をちょうどいい量にする

<結論>

端を押すと回ってラトルバックする物は作れたが、
1回目のターン後、 360° 以上回転する物は作れなかった。

今回の研究では、1回目のラトルバックで 360° 回るものは作れなかったが、1回目のラトルバックで 315° 回るものはできた（実験4で軽くした直後のBの石膏）。また、端を押すだけでは1回目のラトルバックで 360° 回らなくても、最初から人の手で回せば1回目のラトルバックで 360° 回ったものもいくつかあった（実験4で軽くした直後のAの石膏など）。

今回はできなかったが、ニスを塗る前のBの石膏に上手くおもりを付けたら、1回目のラトルバックで 360° 回ることもあったかもしれない。

おわりに

今回の研究では、最終目的である「端を押すと回ってラトルバックし、1回目のラトルバックで 360° 以上回転する物をつくる」を完璧に達成することはできなかった。しかし、 360° の $3/4$ を超える 315° ラトルバックする物は作れたので大変うれしく思っている。

「はじめに」でも述べたように、ラトルバックという現象は、カオスの一種である。今回の研究の中では、それを改めて知らされるようなことがいくつかあった。例えば…

- ・石膏を削る時、同じ形に削ったはずが、結果が大きくずれている。
- ・石膏の端を押す力の差で、とても大きく回ったり、ほとんど回らなかったりする。
- ・今までよく回っていたものが、急にあまり回らなくなる。

などだ。1mm以下の削りの差や、押さえる力の差など、ほんの少しの条件の違いが結果を大きく左右していた。

この研究の中で、興味深かったことは、実験5で表面にニスを塗ったら摩擦が減りすぎてあまりラトルバックしなかったことだ。身の回りの物が回る時は、摩擦が少ないほうが長く回るので、ラトルバックする角度も長くなるかと思ったら、逆効果だった。

このように、カオスの一つであるラトルバックは、この研究に面白みを与えてくれたと思う。

今回できなかった実験については、また来年以降、行ってみたいと思う。