

大きな渦輪を遠くまで飛ばす空気砲の研究

小田原市立城山中学校 科学部

(1) 動機

科学部は、学習発表会や部活動紹介のパフォーマンスとして、空気砲で場を盛り上げている。今までは煙をためる容器として、小さな段ボールを使っていたので体育館の後ろまで届くような大きな渦輪ができる空気砲ができないかと考え、この研究を行った。

(実験会場は、理科室前廊下の室内で窓なし 幅 2.5m、高さ 2.7m)



(2) 実験

1. 通常使っている空気砲の飛び方を調べる

通常使用している段ボールの大きさは

$$21\text{ cm} \times 23\text{ cm} \times 31\text{ cm} = 14973\text{ cm}^3$$

・手順

- 1) ダンボールを組み立て立体にし、補強する。
- 2) 前面に穴をあける。
- 3) 内部にスモークマシンで煙を入れる
- 4) 側面を手でたたく



・結果 (8人の部員記録と平均) 単位m

部員	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
H S	5	4.5	3	3	3
S R	3	3	3	3	3
S H	5	4	4	4	4
W G	5	4	2	3	3
T M I	6	6	6	5	5
T M E	3	2.5	3	3	3
S K	3	3	3	3	3
A N	7	7	5	1	1
平均	4.625	4.25	3.625	3.125	3.125

・考察

1回目が、一番煙が飛んでいくのが見える。段ボールを複数回たたくと中の煙が減っていき3回目くらいからは渦輪が飛ぶ距離が落ちていることがわかる。目視で煙が見える距離で記録をとっているが、煙は途中で消える。空気だけなら15m以上飛んでいた。

(周りの模造紙を揺らしていた。距離が延びるとまっすぐ飛ばすのが難しい)

煙がたくさんあれば渦輪が飛ぶ距離がもっと伸びるのではないかと思い、大きな段ボールで空気砲をつくることにした。

2. 大きな段ボールで空気砲をつくる

縦横高さ、約2倍の段ボールを使用する。

$$53\text{ cm} \times 56\text{ cm} \times 38\text{ cm} = 112784\text{ cm}^3$$

煙の体積は約8倍になる。

・手順

1と同じ



・結果（8人の部員記録と平均）単位m

部員	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
HS	5.5	5	5	5	3
SR	3	3	3	3	3
SH	5	5	5	5	5
WG	5	5	5	5	5
TMI	5	6	5	5	5
TME	6	6	6	6	10
SK	5	5	5	6	5
AN	5	5	5	5	5
平均	4.95	5	4.875	5	5.125

・考察

段ボールが大きくても、渦輪の飛ぶ距離は少ししか伸びない。渦輪の飛ぶ距離と段ボールの大きさには関係はあまり見られなかった。だが、段ボールに入っている煙が多いため5回打っても煙が薄くならなかった。煙の量が少ない小さい段ボールは、3回目以降は煙が薄くなり空気は飛んでいても遠くまで渦輪が確認できなかった。このことより、複数回打つならば煙の量が多い大きな段ボールが良いことがわかった。

しかし、渦輪の飛ぶ距離は少ししか伸びないので、段ボールの体積より長さを変えて実験してみることにした。

3. 長さの長い段ボールで空気砲をつくる

1に比べて3倍の長さの段ボールを使用する。

$$30\text{cm} \times 47\text{cm} \times 94\text{cm} =$$

・手順

1と同じ

・結果（9人の部員記録と平均）単位m

部員	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
HS	13.0	12.0	10.5	12.0	9.5
SR	11.5	12.0	12.5	12.5	12.5
SH	13.5	11.5	14.0	12.5	9.5
WG	10.0	10.0	10.0	7.0	7.0
TMI	11.5	13.0	13.0	12.5	12.0
TME	10.0	11.0	12.0	12.0	9.0
SK	12.5	12.5	11.5	12.0	9.0
OT	13.0	13.0	13.0	12.0	12.5
AN	8.0	10.0	10.0	10.0	10.0
平均	11.44	11.60	11.83	11.30	10.11

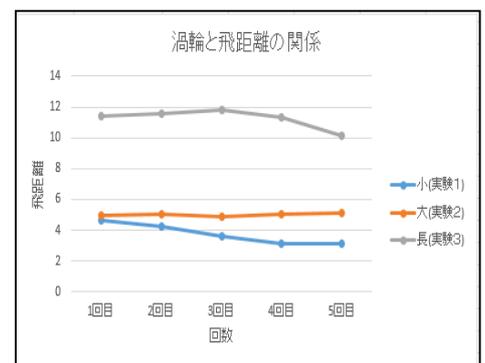


・考察

煙の飛ぶ量が2倍以上になった。

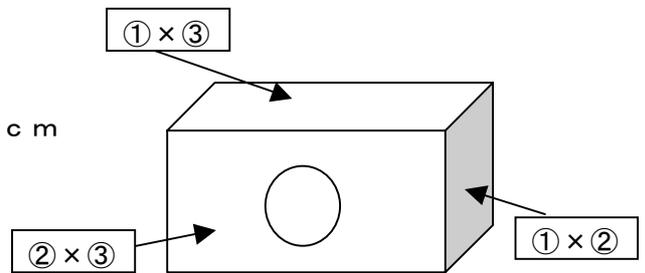
空気だけなら2.5m付近のビニールテープを揺らしている。

たたく部分の段ボールの面積が広いので、段ボールがへこむ体積が大きく、内部の煙が一度にたくさん出るので距離が伸びたのではないだろうか。よって、同じ大きさの段ボールを使って、たたく面積を変えて実験してみた



4. たたく面を変えてみる

3の段ボールを使い、①30cm×②47cm×③94cmとし、たたく場所を変えて飛ぶ距離を比較してみた。穴は一番大きな面②×③に開けた。



①×② = 1410 cm ² たたく面積 小 両側から	①×③ = 2820 cm ² たたく面 中 両側から	②×③ = 4418 cm ² たたく面積 大 後ろから押す

・手順

1と同じ（渦輪の確認できた5人の部員の平均の数値）

・結果

部員	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
面積小	輪にならない	輪にならない	輪にならない	輪にならない	輪にならない
面積中	4.5	3.9	3.5	3.9	3.4
面積大	4.5	4.8	3.6	3.9	3.9

・考察

たたいた面から穴までの距離が遠い小①×②は、衝撃が穴まで届かず渦輪にならない。たたく方向と穴から出る煙の方向が違うからではないかと思う。たたく面 中の①×③は渦輪ができた。空気のぶつかる面積が小①×②より広いので圧縮される空気の量が多いので行き場を失った空気が穴からでやすいのではないだろうか。後ろから押した面積大②×③はたたいたときすぐに煙が出るが、全く渦輪ができない人もいた。結果は出た人だけの平均である。後ろの面と穴幅が短いため、一瞬で押し出される空気の量が少なすぎるのではないかと考えられる。たたく力が人によって違うためこのような結果になったのではないだろうか。以上の結果から、たたく面は大きい方が良かった。また、たたく面が穴から遠すぎると空気の流れが穴まで伝わらないことがわかった。

①×② = 1410 cm ² たたく面積 小 両側から	①×③ = 2820 cm ² たたく面 中 両側から	②×③ = 4418 cm ² たたく面積 大 後ろから押す

よって、穴からたくさん空気がでるようにすればよいのではないかと思います、穴の大きさを変えて実験してみた。

5. 吹き出し穴の大きさを変えて空気砲をつくる

実験1の空気砲で、段ボールの面積に対する穴の大きさを変え渦輪の飛ぶ様子を観察する。

穴を開けた面の面積 $21\text{ cm} \times 23\text{ cm} = 483\text{ cm}^2$

A	B	C	D	E
直径 21.0 cm の円 =面積 65.9 cm^2 ダンボールの短い辺： 円の直径 = $1 : 1.0$	直径 16.8 cm の円 =面積 52.6 cm^2 ダンボールの短い辺： 円の直径 = $1 : 0.8$	直径 12.6 cm の円 =面積 39.6 cm^2 ダンボールの短い辺： 円の直径 = $1 : 0.6$	直径 8.4 cm の円 =面積 26.4 cm^2 ダンボールの短い辺： 円の直径 = $1 : 0.4$	直径 4.2 cm の円 =面積 13.2 cm^2 ダンボールの短い辺： 円の直径 = $1 : 0.2$
				

・手順

1と同じ（距離は渦輪ができた部員の平均）単位m

・結果

穴の大きさ	A	B	C	D	E
1回目	もれ広がる	6.6	5	5	線状の煙 3 m
2回目	もれ広がる	4.4	5.8	5	
3回目	×煙見えず	5	5.8	5	
4回目	×	4	5	5	2 m
5回目	×	↓	×煙見えず	5	↓

・考察

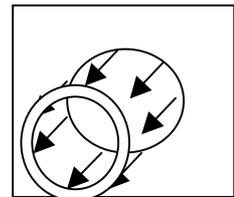
Aは、穴から煙が漏れるため複数回打つことができない。2回が限界。大きな煙の塊で周りに広がる。輪になりにくい。ただ煙が出ていくだけになる。

Bは、Aよりましたが、打てる回数が少ない

Cは、誰が打っても安定して渦輪ができた。

Dは、誰が打っても安定して渦輪ができた。

Eは、煙が線になって出たため、渦輪にならない。



よって穴の大きさが段ボールの幅の $0.4 \sim 0.6$ 倍前後の穴を開けると誰がたたいても渦輪ができることがわかった。穴から煙が出るときに、穴のまわりのすべての部分から均等に煙が集まってこない渦輪にならないようだ。

・結果（部員TMG）

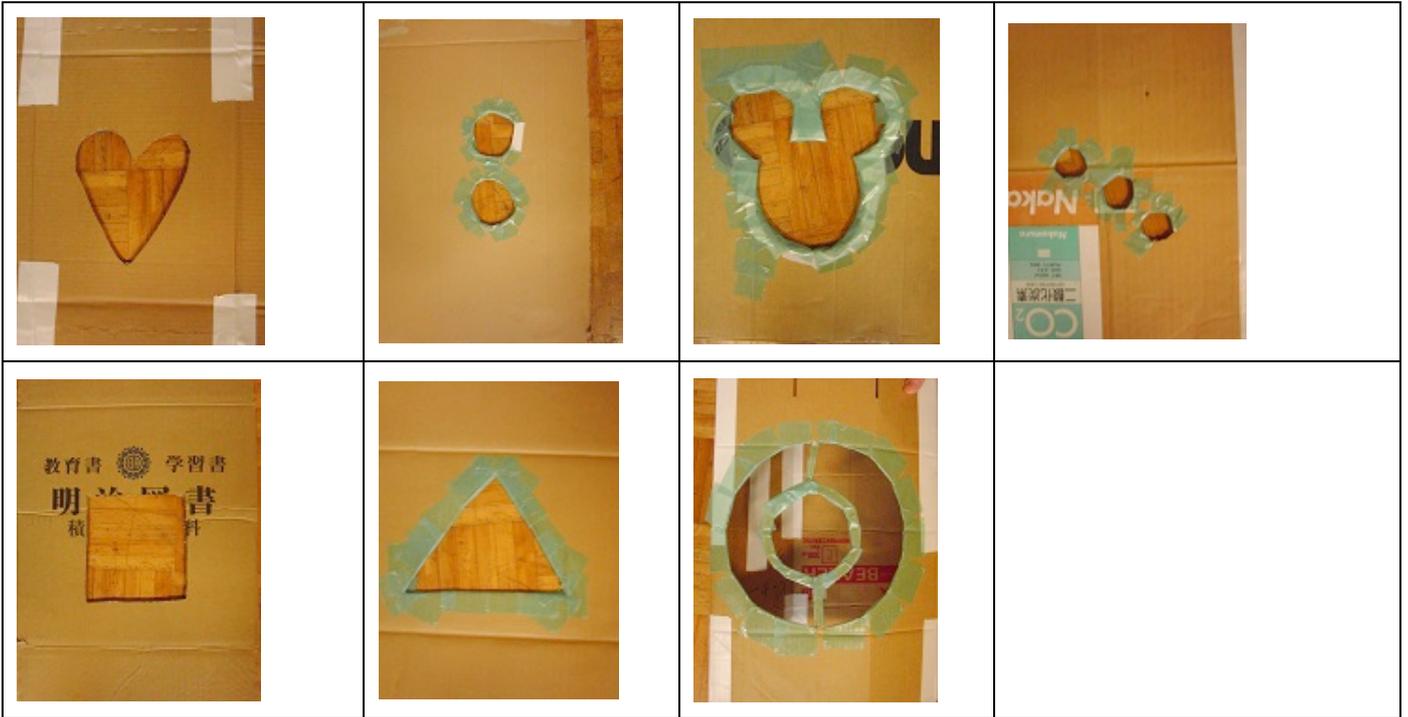
穴の大きさ	A	B	C	D	E
平均	×	3	2.8	4.4	2.6

・考察（部員TGM）

他の人に比べ軽い衝撃をあたえた部員TMGの結果だけ、値が違ったので注目してみた。穴が小さいEにおいて、他の部員は渦輪にならなかったのに小さな渦輪を確認できた。小さな穴に出て行く空気が集中するため激しくたたくと、大量の空気が渦輪にならず線になって出ていってしまうようだ。穴が小さい場合は出す空気の量を少なくした方がよいことがわかった。ということは、穴の大きさと出て行く空気の量は関係がある。また、穴が小さいと小さな渦輪ができていたので、空気砲の穴と、発射されてすぐの渦輪の大きさに関係があることもわかった。

6. 穴の形を変えてみる

3の段ボールを使い、①30cm×②47cm×③94cmとし、穴の形を変えて実験してみた。



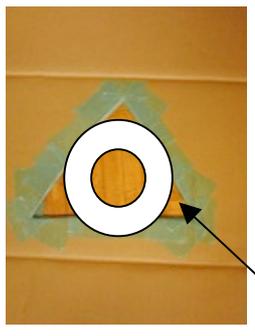
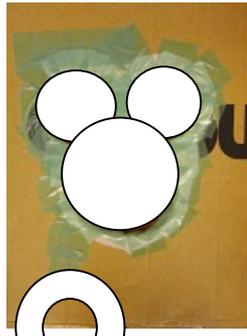
・手順

1と同じ

・結果

どれも最終的には1つの渦輪になり、飛んでいく。

・考察

三角		ミッキー	
	<p>三角の穴の場合、穴は三角だから出るときは三角で、どこかから渦輪になるのだろうと思い、複数の部員で観察したところ。最初から渦輪に近い状態で見られていたようだった。三角の角の所は煙が出ていないことがわかった。</p>		<p>ミッキーの場合は、煙は3つの穴すべてから出てくるが、すぐにくっついて1つの渦輪になる。 その他複数穴があるものも同じ原理のようだ。</p>

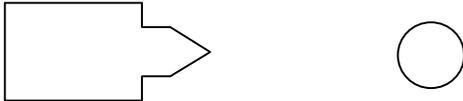
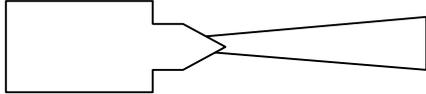
よって、穴の数や形は、関係ないことがわかった。

7. 大きな渦輪ができる空気砲をつくる

1～6の結果から市民会館の大ホールのステージで見えるような渦輪の大きい空気砲をつくるには、穴を大きくしたらよいと思った。段ボール面に対し1:0.4くらいの穴を使い、たたく面を大きくすればよいので、奥行きの長い大きな段ボールで空気砲をつくろうとしたが、そんな大きな段ボールは手に入らないし重いのではないかと考えた。学習発表会の会場は市民会館なので持ち運びも考え、模造紙を使い軽い空気砲をつくることにした。試作として、画用紙と割りばしで小さな模型を作ることにした。煙は出たが本体の強度が足りず壊れた。幅広テープで補強し完成。強度が増した。頑丈に大きな空気砲をつくろうとしたが、両面をおす方式の大きな空気砲は頑丈にすると、市民会館の裏手からステージに出るところの隙間が通れないことが判明した。強度の問題もあるので、改善策として、小田原の名産である提灯の蛇腹を採用した。（小学校の時に作成をしたものを参考にした）蛇腹部分は模造紙で作れば、折りたたむことができコンパクト収納できる。小さな模型で蛇腹部分を8段にして実験してみた。しかし、かたまりの煙が出ただけで輪にならなかった。押す距離を半分にしたらしっかりとした輪になった。実験5の穴の大きさや押す力のバランスから考えて、一度に出る空気の量が多くてもきれいな渦輪にならない。ということは、蛇腹を長くしても意味がないことが分かった。今回の穴の大きさから蛇腹を押す距離は短くてよい。

また、どのように内部の気体が穴から出るのかわからないので、色水を入れたペットボトルを水中に沈め、内部の水が出る様子を観察した。



単発押し	押し続ける（連続）
	
	

その結果、単発でおしてペットボトルを元に戻した場合は、色水は球になって出ていく。押し続けている間は色水が出続けるので渦輪にならず線になる。ということは、歯切れよく適量を出さなくてはならないようだ。蛇腹を少し押ししてすぐ引くと綺麗な渦輪ができた。やはり、内部の空気を勢いよく少し出した後、切ることも必要ということが分かった。以上のことから、奥行きは無駄に長くせず、蛇腹を半分の4段にして大きな空気砲を作成することにした。

・手順

- 1) 蛇腹式空気砲をつくり蛇腹を広げる。
- 2) 内部にスモークマシンで煙を入れる
- 3) 前の板を2人で抑え、後ろの板を2人で同時に押す。



・結果①

渦輪は観察できない。

・考察①

押し出される空気の量に対し穴が小さいため、前の実験のように連続で押した状態になってしまったと考えられる。押し方に工夫が必要。しかし、後ろの板は重く大きいため2人で持っているので、微調整が難しい。調整できる程度の煙の量に合わせて穴を開けなおしてみた。

・結果②

渦輪は観察できない。

・考察②

押し方に工夫が必要。適当に打っても輪にならない。小さな模型でやったように歯切れ良く適量だす。蛇腹1つ分程度の幅で押してみる。さらに、板を押した後少し後ろに引いて煙を逆流させ煙を切ることで渦輪をつくってみたいと思う。

・結果③

発射時は穴と同じ大きさで、だんだん大きく広がりながら輪ができた。しかし、10m程度飛ぶと、床にぶつかってしまう。

・考察③

渦輪にはなるが、遠くに飛ぶと下に沈んでしまう。どうやら、スモークマシンの煙は空気に比べて比重が重いらしい。床の方に行ってしまうないように前の板を斜めに傾け穴を上に向けて打つことにした。

・結果④

渦輪が上に飛ぶようになったが、周りの床や壁にぶつかり消えてしまう。

・考察④

前の板の角度で方向が変わる。後ろの2人の押す人の力加減により飛ぶ方向や渦輪のでき方が変わる。できるだけ遠くまでこの渦輪をとばすためには全面の板を少し傾けて発射させなくてはならないようだ。

以上のことを参考に市民会館大ホールでの本番を行った。

市民会館では、周りに障害物がないため、大ホール1階客席後ろまで輪が飛んでいった。距離的には十分満足な結果であった。しかし、私たちがイメージしていたほど渦輪の飛ぶ速度が速くなく、ゆっくり飛んでいったため、成功したが迫力に欠ける結果となった。



(5) まとめ

部員が普通に段ボールをたたき、渦輪をとばすにはたたくときに放出される空気の量に対し穴は段ボール前面の横幅の0.4~0.6の間の大きさであること。今回の大きな空気砲では穴は横幅の0.5

穴の形には関係はなく、すべて渦輪になる。

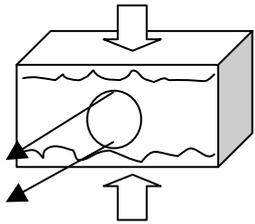
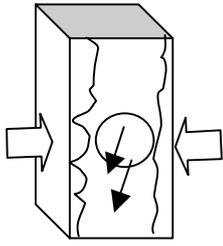
複数回安定してうつには、容器の煙が多い方がよい。

穴の大きさとたたく力には関係があり、穴が小さくなるとたたく力を小さくしなくてはいけない。

うち方は、球をイメージして、歯切れよく気体をうちだす。

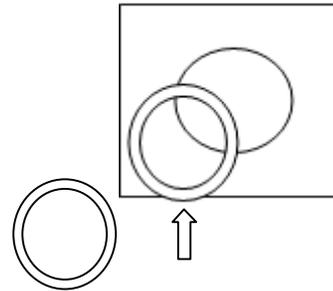
大きな空気砲の場合、出る渦輪が大きくなる分、スモークマシンの気体が重くなるので、全面の板を傾けて穴を上に向けてうちだす。

追加実験

$① \times ③ = 2820 \text{ cm}^2$ たたく面 中 両側から	$① \times ③ = 2820 \text{ cm}^2$ たたく面 中 両側から
	
	

実験4の面積中の実験をしているとき、段ボールの縦横が違う状態で実験をしている部員がいた。実験4のデータは横長に置いた時のデータである。図で左側のデータである。

右側のようにうった場合、1つ渦輪が出た後、遅れて2つ目の渦輪が出ることに気付いた。

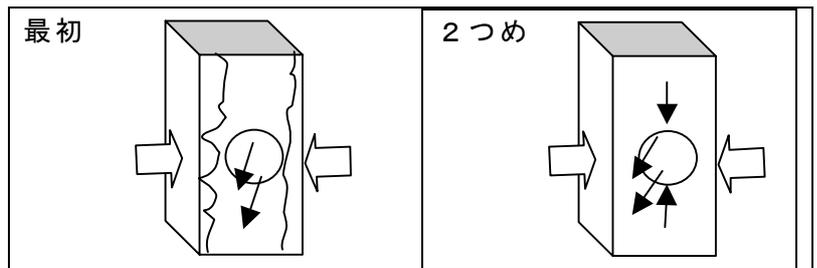


・考察

左右と上下の距離が大幅に違うから力が伝わるのに差がうまれると考えられる。

最初に出た渦輪は、たたいた時の直接的な空気の流れではないだろうか。

2つ目の渦輪は、内部の空気が最初の衝撃により中央でぶつかり、密になった部分が穴から押し出されてできるのではないかと思います。



(6) 今後の課題

煙が白しかないので、色を付けたり、煙の種類を変えてインパクトのある渦輪をつくりたい。

実験1と3の考察で書いたが、空気だけなら段ボール小の空気砲でも15m以上、長さの長い段ボールでは25mは飛んでいる。煙が目視できる距離をのばせる煙を研究してみたい。

段ボールの空気砲は、たたく所の素材が段ボールのみだったので、へこみ具合が変われば飛び方も変わると思われるので、他の素材でも試してみたい。風船とか。

大きな空気砲でスピードのある渦輪を飛ばしたい。

以上のように、研究課題がたくさんあるので、今後も続けて空気砲の研究をしていきたいと思っている。

(7) 参考文献

なし