

効率の良いうちわの形状

小高滉人 谷川斗真 西浦裕 原田能拓 兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2年

より強い風を発生させることができ、なおかつ、仰ぐときに抵抗の小さいうちわの形状を、独自の装置(うちわを回転運動させて仰ぐ装置)を用いた実験によって明らかにしようと考えた。そこで今回、「それぞれの形状のうちわで得られる風速の大きさ」と、「同じ力で回転運動させた時の単位時間あたりの回転数」から、うちわの効率の良さを考えた。

1. 研究の動機と目的

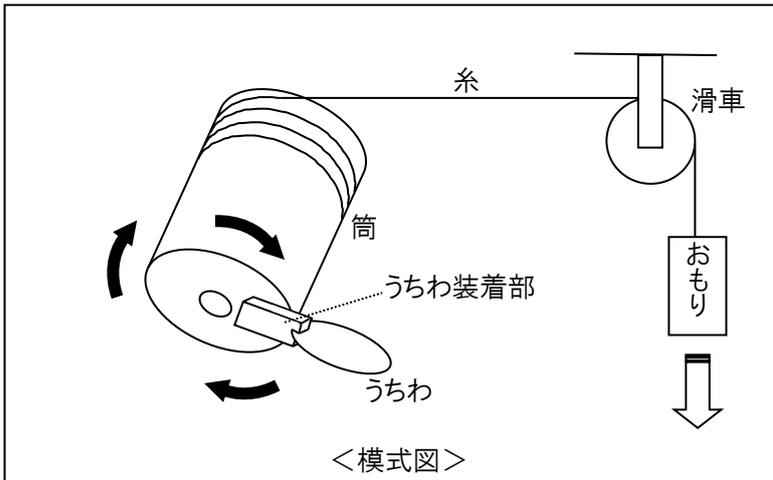
暑い夏に、うちわを扇いで、より楽に強い風が欲しいと思った。そこで、一般的なうちわの形状より多くの風を得られるうちわの形状はないのかと研究することにした。

2. 定義

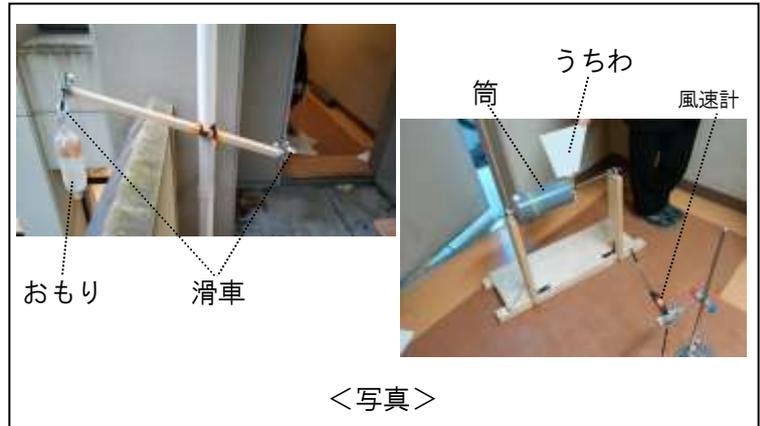
- ・低発砲塩化ビニル樹脂を材料とする暑さ3mmの板をうちわとする。
- ・うちわは回転運動させ、うちわのしなりは無視できる。
- ・我々が独自に決めた15の点で得られる風速の大きさの平均値を、その形状のうちわで得られる風速の大きさとする。

3. 実験について

【3.1】実験装置



- ・筒…塩ビパイプを使用。木材で作ったうちわ装着部を取り付けてある。
- ・うちわ装着部…切れ込みがいてある。切れ込みにうちわを差し込み、ボルトでうちわを固定。
- ・おもり…2リットル炭酸用ペットボトルを使用(砂をつめることで質量を調節)。



おもりを落下させると筒が回転し、うちわが回る。それによって風が発生する。今回、兵庫県立神戸高等学校科学棟3階(10.252m)よりおもりを落下させた。

【3.2】実験方法

低発砲塩化ビニル板を切って、以下の形状のうちわを作る。面積は全ての形状で 100π [cm²]。

形状	円	正方形	台形 1	台形 2
イメージ				
寸法[cm]	半径:10	一辺:10π	上底:20 下底:10	上底:10 下底:20

形状	長方形 1-A	長方形 1-B	長方形 2-A	長方形 2-B
イメージ				
寸法[cm]	縦:4π 横:25	縦:5π 横:20	縦:25 横:4π	縦:20 横:5π

(全ての実験において、
 ・おもりの質量→199.92 g
 ・うちわの回転運動時間→5 秒間)

〈実験 A〉

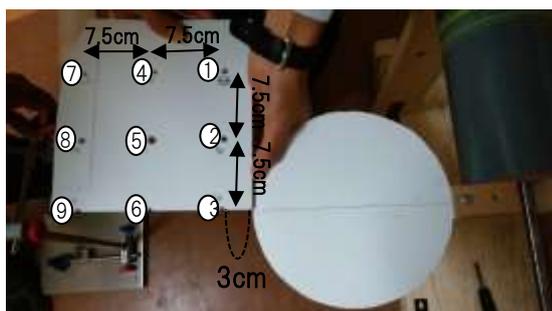
5 秒間における回転数の測定

1. うちわをうちわ装着部に固定する。
2. おもりを落下させると同時に iPhone のスローカメラでうちわの回転を撮影する。
3. スロー再生をして、おもりを落下させてから 5 秒間におけるうちわの回転数を小数第一位までもとめる。
4. すべての形状のうちわで 1~3 をそれぞれ 5 回ずつ行った。

〈実験 B〉

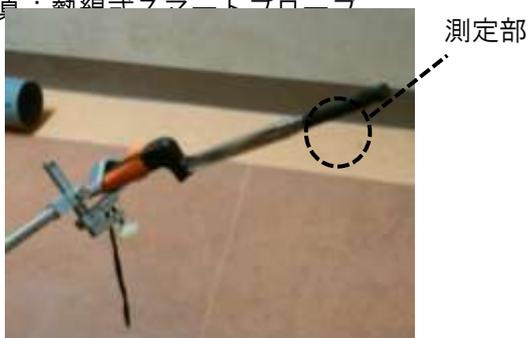
風速の測定

1. うちわをうちわ装着部に固定し、地面に対してうちわの面を水平に保つ。
2. 我々が、うちわから風が送られてくることを期待していると考えられる区域において、下の図のように、点を代表させ、それらの点での、おもりの落下直後から 5 秒間での最大風速の大きさを測定する。ただし、点 3, 6, 9 はうちわの中心線上にくるようにする。



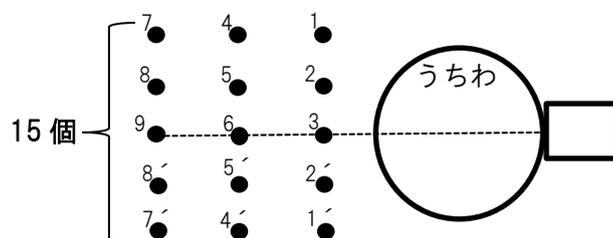
※熱式風速計（熱線式スマートプローブ）を使用。測定部を点 1~9 にセットする。

写真・熱線式スマートプローブ



3. 点 1, 2, 4, 5, 7, 8 での風速は中心線に対して反対側でも同等の風速が得られると考えられるので、 $2 \times (1, 2, 4, 5, 7, 8)$ での最大風速の合計) $+ (3, 6, 9)$ での最大風速の合計) を 15 で割る。

この計算を行うことで、決められた範囲内で計測した風速の平均値が求められる。この値が、うちわの効率の良さを考えるときの指標となる。



4. すべての形状のうちわで 1~3 をそれぞれ 3 回ずつ行った。

4. 実験結果 1

表 1: うちわの形状ごとの風速と回転数の比較

形状	風速 [m/s]	回転数 [回]
円	0.43	9.9
正方形	0.52	9.7
台形 1	0.48	9.1
台形 2	0.46	10.1
長方形 1-A	0.59	13.0
長方形 1-B	0.44	11.2
長方形 2-A	0.47	8.2
長方形 2-B	0.51	10.0

風の左右方向への広がり具合を見るため、点 1, 4, 7 での風速の平均値、点 2, 5, 8 での風速の平均値を点 3, 6, 9 での風速の平均値で割った値を表として下に示す。

この値が大きいほど、左右方向でより広い範囲に風が送られているといえる。

表2：風の左右方向への広がり

形状	X	Y
円	0.27	0.42
正方形	0.21	0.49
台形1	0.26	0.49
台形2	0.28	0.59
長方形 1-A	0.23	0.38
長方形 1-B	0.19	0.38
長方形 2-A	0.29	0.71
長方形 2-B	0.22	0.67

※X=(点1,4,7での風速の平均値)/(点3,6,9での風速の平均値)
 Y=(点2,5,8での風速の平均値)/(点3,6,9での風速の平均値)

次に考察で用いる結果を示す。

表3：長方形うちわの点3,6,9での風速平均

形状	点3,6,9での風速平均 [m/s]
正方形	1.08
長方形 1-A	1.34
長方形 1-B	1.03
長方形 2-A	0.78
長方形 2-B	0.93

5. 考察1

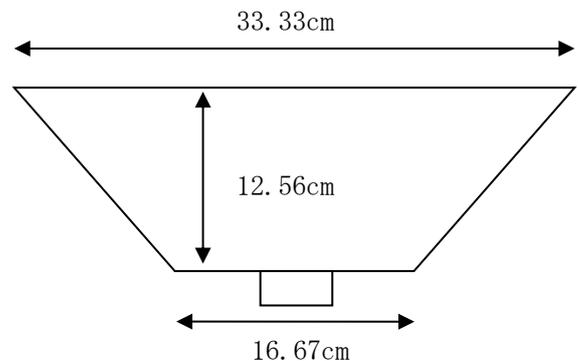
実験結果をもとに、最も良いとされるうちわを考察していく。

うちわの形を2つの観点から考えた。1つ目は「縦横比」、2つ目は「上底と下底の比」である。まず、長方形のうちわ(正方形・1-A・1-B・2-A・

2-B)の表1の結果をもとに、「縦横比」の観点から考えていく。5種類のうちわを風速が大きい順に並べると、1-A、正方形、2-B、2-A、1-Bの順となる。この順番は1-Bを除けば、「横の長さが縦の長さよりも大きいほど風速が大きい」ということを示す。この結果から、うちわの縦横比は1-Aの縦：横＝1：2が、風速を大きくするうえで最も適当と考えた。

続いて、台形1・2のうちわの表1の結果をもとに、「上底と下底の比」の観点から考えていく。2つのうちわを比べると、わずかではあるが上底のほうが長い台形1のほうが大きな風速が生じた。この結果から、上底が下底より長いほうが大きな風速を生み出すのに適当であると考えた。この2つの観点から最も良いとされるうちわを次に示す。

図：最も良いとされるうちわ



「このうちわが最も良い」ということを実験で検証したが、その結果を書く前に、ここまでの実験結果をさらに考察していく。

まず、「横の長さが縦の長さよりも大きいほど風速が大きい」ことについてだが、回転数が関係していると考える。表1から、多少のブレはあるが「横の長さが縦の長さよりも大きいほど回転数が多い」ということが言える。これは力のモーメントから説明できる。

横の長さが縦の長さより長いほど、うちわの付け根から重心までの距離は短くなる。力のモーメントは回転の中心からの距離が長いほど大きくなるので、横の長さが縦の長さより長いほど空気抵抗によ

る力のモーメントは小さくなるとわかる。このことが「横の長さが縦の長さよりも大きいほど回転数が多い」ことにつながると考察できた。

次に、風の左右方向への広がりについて表2から考察する。特に長方形について考えていきたい。まず、値Yに注目する。長方形うちわを値Yが大きい順に並べると 2-A,2-B,正方形,2-B,2-A となる。(2-Aと2-Bは等しい。これは「縦の長さが横の長さよりも大きいほど、左右方向でより広い範囲に風が送られている」ということを示す。しかし、値Xにこのような規則性は見られない。このことは、うちわの周りの空気の流れが不規則で、乱れていることにより引き起こされていると考えられる。

しかし、ここで表3に示す点 3,6,9 の風速に注目すると、「横の長さが縦の長さよりも大きいほど、点 3,6,9 の風速は大きくなる」とわかる。これは横幅が広がることで、うちわの端で起こると考えられる風の流れの乱れの影響を受けにくくなるからではないか。

6. 実験結果2

表4：最も良いとされるうちわについて

風速 [m/s]	回転数 [回]	X	Y
0.68	14.8	0.32	0.55

風速・回転数は、他のどのうちわと比較しても大きな値を示した。

7. 考察2

表4から考察を進める。まず風速の大きさは、ほかのうちわよりも大きくなったので、このうちわが最も効率が良いことが明らかになった。これは、回転数がほかのうちわよりも大きくなったことも起因していると考えられる。

また、値X・Yから左右方向でもより広い範囲に風が送られているとわかる。

考察1をもとに考えた形状であったが、良い結果が得られた。

このことから良い形状の要素は、組み合わせてもある程度その良さが維持されるのではないかと考える。

8. 今後の展望

まず、うちわの形をより深く考えるべきであると感じた。考察1において、回転数が大きくなれば、風速が大きくなっていくとしたが、一概にこう言えるかどうかはまだはっきりしていない。どの範囲までこの考察が適応されるのか確認したい。また、より比較しやすい、大きさのみを変えたうちわなどについても実験してみたい。

つぎに、風速を計測する点についてである。本実験では、横に5つ縦に3つの点で計測したので、縦横の数をそろえたい。また、点の少なさから、風速の分布に関する考察が困難であったので、そういった観点からも、点を増やすことが必要であると感じた。どの場所に点を設定するか決定において、風の流れの可視化ができると、より良いと思われる。

また、同じうちわにおける回転数と風速の関係についても実験が必要である。それにより、それぞれのうちわにおける角速度と風速との関係を推測し、同じ周期で回転させた時に発生する風速についての比較が可能になるのではないだろうか。

つぎに、計測された風速にばらつきがみられた割に、計測の回数が少なすぎたので、一か所あたりの計測回数を増やしたい。回数を増やすことで、より正確な実験結果が得られると考える。

そして、本実験で比較した形状の特徴の種類(縦横比・上底と下底の長さの比)が少なかったため、新たに、曲線の有無や、輪郭の凹凸、また大きさといった新しい比較の材料を導入し、より良いうちわの形状について模索していきたい。完成したうちわと、現在世間に普及しているうちわとの間に、どのような性能の差があるかについても検証していきたい。

9. 謝辞

本研究を進めるにあたり、監督・教示してくださった篠田英幸先生、実験に協力してくださった生徒の皆様、またご意見をいただきました先生方、並びにサイエンスアドバイザーの皆様、厚く御礼申し上げます。

10. 参考文献

- ・ 広島大学付属高校『効率よく風を送るうちわ』
- ・ 講談社『流れのふしぎ 遊んでわかる流体力学のABC』