

1. 研究の要約

きれいに着地できるパラシュートについて独自の基準を設けて研究を行った。十字型パラシュートに着目し、八角形パラシュートと比較して、着地点のズレ、平均の降下速度との関係性を明らかにした。実験の結果、十字型パラシュートの幅が長辺の0.44倍のとき、長辺と同じ長さの直径を持つ八角形パラシュートよりズレにくく、降下速度も遅くなった。よって、この条件をきれいな着地に適していると判断した。

2. 研究の動機と目的

「高所からゆっくりと、そしてズレずにまっすぐと降下したい」という願いから、パラシュートに着目した。パラシュートについて調べていると、はやぶさパラシュートには十字型を採用しており、十字型パラシュートは一般的に使用されている八角形パラシュートに比べてズレにくいことを知った。そこで、十字型パラシュートの一辺の長さを変化させ、八角形パラシュートに比べてどのような形状の十字型パラシュートがズレにくく、降下速度が小さいのかを明らかにするために実験を行った。

以下、十字型パラシュートを十字型P、八角形パラシュートを八角形Pと表記する。

3. 方法

八角形Pの傘部分は、図1のように一辺30cmの正方形から八角形を切り出し、中央に穴を開け、各頂点（図1の●の位置）に紐を付けた。中央の穴は、降下中のパラシュートの傘部分に溜まった空気の逃げ道をつくることで、安定した降下をできるようにするために開けた。

十字型Pの傘部分は、図2のように全て一辺30cmの正方形から切り出した。十字の幅（図2のa[cm]）を長辺の長さで割って求めた十字の比率を、0.11から0.11刻みで0.88まで変化させ、合計8種類制作した。紐を十字の辺と端、傘の中央（図2の●の位置）につけ、開傘時の傘の中央の膨らみが傘の端と揃うようにした。十字形Pは、十字の各辺の隙間から傘部分に溜まった空気が逃げるため穴は開けていない。

パラシュートの傘部分は厚さ0.05mmのポリエチレンから切り出している。全てのパラシュートの紐の長さ、パラシュートとおもりを合わせた全体の質量、切り出す前の正方形を全て等しくした。（値はそれぞれ順に36cm、15g、一辺30cm）

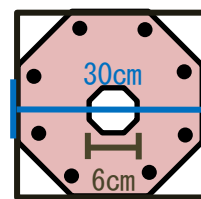


図1 八角形Pの平面図

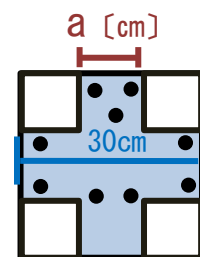


図2 十字型Pの平面図

<予備実験1>

直径30cmのパラシュートを作成し、パラシュートの傘部分の形状と横風の受けやすさ、降下速度の関係性を調べる実験を行った。

①図3のように風洞装置に扇風機で風を流す。

②風洞装置の15cm上からパラシュートを降下させ、ストップウォッチで降下時間を計測する。

- ③ パラシュートを離した真下の地点から、パラシュートが実際に着地した地点までの水平距離を「ズレ」としてメジャーで測定する。
- ④八角形Pと、8種類の十字形Pとで合計9種類のパラシュートで①～③を繰り返す。

風洞装置に画用紙のスタビライザーを取り付け、扇風機から出たさまざまな方向に流れる風を水平に流れるようにした。風速は2.0m/sで一定にしてある。



図3 予備実験の略図

（降下速度の導出方法）

- ①降下させる高さを降下時間で割る。

（ズレの比率の導出方法）

- ①降下させる地点から、実際に着地した地点までの水平距離を計測する。
- ②十字型Pの水平距離を八角形Pの水平距離で割り、その値をズレの比率とする。

<結果1>

実験は20～30回行い、その平均をグラフにした。回数が一定でないのは、比較的誤差が大きいパラシュートのみ実験回数を増やしたためである。

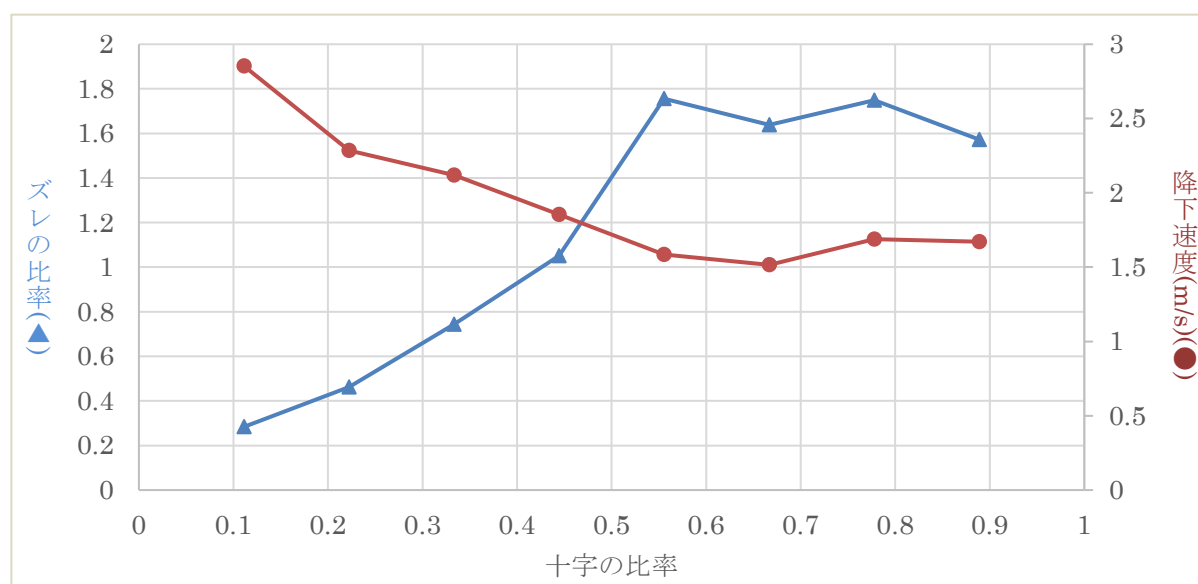


図4 ズレの比率と降下速度、十字の比率の関係

エラーバーは標準偏差を示す。

降下速度に関しては、図4から、十字の比率が0.11～0.44の十字型Pは一边が長くなるほど、降下速度が小さくなっていることが分かる。また、十字の比率が0.56以上の十字型Pはおよそ1.5m/sの一定の値を示しており、0.11～0.44の十字型Pに比べて遅くなっている。

一般に空気中を降下する物体には空気抵抗がはたらく。降下速度には鉛直方向の空気抵抗の大きさが関係している。十字の比率が0.56以上の十字型Pが遅くかつ一定の降下速度になったのは、表面積が十分に大きかったため空気抵抗を十分に受け、終端速度が小さくなったことが原因だと考えた。

ズレの比率に関しては、図4から十字の比率が0.11～0.44の十字型Pは比率が大きくなるほどズレやすくなっており、0.33以下の十字型Pは八角形よりズレにくくなっている。これは開傘時の形状によるもので、十字の幅が小さいほど各辺の隙間が大きく、横風が抜けやすかったためと考える。

<予備実験2>

次に比率が0.56～0.89の十字型Pはほぼ一定の値で、八角形よりズレやすくなったのは、横方向の投影面積によるものだと考え、横方向の投影面積を求め予備実験を行った。

真横から撮影したパラシュートの降下中の写真の縮小度を全て揃えて印刷し、傘部分のみを切り取り、その重さから横方向の投影面積の比を求めた。八角形Pの投影面積を1とし、八角形Pに対する十字型Pの投影面積を求めたグラフが図5である。

<結果2>

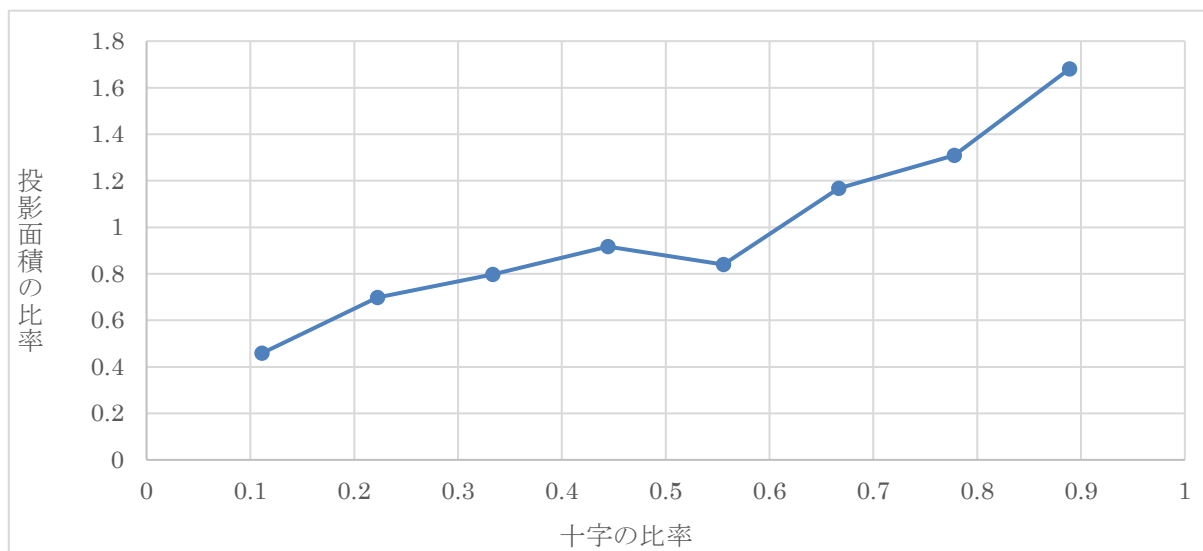


図5 投影面積と十字の比率の関係

図5から、十字の比率が0.56付近から横方向の投影面積が八角形より大きくなることが分かる。よって0.56～0.89の十字型Pは横風を受けやすく、ズレやすくなったと考える。

<実験>

実際に人が使う状況により近づけるために、一辺 180cm の正方形から切り出したパラシュートを用いて、屋外で実験を行った。実験 1 のパラシュートと形状は同じで、大きさとおもりの重さは変えた。実験 1 とは違い、降下中に受ける横風の量は毎回異なるので、八角形 P と十字型 P を同じ条件下で降下させ、八角形 P に対する十字型 P のズレやすさを求めて比較した。

また十字型 P と八角形 P を同時に降下させるため、図 6 の降下装置を自作した。紐を引くとクリップが開き、2 つのパラシュートが同時に降下する仕組みとなっている。



図 6 自作の降下装置

(実験方法)

- ① 図 3 の装置に八角形 P と十字型 P を挟む。
- ② 挟まれた 2 つのパラシュートを校舎の 3 階から同時に降下させ、ストップウォッチで降下時間を計測する。
- ③ パラシュートを離した真下の地点から、パラシュートが実際に着地した地点までの水平距離を「ズレ」としてメジャーで測定する。
- ④ 十字型 P の一辺の長さを変化させ、①～③を繰り返す。

(降下速度の導出方法)

予備実験 1 と同じである。

(ズレの比率の導出方法)

2 つのパラシュートは降下時間が異なるため、降下中に受ける風の量は異なる。よってズレを降下時間で割った、1 秒あたりのズレの比をズレの比率とした。

- ①ズレと降下時間を計測する。
- ②十字型 P の 1 秒あたりのズレを、八角形 P の 1 秒あたりのズレで割り、その値をズレの比率とする。

<結果 3>

実験はそれぞれ 5 回ずつ行い、最小値・最大値を除いた 3 回の平均をグラフにした。

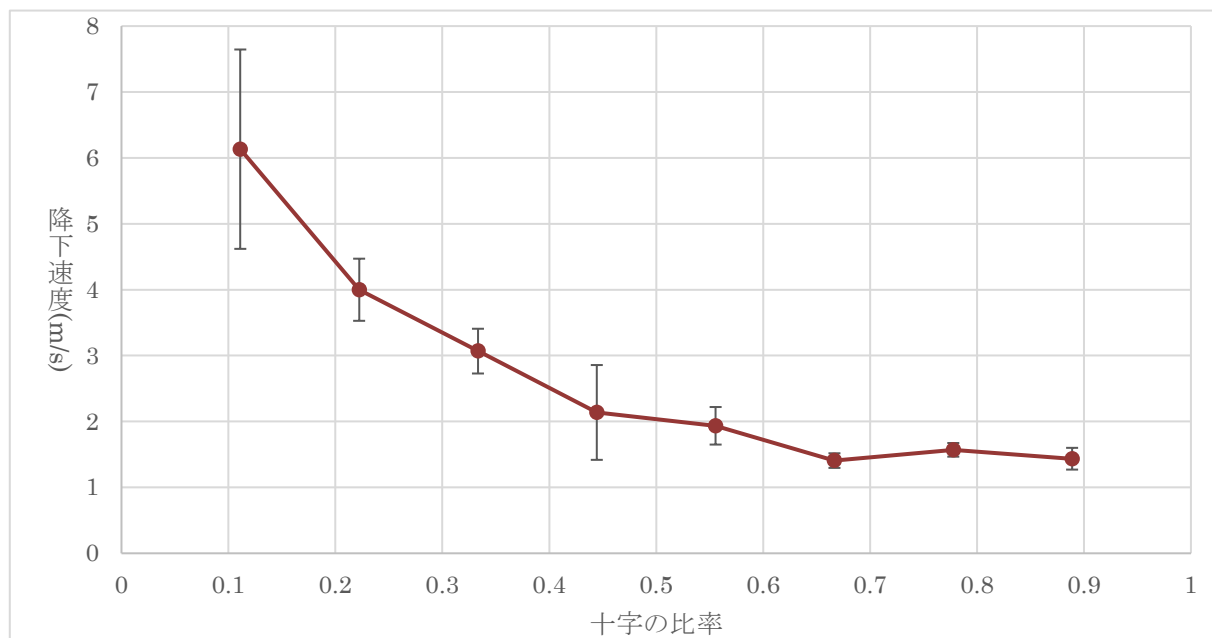


図7 降下速度と180cmの十字型Pの十字の比率の関係

図7から、十字の比率が0.11～0.33の十字型Pは一辺が長くなるほど、降下速度が小さくなっていることが分かる。また、比率が0.44～0.89の十字型Pはおよそ2.0m/sの一定の値を示しており、0.11～0.33の十字型Pに比べて遅くなっている。

大きな傾向は直径30cmの十字型Pと同じで、十字の比率が約0.50以下の十字型Pは比率が大きくなるほど降下速度が小さくなり、0.50以上の十字型Pはほぼ一定の降下速度となることが分かった。

<結果4>

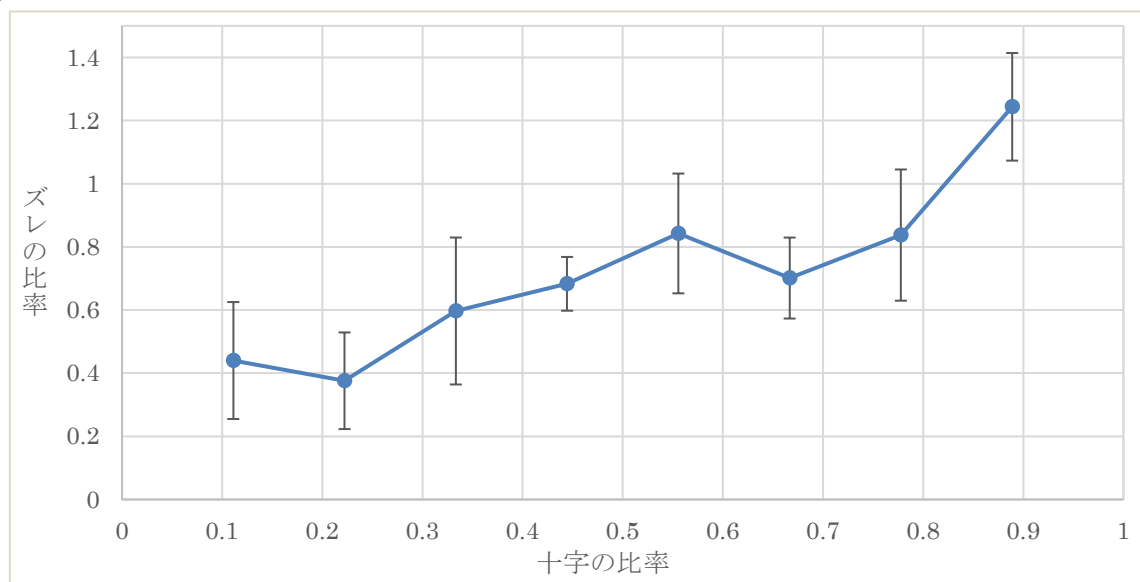


図8 ズレの比率と降下速度と180cmの十字型Pの十字の比率の関係

図8から、十字の比率が0.78以下の十字型Pは八角形Pよりズレにくいことが分かる。これは開傘時の形状によるもので、十字の各辺の隙間から横風が抜けたためと考える。また十字の比率が0.11と0.22の十字型Pは、ズレの比率がかなり小さくなっている。これは降下時間が短かったため、ズレるのに必要な時間が十分になかった事が考えられる。

直径 30cm の十字型 P は十字の比率が 0.67 以上で八角形 P よりズレている一方で、直径 180cm では十字の比率が 0.89 の十字型 P のみが八角形 P よりズレている。これは、予備実験では風洞装置から出た風が傘部分に当たり、まず傘部分がぶれ、そうすることによっておもりが引っ張られ、おもりが振り子のように大きくぶれる。そして実験の高さが足りなかったため大きくぶれたまま着地した。つまり、予備実験は本実験より横方向の投影面積の影響がでやすかったため、直径 30cm の十字型 P は十字の比率が 0.67 以上で八角形 P よりズレていると考えた。

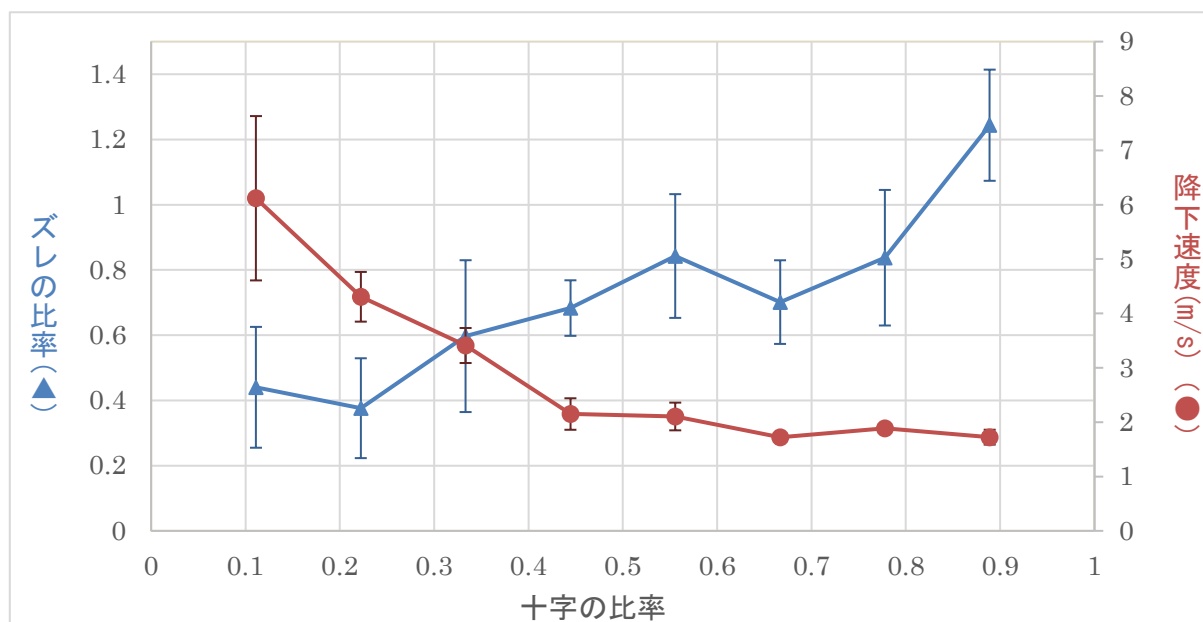


図9 十字型 P の一辺の長さでズレの比率と速度の関係

図 9 は、図 7 と図 8 の 2 つのグラフを合わせたグラフである。直径 180cm では、十字の比率が 0.44～0.89 で降下速度が小さく、0.33～0.78 の範囲で八角形 P よりもズレにくいいため、2 つの条件をともに満たす、0.44～0.78 の十字型 P が最もきれいに着地する。

予備実験の結果もふまえると、0.44 の十字型 P が最もきれいに着地すると結論付けた。

4. 今後の課題及び感想

1) 今後の課題

実験回数を増やすことや、実際に人が使うための安全性に関する研究を行うことが挙げられる。

2) 感想

思うように実験が進まなかったり、問題点の解決策がわからなかったときなど、大変なときもたくさんあったが、こうして一つの研究としてまとめあげることができて本当に嬉しい。この経験を糧にこれからもっと頑張りたい。

5. 参考文献

1) How We Make Our Parachutes

https://fruitychutes.com/help_for_parachutes/parachutehelp/how_to_make_a_parachute.htm (2022. 11. 20 最終閲覧)

2) Performance of a Cross Parachute in a Simulated Martian Environment

<https://ntrs.nasa.gov/citations/20070030995> (2022/11/20 最終閲覧)

3) NASA Colorado Space Grant Consortium

https://spacegrant.colorado.edu/COSGC_Projects/space/Documents/Verhage/NearSpace6.pdf

(2022/11/20 最終閲覧)