同一翼面積の矩形翼を持つ

模型飛行機のアスペクト比を変えたときの飛距離の違い

堀江咲月

要旨

飛行機や滑空機と紙飛行機の性質は完全に一致しているのか。機体の規模も違えば，機動力の有無という違いまでもあることから，飛行機や滑空機におけるアスペクト比を大きくすると翼の性能が上がるという性質が，紙飛行機の持つ性質と一致しているのか確かめた。紙飛行機では強度上の問題があることから，胴体長を揃え，同一面積の矩形翼を持つ模型飛行機の，主翼のアスペクト比を変化させて飛ばしたときの翼の性能を滑空比を用いて調べた。実験では制作した模型飛行機を高さ 1.3 m から 0.30 m 地面に平行に引き，発射させて飛行距離を測った。アスペクト比を大きくしていくと飛行距離は延びるという結果は得られなかったが，実験値の標準偏差が小さくなっていったことから，アスペクト比の大きさは飛行の安定性に影響を与えていると考えた。

キーワード：模型飛行機　主翼　アスペクト比　飛距離　翼の性能

Ⅰ．はじめに

滑空機には抗力，揚力，重力の 3 つの力が作用している。特に飛行に関わる揚力の大きさ L と抗力の大きさ D の比を揚抗比といい，揚抗比 $e = L/D$ と表す。FAA-H-8083-13A によると，この揚抗比は主翼の細長さ，つまりアスペクト比に依存している。

飛行機の飛行の因子として，翼の性能というものがある。翼の性能には飛行特性や滑空比といった様々な要素があり，飛行特性について，国土交通省によると，操縦性や安定性，翼にかかる荷重の変化に影響している。また，滑空比とは FAA-H-8083-13A より，高度を 1 m 失うごとのグライダーの水平飛行距離を表したものである。本研究では，模型飛行機の翼の性能を滑空比で評価した。

また，国土交通省より，飛行機の主翼のアスペクト比は，通常の翼の 3 次元特性と揚抗比を決定する主な要因であり，一定の速度でアスペクト比を上げると，高迎角で抗力が減少し，上昇姿勢での翼の性能が向上するといった飛行に大きな影響を与える要素である。

鈴木真二より，図 1 のように，ジェット機などの動力機やグライダーなどの実際の航空機の重心は，主翼の前縁から 1/4 ほどの位置にあり，また水平尾翼は揚力を下向きに作っていて翼の揚力を多少犠牲にしているが，機体のバランスと安定性の確保をしている。それに対して，紙飛行機の重心位置は主翼の後縁付近にある。これは尾翼にも揚力を持たせようとするものであり，それにより機体は軽く，抵抗は小さくなるが， 機体の安定性が減少し，操縦が難しくなるという問題点が生じる。

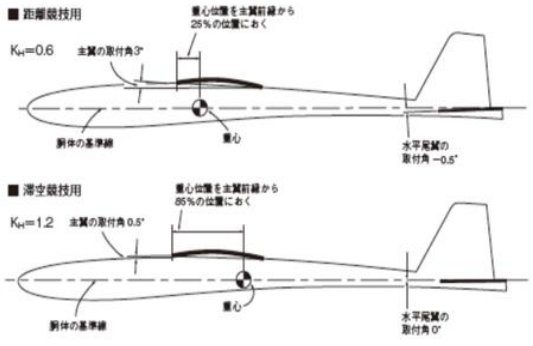


図 1 航空機(距離競技用)と紙飛行機(滞空競技用)の重心位置の違い(日本航空協会)

このように，重心の位置や飛行において重要視する部分が紙飛行機と実際の航空機とでは異なっていることから，模型飛行機のアスペクト比に関する性質は，実際の航空機と同様の性質を持つと言えるのかについて考えた。

小さく簡素な作りの飛行機，特に紙飛行機や模型飛行機に関して，三宅遼空(2021)によると，翼端が複雑な形状の翼形よりも，矩形や台形などのシンプルな形状の翼形の主翼を持つ方が飛距離が長くなった傾向から，安定性の面で飛行特性が良いという結果が出ている。

飛行機の性質や先行研究を参考に，模型飛行機のアスペクト比を大きくしていくと飛行距離も延びていくだろうという仮説のもと，本研究では面積の等しい矩角形の主翼を持つ模型飛行機におけるアスペクト比を変化させたときの翼の性能を滑空比で調べた。

II. 手法

予備実験の際，くまもと学びサポート(2016)の模型飛行機を参考に工作用紙と木製の棒を用いて制作した。そのサイズを参考に，おもりや水平尾翼，垂直尾翼など他の要素は変更せず，全長 21 cm，主翼の面積は 95 cm^2 の模型飛行機を $r = 2\sim20$ の様々なアスペクト比 r で制作した。

機体の寸法は図 2，3，4，5 のように制作し，おもりはクリップ 6 個，ローンチャー用フックはクリップ 1 個を曲げて，それぞれビニールテープで機体に巻きつけた。また，図 5 のように下面の着色部に合わせて切った工作用紙を 1 枚重ねた。

アスペクト比 r は翼弦 a と翼幅 b の比であり，以下の通りの計算によって，一定の翼面積で異なるアスペクト比の主翼の寸法を計算した。

$$r = b \div a \Leftrightarrow b = ar \quad -*$$

翼面積 s は，

$$s = ab = 95$$

$*$ を代入して

$$s = a \times ar = 95$$

より，

$$a = \sqrt{95 \div r}, b = \sqrt{95 \times r}$$

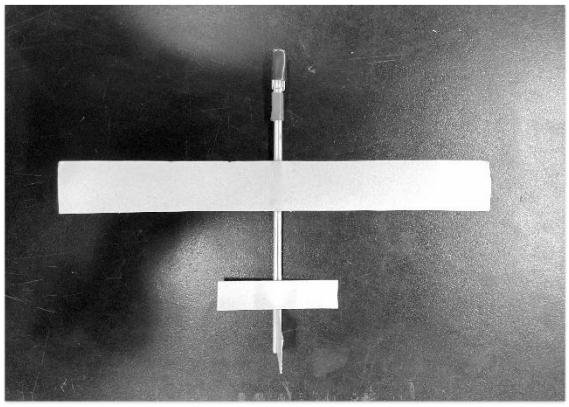


図 2 制作した模型飛行機の上面図

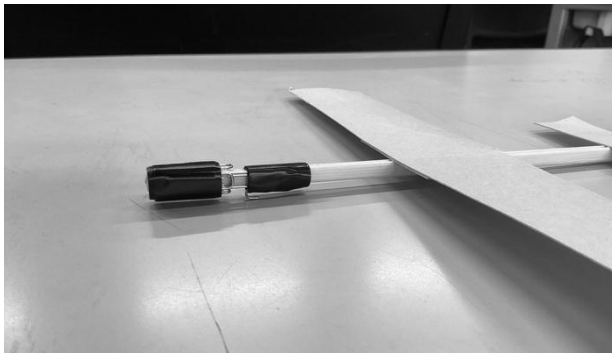


図 3 おもりとローンチャー用フック

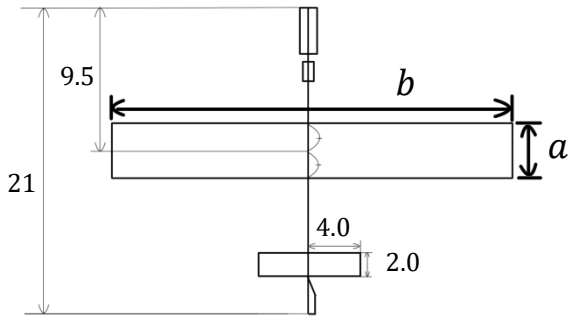


図 4 制作した模型飛行機の上面の寸法(cm)

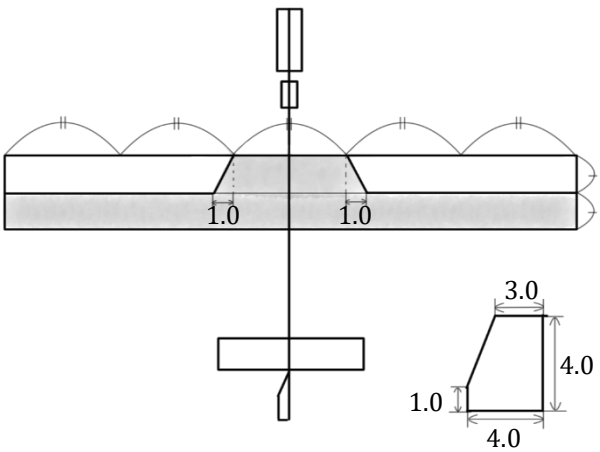


図 5 制作した模型飛行機の下面と垂直尾翼の寸法(cm)

実験は横幅約 4.0 m の部屋で，高さ 1.3 m から輪ゴムを自然長から 0.30 m 地面に平行に引き，各アスペクト比の機体を 10 回ずつ発射させて計測を行った。このとき，壁に衝突せずに，真っ直ぐ飛行し着地したもののみを実験値とした。発射させたあとに飛行することなく，ローンチャーに衝突し落下したものや壁に衝突したものは計測回数に含めず，再度実験値を取り直した。ただし，連続して 10 回以上ローンチャーに衝突して飛行しなかった機体に関しては記録なしという結果をとった。

実験の結果は滑空比で翼の性能を評価した。この滑空比について，本来は高度 1 m あたりの水平飛行距離を示すものであるが，機体を発射する高さを一定としたため，飛距離を判断の基準とした。

III. 結果

結果は図 6 のようになった。アスペクト比 $r = 2$ は安定して飛行せず，発射させた時に機体がローンチャーに衝突して連続して落下してしまい，今回の実験では記録なしとなった。発射時のアスペクト比 $r = 6$ の機体の飛行距離が最大となって，それ以降は飛行距離の値は減少し，横ばいになっていった。

標準偏差から，アスペクト比が小さいときには誤差範囲が広く，アスペクト比が大きくなるにつれて狭くなっている傾向が認められる。

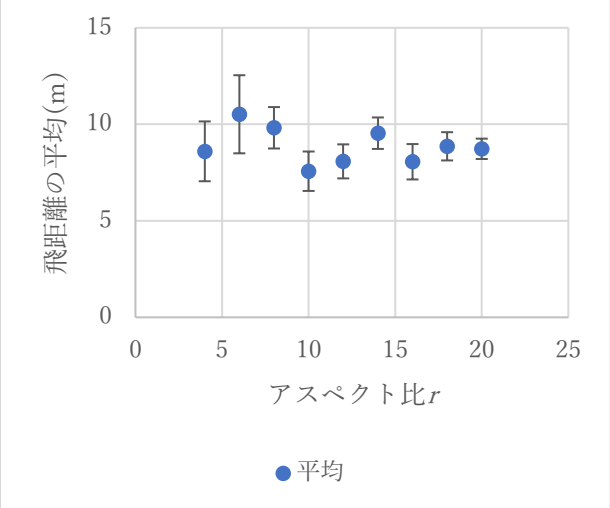


図 6 各アスペクト比 r 10 回分の飛距離の平均(m)

IV. 考察

図 6 より，アスペクト比 $r = 2$ の機体においては安定した飛行が得られず，記録なしという結果となった。様子を撮影したところ，映像からは発射時に手を離した直後から機体の後方が下方に傾きながら加速していき，機体中央部にローンチャーの先が衝突することで落下していることが観察された。この結果から，アスペクト比が小さすぎると揚力がうまく発生しないのではないかと考えられる。

アスペクト比を大きくしても飛行距離は延びなかったが，実験値の標準偏差の減少傾向が見られたことから，アスペクト比は模型飛行機の翼の性能のうち，飛行特性の安定性という要素に影響を与えているのではないかと考えた。

実験時にアスペクト比が大きい方が発射後の直進性が高かったが，これは機体の作りの精密さと翼幅の大きさによるもので，少しのズレが及ぼす影響が小さいからかもしれない。

また，主翼のアスペクト比の大きさ以外は変えないという条件で実験を行ってきたが，それゆえに各アスペクト比の主翼を持つ機体に対して適切な初速度や水平尾翼，垂直尾翼の大きさでなかったことが原因となって，アスペクト比を大きくしても飛行距離が延びていかなかったのかもしれないと考えた。

V. 結論

主翼のアスペクト比を大きくしていくと，それに伴って飛行距離も延びるのではないかという仮説のもと，面積の等しい矩形の主翼を持つ模型飛行機におけるアスペクト比を変化させたときの飛行距離の変化を調べたが，アスペクト比 r を大きくすればするほど飛行距離は延びていくような結果は得られなかった。しかし，アスペクト比を大きくするごとに飛行距離の安定性が認められたため，アスペクト比は飛行の安定性，つまり翼の性能のうちの滑空比ではなく，飛行特性に影響を与えているのかもしれない。

本実験の発展性としては，アスペクト比の大小が飛行を安定させるのかという観点から，飛行の安定性を示せるような方法で調査することで，アスペクト比が模型飛行機に及ぼす影響をより鮮明にすることができるのではないかと思う。

謝辞

研究の指導をしてくださった米谷教諭をはじめとする物理科の先生方に感謝いたします。

文　献

FAA-H-8083-13A：Glider Flying Handbook(2013) pp.3-8 - 3-9.

くまもと学びサポート(2016)：https://rika.k8246.net/waribashihikouki.html

国土交通省：第 5 章 飛行の航空力学 pp.5-20,5-43.

三宅遼空(2021)：よく飛ぶ紙飛行機Ⅷ～飛ぶ力と翼端形状～.あすなろ学習室.

鈴木真二：紙飛行機を上手く飛ばす科学(2)―飛行機が飛ぶわけ. MSN ジャーナル.