ディスク飛行理論について

北海道シリウス友の会「ディスク解説」ページ掲載用
「ディスクがなぜ、どうやって飛ぶのか」を理屈から理解できることを目的に構成しています。

> **結論：ディスクは何によって飛んでいるのか？**
>
> ディスクの飛行は、投げる人が生み出す以下の【3 つの要素】の組み合わせで成り立っています。
> 1. 回転（スピン） → 姿勢を安定させる（ジャイロ効果）
> 2. 推進力（スピード） → 前に進む力
> 3. 迎え角（角度） → 上向きの力＝揚力を生む（ベルヌーイの定理）
> ⇒ この 3 つが揃って初めて、ディスクは水平に、まっすぐ、遠くまで飛びます。

■ 1. 回転がなぜ必要か（姿勢の安定）

ディスクに十分な回転がかかっていないと、飛んでいる途中でぐらついてすぐに落下してしまいます。

・ジャイロ効果：コマと同じ理屈で、回転している物体は外から力が加わっても回転軸の向きを保とうとする性質があります。
・リリース時のスナップ：ディスクは手首のスナップで回転を与えられ、この回転によって飛行中も姿勢を保ち続けます。
・回転不足のリスク：回転が弱いディスクほど、風や空気抵抗の影響で姿勢が崩れやすく、失速や急降下につながります。

■ 2. 迎え角と揚力の理屈（ベルヌーイの定理）

ここが「ディスクがなぜ浮くのか」の核心部分です。

【ベルヌーイの定理とは】
空気のような流体では「流れの速度が速いところほど圧力が低くなる」という関係が成り立ちます（1738 年にダニエル・ベルヌーイが発表）。

【迎え角がつくと何が起きるか】
・進行方向に対して前側（リーディングエッジ）をわずかに持ち上げた状態＝「迎え角」をつけて飛ばすと、ディスクの上面を通る空気の流れが下面より速くなります。
・ベルヌーイの定理により、上面側の圧力が下面側より低くなります。
・この上下の圧力差が、ディスクを上に持ち上げる「揚力」となります。
・ディスクの上面がゆるやかに凸型になっているのは、この揚力効果をさらに高めるための形状です。

◆ なぜ「10 度」が一番飛ばせる角度なのか（風洞実験データより）

Potts and Crowther（2005/2018）による風洞実験では、迎角を-5 度から 15 度まで変化させて計測が行われました。
・「揚力 ÷ 抗力 = 揚抗比」が最も高くなり、一番飛行効率が良い角度は【概ね 8〜10 度付近】にピークがあることが確認されています。
・市販のフリスビーやゴルフディスクでは、3〜15 度という広い範囲で高い揚抗比を保つ設計がなされています。

【10 度が最適解となる理由】

・迎角が小さすぎる（0 度に近い） → 揚力そのものが不足する

・迎角が大きすぎる（15 度に近づく） → 抗力（空気抵抗）が急激に増えて失速に近づく

⇒ 結論：両者のバランスが最も良く取れる数値が「10 度前後」です。手首でリーディングエッジをわずかに持ち上げて投げることが理論上最も効率的です。

◆ 角度が大きすぎるとどうなるか（失速）

迎え角を大きくするほど揚力も大きくなりますが、角度が大きくなりすぎると空気の流れが上面から剥がれ、上下の圧力差が失われて急激に揚力を失います。これを「失速」と呼びます。
ディスクドッグで前を上げすぎて投げると、失速して飛距離が出ずに失速落下する大きな要因となります。

■ 3. 推進力（前に飛ばす力）

・回転と迎え角だけではその場に浮くだけで前に進みません。目的地へ運ぶには「腕の振りによる推進力」が必要です。
・腕の振りが速いほど大きな推進力（初速）が得られ、遠くまで飛びます。
・ただし「力任せに投げれば飛ぶ」わけではなく、回転・迎え角・ディスク自体の性能との総合的なバランスが重要です。

■ 実験的な裏付け：海外の研究論文

回転による安定・迎え角による揚力・10 度前後の最適角度は、以下の学術研究によって実証されています。

■ Kamaruddin, Potts and Crowther (2018)

マンチェスター大学の風洞実験施設で揚力・抗力・ピッチングモーメントを実測。揚抗比のピークが 8〜10 度付近にあることや、曲線形状ディスクの方が広い角度で安定した性能を維持することを証明。

■ V. R. Morrison (2005)『The Physics of Frisbees』

マウントアリソン大学の研究。フリスビーを「小さな翼」と捉え、ベルヌーイの揚力とジャイロ効果の組み合わせを物理シミュレーションで検証。宙返りを防ぐ角運動量の役割を提示。

■ Hummel (2003) ほか（UC デービス）

迎角と揚力・抗力の関係を数式化し、実際の飛行軌道を再現。迎角の変化が飛距離や滞空時間に与える影響を数値データ化。

※国内文献（安田邦男, 1999『フライングディスクの飛行・空力特性について』）は、J-STAGE の設定により要旨レベルでの参照・確認となっています。

■ まとめ

✓ ディスクが飛ぶ三要素は「①回転による姿勢安定」「②推進力」「③迎え角による揚力」の組み合わせ。

✓ 最も効率よく飛ぶ迎え角は、風洞実験データにより【8〜10 度前後】にピークがあることが実証されている。

✓ 迎え角が大きすぎると「失速」を引き起こし、急激に揚力を失って落下する。

✓ 「10 度前後の角度をつけて回転をしっかりかけ、スムーズに腕を振る」のが理論上最高の投げ方。

■ 参考文献

・Kamaruddin, N.M., Potts, J.R. and Crowther, W.J. (2018). Aerodynamic performance of flying discs. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 90(2), 390-397. (Sheffield Hallam University Research Archive より閲覧可)

・Morrison, V. R. (2005). The Physics of Frisbees. Mount Allison University. (MIT のアーカイブ経由で閲覧可)

・Hummel, S. (2003) ほかによるフリスビー空力データに基づく研究群 (迎角と揚力・抗力の関係の数値化)

・長野県「フライングディスクの飛び方」(スポーツ用具貸出資料), 長野県ホームページ

・安田邦男「フライングディスクの飛行・空力特性について」『日本航空宇宙学会誌』47 巻 547 号, p.314-320, 1999 年 (J-STAGE ※要旨参照)