

鳥の飛行（その3 羽ばたき・離着陸・旋回）

松浦 俊博

その2で「飛び」の話題に入り、最初に滑空^{かっくう}の話をした。

その3では、まず羽ばたきの様子を観察する。翼^{つばさ}のどの部分をどう動かすのか。ボーッと見ていると翼を上下に動かしているのかと思うが、目を凝らすと単純ではない。内翼^{ないよく}と外翼^{がいよく}を一緒に大きく動かすこともあるが、外翼を動かすのが主体で内翼はそれにつられて少し動く程度であることも多い。

翼を後ろ上から前下に力強く打ち下ろし、返してさっと下から上へ打ち上げる。「後ろから前に打ち下ろすのになぜ前に進むのか」と不思議に感じるが、空気は外翼に対して後ろ上方に流れ、空気力は外翼にほぼ直角方向すなわち前上方に働く。こうして揚力と推力が働くことになる。打ち上げの際には、羽^{うじく}の羽軸に関する非対称形状により羽間^{はねかん}に大きな隙間ができるので、風が素通りして抵抗を受けない。

鳥は滑空時や着地時などの状況に合わせて、翼の振り角度と打ち下ろしの方向を調整することにより、揚力と推力の割合を自在にコントロールしている。翼に対する空気の流れは、滑空時は飛行による風の流速と打ち下ろしの速度を足し合わせたものになるが、離陸時は打ち下ろしの速度のみである。また、進む方向は滑空時には前方向だが離陸時には前上方向であり、離陸時の方が大きな揚力を必要とする。この結果、離陸時は滑空時に比べて前後方向に大きく羽ばたくことになるし、迎え角が大きくなるよう翼を振じる。

離着陸は鳥にとっても難しく、幼鳥は何度も失敗しながら習得するようだ。離陸はとにかく翼を最大に広げてフルパワーで羽ばたくしかない。これに対し決まった位置にストーンと着地する場合は高度な技が必要だ。着地のプロセスは減速から始まる。翼を振り迎え角をプラスにして推力を殺し、揚力を確保しながら減速する。揚力は速度の二乗に比例するので減速すると著しく減る。翼を全開しながら尾羽^{おぼね}も全開して揚力を確保する。

尾羽を広げるのは低速飛行時の揚力追加と飛行の安定性のためだろう。つまり、翼を全開すると揚力の作用点が前方に移動するので尾羽に揚力を発生させてバランスをとる。着地直前に翼の迎え角を大きくして体を立て、尾羽も下げ、脚も降ろしてブレーキをかける。着地時には、首を曲げて体を立て、翼と尾羽をブレーキとして作用させる。海鳥などは、風が吹いている場合は風下に向かってアプローチして、着地直前で揚力を確保するため風上方向に体を反転する。

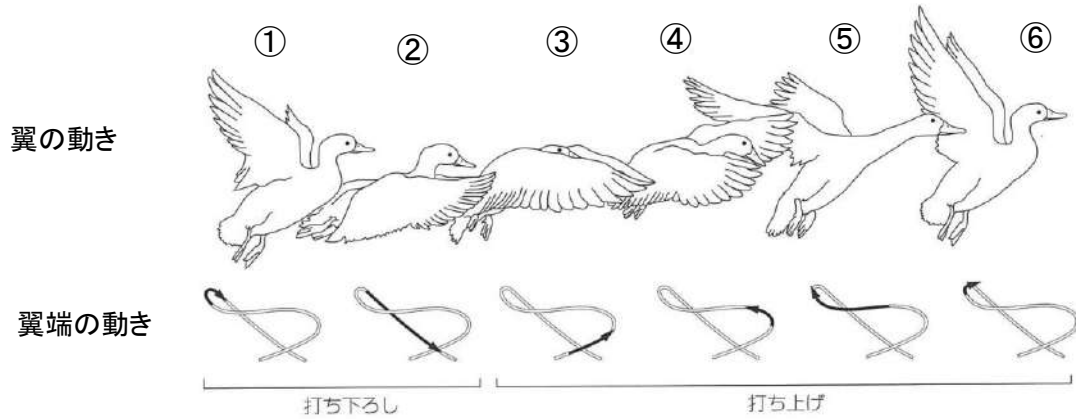
旋回は鳥の特技だと思うが、私にはメカニズムがよくわからない点もある。トビの旋回を見て気づくことは、左旋回の場合（1）尾羽の右側を上げて右方向への空気力を得る（2）右翼を上げて左翼を下げて左方向への空気力を得る（3）外翼を振じて迎え角を左右で変えることにより、右翼の推力を左翼より大きくするような点だ。2項は翼に働く空気力の向きを左上方向に傾けるので左方向に移動する要因になる。3項は左旋回のモーメントを作用させる。1項は、翼の後流を利用するもので、上げた右側の尾羽の下面に速度の速い翼後流こうりゅうが流れ込み当該部の圧力が下がることにより、尾羽が右方向に押され左旋回のモーメントが作用すると推定する。飛行機の旋回は、主翼後部の補助翼、垂直尾翼の方向舵ほうこうだ、水平尾翼の昇降舵しょうこうだを使って「ぎこちなく」行うが、鳥は翼と尾羽を自在に動かして気づかぬうちに旋回している。

鳥は翼と尾羽を自在に動かし見事な飛行を見せる。飛行の大先輩の身に付いたスゴワザ、教えてもらうことは山ほどある。

6. 羽ばたきと翼の動き

出典: 鳥類学 Gill, F.B

図 5-10 カモ類の羽ばたき、太い矢印が羽ばたきの際の翼端の動きを追っている[Burton 1990]



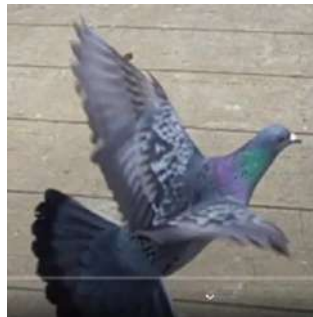
ハトの着地時の羽ばたき写真

写真出典: <https://www.youtube.com/watch?v=0SB8k9uXcBU>、ODDEYE109 #960fps #野鳥 #羽ばたき
 写真の上の番号は上図「翼の動き」の番号に対応

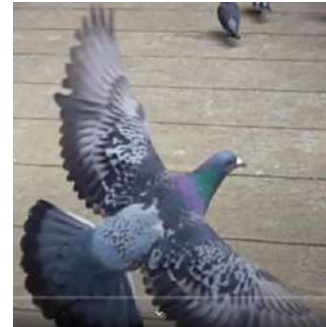
①打ち下ろし



①打ち下ろし



①打ち下ろし



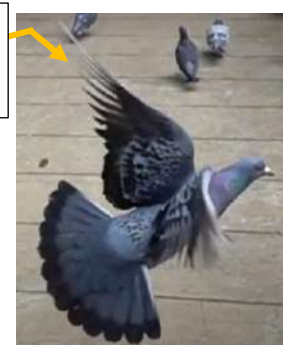
②打ち下ろし



⑤打ち上げ



⑤打ち上げ



⑥打ち上げ



①～②は打ち下ろしで、羽間の隙間は閉じている。翼は前下方向に打ち下ろすので、空気は翼に対して後ろ上方へ流れる⇒翼には翼面に直角に前上方に力が働く

⑤～⑥は打ち上げで、羽間に大きな隙間ができる。翼はほぼ後ろに打ち上げるが、空気は羽の隙間をほぼ素通りするので翼に働く力は小さい

翼に働く力の方向は、翼の振り角と打ち下ろしの方向で決まる

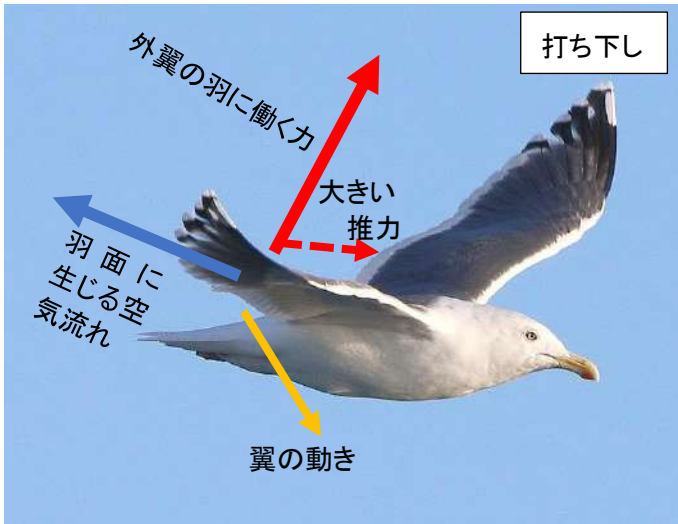
7. 滑空時の羽ばたきの打ち下ろし・打ち上げ

外翼(初列風切羽)の形と空気の流れと羽に働く力

出典:鳥の写真 [http:// spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html](http://spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html) YUの探鳥日記

羽の写真 SKG羽のバックヤード、野鳥の羽専門 Web サイト

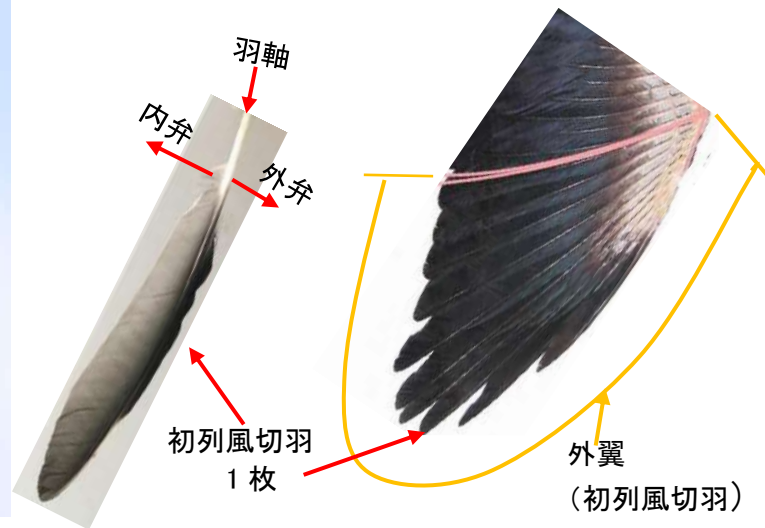
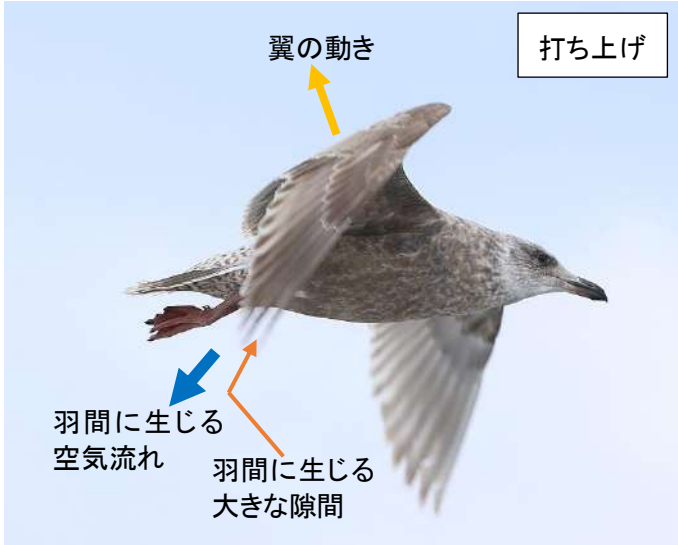
<https://skgfeather.com/1ststep-2/>



打ち下ろし時:羽間の隙間は閉じ空気が後ろ上方へ流れる⇒翼には前上方に大きい力が働く

打ち上げ時:羽間に大きな隙間ができ、空気は羽の隙間をほぼ素通りするので翼に働く力は小さい

羽間の隙間の開閉について:打ち上げ時には羽軸を中心として内弁が吹き下げられて、隣の羽との間に大きな隙間が生じ、隙間を空気が流れる。打ち下ろし時には羽間の隙間は閉じ、羽面に沿って空気が流れる。



滑空時と離陸時の羽ばたきの違い

滑空時や着地時などの状況に合わせて、翼の振り角度と打ち下ろしの方向を調整することにより、揚力と推力の割合を自在にコントロールしている。翼に対する空気の流れは、滑空時は飛行による風の流速と打ち下ろしの速度を足し合わせたものになるが、離陸時は打ち下ろしの速度のみである。また、進む方向は滑空時には前方向だが離陸時には前上方向であり、離陸時の方が大きな揚力を必要とする。この結果、離陸時は滑空時に比べて前後方向に大きく羽ばたくことになるし、迎え角が大きくなるよう翼を振る。

8. 離着陸

(1) 離陸

出典：鳥の写真 [http:// spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html](http://spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html) YU の探鳥日記

コバクチョウ



チュウシャクシギ



カルガモ



翼を最大に広げ、フルパワーで羽ばたく
尾羽も広げ追加揚力を得る
重い鳥は助走や落下による加速が必要

(2) 着地(水)

(a) コバクチョウの着地 出典：<https://www.youtube.com/watch?v=BW1wt3nTaq4>

高嶋清明【Slow Motion】コバクチョウ 田んぼに着地【Chronos 2.1 Highspeed】

減速中



着地直前



着地



減速時は翼を振って迎え角をプラスにし、推力は出さず、揚力を確保しながら減速する。尾羽を広げるのは低速飛行時の追加揚力と飛行の安定性のためだろう。

着地直前に翼の迎え角を大きくして体を立て、尾羽も下げ、脚も降ろしてブレーキをかける。

着地時には、首を曲げて体を立て、翼と尾羽をブレーキとして作用させる。

(b) その他の鳥の着地例

出典：[http:// spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html](http://spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html) YU の探鳥日記

翼を振って翼の迎え角を大きくして体を立て、尾羽を広げ、脚も降ろしてブレーキをかける。

ウミネコ



チュウシャクシギ



アジサシ



ミュビシギ



ユリカモメ



9. 旋回

(1) トビの旋回事例

出典：[http:// spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html](http://spilonotus.blog92.fc2.com/blog-date-202107.html) YUの探鳥日記
 左旋回の写真：トビの顔が左を向いているので分かりやすい。

1. 尾羽の右側を上げる
2. 右翼を上げて左翼を下げる
3. 外翼を振じて、右翼の迎え角を左翼よりマイナス側にするにより、右翼の推力を左翼より大きくする

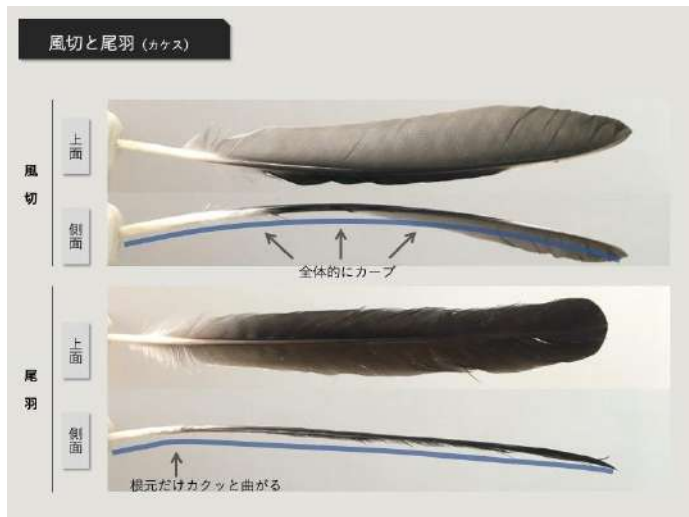


2項は翼に働く空気力の向きを左上方向に傾けるので左方向に移動する要因になる。3項は左旋回のモーメントを作用させる。1項は翼の後流を利用するもので、上げた右側の尾羽の下面に速度の速い翼後流が流れ込み当該部の圧力が下がることにより、尾羽が右方向に押され左旋回のモーメントが作用すると推定する。

(2) 尾羽の構造

出典：SKG 羽のバックヤード、野鳥の羽専門 Web サイト

s://skgfeather.com/1ststep-2/



風切は全体的にカーブしているのに対し、尾羽は根元付近がカクッと曲がっている以外は真っ直ぐ
 尾羽は 12 本の羽から構成され尾骨に結合している。全開すると、ほぼ三角形の形状になる
 尾部の筋肉と腱により開閉と上げ下げの動きができる



滑空時は翼を全開せず尾羽を閉じている



低速時は翼を全開し尾羽も全開

低速時には翼の揚力が減るので翼を全開し迎え角もプラスにして揚力を確保する
 尾羽も全開して揚力を追加する
 翼を全開すると揚力の作用点が前方に移動するので尾羽の揚力によりバランスをとる