

空を飛ぶ生き物

東京大学名誉教授

工学博士 東 昭

はじめに、生き物と言いましても小さいものから大きいものまで非常に大きな差がありますので、まず、大きさが違うと何が違うのかということ話を話して、それからそれぞれの生物についてスライドを使いながら話を進めてまいります。

いちばん小さなものと言いますとバクテリアのようなものですが、これがミクロのオーダーでして1ミリの1/1000の大きさ、現存する一番大きな生物としては鯨だそうですが、白長須鯨が約30メートル、バクテリアとはメートルでいうと10の7乗くらいの範囲で違いがあります。この違いが何に効いてくるかというと、空気の性質が=物理的な粘性や密度は変わらないのですが、粘性力と慣性力の比が変わって=感覚的には、われわれから見ると一見違った形になります。どう変わるかというと、空気や水はわれわれの動きに摩擦、粘性という影響を与えるわけですが、その影響の与え方が、小さなものにとっては空気や水が大きな粘っこさとなって効いてきます。これに対して慣性力、=重力と言ってもいいのですが、そういうものは小さなものにとっては非常に小さくなってしまいます。

したがって、バクテリアが水の中で泳ぐと、われわれにとっては普通の水であっても、バクテリアにとっては、われわれが蜂蜜の中に飛び

込んだのと同じようなことになってほとんど動きがとれません。一方、大きなもの、例えば鯨が水に飛び込んだとすると、水の粘性は非常に薄く、数十メートルも進んでしまいます。実際にアメリカでイルカをプールで泳がせて実験をしているのですが、同じ速度で出発して、何もしないでいても50メートルのプールの端まで行ってしまうのです。人間ではどんなに勢いをつけて飛び込んでも20メートルも行かないで止まってしまう。つまり粘性が効いて止まってしまうのです。

もっと大きなもの、生物ではありませんが、長さが200メートルとか300メートルというようなタンカーなんかですと、東京湾の入口でエンジンを止めても止まらずに、そのまま湾の奥まで突っ込んで行くことになります。このように、大きくなると慣性力がものを言って、粘性力、つまり、それを止めてしまうような抗力に関してはほとんど効きません。小さなものと大きなものは、それぞれこのような違った空気や水の中で生きているということでもあります。

今日は泳ぐ方ではなく空を飛ぶものの話ですから、対象は空気になりますが、その空気の中でどうやって飛ぶかということは、その大きさによってかなり変わってきます。というのが基本になります。それでは、スライドを使いながら話を進めることにします。

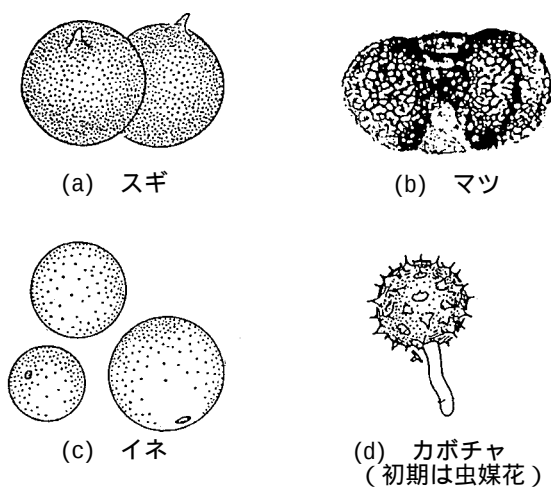


図1 風媒花の花粉

抗力利用の飛行

最初は花粉です。まず、杉の花粉，アレルギーで悩まされる人も多いので名前はよくご存知でしょう。それから稲と松，それにかぼちゃです。これらはいずれも直径が20～30ミクロンで非常に小さいものですが，丸いだけで何も飛行用具を持っていません。飛行用具は持っていないんですが，あまりにも小さいものだから，空中に落としても，ほとんど落ちて行きません。地球が引力で引っ張っても，重力が空気力の抗力に比べて小さいものだからほとんど効かないのです。それに対して空気の粘性による効果が非常に大きいものだから，空気に対して少し動いても抗力ですぐに止まってしまう。こういうものは飛行用具が無くても空気の分子と同じで，空気と同じように動きます。したがって，なかなか地面には落ちずにずいぶん遠くまで飛んで行きます。成層圏にまで達しているものもあるようです。大きな火山の噴火がありますと，火山灰が1年以上も高い空を浮遊していることがあるのも同じような理由からです。

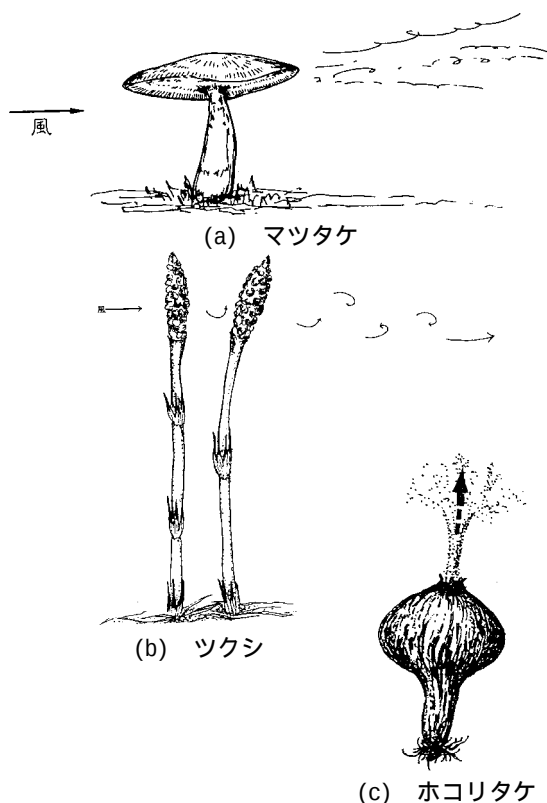


図2 胞子の発進

胞子も同様に20～30ミクロンの大きさで，仲間を増やすために飛行するのですが，発射台のようなものがあって，粉のように空中に吹き出されて飛んで行きます。これも飛行用具は持たないで飛んで行きます。

種子になりますと，はじき飛ばすという方法をとります。種子には地上に落ちてから芽を出して育てる養分を蓄えていますので，ミクロンではなくミリのオーダーの大きさになり重力が効いてきます。そのために，このさやが乾燥して，成長と共に貯えられた弾性エネルギーがバネになって種子をはじき飛ばすという形です。鳳仙花なども同じような方法で仲間を増やしています。

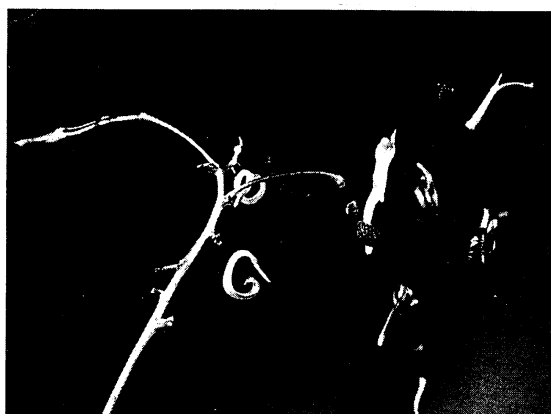
これはおなじみのタンポポとティカズラの種



(a) カラスノエンドウ



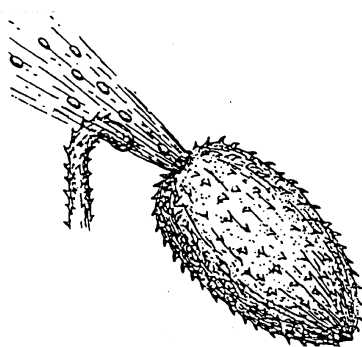
(a) タンポポ



(b) ツリフネソウ



(b) テイカカズラ



(c) テッポウウリ

図3 射出される種子
(写真は栗林 慧氏)

図4 冠毛で飛ぶ種子
(写真は栗林 慧氏)

子ですが、タンポポの場合は、種子の上に5ミリほどの長さの細い軸と直径10ミリほどの傘が付いています。種子の重力で落ちて行くのですが、傘を形成している毛の太さがミクロンのオーダーで細いものですから、この周囲に働く空気は蜜みたいに粘っこいものです。蜜みたいな空気の中を落ちてくるものですから、この傘に働く抵抗と種子の重力が釣り合って決して加

速しません。どのくらいの速度で落下するかというと、だいたい30cm / s くらい、この会場のように人が集まっている所で約30cm / s 程度の上昇気流がありますので、ここで種子を撒いたらなかなか落ちないだろうと思います。その間に遠方まで飛んで行けるというわけです。

遠くまで飛ぶには高さが必要になりますが、タンポポの環境適応力はすばらしいもので、周囲に高い草がある所では茎が長く、短く刈り込んでもあるような所では短くなっています。

また、この傘が冠毛でできているのはなぜかということなのですが、同じ重さの膜で傘を作って落としてみるとまったく安定が悪くなってしまいます。これは、風のある時にこうもり傘を飛ばしてみればよく分かります。つまり、落下速度は同じでも極端に安定が悪くなってしまいますので冠毛になっているんですね。この冠毛が飛行用具ということになるわけです。

今度は「くも」です。くもはいつごろ飛ぶかというと、秋の霜の降りた後、小春日和の暖かい日に飛びます。小春日和ですから風も弱く上昇気流がある、そんな時に草の上とか木の

ちょっと高い所に上って尻から糸を出します。その糸が上昇気流に乗って伸びて行って2～3メートルの長さになると、そこに働く粘っこい空気を作る抗力が糸を上を持ち上げます。この糸にお尻を引っ張られた状態の時に手を離すことで、一斉に空中に飛び出して行くことになります。これを、雪が降る前に飛ぶものですから、古くから「雪迎え」と言っています。英国では「Gossamer」と言いますし、中国にも「遊子」という言葉がありますので、世界中で見られる現象のようです。

揚力を作る翼を利用する飛行

今までの話は飛行用具として翼を使わないものだったのですが、これからは飛行用具として翼を持ったものの話です。

この写真は、「アルソミトラ・マクロカルバ」、「山の芋」、「白樺」、及び「のうぜんかずら」です。ここ中央前寄りに種子があって、この周りのこれが翼です。こういう翼を持った種子は、先程のタンポポのように垂直に落ちるのではなく、滑空します。ちゃんと滑空するように、重心が翼の中央で前の方にあって釣り合って滑空するのですが、滑空比はあまり良くありません。「アルソミトラ・マクロカルバ」は面積の割に翼幅が、したがってアスペクト比（翼幅² / 翼面積）が大きいので4近くになりますが、他は精々1 : 1 か2 : 1 くらいですから滑空角は、45°から30°くらいです。

「アルソミトラ・マクロカルバ」は日本には無い木のようなです。私がインドネシアでいたでいてきた種子ですが、非常に良く飛びます。ご覧のように、これは言わば無尾翼機で、無尾翼機が安定して飛ぶためにはいくつかの条件が必

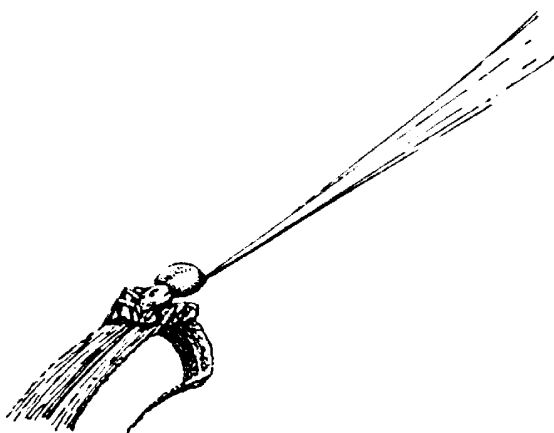


図5 クモの飛び立ち

要なのですが、それをうまく満たしています。

まず重心が翼の真ん中にある、しかも前寄りにあります。これは非常に大切なことで、こういう物が降りて行く時には、空気力は少し前の方、 $1/4$ くらいの所に上向きに働きますので、そこに重心が無いとくるくる回ってしまって安定して飛びません。これはちょうどその位置に重心があります。次に後退角があります。後退角は無くても飛ぶんですが、より安定が良くなります。

さらに翼型を良く見てみると、後縁が上に上がっています。普通の飛行機の翼型のように上にふくらんだものでは不安定で、尾翼で安定をとる必要があります。しかし、この種子の翼は、後ろで反り上がっている（リフレクションがある）ことで安定が得られます。

また横に滑った時の安定のためには、B-747の翼のように撓みを持っています。それによって滑った側の翼が上がり滑りを止めるような仕組みになっていて、垂直尾翼が無くても今ご覧になったように安定した滑空ができるようになっているのです。

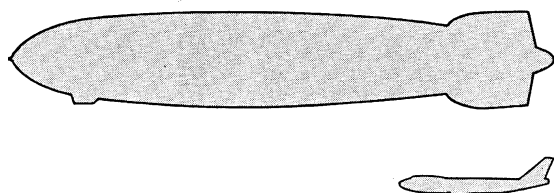
この種子はひとつの実に400枚ほどが入っているのですが、風洞の中に吊して観察して見ましたら、次第に実の下の方が割れてこの種子が見えてきました。風を吹かせてやるとカルマン渦で全体がゆらゆら揺れるのですが一度にドサッと落ちることはなく、必ず一枚ずつ飛び出します。この種子の中心にパルサの細い棒を付けて、重心位置を前後に変えて飛ばしてみました。そして、どの位置で揚抗比が最大になるかを調べてみますと、結局、天然のこの位置が最大ということが分かりました。10枚以上調べてみたのですが、そのどれもが一番良い重心位置を持っていました。自然に最も良い重心位置を

持っているわけで、これは凄いことだなと思います。

滑空比は4:1くらいですが、降下率がタンポポと同じ30cm/sくらいで、30辺の高さから降りてくると無風でも120辺ほど飛ぶ計算です。実際には無風の時は飛び出さないようにしっかりとくっついていきますから風があつて飛び出すと、地面に着くまでに100秒かかります。そこで、たとえば10辺/sの風が吹いていると1kmほど飛んで行くことになります。

もうひとつの飛ぶ手段として浮力を使う方法がありますが、空を飛ぶ生物で浮力を使うものはありません。それに対して、我々は翼を使う事を鳥から学びました。これはB-747とツェッペリン飛行船です。浮力で浮かそうとするとこれだけ大きくしなければならないのです。ツェッペリンの長さは百数十メートル、重さが230トンで乗員、乗客がそれぞれ60人というものです。一方B-747は約400トンで、乗員十数人と乗客が400人、つまり、翼を使うとこんなに小さくて済むわけです。しかも速度はツェッペリンが約130km/hr、B-747が900km/hrですから、飛行用具として翼を使うと、浮力を使う場合に比較してこんなに大きな利があるということです。

B-747ですと揚抗比が17:1、4捨5入して20:1、とすると400トンのものを浮かすのに推進力が400トンの $1/20$ 、20トンで良いわけですから、一つのエンジンが5トンあれば飛べることになります。実際のジェット機は重量の $1/4$ とか機種によっては $1/3$ くらいの推進力を出すエンジンを装備しているのですが、これは滑走路の長さの問題とか経済高度への上昇時間の短縮とかいう配慮があるわけで、高度一万メートルを巡航するには $1/20$ の推進力があれば十



	ツェッペリン飛行船	ボーイング B 747
長 さ	245メートル	70.5メートル
質 量	230トン	300トン
客 席	70席	400席前後
速 度	130キロメートル/時	900キロメートル/時

図7 飛行船と飛行機の大きさの比較

分飛べるということです。つまり、翼は、空を飛ぶためには非常に効率の良い、有難いものなのです。生物もよく見ると翼が非常に多用されています。

回転翼の利用

図8の(a)は「かえで」の種子なのですが、翼の中でも回転翼を使ったものです。この種子の重心は、翼の中心でなく端の方にずれています。重心が端の方にありますと、落ち始めると直ぐに回転を始めます。回転をすることによって円板面積の空気が影響を受けることになります。落下速度は、この種子で1辺/sくらいでタンポポの3倍ほど速いのですが、「かえで」の木は高くなりますし、かなり強い風が吹かないと落ちませんので、強風時にのみ親木から離れて相当遠くまで飛んで行きます。普通の滑空する種子の翼と比較すると重さの割にずっと小さくなっています。

この「かえで」の翼の表面を詳細に見てみると、葉脈が走っていてギザギザになっています。この表面にヤスリをかけてツルツルにして落としてみたら、ほとんど回転しません。本来の形ですと800rpmくらいまわるのですが、重心

位置を変えてみても精々200rpmくらいしか回りません。表面のギザギザが重要な役目をしているんです。

つまり、この程度の大きさ（センチメートルの大きさ）で飛ばすようなものは流線形では駄目であって、流線形でない方が良く飛ぶということなんです。

そういう目で昆虫の羽をみますと、「とんぼ」でも「はえ」でも決してツルツルしていません。要するに周りの空気が非常に粘っこいような状態では、流線形にしたのでは揚抗比はかえって悪くなるということがはっきり分かります。

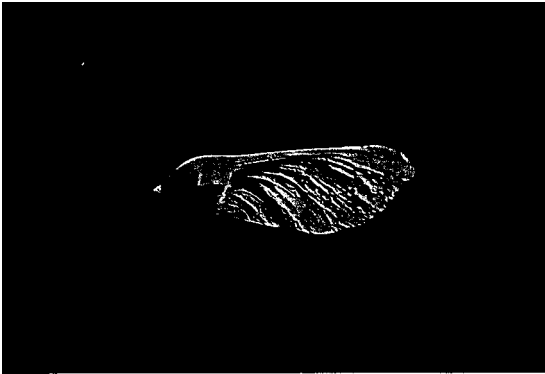
「百合の木」の種子は、全体の重心は翼の片側に寄っているので降下と同時に自動回転に入りますが、翼が前後に対称で、翼幅に沿う断面の重心は翼弦の中心を走っているのです。前寄りに働く揚力で翼は対称軸の周りにも回転します。その結果（マグナス力の）揚力が生じ、降下速度をやはり1辺/sほどに抑えます。

梧桐の種子は中華料理のスプーンのような形をしていて、ここに種があるのですが、このへんの翼断面は下に凸です。揚力を出すこのあたりでようやく上に凸のキャンバーになって安定を保つようになっています。

次は「つくばね」で、これは4枚の翅を持っています。個々の翅が細長く非常に回転が速く、1,200rpmくらいになります。翅の占める面積と回転板面の面積の比（ソリディティ）をとりますと非常に小さい、つまり効率が良く、回転数が高いのが特徴です。

鳥の翼

これからは固定翼と言いましょうか、鳥の話



(a) カジカエデ



(c) アオギリ



(b) ユリノキ



(d) ツクバネ

図8 回転翼でオートロテーション降下する翅果（撮影 安田 邦男氏）

です。最初に紹介するのは猛禽類の「イヌワシ」です。陸の猛禽類の特徴は、「たか」とか「とび」，「わし」などもそうですが，ほどほどのアスペクト比がある矩形の翼で，翼端隙間がある翼になっています。これは，陸上では乱れた風が多いので，突風を受けた時に失速しない工夫と言えます。それから尾翼が非常に大きい。これも乱気流の中で安定良く飛ぶためのものです。また，後で紹介する海の鳥と比べてスパンが短いのですが，これは障害物の多い森の中を飛び回するのに具合が良いということでしょう。

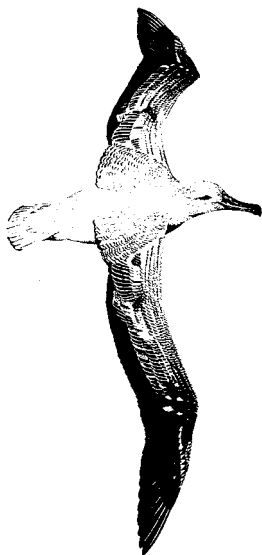
それに対して海の大型の鳥，これは「あほうどり」ですが，翼を広げると3メートル以上に

もなります。ところが翼弦方向の長さは小さいので，アスペクト比は非常に大きなものになります。滑空比を計算してみますと，胴体が小さいこと，ほとんど尾翼が無いことなどで，だいたい40くらい，現在の高性能滑空機が40～50程度ですからそれに近い滑空比で飛んでいることになります。翼の平面形を見ますと，翼の中程まではほぼ同じ幅ですが，そこから先細になって隙間のないまま先が尖っています。

翼があまり長くなると曲げモーメントで肩が辛くなりますので，肩のモーメントを一定にしておいて揚抗比を最大にするには，平面形はどんな形になるかということを用意数学を駆使して解いてみると，この形が出てきます。「あほ



(a) イヌワシ



(b) アホウドリ

図9 大型の滑空する鳥

うどり」と言われますが、われわれがコンピュータを使って計算したものを生まれながらにして持っているんです。

これはMITが製作したダイダラスという人力飛行機です。この機体はスパンが34メートルほどあります。人間が人力で飛ぼうとすると、人間のパワーは瞬間的には3馬力くらい出のですが、20分以上飛ぼうとすると0.3馬力、1時間も飛ぼうとすると0.25馬力くらいでしか維持できません。MITのメンバーは、この機体を0.25～0.3馬力くらいで飛べるように設計しています。

「あほうどり」はカルシウム骨格構造ですが、現代の人間はカーボン・ファイバーとかグラス・ファイバーという素材を手に入れていますので、非常に軽く作ることができるようになりました。この機体はアスペクト比を38にもして、質量は約30kgです。東大の学生が作った人力機の質量が50kgでしたから、40%も軽い素晴らしい機体です。

ダイダラスという名前はギリシャ神話から採ったもので、ダイダラスとイカロスの親子が鳥の羽を蠟で固めて体に付け、幽閉されていたクレタ島からギリシャ本土に向けて飛んだという話に由来します。空を飛ぶことに浮かれた子供のイカロスは、太陽に近付き過ぎて蠟が溶けて墜落してしまったとして有名ですが、親のダイダラスは無事にギリシャ本土まで逃げることに成功したということになっています。

この神話に因んで現代のダイダラスも同じルートを飛ぶことにしたのですが、クレタ島からギリシャ本土へは北東に約100km離れています。実際に飛行しようとした時には西風が強くなり、何日が待ったのですが風が治まらないので、北東のほぼ同じ距離にあるサントリニ島に向けて飛びました。パイロットはギリシャ人の競輪選手で、ギリシャ海軍が全面的に協力したそうです。

119kmを4時間かけて飛んだのですが、島陰に

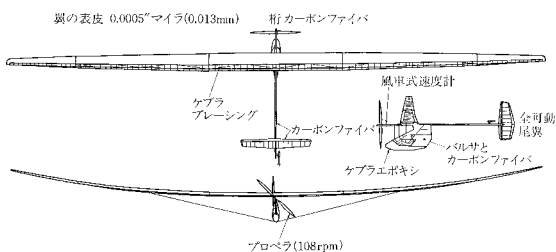


図10 人力機ダイダラス

入った時に突風に煽られて翼が折れ、落ちてしまいました。極く低速、低高度だったのでパイロットには異常がなく、これが現在の世界記録になっています。日本の鳥人間コンテストで飛んでいるのは精々30分、距離にして数キロというところです。しかし、いずれ琵琶湖を横断する機体が出てくるでしょうから、その時は直線飛行を止めて三角コースにしようという話が出ています。

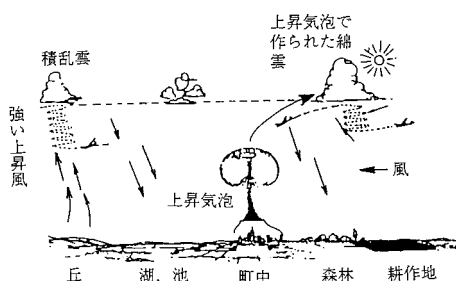
滑空機は、普通は熱上昇風（サーマル）を利用して上昇して行きますが、「とんび」なんかも同じようにこの中を旋回しながら上昇します。

次に、山岳波を利用する飛び方があります。最近のグライダーは、サーマルを利用するよりも山岳波を使った方が記録が出易いということで、一時期のオーストラリアよりもニュージーランドや日本国内で山岳波を利用して飛ぶことが流行っているようです。ただし、下手をすると乱気流に巻き込まれてメチャクチャにされる覚悟も必要なのだそうです。

もうひとつ、「あほうどり」や「おおみずなぎどり」がよくやる飛び方で、ダイナミック・ソアリングという滑空法があります。残念ながら人間ではまだ誰もやったことがないでしょう。海上を吹く風は、海面すれすれの所では海面との接触による摩擦のために速度が遅くなり、10辺とか20辺の高度になると速度が速くなります。こういう風の中で風上に向かって上昇し、上でゆっくり旋回してから風下に向かって高速で降下し、海面すれすれで急旋回して風上に上昇して行きます。これを繰り返すのですが、1回行ってくると、抗力で失うエネルギーを風から取り戻すことができるので、滑空飛行が続けられるのです。

つまりシア・フローと言いますが、風に速度差がある時にその中でうまく飛行するとエネルギーを貰うことができるのです。「おおみずなぎどり」という名前は、この海面すれすれで急旋回する時に、翼が水を薙ぐように見えることからきたものだろうと思います。このダイナミック・ソアリングは、伊豆の離島航路の船に乗ると見るすることができます。これをグライダーでやってみようと思うのですが、この急旋回が厳しいので、実機ではなかなか難しいようです。模型を使ってなんとかできないかと考えています。

これは「たか」の仲間の着陸の写真ですが、餌を狙った着地寸前の翼の使い方が良く表現されています。



(a) 平地の上昇・下降風



(b) ダイナミック・ソアリング

図11 風を利用した滑空法

まず翼全体がV字型に上がっています。これは今の飛行機では不可能なことです、V字にしてどんな利点があるかというと、翼幅が小さくなりますので、アスペクト比が小さくなります。従って大きな迎え角で揚力を増すことができます。同時に抗力も増すのですが、それによって速度を落とすことができます。

この雨覆羽を見ると毛羽立っていて、ここでは流れが剥離しているのですが、この剥離を押さえるために親指に相当する所に小さな羽があってボルテックス・ジェネレーターの役をしています。また、この大きな尾翼なのですが、これも揚力を上向きに出しています。普通の飛行機では、着陸する時は尾翼の揚力はネガティブにしないと主翼の迎え角を大きくできないのですが、鳥の場合には翼を少し前に出して、主翼、尾翼の両方で揚力を稼ぐという上手い方法をとっています。

次は「コンドル」ですが、翼端の初列風切羽の一枚一枚が上に反っています。上に反っていると何かあるようだと、20年以上前ですが、NASAが風洞実験をしてみたら肩の曲げモーメントを一定値以下に抑えたままで揚抗比が増すこ

とが分かったので、それを基に作られたのがウイングレットです。

鳥以外の滑空動物

今度は空を飛ぶ海と陸の生物を紹介しましょう。

まず「とびうお」の飛行で、翼は胸びれです。どうして飛ぶのかというと、「しいら」とか「かんぱち」とかというような「とびうお」を好物にしている天敵に追われた時に空中に飛び出すようです。水中にいた「とびうお」にとっては、空中に飛び出しますと密度が1/800になりますので、ほとんど抵抗が無いような状態になります。ただし加速しなければなりませんので、空中に体を出してから尾びれの下部分は水中につけて、それを扇いで推進力を作って空中に飛び出すことになります。飛び出す速度は10辺/sから15辺/sくらいで、その後胸びれを一杯に広げ、腹びれを水平尾翼に、そして尾びれを垂直尾翼にして飛行します。

この翼と重心位置の関係などは実に合理的です。もうひとつ合理的だなと思うのは翼の形で、この付け根にかかる曲げモーメントを楽にするために、全体としては楕円翼ですが翼端を尖らせています。さらに驚くのは、我々が学生時代にグライダーで教わったのは、あるところまで高度をとって、 $(L/D)_{max}$ の定常滑空速度で降りてきなさい、ということでしたが、「とびうお」は空中に出ると直ぐに水平飛行をしています。そこで私は、これは何かあるぞと思って、10年ほど前にていねいに計算してみました。水平に飛んだ時と、エネルギーを全部使って高度をとってから斜めに降りてきた時と



図12 餌を狙ったタカの接地直前の飛行

どれだけ違うか、結果は変わりませんでした。

飛びながら下に「しら」などが見えれば旋回もしますし、エネルギーが無くなって失速しそうになると尾びれの一部だけ水につけて再び加速するというようなこともするようです。ただ飛行の効率からすれば地面効果のあるところを飛べば良いと思うのですが、実際にはその少し上を飛んでいます。これはあまり水面すれすれに飛んでいると、天敵が水中からジャンプして襲ってくる危険があるということではないかと思われます。飛行距離は、200辺以上飛ぶと言う人もいますが、海の上のことですから正確な記録はありません。しかし、普通の「とびうお」で15辺/sで飛ぶとして計算しますと100辺は十分飛べる性能を持っています。

次は「いか」です。この「いか」は足が主翼になり、耳といわれる鰭が前翼になります。つまりカナードです。この足、ゲソですよ、ゲソがどうして翼になるのか実はよく分かってはいません。この形を決めた元の写真は、岩合さんという有名な動物写真家がインド洋で撮影したもので、足の間に膜が無いかと2人で調べた

のですが、写真が小さ過ぎて確認できませんでした。その後、沖縄近海にいる「飛びいか」で調べてみようと思って2度ほど出掛けました。膜のあることは見付けましたが、小さなもので、足の間を全部覆うようなものではないのです。それだけで飛行できるようなものではありませんでした。結局この膜と体から石けんの泡のようなネバを出して、その両方で翼を作っているのではないかと考えています。滑空距離は、岩合さんによればだいたい50mくらいとのこと。

予定の時間が来てしまいましたが、司会の方からもう少し、と時間をいただきましたので、最後に森の住人「むささび」の話します。

「むささび」の平面形はほとんど四角形です。アスペクト比は決して良くありません。アスペクト比の良くないこの翼を見て、当初、私は気の毒だな、いずれは進化して翼幅が伸びてくるのじゃないのかな、と思ったのですが、今は考えが変わっています。つまり、彼等にとってこの翼は、森の中で生きて行くのに最適な翼なのです。

彼等の生活を考えてみますと、木に登ってその実や若芽を食べるのですが、その木の全部の実や若芽を食べ尽くすことなく、次々と木から木へ移動します。そのためには、一本一本登り降りするよりも木から木へ飛び移る方が省エネルギーなわけです。

空中生活を主とする鳥と違って、隣の木に移るだけのためならそんなに長い翼は必要無いわけで、このていどの翼で十分です。

長距離を飛ぶためにはアスペクト比の大きい翼が良いのですが、アスペクト比の小さい翼の方が低速飛行ができます。前に話した「たか」

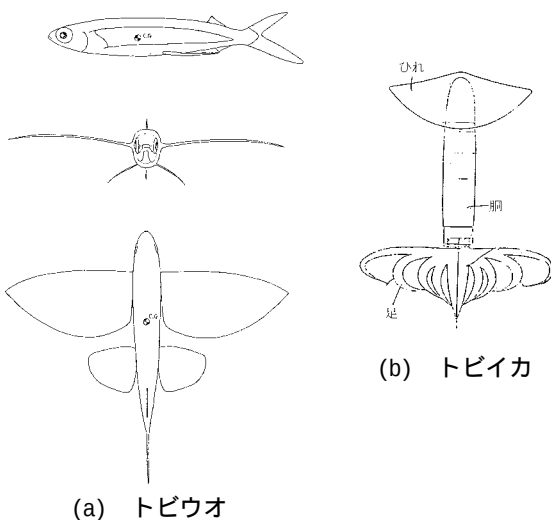


図14 トビウオとトビイカ

が着陸前に翼をV字型にするのも同じようなわけです。この絵は、着地、木に止まる寸前のものですが、凄いフレアーをかけて頭を引き起こしています。アスペクト比の大きい、例えば飛行機でこんなことをしたら当然失速して墜落してしまいますが、彼等はアスペクト比の小さな翼を持っていますから失速しません。剥離はありますが失速しないで、幹に体を平行にして止まれるわけです。非常に便利な賢い翼なんです。

空を飛ぶ生物はまだまだたくさんいます。今日お話ししたのはその一部に過ぎませんが、それぞれが、その環境や生き方に合った実にユニークな、合理的な飛び方をしています。機会があれば、またそれらの話しもさせていただきたいと思いますが、時間が参りましたので今日はこのへんで終わらせていただきます。

この講演録は去る5月22日の第32回通常総会終了後、記念講演として行われたものを東先生の了解を得てまとめたものです。（編集委員会）