# 身近な・Science



# 若田さんの宇宙実験

# ―折り紙飛行機はどう飛ぶか-



工学博士 西尾 宣明 元・東京ガス㈱ 基礎技術研究所

## 無重力でも揚力が?

**与太郎** 大家さん。若田光一さんの宇宙実験の続編を 見ましたけど、あれも面白かったですね。

**大 家** そうですね。面白い実験が沢山ありました ね。与太郎さんはどれが面白かったですか?

**与太郎** みんな面白かったけど、紙飛行機、あれは無重力でもよく飛ぶんですね。少し上のほうに浮かんで行くんですね。

大 家 無重力だから下に落ちることはないけれど も、大体真っ直ぐ飛んで行くかと思ったら、いつも少 しだけ上昇するようなので、どんなことが原因なのか 不思議に思いましたね。

**与太郎** 無重力の分だけ上昇するんじゃないですか? **大 家** 確かに,無重力だから揚力が100%効いてきますね。ただ,私に分からないのはその揚力がどんな理屈で生じるのかということなんです。そこで一つの実験をしてみましたよ。こんな実験は誰もしたことがないでしょうね。

与太郎 そんな難しい実験なんですか?

**大 家** いやいや,難しくも何ともないです。ただ, 実験には脚立が必要ですがね。

**与太郎** 脚立って何に使うんですか?

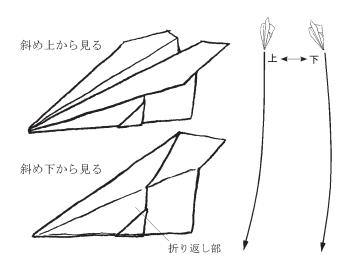
**大 家** 高いところから飛行機を落とすだけですよ。 頭 (機首のこと) を下にして真っ逆さまにね。

**与太郎** それで何が分かるんですか?

**大 家** 言葉で説明するよりも、見てもらうのが早いですね。

ここに,こないだ実験に使った,若田さんが飛ばし たのと同じ一番簡単な折り紙飛行機があります。

ちょっと飛ばしてみますね。(水平方向に軽く押し て飛ばす)



折り紙飛行機その1と逆落とししたときの軌跡

**与太郎** へえー。よく飛びますね。わたしにもやらしてください。

いやあ。なめらかに、きれいに飛びますね。面白いや。 **大 家** こんどは脚立の上から落としますからよく見 ていて下さいね。

こうやって飛行機を下に向ければ,重力は頭の方向 に作用していて,翼の面に直角の方向には働いていま せん。それは分かりますね。

**与太郎** そうか。揚力と言う点から見れば無重力っていうわけですね。

**大 家** なかなか察しがいいですね。それがこの実験 の狙いです。

(翼面を垂直にした状態で) はいっ。落としますよ。 **与太郎** あっ。上のほうに曲がりますね。

(ここで「上」とは翼の背面,つまり水平方向に飛ばせたときに上を向く面のことを言っています。)

**大 家** そうですね。今度は少し傾けて,頭が「下」 を向いた状態から落としますよ。ほら,飛行機の背中 が床面を見ているように・・・・。

**与太郎** ほう。今度も上に曲がりますね。結局,重力 は関係ないっていうことか。

**大 家** そうなんです。この実験から分かることは、 揚力が重力の有無とは無関係だということです。

**与太郎** そうか。それじゃあ、揚力は何から生まれるんですか?

# 新発見? 一揚力が生じる条件

大家 インターネットで調べると、結構沢山の人が 折り紙飛行機で遊んだり研究したりしているんです ね。でも、揚力がどうして生まれるとか、揚力の中心 がどの辺にできるとか、そういう力学的なことを掘り 下げている人はほとんどいないようですね。

**与太郎** そういう基礎的な実験っていうのは結構難しいんでしょう?

大家 きちんとした模型実験をしたりコンピューターで計算したりするには、大変な設備や専門知識が必要ですからね。たかが折り紙飛行機。結局、流体力学の初歩の知識をうまく使って頭の中で考えるのが関の山なんでしょうね。

**与太郎** そういうのはガリレオ爺さん得意なんじゃないですか?

大 家 問題によりけりですよ。

ところで,理屈のほうはさて置いて,これも実験で 確かめてみましたよ。

**与太郎** そんなうまい実験の仕方があるんですか?

大 家 ほら、このように折り方を逆にした飛行機を 作ってみたんですよ。

さっき飛ばしたほうはこのように翼の上側が真っ平 らになっているでしょう?で、こっちのほうは逆に翼 の下側の面が平らで、上側は折り返した部分が重なっ て、段差のようなものができているでしょう?与太郎 さん。両方をさっきみたいに飛ばしてご覧。

与太郎 いいですよ。

さっきのはやっぱりよく飛びますね。

あれっ!!今度の逆に折ったのは地面に向かって急降下ですよ。まるで揚力が下向きにかかってるようですよ。あれあれ、先っちょがつぶれちゃって。

大 家 そうでしょう?どうやら,折り返して紙が重なっているほうから真っ平らな面のほうに向かう揚力が生じるようですね。つまり,面が平らなほうが圧力が低いということです。

なぜそうなるかは流体力学が専門の先生にでも聞いてみるのがいいと思います。今の私には確信を持って説明することは難しいですね。

**与太郎** でも、揚力のでき方が、紙の折り方と関係があるってことが分かったんだ。

大家 そういうことですね。

その話の続きですが、与太郎さん、今の飛行機を逆 さまにして飛ばしてみませんか。

**与太郎** 逆さまにですか。あれっ、胴体が上に行っ ちゃうから掴むところがないですね。

**大 家** 普通に胴体のところを持って、アンダースローで飛ばすといいですよ。

**与太郎** アンダースローか。なるほど。こうですね。 ほんとだ、逆さまになったままでも一応はちゃんと 飛ぶじゃないですか。面白いなあ。

#### 折り紙飛行機も奥が深い

大 家 しかしね。与太郎さん。この飛行機の実験だけでは折り方と揚力の関係が証明されたと言い切る自信はありませんね。

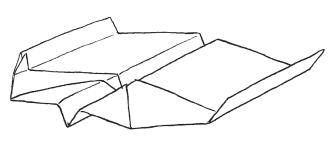
**与太郎** そうかなあ。立派に証明されたんじゃないんですか?

大家 折り方の違う飛行機でもそうなるかを確かめ

る必要があると思いますね。

**与太郎** そりゃあ、それに越したことはないと思いますがね。で、大家さんはもうやってみたんでしょう? **大 家** あるホームページで見つけた、若田さんが実験されたこの飛行機の次くらいに簡単な飛行機を折ってみました。これがそうです。

**与太郎** ああ、だいぶ形が違いますね。翼が広いからよく飛ぶんじゃないですか?



折り紙飛行機その2

大家 与太郎さん、自分で飛ばしてみて下さい。

**与太郎** よーし。あれっ。最初は勢いよく上がって行くけど、すぐに失速っていうんですか?急に真っ逆さまに落ちてしまいますね。

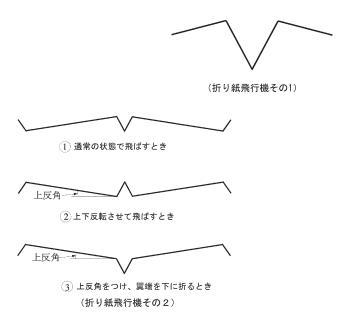
(もう一度飛ばす)あー!落ちる時に裏返しになって、すーっと飛びながら着陸しましたよ。これって、さっきの飛行機と同じことなんじゃないですか?翼の平らな面が上になったほうが揚力が生じやすいっている....

大 家 そうかも知れませんね。じゃあ、今のと折り返し方を上下反対にしたこれを飛ばしてご覧。

**与太郎** はい。あれー?さっきのとあんまり変らないですね。今度も裏返しになったほうが安定しているみたいだ。一って言うと、平らな面が上になっても下になっても、それは関係ないってことですか?

大家 そうかも知れないし、そうでないかも知れない。むしろ、今度の場合は翼の形のほうが問題ではないかと思います。ほら、両方とも逆さにするとカモメが翼を広げたような形になってるでしょう?このほうが翼の下に空気をしっかりと抱え込んで、安定した揚力が生まれるのかも知れませんね。上の面が平らになっているかどうかは二の次の条件になっているのかも知れません。

**与太郎** それだったら、翼の端っこを上に曲げてるの ――逆に下に曲げておいたほうがいいんじゃないですか?



折り紙飛行機が飛ぶときの断面状況

大 家 それはいいアイディアだ!そうしてご覧。ただし、翼と胴体の折り方を浅く直して、上反角をつけないといけませんね。

#### 与太郎 上反角って?

大家 この絵のように、翼の付け根よりも先端のほうを高くするということです。その角度が上反角です。 与太郎 よし!こんなもんですね。じゃあ、飛ばしますよ。

本当だ。大家さんの言う通りだ。両方ともよく飛びますね。でも、上の面が平らなほうが何となくきれいに飛ぶような気がしますね。

## 大家 私もそう思いますね。

そこで、今度の実験で分かったことは、折り返し部分のない平らな面を翼の上の面に持って来たほうが揚力が生じやすい――かもしれないこと。それから、広い翼を持ったものでは上反角をつけたほうが安定してよく飛びやすいということでしょうか?

**与太郎** それじゃあ,最初に飛ばしたのも――その一, 上反角がつくように折り方を浅くするほうがいいん じゃないですか?

大家いい質問ですね。たしかに、そうかも知れません。しかし、この飛行機は胴体の面積が翼の面積とほぼ同じになっています。そして、後ろから見るとカモメの翼のようになっているでしょう?つまり、胴体も翼の役目をしていると考えられます。その胴に上半角がついているから安定性もあるということですね。

No-Dig Today No.70 (2010.1)

もう一つ考えられるのは、一般に翼が胴体の上についている飛行機では、翼の端が下がっていても胴体との干渉のために上反角と同じ効果が出るんですね。

与太郎 そういうことか。

こっちの飛行機のように翼が広いと上反角の効き目が大きいっていうことか。しかも、翼の端の折り方も下のほうがいいんだ。上に折ったほうが、格好はいいけど。

大 家 そうですね。折り紙の飛行機がよく飛ぶため の条件についてはまだ分かっていないものがあるかも 知れません。なかなか奥が深いもののようですね。

**与太郎** 大家さん,ちょっと待ってね。上反角とかカ モメのような形っていうのは重力があるときに役に立 つんじゃないですか?

**大 家** 与太郎さん。凄いところに気がつきました ね。確かにそうですね。

無重力状態で飛ばしたときには上反角は問題外の筈ですね。そうすると、この場合も翼面の上下の滑らかさの違いが揚力の決め手ですかね。この飛行機を使って、もう一度宇宙で実験してもらいたいですね。

**与太郎** 若田さんはもう地球に帰って来ちゃったから、この次の人ですね。

## 無重力で鳥はどう飛ぶか?

**大 家** ところで、与太郎さん。もし無重力の中で鳥が飛んだらどんな風になると思いますか?

**与太郎** ええっ?若田さんの実験室じゃあ狭くって鳥なんか飛べないでしょう?

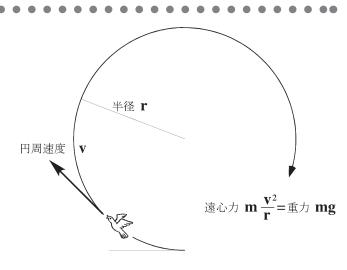
**大 家** もしもうんと大きな実験室があったらの話ですよ。

たとえば雀とか鳩はどんな風に飛ぶと思いますか? **与太郎** さっきの紙飛行機は揚力で上に曲がったです よね。

鳥もおんなじじゃないですか?

大 家 そうですね。地球上で考えると紙飛行機は軽いからごく小さな揚力でもうまく飛ぶんだと思います。しかし、鳥ともなれば、揚力は重さに見合う大きなものになっていると思います。

ところが,無重力ではその大きな揚力だけが働くので, 紙飛行機とは比べ物にならないぐらいぐーんと上に曲 がって, 宙返りしてしまうんじゃないですかねえ。



鳥は宙返りする

**与太郎** ああ、そうなのか。それじゃあ、餌のあるところまで飛んで行こうと思ってもぐるぐる宙返りするだけで、うまく行かないですね。

その宙返りって、どのぐらい大きな輪を描くんですか?

大家 それは飛ぶ速さによっても違うと思います。 遠心力と揚力が釣り合うような輪の大きさになるで しょうね。その遠心力が地球上の重力に置き換わると 考えればいいですかね。遠心力は〔質量〕×〔速さの2 乗〕÷〔輪の半径〕です。それが地球上での重さ〔質量〕 ×〔重力の加速度g〕と同じになると考えれば、半径は 〔速さの2乗〕÷〔重力の加速度g〕になりますね。

**与太郎** gって大体9.8(メートル/毎秒)でしたよね。それで,速さが毎秒<math>10メートルとすれば,10掛ける10割る9.8か。大体10メートルってことですね。速さがその半分だと5掛ける5割る9.8で,約2メートル半か。面白いなあ。

あれ?これって鳥の重さには関係ないんですか?

**大 家** そういうことですね。鳥がどれだけ速く飛ぼうとするかによって決まります。

**与太郎** 結局,鳥は思った方向に飛んで行けないんですね。

大 家 翼は基本的に揚力と推進力を生じるような構造になっていますからね。マイナスの揚力を生じるような翼の動きができるようにならないと駄目ですね。 学習で、そんな動きができるようになるかどうか。

**与太郎** 面白いなあ。もっと大きな宇宙実験室を造って鳥を飛ばしてくれないかなあ。鳥は眼を回しちゃいますよね。