

アルソミトラ マクロカルパの種子の模型制作

萩 原 信 介*

A Seed Model of Glinder Tree, *Alsomitra macrocarpa* ROEM.

(CUCURBITACEAE)

Shinsuke Hagiwara*

は じ め に

植物は同じ生物でありながら動物に比較して動きに乏しく、特に、幼児や児童生徒に取っては興味をそそられない存在である。実際、通常の植物の生活では、植物の運動性や動く形を観察することは、連続写真のコマ送りの世界でしかとらえることはできない。しかしほとんどの植物は種子や果実の時、なんらかの形で親植物から離れて散布されるような形態や形質を備えることが多い。これは固着生活を営む植物が持つ種族維持のための大事な戦略の一つと考えられる。タンポポやガマなどが綿毛を持ち風によって散布されたり、ハウセンカやカタバミが自ら種子を弾き飛ばしたり、センダングサやオナモミのように動物の体毛に付着する構造を作ったり、カキやザクロなど様々な木の実が色付き熟し、鳥類の食餌に適した形態を備えたり、クルミやハマユウが流水に浮かんで生育地を拡大するなど多様な方法を持つ。なかでもマツ、カエデ、アオギリ、ツクバネのように翼を持ち空間を回転しながらゆっくりと落下する種子では植物の動きを実際に目で確かめる事ができ、子供たちにもより親近感が持てる現象である。

このような点に注目し、国立科学博物館で夏休みに開催されたサイエンススクエアに自然教育園は「飛ぶ種のふしぎ」と題して、おもに回転翼を持つ種子の展示といくつかの種子の模型作りを試みた。明治大学工学部伊藤研究室制作の垂直風洞装置で実際の種子の落下や回転の様子を見たり、自由学園の吉良幸世氏考案の折り紙を用いたマツやヒマラヤスギなどの模型づくりなど好評であった。とりわけアルソミトラの種子の模型制作は子供ならず大人も興味を引いたようで模型の作成方法などの問い合わせが開期後も多かった。自然教育園では引き続き飛ぶ種子の展示と毎日曜日に模型作りの解説を行っているが、ここにその詳細を述べたい。

筆者はこの種子やその他の回転翼をもつ種子の模型作成方法の大半を前述の吉良幸世先生から数年前に御教授頂き、東京学芸大学の「野外観察法」の授業のテーマの一つに取り入れさせて頂いていたものがあるが、氏の話ではこの種子の模型の原型は、ペーパーエアクラフトデザイナーで氏の友人でもある吉

* 国立科学博物館附属自然教育園, Institute for Nature Study, National Science Museum

田辰雄氏ではないかということであった。吉田(1989)の回想によれば、氏が中学生時代に読んだ木村(1943)の論文を読み返し、再びこの種子の飛行に魅せられて、種子をまねた無尾翼飛行機を作り、昭和40年代の紙ヒコーキ大会等で、ザノニア(アルソミトラの旧名)ブームをつくったと言う。氏はその後紙飛行機の本(吉田, 1981)を書かれているようだが、すでに絶版になり詳しいことは判らない。現在、ご本人は病床の身でいらっしゃるという。また吉良先生の話では、材料となる発砲スチロールの薄片の作り方は、関西のある電気屋さんの考案ではないかとの話であった。いずれにしても筆者の初考案でないことを明記し、この報告を書くことを快諾して下さいました吉良先生に感謝する次第である。鹿児島大学の堀田満、鈴木英二両先生からはアルソミトラの貴重な種子標本を頂き使わせて頂いた。また植物研究部の中池敏夫、金井弘夫両氏には文献閲覧や様々な御教示を頂いた。直接のきっかけとなったサイエンススクエアにおいては、諸澤館長はじめ、各部の方々、特に展示課の方々には多大の協力を頂いた。また自然教育園では活動の中心となった矢野亮氏をはじめとして実際の作成に携わって下さった多くの方々のご協力にたいし、この報告書を書くにあたって心からの感謝の意を表する次第である。

アルソミトラ マクロカルパとは

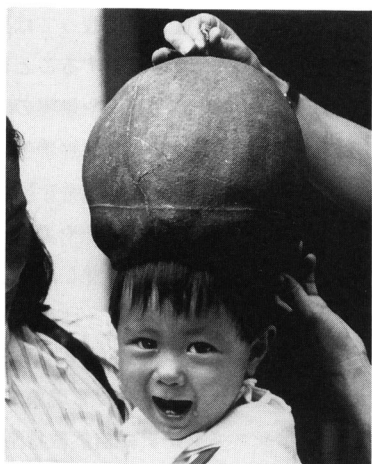


Fig.1 Fruit of *Alsomitra macrocarpa*.
人頭大のアルソミトラ マクロカルパの果実
(吉良幸世氏所蔵) 写真 矢野亮

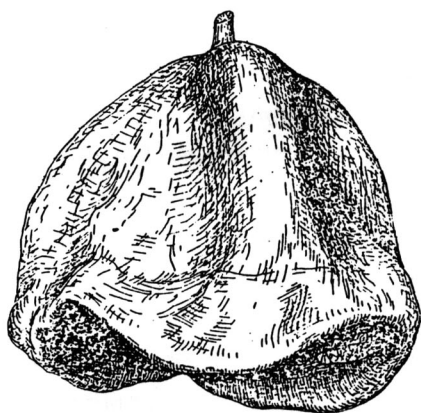


Fig.2 illustration of capsule of *A. macrocarpa*.
(Kanehira 1942). アルソミトラ マクロカルパ
の蒴果 ×1/4 (金平1942, より複写)

アルソミトラ マクロカルパはウリ科、アルソミトラ属の1種で、Index kewensisによると同属には33種が記載されており、中国大陆南部の1種を除いて、他はすべてが東南アジアを産地としている。その中でもマクロカルパはインドネシア、ボルネオ島などに広く分布し、ニューギニアの河岸地域には特に多いとされ(金平 1942), Fig. 1, 2 のような人頭大の果実をつける巨大な木本性ツル植物である。茎は径5 cmぐらい、葉は長さ10 cmほどの楕円状の単葉で鋸歯は無い。吉良(1991)の独国ライデンの標本

スケッチには幼果が描かれているが径1cmの楕円状の球体で、外側に密着したがくの部分に3稜がすでに認められる。成果は径21cm、高さ18cmほどのゆるやかな3稜を持つ大きな半球体状の蒴果である。夏、実が熟す頃には果実の底部が完全に内側にめくれ上がり中からきわめて薄い膜質の翼を持った種子が順次落下して来る。果実は側膜胎座で中には種子が三列に密に積み重なっている。各胎座に100以上の種子ができるという。金平(1942)によればこの実の形からか、ヒョウタンカズラと言う名を用いている。また吉良氏はガンドウカズラ(龕灯葛)と言う名を聞いたことがあると言う。おそらく両和名とも戦前に当地に入った日本人が名付けた名称であったのであろう。学名は *Alsomitra macrocarpa* M.ROEM. 1846. (*Macrozanonia macrocarpa* (BL.) COGN., *Zanonia macrocarpa*, *Gynostemma macrocarpa*) である。Alsomitra の aloso は小樹林, mitra はキリスト教僧侶のかぶる帽子の意であるらしい。また macro は大きいで, carpa は果実の意である。欧米などでは旧名ザノニアの方が一般的であるらしい。

飛行機のモデルとしてのアルソミトラ

翼を持つと言ってもカエデやツクバネなどの種子は、単に風まかせの受動的な落下散布ではあるが、今回取り上げるアルソミトラ マクロカルパの種子は全く異質で能動的とも言える直線の滑空を行う事で古くから有名である。この種子に目をつけたのは草創期にあった飛行機関係の研究者達であった。

木村(1943)によると、1897年に独のアールボーン教授がインドネシアのボイテンブルグ植物園(現在のボゴール植物園)で、この種子を見て感激し、その飛行に関する論文を寄せたのが初めてらしい。当時の第一人者であったリエンタールにも提案したが受け入れられなかったとの逸話も伝えられているという。そしてこの種子そっくりのグライダー制作も行われた。その後、このモデルから1次世界大戦で独空軍の主力として活躍したタウベ(鳩)型飛行機に発展したと言う。

木村先生はこの種子の翼荷重が最も軽い模型飛行機の1/10と極めて軽いことにまず驚嘆され、航空力学的特性を調べていくうちにどこまでも理論に適い、設計の常道を踏んでいるのに感心している。また飛行姿勢の回復力にも驚嘆されている。近年、Azuma & Okuno(1987)はこの種子の航空力学的特性をさらに詳しく調べていることから、アルソミトラに対する航空機関係者の夢がうかがわれる。

アルソミトラ マクロカルパの種子

果実内の種子は、果実の出口に近い下の部分は翼が大きく、形も半円形に近くなる。一方最後に散布される果実の最奥のものは長径が約2/3ぐらいいで、鎌形のちょうどブーメランのようで、後退翼の角度は変わらないが、翼の後部がえぐられたように短くなる。ここでは翼長130mmの平均的な大きさの種子の平面形態をFig. 3に示してある。またFig. 4はその種子の厚さをマイクロメーターで1 μ まで測定し、パソコンで描いた立体図であり、各方形枠の一边は翼部分で5mm、種子部分では2.5mmとなっている。外枠は高さ0 μ の基準を示し、厚さの変化をはっきりさせるために、高さは平面1に対し100倍に拡大してある。

翼の辺縁部は1層の種皮細胞からなり、厚さは1—4ミクロンと極めて薄い。中心部に向かって徐々に厚くなりFig.4の立体図にあるように肥厚部は鎌型に湾曲し、模型の翼の原型となる部分である。風圧を受け曲げモーメントが最大となる付根では特に厚くなり100 μ 前後である。また中心部の厚さ20 μ 以上の翼には波板状の凹凸が種子を囲むようにできている。この構造も中心部の剛性を力学的に補強するの

に一役買っているのかも知れない。さらに翼部分には圧着部より辺縁部まで到達する無数の繊維状組織が密にあり、これも薄膜の強度を助けているようだ (Fig. 3 下部参照)。

立体図から判るように中心の卵形の部分は、ほぼ垂直に高低2段にわかれ、低い外周部は $400\text{--}500\mu$ 、中央部は 1500μ の厚さで顕著な段差がついている。この卵形部分は上下2層に分かれるコルク質細胞からなっている。外周部は薄い翼をこの上下2層の隙間にちょうど埋め込むような構造になっている。他の機能はないようで、大きな翼を圧着するだけに使われているようだ。さらに外周部に囲まれる中央部分は、厚さ約 1100μ の子葉を収納する部分となっていて、種皮を含め約 1500μ の厚さとなっている。つまり種皮が、薄く広がる翼の部分、翼を上下から圧着する部分、子葉を包む部分の3つの組織からなっている。翼を取り除いた部分は日本にもあるゴキゾルの扁平な種子によく似ている。

種子の全重量は 248mg であるが、約 68.9cm^2 の翼の重さはわずか 45mg 、翼圧着部と子葉を包む種皮部分が 50mg 、そして脂肪分に富む子葉は標本重量で 153mg であった。立体図から推察できるように、種子重のほとんどが中心部に集まっており、重心は子葉のほぼ中心になると考えられる。

また種子を側面水平の位置から

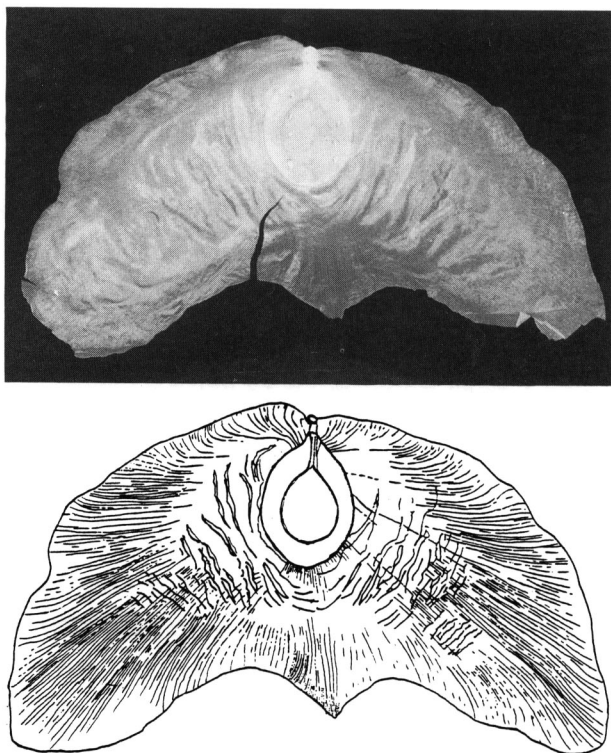


Fig.3 Picture of seed of *A. macrocarpa*. UP : photograph
DOWN : illustration アルソミトラ マクロカルパの種子

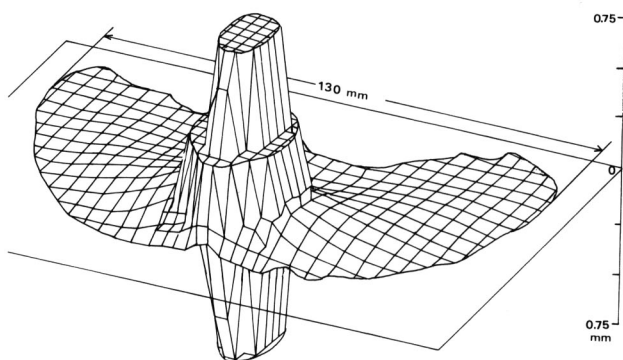


Fig.4 3-dimensional illustration of a seed of *A. macrocarpa*.
アルソミトラ マクロカルパの種子の立体図 縦倍率 $\times 100$

見ると、後退する翼は一見水平に見えるが、前方より3/5付近を境界にして上方にわずかず反り上がって終わっている。翼の後端部では種子の中心部より7mm—12mm高くなっている。これは種子に表と裏の区別があるということである。裏面を上にして種子を飛行させるとすぐ反転してしまうのはこのためである。この形態は Azuma & Okuno(1987)や木村(1943)が指摘しているように、無尾翼でありながら直線滑空をするための大事な要素であるようだ (Fig. 7 参照)。

種子モデルの制作経緯

上記のように薄く丈夫で、重心が安定し、しかもやや反り返った翼を持つモデルを作ることは、なかなか難しいことである。工夫の大半はこの薄くて丈夫な翼を作る材料の選択から始まったようである。ドイツでは古くは雲母の薄片で翼を作ったと言う。吉良氏や吉田氏は最初スチレンペーパー、ガンビ、クラフトペーパーなどの様々な材料で挑戦したようである。私も吉良先生より最初はクラフトペーパー製の模型を頂いたが必ずしも安定するとは限らなかった。主な原因は、翼長160mmに対し、クラフトペーパー製の翼の重さが822mgで、ポリウレタン製の種子が526mgと、実物と比較しかなり重かったせいであろう。その後同氏に1990年見せて頂いた模型は、翼長130mm、厚さ500 μ 前後の薄い発泡スチロール製の翼を持ち、種子部分は包装用の粘着テープを適当な幅に切り先端部分につけたものであった。この模型は非常に安定していた。発泡スチロールの薄膜の製法もその後教えて頂いた。

発泡スチロール

上記サイエンススクエアで我々が作った模型の材料はすべて発泡スチロールを用いた。

発泡スチロールは発泡度によって体積当りの重量がかなり違う。我々が使った例では、最も軽いものは10.8mg/cm³、最も重いものは25.7mg/cm³で約2.5倍の違いがある。この中間的な重さのものは見つからず。市場には2種の発泡スチロールが出回っているようである。魚のトロ箱や、日曜大工の店等で売っているものは軽い方で、電気器具等の梱包用に用いられるのはほとんどが重い方であるようだ。今回のモデルは翼には軽い方を、種子には重い方を用いた。トロ箱は無料で手にはいるが、以下に述べるブロックを取ることは厚さが足りずに難しい。大量に作る時は大きなブロックを購入した方がよい。種子用の発泡スチロールは手分けして集めた。なお着色した発泡スチロールの箱も出回っているが、大量に入手することは出来なかった。

翼と種子のブロック作り

上記吉良氏から頂いた模型の翼の半分を複写し、左右等しくなるように型紙の原型をつくる。型紙を基にして、厚いボール紙を切り抜いた型紙を2枚作る。このボール紙の型を、正確に直角がでている発泡スチロールの直方体の表面に両面テープで止める、裏面に上面の型紙と対象になる位置に同様の型紙を貼る。この対象に貼る作業はやや難しく、最初は型紙がちょうど入るぐらいの面を持つ小さめの直方体を用いた方が楽である。

Fig. 5にある装置は型紙を表裏に貼った発泡スチロールを、熱したニクロム線で垂直に切り取る簡便

な自家製の装置である。重要なことはニクロム線と作業台面を90度に保つことである。ニクロム線は0.23—0.26mmのものを使ったが直方体の高さが5 cm以下の場合には0.1mm程度の太さでもうまくいく。

まず熱したニクロム線を上下の型紙の縁まで入れる。縁まで到達したら動作を停止せずに、発泡スチロールを台上で型紙に沿って回転させればよい。ニクロム線がほぼ直線を保つ程度の等速度を維持するのがきれいに作るコツである。この時ニクロム線が直線を保つように温度を設定しなければならないが、回転速度、ニクロム線の太さ、線の張力の兼ね合わせが必要である。またこの時、ニクロム線の熱の変化による膨張収縮が非常に大きいので、支柱の反対側からスプリング等でニクロム線を引く力を一定に保つ方が作業がしやすい。ニクロム線の温度が決まった後は、支柱にある蝶ネジでアームを固定する。ニクロム線は作業中にしばしば切れるため、この固定が無いとやや危険である。

種子の部分も上記翼の場合と同様にボール紙の型紙を上下に貼った発泡スチロールの直方体を用いる。種子ブロックは作業台との接地面が少ないので鉛直に回転させることが難しい。あまり高くない直方体の方が楽である。種子の型は楕円形ではなく実物に似せやや卵形にする。

電源は電圧を微調整できるトランス（スライダック）が便利であ

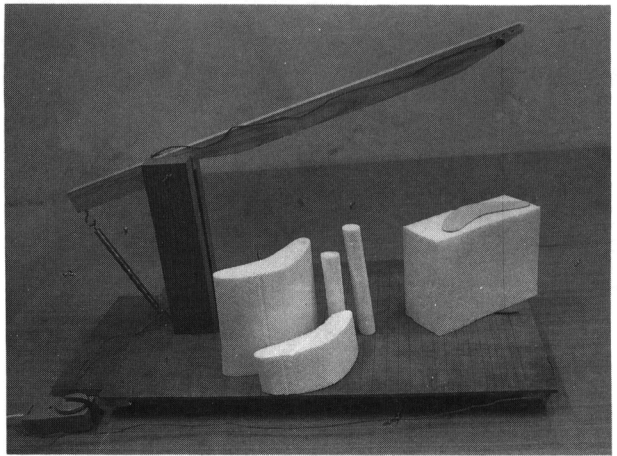


Fig.5 Mass of foamed styren and equipment to make a model seed. ブロック制作装置

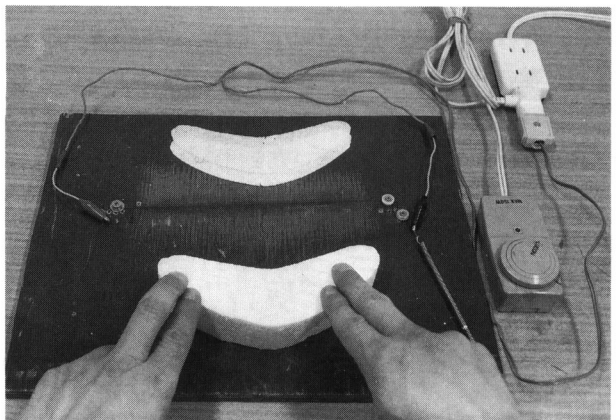


Fig.6 Equipment to slice mass of styren. 発泡スチロール薄膜制作装置

る。100Vで、3A出せば十分である。我々は安価な電灯の調光用の器具も使ったが最大出力も小さく、電圧の微調も難しかった。実際は直流の10V前後の出力ですみ、市売の乾電池式のものでも可能であるが、安全性を考えると、スライダックか他の定電圧装置が適当であろう。

ブロックの薄切り

Fig. 6 にブロックを薄切りする装置が示されている。この装置も上述のように吉良氏にお聞きしたアイデアを基に作製したものである。ニクロム線を水平の板上に張っただけのものである。翼や種子の厚さは、この板とニクロム線の間隔で決まる。ニクロム線を適度に熱し、弱めのスプリングで熱でゆるんだニクロム線を直線に引っ張り、Fig. 6 のように板上に翼のブロックの凹部分がニクロム線に近くなるように横向きに置き、板上に軽く密着させる。ブロックに均等に力を加えながら7秒—10秒間ぐらいでブロックをニクロム線上を移動させる。この時スプリングでニクロム線を張る力は、図の装置では300g—350gが適当であった。強すぎるとニクロム線が切れやすく、弱いとたるんだままで直線に戻らない。ニクロム線の高さの調節は薄いワッシャーを用い、ニクロム線の作業部分とスプリング接続部の支点には耐熱用とニクロム線のすべりを良くするために薄い碍子を入れてある。ニクロム線は酸化しにくいタイプで、径0.26mmの太さのものを使用してある。

こうして得られた薄片は、熱したニクロム線上をブロックが一定速度で移動する時に、ニクロム線が最初に触れるブロックの凹端部では熱が高く、中央部で低くなり、更に最後の凸で再び熱が上昇する。このために発泡スチロールの翼は、翼端で薄く、中央部で厚く、種子の前端部も薄くなる。また熱が下がりにくいブロックの縁部も薄くなる。実物の翼にはとうてい及ばないが、わずかでも本物に近似した厚さの変化をつけることが可能である (Fig. 7)。また薄片の上面は熱の影響で裏面に較べスチロールが融けて収縮する率が高く、上部に反りかえてくれる。実物の翼の背腹性が何の苦労もなしに出来たことになり大変好都合である。できた翼片は使用時までこの背復性をそこなわないように同じ面に積み重ねて保存する必要がある。翼の厚さは軽い発泡スチロールで 400μ — 500μ 、重い方では 250μ — 300μ ぐらいが適当である。これより厚くなると後のバランスの調整が難しくなる。翼の制作で最も注意しなければならないのは、左右の厚さが不均一にならないようにすることである。ブロックを長径方向にスライスするとこのような失敗例が多い。

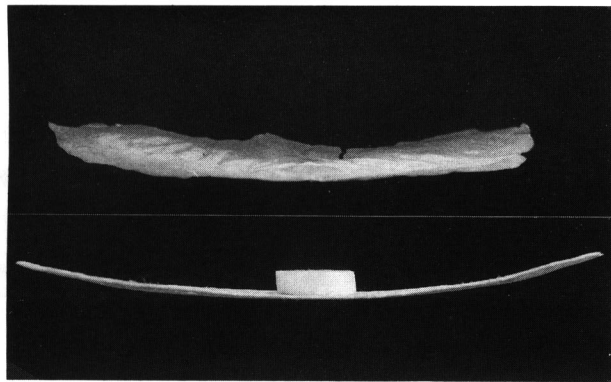


Fig.7 Front view of *A. macrocarpa*. UP : real seed
DOWN : model seed 種子の正面図、
実物 (上)、モデル (下)。

種子ブロックのスライス、翼ほど緊張する事はない。同じ装置でニクロム線を同じ高さのボルトな

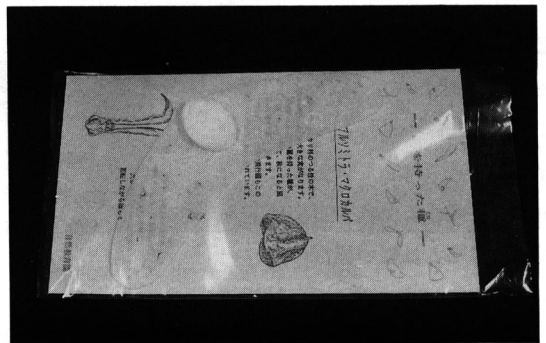
どで5—8mmの高さにし、ニクロム線の熱をやや上げ1—1.5秒ぐらいの間隔で種子ブロックを移動させればよい。

バランスの調整

模型の種子の中心に8mm角ほどの両面テープ、またはセロテープを外側に丸めたものをつける。重量が20mgを越えないように余り大きいものは良くない。また発泡スチロール用の接着剤や他の接着剤は溶剤の蒸発によって重量の変化が大きく調整が難しい。種子部分と翼の接着は、種子の重心を決めることであり慎重に行う必要がある。卵形の種子を頭が前方になるように、また翼の中心ではなくやや前方(このモデルでは翼の凸部を1mm—2mm残すぐらい)が適当であり実物の形態にも近い。粘着テープを圧着してしまってから、種子の位置を移動すると薄い翼は破れてしまう。何回かの飛翔実験を行った後に接着位置を確定できるように最初は種子を軽く翼上に置く程度にする。この予備テストでうまく飛ばない場合の調整方法を以下にあげる。

- 上下に急回転する： 種子を翼の裏面につけたためで、表につけ直す。翼の背復性があることを知るために、わざとやっても面白い。
- 左右に曲がる： 種の位置を直すか、回転する側の翼をやや上反させる。それでもうまく行かない場合は左右の厚さの等しい翼に取り替える。
- しゃくりあげ直進しない： 種子を前方に移動する。この時種子が翼より大きくはみ出す場合は、種子をいったん基の位置に戻し、重くするためにセロテープやビニールシールを張る。実物の種子の飛行もある程度はしゃくりあげ運動を伴うものが多い。
- すぐ下降する： 種子を後方に下げる。この時直進性が無くなるようだったらより薄い翼を作り直す。翼が十分薄い場合は種子を薄くする。
- 翼を痛めた場合： 修復不可能。実物の翼は一回の飛行でその使命果たすのであるから、耐久性を犠牲にしてもつばら性能の向上を狙っているわけで、模型も非常に壊れ易い。

模型のケースとして、中に厚紙の入った封筒のようなものをあらかじめ用意するとよい (Fig. 8)。



模型の大きさ

Fig.8 Kit of seed's models. 模型保存用ケース

模型は大きい方が教育効果の面ではよい

が、発泡スチロールだけを材料とするには限度がある。何も加工しない場合は翼長20cmぐらいからさまざまな欠点が目立って来る。しかし翼長が40cmぐらいの模型でも、翼の上部をやや反らせるように糸を張ることによって材質の強度を増すこともできる。この場合沈降率は変わらないが滑空速度は遅くなり、直線性も劣る。逆に小さい方は翼長5cmぐらいでも非常によく飛び問題はないようだ。

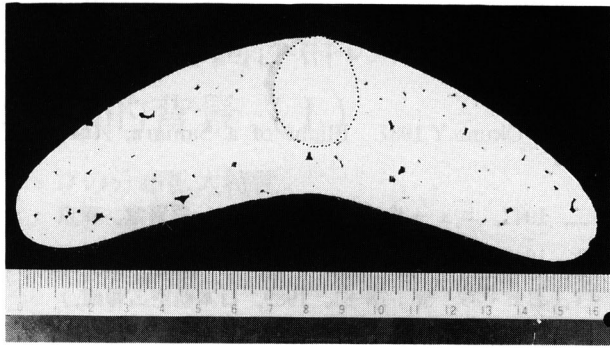


Fig.9 The model seed of *A. macrocarpa*. 完成した種子模型

Fig. 9 は翼長160mmのモデルの翼と破線で囲んだ種子部分が表示されているが、この程度の大きさが適当であると思われる。型紙として拡大して使用して頂きたい。

実施上の配慮

楽しい模型作りもややもすると、紙ヒコーキ作りに終わってしまうことがある。大切なことは種子の散布が植物の側からなぜ必要性であるのかと言うことを、制作者に考えてもらうことである。また多様な種子散布の方法の一つとして、この特異的な飛行をするアルソミトラの模型作りを位置づけることを念頭におかなければならないだろう。そのためにはアルソミトラだけの模型作りではなく、身近なマツやアベリアなど、いろいろなタイプの種子標本を見せ、実際に落下実験をしたり、吉良（1971）のマツの種子の模型をはじめとして、他の種子模型の制作も併せて行うことも一つの方法であろう。また種子模型の調整も指導者が直接行わず、本人が試行錯誤して、自然が作った設計の微妙さを体験してもらうことも大切であろう。

アルソミトラの種子が実際にどの程度の距離を飛ぶのかは判っていない。風にうまく乗ればどこまでも飛ぶかも知れない。また中には左右不均質な翼を持つものかなりの割合で含まれている事からすると、実際の散布密度は親植物の近くが最も高いかも知れない。できた模型に自分の名まえや学校名を書き入れ、屋上などから飛ばし、皆の種子がどこに落ちたか捜すことも一つの案である。秋ならばケヤキの枝付の種子を捜したり、春ならばマツやカエデなど親木の位置と芽生の分布状態から、実際にどの程度植物が移動したかを実測させることも併せて行いたいものである。

要 旨

固着生活を営む植物も種子散布時には様々な方法で動きを持つ。中でも翼を持ち空をグライダーのように滑空するアルソミトラ マクロカルパの種子は特異であり、生物学のみならず様々な方面での教育的価値が高いと思われる。この種子の構造を計測し、それに基づいて発泡スチロールの薄片を用いて実

物と用様の飛翔する模型が作られた。

引用文献

- Azuma, A. & Okuno, Y. 1987. Flight of a Samara, *Alsomitra macrocarpa*. J. Theor. Biol. 129 : 263-274.
- 金平亮三. 1942. ニューギニア探險. 346pp. 養賢堂. 東京
- 木村秀政. 1943. ザノニアの種子の飛行特性. 航空朝日 60 : 11月号., (復刻掲載. ザノニアの種子の飛行特性. おおぞら 56 : 78-81. 1989. 日本航空広報部.)
- 吉良幸世. 1971. 羽のある実と羽のある種子. 私たちの自然. 199 : 8-11. 日本鳥類保護連盟.
- 吉良幸世. 1991. 絵と旅. 95pp. 婦人の友社. 東京.
- 吉田辰男. 1981. ファミリー紙飛行機集. 114pp. 誠文堂新光社. 東京.
- 吉田辰男. 1989. 自然が創った無尾翼飛行機—ザノニア. おおぞら 56 : 83. 日本航空広報部.

SUMMARY

We made a model of glinder seed *Alsomitra macrocarpa* ROEM. (*Zanonia macrocarpa*) CUCURBITACEAE. In various aero-dispersal seed type, flight of this seed is exceptional, so stable like a glider plane. Because the film-like wing is extremely light (45mg) with a large surface (68.9cm²). And the center of gravity of the seed coincide with the center of cotyledon (153mg), up of the aerodynamic center of the wing.

Used materials was foamed styren (11mg/cm³) that has been sliced to about 500 μ by a heated nichrome ray of 0.26mm diameter. Flight of model was very similar with true seed.

We thank mr. Yukiyo Kira (Jiyu Gakuen Junior High School, Boys Department, Tokyo) for the concept of this model.