

# 長崎地域における凧揚げと 長崎凧の力学的な運動体験の簡便法

富山 哲之\*

(2004年3月15日受理)

## On the Kite-Flying in Nagasaki Area and Simple Method for Recognition of a Nagasaki-Kite's Dynamical Motion

Noriyuki TOMIYAMA\*

(Received March, 15, 2004)

### 1. はじめに

近年、子供達の身近な遊びの形態はテレビゲーム、現代版べいごま、カードゲーム等があり子供達の親の世代に比較しても間接体験や疑似体験的な遊びが多くなる等随分変化したように思われる。筆者が年少の頃、数多くの凧が空に舞っている様子を目撃していたし、自作の凧を揚げたり、また墜落した凧を揚げるために麦の穂をかき分けて畑の中に入り込んでいた記憶が浮かんできた。わが国に古くからあった正月の屋外の遊びは、男子は凧と独楽、女子は羽子つきとして知られている。この中で凧揚げは古くは部落相互間の競技或いは年占いの一種ともなっていたと伝えられている。凧の方言は広く分布し、いか・たこ・のぼり・てんぱた・こばた等がある。凧の形状や趣向も様々な郷土玩具であり、国内各地で凧揚げが行われていた証しである。最近のWebサイトを検索すれば、凧揚げの行事は各地で催されていることが分かる。伝統の継承と世代間交流を目的に毎年1月から5月節句の頃までに子供達と父兄等が参加して凧作り・凧揚げを行うのである。

長崎地域では、凧(たこ)または紙鳶(しえん)のことを「はた」と称する。長崎の「凧(はた)揚げ」は2月から5月にかけて見られる春の風物詩である。長崎県島嶼部で「たこ」と呼ぶ地域がある。島の伝説をモチーフとして、鬼と武者との格闘の様子を図案化した絵凧の「ばらもん」、「おにようちょう」、「おんだこ」と呼ばれるそれぞれ五島、平戸、壱岐の離島特有の勇壮な凧がある。往時は大人が一人で揚げるには難しい大きな凧が作られていたが、製作者は次第に減少しており、現在では装飾用のミニチュア凧として土産物店の店頭に掲げ連ねられている。「おんだこ」は平成5年(1993年)に県の伝統工

---

\*長崎大学教育学部理科

芸品に指定されている。

さて、平成14年(2002年)度(高等学校は平成15年度)より実施の新教育課程において、幼稚園教育要領の領域「環境」では、身近な物や遊具に興味をもってかかわり、考えたり、試したりして工夫し遊ぶこととあり、小学校学習指導要領「生活科」では、遊びの工夫が示されている。「理科」では、B区分の領域で、ものづくりの充実の重要性が強調されている。小学校・中学校・高等学校の各学習指導要領において、新設の「総合的な学習の時間」の学習活動を行うに当たって配慮することは、一貫して「・・・,ものづくりや生産活動など体験的な学習,・・・」,「・・・,地域の教材や学習環境の積極的な活用などについて工夫すること。」とされている。これからの学校教育において、遊びの工夫,ものづくり,地域教材等は新しいキーワードである。

ここで、教科「理科」における伝承玩具の扱いについて取り上げるならば過去の初等教育において凧の教材が取り扱われた時期がある。昭和18年(1943年)度から使用された国民学校の第6学年用教科書「初等理科三」の単元に(14)「タコト飛行機」<sup>2)</sup>がある。学習指導要領(試案)に基づいて編集された「小学生の科学」は昭和23年(1948)年度以降に使用された。凧の教材・内容はそのまま取り上げられた。昭和30年(1955年)以降,系統学習が重視されるに伴い具体物を扱った教材から概念や決まりを知るための教材へと変化する。凧教材は実用的価値がない教材として理科から完全に姿を消すことになる。

新学習指導要領解説生活編<sup>3)</sup>によれば、「生活科」指導内容の具体的な視点として10項目を挙げている。その中で「遊びの工夫」では、「遊びに使うものを作ったり遊び方を工夫したりしながら,楽しく過ごすことができるようにする。」とあり,具体的な活動や体験の重視である。新たな学びへの発展についての文章中に「・・・。学校で作った凧よりすごいのを教えてもらおうよ」とある。某出版社の「生活科」の教科書では,「あたらしいせいかつ」の「ふゆとあそぼう」には凧揚げの絵図や写真が提示されている。このように凧については小学校低学年の遊びの題材として取り上げられている。

一方,現代の代表的な遊びの大分類<sup>4)</sup>によれば,凧揚げは「遠くへ届ける」競戯(造語成分は競技と遊戯)の下位概念であり,「人力で届ける」の凧揚げ型の揚げる系統に分類される。更に,少年期におけるこの種の競戯のあり方は,競い合わないで,自分の能力に挑戦させること。また,少しでも遠くへ届けることができればそれをよしと称賛することを心掛けたいとする指導指針を示している。そこで,身近な地域環境の中の伝統的な凧揚げ競戯をいかに教材化していくかにおいて先ず地域の条件や実態を明らかにするべきと考える。

本論稿では,長崎地域における凧揚げの競戯の起こりと発展をレビューし,筆者独自の見解をコメントすると共に,長崎凧の飛行運動を力学的に体験する方法及び製作教材の有用性について述べる。

## 2. 長崎凧の起こりにまつわる史的概略

長崎近辺の「はた」の形状と紋様は独特である。長崎は元亀2年(1571年)に開港,史的遺跡である出島は寛永11年(1635年)に竣工,同18年から阿蘭陀屋敷と称された。寛永・寛文時代の俳人立圃は「もうせんさそふ春風そふく見わたせば長崎のほりいかのほり」と詠んだ。林<sup>5)</sup>によれば,この句によって寛文(1661年)以前既に長崎で紙鳶揚げが行われ

ていたと解すれば、長崎の紙鳶は寛永時代に長崎港に出入りした南蛮船または紅毛船がもたらし、「はた」の語源はこれらの船の旗に因ったものである。また、その紋様は外国旗が発生の動機であるとする。このことについては異論も見られるが大筋では現在の通説である。わが国で、16世紀までは紋は宮廷と武士だけに所有されていたが、17世紀初頭に市民文化の時代が始まるとともに、市民階級にも所有されるようになった<sup>6)</sup>、と言う。当時庶民達の数少ない娯楽の一つであった凧揚げの「はた」にも自由に気ままに好きな紋様を選んで付けたのであろう。以後、長崎凧の「はた」紋様の種類は二百余种に亘る。

18世紀末から19世紀前半にかけて、長崎奉行は紙鳶揚げ禁止令を度々発布している。長崎年表<sup>7)</sup>によれば、天明元年（1781年）2月には「郷地に於て紙鳶を揚ぐる禁す其耕作物を害するに至るを以て也」とある。文政年間（1820年頃）に編纂された「長崎名勝図絵稿本<sup>8)</sup>」によれば出島で凧揚げの様子（図1）や婆羅門（ばらもん）揚げの図が描かれている。図1は、出島阿蘭陀屋敷の屋上より崙奴（インドネシア人説）が、甲比丹等の江戸参府の留守を幸いに、凧を揚げ対岸の長崎町人の凧に戦を挑んでいるという凧合戦の絵図である。これはビードロよまを使って相手方の凧糸に巻き付け切り落とす手法である。更に年表<sup>7)</sup>に、天保7年（1836年）3月に「凧揚の戯を禁す」とあり、天保11年（1840年）3月に「紙鳶を揚ぐるを禁す」とある。弘化元年（1844年）2月「凧揚を禁す」、嘉永2年（1849年）2月「小児の外紙鳶を揚ぐるを禁す」とある。弘化4年（1847年）版の「長崎土産」<sup>9)</sup>では、図2に示す「金毘羅山紙鳶會」について記述があり「三月十日金毘羅大権現の祭日にして其日は大人小児各々行厨を携へ酒樽を擁して曠野にいたり紙鳶（はた）に硝子（ビードロ）よまをつけて共に勝負を決す・・・（中略）・・・専らあごはたを用ゆ是則初崙奴（クロボウ）の製作にして風に放ちて左右するに便利有り・・・」とある。

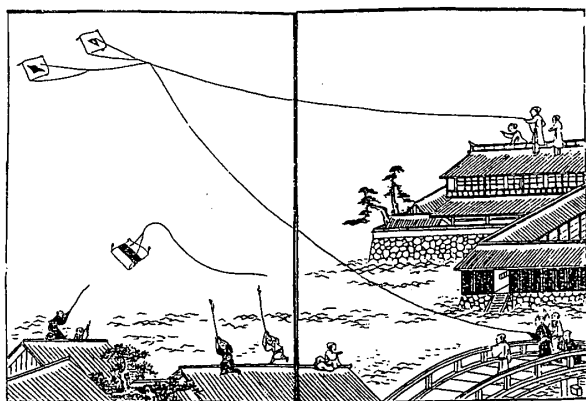


図1 出島阿蘭陀屋敷の紙鳶揚げ  
出典：「長崎名勝図絵稿本」

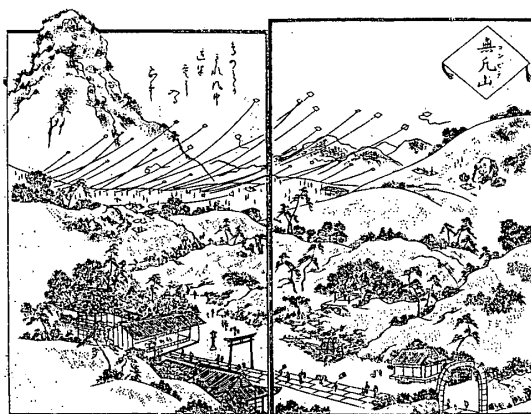


図2 金毘羅山紙鳶會  
出典：「長崎土産」（弘化版）

“あごはた”は合戦用の機動性に富んだ凧であることが想像できる。何れにしても市中でも山上でも凧揚げが盛んであった証しであり、凧揚げをする際に家の屋根瓦を踏み割り或いは物干し場を壊し、農地に入り込んで田畑を荒らすからである。当時、約3万人の人口を抱える港町長崎の凧揚げの場所は近辺の小高い山上に限られてしまうのである。

明治初期、江戸に流行した四季の変え唄に「春の遊びは琴平につづいて賑わう風頭、勝負争ふビードロ凧屋がとりもつ縁かいな、・・・」<sup>10)</sup>とあり、金比羅山中腹の原野または風

頭山の上の広場では、凧合戦が賑やかであったことが分かる。

誰の主催というのでもなく、伝統を継承して行われた江戸後期からの明治期にかけての紙鳶会（凧揚げ）<sup>11)</sup>は、旧暦2月25日、笠頭山（風頭山）における紙鳶会に始まる。凧揚げの遊戯は小児の娯楽なるのみに止まらず大人も加わる。西洋の凧揚げは遊戯であるけれどもわが国では長崎以外に凧合戦の競技は見られない。3月3日、女兒の節句であるが男児も屋根に上って凧を闘わしており、街中の凧糸の交わりは蜘蛛の巣のようである。3月10日、金比羅は琴平社祭礼における凧揚場である。神社近くの広場では凧揚げが盛大に行われる。各地から参詣客や行楽客が集まり1年の内で最高の賑わいになる。3月15日、笠頭山で紙鳶会があり、3月25日、合戦場でその年最後の紙鳶会が行われる。このように凧揚げは現行の新暦4月中心の春の催しであることが分かる。

明治26年（1893年）、長崎電灯株式会社設立（長崎電灯会社の後身）<sup>12)</sup>される。後に電話が開通し、電柱が林立し電線が蜘蛛の巣状に張り巡らされ市中の凧揚げは全く禁止されたと言う。凧本体や凧糸が送電線に絡んで起こる感電や停電事故を防止するためである。

大正期の長崎凧會日取（場所）<sup>13)</sup>は、新暦4月3日（風頭山）、4月10日（金比羅）、4月15日（風頭山）、4月21日（城ノ古趾）、4月28日（合戦場）に凧合戦が行われるとある。この時期の日取りは何れも新暦表示である。ツブラカシ、ヤダモン、ネヨマカスリ等は凧合戦に関わる主要な用語である。このような凧揚げ特種の用語<sup>13)</sup>が数多く長崎方言として盛んに使用されていたことは特筆に値する。

昭和前期の紙鳶揚（凧揚）<sup>14)</sup>の日取（場所）は、新暦4月3日（各所）、4月10日（金比羅）、4月15日（風頭山）、4月21日（城ノ古趾）、4月25日（風頭山）、4月28日（合戦場）である。実に、この凧合戦は長崎独特の春の行事、有名な長崎三大行事の一つであると述べている。この三大行事とは“ぶらぶら節”に“長崎名物、はた揚盆祭、秋はお諏訪のしゃぎり、氏子がぶらぶら、・・・”と唄われているように、春の凧揚げ、夏の精霊流し、秋の諏訪社大祭を数える。紙鳶の種類<sup>15)</sup>は小バタ、アゴバタ、蝶バタ、海老尻、ヘンブバタ、蝙蝠バタ、百足バタ、バラモン、剣舞篇中婆羅門、切らかし紙鳶があり、このような南方系または中国系の凧が江戸時代から伝承されており、当時でも凧揚げは盛んであったのである。

戦時中の長崎は要塞地帯であったために凧揚げはできなかったと言う。戦後間もない頃には凧揚げは次第に復活し30年代までは盛んであったと伝えられるが、これまでの半世紀間の急速な経済成長による社会経済構造の変化と科学技術が高度に発達した社会環境において、子供たちの興味・関心はもとより遊びの形態も変化しその多様性は一層拡がっている。だが、伝承玩具を使った遊びは凧揚げを筆頭にかなり衰退しているように思われる。

長崎唯一の凧専門店・創業明治40年の小川凧店（長崎市風頭町）当主に聞いた話では「小バタ、アゴバタの構造がインドの凧（パタング）に良く似て何れもビードロよま使った喧嘩凧である。インドネシアの凧とは異なる。現在の国際的な凧揚げ大会において長崎凧に良く似たインドの喧嘩凧を見ることができる。」と言う。長崎凧の原点は昔からの言い伝えに違わず南方伝來說が濃厚であるように考えられる。長崎凧の大きさは、伝統的に「文」で表示される。喧嘩凧は二十文以上の凧が使われている。百文までの凧が作られていたようである。これは縦骨長さを江戸時代に使用された一文銭の直径で測った硬貨数であるとの説があるが、この測り方では説明ができない寸法のものがあるから、むしろ昔の

凧の値段がそのまま凧の大きさを表す数値として残ったと解釈するのが正しいようである。

現在、往時程の盛大さはないとしても凧揚げ愛好家は今なお健在である。今季「春一番」を境に日中の最高気温は一気に20度を越えた2004年2月21日に稲佐山で凧揚げが行われた。春の訪れとともに凧揚げの始まりである。筆者のメモ帳によれば、平成6年(1994年)頃、金比羅山では実に50年振りに長崎の凧揚げ大会が復活したのである。恒例の凧揚げ大会は地元の凧揚げ振興会や新聞社が主催者となり、砂日和の3月から5月の節句までに稲佐山公園や金比羅公園、唐八景公園(旧合戦場)等で行われる(図3)。

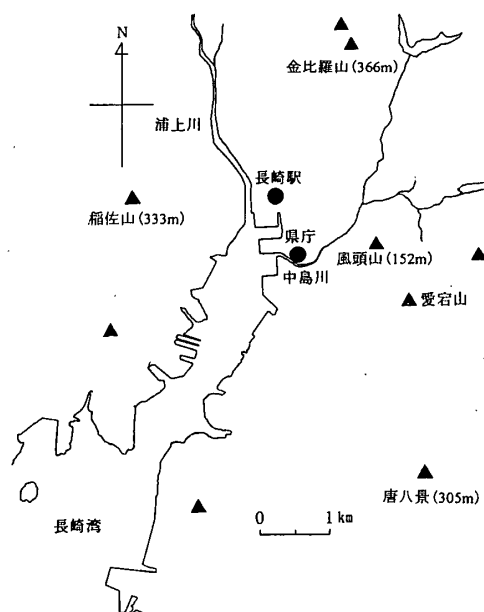


図3 長崎市域における凧揚げ場所

### 3. 長崎凧の構造と飛行原理

#### 3.1 凧の構造

長崎凧を代表する小ばた、あごばた(前出のあごはた、アゴバタ)は図4に示す菱形の凧である。小ばたは子供用、あごばたは合戦用と見てよい。一本の凧糸(よま)を頼りに上下左右に凧を回転させ巧みに操れるという点で機動性に優れている。図5に示すように、その構造は細い竹骨二本を交点で直交するようにほぼ十字形に組み、横骨両側を下方に弓なりに曲げて端々4箇所を糸で結んでいる。菱形に作り上げたものでわが国在来の和凧とは形状及び根付け糸の本数、絵柄が異なる。長崎凧は厳密に言えば正方形でもなく菱形でもなく図5の上の二辺と下の二辺とが0.46と0.54の割合で上の二辺が短い形である。凧の縦幅と横幅の比は0.48と0.52であり後者がやや長い。これらの数値は、先述の小川凧店製の凧(大小)二枚について筆者が測定した平均比率である。図5の右下に十文、十六文、二十文の凧の寸法を示す。

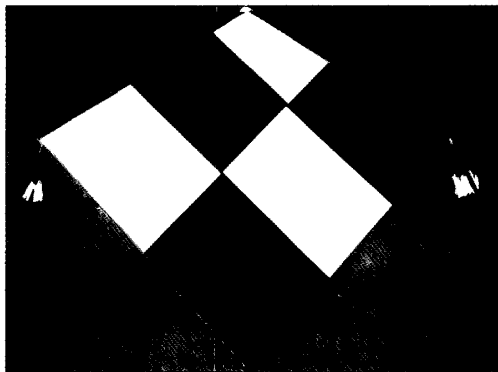


図4 「長崎のはた」(小川凧店製)

十六文はた, 三ツ枕紋, 翼面積 0.26 m<sup>2</sup>

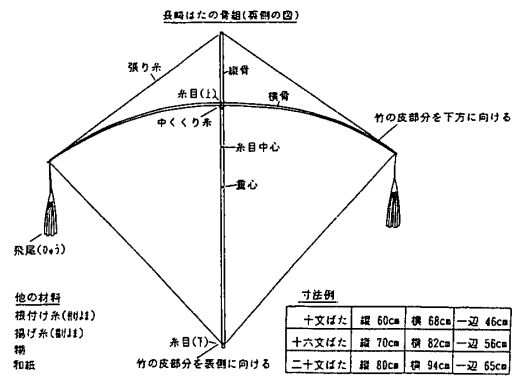


図5 「長崎はた」の骨組み

### 3・2 飛行原理

和凧をモデル化した理念凧の飛行理論の詳細な説明は解説書に譲として<sup>16)</sup>, ここでは概要を簡潔に述べる。

図6に凧が揚がっている状態を示す。図において $\alpha_0$ を凧の実際の上昇角,  $\alpha$ は凧糸の傾き角である。 $\theta$ は迎角であり凧の表面つまり受圧面が風のくる方向となす角度である。図7(a)に示すように, 凧の受圧面に図中にベクトルで示した六つの力が作用する。凧が糸に拘束された状態で空中で飛行するのは, 凧を支える鉛直上方の力である揚力 $L$ が作用するためである。凧を風下側に押す力は抗力 $D$ である。これら $L$ と $D$ の合力が受圧面に直交する形状抵抗 $D_p$ である。空気の粘性による摩擦抵抗 $D_f$ は凧面に平行であるが凧の運動に影響する力ではなく通常は無視できる。これらの力の作用点のことを凧心と言う。重力は凧の重心に作用し, 質量が小さい凧ではこれも無視できる力である。また, 凧が糸を引く力である張力 $T$ は手に感じる力である。小さい凧或いは強風という条件で考える場合, 受圧面に垂直な形状抵抗と糸の張力の二つの力が釣り合って凧は空中に静止しているというようにモデル化できる。凧が空に揚がって, 一定流速のもとで, 一定の角度で, 静止するための力の釣り合いの条件は, これら全ての力の合力が0であること。更に, 凧の重心の回りの力のモーメントの和が0であるという条件を満たさなければならない。根付け糸を付けた時の様子を図7(b)に示す。糸目中心を上げていくと迎角 $\theta$ は小さくなり, 逆に上昇角 $\alpha$ は大きくなるという関係がある。

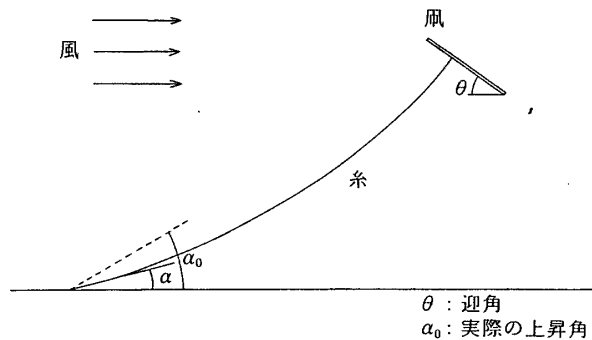


図6 凧の上昇角

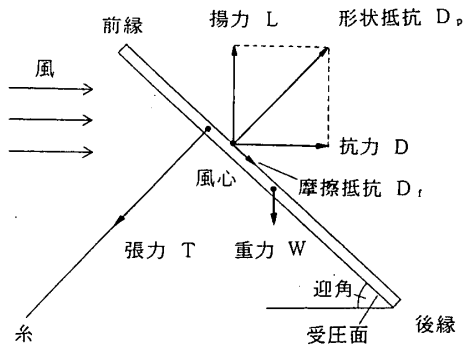


図7 (a) 凧に作用する力

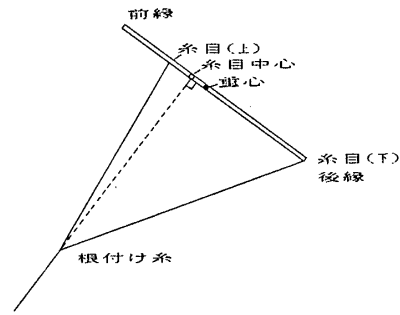


図7 (b) 根付け糸の付け方

流体力学<sup>17)</sup>によれば、物体の後方に後流が生じると、その部分の圧力は小さいので、前後方向に動圧に相当した圧力差が生じる。このため物体は前後方向の全圧力差に相当する形状抵抗  $D_p$  を受ける。この力は、以下のパラメータにより次のように表される。

$$D_p = (1/2) C_p \rho v^2 S \quad (1)$$

ここで、 $\rho$  は空気の密度、 $v$  は流速、 $S$  は受圧面の面積である。風洞実験により凧のようなスケールの現象でも式(1)は成立することが確認されている。前述のように小凧条件では、凧は形状抵抗と糸の張力の釣り合いで空中に静止すると見なせるので糸の張力の大きさは式(1)を使って計算することができる。

図8(a), (b)に凧の周りの気流の様子と力のベクトルを示す。(a)図は迎角が小さいときの流線が平行なポテンシャル流であり、揚力が大きい場合である。(b)図は迎角が大きいために流線が剥離して渦巻状の乱流を生じる。揚力よりも抗力の方が大きいことを示す。

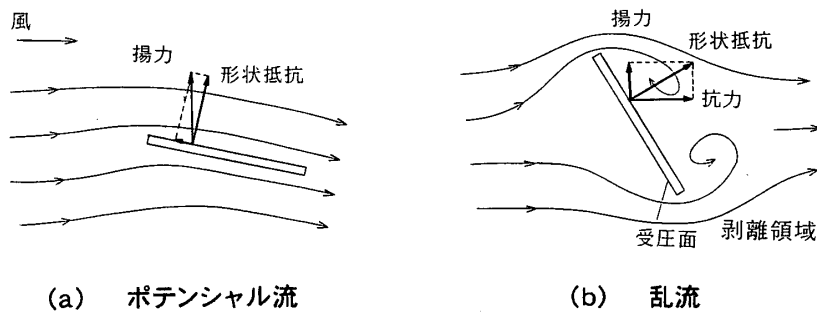


図8 凧の周りの気流

#### 4. 材料及び方法

##### 4.1 材料

長崎地域には孟宗竹や真竹、淡竹が広く自生しているから竹材は容易に入手できる。孟宗竹は強靱で弾力性があり建築土木材料等に使用されている。元々中国原産で江戸期の長

崎で栽培が始まり国内に繁殖した外来種である。昔から長崎凧の骨材は孟宗竹よりも柔らかい真竹や淡竹の乾燥材が使われている。

筆者は既報<sup>18)</sup>において、真竹を切削した市販の竹箴を熱処理して作製した螺旋ばねの弾性率測定及び共振実験によって竹材は優れた弾性材料であることを示した。往時は長崎の凧屋は竹材を近隣の農家に預けて竈の焚き火の熱風や煤に晒される部屋の中で3年位馴らしてから凧作りに使用したと伝えられている。竹材の強度を増すための手法であったようである。

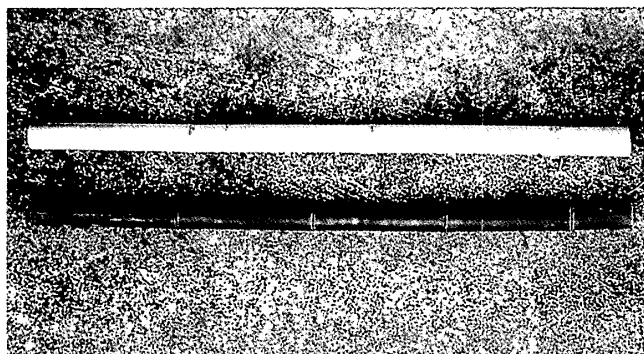


図9 真竹の乾燥材（上）と生の竹材（下）

図9はほぼ同寸法の真竹の乾燥材と切り出した直後のものを比較した。切り出して3年ほど経過した乾燥材は長さ1.37 m, 直径6.5 cm,

質量1.0 kg, 肉厚4 mmであり、生の竹は長さ1.37 m, 直径5.5 cm, 質量2.5 kg, 肉厚6 mmである。十分乾燥した後の質量は2.5分の1に減少している。

#### 4・2 製作方法

長崎凧を製作するに当たり自然科学的に実験工学的に適う丈夫で空に揚がるものを作製する。凧を構成する各部材の役割を理解することであり、次に凧の翼面積、翼面荷重及び凧揚げ適応風速を調べる。前出の図5に示すような設計図を作成するという手順を示す。

凧作りに必要な割竹、和紙、糸、糊、はさみ、小刀、鉋等を準備する。竹骨を選ぶときは節の間が長いもの、十分乾燥して竹の表皮が黄色く艶のあるものを選ぶことである。

製作したい凧の大きさを決定した後、横骨は縦骨に比べて長めに切り出しておく必要がある。縦骨は凧を支える柱に相当するもので風圧に耐えるものでなければならない。少なくとも張り糸を張る時に曲がらない程度の太さにしなければならないが、横骨よりも平均直径は大きくなる。

(1) 横骨は左右が同じ曲率で弓なりに曲がるように、竹の節の部分が端から等距離の位置にくるようにする。そして鉋で薄く削り左右のバランスを取りながら仕上げる。竹骨の中心を指先に載せバランスを取るのが簡便である。筆者が身に付けている方法は、粗削りの割竹を折り畳んだ麻袋の間に挟み、これを膝の上に置き手で固定した鉋で割竹を滑らせてへぐ方法である。この方法であれば滑らかで均等な太さの竹骨を作ることができる。

(2) 横骨の両端を手で持って竹の表皮の付いている方に曲げたとき、正円状円弧になるかを確かめる。

(3) 縦骨は横骨に比べてやや太めに切削する。縦骨の上端から全長の三分の一の所に浅く切り込みを入れ横骨の中央を挟み込み糸で堅結びする。このとき横骨は竹の表皮のある方を下に向ける。

(4) 横骨の端に張り糸を結びつける。骨材の各先端に浅い溝か或いは浅く切り込みを入れておけば糸を固定しやすい。糸を下方に引き横骨の両端を弧状に撓めておき張り糸を縦骨の下端に結びつける。

(5) 更に、張り糸を横骨の他端まで伸ばし先に曲げた横骨と同じ曲率になるように弧状



に撓め張り糸を固定する。

(6) 最後は縦骨の上端に張り糸を導き固定する。骨組み全体のバランスをよく見て張り糸の張り具合を整えることが大切である。

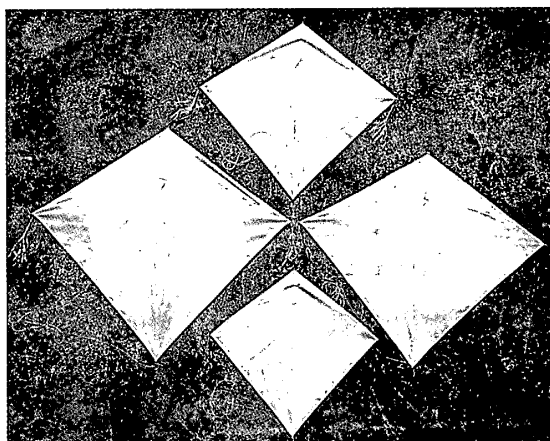
(7) 凧紙として強く軽い和紙が適当である。代用として手近な無地の障子紙でもよい。和紙を張り糸の枠組みに合わせて縦骨の背側から糊で貼り付ける。紋様は前に述べたように二百種以上あると言われるが基本的には和紙の白地に赤、藍で構成されるものが多く見られる。長崎凧の紋様の伝統的な表現法は、染料で色付けした色紙を用いて切り紙細工の貼り合わせで表される。

(8) 糊が十分に乾いてからでき上がった凧の重心の位置を調べる。重心の位置が縦骨からずれるようであれば横骨の両端に付ける紙の房即ち飛尾（ひゅう）の長さを変えて調整する。

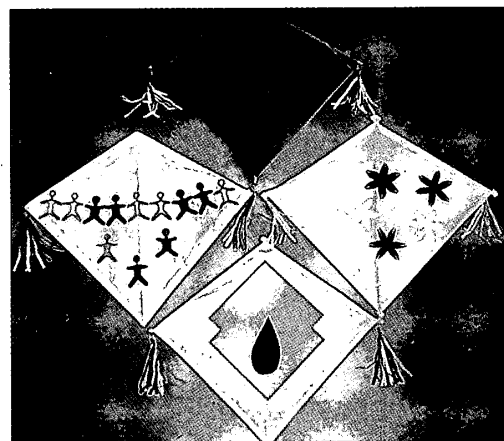
(9) 凧糸のことをよまと呼ぶがよまは凧の翼面積に応じた太さの糸を選ぶ必要がある。前出の図7(b)に示すように、よま付けは凧を操る基本となるもので二本の糸の取り付けが重要な部分である。糸目中心が重心より上にくるように長さ2 m程の根付け糸を取り付ける。よまの一端は縦骨と横骨を結びつけた交点に紙の表面から通して結び、それを上として他の一端をの長い方の下端に結び、その糸を張れば凧の紙面に対して三角形の二辺を形成する。凧を揚げたときの凧の左右への傾斜は飛尾で調節することができる。

(10) 製作した凧の一部を図10(a), (b)に示す。(a)図は翼面積がそれぞれ $0.18\text{ m}^2$ ,  $0.26\text{ m}^2$ ,  $0.34\text{ m}^2$ ,  $0.40\text{ m}^2$ の凧である。(b)図は翼面積が $0.077\text{ m}^2$ の凧である。凧を揚げたとき、横ぶれするようであれば重心を上げる。凧が回転するときは、重心を下げるといった調整が必要である。

長崎凧の構造は簡素であるが骨材や紙質の新古、強弱、軽重、釣り合い等は凧の耐久性や運動状態を左右する要因であり、根付け糸の長さや角度は凧を自由自在に操るための重要な要素である。凧作りは簡単であっても製作上の留意点は見過ごせない。根本は力学的原理に基づいている。



(a) 翼面積 $0.18\text{ m}^2$ ,  $0.26\text{ m}^2$ ,  $0.34\text{ m}^2$ ,  $0.40\text{ m}^2$ の凧



(b) 翼面積 $0.077\text{ m}^2$ の凧

図10 張力測定実験に使用した凧

### 4・3 実験方法

現代の都市環境を見渡せば街中での凧上げは先ず無理であり行ってはいけない場所が多いと言える。凧揚げに適した場所は気流の乱れが生じにくい河原、砂浜、広場、小高い丘等である。筆者は市郊外の農山村地域に足を運んで広々とした所で凧揚げを行った。

(イ) 本実験は春期の穏やかな晴天下で行った。その日の風速については、気象庁風力階級表(ビューフォート風力階級表)<sup>19)</sup>に照らし合わせて「木の葉や細い小枝が絶えず動く。軽い旗が開く。」の説明の風力階級3レベルと判定した。つまり、地面から10mの高さにおける相当風速は3.4 m/s ~ 5.5 m/s 未満である。

(ロ) 凧の翼面積が0.077 m<sup>2</sup>, 0.18 m<sup>2</sup>, 0.26 m<sup>2</sup>, 0.34 m<sup>2</sup>, 0.40 m<sup>2</sup>の5枚のそれぞれの凧に糸の直径1.2mm, 線密度 $0.5 \times 10^{-3}$ kg/mの純綿糸を取り付けて、凧糸の長さ200mまで延ばして凧揚げを行った。

(ハ) 翼面積が最大の凧については100mおきに400mまで延ばして凧揚げを行った。この際に各々の凧の上昇角を傾角計で測り、また凧糸の張力を引張荷重計(ばね秤)で測定した。引張荷重計は秤量5kg(最小目盛50g)のものを使用した。

(ニ) 更に、翼面積が最大の凧については糸目中心の位置が前縁から測って20cmであったものを2cmおきに下方に下げて22cmと24cmにしたときの上昇角を測定した。

凧揚げ実験は約3時間を要したが、この間の急激な風速・風向の変動は生じなかった。

### 4・4 気流の可視化法

物体周辺の気流の様子を調べるために用いる糸のことをタフトと呼び、大規模な風洞実験装置を用いて行われる可視化がタフト法<sup>20)</sup>である。本実験では、線香の煙から立ち上る上昇気流をミニチュア凧の受圧面に当てる方法を考案した。

(i) ミニチュア凧(10cm×11cm)を長さ約70cmの針金の一端に取り付ける。針金の他端は机上に粘着テープで固定する。凧の真下の机上に50本ほど束ねた線香を垂直に支持台に固定し立てる。

(ii) ミニチュア凧の迎角を傾角計を使って決定する。

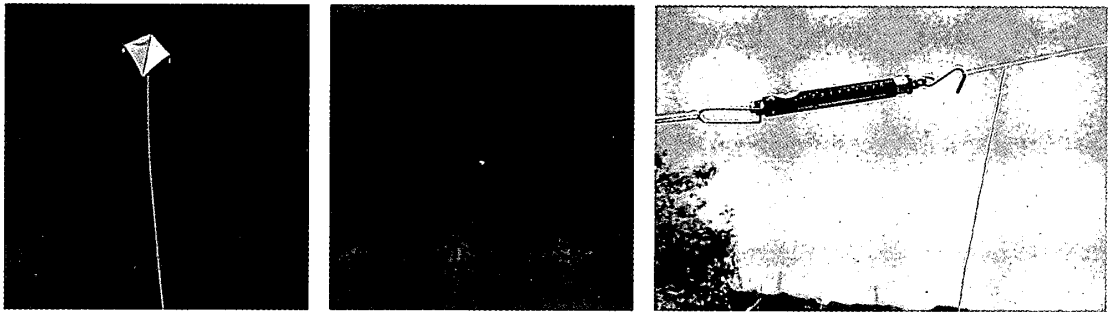
(iii) 線香の上端に着火し上方に立ち上る煙がミニチュア凧の前面に当たるようにする。この時に外気が流入して線香の煙の流れを乱さないように注意する。

## 5. 結果及び考察

### 5・1 凧糸の張力の測定

図11(a), (b)に上空に揚がった凧, 及び図11(c)に引張荷重計で凧糸の張力を測定している様子を示す。凧の上昇角は凧糸の長さが200mのとき翼面積が異なる何れの凧の場合も約40度であった。表1に諸量の実測値, 抗力の計算値を示す。引張荷重計による荷重は凧糸の200mのとき翼面積が最小の凧で0.1~0.2kg, 翼面積が最大のもの0.9~1.0kgであり荷重の変動幅0.1kgであった。翼面荷重及び張力の計算にはこれらの範囲の中間値を用いた。翼面積が最大の凧は、凧糸の長さ100m, 200m, 300m, 400mのときの荷重を測定した。このときの上昇角は何れの場合も約40度であった。100mのときは荷重が幾らか小さいことから風速に因るものと考えられる。抗力計算では、前項3・2式(1)に基づいて算出した。風洞実験値<sup>16)</sup>に照らし合わせて形状抵抗係数1.4とした。また、大気安定度が中立のときの風速の鉛直分布は対数法則で表され高度が上がるにつれて風速は増加する

ことが分かっているので、風力階級3のレベルの判定に基づきやや高めな風速5.0 m/sとした。



(a) 凧糸の長さ100mの場合 (b) 凧糸の長さ400mの場合 (c) 引張荷重計を用いた凧糸の張力の測定

図11 凧揚げ実験の様子 (翼面積0.40m<sup>2</sup>)

表 1

凧の翼面積 $S$ [m <sup>2</sup> ]		0.077	0.18	0.26	0.34	0.40
凧の質量 $m$ [ $\times 10^{-3}$ kg]		13	28	40	50	62
翼面荷重 $W$ [ $\times 10^{-1}$ kg/m <sup>2</sup> ]		1.7	1.6	1.5	1.5	1.6
凧糸の張力 $T$ [N]		2.0	4.4	6.4	8.3	9.8
ばね秤の荷重 $M$ [kg]						
凧糸の長さ	100 m					0.5~0.7
	200 m	0.1~0.2	0.4~0.5	0.6~0.7	0.8~0.9	0.9~1.0
	300 m					0.9~1.1
	400 m					0.9~1.1
形状抵抗 $D_p$ [N] (計算値)		1.9	4.4	6.4	8.3	9.8

図12に凧の翼面積  $S$  [m<sup>2</sup>] と凧糸の張力  $T'$  [kgf] の関係を示す。凧の翼面積が広いものほど凧糸の張力は比例して増加することが分かる。このことは迎角が一定の下で張力と拮抗する抗力が凧の翼面積に依存することを示す。

図13に凧の上昇角と糸目中心位置との関係を示す。凧の前縁からの距離が増すほど凧の上昇角が約10度減少している。このことは凧の受圧面が起き上がるので揚力が減少して凧の上昇高度が低下していることを示す。凧揚げにより空中に揚がっている凧の引張力を凧糸を引く人の手で感じ取ることは作用・反作用の法則を理解するため大変有効であると考えられる。

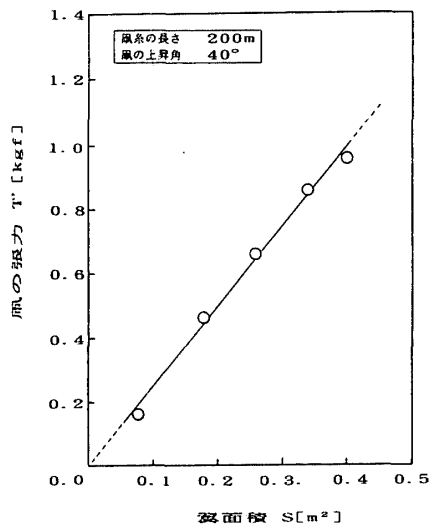


図12 風系の張力と翼面積との関係

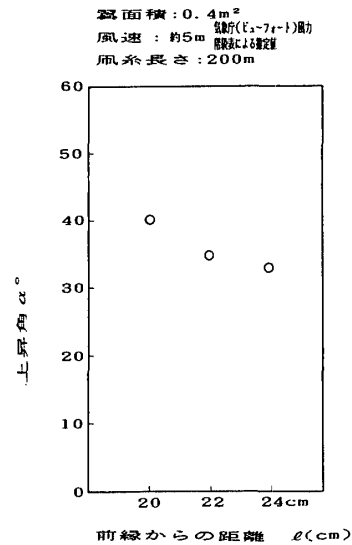
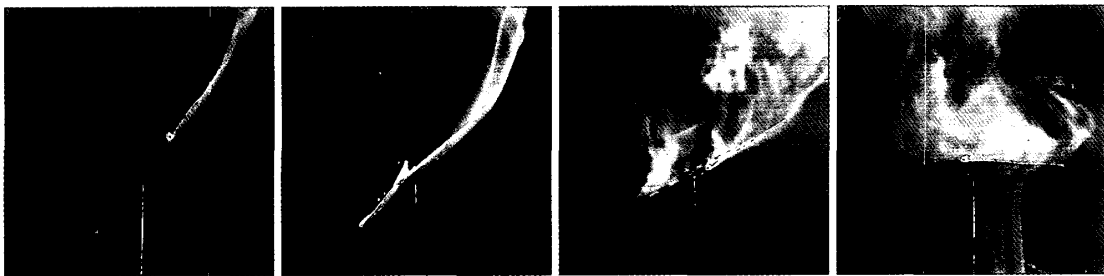


図13 風の上昇角と糸目中心との関係

### 5・2 ミニチュア風周辺の気流の可視化

ミニチュア風の受圧面の迎角を30度、45度、60度、90度に変えたとき鉛直下方からの煙に対する背面の後流の様子をそれぞれ図14(a)～(d)に示す。図14(a)は後縁に沿って煙が風面に平行に流れている。この図を右90°回転すれば前項3・2の図8(a)のモデルに対応する。図14(b)は風面から煙が剥離し始めている。図14(c)は背面全体から煙が剥離し渦巻いている。図14(d)は激しく渦巻いていることがわかる。迎角が増すにつれて後流の乱れの様子が良く分かる。これらは、同様に図を右90°回転すれば前項3・2の図8(b)のモデルに対応できる模様である。

ミニチュア風と線香を用いる方法で煙の流れを視覚化することにより空中に静止している風周辺の気流による抗力をイメージすることができる。



(a) 迎角約30度

(b) 迎角約45度

(c) 迎角約60度

(d) 迎角約90度

図14 ミニチュア風近傍の煙の流れ

### 6. 生活・理科関連授業への適用

学校教育における実体験の重要性に鑑み、その具体的な指導の試みとして製作活動の「風の製作」授業を本学部の理科授業（理科総合研究，ゼミナール），A短期大学（生活），

B高等看護学校（現在廃校）において最近10年間に亘り実施した経緯がある。他のテーマの製作活動も実施しているので毎年各科目の授業で欠かさず実施したということではないが、時々の授業を振り返り、授業内容や進行状況を述べる。

「凧の製作」授業は、理科科目であれば環境物理理解のために、また生活科目であれば幼児教育の工夫して遊ぶためのものづくりに役立つと考えるからである。

対象とするクラスでの授業では、前時に次の事項の解説を行う。伝承玩具である長崎凧にまつわる歴史、凧の飛行原理、重心の位置の決め方、製作方法、上昇角及び張力の測定法、データ処理法等について解説した後、次のようなデモ実験を行う。ミニチュア凧（10cm×11cm）周辺の気流の流れを見るために線香の煙による気流の可視化を行う。このような事前指導に1コマ90分を要する。

次回の本時において、長崎凧の製作を行う。凧の骨材は筆者が事前に切削したものを用意したので、学生達はこれを使って組み立てる作業から入ることができる。製作上の諸注意の後、凧の製作に取り掛かる。1班当たり2名の各班に、予め用意した材料の中から必要な材料を選択させて、前項4・2の製作方法に沿って、1班につき凧を1枚製作させる。

試作凧は本体の形状が平面的な単一の構造の平面凧であるが、重心位置の決定の指導は大切である。スタンドに凧を細い糸で吊しておき、凧の上方の角に別の糸の先端をセロテープで貼り付け、糸の他端に小さな重りを付けて下方に垂らして重力の作用線を引く。同じ要領で他端を吊し、その交点を求める。張り糸の中程でも同じ作業を行い、重力の作用線がその交点を通るかどうかを確認する。設計上の重心と実際の重心のずれを測る。ずれの補正をどうするかを考えさせた上で左右の飛尾の大きさを変えることや縦骨の下方に和紙を何枚も重ねて張り重心の位置を下げる工夫をさせる。

図15に室内で製作中の学生達の活動状況を示す。興味を持って熱心に製作しており講義形式の授業では見られない意欲的な側面が見られる。予定した90分間の製作活動の授業はここまでである。凧揚げは野外に出て行う時間を別に設ける必要がある。

仕上がり具合の良かった凧は筆者が行った前項4・3の測定実験に一部を使っている。また、凧揚げをした結果は後日の授業の折りに学生達に説明することになっている。

授業開始前及び授業終了後に当該授業に関する調査を行った結果を表2に示す。

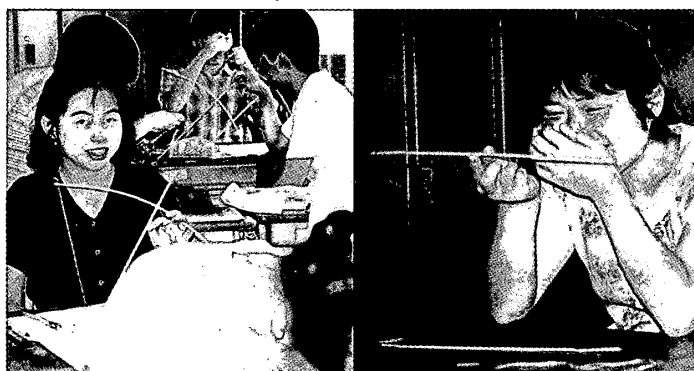


図15 学生達の製作活動の様子

表2 授業に関する質問内容と回答分布

項 目	回 答 傾 向
[授業開始前]	
1. あなたはこれまでに自分で凧を作ったことがあるか。	ある 53% ない 47%
2. あなたはこれまでに凧を自分で揚げたことがあるか。	ある 80% ない 20%
3. 「長崎はた」のような平面凧の重心を求める方法を説明せよ。	説明できる (半数)
4. 「日本たこ (和凧)」の骨組みと「長崎はた」の骨組み構造の図を見比べたときの感想を述べよ。	長崎凧は竹骨二本で作れる
5. インドの凧と「長崎はた」の図を見比べたときの印象を述べよ。	よく似ている (多数)
6. 凧の飛行について知りたいことや疑問があれば記せ。	凧はなぜ揚がるか、など多数
[授業終了後]	
7. 凧が空中に静止しているとき、凧の回りの気流を流線で示せ。(仰角小と仰角大の凧の図中に記入する。)	仰角が大のときの正答率が低い
8. 凧が空中に静止しているとき、凧に働く揚力、抗力、重力、張力を矢印で示せ。(凧断面図に記入する。)	重力、張力の向きは正答率高い
9. 凧が空中に静止して揚がるためには、凧に働く力の合力が0であることと力のモーメントの和が0であることの力の釣り合いの条件が成立しなければならない。	力のモーメントの理解が不十分
10. 凧が空に揚がるわけを説明せよ。	揚力が寄与する
11. 今回、凧を製作した感想を述べよ。	製作を通して物理的意味を理解

表の回答分布はこれまでの蓄積したデータを分析した大略の回答傾向である。地元の女子学生が多いクラスにあって凧を作った・凧揚げをしたことがあるという回答が意外に多い。「長崎はた揚げ」の伝統的な行事が行われている地域環境にあって、幼少の頃から見聞したり保育所・幼稚園或いは家庭の中で作ったことのある者が多いように思われる。その他の質問については、項目6では、空中で凧が揚がって落ちないのはなぜか、空気の抵抗を受けにくいのはどのくらいの大きさでどんな形がよいのか、空気を受ける面積は広い方がよいのか狭い方がよいか、等が主たる疑問である。事前の講義ではこのような学習者の疑問に回答した。一連の授業終了後、学習者の理解が不十分なところは後日の授業の機会に補足説明した。

最近では、身の回りに再利用できる廃物はふんだんにあり、また、DIY店等で必要な道具や材料を安価に入手できる。都市部でも学校や家庭において子供達に凧づくりを指導できる環境は整っているものと思われる。児童が製作できる凧は細い凧骨二本を十字に組みビニールをセロテープで貼り付けた小さいダイヤ形の洋凧が適切であろう。洋凧や和凧は

指導書・参考書<sup>21)</sup>に記されているものであり、当地の多くの幼稚園・保育所では児童の凧づくりに活用されている。昆虫や蝶の形に似せて自由な形状の凧を製作指導することも児童が喜ぶ楽しいものづくりの題材である。

## 7. おわりに

本小論では、教科における環境教育研究の一助として、地域特有の伝承玩具である長崎の凧（はた）について、「長崎はた」の歴史上の起りりと発展、学校教育での取り扱い等を略述した。地域環境教育との関連において凧の理解乃至把握に直結する重要なものであることを示した。凧の製作法を具体的に示した。凧が空中に揚がっている時の凧糸の張力を引張荷重計で測定することにより、張力と翼面積との関係等を明らかにした。ミニチュア凧近傍の気流の流れを可視化する簡便法を提案した。これらの手法は凧の飛行原理を理解するために極めて効果的であると考えられる。教育実践として、短大・大学における生活・理科関連の授業で凧作りの製作活動を取り入れた。

以下に得られた知見を示す。

① 南方伝来の「長崎はた」はわが国において長崎が発祥地であり、17世紀以来今日まで、「長崎はた揚げ」は凧合戦の競技としての特長が顕著である。

② 「長崎はた」は多くの種類の凧の中で最も簡素な構造であり比較的容易に製作できる伝承玩具である。凧が正しい姿勢で揚がるためには、縦骨上のほぼ中央に重心が位置するように製作し、その上方に糸目中心があるように根付け糸を結び付ける。

③ 凧揚げ実験によれば、張力の測定の結果、凧が糸に及ぼす張力は凧の翼面積に正比例する。上昇角の測定の結果、糸目中心を前縁側に寄せた場合、凧の上昇角は次第に大きくなる。

④ 線香の煙の上昇気流を利用してミニチュア凧近傍の煙の流れの視覚化が可能である。

⑤ 教育実践では、地域の伝承玩具である凧の製作を通して地域を学び物理的意義を学ぶことができる。手先を使い楽しみながら、種々の二次モデルを創作していくことのできる動機付けになる教材である。

学習者が自分でものを作ることにより、既製のものから脱却できたという満足感は大事な経験であろう。指導者は良く吟味した材料を準備することと、凧の理に適った正しい作り方を指導することが重要である。

リリエントール（独）が19世紀後半に鳥や凧の飛行を科学的に研究し翼を持つ滑空機を発明しそれが飛行機へと発展したことは有名な話である。伝統的な折り紙の技法が人工衛星の軌道投入時における太陽光発電装置のパネル開閉の技術に応用されているように、実用性がないと思われるようなものづくりの技法でも新手法の発想のモチーフとして、また先端技術開発のヒントとしての利用価値は広く尽きないように思われる。

拙稿を纏めるに当たり年少の頃から可成のブランクの期間を経て凧作りをした。初めから凧を高く揚げる事ができた。当時は物に乏しい時代であった。先ず遊び道具から作る必要があった。その頃の経験的な積み重ねによる凧作りの秘術・秘訣が何時の間にか身に付いていたように思われる。

## 参 考 文 献

- 1) 柳田国男監修, 民俗学研究所編: 年中行事図説, 岩崎美術社 (1975) 58.
- 2) 海後宗臣編: 日本教科書大系 近代編 第24巻 理科 (四), 講談社 (昭和42年) 4.
- 3) 文部省編: 小学校学習指導要領解説生活編, 日本文教出版 (平成11年) 22, 65.
- 4) (財) 日本レクリエーション協会監修, 増田靖弘編: 遊びの大辞典 [実技編], 東京書籍 (1989) 102.
- 5) 林 源吉: 長崎談叢, 長崎史談會編, 第八輯 (昭和6年) 1.
- 6) ヴァルター・レオンハート著, 須本由喜子訳: 西洋紋章大図鑑, 美術出版社 (1979) 35.
- 7) 長崎市役所編: 長崎叢書 (増補長崎畧史上巻) (大正15年) 206, 289, 289, 319, 328.
- 8) 長崎史談會編: 長崎名勝圖絵 (昭和6年) 488.
- 9) 文齋儀野信春: 長崎土産 (弘化4年版) 74.
- 10) 永見徳太郎: 南蠻長崎草 (復刻版), 歴史図書社 (昭和53年) 319.
- 11) 長崎市役所編: 幕府時代の長崎 (明治36年) 328.
- 12) 嘉村国男編: 新長崎年表 (下), 長崎文献社 (昭和51年) 97.
- 13) 本山桂川: 長崎の匂と彩り (大正9年) 80, 101.
- 14) 原 郊月: 日本のナポリ長崎 (昭和12年) 66.
- 15) 松尾大大: 長崎談叢, 長崎史談會編, 第七輯 (昭和5年) 50.
- 16) 伊藤利朗, 小村宏次: 凧の科学, 小学館 (昭和54年) 26.
- 17) 原田幸夫: 流体力学, 槇書店 (1985) 183.
- 18) 富山哲之: 長崎大学教育学部紀要 教科教育学 No.33 (1999年) 43.
- 19) 東京天文台編: 理科年表, 丸善 (昭和51年) 199.
- 20) 流れの可視化学会編: 流れの可視化ハンドブック, 朝倉書店 (1986) 135.
- 21) 例えば, 森 一夫, 角屋重樹監修・中山 迅, 山口幸彦編著: 子どもが生き生きする体験学習のアイデア, 明治図書 (1996) 98.