

日本の竹製管楽器 尺八の音響学的研究 理学士 寺田寅彦

すべての吹奏楽器のなかで、尺八は 2 世紀以上にわたって、日本人に最も親しまれてきた管楽器である。その起源は、足利幕府の時代すでに普及していた”一節切”と呼ばれた管楽器にあると考えられている。尺八は虚無僧（各地を遍歴する仏教僧）がいつも携行していた法器であり、独特のメロディが奏でられていた。尺八の特徴的な音色は、国民感情に根付き、今日まで着実に引き継がれて、人気も増し、あらゆる楽曲が演奏され、尺八のための楽譜も作られて来た。尺八の音色はいくぶんフルートやオーボエに似てはいるが、特有の哀調を帯び素朴な音色である。その特有な表現や音色の豊かさは、他のどのような楽器でも得られないものである。

尺八の名称はその管長（一尺八寸）に由来する。筒音は日本の音名の壱越（d）音である。しかしながら、尺八として良く使われる竹管として、その長さが 1.2 尺～2.1 尺のものもある。本来の尺八よりオクターブ（8 度）高い音（倍音）を出すために、1.2 尺の竹管が用いられる。最近、尺八はバイオリンとともに、邦楽風に演奏される。この際、筒音（gravest tone 最低音）が c（訳者注：恐らく b が正しい）である 2.1 尺管が用いられる。更に、簡単なメロディは時々 1.7 尺と 1.9 尺の 2 本の異なる竹管で、同（音）調（unison）で合奏される。この時、二管の指孔は異なった位置を押さえて演奏される。その基音（gravest tones）は全ての音の範囲で異なっている。

竹管は、完全に乾燥させた竹の根元近くから切り取られる。その際、両端には竹の節がなければならない。竹の材質の緻密さは良い音質を出すための重要な要素である。竹材は硬くても柔らかくてもいけない。その緻密さは、ある程度はその密度から評価される。竹材の選別は、昔からの謂れがあり、第 5 孔の周囲の長さが 3.7 寸で、完全に乾いた状態で 100 匁=375 g が良いとされる。

Pl. I の尺八の写真は尺八の大家、東京音楽学校の上原六四郎氏の所有する尺八である。尺八は前面に 4 孔、背面の一番高いところに 1 孔、合計 5 孔がある。前面の一番上の指孔（第 4 孔）の中心は、通常、管の中央より少し上に位置する。前面の隣り合う指孔間の長さは、全長の約 1/9.5 (0.105) である。背面の孔（第 5 孔）と前面の一番上の孔（第 4 孔）の間の長さは、隣り合う前面の孔の間の長さの約 0.75 倍である。

《私の 1 尺 8 寸管：4-5 孔間=3 cm 1-4 孔間=16cm 各孔間=5.3cm

第 5 孔の周囲=11.5cm 重さ=536g 全長=54.5cm 第 4 孔は歌口から 26.5cm 管尻から 28cm 指孔の直径 10mm 歌口の直径 22mm 管尻の直径 18mm》

本来の尺八の節の数は7個でなければならない。これらの二つ、そして最も下の指孔（第1孔）のすぐ下の節は管尻より約3寸のところであり、これは竹管に強度をあたえ、正確な音を出す事を維持するためにとっても重要であると考えられている。このことで、この（下から3つ目の）節はゴロ節という特別な名前と呼ばれている。この節と管尻の間には2～3個の節がある。竹の節の自然な並び方によって、となり合う節の間の長さは、竹管の上の端に向かってより長くなっている。尺八の伝統的な形として、ゴロ節と管尻の間にある節は別にして、隣り合う節の間隔は、3,4,5,6,寸（合計18寸）という均整の取れた幅を持っている。しかし、そのような理想形にはなかなか出会えない。しかも尺八の両端に節がなければならないことは竹管を採集するときに極端に制限される。この困難な現実を避けるために、最近では二つの分離可能な竹管をつなぎ合わせる事が考えだされた。この改良は賢明な方法ではないので、尺八の質を変えてしまった。

尺八の管尻の部分はふつうわずかに前方に反りあがっている。尺八の最も特徴のある形は吹き口である。それは、他の吹奏楽器と同様、歌口と呼ばれている（歌=song、口=mouth）。竹管の上端の肉厚の部分は、その管の下方に向かって約30°の傾きをもって平たく斜めにカットされている。それにより、内壁が鋭い刃先を形づくる。竹管の歌口の刃尖（先端部）は通常水牛の角、鯨骨、象牙などが埋め込まれて、摩滅を防ぐ。上端の背面の部分（顎当り）はわずかに後方に傾斜を持たせ、丸く削られている。このことで、その端は下唇と顎の間に当てられる。それで、顎にぴったりと合うのである。吹き口の一般的な形は挿入図に示される通りである。

竹管の内部は節のところにある隔壁が取り除かれ、丁寧に日本の赤い漆で塗られている。いくつかの竹管では中隔壁は完全に除かれ、そのことで内面の節の部分での急な変化は存在しない。また、別の竹管では、中隔壁が完全に取除かれていないので、各節の内側はわずかに狭くなっている。どの竹管も内部の直径は最も狭いゴロ節に向かってわずかに狭くなっている。そして、ゴロ節の部分で急に狭くなっているが、それより下は製作者の好みにより直径は一定かまたは管尻に向かって少しずつ広がっている。

指孔は通常円形かわずかに長円形をしている。その大きさはゴロ節の大きさに合わせて決められる。多くの竹管では、一番下の孔より数えて第3孔は、正確な音を出すために他の孔よりいくぶん狭くなっている。竹管の縦断面部分を示す挿入図にある通り、孔は内側に向かって少しずつ広がっている。一般にそれぞれの指孔の位置と大きさは竹管ごとに、その部分の不規則性により少しずつ異なっている。指孔の内部の不規則性は、いくぶんなりとも、倍音の音律に影響

を及ぼす。

竹管の内壁の漆塗りは、音を楽に出すために必要である。内部の粗さも音の明瞭さを妨げ音律を低くする。漆塗りのない竹管では、完全に濡らすと、その音質は著しく改善される。

尺八を演奏するときは、歌口は下唇と顎の間に当てられ、そのことでわずかな隙間 (arcular aperture) が唇と歌口の先端部にでき、そこに息が吹き込まれる。尺八は下半分を右手の親指と中指の間に挟み持ち、従って、中指は前面の指孔のある尺八の下半分の中央にある。左手は尺八の上半分を持ち、親指は背面の第五孔を塞ぐ。中指は前面の指孔の間にある。他の指の配置は言わずもがなに理解される。尺八の管尻は、座奏の場合、右膝の数センチ上にあることになる。音を出すためには、歌口の先端部に息の流れが正しく当たるように、唇はかすかに開く (contracted)。この様に、演奏者の口の開き (cavity)、すなわち、唇と先端部でわずかに開き、全体としてオルガンパイプとしての尺八の歌口の特別な型が出来上がる。唇の調整は初心者にとって易しくはない。だから、聞くに耐えられる音を出すまでに、ほとんどの者ではトレーニングに一週間位かかる。

尺八の際立った特徴は、指孔の異なる押さえ方により出る音の音程が簡単な歌口のわずかな隙間を調整することで変えられることである。この調節は、通常は演奏者の尺八に直結している頭の傾きを変えることで可能である。調整が約10度であるとき、半音より高い音が出る。音の高低を出すために、頭を傾けてわずかな隙間をかすかに広げたり狭めたりする。この間、尺八はほとんど動かないように保たれる。音の上げ下げはこの様になされ、それぞれ、音のカリとかメリと呼ばれている。この調整に加えて、音をわずかに下げるために、相当する指孔の上に直接指を置き、指孔を通る空気の流れを防ぐ。この調節は、カザスと言われてかなり難しい。だから、上級者にだけできることである。このように、いろいろな指孔の押さえかたによる音の範囲は、互いに重なり合うが、少数の指孔にも拘わらず、尺八はほとんど2オクターブのどんな音も出すことが出来る。

簡潔に言うと、尺八は連続した音全てを出せる管楽器の原型であると考えられる。この意味で、尺八は吹奏楽器よりもむしろバイオリンのような弦楽器に例えられる。しばしば多くの日本メロディで遭遇する半音による、音の滑らかな移行は、尺八で上手く吹けるが、殊の外甘い音がでる。並みはずれた音の変化は、尺八の吹奏を他の楽器に比べて極めて難しくしている。音を聞く耳を持たないと、日本の二本の尺八による合奏 (ユニゾン) は易しいことではない。

初心者は音を出そうとして、口を狭く閉じがちであるが、そうすることで音程は低くなる。

この研究の主な目的は音の変化を出す時の口の特殊な働きを検討し、また、指孔の機能を研究することである。後者は、それゆえに指孔を持つ他のいかなる楽

器にも当てはまるかもしれない。さらに、尺八の節という竹管内部の障害物の影響についても考察する。

実験結果

1. 運指表と音律

尺八についてなされた実験は次の通りである。

竹管の端から端までの長さ=49.2cm (訳者注: 1尺6寸管に相当)

上端から指孔の中心までの長さ=19.8,23.4,28.3,33.3,38.2cm

指孔の直径の平均値=0.9cm

歌口の部分の直径=1.9cm

ゴロ節の直径=1.5cm

口の開きはほぼ一定にした上で、指孔開閉のあらゆる組み合わせによる音のおおよその音律は次の表に示される:

(8-9 ページ)

尺八の運指法

○ 開孔

● 閉孔

* 実際に使われる音の運指

ロ、ツ、レ、チ、リ、ヒ 尺八の音階表記

縦軸: 西洋音階表記 (左) n 振動数 (Hz) (右)

基音と1オクターブ高い音の振動数

運指表の各音律は歌口の異なる幅、息の圧力、指孔の開き加減によって、もちろん異なる。上記の運指表で基音(*)は極めて軽い息使いで出せる。それは、ナチュラルの音(楽音)を大きく外れることが無い為であろう。一方、倍音はいくらか単に強く吹くことで得られる。実際の演奏では、基音は半音ほど高くなるので、(うまい具合に)1,2,4,8,16,17,30,31,32の音の倍音(甲音)は、基音に相当するオクターブ高い音を得られる。他の音の倍音は極めて複雑である。一番上の開指孔の下の穴を塞ぐと、基音はいくぶん下がった音であるが、5, 7, 9, 10, 12ほかの音の倍音はしばしば逆である。さらに9, 18の倍音はオクターブよりもかなり低い音である。

(訳者注: the uppermost open one を第五孔とすると、その下の孔(=第四孔)を閉じる例は、17~24。5,7,9,10,12の音の基音は約1音下がっている。the contraryの訳が理解できていない。)

2. 歌口の補正

竹管のナチュラル音（楽音）が口の開き具合でいかに影響されるかは以下の簡単な実験で示される。演奏の時、歌口に唇が当てられる。歌口に振動する音叉を近づけて、隙間を調節すると共鳴が最高に達する。竹管をこの位置から少し傾げるか、下唇を少しずらすと直ちに共鳴がなくなる。

円孔をもつ通常のオルガンパイプでは、波長の長さを得るために、Cavaille-Collによると、管長に $3^{1/3}R$ ($1.45R$) を足して補正がなされる。R は管の相当部の半径である。Lord Rayleigh は、その補正の大きい部分は歌口によると指摘した。私の知る限りでは、歌口の寸法とその部分の補正の詳細な関係に関する詳しい実験はなされていない。

尺八の場合、唇と刃先(エッジ)の間の隙間である口の開きは非常に狭い。それ故に、歌口による長さの補正は非常に大きいと思われる。後程解ることだが、竹管の歌口の補正值は時には 10 倍にもなっている。

尺八の歌口の影響を直接研究することは易しくない。それは、

- 1) 唇と刃先（エッジ）の間の不規則な口の開きの広さを決めることがむづかしい；さらにその広さは唇のわずかな動きで大きく変わるのである。
- 2) 指孔の影響は、もし我々がいろんな音律で試そうとしても、歌口の影響を妨害する。からである。

それ故に、歌口の基本形をしている尺八と似た形の簡単な共振器を考案した。それによって、指孔による複雑さからは避けて歌口だけの影響を研究することを可能にした。この目的の為に実験は次のように行った。

内径がほぼ一定の 3.95cm、厚さ 2.7mm のガラスパイプを垂直に固定する。上部の開放端をよく磨いて下端部はコルクで栓をした。コルクの穴を通して小さなガラス管を挿入した。この小さな管を通してそのパイプの下部より水を入れたり除いたりした。そのことで、意のままにガラス管内部の空気柱の長さを調整した。0.4mm の厚さの亜鉛の薄い板を開口部に固定してそこを部分的に塞いだ。その亜鉛板の端と管の間に隙間が出来た。プレートと磨いたパイプの端とがきっちりと接するように少量の牛脂を接触部分に塗りつけた。隙間の面積は、線分 CN で示した長さから計算して求めた。図に示した ABC の面積は、

$$r^2\theta - \frac{r^2}{2}\sin 2\theta$$
$$\theta = \cos^{-1} \frac{r-p}{r}$$

r は半径、p = CN の長さである。（訳者追記 1）

全長に亘り目盛りを付けたガラスの細長片を隙間に当て、その端は鉛の板の

端と接触している。長さ p の値は mm の 1/10 まで測定した。

音叉は調整された C1~C2 の間の半音階スケールの 13 組セットのものを用いた。これら音叉の振動数は Koenig によって作られた標準音叉に照らし合わせ、あらかじめ決められた。低音部に関しては、Koenig 音叉は Sol、Mi 2、Ut2 (ド) が使われた。まず初めに管内部の空気柱は、希望する長さ l に調節した。音叉を次々と隙間に近づけて共鳴が最大になるように垂鉛板を調節しその時の長さ p の値を測定した。次に、空気柱の長さを変えて、測定を繰り返した。これらの実験結果から、異なった空気柱の長さに対する、歌口の面積と共振器の相当する音律の関係を得た。その結果を図 3 (訳者追記 2) に示した。ここで横座標は共振器の振動数、縦座標は隙間の広さの 4 乗根である。この線図から次のことが言える。

1. 異なった l 値に対する $\sigma^{1/4}$ に対するカーブの振動数 n はわずかな曲率で原点に集まっている。
2. 空気柱の長さ (内径 3.95cm) がその直径に近くなる、すなわち $l=5.3\text{cm}$ の時、振動数はほぼ、 $\sigma^{1/4}$ に比例する。
3. 空気柱が長くなればなるほど、音律 (振動数) は隙間 (σ) が大きくなっても、ゆっくりと高く (多く) なる。
4. 歌口の隙間が狭くなればなるほど (縦軸の原点に近づく)、 $\delta n / \delta \sigma^{1/4}$ の値 (訳者注: カーブの勾配の逆数) は大きくなる。

ナチュラルの音 (楽音) に影響するから、音叉はあまり歌口の隙間近くまで持ってこないように細心の注意を払わなければならない。空気柱の内部の湿気の影響が確かめられたが、必要な精度範囲では無関係であった。簡単な共振器<波長よりもやや短く、三次元音場をもち、表面のわずかな隙間によって外気と接触する>の音律は、多くの優秀な物理学者によって研究されてきた。Helmholtz は円形の隙間に対して、理論的に次の数式を得た。

$$\frac{a\sigma^{\frac{1}{4}}}{2^{\frac{1}{2}}\pi^{\frac{5}{4}}S^{\frac{1}{2}}}$$

S は容積、 a は音速 (空気中 訳注 335.588m/s)

Sondhauss は実験的に数式

$n=52400 \sigma^{1/4} S^{-1/2}$ (長さは mm 表記) を得た。

これらの結果は、共鳴に関する古い文献で、Lord Rayleigh によって議論されている。一方、筒型の共振器の開口端補正は実験的にも理論的にも、上記の著名な方々のほかに、多くの物理学者によって扱われてきた。今回の私の実験は最初の実験<On shakuhati の論文>から次の段階までの移行の中間段階をある

程度は提供している。上記の結果から、空気柱の長さ (l) が小さいときは、音律は $\sigma^{1/4}$ および $l^{-1/2} S^{-1/2}$ にほぼ比例する。その隙間の広さが、完全な円形に近づくと $\sigma^{1/4}$ に対する n の曲線は、開口筒の以前の結果 (完全開口時) で得られた値に近づく。

類似の共振器では、音律は縦の長さ (homologous dimensions) に逆比例する事実が確立している。このことから、 n と l^{-1} に (上記実験のガラス管の直径/他の管の直径) の割合を掛け、 $\sigma^{1/2}$ に (前記同率) $^{-1/2}$ を掛けるならば、上記の結果は異なった直径をもつ他の吹奏楽器に当てはまるかもしれない。

管または板の厚さは、波長に比べて非常に小さいので、その影響は非常に少ない。故に、上記で得られた関係はこの論文の後半で示される通り尺八の場合にも適用できる。

3. 指孔 (訳者追記 3)

共鳴に関する論文で、Lord Rayleigh は吹奏楽器の指孔の理論的な取り扱い方を提案している。しかし、私の知る限りでは理論的にも実験的にもそれ以上の報告は見られない。尺八に関する現象の説明のために、指孔の働きを研究する必要性が、今から述べる一連の実験に私を駆り立てた。

円筒管は、内径 4cm、長さ 1m、厚さ 0.5mm の亜鉛板で作られた。そのシリンダーの側面には紙に書かれた長い物差しが付けられた。1m 以上の深さのある円筒のタンクを水で満たし、円筒管を垂直に挿入し、共振器の空気柱の長さを変えた。パイプは手で上げ下げした。いろんな直径の指孔が違った位置でパイプの側面に作られた。孔の異なった位置で、音叉が最高に共鳴する空気柱の長さを求めた。

現在の目的で必要とされる精度内で、パイプの上げ下げを片手で出来るように考えた。もう一方の手は開口端近くにある音叉を持った。管の動きを誘導し、その高さを読むために、実験の初期は調整したが、後半は調整を必要としなかった。管を直立するために、2.5cm 離れたところに管の側面に平行にまっすぐの真鍮棒を立てた。この棒は管を上げ下げする間、タンクの横にきちんと固定した。

閉じなければならない孔は曲がった亜鉛板を管の側面にきちんとあわせ、ある種の牛脂で封をした。このようにして孔の蓋による管内部の内壁にできるわずかな不規則性は管内の音の速度にそれほど影響を与えなかった。

実験結果は下記の通りである。

a) 開口端補正 初めに、開口端による長さの補正は全ての孔が作られる前に、通常の方法で決められた。その結果は平均で 0.42R (0.84cm) であった。R は管の半径である。

b) 一つの丸い孔

図 4,5,6 に開口端から孔の中心の距離 d と各種音叉に最大共鳴する開口端と水面までの全長 L の間の関係が示された。原点からの軸に 45 度の傾きがある直線と曲線との間の縦軸の差は、水面から孔の中心までの距離 ℓ を与える。

数式 $\lambda/2 - \ell = d$ (λ は音の波長) の意味は、開指孔による補正值と考えられる。(訳者注: この数式は、本来、両端が開口している場合の補正值である。

$\lambda/2 - d = \ell$ とすれば、 ℓ は開指孔の補正值となる。しかし、実際は異なっている。たとえば、表Ⅲの一つだけ開孔している 5 の音律で、 L が 73.5cm、孔の直径 1.8cm でこの時の補正值は 10.1cm とある。これは、図 4 のグラフから $d =$ ほぼ 51cm と読み取れる。それを図 7 により、開指孔の補正值 $a =$ ほぼ 10cm と読み取れる。この時 $73.5 - 51.7 = 21.8$ だからこの場合のガラス管の水面から第一孔までの長さは 21.8cm となり、補正值よりはかなり大きい値である。 $51.7 + 10.0 - 0.84$ (歌口側補正) $= 60.9$ これは c_1 音の $\lambda/2 = 63.9$ にほぼ等しい。)

その補正值は、はじめは d とともにゆっくりと、 d が半波長 ($\lambda/2$) に近づくと急に増加すると見られる。補正值 a と d の関係で、補正值 a の増加速度は横穴の大きさに依存する。図 7 は孔の直径 r の三点で、 c_1 音の時の d と a の関係を示している。その曲線は大きく屈曲している。 d が小さい時、半波長に近い時でないとき、それらはほぼ直線と考えられて、その曲線は d 軸上の一点に収束している。

違う波長の音では、もし、その曲線が a と d/λ (d の代わりに) の関係を表す音で描かれたら、 d/λ が $1/2$ に近い時以外は、それらの曲線は互いに接近することが解った。このことは、異なった大きさの孔にもあてはまる。 d が $\lambda/2$ より大きくなると、その関係は管が開口端から $\lambda/2$ に等しい距離にカットしたときに得られる結果とよく似ている。

もし、管の上部が硬い板で完全に閉じられると、その結果は、長さ $= \lambda/4 - 0.4R$ の管で、板を取り外した管で得られる結果に似て来る。もし、開口端が丸い孔を持った板で部分的に閉じられると、管長 $\lambda/4 - c$ (c は部分孔による補正值) で、開口端の蓋を取った管で得られる結果と全く同じになる。後半の事実はいろいろな歌口の異なった直径の板で、実験的に確かめられた。この様に a は d/λ に関しては $1/2$ の間隔で周期的である。

c) 複数の孔 1 個以上の孔がある場合はより複雑になる。いろんな孔の組み合わせは多様になり、それらを独立的に一つ一つ試さないといけなからだ。実験結果から、それぞれの孔の補正值 a は、開口端に近いかもう一つの孔を作ることで減らせると一般的には推論できるかもしれない。その減少は第二番目の孔の大きさと最初の孔との距離 (with its approach) で増加する。

図 4, 5, 6 で点線は、同じ穴が最初の孔から s cm のところに作られるときの

ℓ の長さ（訳者注；これはLではないか。）を示す。

孔の直径=1.8cm のとき、第二番目の孔の影響は、 d/λ に対する曲線 a は、 d/λ の軸にほぼ平行になる。

補正值 a は二つの孔の距離が減少するにつれてほとんど一定に減少する。減少の割合は、第二番目の孔の直径とともに、あるいは開指孔の数とともに増加する。開口端から最初の孔の距離にほぼ独立である。

その関係は次の表に示される。

表 I

孔の直径 = 5 mm

開口端から孔までの長さ = 0.7、6.75、11.75、16.75、21.75cm

L = 最大共鳴時の空気柱の長さ (cm)

A = 波長 (λ) / 4 - 閉口端とそれに最も近い開穴の長さ (cm)

○ : 開孔

× : 閉孔

表 II

孔の直径 = 1cm

開口端から孔までの長さ = 0.8、6.75、11.75、16.75、21.75、31.75cm

表 III

孔の直径 = 1.8cm

開口端から孔までの長さ = 11.7、21.7、31.7、41.7、51.7cm

孔の直径の値に対して、第三の孔の影響はほとんど無視できる。もし、第一番目より第二番目の孔が大きいと、二つの孔の間の距離が減少すると、a の減少割合は、二つの孔の大きさが等しい時の場合よりも大きい。このことは、表 I と比べて次の様に示される。

表 IV

○ : 直径 = 0.5cm

◎ : 直径 = 1.0cm

開口端から孔までの長さ = 0.8、6.75、11.75、16.75、21.75、cm

（訳者注：表 I では、補正值 $a = \lambda/4 - \ell$ （水面から水面に一番近い孔までの距離）と定義している。1 から 5 までの音は第一孔が、水面から開口端までの長さ (L) から、第一孔までの長さ (21.75cm) を引いた値が ℓ であるので、表の補正值 a (a') は、算出できる。これは、第一孔が、開孔の役割をしていると理解できる。）

4. 節の影響

Lord Rayleigh は、円筒共振器の部分的な収縮や拡張は多かれ少なかれ、そのナチュラル音（楽音）に影響し、また波形の腹（loop）の部分が広がり節（node）の部分の収縮はナチュラル音（楽音）を上げると証明した。彼によって検討された場合はその部分の変化が非常に滑らかである場合に限られる。尺八の場合は、節（竹の内部の）の変化量は小さいけれど、むしろ急激な変化である。円筒共振器の内部に置いたダイアフラム（絞り、隔膜）による影響を調べるために、以下の簡単な実験を考えた。円筒のガラス管は、歌口の隙間の影響を調べる先の実験で使ったものを用い水平に固定した。円筒内の空気柱の長さは、木のピストンで調整した。そのピストンの周りには布のシートを巻き付け、管内できっちりと密着させた。ダイアフラムは長さの違う木のシリンダーで作り、口径の異なる円筒形か円錐形かの中空の穴をあけた。ダイアフラムの横面はガラス管の内部とぴったり接触するためにビロードで覆った。それらを開口端から異なった位置の共振器内部に引き続き置いた。先の実験で使った音叉のシリーズは、各々開口端に近づけて。最もよく共鳴する管の長さを測定した。

まず最初は、違う直径(1,2,3cm)の円筒中空を持つダイアフラムを調べた。その結果は図 8,9,10 の実線で示した。横軸 (a) は開口端からダイアフラムの中間点までの長さ、縦軸 (L) は開口端からピストンまでの長さである。水平の点線はダイアフラムが無い時の最大共鳴の長さである。点線と実線との間の縦軸の差はダイアフラムと音叉の組み合わせで判明した（ダイアフラムにより生じる）長さの補正值である。以下のことが解った。

- a) 異なった音の曲線は、ほぼ平行である。
- b) ダイアフラムが節 (node) に近い時 (c_1 の音ならば $\lambda/4 = 31.9\text{cm}$ が a の時) の補正值はマイナスである。(node 上では 0 である。)
- c) その補正值は、中空部の面積が減少するとともに (=ダイアフラムの直径が小さくなること) 増加する。はじめはゆっくりと、それから急激に変化する。このことは次表 (表 V) に示した。

共鳴の強さは、中空の直径が小さくなることで急に弱くなる。中空が狭い時、管はむしろ、その狭い中空によって互いに 2 つの共振器が反響しあうシステムになると考えられる、そのようなシステムでは、共振器の 2 つのシステムが可能である。上の実験で見たひとつのモードは、空気の動きの層がどこでも同じであるモードである。他のひとつは、2 つの部分の動きが反対であるが、これについては全く考慮しなかった。事実、中間の中空が短くなったとき前者はわずかであるが、他の方が支配的になる。この事実は、実験によって簡単に示すことができる。現実の問題は、我々の研究を前者のモードを除外して限定できるが、でき

ることなら、後者のモードが将来の相互理解のための主題となることを期待したい。

円錐形の中空を持つ（ダイアフラム）を用いた時の結果が図 8,9,10 の破線で示される。そこで示される直径は、狭い方の直径である。広い方は、常に 4cm である。すなわちガラス管の内径に等しい。ここでふたたび、横軸は開口端とダイアフラムの中点までの長さである。円錐形の中空の方向を逆転しても、結果は全く異なる。この図から言えることは、

- a) ダイアフラムによる補正值は円筒形のチャンネルで得た値の約 0.4 倍ほど小さい。（円筒形のチャンネルとは、円錐形のチャンネルの直径が狭い方の端の直径に等しい時である。）
- b) 実線と破線が水平線の点線の近くで互いに交差している。このことは、障害物（ダイアフラム）が影響しないところでは、その形も大きさも重要ではないということである。
- c) 異なった音でこれらの交差点（図 11 に 4 つの交差点がある。これを結ぶと原点に向かう。）をもつ直線は原点に向かっている。障害物による影響が 0 の時の位置は、ピストンまたは開口端から音の波長の長さまでの割合（ $\lambda/4$ 図 11 の交差点は c_1 で縦軸 $L=31.9\text{cm}$ e_1 で $L=25.4\text{cm}$ $g_1^\#$ で $L=21.4\text{cm}$ c_2 で $L=16.7\text{cm}$ である。）で与えられるということを示している。

最後にダイアフラムの長さの影響を調べた。その結果は 11 図に示した。チャンネルの長さが長くなるほど補正值が増加することが示されている。ダイアフラムの長さは 5~1cm (1,3,5cm) の長さであるけれども、もし、横軸がガラス管の開口端とダイアフラムの中点の距離と比例してとられるならば、それぞれの曲線は、対応する点線の位置でほとんど交差している。

ダイアフラムの影響のもう一つの研究は次の通りである。通常のオルガンパイプの内部にダイアフラムを挿入して、その位置を任意に調整する。管は制御されたふいごの方法で吹かれる。ダイアフラムの異なった位置による管の音律を測定する。私の実験で使ったオルガンパイプは矩形の部分のある木製のものであり、筒音は a_1 である。ダイアフラムは木製のものであり、管の内部できっちり密着していて、矩形のチャンネルで穴が開いている。ダイアフラムの横面は管の内壁に密接に接触するように、布で覆われている。ダイアフラムは、互いに斜交いに取り付けたうすいスチール棒で自由な位置に持って来られる。ダイアフラムはゆっくりと押し込まれ、その間、定圧で吹き込まれるならば、音律は管の節で得られる最高音まで徐々に上昇する。そこから、ダイアフラムの遠いところでは、徐々に音律が下がる。その実験の結果は、先の実験で得られたものと全く同じものである。

ほぼ円筒形に近い管の部位が変化した場合、Rayleigh は次の式を得ている。

$$\Delta\ell = \int_0^l \cos \frac{2\pi x}{\ell} \frac{\Delta S}{S_0} dx$$

ここで、 $\Delta\ell$ はその管の不規則性による長さの補正值、 ℓ は波形の隣り合う腹と節の間の長さ、 ΔS は管の長さに沿って節 (node) からの距離 x の関数として得られる部分の少量の変化。(訳者追記 4) S_0 は(管の断面積の)平均値。

上記の関係(数式)は、全ての中空部分の流速が一定であるという仮定で得られたものである。その仮定は今回検討した場合にはあてはまらない。何故なら、ダイアフラムの両端の部分の急激な変化が空気の不規則な流れを生むからである。しかしながら、今回のケースで上記の関係を検証することは興味あることである。

$\Delta S = \text{一定}$ ($\xi - a \leq x \leq \xi + a$)、その他では $= 0$ としたら次の式を得る。

$$\Delta\ell = \frac{\ell \Delta S}{\pi S_0} \cos \frac{2\pi\xi}{\ell} \sin \frac{2\pi a}{\ell}$$

$\Delta\ell = 0$ なら $\xi = \frac{1}{4}\ell$ である。

これは、図 9,10 のケースにはほぼ等しい。

もし、 $\xi = \ell$ なら

$$\Delta\ell = -\frac{\ell \Delta S}{\pi S_0} \sin \frac{2\pi a}{\ell} \text{となる。} \text{(訳者注 この負号は不要?。あるいは Rayleigh}$$

の式及び次の式に負号が付く。)

故に、もし a が一定値なら。

$$\Delta\ell \propto \Delta S \text{あるいは} \propto (R - r)^2 \text{ (訳者注: これは恐らく } R^2 - r^2 \text{)}$$

ここで、 R は円筒の半径、 r はチャンネル(ダイアフラム)の半径。このことは24頁に与えられる表で定性的に確かめられる。上記の式と8,9,10図で得られる結果を比較して、 $\Delta\ell$ の実際の値が理論値よりもとてつもなく大きい。その食い違いはダイアフラムの半径が減少するとともに増大する。このことは、ダイアフラムの端の妨害を考慮しなければならないことを示唆している。(訳者追記 5)

実験結果の尺八への適用

現在の実験結果が次の方法で尺八の場合に適用出来るかもしれない：—

(訳者考察) 図3の実験は片方が水面のガラス管である。従って閉管である。管の太さも3.95cmで両端開管の尺八の1.9cmの約二倍である。寺田は、この二つをどういう形で結びつけたのかは興味がある。)

全ての指孔を塞いだとき、下部端が波形の腹(loop)に相当しなければならぬから、開口端に通常の補正がなされるならば、その波形の節(node)の位置は簡単に見つかる。音律がC₁[#]であるように歌口を調節すれば歌口から節までの距離Nは、次の数式が成り立つ。

$$N=L+0.8R-\lambda/4$$

Lは尺八の全長=49.2cm；Rは内半径=1cm； $\lambda/4=30.1\text{cm}$ (温度=15°)

$$N=9.9\text{cm}$$

(訳者注；数式に上記の数値を代入すれば、N=19.9cm 結果歌口側の開口補正は10.2cm)

さて、すでに調べた通り、図3は尺八と等しい直径を持つ筒状の共振体のケースに当て嵌まる(may be reduced)かもしれない。現在の実験でガラス管の直径(3.95cm)と尺八の直径(1.9cm)の割合はほぼ2であるから、図でnの値を2倍し、 ℓ は2で割る。

(訳者注； ℓ がいきなり出てくるが、図3ではガラス管の端から水面までの距離。“nの値を2倍し、 ℓ は2で割る。”この作業が実験結果の尺八への適用の鍵となる。)

(変換図：機械的に $n \times 2 \quad \ell \div 2$ の図を作図して 図3の ℓ の最大値が47.23なので尺八の長さ49.2cmは、実際には変換図からは推測できない。)

この様に変換した図から、C₁[#]に相当する $\lambda/4-\ell$ が9.9cmである縦軸の値($\sigma^{1/4}$)が見つかる。

(訳者注：図3の実験からすると、この $\lambda/4-\ell$ は歌口側の補正值であるはずだ。上記のN=9.9cmと同じ値だけに紛らわしい。)

縦軸のこの値で、nに対する ℓ の関係を与える曲線から、他の音律に相当する補正值が得られる。このようにして、指孔のあらゆる位置に対応するNがみつかる。(訳者注：いきなり指孔が出てくるが・・・)

もし、その位置に相当する音律の振動数を決めさえすれば、次の式が得られる。

$$N = \frac{\lambda}{4} - \left(\frac{\lambda}{4} - \ell\right) = \ell$$

歌口から $N + \lambda/4$ は（管尻側の）実効腹の位置を与える。開口端を超える実効腹の距離は（管尻側）開口部による補正值と考えられる。

（表）数字で示した位置（運指表）の計算結果

（訳者注：乙音口の音（表の No1）の $\lambda/4$ $N=19.9$ は数式とおりに。

では、No2 の音 尺八の乙のツの音で我々が実際計算できるか？

1、(ロ), 2 (ツ), 4 (レ) などでは、計算式は

$N=L$ （歌口から開指孔までの距離） $+0.8R - \lambda/4$ でよさそうだが、

（ツで $N=14.5$ レで $N=13.3$ ）

3 2 (ハ) の音などは、この式では計算できなかった。必ずしも開指孔が開口端とはならないようだ。）

尺八において、音程の変化は歌口で作る振動数の差でなく、指孔の異なる位置にほとんど等しいという事実はガラス管の実験結果に一致する。すなわち、空気柱が長くなればなるほど、 $\sigma^{-1/4}$ に対する曲線 n は急勾配になる。

指孔の影響の結果に歌口の隙間による影響が合わさっても、指孔の異なった位置に相当する音程をおおよそ計算可能にしてくれる。

尺八の基本の音（基音）の範囲内で指孔による補正は次の式で表せる。

$$a = f(r) \left(\frac{d}{\lambda} + e\right)$$

ここで e は定数、 $f(r)$ は指孔の半径の関数、図 7 の曲線 I で、 $\frac{r}{R}$ は尺八のそれに等しい。（訳者注：ガラス管の直径は 3.95cm 指孔は 1.8cm 尺八の直径は 1.9cm 指孔は 0.9cm 両方の $\frac{r}{R}$ はほぼ同一。）

$$a = 12.8 \times \left(\frac{d}{\lambda} + 0.047\right)$$

（訳者注：上記の等式の誘導は理解できていないが、図 7 の d 値 $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ を代入すると $a=3.80$ 7.00 これは曲線 I から読み取れる。）

再び、図 3 から、歌口による補正は次の式で与えられる。

$$a' = A - m(n - n_0) = 10.8 - \frac{2}{250}(n - 250)$$

$$= 12.8 - \frac{272}{\lambda} = B - \frac{l_0}{\lambda}$$

（訳者注：この式は理解できないが。。。）

$$\text{いま、} \frac{\lambda}{2} = \ell + a + a' = \ell + f(r) \left(\frac{d}{\lambda} + e \right) + B - \frac{l_0}{\lambda}$$

(訳者注：この式は管長に歌口補正 (a') 及び指孔補正 (a) の和が半波長であるという式と理解できる。)

$$\text{故に、} \lambda^2 - 2[\ell + ef(r) + B]\lambda - 2[f(r)d - k] = 0$$

$$\lambda = \{\ell + B + ef(r)\} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{2[f(r)(L - \ell) - k]}{[\ell + B + ef(r)]^2}} \right\}$$

尺八では

$$\lambda = (\ell + 13.4) \left[1 + \sqrt{1 + 2 \frac{357 - 12.8\ell}{(\ell + 13.4)^2}} \right]$$

(訳者注：尺八の口、ツ、レ (運指表の 1,2,4 番の音の長さ ℓ は 49.2 38.2 33.3 を代入すると $\lambda = 120.63$ 100.10 92.42 が求まる。これらは、ほぼ各音律の波長に等しい。)

(竹の) 節によるその部分の直径の変化は普通の管の直径のせいぜい 1/20 である。異なった位置の基本音律に対して、そのわずかな不規則性の影響はダイアフラムの影響に関する実験結果から見られたように、非常に小さい。しかしながら、不規則性が波長に比べて考慮すべきであれば (波長が短い時)、その影響は増加する。そのことは、図 8.9.10 の曲線の傾きが、波長が短くなるにつれて大きくなることでわかる。そのことは多分、(竹の) 節による音質の変化と関係している。

その部分の小さな変化による影響について直接実験をした。同じ長さ 23cm で、1 ~ 2 mm だけ絞った部分あるいは広がった部分の場所以外は、中空の平均直径は 2.2cm のいくつかのガラス管に、筒状のオルガンパイプに歌口を付けた。それらは、液柱計によって測りながら、定圧下で吹き込んだ。異なるガラス管の振動数は、ビート数を数えることによって、適当な音叉によって比較した。パイプの音律が高いか低いかは空気圧を少し変化させることで簡単に決まる。もし、圧力が増加するとビート数は減少し、パイプの音律は音叉のそれよりもいくぶん低くなる。逆も同様である。そのような小さな不規則性が管の開口端近くに位置していない限り、その影響は非常に小さいことがわかる。音律 C_1 ($n=263$ $\lambda/4=31.9$) のとき、上で言った不規則性が開口端から 4cm 上に位置している時、 n の変化はせいぜい 3 である。自然音に対する、ほぼ円錐形 (の中空) の影響はその大きさはわずかであることが知られている。

ゴロ節の機能の影響は、No 2 の位置の中空内の抵抗を増やすことによって、音律を下げているように見える。その音律は少しばかり高く、その最大の音律の音程はあまりにも大きくなるだろう。更に、この節による尺八の強度は尺八の

音にも関係している。このことは、なお研究の余地がある問題である。

倍音の不規則性についても説明をしておかなければならない。基本音のほとんどは、管内の空気振動が歌口に最も近い開指孔より上の管の部分で起きている。振動のエネルギーのほとんどは、指孔または複数の指孔から外気に伝えられる。このことは、圧力カプセルを伝えるガラスチューブをパイプの下部端に入れることでわかる。

ガラスチューブの端をパイプの上部に持って行ったとき、あるいは指孔に入れた時に比べて、気流の乱れは非常に小さい。しかしながら、倍音が基音に相当するオクターブよりも高く起こされたら、パイプ下部端の圧力の気流は、強制的な振動に組み込まれる。そして、このモードは、パイプの下部が音の発生に重要な役割を果たしていることを示している。事実倍音では下部端と指孔の間の長さが、音波の半分に近づくと、下部が共振体を形成しその音律は上部のそれに近くなる。この様に管は概して二つの共振体の伝達のシステムを形成する。その現象の完璧な説明は、それ故に、共振体の多重システムの研究が十分なされた後に、できるかもしれない。しかしながら、定性的なことならば、次に示すように多数のケースで説明可能である。

No.5 の音では、開指孔より上の管の実効長は、 $a_2^\#$ の波長 (λ) にほとんど等しい。一方下半分は同じ音の半波長より少し長い。

(訳者解説：No5 の音は、第 3 孔のみ開放している。琴古流尺八のウの音である。第 3 孔は歌口から 28.3cm (管尻からは 49.2-28.3=20.9cm) のところにある。今 $a_2^\#$ 波形が歌口と第 3 孔の間で $\lambda/2$ で出来るとすると、その節 (node) の位置は、28.3cm の間のどこかにある。歌口の補正値を、10.2 を用いると、第 3 孔から、歌口側実効腹 (loop) は 28.3+10.2=38.5 である。これはウの甲音が $a_2^\#$ ($n=933$ $\lambda/4=9.1$ $\lambda/2=18.2$ $\lambda=36.4$) の波長にほぼ等しい。いっぽう、下半分は 20.9cm で $a_2^\# \lambda/2=18.2$ の半波長よりも少し長い。)

それ故に、この音では、開指孔のごく近いところで、実際の (波長の) 腹が発生し、わずかのエネルギーが指孔から逃げるような形で、空気の振動が管内で起きる。もし、開指孔が塞がれ、パイプが吹き込まれる間、振動の通常モードがほとんど一定ならば、音律だけがわずかに低くなる。このことは実験で立証される。事実、 $a_1^\#$ ($n=467$, $\lambda/4=18.2$) は、No1 の音の第二倍音 (訳者注：実際は d_2 第一倍音) にほぼ相当する。同様に、No18,19,20,23,24,25,等の第一倍音では、No 1 の音の第三 (第二ではないか。) 倍音に相当する。故に、そのモードでの節に近い孔が閉じられるときのこれらの音では、この音を簡単に出すことができる。

No17 の位置の音では、基音は No18,19 等のような音に比べて、非常に高い。この音では、後ろの孔 (第五孔) から、エネルギーは逃げなくて、音の変化は起こらない。もし、孔が閉じられるなら、その音 No 1 の位置とほぼ等しい。

No18 の中間の倍音 f_2 ($f_2^\#$ か)は、No2 と関連している、同じく No17 は No1 と関連している。(訳者注：No17,18 は No1,2 の第 5 孔が開いた形。) d_2+ ($n=590 \lambda/2=28.4$) の中間の倍音は管の下半分(訳者注：その長さは $49.2-19.8=29.4\text{cm}$) による。

尺八の明らかな欠陥は、No1 と 2 の音の間隔があまりに離れていることにある。(訳者注：ロとツの間の音を出すために、ツの音のメリ、中メリは第一孔を右手の薬指で半分塞いだり、カザしたりする。)

この不便さは、もしゴロ節の下に右手の小指に相当する位置に孔を開ければ、避けられるかもしれない。私が d_1 の音でこの横孔の位置を計算した。そして、それは管尻からの長さは 6cm であるとわかった。その穴を開けると、期待する音を得られ、さらに、新しい孔の倍音が出せなかった $d_2^\#$ の音を出せた。もうひとつ良いことがこの穴によって得られた。すなわち、その孔を開けると、倍音の不規則性がほとんどの場合無くなる。それは、管の下の部分が短い半分に区切られ、そのことでその部分による障害を失くしてしまったからである。しかしながら、その新孔の最適の位置は、演奏の時のむしろ簡便さにより決められるべきである。この点から、その孔の少し高い位置が勧められる。それによって、小指の端が無理なく孔を塞ぐことが出来る。

私の研究中ずっと、親愛なる激励と適切なお示唆を頂いた田中館愛橘教授と長岡半太郎教授に感謝致します。写真撮影のため、(論文) 整理の時には、ご親切に尺八をご提供頂いた上原六四郎先生にも感謝いたします。

訳者追記 数式・略号の説明など

追記1：歌口の間隙の広さ＝半月形(ABC)の面積は扇形(AOBC)－三角形(AOB)で求まる。

$$\text{扇形} = 2 \times \frac{1}{2} r^2 \theta \quad (\theta \text{ はラジアン表記})$$

$$\text{三角形の面積} = 2 \times \frac{1}{2} \times r \sin \theta \times r \cos \theta = r^2 \sin \theta \cos \theta$$

三角関数の公式に $2 \sin \theta \cos \theta = \sin 2\theta$ があるので

これから歌口の間隙の面積(σ)は、

$$r^2 \theta - \frac{r^2}{2} \sin 2\theta \quad \text{となる。}$$

(例)

$r = 3.95 \div 2 = 1.975$ で、 θ が仮に 60° ($= \pi/3$ ラジアン) であると

$$\sin 2\theta = \sqrt{3}/2 = 0.866$$

$$\begin{aligned} 1.975^2 \times 1.05 - 1.975^2 \div 2 \times 0.866 &= 1.975^2 (1.05 - 0.433) \\ &= 3.9 \times 0.614 = 2.395 \quad \sigma^{1/4} = \mathbf{1.244} \end{aligned}$$

追記2：図3：縦軸 $\sigma^{1/4}$ cm^{1/2} 0.0～2.0 横軸 振動数 n
空気柱 l 5.23～47.23cm

追記3：

b) 1個の丸孔

図4.5.6 亜鉛管 全長 1m 開口端より水面まで Lcm
開口端より孔まで dcm 孔より水面まで l cm
管の直径 4cm

c) 複数孔

表1 孔の直径 5mm 指孔間 5cm

$$a < \text{表では } a' > = \frac{\lambda}{4} \quad (\text{閉管端} \sim \text{開口までの長さ})$$

表3 孔の直径 1.8cm 指孔間 10cm

追記 4: <http://www.asahi-net.or.jp/~jcly-ishr/Torahiko/> 翻訳にあたってはとても参考にさせてもらった資料。それによれば、寺田論文の ΔS は管の断面積の平均値 S_0 とダイアフラムの孔の断面積との差とし、管の断面積 $S=S_0+\Delta S$ としている。

この資料の数式は私の理解の範囲を超える内容であるが、寺田論文 26p Rayleigh の式以下、27p までの論旨展開を再度考察してみたい。

まず、 $\Delta\ell$ は不規則性による長さの補正值とあり、 ℓ は隣り合う loop と node の長さである。 C_1 ならば $\ell=\lambda/4=31.9\text{cm}$ R はシリンダーの半径だから (内径 4cm の半径だから 2cm)、 r はチャネル (ダイアフラム) の半径だから (内径 1, 2, 3 cm のダイアフラムなので、 $r=0.5, 1.0, 1.5\text{cm}$ である。さらに表 V からは、ダイアフラムが開口端にあり、ダイアフラムの長さ 1cm なので、開口端からダイアフラムの中心まで a は 0.5 になる。ここで、 $\Delta S = \text{管の断面積} - \text{ダイアフラムの断面積} = \pi \times 2^2 - \pi \times 0.5^2$ となる。(この 0.5 は内径 1cm のダイアフラムの半径)

$$\text{式中 } \frac{\Delta S}{S} = \frac{4\pi - 0.25\pi}{4\pi} = 0.9375 \quad (\text{ダイアフラムの内径が } 1\text{cm} \text{ の時})$$

$$= 0.75 \quad (\text{ダイアフラムの内径が } 2\text{cm} \text{ の時})$$

$$= 0.4375 \quad (\text{ダイアフラムの内径が } 3\text{cm} \text{ の時})$$

表 V のダイアフラム内径 3cm の時の数値を、 $\Delta\ell = -\frac{\ell \Delta S}{\pi S_0} \sin \frac{2\pi a}{\ell}$ に代入すると、下記の通り。

$$1.3 = -\frac{\lambda/4}{3.14} \times 0.4375 \times \sin \frac{2\pi a}{\ell} = -4.444 \times \sin \frac{2\pi a}{\ell}$$

$$\sin \frac{2\pi a}{\ell} = -0.2925$$

この値 0.2925 (-をプラスにして) を、ダイアフラム 2, 1 cm で $\Delta\ell$ を求めると、補正值は 2.22cm、2.78cm となる。(表 V の値はとてつもなく大きい。)

追記 5 : 第 4 章 節の影響

$$\text{式 1 } \Delta\ell = \int_0^l \cos \frac{2\pi x}{\ell} \frac{\Delta S}{S_0} dx$$

$$\text{式 2 } \Delta\ell = -\frac{\ell \Delta S}{\pi S_0} \cos \frac{2\pi \varepsilon}{\ell} \sin \frac{2\pi a}{\ell}$$

式 1 から式 2 の誘導 :

三角関数の積分の公式

$$\int \cos \frac{2\pi x}{\ell} \frac{\Delta S}{S_0} dx = \frac{\ell \Delta S}{2\pi S_0} \sin \frac{2\pi x}{\ell} + C$$

へ $x = \epsilon - a$ と $\epsilon + a$ 間で積分する。

$$\text{式 3} \quad \sin \frac{2\pi(\epsilon+a)}{\ell} - \sin \frac{2\pi(\epsilon-a)}{\ell}$$

三角関数の公式

$$\sin(A+B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$$

$\sin(A-B) = \sin A \cos(-B) + \cos A \sin(-B)$ を適用すると、

式 3 は $2 \cos A \sin B$ となる。この形が式 2 に相当する。

$$\text{式 4} \quad \lambda^2 - 2[\ell + ef(r) + B]\lambda - 2[f(r)d - k] = 0$$

二次方程式の公式

$a\lambda^2 + b\lambda + c = 0$ の解は

$$\lambda = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \text{ であるので次の式 5 が導ける。}$$

$$\text{式 5} \quad \lambda = \{\ell + B + ef(r)\} \left\{ 1 + \sqrt{1 + \frac{2[f(r)(L-\ell) - k]}{[\ell + B + ef(r)]^2}} \right\}$$

(訳者後記)

1. 寺田寅彦 (1878-1935) : 尺八に関する学位論文
「Acoustical Investigation of the Japanese Bamboo Pipe Syakuhati」
原文は URL の
<http://repository.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/dspace/bitstream/2261/32805/1/jcs021010.pdf>
を参考にした。
利用規約等に抵触する場合は、直ちに削除する。
2. 翻訳文の作成は 2016 年 12 月 7 日 (翻訳者 河野辰彦 ver.No. 1)
3. 翻訳文中の図表は原文を参考にしてほしい。
4. 翻訳文中 赤字は訳者の理解できなかった箇所。
5. 訳者注、追記は原文理解のために、敢えて訳者が追加した部分。