研究

弁楽器の発音機構*

柳沢 猛** 中村喜十郎** 引地 恒夫***

Sound Production in a Reed-organ, Harmonica and Accordion

Takeshi YANAGISAWA, Kijuro NAKAMURA, Tuneo HIKICHI

The sound of a reed-organ, harmonica and accordion has been believed to be made by the surface of a vibrating reed tongue and by the surface of a sound board vibrating from reaction of the tongue vibration. This paper denies this and asserts the following.

- (1) In the above instruments there is a difference in air pressure with a slot as a boarder, and a very rapid flow of air through the slot. When the tongue closes and opens the slot periodically, the sound is produced by changes in air pressure around the slot.
- (2) The vibration of the soundboard is also produced by the change in air pressure, but the sound produced by vibration of the soundboard is very weak.

1. ま え が き

リードはその性質によって管楽器に用いる heterophonic reed と弁楽器に用いる idiophonic reed (一般に知られた名称ではない) に区別する。前者は(オーボエ、クラリネットのごとく)自己の固有振動を持たず空気圧や支持条件によって広い範囲の周波数を持ちパイプなどの気腔部の空気との共振の起振器の役割をする。後者は(リードオルガンやアコーディオンのごとく)自己の特定の固有振動のみの周波数をもつ、heterophonic reed の発音機構は明らかに気腔部空気との共振により音圧波が発生するのであると考えられ、これに関しては Johan Backus の研究がある。これに対して idiophonic reed は共振気腔部と関係なく発音機構はまったく異なる(ここに弁楽器とは鍵で開閉する空気弁を有する構造の故の名称であったが、このためにこれに用いられる idiophonic reed がいつのまにか弁と呼ばれてきた。弁は本来の意味からはなれリードの別称となった)。このリード(弁)の発音機構について最近 C.A. Taylor がその著書¹⁾でリードの振動の成長と振動の持続の機構をのべ、振動するリード(弁片)の一端をクランプしているプレートは響板として働き、リードの出す音を強める働きをすると記している。これをよりくわしく記述すればつぎのようになる。

- (1) 弁片は多数の高次高調波を含む振動を行ない、その弁片の表面からその振動に対応する空気粗密波を発生する。
- (2) 弁片基部は弁片の振動の反作用によって振動し、基

部に接続するプレートあるいは響板などの表面から空気粗密波を発生する。

本報はこれらを否定し、別の考えを示すものである。

2. 従来の諸説への反証

試料としてリードオルガンをを用いる。これによる試験結果は一般の弁楽器に共通する。つぎに上記2項に対する反証を述べる。

図1はリードオルガンの構造を示す。排気ファンで空気箱は低圧にされていて、鍵盤を押すと空気弁が下って大気圧の空気が笛室から空気室の方へ流れ、このとき弁片を振動させる。図2は実際に用いたリード（市販品）を示す。この規格はどのメーカーもだいたい共通である。

2.1 弁片表面からの発音

観測によれば吹奏中の弁片の振動は吹奏音の基音周波数に等しい振動数であり，高次振動を含まない．

図3は弁片先端の振動の形を観測する方法を説明する略図である。図4は図3の装置で得られた弁片先端の振

図 1 リードオルガンの構造

*原稿受付 昭和42年12月4日、昭和42年度秋季大会学術講演会（昭和42年11月7日）にて発表。

****正会員** 静岡大学工業短期大学部 (浜松市城北3-5-1)

***正会員 日本ビクター八王子工場

(A₁₀ の A は音名₁₀は鍵番号, 110は周波数 cps を示す)

図 2 リードの形状 (実物大)

図 4 弁片先端の振動波形 (上) と楽音波形 (下)
(図 3 の装置による, 弁は A₁₀ 110cps)

動波形の写真である。これをその同じ装置の吹奏楽音波形と対比して掲げた。この図から知れるように弁片の振動は正弦波状であって、弁片の表面からは当然楽音波形のような音圧波は生じない。生ずるとすれば基音のみである。

リード枠を取去り、弁片基部を固定して弾いてその自由減衰時の振動と発音を調べると、明らかに基音のみとみてさしつかえない程度である。

図 3 弁片先端の振動撮影

図 5 弁片の振動による響板の反作用

2.2 弁片の振動の反作用による響板の振動

純粋に弁片の振動の反作用を観測するために図 5 のごとき装置を作った。ビニールの空気袋は空気圧の振動を弁片の付根の小響板に与えぬためである。この装置で弁が振動中の小響板の振動を静電容量式でピックアップし、その振動波形(変位波形も加速度波形も同じ形であった)と、同時にそのときの音圧波形をブラウン管面に並べて写した。

この観測から弁片振動の反作用による響板の振動は正弦波形である(弁片先端の振動波形が正弦波形であることが再確認された)。したがってこれから高次高調波を多く含む音が発生するはずがない。これが(2)に対する反証である。

ここで特に注目すべきは、実際のオルガンの吹奏中の

響板の表面の振動波形は後にのべるように、吹奏楽音波形に似ていることである。これは明らかに弁片振動の反作用以外の要素もあることを示す。これについては後に述べる。ここでは単なる弁の機械的振動の反作用による響板の振動は高調波を含みぬ基本振動数のみの振動であることを確認したわけである。したがって(2)は成立しないと考えるわけである。

以上のごとくであれば、発音機構はまえがきの原理とまったく別なものを考えるほかない。このために以下に述べるように弁片の振動と発音との関係を具体的に調べることにした。

3. 発音機構

3.1 低音部の弁片の振動と音圧波形の関係

吹奏状態における弁片の振動とそのときの音圧波形とを直接同時刻のものを比較してみた。装置を図6に示すストロボの発光周波数は弁片の振動周波数よりわずかに小として、つねに弁片の進行波形を観測する。ブラウン管面に吹奏音の音圧波形にストロボ発光器の回路より発光用のパルスを重ねて、写真撮影時の位置を示すようにする。パルスは音圧波形上の1点に短い縦線として現われる。こうして弁片と音圧波形とを同時に写した例を図7に示す。

この装置のマイクロフォンは音圧型(B & K製測定用)を用い、マイク直前の気圧を正にすると、ブラウン管面上のスポットが上昇するように、マイクからブラウン管までの回路の位相を決める。また音速を考慮し、振動弁片に近接させて時間の遅れを小にする。

図7から、音圧波形の図に重ねて弁片先端位置曲線を画くと図8のようなになる。横軸は時間、縦軸は気圧および弁片先端高さである。

弁片の先端の振動振幅に対して弁片の厚さは無視できない。縦軸は試料弁の弁溝深さを単位長さとし、図の左端にその試料の弁片先端厚さの比例寸法(弁溝深さに対する)を示した。弁片先端の振幅も同一比例寸法で示した。音圧振幅は適当な尺度とし、弁片振幅と時間を一致させた。

これによって弁片先端が弁溝を開閉するときの音圧の曲線との間に簡単な規則の存在が認められる。弁片が弁溝の上部にあって、最も大きく溝を開いているときは音圧は最も低い。弁溝に弁片が近づくにしたがって弁溝の開き面積は小となってゆき、音圧(気圧)は始めわずかず、後には急に上昇する。弁溝が弁片で閉じられたときには音圧は最高となる。この現象は低音用の弁について特に明りょうに現われる。これは弁片の長さ、厚さ、

図6 測定装置

図7 弁片の振動位置と音圧波形 (A₁₀ 110cps)

図8 音圧波形と弁片先端の振動波形

A: 笛室 B: 空気室 V: 弁片

図9 模型図

図10 音圧波形と弁片先端の振動波形

弁溝深さおよび吹奏気圧との相互関係によるものと考えられる。

特に低音弁 A_{10} の例の特徴はつぎのようである。

- (1) 弁片最上点と最下点の2点はそれぞれ気圧最低点に対応している。
- (2) 弁片の弁溝通過点は往復とも気圧最高点に対応している。

3.2 音圧波形と弁片振動の対比を説明する模型

上の2項を説明するために図9のような模型を考える。中央に開閉弁Vのあるパイプがあってその両端には気圧の差があり、Aの部分はBの部分より高い。いまVを開くとAの気圧は低下しBの気圧は上昇する。そこでVを閉じるとAの気圧は復元して高くなりBは低くなる。Vを周期的に開閉すればAおよびBの部分に周期的気圧変化が現われる。これは上記現象を説明するのに十分である。

図11 空気圧による弁片の振幅と音圧波形 (A_{34} 440 cps) 図12 空気袋内外の音波形 (A_{10} 110cps)

3.3 中高音部の弁片の振動と音圧波形

図10の A_{58} の音圧波形は低音弁 A_{10} (図8) のように2個の大きな谷が現われず、1個の大きい谷と非常に小さい谷が1個現われる。大きい谷は弁片先端の最高点に対応し、小さい谷は弁片先端の最下点に対応する。弁片が短く相対的に弁溝は深いために最下点では弁の開き面積がわずかで、開き時間も小であるために、小さい谷(微小な気圧降下)が生じた。

3.4 弁片の振幅と音圧波形

図11は空気圧力によって弁片の振幅が変化することを示す。低音弁でも弁片の振幅を小とすれば、弁片最下点に対応する小谷がますます小となり、ついに消えることを示す。

3.5 空気箱内部の気圧変化

図9の模型を直接リードオルガン(図1)に対比するとAの部分は笛室、Bの部分が響板で蓋をされた空気室に相当する。模型によれば音による空気圧変化はAとBとで反対であるから、もしリードオルガンが上記模型と

図13 笛室音の音圧による響板の振動の測定

図14 響板の振動 ($A_{10110\text{cps}}$)

同じ発音機構ならば笛室からの音圧波形と空気箱内の気圧変化波形とは逆位相のはずである。

図12はこれを確認するための実験である。ブラウン管面の上部波形は空気室の外の音圧波形、下部波形は透明空気室内の音圧波形であり、互いに逆位相であることが確認できた。

3.6 響板から出る音

オルガンの響板から出る音（響板音と略称）はさきに弁片の振動の反作用によるものではないと述べた。それなら響板を振動させるのはなにか。

図13は弁片振動の反作用から絶縁した空気箱である。オルガンの笛室音をパイプで独立空気箱に通すと、その表面の響板が笛室音に似た波形の振動を行ない音を発生する。図14は笛室音、響板の振動、響板音の各波形を対比して示したものである。

このことから響板の振動は笛室音の音圧によるものであることがわかる。響板は空気室内の音圧を強制振動力として受け、相等質量・相等ばね常数・粘性を有する振動系と考えられる。したがって振動次数に対応する位相変化と振幅減少（音量減少）がある。

表1 音量
(単位は db)

音名	cps	楽音	響板音	差
C_1	65.4	81	67	14
A_{10}	110	84	70	14
A_{22}	220	88	68	20
A_{34}	440	87	74	13
A_{46}	880	90	73	17
A_{58}	1760	88	73	15

図15 楽音と響板音の測定

3.7 響板から発生する音量

響板から発生する音量の吹奏全音量に対する割合を測定した。図15はこの要領を示す。太いビニールパイプは室外に出した。弁溝面積はこのパイプ断面積の1/10以下であって吹奏条件は変わらない。パイプは音の周波数で振動するが発音量は無視できる。結果は表1を得た。

響板音が楽音よりも13db以上低いということは、響板音が楽音の音量増加には寄与していないことを意味する。しかし響板およびケースから生ずる微弱音は吹奏音に微妙な味を付与する効果が認められる。したがって響板が不用であると断定することはできない。

3.8 弾き音

リードを笛室から抜き出して、弁片の基部にあたる部分を万力ではさんで指先で弾くと高調波を含む音（弾き音と略称）が聞こえる。この音の生因は弁片が指で弾かれて周期的振動をするとき、ちょうどシリンダ内の空気をピストンが押出すように弁溝内の静止空気を弁片が周期的に溝外に弾き出すために生ずる急激な気圧変化と考えられる。

この場合には気圧は弁片が溝を通過するとき往路と帰路とで気圧の正負が正反対になる。気流による吹奏音の音圧変化（図8）と比較すればその相異がわかる。吹奏音は弁片の往路帰路ともその弁溝通過時気圧はいずれも正方向に立ち上っている。この弾き音は低音部と高音部

では弱く、中音部ではよく聞こえるが吹奏音よりはるかに弱い。気流によって振動中の弁片が弾き音をも発生することは考えられる。その合成気圧波と考えられる図8をみると高低2個の山のうち高い山の位置に弾き音は負圧(谷)が重なり、低い山の位置に弾き音の正圧(山)が重なるわけである。このようにみると弾き音は吹奏音に比して非常に弱く、問題にならぬことがわかる。

3.9 空気とのかねあい振動音

弁片と笛室内空気(または通路の一部の空気)とはかねあい振動(相互に影響し合って成立している振動)を行ない、その空気圧振動の部分が音声化するという考えもある。これは発音に関しては図7の現象を説明できない。

4. む す び

気圧差の存在する弁溝前後の近傍は、周期的な弁片の振動による開閉のために周期的気圧変動を生ずる。弁溝の外気側の気圧変動は直接空気中へ発散する笛室音とな

り、空気室側の気圧振動は空気室を形成する響板に凹凸振動を与え、その表面から空気中へ発散する響板音となる。

響板音はその発生過程で高次高調波が減少し、試料オルガンの響板音の音圧は通常演奏音の音圧よりも13~20 db 低かった。

弁片の振動は基音振動に等しく高次振動は含まない。この反作用も同様である。弁片表面からの音およびその反作用のみによる響板表面からの音は微少な基音のみで無視しうるほど小である。

響板のない弁楽器では上記響板に関する部分を除けば共通する。弁片発振・振動持続の機構および音質形成に関しては別に述べる予定である。

文 献

- 1) C.A. Taylor: The Physics of Musical Sound, The English Universities Press LTD, London, (1965) 98.

情 報

(14頁よりつづく)

このほかギアロップ、ブローチについては(1)大手メーカーが多く、企業規模の問題は少ない。(2)しかし技術的には、立ち遅れが目立つ。(3)これら工具をとりつける工作機械業界の体制整備がなお流動的である一などの理由から最終方針はまだ固まっていない。場合によっては、機械法指定除外の公算もある。

▽超硬工具=生産品種の専門化をはかるため、規格制限カルテルを行ない、需要度の高い品種に集約化する方針である。

とくに超硬工具の新製品のローアウェーチップについては日本の技術的な立ち遅れが目立つので、大手メーカーの技術開発力を強化するため、材種の統合調整を中心とする施策を実施する。

▽機械刃物=生産品種の制限カルテルを実施するため準備を進め、一応、原案も作成したが、新基本計画ではこれを抜本的に強化、運用する。

この制限カルテルは特定5品種について42年度の占時でその企業の総生産額は20%に満たない生産品種を45年度までに段階的にその生産をやめる(ただ、その企業の品種の生産が全国生産額の20%以上のものについては生産を続行できる)ことを内容としている。

技術自由化決定

外資審議会技術導入自由化小委員会(委員長佃正弘氏)はこのほど技術導入自由化の実施方法について、(1)支払い対価が定額払い5万ドル以下の技術援助契約についてはすべて日本銀行扱いによる自動認可とする(完全日銀委任方式)(2)ただし原子力、宇宙関係など先端技術については例外として(非自由化技術)これまでどおり個別審査で処理する(個別審査方式)(3)その他については原則として日銀で申請1カ月後に認可するが、国内への影響が予想される場合は国務大臣の要請で個別審査で処理する(原則の日銀委任方式)の3分類方式で技術導入の自由化に6月1日よりふみ切ることを決めた。

この日決った3分類のうち「完全日銀委任方式」は、対価の支払い期間に関係なく、支払い額が定額払い5万ドル以下の技術導入契約については日銀かぎりでの自動認可するというもの、政府はすでに技術援助契約のうち支払い対価3万ドル以下、ランニングロイヤリティ(技術導入料)3%以下、支払い期間5年以下のものについては41年8月から日銀かぎりでの認可してきたが、この対象を拡大することになる。

一方「個別審査方式」は原子力や宇宙開発関係など特
(44頁につづく)