

# 市販のよく調律された豎笛の側孔の補正

杉原 雅・三村泰一郎・塩崎雅央

## The correction of finger holes of a commercial vertical flute in good tuning

MIYABI SUGIHARA, TAIICHIRO MIMURA and MASAHIRO SHIOZAKI

### I 概要

市販の無簧の豎笛として金属製と竹製の2種につき振動数の測定値と十二平均律の計算値を比較した処僅少の差があった。之は一定の気流での実験結果であるが、実際口で吹く場合には牙気の入力加減で多少調節が出来るから実際的には大した支障はないように思われる。又気流の圧力が大きくなれば音は幾分高くなり全補正係数及び側孔補正係数は共に幾分小さくなる。

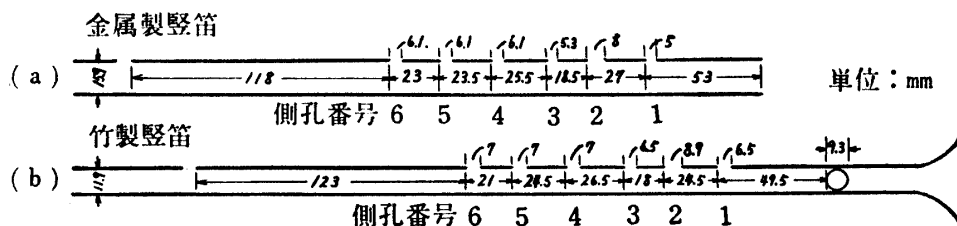
### II 実験方法

一定圧力の空気タンク<sup>1)</sup>から豎笛に空気を送り音を発生しマイクロホンを通して標準の発振器による一定の振動数と豎笛の発する音の振動数をオシロスコープ<sup>2)</sup>により比較した。此場合リサージュの図形により振動数の比として1:1.1:2を用いた。1図(a)の如く金属製豎笛は6個の側孔があり、(b)の如く竹製豎笛は6個の側孔の外に下端近くに相対する2個の側孔を有し且つホーンが取付けてある。金属製豎笛につき6個の側孔を全部閉じ(表に閉と記す)その時、発する音の振動数を求め測定時の気温 $\theta^{\circ}\text{C}$ を測り $0^{\circ}\text{C}$ の音速331m/secに0.69m/secを加えた量を測定時の音速として波長を算出した。音波の定常波の腹は唄口から外に、又下端から外に食出して居るから原音については半波長から管長(唄口の下端から管端までの距離)を引去れば管長から外へ食出た総和である。之を全食出量と呼ぶことにする。此全食出量から管端の補正量0.56r (rは管の半径)を引去れば唄口食出量となる。次に側孔を下から順次1個、2個、3個

等と開き測定された振動数から波長を求めた。此際2倍音、3倍音が出た場合は原音に引直して半波長から唄口食出量と管長(唄口の下端から、開かれた側孔の中、最上位にある側孔の上端までの距離)との和を引去れば定常波の腹が側孔から外へ食出た量(之を側孔食出量と名付けよう)が求まる。全食出量及び側孔食出量を管の半径で除した数が夫々全補正係数及び側孔補正係数である。又竹製豎笛については下端にホーンが附いており且つ側孔6個の外に下端近くに相対する2個の側孔がある。ホーンを付けた場合とホーンを外した場合とで6個の側孔の開閉により振動数に変化がなかった。それ故ホーンを外して相対する2個の側孔を閉じ且つ6個の側孔を閉じた場合の振動数を測定しそれから波長を算出し、管端の補正量を0.56rとして全食出量から0.56rを引去り残りを唄口食出量とした。次に相対する2個の側孔を開き6個の側孔を全部閉じた場合及び6個の側孔を下から1個、2個、3個と云う風に順次開いて金属製豎笛の場合と同様に実験を行った。

### III 実験結果とその考察

実測された振動数と十二平均律<sup>3)</sup>の振動数との比較をI表に示す。 $a^1$ が440振動/秒であるから此の1オクターブ上の $a^2$ が880振動/秒であり実測された振動数の内 $a^2$ に近い値を $a$ として1オクターブ内の音名を表の第1行に示す。第5行の計算値は実測の $a$ を基本に取り正しい十二平均律の音程により計算した。計算値と測定値との差をセント<sup>4)</sup>で計算し之を第6行に示す。I表に於て計



1図

1表 金属製琴苗 (気温12°C, 音速338.2m/秒)

圧力cm (水柱)	2.7				6.2				9.7					
	音名 (側孔程(開))	正しい音程(十二平均律)	振動数/秒 測定値	計算値	計算値に閉の振動数に対する測定値の誤差	閉の振動数を基準とする音程	振動数/秒 測定値	計算値	計算値に閉の振動数に対する測定値の誤差	閉の振動数を基準とする音程	振動数/秒 測定値	計算値	計算値に閉の振動数に対する測定値の誤差	閉の振動数を基準とする音程
c	閉	1.0000	517.5	510.8	22.6	1.0000	1053.4(526.7)	525.0	5.6	1.0000	1599.0(533.0)	534.3	-3.2	1.0000
d	1	1.12246	576.8	573.3	10.6	1.1146	1153.6(576.8)	589.4	-37.4	1.0951	1725.9(575.3)	599.8	-72.2	1.0794
e	2	1.25992	648.0	643.5	12.1	1.2520	659.2	661.5	-6.0	1.2516	1330.5(665.3)	673.2	-20.4	1.2482
f	3	1.33484	693.5	681.8	29.5	1.3401	698.0	700.8	-6.9	1.3252	1425.3(712.7)	713.2	-1.2	1.3372
g	4	1.49831	764.8	765.3	-1.1	1.4779	782.0	786.7	-10.4	1.4847	1584.9(792.5)	800.6	-17.6	1.4869
a	5	1.68179	859.0	859.0	0	1.6599	883.0	883.0	0	1.6765	898.6	898.6	0	1.6859
h	6	1.88775	960.6	964.2	-6.5	1.8562	1000.0	991.2	15.3	1.8986	1025.0	1008.7	27.7	1.8925

竹製琴苗 (気温12°C, 音速338.2m/秒)

圧力cm (水柱)	2.7				6.2				9.7					
	音名 (側孔程(開))	正しい音程(十二平均律)	振動数/秒 測定値	計算値	計算値に閉の振動数に対する測定値の誤差	閉の振動数を基準とする音程	振動数/秒 測定値	計算値	計算値に閉の振動数に対する測定値の誤差	閉の振動数を基準とする音程	振動数/秒 測定値	計算値	計算値に閉の振動数に対する測定値の誤差	閉の振動数を基準とする音程
c	閉	1.0000	507.8	514.3	-22.0	1.0000	520.2	519.7	1.7	1.0000	1056.6(528.3)	526.2	6.9	1.0000
d	1	1.12246	570.4	577.3	-20.8	1.1233	581.6	583.3	-5.1	1.1180	1171.0(585.5)	590.7	-15.3	1.1083
e	2	1.25992	634.6	648.0	-36.2	1.2497	648.6	654.7	-16.2	1.2468	657.6	663.0	-14.2	1.2447
f	3	1.33484	678.1	686.5	-21.3	1.3354	691.8	677.9	35.1	1.3299	700.5	702.4	-4.7	1.3260
g	4	1.49831	760.0	770.6	-24.0	1.4967	774.4	778.6	-9.3	1.4887	782.4	788.4	-13.2	1.4810
a	5	1.68179	865.0	865.0	0	1.7034	874.0	874.0	0	1.6801	885.0	885.0	0	1.6752
h	6	1.88775	2000 (1000)	971.0	50.9	1.9693	976.4	981.1	-8.3	1.8770	989.8	993.4	-6.3	1.8736

算値と測定値との誤差の最大値は-72.2セントで十二平均律の半音が100セントであるから此の半音よりは少し小さい。特に誤差の大きい部分数個所を除けば誤差は20セント以内であるが鋭い耳には聞き分けられる誤差もある。I表から解るように吹く圧力が増すと共に振動数が少し大きくなるから笛は本実験の如く一定圧力で吹くのでない故、吹き方により丁度都合のよい音を出すことが出来ることを考えると熟練により正しい音程に近い音が出せるのであろうと思われる。1図に示す如く金属製と竹製の両方笛は側孔の大きさ及び唄口から側孔までの距離が少し異なり且つ管の内径も異なって居るが両者の振動数は大体似た値である。竹製の方が金属製のより相対応する音の振動数が僅かだけ小さい。側孔が同じ大きさならば管長が大きくなれば音が低く、管長が同じならば側孔が大きくなれば音が高くなる<sup>5)</sup>。今の場合唄口に最も近い側孔迄の距離は竹製の方が金属製の方より少し大きい代りには側孔が少し大きく出来ている。II表には竹

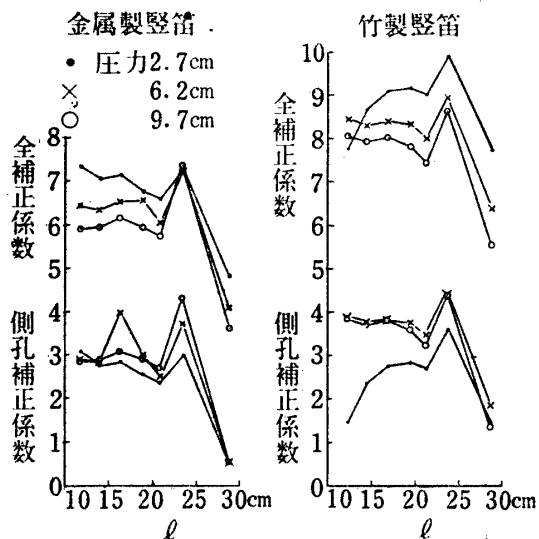
■表

豎笛の種類	金属製		竹製	
	唄口食出量cm	唄口補正係数	唄口食出量cm	唄口補正係数
2.7	3.38	4.25	3.75	6.30
6.2	2.81	3.53	2.70	4.54
9.7	2.43	3.06	2.51	4.22

■表 竹製豎笛 (気温11°C, 音速337.6m/秒)

発音の条件	ホーン付 最下位の側孔 開 (ホーン無も同じ)	ホーン付 最下位の側孔 閉	ホーン無 最下位の側孔 閉
	圧力cm (水柱)	振動数/秒	振動数/秒
2.7	507.8	454.8	473.8
6.2	1047.4 (523.7)	932.0 (466.0)	976.4 (488.2)
9.7	1060.0 (530.0)	937.2 (468.6)	981.6 (490.8)

製豎笛に於てホーンの有無による音の振動数を示す。ホーンの有無に拘らず同じ振動数であることは下端近くにある相対する2個の側孔があって此附近で管が切断されたと同様の結果である為で之以下はホーンの有無に関係がなく、ホーンは装飾のためである。第3行、第4行は相対する最下位の2個の側孔を閉じて夫々ホーンを附した場合と外した場合との結果であるから前者が管長が大きいため振動数が小さくなるのは当然である。I表とII表との振動数を比較すれば僅かの誤差がある。之をその気温に対する音速を用いて波長に直して比較すればその誤差は1%以下であり之は実験誤差で止むを得ない。III表に唄口食出量と唄口補正係数とを示す。圧力が大きくなれば唄口食出量は小さくなる。之は振動数が少し大きくなり従って波長が小さくなるからである。IV表に全補正係数と側孔補正係数とを示す。之を図で示せば2図の通りである。竹製の方の方が金属製の方より全補正係数及び側孔補正係数が共に大きい。之は竹製の方が振動



2図

数が小さいため波長が大きいためである。又一般に圧力が大きければ振動数が少し大きくなるから波長が小さく全補正係数及び側孔補正係数が小さくなる。2図に於て竹製豎笛の圧力2.7cmの場合を除いては管長の大きい部分の2点位の外は圧力が同じければ概略的に見て略近い値である。

参考文献

- 1) 杉原雅, 三村泰一郎, 西京大学学術報告 (理学及家政学), 第2巻第2号12 (1956)
- 2) 三村泰一郎西京大学学術報告 (理学及家政学), 第2巻第2号6 (1956)
- 3) 杉原雅, 三村泰一郎, 塩崎雅央, 京都府立大学学術報告 (理学及び家政学), 第3巻第1号, 75 (1959)
- 4) 杉原雅, 三村泰一郎, 西京大学学術報告 (理学及び家政学), 第2巻第3号3 (1956)
- 5) 杉原雅, 三村泰一郎, 西京大学学術報告 (理学及家政学), 第2巻第3号16 (1956)

(1960年7月8日受理)

IV 表

金屬製堅笛

压力cm (水柱)		2.7						6.2		9.7		
側孔開	管長l cm	振動數/秒	半波長 cm	$\frac{\lambda}{2}$	全食出量 cm	全補正係數	側孔食出量 cm	側孔補正係數	全補正係數	側孔補正係數	全補正係數	側孔補正係數
閉	28.85	517.5	32.68		3.83	4.82	0.45	0.56	4.10	0.56	3.62	0.56
1	23.55	576.8	29.32		5.77	7.26	2.39	3.01	7.26	3.73	7.36	4.30
2	20.85	648.0	26.10		5.25	6.60	1.87	2.35	6.04	2.51	5.75	2.69
3	19.00	693.5	24.39		5.39	6.78	2.01	2.53	6.58	3.05	5.95	2.89
4	16.45	764.8	22.11		5.66	7.12	2.28	2.87	6.52	3.99	6.15	3.09
5	14.1	859.0	19.69		5.59	7.03	2.21	2.78	6.35	2.82	5.94	2.88
6	11.8	960.6	17.61		5.81	7.31	2.43	3.06	6.43	2.90	5.91	2.85

竹製堅笛

压力cm (水柱)		2.7						6.2		9.7		
側孔開	管長l cm	振動數/秒	半波長 cm	$\frac{\lambda}{2}$	全食出量 cm	全補正係數	側孔食出量 cm	側孔補正係數	全補正係數	側孔補正係數	全補正係數	側孔補正係數
閉	28.7	507.8	33.3		4.60	7.73	0.85	1.43	6.40	1.86	5.56	1.34
1	23.75	570.4	29.65		5.90	9.92	2.15	3.62	8.96	4.42	8.62	4.40
2	21.3	634.6	26.65		5.35	8.99	1.60	2.69	8.02	3.48	7.43	3.21
3	19.5	678.1	24.94		5.44	9.14	1.69	2.84	8.32	3.78	7.80	3.58
4	16.85	760.0	22.25		5.40	9.08	1.65	2.78	8.39	3.85	8.02	3.80
5	14.4	865.0	19.55		5.15	8.66	1.40	2.36	8.32	3.78	7.92	3.70
6	12.3	2000(1000)	16.91		4.61	7.75	0.86	1.45	8.44	3.90	8.05	3.83