ピアノの調律曲線

柳 沢 猛* 中村喜十郎*

The Tuning Curve of a Piano

Takeshi YANAGISAWA, Kijuro NAKAMURA

The musical interval of a well tempered piano does not agree with the standard instrument scale, specifically, the pitch of the lowest key is about 35 cent lower and of the highest key is also about 35 cent higher than that of the standard scale. Consequently the tuning curve of a piano is S-shaped.

This paper deals with the cause of the S-shaped bent of the tuning curve of a piano. Some industrial applications of our results to tuning of pianoes are also discussed.

1. 緒 言

音楽的に最良の状態に調律された楽器には二つの音律体系がみられる。その一つは吹奏楽器であつて、その1オクターブ隔てた2個の同音の周波数比は1:2, 12個の互いに隣接する音の周波数比は $12\sqrt[12]{2}$ である。JISでは440 c/sのA音を含めてこれらを楽器用標準周波数とした。これを図1の(1)で示す。他の一つは絃楽器であ

図1 吹奏楽器と絃楽器の音律体系

図2 ピアノの基音のピッチ

つて H. Meinel¹⁾ 等が多くの測定値をもととして、1オクターブの間隔は前者よりも3セント広く隣接半音との周波数比は $12\sqrt[12]{2.0017}$ であるとした。これを図1の

(2)で示す。しかるに最近ピアノにおいては低音部と高音部ではその楽音周波数の標準周波数からの偏差が意外に大であることが判明した。これを図1の(3)で示す。

ある標準たて型ピアノを音感によつて調律してからその全域にわたり基音周波数のピッチを測定すると図2の○印のようになるが、既報²⁾で述べたごとく調律直後の不規則なばらつき変化が大きいため多数のこのような測定値を求めその平均を縫う曲線を作ると図2にみられるようにS字型になる。このようにして得た曲線はそのピアノの音楽的に最良に調律されたときの基音のピッチ分布を示すものと考えられ、これをそのピアノの調律曲線と呼ぶ。本報においてはこの同じピアノを対象としてその全音域の各音についてその基音や倍音のピッチ、音量、減衰性を測定してこれと調律曲線の関係を考察し

(1) 調律曲線の偏差の意味

(2) ピアノの規格に対応する共通の調律曲線

(3) ピアノの工業的調律法

について研究したことを述べる。

2. 測定法

ピアノの楽音周波数に含まれる基音周波数のピッチの測定は中音部においては容易であるが低音部および高音部にゆくにしたがって面倒になる。低音部においては基音は弱小であつてその数倍も強い倍音が含まれており、また高音部においてはその基音さえも急減衰する瞬間音である。また都合の悪いことに現在製作されたストロボピッチテスタのパターンには標準88鍵ピアノの最低音部と最高音部の約1オクターブに対応する部分が含まれていない。それでこれらの部分の基音のピッチを測定するには適当な低域フィルタ、あるいは高域フィルタを通して逡過した基音周波数の波形をブラウン管オシロスコー

* 静岡大学工業短期大学部 正会員

ブに写し、別に低周波発振器を用いて 220c/s~440c/s の範囲の発振器周波数で同期させその同期波形の停止するのを監視しながら同時にその低周波発振器周波数のピッチをストロボピッチテスタで測定すれば目的を達する。筆者らは基音周波数だけでなくその倍音のピッチや音量も同時に測定する必要があつたので図 3 のごとき装置を用いた。音量計は増幅器としても使用し、またここに用

図 3 測定装置

いた周波数分析器はその目的周波数のみを通過するフィルタとしても使用できたのでその通過周波数のピッチを前述と同じ方法で測定した。ストロボピッチテスタの精度は水晶発振器によつて常時監視した。

3. 基音周波数および倍音周波数の測定値

ピアノの周波数分析については多数のすぐれた報告があるがいずれも過度現象や音色や反響の問題が重点であつて、筆者らはピアノ調律曲線の意味を探究するためにはその目的のために改めてある特定ピアノについて自ら周波数分析を行なう必要があつた。その測定値を図 4 で示す。図において f_1 は基音のピッチ、 f_2 は第 2 倍音のピッチ、 f_3 は第 3 倍音のピッチ等とした。基音と第 2 倍音、第 4 倍音、第 8 倍音は順次 1 オクターブ隔てた同音

図 4 倍音のピッチ

の関係にあり相互の融和性が最も大であり、音量も持続性も大である。第 3 倍音、第 5 倍音は基音とは異なる音名であり融和性も前者に劣り、また高い周波数のものは音量小で急減衰する。この理由でこの図には低音部 f_1, f_2, f_4, f_8 まで、中音部は f_1, f_2, f_4 まで、高音部は f_1, f_2 までを示した。この場合各鍵の基音のピッチをあらかじめ楽器用標準周波数に較正しておいたので f_1 は全部 0 セント線上にある。

4. ピアノ調律の条件

正弦波をもつ二つの音を同時に聞くととき周波数比が、1 : 1 ならば一体となつた融和感がある。1 オクターブ隔てた 1 : 2 の周波数比のときも完全な融和感がある。2 : 3 の周波数比(五度たとえば C 音と G 音)のときも十分な融和感がある。この融和感を失わぬように 440c/s A 音を含めて全音階の周波数を定めると純正全音階が得られる。つぎにどの音から五度とつてもこの融和感を失わぬような妥協をして 12 平均率楽器用標準周波数が定められる。たとえばリードオルガンは基音よりも第 2 倍音が強く聞こえてこれが基音の感覚を与えるが、これを楽器用標準周波数に一致させると正弦波の場合と同様の融和感が得られる。この場合基音を楽器用標準周波数に一致させても同様である。一般に吹奏楽器については同様である。ところがピアノ楽音の場合はその基音周波数を楽器用標準周波数に一致させても融和感が不十分である。融和感が十分になるように調節するとピアノの基音の周波数のピッチは楽器用標準周波数からある偏差を有する。ピアノの場合基音周波数比が厳密に 1 : 2 をなす二つの音は融和感がない。筆者らはここで当然第 2 倍音のピッチに関係があると推定した。その理由はつぎの 2 点である。(1) 第 2 倍音の音量は基音の音量とはほとんど同じ程度かそれ以上の大きさをもつことは表 1 の示す通りである。(2) 最も単純な波形である正弦波の二つの音を聞く場合は周波数比が 1 : 1 の場合の方が 1 : 2 の場合

表 1 音量 (単位・Phon, *印は減衰早い)

鍵番号	周波数 c/s	f_1	f_2	f_4	f_8
1 A	27.5	0	0	42	54
13 A	55	9	45	60	68
25 A	110	42	60	75	65*
37 A	220	72	70	76	56*
49 A	440	91	67	64*	58*
61 A	880	85	59	58*	
73 A	1760	70	66*	35*	

よりもはるかに融和感が大である。

そこで図4をみると第30鍵から第60鍵まではその第2倍音のピッチ f_2 も0セントにほとんど等しい。それゆえ図5に示すような手続きによつてこの間の音階の基音の

図5 「調律の条件」に基づく調律曲線の成立

図6 調律曲線

ピッチ f_1 を楽器用標準周波数に一致させて図6に○印で記入し、つぎにその各音の第2倍音のピッチ f_2 と1オクターブをなす上の音の基音のピッチ f_1 を一致させて●印を記入し、順次高音部の基音のピッチを決めて記入した。これを音感による調律曲線と比較するとよく一致した。この事実「ピアノ調律の条件」は「1オクターブ隔てた二つの同音においてはその高音側の基音とその低音側の基音の第2倍音とが融和することが必要である」といえる。いいかえると

【あるピアノ音の f_1 】=【それより1オクターブ下の f_2 】となる。議論の余地はあるにしてもこのように事実上この条件は十分な近似度をもつて成立している。この条件にしたがつて逆に低音部の方へその基音のピッチを決めて行くと、低音部もこのピアノでは第11鍵まではよく一致する。第1鍵から第10鍵までは例外となる。この理由はこれらの基音は27 c/s から 50 c/s までの範囲にあり表1の実測値のように音量計は0 Phonを示す。この部分では基音は低い音という感覚を与えるが音律の高低の感覚は音量や持続性の大きい f_4 が主役になるようにみえる。試みにこの部分に対しては f_2 の代わりに f_4 によつて●印を図6に記入した。この最低音部の調律曲線

の大きな曲りは f_4 の値が大きいピアノほどはなはだしい。このピアノの第10鍵はピアノ音の融和の主役が f_2 から f_4 に移る部分にあたると考える。(この調律の条件を強いて吹奏楽器にあてはめても楽器用標準周波数に一致することは当然である。)

6. 調律曲線とピアノの規格

以上述べたように調律曲線は倍音のピッチと密接な関係があり、したがつてもしピアノの各鍵の楽音中の倍音のピッチが異なれば調律曲線も異なるはずである。実際にピアノの調律曲線はグランドピアノにも小型ピアノにも共通なものでなく、同じたて型標準ピアノでもピアノの規格ごとにその個有の調律曲線がある。この調律曲線の形状に影響を与える倍音についてはさらに詳しく検討した。このために同一場所に同一規格の絃を張りかえても同一条件でその倍音のピッチを測定すると多小異なる値を得る。その例を図7で示した。この理由は同一規格の

図7 同一規格絃の倍音のピッチのばらつき

ピアノでもその直径や材質にむらがあることによる。特に低音部の巻銅線は直径、材質のむらのほかに製作の都合で巻き始めの位置と巻き終わりの位置不ぞろいや巻きつけ張力の強弱による伸び率の変化によつて直径や巻きつけ密度に不均一が生ずる。絃は鍵番号順にその周波数と音量バランスのためにピアノ線および巻銅線の寸法を適当に変化させてあるが、その隣りへのうつりかたは規格品を使用するので連続的にはできない。またこのうつりかたがピアノ製作会社の規格により非常に異なっている。したがつて倍音のピッチの分布は厳密にはピアノ一台ごとに異なっている。しかし同一規格の場合は近似した倍音ピッチの分布となるので同一規格のピアノに対して平均の調律曲線を考え、それをその規格共通のものとみて差支えない事が推定される。

実際にピアノを音感によらず測定器によつて倍音のピッチをその規格ピアノの調律曲線に一致するよう較正すれば音感調律と同様の程度の調律が可能である。これを確かめる場合調律直後のばらつき変化に注意を要する。

7. 測定器による工業的調律法

以上述べたことを基礎にしてピアノ生産工場において音感にたよらぬ大量高速調律が可能である。筆者等の第一報³⁾、第二報⁴⁾で述べた方法はピアノの場合にも同じようにあてはめることができる。ただし較正基準として調律曲線に経時変化を加味した較正曲線を作る。較正基準用の音叉発振器の音叉には較正基準に等しいピッチを与えるので各鍵ごとに一本ずつの音叉が対応する。最低音部に対しては音叉周波数は 200 c/s~400 c/s とする。また最低音部はその周波数の低さのためにマイクロフォンでは拾い難いときは直接絃から電磁的に拾う。また倍音が強すぎるので適当なフィルタで基音のみをブラウン管に写す。最高音部は瞬間音のみであつて倍音には困らないが基音の音量が微弱であるのでそのまま増幅すると他の雑音がはいる。そのため高域フィルタを通しかつ十分に増幅する。また聴覚も利用すれば能率が上昇し誤りも妨げるので特に高音の場合は音叉を絃の基音と同一周波数にし、スピーカから音叉の基準音を作業者に聞かせる。これは非常に効果がある。中音部は容易であつて別に工夫は不要である。

8. 結 言

よく調律されたピアノの楽音の基音のピッチの曲線を

そのピアノの調律曲線と定義し、その測定法と測定例を述べ調律曲線の屈曲と倍音のピッチとの関係に注目して倍音のピッチの測定とその測定値(図4)を示し、さらに詳しく考察を加えて「ピアノ調律の条件」の存在について述べそれが実際と一致することを示した。さらにピアノの規格に対応する共通の調律曲線があること、およびその理由を述べ、逆にこの共通の調律曲線に同じ規格のピアノの基音のピッチを一致させると音感調律と同様な程度の調律が可能であることを確かめた。またピアノ工場で工業的に応用するにはこの調律曲線に経時変化を加味した較正曲線を作り、筆者等の前報の要領によればよく、これにより大量高速度調律が可能であることを述べた。(1963, 1月28日受付)

文 献

- 1) H. Meinel : Musikinstrumentenstimmungen und Tonsystem, Acustica, Vol. 7 (1957) 185—1957.
- 2) 筆者：精密機械，28巻 9号 (1962) 519.
- 3) 筆者：精密機械，25巻 10号 (1959) 548.
- 4) 筆者：精密機械，26巻 4号 (1960) 211.