

# 音 - 音色、音程、音律 - の研究

61期生

## I 研究動機

- ・ チューバ・ピアノ・アコーディオンなどの演奏の際、物理学・数学の視点で音を見るとどうなるかと思ったこと。
- ・ 交響曲・協奏曲などを鑑賞して、それぞれ特徴的な楽器の音色を分析したかったこと。
- ・ 協和音・不協和音の違いの法則性を見いだせるかどうかと感じたこと。

## II 研究方法

- ・ オシロスコープを用いた様々な楽器の音色の分解・解析
- ・ オシロスコープによる二音の音程の分析
- ・ 歴史的に重要な幾つかの音律の調査

この3つの観点から研究した。

## III 研究内容 1 - 音色の研究

今回用いたオシロスコープとは入力した信号（この研究では音の信号）を波形グラフとして表す装置である。これによって得られた波形グラフをFFT（高速フーリエ変換）というものをを用いてスペクトル（ここでは音を周波数の順に分解し配列したもの）にした。（フーリエ変換とは周期的波形を正弦波の組み合わせで表すものである）

今回分析した楽器は以下の通りである。（分析の都合上通常と一部分類が異なる）

金管楽器……トランペット、トロンボーン、ユーフォニウム、チューバ

木管のリード楽器……クラリネット（変ロ調・バス）、サクソフォーン（アルト）

リード無しの木管楽器……ピッコロ、フルート、リコーダー（ソプラニーノ・ソプラノ・アルト）

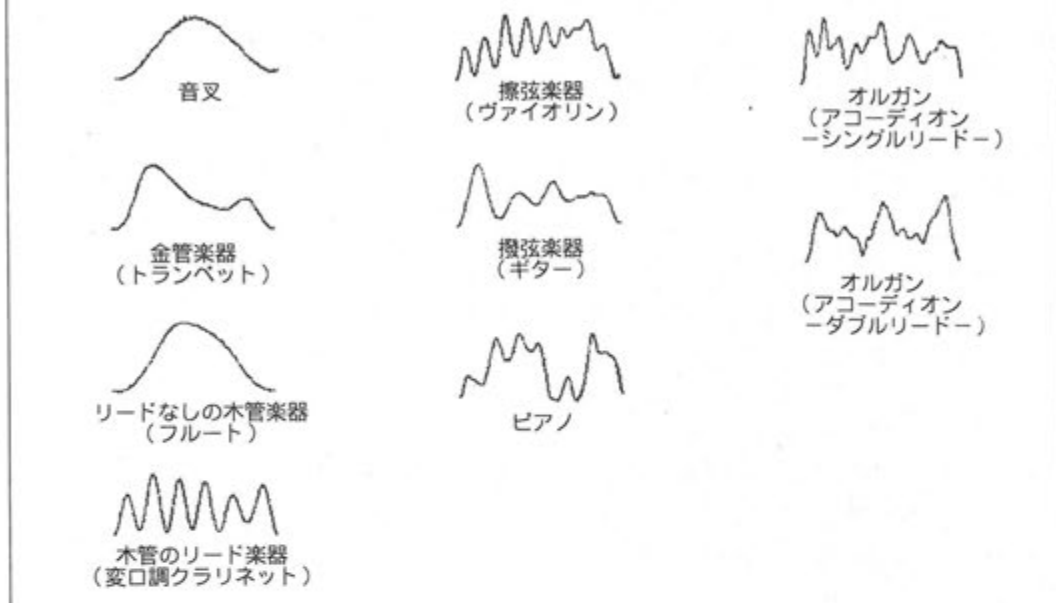
弦楽器……ヴァイオリン、チェロ、コントラバス、ギター、ピアノ

オルガン……アコーディオン（シングルリード・ダブルリード）

その他……音叉

分析した結果、音叉、リード無しの木管楽器、金管楽器は単純な波形・スペクトルになったが、木管のリード楽器、弦楽器、オルガンは複雑な波形・スペクトルとなった。単純なデータが得られたものは澄んで柔らかい音、複雑なデータが得られたものは鋭く硬い音をもつものが多いということが分かったので、これらの原因を調査した。この点については発音の仕組みと音色が何によって決まるかということが関わっていると考えられた。

図1 オシロスコープによる様々な楽器の波形



まず、管楽器において。単純なデータが得られたフルート・リコーダーは歌口から入った息がエッジに当たり、それによって空気の乱れが生じ、管全体に響かせ発音する。金管楽器はマウスピースでの唇の振動を管に響かす。複雑なデータをだしたリード楽器はリードに空気がとおり、リードが振動することにより発音する。この時点での空気の振動により音色が決まるのではないかと思われたため、簡単な実験を行った。

チューバの音とチューバのマウスピースのみでの音を取り、オシロスコープで分析した。結果としてはほぼ同じデータが得られた。このことからチューバは楽器本体の形や材質などによって音程などは変わるものの根本的な音色

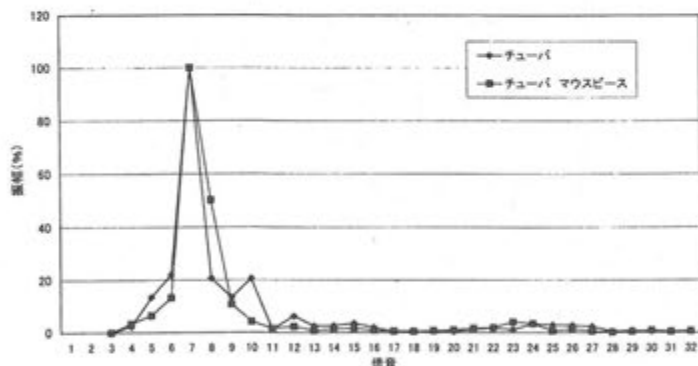


図2 音色を決めるもの(チューバ)  
(見やすくするため折れ線グラフで表す)

は初めの唇の振動によって決まるといえることが分かる。ほかの楽器については調べられなかったが、同じようになっていると考えられる。よって、単純なデータを得られたものは初めにおこる空気の乱れが単純、複雑なデータを得られたものは初めの振動が複雑ということになる。

次に弦楽器について。ヴァイオリンなどでは弓などによって弦が振動すると、弦の下端を胴に止めている「駒(ブリッジ)」が上下に引っ張られ、その振動が胴の板に伝わり、胴全体から大きな音が放射されることによって発音する。ギターはピックなどによって弦が振動させられ、その振動が

そのまま胴に伝わり音となる。ピアノの場合は鍵盤を押すと楽器内部にあるハンマーが弦を叩き、弦を止めている響板が振動して音が出る。これらも同じように弦の振動によって音色が決まると考えられたが、ヴァイオリンの弦をスチールにしてもガットにしても音色はヴァイオリンの音色であることには相違ない。弦の振動によって決まるのでなければ、胴によって決まるということがありえるがこのことを裏付ける実験結果を見つけた。

それは、ギターを三味線のものに交換し普通のギターと聞き比べたというもので、三味線の胴をもつギターはギターと音色が異なり、三味線と同じような音になったということが分かった。この実験によるとギターの音色は胴で決まっているといえる。ほかの弦楽器についても、ヴァイオリン族のc字孔をf字孔にあらためたり、半球に近いものが少なく瓢箪型が一般的であることなどを考えると同様であると考えられる。よって、弦楽器の音色は胴の形・材質・厚さなどによって決定される。

フルートとクラリネットとで、同じ880Hzの音を周波数分析すると、フルートは左端のピークである基本の周波数成分が多く、高調波成分(2倍音以上の成分)は少ない。(音は澄んで単純)クラリネットは一番低い周波数よりも、高調波成分が多い。(硬くて鋭い音)

同じ楽器であっても、ギターの弦をピックではじくと、高い周波数成分が多く含まれて華やかな感じがするが、指の腹ではじくと基本の成分が主で高い成分が少なくなり、柔らかい感じがする。

#### IV 研究内容2—音程の研究

ここでは、協和音・不協和音について、調べた。協和音程などを確認するため次のような実験を行った。ピアノ・アコーディオンの二和音を短二度(C-C#)から完全八度(オクターブ)までの12個とり、音色の研究のときと同様に分析した。しかし、分析に使った音は単音でも複雑な波形をもつピアノ・アコーディオンの音であったため、結果が処理できなかった。

また、これらの楽器は平均律(これについてはVで扱う)で調律されていたため音程に多少のずれがあったということも処理を困難にした原因と考えられる。よって、この実験は失敗になった。

このため、方針を変更して数字の上で音程を調べることにした。1オクターブ音が上がると周波数は2倍となる。その他の音程についての周波数比を調べるとこのようになる。

音程	完全一度(C-C)	短三度(C-E $\flat$ )	長三度(C-E)	完全四度(C-F)
周波数比	1:1	5:6	4:5	3:4
音程	完全五度(C-G)	短六度(C-A $\flat$ )	長六度(C-A)	完全八度(C-C)
周波数比	2:3	5:8	3:5	1:2

(ここに含まれていない音程は単純な整数比であらわせない)

ここで簡単な整数比であらわせた音程は聞いていて心地よい協和する音程である。ゆえに、協和音程は周波数比が単純であることが分かる。これらが協和する理由としては倍音分解した際、同じ倍音の成分(共通倍音)が多く含まれることが考えられる。このことから音程は次の四つに分類できる。

絶対協和音程……完全一度、完全八度

完全協和音程……完全四度（不完全協和音程に分類することもある）、完全五度

不完全協和音程……長短三度、長短六度

不協和音程……長短二度、長短七度、増四度

## V 研究内容3—音律

音律とは調律するときのルールといえるものである。もし、一定の音律で調律されていなければ、ハーモニーを楽しんで演奏することができない。ハーモニーを楽しみ、楽器を使う限り音律は必要だが、時代によってさまざまな音律が使われてきた。現代使われているのは平均律といい、オクターブを12等分して得られるものである。

歴史上で重要な5つの音律をこれからみてゆきたいと思う。

（注：Cを根音とした音階で考える）

### 1. ピタゴラス音律

このピタゴラスとは三平方の定理を発見したギリシャの数学者のことであるが、彼は音律の研究も行っており、彼が作った音律が「ピタゴラス音律」である。

何も押さえないときCになる1本の弦を1：2に分割するところで押さえて鳴らすと何の音になるか。これはどちら側を鳴らしてもG（ただし短い側は長い側の1オクターブ上）となる。このC-Gの音程は完全五度である。ピタゴラスはこの方法を繰り返して完全五度をとってゆき12音の音階を作った。12音なのは12音とるとほぼ元の音に戻ってくるからである。しかし、ここでは少しの余りが生じ、その行き過ぎた分を縮めるために1つの半音を小さくしてずれを無理やり抑えた。

この音律は完全五度をもとに作ったため大抵の完全五度はきれいなのだが、聴いていると長三度の響きが悪く、ひとつの半音を小さくしたため不安定な感じがする。

### 2. 純正律

ピタゴラス音律では根音と最も調和するのはその2分の3倍の周波数をもつ音とした。しかし、2分の3を重ねていくので途中で分母が大きくなり複雑になる。昔から、「二音の周波数比が簡単なほど響きが良い」ということが知られており、2世紀ごろにはプトレマイオスらによってE（ピタゴラス音律では周波数がCの64分の80倍）を4分の5とすることが試みられていた。15世紀後半にスペインのラモスという人が「純正律」というものを完成させた。作り方は次のようである。

(1) 五度関係にある三音をとる。 F、C、G

(2) その三音の長三度上の音をとる。

F→A、C→E、G→B

(3) (1) の完全五度上の音をとる。

F→C、C→G、G→D

(4) オクターブを超える場合は2で割り（オクターブ下げる）、重複したものは消す。

こうして作っていった純正律は純粋な響きをもつが平均率に慣れているとかなり変な聴こえ方がする。また、転調ができない。

### 3. ミーントーン (中全音律)

長三度を優先して、完全五度を少し狭くすることによりある程度の転調を可能にした音律である。15～16世紀頃に現れ、19世紀頃まで使われた。W. A. モーツァルトはこの音律を好んで使ったといわれる。

聴いていると低く聴こえる音があるが、きれいな和音が多い。

### 4. ヴェルテンペラント

ピタゴラス音律とミーントーンの折衷案のようなものでミーントーンの完全五度の一部を改良することによって得られる音律である。置き換え方によりヴェルグマイスター、キルンベルガー、ヤングなどの様々な種類がある。16世紀頃から20世紀初頭まで使われた。

平均律に近い響きがし、きれいな完全五度などがあるため全体的にかなり聴きやすい。

### 5. 平均律

これまでの音律は響きを重視する傾向があったが、平均律は合理的で扱いやすいことが特徴である。これは、オクターブを単純に12等分して得られる。響きはあまりよくないが、転調は自由にできる。

平均律が普及し始めた時期はピアノの大量生産が始まった時期と重なる。たくさんの調律師を短期間に画一的に教育し、多くのピアノに統一された調律をすることに平均律が適しており、採用された。

図3は今まで見てきた5つの音律のうちはじめの四つと平均律を比較したものである。その音が平均律と同じであれば1としてあらわし、どの音が高く(低く)なっているかが分かるようになっている。

音律の比較 (平均律を1としたときの各音律の音程の比)

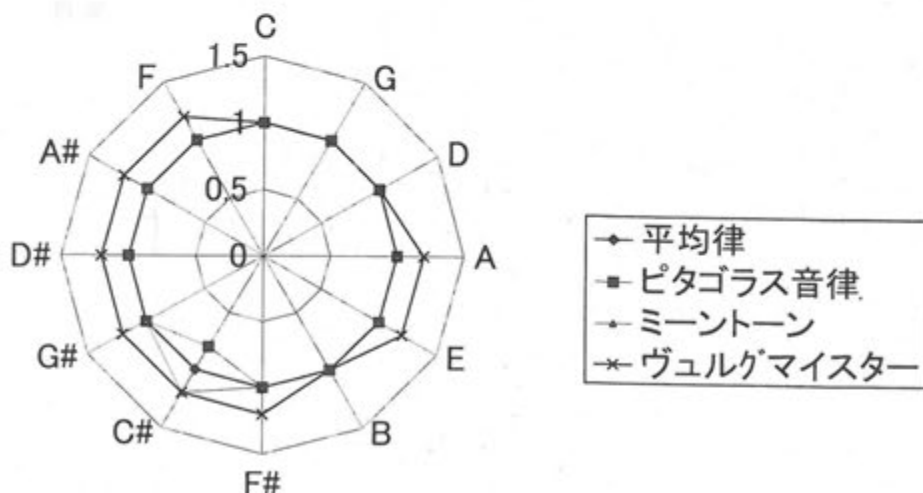


図3 音律

## VI 結 論

### 1. まとめ

音色の研究により柔らかい音は純音に近く高調波成分の少ない音、鋭く硬い音は高調波成分の強い複雑な音であることが分かった。リードの無い木管楽器・金管楽器などは前者、リードを持つ木管楽器・弦楽器・オルガンなどは後者に分類できる。また、管楽器の音色はマウスピースの時点で、弦楽器の音色は胴によって決定される。

音程の分析は失敗した。しかし、協和音程は周波数比が単純な整数比になるもの、不協和音程はそうならないものであることが分かった。

音律の研究によって完璧な音律を作ることはできないものの歴史的に様々な音律が作られてきたことが分かった。

### 2. 課題

- ・オーボエ属の楽器や打楽器などの音色なども調べ、さらに詳しく音色を分析する。また、精度を上げた調査をしたい。
- ・音程の分析をリコーダー・フルートなどでやり直す。
- ・三和音などについても研究する。
- ・オイラー・ケプラーなどの音律も調べ、音律を改良して自分なりの音律を作る。
- ・楽曲の構成・音楽史などについて調べる。

## VII 参考文献

小方 厚 『音律と音階の科学 ドレミはどのように生まれたか』

ブルーバックス 2007年9月

中村健太 『図解雑学 音のしくみ』 ナツメ社 2005年5月

掘川俊助編 『中学音楽通論』 正進社 1981年

山田伸志 『生活に生かす 音の科学 音と上手につきあう』 パワー社 1996年7月