

バイオリンの音色に関する研究 高速フーリエ (FFT) 法および 意味微分法 (SD) 法による試み

中間岳、本間俊介、富士川計吉

A Study on Tones of Violins Trials by the Fast Fourier Transformation and the Semantic Differential

Gaku NAKAMA, Shunsuke HONMA, Keikichi FUJIKAWA

要旨: 自作バイオリンの音響的評価法の確立を目的として、音色に関する評価法を検討するため、物理的手段としてFast Fourier Transformation(FFT)法、また、心理学的手段としてSemantic Differential(SD)法を用いた音の分析を試みた。FFT法の適用によって得られたリニアースペクトル(LPS)上には、個々のバイオリンについての比較的明瞭な特徴がとらえられたので、バイオリン間の差異を比較して音色に関する検討をした。一方、SD法によって得られた平均印象標語から人の印象が経験に依存して、「直感的」な評価から「価値的」な評価へと、質的な転移をすることが結論された。最後に、FFT法およびSD法の結果を統一的に解釈するための今後の基礎的な研究課題を提案した。

キーワード: バイオリン(violin) Fast Fourier Transformation Semantic Differential

0. まえおき

バイオリンの音色は、美しいばかりでなくときには深い感情を込めているかのように聞こえる。それには、他の楽器では模倣できないような人間への親近性がある。同時に、人間が模倣できないような特性も備えている。そうした総体が長い間多くの人々に親しまれてきた要因の一つではなかろうか。

本研究は、バイオリンの新しい製作法の開発を目的として数年来検討を重ねてきたその延長線上でなされたものである。製作したバイオリンの音響学および印象心理学的な評価手段を確立することが研究の到達点である。

長い歴史の中で、いわゆるバイオリンの名器といわれる楽器が圧倒的な好評を集めてきた。しかし、そこにはまた未解決の謎も残されている。その典型的な例がストラディバリウスである。最近、「ストラディバリウスの謎」と題する新聞記事に、「ストラディバリウスは神話的存在です。(中略)最大の謎はバイオリンに塗るニスです。(中略)ニスが聞く人をほれほれさせる音色の秘密なのです。(中略)いまだに原料や調合法が

わからないのです」(文献1)という解説が載った。この説は早い時期から、広く信じられるようになった風評あるいは仮説である。科学的な証明は示されていないのである。

元東京大学生産研究所教授で”ロケット博士”の異名をとる、故糸川英夫氏は、昭和25年頃に音響物理学的手法によりバイオリン製作技術の研究をしている。ニスの効用についてふれた氏の説によると、ニスの効果については否定的である(文献2)。

その他バイオリンの音色に関して、いろいろな立場から、様々な意見が述べられている。楽器の辞典「ヴァイオリン」の著者、今泉清輝氏は「音色について話題にすることはタブーであるらしい」(文献3)という。かなり実績を積んだ演奏家でも、楽器の価格や製作者を伏せて、実物の音だけで選ばせると、意外にも安い方をとるなどの事例がその本には紹介されている。ヴァイオリンの見方・選び方、基礎編の著者、神田侑晃氏は楽器と演奏者の両方を一体としてバイオリンの音色の善し悪しが決まると主張する(文献4)。本論の著者の一人、富士川はこの辺の事情をもう少し詳しく、室蘭工業大学図書館報”みずもと”(文献5)に報告した。

バイオリンの一般的評価に関する著者の仮説を以下に述べておきたい。バイオリンの音色は少なくとも次の3段階、1.楽器の諸規格、2.演奏者の技量、3.聴取者の感銘度を経て定まるものとする。この3条件は互いに絡み合い、循環している。つまり楽器製作者は演奏者の満足度を高めるために細心の努力をはらうだろう。演奏者は聴取者の感銘を強めることに努める。聴取者は曲目や演奏者の評価を通して楽器や製作者の重要性を認識する。ストラディバリウスの名が音楽鑑賞の経験があまり多くない人々の間にまで広く知られるようになった事実は、当然、音響的な評価の範囲を越えて、新しい価値の誘起へと評価が一人歩きをしてきた面がある。そこには楽器の美術工芸的あるいは骨董的な価値もある。こうしてみると、「素晴らしい音色」という評価は、上述の3条件を通じてバランスのよい好評を勝ち得た楽器に与えられる”人類的保証書”のようなものかもしれない。

最近の研究の中から一つのユニークな報告を紹介する。C.M.ハッチンスは、バイオリンの部品である表板と裏板を取り外して、これらに振動を与えることにより板上に生ずる定常波を観察し、平面波の形態がバイオリン族楽器に共通なパターンを持つことを確認した(文献5)。さらに、定常波の振動数を測定して、表板と裏板の基本振動数の差が、全音程度であれば音響的な結果がよいと結論した。その研究の中でストラディバリウスも対象にしたことは興味深い。しかし、著者も述べているように完成したバイオリンとなった段階で上の結果がどのように関係するかについて説明できていない。バイオリンの複雑な構造の影響はさらに膨大な研究により今後解明されなければならない。私見では、ハッチンスの研究を「太鼓」の皮と胴を切り離して、それぞれに定在する振動の基本振動を測定したことにたとえることができ、その場合二つの発音体が合体したときに互いの振動を減殺することなく、共鳴によって”とどろく”ように響き続けるための条件を観察したことに相当する。ところがそこには「音色とはなにか」という視点がなく、振動数の差のみでは、共鳴や響きについての条件が分かったが音色についての謎解きに

はならないのである。ハッチンス自身も、自分の結果を必要条件ではあるが十分条件ではないという主旨を述べている。

以上のように音色の追究は奥深く、極めて複雑かつ微妙であり、慎重な認識科学的検討の必要性を感じさせる。本論においては、一般的な意味で音色に関する印象を異にする二挺のバイオリンをつかい、通常の演奏法によって発音したときの音について、物理的側面および心理的側面から音色の差異を検討する。物理的側面ではFFT法による分析から、個々のバイオリンの間に幾つの特徴的差異を見出し比較する一方、心理的側面のSD法による分析では、被験者のグループの音楽活動の経験程度が音響の評価にどのような形で表れるかを検討する。バイオリンの物理的手法による検討は、多くの研究者により行われているが、人間の内面に関わる評価の検討と並列して進めるところに本研究の特徴があり、ここに極めて認知科学的問題を含んでいる。本論の最後には、両側面からの分析を総合する場合の問題点などを述べる。

第1部 FFTの適用

1.1. 方法論

Fast Fourier Transformation(FFT)の機能を、文献6より引用した概念図により示す(図1-1)。右側の重畳波形は左側の各成分を上から順に重ねあわせることによって生ずる波形である。FFTは重畳波形から各成分波形を分離するために採られる方法である。成分波の基本音は基本周波数を持ち、音高をきめる。楽器から発音される一つの音は一般に基本音に幾つかの倍音が重なってできている。倍音の周波数は基本音の倍数となる。また、成分波の振幅はそれぞれの成分音の強さを示す。

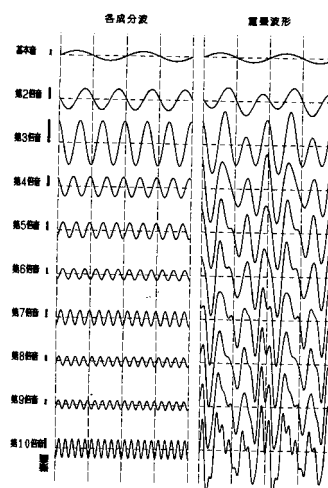


図1-1 FFTの機能の概略

FFTの適用実験に用いた装置とその配置を図1-2に示す。主要な構成は、[音源・マイク(以上が無響室)・騒音計・FFTアナライザ]の部分である。FFTアナライザにより記録されたデータは、オフラインによるパソコン処理により、リニアパワースペクトル(LPS)として記録される。

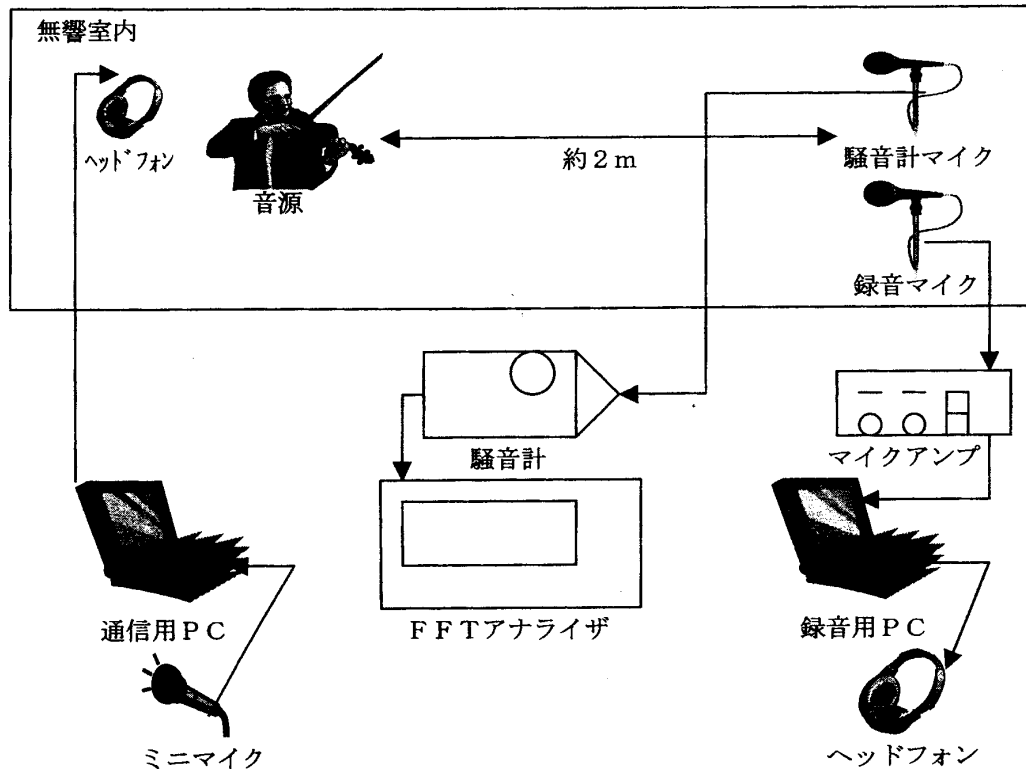
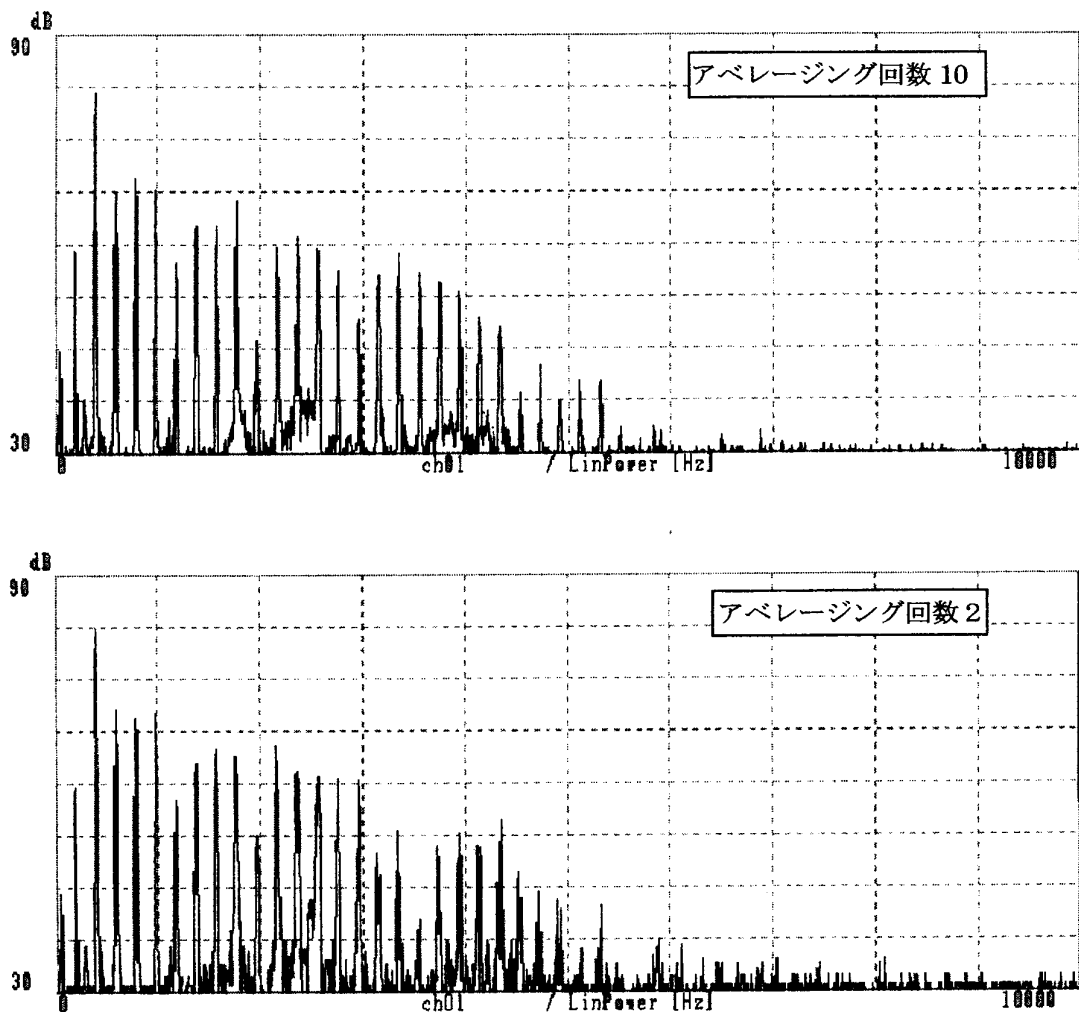


図1-2 FFT適用実験の配置

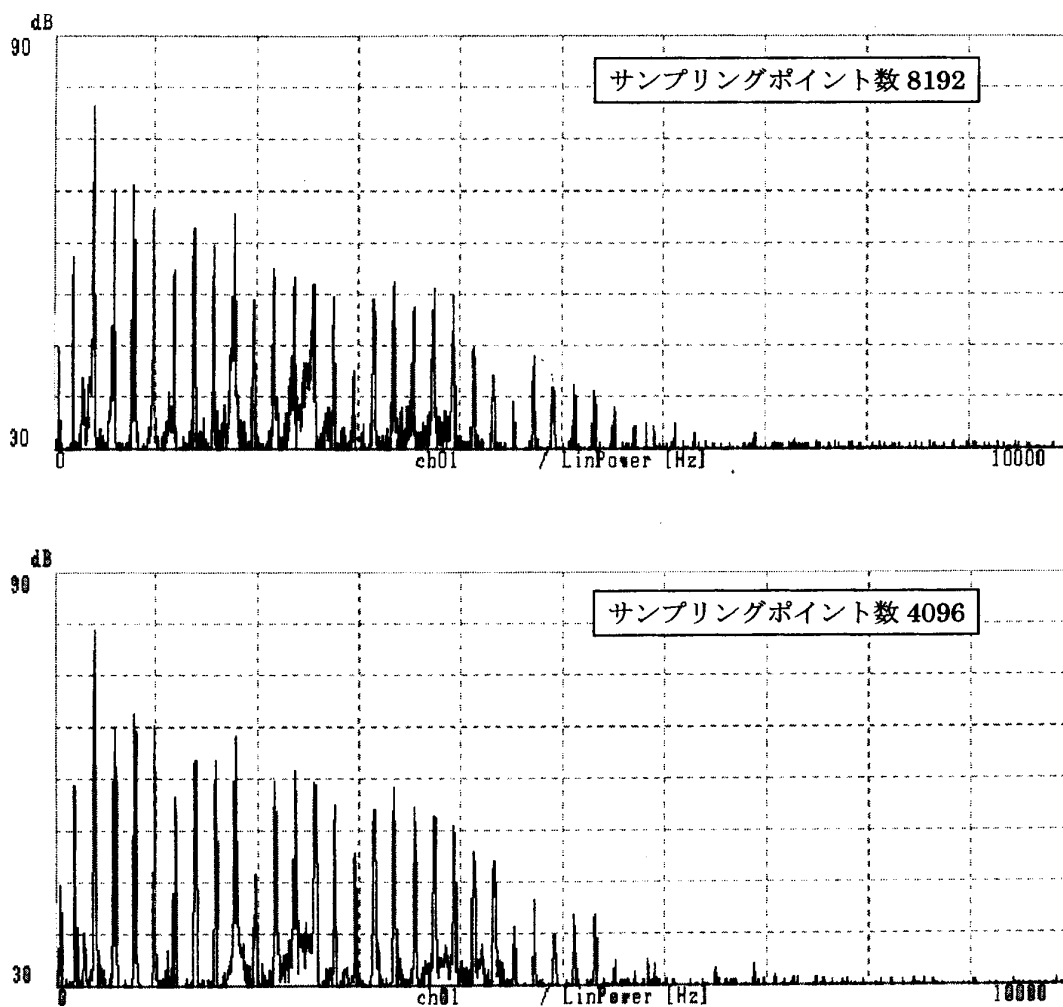
LPSの一般的な表示法について説明する。実験変数の設定条件の一つに、FFTアナライザのアベレーシング回数がある。この変数を変化した例が図1-3である。特定の周波数（横軸）上に鋭く突出するラインが成分波である。基底ライン（縦軸30dB）上に不規則に混在するノイズは、騒音計が発するものやバイオリン音の立ち上がりの際に出されるアタックノイズなどである。アベレーシング回数が多いとノイズが消去される傾向を示す。



バイオリンA G線 サンプルングポイント数4096

図1-3 アベレーシング回数がLPSに及ぼす影響

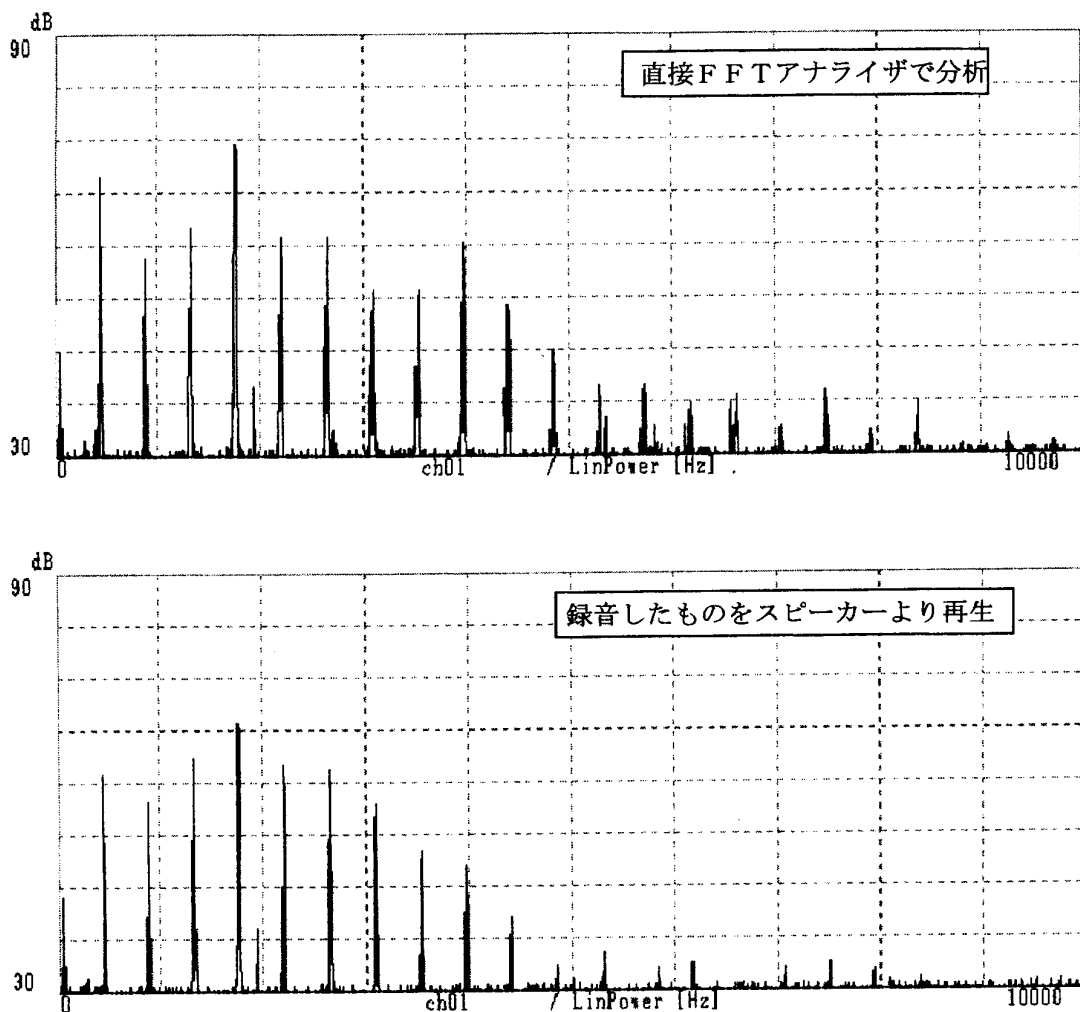
もう一つの変数であるサンプル数を変化した例が図1-4である。原理的には、この変数は周波数の読みとり精度に影響するものであるが、ここでは示したいずれの場合にも精度としての差はなかった。



バイオリンA G線 アベレーシング回数10

図1-4 サンプル数がLPSに及ぼす影響

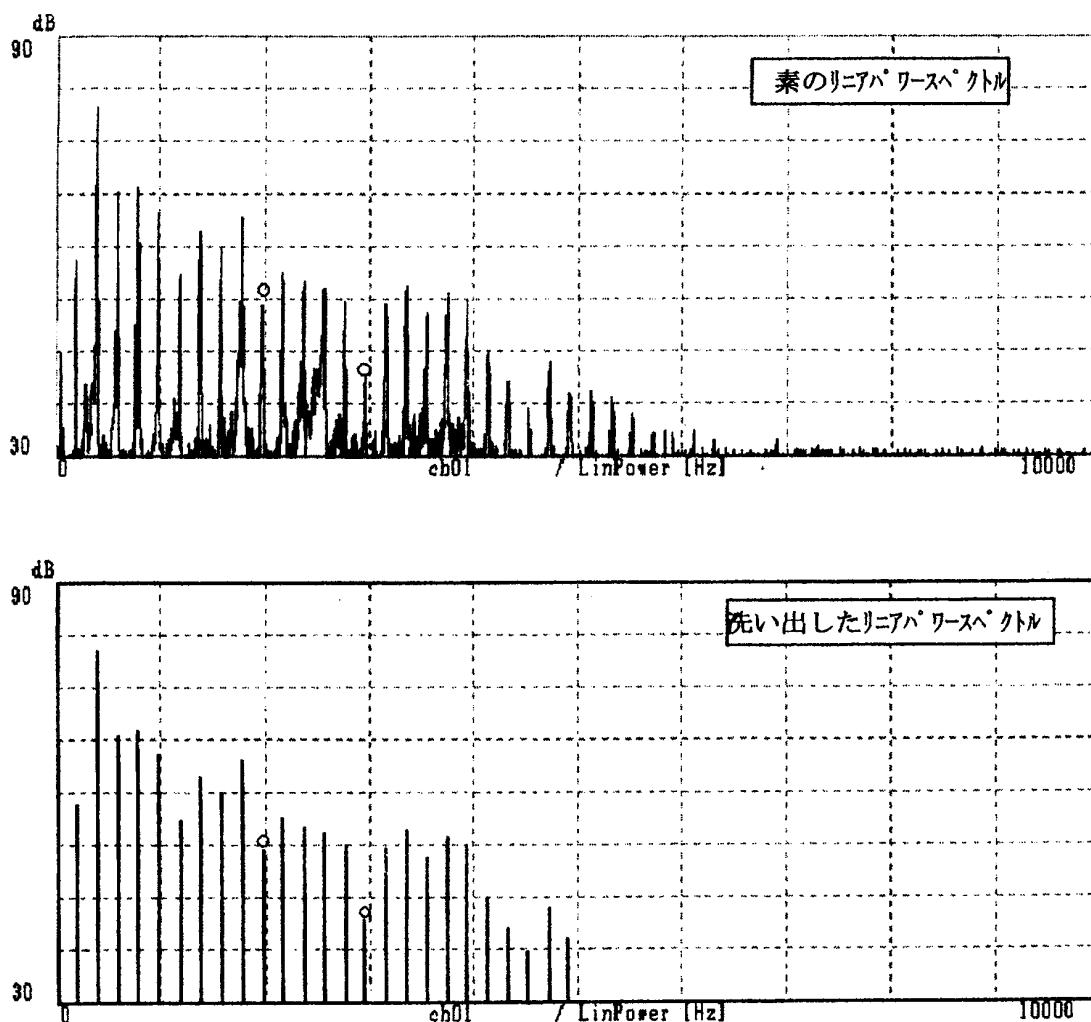
直接あるいは間接（カセットテープに録音した音）の方法による音をLPS上比較したのが図1-5である。間接音は高周波数領域にフェード現象がみられるが、基本音付近の成分波構成構造に変質が認められない。後述するようにこの結果は音色を録音記録する上で重要であり、音色の印象を調査するために音のサンプルとして使用される。



バイオリンA A線 サンプルングポイント数8192 アベレージング回数10

図1-5 直接および間接に収録したLPSの比較

LPSの洗い出しをおこなった。その例を図1-6に示す。FFTの設定条件を一定として得られた実測のLPSを直線による表示に変換されたものである。



バイオリンA G線 サンプルングポイント数8192 アベレーシング回数10

図1-6 LPSの洗い出しの例

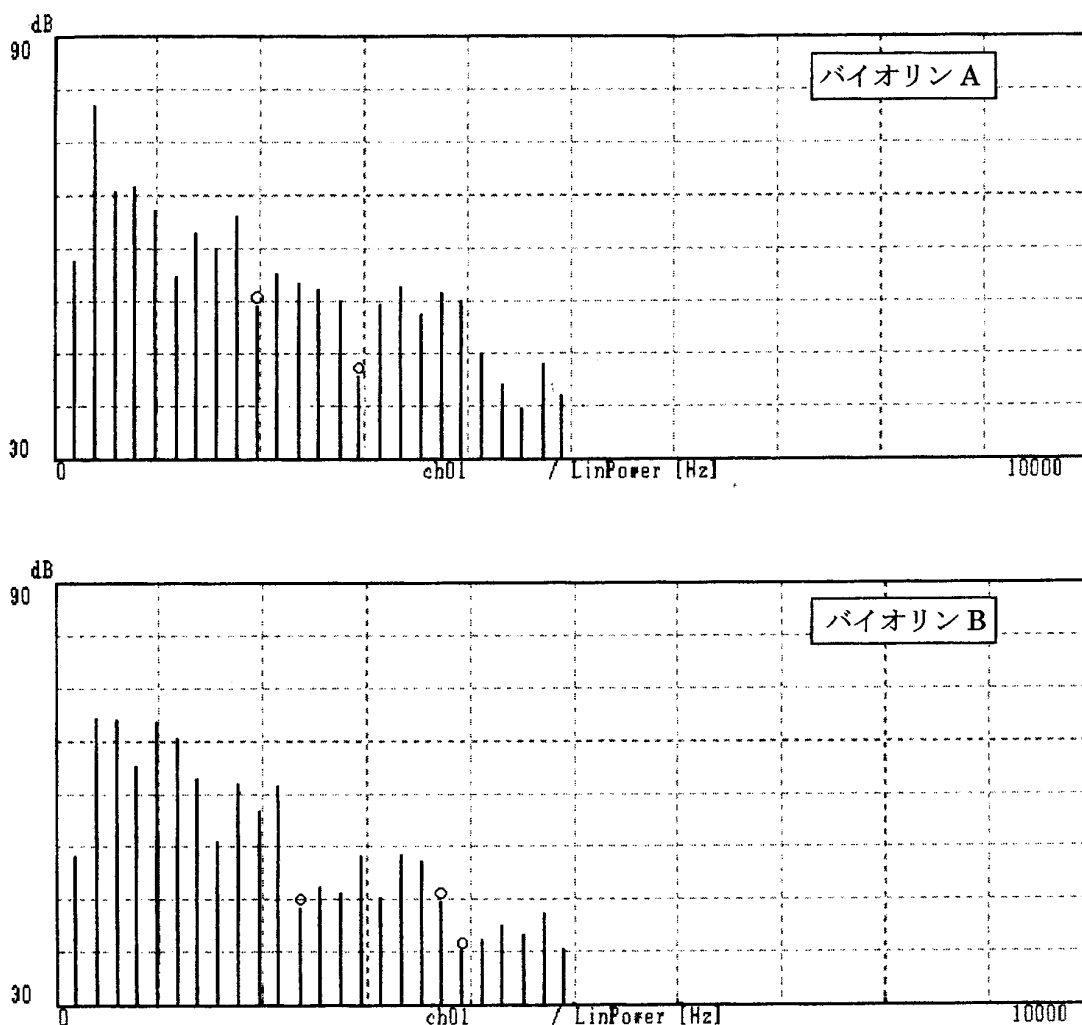
以上の結果に基づいて、バイオリンAおよびBを対象として、以下の実測を行い、比較検討した。

1.2. 実測の結果とその比較検討

以下の測定はバイオリンの4本の弦、G,D,A,Eの開放状態における弓奏法による発音で行われた。

1.2.1. G線のLPSについて

G線のLPSを図1-7に示す。両楽器の比較より、2倍音および丸印の倍音に差異がみられる。2倍音に違いがあることは、基本音に近い音であり、感覚的に明確に音色の差を感じ取られる要因となる。さらに、丸印の倍音が比較的大きな変動を示すのであるが、バイオリンAとBを比較すると位置に差異がある。



サンプリングポイント数8192 アベレージング回数10

図1-7 G線開放状態のLPS

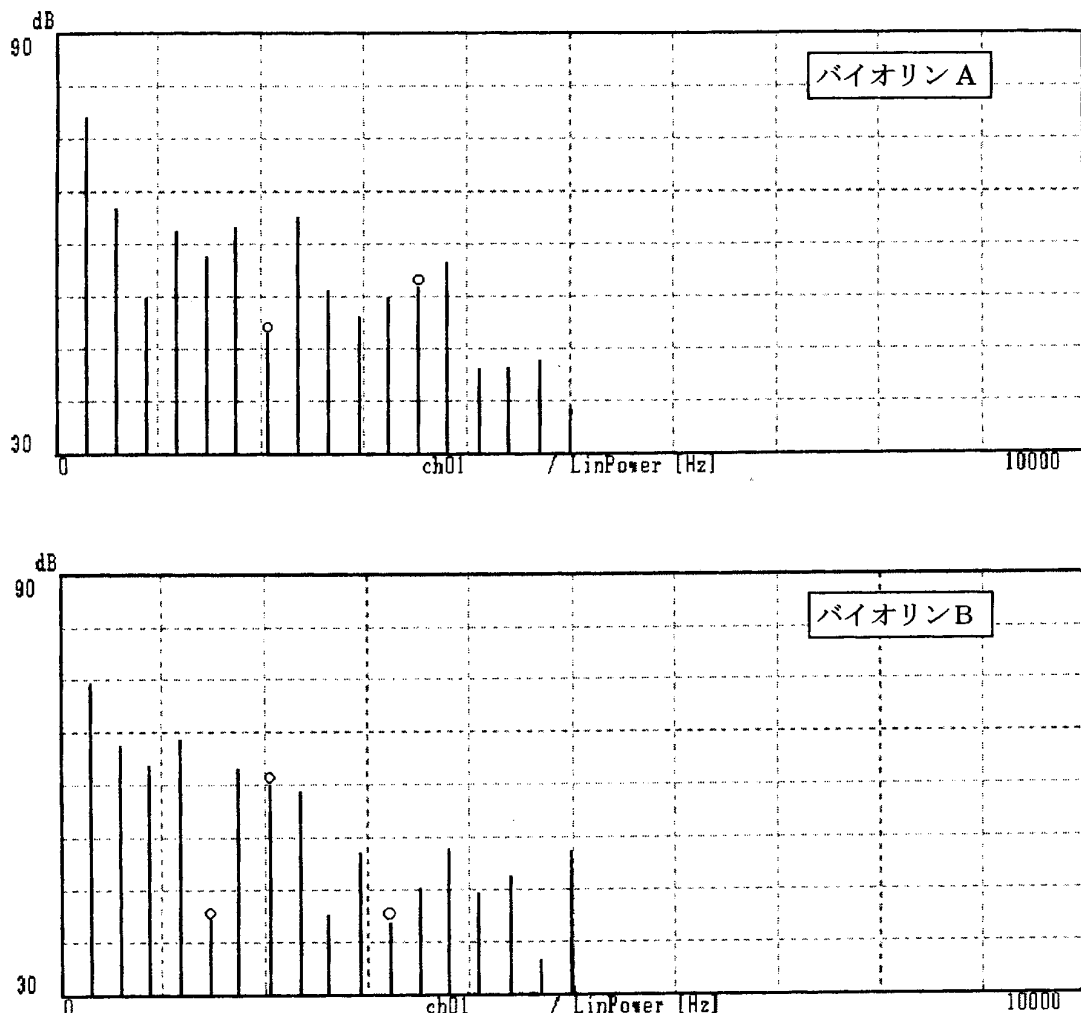
以上の比較より、「AはBよりも芯のある、像の明瞭な、厚みのある音色」という評価を与

えることが適当と考えられる。また、第10倍音以上の構成構造の差は、音色に微妙な違いを与えていると考えられる。

1.2.2. D線のLPSについて

D線のLPSを図1-8に示す。両楽器の比較より、2倍音および3倍音、さらに丸印の倍音に差異がみられる。

2倍音および3倍音に差があることは、かなり明確な音色の違いを感じさせる要因となる。また、丸印の倍音に差、特にバイオリンBでは第5倍音が脱ける傾向にあることは、音色の差異にやや強く影響する可能性がある。



サンプリングポイント数8192 アベレーシング回数10

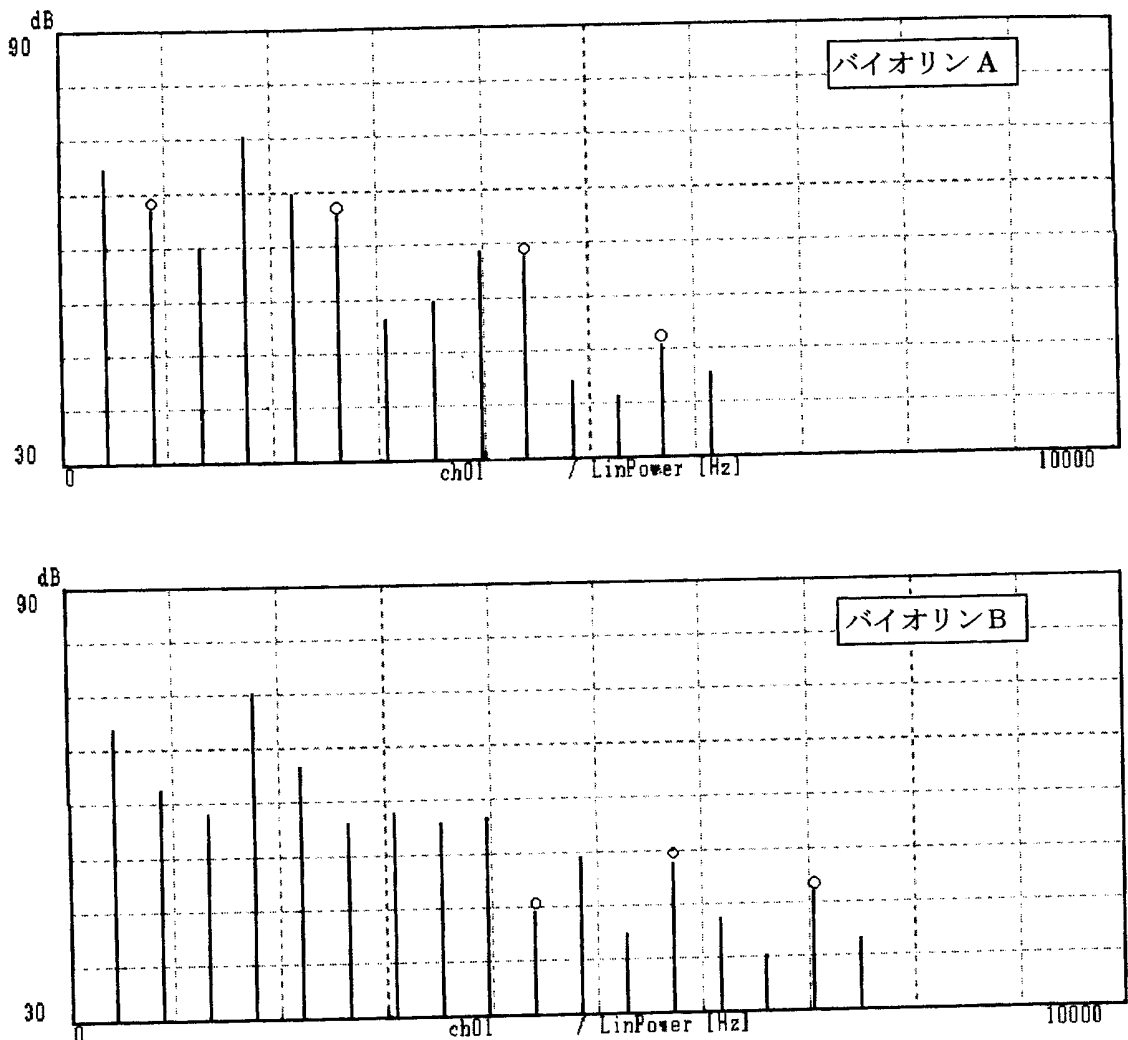
図1-8 D線開放状態のLPS

以上の比較より、「AはBより芯があるが、豊かな厚みに比較的乏しい音色」という評価

ができると考えられる。また、比較的低次の倍音の変動性が示されたことは、ここでも音色の印象に影響している可能性が示された。

1.2.3. A線のLPSについて

A線のLPSを図1-9に示す。基本的には両楽器は互によく似たスペクトルを与える。また、丸印の倍音の位置および最高倍音に差異がみられる。バイオリンAは第2倍音に変動性を示しており音色の印象にやや強い影響をもち、また、Bは最高倍音が高いことにより“裏声的”要素をもっている。また、その他の倍音の変動性からも音色の印象の差異をつくるものと考えられる。



サンプリングポイント数8192 アベレーシング回数10

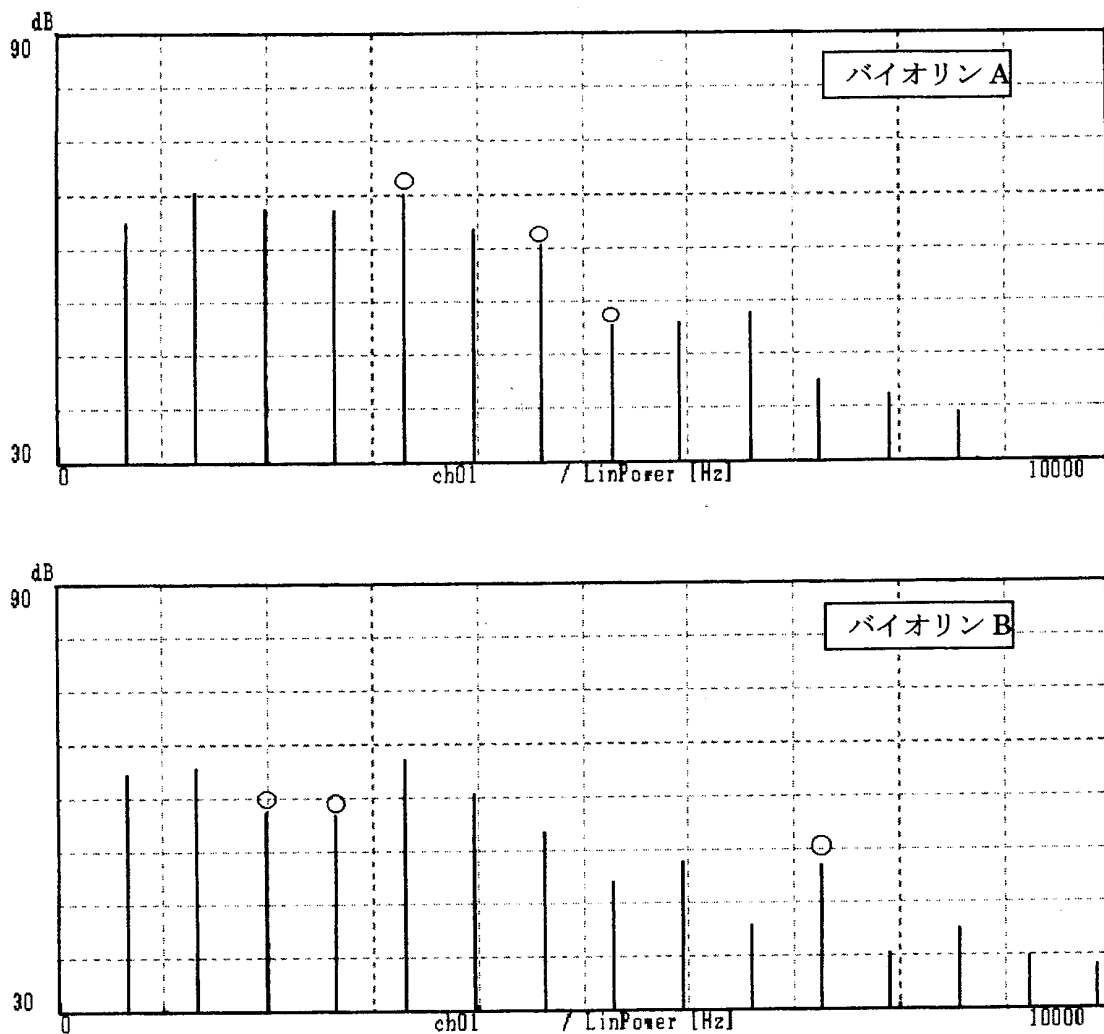
図1-9 A線開放状態のLPS

以上の比較から、「AはBより、落ち着いた音のある、やや華やかさに欠ける音色」と評価する

ことができる。

1.2.4. E線のLPSについて

E線のLPSを図1-10に示す。ここでも両楽器は基本的によく似たスペクトル形態である。わずかに丸印の倍音および最高倍音に差異をもつ。バイオリンBは第3および4倍音に変動性があり、音色印象の差をつくりやすい。かつ、最高倍音が高いことは裏返り音の印象を与える。



サンプリングポイント数8192 アベレージング回数10

図1-10 E線開放状態のLPS

以上の比較により、「AはBより力強く、裏返り感の少ない音色」と評価することが適切と考える。

1.3. FFT法適用の総括

今回、対象にしたバイオリンのLPSに関する特徴を以下に総括する。

(イ). 基本音あるいはその近傍の倍音の差異については、個々のバイオリンの音色に大きな影響を及ぼすと考えられ、音の「芯のある」、「力強い」、「像の明瞭さ」などの標語には一部分こうした特徴が含まれているものと解釈される。

(ロ). 高い倍音中に散発的にみられる差異については、個々のバイオリンの音色において、「豊かさ」、「厚み」などの標語には一部こうした特徴が含まれているものと考えられる。

(ハ). 最高倍音の限界に現れる差異については、一部は上記(ロ).と関係して、バイオリンの音色に「キラキラした印象」あるいはそれと反対に「落ち着いた」感じを与えると解釈される。さらに、最高倍音がある程度を越えて高い周波数にある場合、いわゆる、「音の裏返り」と関係のある印象を与えるものと予想される。

これらの解釈を確かめるための半定量的検討を計画中である。

第2部 SD法の適用

2.1. 方法論

Semantic Differential Method(SD法)において必要とするデータ構成を図2-1に示す。ここでは、コンセプト、被験者、評定尺度データを3次元座標系によって表現している。

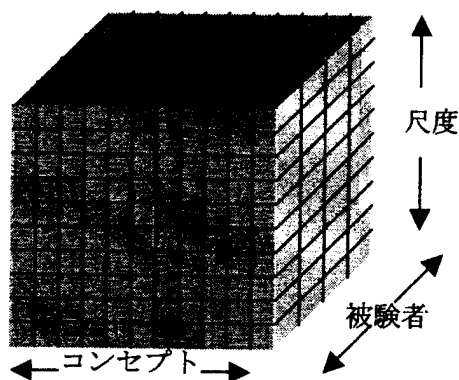


図2-1 SD法データ構成の概念

コンセプトとは、評定作業の目的を明確化した上で、評定の対象として規定されるものであり、抽象的あるいは具体的な事物であったり、物理的的刺激であったり、情緒的表現であったり、「あらゆるものごと」が対象となり得る。本研究においてバイオリンの音色をコンセプトにする。

被験者とは、評定者ともいうことができ、コンセプトの評定を行う人である。本研究のように音楽活動の活発さを特徴パラメーターとするグループ化も可能である。

評定尺度とは、辞書などにある形容詞を、反対の意味を表す一対として組み合わせ、その間に等分した目盛りを設定したものである。本研究のように「明るい」と「暗い」の間に、7段階の評価尺度を設定するなどにより、一定数の形容詞対からなる。

SD法の適用過程を、図2-2に基づいて説明する。一般に1過程は次の6段階からなる。(1). 評定尺度の決定、(2). 被験者の決定、(3). コンセプトの評定と傾向整理、(4). 因子分析、(5). 意味上の異同関係把握、(6). 被験者グループ間の異同関係の把握である。

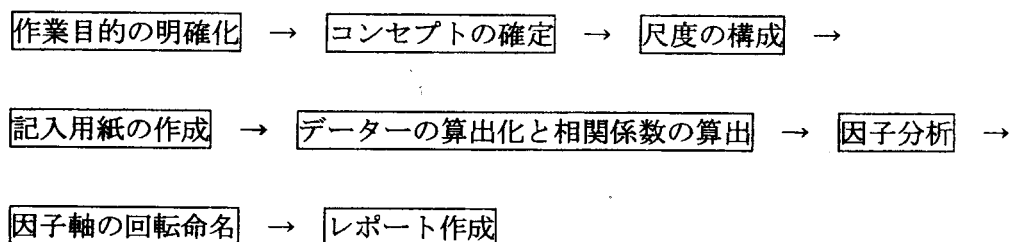


図2-2 SD法の適用過程

評定尺度の決定、および、被験者の決定には、評定作業の目的と整合性のある方法や範囲を採る必要がある。

コンセプトの評定では、可能な限り客観的な環境を設定し、かつ、傾向整理では、評定数データの平均操作をする。

因子分析とは、観測データの裏側に潜んでいる本質的な要因を探り出す作業で、これを基にして分析者の解釈あるいは因子の新たな意味発見を可能にする。被験者を変数としたり、また、コンセプトを変数として、被験者間あるいはコンセプト間の意味上の異同関係を把握することも可能である。本研究では前者の、被験者グループ間の異同関係の把握を試みる。

今回の研究における質問条件を図2-3に示す。いくつかの方法で標語を収集し整理した自作の評定用紙を用い、定法により被験者グループに対し、記入方法などの周知をはかった。

回答記入用紙

(A) 明るい —:—:—:—:—:—:—:— 暗い

(B) 美しい —:—:—:—:—:—:—:— みにくい

(C) 冷たい —:—:—:—:—:—:—:— 暖かい

(E) 乏しい —:—:—:—:—:—:—:— 豊かな

(F) 緊迫した —:—:—:—:—:—:—:— のどかな

(G) 上品な —:—:—:—:—:—:—:— 下品な

(H) 抑圧された —:—:—:—:—:—:—:— 解放された

(I) 堅い —:—:—:—:—:—:—:— 柔らかい

(J) 重々しい —:—:—:—:—:—:—:— 軽やかな

(K) 好き —:—:—:—:—:—:—:— 嫌い

図2-3 評定用の用紙

音の資料作製および評定実施の環境について図2-4に示す。

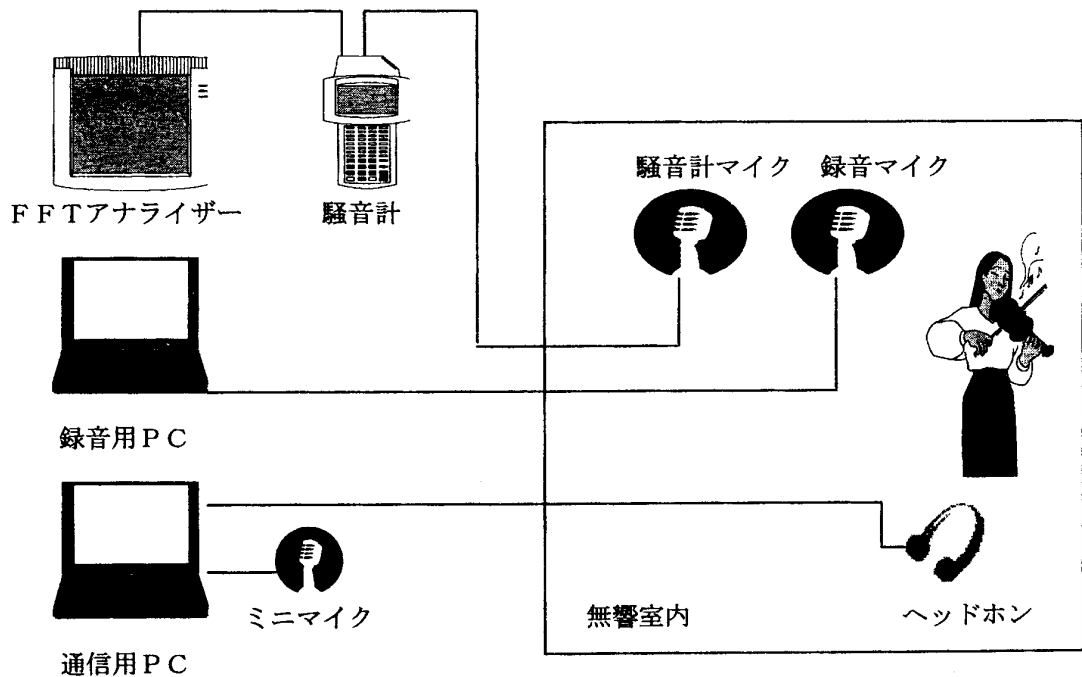
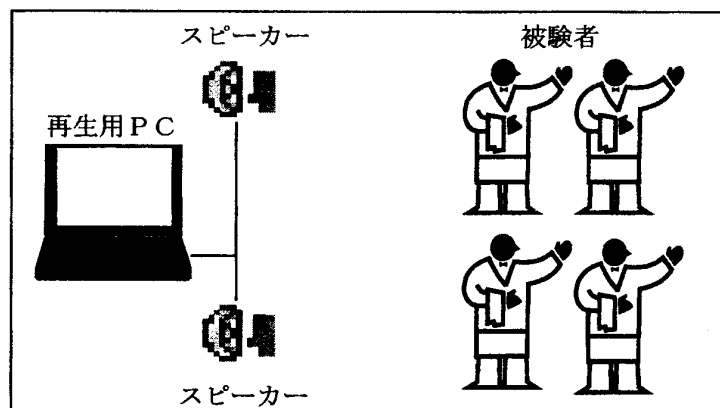


Fig1 - 5 実験装置



約30㎡の空室を利用

再生用PC・・・LaVieNX LA650J/2 (ソフト WEVEREC)

スピーカー・・・Pro JBL 社製

図2-4 音の資料作製および評定実施の配置環境

音の資料には、FFT法による研究に用いた二挺のバイオリンからの音をカセットテープに録音したものをつかった。録音された音は原音と比較して、主要部分にあまり変化がないことが、FFT法によるLPSより確かめられた。

被験者グループとして「音楽活動が盛んなグループ」および「音楽活動が盛んではないグループ」の2グループが選ばれた。各グループは15名からなり、合計が30名である。

2.2. 実測の結果とその比較検討

各グループの評定平均値を図2-5に示す。一見してグループ間に評定に差があることがわかる。

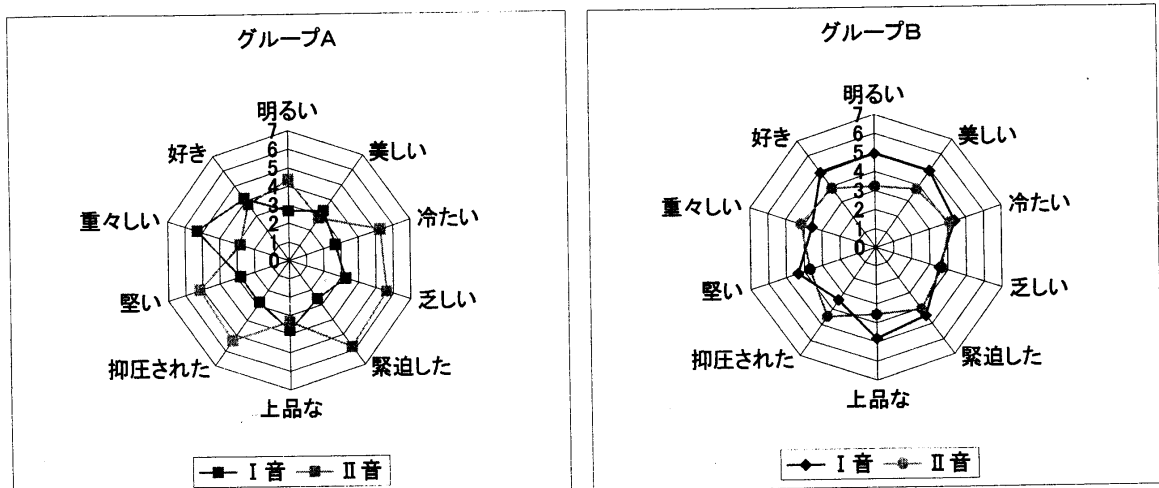


図2-5 各グループの評定平均値

各楽器についての平均評定値を図2-6に示す。楽器1は楽器2に比較して、グループAによると「重く、暖かく、開放的」に感じられる傾向をもつ。これに対しグループBには「明るく、美しく、上品」に感じられる傾向を示す。

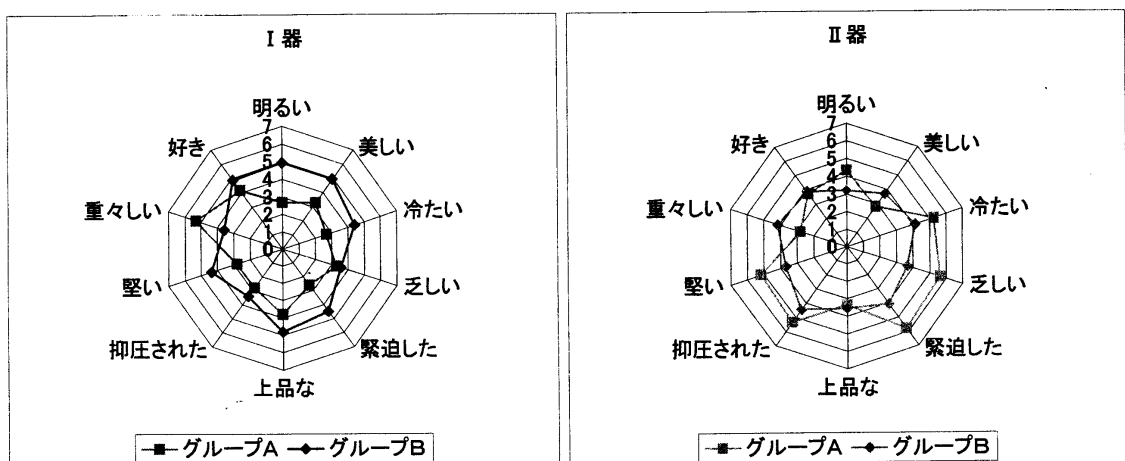


図2-6 各バイオリンの評定平均値

この結果を逆方向から表現すると、楽器2は楽器1に比較して、グループAによると「堅

く、冷たく、貧弱」に感じられる傾向をもつ。これに対しグループBには「軽やか」な他に様々な印象に感じられる傾向を示す。

グループA

	因子負荷量		
	1	2	3
重々しいー軽やかな	-0.942	-0.124	0.209
抑圧されたー解放された	0.859	0.043	-0.186
冷たいー暖かい	0.837	-0.015	-0.077
緊迫したーのどかな	0.747	0.049	0.064
明るいー暗い	0.629	-0.045	0.008
乏しいー豊かな	0.667	0.101	-0.113
好きー嫌い	-0.189	0.784	0.018
上品なー下品な	-0.221	-0.540	0.094
堅いー柔らかい	0.604	0.223	0.671
美しいーみにくい	-0.254	-0.139	0.493
因子寄与度	4.239	1.007	0.803
寄与率(%)	70.067	16.652	13.281

グループB

	因子負荷量		
	1	2	3
上品なー下品な	-0.993	0.016	-0.042
美しいーみにくい	-0.810	0.092	-0.412
好きー嫌い	-0.696	0.209	-0.436
明るいー暗い	-0.618	0.051	0.106
抑圧されたー解放された	0.440	-0.227	-0.030
堅いー柔らかい	0.227	-0.881	0.062
冷たいー暖かい	0.349	-0.699	0.500
緊迫したーのどかな	-0.048	-0.694	-0.167
乏しいー豊かな	0.410	-0.387	0.633
重々しいー軽やかな	0.127	-0.197	-0.616
固有値	3.063	2.041	1.436
寄与率(%)	46.840	31.206	21.955

図2-7 因子分析の結果

因子分析の結果を図2-7に示す。グループAは、第1因子の寄与率が70%と大きい。第1因子に含まれる評定形容詞対を検討すると、このグループは「心理的な傾向の比較的強い感じ取り方」をしている。一方、グループBの場合、第1因子の寄与率が46%であり、ここでは「価値観的な傾向の強い感じ取り方」の形容詞対が含まれる。第2因子は31%と、第1因子に比較してあまり大きな差を示さない。つまり、このグループは感じ取り方が多様な要因からなることを示す。

2.3. SD法適用の総括

大学学部生の2グループを対象にして行ったSD法の適用結果から、二挺のバイオリンの音色について、「感じ取り方の差異」をかなり明瞭な形で示すことができた。

バイオリン間の比較では、楽器1を楽器2と比較したとき、楽器1は、グループAによると「重く」、「暖かく」、「開放的」と感じ取られる傾向が強かった。音色に関するこうした評価は一種の「表面的な直感を基にした」あるいは「感じたそのままの」感受性によると解釈できる。一方、グループBでは、「明るさ」、「美しさ」、「上品」と評価していることは、内面的には「より深い」感受性をはたらかせており、「価値観」と結び付くような受け取り方を示すと解釈できる。

逆に、楽器2は、楽器1と比較したときに、グループAでは、上記の評価と正反対の評価をするのに対して、グループBでは、「軽やか」などの直感的評価をするほかに、多様な評価を当てはめようとする傾向が見られる。

グループAの構成員は、スキークラブの所属であり、一般的に楽器の音色を深く問題にしたことはない。グループBは、オーケストラに所属し、長い間楽器の演奏を続けてきたメンバーである。今回の調査結果に表れたグループ間の差異は、日常的な活動範囲の違いがそのまま現れたものといえよう。

3. 本研究の総括

以上の二つの方法から得られた結果を統一的に解釈することは最も興味深い。しかし、FFT法からのLPSは心理的にどのような印象をつくりだすものか、実験的な分析がない。また、SD法に使用する評価用語に関する検討にも研究の余地がある。音楽経験の有無あるいはその蓄積の度合いが音色の評価用語とどのような関係をもつかがまだよくわかっていない。従って、これらの研究が今後の課題である。

4. 謝辞

本研究の計画にあたり、貴重なご助言をいただいた、室蘭工業大学機会システム工学科、西田公司教授および松本伸博士に感謝の意を表します。卒業研究としてのスタートにあたり、バイオリンの製作に関する豊富な経験をおもちの、日本弦楽指導者協会会員、福田耕二氏から、多くの参考意見をいただいた。ここに深く謝意を表します。

注

この研究は、著者のうち、中間岳および本間俊介の室蘭工業大学卒業研究として実施された。

参考文献

1. 北海道新聞、平成13年9月1日朝刊
2. 糸川英夫著、八十歳のアリア、1992年、ネコス文芸春秋
3. 楽器の辞典「ヴァイオリン」、株式会社ショパン
4. 室蘭工業大学図書館報”みずもと”、第7号(1999年5月)
5. サイエンス、Vol.11, No.12, pp90-101, 1981
6. 安藤由典著、楽器の音響学、音楽之友社
7. (a). 岩下幸彦著、SD法によるイメージ測定(その理解と実施の手引き)、川島書店、
(b). 高木貞二著、現代心理学と数量化、東京大学出版会
(c). 伊藤隆二著、心理テスト入門、日本文化科学社
(d). 横倉宏行著、統計学入門、青木書店

執筆者紹介

所属：室蘭工業大学、応用化学科(〒050-8585、室蘭市水元町27番1号)