JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	超音波成分を含む再生方式を用いた音楽の印象評価及び音響生理実験
Author(s)	寅市，泰寛
Citation	
Issue Date	2010-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/8895
Rights	
Description	Supervisor:藤波努，知識科学研究科，修士

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

修　士　論　文

超音波成分を含む再生方式を用いた音楽の印象評価及び音響生理実験

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識科学専攻

寅市 泰寛

2010 年 3 月

Copyright © 2010 by Yasuhiro Toraichi.

概要

本稿では超音波がヒトに与える影響というものを、主に学生を被験者にした心理物理実験及び生理実験の２つの側面から検証・考察を試みるものである。

本研究は超音波に関する学問に相当しており、３つの分野から成り立っている。それは音響工学、音響心理学、そして音響生理学の３つである。超音波がヒトに与える影響を検証していくという事は、具体的に言えば「人間の聴覚モデルは非線形であること」を明らかにしていく事である。従来から「ベケシーの聴覚モデル」と呼ばれる理論では、ヒトの聴覚は周波数軸上において線形モデルであると言われているため、２つの超音波の差音（ビート音）は存在しないこととなっている。ここではその差音を含めた、超音波の影響の有無を上記した２つの実験を通して明確に示した。

心理物理実験では従来型のシャノンタイプと呼ばれる再生方式を持つ CD プレーヤーと、超音波成分を広く再生する事が可能な超音波再生方式型 CD プレーヤーとの音質の違いを心理物理学的見地から分析した。実験の最終的な目的としては「音楽において超音波成分部が影響する」事実を示すことである。実験手法は、先ず従来方式で再生される音楽と超音波再生方式型 CD プレーヤーによる同一の音楽を被験者に聞いてもらい、次に彼らに対し印象評価実験（音響心理実験）を行い得られたデータを、多変量解析を用いて分析するというものである。また、同じ実験を曲だけを変えて再び行い、被験者の反応の差異を確認した。アンケート分析の結果、従来型と超音波型との差は明確に表れていた。また、この実験で行った「CD を音源」として超音波成分を分析することは新奇性の１つとして挙がる。

生理実験の目的は「超音波成分の二次的効果が末梢の鼓膜の上で生じていること、そして中枢でその二次的効果を脳波と脳磁図で確認する」ことである。つまりここでの実験は、聴覚の末梢（鼓膜上）から中枢（聴覚領野）に渡り非線形成分を確認するものである。心理物理実験で定性的に示せたこの事象を、生理実験において定量的にも示すことを試みた。実験手法は、超音波差音を聞かせたときに被験者の鼓膜上で起きるビート音の検出を行うため、専用実験機器で計測するというものである。また中枢における超音波の影響を脳波（EEG）計並びに脳磁図（MEG）計で確認することも行った。ここでの新奇点は、超音波の差音である「ビート音」の検出を行い、且つその

際生じる脳波測定を行うことにある。

以上の２つの実験は共に多人数で行った。心理物理実験は 18 人～35 人、生理実験は 36 人の被験者に協力してもらいサンプリングをした。

最終的に、本研究の目的である「ヒトの聴覚モデルが非線形である」ことを心理物理実験並びに生理実験において証明できた。これによって本稿では、超音波という存在が様々な音響技術・音響科学において無視できないものであることを新しいアプローチ法で示せたと言える。

目　次

第１章　序論

はじめに・・・

図　目　次

第１章　序論

1.1　バイオリンの音による周波数分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　7
1.2　様々な楽器音の周波数分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　8

第２章　心理物理実験

2.1　心理物理実験装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　12
2.2　従来型 DAC と新型 DAC の比較Ⅰ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　14
2.3　従来型 DAC と新型 DAC の比較Ⅱ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　15
2.4　実験方法概略・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　16
2.5　アンケート用紙１・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　17
2.6　アンケート用紙２・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　18
2.7　１曲目（ドラム音）によるアンケート分析結果（30 歳以上）・・・・・・・・・　22
2.8　３曲目(Vivaldi 四季)によるアンケート結果（30 歳以上）・・・・・・・・・・　22
2.9　１曲目（ドラム音）のアンケート分析結果（30 歳未満）・・・・・・・・・・・　23
2.10　３曲目(Vivaldi 四季)のアンケート結果（30 歳未満）・・・・・・・・・・・・　23
2.11　１曲目（ドラム音）の新型 DAC に対する総合評価・・・・・・・・・・・・・・　25
2.12　３曲目(Vivaldi 四季)の新型 DAC に対する総合評価・・・・・・・・・・・・・　25
2.13　２つの型の DAC 別因子分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　26
2.14　両 DAC から得られたアンケート結果（１曲目）・・・・・・・・・・・・・・・　27
2.15　両 DAC から得られたアンケート結果（２曲目）・・・・・・・・・・・・・・・　27
2.16　両 DAC から得られたアンケート結果（３曲目）・・・・・・・・・・・・・・・　28
2.17　両 DAC から得られたアンケート結果（４曲目）・・・・・・・・・・・・・・・　28
2.18　両 DAC から得られたアンケート結果（５曲目）・・・・・・・・・・・・・・・　29
2.19　両 DAC から得られたアンケート結果（６曲目）・・・・・・・・・・・・・・・　29

第３章　生理実験

3.1　末梢系のビート特性計測環境・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　31

3.2　中枢系の MEG 計測装置・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 32
3.3　末梢系から中枢系までの実験過程・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 33
3.4　超音波の差音計測法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34
3.5　耳の内部構造・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35
3.6　脳波計を使った実験風景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
3.7　脳磁図計を使った実験風景・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 36
3.8　脳磁図（MEG）計測法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 37
3.9　空気中での超音波測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38
3.10　鼓膜上での超音波測定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39
3.11　脳波（EEG）計での計測例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
3.12　脳磁図（MEG）計での純音計測例・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 41

第　１　章
序　論

はじめに

行う実験は心理物理実験と生理実験の二つである。音楽の印象評価を計る心理物理実験は２回行った。２回目の実験は被験者の人数と曲を変えている。ヒトの聴覚計測を行う生理実験は抹消・中枢の２種類でそれぞれ行った。

１．　１　背景

超音波に関する本研究は３つの分野から成り立つものである。

１つ目は（音響）工学である。これは超音波成分までをも含んだ音を再生する機器と、その他実験機器の開発・設計にあたり、研究自体には一切関わっていない。

２つ目は（音響）心理学である。その大まかな背景を以下に記す。

人間の耳で聞き取れる音は、個人差はあるが、周波数領域にして 20Hz～20kHz の範囲内とされている。これを可聴領域と呼ぶ。音の音色を損なわないような周波数帯域として、W. B. Snow は 40Hz～14kHz、H. F. Olson は周波数帯域の上限を 15kHz と定義した[北野, 1955, p.39]。現在世間一般的に普及している CD に録音されている周波数の上限は、ヒトの可聴領域を越えた高周波成分（超音波成分）が再生されず、「シャノンのサンプリング定理」に基づき 22.05kHz に決定されている[Shannon, 1948, pp.379-623]。一般に 20kHz 以上は超音波とみなされ「人間には聞こえない」音として意味の無いものとされている。しかし多少余裕を持ち 2.05kHz の周波数を加えて設定した為、22.05kHz と最終的に決定されたとのことである。

ちなみに CD のサンプリング数はシャノンの標本化定理により最高周波数の２倍の 44.1kHz である。量子化数は２進数で表せば 16 ビットである。これによりシャノン方式で再生された CD の音楽には 22.05kHz 以上の超音波成分は含まれてはいない。しかし、音楽愛好家の中には、いまだにレコード音楽を好んで聴く人々もいる。アナログ

のレコードには我々ヒトの耳には聞こえないはずの超音波の部分が含まれている[重野，2003，p.41]。アナログのレコードプレーヤーと比較したとき、CD の再生音は自然の音質ではないという意見もある。その論拠は生理学者の「ジョージ・フォン・ベケシーの聴覚線形モデル」[Bekesy，1960]にある。線形モデルであれば超音波成分の有無に関わらず音楽の聞こえ方は全く同じものとなる。よって「自然な音質ではない」という意見は先ず出てこないだろう。

自然の楽器音にも超音波成分が含まれている。図 1.1 は本研究の一環として実際に行ったバイオリンの音を例にした周波数の計測グラフである。グラフ化にはスペクトルアナライザと呼ばれる機械媒体を通してグラフ化を行っている（左上部）。バイオリンの音は 20kHz 以上の超音波までの音が含まれ、やはりその信号で時間波形が形成されていることが判る（右上部）。これは信号の大きさ、つまり振幅、波形の形が時間的に変化しているという事である。そして超音波成分を敢えて削除した信号を再生すれば（右下部）、最終的に鈍った時間波形となり、それが再生音となって再生される（左下部）。信号の差から生じる音質の差がシャープ感の欠如にも繋がるともいえる。信号処理の計測は全て専用実験室で行い、中でデータ処理も並行して行っている。

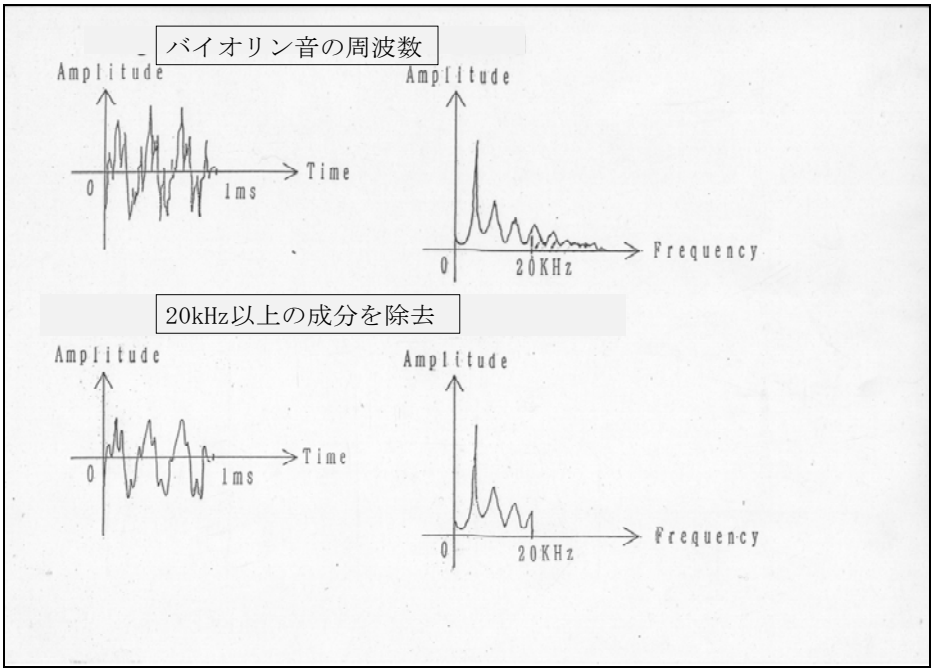

図 1.1　バイオリンの音による周波数分析

そして同様に他の楽器音をスペクトルアナライザで計測しグラフ化したものが以下の図 1.2 である。横軸が周波数、縦軸振幅を表している。計測した楽器はドラム・トライアングル・シンバル・ベルリラで、いずれも 20kHz 以上の成分が検出された（黒く表示）。

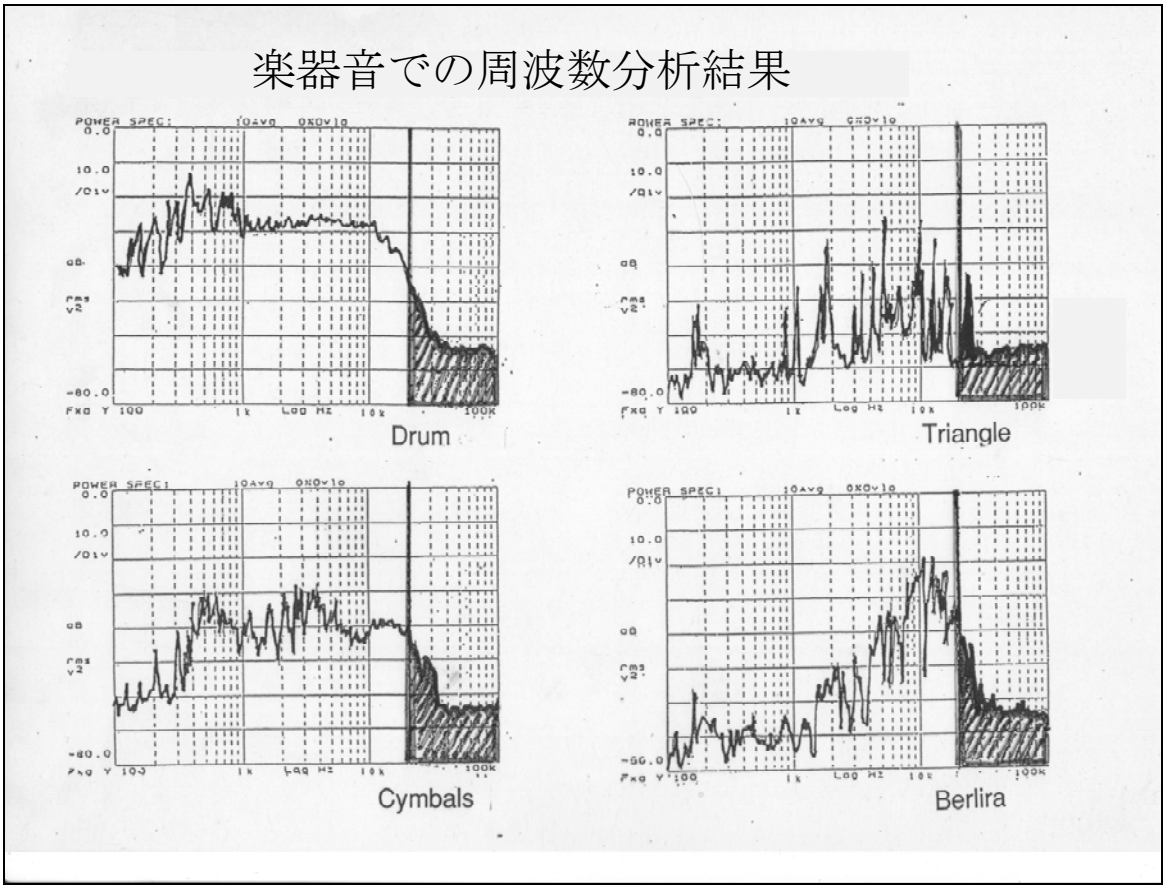

図 1.2　様々な楽器音の周波数分析

また最近では、DVD-Audio や SACD（Super audio CD）といった高周波を再生する次世代規格のオーディオが普及し始めた。超音波は、我々の脳にα波（脳波の波形の一つであり、覚醒安静時に表れる 8～13Hz の波）を生じさせることが脳波の測定から分かっている[重野，2003，p.41]。このα波がヒトの心に何らかの働きかけを行っている可能性がある。また脳波と超音波についての研究は、インドネシアの伝統音楽であるガムランを題材にした研究が存在している[Oohashi，2000，pp.3548-3558]。結果、

脳幹と左視庄の血流量が増加し後頭部でのα波も同時に増加させることが分かっている。しかしガムラン音楽中に含まれる超音波だけではα波の増加は見られなかった。つまり可聴域の音と同時でなければ超音波成分は生きてこないのである。

そこで今回行う心理物理実験では、ヒトが音楽の中の超音波成分を脳内で認識可能であると仮定し、超音波成分を多分に含む CD の音楽がヒトの印象評価に及ぼす影響について検討するため、音の印象評価に関する調査を試みた。

３つ目は（音響）生理学である。生理実験は心理物理実験と並行して行う。「楽器の殆どは超音波成分を含んでいる」ことが既に示されている。例えばピアノの和音をスペクトルアナライザ（周波数分析機械）で分析すれば、そこには超音波成分が大量に含まれている事が判る。また自然音にまでも超音波成分は含まれていると言われている。しかし「ベケシーの線形モデル」では、超音波成分のビート（超音波による差音）は存在しないことになっている。

実験ではその差音がヒトの知覚にどのような影響を与えるかを、脳波と脳磁図（MEG）測定によって解明することとする。MEG は MagnetoEncephaloGraphy の略であり、脳の電気的な活動から生じる磁場（脳磁図）を計測する技術である。

以上の生理実験は追実験を含め、心理物理実験の結果をより確固なものにする目的を有している。

１．　２　背景としての音の印象とその評価

１．１節で述べた、音の印象とその評価について詳しく論じる。ヒトは物音を聞いたり音楽を鑑賞する際、自然に感性的な評価をしていることがある。例えば、ある音を聞いたとき、「好きな音・嫌いな音」や「軽い音・重厚な音」のような評価を我々は自然に行っているのである。また、音楽を鑑賞するときも合奏される楽器について我々は音の聞き分けも同時に行っている。音楽を愉しみ、物音までも聞き分ける識別能力の根底にあるものは音の周波数、強さなどの違いに対するヒトの耳の弁別能力である。

増山らの弁別能力の測定調査によれば、ヒトは可聴領域内で周波数について 1500 段階、強さについて 325 段階まで弁別可能であり、耳のもつ情報量は約 12500 ビットとなる[増山ら，1962，p.72]。音の良否識別などの品質評価は、「試聴」という行為

による嗜好調査により数量的評価を行って検討されるのが一般的である。今回行った心理物理実験も、この評価法に基づいて分析している。

また音や音質に関する評価研究は、財団法人サウンドメディア財団の「音の評価システムに関する調査研究報告書」[北村ら，1986，pp. 1-48]によると、日本音響学会では音質に関する研究が 1943 年から行われている。同財団の「音の評価システムに関する調査研究報告書・第２報」[北村ら，1988，pp. 1-86]の中では、音に SD 法（オスドックらにより考案された、言語・シンボルなどの意味測定の方法）を用いた最初の音質評価研究として、艦船探知用ソナーの受信音を音源とし 50 の評定尺度を用いて訓練中のソナー係に判断させた事例など、定量的な音に関する評価、そして音質に関する評価の研究事例が紹介されている。

１．　３　問題点

超音波は、骨導による知覚が可能であるという報告がある。また、超音波成分を豊富に含む音は、それを除いた音よりも脳幹・視床を含む脳深部の血流を増大し、α波を増強すると共に呈示された音をより快適に知覚させ、音をより大きな音で聴こうとする行動を導くことが発見されている。

また超音波成分が知覚に影響を与える要因の一つとして、超音波成分の相互作用による差音発生が挙がるわけだが、その差音が音源から人間の中枢神経で知覚されるまでの経路のどこでどのように発生しているかについてはあまり研究がすすめられておらず不明な点が多いのが現状である。

以上の知見から、超音波がヒトの心に何らかの働きかけを行い、音質評価へ影響を及ぼしている可能性が予測される。よって心理的な側面と生理的な側面の２つの側面からのアプローチを行い、超音波の影響というものを調査する。

１．　４　目的

実験の最大の目的は、従来のシャノン型である再生方式の CD プレーヤーと超音波成分を広く再生する事が可能な新型の超音波再生方式型 CD プレーヤーとの音質の違いを多変量解析的な手法を用いて、心理物理学的見地から分析することである。

生理実験では鼓膜上で起こり得る差音の詳細なメカニズムを、末梢から中枢を通し

て超音波の知覚特性の影響を脳波計と脳磁図計を使用して解析し、客観的に成分が与える影響を探っていく。以上の実験を、心理物理実験で得られた結果の裏付けとして支えさせる事が生理実験の主な目的である。

第　２　章

心 理 物 理 実 験

はじめに

心理物理実験はなるべく多くのデータを取り様々な角度から検討することが必要であると判断し実験Ⅰと実験Ⅱの２つの実験パターンを用意した。

２．　１　実験Ⅰと実験Ⅱの実験環境

図 2.1 は本実験の実験装置である。以下に詳細な説明を記述する。

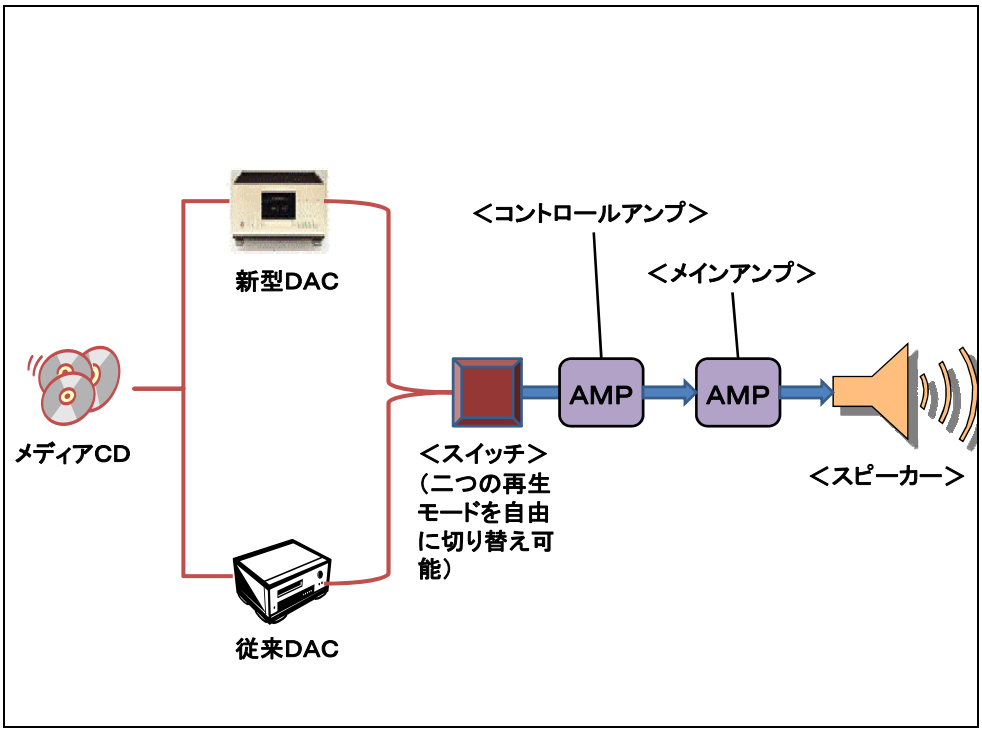

図 2.1　心理物理実験装置

本実験は全て音響実験室並びにその周辺の部屋で行った。音源メディアは CD を利用する。その特性は序論で上記したとおりである。

デジタルからアナログに変換再生する機能は“DAC”（DA コンバータ）と呼ばれており、本実験では２つの DAC を使用することとする。１つは従来の再生方式である 22.05kHz まで再生可能であるシャノン型の DAC であり、二つ目は超音波再生型である新しい型の DAC でそれぞれ音楽を再生する。２つの DAC の再生特性は、可聴領域において両者はほぼ同じ特性を有し、シャノン型 DAC では超音波領域の音源は再生不可能な事に対し、超音波再生型 DAC は従来型の約２倍である 40kHz までの超音波領域まで再生可能だという事である。そこが両者の明確な違いである。それらの再生音の音質の違いを心理物理学的見地から分析する[Higuchi, 2009]。

今回の実験で使用する機材は以下のものである。

- 実験用サンプル CD：６枚×２（詳細は以下に記述）
- CD プレイヤー: LUXMAN DU-10
- コントロールアンプ: C-70f
- メインアンプ: M-800A
- スピーカー: DS-MA1（再生周波数帯域 35～80,000Hz）
- オシロスコープ
- スペクトルアナライザ

また、実験に用いるシャノン DAC と超音波再生用 DAC は LUXMAN DU-10 に搭載されているものとする。機器で再生する CD メディアは同一のものであり、２つのモード切り換えが自由に可能である。入力部である CD メディアのピックアップからシャノン型 DAC と新型 DAC までの配線の長さは同じに作られており、各 DAC からアンプ出力までの配線の長さも同じに設計されている。これは少しでも配線の長さが違えば電気抵抗等も異なったものとなり、純粋な超音波による差が検出不可能となってしまうからである。

次に両者の DAC により再生された微小なアナログ信号がコントロールアンプによって増幅される。さらにその信号がメインアンプによって大きく増幅され、スピーカーに伝導していく。ここで大切なことはコントロールアンプ・メインアンプ・スピーカーを共通のものとしていることである。そしてその違いは超音波領域のみ特性が違う２つの DAC が使用されているという事でもある。

次に両者の DAC をそれぞれ比較したものを図で表す。ガラス音とオーケストラの音をサンプリングしたものが図 2.2、DAC から聞こえる再生音の振幅特性を表したのが図 2.3 である。

比較Ⅰ（図 2.2）の図では、ガラス音もオーケストラ音も従来 DAC が途中からフラットになっているのに対し、新型 DAC では広く音域をカバーしている。そして比較Ⅱ（図 2.3）では青のラインが従来のシャノン型 DAC の振幅特性を表している。この図でも横軸が表す周波数 22.05kHz 以上の振幅特性が徐々に無くなってフラットになっている。一方において赤のラインは新型 DAC の振幅特性を表している。可聴領域の振幅特性はシャノン型のそれとほぼ同じになっており超音波領域の特性を有している。

以上の比較図より超音波再生型DACでは従来方式では不可能な超音波の再生を可能としていることが判る。

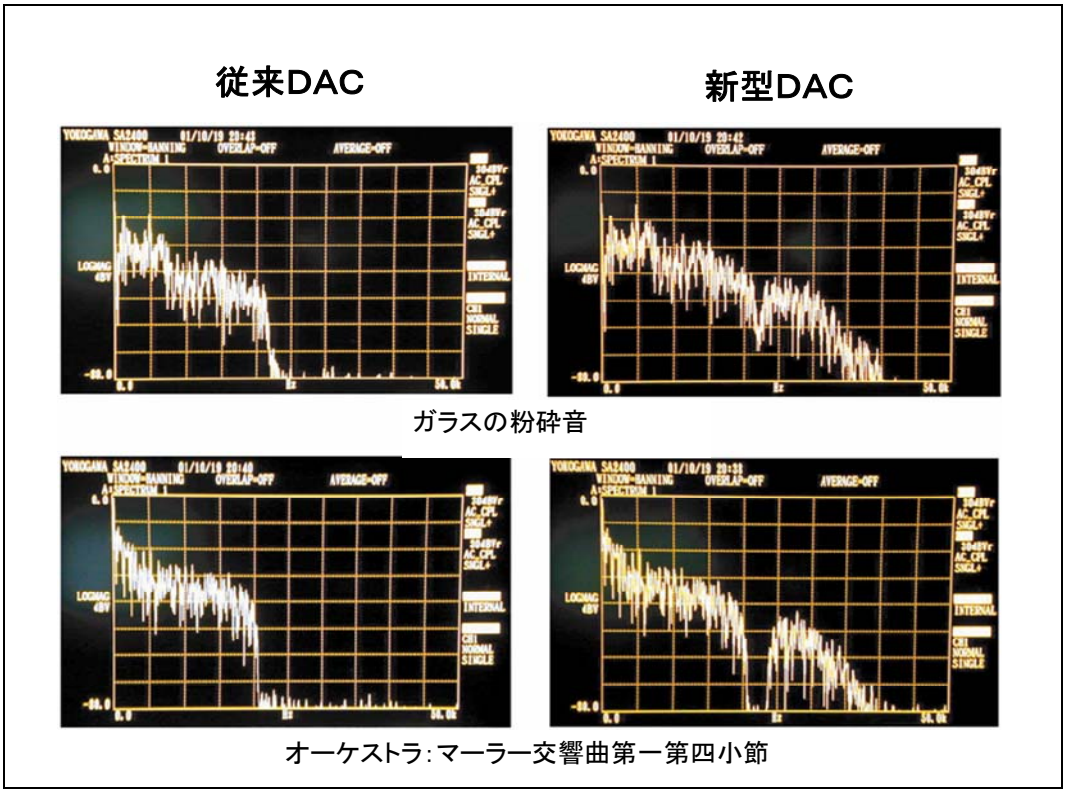

図 2.2　従来型 DAC と新型 DAC の比較Ⅰ

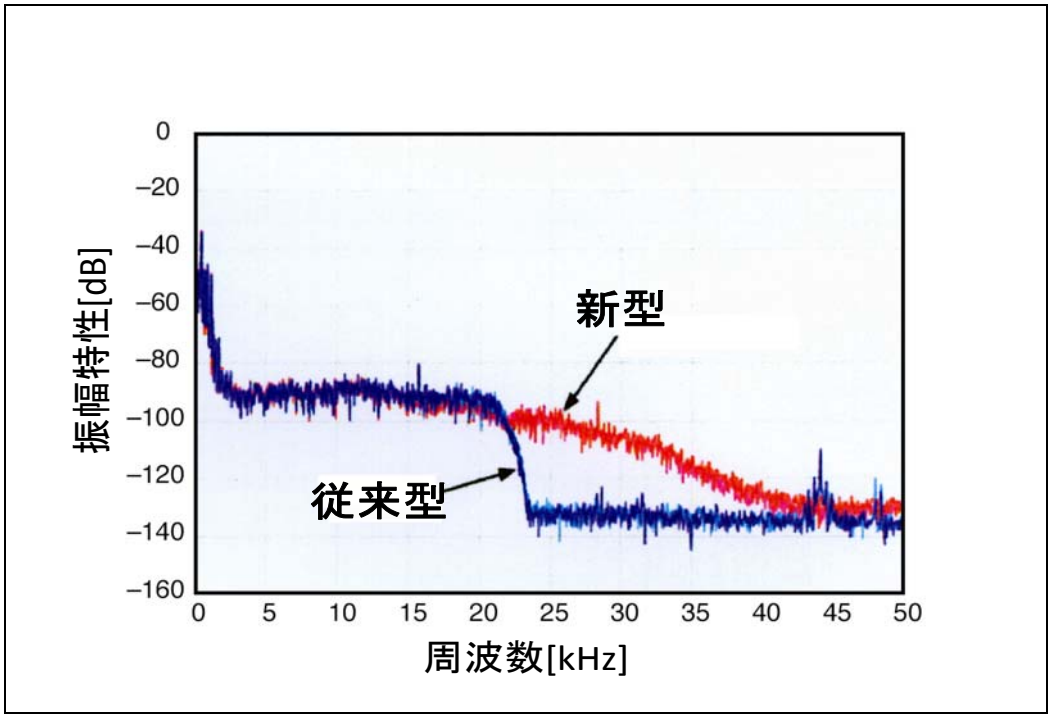

図 2.3　従来型 DAC と新型 DAC の比較Ⅱ

２．　２　実験Ⅰと実験Ⅱの実験手法

実験の被験者は基本的に１人だが、場合によって２人同時にも行っている。被験者の年齢層は 20 代～60 代と幅広い年齢層を考慮した（実験Ⅰでは 35 人、実験Ⅱでは 18 人)。

実験方法の概略を説明する。音源となるものは、図 2.4 にも表したように一般の CD を使用する。その音を超音波成分まで広くカバーできる新型 DAC と従来のシャノン型 DAC それぞれの機器で１回ずつ再生する。被験者にはどちらの DAC で再生されているか判らないような環境下で再生される音楽を聴いてもらう。後に「１回目の再生と比較して２回目の再生をどう感じたか」を 20 組の形容詞対に対してどちらの対語に近いかを５段階評価で印象評価してもらう。さらに多変量解析を用いて両音楽の印象評価における相違性を検討する。評価量は５段階としているが、その制限段階量に被験者を束縛させず－２から＋２の軸上で被験者の主観的感覚に任せて自由に評価をしてもらうようにした。

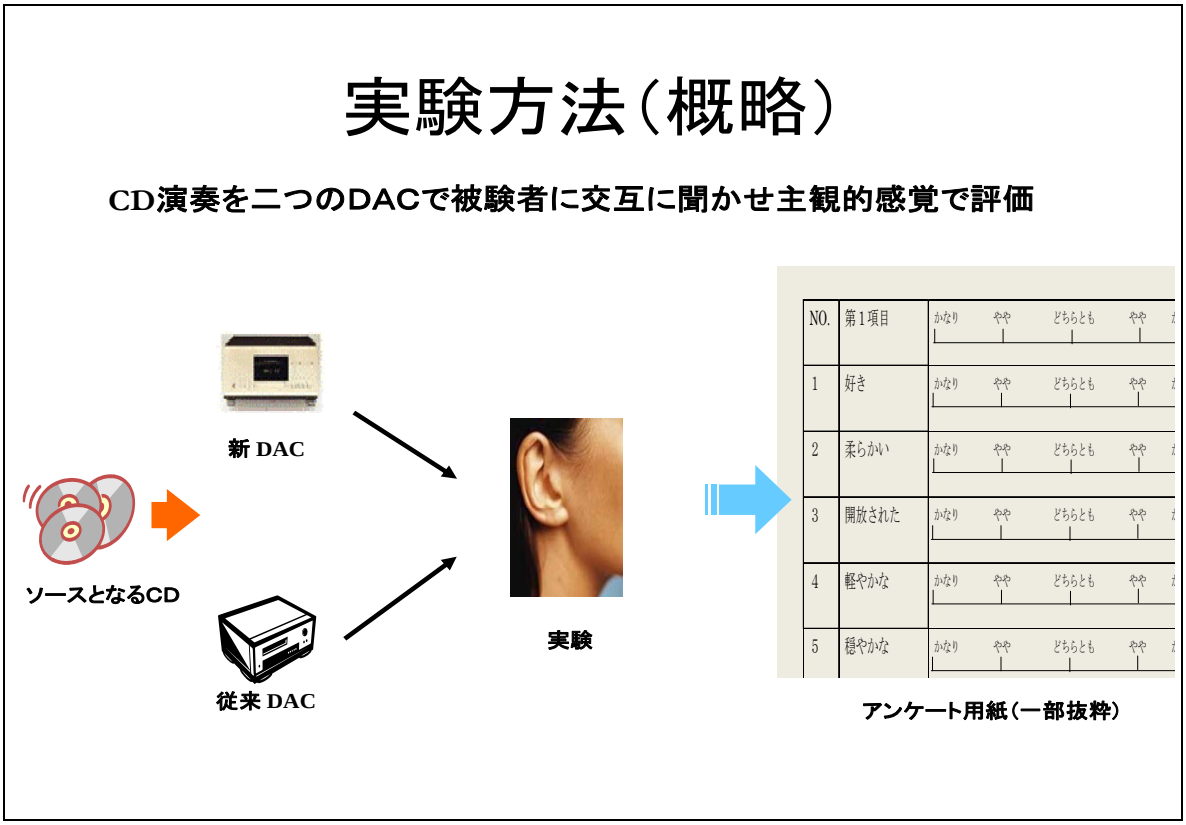

図 2.4　実験方法概略

実際に使用した実験手順を含めたアンケート項目を以下の図 2.5 及び図 2.6 に表す。被験者に配る紙は実験の説明用紙とアンケート用紙の２枚である。名前と年齢、そして音楽鑑賞の趣味の有無、音楽経験の有無、そして音楽と音響工学についての知識の有無を説明用紙に質問項目として銘記している。アンケート用紙には対となっている 20 項目の形容詞を用意した。それは「好き、嫌い」、「柔らかい、硬い」、「開放された、抑圧された」、「軽やかな、重々しい」、「穏やかな、いらただしい」、「はっきりした、ぼんやりした」、「味わい深い、無味乾燥な」、「上品な、下品な」、「奥行きのある、奥行きのない」、「美しい、汚い」、「シャープな、丸みのある」、「高級な、安っぽい」、「心地良い、耳障りな」、「調和した、不調和な」、「音域が広い、音域が狭い」、「親しみやすい、親しみにくい」、「自然な、人工的な」、「生き生きした、死んだような」、「音の伸びがある、音の伸び無し」、「生演奏、録音演奏」である。被験者にはそれぞれの形容詞対に対し「かなり、やや、どちらともいえない、やや、かなり」で印象評価してもらう。データとして扱うときは順に「－２、－１、０、＋１、＋２」とした。

実験評価用紙

記入要領説明

本日は従来シャノン型／超音波再生型両DACによるオーディオ検証実験にご参加いただき、ありがとうございます。
評価用紙の記入方法について以下にご説明いたしますので、実験開始前に読んでおいてください。

１：下記の基本事項を記入ください。

（1）名前　　年齢　　歳
＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　＿＿＿＿＿＿＿＿

（2）あなたと音楽との関係を最も表すのは以下のいずれですか？

殆ど関わり無し　　音楽鑑賞が主である（頻度　年／月／週／日　に　　回）
楽器演奏や歌唱の経験者である（経験年数　　年）
音楽に関する専門家である（具体的に　　）
音響工学の専門家である　（具体的に　　）

２：各テスト曲を LUXMAN DU-10 のシャノンモードと超音波再生モードの 2 種類で再生します　(順不同)。
『1 回目の再生に比べ、2 回目の再生をどう感じたか』を 20 組の形容詞対に対して、どちらの対語に近いかで評価して下さい。

３：1 回目の再生に比べ、2 回目の再生はどのように感じましたか？各形容詞対の 5 段階評価欄の一つにチェックを入れて下さい。

図 2.5　アンケート用紙１

演奏１と演奏２はどのように感じましたか？感じたところに①、②印を付けてください。

NO.	第１項目	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	第２項目
1	好き	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	嫌い
2	柔らかい	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	硬い
3	開放された	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	抑圧された
4	軽やかな	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	重々しい
5	穏やかな	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	いらだたしい
6	はっきりした	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	ぼんやりした
7	味わい深い	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	無味乾燥な
8	上品な	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	下品な
9	奥行のある	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	奥行のない
10	美しい	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	汚い
11	シャープな	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	丸みのある
12	高級な	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	安っぽい
13	心地良い	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	耳障りな
14	調和した	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	不調和な
15	音域が広い	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	音域が狭い
16	親しみやすい	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	親しみにくい
17	自然な	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	人工的な
18	生き生きした	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	死んだような
19	音の伸びがある	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	音の伸び無し
20	生演奏	かなり　やや　どちらとも　やや　かなり	録音再生

図 2.6　アンケート用紙２

各テスト曲の再生時間は１～２分とし、従来型と超音波型の曲の再生順は順不同とする。今回は計３パターン用意して、それぞれ６つの曲を用い実験を行った。１つ目の実験（実験Ⅰ）で使用した曲は順に

- Drum-set(Impact2(track3))
- Sonata No.1 in G minor,BWV1001(J.S.Bach:Sonatas&Partitas for Solo Violin(track1))
- 第１番ホ長調作品８の１《春》,第１楽章:Allegro(Vivaldi 四季(track1))
- ツィゴイネルワイゼン(歌の翼に(track5))
- 小プレリュード集　二短調　BWV926(J.S.Bach.Kleine Praludien(track2))
- 帰っておいで優しい愛が今しも招く(AVE MARIA(track1))

以上の６曲である。

また、２つ目の実験（実験Ⅱ）で使用した曲は順に

- 新　シルクロード
- この道
- アベマリア
- アメイジンググレイス
- 和太鼓
- バイオリンソナタ

の６曲である。

また従来型DACを従、超音波再生型DACを超とし使用したパターンを以下に表すと

パターンA……	パターンB……	パターンC……
１曲目　従　超	１曲目　従　超	１曲目　超　従
２曲目　従　超	２曲目　超　従	２曲目　従　超
３曲目　超　従	３曲目　超　従	３曲目　超　従
４曲目　従　超	４曲目　従　超	４曲目　従　超
５曲目　超　従	５曲目　超　従	５曲目　超　従
６曲目　超　従	６曲目　従　超	６曲目　従　超

となっている。

実験にはダブルブラインド方式と呼ばれる手法を利用する。被験者にシャノン型DACと超音波型DACの切り替えの操作を知られるのは実験的に不適切である。そこで「シャノン型DAC／超音波型DACの切り替え係」と「音楽再生係」の２人で実験を実施し、モードの切り替えを行う際は被験者と音楽再生係を部屋（音響実験室）から退室させる。後者を退室させるのは、切り替えたモードの情報を被験者に対し完全に遮断する配慮である。また音楽の再生中は、やはり被験者にその情報を隠す為、オーディオやDACの一部を暗幕で覆った。

実験に使用する曲は、それぞれ以下の時間流した。

１曲目　１：07
２曲目　１：00
３曲目　１：12
４曲目　１：00
５曲目　１：06
６曲目　１：15

以上のタイムスケジュールの中でシャノン型と超音波型のモードそれぞれ２回ず

つ再生する。曲は１曲あたり２分弱のものを使用し、計 12 分程度となっている。アンケート回答時間は各曲の２回目の再生途中から回答を開始してもらった。１回の実験に要する時間は約 30 分である。

２．　３　実験Ｉの結果と検討

本実験では超音波成分を含んで再生される音楽と、従来型 DAC を通したオーディオで採用されている可聴領域のみで再生されている音楽を取り上げ、音楽の印象評価における超音波成分の影響について新型 DAC と多変量解析を用いて検討した。被験者から得られたアンケートの結果を以下の図で表す。被験者 35 人に聞かせた６曲のうちデータの違いが一番顕著に表れたのは１曲目の“Drum-set(Impact2(track3))”だった。対して３曲目の“第１番ホ長調作品８の１《春》,第１楽章：Allegro(Vivaldi 四季(track1))”はデータの差が一番小さいものであった。よって今回は以上の２つの曲に絞り（30 歳を境にした）年齢別に分析した結果を論じる。それらをまとめた図が以下のものである（図 2.7～2.10)。グラフの縦軸が評価量であり横軸が評価項目である。図 2.7 は「１曲目（ドラム音）によるアンケート分析結果（30 歳以上)」、図 2.8 は「３曲目(Vivaldi 四季)によるアンケート結果（30 歳以上)」、図 2.9 は「１曲目（ドラム音）のアンケート分析結果（30 歳未満)」、図 2.10 は「３曲目(Vivaldi 四季)のアンケート結果（30 歳未満)」である。

１曲目と３曲目を比べるとデータの違いは大きく特にドラム音が従来型DAC と新型 DAC の差が顕著である。また従来 DAC と比べ超音波再生型 DAC が高い度数で評価された個所は赤丸の部分（図 2.7　図 2.10）であり、主に「好み」、「柔らかさ」、「調和性」の項目が突出して評価の違いが見られた。しかし全体の図を見て判るように、30 歳以上と 30 歳未満とでは全く逆の評価となっている。ここから、新型 DAC の再生音に含まれる超音波成分が被験者に対して少なからず影響しているという事が言えると考えられる。

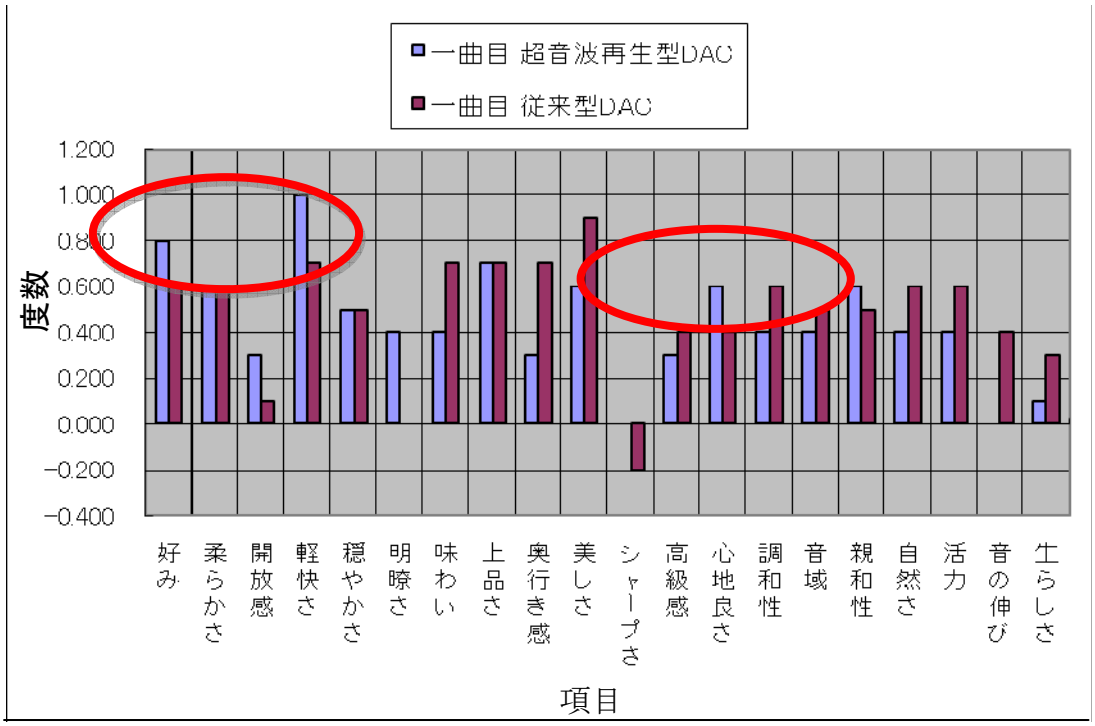

図 2.7　１曲目（ドラム音）によるアンケート分析結果（30 歳以上）

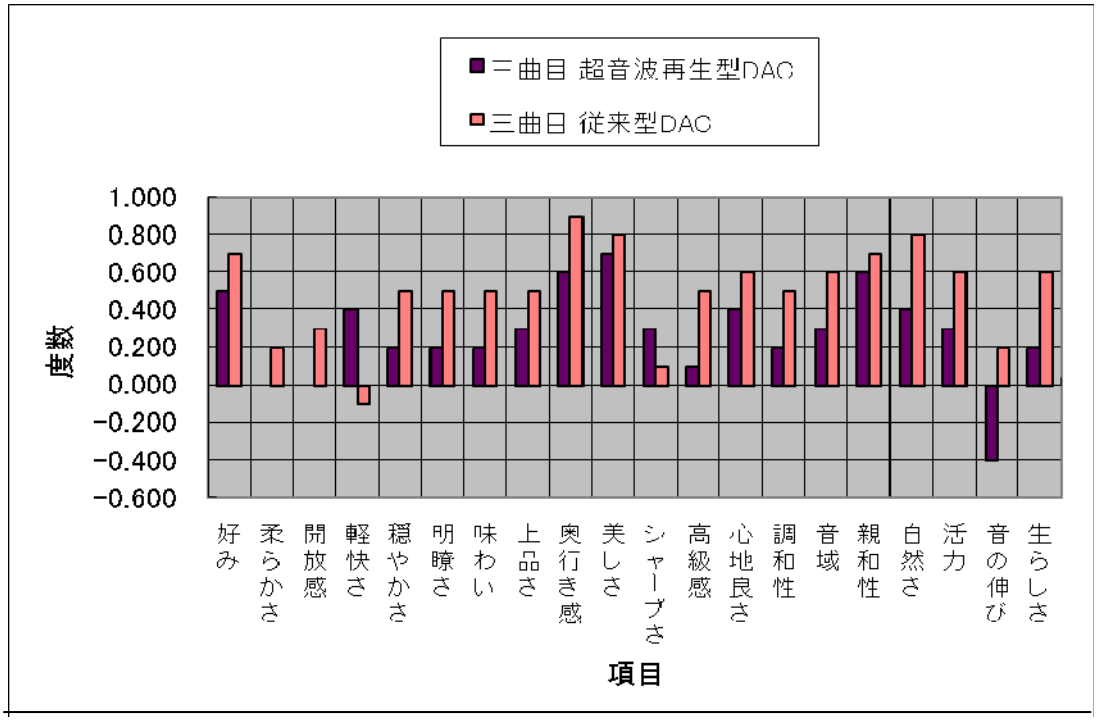

図 2.8　３曲目(Vivaldi 四季)によるアンケート結果（30 歳以上）

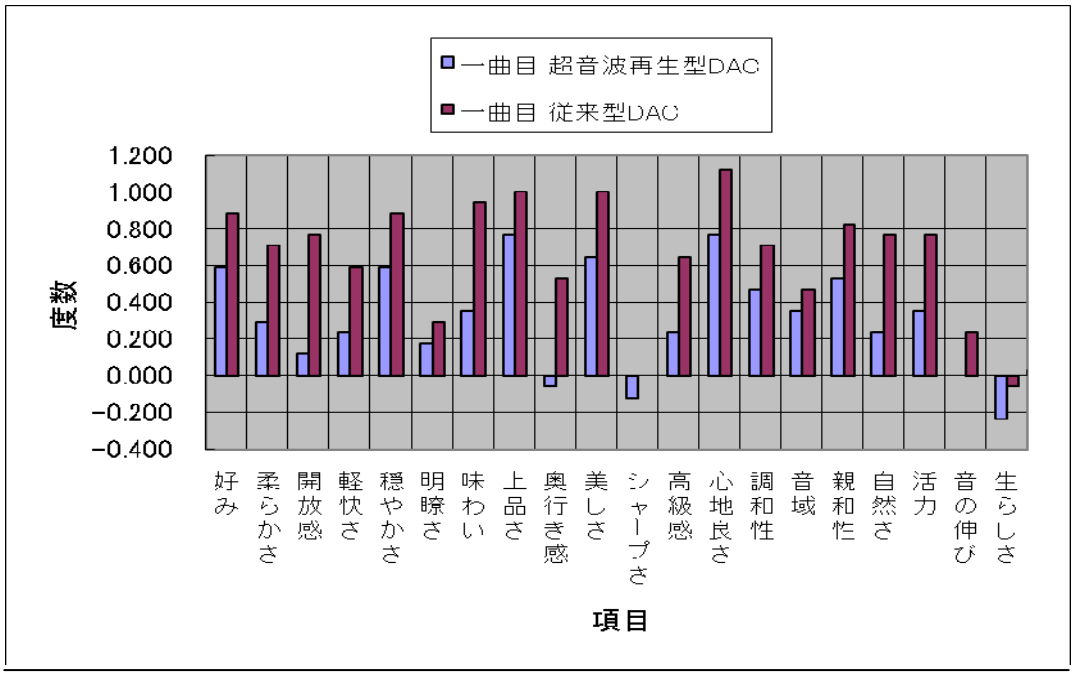

図 2.9　１曲目（ドラム音）のアンケート分析結果（30 歳未満）

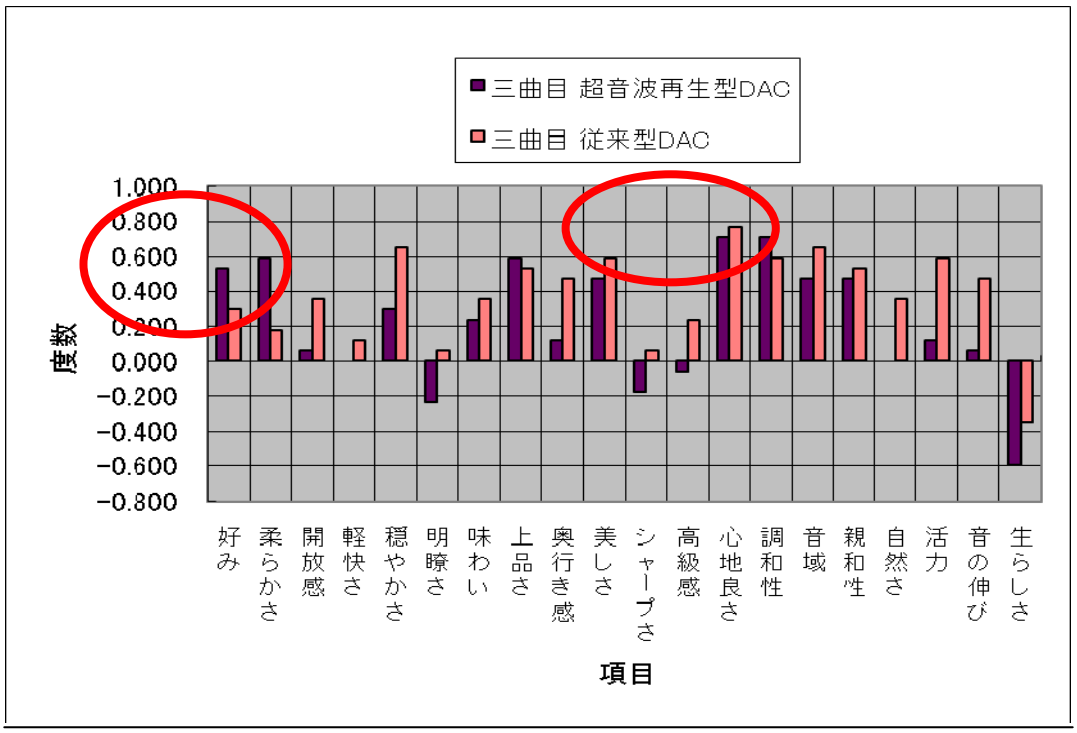

図 2.10　３曲目(Vivaldi 四季)のアンケート結果（30 歳未満）

次に超音波の影響を検討するため超音波再生型DACに限定し、そこから得られた年齢別アンケート結果を、以下の図2.11の「１曲目（ドラム音）の新型DACに対する総合評価」と、図12の「３曲目(Vivaldi 四季)の新型DACに対する総合評価」に示す。やはり同様にドラム音が被験者に大きく影響していることが判る。被験者が30歳以上の場合、１曲目のドラム音では「柔らかさ」、「歯切れのよさ（軽快さ)」、「自然さ」などの項目に評価の差が見えている。また３曲目では「歯切れのよさ(軽快さ)」、「明瞭さ」、「奥行き感」、「シャープさ」、「自然さ」の項目が目立った。

対して１曲目の30歳未満のグラフでは「上品さ」、「美しさ」、「心地よさ」の項目の差が比較的見て取れる。また三曲目では「柔らかさ」、「上品さ」、「心地よさ」、「調和性」などの項目が突出しているのが判る。

このような図2.11と図2.12の結果をまとめると、被験者の年齢層が30歳以上のとき、「歯切れのよさ(軽快さ)」、「自然さ」に特徴を見出し、30歳未満のときは、「心地よさ」、「調和性」に高い印象評価をしているという事が浮き彫りになってくる。また30歳未満での「調和性」の項目は、１曲目と３曲目を通して30歳以上の年齢層より高い数値で評価していた為、特徴の一つとして挙げている。そして30歳以上の評価においても曲による感じ方の差がそこには認められる。

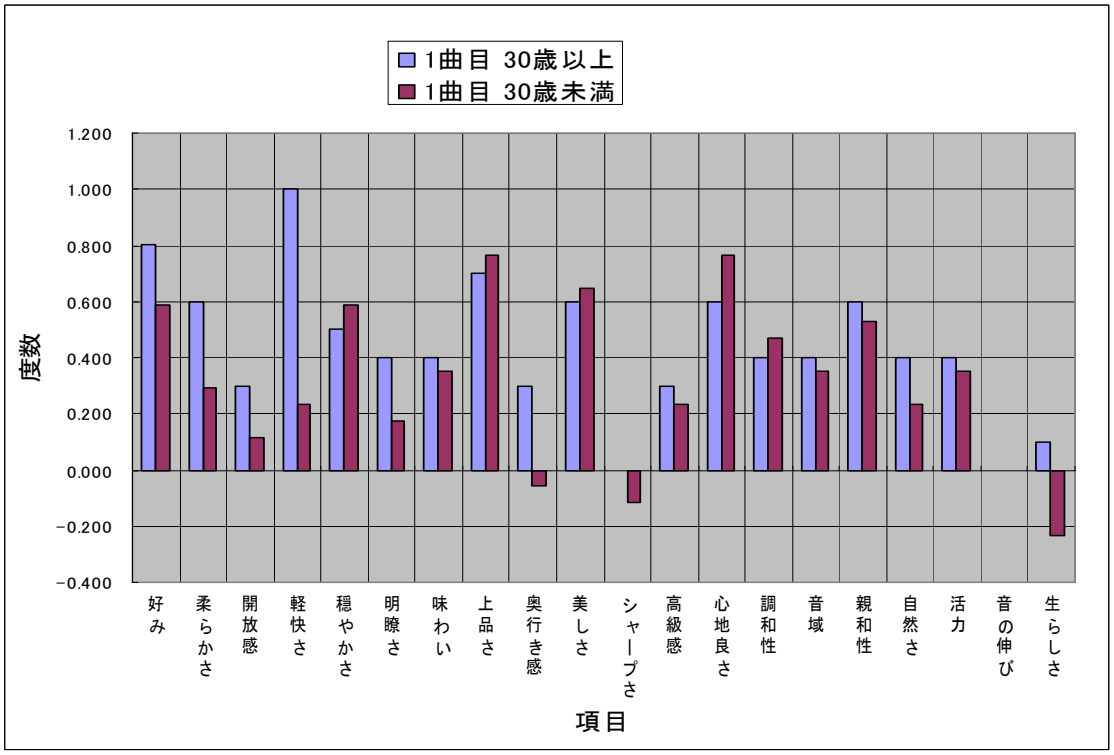

図 2.11　１曲目（ドラム音）の新型 DAC に対する総合評価

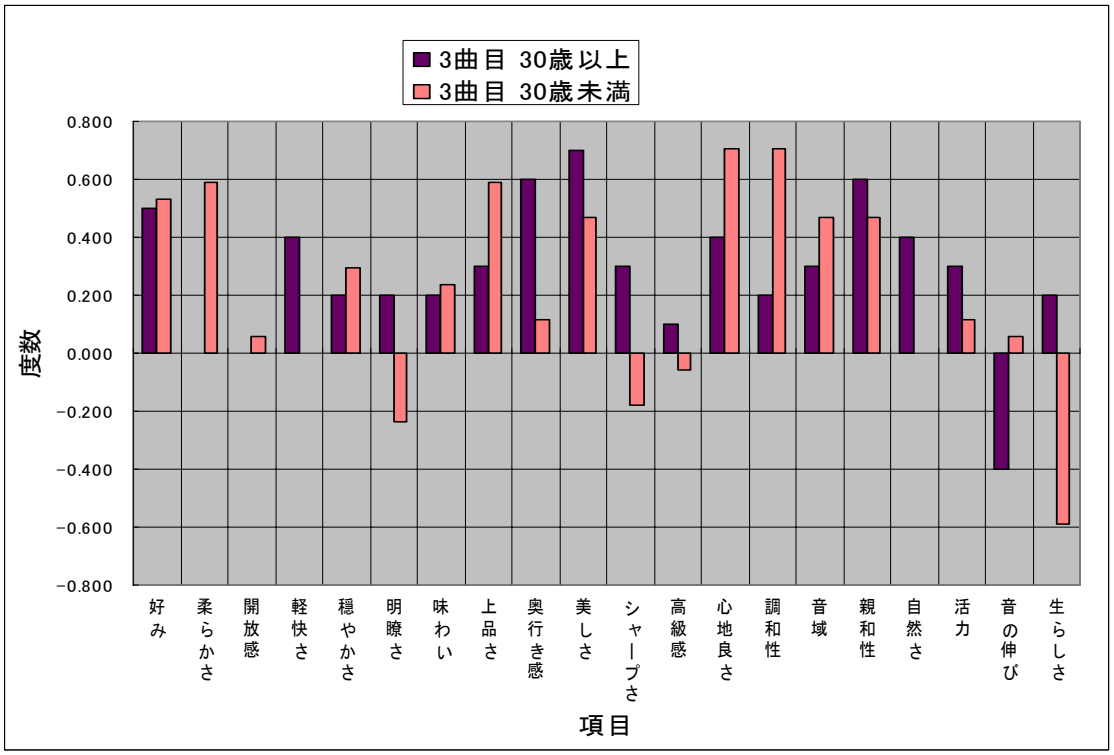

図 2.12　３曲目(Vivaldi 四季)の新型 DAC に対する総合評価

さらに超音波再生型DACによる総合評価結果の心理尺度を計測するために因子分析を行ったものが図 2.13 である。聞かされた音楽に対し、被験者がどのような要因（項目）がより強く感じられたのかをグラフ化している。横軸でもある赤丸で囲った項目は第一因子、緑色で囲った項目は縦軸の第二因子である。

ここでも従来シャノン型 DAC と超音波再生型 DAC による被験者の音質評価の相違性を確認した。高音域を強調する超音波型 DAC の効果は「シャープさ」に現れていると推察できる。第一因子は「心地よい」、「生き生きした」といった項目が目立っている。一方、従来型 DAC では超音波型 DAC に比べて多少因子のばらつきが見られた。

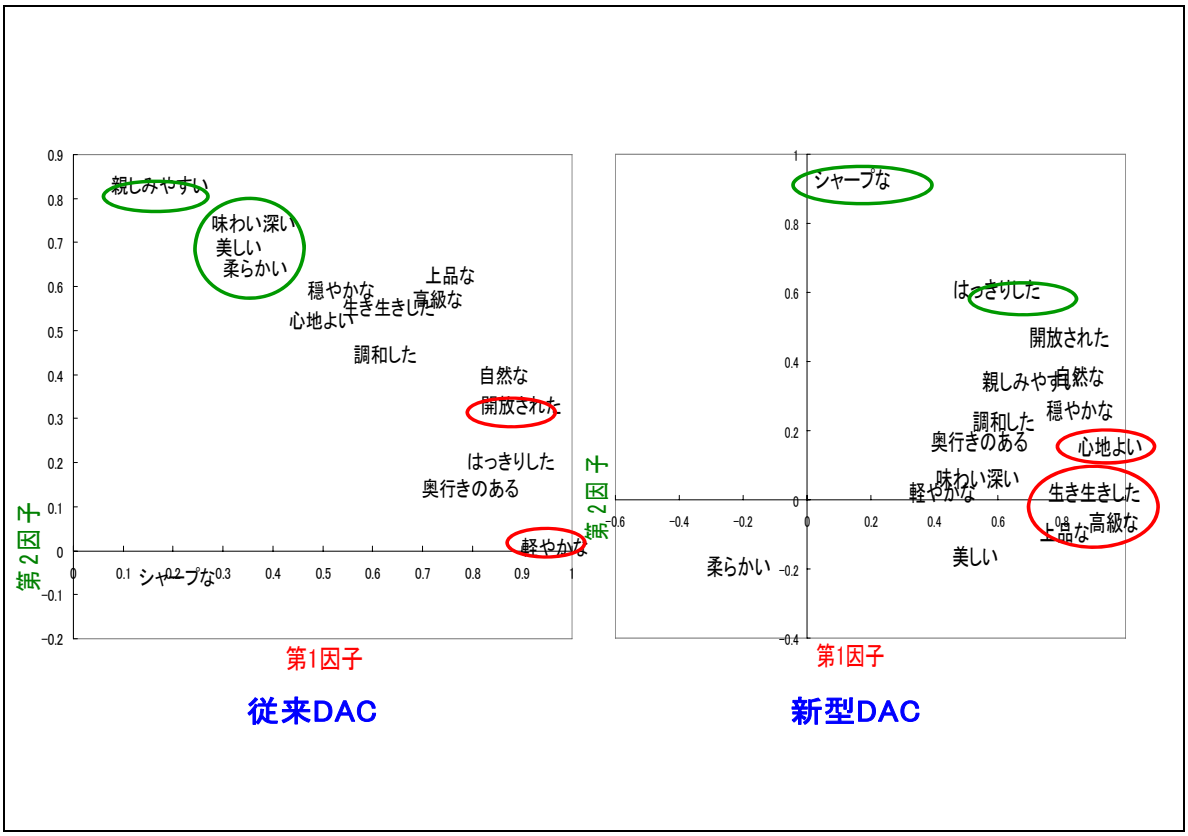

図 2.13　２つの型の DAC 別因子分析

２．　４　実験Ⅱの結果と検討

ここでは曲を変えたときのアンケート結果を改めて検討している。被験者は 18 人である。その場合被験者の総合的な反応はどの様であったか以下の図(図 2.14～2.19)に表す。新型 DAC を（New）ND、従来シャノン型 DAC を（shannon）SD で表した。

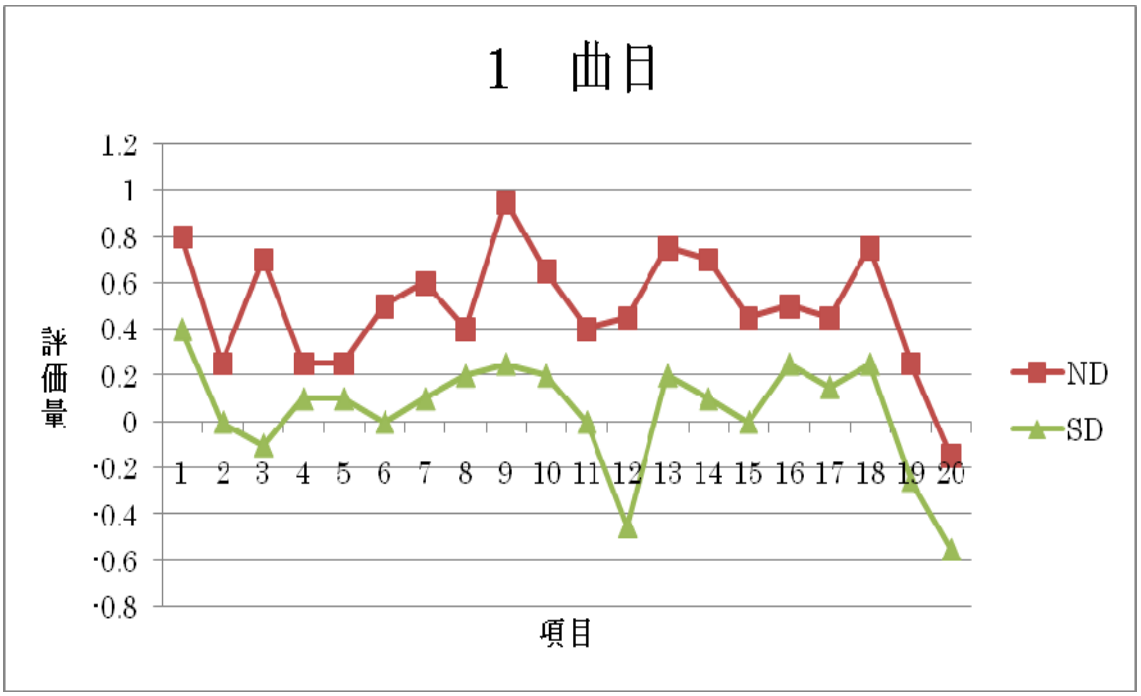

図 2.14　両 DAC から得られたアンケート結果（1 曲目）

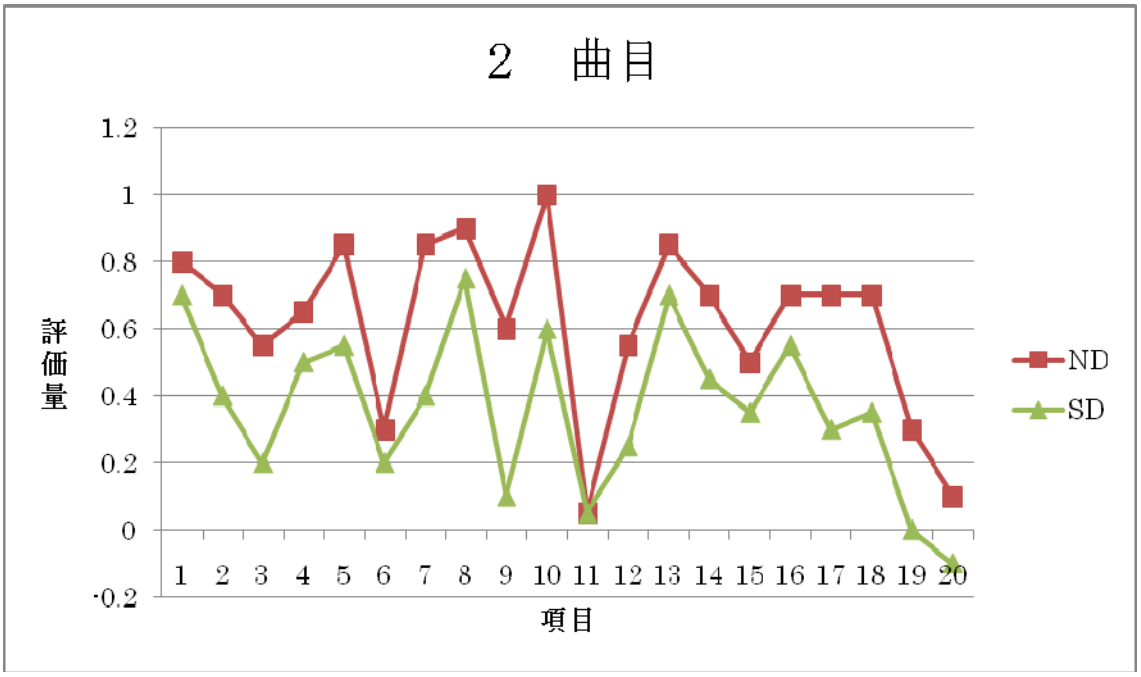

図 2.15　両 DAC から得られたアンケート結果（2 曲目）

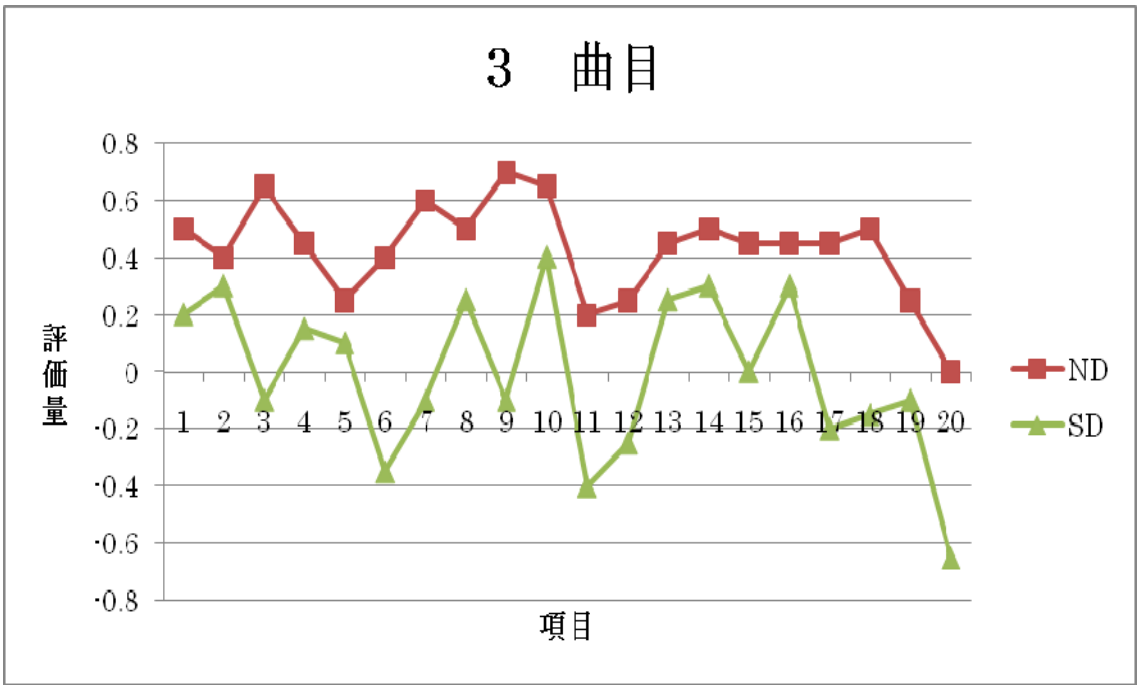

図 2.16　両 DAC から得られたアンケート結果（３曲目）

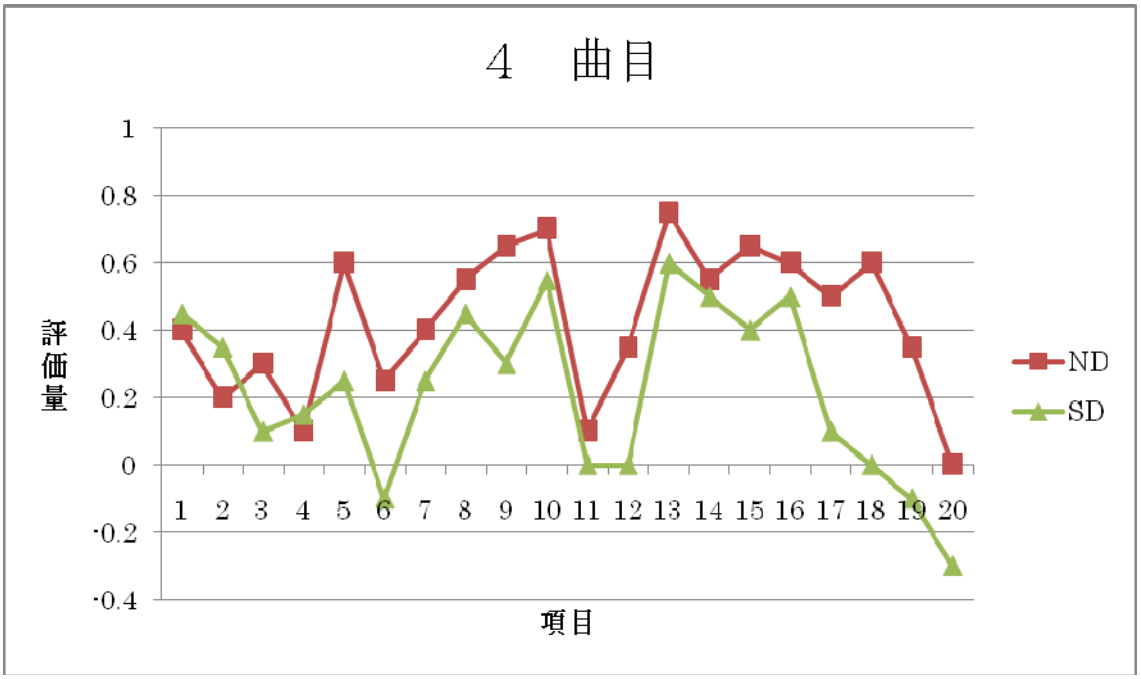

図 2.17　両 DAC から得られたアンケート結果（４曲目）

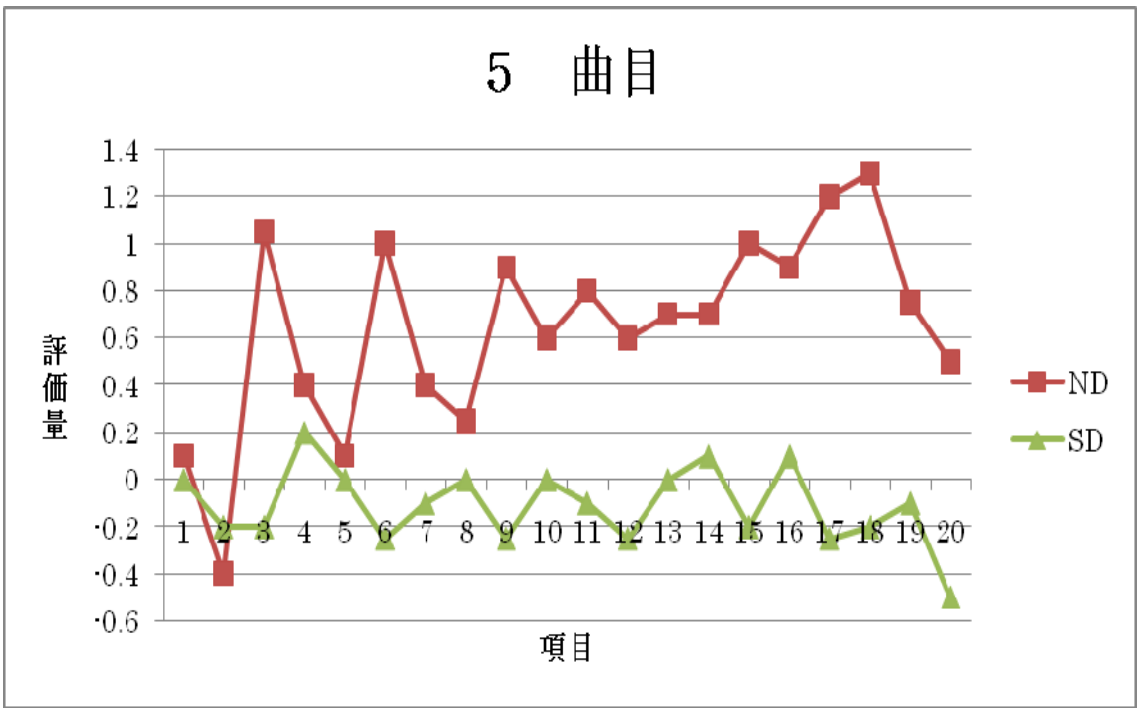

図 2.18　両 DAC から得られたアンケート結果（5 曲目）

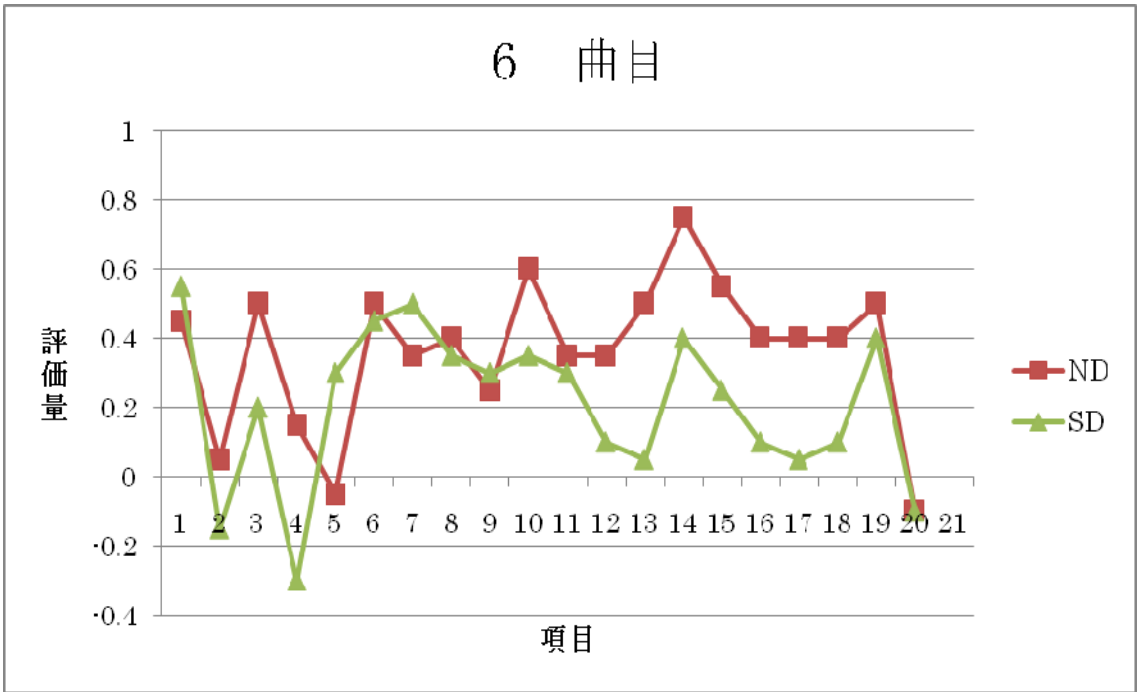

図 2.19　両 DAC から得られたアンケート結果（6 曲目）

全ての図から言えることは先ず、新型DACが凡そシャノン型より大きい評価量を記録していた事である。また全てのパターンにおいて共通の方向に明確な差が見られている。特に図2.18から判る通り和太鼓の音差が大きく目立ち、群を抜いている。

実験Ⅱの結果から、可聴領域の周波数特性は同じにしている状態で超音波の周波数特性を持つ物と持たない物との両者の差が音楽に影響していることも確認できる。曲を変えたことで結果が全て同方向に差が出たことも特徴である。

２．５　総合検討

結果に大きな差が見られたのは実験Ⅰではドラム音、実験Ⅱでは太鼓音となっていることから、ドラム系の音が共通して被験者の評価に大きく影響しているということが言える。これは倍音、つまり楽音の周波数に対して２以上の整数倍の周波数を持つ音の成分が、ドラム音では規則正しく発せられているためではないかと推測する。

また、以上の実験Ⅰと実験Ⅱの実験結果から「CD音楽に含まれる超音波成分がヒトの聴覚に影響を与えていること」を心理学的見地から証明できたと考えられる。

次章でその事実を生理学的側面から検証していく。

第　３　章
生 理 実 験

はじめに

心理物理実験において超音波成分部が音楽と、それを聞いたときのヒトの聴覚系にまで影響を与えることが証明できた。本章においてはその事象を生理学的な側面から、末梢から中枢までの超音波の知覚特性を測定し呈示することとする。

３．　１　実験環境

生理実験では大きく分けて２つの実験を行う。その１つが追実験でもある末梢系系統の測定実験である。図 3.1 は末梢系の聴覚ビート特性を計測した実際の実験設備である。

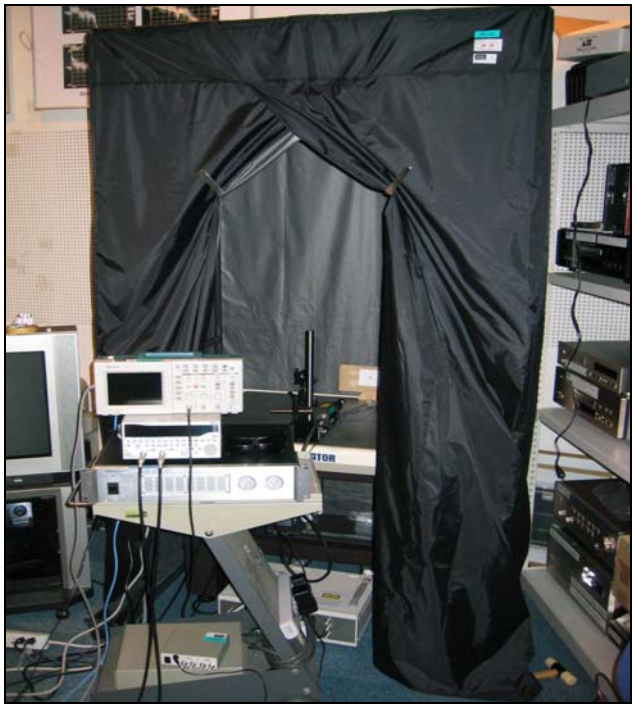

図 3.1　末梢系のビート特性計測環境

実験環境の設備を説明する。使用する機器は主に

- 超音波振動子×２
- 周波数発信器×２
- レーザー微小振動測定器
- オシロスコープ
- 函数発生器
- アンプ
- 高帯域マイクロフォン
- スペクトルアナライザ

の８つである。各種機器は音響機器の周波数特性を評価するものである。ここでは振幅特性・位相特性の２つの特性が周波数特性を表していると言える。位相特性は直線位相のためここでは問題として取り扱っていない。最終的に超音波の差音からヒトの鼓膜上で生じる膜振動特性を計測することを目的とした。

次に、聴覚中枢系の測定実験環境を図 3.2 に表す。実験は東京電機大学の設備である ME 研究所内の MEG 実験装置「COSMOS」を借りて行った。

図 3.2　中枢系の MEG 計測装置

特性を計測する機器は以下の６つである。

・ 超音波振動子×２
・ 周波数発信器×２
・ スペクトルアナライザ
・ オシロスコープ
・ EEG
・ MEG

MEG は大掛かりな装置を要し、図 3.1.2 で挙げた高性能磁気で覆われた「COSMOS」の施設を用いる。超音波差分信号による脳内発火パターンを計測し超音波と聴覚（音の知覚）現象の関係を明らかにする。そして得られた結果を聴覚モデルに反映していくこととする。

３．　２　実験手法

聴覚の末梢系から中枢系までの超音波特性を順次計測していくこととする（図 3.3 参照）。末梢系と中枢系の２つの実験の手法と、その実験過程の詳細を以下に説明する。

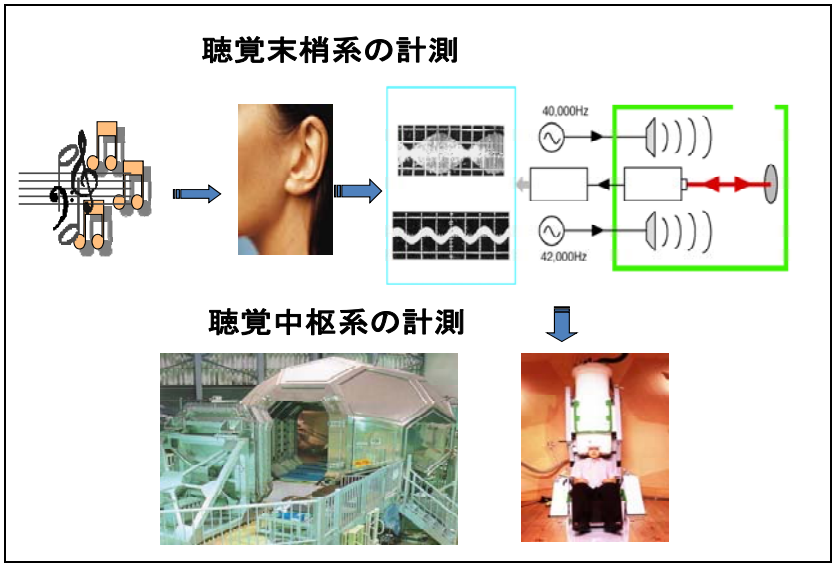

図 3.3　末梢系から中枢系までの実験過程

末梢系の実験手順は、先ず被験者に２種類のテスト音（何れも超音波）を聞かせ、そのとき被験者の鼓膜上でそのビート（差音）が計測されるか否かを確認した。テスト音となる超音波は 40kHz と 42kHz のものであり、この場合のビートである差音は２kHz となる（図 3.4 参照）。

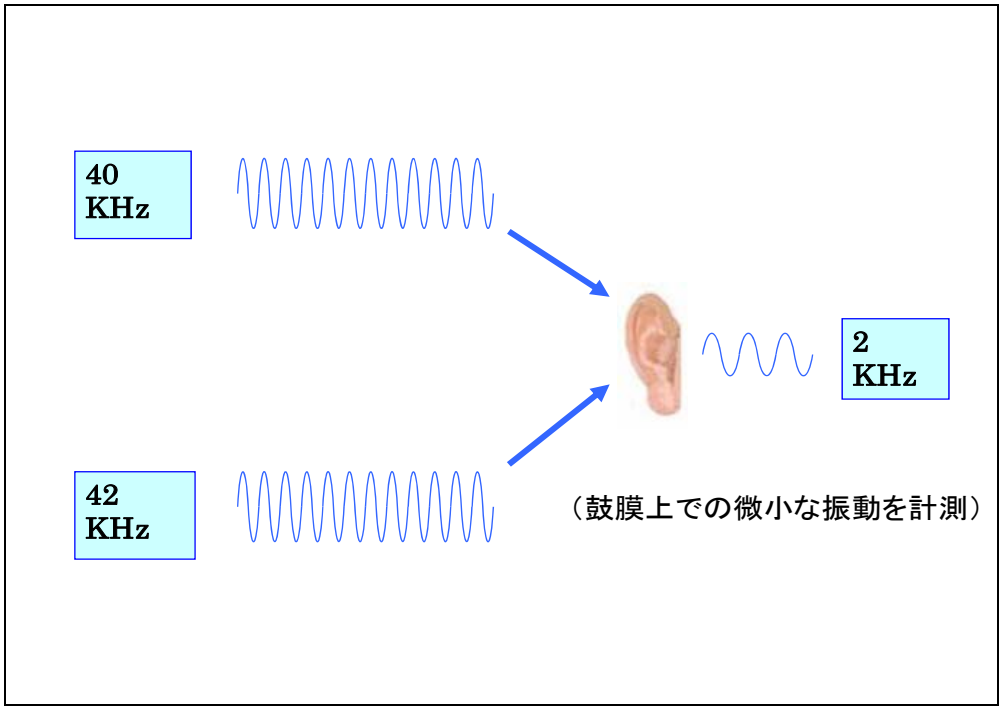

図 3.4　超音波の差音計測法

実験では鼓膜上の可聴領域から超音波領域までの微小な周波数の機械振動（0.002μの振幅）を捕えることのできるレーザー微小振動測定器を使用している。その他には、２つの超音波によって起きる鼓膜上の振動を計測するのと同時に差音である２kHz を計測するためにローパスフィルターが用意されている。計測上において一番難しい問題は、様々な「ノイズ」を取り除くことにある。このノイズとは外部からの雑音、内部での雑音、被験者の心音などを指している。そのため、実験は外部からの音を完全に遮断できる無響室で行い、さらに部屋内には機器の振動を未然に防ぐことが可能な微小振動測定器を置く「台」を用意した。また被験者の体内で起きる心音には加算平均を行う、適応なフィルターを施すなどをしてノイズの除去を図った。

実験におけるノイズ除去の３つの方法中、特に心音のノイズ音除去が一番困難であ

る。そのために検体から鼓膜だけを取り出す実験も過去に行われている。しかし鼓膜上の乾きが予想以上に早いために、在るべきはずの非線形性が失われてしまっていたという事実が出ている。よってここでビート音を検出することは不可能であった。このような事例があるために本実験は追実験としての意味を成している。

ヒトの聴覚器官は大別して「外耳」、「内耳」、「中耳」の３つに分けられる。後者である２つの内耳、中耳についての計測は物理的に不可能であるため、今回の実験では外耳に限定して超音波計測を行っている。外耳から中耳までが伝音系、内耳からが感音系と呼ばれる。外耳は耳介と呼ばれる所謂耳の形をした部分と、耳穴である外耳道によって構成されている（図 3.5 参照）[KODAMA-HOCHOKI, 2007]。耳介は、軟骨組織が皮膚で覆われたものであり、外部からの音波を捕え外耳道から鼓膜へと伝達する働きを行う。その鼓膜が外耳と中耳を隔てている境となっている。

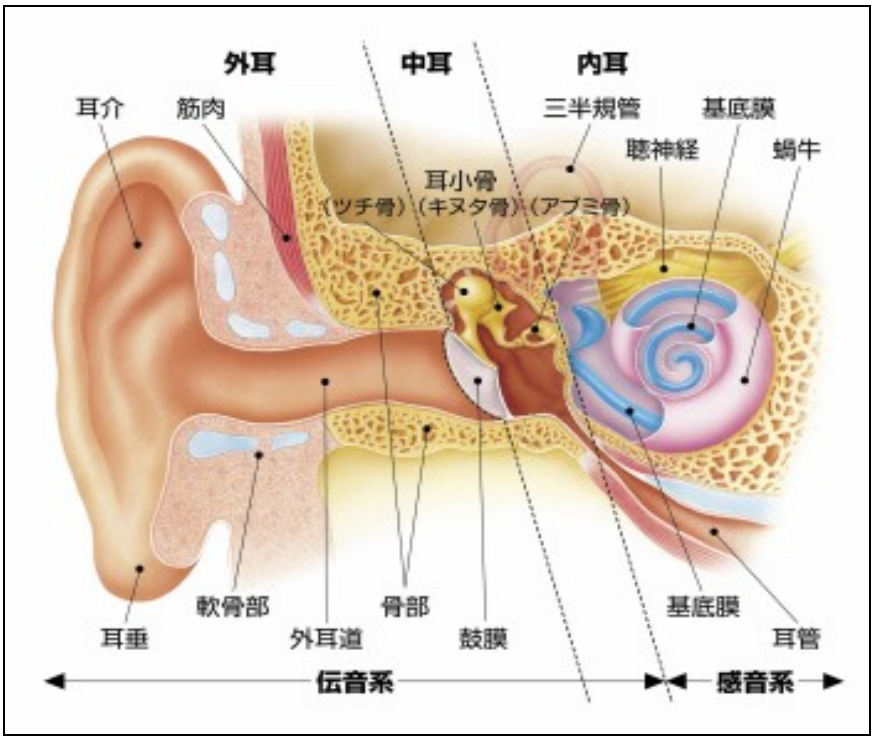

図 3.5　耳の内部構造

中枢系の実験手順を説明する。超音波による聴覚刺激時の脳内活動を脳波計及び脳磁計を利用して測定する。純音知覚時と超音波差音知覚時の活動の相違も同時に検証

していく。図 3.6 と図 3.7 はそれぞれ実際の脳波計を使用した実験風景（左）と脳磁図測定機「COSMOS」の内部写真（右）である。

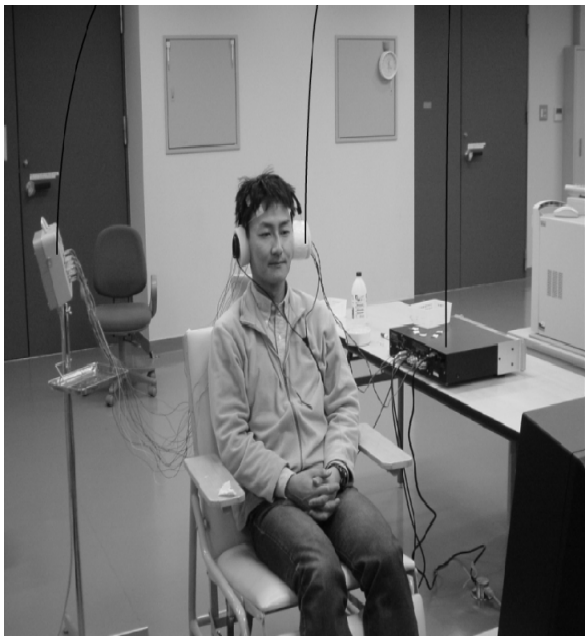

図 3.6　脳波計を使った実験風景

図 3.7　脳磁図計を使った実験風景

全ての計測を東京電機大学の施設内で行っている。図 3.6 と図 3.7 の写真から判るように脳波の計測は通常通りの実験手法で行うのに対し（図 3.6 参照）、脳磁図（MEG）計測では完全な磁界のシールドルーム内でその計測を行わなければならない（図 3.7 参照）。

脳波(EEG)測定は 39kHz と 41kHz の差音の２kHz と純音の２kHz、そして純音の 39kHz の３つのケースを刺激音としている。刺激は被験者の左耳に与え、刺激時間は 500μs、刺激間隔は 3500μs である。その際右耳には外部の刺激音を一切遮断するための栓をしてもらう。これにより左耳での純粋なデータが計測可能となっている。

MEG 測定においては超音波振動子から発生された音波をビニールチューブ内に誘導し数メートル離れている被験者の耳元まで届けることができる装置の製作が特に難航した。このように実験環境を好ましくするための付属装置を工夫する必要がある。それらを組み合わせた一部を下図 3.8 で表す。

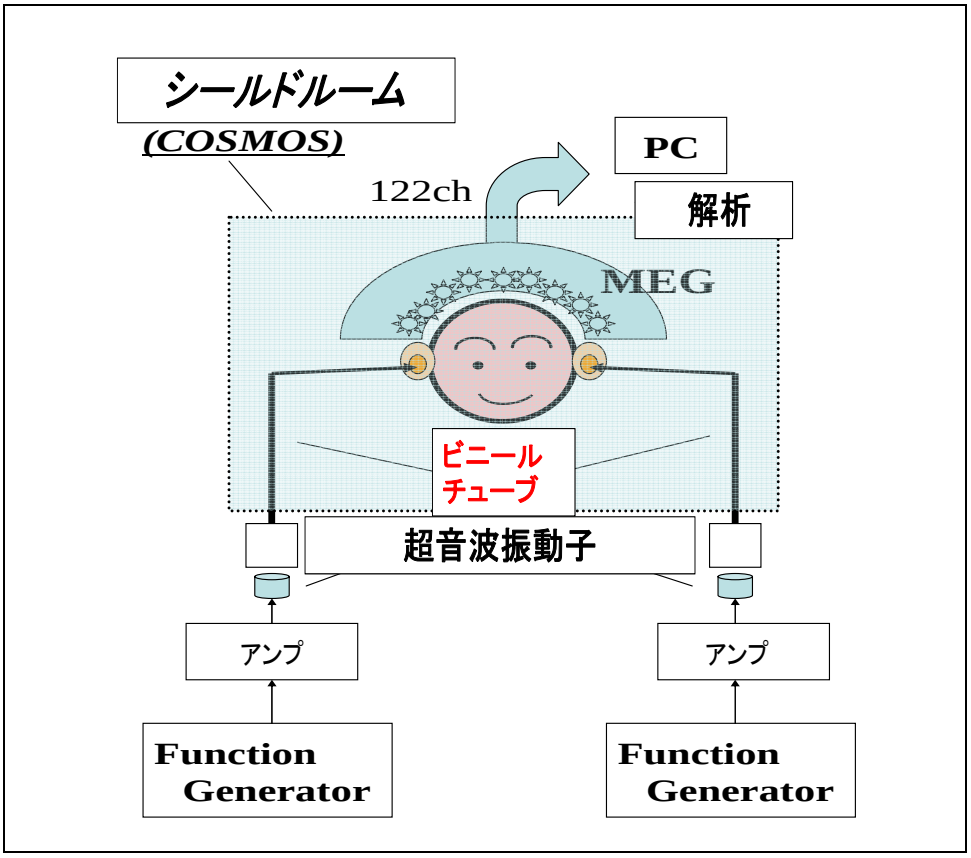

図 3.8　脳磁図（MEG）計測法

MEG 実験に用いる聴覚刺激は純音の２kHz と差音の２kHz の２つのケースを用いた。ケース１のときの刺激は被験者の左耳に純音の２kHz の音を聞かせている。ケース２のときは超音波である 39kHz と 41kHz を合わせた刺激を被験者の左耳に与えている。この実験条件は脳波計にも同様のものが使われている。刺激時間は 500ms、刺激間隔は 1500ms～3000ms とした。データの解析手順としては先ずアナログバンドパスフィルターを行う。ここでは 0.03Hz～100Hz までを抜き出すフィルターを掛けることとする。サンプリング周波数はアナログ信号をデジタル信号に直す為に 512kHz の変換を施す。またデジタル信号となったものは PC 内に送ることが可能となっている。PC 内では主に同期加算平均（80 回）、Dipole 推定と呼ばれる逆推定プログラム（脳内活動源の特定）などが行われている。このプログラムは、脳内の「何所」で発火しているか詳細な場所の特定を補助する働きを担うものである。

３．　３　結果と検討

初めに末梢系の実験結果を述べる。最初に調べた事象は２つの超音波が空気中で発射されたとき、その差成分が空気中では現れていないことを確認するものである。結果を図 3.9 に示す。

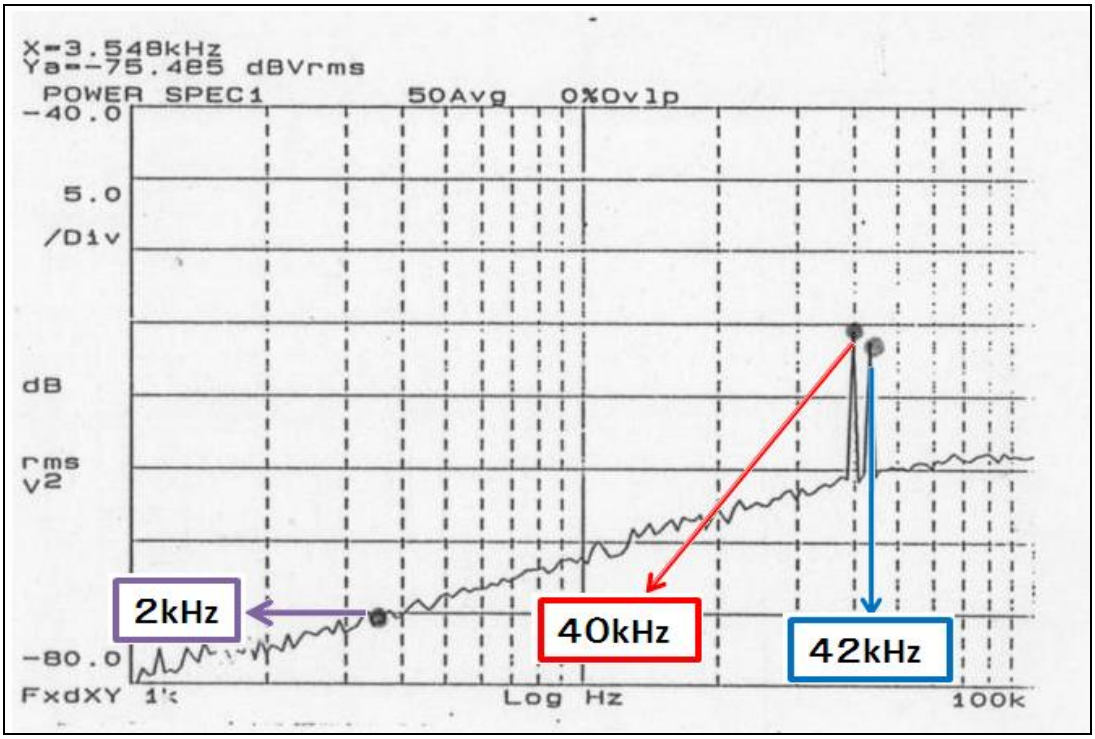

図 3.9　空気中での超音波測定

40kHz と 42kHz の超音波を発射し BK マイクにて空気中の振動を計測した後、スペクトルアナライザにかけた結果が図 3.9 である。これにより 40kHz と 42kHz の超音波成分は明確に示されたが、差音である２kHz は含まれていない。つまり空気中では、差であるビート音の構成は成されていないことが解る。

次に 40kHz と 42kHz の刺激を被験者に与えたとき、鼓膜上の微小な機械振動をレーザー振動計によって計測した結果を表す。これを、鼓膜上での超音波測定と題してまとめたものが図 3.10 である。

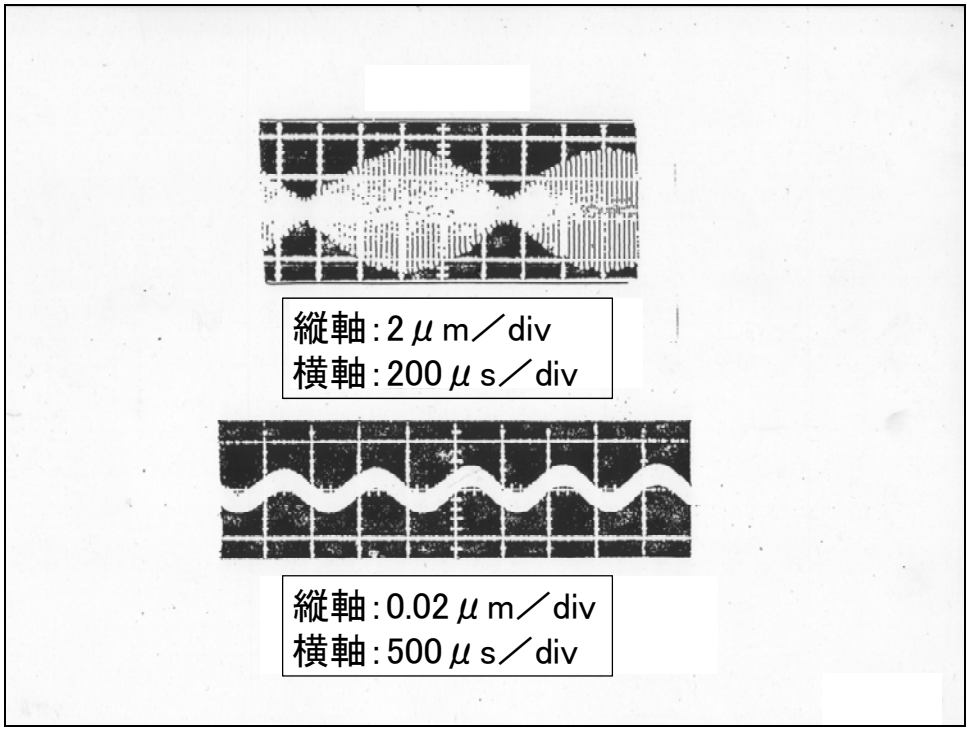

図 3.10　鼓膜上での超音波測定

上部のグラフでは１つの振幅間隔(１division)が２μmとなっており、これは40kHzと 42kHz の超音波を合わせたときに起こる応答である。横軸の 1 区間は 200μs となっている。この信号に２kHz を中心としてローパスフィルターを掛けたものが下部である。この図で振幅を示している縦軸の１区間は上図の百分の一である 0.02μm となっており、横軸は１区間 500μs である。よってこの信号は差の信号である２kHz のものとなっている。

以上をまとめると 40kHz と 42kHz の超音波によって鼓膜を振動させると、その成分のマイナス 40 dB（1／100）の差の成分である２kHz が検出されるということである。

（dBΔ =20 log a（a=10）出力／入力（比）　比が１／100 のときdB=20 log a１／100）

空気中はほぼ線形と言える超音波成分が、鼓膜上では非線形成分が確認された。以上の結果から、音楽においても超音波領域が可聴領域に影響を及ぼしているとまでの言及が可能ではないかと考える。

次に中枢における同様のケースの結果を示す。図 3.11 はその結果である。

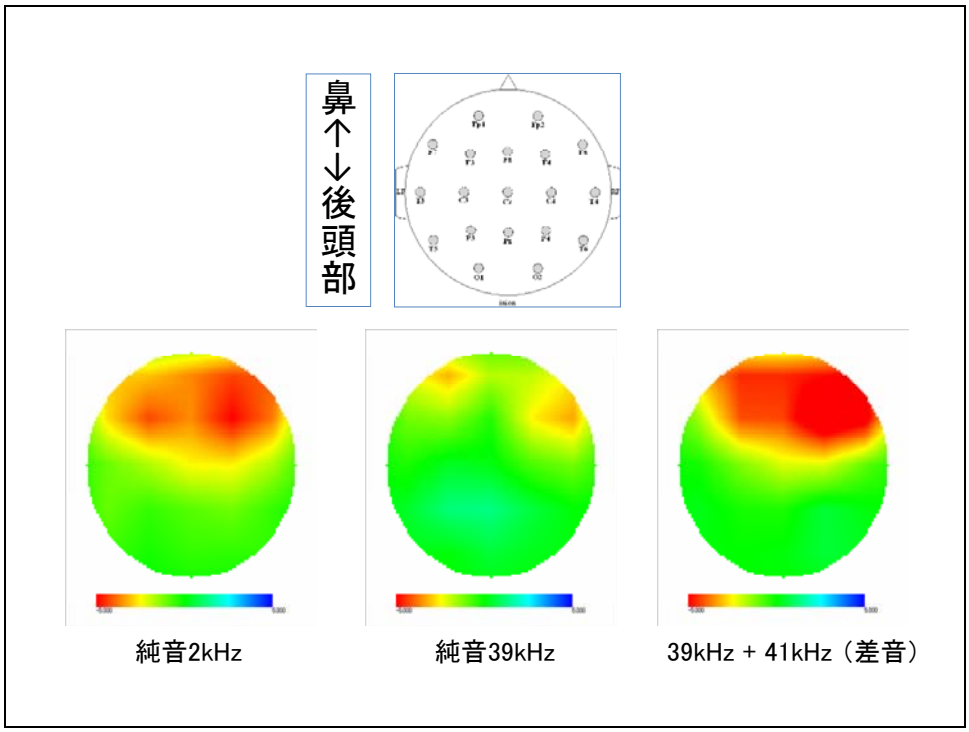

図 3.11　脳波（EEG）計での計測例

被験者は学生を中心とした 36 人で構成されている。被験者によって計測の差は目立つ物ではなかった。ここでは一例として１つの結果データを示す。上部が前頭部、下部が後頭部である。

左から順に２kHz の音波を加えたときの脳波、39kHz の音波を加えたときの脳波、そして 39kHz と 41kHz を同時に加えたときの脳波を表している。総じて聴覚領野が存在する前頭葉部に大きな反応が見られる。しかし純音 39kHz の超音波刺激時は活動部位が非常に少ないということが見て取れる。右の脳波反応を見ると、左の反応と非常に酷似しており且つ、中央の脳波反応も加わった形となって検出されているらしいことが判る。この結果からヒトの聴覚中枢系においても超音波を認識していることがここで明確となった。その認識部位・発火の詳細部位を調べるため、脳磁図（MEG）を用いた。

より詳しい発火部位の計測図である脳磁図の一例（図 3.12）が以下のものである。脳波図同様、上部が前頭部であり下部が後頭部となっている。

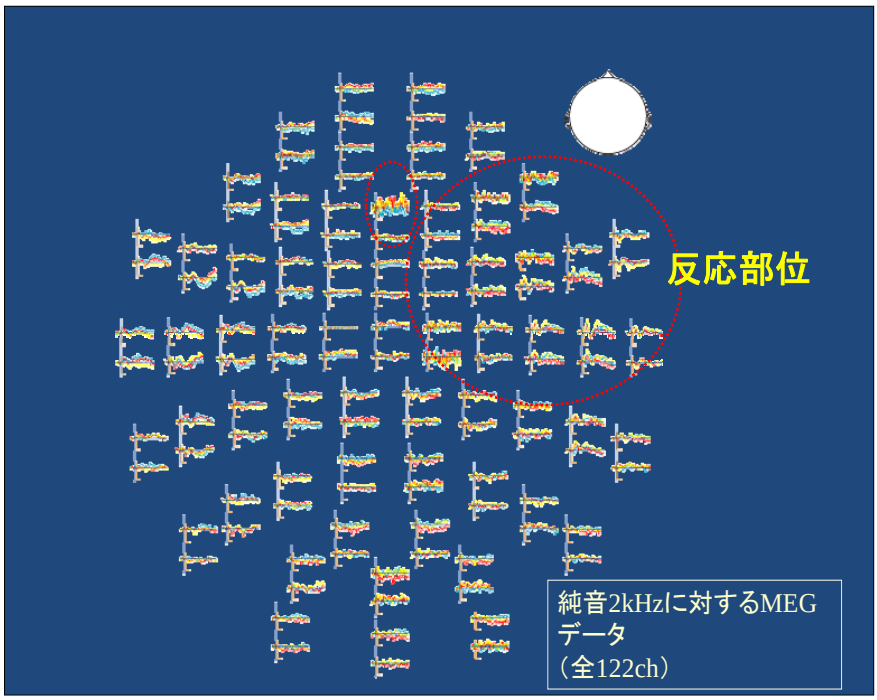

図 3.12　脳磁図（MEG）計での純音計測例

脳磁図では２kHz の純音の脳磁図が得られた。これは可聴領域の音波振動をシールドルーム内にビニールチューブでの誘導が可能となったため出来たことである。今回の実験機器では「左耳での可聴領域の純音計測」が限界であった。よって 3.2 節の MEG 実験手法で述べた超音波計測と差音計測によるデータは未だ得られていない。しかしながら脳波計では求められない詳しい発火部位を示すことに成功している。よって図 3.12 は、図 3.11 における左図の詳細データとして見ることができる。こちらも被験者 36 人のデータに大きな違いは見られず概ね以上の磁図が計測されている。この計測例では前頭葉斜右側部の発火が比較的目立っているわけだが、これは試験音が被験者の左耳に限られているためこのような結果として出力されたと考えられる。

ビート特性を示すことは、超音波を聞かせた場合のデータを含め、超音波の誘導路であるビニールチューブ内に微細な減衰が起こっている所為なのか正確な計測は現段階において不可能である。この問題は非常に重要であり、脳磁図での超音波計測として今後の課題の１つとして挙げられる。

第　４　章
総　括

はじめに

本研究の目標は、超音波成分をヒトが認識できるか否かを心理面・生理面の２つの側面を持つ実験によって確認するものである。その背景として追実験を含んだ超音波のビート特性を確認する実験を行い、ヒトの聴覚系に与える影響を解析していく。

まとめ

１つ目の側面として行った CD を音源とした２種類の DAC を使用した実験は、DAC の特徴上、可聴領域の周波数特性は同じにし、超音波特性だけに違いが見られるようにしている。以上の音響技術が CD によって再生された音楽の微小な違い（差）を、心理物理学的にも測定可能にしている。結果、従来 DAC と新型 DAC では明らかな音の感じ方の差が心理値を測るアンケート結果で測定できた。よってヒトが超音波を、心理面において認識可能だという事実を証明した。

２つ目の側面としての実験は、ヒトの聴覚系において超音波をどのように認識しているのかを具体的に考察するための生理実験である。その際、聴覚の末梢系から中枢系までの反応を確認する。結果、末梢系において鼓膜上で非線形であるビート特性が確認された。一方中枢系では脳波計によって可聴領域である純音波と超音波差音であるビート音の反応がそれぞれ確認できた。ここから人間は意識外で超音波というものを認識していると推察できる。また中枢系に関する調査では脳波（EEG）計・脳磁図（MEG）計ともに観測したデータの被験者による大きな差異は見られず、共通部が発火反応していた。具体的な発火部位はともに前頭葉斜右部であり、同部位に強い反応を示すデータが得られた。脳波計と比較し反応部位の詳細を特定できる脳磁図計測では脳磁図計測シールドルームへ超音波を誘導する音波の機械的伝送路が未完成であるため、ビート音の特性を計測するまでには未だに至っていないのが現状である。

実験の新奇性としては、主に「CD」を音源メディアとして心理物理的側面から超音

波成分の影響を考察したことと、超音波による「ビート特性」の脳波反応を生理学的に確認したことの２つである。心理物理並びに生理実験の結果、超音波がビートとして可聴領域に影響している事象を示すことに成功した。ここから聴覚系の末梢から中枢に至る過程において、線形モデルだけでは語ることが不可能だと言及が可能である。よって既存している「ベケシーの線形モデル」に加えて「非線形モデル」を含めた考察がそこにはあって然るべきであり、音響科学に触れる上で欠かすことのできない重要なファクターとなる必要性があると考える。

謝　辞

本研究は、長期間に渡ってデータを採り、行ってきた実験の一環であり、多くの方々からの多大なるご指導ならびにご援助を賜わることにより、修士論文としてまとめる事ができたものであります。ここに、本研究を進めるにあたりお世話になりました多くの方々に心より感謝致します。

実験、論文の仕上げまで自由なペースで研究を進める事が出来る環境を与えて下さり、実験へのアプローチに関する助言からデータのまとめ方、論文の構成方法に至るまで親身にご指導いただきました、北陸先端科学技術大学院大学 藤波 努准教授に心より感謝申し上げます。

また、本研究に対する様々な助言と留意点を明確に呈示していただきました、北陸先端科学技術大学院大学 國藤 進教授に深く感謝の意を表します。

学位論文の構成、まとめ方を副テーマ論文にて丁寧にご教示してくださいました、北陸先端科学技術大学院大学 伊藤 泰信准教授に感謝申し上げます。

超音波が人間に与える影響調査というものは過去様々な研究で行われてきたことですが、今回超音波成分まで広くカバーできるオーディオと、専用音響室を実験環境として使用させていただけることとなりました。そのため普段非常に身近な存在でもある CD というメディアを使用した新しい見地から、超音波の分析が可能となっています。以上の環境施設を研究のために貸していただいた、CREST 大型プロジェクト音響研究グループの方々に感謝致します。また、本研究の実験環境を作るにあたって多くの助言と実験機器の設置を手伝っていただいた音響研究グループ 樋口 雅和博士、同中村 光晃博士に感謝申し上げます。

生理実験においては専用の機器でデータを解析しなければいけないこともあり、千葉の研究施設まで出向いての実験となりました。施設内の研究設備を本実験のために貸していただけただけでなく、研究に関する助言と激励までしていただいた、東京電機大学先端工学研究所元所長 斎藤 正夫先生、元東京電機大学学長 小谷 誠先生に厚くお礼申しあげます。

そして研究に関する多くの議論や理論部分、そして実験手法と函数解析の基礎につ

いてご指導いただきました、筑波大学 片岸 一起准教授に感謝申し上げます。また、心理物理実験でのアンケート調査方法と分析方法、そして国際学会の論文構成への助言、投稿の最終チェックまで親身にご指導いただきました、同大学 TARA 産業技術総合研究所フェロー 大津 展之教授に感謝申し上げます。

データ収集のため長期に渡る実験にお付き合いいただいた、多くの被験者の方々、並びに本論文への改善点について様々な指摘をしていただいた、スキルサイエンスラボの皆様に感謝致します。そして本研究を遂行していくにあたり、公私にわたり大変お世話になりました、元 KDDI 研究所所長 村上 仁己先生に感謝申し上げます。

最後に、研究生活を支えていただき、また精神的にも支えになっていただいた、両親、祖父母、友人に心から感謝致します。

参 考 文 献

[Bekesy, 1960] Georg von Bekesy, Experiments in hearing, translated and ed. by E. G. Wever ,NewYork : McGraw-Hill, 1960.

[Higuchi, 2009] Masakazu Higuchi, Mitsuteru Nakamura, Yasuhiro Toraichi, Kazuo Toraichi, Yasuo Morooka, Kazuki Katagishi, Nobuyuki Otsu, Hitomi Murakami, Ultrasound Influence on Impression Evaluation of Music, 2009.

[Oohashi, 2000, pp.3548-3558] Tsutomu Oohashi, Emi Nishimura, Manabu Honda, Yoshiharu Yoneoka, Yoshitaka, Fuwamoto, Norie Kwai, Tadao Maekawa, Satoshi Nakamura, Hidenao Fukuyama, and Hiroshi Shibasaki, Inaudible High-Frequency Sounds Affect Brain Activity: HypersonicEffect, Jurnal of Neuro-physiol, 83, 2000.

[Shannon, 1948, pp.379-623] Claude.Elwood.Shannon, Mathematical theory of communication, Bell System Technical Journal,vol.27, 1948.

[北野, 1955, p.39] 北野進, オーディオ回路の基礎, 共立出版株式会社, 1955.

[北村ら, 1986, pp.1-48] 北村音一, 梅本堯夫, 大串健吾, 小谷津孝明, 難波精一郎, 平賀譲, 音の評価システムに関する調査研究報告書, 財団法人 サウンドメディア財団, 1986.

[北村ら, 1988, pp.1-86] 北村音一, 梅本堯夫, 大串健吾, 小谷津孝明, 難波精一郎, 平賀譲, 上田和夫, 音の評価システムに関する調査研究報告書・第２報, 財団法人 サウンドメディア財団, 1988.

[重野, 2003, p.41] 重野純, 音の世界の心理学, ナカニシヤ出版, 2003.

[増山ら, 1962, p.72] 増山元三郎, 三浦新, 工業における官能検査ハンドブック, 日本科学技術連盟, 1962.

[KODAMA-HOCHOKI, 2007] KODAMA-HOCHOKI, http://www.kodama-ha.co.jp/newpage01.html, 2007.

業　績

国際会議

[1]　Masakazu Higuchi, Mitsuteru Nakamura, Yasuhiro Toraichi, Kazuo Toraichi, Yasuo Morooka, Kazuki Katagishi, Nobuyuki Otsu, Hitomi Murakami, Ultrasound Influence on Impression Evaluation of Music, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing, University of Victoria, August 25, 2009.