

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1 / 12)

研究題目	藝術音楽の録音における音楽情報伝達に関する研究	報告書作成者	亀井延明
研究従事者	亀井延明, 鈴木和秀, 上野大輔		
研究目的	<p>本研究では、藝術音楽における演奏された音楽とそれを収録した CD 等、録音物における音楽情報伝達の差異を感性計測の手法を用いることで明らかにし、より音楽的に優れた録音および CD 制作のあり方を確立することを目的とする。</p> <p>写真や映画といった複製技術が既に 20 世紀初頭、W. ベンヤミンによって芸術的側面からの考察がなされ、今日において美術作品に並ぶ一定の評価を得ているのに対して、録音技術はこの技術が誕生したときの不信感を音楽家ならびに聴衆が持ち続けている現状がある。本研究は、これまでほとんど考慮されることのなかった録音における芸術性を追求することである。</p> <p>生演奏の再現性が問われるクラシック音楽の CD において、音楽家より録音された音のバランスに対する不満が寄せられる一方、良心的な作り手からも録音技術のあり方を問う声が上がっている。その背景には、録音機器の性能よりも作り手の音及び音楽のとらえ方が録音技術を支配し、それが名人芸として行使されているという課題が潜んでいる。一方、CD に記録されている音楽情報の品質は、単に個人の主観的な音質の良し悪しでしか評価されず、客観的に音楽的な価値を評価する枠組みも存在していない。そこで、本研究では、音楽を専門に修めた録音エンジニアを中心に、音楽情報伝達に重要な役割を果たしている録音技術をあらためて音楽の視点より見直す。そして、録音実験、官能評価実験を通じて、音楽表現の可能性、その運用のあり方を音楽家を交えて検討、より音楽的に優れた CD 制作のモデルを提示し、録音における音楽のあり方に一石を投じたいと考えている。</p> <p>加えて、音楽情報伝達に大きな影響を及ぼす、ピアノの演奏、録音環境に注目し、ホールステージにおけるピアノの位置、ピアノの脚に付属するキャストの向き等の調整を通じて、ピアニストが演奏し易く、且つ、より良い演奏表現の実現を目的とした環境のモデル化、そして、その重要性についても併せて提言したいと考えている。</p>		

研究内容

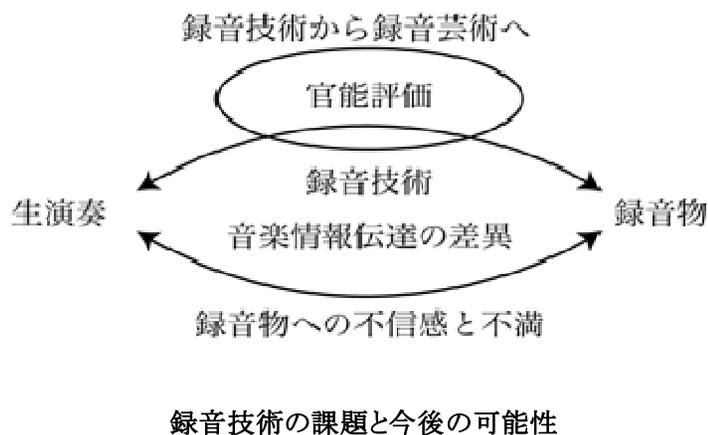
生演奏の再現性が問われる藝術音楽の録音において、録音された情報を承認する立場の「演奏家」と受け手である「聴衆」の間に音質及び音のバランスに対する不満が未だにくすぶっている。当初その原因として取り上げられた録音・再生機器は、デジタル技術の発達に伴い、性能及び音質は飛躍的に向上した。更に1999年には、CDの後継規格であるSACD、DVD-AUDIOが登場し、より優れた物理特性を持つ録音・再生が実現した。

その一方、「録音技術」は、録音エンジニアの感性に基づいた実践的な技術であるため、音楽を伝える上で様々な課題を抱えている。加えて、レコード産業は、商業主義は、従って、録音技術のあり方について、客観的な立場からの評価、検討は全く行われていない。

本研究は、録音技術に対して官能評価の手法による解析方法を取り入れることにより、客観的な評価基準を得ることにある。そして、これは、従来の音楽やレコードの批評に見られる主観的音楽評価では十分に語ることができなかった、録音物そのものに記録された情報に対する音楽性や藝術性を証明することにつながると思う。

「演奏家」、「聴衆」、「録音技術」の背景には、藝術音楽の聴取形態及び録音・再生における各立場、録音制作の体制及び環境に起因する価値観の隔たり等が複雑に関係していると考えられる。本研究は、藝術音楽における録音技術のあり方について、音楽的な視点より見直すことを目的に、録音における情報伝達に対し、官能評価を用いて様々な角度より分析を行うものである。

(下図参照)



研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(3/12)

<p>研究のポイント</p>	<p>本年度は、演奏、録音環境に注目、ピアノの3本の脚に付属するキャストの向きによる音の違いが音楽情報伝達に及ぼす影響について取り上げた。まず、演奏会及びレコーディング時の知見を基に、3つのキャストそれぞれの向きについて、6パターンの組み合わせを抽出、設定した。そして、五反田文化センター音楽ホールにおいて、録音実験と並行して、音及び音楽の三要素を考慮して設定した官能評価シート(音色、音の抜け、解像度、高音、中音、低音の音域バランス、嗜好の8項目を設定)を用いて、L.v.Beethoven Klavier Sonate Nr.8 c-moll Op.13の第1楽章冒頭の部分の生演奏を対象に音楽大学在籍の学部生及び大学院生からなる専門パネルによる官能評価実験を行った。併せて、後日、録音実験により得られた音源を用いて、実験結果の一般性を考慮して、楽器演奏などの経験が無い一般の被験者(一般パネル)を対象に、5段階のSD法による官能評価実験を行い、両者の結果を分析、音楽情報伝達に対する影響を比較検討した。</p>
<p>研究結果</p>	<p>上記の実験結果について、評定平均及び95%信頼区間、二元配置分散分析法繰返しなしを用い、それぞれのパネルについて、対象間における有意差の分析を行い、P値(5%水準)により判定を行った。その結果、専門パネル及び一般パネルともに、キャストの向きが音及び音楽情報伝達に対しての影響が明らかになるとともに、「音の抜け」、「解像度」の項目が嗜好の判定に影響した可能性が考えられた。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>今後、評価用語と嗜好との関連を検討し、同様の結果が見られるものの共通点を明らかにしたい。また、評価対象の作品について、今回は、古典派のベートーヴェンを取り上げたが、それ以外の時代様式が異なる作品を対象に、更に実験検証及び解析を行い、演奏、録音環境が音楽情報伝達に及ぼす影響について、引き続き検討を重ねたい。</p> <p>加えて、演奏、録音環境全般の構築について更に検討し、実際の録音制作において、演奏家の特質を引き出し、より良い演奏を実現するためには、様々な点に配慮した環境作りが不可欠であることをあらためて提唱していきたい。一方、録音技術の研究では、音楽作品のよりの確な情報伝達を軸に、音楽と技術との関わり、そして、録音技術のあり方について評価、検討を継続して行う。そして、これらの成果を基に、芸術音楽録音研究会においてCD制作を行い、音楽家及び一般のCD聴取者の評価を仰ぎたいと考えている。</p>

## 説 明 書 【サウンド技術振興部門】

(21世紀科学と人間シンポジウム論文誌 投稿論文 審査中)

**藝術音楽の録音における音楽情報伝達****- 第1報 ピアノのキャスターの向きに関する考察 -**

鈴木和秀(録音エンジニア, 東海大学, 昭和音楽大学),  
亀井延明(明星大学), 上野大輔 (東海大学)

**Musical Information Transmission in the Classical Music Recording  
- The 1st report: observation concerning piano casters' direction -**

**Kazuhide SUZUKI (Recording Engineer, Tokai University, Showa Academia musicae),  
Nobuaki KAMEI (Meisei University), Daisuke UENO (Tokai University)**

## Abstract

In this report, observation is made with the environment taking account of the piano casters' direction and its details are explained. In building up recording elements such as CDs, it is important to conduct sufficient investigation with their recording engineering and recording environment. Especially when a music player listens to his or her recorded performance, he or she often files a complaint regarding dissatisfaction by saying, "This isn't my sounds" or "That isn't my performance." The matter remains a serious problem to be solved. The Classical Music Recording Group has been carrying on many experiments from a variety of angles of viewpoints.

In this study, a trial is made with a view to finding out how music pours out by taking up adjustment of performance environments together with recording of piano playing as an example in the music and acoustic education for art students. As the practical experiment, how the sound waves are propagated is tested based upon the difference in the directions of the casters attached to the 3 legs of the piano. As a result of the experiment and analysis by dealing with students as objectives, it is explained that differences in the directions of the casters bring about remarkable differences in propagation of the sound waves.

*key words* : Musical Acoustics, Classical Music, Piano, Recording Engineering, Caster

## 1. 緒言

藝術音楽の録音では、ホール、教会等、広い空間で生楽器及び生の声による演奏(自然音響)が対象であり、演奏の段階で完成された音楽を様々な再生環境において音楽として成り立つように音のバランスを整えて伝えることが求められている。そして、制作工程では、録音機器、録音技術以前に、録音に用いるホールの音

響特性及び楽器の状態, 配置等, 演奏環境が演奏の完成度を左右する非常に重要な要素であり, 結果として音楽情報伝達に大きな影響を及ぼしている。

著者らは, これまで, 一般的に個人の嗜好として軽視されて来た CD 等に録音された音のバランス, 音色, ダイナミックスの再現性に注目した。即ち, 作品, 演奏家の音楽表現をよりの確に伝えることを目標に, 芸術音楽における録音技術のあり方を音楽の視点より見直すこととした。そして, 音楽家, 一般聴衆及び録音制作者との懇談, 制作現場, 主催する芸術音楽録音研究会等で得た知見に基づき, 録音における音楽情報伝達について様々な角度より分析を行ってきた 1)。同時に, 研究筆頭者は, これらを「芸術系学生への音楽音響及び録音制作教育 2),3),4),5)」として, 授業で展開し, 音楽家の教育にも取り組んできた。

本研究では, 前報 5)に引き続き, ピアノの録音で課題となる演奏, 録音環境について実験を行った。特に, 演奏会, レコーディング等で演奏し易い環境を作るために, 経験的且つ感覚的に行われてきたホールステージにおけるピアノのキャストの向きの調整に注目した。そして, 再度, 録音及び官能評価実験を行い, 生演奏, そして, 録音における音楽情報伝達への影響について分析を試みた。

## 2. 音楽情報伝達と環境設定との関係性

### 2-1. ピアノ演奏を録音する際の演奏環境について

芸術音楽の録音は, 演奏形態として基準となっている演奏会と同等の環境(ホール, 教会等)で行われている。ホールでは, ステージにおけるピアノの設置位置及びキャストの向きにより, 楽器の鳴り方, ホール内への反響に影響することが専門家の間で知られている。通常, 演奏家は, 演奏の際にピアノを弾きながら音の出方, 拡がり方, 響き方を随時感じ取り, その情報を基に, タッチ及び音の出し方を制御し, 再度自らの演奏表現にフィードバックを行う。従って, ピアノ演奏における演奏環境の構築は, より良い音楽表現に非常に重要な役割を果たしている。更に, 記録として演奏が残る録音では, より精度の高い演奏環境が求められており, 録音物の完成度, 音楽的価値にも大きく影響している。7)

### 2-2. 芸術音楽の作品から録音に至る音楽情報伝達について

芸術音楽の個々の作品は, それが独自に持つ様式, 構造がある。そして, 演奏家が作品の演奏に際し, 楽譜よりこれら様式, 構造を読み取った上で演奏家独自の表現を試みる過程を解釈という。その際, 解釈は, 作曲家の個人様式とともに時代様式をも考慮し行われている。これに基づいて音響的現実化されたものが音楽情報となる。即ち, 音楽情報とは, 音の状態のみならず, 作曲家及び演奏家の意図, 作品が持つ様々な演奏の系譜を包括しているものである。

一方, 録音は, 科学的手段により感覚的な音楽情報を物理量に変換し, 録音技術という「作り手」の解釈を経て, 様々な再生環境に向けて音楽として成り立つよう, 情報を通訳し伝えている。つまり, 「作り手」は, 演奏家と同様, 音楽情報を再構築し, 最終的に再生環境で音楽として成り立つよう適切な解釈を行うことが求められる。

図 1 は, 芸術音楽の録音・再生における情報伝達過程を表したものである。

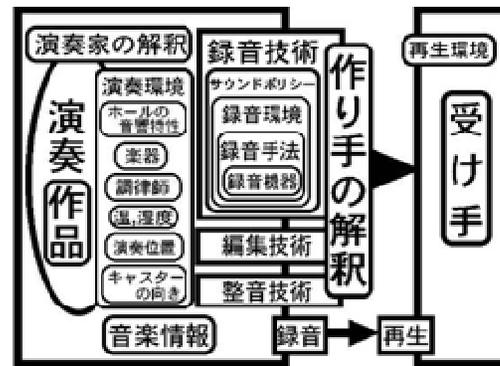


図1 藝術音楽の録音・再生における音楽情報伝達

### 2-3. ピアノの録音におけるキャストの向きの調整について

ピアノの録音では、ホールステージにおけるピアノの位置の調整と同様に、ピアノの3本の脚に付属しているキャストの向きの調整が非常に重要な意味を持っている。具体的には、キャストの向きが演奏された音及び音楽のバランス、そして、演奏のし易さに大きく作用する現象が認められる。

そこで、演奏家の意図する表現が実現するよう、3つのキャストの向きを調整し、演奏し易い弾き心地(鍵盤のタッチ)を作り上げるとともに、音色、ダイナミクス、音域バランス等を調整する。これらの調整は、演奏会、レコーディング等で一般的に行われているが、方法論は未だ確立されていない。

また、キャストの向きは、作品が要求する音楽的特徴、演奏家の違い、加えて、舞台床の構造と舞台上の楽器の位置との関係により変化する。また、楽器の状態(個体差、調律師による違い)が千差万別であるため、楽器の位置同様、様々な事例を蓄積し、調整に臨むことが肝要である。

図2は、キャストの向きの調整過程である。

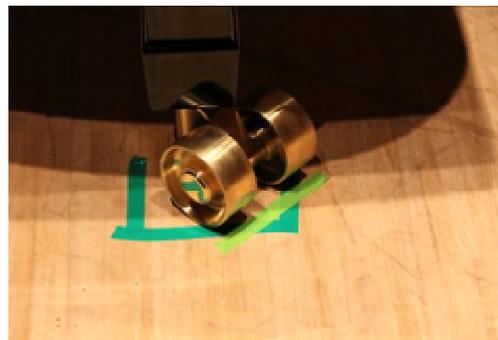


図2 キャスターの向きの調整過程

### 3. 官能評価実験による分析

本章では、主催している藝術音楽録音研究会にて行った、ピアノのキャスターの向きによる音の変化に関する音質評価実験結果について、詳細を以下に述べる。

#### 3-1. 目的

生演奏及び録音された音楽情報に対し、ピアノのキャスターの向きが及ぼす影響について、官能評価を用いて明らかにする。

#### 3-2. キャスターの向きの設定

キャスターの向きについて、図3、図4に示すように、本研究では、鍵盤側キャスターを左側(低音部)よりL, R, 先端部(1本脚)キャスターをCとした。L, R, Cの向き及びその組み合わせは、研究筆頭者の様々な録音制作現場での知見を参考に、水平方向を0-degとして、表1のようにL, Rは2種類、Cは3種類の方向を組み合わせ、ANG-A1~A3, B1~B3の合計6パターンを選択、設定した。

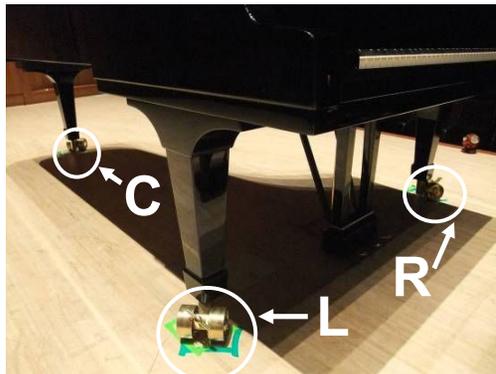


図3 ピアノの脚に付属するキャスター  
(ピアノ:STEINWAY Model D274)

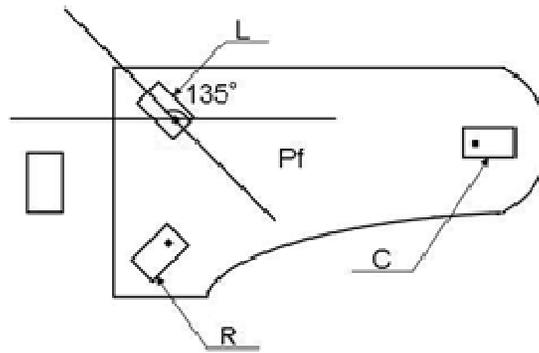


図4 キャスターの向きの設定

表1 キャスターの方向設定6パターン

	L	R	C
ANG-A1	135°	225°	0°
ANG-A2	135°	225°	45°
ANG-A3	135°	225°	315°
ANG-B1	90°	270°	0°
ANG-B2	90°	270°	45°
ANG-B3	90°	270°	315°

#### 3-3. 試料用音源(録音)制作及びその設定

2011年11月16日に五反田文化センター音楽ホールにおいて試料用音源の録音制作を行った。その際、收音方式は、ワンポイントステレオ收音<sup>1),8),9)</sup>を選択した。なお、マイクロフォンは、B&K社製4006×2、マイクアンプは、Lavry Engineering MP-10、A/Dコンバータは、同じくLavry Engineering AD-11、録音機は、Apple社製Macintoshで動作するAvid社製Pro Tools LE ver.8.0.1+digi003を使用、録音フォーマットは、24bit, 44.1kHzを選択、設定した。

### 3-4. 録音対象の作品及び演奏

録音対象の作品は、キャストの向きにより、音楽の三要素に差異が出やすい作品として、前報同様、L. v. Beethoven Klavier Sonate c-moll Op. 13 を選択した。なお、演奏は、前報と同じく、桐朋学園大学音楽学部ピアノ科卒業、ユトレヒト音楽院にて Second-Phase ディプロマを取得、東京芸術大学大学院修了、第6回日本アンサンブルコンクールで池田賞を受賞、現在、東京芸術大学音楽学部室内楽教育研究助手の松本飛鳥氏に依頼した。なお、ピアノは、五反田文化センター備え付けのドイツ STEINWAY 社のコンサートグランド Model D274 製番:508490(幅:1570mm , 高さ:1015mm, 奥行:2740mm, 重量:480kg)を使用。図5は、録音制作現場画像、図6は、録音制作と同時並行して生演奏を対象に実施した官能評価実験の様相である。



図5 録音制作現場画像

(2011年11月16日 五反田文化センター音楽ホール)



図6 生演奏による官能評価実験現場画像

(2011年11月16日 五反田文化センター音楽ホール)

### 3-5. 録音の完成形態

芸術音楽録音研究会において制作した音源

は、後日、収録時に用いたコンピュータベースの録音機である Avid 社製 Pro Tools LE ver.8.0.1+digi003 を用いて波形編集後、Sonic Studio 社製 Pre Master CD ver.3.1.2 及び Pioneer DVD-107A を用いて CD-R を制作し、官能評価に備えた。

### 3-6. 官能評価実験

#### 3-6-1. 測定形式及び手法

本実験では、ピアノの3本の脚に付属するキャストの向きにより生ずる物理量の違いを心理量により検出することが目的である。よって、被験者の設定について、生演奏の評価は、より専門的な領域の判定能力を持つ専門パネルを用い、録音を用いた評価は、結果の一般性を考慮し、一般パネルを用いて行った。なお、

測定手法は、評定法を用いた。

### 3-6-2. 評価環境

評価環境について、専門パネルは、五反田文化センター音楽ホール(249名収容)、一般パネルは、明星大学(理工学部棟亀井研究室 音質評価実験室 10名収容)である。一般パネルの実験に用いた再生装置を表2に示す。

表2 録音による官能評価に用いた再生装置

オーディオ機器	メーカー及び型番
CDプレーヤー	Marantz CD-5001
アンプ	ECLIPSE TDA501
スピーカー	B&W 805S

なお、実験を行う上で重要な再生音量は、研究筆頭者が立会い、再生環境を勘案し、事前に設定、調整を行った。

### 3-6-3. 被験者

録音と同時に実施した生演奏による実験は、専門パネル 11名を被験者とした。専門領域は、ピアノ6名、ヴァイオリン2名、ピアノ調律師1名、楽器メーカー社員2名である。また、後日その録音を用いて行った一般パネルの実験では、明星大学学部生 50名を被験者とした。

### 3-6-4. 分析評価項目及び評価用語の設定

分析評価項目及び評価用語は、前報に引き続き、研究筆頭者がピアノの演奏会及び録音制作現場において、演奏、録音環境の設定、調整を行う際に、演奏家及び調律師とともに音のバランス調整の判断基準としてきた項目を参考に設定した。それらは、何れも音及び音楽の三要素を考慮したものである。

評価用語は、①軟らかい(音色について)、②抜けが良い(音の抜けについて)、③はっきりとした(音の解像度について)、④音量感のある(音量の感じ方について)、⑤バランスが良い(高音)、⑥バランスが良い(中音)、⑦バランスが良い(低音)、⑧好む(嗜好について)の8項目を設定した。

### 3-6-5. 評価方法と評価尺度

専門パネルは、図6のように、録音と同時にホール客席にて ANG-A1～A3, B1～B3 の順に生演奏を聴きながら評価を行った。また、一般パネルは、生演奏と同時に録音した ANG-A1～A3, B1～B3 のキャスト向け6パターンが収録された CD-R 及び表2の再生装置を用いて、分析及び嗜好の項目について評価を実施した。生演奏及び録音の提示は、L. v. Beethoven Klavier Sonate c-moll Op. 13 第1楽章冒頭 Grave の最初約1分間を抽出して行った。また、試料の提示方法

は、ANG-A1→A2→A3→B1→B2→B3 を 1 回通して聴きながらフェースシートに書き込むこととした。評価尺度は、SD 法<sup>6)</sup>を用いた。

### 3-6-6. 実験結果および考察

官能評価実験(専門パネル 11 名及び一般パネル 50 名)において、1つの評価用語に 5 段階(+2, +1, 0, -1, -2)の点数を与えて解析を行い、評定平均を求めた。以降の図については、評定平均値および図中にて 95%信頼区間を表したものである。図 7 より、専門パネルにおいては、⑧の「嗜好」に関して ANG-A2 の 0.909 が高く 11 人中 8 名が「非常に好む」+2, 「やや好む」+1 としていた。また、図 8 は、その ANG-A2 を嗜好した 8 名の評定平均である。ANG-A2 の評定平均は、さらに上がり 1.025 となった。ANG-A2 について、他の評価用語について見てみると、②「音の抜け」は図 7 では 0.818, 図 8 では、1.000 となり、③「解像度」は図 7 では 0.818 が図 8 では 0.875 となった。また、図 9 は、図 8 の専門パネル 8 名の P 値の算出結果である。二元配置分散分析法繰り返しなしを用い、それぞれのパネルについて、対象間における有意差の分析を行い、P 値(5%水準)により判定を行った。この結果より「音の抜け」、「解像度」に関しては、ANG-A2 との「有意差あり」という結果であり、「嗜好」との因果関係があると考えられる。つまり、「音の抜け」、「解像度」があると感じたことが「嗜好」につながった可能性が推測できる。

図 10 は、一般パネル 50 名の解析結果である。ここでも ANG-A2 の「嗜好」が 0.460 と高く、専門パネルと同様の結果となっている。

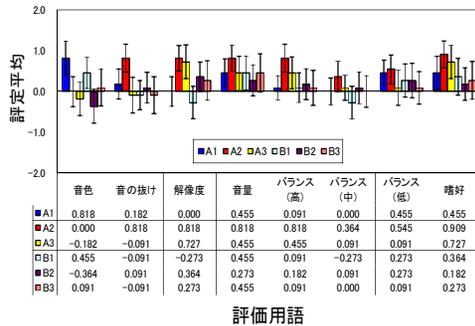


図 7 専門パネル 11 名の評定平均 (Beethoven Klavier Sonate c-moll Op.13)

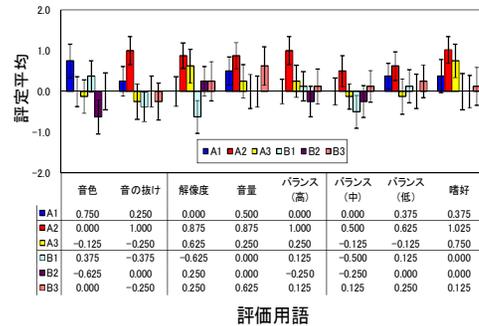


図 8 専門パネル 11 名から 8 名を抽出 (Beethoven Klavier Sonate c-moll Op.13)

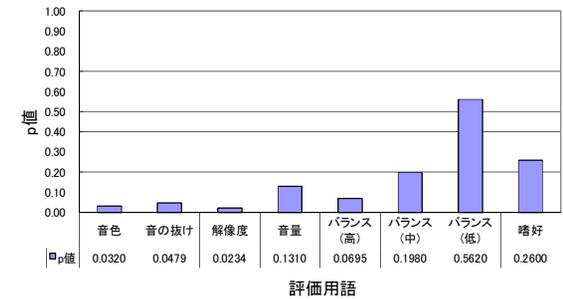
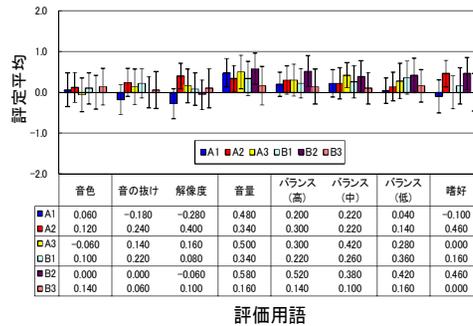


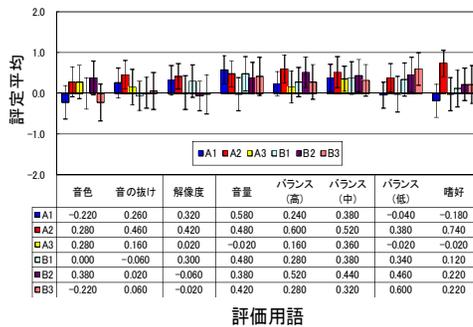
図 9 P 値(専門パネル 8 名)



評価用語

図10 一般パネル50名評定平均  
(Beethoven Klavier Sonate c-moll Op.13)

また, ANG-A2は50人中26名が「非常に好む」に+2, 「やや好む」に+1という評価を与えている. 図11は, この26名の評定平均を表したものである.



評価用語

図11 一般パネル50名から26名を抽出  
(Beethoven Klavier Sonate c-moll Op.13)

図11より, ANG-A2の「嗜好」は, 0.740と高くなり, また, 専門パネルと同じように, 「音の抜け」, 「解像度」が専門パネルほど顕著ではないが, 抽出前より高くなっており, 専門パネルと, 同様の傾向がみられた. このことより, 「嗜好」に及ぼす原因について, 「音の抜け」, 「解像度」等のような評価用語での関連を検討し, 同様の結果が見られるものの共通点を明らかにしたい. 今後は, ベートーヴェンの作品以外の時代様式が異なる作品を対象に, 更に実験検証及び解析を行い, 演奏, 録音環境が音楽情報伝達に及ぼす影響について, 引き続き検討を重ねたい.

#### 4. おわりに

本研究では、ピアノの演奏、録音環境の構築より、録音制作現場で課題となっていたキャスターの向きの調整に注目し、6 パターンの向きを設定、生演奏及び録音について官能評価実験を行い、音楽情報伝達への影響について分析した。その結果、何れの場合でも音楽情報伝達への影響が明らかとなった。今後、演奏、録音環境全般の構築について更に検討し、実際の録音制作において、演奏家の特質を引き出し、より良い演奏を行うためには、様々な点に配慮した環境作りが不可欠であることをあらためて提唱していきたい。一方、録音技術の研究では、音楽作品のよりの確な情報伝達を軸に、音楽と技術との関わり、そして、録音技術のあり方について評価、検討を継続して行う。そして、これらの成果を基に、芸術音楽録音研究会において CD 制作を行い、音楽家及び CD 聴取者の評価を仰ぎたいと考えている。

本研究は、カワイサウンド技術・音楽振興財団の平成 23 年度研究助成により行った。

#### 5. 参考文献

- 1) 鈴木和秀,亀井延明:『芸術音楽の録音における情報伝達- ワンポイントステレオ録音における録音技術の影響 -』,日本音響学会音楽音響研究会資料,MA2006-88,ISSN 0912-7283,PP.19-24 (2007)
- 2) 鈴木和秀,亀井延明:『芸術系学生への音楽音響教育- 第 1 報 録音・再生と音楽との関わり -』,第 2 回 21 世紀科学と人間シンポジウム論文誌第 2 巻,ISSN1882-8957,PP.48-53 (2009)
- 3) 鈴木和秀,亀井延明:『音楽系学生への録音制作教育- 第 1 報 芸術音楽における録音制作 -』,昭和音楽大学研究紀要第 29 号, ISSN 1881-0810,PP.67-79 (2010)
- 4) 鈴木和秀:『音楽系学生への音響教育- 第 1 報 芸術音楽の録音・再生における情報伝達 -』,東海大学教養学部紀要第 40 輯,ISSN 0389-2018,PP.187-200 (2010)
- 5) 鈴木和秀,亀井延明,上野大輔:『芸術系学生への音楽音響教育- 第 2 報 録音環境の影響について -』,第 4 回 21 世紀科学と人間シンポジウム論文誌第 4 巻, ISSN 1882-8957, PP.48-53 (2011)
- 6) 難波精一郎,桑野園子:『音の評価のための心理学的測定法』,コロナ社 (1998)
- 7) ローゼン, チャールズ:『ピアノ・ノート 演奏家と聴き手のために』朝倉和子 訳, みすず書房, PP.133-161(2009)
- 8) Dickreiter Michael : *Tonmeister Technology "Mikrofon-Aufnahmetechnik Aufnahmeraum Schallquellen, Mikrofon-Aufnahme"*(Temmer Enterprises,Inc 1989)
- 9) Eargle,John.M.:*Handbook of Recording Engineering* (NewYork,VANNOSRANDREI HOLD 1992)

(注:フローチャート図,ブロック図,構成図,写真,データ表,グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)