

# 楽曲への音響操作が印象評価に及ぼす影響と その生理学的対応

高山 智行<sup>†1</sup>

## Influences of acoustical processing on impression evaluation of music pieces, and its physiological correlates

Tomoyuki TAKAYAMA<sup>†1</sup>

### Abstract

Present study investigated relationships between impression evaluation and acoustic variables, and their relationship with physiological indicators, after extracting the impression evaluation dimensions of classical music pieces and sorting out the impression evaluation items, similarly to the previous report (Takayama, 2014). Using a total of 12 evaluation sounds consisting of four original sounds, their down-sampling ones, and their noise-added ones, experiments on impression evaluation and electroencephalogram measurement on listening at evaluation sounds were conducted. As a result, we found that the difference of music pieces and the acoustic processing affected all the impression of "goodness of hearing", "lively motion" and "profoundness", respectively. On the other hand, the EEG indexes were not varied by the difference of music pieces or the acoustic processing. Regardless of the difference of music pieces and the type of acoustic processing, the correlation between the impression evaluation values of music pieces and the EEG indexes indicated that, as the impression of "lively motion" or "profoundness" strengthened, the  $\alpha$  wave content rates and the values of  $\alpha / \beta$  ratio decreased, while the  $\beta$  wave content rate increased.

**Keywords:** music piece impression, impression evaluation, EEG

### 1. はじめに

音の印象評価に関して、その評価次元あるいはそれに及ぼす物理的要因の効果、また生理的反応との関係など多くの研究が報告されている (例えば, 1) 2)。

高山<sup>3)</sup> (菊水・桜井・杉野・高橋・松井・松山・山下・吉岡<sup>4)</sup>) も、過渡的特性を持つ持続時間 1 秒の短音音源 (ピアノの打鍵音, クラクションなど) と、演奏中の 2 分間を切り出した楽曲音源を用いて、原音並びにそれにホワイトノイズを付加するかダウンサンプリングするという音響的加工を加えた音に対する印象評価、ならび

にその際の生理的反応について検討した。

まず、短音と楽曲に共通する印象評価項目を求めた実験 I において、「音の良さ」と「音の繊細さ」の 2 つの印象評価因子を抽出した。さらに、それらの印象因子について楽曲の種類と楽曲への音響的加工の効果と比較し、楽曲の種類は「音の繊細さ」因子に影響し、音響加工のうちノイズの付加は「音の良さ」を低下させることを示した。

続いて実験 II において、音響加工による楽曲の物理特性、その印象評価、楽曲聴取時の脳波パターンの三者関

<sup>†1</sup> 近畿大学工学部教育推進センター

Center for the Advancement of Higher Education, Faculty of Engineering, Kindai University

係を検討した。楽曲にノイズを付加することで「音の良さ」評価は低下し、楽曲の種類に応じて「音の繊細さ」が変化するという実験Ⅰの結果を確認するとともに、ノイズを付加した楽曲聴取時に、脳波成分のパワー全体に対するα波成分のパワーの比率（α波含有率）あるいはβ波のパワーに対するα波のパワーの比（α波/β波比）は低下し、脳波成分のパワー全体に対するβ波成分のパワーの比率（β波含有率）は増加するという結果を得て、過去の研究結果<sup>2)5)</sup>を確認した。加えて、ダウンサンプリングにより再生周波数の上限を原音よりも低下させたとき、脳波成分のα波/β波比も低下する傾向がみられ、印象評価においては検出されなかった原音とダウンサンプリング音の違いが、生理的指標により検出できる可能性を示唆した。

しかし、実験Ⅱで用いた印象評価項目は、短音と楽音に共通して利用可能なものという条件で選択されたものであった。そのため、楽曲に対する印象評価因子として抽出された4因子のうち、短音の印象評価で得られた因子と共通する2因子について、楽曲とその加工の効果を検討したにすぎないことが指摘される。脳波成分に見られた楽曲の音響的加工の効果が、「音の良さ」以外の因子への効果にも対応していた可能性も除外できない。

本研究の目的は、その点を確認するために、まず楽曲聴取用の印象評価項目を再度選別し、改めて楽曲に対する印象評価因子を抽出することであった。そして、楽曲の種類と音響的加工の効果が、どの印象評価因子に作用し、どのような生理的指標の変動に対応づけ可能か明らかにすることを試みた。

## 2. 音の印象評価項目の選別と評価因子の検討（実験Ⅰ）

まず、前回の報告<sup>3)</sup>と同様、主観的評価因子を抽出するとともに、楽曲に対する印象評価項目を選別するための実験を行った。楽曲に対する加工については、前回の報告同様、ダウンサンプリングとノイズ付加を用いたが、楽曲の種類はクラシックの器楽曲4曲とし、評価項目についてはより広く候補を求めた。

### 2.1. 方法

#### 2.1.1. 実験参加者

近畿大学工学部在学の4年生30名（男性27名、女性3名）が実験に参加した。これらの参加者のいずれからも、聴覚に関する異常についての申し出はなかった。

#### 2.1.2. 評価音

評価音の原音として、CD（デアゴスティーニ THE Classic COLLECTION）からフリーのリッピングソフト CDex を用いてサンプリング周波数 44100Hz、16ビットの Windows PCM 形式に変換し、さらに音編集ソフト（フリーソフト SoundEngine）によりモノラル変換し、再生時間2分となるよう編集した4つの楽曲（原音）を用いた。これらの楽曲は、シューベルト「ピアノ五重奏曲イ長調作品 114 第1楽章」（以下、「シューベルト」と略

す）、チャイコフスキー「ピアノ協奏曲第1番変ロ単調作品 23 第3楽章」（以下、「チャイコフスキー」と略す）、モーツァルト「ピアノ協奏曲第9番変ホ長調第3楽章」（以下、「モーツァルト・ピアノ」と略す）、モーツァルト「フルートとハープのための協奏曲ハ長調第1楽章」（以下、「モーツァルト・フルート」と略す）であった。

原音に加えて、編集ソフト（フリーソフト Sound Engine）を用いて、原音のサンプリング周波数を 11025Hz にダウンサンプリングしたもの（ダウンサンプリング音）と、編集ソフト（シェアウェアソフト cooledit 2000）によりそれぞれ原音と同じ長さの白色雑音を原音の平均 RMS パワーの -15dB の S/N 比で加算したもの（ノイズ付加音）とを用意し、評価音として用いた。

したがって、印象評価実験の評価音は、4種の原音とそのそれぞれのダウンサンプリング音並びにノイズ付加音の計12音であった。

#### 2.1.3. 評価シート

印象評価に用いる形容詞対は、表1の63対であった。これらは、前回報告の実験1で用いた41対に、宮原・守田(1996)に記載されていた音質評価語から作成した反対語の組み合わせとなる形容詞対を、意味の重複がないよう加えたものであった。

各対の形容詞を両端とする63の5段階尺度を、A4用紙にランダム順に配置した6種類の評価シートを作成した。これらのシートでは、各評価項目の左右に5段階尺

表1 楽曲の印象評価のための形容詞対

1 濃い - 薄い	33 豊かな - 痩せた
2 好き - 嫌い	34 落ち着く - 落ち着かない
3 高い - 低い	35 音質が良い - 音質が悪い
4 歯切れの良い - 歯切れの悪い	36 鋭い - 鈍い
5 平ら - 凸凹	37 楽しい - 苦しい
6 澄んだ - 濁った	38 高音の伸びがある - 高音の詰まった
7 硬い - 柔らかい	39 低音の伸びがある - 低音の詰まった
8 艶のある - カサカサした	40 メリハリのある - ボケた
9 スケールが大きい	41 白っぽい - 黒っぽい
- スケールが小さい	42 深い - 浅い
10 明るい - 暗い	43 あっさり - こってり
11 潤った - 乾いた	44 一体感のある - まとまりがない
12 滑らか - 粗い	45 躍動感ある - 躍動感ない
13 響いた - 響かない	46 スピード感がある - スピード感が無い
14 安定 - 不安定	47 感動する - 感動しない
15 きれい - 汚い	48 覇気がある - 覇気が無い
16 太い - 細い	49 開放的 - 閉鎖的
17 優しい - 厳しい	50 平面的 - 立体的
18 男性的 - 女性的	51 テンポが良い - テンポが悪い
19 自然な - 人工的な	52 すっきりしている
20 きつい - ゆるい	- ごちゃごちゃしている
21 激しい - 大人しい	53 濃厚な - 淡泊な
22 快い - 不快な	54 気品がある - 気品が無い
23 面白い - つまらない	55 張りがある - 張りが無い
24 甘い - 辛い	56 派手な - 地味な
25 大胆 - 繊細	57 鮮度が高い - 鮮度が低い
26 力強い - 力無い	58 簡単な - 複雑な
27 暑い - 涼しい	59 傲慢な - 謙虚な
28 攻撃的 - 守備的	60 豪華な - 簡素な
29 アナログ - デジタル	61 充実した - 空虚な
30 日常的 - 非日常的	62 慎重な - 軽率な
31 近い - 遠い	63 興奮した - 冷静な
32 迫力のある - 物足りない	

度で配置された形容詞のどちらにどの程度近いかを、尺度上の目盛り印をつけることにより印象を評価するようになっていた。評価実験では、12の評価音にこれら6種のシートをランダムに割り当てた。

2.1.4. 手続き

実験は無響室の中で、実験参加者毎に個別に行った。無響室入室後、実験者は、まず実験中に提示される音の評価方法と評価シートへの記入の仕方、ノートパソコン(TOSHIBA dynabook A8/420CME)での実験プログラムの操作方法を実験参加者に説明した。実験の内容については、器楽曲を聞いてその印象を答えてもらう実験であるとだけ伝え、楽曲への加工や楽曲の呈示順序などについては伝えなかった。参加者が一通りの説明を理解し、正しくヘッドフォン(audio-technica ARTMONITOR ATH-A900)を装着し実験開始の準備ができたことを確認したうえで、実験者は無響室から退室した。

実験者が無響室の外に出た後、実験参加者は、任意のタイミングでマウスを操作してパソコン画面の実験開始ボタンを押し、実験を開始した。各評価音の再生には、Windows Media Playerを用いた。実験参加者が画面上の再生用のボタンをマウスでクリックし、アイマスクを装着した後に評価音の再生が始まり、12の評価音のいずれかがランダムに呈示された。各評価音再生後、実験参加者はアイマスクを外し、評価シートに楽曲の印象を記入した。評価シート記入後、1~2分程度休憩した後に、次の評価音を再生し、評価するという手順を繰り返した。

実験参加者が12の評価音すべてに対して評価し終わったら、実験者は無響室に入り、評価シートへの記入漏れがないことを確認した後、実験参加者に実験終了を告げ、無響室から退出させた。

2.2. 結果

表1の各形容詞対の5段階尺度に右側の形容詞から左側の形容詞に向けて順に1から5の数値を割り当て、実験参加者が各尺度上に回答した印象を数値化した。12の評価音に対する参加者30名の印象評価の結果計360サンプルについて、主因子解、バリマックス回転による因子分析を行い、固有値のスクリープロットから印象評価の因子数を3とした。さらにこの結果から、共通性が.36以上となる47の評価項目を選択し、改めて同様の因子分析を繰り返した。2度目の因子分析の結果を表2に示す。表2では、因子名と意味的に整合が取れるように、形容詞対の配置を評価シートのもとの逆転させてある。

3因子の寄与率は29.8%、13.0%、3.6%で、第1因子の寄与率が最も大きく、第3因子の寄与率が第1因子の1/9程度しかなく、累積寄与率も46.4%と低い値となった。第1因子は「不快な-快い」、「汚い-きれい」、「濁った-澄んだ」など20の形容詞対の負荷量が.5よりも大きく、「聞こえの良さ」因子と名づけ、第2因子は、「躍動感がない-躍動感がある」、「スピード感がない-スピード感がある」、「地味な-派手な」など15の形容詞対の負荷量が.5

より大きいことから「躍動感」因子と名づけた。また第3因子は、「細い-太い」、「淡泊な-濃厚な」、「薄い-濃い」など5つの形容詞対の負荷量が.5よりも大きく、「重厚さ」因子と名づけた。

前回の報告<sup>3)</sup>では、楽曲と短音に対する印象評価の結果から「音の良さ」と「音の繊細さ」の2因子が得られており、前者では第2因子と共通する「快い-不快な」、「好き-嫌い」、「澄んだ-濁った」、「きれい-汚い」、「滑らか-荒い」、「つやのある-カサカサした」の負荷量が大きく、後者では第3因子と共通する「太い-細い」の負荷量が大きかった。また前回、楽曲の印象評価で得られてい

表2 楽曲の聞こえに関する印象評価因子

評価項目	因子No.1	因子No.2	因子No.3
* 不快な-快い	0.792	0.182	0.051
* 濁った-澄んだ	0.774	0.142	-0.063
* 汚い-きれい	0.774	0.165	-0.009
鮮度が低い-鮮度が高い	0.728	0.254	0.075
* 音質が悪い-音質が良い	0.710	0.125	0.138
* 粗い-滑らか	0.708	0.177	-0.091
* ごちゃごちゃしている-すっきりしている	0.689	0.037	-0.146
* 落ち着かない-落ち着く	0.678	-0.158	-0.065
不安定-安定	0.664	0.001	-0.016
* 嫌い-好き	0.652	0.265	0.095
カサカサした-艶のある	0.627	0.246	0.083
人工的な-自然な	0.618	-0.050	-0.017
気品が無い-気品がある	0.609	0.336	-0.101
辛い-甘い	0.605	0.110	-0.075
苦しい-楽しい	0.579	0.395	-0.023
響かない-響いた	0.576	0.367	0.158
感動しない-感動する	0.569	0.250	0.170
* 乾いた-潤った	0.563	0.235	0.098
まとまりがない-一体感のある	0.551	0.201	0.071
厳しい-優しい	0.531	-0.029	-0.342
* 躍動感ない-躍動感ある	0.259	0.663	0.099
* スピード感がない-スピード感がある	0.071	0.645	-0.016
* 地味な-派手な	0.023	0.624	0.218
テンポが悪い-テンポがいい	0.349	0.613	-0.025
* 覇気が無い-覇気がある	0.155	0.591	0.359
* 簡素な-豪華な	0.204	0.581	0.275
張りが無い-張りがある	0.372	0.574	0.262
* 大人しい-激しい	-0.257	0.571	0.359
* 守備的-攻撃的	-0.205	0.556	0.328
* 力無い-力強い	0.119	0.547	0.522
* スケールが小さい-スケールが大きい	0.264	0.540	0.252
* 物足りない-迫力のある	0.195	0.538	0.459
歯切れの悪い-歯切れの良い	0.415	0.510	-0.088
冷静な-興奮した	-0.041	0.501	0.332
ボケた-メリハリのある	0.320	0.501	0.130
* 細い-太い	-0.087	0.061	0.638
* あっさり-こつり	0.296	0.007	0.620
* 淡泊な-濃厚な	0.122	0.258	0.575
* 薄い-濃い	0.072	0.257	0.540
* 浅い-深い	0.166	0.203	0.508
ゆるい-きつい	-0.398	0.322	0.397
黒っぽい-白っぽい	0.486	0.227	-0.345
低い-高い	0.369	0.399	-0.236
空虚な-充実した	0.443	0.477	0.200
暗い-明るい	0.435	0.497	-0.185
痩せた-豊かな	0.492	0.400	0.179
閉鎖的-開放的	0.397	0.495	-0.010
固有値	14.012	6.089	1.687
寄与率	29.8%	13.0%	3.6%
累積寄与率	29.8%	42.8%	46.4%

た第4因子には、今回の第2因子に含まれる「メリハリのある-ボケた」、「鋭い-鈍い」、「歯切れの良い-悪い」が含まれていた。これらのことから、今回得られた3つの印象評価因子は、前回、特に楽曲に対して得られた印象評価因子とほぼ一致していたと言える。

以後の実験で用いる印象評価尺度を作成するために、上記各因子から因子負荷量の高い形容詞対を選抜し、さらにそれらの各因子への意味上の適否を判断した結果、「聞こえの良さ」因子から9形容詞対、「躍動感」因子から10形容詞対、「重厚さ」因子から5形容詞対を最終的な評価項目として選別した。表3に\*をつけてあるものが選抜した24の形容詞対である。

楽曲とその加工が楽曲の「聞こえの良さ」、「躍動感」、「重厚さ」の各印象因子に及ぼす効果を比較するために、図1に各因子への寄与率の高い形容詞対群の平均評定値を示した。図は、値が大きいほど、その因子で表現される印象が強いことを表している。

それぞれの平均評定値について、楽曲とその加工のタイプを実験者内要因とする二要因分散分析<sup>6)</sup>を行った。その結果、すべての評価因子に関して楽曲の主効果（「聞こえの良さ」 $F_{(3,87)}=6.937, p<.001$ 、「躍動感」 $F_{(3,87)}=9.933, p<.001$ 、「重厚さ」 $F_{(3,87)}=12.293, p<.001$ ）と加工タイプ的主効果（「快適さ」 $F_{(2,58)}=21.183, p<.001$ 、「躍動感」 $F_{(2,58)}=11.637, p<.001$ 、「重厚さ」 $F_{(2,58)}=6.144, p<.01$ ）が有意であった。

続いて、有意であった主効果について Tukey の HSD 検定による多重比較を行った<sup>9)</sup>。「聞こえの良さ」に関する楽曲の主効果については、「モーツァルト・フルート」は「シューベルト」と「チャイコフスキー」よりも、「モーツァルト・ピアノ」は「チャイコフスキー」よりも有意に聞こえが良いと評価されていた ( $MSe=.345, df=87, p<.05$ )。また、加工のタイプについては、原音とダウンサンプリング音は、ノイズ付加音よりも有意に聞こえが良いと評価された ( $MSe=1.195, df=58, p<.05$ )。

「躍動感」に関しては、「シューベルト」は他の3曲ほどには躍動的ではないと評価されていた ( $MSe=.534, df=87, p<.05$ )。また、原音はノイズ付加音やダウンサンプリング音よりも有意に躍動的と評価されていた ( $MSe=.491, df=58, p<.05$ )。

「重厚さ」に関しては、「チャイコフスキー」と「モーツァルト・フルート」が他の2曲よりも重厚と評価されており ( $MSe=.764, df=87, p<.05$ )、また原音はノイズ付加音よりも有意に重厚であると評価された ( $MSe=.378, df=58, p<.05$ )。

### 2.3. 考察

実験Iの目的は、楽曲の印象を評価するための評価項目を選別することと、評価因子を抽出することであった。クラシックの器楽曲4曲に、前回の報告<sup>3)</sup>と同様、それらのダウンサンプリング音とノイズ付加音を加えた計12の評価音に対するSD法での評定値を因子分析して、

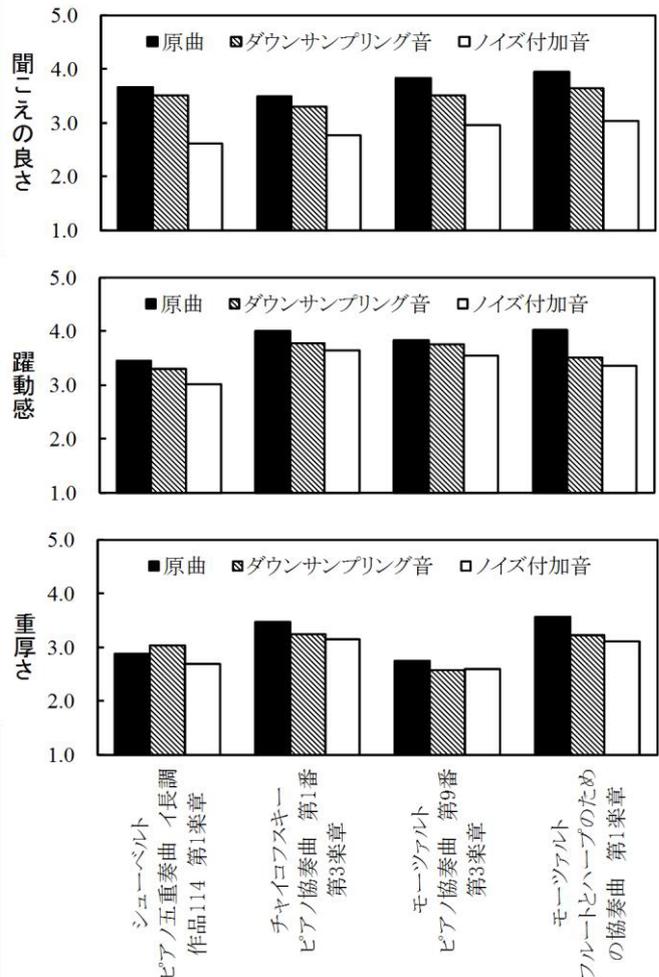


図1 実験Iにおける各評価音に対する平均評定値

「聞こえの良さ」、「躍動感」、「重厚さ」という3つの評価因子を見いだした。

これら評価因子のうち「聞こえの良さ」と「重厚さ」の2つの因子は、前回過渡的特性をもつ短音と楽曲に共通するものとして得られた2つの評価因子、「音の良さ」と「音の繊細さ」とほぼ共通した評価項目を含んでおり、「躍動感」についても前回楽曲について得られた因子と共通した評価項目を含んでいた。すなわち、ここで得られた3つの因子は、器楽曲の印象について信頼できる評価次元であるといえる。

他方、以前の実験結果<sup>3)</sup>では、ダウンサンプリングやノイズ付加による音質劣化は「音の良さ」を低下させただけであったが、今回の結果では、「聞こえの良さ」、「躍動感」、「重厚感」すべての評価因子に対して何らかの影響を及ぼしていた。少なくともノイズ付加によって音質を劣化させると、すべての評価因子で印象が損なわれた。

### 3. 楽曲の評価因子と生理指標 (実験II)

先の報告<sup>3)</sup>では、評価因子を抽出したことに続いて、

SD 法による主観的評価の問題点を補うために、脳波のような意識的操作の影響を受けない生理指標を用いることの有効性を検討した。楽曲の原音、ダウンサンプリング音、ノイズ付加音に対する印象評価を求めるとともに、評価音聴取時の脳波を測定して、音響的操作の効果を比較した結果、 $\alpha$ 波含有率に関しては明確な結果は得られなかったが、ノイズ付加で $\beta$ 波含有率は有意に増加し、 $\alpha$ 波/ $\beta$ 波パワー比は有意に減少していた。加えて、有意水準には達しなかったものの、 $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比に関してダウンサンプリング音は原音よりも減少する傾向が認められ、印象評価では検出できなかった音質の劣化を脳波で検出できる可能性が示唆された。

ここでも、先の報告<sup>3)</sup>と同様に、楽曲への音響的操作と、実験 I で得られた 3 つの次元での評価、並びにその際の脳波計測で得られる生理指標との関係を検討した。

### 3.1. 方法

#### 3.1.1. 実験参加者

健常聴力を有する近畿大学工学部在学 3・4 年生男子学生 20 名が実験に参加した。これらの参加者のいずれからも、聴覚に関する異常についての申し出はなかった。

#### 3.1.2. 評価音

ここでも実験 I と同じ 12 の評価音を実験参加者に呈示した。これら評価音は、VBA による実験プログラムでランダム順に再生された。

#### 3.1.3. 評価項目

実験 I で選抜した 3 因子 24 の形容詞対を評価音に対する印象評価項目として用いた。これらは、表 3 に\*付きで表記されている。

評価項目の呈示は、評価音聴取後、ノートパソコンの画面に 1 対ずつランダム順に行われ、実験参加者はキーボードを操作して印象の程度を数字で回答した。各形容詞対における形容詞の画面上の左右配置は、表 1 に示されるオリジナルの配置を採用した。

#### 3.1.4. 手続き

実験参加者は、楽曲の印象評価とそのときの脳波測定を同時に行う実験に、個別に参加した。

実験者は、実験開始前に、実験参加者に実験目的を説明し、その後、脳波測定用の電極を参加者の頭皮上に装着した。電極の配置は、10-20 法で頭皮上 Fp1, Fp2, F7, Fz, F8, C3, C4, Pz, T5, T6, O1, O2 の 12 位置であり、左耳朶 (A1) の単極誘導で前頭極正中部 (Fpz) を基準電極とした。実験者は、実験参加者の頭皮上の電極位置をエタノールで消毒し、次に皮膚と電極間の接触インピーダンスを減少させるため少量のスキンピュアー (皮膚前処理剤) を塗り、その後、スキンピュアーを拭き取ってペーストを約 1 mm の厚さに塗り、その上に電極を付けて粘着包帯で固定した。そして、電極の上からプレスネットをかぶせて、さらにその上からアイマスクとヘッドフォンを装着させた。

各楽曲の聴取時における脳波の測定と、その後の印象

評価を以下の手順で行った。まず、実験参加者は、インターフォンを通して呈示される実験開始の合図を確認した後、Enter キーに指を置いて、アイマスクで眼を覆った。その後、Enter キーを押して曲をスタートさせ聴取を開始し、曲の再生が終了次第アイマスクを外し、キーボード操作によって印象評価の項目に回答した。回答後、約 1 分の休憩をとった。これらの手順を実験が終わるまで繰り返した。実験時間は約 1 時間であった。

## 3.2. 結果

### 3.2.1. 主観的評価の分析

各実験参加者の各形容詞対に対する評価値を、表 2 に表示されている形容詞対の左右配置に合わせて再得点化し、印象評価因子毎に集計して平均を求めた。図 2 に各評価因子における各評価音に対する平均評定値を示す。これらの評定値について、楽曲の種類と加工の種類を実験参加者内要因とする 2 要因分散分析<sup>5)</sup>を行った。

「聞こえの良さ」に関しては、楽曲の種類の主効果 ( $F_{(3,57)}=3.647, p<0.05$ )、加工のタイプの主効果 ( $F_{(2,38)}=14.966, p<0.001$ ) が有意であった。主効果について、Tukey の HSD 検定による多重比較の結果、「チャイコフスキー」は他の 3 つの楽曲ほどには聞こえが良いとは評価されていなかった ( $MSe=396, df=57, p<0.05$ )。加工のタイプについては、原音とダウンサンプリング音はノイズ付加音よりも有意に聞こえが良いと評価されていた ( $MSe=1.456, df=38, p<0.001$ )。

「躍動感」に関しては、楽曲の種類 ( $F_{(3,57)}=24.845, p<0.001$ ) と加工のタイプ ( $F_{(2,38)}=6.576, p<0.01$ ) それぞれの主効果、ならびに両者の交互作用 ( $F_{(6,114)}=3.681, p<0.01$ ) が有意であった。交互作用について、楽曲毎に加工の効果を検討したところ、シューベルト ( $F_{(2,152)}=3.136, p<0.05$ )、モーツアルト・ピアノ ( $F_{(2,152)}=8.731, p<0.001$ )、モーツアルト・フルート ( $F_{(2,152)}=3.823, p<0.05$ ) での単純主効果が有意であり、Tukey の HSD 検定による多重比較の結果、シューベルトでは原音とダウンサンプリング音がノイズ付加音より、モーツアルト・ピアノでは原音とノイズ付加音がダウンサンプリング音より、モーツアルト・フルートでは原音がダウンサンプリング音とノイズ付加音よりも躍動感があると評価されていた ( $p<0.05$ )。

「重厚さ」に関しては、楽曲の種類の主効果 ( $F_{(3,57)}=14.649, p<0.001$ ) が有意であり、交互作用にも傾向が認められた ( $F_{(6,114)}=1.924, p<0.10$ )。主効果に関して多重比較を行ったところ、チャイコフスキーが他の 3 曲に比べて有意に重厚であり、シューベルトがモーツアルト・ピアノより重厚である評価されていた ( $MSe=442, df=57, p<0.01$ )。交互作用に関して、この (単純) 主効果はダウンサンプリング音で有意であり ( $F_{(3,171)}=13.452, p<0.001$ )、ノイズ付加音では傾向が認められた ( $F_{(3,171)}=2.174, p<0.10$ )。2 つの加工条件において楽曲間の多重比較 ( $p<0.05$ ) を行った結果、ダウンサンプリング音につい

ては、チャイコフスキーが最も重厚と評価されており、続いてシューベルトがモーツァルトの2曲より重厚と評価されていた。ノイズ付加音について、チャイコフスキーが他の3曲より有意に重厚と評価されていた。

### 3.2.2. 脳波の分析

各実験参加者の12の評価音それぞれに対する12チャンネルの脳波データに関して、楽曲聴取区間にわたって1秒毎にスペクトル分析を行い、アーティファクトのない区間の脳波全体、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波ごとにパワー合計を求め、平均値を求めた。ここで、脳波全体は4~30Hzまでの範囲とし、 $\alpha$ 波は8~13Hz、 $\beta$ 波は14~30Hzの範囲をとした。なお、測定結果にアーティファクトが多く混入していた4名のデータの結果は分析から除いた。また、分析から除いた参加者以外においても部分的にアーティファクトが混入し電極位置全てでの計測値が得られない場合もあったので、以下では測定値の得られた電極位置を平均した値を用いて分析を行った。

脳波の指標としては、聴取している音の快適さに対応して脳波における $\alpha$ 波成分が増大し<sup>3)4)</sup>、不快音に対し

ては $\beta$ 波が増加する<sup>2)</sup>ことが報告されている。そこでここでは、脳波全体に対する $\alpha$ 波含有率と $\beta$ 波含有率、並びに $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比を求めた。図3に各評価音に関する $\alpha$ 波含有率、 $\beta$ 波含有率、 $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比それぞれの平均値を示す。3つの指標について、楽曲と加工のタイプを実験参加者内要因とする2要因分散分析<sup>5)</sup>を行った。

その結果、いずれの脳波指標に関しても、楽曲の種類、あるいは音響的加工のタイプの主効果、両者の交互作用は有意水準に達しなかった。

### 3.2.3. 主観的評価と脳波指標との関係

脳波データが得られた16名の実験参加者の3つの脳波指標と、3因子の主観的評価との相関を求めた結果を表3に示す。これらの値は、16名の参加者の12の評価音に対する計192の反応に基づいている。

「聞こえの良さ」全体ではいずれの脳波指標とも相関はなかった。しかし、下位項目のうち、「澄んだ-濁った」、「すっきりしている-ごちゃごちゃしている」、「滑らか-粗い」の3項目は $\alpha$ 波含有率あるいは $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比と、「音質が悪い-音質が良い」、「嫌い-好き」、「快い-不快な

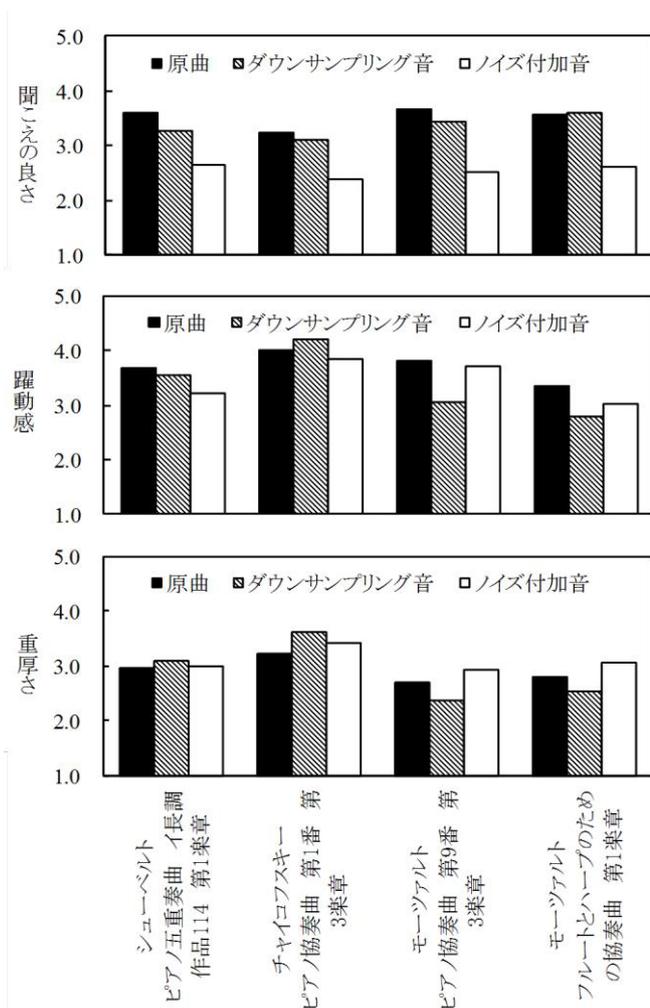


図2 実験IIにおける各評価音に対する平均評定値

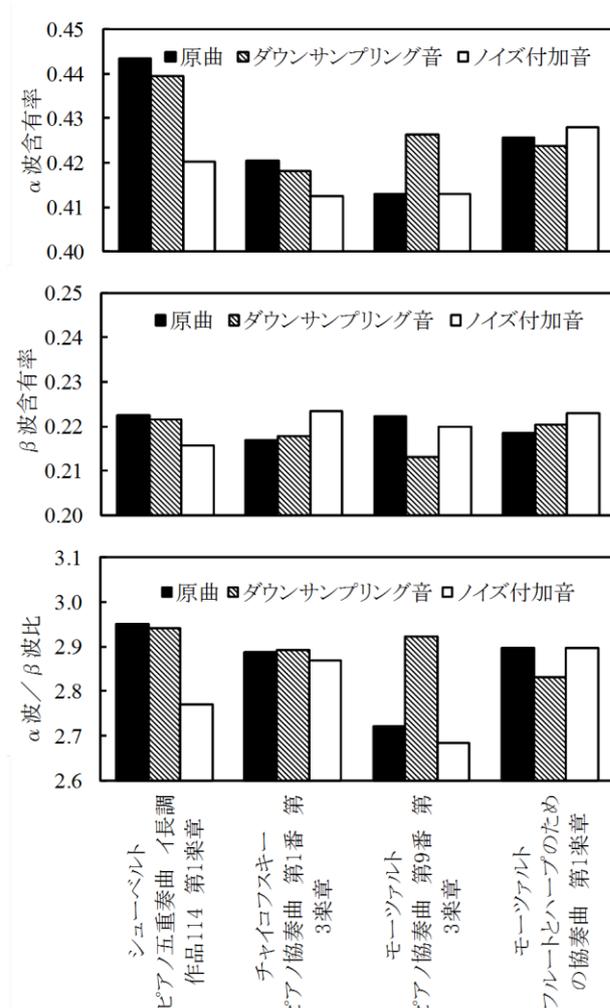


図3 各評価音に対する脳波指標

の3項目はβ波含有率とそれぞれと有意な正の相関あるいはその傾向を示した。

他方、「躍動感」との相関は、3つの脳波指標すべてに対して有意であり、α波含有率あるいはα波/β波比とは負の相関、β波含有率とは正の相関があった。すなわち、「躍動感」の印象が増加するとき、α波含有率とα波/β波比は減少し、β波含有率は増加していた。下位項目との相関も、「覇気がある-覇気が無い」、「スピード感がある-スピード感が無い」を除く項目で、α波含有率あるいはα波/β波比との有意な負の相関かその傾向、β波含有率との有意な正の相関かその傾向にあった。

「重厚さ」の全体的印象も、α波とα波/β波比と有意な負の相関を、β波と有意な正の相関を示し、下位項目の「濃厚な-淡泊な」と「濃い-薄い」とも同様であった。

### 3.3. 考察

実験Ⅱでは、実験Ⅰで選抜した評価項目を用いて、実験参加者に4つの楽曲それぞれの原曲、ダウンサンプリング音、ノイズ付加音、計12の評価音の印象評価を求めるとともに、そのときの脳波を計測し、楽曲と加工のタイプの効果を比較した。

「聞こえの良さ」の印象については、実験Ⅰの結果とほぼ一致し、「チャイコフスキー」が最も低く評価され、ノイズが付加されることで「聞こえの良さ」の印象が低下した。またこの結果は、以前の実験結果<sup>3)4)</sup>を確認するものでもあった。

「躍動感」の印象については、「シューベルト」が他より低く評価されていた実験Ⅰとは異なり、実験Ⅱでは「モーツァルト・フルート」が最も低く評価されていた。また、音質を劣化させるダウンサンプリングやノイズの付加は「躍動感」を低下させるという実験Ⅰの結果は、「シューベルト」と「モーツァルト・フルート」でのみ確認でき、「モーツァルト・ピアノ」では、ノイズの付加は「躍動感」を低下させなかった。

「重厚さ」の印象については、「チャイコフスキー」がより重厚な印象であったことは実験Ⅰと同様であったが、実験Ⅰでともに重厚と評価された「モーツァルト・フルート」は残り3曲と評価に違いはなかった。また、ノイズ付加が「重厚さ」を低下させた実験Ⅰの結果は、ここでは再現されなかった。

同じ評価音を用いたとはいえ、実験Ⅰと実験Ⅱで異なる実験参加者の印象評価を求めているので、楽曲自体に対する評価は参加者の好みにより左右されたと言えるかもしれない。特に、「モーツァルト・フルート」に対する「躍動感」と「重厚さ」の評価は、実験Ⅰと実験Ⅱで全く異なる方向への評価となっていた。楽曲に対する「躍動感」と「重厚さ」の印象には、楽曲への好みも加わって、大きな個人差が生じるのかもしれない。

他方、音質劣化による「躍動感」や「聞こえの良さ」の低下については、実験Ⅰと実験Ⅱで概ね一致しており、特にノイズ付加による「聞こえの良さ」の低下は、以前

表3 印象評価項目と脳波指標との相関

評価項目	α波含有率	β波含有率	α波/β波比
音の良さ	0.088	0.025	0.039
潤った-乾いた	-0.098	0.046	-0.069
澄んだ-濁った	0.150 *	-0.075	0.119 +
すっきりしている-ごちゃごちゃしている	0.173 *	-0.064	0.145 *
音質が良い-音質が悪い	0.029	0.124 +	-0.019
落ち着く-落ち着かない	0.063	-0.051	0.043
好き-嫌い	-0.008	0.147 *	-0.104
快い-不快な	-0.028	0.120 +	-0.091
きれいな-汚い	0.100	-0.052	0.058
滑らか-粗い	0.179 *	-0.039	0.161 *
躍動感	-0.198 **	0.205 **	-0.222 **
スケールが大きい-スケールが小さい	-0.179 *	0.170 *	-0.204 **
豪華な-簡素な	-0.194 **	0.182 *	-0.191 **
派手な-地味な	-0.111	0.106	-0.135 +
覇気がある-覇気が無い	-0.064	0.126	-0.105
スピード感がある-スピード感が無い	-0.118	0.115	-0.107
躍動感ある-躍動感ない	-0.133 +	0.129 +	-0.140 +
迫力のある-物足りない	-0.190 **	0.224 **	-0.225 **
攻撃的-守備的	-0.218 **	0.222 **	-0.231 **
力強い-力無い	-0.186 **	0.221 **	-0.227 **
激しい-大人しい	-0.133 +	0.116	-0.172 *
重厚さ	-0.190 **	0.154 *	-0.174 *
濃厚な-淡泊な	-0.174 *	0.173 *	-0.158 *
こってり-あっさり	-0.017	0.024	-0.035
深い-浅い	-0.083	0.062	-0.068
太い-細い	-0.044	0.016	-0.037
濃い-薄い	-0.242 **	0.199 **	-0.224 **

の実験での「音の良さ」の低下にも一致するものである。普遍的な効果と見なしてよいであろう。

楽曲の種類や加工のタイプと、生理的反応との関係については、今回の実験では明確な結果を得ることはできなかった。ダウンサンプリングやノイズ付加のような音質劣化の操作により、α波含有率やα波/β波比は低下する場合もあったが、用いた楽曲に一貫したものではなかった。別の楽曲を用いて、より普遍性のある結果を探る必要がある。

楽曲の違いや加工のタイプの違いにかかわらず、心理的印象評価と脳波指標との関係について、それらの相関を求めて検討した結果は、躍動感あるいは重厚さが増せばα波含有率あるいはα波/β波比が低下し、β波含有率が増加するというものであり、有意あるいはその傾向のある下位項目についても同じ方向の相関であった。

他方、過去の研究では快適さが増せばα波成分が増加し<sup>3)5)</sup>、不快音に対してβ波成分が増加する<sup>2)</sup>ということが示されているが、「快適さ」に対応する本研究での「聞こえの良さ」については、むしろ評価が高くなるほどβ波含有率が増加するという矛盾した結果となった。

$\beta$ 波成分との相関は、「嫌い-好き」で有意、「不快な-快適な」と「音質が悪い-音質が良い」では傾向が認められた。「好き」で「快適な」「音質が良い」評価音は、快適さやリラックス感を強めるというよりも、心的活性化を高める効果があるのかもしれない。

#### 4. おわりに

本研究では、以前の研究<sup>3)</sup>に引き続き、楽曲の原音、それをダウンサンプリングした音、ノイズ付加した音の3種類の評価音に対して、聴こえの印象に関する主観的評価因子を抽出し、それらと評価音聴取時の脳波指標との対応を検討した。楽曲の種類や音響的加工のタイプにかかわらず、「躍動感」並びに「重厚さ」印象と脳波指標との関係が示され、「躍動感」あるいは「重厚さ」が増すほど相対的に $\alpha$ 波成分は減少し、 $\beta$ 波成分は増加していた。この傾向は、下位項目についても同様であった。

他方、過去の研究から、「快適さ」や「リラックス感」が高まると相対的に $\alpha$ 波成分が増加し、 $\beta$ 波成分が減少することが知られている。しかし、その印象に対応する「聞こえの良さ」印象について、今回の結果では「聞こえの良さ」印象と $\alpha$ 波相対量、 $\beta$ 波相対量ともに正の相関あるいはその傾向が認められた。聞こえが良くなると $\beta$ 波成分が増加するという事は、良い楽曲には心的活性化を高める効果があるということなのかもしれない。

また、脳波指標には現れなかったが、音質劣化、特にノイズを付加することによる音質劣化は、楽曲間の違いもあるが、「躍動感」や「聞こえの良さ」の印象を低下させていた。前述したように、「躍動感」印象や「聞こえの良さ」印象と脳波指標との関連性を考えれば、ノイズ付加による音質劣化は脳波指標の相関的な変動をもたらすと期待される。ノイズのパラメトリックな操作によって脳波指標がどのように変動するかは、次の検討課題である。

#### 引用文献

- 1) 厨川守・八尋博司・柏木成豪 音質評価のための7属性 音響学会誌, 34, 493-500, 1978.
- 2) 三宅晋司・田中豪一・斎藤和雄 不快音の脳波に及ぼす影響 日本衛生学雑誌, 39, 523-534, 1984.
- 3) 高山智行 音の印象評価と脳波 近畿大学工学部研究報告, 48, 93-101, 2014.
- 4) 菊水祐希・桜井隆一・杉野太一・高橋秀文・松井英由・松山靖寛・山下真一・吉岡陵次 音質評価に関する心理生理学的研究 近畿大学工学部情報システム工学科 2005年度卒業論文, 2006.
- 5) 田崎新二・伊賀崎伴彦・村山伸樹音がもつ心理的特徴と生体信号の関連性 電子情報通信学会技術研究報告, 100, 87-94, 2001.
- 6) 森敏昭・吉田寿夫 心理学のためのデータ解析テクニカルブック 北大路書房, 76-152, 1990.

#### 注記

本論文は、平成18年度情報システム工学科卒業研究「音質評価に関する心理生理学的研究Ⅱ」(大田優介, 木村光宏, 後藤雄介, 笹田雄太, 新谷康史, 三好規広)について、データを再分析し、結果をまとめ直したものである。大田らの研究の一部は、2007年度九州心理学会第68回大会で発表した。

上記発表後、本報告をまとめる際に、改めて全評価音の音響分析を行ったところ、原音として用いたサン=サン「オルガンのための幻想曲変ホ長調」が予定していた要件を満たしていないことが判明した。そのため、本稿では、それを原音として用いたすべての評価音に対する印象評価の回答と脳波計測を除外して、再度分析し直した結果を報告した。ただ、本文中にこれらの事情を記述することは多くの字数を費やし、説明が煩雑となるので、本文では実験Ⅰの段階からサン=サンに関する評価音がなかったものとして論を進めた。

なお、実験で使用した器具・設備は、平成16-21年度産学連携研究推進事業研究プロジェクト「快適な音環境創りを目指した音響システムの開発研究」(事業番号04I011: 研究代表者 野村正人)の補助を受けて購入したものである。