

# 楽曲に加わるノイズのレベルとスペクトル特性が及ぼす 心理生理的影響

高山 智行 <sup>†1</sup>

## Psychophysiological Effects of Levels and Spectral Properties of Noise Added to Original Music Pieces

Tomoyuki TAKAYAMA <sup>†1</sup>

### Abstract

We examined the effects of the levels and the spectral characteristics of noise added to the original music pieces on the evaluation of the "goodness of hearing" and the EEG fluctuation at the time of listening to the sounds, in two experiments. In Experiment I, 15 evaluation sounds consisting of 3 original music pieces and their sounds to which noise was mixed either with five S / N ratio, and, in Experiment II, 12 evaluation sounds consisting of 3 originals and their sounds with brown noise, pink noise, or white noise added were used. It was shown that as the level of mixed noise increased, or as the energy in the high frequency range of mixed noise increased, the "goodness of hearing" evaluation decreased, the % $\alpha$  wave or the  $\alpha/\beta$  decreased, and the % $\beta$  increased, but only in a group listening to one original music pieces and its tokens with noise. The other groups listening to different originals and their tokens with noise showed that values of psychological evaluation correlated with % $\alpha$  or  $\alpha/\beta$  positively, or with % $\beta$  negatively.

**Keywords:** impression of music piece, levels and spectral properties of noise, EEG

### 1. はじめに

音をもたらす心理的な効果と、その時の（脳波に代表される）生理的指標との関係について多くの研究がなされており、特に不快音が脳波の $\alpha$ 波成分を減少させることは繰り返し確認されている。

三宅・田中・斉藤<sup>1)</sup>は、4種の不快音、金属の金杓子でフライパンをひっかく音（FN）、金杓子でスリガラスをひっかく音（GN）、シンセサイザー音楽から切り出した音色および音圧変動の少ない部分（SN）、信号発振器から発生させたホワイトノイズ（WN）について、評定尺度法と一対比較法により不快さの定量化を行い、同一騒音レベルであっても不快さは異なること、また不快反応

時には中心部（Cz）で計測された脳波の $\alpha$ 波成分が減少し、 $\delta$ 波や $\theta$ 波の徐波成分が増加することを示した。さらに、脳波の変化は、刺激音の種類というよりも刺激音を不快と感じるか否かという心理的反応に依存することを見いだした。

不快さと脳波との関係は、田崎・伊賀崎・村山<sup>2)</sup>も報告している。彼らは、8種類の音楽とホワイトノイズ及び正弦波を聞かせたときの脳波を無音時のときと比較するとともに、それらの音に対する心理的評価を行わせた。その結果、「不快」と感じる音に対して、前頭部（Fz）で $\beta$ 波が増加し、「快い」、「静的」、「澄んだ」、「生真面目」と感じる音に対して、前頭部、頭頂部（Pz）で $\alpha$ 波が増

<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

加する傾向が見られた。また、「快い」、「澄んだ」と感じる音に対して $\theta$ 波が増加した。

Horii, Yamamura, Katsumata, & Uchiyama<sup>3)</sup> は、脳波を用いて不快音による人体への影響を定量化する試みを報告した。それによると、ホワイトノイズの聴取は $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比を減少させ、非常ベルに不快さを感じる場合には、 $\alpha$ 波が減少していた。

これらの研究は、特定の音源やノイズそのものに対する反応として脳波成分の変動を扱っている。他方、音楽劣化要因としてノイズの混入の効果を、生理指標と関係づけた研究もある。

高山<sup>4)</sup> (また、菊水・桜井・杉野・高橋・松井・松山・山下・吉岡<sup>5)</sup>) は、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、原音並びにそれにノイズ付加かダウンサンプリング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結果、ノイズを付加した楽曲の「音の良さ」の印象が低下することを確認した。加えて、快適さの指標とされている $\alpha$ 波について、その相対量( $\alpha$ 波含有率と $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比)も低下しており、逆に $\beta$ 波含有率が増加することを示した。

高山<sup>6)</sup> (また、大田・木村・後藤・笹田・新谷・三好<sup>7)</sup>) もクラシックの3つの楽曲音源を用いて同様の検討を行い、脳波指標との関係は確認できなかったものの、ノイズの混入が「躍動感」と「聞こえの良さ」の印象を低下させることを確認した。

高山<sup>4)6)</sup> は楽曲へのノイズの混入の有無の影響について検討したが、本研究では、よりパラメトリックな検討を行った。すなわち、楽曲に混入するノイズのレベル(実験Ⅰ)あるいはスペクトル構造(実験Ⅱ)が「聞こえの良さ」印象並びに脳波に及ぼす影響を調べることを目的とした。

## 2. ノイズレベルの効果の検討(実験Ⅰ)

音楽の聴取において、対象楽曲以外の音が混入してくるのは不快であり、混入する音の大きさが大きくなるほど不快が増すのは日常的な経験から明らかである。ここでは、聴取している楽曲に様々なレベルのノイズが混入するとき、楽曲の印象、特に「(音の)聞こえの良さ」、がどのように損なわれるか、またその時の生理的反応(脳波)にどのような影響があるかを検討した。

### 2.1. 方法

#### 2.1.1. 実験参加者

健常聴力を有する近畿大学在学2~4年生の男子学生18名が実験に参加し、3つの原曲群にランダムに振り分けられた。いずれの参加者も聴覚上の問題についての申し出はなかった。

#### 2.1.2. 評価音

評価音の原曲は、モーツァルト作曲「フルートとハー

プのための協奏曲ハ長調 K.299 第1楽章 アレグロ」(以下、アレグロと略す)、「ピアノ協奏曲 第21番 ハ長調 K.467 第2楽章 アンダンテ」(以下、アンダンテと略す)、「ヴァイオリン協奏曲 第4番 ニ長調 K218 第3楽章 ロンド」(以下、ロンドと略す)であった。

まずこれらの原音を、CD音源からWindows Media Player 10を用いて非圧縮形式Windows PCM(WAVE)で取り込んだ。さらに、フリーの編集ソフト「Audacity」を用いて、音楽の再生時間を4分となるよう編集し、音楽の始まりと終わりに10秒間のフェードイン・フェードアウトの効果をつけた。以後これらの評価音をそれぞれ原音(アレグロ)、原音(アンダンテ)、原音(ロンド)と表記する。

これら3つの原音に加えて、音響編集ソフト(シェアウェアソフト cooledit2000)を用いて、原音と同じ長さで実効値振幅が原音の-6dB、-12dB、-18dB、-24dB、-30dBとなるホワイトノイズを作成し、原音に混入させたもの(ホワイトノイズ付加音)15音を作成した。以後これらの評価音は、ノイズのレベルと原音を示すために、例えば「アレグロ」にS/N比-6dBのノイズを付加した評価音を「ノイズ-6(アレグロ)」のように表記する。図1に各楽曲群の評価音の開始60秒から180秒の区間における周波数スペクトルを示す。

実験では、これらの評価音は、無響室外にあるノートパソコン(TOSHIBA dynabook A8/420CME)のWindows Media Player 10を用いて、無響室内のスピーカー(ONKYO GX-100HD)により呈示された。

#### 2.1.3. 評価シート

先行研究(大田他, 2007)でノイズの影響を受けることが見いだされた「聞こえの良さ(音の良さ)」因子に関する形容詞対から、「良い-悪い」、「好き-嫌い」、「快-不快」、「きれい-汚い」、「面白い-つまらない」の5つを選択し、それらの並びを固定して表記した5段階尺度の評価シートを作成した。

#### 2.1.4. 手続き

実験参加者は、3種のいずれかの原曲の評価音6音を聴取する群にランダムに配置され、無響室内での実験に個別に参加した。実験参加者には、実験開始前に予め、楽曲を聴いてその印象を評価してもらう実験であり、その際同時に脳波を計測することを伝えておいた。実験者は、参加者ととも無響室に入り、脳波測定装置(株式会社トーヨーフィジカル Brain Builder)の1チャンネルセンサーバンドを参加者の額に、アースを左耳たぶに装着した。この設定では左前頭部(Fp1)の脳波を計測することになる。脳波測定装置は無響室外に設置したデスクトップパソコンとRS-232Cで接続され、脳波のモニターと記録には、脳波測定装置にバンドルされたソフトウェア Mind Sensor II for Windows Version4.0 が用いられた。

脳波計測の準備の後、脳波にノイズが混入しておらず、計測状態が安定していることを確認した。続いて実験の

流れや評価シートへの記入法など実験手順を説明してから、スピーカ (ONKYO GX-100HD) からの楽曲の呈示音量を確認して、必要があれば調整した後、無響室を退室した。無響室退室後は、扉を締めて消灯した。その後の無響室と室外との連絡はインターフォンと連絡用のスイッチボタンで行い、必要に応じて直ちに実験者が無響室に入って対応した。

実験は次のように進めた。まず、楽曲提示前1分間程度、実験参加者を安静にさせ、脳波の状態が安定してから評価音を呈示した。4分間の楽曲呈示が終了すると約1分程度で評価シートに回答させ、しばらく安静にさせた後、次の評価音を呈示し、このサイクルを同じ原曲の6つの評価音すべてに対して繰り返した。6つの評価音の順序は実験参加者間でカウンターバランスした。

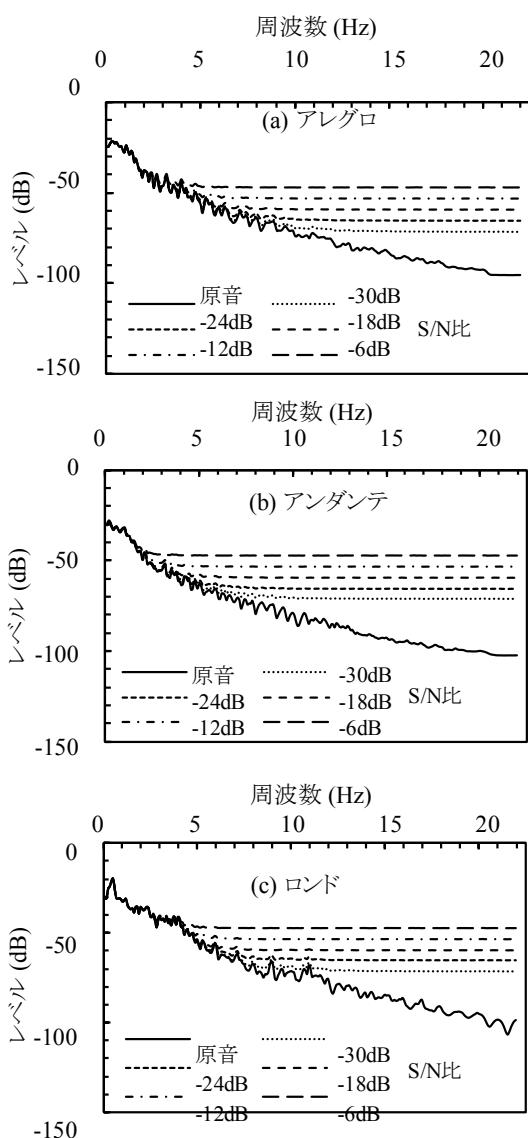


図 1 実験 I の各楽曲における原音とノイズ付加音の周波数スペクトル

## 2.2. 結果

各評価項目への回答について、項目対の最も左側への回答から右側への回答に向けて順に 5, 4, 3, 2, 1 の数を与えて数値化した。数値化した回答を用いて、原曲別に原音とノイズ負荷音に対する平均評定値を求めたところ、原曲によってノイズ付加による印象の劣化の程度に違いが見られたので、以下では、原曲群別に評価シートと脳波の分析を行った。

評価シートの分析では、まず評価シートへの回答全体での平均評定値について、S/N 比を実験参加者内変数とする一要因分散分析を行い、S/N 比の主効果が有意であった場合、傾向分析を行った<sup>8)</sup>。その後、個々の評価項目について同じ分析を行った。

また、脳波の分析については、各評価音 4 分間の脳波測定時間のうち 61 秒～180 秒までの間の脳波データについて FFT により 1 秒毎に 4～22Hz の範囲のパワーを求め、8～13Hz の合計を  $\alpha$  波、14～22Hz の合計を  $\beta$  波のパワーとして、これらの値から評価音聴取時の 3 つの生理的指標、 $\alpha$  波含有率、 $\beta$  波含有率、 $\alpha$  波/ $\beta$  波比を算出した。その後、それぞれ SN 比を実験参加者内変数とする一要因分散分析並びに傾向分析を行った。

最後に、印象評価と脳波指標との関係について、評価全体を含む印象評価項目の評定値と 3 つの脳波指標との相関係数を求めた。

### 2.2.1. アレグロ

原音と各 S/N 比での「アレグロ」評価音聴取時における評価シートへの回答全体での平均評定値、並びに個々の評価項目での平均評定値を図 2(a)に示す。

全体の平均評定値についての分散分析の結果、主効果が有意であり ( $F_{(5,25)}=23.901, p<.001$ )、傾向分析の結果、一次成分のみが有意であった ( $F_{(1,25)}=117.318, p<.001$ )。これは、付加されるノイズのレベルが増加するにしたがって全体的な「音の良さ」の評価は低下する傾向にあったことを示す。

個々の評価項目への回答について同じ分析を行った結果も、いずれの項目でも主効果が有意であり (「良い-悪い」 $F_{(5,25)}=15.963, p<.001$ ; 「好き-嫌い」 $F_{(5,25)}=14.941, p<.001$ ; 「快-不快」 $F_{(5,25)}=20.667, p<.001$ ; 「きれい-汚い」 $F_{(5,25)}=13.560, p<.001$ ; 「面白い-つまらない」 $F_{(5,25)}=13.699, p<.001$ )、ノイズレベルの増加で評価が一次関数的に減少 (対項目の後側に移行) していた (「良い-悪い」 $F_{(1,25)}=77.466, p<.001$ ; 「好き-嫌い」 $F_{(1,25)}=70.815, p<.001$ ; 「快-不快」 $F_{(1,25)}=100.595, p<.001$ ; 「きれい-汚い」 $F_{(1,25)}=65.759, p<.001$ ; 「面白い-つまらない」 $F_{(1,25)}=67.632, p<.001$ )。

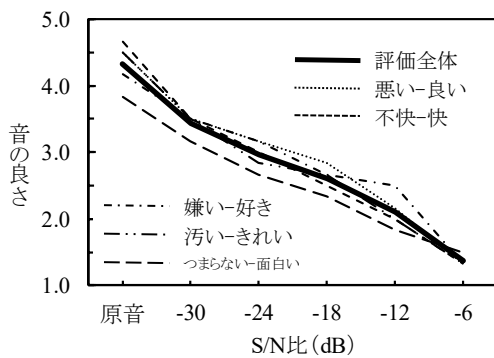
アレグロ評価音聴取時の脳波について、 $\alpha$  波含有率、 $\beta$  波含有率、 $\alpha$  波/ $\beta$  波比の平均値を図 2(b)に示す。いずれの指標においても、主効果が有意であり ( $\alpha$  波含有率  $F_{(5,25)}=3.274, p<.05$ ;  $\beta$  波含有率  $F_{(5,25)}=3.691, p<.05$ ;  $\alpha$  波/ $\beta$  波比  $F_{(5,25)}=3.192, p<.05$ )、それぞれの傾向分析において、一次成分のみが有意水準に達していた ( $\alpha$  波含有率

$F_{(1,25)}=6.786, p<.05$ ;  $\beta$  波含有率  $F_{(1,25)}=12.481, p<.01$ ;  $\alpha$  波/ $\beta$  波比  $F_{(1,25)}=9.486, p<.01$ ). すなわち, ノイズレベルが増加するにともない,  $\alpha$  波含有率と  $\alpha$  波/ $\beta$  波比は単調減少し,  $\beta$  波比は単調増加する傾向があった.

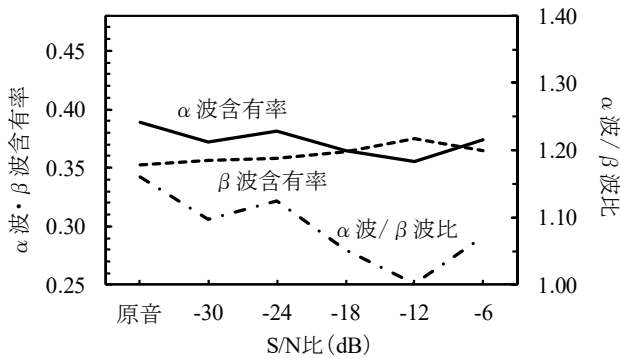
表 1 は, 実験参加者と SN 比レベルを掛け合わせた 36 サンプルについて, 各評価項目の評定値とその平均評定値と, 3 つの脳波指標との相関関係を示したものである. 印象評価と,  $\alpha$  波含有率あるいは  $\alpha$  波/ $\beta$  波比との間に正方向への相関,  $\beta$  波含有率との間に負方向への相関が見られるが, いずれも有意水準には達しなかった.

2.2.2. アンダンテ

「アンダンテ」評価音聴取時の平均評定値を図 3(a)に



(a) 印象評価



(b) 脳波指標

図 2 S/N 比の低下にともなう「アレグロ」の「音の良さ」印象と脳波指標の変化

表 1 「アレグロ」聴取における印象評価と脳波指標との相関

	$\alpha$ 波含有率	$\beta$ 波含有率	$\alpha$ 波/ $\beta$ 波比
評価全体	0.162	-0.110	0.125
悪い-良い	0.196	-0.112	0.145
不快-快	0.150	-0.131	0.131
嫌い-好き	0.139	-0.110	0.114
汚い-きれい	0.136	-0.054	0.082
つまらない-面白い	0.147	-0.124	0.126

示す. 評価シートへの回答全体での平均評定値の分散分析において, アレグロと同様, 主効果が有意であり ( $F_{(5,25)}=6.256, p<.001$ ), 傾向分析の結果も一次成分のみが有意であった ( $F_{(1,25)}=28.258, p<.001$ ).

個々の評価項目についての同じ分析の結果も, 「つまらない-面白い」以外の項目で主効果が有意であり (「悪い-良い」  $F_{(5,25)}=3.365, p<.05$ ; 「嫌い-好き」  $F_{(5,25)}=3.258, p<.05$ ; 「不快-快」  $F_{(5,25)}=10.107, p<.001$ ; 「汚い-きれい」  $F_{(5,25)}=4.413, p<.01$ ), 傾向分析の結果も一次成分のみ有意水準に達していた (「悪い-良い」  $F_{(1,25)}=13.352, p<.001$ ; 「嫌い-好き」  $F_{(1,25)}=15.602, p<.001$ ; 「不快-快」  $F_{(1,25)}=46.107, p<.001$ ; 「汚い-きれい」  $F_{(1,25)}=17.568, p<.001$ ).

アンダンテ聴取時の脳波指標については図 3(b)に示す. 分散分析の結果は,  $\alpha$  波含有率,  $\beta$  波含有率,  $\alpha$  波/ $\beta$  波比のいずれにおいても有意水準に達していなかった.

表 2 に, 各評価項目の評定値とその平均評定値と, 3 つの脳波指標との相関関係を示す. 「汚い-きれい」以外の項目と脳波指標の間には, アレグロと同様,  $\alpha$  波含有率あるいは  $\alpha$  波/ $\beta$  波比と正の相関,  $\beta$  波含有率との間には負の相関が見られ, 「つまらない-面白い」と  $\beta$  波含有率との相関  $-0.331$  は有意であった ( $p<.05$ ). 他方, 「汚い-きれい」については,  $\alpha$  波含有率あるいは  $\alpha$  波/ $\beta$  波比と負の相関の傾向があった ( $p<.10$ ).

2.2.3. ロンド

図 4(a)に「ロンド」評価音聴取時の平均評定値を示す. 評価シートへの回答全体での平均評定値と「汚い-きれい」の評定値について主効果が有意であり (全体  $F_{(5,25)}=2.708, p<.05$ ; 「汚い-きれい」  $F_{(5,25)}=3.365, p<.05$ ), 傾向分析も一次成分のみが有意であった (全体  $F_{(1,25)}=13.328, p<.001$ ; 「汚い-きれい」  $F_{(1,25)}=21.127, p<.001$ ).

脳波についての分散分析の結果は,  $\alpha$  波含有率,  $\beta$  波含有率,  $\alpha$  波/ $\beta$  波比のいずれにおいても有意水準に達していなかった [図 4(b)].

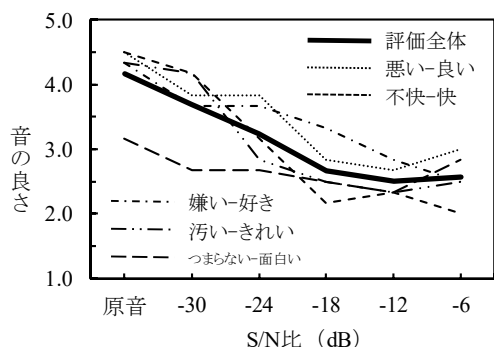
表 3 に, 各評価項目の評定値とその平均評定値と, 3 つの脳波指標との相関関係を示す.  $\beta$  波含有率はいずれの評定値とも負の相関を示すが, いずれも有意水準に達していなかった. 他方,  $\alpha$  波含有率はいずれの評定値とも有意な正の相関あるいはその傾向を示し,  $\alpha$  波/ $\beta$  波比は「不快-快」以外の評定値と有意な正の相関あるいはその傾向を示した.

2.3. 考察

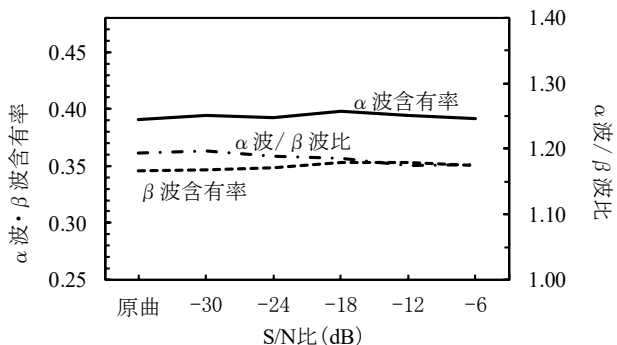
実験の結果から, 楽曲に混入するホワイトノイズのレベルが増加すると, いずれの楽曲に対しても「音の良さ」の主観的評価が低下し, その下位項目についても同様のことが概ね確認された. ただ, このことが最も明確に現れたのは「アレグロ」であり, 他の 2 曲については効果の変動幅は狭まっており, 特に「ロンド」については, 評価全体と下位項目の「きれい-汚い」でのみ効果が認められた.

脳波指標についても, 「アレグロ」で快適さの生理的指

楽曲に加わるノイズのレベルとスペクトル特性が及ぼす心理生理的影響



(a) 印象評価



(b) 聴取時の脳波指標

図3 S/N比の低下ともなう「アンダンテ」の「音の良さ」印象と脳波指標の変化

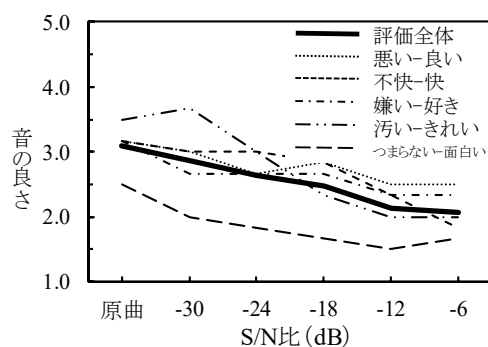
表2 「アンダンテ」聴取における印象評価と脳波指標との相関

	α波含有率	β波含有率	α波/β波比
評価全体	0.030	-0.142	0.080
悪い-良い	0.017	-0.194	0.104
不快-快	0.120	-0.207	0.160
嫌い-好き	0.174	-0.229	0.210
汚い-きれい	-0.287 +	0.199	-0.279 +
つまらない-面白い	0.272	-0.331 *	0.329 +

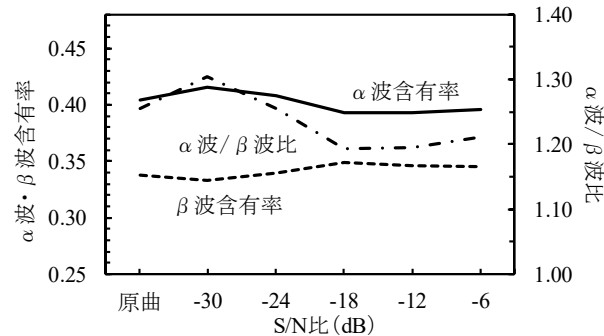
+ $p < .10$ , \* $p < .05$

標とされるα波成分の脳波全体に対する割合はほぼ単調に減少し、逆にβ波の含有率が増加し、両者の合成であるα波/β波比も減少することが示された。しかし、他の2つの楽曲については、S/N比と脳波指標との関係は認められなかった。

楽曲自体の音響的特性や加算されたノイズのレベルと独立に、印象評価と脳波指標との関係を見たところ、「ロンド」においてのみ印象の評定値が高くなるほどα波含有率とα波/β波比が増加していた。この結果は、脳波の変化が、刺激音の種類というよりも刺激音を不快と感じるか否かという心理的反応に依存することを示した三宅らりの結果を支持するものである。ただ、「アンダンテ」で示された「汚い-きれい」評価とα波含有率あるい



(a) 印象評価



(b) 聴取時の脳波指標

図4 S/N比の低下ともなう「ロンド」の「音の良さ」印象と脳波指標の変化

表3 「ロンド」聴取における印象評価と脳波指標との相関

	α波含有率	β波含有率	α波/β波比
評価全体	0.495 **	-0.277	0.435 **
悪い-良い	0.355 *	-0.248	0.346 *
不快-快	0.283 +	-0.142	0.232
嫌い-好き	0.357 *	-0.264	0.362 *
汚い-きれい	0.456 **	-0.277	0.406 *
つまらない-面白い	0.405 *	-0.099	0.287 +

+ $p < .10$ , \* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

はα波/β波比と負の相関の傾向は、「きれい」評価が高まるにつれてα波関連指標が向上するという他の楽曲の傾向に反している。これが「アンダンテ」に特異的な効果であるのか、実験操作上の不具合を反映したものであるのかは、別途検討する必要がある。

### 3. ノイズのスペクトル構造の効果の検討 (実験II)

先の実験で、影響を受ける大きさに違いはあるものの、楽曲聴取時に混入するノイズのレベルに応じて、「聞こえの良さ」印象は低下し、快適さの指標とされるα波相対量(ここではα波含有率とα波/β波比)も概ね低下することが示された。

他方、ノイズのスペクトル構成が印象評価に及ぼす効

果についても、三宅ら<sup>9)</sup>が報告している。それによると、同一騒音レベルの場合、高周波数帯域の成分が強い、金属の金杓子でフライパンをひっかく音 (FN) やスリガラスをひっかく音 (GN) は、ホワイトノイズ (WN) や低周波数帯域の成分が強いシンセサイザーノイズ (SN) よりも不快感が強いことを示した。また、中嶋・橋本・田原<sup>9)</sup>によると、音環境の印象についてピンクノイズはホワイトノイズよりも高く評価されていた。これらの結果は、ノイズに含まれる高周波数帯域成分の相対量が多いほど、不快感が増し、楽曲にノイズが混入した場合、楽曲の「音の良さ」印象を低下させることを示唆する。

三宅らの研究<sup>9)</sup>では、ノイズのスペクトル構造と不快感との関係について明らかにしているが、ノイズのスペクトル構造と脳波指標との関係については必ずしも明らかでなく、不快印象と $\alpha$ 波成分とが負の相関関係にあるとだけ述べている。ここでは、楽曲原音にフラットな周波数特性を持つホワイトノイズ、 $1/f$ の特性を持つピンクノイズ、 $1/f^2$ の特性をもつブラウンノイズを付加することで、楽曲に対する印象評価とその時の生理反応にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることを目的とした。

### 3.1. 方法

#### 3.1.1. 実験参加者

健常聴力を有する近畿大学在学 2~4 年生の男子学生 19 名が実験に参加した。いずれの参加者も聴覚上の問題についての申し出はなかった。また、これらの参加者のうち 8 名は、実験 I にも参加していた。

実験日程の都合で、19 名の参加者のうち、3 つの楽曲群すべてで評価実験に参加した者は 5 名、いずれか 2 つの楽曲群の実験に参加した者は 6 名、いずれか 1 つの楽曲群の実験に参加した者は 8 名であった。その結果、アンダンティーノの評価実験には 10 名、プレストでの評価実験には 13 名、モルトの評価実験には 12 名が参加した。

#### 3.1.2. 評価音

評価音の原曲は、モーツァルト作曲「フルートとハープのための協奏曲 ハ長調 K.299 第 2 楽章：アンダンティーノ」(以下、アンダンティーノと略す)、「ピアノ協奏曲第 9 番 変ホ長調 K.271 第 3 楽章(ロンド):プレスト」(以下、プレストと略す)、「交響曲第 40 番 第 4 番 ト長調 K.550 第 1 楽章：モルト・アレグロ」(以下、モルトと略す)であった。

CD 音源から Windows Media Player 10 を用いて非圧縮形式 Windows PCM で取り込み、先の実験同様の処理をした評価音原音を作成した。以後これらの評価音をそれぞれ原音 (プレスト)、原音 (アンダンティーノ)、原音 (モルト) と表記する

また原音の他に、音編集ソフトを用いて原音と同じ長さの 3 タイプのノイズを、原音の実効値振幅の-26dB のレベルで作成し、それぞれ原音に加算した評価音 9 音を用意した。3 タイプのノイズは、パワースペクトルが全

周波数帯域にわたり一定となるホワイトノイズ、パワースペクトルが周波数に反比例して減少する、すなわち  $1/f$  で減少するピンクノイズ、パワースペクトルが周波数の二乗で反比例して減少する、すなわち  $1/f^2$  で減少するブラウンノイズであった。これらについては、以後ノイズのタイプと原曲がわかるように、例えば、「ホワイトノイズ (プレスト)」のように表記する。図 5 に各楽曲の 4 つの評価音の 60 秒から 180 秒の区間における周波数スペクトルを示す。プレストとモルトにおけるピンクノイズ付加音とホワイトノイズ付加音のスペクトルの違いは、アンダンティーノにおける両者の違いほど大きくはなく、この点が後に述べる実験結果に影響した可能性もあった。

#### 3.1.3. 評価項目

先の実験で用いた形容詞対のうち、実験参加者から評価しにくいとの意見があった「面白い-つまらない」を除く 4 対に、「音の良さ」因子 (大田他, 2006) に属する形容詞対「澄んだ-濁った」、「落ち着く-落ち着かない」、「滑

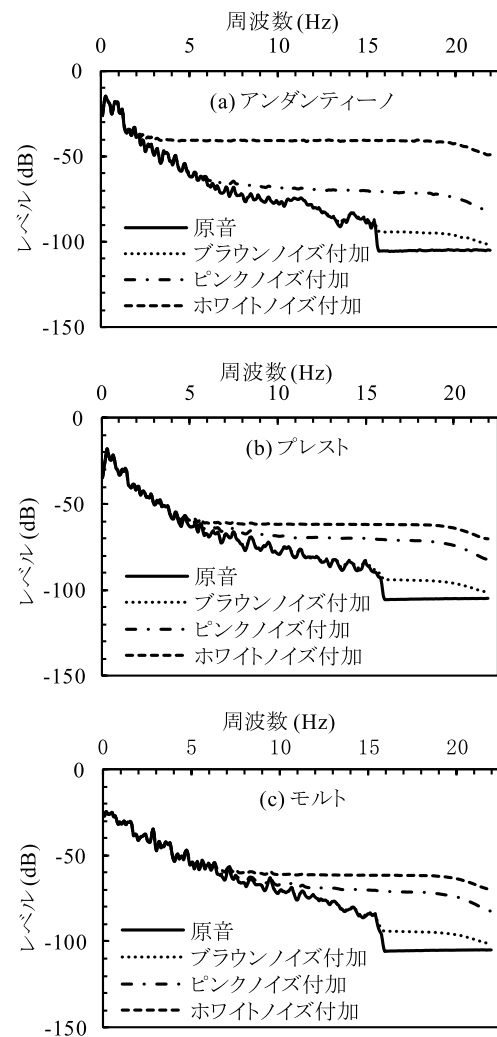


図 5 実験 II の各楽曲における原音とノイズ付加音の周波数スペクトル

らか-荒い」の3対を加えた計7対を評価項目とした。実験で用いる評価シートは、これら7形容詞対を段階尺度で表記し、配置を固定して作成した。

### 3.1.4. 手続き

実験参加者は、3つの原曲の評価音群毎に実施日を分け、無響室内での実験に個別に参加した、実験Iと同様、実験参加者には、実験開始前に予め、楽曲を聴いてその印象を評価し、併せて楽曲聴取時の脳波を計測する実験であると伝えてあった。

評価音の呈示方法、評価音聴取中の脳波の計測方法、評価音呈示後の印象評価方法など実験の一連の手順は、実験Iとほぼ同様であった。特定の原曲の評価音群での4つの評価音の呈示順序は実験参加者間でカウンターバランスした。

### 3.2. 結果

前記のように、各楽曲群への実験参加者の配分が十分無作為には行えなかったため、以下では、先の実験と同様に、楽曲群毎に評価項目全体の平均評定値と各評価項目の平均評定値、並びに脳波の3つの指標それぞれについての、ノイズのタイプを実験参加者内要因とする一要因分散分析と傾向分析<sup>8)</sup>を行った。併せて、印象評価評定値と脳波指標との相関を求めた。

#### 3.2.1. アンダンティーノ

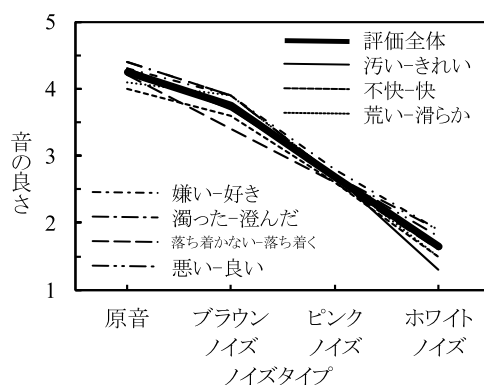
図6(a)に原音と3種のノイズ付加音に対する評価項目全体の平均評定値と各評価項目の平均評定値を示す。評価項目全体の平均評定値について分散分析を行った結果、ノイズタイプの主効果が有意であり( $F_{(3,27)}=29.349, p<.001$ )、傾向分析も一次成分のみ有意であった( $F_{(1,27)}=85.942, p<.001$ )。

下位項目の評定値についても同様の分析の結果、いずれにおいても主効果が有意であり(「悪い-良い」 $F_{(3,27)}=21.789, p<.001$ ; 「嫌い-好き」 $F_{(3,27)}=16.564, p<.001$ ; 「不快-快」 $F_{(3,27)}=18.974, p<.001$ ; 「汚い-きれい」 $F_{(3,27)}=26.689, p<.001$ ; 「濁った-澄んだ」 $F_{(3,27)}=21.000, p<.001$ ; 「落ち着かない-落ち着く」 $F_{(3,27)}=18.653, p<.001$ ; 「あらい-滑らか」 $F_{(3,27)}=29.000, p<.001$ )、傾向分析の結果も「あらい-滑らか」以外では一次成分のみが有意であった(「悪い-良い」 $F_{(1,27)}=63.947, p<.001$ ; 「嫌い-好き」 $F_{(1,27)}=48.249, p<.001$ ; 「不快-快」 $F_{(1,27)}=54.873, p<.001$ ; 「汚い-きれい」 $F_{(3,27)}=77.586, p<.001$ ; 「濁った-澄んだ」 $F_{(1,27)}=61.648, p<.001$ ; 「落ち着かない-落ち着く」 $F_{(1,27)}=55.779, p<.001$ )。「あらい-滑らか」については、一次成分( $MS=41.500, F_{(1,27)}=81.000, p<.001$ )と二次成分 $MS=2.500, F_{(1,27)}=5.000, p<.05$ )とが有意であったが、一次成分が最も優勢であった。

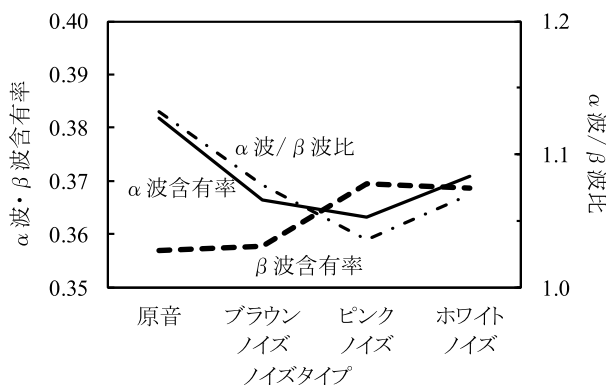
図6(b)に原音と3種のノイズ付加音に対する3つの脳波指標の平均値を示す。それぞれの指標についての分散分析の結果、 $\beta$ 波含有率で主効果が有意であり( $F_{(3,27)}=3.430, p<.05$ )、 $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比でもその傾向が見られた( $F_{(3,27)}=2.366, p<.10$ )。傾向分析の結果、 $\beta$ 波含有率

( $F_{(1,27)}=8.256, p<.01$ )では一次成分のみ有意であったが、 $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比では一次成分( $F_{(1,27)}=3.901, p<.10$ )、二次成分( $F_{(1,27)}=2.918, p<.10$ )とも有意水準にはわずかにとどかなかった。

評価項目への評定値と脳波指標との相関係数を表4に示す。評定値と $\alpha$ 波含有率あるいは $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比とは正の相関、 $\beta$ 波とは負の相関を示すが、「落ち着かない-落ち着く」の評定値のみが3つの脳波指標と有意な相関を示した。すなわち、落ち着く印象が強いと $\alpha$ 波含有率あ



(a) 印象評価



(b) 聴取時の脳波指標

図6 ノイズのスペクトル構造による「アンダンティーノ」の「音の良さ」印象と脳波指標の変化

表4 「アンダンティーノ」聴取における印象評価と脳波指標との相関

	$\alpha$ 波含有率	$\beta$ 波含有率	$\alpha$ 波/ $\beta$ 波比
評価全体	0.161	-0.269 +	0.218
きれい-汚い	0.089	-0.213	0.153
快-不快	0.024	-0.169	0.088
滑らか-荒い	0.084	-0.262	0.162
好き-嫌い	0.233	-0.232	0.252
澄んだ-濁った	0.185	-0.256	0.225
落ち着く-落ち着かない	0.317 *	-0.434 **	0.376 *
良い-悪い	0.140	-0.215	0.191

+ $p<.10, p<.05, p<.01$

るいはα波/β波比は増加し、β波含有率は減少する傾向があった。

### 3.2.2. プレスト

図 7(a) に原音と各ノイズ付加音に対する評価項目全体の平均評定値と各項目の平均評定値を示す。「嫌い-好き」を除く下位項目の平均評定値について、ノイズタイプの主効果が有意であった(全体  $F(3,36)=5.642, p<.01$ ; 「悪い-良い」  $F(3,36)=3.901, p<.05$ ; 「不快-快」  $F(3,36)=3.855, p<.05$ ; 「汚い-きれい」  $F(3,36)=4.165, p<.05$ ; 「濁った-澄んだ」  $F(3,36)=6.888, p<.001$ ; 「落ち着かない-落ち着く」  $F(3,36)=4.244, p<.05$ ; 「あらい-滑らか」  $F(3,36)=3.564, p<.05$ )。傾向分析の結果は、「嫌い-好き」を除く全ての項目で一次成分が有意であったが(全体  $F(1,36)=9.227, p<.01$ ; 「悪い-良い」  $F(1,36)=5.319, p<.05$ ; 「不快-快」  $F(1,36)=6.940, p<.05$ ; 「汚い-きれい」  $F(1,36)=8.702, p<.001$ ; 「濁った-澄んだ」  $F(1,36)=8.586, p<.01$ ; 「落ち着かない-落ち着く」  $F(1,36)=6.747, p<.05$ ; 「あらい-滑らか」  $F(1,36)=5.6840, p<.05$ )、「不快-快」と「あらい-滑らか」を除く項目では三次成分が有意であった(全体  $F(1,36)=6.197, p<.05$ ; 「悪い-良い」  $F(1,36)=5.319, p<.05$ ; 「汚い-きれい」  $F(1,36)=3.643, p<.05$ ; 「濁った-澄んだ」  $F(1,36)=10.542, p<.01$ ; 「落ち着かない-落ち着く」  $F(1,36)=5.211, p<.05$ )。三次傾向については、ノイズ成分の周波数帯域への広がりから期待されるように原音、ブラウンノイズ付加、ピンクノイズ付加、ホワイトノイズ付加の順に評定値が下降するのではなく、ピンクノイズの付加で最も評定が低下したことによるものであった。

図 7(b) に示した脳波指標の変動については、いずれの指標に関してもノイズタイプによる変動は有意水準に達しなかった。

評価項目への解答と脳波指標との関係を表 5 に示す。α波含有率が全体、「不快-快」、「汚い-きれい」、「濁った-澄んだ」、「落ち着かない-落ち着く」との間に有意かその傾向の相関を示した。また、α波/β波比については、「落ち着かない-落ち着く」との相関の傾向が示された。

### 3.2.3. モルト

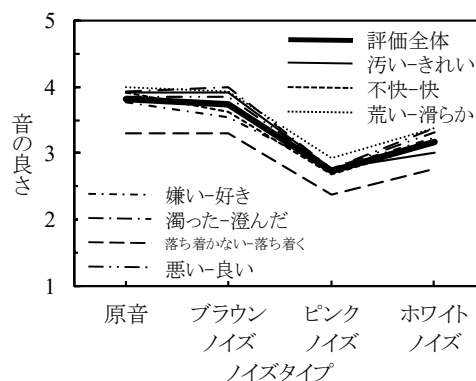
評価項目全体の平均評定値と各項目の平均評定値を図 8(a) に示す。「あらい-滑らか」を除く全ての評価項目の評定値に関して、ノイズタイプの主効果が有意かその傾向にあり(全体  $F(3,33)=7.091, p<.001$ ; 「悪い-良い」  $F(3,33)=7.091, p<.001$ ; 「嫌い-好き」  $F(3,33)=7.710, p<.001$ ; 「不快-快」  $F(3,33)=5.500, p<.01$ ; 「きたない-きれい」  $F(3,33)=5.981, p<.01$ ; 「濁った-澄んだ」  $F(3,33)=4.909, p<.01$ ; 「落ち着かない-落ち着く」  $F(3,33)=9.286, p<.001$ )、傾向分析の結果も一次成分のみが有意であった(全体  $F(1,33)=21.008, p<.001$ ; 「悪い-良い」  $F(1,33)=21.987, p<.001$ ; 「嫌い-好き」  $F(1,33)=22.390, p<.001$ ; 「不快-快」  $F(1,33)=16.246, p<.001$ ; 「汚い-きれい」  $F(1,33)=17.330, p<.001$ ; 「濁った-澄んだ」  $F(1,33)=13.247, p<.001$ ; 「落ち着かない-落ち着く」  $F(1,33)=27.698, p<.001$ )。

図 8(b) に示す脳波指標については、いずれの指標に関してもノイズタイプによる変動は有意水準に達しなかった。

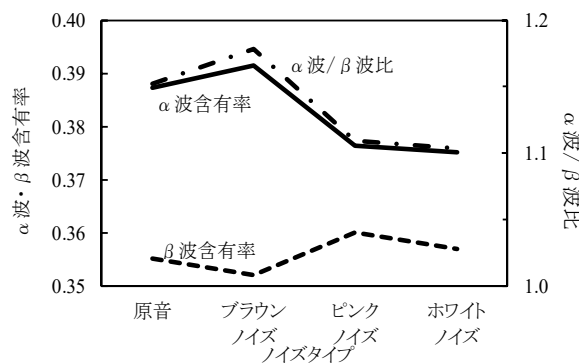
表 6 に示すように、評価項目への解答と脳波指標との関係については、「落ち着かない-落ち着く」と3つの脳波指標との間に有意な相関が得られ、また「不快-快」の評価とβ波含有率との間に負の相関傾向が見られた。

### 3.3. 考察

原曲、ブラウンノイズ、ピンクノイズ、ホワイトノイズの順でノイズの高周波数成分のエネルギーが強くなるのにもない、「プレスト」を除く2つの楽曲群で「音の



(a) 印象評価



(b) 聴取時の脳波指標

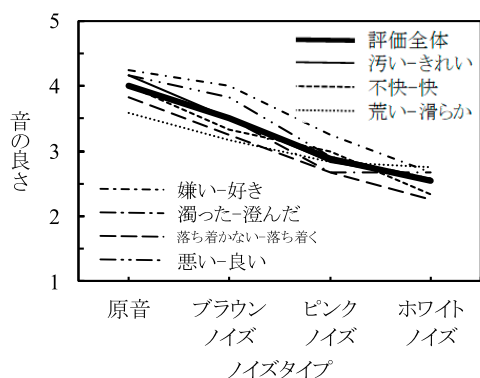
図 7 ノイズのスペクトル構造による「プレスト」の「音の良さ」印象と脳波指標の変化

表 5 「プレスト」聴取における印象評価と脳波指標との相関

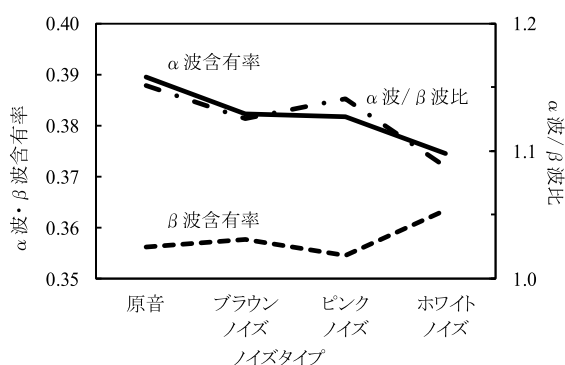
	α波含有率	β波含有率	α波/β波比
評価全体	0.296 *	0.104	0.127
きれい-汚い	0.255 +	0.124	0.131
快-不快	0.308 *	0.129	0.132
滑らか-荒い	0.186	0.138	0.168
好き-嫌い	0.169	-0.018	0.005
澄んだ-濁った	0.265 +	0.119	0.114
落ち着く-落ち着かない	0.411 *	0.207	0.245 +
良い-悪い	0.126	-0.096	-0.052

+p<.10, p<.05





(a) 印象評価



(b) 聴取時の脳波指標

図8 ノイズのスペクトル構造による「モルト」の「音の良さ」印象と脳波指標の変化

表6 「モルト」聴取における印象評価と脳波指標との相関

	α波含有率	β波含有率	α波/β波比
評価全体	0.122	-0.183	0.139
きれい-汚い	0.004	-0.105	0.026
快-不快	0.149	-0.262 +	0.186
滑らか-荒い	0.058	-0.050	0.053
好き-嫌い	0.093	-0.127	0.108
澄んだ-濁った	-0.010	-0.051	0.009
落ち着く-落ち着かない	0.338 *	-0.331 +	0.329 *
良い-悪い	0.109	-0.164	0.124

+ $p < .10$ ,  $p < .05$

良さ」の主観的評価が低下し、「アンダンティーノ」では、脳波指標についても、β波含有率が増加し、α波/β波比もほぼ単調に減少していく傾向があった。また、心理的評価と脳波指標との関係について、「落ち着く-落ち着かない」の評価項目は、いずれの楽曲群においてもα波含有率とα波/β波比との間で有意な正の相関を示し、アンダンティーノではβ波含有率と有意な負の相関を示した。加えて、「プレスト」では、「音の良さ」の全体的評価と、「不快-快」評価に関して、α波含有率との有意な相関が得られた。

以上の結果は、元の楽曲に高周波数帯域のノイズエネ

ルギーが増加することで、「音の良さ」印象の評価が低下することを概ね支持するものであった。他方、以前の研究では、「音の良さ」や「快適さ」が低下すると、α波成分の相対量が低下し、逆にβ波成分の相対量が増加する傾向が認められているが、この傾向は一部の楽曲群でしか確認できなかった。

評価音の音響的操作とは関係なく、実験参加者の評価音に対する印象評価と、評価音聴取時の脳波指標との関連性を検討した結果は、α波相対量が「音の良さ」というよりも評価音聴取時の「落ち着き感」に関係することを示した。α波は、一般に、閉眼安静時優勢に見られ、リラックス状態の指標として用いられている。この結果はそれ沿ったものである。しかし、α波成分の増減が心理的評価と対応づけられる点では、実験Ⅰの結果や三宅らりの結果と一致するものの、ここで対応づけられる印象は「落ち着き感」の印象であり、「快-不快」や「音の良さ」の印象ではない。このような脳波指標と対応づけられる印象評価次元の違いが単に選択した評価項目の違いによる表面的な問題であるのか、印象評価そのものの内的過程の違いであるのかは明らかではない。心理的評価と脳波指標との関係については、評価項目の選別も含めてさらに検討する必要がある。

#### 4. おわりに

以前の研究 (例えば 1) 2) 4) 6) において、楽曲にノイズが混入すると楽曲の「音(聞こえ)の良さ」印象を損ない、楽曲聴取時の脳波反応において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ことが見いだされていた。今回の研究では、これらの点を更に詳しく見るために、楽曲に混入するノイズのレベル、あるいはスペクトル構造を操作した二つの実験を行った。

実験の結果、ノイズの付加により楽曲の「音(聞こえ)の良さ」印象は低下するという以前の研究の結果を確認するとともに、一部の楽曲においては、脳波指標への影響についても同様に確認することができた。加えて、全体的なノイズのレベルが増加するか、高周波数帯域へのノイズレベルが増加するにともない、「音の良さ」の主観的評価はほぼ単調に低下するという結果が得られた。また、一部の楽曲では、全体的なノイズレベルの増加あるいは高周波数帯域のノイズレベルの増加にともない、脳波のα波成分の相対量(α波含有率とα波/β波比)が増加し、β波含有率はほぼ単調に減少することも見いだされた。

他方、他の楽曲では、評価音の音響的特性よりも、評価音への印象自体が脳波指標と関連することも見いだした。ただし、実験Ⅰでは「音の良さ」印象が向上するとともにα波相対量が増加し、β波含有率が低下するという以前見いだされていた結果を確認できたが、実験Ⅱではむしろ「落ち着き感」がα波相対量と関係するという結果であった。評価項目の違いによるものなのか、そ

もその評価過程の違いによるものであるのかは、今後の検討課題である。

いずれにしても、本研究では、楽曲に混入するノイズの音響特性を組織的に操作することによって、楽曲の印象が対応的に劣化するだけでなく、生理的にも同様に対応的に影響を及ぼすことを、今回の研究で確認することができたと言えよう。

#### 引用文献

- 1) 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.
- 2) 田崎新二・村山伸樹・伊賀崎伴彦 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.
- 3) Horii, A., Yamamura, C., Katsumata, T., & Uchiyama, A. Physiological response to unpleasant sounds. Journal of International Society of Life Information Science, 22, 536-544, 2004.
- 4) 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.
- 5) 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平成 17 年度卒業論文, 2006.
- 6) 高山智行 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 近畿大学工学部研究報告, 52, 印刷中.
- 7) 大田優介・木村光宏・後藤雄介・笹田雄太・新谷康史・三好規広 音質評価に関する心理生理学的研究Ⅱ 近畿大学工学部情報システム工学科平成 18 年度卒業論文, 2007.
- 8) 山内光哉 心理・教育のための分散分析と多重比較—エクセル・SPSS 解説付き— サイエンス社, 2008.
- 9) 中嶋一志・橋本修左・田原靖彦 ゆらぎ音環境の生理心理的影響に関する研究 日本建築学会計画系論文集 61(480), 77-85, 1996

#### 注記

本論文は、平成 19 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Ⅲ」(馬屋原惇平, 山本拓也, 金谷祐輔, 金本一馬, 武田健吾, 永吉大倫) 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。内容の一部は 2008 年度日本心理学会第 70 回大会で発表した。