

## 音の印象評価と脳波

高山 智行

### Evaluation of sound impression and EEGs

Tomoyuki TAKAYAMA

The purpose of this study is to explore the relationship of acoustic features of sound, listener's impressions to them, and their EEG patterns. The two factors, named "goodness of sounds" and "fineness of sounds", were extracted from a factor analysis for the impressions of transient sounds and continuous music sounds by the Semantic Differential method. Using psychological scales based on these two factors, subjective evaluations of original music sounds, down-sampled sounds and noise-added sounds of originals were obtained, and simultaneously EEGs were measured. For the "goodness of sounds" factor, noise-added sounds were rated as lower than originals and down-sampled sounds, but for the "fineness of sounds" factor, no effect of processing of sound was observed. In EEGs, by the addition of noise to the original sounds, power spectrum components of  $\beta$  waves increased, and power spectrum components of  $\alpha$  waves and  $\alpha/\beta$  ratios were reduced. Further, it was shown that  $\alpha/\beta$  ratios in hearing the down-sampled sounds tended to be lower than in hearing the original music sounds. This result suggests that unperceived changes of sounds could be detected by monitoring the brain activities.

#### 1. はじめに

われわれは日頃様々な音を聞きながら生活している。それらの音に対して、われわれは注意を向けその伝える意味を聞きとったり、音それ自体に浸ったり、またそれを無視したりとまた様々に反応する。音に対する反応は、例えば、音のほうを向く、驚きで心臓がドキドキする等、当然身体的・生理的にも現れる。

本研究は、音を聞いた時に生じる心理的・感性的反応である印象の生起と、生理的反応である脳波との関係を明らかにすること、すなわち、ある音を聞いたときにどのような印象が生じ、それが特定の脳波パターンと対応するかを検討することによって、主観的な感性評価に替わる感性の生理的指標を見出すことに関心がある。

音の印象と脳波との関係については、音の快・不快に

関して多くの研究がなされている。三宅・田中・斉藤<sup>1)</sup>は、同一騒音レベルでの4種の刺激音の不快さの比較を行ったところ、騒音レベルが等しくても不快さが異なること、また刺激音聴取時の脳波パターンは、刺激の種類ではなく、刺激に対する不快さの程度に左右され、不快さを感じるほど $\alpha$ 波が減少し徐波が増すことを示した。

不快な音に対する脳波 $\alpha$ 波成分の(相対的な)減少は、田崎・伊賀崎・村上<sup>2)</sup>、Horii, Yamamura, Katsumata, & Uchiyama<sup>3)</sup>、山下・上岡<sup>4)</sup>の研究においても示されている。田崎ら<sup>2)</sup>は、ヒトに8種類の音楽と白色雑音および正弦波を呈示し、その際の官能検査結果と脳波および脈波の変化との関連づけを行った結果、不快な音を聴取した場合は脳波 $\beta$ 波成分が増大し、他方、快い音や澄んだ音を聴取した場合は脳波 $\alpha$ 波成分および $\theta$ 波成分が増大

する傾向のあることを示した。

Horii et al.<sup>3)</sup> は、音環境への不快感が複数の音の組合せによる影響が原因となっている可能性を示唆し、その際、消防車のサイレン音やホワイトノイズは $\alpha$ 波を有意に減少させること、一定期間後の同じ計測でも信頼性の高いデータが得られることを示した。

また、山下・上岡<sup>4)</sup> は、聴音時の脳波と脳血流の情報をを用いた情動反応の識別法を検討する際に、不快音聴取時には $\beta$ 波と fast  $\alpha$ 波 (12~15Hz) の帯域に強い反応があり、快適音聴取時には不快音聴取時に比べて同帯域の反応が弱くなるという結果を得ている。

これらの研究では、田崎ら<sup>2)</sup>の研究を除くと、音の快・不快という次元での評価と脳波パターンとの関係を捉えたものではあるが、音の他の感性評価次元と脳波との関係については必ずしも明らかではない。三宅ら<sup>1)</sup>は、音刺激の不快感を評価させ、それと脳波成分との関係を検討しており、Horii et al.<sup>3)</sup>、山下・上岡<sup>4)</sup>の研究では事前に快刺激と不快刺激が設定されており、それらに対する脳波パターンが分析されていた。

他方、田崎ら<sup>2)</sup>は、感性評価項目として「快-不快」以外にも「動的-静的」、「濁った-澄んだ」、「ユーモラス-生真面目」を用いて、各評価尺度での値と(無音時から有音時への)脳波(の変化)の関係を分析した。その結果、「不快」と感じられる音に対して正中前頭部(Fz)で $\beta$ 波が増加し、「快」、「静的」、「澄んだ」、「生真面目」と感じられる音に対してFzと正中頭頂部(Pz)で $\alpha$ 波が増加することを見いだした。このことは、評価次元の違いが脳波パターンの違いとして現れることを示唆する。

また、村上<sup>5)</sup>は、音楽や自然の環境音を聞いているときの脳波を測定し、 $\delta$ 波、 $\theta$ 波、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波帯域の含有率や各帯域の強さと、それらの音楽や自然音への印象評価の結果とを関係づけることで、「外部刺激により強く感動したときや強い印象を受けたとき、大きな強さの $\delta$ 波が現れる」との仮説を立証した。すなわち、快・不快以外の評価次元での脳波との対応を示している。

三戸・浜野<sup>6)</sup>は、音楽要素の中の「旋律」を操作し、音楽の印象評価と脳波の測定を行った。長調と短調それぞれの楽曲とその旋律を反転させた曲について、SD法を用いた印象評価の結果がそれぞれ因子分析され、原曲については活性的な因子が、反転させた曲では沈静的な因子が見出された。また、脳波の $\alpha$ 波成分と $\beta$ 波成分について、安静時の曲聴取時とのパワー差が求められ、頭皮上の電極位置で旋律の違いにより比較をした結果、旋律の違いによる脳波への影響は、左右側頭後部(T5, T6)において、特に $\alpha$ 波に関して認められたが、各旋律聴取における電極位置でのパワー差の違いはいずれの成分に関してもほとんど認められなかった。これらの結果は、「旋律」の操作が、心理的反応と生理的反応にともに反映されることを示すものである。しかし、心理的反応と生理的反応との対応関係については明確にされていない。

以上のことから、音の快・不快の印象と脳波パターンとの間の対応関係は比較的明確にされてきているものの、他の評価次元については明らかにされていない。さらに言えば、音の印象評価と脳波パターンとの関係について、ほとんどの研究で予め用意された少数の評価尺度を用いて検討しており、SD法の結果を因子分析することで得られる潜在的な評価因子を用いてその関係を探ろうとした研究は少ない。加えて、用いられる音は、ある時間持続する音楽や環境音等であり、音の物理的特性と印象評価との関係あるいは脳波パターンとの関係については検討されておらず、ましてや過渡的特性をもつ短音については検討されていない。

本研究ではこれらの点を踏まえて、持続音の聴取と短音の聴取に共通して利用できる印象評価項目を求め、音響的に操作した評価音を用いることにより、それら評価項目を通して得られる潜在評価因子と評価音への音響的操作、そしてそこで得られる脳波パターンの三者関係を明らかにすることを目的とした。音印象の評価に影響を与えると考えられる原音への音響的操作として、ノイズの付加と音の再生周波数帯域の制限がある。ここでは、ノイズ付加については、音の再生時に同じ長さのノイズを加えることで、再生帯域の制限については、短音では高域周波数を除去することで、持続音では録音した音をダウンサンプリングして再生することで実現した。

## 2. 音の印象評価項目の選別と評価因子の検討(実験1)

音の聞こえに関する印象評価の手法としては、通常、SD法が用いられる。すなわち、それぞれ反対の意味を持つよう対置された複数の形容詞対に関して、それぞれの形容詞対のどちら側にもどの程度近いかによって音質の印象を評定するものである。

しかし、常に同じ形容詞が評価項目として用いられるわけではない。例えば、厨川・八尋・柏木<sup>7)</sup>は、

- ①将来、術語として、物理量に対応した形で規定し得るような属性用語を選ぶ
- ②ただし、官能評価に常用して用語の心理的布置が重複したものは省く
- ③何種かの属性の総合的感覚であるが、多くの人に極めて共通感覚のある用語も使う

という3点を基準にし、既に術語として認められている、大きい、小さい、高い、低い、澄んだ、濁った以外は下位の概念に属する慣用語を常時20~38語官能評価に利用し、10年間に数語ずつ改変を行い、19対38語の評価項目を選定している。

本研究においても、最初から評価項目を限定することはせず、第一段階として、厨川ら<sup>7)</sup>の形容詞対に、広辞苑から選別して構成した形容詞対を加え、それらすべてを用いた音の印象評価実験に基づいて、最終的な評価項目を選別することとした。

また、評価対象となる音源は、普遍性の高い評価尺度

を得るためになるべく広範囲の音源を用いることが望ましいとされている<sup>7)</sup>。しかし、本研究では、音源の特性、印象評価、脳波パターン三者の関係を明らかにすることを目的とするため、過渡的特性を持つ短音と、持続性のある音楽の2種類の音源群を用意し、原音と、それらにノイズ付加あるいは周波数帯域削減といった音響的操作を加えたものを評価用音源として用いた。加えて、実施上の時間的制約と実験参加者の労力を考慮し、短音と音楽とについて、別々に評価実験を実施するものとした。

したがって、ここでの目的は、共通の音響的操作を加えた持続音と短音を用いて、両者に共通する印象評価項目を選別し、それら評価項目を通して得られる潜在評価因子を明らかにすることであった。

## 2.1 方法

### 2.1.1 評価音

短音の評価実験に用いた音は、日常生活でよく耳にすること、音の種類が違うことの2つの理由から「グランドピアノ『ラ (A4)』音」、「自動車のクラクション」、「手を叩いた音」の3つを選別した。

「グランドピアノの「ラ」」は、近畿大学附属東広島高等学校中学校音楽室のグランドピアノで「ラ (A4)」を打鍵し録音した。「自動車のクラクション」は、近畿大学工学部第1駐車場において他の自動車の出入りのない静かな時間を利用し録音した。「HONDA civic」の純正クラクションを車内と車外で録音したが、車内で録音したものは音がこもっており不自然だったため、車外で録音したものを使用することにした。「手を叩く音」は、無響室の中で両手での一拍音を録音した。

これらの音の収録には、ソフトウェア (DigOnSound4L.E.) を用いて、実際の音をマイク (SONY ECM-MS957) とサウンドユニット (WAVIO AV SYSTEM ONKYYO SE-U33GX(W)) により USB 経由でノートパソコン (TOSHIBA dynabook A8/420CME) に直接録音した。

音楽の評価実験に用いた音は、「4つのヴァイオリンのための協奏曲〜第1楽章〜」(ヴィヴァルディ)、「愛の喜び」(クライスラー/ラフマニノフ編)、「空を見上げて」

(Ruka & Yupo; <http://www.muzie.ne.jp/songs/173046/>) からの3つであった。これらの楽曲は、音の軽快さ、重厚さや躍動感、用いられている楽器などが異なっているという理由から選択された。

はじめの2曲はCD (オーディオ・チェック CD<2004スペシャル・リファレンス・エディション>) から、ソフトウェアを用いて、サンプリング周波数 44100Hz 16ビットの windows PCM 形式に変換した。「空を見上げて」はインターネット (Ruka & Yupo; <http://www.muzie.ne.jp/songs/173046/>) で公開されている音楽であり、MP3 音源をソフトウェアによりサンプリング周波数 44100Hz, 16ビットの Windows PCM 形式に変換した。

次に、各音源を編集ソフト (CoolEdit 2000) を用いて

モノラル変換し、短音は再生時間1秒、音楽は再生時間2分となるよう編集した。

加えて、短音、音楽ともに原音3種類のほかに、それぞれ原曲と同じ長さの白色雑音を+10dbのSN比で加算したもの(ノイズ付加音)と、短音に関しては8kHz以上の周波数を低域フィルターで除去したもの(高域除去音)、音楽に関しては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)をそれぞれ用意した。

### 2.1.2 評価シート

音の印象評価に用いる形容詞対は次のようにして選別した。まず、広辞苑から音の聞こえに関する形容詞を抜き出し、日常的によく用いると考えられる106語(ア行19語、カ行25語、サ行10語、タ行約10語、ナ行16語、ハ行4語、マ行13語、ヤ行7語、ラ行0語、ワ行2語)を選んだ。これらに厨川ら<sup>7)</sup>で用いられ、先の選別した形容詞群に含まれていない13語を加えたうえで、反対語対になるように組み合わせ、最終的に次の41の形容詞対とした:「濃いー薄い」、「好きー嫌い」、「高いー低い」、「歯切れのよいー歯切れの悪い」、「平らー凸凹」、「澄んだー濁った」、「かたいーやわらかい」、「つやのあるーカサカサした」、「スケールが大きいースケールが小さい」、「明るいー暗い」、「潤ったー乾いた」、「滑らかー荒い」、「響いたー響かない」、「安定ー不安定」、「きれいー汚い」、「太いー細い」、「優しいー厳しい」、「男性っぽいー女性っぽい」、「自然なー人工的な」、「楽しいー苦しい」、「激しいーおとなしい」、「快いー不快な」、「面白いーつまらない」、「甘いー辛い」、「大胆ー繊細」、「力強いー力無い」、「暑いー涼しい」、「攻撃的ー守備的」、「アナログーデジタル」、「日常的ー非日常的」、「近いー遠い」、「迫力のあるー物足りない」、「やせたー豊かな」、「落ち着いたー落ち着かない」、「良いー悪い」、「鋭いー鈍い」、「自然なー不自然な」、「高音の伸びがあるー高音のつままった」、「低音の伸びがあるー低音のつままった」、「メリハリのあるーボケた」、「白っぽいー黒っぽい」。

音質評価シートは、これらの形容詞対を5段階尺度として、形容詞対の並びを替えたものを5種類用意した。

### 2.1.3 手続き

実験は無響室の中で、各実験参加者個別に行った。

まず、実験参加者が無響室に入る前に、実験者は、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。あらかじめ実験参加者には、音を聞いてその印象を答えてもらう実験であると伝え、どのような音質でどのような順番で流すかなどについては一切伝えなかった。

無響室内においても、実験者は、実験参加者が理解できるまで、パソコン、音の印象評価シートについて指示した。実験参加者が、正確にヘッドフォン (audio-technica ARTMONITOR ATH-A900) を装着し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無響室のド

アを開めた。

実験者が無響室の外に出た後、実験参加者は、自分が始めた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。各評価音の再生は、実験参加者が画面上の再生ボタンを押すことで始まり、評価シートを用いて音の印象を評価している間自由に繰り返し再生することができた。9つの評価音の再生順序は、実験参加者毎にランダムとした。

2.1.4 実験参加者

近畿大学工学部在学生在が実験に参加した。短音と音楽の各印象評価実験のどちらを実施するかは、実験参加者毎にランダムに選択され、短音の評価実験に20名(1年生~4年生, 男子学生14名, 女子学生6名)、音楽の評価実験に20名(1年生~4年生, 男子学生16名, 女子学生4名)を割り当てた。これらの参加者で聴覚に関する異常について申し出た者はなかった。

2.2 結果

短音、音楽それぞれの印象評価について、各形容詞対における5段階評価を1から5の数値で得点化し、41の形容詞対に関して評価音9音×実験参加者20名の計180サンプルで主因子解、パリマックス回転による因子分析を行った(表1, 表2)。固有値が1以上のものを因子の選択基準として、音の印象評価に関する因子を求めた結果、短音評価、音楽評価それぞれにおいて、4つの因子が得られた。

これらの4因子のうち2因子において、2種の評価結果の間で類似の形容詞対が含まれていたため、それぞれの音に関して評価項目を共通性の大きい順に並び替え、因子負荷量0.5以上、共通性0.4以上で、かつ短音評価、音楽評価それぞれで属する因子が共通する形容詞対を印象評価項目とした。その結果、第1因子からは「快い-不快な」、「良い-悪い」、「きれいな-汚い」、「好き-嫌い」、「滑らか-荒い」、「澄んだ-濁った」、「つやのある-カサカサした」、「自然な-不自然な」、「面白い-つまらない」の9対が、第2因子から「大胆-繊細」、「太い-細い」の2対が選別された。また、それぞれの因子について、属する形容詞対から、第1因子を「音の良さ」の因子、第2因子を「音の繊細さ」の因子と命名した。

図1に短音評価、図2に音楽評価における各評価音について、「音の良さ」に関する9形容詞対の平均評価値と「音の繊細さ」に関する2形容詞対の平均評価値の散布図を示す。いずれの評価に関しても、「音の良さ」因子については比較的確に物理的操作の影響が見て取れる。

音の種類と音の加工(音響的操作)が上記の音の印象評価の2因子にどのように関わっているかを検討するために、音の種類と音の加工を実験参加者内要因とする2要因分散分析を行った。

短音の評価における「音の良さ」因子に関しては、音の種類の主効果( $F_{(2,38)}=44.720, p<.001$ )、音の加工の主効果( $F_{(2,38)}=23.881, p<.001$ )、それらの交互作用( $F_{(4,76)}=14.378, p<.001$ )がすべて有意であった。

各主効果についてRyan法による多重比較を行ったところ、音の種類に関して、ピアノ音、手をたたく音、クラクションの順で良い音と評価されており( $MSe=0.532, df=38, p<.01$ )、音の加工に関しては、ノイズ付加音に比して原音と高域除去音は良い音と評価されていた( $MSe=0.594, df=38, p<.01$ )。交互作用に関しても、概ねこの傾向は維持されていた。

また、「音の繊細さ」因子に関しては、音の種類の主効果( $F_{(2,38)}=11.023, p<.001$ )と交互作用( $F_{(4,76)}=4.371, p<.01$ )

表1 短音の聞こえに関する印象評価因子

項目	因子No1	因子No2	因子No3	因子No4
快い-不快な	0.893	-0.013	0.149	0.006
良い-悪い	0.854	-0.066	0.126	0.078
好き-嫌い	0.850	0.006	0.011	0.064
落ち着く-落ち着かない	0.815	-0.027	0.052	-0.098
優しい-厳しい	0.786	-0.066	0.141	-0.300
きれいな-汚い	0.735	-0.160	0.353	0.174
滑らか-荒い	0.717	-0.235	0.310	-0.145
楽しい-苦しい	0.691	-0.045	0.263	0.197
自然な-不自然な	0.680	-0.062	0.145	0.132
つやのある-カサカサした	0.648	-0.042	0.397	-0.036
澄んだ-濁った	0.639	-0.236	0.346	0.274
面白い-つまらない	0.631	0.123	0.073	0.182
甘い-辛い	0.622	-0.092	0.215	-0.262
安定-不安定	0.620	-0.083	0.190	0.113
自然な-人工的な	0.608	-0.014	0.038	-0.015
激しい-おとなしい	-0.594	0.443	0.027	0.358
攻撃的-守備的	-0.575	0.369	-0.043	0.481
男性っぽい-女性っぽい	-0.533	0.385	-0.422	0.267
平ら-凹凸	0.508	-0.155	0.387	-0.363
明るい-暗い	0.506	0.173	0.350	0.320
潤った-乾いた	0.495	0.059	0.387	-0.164
大胆-繊細	-0.432	0.571	-0.017	0.056
白っぽい-黒っぽい	0.426	-0.327	0.423	0.188
暑い-涼しい	-0.392	0.404	-0.249	-0.038
かたい-やわらかい	-0.386	0.072	-0.484	0.431
やせた-豊かな	-0.303	-0.460	-0.101	0.192
日常的-非日常的	0.242	0.230	0.143	0.220
響いた-響かない	0.222	0.158	0.731	0.099
アナログ-デジタル	0.205	0.019	0.047	-0.004
高音の伸びがある-高音のつまった	0.189	0.139	0.776	-0.006
スケールが大きい-小さい	0.178	0.530	0.383	0.012
高い-低い	0.176	0.080	0.514	0.279
迫力のある-物足りない	-0.165	0.638	0.257	0.254
低音の伸びがある-低音のつまった	0.164	0.205	0.073	-0.189
濃い-薄い	-0.153	0.587	-0.068	-0.056
歯切れの良い-悪い	0.133	-0.109	-0.069	0.660
鋭い-鈍い	-0.124	-0.051	0.197	0.624
近い-遠い	0.116	0.155	0.102	0.388
メリハリのある-ボケた	0.083	-0.067	0.005	0.670
力強い-力無い	-0.070	0.715	0.202	0.236
太い-細い	-0.031	0.617	-0.180	-0.194
因子寄与	10.767	3.649	3.600	3.120
寄与率(%)	0.263	0.089	0.088	0.076
累積寄与率(%)	0.263	0.352	0.439	0.516

が有意であった。

主効果並びに交互作用の単純主効果についての Ryan 法による多重比較の結果は、クラクションに比してピアノ音と手の拍音は繊細であると評価され ( $MSe=1.153$ ,  $df=38$ ,  $p<.01$ ), ピアノ音においてのみノイズを付加することで繊細さが有意に低下していた ( $MSe=0.404$ ,  $df=114$ ,  $p<.01$ ).

音楽の評価においては、「音の良さ」因子に関して、音楽の種類 ( $F_{(2,38)}=10.154$ ,  $p<.001$ ) と音の加工 ( $F_{(2,38)}=10.798$ ,  $p<.001$ ) の各主効果がともに有意であった。

各主効果についての Ryan 法での多重比較によると、音楽の種類では「愛の喜び」に比して他の2曲が、音の加工ではノイズ付加に比して原曲と高域除去が音が良いと評価されていた。

「音の繊細さ」因子に関しては、音楽の種類の主効果 ( $F_{(2,38)}=15.158$ ,  $p<.001$ ) と交互作用 ( $F_{(2,38)}=3.356$ ,  $p<.05$ ) が有意であった。Ryan 法による多重比較の結果、「4つのヴァイオリンのための協奏曲」は他の2曲よりも ( $MSe=1.790$ ,  $df=38$ ,  $p<.01$ ), また「愛の喜び」においてはノイズ付加音が原曲とダウンサンプリング音よりも ( $MSe=.498$ ,  $df=114$ ,  $p<.05$ ), 有意に繊細であると評価されていた。

### 2.3 考察

ここでの目的は、共通した音響的操作を加えた短音と持続音の評価実験を通して、両者に共通する印象評価項目を選別し、それらの潜在評価因子を明らかにすることであった。

表2 楽曲の聞こえに関する印象評価因子

項目	因子No1	因子No2	因子No3	因子No4
良いー悪い	0.810	-0.052	0.251	0.109
歯切れの良いー悪い	0.771	-0.132	0.001	-0.150
きれいなー汚い	0.752	-0.166	0.188	0.120
好きー嫌い	0.739	-0.013	0.293	0.221
快いー不快な	0.721	-0.005	0.356	0.133
メリハリのあるーボケた	0.694	-0.103	-0.059	-0.095
響いたー響かない	0.693	0.018	0.175	0.162
澄んだー濁った	0.665	-0.245	0.254	0.044
面白いーつまらない	0.650	0.065	0.269	-0.057
滑らかー荒い	0.591	-0.117	0.414	0.146
つやのあるーカサカサした	0.579	-0.078	0.312	0.005
鋭いー鈍い	0.541	-0.197	0.030	-0.356
楽しいー苦しい	0.498	-0.012	0.402	-0.232
明るいー暗い	0.476	-0.303	0.291	-0.283
潤ったー乾いた	0.454	0.053	0.365	0.139
スケールが大きいー小さい	0.444	0.345	0.185	-0.043
太いー細い	-0.164	0.749	-0.097	0.162
大胆ー繊細	-0.151	0.709	0.075	-0.135
濃いー薄い	0.135	0.666	-0.002	-0.057
男性っぽいー女性っぽい	-0.195	0.636	-0.116	0.024
白っぽいー黒っぽい	0.478	-0.553	0.207	-0.004
力強いー力無い	0.281	0.517	0.199	-0.308
暑いー涼しい	-0.292	0.492	0.080	-0.100
迫力のあるー物足りない	0.442	0.488	0.183	-0.284
高いー低い	0.423	-0.465	0.074	-0.092
自然なー人工的な	0.301	-0.068	0.599	0.025
自然なー不自然な	0.502	0.020	0.579	0.181
やせたー豊かな	-0.176	-0.321	-0.500	0.079
優しいー厳しい	0.437	-0.324	0.493	0.232
甘いー辛い	0.312	-0.145	0.469	0.132
落ち着くー落ち着かない	0.449	-0.034	0.480	0.350
日常的ー非日常的	0.112	0.111	0.415	0.063
かたいーやわらかい	-0.099	0.311	-0.415	-0.032
攻撃的ー守備的	-0.101	0.131	-0.061	-0.732
激しいーおとなしい	0.121	0.273	-0.118	-0.668
安定ー不安定	0.375	-0.090	0.198	0.499
低音の伸びがあるー低音のつまった	0.210	0.167	0.142	0.302
平らー凹凸	0.061	-0.231	0.328	0.279
近いー遠い	0.086	-0.088	0.106	-0.172
アナログーデジタル	0.027	0.051	0.416	-0.050
高音の伸びがあるー高音のつまった	0.360	-0.181	0.194	0.034
因子寄与	8.673	4.145	3.710	2.373
寄与率	0.212	0.101	0.090	0.058
累積寄与率	0.212	0.313	0.403	0.461

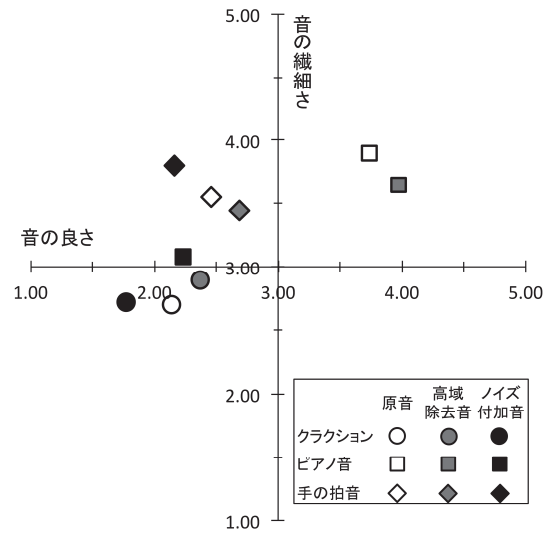


図1 短音の聞こえの印象に関する2因子

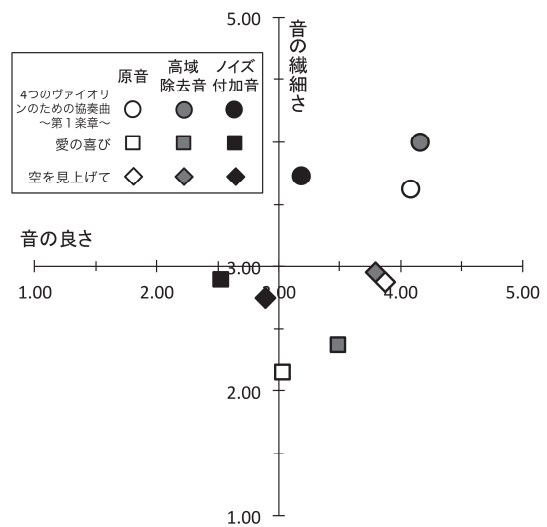


図2 楽曲の聞こえの印象に関する2因子

短音、持続音それぞれ3種の音源について、原音、ノイズ付加音、高域除去音（短音）あるいはダウンサンプリング音（持続音）を用意し、41対の評価項目を用いて、短音と持続音それぞれについて別個に印象評価実験を行った。評価結果を因子分析した結果、短音、持続音ともに4因子が得られ、そのうち2つの因子で短音と持続音に共通する11の評価項目の因子負荷量が大きかった。したがって、これらを今後用いる評価項目とし、2つの因子については、それぞれに含まれる形容詞対の内容から、「音の良さ」因子と「音の繊細さ」因子とした。

それぞれの因子の平均評定値を用いて、短音と持続音それぞれについて、音の種類と音の加工を実験参加者内要因とする分散分析を行った結果、短音と持続音ともに、音源への音響的操作、特にノイズの付加が、「音の良さ」評価を下げるが見出された。しかし、「音の繊細さ」について、ノイズの付加は、短音の一部の音で評価を下げ、持続音の一部の音では評価を上げるという矛盾した結果となった。ノイズを付加した持続音「愛の喜び」が原曲よりも繊細と評価されたことについては、他の楽曲では見られない効果であり、特異的な事例であるのか、偶然であるのか再度検証が必要であろう。

短音の高域除去や楽曲のダウンサンプリングについては明確な効果は認められなかった。

### 3. 音の印象評価の2因子と脳波指標との対応（実験2）

実験1では、SD法を用いて短音と持続音両方に対して適用可能な「音の良さ」と「音の繊細さ」という2つの音の印象評価因子を見出し、原音にノイズを加算するという音響的操作が「音の良さ」と「音の繊細さ」を低下させることを示した。

他方、SD法を用いた主観的評価の問題点は、評定者のそのときの気分や体調などの影響を受けること、あるいは判断しづらい微妙な特徴については捉えることが困難であることなどが挙げられる。実験1において、原音と高域除去音あるいはダウンサンプリング音との間で評価の違いが認められなかったのはそのためであったかもしれない。

主観的評価の内容を裏づけ、安定した信頼性の高い評価結果を得るためには、脳波のように、通常、意識的操作を受けないと考えられる指標を用いることが必要であろう。例えば、聴取している音の快適さに対応して脳波における $\alpha$ 波成分が増大することが報告されている<sup>1)2)3)</sup>。

ここでは、実験1で用いた評価音（持続音）に対する印象評価と脳波の測定を通して、音源の特性、印象評価、脳波パターン三者の関係を明らかにすることを目的とした。

#### 3.1 方法

##### 3.1.1 評価音

3種類の楽曲「4つのヴァイオリンのための協奏曲～第

1楽章～」（ヴィヴァルディ）、「愛の喜び」（クライスラー／ラフマニノフ編）、「空を見上げて」（Ruka & Yupo; <http://www.muzie.ne.jp/songs/173046/> より）と、それらに対して同じ長さの白色雑音をSN比 +10dbで加算したものの（ノイズ付加音）、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）の計9音であった。これらの評価音は、もともとの持続時間が2分であったが、実験ではこれらを続けて2回繰り返して再生するよう編集したものをを用いた。これらはWAVファイルとして保存され、実験では「Windows Media Player10」を用いて再生された。

##### 3.1.2 評価シート

実験Iの結果から絞り込んだ11の形容詞対、「音の良さ」因子9形容詞対「快い—不快な」、「好き—嫌い」、「良い—悪い」、「澄んだ—濁った」、「つやのある—カサカサした」、「滑らか—荒い」、「きれい—汚い」、「自然な—不自然な」、「面白い—つまらない」、「音の繊細さ」因子2形容詞対「太い—細かい」、「大胆—繊細」を用いて、印象評価シートを作成した。

シートには性別と年齢の記入欄、実験手順の説明、5段階で印象評価するよう設定した11の形容詞対を記載し、形容詞対の並びを替えた5種類のシートを用意した。

シートに記載した実験手順は「1. アイマスクをする、2. 安静にする（1分間）、3. 音楽が流れ始める（4分）、4. 音楽を聴き終わったらアイマスクをはずしてシートを記入する（1分）、5. アイマスクを再びして休憩する（1分）、6. 3～5を繰り返す」の6項目であった。

##### 3.1.3 手続き

実験参加者は個別に実験に参加した。実験の前に、実験者が、実験参加者に実験手順を説明し、脳波測定用の電極を頭皮上に装着した。

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、左耳朵（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プューア（皮膚前処理剤）を塗り、その後、スキンプューアを拭き取ってペーストを約1mm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。

実験手順の説明においては、「まず電極を付け、アイマスクとヘッドフォンを装着する。そして合図を確認した後、1分間休憩をとる。1分間の休憩が終わったら、音楽を4分間聞く。聞いた後1分間で音質評価シートに記入し、また1分間の休憩をとる。これらの手続きを実験が終わるまで繰り返す。実験時間は約1時間である」ということを伝えた。

実験者は、実験開始前にヘッドフォンの音量を調節と、

脳波にノイズが入っていないことの確認を行った後、無響室の扉を閉め、実験室内のブザーを2回鳴らして、実験参加者に実験の開始を知らせた。

実験参加者は、合図を確認した後、アイマスクで目を覆い1分間安静にした。その後、音楽が流れ始め、4分間の聴取を終えた後、1分間で評価シートを記入し、その後アイマスクで目を覆い1分間安静にした。この手順を実験終了まで繰り返した。実験参加者には脳波に視覚による影響が関与しないよう、音質評価シートを記入する以外はアイマスクを装着させた。

評価音の提示順序は、カウンタ=バランスを考慮してあらかじめ用意しておいた3つの系列からランダムに選択することで決定した。

脳波のモニターと記録は、NF回路設計ブロック(株)5200シリーズ デジタル生体アンプシステム EEGヘッドボックス 5202 をプロセッサボックス 5201 に接続し、SCSI 経由で、パソコンの 0523A データ収録ソフトウェアに、サンプリング周波数 100Hz でデータを取り込んで行った。

実験が終わると、実験者は無響室に入り、実験参加者のヘッドフォン、アイマスク、電極を取り、次に実験参加者のペーストを拭き取り、拭き取った後、エタノールで消毒した。ペーストのついた電極はそのままにしておくとして錆びてしまうため、電極もペーストを拭き取った後、消毒用エタノールで消毒した。

### 3.1.4 実験参加者

健常聴力を有する近畿大学工学部在学男子大学生 8 名(平均年齢 21.9 歳)が実験に参加した。これらの参加者で聴覚に関する異常について申し出た者はなかった。

## 3.2 結果

### 3.2.1 印象評価の分析

9つの評価音それぞれの印象について、実験1同様、実験参加者が記録した11の形容詞対それぞれでの評定値を1から5の数値に換算して、因子毎に平均評定値を求め、それぞれに関する楽曲の種類と加工の種類(原曲、ノイズ付加、ダウンサンプリング)を実験参加者内要因とする2要因分散分析を行った。

「音の良さ」因子について、「音の加工」要因の主効果のみ有意であった ( $F_{(2,14)}=19.590, p<.001$ )。図3に「音の良さ」評価における加工の効果を示す。Ryan法による多重比較 ( $MSe=1.208, df=14, p<.01$ ) によると、ノイズの付加が原音やダウンサイジングよりも有意に音の良さを低下させていた。

他方、「音の繊細さ」因子については、「楽曲の種類」の主効果のみ有意であった ( $F_{(2,14)}=15.336, p<.01$ )。Ryan法による多重比較 ( $MSe=1.880, df=14, p<.01$ ) の結果、これは「愛の喜び」が他の2曲に比べて有意に繊細でないと評価されていたことによるものであった。

### 3.2.2 脳波の分析

脳波の測定結果について、データの多くにアーティファクトが混入している場合や、脳波計測開始のマークミスがある場合はそのデータを分析から除外した。その結果、一部の実験参加者で、12のチャンネルの一部あるいはすべてでデータが揃わないケースがあったので、以下の分析では、6名の実験参加者について、測定可能であったチャンネル間の平均値を用いた。

6名の実験参加者の9つの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、身体の動きや瞬き等によるノイズが混入していない区間のみを切り出し、それぞれにスペクトル分析を行い、測定可能だった区間の脳波全体、 $\alpha$ 波、 $\beta$ 波それぞれの平均パワーを求めた。脳波の選択は、 $\alpha$ 波が正常脳波の主調をなしており、精神的活動時には $\beta$ 波が優勢になること<sup>8)</sup>、聴取している音の快適さに対応して脳波における $\alpha$ 波成分と $\beta$ 波成分が増減することが報告されていること<sup>1)2)</sup>からである。 $\alpha$ 波は8~13Hz、 $\beta$ 波は14~30Hzの範囲とし、脳波全体は0.5~30Hzまでとした。

音の印象評価の指標として、脳波全体のパワーに対する $\alpha$ 波パワーの比率( $\alpha$ 波含有率)、脳波全体のパワーに対する $\beta$ 波パワーの比率( $\beta$ 波含有率)、 $\alpha$ 波パワーと $\beta$ 波パワーとの相対比率( $\alpha$ 波/ $\beta$ 波比)を算出し、それぞれについて音楽の種類と音楽の加工(原曲、ダウンサンプリング、ノイズ付加)を実験参加者内要因とする2要因分散分析を行った。

$\alpha$ 波含有率に関しては、有意水準には達しなかったが、音楽の加工の主効果に傾向が認められた( $F_{(2,10)}=3.143, p<.10$ )。図5(a)に加工の種類による平均 $\alpha$ 波含有率を示す。Ryan法による多重比較 ( $MSe=0.000171, df=10$ ) の結

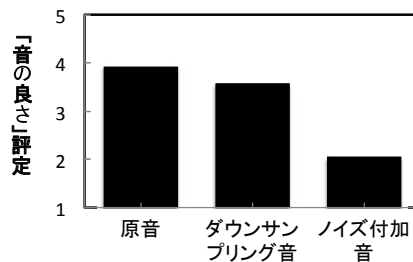


図3 「音の良さ」評価における音の加工の効果

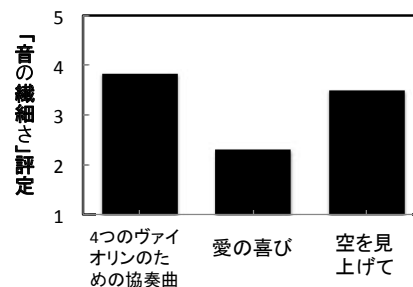


図4 「音の繊細さ」評価における楽曲の差異

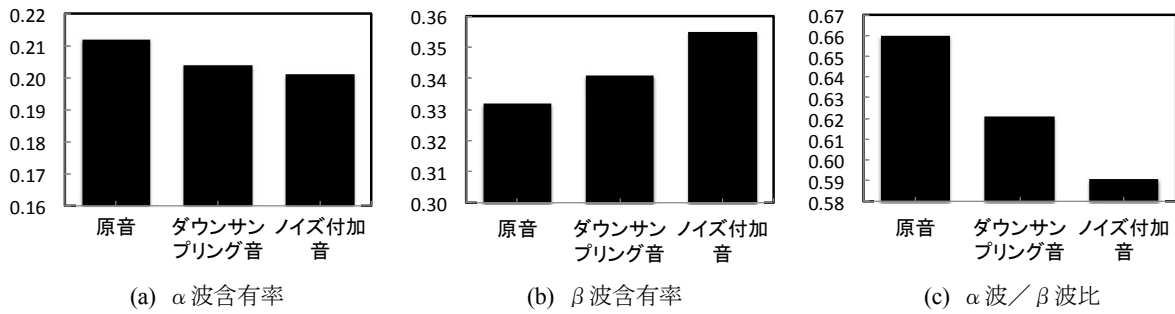


図5 楽曲に加えた音響的加工が脳波指標に及ぼす影響

果は、個々の加工条件での平均含有率の差は有意水準に達していなかった。

β波含有率に関して、音楽の加工の主効果が有意であった( $F_{(2,10)}=4.852, p<.05$ )。図5 (b) に加工の種類による平均β波含有率を示す。Ryan法による多重比較 ( $MSE=0.003225, df=10, p<.05$ ) の結果、ノイズ付加音は原曲よりも有意にβ波含有率が大きかった。

α波/β波比に関しても、音楽の加工の主効果が有意であった( $F_{(2,10)}=6.840, p<.05$ )。図5 (c) に加工の種類による平均α波/β波比を示す。Ryan法による多重比較 ( $MSE=0.003225, df=10, p<.05$ ) の結果、原曲はノイズ付加音よりも有意にα波/β波比が大きかった( $p<.05$ )、ダウンサンプリング音よりも大きい傾向があった( $p<.10$ )。

### 3.3 考察

ここでは、音楽の原曲、ダウンサンプリングした音、ノイズを付加した音の3種の音に対して、それらの聞こえの印象に関する主観的評価と、それらを聴取しているときの脳波測定を同時に行い、実験1で得られた「音の良さ」と「音の繊細さ」という2つの評価因子と生理反応との対応を検討した。

主観的評価に関する分析の結果、音楽の種類は「音の繊細さ」の因子に関わっており、加工のタイプは「音の良さ」に関わっていることが示された。しかし、加工のタイプで明確な効果が示されたのはノイズを付加した場合のみであって、実験1と同様、ダウンサンプリングの効果は認められなかった。

α波含有率、β波含有率、α波/β波比に関する分析の結果、音のSN比や再生周波数帯域の操作が、脳波のα波成分とβ波成分の相対量に影響を及ぼすことが示された。すなわち、原音に対して、ノイズを付加することは快適さを表すα波含有率とα波/β波比の大きさを減少させ、β波を増加させた。さらに、有意水準には達しなかったものの、ダウンサンプリングはα波/β波比の大きさを減少させる傾向があった。

以上の結果は、音源の音響的操作が「音のよさ」印象に影響し、同時に脳波におけるα波とβ波の相対量に影響したことを示す。すなわち、原曲にノイズを付加する

ことは、「音の良さ」を低下させ、同時にα波の相対量を減少させ、β波の相対量を増加させた。他方、楽曲をダウンサンプリングすることで、再生周波数帯域を減少させることは、「音の良さ」の印象をほとんど変えることはなかったが、β波に対するα波の相対量を減少させる傾向があった。このことは、心理的に感知していない「音の良さ」の低下を、生理的には感知している可能性を示唆する。

また、これらの結果は、概ね、これまでの研究結果を支持するものであった。しかし、多くの研究<sup>1)3)4)</sup>が示すような、顕在的尺度である「不快さ」が増すとα波成分が減少するという一元的な対応というよりも、田崎ら<sup>2)</sup>が、「快い」、「静的」、「澄んだ」、「生真面目」と感じられる音に対してα波が増加することを見出しているように、複数の顕在的評価次元のもとにある何らかの潜在的な評価因子と脳波成分との対応を示唆している。

### 4. おわりに

本研究の目的は、音物理的特性とその聞こえに関する印象、そしてそこで生じる脳波パターンという三者の関係について検討することであった。過去の研究の多くは、ノイズ音源を用いたり、音源の種類を変えたりすることで、主に音の快・不快の印象と脳波パターンとの関係を探っていた。ただし、脳波パターンと関係づけられたのは、事前に用意された形容詞対での顕在的尺度による印象評定であり、そのもとにある潜在的な内的印象反応ではなかった。

また、対象とされた音は、ある時間持続する音楽や環境音等であり、音の物理的特性と印象評価との関係あるいは脳波パターンとの関係については必ずしも検討されておらず、ましてや過渡的特性をもつ短音については検討されていなかった。

本研究では、持続音の聴取と短音の聴取に共通して利用できる潜在的な印象評価因子を求め、原音と、それにダウンサンプリングあるいはノイズ不可という音響的加工を加えた楽曲を用いて、定性的にはあるが、音の物理的特性、内的印象反応、そして生理的な脳波パターンの三者関係を検討した。



まず、短音音源と楽曲音源それぞれについて、原音と音響的加工を加えた音に対する 41 の形容詞対からなる SD 法評価を実施した。その結果を因子分析したところ、両方で寄与率の高い 2 つの因子において、音源間で共通する形容詞対が多く含まれていた。第 1 因子を「音の良さ」因子、第 2 因子を「音の繊細さ」因子と名付け、両音源ともに因子負荷量が高かった、「音の良さ」因子の 11 項目と、「音の繊細さ」因子の 2 項目をその後の実験における音の印象評価項目とした。

「音の良さ」の評価について、短音の聴取でも楽曲の聴取でも、音の種類や楽曲の影響はあるものの、主に音響的加工を加えること、特にノイズを付加することで、「音の良さ」の印象が大きく低下した。他方、「音の繊細さ」の評価に影響を与えたのは、主に音や楽曲の種類であった。

続いて、音の物理的特性、音の印象評価、脳波パターンの三者関係を検討するために、音響的加工を加えた楽曲を用いて、音の印象評価と脳波の測定を行った。その結果、音の印象評価実験の結果とほぼ同様に、「音の良さ」評価は楽曲にノイズを付加することで低下し、「音の繊細さ」の印象は楽曲に応じて変化した。脳波については、ノイズを付加した楽曲の聴取において、 $\alpha$  波と  $\alpha$  波/ $\beta$  波比は低下し、 $\beta$  波含有率が増加することが示され、過去の研究結果が確認された。

加えて、 $\alpha$  波/ $\beta$  波比に関して、ダウンサンプリングにより再生周波数帯域を低下させた楽曲では、その値が原曲よりも低下する傾向が見出された。このことは、印象評価においては検出されなかった両音の違いが、脳波指標を用いて検出されることを示唆しており、感性評価において生理指標が有効に活用できる可能性がある。可聴域を超えた周波数成分が、音の印象に影響するとする研究もあり<sup>9)</sup>、この点については、今後、さらに検討が必要であろう。

## 謝辞

本論文は、平成 17 (2005) 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」(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) 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。実験で用いた刺激作成にご協力いただいた近畿大学附属東広島高等学校中学校(現 近畿大学附属広島高等学校中学校東広島校)に感謝いたします。

また、本研究は、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) の補助を受けて行ったものである。

## 参考文献

- 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, 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.
- 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) 山下雄己, 上岡英史 生体情報を用いた聴音時における快不快情動反応の識別 電子情報通信学会技術研究報告, 111, 25-30, 2012.
- 5) 村上弘幸 音刺激により生じる感性反応情報の計測 大妻女子大学紀要—社会情報系— 社会情報学研究, 13, 131-137, 2004
- 6) 三戸勇氣, 浜野勝 音楽の旋律が心理的・生理的反応に及ぼす影響 第 3 回 SPSS Open House 研究奨励賞 発表論文, 2003.
- 7) 厨川守, 八尋博司, 柏木成豪 音の 7 属性の性格について 日本音響学会誌, 34, 501-509, 1978.
- 8) 末永和栄, 岡田保紀 最新脳波標準テキスト 株式会社メディカルシステム研修所, 2001.
- 9) 大橋力, 仁科エミ, 不破本義孝 LP と CD との音質のちがいについて—生理学的感性科学的検討— 電子情報通信学会技術研究報告, 94, 15-22, 1994.