

## 環境音刺激下での加速度脈波解析および主観評価について

Heart Rate Variability Analysis (HRV) and the Subjective Evaluation  
for Subjects Listening to the Natural Sounds

渡邊 志                      太田 匠\*                      大見 翔輝\*  
Satoshi WATANABE      Takumi OTA                  Shoki OMI  
川島 智耶\*                  杉本 裕紀\*                  山本 祐弥\*  
Tomoya KAWASHIMA      Yuki SUGIMOTO          Yuya YAMAMOTO  
塚本 博之                      松本 有二  
Hiroyuki TSUKAMOTO      Yuji MATSUMOTO

(平成27年10月6日受理)

11名の被験者(20代男女)について環境音2種類を聴取させたときの加速度脈波解析を行った。加速度脈波の測定は環境音の聴取前・聴取中の合計300s間行い、その後Visual Analog Scale (VAS) による主観評価測定を行った。加速度脈波解析の結果、交感神経活動の指標値であるLF/HFについては、せせらぎ音聴取時に減少する傾向が見られた。また、これらの音源の印象についてのVASによる主観評価値から、被験者が感じた「リラックス度」がせせらぎ音聴取時には有意に上昇することがわかった。これらの結果から、被験者を分類し考察することを試みた。

### 1. はじめに

現代社会において、人はさまざまな精神的あるいは肉体的負荷によってストレスを受けている。ストレスは、精神的健康を阻害する原因のひとつであり、生活の質(Quality Of Life、以下QOL) 向上を阻害する要因になり得る。そのため、健全な生活、あるいはQOL向上の実現を果たすべく、ストレスを軽減する方法の確立が望まれている。

そのような背景の下、音楽聴取がストレスを軽減し、QOL向上にとって効果的であることは経験的に支持されている。とはいえ、(音楽聴取時の)直接的なストレス測定法については確立しているとは言い難い。そのため、生体信号解析を応用した手法(間接的にストレスの増減が示唆される)で研究されてきているのが現状である。そこで、著者らは、楽曲聴取、特に吹奏楽曲聴取の影響を心拍変動(HRV)解析により研究し、複数人の同時聴取による交感神経活動の沈静化<sup>[1]</sup>、反復聴取における副交感神経活動の亢進の示唆<sup>[2]</sup>といった成果を得てきている。

一方で、いわゆる「癒し効果」が期待される楽曲聴取、中でも、1/f ゆらぎ音楽や環境音の聴取がQOL向上に寄与することについて、音楽療法<sup>[3, 4]</sup>の分野などで報告されてき

\*) 2015年度情報デザイン学科卒業生

ている。

そこで、本論文では、環境音聴取の影響についての定量的な知見を得ることを目的として、加速度脈波を利用したHRV<sup>[5]</sup>の測定・解析について、住環境での健康人に対して環境音を聴取させた場合に実施する。

ところで、最近では、このような感覚刺激を被験者に与えた場合の影響について、被験者全体の動向を考察するという従来の手法に加え、客観的指標や主観的指標によって被験者を分類して考察することの有益性の示唆が得られた報告もなされてきている<sup>[6-8]</sup>。そのため、本論文においても被験者全体の動向に加えて、被験者を分類して考察を試みることにした。

具体的には環境音聴取時の心拍変動解析（客観的指標）に加え、臨床でよく利用されているVisual Analog Scale (VAS)<sup>[9]</sup> を利用した主観調査を被験者に対して実施し、それらの相関について考察する手法をとる<sup>[8, 10]</sup>。

## 2. 材料と方法

### 2. 1 加速度脈波<sup>[5]</sup>

指先のセンシングにより得られる指尖容積脈波は装置が簡単であることにより、種々の分野で広く活用されている。この手法では、ヘモグロビンの吸光度変化を測定することで血流変動を検出するものである。指尖容積脈波については、その付近の動脈の圧脈波を反映していることが明らかにされており、主に抹消血液循環動態や自律神経機能を反映する検査として臨床的に用いられている。しかし、

1. 基線が不安定である
2. 波形が単調で評価可能な情報量に乏しい

といった点が欠点とされている。そこで、こういった欠点を克服するため、測定された指尖容積脈波を二次微分波形とするものが加速度脈波である。本論文では、より正確なピーク抽出を行ったうえでのHRV解析を行うため、市販システム（アルテット（ユメディカ社製））による加速度脈波によるHRV解析を行うこととした。

### 2. 2 1/f ゆらぎ<sup>[11, 12]</sup>

1/f ゆらぎとは、一定の時間長を有する音響信号がその時間軸上の任意の部分で示す変動パターンと全体の変動パターンにおいて自己相関が成り立つ状態のことを言う。アナログ回路におけるピンクノイズ（中波ラジオの局間ノイズを含む）、心拍・脳波などの生体信号など、定常的あるいは同期的と思われる信号が示す変動の中に観察されることが知られている。また、楽曲においてもその構造が自己相関を持つ場合に1/f ゆらぎが観察されることが知られている。一方、1/f ゆらぎが心地よさをもたらすとの意見を展開する研究者もあるが、その生理的意義、心理学的効果については不明な点が少なくない。

## 2. 3 実験

### 2. 3. 1 被験者

被験者として、心身ともに健康であると自己申告した20歳もしくは21歳の男女11名を依頼した（なお、個人が特定される可能性があるため、年齢の人数比あるいは男女比については非公開とする）。

なお、被験者には文書及び口頭にて研究の目的を説明し、調査において個人が特定されないことを保証し、今回の調査内容は研究発表のみに使用することに同意と協力を得た。

### 2. 3. 2 聴取させた環境音

聴取させた環境音<sup>[4]</sup>は市販CDのものである。表1に音源名および振幅の時間変化をゆらぎ信号とみなしたときのパワースペクトルvs. 周波数（対数プロット）についての回帰直線の傾き $\lambda$ の値（ $\because \lambda = 1$ ならば $1/f$ ゆらぎがあるとみなせる）をそれぞれ示す。この結果、環境音それぞれについては $\lambda = 1$ とはみなせないことがわかった。すなわち、今回聴取させた環境音については、 $1/f$ ゆらぎ音源とみなせないことを意味する。

### 2. 3. 3 加速度脈波の計測

被験者にヘッドフォンおよび脈波センサ（指尖脈波測定用）を装着させた。実験中は閉眼着座とし、楽な気持ちで実験に臨んでもらうようにした。実験sequenceは、無音～音源聴取（合計：300s）とし、その間、加速度脈波を計測し解析した（図1）。

なお、音源聴取実験は40dB(A)以下の静寂な実験室で平日の夕刻に行われた。また、音源以外に意図的な感覚刺激は与えていない。また、空調機により室温を26～28℃に保った。

本論文では、加速度脈波解析により得られるLF/HF（交感神経活動の指標<sup>[12]</sup>）を利用して考察していくこととする。加速度脈波の測定と解析については、市販ノートパソコン（Hewlett-Packard・Pavillon dv4 Notebook PC、OS: Windows 7 Home Premium 64bit）上で（株）ユメディカ製の「アルテットCDN」を実行させて実施した。

### 2. 3. 4 VASによる主観評価測定<sup>[8-10]</sup>

VASとはスケール調査（比率尺度）の一手法である。近年医療分野や教育分野を中心に多数の適用例が見られ、その有用性が報告されている。また、VASは従来の手法[8-10] Likert Scale（順序尺度）に比べより柔軟な、離散的でない回答が可能であるので、VASによるスケール調査は被験者の感覚的な「量」をよりの確に示すことが可能な手法と言える。

今回使用したVASによる主観評価測定（被験者が感じた「リラックス度」）を図2に示す。図中の直線の長さは10cmであり、被験者は各項目に対し、それぞれの直線上の任意の点をplotすることで主観評価測定に回答する。この回答については、左端を0、右端を1とした数値として定量化する。

一方、聴取させた「環境音の印象」について、7項目の主観指標<sup>[1, 8]</sup>を設定し、これらについてもVASによる主観評価をさせることとした。設定した主観指標を表2に示し、表2に基づいて作成したVASを図3に示す。ここで、選定した項目（形容詞対）につい

ては、楽曲の雰囲気と情緒に関する因子分析的研究<sup>[13]</sup>によって共通して抽出された明-暗、緊張-弛緩、興奮-沈静、情緒的評価の次元に、複雑さと明瞭さの尺度を加えたものである<sup>[14]</sup>。

表 1 聴取させた環境音<sup>[4]</sup>

環境音 1 : 「湿原の小川」(市販CD「白神山地」より)	$\lambda = 0.319$
環境音 2 : 「クマゲラの森」(市販CD : 「白神山地」より)	$\lambda = 0.891$



図 1 実験のsequence



図 2 「リラックス度」についてのVAS

表2 「環境音の印象」についての主観指標<sup>[1, 8]</sup>

「明るいー暗い」(明 - 暗)
「緊張感があるーリラックス感がある」(緊 - リ)
「単純であるー複雑である」(単 - 複)
「活気があるー静かである」(活 - 静)
「はっきりしているーぼんやりしている」(は - ぼ)
「楽しいー悲しい」(楽 - 悲)
「好きー嫌い」(好 - 嫌)

( ) 内は今後使用する略称を示す。

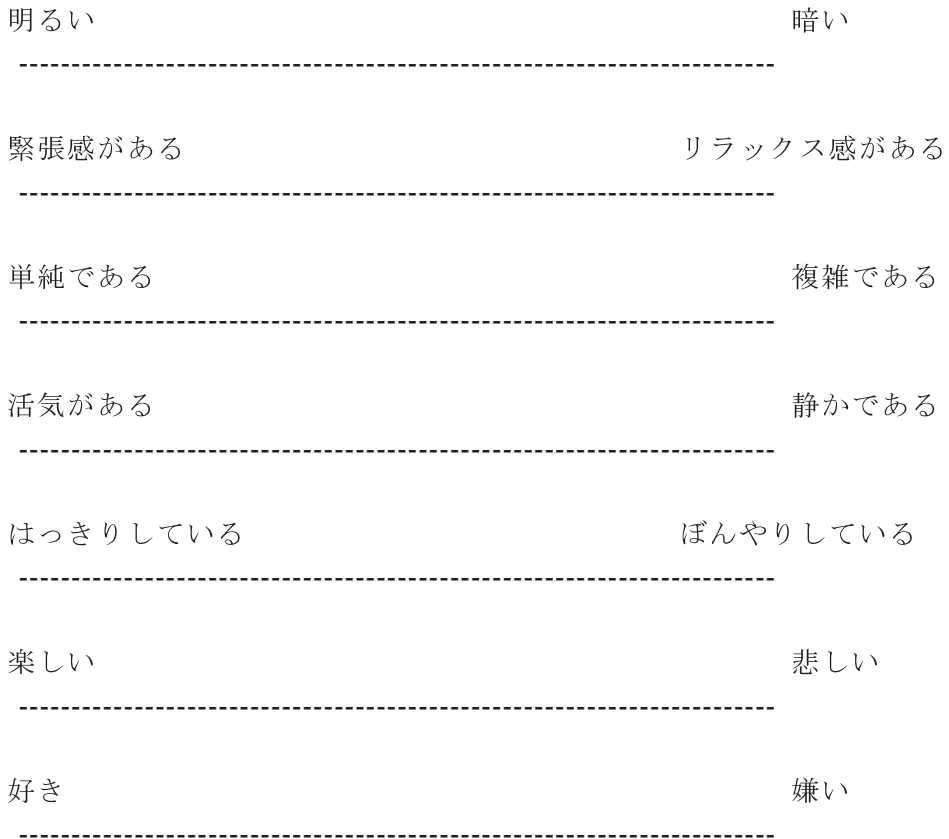


図3 聴取させた環境音の印象についてのVAS

### 3. 結果と考察

#### 3. 1 加速度脈波解析（自律神経活動の指標値LF/HFの挙動）

11名の加速度脈波解析の結果、すなわち、自律神経活動の指標値であるLF/HFについて、環境音聴取前と環境音聴取中における挙動を箱ひげ図<sup>[15]</sup>により、図4（環境音1：「湿原の小川」）および図5（環境音1：「クマゲラの森」）にまとめた。この結果、図4においては、環境音聴取によるLF/HFの減少傾向が観察されたが、図5においてはLF/HFがほぼ横ばいになるという結果が観察されている。一方、両者の聴取前および聴取中のLF/HFにおいてWelchの検定を適用したところ、両者とも有意差が見られないことも分かった（図4： $t(16.21)=1.63$ 、図5： $t(19.37)=-0.04$ ）。しかしながら、図4および図5のいずれにおいても、環境音聴取で標準偏差が小さくなることがわかった（図4：2.71→1.59、図5：1.87→1.56）。

これらの傾向は先行研究の結果と一致しており<sup>[16]</sup>、LF/HFの挙動は、被験者の嗜好（個性）によりそれらの傾向は一律ではないが<sup>[8]</sup>、環境音の聴取により、LF/HFを低い値に集中させる傾向が生じたと考えられる<sup>[16]</sup>。今回聴取させた環境音は2. 3. 2で述べたように、1/f音源<sup>[11]</sup>とは見なせないことから、先行研究<sup>[16]</sup>の結果と合わせ、1/fゆらぎの有無にかかわらず、音源聴取そのものがLF/HF低下に寄与するのではないかと考えられる<sup>[16]</sup>。この点の明確化については今後の研究を要すると考えている。

#### 3. 2 VASによる主観評価

次に、VASによる主観評価について述べる。ここで、VASで表現される数値は絶対値ではなく、被験者毎の感じ方（主観）を0～1のスケールで投影したものと考えている。例えば、「リラックス度」を考えた場合、被験者Aが感じる最大の「リラックス度」と被験者Bが感じる最大の「リラックス度」の絶対量は異なると考えられるが、どちらの場合も最大の「リラックス度」と評価するという意味で同じとなる。

したがって、VASによる数値表現は主観が相対化されることに相当する。つまり、VASで数値化したものは相対値のはずである。すなわち、相対値同士の数値処理なので、VASによる主観評価値について平均値として考察することに問題はないと考えている。

そこでまずは、被験者自身が感じた「リラックス度」について3. 1と同様に箱ひげ図<sup>[15]</sup>として聴取前・聴取中とまとめ、図6（環境音1）および図7（環境音2）に示した。その結果、図6において、被験者の感じたリラックス度が有意に上昇することがわかった（Wilcoxonの順位和検定、 $W=24.5$ 、 $p<0.05$ ）なお、図7においては、有意差は認められなかった。これらの結果と3. 1で観察されたことを合わせ、LF/HFが低下すれば「リラックス度」の上昇につながると言える。

一方、図3に基づく音源の印象について、被験者の平均値により示し、表3にまとめた。表3の結果から、この被験者団が聴取した環境音の印象については、先行研究と同様の評価基準（楽曲の印象についての主観評価）<sup>[1, 8, 13, 14]</sup>なため、はっきりとした傾向は見いだせなかった。これは、楽曲に存在する調性が環境音に存在しないことが起因するものと考えられる<sup>[16]</sup>。一方で、両者とも「リラックス感がある」と主観評価する傾向にあることが表3に示されている。

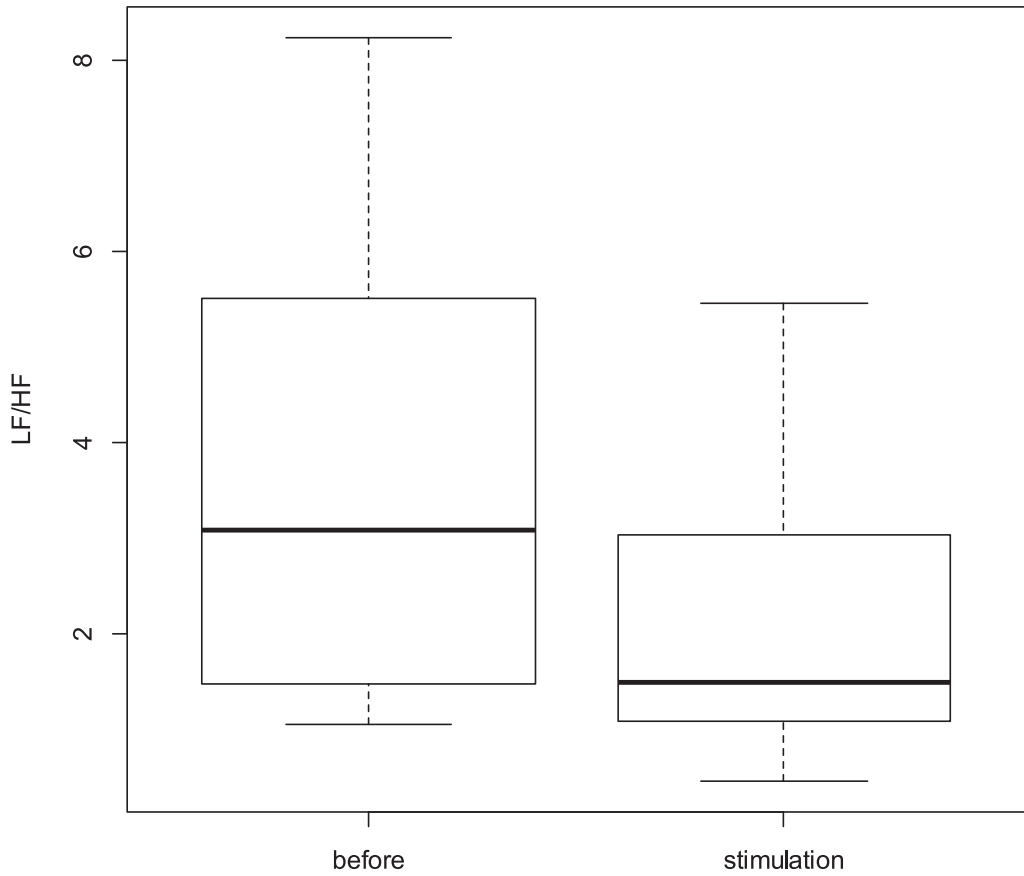


図4 「湿原の小川」聴取前 (before) および聴取中 (stimulation) における自律神経活動の指標値LF/HFの箱ひげ図<sup>[15]</sup> (LF/HFが高い値になるほど、交感神経活動が活発になる。すなわち、「神経が高ぶった」状態になるといえる)

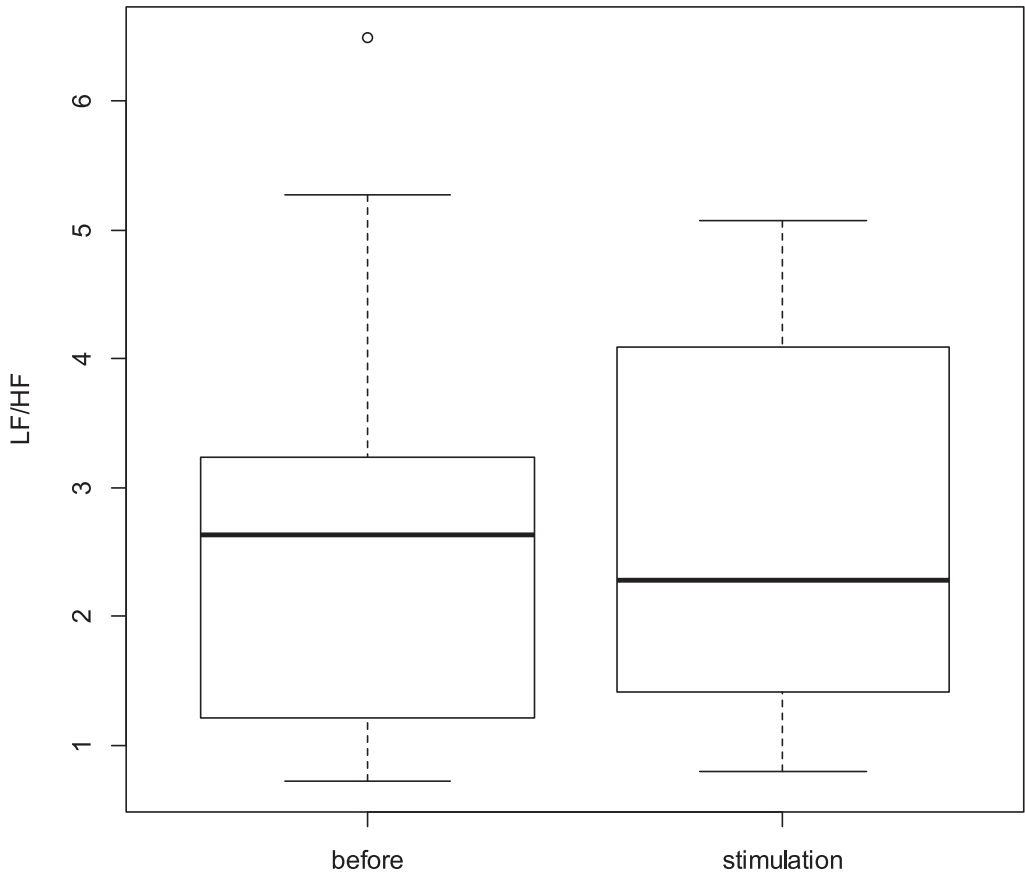


図5 「クマゲラの森」聴取前（before）および聴取中（stimulation）における自律神経活動の指標値LF/HFの箱ひげ図<sup>[15]</sup>（LF/HFが高い値になるほど、交感神経活動が活発になる。すなわち、「神経が高ぶった」状態になるといえる）



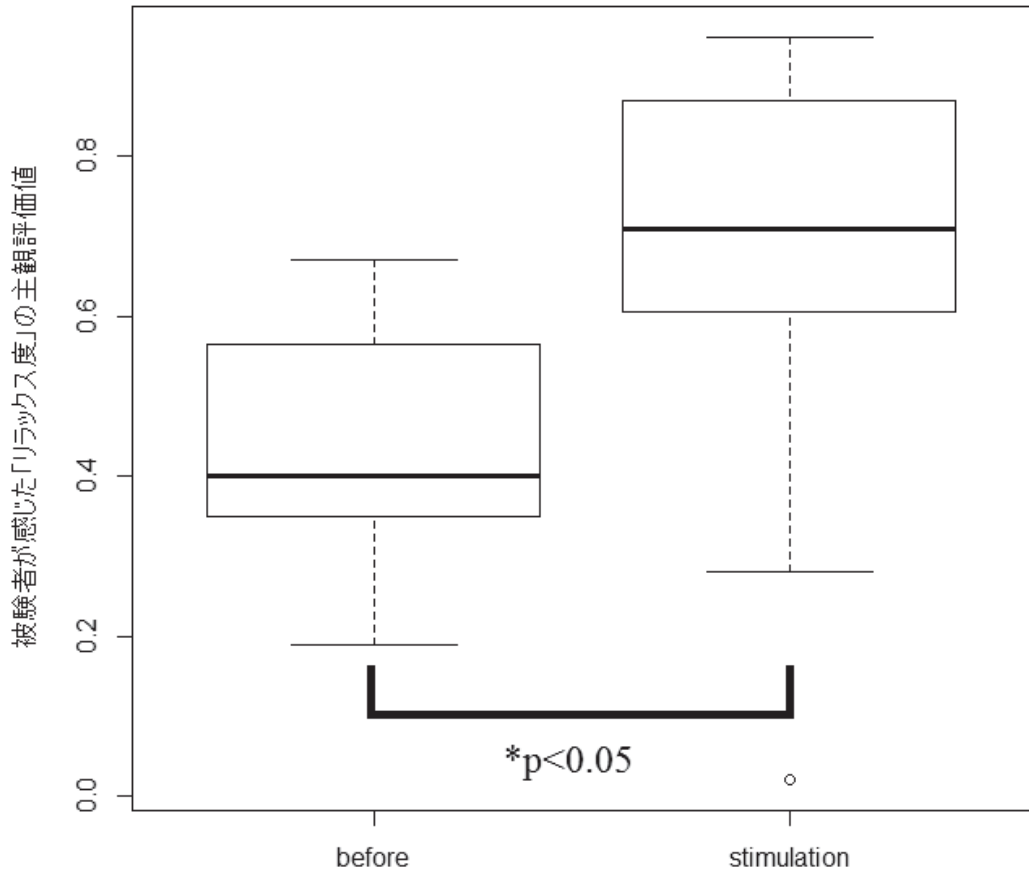


図6 「湿原の小川」聴取前 (before) および聴取中 (stimulation) における被験者が感じたVASによる「リラックス度」の主観評価値についての箱ひげ図<sup>[15]</sup>。この数値が高いほど、被験者は「リラックス度」が高くなったと主観評価していることになる。

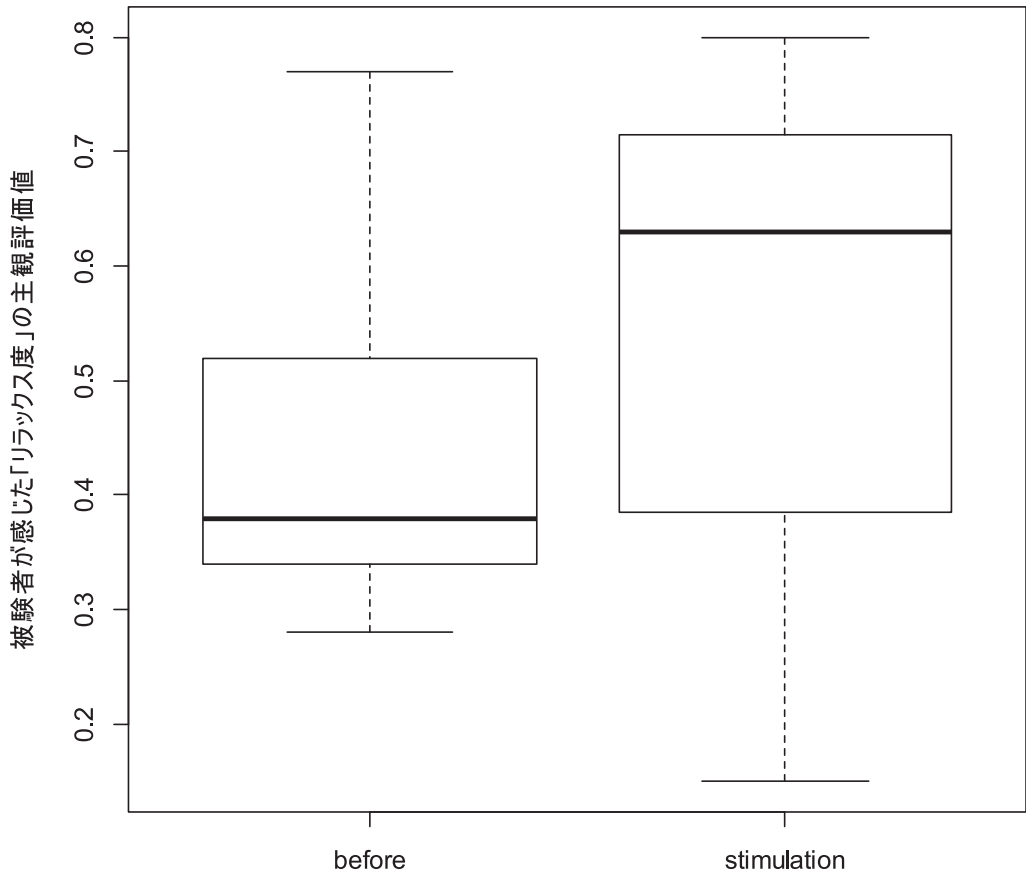


図7 「クマゲラの森」聴取前（before）および聴取中（stimulation）における被験者が感じたVASによる「リラックス度」の主観評価値についての箱ひげ図<sup>[15]</sup>。この数値が高いほど、被験者は「リラックス度」が高くなったと主観評価していることになる。

表3 VASによる「環境音の印象」についての主観評価値の平均値

楽曲・環境音	明 - 暗*	緊 - リ	単 - 複	活 - 静	は - ぼ	楽 - 悲	好 - 嫌
環境音 1 「湿原の小川」	0.36 (0.18)	0.71 (0.23)	0.41 (0.22)	0.6 4(0.20)	0.38 (0.22)	0.48 (0.18)	0.36 (0.28)
環境音 2 「クマゲラの森」	0.38 (0.14)	0.67 (0.18)	0.60 (0.24)	0.54 (0.23)	0.48 (0.20)	0.44 (0.17)	0.40 (0.25)

\*：項目の略称については表2参照。表中の数値が大きいほど右側の印象が強い。  
また、主観評価値の平均値の下部（( )内に示した数値）は標準偏差を示している。

### 3. 3 環境音聴取前 - 聴取中についてのLF/HFの増減およびVASによる主観評価の両面から見た被験者の分類

先行研究<sup>[6,8,16]</sup>において、被験者を嗜好（個性）により分類し考察することの有益性の示唆が得られている。そこで、本論文においても聴取させた環境音聴取前 - 聴取中について被験者の分類を試みた。

まず、測定を行った被験者毎に、環境音聴取前から環境音聴取中にかけてのLF/HFの増減と、図2により測定を行った被験者の感じた「リラックス度」の増減により被験者を分類してみた<sup>[8]</sup>。表4にその結果を示す。一般に、せせらぎなどの環境音の聴取によりリラックス感の増大をもたらすと言われているが、被験者全員がリラックス度について増大したと主観評価したわけではなく、合計5名の被験者が「リラックス感」が増大しないと主観評価している。ここで、表4をもとに、被験者を次のように分類したい。すなわち、

- A（合計13名）：「LF/HF：↓・「リラックス感」：↑」
- B（合計4名）：「LF/HF：↑・「リラックス感」：↓」
- C（合計4名）：「LF/HF：↑・「リラックス感」：↑」
- D（合計1名）：「LF/HF：↓・「リラックス感」：↓」

である。ここで、この分類の別の表現を考えてみたい。まず、分類AとBであるが、この被験者たちは、環境音の聴取による加速度脈波解析とVASによる主観評価測定から、

- A：「リラックス感」が認められた。
- B：「リラックス感」が認められなかった。

ということであり、順当な結果が生じた被験者団である。この違いは、音源の嗜好、特に好き嫌い（図3の最後の設問で回答している）に起因するものと考えられる<sup>[8,16]</sup>。音源の「好 - 嫌」（略称については表2を参照）については、

- A：「好 - 嫌」の平均値0.31（合計13名）
- B：「好 - 嫌」の平均値0.81（合計4名）

表4 LF/HFとVASによる「リラックス度」の両者の増減による被験者の分類

(a) 環境音1「湿原の小川」

		VASによる 「リラックス度」		
		↑	↓	
LF/HF	↑	1	1	2
	↓	8	1	9
		9	2	

(b) 環境音2「クマゲラの森」

		VASによる 「リラックス度」		
		↑	↓	
LF/HF	↑	3	3	6
	↓	5	0	5
		8	3	

(c) (a)および(b)の合計

		VASによる 「リラックス度」		
		↑	↓	
LF/HF	↑	4	4	8
	↓	13	1	14
		17	5	

↑：環境音聴取中に数値上昇  
↓：環境音聴取中に数値下降

といった結果が得られている。この設問の場合の主観評価値は1.00に近づくほど「嫌い」と主観評価していることになるので、分類Bの被験者団は聴取した環境音を「嫌い」に近く主観評価をしていることになる。一方、順当と考えにくい分類CとDであるが、まず、分類Cについて、分類AとBと同様に「好 - 嫌」の主観評価値の平均を求めると、4名の平均は0.20であった。前述したことと同様に考察していくと、つまり、分類Cの被験者たちは聴取した環境音を「好き」に近く主観評価していることになり、このことと、環境音の聴取による加速度脈波解析とVASによる主観評価測定から、

C：「好き」であることから、気持ちが高まった

と推定できる。このことは先行研究<sup>[8, 16]</sup>では認められなかったことであり、更なる研究の

必要性を感じる。また、分類Dとなった1名は、「好-嫌」の主観評価が0.15で「好き」に近い主観評価をしていることがわかった。この考察は難しく、先行研究で述べられているところの「好きな音なのでサプリメント的（「良薬口に苦し」のような）効果」<sup>[8, 16]</sup>であるとも考えられるが、やはり、今後の研究が必要である。

このように、VASによる主観調査によって得られた被験者の嗜好（個性）と加速度脈波解析とを複合して考察することで、被験者の個に応じた的確な考察が可能になることが示唆されたと考える。これらのことは、別の先行研究<sup>[17]</sup>で示されてきているように、学生生徒の微妙な感情をできるだけ反映させることが必要な精神面での健康相談につながっていくと考えている。すなわち、著者らが提案する「学校教育環境における健康相談活動支援システム」に対して、VASおよび指尖脈波解析による自律神経活動の推定といった手法を十分に活用できることを支持している結果が表出しているものと考えている。

したがって、本研究の更なる遂行により、本研究で提案した手法が、学校教育環境における健康相談活動支援システムへのより確実な応用手法として期待できる。

#### 4. おわりに

11名の被験者（20代男女）について環境音2種類を聴取させたときの加速度脈波解析を行った。加速度脈波の測定は環境音の聴取前・聴取中の合計300s間行い、その後Visual Analog Scale (VAS) による主観評価測定を行った。加速度脈波解析の結果、交感神経活動の指標値であるLF/HFについては、せせらぎ音聴取時に減少する傾向が見られた。また、これらの音源の印象についてのVASによる主観評価値から、被験者が感じた「リラックス度」がせせらぎ音聴取時には有意に上昇することがわかった。これらの結果から、被験者を分類し考察することを試み、先行研究<sup>[8, 16]</sup>同様な被験者を嗜好（個性）により分類し考察した。このことは、学校教育環境における健康相談活動支援システムへのより確実な応用が期待できるといった、本研究で提案した手法の有益性の示唆が得られたと考えている。

#### 5. 謝辞

本研究の遂行にあたって、日本学術振興会・科学研究費補助事業（科研費）基盤研究(C)「学校教育環境における健康相談活動支援システム開発に関する基礎的研究」、課題番号25350950の交付を受けている。ここに記して感謝する。

また、森 幸男教授、富田雅史准教授（以上サレジオ工業高等専門学校）、白濱成希准教授（北九州工業高等専門学校）、中川雅文教授（国際医療福祉大学病院）、宮本和典准教授（九州女子大学）そして、中谷直史博士（東京電子専門学校）からは、研究遂行に当たっての的確なご助言を得ることができた。深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 渡邊志、高上僚一：複数の健康人に吹奏楽曲を同時聴取させた場合の心拍変動、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、Vol. 8、No. 1、pp. 41-48、2006

- [2] 渡邊志、高上僚一：同一吹奏楽曲の反復聴取による心拍変動の解析、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、Vol. 11、No. 1、pp. 57-60、2009
- [3] 中川雅文：耳鳴に対する1/f ゆらぎ音を用いた音楽療法、日本音楽療法学会誌、Vol.9、No.2、pp.145-152、2009
- [4] 柘植勇人：耳鳴に対する環境音を用いた音響療法、那須耳鼻咽喉科臨床セミナー、2013年6月
- [5] 菊地俊紀、佐野裕司、阿保純一、漆谷伸介、山崎知愛：加速度脈波a-a感覚による自律神経機能検査に関する研究-心電図R-R間隔と加速度脈波a-a間隔、そのCV値の一致性の検討-、スポーツ整復療法学研究、Vol.10、No.3、pp.177-183、2009
- [6] 森幸男、小林慧太、森弘樹、富田雅史、松本有二、渡邊志、中川雅文：快音および不快音の対比聴取における被験者の嗜好評価と生体信号解析との相関、バイオメディカル・ファジィ・システム学会第25回年次大会講演論文集、pp.217-220、2012
- [7] T. Fujimura, W. Sato, K. Okanoya: Subcategories of positive emotion, *Psychologia*, 55, pp.1-8, 2012
- [8] 渡邊志、松本有二、富田雅史、森幸男：1/f ゆらぎ楽曲聴取時の心拍変動解析及び Visual Analog Scaleによる主観評価、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、Vol. 15、No. 2、pp.1-10、2013
- [9] 渡邊志、松本有二：情報スキルの定量的解析における Visual Analog Scaleの活用、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、Vol.13、No.1、pp.57-62、2011.
- [10] 渡邊志、安形将史、秋田谷研人、小川勇人、松本有二、富田雅史、近藤優輝、武内諭右大、森幸男：Visual Analog Scaleによる不快音聴取時の主観評価と心拍変動解析との相関、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、Vol.14、No.1、pp.19-26、2012
- [11] 武者利光：1/f ゆらぎと快適性、日本音響学会誌、Vol.50、No.6、pp.485-488、1994
- [12] 森忠三、安本義正：心拍ゆらぎと自律神経系、日本音楽療法学会誌、Vol.2、No.2、pp.129-136、2002
- [13] Murakami, Y.: The stratified semantic structure of music: A proposal of 3-levels hierarchical model in semantic differential technique, *Japanese Psychological Research*, Vol.26, No.2, pp.57-67, 1984
- [14] 星野悦子：歌の聴取印象と再認記憶－言葉とメロディの関係を探る－、情報処理学会研究報告2002-MUS-45、pp.109-114、2002
- [15] 総務省統計局：“なるほど統計学園高等部”、<http://www.stat.go.jp/koukou/ho/wto/process/graph/graph5.htm>、2015年10月6日閲覧
- [16] 渡邊志、塚本博之、松本有二、中川雅文、白濱成希、宮本和典、中谷直史、富田雅史、森幸男：1/f ゆらぎを持つとみなせる楽曲および環境音聴取時の脈波解析と Visual Analog Scaleによる主観評価、バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌、Vol.16、No.1、pp.75-84、2014
- [17] 渡邊志、池上郁子、塚本博之、松本有二、富田雅史、森幸男、白濱成希：健康相談活動支援システムの開発を目指した Visual Analog Scaleによる主観評価測定のための携帯端末向けソフトウェア開発、静岡産業大学情報学部研究紀要、No.17、pp.439-447、2015