

心拍変動に及ぼす吹奏楽曲聴取の影響

渡邊 志*, 高上僚一**

Effects of Listening to Wind Band Music for Heart Rate Variability

Satoshi WATANABE* , Ryouichi TAKAUE**

Abstract: This paper relates the effects of listening to wind band music for heart rate variability (HRV) in healthy human. Some healthy human are invited as the experiment subject, and one piece of wind band music is employed as the test piece. Subjects are asked to listen to test piece, and their HRV is recorded. The experimental data is analyzed by FFT, components of low frequency (LF; 0.04-0.15Hz) and high frequency (HF; 0.15-0.40Hz) are obtained from the analysis of power spectrum in HRV. During the listening to the wind band music, changes of HF values were observed.

Keyword: Heart rate variability, Analysis of power spectrum, HF, Wind band music

1. はじめに

最近, 特に音楽療法の分野で音楽聴取が人体に及ぼす影響の研究が活発である¹⁾²⁾³⁾⁴⁾. これらは, 音楽の「癒し」効果を探ったり, 既存の医療に代わる新たな治療法を探ったりするという意味で大変興味深い研究であるが, 音楽聴取が住環境(住宅や職場等)でない特別な状況下で行われている場合が多い. 例えば, 手術中であつたり¹⁾, 特別な部屋を構築したり²⁾, 人体への運動負荷を加えたあとでの音楽聴取を行う³⁾など, 音楽に加えて, 別の感覚刺激等を加えた下での音楽聴取の影響・効果を探る研究であることが一般的である. したがって, 我々が日常生活で経験するような, 意図的に加えられる感覚刺激が音楽聴取のみによる人体への影響を探った研究⁵⁾⁶⁾⁷⁾や, 管弦楽曲やピアノ曲以外の演奏形態の楽曲を聴取させる研究¹⁾⁴⁾が少ないのが現状である.

一方, 我が国で楽器による演奏者の人口が一番多いのは管楽器や打楽器を中心とする合奏体である「吹奏楽」である. 吹奏楽は教育現場や地域社会において広く普及しており, 演奏する機会の他, イベントや体育的諸活動

(運動会の入場行進や野球の応援)において聴取する機会も数多く, 我々にとって身近な音楽である.

そこで著者らは既報⁸⁾において, 特定の吹奏楽曲の聴取により, 異なる被験者間での血圧および心拍数の変動傾向が類似してくることを報告した他, 先行研究⁹⁾同様, 楽曲聴取の影響は心拍数の変動傾向に表出しやすいことも提案した. その結果を受け, 吹奏楽聴取の心拍変動に及ぼす影響に関する研究も行い, 心拍変動(HRV)の簡易測定法の提案および複数の被験者に同時聴取させたときのHRVへの影響⁹⁾についての報告も行っている.

ところで, HRVは心電図などから観測されるR波同士の間隔(R-R間隔)より算出され, 不等時間隔のHRVとして得られたものを, 補間により時系列データとすることが一般的である. そして, 時系列化されたHRVは, FFT等によりパワースペクトル解析が行われる. その結果, 0.04~0.15Hzの周波数帯域のパワー積分値をLF成分, 0.15~0.40Hzの周波数帯域のパワー積分値をHF成分として抽出することが多い. というのも, HF成分ならびにLF成分は自律神経遮断剤の使用によってほぼ消失する¹⁰⁾ことが示されており, したがって, これらの成分は自立神経活動に関連した指標と考えることができるからである. そこで, 著者らの既報⁹⁾では, LF成分とHF成分との比(LF/HF)を交感神経活動の亢進を示す指標¹¹⁾として適用し, 自律神経活動の推定を行い, 吹奏楽曲の聴取により, LF/HF値が大きく低下する(低下した割合の

*近畿大学工業高等専門学校

総合システム工学科 電気情報系

**東亜大学

平均：約 298%) ことを示した。すなわち、この事実は吹奏楽曲の聴取による交感神経活動の低下が示唆される結果であるため、吹奏楽曲の聴取で自律神経活動の沈静化がなされることが示唆されると考えられる。

以上の背景の下、本研究では、吹奏楽聴取による心拍変動への影響を探る一環として、著者らが今まで議論してこなかった HF 成分について着目し、その挙動からみた自律神経活動の推定を行うこととした。なお、HF 成分は副交感神経活動の亢進を示す指標¹¹⁾とされている。

2. 実験

本研究では、次に示す二つの条件で HRV を測定する実験を行った。

実験 1 5 人の被験者への吹奏楽曲の同時聴取

実験 2 1 人の被験者への同一吹奏楽曲の 14 日間反復聴取

HRV の測定および解析法は両者とも同じであるため、以下、両者に共通な部分を記す。

2.1 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男女を依頼した。被験者に対しては、事前に実験の内容および被験者が受ける可能性のあるリスクについて十分に説明し、実験協力の同意を得るようにした。

2.2 実験装置および環境

吹奏楽曲の演奏装置としては、市販のポータブル CD プレーヤー (ソニー製 D-120) を使用した。また、脈波の測定には、市販の脈拍センサ (島津理化 CI-6543) を使用した。センサからの脈波情報は、インタフェース (島津理化 PS-2001) を経由してノートパソコンに入力された。なお、本研究では脈波情報の中で R 波のピークが観測できればよいことと、後述する FFT 解析で使用する周波数帯 (0.04~0.4Hz) の両面から考え、サンプリング周波数を 50Hz とした。被験者への器具の装着は、吹奏楽曲の聴取用のヘッドフォンおよび脈拍センサのみとした。

2.3 脈波情報の測定

被験者の脈波情報の測定は、次に示す通りに実施した。まず、被験者自身によってヘッドフォンと脈拍センサを耳に装着させた後に着座させた。着座後は目を閉じて安静にするように指示し、センサからの脈波情報が安定した後、測定を開始した。

2.4 HRV 時系列データの作成

2.3 で測定された脈波の例を図 1 に示す。得られた脈波

からは、R 波が容易に観察できることがわかる。

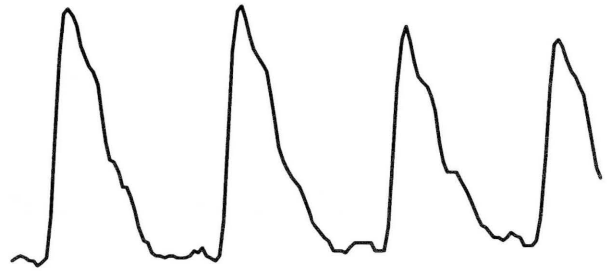


図 1 測定された脈波の例

このため、そのピーク間隔を算出することにより R-R 間隔を求め、不等時間隔の R-R 間隔データを作成した。求められた R-R 間隔データについて線形補間を施し、100ms の HRV 時系列データ¹²⁾とした。

2.5 心拍変動係数¹³⁾¹⁴⁾

2.3.2 で求められた HRV 時系列データより簡単に得られる指標として、心拍変動係数 CV-RR (coefficient of variance) がある。CV-RR は心拍間隔の標準偏差の平均に対する比率で定義され、次式で求めることができる。

$$CV-RR = \sqrt{\frac{\sum (RR_i - \overline{RR})^2}{N}}{\overline{RR}}$$

ここで、

\overline{RR} : 心拍間隔の算術平均
 N : 全心拍間隔のデータ個数
 RR_i : i 番目の心拍間隔時間

である。

2.6 心拍変動のパワースペクトル解析¹¹⁾

2.3.2 によって得られた心拍変動のパワースペクトルを FFT により求め、0.04~0.15Hz の周波数帯域のパワー積分値を LF 成分、0.15~0.40Hz の周波数帯域のパワー積分値を HF 成分として抽出した。この二つの成分は、自律神経遮断剤によってほぼ消失する¹⁰⁾ことから自律神経活動に関連性があると考えられている。本研究では、HF 成分を副交感神経活動の亢進を示す指標¹¹⁾として適用し、自律神経活動の推定を行うこととした。

2.6 実験フロー

ここで実験 1 および 2 の実験フローを示す。また、実験 1 と 2 において、聴取させた吹奏楽曲はどちらかというところ動的な楽曲である。

2.6.1 実験1

音刺激なし 90 sec～吹奏楽曲聴取 (1曲を1回聴取)
185sec～音刺激なし 90 sec

実験の様子を図2に、聴取させた吹奏楽曲を表1にそれぞれ示す。図2に示すように、教室タイプの静寂な実験室で実験が実施された。また、CD プレイヤーからの出力を分配し、5人に同時に聴取できるシステムを構成し、被験者は互いに向き合わずに着座させた。

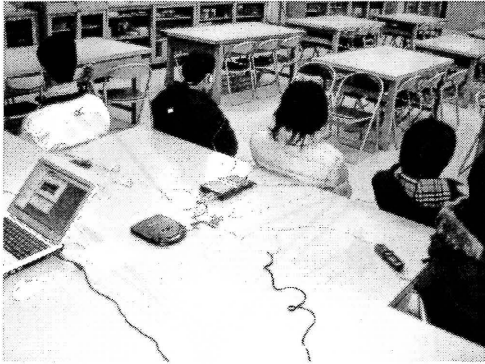


図2 実験の様子

表1 実験1で聴取させた吹奏楽曲

楽曲名	スポーツ・ショー行進曲
作曲者	小関裕而
演奏時間	185 sec
演奏者	野中囃洋和指揮, 陸上自衛隊中央音楽隊 (市販 CD)

また実験1での CV-RR については、吹奏楽曲の聴取前、聴取中、聴取後のそれぞれについて CV-RR を求めた。なお、吹奏楽曲の聴取中の CV-RR については楽曲の進行に合わせて、0~40sec (区間 i)、40~70sec (区間 ii)、70~105sec (区間 iii)、105~135sec (区間 iv)、135~155sec (区間 v) および 155~185sec (区間 vi) の6区間に分けて CV-RR を求めることとした。

2.6.2 実験2

音刺激なし 30 sec～吹奏楽曲聴取 (1曲を1回聴取)
431 sec～音刺激なし 30 sec

聴取させた吹奏楽曲を表2に示す。実験回数は一日に1回で、14日間にわたり毎日実施された。なお、CV-RR は聴取中全体について求めた。

表1 実験2で聴取させた吹奏楽曲

楽曲名	アパラチアン序曲
作曲者	バーンズ
演奏時間	431sec
演奏者	汐澤安彦指揮, 東京アカデミックウインドオーケストラ (市販 CD)

3. 結果と考察

3.1 実験1

3.1.1 実験1の CV-RR

CV-RR は主として副交感神経の活動を反映しているものと言われているが、交感神経の活動の影響も無視できないとも言われている¹⁴⁾ため、この数値だけで自律神経系の活動を評価することは困難であろう。

さて、実験1で得られた心拍変動時系列データから2.5に示す方法により CV-RR を求めた。5人の被験者の平均±SEにより図示したものを図3に示す。

また、CV-RR を求めた区間と本研究で用いた吹奏楽曲「スポーツ・ショー行進曲」の進行との対応関係を表3に示す。

CV-RR を求めた区間 i~vi は、楽曲の進行 (楽曲の雰囲気の変化) によって区切ったものである。それらの区間についての解説を若干加えると、いわゆる行進曲らしい「躍動的な部分」は区間 i, ii, v および vi である (ちなみに、NHK のスポーツ番組では、区間 i の部分を編曲して番組開始時の映像に合わせた演奏時間に調整 (短縮) してある)。区間 iii は区間 i および ii に比べ、演奏が「沈静化」する部分である。そして iv に入ると演奏は再び「躍動的」になっていき、区間 v, vi と進行し、演奏が終了する。

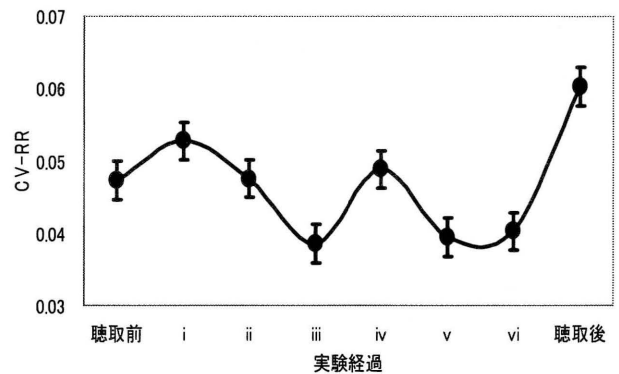


図3 聴取前～聴取中～聴取後の CV-RR の変動 (平均値±SE) i~vi は楽曲の区間 (2.6.1 に示した)

以上を踏まえ、図3の CV-RR の変動についての次のように考察してみる。

1. 実験が開始され、吹奏楽曲の演奏が始まる。

それまでの無音状態から、突如音刺激が入った状態になる (被験者には吹奏楽曲の演奏がいつ始まるかは伝えていない) ため、被験者はある種の緊張状態 (例えば「驚愕」すること) が発生すると推察される。その結果として CV-RR も大きくなるものと考え

られる。

2.演奏が進行し、区間 iii に入る。

それまでの躍動的な演奏から沈静的な演奏に変化するため、それにつれて心拍変動も沈静化 (CV-RR の値が減少) すると推察される。

3.区間 iv で再び躍動的な演奏に変化する。

区間 iii での CV-RR に比べ、増加傾向する傾向が見られたが、区間 v (区間 i に類似した区間)、区間 vi (区間 ii に類似した区間) で再び CV-RR は低下するという現象が出現した。

この要因としては、区間 i や ii に含まれる「第一主題」をこの楽曲の聴取中に合計 3 回聴取することによる反復聴取効果⁹⁾¹⁵⁾による「心拍変動の沈静化」が出現したものと考えられる。

4. やがて、演奏が終了する。

実験終了後の開放感から CV-RR が増加するものと考えられる。

表 3 「スポーツ・ショー行進曲」の進行

区間	演奏時間	楽曲の進行
i	0~40sec	躍動的な部分 (前奏と第一主題)
ii	40~70sec	躍動的な部分 (第二主題および第一主題の再現(1))
iii	70~105sec	鎮静的な部分 (中間部)
iv	105~135sec	躍動的な部分 (連結部 (中間部の変奏))
v	135~155sec	躍動的な部分 (第一主題の再現(2))
vi	155~185sec	躍動的な部分 (第二主題および第一主題の再現(3)そして終結)

なお、i~vi の区間の前後 10sec をオーバーラップさせて CV-RR を計算したところ、図 3 と同様な変動傾向であることがわかった。したがって、表 3 のような区間の設定については妥当性があるものと考えている。

また、5 人の被験者の平均値ではあるが、時間と CV-RR との関係が線形関係でなく、非線形の関係になったこと、あるいは、(同一楽曲内での) 反復聴取効果⁹⁾¹⁵⁾が示唆される現象が表出したことは興味深い。これらの現象については、今後被験者団を変化させて同様な実験を実施することでその傾向が探られるものと考えられる。

3.1.2 実験 1 のパワースペクトル解析

2.6 で述べたように、心拍変動のパワースペクトルを FFT により求め、0.04~0.15Hz の周波数帯域のパワー積分値を LF 成分、0.15~0.40Hz の周波数帯域のパワー積分値を HF 成分として抽出した。この二つの成分は、自律神

経遮断剤によってほぼ消失する¹⁰⁾ことから自律神経活動に関連性があると考えられている。本研究では、HF 成分を副交感神経活動の亢進を示す指標¹¹⁾として適用し、自立神経活動の推定を行うこととした。

実験 1 より得られた HF 成分について、吹奏楽曲の聴取前・聴取中・聴取後というように、5 人の被験者についてそれぞれ図示した結果を図 4 に示す。

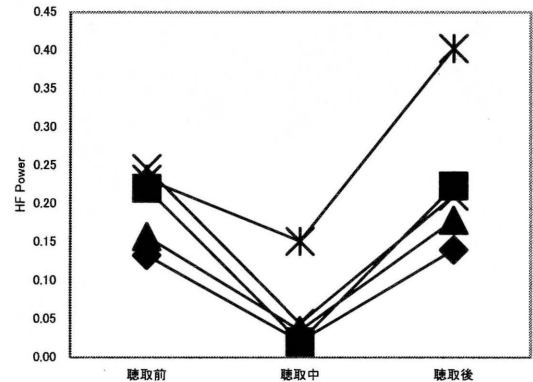


図 4 実験 1 における吹奏楽曲聴取前・聴取中・聴取後の HF 成分

◆：被験者 1，■：被験者 2，▲：被験者 3，
×：被験者 4，*：被験者 5

この結果、すべての被験者の HF 値について、吹奏楽曲の聴取中は下降することがわかった。また吹奏楽曲の聴取後は上昇し、ほぼ聴取前の値に回復することがわかった。これは吹奏楽曲の聴取により、副交感神経活動の沈静化を示唆する結果といえる。

ところで、同様な実験を行った著者らの既報⁹⁾では、吹奏楽曲聴取中に LF/HF の大幅な減少がみられることから、主に交感神経活動の沈静化がなされたと推定している。本研究の結果は、一見、著者らの既報と矛盾するような結果となっているが、著者らの既報で見られた吹奏楽曲聴取中の LF/HF の減少割合は平均 298% (減少割合の範囲 184~384%) であるのに対し、本研究における HF の減少割合は平均 76.6% (減少割合の範囲 35~99%) である。つまり、吹奏楽曲聴取による LF/HF の減少割合は HF 値の 4 倍近いということである。したがって、「吹奏楽曲聴取による副交感神経活動の沈静化」という推定は、交感神経活動のそれに比べ十分小さいものであるとみなすことができる。

したがって、本研究でも著者らの研究を含めた先行研究⁶⁾⁹⁾同様、吹奏楽曲聴取による交感神経活動の沈静化がなされたもの推定できるとみなしてよいだろう。

3.2 実験2

3.2.1 実験2のCV-RR

実験2より得られたHRV時系列データより求められたCV-RRを図5に示す。CV-RRの経日変化については、ほぼ平坦で推移したり、大幅な減少や増加が観察されたりするなど、日数の経過に伴い、複雑な変動をたどっていくことがわかった。

以上のように、CV-RRの変動傾向に対して顕著な特徴を見出すことが困難ではあるが、1日目とある程度日数が経過した7日目、および実験最終日である14日目のCV-RRの値にそれぞれ注目すると、1日目と7日目の値はそれほど変化がないが、14日目のCV-RRについては、1日目および7日目のそれらよりも小さい値であることが図5より観察できる。

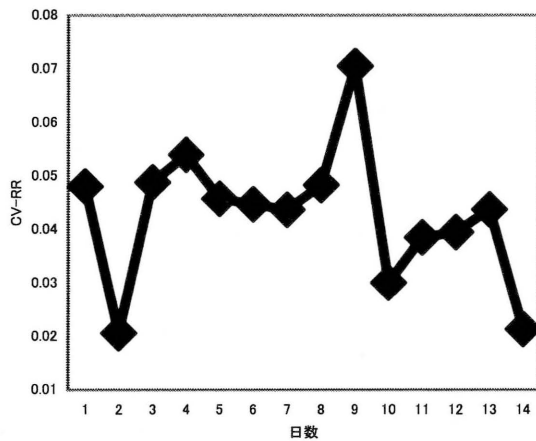


図5 CV-RRの経日変化

3.2.2 実験2のパワースペクトル解析

次に実験2のパワースペクトル解析におけるHF成分に注目して考察してみたい。2.6で述べたように、HF成分は副交感神経活動の亢進を示す指標¹¹⁾である。図6に、吹奏楽曲聴取全体を通して抽出されたHF成分の経日変化を示す。

回帰直線の決定係数 R^2 は約0.45であり、HF値が日数の経過と共に直線的に増加する傾向にあるといえる。そして、吹奏楽曲聴取の前半と後半とに分けてHF値を求めて図示したものを図7に示す。図7から、聴取前半のHF値の回帰直線の R^2 値は約0.81であり、後半のそれは約0.77であると求めることができた。これは、図6よりも回帰直線のfittingが向上したことを示しており、HF値が日数の経過と共に直線的に増加する傾向がより強くなったことを意味する。

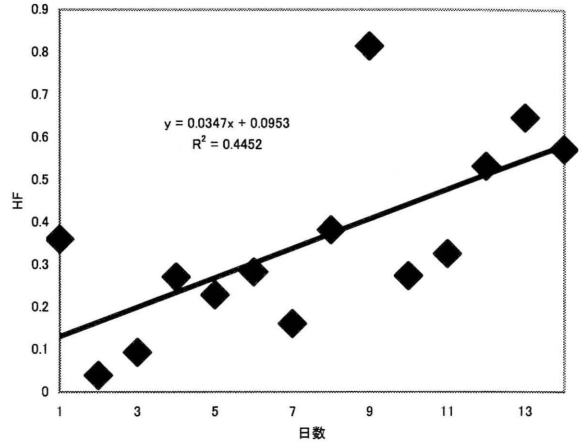


図6 聴取全体におけるHFの経日変化

以上のことから、同一吹奏楽曲の聴取回数(経過日数)の増加に伴って、副交感神経活動が次第に亢進していくことが推定でき、特に図7のように考えた場合は、HF値と聴取回数(経過日数)との間の直線関係がより強くなることから、聴取回数(経過日数)の増加に伴う副交感神経の亢進の傾向という推定がより明確になったと考えられる。

また、聴取前半のHF値がやや高くなる傾向も示されている。特に、聴取回数(経過日数)が8回目(日目)以降になると回帰直線からも読み取られる。これは、聴取後半における副交感神経活動の低下を暗示するが、3.1.2の考察で示されたように、著者らの既報⁹⁾と矛盾するものではない。

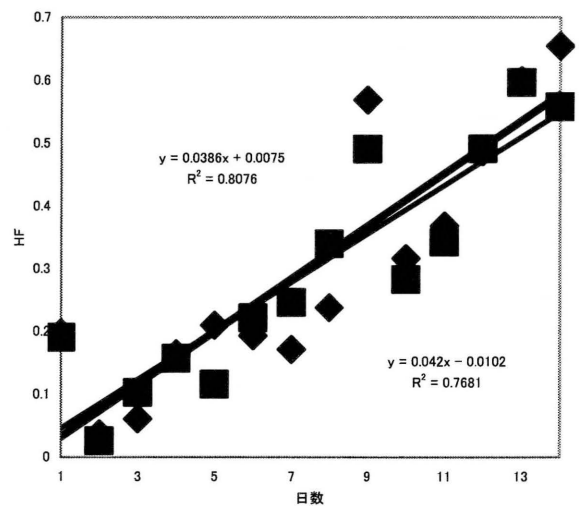


図7 聴取前半および後半におけるHFの経日変化

(■：聴取前半、◆：聴取後半)

回帰直線式と決定係数 R^2 は左上が前半、右下が後半。

一方、被験者は、聴取回数（経過日数）が増加する毎に「飽きた」「眠くなってくる」というような感想を述べている。そして、今までの結果は被験者の状況を別の面から説明できるような事象といえる。

したがって、同一吹奏楽曲の反復聴取により、ある種の「学習効果」が出現したことが示唆された結果が得られたと考えることができる。そして、被験者の感想とも合わせると、主観的な事象を HRV のパワースペクトル解析というような客観的な事象で説明できることの可能性が表出したのではないかと言うことができる。

4. おわりに

本研究は 2 つの実験により吹奏楽曲聴取中の HRV についてその測定と解析を行ったものである。

まず、5 人の被験者への吹奏楽曲同時聴取をさせて HRV を測定した。得られた HRV より算出した CV-RR の挙動から、反復聴取効果が示唆される結果が得られた。また HRV の FFT によるパワースペクトル解析により、吹奏楽曲聴取中の交感神経活動の沈静化が推定できた。

次に、1 人の被験者へ同一吹奏楽曲を 14 日間反復聴取させて上記と同様に HRV の測定と解析を行った結果、CV-RR については聴取回数（経過日数）と共に複雑な挙動をすることがわかったため、明確な傾向が見出されなかったが、HRV の FFT によるパワースペクトル解析で抽出された HF 値については聴取回数（経過日数）と共に直線的に増加することがわかり、ある種の「学習効果」が示唆された結果を得ることができた。

今後、被験者団を増加したり、聴取させる音楽を変化させたりするなど更なる検討を重ねていき、本研究の結論のさらなる明確化をはかっていきたい。

参考文献

- 1) 多田英之、波床光男、多田百合恵、岡崎正、村松勉、白井利彦：外来手術における音楽の効果 —アンケート調査による検討—、形成外科、39(1)、pp.33-37、1996。
- 2) 板垣悦子、桜木真智子、高久田明、板垣和男：五感への茂樹が循環器系に及ぼす影響 —色彩環境と音環境の検討—、共立薬科大学研究年報、45、pp.1-11、2001。
- 3) 和倉治久、木村美智代、井上準子、小林玲子、中村彩香：モーツアルトの音楽鑑賞が健康人女性の血圧、心拍、唾液 IgA 及び好中球機能に及ぼす影響、埼玉医科大学短期大学紀要、13、pp.45-51、2002。
- 4) 福井一：音楽聴取とテストステロン（三）、情報処理学会研究報告、1996-MUS-15、pp.51-54、1996。
- 5) 川田一貴、石宮眞一郎：スーパーマーケットの売り場における音環境に関する意識調査、情報処理学会研究報

告、2001-MUS-39、pp.79-86、2001。

- 6) Hori, K., Senga Y., Minami S., Hori, S.: Effects of listening to music on heart rate variability, Japanese Journal of Biometeorology, Vol.41, No.4, pp. 131-140, 2004.
- 7) Benende, A. H: From instrument to ear in a room: Direct or via recording, Journal of the Audio Engineering Society, Vol.33, No.4, pp. 218-233, 1985.
- 8) Watanabe, S., Yao F., Takaue, R. : Fundamental Study on Effects of Listening of Wind Band Music to the Changes of Blood Pressure and Heart Rate in Daily Living Environment, Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol. 12, No. 1, pp.9-15, 2007.
- 9) 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.
- 10) Pomeranz, C., Macaulj, R. J. B., Caudill, M. A., et al: Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis, American Journal of Physiology, Vol. 248, No. 1, Pt 2, Page H151-3, 1985.
- 11) 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.
- 12) 高田正幸、後藤留美、内部敦子、岩宮眞一郎、堅田秀生、恩田能成：純音の周波数およびラウドネスレベルと人間の生理的・心理的反応の関連 - 心電図 R-R 間隔スペクトル解析による検討 -、日本生理人類学会誌、Vol.8, No.3, pp.127-132, 2003.
- 13) 星芝貴行、植村元、北條尚志、徳弘一路：音楽刺激に対する心拍変動波形解析、日本音響学会誌、Vol.51, No.3, pp.163-173, 1995.
- 14) 吉川信嘉、小松隆、森寺邦三郎：心電図 R-R 間隔による自律神経検査法について、自立神経、Vol.24, No.1, pp.21-27, 1987.
- 15) 池田真紀、岩永誠、岩城達也：音楽の反復聴取が音楽に対する印象と情動反応に及ぼす影響、広島大学総合科学部紀要、Vol.20, pp.207-218, 1994.