

音楽に伴う $1/f$ ゆらぎ周波数成分の抽出と その人間生理への応用

菅井 桂子 (法政大学), 齋藤 兆古 (法政大学), 堀井 清之(白百合女子大学)

Extraction of $1/f$ fluctuation frequency components from music And Its Application to human physiology Keiko SUGAI, Yoshifuru SAITO and Kiyoshi HORII

ABSTRACT

Most of the engineering products have to equip the well designed human interface.

In order to enhance the human interface ultimately, it is essential to take the human physiological effects into account. This means that most of the engineering product design has to consider the human sensing feelings as well as physiological effects into account.

This paper concerns with the extraction of $1/f$ fluctuation frequency components from music and its application to the human psychophysiology.

Fourier analysis is applied to the music in order to extract the $1/f$ fluctuation frequency characteristics. According to the Fourier analysis, music is classified into two major categories: rich $1/f$ fluctuation or not. Electroencephalograph analysis to the objects hearing the music composed of the $1/f$ fluctuation components reveals the human physiological effects.

Keywords: $1/f$ fluctuation frequency, human physiology, Electroencephalograph analysis

1. 緒論

現代の多くの機器は、単に高性能が要求されるだけでなく、より洗練されたヒューマンインターフェイスを備えなければならない。このような意味で、現代の人間工学は取り扱い易さに加えて人間へ与える心理的効果も考慮しなければならない。

音響は人間の感性へ訴える最も効果的な信号である。このことは近年、音楽療法が多くの医療施設で取り入れられるなど、音楽の効果的な作用が医学的に認められていることからわかる。音楽の心理的作用には、気分の転換、感情の誘発、発散、感情の高揚や沈静などがある。音楽療法士は音楽の持つこれらの心理的・生理的作用を、患者の状態と照らし合わせながら選曲し、リハビリ処置を施す。

これまでに音楽の性格とその作用について、脈拍・呼吸の関係、血圧との関係、波との関係など、様々な研究がされてきたが、いずれも決定的な結果は出ていない¹⁾。このような音楽の不確か性から、音楽療法には豊富な知識と経験が求められると考えられる。

本研究は人間へ癒しを与えるとされる $1/f$ ゆらぎが、音楽の持つ不確か性を明らかにする一指標とならないかを探ることが目的である。具体的には、対極的な性質を持つ二種類の音楽中に、 $1/f$ ゆらぎ周波数成分がどのよ

うに含まれているかを可視化する。さらに、それらの音楽が人間生理へどのように作用しているかを脳波測定により調べる。

2. $1/f$ ゆらぎとは

「 $1/f$ ゆらぎ」は自然界に多く存在し²⁾、例えば小川のせせらぎ、小鳥の囀り、爽やかなそよ風などの心安らぐリズムが相当する。同様に、心地良い音楽を聴いたり、快い感じを抱いたり、安静にしているときの脳波にも「 $1/f$ ゆらぎ」が存在する。

「 $1/f$ ゆらぎ」解析法として、信号へ離散フーリエ変換(Discrete Fourier Transform)を適用し、各周波数に対するパワースペクトラムを計算する。周波数の低下とともにパワースペクトラムが増加するような信号の中で、パワースペクトラムの振幅が周波数に対して反比例する信号が「 $1/f$ ゆらぎ」である。

視覚的に判りやすくするために、よく行われる方法は、フーリエ・パワースペクトラム対周波数の両対数グラフを描き、描かれる線図の傾きによってゆらぎの種類を大別する方法である。Fig.1 にフーリエ・パワースペクトラムの例を示す。

Fig.1 において、直線の傾きが0の場合は主にホワイトノイズである。また、直線の傾きが急になる程単調な

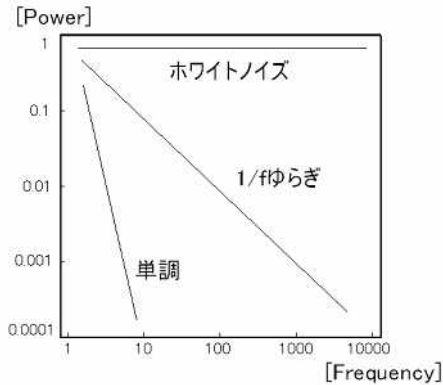


Fig.1 1/f Fluctuation Frequency Characteristic

信号である。そして、ホワイトノイズと単調な信号の中間的な信号で傾きが約-1 の場合を「1/f ゆらぎ」と呼び、人間が心地よいと感じる信号であるとされている。

3 . 1/f ゆらぎの抽出

3.1 実験方法

音楽データの信号を時間領域にフーリエ変換し、フーリエ係数の絶対値を計算してFig. 2に示すようなフーリエ・パワースペクトラムを得る。Fig.3 に示すようにFig.2の周波数特性を両対数で描く。

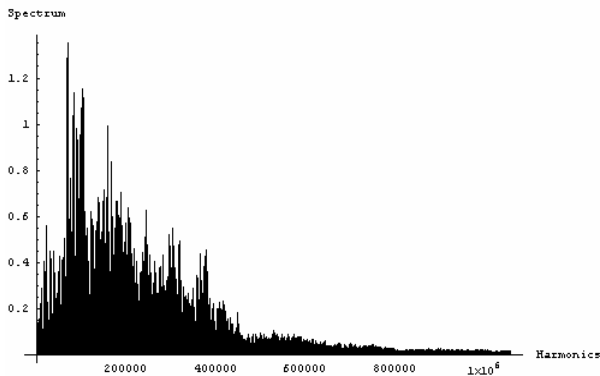


Fig2.Frequency Characteristics

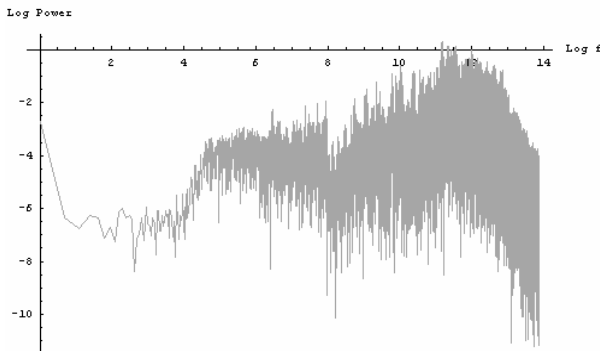


Fig3 Log-Log representation of Frequency Characteristics

フーリエ変換は全サンプル数に等しい実部と虚部を与えるので、独立なパワースペクトラムは全サンプル数の半分までであり、さらにフーリエ変換の精度を勘案し全サンプル数の 1/4 項までで周波数特性解析を行う。

Fig.3 に示す両対数グラフ上に描かれる線図の傾きを最小自乗近似により求め、その傾きから揺らぎの種類を大別し特徴を求める。本稿では全体の傾きに加え、部分的な周波数領域の傾きも求めた。

ストレス解消・鎮静効果と緊張感を高めるとされている二種類の対極的音楽データに関して 1/f ゆらぎ周波数解析を行った。ストレス解消・鎮静効果のあるとされるヒーリング音楽は 13 曲であり、緊張感が高まると言われるクラシック音楽は 17 曲である。

3.2 実験結果

フーリエ・パワースペクトラム対周波数の両対数グラフをグレイで表し、それを最小自乗近似して得られた傾きをモノクロのグラデーションでFig.4のように表示した。

Figs 5,6 はストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽のゆらぎ周波数特性の例である。



Fig4. Monochrome Graduation Bar

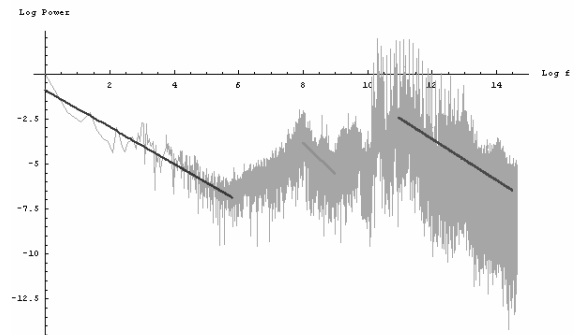


Fig5. First Example of 1/f Frequency Characteristic Extracted from Music having Healing Effect

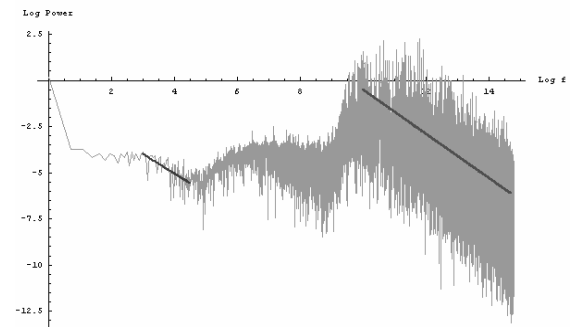


Fig.6 Second Example of 1/f Frequency Characteristic Example Extracted from Music having Healing Effect

P01-003

ストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽は部分的に -1 の傾きを呈するものや、全体の傾きが -1 になるもの、部分的且つ全体の傾きが -1 になる場合があり、調べたすべての曲で $1/f$ ゆらぎ周波数特性を呈した。この中で、高域もしくは低域のみで $1/f$ ゆらぎ特性を呈する曲が 62% あり、高域と低域の両方で $1/f$ ゆらぎを呈する曲が 38% であった。

Figs. 7, 8 は緊張感を高める音楽のゆらぎ周波数特性の例を示す。緊張感を高める音楽は部分的な周波数領域で $1/f$ ゆらぎ特性を呈するものは少なく、周波数領域全体で $1/f$ ゆらぎ特性を呈するものが多い。また $1/f$ ゆらぎ特性を呈さない曲も少なくなかった。 $1/f$ ゆらぎを呈さない音楽は、Fig. 7 に示すように低周波領域で殆どホワイトノイズ状であり、高周波終端で急激な傾きを持つ単調な周波数特性がみられた。他方、 $1/f$ ゆらぎ特性を部分的な周波数で呈する曲は、低周波領域で $1/f$ ゆらぎ特性を呈し、高周波領域ではすべて $1/f$ ゆらぎ特性を呈せず急な傾きを持つ単調な曲であった。

以上の結果を纏めると、ストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽の特徴は、何らかの形で $1/f$ ゆらぎ周波数特性を呈し、特に高周波領域で $1/f$ ゆらぎ特性を呈する点にある。他方、緊張感を高める音楽は低周波領域のみ若しくは全体として $1/f$ ゆらぎを呈するが、全く $1/f$ ゆらぎ周波数特性を呈さない曲もある。

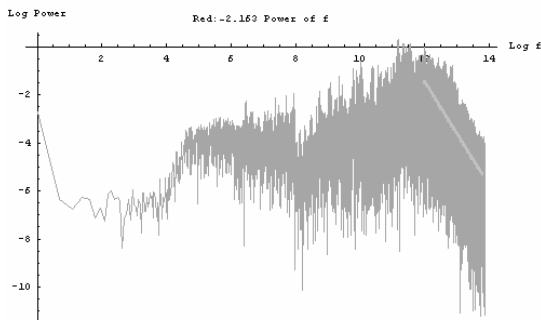


Fig. 7 $1/f$ Frequency Characteristic Example Extracted from Music having Stress Causing Effect

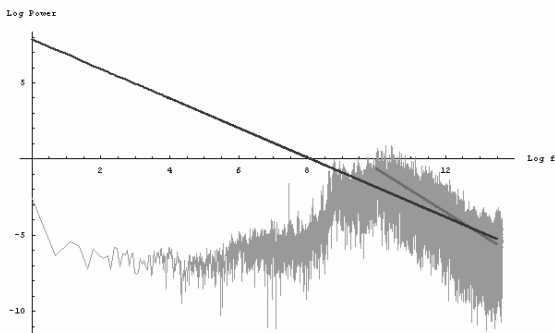


Fig. 8 $1/f$ Frequency Characteristic Example Extracted from Music having Stress Causing Effect

3.3 考察

音楽における周波数は音の高低であり、これをフーリエ変換しパワースペクトラムを得るということは、曲中にそれぞれの音の高低をどれだけの密度で含んでいるかをあらわす。さらに、その傾きを抽出することで音の密度の時間的な変化の規則性が評価出来る。この規則性がランダム過ぎず単調過ぎない音楽が $1/f$ ゆらぎを呈する音楽と考えられる。

実験で使用したストレス解消・鎮静効果のあるヒーリング音楽の曲調はスローテンポで、せせらぎの音など自然音が音楽に織り込まれているものが多く、必ず部分的または周波数領域全体を通して $1/f$ ゆらぎが存在した。

他方、緊張感を高める音楽はアップテンポのものが多く、例えば、現代音楽、そして運動会等で使われる『道化師』や『熊蜂の飛行』などである。テンポや激しさに関わらず、よく耳にする運動会等で使われるような曲では全体的な周波数領域で $1/f$ ゆらぎの存在が確認できた。

$1/f$ ゆらぎを呈さなかった曲には、比較的近代に書かれたものが目立った。ベトナム戦争に触発されて書かれた現代曲や、映画の不気味なシーンに使われた曲などである。

以上の結果から、ストレス解消・鎮静効果は、部分的、特に高周波数領域、または全体として必ず $1/f$ ゆらぎの存在に拠るが、必ずしも $1/f$ ゆらぎの存在がストレス解消・鎮静効果を持つとは限らない。むしろ、緊張感を高める効果を与える場合もあることが判る。すなわち、ストレスを解消するか否かは高周波領域の $1/f$ ゆらぎの存在がカギと考えられる。

4. 脳波測定

4.1 実験

ここでは、鎮静効果のあるとされる楽曲を用いて、ストレス解消効果を脳波測定により吟味する。

前章の実験で用いた沈静効果を持つとされる楽曲の中で、5 曲を連続で被験者に聞かせ、脳波を簡易脳波計によって測定した。脳波測定時には、被験者の周りをパーテーションで区切り楽な姿勢を取らせ、眼球運動を抑えるために被験者にアイマスクの装着をした。曲目毎に脳波の、さらに 波の平均値を計算し、その推移を記録した。

4.2 実験結果

一般に、 波は浅い睡眠状態時、 波は目を閉じた時やリラックスした状態の時、 波は活動時または緊張時に優位になるとされている。また脳の活性度が高くなる場合、原則として全ての脳波は減少する傾向になり³⁾、反対に意識が下がって眠くなると 波が減って 波が混ざ

P01-003

り始めると言われる⁴⁾. これらを踏まえ、実験結果を考察する。

実験結果は、大きく二つの傾向に分かれた。波の増加したケースと、波の増加が見られたケースである。Figs. 9, 10, 11 に代表的な結果を示す。

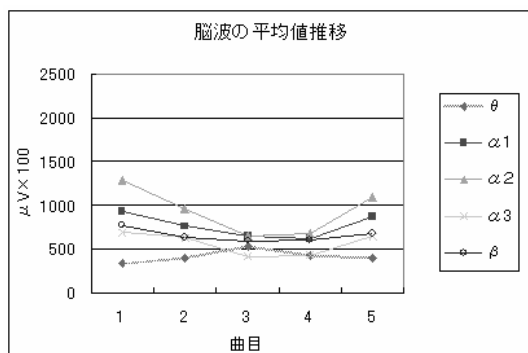


Fig.9 Subject 1

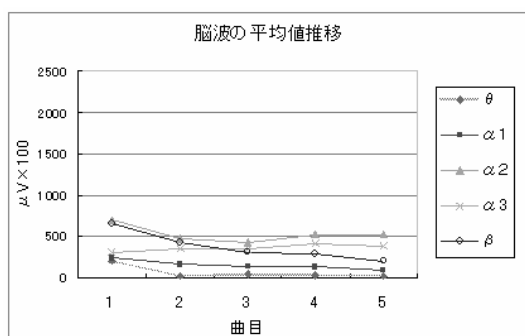


Fig.10 Subject 2

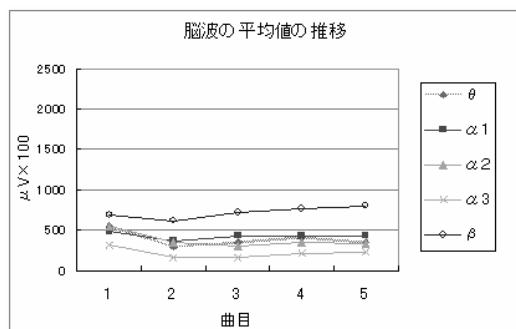


Fig.11 Subject 3

4.3 考察

被験者1は、1番目と2番目の曲、最後の曲でいずれも高い波が確認できる。最初の曲で高い波が検出される場合、このような形のグラフになることが多かった。被験者2は、最初から最後の曲まで全体的に脳波強度の大きな変化はなかったが、詳細に調べると波に比べ波が下がっていることが判明した。

被験者3では波の優位が確認できる。5曲通して波

の優位だった被験者の特徴は波と波が同様な傾向で変化すること、および全曲を通して脳波に極端な変化が現れないことが挙げられる。

波の増加が必ずしもリラックスを意味するとは限らない。しかし、個人差はあるが初めの曲で大きく波が現れ、波の増加と共に波の減少が見られるグループがあることも事実である。

他方、脳が活発に機能する場合に伴うといわれる波が顕著に現れるグループもある。

全体の考察として、ストレス解消・鎮静効果のあるとされているヒーリング音楽には1/f ゆらぎ周波数が極めて多く含まれており、その効果は波、波へ顕著に反映すると考えられる。

5. まとめ

1/f ゆらぎ周波数特性が、音楽療法の一指標となり得る可能性を探る試みとして、最初に音楽に伴う1/f ゆらぎ特性の抽出をおこなった。

その結果、ヒーリング音楽には1/f ゆらぎ特性が極めて多く含まれていることが判明した。供試した曲全てが何らかの1/f ゆらぎ特性を呈し、低域から高域まで部分的に1/f ゆらぎ特性が複数個存在する。他方、緊張を促すクラシック音楽では、低域ではホワイトノイズ状、高域では急な傾きの短調な曲であっても全体として1/f ゆらぎ特性を呈する場合もある。部分的な1/f ゆらぎ特性は低域で見られ、広域では見られない。さらに、全く1/f ゆらぎ特性を呈さない曲も少なくない。

総括すると、緊張を緩和するヒーリング音楽では1/f ゆらぎ特性の存在は必要条件であり、十分条件ではない。必要十分条件は、全体として、さらに部分的に高域と低域においても1/f ゆらぎ特性を呈することであると考えられる。

ヒーリング音楽の効果を脳波測定によって吟味した。その結果、音楽を聴いている間の脳波は波の増加又は波の増加へ二極化することが確認できた。

以上から1/f ゆらぎ周波数を多く含むヒーリング音楽は、波と波に顕著に反映すると考えられる。

参考文献

- 1) 音楽療法入門: pii-desu.hp.infoseek.co.jp
- 2) 寺西正晃, 丸山和夫, 早野誠治, 齋藤兆古, 堀井清之, 自然界の画像を持つ1/f周波数成分の可視化, 可視化情報シンポジウム, B108, 2005.
- 3) メディカルシステム研修所: www.kenn.co.jp
- 4) 「脳波」と「事象関連電位」:
www2f.biglobe.ne.jp/yasuq/eeg.htm