

1/f ゆらぎとリラックス効果の関係性の明確化

深澤 彩美

Ami Fukasawa

法政大学大学情報科学部デジタルメディア学科
ami.fukasawa.3m@stu.hosei.ac.jp

Abstract

We sometime listen to music to be relax. But, it is hard to select pieces efficiently because there is no criterion. It is traditionally said that music having 1/f fluctuation sounds pleasant, but it hasn't been scientifically proven yet. This study, a system that judge frequency characteristic based on similarity with 1/f which is obtained by linear regressed power spectral less 3.17Hz is built. Experiment which measured subjective evaluation value when subjects listening to some peace of music which has different frequency characteristics was conducted. When subjects listened to 1/f music. Therefore, 1/f music affect relaxation is suggested.

1 序論

音楽は現代人の日常生活の一部になっている。町中ではイヤホンやヘッドフォンを装着し、自分の好みの音楽を聴いている人を多く見かける。また、音楽療法や音楽を用いたコミュニケーションなど、実用的に音楽を活用している例もある。このように、人が音楽を聴く理由は多岐に渡るが、本論文では音楽がもたらすリラックス効果を考える。

寝る前に音楽を聴く場合や、フラストレーションを解消する際に音楽を聴く場合は、リラックス効果を期待しているといえる。しかし、どのような音楽にリラックス効果が高いのかという明確な判断基準は無く、効果が高い曲を効率的に選曲するのは難しい。

リラックス効果を測る手がかりとして、'1/f ゆらぎ' を挙げる。ゆらぎとは規則性がありながらも、パターンが一定でない現象の事を示し、1/f ゆらぎとは、パワースペクトルが周波数に反比例するようなゆらぎの事である。日常の中で多く観測される現象であり、具体的には、川のせせらぎ、鳥の鳴き声、人の話し声、スピーチなどの自然の中の音や、星の瞬き、気温の変化、ろうそくの炎の揺れ、年輪にも表れている。このような1/f ゆらぎは人間に心地良さを与えていると言われている。人間がリラックスをしている時の脳波である、 α 波と近い周波数であり、1/f ゆらぎが含まれているものを知覚する事で α 波が増加するため、心地よく感じるのだと言われている。このゆらぎは音楽の中でも観測され、楽曲毎に差が発生する。具体的にはモーツァルトやバッハ、ワグナーの楽曲や教会音楽に近い楽曲は1/f ゆらぎの特性を持つ。

しかし、1/f ゆらぎとリラックス効果の関連性は科学的に証明出来ている訳では無く、俗説に過ぎない。そこで本研究では、リラックス効果と1/f ゆらぎの特性を持つ楽曲との関係性を、音楽聴取時の主観評価により議論し、周波数特性を用いて効率的に選曲を行えるシステムを構築する事を目標とする。

2 関連研究

Richard F. Voss, と John Clarke は様々な雑音に着目し、周波数や波形の相関関係から音楽との関わりを議論している [1]。

2.1 雑音の種類

雑音には様々な種類がある。ホワイトノイズは変動に全く相関が無く、レッドノイズは強い相関が見られる雑音であり、双方の中間であるのがピンクノイズである。これらのパワースペクトルには以下のようにグラフの形状に大きな差が見られる。

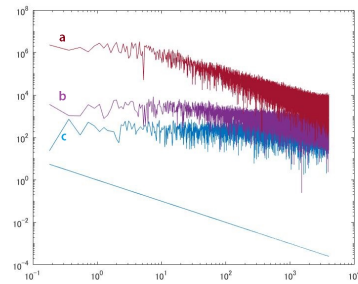


図 1. 雑音のパワースペクトル:(a) レッドノイズ, (b) ピンクノイズ, (c) ホワイトノイズ

自己相関をフーリエ変換するとパワースペクトルとなり、パワースペクトルを逆フーリエ変換すると自己相関になるというウィナー・ヒンチンの定理からパワースペクトルのグラフの形状の差に影響を及ぼすのは、自己相関だという事が分かる。3つの雑音の波形の自己相関を観察すると、ホワイトノイズは局所的にのみ基本周期があり、ピンクノイズはホワイトノイズよりも長い範囲で基本周期があった。レッドノイズはホワイトノイズよりも長い範囲で基本周期があるという結果となった。この結果から、3つの雑音の差は周期の幅だと言える。

2.1.1 周波数と音楽の関係性

音楽のパワースペクトルを観測した際に1Hzから10Hzの間にピークが現れる事がある。この周波数の範囲は楽曲における4分音符や8分音符の長さにあたる事から、楽曲の持つリズムに関係している事が分かる。また、0.1Hzから1Hzの間のピークは楽曲において数小節単位の時間にあたる事からフレーズに関係している事が分かる。0.1Hzより低い周波数の範囲にピークがある場合はフレーズより長い範囲の時間に関係している。0.01Hzよりも低い周波数を測定する為には、シングルレコードよりも長い期間の音源が必要である。例としてラジオ番組を音源としてパワースペクトルの観測を行った。3つの局を12時間ずつ録音し実験を行っている。パワースペクトルはそれぞれ違う形を表し、興味深い結果となった。

3 パワースペクトルの近似

パワースペクトルを直線に近似して、傾きを計算する事により、1/fの直線との類似度を観察する。今回は従来手法である線形回帰と、対数正規分布や指数関数を用いた非線形回帰で近似を行い、比較を行った。

3.1 線形回帰

線形回帰は従来研究 [2] で用いられた手法である。パワースペクトルの両対数を取ったものを以下の式を元に回帰を行う。

$$Y = u(1)X + u(2)v$$

直線の傾きは $\beta = u(1)$ となる。線形回帰で近似を行ったパワースペクトルは以下の図に表す。

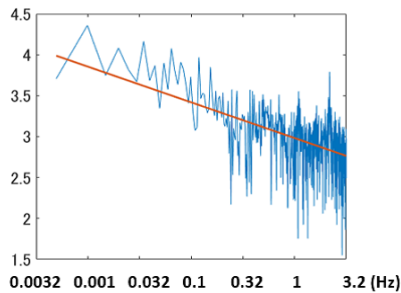


図 2. 線形回帰で近似したパワースペクトル

グラフを見て分かる通り、低周波数域が正しく近似されていない。両対数を取った状態で回帰を行っているため、高周波域に多くの点が集まってしまう事が計算に影響を与えていると考えられる。この手法では楽曲の構造に関する低周波数域の回帰が正しく計算されないという問題がある。

3.2 対数正規分布を用いた非線形回帰

線形回帰で問題があった低周波数域を正しく回帰する為に、対数正規分布を用いて非線形回帰を行った。対数を取る前のパワースペクトルは対数正規分布をしている。両対数を取る前に回帰を行い、近似された曲線を両対数を取るという手法で行った。回帰に用いた対数正規分布の確率密度関数は以下の通りに表示する。

$$Y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma X} \exp\left(-\frac{(\ln X - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

両対数を取っていない状態のパワースペクトルと対数正規分布で近似した曲線を並べて図 3,4 に示す。また、対数を取ったものを重ねて図 5 に示す。

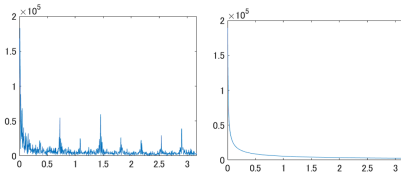


図 3. パワースペクトルと近似した直線

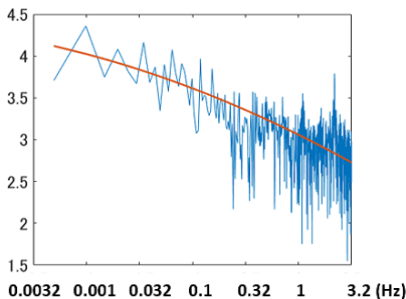


図 4. 対数正規分布を用いて非線形回帰で近似したパワースペクトル

両対数を取る前に回帰の計算を行っているため、両軸が均等に計算が行われる。パワースペクトルの分布も対数正規分布をしているため、関数に近似するという点においては最も妥当な手段であるといえる。図を見ても分かるように正しく計算が行われている。しかし、回帰後の関数は曲線になってしまい、傾きの推定が出来ない事が問題点である。

3.3 指数関数を用いた非線形回帰

対数正規分布で傾きの計算が行えないという問題を解消する為に、X 軸のみ対数を取った状態で指数関数を用いて非線形回帰を行った。近似する指数関数の式は以下の通りである。

$$Y = u(1)e^{u(2)X}$$

この手法で近似したパワースペクトルと回帰直線を以下の図に表す。

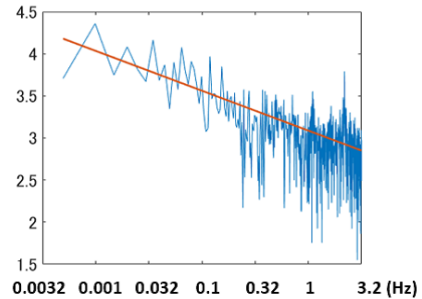


図 5. 指数関数を用いて非線形回帰で近似したパワースペクトル

近似した直線は、 $Y = u(2)x + \log u(1)$ と表す事が出来る為、直線の傾きは $\beta = u(2)$ となり容易に求める事ができる。図を見て分かる通り、線形低周波数域が正しく近似されており傾きの推定も可能であるため、線形回帰と対数正規分布を用いた非線形回帰の問題点を解決する事ができた。

3.4 線形回帰と非線形回帰の比較

線形回帰を用いて近似した β の値と指数関数を用いて近似した β の値を比較した。オーケストラで演奏されたクラシック曲とピアノで演奏されたクラシック曲、ピアノで演奏されたポップス曲と原曲の比較を行った。

表 1. 線形回帰と非線形回帰での β の比較

ジャンル	線形回帰	非線形回帰	平均値の差
クラシック (オケ)	0.61	0.61	0
クラシック (ピアノ)	0.41	0.44	+0.03
ポップス (原曲)	0.39	0.52	+0.13
ポップス (ピアノ)	0.39	0.51	+0.12

クラシックよりポップスの方が差が大きい結果となった。パワースペクトルを観察してみる。

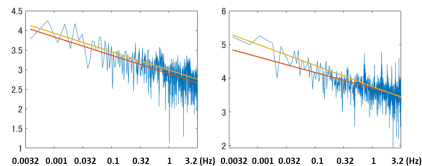


図 6. 線形回帰と非線形回帰の差

上の左のグラフは線形回帰と非線形回帰で差が見られなかった楽曲の 1 つである。対して右のグラフは線形回帰が低周波数が正しく計算されておらず、非線形回帰との差が大きい楽曲である。差が大きいグラフの 1Hz 付近のパワースペクトルを見てみると、ピークが多く存在することが分かる。1Hz 付近の周波数は曲のビートに対応しているため、ビートがある曲は線形回帰と非線形回帰の差が大きくなる事が分かる。よってポップスの曲はクラシックの曲に比べてビートが常に存在していることから線形回帰と非線形回帰の差が大きく出ていると考えられる。

4 楽曲ごとの観測

4.1 音数による比較

全体の構成は同じであるが、演奏方法が異なる楽曲を比較した。例えば、バッハルベル作曲のカノンオーケストラで演奏した場合とピアノで演奏した場合のように、演奏されている楽器や音の数に差があるものである。アンサンブルや合唱、吹奏楽など様々な演奏形態を試してみても一番顕著に差があった、オーケストラとピアノ [表 2]、並びにポップスの原曲とピアノ [表 3] を比較する。各ジャンルで 10 曲以上の β 値を測定し平均値と比較後の平均値の差を示す。

表 2. 音数による β の比較 (クラシック)

オーケストラ (クラシック)	ピアノ (クラシック)	平均値の差
0.61	0.451	-0.17

表 3. 音数による β の比較 (ポップス)

原曲 (ポップス)	ピアノ (ポップス)	平均値の差
0.58	0.50	-0.08

クラシックとポップス共に、音数が減ると β の値が小さくなる結果となった。比較してみるとポップスよりクラシックの方が音数による差が大きい。ポップスは音数が少なくなる事により β 値が大きくなる楽曲、変化しない楽曲もあったが、クラシックは測定した全ての楽曲で β 値が小さくなった。

4.2 曲の長さによる比較

測定する楽曲の長さで β 値が規則的に変化するかを調査するため、7 分以下の楽曲と同ジャンルの楽曲を繋げた 1 時間程度のプレイリストを比較する。表 2,3 と同様に表 4 には各ジャンルで 10 曲以上の β 値を測定し平均値と比較後の平均値の差を示す。

表 4. 曲の長さによる β の比較

ジャンル	7 分以下	1 時間以下	平均値の差
クラシック (オーケストラ)	0.44	0.47	+0.03
クラシック (ピアノ)	0.61	0.44	-0.16
ポップス (ピアノ)	0.52	0.51	-0.01

測定を行った全てのジャンルで一様な変化は見られなかった。しかし、クラシック (オーケストラ) とポップス (ピアノ) はほぼ変化が無いが、クラシック (ピアノ) は大きくなった。

4.3 ジャンルによる比較

ジャンルが違うことにより、 β 値に変化が現れるかを調査するために、測定を行った全ての楽曲の平均値を表 5 にまとめた。

表 5. ジャンルによる β の比較

ジャンル	β
ヒーリング	0.41
ジャズ	0.44
クラシック (ピアノ)	0.44
ポップス (ピアノ)	0.51
ポップス	0.52
ロック	0.55
EDM	0.59
クラシック (オーケストラ)	0.59

ロックは周波数域を 10Hz や 100Hz までにしていくにつれて値は下がっていく。他の曲は周波数を広げる事により値が下がるものもあるが、あまり変化はない。

5 実験

被験者に対象楽曲を聴かせて、それぞれの楽曲のリラックス効果を測定する実験を行い、主観評価測定を行った。

5.1 実験方法

被験者は 15 歳から 50 歳まで、幅広い年齢層の方に依頼し、あらかじめ文書および口頭にて研究の目的を説明した。被験者の合計人数は 8 人である。静かな空間に被験者 1 名と計測者 1 名で実験を行った。被験者に 1/f 様の周波数特性が異なる 8 曲の対象楽曲を聞かせる。実験中は楽な気持ちで挑んでもらいたい旨をあらかじめ口頭で伝え、実験中は着座閉眼とした。楽曲聴取後にはアンケートを記入させ、主観評価測定を行った。

5.2 実験に使用する楽曲

聴取させた楽曲は β の値が異なる 8 曲である。ピンクノイズの β 値が 0.31 である事から 0.3 に近い楽曲を 1/f 様の周波数特性を持つ楽曲とみなす。また β 値が 0.3 から大きく外れている楽曲を 1/f 様の周波数特性を持たない楽曲とみなす。今回は楽曲の構造に重点を置いている為、演奏形態が等しく β 値が多様なピアノ楽曲を主に使用した。ピアノ楽曲で 60 曲以上の周波数特性を測定したが、0.8 を超える β 値を持つものは見つからなかった。また、様々なジャンルの周波数特性を調べても見つからなかった。音割れを含むポップス音楽を測定した所、0.8 を超える β 値を観測した為、ピアノ楽曲ではないが使用した。1 曲聴き終わるごとにアンケートを記入してもらう。実験開始から終了までの時間は 1 時間 10 分程度であった。

表 6. 実験に使用する楽曲

ジャンル	β の値
ジャズ (ピアノ)27	0.13
ポップス (ピアノ)22	0.34
ポップス (ピアノ)11	0.36
クラシック (ピアノ)8	0.37
クラシック (ピアノ)16	0.51
クラシック (ピアノ)7	0.72
クラシック (ピアノ)20	0.72
ポップス (雑音に近い)	0.83

6 結果

楽器聴取後の主観評価測定により得られたリラックス度を、各曲ごと平均値を求めたものを表 5.2 に示す。

表 7. 楽曲聴取時のリラックス度の主観評価値の平均

曲名	リラックス度
ジャズ (ピアノ)27	4.5
ポップス (ピアノ)22	5.95
ポップス (ピアノ)11	6.15
クラシック (ピアノ)8	7.4
クラシック (ピアノ)16	5.7
クラシック (ピアノ)7	7.9
クラシック (ピアノ)20	4.7
ポップス (雑音に近い)	1.05

β 値が増加するにつれてリラックス度が低くなるという結果になった。しかし、 β の値が 0.30 以下であるジャズの楽曲は 0.30 付近の楽曲よりもリラックス度が低い結果となっている。これらの結果から、 β が 0.30 よりも離れていくにつれてリラックス度が低くなっていると考えた。 β と 1/f の傾きである 0.30 との差を絶対値を取った状態で結果を図 5.2 にまとめる。

また、クラシック (ピアノ)11 のように、 β 値が同じでもリラックス度が異なる楽曲があった。この楽曲のフレーズ領域の傾きを測定した所、他の 1/f 様の周波数特性を持つ楽曲よりも大きい事が分かった。パワースペクトルのフレーズ領域とリラックス度の関係を求める為に、フレーズ領域の傾きと 1/f の傾きの差を絶対値を取った状態で結果を図 5.2 にまとめる。

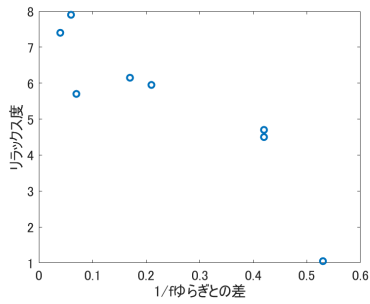


図 7. 1/f との差とリラックス度の関係

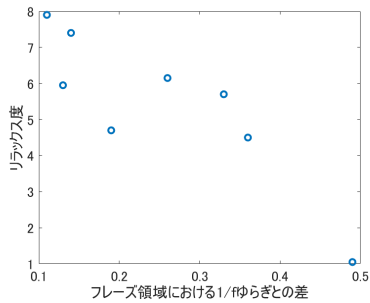


図 8. フレーズ領域における 1/f との差とリラックス度の関係

図??からフレーズ領域の傾きが 1/f から離れていくにつれてリラックス度が下がっていくことが分かる。しかし、1/f との差が小さい楽曲を見てみると、楽曲による差が大きくなってしまっている。しかし、フレーズ領域ではない 3.17Hz 以下全体の傾きの差が大きくなっている。

フレーズ領域に楽曲による特徴が現れたため、リズム領域も傾きを比較してみた。パワースペクトルのリズム領域 (01Hz～1Hz) の傾きとリラックス度の関係を図??にまとめる。

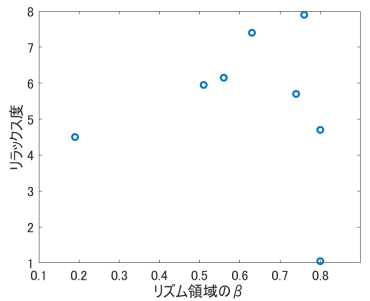


図 9. リズム領域における傾きとリラックス度の関係

図??から分かる通り、リズムとリラックス度の相関は見られなかった。特に $\beta = 0.8$ 付近の 3 曲が顕著に現れている。リラックス度が 8.5 と高いものから、中間の 5.7 程度、低い 1.05 と幅が広い結果となっている。よってリラックス効果に関係する周波数域は 3.17Hz 以下全体とフレーズ領域 (0.1Hz～1Hz) である事が分かった。

7 考察

今回の主観評価測定により、楽曲のパワースペクトルにおいて 3.17Hz 以下の低周波数域を直線に回帰した傾きが、1/f の傾きである 0.3 から遠くなるにつれてリラックス度が下がるという結果から、1/f ゆらぎとリラックス効果の関係がある事が分かる。しかし、同じような傾きの大きさでもリラックス度が異なる楽曲があった。従来の研究では 3.17Hz 以下の周波数域のみを観察していたが、今回はフレーズ領域 (0.1Hz～1Hz) とリズム領域 (1Hz～10Hz) のパワースペクトルの傾きを観察した。低周波数域の傾きが同じでもリラックス度が異なる楽曲はフレーズ領域の傾きが大きいという特徴があった。フレーズ領

域の傾きが大きい曲はロックの分野などに多く、音数が多いことが影響していると考えられる。よってフレーズ領域も指標として、楽曲のパワースペクトルにおいて 3.17Hz 以下の低周波数域の傾きが 1/f から遠くなるにつれてリラックス効果が下がり、フレーズ領域の傾きも 1/f から遠くなるにつれてリラックス効果が下がると考えられる。

8 結論

音楽は演奏方法やジャンルなど様々なパターンが存在し、比較をするのが難しい。従来研究ではメロディーの周波数特性を観察し、分析をしていたが、日常生活で音楽のメロディーだけを聴く事は少ない [6]。また、音響情報全体を使用している研究では瞬時周波数のパワースペクトルを観察している。しかし、瞬時周波数は従来研究 [6] の同様の特徴量を観察している訳では無い。今回は音響情報全体のパワースペクトルを使用し、低周波数域の周波数特性を観察することによって様々な曲を一つの尺度で比較する事ができた。また従来研究ではパワースペクトルの近似に線形回帰を用いており、低周波数域を正しく計算出来ていないという問題があった。低周波数域は音楽の構造に関係するため、分析する上で重要な周波数域となる [7]。今回は x 軸のみ対数を取ったパワースペクトルを指数関数を用いて非線形回帰をすることにより、低周波数域を正しく計算する事ができた。主観評価測定から、パワースペクトルの 3.17Hz 以下の低周波数域の傾きが 1/f の傾きとの差が大きくなるほど、リラックス効果が下がる事が分かった。しかし、同様の傾きであるがリラックス度が異なる楽曲も存在するため一概には 3.17Hz 以下の帯域のみでリラックス効果を判断する事が出来ないフレーズ領域 (0.1Hz から 1Hz) の観察により、フレーズ領域の傾きと 1/f との傾きの差が大きくなるにつれてリラックス度が下がる事が分かった。よって、3.17Hz 以下の周波数域とフレーズ領域 (0.1Hz～1Hz) の周波数特性ははリラックス効果を測る一つの指標にする事ができる。また、今回の実験では様々な音楽ジャンルの特徴や楽曲の特徴が、3.17Hz 以下の低周波数域とフレーズ領域 (0.1Hz～1Hz)、リズム領域 (1Hz～10Hz) にそれぞれ現れる事が分かった。

参考文献

- [1] Richard F. Voss, John Clarke 1/f noise in music : Music from 1/f noise, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol.63, No.1, pp.258-263
- [2] Michael W.Beauvios,Quantifying Aesthetic Preference And Perceived Complexity For Fractal Melodes, Preference,Complexity,and fractalmelodies, pp.247-265
- [3] 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および 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 VoL1 (2013)
- [4] 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,pp109-114,2002
- [5] 岩下豊彦, 情緒の意味空間の個人差に関する一実験的研究, 心理学研究,Vol.43,No.4,pp188-200,1972
- [6] 武者利光,1/f ゆらぎと快適性, 日本音響学会誌,50 間 6 号,1994,pp485-488
- [7] Kiichi Komatsubara, Yoshio Inushi, Hiroshi Edagawa, Tsutomu Shibaie, 1/fnoise and channel in Ge pN Junction,Journal of the Physical Society of Japan,15(1960)-9