

# 1/f ノイズとフラクタル音楽

SP01110 香川 龍一（非線形物理学講座）

## 1 ホワイト・ノイズとブラウン・ノイズ

ノイズとはある変数の予測不可能な時間的変動である。その中でホワイト・ノイズは完全にランダムな変動である。言い換えれば短期間、長期間であろうと、ホワイト・ノイズのある部分と別の部分の間には相関関係がないということである。またこのホワイト・ノイズ(ランダム・ノイズ)を積分したときにできるのがブラウン・ノイズである。ブラウン・ノイズは異なる部分の間に極めて強い統計的な相関関係があり、高い振動数のゆらぎよりも低い振動数のゆらぎをより多くもつ。この名前はそれがブラウン運動のモデルであることから命名された。

## 2 1/f ノイズと音楽

自己相関関数はある時間間隔だけ離れた時点におけるゆらぎの相関の強さを表す。ホワイト・ノイズは相関が 0 であり、自己相関関数のパワー・スペクトルが定数となり  $1/f^0$  ノイズ ( $f$  = 振動数) と言われる。X 軸に振動数、Y 軸にパワー・スペクトルをとった両対数グラフでは、ほとんど 0 に近い傾きの直線となる。このことはホワイト・ノイズではすべての振動数のゆらぎが同じ強さであることを意味する。ブラウン・ノイズは、ある時点のゆらぎとその前後のゆらぎの間に強い相関関係があり、そのパワー・スペクトルが  $1/f^2$  に比例するので、 $1/f^2$  ノイズと言われる。前述した両対数グラフではほとんど -2 に近い傾きの直線となる。ブラウン・ノイズには高い振動数(速く変化するゆらぎ)よりも低い振動数(ゆっくりと変化するゆらぎ)がより多く存在する。ブラウン・ノイズには秩序と意外性が混ざり合って存在し、ホワイト・ノイズはすべて予測不可能な意外さで満たされているが、それは、パワー・スペクトルの傾きに反映していることが分かる。

ところでホワイト・ノイズとブラウン・ノイズの間には、 $1/f$  ノイズと言われる重要なノイズがある。このノイズは、パワー・スペクトルがその名の通り  $1/f$  に比例する。秩序と意外性が混ざり合ったこのノイズは、ナイル川の洪水時の水位や神経細胞の電位のゆらぎなど、これらの自然界の時間的な変化を特徴付けている。

音の時間的な変動、つまり音楽は 3 種類のノイズによって合成することができる。ホワイト・ノイズはごく普通の音楽と比べると音色のアップダウンが激しすぎる音の列である。反対にブラウン・ノイズが作りだす音の列では低

振動のゆらぎがほとんどであり、驚きの全くない退屈な音の列である。一方、このようなホワイト・ノイズとブラウン・ノイズが入り混じったカオスの状態、つまり  $1/f$  ノイズによって生じる音の列が「音楽的」に感じられるであろう。そこで実際に聞かれる楽曲の 1 つとして、aiko の“かばん”という曲のパワー・スペクトルを下図に示した。傾きがほとんど -1 になっており心地よい音楽であることがわかる。

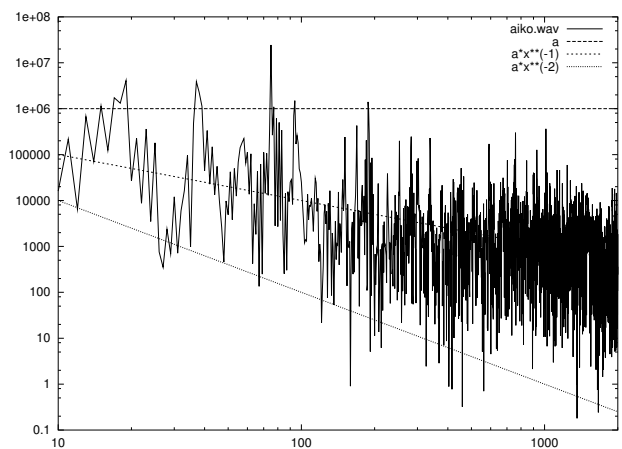


図 1: 楽曲のパワー・スペクトルの例。  
 $1/f$  ノイズになっているように見える。

この卒業研究では、こうした様々な統計性をもったノイズの生成方法について研究を行った。次のデータは、ホワイト、ブラウン、そして  $1/f$  ノイズをコンピューターのプログラムによって生成したものである。

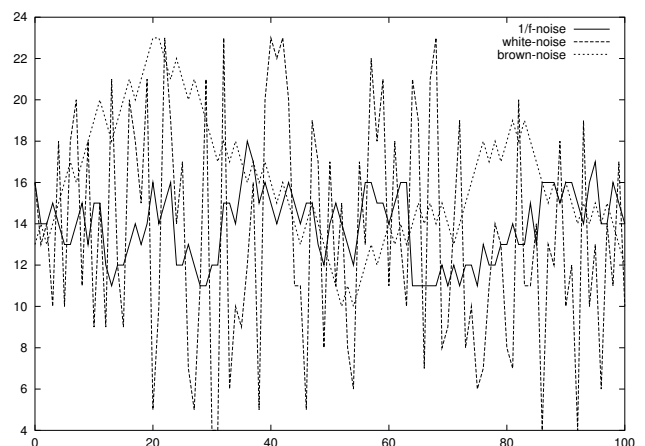


図 2: コンピューターによるホワイト、ブラウン、 $1/f$  ノイズの時系列データ。