

# 心拍変動の非ガウス指標

## 1 はじめに

非ガウス指標  $\lambda$  の計算プログラムは、

[http://www.ge.ce.nihon-u.ac.jp/~kiyono/pdf\\_analysis.html](http://www.ge.ce.nihon-u.ac.jp/~kiyono/pdf_analysis.html)

からダウンロードできます。ここでは、そのホームページからダウンロードできるプログラムについて使用法を説明します。ここで説明するプログラムはすべて C 言語で書かれていますので、C 言語をコンパイルできる環境であれば OS に関係なくご使用になれます。ただし、プログラムに含まれるいくつかのアルゴリズムについては『Numerical Recipes in C』(技術評論社)を参考にし作成されており、コンパイルの際には『Numerical Recipes in C』の標準的なインクルードファイルが必要になります。また、二重指数関数型数値積分公式を使った数値積分のアルゴリズムには大浦拓哉先生が開発されたアルゴリズムを使用しています。C 言語のプログラムは下記のホームページからダウンロードできます。

<http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/~ooura/>

ここでは、Windows 環境を想定し、使用法を説明します。Windows 環境 (XP または Vista) でコンパイルされた実行ファイルを使って心拍変動の非ガウス指標  $\lambda$  を求める手順は次のようになります。

1. 分析したいデータが保存されているフォルダ上でコマンドプロンプトを起動。
2. データファイルを加工 (ヘッダの消去, 列の抽出) し, 1 次元 (1 列) の時系列データを作成。必要があれば, リサンプリング。  
[使用するプログラム] csamp, hskip, hrv\_resamp など
3. 非ガウス指標  $\lambda$  の推定。必要があれば, 粗視化時系列や確率分布も計算。  
[使用するプログラム] hrv\_lmd, cg\_series, hrv\_pdf

次の節からは、個々の内容について詳しく説明していきます。

## 2 コマンドプロンプトの起動

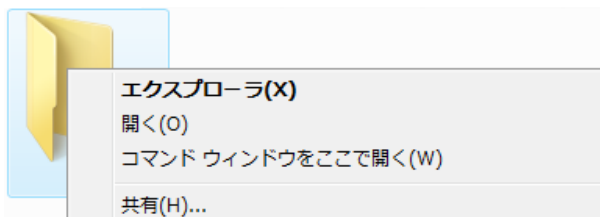
ここで紹介するプログラムはすべてコマンドプロンプトに命令を入力して実行させます。まずは、プログラムを走らせる前の準備としてコマンドプロンプトの起動方法を説明します。コマンドプロンプトの起動法をご存じの方は次の節に進んでください。

ここでは、分析したい心拍変動のデータは「HRV」というフォルダの中にあるとして説明します。コマンドプロンプトは「アクセサリ」のフォルダの中にある「コマンドプロンプト」を左クリックすることで起動できます。しかし、この起動方法では目的のフォルダ (この場合は「HRV」) に移動するのがとても面倒です。もっと簡単に目的のフォルダ上でコマンドプロンプトを起動する方法があります。

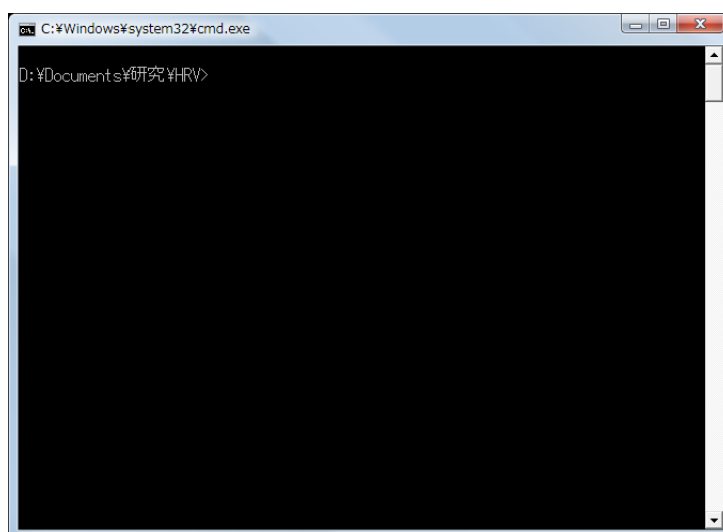
Windows Vistaの場合 まず、目的のフォルダ「HRV」のアイコンが見える状態にします（「HRV」のフォルダを開いてはいけません）。



目的のフォルダ「HRV」にマウスのポインタを重ね、続いて「Shift」キーを押しながらマウスを右クリックします。そこで出現するメニューに「コマンドウィンドウをここで開く (W)」がありますので、この部分を左クリックしてください。



すると、下のようなコマンドプロンプトが起動します。このコマンドプロンプトで命令を入力することでプログラムを実行させることができます。



Windows Xpの場合 マウスの右クリックを使って任意のフォルダ上でコマンドプロンプトを起動できるプログラムが「PowerToys for Windows XP」として Microsoft の開発者により作られています。このプログラムは無料でダウンロードできます。「PowerToys for Windows XP」の中に含まれる「Open Command Window Here」をインストールすれば、目的のフォルダ上で右クリックすることで、コマンドプロンプトを起動できます。また、同様の機能を日本語化したプログラムもインターネットを通じてダウンロードできますので、インターネットで検索してみてください。例えば、<http://stereo.jpn.org/muttyan/ptoyxp.htm> から「CmdHereInf.zip」をダウンロードしてインストールすれば良いでしょう。

### 3 プログラムのインストール

ここで紹介している C 言語のプログラムをコンパイルし、実行ファイルを作成すれば、そのプログラムを単体で使うことができます。また、Windows であれば、実行形式のプログラムをホームページからダウンロードして使うこともできます。ただし、その実行ファイルを使ってデータ処理をするためには、その実行ファイルを適切な場所に置いておく必要があります。プログラムの置き場所としては、

- 分析したいデータと同じフォルダに実行ファイルを保存する。
- あるフォルダに実行ファイルをまとめて保存し、環境変数「path」にそのフォルダの場所を設定する。

のどちらかにする必要があります。パソコンの操作に不慣れな人は、分析したいデータと同じフォルダにプログラムを保存したほうが簡単でしょう。

環境変数を設定する場合は、スタートメニューの「コンピュータ」を右クリックし、「プロパティ」を選択してください。次に、「システムの詳細設定」を選択すれば「環境変数」のボタンが出現しますので、このボタンを押して「path」の編集をしてください。プログラムを置くフォルダのフルパスを「;」で区切って追加することで、任意のフォルダからプログラムを実行できるようになります。設定後はログオフして、再度ログインしてください。

### 4 プログラムの実行

ここでは、各プログラムの実行方法を説明します。目的に応じていくつかのプログラムを組み合わせ使用してください。Windows 環境であれば、実行形式のプログラムには拡張子 .exe がついていますが、実行する際には .exe の部分を省略することができます。

#### 4.1 データファイルの加工（列の抽出、ヘッダの削除）: csamp

ここで紹介するプログラムの多くは時系列が 1 列に並んだデータファイルを解析するように作られています。元のデータファイルがヘッダを含んだり、複数の列からなる場合には、使用する列のみを抽出する必要があります。このようなデータの整形には csamp を使います。

##### 列の抽出

入力ファイルの最初の  $n$  行を除き、 $N$  列目のデータのみを出力ファイルに書き出す。

```
csamp -s  $n$  -c  $N$  入力ファイル名 > 出力ファイル名
```

列の区切り文字は、スペース、タブ、コンマ「,」に対応しています。例えば、input.dat のヘッダ部分の 9 行を除き、2 列目にあるデータのみを output.dat に保存する場合は、

```
csamp -s 9 -c 2 input.dat > output.dat
```

となります。

ヘッダの削除だけであれば、hskip を使い、

```
hskip -l  $n$  input.dat > output.dat
```

を実行すれば、input.dat の最初の  $n$  行を削除したデータが output.dat に保存されます。

## 4.2 R-R 間隔時系列のリサンプリング: hrv\_resamp

hrv\_resamp を使って等時間間隔にサンプリングした心拍変動時系列を作成します。入力するデータファイルはテキスト形式で、R-R 間隔時系列のみが 1 列に並んだ形で準備して下さい。時間の単位はミリ秒もしくは秒を自動判別します。ヘッダや複数列を含む場合は、csamp を使ってデータを整形してください。出力は、時刻と R-R 間隔の 2 列になります。ただし、`-i` を指定すれば、時刻の列が省略されます。

### リサンプリング

R-R 間隔時系列のデータファイルを、リサンプリング時間間隔  $T$  (秒) でリサンプリングする。

```
hrv_resamp [オプション] -t  $T$  入力ファイル名 > 出力ファイル名
```

[オプション]

`-d` : ステップ補間

`-l` : 線形補間

`-s` : 3 次スプライン補間

`-i` : 時刻の出力を省略

例えば、データファイル `rri.dat` の時系列について、スプライン補間を使い 0.25 秒間隔でリサンプリングする場合は、

```
hrv_resamp -s -t 0.25 rri.dat > output.dat
```

とします。結果は、`output.dat` に保存されます。時刻の列を除く必要がある場合は `-i` を指定し、

```
hrv_resamp -i -s -t 0.25 rri.dat > output.dat
```

とします。

## 4.3 粗視化時系列の作成 (トレンド除去を含む): cg\_series

ここでいう時系列の粗視化とは、時系列を局所的に平均化して見ることを意味します。`cg_series` は、積分時系列の局所トレンドを  $N$  次の多項式で取り除き、粗視化時系列を生成します。実際の計算では時系列全体の平均を 0 にしてから局所和を計算しています。ここでは、局所的な和を計算する変数の数をスケール  $W$  とします。局所和と局所平均の違いは足し合わせる変数の数で割るかどうかの違いですから、定数倍の違いがあるだけです。入力するデータファイルはテキスト形式で、時系列のみが 1 列に並んだ形で準備して下さい。出力は平均 0 の時系列になります。

### 粗視化時系列の生成

時系列データをスケール  $W$  の粗視化時系列に変換。トレンド除去の次数を 1 以上の整数  $N$  に設定した場合は、 $(N - 1)$  次の多項式で近似されるトレンドが元の時系列から取り除かれる。

```
cg_series [オプション] -d  $N$  -s  $W$  入力ファイル名 > 出力ファイル名
```

[オプション]

`-m  $M$`  : 最小 2 乗法に用いるアルゴリズムの指定。正規方程式 `-m 1` , 特異値分解 `-m 2`

`-v` : 分散を 1 に標準化

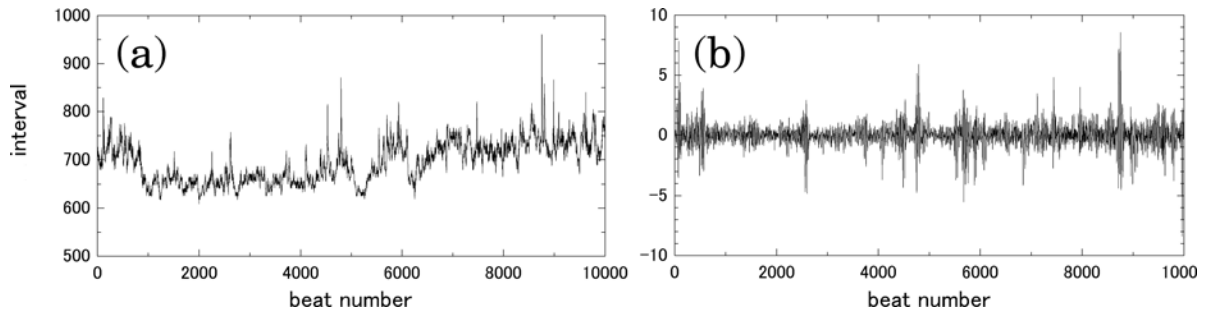
`-a` : スケール  $W$  で割り局所平均のゆらぎに変換

`-b` : 後ろ向きの粗視化を追加

例えば、心拍変動データ `rri.dat` (プロットは下図 (a)) を 40 拍のスケールで粗視化する場合、

```
cg_series -v -d 3 -s 40 rri.dat > scale40.dat
```

とします．ここでは，`-d 3` により除去するトレンドの次数を 3 とし，`-v` により分散を 1 に標準化した結果が出力されます．`scale40.dat` をプロットしたものが下図 (b) です．



#### 4.4 非ガウス指標 $\lambda$ の推定 (対数振幅分散) : `hrv_lmd`

ここでは，心拍変動の粗視化時系列の分布を非ガウス指標  $\lambda$  を導入することで特徴づけます．分散が無限大であるような特異な確率変数の例を除けば，互いに独立な確率変数の標本平均の分布は，足し合わせる変数の数が増えるにつれ，急速に正規分布に近づいていきます．一方，分散に強い相関がある確率過程では，局所平均の分布が正規分布へ近づく速さは非常にゆっくりになります．非ガウス指標  $\lambda$  は，正規分布からのずれを特徴づける表す統計量ですので， $\lambda$  を使って粗視化 (局所平均化) にともなう正規分布への収束の速さを定量化することができます．

`hrv_lmd` は，1 列 (1 次元) の時系列を含むデータファイルから  $\lambda$  を推定するプログラムです．このプログラムは `cg_series` と同じように，トレンドを除去したり，粗視化時系列を生成するアルゴリズムを含んでいます．

##### 非ガウス指標 $\lambda$ の推定

時系列データから粗視化スケール  $W$  での非ガウス指標  $\lambda$  を推定．粗視化スケール  $W$  については，サンプリング周波数を単位として設定．

```
hrv_lmd [オプション] -s W 入力ファイル名
```

[オプション]

`-d N` : 除去する多項式トレンドの次数  $N$

`-m M` : 最小 2 乗法に用いるアルゴリズムの指定．正規方程式 (`-m 1`)，特異値分解 (`-m 2`)．

`-f n` : サンプリング周波数の指定

`-c` : 中央値を中心とした推定

`-b` : 後ろ向きの粗視化を追加

結果は，「入力ファイル名」，「スケール」，「非ガウス指標  $\lambda$ 」が 1 行にタブ区切りで出力されます．出力結果をファイルに保存する場合は，

```
hrv_lmd [オプション] -s W 入力ファイル名 > 出力ファイル名
```

としてください．

例えば，R-R 間隔時系列のデータファイル `rri.dat` から 40 拍のスケールでの非ガウス指標  $\lambda$  を推定する場合，

```
hrv_lmd -d 3 -s 40 rri.dat
```

を実行します．この例では，`-d 3` を指定することで，積分時系列から 3 次の多項式トレンドを除去しています．

拍数ではなく時間で等間隔にリサンプリングした R-R 間隔時系列 `rri.dat` を解析する場合、まず、`hrv_resamp` を使い 0.25 秒間隔でリサンプリングした時系列 `resamp.dat` を生成します。

```
hrv_resamp -i -s -t 0.25 rri.dat > resamp.dat
```

ここでは、`-s` を指定しましたので、3 次スプライン補間を使っています。また、`-i` を指定することで、時刻の列を省略した 1 列の時系列を出力しています。`hrv_lmd` に入力するデータを作成する場合には、必ず、`-i` を指定してください。リサンプリングされた時系列 `resamp.dat` から、25 秒のスケールでの非ガウス指標  $\lambda$  を推定する場合は、

```
hrv_lmd -f 4 -d 3 -s 25 resamp.dat
```

を実行します。ここでは、`-f 4` によりサンプリング周波数  $1/0.25 = 4$  Hz を指定し、`-d 3` により 3 次の多項式トレンドの除去を指定しています。

#### 4.5 確率分布の推定と乗法的対数正規モデルによる近似： `hrv_pdf`

`hrv_pdf` は時系列の標準化された確率分布を計算するプログラムです。粗視化スケールや除去する多項式トレンドの次数を指定して分布を計算することができます。さらに、このプログラムは `hrv_lmd` と同じアルゴリズムで非ガウス指標  $\lambda$  を推定し、乗法的対数正規モデルの確率分布が同時に出力されます。入力するデータは 1 列の時系列データを準備してください。出力は、各ビンの中央値  $x$ 、時系列の確率密度  $P(x)$ 、モデルの確率密度  $Q(x)$  です。

##### 確率分布の計算

時系列データから粗視化スケール  $W$  での確率分布を計算。粗視化スケール  $W$  については、サンプリング周波数を単位として設定。

```
hrv_pdf [オプション] -s W 入力ファイル名
```

[オプション]

`-n B` : ビンの総数  $B$  を指定 (デフォルトは 100)

`-d N` : 除去する多項式トレンドの次数  $N$

`-r Y` :  $P(x)$  を  $Y$  で割り、 $P(x)/Y$  を出力 (グラフを  $y$  軸方向にシフト)

`-m M` : 最小 2 乗法に用いるアルゴリズムの指定。正規方程式 (`-m 1`)、特異値分解 (`-m 2`)。

`-f n` : サンプリング周波数の指定

`-c` : 中央値を中心とした推定

`-b` : 後ろ向きの粗視化を追加

例えば、R-R 間隔時系列 `rri.dat` から粗視化スケール 100 拍での確率分布を計算する場合、

```
hrv_pdf -d 3 -s 100 rri.dat > pdf.dat
```

とします。ここでは、`-d 3` により 3 次の多項式トレンドを除去するよう指定しました。下の図では、出力結果 `pdf.dat` の 1 列を  $x$  座標、2 列を  $y$  座標として `plot` でプロットしました。実線は乗法的対数正規モデルによる近似で、`pdf.dat` の 1 列を  $x$  座標、3 列を  $y$  座標としてプロットしました。(b) は (a) の縦軸を対数目盛でプロットしたものです。

