腕の曲げ伸ばし運動を速く行う際の手首の動きの減少と上腕二頭筋、上腕三頭筋の筋活動量の増加

北田　和

2018 年 9 月 20 日

概要

ボールを投げたり、楽器を叩いたりする場合など腕を速く動かすことはよくある。だが、よりボールを速く投げたり、楽器を速く叩いたりしたいと考えた場合、どうすれば良いのだろうか。これを実現する手法として、腕を速く動かすことが挙げられる。そこで、腕の曲げ伸ばし運動をする際に、何も指示されなかった場合となるべく速く動かすよう指示された場合の筋活動や腕の関節の動きの変化を調べた。その結果、腕を力強く動かし、曲げ伸ばしの動きを小さくすることで、腕の曲げ伸ばし運動を速くできることがわかった。

1　序論

ボールを投げたり、楽器を叩いたりする場合に腕を速く動かすことはよくある。そこで、「もっとボールを速く投げたい」、「もっと楽器を速く叩きたい」場合に重要となるのは、腕を速く曲げ伸ばしすることである。では、腕を速く曲げ伸ばしするにはどのようにすれば良いのだろうか。そこで、腕を速く曲げ伸ばしする時の筋活動と腕の関節の動きの変化から、腕を速く曲げ伸ばしする方法を調べる。

2　手法

被験者 (19 歳、男性、陸上部所属) に膝立ちで机に向き、利き腕を置いて腕の曲げ伸ばし運動をするように指示した (図 1 参照)。通常時の腕の曲げ伸ばし運動の場合と速く曲げ伸ばし運動を行う場合を比較するため、被験者に対し何も指示を出さず腕の曲げ伸ばし運動を行った場合 (slow-task) となるべく速く腕の曲げ伸ばし運動を行うように指示した場合 (fast-task) を測定する 2 回の計測実験を行った。ワイヤレス筋電センサ (LOGICAL PRODUCT 社 P-WS1222) を上腕二頭筋、上腕三頭筋の二カ所に貼付し、サンプリング周波数を 1000 Hz で測定を行った。モーションキャプチャ用の反射マーカを図 2 のように手首、肘、肩に貼付し、モーションキャプチャのカメラは被験者の頭上に設置し、水平方向の腕の曲げ伸ばし運動を計測した。解析には (ライブラリ社 MoveTR) を使用した。

1 回の実験では、腕の曲げ伸ばしを開始後、約 5 秒後から計測を開始し、20 秒間測定を行った。

2.1　筋電データ処理

筋電データに対しては、1~4Hz の通過領域をもつ 3 次のバターワースフィルタにより、ノイズを除去した。位相のずれを直すため、ゼロ位相ずれフィルタを用いた。次に、筋活動量の時間変化を、次式を用いて算出した。

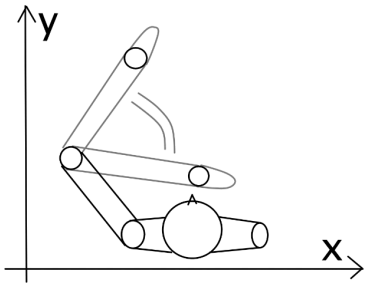


図 1　腕の曲げ伸ばし運動

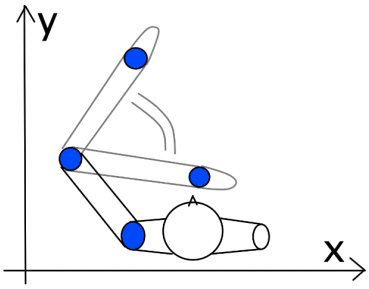


図 2　モーションキャプチャの反射マーカ貼付位置

$$a(t) = \frac{1}{\Delta T} \int_{t-\Delta T/2}^{t+\Delta T/2} |E(t)| dt$$

ここで、t が時間、ΔT が窓区間、$E(t)$ が筋活動度を示す。以上の処理を $\Delta T = 50[ms]$ で行うプログラムを付録 A にまとめた。

3　結果

図 3 は被験者の y 軸方向の手首の軌道変化の 3 秒間のデータである。ここで、手首の次元軸は図 1、2 と同様である。この図では、青線が何も指示を与えない運動 (slow-task) の結果を、赤線がなるべく速く動かすよう指示を与えた運動 (fast-task) の結果を示す。

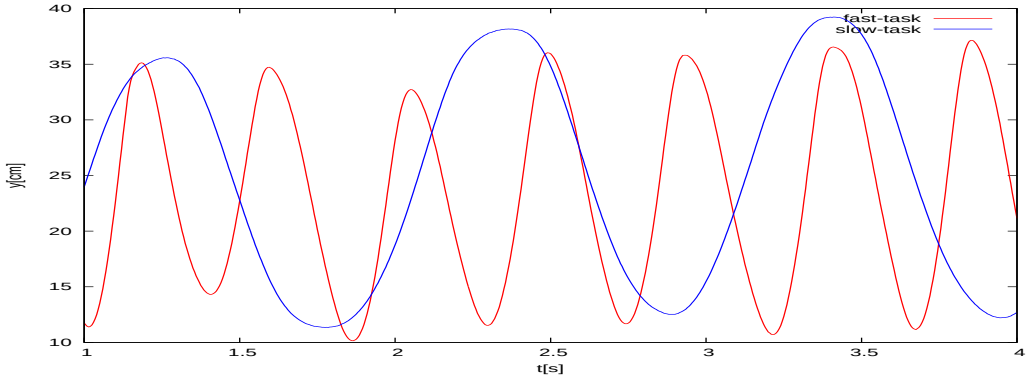
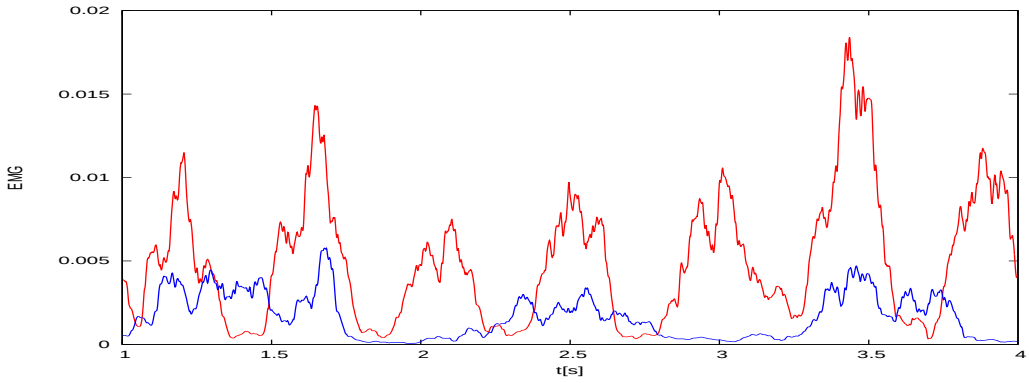
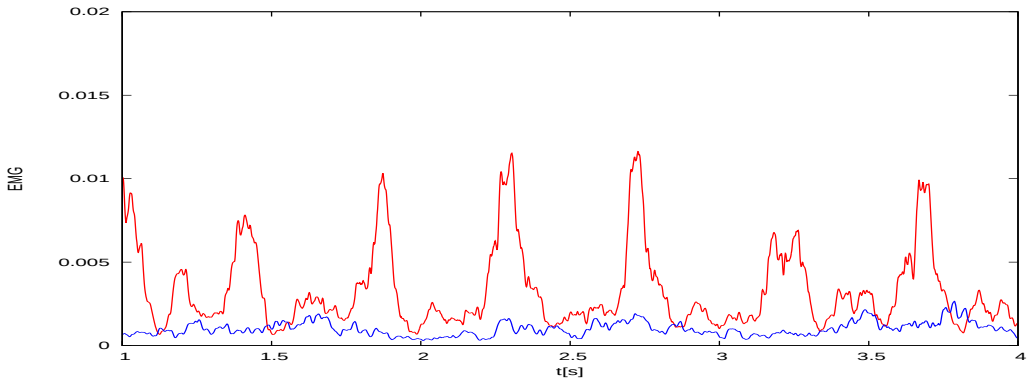


図 3　手首の時間における y 軸方向の動き

図 4 は図 3 と同じ時間の上腕二頭筋、上腕三頭筋の EMG 活動量のデータを示す。ここで、図 4(a) は上腕二頭筋の EMG を、図 4(b) は上腕三頭筋の EMG を示す。この図より、slow-task よりも fast-task の方が全体的に EMG が大きく、より筋肉を使用していることがわかる。また、上腕二頭筋では EMG のピークがはっきりとしており、ピーク間の EMG は下がるのに対し、上腕三頭筋ではピーク間に小さなピークが存在している。よって、腕の曲げ伸ばしの際に、上腕二頭筋は使用している時と、使用してない時があるのに対し、上腕三頭筋は、常時使用している中で、激しく使うタイミングあることがわかる。



(a)



(b)

図 4　上腕二頭筋, 上腕三頭筋の EMG 活動量

ここで、図 5 に上腕二頭筋、上腕三頭筋のそれぞれの EMG 活動量のグラフと被験者の正面方向の手首の座標変化を重ねたグラフを示す。図 4 と同様に上のグラフが上腕二頭筋を、下のグラフが上腕二頭筋を示している。

この図の上のグラフを見ると、上腕二頭筋の fast-task では 1.6 秒に、slow-task では 2.3 秒に活動量のピークが存在する。一方、手首の軌道の fast-task では 1.6 秒に、slow-task では 2.4 秒に腕を伸ばすタイミング存在する。上腕二頭筋の活動量のピークと腕がを伸ばすタイミングがほぼ等しい現象が、図の範囲外でも同様に同様に存在するため、主に腕を伸ばすタイミングに上腕二頭筋を使用していることがわかる。また、同様に、上腕三頭筋の fast-task では 1.8 秒に、slow-task では 2.7 秒に活動量のピークが存在する。一方、図 3 の fast-task では 1.8 秒に slow-task では 2.8 秒に手首が y 軸の負の方向に戻るタイミング存在する。このように、上腕三頭筋の活動量のピークと手首が y 軸の負の方向に戻るタイミングがほぼ等しいことがこれ以外にも同様に存在するため、主に腕を曲げるタイミングに上腕三頭筋を使用していることがわかる。

これより、上腕二頭筋では腕を伸ばしたタイミングより活動量増加のピークは若干遅く起こる傾向があった。また、上腕三頭筋では腕を曲げ終わるタイミングよりも前に活動量増加のピークが起こる傾向があった。

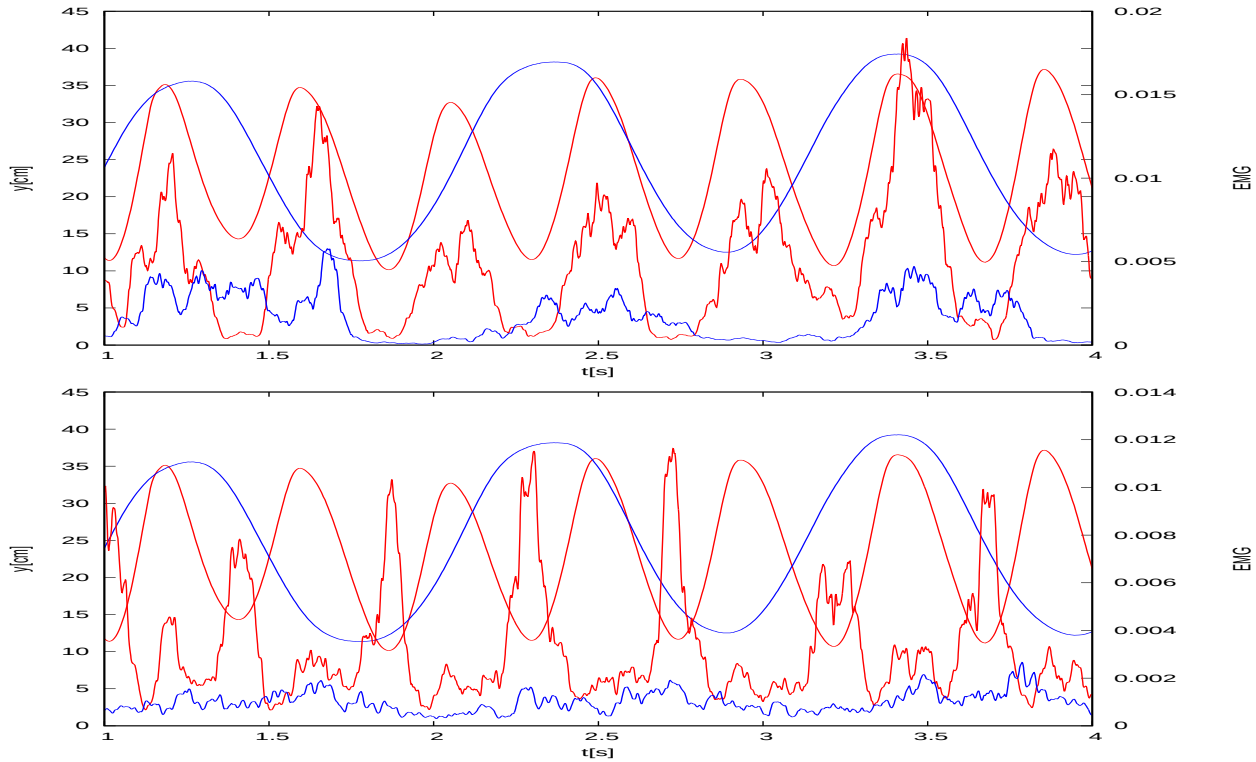


図 5　上腕二頭筋, 上腕三頭筋の EMG 活動量と手首の動きの比較

次に、手首の y 軸方向の動きに対しての筋活動量の変化を見るために腕を曲げた状態から腕を 3 往復させた分のデータを取り出し比較する。図 6 に時間を slow-task が約 0.7∼4.0 秒、fast-task が約 1.4∼2.7 秒のデータを切り出し時間に対して正規化した結果と対応する上腕二頭筋、上腕三頭筋の筋活動量をそれぞれグラフ化したものを示す。

ここで、手首の y 軸方向の前後の軌道について注目すると slow-task に対して、fast-task の方が 3∼4cm ほど前後が小さくなっていることが示される。また、slow-task は腕の曲げる速度も伸ばす速度も大体等しいのに対して、fast-task は腕を伸ばすときの速度の方が曲げる速度よりも速くなっていることがわかる。次に、筋活動に注目する。上腕二頭筋では大きな差は見られないのに対し、上腕三頭筋では slow-task は腕が曲がりきる前に筋活動量のピークが来ているのに対して、fast-task は腕が曲がりきった後に筋活動量のピークが来ていることがわかる。

4　考察

fast-task では筋活動量が増加したことより、筋肉量をあげれば腕を速く曲げ伸ばしできることが考えられる。また、fast-task では y 軸方向の手首の動きが減少したことより、小さく曲げ伸ばし運動をすれば腕を速く曲げ伸ばしできることが考えられる。以上のことにより、楽器を叩く場合などのような腕を伸ばしきる必要がない場合には腕をなるべく小さく曲げ伸ばしできるように練習することで速く叩くことができるようになると考えられる。また、腕を伸ばしきる必要がない場合にも、ボールを投げるような腕を伸ばしきる必要がある場合にも共通して、筋肉を鍛えることで速く動かすことができると考えられる。

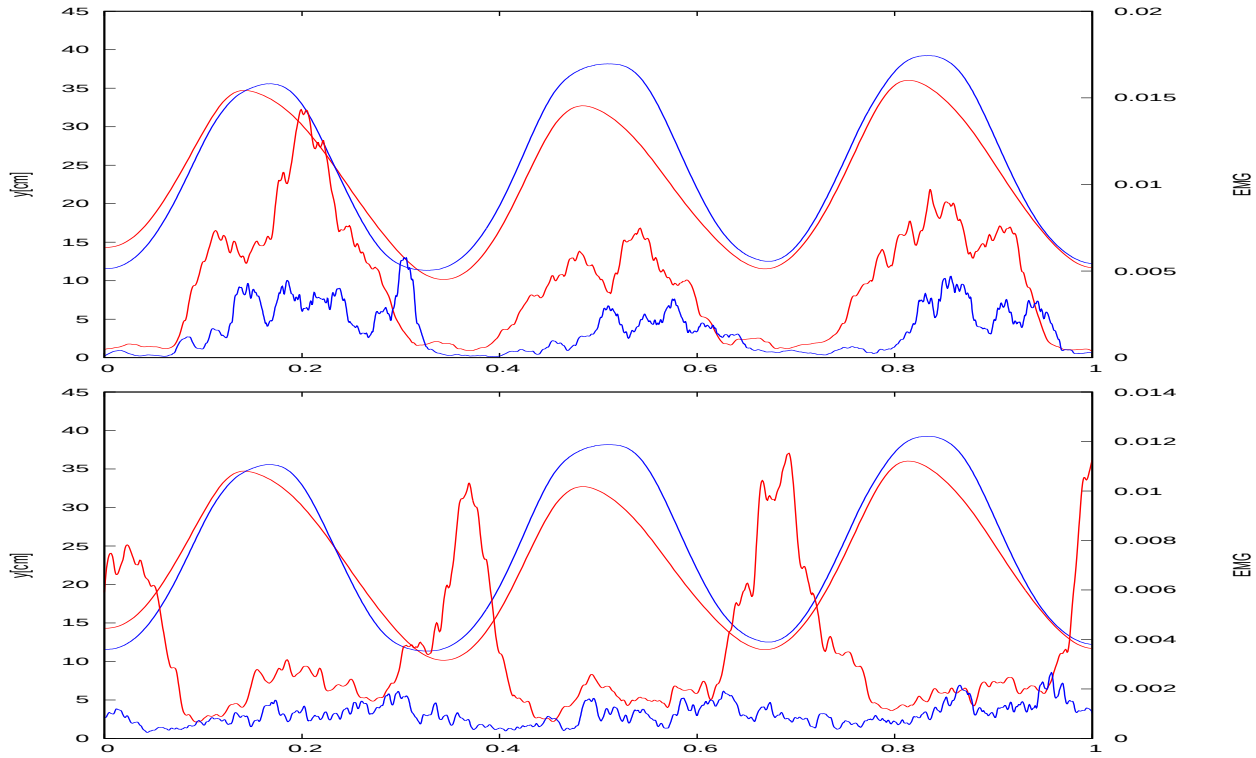


図 6　正規化後の上腕三頭筋の EMG 活動量と手首の動きの比較

5　結論

腕の曲げ伸ばし運動を行う時に、腕を伸ばす時に上腕二頭筋を、腕を曲げる時に上腕三頭筋を使用している。ここで、それぞれの活動量のピークは上腕二頭筋は腕を伸ばし終わった後に、上腕三頭筋は slow-task の際は腕を曲げ終わる直前に、fast-task の際は腕を曲げ終わった後にある。また、速く腕を曲げ伸ばしする時には、筋肉の活動度が激しくなる。腕の曲げ伸ばしの動きを短縮している。よって、腕の曲げ伸ばし速く行おうとした時、腕の筋肉を鍛えることでより速く腕を曲げ伸ばしできるようになる。また、楽器を叩くような腕を伸ばしきる必要がない場合は、腕を曲げ伸ばす動きを小さくすることでより速く楽器を叩くことができるようになる。

付録 A　筋電データの処理のプログラム

A.1　バンドパスフィルタのプログラム

```
import csv
import numpy as np
from scipy import signal
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
import pandas as pd
from pandas import Series, DataFrame

f = open('PID255_MID11_FileID002_000000_0010.csv',
'r',encoding="shift-jis")
s = open('data_12_2.txt','w',encoding="shift-jis")
i=0
datam=''
dataReader = csv.reader(f)

t, emg, x, y, z= [], [], [], [], []

for row in dataReader:
    if i<10:
        datam=datam+str(row)
    else:
        s.writelines('%s\n' %("   ".join(row)))
        t += [float(row[0])]
        emg += [float(row[1])]
        x += [float(row[2])]
        y += [float(row[3])]
        z += [float(row[4])]

    i=i+1

print(datam)
f.close()
s.close()

n = i-10
dt =0.001
f = 1000
fn = 1/(2*dt)
td = np.linspace(1, n, n)*dt-dt

fp = 1
fs = 40
kagen = 0.01
jougen = 1.0

Wp = fp/fn
Ws = fs/fn

N, Wn = signal.buttord(Wp, Ws, kagen, jougen)
b1, a1 = signal.butter(N,Wn, "low")
y1 = signal.filtfilt(b1, a1, emg)

plt.figure()
plt.plot(td, emg, "b")
plt.plot(td, y1, "r", linewidth=2 , label="butter")
plt.xlim(0,1)
plt.xlabel("Time [s]")
plt.ylabel("Amplitube");

x=0
ef = open('bandpass11_1.txt','w',encoding="shift-jis")
while x < n:
    ef.write('%f,' %td[x])
    ef.write('%f\n'  %y1[x])
    x+=1
```

A.2　整流化のプログラム

```
#include<stdio.h>
#include<math.h>
int main(void){
  FILE *rf, *wf;
  double data[2];

  rf = fopen("bandpass12_2.txt","r");
  wf = fopen("abs12_2.txt","w");

  while((fscanf(rf,"%lf,%lf",&data[0],&data[1]))!=EOF){
    fprintf(wf,"%f,%f\n",,data[0],fabs(data[1]));
  }

  return 0;
}
```

A.3　活動量の変化を求めるプログラム

```
#include<stdio.h>
#include<stdlib.h>
#include<math.h>
#define BUF_SIZE 256
#define DT 50
#define SAMPLE 1000
void integration(double e[],double a[], int n){
  int i;
  for(i=0; i<DT; i++){
    a[0]+=(e[i]/SAMPLE);
  }
  for(i=1; i<(n-DT); i++){
    a[i]=a[i-1]+(e[i+DT]-e[i-1])/SAMPLE;
  }
}

/*-----------------------------------------------*/
int main(void){
  FILE *rf, *wf;
  double data, *e, *a;
  int n=0, i;
  char buf[BUF_SIZE];

  if((rf = fopen("abs12_2.txt","r")) ==NULL)
```

```
25     return -1;
26   wf = fopen("katudou12_2.txt","w");
27
28   while((fgets(buf,BUF_SIZE,rf))!=NULL){
29     n++;
30   }
31
32
33   fclose(rf);
34   if((rf = fopen("abs12_2.txt","r")) ==NULL)
35     return -1;
36
37   e =(double*)malloc(sizeof(double)*n);
38   a =(double*)malloc(sizeof(double)*(n-DT));
39
40   if(e == NULL || a == NULL){
41     printf("メモリが確保できませんでした。\n");
42     exit(EXIT_FAILURE);
43   }
44
45   for(i=0; i<(n-DT); i++)
46     a[i]=0;
47
48   i=0;
49   while((fscanf(rf,"%lf ,",&data))!=EOF){
50     fscanf(rf,"%lf",&e[i]);
51     i++;
52   }
53
54   integration(e,a,n);
55
56
57   for(i=0; i<(n-DT); i++)
58     fprintf(wf,"%lf,%lf\n",((double)(i+(DT/2))/1000.0),a[i]);
59
60
61   fclose(rf);
62   free(a);
63   free(e);
64   fclose(wf);
65
66   return 0;
67 }
```

付録 B　モーションキャプチャデータの処理のプログラム

B.1　データをデータ部とそれ以外に分けるシェルスクリプト

```
 1 #!/bin/bash
 2 if test ! -e $1.csv && test ! -e $1; then
 3     echo "ファイルを指定してください"
 4 elif test -f $1.csv; then
 5 #    FNAME="$1"
 6     nkf -w $1.csv |sed -E "s_^,//g"| sed -E "s/^[\t ]+//g" | egrep "^[0-9]"  > pos-$1.dat
 7     nkf -w $1.csv | sed "s/,/ /g" | sed -E "s/^[\t ]+//g" | egrep -v "^[0-9]"  > info-$1.dat
 8 else
 9     nkf -w $1 |sed -E "s_^,//g"| sed -E "s/^[\t ]+//g" | egrep "^[0-9]"  > pos-${1/.csv/}.dat
10     nkf -w $1 | sed "s/,/ /g" | sed -E "s/^[\t ]+//g" | egrep -v "^[0-9]"  > info-${1/.csv/}.dat
11 fi
```

B.2　データ部をマーカごとにファイル分けするプログラム

```
 1 #include<stdio.h>
 2 #include<stdlib.h>
 3 #include<string.h>
 4 #include<math.h>
 5 #define N 20
 6 #define M 256
 7 int main(int argc,char *argv[]){
 8   FILE *rf,*wf[N];
 9   double sample, *data;
10   int makar, i=0,n=1, dmen;
11   char fn[N][M]={'\0'};
12
13
14   if( (sample = atof(argv[1]))==0 ||
(makar = atoi(argv[2])) ==0 || (dmen = atoi(argv[3]))==0 ){
15     printf("サンプリング周波数、マーカ数を数値で入力して
ください。\n\a");
16     i=-1;
17   }
18   else if((rf = fopen(argv[4],"r"))==NULL){
19     printf("ファイルが存在しません。\n\a");
20     i=-1;
21   }
22   if(i==-1){
23     printf("extract <サンプリング周波数> <マーカ数> <次
元> <ファイル名>\n で指定してください。\n");
24     return 0;
25   }
26
27
28
29   for(i=0; i<makar; i++){
30     sprintf(fn[i],"%d-%s",(i+1),argv[4]);
31     wf[i]=fopen(fn[i],"w");
32   }
33
34   data = malloc(sizeof(double)*(dmen*makar+2));
35
36   while(fscanf(rf,"%lf ,%lf ",&data[0],&data[1])!=EOF){
37
38     for(i=0; i<(makar*dmen); i++){
39       if( ( fscanf(rf,",%lf ",&data[i+2]))==EOF ){
40 printf("元ファイルに欠損があります。
出来たファイルは使えません。\n");
41 return 0;
42       }
43     }
44
45     for(i=0; i<makar; i++){
46       fprintf(wf[i],"%lf",data[0]/sample);
47     }
48
49     for(i=0; i<(dmen*makar); i++)
50       fprintf(wf[i%makar],",%lf",data[i+2]);
51     for(i=0; i<makar; i++)
52       fprintf(wf[i],"\n");
```

```
53   }
54
55
56   fclose(rf);
57   for(i=0; i<makar; i++)
58     fclose(wf[i]);
59
60   free(data);
61
62   return 0;
63 }
```

B.3　ヘッダ部から情報を取り出し B.2 に数値を与えるシェルスクリプト

```
1 #!/bin/bash
2 if test ! -e $1.csv && test ! -e $1; then
3     echo "ファイルを指定してください"
4 elif test -f $1.csv; then
5     ./extract $(grep "コマ数" info-$1.dat  |cut -f 1 -d "/"|sed "s/[^0-9|.]//g")
$(grep "計測点数" info-$1.dat  |cut -f 2 -d "," | grep -o [0-9]) 2 pos-$1.dat
6 else
7     ./extract $(grep "コマ数" info-${1/.csv/}.dat  |cut -f 1 -d "/"|sed "s/[^0-9|.]//g")
$(grep "計測点数" info-${1/.csv/}.dat  |cut -f 2 -d "," | grep -o [0-9]) 2 pos-${1/.csv/}.dat
8 fi
```

B.4　入力ファイルの座標データのみをファイル出力するシェルスクリプト

```
1 #!/bin/bash
2 if test ! -e $1.dat && test ! -e $1; then
3     echo "ファイルを指定してください"
4 elif test -f $1; then
5     cut -f 2- -d "," $1 |  sed -e 's/^[ ]*//g' > ${1/pos/xy}
6 else
7     cut -f 2- -d "," $1.dat | sed -e 's/^[ ]*//g' > ${1/pos/xy}.dat
8 fi
```