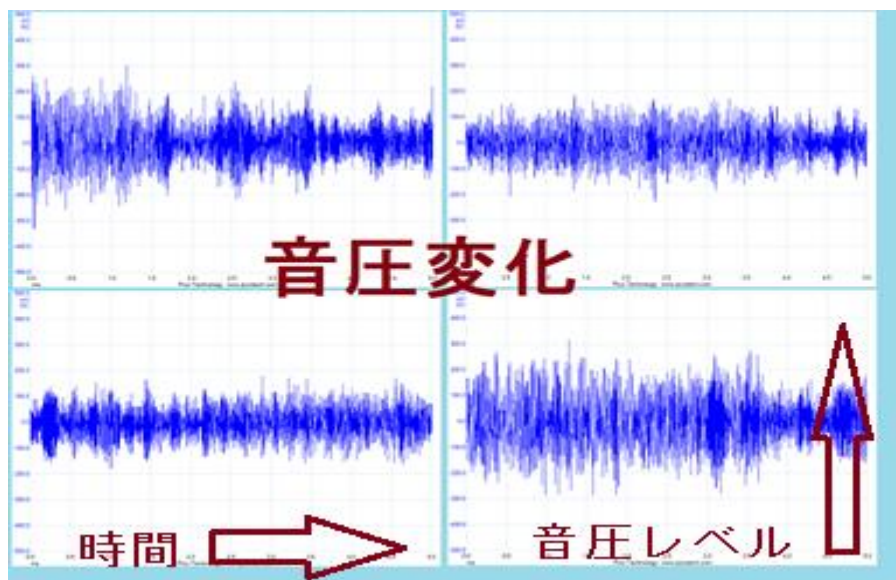
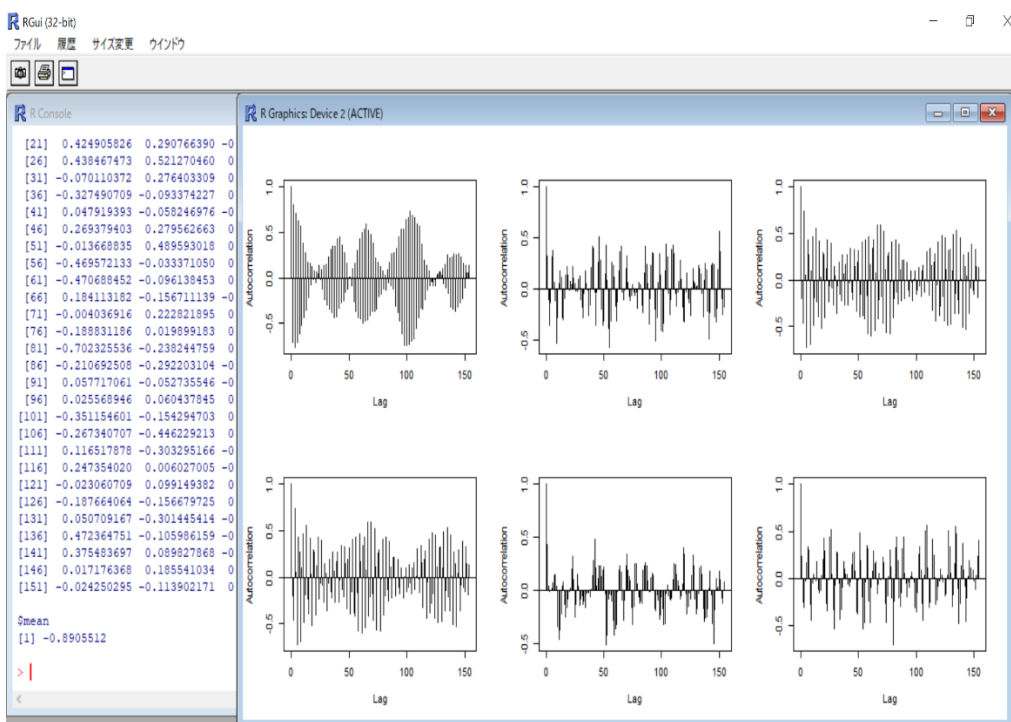


# 超音波の音圧データ解析技術(R言語) 超音波伝搬状態の解析・評価



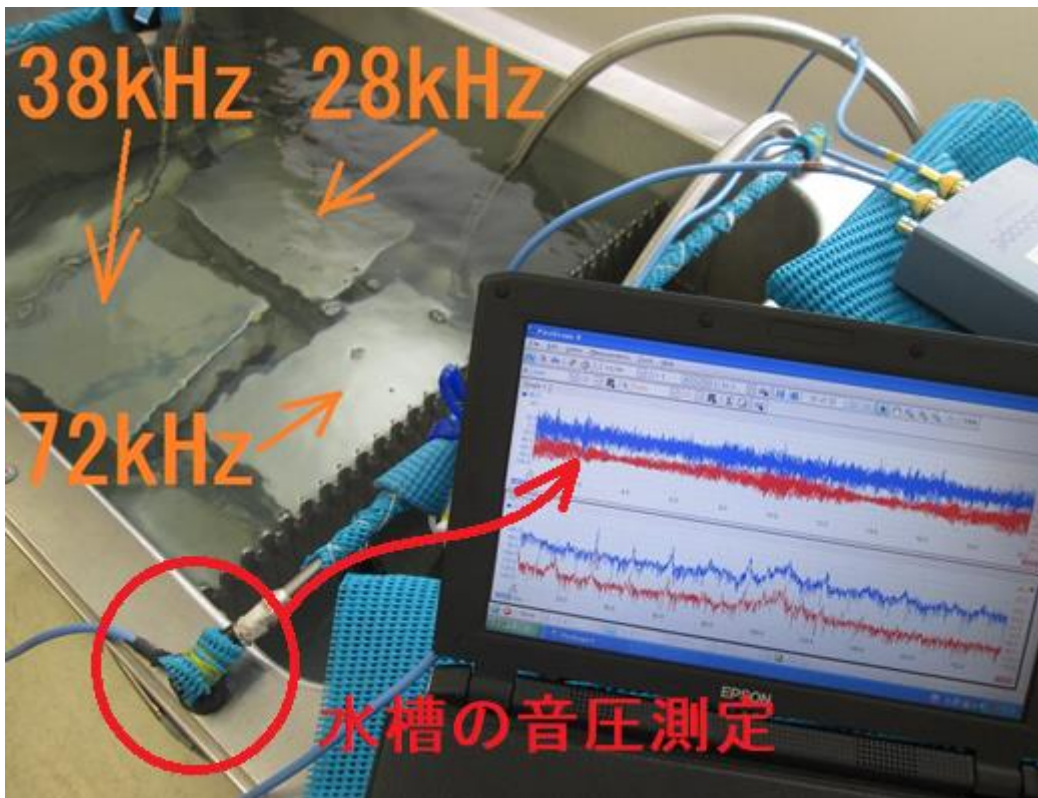
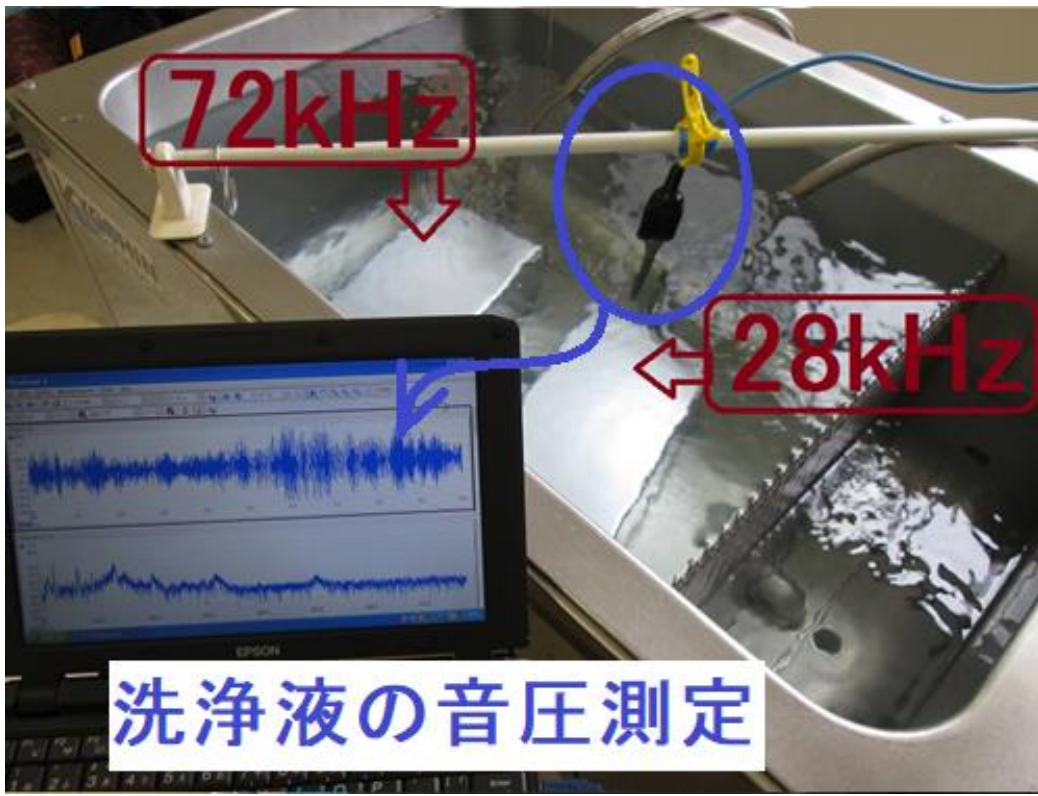
音圧グラフ 横軸:時間 縦軸:音圧



音圧データの解析 (自己相関)

超音波システム研究所

# 音圧測定



## 1. 準備

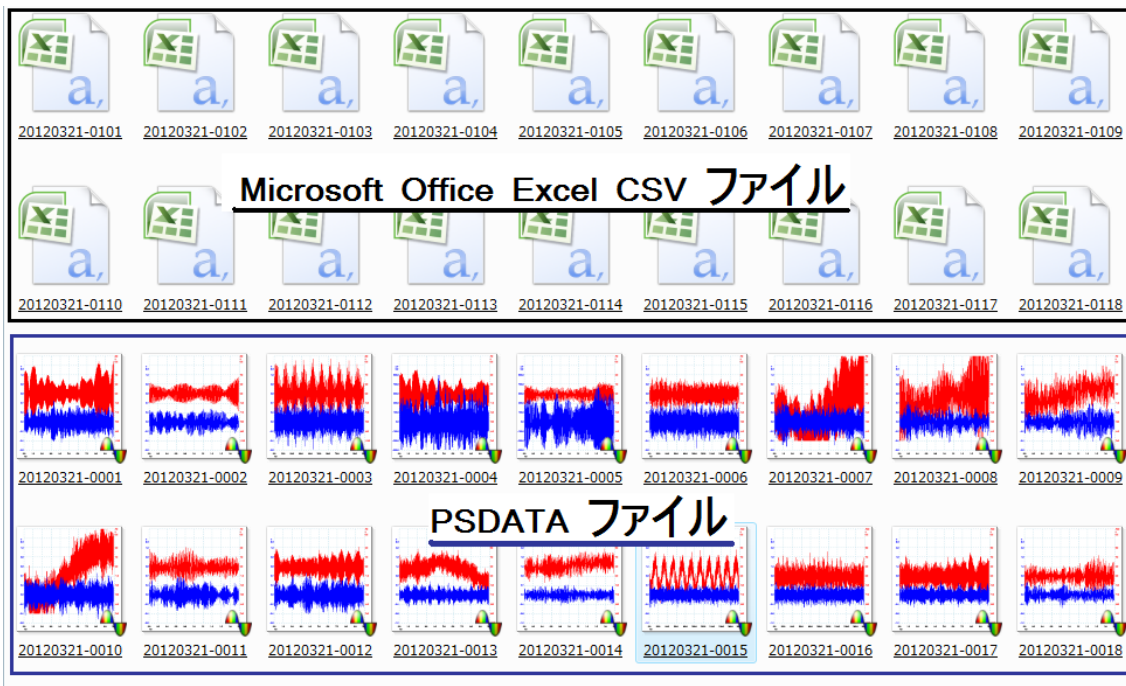
解析用データの確認

超音波の音圧測定データ

(例 オシロスコープの測定データ形式 PSDATA ファイル) から  
解析用の

Microsoft Office Excel CSV ファイル

を作成・保存してください

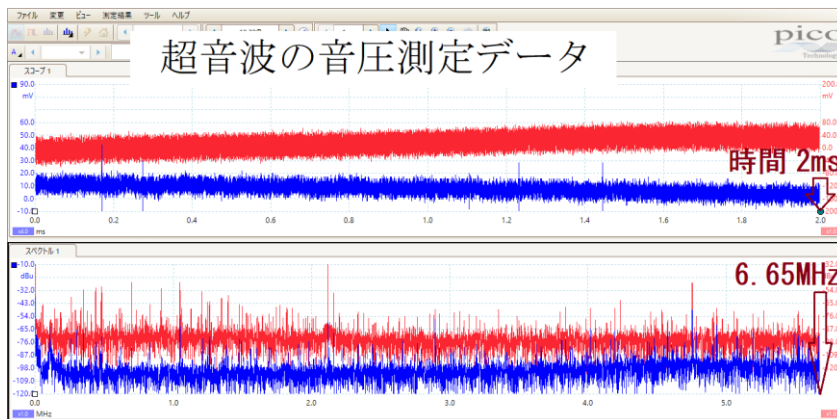


例

Microsoft Office Excel CSV ファイル												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	時間	ch A	ch B									
2	(ms)	(mV)	(mV)									
3												
4	0	3.149606	77.16534									
5	0.000088	-4.72441	78.74015									
6	0.000176	11.02362	0									
7	0.000264	3.149606	-23.6221									
8	0.000352	4.724409	42.51968									
9	0.00044	7.874015	66.14173									
10	0.000528	14.17323	0									
11	0.000616	9.448818	-44.0945									
12	0.000704	9.448818	12.59842									
13	0.000792	6.299212	81.88976									

サンプリング時間  
0.000088ms

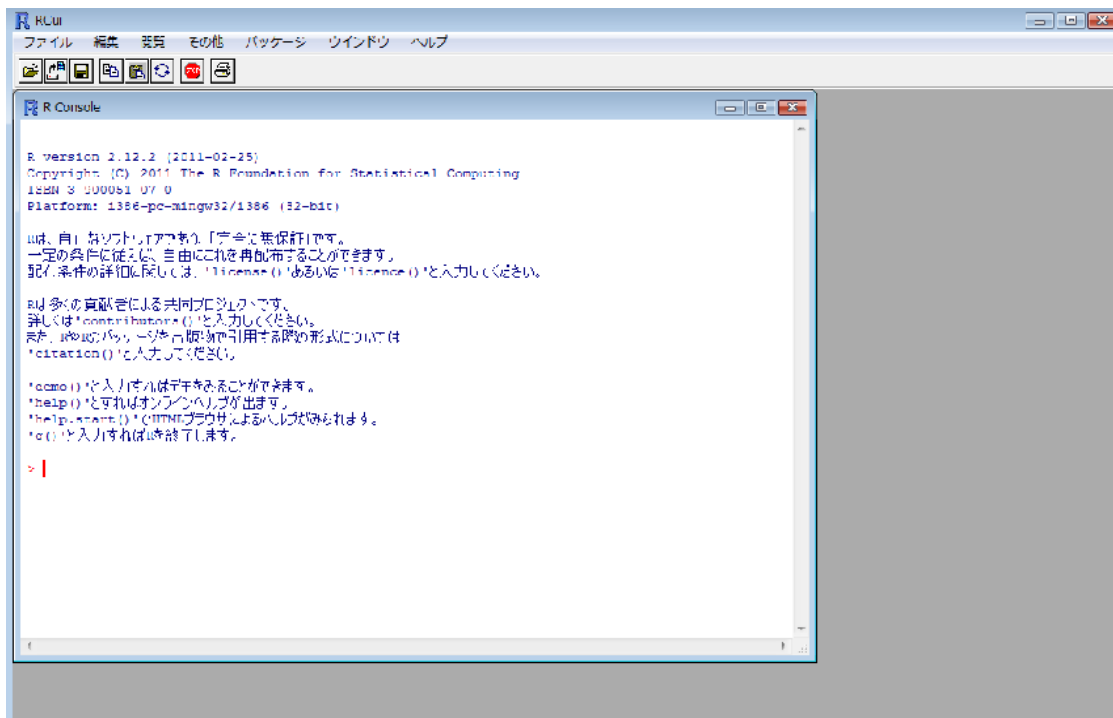
最大解析周波数  
 $1/0.000088=11.3\text{MHz}$   
 $11.3\text{MHz}/2=6.65\text{MHz}$



## 2. 解析ソフトの立ち上げ



ダブルクリックして立ち上げる

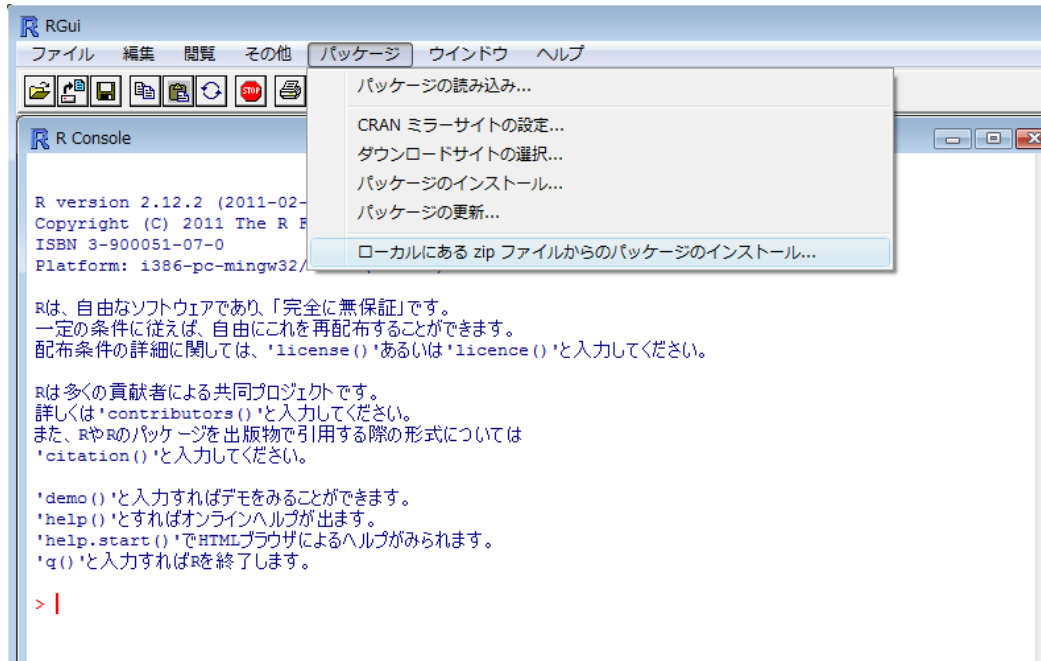


> | 左記のようなプロンプト表示が行われます  
 エラー表示が行われた場合には、  
 その他の作業ファイル・・・を終了してから  
 もう一度立ち上げてください

### 3. 解析ソフトの読み込み

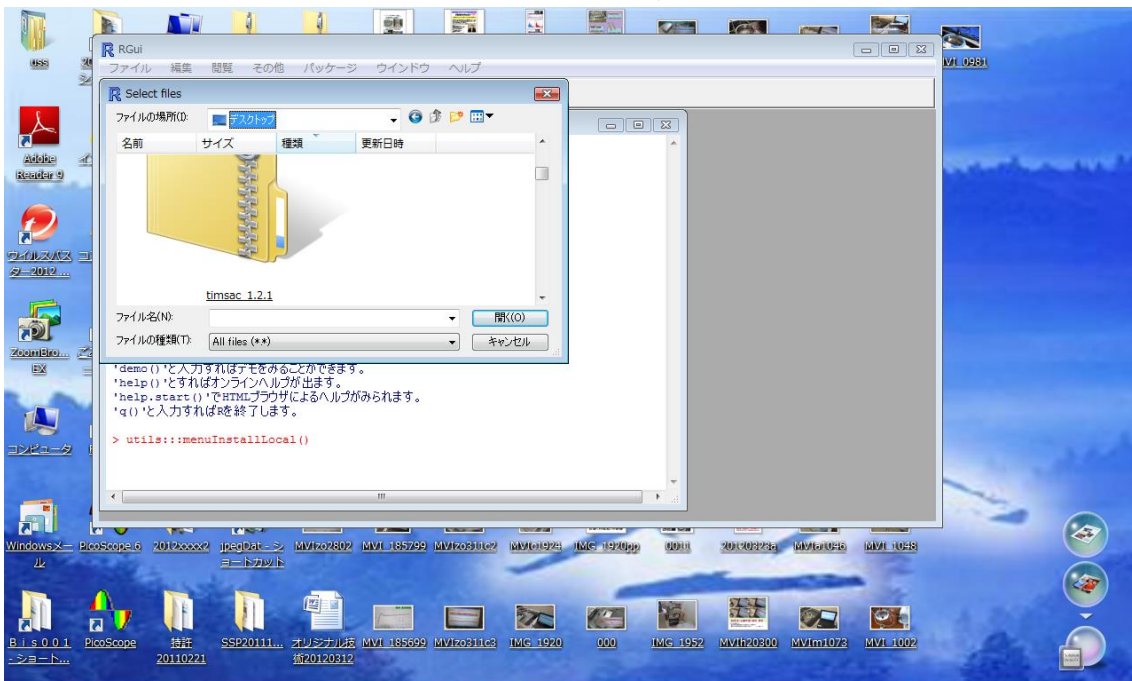
#### 3-1 : パッケージ ->

ローカルにある zip ファイルからの . . . .



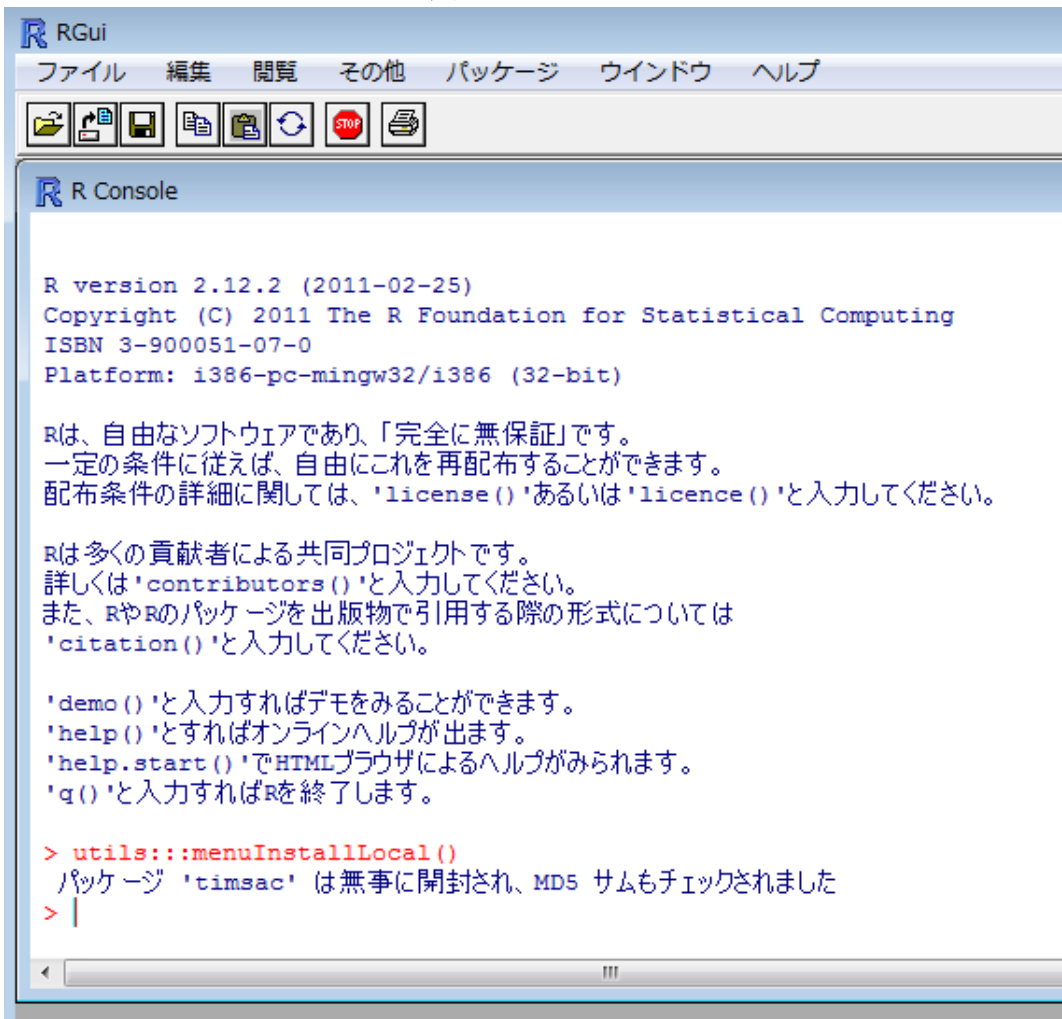
#### 3-2 : デスクトップの zip ファイル

TIMSAC1.2.1 を選択する

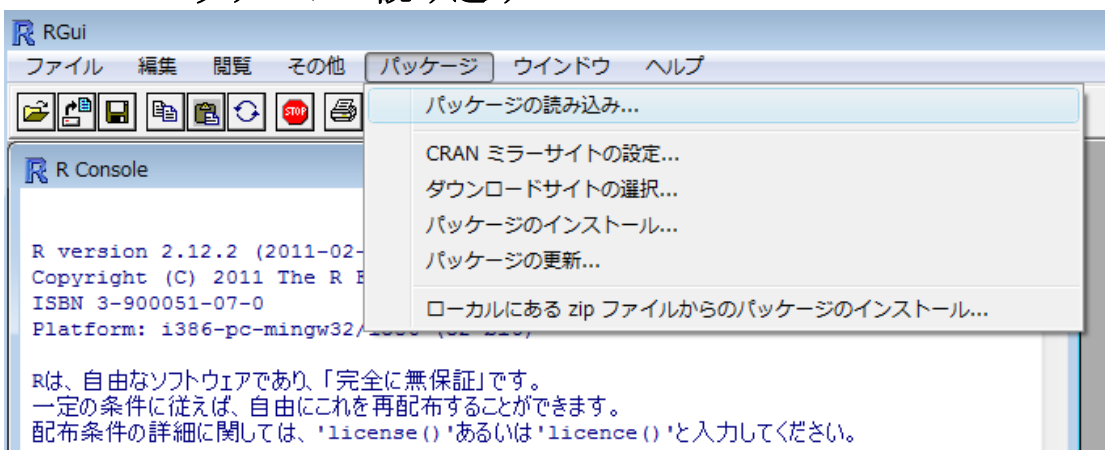


Package 'timsac' (TimeSeriesAnalysisandControlPackage)  
Functions for statistical analysis, prediction and control of time series based mainly on Akaike and Nakagawa (1988)

### 3-3 : 読み込み画面の確認

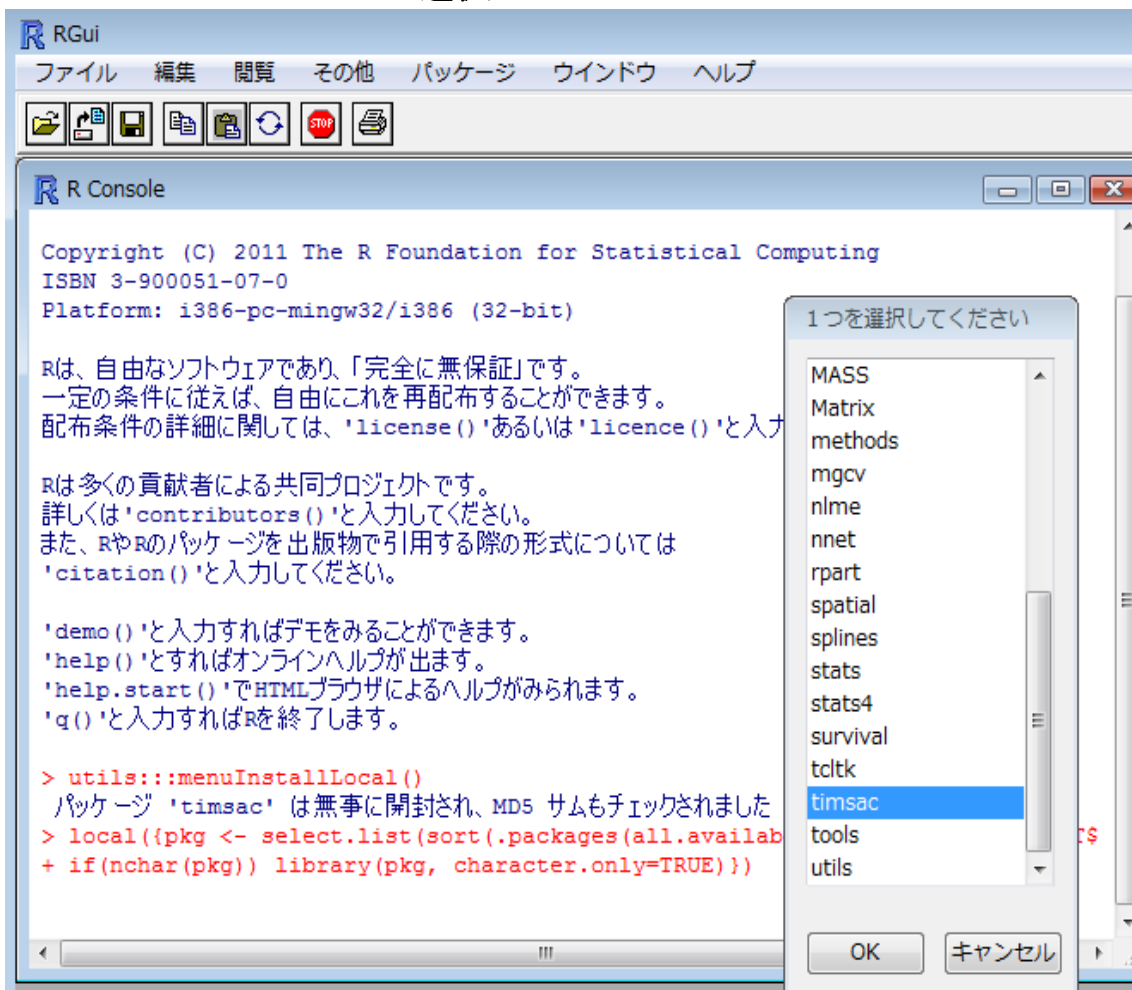


### 3-4 : パッケージの読み込み

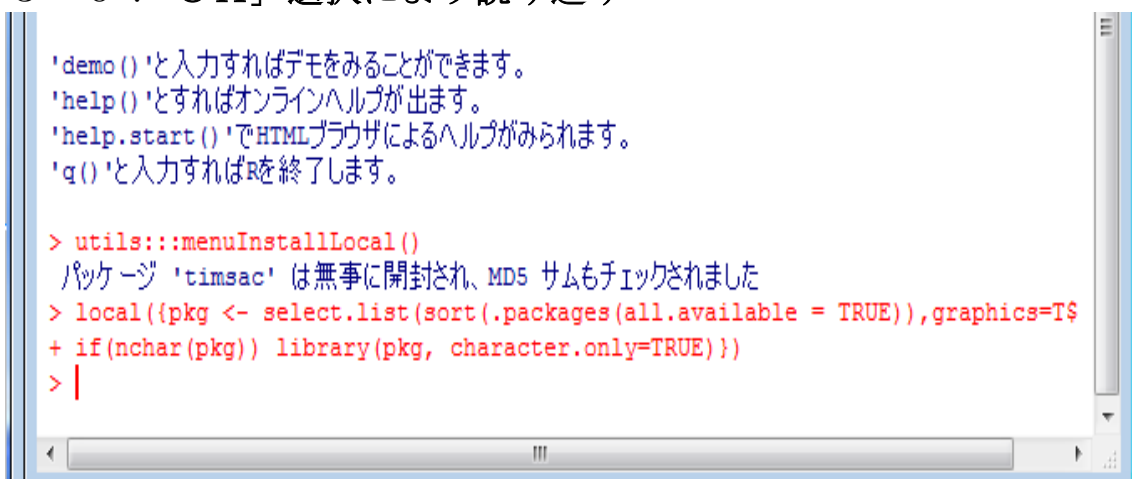


パッケージ > パッケージ読み込み... 選択する

### 3-5 : timsac の選択



### 3-6 : 「OK」 選択により読み込み



以上で解析準備完了です

参考

## バイスペクトル

バイスペクトルは以下のように

周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_1 + f_2$  のスペクトルの積で表すことができる。

$$B(f_1, f_2) = X(f_1)Y(f_2)Z(f_1 + f_2)$$

主要周波数が  $f_1$  であるとき、

**$f_1 + f_1 = f_2$ 、 $f_1 + f_2 = f_3$  で表される  $f_2$ 、 $f_3$  という周波数成分が存在すればバイスペクトルは値をもつ。**

これは主要周波数  $f_1$  の整数倍の周波数成分を持つことと同等であるので、バイスペクトルを評価することにより、**高調波の存在を評価できる。**

詳しい説明は専門書・・・を読んで確認してください

## エクセルファイルのデータ列

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Time	Channel A	Channel B					
2	(ms)	(mV)	(mV)					
3								
4	0	-17.4566	-13.5807					
5	0.00016	-26.4901	-18.0822					
6	0.00032	-35.5235	-22.5837					
7	0.00048	-44.557	-27.1004					
8	0.00064	-53.5905	-31.6019					
9	0.0008	-58.1072	-36.1034					
10	0.00096	-67.1407	-36.1034					
11	0.00112	-76.1742	-36.1034					
12	0.00128	-80.6909	-31.6019					
13	0.00144	-85.2077	-22.5837					
14	0.0016	-89.7244	-18.0822					
15	0.00176	-94.2412	-4.56252					
16	0.00192	-94.2412	-0.06104					
17	0.00208	-98.7579	8.941923					
18	0.00224	-98.7579	13.4434					
19	0.0024	-98.7579	17.94488					
20	0.00256	-94.2412	17.94488					
21	0.00272	-89.7244	17.94488					
22	0.00288	-80.6909	13.4434					
23	0.00304	-76.1742	4.440443					
24	0.0032	-67.1407	4.440443					



## 解析コマンド

```
dev.off()
```

```
par(mfrow=c(2,2)) : 2行2列のグラフ表示設定
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0030/20191220-0030_12.csv",  
skip=6, sep=",", nrow=6000)
```

```
plot(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0030/20191220-0030_12.csv",  
skip=6, sep=",", nrow=6000)
```

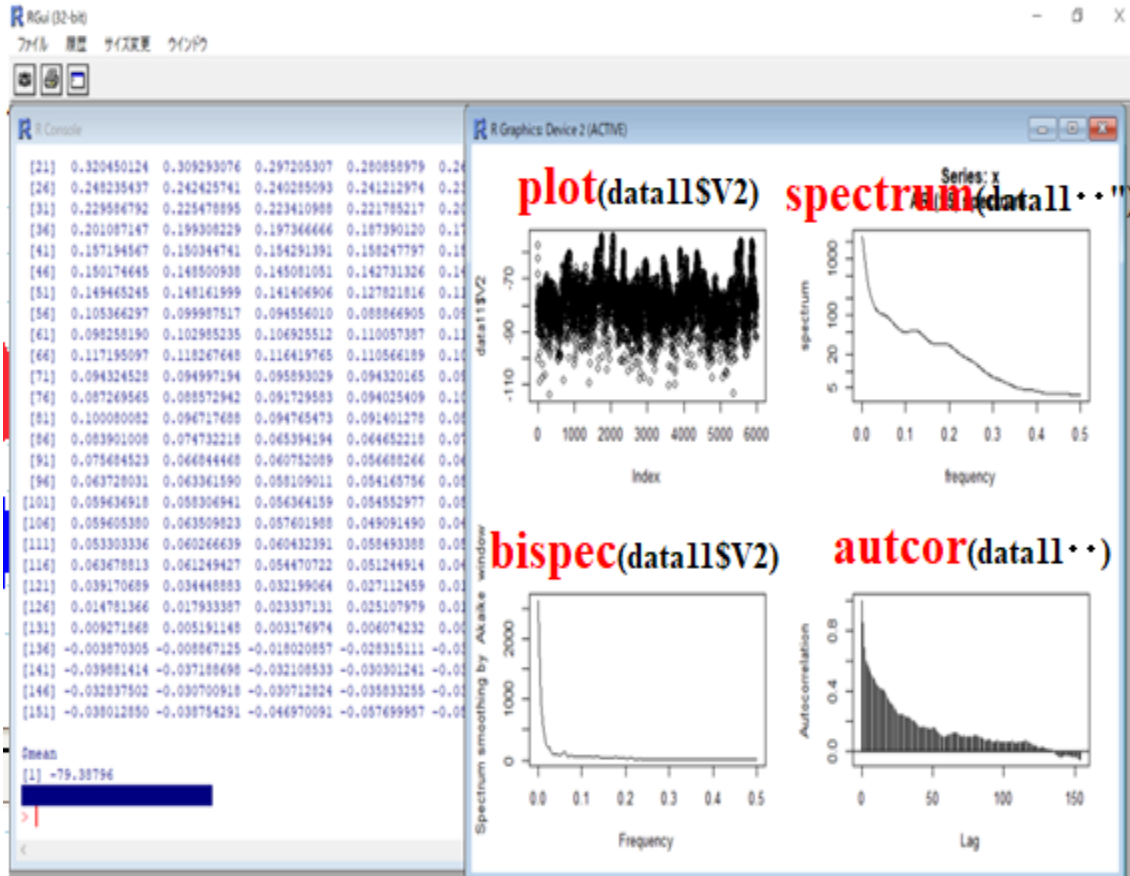
```
spectrum(data11$V2, method="ar")
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0030/20191220-0030_12.csv",  
skip=6, sep=",", nrow=6000)
```

```
bispec(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0030/20191220-0030_12.csv",  
skip=6, sep=",", nrow=6000)
```

```
autcor(data11$V2)
```



dev.off()  
解説 終了

### plot(data11\$V2)

解説 data11 の 2 番目のデータ列 (1 c h の測定データ) に対して  
**プロット** (音圧測定データのグラフ作成) を行う

### spectrum(data11\$V2,method="ar")

解説 data11 の 2 番目のデータ列 (1 c h の測定データ) に対して  
AR (自己回帰) モデルによる **スペクトル解析** を行う

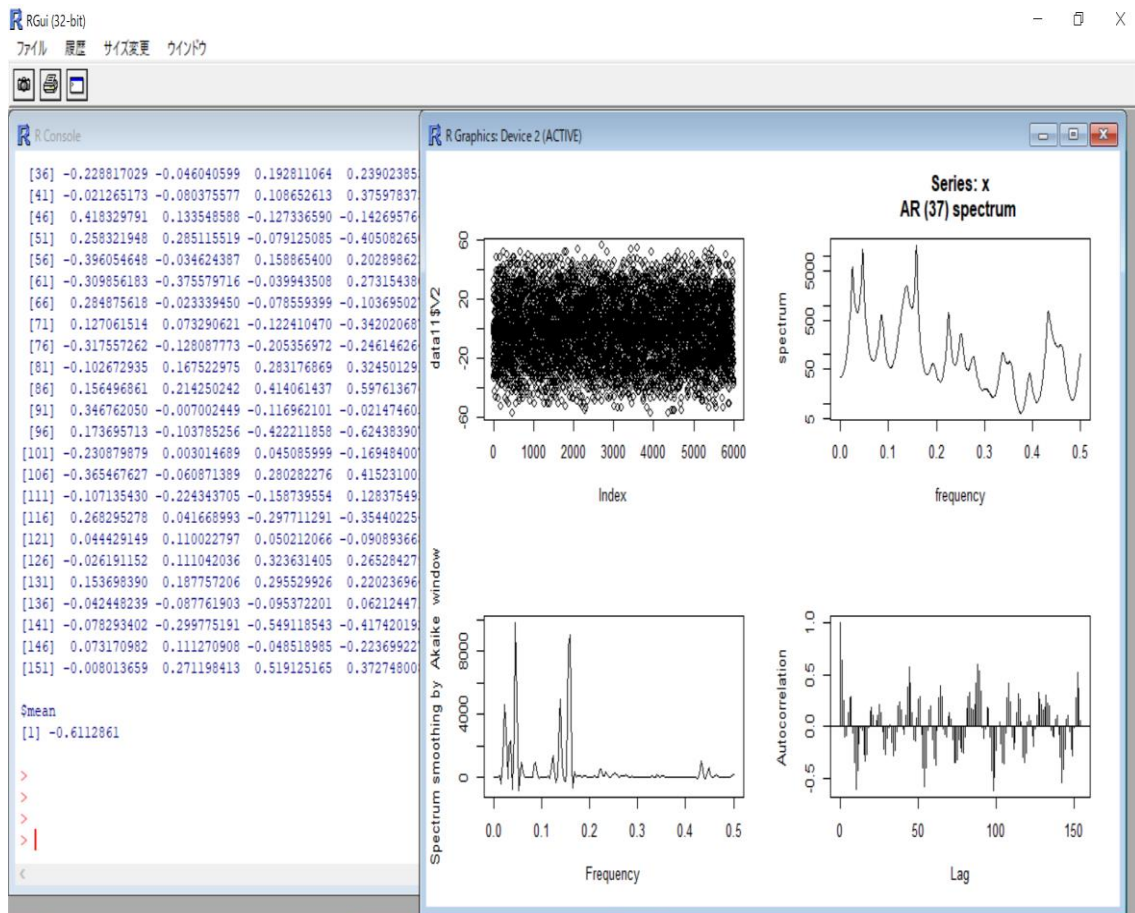
### bispec(data11\$V2)

解説 data11 の 2 番目のデータ列 (1 c h の測定データ) に対して  
**バイスペクトル解析** を行う

### autcor(data11\$V2)

解説 data11 の 2 番目のデータ列 (1 c h の測定データ) に対して  
**自己相関** の解析を行う

dev.off()



## 参考

- 1) 以下のようにテキストデータをコピーしてRの画面にペーストすると  
1 c h と 2 c h のデータ比較ができます

```
dev.off()
```

```
par(mfrow=c(4,2))
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
plot(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
spectrum(data11$V2,method="ar")
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

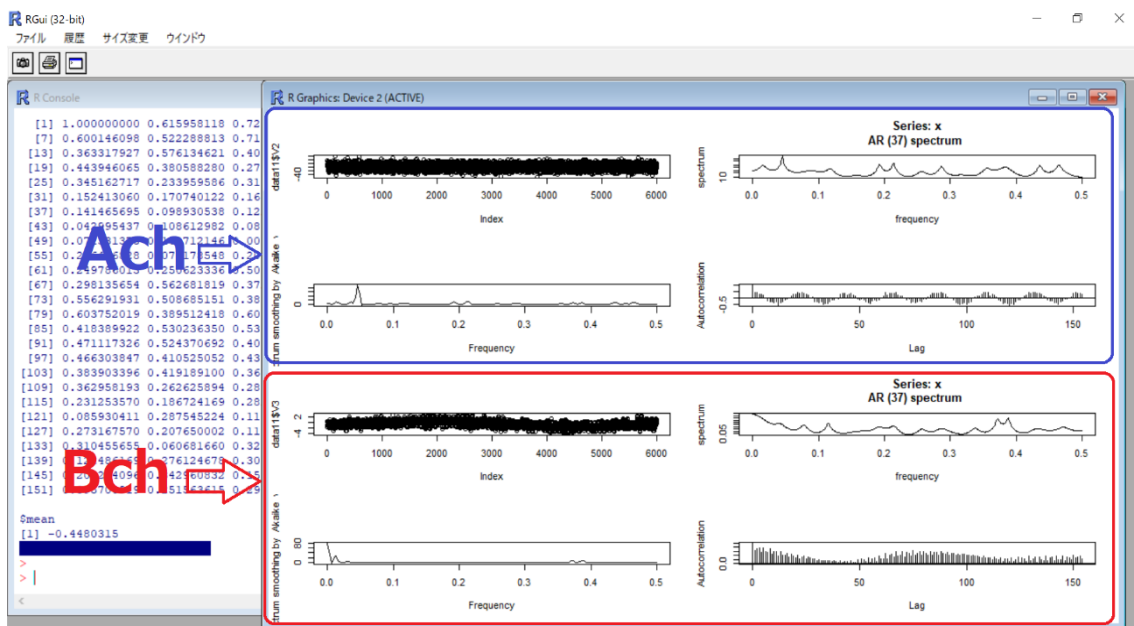
```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
autcor(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
plot(data11$V3)
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
spectrum(data11$V3,method="ar")
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
bispec(data11$V3)
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep="," , n rows=6000)  
autcor(data11$V3)
```

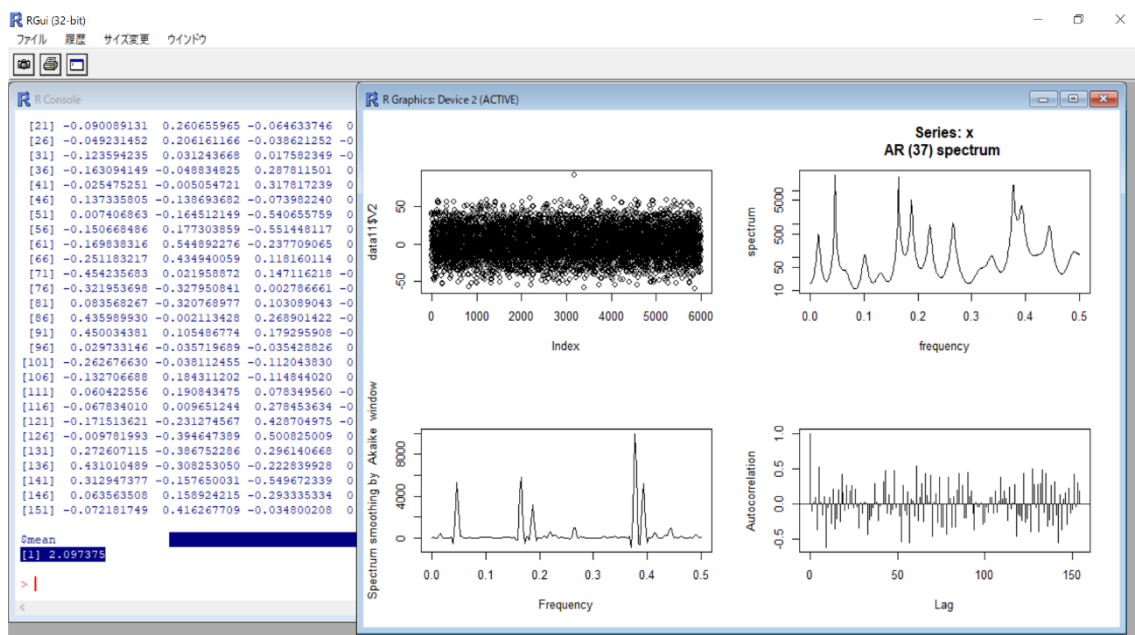


2) 以下のようにテキストデータをコピーしてRの画面にペーストするとすべての解析を連続的に行います

```
dev.off()
par(mfrow=c(2,2))

data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
plot(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
spectrum(data11$V2,method="ar")
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
. . . . .
. . . . .

data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_24.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
plot(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_24.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
spectrum(data11$V2,method="ar")
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_24.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_24.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
```



### 3) 以下のようにテキストデータをコピーしてRの画面にペーストすると 自己相関の変化をグラフで確認できます

下記をコピー&ペースト

```
par(mfrow=c(4,4))
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_01.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_02.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_03.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

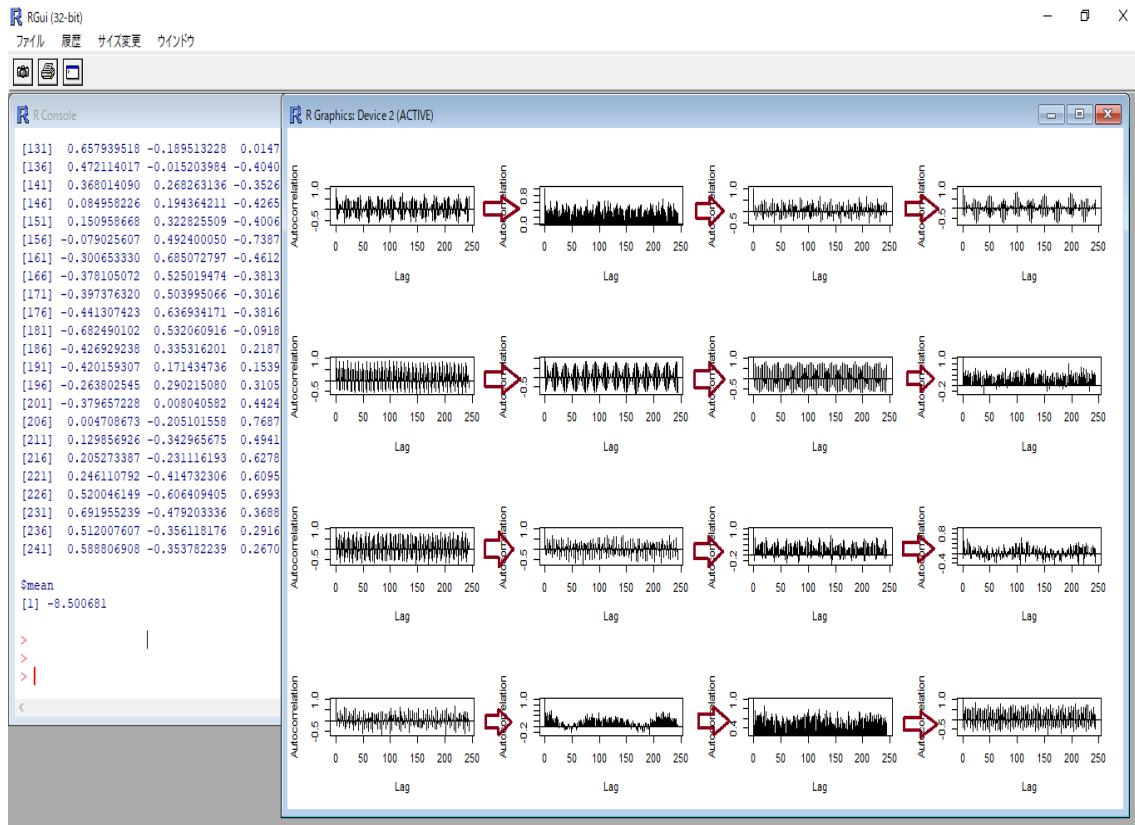
```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_04.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

...

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_30.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_31.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_32.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```



#### 4) 以下のようにテキストデータをコピーしてRの画面にペーストすると バイスペクトルの変化をグラフで確認できます

下記をコピー&ペースト

```
par(mfrow=c(4,4))
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_01.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_02.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_03.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_04.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

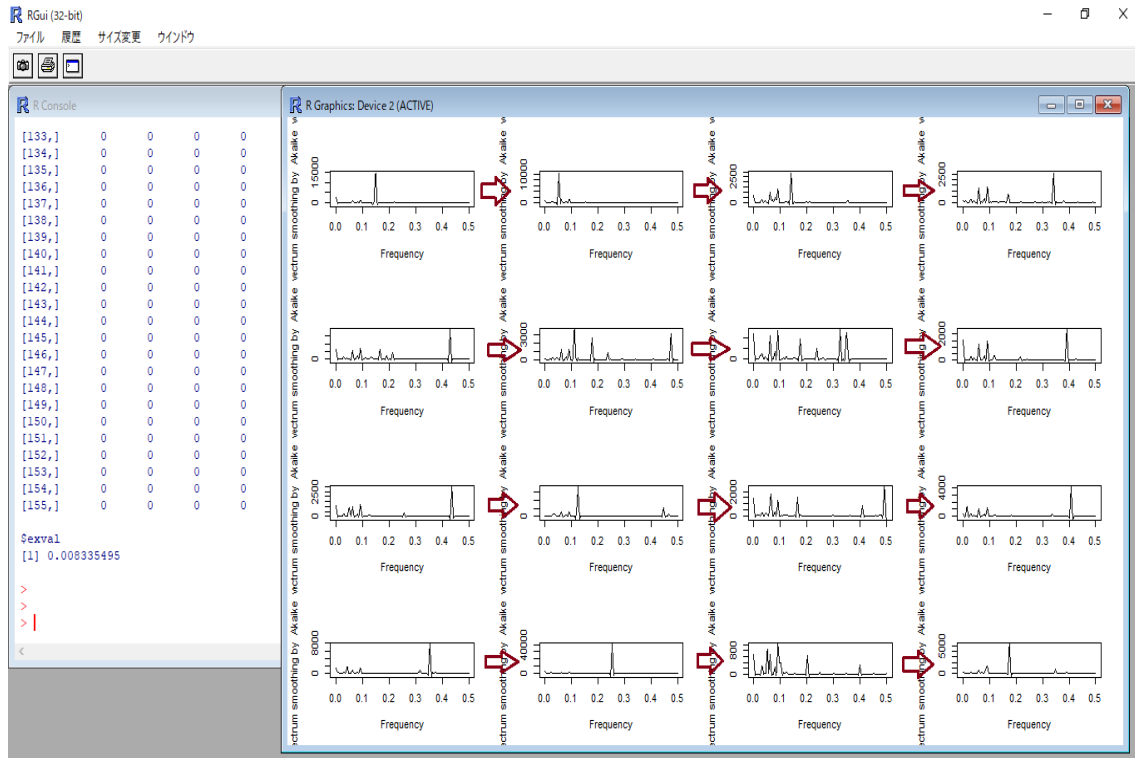
...

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_29.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_30.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_31.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```

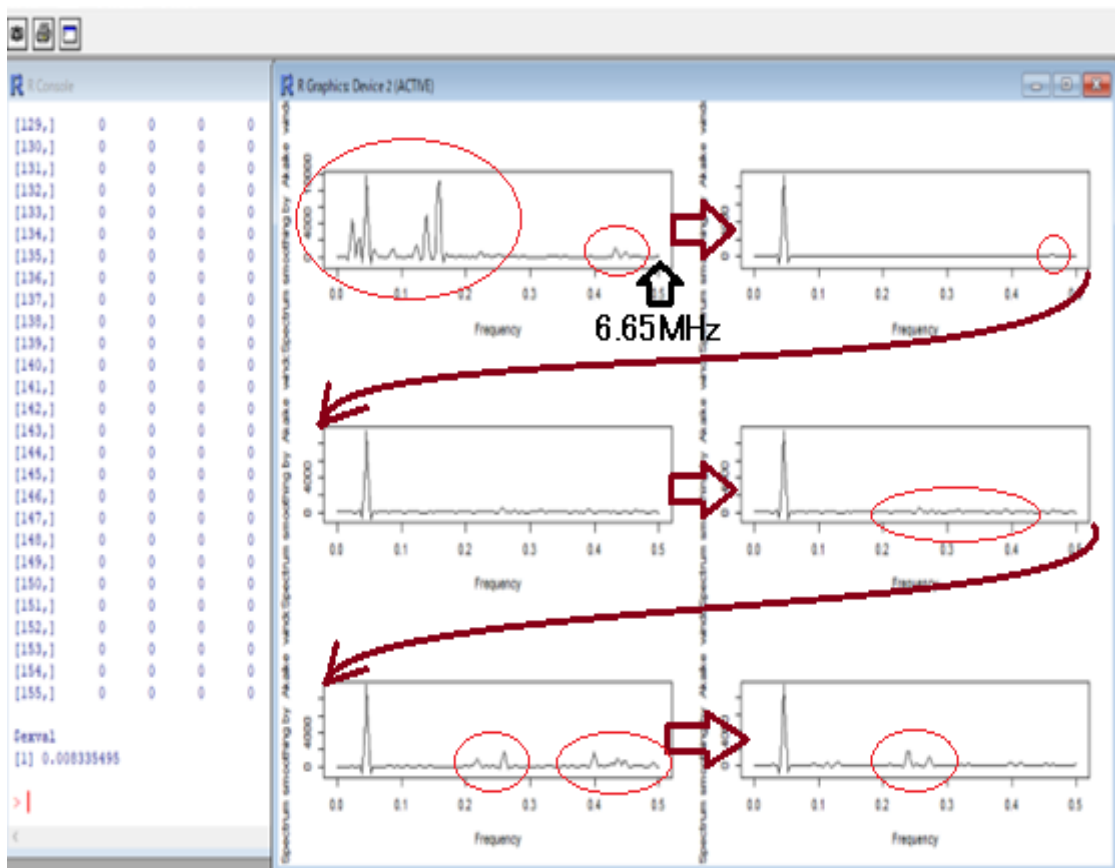
```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_32.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```



## 実施例：バイスペクトルの変化を確認する

```
dev.off()
par(mfrow=c(3,2))

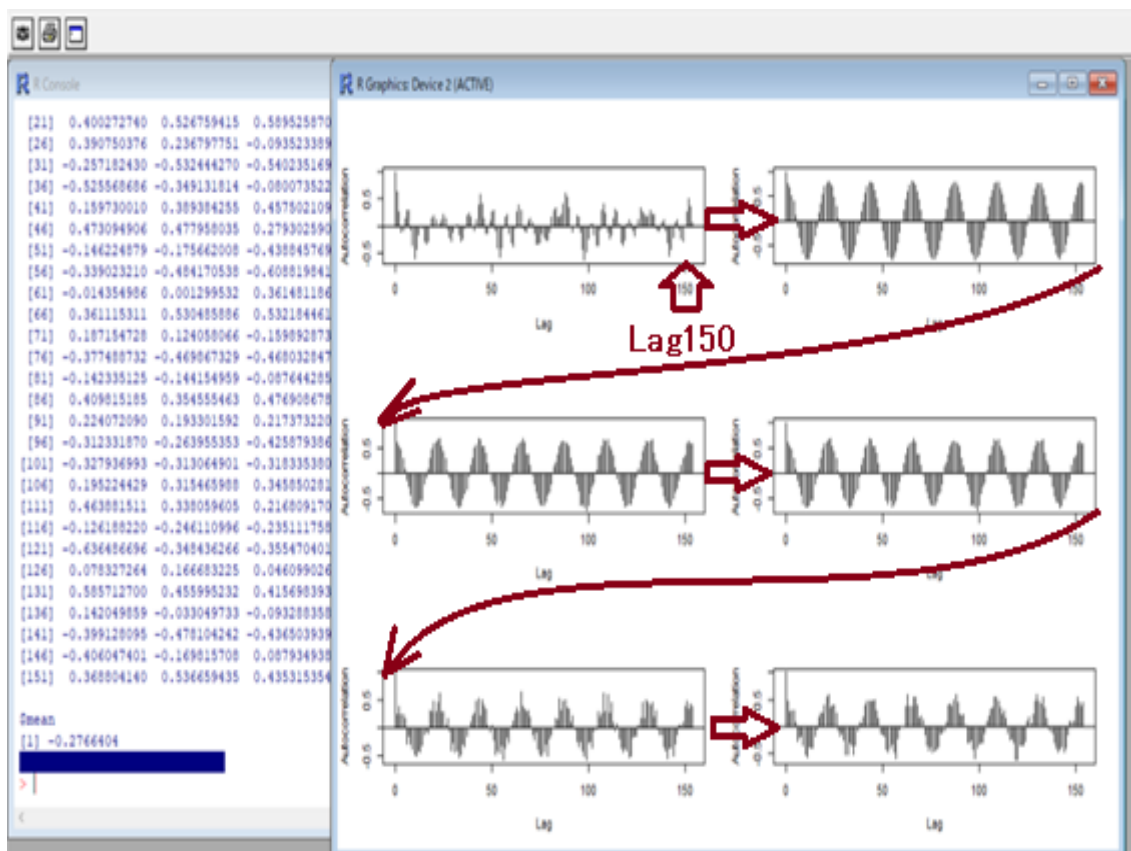
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_13.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_14.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_15.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_16.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_17.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_18.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
bispec(data11$V2)
```



## 実施例：自己相関の変化を確認する

```
dev.off()
par(mfrow=c(3,2))
```

```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_13.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_14.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_15.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_15.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_17.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_18.csv", skip=6,
sep=",", nrows=6000)
autcor(data11$V2)
```





解析の詳細・解析結果の解釈・・・については  
以下の参考書籍・・・の専門書を読んでください

## 参考書籍

### 1：統計数理

- 1) 叩いて超音波で見る—非線形効果を利用した計測  
佐藤 拓宋 (著) 出版社: コロナ社 (1995/06)
- 2) 電気系の確率と統計  
佐藤 拓宋 (著) 出版社: 森北出版 (1971/01)
- 3) 不規則信号論と動特性推定  
宮川 洋 (著), 佐藤拓宋 (著), 茅 陽一 (著)  
出版社: コロナ社 (1969)
- 4) 赤池情報量規準 AIC—モデリング・予測・知識発見  
赤池 弘次 (著), 室田 一雄 (編さん), 土谷 隆 (編さん)  
出版社: 共立出版 (2007/07)
- 5) ダイナミックシステムの統計的解析と制御  
赤池 弘次 (著), 中川 東一郎 (著)  
出版社: サイエンス社(1972)

### 2：超音波技術

- 1) 超音波工学と応用技術  
ベ. ア. アグラナート (他共著), 青山 忠明 (訳), 遠藤 敬一 (訳)  
発行年月: 1991 出版社: 日ソ通信社
- 2) 超音波入門 (科学普及新書)  
エリ・デ・ローゼンベルク 著, 上田光隆 訳  
発行年月: 1967 出版社: 東京図書

## 参考資料

超音波の相互作用を評価する技術 2

<http://ultrasonic-labo.com/?p=12202>

超音波加工・溶接技術 (特開 2021-171909)

<http://ultrasonic-labo.com/?p=3963>

AIC (情報量規準) を利用した超音波技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1074>

超音波技術: 多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析

<http://ultrasonic-labo.com/?p=15785>

# <<超音波の音圧データ解析・評価>>

1) 時系列データに関して、

**多変量自己回帰モデルによるフィードバック解析**により

測定データの統計的な性質（超音波の安定性・変化）について解析評価します

2) 超音波発振による、発振部が発振による影響を

**インパルス応答特性・自己相関の解析**により

対象物の表面状態・・に関して、超音波振動現象の応答特性として解析評価します

3) 発振と対象物（洗浄物、洗浄液、水槽・・）の相互作用を

**パワー寄与率の解析**により評価します

4) 超音波の利用（洗浄・加工・攪拌・・）に関して

超音波効果の主要因である対象物（表面弾性波の伝搬）

あるいは対象液に伝搬する超音波の非線形（**バイスペクトル解析結果**）現象により

超音波のダイナミック特性を解析評価します

この解析方法は、

複雑な超音波振動のダイナミック特性を

時系列データの解析手法により、

超音波の測定データに適応させるこれまでの経験と実績に基づいて実現しています。

超音波の伝搬特性

1) 振動モードの検出（自己相関の変化）

2) 非線形現象の検出（バイスペクトルの変化）

3) 応答特性の検出（インパルス応答の解析）

4) 相互作用の検出（パワー寄与率の解析）

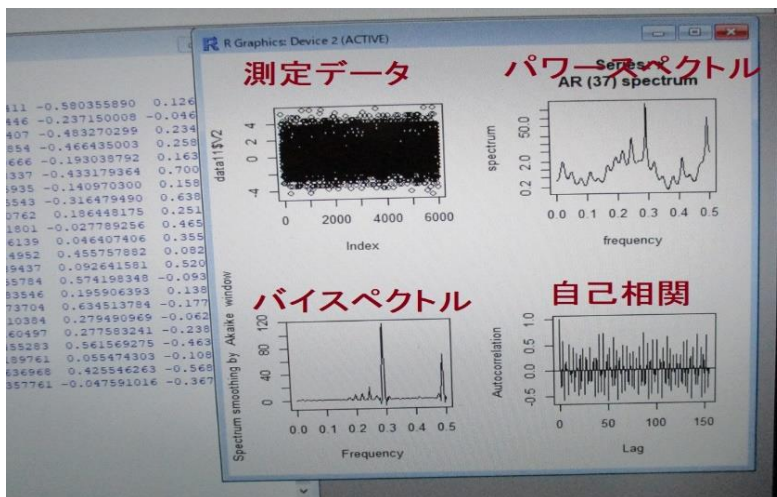
注：「R」フリーな統計処理言語かつ環境

autcor：自己相関の解析関数

bispec：バイスペクトルの解析関数

mulmar：インパルス応答の解析関数

mulnos：パワー寄与率の解析関数



## 解析ソフトについて

### TIMSAC for R package 統計数理研究所 November 1, 2006

TIMSAC(TIME Series Analysis and Control program package) は、統計数理研究所で開発された時系列データの解析、予測、制御のための総合的プログラムパッケージです。・・・

TIMSAC はFORTRANで書かれたプログラムですが、ユーザーが作成したFORTRAN, C, Java のプログラムにこのライブラリをリンクすることにより、より扱い易い環境が実現されました。

#### バイスペクトルの解析関数

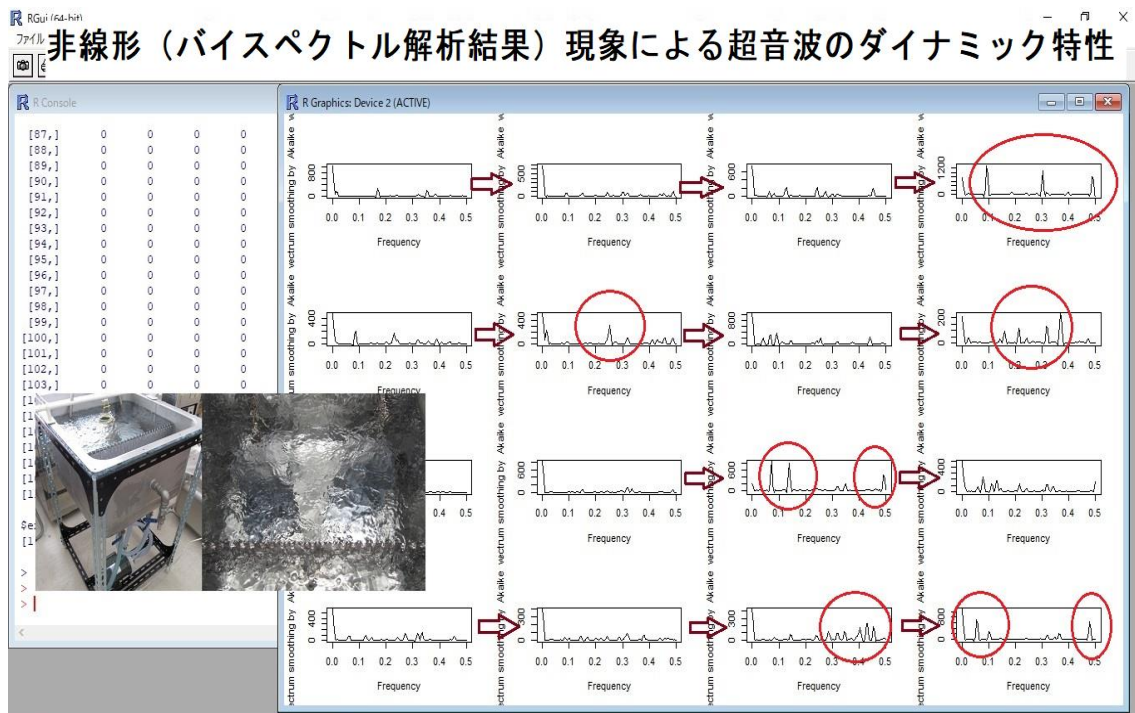
**bispec()** : バイスペクトルの計算

#### 自己相関の解析関数

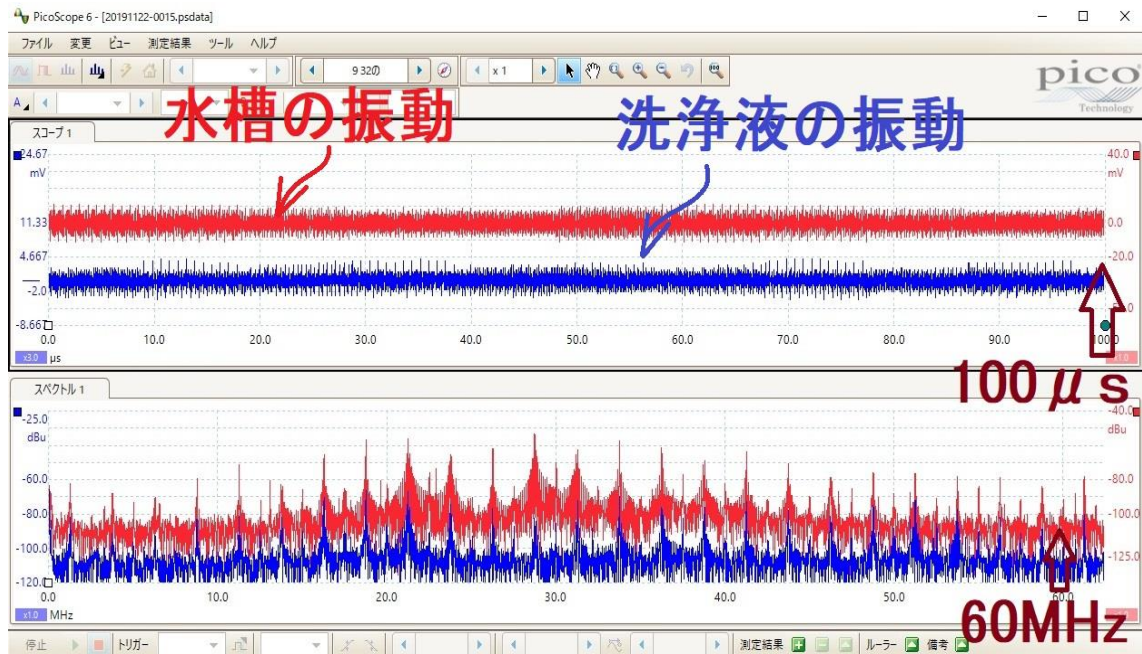
**autcor()** : 直接法による自己共分散関数の計算

## 3) TIMSAC for R package

<http://jasp.ism.ac.jp/ism/timsac/>

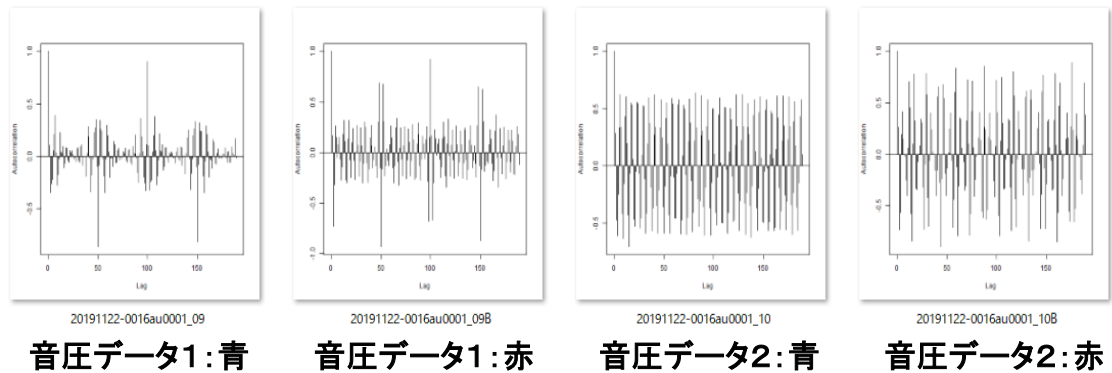


# 参考データ

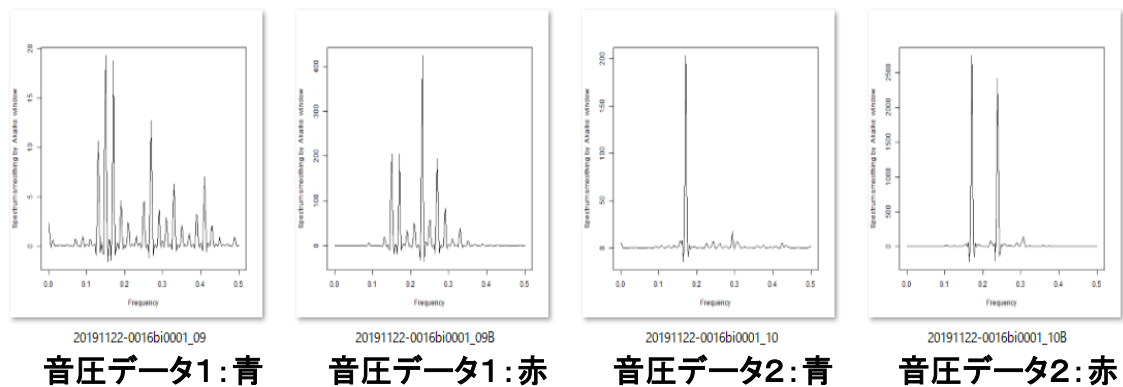


## 解析結果

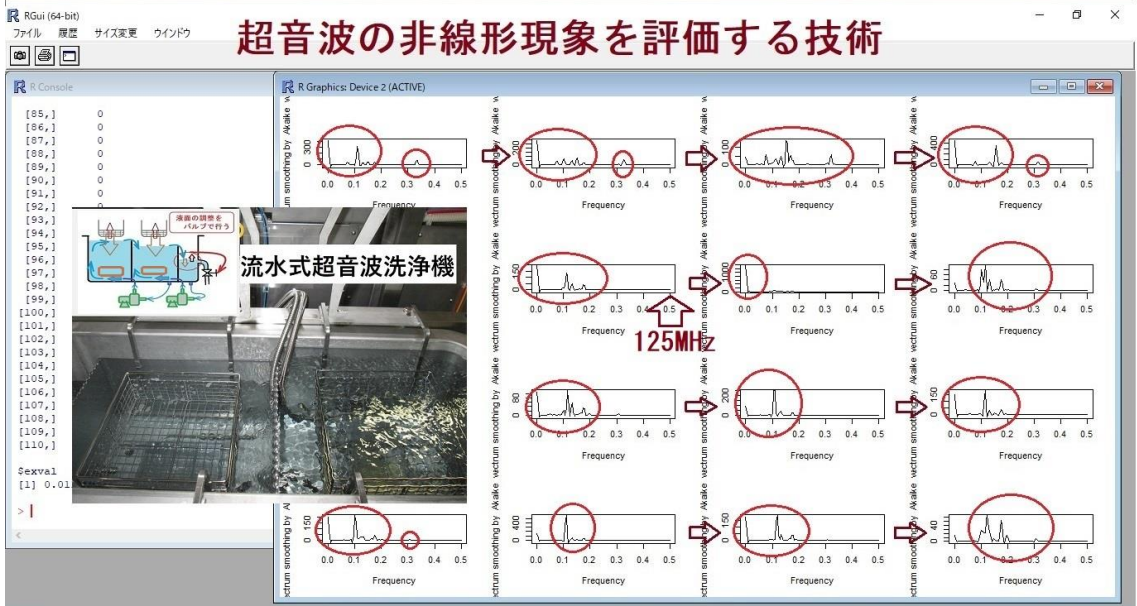
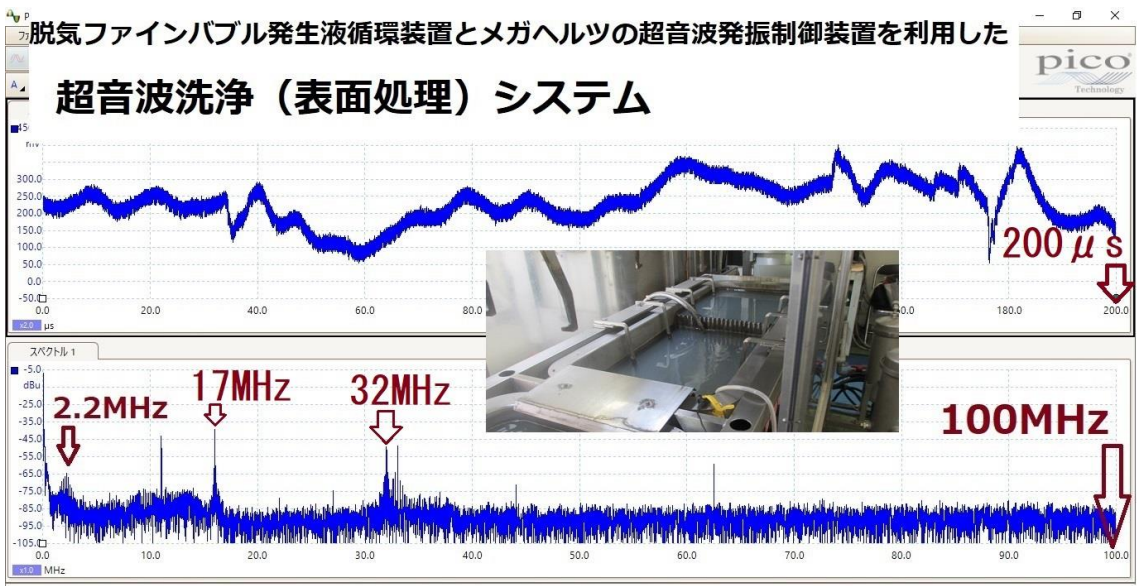
自己相関(最大 200Lag)

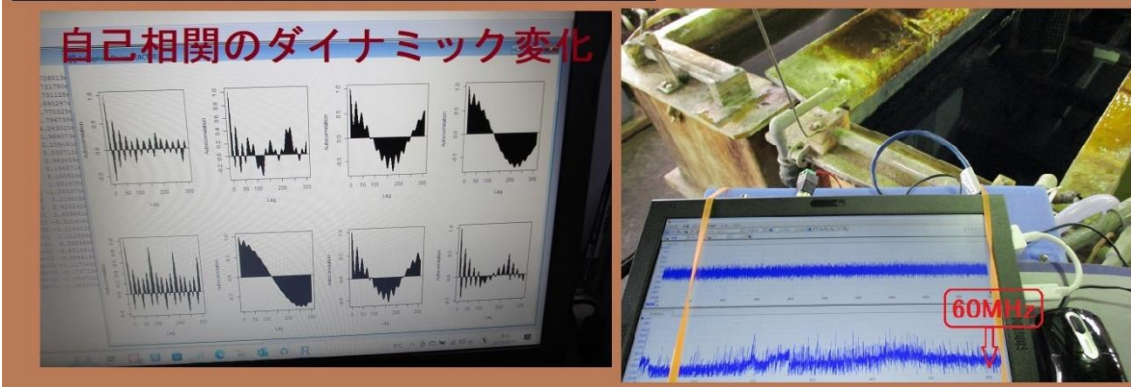
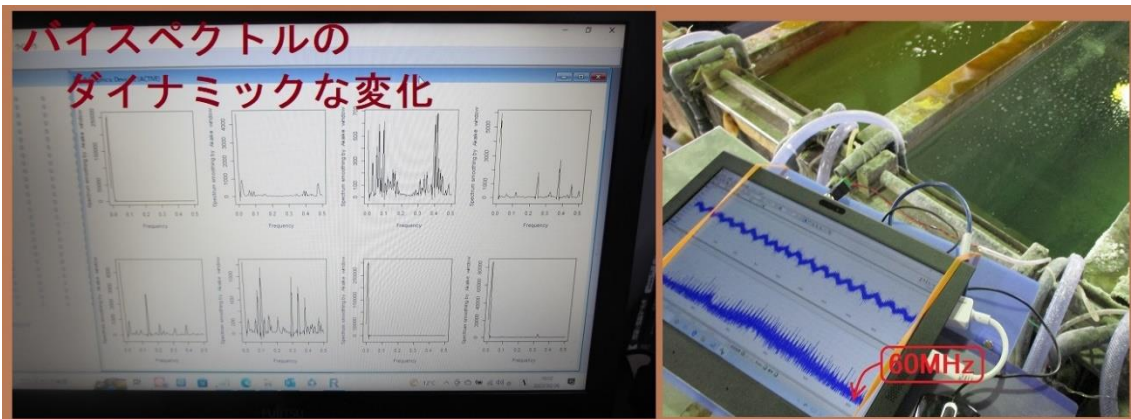


バースペクトル(最大周波数 62MHz)



100 μ 秒でこのような音圧変化を実現することが、新しい超音波制御技術です





超音波「音圧測定解析装置（超音波テスターNA）」

<http://ultrasonic-labo.com/?p=1722>

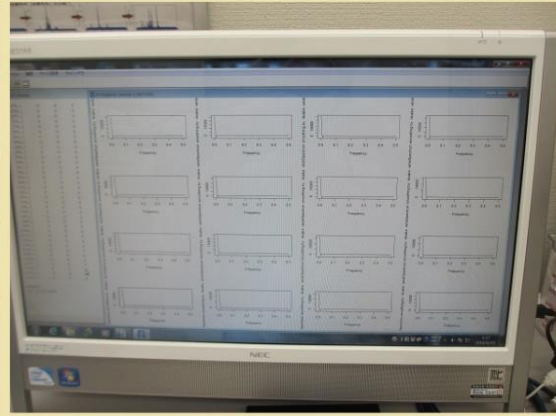
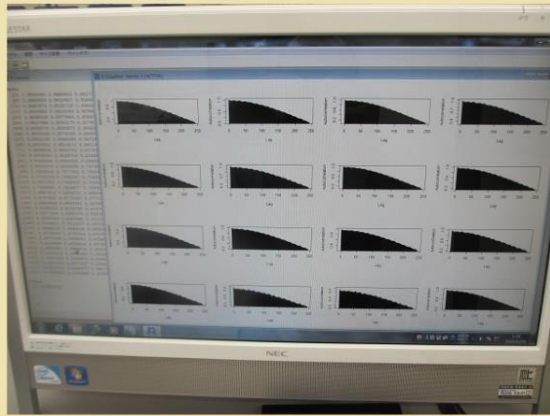
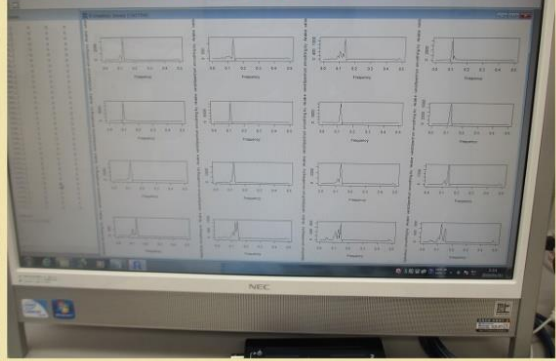
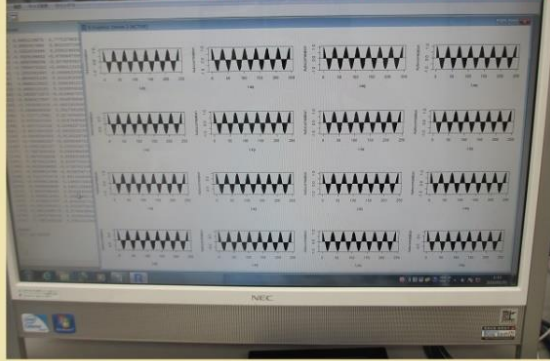
超音波発振制御システム（20MHz）

<http://ultrasonic-labo.com/?p=18817>

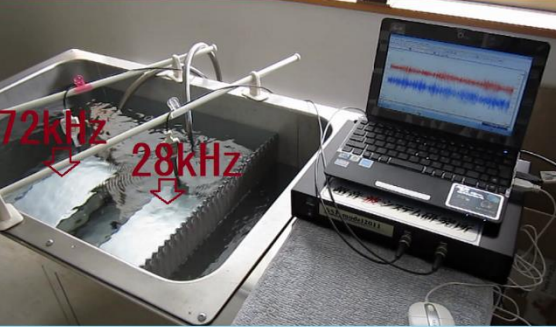
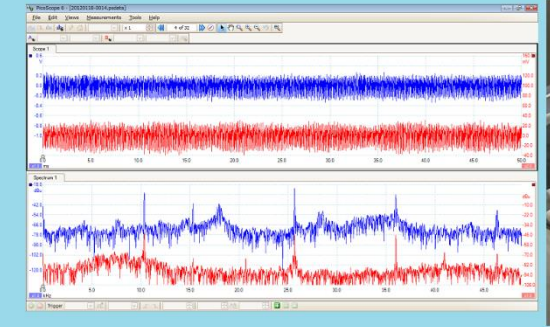
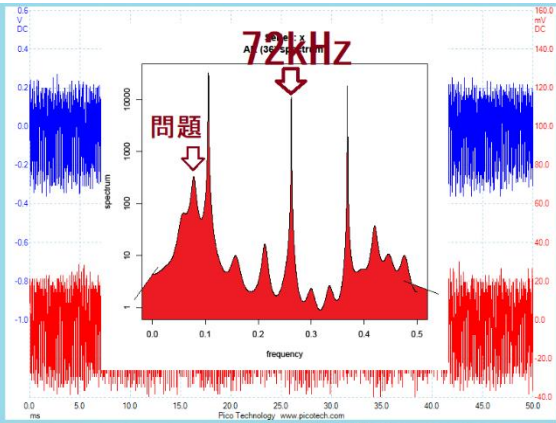
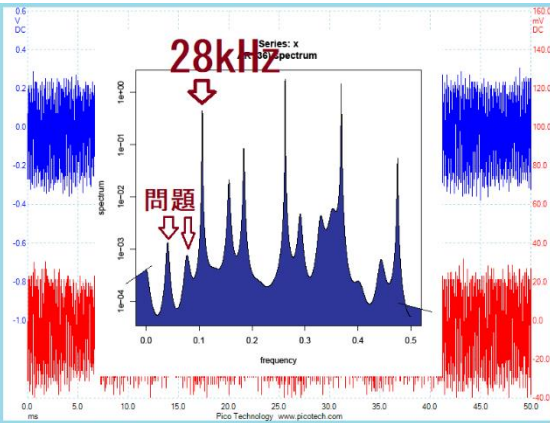
超音波システム（音圧測定解析、発振制御）の利用技術

<http://ultrasonic-labo.com/?p=16477>

音圧データの解析結果：単調な振動現象

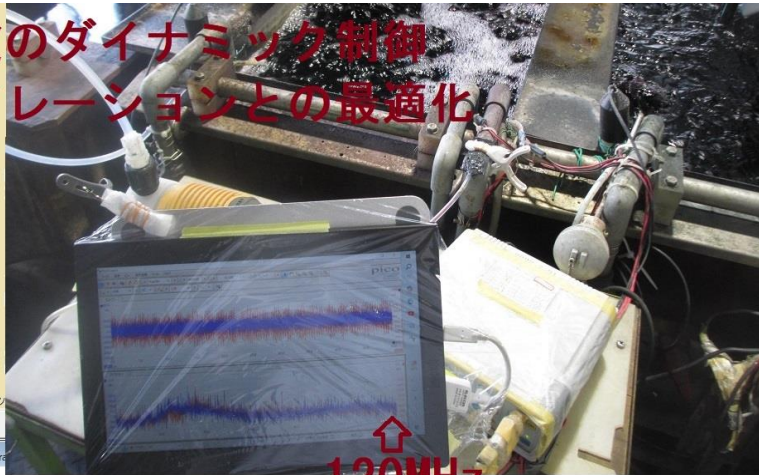


洗浄効果の小さい典型的な解析結果



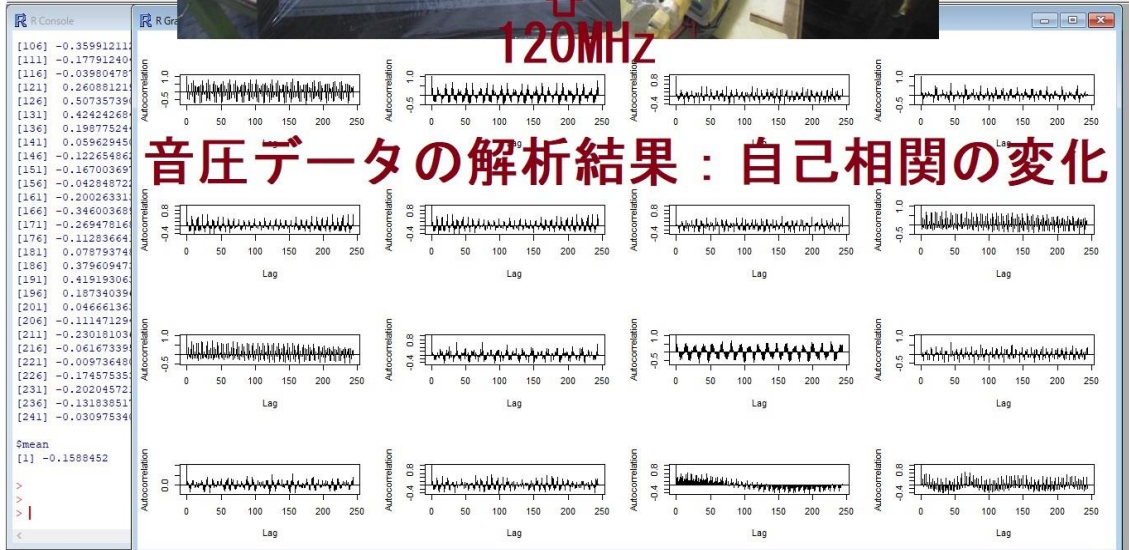
# 洗浄効果の非常に高い事例 1

超音波のダイナミック制御  
エアレーションとの最適化

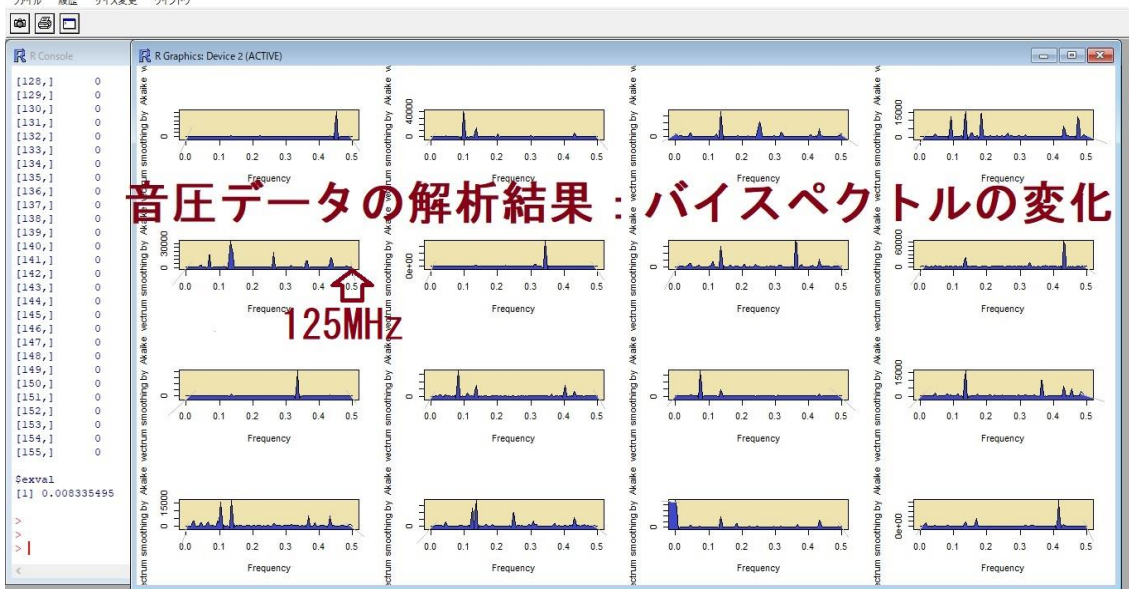


↑  
120MHz

音圧データの解析結果：自己相関の変化



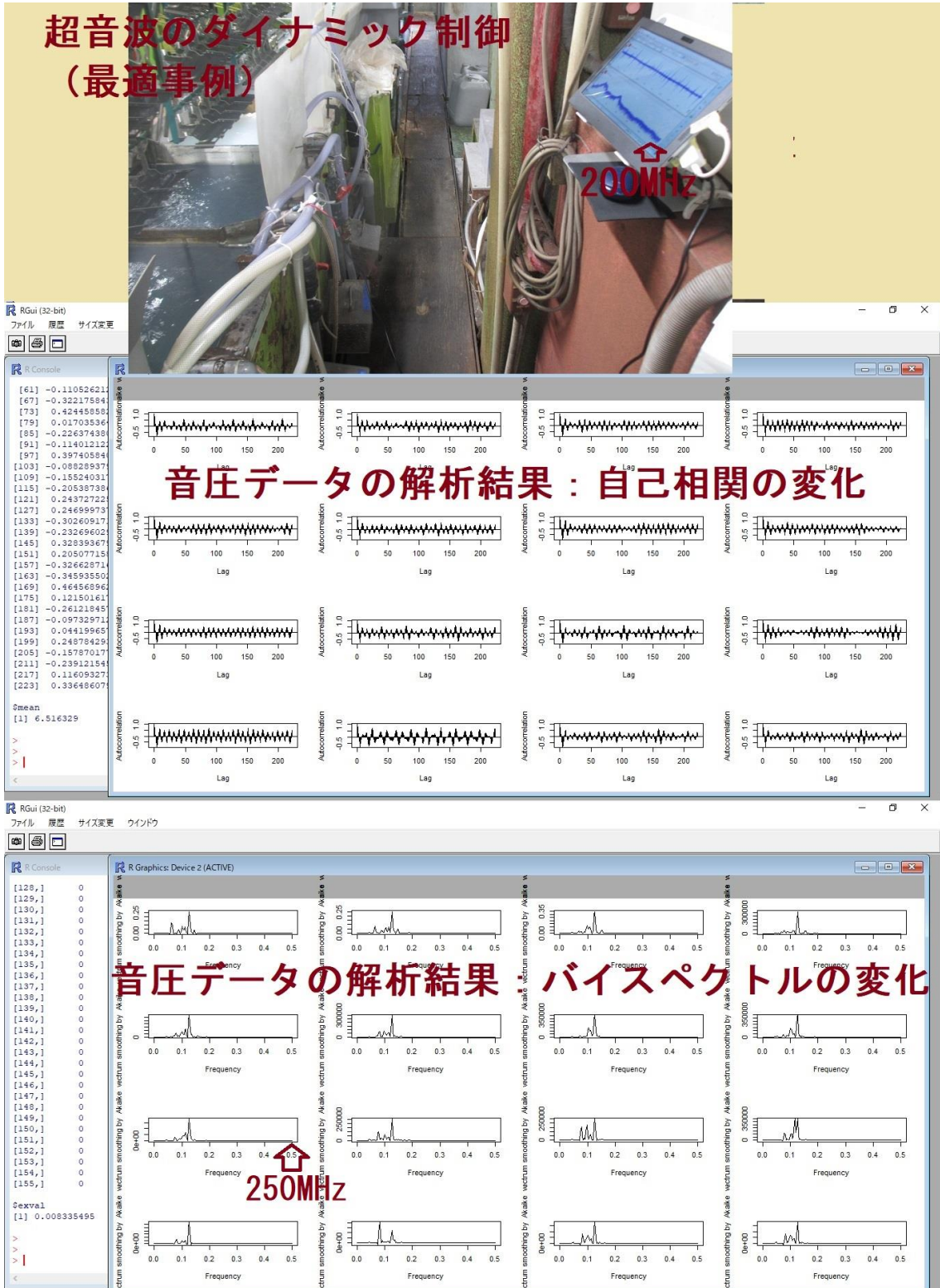
音圧データの解析結果：バイスペクトルの変化





# 洗浄効果の非常に高い事例 2

超音波のダイナミック制御  
(最適事例)



以上