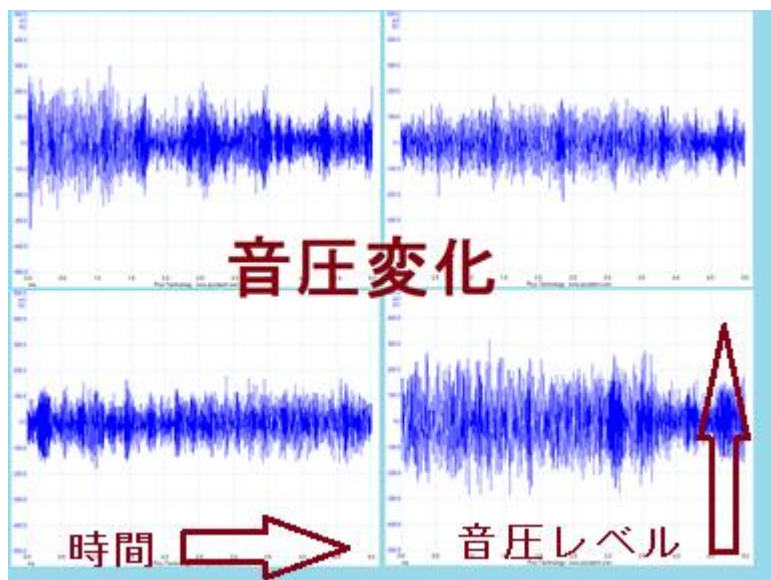
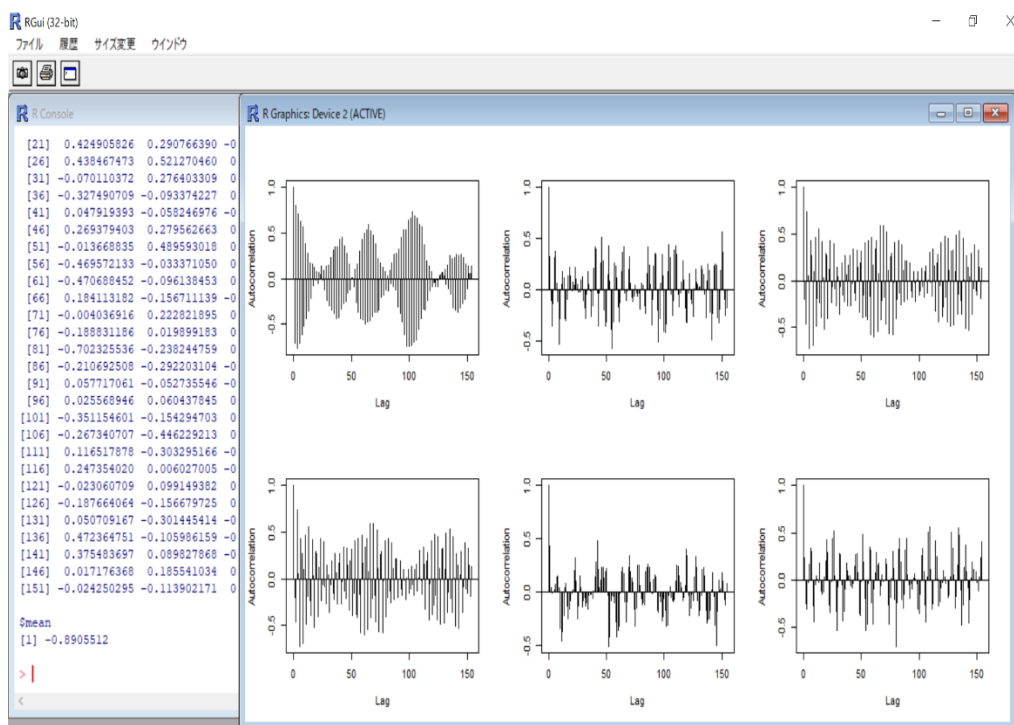


超音波の音圧データ解析技術(R言語)

超音波伝搬状態の解析・評価



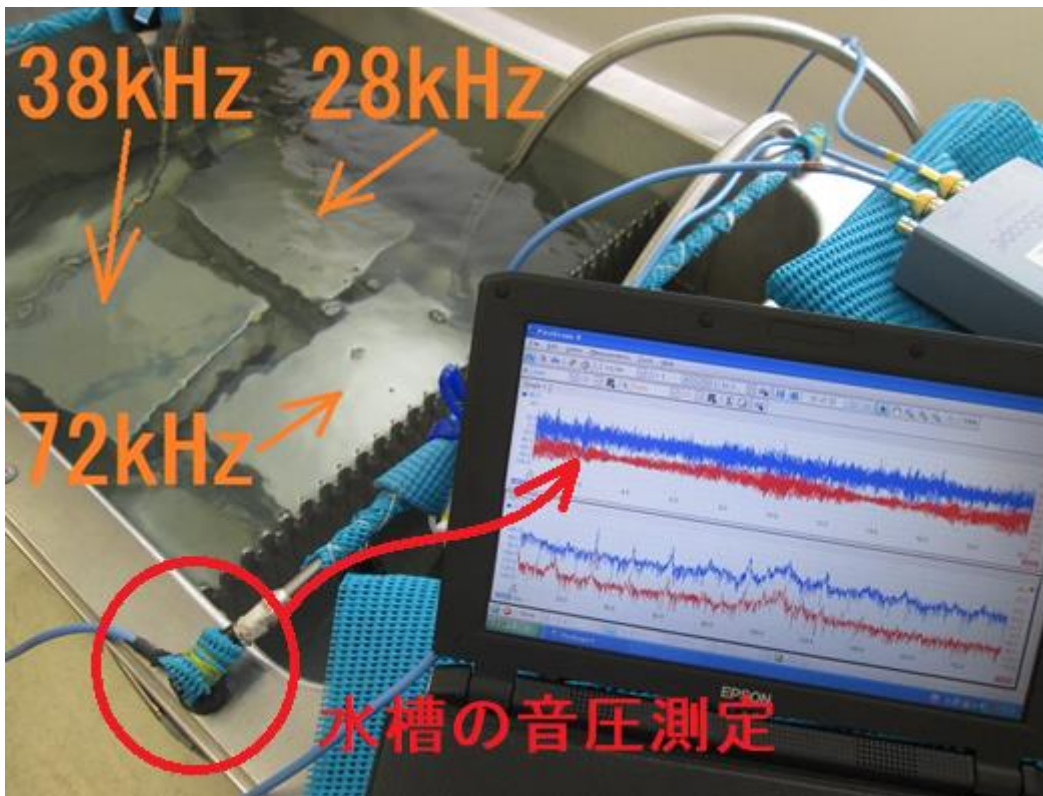
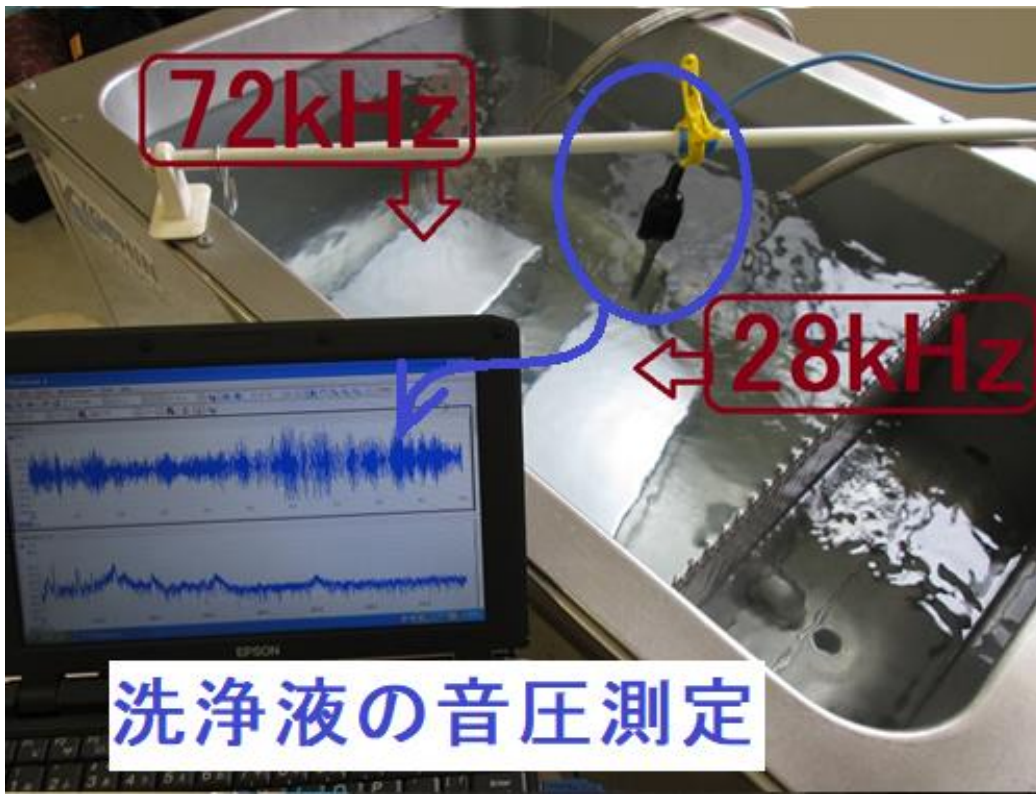
音圧グラフ 横軸:時間 縦軸:音圧



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



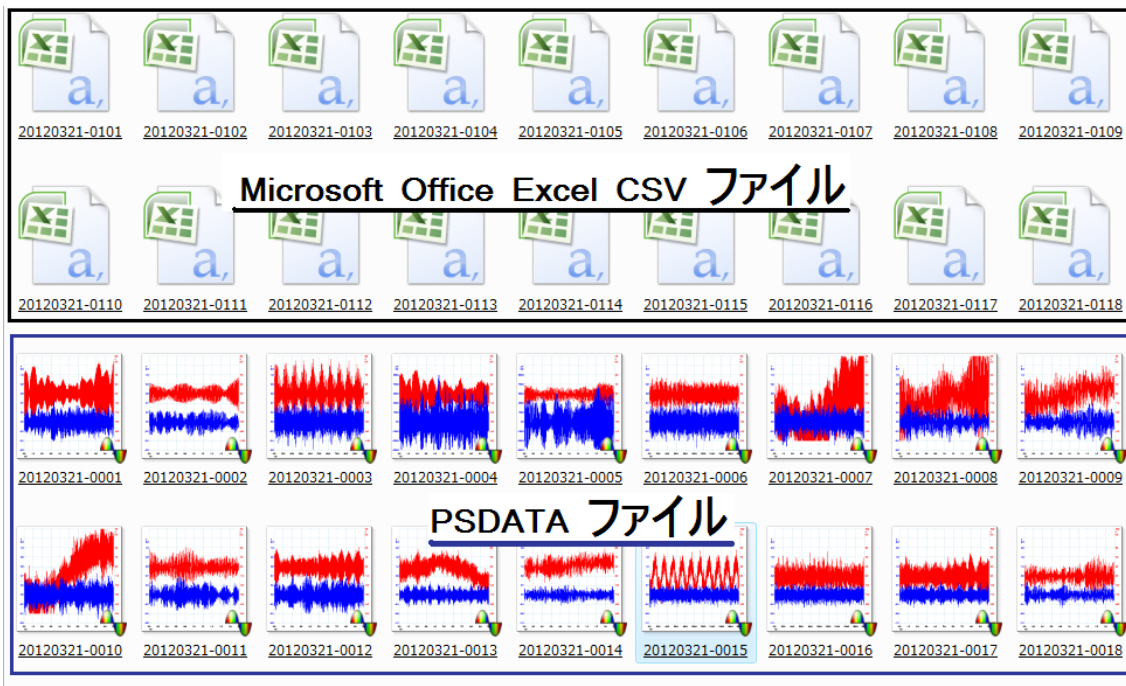
1. 準備

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

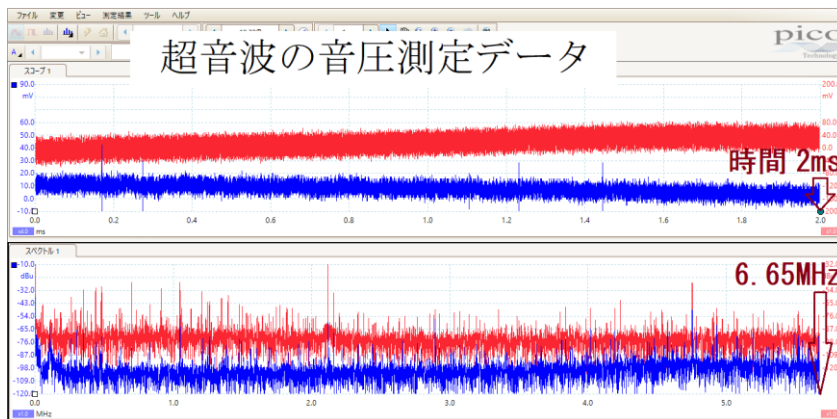


例

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

```

RGui
ファイル 編集 実行 その他 パッケージ ウィンドウ ヘルプ

R Console
R version 2.12.2 (2011-02-25)
Copyright (C) 2011 The R Foundation for Statistical Computing
ISBN 3-900051-07-0
Platform: i386-pc-mingw32/i386 (32-bit)

これは、自由なソフトウェアである。「完全に無保証」です。
一定の条件に従えば、自由にこれを再配布することができます。
記述条件の詳細については、'license()' または 'licence()' と入力してください。

これは多くの貢献者による共同プロジェクトです。
詳しくは 'contributors()' と入力してください。
また、RとRのパッケージを引用する際の形式については
'citation()' と入力してください。

'demo()' を入力すればデモをみることもできます。
'help()' と入力すればオンラインヘルプが出ます。
'help.start()' をコマンドプロンプトによるヘルプがめられます。
'q()' と入力すれば終了します。

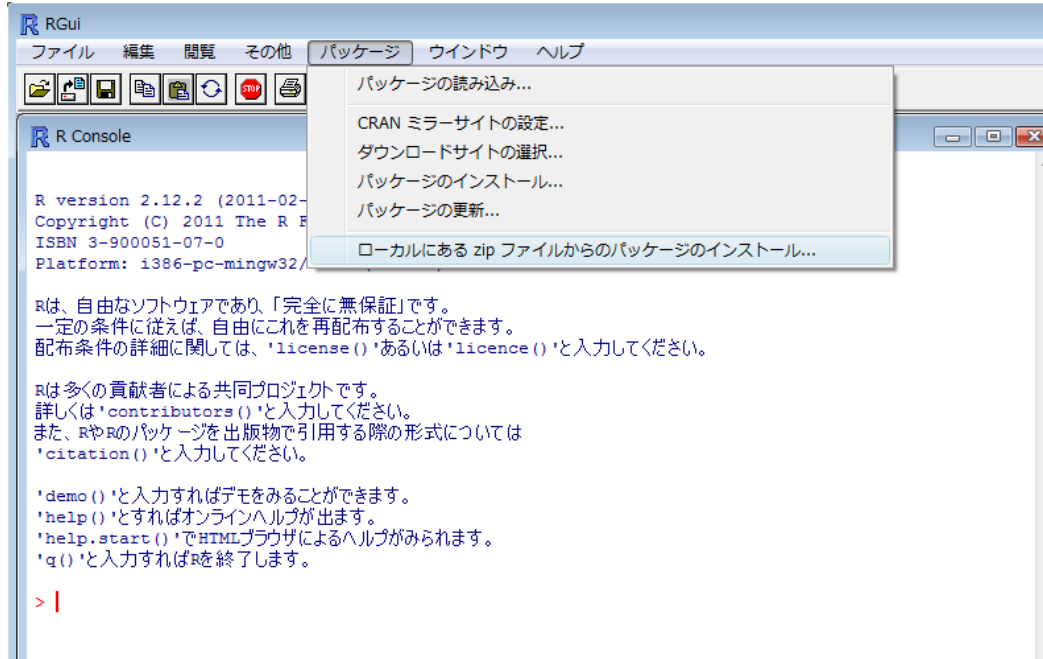
> |
  
```

> | 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

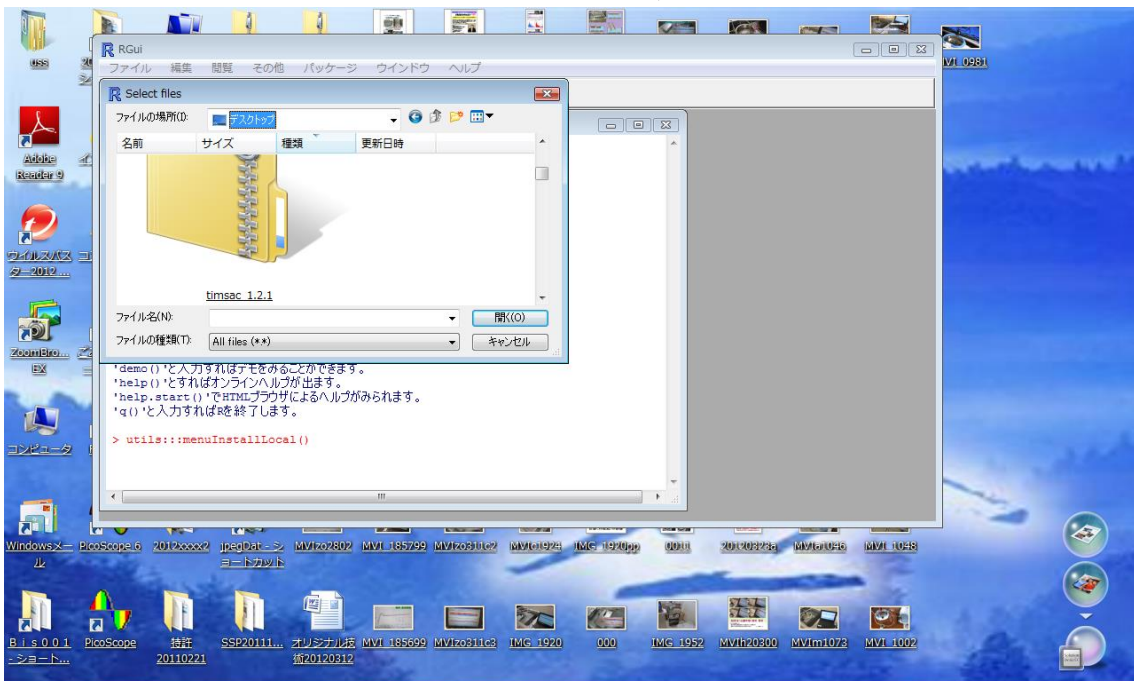
3-1 : パッケージ ->

ローカルにある zip ファイルからの



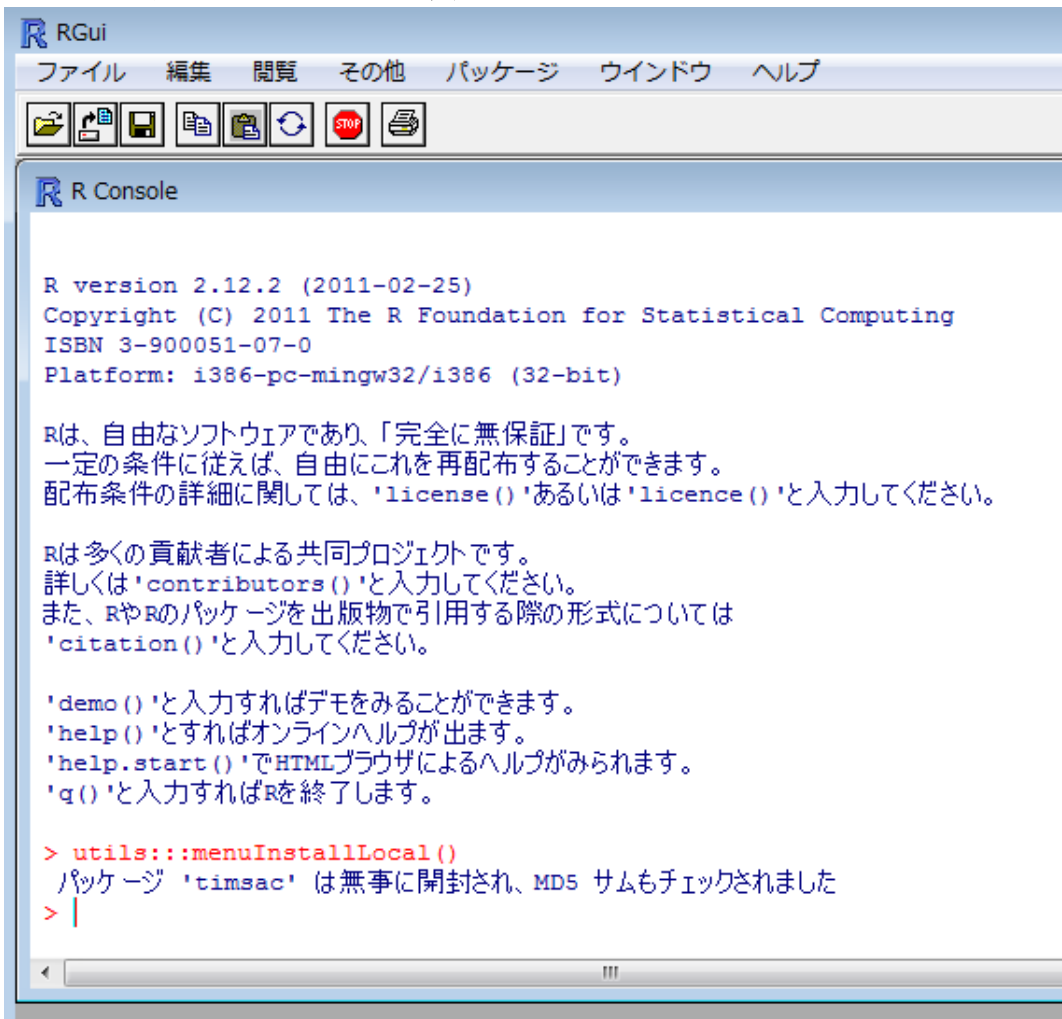
3-2 : デスクトップの zip ファイル

TIMSAC1.2.1 を選択する

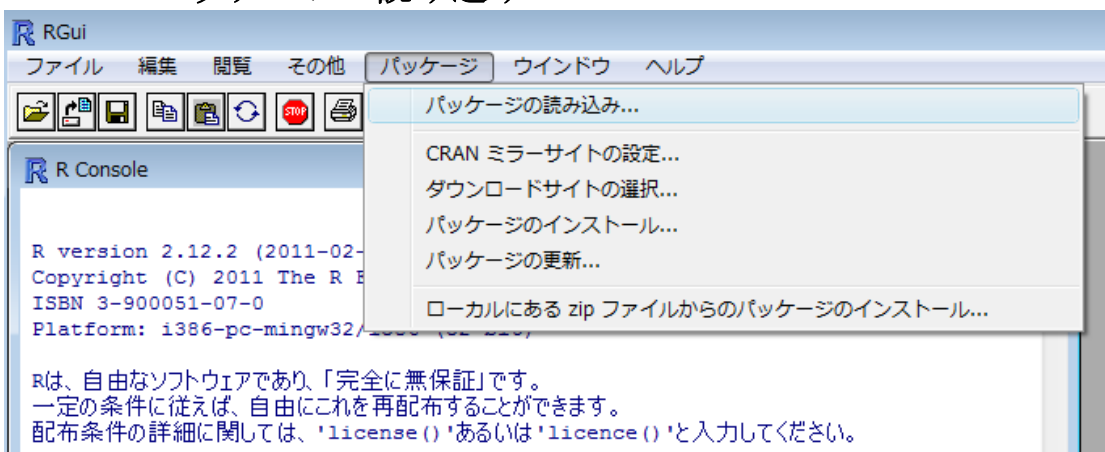


Package 'timsac' (TimeSeriesAnalysisandControlPackage)
Functions for statistical analysis, prediction and control of time series based mainly on Akaike and Nakagawa (1988)

3-3 : 読み込み画面の確認

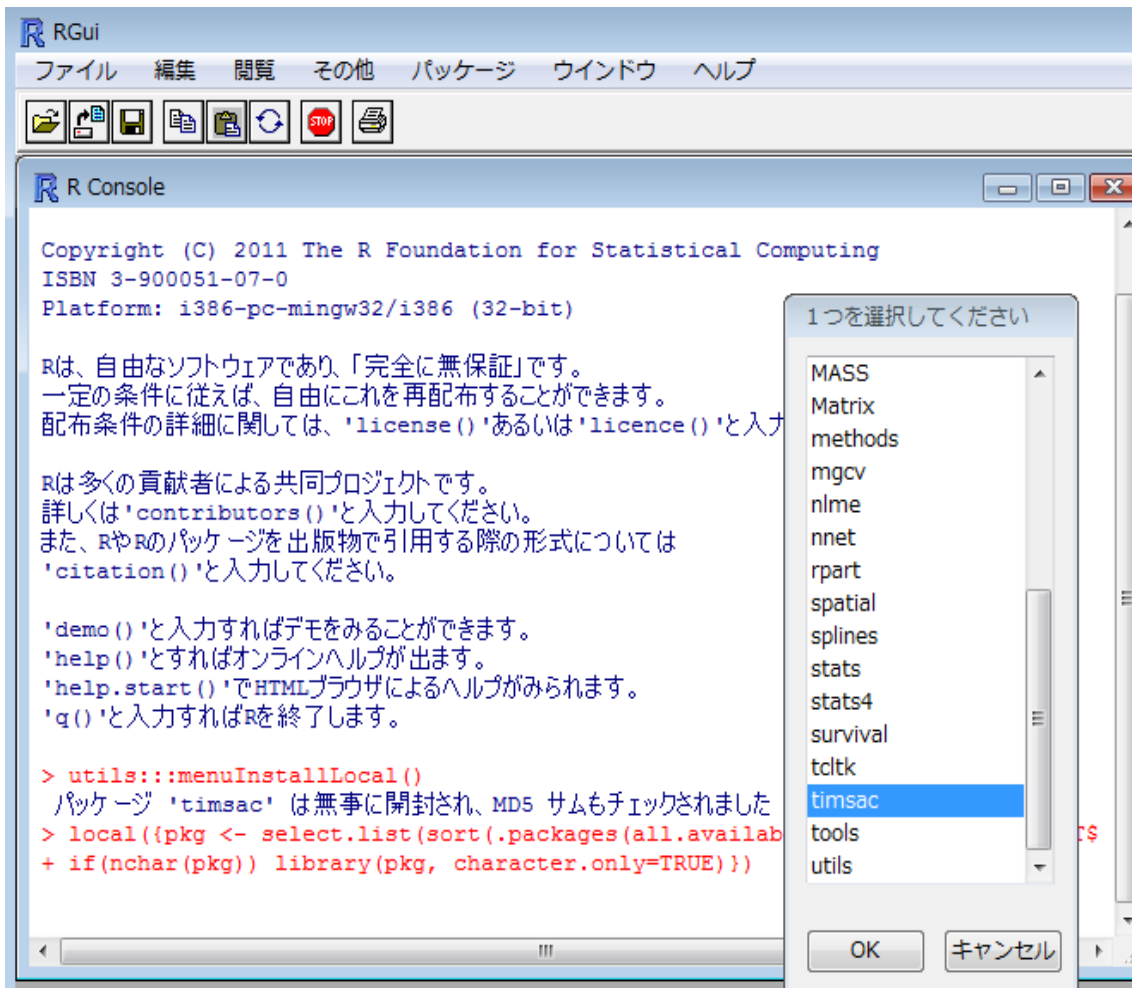


3-4 : パッケージの読み込み

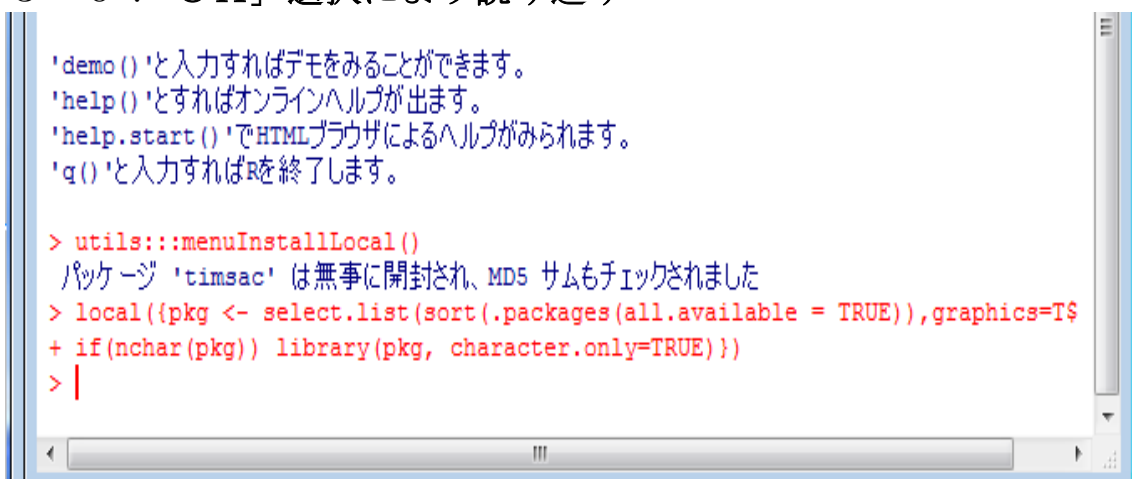


パッケージー>パッケージ読み込み・・・ 選択する

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)
```

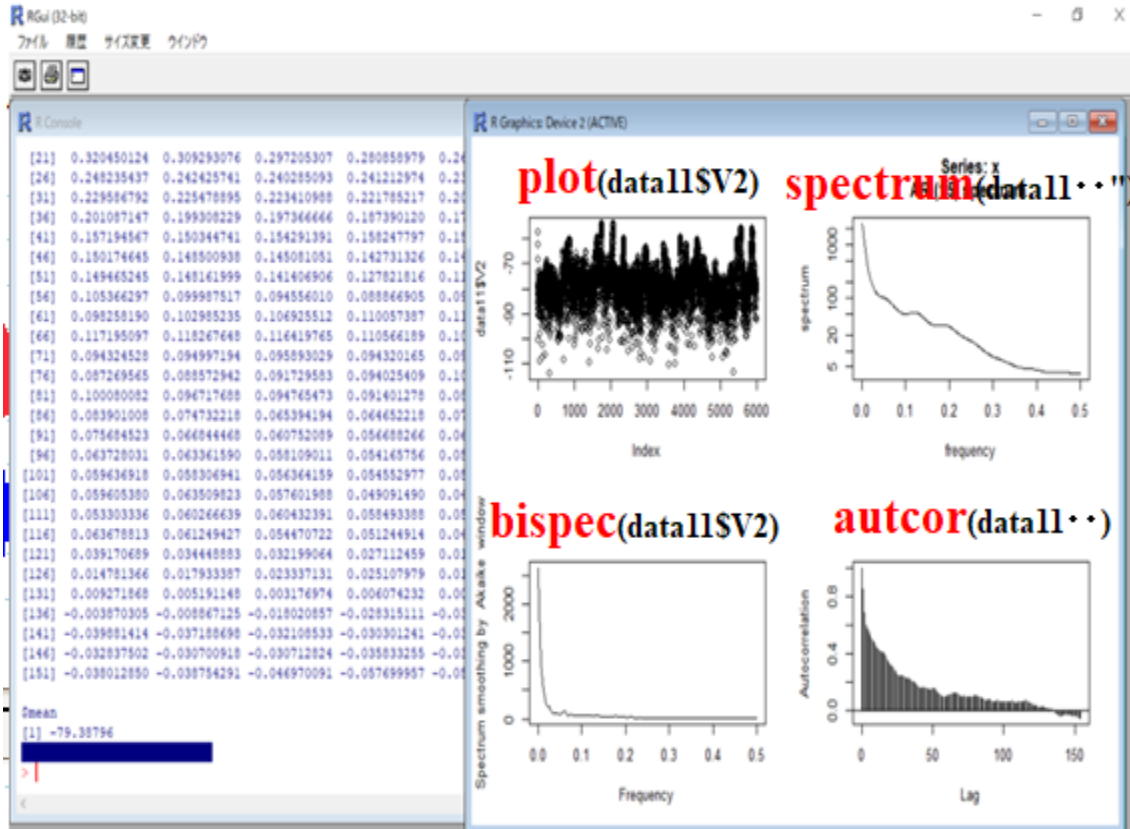
```
spectrum(data11$V2,method="ar")
```

```
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

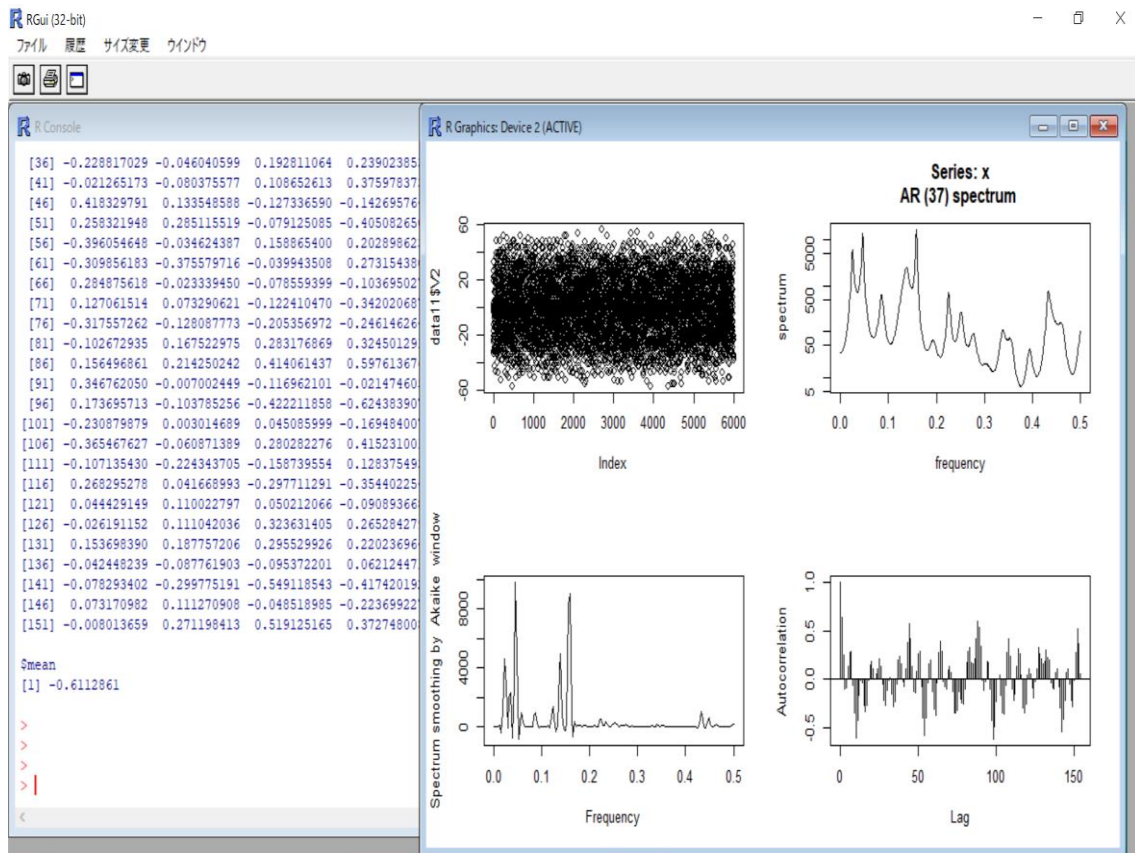
`bispec(data11$V2)`

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=",", 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)
```

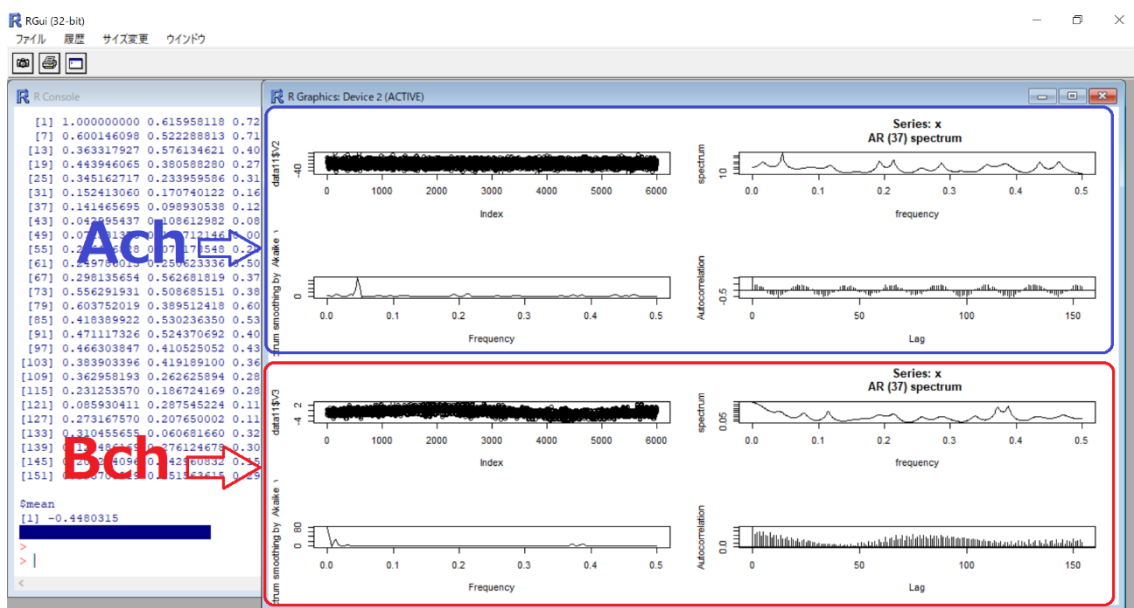
```
data11 <- read.table("C:/20191220/20191220-0022/20191220-0022_12.csv", skip=6,  
sep=",", nrows=6000)  
autcor(data11$V2)
```

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

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

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

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

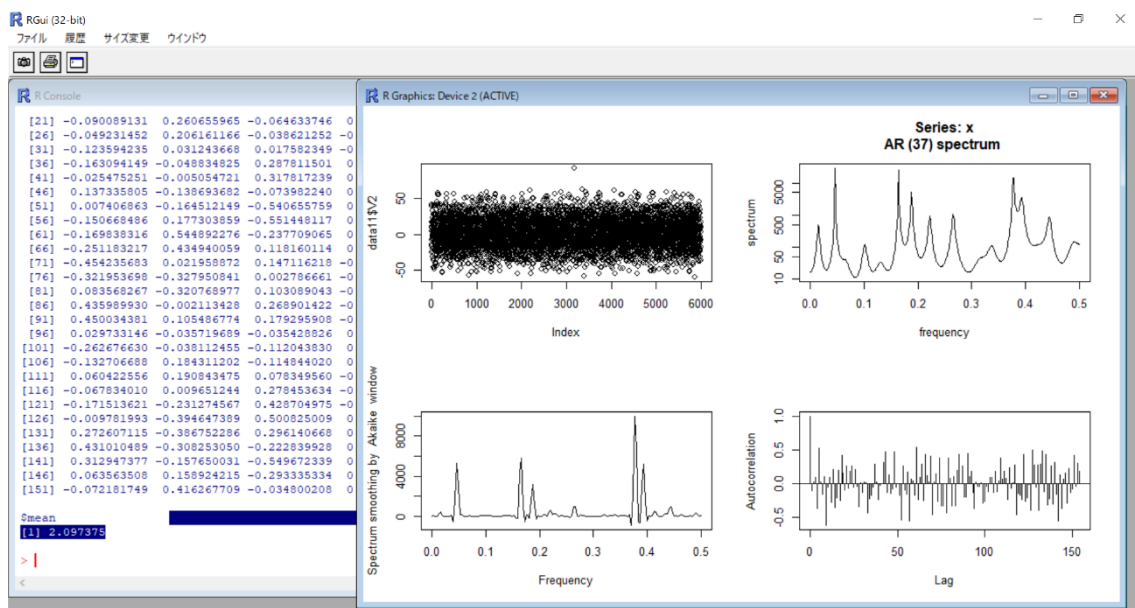


2) 以下のようにテキストデータをコピーしてRの画面にペーストするとすべての解析を連続的に行います

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

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

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

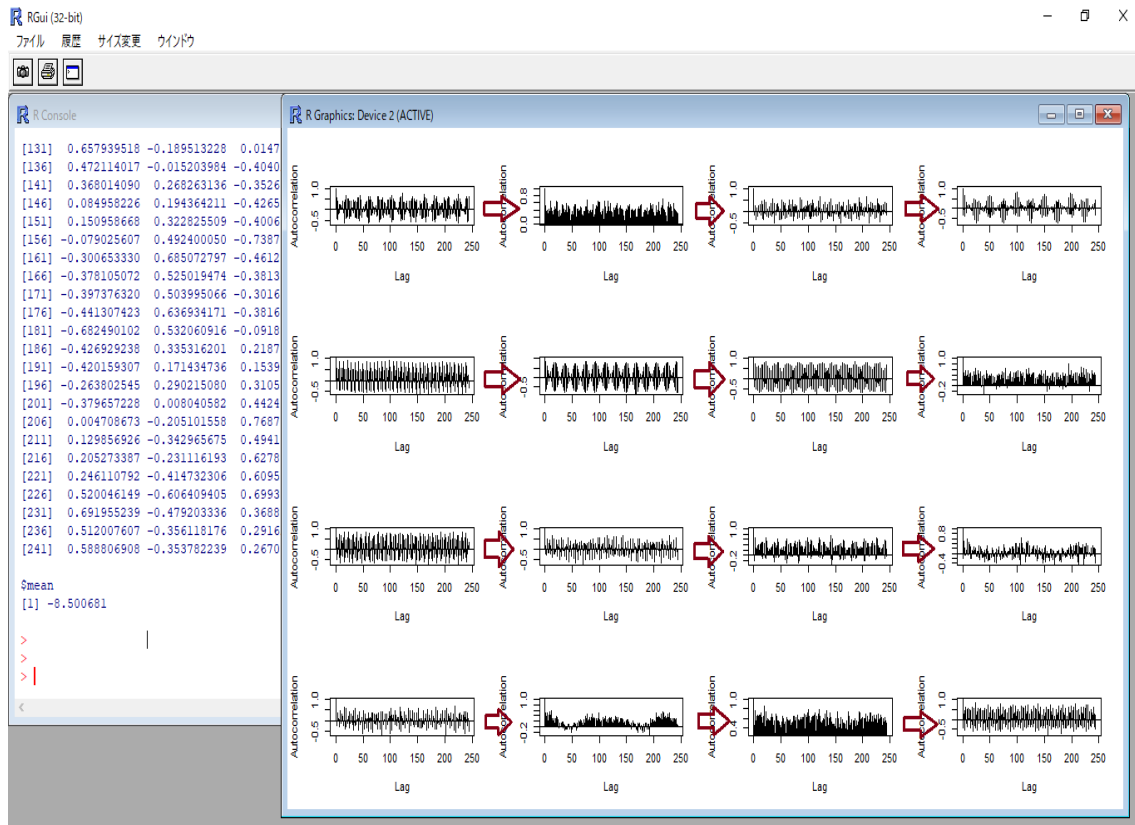
```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_04.csv", skip=6, sep="," , nrows=15000)  
autcor(data11$V2)
```

...

```
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)
```

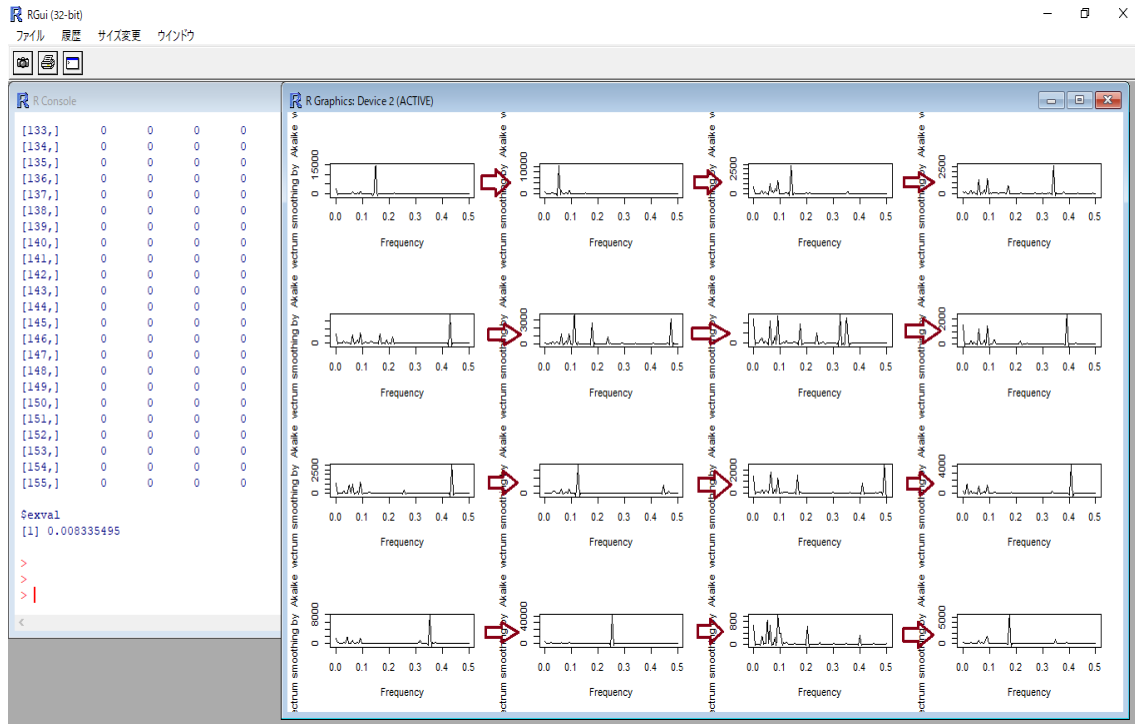
...

```
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)
```

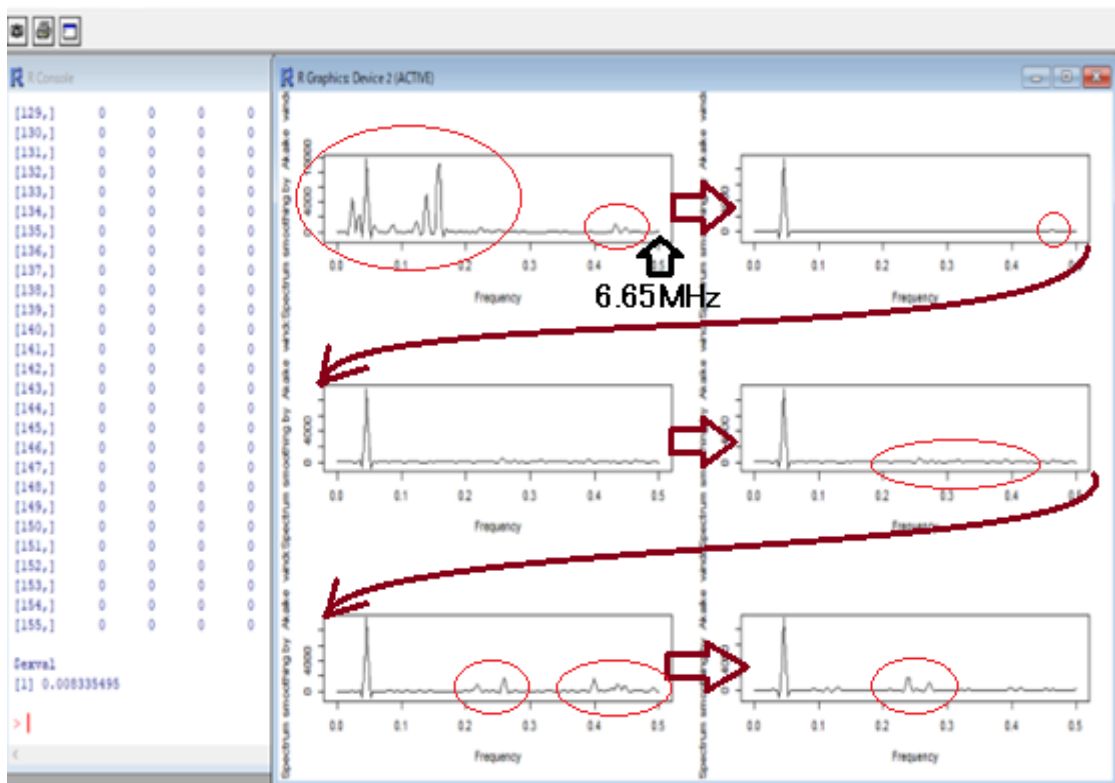
```
data11 <- read.table("C:/2024/20240301-0002/20240301-0002_32.csv", skip=6, sep="," , nrows=6000)  
bispec(data11$V2)
```



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)
```

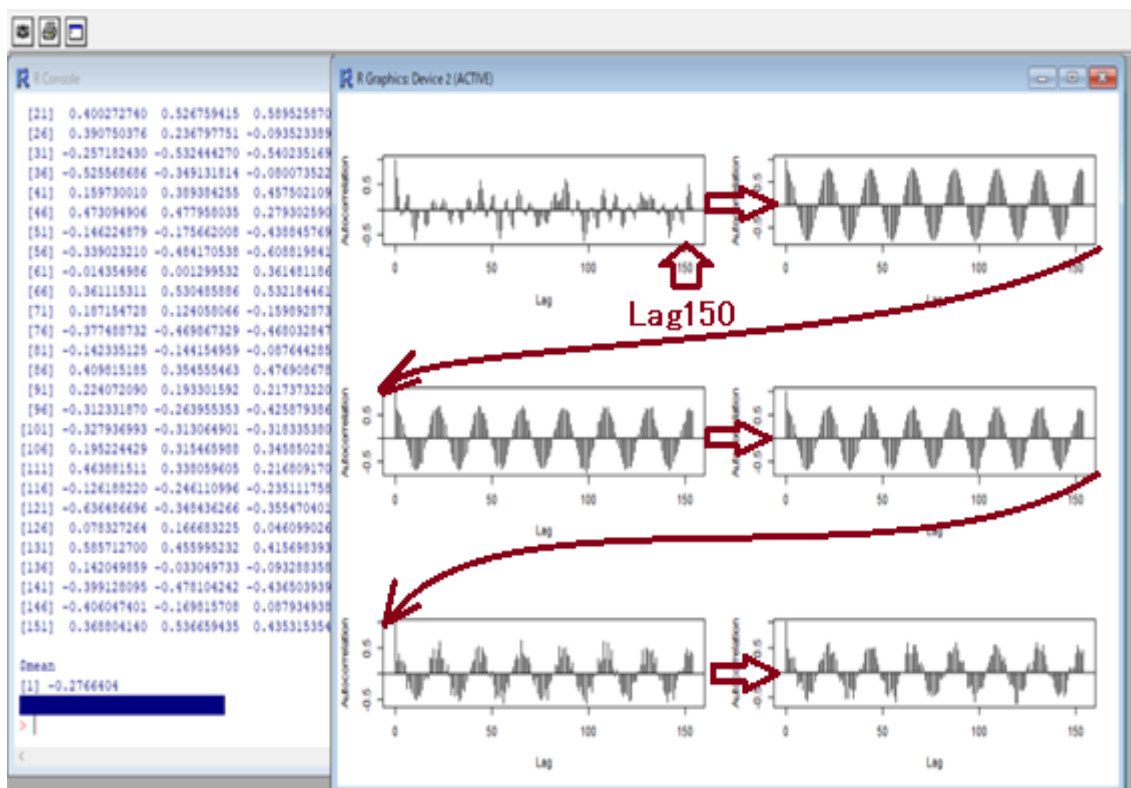
```
autcor(data11$V2)
```

```
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（バー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（バースペクトルの変化）

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）

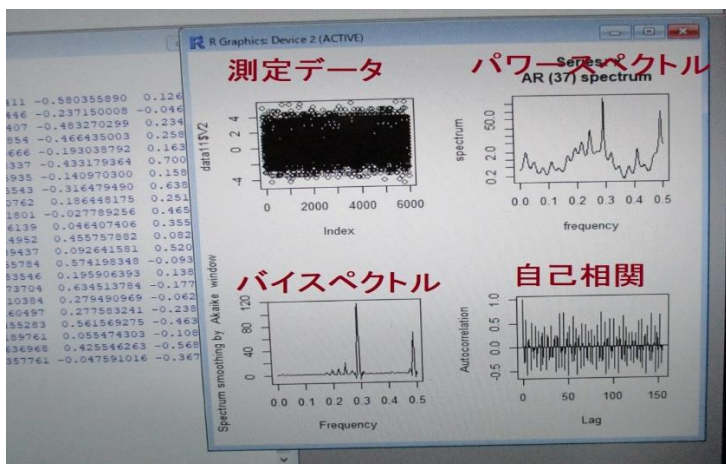
注：「R」フリーな統計処理言語かつ環境

autcor：自己相関の解析関数

bispec：バー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

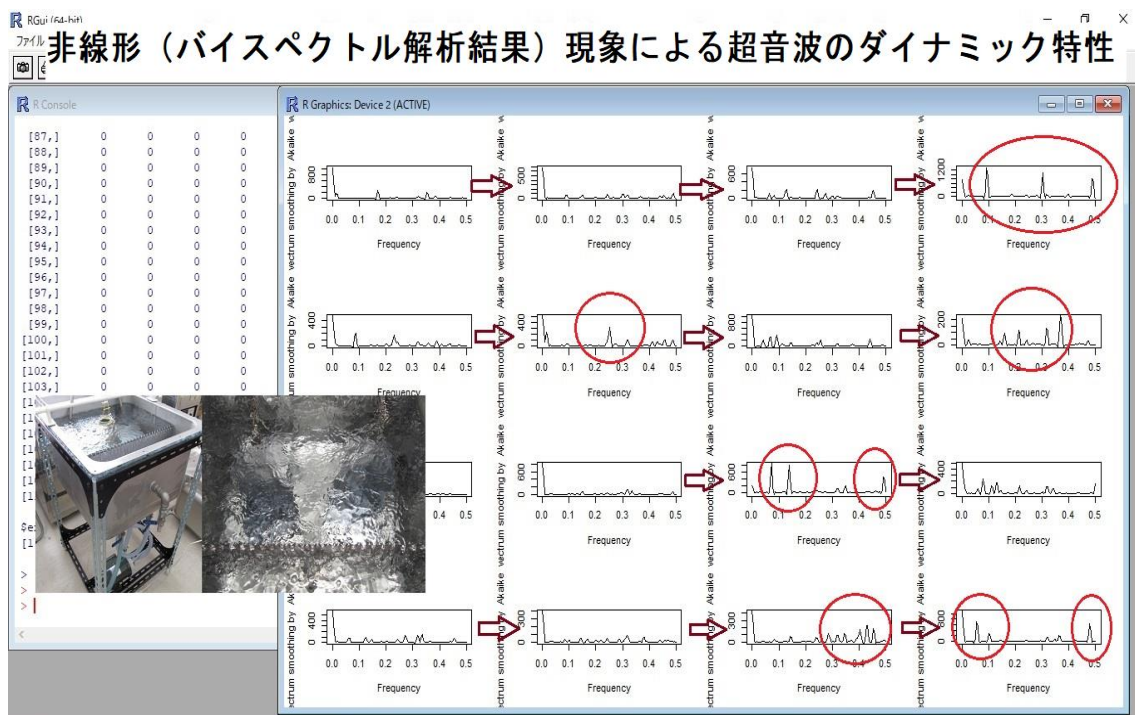
bispec() : バイスペクトルの計算

自己相関の解析関数

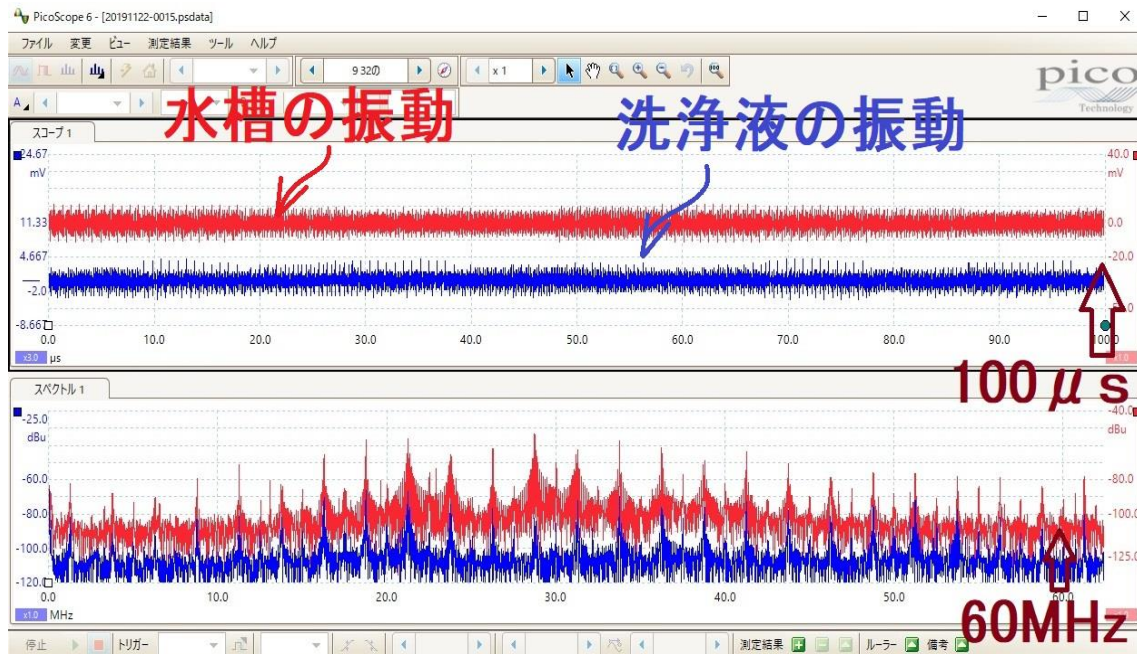
autcor() : 直接法による自己共分散関数の計算

3) TIMSAC for R package

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

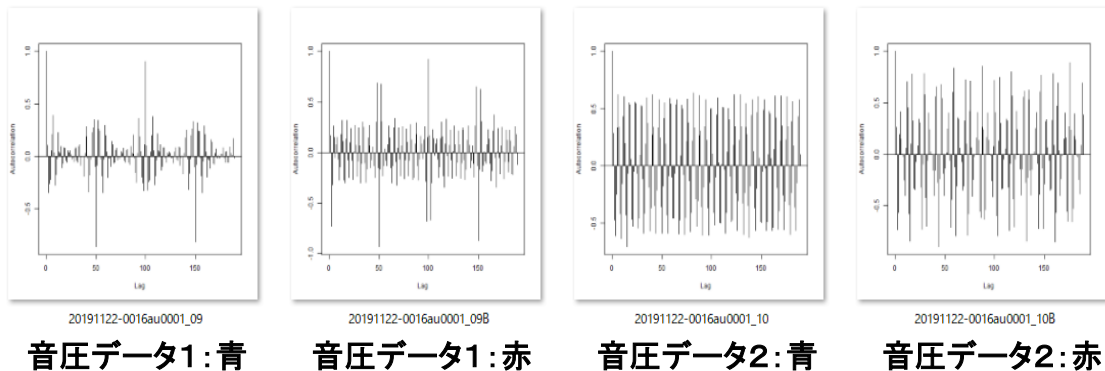


参考データ

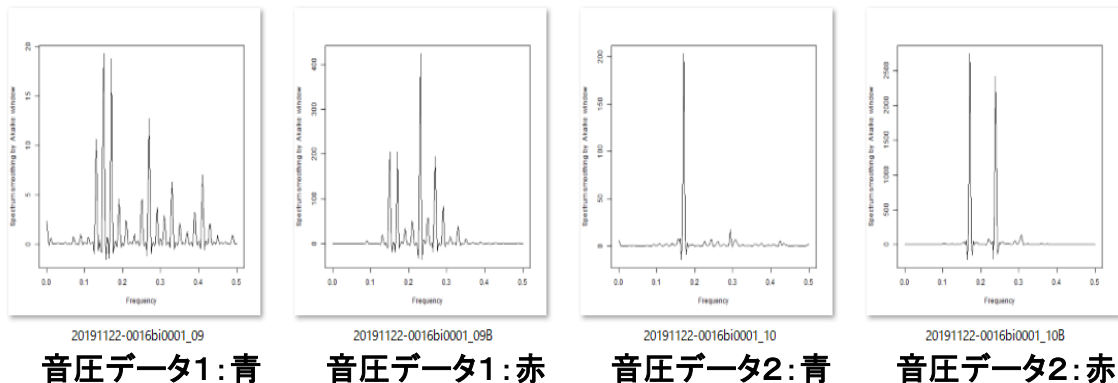


解析結果

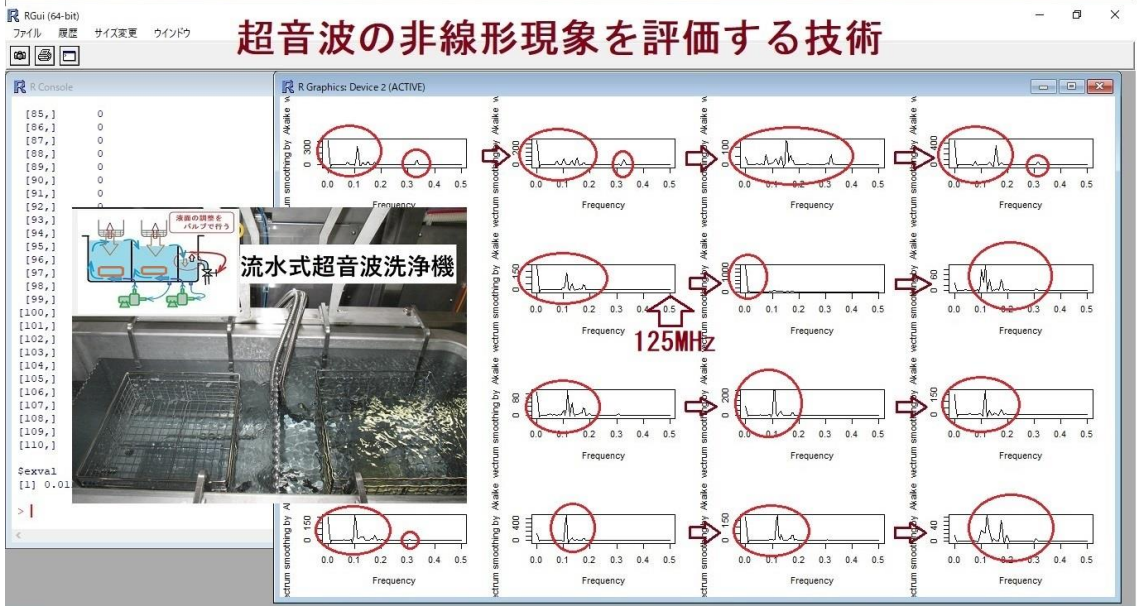
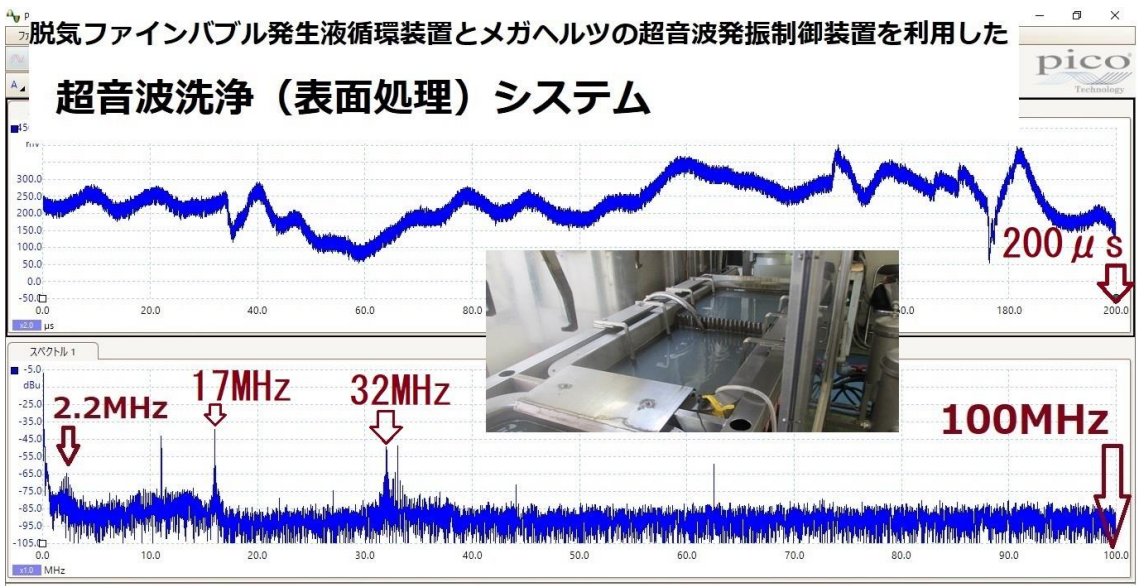
自己相関(最大 200Lag)

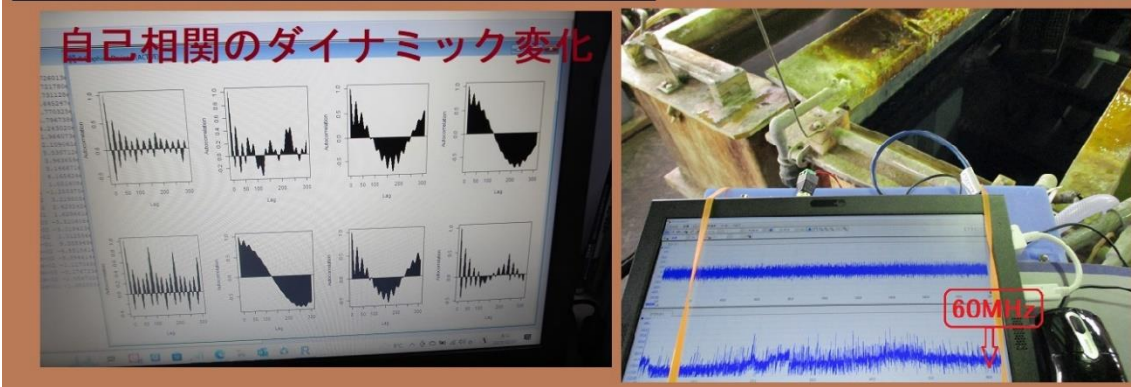
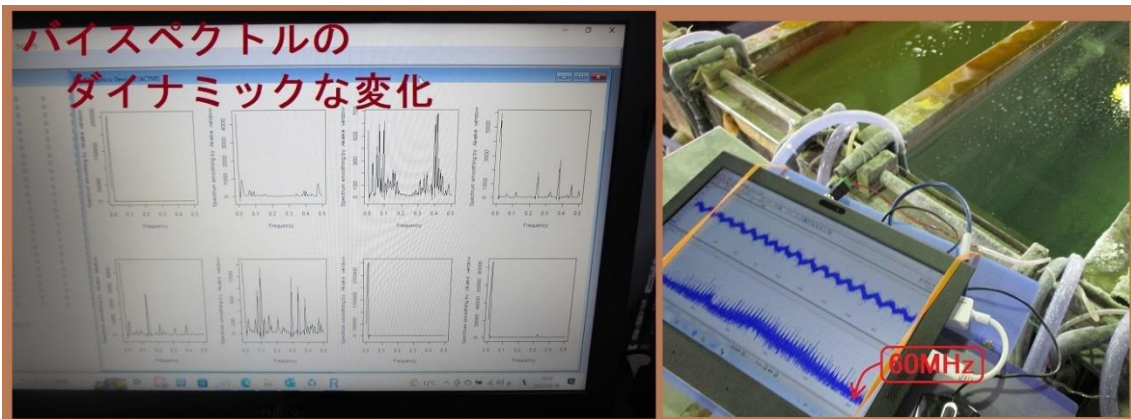


バースペクトル(最大周波数 62MHz)



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>

以上