

# 振動測定データの解析プログラム

## 説明書

### ” TimeProcess ” と ” ImpulseTester ”

#### 0. あらまし

ここで説明するプログラムは、建物や橋梁などの構造物の振動を記録したデータを数値解析すると共に、種々のグラフをコンピュータグラフィックスで作成することが目的です。振動の性質を調べるには、従来から、波形図(オッシログラム)に描いて観察してきました。古典的な装置は、エジソンのドラム式蓄音機の構造を持った機械式の地震計です。その波高値や周期を手作業で読み取って、改めてデータ解析を始めました。その後、振動は、電気信号(アナログ量)で取り出せる検出器(センサ)が工夫され、その電気信号を磁気テープレコーダに記録して、後で再現できるようになりました。振動は、一過性、つまり、その場限りの現象です。実時間で振動観察をする装置は、テレビ受像機に応用されていたブラウン管オッシログラフが使われました。そうであっても、波形を数値データに直す作業は、グラフに描いて手作業で読み取りました。現在では、振動データをデジタル量として記録し、ファイルに書き出してコンピュータ処理ができるようになりました。従来使っていた巻物のようなオッシログラムを描かなくなりました。しかし、長い継続時間の波形を一眼で観察できるオッシログラムは、動的な現象の全体像の理解に役立ちます。この目的に使うグラフィックスを作画することも、振動解析プログラムの一つの目的です。

振動の性質を解析する方法に、或る時間長さの波形データに含まれる周波数成分を計算する方法が研究されるようになりました。これは、統計計算の応用です。大量の数値計算をしなければなりませんので、コンピュータが利用できるようになって、実用になりました。主要な計算が二つあります。一つはスペクトル(spectrum)、もう一つが自己相関関数 (autocorrelation)です。これらを、コンピュータグラフィックスで図に表すこともプログラミングの目的です。そのツールには、一般のユーザが利用できるソフトウェアのエクセル(MS-EXCEL)も便利です。エクセルは、事務処理、とりわけ会計計算を指向したソフトウェアですが、多くの統計計算用の関数と共に、数学関係の関数が利用できます。加えて、簡単なグラフの作成もできます。自己相関関数やスペクトル計算もできなくはないのです。しかし、ユーザインタフェースが複雑になることと、数値計算に思った以上に時間が掛かります。したがって、高級プログラミング言語を使って解析用のソフトを開発する必要があります。実行形式のソフト名として、ここでは”TimeProcess”と”ImpulseTester”との二つを紹介します。どちらも Visual Basic 6.0 (VB6) で 2007 年ごろに作成したものです。VB6 は、初心者向けのプログラミング言語を標榜する BASIC の名前が付いていますが、完成度が高く、また独立したプログラミング言語として市販されていましたので、多くのユーザが利用しました。しかし、Windows のバージョンの変更に対応させるサービスが不便になり、エクセルから間接的に VBA (Visual Basic for Applications) として利用することが提案されるようになりました。しかし、VBA を使いこなすには、元々の Visual Basic でのプログラミングの知識が必要です。実行形式にコンパイルされた VB6 は、改定された Windows の OS 下でも機能できます。ただし、それには VB6 ランタイムソフトウェアが必要です。

この説明書は、振動データの解析をしたい一般ユーザ向けに作成しました。元のプログラムのソースコードは省きますが、基本的なアルゴリズムの簡単な紹介と、ユーザインタフェースの設計の考え方に重点をおいて解説するようにしました。プログラミングの説明には、多くの専門用語が現れます。ここでは用語の説明は十分にできませんが、インターネットで調べることも考えて、用語索引を付けました。

# 目 次

## 0. あらまし

### 1. 文書として扱うプログラムのお話

- 1.1 プログラムは文書である
- 1.2 文書は物理的には一次元並びである
- 1.3 計算手順を指示する文と実行順の違い
- 1.4 一方向だけにしか情報は伝えられない
- 1.5 情報の流れを図に表す

### 2. データの文書化

- 2.1 振動データをファイル化する
- 2.2 サンプリング周波数
- 2.3 ファイル寸法の決め方
- 2.4 計測時間とサンプル数の関係を理解しておく
- 2.5 長周期成分のデータ
- 2.6 三成分の振動計測を基本とする
- 2.7 回転の三成分も考える場合
- 2.8 加速度・速度・変位の計算
- 2.9 文書の保存と管理

### 3. 基本的なユーザインタフェース

- 3.1 コンソール
- 3.2 出力に三つの子ウインドウを使いわけ
- 3.3 対話的に処理を進めることの功罪
- 3.4 ユーザのデータ入力方法
- 3.5 実行の状態と画面の状態

### 4. 振動解析プログラムの処理手順

- 4.1 作業の進めかた
- 4.2 立ち上げ画面<S01>
- 4.3 ファイル読み出し画面<S02>
- 4.4 データリストの画面とバイプログラムの作図<S03>
- 4.5 ランニングスペクトルの作図画面<S04>
- 4.6 自己相関関数の作図画面<S05>

### 5. メニュー

- 5.1 コンソールウインドウのメニュー
- 5.2 テキストウインドウのメニュー
- 5.3 グラフィックスウインドウのメニュー

## 付録 A. 測定と解析の例

# 索引

索引で参照する番号は、(章番号・節番号の順)を示します。

*.BAT	3.3	移動	2.6	自己回帰成分	4.6	流れ図	1.5
*.CSV	2.1	ウィザード	3.3	自己相関関数	4.6	バイナリーファイル	2.1
*.HED	2.1	ウインドウ	3.1	自乗平均値	4.4	バイプログラム	4.4
*.JPG	3.2	エイリアシング	2.2	周辺装置(	1.1	パソコン	2.1
1質点系	2.6	エクセル	0	重錘落下装置	4.6	パソコンお宅	3.3
5W1H	1.1	エコー	2.5	衝撃振動試験	2.4	バッチ処理	3.3
CON	3.1	オッシログラフ	0	情報	1.1	ハミングウインドウ	4.5
CPU	1.1	オッシログラム	0	常時微動 付録 A		パワースペクトル	4.5
CRT	3.1	応答振動	2.6	スーパーコンピュータ		ハンガアップ	3.3
CSV	4.1	親ウインドウ	3.2		3.1	ピッチング	2.7
DADISP	2.1	回転	2.6	スタート	3.5	標準偏差	4.4
Dim 文	2.3	外部装置		ステータスコード	4.1	標本化	2.2
DOS	3.4	(ハードウエア)	1.1	ステータスバー	3.4	ファイル	1.1
FFT 解析	2.3	拡張子	4.3	ストック連続用紙	3.1	フィルタ	2.2
FOR-NEXT 文	1.3	管理情報	2.1	スペクトル	0	フーリエ解析	2.2
FORTRAN	1.2	キーショートカット	4.2	ずらす時間	4.6	ブール代数	1.3
FWD	4.6	キーワード	2.1	数値積分	2.8	プルダウンメニュー	3.4
FWD 用加振器	2.6	機械語	1.1	双六(すごろく)	1.5	プログラミング	1.1
GO TO 文	1.5	気まぐれさ	2.4	センサ	0	プログラミング言語	1.1
HELP	1.5	級数	2.2	接点	1.5	プログラム	1.1
HOME	4.2	強風 付録 A		ソフトウェア	1.1	不動点	2.6
IF 文	1.3	グラフィックスウインドウ		双方向的	1.4	ペリフェラル	1.1
ImpulseTester			3.2	相関計算	4.6	ホーム	3.5
	2.8、4.1、4.6	クリック	3.2	ダイアログボックス	4.3	マウス	3.2
MDI	3.2	検出器(センサ)	1.1	タイトルバー	3.2	無停電電源装置	
MS-DOS	3.1	減衰係数	2.5	対話的	1.4		付録 A
NEXT->>	4.1	コンソール	3.1	卓越周期	2.5	メニュー	3.4
ReDim 文	2.3	コンソールウインドウ		卓越振動	4.5	メニューバー	3.2
RMS	4.4		3.2	立ち上げ	3.5	命令コード	3.4
Selecti Case 文	1.5	コンパイル	1.1	ツールバー	3.2	山彦	4.6
TeX	1.2	コンピュータ		通路決定グラフ	1.5	ユーザインタフェース	
TimeProcess	4.1	グラフィックス	0	ディスク	1.1		0
TTY	3.1	固有振動数	2.6	データ	1.1	ヨーイング	2.7
VB6	0	構造化プログラミング		テキストウインドウ	3.2	ラグ	4.6
VBA	0		1.5	テキストエディタ	3.2	ラベル	1.5
Visual Basic 6.0	0	高速フーリエ変換	2.3	テキストファイル	2.1	ランタイムソフトウェア	
Windows	3.1	子ウインドウ	3.2	デジタル	0		0
アーカイブ	2.9	サンプリング周期	2.2	デスクトップ	3.1	ランダム	2.4
アイコン	3.4	サンプリング周波数		デバイス	3.1	ランニングスペクトル	
アイドル	2.4		2.2	テレタイプライタ	3.1		4.5
アクティブ	3.2	再帰的	4.6	テンキー	3.4	離散化	2.8
アナログ	0	再現期待値	2.5	電卓	1.3	レーダ	4.6
アルゴリズム	0	再現周期	2.5	トリガ	2.4	ローリング	2.7
案内表示	4.2	ジャイロコンパス	2.7	東京測器研究所	2.1	論理学	1.3
インターネット	0	ジャイロセンサ	2.7	統計計算	0	論理計算	1.3
インタラクティブ	1.4	時系列	2.2	ナイキスト	2.2		

# 1. 文書として扱うプログラムのお話

## 1.1 プログラムは文書である

この章は、本題に入る前に、初心者向けの、教育的な解説をまとめました。アメリカ英語の program (イギリス英語は programme)が原義であるカタカナ語の**プログラム**は、日本語化した用語として普通に使われるようになりました。例えば、運動会や演奏会のプログラムなどと使います。元が英語ですので、漢語は、**手順**・計画・予定・順序、などと当てます。注目したいことは、プログラムが文書で編集されることです。コンピュータを機能させるプログラムも、文書で作成されますので、正確には、**コンピュータプログラム**と断ります。この文書の作成全体が**プログラミング**です。**論理的**な内容を表す作文を**プログラミング言語**で書き、編集・検査の過程を経て実行形式の**機械語**のプログラム文に**コンパイル**(翻訳)します。文書化できない**非論理的**な事象は、人の場合、受け取り方が**主観的な「情」と「感」**です。「情」は、喜怒哀楽、愛憎、好き嫌いなどを言い、「感」は、視聴臭味触の五感で区別します。後者は、コンピュータから見て外部装置(**ハードウェア**)である**センサ**を含む測定器を介して**データ化**することが研究されています。そのデータを**客観的な判断**に利用します。この報文で扱う対象が振動です。振動は、触覚で感じる事象です。音として聴覚で感じる場合も含まれます。振動の性質を解析するには、振動センサで得られたデータに種々の数学的な処理をした上で、文書や図に表します。**データ**(data)は、英語の定義に(collection of known facts)があります。データも、広く捉えて、文書化して扱います。データと同義に使う用語に**情報**(information)があります。こちらでも文書の形で扱いますが、内容に(**5W1H**)を持たせません。振動解析のプログラムは、文書化した「データと情報」とを入力とし、処理結果を報告書などの文書作成に利用することを考えます。これには、図も文書として扱います。文書の入出力の処理は、コンピュータ側(**CPU**)から見れば、**周辺装置**(ペリフェラル: peripheral)であるキーボード・モニター・プリンター・メモリなどを使います。この全体を**ディスク**と捉えます。ディスクが扱う文書を**ファイル**の概念でまとめます。文書の概念が広くなりましたので、マニュアルや解説書なども含めて、**ソフトウェア**の用語が使われるようになりました。

## 1.2 文書は物理的には一次元並びである

文字は図形です。文字並びの文書は、論理的には一次元並びのデジタルデータです。「文書を読み上げるとき」「通信回線で文書を送受信するとき」「ファイルに保存するとき」などに関係している順です。しかし、声だけで、つまりアナログ的な量で、字形まで正確に伝えたいときに困ります。数学の代数式は、二次元的な表記方法も使います。大文字・小文字、斜体・直立体・上付き・下付きの使い分けもあります。分数式は、分母と分子のどちらを先に言うかは、英語と日本語とでは異なります。**TeX**は、図形としての数式の、組版指示用のプログラミング言語です。**FORTRAN**は、代数式をコンピュータの処理手順に合わせるように文書に**コンパイル**するツールです。どちらも、元の二次元的な代数式表現を一次元の文字並びで表すために、幾つかの約束を決めています。また、数式の文字並び順と計算順とが異なることがあります。例えば、代数式「 $C=A+B$ 」は、 $(A+B)$ を先に計算しておいて、その後で計算結果を $Y$ に代入します。実は、代数式の表し方は、英文の「 $C$  is equal to  $A$  plus  $B$ 」を記号化した表現だからです。日本語では「 $A$  足す  $B$  は  $C$  です」と言うのが自然な語順です。

## 1.3 計算手順を指示する文と実行順の違い

二つの数  $A$  と  $B$  の加減乗除の手順を文字式で示すとき、例えば、 $(A+B)$ 、 $(A \times B)$ では、数の順序を入れ替えて $(B+A)$ 、 $(B \times A)$ としても同じ結果になります。しかし、 $(A-B)$ 、 $(A \div B)$ では、 $A$  と  $B$  を入れ替えると同じになりません。言葉で計算手順を説明するとき、割り算を例とすると、日本語では助詞を使い分けて「 $B$  で  $A$  を割る」、「 $A$  を  $B$  で割る」のように言うことで、紛れがおきません。英語でも、前置詞を使い分けて、「 $A$  divide by  $B$ 」と「 $B$  divide into  $A$ 」の言い方の区別があります。後者の言い方は、あまり知られていませんが、計算結果に商と余りの二つを求めるときに使います。普通の**電卓**(卓上電子計算機、electric calculator)は、加減乗除の算術計算が便利にできます。それを利用して、「 $C=A+B$ 」の計算をするときのキーを押す順は、「 $A + B =$ 」です。文単位で見ると、論理的な語順と物理的な処理手順の書き方は、英語と日本語とでは異なります。日本語では、イコール記号「 $=$ 」を、「 $\cdots$ は」と自然に読み上げています。このキー操作の手順が、言葉並びと同じであると、簡単に使い方を覚えることができます。もう一つ、欧米語では、数字の文字並びと読み方に違いがあります。特に、2桁の数では、1の位の数を先に、10の位の数を後で言う習慣が見られます。英語で、11~19を言い表すときを考えれば、納得できると思います。一方、コンピュータが電卓と大きく区別される特徴は、**論理計算**ができることです。これによって、数値計算だけでなく、多様な計算手順を組み立てることができます。**論理学**は歴史の古い文科系の学問です。これに代数的な演算則を当てたものが**ブール代数**です。その代表的な応用処理は、BASIC文に見られる**IF文**と**FOR-NEXT文**です。一続きのプログラム文を頭から順に処理をさせるのではなく、処理の実行先を変更させるツールに應用するようようになりました。因みに、パソコンのアクセサリに、電卓もあって、その**関数電卓**はビット並びの集合で考えた整数値の論理計算ができます。

## 1.4 一方向だけにしか情報は伝えられない

人を相手にして情報を伝えることを考えるとき、伝える側が一方向的に文書を送っても、必ずしも相手の中身を理解しないことや無視することもあります。送った情報が確実に相手に届き、かつ理解されたことを確認するには、逆向きに、相手からの情報を受け取る必要があります。この手続きを、**インタラクティブ** (interactive: **対話的**) (interactive) または**双方向的**であると云います。ここで理解しておくことが二つあります。情報は、論理的には一方向だけに流れること、そして電氣的には、家庭用電気器具でみるように、2本の電線を対にして往復の流れを構成させることです。電気・電子装置は、ループ状の回路に構成して信号の送受信をします。電流の向きでみれば、一本の電線を往復する向きの交流もありますが、情報の流れとしては一方向です。オーディオ装置では、見かけ上、一本の電線で信号を伝えます。共通に使う復路にアース(接地)に繋ぐ方法を使っています。情報は一方向だけに流れるため、オーディオ装置では、入力と出力の端子が別になっていて、逆向きに接続して使うことができません。

## 1.5 情報の流れを図に表す

ここで、プログラミングの話に戻します。コンピュータは電気・電子的な装置です。これを機能させるため、情報を電気信号、それもデジタル化することで、雑音などの質の変化が起きないようにします。プログラムがどのように情報を加工し伝えるかを、擬似的に電気・電子装置の回路図のように描いて説明する方法に**流れ図** (flow chart) を使うことがあります(図1)。線は、情報の、向きを持った通路を表し、人が通路を通るように考えます。四角形で描いた箇所は、入力一つと出力一つを持つ処理単位を表します。菱形の箇所は論理的な判断をする箇所です。入力は一つですが、情報の出力に3通りの選択がある箇所です。小さな○印は、複数の入力通路を一つにまとめる箇所です。処理の順序は一次元的ですが、図にすると二次元になります。

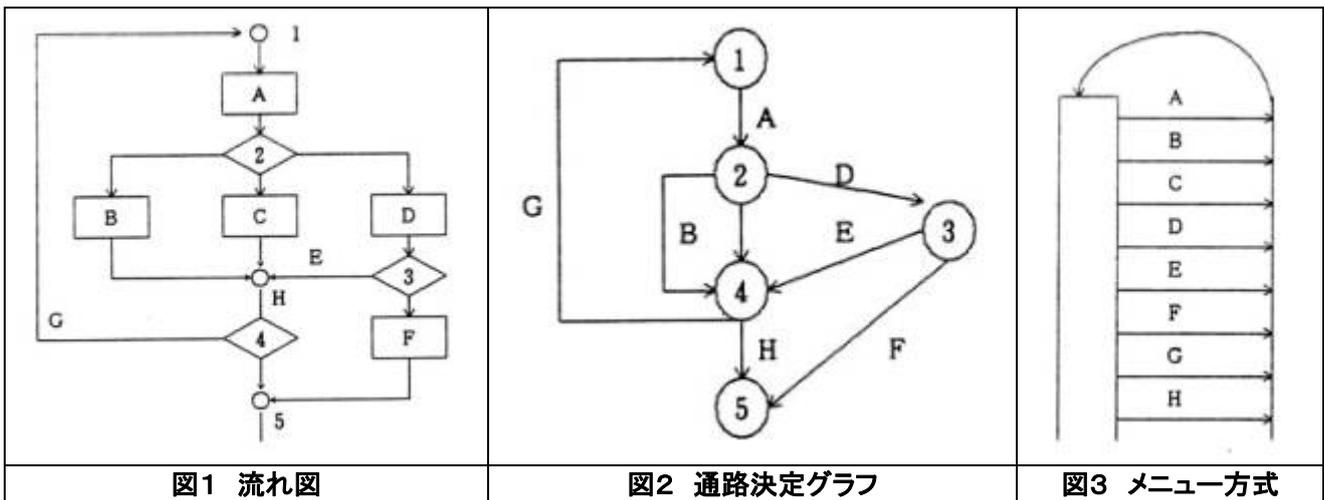


図2は図1を描き直したものです。矩形部分の処理は、通路の性質に含ませています。ここでは、菱形の箇所を大きな○で書き換えて**接点**としたものです。**双六**(すごろく)という遊びを御存じだと思います。図2は、双六と似ていて、出発とゴールとがあります。接点の箇所でサイコロを振って、出た目で分岐する通路を選びます。この決定方式は**ランダム**ですが、プログラミングでは論理的な判断で決めます。ここでは**通路決定グラフ**と呼ぶことにしました。プログラム文は一次元の並びです。**IF**文を使って通路先を変更させる命令コードに、古いバージョンのプログラミング言語では**GO TO**文を使いました。しかし、どこからどこへ移動するのが分かり難く、プログラム文の検査に手が掛かります。これを改良する考え方が**構造化プログラミング**と二次元的なモニタ画面を見ながらユーザとコンピュータとの**対話的**な処理です。

図3は、図2をさらに抽象化したものであって、図2の丸つき数字(**ラベル**)で表した接点の、どの位置からどの位置に通るかは省いて表しています。これが多重分岐の表し方です。VB6では、「Select Case 文」に当たります。また、Windows のモニタ画面でみるプルダウンメニューまたは、アイコンによる処理の選択をする論理的モデルでもあります。図1、図2ではプログラムの実行位置がどこにあるかを数字で目印を付けた**ラベル**で表していますが、図3ではそのラベルがありません。そのため、ユーザは、どのメニューまたはアイコンを選択すればよいか迷うことが起こります。したがって、丁寧な**HELP**を準備しなければなりません。しかし、HELP そのものの使い方のマニュアルが不備であると、元のプログラムが全くのブラックボックス化してしまいます。

## 2. データの文書化

### 2.1 振動データをファイル化する

振動現象は、センサを使ってアナログ電気信号で測定されても、そのままではコンピュータは理解できません。測定器を介して、アナログ信号を増幅し、或る一定のサンプリング周期でデジタル数値に変換し、それを測定器側でファイル化した後、改めてそのファイルをコンピュータの入力データとして読み込みます。ファイル化の様子は、(株)東京測器研究所の製品では、**DADISP** 形式です。これは、ファイル名が同じで、識別子違いの二つのファイル (\*. DAT、\*. HED) を対に自動作成されます。ファイル名は、英字を頭に付け、001~255 の数字で、測定器側で順に自動発行されます。(\*. DAT) は2バイト整数型データの集合であって、ファイル形式は**バイナリーファイル**です。一方、(\*. HED) は、測定器の機能設定を記録した**テキストファイル**です。この構造は、行頭に**キーワード**を付け、スペースを一つ空け、続けてコンマ区切りの説明項目が並びます(表1)。バイナリーファイルは、それを読み込む固有のプログラムが必要です。一般ユーザの**パソコン**(パーソナルコンピュータ)に読み込むことができません。そのため、測定器のメーカー側は、バイナリーデータを文字型に変換し、(\*. HED)ファイルを含めて、一つの(\*. CSV)ファイルにまとめる処理をサービスしています。これは、エクセルで読み出せる、コンマ区切りのテキスト形式のファイルです(表2)。このように変換してあれば、ユーザ側では中身の閲覧と編集とができます。例えば、測定対象の構造物名、その場所、測定箇所の詳しい情報、測定者名などの**管理情報**を追加できます。測定データの元の数値は2バイト長の整数型ですが、CSV ファイルでは数字並び、つまり文字型ですので、バイト数が増え、平均して(\*. DAT) のバイナリーファイル寸法の5倍程度に膨れ上がります。

表1 ヘッダーファイル(*. HED)の記録例	表2 エクセルファイル(*. CSV形式)の例
(右のデータと位置合わせをしています)	CSV Data, 0.000sec - 216.990sec
DATASET F004	DATASET, F001
VERSION 1	VERSION, 1
SERIES CH_1, CH_2, CH_3, CH_4	SERIES, CH_1, CH_2, CH_3
DATE 09-16-2008	DATE, 26/08/2010
TIME 13:33:02	TIME, 00:14:09
RATE 200	RATE, 100
VERT_UNITS m/S2, m/S2, m/S2, ue	VERT_UNITS, m/S2, m/S2, m/S2, ue
HORZ_UNITS SEC	HORZ_UNITS, SEC
NUM_SERIES 4	NUM_SERIES, 3
STORAGE_MODE INTERLACED	STORAGE_MODE, INTERLACED
FILE_TYPE INTEGER	FILE_TYPE, INTEGER
SLOPE 0.005400, 0.005440, 0.005360, 0.808000	SLOPE, 1.000, 1.00, 1.000, 0, 1.000
X_OFFSET 0	X_OFFSET, 0
Y_OFFSET 0, 0, 0, 0	Y_OFFSET, 0, 0, 0, 0
NUM_SAMPS 8192	NUM_SAMPS, 21699
DATA	, CH_1, CH_2, CH_3
RANGE 5000, 5000, 5000, 5000	1, -11.52, 5.88, -6.86
FILTER 30, 30, 30, PASS	2, -10.78, 2.94, -8.57
TRIGGER_MODE FREERUN	3, -9.31, -3.66, 1.96
TRIGGER_SLOPE OFF, OFF, OFF, OFF	.....
TRIGGER_LEVEL , , ,	…途中省略…
PRE_AREA 0	.....
DATA_SIZE 8K                   …ここまで…	21698, -10.29, 5.39, -6.11
	21699, -11.02, 4.90, -7.10                   …ここまで…
注：DADISP形式のデータファイルは、同じファイル名で、拡張子違いの二つのファイル；(*. HED), (*. DAT)の対で構成します。NUM_SERIES 4と、NUM_SAMPS 8192と、FILE_TYPE INTEGE とから、*. DAT ファイルの寸法は、65536 バイト (通称 64K) になると計算できます。	注：CSVファイルの内容は、表1のファイルの内容を元にして、測定器メーカー側で用意したソフトで作成したものです。一般的な振動データも、手作業でこの形式に整理すれば、解析プログラムの入力ファイルに利用することができます。空白セルは、コンマだけの区切りです。

## 2.2 サンプリング周波数

振動現象は、解析的には**時系列** (time series)で扱います。時間を変数とした連続関数です。連続的な(**アナログ**的な)関数を、一定周期で**デジタル**値に変換(**標本化**: sampling)した集合を**級数** (series)と言います。時間周期( $\Delta$ )が**サンプリング周期**、その逆数が**サンプリング周波数**です。表1と2は、後者を RATE で表しています。**フーリエ解析**をするとき、解析できる振動周波数の最大値は、 $(1/2\Delta)$ です。これを**ナイキスト**(nyquist)周波数と言います。周波数の解析は、例えば、RATE 200 であれば、100 Hz までの振動解析に使います。振動センサに、これよりも周波数の高い所まで感度があると、一つ以上の波高値をサンプリングすることが起こり、低い周波数の振動に加算されます。これを**エイリアシング** (aliasing)と言います。したがって、これを避けるには、測定器側で、ナイキスト周波数以上をカットする電気・電子的な**フィルタ**を使う必要があります。表1のリストでは、FILTER の欄にフィルタの周波数が成分ごとに表記されていますが、CSV ファイルの方にはありません。

## 2.3 ファイル寸法の決め方

振動は時間的に連続した事象です。一単位のファイルに収めるサンプル数を幾らでも多く扱うことができます。しかし、論理的に一続きの大きなデータは、或る寸法単位で複数のファイル集合に測定器側で構成します。これは、ファイル管理を考えるためです。データ解析は、さらに小さなサンプル個数で扱います。プログラミングでは、配列を、例えば、VB6 では「Dim A(n) As Double」のように宣言しておいて、そこにファイルから代入します。配列の寸法 n は、実用的には2バイトの整数で参照するように、32K 以内に抑え、実践的には16K 以下にします。寸法単位の K は、2のべき乗(1024)です。これは **FFT 解析** (**高速フーリエ変換**: Fast Fourier Transform)での処理を考えるためです。あらかじめ大きな寸法の作業用領域を準備しておく、無駄なメモリ領域を使います。VB6 では、配列寸法を ReDim 文で動的に再定義できる方法が使えます。振動データを CSV 形式でファイル化してあると、論理的に連続していても物理的に別ファイルになっているデータをユーザ側でツギハキの編集ができます。エクセル(古いバージョン)の作業領域は、最大行数に64Kの制限があります。したがって、二つ以上のデータファイルを連続させて、そこから部分的にデータを区切りたいとき、1ファイルのサンプル数を抑えて、余裕を持たせたデータ行数にしておく必要があります。

## 2.4 計測時間とサンプル数の関係を理解しておく

振動現象の測定から解析までの作業は、対象物ごとに、あらかじめ振動数の範囲に、或る幅を見込みます。大型の構造物では、静的な状態(振動数0)から、約100Hz までです。これ以上の振動数は音として感じる領域であって、構造物の場合には、主に縦波として躯体内部を伝わってくる事象です。100Hz までの振動を計測するには、サンプリング周波数を200Hz にします。構造物の振動には、時間的にも、また測定箇所違いでも、固有振動が出たり出なかつたりする「**気まぐれさ**」、つまり**ランダム**な性質があります。振動の解析には、連続して起こる振動事象の、短いサンプル数を取り出しで処理しますので、たまにしか発現する性質を発見できないことも起こります。したがって、やや長い秒数の連続したデータから、解析区間をズラしながら、結果の出具合を調べる方法が必要です。FFT を応用してスペクトル計算に使うサンプル数を1K (1024)とすると、200Hz のサンプル周波数は、約5秒間の事象です。そこで、一単位のファイル1成分当たりの標本数を8K、データ記録時間にして約40秒に決め、FFT の解析に使うデータ区間を0.5K ずつズラしながら、スペクトル図を並べる方法を使います。後の章で説明する**ランニングスペクトル**の作図は、この方法です。一方、石橋を叩いて手応えを調べるのは、典型的な衝撃振動試験です。こちらの事象は、通常、数秒の中に収束します。お寺の鐘を鳴らすとき、最初の衝撃に続いて音としての余韻がありますので、サンプリング周波数は1KHz にします。1成分当たりのサンプル数を16K に決めると、約16秒のデータ長です。地震動は地球規模の衝撃現象ですが、いつ起こるかの予測が立てられません。そこで、計測器を自動車で言う**アイドル**状態にし、測定データを内部で循環的に予備記録をしておいて、ファイルに書き出すタイミングを**トリガ**で制御する方法が設計されています。

## 2.5 長周期成分のデータ

振動は、測定対象によって様々な現れ方をします。力学的な振動モデルは、質点・バネ・ダッシュポットを考えます。地震は波動として地盤を伝わってきて、振動モデルで応答測定されます。振動解析に使う数学理論では、計算し易い或る長さの時間間隔を選びます。**高速フーリエ解析** (FFT)を利用するときのサンプリング数 N は、2のn乗にします。演算に要する時間などを勘案して、N=512~2048 程度を選びます。(N×2Δ)で決まる時間が、解析で得られる最も低い振動周期です。これよりも周期の長い、**エコー**のような事象を求めたいとき、やや長い時間のデータから、**自己相関関数**を計算して**卓越周期**と**減衰係数**を探する方法を使います。地震の来襲は、決まった周期性とは別の、「100年に1度の大地震」のように、**再現周期**、**再現期待値**の考え方も使います。こちらのデータは、振動データとは質の異なる統計的な解析になりますが、ここでは扱いません。

## 2.6 三成分の振動計測を基本とする

力学で言う剛体の振動は、**移動と回転**の2成分を考えます。三次元幾何学的にベクトル成分に分けると、全体は6成分です。このうち、移動成分を検出するセンサは、加速度計、速度計、変位計の製作区分があります。基本原理は、対象物と、或る**不動点**との距離の変化を計測する変位計です。不動点は、通常、大地を考えます。しかし、地震は大地の方が動く現象です。地震計は、質量の大きな錘をバネで支え、錘の方を擬似的な不動点とみなしてバネの変形を計測します。構造物の振動計測も、この原理の小型センサを使います。振動センサ1単位のモデルは、マス・バネ・ダッシュポットで構成する1質点系です。センサは、1方向に移動するように制御した1質点系の振動モデルをケース(筐体)の中に組み込んだ製品です。その質点を擬似的な不動点とみなして、筐体を対象物に固定し、筐体の方の応答振動を計測します。このモデルの振動応答特性は、**固有振動数**と、**減衰係数**で表します。振動センサは、固有振動数以下の振動数範囲で、できるだけ平坦な応答特性を持たせるように、減衰の性質を調節して製品化されています。加速度計と速度計との区別は、バネの変形を取りだすセンサの、電気的な性質による区別です。構造物の振動計測は、互いに直交する方向の3成分のセンサを組にします。その軸方向は、対象物の方の座標軸に合わせます。橋の場合では、橋の長さ方向、それと直交する幅員方向、そして上下方向の順にしています。建築物は、東西方向に長く建設されることが多いのですが、長手方向、それと直角方向、上下方向の順にします。石橋を叩くように、構造物に衝撃を与えて起振させる最も簡単な方法は、小さな橋の場合には、人が橋の上でジャンプします。簡単な錘を落下させる小型の **FWD** 用加振器は、建物の中でも利用できます。加振は垂直方向が普通ですので、上下方向の1成分の計測で十分です。構造物の力学モデルは多質点系モデルとしますが、振動解析では、卓越振動に注目して、個別に一質点系のモデルを仮定し、**固有振動数**と、**減衰係数**この二つの特性値参考数値として求めることもします。ただし、減衰係数の数値は、アナログ的な曖昧さが大きく現れますので、レポートにまとめるときに、どのように評価すればよいかを決め難いデータです。

## 2.7 回転の三成分も考える場合

回転成分のセンサには、**ジャイロコンパス**が航空機や船舶に使われていました。航空機や自動車などの乗り物の回転成分は、乗り心地と関係しますので、躯体の軸を考えて、**ローリング・ピッチング・ヨーイング**の用語が使われています。回転成分のセンサも小型化が進み、**ジャイロセンサ**としてロボットなど、大きな回転を伴う装置に組み込まれるようになりました。構造物では、回転成分だけを取り出す計測は技術的に難しいこともあって、移動成分の測定から、解析的に求めます。橋の場合には、橋軸まわりの振れ振動を、回転成分として測定したい項目です。これは、幅員の端での上下動、または橋軸直角方向の水平動に、固有の振動数として計測に掛かることから推定できることがあります。実践的な作業は、一つの対象構造物でも、計測場所を種々変えて測定することで、振動の全体像を推定します。

## 2.8 加速度・速度・変位の計算

振動計測のセンサは、加速度計と速度計の種別があります。振動の全体像を知りたいときは、加速度、速度、変位の数値とグラフとを求めたいものです。数学的には、加速度波形の計測から、積分によって速度、変位が得られます。アナログ的な電気信号は、電子的な積分器を利用する方法もありますが、積分定数を一意に決めることができませんので、実用的な装置を製作することができません。数値積分は、**離散化**(discrete)したデジタル数値で扱うことができます。衝撃加振試験は、短い時間で収束する事象です。つまり、加速度、速度ともに、波高値が0に始まり、そして0に収束する事象です。これを満たすように積分定数を決定することができます。弾性的な構造物ならば、変位も初期位置に戻る0~0の境界条件を利用できます。プログラム "**Impulse Tester**" は、これらの性質を応用して、加速度→速度→変位の計算をしてグラフ化します。

## 2.9 文書の保存と管理

1954年以降、橋梁をはじめ、大型構造物の振動測定が増えました。とりわけ、名神高速道路、東名高速道路、さらには新幹線の建設などの大型建設工事が集中した1960年代に多くの測定が行われました。その当時、振動データの記録が磁気テープを使うデジタル録音方式でした。生のテープを保存しておいても、再生装置が利用できなくなって、かなりの量のデータが廃棄されてしまいました。パソコン機能は、年ごとに目覚しく進歩してきましたが、データ解析・保存・管理の立場からは、大容量のメモリが安価に利用できるようになったことで便利になりました。このメモリの種類と製品も年々改良されています。構造物の写真、設計図なども含めて、データ全体を文書として整理し、**アーカイブ**(archives)として保存することを検討する時代になりました。この用語は、公文書保存図書館と邦訳されるのを見ます。因みに、クラシック音楽の愛好者ならば、ドイツ語読みのアルヒーブと説明すると、納得してくれます。

### 3. 基本的なユーザインタフェース

#### 3.1 コンソール

パソコンが進化して、机の上(デスクトップ)に置けるほど小型化する前、大型のコンピュータは、一つのビルを占有するような巨大なシステムでした。このスタイルは、現在では国の威信をかけて開発と利用がされているスーパーコンピュータがそうです。大型のコンピュータ全体の制御台は、当初、電信の送受信に使うテレタイプライタ (TTY) が使われていました。これを、壮大なパイプオルガンの演奏台に見立てて、コンソール(console)と呼びました。テレタイプライタは、電動の英文タイプライタであって、キーボードとプリンタで構成され、付属として紙テープの鑽孔装置がありました。テレタイプライタによる文字の入出力は、コンピュータシステムとの対話の機能を持った装置(デバイス)に見立てて、DOS (Disk Operating System) のキーワードでは標準ファイル名を CON と定義しました。しかし、出力に大量のストック連続用紙 (continuous form paper) を使い、紙資源を無駄にします。印刷に要する時間は、コンピュータの利用の効率も下げます。これを改善するため、テレビの CRT (cathode ray tube) をモニタとして使い、印刷用データはファイルに書き出して、必要な部分だけを別に高速プリンタで印刷するようになりました。パソコンの OS が Windows 系に変わったことで、コンソールの出力機能を、モニタの画面上、通称で言う、複数のウインドウ単位に分けて表示できるようになりました。

#### 3.2 出力に三つの子ウインドウを使いわけ

ここで説明する振動解析のプログラムでは、一つの親ウインドウの中に三つの子ウインドウを持つ MDI 形式で管理します。親ウインドウの最上段がタイトルバー、その下がメニューバーです。ツールバーは使いません。三つの子ウインドウ、それぞれにタイトルバーがあります。子ウインドウのタイトルバーは、① Console Display (コンソールウインドウ)、②Text Display (テキストウインドウ)、③Canvas (グラフィックスウインドウ)としました。メニューバーは、子ウインドウにはありません。マウスでクリックしてアクティブにした子ウインドウに合わせて、親ウインドウのメニューバーの項目が変わります。コンソールウインドウは、パソコン側からのメッセージを表示させます。ここは、ユーザに、次にどのような入力をすればよいかの HELP の機能を持たせます。テキストウインドウは、パソコンで処理した結果を文字並びで出力させます。ここは、テキストエディタの機能を持たせていて、このウインドウをアクティブにすれば、ユーザのキーボードからの文字入力ができます。編集をして、必要に応じてテキストファイルに書き出すか、プリンタに印刷させるかが選択できます。グラフィックスウインドウは、パソコンで処理した結果をグラフにして描き出します。これも図形データをグラフィックスファイル(\*.JPG)に書き出すか、プリンタにハードコピーとして描き出すかを選択できます。ウインドウの集合全体は、図4を見て下さい。左上がコンソールウインドウ、左下がテキストウインドウ、右がグラフィックスウインドウのレイアウトです。なお、第5章の FORM メニューの説明図も参照して下さい。

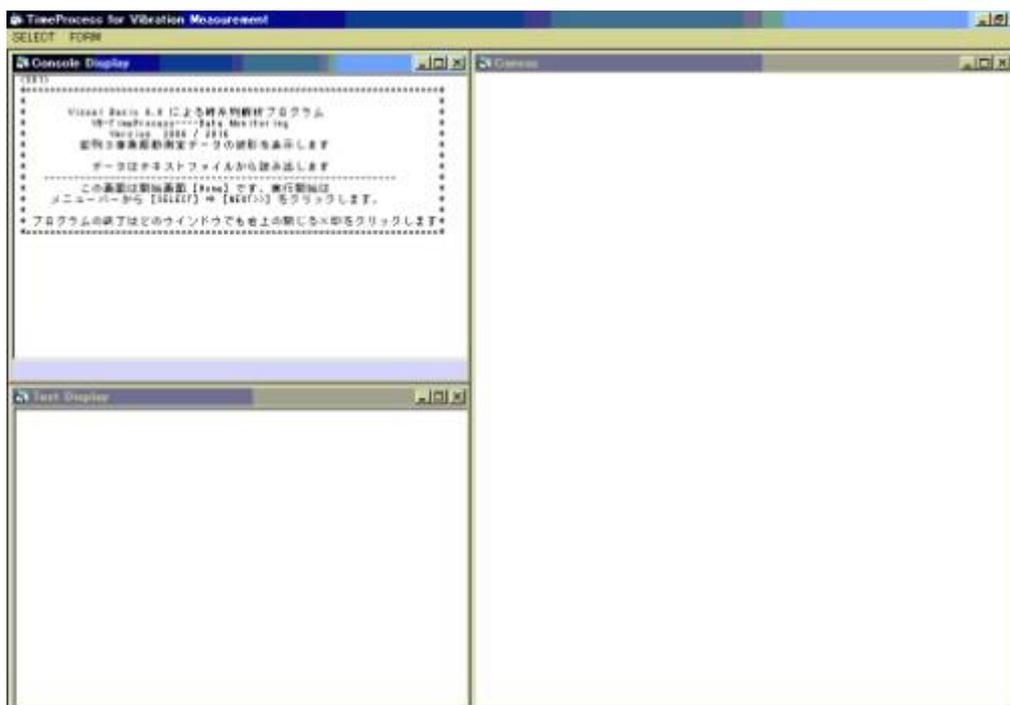


図4. 立ち上げ時(startup)の画面レイアウト

### 3.3 対話的に処理を進めることの功罪

電卓は、非常に単純な機能だけを備えたコンピュータ(CPU)を持っています。キーを押すたびに命令コードがCPUに伝えられ、結果を直ぐに画面に表示します。この使い方が、典型的な man-machine-interface つまり、コンピュータとの対話です。個人が独り占めで使うパソコンは、コンピュータ側を人に見立てて、対話的なプログラムを開発することが普通になりました。ただし、便利であるとい概には言えない面もあります。それは、ユーザの視線がモニタの画面から離れられなくなる、俗に言えば「パソコンお宅」の環境になることです。多くの人がいても、互いに直接の会話がなない不思議な環境です。一方、コンピュータ側から見れば、ユーザがキー入力を行っている間の待ち時間は、CPUの高速演算機能が使えません。逆に、演算量が多くなると、ユーザの方が待たされます。また、非効率なループ演算があると、見かけ上、コンピュータが停止状態になるハングアップを起こすことがあります。OSがDOSの環境であったころ、独立したプログラム単位の集合を、順に実行させるバッチ処理が使えました。これは一連のプログラムの実行制御文をテキストファイル(\*.BAT)にまとめておいて、このファイルをコンピュータに読ませます。実際操作を別の人、例えばオペレータに頼むこともできて、ユーザはコンピュータから離れて、自由時間が取れることに大きな価値があります。実行形式のプログラムを、そのプログラムの開発者ではなく、別の人に利用してもらうときは、パソコン側から、案内を表示してくれると親切です。この機能を備えたプログラムをウィザードソフトウェア(wizard)と言います。

### 3.4 ユーザのデータ入力方法

電気電子装置をユーザが操作する基本的な方法は、スイッチ、または押しボタン(キー)を使います。動作の確認には、補助的にランプやLEDの点灯なども使われています。これが対話の基本です。コンピュータの場合も、CPUへ命令コードを伝えることで、データの移動や加減乗除などの演算を行わせます。その命令コード並びの標準的な作成は、DOSの環境では、キーボードから、定義した文字並びのデータを入力し、それを翻訳した機械語で実行させます。モニタは、処理の確認をコンピュータが知らせる場所です。ワープロやテキストエディタは、文字並びそのものがデータです。能率よく作業をするには、両手を使う英文タイプライタの基礎的な技能を覚えなければなりません。これは案外面倒な学習です。携帯電話などでは、片手で文字入力ができる機能がサポートされています。ただし、住所・名前・簡単な短文のような、文字数の多くないデータの場合です。会計計算は、大量の数字データの入力が必要です。数値だけの高速入力は、テンキー(和製英語)を片手の指全部で操作します。

Windowsの環境では、文字列をメニューに表示しておくか、分かり易く、小さな図形でデザインしたアイコン(icon)をマウスで選んで、クリックする方法が基本になりました。あらかじめ決めた、数字と記号を含む文字並びを、処理名の代名詞的にコンピュータ側に知らせる方法を使います。親ウィンドウの画面は、タイトルバーの下にメニューバーを必ず表示させます。メニューは、入れ子式に3段階までのプルダウンメニューにデザインできます。入れ子式メニューは、引数を持つサブプログラムや命令文を呼ぶときの手続きを表す方式と考えることができます。メニューの文字列長さに長短の差がありますので、ツールバーやステータスバーなどを補助的に追加して、分かり易く、小さな図形でデザインしたアイコンを並べる方法を提案することもあります。この場合、頻繁に参照する項目だけを選んでアイコン化します。この方法は、同じ処理を複数箇所で重複して指示しています。したがって、欠点として、「タイトルバー周辺の図柄が賑やかになること」「アイコンの図柄だけでは元のメニューの文字列が分からないこと」「どの順で処理を進めるのかが分かり難くなること」、などがあります。とりわけ、使い慣れていない初心者は混乱します。

### 3.5 実行の状態と画面の状態

パソコンの電源を入れて、しばらくの準備時間の後、モニタに表示される画面がデスクトップです。何かのプログラムを実行させる準備の指示が、スタートですが、俗に立ち上げと言います。プログラムがこの状態にあるときをホーム(Home)と言います。Windowsの環境では、さらに、個別の処理名をメニューやアイコンで指定します。処理が終わるごとに、結果を見て、別のメニューやアイコンの指示を繰り返します。第1.5節で示した図2は、この操作手順を抽象化したものです。ユーザが介入する箇所は丸付き番号で示してあって、この番号は、プログラムの進行がどの位置にあるかを示しています。この番号に、プログラム内部で使う状態コードを当てておいて、その場所と関係のないメニューやアイコンの指示があっても無効にします。一通りの処理が済めば、再びホームに戻るか、閉じるボタンをクリックするなどして、全体プログラムの終了をさせ、デスクトップの画面に戻します。一方DOSの環境では、スタートは直ぐに処理が実行され、終りになると、デスクトップに戻ります。図1の流れ図は、番号①がスタート、⑤で終了です。原則として、途中でユーザが介入しません。



#### 4.4 データリストの画面とバイプログラムの作図<S03>

ファイルのデータが正常に読み出されると、ヘッダーファイルの記録の主要な部分のリストとデータファイルの波形データの要約がテキスト画面にリストされます(表2. 1)。三成分の振動データのバイプログラム(波形図)がグラフィックス画面に図化されます。グラフィックス画面にもヘッダーファイルの内容が記述されます。まず、テキストウインドウのリストを説明します。

- 自乗平均値(RMS)は、直流分(平均値)を含めた現象自体の平均エネルギーの意義があります。
- 標準偏差(Stdevp)は、平均値を引いた、乱れ部分の波高平均エネルギーの意義があります。この値は、パワースペクトルを作図するときの尺度調整に使います。
- 波形の最大値(Ymax)、最小値(Ymin)はバイナリー数値のままです。この大きさから、測定時のセンサ感度を知ることができます。
- ファイル名は、ディスク番号とフォルダ名の付いた名前です。より詳しい測定位置の情報は、解析用ファイルを作成するときに追加します。

表 2.1 計算基本数値のリスト例

```

Istatus 1
FileName = D:\¥振動測定_DATA¥TimeProcess¥F001. HED
Extension = .HED
===== Input Time-Series Data Set =====
DATASET F001
VERSION 1
SERIES CH_1, CH_2, CH_3, CH_4
DATE 01-03-2001
TIME 07:03:07
RATE 200

.....
.....途中省略.....
.....

DATA_SIZE 8K
元データ時分割 dT=0.005秒
FFT解析のTime Span = 5.12秒
時間をずらす間隔 = 2.56秒
周波数刻み : Minimum Frequency = 0.1953125
最大周波数 : Maximum Frequency = 100
      Mean      RMS      Stdevp      Ymin      Ymax
Ch1 -15.8844    28.97402  0.267726  -247    230
Ch2  -5.168701    9.213439  8.426785E-02 -79    66
Ch3  -4.902222    16.53587  0.1744842  -148   163
Istatus 2
    
```

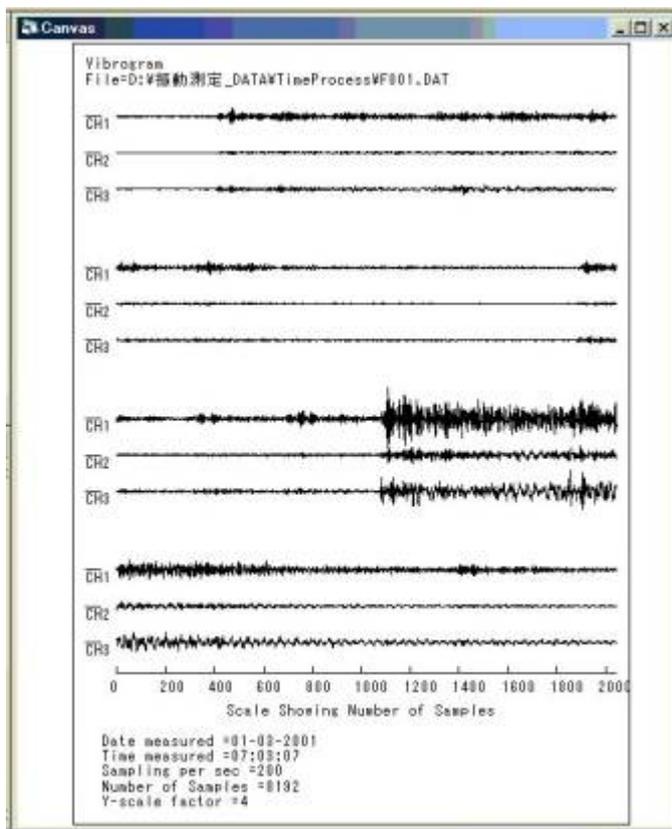


図6. バイプログラムの作図画面

次いで、バイプログラム(振動波形)の見方を説明します。

- バイプログラムは、デフォルトの設定で、波高値から平均値(Mean)を引いてグラフ化します。
- データ長さは、1ファイルごとに最大 8196 個の固定です。これを4分割して折り返し、1行ごとに 2096 個でグラフ化してあります。グラフの下に、参考のために個数の尺度を描いてあります。元のデータのサンプリング周期が 0.005 秒であると、1行幅が 10.48 秒です。
- 振動記録時は、初期バランス値を 0 にするのですが、重力加速度の大きさ、較正值などをオフセット値として含めて記録することがあります。オフセット値を含む波形を表示したい場合には、Option メニューで Y-scale factor を active にします。
- 三現象波形の比較を助けるために、平均値を 0 にして描きます。波高の高さは、チャンネル間隔を尺度 10 として、バイナリー値で作図してあります。バイナリーの値が大きくなるとグラフが見難くなりますので、全体波形の標準偏差を参考にして、波高値を何分の1かに調整します。その尺度が Y-scale factor として最下段に記入してあります。

#### 4.5 ランニングスペクトルの作図画面<S04>

パワースペクトルのグラフは、振動数を変数としたパワー(エネルギー)の確率密度分布を表します。構造物の卓越振動は時間経過によって出たり出なかつたりする性質があります。全体をまとめて一つのスペクトル図に計算するのではなく、或る長さの時間間隔でデータを切り出し、その観察時間をずらしながらスペクトルを計算し、縦に並べて図化したものを、**ランニングスペクトル**(図7)と呼ぶことにしました。**パワースペクトル**の数値計算に高速のフーリエ解析(FFT)を使うとして、サンプル数は、1024個、データの先頭を512サンプルずつズラシながら計算して、縦に並べて作図します。8192個のサンプル数のデータは、チャンネル当たり15本のスペクトル図が並びます(図7)。グラフ化のときは、波高値の標準偏差値を参考にして見易い高さで描きます。スペクトル図形にぎざぎざが多いと眼ざわりですので、**ハミングウィンドウ**を通して平滑化します。ハミングを掛ける回数は、OPTION →Hammingメニューで、0, 1, 5回と変更することができます。デフォルトは一回です。ランニングスペクトルに表現すると、卓越振動のピークが縦に並びますので、隣接している卓越振動であっても、それらを区別ができます。単発的なピークは、ゴミ的なデータであるとして無視できます。また、三成分間の振動の相関も区別し易くなります。大体の卓越振動数分かるように、周波数尺度を下の欄に描きました。

卓越振動の周波数の数値を求めるため、ランニングスペクトルを構成する何本ものスペクトルを総て加算します。そうしておいて、あるレベル以下のスペクトル計算値を省いた数値リストを作成します。テキスト画面にそのリストを出力しています。表2.2は、卓越振動数の、相対的な強さレベルを表します。パワースペクトルの周波数別強度リストでは、振動レベルが或る強さ以下である場所はゴミデータです。リストの行数を節約するために、これらを省きます。この方法を説明しておきます。周波数を媒介変数とした数値並びを、まず数値の昇順に並べ替えをします。そうすると、最大値から数えて何%(例えば10%)の位置の数値レベルが分かりますので、そのレベル以下のデータ値を0にします。そうしておいて、元の、周波数を媒介変数にした数値並びに戻します。振動レベルが0の箇所を飛ばしてリストを作成します。この際に、振動レベルは、最大値をレベル100にした相対強さで表します。

表2.2 卓越振動数のリスト

Spectrum calculation			
freq.	Ch1	Ch2	Ch3
2.73	0	0	13
5.47	0	38	38
5.66	0	73	79
5.86	0	90	100
6.05	0	52	61
6.25	0	0	11
9.96	0	0	19
10.16	0	0	41
10.35	0	0	57
10.55	0	0	37
10.74	18	0	0
10.94	30	0	0
11.13	30	0	0
11.33	15	0	0
12.3	0	0	8
12.5	10	0	0
25.98	0	32	11
26.17	0	40	13
26.37	0	38	14
40.62	76	69	0
40.82	100	100	0
41.02	68	81	0
41.21	18	34	0

(以下略)

- ・左欄の数値は、テキストウィンドウにリストされた数値を部分的にコピーしたものです。
- ・スペクトル図を元にして、卓越振動数がどこにあるかを示したものです。
- ・Ch3では5.86Hzにピークの最大があり、Ch1とCh3とに10Hz前後にピークがあることを示しています。
- ・Ch1とCh2とでは、40.82Hzに卓越振動があることを示していますが、これは、躯体を走る縦波(音)を拾っています。Ch2は全体として振動レベルは高くありません。
- ・周波数(freq)の尺度は、最低周波数の整数倍であって、この例では約0.2Hzです。極大値を挟む連続した3データが放物線であると仮定すれば、簡単な内挿法で極大値になる振動数を計算できます。

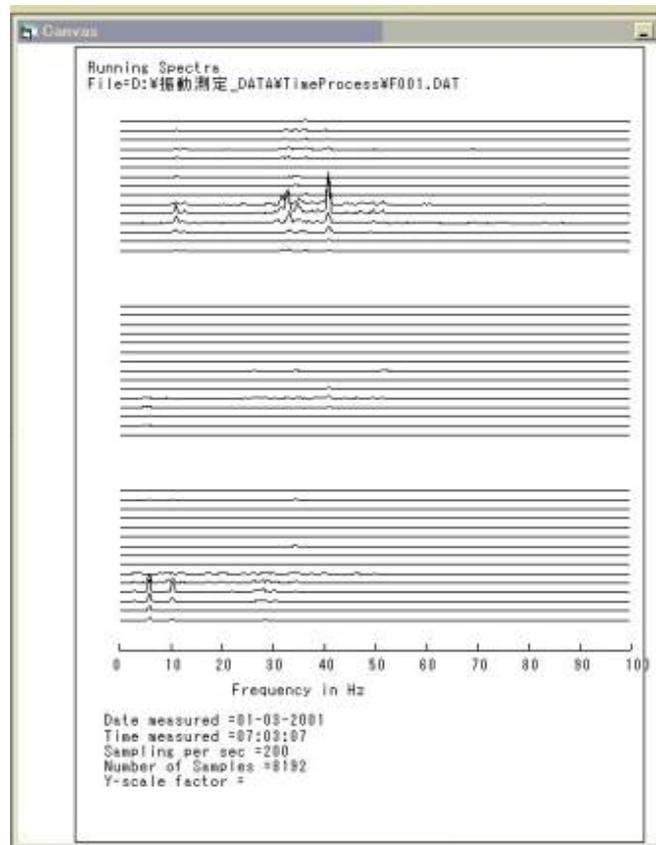


図7: ランニングスペクトルの例図

#### 4.6 自己相関関数の作図画面<S05>

時系列データの統計的な計算に、二つの級数の相似性を求める相関計算があります。二つの級数のサンプル数を揃えて、成分間の積の和を計算します。二つの級数は、個別に自乗平均値が1になるように標準化しておきます。全く同じ二つの級数では相関値が+1、符号が反対であるときは-1です。ここで、同じ時系列の級数で、切り出し時間軸をずらした二組の関数にして相関値を計算します。ずらす時間(ラグ)を媒介変数として相関値を並べた関数(級数)を、**自己相関関数** (autocorrelation function) と言います。

自己相関関数の計算原理は、レーダに応用されています。対象物に電波を照射し、その反射電波との相関計算をします。そうすると、或る時間差(ずらす時間、ラグ:lag)で相関値が**エコー**として大きく得られます。この時間差が対象物までの距離として測定されるのです。エコーは、自然現象の山彦として知られています。宗教建築物や、音楽ホールでも、天井、床、壁との間で音が反射往復することで、荘厳な音響効果が得られることもそうです。一般的な振動解析で、数値計算で求める自己相関関数は、ラグ=0の位置に対して左右対称の関数ですので、実用的には媒介変数ラグの片側(正側)だけを利用します。この波形は、減衰の性質を持つ卓越振動を際立たせますが、これには、エコーの性質も**自己回帰成分**としても観察できる特徴があります。プログラム "**ImpulseTester**" は、これらの解析を目的として一成分の振動波形の解析に特化して開発したものです。図8は、小型の重錘落下装置(FWD)を利用した鉄筋コンクリート建物の解析例です。バイプログラムは、錘の落下で床の衝撃振動を記録しますが、錘がリバウンドして、現象としてはエコーのような繰り返し波形が得られています。ランニングスペクトルの卓越振動は三つあります。最低次にエコー(回帰の周期)、次いで床の曲げ固有振動、最後はコンクリート内部を走る縦波(音)と判定できます。

自己相関関数のグラフそのものも、衝撃による応答振動の性質を持ちます。これを再帰的に入力波形として自己相関関数の計算を繰り返すと、次第にきれいな減衰振動の波形を示すようになります。この波高値の変化から**減衰係数**の計算ができます。また、FFT を応用して、そのコサイン成分だけを取り出すとパワースペクトルの計算ができて、卓越振動数の計算精度が上がります。図9は、この方法で解析した再帰的に自己相関関数のグラフの一例です。1質点系モデルと仮定できる対象物で効果的な解析方法です。

自己相関関数の数値計算をプログラミングする際、サンプル数とラグ時間の決め方には、未だ適切な方針の提案はできません。前項まで説明したプログラム"TimeProcess" でも自己相関関数のグラフ化ができますが、元の波形がランダムであると、グラフから明確な特徴が得られる測定は限られています。

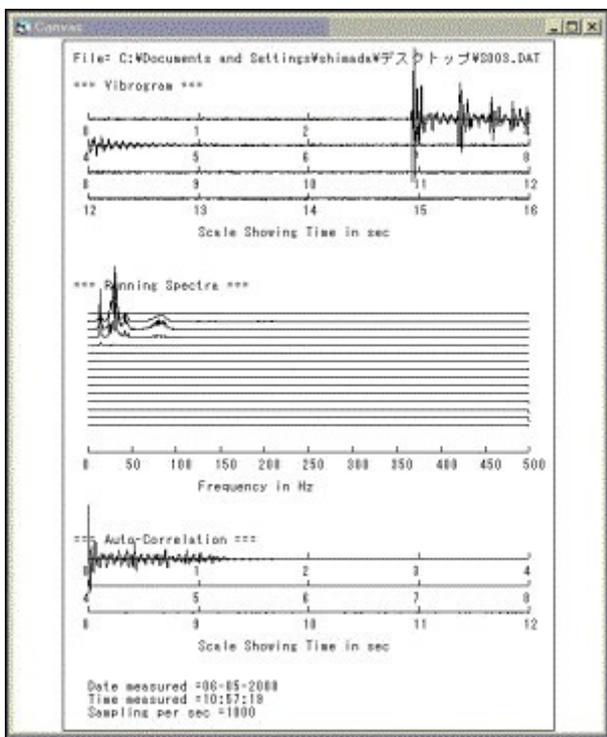


図8 バイプログラム、ランニングスペクトル 及び自己相関関数を 1 ページにまとめた図

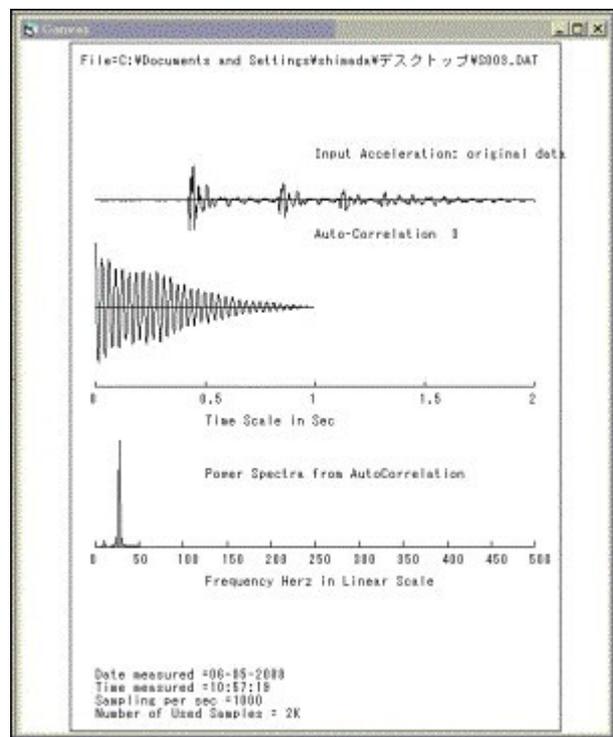
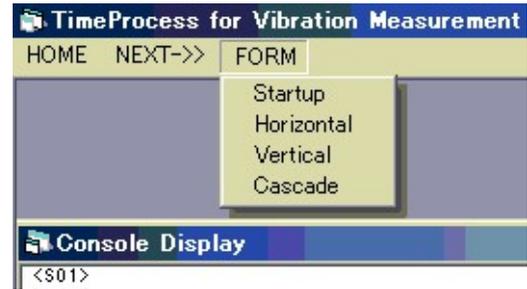


図9 元の加速度波形、再帰的に計算した自己相関関数 及びパワースペクトル図

## 5. メニュー

### 5.1 コンソールウィンドウのメニュー

メインメニューの項目は3つです。【HOME】と【NEXT->>】とは、アイコンと同じように、単純にマウスでクリックするだけで実行できるようにしました。FORM は、4つのサブメニューがあります。子ウィンドウの配置は、あらかじめ決めた相対的な位置関係を選択できますが、個別に寸法と位置とを変更できます。なお、グラフィックスウィンドウに表示されるグラフは、画面の縦横比に合わせて、横長や縦長に表示させることができます。これは、グラフィックスウィンドウの VIEWPORT、メニューで指定します。



**HOME:** プログラムの状態(ステータス)を初期の立ち上げ状態<S01>に戻します。ただし、テキストウィンドウのリストは消去しません。

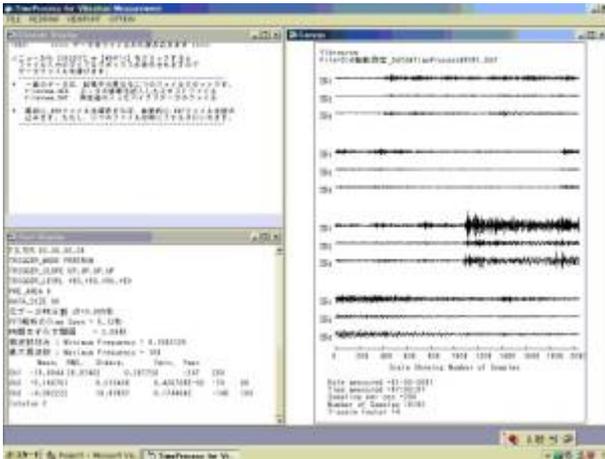
**NEXT->>:** プログラムの実行を指示します。これによって、プログラムのステータスが<S02>,<S03>…の状態に進みます。

**FORM → Startup:** プログラムの立ち上げ時、子ウィンドウの配置に設定します。第 3.2 節の図4を参照して下さい。下にも例示してありますが、プログラムが或るステータスの状態です。

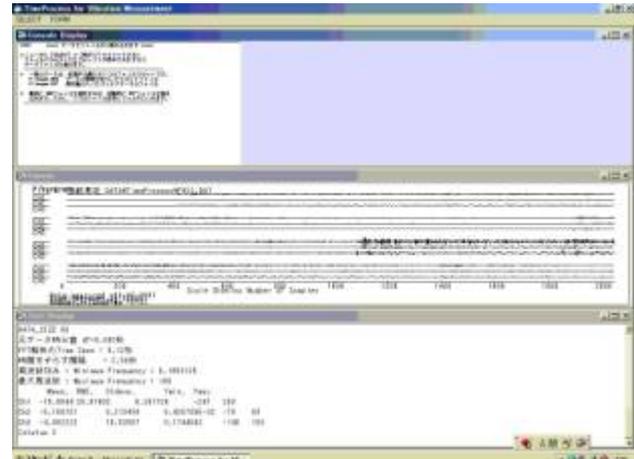
**FORM → Horizontal:** 上下に子ウィンドウを並べます。子ウィンドウは相対的に横長になります。このサブメニュー選択前にアクティブであった子ウィンドウが上位置です。

**FORM → Vertical:** 左右に子ウィンドウを横並びさせます。子ウィンドウは相対的に縦長になります。このサブメニュー選択前にアクティブであった子ウィンドウが左位置です。

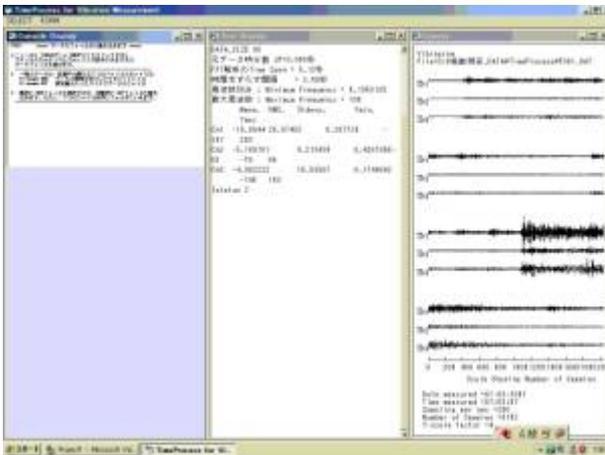
**FORM → Cascade:** 前後に子ウィンドウを並べます。このサブメニュー選択前にアクティブであった子ウィンドウが前面になり、他の子ウィンドウはタイトルバーが見えるだけです。



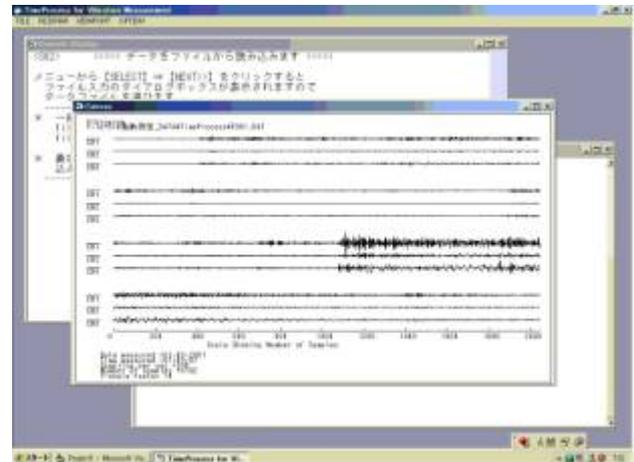
FORM → Startup



FORM → Horizontal



FORM → Vertical

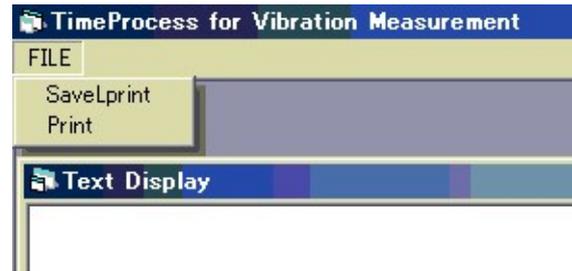


FORM → Cascade

## 5.2 テキストウインドウのメニュー

テキスト画面は、リッチテキストエディタが載せてあって、これ自体でテキストエディタの機能を持っています。プログラムからのテキスト出力がここに書き出されます。テキストエディタのメニューの定番である EDIT は省きました、これは、ショートカットキーの Ctrl + (A, X, C, V)で処理できるからです。

テキストの文字並びは、ファイルに保存できます。これを、MS-Wordなどで読み出して高度な編集を加え、レポートの原稿に使います。



**FILE** → **SaveLprint**: 現在表示されているテキストを書式付きテキストファイルに保存します。ファイルの拡張子は(.rtf)であって、rich text format の意です。

**FILE** → **Print**: あらかじめシステムで定義されたプリンタにFormLprintのテキストを書き出します。プリンタの書式設定なしで書き出しますので、作業時にメモを残すように使います。書式を整える印刷をしたい場合には、一旦 SaveFile で書き出しておいて、ワードプロセッサで編集することを薦めます。

## 5.3 グラフィックスウインドウのメニュー

**FILE** → **Print**: あらかじめシステムで定義されたプリンタに図形を描き出します。描き出しは単純な Form の Print メソッドを使いますので、作業時にメモを残すように使います。

**FILE** → **SaveBmpFile**: グラフィックス画面に表示されている図形をファイルに保存します。このサブメニューをクリックすると、ファイル保存のダイアログボックスが表示され、ファイル名の入力が要求されます。保存するファイルの拡張子は(.bmp)です。

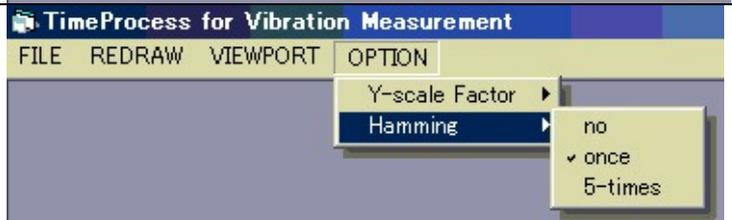
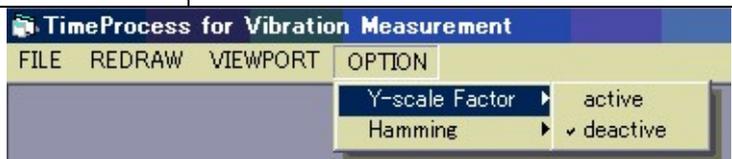
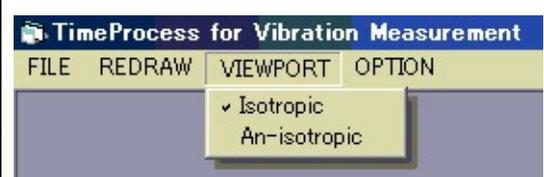
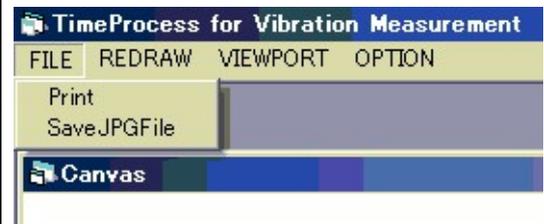
**REDRAW** → **ClearScreen**:  
**REDRAW** → **VibroGram**:  
**REDRAW** → **RunSpectra**:  
**REDRAW** → **AutoCorrelation**:

**VIEWPORT** → **Isotropic**: 作図原稿に相当する仮想のフィルムのアスペクト比は、フォームのアスペクト比と普通は同じではありません。仮想のフィルムのアスペクト比そのまま引き伸ばして、フォームに最大に接するように作図します。

**VIEWPORT** → **An-isotropic**: 作図原稿に相当する仮想のフィルムを、フォームのアスペクト比に合わせて最大に接するように作図します。元の図形の円は楕円になります。

**Option** → **Y-scale Factor** → **Active**  
**Option** → **Y-scale Factor** → **Deactive**:

**Option** → **Hamming** → **no**:  
**Option** → **Hamming** → **once**:  
**Option** → **Hamming** → **5-times** :



## 付録 A. 測定と解析の例

建物や橋梁などの構造物が振動災害を受けるのは、主として地震のときです。耐震性の研究には、地震の来襲の前に構造物の振動の出具合を解析できるのが望ましいのです。しかし、交通量の多い道路沿いや、鉄道沿線の地盤や構造物は、体を感じる振動を経験します。閑静な住宅地では、日常生活で振動のことを殆ど考えることはありませんが、感度を上げた加速度計を使うと微弱な振動をが計測されます。これを常時微動と言います。これ以外に台風などの強風でも揺れることも観察されます。こちらは超高層ビルで話題になりましたが、小規模の住宅やビルでも観察に係ります。



図 A1 振動観察対象の六階立てのマンション

地震の研究は、24時間継続して振動計測器を待機させて記録を取り、いつ来るか分からない振動を待たなければなりません。個人の住居環境で、この目的の測定を提案するのは実用的ではありません。しかし、常時微動の測定であれば、比較的短い継続日数で、振動状態をパソコンのモニタで観測して、恣意的にデータを記録させるように計測器を起動できます。トリガー起動を設定しておけば、大きな地震の来襲にも対応できます。図6は、筆者の住む集合住宅です。この自室に小型振動測定器を借用して、約2か月間、振動観測に利用しました。非常時に停電になってデータ記録が停止することを避けるため、**無停電電源装置**を介して商用電源に接続させてあります。振動の測定は、振動レベルが小さいので、地震待ちや意図的な衝撃加振の測定を目的としていると、実用的なデータが得られません。そこで測定器の定格仕様の感度を約 10 倍に上げて使うことにしました。

測定と解析について、三通りの事象を例示します。第一は朝の8時頃、一般交通が多くなる時間帯のデータ、第二は深夜から早朝にかけて交通量が途絶えた時間帯のデータ、そして、第三は台風の襲来をまって、強風で建物が揺れる状態を測定したものです。これらの測定の解析データは次ページのグラフを見て下さい。振動波形は全くの乱雑で無意味なように見えますが、ランニングスペクトルでは、建物の曲げ振動には、7~15Hz に亘ってに三つの卓越振動が認められます。一方、台風時の強風は北風でしたが、それによる振動は、卓越振動のピークが時間によって変動する状態を示しています。こちらは剪断変形の振動と想像しました。

表 A1. 鉄筋コンクリート造中高層マンションの常時微動による振動

測定場所	名古屋市名東区丘陵地帯六階立てマンションの6階											
測定番号 ファイル名	DATASET C001_004				DATASET C001_006				DATASET C001_014			
測定日	DATE 09-13-2016				DATE 09-14-2016				DATE 09-20-2016			
測定時間	TIME 08:44:07				TIME 02:33:01				TIME 19:32:30			
	朝のラッシュアワー時間帯				交通量の少ない深夜				台風による強風時			
測定器設定	Ch1:東西方向水平動(長手方向); Ch2:南北方向; Ch3:上下方向; CH4:(未使用) サンプリング周波数: RATE =200 Hz (元データ時分割 dT=0.005 秒) センサ感度設定: SLOPE = 0.20000, 0.20000, 0.50000,(標準値を 10 倍) 標本数: チャンネル1成分ごとに 8192 FFT を利用するランニングスペクトル用標本数 1024 同上の FFT 解析の Time Span = 5.12 秒 時間をずらす間隔 = 2.56 秒 周波数刻み : Minimum Frequency = 0.1953125 最大周波数 : Maximum Frequency = 100											
卓越振動数抜粋	freq.	Ch1,	Ch2,	Ch3	freq.	Ch1,	Ch2,	Ch3	freq.	Ch1,	Ch2,	Ch3
	6.05,	87,	100,	100	7.42,	95,	100,	97	35.94,	74,	100,	83
	12.11,	100,	12,	93	14.84,	100,	26,	63	71.88,	100,	19,	84
					15.82,	77,	19,	100	77.73,	0,	0,	100

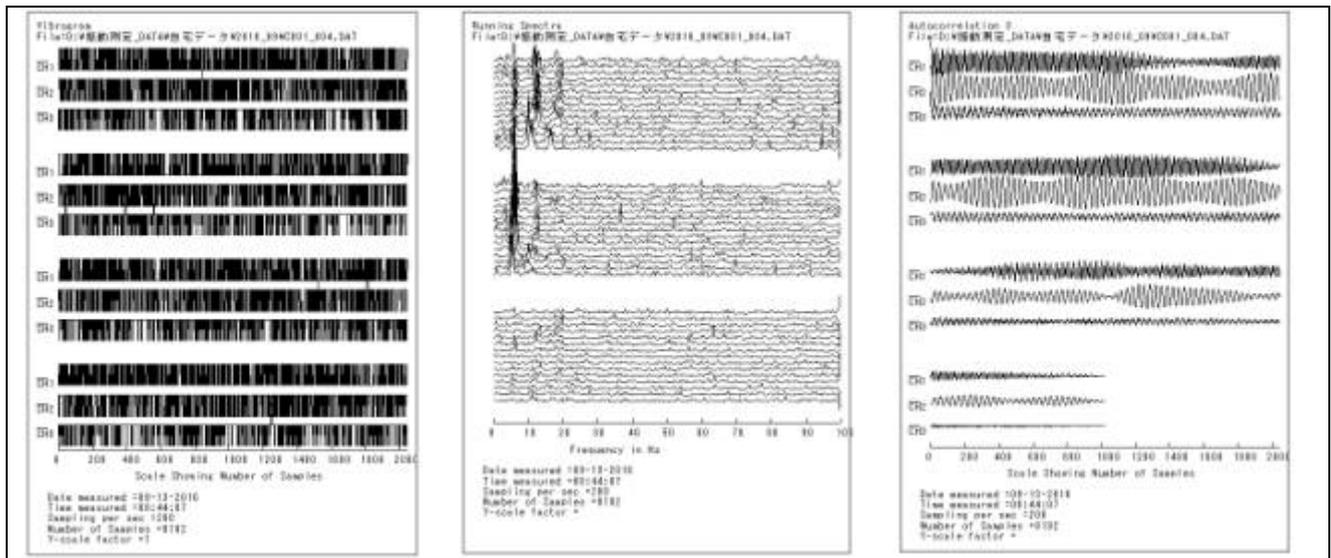


図 A2. 朝の通勤時間帯で、乗用車の通行が多くなったときのデータ。

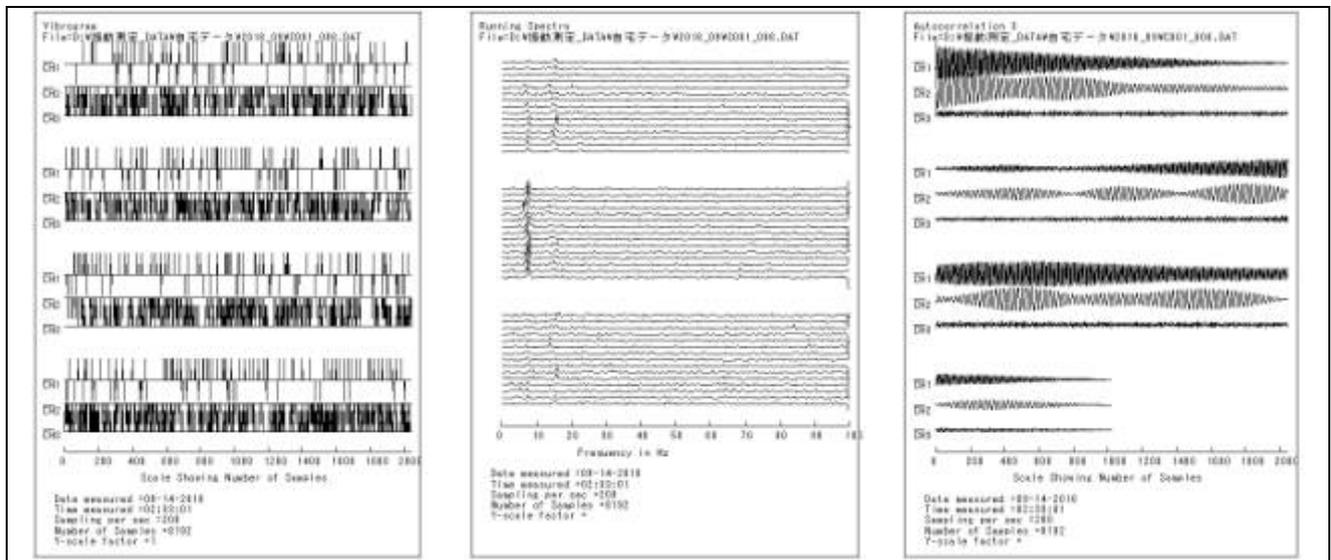


図 A3. 深夜、自動車交通がない状態でのデータ。

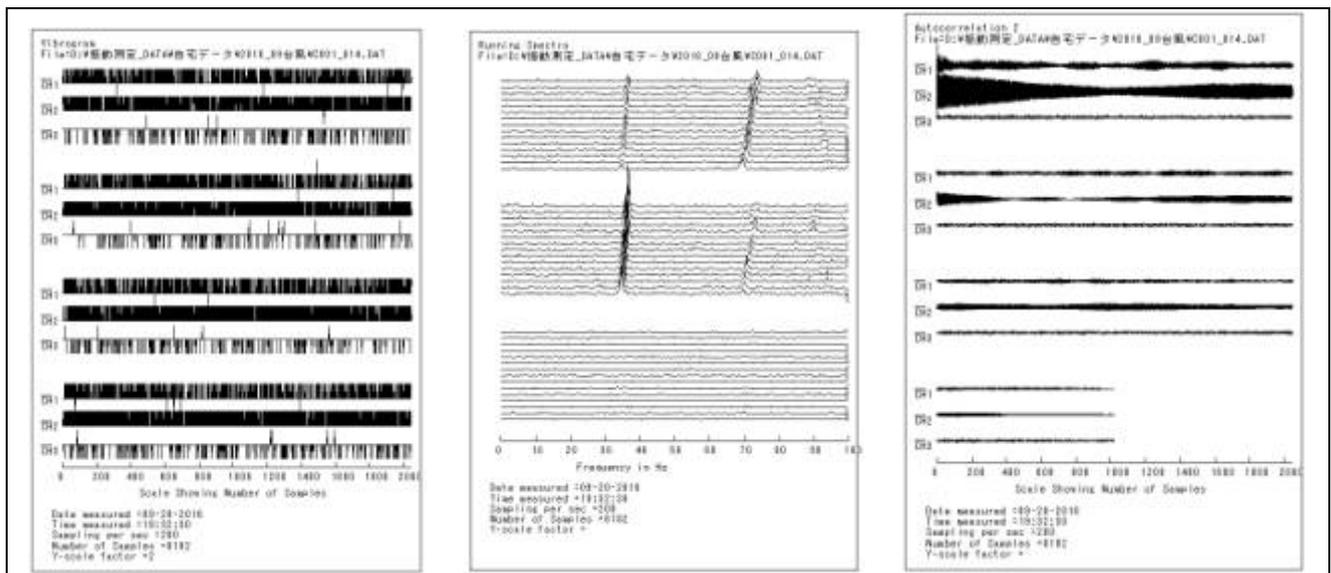


図 A4. 台風の通過時の強風を受けているときのデータ

←----- 終り ----->