

## 第2章 機器の開発・製作\*

### 1. 方式設計

#### 1.1 概要

この強震計は、気象庁が全国に展開している地震観測網に使用することを目標として開発されるものである。従って、方式設計においては特に次の諸点を条件とした。なお、ブロック図を図2.1.1に示す。

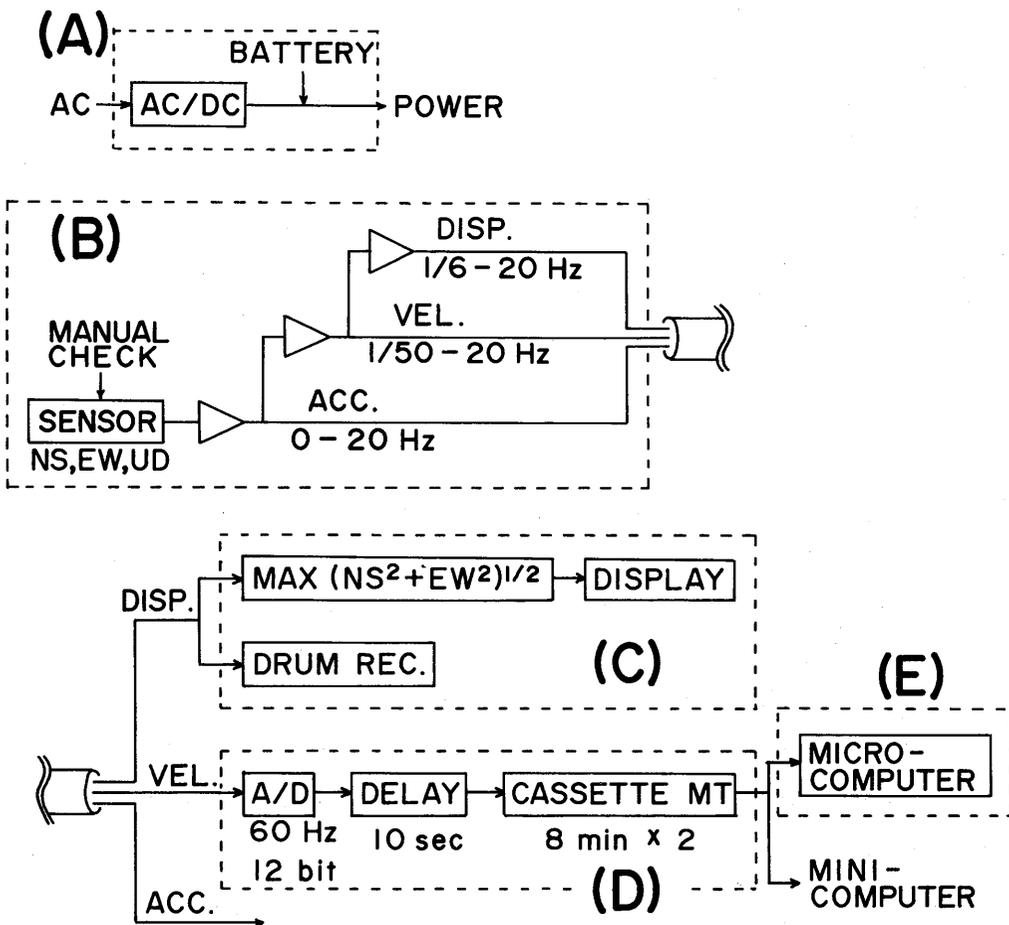


図 2.1.1 強震計のブロック図

(A)：無停電電源，(B)：変換・等化増幅器，(C)：アナログ記録器，

(D)：デジタル記録器，(E)：処理・解析装置。

\* 執筆担当 高橋道夫

まず、条件の第一は観測点には観測者が常駐しているという点である。この条件は、SMAC型強震計およびその流れをくんで、最近各種用意されている強震計（例えば太田ら，1979；太田ら，1981；大久保ら，1981；野田ら，1981；大谷，1981）と比較した時、最も大きな運用上の違いである。この利点はデジタル波形を記憶しておく媒体の容量を減少させることに活用されている。すなわち、地震後ただちにデータの記憶媒体（カセット式デジタル磁気テープ）を取り替えることが期待できるので、本装置は対象とする2件の地震（1件8分間まで）のデータを収録できるように設計しておくだけで十分である。

ある一定以上の大きさの地震を感じた場合、観測者はただちに津波の予・警報を目的とするデータの処理（検測）にかかわらなければならない。現在の津波予報技術は $1/6$  Hz以上の帯域における変位振幅の最大値に、最も重きを置いている。この処理に便宜をはかるため、水平2成分の合成最大振幅を表示できるように設計した。しかしながら、従来から得られている地震波形のアナログ記録には、各種の情報を多く含んでいるので未だ計算機では行うことのできない高度の処理も観測者の目を通して瞬時に行わしめるといった有効な面を見落すことはできない。このため、耐震性のすぐれたアナログ記録器を、緊急検測のために用意した。

また、気象庁の地震観測の目的は工学的な要求を優先させるのではなく、あくまでも理学的な要求を満たすことに主眼がおかれている。一般に、震源における物理過程の主な情報は長周期の波動に最もよく現れ、短周期の波動は震源過程の細かい部分や波の伝播径路の性質に関する情報しかもたらさないものと考えられている。また、現在の地震学の段階は、震源過程に関する第一近似のモデルがやっとできあがった段階（山川，1976）と考えられるので、長周期の記録を蓄積することには、まだまだ意義が認められる。また、ある地震が津波をとまうか否かの判定には長周期波動の大きさが決定的な役割を果たすと考えられる。この意味においても長周期成分の観測は有意義である。一般に、地震工学的要求により開発された強震計は加速度比例の記録のみを出力するのが通例であるが、この開発では長周期を強調する記録を効率よく収録するため速度比例、および変位比例の出力を記録する方式とした。そして変位比例出力の帯域は $1/6 \sim 20$  Hz、速度比例出力の帯域は $1/50 \sim 20$  Hzとした。前者の帯域の下限を $1/6$  Hzに設定したのは現用の機械式強震計と特性をあわせるためである。これにより現用強震計とここで述べる強震計の記録に互換性が保証できる。しかしながら、後者の $1/50$  Hzまでの帯域をもった速度比例記録こそが、これから述べる強震計の大きな特長であり、これなくしては新たに強震計を開発した意味がない、とまで言ってよからう。

正確な時刻の情報は、強震の波形記録に劣らないだけの価値を有する。ここで新たに開発された強震計が設置される観測点には、すでに、十分管理された良い時計があるという前提にたって、独自の管理を必要とする、精度の良い時計は用意していない。その前提は、実際、ほとんどの場合に当てはまる。従ってこの強震計では、管理された時計から出力されるタイムマークもしくはタイムコードのアナログ信号を、地震波形と同様にA/D変換して、4番目のチャンネルに記録する方式

とした。

一般の地震計では記録可能な最小振幅を問題とするが強震計の場合には逆に、最大振幅が問題となる。加速度比例強震計の場合、2 gまで測れるとしているものが多い。これは地震動に共振してしている構造物の加速度を測るという目的から、また、もしも記録できる振幅範囲を越えてしまった時受ける損失の大きさから見ると、妥当な値と言えよう。ここで述べる強震計の、速度比例出力の記録できる振幅範囲は100 cm/sとした。この値は、村松(1977)も過去の地震を参考にして提案している値であるし、また震源近傍での地面の運動速度は(くいちがい量÷2)÷(立ち上り時間)で代表できるが、これが100 cm/sを越えるものは未だかつてない、という2つの研究成果にもとづいている。ところが、ごく最近の報告によると、108 cm/sが記録されているが、これについては1.2節でふれる。

方式設計において留意した重要な点は、最後に、停電対策である。一般に大地震にはひきつづいて余震が発生し、これも強震動となることも多く、またその波形の観測も本震直後の余震の観測という意味で重要である。商用電源および発動発電機ともに機能しない状態でも8時間だけは観測が続けられるだけの容量をもった電池を用意した。

以下の小節では、個々の部分の方式設計について詳しく述べるが、これらはいずれも、第1章2節でのべたように、ユーザー代表としての気象庁地震課と密接なる連絡をとりあって決定したものである。

## 1.2 観測の対象とする範囲

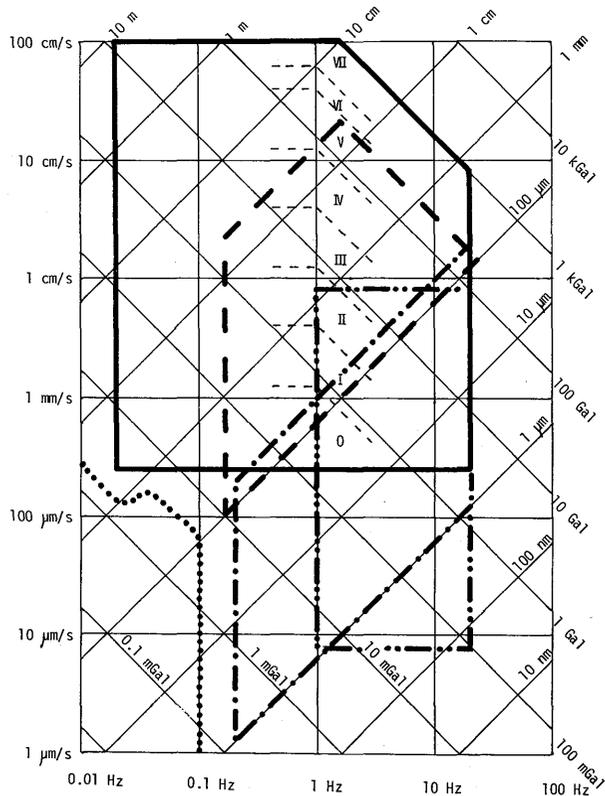
地震学において興味の対象となっている波動の周波数帯域および振幅範囲は非常に広い。周波数帯域でみると $10^{-4}$  Hzのオーダーの、いわゆる地球の自由振動と呼ばれるものから、可聴帯域の $10^2$  Hzのオーダーのものまで、振幅範囲では、第1級の地震の断層面両側のくいちがい量である $10^0 \sim 10^1$  mのオーダーの変位から、静かな場所での雑微動の振幅 $10^{-9}$  mのオーダーのものに至っている。このような広い帯域・振幅範囲をすべてカバーする地震計などというものは、未だかつてなく、地震計は一般に観測対象や目的別に、例えば微小地震観測網において用いられるものは短周期高感度地震計、世界中に展開されているWWS SNあるいはSRO観測点の長周期高感度地震計、SMAC型強震計に代表される短周期低感度地震計、等に分類できる。ところで、長周期で大振幅の領域は、これをカバーする地震計は世界中でもほとんどない。本稿の強震計はこの領域のカバーも目指している。

まず、この強震計の振幅範囲の検討を行う。記録可能な最大振幅は、最大級の強震動よりも大きい所に設定する必要がある。くいちがい量Dの断層が立ち上り時間Tで形成される場合、断層の両側が対称に運動すると仮定するならば、地動の最大速度は第一近似的に $D/2T$ で与えられる。日本の内陸型地震について、DとTとが比較的よくともった地震を川崎(1976)がリストアップし

た結果によると、 $D/2T$ は1948年福井地震、および1961年北美濃地震が最大で、 $60\text{cm/s}$ となっている。実際には、第一近似では無視されている短周期波の寄与が当然あると思われるので、もう少し大きくなる可能性がある。また村松(1976)は日本および米国カリフォルニアにおいて、実際に記録された強震波形を参考にして、 $100\text{cm/s}$ を超える地動は、まず存在しないであろう、と結論した。また Atkinson (1982)も同様の提言を行っている。このようなことから、われわれも記録可能な振幅の最大を  $100\text{cm}^0\text{-P/s}$  に設定した。これにより分解可能な最小振幅は、 $A/D$ 変換の精度により決まり、12 bit の場合には量子化間隔が  $48.8 \times 10^{-3}\text{cm/s}$  となる。

対象とする周波数帯域の下限は、低い程望ましい。低くする際の主な問題点は変換器の精度ないしは分解能である。この場合、変換器の分解能(公称  $5\text{mGal}$ )が上で述べた  $A/D$ 変換の分解能とほぼ等しくなる  $1/50\text{Hz}$  を、帯域の下限に設定した。一方、帯域の上限は、高い程望ましいことは事実である。ただ、記録媒体の容量に制限があるから、ここでは妥当な値として上限を  $20\text{Hz}$  に設定し、標準化周波数  $60\text{Hz}$  を採用した。これにより1巻の記録媒体(カセット式デジタル磁気テープ)に約8分間のデータを収録できる。

図 2.1.2 83型強震計のカバーする周波数・振幅範囲(実線)。SRO地震観測装置(点線)(Peterson and Orsini, 1976; Peterson et al., 1976), 現用強震計(破線), 59型地震計(一点鎖線), および67型地震計(二点鎖線)がカバーする範囲も同時に示してある。アラビア数字の0~VIIは気象庁震度階の目安(村松, 1976)を示す。振幅は片振幅で表示してある。



以上をまとめて、この強震計がカバーする周波数帯域、振幅範囲を図 2.1.2 に示す。図には気象庁の代表的な地震計のカバーする領域、および気象庁震度階の目安（村松，1976）も同時に書き込んである。なお、1.6 Hz 以上の帯域で 1 kGal を超える加速度が観測できなくなっているのは、変換器が飽和することによる。この点は強震観測においては問題とはならない。問題はむしろ、記録する速度の最大振幅が本当に  $100 \text{ cm}^0\text{-P}/\text{s}$  を超えないか、という点である。最近の報告（Hartzell and Helmberger, 1982）によると、1979年10月15日に Imperial Valley で発生した M 6.6 の地震の断層から 1 km ほど離れた地盤上で、断層の走向に直角な水平方向の最大速度  $108 \text{ cm}^0\text{-P}/\text{s}$  が観測されている。測器等の詳細が、この論文だけからでは十分読みとれないが、もしこれが事実だとすると、この強震計のカバーすべき振幅範囲について設計を変更する必要があるかもしれない。但し、この場合でも、変更箇所は等化増幅器の利得を下げるだけで十分である。

図 2.1.2 からわかるように、この強震計は従来一般に使用されている地震計ではカバーできていない、長周期大振幅の領域を観測の対象として含んでいる。得られた波形データは新しい情報を含むデータとして、有効な使い方ができよう。

### 1.3 地動の電気信号への変換

長周期大振幅の地面の運動に忠実な電気信号を出力し、かつ、広い振幅範囲をもつ変換器として、次の方式が考えられる。

i) 油制動方式……固有振動数  $f_0$  が、1 Hz 程度の振子を高粘性の油の中にひたすことにより、大きな制動（正規化された減衰定数  $h$ ）をかける。このとき振子にとりつけた変位変換器の出力は  $f_0/2h \sim 2hf_0$  の広い帯域で速度比例となる。これは村松（1977）が提案した方式である。

ii) 変位帰還方式…… $f_0$  が数 Hz の振子に変位変換器と動電コイルをとりつけておく。振子の変位に比例した出力を増幅して動電コイルに帰還すると、“電気バネ”が構成できて、固有振動数が数百 Hz にまで上る。この時、新しい固有振動数以下の帯域では、変位変換器の出力は地動の加速度に比例する。これを積分して速度比例とする方式。

iii) 速度帰還方式…… $f_0$  が数 Hz の振子に 2 つの動電コイルをとりつけておく。一方のコイルの出力を増幅して他方に帰還すると電氣的に制動がかかる。この制動の大きさを  $h$  とすると油制動方式と同様に、 $f_0/2h \sim 2hf_0$  の帯域で加速度比例出力が得られるので、これを積分するという方式。

これらの 3 方式の変換器の振子の運動、出力の S/N 等については後節で詳しく述べるが、机上上の検討においては、いずれの方式でも満足のゆく性能を得られることがわかる。ただ、これらの方式にもとづいて実際に製品を試作ないしは購入して、耐震性、耐温度性能を、実験により調べた。その結果、油制動方式は、温度変化により油の粘性が変化し、これが直接、感度変化をひきおこし、たとえ増幅器の利得に温度特性をもたせることにより補正しようとしても、温度の代表性等現実の

問題として、補正しきれないことがわかった。また、速度帰還方式にもとづいて試作した変換器は、用いたバネの特殊な構造（ダイヤフラムバネ）により、大きな振幅で二次元的に振動させた時に、受感方向以外の振動に感応する兆候が認められた。これは、振子にかかっている電気的な制動が、受感方向にのみ有効で、その直交方向には全く無効となり、動き易いその方向に“運動がにげた”ことによる。これは勿論、速度帰還方式の欠点ではなく、むしろ変換器振子の構造の問題である。これらの試験結果は第3章で詳しく述べる。

われわれは、変位帰還方式により作られた変換器JA-4を、この強震計にもっともふさわしいものと判断する。JA-4は温度変化による感度の変化、ドリフト、また振動をかけた時の波形の歪の少なさ、等、あらゆる点において満足すべき性能を示した。JA-4の他にも変位帰還方式の変換器は市販されてはいるが、コストの点で同クラスの他の製品と比較する時、これは、温度変化によるドリフトが圧倒的に小さいという点が大きな特長である。なお、JA-4は日本航空電子工業の製品であるが、1981年に同社はJA-4に代り、JA-5という製品を発表している。JA-5はJA-4より小型化され、かつ分解能がすぐれ、コストは変わっていないので十分に使用にたえられるものと期待できる。

#### 1.4 増幅および特性の等化

変換器の出力は加速度比例である。 $1/50 \sim 20$  Hzの帯域で速度比例にするために、一度積分する。また $1/6 \sim 20$  Hzの帯域で変位比例の出力をも得るために、更に積分する。積分には演算増幅器を用いると回路設計が容易である。最初の積分回路を模式的に図2.1.3に示す。この回路は0.01 Hzと0.015 Hzとに極をもつ帯域通過回路で、利得は0~0.01 Hzでは+6 dB/oct, 0.015 Hz以上では-6 dB/octの勾配をもっている。総合すると0.02 Hz以上の帯域を積分し、0.02 Hz

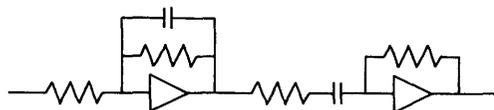


図 2.1.3 加速度比例の信号を速度比例に積分する回路の模式図

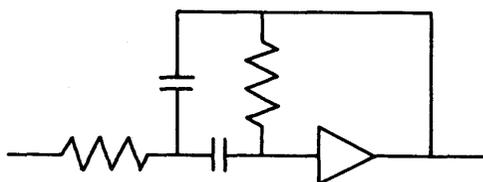


図 2.1.4 速度比例の信号を更に変位比例に積分する回路の模式図

において、理想積分特性よりも、3 dB だけ利得が下がっている。二段目の積分回路を図 2.1.4 に示す。この回路は近似的に  $1/6$  Hz を境に低・高周波側にそれぞれ  $+ \cdot - 6$  dB/oct の勾配で利得が下がっている。 $1/6$  Hz における Q を 1 に設定してあるので、地震計の振子の運動を論ずる時の  $h$  (正規化された減衰定数で  $h = 1$  が臨界減衰状態に相当)  $= 1/2 Q$  は 0.5 である。すなわち、この変位比例出力は、現用強震計の、固有振動数  $1/6$  Hz, 減衰定数 0.5 (制振比で約 6) という特性と全く等しく、従って、得られる記録の特性の連続性が保たれる。

このような回路を搭載した基板の耐震上の問題点は、 $1/50$  Hz という低周波数のコーナー周波数を得るための大容量 (従って重い) コンデンサの実装である。実際に耐震性のテストを行った結果、基板を防振構造にしないと振動により、ごくわずかの瑕疵を原因とする小さな雑音を発生することもありうるということがわかった。

### 1.5 記録およびその処理

この強震計は 2 台の記録器が備えられている。ひとつは地震観測においてはよく用いられるヘリカル・レコーダで、 $1/6 \sim 20$  Hz の帯域の変位比例出力のアナログ記録が、連続的に実時間で描かれる。感度は  $1 \text{ cm/cm}$ , すなわち 1 倍, 紙おくりは  $30 \text{ mm/min}$ , ピッチ  $1.25 \text{ mm}$ , 最大振幅  $2.5 \text{ cm}$  で記録紙の交換は 1 日 1 回である。耐震性が考慮されているので、 $1 \text{ g}$  程度の加速度ではペンがとび上ることもなく、ただ、ギアのバックラッシュにより記録器がやや太くなる程度である。これ以上の耐震性能を大きな機構を駆動する必要のある、この種の記録器にもとめるのは困難であろう。

この可視記録器の出力は地震発生直後に、津波予報のための処理に利用される。その処理の便宜を考えて水平動 2 成分の合成最大振幅の表示部を設けた。アナログ IC により二乗の和の平方をもとめるという演算が行われ、結果の最大値を、 $0 \sim 999 \text{ mm}$  までの間で、 $1 \text{ mm}$  きざみでデジタル化して表示する。従って可視記録器が  $25 \text{ mm}$  でふりきれても表示だけは  $1 \text{ m}$  までの範囲内では正しい表示ができることになる。

もうひとつの記録器はデジタル記録器で、 $1/50 \sim 20$  Hz という帯域の速度比例出力が、地震が発生した時だけ、トリガー機能により記録される。A/D 変換は  $\pm 100 \text{ cm/s}$  の地動速度に相当する電圧値を最大とし、12 bit の精度で行われ、標本化周波数は 1 チャンネル当り  $60 \text{ Hz}$  である。記録媒体はカセット式デジタル磁気テープである。この 1 巻に約 8 分間の波形データが収録できる。トリガーは、上下動の連続する 5 標本点のデータがすべて、設定したレベルを超えた時、はたらくようにした。遅延時間は 10 秒である。また、一旦トリガーがかかると、テープの終るまで、すなわち 8 分間、記録をとりつづける。磁気テープ装置を 2 台用意したので、無人の状態でも 2 件のトリガー分だけは記録が可能である。この点はまた、大地震の直後の 16 分間の余震も記録可能、という点に意義が認められる。

$1/50 \sim 20$  Hz という広帯域で速度比例特性という、この強震計の大きな特徴である成分をカセ

ット式磁気テープに記録する方式の他に、アナログ記録方式も検討した。しかし、これは次の理由で採用しなかった。アナログ方式のひとつに発熱素子を密に並べたサーマルヘッドで、幅の広い感熱記録紙にアナログ波形を描かせる方式があるが、これは紙送り機構以外に機械的可動部がないので、耐震性にすぐれていると思われる。しかし、この方式は高周波の現象に追従できないことがわかり、また、記録紙幅をいくら大きくしようとも、記録可能な振幅範囲はデジタル方式にはかなわない。記録可能な最大振幅は何10年に1度あるかどうか、という大きなレベルに設定されるので、振幅範囲が狭い場合、すなわち、記録できる最小振幅のレベルが高いと、地震の記録の得られる機会は指数的に少なくなる。これは運用上望ましい条件とはいえない。また、アナログ記録では、計算機による高度な処理を行おうとする場合、波形のデジタル化の作業も、大変煩雑である。このようなことからアナログ記録方式は採用しないことを決定した。

デジタル方式による記録媒体にはカセット式デジタル磁気テープの他にフロッピーディスクとか、ごく最近市場に出まわってきた磁気バブルメモリカセット(中野ら, 1981)とかが考えられる。このうち、フロッピーディスクは耐震性が大問題である。勿論、地震動が終るまでデータを一時的に蓄えておいて、その後、記録するとか、緩衝材等で嚴重に防振するとかの対策はとれなくはないが、前者の対策ではメモリーが莫大になる。よってフロッピーディスクの採用の是非については机上の検討のみにとどめ、不採用を決定した。

磁気バブルメモリカセットは、固体素子で可動部が全くなく、振動とかほりのある悪環境でも、信頼性高い記録が得られる。しかも、電源がなくても情報の保持が可能である、等の、強震計の記録部として採用するにはうってつけの特長をそなえている(赤松, 1982)。ただこれは、開発途上にある製品であり、その将来について、必ずしも明るい見通しばかりではない。明るい見通しの方は、例えば、単位記憶量当りの容積やコストをカセットテープと比較すると、強震計開発当初の段階において、それぞれ $10^2$ 倍、 $10^3$ 倍であり、それが82年春段階においては容積は $10^1$ 倍に改善された。さらに今後需要が拡大すれば84年頃にはカセットテープと比べて容積が $10^0$ 倍、コストが $10^2$ 倍位まで改善できるであろうという予想もある(沖電気藤原俊郎氏, 私信)。得られた波形データは、他の媒体に移して保管できるから、コストはそれほど大きな問題ではない。一方、処理段階のことを考えると、バブルメモリカセットのデータ複元には現在までのところ、特定の、いわゆるパソコンが利用できるのみで、小型ないしは大型の計算機では、直接にはアクセスできない(データを特定のパソコンを用いて、フロッピーディスクに書き移せば、可能である)。将来においても、直接処理できるようになる可能性は非常に薄いと考えられる。磁気バブルメモリカセットは、机上評価されたが、ひと言で言えばその開発が強震計の開発に“間にあわなかった”ということである。

このような事情から、デジタルの波形データを記録する媒体として、カセット式デジタル磁気テープを候補としてとりあげ、装置を試作し、評価を加えた。磁気テープ装置はTEAC社のMT-2という製品である。この装置は振動条件および温度条件の厳しい南極の雪上車上でうまく

作動したという実績（気象庁地震課藤沢格氏，私信）があるだけではなく，さらに機構条件および書き込み条件について ISO，および JIS 規格を満しているので，カセット MT を入出力装置として採用している小型ないしは大型計算機で JIS FORTRAN を用いて直接処理を行えるという特長もある。振動に対して強いのはテープ駆動に慣性の大きな駆動部品を用いていないのが主な理由であると考えられる。このようなことから MT-2 を利用したデジタル記録器を，強震計の記録器にふさわしいものと判定した。実際にこの装置は振動試験および温度試験においても問題は出てきていない。

## 1.6 電 源

強震発生時には商用電源の正常な供給は期待できない。発動発電機にしても，瞬時には立上らないし，また，時によっては強震動のために故障してしまうこともあろう。この時のために，鉛蓄電池およびサイリスタ整流器をくみ合わせた無停電電源（無瞬断）を用意した。この電源から DC 24V が強震計のすべての部分に供給され，AC 100 V の入力がある状態で 8 時間以上の容量を持たせた。なお，第 1 章 2 節でも述べたように，8 時間もは必要はないと考えられる。電源をより小型化するためにも，2～3 時間の容量とすることは有意義であろう。24V と，やや高めの電圧を選んだのは，各部分で用いられる DC/DC コンバータの変換効率を上げるためである。

## 2. 変換・等化増幅器

### 2.1 振子の運動

まず，1.3 節で述べた 3 方式の変換器の振子の運動を解析する。振子には一般の回転運動型と，ダイヤフラムパネで支えられた直線運動型との二種類があるが，ここでは回転運動型について解析する。直線運動型に関する取扱いは例えば松本・高橋（1976）を参照されたい。

実体振子の質量を  $M$  [kg]，慣性モーメントを  $K$  [kg · m<sup>2</sup>]，回転軸から重心までの距離を  $H$  [m]（従って相当単振り長  $\ell$  [m] =  $K/MH$ ）として，その運動方程式を，田（1963）にならって

$$K\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + U\theta = -MH\ddot{x} - G_1 I_1 - G_2 I_2 \quad (1)$$

と書く。ここで  $\dot{\phantom{x}}$  は時間微分をあらわし，また

$\theta$  : 振子の角変位 [rad]，

$D$  : 空気あるいは油等による外部制動力のモーメント [kg · m<sup>2</sup> / s]，

$U$  : 復元力のモーメント [kg · m<sup>2</sup> / s<sup>2</sup>]，

$G$  : 動電定数 [V · s]，

$I$  : 動電コイルを流れる電流 [A]，

$x$  : 地面の変位 [m]，

である。但し， $G$  および  $I$  につけた添字  $i$  ( $i = 1, 2$ ) は  $i$  番目のコイルに関する量を示している。

この時， $i$  番目の動電コイルの両端に誘起される超電力  $E_{Si}$  [V] は

$$E_{S_i} = G_i \dot{\theta} \quad (2)$$

であり、また、もし仮に振子角変位に比例する変位変換器(その感度を  $S$  [V/rad] とする) がとりつけられていれば、その出力  $E_m$  [V] は

$$E_m = S\theta \quad (3)$$

となる。(1)は、この変位変換器が振子に力を作用しない場合になりたつ。一般に、第  $i$  番目の動電コイルの抵抗を  $R_{c_i}$  とし、これが等価的に抵抗  $R_{d_i}$  で終端されている場合には、(1)は

$$\ddot{\theta} + 2h\omega_0 \dot{\theta} + \omega_0^2 \theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (4)$$

と変形できる。ここで

$$\omega_0 = (U/K)^{1/2}, \quad (5)$$

$$h = \frac{1}{2\omega_0 K} \left( D + \frac{G_1^2}{R_{c_1} + R_{d_1}} + \frac{G_2^2}{R_{c_2} + R_{d_2}} \right) \quad (6)$$

であり、これらはそれぞれ固有角振動数 [rad/s]、減衰定数と呼ばれる量である。

以上の準備にもとづいて、1.3節で述べた3方式による強震計の、記録可能な最大振幅、検出可能な最小信号、100 cm/s または 2000 Gal という大きな地動速度が入力した時の振子の変位、等を調べ、問題点について検討する。

#### i) 油制動方式

この方式では動電コイルは用いない。(4)において地面の運動の角周波数を  $\omega$  とし、 $\ddot{\theta} = (j\omega)^2 \theta$ 、 $\dot{\theta} = j\omega \theta$ 、 $\ddot{x} = (j\omega)^2 x$  とおくと、

$$(-\omega^2 + j \cdot 2h\omega_0 \omega + \omega_0^2) \theta = \omega^2 \cdot \frac{x}{\ell} \quad (7)$$

を得る。この方式は、振子を油づけにすることにより  $D$  を大きくして、(6)の  $h$  を  $10^1 \sim 10^2$  のオーダーとして使う。(7)の左辺( )内の各項の絶対値を周波数別に調べると、

$\omega \gg 2h\omega_0$  のとき、第1項

$\omega_0/2h \ll \omega \ll 2h\omega_0$  のとき、第2項

$\omega \ll \omega_0/2h$  のとき、第3項

がそれぞれ卓越して大きい。( )内の第2項が卓越する  $\omega_0/2h \sim 2h\omega_0$  の周波数帯では

$$\theta \doteq \frac{\omega}{j \cdot 2h\omega_0} \cdot \frac{x}{\ell} = \frac{-1}{2h\omega_0} \cdot \frac{\dot{x}}{\ell} \quad (8)$$

と、振子の角変位は地動の速度に比例する。図 2.2.1 のように、変位変換器の出力に  $A$  倍の増幅器をつなぐと、出力  $V_1$  は(3)および(8)より

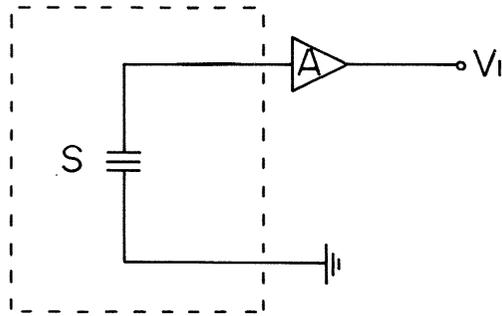


図 2.2.1 油制動方式の変換器の電  
氣的等価回路図。S の右側の記号  
は変位変換器を示す。

$$V_1 = AE_m = \frac{-AS}{2h\omega_0} \cdot \frac{\dot{x}}{\ell} \quad (9)$$

を得る。

例えば、これは、実際に試作した変換器（図 2.2.2）の例であるが固有周期 1.6 [s] ( $\omega_0 = 2\pi/1.6$ ),  $K=1.4 \times 10^{-3}$  [kg · m<sup>2</sup>] (以下、単位は省略するが、いずれも MK S A 単位系である),  $M=0.39$ ,  $H=0.056$ ,  $\ell=0.064$  の振子に  $S=96$  の変位変換器をとりつけ、 $h=100$ ,  $A=2.6$  とすると 1 / 320 Hz ~ 125 Hz の帯域で 5V / (100 cm/s) の感度を有する速度比例出力を得ることができるが、(9) からわかる。振子の不動点のふれ幅  $\ell\theta$  は、(8) から 100 cm/s の地動が入力しても 1.3 mm にとどまり、ストッパーによる振幅制限には至らない。検出する最小信号は変位変換器の出力  $E_m = S\theta$  中に含まれる雑音のレベルに依存するが、これは一般に mV のオーダーよりはるかに小さい。ゆえに出力  $V_0$  の作動範囲は 0.5 mV ~ 5V, すなわち、地動速度に換算して  $10^{-2} \sim 10^2$  cm/s という、80 dB が容易に得られる。

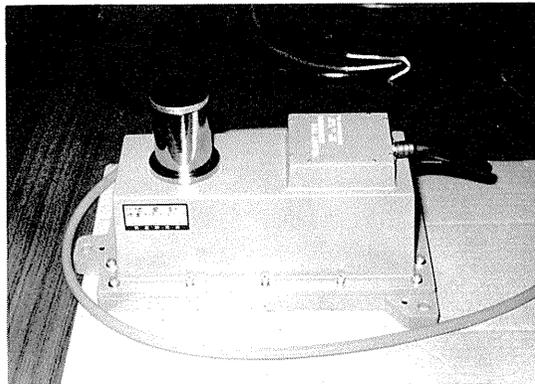


図 2.2.2 油制動方式の変換器（上下動）の外観。

ii) 変位帰還方式

この方式の振子には、変位変換器の他に動電コイルがつけられていて、図 2.2.3 のように構成される。動電コイルは1本なので(1), その他の式において、 $G_1, I_1, R_{e1}$  を単に  $G, I, R_e$  と記すことにする。図 2.2.3 において、

$$V_2 = AS\theta, \tag{10}$$

$$I = \frac{V_2 + G\dot{\theta}}{R_e + R_o}, \tag{11}$$

$$V_3 = IR_o. \tag{12}$$

である。但し、 $A$  は増幅器の利得である。(10), (11)より、(1)は、

$$K\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + U\theta = -MH\ddot{x} - \frac{G^2\dot{\theta} + AGS\theta}{R_e + R_o}$$

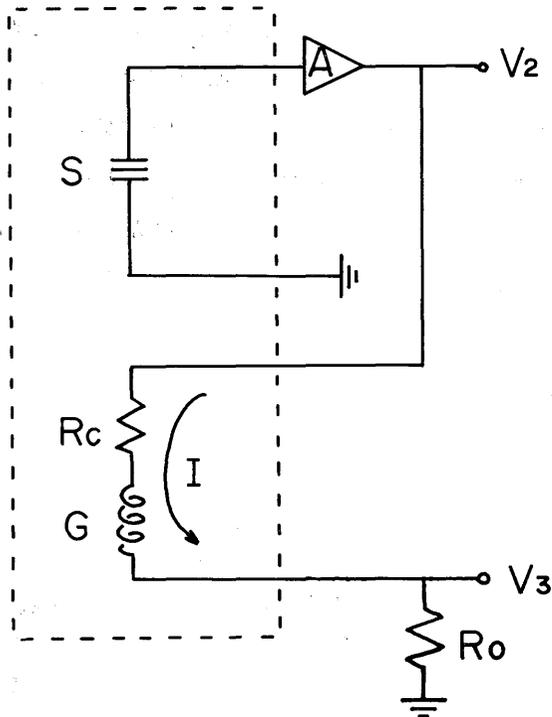


図 2.2.3 変位帰還方式の変換器の電気的等価回路図。S および G の右側の記号は変位変換器および速度変換器（動電コイル）。 $R_o$  は動電コイルの内部抵抗。

または

$$\ddot{\theta} + 2h\omega_0 \dot{\theta} + \left( \omega_0^2 + \frac{AGS}{K(R_c + R_o)} \right) \theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (13)$$

と変形できる。但し、 $h$ は(6)と同様である。更に

$$\omega_N^2 = \omega_0^2 + \frac{AGS}{K(R_c + R_o)} \quad (14)$$

とおくと、

$$\ddot{\theta} + 2h_N \omega_N \dot{\theta} + \omega_N^2 \theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (15)$$

ここで  $h_N = h\omega_0/\omega_N$  である。(7)を導いたのと同様に(15)より

$$(-\omega^2 + j \cdot 2h_N \omega_N \omega + \omega_N^2) \theta = \omega^2 \frac{x}{\ell} \quad (16)$$

を得、そしてこの場合、 $h_N$ は $10^0$ あるいはそれ以下のオーダーであるから、(16)の左辺( )内は

$\omega \gg \omega_N$  のとき、第1項

$\omega \ll \omega_N$  のとき、第3項

がそれぞれ卓越する。この方式で使う帯域は  $\omega \ll \omega_N$  の帯域である。この時

$$\theta \doteq \frac{\omega^2}{\omega_N^2} \frac{x}{\ell} = \frac{-1}{\omega_N^2} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (17)$$

と、振子の角変位は地動の加速度に比例する。(14)において  $\omega_N \gg \omega_0$  とすると、さらに

$$\theta \doteq \frac{-K(R_c + R_o)}{AGS} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell} \quad (18)$$

と近似できる。この時、 $V_2$ は(10)より

$$V_2 = \frac{-K(R_c + R_o)}{G} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell}$$

であり、また、出力 $V_3$ は、 $\omega \ll AS/G$ の帯域で、(11)、(12)より

$$V_3 \doteq -\frac{KR_o}{G} \cdot \frac{\ddot{x}}{\ell} = -\frac{MHR_o}{G} \ddot{x} \quad (19)$$

と、いずれも地動の加速度に比例する。

例えば、強震計の変換器にもっともふさわしい、と1.3節で述べたJA-4(図2.2.4)の場合、 $\omega_0 = 2\pi \cdot 4.5$ 、 $\omega_N = 2\pi \cdot 500$ 、 $M = 2.5 \times 10^{-3}$ 、 $H = 1.78 \times 10^{-2}$ 、 $R_o = 1000$ 、 $G = 0.22$ であるから、DC~500 Hzの帯域において  $V_3/\ddot{x} = 2$  [V/g]の感度を得ている。2g入力時の振子の不動点の変位 $\ell\theta$ は(17)より、高々、 $10^1 \mu\text{m}$ のオーダーであり、ストッパーにあたる心配は全くない。検出可能な最小信号は、図2.2.3の回路が負帰還回路であるから、振子の変位が小さくても、決して



図 2.2.4 変位帰還方式の変換器 (JA-4) の外観。

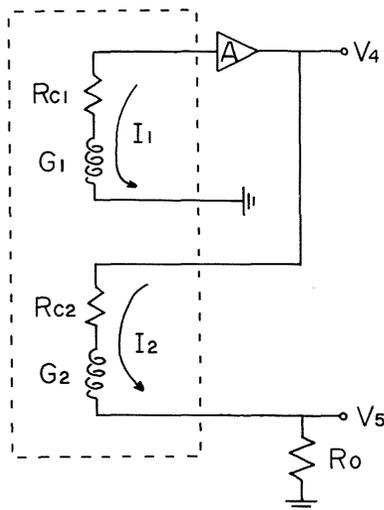


図 2.2.5 速度帰還方式の変換器の電気的等価回路図。G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>は速度変換器(動電コイル) R<sub>c1</sub>, R<sub>c2</sub>はそれらの内部抵抗。



図 2.2.6 速度帰還方式の変換器の外観

悪くない。その理由は高橋(1981)がすでに詳しく論じていて、それによると、カタログには5 m Gal の分解能しかないとあるが、実はその1/10以下の信号まで分解している。従って、作動範囲は加速度で、実に130 dB を超える。このことは、変換器に関しては第1章1.3節で述べた地震工学における国際的な要求を満たす製品が現実存在していることを意味する。

iii) 速度帰還方式

この方式の振子には変位変換器はなく、そのかわり2本の動電コイルがつけられている。図2.2.5に回路構成を示す。この図で

$$V_4 = AG_1 \dot{\theta}, \tag{20}$$

$$V_5 = I_2 R_o, \tag{21}$$

$$I_1 = \frac{G_1 \dot{\theta}}{R_{c1} + R_1}, \tag{22}$$

$$I_2 = \frac{V_1 + G_2 \dot{\theta}}{R_{c2} + R_o} \tag{23}$$

である。但し、A, R<sub>1</sub> は増幅器の利得, 入力抵抗である。この時、(1)は

$$K\ddot{\theta} + D\dot{\theta} + U\theta = -MH\ddot{x} - \frac{G_1 \dot{\theta}}{R_{c1} + R_1} - \frac{AG_1 G_2 \dot{\theta} + G_2 \dot{\theta}}{R_{c2} + R_o}$$

または

$$\ddot{\theta} + 2 \left( h + \frac{AG_1 G_2}{2\omega_o K (R_{c2} + R_o)} \right) \omega_o \dot{\theta} + \omega_o^2 \theta = -\frac{\ddot{x}}{\ell} \tag{24}$$

となる。但し、hは(6)式のhである。さてここで

$$h_N = h + \frac{AG_1 G_2}{2\omega_o K (R_{c2} + R_o)} \tag{25}$$

とおくと、(7), (16)と同様に

$$(-\omega^2 + j \cdot 2h_N \omega_o \omega + \omega_o^2) \theta = \omega^2 \frac{x}{\ell} \tag{26}$$

を得る。(26)の左辺( )内の各項の絶対値を周波数別に調べると、i) の油制動方式と同様に  $\omega_o / 2h_N \ll \omega \ll 2h_N \omega_o$  の時、第2項が卓越する。この方式は  $h_N$  を大きくして、この帯域を観測の対象とする。この時、(8)と同様に、

$$\theta \doteq \frac{\omega}{j \cdot 2h_N \omega_o} \cdot \frac{x}{\ell} = \frac{-1}{2h_N \omega_o} \cdot \frac{\dot{x}}{\ell} \tag{27}$$

と、振子の角変位は地動の速度に比例する。出力  $V_o$  は  $h_N \gg h$  としておけば

$$V_5 \doteq \frac{R_o K}{G_2} \left( -\frac{\dot{x}}{\ell} \right) = -\frac{MHR_o}{G_2} \ddot{x} \tag{28}$$

と、ほぼ(19)と同様の、地動の加速度に比例する出力が得られる。

実際に試作した変換器を図 2.2.6 に示す。ii) の変位帰還方式とほぼ同様に、記録可能な最大振幅、検出可能な最小信号、大きな振動が入力した時の振子の変位、いずれも問題はない。

## 2.2 変換器

この強震計の変換器は単に耐震性を要求されているだけではなく、それ以上に、地面の運動に忠実な電気信号を出力することを求められている。この意味でこの変換器の製造には、一般の高感度地震計用の変換器と同程度の精密工作を必要とする。それと同時に耐震性を持たせなければならない。従って、変換器の設計と製作における困難度は一般のものより大きいといえる。われわれは過去において、いま求められている以上に大きな振動や衝撃をうけても破壊に到らない変換器を製作した経験はあるが(田ら, 1980), これととも、その観測対象はやはり微小な地震動であり、大振幅の地震動を正確に測るのが目的ではなかった。このようなことから、強震計の最も基本となる変換器部分の決定には、先に述べた3方式にもとづいて3機種を試作ないしは購入し、評価を加えて、これらの中から最も適切な変換器を選定する方法を採った。

評価試験の詳細は第3章で述べるが、その要点と、それにもとづくわれわれの変換器の評価結果は次の通りである。油制動方式にもとづいて製作されている変換器の問題点は、制動をかけている油の粘性が温度とともに変化し、(6)のDを変える結果となる点である。すなわちDの変化に比例してhが変わり、それに反比例して、(9)からわかるように、出力V<sub>0</sub>が変化する。これを補償するために増幅器の利得に温度特性をもたせるように製作されているが、現実には、そんなに理想的に補償できるものではない。実験によると10°C当り約3%の感度の変化が認められた。また上下動変換器については、温度変化により油の密度が変化することにより浮力も変化し振子の釣合い位置が移動し、出力にドリフトを生じる。このドリフトは実に10°C当り60cm/s相当の大きさと測定された。このような欠点が認められるので、この変換器を気象庁の地震観測点に展開する場合には、なお大幅な改良を必要とする。しかし、その具体的な方法については、見通しが立たない。

速度帰還方式にもとづいた変換器も試作し、評価を加えた。温度試験においては全く問題はなかったが、振動試験の1g近くのレベルにおいて、問題が発生した。変換器を小型にするため、振子にはダイヤフラムパネで支えた直動型を採用した。変換器の受感方向に振動をかけると、きれいな波形を呈し、また受感方向と直交方向に振動をかけると、ほとんど出力はなく、一見、問題はないかのごとく見えた。しかし、受感方向を含む平面内で二次元的な振動を加えると、それまできれいであった波形が、レベルが1g近くなるあたりから加速度的に歪を増し、ついにはS/Nが10dBを割るという現象がひとつの被試体について、再現生をもって、観察された。これは明らかに、用いた振動台の運動の歪ではなく、変換器自身の問題である(詳しくは第3章を参照)。こういう現象のあらわれる理由は次のように考えられる。すなわち、振子にかかる電氣的な制動(2.1節の図を

参照)は、振子の受感方向にのみ有効で、その直交方向には全く無効である。これにより、二次元的に振動を加えた場合、振子が回転する等の運動を生じ、動き易い方向へ、運動が“にげた”ものと考えられる。勿論、これは方式の問題ではなく、用いたダイヤフラムバネの問題である。またこの現象は、微小レベルの振動の測定では、全くあらわれてこない、強震計に特有の現象であり、変位帰還方式にも発生しうる現象である。その対策は、振子の受感方向以外の共振周波数を高くする、すなわち、振子は受感方向以外の方向へはもっと動きにくくすることが必要である。なお、油制動方式の制動は、あらゆる方向に働くのでこのようなことはない。

変位帰還方式にもとづいた変換器は2種類購入した。両者はコスト的には全く同等品であり、またその性能もカタログ上で見る限り、ほとんど同等である。ただ一点異なるのは、JA-4という製品の、出力の零点の温度によるドリフトが1℃当り0.05 Galであるのに対し、他方はその20倍と大きい。この点に納得がいかないのので、実際に調べてみたが、両者ともまさにカタログ通りであった。温度ドリフトの小さいのは製造者の製造技術に負うところが大きい。JA-4は振動試験においても問題は生じなかった。受感方向の共振周波数(固有振動数)が500 Hzまで高くしてある一方、それ以外の方向での共振周波数の最低は1 kHz程度と高いので、二次元振動においてもダイヤフラムバネのような問題は発生しなかった。これらのことを総合して、JA-4をこの強震計にふさわしいものとする。先にも述べたがJA-4は1981年以降、JA-5という製品に換えられた。JA-5はJA-4と比較して、やや小型になり、かつ分解能は1 mGalに、温度ドリフトは30 mGal/℃に、と、良くなる一方、コストは変わっていない。われわれは、時期的な事情から、JA-5の評価は行えなかったが、その製造工程がJA-4の経験を十分ふまえたものであることからすると、十分使用に耐えられるものと判断している。

### 2.3 等化増幅器

変換器の出力は地動の加速度に比例している。ところが、要求されている記録の特性は速度比例および変位比例である。記録器の作動範囲は、一般に、増幅回路のそれよりも非常に狭い。例えば、可視記録器等のアナログ記録器は50 dB前後、12 bitのデジタル記録器でも72 dBしかない。この記録器の狭い作動範囲を有効に利用するためには、変換器の出力を所望する特性に等化して記録器に渡さなければならない。

図2.2.7に、等化増幅回路のブロック図を示す。この図における変位比例出力は現用の強震計と全く等しい周波数応答特性が得られるようになっている。図2.2.8は試作した変換器、等化増幅器の外観であり、図2.2.9は等化増幅器のプリント基板である。図2.2.7においてU1~U10は低雑音演算増幅器LM108である。図でU1, U6, U9はいずれも利得1のバッファであり、またU5, U8の利得は周波数に依存せず、それぞれ15.7, 7.5前後で半固定である。信号はU6, U8, U9, U10が非反転端子に、その他は反転端子に入力する。上下動変換器に限っては、平衡時にも

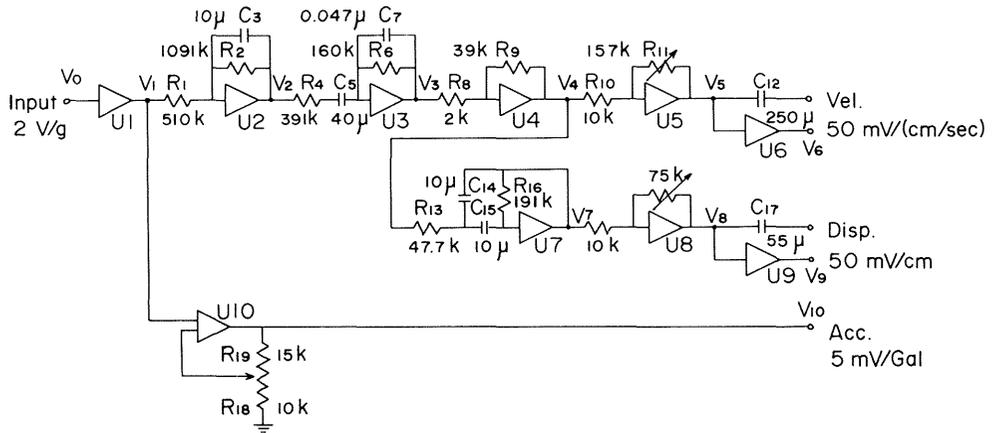


図 2.2.7 等化増幅回路のブロック図

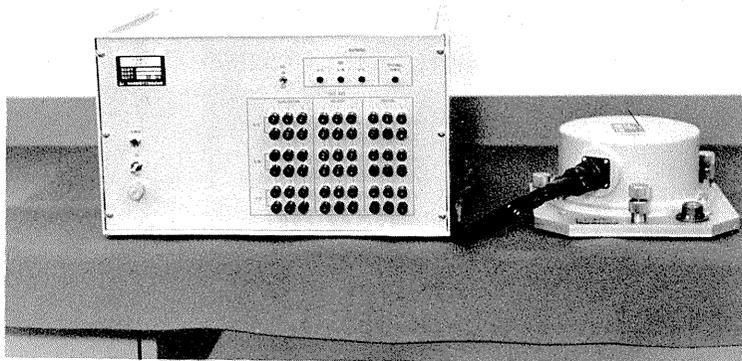


図 2.2.8 変換器 (右) および等化増幅器の外観。  
変換器筐体の内には図 2.2.4 に示した変位帰還方式のセンサーが 3 方向、収納されている。

1 gに相当する2 Vが出ているので、この電圧をキャンセルするための回路がU 1の周辺に付加されている。以下では、この回路の周波数応答の解析を行う（例えば柳沢，金光，1973）。

一般に、演算増幅器を用いて図 2.2.10のように、すなわち、反転入力端子に四端子回路網で言うところのアドミタンス行列が  $Y_a$  である回路を接続し、そして帰還路にアドミタンス行列が  $Y_b$  である回路を接続すると、伝達関数  $H(j\omega)$  は

$$H(j\omega) \equiv \frac{V_1}{V_0} = -\frac{y_{12a}}{y_{12b}} \quad (1)$$

で与えられる。ここに、 $j$  は虚数単位、 $\omega$  は角周波数、 $y_{12a}$ 、 $y_{12b}$  はそれぞれ、アドミタンス行列  $Y_a$ 、 $Y_b$  の (1, 2) 成分をあらわしている。さらに図 2.2.11のような場合は(1)の関係はもっと簡単

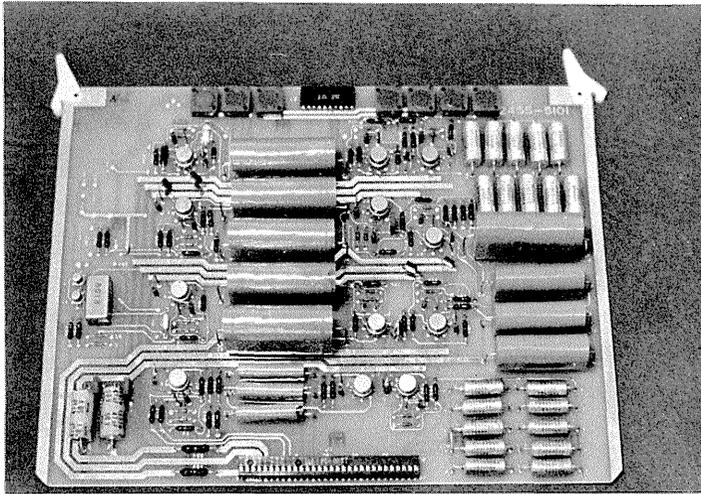


図 2.2.9 等化増幅器のプリント基板。図 2.2.8  
の左側の筐体に収納される。この基板1枚で、  
図 2.2.7 に示した回路を構成している。

化され

$$H(j\omega) = -\frac{Z_b}{Z_a} \quad (2)$$

で表わされる。ここで  $Z_a$ 、 $Z_b$  は図 2.2.11 に示した素子のインピーダンスである。このことはインピーダンス  $Z$  の二端子回路を四端子回路網的に見なおすとき、 $y_{12} = -1/Z$  の関係にあることから明らかである。

また、演算増幅器を用いて図 2.2.12 のように回路をくみ、反転端子に入力することもできる。但

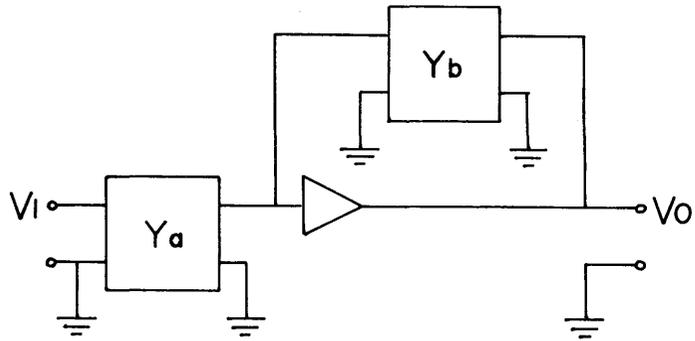


図 2. 2.10 演算増幅器で単一帰還回路を構成した時のブロック図

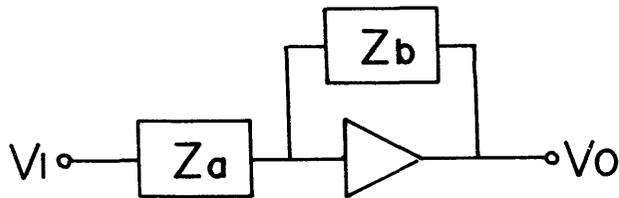


図 2. 2.11 簡単な単一帰還回路のブロック図

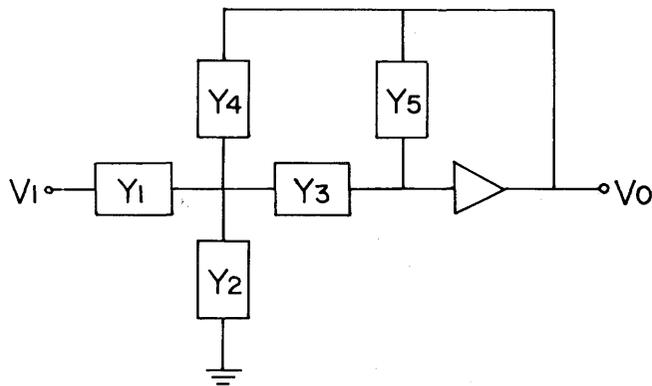


図 2. 2.12 多重帰還回路のブロック図

し  $Y_i$  ( $i=1\sim 5$ ) は素子のアドミタンスすなわち、インピーダンスの逆数である。図 2.2.10, 図 2.2.11の回路では帰還路が1本であるから、単一帰還回路と呼ばれるのに対し、この回路は複数の帰還路を有しているため、多重帰還回路と呼ばれる。その伝達関数  $H(j\omega)$  は

$$H(j\omega) = \frac{-Y_1 Y_3}{Y_5 (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) + Y_3 Y_4} \quad (3)$$

で与えられる。(1)~(3)において、 $H(j\omega)$  の絶対値が入出力電圧の比をあらわし、その偏角が位相ずれに相当する。

単一、および多重帰還回路を比較すると、一般的に言って、回路素子数の最小化、特性の調整の容易さにおいて後者が優り、高利得の実現、回路素子値の最小化、高いQの実現性、入力合成の容易さにおいて前者が優る。特性の安定性は同等である。

さて、図 2.2.7 においてU1の利得は1であるから

$$\frac{V_1}{V_0} = 1 \quad (4)$$

は当然である。(2)を用いて次の関係が得られる。

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{1}{C_3 R_1} \cdot \frac{1}{j\omega + \frac{1}{C_3 R_2}} \quad (5)$$

$$\frac{V_3}{V_2} = -\frac{1}{C_7 R_4} \cdot \frac{j\omega}{\left(j\omega + \frac{1}{C_5 R_4}\right) \left(j\omega + \frac{1}{C_7 R_6}\right)} \quad (6)$$

$$\frac{V_4}{V_3} = -\frac{R_9}{R_8} \quad (7)$$

$$\frac{V_5}{V_4} = -\frac{R_{11}}{R_{10}} \quad (8)$$

U6の利得は1であるから

$$\frac{V_6}{V_5} = 1 \quad (9)$$

である。 $V_7/V_4$  は(3)を用いて

$$\frac{V_7}{V_4} = -\frac{R_{16}}{R_{13}} \cdot \frac{C_{15}}{C_{14} + C_{15}} \cdot \frac{\left(\frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{15}}\right) \frac{1}{R_{16}} (j\omega)}{(j\omega)^2 + \left(\frac{1}{C_{14}} + \frac{1}{C_{15}}\right) \frac{1}{R_{16}} (j\omega) + \frac{1}{C_{14} C_{15} R_{13} R_{16}}} \quad (10)$$

を得る。ここでU7周辺の回路は図2.2.12において $Y_2 = 0$ の状態に相当していることを利用している。U8, U9の利得はそれぞれ7.5, 1であるから

$$\frac{V_8}{V_7} = 7.5 \quad (11)$$

$$\frac{V_9}{V_8} = 1 \quad (12)$$

を得る。U10は非反転端子入力であり、上では述べなかったが、簡単な解析により

$$\frac{V_{10}}{V_1} = \frac{R_{18} + R_{19}}{R_{18}} \quad (13)$$

であることがわかる。

(4)~(13)の関係式を用いて、各々の演算増幅器がどのような動作をしているのか、考察する。まずU1は、図2.2.7には描かれていないが、システムの総合チェックを行う時、このままでは過大な電圧が出力される、それを適正なレベルにまで下げるためにチェック時のみ利得を下げる働きと、先に述べた上下動変換器の平衡時の出力をキャンセルする働きとを行っている。U2は $1/2\pi C_3 R_2 = 0.0146$  Hz以上の帯域を積分する。U3は $1/2\pi C_5 R_4 = 0.010$  Hz以下の帯域と $1/2\pi C_7 R_6 = 21.2$  Hz以上の帯域とにおける利得を抑圧する。U2とU3とを総合して、0.02~20 Hzで信号の積分を行い、理想的な積分特性からのずれが0.02~20 Hzで3 dB以内におさまるようになっている。0.02 Hzに二重の極を設けることをあえてしなかったのは、周波数応答を急峻にすることによりインパルス応答が振動的になるのをさけたからである。また、0.02 Hzを帯域の下限に設定したのは、1.2節でも述べたが、変換器の雑音レベルと、デジタル記録時のA/D変換の量子化雑音のレベルが同等になるのがこの周波数だからである。U4で $R_9/R_8 = 19.5$ 倍して更にU5で15.7倍して50 mV/(cm/s)の感度を有する速度比例出力を得る。なお、U5には各素子の偏差による利得の偏差を微調整して、感度を最終的に合わせこむ働きもある。図2.2.13にレベルダイヤグラムを示し、また図2.2.14には各段階での周波数応答を示す。

U7は速度比例の信号 $V_4$ を1/6 Hz以上の帯域で更に積分する働きをしている。(10)で示された $V_7/V_4$ の関係式に各素子の定数を代入して周波数応答を計算して図2.2.15に示す。この図からもわかるように応答は1/6 Hzに二次の極を有し、 $Q = 1$  (従って、減衰定数 $h \equiv 1/2Q = 0.5$ )の特性を呈している。このために変位比例出力の周波数応答は現用の機械式強震計と全く等しくなり、両者の記録の間に互換性、連続性が保たれる。U8, U9でそれぞれ7.5, 1倍されて、50 mV/cmの感度を有する変位比例出力を得る。U8には感度の微小調整機構が付加されている。レベルダイヤグラム、および各段階で周波数応答をそれぞれ図2.2.16, 2.2.17に示す。

図2.2.7のU10は5 mV/Galの感度を有する加速度比例出力を得るための、2.5倍の非反転増幅回路である。この図には描かれていないが20 Hz以上の帯域を抑圧するようになっている。この

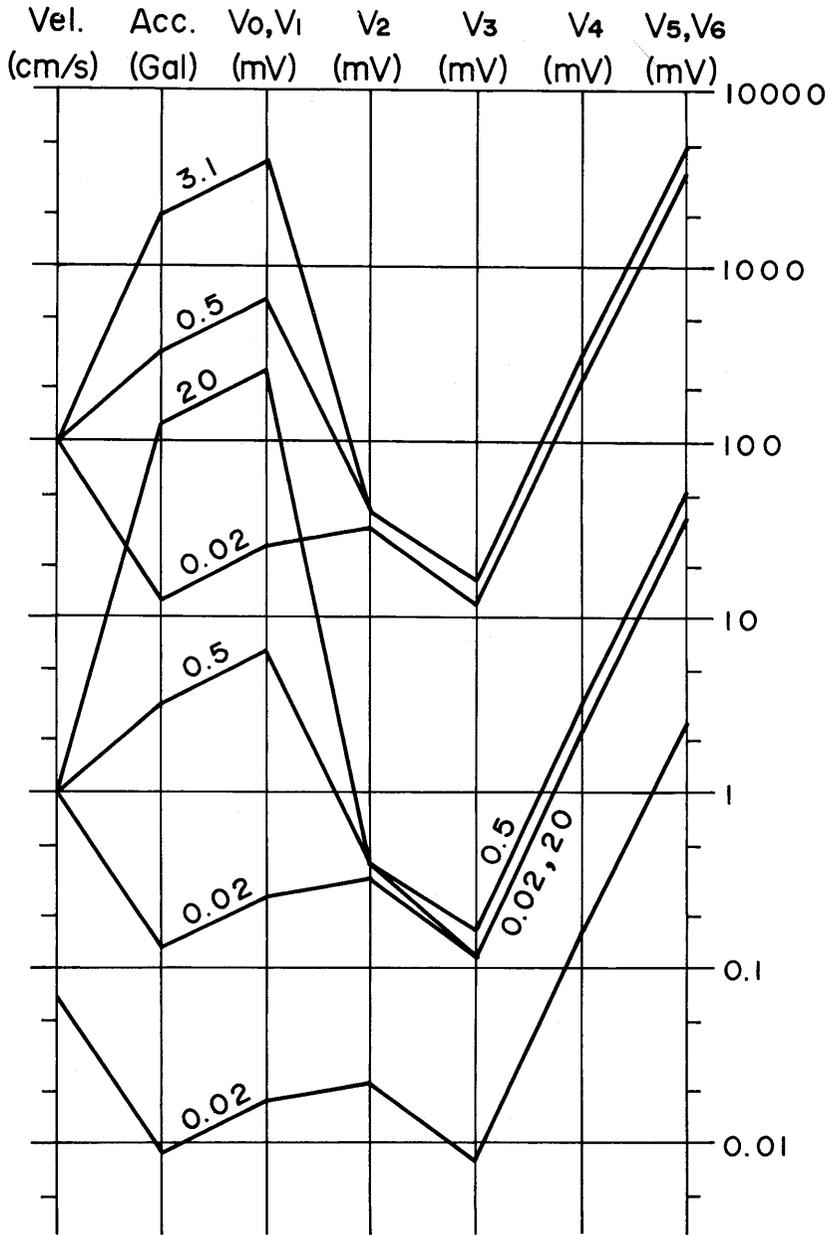


図 2.2.13 速度比例出力を得るまでのレベルダイヤグラム。  
 V<sub>0</sub>~V<sub>6</sub> は図 2.2.7 を参照。図中に挿入した数字  
 は周波数 (Hz) を示す。

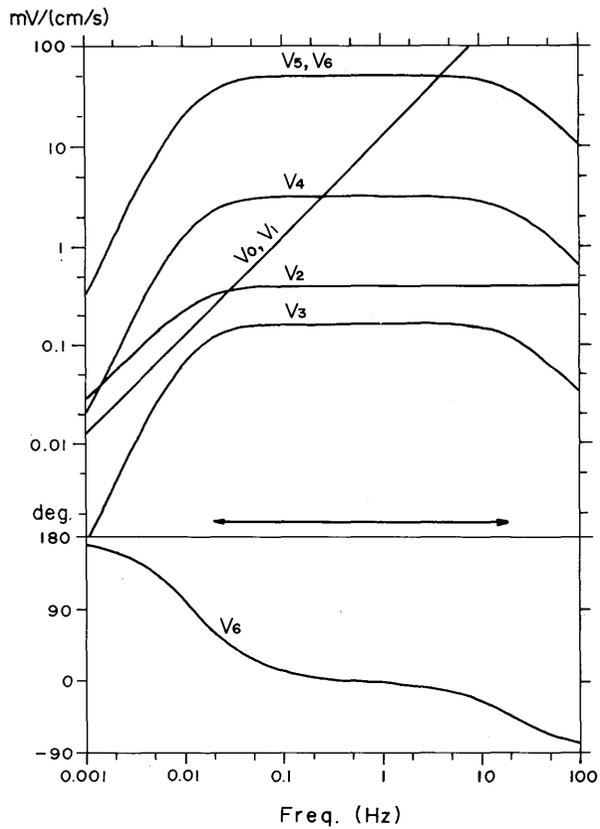
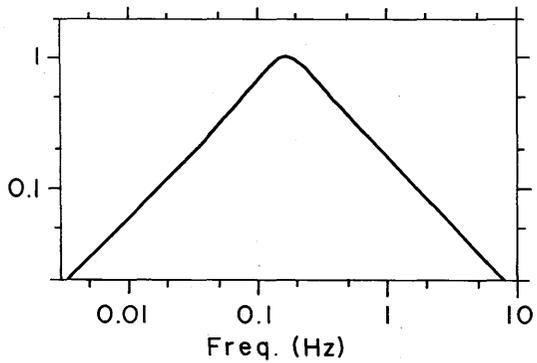


図 2.2.14 速度比例出力を得るまでの各段階（図 2.2.7 参照）における周波数応答。上段が振幅応答で下段が位相応答。中央の矢印は観測対象の周波数帯（0.02~20 Hz）を示す。

図 2.2.15 U7（図 2.2.7 参照）周辺回路の周波数応答  $V_7/V_4$ 。縦軸は相対利得。



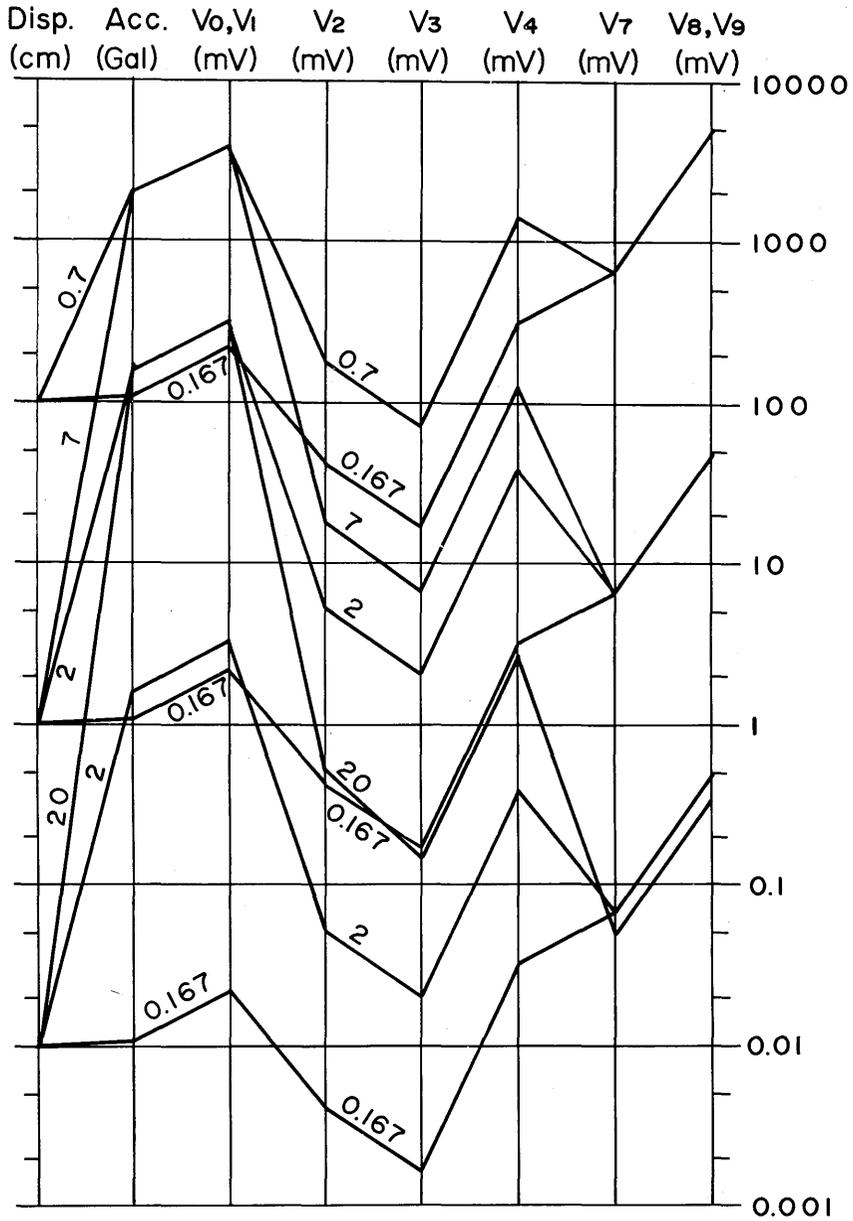


図 2.2.16 変位比例出力を得るまでのレベルダイヤグラム。 $V_0 \sim V_4$ ,  $V_7 \sim V_9$  は図 2.2.7 を参照。図中に挿入した数字は周波数 (Hz) を示す。

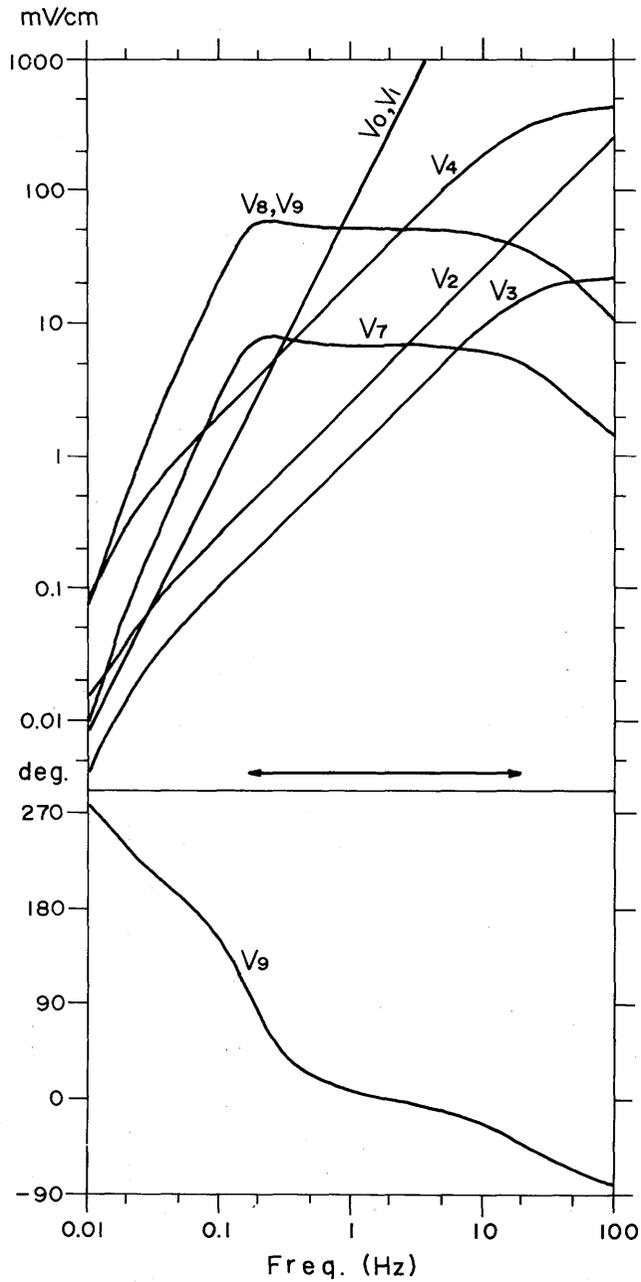


図 2.2.17 変位比例出力を得るまでの各段階（図 2.2.7 参照）における周波数応答。上段が振幅応答で下段が位相応答。中央の矢印は観測帯域の周波数帯（ $1/6 \sim 20$  Hz）を示す。

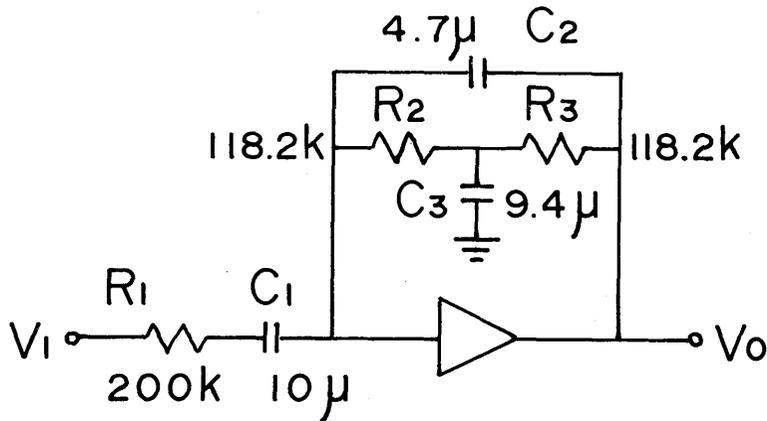


図 2.2.18 ブリッジ T 型 RC 回路を帰還路に挿入した積分回路。入出力電圧の関係は一般的には(14)で与えられるが、 $R_2=R_3$ 、 $C_3=2C_2$ 、 $C_1R_1=C_2R_2$  の場合には(15)と、簡単になる。この図に示された素子値は津波予報精度の向上を配慮した、ひとつの案であり、上の関係は満していない。

強震計は加速度を計測の対象としていないので、この出力の記録器は検討していない。せっかく加速度比例の信号がそこまで来ているので将来、何かあった時のためにという単純な理由から、基本的にはこの出力をとりだす方針を採った。

さて、筆者らは第 1 章 1.2 節の後半において、津波波高の予測精度の向上に急務に貢献する周波数応答はどんな特性であるべきかについてふれた。そこで二・三の案を示した。これらの案を具体的に電子回路で実現するためには図 2.2.12 または(3)に示した多重帰還回路、あるいは図 2.2.18 に示す、帰還路にブリッジ T 型 RC 回路を挿入した単一帰還回路を応用して実現できる。図 2.2.18 の場合には

$$\frac{V_0}{V_1} = -\frac{C_3 R_2 R_3}{C_2 R_1 (R_2 + R_3)} \cdot \frac{j\omega + \frac{1}{C_3} \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)}{j\omega + \frac{1}{C_1 R_1}} \cdot \frac{\frac{1}{C_3} \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) (j\omega)}{(j\omega)^2 + \frac{1}{C_3} \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) (j\omega) + \frac{1}{C_2 C_3 R_2 R_3}} \quad (14)$$

の関係があるから、 $R_2 = R_3$ 、 $C_3 = 2C_2$ 、 $C_1 R_1 = C_2 R_2$  と設定すると（この図に示された素子値は、これらの関係は満していない）

$$\frac{V_0}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{2h\omega_0(j\omega)}{(j\omega)^2 + 2h\omega_0(j\omega) + \omega_0^2} \quad (15)$$

という関係を得る。ここで  $\omega_0 = 1/\sqrt{2} C_1 R_1$ ,  $h = 1/\sqrt{2}$  である。この式は固有角振動数  $\omega_0$  [rad/s], 減衰定数  $1/\sqrt{2}$  の振子の伝達関数と等しい。(3)あるいは(15)は回路設計においてよく利用される関係式である。

この強震計の製作にあたって、実際に製作した変位比例出力を得るための積分回路における素子の値を図 2.2.18 に示し、またその周波数応答を(14)にもとづいて計算し図 2.2.19 に示す。この回路は

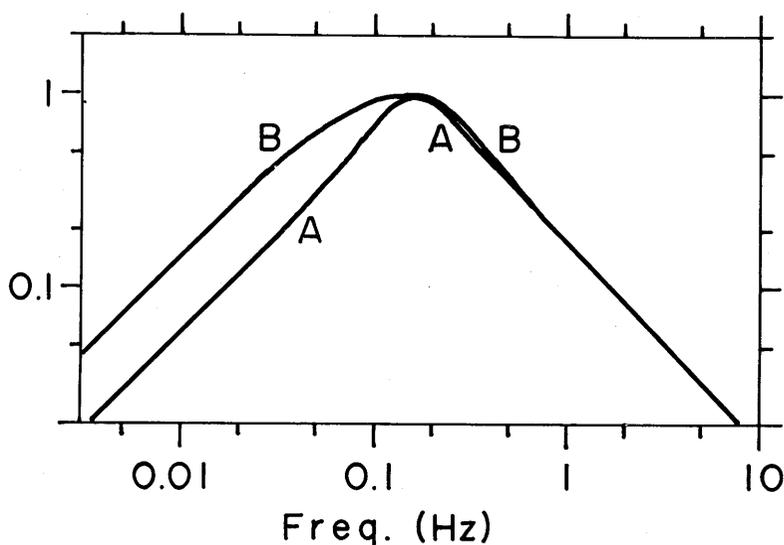


図 2.2.19 図 2.2.15 に示した  $V_7/V_4(A)$  と図 2.2.18 に示した回路による  $V_0/V_1(B)$  との比較。いずれも相対利得。

1/6 Hz 以上の帯域における振幅応答を、現用地震計の応答にできるだけ似せた点の特徴である。そして 1/6 Hz 以下では結果的に、固有周期 9.4 秒、減衰定数 0.8 の振子の応答に近似でき、1/10 Hz 以下における利得が、約 8 dB 大きくなっている。この程度の特性的変更は現在の津波予測技術の手順に重大な変更をきたすものとはならないと考えられる。念のために書きそえるが、図 2.2.19 の特性は、単なるひとつの案にすぎず、更に望ましい特性はなお、検討を要する。

変換器から記録器に到るまでの、強震計全システムの動作チェックを簡単に行うための機構(接点)を設けた。この接点を手動または遠隔操作により、閉じることにより、変換器の振子に外力を加えることができる。あらかじめ一定の方法でこの接点を閉じ、その時の出力波形を記録しておく。定期的にこの操作をくり返し、出力波形を比較することにより、特性が変わりがないかどうかチェックできる。例えば

図 2.2.20は、接点をちょうど1秒間だけ閉じた時、出力される波形を示す。

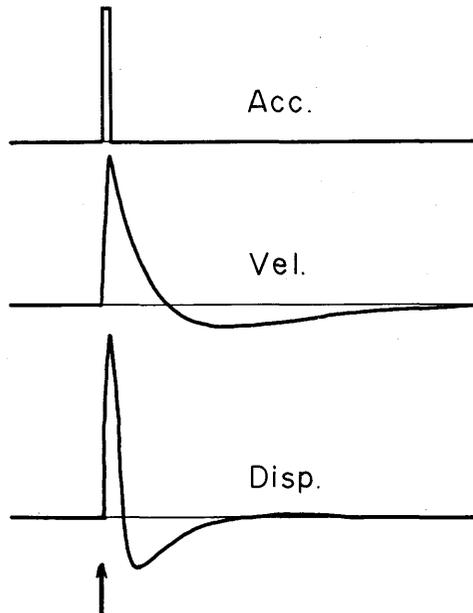


図 2.2.20 試作した変換・等化増幅器のチェック端子を1.0秒間閉じた時に出力される波形

試作器に温度試験および振動試験を行った。温度を $-5^{\circ}\text{C}$ から $40^{\circ}\text{C}$ まで変化させて利得の温度感度を測定したところ速度、変位いずれの出力も $+10^{\circ}\text{C}$ の変化当り約 $+0.1\text{ dB}$ という結果を得た。また位相の変化は $40^{\circ}\text{C}$ 当り $1^{\circ}$ 以内におさまっている。これらは十分満足のゆく値と評価できる。振動試験において、上下動成分の等化増幅回路を搭載した1枚の基板に小さいながら、雑音が観測された。それは10数 Hz 以上の周波数で1 g 近くの高レベルで加振する時、現れ始め、その周波数は加振周波数に等しく、またS/Nは35 dB 程度である。われわれは雑音の発生箇所の追及を行ったが時間の制限もあって、ある狭い範囲内においこんだにとどまった。この雑音の原因は、いずれにしろ、他の基板にはそのような雑音は全く現れないことから、その基板の製造上の何らかの小さな不具合が基板の共振周波数(25~26 Hz)近くで露見してきたものと考えられる。事実、基板を手でおさえて防振効果をもたすと、雑音は消えてしまう。納入検査において発見できない程度の小さな不具合が、こうして雑音の原因となることは問題であるから、基板に防振装置をとりつけるという対策を施すべきである。

### 3. 記録器

#### 3.1 アナログ記録器

強震発生直後に行われる、津波予報を目的とした処理のために、耐震性にすぐれたアナログ式インク書き可視記録器を開発した(図 2.3.1)。これは、地震観測においてよく用いられるヘリカル・レコーダで、実時間の波形が連続的に描かれる。耐震性への配慮のため、重量のあるガルバノメータを固定し、比較的軽い回転ドラムを横方向に移動させる。そして、そのドラムの脱落を防ぐため図 2.3.2 に示す工夫を施した。この機構は 90° 回転する「軸押え」を「レバー」でとめ、その「レバー」を更に「板バネ」付きのストッパーでおさえた構造をしている。ペンの長さは 15cm で、ガルバノメータの回転角との関連で 2.5 cm の振幅まで直線性が保たれる。上下動加速度によるペンの浮き上りを防ぐため、0.8 ~ 0.9 g のペンを 1 g 重の力で記録紙に押えつける。まさつによる不感帯をなくするため、ガルバノメータには  $2.4 \times 10^6$  dyne · cm/rad の高トルクをもつ機種を選んだ。

紙おくり速度は 30mm/min、ピッチは 1.25mm で、ドラムが一周するのに 25 分かかる。記録紙交換は 1 日 1 回である。これらのパラメータは設計変更も可能であるが、どのように設定するかは運営上の問題である。感度は 1cm/50mV で、増幅器の感度は 50mV/cm であるから、最終的に 1cm/cm すなわち 1 倍の変位比例記録が得られる。可視記録の振幅が 22mm を越えると感度を自動的に 1/5 に下げる。この場合、約 60 秒後にもとの感度に復帰する。また、アナログ IC を用いて、水平動 2 成分の合成最大振幅をもとめ、表示する機構を設けた。表示は 0 ~ 999 mm まで 1 mm きざみの 3 桁であり、手動によりリセットするまで、それまでの最大値を保持しつづける。

自動利得制御 (AGC) は、それを実際に採用することが有効かどうか、検討するために設けた。AGC は、記録器の作動領域を広げる点で、有効であることが多い。しかし、一般に可視記録の場合、特に、それが強震直後に行われるべき緊急的な処理においては、その有効性は疑わしい。むしろ、記録された振幅を誤まって過小評価する危険の方が大きく、また、表示回路により最大振幅が表示されていることでもあるし、われわれは、AGC は採用すべきでないと判断する。

紙おくりの駆動力源には停電対策の容易さとモーターの寿命の面を考慮して、DC ブラシレスパルスモーターを採用した。市販のモーターに駆動回路も付加されているので、そのまま使用したところ、紙おくり速度の一様性は  $10^{-4}$ /hour と、AC シンクロナスモーターと比べて若干劣ったが、このことにより検測作業の効率が低下するとは考えられない。

試作したアナログ記録器の環境温度を 0°C から 40°C まで変化させて感度の変化を調べた。一般に、可視記録の振幅のよみとりには比較的大きな誤差を伴い、精度はよくないが、その誤差の範囲内 (1% 程度) で感度の変化は認められなかった。ドラムの回転周期は 33 ppm/°C の割合で長くなる。すなわち、0°C において 25 分 0 秒で 1 回転していたものが、40°C においては 25 分 2 秒かかった。これは RC 発振回路にすれば通常の値と評価できる。



図 2.3.1 アナログ式インク書き可視記録器  
(右)と増幅器

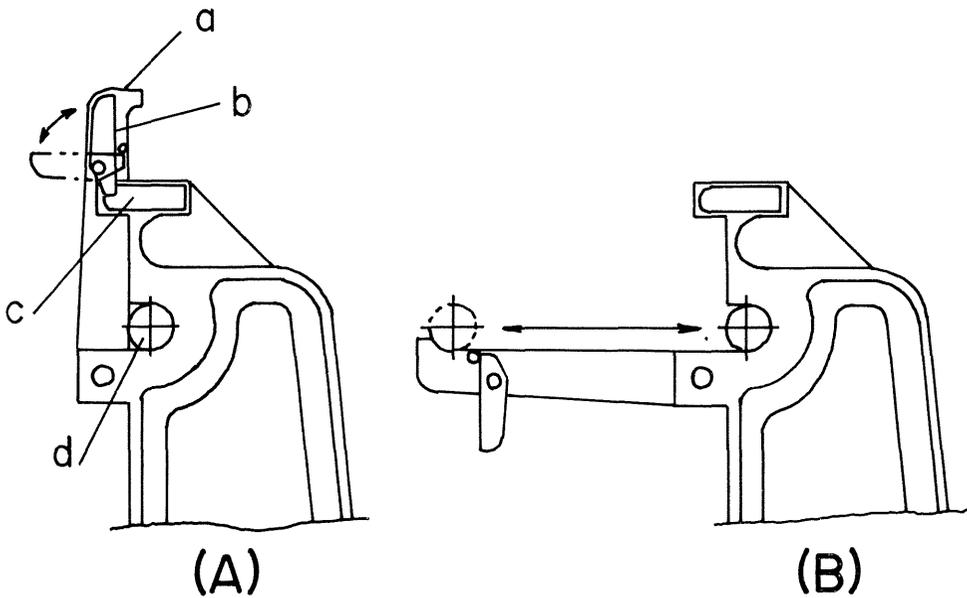


図 2.3.2 アナログ記録器のドラムの脱落を  
防止する機構。a：軸押え、b：レバー、  
c：板バネ、d：ドラム軸。

ドラムの機械的共振周波数の最低は8.5 Hz 付近にあった。2 g までかけた振動試験において7 Hz 以下では異常はほとんど認められない。8 Hz 位から次第にギアのバックラッシュにより、記録線がやや太くなるのが認められたが、復旧不可能な障害は勿論、ペンが浮き上る等の現象は認められなかった。詳しくは第3章で述べる。

### 3.2 デジタル記録器

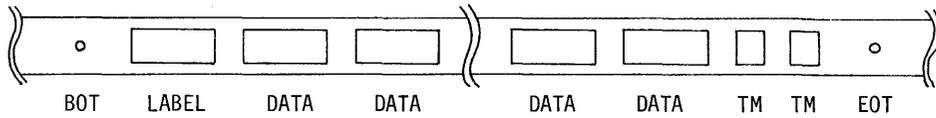
0.02~20 Hz という広い帯域をもった速度比例出力は、記録の質を保ち、かつ処理の便宜をはかるため、振幅の動作範囲の広いデジタル形式で記録する。そのデジタル化されたデータの記録には、色々な媒体を検討したが、先にも述べた理由でカセット式デジタル磁気テープを採用した。AD変換器、遅延回路、トリガー回路、時計等を含む、周辺回路をも同一筐体内に搭載したデジタル記録器を製作した。図2.3.3にその外観を示す。アナログ形式の地震信号3成分と時計信号1成分はマルチプレクサで順次切替えられ、AD変換器によりデジタルデータに変換される。標本化周波数は1成分当り60 Hz、変換精度は12ビットである。これらのデータは10秒間だけRAMに貯えられる。地震が発生したかどうかの判定はアナログ入力の第3チャンネル、すなわち上下動成分の信号が用いられる。単に振幅レベルの大きさのみで地震かどうかの判定を行う論理にしてあるが、単発パルスによる誤動作を防ぐため、相次ぐ5標点がすべて、設定レベルを上回った時、はじめて、トリガーされるようにした。また、入力するアナログ電圧にオフセットがあると、この判定論理はうまく働かないので、あらかじめデータの平均処理を行うことにより、実質的にオフセットを除去



図2.3.3. デジタル記録器の外観

する処理も行っている。

トリガーがかかるとその10秒前のデータから順に磁気テープに書かれるが、その形式を図2.3.4に示す。データ1個当り12ビットの情報量を有しているが、処理の便宜のため、および、将来にお



LABEL BLOCK		BYTE	DATA BLOCK	
0	0	1	CH	1
0	2	2		1
0	0	3		2
0	L <sub>1</sub>	4		2
L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>	5		3
0	0	6		3
0	0	7		4
0	N	8		4
0	0	9		1
0	8	10		1
0	0	11		2
0	4	12		2
0	0	13		3
0	0	14		3
0	1	15		4
0	0	16		4
0	D <sub>1</sub>	17		1
D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	18		1
H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	19		2
M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	20		2
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	21		3
0	0	22		3
0	0	23		4
0	0	24		4
.	.	.		.
.	.	.		.
.	.	.		.
0	0	255		4
0	0	256		4

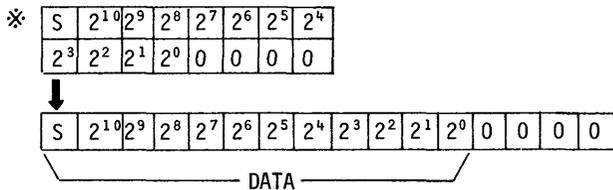


図2.3.4 カセット式デジタル磁気テープ上に書かれるラベルおよびデータフォーマット。  
 BOT: 磁気テープの始端, TM: テープマーク, EOT: 磁気テープの終端, L<sub>1</sub>L<sub>2</sub>L<sub>3</sub>: 地点番号, N: ボリューム番号 (左側の磁気テープ装置は1, 右側は2), D<sub>1</sub>D<sub>2</sub>D<sub>3</sub>: 1年の通算日, H<sub>1</sub>H<sub>2</sub>: 時, M<sub>1</sub>M<sub>2</sub>: 分, S<sub>1</sub>S<sub>2</sub>: 秒 (トリガーのかかった時刻)。

いてより高精度のAD変換を行えるようになった時のために、あえて2バイト16ビットの領域を、このデータの記録のためにとっておく。2の補数形式であらわされたデータのMSBから8ビットが上位バイトに、その次のビットからLSBまでの4ビットが下位バイトの上半分に入り、残りは常に0となっている。標本点の順に、そしてアナログ入力チャンネル番号順にデータが並べられるので、1ブロック256バイト中に32標本点、すなわち32/60秒分のデータを記録する。カセットテープ片面には920前後のブロックを収録可能なので、8分間強の波形データを記録できることが、計算するとわかろう。なお、BOTの次の最初のブロック(ラベルブロック)にはテープの識別情報が書き込まれる。この場合の識別情報には3桁の地点番号、トリガーのかかった日、時、分、秒の値等がある。

磁気テープ装置の機構部はMT-2と呼ばれるTEAC社の製品で、最も実績のある装置のひとつであり、これが2台組み込まれていて、2回分のトリガーまで収録することができる。磁気テープ上の記録形式は位相変調方式、記録密度は800 bpiと、IRGに関する条件、および使用されているコードがISOおよびJIS規格に準拠しているので汎用の小型計算機に入出力装置があれば直接アクセスできるのが特長である。カセットテープにはCT-300を用い、A、B両面を反転して使用できる。

装置の前面パネルには時刻情報を表示するほか、任意のアナログチャンネルの入力電圧値、あるいは自己診断機能によるエラー情報をも表示できるようにして保守を容易にした。

試作したデジタル記録器に2gまでの振動を与えてその耐震性を評価した。2kGal<sup>P-P</sup>あたりで表示が消えるトラブルが発生したが、これは基板と本体との間の接触不良であることが判明した。しかし、この時でも得られたデータは全く正常であった。この装置の実際のセットにあたっては、簡易な耐震機構を施した方が無難である。

環境温度は40°Cから-15°Cまで変えて評価したが、第3章でも述べるように、全く問題は発生しなかった。

ここで、AD変換の精度について検討してみる。一般に強震計の場合、考えられるどんな大きな強震動をも、飽和することのない記録を得るという至上の命題のため、記録器の振幅の動作範囲の上限を、非常に大きなレベルに設定する。従って、記録しうる最小信号はAD変換器のビット数に直接関係する。例えば、この強震計の場合、 $\pm 100 \text{ cm/s}$ を12ビットでAD変換するので量子化間隔は $0.0488 \text{ cm/s}$ である。AD変換器が理想的に働いた場合には量子化雑音は $\pm 0.0244 \text{ cm/s}$ であるが、一般に、雑音により更に $\pm 1/2 \sim 1 \text{ LSB}$ は悪くなるのが通例である。ところで、地震動が人体で感じられ始めるレベルは0.8 Galまたは $0.13 \text{ cm/s}$ 程度と言われている(村松, 1969)。従ってこの、有感になるかならないかの地震動下で、この強震計により得られる波形データは数ディジットに過ぎず、とても解析に耐えるものではない。これは決して望ましいことではなく、AD変換のビット数をもっと多くすべきである、との主張がでてくるのも当然かもしれない。事実、北

海道大学耐震工学研究室で開発した強震観測装置（太田ら，1981）や，土木研究所における高密度強震観測施設（大久保ら，1981）においても16ビットのAD変換器が採用されている。これらの強震計は工学的目的の強いもので，2 gまでの加速度比例の記録を得ることを目的としたものである。速度比例出力を得るわれわれの強震計の記録の1ディジットは1/50 Hzにおいて，6 mGalであるのに対し，上で述べた2つの強震計の場合には，その10倍程度と悪い。もっとも，これらの強震計は50秒もの長周期波動の観測を目指しているものではないが。

AD変換のビット数を大きくすることには確かに価値がある。それは，強震の記録をとる機会を指数的に増大させ，また大振幅の記録の場合には，解析における精度を向上させる。このための障害は現在ではもう，コスト以外には見出せないが，技術革新の目覚ましい昨今，低コストで16ビットの変換が実現できる日は遠くないと考えられる（竹田ら，1982）。その時には是非とも16ビットを採用すべきである。その変更により，処理，その他には全く混乱は生じない。

### 3.3 時刻情報の記録

正確な時刻の情報は場合によっては得られた波形データにまさるとも劣らない価値を有する。従って，近年開発されている強震計はどれを見ても非常に高精度の時計を用意し，J J YあるいはNHKの放送で自動的に調整している。しかし，この強震計の場合にはその運用上の形態から，観測点には十分管理された良い時計がすでにあると期待できる。従って，用意した水晶発振器は公称 $2 \times 10^{-6}$ の精度と，決して良くない。AD変換の標本化周波数の制御にはこの水晶が用いられるが，これにはこの程度の精度で十分である。磁気テープのラベルブロックに書き込まれるトリガー時刻の情報は，この水晶による時計にもとづいているので，その秒の位は震源計算等の正確な時刻を必要とする処理には全く使えない。正確な時刻は第4チャンネルに入力されたタイムマークを参照すべきである。

## 4. 処理・解析装置

### 4.1 ミニ・コンピュータ

いわゆるミニコンにはカセット磁気テープ装置を入出力装置として採用できる機種がある。従って，それを使用して強震計のデジタル記録をミニコンで直接的に処理できる。そのためのプログラムをFORTRAN言語で作成した。これについては6節で詳しく述べる。

### 4.2 パーソナル・コンピュータ

デジタル記録の処理・解析装置としてミニコンの他に，表2.4.1に示す，いわゆるパソコンを提案する。これらはすべてTEAC社製（一部渡辺測器製）のカタログ製品である。PS-80はCPUにZ-80を用い，ROMを12 kB，RAMを48 kB実装していて，BASIC言語を利用でき，

CRTディスプレイおよびキーボードが装備されている。これに、プリンタとプロッタを増強すると、相当高度な解析が行える(図2.4.1)。6節には、以上の構成で実行できるプログラムを載せてある。

PS-80は米国TANDY RADIO SHACK社のTRS-80という機種を母体にして、デジタル式カセット磁気テープも読み書きできるようにと考えて開発された機種である。TRS-80は日本においては、今ひとつ“人気”はでなかったが、その広い拡張性、豊富なソフトウェアが高く評価されているものである。PS-80は、これらの特徴をひきついでいるので、強震動の波形データのみならず、他の分野のデータ処理においても有効である。

この装置を更に増強する場合には、表2.4.2に示した場合が考えられる。目的にあわせて適宜、増強してゆけばこの装置は更に有効なものとなろう。この他にもデジタル入出力、GP-IB、アセンブラ等の増強が可能であるが、詳しくはPS-80の取扱説明書を参照されたい。

なおPS-80は今後、PS-85という上位機種にとって代られるものと思われる。ソフトウェアその他には完全な互換性があり、処理速度も2倍程度速くなると期待できる。

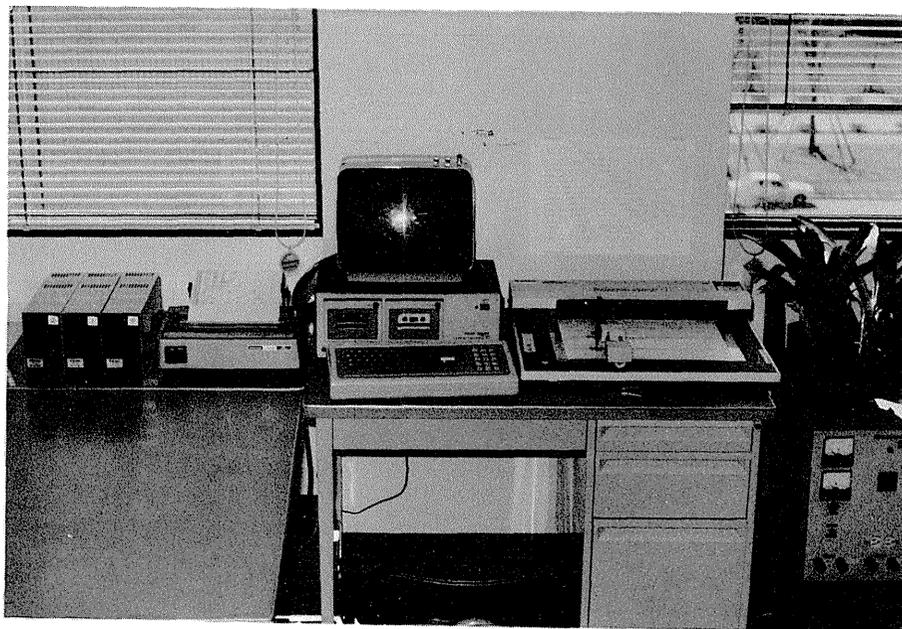


図2.4.1 パーソナル・コンピュータの外観

表 2.4.1 処理・解析装置一覧

品 名	型 名	主 な 仕 様	備 考
パーソナル・コンピュータ	PS-80	RAM48kB, カセット磁気テープ装置2台付き。	CRTディスプレイ, キーボードを含む。
シリアルドットプリンタ	PT-210	文字の大きさは1/5, 1/10, 1/16.5インチに切替可能, 1行最大印字数は132(16.5文字/インチの時), 紙幅208~216mm。	
X-Yプロッタ	WX 4671 (渡辺測器製)	有効作画範囲X軸: 360mm, Y軸260mm, ステップサイズ0.1mm, 最大作画速度5cm/s。	アダプタボード・接続ケーブルを含む。

表 2.4.2 処理・解析装置の増強

目 的	品 名	型 名	主 な 性 能	備 考
高速処理	FORTTRAN コンパイラ (ソフトウェア)	PL-L0020	JIS FORTRANの水 準7000相当	ミニディスク 2台以上を必 要とする。
プログラミングの 効率化, 外部記憶 装置	ミニディスク装置	PF-50	より高度なBASIC が使える。	最大4台
アナログデータの 処理	A/Dコンバータ ボード	A/DC	A/D 16チャンネル, D/A 3チャンネル	入出力端子箱 を要する。

## 5. 電 源

### 5.1 整流器

整流器はサイリスタ整流器で、単相 100 V 50/60 Hz を受電して、これを整流し、蓄電池を浮動ならびに均等充電しながら同時に負荷に DC 24 V の直流定電圧を供給する。交流入力の変動、周波数の変動、また負荷の変動に対しても常に一定の電圧を供給するため、集積回路方式の出力電圧検知装置にてサイリスタを制御している。負荷が増大して定格以上になった場合には自動的に出力電圧を垂下させ、過放電あるいは焼損事故を未然に防ぐようにもしてある。定格最大出力電流は 20 A で、これで、変換・等化増幅部 1.5 A、アナログ記録器 1.8 A、デジタル記録器 2 A をまかなう。

整流器および次に述べる蓄電池は鉄材を用いた強固な筐体に収納され（図 2.5.1）、1 g 以上の大加速度にも十分耐えられる設計になっている。

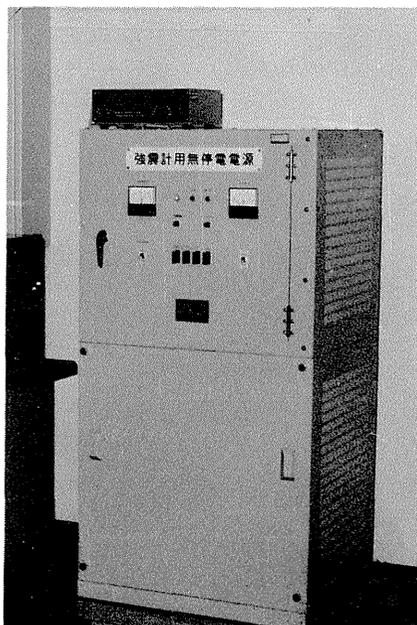


図 2.5.1 無停電電源の外観

### 5.2 蓄電池

触媒栓をとりつけた鉛蓄電池を 12 個用意した。この 1 セットで 60 A H の容量を有し（10 時間放電率）、従って交流 100 V の供給が断のままでも、強震計は最大 10 時間程度の運転が可能である。

この、10 時間という値は、やや大きすぎるかもしれない。1964 年の新潟地震の際、新潟地方気象台の発動発電機が動き始めるまでに 1 時間程度しか要しなかった、という例もあることだし、2 ~

3時間もあれば十分かもしれない。更に検討を要する問題である。もし、2～3時間でよいことになれば電池を小型化することができるので、これにともない、筐体（図 2.5.1 の場合、幅70cm、奥行60cm、高さ130cm）の小型化の面で、相乗的に貢献する。

## 6. デジタル記録の処理プログラム

### 6.1 概 要

4.1節で述べたように、カセット磁気テープ装置を備えたミニコンで、デジタル記録を直接的に処理する副プログラムを2種類作成した。用いた言語は FORTRAN である。図 2.6.1 にそのリストを示す。

RLABEL はラベル情報を読むためのサブルーチンで、第2引数MTに、カセット磁気テープの論理装置番号を入力しておく、LABEL という変数に地点番号、記録器の番号、トリガー時刻（日、時、分、秒）が出力される。第3引数 INDはそのカセット磁気テープが強震計のものかどうかを示す指標で、0が出力された時はそうではないことをあらわす。

RDATA は1レコード分のデータを読む、または空読みするためのサブルーチンで、第2引数にカセット磁気テープの論理装置番号を入力しておき、第3引数 INDに空読みするときは0を、本当に読むときは1を入力しておく、第1引数 IXに波形データが出力される。第4引数 IRCは、カセット磁気テープの記録の終りを検出した時には1が、そうでない時は0が出力される。

この2つのサブルーチンの使用例のプログラムを図 2.6.2 に示し、このときのラインプリンターへの出力の一部を図 2.6.3 に示す。この例のように RDATA をCALL する時の第1引数のディメンジョンを（4, 32）としておけば（ $i, j$ ）要素には  $i$  成分（ $i=1$  は南北成分、 $i=2$  は東西成分、 $i=3$  は上下成分、 $i=4$  は刻時信号）の  $j$  番目の時刻の波形データが入ってくる。データの1 digit は  $(200/4096) \text{ cm/s} = 48.8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$  の地動速度に相当する。図 2.6.2 のプログラムの25行目と27行目の間、あるいは31行目と35行目の間で、望む処理を行うことができる。

4.2節でも述べたように、カセット式デジタル磁気テープ記録はパーソナルコンピュータ PS-80を用いて解析することができる。そのために、新たに開発したプログラムを6.2節以降に掲げ、その使用法を述べる。そして将来の参照の際の便利のために、これを“BASIC 言語で書かれた、強震記録解析のためのプログラムライブラリー83年版”の意味で、BAPLAS-83 (*BASIC Program Library for Analyses of Strong-Motion Seismogram-Version 83*)と名付けておく。BAPLASのリストを以下に掲載するので、それを見ながらキーインして使うことは勿論結構であるが、著者に請求すればCMTの形で提供する。

なお、これらのプログラムの実行には非常に多くの時間を要する。その主な原因は BASIC 言語を用いたことによる。アセンブラ言語を用いることにより10倍以上の高速化が期待できるが、そのようなプログラムは将来、強震計が全国に展開される頃までには発表する予定でいる。

```

LINE-NO      STATEMENT
0001      C *** REWIND CMT AND READ LABEL BLOCK ***** CODED BY M TAKAHASHI
0002      SUBROUTINE RLABEL(LABEL,MT,IND)
0003      C *** LABEL : LABEL INFORMATION
0004      C *** MT : SYMBOLIC DEVICE NUMBER FOR CMT
0005      C *** IND : (OUTPUT) =0 : NORMAL ; =1 : CMT NOT SEISMOGRAM
0006      INTEGER*2 LABEL(6),IX(7)
0007      IND=0
0008      REWIND MT
0009      READ(MT,1010) IX
0010      C *** SEISMOGRAM ?
0011      IF(IX(1).NE.2) GO TO 900
0012      C *** STATION
0013      LABEL(1)=IX(2)/256*100 + (IX(2)-IX(2)/256*256)/16*10
0014      + (IX(2)-IX(2)/16*16)
0015      C *** RECORDER NUMBER
0016      LABEL(2)=IX(3)
0017      C *** TRIGGER DAY
0018      LABEL(3)=IX(4)/256*100 + (IX(4)-IX(4)/256*256)/16*10
0019      + (IX(4)-IX(4)/16*16)
0020      C *** HOUR
0021      LABEL(4)=IX(5)/4096*10 + (IX(5)-IX(5)/4096*4096)/256
0022      C *** MIN
0023      LABEL(5)=IX(6)/4096*10 + (IX(6)-IX(6)/4096*4096)/256
0024      C *** SEC
0025      LABEL(6)=IX(7)/4096*10 + (IX(7)-IX(7)/4096*4096)/256
0026      GO TO 999
0027      900 IND=1
0028      999 RETURN
0029      1010 FORMAT(A2,I1,A2,I1,A2,I8,A2,I3A1)
0030      END

```

```

** OPTIONS      ** NAM=RLABEL , S , K
** STATISTICS ** SOURCE CARDS= 30 , PROGRAM SIZE= 484
** STATISTICS ** ERRORS= 0 , SEVERITY CODE= 0 , COMPILATION COMPLETE.

```

```

LINE-NO      STATEMENT
0001      C *** SKIP OR READ NEXT ONE BLOCK ***** CODED BY M TAKAHASHI
0002      SUBROUTINE RDATA(IX,MT,INC,IRC)
0003      C *** IX : WAVE FORM DATA
0004      C *** MT : SYMBOLIC DEVICE NUMBER FOR CMT
0005      C *** IND : (INPUT) =0 : SKIP ; =1 : READ
0006      C *** IRC : (OUTPUT) =0 : NORMAL ; =1 : END OF CMT DETECTED
0007      INTEGER*2 IX(128)
0008      IRC=0
0009      READ(MT,1010,END=900) IX
0010      IF(IND.EQ.0) RETURN
0011      GO TO I=1,128
0012      10 IX(I)=IX(I)/16
0013      GO TO 999
0014      900 IRC=1
0015      999 RETURN
0016      1010 FORMAT(128A2)
0017      END

```

```

** OPTIONS      ** NAM=RDATA , S , K
** STATISTICS ** SOURCE CARDS= 17 , PROGRAM SIZE= 177
** STATISTICS ** ERRORS= 0 , SEVERITY CODE= 0 , COMPILATION COMPLETE.

```

図 2.6.1 ラベル情報を読むための(上), およびデータを読むための(下)サブルーチンプログラム。

```

LINE-NO      STATEMENT
-----
0001      C ***EXAMPLE TO USE SUBROUTINES 'RLABEL' AND 'RDATA' *****
0002      INTEGER*2 IDATA(4,32),LABEL(6)
0003      MT=3
0004      C ***      MT : SYMBOLIC DEVICE NUMBER FOR CMT
0005      C ***      REWIND CMT AND READ LABEL BLOCK
0006      CALL RLABEL(LABEL,MT,IND)
0007      C ***      IND : INDICATOR(OUTPUT); = 0 : NORMAL, = 1 : NOT SEISMOGRAM
0008      IF(IND.NE.0) GO TO 10
0009      WRITE(6,610) LABEL
0010      GO TO 20
0011      10 WRITE(6,611)
0012      STOP
0013      20 WRITE(6,620)
0014      DO 30 NBLK=1,34
0015      C ***      NBLK : BLOCK NUMBER
0016      IND=1
0017      C ***      IND : INDICATOR(INPUT); = 0 : SKIP ONE BLOCK
0018      C ***      = 1 : READ ONE BLOCK
0019      IF(NBLK.LT.24) IND=0
0020      C ***      SKIP OR READ NEXT ONE DATA BLOCK
0021      CALL RDATA(IDATA,MT,IND,IRC)
0022      C ***      IRC : RETURN CODE; = 0 : NORMAL, = 1 : END OF CMT
0023      IF(IRC.NE.0) GO TO 40
0024      IF(IND.EQ.0) GO TO 30
0025      C ***      WRITE DATA (OR ANTHOR PROCESSING)
0026      WRITE(6,630) (NBLK,(IDATA(J,K),J=1,4),K=1,32)
0027      C ***      WRITE DATA (OR ANTHOR PROCESSING) (END)
0028      30 CONTINUE
0029      GO TO 50
0030      40 WRITE(6,640)
0031      50 CONTINUE
0032      C ***
0033      C *** SOME PROCESSING
0034      C ***
0035      999 STOP
0036      610 FORMAT(1H1/33H *** STRONG MOTION SEISMOGRAM ****//
0037      +10H STATION =,I4,14H RECORDER =,I2,18H (1=LEFT,-2=RIGHT)//
0038      +15H TRIGGER TIME :,I4,2H D,13,2H H,13,2H M,13,2H S//)
0039      611 FORMAT(1H1/27H *** CMT NOT SEISMOGRAM ***)
0040      620 FORMAT(20X,30H ( 1 DIGIT = (200/4096) CM/S )/
0041      + 51H BLCK NO.      N - 5      E - W      U - D TIME-MARK)
0042      630 FORMAT((5110))
0043      640 FORMAT(28H0*** END OF CMT DETECTED ****//)
0044      END

```

```

** OPTIONS      ** NAM=MAIN      , S , K
** STATISTICS  ** SOURCE CARDS= 44 , PROGRAM SIZE= 529
** STATISTICS  ** ERRORS= 0 , SEVERITY CODE= 0 , COMPILATION COMPLETE

```

図 2.6.2 図 2.6.1 に示した 2 つのサブルーチンの使用例

\*\*\* STRONG MOTION SEISMOGRAM \*\*\*

STATION = 555 RECORDER = 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)

TRIGGER TIME : 25 D 2 H 54 M 43 S

( 1 DIGIT = (200/4096) CM/S )

BLOCK NO.	N - S	E - W	U - D	TIME MARK
24	-1	7	6	-261
24	-2	9	4	-264
24	-1	8	0	-266
24	-1	8	-4	-269
24	-1	8	-6	-271
24	-1	5	-6	-271
24	-1	5	-5	-270
24	-1	3	-4	-269
24	-1	5	-2	-268
24	-1	4	-1	-268
24	-1	3	-2	-268
24	-1	3	-1	-267
24	-1	2	-3	-268
24	-1	1	-6	-274
24	0	0	-9	-274
24	-1	-3	-12	-276
24	0	-5	-12	-279
24	-1	-7	-11	-276
24	-1	-7	-8	-275
24	-1	-10	-7	-274
24	-2	-10	-6	-273
24	-1	-9	-5	-271
24	-2	-9	-4	-268
24	-2	-11	-1	-265
24	-2	-10	3	-265
24	-2	-8	8	-260
24	-3	-8	9	-259
24	-3	-5	11	-258
24	-2	-3	16	-253
24	-2	-2	21	-250
24	-2	5	25	-245
24	-2	8	28	-243
25	-2	14	27	-244
25	-2	17	26	-244
25	-2	21	22	-247
25	-1	24	17	-250
25	0	26	12	-255
25	-1	27	4	-262
25	0	26	-5	-269
25	0	23	-16	-278
25	1	19	-27	-288

図 2.6.3 図 2.6.2 のプログラムの出力の一部

## 6.2 プログラム起動の準備

プログラムを起動する前に、KBREALと名付けられているTEAC社製のプログラムをPS-80に読み込ませることが必要である。このプログラムは、キーボードのキーの機械的な bounce を防止するためのソフトウェアである。その手順を以下に述べる。

(1) まず、PS-80の取扱説明書に掲載されている手順に従って、CRTディスプレイ上に

```
MEMORY SIZE? _
```

と表示されている状態にする。この状態でENTERキーを押すと

```
RADIO SHACK LEVEL II BASIC
READY
)_
```

と表示されて、コンピュータはREADY状態になる。この時、KBREALの入っているCMT(カセット式デジタル磁気テープ)をPS-80本体右側の磁気テープ装置(UNIT 1)にセットし、"S", "Y", "S", "T", "E", "M"とキーを押した後、ENTERキーを押す。そうすると、

```
*? _
```

と表示されるので更に"/", "1", "4", "0", "0", "0"とキーを押して、再びENTERキーを押す。ここまでで、CRT上の表示は次のようになっている。

```
MEMORY SIZE? _
RADIO SHACK LEVEL II BASIC
READY
)SYSTEM
```

```
*? /14000
```

```
SAVE OR LOAD ?
```

但し、ここにおけるアンダーライン\_\_\_は、実際には表示されているものではなく、これは本稿の説明のためにつけ加えたもので、\_\_\_は単にENTERキーを押したことを、XX...Xは"X", "X", ..., "X"とキーを押した後、ENTERキーを押したことを意味するものである(以後同様に書き表す)。

つづいてLOAD, L, 1およびKBREALと入力する。すなわち

```
LOAD, L, 1
FILE NAME : KBREAL
KBREAL
READY
)
```

この時、コンピュータは再び READY状態になる。これでCMT上のプログラム KBREAL はコンピュータのメモリー上にロードされ、使える状態になっている。

(2) 次に

) RUN

と入力する("R", "U", "N"とキーを押した後、ENTER キーを押す)と KBREAL が起動し、

```

***  KB DEBOUNCE & REAL TIME ROUTINE  ***

CURRENT MEMORY SIZE : 65535

* AUTO MEMORY MAP =====
NEW MEMORY SIZE ..... : 65392
KB DEBOUNCE ROUTINE .. : 65393 - 65447 ( 55 BYTES )
REAL TIME ROUTINE .... : 65448 - 65535 ( 88 BYTES )

* CHECK MEMORY MAP =====
NEW MEMORY SIZE ..... : ?
    
```

と表示されプログラムは一時停止する。そして、65000、ブランク、ブランクと入力するとプログラムは再び動きだし、

```

***  KB DEBOUNCE & REAL TIME ROUTINE  ***

CURRENT MEMORY SIZE : 65535

* AUTO MEMORY MAP =====
NEW MEMORY SIZE ..... : 65392
KB DEBOUNCE ROUTINE .. : 65393 - 65447 ( 55 BYTES )
REAL TIME ROUTINE .... : 65448 - 65535 ( 88 BYTES )

* CHECK MEMORY MAP =====
NEW MEMORY SIZE ..... : ? 65000
KB DEBOUNCE LOAD POINT : ? ___
REAL TIME LOAD POINT . : ? ___

* LOADING MACHINE CODE =====
KB DEBOUNCE ROUTINE .. : 65393 - 65447
REAL TIME ROUTINE .... : 65448 - 65535

* RELOCATING =====
KB DEBOUNCE ROUTINE COMPLETE
REAL TIME ROUTINE COMPLETE

READY
)
    
```

と表示されて終了する。

(3) 次に BAPLAS-83 の内、希望するプログラムのロードを行う。例えば 6.3 節において述べ

るプログラム DSSG をロードしたい場合には次のようにする。

```

READY
)<u>SYSTEM

*? /<u>14000

SAVE OR LOAD ?
LOAD, L, 1
FILE NAME : <u>DSSG
KBREAL
DSSG
READY
)
    
```

READY 状態になった後、RUN と入力すると DSSG が起動する。以下の、6.3～6.6 における各プログラムの使用説明では、RUN を入力した後からを記す。

### 6.3 プログラム DSSG

ファイル名：DSSG (Display Seismogram の意)

目的：デジタル強震記象を CRT 上に、アナログ的に波形を、またはデジタル的に数値データそのものを表示する。

実行に必要なメモリーの大きさ：約 4.0 kByte

使用している変数名：A, AD\$, AN, CH%, CM\$, DA%, DR%, DY, HR, J, K, N, PT%, RC, SC, ST, TX, VL, X, XP%, Y\$

プログラムを改造する場合には、これらの変数名は使わないのが無難である。

使用説明：

(1) RUN を入力すると CRT 上に

```

***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)?
    
```

と表示される。UNIT 0 の磁気テープ装置に、強震記録の CMT をセットした後、Y を入力する。

(この場合、省略値は Y となっているので単に ENTER キーを押すだけで、Y を入力したことと同等である)。

(2) コンピュータは強震記録のラベルブロックを読んだ後、

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT,2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.
```

ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ?

と、その強震記録がどこの観測点のものか、記録は記録計の左右どちらの磁気テープ装置で記録されたものか、トリガー時刻はいつか、等の情報を表示し、かつ、遅延が10秒あるので、記録の始まりの時刻はトリガー時刻よりも10秒前である旨、注意を喚起する。最後の表示は、アナログ的に地震波形を表示するのか、それともデジタル的に地震波形データを数値で表示するのか、いずれかの指定を入力待ちの状態であることを示している。アナログ的に表示させたい場合にはAを、デジタルの場合にはDを入力する。省略値はDである。

( 3.1 ) Dと入力した場合には

( 3.1.1 ) さらに

```
ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? D
START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)?
```

と表示して、デジタル表示を始める時刻の指定を入力待ちの状態となる。記録の始まっている時刻(トリガー時刻の10秒前)からの経過時間(単位は秒)で指定する。省略値は0であるから、単にENTERキーを押すと、CMTの最初から表示を始めるし、10と入力するとCMTを10秒分空送りしてから、表示を始める。

( 3.1.2 ) 表示の例を次に示す。

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT,2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.
```

```
ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? D
START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)? 10
12H 34M 55.6S <NS= 1 EW= 3 UD= 0> TC= -17 B# 19
12H 34M 55.6S <NS= -2 EW= 2 UD= -2> TC= -22 B# 19
12H 34M 55.6S <NS= 0 EW= 1 UD= -1> TC= -23 B# 19
12H 34M 55.7S <NS= -1 EW= 0 UD= -1> TC= -25 B# 19
12H 34M 55.7S <NS= -1 EW= 0 UD= -2> TC= -22 B# 19
```

上の例で、最終行は12時34分55.7秒のデータはNS成分が-1, EW成分が0, UD成分が-2,

そして第4チャンネルの時刻信号の値が-22であり、これらは19番目のブロックに書かれていると  
いうことを意味する。なお、この表示で1 digit は  $(200/4096) \text{ cm/s}$  の速度に相当する。

(3.1.3) 記録の終りを検出すると

```
==== END OF SEISMOGRAM ====
READY
)
```

と表示して、プログラムは終了する。

(3.2) (2) においてAを入力した場合には

(3.2.1) さらに

```
ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? A
COMPONENT (N, E OR U)?
```

と、アナログ的に表示する成分の指定待ちの状態となる(1成分しか表示できない)。N, E またはUを入力する。(省略値はUである)次に

```
SELECT D.R. (7-12) ?
```

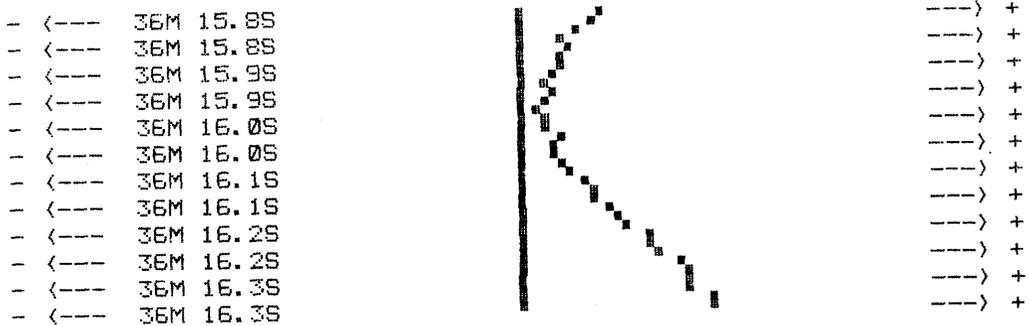
と、D.R. (ダイナミックレンジの意)の指定待ちの状態となる。7以上12以下の整数を指定するが、その意味は、nを指定した時、CRT上に表示されるアナログ波形の振幅をフルスケール当り  $(200/4096) \times 2^n \text{ cm/s}$  にする、ということである。従って大きい値を入力すれば倍率は小さくなる。(省略値は7)。

(3.2.2) (3.1.1)と同じ

(3.2.3) 表示の例を次に示す。

```
***** DSSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
                START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.

ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ? A
COMPONENT (N, E OR U)? N
SELECT D.R. (7-12) ? 7
START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)? 90
```



右方向が正の極性であり、波形が零線とともに表示されている。

( 3. 2. 4 ) ( 3. 1. 3 ) と同じ。

プログラムリスト：

```

10 CLS:PRINT"***** DSSG - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : DISPLAY SEISMOGRAM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM DA%(3,31)
50 GOSUB 1000 :'INIT *** INITIALIZE ***
60 GOSUB 2000 :'LABEL *** READ LABEL ***
70 IF RC<>0 GOTO50
80 GOSUB 7000 :'*** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
90 SC=SC-10 : IF SC<0 THEN SC=SC+60 : AN=AN-1
100 INPUT"ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ";AD#
110 IF AD#="A" THEN INPUT"COMPONENT (N, E OR U)";CM# : DR%=7 : I
NPUT"SELECT D.R. (7-12) ";DR%
120 GOSUB 3000 :'HEAD *** HEADING ***
130 SC=SC+N*32/60-1/60
140 IF SC)=60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO 140
150 IF AD#<"A" THEN 190
160 FOR J=0 TO 3 : PRINT : NEXT J
170 PT%=44 : CH%=2 : IF CM#="N" THEN CH%=0
180 IF CM#="E" THEN CH%=1
190 GOSUB 4000 :'READ *** READ NEXT BLOCK ***
200 IF RC<>0 THEN PRINT"=== END OF SEISMOGRAM ===" : END
210 FOR J=0 TO 31
220 SC=SC+1/60 : IF SC)=59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
230 IF AD#="A" THEN GOSUB 6000 ELSE GOSUB 5000 :'ANADSP/DIGDSP
240 NEXT J
250 GOTO 190
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y#="Y":INPUT"READY (Y OR N)";Y#
1030 IF Y#="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET

```

```

URN : ' *****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)<0) OR (PEEK(X+1)<2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) : ' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 : ' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK
(X+17) AND 15) : ' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE
2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):' SECOND
2090 RETURN : ' *****
3000 '*** SUBROUTINE HEAD ***** HEADING CMT *****
3010 TX=0 : INPUT"START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)":TX
3020 N=TX*15/8 : IF N=0 THEN RETURN ELSE IF N>900 THEN 3010
3030 FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT : RETURN : ' *****
4000 '*** SUBROUTINE READ ***** READ NEXT BLOCK *****
4010 RC=0 : A=USR(4) : IF A AND 2 THEN OUT2,10 : RC=1 : RETURN
4020 FOR J=0 TO 31 : FOR K=0 TO 3
4030 POKE VARPTR(DA%(K,J)) ,PEEK(X+2*K+8*J+1)
4040 POKE VARPTR(DA%(K,J))+1,PEEK(X+2*K+8*J )
4050 DA%(K,J)=DA%(K,J)/16 : NEXT K,J : N=N+1: RETURN : ' *****
5000 '*** SUBROUTINE DIGDSP ***** DISPLAY DIGITALLY *****
5010 PRINT USING"###H " : HR: : PRINT USING"###M " : AN: : PRINT USING
"###.#S " : SC:
5020 PRINT USING"NS=#####" : DA%(0,J) :
5030 PRINT USING" EW=#####" : DA%(1,J) :
5040 PRINT USING" UD=#####" : DA%(2,J) :
5050 PRINT USING" TC=#####" : DA%(3,J) :
5060 PRINT " B#" : N : RETURN : ' *****
6000 '*** SUBROUTINE ANADSP ***** DISPLAY ANALOGOUSLY *****
6010 PT%=PT%+1 : IF PT%=45 THEN PT%=42 : PRINT USING"- <--- ###M
" : AN: : PRINT USING"###.#S" : SC: : PRINT @1018,"---) +";
6020 XP%=DA%(CH%,J)/2+(DR%-7)+64.5
6030 IF XP%>127 THEN XP%=127
6040 IF XP%<0 THEN XP%=0
6050 SET(XP%,PT%) : SET(64,PT%) : RETURN : ' *****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL ***** DISPLAY LABEL INFORMATION *****
7010 PRINT"STATION " : "ST:PRINT"RECORDER " : "VL"(1=LEFT,2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER " : "DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT
7040 RETURN : ' *****

```

実行に要する時間：1秒間分の記録の処理に約40秒を要する。

使用上の注意：このプログラムは、余り実用的とは言えない。特にアナログ的に表示する場合には6.5で述べるPLSGを使う方が良くであろう。むしろ、このプログラムは、最大振幅をもとめるとか、マグニチュードを計算するとか、のプログラムを作る時の土台として、すなわち、これを

もとにして部分的に修正して、望むものを出力する、という使い方のために有用であると考える。

#### 6.4 プログラム PRSG

ファイル名：PRSG (Print Seismogram の意)

目的：デジタル強震記録をCRT上に、アナログ的に波形を、またはデジタル的に数値データそのものを印刷する。

実行に必要なメモリーの大きさ：6.2 kByte

使用している変数名：A, AD\$, AN, CH%, CM\$, DA%, DR%, DY, HR, ID, IE, IP, J, JA, K, L, N, RC, SC, ST, TX, VL, X, Y, Y\$, Z

使用説明：

(1) RUNを入力するとCRT上に

```
***** PRSG - BAPLAS 83 *****  
STRONG MOTION SEISMOGRAM : PRINT SEISMOGRAM  
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT 0 の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットしてYを入力する。(省略値はY)

(2) ラベルブロックを読んだ後

```
***** PRSG - BAPLAS 83 *****  
STRONG MOTION SEISMOGRAM : PRINT SEISMOGRAM  
READY (Y OR N)? Y  
STATION   : 789  
RECORDER  : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)  
TRIGGER   : 321 D 12 H 34 M 56 S  
            START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.  
  
ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ?
```

と、ラベルの内容を表示して、DSSGと同様にアナログ波形を印刷するのか、デジタルで波形データを数値で表示するのか、の指定の入力待ちとなる。(省略値はD)

(3.1) Dと入力した場合には

(3.1.1) DSSGの(3.1.1)と同じ。

(3.1.2) 印刷の例を次に示す。

\*\*\* STRONG MOTION SEISMOGRAM \*\*\*

STATION : 789  
 RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)  
 TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S  
 START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER  
 DYNAMIC RANGE = 12 BIT (+2047 TO -2048 DIGITS)  
 1 DIGIT = 10 VOLT/4096 = 2.441 MILLI-VOLT  
 = 200 (CM/SEC)/4096 = 0.04883 CM/SEC  
 SAMPLING FREQUENCY = 60.00 HZ

M	S	(+) N	- S (-)	(+) E	- W (-)	(+) U	- D (-)	TIME CODE
15	6	19	18	15	16	0	0	-1
15	7	12	12	14	15	0	0	-1
15	8	5	6	14	15	-1	-1	-2
15	9	4	5	14	15	-3	-3	-4
15	10	3	4	14	15	-5	-5	-6
15	11	2	3	13	14	-7	-7	-8
15	12	1	2	13	14	-8	-8	-9
16	0	17	17	14	15	-8	-8	-9
16	1	24	20	16	16	-9	-9	-8
16	2	26	25	15	15	-8	-7	-7
16	3	28	26	15	15	-7	-7	-6
16	4	29	27	15	15	-6	-6	-5
16	5	30	27	15	15	-5	-5	-4
16	6	31	27	15	15	-4	-4	-3
16	7	32	27	15	15	-3	-3	-2
16	8	33	27	15	15	-2	-2	-1
16	9	34	27	15	15	-1	-1	0
16	10	35	27	15	15	0	0	1
16	11	36	27	15	15	0	0	2
16	12	37	27	15	15	0	0	3
16	13	38	27	15	15	0	0	4
16	14	39	27	15	15	0	0	5
16	15	40	27	15	15	0	0	6
16	16	41	27	15	15	0	0	7
16	17	42	27	15	15	0	0	8
16	18	43	27	15	15	0	0	9
16	19	44	27	15	15	0	0	10
16	20	45	27	15	15	0	0	11
16	21	46	27	15	15	0	0	12
16	22	47	27	15	15	0	0	13
16	23	48	27	15	15	0	0	14
16	24	49	27	15	15	0	0	15
16	25	50	27	15	15	0	0	16
16	26	51	27	15	15	0	0	17
16	27	52	27	15	15	0	0	18
16	28	53	27	15	15	0	0	19
16	29	54	27	15	15	0	0	20
16	30	55	27	15	15	0	0	21
16	31	56	27	15	15	0	0	22
16	32	57	27	15	15	0	0	23
16	33	58	27	15	15	0	0	24
16	34	59	27	15	15	0	0	25
16	35	60	27	15	15	0	0	26
16	36	61	27	15	15	0	0	27
16	37	62	27	15	15	0	0	28
16	38	63	27	15	15	0	0	29
16	39	64	27	15	15	0	0	30
16	40	65	27	15	15	0	0	31
16	41	66	27	15	15	0	0	32
16	42	67	27	15	15	0	0	33
16	43	68	27	15	15	0	0	34
16	44	69	27	15	15	0	0	35
16	45	70	27	15	15	0	0	36
16	46	71	27	15	15	0	0	37
16	47	72	27	15	15	0	0	38
16	48	73	27	15	15	0	0	39
16	49	74	27	15	15	0	0	40
16	50	75	27	15	15	0	0	41
16	51	76	27	15	15	0	0	42
16	52	77	27	15	15	0	0	43
16	53	78	27	15	15	0	0	44
16	54	79	27	15	15	0	0	45
16	55	80	27	15	15	0	0	46
16	56	81	27	15	15	0	0	47
16	57	82	27	15	15	0	0	48
16	58	83	27	15	15	0	0	49
16	59	84	27	15	15	0	0	50
16	60	85	27	15	15	0	0	51
16	61	86	27	15	15	0	0	52
16	62	87	27	15	15	0	0	53
16	63	88	27	15	15	0	0	54
16	64	89	27	15	15	0	0	55
16	65	90	27	15	15	0	0	56
16	66	91	27	15	15	0	0	57
16	67	92	27	15	15	0	0	58
16	68	93	27	15	15	0	0	59
16	69	94	27	15	15	0	0	60
16	70	95	27	15	15	0	0	61
16	71	96	27	15	15	0	0	62
16	72	97	27	15	15	0	0	63
16	73	98	27	15	15	0	0	64
16	74	99	27	15	15	0	0	65
16	75	100	27	15	15	0	0	66
16	76	101	27	15	15	0	0	67
16	77	102	27	15	15	0	0	68
16	78	103	27	15	15	0	0	69
16	79	104	27	15	15	0	0	70
16	80	105	27	15	15	0	0	71
16	81	106	27	15	15	0	0	72
16	82	107	27	15	15	0	0	73
16	83	108	27	15	15	0	0	74
16	84	109	27	15	15	0	0	75
16	85	110	27	15	15	0	0	76
16	86	111	27	15	15	0	0	77
16	87	112	27	15	15	0	0	78
16	88	113	27	15	15	0	0	79
16	89	114	27	15	15	0	0	80
16	90	115	27	15	15	0	0	81
16	91	116	27	15	15	0	0	82
16	92	117	27	15	15	0	0	83
16	93	118	27	15	15	0	0	84
16	94	119	27	15	15	0	0	85
16	95	120	27	15	15	0	0	86
16	96	121	27	15	15	0	0	87
16	97	122	27	15	15	0	0	88
16	98	123	27	15	15	0	0	89
16	99	124	27	15	15	0	0	90
16	100	125	27	15	15	0	0	91

(3.1.3) DSSGの(3.1.3)と同じ。

(3.2) Aと入力した場合には

(3.2.1) DSSGの(3.2.1)とほぼ同じ。異なるのはダイナミックレンジの指定が8以上となる点である(省略値は8である)。

(3.2.2) DSSGの(3.1.1)と同じ。

(3.2.3) 印刷の例を次に示す。



プログラムリスト:

```

10 CLS:PRINT"***** PRSG - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : PRINT SEISMOGRAM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM DA%(3,31),ID(3,95)
50 GOSUB 1000 :' INIT *** INITIALIZE ***
60 GOSUB 2000 :' LABEL *** READ LABEL ***
70 IF RC()=0 GOTO50
80 GOSUB 7000 :' *** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
90 INPUT"ANALOG OR DIGITAL (A OR D) ";AD$
100 IF AD$="A" THEN CM$="U" :INPUT"COMPONENT (N, E OR U)";CM$ :
DR%=8 : INPUT"SELECT D.R. (8-12) ";DR%
110 GOSUB 3000 :' HEAD *** HEADING ***
120 GOSUB 10000 :' PRTLBL *** PRINT LABEL INFORMATION ***
130 LPRINT CHR$(27)CHR$(65)
140 IF AD$="A" THEN 150 ELSE LPRINT"M S      (+) N - S (-)
      (+) E - W (-)      (+) U - D (-)      TIME CODE" : GOTO 190
150 LPRINT"M S      (-) (<---      COMPONENT : ";CM$;" , B
IT :";DR%;"-" ;DR%-7;"      ---) (+)";LPRINT"      " ;"-100*
2+(DR%-8);STRING$(28,32);"0";STRING$(27,32);100*2+(DR%-8)
160 CH%=2 : IF CM$="N" THEN CH%=0
170 IF CM$="E" THEN CH%=1
180 DIM IP(124)
190 SC=SC+N*32/60-1/10-10 : IF AD$="A" THEN SC=SC+1/20
200 IF SC<0 THEN SC=SC+60: AN=AN-1
210 IF SC>=60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO 210
220 LPRINT CHR$(29)CHR$(27)CHR$(56)
230 FOR JA=0 TO 64 STEP 32 : GOSUB 4000 :' *** READ NEXT BLOCK **
240 IF RC()=0 THEN :LPRINT CHR$(30)CHR$(27)CHR$(54)CHR$(27)CHR$(6
6) : LPRINT"=== END OF SEISMOGRAM ===": END
250 FOR K=0TO31 : FOR J=0TO3
260 ID(J,JA+K)=DA%(J,K) : NEXT J,K,JA
270 IF AD$="A" THEN GOSUB 8000 ELSE GOSUB 9000
280 GOTO 230
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N)";Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET
URN :' *****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)()=0) OR (PEEK(X+1)()=2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) :' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 :' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK
(X+17) AND 15) :' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE

```

```

2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):'SECOND
2090 RETURN :'*****
3000 '*** SUBROUTINE HEAD **** HEADING CMT *****
3010 TX=0 : INPUT"START TIME (AFTER START TIME OF RECORD)";TX
3020 N=TX*15/8 : IF N=0 THEN RETURN ELSE IF N)900 THEN 3010
3030 FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT : RETURN :'*****
4000 '*** SUBROUTINE READ ***** READ NEXT BLOCK *****
4010 RC=0 : A=USR(4) : IF A AND 2 THEN OUT2,10 : RC=1 : RETURN
4020 FOR J=0 TO 31 : FOR K=0 TO 3
4030 POKE VARPTR(DA%(K,J)) ,PEEK(X+2*K+8*J+1)
4040 POKE VARPTR(DA%(K,J))+1,PEEK(X+2*K+8*J )
4050 DA%(K,J)=DA%(K,J)/16 : NEXT K,J : N=N+1: RETURN :'*****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL ***** DISPLAY LABEL INFORMATION *****
7010 PRINT"STATION  ":"ST:PRINT"RECORDER  ":"VL"(1=LEFT,2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER  ":"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT
7040 RETURN :'*****
8000 '*** SUBROUTINE ANAPRT ***** ANALOGOUSLY PRINT *****
8010 FOR JA=0 TO 93 STEP 3
8020 SC=SC+0.05 : IF SC)=59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
8030 LPRINTUSING"### ";AN; : LPRINTUSING"###.#";SC;
8040 FOR K=0 TO 124 : IP(K)=128 : NEXT K : IP(62)=234 : IP(112)
)=234 : IP(12)=234
8050 FOR K=0 TO 2:IE=ID(CH%,JA+K)/2+(DR%-8)+125.5
8060 IF IE<0 THEN IE=0
8070 IF IE)249 THEN IE=249
8080 Y=INT(IE/2) : Z=IE/2-Y
8090 IF Z=0 THEN IP(Y)=IP(Y) OR 4+K ELSE IP(Y)=IP(Y) OR 2*4+K
8100 NEXT K
8110 FOR K=0 TO 124 : IF IP(K) AND 32 THEN IP(K)=IP(K) OR 64
8120 IF K=124 THEN LPRINTCHR$(IP(K)) ELSE LPRINTCHR$(IP(K));
8130 NEXT K,JA : RETURN :'*****
9000 '*** SUBROUTINE DIGPRT ***** DIGITAL PRINT *****
9010 FOR JA=0 TO 90 STEP 6
9020 SC=SC+0.1 : IF SC)=59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
9030 LPRINTUSING"### ";AN; : LPRINTUSING"###.# ";SC;:LPRINT"=";
9040 FOR K=0 TO 3 : FOR L=0 TO 5
9050 LPRINTUSING"#####";ID(K,JA+L);
9060 NEXT L : IF K<>3 THEN LPRINT"*";
9070 NEXT K,JA
9080 RETURN :'*****
10000 '*** SUBROUTINE PRTLBL ***** PRINT LABEL INFORMATION *****
10010 OUT248,0: LPRINT CHR$(31)CHR$(27)CHR$(54)CHR$(27)CHR$(66)
10020 LPRINT" ":LPRINT" ":LPRINT"*** STRONG MOTION SEISMOGRAM ***"
:LPRINT" ":LPRINT CHR$(30):LPRINT"STATION  ":";ST
10030 LPRINT"RECORDER  ":";VL;"(1=LEFT, 2=RIGHT)"
10040 LPRINT"TRIGGER  ":"DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
10050 LPRINT"          START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER"
10060 LPRINT"DYNAMIC RANGE = 12 BIT (+2047 TO -2048 DIGITS)"
10070 LPRINT"1 DIGIT = 10 VOLT/4096 = 2.441 MILLI-VOLT
10080 LPRINT"          = 200 (CM/SEC)/4096 = 0.04883 CM/SEC"
10090 LPRINT"SAMPLING FREQUENCY = 60.00 HZ":LPRINT" ":LPRINT" "
10100 RETURN :'*****

```

実行に要する時間：1秒間分の記録の処理に、デジタルで約60秒、アナログで約270秒を要する。

使用上の注意：DSSGにおける使用上の注意と同様。

### 6.5 プログラムPLSG

ファイル名：PLSG (Plot Seismogram の意)

目的：強震記録を積分または微分したのち、更にバタワース・フィルタをかけて、XYプロットで作画する。6種類の作画が可能で、それらは(i)時間-N, E, U 3成分, (ii)時間-N, E 2成分, (iii)時間-U 1成分, (iv)時間-水平動合成振幅, 3成分合成振幅, (v)水平面内の軌跡, (vi)鉛直面内の軌跡, である。

実行に必要なメモリーの大きさ：16.8 kByte

使用している変数名：A, AA, AN, AS, CD, DA%, DB, DY, ES, FS, F1, F2, F3, F4, F5, F6, G1, G2, G3, G4, G5, G6, HL\$, HR, I, J, JA, JX, K, MO, M1, N, NP, NQ, NT, NU, N2, N3, N6, PI, RC, RN, SA, SC, ST, TH, TS, TX, TY, VL, WC, W1, W2, X, XB, XF, XS, XX, X1, X2, Y\$, YB, YP\$, YY, Y1, Y2

使用説明：

(1) RUNを入力するとCRT上に

```
***** PLSG - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : PLOT SEISMOGRAM
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT0の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットしてYを入力する。(省略値はY)

(2) ラベルブロックを読んだ後

```
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT, 2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
          START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.
```

```
* * NO : X - Y * * * * *
*   1 : T - N, E, U *
*   2 : T - N, E *
*   3 : T - U *
*   4 : T - SQR( N + 2 + E + 2 ) & *
*           SQR( N + 2 + E + 2 + U + 2 ) *
*   5 : E - N *
*   6 : N (THETA) E - U *
* * NO * * * * *
SELECT X-Y (1-6) ?
```

と、ラベルの内容を表示してNo.1～6の内、いずれの処理を行うのか、の指定の入力待ちとなる。  
 処理No.1はX軸を時間軸に、Y軸をN, E, U 3成分の振幅軸にとる、という意味である。また処理No.6はX軸を北から東まわりに THETA度の方向、Y軸を上方向にとった鉛直面内での軌跡を作画する、という意味である。1～6の内のいずれかで指定する(省略値は1)。

(3) いずれを入力しても、次に

```

* * NO : OUTPUT * * * * *
*   0 : VELOCITY (THROUGH) *
*   1 : DISPLACEMENT (INTEGRATION) *
*   2 : ACCELERATION (DIFFERENTIAL) *
* * * * *
SELECT OUTPUT (0-2)?
    
```

と、速度波形を出力するか、積分して変位波形を出力するか、あるいは微分して加速度波形を出力するか、の指定の入力待ちとなる。0～2のいずれかで指定する(省略値は0)。

(4) 次には

```

* * NO : FILTER * * * * *
*   0 : NO FILTER *
*   1 : LOW PASS FILTER *
*   2 : HIGH PASS FILTER *
*   3 : BAND PASS FILTER *
* * * * *
SELECT FILTER (0-3) ?
    
```

と、出力に際して用いるフィルタの種類指定待ちとなる。0～3で指定する(省略値は0)。

0を入力した場合は(6)へ進む。1～3を入力した場合は(5)へ進む。

(5)

(5.1) (4)で1(Low Pass Filter)を指定した場合には

(5.1.1)まず

```

SELECT FILTER (0-3) ? 1
*** LOW PASS FILTER ***
    
```

と表示し、次にフィルタの設計に入る。

(5.1.2)最初に

HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ?

に対して、フィルタの通過帯域はDCから何 Hz までにするか、を指定する。次に、

MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ?

に対して、その通過帯域における利得は何%以上とするか、を指定する。阻止帯域についても同様に指定する。

```
SELECT FILTER (0-3) ? 1
*** LOW PASS FILTER ***
HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 10
MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90
LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 20
MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5
```

上はDCから10 Hz までを通過帯域とし、そこでの利得を90%以上に、20 Hz 以上を阻止帯域とし、そこでの利得は5%以下に設定した場合の例である。

(5.1.3) 次の

CHECK ABOVE, O.K. (Y OR N)?

に対して、指定に誤りがなければYを、誤りがあって指定のやりなおしをしたい時はNを入力する。Nを入力すると(5.1.2)にもどる。(省略値はY)

(5.1.4) 計算機は上で指定した特性を満すフィルタの設計を行う。フィルタができあがると

```
*** LOW PASS FILTER OF ORDER 4 HAS DESIGNED ***
```

と表示して、上の例は4次のフィルタができ上がったことを示している。フィルタの特性が急峻すぎる場合には、例えば

```
*** LOW PASS FILTER ***
HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 10
MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 99
LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 12
MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 1
CHECK ABOVE, O.K. (Y OR N)? Y
TOO SHARP LOW PASS FILTER N= 29
=== TRY AGAIN ===
```

と表示して、つくれなかったことを知らせてくる。上は、指定した特性を満すためには29次ものフィルタとなってしまつてつくれなかった例である。22次以内ならつくるプログラムになっているので、ゆるやかな特性に指定しなおすため、(5.1.2)にもどる。22次以内なら(6)にすすむ。

(5.2) (4) で2 (HIGH PASS FILTER) を指定した場合には

(5.2.1) まず

```
SELECT FILTER (0-3) ? 2
*** HIGH PASS FILTER ***
```

と表示し、次にフィルタの設計に入る。

( 5.2.2 )

HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 1

に対して、フィルタの阻止帯域はDCから何 Hz までにするか、を指定する。次に

MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5

に対して、その阻止帯域における利得は何%以下とするか、を指定する。通過帯域についても同様に指定する。

```

SELECT FILTER (0-3) ? 2
*** HIGH PASS FILTER ***
HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 1
MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5
LOWEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 2
MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90
    
```

上はDCから1 Hz までを阻止帯域とし、そこでの利得を5%以下に、2 Hz 以上を通過帯域とし、そこでの利得は90%以上に設定した場合の例である。

( 5.2.3 ) ( 5.1.3 ) と同じ。

( 5.2.4 ) ( 5.1.4 ) と同じ。急峻すぎる場合は ( 5.2.2 ) にもどる。22次以内なら (6) に進む。

( 5.3 ) (4) で3 (BAND PASS FILTER) を指定した場合には

( 5.3.1 ) ます

```

SELECT FILTER (0-3) ? 3
*** BAND PASS FILTER ***
--- HIGH PASS PART ---
    
```

と表示し、次にフィルタの設計に入る。

( 5.3.2 ) このプログラムは、帯域フィルタは高域フィルタと低域フィルタの縦続接続でつくられている。ほぼ ( 5.1.2 ) , ( 5.1.3 ) , ( 5.2.2 ) , ( 5.2.3 ) の順に入力してゆく。

```

* * * * *
SELECT FILTER (0-3) ? 3
*** BAND PASS FILTER ***
--- HIGH PASS PART ---
HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 1
MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5
LOWEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 2
MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90
CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ? Y
--- HIGH PASS PART OF ORDER 6 HAS DESIGNED ---
--- LOW PASS PART ---
    
```

```
HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ? 10
MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ? 90
LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ? 20
MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ? 5
CHECK ABOVE, O.K. (Y OR N)? Y
--- LOW PASS PART OF ORDER 4 HAS DESIGNED ---
*** BAND PASS FILTER HAS DESIGNED ***
```

上の例は高域フィルタ（阻止帯域DC～1 Hz，利得5%以下，通過帯域2 Hz以上，利得90%以上）と低域フィルタ（通過帯域DC～10 Hz，利得90%以上，阻止帯域20 Hz以上，利得5%以下）とを縦続接続した例で，おのおの6次，4次のフィルタがつくられている。

(6) (3)において0, 1, 2を入力した場合に応じて，それぞれ

\* VELOCITY \*

または

\* DISPLACEMENT \*

または

\* ACCELERATION \*

と表示して，速度比例波形，変位比例波形，または加速度比例波形を出力する旨を伝える。

(7)

(7.1) (2)において1～4を入力した場合には

(7.1.1)さらに

TIME SCALE (MM/MIN) ?

と，時間軸のスケールの指定の入力待ちとなる。mm/minを単位として入力する（省略値は360）。

(7.1.2)次に，(3)において0, 1, 2を入力した場合に応じてそれぞれ

AMPLITUDE SCALE ( (CM/S)/CM ) ?

または

AMPLITUDE SCALE ( (CM)/CM ) ?

または

AMPLITUDE SCALE ( (GAL)/CM ) ?

と，振幅軸のスケールの入力待ちとなるので (cm/s)/cm, (cm)/cm, または (Gal)/cm を単位として入力する。これは作画用紙上の1cmが何cm/s, 何cm, または何Galに相当するかを示すものである。

(7.1.3)次に

START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)?

と，記録開始後，(CMTの先頭の記録の時刻)から，何秒後から作画を開始するか，の入力待ちとなる。X-Yプロッタを作画準備完了状態にセットしたのち，希望する数値(秒)を入力する。

省略値は0である。(2)において、1～4を入力した時の作画例を図2.6.4～2.6.7に示す。

(7.1.4) 作画用紙の右端まで達すると終了する。その前でもCMTが終りになればその時点で

```

TIME SCALE (MM/MIN) ? 360
AMPLITUDE SCALE ( (CM/S)/CM ) ? 1
START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)? 480
=== END OF SEISMOGRAM ===
READY
)
    
```

と表示して終了する。

(7.2) (2) において5を入力した場合には

(7.2.1) (7.1.2) と同じ。

(7.2.2) (7.1.3) と同じ。

(7.2.3) 次に

```

AMPLITUDE SCALE ( (CM/S)/CM ) ? 1
START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)? 15
STOP TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC) ?         
    
```

と、記録開始後、何秒後までを作画するのかの指定待ちの状態となる。希望する値を入力する。

(7.2.4) 作画を開始をする。CRTの右下に、その時点で作画中の時刻が表示される。(7.2.3) で指定した時刻まで作画して、終了する。作画例を図2.6.8に示す。

(7.3) (2) において6を入力した場合には

(7.3.1) さらに

```

THETA (DEG) ?
    
```

と、角度 THETA の指定待ちとなる。これは、これから鉛直断面上の軌跡を作画しようとしているが、その鉛直断面の走向の角度を指定するもので、北から東回りに度単位で測った値で指定する。

(7.3.2) (7.1.2) と同じ。

(7.3.3) (7.1.3) と同じ。

(7.3.4) (7.2.3) と同じ。

(7.3.5) (7.2.4) と同じ。作図例を図2.6.9に示す。

プログラムリスト：

```

10 CLS:PRINT"***** PLSG - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : PLOT SEISMOGRAM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM DA%(3,31),XB(4),YB(4),DB(2,31)
50 GOSUB 1000 :' INIT *** INITIALIZE ***
60 GOSUB 2000 :' LABEL *** READ LABEL ***
70 IF RC<>0 GOTOS0
80 GOSUB 7000 :' *** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
    
```



```

510 IF NP>4 THEN TY=TX+5 : INPUT"STOP TIME AFTER START TIME OF R
ECORD (SEC) " ;TY
520 IF NP>4 AND TY<TX THEN 510 ELSE TY=TY-TX
530 GOSUB 12000 : 'FRAME *** PLOT FRAME ***
540 GOSUB 13000 : 'PLTLBL *** PLOT LABEL INFORMATION ETC. ***
550 GOSUB 14000 : 'PLTCMP *** PLOT COMPONENTS ***
560 FOR K=0 TO 4:XB(K)=0:NEXT K : TH=TH*3.141593/180
570 YB(0)=2300-NP*200 : YB(1)=1900-NP*500 : YB(2)=350+350*NP
580 N2=N2+N6+1 : IF NP=4 THEN YB(0)=1400 : YB(1)=400
590 YB(3)=300 : YB(4)=2500 : N=-1 : AS=20000/AS/4096 : NT=0
600 IF NP=3 THEN M0=2 : M1=2 ELSE M0=0 : IF NP=2 OR NP=5 THEN
M1=1 ELSE M1=2
610 GOSUB 4000 : 'READ *** READ NEXT BLOCK ***
620 IF RC<>0 THEN OUT2,10 : LPRINT"H" : OUT248,0 : PRINT"=== END
OF SEISMOGRAM ===" : END
630 FOR K=0 TO 31 : FOR J=M0 TO M1 : DB(J,K)=DA%(J,K) :NEXT J,K
640 IF NQ<>0 OR NU<>0 THEN GOSUB 24000 : '*** FILTERING ***
650 GOSUB 11000 : 'PLTSMG *** PLOT SEISMOGRAM ***
660 IF RC<>0 THEN OUT2,10:LPRINT"H":OUT248,0:END ELSE GOTO 610
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N)";Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET
URN : '*****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)<>0) OR (PEEK(X+1)<>2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) : ' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 : ' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK
(X+17) AND 15) : ' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE
2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):' SECOND
2090 RETURN : '*****
3000 '*** SUBROUTINE HEAD ***** HEADING CMT *****
3010 TX=0:INPUT"START TIME AFTER START TIME OF RECORD (SEC)";TX
3020 N=TX*15/8 : IF N=0 THEN RETURN ELSE IF N)900 THEN 3010
3030 FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT : RETURN : '*****
4000 '*** SUBROUTINE READ ***** READ NEXT BLOCK *****
4010 RC=0 : A=USR(4) : IF A AND 2 THEN OUT2,10 : RC=1 : RETURN
4020 FOR J=0 TO 31 : FOR K=0 TO 3
4030 POKE VARPTR(DA%(K,J)) ,PEEK(X+2*K+8*J+1)
4040 POKE VARPTR(DA%(K,J))+1,PEEK(X+2*K+8*J )
4050 DA%(K,J)=DA%(K,J)/16 : NEXT K,J : N=N+1: RETURN : '*****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL ***** DISPLAY LABEL INFORMATION *****
7010 PRINT"STATION : "ST:PRINT"RECORDER : "VL"(1=LEFT,2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER : "DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT

```

```

7040 RETURN : '*****
11000 'SUBROUTINE PLTSMG ***** PLOT SEISMOGRSM *****
11010 RC=0 : FOR J=0 TO 4
11020 IF (NP>4 AND J)0) OR ((NP=2 OR NP=4) AND J=2) OR (NP=3 AND
J(2) THEN 11380 ELSE XS=N*TS*32/360
11030 IF INT(XS+0.5)>3600 THEN RC=1 : RETURN
11040 FOR K=0 TO 31
11050 IF NP>4 THEN 11270 : '
===== NP=1, 2, 3, 4 =====
----- TIME MARK -----
11060 IF J>2 THEN YY=INT(DA%(3,K)/5+0.5)+2200*J-6300 ELSE 11120
11070 IF J=3 AND YY>400 THEN YY=400
11080 IF J=3 AND YY<200 THEN YY=200
11090 IF J=4 AND YY>2600 THEN YY=2600
11100 IF J=4 AND YY<2400 THEN YY=2400
11110 GOTO 11210 : '
----- TIME MARK END -----
----- SEISMOGRAM -----
11120 IF NP=4 AND J=0 THEN YY=INT( SQR( DB(0,K)+2 + DB(1,K)+2 )
* AS + 0.5 )
11130 IF NP=4 AND J=1 THEN YY=INT( SQR( DB(0,K)+2 + DB(1,K)+2 +
DB(2,K)+2 ) * AS + 0.5 )
11140 IF NP<>4 THEN YY=INT( DB(J,K)*AS+0.5 )
11150 IF NP=1 THEN YY=YY+2100-J*700
11160 IF NP=2 THEN YY=YY+1900-J*1000
11170 IF NP=3 THEN YY=YY+1400
11180 IF NP=4 THEN YY=YY+1400-J*1000
11190 IF YY>2600 THEN YY=2600
11200 IF YY<200 THEN YY=200 : '
----- SEISMOGRAM END -----
===== NP=1, 2, 3, 4 END =====
11210 IF K=0 THEN LPRINT"M"XB(J)", "YB(J)
11220 XX=INT(XS) : IF XX>3600 THEN 11370
11230 LPRINT"D"XX", "YY
11240 IF K=31 THEN XB(J)=XX : YB(J)=YY
11250 XS=XS+TS/360
11260 GOTO11370 : '
===== NP=5, 6 =====
11270 IF NP=5 THEN XX=INT(DB(1,K)*AS+0.5)
ELSE XX= INT((DB(0,K)*COS(TH)+DB(1,K)*SIN(TH))*AS+0.5)
11280 IF NP=5 THEN YY=INT(DB(0,K)*AS+0.5)
ELSE YY=INT(DB(2,K)*AS+0.5)
11290 XX=XX+1300 : YY=YY+1300
11300 IF XX>2600 THEN XX=2600
11310 IF XX<0 THEN XX=0
11320 IF YY>2600 THEN YY=2600
11330 IF YY<0 THEN YY=0
11340 IF N=0 THEN LPRINT"M"XX", "YY : N=1 ELSE LPRINT"D"XX", "YY
11350 PRINT@1000, AN; "M"; : PRINTUSING"###. ##"; SC; : PRINT"S"; :
SC=SC+1/60 : IF SC>59.99 THEN SC=0 : AN=AN+1
11360 TY=TY-1/60 : IF TY<0 THEN RC=1 : RETURN : '
===== NP=5, 6 END =====

```

```

11370 NEXT K : LPRINT"R"0", "0
11380 NEXT J : RETURN : '*****
12000 '*** SUBROUTINE FRAME ***** PLOT FRAME *****
12010 OUT248,1 : LPRINT"H": X1=0:Y1=200:X2=3600:Y2=2600
12020 IF NP>4 THEN Y1=0 : X2=2600
12030 LPRINT"M"X1", "Y1
12040 FOR K=X1 TO X2 STEP 100
12050 LPRINT"D"K", "Y1", "K", "Y1+30", "K", "Y1 : NEXT K
12060 FOR K=Y1 TO Y2 STEP 100
12070 LPRINT"D"X2", "K", "X2-30", "K", "X2", "K : NEXT K
12080 FOR K=X2 TO X1 STEP -100
12090 LPRINT"D"K", "Y2", "K", "Y2-30", "K", "Y2 : NEXT K
12100 FOR K=Y2 TO Y1 STEP -100
12110 LPRINT"D"X1", "K", "X1+30", "K", "X1", "K : NEXT K
12120 IF NP>4 THEN LPRINT"M"0", "1300 : LPRINT"L"1 : LPRINT"B"26
: LPRINT"D"2600", "1300 : LPRINT"M"1300", "0 : LPRINT"D"1300", "260
0 : LPRINT"L"0
12130 RETURN : '*****
13000 'SUBROUTINE PLTLBL ***** PLOT LABEL INFORMATION *****
13010 IFNP>4 THEN LPRINT"S"6 : LPRINT"M"2725", "2425
ELSE LPRINT"S"4 : LPRINT"M"25", "130
13020 LPRINT"STATION:"ST
13030 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "2325 ELSE LPRINT"P "
13040 LPRINT"PTRIG. : "DY"D"HR"H"
13050 IF NP>4 THEN LPRINT"M"3019", "2225
13060 LPRINT"P"AN"M"SC"S "
13070 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "2125 ELSE LPRINT"P "
13080 SC=SC+N*32/60-10 : IF SC<0 THEN SC=SC+60 : AN=AN-1
13090 IF SC>60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO13090
13100 LPRINT"PLOT STARTS ON":IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "2025
13110 SA=INT(SC*10+0.5)/10 : LPRINT"P"AN"M"SA"S"
13120 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "1925:LPRINT"P"STOP ON":
LPRINT"M"2725", "1825:SA=SC+TY:AM=AN
13130 IF NP>4 AND SA>60 THEN SA=SA-60 : AM=AM+1 : GOTO 13130
13140 IF NP>4 THEN LPRINT"P"AM"M"INT(SA*10+0.5)/10"S"
13150 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "1725 : GOTO 13160 ELSE LPRIN
T"M"25", "70 : LPRINT"PTIME SCALE:"TS"mm/min "
13160 LPRINT"PAMP. SCALE:":IFNP>4THEN LPRINT"M"2725", "1625
13170 IF NU=0 THEN LPRINT"P"AS"(cm/sec)/cm" ELSE IF NU=1 THEN
LPRINT"P"AS"(cm)/cm" ELSE LPRINT"P"AS"(Gal)/cm"
13180 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "625 ELSE LPRINT"M"25", "10
13190 IF NQ=0 THEN LPRINT"P"NO FILTER" : GOTO13300
13200 IF NQ=1 THEN LPRINT"P"LOW PASS FILTER:"
ELSE LPRINT"P"HIGH PASS FILTER:"
13210 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "525
13220 LPRINT"S"4 :IF NQ=1 OR NQ=2 THEN LPRINT"P"G1"% AT"F1"Hz, "
ELSE LPRINT"P"G5"% AT"F5"Hz, "
13230 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "425
13240 IF NQ=1 OR NQ=2 THEN LPRINT"P"G2"% AT"F2"Hz " : GOTO13300
ELSE LPRINT"P"G6"% AT"F6"Hz "
13250 IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "325 ELSE LPRINT"P; "

```

```

13260 IF NP>4 THEN LPRINT"S"6
13270 LPRINT"PLOW PASS FILTER:" : IF NP>4 THEN LPRINT"M"2725", "225
13280 LPRINT"S"4 : LPRINT"P"G1"% AT"F1"Hz, " : IF NP>4 THEN
LPRINT"M"2725", "125
13290 LPRINT"P"G2"% AT"F2"Hz"
13300 LPRINT"S"6 : RETURN : '*****
14000 'SUBROUTINE PLTCMP ***** PLOT COMPONENTS *****
14010 IF NP<5 THEN 14050 ELSE LPRINT"M"2770", "1360 : '
===== NP=5, 6 =====
14020 LPRINT"D"2800", "1400", "2830", "1360", "2800", "1400", "2800", "
800 : LPRINT"M"2700", "900 : LPRINT"D"3550", "900", "3510", "930", "3
550", "900", "3510", "870 : LPRINT"M"2825", "1200
14030 IF NP=5 THEN LPRINT"PN" ELSE LPRINT"PU"
14040 IF NP=5 THEN LPRINT"M"3400", "925 : LPRINT"PE" : GOTO 14130
ELSE LPRINT"M"2900", "925 : LPRINT"PN("TH"deg)E" : GOTO 14130
14050 LPRINT"M"25", "2510:LPRINT"Ptime mark" : '
===== NP=1 =====
14060 IF NP=1 THEN LPRINT"M"25", "2125:LPRINT"PN":LPRINT"M"25", "2
025:LPRINT"PS":LPRINT"M"25", "1425:LPRINT"PE":LPRINT"M"25", "1325:
LPRINT"PW":LPRINT"M"25", "725:LPRINT"PU":LPRINT"M"25", "625:LPRINT
"PD": GOTO 14120
14070 '== NP=2 =====
14080 IF NP=2 THEN LPRINT"M"25", "1925:LPRINT"PN":LPRINT"M"25", "1
825:LPRINT"PS":LPRINT"M"25", "925:LPRINT"PE":LPRINT"M"25", "825:LP
RINT"PW": GOTO 14120 : '
===== NP=3 =====
14090 IF NP=3 THEN LPRINT"M"25", "1425:LPRINT"PU":LPRINT"M"25", "1
325:LPRINT"PD": GOTO 14120 : '
===== NP=4 =====
14100 LPRINT"M"25", "1325: LPRINT"P(N+E)": LPRINT"M"25", "325:LPRI
NT"P(N+E+U)" : LPRINT"S"2 : LPRINT"M"111", "1353 : LPRINT"P2": LP
RINT"M"209", "1353 : LPRINT"P2":LPRINT"M"250", "1353:LPRINT"P1/2"
14110 LPRINT"M"111", "353 : LPRINT"P2" : LPRINT"M"209", "353 : LPR
INT"P2" : LPRINT"M"307", "353 : LPRINT"P2" : LPRINT"M"348", "353 :
LPRINT"P1/2" : LPRINT"S"6:LPRINT"M"0", "1400:LPRINT"D"3600", "1400
:LPRINT"M"0", "400:LPRINT"D"3600", "400
14120 LPRINT"M"25", "240:LPRINT"Ptime mark"
14130 LPRINT"H" : RETURN : '*****
19000 '*** SUBROUTINE INPUT1 *****
19010 IF NQ=3 THEN PRINT"--- HIGH PASS PART ---"
19020 INPUT"HIGHEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ":F1
19030 IF F1<=0 OR F1>20 THEN 19020
19040 INPUT"MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ":G1
19050 IF G1<=0 OR G1>80 THEN 19040
19060 INPUT"LOWEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ":F2
19070 IF F2<=F1 OR F2>=30 THEN 19060
19080 INPUT"MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ":G2
19090 IF G2<=G1 OR G2<20 OR G2>=100 THEN 19080
19100 YP$="Y" : INPUT"CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N)":YP$
19110 IF YP$(">"Y" THEN 19010 ELSE RETURN : '*****
20000 '*** SUBROUTINE INPUT2 *****
20010 IF NQ=3 THEN PRINT"--- LOW PASS PART ---"

```

```

20020 INPUT"HIGHEST PASS BAND FREQUENCY (HZ) ";F3
20030 IF F3<=0 OR F3>20 THEN 20020
20040 INPUT"MINIMUM PASS BAND GAIN (%) ";G3
20050 IF G3<=20 OR G1)=100 THEN 20040
20060 INPUT"LOWEST STOP BAND FREQUENCY (HZ) ";F4
20070 IF F4<=F3 OR F4)=30 THEN 20060
20080 INPUT"MAXIMUM STOP BAND GAIN (%) ";G4
20090 IF G3<=G4 OR G4<=0 OR G4)=80 THEN 20080
20100 YP$="Y" : INPUT"CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N)";YP$
20110 IF YP$<>"Y" THEN 20010 ELSE RETURN : '*****
21000 '*** SUBROUTINE DESIGN FILTER *****
21010 IF NQ=1 OR (NQ=3 AND N6<>0) THEN F1=F3:F2=F4:G1=G3:G2=G4
21020 RC=0 : PI=3.141593 : ES=SQR((100/G1)+2-1) : AA=100/G2
21030 F1=F1/FS : W1=TAN(PI*F1) : F2=F2/FS : W2=TAN(PI*F2)
21040 RN=LOG(SQR(AA+2-1)/ES)/LOG(W2/W1)
21050 IF RN>=0 THEN HL$="LOW" : N=INT(RN)+1 : WC=W1*ES+(-1/N)
      ELSE HL$="HIGH" : N=-INT(RN) : WC=W1*ES+(1/N)
21060 IF N>22 THEN PRINT"TOO SHARP ";HL$;" PASS FILTER N=";N :
      PRINT" === TRY AGAIN ===" : RC=1 : RETURN
21070 N2=N/2 : IF N2=0 THEN 21130
21080 FORI=N6+1 TO N6+N2:A=WC+2+1+2*WC*SIN(PI*(2*(I-N6)-1)/2/N)
21090 IF RN>=0 THEN CD(1,I)=WC+2/A : CD(2,I)=2*CD(1,I)
      ELSE CD(1,I)=1/A : CD(2,I)=-2*CD(1,I)
21100 CD(3,I)=CD(1,I) : CD(4,I)=2*(1-WC+2)/A
21110 CD(5,I)=(-WC+2-1+2*WC*SIN(PI*(2*I-1)/2/N))/A : NEXT I
21120 N3=N2+2 : IF N3=N THEN 21150
21130 N2=N2+1:IF RN>=0 THEN CD(1,N2+N6)=WC/(1+WC):CD(2,N2+N6)=
      CD(1,N2+N6) ELSE CD(1,N2+N6)=1/(1+WC):CD(2,N2+N6)=-CD(1,N2+N6)
21140 CD(3,N2+N6)=0 : CD(4,N2+N6)=(1-WC)/(1+WC) : CD(5,N2+N6)=0
21150 F1=F1*FS : F2=F2*FS : RETURN : '*****
22000 '*** SUBROUTINE INTEGRATER *****
22010 CD(1,0)=0.00832100 : CD(2,0)=0 : CD(3,0)=-CD(1,0)
22020 CD(4,0)=1.99704 : CD(5,0)=-0.997042 : RETURN:'*****
23000 '*** SUBROUTINE DIFFERENTIATER *****
23010 CD(1,0)=55.8184 : CD(2,0)=0 : CD(3,0)=-CD(1,0)
23020 CD(4,0)=-0.620204 : CD(5,0)=-0.240408 : RETURN:'*****
24000 '*** SUBROUTINE FILTERING ***** ASSUMPTION *****
24010 FOR JX= 0 TO 31 : '* ALL INPUT BEFORE START = FIRST DATA
24020 FOR J= M0 TO M1 : '* THEREFORE, ALL OUTPUT BEFORE START
24030 XF(J,2,0)=DB(J,JX): '* = FIRST DATA (LOW PASS FILTER),
24040 IF NT<>0 THEN24080: '* = 0 (ELSE)
24050 FOR K=0 TO 1:XF(J,K,0)=XF(J,2,0) :FOR JA=1 TO N2
24060 IF NQ=1ANDNU=0 THENXF(J,K,JA)=XF(J,2,0) ELSE XF(J,K,JA)=0
24070 NEXT JA,K
24080 FOR K=1 TO N2: XF(J,2,K)=CD(1,K-1)*XF(J,2,K-1)
      + CD(2,K-1)*XF(J,1,K-1) + CD(3,K-1)*XF(J,0,K-1)
      + CD(4,K-1)*XF(J,1,K) +CD(5,K-1)*XF(J,0,K) : NEXT K
24090 DB(J,JX)=XF(J,2,N2)
24100 FOR K=0TO1:FOR JA=0TON2:XF(J,K,JA)=XF(J,K+1,JA):NEXT JA,K
24110 NEXT J : NT=1 : NEXT JX : RETURN : '*****

```

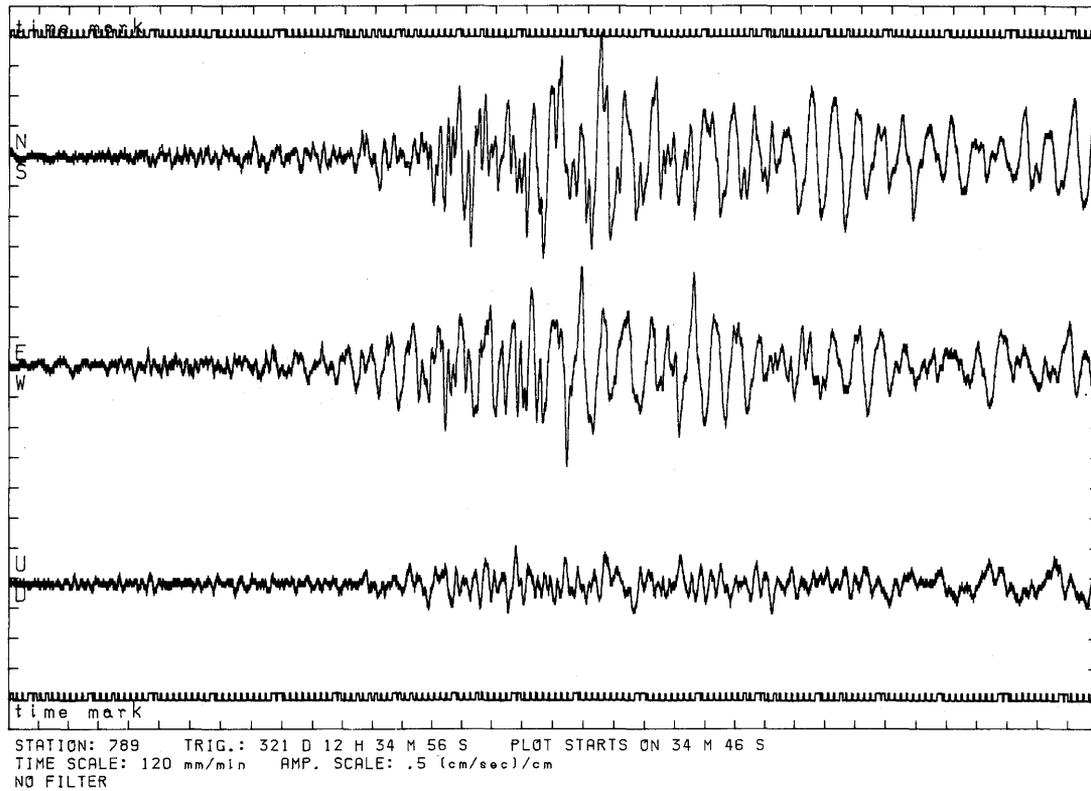


図 2.6.4 PLSGの出力例 (2)で1を選択し, (3)で0, (4)で0, (7.1.1)で120, (7.1.2)で0.5, (7.1.3)で0を, 選択ないしは指定した場合。図 2.6.9まで, 1 div. が1cmである。また, 記録は実際の強震動ではなく, 微小地震の長周期記録を増幅したもの。ラベルブロックも仮に作りだしている。

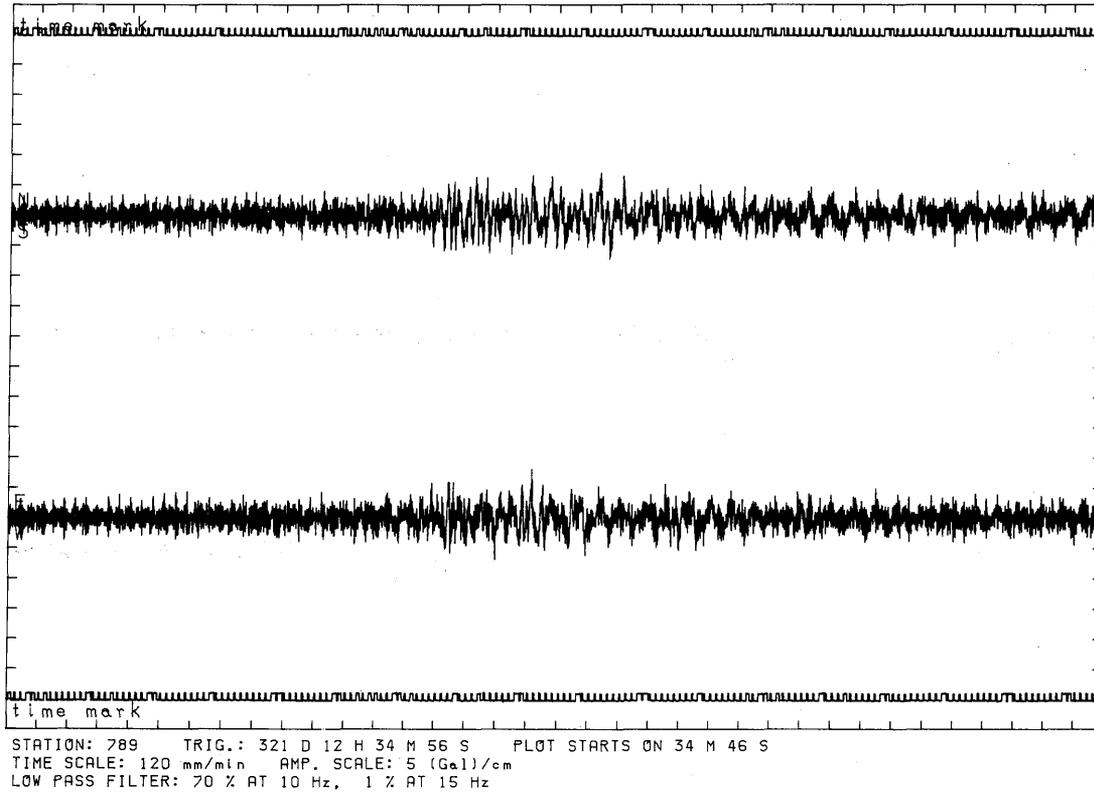


図 2.6.5 PLSG の出力例。(2)で2, (3)で2, (4)で1, (5.1.2)で10, 70,  
15, 1, (5.1.3)でY, (7.1.1)で120, (7.1.2)で5, (7.1.3)  
で0を, 選択ないしは指定した場合。

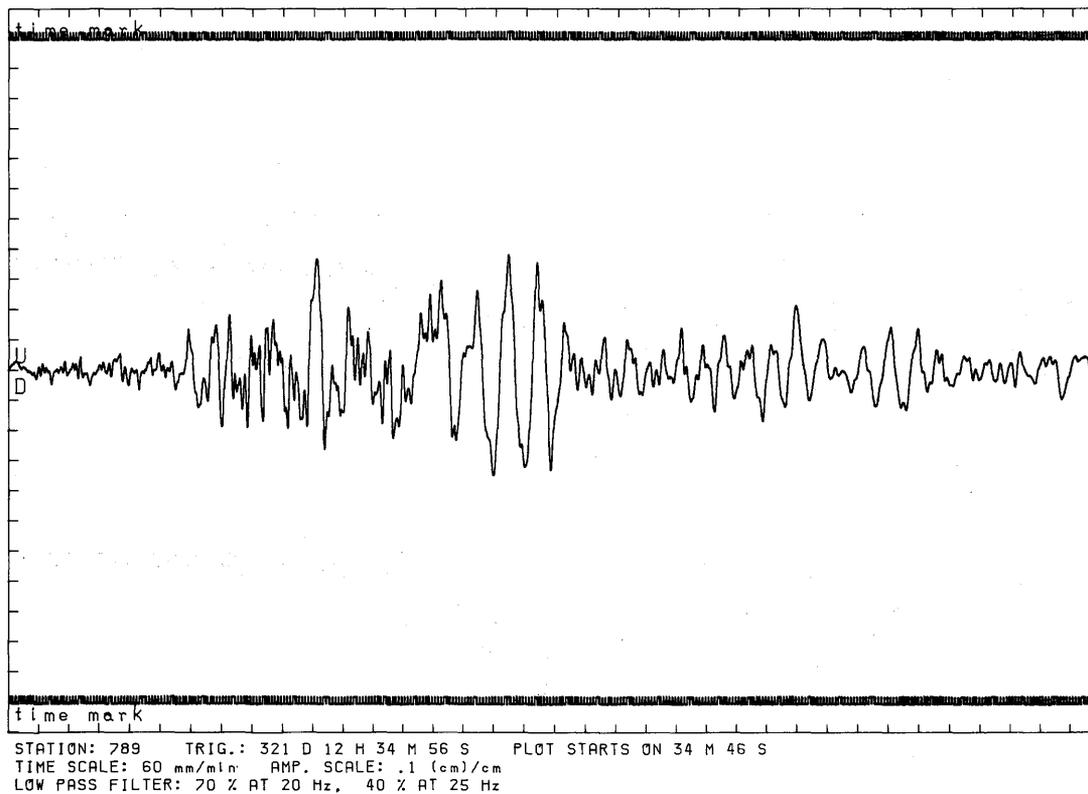


図 2.6.6 PLSG の出力例。(2)で3, (3)で1, (4)で1, (5.1.2)で20,  
70, 25, 40, (5.1.3)でY, (7.1.1)で60, (7.1.2)で0.1, (7.  
1.3)で0を, 選択ないしは指定した場合。

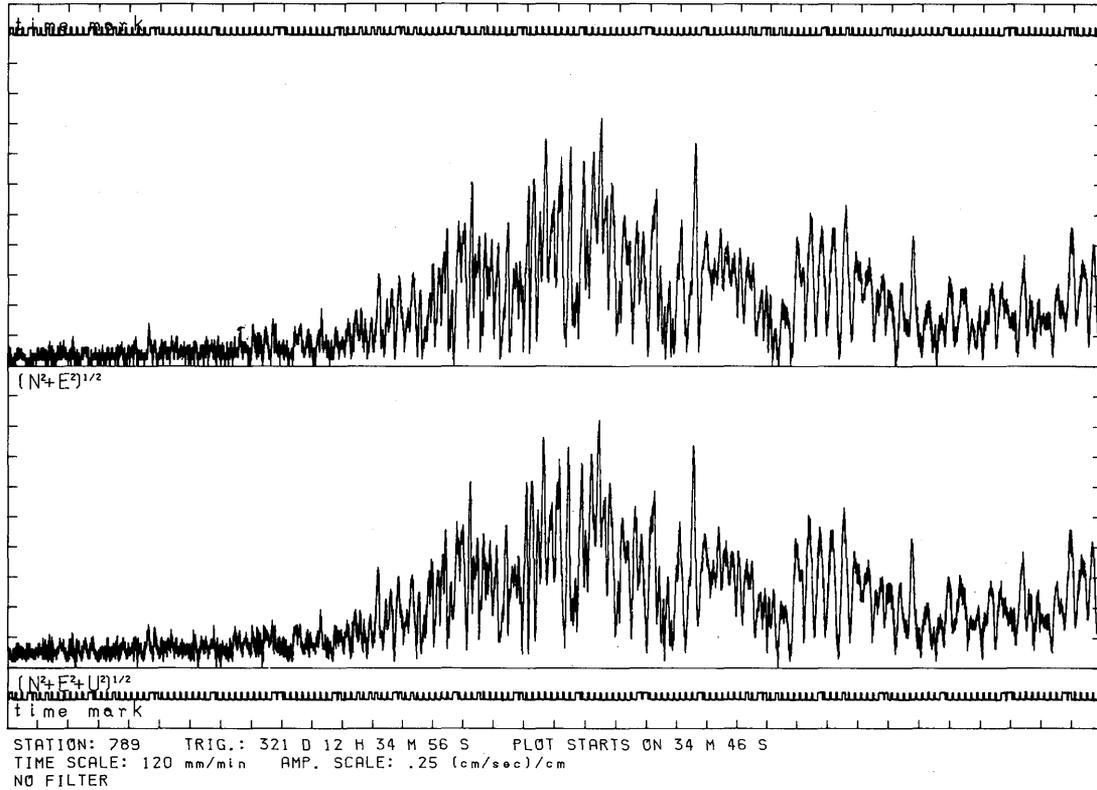


図 2.6.7 PLSGの出力例。(2)で4, (3)で0, (4)で0, (7.1.1)で120,  
(7.1.2)で0.25, (7.1.3)で0を, 選択ないしは指定した場合。

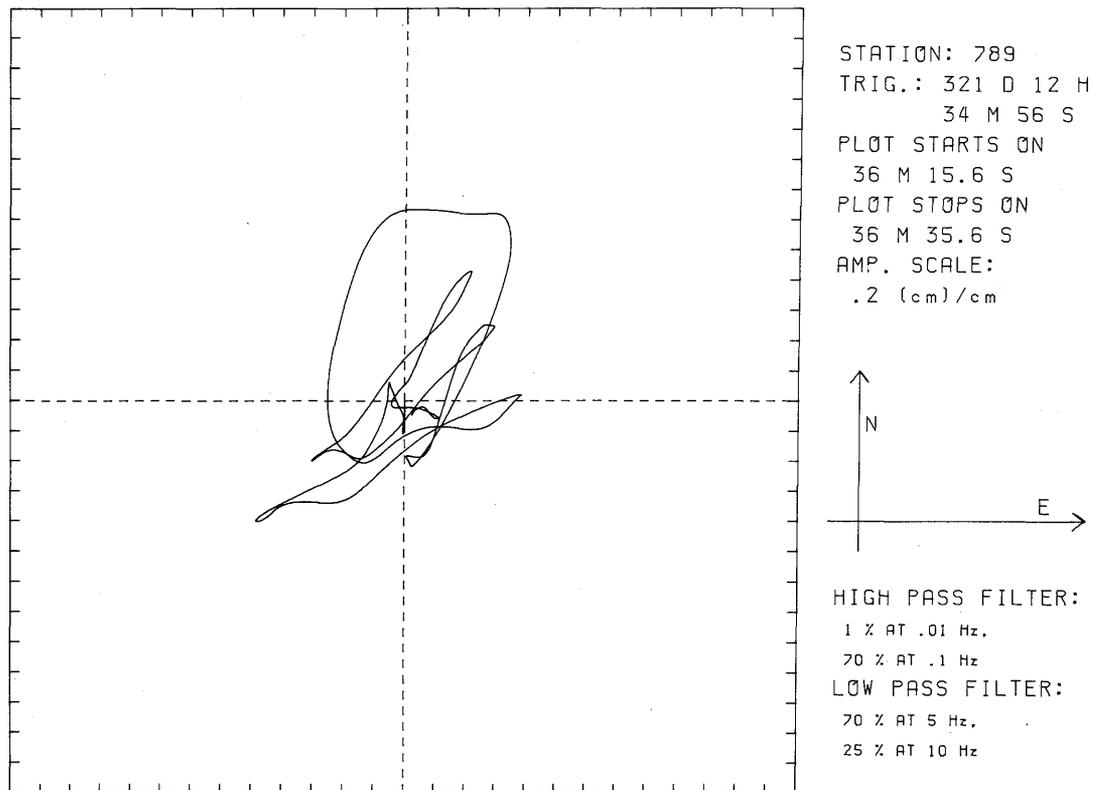


図 2.6.8 PLSG の出力例。(2)で 5, (3)で 1, (4)で 3, (5.3.2)で 0.01,  
1, 0.1, 70, Y, 5, 70, 10, 25, Y, (7.2.1)で 0.2, (7.2.2)で  
80, (7.2.3)で 100 を, 選択ないしは指定した場合。

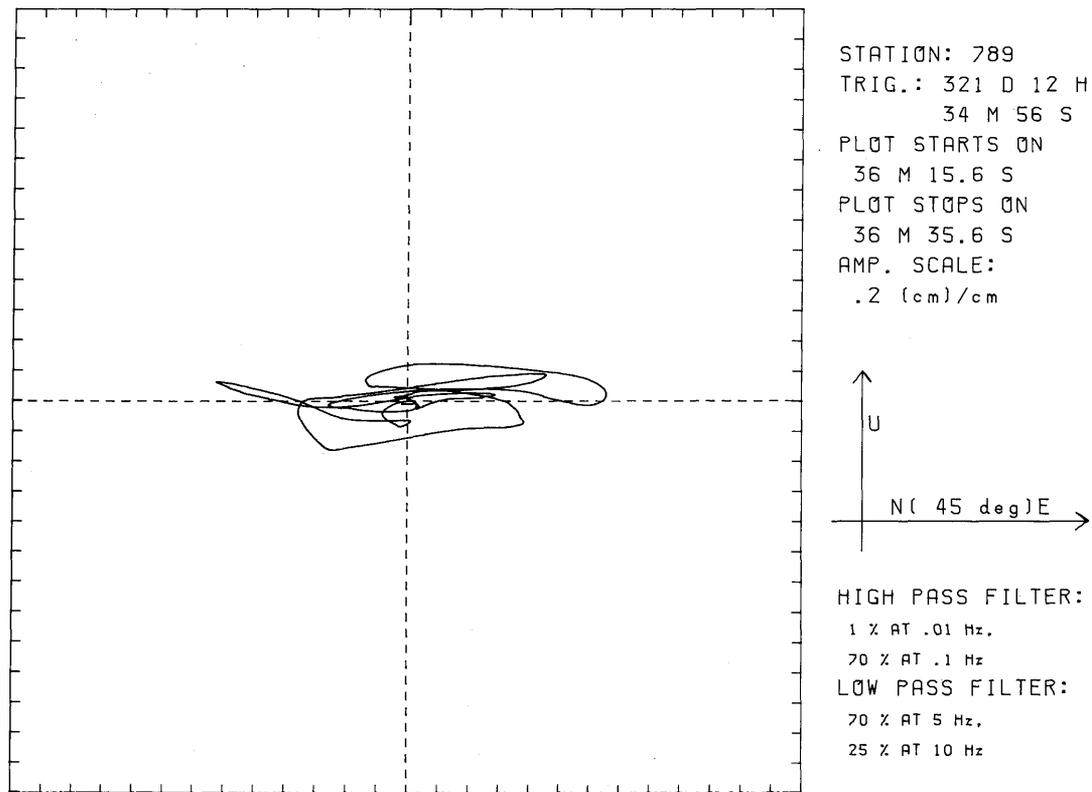


図 2.6.9 PLSG の出力例。(2)で6, (3)で1, (4)で3, ( 5.3.2 )で0.01, 1, 0.1, 70, Y, 5, 70, 10, 25, Y, ( 7.3.1 )で45, ( 7.3.2 )で0.2, ( 7.3.3 )で80, ( 7.3.4 )で100 を, 選択ないしは指定した場合。

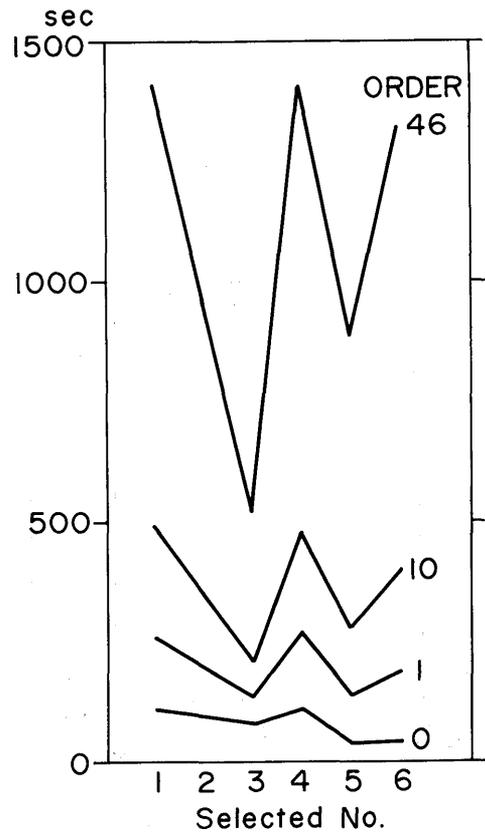


図 2.6.10 PLSGにおいて、(2)で選択した番号 (横軸)と、1秒分のデータを処理するのに必要な時間(縦軸)との関係を、フィルタの次数をパラメータとして示した図。

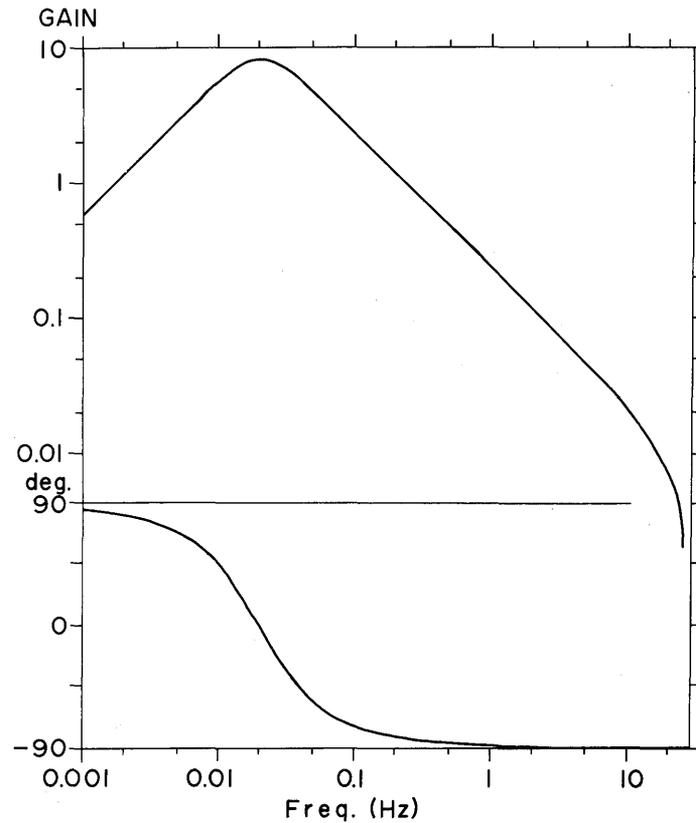


図 2.6.11 PLSGで用いられている積分演算の周波数特性。上段が振幅特性で、下段が位相特性。

実行に要する時間：フレームを作画するのに3～4分。1秒分のデータを処理するのに図2.6.10に示しただけの時間を要する。図で横軸は(2)において指定した番号，縦軸が要する時間で，用いるフィルタの次数をパラメタとして示してある。フィルタの次数は(5.1.4)(5.2.4)あるいは(5.3.2)において表示されたもので，帯域フィルタの場合は高域フィルタの次数と低域フィルタの次数の和をとるものとする。また，微分，積分はともに，2次のフィルタに相当するので，これらを行うときは用いるフィルタの次数に2を加えなければならない。

使用上の注意：この，プログラムで使われている積分，および微分演算の周波数応答を図2.6.11，2.6.12に示す。この図からわかるように積分演算は1/50Hzに，微分演算は20Hzにピークを持ち，そこにおける利得はそれぞれ約18dB，約44dBとなっている。利得が0dBを超える帯域ではA/D変換による量子化雑音，および電氣的な雑音も増幅されるので，得られた図の精度(ないしは分解能)には十分注意し

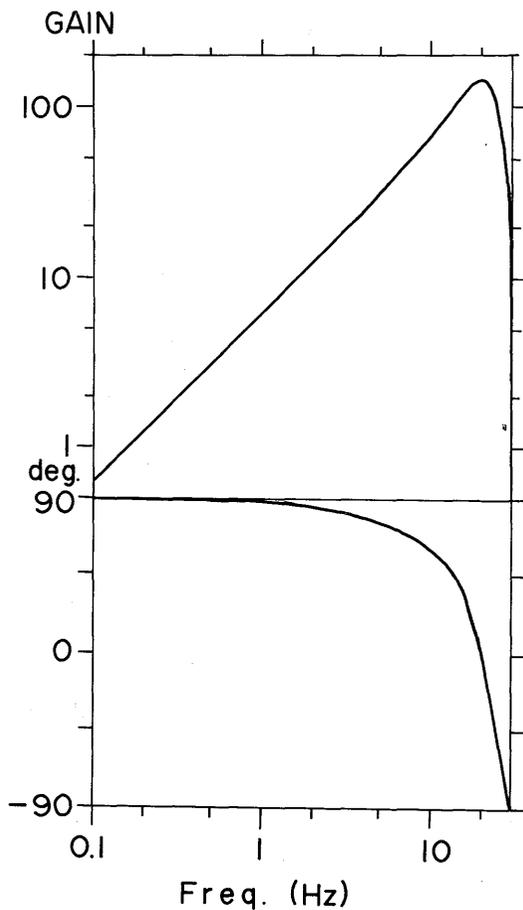


図2.6.12 PLSGで用いられている微分演算の周波数特性。上段が振幅特性で，下段が位相特性。

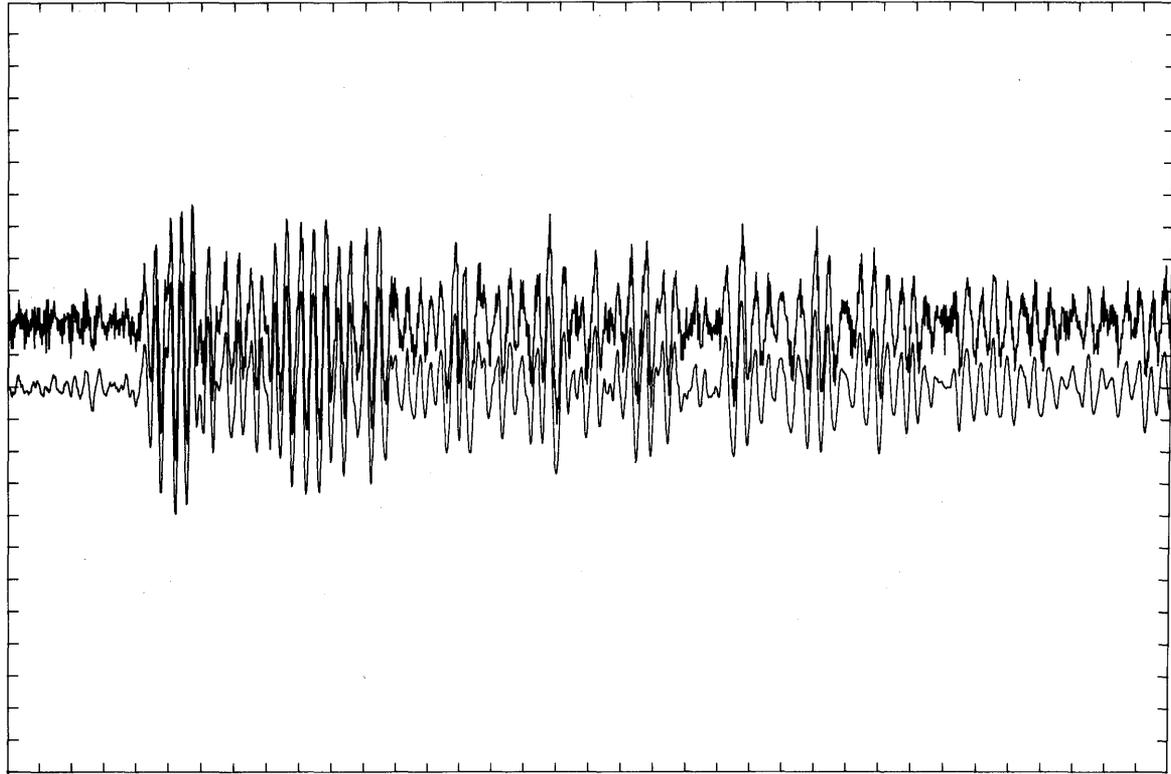


図 2.6.13 実際の強振動（1980年9月25日02時54分，関東南東沖， $M_j$ : 6.1の地震を筑波で観測したもの，南北成分）の加速度比例記録（下側）と，同時に観測した速度比例記録に図 2.6.12に特性を示した微分演算を施した記録（上側）。よい一致が見られる。横軸：1 s / div.; 縦軸：10Gal / cm。

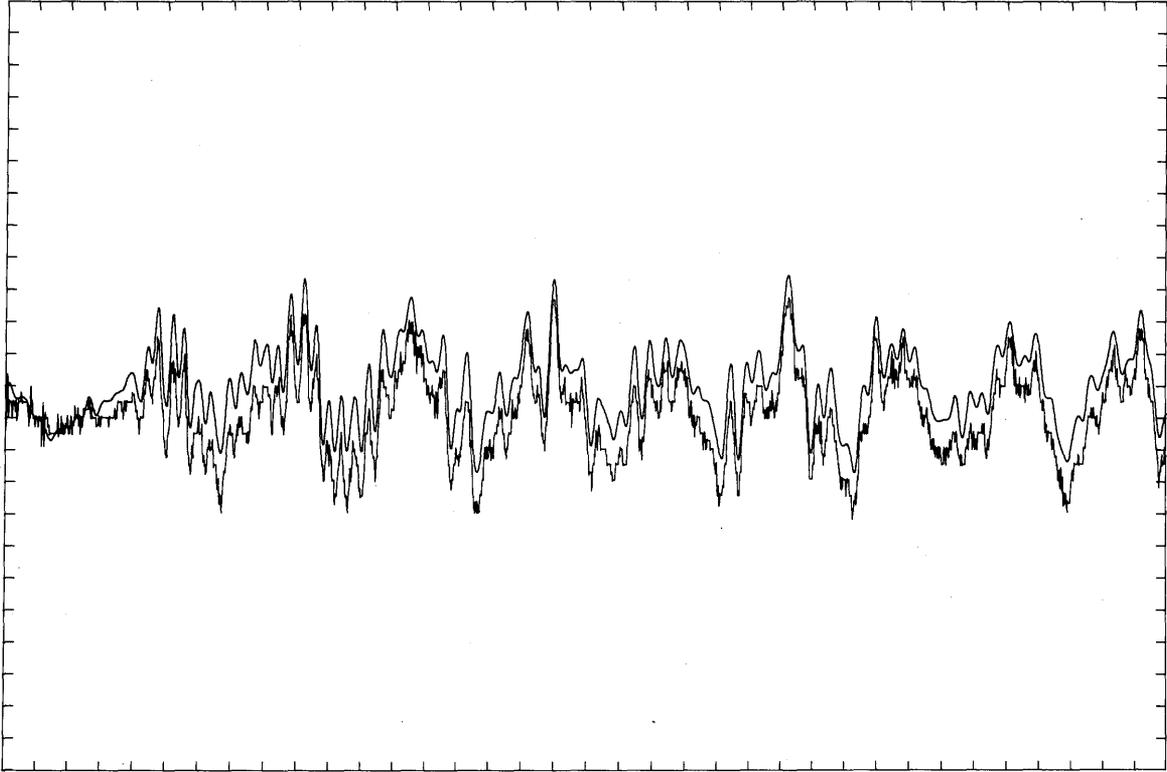


図 2.6.14 実際の地震(図 2.6.13と同じ)の変位比例記録(下側)と、同時に観測した速度比例記録に図 2.6.11に特性を示した積分演算を施した記録(上側)。よい一致が見られる。横軸: 1 s / div.; 縦軸: 1 mm / div.。

なければならない。A/D変換されたデータの1digitは0.0488cm/sであるが、これは1/50Hzにおいては変位0.388cmに、20Hzにおいては6.13Galに相当する。従って、得られた変位ないしは加速度記録も、それ以上の精度はありえない。ただし、フィルタを用いることによって積分あるいは微分演算の、利得の0dB以上のある帯域をしゃ断することによって、精度は向上する。例えば、積分の場合にDC~0.05Hzを阻止帯域とし、そこでの利得を25%以下、0.1 Hz以上を通過帯域とし、そこでの利得を70%以上とするような高域フィルタをかけた場合には0.1 cmの精度が得られる（この場合、当然ながらDC~0.1 Hzの帯域の情報は失われる）。また例えば微分の場合に、DC~10 Hzを通過帯域とし、そこでの利得を70%以上、20 Hz以上を阻止帯域とし、そこでの利得を25%以下とするような低域フィルタをかけた場合には3 Galの精度が得られる。

この積分および微分フィルタの有効性を確かめるために、実際に、変位、速度、加速度成分を並行して記録した。そして実際の加速度記録と、速度記録を微分したものを図2.6.13に示す。また実際の変位記録と、速度記録を積分したものを図2.6.14に示す。いずれもよい一致を見ていて、速度比例の波形データの有効さが明瞭に示されている。

このプログラムにおけるフィルタの設計法はHamming(1977)によっている。

## 6.6 プログラムSPEC

ファイル名：SPEC (Spectrumの意)

目的：パワーまたはフーリエ・スペクトルを計算し、図形出力する。

実行に必要なメモリーの大きさ：44.7 kByte

使用している変数名：A, AH, AL, AM, AN, AW, BY%, BW, CH, CM\$, DF, DI, DY, EI, ER, FH, FL, FP\$, HI, HR, IA, ID, IS, IV, IX, IY, J, JA, JB, JF, JG, K, KA, KC, KF, KM, L, LE, LL, LM, LN, LT, MA, N, NA, NB, NG\$, NH\$, NM, NN, NX, RA, RB, RC, S, SA, SC, SH, ST, TT, TX, TY, UF, VL, WW, X, XA, XB, XC, XD, XI, XR, X1, X2, X3, X4, Y\$, Y1, Y2, Y3, Y4

使用説明：

(1) RUNを入力するとCRT上に

```
***** SPEC - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : SPECTRUM
READY (Y OR N)?
```

と表示される。UNIT0の磁気テープ装置に、強震記録のCMTをセットしてYを入力する（省略値はY）。

(2) ラベルブロックを読んだのち

```
***** SPEC - BAPLAS 83 *****
STRONG MOTION SEISMOGRAM : SPECTRUM
READY (Y OR N)? Y
STATION : 789
RECORDER : 1 (1=LEFT,2=RIGHT)
TRIGGER : 321 D 12 H 34 M 56 S
          START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.
```

FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ?

と、ラベルの内容を表示して、フーリエスペクトルを計算するのか、パワースペクトルを計算するのかの指定待ちとなる。F (フーリエ) または P (パワー) を入力する (省略値は F)。

(3) 次に

```
FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ?
```

と、どの成分のスペクトルを計算するのか、の指定待ちとなる。N, E または U を入力する (省略値は U)。

(4) そして、

```
FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ? U
START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ?
```

と、スペクトル解析を開始する時刻の指定待ちとなる。トリガー時刻後の経過秒数を入力する。-10より小さい数は入力できない (省略値は 0 である)。

(5)

```
FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ? U
START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ? 10
STOP TIME (AFTER THE START TIME) (SEC) ?
```

次は、(4) で入力した時刻から、何秒間分のデータを解析するのか、の指定である。メモリの大きさの制限から、68より大きな数は入力できない (省略値は 1)。

(6) フーリエ変換は FFT を用いて行う。そしてデータ数は 2 のべき乗に合わせるようにしてある。一般に、データ数がちょうど 2 のべき乗にはならない場合、後に 0 をつけ加えることが、よく行われる。次の

```
FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) ? F
COMPONENT (N, E OR U) ? U
START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ? 10
STOP TIME (AFTER THE START TIME) (SEC) ? 15
NUMBER OF DATA : 900    FOURIER TRANSFORM NEEDS 1024 DATA.
124 TRAILING ZEROS WILL BE ADDED. O.K. (Y OR N) ?
```

というメッセージは、そのような0をつけ加えてよいかどうかの入力待ちである。よい場合はYを、よくない場合はNを入力する。Nを入力すると、(5)で入力した値が無効になり、例えば

```
NUMBER OF DATA : 900    FOURIER TRANSFORM NEEDS 1024 DATA.  
124 TRAILING ZEROS WILL BE ADDED. O.K. (Y OR N) ? N  
STOP TIME BECOMES 17.0667 SEC
```

と表示された場合なら、(5)において、17.0667を入力したことと同等になる(省略値はY)。

(7) (2) ~ (6)に入力まちがいは、ないかどうかチェックする。

```
CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ?
```

まちがえていないならYを入力して(8)へすすむ。まちがえている時はNを入力すると(2)にもどる(省略値はY)。

(8) 作画における周波数軸の設定を行う。まず、

```
FREQUENCY AXIS *****  
LINEAR (N) OR LOG (G) ?
```

に対して、線型スケールで書く場合はLを、対数スケールの場合はGを入力する(省略値はL)。

次に

```
LOWEST FREQUENCY (HZ) ?
```

に対して、作図の下限周波数を入力する。省略値は線型スケールの場合は0、対数スケールの場合には解析時間を1周期とする周波数である。次に

```
HIGHEST FREQUENCY (HZ) ?
```

に対して、同じく上限周波数を入力する。省略値は20である。ナイキスト周波数30 Hz以上の値は入力できない。

(9) (8)における設定に誤りがないかどうかをチェックして、

```
CHECK FREQUENCY AXIS (Y OR N) ?
```

という問い合せに、誤りがなければYを入力して(10)へすすむ。Nを入力すると(8)にもどる(省略値はY)。

(10) 作画における振幅軸の設定を行う。まず

```
AMPLITUDE AXIS *****  
LINEAR (N) OR LOG (G) ?
```

に対して線型スケールの場合はNを，対数スケールの場合はGを入力する（省略値はL）。次に

MINIMUM AMPLITUDE (CM OR CM+2/S) ?

に対して下限の振幅をフーリエスペクトルなら $(\text{cm}/s) \cdot s$ を，パワースペクトルなら $(\text{cm}/s)^2 \cdot s$ を単位として入力する。また

MAXIMUN AMPLITUDE (CM OR CM+2/S) ?

に対して，上限の振幅を同様に入力する。上・下限ともに0を入力すると，振幅軸のスケールはプログラムが制御し，(i)線型スケールの場合，得られたスペクトル値の最大から0まで，(ii)対数スケールの場合，同様に最大値からその1/1000まで，となる。

(11) (10) に対するチェックを(9)と同様に行う。

CHECK AMPLITUDE AXIS (Y OR N) ?

Yなら次に進み，Nなら(10)にもどる（省略値はY）。

(12) 最後に

BAND WIDTH (HZ) ?

と，スペクトル平滑化のための窓（Parzen 窓）の幅の指定待ちとなる。希望する値を入力する。0と入力した場合（省略値は0）には平滑化を行わない。プログラム上の制約から，余りにも小さい数値や，大きい数値は入力できない。この場合

BAND WIDTH (HZ) ? 100  
TOO WIDE BAND WIDTH.  
BAND WIDTH (HZ) ?

あるいは

BAND WIDTH (HZ) ? 0.001  
TOO NARROW BAND WIDTH.  
BAND WIDTH (HZ) ?

と表示して窓の幅が広すぎる，または狭すぎる旨，メッセージを出してくるので再入力を行う。

(13) 処理を行い（データが長くなると非常に時間がかかる），つづいて

(14) 作画を行う。

(15) 作画が終了すると

PLOT OVER THE FIGURE (Y OR N) ?

と，窓の幅を変えたスペクトルを計算して，その時点でできている図に重ね書きするかどうか，の指定待ちである。Yを入力すると

BAND WIDTH (HZ) ?

と，(12)にもどる。Nを入力すると

PLOT OVER THE FIGURE (Y OR N) ? N  
READY  
)

と、終了する(省略値はY)。

作画例を図 2.6.15に示す。この例は窓をかけないスペクトルと、窓の幅 0.1 Hz のスペクトルとを重畳して描いたものである。

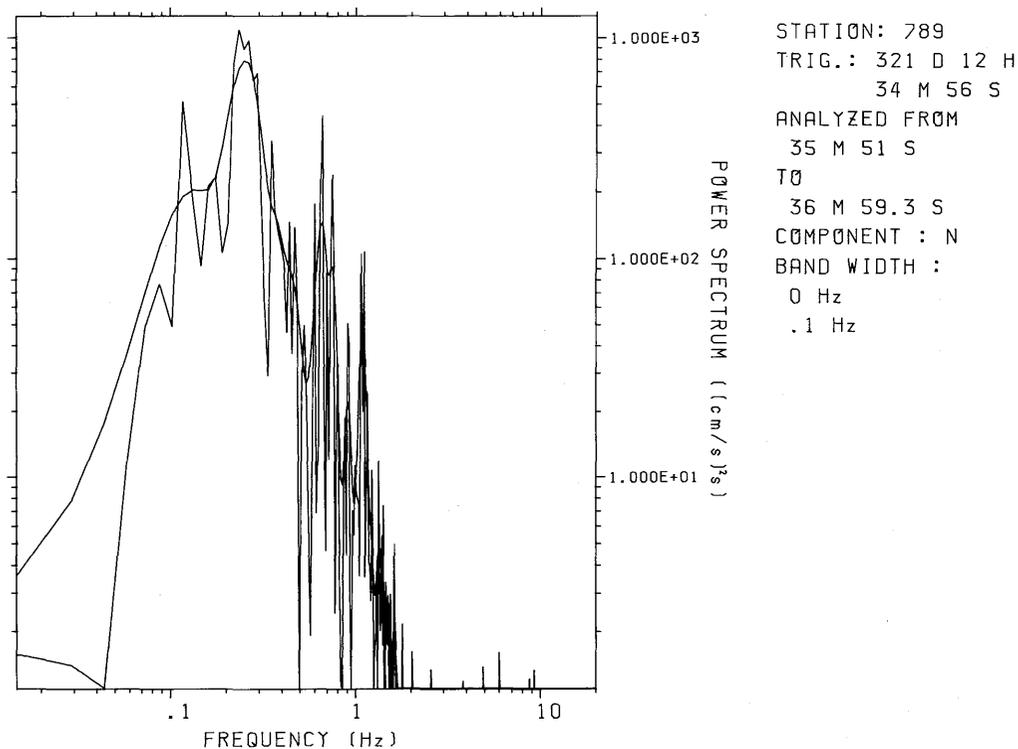


図 2.6.15 SPEC の出力例。(2)でP, (3)でN, (4)で55, (5)で60, (6)でN, (7)でY, (8)でG, 空白, 空白, (9)でY, (10)でG, 0, 0, (11)でY, (12)で0, を選択ないしは指定し, 作図終了後, (14)でY, (12)にもどって 0.1 を指定した場合である。なめらかな方の線が 0.1 Hz の幅の窓を用いたスペクトルである。

プログラムリスト:

```

10 CLS:PRINT"***** SPEC - BAPLAS 83 *****"
20 PRINT"STRONG MOTION SEISMOGRAM : SPECTRUM"
30 ' CODED BY M TAKAHASHI, SEE MRI TECH. REP. NO.6
40 DEFINT I-N : DIM WW(101)
50 GOSUB1000 : GOSUB2000 : IFRC(<)0 GOT050:' INIT. & READ LABEL
    
```

```

60 GOSUB 7000 : '*** DISPLAY LABEL INFORMATION ***
70 FP$="F" : INPUT"FOURIER SPECTRUM OR POWER SPECTRUM (F OR P) "
;FP$ : IF NOT(FP$="F"ORFP$="P") THEN 70
80 CM$="U" : INPUT"COMPONENT (N, E OR U) ";CM$ : IF NOT(CM$="N"O
R CM$="E" OR CM$="U") THEN 80
90 TX=0 : INPUT"START TIME (AFTER THE TRIGGER TIME) (SEC) ";TX
100 TX=TX+10:N=TX*15/8:IFN(<=0) THEN110 ELSE IF N)900 THEN 90
110 TY=1 : INPUT"STOP TIME (AFTER THE START TIME) (SEC) ";TY
120 IF TY<0 THEN 110 ELSE NM=TY*60
130 FOR K=4 TO 12 : IF INT(2+K+0.5)=NM THEN 150 ELSE NEXT K
140 PRINT"TOO MANY DATA. DECREASE STOP TIME. " : GOTO 110
150 PRINT"NUMBER OF DATA :";NM; : NN=2+K+0.5 : PRINT" FOURIER
TRANSFORM NEEDS";NN;"DATA."
160 PRINT NN-NM;"TRAILING ZEROS WILL BE ADDED. ";
170 Y$="Y" : INPUT"O.K. (Y OR N) ";Y$
180 IF Y$="N" THEN NM=NN : TY=NM/60 : PRINT"STOP TIME BECOMES";T
Y;"SEC"
190 Y$="Y" : INPUT"CHECK ABOVE. O.K. (Y OR N) ";Y$
200 IF Y$="N" THEN 60
210 DIM XI(NN+402):IF NN)1000THEN DIM XR(NN)ELSE DIM XR(NN+400)
220 PRINT"FREQUENCY AXIS *****"
230 NG$="N":INPUT"LINEAR (N) OR LOG (G) ";NG$ : IF NOT(NG$="N"OR
NG$="G")THEN 230
240 IF NG$="N" THEN FL=0 ELSE FL=60/NN
250 INPUT"LOWEST FREQUENCY (HZ) ";FL : IF (NG$="N" AND FL<0) OR
(NG$="G" AND FL<=0) THEN 240
260 FH=20 : INPUT"HIGHEST FREQUENCY (HZ) ";FH:IF FH<=FL OR FH)30
THEN 260
270 Y$="Y" : INPUT"CHECK FREQUENCY AXIS (Y OR N) ";Y$
280 IF Y$<>"Y" THEN 220
290 PRINT"AMPLITUDE AXIS *****"
300 NH$="N":INPUT"LINEAR (N) OR LOG (G) ";NH$ : IF NOT(NH$="N" OR
NH$="G") THEN 300
310 AL=0 : INPUT"MINIMUM AMPLITUDE (CM OR CM+2/S) ";AL:IF AL<0 T
HEN 310
320 AH=0 : INPUT"MAXIMUN AMPLITUDE (CM OR CM+2/S) ";AH: IF AH=0
THEN 330 ELSE IFAH<AL THEN 320
330 IFNH$="G" AND AL=0 THEN AL=AH/1000
340 Y$="Y" : INPUT"CHECK AMPLITUDE AXIS (Y OR N) ";Y$
350 IF Y$<>"Y" THEN 290 ELSE Y$="N" : BY%=1525 : GOTO 390
360 Y$="Y" : INPUT"PLOT OVER THE FIGURE (Y OR N) ";Y$
370 IF NOT(Y$="Y" OR Y$="N") THEN 360
380 IF Y$="N" THEN LPRINT"H" : OUT248,0 : END
390 BW=0 : INPUT"BAND WIDTH (HZ) ";BW
400 TT=NN/60:DF=1/TT:IF BW=0 THEN 480 ELSE UF=1.854305/BW*DF
410 IF UF>0.5 THEN PRINT"TOO NARROW BAND WIDTH. " : GOTO 390
420 LM=FIX(2/UF)+1:IF LM)101 OR BW/DF)7*NN/15 THEN PRINT"TOO WID
E BAND WIDTH. " : GOTO 390
430 WW(1)=0.75*UF : ' *****
440 FOR J=2 TO LM : ' TRANSLATED FROM THE FORTRAN *
: ' PROGRAM CODED BY Y.OHSAKI *
450 DI=1.570796*(J-1)*UF : ' (DZISHINDO NO SUPEKUTORU *
460 WW(J)=WW(1)*(SIN(DI)/DI)+4 : ' KAISEKI NYUMON), KASHIMA- *

```

```

470 NEXT J : 'SHUPPANKAI, 167-169, 1976 *
480 IF Y#="Y" THEN 590 : '*****
490 IF N(<=0 THEN 500 ELSE FOR J=1 TO N : A=USR(6) : NEXT J
500 IF CM#="N" THEN K=0 ELSE IF CM#="E" THEN K=1 ELSE K=2
510 ID=0 : JA=60*(TX-N*8/15) : IV=VARPTR(ID)
520 A=USR(4):IF A AND2 THENPRINT"END OF DATA DETECTED, AND TRAIL
ING ZEROS ARE ADDED.":GOTO570
530 FOR J=JA TO 31 : POKE IV,PEEK(X+2*K+8*J+1)
540 IF IV=32767 THEN POKE -32768,PEEK(X+2*K+8*J) ELSE POKE IV+1,
PEEK(X+2*K+8*J)
550 NX=NX+1 : IF NX)NM THEN 570 ELSE XR(NX)=ID/16
560 NEXT J : JA=0 : GOTO 520
570 OUT2,10 : ID=-1 : NA=NN : GOSUB 16000 : '*** FAST ***
580 NB=NN/2+1 : FOR J=1 TO NB : XI(J)=(XR(J)+2+XI(J)+2)/30/NN:NE
XT J : XI(1)=XI(1)/2 : XI(NB)=XI(NB)/2
590 IF BW=0 THEN FOR J=1TONB:XR(J)=XI(J):NEXTJ:GOTO 670
600 LL=LM*2-1 : LN=LL-1+NB : LT=(LL-1)*2+NB : LE=LT-LM+1
610 FOR K=1 TO LT : XR(K)=0 : NEXT K
620 FOR K=1 TO NB : XR(LL-1+K)=XI(K) : NEXT K
630 FOR K=LM TO LE : S=WW(1)*XR(K) : FOR L=2 TO LM
640 S=S+WW(L)*(XR(K-L+1)+XR(K+L-1)):NEXT L:XI(K+NB)=S : NEXT K
650 FOR L=2 TO LM : XI(LL+L-1+NB)=XI(LL+L-1+NB)+XI(LL-L+1+NB) :
XI(LN-L+1+NB)=XI(LN-L+1+NB)+XI(LN+L-1+NB) : NEXT L
660 FOR K=1 TO NB : XR(K)=XI(LL-1+K+NB) : NEXT K
670 IF FP#="P" THEN 690 ELSE XR(1)=SQR(XR(1)*TT) : XR(NB)=SQR(X
R(NB)*TT) : FOR K=2 TO NB-1 : XR(K)=SQR(XR(K)*TT/2) : NEXT K
690 OUT248,1
700 IF Y#="Y" THEN 890
710 GOSUB15000
720 LPRINT"PCOMPONENT : "CM# : LPRINT"M"2725", "1625 : LPRINT"PBA
ND WIDTH : "
730 LPRINT"M"100", "200 : Y1=200:Y2=185:Y3=170:Y4=100:GOSUB17000
740 LPRINT"M"100", "2500:Y1=2500:Y2=2515:Y3=2530:Y4=0:GOSUB17000
750 LPRINT"M"750", "1 : LPRINT"PFREQUENCY (Hz)"
760 LPRINT"S"4 : LPRINT"M"100", "200
770 IF AH<>0 THEN 830
780 FOR J=1 TO NB : IF XR(J))AH THEN AH=XR(J)
790 NEXT J : IF AH=0 THEN PRINT"ALL DATA ZEROS":END ELSE IF AH<A
L THEN AL=0:PRINT"'MINIMUM AMPLITUDE' IS SET TO ZERO."
800 IF NH#="N" THEN AH=1.02*AH-0.02*AL : GOTO840
810 IF AL=0 THEN AL=AH/1000
820 AH=AH*(AH/AL)+0.02
830 IF AL=0 AND NH#="G" THEN AL=AH/1000
840 X1=100:X2=85:X3=70:X4=0:GOSUB18000
850 LPRINT"M"2100", "200:X1=2100:X2=2115:X3=2130:X4=2115
860 GOSUB 18000 : LPRINT"S"6
870 LPRINT"M"2500", "2000:LPRINT"G"3:IF FP#="F" THEN LPRINT"PFOUR
IER SPECTRUM ((cm/s)s)" ELSE LPRINT"POWER SPECTRUM ((cm/s)s)":
LPRINT"S"2:LPRINT"M"2530", "945:LPRINT"P2":LPRINT"S"6
880 LPRINT"G"0
890 KC=0 : LPRINT"M"2725", "BY% : LPRINT"P"BW"Hz" : BY%=BY%-100
: LPRINT"H" : IF NG#="N" THEN KA=1 ELSE KA=2

```

```

900 FOR K=KA TO NB
910 IF NG$="N" THEN IX=100.5+2000*(DF*(K-1)-FL)/(FH-FL)
ELSE IX=100.5+2000*(LOG(DF*(K-1))-LOG(FL))/(LOG(FH)-LOG(FL))
920 IF IX<100 THEN 980
930 IF IX>2100 THEN 990
940 IF NH$="N" THEN IY=200.5+2300*(XR(K)-AL)/(AH-AL)
ELSE IF XR(K)<=0 THEN IY=200
ELSE IY=200.5+2300*(LOG(XR(K))-LOG(AL))/(LOG(AH)-LOG(AL))
950 IF IY>2500 THEN IY=2500
960 IF IY<200 THEN IY=200
970 IF KC=0 THEN LPRINT"M"IX", "IY:KC=1 ELSE LPRINT"D"IX", "IY
980 NEXT K
990 LPRINT"H" : GOTO 360
1000 '*** SUBROUTINE INIT ***** INITIALIZE *****
1010 POKE 16526,0 : POKE 16527,48
1020 Y$="Y":INPUT"READY (Y OR N)":Y$
1030 IF Y$="Y" THEN 1040 ELSE 1020
1040 IF USR(11) AND 16 THEN PRINT"NOT READY !":GOTO1020 ELSE RET
URN : '*****
2000 '*** SUBROUTINE LABEL ***** READ LABEL BLOCK *****
2010 X=USR(0):A=USR(8):A=USR(4):RC=0:' RC : RETURN CODE
2020 IF(PEEK(X)<0) OR (PEEK(X+1)<2) THEN PRINT"THE CMT IS NOT
SEISMOGRAM. PUT THE SEISMOGRAM IN UNIT #0.":RC=1:RETURN
2030 ST=(PEEK(X+3) AND 15)*100+(PEEK(X+4) AND 240)*10/16+(PEEK(
X+4) AND 15) : ' STATION
2040 VL=PEEK(X+7) AND 15 : ' RECORDER UNIT NUMBER
2050 DY=(PEEK(X+16) AND 15)*100+(PEEK(X+17) AND 240)*10/16+(PEEK
(X+17) AND 15) : ' DAY OF THE YEAR
2060 HR=(PEEK(X+18) AND 240)*10/16+(PEEK(X+18) AND 15):' HOUR
2070 AN=(PEEK(X+19) AND 240)*10/16+(PEEK(X+19) AND 15):' MINUTE
2080 SC=(PEEK(X+20) AND 240)*10/16+(PEEK(X+20) AND 15):' SECOND
2090 RETURN : '*****
7000 '*** SUBROUTINE DSPLBL ***** DISPLAY LABEL INFORMATION *****
7010 PRINT"STATION : "ST:PRINT"RECORDER : "VL"(1=LEFT,2=RIGHT)"
7020 PRINT"TRIGGER : "DY"D"HR"H"AN"M"SC"S"
7030 PRINT,"START OF RECORD IS TEN SECONDS EARLIER.":PRINT
7040 RETURN : '*****
15000 '*** SUBROUTINE SPLBL ***** PLOT LABEL INFORMATION *****
15010 LPRINT"S"6 : LPRINT"M"2725", "2425 : LPRINT"STATION:"ST
15020 LPRINT"M"2725", "2325 : LPRINT"PTRIG. : "DY"D"HR"H"
15030 LPRINT"M"3019", "2225 : LPRINT"P"AN"M"SC"S"
15040 LPRINT"M"2725", "2125 : SC=SC+TX-10
15050 IF SC<0 THEN SC=SC+60 : AN=AN-1
15060 IF SC>=60 THEN SC=SC-60 : AN=AN+1 : GOTO15060
15070 LPRINT"PANALYZED FROM" : LPRINT"M"2725", "2025
15080 SA=INT(SC*10+0.5)/10 : LPRINT"P"AN"M"SA"S"
15090 LPRINT"M"2725", "1925:LPRINT"PTO"
15100 LPRINT"M"2725", "1825 : SA=SC+TY : AM=AN
15110 IF SA>=60 THEN SA=SA-60 : AM=AM+1 : GOTO 15110
15120 LPRINT"P"AM"M"INT(SA*10+0.5)/10"S"
15130 LPRINT"M"2725", "1725:RETURN:'*****
16000 '*** SUBROUTINE FAST *** FAST FOURIER TRANSFORM *****

```

```

16010 JA=1                : ' TRANSLATED FROM THE FORTRAN*
16020 FOR IA=1 TO NA      : ' PROGRAM CODED BY Y.OHSAKI *
16030 IF IA)=JA THEN 16070 : ' (DZISHINDO NO SUPEKUTORU *
16040 ER=XR(JA) : EI=XI(JA) : ' KAISEKI NYUMON, *
16050 XR(JA)=XR(IA):XI(JA)=XI(IA): ' KASHIMA-SHUPPANKAI, 93-95, *
16060 XR(IA)=ER : XI(IA)=EI : ' 1976, 2900YEN) *
16070 MA=NA/2            : ' *****
16080 IF JA<=MA THEN 16100
16090 JA=JA-MA : MA=MA/2 : IF MA>=2 THEN 16080
16100 JA=JA+MA : NEXT IA
16110 KM=1
16120 IF KM)=NA THEN RETURN
16130 IS=KM*2 : FOR KA=1 TO KM
16140 HI=3.141593*ID*(KA-1)/KM:CH=COS(HI):SH=SIN(HI)
16150 FOR IA=KA TO NA STEP IS :JA=IA+KM:XA=XR(JA):XB=XI(JA)
16160 ER=XA*CH-XB*SH : EI=XB*CH+XA*SH :XC=XR(IA):XD=XI(IA)
16170 XR(JA)=XC-ER : XI(JA)=XD-EI
16180 XR(IA)=XC+ER : XI(IA)=XD+EI
16190 NEXT IA,KA
16200 KM=IS : GOTO 16120 : ' *****
17000 '*** SUBROUTINE FREQAX *** PLOT FREQUENCY AXIS *****
17010 IF NG$="G" THEN 17080
17020 FOR JF=0 TO 30 : KF=100.5+2000*(JF-FL)/(FH-FL)
17030 IF KF<100 THEN 17070
17040 IF KF>2100 THEN 17140
17050 LPRINT"D"KF", "Y1
17060 IF JF/5=FIX(JF/5) THEN LPRINT"D"KF", "Y3:IF Y4=0 THEN LPRINT
T"D"KF", "Y1 ELSE LPRINT"M"KF-60", "Y4:LPRINT"P"JF:LPRINT"M"KF", "Y
1 ELSE LPRINT"D"KF", "Y2", "KF", "Y1
17070 NEXT JF : GOTO 17140
17080 FOR JF=-2 TO 1 : FOR JG=1 TO 9 : KF=100.5+2000*(LOG(JG*10+
JF)-LOG(FL))/(LOG(FH)-LOG(FL))
17090 IF KF<100 THEN 17130
17100 IF KF>2100 THEN 17140
17110 LPRINT"D"KF", "Y1
17120 IF JG=1 THEN LPRINT"D"KF", "Y3:IF Y4=0 THEN LPRINT"D"KF", "Y
1 ELSE LPRINT"M"KF-60", "Y4:LPRINT"P"JG*10+JF:LPRINT"M"KF", "Y1 EL
SE LPRINT "D"KF", "Y2", "KF", "Y1
17130 NEXT JG, JF
17140 LPRINT"D"2100", "Y1 : RETURN:' *****
18000 '*** SUBROUTINE SPECAX *** PLOT SPECTRUM AXIS *****
18010 IF NH$="G" THEN 18100
18020 AW=(AH-AL)/40:FOR JA=-4TO6:FOR JB=1 TO 3:IF JB=3THEN JB=5
18030 IFJB*10+JA)=AW THEN 18040 ELSE NEXT JB, JA
18040 RA=JB*10+JA:FOR JB=0 TO AH*2/RA : RB=JB*RA
18050 KF=200.5+2300*(RB-AL)/(AH-AL) : IF KF<200 THEN 18090
18060 IF KF>2500 THEN 18160
18070 LPRINT"D"X1", "KF
18080 IF JB/5=FIX(JB/5) THEN LPRINT"D"X3", "KF:IF X4=0 THEN LPRINT
T"D"X1", "KF ELSE LPRINT"M"X4", "KF-18:LPRINTUSING"P##.###+---":RB
:LPRINT"M"X1", "KF ELSE LPRINT"D"X2", "KF", "X1", "KF
18090 NEXT JB : GOTO 18160

```

```

18100 FOR JF=-6 TO 6:FOR JG=1 TO 9:KF=200.5+2300*(LOG(JG*10+JF)-
  LOG(AL))/(LOG(AH)-LOG(AL))
18110 IF KF<200 THEN 18150
18120 IF KF>2500 THEN 18160
18130 LPRINT"D"X1", "KF
18140 IF JG=1 THEN LPRINT"D"X3", "KF:IF X4=0 THEN LPRINT"D"X1", "K
  F ELSE LPRINT"M"X4", "KF-18:LPRINTUSING"P##.###+*+*+";JG*10+JF:LPR
  INT"M"X1", "KF ELSE LPRINT"D"X2", "KF", "X1", "KF
18150 NEXT JG, JF
18160 LPRINT"D"X1", "2500 : RETURN : '*****
  
```

実行に要する時間：(13)において要する時間は(6)において表示されたデータ数と(12)で指定した値の関数で、図2.6.16に示したようになる。この図は(12)において入力した値をパラメータとして描かれている。

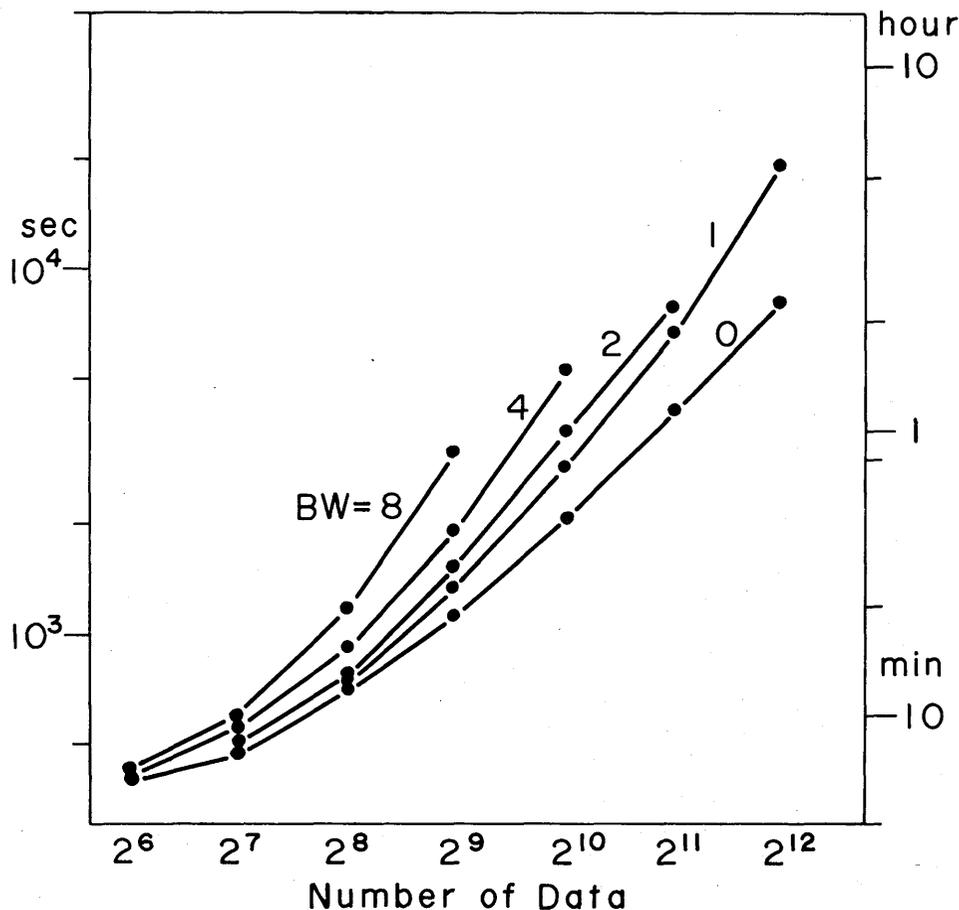


図2.6.16 SPECにおいて、処理するデータ数(横軸)と、処理に必需の時間(縦軸)を、(12)で指定する窓の幅(BW)をパラメータとして示した図。

使用上の注意：このプログラムにおけるスペクトル計算，およびその平滑化は大崎（1976）により FORTRAN で書かれたプログラムを BASIC に書き直したものである。

#### References

- Atkinson, G. M., 1982 : Comments on "Attenuation relations for strong seismic ground motion in Canada" by H. S. Hasegawa, P. W. Basham, and M. J. Berry, Bull. Seis. Soc. Am., 72, 1765-1770.
- Hartzell, S. and D. V. Helemberger, 1982 : Strong-motion modeling of the Imperial Valley Earthquake of 1979, Bull. Seis. Soc. Am., 72, 571-596.
- Peterson, J and N. A. Orsini, 1976 : Seismic research observatories : Upgrading the Worldwide Seismic Data Network, EOS, 57, 548-556.
- Peterson, J., H. M. Butler, L. G. Holcomb and C. R. Hutt, 1976 : The seismic research observatory, Bull. Seis. Soc. Am., 66, 2049-2068.

#### 参 考 文 献

- 赤松純平, 1982 : 磁気バブルメモリを用いた強震観測装置. 地震学会昭和57年春季大会予稿集, 87.
- 田 望, 1963 : 地震観測用の諸計器の試作. 北海道大学地球物理学研究報告, 10, 143-169.
- 田 望, 飯沼龍門, 松本英照, 高橋道夫, 1980 : 海底地震常時観測システムの開発. 気象研究所技術報告, No. 4, 233p.
- Hamming, R. W., 1977 : Digital Filters. Prentice-Hall Inc., N. J., USA.; 邦訳, 1980 : 宮川 洋, 今井秀樹, 科学技術出版社, 東京, 230 p.
- 川崎一朗, 1976 : 地震発生機構(震源モデル)について. 気象, 20. 2, 21-27 (4417-4423).
- 松本英照, 高橋道夫, 1976 : 地震計電磁変換器の検定方法とその精度について. 気象研究所研究報告, 27, 129-140.
- 村松郁栄, 1969 : 震度分布と地震のマグニチュードとの関係. 岐阜大学教育学部研究報告-自然科学- 4, 168-176.
- 村松郁栄, 1976 : 地震動の極値および振動継続時間について. 地震, 29, 223-232.
- 村松郁栄, 1977 : 速度型強震計の製作. 地震, II, 30, 317-338.
- 長宗留男, 中礼正明, 1976 : 1975(昭和50)年6月10日の北海道東方沖の地震の大きさと津波の規模. 験震時報, 40, 105-107.
- 中野義雄, 笹本芳文, 平山 智, 1981 : 音声応答装置用磁気バブルメモリ. NEC技報, 34, 60-61.
- 野田節男, 倉田栄一, 土田 肇, 1981 : 港湾技術研究所における高密度強震観測. 日米天然会議耐

風耐震構造専門部会第13回合同部会会議録, 92-101.

大久保忠良, 岩崎敏男, 川島一彦, 1981: 土木研究所における高密度強震観測計画および記録の解析. 日米天然会議耐風耐震構造専門部会第13回合同部会会議録, 1981年5月, 19-43.

大崎順彦, 1976: 地震動のスペクトル解析入門. 鹿島出版会, 東京, 260 p.

太田 裕, 後藤典俊, 岡田成幸, 鏡味洋史, 1979: 強震観測装置の開発 — SMA C型強震計の延長として— . 北海道大学工学部建築工学教室耐震工学研究室, 47p.

太田 裕, 岡田成幸, 後藤典俊, 鏡味洋史, 1981: 強震観測装置の開発 — 標準観測点の実現をめざして— . 北海道大学工学部建築工学教室耐震工学研究室, 44p.

大谷圭一, 1981: 速度計による強震観測. 日米天然会議耐風耐震構造専門部会第13回合同部会会議録, 148-158.

高橋道夫, 1981: 強震観測のための変換器. 気象研究所研究報告, 32, 173-181.

竹田 仁, 秦 郁朗, 杉山信二, 小林孝夫, 栢沼昭夫, 浅野勝昭, 1982: デジタル・オーディオ用の低歪率16ビット I C A - D, D - A 変換器. 日経エレクトロニクス, No.282, 186-216.

山川宣男, 1976: 地震予知について(I). 気象庁測候時報, 43, 171-189.

柳沢 健, 金光 盤, 1973: アクティブフィルタの設計. 産報, 東京, 206p.