

# 長周期地震波のデジタル観測

古 沢 保

## A DIGITAL LONG-PERIOD SEISMOGRAPH SYSTEM

By Tamotsu FURUZAWA

### Synopsis

A digitally recording seismograph system for observation of long-period seismic waves was described. The system is as follows: the signal from each long-period seismometer is amplified by a chopper-stabilized OP-amp., and fed through an low-pass filter to a Hewlett-Packard 425A amplifier. The output from each amplifier is recorded in digital form, only at the time when a AD converter is triggered by seismic waves above a certain level.

### 1. はじめに

地震観測データの精密な波動解析や自動処理を行なう場合、何らかの形で数値化された記録即ちデジタル化された記録を得ることが必要となる。デジタル化の方法としては一般に2通りのやり方がある。一つの方法は観測時にはアナログ量として記録しておいて解析時にデジタル量に変換するもので、ごく一般に用いられる記録方法である。この場合従来から行なわれている煤書き、インク書き、オシロベーパー等による記録を目で読取ることによってデジタル化するのに代わって、最近は磁気テープ上に電気量として得た記録を高速度 A-D 変換器を使用して digital magnetic tape やカード、紙テープ等へデジタル量として記録する方法が普及している。もう一つの方法は analog tape に記録することなく観測時に直接 digital 量に変換してデジタル・データとして記録するものである。

微小地震等の近距離地震、爆破並びに火山性微動等の短周期地震波動を問題にする場合、直接デジタル化しようとする、全ての周波数成分を含めた正確な波形を得るには高速度の A-D 変換器を使って非常に密なサンプリング間隔を選ぶ必要があり、記録するデータ量が多くなる。したがってデジタル記録の記録媒体(例えば磁気テープ)が多量に必要となる上、装置自体が大きなものになり field で簡単に観測を行なうことが困難になる。それゆえ一度アナログ量で記録しておいて、解析の際に記録の長さ、周波数等を選んだ上で適当なサンプリング間隔でデジタル化した方が得策といえる。このような形での観測システムは各々の観測所でそれぞれ工夫され開発されている<sup>1),2)</sup>。

一方長周期地震波の場合、地震計と galvanometer を直結してオシロベーパーに記録するのがこれまで一般に用いられてきた記録方法である。このような記録の読取りの際は記録のゼロ線の位置の不確定によるデジタル波形の歪みが生じそのための誤差が問題になる<sup>3)</sup>。さらにまた大きな地震の場合に記録の不鮮明や記録線の重なりが生じ、読取りが非常に困難となる。そのため最近では galvanometer-phototube amplifier system<sup>4)</sup> を用いたり、RC 回路による filter<sup>5)</sup> や OP-amp. による active filter<sup>6)</sup> を用いたりして電気量として記録する観測システムが開発されてきた。

長周期地震波の記録は実体波部分に比し表面波部分の振幅が大きくその振幅比も大きい。即ち dynamic range の大きな記録計が必要となるが、アナログ記録計では精々 40~50 dB しか得られない。それに対しデジタル量では 60 dB 以上の dynamic range が容易に得られるので直接デジタル量で記録するのが望ましい。その上長周期波動は高々 0.1 秒間隔程度の荒いサンプリング間隔で十分であるから低速度の A-D

変換器が使用できデジタル化も容易である。しかしながら記録計に記録できるデータ容量は限られているので連続して観測するためには一定レベルの地震波が到来した時だけ記録させるようにしなければならない。長周期地震波の初動は一般にかなり小さくてトリガーレベルの検出が問題になる上、遅延装置としても短周期地震波観測に用いられるエンドレス・データレコーダーのようなものでは遅延時間の長さが不足するであろう。この点で長周期地震波の場合は短周期地震波と異なり困難がある。

以上のようなことからここでは長周期地震波動を直接デジタル量として得ることを目的にその第一段階として遅延装置なしのデジタル観測システムを試作し、実験的な観測を行なったのでその結果を述べる。

## 2. 観測システムの概要

Fig. 1 に今回作成した観測システムの Block diagram を示す。用いた地震計は Press-Ewing 型の長周期地震計の水平2成分で周期は20秒に設定した。各々の地震計は  $1\text{ k}\Omega$  の低いインピーダンスコイルと  $30\text{ k}\Omega$  の高インピーダンスコイルを有し、ここでは  $30\text{ k}\Omega$  のコイルが用いられる。地震計からの出力はチョッパー安定型 OP アンプに導かれここで  $40\text{ dB}$  増巾される。アンプの入力抵抗は地震計の減衰定数が  $h=1$  になるように  $50\text{ k}\Omega$  に定められた。

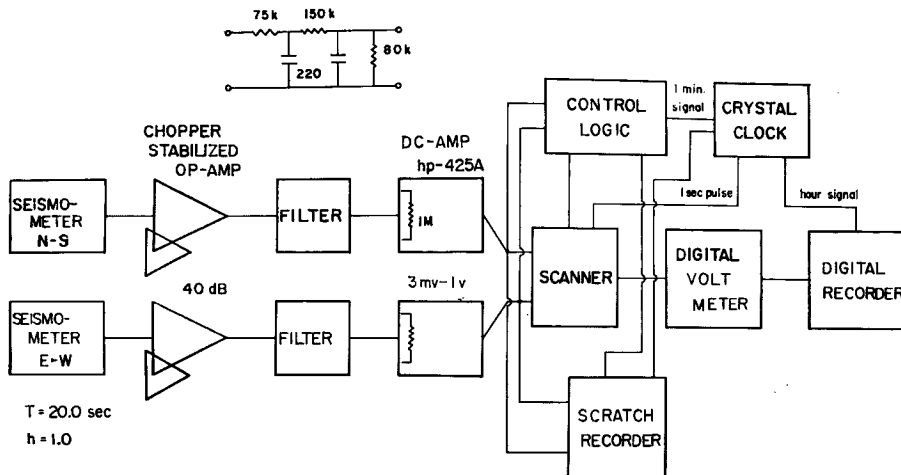


Fig. 1 Block diagram of digital seismograph system.

OP アンプの出力は RC 回路より成る filter を通して Hewlett-Packard 425 A amplifier に入れられ約 300 倍増巾される。filter は 2 段の積分回路で約 100 秒の周期を持つ galvanometer の特性に合うように R 及び C の値を定めてある。C については色々問題があり、なるべく低い値にして漏洩抵抗のすくないマイラー・コンデンサーを used したかったのであるが、今回は短期間の観測だったのでタンタル・コンデンサーを使用している。この filter を通過する際直列に入る抵抗のため感度は  $\frac{1}{4}$  に下がる。OP アンプ, filter, システム全体の各々の周波数振巾特性を Fig. 2 に示す。最大倍率は約  $1,300\text{ V/kine}$  となっている。このようにして得られる信号を scanner を通して AD 変換器 (ここでは低速度デジタル・ボルトメーター) に導きデジタル化した出力をデジタル・プリンターに印字させるのであるが、常時記録させていたのでは記録紙を約 3~4 時間毎に補充しなければならないので地震波が到来した時のみ記録させるようにする。そのためスキャナー入力と並列に制御回路の入力をとる。制御回路では入力波形は絶対値に直され設定した trigger level と比較される。trigger level を超えると trigger pulse が発生し、それによって scanner の gate が開きデジタル・ボルトメーターへ入力が入り記録が開始される。trigger level としては今回観測した場

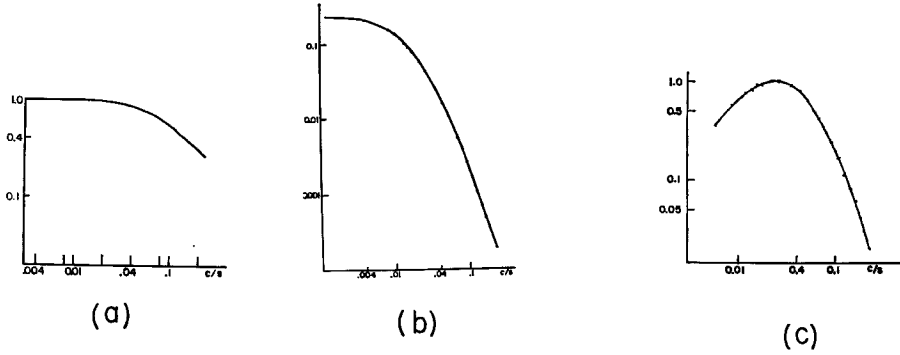


Fig. 2 Amplitude frequency response curves of OP-amp., filter, and seismograph system.  
 a) OP-amp. b) filter c) over-all system

所が研究所建物1階であったため noise level がかなり高かったので 0.3V に設定した。さらにその上気圧、温度の変化によるゼロ・ドリフトによって trigger されるのをできるだけ少なくするように2成分の両方が trigger level を超えた時のみ gate が開くようにした。デジタル化のサンプリング間隔は各チャンネル1秒とし (スキャナーの切替速度は0.5秒) gate の長さは100分間とした。Fig. 3 に制御部の time chart を示す。用いたデジタル・ボルトメーターは最大  $\pm 2.999V$  まで測定可能で最高 30 msec の速度

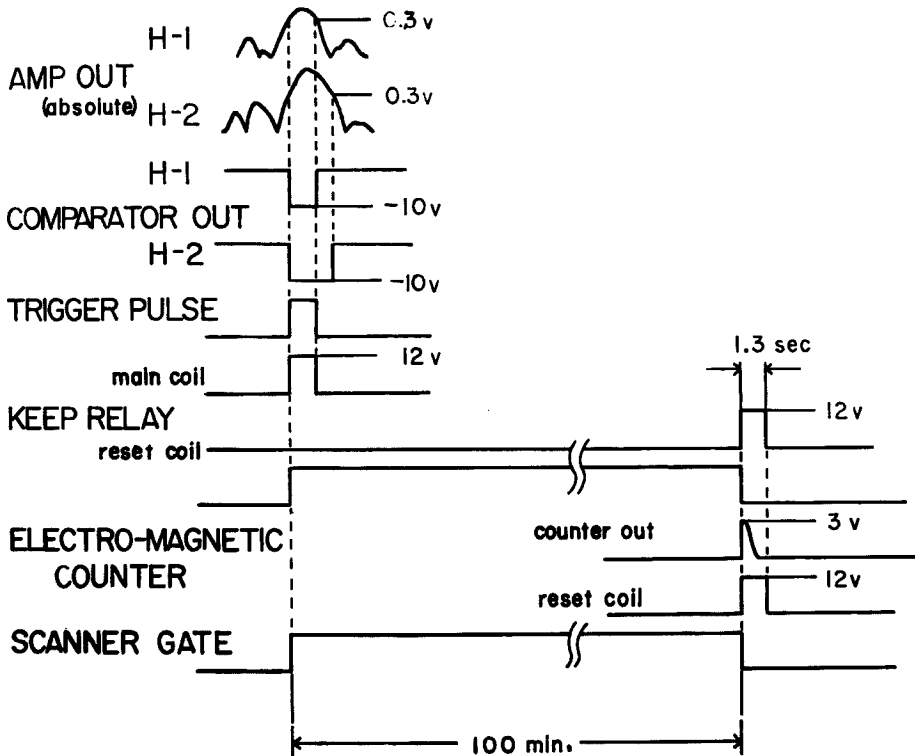


Fig. 3 Time chart of control circuit.

でサンプリングできる。尚サンプリング間隔, スキャナー切換, gate 回路等は水晶時計の出力信号によって制御される。

以上のように一定の trigger level を超えた後の部分 100 分間のみがデジタル化されて記録されるのであるから地震のどの部分で trigger されたかを知る必要がある。そのため scanner 入力と並列に信号をスクラッチ・レコーダーに導きモニターとして常時記録させる。そして同時にスクラッチ・レコーダーの別のチャンネルに trigger pulse を記録させておいて trigger の時刻を読めるようにした。

### 3. 観 測 例

上に述べたシステムを用いて防災研究所建物の 1 階に地震計を設置して 1972 年 1 月 20 日から 2 月 20 日まで約 30 日間観測を行なった。温度変化等に対する対策を何ら施していない実験室での観測である上、冬期の強い季節風が吹き建物の揺れの影響が強く出て非常に長周期の noise が大きく、trigger level を 0.3 V と高い値に設定した関係で記録された地震の数は非常に少なかった。また記録されても振巾の大きな所で trigger されるため顕著な phase が見られないような場合が多かった。このような中で期間中に得られた良好な地震の記録例を Fig. 4 に示す。地震は 1972 年 2 月 15 日に Santa Cruz Is. で起った  $M=6.2$  のものである。Fig. 4 はデジタル・プリンターに印字された数値をプロットしたものであるが、同時にモニター記録の初動部分をも挿入してある。初動到達時刻は  $08^h 39^m 10^s$  であるが、初動より約 40 秒後に trigger されているのがわかる。モニター記録の 2 成分の波形の間にあるパルスがトリガー・パルスを表わしている。

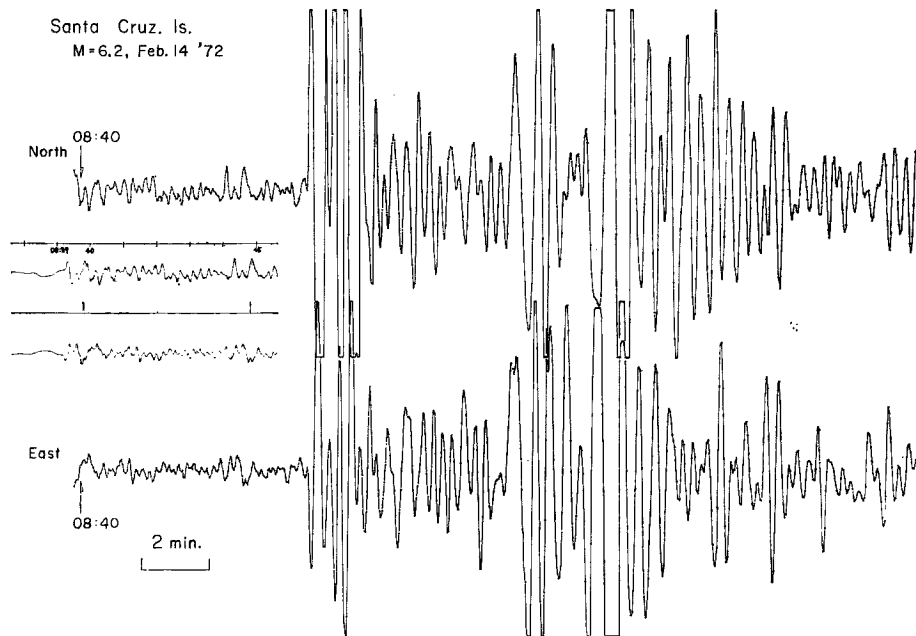


Fig. 4 Digital seismogram of the earthquake which occurred in the Santa Cruz Is. on Feb. 15, 1972.  $M=6.2$ ,  $\Delta=54^\circ$ . The sampling interval is 1 sec.

Fig. 5 は同じ地震の天ヶ瀬地殻変動観測所に設置してある 20—100 長周期地震計による 3 成分の記録を比較のために示したものであるが、初動より約 7 分後の S 波と思われる大振巾の所で線が薄くなって不明

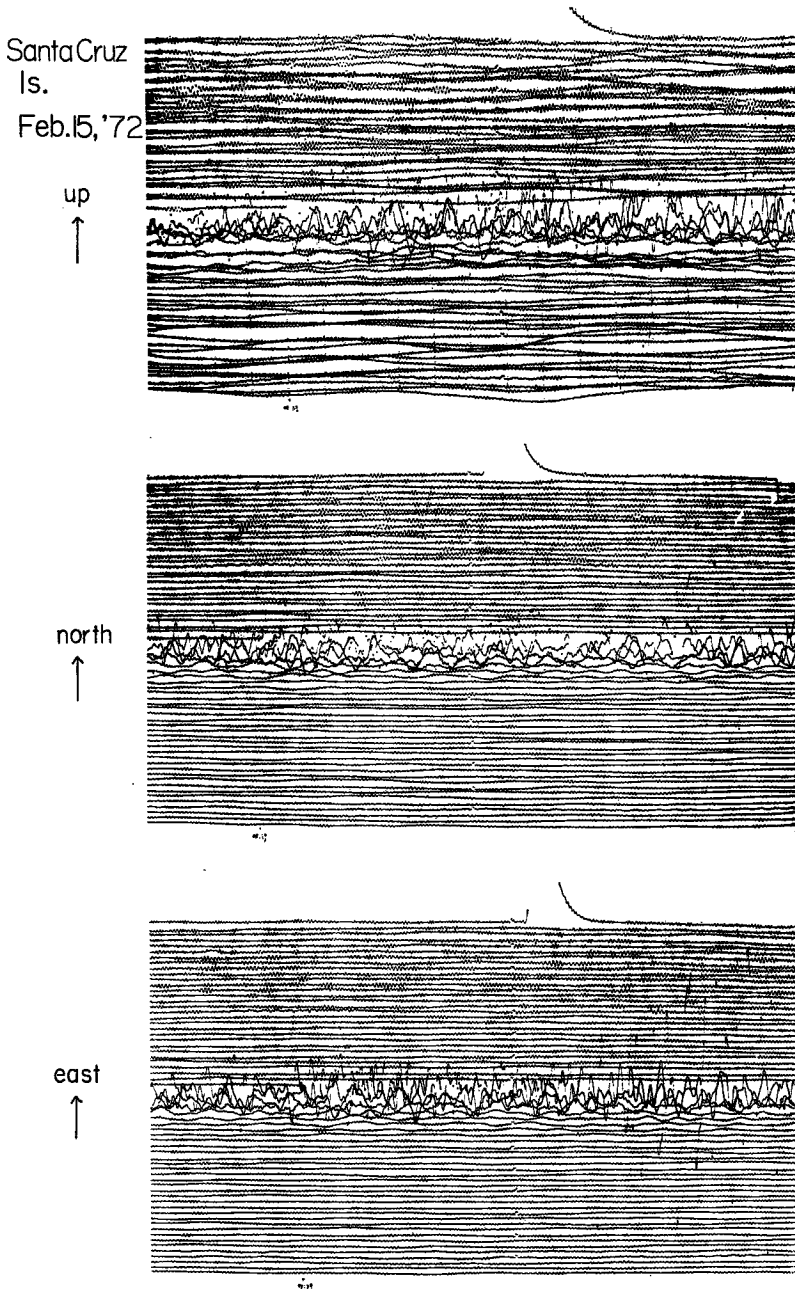


Fig. 5 The same seismogram as Fig. 4 by conventional Press-Ewing seismograph system.

になってしまっている。Fig. 4 の波形は約 25 分間の長さしかプロットしていないが、各々の phase は Fig. 5 の記録と非常によく一致している。最大振幅の付近は saturate しているけれど分離した鮮明な記録が得られ今回はこれ以上記録を解析することは出来なかったが、今後の解析に際して便利な形となっている。

#### 4. お わ り に

遅延装置のない不十分なシステムであるが、 $M=6$  程度の地震なら殆んど初動附近からの記録を得ることができる。

今後条件の良い観測所で用いれば trigger level を低く設定できるし、P 波部分に対してより敏感と思われる短周期地震計の出力を trigger に使用すれば、さらに初動近くからの記録を得ることが可能となるであろう。

以上の如く今回試作したシステムでも実際に十分使用できることが判明したので、今後このシステムを用いて長時間地震波のデジタル観測を続けてみるつもりである。

おわりに御指導下さった高田理夫教授並びに実験その他に御協力下さった山田勝枝官、広野秋男両氏に厚く御礼申し上げます。

#### 参 考 文 献

- 1) Bogert, B.P.: Seismic Data Collection, Reduction, and Digitization, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 51, 1961, pp. 515-525.
- 2) 和田卓彦・加茂幸介：自動地震記録装置，京大防災研究所年報，第13号A，昭45.3，pp. 35-40.
- 3) James, D.E. and A.T. Linde: A Source of Major Error in the Digital Analysis of World Wide Standard Station Seismograms, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 61, 1971, pp. 723-728.
- 4) Pomeroy, P.W., G. Hade, J. Savino, and R. Chander: Preliminary Results from High-Gain Wide-Band Long-Period Electromagnetic Seismograph Systems, J. Geophys. Res., Vol. 74, 1969, pp. 3295-3298.
- 5) 辻浦 賢：直視記録方式による長周期地震計，東京大学地震研究所彙報，第43号，1965，pp. 429-440.
- 6) Burke, M.D., E.R. Kanasewich, J.D. Malinsky, and J.F. Montalbetti: A Wide-Band Digital Seismograph System, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 60, 1970, pp. 1417-1426.